

논문 2016-11-17

무선네트워크기반 공기질 실시간 모니터링 시스템

(Real-time Air Quality Monitoring System Based on Wireless Network)

백 승 현, 이 준 영, 정 상 우, 박 흥 배*

(Seung Hyun Paik, Jun Yeong Lee, Sang Woo Jung, Hong Bae Park)

Abstract : In this paper, a real-time air quality monitoring system based on wireless network is designed and implemented for industrial park or multiuse facilities. The existing gas detector is high price and hard to apply the remote monitoring system. On the other hand, demand for air quality monitoring is increasing because of industrial gas accident, air pollution, and so on. In Korea, indoor air regulation was established by law. According to indoor air regulation, CO₂, CO, and NO₂ are important gases as the air quality standard. So we study the gas detector for indoor air quality and the wireless network system. The wireless network consist of sensor network and WCDMA to apply various place. To verify the performance of the implemented gas detector, the gas measurement experiment is performed in laboratory environment by using the realized gas detecting wireless sensor node. And we evaluate the experiment results.

Keywords : Air quality, Gas sensor, Gas detector, Monitoring system, Wireless network, Sensor network

1. 서 론

산업체에서 유해가스로 인한 피해는 지속적으로 발생하고 있으며, 특히 인적피해가 큰 문제가 되고 있다. 특히 밀폐된 공간에서 장시간 활동은 작업자의 안전과 밀접한 관계를 가지며, 이는 주로 이산화탄소 농도로 평가되는 실내 공기질과 질식과 중독을 유발하는 유독가스로 작업환경을 평가관리 할 수 있다 [1-3]. 기존의 산업용 가스측정기는 고가의 계측장비로 작업공간의 다양성에 맞게 활용하기 어렵고, 사용자가 직접 다양한 가스의 농도를 확인해야하는 등의 단점이 있다. 다양한 산업체 작업환경에 적용가능하고 작업자와 관리자 모두 정보를

제공받기 위한 무선네트워크기반의 시스템이 갖춰질 필요성이 있다.

산업현장에서만 공기질관리의 필요성이 대두되는 것이 아니라 입법기관에서도 다중이용시설 등의 실내공기질관리법을 제정하여 보육시설, 노인전문병원, 찜질방, 터미널 등 여러 시설의 공기질 유지관리기준을 책정하여 측정된 공기질을 공고하도록 의무화하고 있다 [4]. 그리고 대기오염과 공기질에 관한 일반인의 관심이 급증함에 따라 이러한 요구를 만족시킬 수 있는 공기질 모니터링 시스템이 필요하다.

공기질 모니터링 시스템은 설치환경의 다양성 그리고 모든 구역의 공기질을 관리해야하는 어려움이 있으며, 이를 해결하기 위해서 가스측정기는 센서네트워크를 사용하여 소형의 저전력 가스측정기를 가능한 여러 장소에 설치함으로써 해결할 수 있으며, 다양한 장소와 각각의 환경에 적합한 모니터링시스템으로 구성할 수 있도록 무선센서네트워크와 이동통신시스템을 기반으로 가스측정시스템을 적용한 실시간 모니터링 시스템이 요구된다 [5-8]. 기존 연구에서는 지하철역, 지하철터널 등 특정지역을 위한 모니터링시스템을 연구하였으며, 각 시설이나

* Corresponding Author (hbpark@knu.ac.kr)

Received: 18 Mar. 2016, Revised: 14 Apr. 2016.

Accepted: 16 May 2016.

S.H. Paik, J.Y. Lee, S.W. Jung, H.B. Park: Kyungpook National University

※ 본 연구는 교육부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임 (No. 2013H1B8A2032081).

장소에서 취합한 데이터들을 취합 관리하기 어려운 시스템 환경이다 [9-12].

본 논문에서는 무선네트워크기반 유해가스 실시간 모니터링 시스템을 제안하며, 무선네트워크 모니터링 시스템은 각 지역별로 데이터를 수집할 수 있는 센서네트워크 그룹과 네트워크 그룹들을 통합관리하는 WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access) 네트워크로 설계하고, 가스측정기는 실내공기질 관리기준에 맞는 측정범위에 적합하도록 설계·구현하고, 가스측정실험을 한다.

