

USN 기술 기반의 비접촉 식물 성장 측정 시스템 구현

석진원*, 유인태**

Implementation of Non-contact Plant Growth Measurement System based on USN Technologies

Suk Jin Weon*, Ryoo In Tae**

요약

본 논문은 USN(Ubiquitous Sensor Network) 기술 기반의 적외선 센서를 사용한 비접촉식 식물 성장 측정 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 식물 성장을 측정할 때 식물의 성장 피해를 줄이기 위하여 비접촉 센서를 사용하였다. 이 시스템은 직경, 단면적, 비대 형상과 같은 식물 성장 요소를 실시간 비접촉 방식으로 측정할 수 있다. 측정된 데이터는 센서 네트워크 기술을 사용하여 원격 서버까지 전송되고, 서버에서 저장 및 분석되며, 최종적으로 분석된 데이터는 사용자에게 제공될 수 있도록 구성하였다. 본 논문에서 제안된 식물 성장 측정 시스템은 측정 방식과 장치에 비접촉 적외선 센서를 사용하여 설계 및 구현을 하였다. 그리고 시스템의 성능은 필드에서 측정 실험을 통하여 검증해 보았다.

Abstract

This paper is proposed non-contact plant growth measurement system using infrared sensor based on USN(Ubiquitous Sensor Network) technologies. The proposed system has used non-contact sensors to reduce any potential damage when it measures the growth of the plant. In this system, plant growth parameters such as diameter, cross-sectional area and thickening form are measured in real-time non-contact method. The measured data are transmitted to remote server by using sensor network technologies, stored and analyzed at the server, and the analyzed data are finally provided for users. In this paper, the proposed plant growth measurement system has been designed and implemented using non-contact infrared sensor based measurement methods and devices, and its performances have been verified by actual measurement experiments at the fields.

▶ Keyword : 유비쿼터스(Ubiquitous), 적외선 센서(Infrared Sensor), 비접촉식(Non-contact), 식물 성장 측정(Plant Growth Measurement)

• 제1저자 : 석진원 교신저자 : 유인태

• 투고일 : 2010. 08. 16, 심사일 : 2010. 08. 26, 게재확정일 : 2010. 08. 29.

* 경희대학교 일반대학원 컴퓨터공학과 박사과정 ** 경희대학교 전자정보대학 컴퓨터공학과 교수

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음.
(NIPA-2010-(C1090-1011-0001))

I. 서론

최근 사회 전반에서 사용되는 유비쿼터스(Ubiquitous)라는 용어는 '물이나 공기처럼 언제, 어디서든 네트워크로부터 자신이 원하는 정보를 얻을 수 있는 환경'으로 정의된다. 즉, 사용자가 컴퓨터나 네트워크를 의식하지 않고 장소에 상관없이 자유롭게 네트워크에 접속할 수 있는 환경을 말한다. 새로운 패러다임인 유비쿼터스 공간에서는 원격지에서 실시간으로 데이터를 자동 수집 및 분석하고 제어하려는 노력이 증가하고 있다. 유비쿼터스 공간의 실현을 위해서 USN(Ubiquitous Sensor Network)이 필요하다. 본 연구에서는 USN을 "필요한 모든 곳에 센서를 부착하여 사물의 인식 정보를 기본으로 주변의 환경 정보(온도, 습도, 오염 정도, 균열 정도, 성장 정보 등)까지 탐지하고 이를 실시간으로 네트워크에 연결하여 정보를 관리하는 네트워크 시스템"으로 정의한다. USN 기술은 광범위하게는 우리 생활의 모든 영역에 적용하여 기반 시설의 실시간 원격 제어, 생산 및 유통, 의료 및 복지, 국방 및 교통, 농림수산업 분야 등에서 많은 편리성을 주고 있다[1][2].

본 논문에서는 기존의 식물 성장 측정 장치의 문제점 해결을 위하여 USN 기술을 활용한 실시간 비접촉 식물 성장 측정 시스템(Real-time Non-contact Plant Growth Measurement System)을 제안한다. 그리고 기존의 접촉식 측정 도구(줄자, 버니어 캘리퍼스, 접촉식 측정 센서 등)로 측정할 때 유발되는 대상 식물의 성장 피해를 줄이기 위하여 비접촉 센서를 사용하여 제안한 시스템을 설계 및 구현하고, 측정 실험을 통하여 성능을 평가하였다.

본 논문의 구성은 2장에서는 식물의 성장 특성 및 기존 식물 성장 측정의 문제점을 분석하고 개선 방향을 제시한 후 제안한 시스템 구현과 관련된 USN 기술과 비접촉 센서의 특징 및 적외선 센서를 활용한 측정 방법을 제시한다. 3장에서는 제안한 시스템 구조와 구성요소에 대하여 기술하고, 4장에서는 구현된 시스템을 이용한 측정 실험 및 성능 평가 결과를 요약한다. 5장 결론에서는 연구결과를 돌아보고 향후 연구 방향을 제시한다.

II. 식물 성장 특성과 새로운 측정 시스템 제안

2.1 식물 성장 특성과 기존의 식물 성장 측정

2.1.1 식물 성장 특성

식물의 생장은 성장, 분화, 발육으로 구분한다. 먼저 성장

은 식물의 양적인 변화를 말하는데 "시간이 경과함에 따라 식물의 조직, 기관 또는 식물체의 외형적 크기나 무게가 비가역적으로 증가하는 현상"이다. 분화는 식물의 조직과 기관이 형성되는 것이며 식물의 질적인 변화이다. 발육은 식물체가 시간이 경과함에 따라 성장, 분화하는 것이다. 식물의 생장은 식물의 수정→배아→종자→발아→유식물→성장→개화→결실→노화의 과정으로 진행된다.

