Research Article

pISSN : 2287-8920
https://doi.org/10.22716/sckt.2020.8.4.039

MQTT와 NodeMCU를 이용한 실내공기질 제어용 IoT 게이트웨이 시스템 개발에 관한 연구

박호균[1]
[1]신한대학교 IT융합공학부 교수

Development of IoT Gateway System for Indoor Air Quality Monitoring Using MQTT and NodeMCU

Hokyun Park[1]
[1]Professor, School of IT Convergence Engineering, Shinhan University

[1]**Corresponding author:** hkpark@shinhan.ac.kr

Received December 7, 2020; **Accepted** December 17, 2020

ABSTRACT

산업현장과 공공건물이 대형화되고 복잡화됨에 따라 실내 거주자들이 각종 실내공기 오염에 무방비 상태로 노출되어 있다. 쾌적한 실내환경을 유지하기 위해 인구 밀집 시설에는 조명, 온도, 습도뿐 아니라 CO_2와 인체에 매우 해로운 유기가스인 휘발성 유기화합물(VOC, Volatile Organic Compounds)의 측정을 주기적으로 실시하여 적절한 조치를 취하는 것은 인간의 건강과 더 나은 삶의 환경을 만들기 위한 필수 요소이다. 본 연구에서는 실내공기질과 연관된 MQTT(Message Queuing Telemetry Transport) 클라이언트 센서들의 데이터를 수집하고 오염 물질 해소를 위한 기기들의 제어를 위해 MQTT 프로토콜 기반의 허브 역할을 수행하는 IoT 게이트웨이 시스템을 개발하였다. 지역 및 원격의 산업현장 및 공공건물의 실내공기질을 측정하여 일정 수준에서 벗어나는 이상 현상이 발생할 경우 MQTT 서버에 메시지를 전송하며 모니터링 결과에 따라 현장의 공기청정기, 냉난방기, 환풍기 등 관련 기기를 제어하는 메시지를 전송하여 신뢰성 있는 시스템을 구현하였다. 향후 수집된 정보들을 온톨로지 기반의 시맨틱 데이터를 구축하여 상황인지 기능을 제공하는 산업용 IoT, 방재 서비스 등에 활용될 것으로 기대된다.

As industrial sites and public buildings become larger and more complex, indoor residents are exposed to various indoor air pollution. In order to maintain a pleasant indoor environment, taking appropriate measures by periodically measuring CO_2 and Volatile Organic Compounds(VOC), which are highly harmful organic gases to the human body, as well as lighting, temperature and humidity, is an essential factor for creating a better living environment for human health. In this study, an IoT gateway system, which acts as a hub based on the Message Queuing Telemetry Transport(MQTT) protocol, was developed to collect data from MQTT client sensors associated with indoor air quality and control devices for decontamination. The reliable system was implemented by measuring indoor air quality at local and remote industrial sites and public buildings and sending messages to the MQTT server to control related devices such as air purifiers, air conditioners, and ventilators at the site according to the monitoring results in the event of abnormalities beyond a certain level. In the future, it is expected that the collected information will be used for industrial IoT and disaster prevention services by building ontology-based semantic database to provide situation awareness functions.

Keywords: Internet of things, Message queuing telemetry transport, MQTT protocol, NodeMCU

© 2020 by The Society of Convergence Knowledge. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

최근 IoT(Internet of Things)와 인더스트리 4.0(Industry 4.0)이 글로벌 트렌드로 확대되고 있다. 사물인터넷(IoT)은 휴대용 단말장치를 비롯한 다양한 스마트 기기들이 통신기술을 통해 서로 연결되어 다양한 정보를 수집·분석하고 공유하여 네트워크에 연결된 기기를 제어할 수 있는 지능형 서비스를 구현할 수 있는 기반 통신환경을 의미한다. 2020년 현재 IoT의 센싱 장치수는 약 500억 개에 이를 것으로 예상된다. IoT 장치는 일반적으로 대량의 센싱 데이터를 생성하여 다양한 데이터 형식으로 전송되고 클라우드 서버에 저장된다[5].

사물인터넷 환경에서 가장 먼저 도입된 비즈니스 모델은 스마트 홈네트워크 분야일 것이다. 홈 자동화 기술에 관련된 기기, 네트워크, 서비스 등 여러 분야에 대하여 가전업체, 이동통신업체들이 오픈 플랫폼을 제안하였으며 최근에는 다중 이용시설이나 제조업체의 실내환경에 관한 IoT 플랫폼이 새로운 서비스로 대두되고 있다. 특히, 최근 개발된 IoT 기기들 중에는 산업 현장이나 다중이용시설 내에서 실내공기질(IAQ : Indoor Air Quality)과 관련된 제품들이 시장을 넓혀가고 있다.

