

백서

# IoT용 무선센서 네트워크

---

## ∴ 요약 ∴

오늘날 스마트 그리드, 스마트홈, 스마트 수도망, 지능형 교통시스템(intelligent transportation, ITS) 등의 인프라 시스템은 우리가 상상했던 것 이상으로 세상을 연결한다. 이러한 시스템의 공통 비전은 대개 하나의 개념, 즉 IoT(Internet of Things)와 관련되어 있다. IoT는 센서를 이용하여 모든 물리적 인프라와 정보통신(IT) 기술을 밀접하게 결합한 것으로, 네트워크로 연결된 내장 장치를 이용한 지능형 모니터링과 관리가 가능하다. 이처럼 정교한 동적 시스템에서, 장치들은 분산 센서 네트워크를 통해 유용한 측정 정보와 제어 명령을 전송할 수 있도록 상호 연결되어 있다.

무선 센서 네트워크(WSN)는 빛, 열, 압력 같은 물리적 현상을 감지하는 센서가 장착된 수많은 센서 노드로 구성된 네트워크이다. WSN은 인프라 시스템의 신뢰성과 효율성을 크게 발전시킬 IT 시스템을 구축할 혁신적인 정보 수집 방법으로 여겨진다. 유선 솔루션과 비교했을 때, WSN은 배치가 쉽고 장치의 유연성도 개선되었다. 센서 기술의 빠른 발전 덕분에 WSN은 IoT의 핵심 기술이 될 전망이다.

본 백서는 더 넓은 IoT의 맥락 안에서 WSN의 활용 및 진화에 대해 논의한다. 또한, WSN 응용 사례를 검토하면서 WSN 설계에서 나타나는 특징적인 인프라 기술, 응용, 표준을 집중적으로 살펴본다. 본 백서는 IEC가 국제 표준 및 적합성 평가 서비스를 통해 전기공학 분야의 전 세계적 문제 해결에 지속적으로 기여하는 것을 목표로 발간한 백서 시리즈 중 여섯 번째 간행물에 해당한다.

2장에서는 IoT와 WSN의 역사적 배경에서 시작하여, 현재 업그레이드 진행 중인 전력 그리드의 예시를 제공한다. WSN 기술은 송전 및 변압 장비에 대한 안전 모니터링과 수십억 대의 스마트 계량기 배치에서 중요한 역할을 한다.

3장에서는 WSN의 기술 및 특징을 평가하고, 데이터 취합 및 보안 등 전 세계적으로 WSN이 필요한 부문에 대해 살펴본다.

4장에서는 초대형 센서 장치 액세스, 신뢰, 보안 및 프라이버시, 서비스 아키텍처와

같은 다양한 영역에서 광범위하게 응용되는 WSN의 과제와 미래 동향을 다룬다.

5장에서는 응용 서비스에 관한 정보를 제공한다. 실생활에서 WSN을 응용할 수 있는 가능성은 사실상 무궁무진하다. WSN은 새로운 응용 서비스를 가능하게 하며, 이로써 새로운 시장 가능성을 확보한다. 하지만 다른 한편으로 WSN의 설계는 새로운 서비스 패러다임에 따른 여러 제약의 영향을 받는다. 이 장에서는 스마트 그리드, 스마트 수도망, 지능형 교통시스템, 스마트 홈 영역의 WSN 활용 사례를 간략히 소개한다.

6장에서는 다양한 공급자의 제품뿐 아니라 다양한 솔루션, 적용, 영역 사이에서 WSN의 상호 운용성 달성을 위한 주요 선결조건이 되는 표준화 현황을 분석한다.

7장에서는 산업, 규제기관, IEC에 전하는 다양한 핵심 권고사항과 WSN 보안 및 데이터 주제에 관한 일반적인 논평으로 결론을 내린다.

## : 감사의 글 :

본 백서는 IEC 시장전략이사회(Market Strategy Board, MSB)의 WSN 프로젝트 팀이 작성했다. 프로젝트 팀의 구성원은 다음과 같다.

Shu Yinbiao, 프로젝트 리더, MSB 회원, SGCC

Kang Lee, 프로젝트 파트너, NIST

Peter Lanctot, IEC

Fan Jianbin, SGCC

Hu Hao, SGCC

Bruce Chow, Corning Incorporated

Jean-Pierre Desbenoit, Schneider Electric

Guido Stephan, Siemens

Li Hui, Siemens

Xue Guodong, Haier

Simon Chen, SAP

Daniel Faulk, SAP

Tomas Kaiser, SAP

Hiroki Satoh, Hitachi

Ouyang Jinsong 교수, 중국 ITEI

Wang Linkun, 중국 ITEI

Wang Shou, 중국 ITEI

Zhen Yan, Nari Group Corporation

Sun Junping, CEPRI

Yu Haibin 교수, SIA

Zeng Peng, SIA

Li Dong, SIA

Wang Qin, 베이징과학기술대학

## **∴ 목차 ∴**

약어 목록 19

용어집 22

### **1장 서론**

1.1 개요 24

1.2 본 책서의 범위 26

### **2장 WSN의 역사 및 산업적 동인**

### **3장 WSN 기술**

3.1 WSN의 특성 31

3.2 센서 노드 33

3.2.1 MEMS 기반 센서 소형화 기술 33

3.2.2 에너지 하베스팅 기술 34

3.3 접근 네트워크 기술 36

3.4 토폴로지 38

3.4.1 신뢰할 수 있는 자동구성 네트워킹 기술 39

3.4.2 저비용 IP 연계기술 40

3.4.3 자가적응형 플로우 제어 기술 42

3.5 데이터 취합 42

3.6 보안 44

3.6.1 신뢰, 보안, 프라이버시 44

3.6.2 암호화 알고리즘 46

3.6.3 WSN의 키 관리 47

3.6.4 WSN의 보안 라우팅 48

3.6.5 WSN의 보안 데이터 취합 48

## **4장 WSN의 도전 과제**

- 4.1 시스템 품질, 아키텍처 상이함, 아키텍처 프레임의 필요성 50
- 4.2 초대형 센서 장치 액세스 53
  - 4.2.1 방대한 이종 데이터 처리 54
  - 4.2.2 극적 변화를 위한 지능적 제어 및 서비스 54
- 4.3 센서 네트워크 아키텍처 55
- 4.4 높은 동시 접속률 56
  - 4.4.1 주파수 분할 다중화를 통한 높은 동시 접속률 57
  - 4.4.2 분산 안테나 시스템을 통한 높은 동시 접속률 58
- 4.5 높은 실시간 전송률 59
  - 4.5.1 분산 솔루션 60
  - 4.5.2 집중화된 솔루션 60
- 4.6 시맨틱 표현 및 처리 62
- 4.7 더 안전한 WSN 63
  - 4.7.1 프로토콜 보안 프레임워크 63
  - 4.7.2 신뢰, 보안, 프라이버시 64

## **5장 인프라 시스템에서의 WSN 적용**

- 5.1 스마트 그리드에서의 WSN 적용 67
  - 5.1.1 송전선용 온라인 모니터링 시스템 68
  - 5.1.2 변전소용 지능형 모니터링 및 조기 경보 시스템 69
  - 5.1.3 배전망용 온라인 모니터링 및 조기 경보 시스템 71
  - 5.1.4 스마트 전력 소비량 서비스 72
- 5.2 스마트 수도망에서의 WSN 적용 74
  - 5.2.1 지속 가능성(수자원 중심) 74
- 5.3 지능형 교통시스템에서의 WSN 적용 76
  - 5.3.1 교통 흐름 감지 77
  - 5.3.2 도시 물류 78
  - 5.3.3 온보드 WSN 79
  - 5.3.4 교통 인프라에서의 WSN 80
- 5.4 스마트 홈에서의 WSN 적용 81
  - 5.4.1 에너지 관련 과제 81
  - 5.4.2 건물의 에너지 효율 - 사례 연구 81

- 5.4.3 건물의 능동 제어 83
- 5.4.4 기존 건물 에너지 효율 성능 향상의 핵심, WSN 85

- 5.5 WSN의 추가적 적용 혜택 87
  - 5.5.1 에너지 효율 개선 87
  - 5.5.2 환경 모니터링에 기여 87
  - 5.5.3 사회적 복지 강화 88

## **6장 WSN의 표준 및 시스템**

- 6.1 일반 89
- 6.2 현황 90
- 6.3 표준화 필요성 및 전망 97
- 6.4 과제 및 향후 표준화 필요성 98

## **7장 결론 및 권장사항**

- 7.1 권장사항 100
- 7.2 IEC 및 산하 위원회에 전하는 권장사항 101

## **부록 접속 기술 103**

- A.1 접속 기술의 개발 동향 103
  - A.1.1 블루투스 4.0 103
  - A.1.2 IEEE 802.15.4e 104
  - A.1.3 WLAN IEEE 802.11™ 105

- 참고문헌 107

---

## 약어 목록

---

### 기술 및 과학 용어

- ABS** 잠김방지 제동장치(Anti-lock Braking System)
- AMI** 첨단계량인프라(Advanced Metering Infrastructure)
- CAPEX** 자본적 지출(Capital Expenditure)
- CoAP** 제한적 애플리케이션 프로토콜(Constrained Application Protocol)
- COSEM** 에너지 검침을 위해 동반되는 사양(Companion Specification for Energy Metering)
- CPU** 중앙처리장치(Control Processing Unit)
- DLMS** 장치 언어 메시지 사양(Device Language Message Specification)
- DSN** 분산 센서 네트워크(Distributed Sensor Network)
- ESC** 전자식 안정성 제어(Electronic Stability Control)
- FCD** 시험차량제공정보(Floating Car Data)
- FDM** 주파수 분할 다중화(Frequency-Division Multiplexing)
- FH** 주파수 도약(Frequency Hopping)
- GHG** 온실가스(Greenhouse Gas)
- GPS** 위성위치확인시스템(Global Positioning System)
- ICT** 정보 및 통신 기술(Information and communication technologies)
- IoT** 사물인터넷(Internet of things)
- KPI** 핵심성과지표(Key Performance Indicator)
- M2M** 사물통신(Machine to machine)
- MAC** 매체접근제어(Media Access Control)
- MEMS** 마이크로 전자 기계 시스템(Microelectromechanical Systems)
- MIMO** 다중입출력(Multiple-Input Multiple-Output)
- OEM** 주문자상표 부착(Original Equipment Manufacturer)
- OFDM** 직교 주파수 분할 다중화(Orthogonal Frequency-Division Multiplexing)

- OPEX** 운영 지출(Operational expenditure)
- PHY** 물리적 계층(Physical layer)
- PV** 광전지(photovoltaic)
- QoS** 양질의 서비스(Quality of Service)
- RES** 신재생에너지원(Renewable Energy Source)
- RFID** 전파식별(Radio-Frequency Identification)
- SOA** 서비스 지향 아키텍처(Service Oriented Architecture)
- SOAP** 서비스 지향 아키텍처 프로토콜(Service Oriented Architecture Protocol)
- TDMA** 시분할 다중 접속(Time Division Multiple Access)
- TSMP** 시간 동기화 메시 프로토콜(Time Synchronized Mesh Protocol)
- TSP** 신뢰, 보안, 프라이버시(Trust, Security and Privacy)
- UCC** 도심통합배송센터(Urban Consolidation Centre)
- USN** 유비쿼터스 센서 네트워크(Ubiquitous Sensor Network)
- WIA-FA** 산업 자동화를 위한 무선 네트워크 – 공장 자동화(Wireless networks for Industrial Automation – Factory Automation)
- WIA-PA** 산업 자동화를 위한 무선 네트워크 – 처리 자동화(Wireless networks for Industrial Automation – Process Automation)
- WISA** 센서 및 작동기용 무선 인터페이스(Wireless Interface for Sensors and Actuators)
- WLAN** 근거리 무선 통신망(Wireless Local Area Network)
- WMAN** 무선 도시 지역 통신망(Wireless Metropolitan Area Network)
- WPAN** 무선 개인 통신망(Wireless Personal Area Network)
- WSN** 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)
- WWAN** 무선 광역 통신망(Wireless Wide Area Network)
- XFCD** 확장된 시험차량제공정보(Extended Floating Car Data)

## 조직, 기관, 회사

- ABB** ABB Group
- ARPANET** Advanced Research Projects Agency Network
- BBF** Broadband Forum
- CAB** (IEC 산하) Conformity Assessment Board

**CEPRI** China Electric Power Research Institute

**DARPA** Defense Advanced Research Projects Agency (미국)

**ETSI** European Telecommunications Standards Institute

**IEC** International Electrotechnical Commission

**IEEE** Institute of Electrical and Electronics Engineers

**IETF** Internet Engineering Task Force

**ISO** International Organization for Standardization

**ITEI** Instrumentation Technology and Economy Institute (중국)

**ITU-T** International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector

**MSB** (IEC 산하) Market Strategy Board

**NIST** National Institute of Standards and Technology

**OGC** Open Geospatial Consortium

**OMA** Open Mobile Alliance

**SGCC** State Grid Corporation of China

**SIA** Shenyang Institute of Automation

**SMB** (IEC 산하) Standardization Management Board

**UCB** University of California Berkeley

**W3C** World Wide Web Consortium

---

## 용어집

---

- **사물인터넷 IoT(internet of things)** | 기존 인터넷 인프라 안에, 고유하게 식별 가능한 내장된 컴퓨터 같은 장치의 상호 연결을 지칭한다.
- **매체접근제어 계층 MAC(media access control) 계층** | IEEE 802 네트워크(LAN) 내 물리적 전송 매체로의 접속을 제어하는 데이터 링크 프로토콜의 일부
- **시스템 온 칩 SoC(system on a chip)** | 컴퓨터의 모든 구성요소 또는 기타 전자 시스템을 하나의 칩에 통합시키는 집적회로(IC)
- **시간 동기화 메시 프로토콜 TSMP(time synchronized mesh protocol)** | 신뢰할 수 있는 초저전력 무선 센서 네트워킹의 기본을 형성하는 네트워킹 프로토콜
- **근거리 무선 통신망 WLAN(wireless local area network)** | 선 없이 데이터가 전송되는 로컬 영역 네트워크
- **무선 도시 지역 통신망 WMAN(wireless metropolitan area network)** | 또 다른 이름은 무선 가입자 회선(Wireless Local Loop, WLL)이다. WMAN은 IEEE 802.16 표준에 기반한다. 무선 가입자 회선은 4~10km 내에서 1~10Mbps의 효과적인 전송 속도에 이를 수 있다.
- **무선 개인 통신망 WPAN(wireless personal area network)** | 수십 미터의 영역만 포함하는 저범위 무선 네트워크
- **무선 센서 네트워크 WSN(wireless sensor network)** | 물리적 현상을 모니터링 및 제어하는 데 사용되는 무선 센서 노드의 자동구성 및 멀티홉 네트워크

- 
- 
- **무선 광역 통신망 WWAN(wireless wide area network)** | 단일 도시 지역보다 큰 지리학적 지역에 통신 서비스를 제공하는 무선 네트워크로, 모든 무선 네트워크 중 가장 일반적인 형태

---

## 1장

.....

# 서론

---

### | 1.1 개요 |

오늘날, 센서는 우리 주변에 널리 퍼져 있다. 우리는 이를 당연하게 인식하고 있지만 센서는 우리의 자동차, 스마트폰, 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 배출량을 제어하는 공장에는 물론, 포도밭의 토양 조건을 모니터링하기 위해 땅속에도 설치되어 있다. 우리 곁에 센서가 등장한 지 오래된 것 같지만, 무선 센서 네트워크(WSN)에 관한 연구는 1980년대에 시작되었고, 산업 및 연구적 측면에서 WSN에 대한 관심이 높아진 것은 고작 2001년부터이다. 이는 단일 칩, 즉 시스템 온 칩(SoC)에 통합되곤 하는 프로세서, 무선 통신 장치, 센서처럼 비싸지 않으면서 출력이 낮은 소형 부품의 보급화 때문이다.

IoT의 개념은 WSN과 함께 발전하였다. IoT라는 용어는 1999년 케빈 애쉬튼(Kevin Ashton)이 처음 사용했고<sup>1</sup>, 고유하게 식별되는 객체와 “인터넷 같은” 객체 구조의 가상 표현을 지칭한다. 이러한 객체는 대형 건물, 산업 공장, 비행기, 자동차, 기계류, 모든 종류의 재화, 대형 시스템의 특정 부분부터 인간, 동물, 식물 및 이들의 특정 신체 부위에 이르는 모든 것이 될 수 있다.

IoT는 특정 통신 기술을 가정하지는 않지만, 무선 통신 기술이 주요한 역할을 담당하고

있다. 특히 적용 사례가 다양한 WSN 덕분에 많은 산업이 급증할 것이다. 모든 종류의 환경에 작고 튼튼하며 저렴한 저출력 WSN 센서가 설치되어, 가장 작은 객체에까지 합리적인 비용으로 IoT가 접목될 전망이다. IoT와 이러한 개체의 통합은 WSN이 이룬 주요 발전이 될 것이다.

일반적으로 WSN을 노드 네트워크로 묘사할 수 있다. 노드는 상호 협조적으로 환경을 감지 및 조정하여 사람 또는 컴퓨터와 주변 환경 사이의 상호 작용을 가능하게 한다<sup>2</sup>. 사실, 제한된 양의 에너지를 이용한 감지, 처리, 통신 활동은 일반적으로 분산 신호/데이터 처리, 매체접근제어, 통신 프로토콜을 공동으로 고찰해야 하는 계층간 설계를 촉진한다<sup>3</sup>.

기존의 WSN 적용 사례를 인프라 시스템의 요소 기술로 통합함으로써, 가능한 새로운 응용 분야를 식별할 수 있으며 미래의 기술 및 시장 동향을 충족하는 발전이 가능하다. 예를 들어, 스마트 그리드와 스마트 수도망, 지능형 교통시스템, 스마트 홈을 위한 WSN 기술의 적용은 엄청난 양의 데이터를 생산하며, 이러한 데이터는 다양한 용도로 사용될 수 있다.

또한, 현대 사회가 IoT의 새로운 WSN 시대로 이동함에 따라, 장기간에 걸쳐 명확하게 해야 할 수많은 법적 함의가 존재한다. 가장 긴급한 사안 중 하나는 부가적 가치를 위해 수집, 통합, 연관, 발굴된 데이터의 소유권과 용도이다. 다양한 출처의 정보 원천이 새롭고 알려지지 않은 미지의 신사업 기회와 잠재적인 법적 책임을 이끌게 될 것이며, 데이터 브로커들이 성업할 것이다. 최근 NSA(National Security Administration) 스캔들이나 그 밖의 사건들은 다양한 목적을 위한 데이터 수집에 광범위한 이해관계가 얽혀있음을 보여주었다.

이 새로운 세계에 등장한 더 복잡한 사안 중 하나는 자율적으로 결정을 내리는 기계에 대한 것으로, 이러한 기계가 환경이나 사회에 미치는 영향은 아직 밝혀지지 않았다.

소유자에게 현지 매장의 우유나 버터를 보충해 줄 것을 요청하는 냉장고처럼 단순할 수도 있고, 원래 인간 상호작용을 예상하지 않았던 혹독한 환경에서 살아 남도록 프로그

래밍된 로봇처럼 복잡할 수도 있다. 또한, 항공기의 블랙박스처럼 사용 내역을 기록하는 자동차 같이 단순할 수도 있지만, 그런 다음에 그 정보를 사고 원인 규명에만 사용하는 것이 아니라 소유자 및 작동자에게 불리한 증거로 제시할 수도 있다. 예를 들어, 법에 저촉된 방식으로 기계를 사용하는 경우에 기계가 이를 국가 기관에 통지할 수 있다.

기계가 법적 실체로 행동하기 시작한다는 점이 핵심이다. 법적 책임의 문제가 복잡해지기 시작하고, 기계 또는 로봇의 행동에 실제 인간의 개입이 거의 없거나 아예 없는 경우 기계의 “소유자”와 “운용자”에게 법적 책임 문제를 뚜렷하게 묻기가 더 어려워진다. 이는 분명 최악의 시나리오이긴 하지만, 문제는 잠재적인 법적 책임의 비용과 IoT 솔루션의 혜택 사이에서 어떻게 균형을 맞추는가이다. 이는 빠르게 사회적 또는 윤리적, 도덕적 논의를 넘어서기 시작한다. 이는 보통 가치의 세대교체라고 지칭되며, IoT 동향은 세대를 기다려주지 않는다.

## | 1.2 본 백서의 범위 |

본 백서는 IEC가 국제 표준 및 적합성 평가 서비스를 통해 전기공학 분야의 전 세계적 문제 해결에 지속적으로 기여하는 것을 목표로 발간한 백서 시리즈 중 여섯 번째 간행물에 해당한다. 본 백서는 미래의 전략적 대면을 IEC가 준비할 수 있도록, IEC 시장의 분석 및 이해를 담당하는 IEC MSB가 작성하였다.

---

## 2장

.....

# WSN의 역사 및 산업적 동인

---

WSN의 개발은 특히 분쟁 지역의 감시 등 군사적 목적에서 비롯됐다. 오늘날 WSN은 센서를 이용하여 물리적 상태를 모니터링하는 분산된 독립 장치로 구성되며, 산업 인프라와 자동화, 건강, 교통 및 여러 소비자 영역으로까지 영역을 확대하고 있다.

WSN에 대한 연구는 미국 DARPA(Defense Advanced Research Projects Agency)가 미군을 위해 분산 센서 네트워크(DSN) 프로그램을 수행했던 1980년대 초반으로 거슬러 올라간다. 당시, DARPA가 개발한 네트워크인 ARPANET(Advanced Research Projects Agency Network)은 대학이나 연구 기관에서 약 200개의 호스트를 보유하는 등 수년간 사용되고 있었다<sup>4</sup>. DSN는 서로 협력하지만 자율적으로 운영되고 정보가 가장 잘 사용될 수 있는 노드로 라우팅되는, 공간 분포형 저비용 센싱 노드가 많은 것으로 상정된다. 센서 네트워크에 관한 초기 연구자들이 DSN의 비전을 염두에 두었다 하더라도, 기술이 그다지 준비가 되지 않았었다. 좀 더 구체적으로 말하자면, 센서는 제법 컸고(신발 상자 정도이거나 더 큰 사이즈), 따라서 가능한 적용의 수도 제한되었다. 게다가 초기의 DSN은 무선 연결성과 긴밀하게 연관되지 않았었다.

최근의 컴퓨터, 통신, 마이크로 전기 기계 기술의 발전은 WSN 연구에 상당한 변화를 가져왔고, 원래의 비전에 더욱 근접하게 되었다. WSN 연구의 새로운 물결은 1998년경에

시작되어 점점 더 많은 주목과 국제적인 참여를 끌어냈다. 센서 네트워크 연구의 새로운 물결은 네트워킹 기술과 고도로 동적인 임시 환경 및 자원 제약 센서 노드에 적합한 네트워크화된 정보 처리에 초점을 맞춘다. 또한, 센서 노드는 크기가 훨씬 작고(카드 크기만 한 것부터 먼지 입자만 한 것까지 있음) 가격도 훨씬 싸기 때문에, 환경 모니터링, 차량 센서 네트워크, 신체 센서 네트워크와 같은 센서 네트워크를 민간에서 활용하는 수많은 사례가 새롭게 나타났다.

임시 네트워킹, 동적 질의 및 태스킹, 재프로그래밍, 멀티 태스킹과 같은 새로운 기능을 탑재한 현재의 센서 네트워크를 제공하는 SensIT<sup>5</sup>라는 명칭의 선도적인 연구 프로그램을 시작하면서 DARPA가 다시 한 번 센서 네트워크 연구의 새로운 물결에서 선구자 역할을 했다. 현재, WSN은 21세기에 가장 중요한 기술 중 하나로 손꼽히고 있다<sup>6</sup>. 예를 들어 중국은 WSN을 국가적 전략 연구 프로그램에 포함시켰다<sup>7</sup>. 그 결과, WSN의 상업화가 가속화되고 있고, 물리적 세계를 디지털 세계에 연결하는 Crossbow Technology나 Dust Networks 같은 수많은 신생 기술 업체들이 생겨나고 있다.

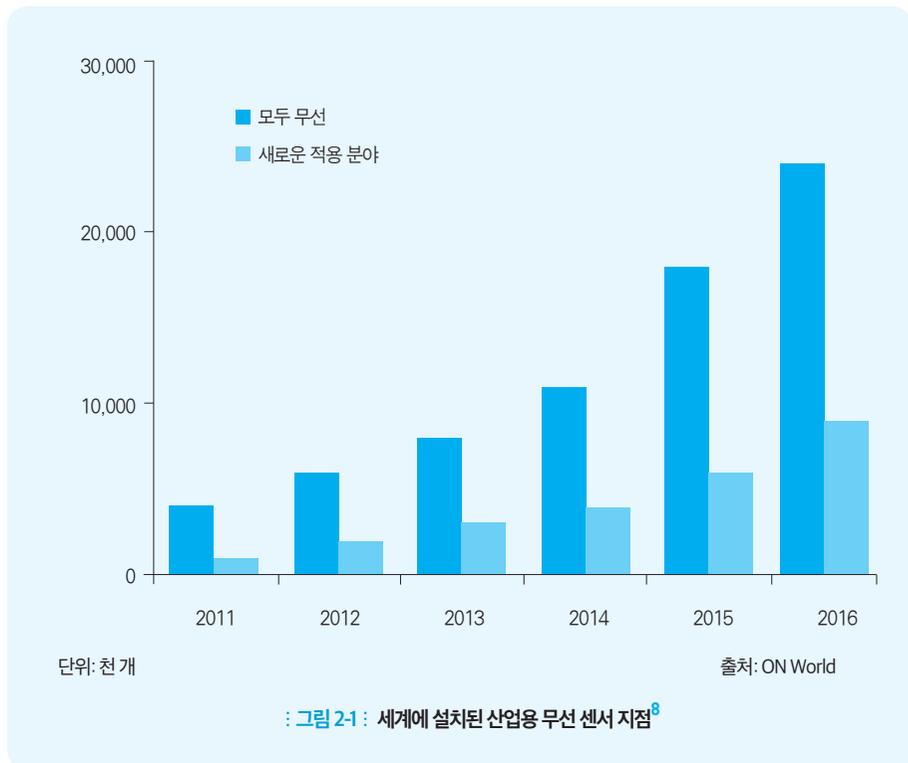
오늘날 산업 자동화는 WSN 적용의 가장 중요한 영역 중 하나이다. Freedonia Group에 따르면, 산업용 센서의 세계 시장 점유율은 110억 달러(USD)인 반면, 설치(주로 배선비) 및 이용에 드는 비용은 최고 1천억 달러 이상이다. 이처럼 높은 비용은 산업용 통신 기술의 개발을 저해하는 주요 문제이다. 전체 산업 공정에서 “유비쿼터스 센싱”을 가능케하는 WSN 기술은 위에 언급한 비용 문제 때문에 온라인 모니터링으로 이용할 수 없는 중요한 파라미터를 확보할 수 있다. 이러한 파라미터는 제품 품질 개선 및 에너지 소비량 감소와 같은 목표 달성을 위한 최적의 제어 기능 구현을 위한 중요한 기반요소이다.

