

청정환기장치 최적제어를 위한 IoT 기반 실시간 공기질 모니터링 플랫폼 구현[☆]

IoT Based Real-Time Indoor Air Quality Monitoring Platform for a Ventilation System

수딘 프라사드 우프레티¹ 김 유 신^{2*}
Sudan Prasad Uprety Yoosin Kim

요 약

본 연구는 사물인터넷(IoT) 센서를 이용해 실내공기질에 주요한 영향을 미치는 미세먼지, 초미세먼지, 이산화탄소, 유기화합물과 온도, 습도 데이터를 실시간으로 수집/분석할 수 있는 실시간 실내공기질 모니터링 서비스를 클라우드 플랫폼으로 구현하였다. 이를 실내공기 정화시설인 청정환기장치와 연동하여 실시간 실내공기질 상태에 따라 환기장치 최적관리할 수 있도록 하였다. 본 플랫폼은 청정환기장치 내외부에 장착된 실내공기질 측정 센서로부터 실시간으로 데이터를 수집하는 IoT 데이터 수집부, 수집된 데이터를 클라우드 환경에서 가공/처리/적재하는 클라우드 데이터 처리부, 적재된 빅데이터를 분석하고 공기질 현황을 웹과 모바일에 시각화하여 보여주는 데이터 분석 서비스부로 구성된다. 그리고 이러한 플랫폼의 가동과 효과를 검증하기 위해 공기질에 민감한 영유아의 교육 생활환경인 국공립 어린이집 교실을 대상으로 실증을 실시하였다. 모든 분석 결과는 웹과 모바일에서 실시간으로 시각화 서비스될 수 있도록 실증 구현하였고, 환기장치의 실내공기질 개선효과는 실내공기질 측정 센서들의 측정값을 통계적으로 검증하여 공기질 개선에 기여하고 있음을 확인하였다.

☞ 주제어 : 미세먼지, 사물인터넷(IOT), 실내공기질, 실시간데이터분석, 클라우드

ABSTRACT

In this paper, we propose the real time indoor air quality monitoring and controlling platform on cloud using IoT sensor data such as PM10, PM2.5, CO2, VOCs, temperature, and humidity which has direct or indirect impact to indoor air quality. The system is connected to air ventilator to manage and optimize the indoor air quality. The proposed system has three main parts; First, IoT data collection service to measure, and collect indoor air quality in real time from IoT sensor network. Second, Big data processing pipeline to process and store the collected data on cloud platform and Finally, Big data analysis and visualization service to give real time insight of indoor air quality on mobile and web application. For the implication of the proposed system, IoT sensor kits are installed on three different public day care center where the indoor pollution can cause serious impact to the health and education of growing kids. Analyzed results are visualized on mobile and web application. The impact of ventilation system to indoor air quality is tested statistically and the result shows the proper optimization of indoor air quality.

☞ keyword : Fine-Dust, IoT, Indoor Air Quality, Real-Time Data Analysis, Cloud Computing

1. 서 론

최근 들어 급격히 심화해진 공기질의 악화로 인해 야외 활동뿐만 아니라 실내 공간에서의 일상생활의 불편함

이 가중되고 있으며, 미세먼지로 인한 질병 발생 및 사망 등의 건강에 대한 우려와 피해도 급증하고 있다. 특히 날씨와 바람 등에 의해 자연 정화가 가능한 실외 공기질에 비해 실내 공기질은 인위적인 환기 또는 공기정화 활동이 없을 경우 실내의 공기 오염도는 급속히 악화될 수 있다. 우리가 생활하는 실내환경에서 보다 쾌적하고 안전한 공기질을 확보하기 위해서는 먼저 미세먼지를 비롯한 다양한 공기질 오염 요소를 측정하여 공기질의 수준을 진단할 수 있는 실시간 공기질 모니터링 시스템이 요구되고 있다.

이를 위해 본 연구는 실내공기질에 주요한 영향을 미

¹ Graduate School of Business IT, Kookmin University, Seoul, Korea

² Alticast Inc. Chief Data Scientist

* Corresponding Author (iamyoosin@google.com)

[Received 27 September 2020 Reviewed 1 October 2020, Accepted 11 October 2020]

☆ 이 논문은 2020년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술연구원의 지원을 받아 수행된 연구임(20192020101170, 미세먼지 대응 건물 청정환기 열회수시스템 개발)

치는 미세먼지, 초미세먼지, 이산화탄소, 휘발성유기화합물 물질과 온도, 습도 데이터를 실시간으로 수집/분석할 수 있는 사물인터넷 기반의 클라우드 플랫폼(Dust-eco Service Platform, DSP)을 구현하였다. DSP는 실내공기질 측정 센서로부터 실시간으로 데이터를 수집하는 IoT 데이터 수집부, 실시간으로 수집된 데이터를 클라우드 환경에서 가공/처리/적재하는 클라우드 데이터 처리부, 적재된 빅데이터를 분석하고 공기질 현황을 시각화하여 보여주는 빅데이터 서비스부로 구성된다. 본 플랫폼의 실증을 위해 어린이집 세 곳에 공기질 측정센서를 설치하고 데이터 수집, 처리, 분석 서비스를 구현하여 실시간으로 공기질 변화를 확인하였다. 또한 외부 공기질 상태와, 공기정화장치의 가동 데이터도 수집하여 상호 비교함으로써 실내 공기질 관리의 편의성을 향상시켰다. 이러한 실시간 실내 공기질 모니터링 서비스는 창문개폐 등의 자연환기 또는 공기청정기나 공기정화시설을 가동함으로써 실내 공기질을 관리하는 데 유용한 정보가 될 것이다. 궁극적으로 실내 공기질 현황 및 데이터 분석 결과를 확인할 수 있는 모니터링 서비스와 공기정화장치 제어 서비스를 제공하는 것을 목표로 하고 있으므로 이를 위한 실내 공기질 센서 데이터의 유효성 분석, 실내 공기질 진단 모델링, 공기정화장치와의 인터페이스, 다중 시설과 장비에 대한 통합 관제 등 여러 가지 측면의 서비스 플랫폼 기능들을 어린이집 실증을 통해 구현하고 검증하고자 한다.