또한, 에너지 절감을 위해 건물의 밀폐화로 실내공기는 시간이 지날수록 오염물질의 농도가 누적되어 건물 내 거주자들의 건강을 위협하고 있다. 따라서 청정한 실내환경을 유지하려면 무엇보다 인체에 해로운 유기가스인 휘발성 유기화합물(VOC)의 완벽한 실내 환기 시설과 일정한 온·습도가 적절한 수준으로 유지되어야 하므로 실내공기에 대한 실시간 측정 분석과 이를 근거로 자동으로 디바이스를 제어하여 깨끗한 공기로 환기해야 한다.

본 연구에서는 실내공기질과 연관된 센서들의 데이터를 실시간으로 수집하고 오염 물질 해소를 위한 기기들을 제어를 위해 MQTT(Message Queuing Telemetry Transport) 프로토콜 기반의 MQTT IoT 게이트웨이 시스템을 개발하였다. IoT 게이트웨이 시스템은 센서와 기기들을 제어하는 역할을 수행하며 MQTT 프로토콜을 사용하여 실시간으로 수집되는 데이터를 서버인 MQTT 브로커(Broker)로 관련 토픽(Topic)으로 메시지를 전송한다. 지역 및 원격의 산업현장 및 공공건물의 실내공기질을 측정하여 일정 수준에서 벗어나는 이상 현상이 발생할 경우 MQTT 서버에 응급 메시지를 전송하며 모니터링 결과에 따라 현장의 공기청정기, 냉난방기, 환풍기 등 관련 디바이스를 제어하도록 신뢰성 있는 시스템을 설계하였다.

본 논문의 구성은 서론에 이어 2장에서는 MQTT 프로토콜 관련 연구에 관한 기술의 현황을 언급하고, 3장에서는 시스템 구성 및 개발 환경과 성능측정에 대하여 서술하였다. 그리고 4장에서는 결론으로 마무리하였다.

2. 관련 기술의 현황

2.1 관련 연구

통신매체와 속도의 발전으로 일상 주거 환경과 작업환경에 설치되어있는 생활밀착형 가전의 종류도 여러 가지가 설비되어 삶의 만족도를 높이는데 여러 역할을 수행하고 있다. 특히 무선통신 분야의 발전은 스마트폰의 발전과 더불어 사물인터넷 분야도 급속히 발전하고 있다. 사물인터넷은 내부 게이트웨이를 통해 다른 장치와 무선 센서네트워크를 통해 네트워크에 연결되며 이때 스마트 개체는 데이터 전송을 위해 여러 유형의 프로토콜을 사용하여 정보를 교환한다.

마스터에서 정보를 생성하고 슬레이브에 정보 요청을 보낸 후 응답 메시지를 수신하는 구조인 모드버스(Modbus) 프로토콜을 사용하여 제조공장의 기존 설비에 대하여 제어와 모니터링을 수행하는 센서 게이트웨이를 제안하였으며, 소규모 IoT 환경에서 효율적인 운용 시스템을 제시하였다[6].

현장의 다양한 설비 상태를 모니터링하기 위하여 개별 센서 노드에서 취득한 여러 센싱 데이터를 무선 네트워크를 통해 서버로 전송하고, 서버에서 설정된 각종 센서의 임계치를 사용자에게 표시하도록 IIoT용 공장 설비 무선 모니터링 시스템을 설계하고 구현하였다[7].

TCP/IP상에서 SCADA(Supervosory Control and Data Acquisition), 라즈베리파이3 그리고 WeMos-D1보드를 활용하여 원격의 가전제품을 제어하거나 모니터링할 수 있는 스마트 홈 시스템을 제안하였다[12].

최근에는 사물인터넷 서비스를 제공하기 위해 낮은 주파수대역을 사용하는 LoRaWAN, LTE-MTC(Machine Type Communication) 기술을 사용하는 저전력 광역 네트워크 방식으로 원격의 센서 디바이스를 제어하기도 한다. 멀리 떨어진 지역의 센서와 연결하고 IoT 시스템 내에 포함하려면 간단하고 효율적이며 경제적인 접근 방법이 요구된다. 특히 기존 센서 네트워크에 연결되어 활용되고 있던 기기들 중에는 ZigBee, RFID, Z-Wave, Bluetooth 및 WiFi와 같은 프로토콜을 사용하고 있어 여러 노드들을 단일 게이트웨이를 통해 공통의 서버에 연결되어 소량의 정보를 효율적으로 전송하는 시스템이 필요하다.

