

# 유비쿼터스 센서 네트워크를 이용한 자동 수목 활력도 측정 시스템 개발

(Developing the Automatic Measurement System of  
Tree's Vigor based on Ubiquitous Sensor Network)

심 규 원\* · 전 문 장\*\* · 김 중 규\*\*\*

(Kyu-Won, Sim · Mun-Jang, Jeon · Jung-Gyu, Kim)

**요 약** 본 연구는 현재 인력기반 중심의 측정장비인 사이고미터가 가지고 있는 제약성을 개선할 목적으로 유비쿼터스 센서 네트워크를 이용하여 수목의 수세활력도를 측정할 수 있는 자동화 시스템을 개발하였다. 본 연구를 통하여 개발된 시스템의 신뢰성을 검증하기 위하여 사이고미터와 측정값을 비교한 결과 거의 차이가 없었으며, 배터리 수명은 약 1,844일 정도 유지되는 것으로 나타났다. 그리고 센서 네트워크 안정성 검증 결과 데이터 전송이 가능한 최대 거리는 130m로 나타나 산림지역이나 가로수 관리에 적용할 경우 조사 및 관리비용의 절감과 노동생산성을 향상 시킬 수 있을 것으로 사료된다.

**핵심주제어** : 유비쿼터스 센서 네트워크, 수세활력도, 자동 측정 시스템

**Abstract** The main purpose of this study was to develop Automatic Measurement System for monitoring tree's vigor using Ubiquitous Sensor Network. This study also focused on presenting an alternative for monitoring automatically tree's vigor due to Shigometer's limits. Application test of the system in comparison with Shigometer showed that the measurement values were not different to choose between the two, and battery lasted about 1,844 days in this system. To test the sensor network, the possible transmission distance using the sensor network in maximum was 130m. Investigation and management expenses can be reduced and labor productivity will also be improved in the forest and street trees.

**Key Words** : Ubiquitous Sensor Network, Tree's vigor, Automatic measurement system

## 1. 서 론

수목은 온도, 바람 등의 기상조건, 각종 토양조건 및 수목이 생육하고 있는 위치(방향 및 고도 등) 등의 외부 환경요인과 수목자체의 휴면, 양분

상태와 같은 내부요인 그리고 인위적 시업(가지치기, 간벌 등) 등 일일이 열거할 수 없는 복잡한 각종 요인과의 상호작용 속에서 성장한다. 그리고 우리나라와 같은 온대지방에서 수목의 정상적인 생육은 봄에서 초가을까지 이루어지며, 생육단계는 크게 생장개시기, 생장왕성기, 생장둔화기 및 생장정지와 휴면기로 구분할 수 있다. 한편 수목의 생장기에 수목의 수세활력도를 측정하는 방법에는 가시적 관찰에 의한 병징 여부, 잎의 엽록소나 양

\* (주)테크노비전코리아

\*\* 대구대학교 생명환경대학 산림자원학과

\*\*\* 대구대학교 정보통신공학부

료 함량측정, 잎의 형광 현상 측정, 그리고 형성층의 전기 저항치 측정 등이 있다. 이중 형성층 전기 저항을 이용한 진단은 측정방법이 간단하여 소요시간이 짧고 수목에 거의 영향을 주지 않으며 경제적이라는 장점을 가지고 있다 [8]. 수목에서 형성층 주변의 조직은 인간의 핏줄과 같아서 수분과 양분을 이동시키는 통도조직으로 건강하여 활력이 높을 때 수분함량이 많으며, 전기를 통하면 전기저항도가 낮은 반면, 스트레스를 받아 활력이 낮거나 죽어 있으면 수분함량이 떨어져 전기저항도가 높아진다 [1,2]. 낙엽이 많은 수목의 형성층에서 측정된 전기저항은 증가하는 경향을 보이며, 전기저항은 수목의 직경과 상관을 나타내며, 쪼시나방에 의해 잎이 떨어진 나무는 그렇지 않는 나무에 비해 형성층의 전기저항이 높으며, 이러한 전기저항의 변화는 스트레스의 지표나 상대적인 수목의 활력을 결정하는 수단으로써 이용이 가능하다 [9]. 이러한 원리를 이용하여 수세활력도를 측정하는 장비를 사이고미터(Shigometer)라고 하며, 이는 1967년 미국의 Shigo에 의해 최초로 개발되어 수목의 부패와 변색에 대한 전기적 저항의 관계를 구명한 후 사용되기 시작하였다 [3,4].

그러나 현재 수목의 수세활력도를 측정하는 인력기반 중심의 방법은 시간이나 경제적 여건 등 많은 제약이 따르기 때문에 정기적이고 지속적인 측정을 요하는 병충해나 공해로 인한 수목의 생장 상태 변동의 모니터링이 이루어지기가 매우 어려운 실정이다. 특히 대상지가 산림지역과 같이 복잡하고 광범위한 지역의 경우 더욱 어려움이 가중되며, 특히 산림병해충 문제는 험준하고 광활한 산림의 특수성을 고려할 때 조기발견으로 피해 초기에 방제를 행하는 것이 무엇보다 중요하다. 예를 들어 소나무재선충과 같이 비록 지금은 한정된 지역에서 국부적으로 발생하고 있으나 계속 분포영역이 확대되어 전국으로 확산될 우려가 있는 경우에는 더욱 조기 발견에 의한 피해 억제가 중요하다 [5]. 한편 수목의 수세활력도는 수목별로 고유의 값을 가지고 있고, 생육상태에 따라 저항값이 달라지므로 수목의 활력지표로 이용될 수 있다. 그러므로 수목의 생육기간 동안 수세활력도를 지속적으로 측정할 수 있는 시스템이 개발되면 수목생장의 변화 상태를 수시로 파악할 수 있고 [10], 이를

