

## 유비쿼터스 센서네트워크를 이용한 농업환경인자 측정

### - 온도, 습도, 조도 -

장영창 정선옥 한인송 노광모

## Measurement of Agricultural Atmospheric Factors Using Ubiquitous Sensor Network

### - Temperature, Humidity and Light Intensity -

Y. C. Chang S. O. Chung I. S. Han K. M. Noh

#### Abstract

This study was performed to develop a wireless system for measuring agricultural atmospheric factors using ubiquitous sensor network(USN). In the study, temperature, humidity and light intensity were selected and evaluated as major agricultural atmospheric factors. An USN system was designed and implemented by using Zigbex I and II (mote sensor nodes of MICA series) provided by Hanback Electronics, Korea. The system was tested in a greenhouse and an orchard. The experiment results showed that the suggested USN measuring system would be very effective on comprehensive measurement of the selected factors on the basis of time, day, spatial sequence with reasonable costs.

**Keywords :** Ubiquitous sensor network, Measurement, Agricultural atmospheric factor

#### 1. 서론

생물생산 환경은 광합성과 증산, 광합성 산물의 전류, 생체 중의 증가, 영양생장과 생식생장 등, 농작물의 생리적 생태적 반응에 관계되며, 이들 반응의 종합적 결과가 수확물 수량과 품질을 결정하게 된다.

농작물 생산에 필요한 환경인자는 크게 온도, 습도, 광도 및 이산화탄소 농도 등의 기상환경인자와 토양수분, 지온, 토양양분 및 pH 등의 작물 지하부의 근권 환경인자로 나눌 수 있으며 이러한 인자들은 작물의 생장과 발육에 영향을 미친다. 그러나 현재 이러한 환경인자들의 관리는 전적으로 인력과 개인의 경험에 의해 이루어고 있다.

유비쿼터스 센서네트워크(이하 USN)는 센서노드에서 사물 및 환경 정보를 무선으로 감지, 저장, 가공, 통합하여 적재적소에 알맞은 제어를 가능하게 새로운 기술이다(Culler et al., 2004). 나아가 USN은 저비용/고효율로 농산물 생산의 관

리요인들을 총체적으로 계측하고 이를 제어할 있는 시스템 구성을 가능하게 하는 능력을 포함한다.

국외에서도 USN의 응용은 제한적이며, 미국과 같은 농업 선진국에서도 무선 통신을 응용한 연구는 소수 보고되고 있으나 농작물 생산에 대한 응용은 겨우 개념 정립의 단계에 있다. NASA의 Jet Propulsion Laboratory는 미국 캘리포니아주 Huntington 식물원의 온실 내부, 실외 종묘원, 수분 온실 등에 태양열을 사용한 센서를 설치하여 기온, 토양, 온도 및 습도, 일사량, 산소량 등을 측정한다. 일본 농업환경 연구소에서는 Wi-Fi 통신 네트워크와 웹 카메라 사용으로 작물생육 환경 데이터 관리를 시도한 바 있으며, 이스라엘 파이토크에서는 식물생장 모니터링으로 관개를 제어하기 위해 400 MHz 대역 무선 네트워크 및 CDMA 데이터 통신을 연동하여 실용화하였다.

나아가 Chien(2010)은 센서 네트워크와 연결하여 ecosystem에 대한 adaptive sensing의 개념을 소개하였으며 이를 산불,

This work was conducted by the research fund supported by ARPC(108031-2), Korea. The article was submitted for publication on 2011-03-04, reviewed on 2011-03-25, and approved for publication by editorial board of KSAM on 2011-04-07. The authors are Youngchang Chang, Professor, Konkuk University, KSAM member, Sunok Chung, Professor, Chungnam National University, KSAM member, Insong Han and Kwangmo Noh, Professors, Konkuk University, KSAM members. Corresponding author: Kwangmo Noh, Professor, Dept. of Bio-systems Engineering, Konkuk University, Chungju, Chungbuk, 380-701, Korea; Tel: +81-43-840-3554; E-mail: <kmnoh@kku.ac.kr>.

홍수, 강설, 토양수분 등의 모니터링에 적용할 수 있다고 제안하였다. Mainwaring et al.(2002)은 총 32개의 센서노드로 이루어진 네트워크를 바닷새의 정착지에 임의로 설치하고 바닷새의 생태를 장시간에 걸쳐 모니터링 하였다. 이 센서네트워크에서는 기본센서로서 광량, 온도, 습도와 대기압 등이 선정, 장착되었으며 장기간의 날씨 변화에 견디기 위한 아크릴 센서노드 케이스가 고안되었다.

국내에서는 USN에 대한 기초적 개념은 알려져 있으나 농업에 응용된 사례는 전무하며, 나아가 USN의 기자재 중 센서 노드와 관련 부품의 일부는 국산화가 이루어진 상태이지만 대부분은 수입제품이 주류를 이룬다.