MQTT는 디바이스간 최소한의 전력과 패킷량으로 비동기 통신하기 위해 개발된 프로토콜로 원격제어와 측정을 목적으로 M2M, IoT방식의 사물간 통신에 적합하다. 특히, 산업 분야에서 주로 온도, 습도, 압력, 조명, 이산화탄소 등의 IoT 센서들의 메시지를 작은 대역폭으로 오버헤드를 최소화하여 주기적으로 정보를 교환하는데 적합한 네트워크 환경 구축에 우수하다.

특히, WiFi(802.11ac dual CH, 2.4GHz)기능과 블루투스 4.0 통신을 내장하여 IoT 네트워크 환경 구축에도 사용할 수 있는 활용성이 높은 시스템을 개발해야 하며, 환경 센서로 부터 취득한 데이터를 MQTT 서버로 데이터를 전송하는 개발성이 높은 게이트웨이가 필요하다. 이러한 스마트 IoT에서 무선인터넷을 통해 다양한 스마트 하드웨어 제어 방식에 대한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 Fig. 1과 같은 MQTT 프로토콜 기반으로 사물인터넷 환경에서 관련 센서 및 액추에이터를 제어하기 위한 MQTT 스마트 실내공기질 제어용 IoT 게이트웨이 시스템을 설계한다.

