

사물인터넷 기반 미세먼지 모니터링 시스템 설계 및 구현

김태연*

Design of Fine Dust Monitoring System based on the Internet of Things

Tae-Yeun Kim*

요약 최근 대기환경오염의 심각성이 커짐에 따라 대기오염에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 논문에서 제안한 사물인터넷 기반 미세먼지 모니터링 시스템은 대기환경오염 중 인체에 영향을 미치는 가장 큰 원인인 미세먼지, 휘발성 유기화합물, 이산화탄소 등을 측정하고 모니터링 할 수 있도록 하였다. 미세먼지 모니터링 시스템은 대기환경정보를 측정할 수 있는 측정 장치, 측정된 정보를 저장 및 분석할 수 있는 서버 시스템, 대기환경정보를 실시간으로 시각화 분석이 가능하도록 관리자용 통합 모니터링 관리 시스템과 사용자용 스마트 폰 애플리케이션으로 구성되어 하였다. 또한, 시스템의 응답속도, 센서 데이터의 전송속도, 센서의 측정오차를 이용하여 제안한 사물인터넷 기반 미세먼지 모니터링 시스템의 효율성을 검증하고자 하였다. 사물인터넷 기반 미세먼지 모니터링 시스템은 대기환경정보를 휴대용 미세먼지 측정 장치로 측정 후 대기오염상태를 시각화함으로써 사용자의 편리성과 시스템의 효율성을 증대시킬 수 있을 것이라 기대한다.

Abstract Recently, according to the severity of air pollution, interest in air pollution is increasing. The IoT based fine dust monitoring system proposed in this paper allows the measurement and monitoring of fine dust, volatile organic compounds, carbon dioxide, etc., which are the biggest causes affecting the human body among air environmental pollution. The proposed system consisted of a device that measures atmospheric environment information, a server system for storing and analyzing measured information, an integrated monitoring management system for administrators and smart phone applications for users to enable visualization analysis of atmospheric environment information in real time. In addition, the effectiveness of the proposed fine dust monitoring system based on the Internet of Things was verified by using the response speed of the system, the transmission speed of the sensor data, and the measurement error of the sensor. The fine dust monitoring system based on the Internet of Things proposed in this paper is expected to increase user convenience and efficiency of the system by visualizing the air pollution condition after measuring the air environment information with portable fine dust measuring device.

Key Words : Application, Atmospheric Environment Information, Fine Dust, Internet of Things(IoT), Monitoring System

1. 서론

최근 전 세계적인 이상 고온현상과 기상 이변으로 인한 사막화의 가속화와 더불어 도시 발전과 산업 성장에 따라 대기환경오염의 심각성이 이슈가 되고 있

다. 특히 점점 심각해지는 미세먼지로 인한 피해가 드러나고 있다.

미세먼지의 발생 원인으로는 자연적인 발생 원인과 인위적인 발생 원인으로 구분되나 대부분 인위적인 발생 원인이다. 이와 같이 인위적인 발생 원인으로는 대

This study was supported by research funds from Chosun University, 2021.

*National Program of Excellence in Software center, Chosun University, (tykim@chosun.ac.kr)

Received January 03, 2022

Revised January 13, 2022

Accepted January 14 2022

부분 연료의 연소에 의하여 발생되며 발전시설, 보일러나 자동차 등에서 배출되는 물질이 주요 발생 원인이다. 그 외에 도로나 공사장 등에서 비산되어지는 먼지도 많은 비중을 차지한다. 특히 겨울철에는 국내외적으로 난방용 연료의 사용이 증가하기 때문에 오염물질의 배출이 증가하여 고농도 미세먼지가 발생이 증가하게 된다. 국내뿐만 아니라 국외에서 유입되는 오염물질의 경우도 우리나라의 대기환경에 영향을 미친다. 연구 결과에 따르면 대기오염물질의 30% ~ 50%가 국외에서 유입된 것이라 한다[1].

미세먼지(PM : Particulate Matter)란 대기 중 떠다니는 입자상의 물질을 먼지라 정의하며 그 중 육안으로 식별이 불가능한 크기의 입자를 미세먼지라 한다. 미세먼지는 입자의 크기에 따라 PM10과 PM2.5, PM1로 구분 된다. PM10은 우리가 흔히 알고 있는 미세먼지를 말하며 1000분의 10mm보다 작은 먼지(입자직경이 10 μ m 이하), PM2.5는 초미세먼지라고 부르며 1000분의 2.5mm보다 작은 먼지(입자직경이 2.5 μ m 이하)로 머리카락 직경(약 60 μ m)의 1/20~1/30 크기보다 작은 입자를 말한다[2]. 극 초미세먼지인 PM1은 1 μ m 이하의 크기를 가진 입자라 말한다. 범위의 단위가 점점 낮아지는 이유는 입자의 크기가 작을수록 인체와 환경에 미치는 영향이 더욱 크고 유해하기 때문이다[3]. 이 중 PM10과 PM2.5는 그 농도에 따라 국가별 대기오염의 정도를 나타내며 기준치에 대한 국제적 권고 사항이 마련되어져 있다[4]. 표 1은 미세먼지 기준이며 표 2는 권고기준이다.

표 1. 미세먼지 기준
Table 1. Fine dust standard

Standard		Good	Normal	Bad	Very Bad
PM2.5	Korea	0~15	16~50	51~100	101~
	WHO	0~15	16~25	26~50	51~
PM10	Korea	0~30	31~80	81~150	151~
	WHO	0~30	31~50	51~100	101~

표 2. 권고 기준
Table 2. Recommended standard for fine dust

Standard	PM2.5		PM10	
	Annual Average	Daily Average	Annual Average	Daily Average
Korea	25	50	50	100
WHO	10	25	20	50

미세먼지 입자들은 여러 종류의 오염물질이 먼지핵에 엉겨 붙어 구성되어진 것으로 호흡기를 통해 인체 내에 유입될 수 있기 때문에 미세먼지가 건강에 미치는 영향은 크다고 할 수 있다. 이와 같이 미세먼지를 장기간 흡입 시에는 입자가 미세할수록 코의 점막을 통해 미세먼지가 걸러지지 않고 바로 폐포까지 직접 침투하기 때문에 천식 또는 폐질환의 유병률, 조기사망률 증가에 큰 영향을 줄 수 있다. 대부분의 연구에 따르면 장기적이고 지속적으로 미세먼지에 노출되면 건강 부정적인 영향이 나타나며 단시간 흡입으로는 신체의 변화가 크게 나타나지는 않는다고 알려져 있다. 하지만 어린이와 노인 및 호흡기 질환자 등과 같은 민감군의 경우 일반인 보다 건강영향이 클 수 있기 때문에 더 각별한 주의가 필요하다[5]. 이와 같이 미세먼지의 심각성이 점점 높은 수준으로 치닫고 있기 때문에 해결이 필요하다.