ON World<sup>8</sup>에 따르면, 산업 분야에 설치될 무선 장치는 전 세계적으로 무선 센서와 구동기 또는 센서 지점이 2,400만 개가 배치될 2011년과 2016년 사이에 553% 증가할 것이라고 한다. 이들 중 39%는 무선 센서 네트워킹으로만 가능한 새로운 적용 부문에 사용될 것이다. WSN 장치의 수는 2014년까지 전체 산업 계측 및 제어 장비 센서 지점의 15%,

2016년까지 33%를 차지하게 될 것이다.

오늘날 시장에서 산업용 WSN 수익의 3/4는 공정 산업에서 비롯되고 있으며, 석유 및 전력 산업에서의 성장이 가장 빠르다. 예를 들어 PetroChina는 20만 개의 유정을 재건할 목적으로 석유 부문에 IoT 프로젝트를 시행 중이다. 유정의 디지털 전환을 위해, 온라인 모니터링을 이용하여 유정 생산량을 측정하고 생산 안전성을 확보하는 WSN 기술이 적용될 예정이다.

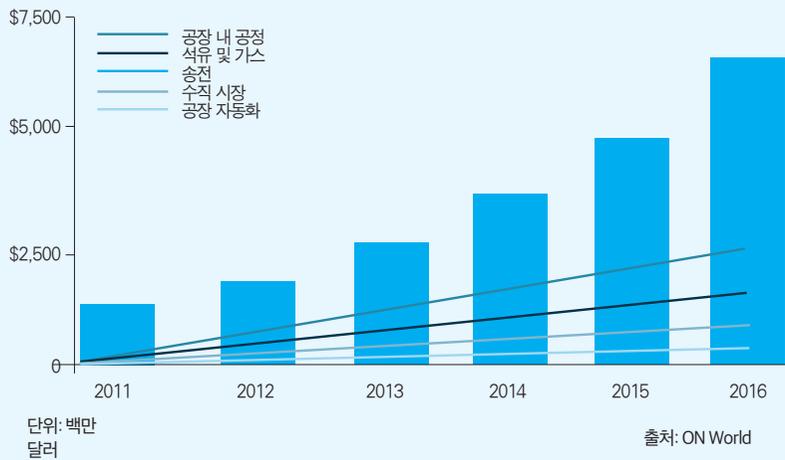
송전 및 변전 장비에 대한 안전성 모니터링, 수십억 대의 스마트 계량기 재건 등 전력계통 업그레이드를 현재 진행 중인 전력 업계에서도 WSN 기술은 중요한 역할을 담당하고 있다.





출처: ON World

**: 그림 2-2 : 세계 산업 분야에서의 기기 수송, 유선 및 무선<sup>8</sup>**



출처: ON World

**: 그림 2-3 : 모든 산업 부문에서의 WSN 수익 증가<sup>8</sup>**

---

## 3장

.....

# WSN 기술

---

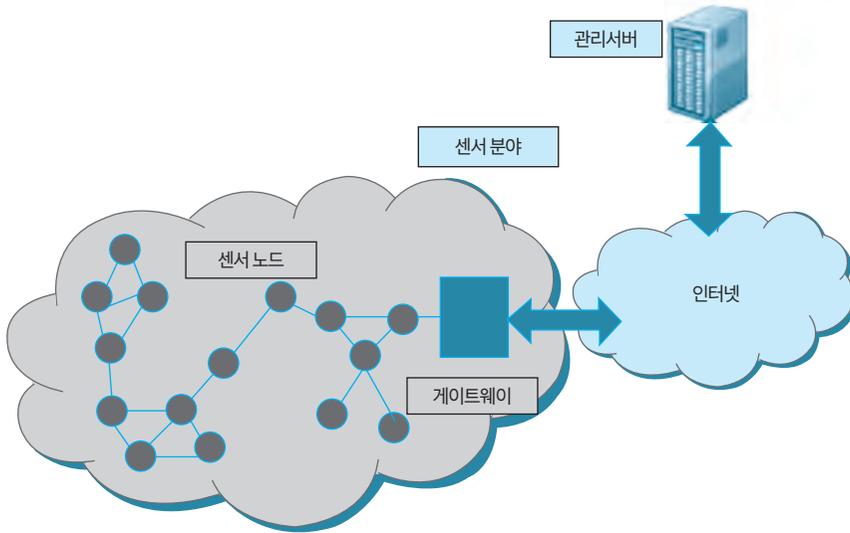
### | 3.1 WSN의 특성 |

일반적으로 WSN은 환경을 협조적으로 감지 및 조정하여 사람 또는 컴퓨터와 주변 환경 사이의 상호 작용을 가능하게 하는, 노드 장치의 네트워크로 묘사할 수 있다<sup>2</sup>. 오늘날 WSN은 대체로 센서 노드, 액추에이터 노드, 게이트웨이 및 클라이언트를 포함한다. 모니터링 영역(센서 분야) 내부 또는 가까이에 임의로 배치된 많은 수의 센서 노드는 자가자동 구성 기능을 통해 네트워크를 형성한다. 센서 노드는 수집된 데이터를 모니터링하여 호핑을 통해 다른 센서 노드로 전송한다. 전송을 처리하는 동안 모니터링된 데이터는 여러 노드로 처리되어 멀티호핑 후 게이트웨이 노드에 도달한다. 마지막으로 수집된 데이터는 게이트웨이 노드에서 인터넷 또는 위성을 통해 관리 서버 노드에 도달할 수 있다. 사용자는 관리 노드로 WSN을 구성 및 관리하고, 모니터링 임무와 모니터링된 데이터의 수집을 발표한다.

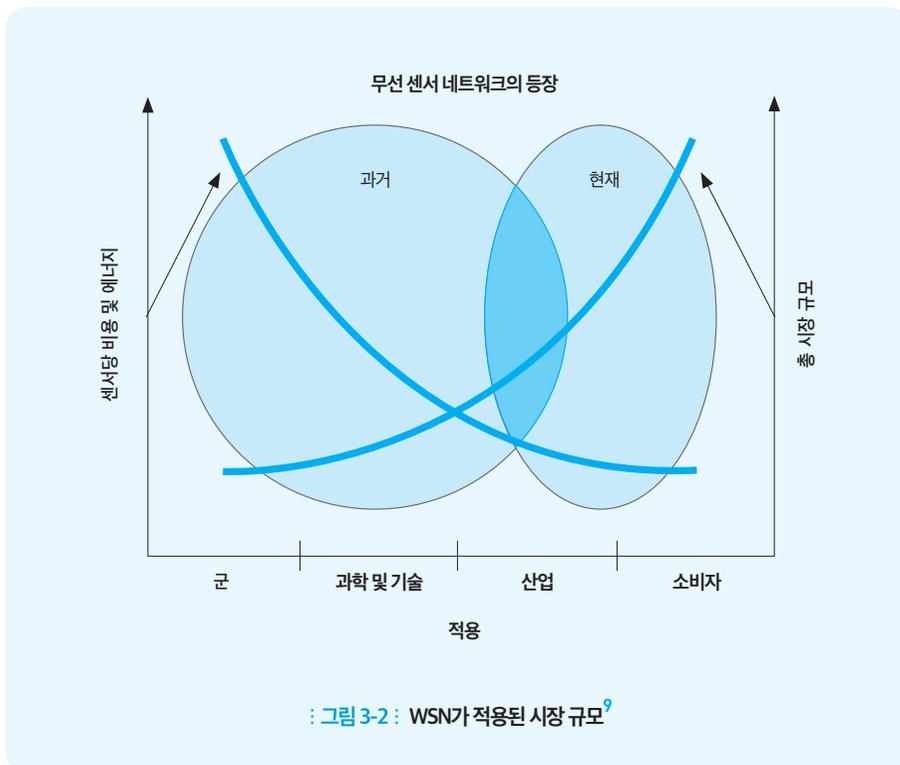
관련 기술이 성숙함에 따라 WSN 장비 비용이 현저히 떨어지고, 그 적용도 군사 영역에서 산업 및 상업 분야로 점점 확대되고 있다. 한편, WSN 기술용 표준 역시 많이 개발되어 Zigbee<sup>®7</sup>,

---

<sup>7</sup>. Zigbee<sup>®</sup>는 상업적으로 이용 가능한 적절한 제품의 예시이다. 이 정보는 표준을 사용하는 이의 편이를 위해 제공된 것으로, 이 제품에 대한 IEC의 지지를 의미하지는 않는다.



: 그림 3-1 : 무선 센서 네트워크(WSN)



: 그림 3-2 : WSN가 적용된 시장 규모<sup>9</sup>

WirelessHart, ISA 100.11a, WIA-PA(wireless networks for industrial automation - process automation) 등이 나왔다. 또한, 산업 자동화 및 가전 제품에서 WSN의 새로운 응용 분야가 등장하면서 WSN이 적용되는 전체 시장 크기는 계속해서 빠르게 성장할 것이다.

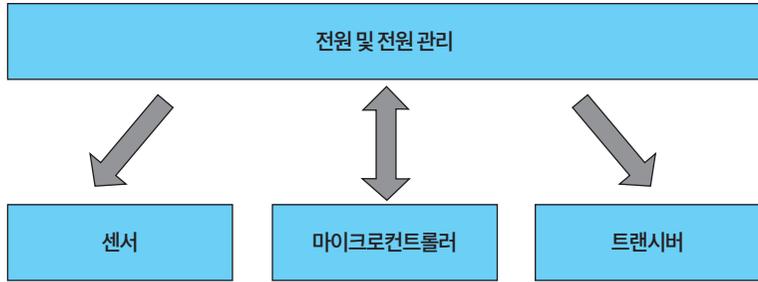
## | 3.2 센서 노드 |

센서 노드는 WSN의 주요 부품 중 하나이다. 센서 노드의 하드웨어는 일반적으로 전원 및 전원 관리 모듈, 센서, 마이크로컨트롤러, 무선 송수신기 등 4개의 부품을 포함한다(그림 3-3 참조). 전원 모듈은 시스템에 필요한 안정적인 전력을 제공한다. 센서는 WSN 노드가 환경과 장비의 현황을 감시할 수 있도록 연결고리와 같은 역할을 한다. 센서는 빛, 진동, 화학적 신호 등을 모아서 전기 신호로 변환한 후 마이크로컨트롤러로 전송하는 일을 담당한다. 마이크로컨트롤러는 센서에서 데이터를 수신하여 그에 따라 해당 데이터를 처리한다. 그런 다음 무선 트랜시버(RF 모듈)가 데이터를 전송하여 물리적 통신을 수행한다.

모든 WSN 노드 설계 시 WSN 노드의 작은 크기와 제한된 전력 등의 기능을 고려하는 것이 중요하다.

### 3.2.1 MEMS 기반 센서 소형화 기술

마이크로 전자 기계 시스템(MEMS)에 기초한 WSN 노드의 소형화 기술은 최근 현저한 진보를 이루었다. MEMS의 핵심 기술은 마이크로 전자 기술, 마이크로 기계 기술, 패키징 기술의 결합을 실현하는 것이다. 미니어처 센싱 요소가 될수 있는 마이크로 전자 및 마이크로 기계 기술을 토대로 2D 및 3D 마이크로 센서티브 구조의 다양한 버전을 생산할 수 있다. 전원 공급 및 신호 조절 회로와 관련된 이러한 소형 센서 요소는 소형 MEMS 센서로 통합 및 패키징될 수 있다.



: 그림 3-3 : WSN 센서 노드의 하드웨어 구조

현재, 시장에는 변위, 속도, 가속, 압력, 응력, 변형, 소리, 빛, 전기, 자성, 열, pH 값 등 다양한 물리적 및 화학적 신호와 바이오매스 신호의 측정에 사용할 수 있는 많은 종류의 소형 MEMS 센서가 나와 있다. 2003년, 미국 캘리포니아대학 버클리캠퍼스(UCB)의 연구원들은 마이크로 센서로 WSN 센서 노드(모트)를 개발했다. 모트의 MEMS 센서 모듈의 실제 크기는 2.8mm × 2.1mm였다<sup>11</sup>.

### 3.2.2 에너지 하베스팅 기술

MEMS 기술에 기반한 센서 등 소형 자율 센서에 동력을 공급하기 위해서 외부의 에너지원과 주변으로부터 에너지 생산이 가능한 에너지 하베스팅을 노드는 필요로 한다. 이러한 시스템은 대개 작고 전력이 거의 필요하지 않지만, 배터리 전원에 의존하기 때문에 적용이 제한되기도 한다.

에너지 하베스팅은 전통적 광세포 발전뿐 아니라 소형 압전결정체, 초소형 발전기, 열전 발전 요소, 또는 전자기파 수신 장치 등을 통해 실현할 수 있다.

일부 회사들은 에너지 하베스팅 장치를 이용하는 센서 네트워크 애플리케이션을 상용화하기 시작했다. 예를 들어 독일 기업 EnOcean은 소형 건물 조명 및 대기 모니터링을 위한 광 에너지 수확 장치, 진동 에너지 수확 장치, 온도 기반 에너지 수확 장치를 제공한

다. 장비 및 건축물 상태 모니터링용으로, 다양한 압전 진동 에너지 수확 제품이 출시되었다. 영국 기업 Perpetuum은 기계적 진동을 전기 에너지로 변환하여, 자율적이고 정비가 필요 없는 산업용 무선 센서 노드에 영구적으로 전원을 공급하는 일련의 제품을 제공한다. 이러한 센서 노드를 통해 우리가 손가락으로 책상을 두드려 만든 진동 에너지로 60초마다 2kB의 데이터를 100m 전송하는 센서 노드를 지원할 수 있다.

배관 모니터링을 위해서는 온도차 에너지 하베스팅에 기초한 많은 제품들이 개발되었다. Nextreme Company의 제품은 3.2mm × 1.6mm의 에너지 수확 물질에서 60°C의 온도 차이로 0.25W의 전력을 생산할 수 있다. 그림 3-4와 3-5는 에너지 하베스팅 장치로 구성된 일부 센서 노드를 보여준다.

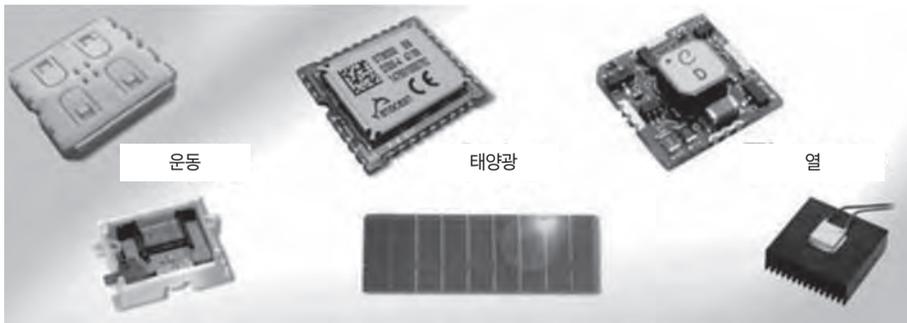


그림 3-4 : 여유 에너지 수확 장치로 구성된 센서 노드<sup>14</sup>

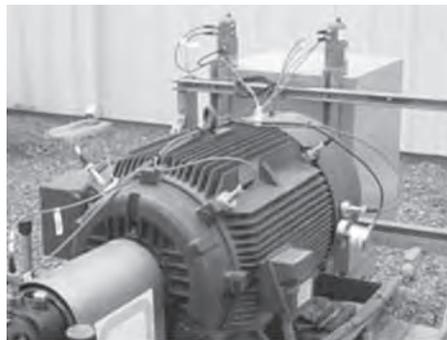


그림 3-5 : 진동 에너지 수확에 기초한 모터 모니터링 시스템<sup>14</sup>

### | 3.3 접근 네트워크 기술 |

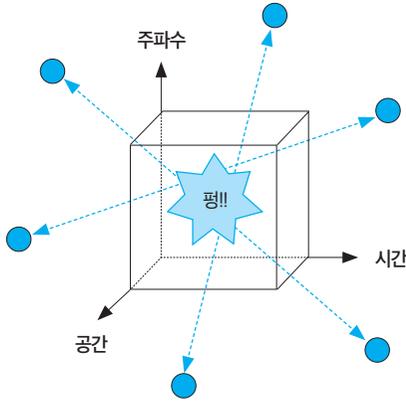
그 길이가 수백 미터에서 몇 마일에 이르는 접속망에는 기간망과 사용자 단말 사이의 모든 장치가 포함된다. 따라서 접속망은 “마지막 마일(the last mile)”이라고 불리기도 한다.

기간망은 주로 높은 전송률을 지닌 광섬유 구조를 사용하기 때문에, 접속망은 전체 네트워크 시스템에서 병목 현상을 부르기도 한다.

그림 3-6과 같이 무선 채널의 개방적인 속성 때문에 여러 사용자가 채널을 공유할 때 시간, 공간, 또는 주파수 차원에서 충돌이 발생한다. 접속망 기술의 기능은 공유 채널의 여러 사용자 간 상호 연결 및 통신을 보장하기 위해, 채널 자원의 사용을 관리하고 조율하는 것이다.

접속 거리와 속도에 따라 기존의 접속 기술은 근거리 무선 통신망(WLAN), 무선 도시 지역 통신망(WMAN), 무선 개인 통신망(WPAN), 무선 광역 통신망(WWAN) 등 네 가지로 구분할 수 있다. 하지만 높은 전송률이라는 전반적인 개발 동향은 WSN의 적용 요건에는 적합하지 않다. 주요 이유는 다음과 같다.

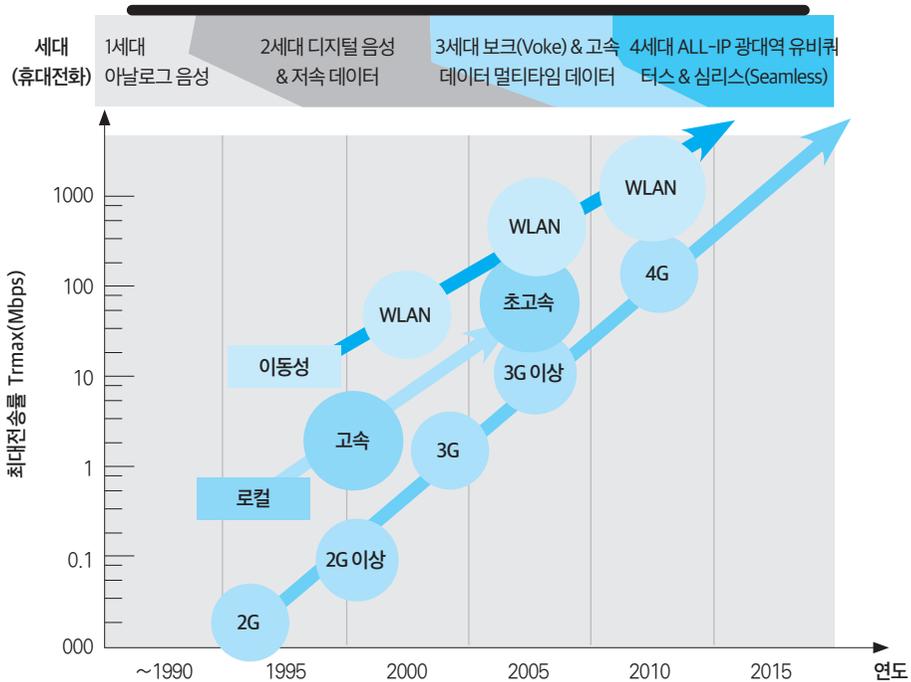
- 신뢰성의 측면에서 WSN의 작업 환경은 대체로 다소 혹독하다. 협대역 다중 주파수 잡음, 간섭, 다중 경로 효과가 있는 나쁜 환경 때문에 희귀한 채널 자원에 기초한 신뢰할 수 있는 통신에서 해결이 필요한 시급한 문제가 발생한다.
- 실시간 성능 측면에서 WSN 및 IoT 적용에는 다른 것보다 엄격한 실시간 요건이 존재한다. 아주 작은 지연이 중요한 재난으로 이어질 수 있다 따라서, 여러 적용 상황에서 견고한 실시간 통신을 보장해야 한다.
- 에너지 효율성 측면에서, 낮은 에너지 소모량은 독립적 배터리 구동 장치의 장기적



: 그림 3-6 : 접속 기술<sup>14</sup>

인 운영을 지원하는 데 핵심 사항이다. 이는 특히, 교체가 어려운 배터리를 사용하는 장치에 WSN 및 IoT를 적용하기 위한 또 다른 요건 중 하나이다.

현재의 WSN 적용을 위한 구체적인 요건에 따르면 접속망 기술의 발전은 이미 상당한 진보를 이루었다.

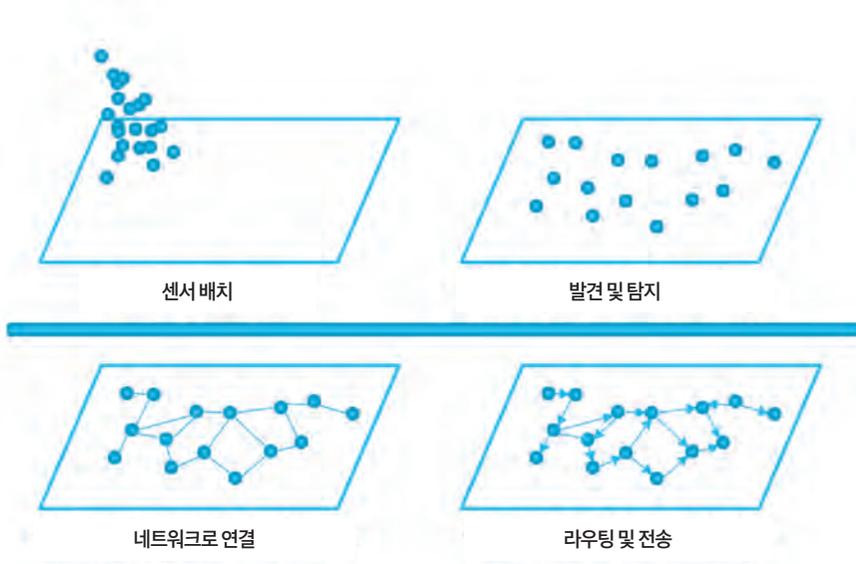


: 그림 3-7 : 접속 기술의 개발 동향<sup>15</sup>

보다 체계적이고 주목할만한 대표적인 접속 기술은 의료용 WSN 위주의 블루투스 4.0, 산업용 WSN 위주의 IEEE 802.15.4e<sup>16</sup>, 그리고 IoT 관점에서는 WLAN IEEE 802.11™<sup>17</sup>이다. 이러한 기술들은 부록 A에서 더 자세히 설명되어 있다.

### | 3.4 토폴로지 |

일반적으로 WSN은 수많은 센서 네트워크 노드와 인터넷 연결을 위한 게이트웨이로 구성된다. 일반적인 WSN 배치 공정은 다음과 같다(그림 3-8 참조). 우선, 센서 네트워크 노드가 주변에 자신의 상태를 전송하고 다른 센서 네트워크 노드의 상태를 수신하여 서로 감지한다. 두 번째로 다수의 센서 네트워크 노드들이 특정 토폴로지(선형, 스타형, 트리형, 메시형 등)에 따라 연결된 네트워크로 조직된다. 마지막으로 센서 데이터 전송을 위해 구축된 네트워크에 적절한 경로가 계산된다. 센서 네트워크 노드는 보통 배터리로 구동되



: 그림 3-8 : WSN의 조직 및 전송 과정<sup>18</sup>

기 때문에 WSN 노드의 전송 거리는 짧다. 전송 거리는 시선 내에서 개방된 실외 환경에서 최대 800~1,000m까지 가능하다. 은폐된 실내 환경의 경우 이는 수 미터로 급격하게 떨어진다. 네트워크 범위를 넓히기 위해 센서 네트워크는 멀티홉 전송 모드를 사용한다. 다시 말해 센서 네트워크 노드는 송신기이자 수신기이다. 첫 번째 센서 네트워크 노드(송신처 노드)는 데이터를 게이트웨이에 전송하기 위해 근처 센서 네트워크 노드에 데이터를 보낸다. 근처에 있는 센서 네트워크 노드는 데이터를 게이트웨이로 가는 경로에 있는 다른 근처의 노드 중 하나로 전달한다. 데이터가 목적지인 게이트웨이에 도착할 때까지 전달이 반복된다.

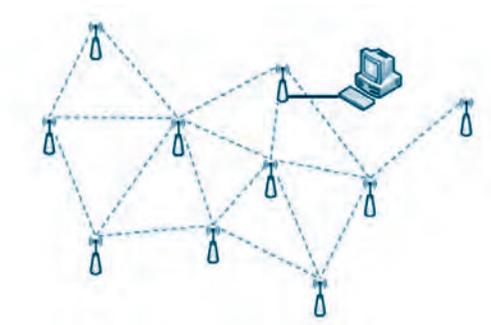
WSN의 프로토콜 및 일부 구현 기술은 무선 및 유선 컴퓨터 네트워크의 성숙한 아키텍처와 기술에 적용할 수 있다. 하지만 WSN의 특징은 자동구성, 자가 적응, 제한된 노드 에너지, 불안정한 전송 연결이다.

### 3.4.1 신뢰할 수 있는 자동구성 네트워킹 기술

WSN 노드의 위치는 임의적이고, 노드는 옮기거나 은폐할 수 있으며, 서로 간섭할 수 있다. 메시 네트워크의 토폴로지는 다른 네트워크 토폴로지에 비해 유연성과 신뢰성이 뛰어나다. 네트워크 노드의 자동구성 관리 접근법은 네트워크의 견고성을 크게 향상시켜, 그림 3-9와 같은 스마트 메시 네트워킹 기술을 만든다. 스마트 메시 임시 네트워크 기술에서 노드는 먼저 인근의 노드를 모니터링하고, 신호 강도를 측정 한 후 시간 동기화에 적합한 인근 노드를 선택하여 합동 요청을 보낸다. 그런 후 인근 노드가 게이트웨이에 요청을 보낸다. 게이트웨이는 요청을 받아 노드에 네트워크 자원을 할당한다. 메시 네트워크에 기초하여 센서 네트워크 노드는 둘 이상의 전송 경로와 함께 할당되어 네트워크의 신뢰성을 향상시킨다. 더스트 네트워크의 시간 동기화 메시 프로토콜(TSMP) 네트워크<sup>19</sup>는 자동구성 네트워크를 지원하고 백 개의 노드로 구성된 네트워크를 유지할 수 있다.