식물의 성장 속도를 그림 1과 같이 성장 곡선(Sigmoid curve)으로 나타내어 주로 초기(느린 시기), 중기(빠른 시기), 말기(느린 시기)로 구분한다. 초기는 식물이 발아 후 주로 저장 양분에 의존하여 성장하는 단계로 식물체의 확립 기간이다. 중기는 지상부가 출현하고 뿌리 체계의 완성 및 잎의 광합성과 생합성 작용이 왕성하게 일어난다. 말기에는 성장 속도가 둔화되고 식물 호르몬을 포함한 대사 산물과 수분, 광, 무기 양분에 대한 경쟁과 성장 억제 물질의 축적이 일어난다[3].

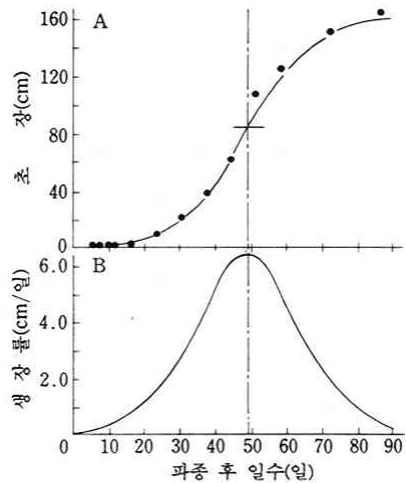


그림 1. 일반적인 식물 성장 곡선 <WHALEY,1961>
Fig. 1. General Plant Growth Curve <WHALEY, 1961>

2.1.2 기존의 식물 성장 측정

식물의 성장 변화는 대상 식물마다 특성이 매우 다르며, 식물 성장 측정은 식물의 뿌리, 줄기, 그리고 잎에 대한 비대, 수고, 줄기 단면적, 잎의 면적 등에 대한 성장 변화를 측정한다. 주로 성장 측정은 기후, 토양, 양분, 병·해충 등의 영향을 평가하고 이에 대한 대비를 위하여 실시한다. 근래에는 기후 변화에 대비한 지역 내의 식물 성장 변화를 측정하려고 국가 차원에서 중요하게 진행하고 있다. 식물의 생장을 성장 주기별로 정확히 측정하게 되면 농업 분야에서 식물별로 세밀한 성장 모델을 만들 수 있게 되어 환경 변화에 따른 정밀한 생

산량 예측 및 조절이 가능하게 된다. 따라서 실시간 식물 성장 측정 시스템은 농림수산업 분야에서 매우 중요한 기반 기술이라 할 수 있다[4].

그러나 기존의 식물 성장 측정은 수동식 측정 장치를 사용하여 사람(측정자)에 의한 육안 측정 방식이 주로 사용되었고, 최근에는 접촉식 센서에 의한 측정이 일부 이루어지고 있다. 그림 2는 기존의 측정 도구와 장치이다. 그런데 기존의 식물 성장 측정은 측정자 및 측정 장치, 측정 방법에 따라 편차가 크고 불규칙하여 데이터의 신뢰성이 떨어진다. 그리고 측정할 때 측정자나 측정 도구(버니어 캘리퍼스 및 접촉식 측정 장치 사용)에 의하여 측정 대상 식물에 상처 및 스트레스를 주어 식물 성장에 영향을 준다. 기존의 측정 방법이 식물의 생장기간 동안 지속적으로 반복되면 많은 부작용이 발생할 수 있다. 또한 측정 영역이 넓으면 같은 시간에 측정하기가 곤란하며, 측정 장소가 고산 지대나 섬 지역일 때는 더욱 어려워진다. 대부분 사람에 의한 직접 측정 방법의 사용으로 측정자의 안전 문제나 비용 증가는 불가피하게 된다[5][6][7][8].



그림 2. 기존의 식물 비대 성장 측정 장치
Fig. 2. Existing Plant Growth Measurement Device

2.2 USN 기반의 식물 성장 측정 시스템 제안

2.2.1 제안 시스템의 기본 개념

본 논문에서는 전술한 기존의 식물 성장 측정 방식에 대한 문제점을 개선하고자 최신의 USN 기술을 활용하여 그림 3과 같은 실시간 비접촉 식물 비대 성장 측정 시스템을 제안한다. 제안한 시스템은 3개의 요소로 구성된다. 먼저 비접촉 식물 성장 측정 시스템(uPGMS)은 관제 센터의 서버에서 제어 명령을 받아 대상 식물의 비대 성장을 측정하여 서버로 전송한다. 데이터 수집 및 제어 시스템(uDGCS)은 USN을 통하여 데이터를 전송하고 전송된 식물 성장 데이터를 저장하며 uPGMS에게 성장 측정을 지시한다. 데이터 분석 및 표출 시스템(uDADS)은 센서에서 수집되어 저장된 측정 데이터를

분석하여 그 결과를 사용자에게 실시간으로 제공한다.

