

IoT 기반 실내 공기질 모니터링 시스템

오 창 세*, 서 민 석*, 이 정 혁*, 김 상 현*, 김 영 돈**, 박 현 주°

Indoor Air Quality Monitoring Systems in the IoT Environment

Chang-Se Oh*, Min-Seok Seo*, Jung-Hyuck Lee*,
 Sang-Hyun Kim*, Young-Don Kim**, Hyun-Ju Park°

요 약

최근 전 세계적으로 인류의 건강을 위협하는 요소로 대기오염이 대두되고 있는 가운데 세계보건기구(WHO : World Health Organization)의 발표에 의하면 대기오염으로 인해 사람의 건강을 해친다고 발표했으며, 서울시의 '2011~2014년 7월 다중이용시설 실내 공기 질 측정 결과'에 의하면 대부분의 다중이용시설에서 실내공기오염도 기준을 위반한 것으로 조사되었다. 이러한 실내에서 발생하는 대기오염은 폐 질환, 천식, 기관지염 등의 질병을 유발하며 본 논문에서는 이와 관련하여 환경센서를 이용하여 실내공기질을 측정하고, 측정된 데이터를 분석하여 환기 개선에 필요한 액츄에이터 신호를 생성하고 실시간으로 실내 공기 질 측정 모니터링 시스템을 구현하여, 우리 생활에서 대기오염을 자율적으로 관리할 수 있도록 한다.

Key Words : Portable PC, Sensor Network, Air Quality, Zigbee, Data processing

ABSTRACT

Recently, The World Health Organization announced that harms human health because of air pollution that are emerging as threats to human health worldwide. according to the, Seoul, 2011 According to a July 2014 - Public Facilities indoor air quality measurements, were examined to be in violation of indoor air pollution standards in most multi-use facility. Indoor air pollution resulting from this is present in the paper, and cause disease, such as pulmonary disease, asthma, bronchitis and to In this connection, the measurement of indoor air quality by using the environment sensor, analyzing the measured data to generate an actuator signal required for ventilation and improve indoor air quality by implementing a monitoring system with real-time measurement, autonomously managing the air quality in our lives so that it can be.

I. 서 론

전 세계적으로 실내공기오염은 가장 시급히 처리해야 할 5대 환경 중 하나로 인식되고 있으며, 우리나라에서도 환경에 대한 인식이 향상됨에 따라 대기 오염

못지않게 새로운 환경문제로서 실내공기오염에 대해 높은 관심도를 나타내고 있다.

실내공기오염이 실외대기오염보다 더 심각한 이유는 대기오염은 자연적인 희석률이 크고, 기후의 변화와 함께 자연정화가 가능하며 최근에 들어 대기오염

* 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 산학협력 특성화 지원 사업의 연구결과로 수행되었음. (NIPA-2014-(H0806-14-1002))

• First Author : Graduate School of Inforamation & Communications, Hanbat University, atan925@naver.com, 학생회원

° Corresponding Author : Graduate School of Inforamation & Communications, Hanbat University, phj@hanbat.ac.kr, 정회원

* 한밭대학교 정보통신전문대학원, {sangmaz, holysing}@naver.com, msseo@hanbat.ac.kr, 학생회원

** 한밭대학교 정보통신전문대학원, maya999@krpost.net, 정회원

논문번호 : KICS2014-12-490, Received December 16, 2014; Revised March 4, 2015; Accepted May 12, 2015