II. 무선네트워크 설계

1. 무선네트워크 구성

무선네트워크는 그림 1과 같이 네트워크그룹들은 ZigBee를 사용한 센서네트워크이며, 네트워크그룹들은 WCDMA를 사용한 이동통신네트워크를 결합하여 구성한다. ZigBee 코디네이터노드는 Zigbee 모듈과 WCDMA모듈 사이의 신호를 전달하고 다수의 ZigBee 센서노드로부터 주기적으로 신호를 전달받아 저장한다. 센서네트워크는 각 네트워크 그룹을 이루며 각 네트워크 그룹은 트리 토폴로지로 구성

하여 코디네이터를 통해 서버에 정보를 송신한다. 그림 1의 네트워크 그룹1에서와 같이 각 센서노드는 기본적으로 상태정보를 전송하며, 2. 가스누출상태일 때 공기질정보를 같이 전송한다. ZigBee, WCDMA가 장착된 하나의 코디네이터와 ZigBee가 장착된 센서노드 다수가 네트워크를 구성하며, 코디네이터는 신호설정을 체크하기 위해 각 센서노드에게 PING 테스트를 시행하는 것을 시작으로 각 센서노드는 가스센서 정보를 코디네이터로 전송한다. 코디네이터는 센서노드에서 수신한 데이터를 집계하여 WCDMA를 통하여 소켓서버로 데이터를 전송하고 소켓서버는 데이터를 파싱하여 데이터베이스에 데이터를 적재하는 방식을 취한다. 코디네이터에서 소켓서버로 데이터를 전송할 때 사용하는 프로토콜은 시스템에 맞게 정의하여 사용한다. 각 네트워크 그룹에서 받은 정보를 관리서버의 데이터베이스에 저장하고 모니터링PC에서 저장된 데이터베이스를 읽어 관리자가 환경정보를 확인 가능하다. 실시간 감시시스템으로 위험발생 시 빠른 대응을 할 수 있으며, 관리자에게 무선통신(SMS, MMS)으로 통보가능하다.

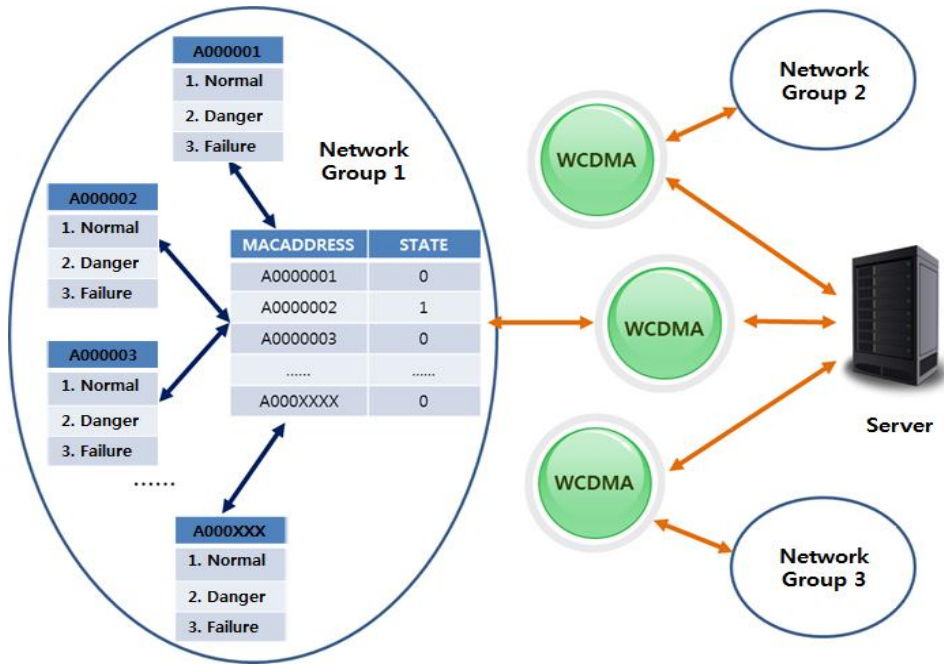


그림 1. 무선네트워크 구성도
Fig. 1 Structure of wireless network

표 1. 센서노드 데이터 프로토콜

Table 1. Data Protocol of Wireless Node

MAC Header	Header (4 byte)				Type (1byte)	Body (N byte)	MAC Footer
	0x50 (P)	0x4C (L)	0x50 (P)	0x53 (S)	0x00~0x06	-	-
-							

