

Z-Wave 기반의 온습도 센서 모듈 구현

Implementation of Temperature and Humidity Sensor Module Based on Z-wave

원 라 경*

* 주저자 및 교신저자 : 고신대학교 학부대학 교수

La kyoung Weon*

* Dept. of Undergraduate., Univ. of Kosin

† Corresponding author : La kyoung Weon, lkweon@kosin.ac.kr

Vol. 21 No.4(2022)
August, 2022
pp.157~166

pISSN 1738-0774
eISSN 2384-1729
<https://doi.org/10.12815/kits.2022.21.4.157>

Received 7 July 2022
Revised 2 August 2022
Accepted 18 August 2022

© 2022. The Korea Institute of
Intelligent Transport Systems. All
rights reserved.

요 약

IoT 기술 중에서 가장 많이 쓰이는 무선 통신 기술에는 ZigBee, WiFi, Bluetooth, Z-Wave 등이 있다. 그 중에서 Z-Wave는 현재 세계 시장 점유율이 60%로 선호하는 기술 중 하나이다. 본 논문에서는 Z-Wave 프로토콜을 이용한 온습도 센서 모듈을 구현하였다. 온습도 센서 모듈의 동작을 위하여 Z-Wave 프로토콜을 분석하고, 컨트롤러 모듈의 펌웨어를 탑재하여 구현하였고, 센서 모듈은 데이터 시트를 참고하여 설계 및 제작하였다. 또한 센서의 온습도 정보를 모니터링하는 프로그램을 개발하여 이를 확인하였으며, Z-Wave 모듈의 통달거리 시험, 수신데이터 성공률, 저전력 시험 등을 통하여 성능을 확인하였다.

핵심어 : Z-Wave, Mesh-Network, 온습도, 센서 모듈, 프로토콜

ABSTRACT

The most commonly used wireless communication technologies in IoT technology include ZigBee, WiFi, Bluetooth, and Z-Wave. In particular, Z-Wave is currently one of the preferred wireless communication technologies, with a global market share of 60 % of these technologies. In this research, a temperature and humidity sensor module using a Z-wave protocol was designed and manufactured by referring to the data sheet. Subsequently, the Z-Wave protocol was analyzed during the operation of the sensor module, and the firmware of the controller module was mounted and implemented. In addition, a program for monitoring the temperature and humidity information from the sensor module was developed and validated. Finally, the performance of the sensor module was validated through master distance and low power tests on it and its reception data success rate.

Key words : Z-Wave, Mesh-Network, Temperature and Humidity, Sensor Module, Protocol

I. 서론

최근 IoT 기술의 발전으로 스마트 홈, 스마트 오피스, 스마트 팩토리 등 무선 네트워크 시장 규모는 더욱 커지고 있다. 이러한 IoT 환경에서 무선 센서 네트워크를 구성하는 통신 기술로 많이 쓰이는 것은 ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi 그리고 Z-Wave 등이 있다. 그 중에서도 Z-Wave는 IoT 환경에서 선호도가 높은 기술 중 하나이다. 현재 ZigBee와 Z-Wave의 세계 시장 점유율을 보면 Z-Wave는 60%에 이르는 반면 ZigBee는 20% 정도에 머무르고 있는 실정이다(Lanars, 2022).

Z-Wave 프로토콜은 펌웨어만으로도 통신이 가능하며 작은 출력으로도 근거리 통신에 우수한 장점을 가지고 있다. 또한 타 제품과 상호운용성 측면에서도 우수한 특성을 가지고 있다(Z-Wave alliance, 2022).

또한 Z-Wave LR(LR : Long Range)은 Z-Wave와 동일한 네트워크에서 공존하면서 Z-Wave 컨트롤러로 동일하게 통신할 수 있으며, 중계기 필요 없이 최대 30dBm 출력으로 1 마일까지 전송 거리를 확보하는 동시에 스타 네트워크 토폴로지로 단일 네트워크에서 최대 4000개의 노드의 높은 확장성 가지고 있다(Z-Wave alliance, 2022). 이것은 현재의 Z-Wave 성능보다 20배 증가한 상황을 나타낸다. 이제 Z-Wave LR의 구현은 가정을 넘어 스마트 시티, 호텔, 상업 시설, 대규모 주거 단지 등을 포함하여 더 크고 복잡한 시장으로 확장될 것으로 기대된다.