2. 관련 연구

미세먼지의 심각성을 인식하고 해소하기 위한 연구가 다방면에서 진행되고 있다. 특히 실내 공기질 개선을 위해 ICT 분야에서는 사물인터넷을 이용한 공기질 측정 센서와 데이터 분석, 그리고 공기정화시설의 인공지능 제어 등에 많은 관심과 연구가 이루어지고 있다. 사물인터넷(Internet of Things, IoT)는 각종 사물에 센서와 통신 기능을 내장하여 인터넷에 연결하는 기술로서, 무선 통신을 통해 각종 사물을 연결하는 기술을 의미하며, 그 활용으로 인해 경제적 파급효과가 매우 크다(정우수 외, 013). 여기서 사물이란 가전제품, 모바일 장비, 웨어러블 디바이스 등 다양한 종류의 디바이스가 사용되는데, 사물인터넷 서비스를 위해 디바이스들은 주로 비면허 대역의 주파수를 사용하는 통신기술을 활용하고 있다(이영찬 외, 2019). 그러므로 사물인터넷에 연결되는 사물은 자신

을 구별할 수 있는 유일한 아이피를 가지고 인터넷으로 연결되어야 하며, 외부 환경으로부터의 데이터 취득을 위해 네트워크 센서를 내장할 수 있다. 최근에는 사물 인터넷 기술이 스마트 시티와 같이 광범위하고도 즉각적으로 활용될 수 있도록 실시간의 대용량 빅데이터를 처리하는 기술의 고도화가 요구되고 있다(윤창호 외, 2017).

미세먼지 측정 또는 공기질 모니터링 시스템 구축을 위해 사물인터넷을 활용한 연구들도 점차 증가하고 있다. 먼저 노진호,탁한호(2017)의 사물인터넷기반 미세먼지 측정 시스템 구현 연구에서는 아두이노 Mega ADK에 먼지센서 PM1001과 온.습도센서 SHT75를 설치하고 와이파이 모듈의 일종인 ESP8266을 이용하여 데이터를 AP를 통해 자체 서버로 전송 후 이를 스마트폰에서 모니터링할 수 있는 프로토타입 시스템을 구현하였다. 김웅태 외(2016) IoT 기반 실내 공기오염 측정 시스템 연구에서 제안한 에어세콤(AirSecom)은 미세먼지와 온습도 외에도 CO₂, O₂, VOCs 등을 측정하고, 기상청 대기오염정보 API를 통해 실외 공기질 데이터를 수집하여 실내외를 비교하여 보여주고 있다. 또한 제안한 시스템의 데이터 수집 및 공기질 측정 성능 확인을 위해 초와 담배연기 두가지 시료의 실험을 통해 실내공기 상태 변화를 어플리케이션(App)에서 구현하였다.

해외 여러 연구에서도 사물인터넷을 이용해 실내 공기질을 측정하고 모니터링 하는 플랫폼을 제안하거나 구축하는 연구들이 점차 활발해지고 있다. Yang, Chao-Tung 외(2019)은 Cloud 및 ZigBee 무선 센서 네트워크 기반의 공기질 모니터링 시스템인iDEMS를 제안하였다. OpenShift를 활용하여 분산시스템 구축하였다. 데이터 처리 및 적재를 위해서 Hbase를 활용하며, 웹기반 공기질 모니터링 플랫폼 구축하였다. Pradityo, Fadli, and Nico Suranthas(2019)는 IoT 및 Fuzzy Logic 기반의 실내 공기질 모니터링 및 제어하는 시스템을 제안하였다. 실내공기질로는 CO₂ 및 PM10만 수집하였다. Min, Kyeong T외(2018)은 에너지 효율성을 고려한 Randomized Controlled Trial(RCT) 방법제시 하여 실내 청정기 자동제어 할 수 있는 시스템을 구축하였다.

선행 연구에서 보이는 바와 같이 아직까지 국내의 연구들은 IoT 기반의 실내공기질 측정 센서를 이용하여 실내 또는 특정 공간에서의 공기질 상태를 측정하고 이를 시각화하여 보여주고 있다. 그러나 최근 수년 동안 초미세먼지 등의 유해공기인해 대기질 상태가 매우 심각해지고 있으며, 특히 실내 공기질은 인위적인 환기 또는 공기정화 활동이 없을 경우 실내의 공기 오염도는 급속히 악

화될 수 있다. 그러므로 실내 공기질 측정 결과는 단순히 모니터링 서비스를 넘어 실제 창문개폐 등의 자연환기 또는 공기청정기나 환기장치를 가동함으로써 실내 공기질을 관리하는 데 사용된다면 보다 유용한 정보가 될 것이다. 이를 위해 본 연구에서는 청정환기장치와 실내공기질센서가 동시에 설치 가능되는 환경에서 실내 공기질 모니터링 서비스를 통해 실내공기 정화시설인 청정환기장치를 최적관리할 수 있도록 플랫폼을 구현하고, 공기질 상태에 민감한 영유아의 교육/생활 환경인 어린이집 교실을 대상으로 실증하고자 한다.

3. 실시간 공기질 모니터링 플랫폼

실시간 공기질 모니터링 플랫폼은 다중 공간의 실내 공기질을 실시간으로 모니터링 할 수 있도록 실내공기질 측정 센서로부터 실시간으로 데이터를 수집하는 IoT 데이터 수집부, 실시간으로 수집된 데이터를 클라우드 환경에서 가공/처리/적재하는 클라우드 데이터 처리부, 적재된 빅데이터를 분석하고 공기질 현황을 시각화하여 보여주는 빅데이터 분석서비스부로 구성된다.

3.1 IoT 데이터 수집부

사물인터넷(Internet of Things)은 사물이 인터넷으로 연결되어 정보가 생성,수집,공유,활용되는 초연결 인터넷 네트워크 기술로서, 실내공기질 데이터를 실시간 수집, 처리하고 제어하기 위해서는 다양한 기종의 IoT 디바이스들과 통신하고 디바이스로부터 생성된 데이터를

을 통해 직접 데이터 송수신을 담당하는 엣지 게이트웨이와 엣지 게이트웨이에서 수집한 데이터를 수집하는 클라우드 IoT 게이트웨이로 구성된다.

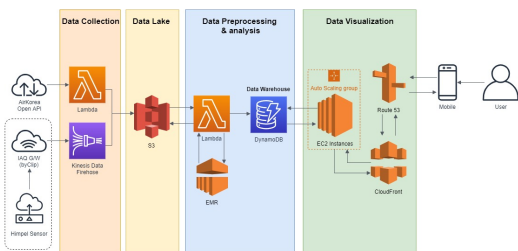
본 연구에서는 이러한 엣지 게이트웨이를 실내공기질 관리에 필요한 IoT 디바이스들의 데이터를 통합 연결해 준다는 의미로 “IAQ Hub”라 명명하였다. IAQ Hub는 통신 프로토콜이 서로 다른 디바이스들로부터 필요한 데이터를 수집하기 위해서 필요한 통신 프로토콜을 모두 갖추어 각 디바이스들과 송수신 기능을 수행할 수 있어야 한다. 다양한 IoT 디바이스로부터 실시간으로 들어오는 원시 데이터를 취합하여 클라우드 IoT 게이트웨이에 전달하고, 거꾸로 IoT 디바이스들에 대한 제어 명령어를 전달 받아 해당 기기에 전달하여 제어하는 역할을 담당한다. IAQ Hub는 디바이스 연결을 위해 RS-485, Wifi, ZwavePlus 표준 등 세가지 통신 프로토콜을 구현하였고, 엣지 게이트웨이인 IAQ Hub와 클라우드 IoT 게이트웨이와는 MQTT over SSL을 통해 통신을 수행하였다.