표 2. AT 명령어 설명

Table 2. AT Command Description

AT Command	Description
AT+CFUN	Restart
AT+CNUM	Read usim number
AT+CMGF=1	Setting SMS text mode
AT+CMGR=	Read SMS using Index
AT+CMGD=	Delete SMS using Index
AT+SIPTTRIP=0	Setting Address of Server
AT+SIPTOS	TCP Server Connect
AT+SIPTCS	TCP Server Disconnect
AT+SIPTCP	PPP Server Disconnect
AT+CMGS=	SMS Transmission
AT+SHWVER	Version of HW
AT+SSWVER	Version of SW

표 3. WCDMA통신 데이터 프로토콜

Table 3. Data Protocol for WCDMA

Coordinator Header (17byte)	Service Header (13byte)	Type (1byte)	Body (N byte)
PLPS (Coordinator)	PLPS (Service)	0x01 ~ 0x06	-

2. 통신네트워크 구현

가스측정기를 센서노드로 구현하며, Zigbee 모듈이 가스측정기에 탑재되어 무선모듈간의 브로드캐스팅으로 센서네트워크가 이루어진다. 무선모듈은 IEEE 802.15.4 표준을 따르고, 간단한 무선네트워크를 위한 단순한 패킷 데이터 프로토콜로 설계한다 [13].

개발된 센서노드간의 데이터 프로토콜은 표 1과 같고, MAC Header는 IEEE 802.15.4 MAC Header로 MAC 기반 통신의 기본으로 Header는 본 프로토콜의 기본 Header로 4byte 아스키 값("PLPS")이며 항상 모든 패킷은 MAC Header 뒤에 위치한다. Type는 1byte 제어 코드이며, 이 값

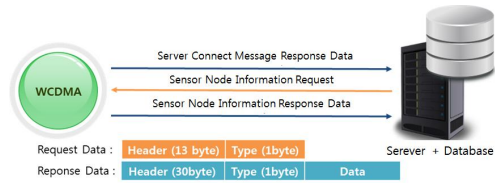


그림 2. 관리서버와 WCDMA간의 통신데이터

Fig. 2 TX/RX Data between Server to WCDMA

에 따라 Body의 형태와 크기가 결정되고, Body는 Type에 의해 결정된 실제 데이터를 의미한다. MAC Footer는 IEEE 802.15.4 MAC Footer로 16-bit ITU-T CRC 값을 가진다.

코디네이터로 수집된 센서노드간의 정보는 WCDMA 모듈을 통해 관리서버로 전송하게 된다. WCDMA모듈을 제어하기 위해 표 2와 같은 AT Command를 사용하며, WCDMA모듈 이상 시 별도의 WatchDog Timer를 설정하여 자동 Reboot 되도록 설정한다.

개발된 WCDMA모듈과 관리서버의 데이터 프로토콜은 표 3과 같다. Coordinator Header는 본 프로토콜의 기본 Header로 17byte 아스키 값이며 항상 모든 패킷은 Coordinator Header 뒤에 위치하고, Service Header는 관리서버의 Header로 13byte 아스키 값이며 항상 모든 패킷은 Service Header 뒤에 위치한다. Type는 1byte 제어코드이며, 이 값에 따라 Body의 형태와 크기가 결정된다. Body는 Type에 의해 결정된 실제 데이터를 의미한다.

WCDMA 데이터전송을 위한 관리서버의 소켓서버는 윈도우서비스방식으로 동작을 하며, 윈도우서버 ON/OFF 시 자동으로 윈도우서비스가 시작되도록 한다. 관리서버는 WCDMA 모듈과 관리서버의 통신형식에 맞게 동작하며, 코디네이터로부터 수집된 정보를 데이터베이스에 저장할 수 있도록 한다. 수집된 데이터의 정보로는 센서모듈의 mac-address, parent macaddress, panid(채널 및 Application ID), lqi(신호세기), state(정상, 가스누출, 고장), usim number(전화번호) 등을 실시간으로 데이터베이스에 업데이트한다. 기본적인 WCDMA 데이터 전송에 대한 관리서버는 아래 그림 2와 같이 동작한다. 데이터베이스는 MySQL로 구현하였으며 데이터베이스 테이블은 nUser, nZigbee, nErrorHistory, nZigbeeData로 구성한다. 표 4, 5, 6와 같이 nUser는 사용자를 인증하기 위한 테이블로 사용자 정보를 저장하고, nZigbee