Lee et al.(2008)은 무선 센서네트워크를 이용하여 농작물의 모니터링 시스템의 구현을 시도하였으며 이 시스템을 통하여 전과환경 변화에 대한 데이터 송수신율과 RSSI에 의한 신호크기 테스트를 수행하였다. 실험의 결과는 노드 간의 거리가 대략 20 m 이내에서는 데이터 송수신에 크게 문제가 되지 않는다고 보고하였다.

Kim and Sung(2008)은 수질환경 분석 모니터링 시스템을 구현하여 원격으로 데이터 수집센터와의 무선 통신망을 시험 구현하였으며 무선 모니터링의 가능성을 높게 분석하였다. Lee and Chung(2006)은 유비쿼터스 헬스케어 위하여 Mica 계열 센서네트워크 기반의 심전도 및 체온 측정시스템 플랫폼을 구축한 바 있다.

현재 새로운 농업생산의 패러다임으로 부상하고 있는 정밀 농업의 site-specific application 개념과 방향을 같이할 수 있는 USN 기술은 농업생산에 시급히 도입해야할 적응력 있는 기술이다. 따라서 본 연구에서는 초기 도입 단계에 있는 USN 기술을 농업환경인자 측정에 도입하고자, 먼저 주요 농업환경인자를 선정하고 이에 따라 USN 측정 시스템을 설계, 구현하여 그 성능을 검증하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 농업생산에 필요한 주요 환경인자

농업생산에 영향을 주는 작물의 기상환경인자는 다양하게 선정될 수 있다. 그러나 식물의 기본적 생리작용인 광합성과 호흡은 많은 효소들에 의하여 제어되는 일종의 생화학 반응이므로, 광합성과 호흡의 속도는 온도의 영향을 크게 받게 된다. 일반적으로 광합성 속도는 25~40°C의 범위에서 정점을 나타내는데, 정점에 달하기 전까지는 완만하게 증가하다가 정점을 지나면 감소한다. 또한 잎에서 저장기관으로의 전류는 광합성 산물이 당으로 변하여 체관을 통하여 이동하는데 온도의 영향을 크게 받는다. 고온에서는 광합성 산물의 전류가 신속한데 반하여 저온에서는 속도가 느리다. 밤 온도가 낮아서 전류가 다 이루어지지 않으면 다음날의 광합성에 지장

이 있게 된다.

농업생산에는 공기의 상대습도가 매우 중요한 요인으로서 40% 이하이면 증산에 의한 수분손실을 방지하기 위해 기공이 닫혀 CO<sub>2</sub>의 공급이 제한되어 광합성속도가 저해된다. 반대로 90% 이상의 습윤한 상태에서는 증산이 억제되어 뿌리로부터의 양분흡수가 저해된다. 일반적으로 상대습도가 60~85%일 때 작물의 생육이 좋다. 공기 중 CO<sub>2</sub> 농도는 보통 1,000~1,500 ppm 정도가 적당한데 밀폐 공간이 아닌 경우 그 범위는 온습도의 분포가 균일한 곳에서는 작물생육에 적당한 것으로 알려져 있다.

광량 혹은 조도는 광합성에 절대적인 영향을 미친다. 광보상점은 광포화점만큼 작물의 종류에 따른 차이가 적는데 보통 양생식물은 1,000~2,000 lux 정도이다. 자외선은 작물의 생육에는 좋지 않지만 안토시아닌 색소의 발현에 관여하고 광합성에는 400~700 nm의 가시광선이 유효하며 이 중에 430 nm 전후의 청색광과 660 nm 전후의 적색광이 효과적이다. 나아가 긴 일조시간은 꽃눈형성을 많게 하고 고품질을 위해서 필요한 요인이다.

작물생육에는 이외에도 토양영양상태, 토양수분 등, 다양한 인자가 관여되지만 이는 생육기간 중에 조절이 가능한 요인이기 때문에 본 연구에서는 기본적 환경요인으로서 온도, 습도 및 조도를 선정하였다.

### 나. 유비쿼터스 센서네트워크

센서기술과 무선통신기술로 개발된 것이 유비쿼터스 센서네트워크(Ubiquitous Sensor Network: USN)이며, 때로는 무선센서네트워크(WSN)라고도 한다. USN의 두 가지 주요 기능은 사용자가 관심을 갖는 event의 상황 데이터를 각 센서노드들에게 전파시키는 것과 각 개별 노드가 수집한 데이터를 수집하여 싱크를 통해 사용자에게 전달하는 것이다.

USN은 ad-hoc 방법으로 통신망이 구성되며, 데이터 수집을 위한 센서, 수집된 센서 정보를 처리하고 제어하기 위한 MCU, 그리고 수집된 무선정보를 전달하기 위한 무선통신부로 구성된다. 센서네트워크의 활동 범위는 동물관리, 홈네트워크, 병원환자의 관리, 환경과 공해 감시 등 모든 사물 및 환경에서 각각의 정보를 감시할 수 있는 센서를 부착하여 네트워크에서 실시간으로 관리 및 감시를 할 수 있는 곳은 어디나 활용이 가능하다.