클라우드 IoT 게이트웨이는 IAQ Hub로부터 IoT 디바이스의 원시데이터들을 전달받아 클라우드 데이터베이스에 이를 적재하는 역할을 수행한다. 클라우드 IoT 게이트웨이 구현은 AWS 클라우드를 사용하였으며, IoT 디바이스로부터 실시간으로 수집된 모든 원시 데이터는 일분 단위로 AWS S3 데이터베이스에 적재된다. 이외에도 클라우드 IoT 게이트웨이는 IoT 디바이스 이외의 다른 소스 데이터, 가령 공공데이터의 기상정보와 같은 외부 데이터들도 수집하여 클라우드 데이터베이스에 적재한다.

3.2 클라우드 데이터 처리부

실시간 공기질 모니터링 플랫폼의 클라우드 실시간 데이터 처리부는 AWS(Amazon Web Service) 클라우드 플랫폼을 사용하여 구현하였다. 클라우드 플랫폼은 인터넷이 가능한 어디서나 서버, 데이터베이스, 애플리케이션 등에 접근할 수 있는 컴퓨팅 서비스 모델이다. 클라우드 서비스는 사용자가 컴퓨팅 환경을 직접 구축할 필요없이 클라우드 플랫폼에서 제공되는 다양한 서비스 중에서 사용자가 필요로 하는 서비스를 필요한 만큼만 사용하고 그에 따른 비용을 지불하기 때문에 초기 구축비용이 저렴하고 유지관리 노력이 절감되는 장점이 있다. 클라우드를 사용함으로써 얻는 이점은 다음과 같다.

- 확장성 : 수집할 센서 디바이스 및 데이터 용량 증가, 데이터 이용자의 트래픽 증감에 따라 확대 / 축소가



(그림 1) 서비스 플랫폼 아키텍처
(Figure 1) Service Platform Architecture

클라우드 플랫폼으로 연결해주는 IoT 데이터 통합 게이트웨이가 필요하다. 이러한 역할을 수행하기 위해 IoT 데이터 통합 게이트웨이는 IoT 디바이스와 근거리 통신

용이함

- 생산성 : 데이터 사용자의 접근성, 편의성에 빠르고 유연하게 대응할 수 있는 DevOps 구현이 가능함
- 신뢰성 : 다중의 가용영역(Availability Zone)을 이용하여 서비스 다운타임을 최소화 하기 위함
- 경제성 : 하드웨어 도입 및 운영에 필요한 투자 비용을 최소화 함.

클라우드 컴퓨팅은 IaaS, PaaS, SaaS 등 다양한 수준의 서비스를 제공한다. IaaS는 Infrastructure as a Service의 약어로 물리적 컴퓨팅 자원, 위치, 보안 등과 같은 환경을 제공하는 모델이며, PaaS는 Platform as a Service로 응용 프로그램 개발자들에게 개발 환경을 제공하는 모델이고, SaaS는 Software as a Service로 공급자가 만든 응용 프로그램을 사용자가 직접 바로 사용할 수 있는 서비스이다. AWS는 미국의 아마존(Amazon)에서 제공하는 클라우드 플랫폼 서비스로 전세계적으로 가장 높은 시장점유율을 확보하고 있으며 그만큼 다양하고 수준높은 서비스를 제공하고 있다. 본 연구에서는 Amazon S3, Lambda, Kinesis, EC2 등의 다양한 서비스를 이용하여 IoT센서 데이터를 수집/처리/가공/적재하였다. 먼저 데이터 전처리 모듈에서는 여러 IoT 센서로부터 수집된 원시 데이터를 S3에 적재하여 Data lake로 활용하였고, 이렇게 적재된 데이터는 Lambda를 통해 데이터 포맷 형식과 같은 유효성 검증을 하게 된다. 다음으로 여러 IoT 센서로부터 유입된 데이터들의 유효성을 검증하고 데이터 분석과 서비스 규격에 맞도록 데이터를 가공 및 정제 한다. 이렇게 정제된 데이터는 AWS DynamoDB에 적재 되고 이렇게 적재된 데이터는 EC2(Web Container) 가 Access 할 수 있게 된다. EC2(Web Container)는 DynamoDB에 적재된 데이터를 Business Logic 에 따라 데이터 분석 서비스로 구현되어 사용자에게 제공된다.

3.2 데이터 분석 서비스부

데이터 분석서비스부는 여러곳의 설치된 공기질 측정 IoT 센서로부터 실시간으로 수집된 실내 공기질 데이터를 분석하고 그 결과를 서비스하는 모듈이다. 본 모듈의 첫 번째 활동은 데이터를 본격적으로 분석하기 전에 클라우드로 수집되어 처리, 적재된 데이터에 부정확한 데이터가 존재하는지 확인하는 데이터 정합성 검증이 먼저 이루어진다. 원시 데이터(Raw Data)가 부정확하면 데이터 분석 결과를 신뢰할 수 없기 때문에 데이터의 정합성

검토는 분석 전에 꼭 이루어져야할 필수 활동이다. 부정확한 데이터를 발생할 수 있는 요인들로는 1) 데이터의 누락 현상, 2) 데이터 구축 및 통합 이후 지속적으로 발생하는 오류 데이터 현상, 3) 데이터 추출, 변환, 탑재, 통합 등의 데이터 이동 및 재 구조화시의 불일치 발생 등이 있을 수 있다. 이러한 현상을 찾아내기 위해 데이터 전처리와 EDA를 통해 데이터들을 사전에 검증하는 작업을 수행하였다.

