

식물측정 알고리즘을 이용한 식물성장 모니터링 시스템의 개발에 관한 연구

김영춘¹, 조문택^{2*}, 주해종³

¹국립공주대학교 기계자동차공학부, ²대원대학교 전기전자계열, ³동국대학교 공과대학

A Study on the Development of Plant Growth Monitoring System Using Plant Measurement Algorithms

Young-Choon Kim¹, Moon-Taek Cho^{2*} and Hae-Jong Joo³

¹Machine Car Engineering, Kongju National University

²Electrical & Electronics Engineering, Daewon University College

³College of Engineering, Dongguk University

요 약 식물공장에서는 대부분의 시스템이 자동화되어 있지만 식물의 성장 상태는 인력에 의해 수동적으로 확인해야 하는 실정이다. 이에 본 논문에서는 두 대의 카메라를 이용하여 식물의 발육상태를 측정하는 방법에 대해 연구하였다. 식물측정 알고리즘을 이용하면 카메라와 간단한 시스템만으로 저렴하면서 신뢰할 만한 데이터를 얻을 수 있는 시스템을 구축할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 식물 공장 내에서 성장하는 식물의 크기를 효율적으로 측정할 수 있는 모니터링 시스템을 개발하였다. 이 시스템을 활용함으로써 식물의 크기 측정 데이터를 유지 및 관리하는데 소요되는 시간을 절약하고 그에 따른 경비를 절감할 수 있으며, 식물공장 관리자의 작업효율을 향상시키는 효과를 얻을 수 있었고, 실제 시스템을 구축하여 제안한 시스템의 성능을 확인하였다.

Abstract In plants, factory automation systems, although most of the growth of plants by the state workforce is the restaurant to check manually. In this paper, we use two cameras to measure the plant's developmental state has been studied. Plant measurement algorithm, the camera only affordable, reliable and simple system to get the data you can build a system.

In this paper, the size of plants that plant growth in the plant to measure the efficient monitoring system has been developed. By utilizing this system, the size of the plant measured data required to maintain and manage accordingly, saving time and reducing costs and improving operational efficiency of plants, plant managers, the effect could be obtained by building the actual system the performance of the proposed system was confirmed.

Key Words : Plants measurement algorithm, Monitoring, Camera

1. 서론

최근 식물재배를 농촌 환경이 아닌 도심 속에 구축함으로써 환경개선은 물론 농촌에서 도심으로의 식자재 물류비용을 감소시켜 온실가스 배출량을 최소화하려는 움직임이 일어나는 추세이다. 아울러 집중호우, 초대형 태

풍, 가뭄 등의 기상이변 및 심각한 기후변화로 노지 재배가 타격을 입는 경우가 늘고 있어 식물의 가격이 급격히 변동하는 리스크가 발생하고 있으며, 이에 따라 기후 변화로 인한 식량의 안정적인 확보 차원에서 농업의 피해 없이 1년 내내 지속적으로 작물을 재배할 수 있는 식물공장이 주목받고 있다.

*Corresponding Author : Moon-Taek Cho

Tel: +82-10-5414-7389 email: mtcho@mail.daewon.ac.kr

접수일 12년 03월 29일

수정일 12년 05월 08일

계재확정일 12년 06월 07일

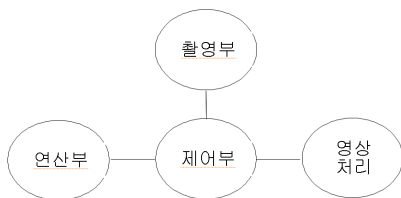
식물공장은 도시 대기 중에 급증하고 있는 이산화탄소를 포집하여 식물공장에 공급할 경우 도시의 온실가스를 절감할 수 있다. 또한, 식물공장은 온실가스 절감의 대표적인 기술인 LED를 광원으로 활용하므로 에너지를 절감할 수 있다.

한편, 식물공장 내에 지속적으로 성장하는 식물을 관리하기 위해서 식물의 크기를 확인하는 과정이 필수적으로 수행되었다. 그러나, 식물공장 내의 식물의 크기를 측정하려면 관리자가 수작업으로 각 식물의 크기를 측정하고 데이터를 관리하여야 하는 불편함이 있었다. 따라서, 대량으로 식물을 재배 및 관리하는 식물공장 내에서 효과적으로 식물의 성장을 모니터링할 수 있는 시스템이 요구되고 있다.[4][5]

본 논문은 상술한 문제점을 해결하기 위한 것으로, 식물 공장 내에서 성장 하는 식물의 크기를 효율적으로 측정할 수 있는 모니터링 시스템을 개발하였다. 이 시스템을 활용함으로써 식물의 크기 측정 데이터를 유지 및 관리하는데 소요되는 시간을 절약하고 그에 따른 경비를 절감할 수 있으며, 식물 공장 관리자의 작업 효율을 향상시키는 효과를 얻을 수 있었고, 실제 시스템을 구축하여 제안한 시스템의 성능을 확인하였다.