또한 2022년 1월 Z-Wave Alliance 제3회 Z-Wave 생태계 현황보고서에서는 보안 시스템이나 제어 시스템 보유자의 90%가 추가 장치에 대한 강한 욕구를 나타내고 있고, 소매점에서 구입 가능한 DIY 형태의 광범위한 제품이 설치 수단으로 부상하고 있다고 보고하고 있다(Z-Wave alliance, 2022). 이 보고서에 따르면 현재 Z-Wave 제품의 인증된 장치는 4,000개를 넘어섰다. Z-Wave는 20년 넘게 스마트 홈 기술에 있어 보안, 상호운용성 및 하위 호환성 면에서 최고를 자랑하고 있다. 상호운용성은 테스트 및 인증을 통해서 이루어지는데 인증을 통해 브랜드, 제조업체, 칩 세대에 관계없이 모든 Z-Wave 장치가 서로 조화롭게 작동하여 상호운용 가능해야 하는 조건을 충족해야 하는 Z-Wave 기술 표준의 중요한 요소이다.

현재 국내에서 많이 사용되는 Zig-Bee와 WiFi 등은 2.4GHz 무선 주파수 대역인 ISM(Industrial Scientific Medical) 밴드를 사용하므로 무선랜, Bluetooth와 같이 동일 주파수 대역을 사용하는 무선 전송기술들과의 간섭이 불가피하다. 그러나 Z-Wave는 타 무선 통신 기술들과는 달리 900MHz 대역을 사용함으로써 상호 간섭 부분에서 영향을 받지 않는 장점이 있다(Cho et al., 2016).

본 연구에서는 Z-Wave 기반의 온습도 센서 모듈을 구현한다. 먼저 Z-Wave 프로토콜에 대한 적응성을 분석하고 Z-Wave의 메쉬 토폴로지의 특성에 관하여 그 효율성과 확장성을 검증한다. 본 논문에서는 1장의 서론에 이어 2장에서는 Z-Wave 기술 동향을 알아보고 Z-Wave의 프로토콜에 대하여 소개하였으며, 3장에서는 온습도 센서 모듈 구현과 제작된 모듈의 성능 평가, 4장 결론 순으로 정리하였다.

II. 관련 연구

1. Z-Wave 기술 동향

홈 IoT 기술은 사물 인터넷 기능이 포함된 가전제품 및 가정 내 설비가 유무선 통신 네트워크로 연결되어 스스로의 정보를 생산하고 다른 사물과 사람에게 전달하여 수요예측, 자동화 등 주거생활의 질을 높여주는 시스템을 말한다. 이러한 홈 IoT를 위하여 적용 가능한 기술로는 ZigBee, Wi-Fi, Bluetooth, Z-Wave 등이 있는

데 이는 홈 IoT뿐 아니라 다양한 산업 분야에도 적용이 가능하다. 본 논문에서 적용하는 Z-Wave 솔루션 역시 홈 IoT는 물론 산업 분야에까지 적용 범위를 넓혀가고 있는 실정이다.

Hwang and Sul(2011)은 Z-Wave를 이용하여 네트워크 방식의 조명 스위치에 대해 사용자의 조작 편의성을 고려하고 광(光)세기 검출센서를 이용하여 조명을 제어함으로써 전력 절감 효과가 기대되는 통합 디밍 스위치를 구현하였다. 본 디밍 스위치는 홈 네트워크 기술이 적용된 아파트를 대상으로 한 것이었다.

Kang et al.(2016)은 캠핑 야영장 같은 곳에서 캠핑 고객들이 전기를 사용할 수 있도록 Z-Wave 개인 무선 네트워크와 안드로이드 모바일 앱을 이용하여 캠핑장 관리 서버에서 옥외 콘센트 분전함을 제어할 수 있는 전기 자판기를 개발하였다. 개발한 전기 자판기는 관리 서버, 제어기, 옥외 콘센트 분전함, 모바일 앱으로 구성되어 관리 서버에서 제어기를 통해 콘센트 분전함의 스위치를 제어하여 사용자에게 안전하게 전기를 공급한다. 제어기는 관리 서버와 스위치 간 중계 장치로 Z-Wave 메쉬 네트워크를 기반으로 스위치들을 제어하고 있다.

Cho et al.(2016)은 Z-wave 기반의 화재진압 시스템을 객체 지향 개발 기법으로 설계한 UML(Unified Modeling Language) 결과를 제시하였다. 기존방식은 화재감지기로부터 전자벨브까지 신호전달은 유선으로 이루어져 하나의 화재감지기에 오류가 생길 시 스프링클러가 미작동할 가능성이 있었다. Z-Wave를 이용하여 화재 감지기와 전자 벨브 간의 신호전달을 무선 Mesh 네트워크로 설계하여 회로 오작동 등 돌발 상황에 대비하였다.