USN은 IEEE802.15.4의 PHY계층과 MAC계층 위에 존재하는 ZigBee 연합에서 정의하는 네트워크 계층과 응용계층을 기본으로 하는 통신 프로토콜을 따른다. 그림 1은 ZigBee 프로토콜 스택을 보여주고 있다. ZigBee에 사용되는 주파수 대역을 보면 유럽에서는 868 MHz대역의 단일 채널을 사용하고 있으며, 북미에서는 915 MHz를 중심으로 하는 10개 채널의 주파수를 사용하고 있고, 2.4 GHz대역에서는 16채널을

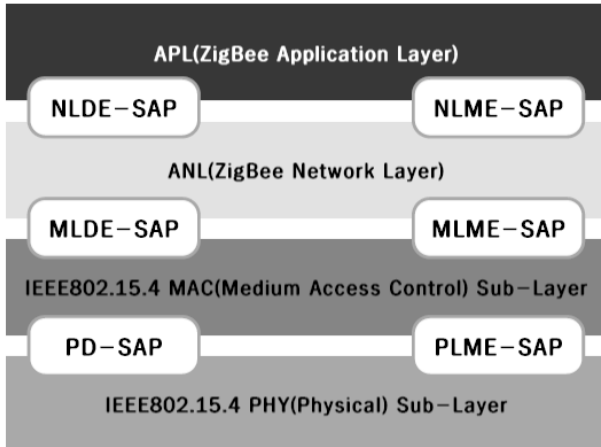


Fig. 1 ZigBee stack protocol.

사용하고 있다. 이를 전체적으로 보면 크게 3개 주파수 밴드에서 27개 주파수 채널을 사용하는 것으로 볼 수 있는데, 최근 대부분의 업체에서는 전송속도가 가장 높은 2.4 GHz 대역의 ZigBee Transceiver를 내놓고 있다.

무선송신의 파워는 일반적으로 10-75 m range, 75 m/1mW 이하이며 송신의 경우 30 mA의 전력소모를 가지는 것이 일반적이다. 하지만 사용하고자 하는 곳의 지리적인 위치 및 외부 환경에 따라 송신전력을 S/W적으로 변경하여 소비되는 전력량을 줄일 수도 있다. 특히, 2.4 GHz RF의 경우 실내에서는 30 m의 통신거리를 보장하며, 실외의 환경에서는 일반적으로 100 m 정도를 보장한다.

#### 다. 농업환경인자 측정을 위한 센서노드 선정

센서노드는 크게 Mica 계열의 Atmel의 AVR 시리즈와 Telos 계열의 TI MSP430시리즈가 일반적이다. 특히 Mica 계열의 노드들은 MCU로서 저전력 8비트 클록의 RISC CPU(Atmel의 Atmega 시리즈)가 장착되어 있고, 무선 RF모듈은 IEEE 802.15.4/ZigBee 기반의 CC2420를 사용한다. 여러 가지 센서 중에서 온도, 습도, 조도 센서는 온칩화되어 계측의 편리성을 증대하였으며 레이저, 모션디텍터, GPS 센서 등은 모듈화로 연동작동이 가능하다.

기존의 상용 센서노드 조사/분석한 결과, 국내에서는 센서 네트워크 및 센서노드의 보급이 다양하지 않은 것으로 분석되었다. 그러나 보급된 종류 중에서 성능과 가격 면에서 Mica 계열의 Mote류 센서노드가 농업환경인자의 통합계측에 적합한 것으로 판단되었다.

본 연구에서 선정된 센서네트워크 노드는 공개된 프로토콜을 바탕으로 국내 기술로 개발된 한백전자의 ZigBex I and II 시리즈(Hanback electronics, Korea)였으며, 그림 2에 선정된 ZigBex 노드를 보여주고 있다. 이 노드 시스템은 공개 S/W로서 초소형 TinyOS 운영체제, TinyDB 데이터베이스,

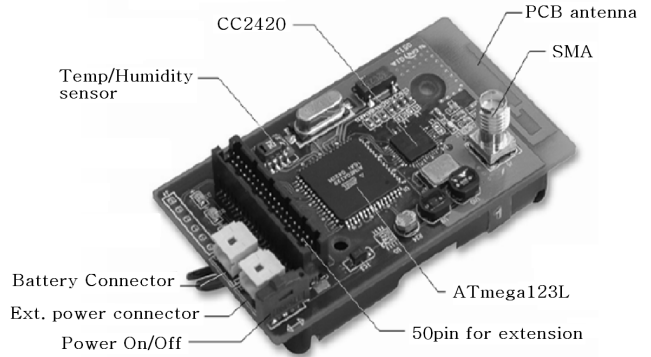


Fig. 2 Sensor node of Hanback Electronics.

NesC 확장언어를 기반으로 운용된다.

TinyOS는 Mica 계열 센서노드에서 이용되며 미국, 스탠포드대학교에서 공개 S/W로서 개발/보급되었다. TinyOS는 event-driven 구조로서 메모리는 단일 스택으로 NesC 언어를 기반으로 구현되며 센서네트워크에서 직면하는 에너지의 한정된 사용을 극대화하기 위하여 초소형으로 장착되는 특징이 있다.

