

논문 2014-09-28

# 실시간 대기오염 지도 작성을 위한 분산형 건강인지 자전거 시스템 구현

(Implementation of Distributed Health-aware Bicycle System for Making Real-time Air-pollution Map)

조 중 재, 유 준 혁\*

(Joongjae Cho, Joonhyuk Yoo)

Abstract : This paper presents an environmental navigation system which provides a guidance to the users of smart bicycle for a pollution-free route during their travel. The smart bicycle operates as a sensor node being composed of a distributed wireless sensor network over the whole urban area. Several environmental sensors measuring the amount of dust, CO, CO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> in the air are built into the smart bicycle to estimate the level of air pollution in the located area. Each smart bicycle sends/receives the measured sensor data and the city pollution map to/from the centralized server, which leads the bike-riders to a healthy route by providing the environmental navigation information. The proposed idea and its implementation give a useful insight on various application services with the distributed smart bicycles.

Keywords : Health-aware smart bicycle, Environmental navigation, Wireless sensor network

## 1. 서 론

최근 스마트기기가 대중들로부터 뜨거운 인기를 얻고 있다. 정보기기의 혁명을 이룬 스마트폰뿐만 아니라 청소기, 냉장고, 가전제품부터 자동차와 자전거 같은 운송수단에까지 스마트기기가 활용되어 사람들의 삶을 과거에는 상상할 수 없을 정도로 쉽고 편리하게 바꿔놓고 있다. 바야흐로 우리는 스마트 혁명이라는 정보화 혁명의 시대를 살고 있다고 해도 과언이 아니다. 수많은 제품 중 이동수단으로 많이 사용되고 있는 자전거에 관한 연구가 많이 진행 되고 있다. 길안내 음성을 듣지 못하는 청각 장애인을 위한 내비게이션 Head-Up-Display 시스템

\*Corresponding Author(joonhyuk@daegu.ac.kr )

Received: 29 Jan. 2014, Revised: 20 Feb. 2014,

Accepted: 24 Mar. 2014.

J. Cho, J. Yoo: Daegu University

※ 본 연구는 산업통상자원부 및 한국산업기술평가관리원의 산업융합원천기술 개발사업[(정보통신)10041145, 자율군집을 지원하는 웰빙형 정보기기 내장 소프트웨어 플랫폼 개발]의 일환으로 수행되었음.

이 개발되었고[1], 자전거를 이용했을 때 절감할 수 있는 이산화탄소, 유류비, 지구온난화 등에 관한 연구도 이루어지고 있다[2]. 앞에서 서술한 일반자전거 뿐만 아니라 최근에는 스마트자전거 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 대표적인 스마트자전거 개발 사례로는 미국의 MIT에서 개발한 Copenhagen Wheel을 들 수 있다. 그림 1에 도시한 Copenhagen Wheel은 일반자전거의 뒷바퀴에 Copenhagen Wheel을 장착하여, 브레이크를 잡을 때 발생한 재생에너지를 저장하고, 전기에너지를 운동에너지로 전환하여 오르막길과 같이 주행이 힘든 곳에서 사용자에게 도움을 줄 뿐만 아니라 다양한



그림 1. Copenhagen Wheel이 장착된 자전거[3]  
Fig. 1 Bicycle Mounting Copenhagen Wheel[3]

환경정보와 이동량을 제공하는 전기자전거의 일종이다[3]. 현재 대한민국에서 자전거를 이용하는 사람은 약 1000만 명이다. 자전거를 이용하는 학생이나 직장인은 출·퇴근 수단, 취미활동 그리고 건강관리를 목적으로 자전거를 이용하고 있다. 대부분의 자전거이용자는 자전거를 탐으로써 건강하기를 기도하지만 대한민국의 대기환경은 자전거를 이용하기에 적합하지 않다. 이러한 대기오염의 원인은 수도권으로의 지속적인 인구집중과 자동차의 증가로 인한 요인과 자연 생태계를 농경지로 전환하는 과정에서 발생하는 요인 등으로 화석연료 사용으로 대기환경이 더욱 악화되고 있다[4, 5].