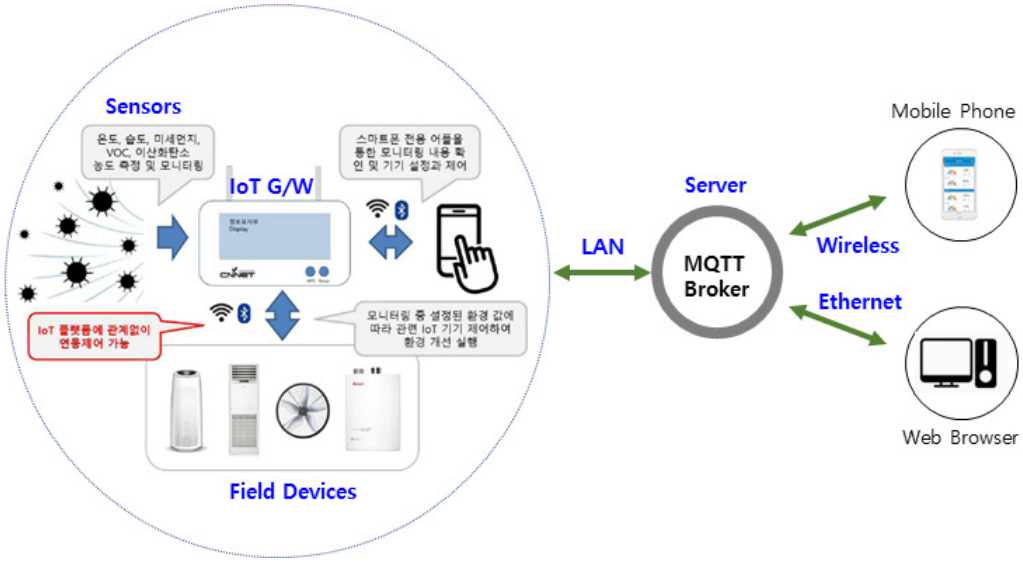


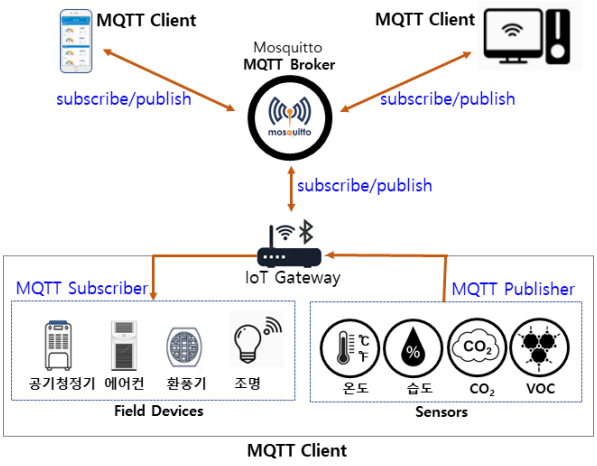
Fig. 1. System configuration diagram

본 연구에서는 현재 연구되어 있는 IoT 게이트웨이 시스템들의 문제점들을 살펴보고, 실내 대기환경과 관련된 모니터링된 온도, 습도, CO_2, TVOC(총휘발성유기화합물) 농도에 따라 연관된 기기와 자동 연동하여 실내공기 오염물질을 외부로 배출하거나 청정 공기가 유입될 수 있도록 MQTT기반으로 제어한다. 또한, 국내외 대표적인 플랫폼들에 대한 다중 지원을 통하여 블루투스, ZigBee, WiFi와 호환성이 높은 시스템을 개발하고자 한다. 스마트 허브 역할을 수행하는 IoT 게이트웨이 시스템은 MQTT 프로토콜과 NodeMCU를 이용하여 실내공기질과 연관된 센서들로 부터 데이터를 수집하여 모니터링하거나 이를 제어한다.

3 . 시스템 개발 환경과 구현

3.1 시스템 구성

Fig. 2는 가정이나 산업현장에서 사용자가 요청한 명령을 MQTT 브로커를 통해 관련된 기기를 제어하는 시스템 구성도이다. IoT 게이트웨이 시스템은 WiFi 또는 블루투스와 연결된 온도, 습도, CO_2, VOC 센서로부터 측정된 데이터를 MQTT 브로커에 메시지를 전송하기도 하며 사용자 클라이언트로부터 제어 메시지를 수신하여 관련 기기를 제어한다. 본 논문은 MQTT 기반의 제어 시스템으로 MQTT 서버에 여러 클라이언트들이 연결될 수 있으며, 각 클라이언트는 MQTT 서버인 MQTT 브로커에게 고유한 ID로 연결된다.



실내 공간에서의 공기 질 평가표

공기 수준	권고 사항	TVOC(ppb)	CO_2(ppm)
매우 나쁨	• 집중적인 환기 실시	2200+	2000+
나쁨	• 환기 실시 • 오염배출 원인파악	660~2200	1600~1900
보통	• 환기 권장 • 오염배출 원인파악	220~660	1100~1500
좋음	• 약간의 환기 필요	65~220	700~1000
매우 좋음	• 현 상태 유지	0~65	0~600

Fig. 2. Operation diagram of the MQTT service and IoT gateway

VOC는 화학 공정 현장에서 뿐만 아니라 공동주택 및 다중이용시설 등에서도 발생하는 매우 해로운 유기가스이므로 측정된 CO_2, TVOC 데이터를 비롯하여 온도, 습도 등 대기질 상태를 측정하여 MQTT 메시지로 클라이언트에 전송하면, 클라이언트는 공기질 평가 기준에 따라 관리자에게 경보 메시지를 보내고 다시 관련 디바이스를 제어하도록 메시지를 브로커에게 보낸다.

3.2 MQTT 프로토콜

MQTT프로토콜은 M2M, IoT 등과 같은 낮은 대역폭의 소규모 디바이스들을 위한 비동기 통신을 지원해주는 경량화된 메시징 프로토콜로 IoT 애플리케이션 개발자들 사이에서 활용도가 점차 확대되고 있다. 1999년 IBM사의 Andy와 Arlen에 의해 개발되었고 M2M(machine-to-machine)과 IoT에서 사용하는 것을 목적으로 저전력, 소규모 기기간 제어와 센서정보 수집에 유리한 쌍방향 통신 프로토콜로 2013년 국제 표준화 기구인 OASIS(Organization for the Advancement of Structured Information Standards)는 MQTT3.3.1을 표준 프로토콜로 제정하였다[17].

이러한 MQTT는 발행/구독의 구조로 이루어져 있다. Subscriber가 MQTT 브로커에 토픽을 등록해놓으면 브로커는 해당 토픽에 등록된 데이터를 Publisher로부터 받게 되면 이를 Subscriber에게 전송한다.

3.2.1 MQTT 메시지

Fig. 3은 MQTT 브로커를 중심으로 소스 디바이스인 Publisher(발행자)가 토픽(채널)을 발행하면 브로커가 이를 중개하고,

다른 싱크 디바이스인 Subscriber(구독자)는 관련된 토픽을 구독하는 구조이다. 하나 이상의 Publisher와 Subscriber가 브로커에 연결하여 토픽을 발행하거나 구독할 수 있으며 서로 간에 직접 메시지를 주고 받지 않기 때문에 비동기 방식이자 메시지 큐 방식이다. Publisher는 토픽을 발행하기 위한 목적으로 그리고 Subscriber은 토픽을 구독하기 위한 목적으로 브로커 서버에 연결된 클라이언트들이다.