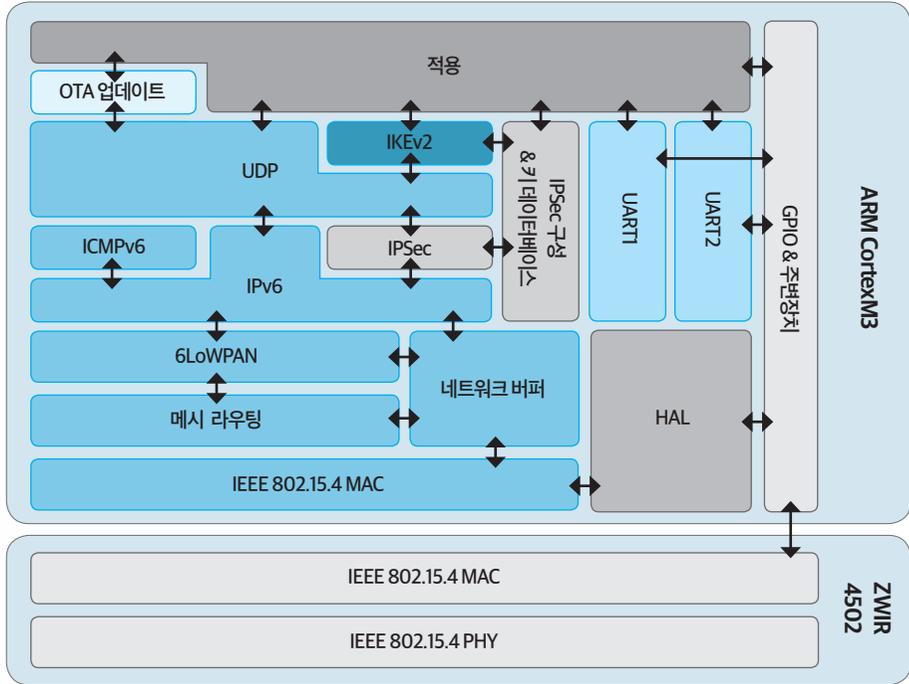
### 3.4.2 저비용 IP 연계기술

초기의 센서 네트워크 설계는 대개 센서 네트워크 노드를 관리하는 데 내부 주소를 이용했다. 주소 길이가 상대적으로 짧았고, 저출력 내장형 센서 네트워크 노드를 구현하기에 적합했다. 하지만 내부 주소 관리 방법은 인터넷의 IP 방식과 호환되지 않아 센서 네트워크 노드와 전통적인 IP 네트워크 노드 간 상호 작용을 더 어렵게 만들었다. 따라서 WSN과 IP 네트워크의 연결성 문제를 해결할 필요성이 있다.



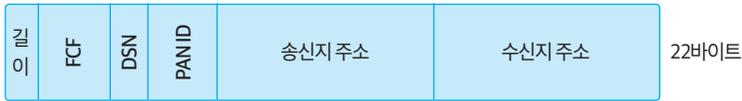
:그림 3-9 : 메시형 자동구성 네트워크<sup>14</sup>

전통적인 IPv4 주소는 점점 고갈되고 있지만, 새로운 IPv6 기술은 광범위한 센서 네트워크 배치에 적합한 거대한 주소 자원을 지니고 있다. 그 결과 IPv6에 기초한 6LoWPAN 저출력 무선 기술이 등장했다<sup>20</sup>. 6LoWPAN은 일반적으로 IEEE 802.15.4 프로토콜의 링크 층 위의 단순화된 IPv6 프로토콜을 실행했다. 헤더 압축 및 패킷 분할 리로딩은 IP 계층과 링크 계층 사이에 적응층을 추가하여 실행되며, 이는 그림 3-10과 같이 IPv6 네트워크와 센서 네트워크 사이에서 적용되는 프로토콜을 달성하는 신뢰할 수 있는 방법이다. NanoStack<sup>21</sup>에 기초한 Sensinode Company의 센서 네트워크 제품과 CC-6LoWPAN<sup>22</sup>에 기초한 TI Company의 센서 네트워크 제품은 모두 6LoWPAN 기술을 이용하여 확장성과, 센서 네트워크와 IP 네트워크 사이의 신뢰할 수 있는 지속적인 상호 연결성을 제공한다.



: 그림 3-10 : 6LoWPAN 프로토콜 스택<sup>14</sup>

IEEE 802.15.4 헤더



압축 UDP/IPv6 헤더



압축 UDP/IPv6 헤더



압축 UDP/IPv6 헤더



: 그림 3-11 : 6LoWPAN 개선된 헤더 압축 예시<sup>23</sup>

### 3.4.3 자가적응형 플로우 제어 기술

WSN과 전통적인 유선 네트워크 사이의 차이점 중 하나는 무선 통신의 불안정성에 있다. WSN에서 노드 사이의 통신은 간섭 및 폐쇄에 민감하기 때문에 신호 전송 실패로 이어진다. 전통적인 네트워크는 안정적인 유선 네트워크로서, 혼잡 시에만 데이터가 손실된다. 플로우 제어의 원칙은 데이터 송신자가 데이터 전송의 손실 상황에 따라 트래픽 전송을 조정하는 것이다. 데이터 손실이 발생하는 경우, 송신자가 전송 속도를 줄인다. 그리고 데이터가 손실되지 않는 경우, 송신자가 전송 속도를 높인다. 이러한 플로우 제어 방식은 WSN에서는 더 이상 적합하지 않은데<sup>23</sup>, 그 이유는 센서 네트워크의 데이터 손실이 대부분 혼잡, 간섭, 폐쇄 때문에 발생하기 때문이다. 순수하게 전송 속도를 낮추는 것은 문제를 해결하지 못하고, 네트워크 성능만 낮추는 것이다. 불안정한 전송 조건에서의 네트워크 성능 저하 문제를 해결하기 위해, 적응형 플로우 제어가 제안되었다. 적응형 플로우 제어는 패킷 손실의 원인을 점검하고 전송 흐름을 조정한다.

반면에, 연결 품질과 전송 오류의 수에 따라, 전송 거리 및 처리량을 고려하여 좋은 네트워크 안정성을 확보하기 위해 노드 사이에서 데이터를 전송하는 데 가장 좋은 전송 속도가 우선순위로 매겨진다.

## | 3.5 데이터 취합 |

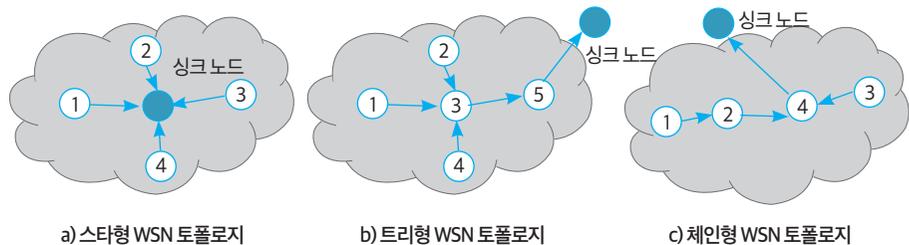
에너지 제한적 센서 네트워크 환경에서 배터리 전력, 처리 능력, 저장 용량, 통신 대역폭 등 여러 측면에서 각 노드가 데이터를 싱크 노드로 전송하는 것은 적절치 않다. 이는 커버리지가 높은 센서 네트워크에서는 인근 노드에서 보고되는 정보가 약간의 중복성이 있어 각 노드에서 데이터가 별도로 전송되고, 전체 센서 네트워크의 대역폭과 에너지를 소모하여 네트워크의 수명을 단축시킨다.

상기 언급된 문제를 피하기 위해 데이터 취합 기술이 도입되었다. 데이터 취합은 복수의 정보 사본을 중간 센서 노드의 사용자 필요를 충족할 수 있도록 하나의 사본으로 통합하는 절차이다.

데이터 취합 기술의 도입은 에너지 절감과 정확한 정보 획득이라는 두 가지 혜택을 준다. 데이터 전송에 소모되는 에너지는 센서 네트워크에서 데이터를 처리하는 에너지보다 훨씬 크다. 따라서 노드의 로컬 컴퓨터 및 스토리지 용량에서 데이터 취합 작업은 대량의 중복 데이터를 제거하여 전송량을 최소화하여 에너지를 절약한다. 복잡한 네트워크 환경에서는 분산 센서 노드의 소수의 데이터 샘플 수집으로만 획득한 정보의 정확성을 보장하기 어렵다. 그 결과 동일한 객체의 데이터 모니터링에는 획득한 정보의 정확성과 신뢰성을 효과적으로 개선시키는 다중 센서의 협동 작업이 필요하다.

데이터 취합 프로토콜의 성능은 네트워크 토폴로지와 밀접한 관계가 있다. 그런 다음 일부 데이터취합 프로토콜을 그림 3-12와 같이 스타형, 트리형, 체인형 네트워크 토폴로지 분석할 수 있다.

데이터 취합 기술은 다른 영역의 성능을 희생하면서 에너지를 절약하고, 정보 정확성을 향상시킬 수 있다. 한 편으로는 데이터 전송 절차에서 취합된 노드 검색, 데이터 취합 작업, 다른 데이터의 도착 대기는 네트워크의 평균 지연을 높이기 쉽다. 다른 한편으로는 전통식 네트워크에 비해 센서 네트워크는 데이터 손실률이 더 높다. 데이터 취합은 데이터 중복을 크게 줄이지만 실수로 더 많은 정보를 잃어 센서 네트워크의 견전성을 저해한다.



: 그림 3-12: 세 가지 종류의 WSN 토폴로지: 스타형, 트리형, 체인형<sup>14</sup>

## | 3.6 보안 |

미래의 모습에 관한 많은 할리우드 영화가 있고, IoT에 관한 환상은 할리우드의 환상에 버금간다. 두 환상에는 한 가지 공통적인 주제가 있다. 기계가 자동화된 사회 안에서 전체적으로 매우 강력해진다는 점이다. 이 안에서 개인의 사생활과 보안에 관한 질문은 보안이 생성되는 곳 내부의 복잡한 사슬이 무한하고, 가장 약한 연결 고리가 전반적인 보안 수준을 정의함에 따라 더욱 복잡해진다. IPv6에는 새로운 세상을 형성할 수백억여 개의 데이터 지점을 아우르는 충분한 IP 주소가 있다. 문제는 그러한 주소들이 모두 개인의 프라이버시를 보장하고 악의적 공격으로부터 시스템을 보호할 수준으로 안전한지 여부이다.

전통적인 TCP/IP 네트워크에서는 네트워크 데이터의 기밀성, 무결성, 가용성을 보호하기 위해 보안이 구축된다. 이를 통해 시스템을 신뢰할 수 있게 되고, 시스템 고장이나 정보 누출 등으로 이어질 수 있는 악의적 공격으로부터 시스템을 보호할 수 있다. 노드 및 애플리케이션 환경의 특징인 WSN 보안에는 전통적인 보안 보호 뿐 아니라 신뢰, 보안, 프라이버시(TSP) WSN의 특별 요건도 필요하다.

### 3.6.1 신뢰, 보안, 프라이버시

TSP WSN은 적용 시나리오에 따라 무결성, 가용성, 기밀성, 거부 없음, 사용자 프라이버시의 보안 보호가 필요할 수 있다. 이는 악의적 공격으로부터 시스템을 보호하여 시스템 무결성, 신뢰도를 지원한다. TSP WSN은 노드가 변조되지 않도록 보호하고, 통신 채널과 네트워크 계층의 라우팅을 보호해야 할 수 있다<sup>24</sup>. 공격을 감지하기 위해 TSP 로깅/감시 기능이 필요할 수 있다.

TSP WSN 기술은 메시지 인증, 암호화, 액세스 제어, ID 인증 등으로 구성된다. WSN의 TSP 필요성은 노드 보안, 암호화 알고리즘, 키 관리, 보안 라우팅, 데이터 취합 등으로 분

류할 수 있다<sup>25,26</sup>.



: 그림 3-13 : WSN의 TSP 아키텍처<sup>27</sup>

### 노드 보안 및 절전 방해

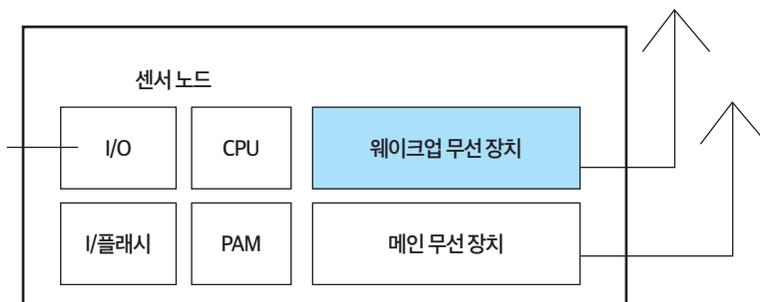
WSN의 노드는 로컬 인터페이스나 직접적인 물리적 공격으로 변조될 수 있다. 무단으로 재배치되거나 도난당할 수 있다.

노드 보안은 시큐어 웨이크업(wakeup)과 시큐어 부트스트래핑(bootstrapping)을 포함할 수 있다. 로우 듀티 사이클은 배터리로 구동되는 센서 노드의 오랜 수명을 보장하는데 필수이다. 서비스 거부 공격의 특정 클래스, 이른바 “절전 방해(sleep deprivation)” 공격<sup>28</sup>은 센서 노드가 절전 모드에 들어가는 것을 방해하여, 공격을 당한 센서 노드의 수명을 심각하게 단축시킨다. 메시지 인증 코드나 프레임 암호화와 같은 표준 보안 매커니즘은 절전 방해 공격을 예방하지 못한다. 노드에 전원이 들어오고, 에너지는 수신된 메시지를 처리하는 데 사용된다. 공격은 배터리 전원이 이미 소진된 경우에만 인식할 수 있다. 그림 3-14는 추가적인 초저전력 웨이크업 무선 장치의 센서 노드를 보여준다. 웨이크업 무선 장치는 센서 노드가 절전 상태에 있을 때 채널을 듣는다. 웨이크업(wake-up, 절전 모

드 해제) 신호를 받으면 센서 절전 모드 해제를 작동시킨다. 일반적인 웨이크업 무선 장치 설계에 보안 기능을 추가하려면, 웨이크업 신호가 암호화된 웨이크업 코드여야 한다<sup>29</sup>. 웨이크업 코드가 단 한 번 사용되고, 각 노드에 고유하기 때문에, 노드의 절전 모드가 해제되면 선명하게 전송될 수 있다.

### 3.6.2 암호화 알고리즘

암호화(Encryption)는 데이터 센서 노드의 원본 정보를 변경하는 특수 알고리즘으로, 이는 무단 사용자가 암호화된 정보에 접근했다라도 원본 정보를 알 수 없도록 만든다. 공공 인프라의 WSN은 필연적으로 공공 활동의 범위에 노출된다. 전통적인 메시지 인증 코드, 대칭형 암호화, 공개 키 암호는 자신의 결점을 노출한다<sup>30,31</sup>. 따라서 암호화 시스템은 더이상 WSN에 적합하지 않으며 제안되어야 할 필요성이 있다. 스페인 기업 Libelium은 2010년에 스마트 시티 WSN의 데이터 보안을 위해 Waspnote 암호화 라이브러리를 개발했다. Waspnote의 무선 센서 장치는 기본적으로 암호화된 라이브러리를 지원한다. 라이브러리는 데이터 링크 계층, 네트워크 계층, 애플리케이션 계층의 다양한 암호화 매커니즘과 상단 매커니즘에 맞게 설계되었다. 라이브러리는 Zigbee<sup>®</sup> 프로토콜을 확장하고, Zigbee<sup>®</sup>의 보안성도 향상시켰다(그림 3-15 참조).



: 그림 3-14 : 보안 웨이크업 무선 장치<sup>29</sup>

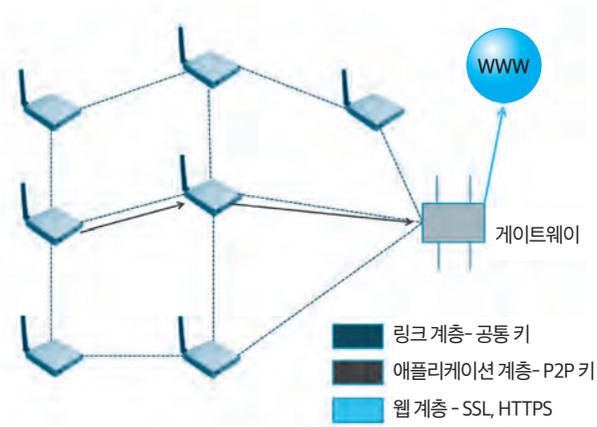


그림 3-15 : Waspnote 암호화 라이브러리의 전형적인 애플리케이션<sup>32</sup>

### 3.6.3 WSN의 키 관리

키 관리는 WSN 보안 영역에 초점을 둔다. 키 관리에는 키 생성, 배포, 확인, 업데이트, 보관, 백업, 유효성 검사, 파괴 등이 포함된다. 효과적인 키 관리 매커니즘은 보안 라우팅, 보안 위치 지정, 데이터 취합과 같은 다른 보안 매커니즘의 토대가 되기도 한다. WSN의 전형적인 키 관리 계획에는 글로벌 키 관리, 임의 키 관리, 위치 키 관리, 클러스터링 키 관리, 공용 키 기반의 키 관리 등이 포함된다<sup>33</sup>.

시큐어 부트스트래핑 절차는 센서 노드의 보안 구성을 구축한다. 가령, 조인 키는 부트스트래핑 중에 구축된다. 부트스트래핑 절차는 여러 가지가 있고 적절한 부트스트래핑 절차의 선택은 환경에 크게 의존하기 때문에, 센서 네트워크의 정상적인 작동은 부트스트래핑과 분리된다. 따라서 정상적인 작동을 위해 보안 아키텍처를 변경할 필요 없이 부트스트래핑 절차를 변경할 수 있다. 적절한 부트스트래핑 절차는 애플리케이션과 그 환경에 의해 크게 좌우된다. 그에 따라 토큰 기반, 노드 생산 시 키 사전 구성, 메시지 물리적 보호, 약한 보안 설정 단계에서의 인밴드, 대역 외 통신 등 다양한 부트스트래핑 절차가 제안되었다.

### 3.6.4 WSN의 보안 라우팅

WSN이 데이터 전송 시 멀티홉을 이용하고 네트워킹 시 자기조직화를 이용하기 때문에, 각 노드에도 라우팅 검색, 라우팅 구축, 라우팅 유지보수가 필요하다. 보안 라우팅 프로토콜은 효과적인 라우팅 결정을 완성하고, 출처 노드에서 싱크 노드까지 안전한 데이터 취합 및 중복성 제거의 전제 조건이 될 수 있다. 많은 보안 라우팅 네트워크가 WSN용으로 특수 설계 되었고, 이들은 네트워크 구조에 따라 평면 기반 라우팅, 계층 기반 라우팅, 위치 기반 라우팅 등 세 가지 범주로 나눌 수 있다<sup>35</sup>.

전형적인 시큐어 라우팅 프로토콜 방식에는 피드백 정보, 위치 정보, 암호화 알고리즘, 다중 경로 선택 방법, 계층 구조에 기반한 방식이 포함된다. 다양한 시큐어 라우팅 프로토콜은 지연, 신뢰, 위치, 미디어 액세스 제어(MAC) 계층의 인증 프레임의 초과 용량 정보 등을 포함하는 피드백 정보에 기초하는 시큐어 라우팅 프로토콜과 같은 다양한 유형의 공격<sup>36</sup> 문제를 해결할 수 있다. 암호화를 사용하지 않더라도, 이 방법은 잘못된 라우팅 정보, 세스풀(cesspool) 공격, 웜홀 같은 일반적인 공격에 저항할 수 있다. 오늘날 대부분의 시큐어 라우팅 프로토콜은 센서 네트워크가 정적이라고 가정하기 때문에, 더 많은 새로운 시큐어 라우팅 프로토콜을 개발하여 센서 노드의 이동성을 충족시켜야 한다<sup>37</sup>.

### 3.6.5 WSN의 보안 데이터 취합

시큐어 데이터 취합은 각 노드 데이터의 보안을 확보해 준다. 따라서, 일반적인 시큐어 데이터 취합 절차는 다음과 같다. 먼저 노드가 신뢰할 수 있는 데이터를 제공하고, 이 정보를 상위 취합 노드로 안전하게 전송할 수 있어야 한다. 상위 취합 노드는 데이터의 신뢰성을 판단하고, 중복에 기반하여 계산을 취합한다. 각 취합 노드는 다음의 안전하고 신뢰할 수 있는 홉을 선택하여 중앙 노드로 데이터를 전송한다. 중앙 노드는 데이터의 신뢰성을 판단하고 최종 취합을 수행한다<sup>38</sup>.

처음에 데이터 취합은 에너지 문제로 인식하고, 보안 문제로는 거의 여기지 않았다. 이

제 보안 데이터 취합은 대개 클러스터, 링, 계층 이론에 기초하는 인증 및 암호화를 통해 실현된다. 원헌대학교는 보안 전송 계획을 실현하기 위해 DTLS 프로토콜에 기초한 데이터 취합 프로토타입을 개발하였다. 그림 3-16의 빨간 동그라미는 그 보안 데이터 취합 프로토타입을 보여준다.

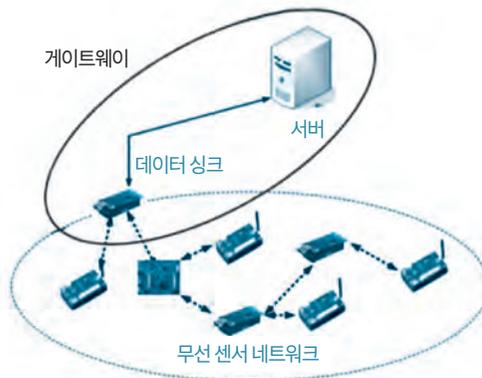


그림 3-16 : 보안 데이터 취합 제품<sup>39</sup>

---

## 4장

.....

# WSN의 도전 과제

---

### | 4.1 시스템 품질, 아키텍처 상이함, 아키텍처 프레임의 필요성 |

IoT는 단 하나의 단어로 표현할 수 있는 광범위한 과제로 특징지을 수 있다. 그 단어는 바로 “규모”이다. 현재 인터넷의 문맥에서 알려진 모든 과제 역시 IoT와 관련되어 있지만, 그 규모는 일반적으로 훨씬 크고, 그 함의는 그보다 훨씬 더 심각하다. 그러한 과제의 예시는 다음과 같다.

- **이용 사례 영역의 범위:** 현재 인터넷이 이미 사람들의 삶과 기업체 및 조직의 일상을 잠식했지만, 이러한 침투의 범위와 깊이는 IoT로 인해 더욱 확대될 것이다. 새로운 적용 분야가 열릴 뿐 아니라(실시간 원격 생활 재고품 모니터링, 이해 단체 모니터링, 교통 모니터링 참여 등), 정보 및 통신 기술(CT)에 의한 처리 및 조치의 확산이 증가할 것이다. 이것의 진가는 가치사슬 내의 무선 주파수 식별(RFID)의 적용을 통해 제공된다. 사업체의 IT는 이미 사내 제품의 거래 총량을 추적할 수 있으며, RFID는 전체 가치 사슬에서 단일 품목까지, 그리고 조직 단위 전반(생산, 외국으로 가는 물류의 흐름 관리, 소매 등)에 침투했다.

- **비즈니스 모델의 차이:** 웹 2.0이 이미 비즈니스 모델의 상이함과 새로운 파괴적 비즈니스 모델의 확산을 주도하고 있지만, 이러한 동향은 IoT가 향후 인터넷의 상당히 큰 부분을 차지하게 되면서 증폭될 것으로 보인다.
- **소유권 및 차용권:** 현재 인터넷에서 독점적인 소유권과 사용은 굉장히 중요한 규칙이지만, IoT의 사회학에서는 다를 것이다. 가령 도시 전체의 센서 네트워크 같은 복잡한 시스템을 반드시 한 집단이 소유하지 않게 될 것이고, 비소유자 집단의 영향이 증가할 것이다(변호사 집단, 공공 기관, 입법 기관 등). 또한, 대개 하나 이상의 조직이 동일한 시스템을 운영할 것이다. 예를 들어, OEM(original equipment manufacturer) 업체가 생산 기계의 유지보수를 몇 개의 역외 서비스 제공업체에 아웃소싱하여, 결과적으로 생산 IoT 시스템으로의 원격 접근이 필요하게 될 것이다.
- **포함되는 대상의 범위:** IoT로 감지, 추적, 조작되는 “사물”의 범위가 정말로 압도적일 것이다. 그 범위는 미세 물질이나 극미세 물질부터 행성이나 그보다 큰 거시적 대상까지 아우를 것이다. 이것의 디지털 그림자는 매우 다르고, 그 구성 내용은 내용에 따라 다르다. 예를 들어 운송 회사의 경우, 전체 컨테이너는 보통 가장 미세한 크기의 입상을 구성하고, 그렇게 “사물”을 구성하는 반면, 그러한 컨테이너 안의 각 제품은 수신하는 소매업자 및 최종 고객의 “사물”을 구성한다.
- **시간 척도 및 신뢰도:** IoT는 높은 신뢰도의 실시간 제어가 필수인(공장 자동화, 항공기 제어 등) 영역에 적용될 것이다. 반면 다른 분야(빙하 모니터링, 가축 떼 모니터링 등)는 분단위에서 연 단위의 시간 척도로 오프라인에 준하는 방식으로 수행될 수 있다.

상기 과제의 규모만으로도 IoT 시스템이 해결해야 하는 매우 다양한 문제가 발생할 것

이다. 당연하게도 이는 다양한 시스템 관련 우려와 열망으로 해석될 것이고, 거의는 아니더라도 대부분은 여러 시스템 수준에서 표현될 것이다. 특히, 우려와 열망은 전체 IoT 시스템의 성능을 다루고, 개인이나 부분을 다루는 일은 그보다 적을 것이다. 따라서 IoT 설계자들은 다양한 질적 요건에 직면하게 되고, 동일한 질적 요건을 수행하는 데 선택할 수 있는 하나 이상의 건축 옵션이 있을 것이다. 이 문제는 표 1에서 설명되어 있다. 각 시스템의 품질마다, 이러한 품질이 영향을 받을 하나 이상의 아키텍처 뷰(architectural view)가 존재한다. 시스템 확장성을 예를 들어 보겠다. 확장성에 영향을 미치는 하나의 관점은 기능적 견해이다. 예를 들어, 중앙 집중화된 기능에 대항하여 분산된 기능을 쟁취하는 식이다. 동일한 전략이 시스템 내에서 처리되는 정보의 관점에서 추구될 수 있다.

다시 말해, 시스템 품질은 하나 이상의 아키텍처 뷰에 영향을 미친다. 또한, 하나의 관점(예: 확장성)으로 하나의 품질을 달성하면 다른 시스템 품질(예: 보안성)에 역효과를 가져올 수 있다.

아키텍처의 해결 공간은 다차원적이고 얽혀 있으며, 질적인 요건이 하나 이상의 시스템 측면에 영향을 미치고, 특정 품질을 달성하기 위한 전술은 보통 하나 이상이 존재하기 때문에, 이는 아키텍처 상이함으로 이어진다. 특히 개발팀이 다양할 경우 서로 다른 아키텍처가 파생되고, 경감 조치가 취해지지 않을 경우 정해진 동일한 요건에 부합하지 않는 시스템 구현이 발생할 것이다. 이는 전혀 새로운 문제는 아니지만, 해당되는 이용 사례 영역, 각 이용 사례 영역에서 진화된 다양한 문화, 모범사례의 범위가 거대하기 때문에 IoT에서 훨씬 더 두드러진다.

