

바이오 및 환경센서를 활용한 무선센서 네트워크 기반의 축사관리 시스템

Cattle Shed Management System Based on Wireless Sensor Network with Bio and Environmental Sensors

| | |
|--------------------|---|
| 저자 (Authors) | 김홍규, 문승진, 이종대, 최선오 Hong-Kyu Kim, Seung-Jin Moon, Jong-Dae Lee, Sun-O Choi |
| 출처 (Source) | 한국통신학회논문지 38(7) , 2013.7, 573-586(14 pages) The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences 38(7) , 2013.7, 573-586(14 pages) |
| 발행처 (Publisher) | 한국통신학회 Korea Institute Of Communication Sciences |
| URL | http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE02220753 |
| APA Style | 김홍규, 문승진, 이종대, 최선오 (2013). 바이오 및 환경센서를 활용한 무선센서 네트워크 기반의 축사관리 시스템. 한국통신학회 논문지, 38(7), 573-586 |
| 이용정보 (Accessed) | 충북대학교 113.198.***.89 2021/11/08 19:10 (KST) |

저작권 안내

DBpia에서 제공되는 모든 저작물의 저작권은 원저작자에게 있으며, 누리미디어는 각 저작물의 내용을 보증하거나 책임을 지지 않습니다. 그리고 DBpia에서 제공되는 저작물은 DBpia와 구독계약을 체결한 기관소속 이용자 혹은 해당 저작물의 개별 구매자가 비영리적으로만 이용할 수 있습니다. 그러므로 이에 위반하여 DBpia에서 제공되는 저작물을 복제, 전송 등의 방법으로 무단 이용하는 경우 관련 법령에 따라 민, 형사상의 책임을 질 수 있습니다.

Copyright Information

Copyright of all literary works provided by DBpia belongs to the copyright holder(s) and Nurimedia does not guarantee contents of the literary work or assume responsibility for the same. In addition, the literary works provided by DBpia may only be used by the users affiliated to the institutions which executed a subscription agreement with DBpia or the individual purchasers of the literary work(s) for non-commercial purposes. Therefore, any person who illegally uses the literary works provided by DBpia by means of reproduction or transmission shall assume civil and criminal responsibility according to applicable laws and regulations.

바이오 및 환경센서를 활용한 무선센서 네트워크 기반의 축사관리 시스템

김 홍 규*, 문 승 진°, 이 중 대*, 최 선 오**

Cattle Shed Management System Based on Wireless Sensor Network with Bio and Environmental Sensors

Hong-Kyu Kim*, Seung-Jin Moon°, Jong-Dae Lee*, Sun-O Choi**

요 약

다양한 IT융합기술 분야 중 바이오 및 환경센서를 활용한 농축산 산업분야에 관한 연구가 최근 주목받고 있다. 그중 축산산업의 질적 향상을 위한 방법으로 IT기술융합이 절실히 요구되고 있다. 특히, 축산물에 대한 실시간 건강상태 모니터링, 질병발생시 원인 파악 및 즉각적인 향후 대처방안 수립 등이 이에 해당된다. 이에 본 논문에서는 무선 센서 네트워크 기반에서의 축산산업 분야에서 축사 환경 모니터링 및 환경개선 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 축사의 무선 환경정보 수집 노드, 환경개선 노드, 축사 게이트웨이, 서버로 구성되어 대규모 축산산업 환경 모니터링과 환경개선이 가능하여 상황에 따른 능동적인 대응 및 가축의 최적 생활 조건과 질병발생시 환경에 따른 정보의 실시간 수집 및 최적 환경제어가 가능하다. 제안된 시스템을 활용하면, 집단 폐사와 같은 재해에 실시간 대응 및 가축관리의 최적 생활조건을 제공함으로써 축산 산업분야의 IT 융합기술의 성공적인 적용이 가능하다고 판단된다.

Key Words : Sensor Network, Bio Environment Sensors, Environment Monitoring System, Cattle Shed Management, IT Convergence

ABSTRACT

Recently, the research, utilizing bio and environment sensors in agricultural and cattle industries, are drawing attention among the various IT convergence technologies. Among such research IT convergence techniques which aim to improve the quality of cattle industry management are necessary in particular. Real-time monitoring of the cattles health condition, identification of the cause of the diseases and timely response to such epidemic based on IT convergence techniques are among them. In order to achieve the better management of cattle industry, we propose a cattles management system which based on various bio environment sensors and wireless network technologies. The system consists of wireless environmental sensor data acquisition nodes, sensor data processing nodes, the gateway and the server. The proposed system is able to actively monitor the cattle field, to respond quickly in the case of massive cattle diseases and to control the environment of the cattle fields. We believe the proposed system will demonstrate the successful application of IT technologies to an applied field such as farming industries because of real-time crisis management capability in case of epidemic and optimal management of cattle industry.

※ 본 연구는 경기도의 경기도지역협력 연구센터(GRRC) 사업(GRRC 수원2013-B4) 실시간 상황 대응을 위한 정밀 위치추적 시스템 연구의 일환으로 수행하였음.

• 주저자 : 수원대학교 컴퓨터학과, foxliver@naver.com, 종신회원

° 교신저자 : 수원대학교 컴퓨터학과, sjmoon@suwon.ac.kr, 종신회원

* 국제대학교 컴퓨터학과, leejd3@naver.com, 정회원

** ㈜아이비즈코리아, sun2033@hanmail.com, 정회원

논문번호 : KICS2013-05-208, 접수일자 : 2013년 5월 9일, 최종논문접수일자 : 2013년 6월 10일

I. 서 론

오늘날의 축산 산업분야는 대규모 사육에 따른 가축의 질적 향상과 방역, 환경 등의 문제에 직면하고 있다. 특히 환경부^[1]에서는 2005년 2월 10일부터 악취방지법을 시행 악취물질로 암모니아, 황화수소, CO₂, VOC 등 22가지를 지정하였고, 축사의 주요 악취 발생원에 대해 Van't klooster and Voermans^[2]은 유럽의 축사시설에서 총 악취 배출은 축사 내에서 50%이상을 차지한다고 한다. 이러한 환경에서의 가축은 환경 위생 문제에 직면해 있으며, 보다 좋은 품질을 얻을 수 없고 질병으로 인한 폐사의 우려가 크다. 이러한 환경을 보다 빠르게 모니터링하여 대처 할 수 있는 시스템을 필요로 하고 있으나 현재까지 연구 개발된 시스템은 각기 다른 시스템을 조합하여 수 많은 통신 선로, 또는 전원 문제, 실제 필요로 하는 유연한 환경개선 능력 등을 올바르게 수행하지 못하여 단순한 모니터링과 제어에 한정되어 있는 문제점이 있다.

따라서 본 논문에서는 축사의 환경적 요인을 센서네트워크 기반의 감시, 제어, 검증을 위한 통합 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 축사에서 필수 환경요인으로 지적된 암모니아(NH₃), 황화수소(H₂S), 이산화탄소(CO₂), 휘발성 유기화합물(VOC - 약 120가지), 온도, 습도, 먼지(DUST), 풍향, 풍량 등을 실시간 측정 할 수 있는 센서 노드와 환기 시스템, 워터 밸브, 에어 컨디셔너, 히터, 화합물 밸브 등을 제어 할 수 있는 제어 노드를 1개 조로 구성하고 센서 노드로부터 수집된 데이터를 해석, 환경 요인에 따른 제어 적용 및 변화를 모니터링 하여 종합처리 할 수 있는 미들웨어를 구성함으로써 최적의 사육환경을 유지시키고 생산성을 향상시키며 원격제어 및 자동제어, 환경변화를 모니터링을 통한 생산자에 편의를 제공하여 양돈, 양계 등 동물의 사육에 적용하여 효과적으로 이용 하는 것을 그 목표로 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 현재 축사에서 환경정보 모니터링 운용방법에 대해서 알아보고, 3장에서는 제안한 시스템의 설계 및 구현에 대하여 설명한다. 4장에서는 성능평가를 위한 테스트베드에서 유효성 검증을 수행하였으며, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1. 축사 환경정보 모니터링

현재 국내의 축사 관리는 양돈 농가에 주로 적용하여 HACCP 시스템을 적용하여 질병예방을 위한 생산 단계 생장환경(온도, 습도, 암모니아) 모니터링, 위해요소관리(CCP) 및 RFID를 이용한 개체관리와 생산 이력관리를 중점으로 시행하고 있다. 또한 u-포크 안전/안심 시스템 사업은 돼지 사육, 질병/방역 관리, 도축, 판매 등 전 과정의 돼지고기 생산이력정보 관리를 통해 안전 한 돈육을 제공하는데 목적을 두고 있으며, 돈사 환경제어, 양돈 사양관리 시스템, 도축추적정보/육가공 추적정보 시스템, 이력정보 시스템을 구축하여 운용 중이다^[3,4]. 마지막으로 u-포크 균일돈 성장관리 시스템은 USN, CCTV를 활용하여 돼지축사의 온/습도, 이산화탄소, 산소농도 등의 측정 및 돈사 상황을 모니터링하고, 환풍기 제어 등을 통해 최적의 돈사 환경을 조성하여 질병예방 및 균일돈의 성장관리 시스템을 구축하는데 목적을 두고 있다.

