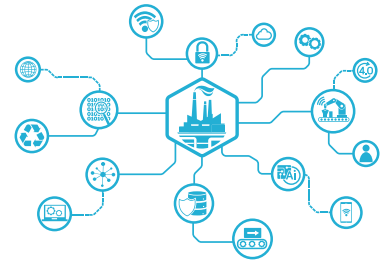


# Shop-Floor M2M 기술 표준 동향

박진우 \_ 울산과학기술원 제어설계공학과 책임  
신문수 \_ 한밭대학교 산업경영공학과 부교수  
류광열 \_ 부산대학교 산업공학과 교수  
김덕영 \_ 울산과학기술원 제어설계공학과 부교수



## 1. 머리말

스마트 공장은 극소량의 다양한 고객맞춤형 제품을 적시에 대량생산 단가로 생산해야 한다. 하나의 공장에서 다양한 제품을 동시에 혼류 생산하는 기존 유연생산시스템(Flexible Manufacturing System)은 그만큼의 초기 투자비용을 요구한다. 나날이 짧아지는 제품수명주기(Product Life Cycle)에 대응하기 위해서는 여러 기능을 수행하는 많은 제조 설비·장비를 구축하는 것보다, 하나의 장비로도 그 다양한 기능을 수행할 수 있도록 재구성 가능한 시스템을 설계하는 것이 경제적이다. 이러한 재구성 가능 생산시스템을 구현하기 위해서는 생산현장의 정보를 교환·관리하는 방식의 변화가 필요하다. 이는 최근의 화두인 4차 산업혁명 시대의 정보혁명과 맥을 같이 한다. 즉, 모든 사물이 서로 연결되어 대량의 정보를 공유하고 사물 스스로 독립적인 의사 결정을 이행하여 궁극적으로는 최적의 결과를 도출하게 된다. 상하 계층이 없는 이러한 정보 공유를 통해 생산시스템은 더욱 자율화, 지능화 및 분산화 될 수 있다. 이러한 정보의 연결은 공장 내에서 뿐만 아니라, 제품의 설

계단계, 제조, 더 나아가 고객 서비스 단계까지의 연결을 가능하게 한다.

제조 원가 최소화를 목표로 하는 기존의 대량생산 패러다임에서는 ISA-95 표준과 같은 계층적, 중앙 집중형 공장자동화 구조가 가장 적합하다. 즉 중앙 제어시스템의 명령에 의해 하위의 생산설비들이 구동되고 수집된 데이터는 곧바로 중앙 시스템으로 전송되어 의사 결정을 수행하는 MES(Manufacturing Execution System) 및 SCADA(Supervisory Control And Data Acquisition)와 같은 공정과 설비 기반 중앙 제어시스템이 보편적으로 이용되어 왔다. 그러나 새로운 제조 패러다임은 생산 제품 변경에 따른 생산시스템의 신속 변경, 지능형 분산제어, 고장에 대한 능동 대응, 자율 예지 보전 등을 요구하며, 이들은 생산시스템을 구성하는 제조 설비·장비의 독립적인 의사 결정을 기반으로 구현될 수 있다. 그리고 이러한 기능들을 지원하기 위해 M2M 통신(Machine-to-Machine Communication)을 위한 다양한 프로토콜 및 정보 교환 방법들이 꾸준히 개발·응용되고 있다. 즉, 새로운 M2M 통신은 기존의 단순 데이터 전송을 넘어 생

산시스템의 상태 및 주변 환경 정보에 대한 정확한 의미 전달이 가능한 프로토콜이 요구됨을 의미한다.

본고에서는 기존의 ISA-95 표준부터 최근의 RAMI 4.0에 이르기까지 제조 레퍼런스 모델에 제시하고 있는 여러 기술계층 중, 주로 통신 레이어에 해당하는 기술 동향을 분석하고, 수평·분산형 공장 제어 및 운영을 지향하는 분산 생산시스템 구현을 목적으로 정리해 본다. 특히 다양한 M2M 통신 표준 및 프로토콜에 대해 소개한다.

