



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

석사학위논문

4차 산업형 지능형공장과 스마트제조를 위한
핵심역량 프레임워크 개발

Development of a Competency Framework for Intelligent Factory
and Smart Manufacturing in Industry 4.0

지도교수 황 경 태

동국대학교 대학원 경영정보학과

문진일

2018

석사학위논문

4차 산업형 지능형공장과 스마트제조를 위한
핵심역량 프레임워크 개발

문진일

지도교수 황경태

이 논문을 석사학위 논문으로 제출함.

2017년 12월 일

문진일의 경영학 석사학위 논문을 인준함.

2017년 12월 일

위원장 이종욱 (인)

위원 이영재 (인)

위원 황경태 (인)

동국대학교 대학원

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 연구의 배경 및 필요성	1
제 2 절 연구의 목적	3
제 2 장 이론적 배경	5
제 1 절 4차 산업혁명 (Industrial Revolution)	5
1. 1차 산업혁명 (1 st Industrial Revolution)	5
2. 산업혁명과 생산성 역설 (Industrial Revolution and Paradox of Productivity)	6
3. 4차 산업혁명의 정의 (Definition of Industrie 4.0)	8
제 2 절 4차 산업 사회 (Industry 4.0 Society)	8
1. 스마트 시티 (Smart City)	8
2. 스마트 산업 (Smart Industry)	16
3. 사이버-물리시스템과 사이버-물리-생산 시스템 (Cyber-Physical System and Cyber-Physical-Production System)	20
4. 4차 산업의 9대 핵심기술 (The Nine Pillars of Technological Advancement)	23

제 3 절 CPS와 지능형 공장	
(CPS and Intelligent Factory)	27
1. 거시적 관점의 4차 산업과 CPS	
(Macro perspectives of Industry 4.0 and CPS)	27
2. 지능형 공장 프레임워크	
(The Framework of Intelligent Factory)	29
3. 세 가지 유형의 통합 (3 Types of Integration)	32
4. 사용가치와 사전 서비스, 및 고장예지와 건전성 관리	
(Value-in-Use and Before Service, and PHM)	35
제 4 절 사이버-물리-생산 시스템과 스마트 제조 시스템	
(CPPS, smart manufacturing system)	41
1. 미시적 관점의 4차 산업과 CPPS	
(Micro perspectives of Industry 4.0 and CPS)	41
2. 전통적 생산 프로세스와 스마트 생산 시스템	
(Traditional production process and	
smart production system)	49
3. 스마트 생산 시스템 아키텍처	
(Smart production system architecture)	56
4. 5C 구조 (5C architecture)	62
5. 자율 컴포넌트 모델	
(Autonomous Component Model in Industry 4.0)	71

제 5 절 21세기 핵심 역량 (The Core Competency of 21 th Century)	80
1. 역량의 정의 (Definition of Competency)	80
2. DeSeCo의 세 가지 핵심역량 (Three Core Competency of DeSeCo)	81
제 3 장 4차 산업 핵심역량 프레임워크 개발	8
제 1 절 프레임워크의 정의 (Definition of Framework)	83
제 2 절 4차 산업 관련 주요 프레임워크 (Previous work on Industrie 4.0 Framework)	84
1. 4차 산업 (Industrie 4.0)	84
2. 4차 산업 참조 구조 모델, RAMI 4.0 (Reference architecture model for Industry 4.0)	87
제 3 절 4차 산업 IT 인력 핵심역량 프레임워크 개발 (Development of Industrie 4.0 Core Competency Framework for IT personnel)	98
1. 4차 산업 IT 인력의 핵심역량 기본 프레임워크 구조 (The Basic Framework Architecture of the Core Competency for IT personnel)	98
2. 4차 산업 IT 인력의 핵심역량 프레임워크	

(The Framework of the Core Competency for IT personnel)	100
3. 4차 산업 IT 인력의 핵심 역량 프레임워크 항목 (The Core Competency Items of IT personnel in I4.0)	104
제 4 장 결 론	109
제 1 절 연구의 결과 및 시사점	109
제 2 절 연구의 한계 및 향후 연구 방향	111
참고문헌	113
<ABSTRACT>	B

< 표 목차 >

<표 1> I4.0 IT 역량 분류표	8
----------------------------	---



[그림 목차]

[그림 1] 1874년부터 2003년까지 미국의 연도별 노동생산성 추이	7
[그림 2] 산업혁명의 특징	9
[그림 3] Smart City Initiative	15
[그림 4] Industry 4.0의 개념도	19
[그림 5] IoT 시스템의 관계 개념도	12
[그림 6] 협업(collaborative practice) 프레임워크	24
[그림 7] 4차 산업 제조혁신의 9가지 핵심 기술	62
[그림 8] 거시적 관점의 4차 산업	8
[그림 9] 4차 산업형 지능형 공장 프레임워크	13
[그림 10] 4차 산업 스마트 공장 프레임워크	33
[그림 11] 3가지 유형의 통합 개념도	33
[그림 12] 4차 산업의 사용가치 개념도	88
[그림 13] Cyber-Physical PHM의 타임머신 개념도	104
[그림 14] 미시적 관점의 4차 산업 개념도	34
[그림 15] 조립 시스템의 계층(Levels of an assembly system)	44
[그림 16] 제어(control)와 물리적 시스템의 통합	54
[그림 17] 자율 프로세스 (Autonomous processes)	47
[그림 18] 자율생산 프로세스 개념도	84

[그림 19] CPPS 기반의 분산 서비스 개념도	05
[그림 20] 전통적 생산라인과 스마트 공장의 제조 시스템	25
[그림 21] 현재의 공장과 4차 산업공장의 비교표	35
[그림 22] 전통적 공장과 4차 산업형 공장	55
[그림 23] 지능형 공장의 개략적 프레임워크	65
[그림 24] 스마트 생산에서 IT에 의한 인간-기계 간 상호작용 개념도	8·5
[그림 25] 스마트 생산 운영 개념도	95
[그림 26] 자동이동차량(AGVs)을 이용한 유연한 컨베이어시스템의 예	2·6
[그림 27] 자율 인식(self-aware)과 자율 유지보수(self-maintenance) 기반의 사이버-물리 프레임워크	35
[그림 28] CPPS 구현을 위한 5C 구조(5C architecture)	46
[그림 29] 5C 계층(5C architecture)과 적용 애플리케이션 및 기술의 관계도	68
[그림 30] CPPS 기반 공장에서의 데이터와 정보의 흐름도	07
[그림 31] I4.0 컴포넌트 모델	37
[그림 32] I4.0 컴포넌트의 4 가지 유형 구현 사례	47
[그림 33] I4.0 컴포넌트	67
[그림 34] 디지털 공장의 저장소	77
[그림 35] 조립 셀 개념도(Assembly cell concept)	97
[그림 36] Industrie 4.0	85

[그림 37] 4차 산업의 참조 구조 모델 (RAMI4.0)	78
[그림 38] RAMI4.0 3차원 모델의 Z축, 계층구조 수준	88
[그림 39] 3차 산업 공장과 4차 산업 공장의 컴포넌트	09
[그림 40] RAMI4.0의 새로운 컨트롤 피라미드 체계	19
[그림 41] RAMI4.0 3차원 모델의 X축, 생애주기와 가치흐름	29
[그림 42] 전통적 및 RAMI4.0의 생애주기	39
[그림 43] 엔티티/객체 별 라이프 사이클의 예	5
[그림 44] 이해관계자 관점에서의 타입과 인스턴스	69
[그림 45] RAMI4.0 3차원 모델의 Y축, IT 레이어	69
[그림 46] 4차 산업 IT 인력 핵심역량 기본 프레임워크 구조	99
[그림 47] 4차 산업 IT 인력 핵심역량 프레임워크	0
[그림 48] RAMI4.0 기반 IT 핵심역량의 도출	0
[그림 49] RAMI4.0 기반 IT 핵심역량 프레임워크	0
[그림 50] I4.0 IT 핵심역량 분야	0
[그림 51] 4차 산업의 기술적 관점의 특징	0
[그림 52] RAMI4.0 기반 IT 핵심역량 프레임워크의 Y 축, IT Technology의 요소 기술항목	108

제 1 장 서 론

제 1 절 연구의 배경 및 필요성

최근 들어 4차 산업과 지능형공장, 및 스마트 제조에 대한 사회적 관심이 고조되고 있으며, 독일과 미국 등 일부 선진국들은 4차 산업형 제조시스템을 구현하고, 이로부터 괄목할만한 성과가 나타나고 있다고 보고되고 있다.

그러나 우리나라의 경우, 아직 4차 산업에 대한 관심과 지원이 미비한 상태이며, 4차 산업에 대한 막연하고 추상적인 이론만 소개될 뿐 정부나 산업계의 주도로 실제적인 4차 산업형 공장이나 제조시스템이 구현되고 운영되고 있다고 알려진 바는 없는 실정이다.

4차 산업이란 이제까지의 3차 산업혁명과 같이 단지 생산설비를 자동화하고 관련 자동화 기기나 로봇을 도입함으로써 완성되는 것은 아닌 것으로 알려져 있다. 즉, 4차 산업이란 거시적으로는 가치사슬 내에 존재하는 모든 이해관계자의 시스템들이 통합되는 것이고, 각 시스템들은 4차 산업형 시스템인 CPS 또는 CPPS로 구현되어야 함을 의미한다.

특히 4차 산업 시스템은 CPS 또는 CPPS의 근간인 소위 I4.0 컴포넌트 유형으로 구현되어야 하는데, I4.0 컴포넌트란 이제까지의 소프트웨어와는 달리 자율성(autonomous), 지능성(intelligent), 및 사회성(sociality)을 가져야만 한다. 소프트웨어 컴포넌트를 자율성, 지능성, 및 사회성을 갖게 하는 것은 단시간에 이루어질 수 없는 사항이다. 즉, 인간이 태어나서 자율성, 지능성, 사회성을 갖기까지 많은 시간과 노력, 및 교육이 필요하듯

4차 산업사회의 I4.0 컴포넌트도 시스템 구축이후에 다량의 빅데이터와 인공지능 기법을 활용해 지능화시키는 경험이 필요하고 사회성을 갖게 하기 위해서는 수많은 서비스수준합의(SLA, service level agreement)를 만들어야 하기 때문이다.

이렇듯 4차 산업 시스템은 단숨에 얻어지는 것이 아니라 수많은 시간과 노력, 이로부터의 경험과 지식이 필요한 것으로 파악되고 있으나, 국내의 준비상황은 미비한 형태로 파악되고 있으며, 특히 IT 인력들이 4차 산업을 위한 새로운 기술적 역량을 보유하기 위한 과정이 부족한 것으로 나타나고 있다.

이러한 상황을 개선하고자 본 연구에서는 4차 산업을 규명하고, IT기술적 관점에서 4차 산업을 투명한 4차 산업 IT 인력의 핵심역량 프레임워크를 개발 제시함으로써 4차 산업을 대비하고자 하는 IT 인력들에게 필요한 역량을 체계화하여 제시하고자 하며, 또한 각 프레임워크의 영역을 만족시킬 수 있는 새로운 IT 기술 항목들을 도출함으로써 4차 산업을 대비하고자 하는 IT 인력들에게 체계적인 가이드라인을 제시하여, 궁극적으로는 우리나라의 산업이 4차 산업으로 탈바꿈하는데 기여하고자 한다.

제 2 절 연구의 목적

본 연구는 4차 산업 시스템을 구축함에 있어서 주도적 역할을 수행할 IT 인력들의 IT 역량을 제고하는 과정에 참고할 수 있는 4차 산업 IT 인력의 핵심역량을 체계화한 프레임워크를 개발하고, 해당 프레임워크를 구성하는 IT 기술적 항목을 개발하여 제시함으로써 산업계 및 IT 인력들이 IT 기술적으로 4차 산업을 대비할 수 있는 기본 틀을 제공하고자 하였다.

이를 위해 이론적 선행연구를 통해 4차 산업과 관련 시스템인 CPS 및 CPPS에 대해 체계화된 연구를 진행하였고, 이로부터 단계별 접근법을 통해 IT 기술적 관점에서 4차 산업을 규명하는 프레임워크와 해당 프레임워크의 각 영역에서 요구되는 IT 기술적 항목을 도출하고자 하였다.

본 논문은 아래와 같이 4장으로 구성하였다.

제 1장은 본 연구를 진행하게 된 배경과 필요성을 기술하였고, 연구의 목적을 명시적으로 밝혔다.

제 2장은 선행연구를 통한 이론적 배경과 기반을 요약하여 제시하였다.

제 1절에서는 산업혁명과정을 살펴보고 4차 산업혁명을 정의하였다. 제 2절에서는 4차 산업 사회를 규명하였고, 이를 위해 스마트 시티, 스마트 산업과 이를 구현할 수 있는 사이버-물리시스템과 사이버-물리-생산시스템, 그리고 이를 위한 4차 산업의 핵심기술에 대해 살펴보았다.

제 3절에서는 CPS와 지능형공장과 제 4절에서는 사이버-물리-생산시스템과 스마트 제조시스템에 대한 이론을 정리함으로써 4차 산업시대의 공장과 제조시스템에 대한 이론을 확보하였다.

제 5절에서는 DeSeCo가 정의한 21세기 핵심역량에 대한 선행연구를 진행함으로써 21세기에 살아가는 인간으로써의 기본적인 역량에 대한 이론을 살펴보았다.

제 3장은 본 연구의 핵심으로써 4차 산업 핵심역량 프레임워크를 개발하였고, 이를 위해 필요한 IT 기술적 항목을 도출하여 제시하였다.

제 1절은 프레임워크가 무엇인지를 규명하였고, 제 2절에서는 본 연구가 개발할 4차 산업 핵심역량 프레임워크의 기초가 될 4차 산업 관련 주요 프레임워크에 대한 연구가 진행되었으며, 제 3절에서는 본 연구의 결과인 4차 산업 IT 인력 핵심역량 프레임워크를 개발하였다.

마지막으로 제 4장에서는 본 연구의 결과와 시사점을 제시하였고, 본 연구의 한계와 향후 후속 연구과제에 대해 제언하였다.

제 2 장 이론적 배경

제 1 절 4차 산업혁명 (Industrial Revolution)

1. 1차 산업혁명 (1st Industrial Revolution)

최근, 4차 산업혁명(Industry 4.0 Revolution)에 관한 이슈들이 글로벌 사회와 산업계에 화두가 되고 있다. 인간의 사회가 의식주 및 각종 도구들을 자연에서 구하던 원시사회(primitive society)를 거쳐 농경사회(agricultural society)로 진화되어 왔고, 사회가 진화되면서 생활도구뿐만 아니라 농경에 필요한 도구들도 개발해 왔다. 그러나 이전의 원시사회나 농경사회를 움직이던 동력(power)의 근원은 모두 인간을 포함한 소, 말 등 생명체로부터 창출되어왔다. 즉, 생명체가 음식을 섭취하고 이를 소화함으로써 발생시킬 수 있는 생명체의 힘(the power of life)을 근간으로 모든 것을 만들고 움직여왔다. 일반적으로 원시사회로부터 농경사회까지는 현대적의미의 산업(industry), 즉 공장(factory)에서 제품(product)을 생산하는 유형의 산업은 존재하지 않았고 할 수 있다.

18세기 중반에 접어들면서 제임스 와트(Jame Watt)가 증기기관(steam engine)을 발명하면서부터 증기기관이 생명체의 힘을 대체하여 만능동력원으로 활용되기 시작하면서 현대적 의미의 산업이 형성되기 시작하였으며, 새로운 동력원을 이용해 이제까지의 사회 패러다임을 혁신적으로 바꾸어 세계의 공업화 및 근대화가 시작되는 촉매가 되었으며, 이를 산업혁명

(industrial revolution)이라 한다(두산백과).

산업혁명은 단순히 동력의 대체만을 의미하지 않고, 기존의 모든 패러다임을 완전히 바꾸는 혁신으로써 경제적 구조의 혁명적 변화뿐만 아니라 왕족과 귀족 지배체제가 무너지고, 경제적으로는 지주가 몰락하고 자본가가 등장하는 자본주의의 시작을 의미하며, 증기기관을 이용한 공업화에 따라 농촌이 몰락하고 도시 인구의 폭발적 증가와 이에 따른 저임금 노동과 대도시 환경문제 등 다양한 문제도 발생시키게 되었지만(위키백과), 영국에서 시작된 1차 산업혁명과 관련 기술들이 전 세계로 전파되면서 세계는 공업화를 기반으로 한 성장과 발전을 시작하여 현재와 같은 기술기반 사회로 발전하는 초석이 되었다.

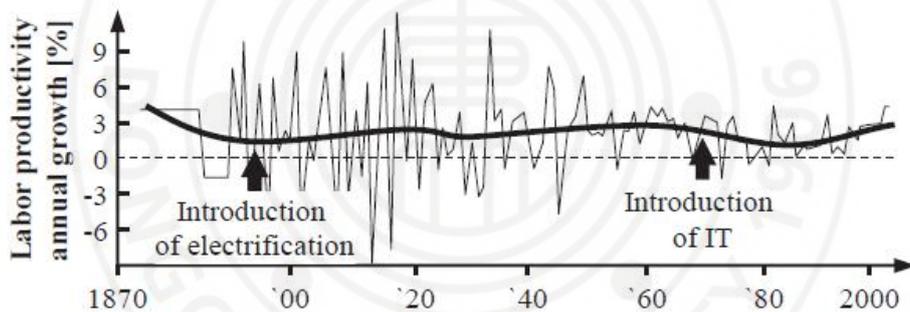
2. 산업혁명과 생산성 역설

(Industrial Revolution and Paradox of Productivity)

1차 산업혁명이 시작된 이래 세계는 기술개발에 매진하였으며, 특히 과학기술과 산업기술의 발전이 세계의 발전과 경제규모의 확대를 선도해 왔다. 이들 중에서 아담 스미스(Adam Smith)가 국부론(The Wealth of Nations, 1776)에서 주창한 노동분업의 원칙(division of labor)과 이를 적용한 20세기 초 포드자동차에 구현되었던 헨리 포드(Henry Ford)에 의한 생산라인(Assembly Line)이 산업사회 발전에 지대한 공헌을 하였으며, 또한 20세기 중반의 컴퓨터의 발명과 산업에 적용하는 기술 등이 산업의 성장에 지대한 영향을 미쳐왔다고 할 수 있다(Monostori, 2014).

즉, 증기엔진은 수작업을 기계로 대체할 수 있도록 하였으며, 전기의 발명은 동력전달이 자유롭게 되어 기계배치가 훨씬 더 자유롭게 되었으며

분업화된 생산라인은 극적인 생산성 향상을 가져왔으며, 직접회로의 발명과 소프트웨어의 발전으로 인해 생산 자동화를 이루는 등 극적인 기술의 발전과 생산체제의 변화를 가져왔지만 산업계의 생산성 향상은 기술적 진보의 속도를 따라가지 못하였으며, 결과적으로 생산성 증가가 기대치보다 미비해 왔다. 특히 최근 급격하게 발전되어 온 정보기술의 발전 속도와 가용성 증가가 전체 경제나 단일 기업의 생산성 향상과 일치하지 않은 현상이 발생하였으며, 이를 생산성 역설(the productivity paradox)라 하며, [그림 1]에 예시한 바와 같이 전기와 생산라인, 및 IT 기술이 도입된 이후에도 노동생산성은 극적으로 증가하지 못하는 것으로 나타나고 있다 (Schuh, 2014).



[그림 1] 1874년부터 2003년까지 미국의 연도별 노동생산성 추이
(Schuh, 2014)

이와 같은 현상에 대한 근본적인 이유에 대한 견해는 다양하지만 새로운 기술을 적응하고 융합하기 위한 기업 또는 산업계의 변모에 많은 투자와 시간이 필요할 뿐만 아니라(Schuh, 2014), 기술과 기술, 또한 이를 활용한 서비스와 서비스의 결합이 보다 더 광역화되고, 새로운 혁신적 변화를 이끌 수 있는 개념과 통합기술로 발전하기에는 더 많은 시간과 투자 및 경험이 필요하기 때문으로 사료된다. 특히 동력의 근원으로 전기의 활

용 및 IT 기술에 의한 고도의 자동화도 1차 산업이후의 생산모델인 분업에 기반한 생산라인의 형태를 유지하고 있기 때문에 극적인 생산성 향상이나 또는 사회를 변혁시킬 만한 혁신으로 전개되지 못하였다.

그러나 인터넷의 범세계적 광대역화 및 모바일 시대의 도래, 이에 따른 사회와 개인의 변화 등을 경험하면서 통합과 협업(integration and collaboration)을 기반으로 한 사이버세계(cyber society)와 물리세계(physical society)를 동치화하기 위한 정보기술 기반의 기술발전에 매진해온 결과, 이러한 기술들을 종합적으로 적용하여 기존의 생산과 제조에 대한 기본적 개념을 혁신적으로 바꿀 시도들이 독일에서부터 시작되었다(Lydon, 2016). 이와 같은 개념과 적용은 1차 산업혁명의 과급효과를 뛰어 넘어 사회전체를 혁신하고 변경할 것이라 기대되고 있으며, 고도의 성숙된 4차 산업 사회에서는 생산성 향상이 30%에 이를 것으로 전망되는 등(Zhou, et. al., 2015) 극적인 생산성 향상과 더불어 매스 커스터마이징(mass customizing), 및 새로운 비즈니스 모델에 의한 4차 산업형 서비스화인 서비티제이션(servitization)의 시대가 도래될 것으로 기대하며, 이를 4차 산업혁명이라 한다.

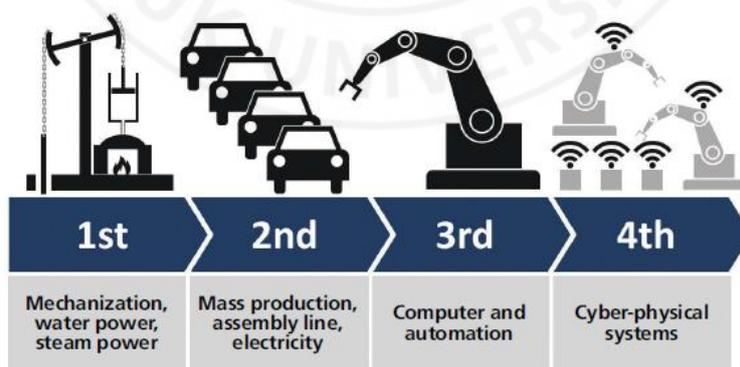
3. 4차 산업혁명의 정의 (Definition of Industrie 4.0)

최근 들어 급격히 발전한 정보통신기술, 특히 모바일 관련 기술과 만물인터넷(IoT, Internet of Things) 관련 기술들은 새로운 비즈니스 모델을 창출할 뿐만 아니라 사회변혁, 특히 소셜네트워크 기반 서비스를 주도해 웹 2.0 시대를 넘어 모바일 3.0 시대에 진입하게 하였고(이난경과 이종욱, 2014, 2015) 이와 같은 기술 주도형 사회변혁은 기업 경영환경과 마켓 환

경을 변화시켜 시장수요의 변동성, 커스터마이징에 의한 개별화 상품, 및 글로벌화에 따른 경쟁격화 등으로 대변되어지는(Schuh, 2014) 사회로 변혁하게 만들었다.

산업사회가 진화해오는 과정에서 몇 가지 주요 기술들은 생산성 증가에 영향을 미치는 주요 기반기술로써 역할을 해 왔는데, 이를 범용기술(GPTS, General Purpose Technologies)이라 지칭한다. 그러나 이 범용 기술들은 그 기술이 발명되는 즉시 기술적 솔루션을 제공하여 생산성 향상에 즉시 기여되기 보다는 이 기술들이 진화되고 다른 기술들과 융합되고 적용되기까지는 상당한 시간이 들어 왔다(Schuh, 2014).

18세기 중반 1차 산업혁명에 의해 산업사회가 시작된 이래 지금까지 생산성 향상에 기여해온 범용기술들을 요약해보면 [그림 2]와 같이 4 단계로 구분지을 수 있으며, 지금의 시대는 4 단계이며, 이를 4차 산업혁명(Industry 4.0 Revolution)이라 지칭한다(Shafiq, et. al., 2015). 다만 4차 산업혁명은 최근부터 시작되고 있지만 해당 개념과 기술이 보편적으로 구현되어 사회 변혁의 효과가 일반화되기까지는 지금까지 그랬듯이 일정한 성숙의 시간이 지나야 될 것으로 기대하고 있다.



[그림 2] 산업혁명의 특징 (Lydon, 2016)

[그림 2]에서 요약 제시된 각 산업혁명 단계의 정의 및 구분은 다음과 같다.

1차 산업혁명은 18세기에 발명된 증기동력과 수력동력, 및 이를 활용한 생산의 기계화(mechanization)로 특징지을 수 있다(Lydon, 2016). 즉, 증기 에너지를 이용한 기계가 생산에 도입되어 경제의 일반적인 기계화가 가능하게 되었고, 고도의 기계화는 경제를 훨씬 더 생산적으로 탈바꿈시키게 되는 혁신을 이루었다(Schuh, 2014).

2차 산업혁명은 20세기 초의 전기를 에너지원으로 하여 생산라인(assembly line)을 이용한 대량 생산체제(mass production)로 특징할 수 있다(Lydon, 2016). 즉, 2차 산업혁명의 주요 기술 중의 하나가 전기의 광범위한 활용이며, 전기화와 생산라인은 대량생산의 원동력이었으며, 20세기 초 경제의 생산성 향상에 지대한 영향을 미쳤었다(Schuh, 2014).

3차 산업혁명은 공작기계 수치제어, 프로그래머블 로직컨트롤러, 직접 디지털 제어 및 전사적 자원계획 등을 활용한 디지털 혁명(digital revolution)으로 대변할 수 있다(Lydon, 2016). 3차 산업혁명을 주도한 기술의 중심에는 계산능력을 높이고 비용은 지속적으로 줄이는 집적회로의 발명과 컴퓨터(computer) 및 이를 활용한 자동화(automation)를 들 수 있으며, 산업 전반에 걸친 정보기술의 적용은 오늘날까지 경제성과의 성장과 생산성에 중요한 영향을 미쳐오고 있다(Schuh, 2014).

4차 산업혁명은 사이버-물리 시스템(CPP, Cyber-Physical System), 임베디드 컴퓨팅(embedded computing), 및 만물인터넷 기술(IoT)로 특징할 수 있다(Lydon, 2016). 4차 산업혁명 관련 기술은 하나의 특정 기술이 어느 날 갑자기 등장하여 촉발된 현상이 아니라 이제까지 지속적으로

발전되어온 정보통신기술들을 연계하고 통합하여 사이버 물리시스템(CPP)을 구축하고 이를 사회에 적용시킬 수 있는 단계까지 발전해왔기 때문이다.

모바일 3.0 시대에 진입하면서 급격히 발전한 ICT 기술은 기존의 관념을 초월하는 새로운 비즈니스 및 서비스 영역을 창출하고 있다. 특히 이동통신 네트워크와 스마트폰은 기존의 ICT 기술 및 서비스와 결합하여 유비쿼터스 편재형 컴퓨팅(ubiquitous pervasive computing) 서비스를 실현하였다(이난경과 이종옥, 2014). 이 서비스들 중에서 특히 소셜 네트워크(social network)의 역할과 위력, 및 이로 인한 사회의 변혁을 익히 경험한 바가 있다. 소셜네트워크란 스마트폰을 장착한 사람들이 구성원으로 참여하여 서로 소통하는 공간으로써 유비쿼터스 컴퓨팅(ubiquitous computing)에 따라 언제 어디서라도 실시간적으로 인지하고 반응할 수 있을 뿐만 아니라 클라우드 서비스(cloud service)에 축적된 빅데이터(big data)를 활용하여 최적의 서비스를 사전에 받을 수 있는 등, 이제까지 존재하지 않았던 혁신적 비즈니스모델과 혁신적 서비스를 활용할 수 있는 체제가 되었으며, 그 효과는 n 명의 참여자가 2^n 의 위력을 발휘한다는 네트워크 효과(network effect)로 회자될 만큼 혁신을 이루어 왔다.

4차 산업혁명을 주도하는 근간기술의 정점에는 사이버-물리시스템(CPP)이 위치한다. 사이버-물리시스템이란 현실세계의 모든 것들, 인간과 기계, 자동차 등을 포함한 만물들이 센서를 장착한 자율객체화 하고, 이들의 사회를 사이버 시스템 상에 구현함으로써 현실세계와 사이버세계를 동치화할 수 있는 기술을 말한다. 사이버-물리시스템의 기반기술로는 모든 만물이 자율 객체화되어 참여할 수 있는 만물인터넷, 이들이 발생하는 센서 데이터를 수집 및 축적하여 유의미한 정보를 창출할 수 있는 빅데이터와 인

공지능 등이 핵심 기술이라 할 수 있다.

모바일 시대에 마치 카카오톡 등의 SNS 서비스를 이용하게 됨에 따라 사회와 개인의 생활에 변혁이 수반되고 이제까지 존재하지 않았던 서비스가 창출되었듯이 사람만이 아닌 모든 사물도 구성원으로 참여하는 사이버-물리시스템의 구현과 이로부터 창출되는 서비스의 효과, 또한 이로부터 파생되는 사회의 변혁은 가히 현재로서는 짐작할 수도 없는, 이제까지의 산업혁명에 따른 사회변혁과는 비교할 수도 없는 거대한 물결이라 예상되고 있다.

4차 산업혁명의 결과는 거대한 하나의 사이버-물리시스템을 일순에 구축하는 것이 아니라 사람들이 다니는 길들이 집주변에서 동네로, 동네에서 도시 간으로, 도시 간에서 국가 간으로 확대되고 연계되었듯이, 인터넷이 작은 LAN으로 시작되어 도시권통신망(MAN), 광역통신망(WAN)으로 발전하여 지금의 글로벌 인터넷으로 광역대화 되어 왔듯이 작은 사이버-물리시스템들이 구축되어 지고, 이들이 연계되고 통합되어 거대한 사이버-물리시스템의 네트워크가 형성되는 ‘시스템들의 시스템(system of systems)’으로 발전해 나갈 것이고, 이는 도로와 인터넷이 발전되어온 과정과 마찬가지로, 지난 산업혁명과 같이 많은 시간이 소요될 것으로 예견되고 있다.

4차 산업혁명의 성숙기에는 사이버-물리시스템들이 연계되고 광역대화된 미래사회를 지향하지만, 최근의 4차 산업혁명의 시작은 독일의 중소형 공장으로부터 적용된 사이버-물리시스템으로 구성된 지능형공장(intelligent factory) 및 스마트생산(smart production)과 이로부터 달성한 극적인 생산성 향상과 매스 커스터마이징을 의미하는 협의의 의미로 회자된다.

협의의 4차 산업혁명은 ‘네트워크 센서 및 소프트웨어와 복잡한 물리적

기계 및 장치의 통합으로 보다는 비즈니스 및 사회적 성과를 예측, 제어, 및 계획'하는 것, '제품 수명주기(PLM, Product Life cycle Management) 전반에 걸쳐 가치사슬 조직(value chain organization) 및 관리의 새로운 수준', 또는 사이버-물리시스템에 의해 물리적 프로세스를 모니터링하여 실제 세계의 가상 복사본을 만들고, 분산된 자율의사결정을 행 할 수 있는 스마트 팩토리 관련 혁명' 등으로 정의할 수 있다 (Shafiq, et. al., 2015).