Jang et al.(2020)은 스마트 디바이스의 전원이 동작하는 동안 발생하는 대기전력의 사용시간, 패턴과 소비 전력량을 확인하기 위하여 MQTT 프로토콜을 Z-Wave에 적용하여 스마트 디바이스의 대기전력을 절감하는 시스템을 제안하고 있다.

이제 Z-Wave는 국내에 처음 소개되어 홈 IoT 기술에만 적용되었던 시기로부터 훨씬 진화하여 산업화로 가는 추세가 아닌가 생각된다. 이러한 Z-Wave가 발전해나가는 가장 큰 장점은 매우 낮은 전력으로 사용할 수 있는 무선 기술이라는 것이다. 통달 거리 역시 900MHz 대역의 주파수로 현재는 약 30m 범위에서 통신이 가능하였으나 Z-Wave LR을 통하여 전송 거리는 크게 확장되어 가고 있다(Z-wave alliance, 2022). 또한 Z-Wave는 ZigBee, Wi-Fi 등이 사용하는 2.4GHz 무선 기술의 간섭을 받지 않는 장점이 있으며, 상호 운용성 면에서 다른 통신 기술보다 뛰어난 장점을 가지고 있다(Salim and Vsaf, 2019).

<Table 1> Comparison of Wireless Technologies for IoT

Indices	ZigBee	Z-Wave	Wi-Fi	Bluetooth
Power consumption	100 mw	1 mw	High	10 mw
Range	100 m	30 m	>100 m	10 m
Cost	Low	High	Medium	Very low
Scalability	6000	>6000	32	20
Interoperability	Same manufacturer	Different manufacturers	Wi-Fi compatible devices	Bluetooth compatible devices

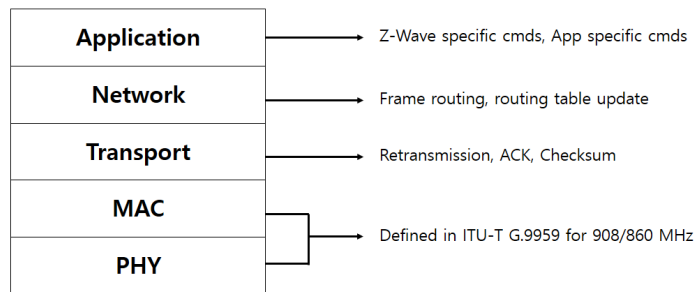
<Table 1> 의 네 가지 무선 기술 비교에서 특성별로 각기 장단점을 가지고 있음을 알 수 있다. 소비 전력 측면에서 Z-Wave, Bluetooth 및 ZigBee는 각각 1mw, 10mw 및 100mw 순으로 낮은 소비 전력을 가지며 Wi-Fi 경우는 높은 전력 소비를 가진다. 전송 거리로 보면 Wi-Fi, ZigBee, Z-Wave, Bluetooth 순이나 Z-Wave LR의

등장으로 순위가 바뀔 것으로 예상된다. 이러한 사양 이외에도 Z-Wave는 수백 개의 노드를 허용하며, 다른 제조사의 많은 디바이스에 대한 확장성과 상호 운용성 면에서 우수한 성능을 가진다. ZigBee는 비교적 저렴하고 저전력 용도에 적합하다고 볼 수 있다. 따라서 사용의 용이성과 범위가 사용자의 관심사라면 Wi-Fi 솔루션이 가장 적합하고, 비용이 문제라면 Bluetooth가 더 나은 솔루션을 제공할 것으로 보인다.

2. Z-Wave 프로토콜

Z-Wave는 최초 덴마크 젠시스사에 의해 개발된 무선 통신 프로토콜이다. 주로 900MHz 대역에서 작동하며 2.4GHz 범위의 Bluetooth나 ZigBee 등 기타 무선 기술의 간섭에 영향을 받지 않는다(TechTarget). 메시 토폴로지 네트워크를 지원하고 모든 노드가 직·간접적으로 통신하여 추가 노드를 제어할 수 있으며 모든 노드들 간에 통신이 가능하다(Jang et al., 2020).

Z-Wave 프로토콜은 무선으로 정보를 주고받는 마스터 컨트롤러와 슬레이브 2가지의 기본 노드를 갖는다. 컨트롤러가 슬레이브에게 동작 명령을 하면 슬레이브는 동작 명령에 대한 확인을 보내고, 명령을 실행한 후 상태에 대한 응답을 보낸다. 또한 슬레이브 노드는 다른 노드에게 명령을 전달할 수도 있다. 이는 직접 제어할 수 없는 거리에 있는 슬레이브 노드까지 라우팅할 수 있음을 의미한다. 슬레이브가 네트워크에서 탈퇴할 때에는 마스터 컨트롤러에게 탈퇴 요청을 하고, 마스터 컨트롤러는 확인 응답을 하고 탈퇴를 허락한다. 그러면 디바이스는 탈퇴 허락에 대한 응답을 하게 된다. 새로운 Z-Wave 네트워크가 생성했을 경우 프라이머리 컨트롤러는 Z-Wave 네트워크에서 마스터 컨트롤러가 되고 오직 하나만이 존재할 수 있다. 이 마스터 컨트롤러만이 네트워크의 노드들을 추가 삭제할 수 있고, 다른 컨트롤러들은 마스터 컨트롤러를 통해서 네트워크에 속할 수 있다.