상호 운용성이 위기를 맞은 것 다음으로, 아키텍처 상이함에는 불리한 면이 또 하나 있다. 바로 기능, 모듈, 개념의 “수평적 순환”이 하나의 영역에서 다음 영역으로 낮아지는 것이다. 즉, 활용 영역 경계 전체의 모범 사례 솔루션, 기능적 모듈 등의 흐름이 다양한 아키텍처의 제어되지 않는 생태계에 의해 방해받게 될 것이다. 이 두 가지는 자본적 지출(CAPEX, 예: 혁신 및 개발비) 및 운영 지출(OPEX, 예: 새로운 직원이 이해하는 데 시간이 필요한 매우

복잡한 시스템)에 영향을 미친다. 따라서, 아키텍처 상이함 역시 IoT의 비즈니스 가능성에 부정적인 영향을 미친다.

**: 표 4-1 : 시스템 품질에 관한 아키텍처 뷰의 활용(선택)<sup>40</sup>**

		시스템 품질			
		신뢰, 보안, 프라이버시	성능 및 확장성	가용성 및 복원성	확장성
아 키 텍 처 뷰	기능	중	중	저	고
	정보	중	중	저	고
	동시성	중	고	중	중
	배치	고	고	고	저
	운영	중	저	중	저

위 문제들은 스스로 해결되지 않기에 시정 조치가 필요하다. 아키텍처 원칙의 재사용과 시스템 모듈 및 개념의 재사용을 촉진하는 아키텍처 프레임워크(레퍼런스 모델, 레퍼런스 아키텍처와 적용 방식 안내)가 필요하다. 레퍼런스 모델은 IoT 이용 사례와 IoT 시스템을 설명하고 분석하기 위한 일관된 온톨로지와 시맨틱을 제공한다. 레퍼런스 아키텍처는 IoT 이해당사자의 우려와 기대를 충족하는 IoT 시스템 구축 방법에 관한 높은 수준의 조언을 제공한다. 적용 방법에 대한 지침은 질적인 시스템 요건을 대하는 방법에 관한 문제에 답을 제시하고, 동시에 아키텍처 및 시스템 상이함을 방지한다.

## | 4.2 초대형 센서 장치 액세스 |

미래의 WSN 감지 장치 설치에 운송, 전기, 산업 및 기타 중요 인프라의 종합적인 모니

터링 필요성 때문에 기하급수적으로 늘어날 것이다. 예를 들어, 공장의 생산 장비 모니터링에서 온도나 진동 등 장치의 상태를 측정하기 위해서는 장치에 다양한 센서를 설치해야 한다. ABI Research의 추정에 따르면 향후 10년 이내에 5백만 대의 새로운 사물 통신(M2M) 장치가 출현할 것이고, WSN 장치의 수가 이러한 규모의 대부분을 차지할 것이라고 한다. 그 결과 엄청나게 많은 양의 WSN 장치 접속에 대응하는 방법이 중요한 과제이다.

#### 4.2.1 방대한 이종 데이터 처리

인프라의 정보 및 지능 절차에서 WSN 기술을 대규모로 적용하여, WSN 센서에서 생산되는 정보의 양은 오늘날의 EB 수준(1,018바이트)에서 ZB(1,021바이트) 수준으로 성장할 것이다. IDC의 통계 및 예측에 의하면, 2009년 전 세계 데이터의 양은 0.8ZB(1,021바이트)였고, 이는 2020년까지 35ZB가 될 것이라고 한다<sup>42</sup>. 데이터의 주요 부분인 실제 세계의 센서 데이터의 양은 인간 사회의 양보다 30배 많다. 이런 의미에서 저장 및 전송은 물론 대량 데이터의 적시 처리는 전례없는 과제가 될 것이다.

온도, 압력, 흐름, 속도 및 기타 물리적 차원을 포함한 WSN 센서 데이터는 다차원적인 이질적 특성을 지닌다. 정보 및 지능 인프라의 적용에는 그러한 다차원적인 이질적 데이터의 융합 처리가 필요하다. 하지만 기존의 정보 처리 기술은 증가하는 WSN에 대한 수요를 충족하기 어렵다.

#### 4.2.2 극적 변화를 위한 지능적 제어 및 서비스

도시 인프라의 향후 운영 및 관리를 위해서는 안전성, 에너지 보존, 효율성, 편이에 대한 필요를 충족해야 한다. 기존 모드에서는 정보가 자동으로 수집되고 수동 분석을 통해 처리되며, 그에 따라 결정 및 반응이 이루어진다. 하지만, 이 모드는 더이상 적용할 수 없다. 역동적인 변화에 대응할 준비가 된 지능형 제어가 이루어져야 한다. 먼저 WSN 적용

모드가 단순한 통찰에서 폐쇄 루프 제어로 전환되어야 한다. 예를 들어, 지능형 교통 분야에서 원활한 도시 운송을 보장하려면 교통 상황에 대한 역동적 분석과 교통 신호등의 실시간 조절이 이루어질 필요성이 있다. 그럼에도 불구하고, 인프라 제어는 굉장히 중요하기 때문에 지능형 제어의 보안성과 신뢰도를 보장하는 것이 주요 과제가 될 것이다. 두 번째로 WSN 서비스 모드는 사전 정의된 하나의 모드에서 역동적이고 개인화된 모드로 전환해야 한다. 예를 들어, 스마트 전력 이용 시 사용자의 전력 수요와 그리드 작동의 효율성 개선을 모두 보장하려면, 공기 조절 온도 설정과 조명 수준을 그리드의 현재 부하, 환경 조건, 개인 선호에 따라 역동적으로 조절해야 한다.

하지만, 환경적 변화에 따라 서비스를 역동적으로 생성하는 것이 주요한 과제가 될 것이다.

### | 4.3 센서 네트워크 아키텍처 |

센서 네트워크 기술은 뚜렷한 성과와 함께 도심 인프라 구축에 널리 이용되었다. 하지만 다른 센서 네트워크 분야에서 네트워크 내장형 센서 또는 제어 장치는 주로 다른 하드웨어 플랫폼, 운영 체제, 데이터 베이스, 미들웨어를 기반으로 한다. 그리고 그들은 전용 비즈니스 시스템이나 애플리케이션 관리 플랫폼으로 지원되는 경우를 제외하고, 자유로운 정보 교환을 통해 다양한 이종 네트워크 환경에 배치되지 못한다. 아키텍처 설계의 측면에서 대부분의 센서 네트워크 적용 환경은 폐쇄형 아키텍처와 강 결합되어 설계된다. 이런 의미에서 시스템은 정보 사일로의 특징을 나타내고 소규모 산업의 적용 환경에만 적절하다. 게다가 인프라 시스템 아키텍처와 서비스를 공유하고 재사용하기는 어렵다. 또한, 제3자 자원을 시스템에 비용 효과적으로 통합하기도 어렵다. 그 결과 대규모 센서 네트워크 기술의 적용과 추진은 제한적이다.

따라서 개방적이고 유연한 시스템 프레임워크를 더 많이 구축하여 이러한 IoT 병목을 타파하는 것이 시급하다. 편리한 센서 정보를 공유하거나 수요를 제어하고, 고립된 데이터를 센서 네트워크에 통합하기 위해서는 센서 네트워크 개발을 위한 퍼베이시브(Pervasive) 컴퓨팅이 불가피하다.

퍼베이시브 컴퓨팅을 달성하고 이종 자원을 공유하려면, 웹 기술이 플랫폼 사이에서 자원과 서비스를 공유하는 기본적인 프레임워크이기 때문에 웹 기술을 선택하는 것이 자연스럽다.

현재 세계적으로 웹 관련 센서와 관련한 두 가지 동향이 있다. 하나는 세계 곳곳의 사람들이 센서를 쉽게 공유할 수 있게 해 주고, 다른 하나는 센서가 다른 센서와 협력할 수 있도록 해 준다.

#### | 4.4 높은 동시 접속률 |

스마트 그리드 및 다른 산업 분야에서 무선 접속 기술이 확산되면서 동시에 더욱 엄격한 성능 요건(대규모, 저지연)이 기대된다. 스마트 그리드를 예로 들면, 강압 변압기의 제어에는 12개의 노드로 된 네트워크에 0.667~2ms의 지연, 변전소 구역 내 수천 개의 노드로 된 네트워크에 2차 지연, 수천 개의 노드로 된 미래의 첨단계량인프라(AMI)에 2차 또는 다차 지연이 일반적으로 요구된다. 현재의 WSN 접속 기술이 애플리케이션 모니터링에 충분한 수백 대 규모의 네트워크의 엔드투엔드 송전용 2차 지연을 지원할 수 있지만, 미래 애플리케이션의 높은 동시 접속률 요구는 아직 충족할 수 없다. 가벼운 트래픽과 높은 동시 실행률 같은 WSN 적용을 다룰 때에는 기존의 접속 기술에 다음과 같은 문제점이 있다.

- 기존의 일정 기반 접속 기술은 보통 전송 신뢰도를 보장하기 위해 재전송 타임 슬롯, 여러 사용자 간 주파수 분할, 재사용 불가 자원 할당 등을 보유하는 전략을 적용한다. 이처럼 보호되는 자원들은 충분히 활용되지 않는다.
- 경쟁 기반 접속 기술은 자원 활용에서의 충돌에 대처해야 한다. 동시 접속의 데이터 트래픽이 증가하면서 네트워크 성능이 현저히 저하될 것이다.
- 높은 동시성을 지닌 영역, 특히 유효하중(페이로드)이 일반적으로 적은 제어 영역은 기존의 접속 기술이 적용될 경우 패킷의 헤드가 크기 때문에 오버헤드가 과중해져 스펙트럼 접속의 효율도 매우 낮아진다.

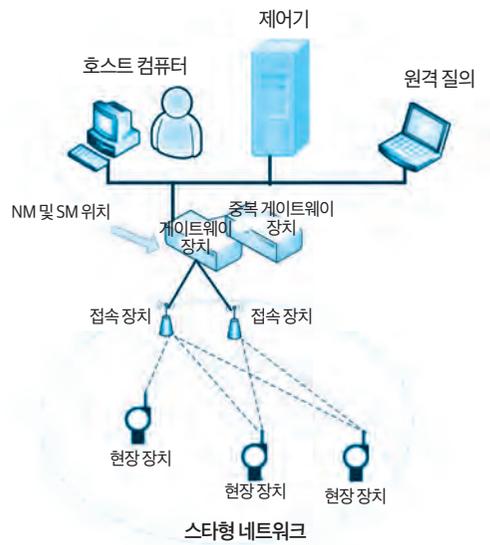
지금까지 상기 문제를 해결하기 위해 두 가지 해결책이 제안되었다. 하나는 ABB가 제안한 블루투스 기반의 센서 및 액추에이터 용 무선 인터페이스(WISA)이고, 다른 하나는 Chinese Academy of Sciences의 Shenyang Institute of Automation이 주도하는 일군의 중국 단체들이 제안한 IEEE 802.11™ 기반 산업 자동화를 위한 무선 네트워크-공장 자동화(MAFA)이다.

#### 4.4.1 주파수 분할 다중화를 통한 높은 동시 접속률

블루투스는 2,400~2,483.5MHz의 범위 내에서 작동하고, 79개의 지정된 블루투스 채널을 지니며, 단거리에서 데이터를 교환한다. 블루투스는 가벼운 트래픽과 높은 동시 실행률 요건을 충족하기 위해 물리적 계층에서 사용될 수 있다. 그밖에도 시분할 다중 접속(TDMA), 주파수 분할 다중화(FDM), 주파수 도약(FH) 기술을 지원하기 위해 MAC 계층이 설계될 수 있다. 장파 무선 주파수 전원은 최첨단 전력 공급 기술이다.

#### 4.4.2 분산 안테나 시스템을 통한 높은 동시 접속률

IEEE 802.11™<sup>17</sup>은 2.4GHz, 3.6GHz, 5GHz, 60GHz 주파수 대역에서의 WLAN 통신 실행을 위한 MAC 및 물리적 계층의 세트이다. 분산 안테나 시스템의 네트워크 아키텍처에 이어 IEEE 802.11™ 기반 PHY 와 FDM 및 TDMA 기반 MAC 계층은 장거리 통신에 적절하다. 그밖에도, 채널 상태 인식 자원 할당, 데이터 취합, 패킷 취합 및 기타 성능 최적화 방법을 공동으로 활용하여, 데이터 지연을 10ms까지 줄일 수 있다. IEEE 802.11™ 기반 높은 동시 접속 기술은 맥주병 충전, 로봇 생산 라인 등 산업에서 널리 적용될 수 있다 (그림 4-2 참조).



: 그림 4-2 : 분산 안테나 시스템을 통한 높은 동시 접속률<sup>14</sup>

## | 4.5 높은 실시간 전송률 |

전통적인 WSN은 네트워크가 커버하는 지역 내의 대상 정보를 인식, 수집, 처리하고, 이를 계량기 검침, 환경 모니터링 등 실시간 요건이 낮은 오프라인 또는 온라인 분석을 위해 감시관에게 전달하는 데 사용된다. 따라서 전통적인 WSN 연구는 네트워크 신뢰도를 향상시키고, 전력 소모량을 줄이는 방법에 초점을 맞춘다. 하지만 스마트 시티 인프라의 지속적인 발전으로 네트워크 커버리지 구역이 증가하고 있으며, 전송을 위한 실시간 요건 역시 마찬가지이다. 도심 교통 제어 시스템을 예로 들 수 있다. 도로 상황 및 차량 수, 주행 속도 비율 등과 같은 정보를 도시 전체에서 수집한 후, 가장 적절한 교통 일정 계획을 산출하여 다시 교차로로 실시간 전송하는 통제 센터에 바로 전송해야 한다.

이 절차는 1초 안에 끝나야 하며, 이는 넓은 구역의 센서 네트워크 시스템 실시간 전송에 대한 새로운 요구이다.

기타 네트워크 기술은 광역 센서 네트워크(이더넷, WLAN, 모바일 통신 네트워크 등)를 구축하고, 다양한 물리적 매체 및 관리 매커니즘으로 이종 네트워크를 구축하는 데 사용될 수 있다. 이더넷 같은 유선 네트워크는 100~1,000Mbps 이상의 속도를 지닌 물리적 매체로, 구리 꼬임 쌍선 또는 광섬유를 이용하고 몇 밀리초의 전송 지연이 있다. IEEE 802.11™ 및 IEEE 802.15.4에 기반한 무선 네트워크 전송률은 250kbps~72.2Mbps이며, 전송 지연 범위는 수백 밀리초에서 수 분까지이다. 이러한 네트워크 기술, 특히 무선 통신에서 다중 입출력(MIMO) 및 직교 주파수 분할 다중화(OFDM) 기술의 발전은 무선 네트워크의 스펙트럼 효율을 크게 증가시키고 네트워크 성능을 개선하여 광역 센서 네트워크 구축의 기초를 마련한다. 하지만 이러한 네트워크는 최선형 방식(best-effort)으로 작동하고, 미래 센서 네트워크 연구의 주력 부문인 실시간 전송을 보장하는 방법에 대해서는 다른 네트워크와의 상호 연결성을 고려하지 않는다. 넓은 지역의 실시간 센서 네트워크 연구는 전 세계적으로 큰 우려 사항이고, 해결책은 크게 분산형과 집중형으로 나눌 수 있다.

#### 4.5.1 분산 솔루션

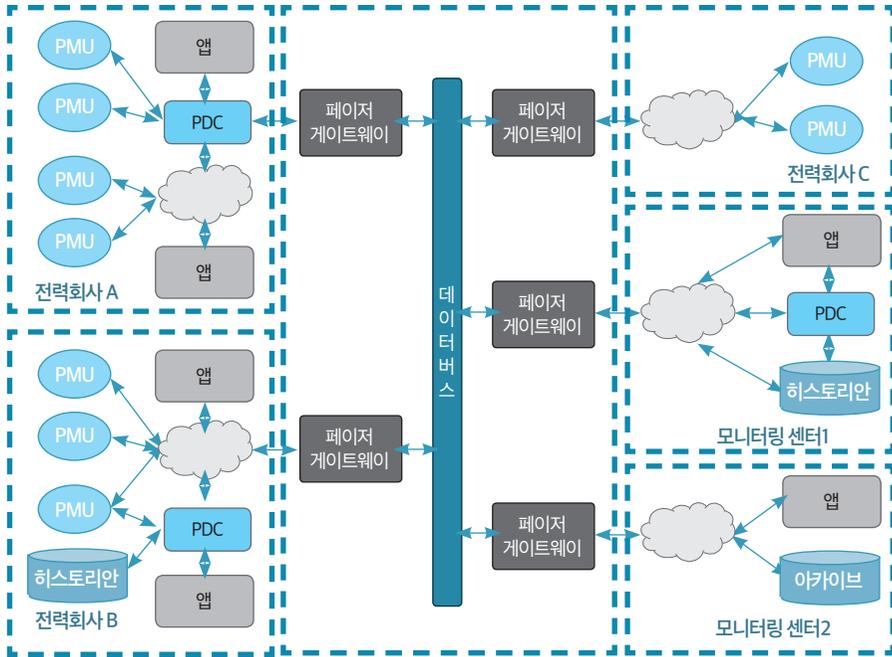
네트워크의 입구에서 분산 솔루션은 작업 요건에 따라 전송 작업을 몇 단계로 나눈다. 네트워크의 각 부분은 로컬 네트워크 운영 조건에 따라 다양한 수준의 작업 일정을 계획하여 광역의 실시간 보호를 보장한다. 분산 솔루션은 상대적으로 높은 견고성을 특징으로 하기 때문에 네트워크 일부의 손상은 전체 네트워크에 영향을 미치지 않는다. 그밖에도 분산 솔루션은 인터넷과 같은 방식으로 실행되기 때문에 기존의 웹과 호환되고 원활하게 진화할 수 있다. 하지만 분산 솔루션의 로컬 스케줄링 전략에는 전반적인 시각이 부족하고, 최선의 전반적 결정을 내리기 어렵다.

그림 4-3에는 제안된 아키텍처가 나와 있으며, 이는 지역 간 실시간 데이터 통합을 구축하고 스마트 그리드에서 매커니즘을 공유하는 광역 전송 네트워크 아키텍처이다. 이 아키텍처는 기술적으로 성숙된 IP 기반이며, IP의 최선형 서비스 모델은 단순하면서도 일정하고, 분산 알고리즘에 매우 적절하다.

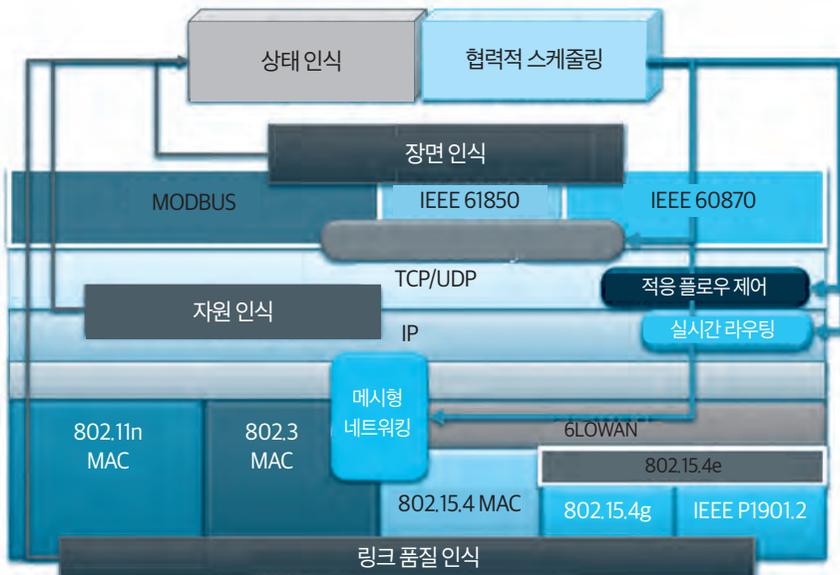
#### 4.5.2 집중화된 솔루션

전반적인 관점에서 집중화된 솔루션은 통일된 방식의 광역 네트워크로 구성된 이종 네트워크를 관리한다. 전송 작업의 지연, 처리량, 신뢰도 등과 같은 니즈를 충족하기 위해, 집중화된 솔루션은 통신 자원을 보유하고, 다양한 이종 네트워크에서 협력적인 스케줄링을 수행하여 전반적인 중단 성능 요건을 보장한다. 집중화된 솔루션은 더 나은 전송 성능으로 글로벌 스케줄링을 최적화할 수 있다는 점에서 우수하다. 그럼에도 불구하고 복잡성이 이 솔루션의 약점이며, 정해진 구역의 특정 개인 네트워크에만 설치할 수 있다.

인식 및 조정에 기초한 광역 실시간 네트워크는 다음과 같이 제안된다. 이종 네트워크의 협력적 스케줄링은 작업 전송을 위한 실시간 요건에 따라 네트워크 운영 상태에 관한 정보를 얻기 위해 계층 간 센서를 통해 집중화된 방식으로 수행된다.



: 그림 4-3 : 광역 전송 네트워크 아키텍처<sup>43</sup>



: 그림 4-4 : 집중화된 광역 실시간 네트워크의 아키텍처<sup>14</sup>

솔루션은 복잡하고 강한 일관성을 요하는 전반적 네트워크 관리에 주력하여 집중화된 방식으로 적절하게 만든다.

## | 4.6 시맨틱 표현 및 처리 |

시맨틱(Semantic) 기술은 주로 네트워크를 통한 지식 공유 및 교환에 대한 거대한 기대 및 수요 때문에, 최근 몇 년 간 정보 기술의 가장 중요한 연구 분야의 하나로 자리매김하고 있다. WSN 정보에 관한 시맨틱 연구는 특히 WSN의 발전 및 전통적인 인터넷 개념에서 센서 계층 장치로의 확대와 함께 뜨거운 관심을 받고 있다. WSN 시맨틱 연구는 센서 노드로 지각되는 실제 세계의 의미 표현에 초점을 맞춘다. 요컨대, WSN 시맨틱은 기본적인 데이터가 더욱 뜻깊게 사용될 수 있는 센서 노드<sup>44</sup>로 지각되는 정보의 의미를 지칭한다.

시맨틱 WSN 연구는 시맨틱 웹에서 비롯된다. 기존의 웹 콘텐츠는 비구조적/반구조적 텍스트를 우선으로 한다. 시맨틱 웹은 웹 상의 정보를 정확하게 정의된 의미에 제공할 수 있지만, 이는 컴퓨터와 사람 간의 협조 개선을 보장하기 위한 것이다. 하지만, WSN의 매체는 그 정보 콘텐츠가 웹과 완전히 다른 센서 노드이며, WSN 노드의 시맨틱 정보를 WSN 부문에 적응시키기 위해 과학 연구 기관과 표준화 기구들은 현장에 해당하는 솔루션을 내놓았다.

센서 시맨틱 사안의 실현을 위한 이목을 끄는 세 가지 연구 주제는 다음과 같다.

- 1) 단말 장치용 의미 표현 기술은 시맨틱 표현을 달성하기 위해 단말 장치 수준에서 센서 데이터에 시맨틱 태그를 직접 추가한다.
- 2) 질의에 기반한 시맨틱 플랫폼은 센서 데이터의 시맨틱 해석을 통해 센서 데이터 질의를 시행한다.
- 3) 클라우드 컴퓨팅 기술에 기반한 센서 정보의 시맨틱 분석 및 관리로, 이것은 대규모의 센서 노드, 시맨틱 표현, 클라우드 컴퓨팅 플랫폼에 기초한 처리를 지원할 수 있는 것으로 예상된다.

## | 4.7 더 안전한 WSN |

요즘, WSN은 물리적 실체의 인프라를 정보 네트워크에 단단히 연결한다. 바이러스 위협에 의한 인프라(전력, 운송, 화학 공장, 국가 안보 등) 피해는 상상할 수 없는 결과를 낳을 수 있다. 유도되지 않는 전송 매체가 유도된 전송 매체보다 보안 공격에 더 약하기 때문에 WSN은 보통 다양한 보안 위협에 더 많이 노출되어 있다. TSP 문제는 처음부터 제대로 고려해야 한다. WSN이 노출된 위협은 네트워크 보안 기술로 부분적으로만 해결될 수 있다. 시빌(Sybil), 도스(Dos), 비정상적인 노드 등 복잡한 공격 형태에 대한 방어는 충분하지 않다<sup>45</sup>.

WSN의 TSP의 목표가 정보와 자원을 공격 및 횡포로부터 보호하는 것이기 때문에, 이 목표를 수행하기 위해 가능한 요건은 가용성, 권한 부여, 인증, 익명성, 기밀성, 최신 상태, 무결성, 노드 보호, 부인 방지, 프라이버시와 같이 거대하다. 앞으로 WSN의 규모는 더욱 커지고 WSN은 인터넷과 더욱 강력하게 결합될 전망이다. 노드 보안, 암호 기술, 키 관리, 시큐어(Secure) 라우팅, 시큐어 데이터 취합과 관련한 연구 노력이 이루어지고 있지만, 미래에는 더욱 안전한 WSN을 보장하기 위한 조치가 취해질 것이다.

### 4.7.1 프로토콜 보안 프레임워크

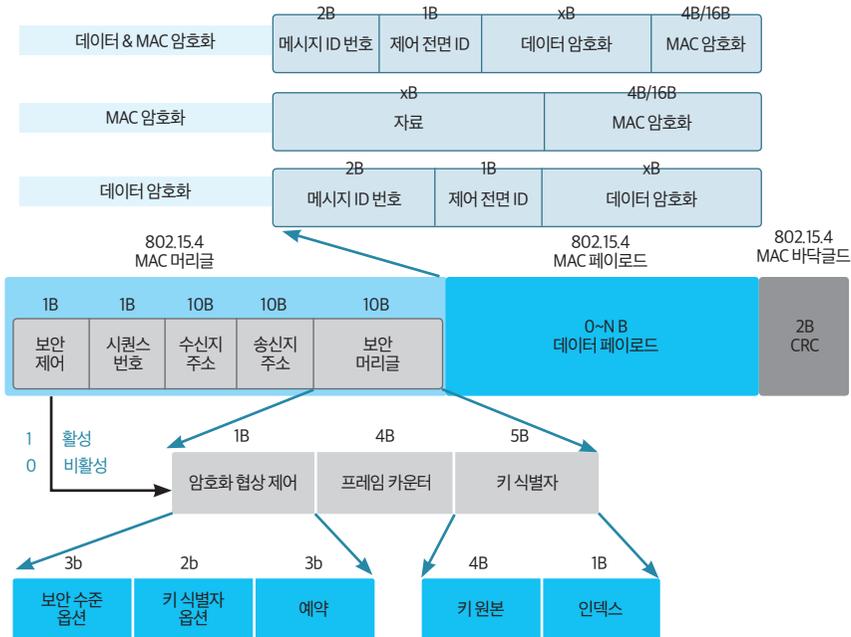
전산 능력, 에너지 소모량 및 센서 노드 한계의 통신 대역폭, 프라이버시 보호 및 ID 관리의 관점에서, 각 WSN 계층에 적절하고 공통적인 모델인 프로토콜 보안 프레임워크에 관한 연구가 이루어져야 한다. 단일 계층에 대한 단일 보안 솔루션은 더욱 효과적인 솔루션이 아닐 수 있기 때문에, 보안에 대한 총체적 접근에는 네트워크의 전반적 보안을 보장하기 위한 모든 계층이 포함될 수 있다<sup>46</sup>. 그 목표는 보안, 지속성, 연결성과 관련한 WSN의 성능을 개선시키는 것이다. 그 원칙은 보안 보장 비용이 특정 시점에 평가된 보안 위협을 초과하지 않아야 한다는 것이다.