제 2 절 4차 산업 사회 (Industry 4.0 Society)

1. 스마트 시티 (Smart City)

4차 산업 혁명의 궁극적인 목표는 인간의 삶을 풍요롭게 하는 사회를 구축하기 위해

- 1) 스마트한 서비스를 실시간으로 제공하면서(providing smart services in the real-time),
- 2) 자원의 소비는 최소화하고(minimizing the resources), 또한
- 3) 기존의 사회기반구조의 활용성은 극대화하고자(maximizing the use of existing infrastructure) 함이다(Lom, et. al., 2016).

스마트 시티(smart city)란 4차 산업혁명이 성숙기를 거쳐 완성 단계에 구현되어질 미래의 도시를 총칭하며, 궁극적으로 4차 산업 기술을 활용하여 사회를 발전시키고, 삶의 질을 향상시킬 수 있는 방안으로서의 미래 도시를 총칭한다.

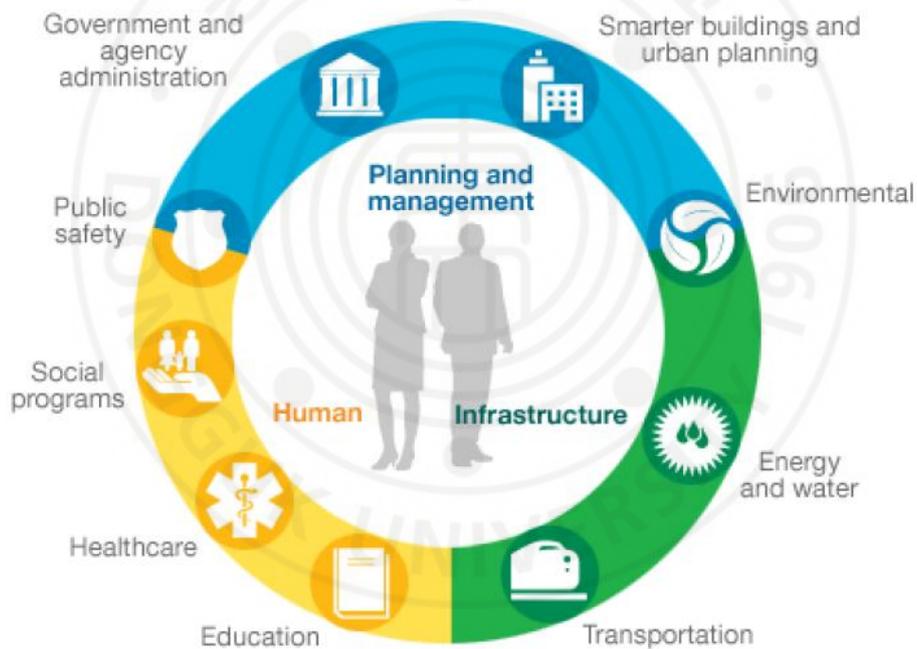
4차 산업형 미래 도시인 스마트 시티는 4차 산업형 기술을 적용하여 사람들이 거주하는 도시의 환경을 스마트 경제(smart economy), 스마트 이동성(smart mobility), 스마트 환경(smart environment), 스마트 생활(smart living), 및 스마트 거버넌스(smart governance) 등의 6 가지 요소가 가능할 수 있는 환경을 구축하고자 함이고(Lom, et. al., 2016; Sanders, et. al., 2016), [그림 3]에서 제시한 바와 같이 스마트 시티의 기반 시설 및 구조(infrastructure)를 이용하여 현실세계와 사이버세계를 일치화 할 수 있는 계획과 관리(planning and management)에 기반한 서비스를 바탕으로, 인간의 삶(human)이 궁극적으로 행복해질 수 있도록 교육과 건강 및 사회적 생활을 지원해주기 체제를 구축함으로써

- 1) 도시의 지속가능성을 보장하고(insuring the sustainability of cities),
- 2) 시민들의 삶의 질과 안전을 개선하고(improving quality of life and safety of their citizens),
- 3) 에너지 효율을 극대화(providing maximum energy efficiency)하고자 하는 이니셔티브(initiative)를 추구한다(Lom, et. al., 2016).

스마트 시티가 보다 효율적이고 매력적이며 포괄적인 관점에서 경쟁력을 갖추기 위해서는 4차 산업에 의한 새로운 패러다임의 구현도 필요하지만 스마트 시티의 구성원들인 도시(city), 기업, 시민, 및 학계 등이 함께 생각하고 고민하며 함께 일하는 방식을 바꾸는, 전체적인 느낌에서 구성원들의 획기적인 혁신과 변화를 요구한다(Lom, et. al., 2016).

즉, 기존 도시를 스마트 시티로 전환한다는 것은 도시를 개혁 또는 혁신한다는 것이며(Lom, et. al., 2016), 이는 시민들이 더 이상 사용자(user)가 아닌 핵심 이해관계자(stake holder)로서의 행동을 해야 하고, 첨단 기

술들은 더 이상 정적인 자산(static asset)이 아닌 동적인 지원수단(dynamic enabler)의 역할을 담당할 수 있어야 하고, 비즈니스는 더 이상 공급자(provider)가 아닌 파트너(partner)로 인식될 수 있어야 하며, 수요기반(demand orientation) 제조(production)된 제품(product)는 제품이 생산뿐만 아니라 소비되어 폐기될 때까지의 전 과정(life cycle)에 걸쳐 스마트해져야 하며, 마지막으로 이제까지는 건축 중심의 도시 진화 또는 재개발의 개념은 모든 것이 탈바꿈되는 변신(transformation)의 관점에서 혁신되어야 한다(Lom, et. al., 2016; Sanders, et. al., 2016).



[그림 3] Smart City Initiative (Lom, et. al., 2016)

2. 스마트 산업 (Smart Industry)

최근의 ICT기술의 혁신과 발전, 특히 IoT 기반의 인터넷 관련 기술의 진화는 제조(manufacturing)와 생산(production)에 혁명적 혁신의 기회를 제공하고 있으며(Posada, et. al., 2015), 이를 기반으로 하는 산업을 4차 산업(Industry 4.0)이라 하며, 궁극적으로는 모든 산업이 4차 산업화 되는 스마트 산업 생태계(smart industry ecosystem)가 구현될 것으로 기대되고 있다.

이제까지 추구하였던 생산라인의 컴퓨터화를 통한 자동화는 제조업체에 있어서는 필수적이었지만 궁극적으로는 저임금에 의존하게 되는 귀결로 나타났기에 더 이상 경쟁 전략으로 활용되기 힘든 상황이 되어서 왔고(Lydon, 2016), 이의 결과로 선진국들은 제품의 생산영역을 담당하는 공장들을 해외인 저개발국가로 이동하는 현상을 낳아 왔다.

그러나 최근 독일에서부터 시작되어 전 세계에 영향을 미치고 있는 4차 산업형 제조 모델은 전통적인 산업 생산 방식을 사이버-물리시스템과 IoT 등과 같은 디지털시스템을 활용하여 훨씬 더 지능적(intelligent)인 미래 지향적 제조시스템으로 탈바꿈시킬 것으로 기대하며(Lydon, 2016; Zhou, et. al., 2015), 이를 4차 산업(Industry 4.0) 또는 스마트 산업(smart industry)이라 한다.

4차 산업은 고성능의 컴퓨팅 능력(the power of advanced computing), 분석력(analytics), 저비용의 센싱(low-cost sensing), 및 IoT 또는 산업인터넷 등과 같은 새로운 수준의 인터넷 연결(new levels of internet connectivity) 기능 등을 통해 산업의 고지능화를 이루고자

하는 이니셔티브를 기반으로 하여(Posada, et. al., 2015), 극적인 생산성 향상을 도모할 뿐만 아니라(Lydon, 2016; Zhou, et. al., 2015) 새로운 제품의 기획에서부터 소비과정까지 전 과정에 걸쳐

- 1) 매우 유연한 생산 환경 하에서 제품의 강력한 개인화(the strong individualization of products),
- 2) 비즈니스 또는 가치창출 프로세스 전 과정에 걸쳐 고객과 비즈니스 파트너의 광범위한 통합(the extensive integration of customers and business partners), 그리고
- 3) 소위 하이브리드 제품(hybrid products)이 선도하는 제품과 고품질 서비스의 연결(the linking of production and high-quality services)로

산업을 변혁시킬 것으로 예견되고 있기에, 4차 산업은 완벽한 가치창출 시스템(complete value-adding system)을 구성하고 제어하는 전혀 새로운 방식의 산업을 의미한다(Monostori, 2014).

4차 산업의 비전은 사람, 기계, 장비, 물류 시스템, 및 일하는 방식(work-in-process) 등의 구성요소가 상호 교신(communicate)하고 협력(collaborate)함으로써 고수준의 생산성, 효율성, 및 자율관리 생산 프로세스(self-managing production)를 달성을 목표로 하여(Lydon, 2016), 전 생산 과정에 걸쳐 사람, 제품, 및 장치 또는 기계간의 실시간 상호작용을 통해 개인화된 디지털 제품 및 서비스를 생산할 수 있는 고수준의 유연한 생산 모델을 구축하여(Zhou, et. al., 2015) 지능형 공장(intelligent factory)과 스마트 생산(smart production)을 구현하고자 함이다.

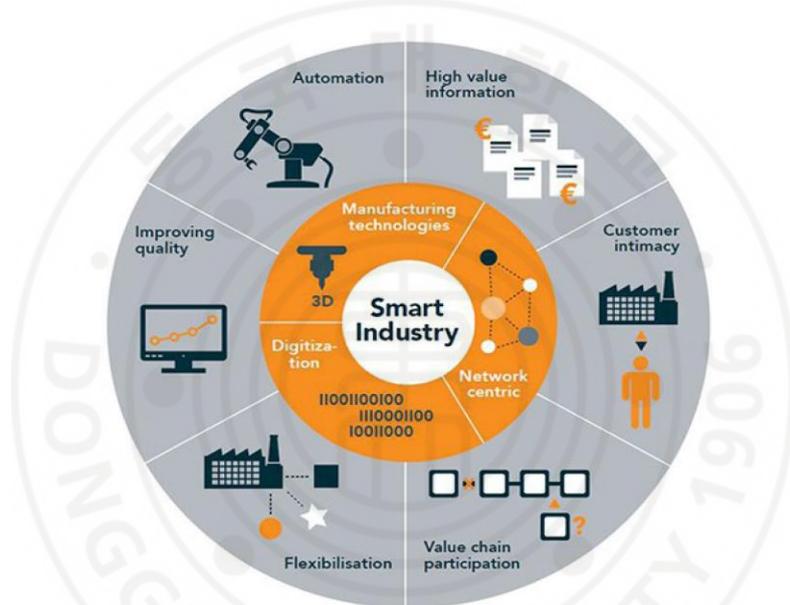
이와 같은 비전과 목표는 다음과 같은 3대 핵심요소를 전제로 한다(Posada, et. al., 2015).

- 1) 자율인식(self-aware) 및 자율학습(self-learning)의 역량을 보유한 지능형 기계(intelligent machine),
- 2) 빅데이터와 인공지능(AI) 등을 활용하여 실시간으로 상황과 의미를 분석하여 의사결정을 지원할 수 있는 고수준의 분석력(advanced analytics), 및
- 3) 지능형 기계들로 구성된 생산현장에서 제공된 의사결정 정보를 활용하여 고수준의 상호작용과 의사결정을 행할 수 있는 현장인력 (people at work)

4차 산업의 도식화한 개념은 [그림 4]와 같으며, 이는 아래와 같이 설명될 수 있다.

- 1) 네트워크 중심(network centric)의 생산 프로세스: 산업인터넷 또는 IoT를 활용하여 가치사슬 전 과정의 모든 이해관계자(stakeholder)의 참여(value chain participation), 특히 고객의 요구사항을 즉각 반영할 수 있도록 보장하고, IoT 센서로 부터 상황정보(context information)을 수집하여 이를 고수준의 정보(high value information)를 창출하여, 궁극적으로 고객 친화적(customer intimacy) 생산 환경을 구현한다.
- 2) 고수준의 생산 기술(manufacturing technology) 적용: 빅데이터 분석(big data analytics) 등을 통한 고수준의 정보(high value information)를 바탕으로 증강현실(argumented reality), 적층생산(additive manufacturing) 기법 등을 활용하고 자율로봇(autonomous robots) 등을 활용하여 고수준의 자동화(automation)을 이루어 궁극적으로 생산성과 품질을 향상(improving quality)한다.

- 3) 사이버-물리시스템의 구현을 통한 전 과정의 디지털화 (digitization): 사이버-물리시스템을 구현하여 전 생산과정의 가치 사슬을 구성하는 요소들을 수평통합 및 종단 간 통합하고, 단위 공장 내의 모든 기능을 수직 통합함으로써 유연한 생산 환경을 극대화(flexibilization)함으로써 극적인 생산성과 품질의 향상 (improving quality)을 도모하고자 한다.



[그림 4] Industry 4.0의 개념도
(Lom, et. al., 2016)

4차 산업의 궁극적인 목표는(Monostori, 2016)

- 1) 개별 고객의 요구사항을 이전의 대량생산의 단가와 맞출 수 있도록 하는 매스 커스터마이징(mass customizing)을 구현하고
- 2) 근로자, 제품, 각종 기계와 자원들, 및 시스템과 같은 모든 자원들이 스마트(smart)하고, 자체적으로 조직화(self-organized)할 수 있고, 참여 기업 또는 조직 간 협력(cross-cooperate)을 할 수

있는 능력을 부여하여 실시간적이고 자율적으로 최적화된 인스턴스가 되어 통합될 수 있도록 사이버-물리-제조시스템(cyber-physical production system)을 구현하여 생산의 전 과정이 디지털화하고,

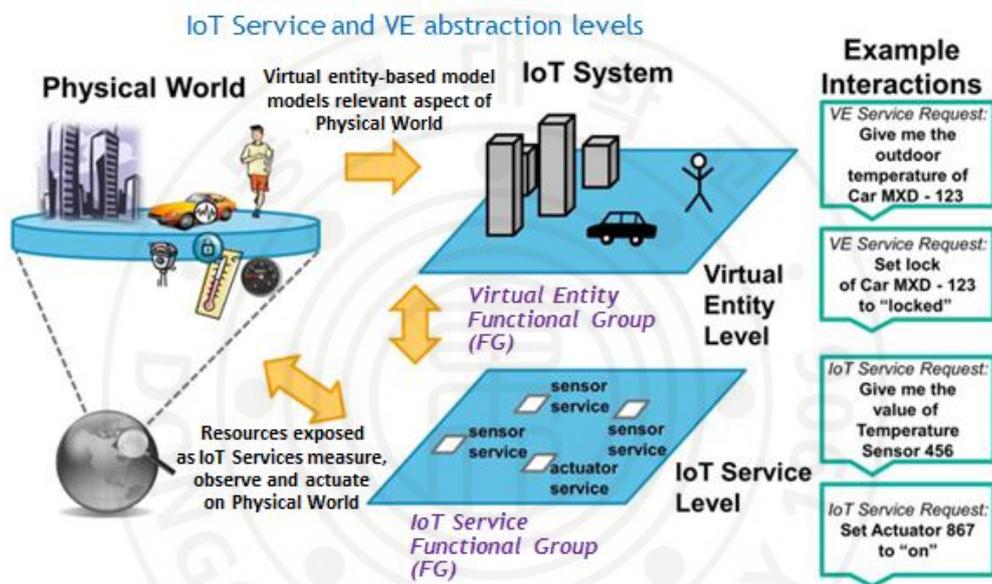
- 3) 궁극적으로 새로운 비즈니스 모델을 구축해 새로운 비즈니스 가치와 서비스를 창출하여 경쟁력과 지속가능성을 제고하고자 함이다.

3. 사이버-물리시스템과 사이버-물리-생산 시스템 (Cyber-Physical System and Cyber-Physical-Production System)

4차 산업의 핵심은 자연이나 인간이 만든 시스템인 물리적 공간(physical space)과 이를 디지털화 및 동치화하여 계산(computation), 커뮤니케이션(communication), 및 제어(control)할 수 있는 공간인 사이버공간(cyber space)을 구현한 사이버-물리 시스템(CPS, Cyber-Physical System)이라 할 수 있다(Bagheri, et. al., 2015).

즉, CPS는 주변의 물리적 세계 및 진행 중인 프로세스(on-going process)와 심층적으로 연결된 소프트웨어 자율 개체(computational entity)들의 협업(collaborating)을 위한 시스템으로써 클라우드(cloud)에서 제공되는 데이터 액세스 및 데이터 처리 서비스(data-accessing and data-processing)를 동시에 활용하는 시스템으로(Monostori, 2014), 물리적 자산(physical asset)과 계산기능(computational capabilities) 간에 상호 연결된 시스템을 관리하기 위한 혁신적 기술(transformative technology)에 의한 시스템이다(Lee, et. al., 2015).

사이버-물리-생산 시스템(CPPS, Cyber-Physical Production System)이란 CPS가 제조 및 생산 부분에 특화되어 적용되는 하위개념의 시스템으로써, 최신의 컴퓨터관련 기술과 정보통신기술 및 제조 과학기술(manufacturing science and technology)가 결합되어 지능형 공장과 스마트 제조가 가능하도록 지원하는 시스템을 말한다(Monostori, 2014).



[그림 5] IoT 시스템의 관계 개념도 (<http://www.iiot-a.eu/public/public-documents/d1.5/view>)

CPS는 [그림 5]에 예시된 바와 같이 물리적 세계를 투영한 IoT 기반의 시스템이다. 즉, 물리적 세계(physical world)의 각 개체(entity)들은 센서(sensor), 태그(tag), 또는 작동장치(actuator) 등을 장착한 IoT 단말의 역할로 가상 시스템(virtual system)의 구성원으로 참여하며, IoT 시스템은 가상 엔티티(virtual entity) 간의 상호작용(interacting)을 지원한다(IoT-a). [그림 5]에 제시한 IoT-A의 IoT 시스템의 개념도는 물리적 세계와 가상 세계(virtual world)의 연결성만을 강조한 반면 CPS는 IoT 시스

템의 구조를 포함하면서 시스템 간의 통합, 빅데이터와 AI를 활용한 서비스의 제공이 추가된 상위의 개념이라 할 수 있다.

CPS와 CPPS는 공히 현실세계를 디지털화를 추구하는 4차 산업의 근간이 되는 시스템으로써 협의적으로는 제조업의 혁신을 위해 CPPS가 중심이 되는 스마트 공장(smart factory & manufacturing)과 스마트 제품(smart product)을 구현하기 위한 제조 영역에, 광의적으로는 스마트한 삶을 위해 CPS가 중심이 되는 스마트 빌딩(smart building), 스마트 홈(smart home), 스마트한 시설(smart facility), 스마트한 교통(smart transportation), 스마트 전력(smart grid), 및 스마트 시티(smart city)를 구현하기 위한 시스템이다.

CPS와 CPPS는 공히 사람들과 사물들을 통합하여(integrated people and integrated things) 서로 연계하고 협업할 수 있는 가상공간을 창출하고, 이로부터 수집된 데이터(integrated data)를 분석하여 최적의 정보를 창출하고 활용함으로써 혁신적인 연계된 서비스(integrated service)를 제공하기 위한 시스템이다. 또한 CPS와 CPPS는 현실세계의 사람과 사물이 상호 긴밀히 상호작용할 수 있도록 조직 내의 운영상(operational)에, 체계적(systematical)으로, 기술적(technical) 및 의미에 맞는(semantic) 디지털화를 구현하도록 사이버 시스템을 구축하여 상호운용성(interoperability)을 극대화할 수 있어야 하며, 접근성(accessibility), 다언어(multilingualism), 보안(security), 오픈성(open source software), 및 다자간 해결책(multilateral solutions)을 제시할 수 있는 원칙을 기반으로 구현되어야 한다(Sanders, et. al., 2016).

4. 4차 산업의 9대 핵심기술

(The Nine Pillars of Technological Advancement)

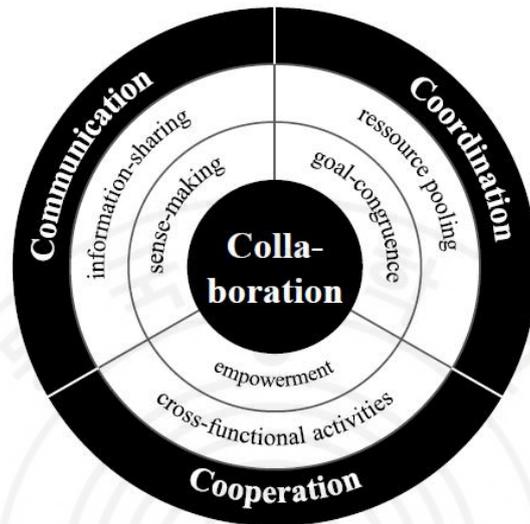
거시적 의미에서 4차 산업 또는 4차 산업 사회란 만물인터넷(IoT) 기술을 기반으로, 제조 환경, 산업 환경 또는 사회 환경을 스마트하게 구현하기 위해 CPS 또는 CPPS를 구축하여 공장과 산업, 또는 사회를 혁신할 수 있는 인터넷 기반 서비스를 창출하고 활용하는 산업 또는 사회로 정의할 수 있다(Shafiq, et. al., 2015).

기술적 관점에서의 4차 산업은 자율성의 극대화, 및 상호운영성(interoperability)과 인지력(consciousness)의 제고를 추구하고 있으며(Qin, et. al., 2016), 궁극적으로 제품의 품질과 생산성을 향상하기 위해서는 새로운 방식의 협업이 도입되어야만 한다(Schuh, 2014).

협업(collaboration)이란 사전적 의미로 해석할 때는 인간만이 협업한다고 할 수 있으나 사이버-물리시스템이 근간이 되는 4차 산업에서는 인간과 기계간의 협업, 또는 기계와 기계간의 협업이 가능해진다. 협업 또는 공동작업의 특징은 협업에 참여하는 각 개체들이 상호 의사소통하고, 활동을 조정하고, 공동의 목표를 달성하기 위해 협력하는 것이다. 협업의 차원은 [그림 6]에 예시한 바와 같이 소통(communication), 조정(coordination), 및 협력(cooperation)이 동시에 이루어져야 한다(Schuh, 2014).

소통이란 정보를 공유하고 감각을 만들 수 있는 수단을 제공한다. 정보 공유(sharing information)란 모든 협업 활동의 기본이며, 감각(sense-making)이란 복잡한 상황을 이해하고 그에 따라 가능한 조치의

결과를 평가하기 위해 정보를 해석하는 과정이다. 즉, 소통이란 감각의 과정을 통해 취득되고 분석된 정보를 공유하는 행위를 일컫는다.



[그림 6] 협업(collaborative practice) 프레임워크 (Schuh, 2014)

조정이란 활동(activities)간의 의존관계를 관리하는 것을 말하며, 자원공유(resource pooling)이란 목표달성을 위해 주어진 자원을 효과적으로 공유하고 활용하는 것을 의미하며, 목표일치(Goal-congruence)란 시스템의 각 하위요소들 또는 협력 개체들이 전반적인 목표에 대해 상호 이해하고 합의하는 것이기에 조정이란 각 구성요소 간에 목표를 일치화하고 주어진 자원의 최적 활용을 위해 상호 협의 및 협력하는 것을 의미한다.

협력이란 과업을 수행하기 위해 모인 구성요소들이 전반적인 목표의 중요성을 인식하고, 그 결과에 도달하기 위해 함께 협업하는 것을 의미하며, 협력은 중앙통제가 아닌 권한분산(empowerment)에 따른 의사결정과 수평적 기능 활동(cross-functional activities)이어야 함을 강조한다.

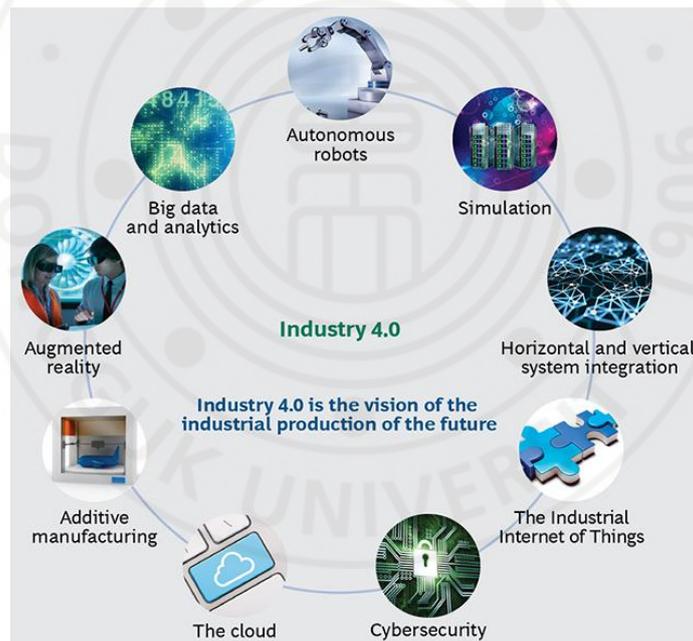
협회의 의미로서의 4차 산업 또는 지능형 스마트 공장 및 제조는 다음과 같은 목표를 가진다(Posada, et. al., 2015; Shafiq, et. al., 2015).

- 1) 고객들로부터의 소량 또는 개별 요구 사항에 맞추어 생산할 수 있는 제조 제품의 IT 기반 매스 커스터마이징(IT-enabled mass customization of manufactured products),
- 2) 요구사항 변동에 유연하게 자동적으로 대처할 수 있는 생산과정 (automatic and flexible adaptation of the production chain),
- 3) 기계와 다른 자산들과 상호 교신할 수 있는 부품과 제품들의 추적 및 자율인식(tracking and self-awareness) 기능,
- 4) 향상된 HMI 패러다임(improved Human-Machine Interaction paradigm)을 적용해 작업자가 공장에서 로봇과 공존 또는 상호작용하고 운영하는 근본적으로 새로운 방법의 제공.
- 5) 스마트 공장에서 IoT 기반 커뮤니케이션으로 인한 생산의 최적화 (production optimization due to IoT-enabled communication),
- 6) 궁극적으로 가치사슬(value chain)에서 상호작용하는 방식을 혁신함으로써 근본적인 새로운 유형의 서비스 및 비즈니스 모델 (radically new types of services and business models) 제공

전술한 바와 같은 협회의 4차 산업 또는 지능형 공장과 스마트 제조가 가시적으로 된 것에는 [그림 7]에서 제시한 바와 같이 CPP 또는 CPPS를 구현하여 4차 산업을 가능케 한 9개의 핵심 기술의 발전에 기인한다. (Rüßmann, et. al., 2015).

4차 산업 9대 핵심기술은 가치사슬내의 구성요소들과 공장 내부의 구성

요소들을 통합 및 연계하고(Horizontal and Vertical system integration), 이들의 산업 IoT 망(the Industrial internet of Things)을 통해 수집된 클라우드 시스템(the cloud)에서 빅데이터를 분석(Big data and Analytics)하고, 시뮬레이션(simulation)한 고급정보를 로봇에게 제공하여 자율로봇(autonomous robots)화하고 작업자에게는 증강현실(augmented reality)를 제공하고 숙련된 작업이 가능하도록 하며, 제조에는 적층제조(additive manufacturing)이 가능하도록 하며, 전 과정에서 있어서 디지털 시스템의 보안성(cyber security)을 강화한다(Lydon, 2016); Rüßmann, et. al., 2015).



[그림 7] 4차 산업 제조혁신의 9가지 핵심 기술 (Lydon, 2016; Rüßmann, et. al., 2015)

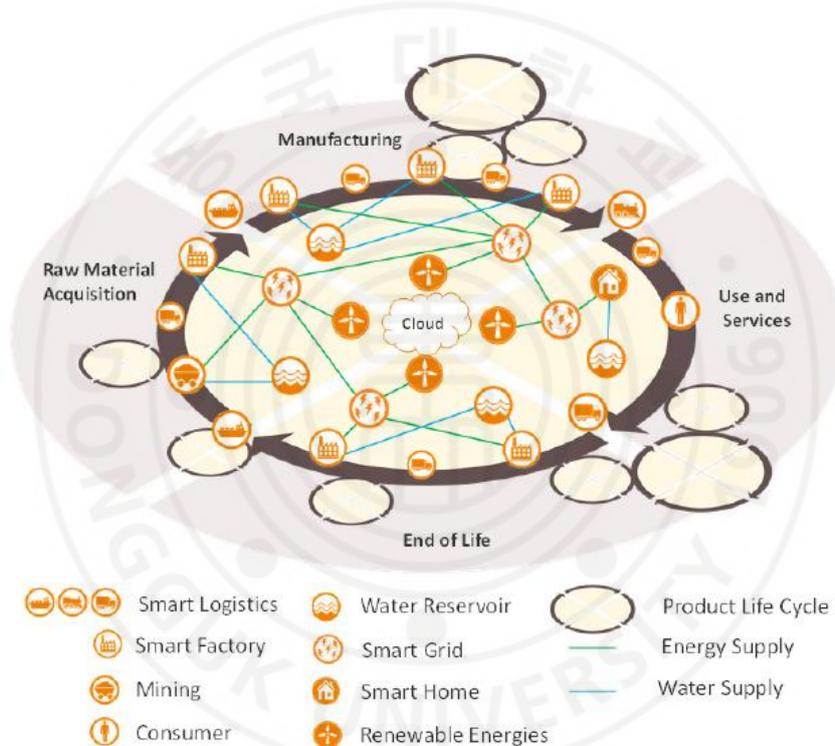
제 3 절 CPS와 지능형 공장 (CPS and Intelligent Factory)

1. 거시적 관점의 4차 산업과 CPS (Macro perspectives of Industry 4.0 and CPS)

지난 수년간 산업사회와 정보화 사회가 고도화되면서 생산 자동화시스템의 복잡성과 구성요소의 수가 증가되어 왔을 뿐만 아니라 컴포넌트 내부의 임베디드 소프트웨어(embedded software)의 크기와 복잡성 또한 급속하게 증가해와 생산자동화 시스템의 소프트웨어 엔지니어링에 드는 노력과 비용이 지속적으로 증가해 왔다. 이러한 점들을 개선하고, 더 나아가 최신의 IT 기술을 접목하여 효과적이고 보다 정교한 자율구성 자동화 시스템(effective, finer grained self-configured automation system)을 구축하고자 시도하였으며, 그 결과 IoT 개념에 입각하여 네트워크를 통해 분산된 이기종 시스템을 연계하여 현실세계를 투영한 사이버-물리 시스템(CPS, Cyber-Physical System)의 개념을 정립하였고, 분산형 산업 CPS(distributed industrial CPS)의 가용성(availability) 및 활용(use)의 증가추세는 제조업의 본질을 크게 변혁하게 되어 4차 산업이 가시화되게 되었다(Harrison, et. al., 2016).

거시적 관점에서의 4차 산업(macro perspective of Industry 4.0)은 [그림 8]에 예시된 바와 같이 이전의 산업에서의 생산관점의 원료취득(raw

material acquisition)과 제조(manufacturing) 영역뿐만이 아니라 고객이 해당 제품을 사용하고 서비스(use and services)하는 영역을 포함하여 해당 제품의 수명이 종료(end of life)될 때까지, 또는 재사용(reuse), 재생산(remanufacturing), 재활용(recycling), 회수(recovery) 및 폐기(disposal) 등을 포함하는 전 생애주기에 걸쳐 서비스하고 혁신하고자 하며, 클라우드에 위치한 CPS가 중심적 역할을 한다.



[그림 8] 거시적 관점의 4차 산업 (Stock, & Seliger, 2016)

CPS는 현실세계를 투영하는 지능형 교차연결 및 디지털화(intelligent cross-linking and digitalization)되고 자율구성(self-organized) 및 분산방식(decentralized manner)으로 운영되는 시스템으로써 최신의 정보 기술과 통신기술을 활용하여 원료취득에서부터 제품수명종료까지,

end-to-end 솔루션을 제공하기 위해 지능적으로 서로 연결되어 실시간으로 클라우드와 같은 가상 네트워크를 통해 지속적으로 데이터를 교환한다 (Stock, & Seliger, 2016).