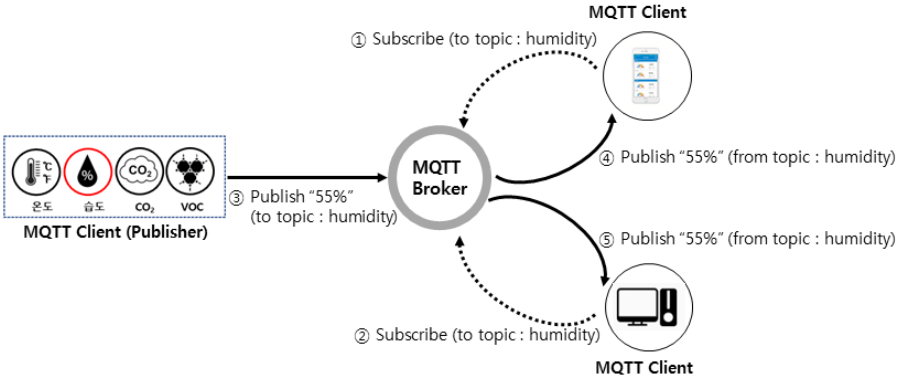


Fig. 3. MQTT Publish/Subscribe architecture

3.2.2 MQTT 토픽

Publisher와 Subscriber가 메시지를 발행/구독하는 과정은 채널 단위로 발생하며 이를 토픽이라 한다. 토픽은 하위 계층을 슬래시(/)를 이용해서 계층적으로 구성하여 여러 센서와 기기들을 효율적으로 관리 할 수 있다. 어떤 건물의 층별 강의실에 온도 센서와 습도 센서가 존재한다면 "건물명/층번호/강의실번호/센서"처럼 계층적으로 표현할 수 있다.

예를 들어 토픽을 "ebenezer/floor2/room3/humidity"로 표현되면 에벤에셀관 2층에 있는 3번 강의실의 습도 센서를 MQTT 토픽으로 표현한 것이다. 그리고 토픽을 기술할 때 아래와 같이 와일드카드 문자를 사용하여 메시지 발행/구독시 여러 토픽을 지정할 수 있다. 예를 들어 "ebenezer/floor2/+/humidity"는 에벤에셀관 2층 모든 강의실의 습도 센서 토픽을 의미하며, "ebenezer/floor2/#"는 에벤에셀관 2층 하위 계층에 있는 모든 토픽을 의미한다.

- + (single-level wildcard) : 같은 레벨에서의 모든 토픽을 의미
- # (multi-level wildcard) : 하위 계층까지의 모든 토픽을 의미

3.2.3 QoS(Quality of Service)

만약 클라이언트가 Publisher라면 MQTT 브로커에 PUBLISH 패킷을 전달한다. 이 패킷에는 QoS 레벨, 토픽 이름, 페이로드(payload)가 포함되어 있다. MQTT는 메시지의 특성과 중요도에 따라 신뢰성 있는 메시지 전송을 위해 2개의 QoS Level 플래그 비트로 메시지의 QoS 레벨을 설정하여 Fig. 4와 같이 세 가지 단계의 QoS로 처리된다[17].

QoS 0은 클라이언트가 PUBLISH 메시지를 오직 한 번만 전송하며 Subscriber의 수신 여부와 관계없이 메시지 전송을 확인하지 않고 완료한다. 따라서 큰 페이로드를 갖는 메시지인 경우 패킷 손실이 발생하면 메시지 전달이 되지 않을 수도 있다.

QoS 1은 메시지를 최소 한 번 전달하고 서버는 PUBACK으로 전달 여부를 확인한다. MQTT Publisher의 확인이 수신될 때까지 브로커는 메시지를 저장한다. 하지만 PUBACK 패킷이 클라이언트에 전송되지 않고 손실된다면 메시지가 중복으로 전달될 가능성이 발생한다.

QoS 2는 핸드셰이크를 통해 메시지를 한 번만 정확하게 전달한다. 서버는 PUBLISH 패킷의 응답으로 클라이언트에게

PUBREC 패킷을 응답한다. 그런 다음 MQTT 클라이언트는 연결을 해지하기 위해 PUBREL 패킷을 전송하며, 서버는 4번째 패킷인 PUBCOMP를 클라이언트에 전달한다. 이 경우 품질은 보장되지만 시스템 오버헤드가 발생할 수 있다.

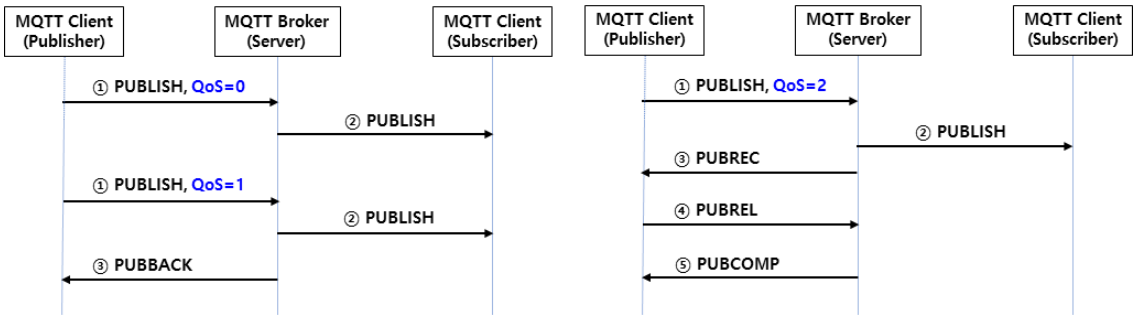


Fig. 4. MQTT client publishing message exchange with various QoS levels

3.2.4 MQTT 메시지 형식

MQTT 메시지 형식은 고정 헤더 2바이트를 제외하고 가변 헤더와 페이로드는 모두 옵션이다. 고정 헤더 부분의 첫 번째 바이트는 메시지 타입(4비트), DUP 플래그(1비트), QoS레벨(2비트), Retain(1비트)로 구성된다. 고정 헤더의 메시지 타입은 CONNECT, BUPLISH, PUBBACK, PUBREC, PUBREL, PUBCOMP, SUBSCRIBE, PING 등 14가지 메시지 타입으로 구성되며, DUP 플래그는 중복된 메시지인지 처음 보내는 메시지인지를 나타내는 플래그 비트이다. 또한, QoS 레벨은 서비스 품질을 향상시키기 위한 방법으로 전송된 메시지의 응답을 보장하는 수준을 의미한다.

가변 헤더는 프로토콜의 이름과 버전, 토픽 이름을 정의하며, 페이로드는 실제 전송되는 메시지를 의미한다.

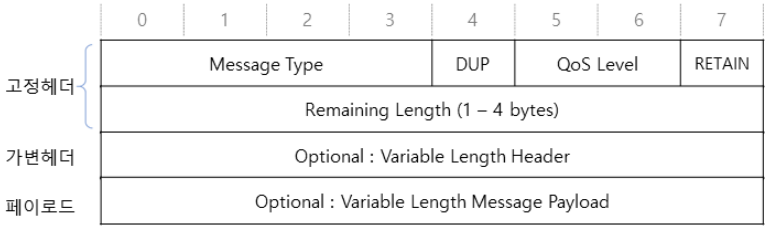


Fig. 5. MQTT message format

3.3 시스템 구성 및 개발환경

본 연구에서는 MQTT 프로토콜 기반의 사물간의 통신과 제어를 위한 IoT 게이트웨이 시스템을 개발하여 실내공기질을 모니터링하고 관련 기기를 제어하는 시스템을 개발하였다. 이 시스템이 국내외 대표적인 플랫폼들에 대한 다중 지원을 통하여 조명, 공기청정기, 환풍기, 냉난방기 등 관련 기기와의 연동성을 확보하는지를 측정하였다. 또한, 실내 환경과 관련된 온도, 습도, CO_2, PM2.5, TVOC 농도를 실시간 모니터링하고 공기의 질을 해소할 수 있는 MQTT IoT 게이트웨이 시스템의 작동과 성능을 측정하였다.

IoT 게이트웨이의 주요 요소인 MQTT 브로커와의 메시지 교환을 위해서는 라즈베리파이3 Model B+를 사용하였으며 센서와 기기 제어의 편리성을 위해 WiFi와 블루투스 모듈이 내장된 NodeMCU-32S ESP32를 사용하였다. ESP32는 저비용과 매우 적은 전력소비로 작동온도 범위도 −40°C~+125°C에서 구동되어 내구성과 신뢰도가 매우 높다. IoT 게이트웨이의 주요 사양으

로는 센서측정 요소는 온도(−40°C~+85°C), 습도(0~100%RH), CO_2(0~10,000ppm), VTOC(0~60,000ppb)이며, 이더넷 포트는 10/100Base-T 1개 포트, 지원 가능 프로토콜은 TCP/UDP, SNMP/SMTP, MQTT, Industry 4.0, REST, AMQP이다. MQTT 브로커는 라즈베리파이3 Model B+에 Mosquitto를 설치하였다[16].

Fig. 6. Connection experiment between IoT devices

3.4 시스템 시험 성능

IoT 게이트웨이 시스템의 시험 및 측정을 위한 표준 대기 조건은 온도 20~30°C, 상대습도 45~55%RH, 대기압 86~106kPa 조건에서 1~2시간 방치한 후 온도, 습도 외 아래와 같이 5가지 항목에 대하여 시험 측정하였다.

- 기기간 동시 접속 : 스마트폰에 애플리케이션을 설치한 후 동시에 접속되는 IoT 기기 수를 측정하였다. 스마트폰에 게이트웨이에 연결이 가능한 애플리케이션을 설치한 후 스마트폰과 시제품을 WiFi로 연결하였다. 이후 애플리케이션을 실행한 후 준비된 IoT 장비를 하나씩 연결하여 항온항습기, 공기청정기, 가습기 등 총 IoT 기기 연결 여부를 모두 시험하였다.
- 이기종 IoT 기기간 접속 : 스마트폰에 애플리케이션을 설치한 후 가스차단기, 공기청정기, 가습기 등 서로 다른 4가지 종류의 IoT 제품이 동시에 접속된 수를 측정하였다.
- 미세먼지 측정 : 동일한 환경, 같은 위치에서 시제품과 미세먼지 측정기로 미세먼지를 측정한 후 비교하였다. 이때 시제품의 측정 단위는 mg/m^3므로 비교 가능하도록 $\mu g/m^3$으로 환산하여 표기하였다.
- 이산화탄소 측정 : 동일한 환경, 같은 위치에서 시제품과 이산화탄소 측정기로 이산화탄소를 측정한 후 비교하였다.
- TVOC 측정 : 동일한 환경, 같은 위치에서 시제품과 VOC 측정기로 VOC 총방출량을 측정한 후 비교하였다.