2. 식물성장 모니터링 시스템

그림 1은 식물성장 모니터링 시스템의 구성을 나타낸 것으로 촬영부, 연산부, 제어부, 영상처리부의 4부분으로 구성된다.

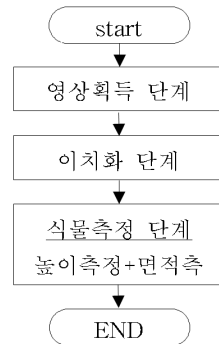


[그림 1] 모니터링 시스템의 구성
[Fig. 1] Configuration of the monitoring system

촬영부는 식물의 측면에서 식물의 높이를 촬영하는 제1카메라부 및 식물의 상부에서 식물의 면적을 촬영하는 제2카메라부로 구성되며, 식물공장 내에서 재배 중인 식물의 화상을 촬영하여 화상 데이터를 생성한다. 영상처리부는 촬영부에서 생성된 화상 데이터의 노이즈를 제거하고, 화상 데이터로부터 식물의 영역을 구분하여 윤곽선을 추출한다. 제어부는 영상처리부에서 추출된 식물의 영상을 분석하며, 촬영부의 촬영 각도로 인해 왜곡된 식물의

화상 데이터를 보정하여 식물의 실제 크기를 측정한다. 연산부는 식물의 정식포트 위치 좌표 및 식물 영역의 윤곽선의 꼭지점 좌표를 잇는 제1직선과 윤곽선의 높이 좌표 및 제1카메라의 위치 좌표를 잇는 제2직선간의 교차점을 계산한다.

본 시스템에서 식물의 높이와 면적을 측정하기 위한 프로세스의 과정을 그림 2에 나타냈다. 영상획득 단계는 제1카메라부와 제2카메라부로 구성된 촬영부에서 실제 대상을 실시간으로 식물을 촬영하고, 그에 따른 화상 데이터를 생성한다. 이치화 단계는 그림 1의 영상처리부에서 담당하며, 화상 데이터의 노이즈를 제거하고 상기 화상 데이터로부터 식물의 영역을 구분하여 윤곽선을 추출한다. 다음의 식물 측정 단계는 크게 높이측정 단계와 면적측정 단계로 구성되어 있으며 촬영부를 통해 획득된 식물의 화상 데이터는 카메라의 제한된 촬영 각도로 인해 식물의 크기가 왜곡되어 있으므로 정확한 식물의 크기 및 면적을 산출할 수 없다. 따라서, 본 단계에서는 제어부가 연산부를 제어하여 식물의 실제 높이 및 면적을 측정하는 과정이 진행된다.



[그림 2] 시스템 처리과정
[Fig. 2] Step of system process

3. 식물측정 알고리즘

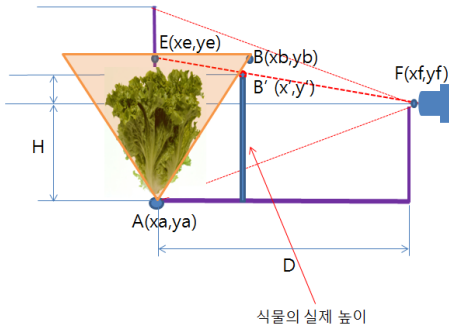
3.1 식물의 최적화 높이 특징

왜곡된 식물화상에서의 식물크기 측정을 위해서 아래의 4가지 가정을 하였다.

- 가정 1:식물은 원뿔형으로 성장
- 가정 2:카메라 픽셀 간격 비율일정
- 가정 3:식물 중심에서 카메라까지의 거리 측정값=D
- 가정 4:카메라 최대각 으로 촬영시 높이 측정값=2H

이러한 가정으로 거리 H와 픽셀 수를 비례하여 높이 x를 구할 수 있으며, 동일 픽셀비율에 따라 거리 y도 구할 수 있다.

그림 1의 연산부는 그림 3의 식물의 정식포트 위치 좌표 및 윤곽선의 꼭지점 좌표를 잇는 제1직선과 윤곽선의 높이 좌표 및 제1카메라부의 위치좌표를 잇는 제2직선 간의 교차점을 계산하고, 계산된 교차점의 Y좌표값을 통해 식물의 높이를 계산한다.



[그림 3] 식물 최적화 높이측정 방법
[Fig. 3] Optimization methods of plant height measurement

제1카메라에 의해 촬영된 식물의 영상은 T_1 으로 표현된다. T_1 은 제1카메라부의 제한된 촬영각도로 인해 크기가 왜곡된 식물의 영상이므로 제1카메라부 및 식물의 정식포트의 위치 및 제1카메라부의 촬영각도를 고려한 연산과정을 통해 실제의 식물 높이를 나타내는 $B'(X'Y')$ 를 나타낸다.