거시적 관점의 4차 산업을 구현하기 위해서는 제품의 전 생애주기에 걸친 가치창출 모듈(value creation modules)들을 네트워크화하는 수평적 통합(horizontal integration)이 행해져야 하며, 가치창출 모듈은 장치(equipment), 사람(human), 조직(organization), 프로세스(process), 및 제품(product) 등 다양한 가치창출 요소들(value creation factors)의 상호작용으로 정의된다. 공장에서 가장 높은 수준의 집합체로 나타난, 가치창출 모듈은 제품 라이프 사이클의 전체 가치체인과 인접한 제품 수명주기의 가치사슬에서 가치창출 모듈을 통해 상호 연결된다. 즉, 원료취득부터 제품의 수명이 종료되는 전 생애주기에 걸쳐 고객, 근로자, 공급업체 등과 같은 다양한 이해 관계자, 및 각종 제조장비 등은 CPS 내의 자율엔티티로 구현되고, 전 생애주기에 걸쳐 참여하는 각 주체 또는 기업 또는 공장 등은 각 각의 CPS를 구현하고, 각 CPS가 가치창출 모듈의 역할을 담당하면서 가치사슬 내의 모든 CPS가 클라우드 상에서 수평적 통합을 함으로써 데이터 등을 상호 교환함으로써 지능형 네트워크를 형성하게 되며, 이러한 CPS를 수평적으로 통합한 지능형 네트워크는 새롭고 혁신적인 비즈니스를 위한 환경을 제공하게 된다(Lom, et. al., 2016; Stock, & Seliger, 2016).

2. 지능형 공장 프레임워크

(The Framework of Intelligent Factory)

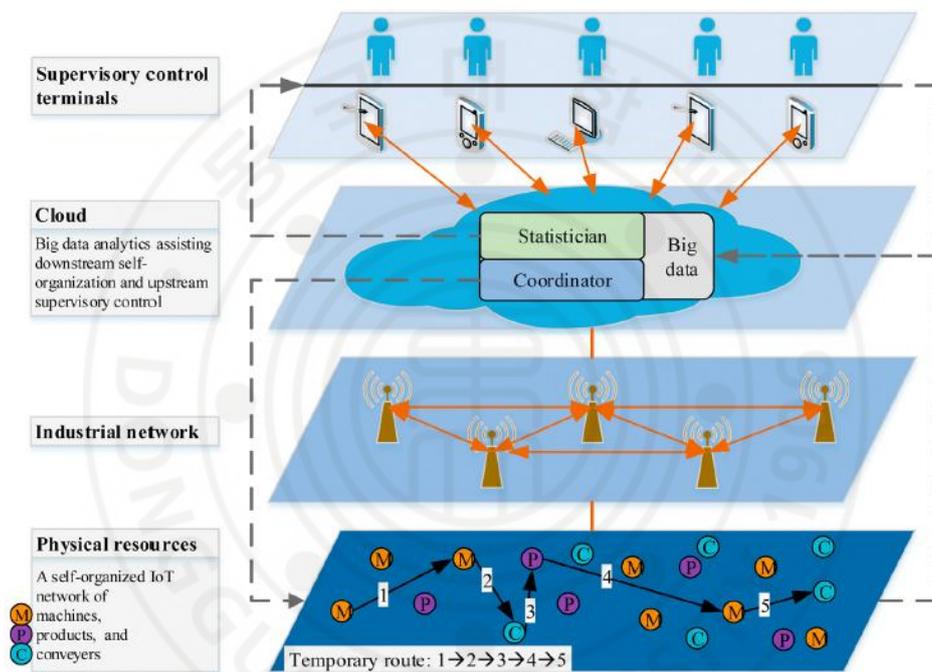
지능형 공장의 아키텍처는 [그림 9]와 같이 물리적 자원 계층(physical resource layer), 산업네트워크 계층(industrial network layer), 클라우드 계층(cloud layer), 및 감독 제어 터미널 계층(supervisory control terminal layer) 등의 4개의 계층으로 정의된다. 물리적 자원 계층은 기계(machine), 제품(product), 및 근로자(employees) 등의 스마트 공장의 객체들(the smart shop-floor object)이 지능적인 자율객체로 구현되어 산업네트워크를 통해 상호 커뮤니케이션하며, 클라우드 계층은 물리적 자원 계층으로부터 방대한 데이터를 수집하고 빅데이터 분석을 통해 아래로는 자율조직(self-organization)을, 상위로는 감독제어(supervisory control)를 지원하여 감독제어터미널을 통해 근로자들과 상호작용하기 위한 통합정보시스템을 구현함으로써 무형의 정보가 자유롭게 흐르는 네트워크 세상을 가능케 하며, 물리적 객체(physical objects)와 정보 엔티티(information entity)가 심도 있게 통합된 CPS를 형성하게 된다(Wang, et. al., 2016_b).

Wang, et. al., 2016_b이 제시한 4차 산업형 지능형 공장 프레임워크는 [그림 9]에 예시한 바와 같이 하위의 물리적 자원(physical resources)과 클라우드(CPS), 및 상위의 감독제어 터미널(supervisory control terminals)과 클라우드(CPS)로 정의되는 듀얼 폐쇄 루프 시스템(dual closed-loop system)이며, 각 계층의 기능과 역할은 다음과 같다.

기계(machine), 제품(product), 및 근로자(employees) 등의 스마트 공장의 객체들(the smart shop-floor object)은 자율적으로 구성된 IoT 네트워크를 형성하여 물리적 자원 계층을 형성하며, 각 객체들은 자율적이며 사회적 기능을 갖는다.

지능형 공장의 각 객체들이 자율적(autonomous) 기능을 갖는다 함은

스마트 객체가 스스로 결정을 내리며 다른 객체 또는 엔티티가 해당 객체에 대해 직접 행동을 제어할 수 없다는 것을 의미한다. 또한 사회적 (social) 기능이라 함은 스마트한 사물 또는 객체들이 공통의 지식 집합 (common set of knowledge)을 이해하고 공유하며, 공통된 규칙에 따라 협상할 수 있는 능력을 보유한다는 것이다.



[그림 9] 4차 산업형 지능형 공장 프레임워크 (Wang, et. al., 2016_b)

따라서 스마트 오브젝트 또는 엔티티로 구성되는 사회는 자율 조직적 (self-organized)이며, 재구성(reconfigurable)여서 휴머노이드 (humanoid)하고 스마트하게 구성될 수 있기에 매우 유연한 제조 시스템 (a highly flexible manufacturing system)의 구축이 가능하게 된다.

4차 산업형 지능형 공장 프레임워크의 핵심요소는 CPS이다. 즉, 지능형

공장을 구성하는 각 스마트 객체들은 시스템 전체 목표(a system-wide goal)를 달성하기 위해 협력하는 과정에서 스마트하기에 자신의 행동을 스스로 조정할 것이지만 전체 시스템의 성능은 최적일 아닐 수가 있는데, 이는 스마트 객체가 정보를 기반으로 의사결정을 하기 때문이며, 시스템이 최적의 성능을 보이려면 각 스마트 객체들이 조화롭게 협업하고, 각 각이 스마트하게 행동하기 위해서는 실시간적으로 변하는 환경과 이에 대응하는 최적 의사결정을 위한 정보가 실시간적으로 지원되어야 하기 때문이다.

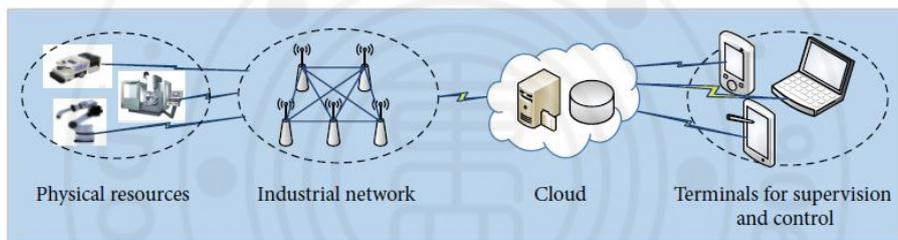
CPS의 핵심기능 중의 하나는 클라우드 계층에서 빅데이터분석(the big data analytics)을 통해 각 구성요소들의 행동을 조정하는 조정자(the coordinator)의 역할을 하는 것이다. 즉, 스마트 머신이나 제품들은 상태와 프로세스 등의 정보 등을, 분산되어 있는 센서들은 감지된 데이터를 클라우드 계층으로 전송하고, CPS는 대규모의 실시간 시스템 정보에서 지능형 공장의 글로벌 상태를 파악하고 추출한다.

강력한 컴퓨팅 기능을 기반으로 한 CPS는 빅데이터를 즉시, 제시간에 처리하여 분산되어 있는 스마트 객체 또는 오브젝트의 동작을 조정하고, 자율구성 기반의 네트워크(the self-organized network)는 전체 시스템의 성능지표(performance indicators)를 피드백해주며, CPS는 이를 활용하여 각 자율 에이전트(the autonomous agents)가 전역 최적화(global optimization)를 위해 더 나은 행동과 성능을 할 수 있도록 조정한다.

3. 세 가지 유형의 통합 (3 Types of Integration)

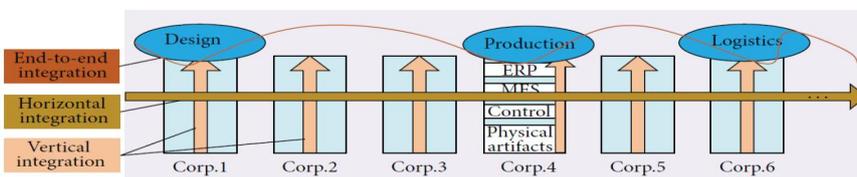
4차 산업과 지능형 공장의 핵심 아이디어인 상호운영성(interoperability)을 위해서는 IoT와 CPS의 핵심인 통합(integration)이

이루어져야 한다(Qin, et. al., 2016). 즉, [그림 10]에 예시된 바와 같이 각 물리적 자원들(physical resource)들은 IoT 장치의 기능을 가진 자율 객체(autonomous object)로써 IoT 기반의 산업네트워크(industrial network)를 통해 클라우드에 위치한 CPS에 감지된 상황정보를 전송하고, CPS는 빅데이터분석과 인공지능을 활용하여 전체 시스템 효율과 성능을 극대화하여 궁극적으로 전역 최적화를 달성할 수 있도록 각 물리적 자원을 지원하고 행동을 조정하는 정보를 전송하여 각 물리적 자원이 스스로 변화된 환경에 최적화된 의사결정과 행동을 수행하도록 지원한다(Wang, et. al., 2016).



[그림 10] 4차 산업 스마트 공장 프레임워크 (Wang, et. al., 2016)

결국 산업 또는 지능형 공장들의 디지털화 된 시스템들을 통합한 CPS란 시스템들의 시스템(system of systems)로 정의될 수 있는데, 산업 또는 지능형 공장을 [그림 11]과 같이 다음의 세 가지 관점으로 통합하는 것이다(Qin, et. al., 2016; Wang, et. al., 2016).



[그림 11] 3가지 유형의 통합 개념도 (Wang, et. al., 2016)

수평적 통합(horizontal integration)이란 비즈니스 가치사슬(business value networks)을 통합하는 것이다. 즉, 비즈니스 가치사슬은 다수의 기업이 각자의 임무를 충실히 수행하면서 상호 협력하는 체제로 구축되기에 수평적 통합이란 각 기업의 CPS가 통합되어 상위 계층에 위치하는, 하나의 CPS로 통합하여 구축하는 것을 말한다. 수평적 통합에 의해 상호 연결된 가치사슬내의 기업들은 상호 협력 체제를 구축하여 정보, 자금, 그리고 자재들이 가치사슬 내에 보다 유연하게 흐를 수 있는 환경을 위한 보다 더 효율적인 산업생태계(industrial ecosystem)을 구축하게 되며, 이에 따라 새로운 가치 네트워크(value network) 또는 비즈니스 모델(business model)을 창출할 수 있게 된다.

수직적 통합(vertical integration)이란 하나의 공장 내의 제조시스템(manufacturing systems)을 수직적으로 통합하는 것으로써, 공장 내에 존재하는 다수의 물리적 자원과 다양한 정보시스템의 통합을 위해 상위에 CPS를 구축하는 것을 말한다. 즉, 유연하고 재구성 가능한 제조시스템(a flexible and reconfigurable manufacturing system)의 구축을 위해 각각의 개체나 하위시스템들을 연계하고 통합하여 궁극적으로는 전자적자원관리시스템(ERP, Enterprise Resource Planning)과 통합함으로써 스마트 머신이나 제품들이 환경변화, 요구사항 변경, 또는 서로 다른 제품유형에 적응하여 동적으로 의사결정과 행동을 재구성(reconfigure)할 수 있는 자율조직시스템(self-organized system)으로 거듭날 수 있게 지원하며, 또한 이 과정에서 수집된 대량의 정보인 빅데이터를 활용하여 생산프로세스를 투명(transparent)하게 만들게 한다.

마지막으로 종단간 엔지니어링 통합(end-to-end engineering integration)이란 제품체인(product chain) 전 과정을 통합하는 것을 의

미한다. 즉, 현대적 생산과정에서는 하나의 제품을 개발하여 제조하는 과정 또는 프로세스에 다수의 전문기업들이 참여하게 되는 것이 일반적인 현상이며, 이 과정에서의 제품체인인 제품중심 가치창출 프로세스(product-centric value creation process)는 고객 요구 사항 표현(customer requirement expression), 제품 설계 및 개발(product design and development), 생산 계획(production planning), 생산 엔지니어링(production engineering), 생산(production), 서비스(services), 유지 보수 및 재활용(maintenance, and recycle) 등과 같은 다양한 액티비티들의 체인으로 나타난다.

따라서 종단간 엔지니어링 통합이란 제품체인에 참여하는 각 기업의 제품중심 가치창출 프로세스를 하나의 CPS로 통합함으로써 모든 단계 또는 프로세스에서 지속적이고 일관된 제품 모델(a continuous and consistent product model)을 재사용할 수 있게 하여 강력한 소프트웨어 툴 체인(the powerful software tool chain)을 활용해 제품설계가 생산 및 서비스에 미치는 영향을 예측하여 커스터마이징 된 제품(the customized products)의 생산을 가능케 한다.

4. 사용가치와 사전 서비스, 및 고장예지와 건전성 관리 (Value-in-Use and Before Service, and PHM)

최근의 모바일 3.0의 시대를 경험하면서 가치에 대한 개념이 바뀌고 있다. 즉, 전통적으로 가치(value)란 소비자가 구매과정에 있어서 ‘무엇을 주고(give) 무엇을 받았는가(get)에 대한 지각(perception)에 기반한 제품의 품질 또는 유용성에 대한 전반적인 평가’로 정의되어 왔다(Zeithaml

1988, p.14). 구매단계에서 고객이 화폐를 지불함으로써 교환하는 제품의 유용성(utility)으로 정의되는 것이 교환가치(value-in-exchange)이었으나 최근 들어 고객들은 제품의 장기적 사용과 이 사용에 따른 경험프로세스에 따라 가치를 평가한다는 사용가치(value-in-use)에 대한 중요도가 증대되고 있으며, 전자와 같이 교환가치를 중시하는 개념을 상품지배논리(GDL, goods-dominant logic)이라 하고 후자를 서비스지배논리(SDL, service-dominant logic)이라 한다(Grönroos & Voima 2013; Sandström, et. al., 2008).

특히 전통적 관점에서는 가치창출행위(value creation process)가 제품을 생산하고 판매하는 기업에 의해 수행되고 또는 가치가 창출되는 공간은 공급자 공간(provider sphere)에서 발생한다고 보았으나, 서비스지배논리에 의하면 제품 또는 서비스의 제공자는 제품이나 서비스의 생산과 제공을 통해 잠재적 가치((potential value)를 창출해 고객에게 전달하는 가치촉진자(value facilitator)의 역할의 역할을 담당하며, 고객 또는 소비자들은 공급자 공간의 시간적, 공간적으로 후행공간인 고객 공간(customer sphere)에서 제품을 사용하면서 가치창출자(value creator)의 역할을 수행한다고 본다(Grönroos 1997; Grönroos and Voima 2013; Vargo and Lusch 2004; Vargo and Lusch 2008).

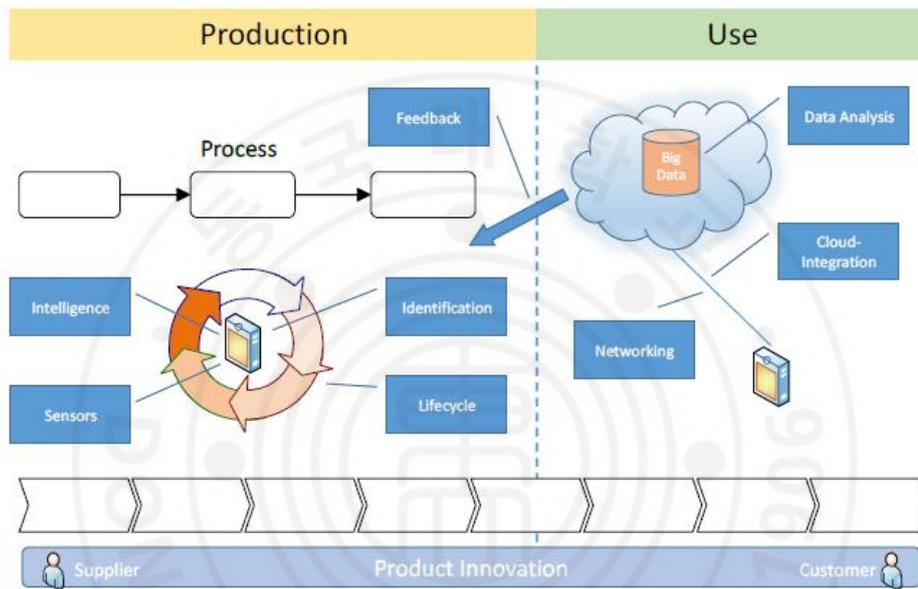
이러한 사용가치에 대한 이론은 1990년대 말부터 제기되었으나, 모바일 시대가 전개하면서 각 기업이나 소비자에게 각인되기 시작하였으며, 최근의 IoT 시대 또는 4차 산업시대가 도래하면서 새로운 비즈니스모델 또는 새로운 가치창출 방안으로 부각되고 있다. 즉, 각종 센서들을 장착한 IoT 기기들과 IoT를 활용함으로써 클라우드에 존재하는 서비스 엔티티는 소비자의 제품사용 생태계와 제품의 상태 및 제품의 사용현황 등을 실시간적

으로 모니터링할 수 있게 되었고, 이로부터 수집되는 빅데이터를 인공지능과 함께 분석하여 제품의 사용 상태를 확인하고, 이로부터 사후 관리(after service)가 아닌 고객이 제품사용과 관련하여 문제가 발생하기 이전에 원천적으로 문제를 해결할 수 있는 사전 서비스(before service)가 제공될 수 있게 되었다.

제품을 사용하는 소비자들도 최근에는 값싼 교환가치만을 중시하지 않고 해당 제품을 사용하는 모든 과정의 가치를 좀 더 중시여기는 환경으로 바뀌어 점차 사용가치를 더 중시하는 경향이 나타나고 있다. 최근 들어 세계 1위를 달리던 두산인프라코어의 중장비부분의 매출이 급락하고, 사용되는 중장비들의 센서에서 부터 사용현황을 모니터링하고 이로부터 발생된 빅데이터를 활용하여 보다 나은 활용용도를 지원한다거나 또는 사전에 고장 날 부품의 교환을 고지하여 대비토록 함으로써 궁극적으로 전 건설과정의 비용을 절감할 있는 사전서비스를 제공하는 미국의 캐터필러나 일본의 코마츠사의 매출이 급신장하는 사례나, 미국의 전통적인 하드웨어 기업인 GE가 수익의 75%를 모니터링-분석-사전서비스의 전 과정을 지원하는 소프트웨어부분에서 발생하는 것으로 나타나고 있다.

4차 산업의 사용가치 개념도는 [그림 12]에 제시하였으며, 전통적인 제조(production) 공간과 사용(use) 또는 소비 공간이 긴밀하게 통합되어 있음을 나타내고, 제품생산의 혁신(production innovation)은 공급자(supplier)와 고객(customer)을 연계하고, 고객의 사용공간으로부터 수집된 빅데이터의 분석을 통해 클라우드에 존재하는 CPP가 사전 서비스를 지속적으로 제공할 뿐만 아니라 사용공간의 데이터 분석 결과는 제조과정으로 피드백 되어 보다 나은 생산의 품질향상과 생산성 향상에 기여하는 것을 도식화하여 나타내고 있다(Schmidt, et. al., 2015).

사용가치 개념에 따라 사용공간에 대한 모니터링-분석-사전서비스 등의 라이프사이클은 새로운 비즈니스 모델 또는 새로운 가치를 창출하는 거시적 관점의 4차 산업 모델이라면 고장예지와 건전성 관리 기능은 CPS에 의해 생산현장에서 당장 활용이 가능한 미시적 응용분야라 할 수 있다.



[그림 12] 4차 산업의 사용가치 개념도 (Schmidt, et. al., 2015)

미시적 관점에서의 CPS의 일차적 기본 기능이 제어중심(control-orient) 또는 시뮬레이션중심(simulation-orient)의 관점에서 생산현장의 각 구성요소들을 자율객체화하고 이들의 생태계와 행위를 자율적으로 행할 수 있도록 지원하는 것이지만 지식기반 및 관련 알고리즘을 사용하여 실제 생산현장인 실세계의 시스템 또는 기계들의 성능저하(machine degradation) 및 성과행동(performance behavior)을 예지적으로 방어하거나 또는 그 관리를 지원하는 역할도 할 수 있으며, 이를 고장예지와 건전성 관리라 한다.

기계작동(machine operation)의 설계, 제어, 및 의사결정의 주목적 중의 하나는 효율적이고 효과적인 생산계획 및 유지보수 일정을 수립하여 생산목표를 달성할 수 있도록 생산성을 유지하는 것이다. 그러나 운용되는 실제 시스템의 성능과 생산성은 종종 가동중단 시간과 잦은 시스템 오류로 인한 낮은 운영효율성으로 인해 설계된 생산성 목표를 달성하기 어렵게 만들기도 한다.

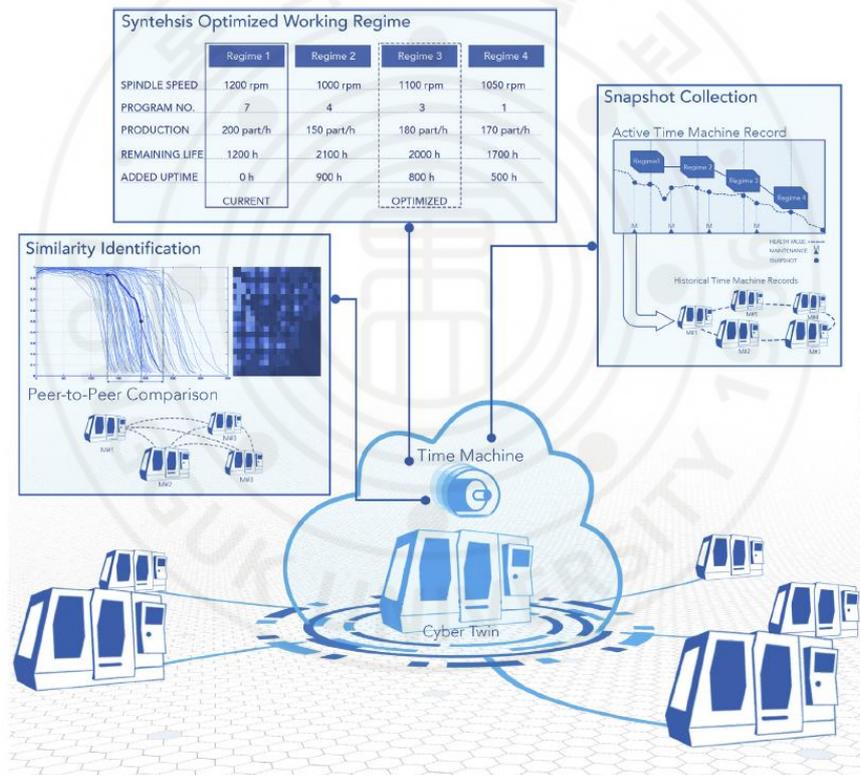
따라서 시스템 성능(system performance)을 개선하기 위해서는

- 1) 예정되지 않은 시스템의 가동중단 시간(unscheduled downtime)을 최소화하여 운영 효율성을 제고하는 등 생산 불확실성(the mitigation of production uncertainties)을 완화하고
- 2) 병목현상을 유발하는 컴포넌트들(bottleneck components)을 감지하여 시스템의 중요영역(critical sections)에 존재하는 유한 자원의 효율적 활용도(the efficient utilization of the finite resources)를 제고해야 한다(Lee, et. al., 2014).

CPS 프레임 워크에서 고장예지 및 건전성관리(PHM, Prognostics and Health Management) 시스템은 전술한 두 가지 사례에 대한 예방적 기능을 제공하여 시스템의 운용 효율성 제고를 통해 시스템 성능을 개선하고자 하며, PHM 출현과 함께 풍부한 PHM 지식을 사용하여 높은 신뢰성과 가용성을 달성하기 위해 생산 제어 및 유지 관리 일정 수립 시 의사 결정 기능을 지원하고 향상시킨다.

PHM의 주요개념인 디지털 트윈의 타임머신(time machine) 개념은 [그림 13]에 제시한 바와 같다(Lee, et. al., 2014). CPS 공간 내의 각 개체는 CPS 내에 실세계를 그대로 투영한 디지털 트윈으로 나타난다. 디지털 트윈은 CPS를 통해 현 상태와 생태계에 관한 데이터를 수집하고 효율

적으로 정리한 스냅샷 컬렉션(snapshot collection)을 형성하고, 보유한 빅데이터 등을 활용하여 과거의 타임머신 기록과 비교하여 과거와 현재의 자산 활용도 및 상태를 비교하여 유사성 식별(Similarity identification)을 행하여 최종적으로 최적화된 종합작업 요법 또는 이력(synthesis optimized working regime)을 작성함으로써 해당 컴포넌트의 고장을 사전에 감지할 수 있고, 이를 적용해 해당 부분을 개선함으로써 전 생산과정의 건정성을 관리할 수 있다.



[그림 13] Cyber-Physical PHM의 타임머신 개념도

(Lee, et. al., 2015)

디지털 트윈에 대한 타임머신 개념을 적용함으로써 자산의 잔여 유효수

명(remaining useful life of assets)을 예측함으로써 제조 공장에서 적시적 유지관리전략(just-in-time maintenance strategy)을 유지할 수 있게 되며, 유사한 자산(asset)들의 건강 단계별 과거 패턴 또는 이력을 활용함으로써 해당 자산에 대한 미래 활용 시나리오와 해당 자산의 생산성을 시뮬레이션 할 수 있는 정보를 제공할 수 있게 된다.

제 4 절 사이버-물리-생산 시스템과 스마트 제조 시스템 (CPPS, smart manufacturing system)

1. 미시적 관점의 4차 산업과 CPPS

(Micro perspectives of Industry 4.0 and CPS)

거시적 관점에서의 4차 산업은 CPS에 의해 서비스되는 원료취득 단계에서부터 제품의 생산과정을 거쳐 사용과 사전 및 사후 서비스 단계와 마지막 단계인 제품 수명이 종료되는 시점까지, 제품의 전 생애주기에 걸친 산업 생태계를 의미한다면, 미시적 관점에서의 4차 산업은 사이버-물리-생산 시스템에 의해 지원되는 하나의 지능형 또는 스마트 공장의 생산 시스템을 중심으로 투영하는 관점이라 할 수 있으며, 그 개념도는 [그림 14]에 예시하였다(Stock, & Seliger, 2016).

즉, 미시적 관점의 4차 산업(micro perspective of Industry 4.0)이란 스마트 공장의 제조 또는 생산 프로세스를 지원하기 위해 [그림 11]에서 예시한 3가지 유형의 통합 중에서 스마트 공장 내의 모든 컴포넌트와 정보자원을 수직적으로 통합하고, 공급자(supplier)로부터 원료나 부품을 구

매하는 과정에서부터 생산된 제품을 수령하는 소비자(consumer)까지의 전 과정에 대한 수평적 통합을 행하고, 종단간 엔지니어링 통합과정에 있어서 스마트공장이 하나의 구성요소로 참여할 수 있도록 클라우드에 사이버-물리-생산 시스템을 구축하여 지원함으로써 전통적 생산과정을 혁신하여 스마트 생산(smart manufacturing)을 수행하는 지능형 공장(intelligent factory)을 구축하는 것이라 할 수 있다.

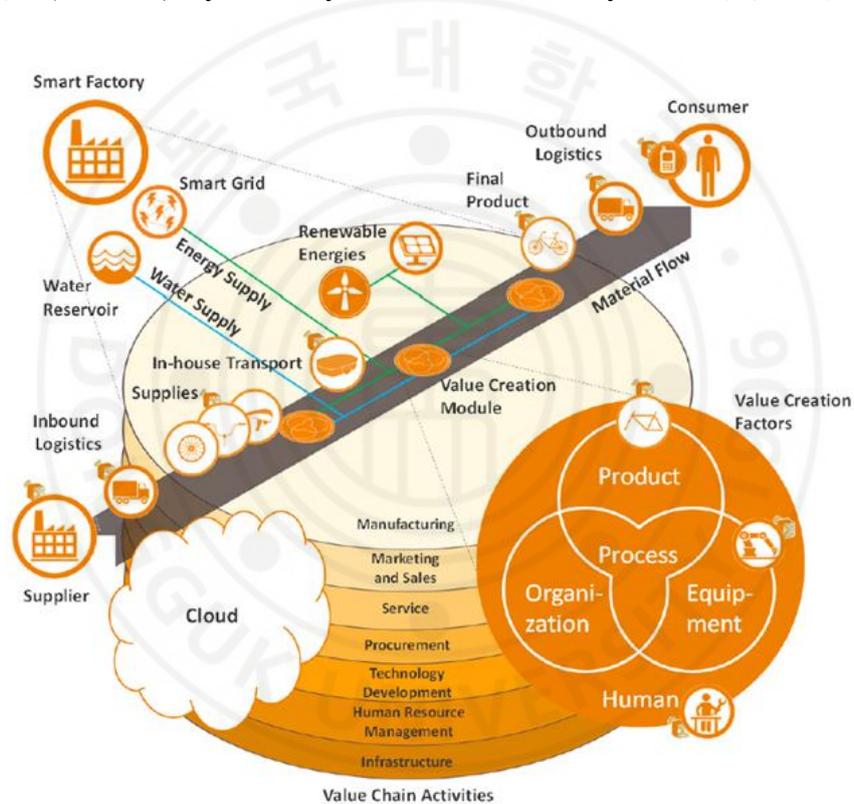
지능형 또는 스마트 공장의 정점인 최상위 통합 단계(the highest aggregation level)에는 가치창출모듈(value creation module)이 위치하여야 하며, 이 가치창출모듈은 하위에 존재하는 서로 다른 기능의 하위 가치창출모듈인 제조 셀(manufacturing cells), 제조공정(manufacturing station), 및 제조라인(manufacturing line)을 통합해야 하며, 각 가치창출 모듈에 존재하는 모든 컴포넌트인 제품, 설비, 조직, 및 사람까지도 해당 가치창출 프로세스를 중심으로 통합해야 한다.

