

스마트공장을 위한 산업네트워크 동향

권대현, 윤건, 이수강
LS산전

요약

공장 내에 사용되는 통신 방식은 사람의 생명과 자산에 심각한 영향을 줄 수 있어 결정론적, 짧은 대기시간, 신뢰성, 고가용성, 사이버 보안 그리고 기능 안전에 대한 명확한 요구사항을 만족해야 한다. 본고에서는 최근 활발히 논의되고 있는 스마트공장을 위한 산업네트워크 동향에 대하여 IEC 국제 표준 규격을 바탕으로 살펴본다.

I. 서론

스마트공장 상호운용성은 스마트공장 개발에 참여하는 관계자들이 비록 지역적으로 떨어져 있고, 다양한 인프라 환경에서 서로 다른 정보 시스템을 보유하고 있다 하더라도 필요한 데이터를 효과적으로 상호 교환할 수 있도록 하는 능력을 의미한다. 계층별로 구분하여 보면 아래와 같다.

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

스마트공장의 상호운용성 보장을 통해 스마트공장 운영자, 소비자 및 이해관계자는 하드웨어나 소프트웨어를 직접 구입하여 사용하는 것이 가능하며, 상이한 스마트공장 환경으로 서비스 전환 시에도 기 구입한 제품들의 재활용이 가능해야 한다.

기존 네트워크들을 보다 지능화된 시스템으로 전환하기 위해서, 스마트공장 운영자는 그들의 고객과 시장에 적합한 스마트공장을 목표로 설정하고, 유연한 사업 프로세스와 상호운용 가능한 솔루션을 제공할 수 있는 표준화된 프레임워크 기반의 스마트공장 접근방식을 개발하는 것이 필요하다.

공장환경에서는 기존 산업환경에서 널리 사용되고 있는 산업용 통신망을 수용할 수 있어야 한다. 산업환경에서는 흔히 필드버스라고 불리는 실시간 자동화 네트워크가 사용되고 있으며 최근에는 실시간 고속 제어가 가능한 실시간 이더넷(RTE) 기술도 보급되고 있다. 기존 산업용 통신을 수용함으로써 공장 관리에 필요한 센서와 구동기들을 최소한의 투자로 설치 운용할 수 있으며 기존에 설치된 기기들을 활용할 수 있는 장점이 있다. 또한 유선 네트워크를 설치하기 힘든 지역이나 배선이 되어 있지 않은 현장을 위해 무선기술이 필요하며 산업 환경에 적용할 수 있는 산업용 무선 통신을 이용하여 요구사항을 만족시킬 수 있다.

본고에서는 스마트공장의 상호운용성을 위하여 필요한 산업네트워크의 동향에 대하여 IEC 국제 표준 규격을 바탕으로 살펴본다.

II. 본론

1. 산업용 유선 네트워크 기술

가. 산업용 유선 네트워크 개요

IEC TC65/SC65C에서는 실시간(MT9, IEC 61158), 프로파일(MT9, IEC 61784-2), 기능 안전 통신(WG12, IEC 61784-3), 고가용성 통신(WG15, IEC 62439) 분야로 나누어 산업용 통신 표준 기술을 담당하고 있다[1]-[5]. 초기 하나의 필드버스 기술로 통합하려고 하였으나, 다양한 공장 환경을 고려하여 지역별, 회사별 필드버스 및 실시간 산업용 이더넷 표준들을 정의하고 있다. 사이버 보안 표준 규격은 시스템과 함께 논의가 필요하여 IEC 62443 표준[6]에서 시스템과 네트워크 관련 표준을 제정하고 있으며, 이후 WG13에서 IEC 61784-4 표준[7]에 상세 내용을 반영할 예정이다.

국내에서는 IEC 표준 기술 중에서 국내에서 개발되었거나 사용하고 있는 표준 6종을 KS로 제정하였고, 이 중 모든 항목을 만족하는 표준 기술은 <표 1>에서 보이는 바와 같이, Profinet, EtherNet/IP, RAPIEnet 등이 있다.