에 대한 사회적 인식, 각종 규제로 인하여 억제되고 있으나, 실내공기는 한정된 공간 속에서 인공적인 설비를 통하여 오염된 공기가 계속적으로 순환되고 있거나, 아예 그러한 설비자체가 없는 밀폐지역에서 공기가 계속적으로 순환되고 있어 오염물질의 농도는 시간이 지날수록 누적되어 점점 증가되고 있는 상태이다. 이로 인한 실내공기오염은 실외대기오염보다 2~5배, 때로는 100배 이상 높아진다.^[1] 또한 서울 연구원이 서울 거주 20세 이상 성인 남녀를 대상으로 한 실태조사를 살펴보면 실내공기를 오염시키는 원인에 대해 ‘음식냄새’, ‘배관악취’, ‘쓰레기’순 이었으며, 건축자재 및 마감재 가구 등에서 나오는 휘발성유기화합물 및 실내공기오염물질(미세먼지, 일산화탄소, 이산화탄소 등)에 대한 인식은 10% 안팎으로 매우 낮았다. 또한 실내공기 개선을 위한 방안으로 공기 정화가 아닌 방향제를 사용하여 실내대기오염을 덜어준다는 오해를 하는 시기도 적지 않다.^[2] 이런 실내공기질은 인간의 생명을 위협할 정도는 아닐지라도 충분히 건강에 악영향을 미치고 있다. 이런 오염된 실내공기를 실시간으로 측정·수집·분석을 통해 실내공기오염을 인지하고 이를 대처해야 한다.

종래에는 무선 센서 네트워크를 구축하여 센서 모듈로부터 획득한 정보들을 측정·수집을 하였지만, 현재에는 다양한 기술이 융합되면서 IoT(Internet of Things), M2M(Mechine To Mechine) 기술로 진화하였다. 이런 기술들은 인간의 개입 없이 혹은 최소한의 개입으로 사물 간 협력하여 센싱, 정보 처리 등을 가능케 하였다.

이와 관련하여 본 논문에서는 이런 진화된 IoT 기술과 Management Server를 통해 실시간으로 수집된 정보를 토대로 사용자에게 제공하는 시스템을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성하였다. 먼저 2장에서는 센서네트워크, Zigbee, 사물인터넷 기술 등에 대해 살펴본다. 3장에서는 본 논문에서 구현하고자 하는 실내공기질 시스템 구성 및 구현에 대해 설명하며, 4장에서는 구현된 시스템을 측정 및 평가하여 5장에서 결론을 도출한다.

II. 관련 연구

2.1 센서네트워크

센서 네트워크는 특정 지역이나 공간상에 다수의 소형 센서모듈을 설치하여 주변 환경 및 사물 인식 정보를 수집하고 이를 응용 서비스에 활용하기 위한 기술을 말한다. 즉, 각 센서모듈이 특정 목적을 위해 필

요한 주변 정보를 모니터링하고, 센서모듈 간의 무선 통신을 이용하여 응용 서비스 서버와 연결된 게이트웨이에 전달한다.^[3] 본 논문에서는 센서네트워크 망을 구축하여 다양한 원격지에서 데이터를 소형 PC로 실시간으로 송신해 사용자에게 알려줄 수 있는 시스템을 구축하고자 한다.

2.2 Zigbee

Zigbee는 저속 전송 속도와 근거리 통신을 위하여 Zigbee Alliance에서 개발한 무선 네트워크 기술로 작은 크기로 전력 소모량이 적고 값이 저렴하여, 홈 네트워크 등 유비쿼터스 구축 솔루션으로 각광받고 있다.^[4] 센서로부터 수집된 데이터를 MCU를 통해 소형 PC 및 Management Server로 송·수신에 Zigbee를 활용한다.

2.3 사물인터넷

사물인터넷은 각종 사물에 컴퓨터 칩과 통신 기능을 내장하여 인터넷에 연결하는 기술을 의미하며, 약어로 짧게 ‘IoT’로 사용한다. 여기서 사물이란 가전제품, 모바일 장비, 웨어러블 컴퓨터 등 다양한 임베디드 시스템이 된다. 사물인터넷에 연결되는 사물들은 자신을 구별할 수 있는 유일한 아이디를 가져야 하고, 인터넷을 통한 통신 능력을 가져야 하고, 데이터를 처리하는 능력을 가져야 한다. 본 논문에서는 이를 센서 네트워크에 활용하여 실시간으로 데이터를 수집 및 제어하는 시스템을 설계한다.

2.4 Raspberry Pi

Raspberry Pi는 영국의 Raspberry Pi 재단이 학교에서 기초 컴퓨터 과학 교육을 증진시키기 위해 만든 싱글 보드 컴퓨터이다. Raspberry Pi는 그래픽 성능이 뛰어나면서도 저렴한 가격이 특징이다. 또한 데비안과 아치 리눅스, QtonPi등의 리눅스 배포판을 제공하고 있으며 주 프로그래밍 언어는 파이썬을 지원하고 있으며, USB 이더넷이나 와이파이 어댑터를 활용하여 외부와 네트워킹이 가능하기 때문에 이를 본 논문에서 소형 PC로 활용한다.

III. 실내공기질 측정 시스템 구성 및 구현

3.1 시스템 설계

본 논문에서 설계한 실내공기질 측정 시스템은 실외에서 실내로 유입되거나 실내에서 발생할 수 있는 화학적·물리학적 대기오염물질의 환경 요소들을 실시간으로 측정하여 모니터링 시스템을 통해 정보를 제

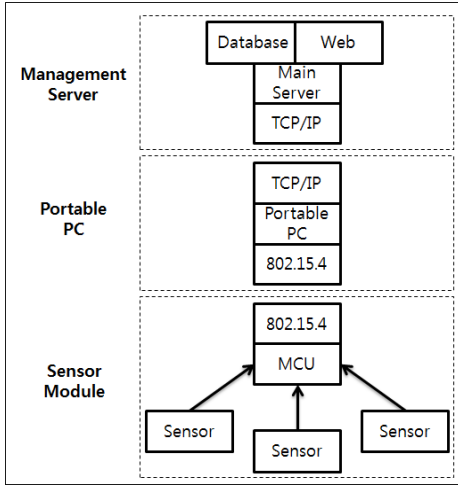


그림 1. 시스템 구성도
Fig. 1. System Configuration

공한다. 시스템 구성은 그림 1과 같이 온도, 습도, CO₂, CO, VOCs(휘발성 유기화합물), Dust의 정보를 측정하는 센서 모듈과 센서가 측정한 데이터를 넘겨 주거나, 액츄에이터 신호를 컨트롤을 하는 소형 PC 그리고 실시간 모니터링 및 데이터를 저장하는 Management Server로 구성된다.

3.2 센서 모듈

센서 모듈에서의 센서들은 환경부에서 지정한 실내 공기질 오염 물질을 측정할 수 있는 환경 센서들을 이용하여 공기 질을 측정할 수 있도록 개발했다. 이 센서 모듈은 통일된 구조의 ADC/DAC/GPIO 구조를 사용하여 센서 모듈의 프로그래밍을 쉽게 할 수 있으며, 쉽게 여러 센서들을 추가할 수 있다. 전원으로는 배터리를 주로 사용하나, 경우에 따라서 AC전원을 이용할 수 있도록 하여, 고정 및 휴대에 용이하게 제작하여, 어디서든 측정할 수 있도록 했다. 센서 모듈은 그림 2



그림 2. 센서 모듈
Fig. 2. Sensor Module

표 1. 센서 사양
Table 1. Sensor Specifications

Sensor	Specification
	- Temperature/Humidity Sensor - Digital Communication - Range : -40~80℃ - tolerance : ±0.5~2
	- CO Sensor(MQ-9) - UART Communication - Range : 20~2000ppm - tolerance : ±5
	- CO ₂ Sensor(COZIR) - UART Communication - Range : 0~5000ppm - 오차 : ±3
	- Dust Sensor(gp2y1010au) - Digital/Analog Communication - Range : 0~600ug/m ³
	- VOCs Sensor(IAQ-100) - Analog Communication - Range : 0~2000ppm - tolerance : ±2%

와 같이 구성되어 있으며, 실내공간 어디에서든 설치되어, 온도, 습도, CO₂, CO, VOCs, Dust를 0.5초 주기로 측정한다. 정확한 센싱 정보를 획득하기 위하여 다소 불안정한 Dust, VOCs 센서는 20회 측정된 값을 중간 평균값을 취하여 측정했다. 사용된 센서들의 스펙은 표 1과 같다. 또한 센서 종류 및 측정 범위, 정밀도 등을 고려하여 센서들을 선택했다. 모듈의 소형화를 위해 자체적으로 PCB를 제작했다. 센서 모듈에서 측정 및 수집된 데이터는 소형 PC로 WPAN을 이용하여 데이터를 송신한다. 송신되는 데이터 값은 소형 PC로 그림 3의 형식으로 데이터를 전송한다. 각 필드는 “.”를 구분자로 하고, 전송 데이터 앞에는“<@@”, 데이터 끝에는 “@@>”문자를 추가하여 전송한다.

HEAD	NodeID	SensorType	Value	END
------	--------	------------	-------	-----

그림 3. 무선 데이터 패킷
Fig. 3. Wireless Data Packet

3.3 소형 PC

소형 PC는 인터넷 망과 센서 네트워크 사이의 통신을 원활하게 연결해주기 위해 센싱 데이터를 수집하고 가공해 주는 Hub 역할을 한다.

수집된 센싱 데이터들은 소형 PC에 구축된 Web Application Server(WAS)에서 Management Sever로

데이터를 전송하기 위해 웹 표준에 기반한 데이터 형식을 채택하여 보편적이고, 저전력에 효과적인 센싱 데이터 방식으로 데이터를 전송한다. 또한 WAS의 내부적으로 센싱 데이터를 저장 및 국내외 실내공기 오염물질 기준을 참고하여 센싱정보 처리 기준안에 따라 환기가 필요할 때는 액츄에이터 제어 패킷을 생성하고, 액츄에이터에 송신하여 쾌적한 실내 공기질을 유지하도록 액츄에이터를 컨트롤 한다.

3.4 Management Server

Management Server는 소형 PC에서 수신한 센싱 데이터를 Database Server에 저장하며, 실시간 모니터링 시스템을 구현하기 위하여 웹 홈페이지를 구현한다.

Database Server는 사용자 정보 및 센서 모듈로부터 수신된 센싱 데이터를 저장하기 위한 서버로 각 소형 PC 노드와 센서 노드의 용도에 맞게 그림 5와 같은 ER 모델을 구축한다. 먼저 사용자 엔티티는 웹 홈페이지에 필요한 사용자 인증 정보를 저장하고, 유닛 디바이스노드는 센서 모듈을 의미하며, 센서는 센서 모듈의 각각의 센서들을 나타낸다.

실시간 모니터링을 위한 웹 홈페이지는 먼저 허가

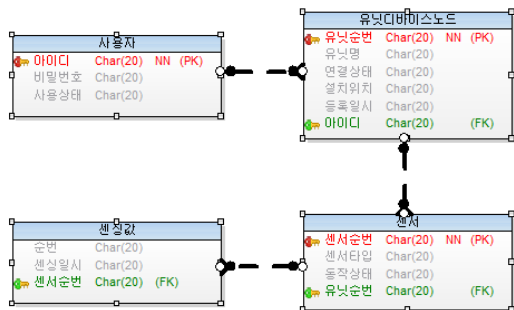


그림 4. ER 모델링
Fig. 4. ER Modeling

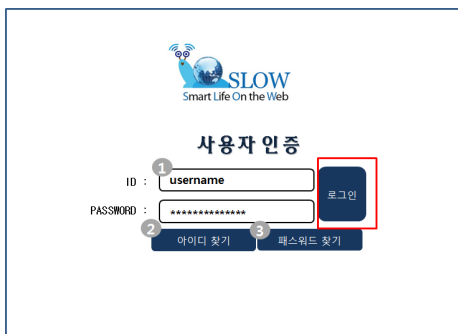


그림 5. 사용자 인증 화면
Fig. 5. User Certification screen

된 사용자만 접근할 수 있도록 사용자 인증 화면으로 구성했다. 이 사용자 인증 페이지는 그림 6과 같이 구성되었으며, ID와 PASSWORD를 입력할 수 있다. 로그인 하면 그림 7과 같이 현재 시간을 기준으로 각각의 센서 데이터들의 평균을 차트로 확인할 수 있다. 각각의 센서들에 대한 자세한 정보를 원하면 센서의 단어를 클릭하게 되면 그림 8과 같이 상세한 정보를 볼 수 있는 그래프를 나타낸다. 그래프는 각각의 센서들에 대한 Interval, Reload Time을 설정 할 수도 있고, 다른 센서들을 선택할 수 있게 구성한다.



그림 6. Data 그래프
Fig. 6. Data graph

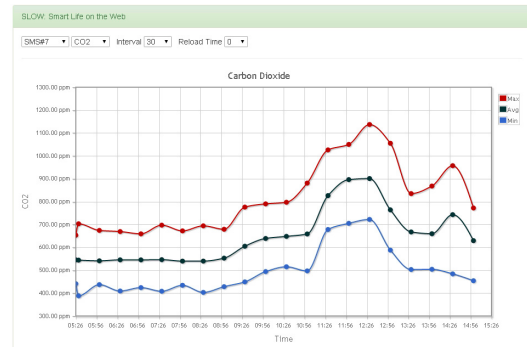


그림 7. 센서 데이터 화면
Fig. 7. Sensor data screen

IV. 실내공기질 측정 시스템 평가

4.1 실내테스트 환경

본 논문의 제안한 시스템의 활용도를 확인하기 위하여 본교의 강의실에서 센서 모듈과 소형 PC를 가지고 진행했다. 실험 환경조건은 일반 강의실로 900×710×260(가로×세로×높이)에서 측정하였으며,

센서 마다 고유한 예열 시간 및 최대 정확도를 얻기 위하여 20분이라는 준비기간을 두고 실내공기 오염물질을 강의실별로 평균, 최솟값, 최댓값을 산출한다.

4.2 실내테스트 결과

본 연구는 다중이용시설인 교내 강의실 3곳에서 2014.12.2일부터 2014.12.10일 동안 약 2주간 진행했다. 센서 모듈로부터 데이터베이스로 데이터가 그림 9와 같이 약 6초마다 주기적으로 전송되었으며 테스트 기간 동안 데이터는 안정적으로 전송되었다. 실내공기 오염물질 2개 및 온-습도 항목에 대한 실내공기질 측정 테스트를 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

본교에서 실내공기의 최소, 최대, 평균을 그림 10에 표시했다. 그림 10과 같이 CO2의 평균이 환경부에서 지정한 평균농도^[5]보다 높은 것을 알 수 있다.

그림 11은 본 교 일반 강의실에서 CO2 변화량 측정 그래프로 강의 시작 전 CO2는 537ppm으로 환경부에서 지정한 평균농도보다 낮았으며, 수업을 시작한 후 꾸준히 CO2 농도가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 밀폐된 공간에서 CO2 배출량이 증가하지만 환기가 되지 않아 생기는 현상으로 최대 4999ppm까지 증가하고 있다. 이 농도는 기준치를 훨씬 넘는 농도로 이 수치는 불쾌감, 졸림, 컨디션 변화 등이 발생

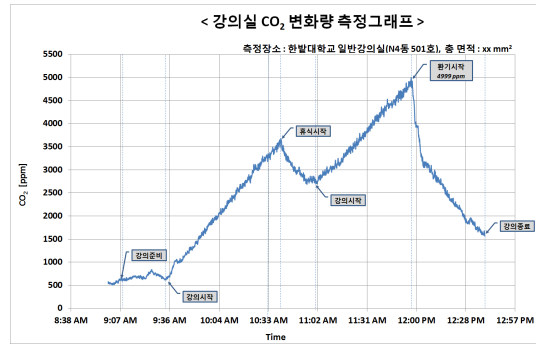


그림 9. 강의실 CO2 변화량 측정 그래프
Fig. 9 Classroom CO2 measurement variation graph

할 수 있다. 최대치까지 오른 CO2 농도는 환기를 통해 낮출 수 있다. 그래프에 보이는 것처럼 환기 이후 급격히 CO2 농도가 낮아지는 것을 볼 수 있다.

V. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 실내공기오염의 심각성과 환기의 필요성에 대한 소형 실내공기질 측정 시스템을 구축했다. 제안된 시스템은 실내공간에서 대기오염을 측정할 수 있는 센서 모듈과 센싱 데이터를 Management Server로 송신하는 소형 PC와 데이터를 저장 및 제공해주는 Management Server로 구성되며 이를 설계 및 구현하고 2주간의 실내 테스트를 진행했다. 또한, 논문에서 제안한 공기질 측정 시스템을 통해 실시간으로 실내공기질을 측정할 수 있는 시스템을 구현했다. 본 논문의 시스템을 활용하여 다중이용시설 및 대기오염에 취약하다고 사료되는 어린이집이나 병원같은 시설에서 공기질 관리시스템을 활용할 수 있다.

향후에는 측정할 수 있는 센서의 개수를 증가시키고, 센서 모듈의 크기를 소형화 및 저전력으로 운영할 수 있도록 구현하고자 한다. 마지막으로 환경부에서 지정한 기준 농도 초과 시 팝업 메시지를 활용하여 사용자에게 알리는 시스템을 구현하여 기준 농도 초과 시 자동으로 환기를 시키는 시스템을 구현하고자 한다.

References

[1] S.-H. Lee, "A study on characteristics of indoor air pollutants using regression analysis in public facilities," *J. Korean Soc. Environ. Anal.*, vol. 16, no. 2, pp. 123-131, 2013.
[2] Y.-J. Choi, *A study on improvement of indoor*

노드정보	co2	temp	humid	voc	수신 시간
SMS#11	902.00	19.40	21.00	1248.00	2014-12-02 14:01:04
SMS#11	871.00	19.40	21.00	1248.00	2014-12-02 14:01:10
SMS#11	900.00	19.40	21.00	1248.00	2014-12-02 14:01:16
SMS#11	889.00	19.40	21.00	1248.00	2014-12-02 14:01:23
SMS#11	871.00	19.40	20.00	1248.00	2014-12-02 14:01:29
SMS#11	887.00	19.40	20.00	1248.00	2014-12-02 14:01:35
SMS#11	873.00	19.40	21.00	1248.00	2014-12-02 14:01:41
SMS#11	887.00	19.40	21.00	1248.00	2014-12-02 14:01:48
SMS#11	837.00	19.40	21.00	1248.00	2014-12-02 14:01:54
SMS#11	822.00	19.40	21.00	1248.00	2014-12-02 14:02:00
SMS#11	847.00	19.40	21.00	1248.00	2014-12-02 14:02:07
SMS#11	845.00	19.40	20.00	1248.00	2014-12-02 14:02:13
SMS#11	827.00	19.40	20.00	1248.00	2014-12-02 14:02:19
SMS#11	857.00	19.40	20.00	1248.00	2014-12-02 14:02:25
SMS#11	884.00	19.40	20.00	1248.00	2014-12-02 14:02:32
SMS#11	865.00	19.40	20.00	1248.00	2014-12-02 14:02:38
SMS#11	845.00	19.40	20.00	1248.00	2014-12-02 14:02:44
SMS#11	820.00	19.30	20.00	1248.00	2014-12-02 14:02:51
SMS#11	769.00	19.30	20.00	1248.00	2014-12-02 14:02:57
SMS#11	761.00	19.30	20.00	1248.00	2014-12-02 14:03:03
SMS#11	769.00	19.30	20.00	1248.00	2014-12-02 14:03:10
SMS#11	747.00	19.30	20.00	1248.00	2014-12-02 14:03:16
SMS#11	742.00	19.30	20.00	1248.00	2014-12-02 14:03:22
SMS#11	728.00	19.30	20.00	1248.00	2014-12-02 14:03:28
SMS#11	699.00	19.30	20.00	1248.00	2014-12-02 14:03:35
SMS#11	700.00	19.30	20.00	1248.00	2014-12-02 14:03:41
SMS#11	672.00	19.30	20.00	1248.00	2014-12-02 14:03:47
SMS#11	651.00	19.30	20.00	350.00	2014-12-02 14:03:54
SMS#11	633.00	19.30	20.00	350.00	2014-12-02 14:04:00
SMS#11	850.00	20.20	26.00	350.00	2014-12-02 14:07:26
SMS#11	787.00	20.30	26.00	350.00	2014-12-02 14:07:32
SMS#11	794.00	20.30	26.00	1231.00	2014-12-02 14:07:38
SMS#11	789.00	20.40	26.00	1248.00	2014-12-02 14:07:45
SMS#11	787.00	20.40	26.00	1248.00	2014-12-02 14:07:51
SMS#11	773.00	20.50	27.00	1248.00	2014-12-02 14:07:57
SMS#11	761.00	20.50	27.00	1248.00	2014-12-02 14:08:04
SMS#11	776.00	20.60	27.00	1248.00	2014-12-02 14:08:10
SMS#11	756.00	20.60	27.00	1248.00	2014-12-02 14:08:16

그림 8. 센서 데이터
Fig. 8. Sensor data

air quality in homes, Policy Study Report, vol. 59, pp. 1-201, 2013.

- [3] S.-W. Kim, "Sensor network research, development and commercialization practices," *Week Technology Trends*, no. 1325, 2007.
- [4] K.-H. Woon, "Zigbee," *TTA J.*, no. 94, pp. 112-121, 2004.
- [5] Ministry of Environment, *Indoor air quality testing standards process*, 2010.

오 창 세 (Chang-Se Oh)



2014년 2월 : 한밭대학교 전과 공학전공 졸업
 2014년 3월~현재 : 한밭대학교 정보통신전문대학원 전과공학전공 석사과정
 <관심분야> 사물인터넷, 운영체제, 데이터베이스

서 민 석 (Min-Seok Seo)



2001년 2월 : 한밭대학교 전자공학전공 학사졸업
 2005년 2월 : 한밭대학교 정보통신전문대학원 정보통신공학과 석사졸업
 2009년 3월~현재 : 한밭대학교 정보통신전문대학원 전과공학전공 박사과정

<관심분야> 임베디드 시스템, 저전력 무선통신, 환경 모니터링

이 정 혁 (Jung-Hyuck Lee)



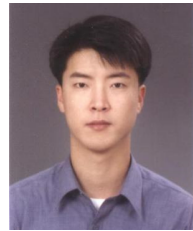
2014년 2월 : 한밭대학교 전과 공학전공 졸업
 2014년 3월~현재 : 한밭대학교 정보통신전문대학원 전과공학전공 석사과정
 <관심분야> 사물인터넷, 운영체제, 웹 프로그래밍

김 상 현 (Sang-Hyun Kim)



2014년 2월 : 한밭대학교 전과 공학전공 졸업
 2014년 3월~현재 : 한밭대학교 정보통신전문대학원 전과공학전공 석사과정
 <관심분야> 사물인터넷, 운영체제, 웹 프로그래밍

김 영 돈 (Young-Don Kim)



2000년 2월 : 대전산업대학교 도시공학전공 졸업
 2004년 2월 : 한밭대학교 정보통신전문대학원 정보통신공학과 석사졸업
 2013년 2월 : 한밭대학교 정보통신전문대학원 전과공학과 박사 졸업

<관심분야> 사물인터넷, 자연어처리, 자료처리, 데이터베이스

박 현 주 (Hyun-Ju Park)



1990년 2월 : 서울시립대학교 전산통계학과 졸업
 1992년 2월 : 서울대학교 전산과학과 석사졸업
 1997년 2월 : 서울대학교 전산과학과 박사졸업
 1998년 4월~2000년 3월 대전

산업대학교 정보통신공학과 전임강사
 2000년 4월~현재 : 국립 한밭대학교 정보통신공학과 교수

<관심분야> 프로그래밍 언어, 운영체제, 데이터베이스