스마트 공장에 있어서 스마트한 에너지 공급과 용수의 공급도 중요한 과제로 부각되고 있다. 즉, 외부의 스마트 그리드에서 공급되는 에너지를 효율적으로 관리 및 사용할 수 있어야 할 뿐만 아니라 자급자족 방안의 일부로서 재생가능에너지(renewable energies)의 활용도를 높일 수 있어야 하며, 원활한 용수공급을 위해 적절하고 온전한 저수조(adequate and intact water reservoirs) 기능을 가져야 한다.

스마트 공장의 필수 요건인 스마트 물류(smart logistic)는 교통이나 날씨 변화 등과 같은 예기치 못한 사건에 민첩하게 대응할 수 있어야 하며, 자동이동차량(AGVs, Automated Guided Vehicles)과 같은 자율작동 운송장비(autonomously operating transport equipment)를 활용하고, 분산화된 조정(a decentralized coordination)을 수행할 수 있도록 각 가치

창출모듈과 스마트 데이터를 상호 교환할 수 있어야 한다.

전술한 모든 스마트한 기능을 수행하기 위해 각 컴포넌트 또는 각 가치 창출모듈을 클라우드 내에 디지털 트윈으로 구축하고, 상호 협조와 협업이 실시간적으로 행해져서 변화무쌍한 제조환경 또는 생태계에 민첩하고 유연하며 스마트하게 행동할 수 있도록 지원하는 시스템을 사이버-물리-생산 시스템(CPPS, Cyber-Physical-Production System)이라 한다.

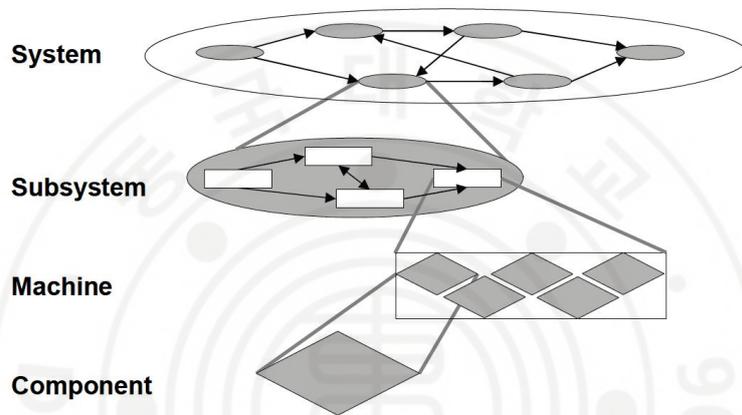


[그림 14] 미시적 관점의 4차 산업 개념도
(Stock, & Seliger, 2016)

일반적으로 물리적 공장의 조립공정은 [그림 15]와 같이 서로 다른 레벨에서의 자율 시스템 및 자원에 대한 예를 나타내는 4 단계의 조립레벨로

세분화할 수 있다.

- 시스템(System): 예. shops as autonomous profit centres
- 하위 시스템(Subsystem): 예. 자율 셀(autonomous cells)
- 기계(Machine): 예. 자율 로봇(autonomous robots), AGV
- 컴포넌트 (Component): 예. dexterous grippers, artificial hands

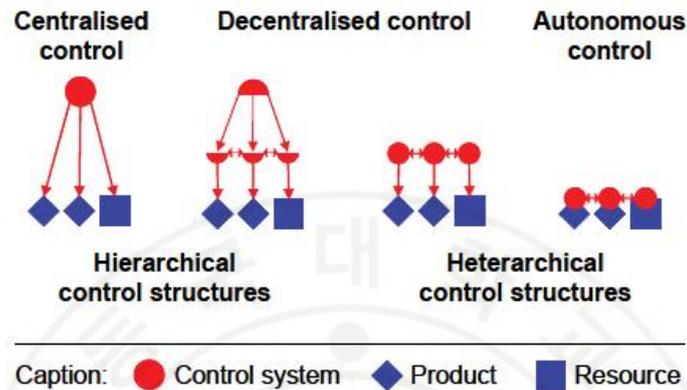


[그림 15] 조립 시스템의 계층(Levels of an assembly system) (Scholz-Reiter, & Freitag, 2007)

지능형 공장과 스마트 생산을 위해서는 종전의 공장운영의 의사결정이 계층적이고 중앙 집중적이었다면 [그림 16]에서 제시한 개념도와 같이 제어 또는 의사결정 단위의 분산화를 넘어 각 각이 스스로 판단하고 행동할 수 있는 자율형 의사결정체제가 구축되어야 한다.

즉, 자율형이란 [그림 16]과 같이 종전에는 중앙 집중 형식으로 구축되었던 의사결정기능인 제어(control)가 극단적으로 분산화되어 가치창출 각 요소에 장착될 수 있기 때문이다. 자율객체(autonomous object)가 가능하게 된 것은 IoT 기술 발전에 따라 모든 개체를 인터넷의 컴퓨터로 대체할 수 있는 편재형 컴퓨팅(ubiquitous computing)이 가능해진 것과 디지털

털 트윈과 같이 물리적 세계에 내재된 인공 에이전트(artificial agent)에 의해 지능(intelligence)을 부여하는 것이 가능해졌기 때문이다.



[그림 16] 제어(control)와 물리적 시스템의 통합 (Scholz-Reiter, & Freitag, 2007)

자율 부품(autonomous parts)과 자율 부분조립제품(autonomous sub-assemblies)은 자체적, 자율적으로 운송(transport)과 조립자원(assembly resources)을 할당할 수 있어야 하고, 이를 통해 조립시스템(assembly system)의 경로(route)를 스스로 결정할 수 있어야 한다. 자율 부품과 자율 부분조립제품의

첫 단계는 RFID와 같은 식별장치를 달거나(tagging) 내장(embedding)하는 것이다. 이와 같은 식별 가능한 부품을 ERP 시스템과 연결하여 제품에 관한 데이터(product data), 공정계획(process plans), 및 고객주문 데이터(data of customer orders)까지도 확인할 수 있다.

두 번째 단계는 RFID를 칩(chip)으로 교체함으로써 데이터를 자체적으로 보관하고, 처리하고, ERP 시스템과 커뮤니케이션할 수 있도록

록 만드는 것이고,

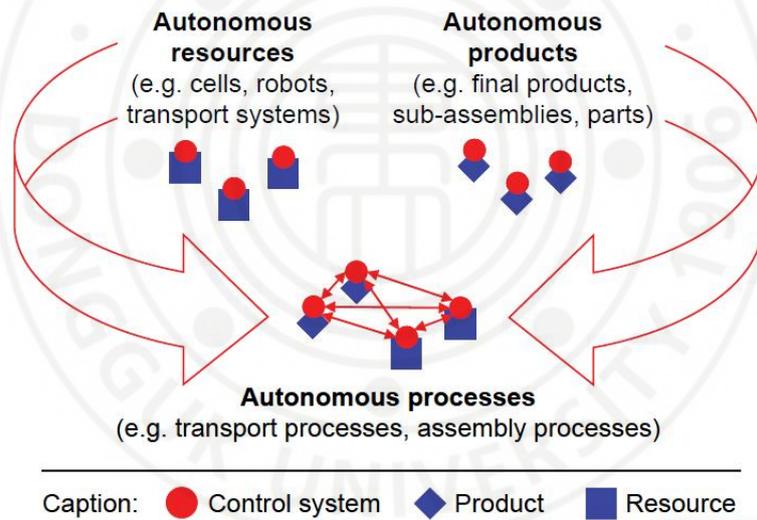
마지막 단계는 완전 자율 부품(a complete autonomous part)을 지향하며, 모든 운송(transport)과 조립공정(assembly process)을 조정(coordinate)하기 위해 다른 부품들 및 자원들과 커뮤니케이션할 수 있는 소프트웨어 에이전트(a software agent)를 통합(integration)하는 것이다.

소프트웨어 에이전트는 서로 다른 에이전트 간의 의사소통 노력 및 교환할 데이터의 양에 따라 물리적 부분에 내장(embedded into the physical part)하거나 또는 별도의 제어 시스템에 위치(could remain in a separate control system)시킬 수 있다. 유연한 해결책(A flexible solution)은 에이전트를 제어 시스템과 물리적 개체 간에 상호 이동(migrate)될 수 있는 모바일 에이전트(mobile agents)로 구현하는 것이다. 예를 들자면, 최종 제품이 어셈블리 시스템을 종료하여 나간다면 에이전트는 물리적 개체로 다시 이동하여 제품의 배포 프로세스(distribution process)를 자율적으로 제어(autonomously control)할 수 있다. 일반적으로 모바일 에이전트는 손상되지 않은 데이터(its data intact)와 자신의 상태(state)를 한 환경에서 다른 환경으로 전송(transport)하고, 새로운 환경에서 적절하게 수행할 수 있도록 구현하는 기술이다. 모바일 에이전트는 한 언제, 어디로 이동(when and where to move next)할 것인지 스스로 결정한다. 모바일 에이전트는 이동을 결정하면 자신의 상태(its own state)를 저장하고, 이를 다음 호스트(the next host)로 전송하여 직전 상태에서부터 실행을 재개(resume execution)할 수 있도록 구현한다.

자율 제품(autonomous product)을 실현할 수 있는 관련 기술들은 • 식별 (Identification) (예. RFID), 국지화 (Localization) (예. RFID

reader, WiFi, GPS), 커뮤니케이션(Communication) (예. WiFi, UMTS), 분산 데이터 처리 (Decentralized data processing) (예. software agents), 및 센서 네트워크(Sensor networks) (예. visual sensors) 등을 예시할 수 있다.

이와 같이 자율적 자원(autonomous resources), 자율적 부품(autonomous parts), 하위 어셈블리(subassemblies), 및 제품 등의 조합(combination)을 통해 부품 및 하위 어셈블리가 자원을 할당(allocate resources)하고 자체적으로 어셈블리를 조정(coordinate their assembly by themselves)하는 자율 프로세스가 수행되는 것이다.



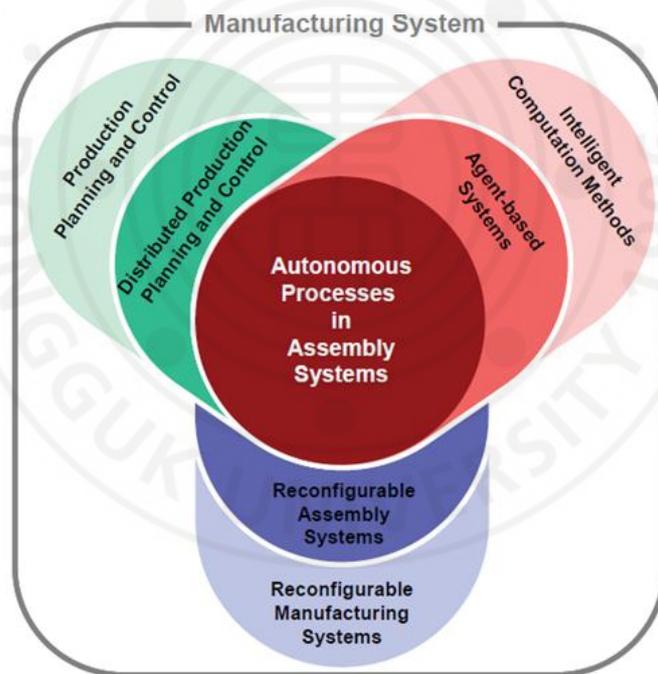
[그림 17] 자율 프로세스 (Autonomous processes)

(Scholz-Reiter, & Freitag, 2007)

자율 자원, 자율 부품, 하위 어셈블리, 및 제품들의 조합(combination)이 부품 및 하위 어셈블리가 자원을 할당(allocate resources)하고 자체적으로 어셈블리를 조정(coordinate their assembly by themselves)하

는 자율 프로세스(autonomous processes)를 [그림 17]과 같이 실현시킬 수 있다. 이러한 자율 프로세스는 고도로 유연하고 자기 적응력이 뛰어난 조립시스템(highly flexible and self-adaptable assembly systems)으로 이어져 다양한 사용자 정의 제품을 만들 수 있으며, 인간의 개입이 거의 없거나 전혀 없는 변화하는 요구를 처리할 수 있게 된다.

생산 프로세스의 자율화란 [그림 18]에 예시한 바와 같이 의사결정의 분산화를 통한 자율화, 상황변화에 대한 민첩한 대응, 및 수집된 빅데이터를 활용하여 지능형 협업과 의사결정을 수행할 수 있도록 CPPS를 구축하여야 한다.



[그림 18] 자율생산 프로세스 개념도
(Scholz-Reiter, & Freitag, 2007)

2. 전통적 생산 프로세스와 스마트 생산 시스템

(Traditional production process and smart production system)

전통적 공장에서의 중앙 집중적(centralized)이고 정적(static)이며 경직된(fixed) 생산 프로세스가 스마트 생산 시스템으로 혁신하여 자율을 기반으로, 분산되어 있는 가치창출요소들 간의 협업과 협력을 바탕으로 분산화되고, 동적이며, 유연한 생산시스템으로 탈바꿈이 가능하게 된 것은 CPPS가 존재하기 때문이다.

4차 산업에서는 가상공간인 CPPS를 구축하여 공장의 실제 물리적 시스템 및 환경과 연동되는 플랫폼을 제공함으로써 전통적 공장이 스마트한 공장으로 지능화되어 보다 나은 생산 조건을 만들어 스마트 생산을 가능하도록 한다(Zhou, et. al., 2015). 즉, CPPS는 생산 프로세스에서부터 생산 및 물류 네트워크와, 스마트한 에너지 및 용수 관리까지 공장내 생산과정의 모든 생태계의 구성요소들을, 모든 제조와 생산의 수준 또는 단계에 걸쳐 의미나 상황정보를 기반으로 상호 연결하는, 다수의 자율적이고 협조적인 구성요소와 하위 시스템(autonomous and cooperative elements and subsystems)으로 구성된다.

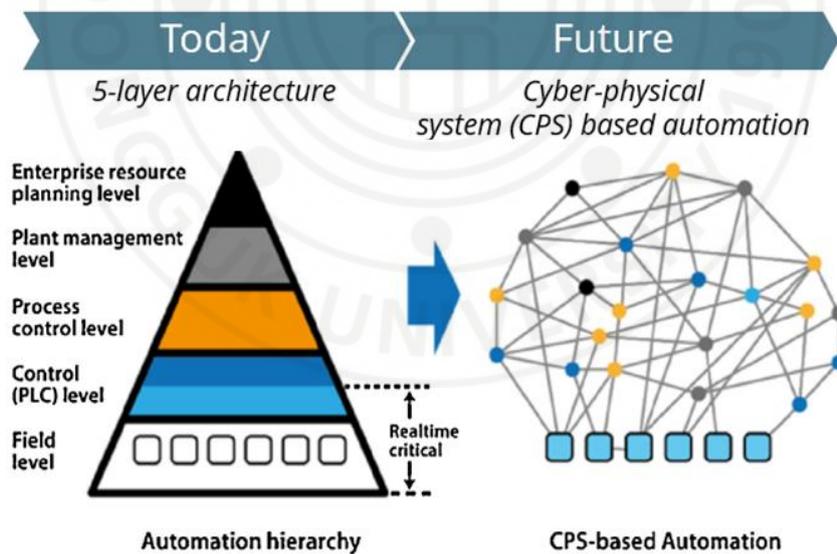
CPPS의 특징은 다음과 같이 세 가지로 정의할 수 있다(Bagheri, et. al., 2015).

- 1) **지능 또는 스마트 수준(Intelligence, smartness)**: 가치창출 구성 요소가 주변 환경에서 정보를 수집하고 자율적으로 의사결정하고 행동할 수 있는 수준
- 2) **연결성(Connectedness)**: 협력 및 협업 수행을 위한 활용 가능한

지식이나 서비스를 클라우드에서 찾고자 사람을 포함한 시스템의 구성요소와 연결을 형성하거나 활용하는 능력

- 3) 내·외부 환경 변화에 대한 응답성(Responsiveness towards internal and external changes): 내·외부 환경 변화에 대한 대응력

현재의 공장과 비교하였을 때 4차 산업형 지능형 공장 또는 스마트 생산 시스템의 가장 큰 차이점은 [그림 19]에 예시한 바와 같이 기존 공장의 자동화가 최하위 필드 레벨에서부터 최상위 전사적 자원관리 레벨까지 총 5개의 계층으로 구성된 수직적 계층화 단계로 구성되어 있다면, 4차 산업 지능형 공장의 스마트 생산 체제는 CPPS에 의한 분산화된 자율성, 협력성의 지원을 통해 최적화, 응답성, 및 가용성을 극대화하고자 하는 개념이다(Monostori, 2014).



[그림 19] CPPS 기반의 분산 서비스 개념도

(Harrison, et. al., 2016; Lueth, 2015)

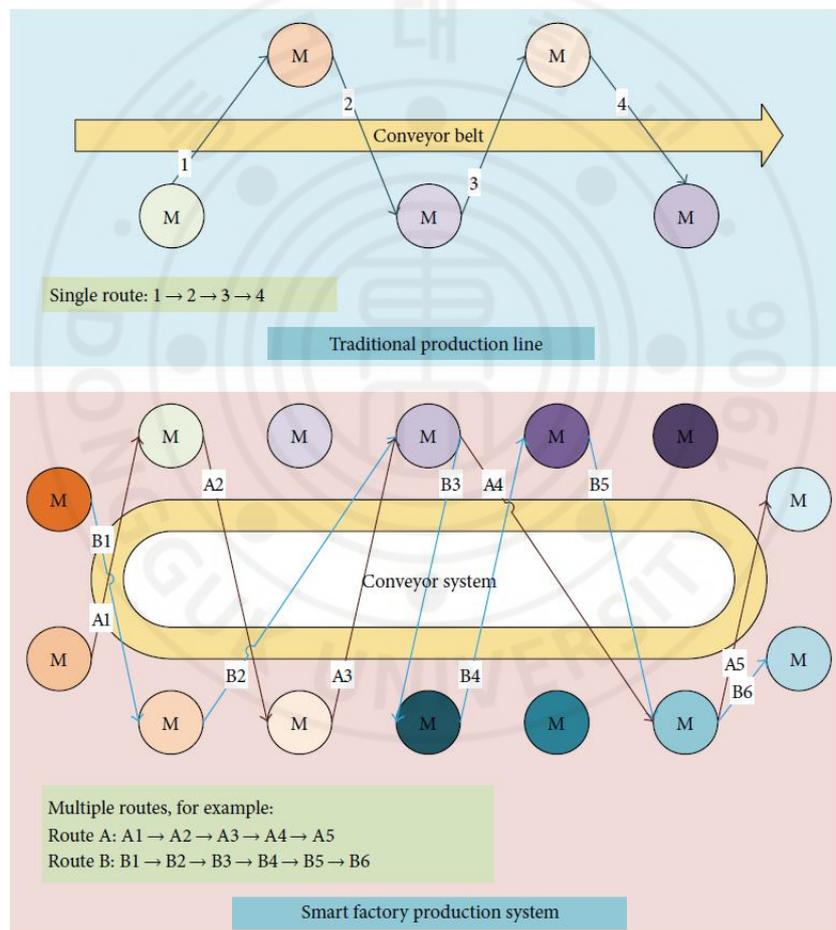
지능형 공장과 스마트 생산 과정은 기술적 지원이 필요한 제품수명주기관리(PLM, product lifecycle management) 등의 일부 영역에는 전형적인 제어와 필드 레벨이 여전히 필요하지만 다른 상위 레벨은 심도 있는 분산처리 방식이 적용된다. 또한 CPPS는 사람, 기계, 및 제품 간의 커뮤니케이션을 가능케 하고 지원하며, CPPS의 각 구성요소들은 자율적으로 데이터를 수집하고 처리할 수 있으며, 특정 작업을 스스로 제어하고 인터페이스를 통해 사람과 상호작용할 수 있는 능력을 가져야 한다.

[그림 20]은 기술적 관점에서 전통적인 생산 라인과 스마트 공장 생산 시스템의 차이점을 도식화한 것이다(Wang, et. al., 2016).

전통적인 생산 라인(production line)은 단일 유형의 제품을 생산하는 것을 목표로 하기에 일반적으로 여러 대의 기계와 폐쇄형이 아닌 직선형 컨베이어 벨트로 구성된다. 즉, 한쪽 끝은 입력으로, 다른 쪽 끝은 출력 역할을 하고, 장치나 기계는 생산라인을 따라 배치된다. 또한 제조과정 중에 있는 미완성 제품이 컨베이어 벨트의 입력에서 출력 라인으로 이동될 때, 각 장치 또는 기계는 사전에 계획된 작업부분만을 수행한다. 따라서 일반적으로 생산라인에는 잉여기계가 존재하지 않으며, 비록 각 기계가 자체적인 독립 컨트롤러를 가지고 있다 하더라도 기계들 사이에 협업을 위한 커뮤니케이션은 필요성이 없기에 존재하지 않고, 각 각이 미리 정해진 과업만 수행하기에 [그림 20]의 상단에 도식화 되었듯이 전통적 생산라인은 단일경로(single route)의 생산라인에 따라 단일 유형(single type)의 제품만을 생산할 수 있게 된다.

이와는 대조적으로 스마트 공장의 생산시스템은 다양한 유형의 제품 생산을 목표로 하기에 [그림 20]의 하단에 예시된 바와 같이 컨베이어 벨트는 다양한 생산 경로를 지원하기 위해 명확한 입력의 끝과 출력의 끝이

존재하지 않는 폐쇄형으로 구축되어지고, 단일 제품유형의 관점에서 보자면 생산시스템 내에 다수의 중복된 기계가 존재할 수 있다. 이와 같은 구조의 생산시스템에서 매스 커스터마이징이 가능케 하는 것은 다양한 제품유형을 생산하기 위해 기계들은 자신을 재구성하기 위해 지속적으로 협상하고, 차순위자에게 협상의 내용을 중계하는 등 다양한 커뮤니케이션이 수행된다.



[그림 20] 전통적 생산라인과 스마트 공장의 제조 시스템
 (Wang, et. al., 2016)

따라서 전통적 공장과 4차 산업형 지능형 공장의 생산라인의 차이는 전술한 바와 같기에 전통적 공장은 대량 생산(mass production)이, 지능형 공장은 매스 커스터마이징이 주된 생산 형태라 할 수 있다.

생산형태의 구분 이외에 전통적 공장과 지능형 공장의 차이점은 [그림 21]에 예시한 바와 같이 가치창출 요소로서의 최소 단위인 컴포넌트, 기계, 및 전반적인 생산시스템으로 구분하여 정리해보면 다음과 같다 (Bagheri, et. al., 2015; Lee, et. al., 2015).

	Data Source	Today's Factory	
		Attributes	Technologies
Component	Sensor	Precision	Smart Sensors and Fault Detection
Machine	Controller	Producibility & Performance	Condition-based Monitoring & Diagnostics
Production System	Networked System	Productivity & OEE	Lean Operations: Work and Waste Reduction
	Data Source	Industry 4.0	
		Attributes	Technologies
Component	Sensor	Self-Aware Self-Predict	Degradation Monitoring & Remaining Useful Life Prediction
Machine	Controller	Self-Aware Self-Predict Self-Compare	Up Time with Predictive Health Monitoring
Production System	Networked System	Self-Configure Self-Maintain Self-Organize	Worry-free Productivity

[그림 21] 현재의 공장과 4차 산업공장의 비교표
(Bagheri, et. al., 2015; Lee, et. al., 2015)

먼저 컴포넌트(component) 단위를 살펴보면 전통적 공장은 해당 컴포넌트의 정확성(precision)을 유지함이 목표라면 지능형 공장은 해당 컴포

넛트의 자율감지(self-aware), 자율예측(self-prediction) 기능을 활용하여 스스로 생애주기를 자율 관리하도록 하는 것이 주된 차이라 할 수 있다.

기계(machine) 수준으로 비교하자면 전통적이든 지능형이든 모든 기계는 컨트롤러(controller)로부터 다양한 데이터를 수집하나 전통적 공장은 생산성(productivity) 또는 성능(performance) 관리를 위한 자료의 수집이라면 지능형 공장은 기계 스스로의 자율감지, 자율예측 기능뿐만 아니라 자율 비교(self-compare)의 기능까지 더하여 클라우드의 CPPS가 고장에 지 및 감지관리의 서비스를 제공하는 것이다.

마지막으로 전반적인 생산시스템(product system)을 살펴보면 두 가지 유형의 공장 모두 공장 내의 모든 컴포넌트와 기계들을 네트워크로 연결한 시스템을 활용하나, 전통적 공장은 네트워크시스템을 생산성(productivity)과 설비종합효율(OEE, Overall Equipment Efficiency)을 위해 활용하는 반면 지능형 공장은 네트워크 시스템을 활용하여 공장 자체가 스스로 생산라인 등을 자율구성(self-configure) 하며, 스스로 생산라인과 기계 및 컴포넌트 수준까지 자체유지보수(self-maintain) 기능을 가지게 하고, 공장이 자체적으로 자율조직(self-organize) 할 수 있는 기능을 부여함으로써 걱정 없는 생산성(worry-free productivity) 체제의 구축이 가능하게 된다.

거시적 관점에서 전통적 공장과 4차 산업의 지능형 공장을 살펴보면 이전의 획일적이고 단순하였던 공장의 생산라인이 자율적이고 능동적이며 지능적으로 혁신되기 때문에 생산라인 자체보다는 이를 관리하는 영역이 훨씬 더 복잡적이고 스마트해져야 함을 의미한다. 즉, 이제까지의 관리(management) 개념은 스마트 거버넌스(governance) 개념으로 확대발전되어야 하고, 주문관리나 전사적자원관리에 집중하였던 관심은 전 제조생

태계에 걸친 가치창출사슬을 아우르는 관점에서 스마트경제(smart economy)의 관점에서 투영해야 하고, 단순 제조는 스마트 환경이라는 관점으로 수정되어야 하고, 특히나 변화된 복합적 환경을 관리, 통제 할 수 있기 위해 기존의 근로자들을 재교육하여 역량 있는 스마트한 근로자(smart people)이 전제되어야 한다. 이와 같은 환경이 구축되어지면 현재 성과평가의 주요 요소인 근로시간에 집착하지 않아도 되는 스마트한 삶으로 변화될 것으로 기대되고 있다(Lom, et. al., 2016).

Traditional factory	Industry 4.0 factory
Employees	Smart People
Management	Smart Governance
Transportation	Smart Mobility
Ordering, ERP	Smart Economy
Manufacturing	Smart Environment
Working hours	Smart Living
	

[그림 22] 전통적 공장과 4차 산업형 공장 (Lom, et. al., 2016)

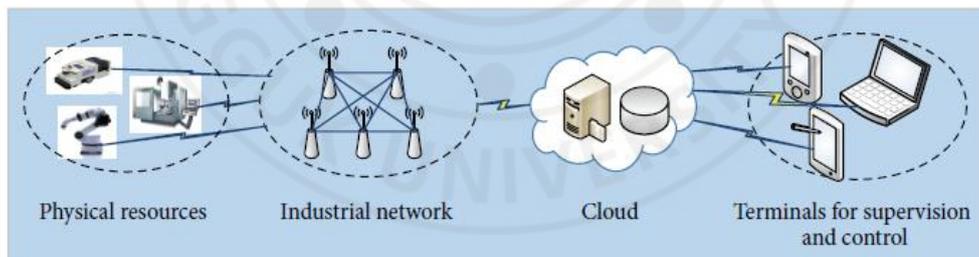
4차 산업에 대한 기대효과가 일부 지나치게 낙관적이고 과장되어 있는 점은 있으나 일반적으로 기존의 공장에 비해 모든 단계가 보다 더 견고(robustness at every level)하고, 각 가치창출 구성요소들은 자율조직(self-organization), 자율유지보수(self-maintenance), 자가수리(self-repair)를 포함하여 모든 자율성(self-X)을 가지게 되고, 안전(safety) 수준을 제고할 수 있으며, 원격진단(remote diagnosis)이 가능해지고, 동적 변화에 대한 실시간 제어(real-time control)를 할 수 있으며, 변화무쌍한 제조 생태계에 자율 항법(autonomous navigation)이 가능해지며, 모든 과정에 대한 투명성(transparency)이 높아져 예측 가능성(predictability)이 제고되기에, 효율(efficiency)을 도모하여, 생산 모델의 정확성(model correctness)을 확보할 수 있는 등 다양한 개선을 기대할 수 있다(Monostori, 2014).

3. 스마트 생산 시스템 아키텍처

(Smart production system architecture)

4차 산업 지능형 공장의 개략적 개념도는 [그림 23]과 같이 4 계층으로 구성된다(Wang, et. al., 2016).

물리적 자원 계층(physical resource layer)은 공장 내의 모든 사람들과 기계, 부품, 및 생산 과정중인 제품까지 포함한 모든 것들이 산업인터넷을 통해 상호 커뮤니케이션 할 수 있는 스마트 개체(smart thing)들로 구성된다. 스마트 개체들은 센서(sensor)를 부착해 스스로의 상태나 환경에 대한 정보를 클라우드에 전송하거나, 태그(tag)가 부착되어져 자신의 신분을 나타내거나, 또는 액추에이터(actuator)를 장착해 움직이거나 행동할 수 있는 자율기반의 IoT 디바이스 기능을 가진다. 이 스마트 개체들은 산업 네트워크 계층(industrial network layer) 또는 IoT 계층을 통해 스마트 개체 간 커뮤니케이션하거나 또는 클라우드 서비스와 끊임없이 실시간적으로 데이터를 송수신하고, 교신하며, 연동된다.



[그림 23] 지능형 공장의 개략적 프레임워크 (Wang, et. al., 2016)

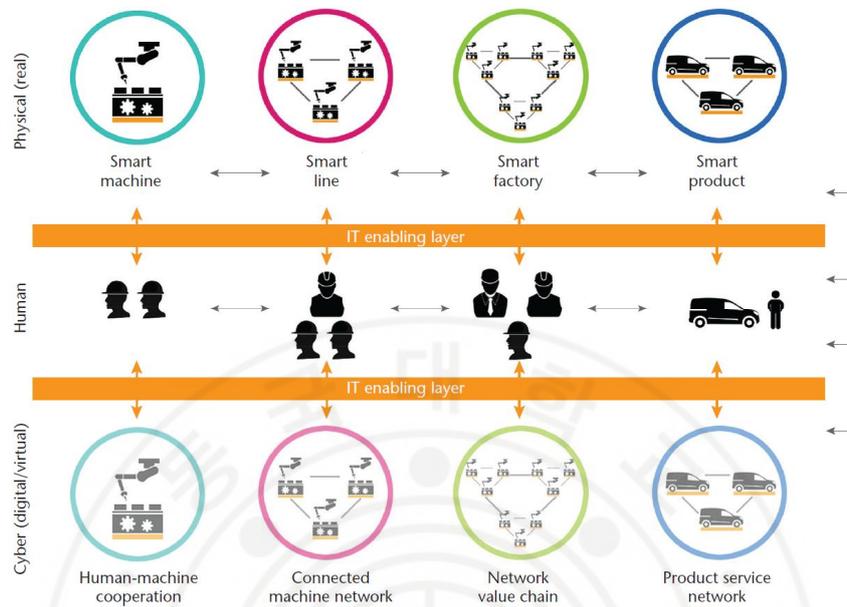
클라우드 계층(cloud layer)에는 CPS, CPSS, 및 ERP 등을 포함한 다양한 정보시스템이 위치하며, 빅데이터를 활용한 매우 탄력적인 솔루션(vary elastic solution)을 제공한다. 빅데이터 분석은 감독과 제어

(supervision and control)를 포함하여 시스템 관리 및 최적화(system management and optimization)를 지원한다. 클라우드에 위치한 CPPS는 스마트 제조 분야의 가치창출 시스템 전반을 지휘(orchestration)한다. 즉, CPPS에는 공장 내의 모든 물리적 자원들에 대해 자율객체인 디지털 트윈으로 구축하고, 이들이 주변 생태계나 다른 자율객체들과 교신하고, 협업과 협동과정을 통해 스스로 감지하고, 판단하고, 스스로 행동할 수 있게 하는 사이버 세상이 구현된다.