이러한 가축 모니터링 시스템은 1. 보다 넓은 의미에서의 축사에서 범용으로 사용할 수 없고, 2. 각기 다른 시스템을 조합하여 사용함으로써 저효율의 환경을 감지하며, 3. 센서의 한계로 인한 수명을 최대 6개월로 한정하여 기반 시스템의 고비용이 요구된다. 4. 가축의 환경 모니터링 및 유지를 위한 최소의 구성으로써 생육 환경 개선의 증명이 정확하지 않다. 이렇게 크게 4가지의 문제로 인한 관련 연구가 현재까지도 진행 중에 있다. 따라서 본 논문에서는 축사 개념에서 사용할 수 있는 복합 센서 및 복합 제어 시스템을 구성하여 보다 효과적으로 최적 생육환경을 범용으로 사용할 수 있는 시스템을 제안한다.

2.2. 최적 환경 유지를 위한 제어

현재 축사의 최적 환경유지는 환풍기를 제어하여 주요 유해요소인 암모니아, 황화수소, 먼지, 온도, 습도, 이산화탄소를 보다 빠르게 순환시켜 유지 하는 방법을 사용하고 있다. 하지만 이러한 방법은 민감한 가축의 경우 빠르게 변화하는 환경을 적응하지 못해 스트레스를 받아 생육환경에 유해 요인으로 작용할 수 있다. 예를 들어 추운 겨울에 축사 내의 환경이 일정치 이상을 초과 할 경우 환풍기를 이용하여 유해요소를 배출할 경우 외부에서 인입되는 공기의 온도가 급격하게 떨어져 질병이 발생할 수 있으며, 반대로 여름에 사용할 경우 내부와 외부와의 온도차가 심해질 수도 있다. 또한 환풍기의 위치, 풍량, 풍속 등을 고려하지 않고 순환, 배기시킬 경우 축사 내부의 대류 현상으로 인한 유해요소의 농도가 높아 질수도 있다.

2.3. 환경 모니터링을 위한 소형센서

악취란 대다수의 사람이 느끼기에 “불쾌한 냄새”를 뜻하며 “황화수소, 머캅틴류, 아민류 기타 자극성 있는 기체성 물질이 사람의 후각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새(대기환경보전법)”를 뜻한다. 이러한 악취는 사람과 같이 동물의 생육 환경에 영향을 미치고 있으며, 국내 돈사에서 이러한 환경을 감지하기 위한 센서로 표 1과 같은 센서를 필요로 한다.

표 1. 환경 모니터링을 위한 센서
Table 1. Sensors for environment monitoring

| Sensor | Measurement range | Precision | Measurement method |
|------------------------------------|-------------------|-----------|--------------------|
| Ammonia(NH ₃) | 0~1000ppm | 0.1ppm | Electrolysis gas |
| Hydrogen sulfide(H ₂ S) | 0.1~100ppm | 0.01ppm | Electrolysis gas |
| Carbon dioxide(CO ₂) | 0~5000ppm | 0.1ppm | NDIR |
| Volatile Organic Compounds(VOCs) | 0~100ppm | 0.1ppm | Electrolysis gas |
| Dust | 0~5000um | 1um | NDIR |
| Temperature | -20~100℃ | 0.01℃ | Semiconductor |
| Humidity | 0~99.9 | 0.1 | Semiconductor |

본 논문에서는 축사에서 주로 발생하는 환경요인을 측정하기 위한 센서로 이산화탄소(CO₂), 휘발성유기화합물(VOCs), 암모니아(NH₃), 황화수소(H₂S), 먼지(Dust), 온도(Temperature), 습도(Humidity) 센서를 필요로 한다. 현재의 생육환경 모니터링을 위해 사용되는 센서는 각기 다른 제조사로 구성된 하나의 모듈 형태를 사용하여 데이터의 처리와 가공에 많은 비용이 소모되는 문제가 있다. 따라서 필요로 하는 센서를 하나의 노드 형태로 제작하기 위한 소형화된 센서와 환경요소 측정방법의 정밀성을 높이기 위한 화학식과 NDIR 방식의 센서를 사용하여 환경에 따른 적응성, 재현성, 재구동 시간, 정밀성 등을 높여 보다 많은 데이터의 수집과 처리를 하여 최적 생육환경을 센싱할 수 있어야 한다.

Ⅲ. 시스템 설계 및 구현

본 논문에서는 무선센서 네트워크를 기반으로 하는 각종 환경 정보 센서와 장치 제어 기술을 바탕으로 그

림 1과 같이 설계 및 구현하였다. 축사에서의 수 많은 선로로 인한 환경적 요인의 제거를 위해 근거리 무선 통신 응용네트워크인 센서 네트워크를 기반으로 1. 각종 환경센서를 탑재한 센서노드(Sens Node)모듈, 2. 최적 환경 조성을 위한 각종 제어 가능한 제어노드(ACT Node)모듈, 3. 센서노드와 제어노드의 데이터 송수신을 위한 베이스 스테이션(base station)모듈, 4. 원격지에서 축사 내 환경 모니터링 및 데이터 처리를 위한 서버(management server - middleware), 5. 기타 뷰어 모듈로 구성된다.

축사에서의 환경적 요인을 측정하여 최적 환경 유지를 위해 미들웨어 서버에서는 환경 센서노드로부터 수신된 데이터에 따라 제어노드를 구동하여야 하는데 이때 몇 가지 조건을 필요로 한다. 1. 현재 환경정보의 수신, 2. 수신된 데이터의 빠른 처리, 3. 수신된 데이터의 정보 저장, 4. 수신된 데이터와 축사 내 가축의 최적 요건 비교, 5. 한계 수치 내의 제어 정보 동작, 6. 풍향 또는 풍량 정보 수집, 7. 배기 제어 등을 수행해야 한다. 예를 들어 환기를 위한 팬 컨트롤을 수행한다고 했을 때, 설정온도, 최저 환기량, 최고 환기량, 온도 편차, 풍향을 고려하여 온도 편차에 따른 겨울철 외기 온도와 내기 온도를 비교하여 온도 편차가 크나 내기 환경이 좋지 않을 경우 내기 온도를 상승시키기 위한 히터의 가동과 동시에 배기를 수행해야 온도 편차를 극복 할 수 있다. 또한 고속으로 회전하는 팬으로 인해 가축의 주요 행동 지점에서의 풍속이 증가 할 경우 스트레스를 받게 되므로 정밀한 제어가 요구된다.

따라서 그림 1과 같이 시스템을 구현하여 n개의 센서 노드에 각각 9개의 센서로 구성하고, n개의 제어 노드에 최소 5개의 액츄에이터를 장착하였다. 각각의 센서 노드와 제어 노드는 근거리 무선통신인 지그비(zigbee)를 사용하여 통신하고, 데이터의 수집 및 명령 전달은 베이스 스테이션(base station)에서 수행한다. 베이스 스테이션은 모바일 뷰어나, 관리 서버로 데이터를 전송한다. 이러한 방법은 현재 국내 대부분의 농가는 가축이 주로 생활하는 축사와 관리사가 따로 떨어져 있어 관리사에서 축사내의 환경 정보 모니터링 및 제어를 요구한다. 따라서 축사와 관리사는 최소 50m에서 약 100m이상 떨어져 있으며 무선통신 환경 또한 좋지 못하므로 지그비를 사용할 수 없어 무선통신(Wi-Fi)를 사용하거나 지그비 보다 효율이 좋은 RF(radio frequency)를 사용했다. 본 논문에서는 RF를 사용하였다.

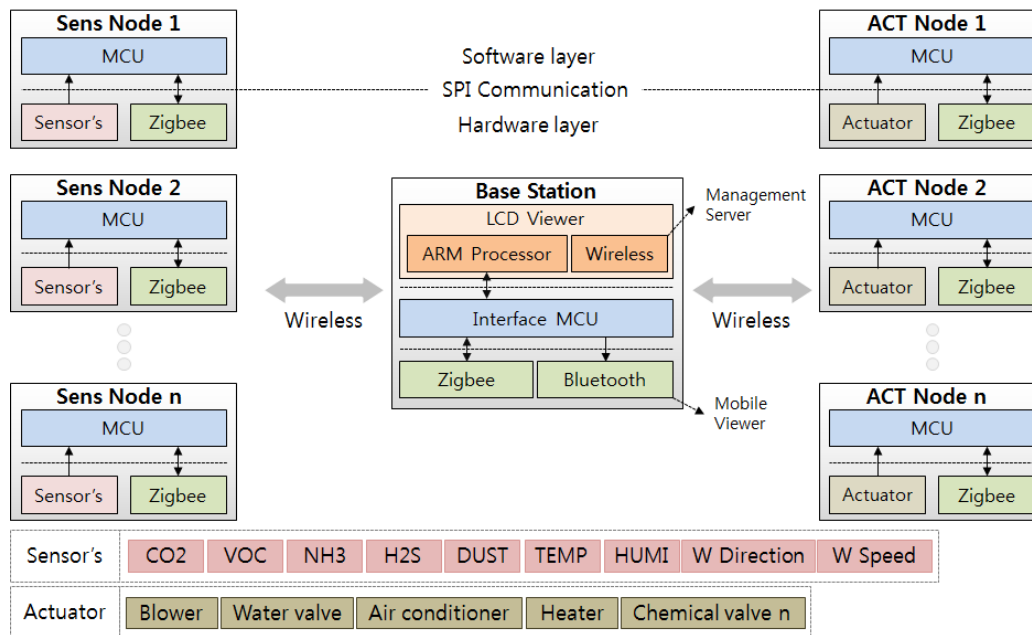


그림 1. 전체 시스템 설계
Fig. 1. The entire system design

3.1. 환경정보 측정 노드

본 논문에서는 센서네트워크 환경에서 환경정보 측정을 위해 그림 1의 센서노드(Sens Node)와 같이 먼지(DUST), 이산화탄소(CO2), 휘발성유기화합물(VOCs), 암모니아(NH3), 황화수소(H2S), 온도(Temperature), 습도(Humidity), 풍향(Wind Direction), 풍속(Wind Speed) 센서를 하나의 노드로 구성하였다. 센서네트워크 환경은 모든 노드들의 무선화, 소형화를 기본으로 환경정보 측정 모듈은 프로세서의 성능, 저장용량의 한계로 데이터베이스 구축이 불가능하여 각 센서를 하나의 인터페이스로 묶고 전체의 데이터를 패키지로 생성 후 전송한다. 또한 각각의 센서는 데이터 인터페이스는 모두 다르므로 최소 6개의 아날로그 채널, 4개의 디지털 채널을 수용할 수 있어야 한다.