표 1. 주요 유선 통신 기술

항목	주요 유선 통신 기술		
	Profinet	EtherNet/IP	RAPINet
61158 (실시간)	Type 10	Type 2	Type 21
61784-2 (프로파일)	CPF 3	CPF 2	CPF 17
61784-3 (기능안전)	PROFIsafe	CIP Safety	RAPINet Safety
62439 (고가용성)	Part 2 MRP	Part 5 BRP	Part 7 RRP
지역	유럽	미국	한국
회사	Siemens	Rockwell	LS산전

나. 실시간 네트워크 기술

실시간(real-time)은 제한된 시간에 필요한 결과를 제공하는 시스템의 능력이다[2]. 실시간 이더넷(RTE)은 빠른 속도와 범용성을 가지는 이더넷(IEEE 802.3)을 산업분야에 적용시키기 위해 프로토콜을 수정하여 이더넷이 가지고 있는 지연시간의 비결정론적(non-deterministic) 문제를 해결하고 이더넷 스위치를 내장하여 라인 구조 형태의 토폴로지가 가능하도록 개선한 산업용 통신망 프로토콜이다. 요구되는 실시간 성능은 일반적인 공장 자동화 환경에서 약 100 ms 이고, 모션 제어 분야에서 약 250 us 이다. 모션 제어 분야의 성능 요구 사항을 만족하기 위하여 H/W 로직 기반으로 프로토콜을 처리하는 기술도 존재한다.

IEC 61158[2] 시리즈 표준은 <그림 1>과 같이 여러 가지 필드버스 프로토콜 기술을 데이터 링크 계층과 애플리케이션 계층으로 나누어 기술하고 있다. 일반 사용자는 서비스 관련 항목을 참고하고, 구현자는 프로토콜 관련 항목을 참고하도록 나뉘어 있다.

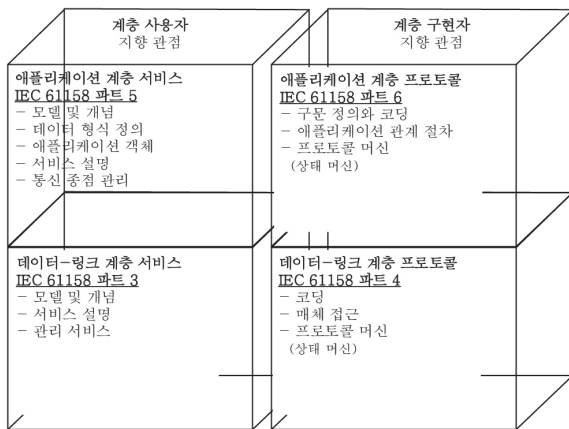


그림 1. IEC 61158 구조

C 61784 시리즈 표준에서는 IEC 61158 시리즈 표준이 너무 광범위하므로 각 통신 기술들의 성능 지표를 전달 시간, 중단 수, 기본 네트워크 토폴로지, 중단 간 스위치 수, 실시간 처리량, 비실시간 처리량, 시간 동기화 정밀도, 리턴던시 복귀 시간 등 8가지로 분류하여 정리하였다[3].

다. 고가용성 자동화 네트워크 기술

가용성(Availability)은 필요한 외부 자원이 공급되는 것을 가정한 때 특정한 순간 혹은 특정한 시간 간격 동안 주어진 조건 하에서 특정한 품목이 요구 기능을 수행할 수 있는 상태를 유지하는 능력을 의미한다[5].

플랜트는 유예 시간이라 불리는 짧은 시간 동안만 자동화 시스템의 성능 저하를 감당할 수 있다. 네트워크 복구 시간은 유예 시간보다 짧아야 하는데 <표 2>에서 보인 바와 같이 그 유예 시간에 따라 구분할 수 있다.

자동화 시스템은 고장에 대처하기 위해 이중화를 포함할 수 있다. 이중화를 취급하는 방법은 다를 수 있으나 이 방법들의 핵심 성능 요소는 복구 시간, 즉 운전 정지 발생 이후 동작 상태를 복구하는 데 소요되는 시간이다. 복구 시간이 플랜트의 유예 시간을 초과하는 경우 보호 메커니즘이 (안전한) 시스템 중지를 개시하는데 이 경우 생산량과 플랜트 운전 가용성의 상당한 손실을 초래할 수 있다.

복구의 중요한 특성은 그의 결정성 즉 기본적인 가정 (한번에 단일 고장 발생, 공통 모드 고장 미발생, 최대 시스템 확장 이하)들이 만족되는 한 복구 시간이 특정한 값 이하로 유지될 것이라는 보장에 있다. 단일 고장 발생 시 최악의 경우에도 복구 시간을 계산하는 것이 가능하면, 해당 네트워크는 결정론적 복구기능을 제공한다.

IEC 62439 규격은 고가용성 네트워크에 대하여 기술하고 있다[5].

오류가 발생하지 않은 네트워크에서 IEC 62439 프로토콜

표 2. 애플리케이션 유예 시간의 예

애플리케이션	전형적인 유예시간
덜 민감한 자동화 분야, 예) 엔터프라이즈 시스템	20 s
자동화 관리, 예)제조, 이산 자동화	2 s
일반적인 자동화 분야 예) 프로세스 자동화, 파워 플랜트	0.2 s
민감한 자동화 분야 예) 시간 동기 드라이브	0.020 s

은 ISO/IEC 8802-3와의 호환성, 신뢰성 있는 데이터 통신 제공, 실시간 데이터 통신을 보장한다. 반대로 오류가 발생한 네트워크 즉, 구성요소의 고장, 제거 및 삽입의 문제가 있는 경우, IEC 62439 프로토콜은 결정론적인 복구 시간을 제공한다.

시장은 상이한 성능 특성(different performance characteristics), 기능 역량(functional capabilities), 다양한 애플리케이션 요구사항에 따라 다양한 네트워크 솔루션을 필요로 한다. 이 솔루션은 상이한 리던던시 토폴로지(different redundancy topologies), 메커니즘을 지원한다. 이는 IEC 62439-1에 간략히 소개되어 있고, 나머지 IEC 62439 시리즈에 자세한 내용이 기술되어 있다.

〈표 3〉은 복구 시간에 따라 정렬된 이중화 프로토콜의 특성을 비교한다.

표 3. 이중화 프로토콜의 예

프로토콜	솔루션	복구 시간
IP	IP routing	> 30 s 비결정론
STP	IEEE 802.1D	> 20 s 비결정론
RSTP	IEEE 802.1D	결정론, 특정 조건 시
CRP	IEC 62439-4	1 s, 512 종단 노드 기준
DRP	IEC 62439-6	100 ms, 50스위치 기준
MRP	IEC 62439-2	500 ms, 200 ms, 30 ms or 10 ms, 50스위치 기준, 파라미터에 따라 가변
BRP	IEC 62439-5	8.88 ms, 100 종단 노드 기준
RRP	IEC 62439-7	8 ms, 100BASEX, 4 ms, 1000BASEX
PRP	IEC 62439-3	0 s
HSR	IEC 62439-3	0 s

라. 기능 안전 자동화 통신 기술

기능 안전(Functional Safety) 시스템은 능동적으로 사고나 재해가 발생할 가능성을 매우 낮은 수준으로 유지하는 것이고, 기능 안전 통신은 기능 안전 시스템의 구성 요소간에 전달되는 데이터의 무결성을 매우 높은 수준으로 유지하여 기능 안전 시스템이 안전 기능을 수행할 수 있도록 하는 기술이다.

이를 위해 IEC의 기능 안전 시스템 규격 IEC 61508은 시간당 1bit 데이터에 대한 에러 발생 확률이 10^{-7} 일때를 SIL(Safety Integrity Level: 안전 무결성 수준)3으로 규정하였다[8].

또한 기능 안전 통신은 시스템에서 차지하는 비중을 1%로 정의함으로써, SIL3를 만족하는 기능 안전 통신망은 시간당 1bit의 에러가 발생할 확률이 10^{-9} 이하로 유지해야 하는 난이도가 높은 기술이다. 10^{-9} 이하로 에러가 발생할 확률을 유지하기 위해서는 32비트의 데이터에 대하여 32비트의 CRC 코드가 제공되어야 한다.

IEC 61784-3 표준은 IEC 61508 개발 규정을 준수하고 Corruption, Unintended repetition, Incorrect sequence, Loss, Unacceptable delay, Insertion, Masquerade, Addressing등으로 규정된 통신 에러의 해결 방안에 대하여 기술한다[4]. Edition2에서는 데이터의 무결성(DI)에 대하여 확률을 제공하고 있으나, Edition3 이후부터 Timeliness, Authenticity, Data Integrity (TADI) 모델에 대하여 확률을 제공하도록 하고 있다.

RAPIDnet Safety 기술은 독일의 TUV SUD를 통하여 2015년 인증을 취득하였고, 2016년 IEC 61784-3-17 규격으로 등록될 예정이다.

2. 산업용 무선 네트워크 기술

가. 산업용 무선 네트워크 개요

공장환경에 유선 네트워크를 설치하기 힘든 지역이나 배선이 되어 있지 않은 현장을 위해 무선기술이 필요하며 산업환경에 적용할 수 있는 산업용 무선 통신을 이용하여 요구사항을 만족시킬 수 있다. 산업용 무선 통신 기술은 주로 회전체, 이동체 분야에 적용이 되고 있으며 실시간 제어 보다는 모니터링 목적으로 사용이 확대되고 있다. 즉, 산업자동화 분야에서 무선 네트워크 기술은 유선 네트워크 기술의 대체 기술이 아니라 보완 기술로 활용이 이루어지고 있다. 현재 무선 산업통신 IEC 국제표준 기술로는 WirelessHART(IEC 62591), ISA 100.11a(IEC 62734), WIA-PA(IEC 62601), WIA-FA(IEC CD 62948) 기술이 있다[9]-[12]. IEC TS 62657-1 및 IEC 62657-2 에서 산업현장에 무선 통신기술을 적용시키기 위한 설치 요구사항, 주파수 고려 사항 및 여러 가지 무선 통신기술이 한 장소에 공존 시 문제점을 해결하기 위한 기준을 제시하고 있다[13][14].

나. 무선 산업 통신 기술

• WirelessHART[9]

WirelessHART는 IEEE[®]802.15.4를 기반으로 하는 산업용 무선 통신 프로토콜이며 시간동기화 기능, 자동화된 망 구성, Mesh 네트워크의 자동 복원 기능 등을 가지고 있다.

WirelessHART는 HART와 동일한 애플리케이션 계층을 사용하고 있고 HART 기반의 장치를 제어하는 명령어가 동일하기 때문에 기존 유선 환경인 HART와 호환성 및 확장성을 보장한다. 2010년 4월에 IEC[®]62591 국제 표준규격으로 채택되었다.

• ISA 100.11a[10]

ISA 100.11a는 International Society of Automation (ISA) 에 의해 개발된 산업 공정제어용 무선 통신 프로토콜

이다. 2009년 9월에 ISA규격으로 채택되었으며, 2014년 10월에 IEC 62734 표준규격으로 채택되었다. ISA 100.11a는 IEEE 802.15.4 프로토콜 기반 위에 6LowPAN을 채택하여 IPv6를 지원함으로써 확장성이 뛰어나고 IoT(Internet of Things) 기술과 호환성을 가진다. ISA 100.11a는 HART, Profibus, Foundation Fieldbus 그리고 DeviceNet을 포함한 다양한 통신 프로토콜과 상호운용이 가능하다.

• WIA-PA[11]

WIA-PA는 중국에서 제안되어 2011년 IEC⁶62601 국제표준으로 제정된 산업용 무선통신망 규격이다. WIA-PA는 IEEE⁸802.15.4를 기반으로 하며 실시간 성능을 제공하기 위해 자원 예약, 우선순위 기반의 CSMA/CA 전송 큐 메커니즘을 채택하고 있다.

• WIA-FA[12]

WIA-FA는 중국에서 2014년 제안되어 2017년 IEC⁶62948 국제표준으로 제정 예정인 산업용 무선통신망 규격이다. WIA-FA는 IEEE⁸802.11를 기반으로 하며 공장자동화에 적용하기 위한 기술 표준을 진행 중이다.

다. 무선 통신 요구 사항 및 주파수 고려 사항

무선 네트워크로 인한 지연과 지터는 필요한 시스템의 응답 시간에 영향을 주는 값보다 작아야 한다. 또한 무선 디바이스 간의 시간 동기화도 요구된다. 시간 동기화는 통신의 상호 교란과 단말기의 동작 시간이 통신 지연과 지터에서 분리될 수 있도록 송신 데이터에 추가하는 타임 스탬프의 사용을 방지할 수 있다. 시간 동기화는 기기에 전송 슬롯을 할당하고 모든 시간 기반 메시지 전송 일정을 수행함에 따라 달성될 수 있다. 이러한 방식으로 구현된 시간 동기는 충돌을 피하기 위해서 정확한 응답 시간과 더 나은 대역폭을 활용하는 것이 필요하다.

산업용 애플리케이션이 제한 시간 내에 결과를 요구하는 경우, 산업 자동화 시스템은 결정론적 또는 실시간 시스템이어야 한다. 결과적으로 이러한 산업 자동화 시스템에서 사용되는 통신 시스템은 전송 에러를 수정하는 데 필요한 반복 동작을 포함하여 제한된 시간에 요구하는 데이터 전송을 제공해야 한다.

IEC에서는 용접기로부터의 간섭 회피, 배터리로 전원이 공급되는 디바이스에 대하여 비가시선 무선 통신에 대한 요구사항 이상의 quasi optical 전파 동작과 전원 효율을 고려하여 1.4 GHz 이상~ 6 GHz 이하 주파수 밴드에 대하여 산업용으로 80MHz할당을 추진하고 있다[15].

III. 결론

본고에서는 스마트공장의 상호운용성을 위하여 사용되는 산업용 통신 기술 현황을 IEC 표준 규격을 통하여 살펴 보았다. 공장 내에 사용되는 통신 방식은 사람의 생명과 자산에 심각한 영향을 줄 수 있으므로 공장 환경에 따라 명확한 요구사항을 확인하고 실시간성, 고가용성, 기능 안전 통신 등을 만족할 수 있어야 한다. 산업용 무선 통신 기술은 아직 제어용으로 널리 이용되고 있지 않지만 이를 방해했던 문제들에 대한 해결책이 하나씩 늘어가고 있다. 산업용 전용 주파수 대역 할당을 통하여 보수적인 산업자동화 분야에도 무선 통신 기술 적용이 더욱 속도를 낼 수 있을지 지켜볼 일이다.

참고 문헌

- [1] <http://www.iec.ch/sc65c>
- [2] IEC 61158 (all parts), Industrial communication networks - Fieldbus specifications
- [3] IEC 61784-2:2014, Industrial communication networks - Profiles - Part 2: Additional fieldbus profiles for real-time networks based on ISO/IEC 8802-3
- [4] IEC 61784-3:2010, Industrial communication networks - Profiles - Part 3: Functional safety fieldbuses - General rules and profile definitions
- [5] IEC 62439 (all parts), Industrial communication networks - High availability automation networks
- [6] IEC 62443 (all parts), Industrial communication networks - Network and system security
- [7] IEC 61784-4 Industrial Communications - Fieldbus Profile - Part 4: Profiles for secure communications in industrial networks
- [8] IEC 61508 (all parts), Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems
- [9] IEC 62591 IEC Industrial networks - Wireless communication network and communication profiles - WirelessHART™
- [10] IEC 62734 Industrial networks - Wireless communication network and communication profiles - ISA 100.11a

- [11] IEC 62601 Industrial networks – Wireless communication network and communication profiles – WIA-PA
- [12] IEC CD 62948 Industrial networks – Wireless communication network and communication profiles – WIA-FA
- [13] IEC TS 62657-1, Industrial communication networks – Wireless communication networks – Part 1: Wireless communication requirements and spectrum considerations
- [14] IEC 62657-2, Industrial communication networks – Wireless communication networks – Part 2: Coexistence management
- [15] IEC Administrative Circular AC/29/2015 IEC proposal to ITU-R to reserve specific radio spectrums for use within industrial automation facilities

약 력



권 대 현

1997년 2월: 한양대학교 공학사
 2000년 2월: 한양대학교 공학석사
 2000년 4월 ~ 현재: LS산전 책임연구원
 2007년 1월 ~ 현재: IEC TC 65 한국 대표
 2014년 10월 ~ 현재: IEC SG 8 (Industry 4.0 – Smart Manufacturing) 한국 대표
 관심분야: 산업용 통신, 산업용 제어기



윤 건

2001년 8월: 강원대학교 공학사
 2003년 8월: 강원대학교 공학석사
 2003년 9월 ~ 현재: LS산전 책임연구원
 관심분야: 산업용 통신, 산업용 제어기



이 수 강

1998년 2월: 국민대학교 공학사
 2005년 2월: 한양대학교 공학석사
 2005년 1월 ~ 현재: LS산전 책임연구원
 관심분야: 산업용 통신, 산업용 제어기