마지막으로 감독 및 제어 단말 계층(supervision and control terminal layer)은 스마트 제조의 가치창출을 구현하기 위해 인간-기계 인터페이스(HMI, human-machine interface)를 제공한다. 즉, CPPS는 공장 생태계를 감독 및 제어(supervision and control)할 수 있는 정보를 단말(terminals)을 통해 끊임없이 근로자에게 시각적 정보로 제시함으로써 근로자와 사물간의 조화로운 대화가 가능토록하며, 궁극적으로 지능형 공장이 완성되도록 한다.

지능형 공장과 스마트 생산 시스템의 핵심개념은 ‘소통(communication) - 자율(autonomous) - 협업(collaboration)’이라 할 수 있다. 즉, IoT 망을 통해 자율력이 극대화된 개체들이 상호 협업함으로써 지능형공장과 스마트 생산이 가능해지는 것이다. 전통적 공장에는 존재하지 않았던 ‘소통-자율-협업’이 4차 산업에서 가능하게 된 것은 최근에 괄목하게 발전한 IT 기술에 기인하며, 특히 IoT와 CPPS 기술이 그 중심에 있다.

[그림 24]는 지능형 공장과 스마트 생산 시스템에서의 자율객체 간, 기계와 인간 간, 또는 물리적 시스템과 사이버 시스템 간의 상호작용에 대한 개념도이다(Posada, et. al., 2015).



[그림 24] 스마트 생산에서 IT에 의한 인간-기계 간 상호작용 개념도 (Posada, et. al., 2015)

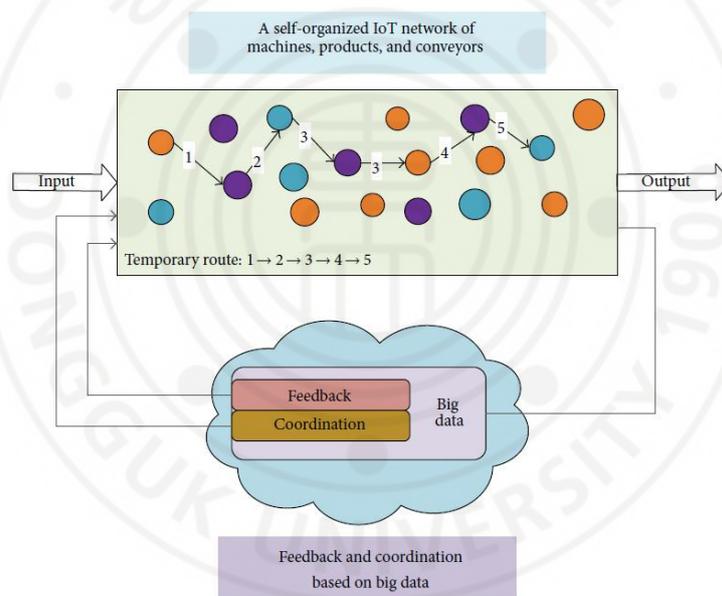
지능형 공장의 현실세계인 물리적 세계에는 자율객체 기능을 보유한 기계들(smart machine)이 매스 커스터마이징 등과 같이 유연한 생산능력이 있는 스마트 생산라인(smart line)에 배치되며, 각 지능형 공장들이 CPS 또는 CPPS로 상호 연결되어 있는 스마트 공장(smart factory)을 형성하며, 사전 서비스(before service)가 제공될 수 있도록 스마트 상품(smart product)을 생산한다.

한편, 물리적 세계인 공장의 모든 구성요소를 자율 객체인 디지털 트윈으로 구성한, 일종의 사이버 세계인 CPPS는 인간-기계 간 고품위의 협업(human-machine cooperation)이 가능하도록 하며, 스마트 생산라인들과 해당 라인의 기계들이 상호 커뮤니케이션을 통해 스마트한 생산을 할 수 있는 기계 연결 네트워크(connected machine network)를 제공하고,

연결된 스마트 공장들을 조화롭게 연계하여 가치창출 네트워크의 기능을 극대화하고, 제품서비스네트워크를 활용하여 사전서비스를 제공한다.

이 모든 것의 중심에 사람(human)이 물리적 세계와 사이버 세계의 조정자(coordinator) 또는 지휘자(conductor)의 역할을 할 수 있도록 하며, CPPS는 이 모든 과정에 있어서 IT 활성화 계층(IT enabling layer)의 역할을 제공하는 등, 중심축으로서의 기능을 제공한다.

[그림 25]는 스마트 생산 시스템의 운영 개념도를 예시한 것이다(Wang, et. al., 2016).



[그림 25] 스마트 생산 운영 개념도
(Wang, et. al., 2016)

스마트 생산시스템은 폐쇄형-루프 시스템(closed-loop system)이라 할 수 있다. control loop의 중심에는 자율 능력을 보유한 기계(machines), 제품(products), 및 컨베이어(conveyor) 등의 디지털 트윈인 스마트 아티

팩트(smart artifacts)가 위치한다.

스마트 아티팩트들은 다음과 같이 3C 역량과 더불어 자율성(autonomy)과 사회성(sociality)을 가져야 한다.

- **3C 역량(3C capabilities)**이란 스마트 아티팩트 스스로가 연산(computing) 능력, 커뮤니케이션(communication) 역량, 및 제어(control) 능력을 보유 및 활용할 수 있어야 한다는 것이다.
- **자율성(autonomy)**이란 다른 어떤 것들도 직접적으로 스마트 아티팩트의 의사결정에 영향을 끼칠 수 없으며, 스마트 아티팩트 스스로가 자율적인 의사결정을 할 수 있어야 함을 의미한다.
- **사회성(sociality)**이란 스마트 아티팩트가 일반적인 공통 지식(a common set of knowledge)을 이해하고 스마트 아티팩트 간 협상(negotiation)을 위한 공통규칙(a common set of rules)을 준수할 수 있는 역량을 의미한다.

스마트 아티팩트가 이와 같은 역량을 보유함으로써 스마트 아티팩트의 사회(a society of smart artifact)는 휴머노이드(humanoid, 인간 같은 기계) 또는 스마트한 것처럼 보이는 자율 구성력(self-organized)과 재구성성(reconfigurable)이 가능한 유연한 제조 시스템(highly flexible manufacturing)을 구현할 수 있게 되는 것이다.

스마트 생산시스템의 폐쇄형-루프 시스템(closed-loop system)에 존재하는 스마트 아티팩트들(기계, 제품, 및 켄베이어 등)은 스스로, 자율적으로, 또는 협의에 의해 각 생산중인 제품에 대한 생산라인을 실시간적으로 자율-조직화(self-organized)하여 스마트 생산라인과 스마트 작업을 결정하는 등 스마트 생산을 수행한다.

스마트 생산시스템이 가동되어지면 스마트 아티팩트들은 많은 양의 데이터를 생산하게 되고, 이들을 클라우드의 CPPS에 보내며, CPPS는 각 스마트 아티팩트와 각 가치창출 요소들에 대한 이전의 이력 등을 포함한 빅데이터를 활용하여 가치창출 각 요소들 간의 협업과정을 스마트하게 조정(coordination)하고 피드백함으로써 스마트 생산이 가능하도록 한다.

스마트 아티팩트들은 비록 협업(collaboration)을 통해 시스템 전반의 목표(system-wide goal)를 달성하기 위해 행동을 조정하지만, 스마트 아티팩트는 지역정보(local information)에 기반하여 의사결정을 하기에 시스템 성능은 일반적으로 최적상태가 아닐 수도 있다. 즉, 부하(load)가 균형 잡히지 않을 수도 있고, 효율성이 최고가 아닐 수도 있으며, 교착상태(deadlock)가 발생할 수도 있다.

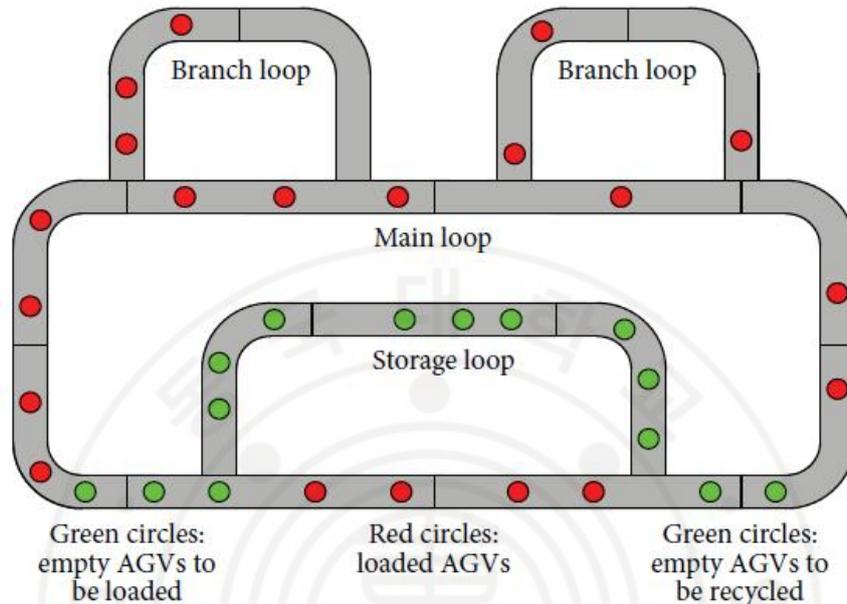
이와 같은 문제는 [그림 25]에 예시한 바와 같이 클라우드의 빅데이터 분석 기능을 활용하여 적절한 조정을 위한 피드백(feedback)으로 해결할 수 있다. 즉, 시스템 전역상태(the global state of the system)는 대규모의 실시간 시스템 정보(massive realtime system information)에서 추출할 수 있으며, 실시간적 빅데이터 분석은 다음의 두 가지 목적이 있다.

- 1) 분산 스마트 아티팩트(distributed smart artifacts)의 행위를 조정 (coordinate)하고
- 2) 자율조직화(self-organized)된 스마트 생산 네트워크의 성과지표 (performance indicator)를 피드백한다.

이와 같이 전역 최적화(global optimization)를 통해 스마트 아티팩트를 조정함으로써 스마트 생산시스템은 고수준의 성능을 가지게 된다.

스마트 생산시스템에서의 컨베이어시스템의 사례는 [그림 26]과 같다

(Wang, et. al., 2016).



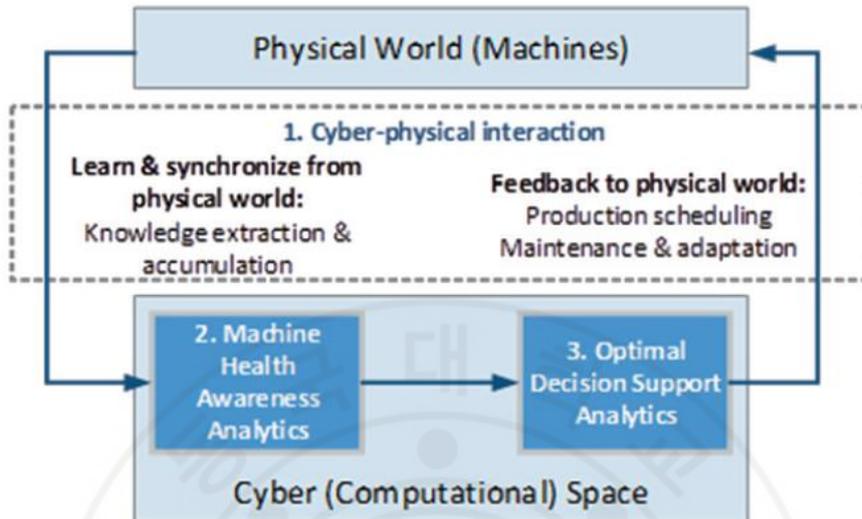
[그림 26] 자동이동차량(AGVs)을 이용한 유연한 컨베이어시스템의 예 (Wang, et. al., 2016)

4. 5C 구조 (5C architecture)

4차 산업의 지능형 공장과 스마트 제조의 중심 시스템인 CPPS의 개념도는 [그림 27]과 같다(Lee, et. al., 2014).

일반적으로 CPPS는 다음과 같은 두 가지 기능을 가진다.

- 1) 물리적 세계로부터 실시간 데이터를 획득하고 사이버 공간으로부터 정보 피드백을 보장하는 진보된 연결성(advanced connectivity)
- 2) 사이버 공간 구축을 위한 지능형 데이터 관리, 분석 및 계산기능



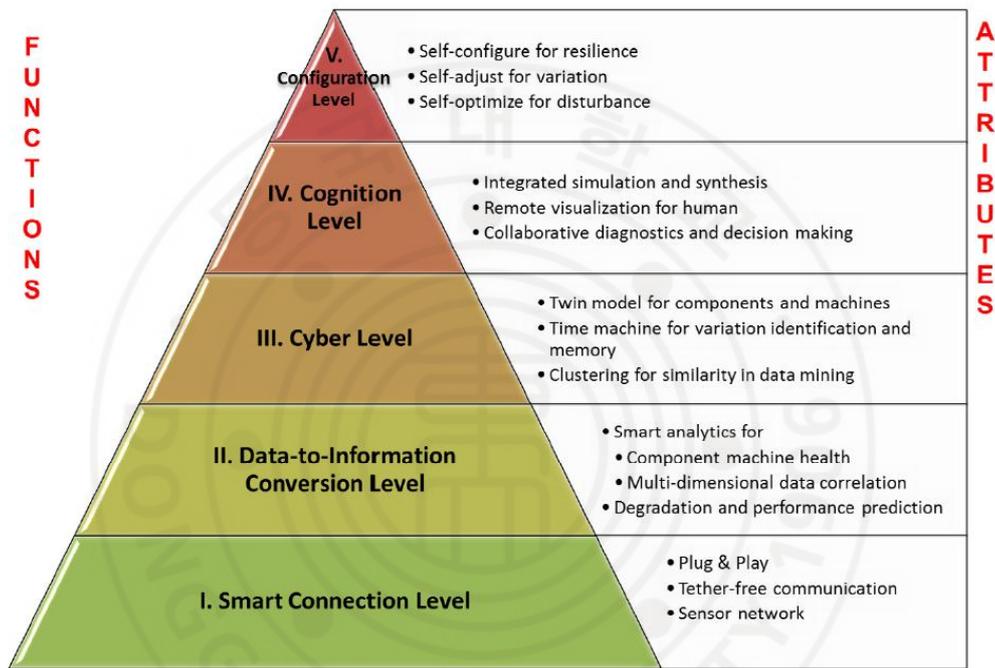
[그림 27] 자율 인식(self-aware)과 자율 유지보수 (self-maintenance) 기반의 사이버-물리 프레임워크 (Lee, et. al., 2014)

즉, CPPS는 공장의 기계, 제품, 및 컨베이어 등의 스마트 아티팩트로 구성된 물리적 세상과 스마트 아티팩트의 디지털 트윈으로 구성된 사이버 공간 간의 사이버-물리 상호작용(cyber-physical interaction)을 관장한다. 이를 위해 CPPS는 다음과 같이 사이버 세상과 물리적 세상의 상호작용을 관장할 수 있어야 한다.

- 1) 물리적 세상에서 지식을 추출 및 축적(knowledge extraction and accumulation)하여 물리적 세상을 학습하여 동기화(learn and synchronize)할 수 있는 기능과,
- 2) 생산 스케줄링(production scheduling)과 유지보수(maintenance) 및 변화에 대한 적응(adaptation) 등에 필요한 지식을 물리적 세계로 피드백하는 할 수 있는 기능

CPPS는 사이버 세상과 물리적 세상의 상호작용을 위해 다음 과 같은 두 가지 핵심 기능을 가져야 한다.

- 1) 기계 상태 인식 분석(machine health awareness analytics)과
- 2) 최적 의사결정 지원 분석(optimal decision support analytics)



[그림 28] CPPS 구현을 위한 5C 구조
(Bagheri, et. al., 2015, Lee, et. al., 2015)

그러나 [그림 27]에서 제시한 CPPS의 일반적인 요구사항은 매우 추상적이어서 CPPS를 구현하기 위한 세부적인 요구사항으로는 적합하지 않다. 이에 따라 초기 데이터수집단계에서부터, 분석단계를 거쳐 최종가치창출단계까지, 순차적 워크플로방식(a sequential workflow manner)으로 CPPS를 구현할 수 있는 방법을 명확하게 정의한 5C 구조가 [그림 28]과

같이 제시되었으며, 각 단계의 정의는 다음과 같다(Bagheri, et. al., 2015, Lee, et. al., 2015).

1) 스마트 연결 계층(smart connection level):

스마트 연결 계층은 CPPS가 공정(process), 기계(machine), 및 생산 모니터링(production monitoring) 등의 데이터를 획득할 수 있도록 지원하는 계층이다.

즉, CPPS는 데이터를 공장의 컴포넌트 또는 스마트 아티팩트의 센서들을 통해 직접 측정하거나, 컨트롤러 또는 기존의 기업 생산 시스템(enterprise manufacturing system)인 ERP, MES, SCM, 및 CMM 등으로부터 획득할 수 있어야 하며, 다양한 구성요소들이 쉽게 센서 네트워크(sensor network)에 참여할 수 있도록 플러그-앤드-플레이(plug and play) 기능이 지원되어야 하고, 데이터 수집절차를 관리하고 데이터를 중앙 서버로 전송하는데 어떠한 제한도 없는 커뮤케이션(tether-free communication)이 구현될 수 있어야 한다.

2) 데이터-정보 변환 계층(data-to-information conversion level):

이 계층은 스마트 연결 계층에서 수집된 데이터를 생산 도구들의 상태나 지연상태 등을 파악할 수 있는 상황(situation), 상태(status), 및 로그(log) 등의 정보로 변환하는 단계이다.

이 단계에서는 컴포넌트 기계들의 상태(component machine health), 다차원 데이터 상관관계(multi-dimensional data correlation), 및 성능저하 및 성능 예측(degradation and performance prediction) 등의 스마트 분석을 행한다.

최근에는 컴포넌트 및 스마트 아티팩트에 대한 예지 및 건전성

관리 애플리케이션(prognostics and health management applications)이 많이 발전되어 건강가치(health value)를 계산하여 잔여 유효수명을 추정(estimated remaining useful life)하는 등, 기계들에 대해 자율인지(self-awareness)가 가능토록 되었다.

3) 사이버 계층(Cyber level):

사이버 단계는 연결된 모든 컴포넌트, 스마트 아티팩트 등으로부터 엄청난 양의 정보(massive information)가 수집되면 공정영역(fleet) 내의 개별 기계의 상태에 대한 더 나은 통찰력(better insight)을 제공하기 위해 특정한 분석을 행하는 등, 5C 구조의 중심 정보 허브(central information hub)의 역할을 한다.

이 단계는 CPPS에 구현된 디지털 트윈에 대해 유사 사례(similar cases) 또는 과거 데이터(historical data)를 기반으로 분석을 행하여 자율기능을 위한 정보를 추출하는 단계로써, 단일 기계의 성능을 공정영역(fleet) 내의 기계들과 비교 및 평가하는 등으로 자율비교능력(self-comparison ability)을 부여하게 된다.

즉, 컴포넌트나 기계들의 트윈 모델(twin model)에 대해 변동 식별 및 기억을 위한 타임머신(time machine for variation identification and memory)을 행하고, 데이터 마이닝으로 유사 집단(clustering for similarity)을 파악하는 등, 과거와 유사집단을 통해 디지털 트윈의 현 상태를 파악하고, 미래를 예측한다.

4) 인지 계층(Cognition level):

인지 단계가 구현되어지면 모니터링된 시스템(the monitored system)에 대한 지식(knowledge)을 획득할 수 있게 되며, 전문 사용자(expert users)에게 습득한 지식을 적절히 제시하여 올바른

의사결정(correct decision to be taken)을 행할 수 있도록 지원함으로써 최선의 선택(selecting the best alternatives)을 위한 의사결정지원 단계이다.

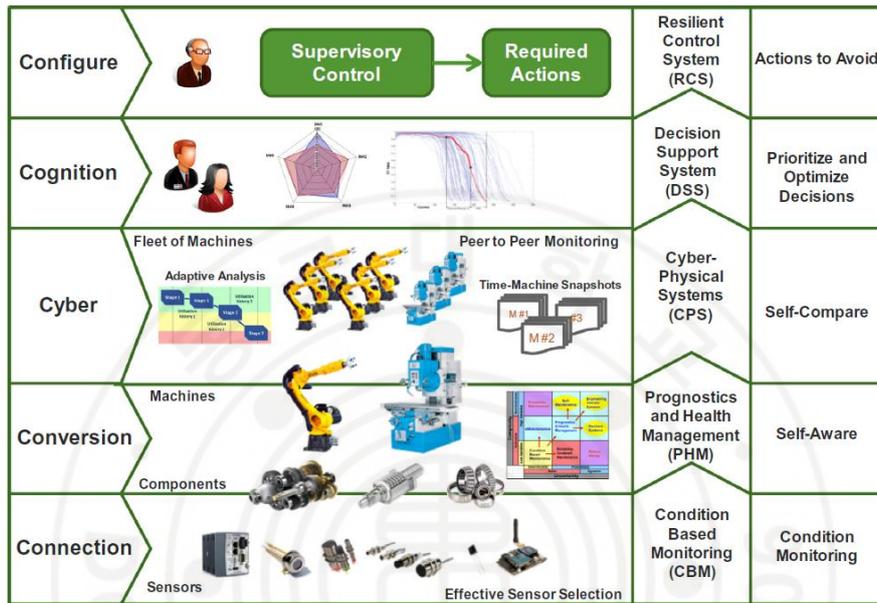
개별 기계 상태 및 비교정보(comparative information) 등을 활용해 유지 프로세스 최적화(optimize the maintaining process)를 위한 작업의 우선순위 결정(decision on priority of tasks)을 지원하거나, 또는 사용자에게 획득된 정보를 완벽하게 전달하기 위해 적절한 정보그래픽(proper info-graphic)이 활용되어야 한다. 따라서 통합 시뮬레이션과 종합(integrated simulation and synthesis), 사람들을 위한 원격시각화(emote visualization for human) 등이 핵심 기술로 부각된다.

5) 대응 계층(Configuration Level)

구성 단계는 5C 계층의 마지막 계층으로 사이버 공간에서 물리적 공간으로의 피드백의 기능을 수행하며, 기계들이 자율구성(self-configure) 및 자율적응(self-adaptive)할 수 있도록 감독 제어(supervisory control)를 하는 계층이다.

즉, 이 계층은 복원력 제어 시스템(RCS, resilience control system)의 역할을 수행하는 계층으로, 시정 또는 예방 의사결정(corrective or preventive decisions)을 위한 애플리케이션으로 각 컴포넌트 또는 스마트 아티팩트들이 탄력 있게 자율구성(self-configure for resilience)할 수 있거나, 변화에 대해 자율조정(self-adjust for variation)의 능력을 갖게 하거나, 또는 장애에 대해 자체 최적화(self-optimize for disturbance)를 행할 수 있게 한다.

CPPS의 5C 계층 구조와 각 계층의 대상, 목표, 및 구현시스템의 관계를 정리하면 [그림 29]와 같다(Lee, et. al., 2015).



[그림 29] 5C 계층(5C architecture)과 적용 애플리케이션 및 기술의 관계도 (Lee, et. al., 2015)

- 1) 스마트 연결 계층(smart connection level)은 센서(sensor)들을 대상으로 '연결(connection)'을 통해 컴포넌트 및 스마트 아티팩트의 상태 모니터링(condition monitoring)을 위해 조건기반모니터링(CBM, Condition Based Monitoring)을 구축한다.
- 2) 데이터-정보 변환 계층(data-to-information conversion level)은 컴포넌트나 기계 등의 스마트 아티팩트에 대해 자가-인지(self-aware)의 기능 부여를 위해 '변환(conversion)'을 목표로 예지 및 건강 관리 시스템(PHM, Prognostics and Health Management)을 구축해 '변환(conversion)'의 목표를 달성한다.

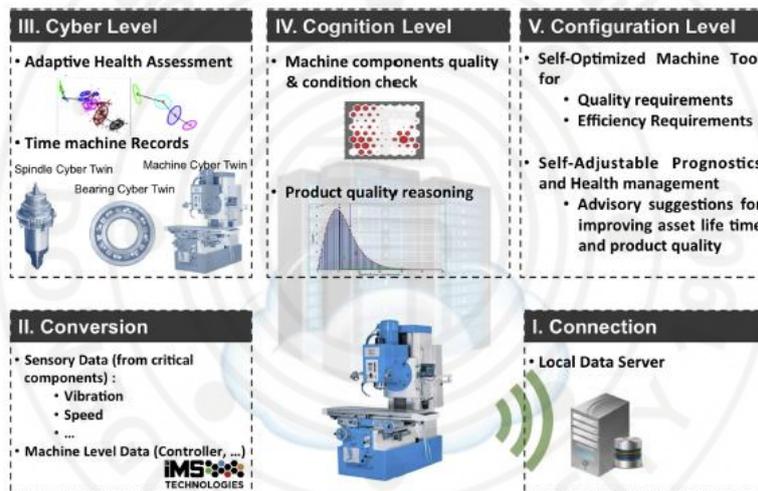
- 3) 사이버 계층(cyber layer)은 ‘사이버(cyber)’ 세상을 구축하고자 공정영역(fleet) 내의 컴포넌트 또는 기계들을 포함한 스마트 아티팩트에게 적응형 분석(Adaptive Analysis), 종단간 모니터링(Peer to Peer Monitoring), 및 타임머신 스냅샷(Time-Machine Snapshots) 등을 통해 자율비교(self-compare) 역량을 부여하기 위해 사이버-물리-생산 시스템(CPPS, Cyber-Physical-Production System)을 구축한다.
- 4) 인지 계층(cognition level)은 ‘인지(cognition)’의 목표달성을 위해 작업 전문가에게 그래픽화된 정보를 전달하여 의사결정의 우선순위 지정 및 최적화(Prioritize and Optimize Decisions)를 달성하고자 의사결정지원시스템(DSS, Decision Support System)을 구축한다.
- 5) 대응 계층(Configuration Level)는 ‘구성(configure)’의 목표 달성하고자 감독 제어(supervisory control)를 시행하고 이로부터 필요한 행동(required action)을 하는 등, 회피해야 될 행동(actions to avoid)을 파악하기 위해 탄력적 제어 시스템(RCS, Resilient Control System)을 구축한다.

한편, 5C 구조의 CPPS가 구현된 공장에서의 데이터와 정보의 흐름은 [그림 30]에 예시된 바와 같다(Bagheri, et. al., 2015; Lee, et. al., 2015).

- 1) 첫 번째 단계인 **연결(connection)**에서는 컴포넌트 또는 스마트 아티팩트의 센싱 데이터가 산업 인터넷망 또는 IoT를 통해 로컬 데이터 서버(local data server)에 축적된다.
- 2) 두 번째 단계인 **변환(conversion)**에서는 주요 컴포넌트의 진동횟

수(vibration), 속도(speed) 등이 감각 데이터(sensory data) 또는 컨트롤러 등으로부터 기계 레벨의 데이터가 생성된다.

- 3) 세 번째 단계인 사이버(cyber)에서는 각 디지털 트윈의 적응형 건강 평가(adaptive health assessment)와 타임머신 기록(time machine records)가 생성된다.
- 4) 네 번째 단계인 인지(cognition)에서는 기계 컴포넌트 품질과 상태 확인(machine component quality and condition check)과 제품 품질 추론(product quality reasoning) 정보가 창출된다.



[그림 30] CPPS 기반 공장에서의 데이터와 정보의 흐름도 (Bagheri, et. al., 2015; Lee, et. al., 2015)

- 5) 마지막 5 단계인 구성(configuration)에서는 각 기계 도구(machine tool)의 품질요구사항(quality requirement) 및 효율성 요구사항(efficiency requirement)을 충족시킬 수 있는 자율-최적화(self-optimized) 정보와 자산 수명(asset life time)과 제품 품질(product quality)을 제고할 수 있는 예지 및 건전성 관리 권고

안(prognostics and health management advisory suggestions) 정보를 생성하여 자율-조정(self-adjustable) 역량을 지원한다.

5. 자율 컴포넌트 모델

(Autonomous Component Model in Industry 4.0)

최근의 컴퓨터과학을 포함한 정보기술(IT)과 정보통신기술(ICT) 분야의 최대 화두 중의 하나가 사이버-물리 시스템(CPS)에 의한 4차 산업과 사이버-물리-제조 시스템에 의한 지능형 공장과 스마트 제조 시스템이다.

사이버 - 물리 시스템 (CPS, Cyber-Physical Systems)은 주변의 물리적 세계(surrounding physical world) 및 진행 중인 프로세스(its on-going processes)와 인터넷을 통해 집중적으로 연결되어(intensive connection), 동시에 데이터-접속(data-access) 및 데이터-처리(data-processing)를 제공 및 사용할 수 있는 정보개체들의 상호협력 시스템(systems of collaborating computational entities)으로 정의할 수 있다. CPS는 "삶의 모든 면을 변화시킬 수 있는 엄청난 잠재력을 보유하고 있으며, 자율 주행 차량(autonomous cars), 로봇 수술(robotic surgery), 지능형 건물(intelligent buildings), 스마트 전기 그리드(smart electric grid), 스마트 제조(smart manufacturing) 및 이식할 수 있는 의료 기기(implanted medical devices) 등의 개념은 이미 등장한 실제 사례 중 일부에 불과하다"라고 할 수 있다(Monostori, 2016).

사이버-물리-제조 시스템(CPPS, Cyber-Physical Production Systems)란 최신의 또는 가까운 미래(the newest and foreseeable)의

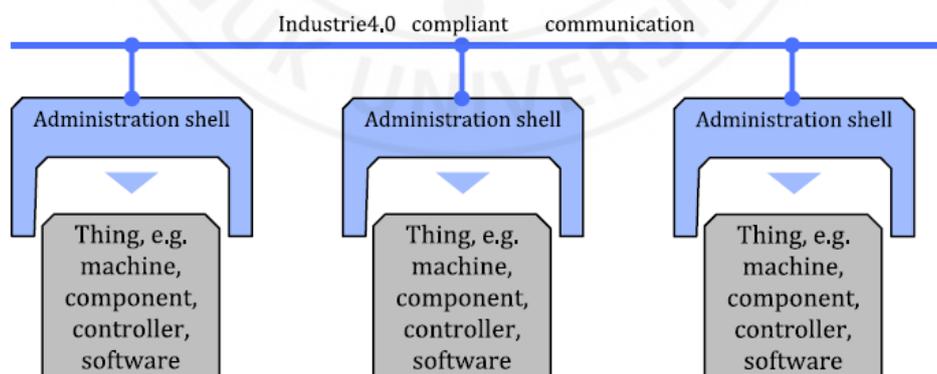
컴퓨터 과학(CS, computer science), 정보 통신 기술(ICT, information and communication technologies), 및 제조 과학 기술 (MST, manufacturing science and technology)을 활용하여 4차 산업혁명 또는 4차 산업을 선도하는 시스템이라 할 수 있다. 최근, 인터넷에 의해 실제 세계와 가상세계가 점점 더 가까워져 만물인터넷(IoT, the Internet of Things)이 형성되고 있는 시점에서, 미래의 산업 생산(Industrial production of the future)의 특징은 매우 유연한 (대규모 시리즈) 생산 (highly flexible (large series) production), 비즈니스 및 부가가치 프로세스(business and value-added processes)에서의 고객 및 비즈니스 파트너의 광범위한 통합(extensive integration), 및 소위 하이브리드 제품(hybrid products)으로 불리는 제품과 고품질 서비스의 연계(the linking of production and high-quality services) 등으로 대변되어지는 제품의 강력한 개별화(the strong individualization of products) 등을 나열할 수 있는데, 이를 가능케 하는 것이 CPPS이다.

