

# 무선 센서네트워크 기반 실시간 다중소스 센서데이터 관리시스템 구현 및 성능분석

종신회원 강 문 식\*

## Implementation and Performance Analysis of Real-time Multi-source Sensor Data Management System Based on Wireless Sensor Network

Moon-Sik Kang\* *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 무선 센서네트워크를 기반으로 하는 실시간 다중소스 센서데이터 관리시스템을 제안하고 구현하였다. 제안된 관리시스템은 대상시스템의 상태를 효율적으로 감시하고 제어하기 위해서 다수의 센서들로부터 수집된 실시간 데이터를 무선으로 서버로 전송하며, 이를 분석하여 동작하도록 설계되었다. 제안된 시스템은 원격지에서 세포배양장치와 같은 다중 소스 센서들을 클러스터 형태로 구성하고, 이들로부터 발생하는 센서데이터를 제어, 전송하며, 각 소스로부터 수신된 데이터를 소스별로 구분하여 관리가 가능하도록 구현하였다. 제안된 시스템의 성능을 평가하기 위해서 전송거리에 따른 전송 지연시간과 다중소스로부터 발생된 데이터 손실률을 측정하여 분석하였으며, 그 결과 우수한 성능을 보임을 확인하였다.

**Key Words** : Wireless Sensor Network, multi-source, sensor data, management system, monitoring and control scheme

### ABSTRACT

In this paper, a real-time multi-source sensor data management system based on wireless sensor network is proposed and implemented. The proposed management system is designed to transmit the wireless data to the server in order to monitor and control the multi-source target's status efficiently by analyzing them. The proposed system is implemented to make it possible to control and transmit the wireless sensor data by classifying them, of which data are issued from the clustered sources composed of a number of the remote multiple sensors. In order to evaluate the performance of the proposed system, we measure and analyze both the transmission delay time according to the distance and the data loss rate issued from multiple data sources. From these results, it is verified that the proposed system has a good performance.

### I. 서 론

최근 개인 무선네트워크(Wireless Personal Area Network) 기술의 발전과 더불어 무선 센서네트워크

(Wireless Sensor Network)를 다양한 시스템에 적용하는 기술에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다<sup>1)</sup>. 무선 센서네트워크는 일반적으로 데이터를 획득하는 다수의 센서와 수집된 정보를 처리하는 프로세서, 그

\* 강릉원주대학교 전자공학과 (mskang@gwnu.ac.kr)

논문번호 : KICS2010-12-646, 접수일자 : 2010년 12월 31일, 최종논문접수일자 : 2011년 7월 15일

리고 무선 전송 및 수신 기능을 수행하는 센서노드(sensor node)와 싱크노드(sink node) 등으로 구성된다. 이러한 무선 센서네트워크 기술은 원격지 정보수집과 제어를 비롯하여 매우 다양한 형태로 활용되며, 과학적·의학적·군사적·상업적 용도 등으로 그 활용범위의 확대가 예상된다. 따라서 본 연구에서는 지그비(zigbee) 무선 센서네트워크를 기반으로 실시간 다중소스 센서데이터 관리시스템에 대한 연구를 수행하였고, 그 결과 효율적인 센서데이터 관리시스템을 설계하였다. 제안된 다중소스 관리시스템은 다수의 다양한 센서데이터를 감시하고 제어하는 경우에 매우 유용한 시스템으로, 예를 들면 세포배양장치 등에 적용하여 보다 효율적인 관리시스템의 구축이 가능해진다. 세포배양장치는 배양체의 성장에 필요한 온도, 습도, pH농도, O<sub>2</sub> 등과 같은 생물학적인 최적조건을 유지하도록 하는 것이 매우 중요하기 때문에, 이를 위한 관리시스템이 요구되며, 센서제어기술은 물론, 구조 및 압력제어기술, 정보처리기술 등이 요구된다.

본 논문은 무선전송장치로 저전력, 근거리(최대 전송거리 100m) 무선데이터 통신기술인 지그비(zigbee)<sup>[2,3]</sup> 무선모듈을 사용하여 시스템을 설계하였다. 데이터 전송범위, 무선장비 및 프로세서의 처리시간 등을 고려하여 데이터 손실률이 최소화되도록 설계하였다. 거리 및 장애물 등 다양한 실험 환경을 설정하여 데이터전송 실험을 수행하였고, 그 결과를 분석하여 제안시스템의 성능을 평가하였다. 본 논문의 구성은 서론에 이어 2장에서 무선 센서네트워크의 구조 및 동작을 다룬다. 3장에서는 제안된 감시 및 관리시스템의 설계 및 구현에 대하여 기술하고, 4장에서 제안시스템에 대한 실험 및 성능분석 결과에 대하여 기술하며, 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 무선 센서네트워크의 구조 및 동작

### 2.1 무선 센서네트워크 구조

무선 센서네트워크의 구조는 그림1에서 나타낸 것과 같이 다수의 센서노드와 싱크노드, 감시시스템 등을 포함한다<sup>[1]</sup>. 센서노드와 싱크노드는 센서로부터 데이터를 획득하고, 이를 무선으로 전송하기 위해 데이터의 변환 및 전송기능을 수행하는 장치이다. 본 연구에서는 온도, 습도, 조도, 마그네틱 센서 등 다중소스 센서 모듈을 사용하여 센서노드를 구성하였으며, 싱크노드는 데이터를 무선으로 전송하도록 하였다. 제안시스템은 다수의 다양한 센서로부터 다중 소스 데이터를 수집하여 실시간으로 표시(display)함은 물론, 이를

데이터화일로 저장하며, 감시시스템(monitoring system)과 인터페이스를 통해 감시기능을 수행하도록 설계하였다. 제안된 감시시스템에서는 전송된 센서데이터를 각 센서노드 데이터로 파싱(parsing)한 후, 센서노드를 구분하여 사용자가 확인할 수 있도록 표시하고, 각 센서로부터 발생하는 데이터 자료를 저장하도록 설계하였다. 또한 사용자가 필요한 상황에 따라서 적절한 명령을 센서노드로 전송할 수 있도록 하였으며, 이에 대한 데이터처리를 위해서 AT-mega2561(시스템 클럭 16MHz, 4.5~5.5V) 장치를 사용하였다.