대기 중에 인체에 유해한 성분은 크게 네 가지로 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 이산화질소(NO<sub>2</sub>) 및 먼지가 있다. 첫 번째, 일산화탄소(CO)는 무색, 무취의 매우 유해한 기체이고, 체내에 들어오면 신경 계통을 침범해 빈혈증을 일으킨다. 공기 중에 0.5%만 존재해도 5~10분 안에 사망할 수도 있는 유해물질이고, 석탄, 석유, 가솔린 등 탄소를 포함한 화석연료가 불완전 연소할 때 발생한다. 두 번째, 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)는 무색, 무취이고 공기보다 무거운 불연성 기체로서 공기 중의 농도가 10% 이상일 때는 호흡곤란이 되어 의식을 잃는다. 물에 녹아 탄산이 되고 약한 산성을 나타내는 특징이 있다. 세 번째, 이산화질소(NO<sub>2</sub>)는 아질산가스라고도 하며, 자극적인 냄새를 가진 적갈색의 기체이다. 질소 산화물의 하나로써, 일산화질소에 산소를 섞으면 생성된다. 인체에 유해하고, 산화작용이 강하며 대기 중 오염물질의 하나로서, 흡입하면 기도나 폐에 침해되어 100ppm 이상의 농도에서 과반 수 이상의 동물이 폐사한다. 마지막으로, 최근 이슈가 되고 있는 먼지는 대기 중에서 사람과 동식물에 주로 영향을 미치는 0.1~10mm 크기의 부유물질로서 주로 산업 공정에서 연료의 연소 또는 고체물질상의 분쇄 등을 통하여 발생된다. 이외에도 오염되는 대기가 PM(Particulate Matter)10이하를 미세먼지라 하고, PM<sub>2.5</sub> 이하는 극 미세먼지라 한다. 이러한 미세먼지는 소아와 임산부 노인들에게는 특히 치명적이다. 미세먼지를 흡입하게 되면 코나 기관지에서 미세먼지를 걸러내지 못하여, 폐와 심장과 같은 호흡기에 직접 도달하여 호흡기능이 약해지는 것은 물론이고 폐암, 심장병, 폐렴과 같은 각종 호흡기 질환으로 발전해 사망률을 높인다는 연구결과도 있다.

본 논문에서는 기존의 일반자전거에 대기오염을 측정하는 장비를 장착하고 자전거의 사용자들이 수집한 대기오염정보를 공유하여 공기오염이 적은 길



그림 2. 환경 내비게이션 시스템의 구조

Fig. 2 Overall System Architecture of Environmental Navigation System

로 안내해 주는 환경 내비게이션 시스템을 제안한다. 자전거에 대기오염 측정보드를 장착하여 대기오염도를 측정하고, 스마트폰만 있다면 어디에 있던지 서버에 접속하여 여행하고자 하는 경로에 대한 환경정보를 모니터링 할 수 있다. 다수의 사용자가 분산적으로 대기오염 데이터를 측정하고 서버에 저장하기 때문에 신뢰성 있는 데이터의 수집이 가능하다. 수집된 서버의 Big Data를 통해 대기오염이 없는 길로 사용자가 이동할 수 있도록 도와주는 환경 내비게이션 플랫폼의 하드웨어와 소프트웨어를 설계한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안된 전체 환경 내비게이션 시스템의 구조를 설명하고, III장에서는 이를 위한 스마트자전거를 구현하여 H/W 및 S/W 구성을 제시한다. IV장에서는 제안된 시스템의 실험환경과 결과를 분석하고, 마지막으로 결론 및 향후 개발방향을 제시한다.