CPPS를 구현하기 위한 가장 기초적인 요구사항은 제조 생태계(manufacturing ecosystem)의 가치창출체인에 존재하는 모든 컴포넌트, 또는 스마트 아티팩트들의 가상 객체(virtual objects)와 실제 객체의 프로세스(processes with real object) 및 제조 프로세스(processes of production) 간의 커뮤니케이션 역량(communication ability)을 보장하기 위해 커뮤니케이션 규칙(the conform communication)을 제정하는 것이고, 이를 정의한 모델을 4차 산업 컴포넌트 모델이라 한다 (Monostori, 2016; Zezulka, et. al., 2016).

즉, 4차 산업 컴포넌트 모델(the component model in industry 4.0)이란 RAMI 4.0(Reference Architectural Model Industrie 4.0)에서 가

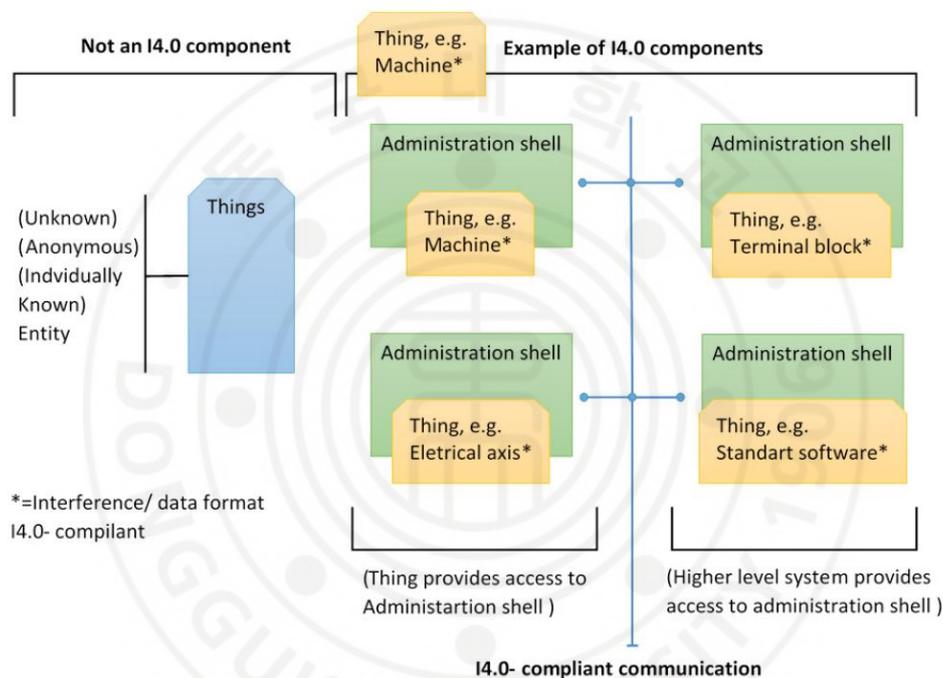
상 또는 사이버 객체와 물리적 객체 및 프로세스(virtual and cyber - physical objects and processes) 간의 커뮤니케이션 모델을 정의하여 사이버-물리 특성(description of cyber-physical features)을 보다 잘 설명하고, 4차 산업 시스템 개발자 및 시스템 통합업체(producers and system integrators)가 4차 산업용 HW 및 SW 컴포넌트를 개발하는데 도움을 주기 위해 개발된 컴포넌트 수준의 모델이다.

4차 산업 컴포넌트 모델은 [그림 31]의 예시와 같이 제조생태계에 존재하는 모든 것, 즉, 기계(machine), 컴포넌트(component), 컨트롤러(controller), 소프트웨어(software) 등의 객체(object)들을 4차 산업 규격 커뮤니케이션(Industrie 4.0 compliant communication)의 준수를 통해 커뮤니케이션이 보장되는 보안화된 전자 데이터 컨테이너(electronic container of secured data)로 구성하기 위해 관리 셸(an administration shell)로 둘러싼다(wrap). 이렇게 함으로써 생산과정의 모든 개체들(all components of production)은 표준화(standardized)되고, 보안(secure)이 되며, 안전한(safety) 실시간 커뮤니케이션(real time communication)이 보장된다(Monostori, 2016).



[그림 31] I4.0 컴포넌트 모델 (Monostori, 2016)

[그림 32]는 생산생태계에 존재하는 객체들을 I4.0 컴포넌트로 구현하는 4 가지 유형의 구현 사례(4 examples of implementation of I4.0 functionality of the object (thing) to become the I4.0 component)를 예시하였으며, 각 사례에 대한 설명은 다음과 같다.(Zezulka, et. al., 2016).



[그림 32] I4.0 컴포넌트의 4 가지 유형 구현 사례
(Zezulka, et. al., 2016)

- 1) 기계 전체(an entire machine): 기계의 제어시스템(the control system, e.g. PLC)의 결과로, 기계 제작사(producer) 또는 PCL 통합기(PLC integrator)에 의해 I4.0 컴포넌트로 구현될 수 있다.
- 2) 전략적으로 중요한 조립부품(A strategically important assembly): 공급자가 공급하는 전략적으로 중요한 조립부품(예:

전기축, electric axis)은 해당 컴포넌트 제조사(the component manufacturer)의 의해 I4.0 컴포넌트로 구현될 수 있다. 해당 부품은 별도로 등록할 수도 있지만 자산관리 및 유지관리 시스템(asset management and maintenance system)에 등록된다.

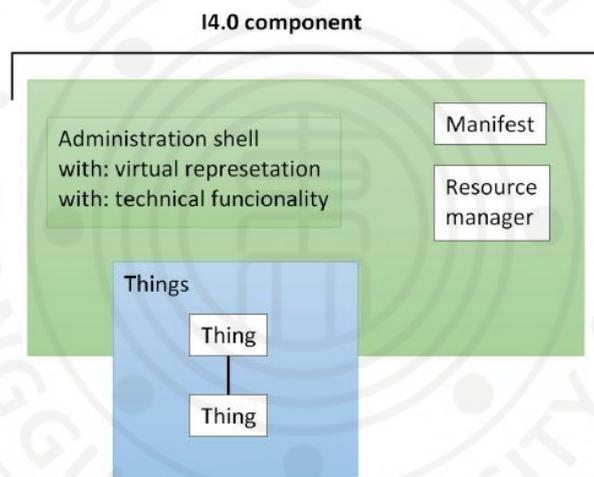
3. 터미널 블록(a terminal block): 전기 엔지니어(electrical engineer)에 의해 구현 될 수 있는 터미널 블록도 I4.0 컴포넌트가 될 수 있다. 터미널 블록은 개별 신호로 배선을 유지(retain the wiring with individual signals)하고 수명주기 동안 최신으로 유지(keep it up to date throughout the life cycle)하는 것이 중요하다.
4. 내장 소프트웨어(software supplied): 생산 기계(a production machine)의 중요한 자산(important asset)인 내장된 소프트웨어(the SW supplied)도 I4.0 컴포넌트가 될 수 있으며, 대규모 기계 세트의 경우 이 SW는 표준이 될 수 있다. 해당 기계 공급자는 확장 기능 라이브러리(a library of extended functions)를 별도로 파내할 수도 있다.

4차 산업 아이디어의 핵심 단어 중 하나가 RAMI 4.0 모델에서 ‘정보 레이어(information layer)’로 나타나는 ‘가상표현(virtual representation)’이며, 이를 나타내는 I4.0 컴포넌트의 구조는 [그림 33]에 예시한 바와 같다(Zezulka, et. al., 2016).

즉, I4.0 컴포넌트는 복수개의 물리적 실체(things)를 포함할 수 있으며, 이들 자원을 관리하는 자원관리자(resource manager)와 물리적 실체에 관한 데이터를 보관하고 있는 메니페스트, 및 타 컴포넌트와의 커뮤니케이션을 위해 해당 컴포넌트에 대한 가상 표현(virtual representation)과 기

술적 기능성(technical functionality)을 정의하고 있는 관리 셀(administration cell)로 구성된다.

물리적 실체(real entity)에 대한 가상표현 또는 디지털 트윈은 객체/사물(object/thing)의 데이터를 포함하며, 이 데이터는 I4.0 컴포넌트 자체에 보관되어 I4.0 규격 커뮤니케이션(I4.0 compliant communication)으로 외부 세계에 제공되거나 또는 IT 시스템(CPPS를 포함한 생산관련 시스템 들인 ERP, MES, SCM, 및 CMM 등)에 저장되어 I4.0 규격 커뮤니케이션으로 외부 세계에 제공 될 수 있다.

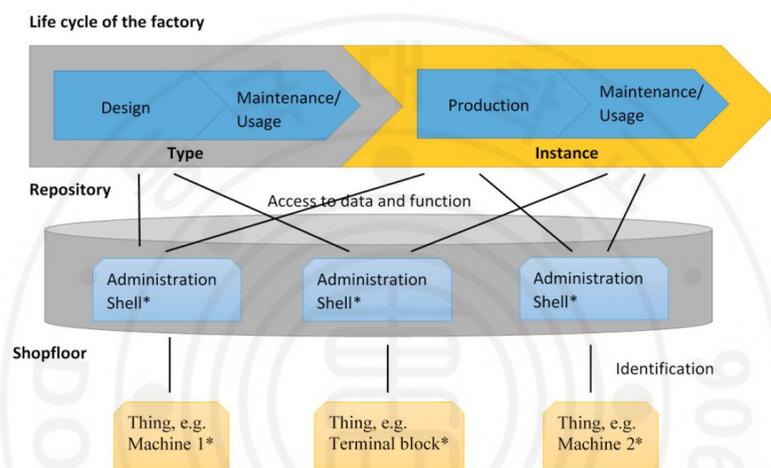


[그림 33] I4.0 컴포넌트
(Zezulka, et. al., 2016)

가상표현에 있어서 중요한 부분 중의 하나는 개별적 가상표현 콘텐츠 디렉토리(a directory of the individual data contents of the virtual representation)인 ‘매니페스트(manifest)’로써 메타 정보(meta - information)와 I4.0 컴포넌트의 의무적 데이터(obligatory data)를 포함하며, 가상표현에 대한 추가적인 데이터, 즉, CAD 데이터, 터미널 다이어

그램(terminal diagrams) 또는 매뉴얼(manuals) 등을 포함하는 개별 라이프 사이클 단계(individual life cycle phases)의 데이터도 포함할 수 있다.

디지털화된 지능형 공장의 I4.0 컴포넌트의 배치(deployment)는 [그림 34]에 예시된 바와 같다(Zezulka, et. al., 2016).



[그림 34] 디지털 공장의 저장소 (Zezulka, et. al., 2016)

저장소(repository)에는 물리적 공장(the physical factory)의 작업현장(shop floor)에 있는 기계, 터미널 블록 등의 각 물리적 개체(thing)들과 1대1로 매핑되는 관리 셸들(administration shells)과 이에 대한 상호연결(mutual connections) 등이 디지털 형태(digital form)로, 디지털 트윈의 일환으로 저장된다.

디지털 공장(digital factory)이란 물리적 공장의 수명주기(the life cycle of the factory)에 따라 동적 실현(dynamic actualization)으로 저장소에 있는 각 컴포넌트의 관리 셸(administration shells)과 연결(호흡)(connections (respiratory))함으로써 구현된다.

각 객체에 대한 가상표현은 구조화된 데이터(data - structured)로 나타나야 한다. 즉, I4.0 컴포넌트는 적절한 4차 산업 어휘(a proper Industry 4.0 vocabulary) 및 4차 산업 포맷(an Industry 4.0 format)으로 표현되어야 하며, 각 컴포넌트는 복수개의 목적이 있다면 복수개의 관리 셀을 가질 수 있다. 또한 기술적 기능(technical functionalities)을 보유한 데이터의 일부분으로 나타날 수도 있다. 기술적 기능에 관한 데이터의 예를 들자면 해당 객체(object 또는 thing)과 관련된 지역적 계획을 위한 소프트웨어(SW for local planning in connection with the object (thing)), 프로젝트 계획을 위한 소프트웨어(SW for project planning), 구성(configuration), 운영자 제어(operator control) 및 서비스 등이 해당된다고 할 수 있으며, 기술적 기능은 RAMI 4.0 모델의 기능 계층(functional layer)에 해당된다.

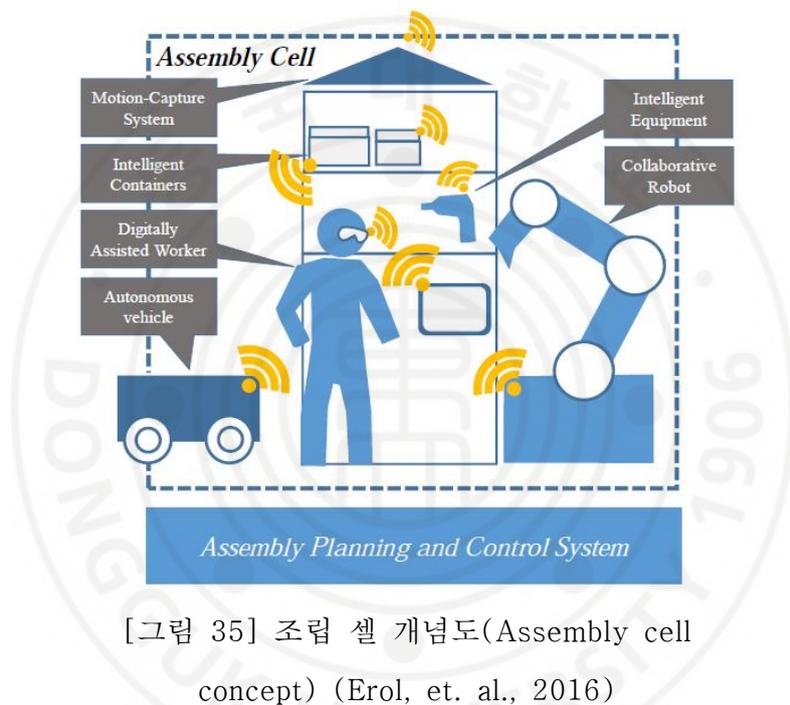
따라서 I4.0 컴포넌트는 각 컴포넌트들 상호간 모든 교차 연결(cross-connections)이 가능할 수 있도록 구현하는 것이 디지털 또는 지능형 공장(digital or intelligent factory)의 시작(initiating) 또는 입문(entering into)이라 할 수 있다.

CPPS와 I4.0 컴포넌트가 구현된 지능형 공장의 사이버-물리적 조립 시스템의 사례는 [그림 36]에 예시된 바와 같다(Erol, et. al., 2016).

사이버-물리적 조립 시스템(cyber-physical assembly system)은 다수의 네트워크로 연결된 모바일 어셈블리 스테이션(mobile assembly stations)으로 구성된다.

생산 작업자(production worker)는 자동이동차량(AGVs, Automated Guided Vehicles)에 의해 배달되어지는 커스텀화된 부품들을 활용해 모

션캡처 시스템과 각종 센서 등에서 수집한 데이터로 현 상황을 인지한 디지털 지원 시스템(digital assistance systems)의 지원과, 이 시스템이 지원하는 지능형 조립기술(intelligent assembly technologies)과 협업로봇 시스템(collaborative robotic systems) 등과 협업하며 커스터마이징한 조립(customized assembly)을 하게 된다.



[그림 35] 조립 셀 개념도(Assembly cell concept) (Erol, et. al., 2016)

특히 작업자는 디지털 지원 시스템으로부터 조립 계획과 제어(assembly planning and control)만 지원받는 것이 아니라, 증강현실(AR) 등을 활용하여 작업의 정확성과 수월성을 제고하며, 또한 작업자가 복잡한 조립 작업을 관리하고 신체적, 인지적, 및, 심리적 스트레스 상황(physical, cognitive and psychological stress situations)도 관리할 수 있는 측면에서 지원된다.

제 5 절 21세기 핵심 역량

(The Core Competency of 21th Century)

1. 역량의 정의 (Definition of Competency)

경영학분야의 직무관련 용어로 출발한 역량(competency)은 ‘어떤 일 또는 과업을 수행하기 위해 필요한 능력’으로 정의된다(김인근과 이종욱, 2015; Gonczi & Hager, 2010; McClelland, 1973). 역량은 지능 등과 같은 보편적 개념이라기보다는 특정 분야의 특정 과업, 특정 직무, 또는 특정 상황에서 요구되는 능력을 의미하며 역량을 요구하는 외적인 요구, 이를 수행하는 개인의 내적 구조, 및 맥락이라는 세 가지 요소로 구성되고 정의된다 할 수 있다(소경희, 2007). 즉, 과업을 수행한 결과인 성과가 일반적으로 ‘어떤 일을 수행한 결과’로 정의되나 성과란 다의적(多義的)이면서 복합적인 의미를 내포하고 있기에 과업과 이를 수행한 결과인 성과를 측정하고자 할 때는 과업과 성과의 상황과 맥락에 기반을 두어 서로 다른 정의와 척도를 활용해야 하기에(이기종 외 2011), 이를 수행하는 수행자의 역량도 주어진 과업의 상황과 맥락에 따라 상이하다고 정의할 수 있다.

18세기의 1차 산업혁명에 따라 농경사회가 산업사회로 탈바꿈하였고, 2차 및 3차 산업으로 사회가 기술기반 고도화사회로 진화하면서 변화된 기술기반 고도사회 또는 지식기반 정보화 사회에서 삶을 영위하기 위한 핵심역량도 변화되어 왔으며, 인간의 삶을 지원하는 국가교육에서도 삶을 영위하기 위한 모두가 갖추어야 할 핵심역량을 육성하기 위해 교육과정과 교육체계를 변화시켜 왔다.

최근의 학교교육에서는 ICT 기술을 활용해 변화되고 진화된 형태의 사회성이나 사회적 자산과 정보를 획득하는 행위에 익숙한 청소년들을 대상으로 이제까지의 교수자 중심의 교육에서 학습자 중심의 역량 교육의 필요성이 제기되고(홍원표와 이근호, 2011; Ananiadou & Claro, 2009) 기존의 ‘명제적 지식’ 전달을 위한 교육에서 ‘실천적 방법의 지식(practical know-how)’의 육성이 필요하다는 시대적 요구에 따라(소경희, 2006; 최길성, 2010) 학습자 중심의 역량기반 교육모델이 도입되고 플립수업(flipped class)에 대한 연구와 교육현장에서의 적용이 확대되고 있는 실정이다(김인근과 이종욱, 2015; 양숙희와 이종욱, 2015).

2. DeSeCo의 세 가지 핵심역량 (Three Core Competency of DeSeCo)

모바일시대가 도래하면서 급격히 발전된 정보통신기술을 이용한 혁신과 발전에 따라 사회, 경제, 정치, 또한 문화까지 아우르는 사회전반이 혁신되고 급격히 변화되어 왔으며, 글로벌 세상은 이전과 비교하였을 때 비교할 수 없을 만큼 복잡적이고 상호의존적으로 변해왔다(Rychen et al., 2003). 특히 최근에 급격히 진화된 스마트폰과 인터넷 등의 소셜기반 서비스는 일상생활에 필수적인 서비스로 자리매김하였을 뿐만 아니라 이들의 선도에 의한 급격한 사회변화는 기존관념을 혁신시켰을 뿐만 아니라 훨씬 더 예측불가능하고 불안정한 상태로 변화되는 글로벌 세상과 새로운 사회경제적 환경에 적응하기 위해 개인들은 새로운 ‘기술 또는 기량(器量)(skill)’을 갖추어야 된다고 인식되어 왔다(Jerald, 2009).

변화된 또는 변화되고 있는 글로벌 세상에서 자라나는 신세대들이 새로

운 환경과 세상에서 삶을 영위하기 위해서는 어떤 기량이 필요한지, 사회와 경제의 변화에 따른 교육의 변화는 이들을 어떻게 교육해야 할지에 대한 연구가 OECD에 의해 진행되었다. 즉 ‘21세기의 변화에 직면하고 있는 개개인들이 성공적이고 행복한 삶과 생활, 및 사회에 대한 시민으로서의 책임을 다할 수 있는 것과 관련된 기량은 무엇인가?’에 대한 범세계적 연구가 진행되었다(김인근과 이종옥, 2015; 양숙희와 이종옥, 2015).

OECD는 1997년도부터 시작된 DeSeCo(Definition and Selection of Competencies: Theoretical and Conceptual Foundations)의 INES(International Indicators of Education Systems) 프로젝트를 통해 현재와 미래에 당면할 과업을 해결하여 성공적이고도 행복한 삶과 사회가 요구하는 역량을 갖추기 위해서는 청소년들이 읽기(reading), 쓰기(writing), 셈하기(calculating) 이외에 어떠한 역량을 갖추어야 되는지를 연구했다(소경희, 2007; Gonczi & Hager, 2010; Jerald, 2009).

즉, DeSeCo는 21세기 글로벌 세계가 요구하는 ‘삶의 다양한 맥락과 분야에서 제기되는 요구와 도전을 충족시키는 수단’과 ‘개인의 성공적 삶과 가치 있는 사회적 기여에 공헌’할 수 있는, ‘모든 개인에게 중요하고 필요한 성격을 지닌 기량’ 등에 대한 연구를 진행한 결과, ‘사회적으로 이질적인 집단 내에서의 상호작용 능력(interacting in socially heterogeneous groups)’, ‘자율적인 행동 능력(acting autonomously)’, 및 ‘여러 도구들을 상호작용적으로 활용할 줄 아는 능력(using tools interactively)’을 ‘21세기가 요구하는 역량’(21 century skills and competences for new millennium learners)으로 정의한 바가 있다(김인근과 이종옥, 2015; 소경희, 2007; 양숙희와 이종옥, 2015; Gonczi & Hager, 2010; Young & Chapman, 2010).

제 3 장 4차 산업 핵심역량 프레임워크 개발

제 1 절 프레임워크의 정의 (Definition of Framework)

프레임워크(Framework)란 ‘논리적인 구상 또는 구조의 기본 틀’이라고 사전적인 의미로 정의할 수 있지만(Merriam-Webster Online), 일반적으로는 ‘특정 목적을 만족시키기 위해 여러 개의 상호 연결된 상황을 개략적으로 나타낸 도식화된 구조’ 또는 ‘복잡한 체계나 개념을 이해하기 쉽게 개략적으로 상호관련성과 구조를 표현하여 유용하게 활용할 수 있는 도구’ 등으로 정의할 수 있다(Reynolds, 2010).

또한 프레임워크의 주요하게 선택된 개념과 이들 개념들 간의 관계를 부각하여 나타내는 프레임워크를 개념적 프레임워크(Conceptual Framework)라고 지칭하며, 개념적 프레임워크란 복잡한 프레임워크를 활용함에 있어서 사용자가 주요개념과 프레임워크 구성요소간의 상호관계를 손쉽게 파악하도록 지원하는 프레임워크의 일종 또는 간략한 틀로 정의할 수 있다. 프레임워크나 개념적 프레임워크, 또는 또 다른 유형의 프레임워크를 개발하거나 또는 활용하는 것은 주요한 두 가지 목적이 있다. 그 첫째는 전체가 아닌 주요한 부분을 부각하거나 나타내어 표시함으로써 사용자의 인지가 용이하도록 하는 것이다. 즉, 경험이나 아이디어를 타인에게 전파 또는 참조를 유도하기 위해 해당 영역을 사용자가 감당할 수 있는 크기 또는 복잡도로 분할하고 축약하여 그 의미를 잃지 않는 범위 내에서 최대한 간략하게 표현하여 제시함으로써 사용자의 제한된 기억 또는 사용자의 인지 능력 범위 내에서 부분이 아닌 전체적 상황을 전달하고자

함이 그 첫 번째 목표가 되어야 한다. 두 번째 목표는 새로운 영역의 이해를 돕기 위해, 또는 기존에 존재하는 분야일지라도 알려진 것이나 알려야 할 것들을 간단하게 정리하여 제시함으로써 패러다임의 주요 틀을 알리고자 함이다(Kochen, 1986).

제 2 절 4차 산업 관련 주요 프레임워크

(Previous works on Industrie 4.0 Framework)

1. 4차 산업 (Industrie 4.0)

4차 산업(Industrie 4.0)은 완벽한 가치 창출 시스템을 구성하고 제어하는 새로운 방식을 의미(a new way of organization and control of complete value-adding systems) 한다. 즉, 4차 산업은 세상에 존재하는 모든 사물(objects)과 사람들을 스마트하게 만들고, 이들 간에 실시간 정보를 바탕으로 커뮤니케이션과 협업이 이루어지는 세상을 구현하고자 한다. 4차 산업의 주요 목표가 대량 생산 비용으로 개별 고객의 요구를 충족시키는 것(The key objective is to fulfil individual customer needs at the cost of mass production)이기에 주문 관리, 연구 및 개발, 제조, 시운전, 납품 및 생산품 재활용에 이르기까지 모든 분야에 영향을 미칠 것으로 예견되고 있다(Monostori, 2016).

4차 산업의 새로운 기회의 기초는 사이버 물리적 생산 시스템의 도움으로 생산을 디지털화하는 것이다. 따라서 근로자, 제품, 자원, 및 시스템과 같은 모든 관련 자원은 지능화(smart), 자체 조직화(self-organized), 기

업 간(cross-corporate), 실시간 및 자율적으로 최적화 된 인스턴스 (real-time and autonomously optimized instances)로 통합 (integrated)되어야 한다.



[그림 36] Industrie 4.0 (Monostori, 2016)

미국의 경우, 스마트 제조 시스템의 상업화(the commercialization of smart manufacturing systems)와 관련된 비용과 위험(the costs and risks) 등의 문제를 해결하기 위해 스마트 제조 리더십 협회(SMLC)를 설립하였다(Lydon, 2016).

SMLC의 임무(mission)는 산업 부문의 혁신(the industrial sector transformation)을 주도하여 제조업체를 실시간 고부가가치 애플리케이션 (real-time, high-value applications)을 지원할 수 있는 개방적이고 스마트한 제조 플랫폼(open, smart manufacturing platform)인 네트워크 기반의 정보 중심 환경(a networked, information-driven environment)으로 전환하도록 유도하는 것이다. 즉, SMLC는 생산 시스템과 가치 사슬을 최적화하고(optimize production systems and value

chains) 지속 가능성, 생산성, 혁신, 및 고객 서비스를 획기적으로 향상시키는 것(radically improve sustainability, productivity, innovation, and customer service)을 임무로 한다. 이를 위해 SMLC는 산업계, 학계, 협회, 및 정부를 아우르는 리더들의 제조 협력(collaboration of manufacturing)을 통해 클라우드 기반의 개방형 아키텍처 제조 인프라 및 시장(a cloud-based, open architecture manufacturing infrastructure and marketplace)을 개발하고 있다.

SMLC의 목표는

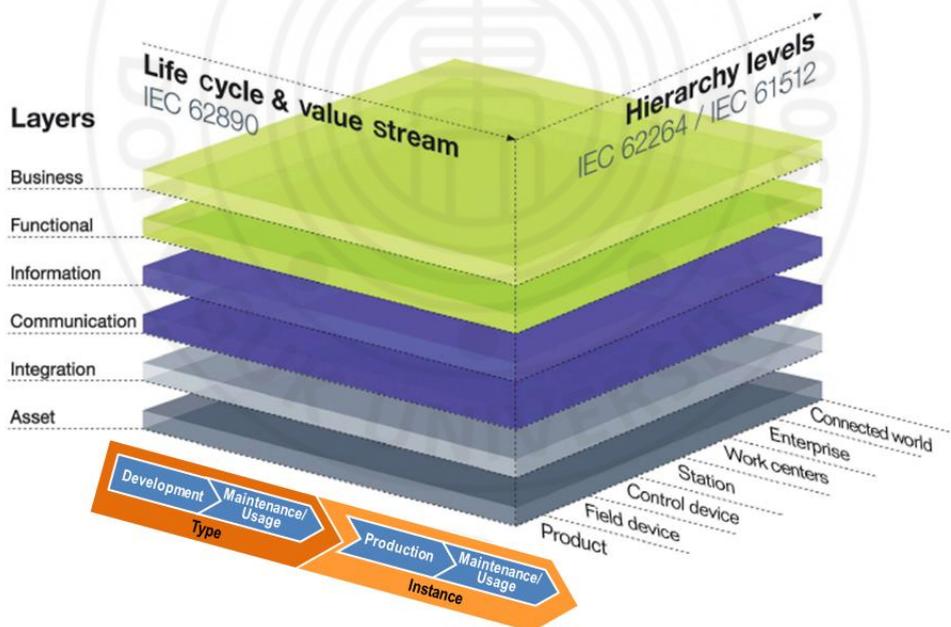
- 공장 수준의 시스템과 데이터를 통합하고,
(integrating plant-level systems and data)
- 재사용 가능한 응용 프로그램의 개발 및 배포를 가속화하며,
(accelerating the development and deployment of reusable applications)
- 모두가 액세스 할 수 있는 저렴하고 개방적인 안전한 인프라를 제공하여,
(providing an open and secure infrastructure accessible and affordable to all)
- 진화하는 비즈니스 요구사항 및 새로운 시장기회를 민첩하게 수용
(embracing evolving business needs and new market opportunities agilely)

하는 것으로 설정하고, 4차 산업의 구현에 박차를 가하고 있으며, 대부분의 국가에서도 SMLC와 유사한 임무와 목표를 설정한 이니셔티브를 구성하고, 4차 산업 구현에 박차를 가하고 있는 실정이다.

2. 4차 산업 참조 구조 모델, RAMI 4.0

(Reference architecture model for Industry 4.0)

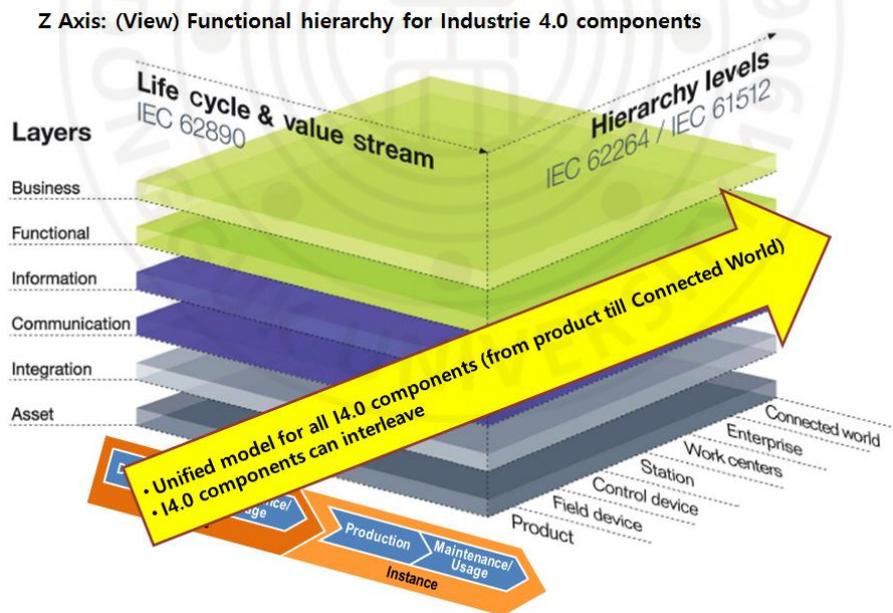
2016년 3월, 독일의 alliance Platform Industrie 4.0과 미국 주도의 Industrial Internet Consortium 대표가 스위스 취리히에서 모여 대표적인 2개의 아키텍처의 잠재적 연계(potential alignment)를 모색하였고, 그 결과로 [그림 37]과 같은 4차 산업 참조 구조 모델(RAMI4.0, the Reference Architecture Model for Industrie 4.0)과 산업인터넷 참조 구조(IIRA, the Industrial Internet Reference Architecture)가 탄생하게 되었다(Lydon, 2016).