## 2. 공장 자동화 표준

### 2.1 공장 통합 제어 및 운영 표준

#### 2.1.1 ISA-95

ISA-95는 제조시스템 제어 및 비즈니스 계획을 통합하는 대표적인 공장자동화 및 운영 표준으로 스케줄링 및 제어, 데이터 및 객체 모델, 운영 데이터 모델 등이 계층적으로 구성되어 있다[1]. 특히 이 표준에서는 제조 제어 수준과 비즈니스 운영 수준 사이에서 어떠한 정보들을 상호 공유하고 활용하는지에 대해 정의하고 있으나, 이는 계층적 공장 운영 구조에 특히 적합하므로 기계들의 독립적 의사 결정을 기반으로 하는 분산제어 제조시스템과 같은 수평적 운영 구조로의 확장이 진행되고 있다.

#### 2.1.2 RAMI 4.0

RAMI 4.0(The Reference Architecture Model Industrie 4.0)은 네트워크로 통합된 제조 시스템의 계층 레벨과 제품 및 시스템의 수명 주기의 통합으로 설명된다. 제품 및 시스템의 수명 주기는 IEC 62890, 제조시스템의 계층 레벨은 ISA-95를 기반으로 정의된 IEC 62264 표준에 의해 설명된다[2]. 새롭게 제

안된 RAMI 4.0에서는 제조시스템의 계층 레벨에 존재하는 제품, 제어 장치부터 최상위의 엔터프라이즈 및 커넥티드 월드 레벨까지 모두 실체와 가상의 연결을 통해 제품 및 시스템 정보의 통합 관리가 가능하다. 즉, RAMI 4.0은 제품의 개발부터 생산 및 판매에 이르기까지 제품 및 시스템의 수명 전 주기에 걸친 통합 관리를 추구한다. 최근의 OPC UA(Open Platform Communications Unified Architecture)와 같은 다양한 제조 환경에 대한 호환성 확보를 위한 기술들이 개발됨으로써 정보의 수직적·수평적 통합이 가시권에 진입했다.