하나의 프로세서에서 서로 다른 센서 인터페이스를 사용하기 때문에 센싱에 필요한 지연시간을 필요로 한다. 이는 각각의 센서 채널이 보다 정확한 측정을 위해 채널 하나당 약 250ms의 지연 시간을 요구하며, 센서가 센싱하기 위한 최적 조건인 25℃에서 90초 동안 센싱을 해야 100%(±5%)의 센싱된 값을 얻을 수 있다. 즉, 센서노드에 부착된 센서는 최적 조건에서 90초 동안 연속측정을 하여 90초 이상일 때 올바른 값을 측정할 수 있으며, 먼지, 이산화탄소, 휘발성유기화합물, 암모니아, 황화수소 센서, 온도, 습도, 풍향, 풍속 센서를 센싱하기 위해 최초 센싱 시간으로부터

90초 이후에 각각 250ms 주기로 번갈아 가며 측정을 해야 한다. 따라서 센서 노드가 센싱을 하고, 데이터를 수집하는데 걸리는 최소 시간은 $data = 90 + (250 \times 9)$ 인 2340ms가 소요된다.

따라서 제작된 환경정보 측정 모듈은 1. 환경 측정 센서, 2. 데이터 수집 모듈, 3. 프로세서 모듈, 4. 통신 모듈, 5. 전원 관리 모듈을 통합하였다. 사용된 데이터 수집 모듈은 직접 제작하여 현재 환경에 따른 잡음 제거 필터링을 기능하게 하였고, 프로세서는 모든 아날로그 디지털 통신포트가 많은 Atmel사의 Atmega2560칩을 사용하고 RTC, Zigbee를 추가로 부착하여 1:n 네트워크 환경이 가능하도록 했다. 이러한 환경에서 원활한 센싱이 가능하도록 동시에 다음과 같은 활동을 위한 준비 상태여야 한다.

- 1) 환경 측정 센서로부터 데이터를 수신하기 위한 데이터 수집 모듈의 대기
- 2) 데이터 값을 수신하여 최소 보정 1단계
- 3) 보정된 데이터를 하나의 패키지로 통합
- 4) 생성된 패키지를 게이트웨이로 전송하기 위한 전송 및 센싱 명령 대기 상태

본 논문에서 제작된 센서 노드모듈은 총 9개의 노드로 구성되어 있다. 즉, 동일한 센서가 총 9개씩 총 36개의 센서를 필요로 한다. 하지만 동일한 센서에서도 센서의 오차는 존재하기 때문에 오차를 최대한 줄

이기 위해 표준 샘플링 데이터를 필요로 한다. 샘플링된 데이터는 동일한 환경에서 오차율($\pm 5\%$)에 근접하도록 보정해야 하기 위해 밀봉 처리된 장치에 넣고 분안 10cc의 표준가스(오차율 1%)를 표 2와 같이 넣어 그림 3, 그림 4와 같이 샘플링 하였다. 샘플링을 필요로 하는 센서는 환경 센서로서 먼지, 이산화탄소, 휘발성유기화합물, 암모니아, 황화수소이며 온도, 습도, 풍향, 풍량은 각각 오차율에 근접하기 때문에 샘플링 데이터를 표현하지 않았다.

그림 3, 그림 4의 표준가스 구간(화살표)에서 측정된 센서의 정확도는 약 $\pm 6\%$ 의 오차율을 가지고 있으며, 이는 센서 자체 허용범위인 $\pm 5\%$ 의 범위를 초과하므로 보정을 필요로 한다. 또한 동일한 센서의 상대 오차는 표준가스 대비 $\pm 3\%$ 의 오차로 측정되어 분산 계층 필터링 방법을 이용한 보정을 수행 하였다.

구현된 모듈은 그림 5와 같이 3개의 프로세스로 구성된다. “Signal process”는 베이스 스테이션으로부터 수신된 명령을 기반으로 수행 센싱을 하거나, 데이터를 전송하는 역할을 하고, “Phase process”는 센싱채널을 확인하여 “Sensing process”에 데이터를 전송한다. “Sensing process”는 실제 센싱을 하고, 센싱된 데이터값을 패키징 하거나, 보정된 데이터를 전송하는데, 보정된 데이터에서의 최종 RAW packaging하여 전송한다.

표 2. 센서 데이터 샘플링 표준가스 농도
Table 2. Standard gas concentration sensor data sampling

| | VOC (ppm) | CO2 (ppm) | H2S (ppm) | NH3 (ppm) | DUST (um) |
|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Standard gas | 0(N2) | 0(N2) | 0(N2) | 0(N2) | Clean air |
| | 5 | 100 | 5 | 5 | 100 |
| | 10 | 300 | 10 | 10 | 300 |
| | 30 | 1000 | 30 | 30 | 1000 |
| | 50 | 2500 | 50 | 50 | 2500 |
| | 80 | 3500 | 80 | 80 | 3500 |
| | 100 | 5000 | 100 | 100 | 5000 |

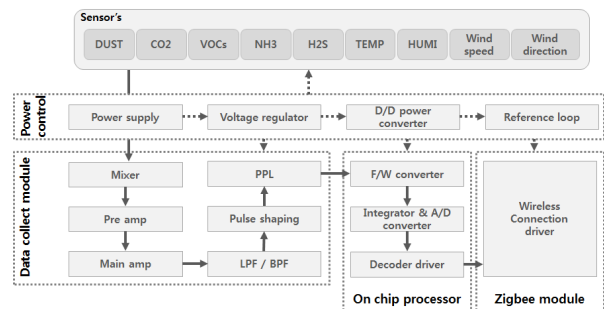


그림 2 환경정보 센서 노드의 모듈 구조

Fig. 2. Module structure of the environment information sensor node

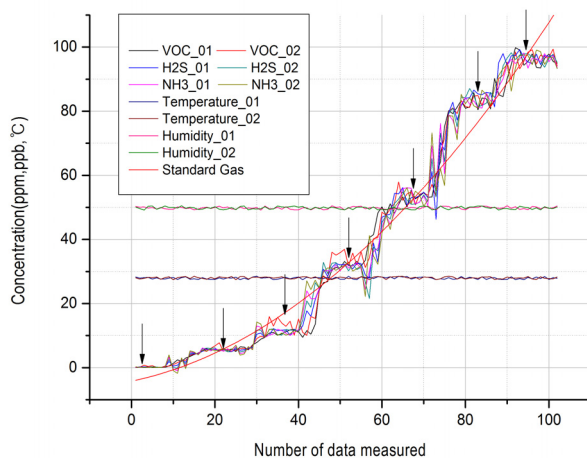


그림 3. 각 센서의 표준가스 샘플링 구간비교(VOC, H2S, Temperature, Humidity)

Fig 3. Comparison of standard gas sampling interval of each sensor

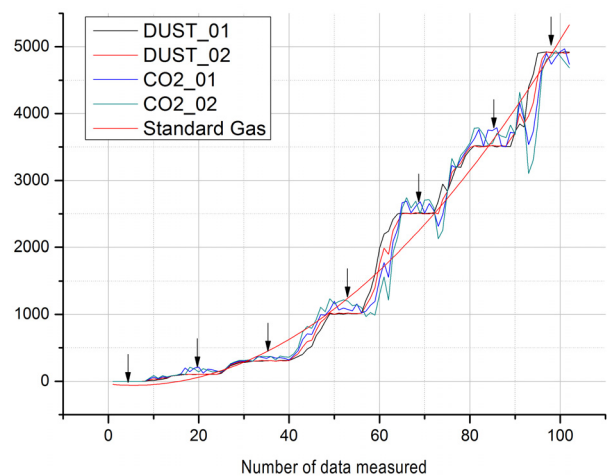


그림 4. 각 센서의 표준가스 샘플링 구간비교(DUST, CO2)

Fig 4. Comparison of standard gas sampling interval of each sensor

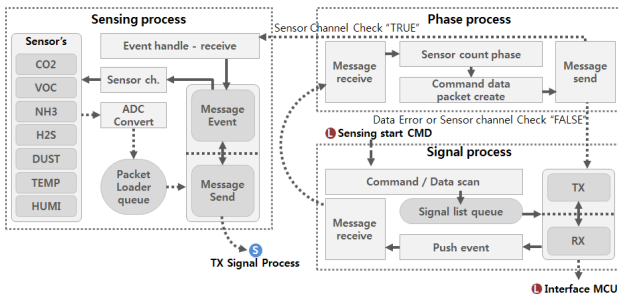


그림 5. 환경정보 센서 노드 블록다이어그램
Fig. 5. The Environment sensor node block diagram

3.2. 주변환경 제어 노드

본 논문은 축사의 단순히 축사의 환경정보만 모니터링 하는 것이 아닌 환경정보에 따라 가축의 최적 생육환경을 제어 하여 보다 양질의 가축을 생산하기 위해 환경을 제어하기 위한 장치를 필요로 한다. 하지만 이러한 장치는 현재 통합되어 구현되어 있지 않아 각각의 제품을 각각 제어 하는 형태로 많은 문제를 지적하고 있다. 따라서 본 논문에서는 주변환경 모니터링과 제어를 하나의 통합 시스템으로 구성하여 보다 정확하고 신속하며 향후 추가될 센서와 제어장치를 유기적으로 조합할 수 있도록 주변환경 제어 노드를 구현하였다.