[그림 37] 4차 산업의 참조 구조 모델 (RAMI4.0)

(Lydon, 2016; Zezulka, et. al., 2016).

RAMI4.0은 4차 산업 이슈에 대해 구조적 방식으로 접근할 수 있도록 하는 3차원 맵으로써, 모든 I4.0 컴포넌트들(제품에서부터 연결된 세상까지)의 상호연동(interleave)을 위한 통합모델(unified model)이며, 제품의 전 라이프 사이클에 걸쳐 일관된 데이터 모델(consistent data model)을 유지하게 하면서 하나의 모델에서 유형과 인스턴스(type and instance)에 대한 가치사슬의 결합(combination of value chain)을 나타내는 모델이다. 즉, RAMI4.0은 3차원으로 4차 산업의 구성요소들에 대해 Z축은 구성요소의 계층(계층구조 수준, hierarchy level)을, X축은 구성요소의 라이프 사이클과 가치사슬의 흐름(life cycle & value stream)을, Y축은 비즈니스 또는 공장에서의 유무형 구성요소의 계층(layer)을 나타낸다(Lydon, 2016; Zezulka, et. al., 2016).



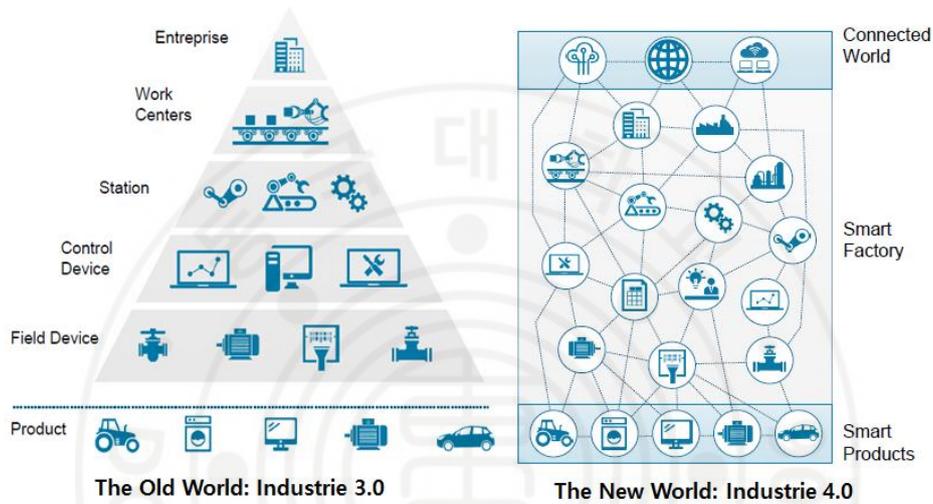
[그림 38] RAMI4.0 3차원 모델의 Z축, 계층구조 수준(Hierarchy Levels)

[그림 38]에 예시한 RAMI4.0 3차원 모델의 Z축인 계층구조 수준(Hierarchy Levels)는 4차 산업 컴포넌트들의 계층을 나타내며, 제품(product)에서부터, 필드 장치(field device), 제어 장치(control device), 작업장소(station), 작업센터(work center), 및 기업(enterprise) 또는 공장(factory)에 이르기까지의 모든 계층에 존재하는 컴포넌트들에 대해 제품에서부터 연결된 세상에 이르기까지의 모든 I4.0 컴포넌트들에 대한 통합모델(unified model for all I4.0 components, from product til connected world)을 제시하고, IT 레이어의 지원 하에 I4.0 컴포넌트들 상호간에 상호작용(I4.0 components can interleave)이 가능한 방안을 제시한다.

3차 산업형 공장에서의 컴포넌트들은 [그림 39]의 좌측 예시와 같이 제품(product)에서부터 기업(enterprise)에 이르기까지 공장을 구성하는 각 컴포넌트들은 기본적으로 하드웨어 기반 구조(hardware-based structure)이며, 기능들은 하드웨어에 제한되어 있으며(functions are bounded to hardware), 상향 또는 하향의 계층기반의 제한된 커뮤니케이션(hierarchy-based communication)이 이루어지며, 제품은 공장의 구성요소와는 분리(product is isolated)된 상태이었다.

그러나 [그림 39]의 우측의 예시와 같이 4차 산업에서는 스마트한 I4.0 컴포넌트들이 IT 레이어의 지원과 4차 산업의 수평적, 수직적 결합에 따라 스마트 제품에서부터 연결된 세상에 이르기까지 각 I4.0 컴포넌트들은 상호 네트워크화된 커뮤니케이션 및 협업의 체계를 가지게 된다. 즉, 4차 산업은 유연한 시스템과 기계(flexible systems and machines)들의 구조가 되며, 기능들은 네트워크에 걸쳐 분산화(functions are distributed throughout the network)되며, 참여 컴포넌트들은 계층구조를 뛰어넘는

상호작용(participants interact across hierarchy levels)할 수 있으며, 모든 컴포넌트들이 상호 커뮤니케이션(communication among all participants)이 가능해지며, 제품도 스마트 개체로써 네트워크 구성요소의 일원(product is part of the network)이 된다.

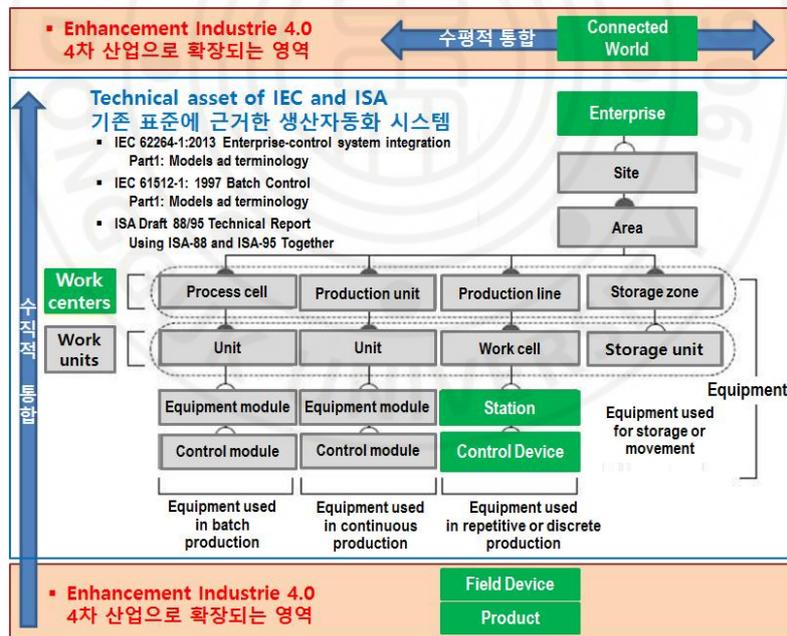


[그림 39] 3차 산업 공장과 4차 산업 공장의 컴포넌트

이와 같이 제품의 전 생애주기에 걸친 모든 I4.0 컴포넌트가 자율화에 기반한 분산 네트워크화가 가능하게 될 수 있는 것은 [그림 40]에 그 개념도를 예시한 바와 같이 기존의 MES(생산관리시스템, manufacturing execution system)가 하나의 단위공장(site)의 자동화에 초점을 맞춘 것에 반해 4차 산업은 제품의 전 생애주기에 걸친 모든 가치사슬의 가치창출 컴포넌트를 연계 및 통합하여 협업할 수 있는 구조를 지원한다.

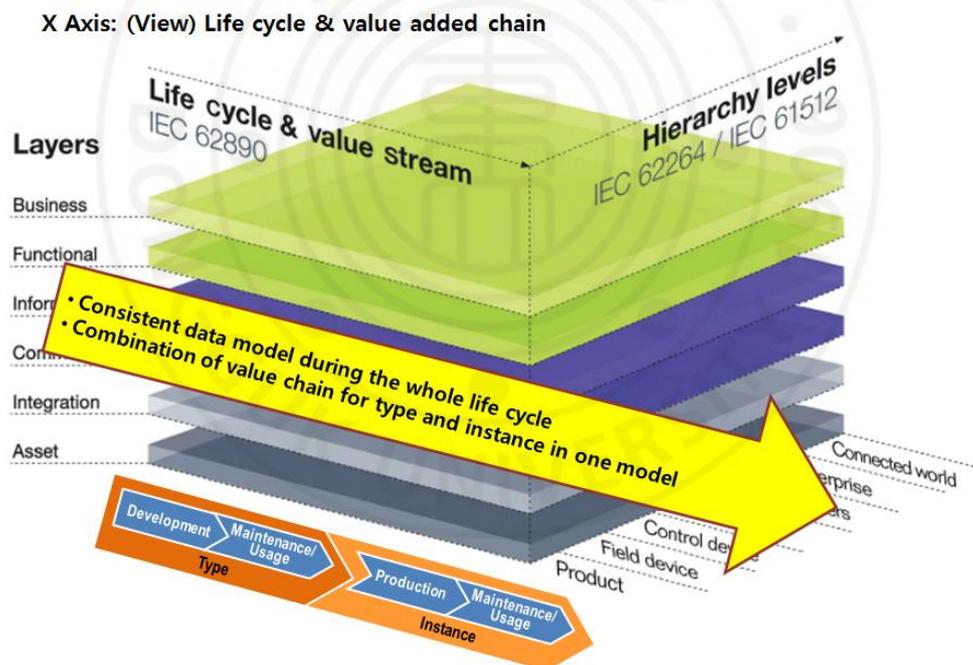
즉, 기존의 MES가 하나의 단위공장의 자동화를 위한 IEC(국제전기표준회의, International Electrotechnical Committee)의 엔터프라이즈 제어 시스템 통합에 관한 국제 표준(an international standard for

enterprise-control system integration), 및 ISA(국제자동제어협회, International Society of Automation)의 엔터프라이즈와 제어시스템 간의 자동화된 인터페이스(an international standard for developing an automated interface between enterprise and control systems) 표준 안에 기반하였다면, 4차 산업은 기존에는 자동화 제어 영역에 배제되었던 제품(product)과 필드 장치(field device), 및 제어장치(control device), 작업장(station), 작업센터(work center)까지도 자율적인 I4.0 컴포넌트화하여 수직적 통합을 통해 단위 엔터프라이즈(enterprise) 또는 공장의 스마트화를 구현하면서 제품의 전 생애주기에 참여하는 모든 엔터프라이즈 및 공장들을 수평적으로 통합하여 연결된 세상(connected world)을 구현하여 4차 산업의 지능형 공장과 스마트 제조를 구현한다.



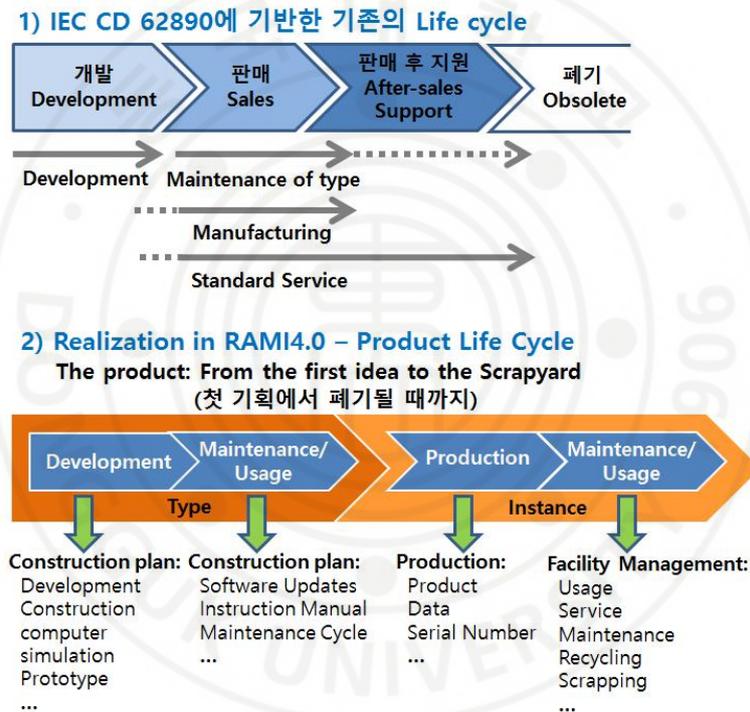
[그림 40] RAMI4.0의 새로운 컨트롤 피라미드 체계(Zezulka, et. al., 2016)

RAMI4.0 모델의 X축은 [그림 41]과 같이 제품(product)에 대한 생애주기와 가치흐름(life cycle and value stream)을 나타낸다. 제품의 생애주기는 제품에 대한 첫 아이디어에서부터 제품이 생산되고 소비자에 의해 사용되다가 결국에는 폐기될 때까지(from the first idea to the Scrapyard)의 전 생애주기를 의미한다. 즉, X축은 전 생애주기에 걸쳐 일관성 있는 I4.0 컴포넌트 데이터 모델(consistent data model during the whole life cycle)을 정의하고, 또한 하나의 모델에 타입과 인스턴스에 대한 가치사슬의 조합(combination of value chain for type and instance in one model)을 나타낸다(Zezulka, et. al., 2016).



[그림 41] RAMI4.0 3차원 모델의 X축, 생애주기와 가치흐름 (Life cycle & Value stream)

기존의 제품의 생애주기에 관한 인식은 [그림 42]의 1)에 예시된 바와 같이 생애주기를 IEC CD 62890에 기반하여 개발(development), 판매(sales), 판매 후 지원(after-sale support), 및 폐기(obsolete) 등의 순차적 프로세스로 인식하였다면 RAMI4.0에서는 [그림 42]의 2)와 같이 제품의 첫 기획에서부터 폐기까지, 타입과 인스턴스가 제품의 수명이 종료될 때까지 수차례 순환된다는 인식을 가진다.



[그림 42] 전통적 및 RAMI4.0의 생애주기

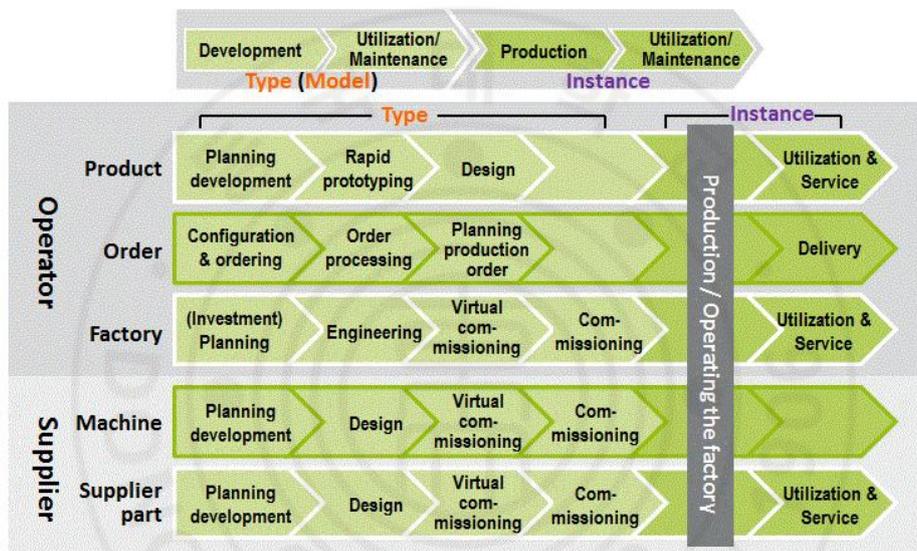
타입(type)이란 어떤 제품(product), 기계(machine), 또는 HW/SW의 초기 아이디어(initial idea)를 의미하며, 설계 오더 배치(the placing of design orders), 제품의 프로토타입까지의 개발 및 테스트(development and testing up to the prototype of production)를 포함하며, 모든 테

스트와 유효성 검사(all tests and validation)가 완료되면 타입은 연속 생산(serial production)을 위해 준비된다. 제조된 각 제품(each manufactured product)은 해당 타입의 인스턴스(an instance of that type)라 하며 이때 비로서 고유한 일련번호(a unique serial number)가 부여될 수 있는 상태가 되며, 이를 인스턴스(instance)라 한다. 고객 관점에서 제품은 초기에는 타입이 되며, 특정 시스템에 설치될 때 인스턴스가 된다. 이렇듯 타입에서 인스턴스로의 변경은 여러 번 반복될 수 있다.

RAMI4.0 모델의 가치흐름(4차 산업 아이디어와 활용, (in the Industry 4.0 idea and praxis)이 디지털화되고 연계되면 생산된 타입의 개선 가능성이 매우 크게 될 수 있다. 완전히 디지털화된 생산의 가치흐름은 구매, 주문 계획, 조립, 물류, 유지 보수, 고객 및 공급 업체 등의 연결을 가능하게 하며, 큰 발전 잠재력을 제공하며, 인스턴스로부터의 피드백은 타입의 수정으로 이어지고, 이는 곧 수정된 유형의 인스턴스를 생산할 기회를 갖게 된다. 또한 류 데이터를 사용하여 조립할 수 있으며, 구매 시 실시간으로 재고를 볼 수 있으며, 언제든지 공급 업체의 부품이 있는지, 고객은 생산 중에 제품의 완료 상태 등을 알 수 있는 등, 라이프 사이클은 현재 생산 중인 제품과 가치 창출 과정이 분리되지 않고 함께 볼 수 있게 된다.

RAMI4.0의 x축에 정의된 타입과 인스턴스 흐름의 라이프 사이클은 단지 제품에 대한 라이프사이클만을 의미하지 않는다. 즉, RAMI4.0 x축의 라이프 사이클은 제품뿐만 아니라 제조현장을 구성하는 모든 엔티티 또는 객체들에 대한 라이프 사이클을 의미하며, 모든 엔티티 또는 객체에 대한 라이프 사이클 데이터를 관리하고 연동을 통해 각 엔티티 또는 객체의 라이프 사이클 전반에 걸친 개선 및 보완을 도모하여 결국에는 전체 공장에 대한 생명주기 전반을 개선하고자 하는 목적을 가지고 있다.

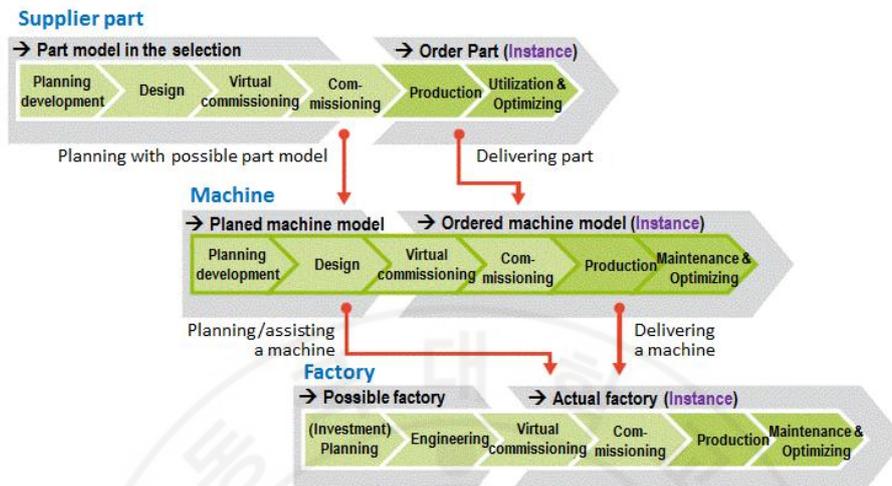
[그림 43]은 제조현장의 각 엔티티 또는 객체별로 서로 상이한 라이프 사이클을 가지고 있음을 나타내는 예시이다. 즉, 제품, 주문, 공장, 기계, 및 부품 등이 서로 상이한 세부적 라이프 사이클을 보유하고는 있지만 전체적으로는 인스턴스가 생성되기 이전인 타입과 실체가 형성되는 인스턴스 단계를 가지고 있음을 나타내고 있다.



[그림 43] 엔티티/객체 별 라이프 사이클의 예

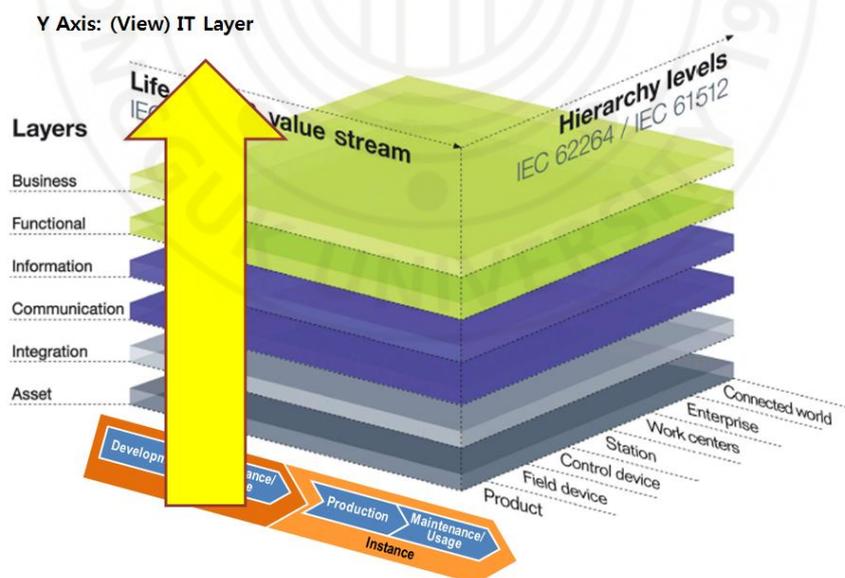
가치 스트림에 존재하는 각 엔티티 또는 객체는 가치 스트림에 존재하는 이해관계자(stakeholder)의 관점에서 각 엔티티 또는 객체를 투영하기에 각 엔티티 또는 객체에 대한 타입과 인스턴스가 형성 또는 결정되는 시점이 다르게 된다.

[그림 52]는 가치사슬 내의 각 이해관계자가 투영하는 엔티티 또는 객체에 대한 타입과 인스턴스 형성시기를 예로 나타낸 것이다.



[그림 44] 이해관계자 관점에서의 타입과 인스턴스

마지막으로 RAMI4.0을 구성하는 Y축은 [그림 45]와 같이 자산에서부터 비즈니스까지 세분화된 계층적 IT 계층을 나타낸다.



[그림 45] RAMI4.0 3차원 모델의 Y축, IT 레이어

즉, 자산(asset) 레이어는 센서, 액추에이터, 기계적 부품(mechanical parts), 문서(documents), 및 IP 등과 같은 공장 내의 자산들을 나타내며, 통합(Integration) 레이어는 실세계(real world)와 IT 표현(IT representation)을 연결하는 것과 자산에 대한 인간과 기계간의 인터페이스(MHI of assets)를 나타내고, 커뮤니케이션(communication) 레이어는 정보계층에 대한 조화로운 커뮤니케이션(harmonized communication towards the information layer)과 필요할 경우 (예, 시간에 민감한 응용 프로그램, time sensitive application, 등) 실시간 네트워크를 통한 직접 통신 기능을 포함한다.

정보(information) 레이어는 I4.0 컴포넌트를 준수하는 데이터의 표현이나 액세스(I4.0 compatible data representation and access)를 담당하며, 기능(functional) 레이어는 자산에 대한 I4.0을 준수하는 기능적 액세스(I4.0 compatible functional access to the assets), 및 비즈니스 프로세스에 대한 기본적인 서비스를 담당하며, 마지막 계층인 비즈니스(business) layer는 비즈니스 프로세스를 구현(realization of business processes)하는 계층이다.

제 3 절 4차 산업 IT 인력 핵심역량 프레임워크 개발

1. 4차 산업 IT 인력의 핵심역량 기본 프레임워크 구조

(The Basic Framework Architecture of the Core Competency for IT personnel)

본 연구에서는 4차 산업 IT 인력의 핵심역량 프레임워크를 개발하기 위해 단계적 접근법을 활용하였다. 즉, 거시적 관점에서 4차 산업을 위한 IT 인력의 핵심역량의 틀인 기본 프레임워크 구조를 선 개발한 이후, 기본 프레임워크의 각 부분을 세분화하여 정의하는 방법을 활용하였다.

4차 산업사회란 IT적 관점으로 투영해 볼 때 현실세계와 동치화되어 운영되는 거대한 클라우드 시스템들이 통합된 시스템(A cloud system of systems)인 CPS로 간략히 정의할 수 있고, CPS의 최우선 가치는 협업(collaboration)이기에 [그림 8]에서 제시한 바와 같이 CPS를 구성하는 요소 간 커뮤니케이션(communication), 협업(collaboration), 및 조정(coordination)이 핵심적인 가치라 할 수 있다. 이와 같이 3C로 특징되는 4차 산업 사회의 가치를 충족시키기 위해서는 21세기의 삶을 영위하기 위해 각 개인이 필요로 하는 기본적 핵심역량을 정의한 DeSeCo의 핵심역량 과도 맥을 같이 한다.

따라서 본 연구에서 개발한 4차 산업 IT 인력의 핵심역량의 기본 틀은 [그림 46]에서 제시한 바와 같이 DeSeCo의 21세기 핵심역량을 기본적인 역량으로 규정하였다. 이와 같은 역량을 갖추으로써 21세기의 사회적인 삶뿐만 아니라 CPS의 핵심가치인 3C(communication, collaboration,

and coordination)에 대한 이해와 수행 잠재능력이 있을 것으로 판단하였다.

본 연구에서 개발하여 제시하는 핵심역량 프레임워크는 일반적인 대중 또는 4차 산업 가치사슬에 존재하는 다양한 이해관계자를 위한 보편적 참조모델이 아니라 특정한 기술 집단인 IT 인력의 핵심역량을 규명하기 위함이다. 따라서 보편적인 DeSeCo의 21세기 핵심역량을 기본으로 하되, IT 인력에게 요구되는 특정한 기술적 역량이 필요할 것으로 판단하였다. 이에 따라 [그림 46]에 제시한 바와 같이 4차 산업의 참조 모델인 RAMI4.0을 참조하되, 이를 IT 인력의 기술적 기반 핵심역량으로 재 규명한 ‘RAMI4.0 기반 IT 핵심 역량’을 개발하였다.

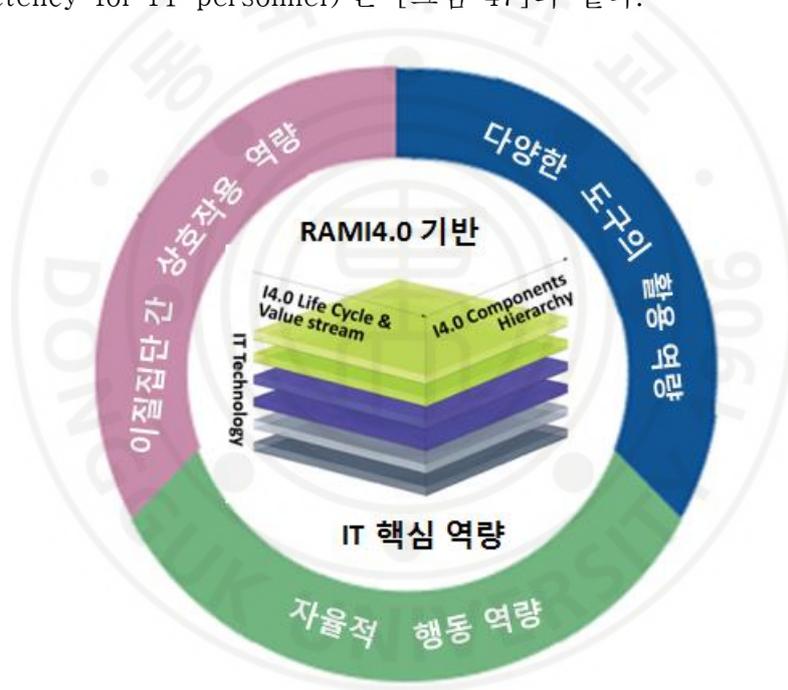


[그림 46] 4차 산업 IT 인력 핵심역량
기본 프레임워크 구조

2. 4차 산업 IT 인력의 핵심역량 프레임워크

(The Framework of the Core Competency for IT personnel)

본 연구에서 개발한 거시적 관점에서 4차 산업을 위한 IT 인력의 핵심역량의 틀인 기본 프레임워크 구조인 [그림 46]을 세분화하여 도출한 ‘4차 산업 IT 인력의 핵심역량 프레임워크(The Framework of the Core Competency for IT personnel)’은 [그림 47]과 같다.



[그림 47] 4차 산업 IT 인력 핵심역량 프레임워크

IT 인력뿐만 아니라 21세기를 살아갈 모든 사람들이 보편적으로 가져야 할 역량이 DeSeCo의 연구결과인 1) ‘사회적으로 이질적인 집단 내에서의 상호작용 능력(interacting in socially heterogeneous groups)’, 2)

‘자율적인 행동 능력(acting autonomously)’, 3) ‘여러 도구들을 상호작용적으로 활용할 줄 아는 능력(using tools interactively)’ 등의 3가지 역량이며, 이 세 가지 역량을 본 연구에 차용하여 [그림 47]과 같이 기본 역량으로 정의하였다.

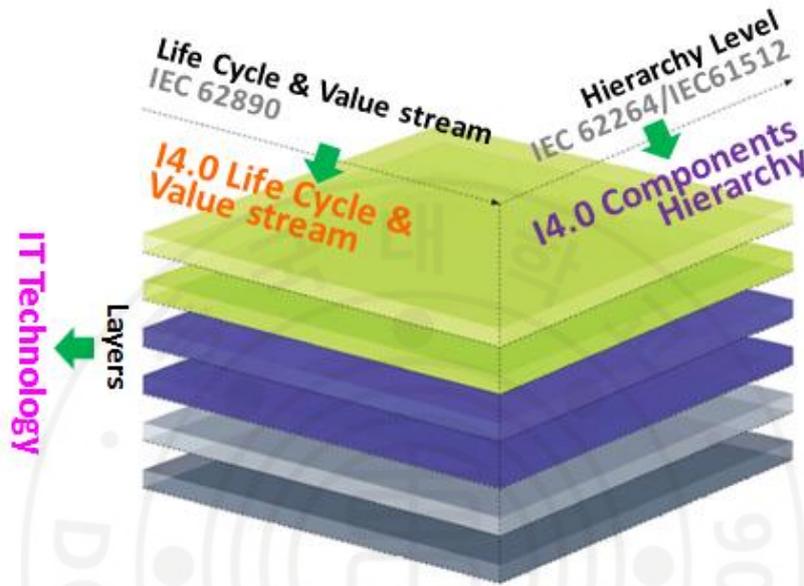
본 연구는 4차 산업시대의 IT인력에 대한 핵심역량을 개발, 제시하기 위해 기본적으로는 RAMI4.0을 차용하되, 이를 IT 인력의 핵심역량에 부합하도록 수정하였다. 즉, RAMI4.0은 4차 산업사회를 구성하는, 또는 4차 산업사회의 가치사슬에 참여하는 모든 이해관계자(stakeholder)가 참조하는 보편적 모델이기에 이를 특정 집단이 IT 인력에 부합하도록 재조명되고 수정되어야 할 필요가 제기된다. 이러한 관점에서 다음과 같은 절차로 4차 산업 IT 인력의 핵심역량 프레임워크를 개발 및 정의하였다.