정합성 검증을 마친 데이터(Qualified Data)는 실내공기질 분석 기준에 따라 재가공, 집계, 분류되고 실시간 현황정보 및 과거 데이터들의 통계 분석 정보를 포함하여 사용자에게 제공된다. 또한 이를 사용자가 쉽게 실내 공기질 수준을 이해할 수 있도록 다양한 그래프와 시계열 차트 등으로 시각화하고 전체 현황을 한눈에 볼 수 있도록 대시보드 형태로도 서비스된다. 이때 사용되는 실내 공기질에 대한 분석 기준은 본 연구의 궁극적인 목표인 “실내공기질 최적 관리를 통한 공기질 민감 계층의 쾌적 실내 공기질 유지”에 맞추어 각 공기질에 대한 기준 제한선 및 공기질 등급을 설정하였다. 각 지표에 대한 기준은 통합대기환경지수, (사)한국실내환경학회 조사보고서 등을 참고하였으며, 각각의 기준값은 그림 2와 같다. 이러한 공인된 분류 기준들은 기상정보나 공기질 모니터링을 위한 가이드라인으로 실내공기질을 실시간으로 측정하여 분류 기준에 따라 공기질 상태를 좋음 또는 나쁨 등으로 보다 명시적으로 표현해줄 수 있다.

구분	센서#	단위	좋음	보통	나쁨	매우나쁨
PM2.5	#4	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0 ~ 15 미만	15 ~ 35 미만	35 ~ 75 미만	75 이상
PM10	#4	($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0 ~ 30 미만	30 ~ 80 미만	80 ~ 150 미만	150 이상
CO2	#4	(ppm)	0 ~ 700 미만	700 ~ 1,000 미만	1,000 ~ 1,500 미만	1,500 이상
TVOC	#2	(ppb)	0 ~ 65 미만	65 ~ 660 미만	660 ~ 2,200 미만	2,200 이상
온도	#2	($^{\circ}\text{C}$)	18 ~ 25 미만	15 ~ 18 미만 23 ~ 28 미만	9 ~ 15 미만 28 ~ 34 미만	9 미만 34 이상
습도	#2	(RH%)	40~50 미만	20~40 미만 50~65 미만	15~20 미만 65~80 미만	15 미만 80 이상

- 1ppm = 1,000ppb
- ppm : parts per million (입자 농도)
- ppb : parts per billion (입자 농도)
- $\mu\text{g}/\text{m}^3$: microgram per cubic meter (질량 농도)

(그림 2) 실내 공기질 분류 기준
(Figure 2) Indoor Air Quality Classification Standard

4. 서비스 플랫폼 실증 - 어린이집 교실

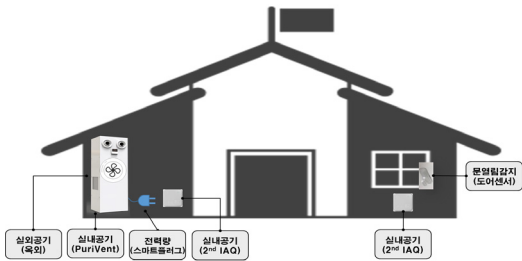
본 연구 미세먼지예코서비스 플랫폼 개발에 대한 실증을 위하여 서울시 기후환경본부 대기정책과의 지원으로 선정된 3개 서울시 구립 어린이집의 교실 한곳을 실험군으로 지정하여 청정환기장치와 공기질 측정기를 설

치하고 실내외 공기질 측정 데이터를 실시간으로 수집·처리·분석하였다. 그리고 청정환기장치가 설치되지 않은 다른 교실 한곳을 대조군으로 삼아 실험군에서 청정환기장치가 가동중일 때 공기질의 변화와 대조군의 공기질 상태를 비교분석할 수 있도록 실증환경을 구성하였다. 공기질 측정기를 설치하여 참고로 실증환경인 어린이집은 다수의 영유아가 모여 함께 생활하고 보육서비스를 제공받는 곳으로, 위생환경에 취약한 영유아가 공기질 환경에 매우 민감하게 영향을 받을 수 있으므로 청정 공기질을 유지하는 것이 매우 중요하다.

4.1 실증환경 및 IoT 디바이스 구성

본 연구에서는 어린이집 교실 중 1실을 선정하여 교실 내외부 공기질을 실시간으로 측정할 수 있는 공기질 측정센서(Indoor Air Quality sensor)와 열회수교환 청정환기장치를 설치하였다. 청정환기장치는 실외공기를 흡입하여 미세먼지와 부유물들을 필터로 제거한 후 실내에 공급하는 기계 장치이다. 청정환기장치에는 실내 공기질 측정 센서 1식이 기본 내장되어있으나 추가로 3식의 공기질 측정 센서를 장치 내외부에 장착하였다. 먼저 추가 1식은 환기장치가 외부공기를 흡입하는 외부 배관 밖에 설치하여 외부공기질을 측정하고, 다음 센서는 필터 전에 설치하여 흡입된 공기가 필터로 정화되기전 공기질 상태를 측정하도록 하였다. 마지막 센서는 필터에서 정제된 공기가 배출되는 배출구 앞에 설치하여 필터 정화 이후의 공기질을 측정하였다.

이외에도 청정환기장치와 이격된 위치에서 실내 공기질을 측정하는 2차 공기질측정기(이하 2nd IAQ)을 설치하여 환기장치를 통해 정화된 공기가 같은 교실안에서도 환기장치와 거리가 떨어진 곳까지 순환되는지를 측정하고자 하였다. 이러한 장치들은 어린이집의 여러 교실 중

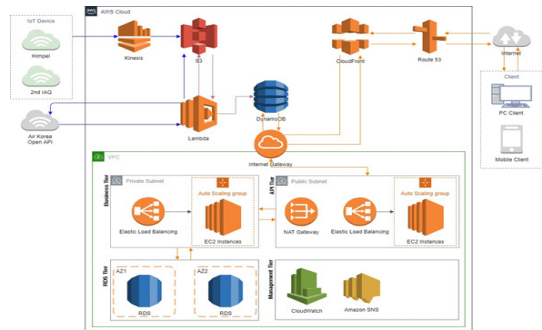


(그림 3) 실내공기질 측정 디바이스 설치 조감도

(Figure 3) Sensor installation for Indoor Air Quality

1곳에만 설치되었는데, 청정환기장치가 설치되지 않은 교실의 공기질 상태를 비교분석해보고자 다른 교실 1곳에는 2nd IAQ만을 설치하여 데이터를 수집하였다. 그 외 부수적으로 문열림감지장치와 전력량 측정기와 같은 IoT 디바이스가 추가 설치되었다.

