

지그비 메쉬 네트워크를 이용한 대형건물의 실시간 실내 환경 모니터링

임병찬¹, 조성우^{2*}

¹동아대학교 건축공학과, ²창원대학교 건축공학과

Realtime Monitoring of Indoor Environment in Large-Scale Building using ZigBee Mesh Network

Pyeongchan Ihm¹, Sung Woo Cho^{2*}

¹Department of Architectural Engineering, Dong-A University

²Department of Architectural Engineering, Changwon National University

요약 사물인터넷 기술의 발전과 함께 블루투스(Bluetooth), 와이파이(WiFi), 지그비(ZigBee) 등 다양한 무선 통신 기술들이 개발되어 현장에서 무선 통신모듈과 센서를 결합한 실시간 환경모니터링 방안이 측정에 활용하고 있다. 무선 통신 범위도 비교적 넓고 데이터 전송속도도 빠른 와이파이는 실시간 모니터링에 적합하지만 통신모듈의 전력소비량이 상대적으로 크며 무선 통신 네트워크를 구축하는데 필요한 무선 공유기 설치에 따른 어려움이 있다. 본 연구는 대형건물에서 건물 전체를 대상으로 실시간 건물 실내 환경 모니터링이 가능한 무선 통신 센서 네트워크의 성능평가와 효과적인 네트워크 구축방안에 관하여 연구를 하였다. 또한 저전력 지그비 통신모듈과 저가의 아두이노를 활용하여 사물인터넷 시제품을 개발하였다. 이 장치들로 구성된 무선 통신 네트워크를 건물 전체를 대상으로 구축하여 네트워크의 무선 통신 성능과 실시간 건물 실내 환경 모니터링의 가능성을 제시하였다. 단일 연결(one-hop)과 다중 연결(multi-hop)에 대한 지그비 통신모듈의 성능을 분석하였으며 다중 연결 상태에서 건물 전체에 대한 지그비 통신의 수신율은 양호한 것으로 나타났다. 대형건물에서 건물 전체를 대상으로 지그비 메쉬 네트워크를 사용한 무선 센서 네트워크를 구축할 수 있을 것으로 사료된다.

Abstract With the development of Internet of Things (IOT) techniques, several wireless communication technologies such as Bluetooth, WiFi, and ZigBee are being developed and currently applied to a real-time environment monitoring system combined with sensors. A WiFi communication network with broad wireless range and fast baud rate of data transfer rate is suitable for real-time monitoring. However it consumes more power for the communication module and has a difficulty in the installation of a an access point. This study evaluated the performance and the effective layout of a wireless sensor communication network for real-time monitoring of an indoor environment of a whole large-scale building. In addition, an IOT product was developed with a ZigBee module with low power consumption and low-cost Arduino module. The product was utilized to construct a ZigBee-based wireless communication network and used to evaluate the performance of a wireless communication network. One-hop and multi-hop connections of ZigBee communication were analyzed with the variation of horizontal and vertical distance within a whole building. The performance of a multi-hop connection for ZigBee communication was better than one-hop communication regarding on the received signal strength indicator and packet delivery ratio. The suggested ZigBee-based wireless mesh communication network system was applied to a whole large-scale building and is a very effective way to construct a real-time wireless sensor network for monitoring indoor environment conditions.

Keywords : Wireless Communication Network, ZigBee, RSSI, Realtime Monitoring, Mesh Network

본 연구의 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구의 일부임(No. 2021R1A2C005179).

*Corresponding Author : Sung Woo Cho(Changwon National Univ.)

email: swcho@changwon.ac.kr

Received April 26, 2023

Revised July 18, 2023

Accepted September 1, 2023

Published September 30, 2023

1. 서론

사물인터넷 기술의 발전과 함께 블루투스(Bluetooth), 와이파이가(WiFi), 지그비(ZigBee) 등 다양한 무선 통신 기술들이 개발되어 현장에서 무선 통신 모듈과 센서를 결합한 실시간 환경모니터링 방안이 측정에 활용하고 있다. 전력소비가 적고 통신 거리 10 m 정도의 단거리 무선 통신기술인 블루투스는 통신 거리가 짧고 연결 가능한 노드 수가 작다. 통신범위도 비교적 넓고 데이터 전송 속도도 빠른 와이파이는 실시간 모니터링에 적합하지만 통신모듈의 전력소비가 상대적으로 크며 네트워크를 구축하는데 필요한 다수의 무선 공유기 설치에 따른 어려움이 있다. 반면에 저용량의 배터리로 수년을 작동할 정도로 전력 소모가 적은 지그비는 하나의 노드가 255개의 기기와 연결되어 최대 65,000개까지 확장이 가능하다. 또한 특정 지역이나 공간에 다수의 저전력 무선 센서 노드를 설치하고 노드간의 무선 통신을 이용하여 주변 환경 및 사물 인식 정보를 수집하는 무선 센서 네트워크를 구축할 수 있다.

다양한 분야에서 지그비 통신모듈을 활용한 연구들이 진행되고 있다. 수중 탁도[1], 태양광 발전량[2], 토양의 함습량[3], 운동선수의 심박수[4] 등을 실시간으로 측정하는 데이터 모니터링 방안의 연구가 진행되었다. 또한 실시간 센서 데이터를 활용한 LED조명 제어[5], 건물의 피크전력 제어[6], 원격 온도제어[7], 모터 제어[8] 등 제어장치 개발과 지하 광산의 갱내 진동 및 미세먼지를 모니터링[9-11]하는 연구가 진행되었다. 특히 지그비 메쉬 네트워크는 대규모의 지하 광산에서 저전력, 저비용으로 넓은 영역의 무선 통신망을 구축하여 복잡한 갱도 구조, 작업장의 위치 변경, 고가의 통신망 설치비용 등의 문제를 해결하였다. 건물에서는 구조물의 진동 및 유지관리 모니터링을 위한 무선 데이터 전송장치의 개발[12-14] 등의 연구와 단일실 또는 소규모 공간에서 지그비 메쉬 네트워크의 성능평가[15-17] 및 온습도, 조도, 미세먼지, 인체감지 등의 건물 실내환경에 관한 모니터링 시스템 개발[18-22]에 관한 연구가 있었다.

국도교통부의 건축물 생애관리 유형분류[23]에 의하면 비주거건물은 소규모(2,000㎡ 미만), 중규모(2,000㎡ 이상~ 10,000㎡ 미만), 대규모(10,000㎡ 이상) 등으로 분류된다. 대형건물 전체를 대상으로 건물 실내환경 요소를 다양한 센서를 활용하여 모니터링할 수 있는 무선 센서 네트워크 설치 방안과 이를 활용한 실내환경의 실시간 모니터링의 현장 적용에 관한 연구는 부족한

실정이다. 특히 무선 센서 네트워크 기술을 기반으로 하는 실시간 건물 실내환경 모니터링을 통한 실측 데이터는 그린 리모델링 또는 제로에너지 건축물의 실내 환경 및 에너지 성능의 평가를 위한 주요한 자료로 활용될 수 있다.

오픈소스 플랫폼 기반의 아두이노를 활용한 기존의 연구들은 아두이노, 계측센서, 전원공급장치 및 지그비 통신모듈을 만능보드 또는 브레드보드에 결선한 단순한 시제품을 제작하여 연구에 활용하였다. 기존의 시제품은 제작의 난이도는 낮으며 개발장치의 내구성 및 소형화 등의 문제점이 있다. 반면에 회로기판에 마이크로 프로세서와 센서 등을 장착한 장치들은 제품의 빠른 처리속도, 안정성 및 소형화 등의 장점이 있으나 임베디드 프로그래밍에 대한 어려움이 있다.

본 연구는 대형건물에서 실시간 건물 실내 환경 모니터링을 위하여 오픈소스 플랫폼 기반인 아두이노를 활용한 다용도 무선 센서 장치의 개발 및 지그비 무선 통신 기반의 무선 센서 네트워크를 대형건물에 구축하는 방안 에 관한 연구를 진행하였다. 또한 저전력 지그비 통신모듈과 저가의 아두이노를 활용하여 저비용으로 다양한 계측센서를 사용할 수 있는 시제품을 개발하였다. 이 장치들로 지그비 기반의 무선 메쉬 네트워크를 구축하여 네트워크의 무선 통신 성능과 실시간 건물 실내 환경 모니터링의 가능성을 평가하였다. 이를 통하여 대형건물 전체를 대상으로 실시간 측정 및 제어가 가능한 무선 센서 메쉬 네트워크 구축을 위한 방안을 제시하였다.

2. 지그비

2.1 지그비 모듈

지그비는 2003년 IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)의 비준을 받은 IEEE 802.15.4 기반의 물리적 무선 사양 기반으로 작동하는 패킷 기반의 무선 프로토콜이다. 지그비는 하위 계층인 IEEE 802.15.4에 지그비 스택을 추가하여 저전력 무선 사물인터넷 네트워크를 위하여 개발되었으며 현재 지그비 3.0까지 개발되었다. 무선 네트워크에서 지그비 노드는 기능에 따라 Coordinator, Router, End-node 등의 3가지로 구성된다. Coordinator는 네트워크상에서 하나만 존재하며 독립 네트워크를 형성하고 보안을 설정하여 네트워크를 관리하는 기능을 담당한다. 또한 아두이노 등 컴퓨터와 연결하여 Router와 End-node에서 수신된

정보를 최종적으로 송수신하는 기능을 담당한다. Router는 Coordinator와 End-node 사이에 존재하여 End-node가 멀리 떨어져 있어서 데이터를 송수신할 수 없을 경우 라우팅을 하는 메신저 역할을 한다. 지그비 네트워크상에는 다수의 Router가 존재하여 Router끼리 라우팅을 하여 무선 네트워크가 확장할 수 있는 역할을 한다. Router 하위에는 있는 End-node는 라우팅 기능이 없으며 네트워크에서 말단에 존재하며 다수가 Router에 접속할 수가 있다. Fig. 1은 지그비 네트워크에서 구현할 수 있는 star topology, tree topology, mesh topology 등 3가지 네트워크 연결방식을 나타내었다. Fig. 1(a)의 star 연결방식은 Coordinator를 중심으로 End-node들이 접속하는 방식으로 각 End-node들은 서로 연결을 할 수가 없다. Fig. 1(b)의 tree 연결방식은 Router간에 서로 라우팅을 할 수 없고 단지 Coordinator와 접속하여 각각 End-node들과 함께 네트워크를 구성할 수 있으나 Fig. 1(c)인 mesh 연결방식은 지그비 프로토콜의 확장성을 바탕으로 Router간에 연속적으로 연결을 하여 전체 지그비 무선 네트워크를 확장할 수가 있다.

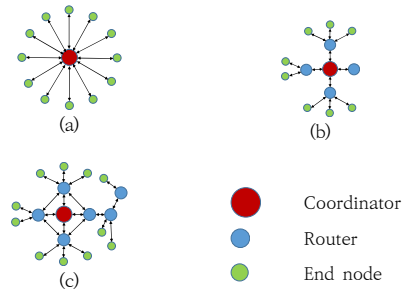


Fig. 1. Typical topologies for ZigBee sensor networks. (a) Star topology (b) Tree topology (c) Mesh topology

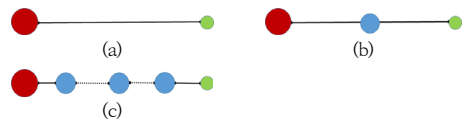


Fig. 2. One-hop, two-hop and multi-hop setups for wireless mesh networks. (a) One-hop communication (b) Two-hop communication (c) Multi-hop communication

2.2 지그비 무선 네트워크

지그비 무선 네트워크는 Fig. 2에서 (a)의 Coordinator와 End-node간의 단일 연결(one-hop), (b)의 Coordinator, Router와 End-node 간의 이중 연결(two-hop), (c)의 Coordinator와 다수의 Router와 End-node간의 다중 연결(multi-hop)등으로 구성할 수 있다. 특히 Fig. 2(c)는 다수의 Router들을 연결하여 지그비 모듈을 연속적으로 확장할 수 있으며 이 방법을 통하여 지그비 모듈은 무선 메시 네트워크를 구성할 수가 있다.

지그비 기반의 무선 네트워크 구축을 위하여 라이브러리 제공과 시스템 프로그래밍의 용이성 등을 고려하여 전 세계적으로 Digi사에서 제작한 지그비 모듈인 XBee를 가장 많이 사용하고 있다. 사용된 XBee3 Pro[24,25] 제품군들은 가시영역 내에서 직선거리로 실내에서 90 m, 실외에서는 3.2 km 정도의 무선 통신이 가능하다. 그러나 복도 등의 코너가 있는 비가시영역에서 무선 통신의 거리는 현저히 줄어든다. 지그비 네트워크상에서 한 개의 Coordinator는 이론적으로 약 65,000개의 Router를 접속할 수 있으나 Digi사의 XBee3는 40개의 Router를 접속할 수 있으며 한 개의 Router에는 최대 12개의 End-node를 접속할 수가 있다.

3. 실험 설정 및 대상건물

3.1 실험장치

지그비 기반의 무선 메시 네트워크의 성능평가를 위하여 Fig. 3과 같이 여러 가지 센서들을 사용할 수 있는 측정장치를 개발하였다. Fig. 3(a)는 시제품을 제작하기 전에 만능기판을 이용한 프로토타입의 시험용 제품을 제작하였다. 시스템 제어모듈은 저전력인 아두이노 프로 미니, 지그비 모듈은 고출력인 RP-SMA 타입의 안테나를 사용하는 XBee3 Pro 제품을 사용하여 컴퓨터의 USB에 연결된 Coordinator와 무선 메시 네트워크를 구성할 수 있다. Fig. 3(b)은 프로토타입 제품을 바탕으로 회로기판에 각종 모듈과 커넥터를 결합하여 소형화된 측정장치이다. 제품의 크기는 약 75 mm x 55 mm 이며 케이스는 3D 프린터를 사용하여 제작하였다. 측정장치는 크게 아두이노, 지그비 모듈, 데이터로깅을 위한 마이크로 SD카드 소켓, RTC(Real Time Clock), 3개의 I²C통신[26] 커넥터, 2개의 SPI통신[27] 커넥터, 3개의 아날로그/디지털 커넥터, USB-C 타입 전원 공급부 및 하단의 리튬 폴리머 배터리로 구성된다. 시제품에 사용할 수 있는 계측센서의 확장성을 고려하여 Fig. 3(c)에 I²C통신방식인 온습도 센서(SHT31)와 소형 OLED디스플레이, SPI통신방식인 써모커플 앰프 모듈(MAX31855)을 나타내었

며 시제품은 통신규격과 인터페이스에 맞는 커넥터를 제공한다. 실험에는 1개의 Coordinator, 13개의 Router, 4개의 End-node 등 총 18개의 지그비노드가 사용되었으며 End-node는 1개의 Router에 최대 12개까지 접속이 가능하다.

3.2 성능지표

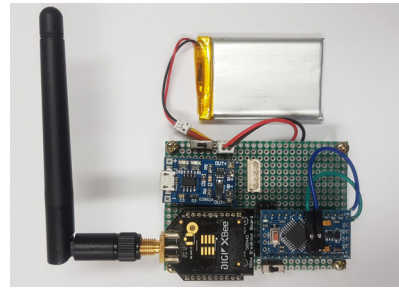
무선 메시 네트워크의 성능을 평가하기 위하여 사용된 성능평가 지표는 데이터 패킷의 송수신 성공률을 측정하는 Eq. (1)의 PDR(Packet Delivery Ratio)와 수신신호 강도를 나타내는 Eq. (2)의 RSSI(Received Signal Strength Indicator) 등 이다. PDR은 노드부터 목적지 노드까지 전달한 전체 패킷 중에서 얼마만큼 성공적으로 전달되었느냐를 나타내는 평균 패킷 전달율을 나타내는 네트워크 성능지표이다. RSSI (Received Signal Strength Indicator)는 무선 발신장치에서 보낸 신호를 수신장치에서 수신할 경우 이때의 수신신호 강도를 나타내는 지표이다. Eq. (2)에서 P_r 은 수신강도, P_{ref} 는 기준강도를 나타내며 이 값의 비율인 RSSI는 음의 값으로 표현되며 일반적으로 송수신장치의 거리가 가까울수록 0에 가까워지며 신호의 세기가 강해진다. Table 1은 RSSI 범위에 따른 수신신호의 상태를 나타내었으며 -85[dBm] ~ -75[dBm]의 범위 내에서 평균적인 수신능력을 가지며 이 값보다 작을 경우 PDR도 작아진다 [28,29].

$$PDR = \frac{\sum packet\ received}{\sum packet\ sent} \times 100 [\%] \quad (1)$$

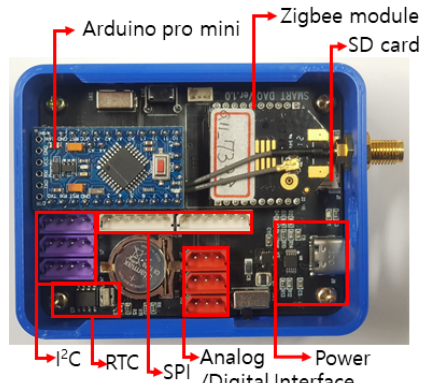
$$RSSI = 10 \log \frac{P_r}{P_{ref}} [dBm] \quad (2)$$

Table 1. RSSI classification.[17]

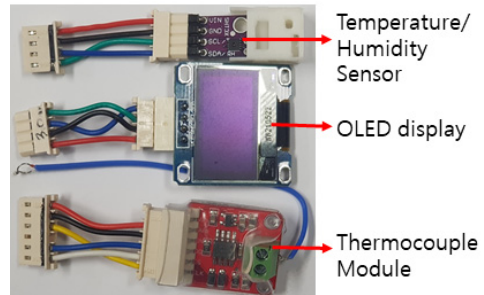
Signal level range [dBm]	Classification	Score
-120 ~ -95	Extremely bad	1
-95 ~ -85	Bad	2
-85 ~ -75	Average	3
-75 ~ -65	Good	4
-65 ~ -55	Very good	5
-55 ~ -10	Excellent	6



(a)



(b)



(c)

Fig. 3. Measurement device of ZigBee node and attachable modules.

- (a) Prototype measurement device of zigbee node
- (b) Developed measurement device of zigbee node
- (c) Attachable sensors and display module

3.3 대상건물 및 측정위치

실험은 D대학교의 5층 규모의 건물에서 진행되었으며 Fig. 4와 Fig. 5는 대상건물의 1층과 3층 평면도에 지그비 노드의 설치위치를 나타내었다. 그림에서 (0)는 Coordinator의 설치위치, (1)~(4)는 Router의 설치위치, (A)~(D)는 End-node의 설치위치를 의미한다. 측정 대상 건물은 중앙에 중정이 위치해 있는 모자 형태이며 가로 66m, 세로 36m, 층고는 3.4m이며 연면적은

10,872m²이다. 무선 신호는 비가시영역에서 신호강도가 약해지는 점을 고려하여 Fig. 5와 같이 각 층 복도의 코너 부분에 (1) ~ (4)의 기준측정 위치가 있으며 (1)점에서 (2)점까지의 거리는 44m, (1)점에서 (4)점까지의 거리는 16m이다. (0)점은 Router에서 송수신된 신호를 처리하기 위하여 Coordinator인 지그비 노드가 위치하고 있으며 블록벽을 사이에 두고 8m거리에 (1)점이 위치하고 있다. 이는 예비실험에서 무선 신호는 벽을 통과할 때 신호강도가 급격히 떨어지는 것을 고려하여 건물 전체의 안정적인 무선 메시 네트워크를 구성하기 위함이다.

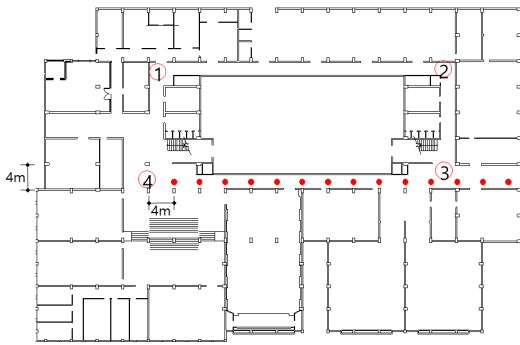


Fig. 4. 1st floor plan of the building for measuring RSSI of horizontal and vertical node

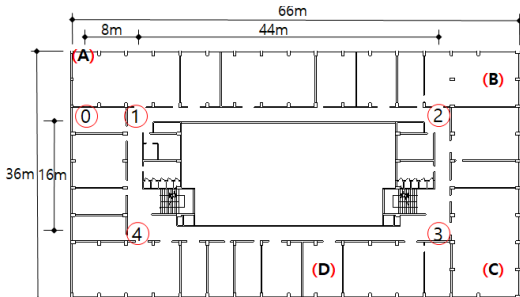


Fig. 5. 3rd floor plan of the building with the node location for measuring RSSI and temperature/humidity.

4. 결과 및 분석

4.1 수평거리와 수직높이 변화에 대한 지그비 노드의 단일 연결

RSSI값은 무선 통신의 특성상 주위 환경에 따라서 변화하기 때문에 50 바이트(byte) 패킷(packet)의 데이터

를 Coordinator와 Router가 1초 간격으로 1분간 수신한 RSSI 측정값의 평균을 사용하였다. Fig. 6은 실내에서 시야가 확보된 가시영역의 수평거리 변화에 대한 RSSI 측정값을 나타내었으며 수평거리가 56m 이내에서는 Coordinator의 RSSI값은 약 -80 dBm이하이고 PDR값은 모두 100%였다. 건물의 실내에서 가시거리가 확보된 영역에서는 Digi사의 지그비 성능은 최대 수신거리는 90m이다[23,24].

Fig. 7은 층고가 3.4m일 때 층별 수직높이 변화에 따른 RSSI 측정값을 나타내었다. 층간에는 무선 통신 장애물인 두께 150mm인 슬래브가 존재하여 1층 (1)지점에서 측정한 Coordinator의 RSSI값과 PDR값은 층별로 -72 dBm 및 100% (2층), -74 dBm 및 100% (3층), -91 dBm 및 88% (4층)이다. 2층 (1)지점의 RSSI값은 48m의 수평거리와 비슷한 값을 보여 무선 통신은 장애물이 존재할 경우 수신강도가 현저히 떨어짐을 알 수가 있다. 또한 3층까지는 수신강도가 양호하며 4층에서는 통신은 가능하나 PDR이 88%로 신호의 손실이 발생하며 5층에서는 무선 통신이 불가능하였다. 수직으로 무선 메시 네트워크를 구성할 경우 무선 통신모듈을 2개 층 간격으로 설치하면 양호한 송수신을 할 수 있을 것으로 사료된다.

3층과 5층에 설치된 Router의 구성에 따라서 지그비 네트워크에 존재하는 지그비 노드들의 다중 연결 맵을 Fig. 8과 Fig. 9에 도시하였다. 다중 연결에서 Coordinator와 Router의 최종 수신된 RSSI값은 인접한 지그비 노드에서 수신된 무선 신호의 강도이며 수신강도가 좋은 지그비 노드를 통하여 무선 통신경로가 결정된다[28].

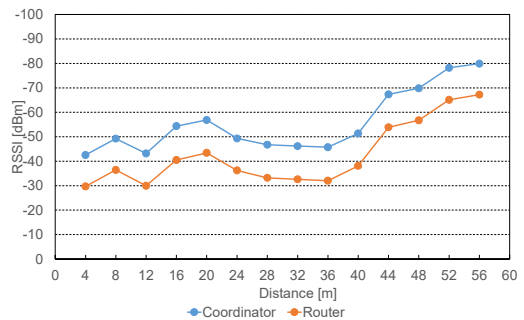


Fig. 6. Measured RSSI value with the variation of horizontal distance.

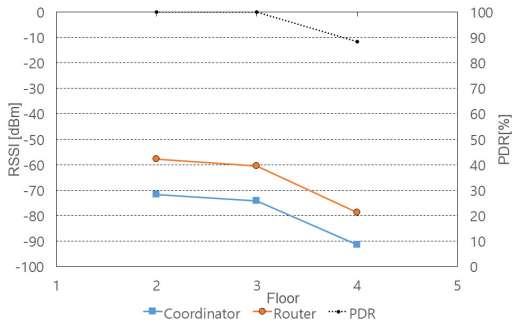


Fig. 7. Measured RSSI and PDR with the variation of vertical distance.

4.2 Coordinator와 Router의 다중 연결

Fig. 8은 3층 사무실의 3F(0)와 3F(1) 및 5층에 설치된 Router들의 다중 연결(multi-hop) 맵을, Fig. 9는 3층 사무실의 3F(0)와 3층 및 5층의 각 4곳에 설치된 Router들의 다중 연결(multi-hop) 맵을 나타내었으며 맵에 보이는 숫자는 Router/Coordinator의 RSSI 순간 측정값이다. 각 층에서 대각선 연결인 (1)-(3) 및 (2)-(4)는 빨간 라인으로 표기되어 있으며 RSSI값이 낮아서 무선 통신이 원활하지 않음을 보여준다. 또한 같은 거리인 3층의 3F(1)-3F(2)와 3F(3)-3F(4)는 무선신호강도가 비슷하나 5층의 5F(1)-5F(2)와 5F(3)-5F(4)는 20 dBm 정도의 차이가 난다. 이는 블루투스, 와이파이 등과 같이 지그비는 2.4GHz 대역의 주파수를 공용으로 사용하여 주파수 간섭현상이 발생할 수 있으므로 무선 메시 네트워크를 구성할 경우 이를 고려해야 한다[29].

Fig. 10은 Fig. 8과 Fig. 9의 무선 메시 네트워크 구성에 따라서 3층 3F(1) 또는 3F(전체)에 Router 노드를 설치하였을 경우 5층 5F(2)와 5F(3) Router 노드의 평균 RSSI값을 나타내었다. 네트워크 구성 조건에 따라서 5F(2)와 5F(3)에서 Coordinator의 RSSI값은 -66 dBm 이하의 비슷한 값을 나타내고 있다. 5F(2) Router는 3층 전체에 Router 노드를 설치하지 않았을 경우 -73 dBm로 상대적으로 높은 값을 보여주고 있다. 이를 위하여 3층의 전체 노드 설치 또는 3층과 5층을 수직으로 노드를 연결할 경우 수신강도가 좋은 노드를 통하여 무선 통신 경로가 결정되어 그 값이 -58 dBm 이하로 낮아짐을 알 수 있다.

Fig. 11은 층별 높이에 따른 무선 메시 네트워크 성능을 평가하기 위하여 대상건물의 1층의 1F(1) 및 3층의 3F(1)에서 5층의 4곳을 측정하였다. Coordinator의

RSSI값은 -69 dBm ~ -48 dBm, Router는 -64 dB ~ -53 dBm 사이에 분포하고 있어서 전체적으로 무선 통신 성능이 양호한 것으로 판단된다. 따라서 비교적 용이하게 건물 전체에 대한 지그비 무선 센서 네트워크 구축할 수 있을 것으로 사료된다.

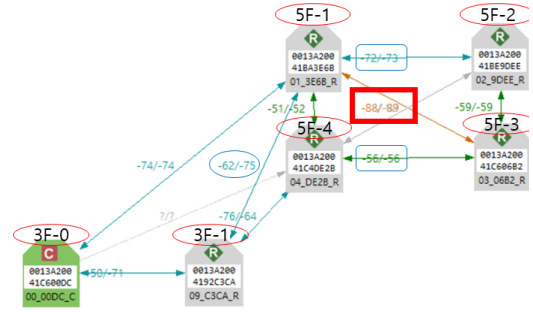


Fig. 8. Map of ZigBee network combined with all nodes of 5th floor and one node of 3rd floor.

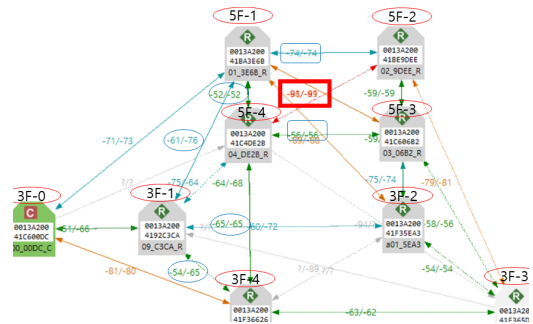


Fig. 9. Map of ZigBee network combined with all nodes of 5th floor and all nodes of 3rd floor.

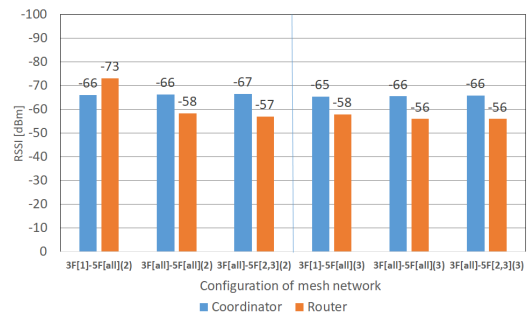


Fig. 10. Comparison with mesh network configuration with/without the nodes of 3rd floor for RSSI value of the node 5F(2) and 5F(3) measured at 3F(0).

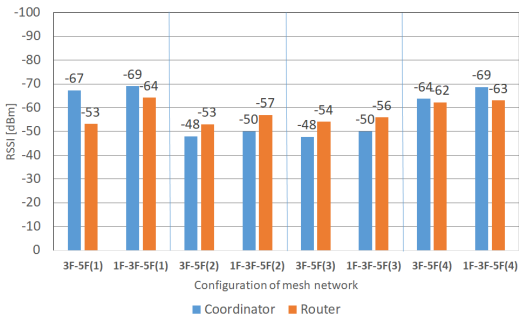


Fig. 11. Comparison with the measured locations of 3F(1) and 1F(1) for RSSI value of the node 5F(1), 5F(2), 5F(3) and 5F(4).

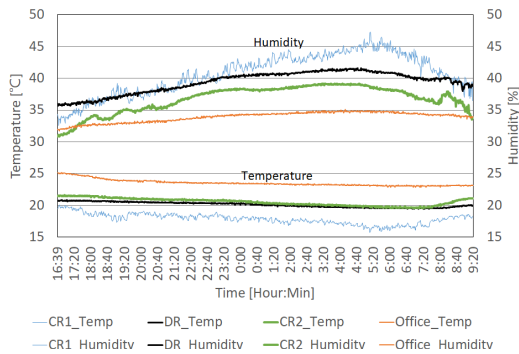


Fig. 12. Temperature and humidity profiles on April 22 with the measured locations of 3F(A) of classroom 1, 3F(B) of design room, 3F(C) of classroom 2 and 3F(D) of office.

4.3 End-node의 다중 연결

지그비 메쉬 네트워크에 접속된 End-node인 무선 센서의 송수신 데이터의 상태를 평가하기 위하여 Fig. 5에 도시된 3F(A)의 강의실1, 3F(B)의 설계실, 3F(C)의 강의실2, 3F(D)의 사무실에 대한 실내 온습도를 측정하였다. Fig. 12는 16:30에서 다음날 09:20까지 약 17시간동안 1분 간격으로 측정한 실내 온습도를 도시하였다. 강의실1의 무선 센서 위치는 상태가 양호하지 않은 단창인 창호 근처에 위치하여 침기의 영향으로 실내의 온습도 변화폭이 고르지 못하고 상대적으로 높은 상대습도와 낮은 실온을 나타내고 있다. 단창이 설치된 설계실과 강의실2에서 무선 센서의 위치는 창호로부터 약 4m 정도 떨어진 곳에 위치하고 있으며 강의실1보다 실온이 높고 습도는 낮다. 반면에 이중창이 설치된 사무실은 외기의 영향이 작아서 타 실에 비하여 높은 온도분포 및 낮은 습도분

포를 나타내고 있으며 이들의 변화폭도 적다. 또한 오전 5시에 사무실은 강의실1보다 실온이 약 7°C 높은 상태를 보여주고 있다. 따라서 창호의 상태와 계측센서의 위치는 실내 온열환경 평가에 크게 영향을 미치는 것을 알 수가 있다.

5. 결론

본 연구는 대형건물을 대상으로 지그비 메쉬 네트워크의 성능평가와 구축방안에 관한 연구를 하였다. 단일 연결과 다중 연결에 대한 지그비 무선 통신의 성능을 분석하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 실내의 가시공간에서 단일 연결일 경우 Coordinator와 Router/End-device의 수평거리가 56m일 때 RSSI값은 약 -80 dBm이하이고 패킷의 수신율은 100%로 나타났다. 지그비 노드간의 거리가 짧은 경우 단일 연결을 통하여 네트워크를 구성할 수 있다.
- (2) 층간 수직으로 무선 메쉬 네트워크를 구성할 경우 Router를 수직으로 2개 층(6.8m) 간격으로 설치하면 양호한 RSSI값과 데이터의 손실이 없었으며 3개 층 이상인 경우 무선 센서 네트워크의 송수신이 어려운 것으로 나타났다.
- (3) 지그비 통신은 블루투스, 와이파이 등과 같이 2.4GHz 대역의 주파수를 공용으로 사용하므로 조건에 따라 주파수 간섭현상이 발생할 수 있다. 다중 연결로 무선 메쉬 네트워크를 구성할 경우 이를 고려하여 Router의 설치위치를 고려하여야 한다.
- (4) 대형건물에 지그비 메쉬 네트워크를 구축하여 건물 실내환경 요소인 온도와 습도를 연속적으로 측정하였다. 지그비 무선 통신의 송수신율과 End-node인 무선 센서의 데이터 수신은 지그비 노드인 Coordinator, Router, End-Node들과 연결한 다중 연결 상태에서 양호한 것으로 나타났다. 이를 통하여 지그비 무선 통신의 송수신 거리를 확장할 수가 있다.

References

[1] G. H. Kim, "Implementation of Real-time Sensor Monitoring System on Zigbee Module", *The Journal of*

- the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, Vol.6, No.2, pp.312-318, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.13067/JKIECS.2011.6.2.312>
- [2] K. H. Sim, I. C. Park, B. K. An, C. Y. Kim, J. S. Lim, "A Mesh Routing Protocol based on Zigbee Sensor Networks to Monitor Solar Plant System", *Proceedings of the IEEK Conference*, Vol.37, No.2, pp.779-780, 2014.
- [3] R. K. Math, N. V. Dharwadkar, "A wireless sensor network based low cost and energy efficient framework for precision agriculture", *2017 International Conference on Nascent Technologies in Engineering (ICNTE)*, January, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ICNTE.2017.7947883>
- [4] S. H. Shin, S. H. Lee, "ZigBee Module Performance Analysis and Prototype Development for Widefield Use of Bio-Signals", *Journal of Korean Institute of Information Technology*, Vol.17, No.1, pp.75-83, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.14801/jkiit.2019.17.1.75>
- [5] Y. H. Jang, H. Y. Kim, "Implementation of a LED light control module using Zigbee", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.13, No.10, pp.4740-4744, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2012.13.10.4740>
- [6] S. K. An, I. C. Lim, S. H. Kim, E. S. Yuk, "Development of a Peak Power Control System based on Zigbee Wireless Communication", *Journal of institute of control, robotics and systems*, Vol.21, No.5, pp.442-446, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.5302/I.ICROS.2015.14.8038>
- [7] Y. J. Park, "Remote Temperature Control System using a Zigbee Communication", *Journal of Digital Convergence*, Vol.14, No.4, pp.259-265, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.14400/JDC.2016.14.4.259>
- [8] J. I. Park, "ZigBee-based Real-time Wireless Networked Motor Control System", *Institute of Embedded Engineering of Korea*, Vol.15, No.2, pp.103-109, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.14372/IEMEK.2020.15.2.103>
- [9] Y. H. Park, H. K. Lee, M. K. Seo, J. Kim, "A Study on the Application of Real-time Environment Monitoring System in Underground Mines using Zigbee Technology", *Tunnel and Underground Space*, Vol.29, No.2, pp.108-123, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.7474/TUS.2019.29.2.108>
- [10] Y. Qiang, Z. Fan, "Application of Wireless Mesh Network Based on Zigbee in Mine Safety Monitoring System", *2021 International Conference on Information Technology and Biomedical Engineering (ICITBE)*, pp.48-52, December, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ICITBE54178.2021.00020>
- [11] W. H. Lee, H. J. Kim, C. H. Lee, S. M. Kim, "Development of Vibration and dust Monitoring Technology in Underground Mines using ZigBee-based Wireless Sensor Network", *Journal of The Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers*, Vol.59, No.2, pp.137-147, 2022.
DOI: <https://doi.org/10.32390/ksmer.2022.59.2.137>
- [12] H. S. Jeon, I. J. Hwang, S. H. Jung, S. I. Chang, "Vibration monitoring ZigBEE-network system", *Proceedings of Korean Society for Noise and Vibration Engineering Conference*, pp.571-573, April, 2016.
- [13] S. H. Ahn, S. D. Shon, S. J. Lee, "Research on the ZigBee-based Wireless Data Transmission Device for Structural Health Monitoring", *Proceedings of Architectural Institute of Korea Conference*, Vol.36, No.2, pp.1697-1698, 2016.
- [14] S. H. Ahn, J. W. Kang, S. D. Shon, "A ZigBee-Based Wireless Data Transmission Device for Structural Health Monitoring", *Journal of the Korean association for shell and spatial structures*, Vol.17, No.1, pp.5-10, 2017.
- [15] W. Guo W. M. Healy, M. Zhou, "Interference impacts on ZigBee-based Wireless Mesh Networks for building automation and control", *2011 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, October, 2011.
DOI: <https://doi.org/10.1109/ICSMC.2011.6084203>
- [16] R. Piyare1, S. R. Lee, "Performance Analysis XBee ZB Module Based Wireless Sensor Networks", *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Vol.4, No.4, pp.1615-1621, 2013.
- [17] A. Khalifeh, H. Salah, S. Alouneh, A. Al-Assaf, K. Darabkh, "Performance Evaluation of DigiMesh and ZigBee Wireless Mesh Networks", *International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET)*, pp.22-24, March, 2018.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/WiSPNET.2018.8538620>
- [18] M. F. Mosleh, D. S. Talib, "Hardware Implementation of Wireless Sensor Network Using Arduino and Zigbee Protocol", *Engineering and Technology Journal*, Vol.34, No.5A, pp.816-829, 2016.
DOI: <https://dx.doi.org/10.30684/ETJ.34.5A.1>
- [19] J. Y. Seo, G. J. Jung, K. N. Rhee, "A Study on Simultaneous Measurement Method of Illuminance Distribution of Work Surface and Ceiling", *Journal of the regional association of architectural institute of korea*, Vol.20, No.4, pp.45-52, 2018.
- [20] S. C. Lee, N. H. Kim, "Hospital Room Environment Monitoring System based on Wireless Communication", *Proceedings of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology Conference*, Vol.26, No.2, pp.28-30, 2022.
- [21] B. I. Sagong, N. H. Kim, "Indoor Monitoring System for Prevention and Response to Lonely Death of the Elderly Living Alone using ZigBee Communication", *Proceedings of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology Conference*, Vol.26, No.2, pp.242-244, 2022.
- [22] K. F. Haque, A. Abdelgawad, K. Yelamarthi, "Comprehensive Performance Analysis of Zigbee Communication: An Experimental Approach with

XBee S2C Module”, *Sensors*, Vol.22, No.9, 2022.
DOI: <https://doi.org/10.3390/s22093245>

- [23] Ministry of Land, Infrastructure and Transport [Internet]. Available From: <https://blcm.go.kr/lim/etc/ServiceInfo.do> (accessed July. 12, 2023)
- [24] Tessol Products [Internet]. Available From: <https://www.tessol.com/shop/1611800995> (accessed April. 12, 2023)
- [25] Digi International, “XBee3 Zigbee RF Module User Guide, 2022.
- [26] Telecommunications Technology Association [Internet]. Available From: https://terms.tta.or.kr/dictionary/dictionaryView.do?word_seq=095907-1 (accessed July. 12, 2023)
- [27] Telecommunications Technology Association [Internet]. Available From: https://terms.tta.or.kr/dictionary/dictionaryView.do?word_seq=097569-1 (accessed July. 12, 2023)
- [28] P. D. P. Adi, V. Sihombing, V. M. M. Siregar, G. J. Yanris, F. A. Sianturi, W. Purba, S. P. Tamba, J. Simatupang, R. Arifuddin, D. A. Prasetya, “A Performance Evaluation of ZigBee Mesh Communication on the Internet of Things (IoT)”, *3rd East Indonesia Conference on Computer and Information Technology (EIConCIT)*, pp.7-13, April, 2021.
DOI: <https://dx.doi.org/10.1109/EIConCIT50028.2021.9431875>
- [29] J. Y. Kang, H. Y. Kim, “A study on Surppressed Method for the Frequency Interference within Wireless Communications Devices”, *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol.23, No.1A, pp.34-40, 2003.

조 성 우(Sung Woo Cho)

[정회원]



- 1992년 2월 : 동아대학교 건축공학과 (공학석사)
- 2001년 3월 : 와세다대학 건축공학과 (공학박사)
- 2011년 3월 ~ 현재 : 창원대학교 건축공학과 교수

<관심분야>

친환경에너지, 자연환경

임 병 찬(Pyeongchan Ihm)

[정회원]



- 1992년 2월 : 한양대학교 건축공학과 (공학석사)
- 2003년 5월 : 콜로라도대학교 토목환경건축공학과 (공학박사)
- 2004년 9월 ~ 현재 : 동아대학교 건축공학과 교수

<관심분야>

건물에너지, 건물자동제어