RAMI4.0(Reference Architecture Model 4.0)은 4차 산업사회 또는 지능형 공장을 구축하기 위한 참조모델로서 독일정부의 산업에너지부(Federal Ministry for Economic Affairs and Energy)와 교육연구부(Federal Ministry of Education and Research)가 초안하고 국제적 표준기관인 IEC와 IOS 등에서 표준으로 논의되고 있는 모델이다.

본 연구에서 규명한 RAMI4.0 기반 IT 핵심역량은 [그림 48]과 같다. RAMI4.0은 4차 산업의 모든 이해관계자가 참조하는 보편적 모델이기에 본 연구에서는 이를 IT 인력에게 요구되는 핵심역량을 도출하기 위해 각 축의 정의와 구성요소를 IT 기술적 관점으로 다음과 같이 재 정의하였다.

RAMI4.0의 Z축은 IEC 62264 및 IEC61512의 표준에 따르는 4차 산업의 구성요소인 제품(product)에서부터 기업(enterprise) 또는 공장(factory), 더 나아가 연결된 사회(connected world)를 나타냈으나 본 연구의 프레임워크에서는 RAMI4.0의 계층적 구조를 구현할 수 있는 IT의

기술적 관점으로 재 투영하여 이를 4차 산업 컴포넌트 구조(I4.0 Components Hierarch)라 정의하였다.



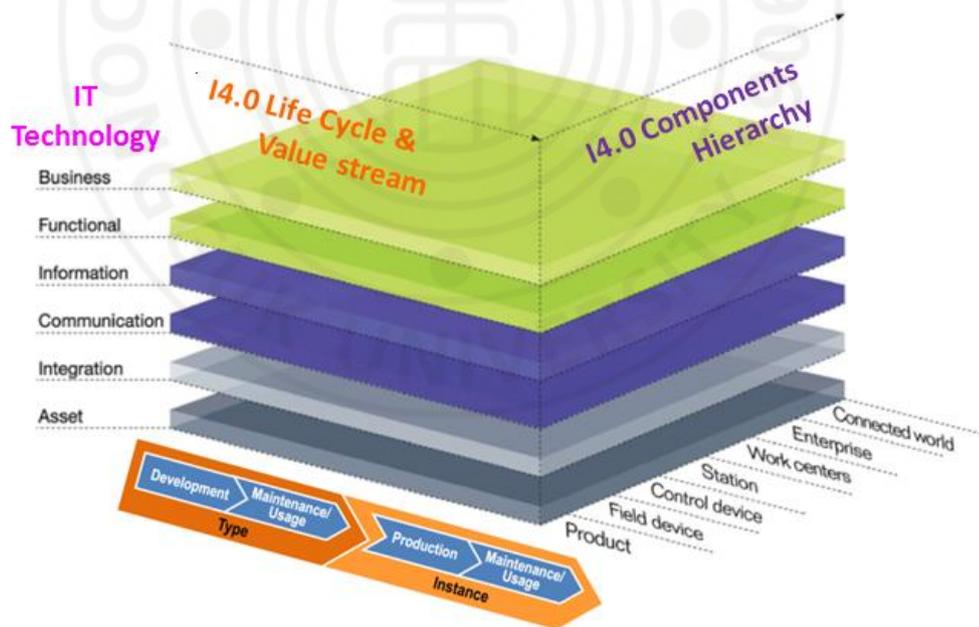
[그림 48] RAMI4.0 기반 IT 핵심역량의 도출

RAMI4.0의 X축은 제품을 포함한 4차 산업 모든 구성요소의 생애주기와 가치흐름을 나타낸다. 본 연구가 제안하는 프레임워크에서는 다양한 이해관계자들의 시각을 나타내는 보편적 시각이 아닌 특정 집단인 IT 인력을 위한 생애주기와 가치흐름을 나타내야 된다. 따라서 보편적 생애주기와 가치흐름을 규명한 IEC 62890 기반의 생애주기와 가치흐름을 ‘4차 산업 컴포넌트의 생애주기와 가치흐름(I4.0 Life Cycle & Value Stream)’으로 재정의하였다. 즉, 물리적 세계에서는 다양한 물리적 개체들이 생애를 가지며 흐르지만 IT적 관점에서는 CPS 또는 CPPS 내에 I4.0 컴포넌트가 생애를 가지고 흐르게 된다. 따라서 본 연구에서 제시하는 프레임워크의 X축을 ‘4차 산업 컴포넌트의 생애주기와 가치흐름(I4.0 Life Cycle &

Value Stream)’로 규명한다.

마지막으로 RAMI4.0의 Y축은 자산(asset)에서부터 비즈니스(business)까지 4차 산업 기업에서 발견할 수 있는 물리적 및 논리적 개체들의 계층(layer)을 나타낸다. 본 연구에서 제시하는 프레임워크에서는 4차 산업 공간에서 발견할 수 있는 물리적 또는 논리적 개체들이 아닌 이러한 개체들을 계층적으로 구축하고 또한 스마트하게 만들 수 있는 ‘IT 기술(IT Technology)’로 정의하였다.

전술한 바와 같이 4차 산업 공간의 모든 이해관계자들이 참조할 수 있는 4차 산업의 보편적 프레임워크인 RAMI4.0을 IT 기술적 관점에서, IT 인력이 보유해야 할 역량 프레임워크로 재 정의하였으며, 이를 [그림 49]와 같이 정의하였다.



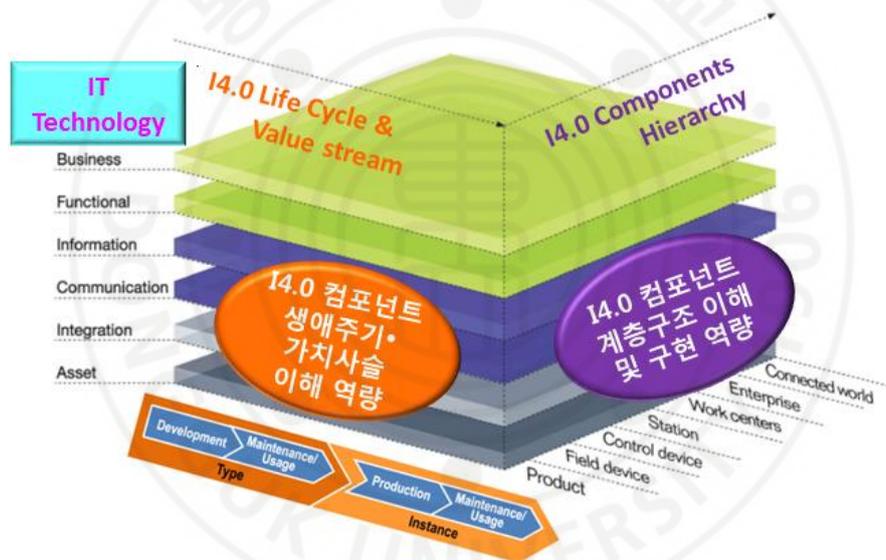
[그림 49] RAMI4.0 기반 IT 핵심역량 프레임워크

3. 4차 산업 IT 인력의 핵심 역량 프레임워크 항목

(The Core Competency Items of IT personnel in I4.0)

4차 산업 IT 인력의 핵심역량 프레임워크의 완성도를 높이기 위해서는 [그림 47]과 [그림 49]에서 제시한 프레임워크에서부터 구체화된 IT 핵심역량을 도출할 필요성이 제기되며, 다음과 같은 절차로 이를 규명하였다.

먼저 [그림 49]의 RAMI4.0 기반 IT 핵심역량 프레임워크에 대해 [그림 50]과 같은 세 가지 IT 핵심 역량 세부 분야를 파악하였다.



[그림 50] I4.0 IT 핵심역량 분야

RAMI4.0의 Y축에 정의된 4차 산업 구성요소의 계층구조(hierarchy level)은 본 연구에서 IT적 관점으로 I4.0 컴포넌트 구조로 투영하였고, 이 구조를 구축할 수 있는 역량으로 ‘I4.0 컴포넌트 계층구조의 이해 및 구현 역량(The competency of understanding and implementing I4.0 components hierarchy)’으로 정의하였다.

RAMI4.0의 Y축에 정의된 4차 산업 구성요소의 생애주기 및 가치흐름 (life cycle and value stream)는 IT적 관점으로 I4.0 컴포넌트의 생애주기 및 가치흐름으로 투영하였고, IT 인력이 이해해야 될 대상은 보편적인 생애주기와 가치흐름에 더하여 ‘I4.0 컴포넌트의 생애주기 및 가치사슬에 대한 이해 역량(The competency of understanding I4.0 components life cycle and value stream)’으로 파악하였다.

마지막으로 RAMI4.0의 Y축인 계층(layer)는 IT적 관점에서 비즈니스 또는 공장 내의 물리적 및 논리적 개체들의 계층을 형성할 수 있는 ‘IT 기술 역량(The Competency of IT Technology for I4.0 layer)’로 정의하였다. 이를 요약하여 정리하면 [표 1]과 같다.

<표 1> I4.0 IT 역량 분류표

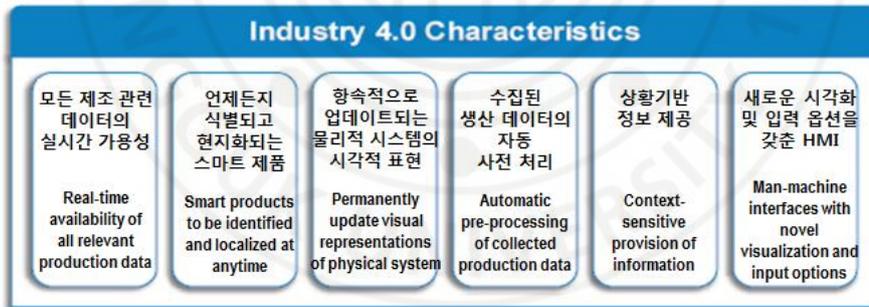
	I4.0 컴포넌트에 대한 비즈니스적 역량	I4.0 컴포넌트에 대한 IT 기술적 역량
Z 축	<ul style="list-style-type: none"> I4.0 컴포넌트 계층구조의 이해 	<ul style="list-style-type: none"> I4.0 컴포넌트 구현 역량
X 축	<ul style="list-style-type: none"> I4.0 컴포넌트 생애주기에 대한 이해 I4.0 컴포넌트 가치흐름에 대한 이해 	
Y 축	<ul style="list-style-type: none"> 비즈니스 또는 공장의 계층구조와 기능에 대한 이해 	<ul style="list-style-type: none"> I4.0 컴포넌트 계층화 역량 I4.0 컴포넌트 기능화 역량

IT 인력은 IT 시스템을 구축할 대상체인 비즈니스에 대한 기본적 이해를 바탕으로 요구사항을 도출하고, 이를 바탕으로 IT 기술을 적용하여 시스템을 구현하는 직무를 가진다.

따라서 4차 산업 시대의 IT 인력은 4차 산업에 대한 비즈니스적 관점의 역량과 더불어 4차 산업 시스템을 구현할 수 있는 IT기술적 역량도 보유해야 한다.

본 연구에서 도출한 4차 산업 IT 인력의 비즈니스적 핵심역량은 [표 1]에서 제시한 바와 같이 I4.0 컴포넌트에 대해 1) 계층구조, 2) 생애주기, 3) 가치흐름, 및 4) 비즈니스 또는 공장의 계층구조와 기능 등에 대한 비즈니스적 역량을 보유해야 한다. IT 기술적 관점의 역량은 [표 1]에서 제시한 바와 같이 I4.0 컴포넌트에 대해 1) 계층화, 2) 기능화, 및 3) 구현 역량을 보유해야 한다.

본 연구에서 도출한 IT 기술적 관점의 역량인 I4.0 컴포넌트에 대해 1) 계층화, 2) 기능화, 및 3) 구현 역량은 포괄적 관점의 역량이기에 이를 이해하고 학습하기 위해서는 보다 세밀화된 IT 요소기술로 매핑할 필요성이 제기되며, 본 연구에서는 다음과 같은 절차로 진행하였다.



[그림 51] 4차 산업의 기술적 관점의 특징 (Schuh, et. al., 2015)

4차 산업에 대한 IT 기술적 관점의 특징은 [그림 51]에 정리한 바와 같이 1) 모든 제조 관련 데이터의 실시간 가용성(Real-time availability of all relevant production data), 2) 언제든지 식별되고 현지화되는 스마

트 제품(Smart products to be identified and localized at anytime), 3) 항속적으로 업데이트되는 물리적 시스템의 시각적 표현(Permanently update visual representations of physical system), 4) 수집된 생산 데이터의 자동 사전 처리(Automatic pre-processing of collected production data), 5) 상황기반 정보 제공(Context-sensitive provision of information), 및 6) 새로운 시각화 및 입력 옵션을 갖춘 HMI(Man-machine interfaces with novel visualization and input options)으로 정의된다(Schuh, et. al., 2015)

본 연구에서는 [그림 50]에서 제시한 RAMI4.0 기반 IT 핵심역량 프레임워크의 Y 축인 IT Technology의 요소 기술항목을 도출하기 위해 4차 산업의 IT 기술적인 특징을 정의한 [그림 51]의 항목을 cross mapping하여 [그림 52]와 같은 세부 기술항목을 도출하였다. 즉, 비즈니스 또는 공장의 각 레이어를 구축하기 위해 각 레이어에서 4차 산업의 특징을 나타내기 위한 핵심적 기술 요소를 도출한 결과

- 1) CPS 또는 CPPS를 구현하기 위한 클라우드 기술은 특징의 전 항목을 구현하기 위한 가장 핵심적인 기술이었고
- 2) 산업인터넷(IIoT), 사이버보안(Cyber Security), 및 I4.0 컴포넌트 구현 기술은 자산, 통합, 및 커뮤니케이션 계층의 핵심 기술이며,
- 3) 빅데이터, , 빅데이터분석(big data analytics), 및 인공지능(AI)은 데이터 처리과정의 핵심기술로 파악되었으며,
- 4) 데이터 시각화(data visualization) 및 인간-기계 인터페이스(HMI)는 4차 산업이 사람중심이기에 특히 강조되고 있으며
- 5) 사전서비스를 위한 고장예지 및 건전성관리 시스템(PHM)이 주요 기술로 도출되었다.

계층	요구사항	모든 제조 관련 데이터의 실시간 가용성	인제든지 식별되고 현지화되는 스마트 제품	항속적으로 업데이트되는 물리적 시스템의 시각적 표현	수집된 생산 데이터의 자동 사전 처리	상황 기반 정보 제공	새로운 시각화 및 인력 움직임을 갖춘 HMI
Business	비즈니스 프로세스 구현						
Functional	자산에 대한 I4.0을 준수하는 기능적 액세스 및 비즈니스 프로세스			• Data Visualization • HMI	• Big Data Analytics • AI		• HMI
Information	I4.0 컴포넌트를 준수하는 데이터의 표현이나 액세스			• Cloud			
Communication	정보계층에 대한 조화로운 커뮤니케이션)과 필요할 경우 실시간 네트워크를 통한 직접 통신 기능			• Big Data		• PHM	• Data Visualization • HMI
Integration	실세계와 IT 표현을 연결하는 것과 자산에 대한 인간과 기계간의 인터페이스	• IIoT • I4.0 Component • Cyber Security					• IIoT • I4.0 Component • Cyber Security
Asset	센서, 액추에이터, 기계적 부품, 문서 및 IP 등과 같은 공장 내의 자산						

[그림 52] RAMI4.0 기반 IT 핵심역량 프레임워크의 Y 축, IT Technology의 요소 기술항목

제 4 장 결 론

제 1 절 연구의 결과 및 시사점

본 연구는 전 세계적으로 화두가 되고 있는 4차 산업혁명, 4차 산업 사회, 및 4차 산업형 지능형 공장과 스마트 제조에 대해 연구를 진행하였고, 4차 산업 시대를 선도할 IT 인력의 핵심역량 프레임워크와 핵심역량 항목을 개발하여 제시하였다.

최근들어 독일과 미국 등의 선진국들은 이미 4차 산업형 산업의 구현에 진일보하고 있으나 국내는 여러 가지 정치 경제적 문제 등으로 인하여 4차 산업에 대한 관심과 추진이 진부한 것이 현실이다. 이러한 현실에도 불구하고 4차 산업 사회 및 4차 산업형 스마트 제조는 비즈니스의 성장을 위해서만이 아니라 가까운 미래에 경쟁력 상실로 인한 존폐의 위기까지 몰리게 되는 비즈니스의 지속가능성에 문제를 야기할 것으로 예측되기에 우리나라도 이에 대한 대비 또는 4차 산업의 도입과 확산이 시급히 필요한 시점이라 할 수 있다.

4차 산업혁명은 최신의 IT 기술을 적용한 IT 주도의 산업혁명을 의미한다. 거시적 관점으로는 현실세계를 완전히 디지털화한 가상세계를 구축하고, 가상세계에서 빅데이터와 인공지능 기술을 이용하여 현실세계의 모든 개체들을 스마트하고 상호 협력하는 사회를 구현하고자 하는 목표를 가지고 있다.

미시적 관점으로는 4차 산업 생태계를 구축하고, 비즈니스 가치사슬을 디지털화하여 지능형 공장과 스마트 제조를 구현함을 목표로 한다. 지능형

공장과 스마트 제조를 구현하기 위해서는 제품의 생애주기에 관여하는 모든 이해관계자의 시스템을 클라우드에 통합하여 원자재 조달부터 출시와 완제품의 서비스에 이르기까지 모든 가치사슬을 첨단화하고, 소비자의 개별 주문을 수용하는 매스 커스터마이징의 구현을 목표로 한다.

기술적 측면에서의 4차 산업은 산업인터넷(IIoT) 기술을 활용해 제조시설 내의 모든 개체에 대한 상태정보를 실시간으로 수집해 생산공정을 모니터링하고 고장예지 및 건전성관리 시스템에 의해 비정상 상황의 발생을 최소화하여 가동중단시간(downtime)을 최소화하며, 또한 생산공정에 참여하는 모든 개체들이 서로 커뮤니케이션하고 협업하는 체제를 구축하여 불량률을 최소화할 뿐만 아니라 품질의 극적인 개선을 하고자 함이며, 궁극적으로는 제조업의 공급, 생산, 유통, 판매, 사전 및 사후 서비스에 이르는 전 가치사슬을 가상 세계인 CPS 또는 CPPS로 구현하여 새로운 비즈니스 가치를 창출하고 새로운 비즈니스 모델을 개발하여 고객만족을 극대화하며 비즈니스의 지속가능성을 제고함을 목적으로 하고 있다.

이렇듯 제조 선진국들은 4차 산업형 지능형 공장과 스마트 제조 시스템 구축에 박차를 가하고 있으나 우리나라는 아직 도입단계에 머무르고 있는 실정이다. 이러한 환경을 개선하고자 본 연구는 4차 산업이 현실세계의 디지털화라는 큰 과제를 수행해야 할 국내 IT 인력의 기술적 혁신이 무엇보다도 필요한 시점이라는 인식하에 4차 산업 IT 인력의 핵심역량 프레임워크를 개발하여 제시하였으며, 4차 산업 시스템인 CPS 또는 CPPS를 구현하기 위해 필수적으로 갖추어야 할 IT 기술항목을 도출하여 제시하였다.

본 연구는 글로벌화되며 CPS 또는 CPPS에 의한 가상세계가 구현될 21세기는 사회적이나 기술적으로 서로 다른 이질적 집단이나 개체들의 상호작용이 일반화되며, 4차 산업사회가 완전히 분산화 및 분권화되는 세상을

추구하기에 각 개체의 자율성이 요구되며, 또한 현실세계의 디지털화가 추구되기에 IT를 포함한 다양한 도구들의 활용능력이 요구된다는 관점에서 DeSeCo가 제시한 21세기 핵심역량을 가장 근원적인 역량으로 하는 프레임워크를 개발하였고, 가치사슬 내에 존재하는 모든 이해관계자가 참조할 수 있는 4차 산업의 프레임워크인 RAMI4.0을 특수한 기술적 집단인 IT 인력을 위한 프레임워크로 수정하여 4차 산업 IT 인력의 핵심역량 프레임워크를 개발하여 제시하였다.

본 연구에서 제시한 4차 산업 IT 인력의 핵심역량 프레임워크로부터 '이질집단 간 상호작용 역량', '자율적 행동 역량', 및 '다양한 도구의 활용 역량'의 기본적 역량을 도출하였고, 거시적 IT 역량으로는 비즈니스적 역량으로는 I4.0 컴포넌트에 대해 '계층구조', '생애주기', '가치흐름' 및 '비즈니스 또는 공장의 계층구조와 기능'에 대한 이해력이 요구되며, I4.0 컴포넌트에 대한 IT 기술적 역량으로는 '구현', '계층화', '기능화'에 관한 역량이 요구됨을 파악하였다.

또한 핵심 기술적 항목으로는 '클라우드', '산업인터넷', '사이버보안', 'I4.0, 구현기술', '빅데이터', '빅데이터 분석', '인공지능', '데이터 시각화', '인간-기계 인터페이스', 및 '고장예지 및 건전성 관리' 등의 요수기술이 IT 인력에게 요구됨을 본 연구의 결과로 도출하였다.

제 2절 연구의 한계 및 향후 연구 방향

본 연구는 4차 산업을 주도할 IT 인력에게 요구되는 핵심역량에 대한 프레임워크를 개발 및 제시하여 4차 산업을 위한 IT 인력에게 필요로 하는 역량을 체계화하였고, 이 프레임워크를 세분화하여 각 프레임워크의 향

목들이 필요로 하는 IT 인력의 기술적 항목을 도출하여 제시하였기에 4차 산업을 대비하는 산업계 및 IT 인력에게 필요로 하는 기술체계와 항목들을 활용하여 현 상황을 분석 및 보완할 수 있는 기회를 제공하는 연구 성과가 기대되고 있다.

본 연구에서 제시한 4차 산업 IT 인력의 핵심역량 프레임워크와 기술 항목들이 보다 더 널리 활용되기 위해서는 다음과 같은 후속연구가 필요할 것으로 판단한다.

첫째, 본 연구의 결과인 4차 산업 IT 인력의 핵심역량 프레임워크와 기술 항목들에 대한 국내 현황에 대한 후속연구가 필요할 것이다. 즉, 본 연구에서 기본 틀은 제시하였지만 국내적 현실에서 각 프레임워크의 영역이나 제시한 기술 항목들에 대한 국내 기술의 현실에 대한 탐색적 연구가 필요할 것이다. 이와 같은 후행 연구를 통해 각 프레임워크의 영역과 기술적 항목에 대한 성숙도를 판단하여 시급히 보완해야할 영역 등을 도출하는 것이 4차 산업을 정착시키기 위해 필요할 것으로 판단된다.

둘째, 본 연구의 결과인 4차 산업 IT 인력의 핵심역량 프레임워크와 기술 항목들에 대한 국내 IT 인력의 기술 성숙도에 관한 탐색적 연구의 결과를 활용하여 IT 인력에 대한 체계적인 재교육 시스템의 구축이 필요할 것이다. 즉, 재교육이 필요한 영역에 대한 효과적인 교육시스템과 교육 커리큘러 등을 개발하여 IT 인력의 4차 산업에 대한 기술적 역량을 제고함으로써 4차 산업을 구현함에 있어서 IT 기술적 차질이 없을 것으로 기대된다.

참고문헌

[국내문헌]

- [1] 김인근, 이종옥. (2015). 역량기반 교육모델 관점의 플립수업 성과에 관한 연구, *중등교육연구*, 제63권, 4호, pp. 505-538.
- [2] 두산백과,
<http://terms.naver.com/entry.nhn?docId=1108641&cid=40942&categoryId=31818>
- [3] 소경희(2007). 학교교육의 맥락에서 본 ‘역량 (competency)’의 의미와 교육과정적 함의. *교육과정연구*, 25(3), pp.1-21.
- [4] 양숙희, 이종옥.(2015) 플립수업이 학습자의 수업참여와 수업만족 및 자기 효능감에 미치는 영향에 관한 연구, *학습자중심교과교육연구*, 제15권 제10호, pp.965-995.
- [5] 위키백과,
https://ko.wikipedia.org/wiki/%EC%82%B0%EC%97%85_%ED%98%81%EB%AA%85
- [6] 이기중, 박지혜, 박혜영, 김재현(2011). 전문대학 교육성과 평가를 위한 지표 개발. *직업교육연구*, 30(1), 151-169.
- [7] 이난경과 이종옥, (2014) 모바일 개인생활의료정보관리시스템에 관한 연구, *정보처리학회지 의료-IT 특집호*, 제21권 제5호, pp. 52-63
- [8] 이난경과 이종옥, (2015) 중소형 병원의 클라우드 병원정보시스템 서비스 체계에 관한 연구, *한국전자거래학회지*, 제20권 제3호, pp. 89-112
- [9] 홍원표, 이근호(2011). 역량기반 교육과정의 현장 적용 방안 연구. *캐나다 퀘벡의 사례를 중심으로. 교육과정연구*, 29(1), pp.67-86.

[외국문헌]

- [10] Bagheri, B., Yang, S., Kao, H. A., & Lee, J. (2015). Cyber-physical systems architecture for self-aware machines in industry 4.0 environment. *IFAC-PapersOnLine*, 48(3), 1622-1627.
- [11] Ananiadou, K. & Claro, M. (2009). 21st century skills and competences for new millennium learners in OECD countries.
- [12] Erol, S., Jäger, A., Hold, P., Ott, K., & Sihn, W. (2016). Tangible Industry 4.0: a scenario-based approach to learning for the future of production. *Procedia CIRP*, 54, 13-18.
- [13] Gonczi, A., & Hager, P. (2010). The competency model. *International encyclopedia of education*, 8, 403-410.
- [14] Grönroos, C. & P. Voima. (2013), "Critical service logic: making sense of value creation and co-creation", *Journal of the Academy of Marketing Science*, 41(2), pp.133-150.
- [15] Grönroos, C. (1997), "Value-driven Relational Marketing: from Product to Resources and Competencies", *Journal of Marketing Management*, 13(5), pp.407-419.
- [16] Harrison, R., Vera, D., & Ahmad, B. (2016). Engineering methods and tools for cyber-physical automation systems. *Proceedings of the IEEE*, 104(5), 973-985.
- [17] Jerald, C. D. (2009). Defining a 21st century education. *Center for Public education*, 79.
- [18] Kochen, M. (1986). "Are MIS Frameworks Premature?." *Journal of Management Information Systems*, 2(3): 92-100.
- [19] Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H. A. (2015). A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23.
- [20] Lom, M., Pribyl, O., & Svitek, M. (2016, May). Industry 4.0 as a part of smart cities. In *Smart Cities Symposium Prague (SCSP)*, 2016 (pp. 1-6). IEEE.

- [21] Lydon, B. (2016). Industry 4.0: Intelligent and flexible production. InTech: A publication of the International Society of Automation, 12–17.
- [22] McClelland, D. C. (1973). Testing for competence rather than for 'intelligence'. *American psychologist*, 28(1), 1–14.
- [23] Merriam–Webster Online
- [24] Monostori, L. (2014). Cyber–physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges. *Procedia CIRP*, 17, 9–13.
- [25] Posada, J., Toro, C., Barandiaran, I., Oyarzun, D., Stricker, D., de Amicis, R., ... & Vallarino, I. (2015). Visual computing as a key enabling technology for industrie 4.0 and industrial internet. *IEEE computer graphics and applications*, 35(2), 26–40.
- [26] Qin, J., Liu, Y., & Grosvenor, R. (2016). A categorical framework of manufacturing for industry 4.0 and beyond. *Procedia CIRP*, 52, 173–178.
- [27] Reynolds, C. (2010). Introduction to Business Architecture. Course Technology.
- [28] Rübmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. Boston Consulting Group, 9.
- [29] Rychen, D. S., Salganik, L. H., & McLaughlin, M. E. (2003). Definition and Selection of Key Competencies: Contributions to the second DeSeCo symposium. Neuchâtel, Switzerland: Swiss Federal Statistical Office.
- [30] Sanders, A., Elangeswaran, C., & Wulfsberg, J. (2016). Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 9(3), 811–833.
- [31] Sands, S., H. Oppewal & M. Beverland. (2007), "The influence of in–store experiential events on shopping value perceptions and shopping behavior", *ACR Proceedings*, 35, pp.298–303.
- [32] Schmidt, R., Möhring, M., Härting, R. C., Reichstein, C., Neumaier, P.,

- & Jozinović, P. (2015, June). Industry 4.0–potentials for creating smart products: empirical research results. In International Conference on Business Information Systems (pp. 16–27). Springer, Cham.
- [33] Scholz–Reiter, B., & Freitag, M. (2007). Autonomous processes in assembly systems. *CIRP Annals–Manufacturing Technology*, 56(2), 712–729.
- [34] Schuh, G., Potente, T., Varandani, R., Hausberg, C., & Fränken, B. (2014). Collaboration moves productivity to the next level. *Procedia Cirp*, 17, 3–8.
- [35] Shafiq, S. I., Sanin, C., Szczerbicki, E., & Toro, C. (2015). Virtual engineering object/virtual engineering process: a specialized form of cyber physical system for Industrie 4.0. *Procedia Computer Science*, 60, 1146–1155.
- [36] Stock, T., & Seliger, G. (2016). Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0. *Procedia Cirp*, 40, 536–541.
- [37] Vargo, S. L. & R. F. Lusch. (2004), "Evolving to a new dominant logic for marketing", *Journal of Marketing*, 68(1), pp.1–17.
- [38] Vargo, S. L. & R. F. Lusch. (2008), "From goods to service(s): Divergences and convergences of logics", *Industrial Marketing Management*, 37(3), pp.254–259.
- [39] Wang, S., Wan, J., Zhang, D., Li, D., & Zhang, C. (2016). Towards smart factory for industry 4.0: a self–organized multi–agent system with big data based feedback and coordination. *Computer Networks*, 101, 158–168.
- [40] Young, J., & Chapman, E. (2010). Generic competency frameworks: a brief historical overview. *Education Research and Perspectives*, 37(1), 1.
- [41] Zezulka, F., Marcon, P., Vesely, I., & Sajdl, O. (2016). Industry 4.0–An Introduction in the phenomenon. *IFAC–PapersOnLine*, 49(25), 8–12.
- [42] Zhou, K., Liu, T., & Zhou, L. (2015, August). Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. In *Fuzzy Systems*

and Knowledge Discovery (FSKD), 2015 12th International Conference on (pp. 2147–2152). IEEE.



<ABSTRACT>

Development of a Competency Framework
for Intelligent Factory and Smart Manufacturing in Industry 4.0

Mun, Jin IL (Dongguk University)

Recently, Industrial revolution 4.0 has become a hot issue in global world. Especially, IT competence of IT personnel is becoming an important issue since the industry 4.0 by the industrial revolution 4.0 is expected to be a society led by IT technology.

To guide the structured IT technology roadmap for implementing industry 4.0 to industry and IT personnel, the framework of core competency for IT personnel was developed in this study. Through the developed framework, required IT technologies were identified as well. Interacting in socially heterogeneous groups, acting autonomously, and using tools interactively were identified as the basic competence for IT personnel. The five clusters of detailed IT technologies based on RAMI4.0 model were identified as follows.

1) The cloud technology to implement CPS or CPPS was the most critical technology to implement all aspects of the industry 4.0. Industrial Internet (IIoT), 2) Cyber Security, and I4.0 component implementation technologies are key technologies for the asset, integration and communication layers. 3) Big data, big data analytics, and AI for data processing. 4) Data visualization and human-machine interface (HMI) were particularly emphasized because the fourth industry is human-centered. 5) Lastly, Prognostics and health management system (PHM) for before services was identified as key technologies.

Key words: Industry 4.0, CPS, CPPS, Competency, Framework