IAQ Hub는 청정환기장치 공기질 측정 및 기기 정보/제어를 위하여 RS-485 프로토콜을 사용하였고, 스마트플러그, 도어센서와의 연결을 위해서는 ZwavePlus 표준 프로토콜을 사용하였고 Wifi로 클라우드 서버 으로부터 수집 데이터들을 전송하여 주었고, 2nd IAQ 공기질 측정 데이터는 해당 제품의 데이터서버로부터 IoT 클라우드 게이트웨이에서 수집하여 IAQ Hub에서 수집된 데이터와 함께 공간정보를 매핑, 통합 처리를 해주었다.



(그림 4) 클라우드 기반 시스템 아키텍처

(Figure 4) Cloud Based System Architecture

IoT 클라우드 게이트웨이에서 수집된 원시 데이터는 30초 단위로 AWS kinesis 스트리밍 서비스를 통해서 S3에 적재되도록 데이터 파이프라인을 구축하였다. AWS event 기반의 서비스를 활용하여 S3 객체 생성 또는 업데이트 시 데이터 전처리, 시간당 또는 일일 통계 데이터 생성 및 Dynamo DB에 적재해주는 Lambda 함수를 실행하게끔 설정하였다. 실증장소와 각 IoT 센서에 대한 매핑 정보는 RDS 서비스를 활용하였으며, 실증지역에 대한 날씨 정보와 공기질 데이터도 에어코리아의 오픈 API를 이용해 30분 간격으로 수집하고 AWS의 Lambda를 거쳐 해당 지역의 어린이집 실내공기질과 매핑 하여 적재할 수 있는 파이프라인 구축하였다.

이렇게 수집/처리/적재된 데이터들은 데이터 분석 파이프라인에서 이용할 수 있도록 마이크로 서비스 아키텍처 기반에서 외기질 데이터 조회, 실내공기질 데이터 조회, 장비정보 조회, 권한정보 조회 서비스로 구현되어 EC2에

배포하였다. 이때 수집된 데이터 확인을 위한 웹 데시보드는 AWS Cloud front를 통해서 S3에 배포하였다. 추가로 데이터 분석 과정의 시스템 로드를 고려하여 서비스 장애 및 다운타임을 줄이기 위해서 EC2 오토스케일링이 가능하도록 설정하였으며, 각 마이크로 서비스에 상태정보 모니터링 및 변경을 위해 registry 서비스 및 설정 서비스도 구축하였다. 그 외에도 구축된 마이크로 서비스 및 Lambda 함수 관련 모니터링 로그관리는 AWS Cloud Watch 서비스를 활용하고, EC2서비스 로드밸런싱을 위해서 AWS Elastic load balancing을 이용하였다.

4.2 데이터 수집 및 처리

어린이집 교실 실내 공기질 측정을 위해 수집되는 데이터는 청정환기장치가 설치된 교실의 5대의 IAQ와 환기장치가 없는 교실의 IAQ 1기로부터 교실 실내외 공기질 데이터가 실시간으로 수집된다. 이외에 공공데이터 오픈 API를 이용해 지역별 미세먼지 등 대기환경정보를 수집하여 어린이집이 위치한 지역의 공기질 현황을 참고하였다. 다만 공공데이터의 특성상 지역범위가 넓고 데이터 수집 주기가 시간당 제공된다는 한계가 있어 실험 기간 내의 전반적인 날씨와 공기질 현황을 고려하는 수준에 그쳤다. 아래 표1은 각 센서들의 대한 위치와 수집 데이터 항목에 대한 설명이다.

(표 1) IAQ 센서 구성과 수집 항목
(Table 1) IAQ Sensor and Features

구분	장점	CO2	PM2.5	PM10	TVOC	온도	습도
실외공기	공공데이터	-	0	0	-	0	0
	PurVent(옥외) (센서팩#3)	0	0	0	0	0	0
	PurVent(멀티팩) (센서팩#1)	0	0	0	0	0	0
실내공기(Room1)	PurVent(멀티팩) (센서팩#2)	0	0	0	0	0	0
	PurVent (센서팩#4)	0	0	0	-	-	-
실내공기(Room2)	2nd IAQ-01	0	0	-	0	0	0
	2nd IAQ-02	0	0	-	0	0	0

* Room1 : PurVent 멀티팩
 * Room2 : PurVent 미설치

실증장소에서의 각 센서별 측정데이터는 30초 단위로 적재하고 있으며 각 실증 장소에 설치된 모든 센서팩 및 제어 보드가 정상 가동 될 때 실증장소별 일일 8-10MB의 데이터가 수집된다. 각 어린이집 및 실험실별 2020년 2월 말에 수집된 데이터 현황은 다음과 같다.

(표 2) 수집된 센서 데이터 정보
(Table 2) Sensor Data

공공데이터	센서번호	분리식 환기장치	청정환기장치유무	co2 (ppm)	pm2.5 (ug/m3)	pm10 (ug/m3)	온도 (도)	습도 (%)	수집일자	
실외공기	실외공기센서-D	2nd IAQ-02		442	0.7	11	20	23.940003	2020-02-29 15:00:00-0900	
동작구	동작구실내공기-A	2nd IAQ-A01		470	0.6	8	23	21.0499924	2020-02-29 15:00:00-0900	
동작구	동작구실내공기-D	2nd IAQ-D01		451	0.7	10	20	23.6999985	2020-02-29 15:00:00-0900	
공공데이터	공공데이터-B	공공데이터		444	0.8	12	26	45	25	27 2020-02-29 15:00:00-0900
공공데이터	공공데이터-B	공공데이터		438	0.8	0	26	5	25	27 2020-02-29 15:00:00-0900
공공데이터	공공데이터-B	공공데이터		451	0.8	27	26	40		2020-02-29 15:00:00-0900
공공데이터	공공데이터-B	공공데이터		514	0.8	92	26	112	15	45 2020-02-29 15:00:00-0900
공공데이터	공공데이터-B	공공데이터		0	0	0	0	0	0	2020-02-29 15:00:00-0900
공공데이터	공공데이터-B	공공데이터		446	0.8	29	26	42	25	27 2020-02-29 15:00:00-0900
공공데이터	공공데이터-B	공공데이터		429	0.8	0	26	5	25	27 2020-02-29 15:00:00-0900
공공데이터	공공데이터-B	공공데이터		450	0.8	27	26	40		2020-02-29 15:00:00-0900
공공데이터	공공데이터-B	공공데이터		515	0.8	86	26	105	15	43 2020-02-29 15:00:00-0900
공공데이터	공공데이터-B	공공데이터		0	0	0	0	0	0	2020-02-29 15:00:00-0900
동작구	동작구실내공기-A	2nd IAQ-A01		470	0.6	8	23	20.9300076	2020-02-29 15:01:00-0900	
실외공기	실외공기센서-D	2nd IAQ-D02		438	0.7	12	20	22.9400033	2020-02-29 15:01:00-0900	
동작구	동작구실내공기-D	2nd IAQ-D01		451	0.7	9	20	23.6999962	2020-02-29 15:01:00-0900	
공공데이터	공공데이터-B	공공데이터		446	0.8	29	26	42	25	27 2020-02-29 15:01:00-0900
공공데이터	공공데이터-B	공공데이터		438	0.8	0	26	5	25	27 2020-02-29 15:01:00-0900
공공데이터	공공데이터-B	공공데이터		450	0.8	29	26	42		2020-02-29 15:01:00-0900
공공데이터	공공데이터-B	공공데이터		515	0.8	88	26	107	15	43 2020-02-29 15:01:00-0900