무선 전송모듈로는 IEEE 802.15.4 표준 기반의 저속 근거리 무선통신 모듈인 지그비를 사용하였고, 감시시스템의 제어 및 관리프로그램은 MFC를 이용하여 구현하였다. 그림1은 제안시스템에서 사용하는 무선 센서네트워크의 구조를 블록다이어그램(block diagram)으로 나타낸 것이다.

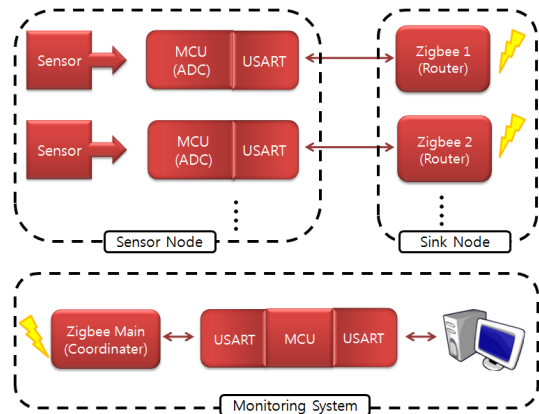


그림 1. 제안된 무선 센서네트워크의 구조

### 2.2 센서네트워크 설계 및 동작

무선 전송모듈인 지그비 장치를 포함하는 센서네트워크가 정상적으로 동작을 하기 위해서는 지그비의 모드를 동작모드(operation mode)에서 AT-명령모드(AT-command mode)로 변환하여야한다. 이때 동작모드란 코디네이터(coordinator), 라우터(router), 종단장치(end device) 등 FZ750BC의 장치 타입을 설정하는 모드이다. 또한 AT-명령모드는 FZ750BC가 사용자로부터 명령어를 수신받아 지그비 장치 설정값을 변경하는 모드를 말한다. 코디네이터는 지그비 네트워크를 관리하고 라우터와 데이터통신에 관련되기 때문에 라우터보다 먼저 코디네이터(coordinator - zigbee main)를 설정해주어야 한다. 코디네이터의 설정 후, 지그비에서 사용할 채널(channel)을 선택해야 하므로,

16개의 채널중에서 하나의 채널을 선택하여 네트워크에 참여할 디바이스의 채널을 확보 한다. 코디네이터에서는 전송해야할 대상 IEEE 주소 (Target IEEE Address)가 없기 때문에 별도로 값을 설정할 필요가 없으며, 최종적으로 장치이름을 설정하면 데이터를 수신할 준비가 완료된다. 그림 2는 이러한 설정과정을 나타낸 것이다.

센서노드에 있는 지그비 모듈을 라우터(router)로 설정하고, 코디네이터의 채널과 동기화(channel synchronization)를 수행한 다음, 데이터를 전송하고자 하는 지그비 코디네이터의 주소(16Byte Target IEEE Address로, 예를들면 001551000060892)를 지정한다. 다음으로 장치의 이름을 입력하고, 타이머 설정(timer setting) 값을 지정(센서노드의 센서 데이터 산출 및 전송지연시간)한 다음, 지그비를 소프트 리셋(reset)을 수행하여 지금까지 설정한 값들이 적용되도록 한다. 이로써 무선 네트워크 구성이 완료되고 데이터전송이 가능하게 되며, 이러한 진행과정을 그림 3에 나타내었다. 각각의 설정된 라우터는 지그비 네트워크의 전송거리 및 경로를 확장하여, 코디네이터와의 데이터통신을 진행한다. 본 연구에서는 지그비 16개 채널 중 0x0E채널(14번 채널, 2420MHz, ISM 대역)<sup>[4,5]</sup>을 사용하여 지그비 채널을 동기화하여 실험하였다.

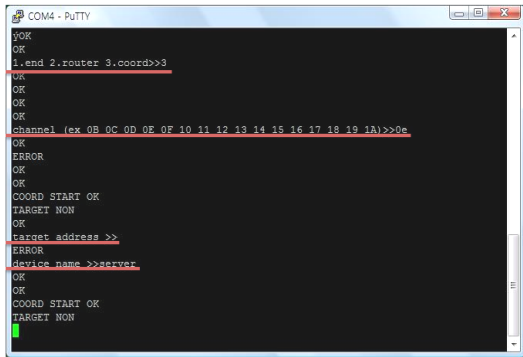


그림 2. 코디네이터(coordinator)의 설정과정

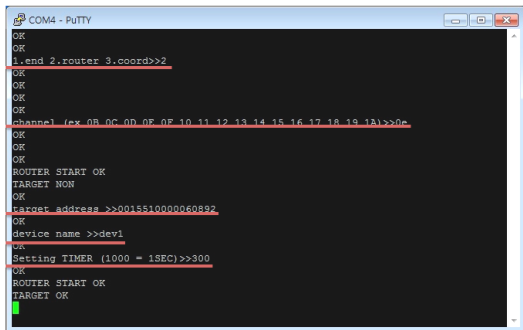


그림 3. 라우터의 설정 과정

그림 4는 지그비 채널 동기화과정을 블록다이어그램으로 나타낸 것이다. 감시시스템의 지그비는 코디네이터(coordinator)로 설정하였고, 실험에서는 4개의 센서노드(센서 및 싱크노드)와 1개의 감시시스템으로 구성하였다. 네트워크 구성은 그림 5에서 보는 것과 같은 성형 토폴로지(star topology) 형태<sup>[6]</sup>가 되도록 하여, 1:N 무선 데이터통신 실험을 하였으며, 그림 6은 본 연구에

를 사용하여 지그비 채널을 동기화하여 실험하였다.