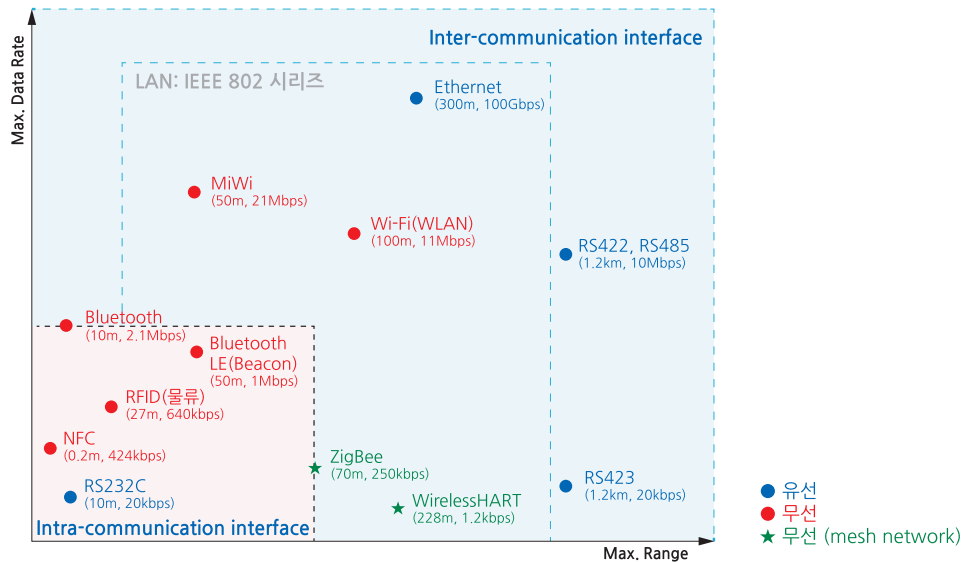
#### 2.1.3 ISO/TC 184/SC 4

산업자동화시스템 분야의 제품 및 시스템 설계부터 제조 및 납품, 관련 서비스의 지원, 제품의 유지·보수 등의 통합을 정의하는 ISO/TC 184 위원회의 분과인 SC 4 위원회는 서로 다른 제조시스템 간에 다양한 제품 정보를 교환하기 위한 표준을 제정하였다[3]. 대표적으로 STEP(ISO 10303, Standard for the Exchange of Product Model Data)을 이용한 이종 시스템 간의 CAD(Computer-Aided Design) 데이터 호환이 있다. 형상 설계 및 공차 데이터, 재질 및 사양, 제품 생산 및 생애주기 데이터 등의 상호 호환을 범위로 두며, 넓게는 기업의 내부 조직 데이터, 사업 계획 데이터 등을 고려한다.

### 2.2 통신 플랫폼

#### 2.2.1 필드버스(IEC 61158)

IEC 61158은 생산현장의 장비와 설비를 구성하는 각종 컴포넌트(예: 센서, 액추에이터, 전기모터, 스위치 등)와 제어기(예: 프로그래밍 가능 로직 제어기(PLC)) 간의 네트워크 프로토콜인 필드버스에 대한



[그림 1] 산업용 유무선 통신

표준을 정의한다[4]. 일반적으로 개별 컴포넌트의 구조와 인터페이스가 개발 업체마다 상이하므로 다양한 종류의 필드버스 프로토콜이 제안되어 사용되고 있다. 대표적으로 PROFIBUS, ControlNet 등이 이에 포함된다.

이로 인해 특정 설비의 제어를 위해 하나의 필드버스 프로토콜이 채택되면, 주변 장치들과의 통신 및 협력을 위해서는 이를 기준으로 모든 네트워크가 구성되어야 한다. 이러한 문제를 해소하기 위해 최근에는 다양한 프로토콜의 호환을 지원하는 필드버스 터미널 및 소프트웨어 기술이 개발되고 있다. 앞서 언급한 OPC UA가 대표적인 예가 될 수 있다. 또한, 개별 컴포넌트 제어에 인터넷 통신 기술을 도입함으로써 통신속도와 미디어 호환성 등을 개선한 EtherCAT, EtherNet/IP, PROFINET 등의 산업용 이더넷 기술로 발전하고 있다.

## 2.2.2 산업용 유무선 통신

M2M 통신을 위한 산업용 무선 통신 분야는 [그

림 1]에서 정리한 바와 같이 IEEE 802.11을 기반으로 하는 Wi-Fi 기술과 IEEE 802.15.4를 기반으로 하는 WirelessHART, Bluetooth, ZigBee 기술 등이 있다. Wi-Fi 기술은 보편적인 무선 통신 표준을 따르며 상대적으로 통신 속도가 높은 반면, 디바이스 확장이 제약되는 한계가 있다. WirelessHART는 무선 센서 네트워크 기술로서 필드버스 표준의 하나인 HART(Highway Addressable Remote Transducer) 프로토콜을 기반으로 한다. Bluetooth 또한 각종 모바일 기기에 널리 사용되는 표준으로서 상대적으로 통신 속도가 높지만, 기기간 페어링(Pairing)이 반드시 필요하다는 한계가 있다. ZigBee는 현재 홈 네트워크 및 무선 센서망에서 사용되는 기술로서 디바이스 확장성이 우수하고 여러 주파수 대역 사용이 가능해 향후 M2M 통신 기술로의 발전이 기대되고 있다. 그러나 아직까지 무선 통신 기술은 전달 속도 지연(Latency) 문제로 인해 장비나 설비의 제어 목적보다는 모니터링 용도에 국한되어 사용되는 실정이다.