4.3 실내공기질 분석 서비스

실내공기질 모니터링 플랫폼은 여러 지역에 위치한 청정환기장치와 실내공기질 센서에 설치된 IoT Device에서 30초 단위로 측정된 실시간 공기질 원시 데이터를 IoT 게이트웨이를 통해 AWS 클라우드 서버로 전송/수집/적재하고, 이를 클라우드 처리부에서 가공 및 정제 후 빅데이터 분석을 통하여 어린이집 교실의 실내공기질 상태를 실시간으로 확인할 수 있도록 실내공기질 분석 서비스를 제공하고 있다. 여기에는 교실의 실내 공기질 현황뿐만 아니라 청정환기 장치의 가동여부와 공공데이터에서 수집된 외부 공기질 현황까지를 한눈에 볼 수 있도록 서비스를 구현함으로써 청정환기장치의 최적제어를 지원할 수 있도록 하였다(그림 5 참조).

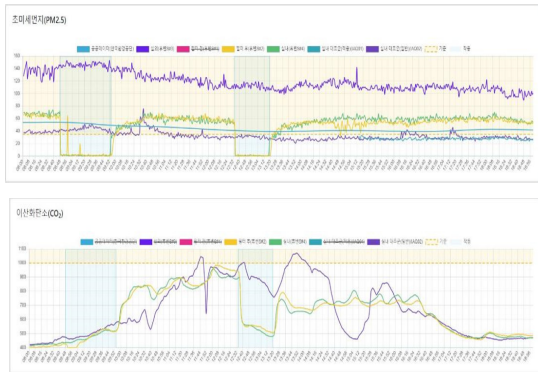


(그림 5) 실시간 공기질 모니터링 서비스 화면
(Figure 5) Real-time Air Quality Monitoring Dashboard

그림 5는 어린이집에서 청정환기장치와 센서들이 실제 가동중인 상태의 예시화면으로 2020-01-17 PM5:45 기준 어린이집 3곳의 환기시스템 작동 상태와 실내외 공기

질 현황을 보여주고 있다. 그림 5에서 보이는 바와 같이 환기시스템이 작동중인 개미, 언뜻 어린이집은 공기질 지표들이 모두 “좋음” 인 반면, 환기장치가 미작동 상태인 참사랑 어린이집은 상대적으로 “보통” 과 “나쁨”을 보이고 있다.

또한 실내공기질 분석 서비스에서는 미세먼지, 초미세먼지, 이산화탄소 등 개별 공기질 측정값들에 대해서도 실시간 변화 추이를 알 수 있도록 상세 수치와 함께 시계열 선형 그래프로 제공하였다. 이때 공기질 항목의 위험권고 기준을 표시하여 실제 측정값의 수준을 쉽게 알 수 있도록 하고, 환기시스템의 가동 여부를 선형그래프의 백그라운드 색상 변화로 표시하여 구분이 쉽도록 하였다.



(그림 6) 공기질 현황 시계열 그래프
(Figure 6) Air Quality Time Series Graph

그림 6은 어린이집 교실의 실내의 초미세먼지 PM 2.5 과 이산화탄소 농도의 측정결과를 실시간으로 보여주고 있으며, 청정환기장치를 가동했을 경우 초미세먼지가 제거되어 공기질이 개선됨을 확인할 수 있다.

4.4 실내공기질 개선효과 검증

앞서 실내공기질 분석 서비스에서 제공되는 모니터링 대시보드와 공기질 현황 시계열 그래프 들은 실증장소와 환기장치, 시점(기간)을 특정하여 실내공기질 현황을 시각적으로 제시하고 있다. 여기에서는 실증이 진행된 일정 기간동안 환기장치가 가동되었을 경우 실내공기질이 개선되었는지 통계적으로 검증해보고자 한다. 이를 위해 2020년 1월~2월 사이 세 곳의 어린이집에서 환기장치가 가동된 시점을 확인한 결과 총 73회(성동구 23회, 동작구

11회 금천구 39회) 장치 가동이 되었다. 이에 대해 실내 공기질 개선효과를 검증하고자 환기장치가 가동되기 10분전의 초미세먼지 PM 2.5 측정값과 어느 정도 환기가 이루어진 가동 후 11분~20분까지 10분 동안의 PM 2.5 측정값을 수집하였다. 각 센서 데이터를 선별한 결과 가동 전 6501회 센싱 가동 후 6221회 측정값이 존재했다. 이 원시 데이터에는 환기장치에 달려있는 4개의 공기질 측정 센서와 같은 교실의 2nd IAQ와 환기장치가 없는 교실의 IAQ 등 6개 센서값이 모두 포함되어있다. 이 중 환기장치가 설치된 실내공기질을 측정하는 센서#2와 2nd IAQ1, 그리고 비교 가능한 다른 교실의 2nd IAQ2로부터 측정된 초미세먼지 농도를 비교분석하고 대응표본 t 검증을 통해 통계적 유의성을 확인하였다. 아래 그림 7은 성동구 어린이집 교실의 1월초 환기장치 가동 이벤트 전후의 PM 2.5값을 가동전과 후의 평균값으로 변환한 데이터 샘플이다. 센서팩#2는 환기장치의 정화된 공기질을 측정하는 센서이므로 환기장치가 가동된 후의 공기질이 크게 개선됨을 알 수 있다.