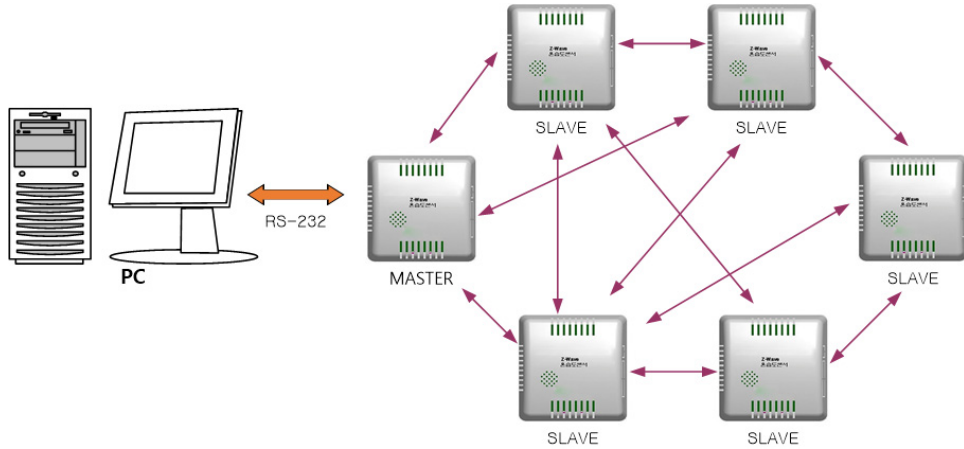
<Fig. 1> Structure of Z-Wave Protocol

Z-Wave 프로토콜은 <Fig. 1>과 같이 물리 계층(PHY), 맥 계층(MAC), 전송 계층(Transport), 네트워크 계층(Network), 어플리케이션 계층(Application) 단계로 구성되어 있다.

물리 계층은 RF 프로파일 할당, RF 트랜시버 활성화 및 비활성화, 데이터 프레임의 송수신, 채널 평가, 무선 주파수 선택, 링크 품질 검사 등을 수행한다. 맥 계층은 시작 프레임과 마지막 프레임 구조로 되어 있으며, 충돌 방지 및 백오프 알고리즘을 기반으로 노드 간의 액세스 제어를 처리하고 프레임 데이터를 전송 계층으로 넘겨주는 역할을 한다. Z-Wave의 물리 계층 및 맥 계층은 ITU-T G.9959 글로벌 무선 표준을 기반으로 한다(TechTarget). 전송 계층은 프레임 송수신을 처리하고 재전송, ACK 프레임 전송 및 체크섬 승인을 처리한다. 네트워크 계층은 프레임 라우팅, 토폴로지 스캔 및 라우팅 테이블 갱신을 처리한다. 어플리케이션 레이어는 Z-Wave 네트워크에서의 디코딩과 명령 실행을 담당한다(Hwang and Sul, 2011).

Ⅲ. Z-Wave 온습도 센서 모듈 제작 및 평가

1. Z-Wave 온습도 센서 모듈 제작

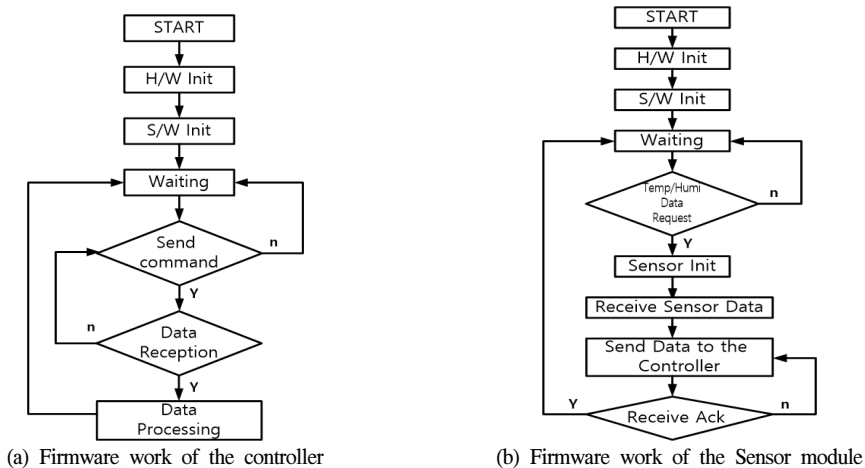


<Fig. 2> Z-Wave temperature and humidity sensor module by mesh topology

<Fig. 2>는 Z-Wave 메쉬 토폴로지를 이용한 온습도 센서 모듈 네트워크 구성도를 보여준다.