표 4. nUser 테이블
Table 4. Table of nUser

Field	Description
_name	User Name
_phonenumber	Phone Number of User
_userstate	User State
_lateupdateime	User Resister
_userlatitude	User Location (latitude)
_userlongitude	User Location (longitude)
_userlocationupdatetime	User Location Update Time
_gcmregid	Google Cloud Service(GCM) ID, Warning Message
_job	User Job

표 5. nZigbee 테이블
Table 5. Table of nZigbee

Field	Description
_macaddress	Sensor Node Address
_parentmacaddress	Cordinator Address
_panid	Channel(1byte) + PanID(2byte), Network ID
_state	Circumstance of Measurement (1: Normal, 2: Warning, 3: Fault)
_lqi	Receive Sensitivity
_dlname	Device Name and Information
_number	
_latitude	Node Location (Latitude, Longitude)
_longitude	
_realaddress	Node Location (Address)
_lastupdatetime	New Node Update Time
_setup	Node Setup State
_setupdatetime	
_usimnumber	Number of WCDMA

테이블은 센서노드에서 보낸 실제 정보를 저장하며, nErrorHistory 필드는 상태정보에 대한 데이터들이 저장한다.

표 6. nErrorHistory 테이블
Table 6. Table of nErrorHistory

Field	Description
_errornumber	Error Number
_macaddress	Address of Trouble Node
_state	State of Trouble Node
_dlname	Device Name and State
_number	
_realaddress	Address of Event Location
_occurdate	Event Time
_phonenumber	Manager Phone Number
_assigndate	Assigned Time to Manager
_confirmdate	Check Time
_okdate	Time of Change to Normal
_smsok	Massage of State

III. 가스측정기 설계 및 구현

1. 가스센서

가스측정기는 3개의 가스를 측정할 수 있는 3종의 센서를 사용하여 구현한다. CO2 NDIR방식 가스센서, 반도체식 CO 가스센서, 반도체식 NO2 가스센서 3종류의 가스센서를 사용하고 각 센서별 특성과 성능은 아래 표 7, 8, 9와 같다. ELT사의 T-100은 비분산적외선방식(NDIR) 가스센서로 이산화탄소를 측정한다. 비분산적외선방식은 가스 선택성과 내구성이 접촉식 가스센서들보다 우수하다. 이산화탄소는 공기질을 나타내는 가장 중요한 요소로 접촉식 가스센서에 비해 측정오차가 작고 내구성이 뛰어난 비분산적외선방식 가스센서를 선택하였다.

Ogam사의 GSET11 일산화탄소센서는 100ppm 이하의 농도에서 정확도가 우수하므로 저농도에서도 장시간 노출시 인체에 치명적인 일산화탄소 측정에 유리하다. 그리고 MICS Sensor사의 MICS-2710은 측정하고자하는 농도대역에 따라 감도를 조절할 수 있도록 설계되었다. 일산화탄소보다 낮은 농도에서 측정값이 중요한 이산화질소는 0.5ppm에서 5ppm으로 측정역역을 조절할 수 있는 MICS-2710의 특징은 공기질 측정에 유리하다.

표 7. T-100 비분산적외선방식 이산화탄소센서 특성

Table 7. T-100 NDIR CO2 sensor (ETL Sensor)

Parameter	Value
Operating Voltage	3.3V
Operating Environment	Residential, Commercial spaces
Sensing Method	NDIR(Non dispersive Infrared)
Accuracy	±50ppm ~ ±3% of reading
Response time(1/e)	90 seconds
Signal Update	5 seconds
Measurement Range	400~2000ppm

표 8. GSET11 일산화탄소센서 특성
Table 8. GSET11 CO sensor (Ogam)

Parameter	Value
Heating Input Voltage	5V±1V
Sensor Input Voltage	1~12V
Operating Environment	Residential, Commercial spaces
Storage Temperature	-10℃~70℃
Accuracy	±7% of reading
Measurement Range	0~1000ppm
Measurement Range	400~2000ppm

표 9. MICS-2710 이산화질소센서 특성
Table 9. MICS-2710 NO2 sensor (MICS Sensor)

Parameter	Value
Heating Input Voltage	1.7V
Sensor Input Voltage	2.5V
Operating Environment	Residential, Commercial spaces
Accuracy	±5% of reading
Measurement Range	0.5~5ppm
Measurement Range	0~1000ppm
Measurement Range	400~2000ppm