NesC는 기존 C언어를 바탕으로 센서네트워크를 위해 스탠포드대에서 개발된 컴포넌트(component) 프로그래밍 언어로서 이와 같은 컴포넌트 언어는 여러 개의 컴포넌트 블록(block)을 연결(wiring)하여 하나의 응용프로그램 형태를 조합한다. 특히 센서노드에 장착될 하나의 응용프로그램을 위해 꼭 필요한 라이브러리 및 커널 컴포넌트만 올라가기 때문에 코드의 사이즈가 작으며 기존 C언어에 비해 프로그램이 편리하다.

#### 라. USN 네트워크 설계 및 검증시험

본 연구에서는 농업생산에 필요한 환경요인들의 분석하여 주요 요인으로 온도, 습도, 조도를 설정하였고 USN 시스템을 구성하였으며 각 센서 노드에 대하여 온도, 습도에 대하여 기초적 특성을 실험하였다. 나아가 온실과 과수원에서 USN 계측시스템의 무선통신 가능시험 및 시스템 검증 성능시험을 수행하였다.

USN은 임베디드시스템에 해당되므로 운용하는 데는 크게 두 가지의 프로그램이 필요하다. 즉 실험 조건이나 환경에 따라 센서노드에 심어지는 임베디드 프로그램이 변경 장착되어야 한다. 또한 모든 실험이 완결되고 USN의 최적 운영조건이 결정되면 USN은 자체가 하나의 네트워크를 구성하고 스스로 의사결정도 하는 독립 네트워크가 된다. 그러나 대부분은 네트워크의 작동을 모니터링하고 특이사항을 점검하기 위하여 base station으로서 console program이 같이 개발된다. 그러나 본 연구에서는 센서노드에 필요한 임베디드 프로그램은 센서노드와 같이 제공되는 기본 NesC 프로그램은 변경하여

사용하였고 기본 console program으로 TinyOS에서 제공되는 TOSSIM 네트워크 시뮬레이터를 이용하였다.

USN 네트워크의 기본적인 topology 설계는 TOSSIM 네트워크 시뮬레이터로 가능하다. 나아가 TOSSIM은 무선으로 감지되는 모든 센서노드를 그 통신 route와 더불어 display 윈도우에 표시한다. 그러나 통신이 원활하지 않을 경우, display 내에서 해당 노드를 제거함으로써 통신 상태를 반영한다. 이 시뮬레이터는 실제 네트워크에서 벌어지는 상황을 다 반영하지는 못하나 네트워크를 구성하기 전에 시스템을 구성하고 예상되는 장단점을 분석하는 데는 큰 장점을 가지고 있다. 이론적으로 센서노드의 수는 크게 늘릴 수 있으나 본 연구에서 시뮬레이션의 결과로서 하나의 싱크노드와 5개의 무선 계측 노드로 구성된 공간적인 센서네트워크를 구성하였다. 싱크노드와 계측노드들 사이에서 이루어지는 무선통신 성능실험과 더불어 온실 실내와 실외 과수원에서 구성된 센서네트워크의 장기적인 농업인자 계측 성능실험을 수행하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. USN 네트워크 노드의 기초실험

본 연구에서 구성된 센서네트워크의 기초실험은 싱크노드와 무선노드들 사이에서 이루어지는 무선통신 특성실험을 포함하였다. 그림 3은 하나의 sink 노드와 두 개의 무선노드로 이루어지는 테스트 환경을 보여주고 있다. 실험은 5초마다 통신하도록 설정된 싱크 노드와 센서노드의 온도 데이터 수신 성능을 가지고 판단하였는데, 노드 간 수신에러가 발생하면 TOSSIM 시뮬레이터에 해당 노드가 사라지므로 온도 데이터를 100회씩 송수신하여 송신데이터에 대한 수신율(TOSSIM에서 센서노드가 사라지지 않는 송수)을 가지고 판단하였다.

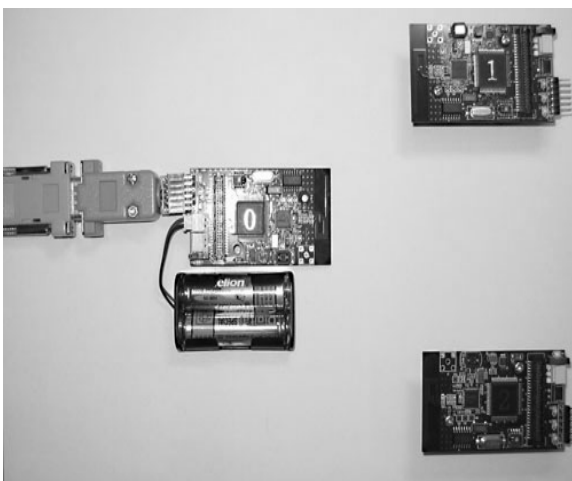


Fig. 3 Communication test on a sink node and two measurement nodes.