### 2.2.3 OPC UA(IEC 62541)

IEC 62541은 OPC UA에 대한 국제표준이다. OPC UA는 마이크로소프트사의 OLE(Object Linking and Embedding) 기술을 기반으로 하는 OPC(OLE for Process Control)의 다양한 세부 규격을 하나로 통합하고, 이더넷 기반의 실시간 및 동기화 통신을 지원한다. 특히 클라이언트와 서버 간의 상호인증 및 암호화를 통한 보안과 데이터 모델링을 지원한다. OPC UA는 설비의 제어부터 통신, 보안, 데이터 수집 등에 이르기까지 다양한 종류의 기계 장치와 제어 기(예: PLC, Embedded Controller, PC 등), 센서 등의 통합 운영을 위한 오픈 플랫폼이다. 따라서 M2M 통신뿐만 아니라 공장의 MES와 ERP(Enterprise Resource Planning) 시스템의 통합에도 적용 가능하다[5]. 또한 OPC UA는 앞서 소개한 RAMI 4.0의 통신 레이어의 구현에 활용되고 있다[2].

## 3. Shop-Floor M2M 메시지 프로토콜

### 3.1 IEC 61131

전형적인 계층화된 제조시스템의 자동화 운용을 위해서는 개별 컴포넌트들과 이들을 제어하는 PLC 간 데이터 및 제어 메시지의 효과적인 교환 체계가 매우 중요하다. IEC 61131은 PLC의 통신 및 제어, 프로그래밍을 위한 표준을 제공한다. 특히 IEC 61131 Part3을 통해 각종 제어 프로그램을 신속하게 구현하기 위한 래더 다이어그램(Ladder Diagram)과 시멘틱 룰(Semantic Rules) 등을 정의한다[6]. 또한 IEC 61131의 Part5는 기기 간의 정보 교환을 위한 MMS(Manufacturing Message Specification) 기반의 통신 프로토콜을 정의한다[7].

MMS는 설비의 실시간 원격 제어 및 모니터링을 위한 메시지 프로토콜로서 ISO/IEC 9506 표준을 통

해 정의되고 있다[8]. MMS는 기기 간의 상호 접속과 원격 조작 명령 실행에 필요한 표준 객체(Standard Objects), 클라이언트와 서버 사이에 교환되는 표준 메시지(Standard Messages), 그리고 각종 메시지가 의미하는 정보를 해석하기 위한 인코딩 규칙(Encoding Rules)을 포함한다. MMS는 인터넷 프로토콜을 기반으로 OSI(Open Systems Interconnection)의 7계층(Physical, Data Link, Network, Transport, Session, Presentation, Application)을 구성함으로써 상호 운용성을 확보하고 있다.

### 3.2 IEC 61499

IEC 61499는 IEC 61131을 바탕으로 기능 블록(Function Block) 기반의 제어 로직 언어를 정의하는 국제 표준이며, 분산 제어 제조시스템의 정보 교환 및 신규 제조시스템에 대한 제어 프로그램의 신속한 구현을 지원한다[9]. 기본적으로 개별 설비 및 장치에 대응하는 기능 블록들을 연결하여 로직을 생성하고, 향후 시스템이 재구성될 경우 해당 기능 블록들을 재사용 및 재연결함으로써 제어 프로그램의 제작 시간을 급격히 단축할 수 있다.

개별 기능 블록들은 시스템에서 발생하는 각종 이벤트와 데이터를 입·출력하며, 이때 교환되는 데이터는 크게 시스템 정보와 애플리케이션, 디바이스 및 리소스 등의 정보로 구성된다. 데이터 교환은 XML(eXtensible Markup Language)을 기반으로 한다. 그러나 다양한 통신 프로토콜에 대한 호환성 확보에 한계가 있어 아직까지는 산업 현장에서의 채택이 어려운 상황이다.