제안한 시스템은 식물의 주간(줄기) 부분을 비접촉 센서로 측정하여 비대 성장 정보(직경, 단면적, 형상)를 제공한다. 본 논문에서 제안한 시스템은 기존의 식물 성장 측정에서는 불가능 하였던 식물 주간의 단면적과 형상을 실시간으로 사용자에게 제공할 수 있게 된다.

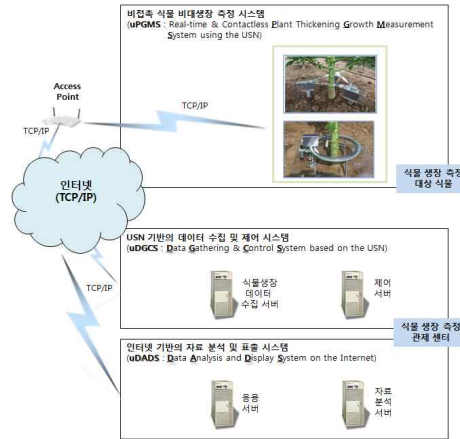


그림 3. 제안 시스템의 개념
Fig. 3. Concept of the Proposed System

2.2.2 USN을 이용한 시스템 구조

USN 환경에서는 원격지 산림이나 농업 시설 등에 상태 감지를 위한 센서들을 설치하고, 센서들을 USN을 통하여 원격지의 관제 센터에 연결하기 위하여 인터넷에 연결된 싱크 노드에 접속한다. 그림 4는 USN을 이용한 시스템의 구조를 나타낸다. 그림에서 센서 노드는 센서 네트워크로 전달된 서비스 요구 및 이미 설정한 조건에 따라 센서에서 측정된 데이터를 싱크 노드로 전달한다. 싱크 노드로 전달된 데이터는 기간망을 통하여 원격 관제센터로 전송/저장되며, 이후 이 데이터를 바탕으로 식물성장 특성을 분석하여 사용자에게 제공하거나 통계적 자료로 활용한다[2][9][10].

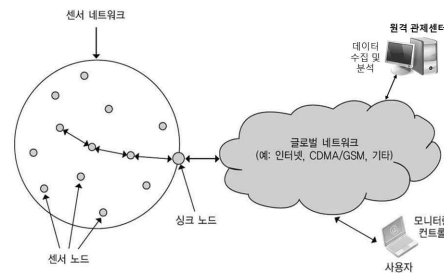


그림 4. USN을 이용한 시스템의 기본 구조
Fig. 4. Basic Structure of the System using USN

2.2.3 식물 생장 측정에 비접촉식 센서 적용

센서(Sensor)는 측정(감지) 대상으로부터 물리적, 화학적, 생물학적인 수단을 사용해서 데이터 및 에너지를 검출하는 장치를 말한다. 센서의 출력 정보는 전기적인 신호로 변환되어 전송 및 처리된다. 센서는 보통 입출력 신호의 변환 원리, 기능, 사용 방법 등에 따라서 나누어진다.

접촉식과 비접촉식 센서의 분류는 측정할 때 측정 대상물에 센서를 직접 접촉시키는지 여부에 따른 구분이다. 접촉식 센서는 프로브(Probe)와 같은 기계적 요소를 측정 대상물에 직접 닿게 하여 프로브의 변위를 측정한다. 좌표 측정기, 표면 거칠기 측정기, 리미터 스위치 등을 들 수 있다. 비접촉식보다 구조가 간단하고 측정 정도가 높으며 환경의 영향을 적게 받는 특성을 가진다. 비접촉식 센서는 측정 대상물에 직접 닿지 않고 측정하는 방식으로 빛, 초음파 및 전자기적 특성인 정전 용량, 전자 유도, 와전류(Eddy Current) 등을 이용한 것으로 적외선 센서, 초음파 센서, 이미지 센서 등이 있다. 접촉식보다 측정이 빠르고 접촉할 때 기계적 마모가 없으며 대상 표면에 손상을 입힐 우려가 없어 프로세스 중간에 측정하거나 고속성이 요구되는 자동화 생산 설비 등에 많이 사용된다[11][12].

본 연구에서 비접촉식 적외선 센서를 사용하여 식물의 생장을 측정하려면, 식물의 주간 표면에 적외선을 발산하여 차단되는 것을 전기량으로 변환하는 방식을 사용한다. 그러나 이 방식은 짧은 거리(10cm 미만) 측정은 가능하나 측정 거리 측면에서 제안한 시스템에 적용하기에는 부적합하다. 따라서 적외선을 송신한 후 목표물에서 반사되어 돌아오는 적외선의 각도를 측정하여 센서와 목표물의 거리를 계산하는 방식이 더 적합하다. 적외선 센서는 송수신 소자에 렌즈가 장착되어 적외선 필터에 의한 외부 교란성 빛을 차단할 수 있는 센서가 필요하다. 제안한 시스템의 적외선 센서는 측정 범위가 4cm~30cm이며 출력 형식은 아날로그 전압이 0.4v~3.2v 범위이다.

III. 비접촉 식물 생장 측정 시스템 설계

3.1 시스템 구조

제안 시스템은 그림 5와 같이 식물 생장 측정 장치의 문제점을 최소화하기 위하여 비접촉 적외선 센서를 이용하여 고정식(3점)과 회전식 측정 방식(uPGMS)을 개발하고, 식물 주간 생장을 측정하여 USN 기술을 기반으로 서버에 전송(uDGCS)하며, 서버는 데이터를 분석하여 그 결과를 제공(uDADS)하도록 하였다. 비접촉식 적외선 센서의 설치는 [장치-1]은

고정식 적외선 센서 측정 방식, [장치-2]는 회전식 적외선 센서 측정 방식을 적용하였다.