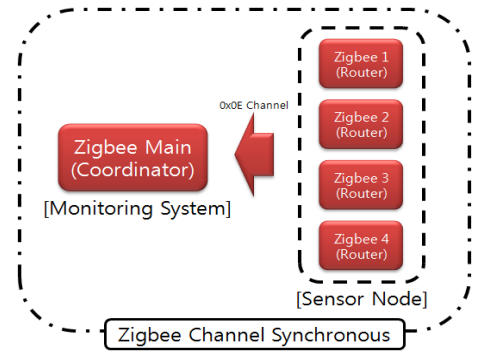


그림 4. 지그비 채널 동기화 블록 다이어그램

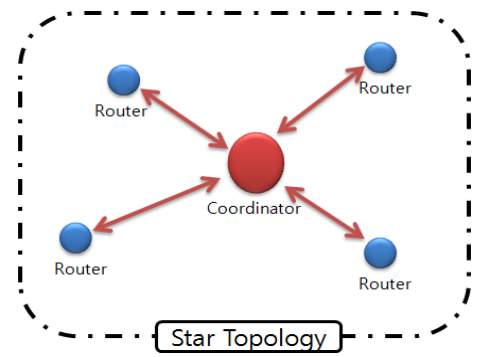


그림 5. 무선 네트워크 구성

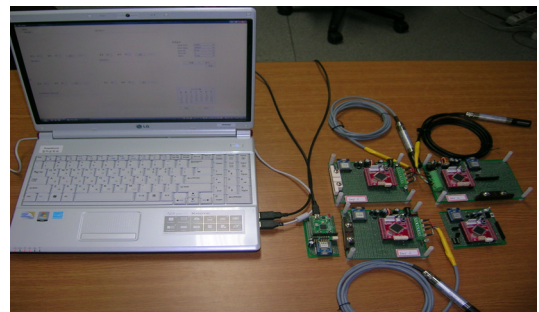


그림 6. 구현된 센서노드 및 감시시스템

서 구현된 센서노드 및 감시시스템의 실물사진이다.

### III. 제안된 다중소스 무선데이터 관리시스템 설계 및 구현

본 장에서는 제안된 다중소스 무선데이터 관리시스템의 설계 및 동작에 대하여 구체적으로 기술한다. 먼저 센서 노드(sensor node)와 싱크노드(sink node) 설계 및 동작에 대하여 알아보고, 이어서 다중소스 무선데이터 관리시스템의 설계과정에 대하여 기술한다.

#### 3.1 센서노드와 싱크노드의 설계 및 동작

2.1절에서 언급한 것처럼, 센서노드는 온도센서, 습도센서, 조도센서, 마그네틱센서 등 4종류의 센서를 사용하는 센서모듈로 구성되는데, 온습도 센서의 출력전압은 1V~5V(동작전원 12V)이고, 조도센서는 0V~4V(동작전원 5V, 출력전류 0uA~400uA)를 출력한다. 마그네틱 센서의 출력은 ON일때 1V~2V이고, OFF일 때 0V(동작전원 5V)를 출력하는 센서모듈을 사용하여 구현하였다. 그림 7은 이러한 센서노드와 싱크노드에 대한 구성도를 나타낸 것이다.

각각의 센서 모듈로부터 얻어지는 아날로그 데이터(출력전압, 출력전류)를 처리하기 위한 프로세서로는 AT-Mega2561 장치를 사용하였다. MCU의 10Bit ADC(Analog to Digital Conversion : 10Bit Resolution, 65 μs~260 μs 변환시간)를 이용하여 아날로그 형태의 센서 데이터를 디지털 데이터(0 ~ 1023)로 변환하였다. 디지털 데이터로 변환하기 위한 ADC 과정에서 MCU에 필요한 시간은 각 센서 당 6.5 μs의 시간(8 Prescaler, MCU 시스템 클럭 16MHz, ADC 변환시간 13 cycle, 4개 센서 모듈변환)이 필요하기 때문에, 센서 4개의 총 변환시간은 최소 26 μs가 필요하게 되며, MCU의 타이머(timer)를 이용하여 사용자가 원하는 시간에 센서 데이터를 변환할 수 있도록 구현하였다.

센서 모듈로부터 얻어진 아날로그 데이터는 MCU의 ADC를 통해 디지털 데이터로 변환된 후, 다시 무선 전송을 하기위한 데이터의 변환이 필요하다. 무선

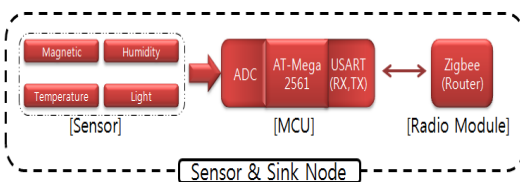


그림 7. 센서노드와 싱크노드의 구성

전송할 최종 데이터의 패킷은 [MAG: 1 T:32.1 LUX:196 H:56.3%]과 같은 형식(MAG: Magnetic, T: Temperature, LUX: Light, H: Humidity)으로 변환되며, 지그비 전송버퍼(transmission buffer)의 크기는 53 바이트(byte)이다. 싱크노드에서는 최종 변환된 데이터를 각각의 센서노드와 지그비 모듈 사이의 데이터 전송을 위해, MCU의 USART0(TX0, RX0)와 지그비 모듈을 연결하여 데이터 전송(baud rate : 38400 bps)이 이루어지도록 하였다. 지그비 직렬(serial) 전송데이터 처리량은 엔터(enter)키를 포함하여 53 바이트로, MUC에서 지그비로 직렬 데이터 전송이 시작되면, 데이터 전송이 완료된 후 엔터키를 입력할 때까지 다른 형태의 데이터 전송은 수행되지 않는다. 그림 8은 구현된 센서노드와 싱크노드를 나타내는데, 이는 전원부, 마이크로 프로세서(MCU), 센서부, 지그비 모듈 등을 포함한다.