현재 노드 시큐어 웨이크업, 조작 방지, 네트워크 계층을 위한 인증 및 암호화, 적용 계층을 위한 로깅 등 WSN의 특별 계층 보안을 보장하기 위해 많은 방법들이 제안되고 있다. 그럼에도 불구하고 다른 계층 프로토콜을 구조화하고 공동의 프로토콜 보안 프레임워크를 보완하는 방식이 향후 주요 연구 주제가 될 것이다.

모든 보안 계층 메커니즘을 결합할 수 있는 공통의 모델이 나올 것으로 예상된다. 다른 것은 계층이 실패한 경우에도 WSN을 공격으로부터 보호할 수 있다. 하지만 향후 몇 년간은 비용 효율과 에너지 효율이 여전히 주요한 연구 과제가 될 것이다.

#### 4.7.2 신뢰, 보안, 프라이버시

기밀성, 개인의 프라이버시권, 데이터 보안 및 무결성은 비용을 감수하고 있다. 이 부분에서 대두되는 질문은 해결책이 제시하는 효과를 봤을 때 비용 편익 비율은 얼마나 되는



: 그림 4-5 : 링크 계층 보안 프로토콜 프레임워크<sup>14</sup>

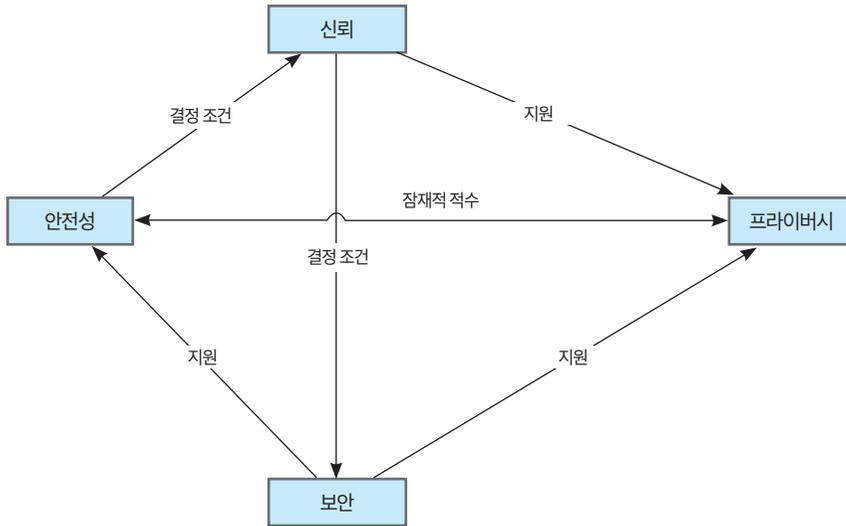
가? 개인이 그러한 편익을 얻기 위해 자신의 권리를 포기할 의사가 있는가? 등이다.

Google과 Apple은 적어도 많은 소비자들에게 위험보다 큰 혜택을 대가로 지급하여 개인 데이터를 마음껏 이용할 수 있었다. 기업적 문맥에서 고객 데이터에 대한 통제권 상실과 데이터 브로커와의 공유 가능성은 신뢰 관계를 깨뜨려 오랫동안 지속되어온 기업 간 신뢰 관계를 법적으로 와해시킬 수 있다.

무한한 수의 데이터 원본 내의 개인 키 인프라와 인증 권한 책임은 시스템에 부담으로 작용하여, 많은 이들이 선제적 보안 수단의 최소화를 고려하고, 사이버 공격이 실제로 발생했을 때에만 이를 처리하는 것을 고려하여 전체 시스템을 위험으로 몰고가게 될 것이다. 악성코드 패킷을 모든 연결된 시스템으로 보내는 IoT 네트워크는 할리우드 공상 과학 영화에서 나온 최악의 악몽처럼 들리기 시작한다. 결국, 한 시스템의 취약점이 모든 시스템을 감염시키지 않도록 가능한 많은 시스템을 다른 시스템에서 분리하는 것이 중요할 것이다. 이러한 잠재적 도미노 효과는 어느 한 시스템에 의해 가시화되지 않은 규모로 열악한 데이터 무결성이 무너질 수 있을 때 아마도 최악의 상황이 될 것이다. 선제적 보안 시스템은 무엇이 “정상적인” 사이버-물리 데이터 트래픽인지에 대한 이해에 좌우될 것이지만, 이것은 다시 지나치게 비싸고 혜택을 줄이거나 필수적인 IoT 솔루션의 비용을 높일 수 있다.

안전을 위해서 고려해야 할, 네 가지 WSN 프레임워크의 특성이 있다. 첫 번째로, 전송 매체의 공개 특성과 더 적은 전력과 더 작은 대역폭 등 센서 노드 전산 자원의 제한 때문에 WSN의 보안은 네트워크 공격에 취약하다. 두 번째로, 정보 공간과 실제 세계의 심도 깊은 통합과 정보 기술로의 유비쿼터스 접속 때문에 ID 및 신뢰 관리가 더욱 복잡하고 어려워졌다. 따라서 ID 관리와 신뢰 시스템은 커다란 과제에 직면했다. 세 번째로 WSN 인식 및 전산 모델의 역동적이고 이질적이며 대규모인 특성 역시 ID, 행동, 환경과 같은 효과적인 시스템 무결성, 데이터 무결성, 데이터 기밀성, 사용자 프라이버시의 보호에서 큰 과제이다. 마지막으로 WSN에는 수많은 종단, 다양한 종단 유형, 역동적인 적응형 네트워

크 구조가 있기 때문에, 환경 데이터의 규모와 복잡성은 기존의 보안 태세 모니터링 시스템의 주요 과제이다.



:그림 4-6: 신뢰 보안 및 프라이버시<sup>14</sup>

---

## 5장

.....

# 인프라 시스템의 WSN 적용

---

### | 5.1 스마트 그리드에서의 WSN 적용 |

전력계통은 전력 산업의 중요한 부분일 뿐 아니라, 국가 지속 가능성의 중요한 부분이기도 하다. 전력에 대한 의존이 점점 커지면서 전력망의 신뢰도 및 품질에 대한 요구 역시 세계적으로 증가하고 있다. 전력회사, 연구 기관, 학자들은 전력망을 효과적이고, 깨끗하고, 안전하고, 신뢰할 수 있고, 상호적인 것으로 현대화하는 방법을 연구했다.

스마트 전력계통은 더 많은 신재생에너지원 (RES), 전기차, 분산 전원을 네트워크에 안전하게 통합하는 능력을 제공하고, 수요 대응 및 종합적 제어, 모니터링 능력을 통해 보다 효과적이고 확실하게 전력을 제공한다. 또한 정전을 예방 또는 복구(자가 치유 능력)하기 위해 자동 그리드 재구성을 이용하고, 소비자들이 자신의 전력 소모를 더욱 잘 제어하고, 전기 시장에 적극적으로 참여할 수 있도록 하는 등 광범위한 영향력을 지닌 새로운 적용을 가능하게 한다.

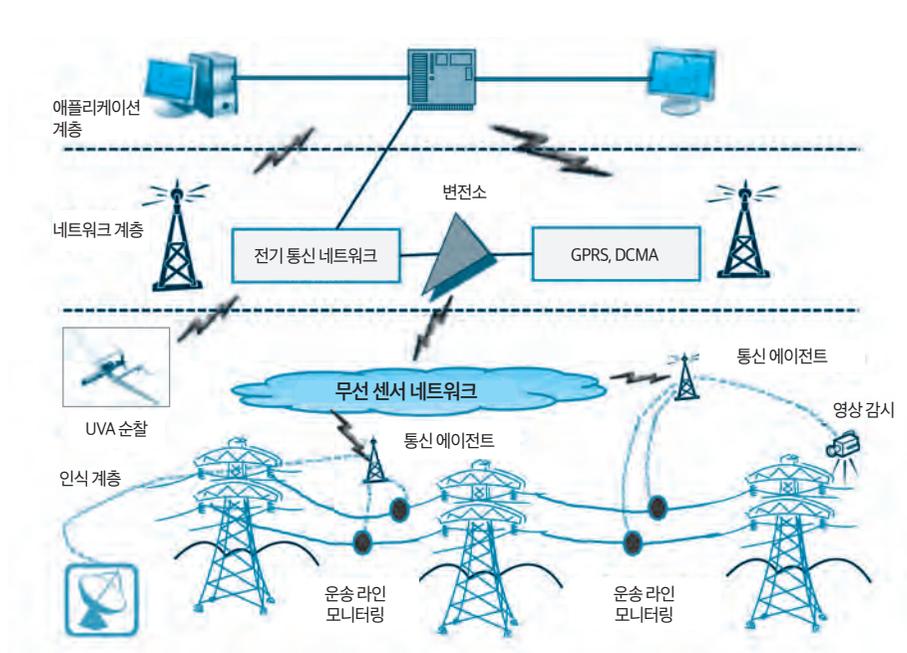
센서는 스마트 그리드가 그 잠재력을 발휘하는 데 핵심적인 도구가 될 것이다. “스마트” 그리드의 배경이 된 발상은 그리드가 실시간 요구에 반응한다는 것이며, 이를 위해서는 센서가 이러한 “실시간” 정보를 제공해야 할 것이다. “스마트 센서 주변 정보”로서의

WSN은 스마트 그리드 기술 발전을 촉진하는 중요한 수단이 될 수 있다. 스마트 그리드의 WSN 기술은 WSN의 산업 발전을 더욱 촉진할 수도 있다.

### 5.1.1 송전선용 온라인 모니터링 시스템

전송 선로의 상태는 바람, 비, 눈, 안개, 얼음, 번개 및 기타 자연 환경의 영향을 직접적으로 받고, 동시에 산업 및 농업 오염 역시 안전한 전송 선로의 안전 운영에 직접적 위험이 된다. 전송 선로의 운영 환경과 운영 상태는 매우 복잡하여, 사고가 발생했을 때 자동으로 경보를 전송하고 운영 모드에 따라 신속하게 전략을 수정하여 결함을 초기 단계에서 처리하거나 작은 범위 내로 고립시키려면, 더 많은 자동 모니터링과 제어 및 보호 장치가 필요하다.

전통적인 유선 통신은 전송 선로 온라인 모니터링의 통신 니즈를 충족할 수 없다. WSN은 혹독한 환경에 적응하는 강력한 능력, 넓은 범위, 자기조직화, 자율구성 및 강력한 전



: 그림 5-1 : WSN에 기초한 전송 선로 온라인 모니터링 시스템의 일반적인 아키텍처<sup>47</sup>

력 독립성과 같은 장점을 지니며, 전송 선로를 위한 데이터 통신 모니터링 시스템에 매우 적합하다.

WSN의 기술적 장점을 통해 전체 범위의 다중 요소 온라인 모니터링 시스템을 구축하면 재난 경보를 적시에 전송하여, 결합 위치를 신속하게 파악하고, 전송 선로의 결합을 감지하고, 고장 복구 시간을 단축하여 전력 공급의 신뢰도를 개선할 수 있다. WSN 사용은 도체 온도, 환경적/기상학적 실시간 온라인 모니터링과 결합했을 때 전원 장치 사고를 효과적으로 예방하고 줄여줄 뿐 아니라, 전송 선로의 동적 용량을 개선하고 증가시키는 전송 효율을 지원하기 위한 데이터를 제공할 수 있다.

전송 선로 온라인 모니터링 시스템의 일반적인 아키텍처가 그림 5-1에 나와 있다.

현재, 중국 국가전력망공사(SGCC)의 일부 지역 전력 회사들은 전송 선로의 온라인 모니터링에 WSN 기술 도입을 추진하고 있다. 예를 들어, 2013년 이후 라오닝성과 닝샤성의 전력 회사들은 전송 선로 온라인 모니터링 시스템을 위해 WSN에 기초한 시범 사업을 개발 중이다.

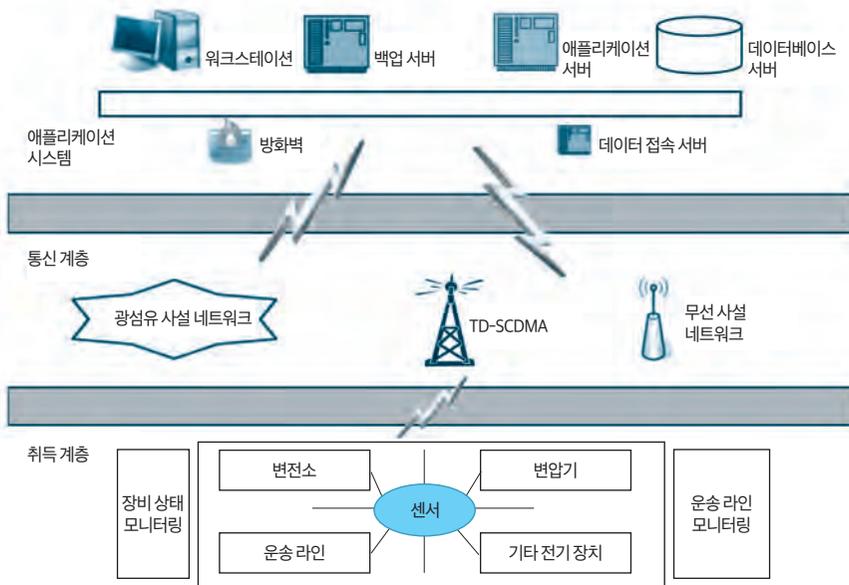
### 5.1.2 변전소용 지능형 모니터링 및 조기 경고 시스템

수십 년의 개발 노력 끝에 국내 변전소 자동화 기술은 국제적 표준 수준에 도달했다. 전압 수준 차이에 관계없이 대부분의 새로운 변전소는 통합 자동화 시스템을 채택한다. 2005년 이후, 다양한 자동화 수준, 전압 등급 및 모드를 지닌 200개 이상의 디지털 변전소가 가동에 들어갔다.

재래식 변전소에 비해 디지털 변전소는 네트워크 정보 디지털화, 변전소 정보 표준화, 네트워크화된 송전에 주력한다. 스마트 그리드의 변전소에서는 스마트 전력 장치, 정보 교환, 상호 운용성, 내부 스테이션의 인텔리전스 적용 기능에 더 많이 주목한다. 이제 많은 스마트 모니터링 기능을 실현할 수 있으며, 이는 변압기/제동기/온도 모니터링, 피뢰기의 누전 모니터링, 누전 모니터링 장치, 결합 전기 장치의 SF6 누출 모니터링, 보조 장

치 환경 모니터링, 장비 도난 방지 모니터링 등을 포함한 지능형 변전소 관리를 향상시킬 수 있다.

WSN 적용은 원격 측정, 원격 통신, 원격 제어, 원격 조정의 전통적인 전기량 정보에 국한되지 않고, 냉각 장치 상태, 회로 차단기 작동 시간, 송전 장치의 에너지 저장 상태, 차단 전류의 크기와 같은 장비 정보, 그리고 환경 정보와 영상 정보 등을 포함하는 확실하고 정확하며 실시간 안전성을 갖춘 변전소 관리를 위한 충분한 정보를 제공할 수 있다. 이를 바탕으로 정보 서술의 디지털화, 데이터 취득 통합, 네트워크를 통한 데이터 전송, 지능형 데이터 처리, 데이터 표시 시각화 및 과학적 생산 의사 결정을 달성할 수 있다. 예를 들어 SGCC는 CSA(Chinese Academy of Sciences) 산하 SIA(Shenyang Institute of Automation)와 함께 WSN 기술을 이용하는 국가 유지보수 시스템을 구축했다. 중국의 라오닝성과 판진성 남부에서는 220kV의 스마트 변전소를 이용하여 보조 제어 장치를 만들었다. 두 개의 장치가 가동에 들어간 후 전력계통이 안정화되고 데이터 전송이 원활해



: 그림 5-2: 장비의 운영 상태 모니터링 아키텍처<sup>47</sup>

졌다. 예상했던 통신 효과를 달성하였고, 모범적인 시범 모델로 인정되었다.

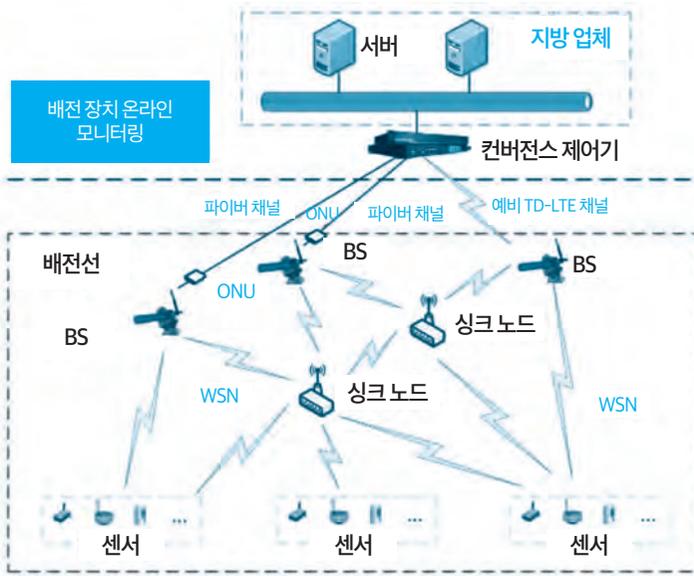
WSN에 기초한 서비스 솔루션은 스마트 계량기 부문에서 진행 중인 국제적 표준화 활동에 맞게 조정되어야 한다[예: DLMS 사용자 그룹이 주도하는 국제표준 IEC 62056 (DLMS/COSEM) 시리즈].

### 5.1.3 배전망용 온라인 모니터링 및 조기 경고 시스템

배전망은 전력계통을 사용자에게 직접 연결하고 전기에너지를 사용자에게 분배한다. 배전망의 신뢰도와 품질은 신뢰할 수 있는 전력 공급의 중요한 요소이다. 배전망은 급전선, 배전용 변압기, 회로 차단기, 스위치와 같은 기본 장비와 계전기 보호, 자동 장치, 측정 및 계량, 통신 및 제어 장치 같은 보조 장비로 구성된다.

배전망은 엄청난 수의 지점과 넓은 커버리지 구역, 긴 송전 거리 등을 특징으로 한다. 배전 분야에 WSN을 도입하면 관리를 강화하고, 인력을 줄이고, 전력 공급의 신뢰도를 개선하고, 장애 관리의 복구 효율을 가속화할 수 있다. SGCC는 중국 닝샤성 인촨과 허난성 허비의 IoT 적용 시범 사업을 지원하고, 배전망에 WSN 기술 도입이 다음과 같은 측면에서 배전망 구조물에 대한 보호와 지원을 제공할 수 있음을 확인했다.

- 1) 통합 센서 장비를 배치하여 전력 품질 변화와 대용량 전기의 부하 상태를 모니터링할 수 있고, 전압, 전류, 고조파 및 기타 정보의 적시성을 개선할 수 있다.
- 2) RFID를 이용하면, 내비게이션과 영상 감시, 스마트 웨어러블 기술과 함께, 배전 설비의 상태와 환경 변수에 대한 실시간 모니터링 역량을 강화할 수 있다. 이는 배전선의 고장 위치 파악을 개선시킬 수 있다.
- 3) 배전선 상태와 땅속의 배전관망을 모니터링하여, 현장 운영 모니터링 및 도난 방지 시설의 더 높은 수준의 자동화를 달성할 수 있다.



: 그림 5-3 : 배전망 모니터링 부문에서 사용된 WSN 기술<sup>47</sup>

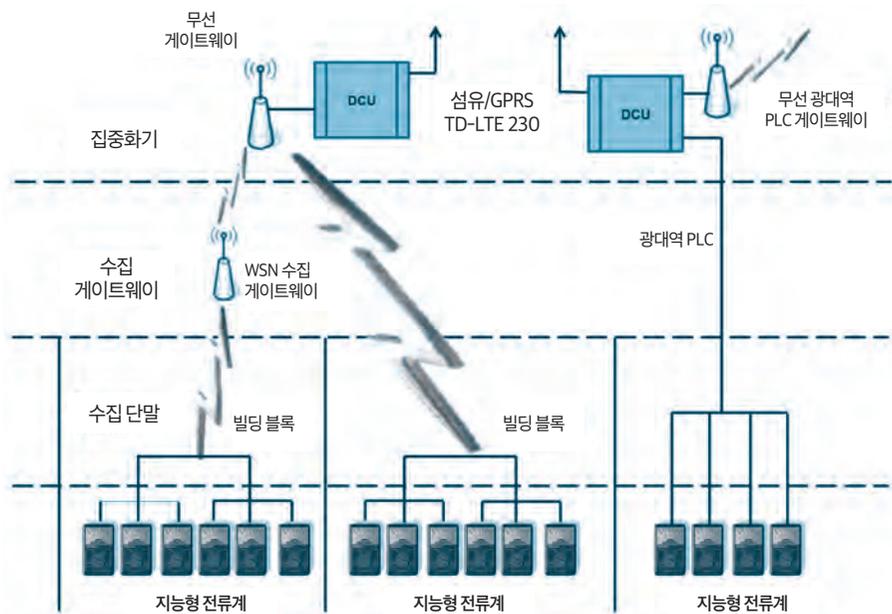
### 5.1.4 스마트 전력 소비량 서비스

지능형 전력 소비 서비스는 강력한 전력계통과 첨단 검침, 고효율 제어, 고속 통신 및 빠른 에너지 저장 기술에 기초한 현대적 관리 개념에 의존하여 전력망, 고객 에너지 흐름, 정보 흐름, 비즈니스 흐름 사이의 실시간 상호 작용을 실현한다.

WSN은 공급측과 사용자측의 단말기를 센서로 연결하여 전기 에너지 소비 정보를 위한 완전 양방향 네트워크를 형성하고 복잡한 환경에서 전기 정보 획득을 실현할 수 있다. WSN에 기초한 정보 통합 분석은 사용자를 안내하거나 전기 소비 방식을 직접적으로 조정하여 전력 자원을 최적으로 구성하거나, 전기 공급 비용을 줄이거나 신뢰도 및 효율성을 개선할 수 있다. WSN은 지능형 커뮤니티, 지능형 공업 단지와 같은 지능형 전기 소비 분야에서 광범위한 적용 가능성을 가지고 있다.

전기 에너지 데이터 획득 시스템은 지능형 전기 소비 서비스의 기초이다. 시스템은 여러 종류의 대규모 사용자 데이터를 종합적으로 수집할 수 있다. 여기에는 검침 지점 평가

를 위한 특수 변압기, 특수 변압기의 중소 사용자, 3단계 일반 비즈니스 사용자, 1단계 일반 산업 및 상업 사용자, 주거 사용자 및 공공 배전용 변압기 데이터가 포함된다. 통합 전력 정보 플랫폼 건설을 위해 이러한 데이터를 조합할 수 있다. WSN 기반 전기 에너지 데이터 획득 시스템의 아키텍처는 그림 5-4와 같다.



: 그림 5-4 : WSN을 기반으로 한 전기 에너지 데이터 획득 시스템의 아키텍처<sup>47</sup>

현재, SGCC의 일부 지방 전력 업체들은 WSN 기술에 기초한 자동 계량기 검침 시스템을 사용하기 시작했다. 예를 들어, Liaoning Province Electric Power Limited Company는 20,000가구 이상에 WSN 기초 전기 에너지 데이터 획득 시스템을 도입했다. 통신 시스템은 산업용 무선 네트워크 표준인 WIA에 기초하고, 작동 테스트에서 우수한 결과를 냈다. 메인 시스템에 정확한 시계가 있어 집중화기 시계가 업스트림 통신 네트워크와 동기화될 수 있다.

## | 5.2 스마트 수도망에서의 WSN 적용 |

오늘날 세계의 물 소비량은 1950년의 300%이다. 세계 인구의 급증과 중산층의 급증이 결합되어, 지구의 한정된 자원에 대한 수요는 계속해서 증가할 것이다. 이런 맥락에서 주요 자원의 예를 하나 들자면 깨끗한 물의 이용 가능성을 들 수 있다. 일반적인 정부 규제와 천연 자원 개발에 대한 감시 활동 말고도, 많은 기업들이 환경에 대한 영향을 예의 주시하고 있다. 그들은 또 자신들의 사업 운용이 천연 자원에 미치는 부정적 영향을 최소화하는 단계를 수행하는 것에서 사회적이고 상업적인 이득을 확인하고 있다.

이는 주로 수질 오염에 대한 영향 모니터링을 하나의 예를 든 그림 5-6과 같이 복잡한 채점표 안에서 환경 영향을 모니터링하여 포착된다.

### 5.2.1 지속 가능성(수자원 중심)

이 새로운 친환경 움직임을 이끄는 데에는 주가 영향과 규제적 요건이 있다. 현대 사회에서 기업들이 사회에 대한 이익 대비 오염 비용의 지표인 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 발자국과 천연 자원에 미치는 환경 영향을 더욱 잘 관리해야 한다는 인지된 필요성을 점점 중요하게 여겨야 한다는 인식이 대체로 통용되고 있다. 따라서 정부가 새로운 환경 규정의 준수를 요구하는 규제를 만들고, 새로운 국가적 시장 진입 비용을 만드는 것 외에 이 분야에 대한 기업들의 투자 동향은 분명하다.