이와 같이 미세먼지에 대한 관리 측면에서 신뢰할 수 있는 수준의 측정 기술 및 제어 기술과 서비스에 대한 관한 연구가 지속적으로 진행되고 있으며 대국민 서비스의 매체도 다양하게 개발되어 운영되고 있다. 또한 대기오염원을 측정하기 위한 다양한 측정 센서들이 개발되어 사용되고 있으며 신속한 대응을 위한 연구와 개발이 진행되고 있다. 하지만 미세먼지 발생 권역의 세분화와 이에 따른 정밀 대응방안을 제시하는 연구가 더 필요한 것으로 판단되며 사용자의 참여를 위한 플랫폼의 제공과 더불어 대기환경오염의 예방활동을 위한 데이터의 분석과 밀착된 서비스를 기반으로 하는 실시간 대기 환경 정보 공유 및 개선활동 참여가 요구 된다.

사물인터넷은 생활 속의 사물들이 유무선 네트워크 환경으로 연결되어 정보를 공유하는 기술적 환경을 말한다. 사물인터넷 기술을 활용함에 따라 가전제품, 전자기기뿐만 아니라 스마트 홈, 스마트 카, 헬스케어, 원격검침 등의 다양한 분야에서 사물들을 네트워크 환경으로 연결되어 정보를 공유할 수 있다[6].

이와 같이 사물인터넷을 이용하여 장치와 스마트폰의 연동을 통하여 주변의 센서로부터 수집되어진 정보를 직접 가공하거나 처리 및 제어 등의 생활밀착형 애플리케이션 서비스를 제공하려는 다양한 시도들이 이루어지고 있다[7]. 또한 실시간으로 센서 데이터가

발생하는 여러 분야에서 실시간 발생된 데이터를 예측하지 못하는 급작스러운 상황에 빠른 인지를 가능하게 하기 위해 실시간으로 데이터를 시각화 분석이 대두되고 있다[8, 9].

대부분의 대기오염측정 장치들은 사용자의 생활공간과 떨어져 있기 때문에 정확한 측정이 어렵다. 사물인터넷을 적용함으로써 대기환경을 측정하기 위해 기존에 있는 장치들 보다 절차와 장비들을 간소화하여 사용자의 생활공간 곳곳에 대기환경정보를 실시간으로 측정할 수 있으며 좀 더 나아가 지역별 대기환경정보를 파악할 수 있다.

본 논문에서는 대기환경오염을 측정할 수 있는 기기를 개발하고 센서 정보 및 취득된 데이터를 통합하여 모니터링하고 분석하는 시스템을 구현하고자 한다. 또한 환경 Map으로 관리되는 사용자 친화적 시스템을 구현한다. 이를 위해 대기환경 센서 시스템의 요구사항을 분석하여 정의하고 대기환경의 오염에 주원인이 되는 휘발성 유기화합물(VOCs)과 미세먼지(PM10, PM2.5), 대기의 질에 영향을 주는 이산화탄소(Co2) 및 온도, 습도 등을 측정할 수 있는 통합 게이트웨이를 구현하고자 한다. 대기환경정보를 모니터링하기 위한 시스템을 구현하기 위하여 사물인터넷 기술을 적용하고자 한다.

사물인터넷의 등장에 따라 사람과 사물이 네트워크 환경으로 연결되는 초 연결사회의 패러다임이 변화되고 있다[10, 11, 12]. 이러한 패러다임과 환경의 변화가 급속도로 진행됨에 따라 Wi-Fi 모듈의 하나인 ESP-8266과 개별 서버를 활용하여 대기환경정보를 측정 및 모니터링할 수 있는 시스템을 구현한다.

2. 시스템 구성 및 설계

그림 1은 미세먼지 모니터링 시스템의 개념도이다. 미세먼지 모니터링 시스템의 대기환경정보 측정 데이터의 흐름은 다음과 같다.

미세먼지 측정 장치는 사용자가 휴대하여 사용할 수 있으며 사용자 현재 위치의 대기환경을 실시간으로 측정하여 모니터링 할 수 있다. 스마트 폰 애플리케이션을 이용하여 미세먼지 측정 장치와 무선 연결하여 대기환경정보를 확인할 수 있으며 여러 가지의 설정을

결정할 수 있다. Wi-Fi 통신이 가능한 환경에서는 측정된 데이터를 서버 시스템으로 전송된다. 서버 시스템은 측정된 데이터들을 저장하고 분석한다. 측정 데이터의 분석이 끝나면 사용자의 스마트 폰 애플리케이션을 통해 현재의 대기환경 정보를 알려주며 문제가 있는 부분에 대해서는 적절한 상태메시지를 전달하게 된다. 또한 통합 모니터링 관리 시스템을 이용하여 서버 시스템에 저장된 데이터를 지역별, 구역별, 시기별로 대기오염정도를 분석하고 모니터링 할 수 있다[13].

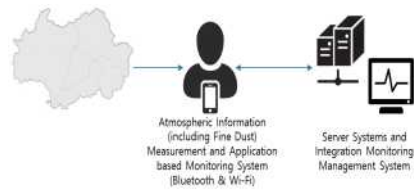


그림 1. 미세먼지 모니터링 시스템의 개념도

Fig. 1. Concept diagram of fine dust monitoring system

2.1 시스템 요구 사항 정의

표 3. 시스템의 요구사항

Table 3. The system requirements

Requirements	Design Definitions
Sensor Module	MSP430F2618 Micro-controller
Environmental measurement element	Fine Dust, VOCs, Co2, Temperature, Humidity etc.
Management element	Monitoring fine dust and atmospheric environment sensors
A sensor information processing method	Bluetooth, transmission based on ESP-8266 based wireless communication and integrated gateway
Data management method	Schema design such as sensor database using database, device management DB for device management
User service method	Integrated monitoring management system for administrators, smartphone application based monitoring system for users

사물인터넷 기반 미세먼지 모니터링 시스템을 개발하기 전에 대기환경의 오염을 측정하기 위한 요소는 미세먼지, 이산화탄소, 휘발성 유기화합물(VOCs), 온도, 습도 등이 있다. 미세먼지 모니터링 시스템 시스템의

필요한 사항을 정리하여 표 3과 같이 정의하였다.