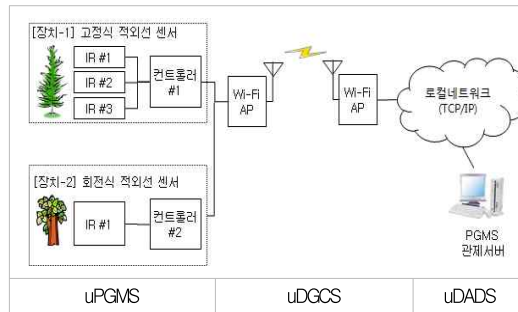


그림 5. 제안된 시스템 구조
Fig. 5. Architecture of the Proposed System

3.2 시스템 구성요소

3.2.1 식물 생장 측정 및 전송 시스템(uPGMS)

식물 생장 측정 및 전송 시스템(uPGMS)은 비접촉 센서인 적외선 센서를 적용할 수 있도록 회전식과 고정식의 식물 생장 측정 장치를 개발하여 식물의 비대 생장을 실시간으로 측정하고 전송하도록 하였다. 그림 6의 3개의 적외선 센서를 120° 간격으로 설치한 3점 고정식 측정 장치와 그림 7의 360° 원격 자동 회전 장치에 의한 회전식 측정 방식을 적용하였다.

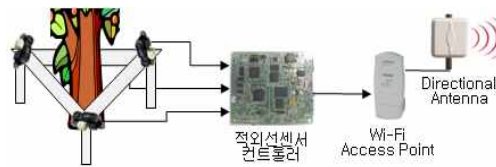


그림 6. 적외선 센서에 의한 고정식 측정 방식
Fig. 6. Fixed Measurement Method by IR Sensor

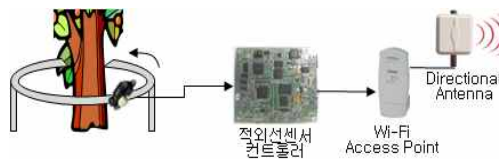


그림 7. 적외선 센서에 의한 회전식 측정 방식
Fig. 7. Rotating Measurement Method by IR Sensor

3.2.2 USN 기반 데이터 수집 및 제어 시스템(uDGCS)

USN 기반 데이터 수집 및 제어 시스템(uDGCS)은 센서

부(uPGMS)에서 측정된 데이터를 서버까지 전송한다. 센서 노드에서 싱크 노드까지 Wi-Fi를 사용하고, 싱크 노드에서 로컬 네트워크(LAN)까지는 AP를 이용하여 무선 네트워크로 구성하여 원격지의 서버까지 연결하였다. 그리고 데이터 전송 중에 건물 및 장애물이 밀집된 실험 환경은 중계 안테나(2.4 GHz, 13dB, 35° 지향성 안테나)를 사용하여 최적화하였다.

3.2.3 측정 데이터 분석 및 표출 시스템(uDADS)

대상 식물에서 측정되어 수집된 데이터는 그림 8과 같이 데이터 분석 및 표출 시스템(uDADS)를 이용하여 대상 식물의 주간 비대 직경과 단면적을 계산하고 단면 형상을 표출시킨다. 그리고 생성된 대상 식물의 주간 비대 생장 정보(직경, 단면적, 형상)들은 여러 유형의 사용자에게 인터넷을 통하여 제공한다. 측정 장치를 설치하지 않은 식물은 측정자를 이용하여 육안으로 측정한 뒤 시스템에 직접 입력할 수 있다. 제한한 시스템의 측정 환경 설정 및 시스템 제어는 PGMS 측정 환경 설정기능에서 맡는다.

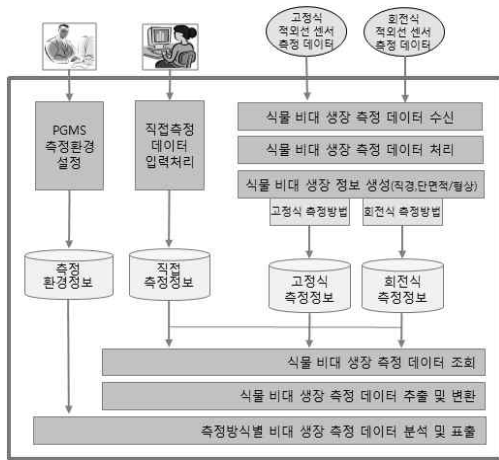


그림 8. 데이터 분석 및 표출 시스템(uDADS) 구조
Fig. 8. Architecture of the Data Analysis and Display System

3.3 측정 데이터의 전송 처리 및 정보 생성

3.3.1 측정 데이터의 전송

USN을 이용한 센서부(uPGMS)와 원격 관제 센터(uDADS, uDGCS) 구간의 데이터 전송 패킷 구조는 그림 9와 같다. 전송 시 모든 데이터는 UTF-8 형식으로 인코딩하여 요청(Request)/응답(Response) Handshaking 방식으로 전송하게 하였다.

그리고 타임아웃 시간은 센서별로 고유 지연 시간을 고려하여 3초부터 150초까지 가변적으로 부여하였다.

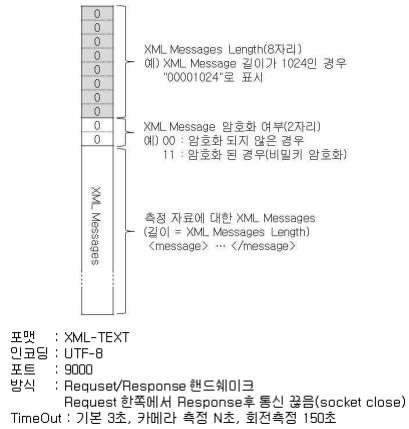


그림 9. 데이터 전송 프로토콜 구조
Fig. 9. Structure of the Data Transfer Protocol

3.3.2 측정 데이터의 처리

제안 시스템을 이용한 식물의 주간 생장 측정 및 데이터 처리 과정은, 먼저 관제 서버에서 식물 생장 측정을 위한 제어 신호를 측정 장치로 보내면 고정식과 회전식 비접촉 센서들이 동작하여 대상 식물의 주간 비대 생장을 측정한다. 측정된 신호는 디지털 신호로 변환되어 센서 노드에서 싱크 노드를 통하여 원격지 관제 서버에 보내져서 저장되며, 이 데이터는 실시간으로 분석되어 사용자에게 제공된다. 그림 10은 생장 측정 및 데이터 처리 과정을 나타낸 순차 다이어그램이다.

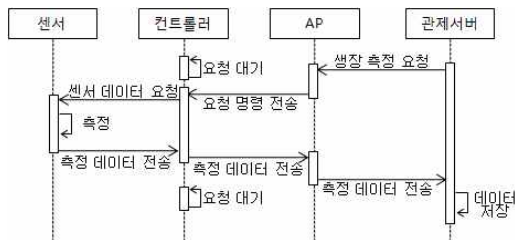


그림 10. 생장 측정 및 데이터 처리 과정
Fig. 10. Growth Measurement and Data Processing

3.3.3 생장 정보 생성을 위한 데이터 변환

비접촉 센서를 통해 획득한 데이터를 사용하여 식물의 주간 직경 및 단면적을 계산하고 형상을 표출하는 방법으로 LineDDA (Line Digital Differential Analyzer) 알고리즘과 극좌표 변환 알고리즘을 적용한다. 먼저 LineDDA 알고리즘은 점과 점을 연결한 직선의 기울기를 이용하여 두 점 사이를 부드럽게 연결하는 좌표를 획득하여 선분을 그리는 알고리즘이다. 그림 11은 일반적인 LineDDA 알고리즘 구조를 나타낸다.

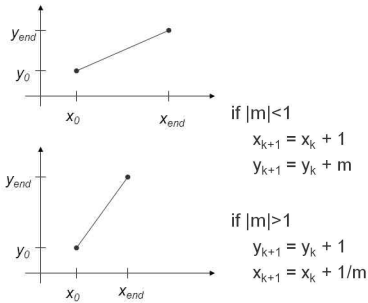


그림 11. 일반적인 LineDDA 알고리즘의 구조
Fig. 11. Structure of General LineDDA Algorithm

다음은 반지름이 상이한 원형의 주간 단면적 형상을 반지름 성분과 각 성분으로 결정되는 2차원 좌표계로 표현할 수 있는 극좌표계 변환 알고리즘이다. 극좌표는 원형좌표계로 변환이 용이하여 단면적과 단면적 형상의 획득이 쉽다. 그림 12는 평면 좌표 (x, y)를 극좌표 (r, θ)로 변환하기 위한 2차원 극좌표 변환 원리와 계산식을 보여준다.

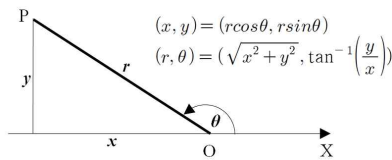


그림 12. 2차원 극좌표계로 변환
Fig. 12. Transformation into 2-Dimension Polar Coordinate System

극좌표계를 이용하여 비대 단면적을 계산하는 방법은 여러 가지 방법이 있다. 첫 번째는 기준 극좌표상의 픽셀 1개의 면적을 미리 계산한 후 측정 데이터로부터 획득한 극좌표의 픽셀수를 곱하는 방법으로 시스템 사양에 따라 픽셀이 차지하는 면적이 가변적이기 때문에 고정 영상을 대상으로 계산할 때는 유리하지만 측정치를 대상으로 일반화하기에 적합하지 않다. 두 번째 방법은 측정 데이터로부터 획득한 극좌표의 서로 다른 반지름을 평활화하여 평균 반지름을 계산하고 이를 원의 면적 계산 공식에 대입하는 방법으로 대상 작물의 단면 형상이 원형에 가까운 경우에는 오차가 크지 않지만 굴곡이 심한 원형일 경우에 오차가 커지는 문제가 있다. 세 번째 방법은 극좌표 상에서 연결된 측정치에 대한 선분은 원형 좌표의 둘레와 동일하다는 특징을 가진 방법으로 선분의 길이를 원의 면적 계산 공식에 간단하게 대입하여 계산한다[13].

제안한 시스템에서는 세 번째 방법이 적용이 쉽고 다른 방법과 비교하여 오차 발생이 적은 특성을 반영하여 식물의 주간 비대 단면적 계산에 사용하였으며, 식물의 주간 단면적 형상은 극좌표계를 다시 원형좌표계로 변환하여 나타낸다.

IV. 시스템 구현 및 실험 평가

4.1 구현 및 실험 환경

제안한 시스템의 개발 환경은 원격 관제 센터의 서버들은 마이크로소프트사의 윈도우 2003 서버 운영체제와 SQL SERVER 2005 DBMS로 구축하였으며, 응용 소프트웨어는 마이크로소프트사의 C#을 이용하여 .NET 기반으로 구축하였다. 그리고 클라이언트측은 노트북 기반의 윈도우 비스타 운영체제 환경에서 구축하였다. 제안한 시스템의 식물 주간 비대 성장 측정 실험은 그림 13과 같이 두 곳의 측정 대상 식물(파파야)에 설치한 측정 장치를 원격 구동하여 시간 설정 주기에 따라서 자동으로 측정되도록 하였다. 측정된 데이터는 USN을 통하여 서버로 전송되어 측정 방식별로 분류하여 저장한다.



그림 13. 실험 환경 (1. 고정식, 2. 회전식)
Fig. 13. Tested Environment (1. Fixed Type, 2. Rotary Type)

그림 14는 구현된 식물 성장 측정 및 환경 설정 GUI이다. GUI의 좌측 메뉴에서 측정 방법과 측정 환경을 설정해주면 원격지의 장치가 측정 스케줄에 따라서 작동하여 현지에서 측정된 데이터가 전송 및 저장된다. 그리고 조건에 따라 시간별, 관측 장치별, 대상 식물별로 조회할 수 있으며 측정 대상별로 측정 시간, 대상 식물, 주간 비대(직경, 면적, 비대 형상)를 표출할 수 있다. 그림 14는 회전식 적외선 센서 측정 방법에 의한 측정 결과를 보여준다.

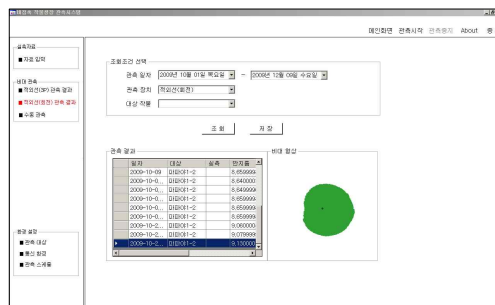


그림 14. 성장 측정 및 환경 설정 GUI
Fig. 14. Growth Measurement and Environment Setup GUI

4.2 실험 및 성능 평가

실험 결과를 측정 방식별로 성능을 평가해보면, 먼저 그림 15와 그림 16은 고정식과 회전식 적외선 센서 측정 방식에 의한 측정 결과이다. 이들 그림의 위쪽은 시간 경과에 따른 식물의 주간 비대 형상으로 비대 형상 외곽의 3점은 센서 위치이고 중앙의 1점은 센서 중심점을 표시한 것이다. 그림 아래쪽의 그래프는 측정 기간 동안의 식물의 단면적 성장 곡선을 보여준다.

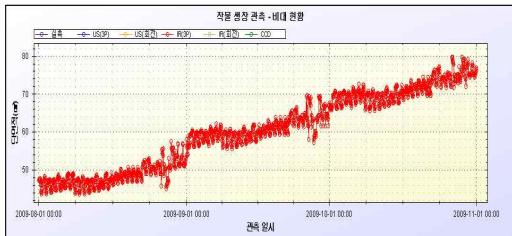
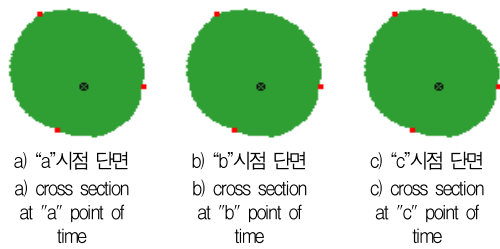


그림 15. 고정식 적외선 센서 측정 결과
Fig. 15. Measurement Result by Fixed Type IR Sensor

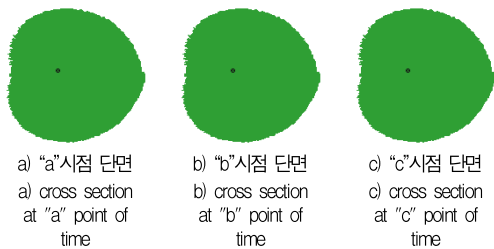


그림 16. 회전식 적외선 센서 측정 결과
Fig. 16. Measurement Result by Rotating Type IR Sensor

제안된 측정방법은 정상적인 식물 성장 측정이 이루어졌으나 일부 측정 구간에서 이전에 측정된 값보다 이후 측정값이 작게 나타나는 측정 오류가 발견된다. 이러한 측정 오류는 대상 작물 표면에 묻은 이물질이 적외선을 흡수하였거나 주변 환경에 따른 센서의 일시적 오동작으로 추정된다. 이러한 오류들은 작물의 성장 주기에 따른 모니터링에는 크게 영향을 주지 않지만 정확한 자료의 확보를 위하여 측정 데이터의 필터링 및 보정 기법을 적용한 개선이 필요하다.

다음으로 그림 15의 고정식 측정 방식과 그림 16의 회전식 적외선 센서 측정 방식의 측정 결과를 비교해보면, 회전식 측정 방식에서 식물의 주간 비대 형상이 더욱 세밀하게 생성되고, 성장 곡선도 이전에 측정된 값이 이후에 측정된 값보다 큰 값이 측정되는 측정 오류가 감소된 것을 볼 수 있다. 성장 측정 실험은 장치 설치 여건으로 단일 대상에서의 측정이 어려워 단일 대상에 의한 측정 방식별 비교는 할 수 없었다. 그래서 표 1과 같이 측정 대상별로 직접 측정 방식과 제안한 측정 방식별로 측정된 결과 중 10개의 데이터를 시간대별로 임의 추출하여 비교해 보았다. 표 1의 a)와 c)는 직접 측정 방식과 제안한 고정식 및 회전식 측정 방식에 대한 측정 데이터이며, b)와 d)는 식물 주간 들레 측정 결과를 방식별로 비교한 그래프이다.

표 1. 측정 결과 분석 (둘레: mm, 단면적: mm², 오차율: %)
Table 1. Analysis of the Measurement Results (Circumference: mm, Cross section: mm², Error rate: %)

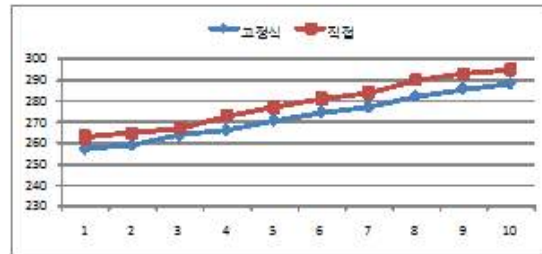
a) 직접 방식과 비접촉 고정 방식 측정 결과

a) Measurement Results of the Direct Type and Non-contact Fixed Type

측정 횟수	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
직접	둘레	263.0	265.0	267.0	273.0	277.0	281.0	284.0	290.0	293.0	295.0
	단면적	5504.3	5588.3	5673.0	5801.8	6105.9	6283.5	6418.4	6525	6631.6	6625.2
고정	둘레	257.4	259.1	263.9	266.2	270.9	274.6	277.1	282.2	285.7	288.3
	단면적	5274	5342.3	5520	5531.1	5539.9	6000.6	6110.3	6337.3	6455.5	6614.2
둘레 오차	-5.6	-5.9	-3.1	-6.8	-6.1	-6.4	-6.9	-7.8	-7.3	-6.7	
둘레 오차율	-2.2	-2.3	-1.2	-2.6	-2.3	-2.3	-2.5	-2.8	-2.6	-2.3	

b) 직접 방식과 비접촉 고정 방식 비교

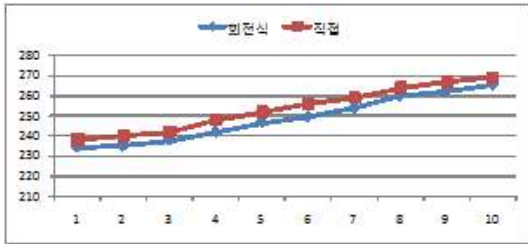
b) Comparison of the Direct Type and Non-contact Fixed Type



c) 직접 방식과 비접촉 회전 방식 측정 결과
c) Measurement Results of the Direct Type and Non-contact Rotary Type

측정 횟수		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
직접	둘레	238.0	240.0	242.0	243.0	252.0	256.0	259.0	264.0	267.0	269.0
	단면적	407.6	433.7	460.4	484.3	533.5	521.2	538.1	546.2	573.0	578.3
회전	둘레	234.4	235.1	237.7	241.8	246.5	249.3	253.9	259.8	262.4	265.7
	단면적	432.3	438.4	446.2	462.7	485.3	495.8	513.0	537.2	549.2	561.9
둘레오차		-3.6	-4.9	-4.3	-6.2	-5.5	-6.7	-5.1	-4.2	-4.6	-3.3
둘레 오차율		-1.5	-2.1	-1.8	-2.6	-2.2	-2.7	-2.0	-1.6	-1.8	-1.2

d) 직접 방식과 비접촉 회전 방식 비교
d) Comparison of the Direct Type and Non-contact Rotary Type



제안한 시스템의 고정식과 회전식 측정 방법의 측정 성능은 기존의 직접 측정 방법과 비교하여 측정 오차 및 측정 오류가 일부 발생하였으나 표 1과 같이 식물 주간의 둘레 측정에서 매우 적은 오차를 보여주고 있으며, 기존의 직접 측정 방식이 측정자의 측정 오류나 측정 대상의 불규칙 표면에 대한 측정이 어려웠던 것을 고려하면 제안한 측정 방식이 측정 대상의 불규칙 표면까지 정밀하게 측정이 가능하여 오차와는 무관하게 더 정확한 측정 결과를 보여주고 있다고 볼 수 있다.

다음으로 표 2에서는 기존 방식과 제안한 방식을 비교 항목별로 정성적인 분석을 하였다. 제안한 방식은 기존 방식보다 대부분의 항목에서 우수한 것으로 나타났다. 특히 제안한 시스템은 불규칙 표면의 측정, 비대 형상 표출, 원격 실시간 측정 및 측정 정보 제공에서는 기존 방식에서는 제공할 수 없었던 기능을 가능하게 하였다.

표 2 기존 방식과 제안한 방식의 정성적 비교
Table 2. Qualitative Analysis of the Existing Method and Proposed Method

비교 항목	기존 방식		제안한 방식	
	직접식	접촉식	고정식	회전식
불규칙 표면 측정	불가능	불가능	일부	가능
원격 측정제어	불가능	일부	가능	가능
실시간 측정	불가능	일부	가능	가능
측정 비용	많음	보통	적음	적음

비교 항목	기존 방식		제안한 방식	
	직접식	접촉식	고정식	회전식
측정 오차	많음	보통	보통	적음
비대 형상 측정	불가능	불가능	가능	가능
초기 설치 비용	적음	많음	많음	많음
생장 피해 여부	많음	보통	적음	적음
운영 비용	적음	많음	많음	많음
정보 분석/제공	없음	일부	가능	가능

V. 결론

본 논문에서는 기존 식물 성장 측정의 문제점을 해소하기 위하여 비접촉 적외선 센서를 이용한 USN 기술 기반의 실시간 비접촉 식물 비대 성장 측정 시스템(PGMS)을 제안하였다. 그리고 제안한 시스템을 구현하고 실제로 현장에 설치하여 식물 주간 비대 성장 측정 실험 및 성능 평가를 통하여 식물 성장 측정 분야에서 비접촉 센서와 USN 기술의 적용 가능성을 확인하였다. 제안한 시스템은 기존 측정 방식에서는 어려웠던 실시간 원격 자동 측정, 실시간 분석 및 주간 비대 형상 표출을 가능하게 하여 새로운 식물 성장 측정 기술을 확보할 수 있게 되었다.

그러나 제안한 시스템의 기능성, 안정성 및 정확도 등을 고려해 볼 때 지속적으로 개선해야 한다. 먼저 시스템 내부의 측정 장치 부분에서는 회전식 측정 장치의 편이성 및 내구성에 대한 개선이 필요하다. 그리고 측정 오류의 최소화를 위하여 초음파, CCD, 레이저 센서를 위한 측정 실험이 필요하며, 시스템 보안을 위하여 USN 보안기술이 적용된 시스템 설계와 측정 정확도 향상을 위한 측정 및 생성 알고리즘(직경 및 둘레 측정, 단면적 계산, 비대 형상 표출 등의 이미지 처리)의 개선 및 최적화가 필요하다. 시스템 외부로는 제안한 시스템에 성장 방향 및 위치 정보 시스템(GPS)과 자동 기상정보 시스템(AWS) 등을 추가하여 실시간 식물 성장 모델 분석 시스템으로의 발전이 필요하다.

참고문헌

- [1] M. Weiser, "Hot Topics : Ubiquitous Computing," IEEE Computer, 1993.
- [2] 남상엽, "유비쿼터스 센서 네트워크 구조 및 응용," 상학당, 2006년.
- [3] 임준택, 이변우, 윤진일, 신진철, 신재훈, 이충근, 문경환,

이강오, “작물 생육 모델링의 이론과 실제” 경진문화사, 2009년 11월.

- [4] 유병규, “디지털 농업 시대” 삼성경제연구소, 2007년.
- [5] 김석권, 이경재, 배상원, 이광수, 김현섭, “비대 성장 측정에 의한 잣나무 임분의 간벌방법별 직경 성장,” 한국산림자원측정학회 논문지, 제 7권, 제 1호, 10-16쪽, 2004년.
- [6] 송철철, 이우균, 함보영, “수간석해를 위한 원판의 단면적 산출방법,” 한국산림측정학회 논문지, 제 3권, 제 1호, 53-62쪽, 2000년.
- [7] 황재홍, “Forest Information 기후 변화와 산림3 : 탄소 저장 증진을 위한 산림경영,” 월간 산림, 82-86쪽, 2009년 12월.
- [8] Hatou, K., H. Nonami, T. Fukuyama, and Y. Hashimoto, “Physiological diagnosis of tomato plants grown in hydroponic by using image analysis,” Acta Horticultrae. No. 399, pp.225-232, 1995.
- [9] 유성열, “유비쿼터스 기술 기반의 지능형 교통시설물관리 서비스를 위한 비즈니스 모델,” 한국컴퓨터정보학회 논문지, 제 14권, 제 12호, 41-53쪽, 2009년 12월.
- [10] 권정일, 노영섭, “센서 네트워크를 이용한 대피경로 안내 시스템,” 한국컴퓨터정보학회 논문지, 제 13권, 제 5호, 237-246쪽, 2008년 9월.
- [11] 변증남, 박광현, 방원철, “지능형 주거 시스템을 위한 센서 기술,” 월간자동화기술, 88-95쪽, 2002년 11월.
- [12] 이정구, 이종대, “정밀 측정공학” 기전연구소, 2008년 1월.
- [13] 이해연, “심장 자기공명영상의 에지 분류 및 영역 확장 기법을 통한 자동 좌심실 분할 알고리즘,” 정보처리학회 논문지, 제 15-B권, 제 6호, 2008년 12월.

저자 소개



석진원

1990년: 금오공과대학교 공학사
 1996년: 국방대학원 국방과학석사
 2004년: 경희대학교 박사과정수료
 현재: (주)비전앤바이오테크 이사
 관심분야: RFID/USN, 시뮬레이션, 그리드 네트워크



유인태

1987년: 연세대학교 공학사
 1989년: 연세대학교 공학석사
 1994년: 연세대학교 공학박사
 1997년: The Univ. of Tokyo (Ph.D.)
 현재: 경희대학교 전자정보대학 컴퓨터공학과 교수
 관심분야: 인터넷 기술, IPTV, 멀티미디어 통신