### 3.3 FIPA-ACL

에이전트 기술(Agent Technology)은 분산 환경에서 서로 연결되어 있는 요소들이 서로 복잡한 정

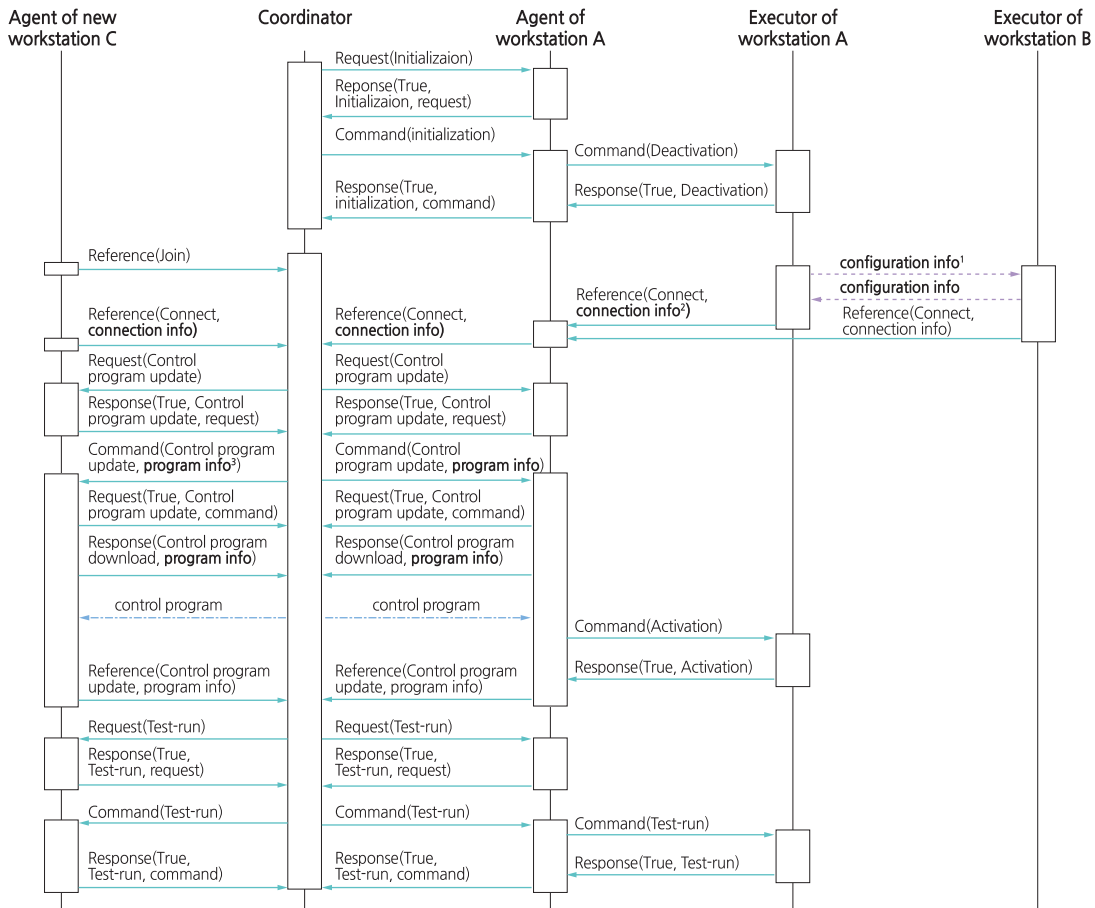
〈표 1〉 FIPA-ACL 통신 수행 동사

Communicative Performatives	Description
accept-proposal	The action of accepting a previously submitted propose to perform an action.
agree	The action of agreeing to perform a requestd action made by another agent. Agent will carry it out.
cancel	Agent wants to cancel a previous request.
cfp	Agent issues a call for proposals. It contains the actions to be carried out and any other terms of the agreement.
confirm	The sender confirms to the receiver the truth of the content. The sender initially believed that the receiver was unsure about it.
disconfirm	The sender confirms to the receiver the falsity of the content.
failure	Tell the other agent that a previously requested action failed.
inform	Tell another agent something. The sender must believe in the truth of the statement. Most used performative.
inform-if	Used as content of request to ask another agent to tell us is a statement is true or false.
inform-ref	Like inform-if but asks for the value of the expression.
not-understood	Sent when the agent did not understand the message.
propagate	Asks another agent so forward this same propagate message to others.
propose	Used as a response to a cfp. Agent proposes a deal.
proxy	The sender wants the receiver to select target agents denoted by a given description and to send an embedded message to them.
query-if	The action of asking another agent whether or not a given proposition is true.
query-ref	The action of asking another agent for the object referred to by an referential expression.
refuse	The action of refusing to perform a given action, and explaining the reason for the refusal.
reject-proposal	The action of rejecting a proposal to perform some action during a negotiation.
request	The sender requests the receiver to perform some action. Usually to request the receiver to perform another communicative act.
request-when	The sender wants the receiver to perform some action when some given proposition becomes true.
request-whenever	The sender wants the receiver to perform some action as soon as some proposition becomes true and thereafter each time the proposition becomes true again.
subscribe	The act of requesting a persistent intention to notify the sender of the value of a reference, and to notify again whenever the object identified by the reference changes.