실험 결과 개활지에서 노드간의 거리가 최소 10 m부터 50 m까지는 데이터의 수신이 잘 이루어지는 것으로 확인되었다. 나아가 노드 간 온도, 습도 및 조도의 자료교환도 큰 문제없이 이루어짐을 확인하였다. 그러나 실험 조건을 확장하여 온실 내에서 센서노드의 높이를 작물의 성장 높이에 맞추어 설치하고 실험한 결과, 20 m까지는 손실이 없었지만 30 m에서는 대략 5%, 40 m에서는 10%이상의 무선수신 불량률이 있는 것으로 나타났다. 이는 기본적으로 거리증가에 따른 송신과 위의 약화가 원인으로 보이며, 온실 내의 철골재, 차양막 및 작물에 의한 간섭현상도 포괄된 때문으로 판단되었다. 따라서 서로 간 먼 거리에서 노드를 설치할 때는 통신 간섭이 최소화되는 장소에 노드를 배치해야할 필요를 제기하였다. 통신거리를 확장하기 위해서는 중계기와 같은 보다 강력한 송수신 장치의 장착도 고려해야할 것이라고 판단되었다.

그림 4는 TOSSIM을 이용한 star topology 네트워크의 시뮬레이션을 바탕으로 설계된 실제 노드 간의 topology를 보여주고 있다. 그림에서 0로 표시되는 0번 sink 노드와 1-5로 표시되는 센서노드간의 상대거리는 정확하게 표현되지는 않으나 통신루트와 송수신 정도는 표시되는데, 1번, 2번과 4번 노드는 0번 sink 노드에 직접 송수신이 되고 있고, 3번 노드는 1번 노드를 통해서, 5번 노드는 3번과 1번 노드를 통해서 sink 노드와 통신하고 있음을 나타낸다. 나아가 5개의 센서노드가 다 표시된다는 것은 구성된 센서네트워크에 센서 노드의 누락이 없다는 것을 보여준다.

Ad-hoc 센서네트워크에서 한 센서노드를 거칠 때마다 one-hop이 증가된다고 정의하며, 이는 센서노드들의 3차원 공간적인 topology에서 네트워크 성능에 중요한 영향을 미칠 수도 있다. 그러나 본 연구에서는 농업에 대한 USN의 응용이기 때문에 송수신 횟수와 전달시간에 대비하여 환경인자 측정시간에 대한 제한이 없는 것으로 판단하여 고려하지 않았다.

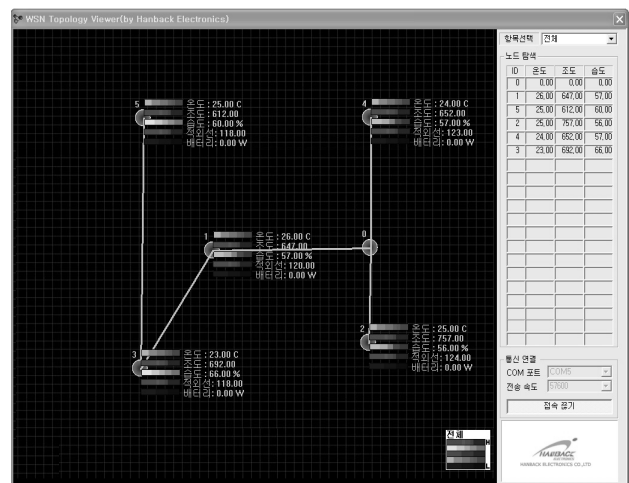


Fig. 4 A star topology of USN with a sink and five measurement nodes.

나. USN 농업환경인자 측정시스템 검증실험

본 연구에서는 시뮬레이션과 기초실험, 그리고 네트워크 설계 기법을 이용하여 구성된 USN 계측시스템을 종합적으로 검증하고자 하였다. 센서노드의 환경인자 측정간격을 30분 단위로 설정하고 아침, 점심, 저녁과 밤에 걸쳐 하루 4번 측정값을 기록하였다. 측정기간은 온실에서는 20일간, 과수원 실외실험에서는 12일간으로 설정하였다.

1개의 sink 노드와 5개의 센서노드로 구성되는 USN에서 센서노드들의 공간적 배치는 무선통신이 이루어진다는 조건 하에서 그림 4에 보여주고 있는 방사형 star topology를 기본으로 하였다. 그러나 sink 노드는 시스템 운영자의 접근성을 고려하여 온실 실험에서는 온실 입구에, 과수원 실험에서는 입구의 관리동 근처에 배치하였다. 노드들 간의 거리는 대략 20-30 m사이에서 임의로 선정하였는데 그 기준은 노드 간 통신이 원활하고, 측정지역 전체를 공간적으로 포함할 수 있는, 즉 전 범위의 환경인자의 분포가 모니터링 되는 것을 기준으로 하였다. 향후 더 많은 수의 센서노드를 배치할 경우 측정지역 내에서 보다 정밀한 환경인자의 공간분포 모니터링이 가능하다.