2.2 시스템 구성

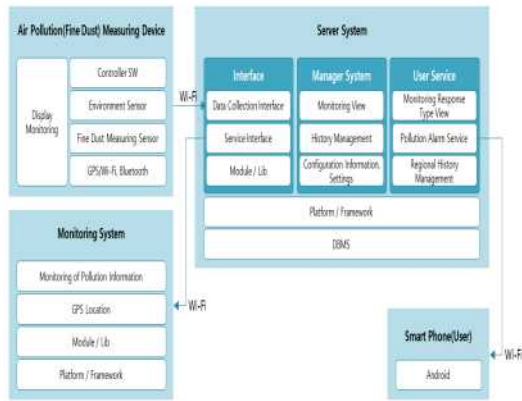


그림 2. 시스템 구성도
Fig. 2. Configuration diagram of the system

미세먼지 모니터링 시스템은 세 가지의 구성요소로 설계하였다. 아날로그 센서와 무선 센서를 결합하여 실시간 대기환경정보를 수집하는 환경오염 측정 장치와 게이트웨이를 통해 전송되어진 데이터를 통합적으로 분석하고 제어신호를 전달하는 통합관리 모듈인 서버 시스템, 제어신호에 의하여 작동되는 자동제어 모듈을 연동 및 설계하고 서버 시스템에서 분석된 대기 환경상태에 대한 판단정보 등을 시각화하여 제공할 수 있는 시각화 모듈인 통합 모니터링 관리 시스템과 스마트폰 애플리케이션으로 구성하였다. 그림 2는 사물인터넷 기반 미세먼지 모니터링 시스템의 구성도이다.

2.2.1 미세먼지 측정 장치의 구성

미세먼지 측정 장치의 센서 모듈을 구성하기 위한 방법으로 저전력 MAC 프로토콜을 적용한 MPS430F2618을 사용하고 무선 통신을 위한 송수신기는 ESP-8266을 적용하였다. MSP430시리즈의 MCU는 저전력 16 bit 마이크로컨트롤러로 효과적인 저전력 운영을 지원하도록 Active Mode와 5개의 Low Power Mode를 제공한다[14].

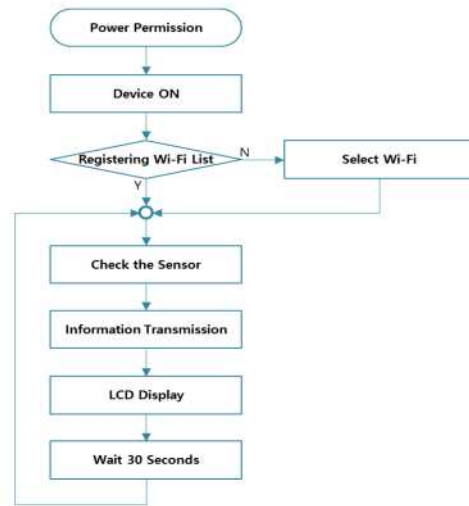


그림 3. 미세먼지 측정 장치의 제어 흐름도
Fig. 3. Control flow of fine dust measuring device

센서 네트워크를 통한 무선 통신 수행 과정을 통해 게이트웨이에 내장된 싱크 노드로 전송된다. 게이트웨이는 싱크 노드로부터 전송받은 데이터를 무선 네트워크를 통해 서버 시스템으로 전송하는 역할을 수행한다. 미세먼지 측정 장치의 제어 흐름은 그림 3과 같다.

30초 마다 센서의 정보를 갱신하여 Wi-Fi를 통해 서버 시스템으로 전송한다. 처음 측정 장치의 전원이 인가되면 이전 Wi-Fi가 연결되어 있는지를 확인한다. 이전의 등록된 Wi-Fi의 연결이 없으면 사용자에게 현재 접속 가능한 Wi-Fi의 리스트를 보여주고 선택할 수 있도록 한다. Wi-Fi의 연결이 확인되어지면 모든 대기환경 센서들의 연결을 확인한 후 센서로부터 측정값을 받는다. 30초 후 대기환경 센서들의 측정값이 확인되면 LCD에 센서 정보를 보여준 후 Wi-Fi를 통해 서버 시스템으로 센서 정보를 보낸다. 만약 센서 정보가 서버 시스템으로 전송되지 못하면 접속 실패 메시지를 사용자에게 전송 한 후 다시 30초 동안 센서 정보를 기다린다.

2.2.2 서버 시스템 구성

미세먼지 측정 장치는 Wi-Fi를 통해 인터넷과 연결되고 미세먼지(PM10, PM2.5), 휘발성 유기화합물

(VOCs), 이산화탄소(Co2), 온도, 습도 센서들로부터 읽어 들인 값을 서버 시스템으로 전송한다. 서버 시스템은 Wi-Fi를 통해 들어온 측정 장치의 센서 값들을 시간 및 날짜 형태로 DB에 저장한다. 서버 시스템은 JAVA 언어를 이용한 스프링 프레임워크(Spring framework 3.0)를 이용하여 HTTP Protocol로 들어 오는 명령에 따라 그에 대응되는 값을 되돌리는 RESTful(REpresentational Status Transfer) 서버 형태로 구성하였다[15].

측정 장치의 실시간 데이터를 DB에 저장할 때에는 JSON(JavaScript Standard Object Notation) 형태로 만들어 전송한다. 서버 시스템과 HTTP 통신을 사용하여 데이터를 전송하고 서버 시스템은 전송받은 데이터를 미세먼지 측정 DB에 저장한다. JSON은 Javascript의 표준 객체 표기법으로 문법이 간결하고 같은 XML 데이터에 비하여 용량이 적으며 표현 방식이 간결하다. 또한 직관적인 이해가 가능한 장점이 있다. 스마트폰 환경은 PC에 비해 매우 유한한 환경이기 때문에 데이터의 처리가 간편한 JSON 데이터를 활용하였다[15].

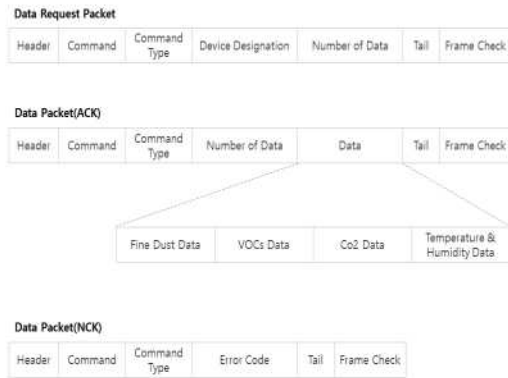


그림 4. 데이터 구조체 형식
Fig. 4. Data structure type

센서 데이터의 분석 및 관리를 위해서 컴포넌트 형태의 서버 시스템이 필요하다. 컴포넌트 형태의 서버 시스템의 장점은 측정 요소의 변경으로 인한 센서의 변경과 그에 따르는 응용의 목적이 변경되더라도 재사

용이 가능하며 유연성이 있는 개발 적용이 가능하다.