주변환경 제어 노드는 그림 6과 같이 오염 환기를 위한 환풍기(blower), 축사 청소 및 음료 배출을 위한 워터밸브(water valve), 온도 유지를 위한 팬 히터(fan conditioner and heater), 각종 소독을 위한 소독제 배출 밸브(chemical valve)를 제어 할 수 있어야 한다. 하지만 주변환경 제어 노드에 앞서 나열한 모든 제어 조건을 갖출 필요는 없다. 즉, 주변환경 제어 노드가 설치할 곳에 필요로 하는 제어 조건만 연동이 가능하도록 구성하였다. 예를 들어 천장에서 케미컬 배출 밸브와, 팬 히터는 불필요한 요소로 제외하였고, 하부에 설치될 제어 노드는 모든 요소들을 제어 할 수 있어야 한다. 이러한 제어 요소는 전기적 제어를 요하기 때문에 릴레이(relay)를 이용한 전기제어를 수행하고, 환풍기의 경우에만 PWM 제어를 통해 풍량 조절이 가능하도록 하였다. 환기 팬(blower)을 제외한 나머지 실행 장치는 전기적 제어신호(on/off)를 이용한 제어를 수행하기 때문에 그림 6의 “Control module”의 Control checker에서 제어 하도록 구성하였다. 따라서 베이스 스테이션으로부터 수집된 제어 정보를 기반으로 환기팬일 경우에만 pulse shaping를 수행하며, 나머지 장치는 바로 relay operator에서 제어를 한다. 또한 환경제

어 노드에서 수행된 제어를 베이스스테이션으로 전송하고, 환경정보 센서 노드의 센싱 데이터를 기반으로 최적 환경 조건을 유지 하도록 실시간 모니터링 및 제어한다.

따라서 환경제어 노드 모듈은 1. 장치 들 (Actuator), 2. 전원관리 모듈, 3. 제어 모듈, 4. 프로세서 모듈, 5. 통신 모듈을 통합하였다. 사용된 환경제어 모듈은 직접 제작하여 가축의 최적 환경 조성을 구현할 수 있게 하였고, 프로세서는 최소 6개 이상의 디지털 채널 지원이 가능한 Atmel사의 Atmega2560칩과 RTC, Zigbee를 추가 부착하여 1:n 네트워크 환경이 가능하도록 했다. 이러한 하드웨어 환경에서 원활한 제어가 가능하도록 다음과 같은 활동 준비 상태여야 한다.

- 1) 베이스 스테이션으로부터 데이터를 수신하기 위한 제어 데이터 수집 모듈의 대기
- 2) 장치 제어를 위한 데이터 분할
- 3) PWM 구동 모듈의 대기
- 4) 제어 상태를 게이트웨이로 전송하기 위한 전송 및 제어 명령 대기 상태

본 논문에서 사용한 환경제어 노드는 환경정보 수신 모듈과 같이 총 9개의 노드로 구성되어 동일한 위치에 부착하였다. 이는 최적 환경 제어를 통한 변화된 환경정보의 값을 최대한 빠르게 수집하기 위함이다. 그림 8에서와 같이 환경제어 노드는 “Signal process”에서 게이트웨이 또는 베이스 스테이션으로부터 제어 정보를 수신하기 위한 대기 상태와 수집된 데이터를 각각의 장치 제어를 위한 “Phase process”에서 수행하여, 현재 센서 채널에 대한 환경정보 데이터와 제어 정보 데이터를 비교하여 최적상태 유지를 위한 명령어 패킷을 생성하고, “Actuator process”에서 생성된 패킷을 기반으로 어떠한 장치를 어떻게 제어 할 것인지를 판단 및 제어를 수행한다. 또한 “Actuator process”는 수행중인 제어 장치의 정보를 게이트웨이 및 베이스 스테이션으로 전송하기 위한 패킷화 및 데이터를 전송하여, 모니터링 하도록 구현하였다.

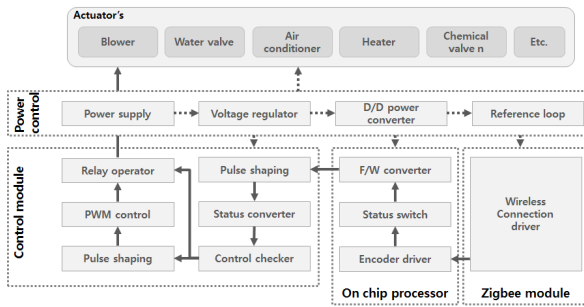


그림 6. 환경제어 노드의 모듈 구조
Fig. 6. Module structure of the environment control node

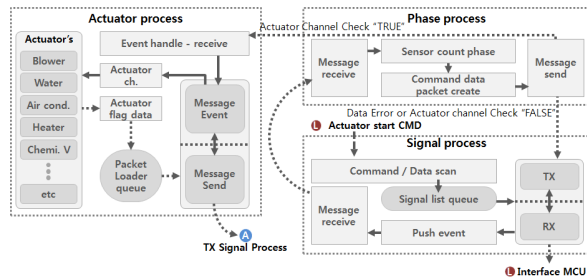


그림 7. 환경제어 노드의 블록 다이어그램
Fig. 7. block diagram of the environment control node

3.3. 라우터(게이트웨이) 및 베이스 스테이션(모니터링) 모듈

앞서 기술한 바와 같이 현재 일반적인 측사 관리 는 크게 측사, 관리자, 집에서 이뤄진다. 측사와 관리사의 거리는 농가마다 다르지만 대부분이 20m 이상 떨어져 있고, 집까지의 거리는 더욱더 멀리 떨어져 있는 형태가 일반적이다. 따라서 측사와 관리자까지 무선용 통신은 최소 20m에서 데이터 취득률이 90% 이상이 되어야 하기 때문에 지그비만 가지고는 힘들다. 따라서 본 논문에서는 측사 내부와 라우터 또는 베이스 스테이션 까지는 지그비 통신을 측사 외부에서 관리자 까지는 RF(radio frequency 219Mhz)를 이용하여 통신하도록 구성하였다. 향후 집에서까지 관리를 하기 위해 무선 (Wi-Fi) 통신이 가능하도록 확장성을 고려하였다.

라우터(게이트웨이)는 지그비의 통달 거리가 짧은 점을 감안하여 측사와 관리사의 거리가 멀 경우 지그비의 데이터를 RF 통신용 데이터로 변환할 수 있도록 구성하였으며, 구현에 사용된 지그비 칩셋은 라우터 기능을 지원하지 않으므로 추가 설계 구현하였다. 하지만 본 논문에서는 라우터 구조를 서술하지 않는다.

베이스 스테이션 모듈은 LCD를 부착하여 현장에

서 바로 확인이 가능하도록 설계 하였으며, 크게 3 가지 기능인 1. 센서 데이터를 수신하여 RAW값의 1차 필터링(3.1절의 분산 계층형)값을 연합형 필터링 기법을 본 논문에서 맞게 구현하여 필터링 된 데이터의 수치화와 데이터베이스에 저장, 비교 분석 후 2. 디스플레이 모듈에 표시 하거나 네트워크를 통한 서버에 송/수신 하고, 3. 측정된 값을 기반으로 최적 환경 유지를 위한 환경제어 모듈의 제어 신호를 전송할 수 있도록 설계 하였다. 그림 9는 환경정보 센서로부터 수신된 데이터 패킷을 분석, 수치화, 저장, 전송과 최적환경 유지를 위한 제어 신호 전송을 수행한다. 즉, 1차 필터링된 데이터를 2차 필터링을 수행하고, 최적 환경 정보 제어를 위한 데이터 매칭을 하여 전송한다.

따라서 2차 필터링의 연합형 필터(federated filter)는 아래의 수식과 같이 최적 추정치 및 공분산 예측을 하였으며 다음과 같은 구조형태로 구형 하였다. 즉, 1차 필터링 방법의 수식을 아래와 같이 변환하며, 각각의 위치의 데이터 추정치 및 공분산은 예측된 추정치 및 공분산이 아니라 필터링된 추정치 및 공분산을 의미한다. 그림 8과 수식 1은 fusion-reset(FR) mode라 하며 주 필터에서 융합된 추정치 및 공분산을 정보량 분배 법칙에 의해 부 필터로 분배할 수 있도록 설계하였다.