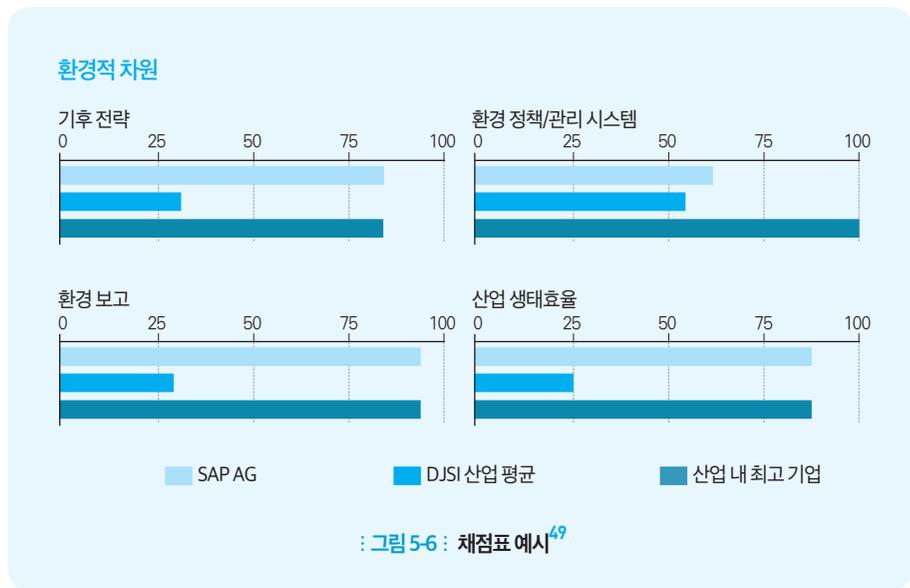


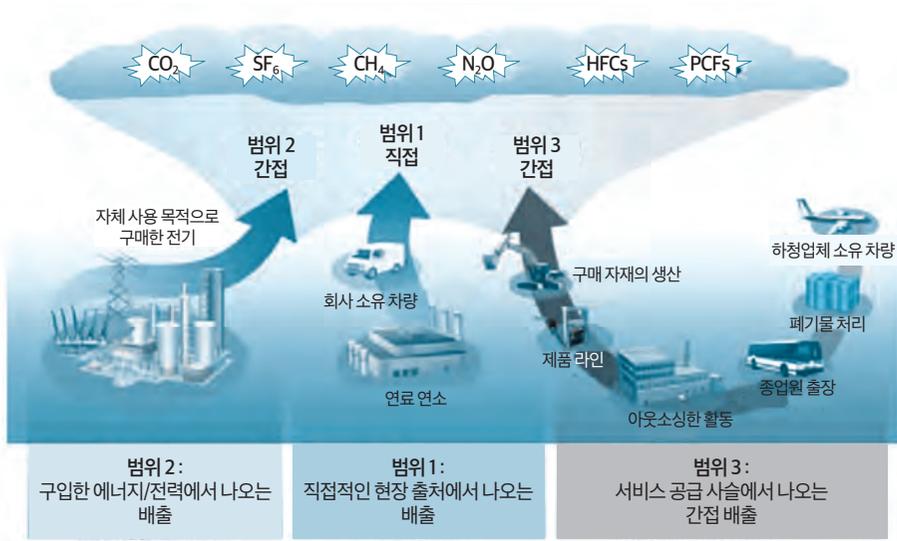
: 그림 5-5 : 수도망 모니터링<sup>48</sup>

깨끗한 물에 초점을 맞추기 위해서, 기본 수질을 결정하고 깨끗한 물에 대한 다양한 잠재적 오염원을 감시하기 위한 모니터링 시스템을 설치해야 한다. 전통적인 운영 기술 시스템은 대체로 잠재적인

오염을 감시하도록 만들어지지 않았기 때문에, 추적이나 관리가 대체로 가장 어려운 오염원인 잠재적인 대기중의 오염원도 모니터링하려면 새로운 센서와 구동기를 사용해야 한다. 수집된 정보는 핵심성과지표(KPI)로 사용될 뿐 아니라 인공적 오염 또는 환경적 기상 사건 등 관련 사건의 실시간 모니터링에 기초하여 수질을 예측하는 데 이용될 수 있다. 이는 항상 국제적 규제의 틀 내에서 사업을 운영하는 기업들에 유용할 수 있고, 배출량/오염 인증의 형태로 추가적인 가치를 창출할 수도 있다.

이러한 변화는 기업들이 그동안 알고 있었던 시장에서의 경쟁우위를 기존의 운용 효율에서 지속 가능성으로 바꿔 생각해야 한다는 의미이다. 다시 말해 환경에 가장 적은 부정적 영향을 미치는 제품과 서비스에서 가치를 포착하고 이에 가치를 부여해야 한다는 의미이다.





: 그림 5-7 : 수질에 위험이 되는 대기 중 오염원 온실가스(GHG)<sup>48</sup>

### | 5.3 지능형 교통시스템에서의 WSN 적용 |

지능형 교통의 무선 센서는 몇 가지 측면에서 기존의 개념이나 WSN 설계 요건과 다르다. 대부분의 경우 센서는 일부 전원 공급 인프라에 의존할 수 있다. 예를 들어, 이러한 시스템에서 에너지 효율 측면의 중요성은 대체로 부차적이다.

지능형 교통에서의 WSN 적용은 다음과 같이 두 가지 범주로 세분화할 수 있다.

- 1) 정지된 센서 네트워크. 차량에 탑재되었거나 교통 인프라의 일부
- 2) 유동적 센서 네트워크. 개별 차량 또는 기타 모바일 개체에서 센서처럼 작동

두 범주 중 전자는 주로 과거에 유선 센서로 수행했던 적용 부분으로 구성되는 반면, 후자는 재화, 차량, 사람의 흐름의 추적 및 최적화와 관련된 적용 부분으로 구성된다.

### 5.3.1 교통 흐름 감지

지능형 교통 관리 솔루션은 정확한 측정 및 도시 내 교통 흐름에 대한 확실한 예측에 의존한다. 여기에는 특정 도로의 차량 밀도 또는 특정 버스나 기차 내부의 승객 수에 대한 추정 뿐 아니라 차량 및 승객들의 출발지와 도착지 분석도 포함된다.

도로나 교차로 위의 교통 상황 모니터링은 카메라, 유도 루프 등과 같은 전통적인 유선 센서를 이용하여 획득할 수 있다. 무선 기술은 그러한 센서의 배치 비용 절감에 유용할 수 있지만, 측정 결과의 정확성이나 유용성에 직접적인 영향을 미치지 않는다.

하지만 “센서”라는 용어의 정의를 확장시키고 무선 기술을 여러 차량 및 스마트폰에서 쉽게 이용할 수 있도록 만들면서, 차량과 대중 교통 체계를 이용하는 승객이 도시 내 교통 흐름의 정확한 측정을 위한 “센서”가 될 수 있다.

차량에서 교통 흐름 데이터를 수집하는 기술을 통칭하여 시험차량제공정보(floating car data, FCD)라고 부른다. 여기에는 위치 정보를 중앙 서버에 확실하게 전송하는 상대적으로 적은 수의 차량에 의존하는 방식(예: GPS를 통해 획득한 위치 정보를 전송하는 택시 또는 버스)과 셀룰러 네트워크 운영자의 실시간 위치 데이터베이스에서 획득한 휴대 전화 위치 정보에 의존하는 방식이 포함된다. 후자의 방식은 실제로 차량 자체의 센서는 포함하지 않고, 현재 교통 흐름의 특징을 감지하기보다 무선 네트워크(즉, 기존의 셀룰러 네트워크)를 추론하는 데 이용한다. 기술적 과제는 특히 잠재적으로 많은 양의 데이터의 처리, 유용한 데이터와 유용하지 않은 데이터 사이의 차이, 모든 차량의 부분 집합만을 관찰하여 얻은 실제 교통 흐름 데이터 추정에 있다.

차량의 내장 전자장치에서 수집한 정보를 포함하는 FCD 연장 개념이 확장된 시험차량 제공정보(xFCD)라는 용어에 따라 제안되었다. 상대적으로 적은 수의 차량의 온도 센서, 레인 센서(rain sensor), ABS, ESC, 트랙션 컨트롤 시스템(TCS)의 데이터를 수집 및 평가하여, 대중에게 제공하거나 도로 상황에 따른 운전자의 예상되는 행동에 기반한 교통 흐름 예측의 개선에 사용되는 도로 상황에 관한 실시간 정보를 도출하는 데 사용할 수 있다.



: 그림 5-9 : 보다 스마트한 여행을 위한 전자 티켓<sup>50</sup>

개인 차량의 위치와 센서 데이터를 수집할 때에는 반드시 프라이버시 문제를 고려해야 한다. 하지만 이는 교통 흐름 모니터링에 관한 일반적인 우려이고, 무선 기술을 사용하지 않는 방식(예: 번호판 인식에 의존) 역시 자동차 소유자의 프라이버시를 고려해야 한다.

FCD에 의한 차량 움직임 측정과 같이, 무선 기술의 도움으로 대중 교통 시스템의 승객 행동을 분석할 수 있다.

예를 들어 전철역, 버스, 트램에 대한 접근을 등록하는 데 일반적으로 RFID 기술을 적용하는 전자 티켓은 효과적으로 승객을 센서 네트워크의 일부로 바꿔 놓는다.

승객의 움직임과 행동에 관한 정보 수집 가능성은 전자 티켓의 보관에 스마트폰이 사용되면 훨씬 증가할 수 있다. 특히 승객의 복합 수송 습관에 관한 정보 수집에 있어서 스마트폰의 전자 티켓 애플리케이션은 기존의 전자 티켓이 제공할 수 없었던 가능성을 제공한다. 하지만 사용자가 휴대폰을 버스나 지하철 티켓으로 사용하는 편리함에 대한 대가로 위치 데이터를 공유할 의사가 어느정도인지는 지켜봐야 한다.

### 5.3.2 도시 물류

도시화는 특히 이미 거대한 도시들이 계속해서 성장하고 있고, 점점 더 부유해지는 인구가 도심 안팎으로 지속적으로 증가하는 재화의 흐름을 주도하는 개발도상국들에 수많은 과제를 안겨주고 있다.

도시의 대기 오염의 상당 부분은 운반 차량 때문이고, 도시와 주변 지역 간 재화의 원활한 흐름이 수많은 교통 문제의 해결과 대기질 개선의 열쇠이다.

운반 차량에 의한 교통 부하 감소를 위한 유력한 방법은 도심통합배송센터(UCC)의 도입이다. UCC에서 도시 내 소매업자에게 보낼 모든 재화를 먼저 취합한 후 최적화된 경로

로 선적하여 트럭 용량을 가장 잘 활용하고 필요한 차량의 총 수를 줄이며, 모든 재화가 목적지까지 여행하는 총 거리를 줄이는 것이다.

이와 같은 최적화를 달성하려면 도시 내 교통 흐름의 세심한 분석과 계획, 그리고 재화의 실제 흐름 모니터링이 필요하다. 이에 관한 도전 과제와 해결책은 5.3.1에 설명한 내용과 유사하지만 미세한 부분에서 약간의 차이가 있다. 도시에서 운송될 때 차량의 부분 집합만 추적하는 대신, 최소한 팔레트 수준(pallet level)의 재화 추적이 필요하다. 따라서 팔레트(또는 기타 포장 단위)가 재화의 흐름을 측정할 “센서”가 되고, 운송의 일정 및 경로 설정을 최적화하는 데 필요한 데이터를 수집하고 운송의 환경 영향을 최소화하면서 적시에 도착할 수 있도록 하기 위해, 정교한 데이터 분석 기술과 함께 여러 무선 기술(GPS, RFID, WLAN, 셀룰러)의 조합이 적용된다.

### 5.3.3 온보드 WSN

각종 차량은 안전하고 원활한 작동을 보장하기 위해 점점 더 많은 수의 센서에 의존하고 있다. 여기에는 주로 운전자에게 정보를 제공하는 센서와 추진 또는 차량 동력 시스템의 일부인 센서가 포함된다. 이러한 하위 시스템의 안전 필수 성향 때문에 대체로 무선 기술은 이 부문에서 실행 가능한 옵션으로 여겨지지 않는다.

하지만 특히 버스, 기차, 비행기 같은 대형 차량에서 많은 수의 센서와 구동기가 기내 온도 모니터링, 차량의 예방적 유지보수에 사용되는 데이터의 수집 또는 운송되는 재화의 상태 모니터링 같이 안전 비필수용으로 사용되고 있다.

기차의 경우 WSN은 오래된 객차를 최첨단 전기 시스템으로 개량하는 데 중요한 역할을 할 수 있다.

비행기에서는 비필수적인 부문에 무선 센서를 적용하여 구리 또는 알루미늄 케이블의 무게를 줄이는 방안이 중요한 고려 사항이다. 에너지 수확 기술을 적용하는 무선 센서는 항공기 구조의 일부를 구성하는 복합 재료에 대한 기계적 응력을 모니터링하는 용도로

도 논의된 적이 있다. 그러한 “스마트 자재”에 센서를 장착하면 구조물의 무게를 늘리기 때문에 재래식 금속 구조물의 복합 재료의 장점을 크게 감소시킨다.

### 5.3.4 교통 인프라에서의 WSN

교차로의 교통 신호등은 보통 해당 교차로에 가까이 위치한 장치가 센서 세트(예: 유도 루프)에서 전송한 입력이나 중앙 통제 장치의 명령을 수신하여 교통 법규 및 상황 요건에 따라 개별 신호등(시그널 헤드)을 전환하여 제어된다.

센서와 표시 요소의 수와 복잡성이 증가하면서 오늘날 교통 통제관의 업무는 연결된 부품을 순수하게 전환하기보다는 사실상 통신에 기초하고 있다. 교통 신호등에 카운트다운 시간 표시기를 장착하거나, 가변적 메시지 표시가 제한 속도를 갱신하여 표시하거나, 광 또는 레이더 기반 센서가 개별 차선의 점유 상태나 교차로를 통과하는 차량의 속도에 관한 정보를 전달할 수 있다.

기존 교차로의 인프라를 최첨단 기술로 업그레이드하려면 센서, 시그널 헤드, 가변적 메시지 표시, 교통 통제관, 기타 요소 간에 필수적인 통신 연결을 제공해야 한다. 무선 기술은 통신 케이블(예: 이더넷)을 교차로의 모든 장치에 라우팅할 필요가 없기 때문에 비용 절감에 도움이 될 수 있다. 대부분의 경우 그러한 설치는 대체로 디스플레이 부품이나 구동기를 포함하기 때문에 순수한 센서 네트워크가 되지 못할 것이다. 게다가, 무선 및 유선 통신 연결의 조합 또는 심지어 벤더가 서로 다른 부품 조합으로 인한 동 시스템 내 다른 유선/무선 표준의 결합 가능성도 없지는 않을 것이다.

무선 통신을 통한 차량을 이용한 교통 인프라의 상호 작용(예: 교차로에서 버스나 긴급 차량에 우선권 부여)은 교통 인프라에 무선 기술을 적용할 수 있는 또 다른 가능성이다. 가능한 모든 적용 분야에서 실제로 무선 통신 연결을 통한 센서 데이터 교환이 이루어지고 있는 것은 아니지만, 차량이 자신의 센서 데이터를 인프라 요소와 공유하거나(예: 교차로 진입 시 속도), 인프라가 차량에 센서 데이터를 제공(예: 교차로 반대편의 도로 혼잡)하는 시나리오는

무수히 많다.

## | 5.4 스마트 홈에서의 WSN 적용 |

### 5.4.1 에너지 관련 과제

늘어나는 소비량과 높은 에너지 비용, 화석 연료 부족에 직면하여, 공공 기관 및 전문가들이 에너지 수요와 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 배출량을 동시에 제한하기 위해 개발한 모든 시나리오는 에너지 효율을 절대적 우선 순위로 상정하고 있다.

유럽에서는 건물(주거용 및 3차 산업용)의 에너지 소비가 전체 에너지 소비의 40%를 차지하고, 산업이 30%, 운송이 30%를 차지한다.

공공 당국은 이를 매우 심각하게 여기고 있다. 유럽의 예를 들자면, 2012년 채택된 에너지효율성지침(Energy Efficiency Directive, EED)이 이러한 방향의 선두에 있다. 지침에는 건물 개조, 상업 및 주거용 건물의 장기적 개조 로드맵, 중앙 공공 건물 3%대 개조 등에 관한 조치가 포함되었다. 유럽연합의 각 회원국들은 2014년 6월까지 이 목표들을 자국의 법으로 전환해야 한다.

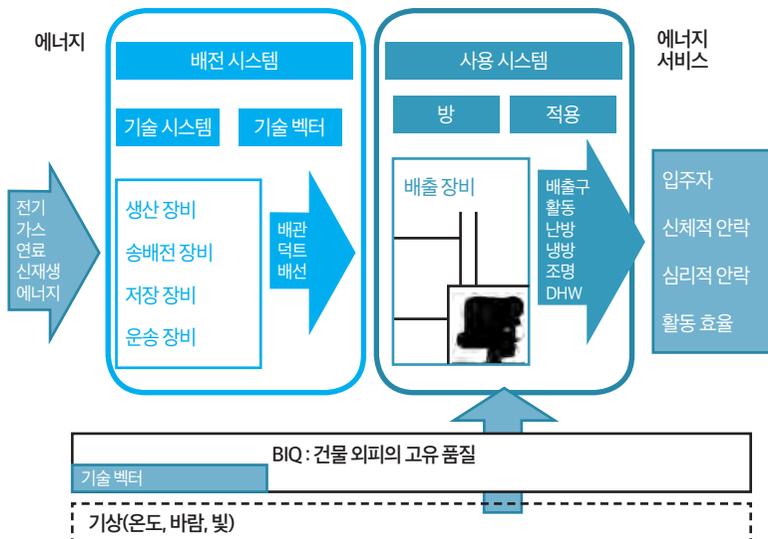
### 5.4.2 건물의 에너지 효율 - 사례 연구

2008년 프랑스의 Schneider Electric사는 HOMES라는 명칭의 공동 프로그램을 시작하여<sup>51</sup>, 건물에 에너지 효율 개선을 위한 솔루션을 제공하는 프로그램을 4년 동안 고안하였다. HOMES 프로그램을 통해 자동화된 제어 및 모니터링 시스템을 이용하여 에너지 사용을 최적화할 가능성을 적극적으로 통제하는 간단하고, 효과적이고, 경제적으로 지속 가능한 적극적인 에너지 효율 솔루션을 연구, 개선, 테스트를 할 수 있었다.

이 프로그램의 성과 중 하나는 에너지 시스템이 세 가지(유사) 독립적 하위 시스템으로 구성되고, 그 각각이 다음과 같은 불필요한 에너지 소비를 담당한다는 것을 이해했다는 점이다.

- 1) 배전 하위 체계(기계 세계): 에너지 생산, 전환, 저장
- 2) 사용 하위 체계(인간 세계): 입주자에게 전달되는 에너지 서비스
- 3) 건설적 하위 체계(자재 세계): 실내와 실외 사이의 에너지 전달

이 프로그램은 건물의 에너지 성능에 대한 새로운 비전을 전달하고, 건물 외장의 품질, 장비 성능, 적극적 통제를 일제히 포함하는 솔루션을 중심으로 구축되었다. 이는 특정 적용 순서나 서로에 대한 상호 보완이 없는 독립적인 세 가지의 개입 벡터가 있다.



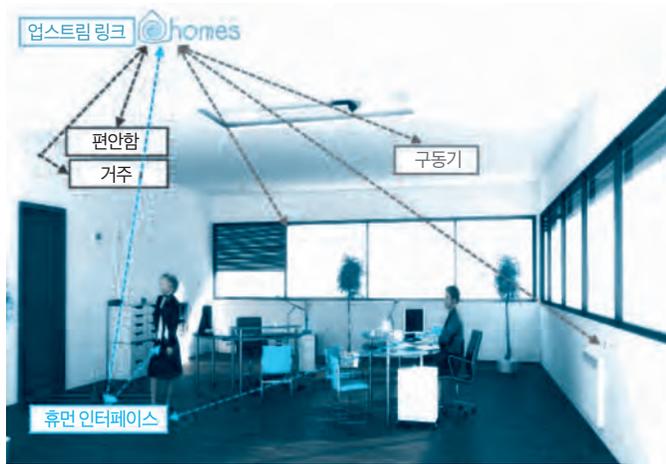
: 그림 5-10 : 건물 내 에너지의 체계적 접근

### 5.4.3 건물의 능동 제어

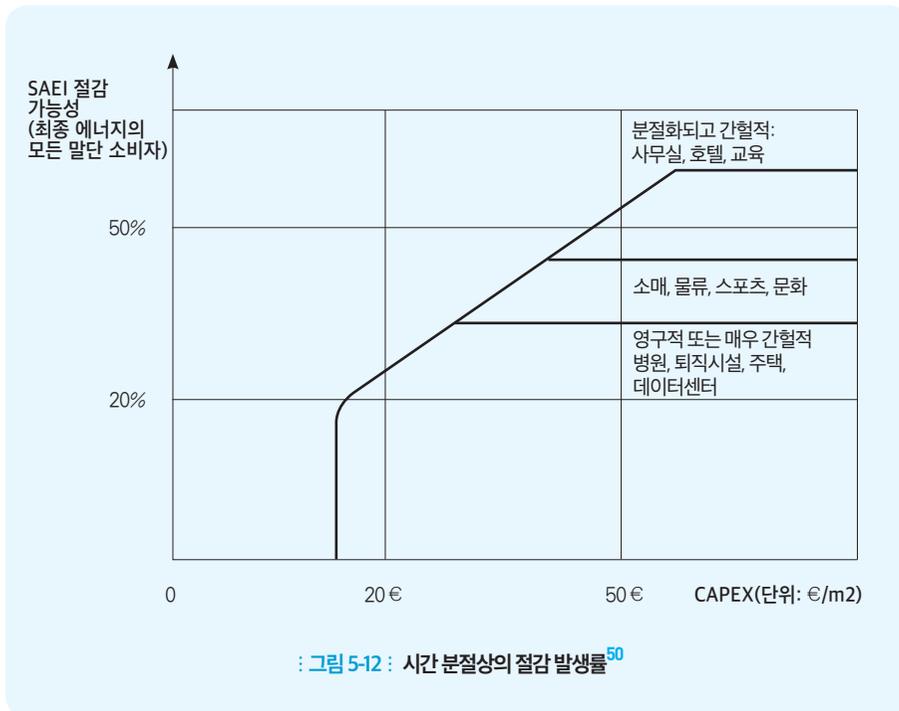
상기 기술한 비전에 기초하여 HOMES 프로그램은 스마트 그리드와 호환되면서 건물의 성능을 최대화하는 세 가지 전략에 관련하여, 연계되는 능동 제어 프로토콜을 제안했다.

- 1) 방별로 조치: 건물의 에너지 성능을 최대화하기 위해, 3차 산업용 건물(서비스용 건물)의 방 또는 구역 수준에서 입주자를 위한 서비스를 최적화할 필요가 있다. 구역 제어 덕분에 입주자들은 환경을 자신의 활동 및 편의에 맞게 맞출 수 있다.
- 2) 에너지 공급 최적화: 건물 입주자의 니즈를 해소하기 위해, 경제적 비용과 탄소 비용에 기초한 에너지 공급을 최적화할 필요가 있다. 그런 다음 에너지의 공급과 분배는 각 위치의 니즈 총합의 함수로 관리된다. 이를 통해 에너지원과 구역, 도시 등으로 구성된 업스트림 생태계와의 관계를 제어할 수 있다. 이 전략은 스마트 그리드의 발전 예측을 용이하게 한다. 이는 각 수준이 상위 수준의 최적화에 기여하는 시스템을 만든다. 또한 건물 내 전기의 수요 관리 가능성 개발에도 참여한다. 따라서 수직적인 독립적 적용 제어에서 구역별 다중 적용 제어로 옮길 필요가 있다.
- 3) 이해관계자들의 참여에 따른 조치: 건물의 에너지 성능을 개선하려면, 절약원을 적극적으로 찾는 증가 실행 계획을 세울 필요가 있다. 하지만 니즈는 관계된 이해관계자에 따라 다르다. 정보 전략은 각 이해관계자의 특별한 니즈와 이들이 에너지 효율적 결정을 내릴 수 있도록 돕는 책임 영역에 맞게 시행되어야 한다.

건물과 그 기술 시스템의 공간 및 시간 조각은 모니터링의 효율 및 능동 제어를 통한 에너지 절감에 강력한 영향력을 지닌다. 따라서 능동 제어 전략의 시행은 컴포트 센서가 핵심 요소 중 하나인 그림 5-11과 5-12와 같이 구역 제어 생태계에 기초하는 능동 제어 솔루션의 감지 및 제어 명령 아키텍처를 수정한다.



: 그림 5-11 : 구역 제어<sup>50</sup>



: 그림 5-12 : 시간 분절상의 절감 발생률<sup>50</sup>



: 그림 5-13 : 절약<sup>50</sup>

또한, 이는 서로 다른 기후대, 부문, 건설 연도, 난방 에너지, 온수 에너지, 소유자 유형을 대표하는 다섯 개의 시범 지역에서 평가된다. 절감률은 주택의 25%에서 학교일 때 최대 56%로 상승하여 위 가정에 타당성을 부여한다(그림 5-13 참조).

#### 5.4.4 기존 건물 에너지 효율 성능 향상의 핵심, WSN

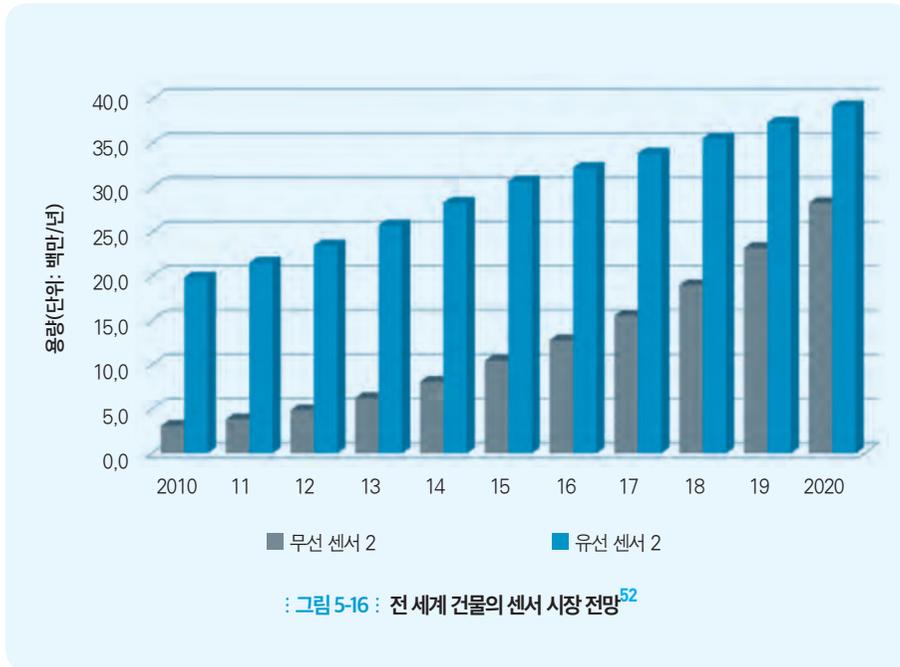
구역 수준에서의 다중 적용 제어를 달성하려면 환경(빛, 온도, 상대 습도, CO<sub>2</sub>)은 물론 입주자의 활동(존재 감지, 경보)을 면밀하게 모니터링할 필요가 있다. 매년 아주 적은 비율의 새 건물이 지어진다는 점을 유념한다면, 수백만 개의 기존 건물에 구역 수준의 능동 제어를 배치하는 것은 큰 과제이다.



: 그림 5-14 : 자율 센서 전자 부품<sup>50</sup>



: 그림 5-15 : Schneider Electric 센서 시제품<sup>50</sup>



이를 달성할 수 있는 유일한 방법은 무선 센서 또는 배터리 없는 센서(배터리 수천 개를 관리 및 유지할 필요가 없음)를 사용하는 것이다.

다중 물리 무선 자율 센서의 실현 가능성은 증명되었다. 그 결과는 2011년 6월 뮌헨에서 열린 에너지 수확 및 저장 컨퍼런스(Energy Harvesting and Storage Conference)에서 발표되었다.

광전지(PV)로 구동되는 시제품은 온도, 상대 습도, 빛의 세기를 측정하여, 이 자료를 ZigBee<sup>®</sup> 그린 파워 프로토콜을 이용하여 802.15.4 무선에서 10분 마다 전송할 수 있었다. 평균 전력 소모량은 5 $\mu$ W로, 매일 8시간동안 100lux 미만에서 꾸준히 그러한 센서를 작동할 수 있었다.