이와 같이 게이트웨이로 전송받은 패킷을 분석하여 저장하는 데이터 수집 모듈과 데이터 관리를 위해 분석된 데이터를 DBMS와 연동하여 저장 및 관리하는 데이터 저장 모듈, 구성정보 설정과 이력 관리 등을 위한 관리자 시스템, 오염도 알림 서비스와 지역별 이력 관리 등을 위한 사용자 서비스 모듈로 구성하였다.

표 4. 미세먼지 DB의 테이블
Table 4. Table of fine dust DB

Logical Table Name		Fine Dust Data Table		Physical Table name		AP_DAT A
NO	Logical Column Name	Physical Column Name	Key	Data Type	Length	NUL L
1	Identifier	AP_INDEX	PK	NUMBER		NOT
2	Device Identifier	AP_DEVICE_ID		VARCHAR	255	NOT
3	Device Type	AP_DEVICE_TYPE		CHAR	1	NOT
4	X Location	AP_MAP_X		NUMBER		
5	Y Location	AP_MAP_Y		NUMBER		
6	Fine Dust(PM10)	AP_VALUE1		NUMBER		
7	Fine Dust(PM2.5)	AP_VALUE2		NUMBER		
8	VOCs	AP_VALUE3		NUMBER		
9	Co2	AP_VALUE4		NUMBER		
10	Temperature	AP_VALUE5		NUMBER		
11	Humidity	AP_VALUE6		NUMBER		
12	Registration Date	AP_REG_DATE		VARCHAR	255	
13	Registration Time	AP_REG_TIME		VARCHAR	255	
14	Registration Place	AP_REG_PLACE		VARCHAR	255	

데이터 수집 모듈은 게이트웨이부터 전송된 패킷 메시지의 원본을 스트링 배열의 형태로 임시 저장한다. 이후 구문 분석을 통해 필수 데이터를 추출한다. 추출된 데이터는 구조체 형식으로 변환되어 DBMS에 저장된다. 그림 4는 데이터의 구조체 형식을 나타낸다.

저장 모듈은 DBMS와의 연결 인터페이스와 데이터 저장, 조회 등의 기능을 수행하는 모듈로 구성되어 있으며 분석 모듈은 센서 데이터와 사전 설정된 임계값

을 비교하여 범위를 벗어나는 것으로 판단될 경우 알람을 표시하는데 상한, 하한을 넘어서는 경우 최초 발생 데이터베이스에 기록하고 알람상태로 전환한다. 만약 알람상황이 해제 될 경우 해제된 시점에서 다시 데이터베이스에 센서의 상태 값을 저장한다. 표 4는 미세먼지 DB의 테이블을 나타낸다.

2.2.3 서비스 시나리오

Wi-Fi 모듈에 접속할 공유기 목록, 패스워드, 서버 IP 등을 입력할 수 있는 장치가 없기 때문에 애플리케이션에 입력하여 DUST Module의 블루투스를 통해 데이터를 전송할 수단이 필요하며 수신된 데이터를 Wi-Fi에 기록하여 서버에 데이터가 전송할 수 있도록 하였다.

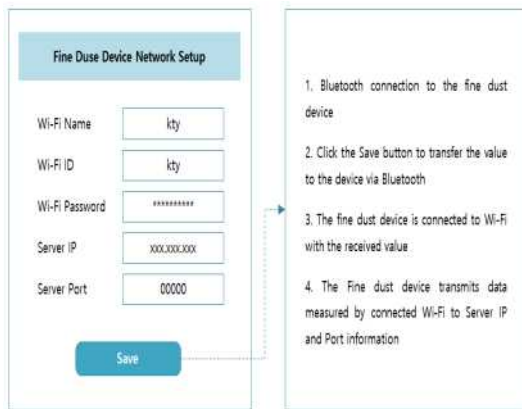


그림 5. 미세먼지 측정 장치의 네트워크 설정 방식
Fig. 5. Network setting method of fine dust measuring device

미세먼지 측정 장치를 휴대용 즉 Wi-Fi를 사용하지 못하는 경우에는 블루투스를 통해서 애플리케이션으로 센서 데이터를 보내고 애플리케이션에서 서버 시스템으로 데이터를 전송한다. 반면 거치형 즉 Wi-Fi를 사용할 수 있는 경우에는 블루투스를 통해 애플리케이션으로 센서 데이터를 보내며 애플리케이션에서 측정 수치를 확인 할 수 있으며 실시간으로 Wi-Fi를 통해 서버 시스템으로 데이터를 전송한다. 그림 5는 미세먼지 측정 장치의 네트워크 설정 방식이다.

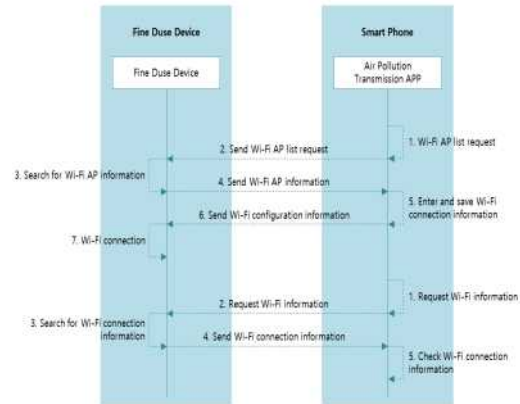


그림 6. Wi-Fi 설정 시나리오
Fig. 6. Wi-Fi setting scenario

그림 6과 7은 미세먼지 모니터링 시스템의 서비스 시나리오이다. 미세먼지 측정 장치와 스마트 폰은 블루투스로 통신한다. 그림 6은 미세먼지 측정 장치와 스마트 폰의 Wi-Fi 설정 시나리오이며 그림 7은 미세먼지 수집과 처리에 관한 시나리오이다.

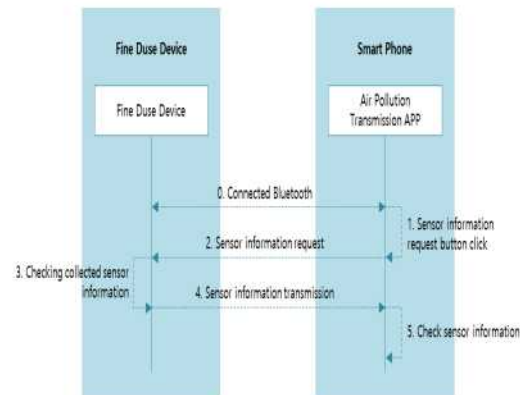


그림 7. 미세먼지 수집 및 처리 시나리오
Fig. 7. Scenario of fine dust collection and treatment

3. 시스템 구현 결과 및 성능평가

3.1 미세먼지 측정 장치

미세먼지 모니터링 시스템은 Wi-Fi를 이용하여 서버 시스템에 연결되어 있기 때문에 다른 디바이스들과

쉽게 연결하여 높은 확장성을 가질 수 있도록 하였다. 미세먼지 측정 장치는 MPS430F2168기반 PCB에 미세먼지, 휘발성 유기화합물(VOCs), 이산화탄소(Co2), 온도, 습도 센서를 연결하였다. 그림 8은 미세먼지 측정 장치의 회로도이다.

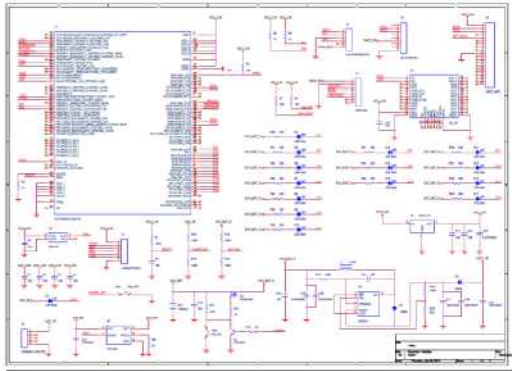
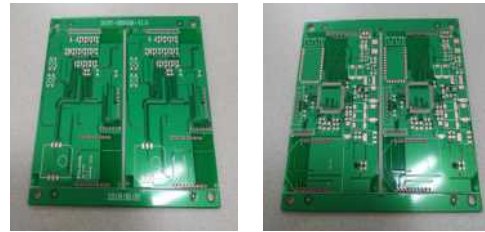


그림 8. 미세먼지 측정 장치의 회로도
Fig. 8. Schematic of fine dust measuring device

미세먼지, 휘발성 유기화합물, 이산화탄소, 온도, 습도 등의 정보를 수집 및 처리를 하기 위해서는 각 센서에게 알맞은 사용자 인터페이스를 제공할 수 있어야 한다. 또한 센서에서 획득한 값을 해석할 수 있는 컨트롤러가 필요하다. 따라서 부착된 MCU를 통해 센서 정보를 해석하고 적절한 값으로 변경할 수 있도록 보드를 설계 및 구현하였다[16].

센서 출력 값의 ADC 입력부분은 센서 반응이 선형적이지 않기 때문에 반복하여 측정값을 확인해야 한다. 기본 측정값은 평균값으로 하여 8회 평균값으로 하고 센서의 급격한 변화를 방지하기 위하여 이동평균을 적용하여 측정 정확도를 높이고자 하였다. 또한 PCB에서도 측정값에 영향을 주는 외부 NOISE를 제거하기 위해 연결 패턴을 최소화하였다.

PCB 설계의 경우 사용자의 편의성을 고려한 디자인 및 회로적인 신뢰성을 강화하기 위해 MCU 및 중요 회로의 외부 노이즈를 차단하기 위하여 최적의 패턴을 구성하여 설계 및 구현하였다. 그림 9는 미세먼지 측정 장치의 보드 PCB 설계이다.



(a) Top (b) Bottom
그림 9. 미세먼지 측정 장치의 보드 PCB 설계
Fig. 9. Board PCB design of fine dust measuring device

미세먼지 측정 장치의 휘발성 유기 화합물(VOCs) 센서와 온도, 습도 센서는 보드의 아날로그 핀을 이용하여 연결하였으며 미세먼지와 이산화탄소 센서는 UART 통신을 이용하여 보드의 디지털 핀을 이용하여 센서의 출력 값을 측정할 수 있도록 하였다.

표 5. 측정 센서의 사양
Table 5. Specification of measuring sensor

Sensor	Specification
	<ul style="list-style-type: none"> • Fine Dust Sensor(PM 1001) • Interface : UART • Range : Above 1um • Response Time : 1min • Accuracy : ± 2%
	<ul style="list-style-type: none"> • VOCs Sensor(GSBT11-P110) • Interface : Analog Signal • Hydrogen : 0~70 ppm • Formaldehyde : 0~70 ppm • Response Time : 30sec • Accuracy : ± 7%
	<ul style="list-style-type: none"> • Co Sensor(X-100) • Interface : Digital Signal • Range : 300~2000ppm • Response Time : 2min • Accuracy : ± 100ppm
	<ul style="list-style-type: none"> • Temperature/Humidity Sensor(P110) • Interface : Analog Signal • Range : Temperature 0~50℃, Humidity 20~90% • Response Time : 6~30sec • Accuracy : ± 2℃, ± 5%

표 5는 본 논문에서 사용한 센서의 측정 사양이다. 그림 10은 미세먼지 측정 장치의 블록도와 prototype이며 그림 11은 미세먼지 측정 장치의 구현결과이다.

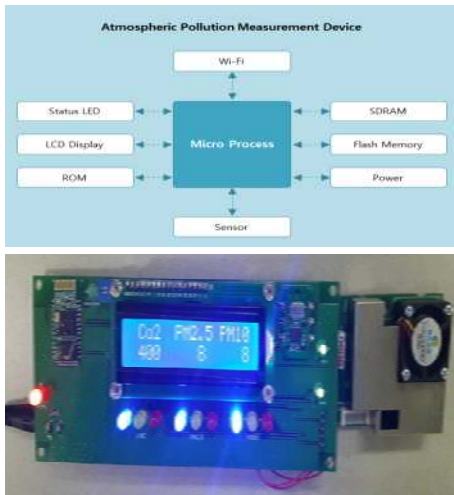


그림 10. 미세먼지 측정 장치의 블록도 및 prototype
 Fig. 10. Block diagram and prototype of fine dust measuring device



그림 11. 미세먼지 측정 장치 구현 결과
 Fig. 11. Implementation result of fine dust measuring device

3.2 모니터링 시스템 및 스마트 폰 애플리케이션

미세먼지 모니터링 시스템은 미세먼지 측정 장치에서 현재의 대기상태 정보를 서버 시스템으로 전달하면서 서버 시스템은 측정된 데이터들을 저장하고 분석한다. 데이터 분석이 끝나면 사용자의 스마트 폰 애플리케이션을 통해 현재의 대기오염 상태를 알려준다. 시각화된 대기정보를 전달받은 사용자는 실시간으로 대기오염 상태를 확인할 수 있다.

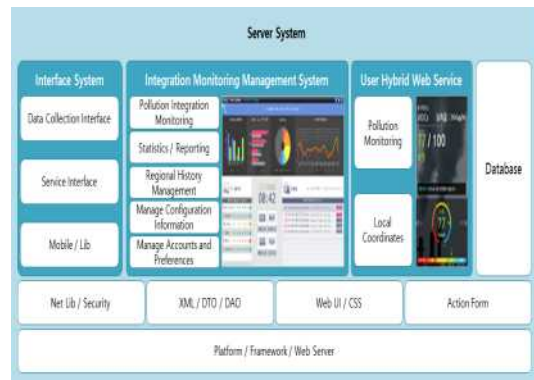


그림 12. 통합 모니터링 관리 시스템의 구성도
 Fig. 12. Configuration diagram of integration monitoring management system

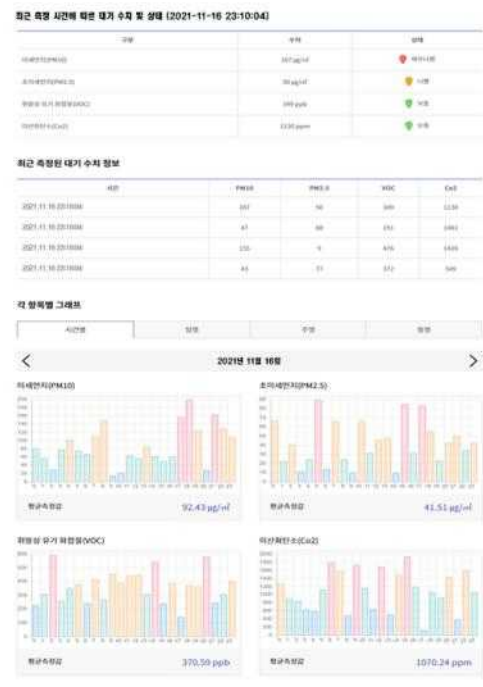


그림 13. 통합 모니터링 관리 시스템의 구현 결과
 Fig. 13. Implementation results of integration monitoring management system

미세먼지 모니터링 시스템의 인터페이스를 관리자 와 서비스 사용자 형태로 구성하였다. 관리자 인터페

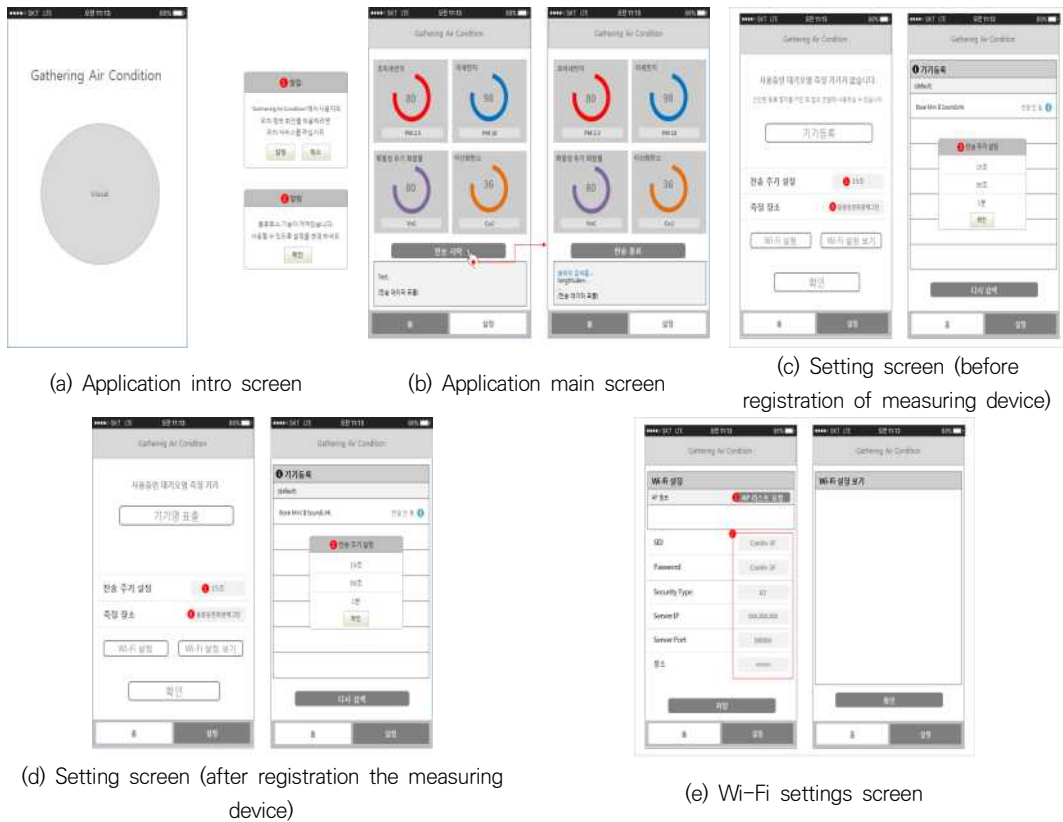


그림 14. 대기오염 전송 애플리케이션 구현

Fig. 14. Implementation of air pollution transmission applications

이스의 경우 통합 모니터링 관리 시스템을 개발하여 대기환경의 오염도를 모니터링 할 수 있으며 지역별 이력관리 기능과 통계분석 및 레포팅 기능을 사용할 수 있도록 구현하였다.

그림 12는 통합 모니터링 관리 시스템의 구성도이며 그림 13은 통합 모니터링 관리 시스템의 구현 결과이다. 최근 측정 시간에 따른 대기 수치 및 상태를 확인 할 수 있으며 미세먼지(PM10, PM2.5), 휘발성 유기 화합물(VOCs), 이산화탄소(Co2)의 정보를 시간별, 일별, 주별, 월별로 그래프 형태로 확인이 가능하다.

사용자 인터페이스는 스마트 폰 애플리케이션으로 구성하였다.

그림 14는 대기환경 정보를 통합 모니터링 관리 시스템에 스마트 폰 애플리케이션을 이용하여 측정 데이

터를 전송하는 것을 나타낸다. 먼저 사용자의 위치 정보와 블루투스를 설정한 후 측정 장치로부터 측정된 데이터를 통합 모니터링 관리 시스템에 전송한다. 설정화면을 통해 측정 기기의 등록과 전송 주기의 설정, Wi-Fi 설정 등을 실행 할 수 있다. 그림 15는 스마트폰 애플리케이션 기반 사용자 모니터링 시스템의 구현 결과이다. 먼저 사용자의 위치정보를 확인하기 위해 GPS를 설정 할 수 있으며 Open API기반의 지도 및 수치와 컬러를 통해 미세먼지, 초미세먼지, 휘발성 유기화합물, 이산화탄소 농도를 표시하도록 하였으며 지도의 확대 및 축소 기능, 현재 위치 기반의 미세먼지 농도가 우선 표시되도록 구현하였다.

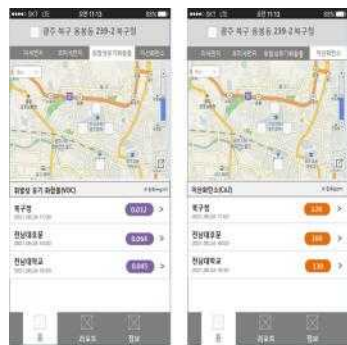
또한 설정화면을 통해 측정 위치를 선택할 수 있으며 최근 측정된 대기 수치 정보를 시간별로 확인할 수



(a) Smartphone application-based monitoring system



(b) Fine dust and ultra-fine dust monitoring screen



(c) Volatile organic compound and carbon dioxide monitoring screen



(d) Measurement location selection and detailed information screen

그림 15. 애플리케이션 기반 사용자 모니터링 시스템 구현

Fig. 15. Implementation of Application based User Monitoring System

있도록 하였다.

3.3 성능평가

미세먼지 모니터링 시스템의 성능을 평가하기 위해 시스템의 응답속도, 센서 데이터의 전송속도로 구분하여 평가하였다. 시스템의 성능평가 항목에 대해서 시간(초) 데이터 처리량을 측정으로 각 항목별로 300회 이상의 반복 테스트를 진행하였다[17]. 또한 시스템의 응답속도 성능평가를 위하여 구글 분석 도구를 활용하여 각 기능의 로딩되는 시간을 측정하였다. 센서 데이터의 전송속도는 각 센서들의 데이터 전송 전, 후의 시간에 대하여 측정을 한 뒤 그 차이를 비교하여 센서 데이터의 전송속도를 구하였다.

표 6. 시스템의 성능평가

Table 6. Performance evaluation of the system

Evaluation Items	Measurement Result(sec)	Evaluation Results	
Response speed of System	0.819	Immediate	
Transmission speed of Sensor	Fine Dust	0.223	Instantaneous
	VOCs	0.207	Instantaneous
	Co2	0.103	Instantaneous
	Temperature /Humidity	1,654	Immediate

표 6은 미세먼지 모니터링 시스템의 응답속도와 각 대기환경 센서의 데이터 전송속도에 대한 측정 결과 값이다.

Steven, C., Seow, Ph. D.의 연구결과에 따르면 응답 시간에 대한 허용 최대치에 대해 다음과 같이 소개하고 있다. 사용자의 시스템 조작 후 시스템의 반응이

표 7. 국가측정값과 미세먼지 모니터링 시스템 측정값 비교

Table 7. Comparison of national measurement values and fine dust monitoring system measurement values

Data observation date	National measurement values						Fine dust monitoring system measurement values					
	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	VOCs (ppb)	Co2 (ppm)	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Humidity (%)	PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	VOCs (ppb)	Co2 (ppm)	Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	Humidity (%)
2021-10-23 10:00	38	22	125	395	12.24	59	35	21	121	392	12.40	61
2021-10-24 10:00	23	11	129	509	12.36	63	26	11	128	485	12.56	59
2021-10-25 10:00	27	14	127	562	13.12	71	29	12	128	591	13.00	70
2021-10-26 10:00	41	26	125	407	13.69	69	38	28	127	357	13.81	72
2021-10-27 10:00	50	39	125	306	14.16	72	49	41	127	315	14.67	71
2021-10-28 10:00	27	8	125	534	13.82	62	25	10	126	429	13.95	64
2021-10-29 10:00	31	14	125	543	15.18	66	33	12	126	563	15.39	62
2021-10-30 10:00	19	13	126	348	13.93	76	17	15	128	314	14.02	71
2021-10-31 10:00	24	19	127	382	14.72	76	26	17	126	348	14.89	75
2021-11-01 10:00	32	20	125	356	14.53	80	33	20	126	365	14.66	81
Average	31.20	18.60	125.90	434.20	13.775	69.40	31.10	18.70	126.30	415.90	13.935	68.60

0.1~0.2초이면 순간적(Instantaneous), 0.5~1초이면 즉각적(Immediate), 2~5초는 진행(Continuous), 7~10초는 응답시간 상 끊어진 것(Captive)으로 사용하는 생각하게 된다[18].

미세먼지 모니터링 시스템의 응답속도는 0.819초로 측정되어 즉각적인 응답시간으로 평가되었다. 또한 미세먼지와 휘발성 유기화합물, 이산화탄소의 경우는 모두 순간적으로 평가되었다. 온도, 습도의 경우는 응답시간이 진행으로 평가되었으나 동시에 두 가지 정보를 수집하기 때문에 각 센서에 대해 1.654초를 나누어 생각하면 즉각적인 속도로 평가할 수 있다.

또한 미세먼지 모니터링 시스템의 측정오차를 이용하여 시스템의 성능평가를 수행하였다. 측정오차는 측정된 값에 대한 오차를 말하며 오차는 응답시간 이후의 30초간 측정값의 평균을 대기환경조건과 비교하였다. 표 7은 국가측정값과 미세먼지 모니터링 시스템의 센서별 측정값의 비교를 나타낸다. 측정소의 측정값과 제안한 시스템의 미세먼지 측정값 평균을 비교해 보면, PM10의 경우는 대체로 제안한 시스템의 측정치가 60%정도 과소 산정하였지만 PM2.5의 경우는 40%정도 과다 산정하였다. 오차 값은 표 8과 같다.