event_time	face_no	device_name	h_befo	h_aft	san_gi
2020-01-02 00:20:54	성동구	센서팩#2	28.90	1.47	27.43
2020-01-02 22:29:24	성동구	센서팩#2	56.71	5.40	51.31
2020-01-05 22:56:32	성동구	센서팩#2	26.38	1.30	25.08
2020-01-06 22:30:33	성동구	센서팩#2	1.81	0.80	1.01
2020-01-07 22:36:36	성동구	센서팩#2	0.00	0.00	0.00
2020-01-08 22:21:38	성동구	센서팩#2	48.00	3.70	44.30
2020-01-10 00:26:13	성동구	센서팩#2	37.62	5.32	32.30
2020-01-12 22:43:48	성동구	센서팩#2	11.33	1.55	9.78
2020-01-13 01:10:21	성동구	센서팩#2	5.38	0.00	5.38
2020-01-13 22:27:50	성동구	센서팩#2	9.00	0.80	8.20
2020-01-14 11:08:07	성동구	센서팩#2	3.05	0.20	2.85
2020-01-14 22:45:52	성동구	센서팩#2	15.70	2.40	13.30
2020-01-15 22:27:55	성동구	센서팩#2	12.80	2.05	10.75
2020-01-16 22:28:57	성동구	센서팩#2	26.50	4.35	22.15

(그림 7) 환기장치 가동전후 데이터 비교 예시
(Figure 7) Data before and After ventilation

실증 장소인 세 곳의 어린이집 교실의 환경요인이 각기 다르고 센서의 성능도 상이할 수 있어서 공기질 개선 상태는 각 어린이집에 대해서 검증하였다. 먼저 환기장치를 거친 후의 공기질 상태를 측정하는 센서팩#2와 환기장치와 원거리에 설치한 2nd IAQ1, 그리고 환기장치가 없는 교실의 2nd IAQ2의 가동전후 공기질을 비교 분석하였다.

(표 3) 환기장치 가동전후 PM 2.5 측정값 비교
(Table 3) PM 2.5 value before and after ventilation

어린이집	PM 2.5	가동 전 평균	가동 후 평균	평균값 차이
성동구 (23회)	센서#2	15.00	1.62	13.38
	IAQ1	10.27	7.53	2.74
	IAQ2	13.58	13.92	-0.34
동작구 (11회)	센서#2	32.66	1.07	31.59
	IAQ1	13.73	10.07	3.66
	IAQ2	20.27	21.13	-0.86
금천구 (39회)	센서#2	39.97	0.24	39.73
	IAQ1	-	-	미기동
	IAQ2	-	-	미기동

분석 결과 표 3에서 보이는바와 같이 성동구의 센서#2는 가동전과 후의 공기질 개선효과가 매우 크고, 환기장치와 이격되어있는 IAQ1도 공기질 개선효과가 있음을 알 수 있었는데 다만 IAQ1의 개선 정도를 볼 때 환기장치의 효과가 원격지까지 충분히 미치고 있는지는 더 살펴볼 여지가 있어 보인다. 한편 환기장치가 없는 교실의 IAQ2는 수치의 변화가 거의 없었다. 그 외 동작구 어린이집의 경우도 성동구와 수치의 차이는 있으나 유사한 패턴의 분석결과를 보이고 있고, 금천구는 2nd IAQ가 제대로 가동되지 않는 것으로 나타났다. 실제 현장 조사결과 금천구 어린이집은 전원문제로 2nd IAQ를 꺼놓고 있는 것으로 확인되었다.

마지막으로 아래 표4는 각 어린이집 교실의 실내공기질 측정장치인 센서#2와 2nd IAQ1의 PM2.5 측정값을 대응표본 T-Test한 결과이다. 표에서 보는 바와 같이 실증장소별 각 센서의 PM2.5 T-검정 결과는 청정환기장치 가동전 10분 동안의 PM2.5와 가동 후 11분~20분 사이의 공기질 사이에 p-value가 0.01 보다 작은 것으로 나타나 99%신뢰수준하에서 환기영향이 차이가 통계적으로 유의하다고 할 수 있다.

(표 4) 환기장치 가동전후 PM 2.5 Paired T-test
(Table 4) PM 2.5 Paired T-test before and after ventilation

	PM 2.5	가동 전	가동 후	T-value	P-value
성동구 (23회)	센서#2	15.00	1.62	17.77	.00
	IAQ1	10.27	7.53	4.79	.00
동작구 (11회)	센서#2	32.66	1.07	31.59	.00
	IAQ1	13.73	10.07	4.63	.00
금천구 (39회)	센서#2	39.97	0.24	23.67	.00

그러나 각 어린이집의 환기장치 가동횟수가 충분히 누적되어있지 않고, 센서별 측정값의 차이도 상이하게 나타나고 있어 보다 축적된 데이터의 확보와 센서의 정확도 점검이 필요해 보인다.

5. 결 론

본 연구는 사물인터넷(IoT) 센서를 이용해 실내공기질에 주요한 영향을 미치는 미세먼지, 초미세먼지, 이산화탄소, 유기화합물과 온도, 습도 데이터를 실시간으로 수집/분석할 수 있는 실시간 실내공기질 모니터링 서비스를 구현하였다. 또한 이를 클라우드 플랫폼에 구현하여 다양한 위치와 실내공간에서도 센서를 설치하여 플랫폼을 이용할 수 있도록 하였으며, 이를 통해 실내공기정화 시설인 청정환기장치를 최적관리할 수 있도록 지원할 수 있도록 연동기능을 구현하였다. 그리고 이러한 플랫폼의 가동과 효과를 검증하기 위해 공기질에 민감한 영유아의 교육 생활환경인 국공립 어린이집 교실을 대상으로 실증을 실시하였다. 서울시의 지원으로 도심 내 자기 다른 지역에 위치한 세곳의 어린이집을 선정하여 실험교실에 실내공기질센서와 청정환기장치를 설치하여 실시간으로 IoT 센서 데이터를 수집/처리/적재하고 환기장치의 가동전후를 살펴보고 환기장치가 설치되지 않은 비실험 교실 한곳에도 실내공기질 측정센서를 설치하여 청정환기장치의 유무에 따른 실내 공기질 데이터도 비교하였다. 각각의 분석 결과는 웹과 모바일에서 실시간으로 시각화 서비스될 수 있도록 구현하였고, 환기장치의 실내공기질 개선효과는 실내공기질 측정 센서들의 측정값을 통계적으로 검증하여 공기질 개선에 기여하고 있음을 알 수 있었다.

결과적으로 본 연구를 통해 다음과 같은 시사점을 확인하였다. 먼저, 본 연구의 결과는 사물인터넷 센서를 설치함으로써 실시간으로 실내 공기질 데이터를 수집 및 처리하여 실내공기질 모니터링 서비스를 구현하고 이를 청정환기장치 최적제어와 같은 다양한 목적으로 사용할 수 있음을 확인하였다. 둘째, 다양한 위치와 공간에 수집된 데이터를 클라우드 플랫폼으로 구현함으로써 여러대의 디바이스와 공기질 센서등을 하나의 플랫폼에서 통합 관리할 수 있게 하였다. 마지막으로 실시간으로 수집/처리/분석된 공기질 데이터를 통합대기환경지수와 한국실내환경학회 등의 공기질 분류기준을 활용하여 온라인 공기질 모니터링 시각화 서비스를 제공하여 어린이집 원장

님과 같은 관리자/사용자에게 편의성을 제공하였다.

그러므로 이러한 사물인터넷 기반의 클라우드 플랫폼은 여러 지역에 설치된 실내공기질 측정 센서로부터 실시간으로 공기질 데이터를 수집/처리/진단하여 해당 실내 공간에 설치된 공기정화장치를 가동하는데 필요한 의사결정 정보를 제공할 수 있다. 나아가 이러한 공기질 모니터링 정보를 기반으로 환기장치를 원격으로 통신하여 장치를 켜거나 끌 수 있고, 강약을 자동으로 제어할 수 있는 서비스 플랫폼으로 진화가 가능하다. 또한 앞으로는 정화장치의 수동 운전뿐만 아니라 빅데이터 분석에서 나온 최적의 조건을 인공지능으로 학습하여 자동제어를 지원하는 AI 서비스 플랫폼으로 진화할 수도 있을 것이다. 이는 비단 실내 공기질 향상뿐만 아니라 건물 에너지 효율화까지도 지원할 수 있을 것으로 기대된다.

그러므로 향후에는 수집된 빅데이터 기반으로 청정환기장치 자동제어 할 수 있는 최적의 AI 알고리즘의 개발 및 적용에 관한 추가 개발과 연구가 필요하다. 또한 실외 공기질 및 날씨 등 외부환경 영향성, 공기청정환기장치의 효과성, 사용자 장치 이용 및 생활 패턴별 비교 검증 등 공기청정환기장치 오토제어 알고리즘 개발을 위한 실험, 데이터 분석이 진행이 되어야한다. 그리고 중복데이터 또는 불필요한 데이터는 에지 컴퓨팅을 활용하여 클라우드로 전송할 수 있는 방법 또는 알고리즘의 개발도 필요한 것으로 보인다.

참고문헌(Reference)

- [1] Jin-Ho Noh, Han-Ho 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, Apr. 2017.
<https://doi.org/10.6109/jkiice.2017.21.4.829>
- [2] Ungtae Kim, Yong-Chul Kim, Sooyeong Kwak, "IoT based Indoor Air Quality Monitoring System," The Journal of the Korea Contents Association, Vol.16, No.2, 2016.
<http://dx.doi.org/10.5392/JKCA.2016.16.02.143>
- [3] Chang-Se Oh, Min-Seok Seo, Jung-Hyuck Lee, Sang-Hyun Kim, Young-Don Kim, Hyun-Ju Park, "Indoor Air Quality Monitoring Systems in the IoT Environment," The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol.40, No.5, 2015. <http://dx.doi.org/10.7840/kics.2015.40.5.886>
- [4] Pil-Sang Yun, Do-Yun Kim, Gu-Min Jeong, "Implementation of AWS-based deep learning platform using streaming server and performance comparison experiment," The Journal of Korea Institute of Information, Electronics, and Communication Technology, 12(6), 591-596, 2019.
<http://dx.doi.org/10.17661/jkiect.2019.12.6.591>
- [5] Chang Ho Yun Jong Won Park Hae Sun Jung Yong Woo Lee, "Real-Time IoT Big-data Processing for Stream Reasoning," Journal of Internet Computing and Services(JICS), Vol. 18, No 3, 2017.
<https://doi.org/10.7472/jksii.2017.18.3.01>
- [6] Youngchan Lee SoYeon Lee Dae-Young Kim, "An Implementation of an Intelligent Access Point System Based on a Feed Forward Neural Network for Internet of Things," Journal of Internet Computing and Services(JICS), Vol. 20, No 5, 2019.
<https://doi.org/10.7472/jksii.2019.20.5.95>
- [7] Woo-Soo Jeong Sa-Hyuk Kim Kyoung-Sik Min, "An Analysis of the Economic Effects for the IoT Industry," Journal of Internet Computing and Services(JICS), Vol. 14, No 5, 2013.
<https://doi.org/10.7472/jksii.2013.14.5.119>
- [8] Brian Hayes, "Cloud computing", Communication of the ACM, Vol 7, pp.9-11, 2008.
<https://doi.org/10.1145/1364782.1364786>
- [9] Yang, Chao-Tung, et al. "Implementation of an intelligent indoor environmental monitoring and management system in cloud." Future Generation Computer Systems Vol.96, pp.731-749, 2019.
<https://doi.org/10.1016/j.future.2018.02.041>
- [10] Zhao, Liang, Wenyan Wu, and Shengming Li. "Design and implementation of an IoT based indoor air quality detector with multiple communication interfaces." IEEE Internet of Things Journal, 2019.
<https://doi.org/10.1109/JIOT.2019.2930191>
- [11] Pradityo, Fadli, and Nico Surantha. "Indoor Air Quality Monitoring and Controlling System based on IoT and Fuzzy Logic." 2019 7th International Conference on Information and Communication Technology (ICICT). IEEE, 2019.

<https://doi.org/10.1109/ICoICT.2019.8835246>

- [12] Min, Kyeong T., et al. "Smart home air filtering system: A randomized controlled trial for performance

evaluation." *Smart Health* Vol. 9, pp.62-75, 2018.

<https://doi.org/10.1016/j.smhl.2018.07.009>

● 저 자 소 개 ●



Sudan Prasad Uprety

2009 B.S in Physics, Tribhuvan Univ. Kathmandu, Nepal
2013 M.A. in MIS, Graduate School of Business IT, Kookmin Univ Seoul, Korea
2013-2018: Software Engineer at Funnywork Co, Seoul, Korea
2018–Present: Phd researcher at Graduate School of Business IT, Kookmin Univ. Seoul Korea
Research Interest: AI techniques, IoT & Big data, Information Resource Management, etc.
E-mail : upretysanu@gmail.com



김 유 신 (Yoosin Kim)

2000년 국민대학교 정보관리학과 졸업(학사)
2009년 국민대학교 경영정보학과 졸업(석사)
2013년 국민대학교 경영정보학과 졸업(박사) & 미국 텍사스 주립대 Post-doctoral Research Fellow
현재 알티캐스트 데이터사이언스부문장(Chief Data Scientist)
관심분야 : 모빌리티 & 금융 빅데이터 및 AI 서비스 개발 etc.
E-mail : iamyoosin@google.com