Z-Wave 네트워크에서 센서 모듈은 마스터와 슬레이브 간 노드 추가, 삭제 등과 같은 디바이스 별 동작 명령과 상태 요구 및 이에 의한 응답, 메시지 전송을 위한 펌웨어가 탑재되어 있다. Z-WAVE Chip에는 8051 프로세서가 내장되어 있다. 8051 프로세서 로딩을 위하여 먼저 컴파일러를 이용하여 펌웨어 작업을 하였다. 펌웨어 업로드는 Z-Wave 툴킷을 이용하였다.

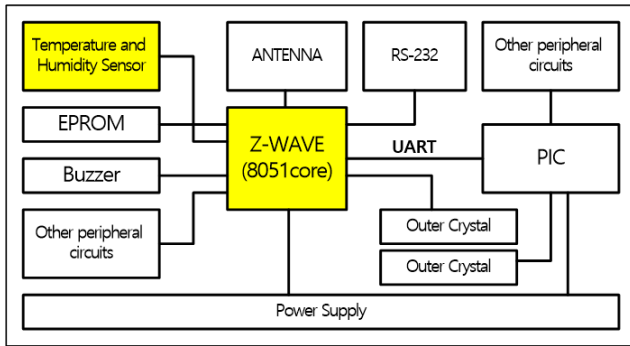
<Fig. 3a>는 컨트롤러 펌웨어 동작 순서를 나타내고 있고, <Fig. 3b>는 센서 모듈 펌웨어 동작을 나타낸다.



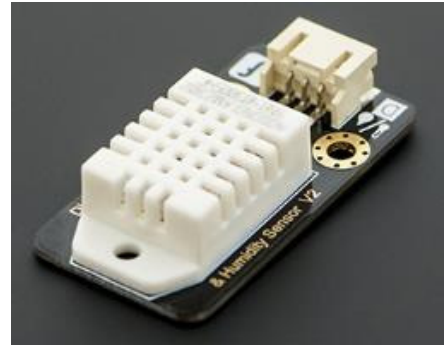
<Fig. 3> Controller and Sensor module Firmware works

<Fig. 4>는 Z-wave 센서 모듈 블록다이어그램을 나타낸다. Z-Wave 모듈, 온습도 센서, EEPROM, RS-232,

외부 크리스탈, 전원회로, 확장을 고려한 PIC 프로세서로 구성된다. Z-Wave 모듈 설계는 ZM0201 모듈을 사용하였으며 안테나는 내장형을 선택하였다(Datasheet archive, 2022).



<Fig. 4> Z-Wave sensor module block diagram

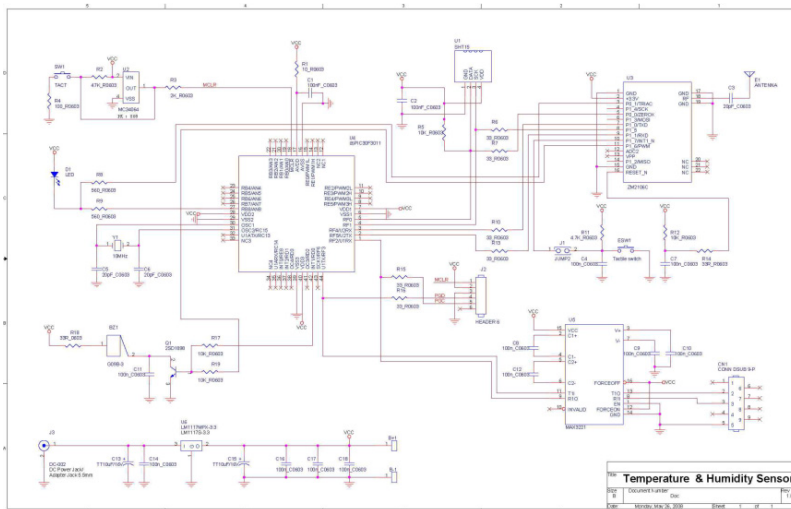


<Fig. 5> Temperature and Humidity Sensor

사용된 온습도 센서는 가장 일반적인 DHT22 모델이다. 이것은 캐패시터 타입의 온습도 센서로 디지털 출력이 가능할뿐더러 습도 0~100% RH, 온도 -40°C~80°C의 측정 범위에서 정확도는 습도 $\pm 2\%$ RH, 온도는 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 를 가진다. <Fig. 5>는 DHT22 모델의 온습도 센서이다.