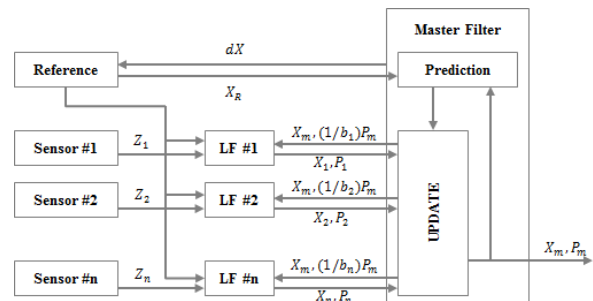


그림 8. 연합형 필터링 모식도
Fig. 8. Union schematic diagram type filtering

$$P_m = [P_1^{-1} + P_2^{-1} + \dots + P_n^{-1}]^{-1}$$

$$\hat{x}_m = P_m [P_1^{-1} \hat{x}_1 + P_2^{-1} \hat{x}_2 + \dots + P_n^{-1} \hat{x}_n]$$

수식 1. 연합형 필터링 변환 식
Formula 1. Union filtering transformation equation

따라서 상태변수 공분산의 초기값 및 초기 상태 변수는 각 부 필터에 아래와 같이 분배하고,

$$P_i(0) = \gamma_i P(0) \quad i = 1, \dots, n$$

$$\hat{x}_i(0) = \hat{x}(0) \quad i = 1, \dots, n$$

위 식 1에 의해 계산된 추정치 및 공분산을 각각의 부 필터에 다음과 같은 식으로 분배한다.

$$P_i = \gamma_i P_m \quad i = 1, \dots, n$$

$$\hat{x}_i = \hat{x}_m \quad i = 1, \dots, n$$

LCD와 통합 설계된 베이스 스테이션 모듈은 그림 10과 같이 2개의 모듈로 구성되어 있으며, “RX/TX process”는 “Main Module”에 속해 동작한다. 따라서 “RX/TX process”는 항상 수동중에 있고, 통신 방법은 1. Zigbee 환경정보 노드와의 통신과 2. RF 통신, 3. Wi-Fi 통신을 이용한 원격지 통신을 하기 위해 사용한다. 따라서 베이스 스테이션 모듈은 3가지 통신을 지원하기 위한 데이터 터널링을 3개로 구성하였다. “RX/TX process”에 RX 신호가 검출되면 데이터 패킷의 메시지 큐를 확인하여 환경정보 노드의 데이터 수신과 내부 데이터 메시지를 구분한다. 외부 메시지일 경우 “Main module”로 데이터 메시지를 전송하고, “Main module”에서 수신된 데이터의 이벤트 핸들러를 생성한다. 생성된 이벤트 핸들러의 내용에 따라 “Compute” 카테고리의 수행 조건을 수행하게 되며, “Compute” 카테고리는 앞서 설명한 연합형 필터링, 데이터베이스 저장, 데이터 분석 등의 수행 프로세스 명령어셋이 포함되어 있다. “Function apply process”에서 수행된 내용을 환경제어 노드에 전달하거나 제어 정보를 통한 알림, 수치화하여 “Message send”로 전송하며 “RX/TX process”와 “Display module”을 통한 LCD 화면에 데이터 내용 등을 출력한다.

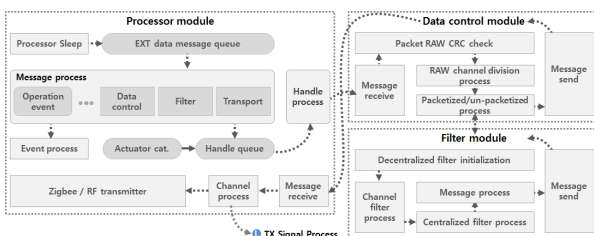


그림 9. RAW 데이터 필터링과 환경제어 정보 매칭
Fig. 9. RAW data filtering and environment control information matching

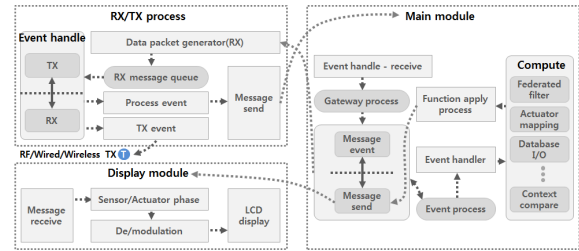


그림 10. 베이스 스테이션 모듈 데이터 흐름
Fig. 10. The base station module data flow

IV. 실험 및 유효성 검증

본 논문에서는 가축의 최적 생육환경 유지를 위한 센서네트워크 환경에서 환경정보, 환경제어 통합 실시간 모니터링 및 제어 시스템을 제안하였다.

이에 제한된 시스템에 대한 유효성 검증을 실험하였다. 실험을 위해 그림 11과 같이 시뮬레이션 환경을 위해 너비 1500mm, 폭 1200mm, 높이 1400mm의 아크릴로 제작된 모형에 가축의 생활공간과 생활공간 아래 분뇨처리를 위한 세척공간으로 구분되어 있고, 제어 노드와 모니터링 노드를 배치하였다. 즉, 세척공간은 지면 아래에 있는 구조로 되어 있고, 세척 공간에 세척을 위한 물과, 각종 유해 환경 억제를 위한 케미컬 적수시설(drip cooling) 배출 밸브로 이루어져 있다.

그림 11의 축사 형태와 노드 배치에서 하단부에 설치된 환경 모니터링 노드는 생활공간의 지면으로부터 8~9cm 높이에 설치하여 각각의 가축 머리로부터 약 10cm정도 높이에 설치하였다. 이러한 설치 방법은 가축의 생활환경 요인과 밀접한 관계가 있다⁶⁻⁸⁾. 실험을 위해 설치된 제어 노드와 모니터링 노드를 각각 9개씩 사용해야 하지만, 본 실험에서는 각각 5개의 노드만을 설치하였다.

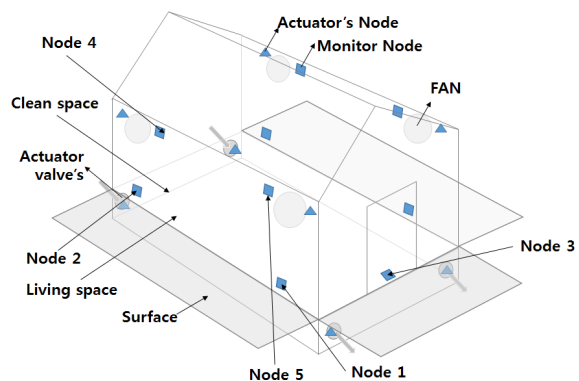


그림 11. 축사 형태와 노드 배치
Fig. 11. Barn shape and placement of nodes

실험의 유효성 검증을 위해 생육환경에 가장 민감한 반응을 보이는 돼지를 기준으로 실험하였고, 실제 가축을 시뮬레이션 환경에 적용할 수 없어 표준가스를 이용하여 실제 가축 환경과 비슷하게 배출시켜 표준가스의 농도를 조절하였다. 또한, 바로 확인 가능한 LCD 모듈을 부착하고, 제작된 라우터를 통해 이중 네트워크 통신이 가능하도록 하여 현장과 사무실에서 환경 및 제어를 실시간으로 확인할 수 있다. 또한 실험의 정확성을 위해 시뮬레이션 환경 내 최적 생육환경제어를 위한 테이블을 표 3을 참고하여 제어 하도록 하였다. 특히 FAN을 구동하여 발생할 수 있는 온도 편차를 최소화하기 위해 최적 배기 유속에서 최고 환기량과 최저 환기량의 온도 편차를 나눈 값을 1℃ 상승시 팬 회전 속도로 제한하거나 간이 히터를 이용하여 온도 편차의 범위를 최소화 하였다.

표 3. 최적 생육환경 조건
Table 3. Optimal growth of environment conditions

| Itema | Optimal growth of environment conditions | | Environment control elements |
|------------------------|--|-----------------|------------------------------|
| NH3[9] | 20ppm under | | Chemical Valve1 |
| H2S[9] | 20ppm under | | Chemical Valve2 |
| Flow rate[10] | High temp | 0.5m/s ~ 1.2m/s | Fan Control |
| | Mild weather | 0.25m/s | |
| Emission flow rate[10] | 0.08m/s over | | Fan PWM Control |
| Temperature [11] | 15 ~ 20℃ | | Fan Control / Heater |
| VOC | 5ppm under | | Fan Control |
| CO2 | 500ppm under | | Fan Control |
| DUST | 300 μ m under | | Fan Control |

그림 12, 13은 실험에 앞서 깨끗이 청소된 빈 시뮬레이션 내 위치에 따른 온습도 변화량 주간과 야간으로 나누어 측정된 값이다. 그림 12에서 노드 1, 3, 5번은 온도가 낮은 반면, 습도가 노드 2, 4번에 비해 상대적으로 높게 측정되었다. 따라서 돈사 내 각각 노드의 위치는 1번 노드는 문 앞 하단 부에 3

번 도는 문 앞, 5번 노드는 문 앞 상단부에 위치해 있으며, 노드 2번은 돈사 안쪽 하단 부, 4번 노드는 돈사 안쪽 상단 부에 설치하였다. VOC, NH3, H2S의 경우 설치된 전 구간에서 평균 0.2 ~ 0.8ppm 정도를 보인 반면 CO2의 경우 노드 2번과 4번은 노드 1, 3, 5번 보다 상대적으로 높은 수치를 보이고 있었다. 하지만 일반 가정환경에서의 평균 CO2의 농도가 약 300ppm이하(환경부 고시)인 점을 감안한다면, 정상수치로 판단할 수 있다.