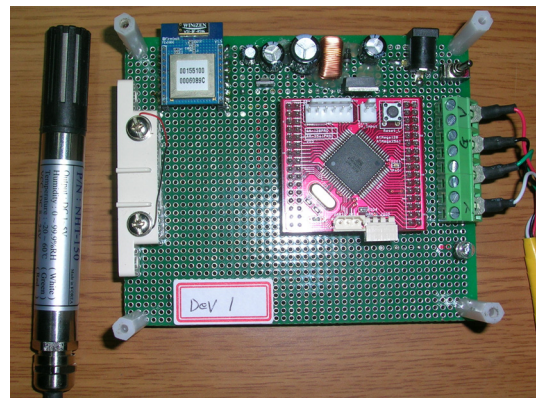


그림 8. 구현된 센서노드 및 싱크노드

#### 3.2 다중소스 관리시스템 설계 및 동작

제안된 다중소스 관리시스템(이하 관리시스템)의 기능은 센서 데이터를 수신하여 데이터베이스로 저장하는 기능, 수신데이터를 표시하는 기능, 그리고 센서노드를 제어하는 센서노드 제어기능 등으로 구분된다. 데이터 수신부는 각 센서노드를 통하여 무선으로 수신된 다중센서 데이터를 서버(server)에서 구분하는 부분, 센서 데이터를 표시하는 부분, 이를 데이터 베이스로 저장하는 부분, 그리고 센서 데이터가 설정한 값의 범위를 초과하는 경우 경고(alarm) 신호 기능을 담당하는 부분 등을 포함하여 설계하였다. 제안된 관리시스템의 구체적인 동작을 각 단계(step)별로 설명하면 다음과 같다.

단계 1. WinAPI Serial Open 단계

이 단계는 서버와 지그비 모듈의 연결을 설정하기 위한 과정으로 Port, BaudRate, Data length, Parity, Stop bit 설정을 통하여 이루어진다. MSDN Library의 RS232 부분에 나열된 함수들을 통하여 모든 과정이 진행되며, 연결된 후에는 서버와 지그비 모듈 사이에 데이터를 주고받을 수 있는 상태가 된다.

단계 2. 버퍼 수신 단계

서버와 지그비 모듈이 연결된 후 지그비를 통해 들어온 데이터를 수신버퍼에 순서대로 저장하며, 수신된 데이터는 분석단계로 넘어가게 된다. 수신데이터가 과다할 경우를 고려하여 버퍼에 저장한 후, 처리하게 된다.

단계 3. 분석 단계

각 센서노드로부터 입력된 센서 데이터의 노드 번호를 분석한 다음, 그 정보를 사용자가 설정한 데이터 값과 비교, 분석한다. 비교된 데이터 값이 사용자가 설정한 데이터 값의 범위를 초과하면 경고신호 플래그(flag)를 설정하여, 경고를 하게 되면, 관리시스템 화면에 경고 메시지(warning message)를 출력하게 된다.

단계 4. 저장 및 출력 단계

데이터 분석이 이루어진 후 데이터를 사용자가 알기 쉬운 데이터로 변경하고, 날짜별 시간별로 분류하여 각 노드에 따른 텍스트 파일로 저장하며, 경고신호가 발생한 데이터는 텍스트 파일로 저장된다.

센서노드 제어부분의 동작모드는 사용자 명령(user command) 모드와 현재 센서데이터가 사용자가 설정한 센서 데이터를 초과할 경우에 센서노드를 제어하는 제어모드(control mode)로 구분된다. 사용자 명령모드는 센서노드의 데이터 측정 및 무선 데이터 전송 시간을 사용자가 원하는 시간으로 변경이 가능하도록 설계하였다. 이는 사용자 특정 지그비 명령어를 통해 각 센서노드에 명령어(AT-SETTIME)가 전달하며, 이렇게 전달된 명령어는 센서데이터 측정시간을 변경해서 각 센서노드로부터 사용자가 원하는 시간마다 데이터를 얻을 수 있도록 한다. 센서노드의 제어모드에서는 무선 전송된 센서데이터가 설정된 값과 상이한 경우, 경고테이블(warning table) 목록에 있는 테이블을 실행해서 센서노드를 제어한다. 그림 9는 센서노드 제어모드를 블록다이어그램으로 나타낸 것이다.

관리시스템의 인터페이스 기능 및 구성은 그림 10에 나타내었다. 그림에서 영역(part) ①은 감시시스템

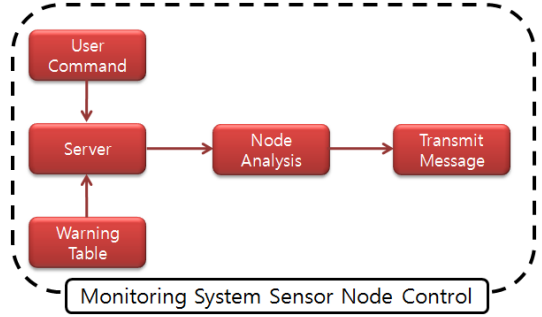


그림 9. 관리시스템 센서노드 제어 블록다이어그램

과 지그비 모듈(coordinator)과의 통신을 연결하기 위한 WinAPI Serial Open 과정을 담당하는 부분이다. 영역 ②는 감시시스템에서 지그비 모듈로 데이터를 전송(User Command)을 하기 위한 데이터 전송부(명령어: AT-SETTIME100 + Zigbee Target IEEE Address)이고, 영역 ③은 감시시스템에서 수신된 모든 데이터를 확인할 수 있는 부분이다. 영역 ④는 수신된 센서 데이터를 사용자가 쉽게 식별할 수 있도록 표시하는 부분으로, 수신된 데이터를 각 센서노드에 맞게 분류하여 장치별로 표시한다. 또한 영역 ⑤는 사용자가 설정 데이터를 입력하는 부분이고, 영역 ⑥은 사용자가 설정한 값보다 현재 센서데이터의 데이터 값이 큰 경우 경고메시지와 알람을 수행하는 부분이다.