## II. 환경 내비게이션 시스템

그림 2는 본 논문에서 제시한 스마트자전거를 이용한 환경 내비게이션 시스템의 전체적인 구조를 나타낸 것이다. 단일 사용자가 대기오염 데이터를 수집하는 구조가 아니라 개별적인 다수의 사용자가 분산적으로 여행 중인 위치에서의 대기 오염도를 서버에 전송한다. 사용자들이 수집한 모든 대기오염 데이터는 서버에서 데이터베이스화하여 각 사용자가 가지고 있는 스마트폰의 어플리케이션에서 실시간으로 공기오염도가 낮은 길을 확인할 수 있도록

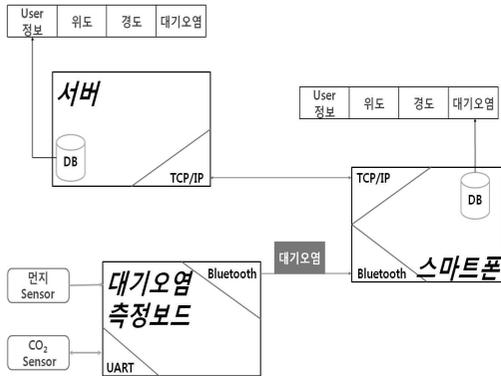


그림 3. 단일 자전거 사용자의 데이터 흐름  
Fig. 3 Data Flow of Single Bike User



그림 4. 스마트자전거 모습  
Fig. 4 Smart Bicycle Shape

설계된다. 서버에 축적된 대기오염 데이터는 사용자들이 원할 때 실시간으로 다운로드하여 대기오염 정보를 업데이트 할 수 있다. 이와 같이 자전거 사용자는 대기오염 데이터를 수집하여 공급하는 공급자이면서, 대기오염 데이터를 필요로 하는 수요자이기도한 시스템이다.

그림 3은 단일 자전거 사용자의 주요한 데이터 포맷과 흐름을 표현한 것이다. 스마트자전거에 대기오염 측정보드를 장착하여 자전거 주변의 대기오염 데이터를 측정하고, 수집된 데이터를 블루투스 모듈을 이용하여 사용자의 스마트폰으로 전송한다. 사용자는 대기오염 측정보드에서 전송받은 대기오염 데이터와 스마트폰의 GPS센서를 이용하여 측정한 위치데이터를 서버로 전송하여 서버의 데이터베이스에 저장한다. 서버는 사용자들에게서 전송받은 대기오염 데이터를 이용하여 대기 오염도를 나타내는 환경지도의 작성에 활용한다.

### III. 스마트자전거 구현

#### 1. 스마트자전거의 H/W 구성

그림 4는 개발된 스마트자전거의 모습이다. 스마트자전거의 구성은 일반자전거의 바디에 장착된 자가 발전기, 대기오염 측정보드, 솔라 셀, 스마트폰 거치대로 구성되어있다. 뒷바퀴의 프레임에 장착한 자가 발전기는 스마트폰 충전용으로 사용하고, 왼쪽 핸들 프레임에 위치한 솔라 셀은 대기오염 측정보드의 충전용으로 사용하고 있다. 운동에너지와 태양 에너지를 이용하여 스마트자전거 구동에 필요한 에너지를 자가 공급한다. 오른쪽 핸들 프레임에 위치한 스마트폰 거치대는 사용자의 편의를 위해 배치

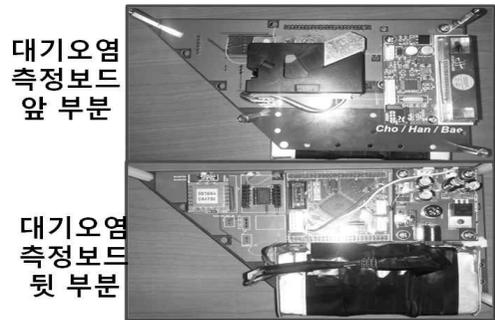


그림 5. 스마트자전거의 개발보드  
Fig. 5 Developed Board Built into Smart Bicycle

했다. 자전거 중앙부분에는 대기오염 측정보드가 위치해있다.

그림 5는 스마트자전거의 대기오염 측정보드를 확대한 사진이다. 측정보드의 앞부분은 CO2센서와 먼지센서가 위치해 있고, 측정보드의 뒷부분에는 MCU, 배터리, 블루투스 모듈 등으로 구성된 데이터 처리부가 위치해있다. 대기오염의 수치를 측정하기 위해서는 소량의 공기만 있다 하더라도 측정이 가능하며 외압과 각종제해로부터 측정보드를 보호하기 위해 바깥 덮개를 제작하여 부착했다.

스마트자전거의 안전한 전원공급을 위해 11.1V/1900mAh 리튬폴리머 배터리를 장착하여 레귤레이터를 통해 개발된 측정보드를 위한 전원을 공급하였다. 측정보드에 사용된 CPU는 ATmega128 MCU를 사용하였고, 수집된 센서 데이터는 블루투스 통신을 통해 자전거에 거치되는 스마트폰으로 전송된다.

대기 오염도를 측정할 수 있는 센서로는 먼지센

표 1. 측정센서의 사양

Table 1. Specification of Measurement Sensors

	먼지센서	CO <sub>2</sub> 센서	NO <sub>2</sub> 센서	CO 센서
제품명	DSM501	T6613	MiCS-2710	MiCS-5525
타입	DIP	DIP	DIP	DIP
크기 (mm)	59x45x20	57x34x15	9x9x3.9	11x11x15
측정범위 (ppm)	-	400~2,000	0.05 ~ 5	1 ~ 1,000
측정방식	LED 및 수광소자	NDIR 방식	저항 값을 측정	저항 값을 측정
제조사	SY	GE	e2v	e2v

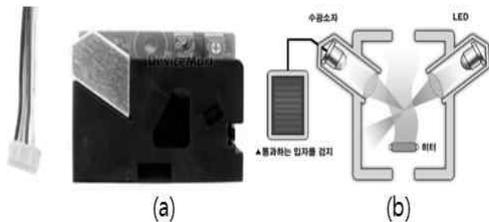


그림 6. 먼지센서 모듈과 동작방법.

Fig. 6 Dust Sensor Module and Its Operation

서, CO<sub>2</sub>센서, CO센서, NO<sub>2</sub>센서 등이 있는데, 표 1은 각 센서들의 사양을 정리했다.

그림 6(a)은 개발된 대기오염 측정보드에서 사용한 먼지센서(DSM501)의 모습이다. 그림 6(b)은 먼지센서의 동작방법이다. 먼지센서 내부의 히터를 통해 상승기류를 발생시켜, 입자를 포함한 공기를 상승시키고, LED의 빛을 밝혀 수광소자를 통해 먼지의 양을 측정한다. 그 결과를 PWM 방식을 통해 결과 값을 확인할 수 있다. 먼지센서의 구동전압은 5V이고, 크기는 가로 59.0mm 세로 45.0mm 높이 20.0mm이다. 센서모듈의 타입은 DIP타입이다.

그림 7은 대기오염 측정보드에서 사용한 CO<sub>2</sub>센서(T6613)의 모습이다. CO<sub>2</sub>센서의 동작방식은 NDIR(Non-Dispersive InfraRed)의 분석으로 CO<sub>2</sub>를 감지한다. 광원(Infrared Source)에서 방출되는 넓은 파장의 IR 복사선이 광학색타(Gas Filter Wheel)에서 광학필터(Bandpass Filter)를 거치며 특정 IR 파장을 불활성기체(질소, 아르곤)가 충전된 기준 셀과 시료가 흐르는 시료 셀을 번갈아 통과시

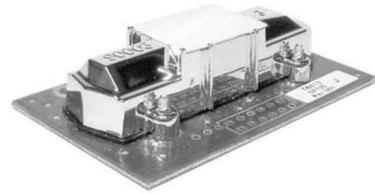


그림 7. CO2센서 모듈

Fig. 7 CO2 Sensor Module

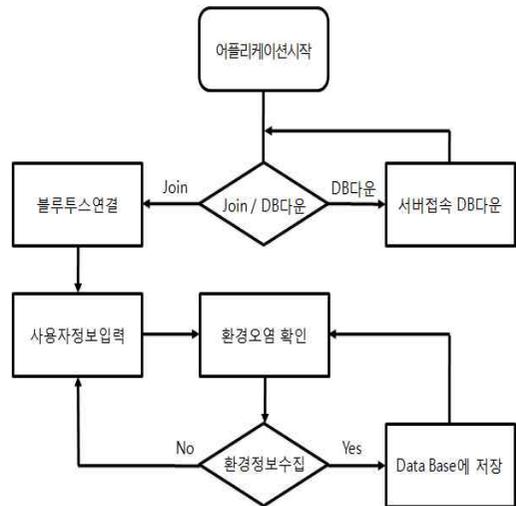


그림 8. 어플리케이션의 순서도

Fig. 8 Flow Chart of Application

키게 되는데 기준 셀은 IR 파장이 모두 통과하고 시료 셀에서는 CO<sub>2</sub>에 의해 흡수가 일어나게 된다. 이때의 흡수도를 검출기(IR Detector)에서 검출하고 변환 및 증폭하여 농도를 측정한다. 측정범위는 400ppm에서 2000ppm이다. 먼지센서의 구동전압은 5V이고, 결과 값은 CO<sub>2</sub>센서에서 측정한 값을 UART 통신으로 확인 가능하다. 크기는 가로 57.15 mm 세로 34.67mm 높이 15.24mm이다. IC의 타입은 DIP타입이다.

2. 스마트자전거의 S/W 구성

스마트자전거의 S/W은 서버와 어플리케이션으로 구성된다. 어플리케이션은 Eclipse툴을 이용하여 개발하였고, 사용자의 스마트폰에 대기오염 데이터를 저장하기 위해서 SQLite3를 사용하였다. 그림 8은 어플리케이션의 순서도이다. 사용자가 어플리케이션을 실행하면, 그림 9와 같이 Join/DB다운을 선

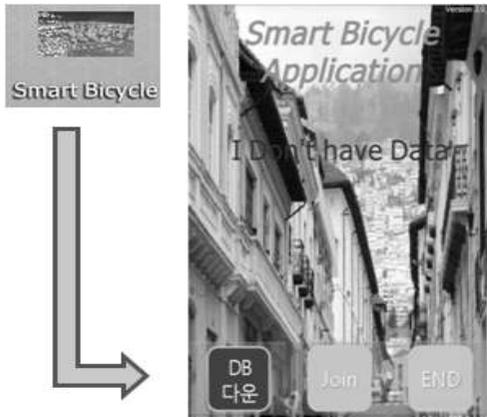


그림 9. 어플리케이션의 메인화면  
Fig. 9 Main Screen of Application



그림 10. 사용자정보 입력화면  
Fig. 10 Screenshot of Inputting User Information

택해 어플리케이션의 동작을 결정한다. DB다운을 선택하면 서버에 접속하여 대기오염 데이터를 다운 받는다. Join을 선택하면 대기오염 측정보드와 스마트폰간의 블루투스 페어링 과정을 거친 후 블루투스 연결이 성공하면, 그림 10과 같이 간단한 사용자정보를 입력하게 되고, 수집된 정보를 이용하여 이동거리, 이동시간, 현재속도, 칼로리 소모의 정보를 사용자들의 편의를 위해 제공한다. 대기오염 측정보드에서 대기오염 정보를 제공받아 서버에 실시간으로 전송하여 데이터를 축적하게 된다. 어플리케이션의 환경지도는 Google지도 기반으로 제작되었다.

서버는 Eclipse툴을 사용하여 개발하였으며, 다수의 사용자로부터 개별적으로 수집된 대기오염 데이터를 저장하기 위해 MYSQL5.6을 사용하였다. 그림 11는 서버의 순서도이다. 서버는 사용자들에

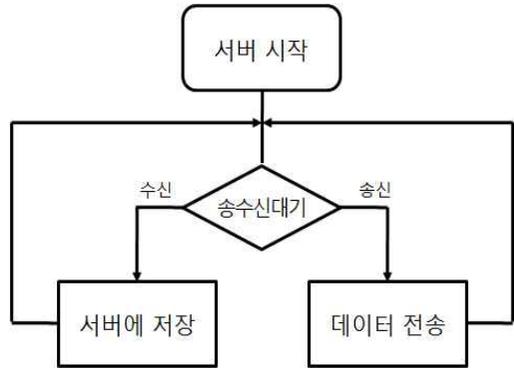


그림 11. 서버프로그램의 순서도  
Fig. 11 Flowchart of Server Program

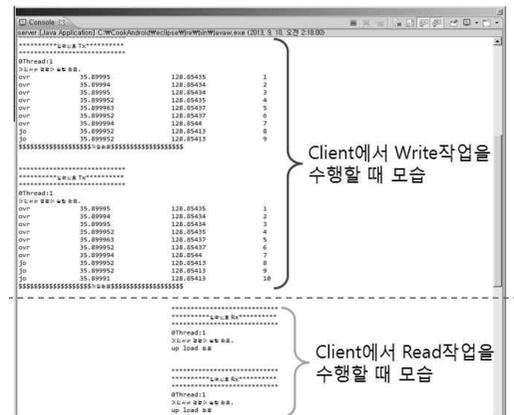


그림 12. 서버에서의 Read/Write 작업  
Fig. 12 Read/Write Operation in Server

게 대기오염 데이터를 수신 받아 저장하고, 사용자가 대기오염 데이터의 다운로드를 요청할 경우 서버의 대기오염 데이터를 모두 전송한다. 어플리케이션과 서버 사이의 인터페이스는 소켓통신을 사용하였다.

그림 12은 실제 서버에서 Write/Read의 작업을 수행할 때의 모습이다. 사용자의 이름, 대기오염정보, 위치정보 등의 간단한 정보가 저장된다.

#### IV. 실험결과

본 논문에서는 대기 중의 유해물질인 먼지, CO<sub>2</sub>의 측정값만을 제공하는 것뿐만 아니라 ppm값에 가중치를 곱하여 1단계에서 10단계의 레벨로 나누고 오염농도를 색상으로 나타내어 그림 13과 같이

1단계	먼지(%)	CO2(%)
1	2 미만	0.05 미만
2	2-10	0.05-0.07
3	10-15	0.07-0.1
4	15-20	0.1-0.15
5	20-25	0.15-0.2
6	25-30	0.2-0.25
7	30-35	0.25-0.3
8	35-40	0.35-0.4
9	40-45	0.4-0.45
10단계	45-50	0.45 이상

(1 ppm = 0.0001%, 100 ppm = 0.1%, 100만 ppm = 100%)

그림 13. 오염 레벨 테이블  
Fig. 13 Pollution Level Table



그림 14. 측정결과  
Fig. 14 Measurement Result

같이 테이블로 나타내었다. 어플리케이션의 지도상에 표시될 모습이다. 테스트결과 나무가 많고 대기오염이 쾌적한 지역에서는 1레벨에서 3레벨까지 분포를 보였고, 자동차가 많지 않은 도로 근처에는 4레벨에서 6레벨의 분포를 보였다. 1레벨부터 6레벨까지는 인체에 무해하다고 판단되고, 7레벨부터는 인체에 유해하다고 판단된다.

그림 14는 실제로 스마트자전거를 이용하여 대구대학교 근처를 주행한 결과이다. 대구대학교 정보통신대학에서 출발하여 본관과 정문을 거쳐 다시 정보통신대학으로 돌아온 결과 1레벨에서 4레벨까지 분포하였고, 흡연구역 근처에서는 5레벨까지 변화하는 모습을 확인할 수 있었다.

## V. 결론

본 논문에서는 대기오염 정보를 측정하는 자전거와 대기오염 지도를 모니터링 할 수 있는 어플리케이션 그리고 대기오염 정보를 수집하는 서버를 이용하여 다수의 사용자가 분산적으로 대기오염 데이터를 공급하고 축적된 대기오염 데이터를 기반으로 대기오염 정보가 필요한 사용자들에게 공급하는 분산형 환경 내비게이션 시스템을 제안하였다. 현재 먼지와 CO<sub>2</sub>와 같은 대기정보를 측정하고 저장하는 시스템을 개발한 단계이다. 추후 보다 다양한 대기오염 정보를 측정할 수 있는 센서를 추가하여 개선하고, 건강한 길로 안내해주는 내비게이션 기능을 업데이트할 계획이다. 마지막으로 현재 시스템에서는 환경측정 장비가 장착된 자전거를 이용해야만 환경정보를 획득 할 수 있다. 하지만 버스, 택시와 같은 대중교통에 환경측정 장비를 장착하여 환경정보를 획득하여 공유한다면 신뢰성을 높일 수 있을 것이고, 사용자에게 맞는 멀티미디어 콘텐츠를 제공한다면 사용자가 편리하게 사용가능 할 것이다[6].

## References

- [1] H. Lee, T. Lee, K. Kim, M. Hong, "Design and Implementation of Bicycle-navigating Head-Up-Display(HUD) System for the Hearing-impaired based on Android," Journal of Korean Society for Internet Information, Vol. 14, No. 2, pp. 33-34, 2013 (in Korean).
- [2] K. Oh, H. Chung, "The Influence of Urban Development Density on Air Pollution," Journal of Korea Planer, Vol. 42 No. 5, pp. 197-210, 2007 (in Korean).
- [3] C. Outram, C. Ratti, A. Biderman, "The Copenhagen Wheel : An Innovative Electric Bicycle System that Harnesses the Power of Real-time Information and Crowd Sourcing," Ecologic Vehicles Renewable Energies, 2010.
- [4] E.M. Kim, "Service for Bicycle Use Information Based on Low Carbon Green Growth," Journal of Korean Society for Geospatial Information System, Vol. 18, No. 3, pp. 75-81, 2010 (in Korean).
- [5] I. Park, D. Choi, K. Choi, Y. Hong, J. Kim, E. Jung, C. Mah, "The Analysis of Carbon

Dioxide Emission in Korea and Its Contribution to Global-Scale Average Carbon Dioxide Concentration,” Asian Journal of Atmospheric Environment, Vol. 10, No. 4, pp. 217-223, 1994. (in Korean).

- [6] J. Yoo, “Going Beyond Sensor Network to Cyber-Physical System: Applications,” Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 18, No. 3, pp. 33-36, 2012 (in Korean).

## 저 자 소 개

### 조 중 재



2013년, 대구대 임베디드 시스템공학과 학사.

현재, 대구대 정보통신 공학과 석사과정.

관심분야: Cyber-Physical System, 임베디드시스템

Email: Embedded\_cho@naver.com

### 유 준 혁



2007년 미국 매릴랜드대 학교(UMCP) 컴퓨터공학과 박사.

현재, 대구대 임베디드 시스템공학과 조교수.

관심분야: 임베디드시스템, 임베디드 운영체제

Email: joonhyuk@daegu.ac.kr