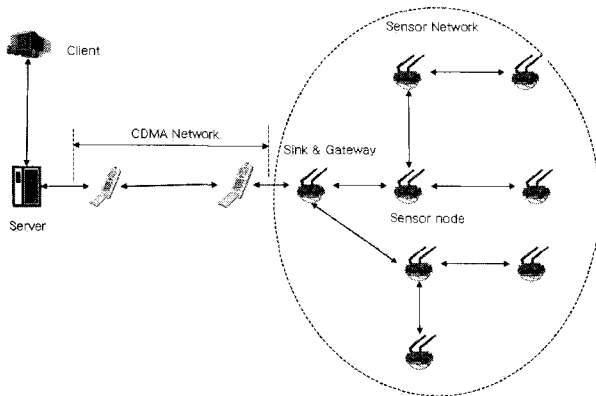
계량화 할 수 있기 때문이다. 따라서 인력기반 중심의 기존 측정방법들이 가지고 있는 한계점과 제한된 인력과 예산 등의 문제로 인하여 어려움이 많았던 산림지역이나 가로수 등의 효율적인 관리가 가능하도록 상시적인 모니터링을 통해 수목의 건전성 상태를 파악할 수 있는 정보화 기반 수세활력도 측정 시스템의 개발이 필요하다.

본 연구는 이러한 목적에 부응하기 위해 유비쿼터스 센서 네트워크를 이용하여 수목의 수세활력도를 측정할 수 있는 시스템을 개발하여 이를 현재 광범위하게 활용되고 있는 수세활력도 측정 장비인 사이고미터의 측정값과의 비교를 통하여 수세활력측정 시스템의 적용 가능성을 검증하고, 유비쿼터스 센서 네트워크 안정성 검증을 위해 성형 네트워크(Star Network)를 구성하여 수세활력측정 노드(node)와 베이스 노드(Base node)간의 데이터 수신율을 검증하는 형식으로 총 3단계로 나누어 수행되었다.

## 2. Ubiquitous Sensor Network를 이용한 수세활력측정시스템

### 2.1 시스템 구성

본 시스템은 센서노드, 싱크노드, 게이트웨이, CDMA 모듈, 서버 그리고 클라이언트로 구성되어 있다. 센서노드는 전압을 이용하여 수목의 수세활력을 측정하며, 센서노드들 간의 정보를 상호 교환하고 협력하여 무선 센서 네트워크를 구성한다. 게이트웨이는 무선 센서 네트워크와 외부 인프라를 서로 연결시키고, CDMA 모듈을 이용하여 네트워크 통신망에 접속하여 서버까지 수집된 데이터를 전송한다. 서버는 클라이언트에게 정보를 제공할 수 있도록 데이터베이스를 구축하고, 정보를 분석하여 제공한다. 클라이언트는 시·공간적 제약 없이 서버에 접속하여 분석된 정보를 실시간으로 확인 및 활용이 가능하도록 구성하였다.



<그림 1> 시스템 구성도

## 2.2 하드웨어

수세활력측정 시스템 보드는 현재 사용되고 있는 사이고미터와는 달리 측정 대상목에 직접 설치하여 지속적인 수세 변화 모니터링을 할 수 있도록 구현이 되어야 한다. 따라서 배터리를 전원으로 사용할 경우 제한된 전력으로 일정기간 이상 데이터의 측정이 가능하여야 하며, 태양광을 이용할 경우 반영구적으로 동작해야 하므로 저전력 구현이 필수적으로 이루어져야 한다. 따라서 본 연구에서는 저전력 Microcontroller인 ATmega 128L로 구성하였다. 또한 수집된 데이터를 실시간으로 전송하는 역할을 수행하는 RF module은 다양한 지형적 장애요소가 존재하고 기후적인 변화가 심한 산림지역 내에서의 적용성이 우선적으로 고려되어야 한다. 따라서 현재 산악지형에서 사용 가능한 주파수 대역 중 정보통신부고시 제2003-15호에 따라서 데이터전송용 특정 소출력 무선기기에서 사용하는 424MHz를 사용하여 시스템을 구성하였다 [7].

## 2.3 시스템 측정값 비교 방법

본 연구에서 개발된 수세활력측정 시스템의 신뢰성을 검증하기 위하여 현재 수세활력도를 측정하는데 통상 널리 활용되고 있는 사이고미터와의 측정값을 비교하였다. 본 시스템은 전압의 세기를 측정하여 측정 대상목의 수세활력 상태를 진단하는 방법을 채택하였으며, 사이고미터는 저항의 크기 정도에 따라 수세활력 상태를 진단하는 방법을 채택하고 있다. 그러나 두 시스템 모두 전기를 수

목에 흘려보내 전압이나 저항의 크기를 파악하여 생장상태가 건전하지 여부를 판단하고 있다. 아래의 표 1은 본 연구에서 개발한 시스템에 각각의 저항을 부여하여 측정한 결과로서 사이고미터를 이용하여 측정한 저항의 크기와 비교할 수 있도록 작성한 결과이다.

전기 저항은 수분과 양분 함량이 많아 수목이 건강할 경우 전기 저항도가 낮게 나타나며, 반면 수분과 양분 함량이 떨어질 경우 전기 저항도가 높아진다. 그러나 전압의 세기는 전기 저항과 반대로 수분과 양분 함량이 많을 경우 크게 나타나며, 수분과 양분 함량이 떨어질 경우 전압의 세기가 낮게 나타난다.

사이고미터는 대상목에 탐침하여 전류를 흘려보내 나타나는 단일 저항값을 이용하는 반면, 본 시스템은 전압을 이용하여 1회 측정 시 총 30회 연속적으로 측정한 값 중 최대값과 최소값을 제외한 나머지 값의 평균을 이용하여 수목의 건전상태를 파악하는 점이 가장 큰 차이점이다. 따라서 본 시스템의 측정값을 저항의 크기에 따라 산정한 값을 사이고미터가 측정한 저항값과의 비교 및 분석을 통하여 시스템 측정값의 신뢰성을 파악하였다.

## 2.4. 유비쿼터스 센서 네트워크 안정성 검증 방법

센서 네트워크에서 대표적으로 사용되는 IEEE 802.15.4 표준에서 Physical layer(물리 계층)는 868MHz, 915MHz, 그리고 2.45GHz로 세 가지 주파수 대역에서 동작한다. 본 시스템은 환경적인 변화가 일상적인 범위를 벗어나는 산림지역에서 네트워크 통신거리를 일정 수준 이상으로 확보하기 위해 IEEE 802.15.4 표준이 정하고 있는 주파수 대역보다는 산림지역에서 보다 적합한 주파수 대역의 선정, 전파의 회절성, 그리고 국내 주파수 할당 관련 법규를 최대한 준수하는 범위에서 424MHz를 선정하였다. 이는 수세활력측정 시스템이 설치되어 모니터링이 이루어지는 대상지가 주로 산악지형에 위치한 산림지역이기 때문에 RF 통신 거리를 확보하기 위한 주파수 대역 선정이 매우 중요한 요소로 작용하기 때문이다. 그러나 산악지형이나 산림지역에서의 RF module을 이용하여 데

<표 2> 저항의 크기에 따른 수세활력측정 시스템의 측정값

저항의 크기(k $\Omega$ )	수세활력 측정 시스템(V)	저항의 크기(k $\Omega$ )	수세활력 측정 시스템(V)	저항의 크기(k $\Omega$ )	수세활력 측정 시스템(V)
0	1023	110	183	125	165
5	854	115	176	320	64
10	734	120	170	330	63
15	641	130	158	340	62
20	573	140	147	350	59
25	513	150	139	360	57
30	466	160	131	370	55
35	428	170	124	380	53
40	395	180	116	390	51
45	365	190	111	400	50
50	341	200	106	410	49
55	316	210	100	420	47
60	298	220	97	430	47
65	281	230	92	440	45
70	265	240	88	450	44
75	252	250	85	460	42
80	239	260	81	470	42
85	227	270	78	480	41
90	218	280	75	490	40
95	208	290	72	500	39
100	200	300	69		
105	190	310	67		

이더 수신율을 측정된 사례가 거의 없어 물리적 환경이 이와 유사한 기존 연구를 바탕으로 네트워크 안정성 검증을 위한 데이터 수신율 기준을 설정하였다. 유비쿼터스 센서 네트워크를 이용한 국립공원 산악조난구조시스템 구축에 관한 연구의 경우, 데이터 수신율 측정지점의 장애요인 유·무를 암석으로 이루어진 협곡이나 우거진 산림 등으로 인한 차폐 여부를 목측을 통하여 이를 구분하여 데이터 수신율을 측정하였다. 이에 따라 데이터 수신율\*이 80.0% 이상일 경우 매우 높은 안정성을 확보하는 우수한 수준, 70.0% 이상~80.0% 이하일 경우 양호한 수준, 그리고 70.0% 이하일 경우 불량한 수준으로 기준을 설정하였다. 그 결과 장애요인이 없는 경우 측정거리가 100m 정도일

경우 총 104회 중 102회가 데이터 수신율이 80.0% 이상으로 매우 안정성이 높은 것으로 나타났으며, 장애요인이 있는 경우 측정거리가 100m 정도일 경우 총 73회 중 54회가 데이터 수신율이 80.0% 이상으로 매우 안정성이 높은 것으로 나타나 장애요인이 데이터 수신율에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다 [5].

본 연구에서는 네트워크 안정성 검증을 위한 데이터 수신율 측정을 위해 경북 경산시 진량읍 소재의 대구대학교내 중앙도서관 맞은편에 위치한 입목밀도가 ha당 776본으로 비교적 고밀도에 속하는 리기다소나무림을 대상으로 424MHz RF module 을 이용하여 매회 999 패킷을 송신하여 수신된 패킷 수를 비율로 환산하여 데이터 수신율로 나타내었다. 특히 산림지역의 입목밀도는 전파를 감쇄시키는 요인으로 작용하기 때문에 데이터

\* 송신 데이터 100패킷 중 수신 데이터 패킷 수를 비율로 환산하여 측정하였다.

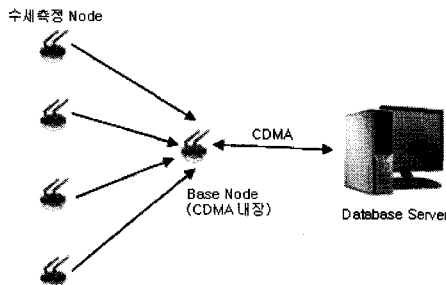
전송방법의 안정성을 검증하기 위해 측정거리를 50m, 100m, 그리고 150m로 나누어 각각 10회씩 진행하였다. 그러나 RF module의 거리가 150m에서 경우, 데이터 수신율이 저조하게 나타날 경우 측정거리를 10m 간격으로 줄여 안정적인 데이터 전송이 가능한 최대거리를 파악하고자 하였다.

RF module은 Chipcon사(社)의 CC1000 송수신기를 선정하였으며, 424MHz에서 동작하도록 프로그램을 구축 하였다.

<표 3> RF module 특성

구분	내용
RF Module	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Very low current consumption</li> <li>- Frequency range 300 ~ 1000 MHz UHF RF transceiver</li> <li>- High sensitivity (typical -110 dBm at 2.4kBaud)</li> <li>- Programmable output power -20 to 10 dBm</li> <li>- Small size (TSSOP-28 package)</li> <li>- Low supply voltage (2.1 V to 3.6 V)</li> <li>- Very few external components required</li> <li>- No external RF switch / IF filter required</li> <li>- RSSI output</li> <li>- Single port antenna connection</li> <li>- FSK data rate up to 76.8 kBaud</li> </ul>
Antenna	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Monopole antenna : 1500 Meter</li> <li>- Frequency range : 424MHz</li> <li>- Impedence : 50Ohms nominal</li> </ul>

데이터 전송방법은 그림 2에서 나타난 바와 같이 성형 네트워크로 구성하여 여러 대의 수세측정 노드가 점 대 점(point to point) 구성방식으로 베이스 노드와 연결되며, 베이스 노드는 내장된 CDMA 모듈을 이용하여 데이터베이스 서버로 데이터를 전송하도록 하였다.

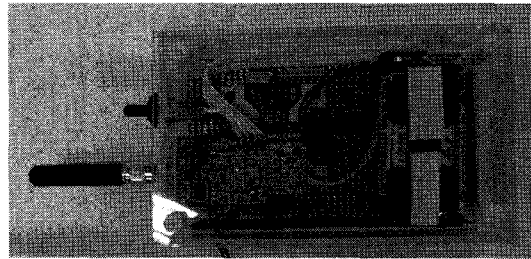


<그림 2> 데이터 전송 방법

### 3. 시스템 구현 및 결과 고찰

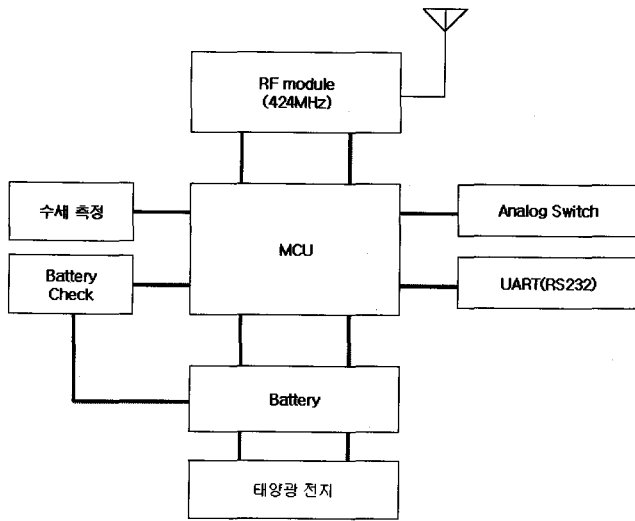
#### 3.1 시스템 개발

수세활력측정 시스템은 사이고미터와 달리 정기적이고 지속적인 수목의 건강상태를 모니터링 하고자 측정 대상목에 직접 설치하도록 고안되었다 (그림 3). 기존의 수세활력측정 장비인 사이고미터는 사람이 직접 소지하고 산림지역을 방문하여 대상목을 측정해야하는 방식으로 정기적이고 장기적인 측정을 통한 체계적인 모니터링이 현실적으로 불가능하다. 그러나 본 시스템은 인력에 의존한 기존의 방식과는 달리 측정, 데이터 전송, 그리고 분석 및 실시간 모니터링에 이르는 모든 과정이 자동화 시스템으로 개발되었다.



<그림 3> 수세활력측정 시스템

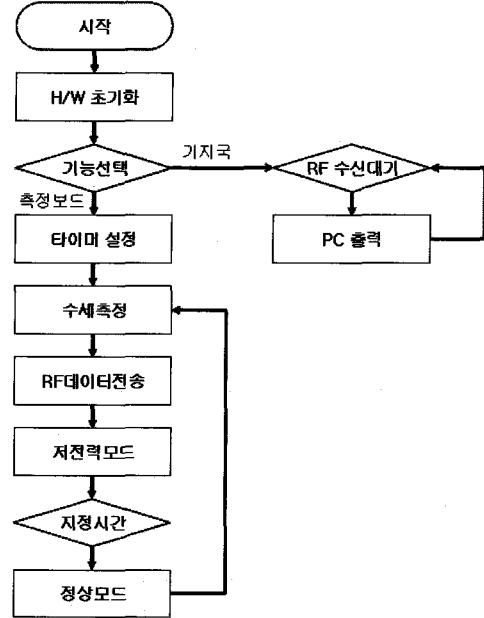
본 시스템은 그림 4에 나타난 바와 같이 수목의 수세활력도를 측정하기 위해 삽입되는 2개의 탐침봉, MCU의 명령을 받아 상기 탐침봉으로 일정한 전류를 흐르게 방향을 전환하는 스위치, 상기 스위치를 조절하여 하나의 탐침봉으로 전류를 보내고 반대쪽 탐침봉으로 들어오는 전위차를 입력받는 측정부, 상기 측정부로부터 여러 번의 측정값을 받아들이며 최대값과 최소값을 제외한 평균을 내어 수세활력도 평균값을 취하는 MCU, 측정보드의 각부에 구동전원을 공급하는 고용량전원 및 태양 전지, 상기 고용량전원 및 태양 전지의 현재 전원의 상태를 측정하여 MCU에 전달하는 전원 확인부, MCU에서 측정한 수세활력도 데이터를 기지국으로 전송하는 무선통신부, 그리고 시리얼통신규격 (RS-232C) 방식으로 외부의 PC와 통신을 수행하는 PC통신부로 구성되어있다.



<그림 4> 수세활력측정 시스템 구성도

수세활력측정 시스템의 동작순서는 그림 5와 같다. 먼저 H/W 초기화 단계에서는 전원이 공급되고 각각의 수세측정보드를 구분하기 위한 번호를 설정하고, 무선통신을 위한 주파수의 설정과 PC와 통신을 하기 위한 연결속도를 설정하며, 내부의 카운터를 설정한다. 그리고 수세측정보드의 기능을 할 것인지 기지국의 기능을 할 것인지 설정하는 기능선택단계를 거치며, 타이머 설정 단계에서는 기능선택단계에서 수세측정보드로 설정을 하게 되면 타이머설정을 하여 얼마 동안의 시간동안 몇 번을 측정할 것인지 설정한다. 수세측정단계에서는 MCU의 명령으로 전류를 보내기 위한 스위치를 조절하고 측정부로부터 전위차에 대한 값을 입력받는다. 여러 번 측정된 값 중 최소값과 최대값을 제외한 평균값을 저장하고, 전원측정값과 측정보드의 번호, 수세측정값, 전원측정값을 RF데이터전송으로 기지국으로 보내는 전송단계를 거쳐 슬립모드단계에서는 RF 데이터 전송이 끝나면 MCU의 저전력모드 기능을 설정하고 소비 전력을 최소화 하는 기능을 수행한다. 그리고 MCU의 내부 클럭을 이용한 타이머를 통해서 지정된 시간이 되면 정상 모드가 되어 다시 수세측정이 반복적으로 이루어지도록 하는 단계가 된다. 기능선택단계에서 기지국으로 선택이 되면 RF 수신대기를 하게 되고 수세측정보드로부터 데이터를 수신하게 되면 수신된 측정보드의 번호, 수세측정값, 전원 값을 중앙 서버로 데이터를 전송하게 되어 상기 중앙

서버에서는 데이터베이스에 수신 데이터를 저장하여 모니터링을 할 수 있도록 하는 단계로 구성되어 있다.



<그림 5> 수세활력측정 시스템 동작순서

그리고 제한된 전력으로 장기간 일정한 주기로 데이터를 측정하기 위하여 배터리 소모가 매우 낮은 저전력 구현이 필수적이므로 저전력 Microcontroller인 ATmega 128L로 구성하였으며, 수세활력측정 시스템의 특성은 표 3과 같다.

<표 4> 수세활력측정 시스템 특성

구분	내용
MPU	- ATmega 128L 8MHz - 4KByte EEPROM - 4KByte internal SRAM - 8bit Timer/Counter 2EA - External 16bit Timer/Counter 2EA - 8bit PWM Channels - Active Power DC 2.7~5.5V
Memory	Internal 128K Flash Memory, External 512K Flash Memory
RF Power	10mW, 0dBm
Network	IEEE 802.15.4 compatible, Multi-hop Routing, ZigBee

수세측정 노드의 배터리 수명의 경우 저전력 Microcontroller인 ATmega 128L과 RF module인 CC1000의 시간당 전력 소비량을 기준으로 표 4와 같이 계산하였다.

<표 5> 수세측정 노드(node)의 전력 소비량

Mode	ATmega128L	CC1000
Power mode	10 $\mu$ A	1 $\mu$ A
Power Save mode	20 $\mu$ A	-
Active mode	10mA(8MHz)	9.3mA
I/O pin	40mA	-
TX(+10dbm)	-	26.7mA

수세측정 노드의 배터리 용량은 3V/2,700mA를 기준으로 하였으며, 실제 설치장소가 산림지역임을 고려하여 전력 소비량은 적정 소비전력량을 기준으로 산정하였다. 본 시스템의 경우 1회 측정 시 millisecond(1/1,000초) 단위로 총 30회를 측정하도록 설계되어 있으나 실제 전력 소비량의 계산은 1일 1회 측정 및 베이스 노드 전송 시 발생할 수 있는 예외 상황을 고려하여 실제 소요시간보다 길게 1초를 기준으로 하여 계산하였다.

데이터 전송방법은 성형 네트워크로 구성하였을 경우로 제한하였으며, 표 5은 ATmega 128L(MCU)와 RF module(CC1000)에 대한 전력소비량을 기준으로 산정한 과정을 나타내고 있다.

<표 6> 전력 소비량 산정방법

Mode	전력 소비량
MCU Active mode	10mA <sup>*</sup> / 3600sec $\approx$ 3 $\mu$ A
MCU Power Save mode	20 $\mu$ A $\times$ 24h $\approx$ 480 $\mu$ A
MCU I/O pin(ADC)	40mA / 3600sec $\approx$ 11 $\mu$ A
RF Active mode	8.7mA / 3600sec $\approx$ 2.5 $\mu$ A
RF Power mode	1 $\mu$ A $\times$ 24h $\approx$ 24 $\mu$ A
RF Tx mode	26.7mA / 3600sec $\approx$ 7.5 $\mu$ A
정전압회로 및 도선 전력 소비량	100 $\mu$ A $\times$ 24h $\approx$ 2,400 $\mu$ A
1회/일 사용량	2,928 $\mu$ A
측정 가능 일 수	약 1,844일

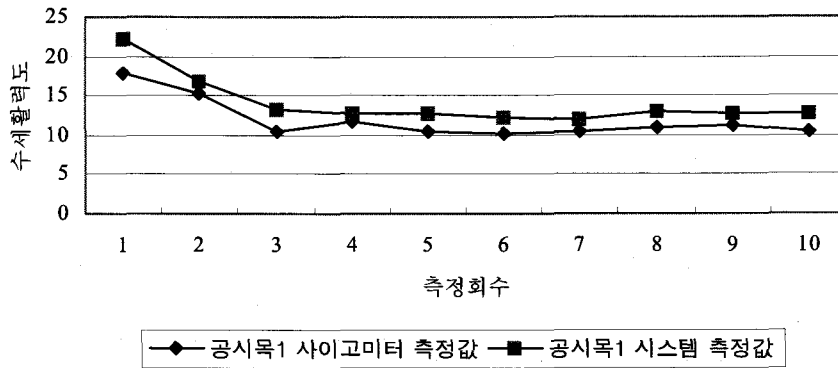
이에 따라 수세측정 노드의 1회 측정 시간을 1

초로 가정할 경우 사용되는 전력 소비량은 2,928 $\mu$ A으로 나타났으며, 이를 공급 전원의 배터리 용량(3V 병렬 연결/5,400mA)을 기준으로 계산할 경우 약 1,844일 정도 사용 가능한 것으로 나타났다. 베이스 노드의 경우 주위의 모든 수세측정 노드로부터 데이터를 수신하고 데이터베이스 구축 서버로 전송하는 역할을 수행하기 때문에 수세측정 노드보다 많은 전기를 소비한다. 따라서 태양광을 이용하여 축전할 수 있는 Solar system을 활용하여 안정적인 전원을 공급할 수 있도록 고려하는 것도 바람직한 것으로 판단된다.

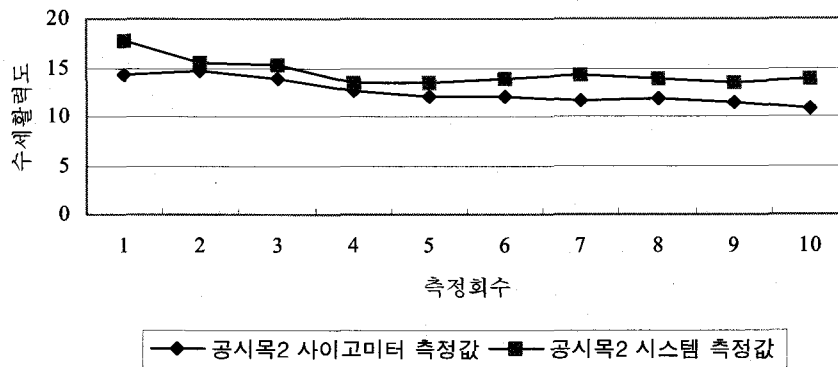
### 3.2 시스템 측정값 비교 결과

본 연구에서 개발된 시스템과 사이고미터를 이용하여 5분의 공시목을 대상으로 매 60분 단위로 각각 10회씩 측정하였다. 본 시스템의 경우 1회 측정 시 millisecond(1/1,000초) 단위로 총 30회를 측정하여 최대값과 최소값을 제외한 나머지 측정값의 평균을 이용하여 계산하였다. 이렇게 계산된 측정값을 표 1에 나타난 결과를 이용하여 저항값을 계산하여 사이고미터 측정값과 비교하여 본 시스템의 적용 가능성을 파악하였다.

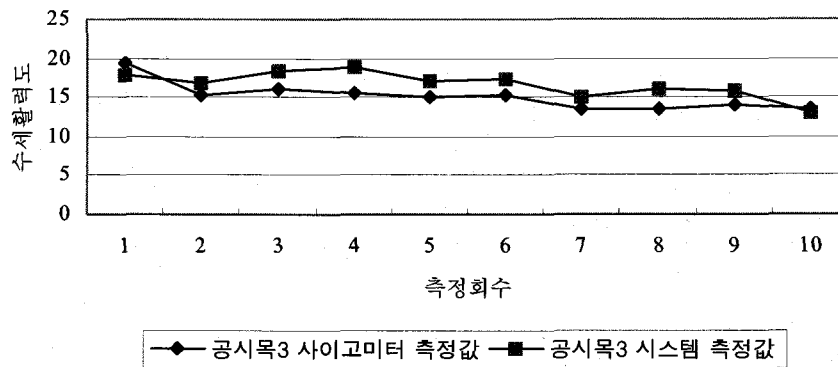
그 결과 기존의 수세활력측정을 위해 범용적으로 사용되고 있는 사이고미터와 측정값이 거의 비슷하게 나타났다. 공시목별로 나누어 사이고미터와 본 시스템의 수세활력도 측정값의 결과를 살펴보면, 공시목 1~5(그림 6-10) 모두 수세활력도의 변화 추이가 거의 동일한 형태의 선형구조를 보여 수목의 건전성 여부를 파악하는데 안정적인 것을 알 수 있다. 공시목 1(그림 6)의 경우 본 시스템을 이용하여 측정한 결과 최소 12.0에서 최대 22.3 사이의 측정값을 나타내었으며, 사이고미터의 경우 최소 10.2에서 17.8 사이의 측정값을 나타나 다른 공시목에 비해 변화 폭이 큰 것으로 나타났다. 공시목 2(그림 7)는 본 시스템의 측정값 변화 추이가 최소 13.5에서 17.8으로 나타났으며, 사이고미터의 경우 최소 10.9에서 최대 14.7로 변화의 폭이 비슷하게 나타났다. 공시목 3(그림 8)의 경우 본 시스템의 측정값은 최소 13에서 최대 17.8로 나타났으며, 사이고미터의 경우 최소 13.4에서 최대 19.3으로 본 시스템에 비해 다소 크게 나타났다.



<그림 6> 공시목 1의 수세활력도 측정 결과



<그림 7> 공시목 2의 수세활력도 측정 결과



<그림 8> 공시목 3의 수세활력도 측정 결과

공시목 4(그림 9)의 경우 본 시스템은 최소 21에서 최대 27.8로 나타난 반면, 사이고미터는 최소 18.6에서 27.0로 나타나 본 시스템에 비해 상대적으로 변화의 폭이 크게 나타났다. 공시목 5(그림 10)의 경우 본 시스템은 최소 13.0에서 최대 18.8

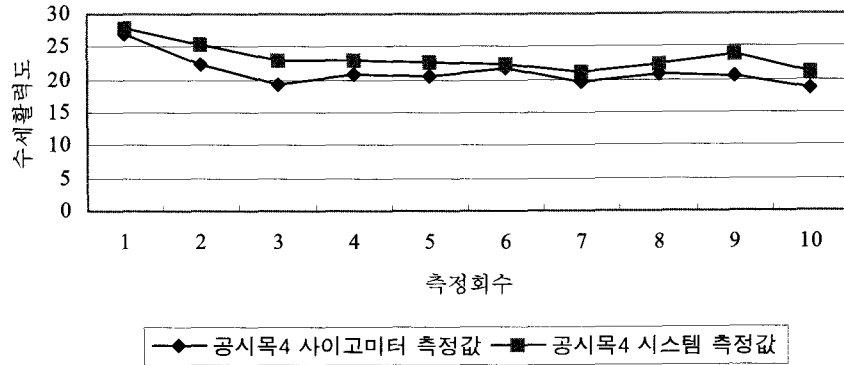
로 나타났으며, 사이고미터는 최소 11.2에서 최대 16.7로 변화의 폭이 거의 비슷하게 나타났다.

수목의 수세활력도는 수목의 건전성 여부나 변화 추이를 파악하는 상대적인 측정값으로 절대적인 기준치가 존재하는 것은 아니므로 본 시스템을

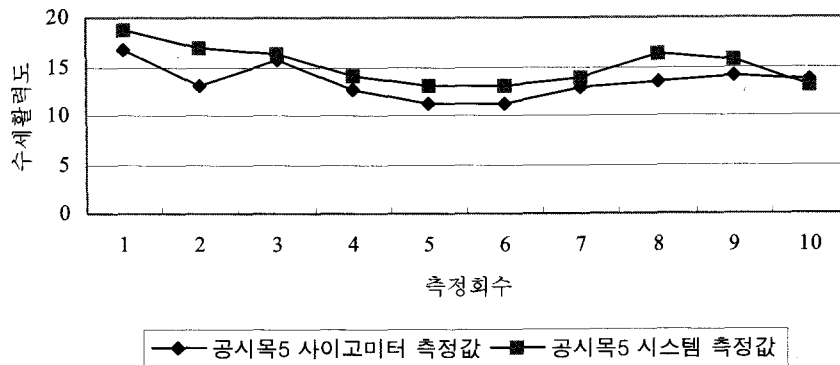


수세활력측정을 위해 활용할 수 있을 것으로 판단되며, 변화의 폭이 크게 나타난 것에 대해서는 추후 보다 광범위한 조사가 요구된다.

데이터 수신율이 60.1%로 매우 낮게 나타나 불안정한 수준으로 나타났으나, 측정거리가 130m의 경우 측정거리가 100m인 경우보다 약간 낮은 94.3%



<그림 9> 공시목 4의 수세활력도 측정 결과



<그림 10> 공시목 5의 수세활력도 측정 결과

### 3.3 유비쿼터스 센서 네트워크 안정성 검증 결과

유비쿼터스 센서 네트워크를 활용한 데이터 전송방법의 안정성을 검증하기 위하여 RF module간의 거리에 따른 데이터 수신율을 검증하였다.

그 결과 표 6에서 보는 바와 같이 RF module의 거리가 50m인 경우 10회 모두 데이터 수신율이 100.0%로 나타났으며, 측정거리가 100m인 경우에도 평균 데이터 수신율이 99.6%로 매우 높게 나타났다. 그러나 RF module의 거리가 150m인 경우 데이터 수신율이 20%(200패킷) 이하로 나타나 측정거리를 10m 간격으로 줄여 안정적인 데이터 전송이 가능한 최대거리를 파악하였다. RF module의 거리가 140m로 설정하여 측정을 실시한 결과

로 나타나 데이터 수신율이 매우 안정적인 것으로 나타났다. 따라서 산림지역에 본 시스템을 이용하여 수세활력도를 측정할 경우 데이터 전송이 가능한 최대거리는 130m로 나타났으나, 안정성을 고려한 설치거리는 100m 정도가 적절한 것으로 나타났다.

### 4. 결론

본 시스템은 유비쿼터스 센서 네트워크 기반 무인 자동 수세활력측정 시스템으로서, 측정 대상목에 설치한 후 측정, 데이터 수집 및 전송, 그리고 데이터베이스 구축에 이르는 모든 과정이 자동으

<표 7> 거리에 따른 데이터 수신율

구분	50m	100m	130m	140m
1회	100.0 %	100.0 %	100.0 %	38.2 %
2회	100.0 %	99.9 %	90.6 %	85.5 %
3회	100.0 %	99.5 %	96.3 %	99.9 %
4회	100.0 %	96.5 %	99.8 %	34.0 %
5회	100.0 %	100.0 %	100.0 %	53.5 %
6회	100.0 %	100.0 %	89.9 %	47.7 %
7회	100.0 %	100.0 %	97.2 %	68.1 %
8회	100.0 %	100.0 %	93.6 %	46.2 %
9회	100.0 %	100.0 %	86.9 %	68.0 %
10회	100.0 %	100.0 %	88.9 %	59.4 %
mean	100.0 %	99.6 %	94.3 %	60.1 %

%. 송신 데이터 999 패킷 중 수신 데이터 수를 비율로 환산한 수치임

로 이루어지도록 개발되었다. 기존의 유인 수세활력 측정 장비인 사이고미터로는 조사가 불가능했던 지속적인 수목의 수세활력 모니터링이 가능하게 되었으며, 수목의 수세 변화 추이 파악을 통한 즉각적인 관리대응이 가능한 특성을 지니게 되었다. 그리고, 수세활력 측정 시스템의 전원은 3V 배터리의 병렬연결을 기준하여 최대 5,400mA로 1일 1회 측정 및 데이터를 전송할 경우 약 1,844일 정도 사용이 가능한 것으로 나타났다. 한편, 각기 다른 공시목 5본을 대상으로 60분 간격으로 수세활력 측정값을 사이고미터와 비교한 결과 수세활력도 수치가 거의 동일한 수준으로 나타나 실제 수목관리에 적용 가능한 것으로 나타났으며, 유비쿼터스 센서 네트워크를 이용한 네트워크 구성 시 데이터 전송의 안정성을 확보할 수 있는 거리는 100m 정도인 것으로 나타났다.

향후 본 시스템의 효율성과 안정성을 지속적으로 제고하기 위해서는 저전력 기반 시스템에 대한 지속적인 연구가 필요하다. 이는 산림지역의 경우 지형적 조건이나 환경적 변화의 예측이 용이하지 않아 시스템의 실제 전력 소비량과는 다소 차이가 있을 수 있기 때문이다. 그리고 데이터 전송방법의 경우 수세활력 측정 노드의 수가 많아질 경우 현재 구현된 성형 네트워크 방식이 아닌 Ad-hoc 네트워크 방식도 고려할 필요가 있는 것으로 판단된다. 이는 노드들에 의해 자율적으로 구성되는 기반구조가 없는 네트워크로, 네트워크의 구성 및 유지를

위해 기지국이나 액세스 포인트와 같은 기반 네트워크 장치를 필요로 하지 않는 방식이다. 또한 무선 인터페이스를 사용하여 서로 통신하고, 멀티 홉 라우팅 기능에 의해 무선 인터페이스가 가지는 통신 거리상의 제약을 극복하며, 노드들의 이동이 자유롭기 때문에 네트워크 토폴로지가 동적으로 변화되는 특징이 있어 베이스노드에 대한 의존성이 높고 통신거리에 제약이 있는 성형 네트워크 방식이 가지는 제약사항을 개선할 수 있는 장점이 있다. 그리고 데이터 수신율에 영향을 미칠 수 있는 식생 밀도나 지형적 특성 등에 따른 장애요인 기준의 유형화를 위해 향후 조건이 상이한 여러 지역에서의 연구가 필요하며, 또한 산악지형은 일교차가 크고 국지적인 기후의 변동 폭이 넓어 수세활력 측정 노드의 외장재의 내구성이나 기온변화에 따른 배터리 수명에 관한 추가적인 연구가 필요하다. 그리고 수목의 수세활력도를 측정할 경우 수목의 생장유형, 특성, 기후조건, 입목밀도 등을 고려한 세분화된 연구가 필요할 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

- [1] 하태주, "조경수목의 형성층 전기 저항과 광합성량의 측정으로 본 수목의 활력에 관한 연구", 상명대학교 석사논문, 2001
- [2] 송근준, "천안시가로수의 생리적 특성과 형성

- 층 전기저항치에 관한 연구”, 한국환경생태학회지, pp.46-54, 2002
- [3] 이찬용, 김종국, 채희문, 이상배, 원대성, “솔잎혹파리 피해임지내 수목의 외형적 인자와 관련한 수세변동과정 해석”, 삼림과학연구, 제 18호, pp.45~52, 2002
- [4] 신일사이언스, 농림환경과학기기장비설명서, 2004
- [5] 문일성, 숲과 문화 총서, Vol 12, pp. 281-290, 수문출판사, 2004
- [6] <http://www.mic.go.kr>
- [7] 심규원, “유비쿼터스 센서 네트워크를 이용한 국립공원 산악조난구조시스템 구축에 관한 연구”, 대구대학교 박사학위논문, 2006
- [8] McCulligh. D. G. and M. R. Wagner , Evaluation of four techniques to assess vigor of water-stressed ponderosa pine, Can. J. For. Res, 17:138-145, 1987
- [9] Wargo, P . M. and H. R. Skutt, J. For. Res, 5 : 557- 561, 1975
- [10] Kozlowski, T .T and S .G. Pallardy, Physiology of woody plants (2nd ed.), Academic press, NY, 411p, 1997

#### 심 규 원 (Kyu-Won Sim)

- 2006년 2월 대구대학교 대학원 자연자원학과 졸업(농학박사)
- 2006년 1월 ~ 현재 (주)테크노비전코리아 대표이사
- 2004년 3월 ~ 현재 대구대학교 외래강사
- 관심분야 : USN/RFID, 산림휴양, 공원관리

#### 전 문 장 (Mun-Jang Jeon)

- 1969년 2월 고려대학교 농과대학 입학과 졸업(농학사)
- 1977년 2월 고려대학교 대학원 입학과 졸업(농학석사)
- 1982년 2월 일본 구주대학교 졸업(농학박사)
- 1977년 ~ 1986년 산림청 국립산림과학원
- 1986년 3월 ~ 현재 대구대학교 생명환경대학 산림자원학과 교수
- 관심분야 : 산림보호, 산림곤충, 수세활력도