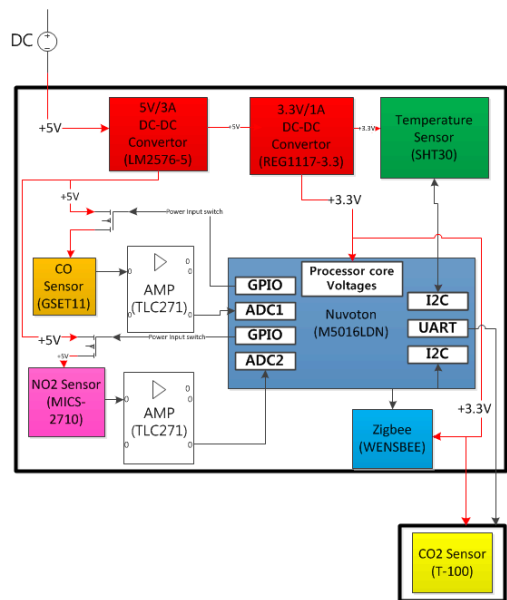


그림 3. 가스센서보드 블록다이어그램

Fig. 3 Block Diagram of Gas Detector

2. 가스측정기 설계 및 구현

가스측정기의 구성을 그림 3과 같이 센서노드로 사용할 수 있도록 저전력소자를 사용하고 센서 구동회로를 또한 저전력구동이 가능하도록 설계한다. 사용소자는 Nuvoton사의 M0516LDN를 MCU로 ADC, UART 통신, I2C 통신의 3가지 인터페이스를 사용한다. 입력전압은 가스센서구동을 위해 5V

공급하며 3.3V와 2.5V로 전압을 강하하여 MCU와 Zigbee 모듈에 전압을 공급한다. 가스측정기에 사용하는 소자는 표 10과 같다.

연산증폭기는 TI사의 TLC271로 저전력 구동에 적합하며, 온도센서는 Sensirion사의 SHT30을 사용하여 실험환경에서 유지되는 온도를 확인한다.

표 10. 가스측정기 소자

Table 10. Used Device in Gas Detector

Part	Part Name
MCU	M0516LDN(Nuvoton)
Core	Cortex M0
Max Frequency	50MHz
Operation voltage	2.5V to 5.5V
Memory	64KB flash memory
	4KB SRAM
	4KB data Flash
Connectivity	SPIs(up to 36MHz)
	I2C(ip to 400kHz)
	UARTs
	16/8 bits EBI interface
AMP	TLC271(TI)
Zigbee	WENSBEE(WENS)
Temperature Sensor	SHT30(Sensirion)
CO Sensor	GSET11(Ogam)
NO2 Sensor	MICS-2710(MICS)
CO2 Sensor	T-100(ELT)

가스측정기의 가스센서 중 MICS-2710과 GSET11 센서는 가스측정이 히팅방식으로 열을 발생시켜 가스를 측정한다. NDIR방식 이산화탄소 가스센서인 T-100에서 MICS-2710과 GSET11에서 발생하는 온도로 인한 가스측정값의 오차를 줄이기 위해 T-100은 모듈을 구분하여 커넥터로 연결하는 별개의 보드로 설계한다.

그림 5는 펌웨어 일부이며, 가스측정기의 소프트웨어 순서도는 그림 4와 같이 온·습도를 먼저 확인 후 이산화탄소, 일산화탄소, 이산화질소의 순으로 측정값을 저장하고 가스 측정값을 Zigbee모듈을 통해 무선통신으로 데이터를 전송한다.

구현한 가스센서보드는 그림 6과 같다. 반도체식 가스센서에서 발생하는 열의 영향을 줄이기 위해 반도체식 센서 2종은 제어 및 통신 보드에 구현하고, T-100 센서는 따로 센서보드를 설계하여 점프케이블을 이용하여 연결한다.