본 연구에서는 센서노드에 장착된 여러 가지 센서 자체의

성능을 검증하는 것을 목적으로 하지 않는다. 특히, Zigbex I, II 센서노드에 장착된 조도센서는 Sharp(Japan)사의 BS520, 가시광선 diode로서 조도 측정의 정확도가 뛰어나다. 그러나 환경인자의 공간적인 모니터링의 정확도를 위하여 여러 센서 중에서 온도와 습도센서에 대하여 USN으로 전달되는 무선 온도와 습도자료를 실제 아날로그 및 디지털 계측장치의 온도와 습도자료와 비교함으로써 무선 통신의 품질과 측정 자료의 품질을 검증하고자 하였다.

그림 5는 USN이 무선 전달하는 온도 측정값과 실제 온도 계측기에서의 실측값과의 비교실험을 보여주고 있으며, 그림 6은 온실 내에 장착한 통합 USN 계측시스템을 보여주고 있다. 그림 5와 6에서 센서노드의 설치 높이는 온실 지상에서 대략 2 m의 높이로 임의로 선정하였으나 향후 작물의 특성에 따라 조절이 가능하다. 표 1은 USN에서 계측된 온/습도 자료와 아날로그 및 디지털 온도계측기에서 측정된 자료를 비교한 예를 나타낸다.

표 1에서 보는 바와 같이 센서노드에서 계측 값은 아날로그 및 디지털 계측기의 실제 값과 온도는 대략 1.5도 이내, 습도는 2% 이내에서 근접한 값을 보였다. 그러나 아날로그의 값이 조금 다르게 나타났는데 이것은 기기의 정밀도에서부터 비롯된 현상으로 판단되었다. 따라서 무선 센서노드의



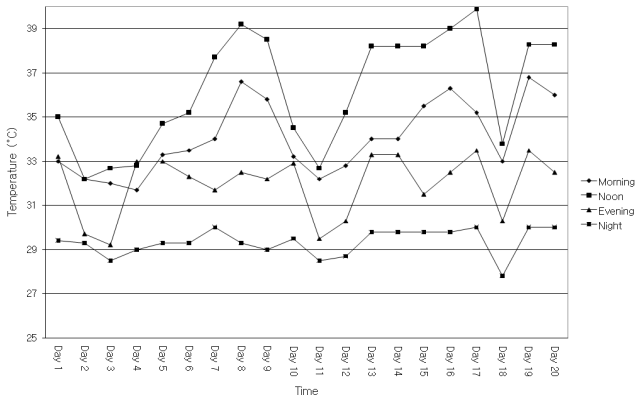
Fig. 5 Temperature calibration of an USN node with an analog thermometer.



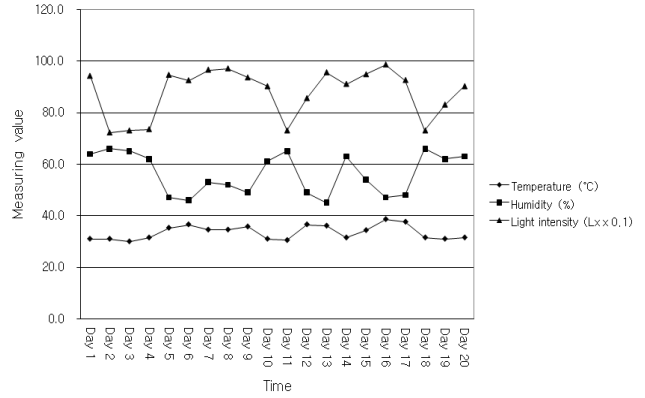
Fig. 6 A greenhouse test of the USN system implemented in the study.

Table 1 The temperature calibration of USN nodes with analog and digital thermometers and hygrometers

Type of sensor	USN sensor node		Analog thermometer /hygrometer		Digital thermometer /hygrometer	
	Temp. (°C)	Humi. (%)	Temp. (°C)	Humi. (%)	Temp. (°C)	Humi. (%)
Measurand						
Set No. 1	30.0	35	31.0	34	30.1	35
Set No. 2	28.5	36	29.0	34	28.9	37
Set No. 3	27.0	36	27.5	36	27.2	37



**Fig. 7** Temperature measurement of USN measuring system on the basis of time sequence in a greenhouse.



**Fig. 8** Temperature, humidity and light intensity measurement of USN measuring system on the basis of time sequence in a greenhouse at noon.



**Fig. 9** Test of USN system in an orchard.



**Fig. 10** An USN sensor node in an orchard.

계측 값은 신뢰를 가지는 것으로 판단하였으며 이러한 사실을 바탕으로 USN의 환경인자 분포의 공간적 모니터링 성능을 검증하였다.

그림 7과 8은 본 연구에서 구성된 1개 sink와 5개 센서노드로 구성된 USN 계측시스템을 이용하여 주요 환경요인인 온도, 습도, 조도를 20일간 측정하여 일자에 따른 그 평균값의 변화를 나타낸 것이다. 따라서 그림 7과 8에서 온실 내에서 센서노드 배치의 topology에 따른 환경요인의 공간적 변화분포는 나타나지 않는다.