보를 교환함으로써 각각 독립적인 의사 결정을 수행할 수 있도록 지원하는 기술이다. 제조현장에서 각각의 에이전트는 개별 생산 장비나 설비를 대표하며, 자율성(Autonomy)과 지능(Intelligence), 상호협력(Collaboration)을 바탕으로 제조시스템의 자동화 운용 과정에서 발생하는 다양하고 복잡한 문제를 스스로 해결하고 필요한 역할을 수행할 수 있다. 이를 위해서는 에이전트 스스로 제조현장의 복잡한 문제

를 인식하고, 문제 해결에 필요한 각종 정보를 상호 교환할 수 있어야 한다.

FIPA(The Foundation for Intelligent Physical Agents)는 에이전트 간의 통신 언어 표준으로서 ACL(Agent Communication Language)을 제안하였다[10]. FIPA-ACL은 Performative, Sender, Receiver, Reply-to, Content, Language, Encoding, Ontology, Protocol, Conversation-ID, Reply-with



<sup>1</sup>configuration info = <Workstation ID, Port number, Workstation status>

<sup>2</sup>connection info = <Port number, Neighbor workstation ID, Connected port number of the neighbor workstation>

<sup>3</sup>program info = <Control program ID, Product ID>

[그림 2] FIPA-ACL 기반 메시지 교환 예시[11]

→ Msg. communication  
 - - - IR communication  
 - - - Data transmission

등과 같은 다양한 파라미터로 구성되는 메시지 구조와 메시지 교환 프로토콜을 정의한다. 이로써 FIPA-ACL은 제조현장에서 발생하는 각종 문제 상황과 시스템 자체 및 주변 환경에 대한 다양한 정보의 상호 공유를 지원한다. <표 1>은 FIPA-ACL에서 정의한 통신 수행 동사의 목록이다.

FIPA-ACL은 분산된 제조현장의 일정관리, 협력적 로봇 제어, 생산자원의 할당 및 최적 운영 등 다양한 영역에서 널리 활용되고 있다. [그림 2]는 신규 설비

(Workstation C)의 추가 배치에 따라 시스템 레이아웃 변경 구성을 위해, 기존 설비(Workstation A와 B)와 신규 설비 간 통신을 통해 생산설비가 자동으로 인지하는 과정을 FIPA-ACL 기반 메시지 교환 규칙을 활용하여 구현한 예시를 보여준다[11].

#### 4. 맺음말


본고에서는 Shop-Floor M2M 기술 표준과 관련



해 크게 공장 통합 제어 및 운영 표준과 통신 플랫폼의 두 가지 측면에서 공장 자동화 관련 표준 동향을 살펴보았다. 아울러 M2M 메시지 프로토콜을 위해 IEC 61131, IEC 61499와 FIPA-ACL까지 살펴보았다.

원활한 M2M 통신을 위해서는 기기종 장비 간 데이터 및 정보의 상호 운용성(Interoperability) 확보가 가장 중요하다. 이를 위한 첫 출발점은 본고에서 살펴본 다양한 표준의 활용을 우선 검토하는 것이다. M2M 통신은 제조시스템 관련 환경 변화에 신속하게 대응할 수 있어야 한다(Rapidly Adaptable). 안정적 M2M 통신을 위해 급격한 데이터·정보의 증가에 대응할 수 있어야 하며(Extensible/Scalable), 특히 제조시스템에서 발생하는 데이터·정보가 유출되지 않도록 데이터 보안(Data Security)에 각별히 유념해야 한다.