센서 노드는 Z-Wave Chip을 내장하고 있으며 Z-Wave RF 통신을 한다. Z-Wave Chip이 탑재된 회로를 통하여 센서 모듈을 제작하였다. 센서 노드는 각각 온습도를 감지하여 마스터에게 데이터를 전송하면 이 마스터 노드는 RS-232 인터페이스를 통해서 PC로 전달한다.

Z-Wave 모듈을 설계하기 위하여 ZM2102 모듈의 블록 다이어그램과 Data sheet를 참고하였다. 16MHz의 크리스탈이 포함되어 있어서 기본 클럭으로 동작시킴 RF Front End 단에서는 SAW(Surface Acoustic Wave) 필터가 실장되어 있어서 우수한 협대역 특성을 가지며, 원하는 대역의 데이터를 가져올 수 있도록 설계하였다. <Fig. 6>은 Z-Wave Sensor 설계도를 나타낸다.

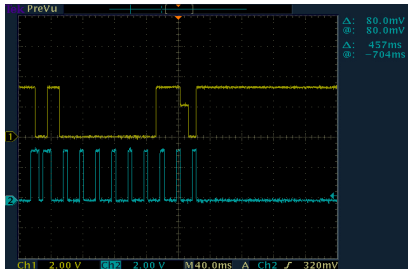


<Fig. 6> Z-Wave Sensor Node Design

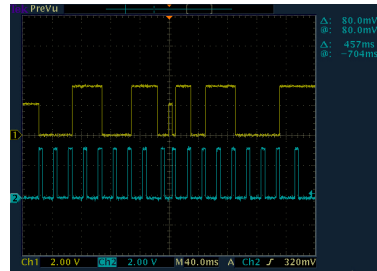
PCB 설계에 앞서 기본적인 온습도 센서의 동작을 확인하기 위해 회로 구성을 통하여 Z-Wave 모듈에서 온습도 센서로의 데이터 요청 및 데이터 획득을 오실로스코프로 확인하였다.

<Fig. 7>는 Z-Wave 모듈의 온습도 데이터 요청 및 획득 시험의 오실로스코프 파형을 나타낸다.

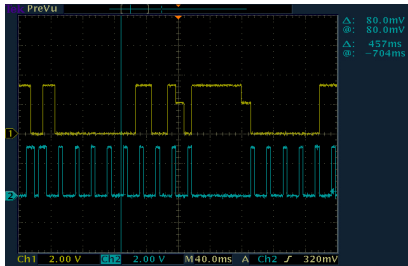
<Fig. 8>은 제작된 Z-Wave 모듈이다.



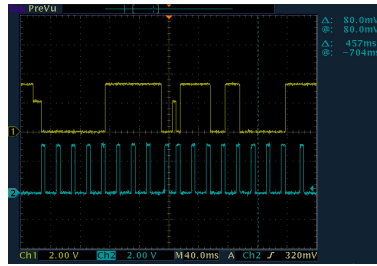
(a) The waveform of temperature command



(b) The waveform of temperature data

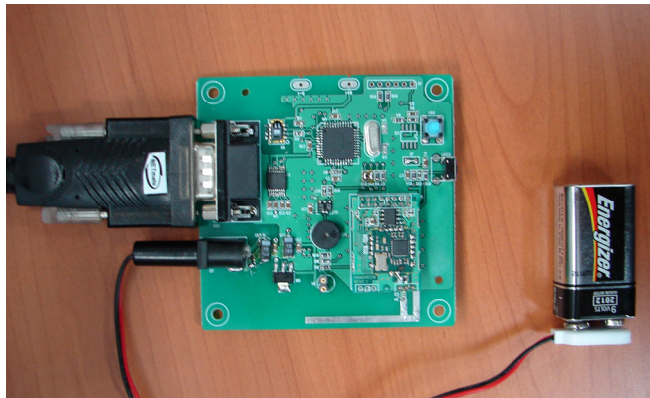


(c) The waveform of humidity command



(d) The waveform of humidity data

<Fig. 7> Test of temperature and humidity data acquisition for Z-Wave module



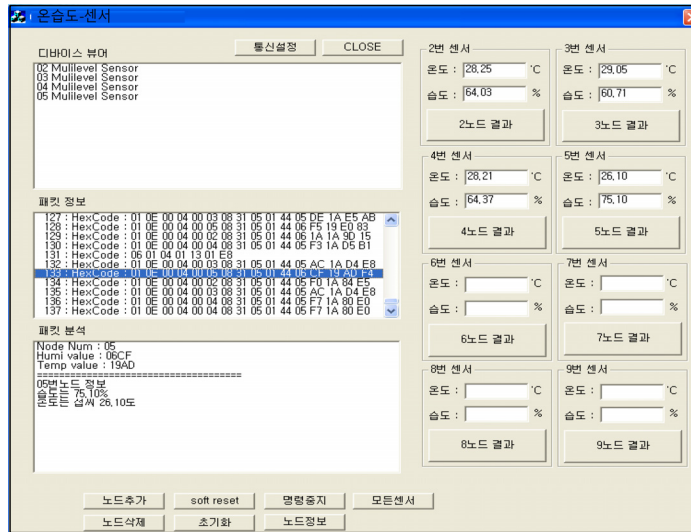
<Fig. 8> Z-Wave Module

2. Z-Wave 센서 모듈 평가

1) 센서 모듈 시험

Z-Wave 센서 모듈 시험을 위하여 먼저 각 디바이스 전원을 켜고 마스터 노드에 센서 모듈을 등록한 후

각 슬레이브 디바이스들의 등록 상태를 확인하였다. 각 센서들의 위치를 임의로 선정하고 2번 노드부터 5번 노드까지 온습도 센서의 정보 수집하였다. 수집된 정보는 Z-Wave 센서 모니터링 프로그램을 통하여 확인할 수 있었고, 각 노드들의 동작 및 센서 데이터 값도 확인되었다. 3번 센서 모듈의 전원을 강제로 차단했을 경우에는 3번 노드로부터 통신이 되지 않자 다른 2, 4, 5번 노드들을 통해 통신을 하면서 라우팅하고 있음을 확인하였다. 노드들은 30m 간격으로 설치하였고, 각 노드들이 중계기 역할을 하면서 마지막에 있는 노드에 게 정보를 전송하는 모습을 확인할 수 있었다.

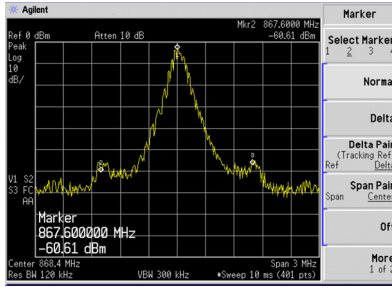


<Fig. 9> Monitoring program of temperature and humidity sensor data

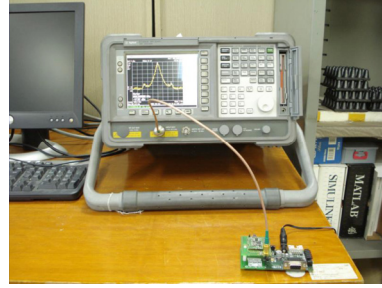
<Fig. 9>에서 디바이스 뷰어는 노드 번호 및 디바이스 정보를 나타내고 패킷 정보는 RS-232 통신을 통해 전송되는 패킷 내용이며, 패킷 분석은 수신된 패킷의 내용을 나타낸다. 하단 부분에는 네트워크의 노드를 추가하거나 삭제하기 위한 노드 추가, 노드 삭제 버튼을 구성해 주었고, Soft Reset은 컨트롤러 펌웨어 초기화, 초기화는 컨트롤러 H/W 초기화, 명령 중지는 명령 전송 중지, 모든 센서는 네트워크 내 모드 센서 정보 요청, 노드 정보는 네트워크 내 선택한 노드 정보 요청 등을 위한 버튼을 추가하여 센서 모듈의 정보들을 설정하기 위해 구현해 주었다. 우측 창은 센서별 온습도 결과 값을 나타내고 있다.

2) 센서 모듈 특성 측정

<Fig. 10>는 Z-Wave 센서 모듈 주파수 허용 편차를 나타내고 있다. 스펙트럼 아날라이저로 Z-Wave Z2101 주파수 867MHz를 나타내고 있음을 확인하였다. <Fig. 11>은 50m와 80m 통달 거리에서 데이터 수신 성공률을 나타내고 있다. 통달 거리 50m와 80m 거리에서 수신데이터는 오류 없이 온습도 값을 수신하였으며 데이터 수신 성공률 100%를 확인하였다. <Fig. 12>는 배터리 소모량 측정으로 평상시 6mA, 노드 추가 및 제거시 30mA로 저전력 소자임을 확인하였다.