그림 7에서 보는 바와 같이, USN 시스템은 20일간의 측정 기간 중 아침(09시), 점심(12시) 저녁(17시), 밤(21시)의 4번에 걸친 온도 변화를 잘 추종하고 있음을 알 수 있다. 따라서 향후 이 시스템의 측정 결과로서 측정 2, 3일차와 11일 및 18일차에는 온실 내 온도 상승을 위한 관리제어가 필요함을 판단할 수 있다. 나아가 그림 8은 측정기간 중, 12시 정각에 측정된 20일간의 온도, 습도 및 조도의 변화추세를 나타내며 USN 측정시스템을 통하여 한 장소에서 여러 개 환경적 요인의 일괄적인 측정과 통합이 가능함을 보여주고 있다. 본 연구

에서는 한 센서노드에서 3가지의 환경요인을 동시 측정하였으나 향후 필요에 따라 4개 이상의 환경요인을 동시 측정하도록 확장될 수 있다고 판단하였다.

본 연구는 온실 실험의 결과를 바탕으로 실외 사과 과수원에서 USN 측정시스템의 성능을 검증하였다. 그림 9에서 보는 바와 같이 센서노드는 대략 20-30 m의 간격으로 방사형으로 배치하였으며 설치 높이는 대략 1.5 m(해당 과수 크기의 중간 높이)로서 지지대 위어나 혹은 나무에 직접 장착하였다. 그림 10은 지지대 위에 장착된 센서노드를 보여주고 있는데 센서노드 자체는 아크릴 케이스에 내장되어 내부장치가 보호되고 있다. 특히 과수원 내에 배치된 5개의 센서노드는 각 센서노드의 무선 송출범위를 평균반경 25 m로 하였을 때, 방사형 topology에서 약 3000평의 면적에 대한 환경요인의 공간분포를 나타내게 된다.

그림 11과 12는 12일간의 실외 실험기간 중, 오전(9시), 오후(17시)에 측정된 온도 및 습도의 측정일자에 따른 변화추세를 보여주고 있다. 본 연구에서 실외 실험의 경우 5개의 노드 중에서 중앙에 배치된 센서 노드는 실험 기간 중 과손으

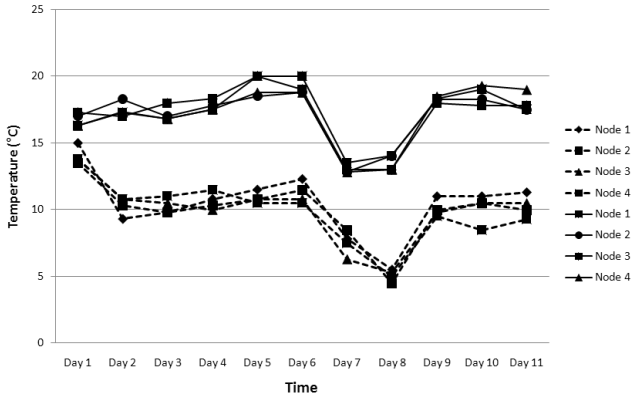


Fig. 11 Temperature measurement of USN measuring system on the basis of time and spatial sequence in an orchard. (dot line for morning value; solid line for afternoon value)

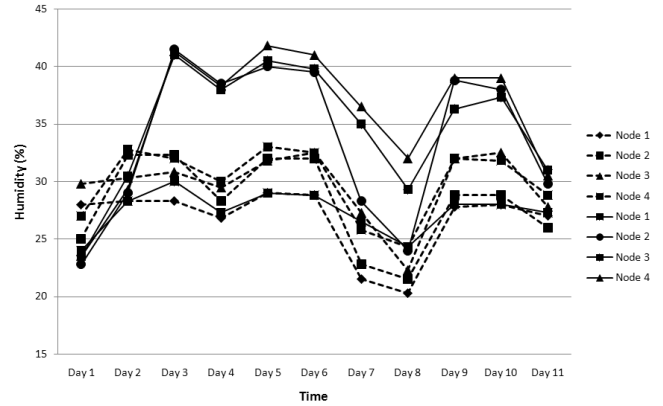


Fig. 12 Humidity measurement of USN measuring system on the basis of time and spatial sequence in an orchard. (dot line for morning value; solid line for afternoon value)

로 원활한 자료 수집이 이루어지지 않았으며 따라서 4개의 센서노드에서 측정된 자료만을 표시하였다. 그림에서 점선은 오전 측정값의 변화를, 실선은 오후 측정값의 변화를 각각 보여준다.

두 그림은 4개의 센서노드에서 측정값이 부분적으로 일종의 cluster로 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 크지는 않으나 각 노드 간 측정값의 차이를 나타내는 것이다. 그림 13은 측정기간 중 임의로 선정된 날의 오후에 측정된 4개 센서노드의 습도 값의 차이를 방사형으로 도시한 것이다. 따라서 그림에서 센서의 번호는 과수원의 지리적 위치의 차이를 나타내며, 이 경우 그래프의 위치는 대략 25 m 정도 서로 떨어져 있는 장소 간에 상대습도의 차이로 대입된다.