2011년 10월 IMS Research의 연구<sup>52</sup>에서는 건축 시장에서 센서가 계속해서 성장할 것이고, 무선 센서는 훨씬 더 빠른 속도로 성장할 것이라고 전망했다.

통신 프로토콜의 관점에서 ZigBee<sup>®</sup> Alliance는 2012년에 ZigBee 표준의 일부로 설정된 Green Power 기능을 채택했다<sup>53</sup>. 이는 에너지 수확을 통해 구동될 때와 같이 이용할 수 있는 매우 제한된 에너지로 ZigBee<sup>®</sup> 메시 네트워크 무선 센서로 통합될 수 있었고, 이러한 장점때문에 건물 제어를 위한 매우 매력적인 솔루션이 되었다.

WSN은 구역 수준에서 건물의 다중 적용 제어를 배치하는 핵심적인 기술 요소이며, 그 환경 내의 건물을 고려하고 입주자의 편의와 활동을 고려하여 에너지 효율을 개선하는데 상당히 기여한다.

## | 5.5 WSN의 추가적 적용 혜택 |

### 5.5.1 에너지 효율 개선

2010년 IEC 백서 에너지 과제 대처하기- 2010년~2030년 IEC의 역할에는 다음과 같이 나와있다. “하지만, 연료에서 이론적으로 나올 수 있는 에너지 중 오늘날 3분의 2가 생산 중에, 9%는 송전/배전 중에 손실 되기 때문에, 30% 정도만을 소비하는 일차에너지가 사용 지점에서 전기로 이용된다.” 하지만 IoT가 이 문제의 해결에 도움이 될 수 있다. 정보를 획득하는 효과적인 방법으로, IoT는 에너지 변환 작업에 대한 실시간 모니터링을 시행하고, 적시 분석 및 대량의 데이터 처리를 수행할 수 있다. 또한, 비정상적인 상태에 신속하게 대응하고, 세립 및 동적 모드의 에너지 시스템 전체적인 과정(생성에서 운송 및 활용까지)을 효과적으로 관리할 수 있기 때문에 시스템 보안을 보장할 수 있다.

### 5.5.2 환경 모니터링에 기여

환경 오염, 급작스러운 자연 및 생태계 재해, 인간에 의한 훼손 등은 여전히 해결해야 할 주요 환경 문제이다. 조기 감지, 경보, 비상 조치 발령이 거대한 환경 재해를 예방하는

주요 단계이다. 강력한 감지 능력과 광범위한 감지 영역을 특징으로 하는 IoT는 환경에 대한 실시간 전방위적 모니터링 수단이 될 수 있다. 같은 맥락으로 데이터 융합 및 지능형 인지 기술을 통해 경보 효율을 높일 수 있다. 그 결과, IoT가 홍수, 산불, 수질 오염 등의 경고 및 예측에서 중요한 역할을 할 것이라는 전망은 합리적이다.

### **5.5.3 사회적 복지 강화**

IoT는 인터넷을 통해 사람, 장비, 사회적 복지 자원이 서로 관련되고 연결될 수 있도록 사회적 복지의 다양한 요소를 위한 방법을 제시한다. IoT 덕분에 한편으로는 서비스 제공자가 사람들의 요구에 대한 정보를 획득하여, 각자의 니즈에 맞는 고품질의 서비스를 제공할 수 있고, 다른 한편으로는 사람들이 자기 자신 및 주변 환경에 대해 더 잘 이해할 수 있다.

IoT가 몇 가지 측면에서 사람들의 생활 방식을 바꿀 것이라는 예측도 과언이 아니다. 예를 들어, IoT 기반의 스마트 헬스케어 및 스마트 홈 시스템은 사람들의 생활에 더 많은 편의와 편리함을 가져다 줄 것이다.

---

## 6장

.....

# WSN의 표준 및 시스템

---

### | 6.1 일반 |

표준화는 다양한 공급자의 제품뿐 아니라 다양한 솔루션, 적용, 영역 사이에서 상호 운용성 달성을 위한 주요 선결조건이 된다. 다양한 응용 부문에서 새로운 상호 부문 응용으로 이어지는 장치, 센서, 주체로의 일반적인 접근이 IoT의 주요 목적이 됨에 따라 후자는 IoT에 특별한 이익이 된다.

구성요소에서 통신, 정보, 기능 및 사업 계층까지 다양한 계층에서 상호 운용성을 고려해야 한다. 구성 요소 계층은 기본적으로 센서나 구동기뿐 아니라 애플리케이션을 실행하는 게이트웨이나 서버 같은 장치를 반영한다. 통신 계층은 구성 요소 간 데이터 교환을 담당하고, 정보 계층은 실제 데이터를 처리한다. 기능 계층은 소프트웨어 애플리케이션뿐 아니라 하드웨어 솔루션이 될 수 있는 기능성과 관계가 있다. 사업 계층에서는 사업적 상호 작용이 기술된다. WSN과 IoT 접근법에서 다양한 적용 영역을 포함하는 “사물” 및 적용 사이의 정보 교환에 이르기까지, 공통의 통신 및 정보 계층 표준이 주된 관심사일 뿐 아니라, 제네릭 함수를 다양한 적용 영역에서 사용할 수 있다. 구성 요소 계층에서는 다양한 유형의 장치를 찾아볼 수 있지만, 여전히 폼팩터나 모듈용 커넥터[예: 무선 모

둘, 중앙처리장치(CPU) 기판] 같은 것을 정의하는 표준도 의미가 있다.

성공적인 표준화의 선결 조건으로, 전반적인 시스템을 구축하고 관련 기능, 정보 흐름, 인터페이스를 파악하기 위해 이용 사례 및 요건을 수집하고 아키텍처 표준을 마련해야 한다.

WSN이 보다 넓은 IoT의 맥락에서 사용될 것이기 때문에, IoT 표준과 표준화 활동이 고려된다. 이는 특히 더 높은 통신 프로토콜, 정보, 기능 계층에 관한 것이다.

아래의 표준 및 표준화 활동 목록은 완전한 목록이 아니라는 점에 유의한다.

## | 6.2 현황 |

IEEE 802.15.4는 WSN과 가장 관련 있는 통신 표준이다. 이는 저전력 소모, 낮은 복잡도, 저비용의 단거리 무선 송전을 위한 물리적 계층 및 링크 계층을 정의한다. 이는 800/900MHz 및 2.4GHz의 ISM 주파수 대역을 사용한다. IEEE 802.15.4는 지역 또는 시장별 버전을 정의하는 ZigBee®, WirelessHart, WIA-PA 및 ISA.100.11a 같은 기타 표준의 토대가 된다. 기본 표준은 2003년에 간행되었고, 2006년과 2011년에 개정본이 간행되었다. 추가적인 물리적 계층 프로토콜, 지역 주파수 대역, 특정 적용 부문을 포함시키기 위한 다양한 수정 조항이 추가되었다. 현재 작업은 추가적인 주파수 대역(예: TV 유희대역, 지역대역), 초저전력 가동 및 열차 제어 같은 특정 적용 부문을 포함하고 있다.

블루투스 역시 BSIG(Bluetooth Special Interest Group)에서 정의하는 무선 단거리 프로토콜이다. 블루투스 4.0을 이용하여 저전력 부문을 위한 낮은 에너지 프로토콜 변수를 포함했다.

RFID는 WSN 문맥에서만 사용되는 것이 아니라, IoT에 대한 공공이익이 된다. ISO/IEC JTC 1/SC 31은 다양한 RFID 기술을 정의하는 ISO/IEC 18000 표준 시리즈를 통한 주요 표

준화 동인의 하나이다.

ISO, EPCglobal, DASH7 같은 기타 단체들은 이러한 표준에 기여하거나 이러한 표준을 이용한다.

하위 통신 계층이 WSN 같은 특정 적용 방식에 한정된 경우가 많지만, 네트워크 및 상위 통신 계층은 네트워크 간 상호 운용성을 위해 가급적 공통의 프로토콜을 사용해야 한다. 또한, WSN의 경우 저전력 소비 및 컴퓨터 발자국 줄이기 같은 특정 기술에 대한 요구를 고려해야 한다. 현재 IP 프로토콜 세트가 이러한 계층에 대한 사실상 표준이다. 이전에는 영역별 표준이 자체의 프로토콜 스택(protocol stack)을 정의했다면, 현재는 모두 IP로 이동하였다. WSN와 IoT의 경우 IPv6가 선호된다. IETF(Internet Engineering Task Force)(RFC 2460 등)의 IPv6 표준 세트(애플리케이션 계층으로의 네트워크)도 이용 가능하며 안정적이다. IETF는 특히 IEEE 802.15.4를 고려하여 저전력 제약적 장치 및 네트워크를 지원하기 위해 특정 확장 및 프로토콜에 대해 연구 중이다. 6LoWPAN 실무단은 IEEE 802.15.4(예: RFC 6282) 상의 IPv6의 매핑을 정의했다. 등록된 실무단은 저전력의 손실 네트워크 상의 라우팅을 고려한다(예: RFC 6550). 제약적 애플리케이션 프로토콜(CoAP) 실무단은 제약적 장치 및 적용을 위한 적용 프로토콜을 정의했다. 이는 제약적 장치 및 네트워크의 특별한 요건을 고려하는 RESTful 웹 서비스에 사용되는 HTTP 프로토콜의 대안이다.

ZigBee<sup>®</sup> 사양은 네트워크 및 보안 계층과 애플리케이션 프레임워크를 추가하여 IEEE 802.15.4 표준을 강화한다. 그것은 가정 및 건물 자동화, 헬스케어, 에너지 및 조명 관리, 통신 서비스 같은 다양한 적용 영역을 포함한다. 원래의 Zigbee<sup>®</sup> 사양은 자체 네트워크 및 애플리케이션 계층 프로토콜을 정의했던 반면, 최신 Zigbee<sup>®</sup> IP 사양은 IPv6 및 CoAP을 기반으로 한다. 애플리케이션 간 실질적인 데이터 교환을 위해 다양한 접근법이 존재하며, 주로 서비스 지향 아키텍처(SOA)를 이용한다. 그 예로는 W3C(World Wide Web Consortium)이 정의한 IEC 표준 및 SOAP, WSDL, REST인 OPCUA가 있다. W3C가 정의한 XML은 일반적으로 사용되는 인코딩 형식이다. WSN의 문맥에서 이러한 프로토

콜이 제약적 장치 및 네트워크에 얼마나 맞을지를 고려해야 한다. OGC(Open Geospatial Consortium)은 웹으로 연결된 센서와 센서 기반 시스템(SWA)의 통합, 상호운용성, 악용 방지를 위한 일련의 개방형 표준을 정의했다.

장치 및 네트워크의 관리에는 IEF가 정의한 SNMP 프로토콜이 널리 이용된다. NETCONF는 IETF의 네트워크 관리를 위한 새로운 접근법이다. 현재 활동들은 IETF 내의 제약적 장치와 네트워크 관리를 명백하게 포함하기 위해 시작되었다. IoT용으로 간주되는 다른 장치 관리 프로토콜로는 BBF(Broadband Forum)의 TR-69와 OMA(Open Mobile Alliance) 장치 관리가 있다.

정보의 시맨틱 표현은 지식 공유 및 시스템 및 애플리케이션의 자동 구성을 간편화하기 위한 WSN 및 IoT의 중요한 사안이다. W3C는 시맨틱 웹 활동에서 RDF, RDFS, OWL 같은 기본 프로토콜을 정의하고 있다. 제약적 네트워크 및 장치의 특정 요건도 또 다시 고려해야 했다. 또한, 시맨틱 센서 네트워크 온톨로지가 정의되었다. 지리학적으로 분포된 정보를 질의하기 위해 OGC는 GeoSPARQL을 정의했다.

ETSI(European Telecommunications Standards Institute) TC SmartM2M은 여러 적용 영역을 위한 이용 사례 및 요건에서 시작하여 M2M 서비스 제공에 초점을 맞춘 장치, 게이트웨이, 네트워크 노트, 적용 간에 M2M 통신 아키텍처, 관련 인터페이스를 개발하기 시작했다. 이 작업은 OneM2M에 도입되었다.

ISO/IEC JTC 1/SWG 7(센서 네트워크)은 센서 네트워크 참조 아키텍처를 위한 ISO/IEC 29182 서비스와 공동의 정보 처리를 위한 서비스 및 인터페이스를 개발하였다.

이들은 포괄적 적용과 스마트 그리드 시스템을 위한 센서 네트워크 인터페이스에 대해 연구 중이다. ISO/IEC JTC 1/SWG 7(IoT)은 IoT를 위한 시장 요건 및 표준화 격차 분석을 시작했다.

ITU는 IoT 표준화 부문을 연구하고 공동의 요건을 파악하기 위한 M2M 포커스 그룹을 출범시켰다. 이 그룹은 1차로 건강 부문에 주력하고 있다. 합동 조정 활동(JCA-IoT)은 ID 기

능과 유비쿼터스 센서 네트워크(USN)의 네트워크 측면을 비롯한 IoT 상의 ITU-T 작업을 조정해야 한다. 또한 ITU에는 USN, 보안, 신분 확인(이름 및 번호 설정)을 포함한 차세대 네트워크에 관한 다양한 관련 활동이 있다.

IEEE에는 802.15.4 외에도 스마트 변환기(1451 시리즈)에 관한 활동과 유비쿼터스 그린 커뮤니티 제어(1888 시리즈)를 위한 활동이 있다.

가끔 시맨틱 표현, 그리고 심지어 온톨로지를 포함하는 정보 모델은 이미 IEC TC 57의 스마트 그리드, IEC TC 65의 산업 자동화, ISO TC 205 및 ISO/IEC JTC 1/ SC 25의 건물 자동화 같은 다양한 적용 영역에서 이미 제공되고 있다.

IoT 문맥에서 예를 들어 IEC SC 3D가 정의한 제품 데이터 표준, ISC 및 ITU가 정의한 ID 표준, ISO/IEC JTC 1/SC 31과 OGC가 정의한 위치 표준 역시 중요하다.

마지막으로 WSN과 IoT에 보안 및 프라이버시 표준도 중요하다.

표 6-1 : WSN/IoT 표준화 활동(안전한 표는 아님)

조직	그룹	WSN/IoT와의 관련성	표준	진행 중인 작업
IEEE	802	단거리 무선 네트워크를 위한 물리적 및 링크 계층 프로토콜	802.15.4-2011 (수정본 a, c, d 포함), 802.15.4e-2012, 802.15.4f.2012, 802.15.4g-2012, 802.15.4k-2013, 802.15.4j-2013	TV 유희대역, 철도 통신
IETF		IP 프로토콜 세트 (네트워크-애플리케이션 계층)	예: RFC 2460 (IPv6), RFC 2616 (HTTP), RFC 768 (UDP), 1180 (TCP), RFC 5246 (TLS), RFC 4301 (IPsec)	
IETF	롤	저전력 및 손실 네트워크용 라우팅	RFC 5548, RFC 5673, RFC 5826, RFC 5867, RFC 6206, RFC 6550, RFC 6551, RFC 6552, RFC 6719, RFC 6997, RFC 6998	멀티캐스트 라우팅, 보안 위협, 다양한 적용을 위한 응용성 명세서

조직	그룹	WSN/IoT와의 관련성	표준	진행 중인 작업
IETF	코어	제약적 장치/ 네트워크의 적용 프로토콜	RFC 6690, draft-ietfcore- coap-18(RFC로 발표 대기중)	그룹 통신, HTTP 매 핑, 자원, 장치 관리
IETF	6LoWPAN	제약적 무선 네트워크를 위한 IPv6 매핑 (IEEE 802.15.4)	RFC 4919, RFC 4944, RFC 6282, RFC 6568, RFC 6606, RFC 6775	IPsec 헤더 압축, DECT 저전력 매핑
Zigbee® Alliance			2007 Specification, IP Specification, RF4CE Specification, Building Automation, Remote Control, Smart Energy, Smart Energy Profile 2, Health Care, Home Automation, Light Link, Telecom Services, Gateway	소매 서비스
ISO/IEC JTC 1	SC 31	RFID, NFC	ISO/IEC 14443, ISO/IEC 15693, ISO/IEC 15961, ISO/IEC 15962, ISO/IEC 18000, ISO/IEC 18092, ISO/IEC 21481, ISO/IEC 24791, ISO/IEC 29160	
EPCglobal		RFID (전자 제품 코드)	EPCglobal Tag Data, Tag Data Translation, EPCglobal HF air interface protocol, EPCglobal UHF "Gen2" air interface protocol, EPC Information Services (EPCIS)	
ISO	TC 104	RFID(컨테이너 추적)	ISO18185	
DASH7		RFID	ISO/IEC 18000-7	DASH7 Alliance 프로토콜
W3C		적용 통신, 웹 서비스	XML, SOAP, WSDL, REST	
IEC	TC 65	애플리케이션 통신	IEC 62541 (OPC-UA)	
IETF	opsawg	장치 및 네트워크 관리	RFC 1155, RFC 1157, RFC1213, RFC3411- 3418 (SNMPv3)	제약적 장치 관리

조직	그룹	WSN/IoT와의 관련성	표준	진행 중인 작업
IETF	netconf	장치 및 네트워크 관리	RFC 4741-4744	보안
BBF	BroadbandHome	장치 관리	TR-69	
OMA	DM WG	장치 관리	DM 1.3	버전 2.0, 제약적 장치(경량 DM)
W3C		시맨틱 표현	RDF, RDFS, RIF, OWL, SPARQL, EXI, SSN 온톨로지	이중 RDF, Object Memory Modeling (OMM), RDF 스트림 처리
OGC	센서 웹 활성화 DWG	애플리케이션 통신, 웹 서비스	Overview and High Level Architecture, Application communication, Web Services, Sensor Model Language, Transducer Model Language, Sensor Observations Service, Sensor Planning Service, Sensor Alert Service, Web Notification Services	
OGC	GeoSPARQL SWG	시맨틱 표현	GeoSPARQL	
ETSI (OneM2M)	TC SmartM2M	M2M 통신, 아키텍처, 이용 사례, 요건, 인터페이스	TS 102689, TS 102690, TS 102921, TS 103092, TS 103093, TS 103104, TR 101584, TR 102691, TR 102725, TR 102732, TR 102857, TR 102898, TR 102935, TR 103167	상호 연동, 보안, 스마트 시티, 스마트 가전, 시맨틱
ISO/IEC JTC 1	SWG 7	센서 네트워크, 아키텍처, 애플리케이션 인터페이스	ISO/IEC 29182, ISO/IEC 20005	스마트 그리드 인 터페이스(ISO/IEC 30101), 일반 애플리 케이션 인터페이스 (ISO/IEC 30128)
ITU-T	포커스 그룹 M2M	M2M 아키텍처, 요건, 애플리케이션 인터페 이스, 전자 의료		요건, 아키텍처, 프레 임워크, API, 프로토 콜, 전자 의료 표준화 활동 및 격차 분석, 전자 의료 M2M 생애 계, 전자 의료 이용 사례
ISA		단거리 무선 네트워크 를 위한 물리적 및 링크 계층 프로토콜	ISA100.11.a	

조직	그룹	WSN/IoT와의 관련성	표준	진행 중인 작업
IEEE	P1451	스마트 변환기	IEEE 1451 (ISO/IEC/IEEE 21451)	
IEEE	P1888	커뮤니티 제어	IEEE 1888	
ITU-T	SG16	유비쿼터스 센서 네트워크 미들웨어, 애플리케이션, ID	F.771, F.744, H.621, H.642	IoT 응용, 태그 기반 ID
IEC	TC 57	정보 모델, 스마트 그리드	IEC 61850, IEC 61968, IEC 61970	웹 서비스 매핑, 신재생 발전설비용, 고객 인터페이스, 시장 인터페이스
IEC	TC 65	정보 모델, 산업 자동화	IEC 6242, IEC 62714, IEC 62794,	
ISO	TC 184	정보 모델, 산업 자동화	ISO 13584, ISO 15926	
ISO/IEC JTC 1	SC 25	정보 모델, 건물 자동화	ISO/IEC 14543	
ISO	TC 205	정보 모델, 건물 자동화	ISO 16484	
IEC	SC 3D	제품 데이터	IEC 61360	
ISO	TC 184	제품 데이터	ISO 13584	
ec@ss		제품 데이터	ec@ss 7.0	
IEC	TC 65	무선 센서 네트워크	IEC 62591/IEC 62601 IEC 62734	
ISO	TC 46	식별자	ISO 27729, ISO 26324, ISO 3297, ISO 2108, ISO 10957	
ISO/IEC JTC 1	SC 31	위치	ISO/IEC 24730, ISO/IEC 24769	
ISO/IEC JTC 1	SC 31	식별자	ISO/IEC 15459	
ITU-T	SG2	식별자	E.101, Y.2213	
ITU-T	SG13	유비쿼터스 센서 네트워크	Y. 2221	
ITU-T	SG17	보안	X.1171, X.1311, X.1312, X.1313	
OGC	SWE	위치	OpenGIS location services	
3GPP	SA1, SA2, SA3	서비스 및 시스템		MTC 최적화, MTC 통신
3GPP	G2, R1, R2, R3	무선 접속 네트워크		무선 접속 MTC 기술 강화

조직	그룹	WSN/IoT와의 관련성	표준	진행 중인 작업
3GPP	CT1, CT3, CT4	통신 네트워크		3GPP 프로토콜의 영향 평가
3GPP2	TSG-SX	M2M 통신		CDMA2000 네트워크용 2M 통신 연구
CCSA	TC10/WG3	M2M 통신		M2M 통신, 차세대 네트워크
CCSA	TC5/WG7	일반적인 M2M 적용		
ITU-T	JCA-NID	ID 시스템		ID 시스템의 네트워크 성격(RFID 포함)

### | 6.3 표준화 필요성 및 전망 |

WSN과 훨씬 더 많은 IoT는 단일 기술이 아니라 물리적 통신 계층에서 응용 프로그램까지의 다양한 기술을 이용하는 복잡한 시스템을 대표한다. 또한, 이들은 여러 응용 분야 및 다양한 환경에서 사용되고 있다. 이것은 복잡한 표준화 환경으로 이어질 수도 있다. 위에 설명한 대로, 이미 설정되어 있는 표준과 진행 중인 표준화 작업이 많이 있다. 하지만 그것들은 종종 전반적인 시스템의 특정 측면이나 응용 영역만을 포함하거나, 특정 이용 사례에 초점을 맞추고 있다.

IoT와 WSN이 스마트 그리드, Industry 4.0, 스마트 시티처럼 IEC가 진행 중이거나 시작하는 표준화 영역의 기본적인 기술 영역이기 때문에, 표준화를 필요한 방향으로 이끌고 표준화 격차를 파악하여 채우려면 IEC가 그러한 내용과 표준화 환경, IEC 응용 영역에 대한 특정 니즈를 제대로 이해하는 것이 중요하다. 이는 다른 관련 표준화 기구들과 긴밀하게 협조하여 수행해야 한다.

특정 응용 영역(스마트 그리드, Industry 4.0, 스마트 시티)의 이용 사례에서 출발하여 IEC의 니즈에 맞는 요건 및 아키텍처 프레임워크를 정의해야 한다. 이에 기초하여 기존의 표준이 재사용될 수 있고 격차가 채워져야 하는 곳을 파악할 수 있다.

## | 6.4 과제 및 향후 표준화 필요성 |

WSN은 정보 기술의 다양한 계층과 측면을 포함하는 신생 기술이다. 따라서, 그 표준화에는 다음과 같은 고유의 복잡성이 있다.

- 분열: 다양한 표준 기관 및 상호 간의 통신, 협조, 통일된 계획이 없다.
- 비호환성: WSN에 정보 기술의 다양한 측면이 포함되어, 표준이 복잡하고 다양하다. 아직 서로 다른 표준 기관에서 개발한 다양한 표준들의 호환이 가능하지 않다.
- 조화 부족: 일부 WSN 적용이 이미 시작되어 성공적으로 시행되었다.

다양한 표준 기관들이 서로 다른 관점과 서로 다른 깊이에서 작업을 수행하지만, 대부분의 작업은 여전히 초기 단계이고, 시중에 출시될 준비가 되지 않았다.

- 다이버전스(다양성): 응용이 동시에 이루어지지 않고, 표준 개발이 지연되면서 응용 구조가 표준 개발과 일치하지 않아 응용의 재사용 가능성과 공동 사용성에 영향을 미치고 산업화의 발전을 지연시킨다.

이 문제를 해결하기 위해 WSN 표준화가 서로 다른 표준 기관 사이의 의사소통 및 협조를 강화하고, 통일된 계획을 세우고, 자원 할당을 최적화하며, 작업의 중복을 줄일 것을 권장한다.

---

## 7장

.....

# 결론 및 권장사항

---

WSN과 훨씬 더 많은 IoT는 단일 기술이 아니라 물리적 통신 계층에서 응용 프로그램까지의 다양한 기술을 이용하는 복잡한 시스템을 대표하고, 여러 응용 영역과 서로 다른 환경에서 사용된다. 이러한 다양성은 복잡한 표준화 환경이라는 결과를 낳았다. 본 백서에서 다루었던 이미 기존의 WSN 응용 사례, 과제, 진행 중인 표준화 활동이 존재한다. WSN의 고유한 특성 덕분에 산업, 연구 기관, 표준화 기구에서 기회를 창출할 수 있다. 이는 현재 및 미래의 인프라 부문에서도 매력적으로 작용할 수 있다.

IoT와 WSN이 스마트 그리드, Industry 4.0, 스마트 시티 등 IEC가 주로 다루는 기술 영역에 기초하기 때문에, IEC가 응용 분야와 표준화 환경, IEC 이해관계자들을 위한 WSN의 특정 니즈를 제대로 이해하는 것이 중요하다. 표준화를 올바른 방향으로 이끌고 표준화 격차를 파악하여 줄이기 위해서는 IEC 내외부, 즉 다른 관련 표준화 기구의 면밀한 협조가 필요하다.

## | 7.1 일반 권장사항 |

### 7.1.1 대규모 WSN

대규모 WSN의 수가 증가함에 따라, 네트워크의 밀도 역시 증가하고, 링크 실패 가능성도 더욱 빈번해졌다. IEC는 추가적인 연구를 통해 실시간 애플리케이션의 서비스 품질(QoS) 사안이나 일부 특수 환경에서의 노드 이동성 같은 다른 네트워크 성능 기준을 고려할 것을 권장한다.

### 7.1.2 초대규모 감지 및 동적 변화에 적합한 시스템 아키텍처 및 통합 기술에 관한 연구

IEC는 산업 및 연구 기관이 WSN을 위한 시스템 아키텍처 및 통합 기술을 개발할 것을 권장한다. 다양한 이질적 네트워크 환경에서 자유로운 정보 교환을 실현하려면 OPC-UA, 시맨틱(Semantic) 표현 및 처리 같은 통합 기술 및 서비스 지향 아키텍처 프로토콜(SOAP)에 기초한 시스템 아키텍처가 필요하다.