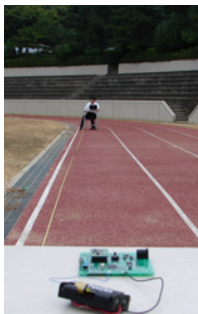


(a) Frequency spectrum of sensor module



(b) Frequency spectrum measurement of sensor module

<Fig. 10> Frequency spectrum measurement of Z-Wave sensor module



(a) 50m



(b) 80m

<Fig. 11> Test of Distance range



(a) 6mA



(b) 30mA

<Fig. 12> The low power test of Z-Wave sensor module

IV. 결론

본 연구에서는 Z-Wave 프로토콜을 이용한 온습도 센서 모듈을 구현하였다. 온습도 센서 모듈의 동작을 위하여 온습도 센서와 프로세서 사이 프로토콜을 맞추고 모듈의 펌웨어를 만들었다. Z-Wave를 이용한 센서 네트워크에 있어서 기본적인 Z-Wave 프로토콜을 분석하고 제공되는 API를 통하여 Z-Wave 컨트롤러 모듈의

펌웨어를 구현하고, 컨트롤러 모듈이 온습도 센서 노드의 정보를 수집하여 처리하도록 하였다. 센서 모듈은 데이터 시트를 참고하여 회로를 설계 및 제작하였다. 그리고 모니터링 프로그램을 통하여 센서 노드의 제어 및 수신된 온습도 데이터의 결과를 확인하도록 하였다. 제작된 Z-Wave 모듈은 통달 거리 시험, 수신데이터 성공률, 저전력 시험을 행하여 그 성능을 확인하였다.

Z-Wave 얼라이언스에 의한 Z-Wave 사용 인구 통계를 보면 유럽 33%, 북아메리카 32%, 아시아 23%, 호주 8% 등으로 나타내고 있는데 우리나라에서의 사용은 매우 저조한 실정이다. 향후 스마트 홈뿐만 아니라 Z-Wave 모듈을 이용한 건설 분야에서 온습도 제어, 빌딩 시스템 관리, 농축산 분야에서 농가의 비닐하우스나 축사, 저장 창고의 온습도 관리, 의료 분야에서 병원의 혈액 보관이나 병실의 온습도 제어, IoT 시스템의 구축 등 많은 분야에서 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

REFERENCES

- Cho, S. H., Hwang, J. T., Kim, E. R. and Kim, Y. G.(2016), “Z-wave based wireless fire suppression system design using UML”, *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, pp.533-534.
- Datasheet Archive, <https://www.datasheetarchive.com/ZENSYS-datasheet.html>, 2022.05.03.
- Hwang, K. H. and Sul, J. H.(2011), “Implementation of Integration Dimming Switch for Home Network Using Z-Wave Mesh Network”, *The Journal of Korean Institute of Maritime Information & Communication Science*, vol. 15, no. 3, pp.1098-1099.
- Jang, Y. H., Park, S. C. and Yoon, S. H.(2020), “Design and Implementation of MQTT-based Stand by Power Reduction System in Z-Wave Network Environment”, *The Journal of Korea Multimedia Society*, vol. 23, no. 3, pp.421-429.
- Jo, S. H., Hwang, J. T., Lee, J. W., Kim, E. R. and Kim, Y. G.(2017), “Design of Automatic Fault Diagnosis System Using Z-wave Mesh Network”, *Proceedings of the Korean Institute of Communication Sciences Conference*, pp.674-675.
- Kang, K. B., Ahn, H. K., Kim, H. S., Lee, S. H. and Jwa, J. W.(2016), “Development of Vending Machine for Electricity Based on Z-Wave Mesh Network”, *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 41, no. 10, pp.1256-1262.
- Lanars, <https://www.lanars.com>, 2022.05.30.
- Lee, S. K., Kim, H. T., Bae, M. K., Kim, K. H., Kim, H. N. and Cho, C. H.(2013), “Z-Wave Topology Control for Enhancing Network Performance”, *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of Communications and Information Sciences*, pp.493-494.
- RF Wireless World, <https://www.rfwireless-world.com/Tutorials/z-wave-tutorial.html>, 2022.06.03.
- Salim, J. D. and Asaf, V.(2019), “Comparison of ZigBee, Z-Wave, Wi-Fi, and Bluetooth Wireless Technologies Used in Home Automation”, *2019 7th International Symposium on Digital Forensics and Security (ISDFS)*, pp.1-5.
- TechTarget, <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/Z-Wave>, 2022.05.30.
- Z-Wave Alliance(2022), *State of the ecosystem report*.
- Z-Wave Alliance, <https://z-wavealliance.org>, 2022.05.03.