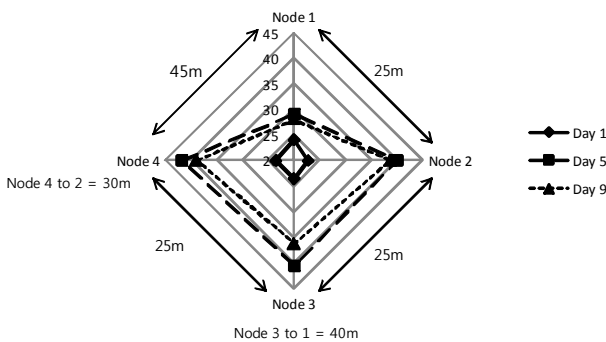


Fig. 13 Humidity distribution with the position of sensor nodes in an orchard in the afternoon of selected days.

그림에서 센서노드 1의 위치에서는 습도가 상대적으로 낮게 나오므로 과수원 내 이 위치에서 수분이 필요한 곳임을 알 수 있다. 이러한 분석 결과는 USN 시스템에서 매우 중요한 의미를 갖는다. 즉 각각의 센서노드는 그 자체에 actuator를 제어 할 수 있는 로직을 심을 수 있으므로 향후 이 노드와

연관하여 관수 actuator가 연결될 경우 부분적인 살수가 가능하여 효율적인 측정과 관리제어가 동시에 이루어질 수 있게 된다. 나아가 센서노드 간 multi-hopping을 통해서 보다 넓은 면적으로 측정시스템이 확장될 수 있다

따라서 본 연구의 온실과 실외 실험의 결과는 구성된 USN 시스템은 공간적으로 분포하여 정기적으로 농업 환경인자의 측정 자료를 송수신하며 향후, 요인별, 날짜별, 시간별, 공간별 자료의 통합적 수집으로 농업환경요인의 분석을 통한 농업생산관리에 기여할 수 있음을 보여주었다.

#### 4. 요약 및 결론

농작물 생산에 필요한 주요 환경인자는 크게 온도, 습도, 조도 및 이산화탄소 농도 등의 기상환경인자와 토양수분, 지온, 토양양분 및 pH 등의 작물 지하부의 환경인자로 나눌 수 있으며, 현재 이러한 인자들은 전적으로 인력과 개인의 경험에 의해 관리되어지고 있다.

유비쿼터스 센서네트워크(USN)는 센서노드에서 사물 및 환경 정보를 무선으로 감지, 저장, 가공, 통합하여 적재적소에 알맞은 제어를 가능하게 새로운 기술이며, 저비용/고효율로 농산물 생산의 관리요인들을 총체적으로 계측하고 이를 제어할 있는 시스템 구성을 가능하게 하는 능력을 포함한다.

따라서 본 연구에서는 USN 기술을 농업환경인자 측정에 도입하고자, 먼저 주요 농업환경인자로서 온도, 습도, 조도를 선정하고 하나의 싱크노드와 5개의 무선 계측노드로 구성된 USN 측정시스템을 설계/구현하고, 기초실험과 온실 및 실외 실험을 통하여 그 성능을 검증하였다.

본 연구에서 개발된 USN 농업환경인자 측정시스템은 공간적으로 분포하여 정기적으로 농업 환경인자의 측정 자료를 송수신하며, 향후 농업생산 측면에서 요인별, 일별, 시간별,

공간별로 자료의 통합적 수집과 그 자료의 분석을 바탕으로 효율적이며 통합적인 농업생산관리에 기여할 수 있다고 판단하였다.

### 참 고 문 헌

1. Chien, Steve. 2010. Using Sensorwebs to Monitor Ecosystems: Integrating Sensing, Tracking, and Modeling. 2nd International Conference on Computational Sustainability. Cambridge, MA.
2. Culler, David, Deborah Estrin and Mani Srivastava. 2004. Guest Editors' Introduction : Overview of Sensor Networks. IEEE Computer 37(8):41-49.
3. Kim, Seok-Hun and Kyung Sung. 2008. A Water Environment Monitoring System Using the RISC Sensor Network Node. Korea Navigation Institute 12(2):109-114.
4. Lee, Young-Chul, Seung-Eon Jo and Chang-Heon Oh. 2008. Implementation of Crops Monitoring System Using Wireless Sensor Networks. Korea Navigation Institute 12(4):324-331.
5. Lee, Young-Dong and Wan-Young Chung. 2006. A study on WSN based ECG and body temperature measuring system for ubiquitous healthcare: 1. the construction of sensor network platform. Journal of the Korean Sensors Society 15(5):362-370.
6. Mainwaring, Alan, David Culler, Joseph Polastre, Robert Szewczyk and John Anderson. 2002. Wireless Sensor Networks for Habitat Monitoring. WSNA '02 Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications.