

IoT 기반의 대기환경 측정 및 분석 시스템 개발

김 승 호*, 정 중 문*, 황 민 태**, 강 창 순^o

Development of an IoT-Based Atmospheric Environment Measurement and Analysis System

Seung-Ho Kim*, Jong-Mun Jeong*, Min-Tae Hwang**, Chang-Soon Kang^o

요 약

최근 미세먼지 등으로 인한 대기오염의 피해가 지속적으로 증가함에 따라 공공시설이나 일반 가정에서도 대기 오염 물질들을 효과적으로 측정 및 분석할 수 있는 저비용의 대기환경 모니터링 시스템에 대한 필요성이 요구되고 있다. 본 논문에서는 대기환경 측정 장치를 장소나 공간의 제약이 없이 설치하여 대기오염 정보를 효과적으로 관측할 수 있는 사물인터넷(IoT : Internet of Things) 기반의 대기환경 측정 및 분석 시스템을 제안하고 이를 프로토타입으로 개발하였다. 친환경을 고려하여 대기환경 측정 장치에 태양열 집열판으로 전원을 공급하며, 대기환경 측정결과를 LTE 이동통신망을 통하여 서버에서 수집하여 분석하도록 개발하였다. 개발시스템을 '국가대기오염정보 관리시스템(NAMIS)'의 대기환경 측정소가 구축되지 않은 공공시설이나 가정 등에 설치하여 운용할 경우 대기오염 정보를 효율적으로 관측 및 분석할 수 있을 것으로 기대된다.

Key Words : IoT/M2M, LTE, TCP/IP, NAMIS, Atmospheric environment monitoring, Fine dust(PM10, PM2.5), Ozone(O3), Web server, Sensor, Raspberry-Pi.

ABSTRACT

Recently, as the damage of air pollution caused by fine dust increases continuously, there is a need for a low-cost atmospheric environment monitoring system capable of effectively measuring and analyzing air pollutants in public facilities and households. In this paper, we propose an IoT-based atmospheric environment measurement and analysis system that can measure air pollution information effectively by installing the atmospheric environment measurement device without restriction of place or space.

The proposed system supplies power to the atmospheric environment measurement device with the environment-friendly solar panel, and the measurement results of atmospheric environment are collected and analyzed by the server through the LTE mobile communication network. It is expected that the development system will be able to efficiently observe and analyze air pollution information when installed and operated in public facilities or homes where the NAMIS air environment measurement station is not established.

※ 이 논문은 2017~2018년도 창원대학교 자율연구과제 연구비 지원으로 수행된 연구결과임.

• First Author : Department of Eco-friendly Offshore Plant FEED Engineering, Changwon National University (CNU), shk0529@changwon.ac.kr, 학생회원

^o Corresponding Author : Department of Information & Communication Engineering, CNU, cskang@changwon.ac.kr, 중신회원

* Department of Eco-friendly Offshore Plant FEED Engineering, CNU, jhs7986@gmail.com

** Department of Information & Communication Engineering, CNU, professorhwang@gmail.com

논문번호 : KICS2017-05-145, Received May 16, 2017; Revised August 2, 2017; Accepted August 18, 2017

I. 서 론

전 세계적으로 스마트폰 보급의 대중화와 더불어 사물인터넷 (Internet of Things : IoT)에 대한 관심이 급증하고 있다. 최근 3GPP(the 3rd Generation Partnership Project)에서는 LTE-Advanced의 Release-13에서 협대역 IoT를 도입하는 등 셀룰러 IoT 기술에 대한 관심이 크게 증가하고 있다¹⁾. 사물인터넷은 인간의 직접적인 개입 없이도 센서, 통신장치, 컴퓨팅 장치 등과 같은 지능화된 사물 또는 장치들이 유무선 통신망으로 상호 연결되어 정보를 수집·생성·공유·활용하는 기술을 말한다. 이러한 사물인터넷은 크게 센서들을 이용하여 정보를 측정 및 수집하는 영역(Device Domain), 이러한 수집 정보를 원격지의 관리자에게 전송하기 위한 유무선통신망(Network Domain)과 수신한 정보를 서버에서 저장, 분석 및 가공하여 스마트폰이나 웹(web) 등을 통하여 사용자에게 제공하는 영역(Application Domain)으로 구성 된다²⁾.

IoT의 주요 응용분야로는 교통, 헬스 케어, 제조 분야뿐만 아니라, 스마트 미터링, 스마트 시티 등과 같은 다양한 분야에 활용되어 새로운 가치를 창출하고 있다³⁾. 특히 미국을 비롯하여 유럽, 일본 및 중국 등은 스마트 그리드, 지능형 전력망, 생활 밀착형 기술 등 사물인터넷 관련 분야를 국가의 주요 전략산업 분야로 선정할 정도로 전 세계적으로 사물인터넷에 많은 관심을 보이고 있다. 한국도 ‘사물지능통신 기반구축 기본계획’과 ‘인터넷 신사업 육성방안’을 발표하고 시스템 제조사와 이동통신사들을 중심으로 사물인터넷 관련 시스템 개발 및 서비스를 제공하고 있을 뿐만 아니라⁴⁾, 관련 학계에서도 다양한 연구개발을 진행하고 있다⁵⁻¹⁰⁾.

한편 최근 대기오염으로 인한 피해가 지속적으로 증가함에 따라 전 세계적으로 대기환경에 대한 관심이 급증하고 있다. 2014년 세계보건기구(WHO)의 연구보고서에 의하면 대기오염으로 인한 사망자 수가 매년 700만 명에 이를 정도로 크게 증가하고 있는 추세이다¹¹⁾. 대기오염을 야기하는 주요 물질로는 미세먼지, 오존 등이 있는데, 미세먼지는 호흡기 질환이나 심혈관계 질환 등을 유발하며, 오존은 가슴 통증이나 천식 등을 유발하는 것으로 널리 알려져 있다^{12,13)}. 이와 같이 대기오염의 유해성이 심각함에 따라 대기환경 모니터링 시스템에 대한 필요성이 증대하고 있다.

이를 위하여 대부분의 국가에서는 정부 또는 지방자치단체 주도로 대기환경 모니터링 시스템을 구축하

여 대기환경 정보를 측정 및 분석하여 사용자들에게 제공하고 있으며, 이와 관련한 연구개발도 활발하게 진행되고 있다¹⁴⁾. 우리나라에서는 현재 한국환경공단에서 운용중인 ‘국가대기오염정보 관리시스템’(National Ambient air quality Monitoring Information System : NAMIS)을 통하여 관측한 대기오염 관련 정보를 인터넷 웹을 통하여 제공하고 있다¹⁵⁾. NAMIS는 2015년 12월 기준 전국적으로 505개의 대기환경 측정소를 구축하여 대기오염 정보를 관측하고 있다^{16,17)}. 외국에서도 다양한 대기오염정보 관리시스템을 운용 중이며, 대기오염 정보 수요의 증가로 대기환경 측정소 증설을 계획하는 등 대기환경 모니터링 시스템에 대한 관심이 증가하고 있다¹⁸⁾.

그런데 NAMIS는 고비용의 대기환경 측정 장치와 장비들로 구성되어 있어 신규로 대기환경 측정소를 구축하는데 많은 비용이 소요된다. 특히 NAMIS의 대기환경 측정소는 인구 10만 이상의 도시 지역 위주로 구축되어 있어 측정소가 없는 소도시 지역이나 외곽 지역에 정확한 대기환경 정보를 제공하는데 한계가 있다. 따라서 NAMIS의 대기환경 측정소가 운영되지 않는 지역의 유치원이나 학교 등의 공공시설과 가정이나 상업 시설 등에 대기환경 정보의 관측결과를 효과적으로 제공할 수 있는 대기환경 모니터링 시스템이 절실히 요구된다.

한편 최근 사물인터넷에 대한 관심 증대와 함께 아두이노(Arduino)와 라즈베리파이(Raspberry-Pi) 등과 같은 오픈소스(open-source) 기반의 임베디드(embedded) 시스템과 센서 등을 이용한 실내외 대기환경 모니터링 시스템에 대하여 다양한 관련 연구개발을 진행하고 있다. 실내의 공기를 센서로 측정 및 수집 한 후, 이를 와이파이(Wireless Fidelity : WIFI)나 블루투스(Bluetooth) 또는 지그비(Zigbee) 등과 같은 근거리 무선통신시스템을 이용하여 수집 및 분석하여 스마트폰 어플리케이션(앱) 또는 웹(Web)으로 제공하는 시스템들도 알려져 있다¹⁹⁻²¹⁾. 그리고 산업 시설에서 발생하는 대기오염 정보를 모니터링하는 시스템²²⁾과, 측사 내부의 대기 질 관리를 위한 대기환경 모니터링 시스템도 있다²³⁾.

이 외에도 셀룰러 이동통신망을 이용한 대기환경 모니터링 시스템으로써, 도심에서의 대기환경 정보를 측정하여 GPRS(General Packet Radio Service) 통신망을 경유하여 서버에서 수집 및 분석하여 그 결과를 지리정보와 함께 제공하는 시스템도 알려져 있다²⁴⁾. 또한 도심의 대기환경을 측정하여 기준치 이상의 대기오염 성분이 발생할 경우 공기를 포집하여 CDMA

이동통신망을 통하여 SMS로 중앙통제실에 전송하는 시스템^[25]과, 도심의 가로등에 설치한 센서 노드를 통하여 대기환경을 측정 및 분석하는 시스템^[26], 대중교통의 차량에 대기환경 측정센서를 설치하여 도심의 대기오염을 모니터링 하는 시스템도 있다^[27].

그런데 정부 주도로 운영하는 NAMIS는 측정소가 없는 지역의 대기환경을 정확하게 관측하기 어려울 뿐만 아니라, 측정소 간의 설치 간격도 제한되어 있어 측정소의 추가 설치도 용이하지 않은 실정이다. 또한 기존 비정부 주도의 대기환경 모니터링 시스템에서는 단거리 무선통신 수단으로 인해 측정 정보의 전송 커버리지가 짧아 보다 광범위한 지역의 대기환경을 측정하기 어려운 문제점이 있다.

따라서 본 논문에서는 기존 대기환경 모니터링 시스템들의 문제점들을 보완하고 대기환경 측정 장치의 설치 장소나 공간의 제약 문제를 없애기 위하여 4세대 이동통신망(Long Term Evolution : LTE)을 이용하는 IoT 기반의 대기환경 측정 및 분석 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템은 대기환경 측정 장치에서 수집한 각종 대기환경 정보(미세먼지, SO₂, O₃, NO₂, VOCs 등)를 비롯하여 측정 장치의 위치와 작동 상태 정보 등을 포함한 패킷을 LTE 통신망을 통하여 서버에서 수집 및 분석하며, 분석 결과를 시스템 관리자나 사용자의 컴퓨터(웹)(스마트폰)를 통하여 다양한 형태의 시각화된 형식으로 제공할 수 있도록 개발하였다. 개발 시스템은 기존의 대기환경 모니터링 시스템과 달리, 대기환경 측정 장치들의 고장유무에 관한 상태를 실시간으로 확인 할 수 있을 뿐만 아니라, 원격지의 관리자에 의해 측정 주기도 변경 할 수 있는 특징이 있다. 또한, 태양열 집열판과 휴대용 배터리를 사용하여 측정 장치의 설치장소나 설치공간의 제약 사항을 해결하였다. 특히, 개발 시스템의 기능을 검증하기 위하여 NAMIS의 측정소에서 관측한 결과와 동일 장소에 설치한 개발 시스템의 측정장치를 통한 관측 결과를 상호 비교 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안하는 IoT 기반의 대기환경 측정 및 분석 시스템의 설계에 관하여 설명하고, III장에서는 제안 시스템의 구현 및 주요 구현결과에 관하여, IV장에서는 개발 시스템의 기능 및 신뢰성 확인을 위하여, 개발한 대기환경 측정 장치를 도심외곽 지역과 공단 지역에 각각 설치하여 수집한 대기환경 관측결과와 NAMIS의 측정소를 통하여 관측한 결과를 비교 분석한다. 마지막으로 V장에서 결론에 대하여 논한다.

II. 시스템 개요 및 설계

2.1 시스템 개요

본 논문에서 제안하는 IoT 기반의 대기환경 측정 및 분석 시스템을 설계하기 위하여 표 1과 같은 사용자 요구사항을 고려한다. 제안하는 시스템에서는 장소나 위치에 제약 없이 대기환경 정보를 측정하고, 이를 서버로 전송하기 위하여 전국에 걸쳐 광역 커버리지를 제공하는 이동통신망으로 접속이 가능해야 한다. 또한 미세먼지를 비롯한 다양한 종류의 대기환경 정보를 측정할 수 있을 뿐만 아니라, 측정된 대기환경의

표 1. 제안하는 시스템의 사용자 요구사항
Table 1. User requirements for proposed system

Requirements	Details
Atmospheric environment information measurement	<ul style="list-style-type: none"> CO, SO₂, VOCs, NO₂, O₃, PM₁₀, PM_{2.5}, temperature, humidity
Flexible installation and operation of measuring devices	<ul style="list-style-type: none"> Installation of measuring devices and measurement in any locations
Flexible measurement of atmospheric environment information	<ul style="list-style-type: none"> Measurement interval and method controllable by system administrator (smartphone, server)
Analysis and processing of measured environment information	<ul style="list-style-type: none"> Analysis and visualization of atmospheric environment measurement information and providing it to users
Location information of atmospheric environment measurement site	<ul style="list-style-type: none"> Providing location coordinates and map information of measuring device
Providing analysis results by various means	<ul style="list-style-type: none"> Providing users with analysis results through smart phone, personal computer, and web.

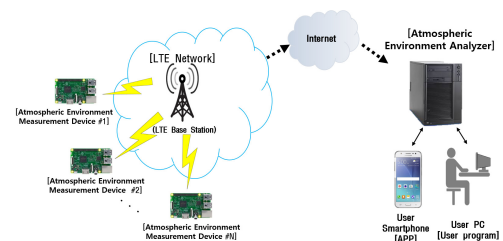


그림 1. 제안하는 IoT 기반의 대기환경 측정 및 분석 시스템의 전체 구성도
Fig. 1. Configuration of the proposed system

분석결과를 사용자들이 웹이나 스마트폰 어플리케이션 등을 통하여 편리하게 이용할 수 있도록 시각화된 그래프 형태로도 제공할 수 있는 기능을 제공해야 한다.

그림 1은 사용자 요구사항을 반영한 IoT 기반의 대기환경 측정 및 분석 시스템의 전체 구성을 나타낸다.

2.2 시스템 설계

제안하는 대기환경 측정 및 분석 시스템의 사용자 요구사항을 위하여 표 2와 같은 시스템 요구사항을 설정하였다.

이와 같은 시스템 요구사항들을 반영하여 설계한 시스템은 그림 2와 같이 대기환경 측정장치, 대기환경 분석장치 및 사용자 어플리케이션 등으로 구성된다. 대기환경 측정장치는 측정 센서, GPS(Global Positioning System) 수신기, 임베디드 보드, LTE 모듈 등으로 구성된다.

대기환경 측정장치는 개발 비용 등을 고려하여 오픈소스 기반의 하드웨어 플랫폼을 사용하고, 장소의 제약 없이 대기환경 정보를 측정할 수 있도록 태양열 집열판과 휴대용 배터리로 전원을 공급할 수 있도록

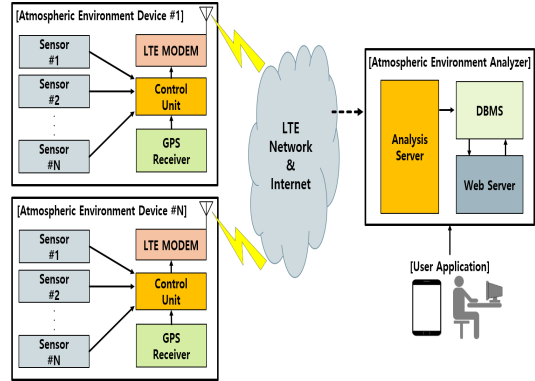


그림 2. 제안하는 시스템의 세부 구성도
Fig. 2. Detailed configuration of the proposed system

설계하였다. 대기환경 측정 결과는 대기환경 분석장치로 전송하기 위해 TCP¹⁾(Transmission Control Protocol)/IP(Internet Protocol) 패킷 형식으로 변환되어 대기환경 분석장치의 서버로 전송된다.

대기환경 분석장치의 서버는 ‘대기환경 측정결과’ 패킷을 수신하여 체크섬 검사 및 패킷에 포함된 측정 장치의 이상 유무를 확인한다. 정상적인 패킷을 수신할 경우 서버는 센서별 대기환경 측정값과 측정 장치의 위치정보를 분류하여 DBMS(Data Base Management System)에 저장한다. 또한 시스템 관리자는 서버에서 대기환경 측정장치의 측정 모드와 측정 주기를 설정할 수 있다.

사용자 시각화 어플리케이션(앱)은 대기환경 분석장치에 접속하여 사용자에게 대기환경 측정장치의 동작 상태, 측정장치의 설치 위치 및 대기환경 분석결과 등을 시각화하여 제공한다. 또한, 사용자 시각화 어플리케이션은 윈도우 기반 사용자 소프트웨어뿐만 아니라, 스마트폰 앱, 웹(Web) 등을 통하여 사용자에게 대기환경 분석결과를 편리하게 제공할 수 있도록 설계하였다.

2.2.1 대기환경 측정장치

대기환경 측정장치(그림 2)의 전반적인 동작 흐름은 그림 3과 같다.

대기환경 측정 장치의 보다 상세한 동작은 그림 4와 같다. 측정부에서는 7종의 대기환경 측정센서와 GPS 수신기의 출력값을 센서의 출력형식(III장의 표

표 2. 시스템 요구사항
Table 2. System requirements

Requirements	Details
Measurement of atmospheric information using sensors	<ul style="list-style-type: none"> • Configuration of measuring devices using sensors, embedded boards, and GPS receivers
Providing wireless communication functions	<ul style="list-style-type: none"> • Collection of atmospheric environment information in any places • Providing wireless communication between LTE network and measurement devices
Providing various types of analysis results	<ul style="list-style-type: none"> • Comparative analysis of reference values and measurement results • Comparative analysis by measuring position
Changeable measurement method by administrator	<ul style="list-style-type: none"> • Transmission of measurement result when measured value exceeds a threshold value • The administrator can set the measurement cycle
Providing location of the measuring device	<ul style="list-style-type: none"> • Show the location of the measuring devices on the Google Maps
Visualization of the analysis results	<ul style="list-style-type: none"> • Providing analysis result through Windows based software and applications

1) 대기환경 분석장치(서버)에서 대기환경 측정장치의 정상 작동 여부 및 연결 상태를 지속적으로 확인 할 수 있어야 할뿐만 아니라, 패킷 전송 시 측정 데이터의 손실이나 누락(순서) 등 신뢰성 문제를 고려하여 UDP (User Datagram Protocol) 대신 TCP를 채택하였다.

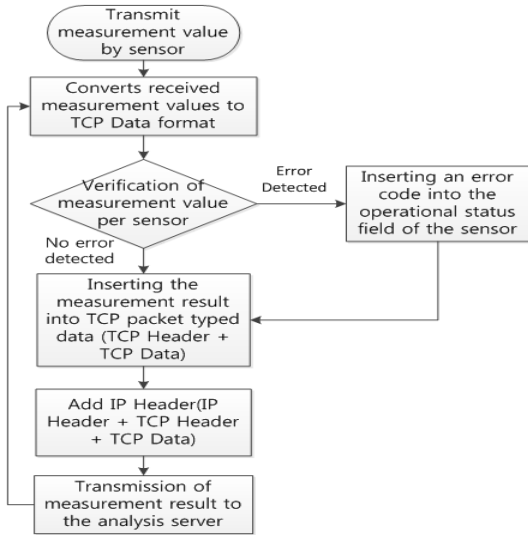


그림 3. 대기환경 측정장치의 동작 흐름도
Fig. 3. Flowchart of the atmospheric environment measurement device

5 참조)에 따라 대기환경 측정 정보를 제어부에 전송한다(①). 제어부는 센서별 대기환경 측정값을 TCP Data로 생성하는데, 이때 센서가 정상적으로 작동하지 않을 경우 해당 센서의 작동상태 필드에 오류코드를 삽입하여(②). TCP 패킷 형식의 ‘대기환경 측정결과’를 송/수신부로 전달한다(③).

또한 제어부는 사용자에게 의한 측정모드 및 측정주

기 변경 시 이에 대한 명령을 수신하여 대기환경 측정 장치의 측정주기를 변경하게 된다. 송수신부의 LTE 모뎀은 LTE 기지국에 접속하여 제어부로부터 수신한 ‘대기환경 측정결과’ 패킷을 송신한다(④). ‘대기환경 측정결과’ 패킷은 이동통신망과 인터넷망을 통하여 대기환경 분석장치의 서버로 전송된다(⑤, ⑥).

2.2.2 대기환경 분석장치

대기환경 분석장치는 그림 5와 같이 ‘대기환경 측정결과’ 패킷을 수신하여 대기환경 측정값을 분류하여 DB에 저장하는 대기환경 분석 서버, DB에 저장된 대기환경 측정값을 사용자의 대기환경 분석결과 요구에 따라 결과를 제공하는 DBMS, 그리고 스마트폰 어플리케이션 및 웹(Web) 사용자의 분석결과 요청을 DBMS에 전달하고 DBMS로부터 요청결과를 수신하여 시각화된 대기환경 분석결과를 사용자에게 제공하는 웹 서버(웹 프로그램) 등으로 구성된다.

대기환경 분석 장치의 소프트웨어 구조는 그림 6과 같다. 대기환경 분석서버는 대기환경 측정장치에서 전송한 TCP 패킷 형식의 ‘대기환경 측정결과’를 수신하여 체크섬 검사를 통해 패킷의 오류검증과 함께 각 센서별 동작상태도 검사한다. 체크섬 오류 발생 시에는 대기환경 측정장치에 측정결과와 재전송을 요청하고, 측정센서의 동작 상태가 이상할 경우에는 DB의 오류 정보 Log에 오류 정보를 저장한다(①). 대기환경 측정

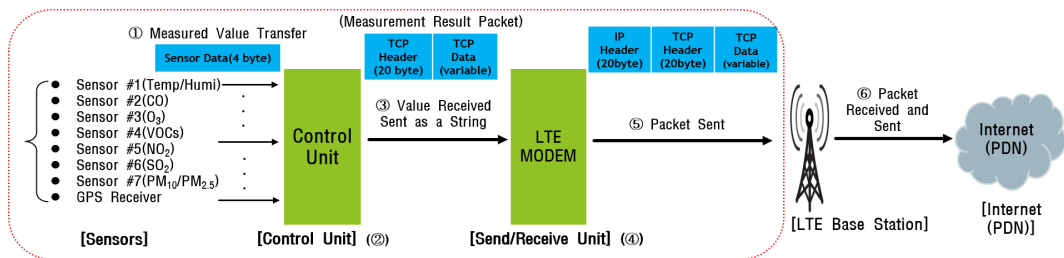


그림 4. 대기환경 측정장치의 구성과 측정결과 전송
Fig. 4. Transmission of measurement results in the measurement device

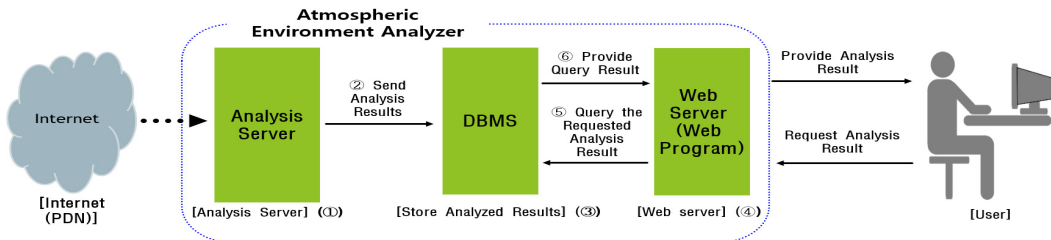


그림 5. 대기환경 분석장치의 구성
Fig. 5. Configuration of the atmospheric environment analysis device

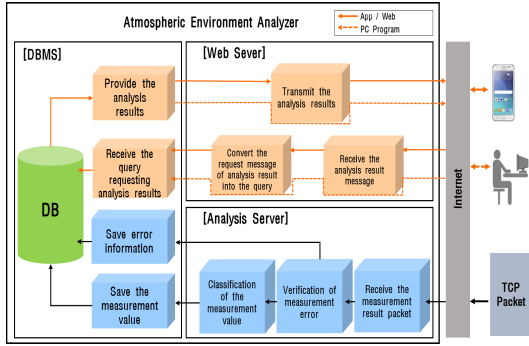


그림 6. 대기환경 분석장치의 소프트웨어 구조
Fig. 6. Software structure of the atmospheric environment analysis device

결과에 오류가 없을 경우 대기환경 측정값을 DB의 대기환경 측정결과에 저장한다(②). DBMS는 오류정보 로그와 대기환경 측정결과를 저장하고 사용자의 대기환경 분석결과 요청 시 요청결과를 제공한다(③). 대기환경 분석결과를 시각화하는 사용자 단말기 중 PC용 소프트웨어의 경우 DBMS에 직접 접속하여 대기환경 분석결과를 요청하여 이를 제공받을 수 있지만, 스마트폰 앱이나 웹 환경에서는 DBMS로 직접 접속하기 어렵기 때문에 웹 서버 내부의 웹 프로그램을 통해 DBMS와 사용자 간 중계 역할을 수행한다(④).

웹 서버는 앱이나 웹 사용자가 대기환경 측정결과를 요청하면 그 내용을 쿼리(Query)문으로 변환하여 DBMS에 분석결과를 요구하며(⑤), DBMS로부터 대기환경 쿼리 결과를 수신하여 동적 웹 페이지 형태로 대기환경 분석결과를 시각화하여 사용자에게 제공한다(⑥). 그리고 관리자는 서버에서 대기환경 측정장치의 측정모드를 기본모드, 임계모드 및 수동 모드로 설정할 수 있다. 기본모드의 경우 대기환경 측정 장치는 일정 시간 간격(예, 30분)으로 대기환경 정보를 측정하며, 임계모드는 측정된 대기환경 정보가 기준치를 초과할 경우에만 측정결과를 서버로 전송한다. 반면에, 수동모드는 관리자가 필요 시 직접 측정주기를 입력하여 변경할 수 있다.

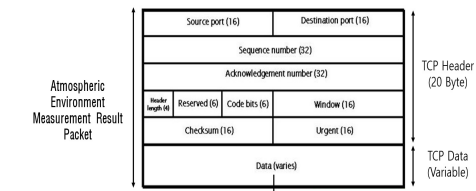
2.2.3 사용자 어플리케이션

스마트폰 앱, PC용 프로그램 및 Web으로 구현되는 사용자 어플리케이션의 주요 기능으로는 최근 측정결과, 대기환경 분석 결과, 경고 Log, 전체 측정 결과 등이 있다. 특히 분석결과는 시간대별 대기환경 변화, 대기환경 측정 장소(장치)별 비교, 대기환경 요소별 측정결과와 평균값 등이다. 사용자는 그래픽 인터페이스(Graphic User Interface : GUI)와 다양한 API

를 활용하여 시각화된 분석결과를 사용자가 편리하게 사용할 수 있도록 설계하였다.

2.2.4 대기환경 측정결과 패킷의 구성

대기환경 측정장치의 제어부에서 송/수신부로 전송하는 TCP 패킷 형식의 ‘대기환경 측정결과’는 그림 7과 같다. 대기환경 측정정보는 측정대기(요소), 측정값, 센서의 상태정보 등을 포함하는데, 여기서 측정대기(요소)는 표 3과 같이 총 12개로 구성된다. 또한 대기환경 측정정보에 포함되는 측정항목의 상태정보는 ‘정상적인 측정값 수신’, ‘측정값 누락’ 및 ‘측정범위 초과 및 비정상적인 값 수신’ 등 3 가지로 구분한다.



✓ TCP Data Format(String) Example
@[Device][Value][CO][Value][State][O3][Value][State][%][LAT][Value][State][%][Long][Value][State]#

HEAD	Device	Separation Character	Device Name	Separation Character	Measurement Atmospheric	Separation Character	Measurement Value	Separation Character	State Information	Separation Character	END		
@	[Device]	:	[Value]	--	%	[CO]	:	[Value]	:	[State]	%	--	#

그림 7. ‘대기환경 측정결과’ 패킷(TCP) 구조
Fig. 7. Packet structure of measurement results

표 3. 대기환경 측정 항목
Table 3. Measurement items for atmospheric environment

Measurement items	Text	Unit
CO(Carbon monoxide)	[CO]	ppm
SO ₂ (Sulfur dioxide)	[SO ₂]	ppm
VOCs(Volatile Organic Compounds)	[VOCs]	ppm
NO ₂ (Nitrogen dioxide)	[NO ₂]	ppm
O ₃ (Ozone)	[O ₃]	ppm
PM ₁₀ (Fine dust)	[PM ₁₀]	μg/m ³
PM _{2.5} (Ultrafine dust)	[PM _{2.5}]	μg/m ³
Temperature	[TEMP]	°C
Humidity	[HUM]	%
Time	[TIME]	-
Latitude	[Lat]	-
Longitude	[Long]	-

III. 시스템 구현 및 주요 결과

이와 같이 설계한 내용을 토대로 IoT 기반의 대기환경 측정 및 분석 시스템의 시제품을 개발하였다. 대

기환경 측정장치를 위해 채택한 센서들의 주요 사양은 표 4와 같으며, 측정결과는 아날로그, 디지털 또는 UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) 통신 형식으로 출력한다. 각 센서들의 측정결과 데이터 전송방법은 아래와 같다.

표 4. 센서별 주요 사양
Table 4. Specifications of sensor

Sensor Models	Specifications
DHT-11	<ul style="list-style-type: none"> Temperature/Humidity Sensor Output : Digital
MQ-7	<ul style="list-style-type: none"> CO Sensor Output : Analog
DGS-O3	<ul style="list-style-type: none"> O₃ Sensor Output : Digital
GSBT11	<ul style="list-style-type: none"> VOCs Sensor Output : Analog
GSNT11	<ul style="list-style-type: none"> NO₂ Sensor Output : Analog
2SH12	<ul style="list-style-type: none"> SO₂ Sensor Output : Analog
PM2007	<ul style="list-style-type: none"> PM₁₀/PM_{2.5} Sensor Output : UART

3.1 아날로그 출력 형식의 센서

먼저 아날로그 출력형식의 센서는 출력 전압에 따라 센서의 대기 측정 농도(ppm)가 결정된다. 대표적으로 NO₂ 센서(GSNT11)는 그림 8과 같이 가열된 센서에 검출 물질(이산화질소)이 달라붙어 센서저항(R_s)과 출력 전압(V_{out})이 변하게 되는데, 이때 출력 전압(V_{out})은 식(1)과 같이 주어진다.

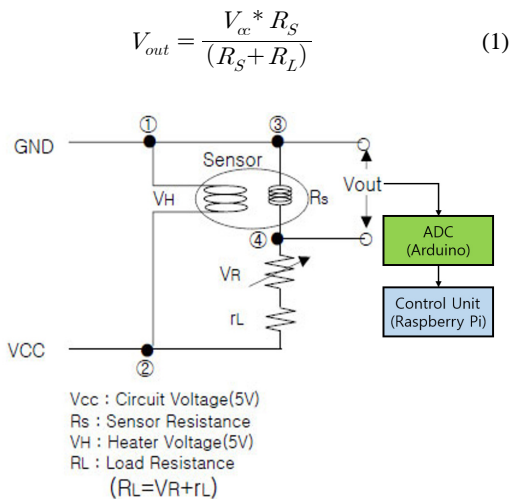


그림 8. 아날로그 센서의 측정결과 전송방법
Fig. 8. Measurement and transmission of analog sensors

식(1)과 같은 아날로그 출력 전압을 제어부(라즈베리파이)로 전송하기 위해서는 디지털 전압으로 변환이 필요하다. 그런데 라즈베리파이에는 아날로그 값을 디지털 값으로 변환(Analog-to-Digital Converter : ADC) 하는 기능이 없어 ADC 기능이 있는 아두이노를 사용하여 센서의 아날로그 출력 전압(V_{out})을 디지털 값으로 변환 한다(그림 9). 그리고 아두이노는 출력전압-대기(NO₂) 농도(ppm)의 관계(그림 10)로부터 근사화한 식(2)^[28]를 이용하여 디지털 출력전압을 센서의 대기 측정값(ppm)으로 변환하여 제어부로 전송한다.

$$ppm = 10^{1.62 - 1.63 * (V_{out}) + 0.41 * (V_{out})^2} \quad (2)$$

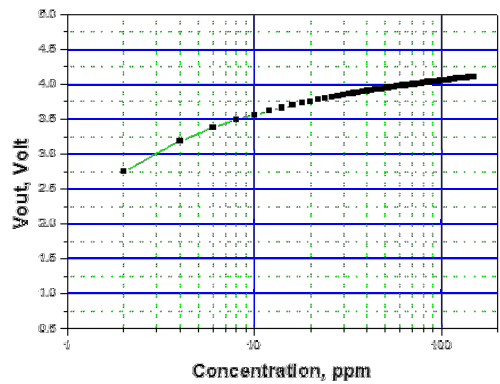


그림 9. NO₂ 센서의 출력 전압에 따른 대기 농도(ppm) 관계^[28]
Fig. 9. Parts per million(ppm) for the output voltage in the NO₂ sensor

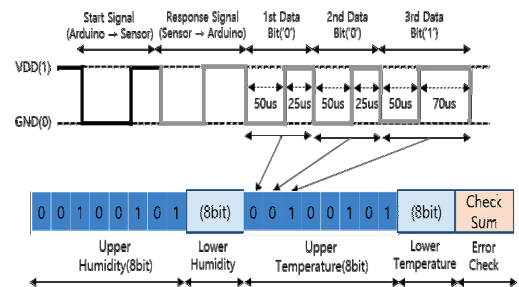


그림 10. 온/습도 센서(DHT11)의 측정결과 전송 방법(센서-아두이노)^[29]
Fig. 10. Measurement and transmission in the sensor DHT11

3.2 디지털 출력 형식의 센서

DHT11(온/습도) 센서는 습도에 따라 저항이 변하는 정전식 습도 센서와 온도에 따라 저항이 변하는 서

미스터(Thermistor)로 구성되어 있다. 이 센서의 작동 원리는 그림 10과 같이 아두이노가 센서에 ‘시작 신호’를 전송하면, 센서는 ‘응답신호’를 아두이노에게 보낸 후, 센서 내부의 칩을 통해 디지털 신호로 변환한 측정결과를 아두이노에게 전송한다. 이때 측정결과는 ‘상위 습도 8비트’, ‘하위 습도 8비트’와 ‘상위 온도 8비트’, ‘하위 온도 8비트’ 및 체크섬 8비트의 총 40비트로 구성되어 있으며, 이 중에서 ‘상위 습도 8비트’와 ‘상위 온도 8비트’를 각각 10진수의 습도와 10진수의 온도(십씨)로 변환하여 제어부로 전송한다. DHT11 센서는 ‘하위 습도 8비트’와 ‘하위 온도 8비트’는 사용하지 않는다.

3.3 UART 출력 형식의 센서

미세먼지 센서는 UART 출력 형식을 USB (Universal Serial Bus) 형식으로 변환하는 컨버터 (CP2102)를 이용하여 측정결과를 제어부로 전송한다 (그림 11). 특히 GPS 수신기는 위성으로부터 수신한 NMEA 형식의 데이터를 UART 통신 방식으로 제어부로 전송한다. 이를 수신한 제어부는 시간과 위도/경도 좌표를 추출하여, ‘대기환경 측정결과’ 패키지의 TCP Data에 포함시켜 대기환경 분석장치의 서버로 전송한다 (그림 12).

센서로부터 대기환경 측정 정보를 수신하여 ‘대기환경 측정결과’ 패키지의 생성뿐만 아니라, 대기환경 분석장치(관리자)로 부터 측정모드 변경 명령을 수신할 경우 대기환경장치의 측정주기를 변경하는 대기환경 측정장치의 제어부를 위해 채택한 라즈베리파이의 주요 사양은 표 5와 같다.

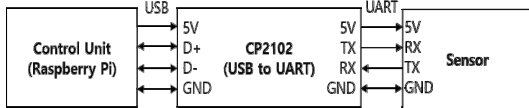


그림 11. 센서의 UART 출력 형식을 USB 형식으로 변환 방법
Fig. 11. Output type conversion of UART to USB

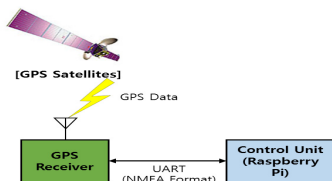


그림 12. 제어부에서 대기환경 측정 장치의 위치정보 수신 방법
Fig. 12. Reception of location information at the controller

표 5. 라즈베리파이의 주요 사양
Table 5. Specifications of Raspberry-Pi

Item	Specifications
CPU	• 1.2GHz 64-bit Quad-Core ARMv8
Memory	• 1 GB LPDDR2
USB	• 4 USB 2.0 ports
GPIO	• 40 GPIO pins
Network	• 10/100 Mbps Ethernet • 802.11n Wireless LAN • Bluetooth 4.1

특히 대기환경 측정장치에서 ‘대기환경 측정결과’ 패키지 송신 및 측정모드 변경 명령을 수신하기 위하여 채택한 Alcatel L800 LTE 모듈의 주요 사양은 표 6과 같다.

LTE 모듈은 제어부의 USB 포트에 연결하여 LTE 통신망을 통해 ‘대기환경 측정결과’ 패키지를 분석장치로 송신하거나, 측정모드 변경 명령의 수신 기능도 수행한다. 또한 대기환경 측정장치의 전원은 태양열 집열판과 함께 휴대용 보조 배터리를 사용하였다.

대기환경 분석장치는 Windows10 환경에서 C# Winform 기반의 대기환경 분석 서버와 DBMS (MS-SQL) 및 웹 서버(Apache HTTP Server)로 구현하였다. 특히 대기환경 분석 서버는 C# Winform의 그래픽 인터페이스를 편리하게 이용할 수 있도록 개발하였다. 또한 사용자 어플리케이션은 C# WPF (Windows Presentation Foundation) 기반의 PC용 프로그램, 스마트폰 앱 및 웹으로 사용자에게 대기환경 측정결과를 제공할 수 있도록 하였으며, 시각화된 대기환경 분석결과를 다양한 API를 활용하여 개발하였다. 개발한 IoT 기반의 대기환경 측정 및 분석 시스템의 시제품은 그림 13과 같다.

표 6. LTE 모듈의 주요 사양
Table 6. Specifications of LTE-modem

Item	Specifications
Models	• Alcatel L800
Processor	• Qualcomm MDM9215
Memory	• 1GB LPDDR
Data Rate	• Downlink : 100Mbps • Uplink : 50Mbps
Frequency Band	• 800/900/1800/2600 MHz (FDD)

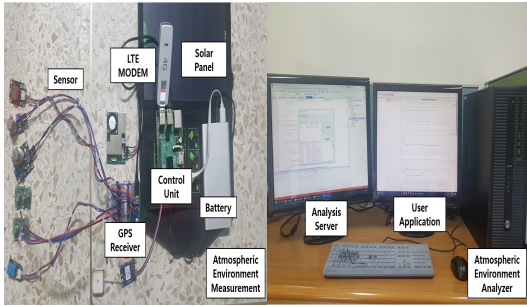


그림 13. 개발한 IoT 기반 대기환경 측정 및 분석 시스템의 시제품 외관
 Fig. 13. Developed atmospheric environment measurement and analysis system

3.3.1 대기환경 분석장치

대기환경 분석장치의 분석 서버는 대기환경 측정장치로부터 ‘대기환경 측정결과’ 패킷을 수신하여 센서별 측정결과로 분류하고 이를 DB에 저장한다. 또한 패킷 수신 시 관리자는 대기환경 측정 장치명과 수신 시각, 수신 내용 등을 확인할 수 있으며, 만약 측정장치의 오류 발생 시에는 오류내용을 분석장치의 DB에 저장하도록 구현하였다. 그림 14는 대기환경 측정결과 수신 및 대기환경 측정장치의 측정모드 변경 시 동작 화면 예(기본모드에서 수동모드로)를 보여준다. 관리자는 서버를 통해 대기환경 측정장치의 위치 및 상태를 확인할 수 있으며, 대기환경 측정장치의 측정모드 및 측정주기도 변경할 수 있다.

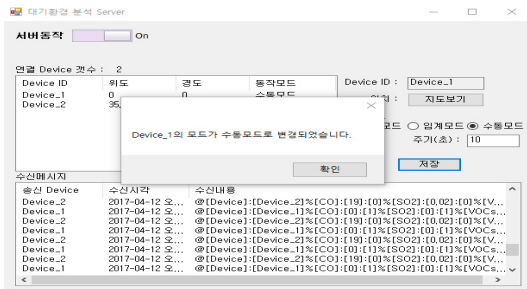


그림 14. 대기환경 측정결과 수신 및 측정모드 변경 예시
 Fig. 14. Illustration of the measurement results for atmospheric environment

3.3.2 사용자 어플리케이션

사용자 어플리케이션은 대기환경 분석장치로부터 대기환경 분석결과를 요청하고, 수신한 분석결과를 시각화하여 사용자에게 제공할 뿐만 아니라, 당일 시간대 별 평균 측정결과, 측정 장치에서 발생한 경고 로그, 전체 측정결과 등을 확인할 수 있다. 특히 사용자

어플리케이션의 경고 Log는 측정 장치에서 발생한 오류 및 경고의 목록을 제공하고 사용자는 문제가 발생한 측정 장치의 식별번호, 위치, 오류의 내용을 확인할 수 있다.

IV. 시험 및 결과 고찰

개발한 IoT 기반의 대기환경 측정 및 분석 시스템의 기능 및 성능 시험을 위하여, 공장 밀집 지역인 경남 함안지역의 공업단지 1개소와 창원 도심 외곽의 녹지지역에 있는 창원대학교 캠퍼스 내의 1개소(공과대학 51호관)에 각각 대기환경 측정장치를 설치하여 1주일 동안 대기환경을 관측하였다. 관측결과를 NAMIS의 창원시 회원동 측정소(경남 함안지역에는 NAMIS의 측정소가 없어 함안공단에서 가까운 측정소)와 창원시 용지동 측정소(창원대학교에서 가장 가까운 NAMIS의 측정소)의 측정결과와 상호 비교하였다. 개발시스템의 창원대학교 측정소와 NAMIS의 용지동 측정소간의 직선거리는 약 1.3Km이고, 개발시스템의 함안공단 측정소와 NAMIS의 창원시 회원동 측정소간의 직선거리는 약 20Km이다.

그림 15는 함안공단과 창원대학교 공과대학의 건물 옥상에 각각 설치한 대기환경 측정장치의 모습을 보여준다.

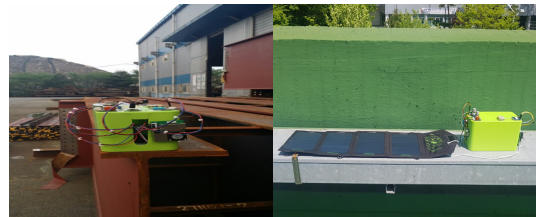


그림 15. 대기환경 측정장치의 설치(함안공단(좌), 창원대학교 공과대학(우))
 Fig. 15. Illustration of deployed atmospheric environment measurement devices

4.1 시간대별 대기환경 측정 결과

개발시스템을 통하여 최근에 측정한 대기환경의 시간대별 평균값을 NAMIS에서 제공하는 동시간대의 대기환경 측정결과와 비교하였다. 대기오염 정도를 평가하기 위하여 대기환경 ‘국가 기준치’(한국환경공단 제공, 이하 그림의 빨간색 직선)를 함께 표시하였다. 그림 16은 함안 공단 지역에서 개발시스템을 통하여 측정된 미세먼지(PM₁₀)와 초미세먼지(PM_{2.5})의 시간대별 평균값을 나타낸다. 미세먼지(PM₁₀)는 전반적으

로 국가 기준치에 비해 낮게 측정되고 있음을 확인할 수 있다. 그림 17은 개발시스템을 통하여 함안공단에서 측정한 일산화탄소(CO)와 이산화질소(NO₂)의 시간대별 평균 농도를 보여준다. 일산화탄소와 이산화질소의 측정값이 모두 국가 기준치에 비해 낮게 관측됨을 볼 수 있다.

그림 18은 NAMIS에서 제공하는 동시간대의 대기환경 측정결과(창원시 회원동 측정소)를 보여준다. 개발시스템을 통한 시간대별 측정값(그림 16, 그림 17)과 NAMIS에서 제공하는 측정값(그림 18)을 비교하면 다음과 같다.

먼저 개발시스템(함안공단 측정소)과 NAMIS(회원동 측정소)의 미세먼지 농도를 비교하면, 도심지역인 회원동 측정소(NAMIS)의 농도는 교통량이 많은 출근시간대의 경우 도시 외곽지역인 함안공단 측정소(개발시스템)의 농도보다 높지만, 오전 9시 이후는 함

안공단 측정소(개발시스템)의 미세먼지 농도가 다소 높게 관측 되었다. 그리고 일산화탄소와 이산화질소의 측정 농도는 오전 시간대의 도심지역인 회원동 측정소(NAMIS)의 측정값이 다소 높게 관측되었지만, 오후 시간대의 경우 함안공단 측정소(개발시스템)의 농도가 높게 관측되었다.

4.2 대기환경 분석결과

일별 대기환경 변화와 장소(장치)별 대기환경 비교 결과는 다음과 같다.

그림 19는 함안공단 지역에 설치한 개발시스템의 측정장치를 통하여 일주일 동안 (2017.4.24. ~ 2017.4.30) 관측한 일평균 일산화탄소(CO)의 변화량을 나타낸다. 일산화탄소측정값이 전반적으로 국가 기준치에 비해 훨씬 낮은 수준으로 관측되며, 평일(2017.4.24~ 2017.4.28)의 일산화탄소 측정값이 주말

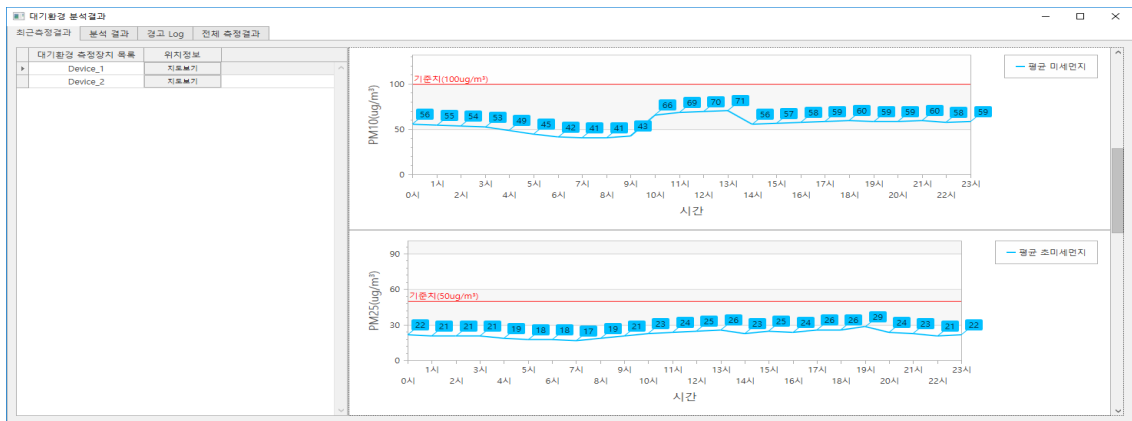


그림 16. 함안공단(개발시스템)의 PM₁₀과 PM_{2.5}의 시간대별 추이(2017.4.25)
 Fig. 16. Trend of PM₁₀ and PM_{2.5} in the Haman industrial complex (April 25, 2017)

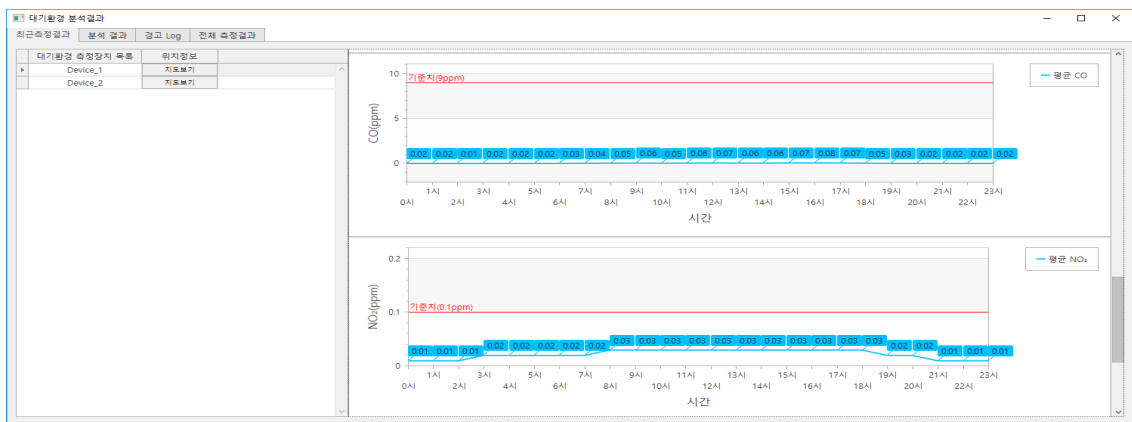


그림 17. 함안공단(개발시스템)의 CO와 NO₂의 시간대별 추이(2017.4.25)
 Fig. 17. Trend of CO and NO₂ in the Haman industrial complex (April 25, 2017)

● 측정자료(수치)

· 최종인증전의 실시간자료는 검정색 글씨로 표시되며, 최종확정자료는 파랑색 글씨로 표시됩니다.

<회원동>

날짜 (년-월-일:시)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 1시간	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 1시간	오존 (ppm) 1시간	이산화질소 (ppm) 1시간	일산화탄소 (ppm) 1시간	이황산가스 (ppm) 1시간
04-24:24	38	24	0.044	0.019	0.4	0.003
04-24:23	44	20	0.046	0.019	0.5	0.003
04-24:22	44	24	0.047	0.023	0.5	0.004
04-24:21	42	25	0.050	0.020	0.4	0.003
04-24:20	35	20	0.056	0.017	0.4	0.003
04-24:19	40	20	0.059	0.016	0.4	0.003
04-24:18	43	16	0.064	0.014	0.4	0.003
04-24:17	43	18	0.067	0.012	0.4	0.003
04-24:16	51	14	0.067	0.013	0.4	0.004
04-24:15	50	17	0.069	0.011	0.4	0.003
04-24:14	53	21	0.068	0.010	0.4	0.003
04-24:13	54	23	0.066	0.011	0.4	0.003
04-24:12	45	21	0.063	0.011	0.5	0.003
04-24:11	63	27	0.060	0.011	0.4	0.004
04-24:10	65	31	0.051	0.012	0.4	0.005
04-24:09	68	32	0.043	0.018	0.4	0.006
04-24:08	75	42	0.016	0.035	0.5	0.007
04-24:07	67	37	0.014	0.031	0.6	0.003
04-24:06	52	33	0.018	0.026	0.4	0.003
04-24:05	54	30	0.035	0.013	0.4	0.003
04-24:04	49	33	0.042	0.011	0.4	0.003
04-24:03	49	30	0.038	0.013	0.4	0.003
04-24:02	56	31	0.040	0.014	0.4	0.004
04-24:01	58	29	0.044	0.014	0.4	0.004

그림 18. 창원시 회원동 측정소(NAMIS)의 시간대별 측정결과 추이(2017.4.25.)
Fig. 18. Trend in the Hoiwon-dong measurement station (April 25, 2017)

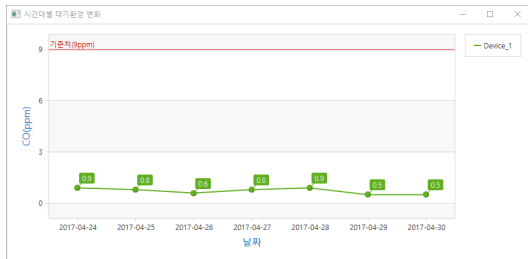


그림 19. 함안공단(개발시스템)의 일별 CO 평균값 변화량
(2017.4.24~2017.4.30)
Fig. 19. Average CO variation in the Haman industrial complex (4/24/17~4/30/17)

(2017.4.29 ~2017.4.30)의 측정값 보다 높은 것을 볼 수 있다.

그림 20은 NAMIS(창원시 회원동 측정소)에서 제공하는 동기간의 일평균 대기환경 측정결과를 보여준다. 일산화탄소 변화량은 함안공단(개발시스템)의 일산화탄소 변화량과는 반대로, 주말 교통량의 증가로 인하여 도심지역에 위치하는 회원동 측정소의 주말 동안 일산화탄소 농도가 평일 기간의 농도보다 더 높

● 측정자료(수치)

· 최종인증전의 실시간자료는 검정색 글씨로 표시되며, 최종확정자료는 파랑색 글씨로 표시됩니다.

<회원동>

날짜 (년-월-일)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	오존 (ppm)	이산화질소 (ppm)	일산화탄소 (ppm)	이황산가스 (ppm)
2017-04-30	76	40	0.069	0.016	0.7	0.005
2017-04-29	73	37	0.059	0.021	0.7	0.005
2017-04-28	57	23	0.049	0.018	0.6	0.005
2017-04-27	46	20	0.044	0.014	0.6	0.004
2017-04-26	42	30	0.042	0.018	0.5	0.003
2017-04-25	49	25	0.042	0.015	0.4	0.004
2017-04-24	51	26	0.049	0.016	0.4	0.004

그림 20. 회원동 측정소(NAMIS)의 일별 평균 측정결과
(2017.4.24~ 2017.4.30.)
Fig. 20. Daily measurement results in the Hoiwon-dong station (4/24/17~ 4/30/17)

게 관측됨을 알 수 있다.

그림 21은 5일 동안(2017.4.24~2017.4.28) 개발시스템의 함안공단 측정소(측정장치, Device_1)와 창원대학교 공과대학 측정소(측정장치, Device_2)에서 측정된 일별 평균 미세먼지 농도를 비교한 것이다. 함안공단 지역의 미세먼지 농도가 창원대학교 공과대학의

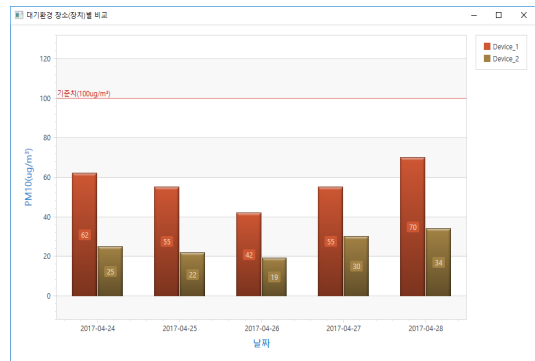


그림 21. 개발시스템의 측정소(장치)별 미세먼지 농도 비교
(2017.4.24~2017.4.28)
Fig. 21. Comparison of fine-dust concentration for the developed measurement devices(4/24/17~ 4/28/17)

● 측정자료(수치)

· 최종인증전의 실시간자료는 검정색 글씨로 표시되며, 최종확정자료는 파랑색 글씨로 표시됩니다.

<용지동>

날짜 (년-월-일)	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	오존 (ppm)	이산화질소 (ppm)	일산화탄소 (ppm)	이황산가스 (ppm)
2017-04-28	61	18	0.054	0.023	0.5	0.006
2017-04-27	49	18	0.044	0.022	0.5	0.005
2017-04-26	47	27	0.040	0.026	0.5	0.004
2017-04-25	54	23	0.051	0.016	0.4	0.005
2017-04-24	56	24	0.055	0.019	0.5	0.004

그림 22. NAMIS(창원 용지동 측정소)의 일별 평균 측정결과
(2017.4.24~2017.4.28)
Fig. 22. Daily average results measured in the NAMIS (4/24/17~ 4/28/17)

농도 보다 높게 관측됨을 알 수 있다. 그림 22는 NAMIS의 용지동 측정소를 통해 수집한 일별 평균 측정결과 (2017.4.24.~2017.4.28.)를 보여준다.

그림 20, 그림 21 및 그림 22로부터 개발시스템의 2개 측정소와 NAMIS의 2개 측정소(창원시 회원동, 창원시 용지동)의 일별 평균 미세먼지 농도를 비교하면, 공장 밀집 지역인 함안공단 측정소(개발시스템)에서 가장 높게 측정되며, 다음으로 도심지역인 용지동 측정소(NAMIS)와 회원동 측정소(NAMIS)의 순으로 관측되었다.

4.3 개발시스템과 NAMIS 간의 측정결과 비교

개발 시스템의 측정 장치를 NAMIS의 측정소와 동일 장소에 설치하여 관측한 미세먼지(PM₁₀) 농도와 오존(O₃) 농도를 각각 비교하였다.

그림 23과 그림 24는 NAMIS의 창원 명서동 측정소에서 오전 10시부터 오후 6시까지 측정한 두 시스템 (NAMIS와 개발시스템) 간의 시간대별 미세먼지 평균 농도와 오존 평균 농도를 각각 비교한 것이다. 미세먼지 평균 농도는 14시경에 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 가장 큰 차이를 보이지만, 이것은 개발 시스템에서 사용한 미세먼지 센서(PM2007)의 사양에서 제시하는 오차범위

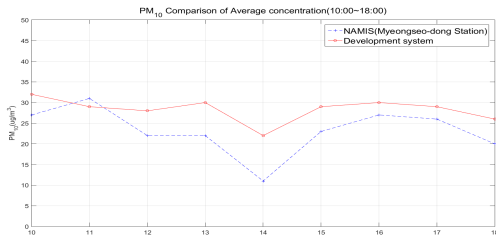


그림 23. 개발시스템과 NAMIS(명서동 측정소)간의 미세먼지(PM₁₀)의 평균 농도 비교(2017.7.26.)
Fig. 23. Comparison of average concentration of fine dust between our development system and the NAMIS (2017.7.26.)

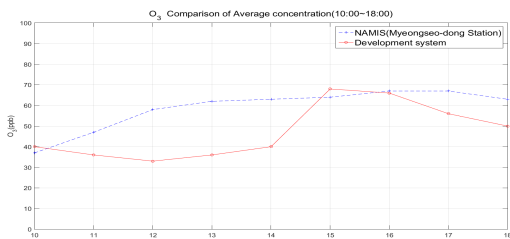


그림 24. 개발시스템과 NAMIS(명서동 측정소) 간의 오존(O₃)의 평균 농도 비교 (2017.7.26.)
Fig. 24. Comparison of average concentration of Ozone between our development system and the NAMIS (2017.7.26.)

내에 포함되는 점을 고려할 때 두 시스템의 측정 농도는 유사하다고 볼 수 있다. 반면에 오존 평균 농도는 사용한 오존 센서의 오차(오차범위 O₃ : ± 15%) 등으로 인하여 차이를 보이는 일부 시간대 (11시~14시)를 제외할 경우 전반적으로 두 시스템 간의 측정결과는 유사하다.

그림 25는 NAMIS(명서동 측정소)와 개발시스템 간의 일평균 미세먼지 농도와 오존 농도를 각각 비교한 것이다. 두 시스템간의 일평균 미세먼지 농도는 유사하지만, 일평균 오존 농도는 약 10ppb(0.01ppm) 정도의 차이가 발생함을 확인할 수 있다.

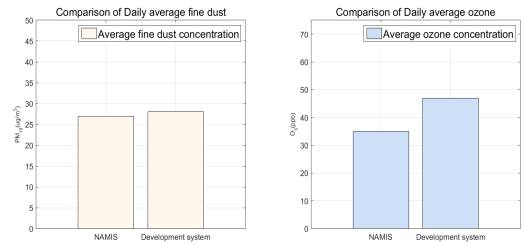


그림 25. 개발시스템과 NAMIS(명서동 측정소) 간의 일평균 농도 비교(2017.7.26.)
Fig. 25. Comparison of daily average concentration between our development system and the NAMIS (2017.7.26.)

4.4 측정 주기별 시스템 성능 분석

개발 시스템의 대기환경 분석 서버의 성능 평가를 위하여 측정장치의 측정 주기를 5분(NAMIS 운용 지침)과 성능 비교를 위해 1분으로 각각 설정하여 서버의 CPU 사용량의 변화를 1초 간격으로 총 1시간 동안 측정하였다.

그림 26은 대기환경 측정장치의 측정 주기를 1분으로 설정 시, 대기환경 분석 서버의 성능변화(CPU 사용량)를 나타낸다. 일부 구간에서 CPU 사용량이 80%

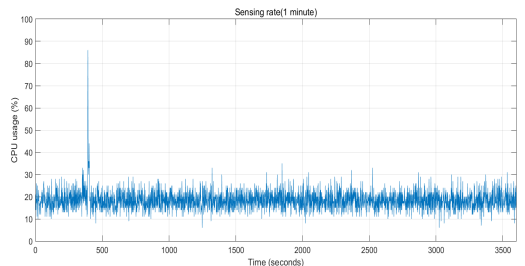


그림 26. 측정 주기 1분 설정 시 대기환경 분석 서버의 CPU 사용량 변화
Fig. 26. The CPU usage in case of 1 minute-measurement interval

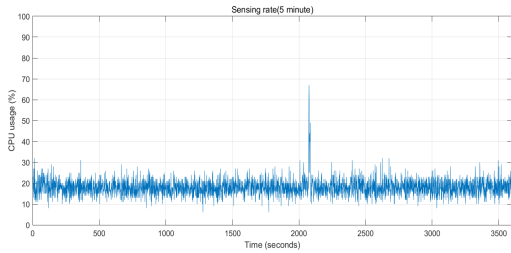


그림 27. 측정 주기 5분 설정 시 대기환경 분석 서버의 CPU 사용량 변화
 Fig. 27. The CPU usage in case of 5 minutes-measurement interval

이상으로 측정 되었고, CPU 사용량이 30%를 7회 초과하였다. 하지만 시스템에서 1시간 동안 60회 수신한 ‘대기환경 측정결과’ 패킷을 모두 정상적으로 처리함을 확인하였다.

그림 27는 측정 장치의 측정 주기를 5분으로 설정하였을 때, 대기환경 분석 서버의 성능변화를 나타낸다. 일부 구간에서 CPU 사용량이 60%이상 측정되었으나, 나머지 시간대의 CPU 사용량은 30%를 5회 초과하여 서버의 기능을 정상적으로 처리하는데 문제가 없음을 확인하였다.

V. 결 론

최근 미세먼지 등에 의한 대기오염의 피해가 증가함에 따라 대기환경에 대한 관심이 증대하고 있다. 우리나라에서 운영 중인 NAMIS는 전국에 걸쳐 대기환경 측정소를 구축하여 대기환경을 관측하고 있지만, 고비용의 대기환경 측정 장치와 장비들로 구성되어 있어 신규로 대기환경 측정소를 설치하는데 많은 비용이 소요된다. 특히 NAMIS의 대기환경 측정소는 대도시 위주로 구축되어 측정소가 없는 소도시 지역이나 외곽지역에 정확한 대기환경 정보를 제공하는데 한계가 있다. 따라서 NAMIS의 대기환경 측정소가 운영되지 않는 지역의 대기환경 관측결과를 효과적으로 활용하기 어려운 점이 있다.

본 논문에서는 설치장소나 공간에 제약이 없도록, 소형, 저비용 및 친환경의 대기환경 측정 장치로 구성되는 IoT 기반의 대기환경 측정 및 분석시스템을 개발하였다. 개발시스템의 대기환경 측정 장치를 도심외곽의 녹지지역(창원대학교 공과대학)과 공단지역(합안)에 각각 설치하고 LTE 이동통신망을 통하여 대기환경 정보를 수집하여, 이를 NAMIS의 인근 측정소들(창원시 용지동과 창원시 회원동)에서 관측한 결과와

비교 분석하였다. 개발시스템의 관측결과와 NAMIS 측정소의 관측결과 간에 차이가 거의 없어 개발시스템의 신뢰성을 확인할 수 있었다. 특히 개발시스템은 대기환경 분석결과를 단순히 대기환경 관측 정보만 제공하는 기존 시스템과는 달리 다양한 종류의 시각화 API를 통하여 대기환경 분석결과를 제공하는 특징이 있다.

개발시스템을 NAMIS의 대기환경 측정소가 없는 지역을 비롯하여, 유치원이나 학교 등의 공공시설이나 가정 등에 설치하여 대기환경의 관측 정보를 사용자들에게 제공함으로써 다양한 대기환경 기반 서비스에도 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 추후, LoRaWAN (Long Range Low Power-Wide Area Network)이나 LTE-M (Long Term Evolution-Machine Type Communication)의 IoT 전용시스템^[30]을 활용하는 방안 등에 대하여 연구할 예정이다.

References

- [1] Y-P. E. Wang, X. Lin, A. Adhikary, *et al.*, “A primer on 3GPP narrowband internet of things,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 55, no. 3, pp. 117-23, Mar. 2017.
- [2] ETSI (European Telecommunication Standard Institute), *M2M Standards : How to enable the internet of the Future, M2M workshop(2010)*, Retrieved Jul., 31, 2017, form https://docbox.etsi.org/workshop/2010/201010_m2mworkshop/01_settingthescene/arndt_etsitc_m2m_howtoenabletheinternetofthefuture.pdf
- [3] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, “The internet of things: a survey,” *Comput. Netw.*, vol. 54, pp. 2787-2805, 2010.
- [4] D. Lee, *Internet of Things Connecting Everything*, DIGIECO report Issue & Trend, 2013.
- [5] C. S. Kang, H. S. Cho, and B. H. Kim, “A machine-to-machine based intelligent walking assistance system for visually impaired person,” *J. KICS*, vol. 36, no. 3, pp. 287-296, Mar. 2011.
- [6] C. S. Kang, S. J. Kim, and E. Y. Ko, “Automatic meter reading and tariff notification system using CDMA mobile communications,” *J. KMMS*, vol. 11, no. 4,

- pp. 977-985, Jul. 2008.
- [7] D. B Kim, S. H. Lee, H. S. Cho, and C. S. Kang, "Mobile blackbox using CDMA communication modules," in *Proc. KICS Summer Conf.*, pp. 1024-1027, Jeju Island, Korea, Jun. 2010.
- [8] T. Seol, S. Yoon, and C. S. Kang, "Design and implementation of a protection system for the mentally handicapped using a GPS receiver and mobile communications," *J. KITS*, vol. 9, no. 4, pp. 207-217, Dec. 2010.
- [9] C. S. Kang and N. T. Dung, "An M2M-based ship collision avoidance and recognition system with dynamic alarm distance threshold and guard time," *Telecommun. Rev., Special Issue of M2M*, vol. 21, no. 7, pp. 87-102, Dec. 2011.
- [10] J. Y. Kim, D. G. Ahn, B. W. Bae, Y. G. Choi, and C. S. Kang, "Development of an M2M-based public restroom management system," *J. Korea Multimedia Soc.*, vol. 17, no. 12, pp. 101-111, Dec. 2016.
- [11] WHO (World Health Organization), *Burden of disease from Ambient Air Pollution for 2012*(2014), Retrieved Jul., 31, 2017, from http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair/databases/AAP_BoD_results_March2014.pdf.
- [12] International Agency for Research on Cancer, *Agents Classified by the IARC Monographs* (2017), Retrieved Jul., 31, 2017, from <http://monographs.iarc.fr/ENG/Classification/index.php>.
- [13] National Institute of Environmental Research, *Annual Environmental Report*(2016), Retrieved Jul., 31, 2017, from <http://webbook.me.go.kr/DLi-File/NIER/09/022/5618423.pdf>.
- [14] C. L. Muller, L. Chapman, S. Johnston, C. Kidd, S. Illingworth, G. Foody, A. Overeem, and R. R. Leigh, "Crowdsourcing for climate and atmospheric sciences: current status and future potential," *Int. J. Climatol.*, vol. 35, pp. 3185-3203, 2015.
- [15] Korea Environment Corporation, *Air Korea* (2017), Retrieved Jul., 31, 2017, from <http://www.airkorea.or.kr/airinfo>.
- [16] Ministry of Environment, *Air Pollution Monitoring Network Operation Plan*(2016), Retrieved Jul., 31, 2017, from <http://webbook.me.go.kr/DLi-File/NIER/09/021/5611177.pdf>.
- [17] Ministry of Environment, *Installation and Operation Guide of Air Pollution Monitoring Network*(2008), Retrieved Jul., 31, 2017, from <http://attfile.konetic.or.kr/konetic/xml/desins/12b1a0900001.pdf>.
- [18] Consultation Paper, "National ambient air quality monitoring programme 2017-2022," *Environmental Protection Agency*, Ireland: EPA, 2016.
- [19] H. S. Kim, D. S. Kim, S. J. Kim, G. S. Kim, and U C. Lee, "The development of indoor environment monitoring solution based of IoT (Internet of Things)," *J. Korean Soc. for Atmospheric Environ.*, vol. 31, no. 2, pp. 97-104, Apr. 2015.
- [20] C. S. Oh, M. S. Seo, J. H. Lee, S. H. Kim, Y. D. Kim, and H.-J. Park, "Indoor air quality monitoring systems in the IoT environment," *J. KICS*, vol. 40, no. 5, pp. 886-891, May 2015.
- [21] P. Spachos, L. Song, and D. Hatzinakos, "Prototypes of opportunistic wireless sensor networks supporting indoor air quality monitoring," *IEEE CCNC*, pp. 851-852, Las Vegas, USA, Jan. 2013.
- [22] J. Yang, J. Zhou, Z. Lv, W. Wei, and H. Song, "A real-time monitoring system of industry carbon monoxide based on wireless sensor networks," *Sensors 2015*, vol. 15, pp. 29536-29546, 2015.
- [23] H. K. Kim, S. J. Moon, J. D. Lee, and S. O. Choi, "Cattle shed management system based on wireless sensor network with bio and environmental sensors," *J. KICS*, vol. 38, no. 7, pp. 573-586, Jul. 2013.
- [24] M. Mead, O. Popoola, G. Stewart, P. Landshoff, M. Calleja, M. Hayesb, J. Baldovi, M. McLeod, T. Hodgson, J. Dicks, A. Lewis, J. Cohen, R. Baron, J. Saffell, and R. Jones, "The use of electrochemical sensors for monitoring urban air quality in low-cost,

high-density networks,” *Atmospheric Environ.*, vol. 70, pp. 186-203, May 2013.

- [25] H. C. Kim, S. M. Ha, H. S. Hong, and K. O. Kim, “Real-time odor monitoring and automatic air-sampling system,” *J. Korean Soc.r Atmospheric Environ.*, vol. 23, no. 1, pp. 125-131, 2007.
- [26] A. Zanella and L. Vangelista, “Internet of things for smart cities,” *IEEE Internet of Things J.*, vol. 1, no. 1, pp. 93-114, Feb. 2014.
- [27] G. L. Re, D. Peri, and S. D. Vassallo, “Urban air quality monitoring using vehicular sensor networks,” *Advances in Intell. Syst. Comput.*, vol. 260, pp. 311-323, 2014.
- [28] Ogam Technology, *GSNT11 Product Information*(2016), Retrieved Jul., 31, 2017, from http://www.kemco.or.kr/up_load/iecenter/club00000209_energyqa/SUM-GSNT11_K.pdf.
- [29] Aosong Electronics, *DHT11 Product Manual* (2010), Retrieved Jul., 31, 2017, from <https://akizukidenshi.com/download/ds/aosong/DHT11.pdf>.
- [30] T. J. Park, *et al.*, “LPWA IoT network technology trends,” *Electron. and Telecommun. Trends*, ETRI, vol. 32, no. 1, pp. 46-53, 2017.

김 승 호 (Seung-Ho Kim)



2014년 8월 : 동의대학교 컴퓨터 공학과 공학사
 2016년 8월~현재 : 창원대학교 친환경 해양 플랜트 FEED 공학과 석사과정
 <관심분야> 사물통신(M2M/IoT), 이동통신, 원격제어, IT 융합

정 중 문 (Jong-Mun Jeong)



2014년 2월 : 창원대학교 정보통신공학과 공학사
 2016년 2월 : 창원대학교 친환경 해양 플랜트 FEED 공학과 석사
 2016년 3월~현재 : 창원대학교 친환경 해양플랜트 FEED 공학과 박사과정

<관심분야> 네트워크 (IoT) 보안, 안드로이드 응용, 사용자 인증

황 민 태 (Min-Tae Hwang)



1990년 2월 : 부산대학교 컴퓨터 공학과 공학사
 1992년 2월 : 부산대학교 컴퓨터 공학과 공학석사
 1996년 2월 : 부산대학교 컴퓨터 공학과 공학박사

1996년 2월~1999년 2월 : 한국전 자동차연구원 표준연구센터 선임연구원
 1999년 3월~2000년 2월 : 인제대학교 정보컴퓨터공학부 전임강사
 2000년 3월~현재 : 창원대학교 정보통신공학과 교수
 <관심분야> 웹 프로그래밍, 안드로이드 응용, MAC 프로토콜, 비접촉 근거리무선통신

강 창 순 (Chang Soon Kang)



1984년 2월 : 경북대학교 전자공학과 공학사
 1986년 8월 : 연세대학교 전자공학과 공학석사
 2001년 2월 : KAIST 전자전산학과 공학박사

1989년 10월~2003년 2월 : 한국전자통신연구원 이동통신연구소 책임연구원
 2003년 3월~현재 : 창원대학교 정보통신공학과 교수
 <관심분야> 이동통신, 그린통신, 사물통신(M2M/IoT), IT융합(건설 IT, 선박 IT)