

지능형 플랜트 구축을 위한 IEEE 802.15.4e 기반 산업 무선 센서 네트워크 시스템 개발

하 유 빈*, 정 상 화°, 이 운 성*

Development of IEEE 802.15.4e Based Industrial Wireless Sensor Network System for Intelligent Plant Construction

Yuvin Ha*, Sang-Hwa Chung°, Yun-Sung Lee*

요 약

사물인터넷과 4차 산업혁명이 큰 관심을 받으면서, 지능화/효율화를 목적으로한 플랜트 시스템의 필요성이 대두되고 있다. 산업용 네트워크는 설비의 제어 신호 및 센서 데이터를 전달하는 역할을 수행하며, 네트워크의 신뢰도는 설비의 생산성과 안정성에 직접적인 영향을 주는 요소이다. 산업 무선 네트워크 기술은 편의성과 유연성으로 지속적인 관심을 받아왔으며, 높은 신뢰성과 안정성을 제공하는 IEEE 802.15.4e TSCH MAC이 큰 주목을 받고 있다. TSCH 기술은 기존 유선 센서는 설치하기 어려운 회전체, 이동체 및 작업자에 대한 신뢰성있는 통신을 가능하게 하여, 스마트 팩토리의 다양한 응용 서비스에 필요한 핵심 기술이다. 우리는 IEEE 802.15.4e TSCH 기술에 기반한 산업용 무선 네트워크에 기반하여 무선 모니터링 시스템을 개발하였으며, 해당 시스템은 고무벨트 제작업체의 고무혼련 공정을 테스트베드로 선정하여 구축하였다. 본 논문에서는 산업용으로 사용되는 센서가 일반적으로 산업 네트워크에 연결되는 방식에 대해 설명하고, 새로운 산업 무선 네트워크 시스템이 기존 시스템과 어떠한 방식으로 연계될 수 있는지 살펴본다.

키워드 : 산업 무선 센서 네트워크, IEEE 802.15.4e, 스마트 팩토리, 모니터링 시스템, 사물인터넷

Key Words : Industrial Wireless Sensor Network, IEEE 802.15.4e, Smart Factory, Monitoring System, IoT

ABSTRACT

As the Internet of matter and the 4th industrial revolution are receiving great attention, the need for an intelligent plant system is emerging. The industrial network carries the control signal and the sensor data of facilities, and the reliability of the network directly affects the productivity and stability of the facilities. Industrial wireless network technology has been attracting attention with convenience and flexibility, and IEEE 802.15.4e TSCH MAC, which provides high reliability and stability, is a promising technology. TSCH is a key technology for various smart factory applications by enabling reliable communication for the rotors and the moving workers, which is difficult to install the wire sensor. We developed a monitoring system based on an industrial wireless network based on IEEE 802.15.4e TSCH technology, and selected rubber mixing process of rubber belt manufacturer as a test bed. In this paper, we describe how industrial sensors are commonly connected to industrial networks and how new industrial wireless network systems can be linked to existing systems.

* 이 논문은 부산대학교 기본연구지원사업(2년)에 의하여 연구되었음

* 본 논문은 BK21 플러스, IT기반 융합산업 창의인력양성사업단에 의하여 지원되었음.

• First Author : (ORCID:0000-0003-1071-7876)Pusan University Department of Electrical and Computer Engineering, yoobin1013@naver.com, 학생회원

° Corresponding Author : (ORCID:0000-0003-1329-1188)Pusan University Department of Electrical and Computer Engineering, shchung@pusan.ac.kr, 정회원

* (0000-0002-8973-2341)Pusan University Department of Electrical and Computer Engineering, nzellys@naver.com, 학생회원

논문번호 : KICS2017-11-359, Received November 24, 2017; Revised January 29, 2018; Accepted January 29, 2018

I. 서론

사물인터넷(Internet of Things)과 4차 산업혁명이 큰 관심을 받으면서, 지능화/효율화를 목적으로한 플랜트 시스템의 필요성이 대두되고 있다. 스마트 팩토리는 생산 공정의 통제 및 유지보수, 안전 관리에서 물류까지 전 과정을 최적화하는 개념으로 사람과 사물, 사물과 사물이 소통하는 IoT의 핵심 적용 분야이다. 스마트 팩토리는 플랜트에 설치된 수많은 센서에서 수집된 데이터를 바탕으로 고장 징후 예측, 작업자 안전 모니터링 등에 대한 지능형 응용 서비스 뿐 아니라 다품종 소량생산과 같은 새롭고 유연한 생산 패러다임을 제시하고 있다. 특히, 무선 센서 네트워크 기술은 기존 유선 센서는 설치하기 어려운 회전체, 이동체 및 작업자에 대한 센서 데이터 취득을 가능하게 하여, 스마트 팩토리의 다양한 응용 서비스에 필요한 핵심 기술로 주목받고 있으며, 산업 영역에 무선 센서 네트워크 기술을 접목하기 위한 연구가 진행되고 있다^[1].

산업용 네트워크는 설비의 제어 신호 및 센서 데이터를 전달하는 역할을 수행하며, 네트워크의 신뢰도는 설비의 생산성과 안정성에 직접적인 영향을 주는 요소이다. Zigbee와 같은 무선 통신기술에 사용된 IEEE 802.15.4^[2] 무선 네트워크 기술은 편의성과 유연성으로 지속적인 관심을 받아왔지만, 무선 네트워크 신뢰도의 한계로 적극적인 도입이 이루어지지 못하였다. 이러한 문제를 개선하기 위해 IEEE 802.15.4e MAC^[3] 개정안이 진행되었으며, WirelessHART와 같은 상용 솔루션에서 사실표준으로서 사용되던 TSCH(Time Slotted Channel Hopping) MAC이 표준으로 채택되었다. TSCH MAC은 시분할 매체 접근과 채널 호핑기법을 통해, 무선 네트워크의 신뢰도 문제를 해결하였으며, IoT 환경에서도 적합한 특성을 가진 것으로 간주되어 IETF의 많은 WG(Working Group)에서 MAC 기술로서 채택하고 있다^[4].

우리는 제조업체의 운용 중인 공정을 대상으로 테스트베드로 선정하였으며, IEEE 802.15.4e TSCH 기반 무선 네트워크를 사용하여 구축한 무선 모니터링 시스템을 구축하였다. 본 논문에서는 산업용으로 사용되는 센서가 일반적으로 산업 네트워크에 연결되는 방식에 대해 설명하고, 새로운 산업 무선 네트워크 시스템이 기존 시스템과 어떠한 방식으로 연계될 수 있는지 살펴본다. 개발 시스템은 IEEE 802.15.4e TSCH MAC을 기반으로 IoT 환경을 위한 IETF의 저전력 IP 네트워크 스택^[5]를 사용하였으며, 연결된 무선 센서

장치와 전달된 데이터는 개방형 IoT 플랫폼인 모비우스를 통해 관리할 수 있도록 구성하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 산업 무선 네트워크 및 기존 산업용 필드 네트워크를 설명하며, 3장에서는 개발 시스템의 구조와 시스템 모델을 설명한다. 마지막으로 4장에서 결론으로 끝을 맺는다.

II. 산업용 네트워크

2.1 IEEE 802.15.4e TSCH MAC

초기 IEEE 802.15.4 PHY/MAC^[2]는 저전력 장치의 중거리 통신을 위해 제안된 표준이다. Zigbee는 IEEE 802.15.4 표준에 기반한 네트워크 스택을 제안하였으나, 산업 영역에서는 널리 사용되지 못했다. 2006년 Dust Network사는 IEEE 802.15.4 PHY에 기반한 시분할 방식의 TSMP(Time Synchronous Mesh Protocol)^[5]를 제안하였으며, 이는 이후 WirelessHART, ISA100.11a에 채택되어 산업 환경을 위한 무선 네트워크의 사실 표준이 되었다. 산업 영역의 무선 네트워크 기술에 대한 수요는 꾸준히 있었으나, IEEE 802.15.4 표준은 전송 지연과 신뢰성의 한계 등 산업의 수요를 수용하기 어려웠다. 이후, IEEE 802.15.4e MAC 개정은 기존 표준을 보완하기 위해 제정되었으며, 서비스 종류에 따라 TSCH, DSME(Distributed Synchronous Multi-channel Extension), LL(Low Latency) 등의 다양한 MAC 모드를 정의하였다. 그 중 TSCH는 TSMP 및 WirelessHART의 시분할 채널 접근과 채널 호핑 방식을 채택한 기술로서 높은 신뢰성 외부 간섭에 대한 강인한 특성^[6]으로 주목받고 있다.

TSCH 네트워크에 참여한 장치는 모두 시각 동기화(Time Synchronization) 되어 동작하며, 타임슬롯(Timeslot) 단위로 시간을 나누어 매체에 대해 접근해야 하며, 여러 개의 타임슬롯은 지속적으로 반복되는 슬롯프레임(Slotframe)을 구성한다. 슬롯프레임 내의 타임슬롯의 순서는 슬롯오프셋(slotOffset)으로 나타낸다. TSCH의 시분할 접근(Time Slotted Access) 특성은 네트워크 내의 장치들 사이의 전송 충돌을 효과적으로 예방하여 신뢰도를 향상시킨다.

$$f = (ASN + channelOffset) \bmod N_C \quad (1)$$

ASN(Absolute Slot Number)은 네트워크가 시작될 때부터 세운 타임슬롯의 순서를 의미하며, 수식 (1)을 사용하여 해당 타임슬롯에서 사용할 채널을 결정

한다. 채널오프셋(channelOffset)은 사용 가능한 채널 리스트의 인덱스를 의미하며, N_c 는 사용 가능한 채널의 수를 의미한다. 이때, 그림 2와 같이 채널 오프셋이 0으로 동일하더라도 ASN은 지속적으로 변하는 값이기 때문에 실제 통신에 사용되는 채널은 지속적으로 변경된다. 이러한 채널 호핑(Channel Hopping) 특성은 급속 구조물이 많은 플랜트 환경에서 그림 3과 같은 다중 경로 페이딩(Multi Path Fading) 문제를 효과적으로 회피할 수 있게 하여 신뢰도를 향상시킬 수 있다⁶⁾. 또한, 기본적으로 다중 채널을 사용하는 특성과 함께, 링크 품질이 나쁜 채널을 선택적으로 금지하는

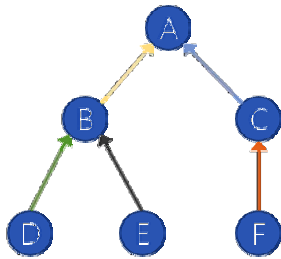


그림 1. TSCH 네트워크 예시
Fig. 1. An example of TSCH network

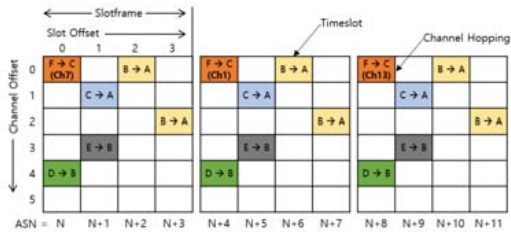


그림 2. TSCH 프레임 구조 및 링크 스케줄링 예시
Fig. 2. An example of TSCH frame structure and link scheduling

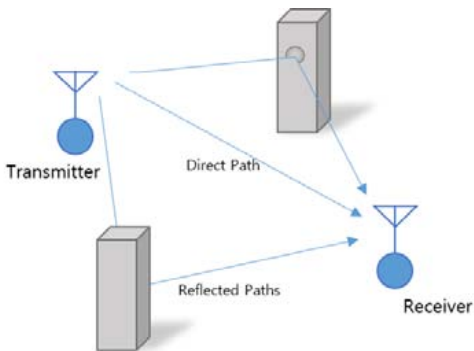


그림 3. 다중 경로 페이딩 문제의 예시
Fig. 3. An example of multipath fading problem

블랙리스트(Blacklist) 기법을 사용하여 ISM 대역을 사용하는 다른 통신 기술의 간섭도 효과적으로 회피할 수 있다.

그림 1은 일반적인 산업용 무선 센서 네트워크의 토폴로지를 나타내며, 그림 2는 해당 토폴로지에 대하여 TSCH 링크 스케줄링(Link Scheduling)이 수행된 예시이다. 슬롯오프셋 0에 할당된 두 스케줄은 서로 영향을 미치지 않기 때문에 서로 다른 채널에서 동시에 전송될 수 있다. 하지만, 다른 시간(또는 채널)에서 해당 통신을 수행할 경우 다른 통신과 충돌을 발생하여 네트워크 신뢰도를 떨어뜨릴 수 있다. 이처럼 IEEE 802.15.4e TSCH MAC 기술은 각 TSCH 장치의 통신 시간과 사용할 채널을 결정하는 링크 스케줄링을 통해 높은 신뢰도를 확보할 수 있는 특성을 가지고 있지만, IEEE 802.15.4e 표준에서는 어떻게 스케줄을 만들어야 할지는 명시하지 있지 않다. 이러한 문제를 해결하기 위한 다양한 링크 스케줄링에 대한 최근의 연구들이 진행되고 있다^{7,8)}.

2.2 IETF IoT 네트워크 스택

IETF의 다양한 워킹그룹들은 그림 4와 같이 사물들을 위한 저전력 IoT 네트워크 스택을 계층별로 정의하고 있다. 6LoWPAN⁹⁾은 IEEE 802.15.4로 대표되는 저전력 네트워크를 위한 IP 계층을 정의하였으며, IoT가 대두됨에 따라 중요한 핵심 기술로 떠올랐다. Roll WG은 IoT 사물들의 LLN(Low-power and Lossy Network) 특성을 정의하고, LLN을 위한 라우팅 프로토콜인 RPL(Routing Protocol for LLNs)¹⁰⁾을 제안하였다. RPL은 네트워크 장치들이 분산적으로 부모/자식 관계를 형성하여 DODAG (Destination Oriented Directed Acyclic Graph)를 생성한다. 이는 손실이 있는 네트워크 상황에서도 유연하게 대응할 수

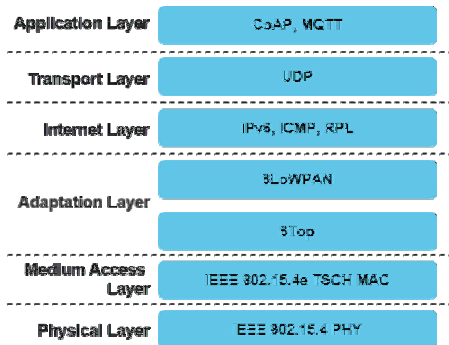


그림 4. IETF IoT 네트워크 스택
Fig. 4. IETF IoT network stack

있으며, OF (objective Function)을 통해 네트워크의 목적에 부합하는 다양한 토폴로지를 구성할 수 있다.

가장 최근 설립된 6TiSCH WG은 TSCH MAC의 높은 신뢰성과 안정성이 IoT 환경에서도 적합할 것으로 기대하며, IEEE 802.15.4e 표준에서 정의하지 않은 부분과 상위 네트워크 계층 사이의 원활한 연동을 위한 6top sub-layer를 정의하고 있다^[11]. 6TiSCH는 계층의 구조와 인터페이스, 스케줄링, 보안 측면에 대해 다루고 있으며, 네트워크가 동작하기 위한 최소한의 설정을 제시하고 있어 기본적인 상호동작을 보장할 수 있다.

개발 시스템은 IEEE 802.15.4e TSCH MAC과 상기 IETF의 IoT 네트워크 스택을 기반으로 개발되었다. 6LoWPAN 및 UDP를 사용하여 기존 인터넷의 서버 및 호스트와 직접적인 IP통신이 가능하며, 개방형 IoT 플랫폼에 대한 등록 및 데이터 전송 역시 IP통신을 사용한다.

2.3 산업용 필드 네트워크

플랜트 설비는 다양한 센서와 제어기로 제어/관리되며, 설비 규모에 따라 작게는 수십에서 많게는 수천 개의 포인트가 존재한다. 이들은 PLC (Programmable Logic Controller)라는 자동화 제어장치에 연결되어 센서의 입력에 따라 설정된 논리대로 동작하게 된다. PLC는 연산처리를 담당하는 CPU모듈이 존재하며, 확장 모듈을 통해 센서의 아날로그/디지털 입출력 및 산업용 통신 프로토콜(i.e. 모드버스 RTU/TCP, CC-Link EtherCAT 등)을 사용할 수 있다. 단일 설비 전체를 하나의 PLC를 통해 관리하는 것이 불가능한 것은 아니지만, 제어/관리의 편의 등의 이유로 설비 단위의 PLC를 사용하여 계층적으로 구성하는 것이 일반적이며, 이는 산업체의 공정 및 설비의 구성 방식에 따라 달라질 수 있다. 산업 설비는 PLC를 통해 제

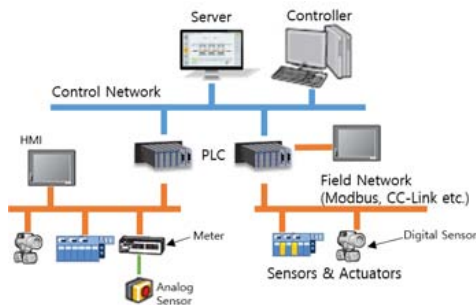


그림 5. 산업용 필드 네트워크 예시
Fig. 5. An example of industrial field network



그림 6. 테스트베드의 산업용 HMI 및 계측기
Fig. 6. Industrial HMI & meters on test bed

어/관리되지만, 작업자 및 관리자의 필요 및 직접적인 모니터링을 위해 설비 인근 위치에 제어/모니터링을 위한 인터페이스를 별도로 두는 것이 일반적이다. 간단하게 구성될 경우, 센서의 아날로그 값을 직접 확인할 수 있는 계측기를 사용하는 경우도 많으며, (모드버스 프로토콜을 지원하는 계측기는 디지털 값으로 변환된 데이터를 PLC로 연계할 수 있다) 최근에는 별도의 디스플레이를 사용하여 HMI(Human-Machine Interface)를 구성하는 추세이다. 이러한 HMI는 PLC로부터 데이터를 전송받거나 모드버스와 같은 프로토콜로 직접 센서와 통신하여 제어/모니터링을 위한 인터페이스를 제공한다.

설비의 제어/모니터링을 위한 산업용 필드버스 프로토콜은 모드버스, CC-Link 등 다양한 프로토콜이 존재하며, 본 논문에서는 가장 간단하며 널리 사용되는 모드버스에 대해 간략히 설명한다. 모드버스는 센서-PLC, PLC-PLC 및 PLC-HMI 등 다양한 계층에서 널리 사용되는 산업용 필드버스 프로토콜이다. 모드버스를 사용하는 장치는 마스터와 슬레이브로 역할이 나누어지며, 마스터의 요청에 대해 슬레이브가 응답하는 “요청-응답(Request-Response) 방식”으로 통신이 이루어진다. 제어장치가 마스터 역할을 수행하며 다수의 센서 및 설비에 대해 필드 버스 방식으로 연결되어 1대 N 구조로 구성되며, 다소 긴 거리의 장치도 안정적으로 통신할 수 있도록 RS-485 시리얼 통신을 사용하는 것이 일반적이다. 특정 장치에 대한 주소, 읽기/쓰기 등의 명령, 데이터와 에러체크를 위한 CRC로 이루어진 단순한 프레임 구조로, 설비의 제어와 모니터링에 필요한 대부분의 기능을 탑재하고 있어 매우 널리 사용되고 있다. 모드버스는 하위 프로토콜에 따라 모드버스 ASCII(RS-232), RTU(RS-485) 및 TCP(TCP, Ethernet) 등의 확장된 프로토콜을 지원한

다. 또한, 공개된 무료 프로그램과 라이브러리를 쉽게 구할 수 있어 활용성이 매우 높다.

III. 산업용 무선 네트워크 기반 모니터링 시스템

개발된 산업용 무선 네트워크 모니터링 시스템은 고무벨트 제작업체의 고무혼련공정을 테스트베드로 선정하여 구축되었다. 고무 혼련 공정은 원료고무와 화학적 배합제를 섞어 원하는 고무의 특성을 만들어 내고 배합제를 고무 중에 고르게 분산시키는 것을 목적으로 한다.

그림 8은 테스트베드의 구성도를 나타낸다. 업체의 수요를 반영하여 기존 PLC에 연결되어 계측기로 측정되고 있던 드롭도어, 로터 접합부의 온도 및 DC 모터의 전류량에 대한 6종 데이터와 추가적인 온도 센서 데이터를 수집하는 시스템을 개발하였다. 6종 센서의 경우 PLC에 연결되어 그림 6과 같이 구성되어 작업자가 모니터링 할 수 있으나, 상위 제어 네트워크와 연결되지 않아 업체의 데이터 서버에 기록되지 않는다. 테스트베드 제공 업체는 해당 데이터의 기록을 통해 생산성 향상 가능성을 확인하고자 하였고, 산업용 무선 네트워크를 통해 해당 데이터를 수집할 수 있도



그림 7. 고무 혼련 공정 테스트베드 전경
Fig. 7. Rubber mixing process test bed

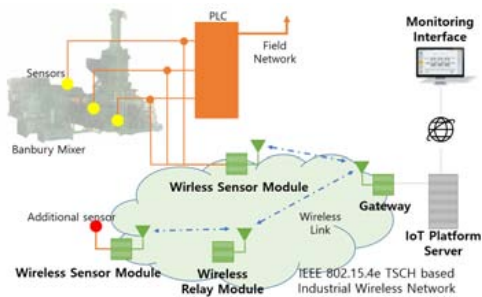


그림 8. 테스트베드 시스템 구조도
Fig. 8. A system structure of test bed

록 시스템을 구성하였다. IEEE 802.15.4e TSCH MAC은 멀티홉 메쉬 네트워크 구성이 가능하므로, 게이트웨이와 직접적인 통신이 불가능한 지역은 간단한 중계 장치를 설치하여 데이터를 전송하도록 구성할 수 있다.

개발 시스템을 적용한 고무혼련공정 테스트베드는 제품이 지속적으로 생산되고 있는 공정이기때 테스트베드 시스템이 생산 공정에 영향을 미치지 않도록 구성하였다. 기존 수집되고 있는 데이터의 경우, PLC와 연결되는 아날로그 신호에 대한 별도의 배선을 준비하여 무선 센서 모듈에 연결하였으며, 설비에서 공급되는 전력에 영향을 주지 않도록 관리 및 기타 목적으로 사용되는 교류 220V 전원을 사용하여 시스템을 구성하였다.

3.1 무선 센서 모듈

무선 센서 모듈은 그림 9와 같이 산업용 무선 통신 모듈과 센서 인터페이스, 전원 모듈로 나누어 볼 수 있다. 산업용 무선 센서 모듈은 Cortex-m3 MCU와

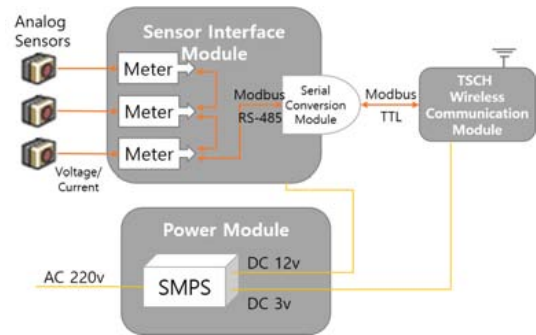


그림 9. 무선 센서 모듈 구조도
Fig. 9. Wireless sensor module structure diagram

표 1. 산업용 무선 통신 모듈 명세

Table 1. Industrial wireless communication module specifications

MCU	Ti CC2538 SoC
Transceiver	2.4GHz IEEE 802.15.4 Compatible RF
Memory	32KB
Storage	256KB
Network Stack	UDP, 6LoWPAN, RPL, 6Top, IEEE 802.15.4e TSCH MAC
Tx Power	10 dBm
Data rate	250kbps
Etc.	Extension Module (USB to Serial, Regulator, Debug Interface)

2.4GHz IEEE 802.15.4 Compatible RF 트랜시버가 탑재된 TI CC2538 SoC를 사용하여 개발되었으며, IEEE 802.15.4e TSCH MAC과 RPL, 6LoWPAN, UDP 네트워크 스택을 탑재하였다. 산업용 무선 통신 모듈의 명세는 표 1로 정리하였다.

디지털 센서 데이터는 CC2538의 시리얼 채널을 통해 입력받을 수 있지만, 산업용 아날로그 센서의 경우 측정값을 전압 또는 전류로 출력하기 때문에 직접적으로 입력받기 어렵다. 이를 통신 모듈이 받아들일 수 있도록 별도의 센서 인터페이스를 구성하였다. 센서 인터페이스는 산업용 계측기와 시리얼 변환 모듈로 구성된다. 산업용 계측기는 다양한 범위의 아날로그 입력을 디지털로 변환하고 그 값을 7세그먼트를 통해 계기할 수 있으며, 변환된 디지털 데이터를 RS-485기반의 모드버스 RTU 프로토콜로 전송할 수 있다. 무선 통신 모듈은 모드버스 마스터로 동작하고 산업용 계측기는 슬레이브로 동작하며, 그림 9와 같이

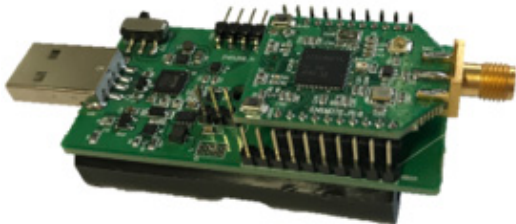


그림 10. TSCH기반 산업용 무선 통신 모듈(Ti CC2538)
Fig. 10. TSCH based industrial wireless communication module(Ti CC2538)



그림 11. 무선 센서 모듈(6개 센서 연동)
Fig. 11. Wireless sensor module with 6 sensors

하나의 무선 통신 모듈에 다수의 센서를 부착하는 것이 가능하다. 즉, 무선 통신 모듈에 가까이 위치한 센서들을 연결하여 하나의 무선 링크로 전송하도록 구성할 수 있다.

일반적으로 산업용 설비, 계측기 및 센서는 직류 12v 및 24v 전압에서 구동되며, 무선 통신 모듈의 경우 일반적인 저전력 MCU가 사용하는 3v 전압을 사용하므로 LDO(Low DropOut)와 같은 레귤레이터를 사용하면 쉽게 문제를 해결할 수 있다. 하지만, 테스트베드 시스템이 설비 운용에 사용되는 전원을 사용하여 문제가 발생할 경우, 설비 운영에 영향을 미칠 수 있으므로, 관리 및 기타 목적으로 사용되는 일반 220v 교류 전원을 사용하여 테스트베드 시스템을 운용하도록 기획하였다. 때문에, 계측기 및 시리얼 변환 모듈을 위해 필요한 12v와 무선 통신 모듈에 사용될 3v 직류 전원을 생성하는 SMPS(Switched-Mode Power Supply)를 사용하여 전원 모듈을 구성하였다. 그림 10은 제작된 TSCH기반 산업용 무선 통신 모듈이며, 그림 11은 6종 센서 데이터를 전송하기 위해 제작된 무선 센서 모듈이다.

3.2 게이트웨이

IEEE 802.15.4 PHY와 IEEE 802.15.4e TSCH MAC 기술을 사용하는 무선 센서 모듈은 일반 인터넷 및 산업용 필드 네트워크의 물리 계층 인터페이스와 직접 연동할 수 없다. 때문에, Wi-Fi AP(Access Point)가 IEEE 802.11 무선 통신을 IEEE 802.3 Ethernet 통신으로 변환해주는 역할을 수행하듯이, IEEE 802.15.4 통신을 기존 인터넷 통신 및 산업용 필드 네트워크와 연결시켜줄 게이트웨이가 필요하다.

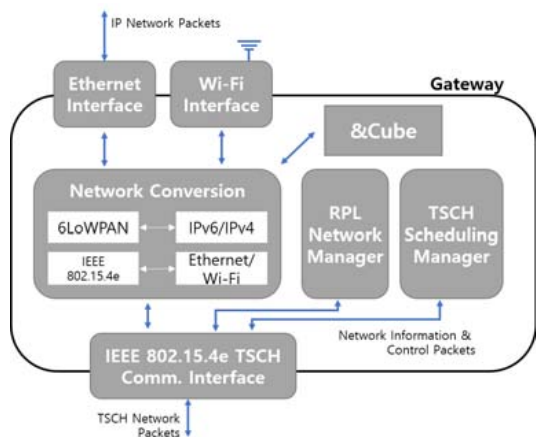


그림 12. 게이트웨이 구조도
Fig. 12. Gateway structure diagram

그림 12는 개발된 게이트웨이의 구조도를 나타낸다. 게이트웨이는 무선 네트워크에서 전달된 6LoWAPN 주소 체계의 패킷을 IPv6(또는 IPv4) 주소체계로 변환하는 역할을 수행하며, Ethernet 또는 Wi-Fi 인터페이스를 통해 외부망으로 전달된다.

개발된 산업용 무선 네트워크 스택은 RPL 라우팅 프로토콜을 사용하므로, 게이트웨이는 RPL 네트워크를 관리하는 루트노드의 역할을 수행하도록 제작되었다. 또한, IEEE 802.15.4e TSCH MAC의 링크 스케줄을 생성하는 네트워크 매니저를 함께 탑재하여 네트워크 관리에 대한 전반을 담당하게 된다.

3.3 IoT 플랫폼 및 모니터링 인터페이스

개발된 산업용 무선 네트워크기반 모니터링 시스템은 개방형 IoT 플랫폼 모비우스를 사용하며, 무선 센서 모듈은 국제 표준 oneM2M^[12]기반의 디바이스 플랫폼 &Cube를 통해 모비우스^[13]에 연동된다. &Cube는 게이트웨이 H/W상에서 구동시키며, 무선 센서 장치의 등록 및 데이터 중계의 역할을 수행한다.

무선 센서 모듈은 산업용 무선 네트워크에 참여하면 &Cube에 자신의 정보와 전달할 데이터에 대한 정보를 등록하며, 이후, 수집된 데이터는 게이트웨이와 &Cube를 거쳐 IoT플랫폼으로 전달되어 기록된다. IoT플랫폼은 장치에 대한 기록과 발생한 센서 데이터를 관리한다. 해당 정보를 사용하는 응용 서비스는 IoT 플랫폼이 제공하는 API를 통해 해당 데이터에 접근할 수 있다. 모니터링 인터페이스는 별개의 웹서버로 구축하여 관리자의 PC 및 스마트폰에서도 접근 가능하도록 구성하였다. 이는 IoT 플랫폼의 API를 통해 장치 및 센서 데이터, 네트워크의 연결정보를 취득하여 실시간으로 장치의 정보와 센서 데이터를 모니터링 할 수 있는 웹 페이지를 발행한다. 그림 13은 개발된 모니터링 인터페이스의 화면이다.

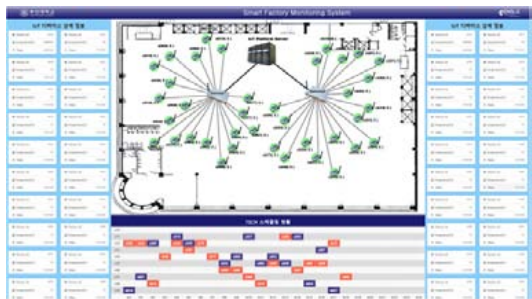


그림 13. 모니터링 웹 인터페이스 화면
Fig. 13. Web interface of monitoring system

IV. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.15.4e TSCH MAC 기반의 고 신뢰성 산업용 무선 네트워크에 기반하여, 고무 혼련 공정을 대상으로 모니터링 시스템 테스트베드를 구축하였다. 테스트베드는 운용중인 설비를 대상으로 하였기에 다소 제한적으로 구성되었지만, 가동 중인 설비의 센서 데이터를 실시간으로 수집할 수 있었다. 무선 센서 모듈은 게이트웨이를 통해 외부 네트워크 망과 연결되며, 최종적으로 개방형 IoT 플랫폼 모비우스와 연동된다. 무선 센서 모듈과 센서 데이터는 oneM2M 표준 기반의 모비우스와 &Cube를 통해 관리되며, 이러한 정보는 외부 응용 서비스를 위한 API를 통해 접근할 수 있다. 모니터링 인터페이스는 API를 사용해 취득한 데이터를 웹 페이지 형태로 발행하여 관리자와 사용자에게 시스템에 대한 정보를 제공하도록 구성하였다. 향후 연구에서는 테스트베드에서 취득한 데이터를 활용할 수 있는 응용 서비스와 연계하여 실제 산업 설비의 효율을 향상시킬 수 있는 시스템을 개발할 계획이다.

개발된 시스템에서 무선 센서 모듈은 게이트웨이를 통해 기존 인터넷망과 연결되었으나, 무선기반 산업 설비 및 센서의 도입을 위해서는 WirelessHART의 산업용 게이트웨이가 그러하듯, PLC와 같은 산업 설비와 직접적으로 연계할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 IEEE 802.15.4e TSCH 및 IETF IoT 무선 네트워크 스택을 산업 필드 네트워크 프로토콜(i.e. 모드버스, CC-Link 등)로 변환할 수 있는 산업용 무선 게이트웨이의 개발이 필수적이며 향후 연구를 통해 이를 개발할 계획이다.

References

- [1] Y. S. Lee and S. H. Chung, "The IEEE 802.15.4e based distributed scheduling mechanism for the energy efficiency of industrial wireless sensor networks," *J. KIISE*, vol. 44, No. 2, pp. 213-222, Feb. 2017.
- [2] IEEE std. 802.15.4, Part. 15.4: *Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks (LR-WPANs)*, IEEE standard for Information Technology, Sept. 2006.
- [3] *IEEE std. 802.15.4e, Part. 15.4: low-rate*

wireless personal area networks (LR-WPANs) amendment 1: MAC sublayer, IEEE standard for Information Technology, Apr. 2012.

- [4] Z. Sheng, et al., "A survey on the ietf protocol suite for the internet of things: standards, challenges, and opportunities," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 20, no. 6, pp. 91-98, 2013.
- [5] K. Pister, and Lance Doherty, "TSMP: Time synchronized mesh protocol," *IASTED Distrib. Sensor Netw.*, pp. 391-398, 2008.
- [6] T. Watteyne, A. Mehta, and K. Pister, "Reliability through frequency diversity: why channel hopping makes sense," *Sixth ACM Int. Symp. Performance Evaluation of Wireless Ad Hoc, Sensor, and Ubiquitous Networks (PE-WASUN)*, pp. 26-30, Tenerife, Canary Islands, Spain, Oct. 2009.
- [7] P. M. Rita, et al., "On optimal scheduling in duty-cycled industrial IoT applications using IEEE802. 15.4 e TSCH," *IEEE Sensors J.*, vol. 13, no. 10, pp. 3655-3666, 2013.
- [8] K. H. Choi and S. H. Chung, "Enhanced time-slotted channel hopping scheduling with quick setup time for industrial Internet of Things networks," *Int. J. Distrib. Sensor Netw.*, vol. 13, no. 6, pp. 1-14, 2017.
- [9] M. Gabriel, et al., *Transmission of IPv6 packets over IEEE 802.15. 4 networks*, RFC 4944, 2007.
- [10] W. Tim, *RPL: IPv6 routing protocol for low-power and lossy networks*, RFC 6550, 2012.
- [11] P. Thubert, et al., "An architecture for IPv6 over the TSCH mode of IEEE 802.15.4," *draft-ietf-6tisch-architecture-18*, 2017.
- [12] S. Jorg, et al., "Toward a standardized common M2M service layer platform: Introduction to oneM2M," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 21, no. 3, pp. 20-26, 2014.
- [13] Ocean Web page, Retrieved Jan. 23, 2018, from <http://www.iotocean.org/>

하 유 빈 (Yuvin Ha)

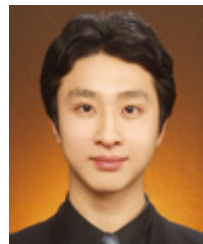


2013년 2월 : 부산대학교 정보 컴퓨터공학부 학사
 2013년 3월~현재 : 부산대학교 컴퓨터공학과 석박사통합과정
 <관심분야> 산업 무선 센서 네트워크, IoT, Embedded System

정 상 화 (Sang-Hwa Chung)



1985년 2월 : 서울대학교 전기 공학과 학사
 1988년 5월 : Iowa State Univ. 컴퓨터공학과 석사
 1993년 8월 : Univ. of Southern California 컴퓨터공학과 박사
 1993년~1994년 : Univ. of Central Florida 컴퓨터 공학과 조교수
 1994년~현재 : 부산대학교 컴퓨터공학과 교수
 <관심분야> 산업 무선 센서 네트워크, IoT, Future Internet, SDN



이 윤 성 (Yun-Sung Lee)

2006년 2월 : 부산대학교 정보컴퓨터공학부 학사
 2008년 2월 : 부산대학교 컴퓨터공학과 석사
 2008년 3월~현재 : 부산대학교 컴퓨터공학과 박사과정
 <관심분야> 산업 무선 센서 네트워크, IoT, Embedded System