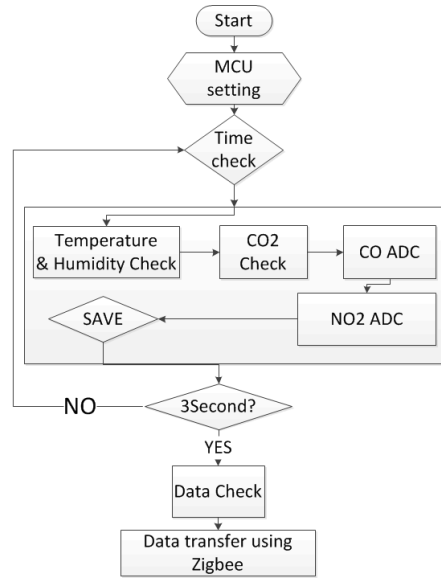


그림 4. 소프트웨어 순서도
Fig. 4 Flow Chart of SW

```

int32_t main(void)
{
    int data;
    uint16_t Tx_DATA=0;
    SVS_Init();
    IO_Init();
    SPI0_Init();
    TIMER0_Init();
    UART0_Init();
    ADC_Init();
    printf("\r\nWENS - %s, %s\r\n", __DATE__, __TIME__);
    printf("CPU @ %dHz\r\n", SystemCoreClock);
    TIMER0->TCSR |= TIMER_LTCR_CEN_Msk; // Start Timer0
    Init_variable();
    Sht_3x_init();
    TimeADC_DealyTime =20; //adc 시간
    while(1)
    {
        SVS_SysTickDelay(2000);//10msec
        if(COM_OUT==1)
        {
            COM_OUT=0;
            printf("\r\n ADC:%d \t", Table_ADC.count);
            for(i=0; i <750; i++)
            {
                printf("%d \t", Table_ADC[i]);
                printf("\n");
                for(i=0; i <750; i++)
                {
                    printf("%d \t", Table_ADC2[i]);
                    Sht_3x_fun();
                    printf("\t %f \t h: %f",temperature ,humidity );
                }
            }
        }
        // loop while no error
    }
}
    
```

그림 5. 펌웨어 메인 일부
Fig. 5 One Part of Main of Firmware



그림 6. 가스센서보드 구현
Fig. 6 Realization of Gas Detector



그림 7. 실험환경

Fig. 7 Experiment Environment

표 11. 실내공기질관리법 유지관리기준
Table 11. Indoor Air Quality Law Maintenance Standard

Gas	CO2	CO	NO2
Standard	1,000ppm	10ppm	0.05ppm

IV. 가스측정실험 결과분석

1. 실험환경 및 방법

그림 7과 같이 유리챔버내에 가스를 유량조절기를 사용하여 측정가스농도를 투입하여, 농도가 안정화시키기 위해 30분후 각 농도를 30분간 측정한다. 항온수조를 사용하여 온도를 25oC로 유지시켜 온도변화를 최소화하였다. 실험가스는 0.5% 농도 오차율을 가지는 이산화탄소, 일산화탄소, 이산화질소 농도표준가스들을 사용하여 실험하였다. 측정신호는 ZigBee를 통해 모니터링 PC로 전송하여 데이터를 수집하였으며, 수집된 데이터는 PC에서 매트랩 7.10.0을 사용하여 분석하였다.

표 11의 다중이용시설 등의 실내공기질관리법 유지관리기준(제 3조)을 참고하여 가스농도를 측정하였다. 이산화탄소는 400ppm에서 200ppm단위로 증가시켜 2000ppm까지 실험하였고, 일산화탄소는 0ppm, 5ppm, 그리고 10ppm부터 10ppm 단위로 300ppm까지 측정하였고 350ppm부터 1000ppm까지 50ppm단위로 측정하였다. 그리고 이산화질소는 0ppm에서 1ppm까지 0.1ppm단위로 측정하였다.