4차 산업혁명의 물결과 더불어 IoT(Internet of Things), 빅데이터(Big Data), 클라우드(Cloud), 인공지능(AI, Artificial Intelligence) 등 다양한 기술이 각광을 받고 있다. 그 중 빅데이터 기술의 배경과 M2M 통신 환경의 변화는 공통점이 많다. 흔히 4V(Volume, Variety, Velocity, Veracity)로 대변되는 빅데이터 환경의 특성은 앞으로 M2M 통신의 방향성을 시사하고 있다고 본다. 즉, 제조시스템을 구성하는 모든 생산 설비·장비 간 공유되는 데이터의 양(Volume)은 IoT 기술 등으로 인해 더욱 급증할 것이며, 다양한 장비·설비, 센서 등을 통해 엄청난 종류의 데이터를 처리해야 할 것이다. 또한 점차 짧아지는 제품 생산주기 및 급변하는 소비자의 요구조건 만족을 위해 더 많은, 더 다양한 데이터를 더 빠르게(Velocity) 처리해야만 제조경쟁력을 유지하게 될 것이다. M2M 통신은 인간의 개입이 없는 장비 간의 통신이므로 각 장비에서 공유하고자 하는 데이터는 정확성 또는 타당성(Veracity) 측면에서는 안심이 되어

보인다. 하지만 모든 것이 연결되는 사회(Connected Society)에서 M2M 통신 과정에서의 의도적인 데이터 조작·훼손은 언제든지 가능성이 있으므로 데이터의 보안 관리에 최선의 노력을 기울여야 한다. 

※ 본 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행한 것임(No. 2015-0-00374).

#### [참고문헌]

- [1] H. O. Unver, 'An ISA-95-based manufacturing intelligence system in support of lean initiatives,' Int. J. Adv. Manuf. Technol., vol. 65, no. 5-8, pp. 853-866, Mar. 2013.
- [2] F. Pauker, T. Frühwirth, B. Kittl, and W. Kastner, 'A systematic approach to OPC UA information model design,' Procedia CIRP, vol. 57, pp. 321-326, 2016.
- [3] ISO/TC 184/SC 4, <https://www.iso.org/committee/54158.html>
- [4] S. Vitturi, 'Some features of two fieldbuses of the IEC 61158 standard,' Comput Stand Interfaces, vol. 22, no. 3, pp. 203-215, Aug. 2000.
- [5] IEC 62541-1, OPC Unified Architecture Specification - Part 1: Overview and Concepts, Int. Electrotechnical Commission, 2nd ed., 2016.
- [6] A. J. Hoffman, and A. H. Basson, 'IEC 61131-3-based holonic control of a reconfigurable manufacturing subsystem,' Int. J. Comput. Integr. Manuf., vol. 29, no. 5, pp. 520-534, 2016.
- [7] K. Thramboulidis, and G. Frey, 'Towards a model-driven IEC 61131-based development process in industrial automation,' J. Softw. Eng. Appl., vol. 4, no. 4, 217, 2011.
- [8] H. Shang, Z. Zhao, and R. Thorn, 'Implementing Manufacturing Message Specifications(MMS) within collaborative virtual environments over the Internet,' Int. J. Comput. Integr. Manuf., vol. 16, no. 2, p. 112-127, 2003.
- [9] V. Vyatkin, 'The IEC 61499 standard and its semantics,' IEEE Ind. Electron. Mag., vol. 3, no. 4, pp. 40-48, Dec. 2009.
- [10] FIPA ACL Message Structure Specification, Foundation for Intelligent Physical Agents(<http://www.fipa.org/>), 2002.
- [11] J. Park, M. Shin, D.-Y. Kim, 'An Extended Agent Communication Framework for Rapid Reconfiguration of Distributed Manufacturing Systems,' IEEE Transactions on Industrial Informatics, doi:10.1109/TII.2018.2883409, 2019.