그림 13에서 노드 1번 ~ 5번까지의 온도는 주간보다 야간이 평균 약 3.7도 정도 내려갔고 습도는 평균 약 5%포인트 정도 올라 간 것을 확인할 수 있었다. 하지만 VOC, NH3, H2S의 경우 주간과 야간 커다란 차이를 보이고 있지 않았고, 오히려 CO2의 경우 주간보다 야간이 평균 23.5ppm 정도 내려갔다.

이러한 결과로 미루어 보아 온도에 따른 CO2의 평균 농도가 주간보다 야간이 낮게 측정됨으로써 돈사의 생육환경을 유지하기 위한 장치가 주간과 야간의 컨트롤 장치의 조건을 달리 해야 하는 것을 유추할 수 있다.

그림 14는 일반적인 시뮬레이션에서의 FAN을 제어한 생육환경 모니터링 정보이다. 노드 1번에서 노드 5번까지의 VOC, H2S는 대체적으로 낮게 나타났고, NH3의 경우에 환풍기, 출입구를 제외한 노드에서는 상대적으로 높게 나타났다. 이는 NH3의 경우 세척 공간 내 배설물로 인한 농도의 축적 때문으로 유추 할 수 있다. 또한, DUST의 경우 노드 1번과 노드 2번을 제외한 나머지 노드들은 데이터의 흐름이 점차 증가 했다가 감소하기를 반복하는데, 이는 시뮬레이션 내의 환풍기 제어와 돼지의 활동성으로 인해 주기적으로 반복되는 것을 반증한다. 하지만, 이러한 현재 상황에서의 최적 생육 환경을 확인 할 수 없는 문제가 발생한다. 팬(FAN)을 관리자가 온도와 상황에 따라 직감적으로 켜거나 끄는 것을 반복하게 되어, 시뮬레이션 환경 내 대류 상태를 확인할 수 없어, 온도, 습도, 암모니아, 황화수소, 이산화탄소, 먼지 등의 정확한 측정이 상당히 어렵다. 따라서 본 논문에서 제안한 세척공간의 세척과 팬 컨트롤 등을 표 3의 환경에 따라 그림 15와 같이 자동으로 제어한 결과를 확인 할 수 있다.

본 실험에서는 돼지의 생육환경에서 결정적 요인으로 작용하는 온도와 암모니아(NH3)의 최적 생육 환경인 표 3에 따라 제어를 수행하였다. 황화수소(H2S) 기준 제어의 경우 그림 14에서와 같이 생육

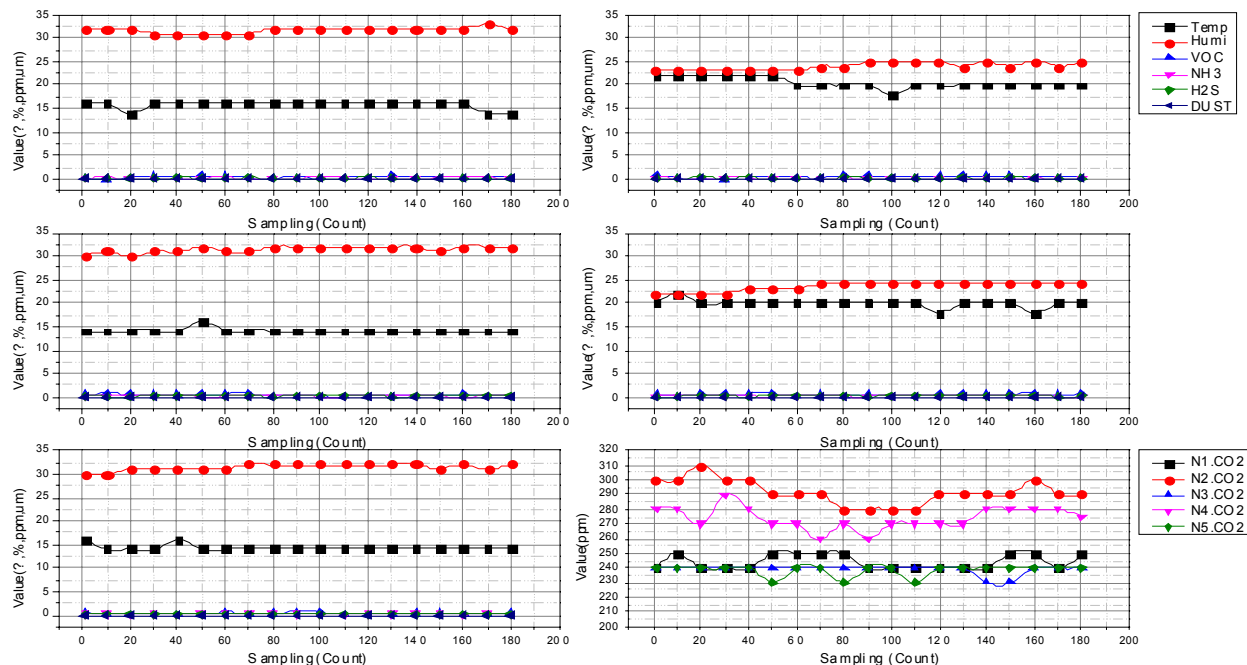


그림 12. 주간 노드 위치에 따른 데이터 변화량(좌측 상단 : Node1, Node2, Node3, Node4, Node5, CO2)
Fig. 12. Daytime node location according to data variation(upper left : Node1, Node2, Node3, Node4, Node5, CO2)

환경에 크게 초과되지 않는 범위의 농도가 검출되므로 의미 없고, 이산화탄소(CO₂), 먼지(DUST)는 온도와 암모니아의 기준치를 초과 할 경우 팬을 가동시켜 그림 15와 같이 모든 측정 센서로부터 측정된 값이 평균을 유지함을 확인 할 수 있기 때문이다. 또한 암모니아의 농도가 기준치를 초과 할 경우 팬과 케미컬 세척, 워터 밸브 제어를 통해 세척 공간의 퇴적물을 세척 배출 하도록 하였다.

그림 15의 결과로 각 노드의 모니터링 정보에 따라 측정된 농도가 다르지만 최적 생육 환경을 위한 환경적 요인을 최소화 된 것을 확인 할 수 있다. 그림에서 샘플링 구간 일반 구간은 0 ~ 30, 80 ~ 130이고, 최적 환경 제어 구간은 30 ~ 80, 130 ~ 200이다. 노드 4와 노드 5의 경우 팬의 영향으로 온도와 습도가 급격하게 변화하지만, 노드 2와 노드 5에서 확인할 수 있듯이 실제 돼지의 생활 높이에는 완만한 변화를 확인 할 수 있다. 또한 암모니아의 농도 역시 세척공간과 팬의 동시 제어로 인해 그림 14와 달리 현저하게 감소한 농도를 확인 할 수 있었다. 그림 15에서 눈에 띄는 것은 이산화탄소와, 먼지데이터에서 이산화탄소의 변화 비율이 모든 노드에서 거의 동일하게 비슷한 경향을 보이며, 이는 앞서 실험한 그림 14와는 다른 양상을 보인다. 이산화탄소 센서의 구동 시간을 감안 했을 때 데이

터 보정에 따른 오차를 감소로 인해 전 구간에서 비슷한 변화량을 확인 되는 것으로 보인다. 또한 먼지센서의 경우 PWM방식의 센싱 방법으로 인해 유입되는 먼지량을 계산하지 못해 발생하는 문제인 것으로 보여지나, 최적제어 구간에서는 모든 노드의 먼지센서가 감소와 증가를 반복 함으로써 제어가 되는 것으로 확인 할 수 있다. 그림 15의 돈사에 가축을 생육하여 환경을 모니터링 하고 제어한 결과, 그림 14와는 다르게 높은 환경 측정율을 확인 할 수 있었으며, 이에 따른 제어에 따른 환경적 요인 감소 효과를 확인 하였다.

그림 17은 시뮬레이션 환경에 설치한 환경 모니터링센서의 풍향, 풍속 센서로 측정된 결과로 유추한 대류 현상 모식도 이다. 표 3의 최적 환경 상황에 따른 팬(FAN)을 동작하여 측정된 풍속을 조절하여 좌우의 팬이 동시에 회전하고, 서로 반대 방향으로 회전할 경우의 유추된 형태이다. 만약 팬을 서로 같은 방향으로 동작 할 경우 발생하는 대류 현상은 더욱더 복잡해진다. 하지만, 그림 16의 결과와 같이 최적 생육환경을 조성하기 위해 팬을 급작스럽게 작동하거나, 고속으로 회전시키는 일은 없을 것이다. 이는 돼지의 경우 생육 환경의 급격한 변화로 인해 스트레스의 요인으로 작용할 수 있기 때문이다.