2. 실험결과분석

이산화탄소를 측정하는 ELT 이산화탄소센서는 자동보정알고리즘이 포함된 센서로 농도값을 출력

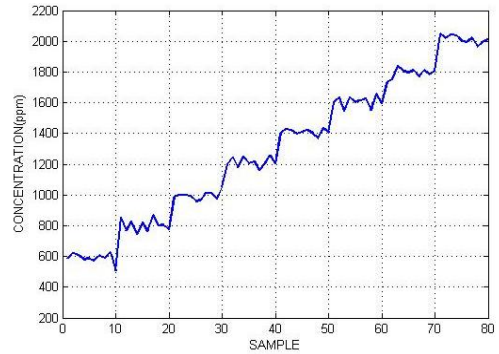


그림 8. 이산화탄소 농도측정

Fig. 8 CO2 Detecting Experiment

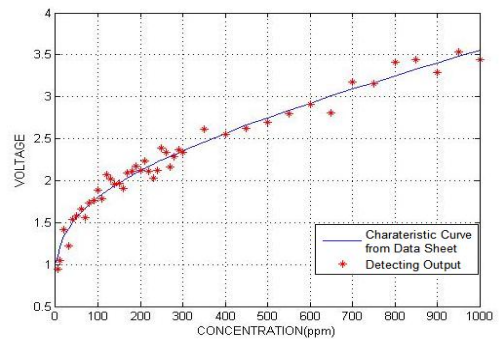


그림 9. 일산화탄소 농도측정실험

Fig. 9 CO Detecting Experiment

한다. 실험결과 그림 8과 같이 측정값이 투입한 가스농도와 ±50ppm 오차범위내의 농도값을 구할 수 있었다.

OGAM사의 GSET11 일산화탄소센서의 전압출력별 가스농도특성곡선과 실험결과를 비교한 결과 그림 9와 같이 100ppm 이하의 저농도 구간에서는 ±5%로 오차가 작았으나 100ppm을 넘어서는 큰 오차를 보였다. 이는 센서특성에 기인하는 것으로 본 연구에서 실내공기질관리법 유지관리기준 농도인 10ppm근처의 저농도로 본 시스템에 적용하기에 유용한 것으로 분석할 수 있다.

MiCS-2710 이산화질소센서는 식(1)과 같이 출력전압(V_s), 로드저항(R_L), 인가전압($V\alpha$)에 따라 계산되는 출력저항(R_s)은 농도와 상관관계를 가지므로, 각 농도에서 측정된 값을 하나의 데이터셋으로 하여 각 농도를 추정할 수 있도록 Fuzzy Min-Max기법을 사용하여 농도를 추정하였다.

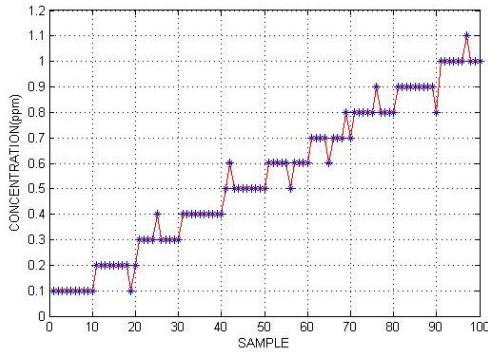


그림 10. Fuzzy Min-Max기법을 사용한
일산화탄소 농도 분류

Fig. 10 CO Classification using Fuzzy
Min-Max

Fuzzy Min-Max는 센서노드와 같이 간단한 연산을 요구하는 환경에 적합하며, DOC(Degree of Classification)를 사용한 소속도를 사용한 간단한 연산과정으로 이산화질소측정과 같이 소수점단위 농도를 추정할 수 있다 [14].

시뮬레이션결과 그림 10과 같이 인접한 농도로 추정오류를 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 소수점이하의 농도변화는 같은 농도상의 공간에서도 공기흐름에 따라 쉽게 발생할 수 있는 오류로서 피크치를 제외시킬 수 있다.

$$R_s = R_L / (V_{cc} - V_s) - V_s \quad (1)$$

V. 결 론

본 논문에서는 다양한 환경에 적용 가능한 실시간 공기질 모니터링시스템을 제안하였다. 무선센서네트워크와 WCDMA 통신을 결합한 무선네트워크기반 모니터링 시스템을 제안하여, 센서네트워크를 통해 다양한 환경에 설치할 수 있고 WCDMA기반의 이동통신시스템과 연동하여 관리자와 이용자에게 실시간으로 공기질 정보를 전달할 수 있도록 설계하였다. 그리고 공기질의 주요기준이 되는 가스들의 측정기를 센서네트워크에 적합한 소형의 저전력 회로로 설계·구현하였다. 그리고 각 가스센서의 특성에 맞게 가스측정실험의 분석을 진행하였으며 각 실험결과 이산화탄소는 $\pm 50\text{ppm}$ 오차범위, 일산화탄소는 100ppm 이하에서 $\pm 5\%$ 오차율, 이산화질소도 10% 이하의 오차율로 실내공기질관리법 유지관리기준 농도에서 적합한 성능을 보였다.

따라서 개발한 가스측정기는 공기질 실시간 모니터링 시스템에 적용가능하며, 제안한 시스템은 산업체와 다중이용시설 등 다양한 시설에 적용 가능할 것으로 기대한다.