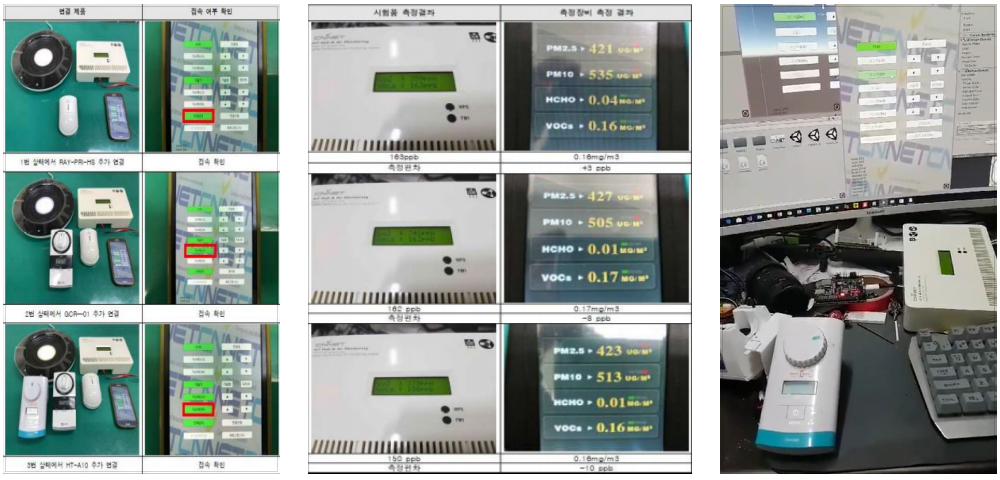


Fig. 7. Wireless connection between mobile phone and sensors

4. 결 론

본 연구는 산업현장과 다중이용시설에서 발생하는 CO_2와 VOC를 주기적으로 측정하여 오염물질을 해소하기 위한 목적으로 센서로부터 측정된 소량의 데이터를 클라이언트에 전송하고 관련 기기를 제어하기 위한 메시지를 서버로부터 전달받아 처리하는 MQTT 기반의 IoT 게이트웨이 시스템을 개발하였다. IoT 게이트웨이는 센서와 기기들을 제어하는 역할을 수행하며 MQTT 프로토콜을 사용하여 실시간으로 수집되는 데이터를 서버인 MQTT 브로커로 관련 토픽으로 메시지를 전송하였다. 지역 및 원격의 산업현장 및 공공건물의 실내공기질을 측정하여 일정 수준에서 벗어나는 이상 현상이 발생할 경우 MQTT 서버에 응급 메시지를 전송하며 모니터링 결과에 따라 현장의 공기청정기, 냉난방기, 환풍기 등 관련 디바이스를 제어하도록 메시지를 전송하여 신뢰성 있는 시스템을 설계하였다. 시스템 시험 성능을 5가지 항목으로 측정하여 제안된 기능들이 원활히 작동되는 것을 확인하였다. 제안된 시스템은 향후 시맨틱 기술을 통한 상황인지 기반의 서비스를 추가하여 산업용 스마트 IoT 방재 관리시스템의 게이트웨이로 활용될 것으로 기대된다.

Acknowledgement

※ 본 논문은 2020년도 신한대학교 학술연구비 지원으로 연구되었음.

References

1. 김우조, 최진구 “MQTT 기반 IoT 홈 시스템 구현”, 한국인터넷방송통신학회논문지, 제20권 제1호, pp.231-237, 2020.
2. 김형태, 육일성“TI CORTEX-M3 펌웨어 개발”, 내하출판사, 2010.
3. 박선호, 오영환“실전! ARM Cortex-M3 시스템 프로그래밍 완전정복2”, 씨알지테크놀로지(CRZ), 2016.
4. 박호균 “클라우드 기반의 스마트 홈 제어용 IoT 허브 시스템 개발”, 융복합지식학회논문집, 제6권 제2호, pp.59-65, 2018.
5. 손영성, 박준희“홈 IoT 기술 현황과 발전 방향”, 한국통신학회, 제32권 제4호, 2015.
6. 신승혁“오픈소스 하드웨어를 이용한 경량 IoT 센서 게이트웨이에 관한 연구”, 한국정보기술학회논문지, 제13권 제10호, 2015.
7. 오세춘, 김태영, 김영곤 “MQTT와 Node-RED를 이용한 설비 모니터링 시스템 구현”, 한국인터넷방송통신학회논문지, 제18권 제4호, pp.211-218, 2018.
8. 정인환 “MQTT 활용 실시간 위치 기반 IoT 메시징 시스템”, 한국인터넷방송통신학회논문지, 제18권 제4호, pp.27-36, 2018.
9. Aleksandar Antonic, Martina Marjanovic, Pavle Skocir, Ivana Podnar Zarko, “Comparison of the CUPUS middleware and MQTT protocol for smart city services”, 2015 13th International Conference on Telecommunications (ConTEL), IEEE, 2015.
10. Andreas Kamilaris“Enabling Smart Homes using Web Technologies”, University of Cyprus, Dec 2012.
11. Andre Foster“Messaging Technologies for the Industrial Internet and the Internet of Things Whitepaper – A Comparison Between DDS, AMQP, MQTT, JMS, REST and CoAP”, PrismTech, July 2014.
12. Bilal Naji Alhasnawi, Basil H. Jasim“SCADA Controlled Smart Home Using Raspberry Pi3”, International Journal of Control and Automation, Vol.11, No.8, pp.71-84, 2018.
13. ESP32-DevKit, https://www.espressif.com/en/products /hardware/esp32/overview
14. HiveMQ, http://www.hivemq.com
15. Lukas Malina, Gautam Srivastava, Petr Dzurenda, Jan Hajny and Radek Fujdiak“A Secure Publish/Subscribe Protocol for Internet of Things” Proceedings of ARES 2019.
16. Mosquitto Eclipse, http://mosquitto.org
17. MQTT Version 3.1.1 OASIS Standard, http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.doc

18. NodeMCU Documentation, http://nodemcu.readthedocs.io/en/release
19. Ravi Kishore Kodali, SreeRamya Soratkal,“MQTT based Home Automation System Using ESP8266”, Humanitarian Technology Conference (R10-HTC), 2016 IEEE region 10, pp.1-5, 2016.
20. V.Thirupathi, K. Sagar“Implementation of Home Automation System using MQTT Protocol and ESP32”, International Journal of Engineering and Advanced Technology(IJEAT), Vol.8, No.2C2, pp.111-113, 2018.