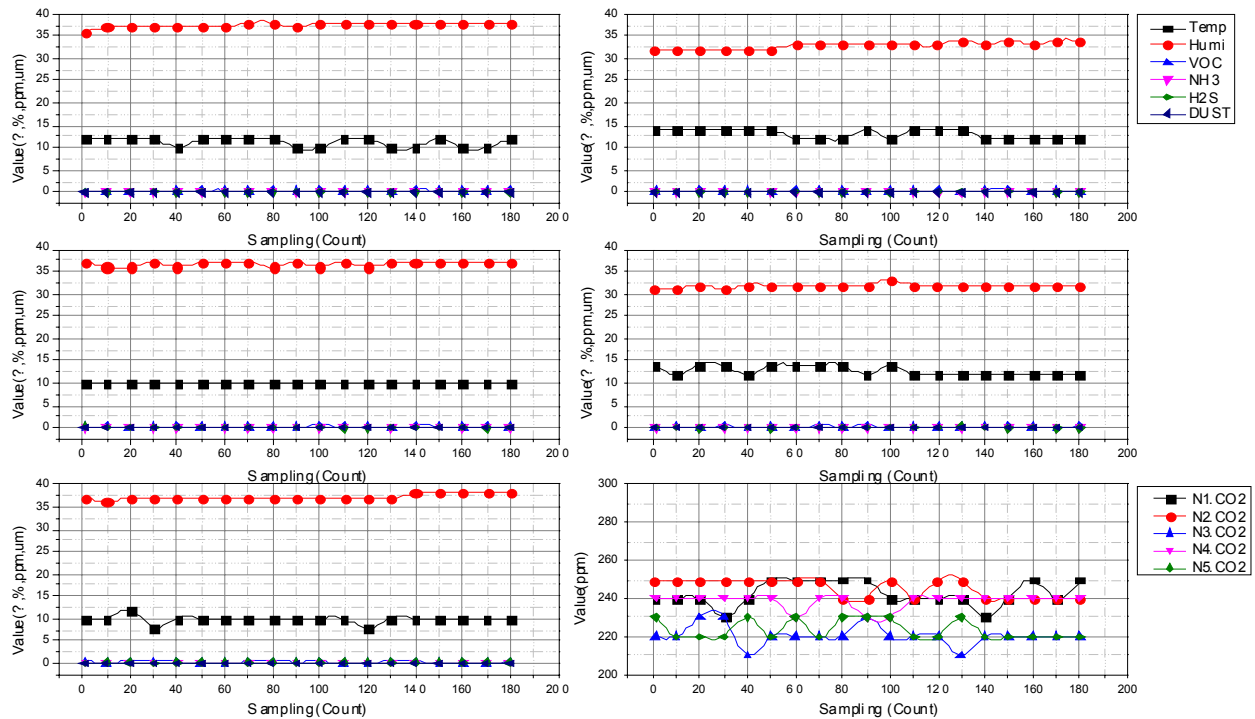


그림 13. 야간 노드 위치에 따른 데이터 변화량(좌측 상단부터 : Node1, Node2, Node3, Node4, Node5, CO2)
Fig 13. Night node location according to data variation(upper left : Node1, Node2, Node3, Node4, Node5, CO2)

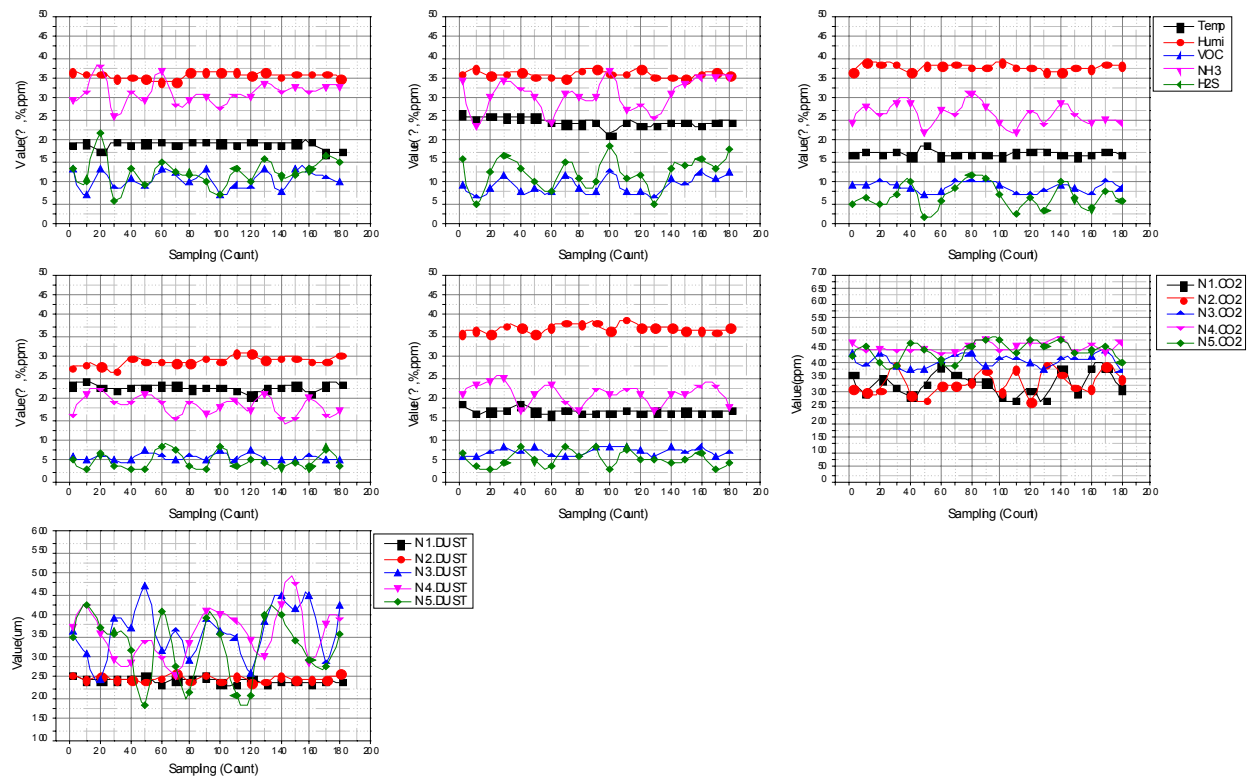


그림 14. 일반 상태에서의 데이터 변화량(좌측 상단부터 : Node1, Node2, Node3, Node4, Node5, CO2, DUST)
Fig 14. Variation of data from a normal(upper left : Node1, Node2, Node3, Node4, Node5, CO2, DUST)

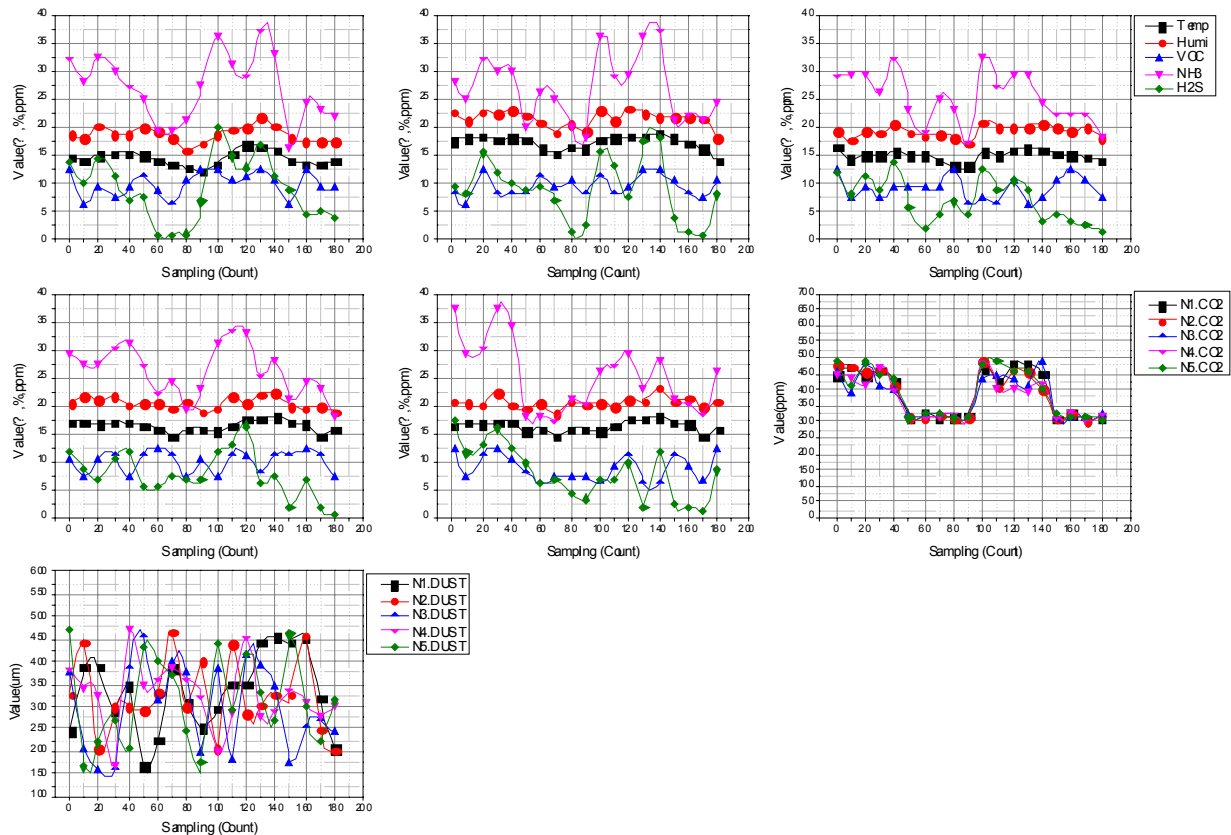


그림 15. 최적 제어를 통한 데이터 변화량(좌측 상단부터 : Node1, Node2, Node3, Node4, Node5, CO₂, DUST)
Fig 15. Variation in the data through optimal control (upper left : Node1, Node2, Node3, Node4, Node5, CO₂, DUST)

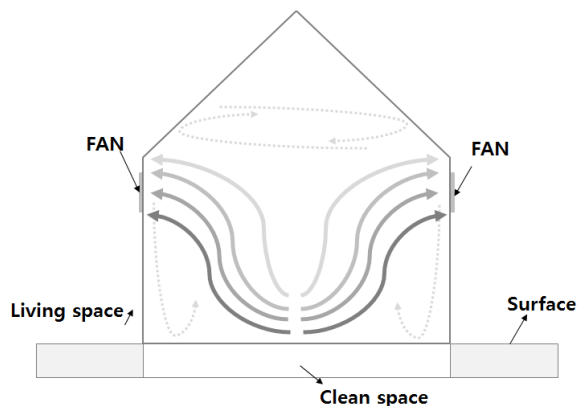


그림 16. 대류 현상 모식도
Fig. 16. A schematic flow phenomena

앞서 실험을 통한 유효성 검증 그림 12 ~ 그림 16에서와 같이 본 논문에서 제안한 통합 모니터링과 최적 환경 유지를 위한 제어 시스템은 기존의 복잡한 경로로 측정된 시스템과 달리 축사 내부의 환경을 효율적으로 유지할 수 있음을 알 수 있다.

앞서 환경센서로 측정된 데이터를 표현한 그림

14에서 각각의 항목에서 확인할 수 있듯이 거의 일정한 데이터가 측정된 것을 확인할 수 있었다. 하지만 측정 시간이 증가 할수록 점사 누적된 환경 요인 등이 감지되어 증가하는 것도 확인할 수 있었다. 하지만, 최적 환경 제어를 위한 노드를 설치하여 각 환경변화에 따른 측정 제어량을 측정된 결과는 그림 15와 같이 확인할 수 있었다. 그림 15의 변화 상태는 샘플링 시간에 따라 전차 감소한 환경에서 히터를 구동하여 온도를 상승시키고, 최적 온도에 도달 할 경우 히터 동작을 제어하여 유지된 것을 확인할 수 있었으며, 이에 따른 VOC 값이 증가 되어 대기 FAN을 구동시켜 감소 유지 할 수 있도록 구동됨을 확인할 수 있었다. 특히, CO₂의 경우 온도와 증가된 농도에 따라 FAN을 구동하여 최저 상태인 약 320ppm을 유지 시키는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 그림 15의 각각의 측정된 센서 값에서 노드 위치에 따라서 일정 농도의 유지를 확인할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 센서네트워크 기반의 축사 내 가축의 최적 생육환경을 효율적으로 제어하고 확인하기 위한 시스템을 제안하였다. 제안한 방법으로 통합된 축사 내부의 환경을 모니터링 할 수 있는 센서로 구성된 모니터링 노드와 최적 환경 유지를 위한 환경제어 노드로 구성하였고, 유효성 검증을 통한 시뮬레이션 실험에서 확인하였다. 실험 결과 실시간으로 시뮬레이션 환경 내부의 환경을 모니터링 할 수 있었으며, 최적 환경 유지를 하기 위한 제어 시스템을 이용한 생육 환경을 모니터링 하였다. 이렇게 측정된 결과는 짧은 시간동안 실험되어 가축의 생육기간에 비하면 부족한 시간동안 측정하여 최적 생육 환경제어가 실제 가축에 미치는 영향을 평가하기는 어렵다. 하지만 향후에 가축의 생육기간에 따른 각종 환경적 요인을 분석하고, 데이터를 수집하여 가축의 활동성, 생육성을 분석하여 최적 환경제어에 사용할 많은 데이터를 축적할 예정이다.

향후 제안된 시스템을 실제 축사 내부의 각각의 요소에 배치하기 위해 최소 10개의 모니터링 노드와 6개의 제어 노드를 장착하여 보다 정확한 최적 환경 유지를 관측해야 하고, 이를 통한 각 농장의 모든 통합 모니터링 시스템을 한곳에서 원격으로 확인 및 제어 가능하도록 구현할 계획에 있다. 또한 제안된 시스템의 모듈화로 축사 뿐만 아니라 계사 등과 같이 복잡한 구조의 생육 환경에서도 적용할 수 있도록 개선하여 최적 생육환경과 병해 예방 모니터링 및 사후 관리 모니터링 시스템에 적용할 수 있으리라 사료된다.

References

- [1] Ministry of Environment, *Offensive odor control Law*, Retrieved Mar., 21, 2012, from <http://www.me.go.kr>.
- [2] C. E. Van't Klooster and J. M. Voermans, "European perspectives-how are they solving their problems?" in *Proc. Symp. "Meeting the environmental challenge"*, pp. 75-99, Minneapolis, U.S.A., Nov. 1993.
- [3] S. H. Lee, National information society agency, *New technology-based element management system for the food*(2007), Retrieved Mar., 19, 2013, from

<http://www.nia.or.kr>.

- [4] O. S. Kwan, "Pork exports to promote clean production and specification management system(2010)," Retrieved Mar., 22, 2013, from www.rda.or.kr.
- [5] H. K. Kim and S. J. Moon, "u-DSLIT : a tag-less location tracking system using radar Doppler sensor for dangerous situation recognition in wireless sensor networks," *J. Korea Inform. Sci. Soc. (KISS): Inform. networking*, vol. 38, no. 5, pp. 355-365, Oct. 2011.
- [6] W. Grub, E. P. Foerster, and L. F. Tribble. "Swine building air contaminant control with pit ventilation," *The ASAE Paper*, no. 74-4532, 1974.
- [7] T. Mescher, T. Menke., R. Stowell., M. Vennhuizen, P. E, and H. Keener. "Design, performance and economics of a high Riset swine finishing building," *The ASAE Paper*, no. 99-4107, 1999.
- [8] A. Baptista, T. Leen, Y. Zhang, A. Chawla, D. Maier, W.-C. Feng, W.-C. Feng, J. Walpole, C. Silva, and J. Freire, "Environmental observation and forecasting systems : vision, challenges and successes of a prototype," *Encyclopedia of Physical Sci. Technol. (R. A Meyers, Ed.)*, Academic Press, 3rd Ed., vol. 5, pp. 565-581.
- [9] Midwest Plan Service, *Mechanical ventilating system for livestock housing*, MWPS-32, Iowa State Univ., 1990.
- [10] G. L. Riskowshki, "Swine production management workshop. Korean Pig Industry Research Society," *U. S. Grains Council, American Soybean Association*, 2001.
- [11] S. R. Morrison, T. E. Bond, and H. Heitman Jr. "Effect of humidity on swine high temperature," *Trans. ASAE*, vol. 11, no. 4, pp. 256-258, 1968.
- [12] H. D. Ju, H. J. Kang, and M. H. Lee, "Design of the monitoring and controlling system on middleware for u-farm service," *J. KIMICS*, vol. 12, no. 7, pp. 1321-1328, July. 2008.

- [13] Y. H. Yoo, J. W. Jeong, K. H. Park, J. I. Song, Y. G. Ko, S. W. Kim, and I. B. Lee, "Effects of different ventilation systems on rearing growing finisher and indoor environment in a high rise hog building," *J. Livestock Housing Environment*, vol. 16, no. 3, pp. 193-204, Dec. 2010.
- [14] Y. H. Yoo, T. I. Kim, J. W. Jeong, H. C. Choi, J. I. Song, and K. P. Song, "A field survey on concentration of odor compounds in pig buildings and boundary areas," *J. Livestock Housing Environment*, vol. 11, no. 1, pp. 45-54, April. 2005.
- [15] J. H. Hwang, M. H. Lee, H. D. Ju, H. C. Lee, H. J. Kang, and H. Yoe, "Implementation of swinery integrated management system in ubiquitous agricultural environments," *J. KICS: Commun. Networks*, vol. 35, no. 2, pp. 252-262, Feb. 2010.

이 종 대 (Jong-Dae Lee)



1992년 수원대학교 컴퓨터학과 석사
1997년~현재 국제대학교 부교수
2008년 수원대학교 컴퓨터학과 박사

<관심분야> 알고리즘, 프로그램 언어론, IT 기반 축산과학 융합 기술

최 선 오 (Sun-O Choi)



2006년 아주대학교 정보통신대학원 석사
2006년~현재 (주)아이비즈코리아 대표이사
2009년~현재 한국 폴리텍 대학 교수

김 흥 규 (Hong-Kyu Kim)



2004년 2월 평택대학교 컴퓨터학과 졸업
2006년 2월 수원대학교 컴퓨터학과 석사
2006년 3월~현재 수원대학교 컴퓨터학과 박사과정

<관심분야> 센서네트워크, 위치기반 서비스, 실시간 정밀 위치추적, IT 기반 축산융합 기술

문 승 진 (Seung-Jin Moon)



1986년 미국 텍사스 주립대학교 컴퓨터학과 학사
1991년 미국 플로리다 주립대학교 컴퓨터학과 석사
1997년 미국 플로리다 주립대학교 컴퓨터학과 박사
1997년~현재 수원대학교 IT대학 컴퓨터학과 교수

<관심분야> 실시간 센서네트워크 운영체제, 실시간 데이터 베이스, 센서네트워크 위치추적