References

- [1] R. A. Wadden, P. A. Scheff, Indoor Air Pollution, John Wiley and Sons, N. Y., 1983.
- [2] Y. Han, N. Zhu, N. Lu, J. Chen, Y. Ding, "The sources and health impacts of indoor air pollution," Proceedings of IEEE International Conference on Bioinformatics and Biomedical Engineering, pp. 1-4, 2010.
- [3] Korea Gas Safety Corporation, "2014 Gas Year Book," 2014. (in Korean).
- [4] Ministry of Enviroment, "Indoor Air Regulation," 2015 (in Korean).
- [5] T. Seesaard, T. Kerdcharoen, S. Kladsomboon, P. Lorwongtragool, T. Kitiyakara, "Health status monitoring by discrimination of exhaled breath with an electronic nose," Proceedings of Biomedical Engineering International Conference, pp. 1-5, 2012.
- [6] K. T. Tang, S. W. Chiu, H. C. Hao, S. C. Wei, T. H. Lin, C. M. Yang, D. J. Yao, W. C. Yeh, "An electronic-nose sensor node based on polymer-coated surface acoustic wave array for environmental monitoring," Proceedings of International Conference on Green Circuits and Systems, pp. 118-122, 2010.
- [7] A. Eambaipreuk, S. Kladsomboon, T. Kerdcharoen, "Breath monitoring based on the optical electronic nose system," Proceedings of Biomedical Engineering International Conference, pp. 63-66, 2011.
- [8] T. Thepudom, T. Kerdcharoen, A. Tuantranont, T. Pogfay, "Health-care electronic nose to detect beer odor in breath after drinking," Proceedings of Biomedical Engineering International Conference, pp. 1-4, 2012.
- [9] J.W. Kwon, J.C. Kim, G.S. Kim, H. Kim, "Air Quality Monitoring System using NDIR-CO2

Sensor for Underground Space based on Wireless Sensor Network,” Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea SC, Vol. 46, No. 4, pp. 28-38, 2009 (in Korean).

[10] G. Li, T. Jin, Y. Bian, R. Xu, S.B. Lim, “Development of An Integrated System for Indoor Air Quality Monitoring and Analysis,” The Korean Society For Geospatial Information System, pp. 243-244, 2015 (in Korean).

[11] G.S. Kim, “Implementation of Indoor Air Quality Monitoring System for Subway Stations,” Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, Vol. 50, No. 6, pp. 294-301, 2013 (in Korean).

[12] J. Kwon, D. Lee, G. Ahn, G. Kim, H. Kim, J. Kim, “Development of Remote Controller for Air Quality Monitoring and Control using Wall-pad in Underground Tunnel,” Information and control symposium, pp. 171-172, 2010.

[13] IEEE Standard, IEEE Standard for Information technology Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks Specific requirements, 2003.

[14] Y.W. Kim, S.H. Paik, H.B. Park, “Modified Multi-Gas Classification System Based on Fuzzy Min-Max,” ICEEE, pp. 1-4, 2013.

백 승 현 (Seung Hyun Paik)



He received the M.S. degree in Electronics Engineering from, Kyungpook National University, Korea, in 2008. He is currently a Ph.D. candidate in Electronics Engineering at Kyungpook National University. His research interests include electric nose, pattern recognition, and sensor network.
Email: ksgin1@gmail.com

정 상 우 (Sang Woo Jung)



He received the B.S. degree in Computer Control from, Kyungil University, Korea, in 2014. He is currently a M.S. student in Electronics Engineering at Kyungpook National University. His research interests include electric nose and embedded system software.
Email: demongun@naver.com

이 준 영 (Jun Yeong Lee)



He received the M.S. degree in Electronics Engineering from, Kyungpook National University, Korea, in 2008. He is currently a Ph.D. candidate in Electronics Engineering at Kyungpook National University. His research interests include electric nose, pattern recognition, and graphene sensor.
Email: middle10@naver.com

박 흥 배 (Hong Bae Park)



He received the Ph.D. degree in Electronics Engineering from, University of New Mexico, Korea, in 1977. He is currently a professor in the School of Electronics Engineering, College of IT Engineering, Kyungpook National University. His research interests include electric nose, pattern recognition, and robust control.
Email: hbpark@knu.ac.kr