표 8. 시스템의 성능평가 (센서별 측정오차)

Table 8. Performance evaluation of the system (measurement error by sensor)

Sensor	Measurement Error
Fine Dust Sensor	$\pm 0.7\%$
VOCs Sensor	$\pm 0.5\%$
Co2 Sensor	$\pm 42.7\text{ppm}$
Temperature/Humidity Sensor	$\pm 1.17\%$

미세먼지 센서의 오차는 $\pm 0.7\%$, 휘발성 유기화합물 센서는 $\pm 0.5\%$, 이산화탄소 센서는 $\pm 42.7\text{ppm}$, 온도, 습도 센서는 $\pm 1.17\%$ 를 나타냈다. 대체적으로 모든 센서의 기본 사항의 오차보다 낮게 측정되었다. 이와 같이 본 논문에서 구현한 미세먼지 모니터링 시스템은 성능평가 결과 충분한 효율성을 나타냈다.

4. 결론

본 논문에서는 사물인터넷 환경에서 대기환경오염을 모니터링 하는 시스템에 구현하고자 하였다. 미세먼지 모니터링 시스템은 대기환경을 측정할 수 있는 측정 장치와 센서 데이터를 저장 및 분석할 수 있는 서

버 시스템, 관리자를 위한 통합 모니터링 시스템, 사용자를 위한 스마트 폰 애플리케이션으로 구성하였다.

사용자 친화적인 시스템을 구현하고자 통합 모니터링 관리 시스템과 스마트 폰 애플리케이션에 사물인터넷 기술을 적용하여 실시간으로 측정하는 대기오염 측정값을 전송하고 시각화하여 모니터링 할 수 있고 구현한 측정 장치를 제어할 수 있도록 하였다. 또한 시스템의 성능 평가를 위해 시스템의 응답속도, 센서 데이터의 전송속도, 센서별 측정오차를 검증하여 사물인터넷 기반 미세먼지 모니터링 시스템의 효율성을 검증하고자 하였다. 성능 평가 결과 사물인터넷 기반 미세먼지 모니터링 시스템의 편리성과 효율성이 높을 것이라 기대한다.

향후에는 제안한 시스템의 성능을 향상시키고 센서의 효율성을 극대화할 수 있는 요인들에 대한 연구가 이루어져야 한다. 또한 고품질의 대기환경 측정을 구현할 수 있는 알고리즘과 다양한 모니터링 모듈의 대한 연구가 필요하다.

REFERENCES

- [1] J. H. Noh, and H. H. Tack, "The Implementation of the Fine Dust Measuring System based on Internet of Things(IoT)", *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 21, no. 4, pp. 829-835, 2017.
- [2] S. H. Park, "A study on the Evaluation of the Awareness and the Development of Environmental Education Program about the particulate matter in the ambient air", *Master Thesis, Yonsei University*, 2014.
- [3] Z. Idrees, Z. Zou, and L. Zheng, "Edge computing based IoT architecture for low cost air pollution monitoring systems: a comprehensive system analysis, design considerations & development". *Sensors*, vol. 18, no. 9, 3021, 2018.
- [4] OECD, "air quality and health," 2017.
- [5] H. Kim, S. Tae, P. Zheng, G. Kang, and H. Lee, "Development of IoT-Based Particulate Matter Monitoring System for Construction Sites", *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 18, no. 21, 11510, 2021.
- [6] C. S. Lim, "IoT Service Application Cased Analysis and Industrial Promotion Issues", *The Journal of Korean Institute of Next Generation Computing*, vol. 11, no. 6, pp. 41-50, 2015.
- [7] C. W. Park, and S. D. Kim, "Practical Methods for Managing Faults in IoT Computing", *Journal of Internet Computing and Services (JICS)*, vol. 16, no. 5, pp. 75-86, 2015.
- [8] C. W. Lee, S. Y. An, J. Y. Kim, and H. Ahn, "Sensor anomaly detection system in greenhouse-type smart farm using environmental data", *The Korean Data & Information Science Society*, vol. 32, no. 6, pp. 1237-1248, 2021.
- [9] N. R. Lee, H. U. Um, and H. S. Cho, "Development of Detection and Monitoring by Light Scattering in Real Time", *Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering*, vol. 32, no. 3, pp. 134-139, 2018.
- [10] J. H. Han, J. H. Kim, J. H. Bae, and S. H. Bak, "Design and Implementation of IoT and Non-IoT Modules for Smart Factory", *Journal of Digital Contents Society*, vol. 19, no. 12, pp. 2447-2452, 2018.
- [11] K. D. Purkayastha, R. K. Mishra, A. Shil, and S. N. Pradhan, "IoT Based Design of Air Quality Monitoring System Web Server for Android Platform", *Wireless Personal Communications*, vol. 118, no. 4, 2921-2940, 2021.
- [12] B. S. Elias, "The IoT for smart sustainable cities of the future: An analytical framework for sensor-based big data applications for environmental sustainability", *Sustainable cities and society*, vol. 38, pp. 230-253, 2018.
- [13] T. H. Lee, and M. Y. Moon, "Design and Development Mobile Air-Quality Measurement System based-on IoT Platform", *The Journal of Korean Institute of Next Generation Computing*, vol. 12, no.

- 3, pp. 75-84, 2016.
- [14] Y. J. Kwon, J. K. Choi, and T. H. Kim, "Low-power TDMA MAC protocol for WSN based Vehicle Detection System", *Journal of Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 13, no. 5, pp. 1003-1010, 2018.
- [15] U. T. Kim, Y. C. Kim, and S. Y. Kwak, "IoT based indoor Air Quality Monitoring System", *Journal of the Korea Contents Association*, vol. 16, no. 2, pp. 143-151, 2016.
- [16] W. B. Song, "A Design and Implementation of The RF Sensing Node Using The ATmega Platform", *Journal of Knowledge Information Technology and Systems*, vol. 10, no. 2, pp. 183-191, 2015.
- [17] T. Y. Kim, and S. W. Yoo, "Design of Intelligent Control System based on PPG Sensor", *Asia-pacific Journal of Multimedia Services Convergent with Art, Humanities, and Sociology*, vol. 9, no. 12, pp. 1357-1369, 2019.
- [18] S. C. Seow, "Designing and engineering time: the psychology of time perception in software", *Association of College and Research Libraries*, vol. 46, no. 4, 2008.

저자약력

김 태 연 (Tae-Yeun Kim)

[중신회원]



- 2012~2015년 신한시스템즈(주) 연구소장
- 2012~2017년 광주보건대학교 겸임교수
- 2018~현재 조선대학교 조교수

<관심분야>

인공지능, 빅데이터, 감성공학, IoT