그림 10. 감시 및 관리시스템의 인터페이스 화면

IV. 실험 및 성능분석

제안된 다중소스 관리시스템은 세포배양장치와 같은 다수의 다양한 센서로부터 획득된 무선 데이터를 관리하는데 실제적으로 사용가능하도록 개발된 것으로, 이에 대한 성능을 분석하기 위해서 센서노드 3개, 센서데이터 확인용 노드 1개, 그리고 감시시스템으로 구성하여 정량적인 실험을 수행하였다. 전송형태로는

1:N전송이 되도록 구성하였고, 관리시스템의 데이터 전송률, 메시지 교환에 따른 지연시간, 데이터 에러율, 최적 전송속도 등을 실험을 통해 분석하였다. 실험에서 무선 통신모듈인 지그비의 데이터전송 성공확률을 높이기 위해 ACK 프레임을 사용하였다. 라우터에서 코디네이터로 데이터를 정상적으로 전송하게 되면, 코디네이터에서 라우터로 ACK 프레임을 전송하여 데이터를 성공적으로 수신되었음을 알려준다. 만일 ACK 프레임이 정상적으로 수신이 이루어지지 않으면, 코디네이터에서는 최대 9번까지 데이터 재전송이 수행되도록 설계하였다. 이러한 과정을 그림 11에 도식적으로 나타내었다.

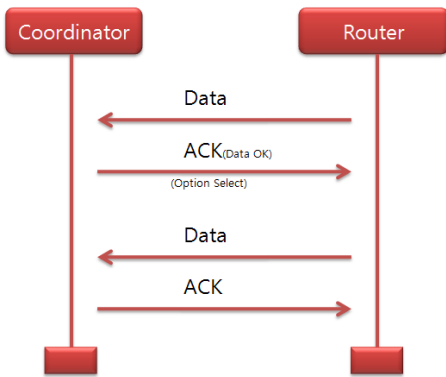


그림 11. 코디네이터에서 라우터로 데이터 전송시 ACK 프레임 전송

4.1 전송거리에 따른 데이터 전송률

센서 데이터 확인노드에서 53Byte(지그비 buffer: 최대 53Byte)의 데이터를 지그비 라우터로 전송하기 위한 최소지연시간(Minimum Delay Time)은 MCU USART 전송속도를 고려하여 55ms로 설정하였다. MCU에서 55ms의 지연시간으로 데이터를 전송하는 경우, 센서노드에서 감시시스템 사이에 데이터 최대전송속도는 약 8.056Kbps ( $[53\text{Byte} \times 8\text{Bit} \times 19\text{개}] / 1\text{sec}$ )로 나타났다. 이는 거리가 반경 1M인 경우에 코디네이터로 데이터를 전송하기 위한 MCU 최소 전송지연시간이며, 센서노드 ADC를 통해 센서데이터가 얻어지는 시간(26us)을 고려하더라도 정확한 센서데이터의 전송이 이루어진다고 판단된다. 또한 실험에서는 무선 전송시 발생가능한 여러가지 장애를 고려하여 최소 전송지연시간을 100ms로 설정하였다. 거리별 데이터 전송률을 분석하기 위해서, 네트워크의 구성형태는 성형 토폴로지가 되도록 구성하였고, 1개의 코디네이터에 네트워크 장치의 참여 노드수를 변경하면서, 거리

에 따른 데이터 전송률을 측정하였다. 네트워크의 참여노드가 1:1일 경우의 측정결과는, 직선거리 1M와 10M인 경우에 MCU(AT-Mega2561)의 무선 데이터 전송지연시간이 100ms에서, 100%의 데이터 전송률을 보였으며, 이때 데이터 전송속도는 4.24Kbps로 나타났다. 또한 20M·30M·40M인 경우에는 200ms의 지연시간에서, 50M이상인 경우에는 600ms이상의 지연시간일 때 100%의 데이터 전송률을 보였으며, 600ms의 지연시간에서는 707bps 정도의 데이터전송속도를 보였다.

그림 12는 데이터 에러율(error rate)을 0%로 유지할 때, 네트워크의 참여노드가 1:1인 경우, 전송거리별 MCU 무선 데이터의 최소 전송지연시간을 나타낸 것으로, 전송거리가 50M 이상에서 전송지연시간이 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 지그비 네트워크 구축시, 거리에 따라 무선 데이터전송이 원활하지 못하다는 것을 의미하며, 거리가 멀어질수록 지그비 네트워크상에서 트래픽이 증가해 데이터 수신이 원활하게 이루어지 못하기 때문으로 판단된다. 여기서 트래픽이 증가하는 원인은 지그비 장치가 지그비 네트워크에 참여하기 위해 필요한 전송 및 수신 데이터와 지그비 장치가 목표 장치의 경로를 확보하기 위해 필요로 하는 전송 및 수신 데이터, 그리고 데이터의 확인을 위한 ACK 데이터, 지그비의 상태를 알기 위해 교환하는 데이터 트래픽 등을 포함하기 때문이다.

그림 13은 1:1 지그비 통신에서 거리에 따른 MCU 무선 전송지연시간에 따른 데이터 손실 갯수를 보여준다. 이것은 지그비가 네트워크에 접속이 이루어진 다음, 네트워크의 참여노드가 1:1로 데이터 전송하는 경우, 1000개의 데이터에서 손실되는 데이터 갯수를

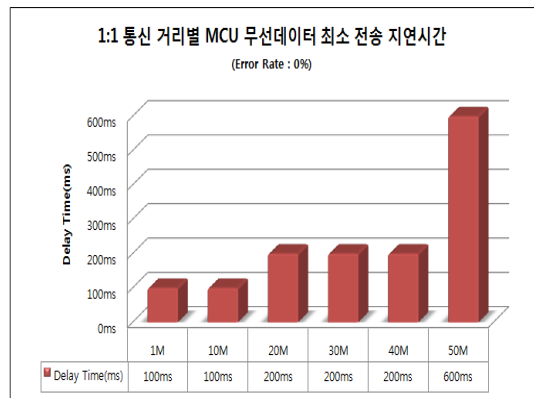


그림 12. 참여노드 1:1 통신에서 전송거리별 MCU 최소 전송지연시간 (에러율 = 0%인 경우)

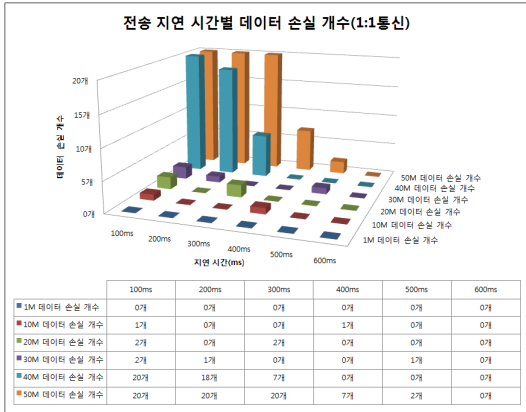


그림 13. 참여노드 1:1 데이터전송에서 지연시간에 따른 데이터 손실률 측정

산출한 것이다. 이는 지그비 모듈의 무선 전송거리에 따른 데이터 손실률(loss factor)을 의미한다. 만일 데이터의 손실 개수가 20인 경우는 데이터의 손실률이 2%이상(1000개 전송시 20개 이상의 데이터 손실이 발생)을 의미하므로, 이것은 무선데이터 전송에 부적합한 경우로 분류하였다.

데이터의 손실이 증가하는 원인은 지그비 참여노드 간 거리가 멀어짐에 따라, 그림 12의 결과에서 분석하였듯이, 네트워크의 트래픽 양이 증가하는 것이 그 주된 원인이다. 또한 데이터 전송 시 코디네이터로부터 라우터가 ACK 프레임을 수신하는 동안, 센서노드에서 그 다음 데이터를 처리하여 지그비로 전송하는 과정에서 데이터 트래픽이 발생하고, 이에 따라 라우터가 코디네이터로 재전송을 수행하여 지정된 시간내에 데이터를 전송하지 이루어지지 않는 것 또한 원인으로 분석된다. 그림 13에서 200ms에서는 데이터 손실이 없으며, 400ms에서는 1개의 데이터가 손실되는 것으로 나타나는데, 이러한 경우에도 센서노드에서 관리시스템으로 데이터를 전송하는 동안 지그비 데이터 트래픽 처리가 원활하게 된다면, 손실데이터가 있는 경우의 전송시간보다 짧은 시간에도 데이터의 에러 없이 데이터전송이 가능하다는 것을 확인할 수 있었다.

4.2 센서노드 확장에 따른 거리별 데이터 전송률  
 센서노드를 확장에 따른 데이터 전송률을 분석하기 위하여, 1개의 코디네이터에 네트워크 디바이스 참여를 1:N (N=2,3,4)로 확장하고, 데이터가 손실이 없도록 하는 MCU 무선 전송지연시간을 측정하였고, 그림 14에 그 결과를 나타내었다. 거리별로 네트워크의 참여노드의 수가 1개에서 2·3·4개로 증가할수록 데이터

전송시간이 급격하게 증가하며, 50M에서 네트워크의 참여노드가 2개일 경우에는 1000ms(1 sec, 848bps), 3개일 경우에는 1500ms(1.5 sec, 848bps), 4개일 경우 5000ms(5 sec, 339.2bps)로 데이터전송 지연시간이 발생하였다. 이러한 결과에서 보듯이 데이터 전송률은 네트워크의 참여노드 수가 증가할수록 감소하는 것을 알 수 있다.

또한 그림 15에서는 동일한 전송시간에 네트워크 참여노드 수를 확장하여(N=4인 경우) 얻어진 데이터 에러률(error rate)을 나타내었다. 결과로부터 동일한 MCU 무선 전송지연을 고려하면, 다중의 네트워크 참여노드 수의 증가는 코디네이터 지그비에서 센서노드로부터 전송되는 데이터 트래픽의 증가로 이어지고, 이것은 관리시스템에서 데이터 처리 트래픽이 과도하게 발생할 가능성이 있음을 보여준다. 트래픽 발생이 심각한 수준에 이르면, 수신이 불가능하게 되므로, 이에 대한 혼잡제어 기능이 요구된다. 이에 대한 연구는

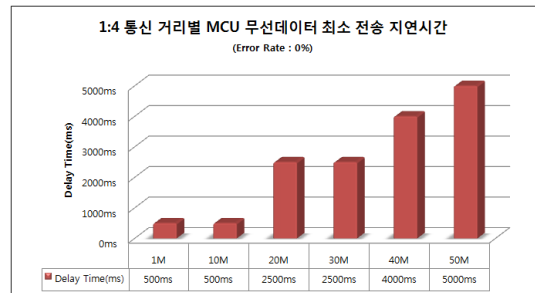
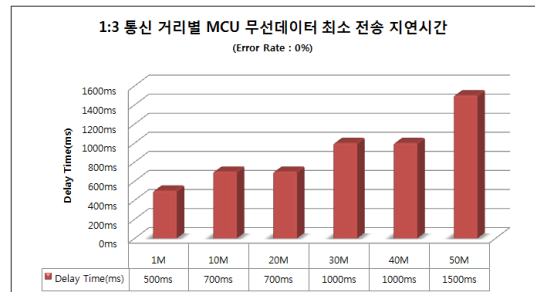
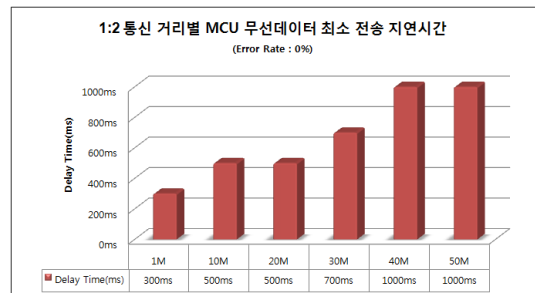


그림 14. 1:N 통신 거리별 MCU 무선데이터 최소 전송지연시간(N=2,3,4 Error Rate : 0%인 경우)

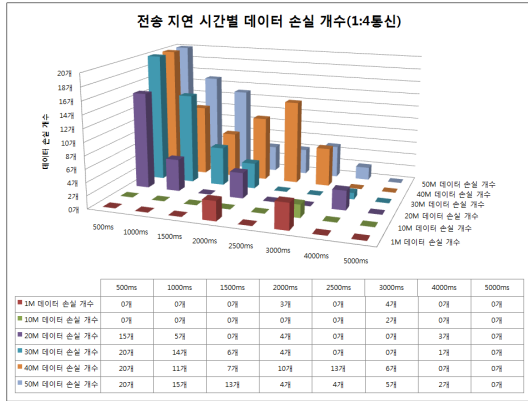


그림 15. 1:N 통신 거리별 데이터 에러율(N=4)

향후 지속적으로 수행이 될 예정이다. 또한 데이터의 손실율이 MCU 무선 전송 지연시간에 따라 일정하게 나타나지 않는 경우가 있는데, 이것은 지그비 데이터 처리 신호가 원활하지 않은 경우에 발생함을 알 수 있었다.

### 4.3 장애물에 따른 데이터 전송률

건물의 내벽과 같은 장애물이 있는 경우에 제안된 시스템의 사용가능성을 알아보기 위해서 그림 16과 같이 장애물이 있는 장소에서 데이터 전송실험을 수행하였다.

실험 결과, 외벽이 있는 장소에서는 20M거리에서 네트워크 참여노드가 2개일 경우, 1:1 통신보다 5배의 MCU의 전송 지연시간 필요하게 된다는 것을 알 수 있었으며, 또한 3개가 되면, 6.25배, 4개가 되면, 7.5배로 데이터 전송 지연시간이 증가한다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 장애물이 있는 경우에는 최소한의 전송지연이 불가피함을 알 수 있었다. 이러한 최소전송 지연 시간의 결과를 그림 17에 나타내었다.

네트워크 참여노드의 수를 1:4가 되도록 네트워크를 구성하고, 전송 지연시간을 6000ms까지 충분히 큰 값으로 증가시켜 실험한 결과, 장애물 발생시 코디네이터에서 라우터로 ACK 프레임 전달이 원활하지 않아 데이터 재전송이 장애물이 없는 장소보다는 많이 발생하기는 하였지만, 필요한 데이터의 수신은 원활하

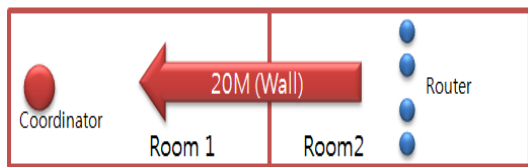


그림 16. 장애물(외벽)이 있는 경우, 데이터전송 실험 환경

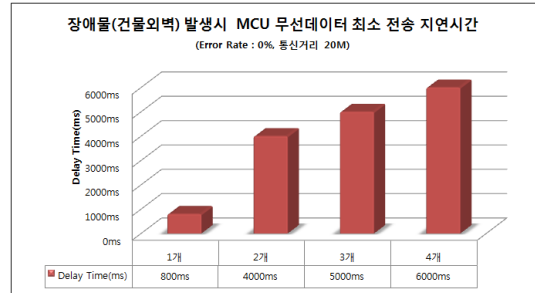


그림 17. 장애물이 있는 경우 최소 MCU 전송지연시간

게 수행되는 결과를 얻었고, 이것을 표 1에 나타내었다.

표 1. 장애물에 따른 데이터 전송실험 결과 (전송지연 시간 =6000ms)

22:03:54	MAG:	0	T:34.3	LUX:060	H:56.0%	373	373	0
22:04:00	MAG:	0	T:34.4	LUX:056	H:56.0%	374	374	0
22:04:06	MAG:	0	T:34.4	LUX:058	H:56.0%	375	375	0
22:04:12	MAG:	0	T:34.3	LUX:054	H:56.0%	376	376	0
22:04:18	MAG:	0	T:34.4	LUX:059	H:56.1%	377	377	0
22:04:24	MAG:	0	T:34.3	LUX:054	H:56.1%	378	378	0
22:04:26	MAG:	0	T:34.3	LUX:054	H:56.1%	378	379	X
22:04:30	MAG:	0	T:34.4	LUX:060	H:56.2%	379	379	0
22:04:36	MAG:	0	T:34.4	LUX:055	H:56.2%	380	380	0
22:04:42	MAG:	0	T:34.3	LUX:058	H:56.1%	381	381	0
22:04:48	MAG:	0	T:34.4	LUX:056	H:56.2%	382	382	0
22:04:54	MAG:	0	T:34.4	LUX:056	H:56.2%	383	383	0

### 4.4 무선 데이터 전송속도

제안된 다중소스 관리시스템의 무선데이터 전송속도를 분석한 결과를 정리하면 다음과 같다. 참여 센서 노드의 수를 증가시키면서 데이터 전송속도를 거리별로 측정해 본 결과, 거리에 따라 관리시스템은 1M, 10M에서는 네트워크 참여노드의 수가 증가하여도 전송률에는 크게 문제가 되지 않는 것으로 나타났으며, 20M이상에서는 참여노드의 수가 증가하면 전송속도는 다소 감소한다. 이것은 10M이내의 짧은 거리에서는 MCU 최소 무선 전송지연시간을 500ms로 동일하게 설정하여 실험하였기 때문이다. 거리가 20M이상 (20M, 30M, 40M, 50M)에서 센서노드가 2개일 때 MCU의 최소 전송지연시간을 500ms, 700ms, 1000ms, 1000ms로 설정하고, 4개일 경우에는 최소 전송지연시간을 2500ms, 2500ms, 4000ms, 5000ms로 설정하여 실험을 수행하였으며, 참여노드의 수가 3개인 경우에는 MCU 무선 전송지연시간은 700ms로 설정하여 실험을 수행하였다. 이러한 실험 결과를 정리하여 그림 18에 나타내었다. 예를 들어, 거리가 20M에서 센서노드의 수가 4개이고 최소 전송지연시간이 2500ms인 경우, 이때 전송속도가 678.4 bps이라는 것을 보여준다. 이러한 결과로부터 제안된 시스템은 다중소스 센서데이터에 대한 효율적인 관리가 가



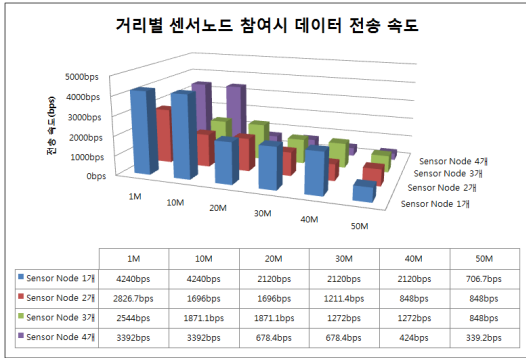


그림 18. 거리별 참여 센서노드 수에 따른 데이터 전송속도  
능함을 알 수 있다.

### V. 결 론

오늘날 무선 센서네트워크 기술 다양한 형태로 활용되며, 그 활용범위가 더욱 확대되고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 효율적인 실시간 다중소스 센서데이터 관리시스템을 설계하고 구현하였다. 무선데이터 전송을 위해 지그비 무선모뎀을 사용하였고, 데이터 전송범위, 무선장비 및 프로세서의 처리시간 등을 고려하여, 데이터 손실률이 최소화되는 최적시스템이 되도록 설계하였다. 센서로부터 수집되는 무선데이터를 AT-Mega2561 프로세서를 이용하여 변환하고, 무선 전송장치를 통하여 서버로 전송되도록 구성하였다. 감시시스템은 사용자의 명령어를 처리하여 센서노드로 명령을 전달하도록 인터페이스를 구현하였으며, 거리 및 장애물을 고려하여 데이터전송 실험을 수행하여 제안시스템의 성능을 분석하였다. 거리에 따른 무선 데이터 전송시 발생하는 데이터 어려움을 최소화하고, 보다 효율적인 데이터 전송을 하기위해 최적 데이터 전송시간을 측정하였으며, 그 결과 제안된 시스템이 우수한 성능을 보임을 확인하였다. 그러나 네트워크 참여노드 수의 증가로 인하여 코디네이터 지그비에서 센서노드로부터 전송되는 데이터 트래픽의 심각한 증가에 따른 데이터 트래픽의 과도발생에 대한 처리방안, 즉 혼잡제어에 대한 방안은 이번 연구에는 포함하지 않았다. 이러한 연구는 향후 지속될 예정이며, 또한 센서노드(router)에서 감시시스템(coordinator)으로 무선 데이터를 전송하는 방식의 개선을 통해 지그비 데이터 전송속도를 향상시키는 방안에 대한 연구도 진행될 예정이다.

### 참 고 문 헌

- [1] <http://www.sensor-networks.org/Understanding> 802.15.4
- [2] IEEE 802.15 WPAN TG4, [www.ieee802.org](http://www.ieee802.org) /15/pub/TG4.html
- [3] ZigBee Wireless Sensor Applications for Health, Wellness and Fitness, Zigbee Alliance, March 2009. (<http://www.zigbee.org>)
- [4] Kenneth D. Cornett, "Clarification of Motorola's Proposal for the IEEE 1451.5 Wireless Smart Sensor Standard", pp.7-10, 2003.
- [5] Ed Callaway, "PHY Proposal for the Low Rate 802.15.4 Standard", pp.4-5, pp.9-19, 2001.
- [6] José A. Gutierrez, "IEEE 802.15.4 Tutorial" pp.12~20, 2003.
- [7] D. Culler, "Overview of Sensor Networks", IEEE Computer Society, August 2004.
- [8] Tijs van Dam, Koen Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", SenSys'03, Los Angeles, November 2003.
- [9] Joseph Polastre, Jason Hill, David Culler, "Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks", SenSys'04, Baltimore, November 2004.

강 문 식 (Moon-sik Kang)

중신회원



1985년 2월 연세대학교 공과대학 전자공학과 졸업  
1988년~1993년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 석사, 공학박사 (Ph.D)  
1996.3~1997.2 University of Pennsylvania, Post-doc fellow

2004년 3월~2005년 8월 Illinois Institute of Technology, Research Associate  
1993년 3월~현재 강릉원주대학교 공과대학 전자공학과 교수

<관심분야> High-Performance Network Architecture and Protocol Design, Wireless Mobile Networking and QoS Control Scheme