### 7.1.3 보안 보장을 위한 공통의 모델 개발

점점 더 많은 노드가 배치되고, 특히 인프라에서 성능이 WSN의 보안 서비스 추가로 인해 영향을 받으면서, IEC는 관련 연구 조직들이 힘을 합쳐 각 계층의 보안을 보장하고 계층 작업을 서로 협력하여 수행할 수 있는 공통의 모델을 개발할 것을 권장하고 있다.

### 7.1.4 WSN의 높은 동시 접속 기술

IEC는 현재의 접속 기술이 역사적 맥락에서 새롭긴 하지만, 이에 더하여 높은 동시 접속 기술의 개발 및 운영에 상당한 노력을 기울일 것을 권장하고 있다. 높은 동시 접속 기술은 부족한 무선 스펙트럼의 효율을 개선하고, 더 많은 네트워크를 지원할 수 있다.

## | 7.2 IEC 및 산하 위원회에 전하는 권장사항 |

### 7.2.1 WSN의 아키텍처에 적합한 기본 표준 필요

MSB는 WSN의 통합 아키텍처를 위한 상대적 표준을 개발할 것을 중소기업에 권장하고 있다. IEC의 요구조건(스마트 그리드, Industry 4.0, 스마트 시티)에 맞는 특정 응용 영역의 이용 사례에서 출발하여, 요건과 아키텍처 프레임워크를 정의해야 한다. 그 다음에야 분석에 기초하여 기존의 표준을 재사용할 수 있고, 격차가 채워져야 하는 곳을 파악할 수 있다.

### 7.2.2 공장 자동화를 위한 WSN에 대한 기술적 공헌

MSB는 높은 동시 접속 요건을 지닌 공장 자동화를 위한 WSN 개발에서 중소기업이 적극적인 역할을 할 것을 권장한다. IEC TC 65가 이 영역에 포진하고 있다.

### 7.2.3 공장 자동화를 위한 WSN 표준의 빠른 진전

MSB는 기존의 국가적 또는 지역적 표준의 조화에 특히 집중하여 공장 자동화를 위한 WSN 표준을 실현할 것을 중소기업에 권장한다.

### 7.2.4 공장 자동화를 위한 WSN 관련 산업 협회들과의 협조

MSB는 국제적 산업 수준의 WSN 개발에 부응할 수 있도록 전담반을 발족할 것을 중소기업에 권장한다. 수많은 산업 협회들이 이 분야에서 활동하고 있고, 이 문제에 대한 특정 관점에 기여하는 많은 연구 및 성명서를 내고 있다. 표준화 작업은 이러한 노력을 고려해야 한다.

## 7.2.5 시스템 인증 표준

MSB는 WSN의 모듈식 인증을 장려하고 지원할 미래의 표준화 니즈를 고려할 것을 권장한다. 대체로 복잡한 시스템은 매우 복잡한 시스템 거동을 동반하기 때문에, 대규모 시스템 인증은 결코 간단하지 않다. 하지만 모듈형 시스템은 모듈형 인증의 가능성을 동반한다. 그러한 시스템에서는 대부분의 인증 절차가 개별 시스템 모듈에 주력하고, 나머지 사소한 인증만 통합 시스템 자체에서 수행된다. 다시 말해, 시스템이 그 모듈의 인증을 물려받는 것이다.

---

## 부록 A

.....

# 접속 기술

---

## | A.1 접속 기술의 개발 동향 |

현재의 WSN 적용을 위한 구체적인 요건에 따르면 접속 기술의 발전은 이미 상당한 진보를 이루었다. 보다 체계적이고 주목할 만한 대표적인 접속 기술은 의료용 WSN 위주의 블루투스 4.0, 산업용 WSN 위주의 IEEE 802.15.4e, 그리고 IoT 관점에서는 WLAN IEEE 802.11™이다.

### A.1.1 블루투스 4.0

특히 저전력 요건을 지닌 의료 및 기타 다른 IoT 응용 분야의 특성과 요건을 고려하여 Bluetooth SIG는 2012년에 블루투스 4.0의 최신 블루투스 표준을 발표했다.

고도의 통합 및 소형 장치를 지향하는 블루투스 4.0은 작동 및 대기 모드에서 매우 낮은 전력 소모를 보장하는 초저전력 대기 모드 작동을 제공하기 위해 경량 접속 기술을 채택하였다. 버튼형 배터리도 몇 년 간 블루투스 4.0 장치의 무정전 작업을 지원할 수 있다. 다음 표는 블루투스 4.0과 기존의 블루투스 기술의 변수를 비교한 것이다.

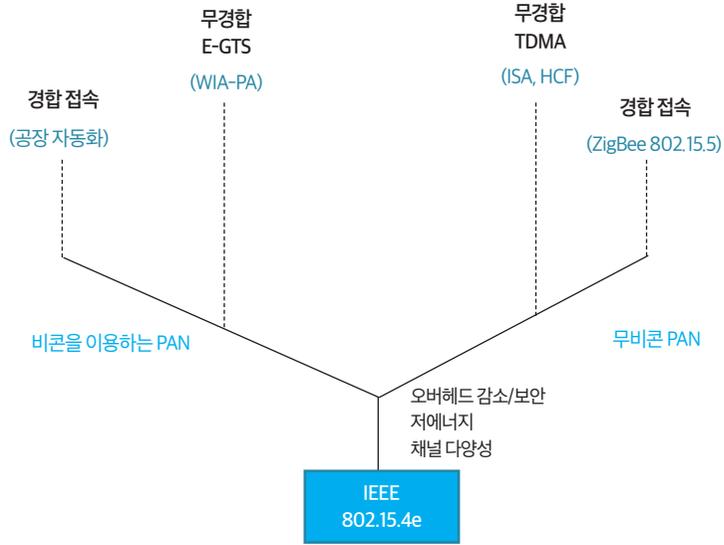
: 표 A-1 : 블루투스 4.0과 기존 블루투스 기술의 비교<sup>54</sup>

기술 규격	전통적인 블루투스 기술	블루투스 저에너지 기술
거리/범위	100m(330ft)	50m(160ft)
무선 데이터 전송 속도	1Mbit/s ~ 3Mbit/s	1Mbit/s
애플리케이션 처리량	0.7Mbit/s ~ 2.1Mbit/s	0.27Mbit/s
액티브 슬레이브	7	정의되지 않음. 실행에 따라 다름
보안	56/128비트 및 사용자가 정의한 애플리케이션 계층	카운터 모드 CBC-MAC의 128비트 및 사용자가 정의한 애플리케이션 계층
건전성	적응형 빠른 주파수 호핑, FEC, 빠른 ACK	적응형 주파수 호핑, 느린 확인응답, 24비트 CRC, 32비트 메시지 무결성 확인
대기 시작(비연결 상태)	일반적으로 100ms	6ms
총 데이터 전송 시간 (배터리 수명 감지)	100ms	3 ms, 3 ms 미만
음성 지원	예	아니오
네트워크 토폴로지	스캐터넷	스타형 버스
전력 소모	1(참조값)	0.01~0.5(이용 사례에 따라)
현재 소비 최고값	30mA 미만	15mA 미만

### A.1.2 IEEE 802.15.4e

WSN의 특징은 저속 WPAN과 상당히 유사하므로, 대부분의 WSN은 IEEE 802.15.4를 기본적인 통신 표준으로 채택한다. 또한, ZigBee<sup>®55</sup>, WirelessHART<sup>56</sup>, ISA100.11a<sup>57</sup>, WIA-PA<sup>58</sup>는 모두 IEEE 802.15.4 표준 위에 구축된다. 따라서 산업용 IoT 애플리케이션의 높은 신뢰도와 경성 실시간(Hard real time) 요구조건을 위해서 IEEE 802.15.4 실무 그룹이 2012년에 IEEE 802.15.4e를 내 놓았다.

산업적 응용 위주의 IEEE 802.15.4e는 처리 자동화 지향적 WIPA를 지원하는 비콘 기반 무경합 확장 GTS 방법, 처리 자동화 지향적 WirelessHART 및 ISA100.11a를 지원하는



: 그림 A1-1 : IEEE 802.15.4e의 접속 기술 아키텍처<sup>59</sup>

무비콘 무경합 TDMA 방법, 공장 자동화 부문을 지원하는 비콘 방식에 기반한 경합 접속, Zigbee<sup>®</sup> 및 IEEE 802.15.5를 지원하는 무비콘 경합 접속 방식을 포함하는 네 가지 접속 방식을 통해 IEEE 802.15.4를 확장한다<sup>60</sup>.

### A.1.3 WLAN IEEE 802.11™

IoT의 견지에서 WLAN IEEE 802.11™의 주요 장점은 다음과 같다.

- WLAN 클라이언트와 장치 인터넷으로의 쉬운 통합
- 사무실, 가정, 산업의 무선 통신 기술로의 폭 넓은 수용
- 모바일 기기 지원
- 산업 부문 및 센서 네트워크로 수용되는 저전력 소비 수준



◻ 그림 A1-2 : GainSpan GS1011M 저전력 Wi-Fi 모듈<sup>61</sup>

사양으로 쉽게 통합된다.

IEEE 802.11™ WLAN의 지배적인 네트워크 토폴로지는 WLAN 네트워크의 접속점으로 연결되는 이동형 WLAN 클라이언트이다.

다른 네트워크 토폴로지, 특히 IEEE 802.11a/g에서 56Mb/s, IEEE 802.11n에서 150Mb/s 이상, IEEE 802.11ac에서 최고 1Gb/s의 데이터 전송 속도를 제공하는 무선 메시 네트워크(IEEE 802.11s<sup>62</sup>) WLAN IEEE 802.11™도 가능하다.

또한, WLAN은 산업용 무선 통신 및 센서 네트워크에 도달하기도 한다. GainSpan 같은 회사들은 이른바 저전력 Wi-Fi 클라이언트를 제공한다(그림 A1-2 참조). 낮은 전력 소모는 에너지 효율적인 하드웨어와 그에 따른 IEEE 802.11™ 사양의 에너지 절감 기능 사용을 통해 달성된다. Wi-Fi Alliance를 통한 인증이 계획되어 있다. IoT 및 WSN과 관련된 IEEE 802.11™에 대한 추가 수정이 진행 중이다. 예를 들어 IEEE 802.11ah의 sub-GHz 대역과 IEEE 802.11ad/aj의 60GHz 대역의 추가적인 PHY 계층이 있다.

표준 IEEE 802.11™<sup>17</sup>에 기반한 무선 LAN은 사무실, 컨퍼런스 및 회의, 가정의 무선 데이터 통신으로도 선호되지만, 산업용 무선 통신으로도 많이 사용된다. WLAN IEEE 802.11 네트워크는 안정적이고 상업적으로 성공적이며 널리 배포된 생태계를 통해 네트워크 지향적 이더넷

## 참고문헌

- [1] ASHTON, K. That 'Internet of Things' Thing. In the real world, things matter more than ideas. RFID Journal, 22 June 2009. Available from: <http://www.rfidjournal.com/articles/view?4986>
- [2] BRÖRING, A. et al. New generation sensor web enablement. Sensors, 11, 2011, pp. 2652-2699. ISSN 1424-8220. Available from: doi:10.3390/s110302652
- [3] SENSEI. Integrating the physical with the digital world of the network of the future. Available from: <http://www.sensei-project.eu/>
- [4] CHONG, C.-Y. and KUMAR, S. P. Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges. Proceedings of the IEEE 91(8), 2003, pp. 1247-1256.
- [5] KUMAR, S. and SHEPHERD, D. Sensit: Sensor information technology for the warfighter. Proceedings of the 4th International Conference on Information Fusion (FUSION'01), 2001, pp. 3-9.
- [6] COY, P. and GROSS, N. et al. 21 Ideas for the 21st Century. Business Week Online, 1999, pp. 78-167. Available from: [http://www.businessweek.com/1999/99\\_35/2121\\_content.htm](http://www.businessweek.com/1999/99_35/2121_content.htm)
- [7] NI, L.M. China's national research project on wireless sensor networks. Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing (SUTC'08), 2008, p. 19.
- [8] HATLER, M., GURGANIOUS, D. and CHI, C. Industrial wireless sensor networks. A market dynamics report. ON World, 2012.

- [9]** Figure courtesy of Silicon Labs and RTC Magazine: [http://rtcmagazine.com/files/images/4151/RTC1212\\_SilLabs\\_fi\\_g1\\_medium.jpg](http://rtcmagazine.com/files/images/4151/RTC1212_SilLabs_fi_g1_medium.jpg)
- [10]** Yole Development SA. MEMS technology: World's smallest barometric pressure sensor. *Micro News*, 2009, 78:1.
- [11]** KAHN, J. M., KATZ, R. H. and PISTER, K. S. J. Mobile Networking for Smart Dust. ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom 99), Seattle, WA, August 17–19, 1999.
- [12]** ANG, R.J., TAN, Y.K. and PANDA, S.K. Energy harvesting for autonomous wind sensor in remote area. 33rd Annual IEEE Conference of Industrial Electronics Society (IECON'07), Taipei, Taiwan, 2007.
- [13]** TANG, L. and GUY C. Radio frequency energy harvesting in wireless sensor networks. International conference on communications and mobile computing, 2009, pp. 644648.
- [14]** Courtesy of Shenyang Institute of Automation, Shenyang, China, 2014.
- [15]** FP7 EXALTED consortium, D3.3 - Final report on LTE–M algorithms and procedures, project report, July 2012. Available from: [http://www.ict-exalted.eu/fileadmin/documents/EXALTED\\_WP3\\_D3.3\\_v1.0.pdf](http://www.ict-exalted.eu/fileadmin/documents/EXALTED_WP3_D3.3_v1.0.pdf)
- [16]** IEEE 802.15.4e–2012, IEEE Standard for local and metropolitan area networks - Part 15.4: Low–Rate Wireless Personal Area Networks (LR–WPANs) Amendment 1: MAC sublayer.
- [17]** IEEE Std 802.11™–2012, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE Computer Society, March 2012.
- [18]** UIMER, C. Wireless Sensor Networks. Georgia Institute of Technology, 2000. Available from: [www.craigulmer.com/portfolio/unlocked/000919\\_](http://www.craigulmer.com/portfolio/unlocked/000919_)

sensorsimii/wireless\_sensor\_networks.ppt

- [19]** PISTER, K. and DOHERTY, L. TSMP: Time synchronized mesh protocol. [C]. Proceedings of the IASTED International Symposium, Distributed Sensor Networks (DSN 2008), 2008, pp. 391398. Available from: <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/publications/2008/TSMP%20DSN08.pdf>
- [20]** SHELBY, Z. and BORMANN C. 6LoWPAN: The wireless embedded Internet. New York, NY, USA: John Wiley & Sons Ltd, 2009. Available from: [http://elektro.upi.edu/pustaka.elektro/Wireless%20 Sensor%20 Network/6LoWPAN.pdf](http://elektro.upi.edu/pustaka.elektro/Wireless%20Sensor%20Network/6LoWPAN.pdf)
- [21]** Sensinode. Available from: [www.sensinode.com/EN/products/software.html](http://www.sensinode.com/EN/products/software.html)
- [22]** 6LoWPAN Sub1GHz Evaluation kit. Texas Instruments. Available from: [www.ti.com/tool/CC-6LOWPAN-DK-868](http://www.ti.com/tool/CC-6LOWPAN-DK-868)
- [23]** HUI, J., CULLER, D. and CHAKRABARTI, S. 6LoWPAN: Incorporating IEEE 802.15.4 into IP architecture. IPSO, Industrial Ethernet Book Issue 59, 1997. Available from: <http://www.iebmedia.com/index.php?id=7176&parentid=63&themeid=255&hf t=59&showdetail=true&bb=1&PHPSESSID=a3tc6d9vhs5ab6svu8ahcb4c10>
- [24]** BLILAT, A., BOUAYAD, A., CHAOUI, N. and EL GHAZI, M. Wireless sensor network: Security challenges. Network Security and Systems (JNS2), 2012 National Days of. IEEE, 2012, pp. 6872. Available from: <http://novintarjome.com/wp-content/uploads/2014/05/Wireless-Sensor-Network.pdf>
- [25]** JAIN, A., KANT, K. and TRIPATHY, M. R. Security solutions for wireless sensor networks[C]. Proceedings of the 2012 Second International

- Conference on Advanced Computing and Communication Technologies (ACCT '12). IEEE Computer Society, 2012, pp. 430433.
- [26]** WANG, Y., ATTEBURY, G. and RAMAMURTHY, B. A survey of security issues in wireless sensor networks IEEE Communications Surveys and Tutorials 8, 2006, pp. 223.
- [27]** ALZAID, H. Security map for WSN. 2009. Available from:[http://www.wsn-security.info/Security\\_Map.htm](http://www.wsn-security.info/Security_Map.htm)
- [28]** MARTIN, T., HSIAO, M., HA, D. and KRISHNASWAMI, J. Denial-of-service attacks on battery-powered mobile computers. Second IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom'04), IEEE, 2004, pp. 309318. Available from: [http://www.ece.vt.edu/~tmartin/power-secure/percom\\_martin\\_camera-final.pdf](http://www.ece.vt.edu/~tmartin/power-secure/percom_martin_camera-final.pdf)
- [29]** FALK, R. and HOF, H.-J. Fighting insomnia, a secure wake-up scheme for wireless sensor networks. Third International Conference on Emerging Security Information, Systems and Technologies (SECURWARE'09), Athens/Glyfada, Greece, 18–23 June 2009, pp. 191196.
- [30]** LE X. H., SANKAR, R., KHALID, M., and SUNGYOUNG, L. Public key cryptography-based security scheme for wireless sensor networks in healthcare. Proceedings of the 4th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication (ICUIMC '10). ACM, 2010.
- [31]** SZCZECHOWIAK, P., KARGL, A., COLLIER, M. and SCOTT, M. On the application of pairing based cryptography to wireless sensor networks. Proceedings of the second ACM conference on Wireless network security. ACM, 2009: 1–12.

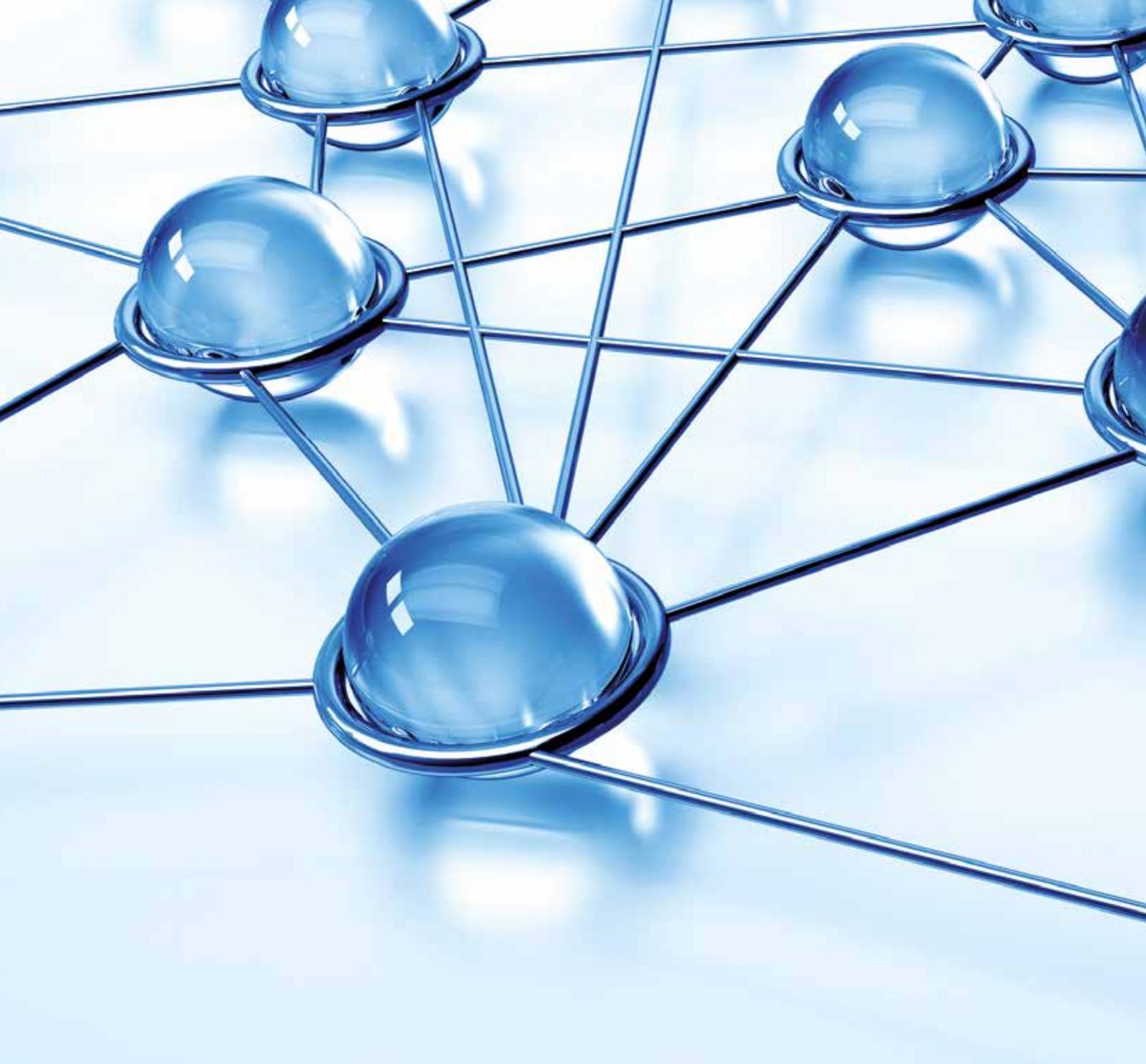
- [32]** Libelium, Encryption libraries for waspmote sensor networks. Available from: <http://www.libelium.com/products/waspmote/encryption/>
- [33]** KALITA, H. K. and KAR, A. Key management in secure self-organized wireless sensor network: a new approach. Proceedings of the International Conference and Workshop on Emerging Trends in Technology (ICWET '11). ACM, 2011, pp. 865870.
- [34]** FALK, R. and HOF, H.-J. Security design for industrial sensor networks. Information Technology, Vol. 52, No. 6, Oldenbourg, 2010, pp. 331-339.
- [35]** AL-KARAKI, J. N. and KAMAL, A. E. Routing techniques in wireless sensor networks: a survey. Wireless communications, IEEE, Vol. 11, No. 6, 2004, pp. 628.
- [36]** WOOD, A. D., FANG, L. and STANKOVIC, J. A. SIGF: a family of configurable, secure routing protocols for wireless sensor networks. Proceedings of the fourth ACM workshop on Security of ad hoc and sensor networks. ACM, 2006: 35-48.
- [37]** SEN, J. A survey on wireless sensor network security. International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS), Vol. 1, No. 2, 2009, pp. 5578. Available from: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1011/1011.1529.pdf>
- [38]** JHA, M. K. and SHARMA, T. P. Secure data aggregation in wireless sensor network: a survey. International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), Vol. 5, No. 3, 2011.
- [39]** SCHMITT, C. Cooperation between all components in the established wireless sensor network. Technische Universität München, 2009.

Available from: [https://corinna-schmitt.de/doku.php?id=wsn\\_research](https://corinna-schmitt.de/doku.php?id=wsn_research)

- [40]** ROZANSKI, N. and WOODS, E. Software systems architecture: Working with stakeholders using viewpoints and perspectives. Addison-Wesley Professional, 2nd edition, 2011.
- [41]** DUNLAP, J. From billing & technology convergence to ecosystem convergence: Why M2M matters to your business. Pipeline: Technology for Service Providers, Vol. 8, No. 7, 2011, pp. 13. Available from: [http://pipelinepub.com/1211/OSS\\_BSS/pdf/7230\\_PipelineDecember2011\\_A5.pdf](http://pipelinepub.com/1211/OSS_BSS/pdf/7230_PipelineDecember2011_A5.pdf)
- [42]** FELDMAN, S. Unified information access: Creating information synergy. IDC, 2012. Available from: <http://www.infonortics.com/sdv-12-post/feldman.pdf>
- [43]** MYRDA, P. T. and KOELLNER, K. NASPInet-The internet for synchrophasors. 43rd Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), IEEE, 2010, pp. 16.
- [44]** HEBELER, J. et al. Semantic Web Programming. John Wiley & Sons, Inc., 2009.
- [45]** WOOD A. D. and J.A. Stankovic. 2002. "Denial of Service in Sensor Networks." IEEE Computer,35(10), 54-62.
- [46]** PATHAN, A. S. K., LEE, H. W. and HONG, C. S. Security in wireless sensor networks: issues and challenges. The 8th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT 2006). IEEE, 2006, Vol. 2, 6 pp.-1048. Available from: <http://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/0712/0712.4169.pdf>

- [47]** Courtesy of State Grid Corporation of China, 2014.
- [48]** Courtesy of SAP.
- [49]** Industry group leader report, “Sustainability Scores”. RobecoSAM AG, 2013. Available from: [http://www.sustainability-indices.com/images/Industry\\_Group\\_Leader\\_DJSI2014\\_Wipro-Ltd.pdf](http://www.sustainability-indices.com/images/Industry_Group_Leader_DJSI2014_Wipro-Ltd.pdf)
- [50]** Courtesy of Schneider Electric.
- [51]** <http://www2.schneider-electric.com/sites/corporate/en/press/press-kit/homes-project.page>
- [52]** Courtesy of IMS Research.
- [53]** ZigBee 2012, ZigBee specification overview. Available from: <http://www.zigbee.org/Specifications/ZigBee/GreenPower.aspx>
- [54]** Bluetooth Low Energy. Wikipedia: The Free Encyclopedia. 31 July 2014 at 05:16. Available from: [http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth\\_low\\_energy](http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth_low_energy)
- [55]** ZigBee Alliance. <http://zigbee.org/Home.aspx>
- [56]** IEC 62591, Industrial communication networks Wireless communication network and communication profiles WirelessHART™.
- [57]** IEC/PAS 62734, Industrial communication networks - Fieldbus specifications - Wireless systems for industrial automation: process control and related applications.
- [58]** IEC 62601, Industrial communication networks - Fieldbus specifications - WIA-PA communication network and communication profile.
- [59]** IEEE Std 802.15.4e-2012, Local and metropolitan area networks - Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs) Amendment 1: MAC sublayer. April 2012.

- [60]** IEEE P802.15 Working Group for Wireless Personal Area Networks (WPANs). IEEE 802.15.5 WPAN Mesh Networks. [http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/Meeting\\_Plan.html](http://grouper.ieee.org/groups/802/15/pub/Meeting_Plan.html). May 2005.
- [61]** GainSpan, Low Power Wi-Fi Modules and Embedded Software, Product Photography, Available from: [http://www.gainspan.com/news/media\\_kit](http://www.gainspan.com/news/media_kit)
- [62]** IEEE Std 802.11s–2011, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, Amendment 10: Mesh Networking, IEEE Computer Society, September 2011.



International  
Electrotechnical  
Commission

ISBN 978-2-8322-3970-4



3 rue de Varembé  
PO Box 131  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland

T +41 22 919 0211  
info@iec.ch  
www.iec.ch

© Registered trademark of the International Electrotechnical Commission. Copyright © IEC, Geneva, Switzerland 2014.