이 때, T_1 에서 $A(X_a, Y_a)$ 와 $B(X_b, Y_b)$ 를 잇는 직선이 제1직선이며, $E(X_e, Y_e)$ 와 $F(X_f, Y_f)$ 를 잇는 직선이 제2직선이다.

연산부는 이러한 식을 통해 제1직선 및 제2직선의 교차점인 $B'(X'Y')$ 를 도출하며, 도출된 $B'(X'Y')$ 의 Y'좌표를 통해 식물의 실제 높이를 확인할 수 있다.

제1직선상의 임의의 한 좌표를 $P(t)$, 식물의 정식포트의 좌표를 A, 식물 윤곽선의 높이의 수평직선과 식물의 퍼짐각의 가상직선과 만나는 꼭지점 좌표를 B, 매개변수를 t라 할 때, 제1직선의 방정식은 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P(t) = (1-t)A + tB \quad (1)$$

또한, 제2직선상의 임의의 한 좌표를 $P(s)$, 식물의 정식포트로부터 수직인 직선이 식물 윤곽선만나는 지점의

좌표를 E, 촬영부의 좌표를 F, 매개변수를 s라 할 때, 제2직선의 방정식은 식 (2)과 같이 된다.

$$P(s) = (1-s)E + tF \quad (2)$$

$P(t) = P(s)$ 이므로 식 (3)과 같이 쓸 수 있다.

$$(1-t)A + tB = (1-s)E + tF \quad (3)$$

점 X, Y로 분리하면 식 (4)와 식 (5)가 된다.

$$X_a + t(X_b - X_a) = X_e + s(X_f - X_e) \quad (4)$$

$$Y_a + t(Y_b - Y_a) = Y_e + s(Y_f - Y_e) \quad (5)$$

식 (4)와 식 (5)를 t, s로 분리하면 식 (6)과 식 (7)과 같이 된다.

$$t = \frac{(X_f - X_e)(Y_a - Y_e) - (Y_f - Y_e)(X_a - X_e)}{(Y_f - Y_e)(X_b - X_a) - (X_f - X_e)(Y_b - Y_a)} \quad (6)$$

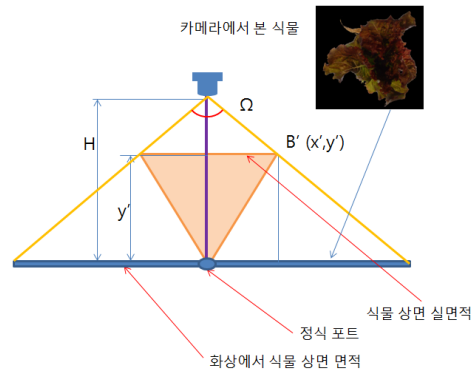
$$s = \frac{(X_b - X_a)(Y_a - Y_e) - (Y_b - Y_a)(X_a - X_e)}{(Y_f - Y_e)(X_b - X_a) - (X_f - X_e)(Y_b - Y_a)} \quad (7)$$

식 (6)과 식 (7)에 의해 실제의 식물 높이를 나타내는 $B'(X'Y')$ 를 구하면 식 (8)과 식 (9)가 된다.

$$X' = X_a + s(X_b - X_a) \quad (8)$$

$$Y' = Y_a + s(Y_b - Y_a) \quad (9)$$

3.2 식물의 최적화 면적 측정



[그림 4] 식물 최적화 넓이측정
[Fig. 4] Optimization methods of plant width measurements

그림 4는 식물 최적화 면적측정의 개념에 대해 나타내고 있다. 그림 1의 연산부는 영상처리부에서 추출한 식물의 윤곽선과 화상면적을 구성하는 꼭지점의 개수를 N이라 하면 식물의 화상면적 Area는 식 (10)과 같이 구할 수 있다.

$$\text{Area} = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} (X_i Y_{i+1} - X_{i+1} Y_i) \quad (10)$$

A : B의 비율에 따라 실제 면적은 제2카메라부 및 식물의 정식포트 위치 좌표간의 거리값을 H, 제1직선 및 제2직선의 교차점의 Y좌표값을 Y', 식물의 실제면적을 R이라 하면 식물의 실제면적은 식 (11)과 나타낼 수 있다.

$$H : y' = \text{화상면적} : \text{실면적} = \text{Area} : R \quad (11)$$

4. 측정실험

본 논문에서 제안한 식물의 최적화 높이 및 면적의 계산에 대한 시스템의 타당성을 알아보기 위하여 시스템을 구축하고, 높이 및 면적의 다양한 가변을 위해 상추모양의 식물모형을 대상으로 측정 실험을 수행하여 실제 크기와 비교검토 하였다.

측정실험에 사용한 기본 조건은 표 1에 나타내었다. 실제 식물의 높이와 면적은 모눈종이를 이용하여 측정하였다.

[표 1] 측정 기본조건

[Table 1] Basic conditions of plants measure

항목	단위	값
식물의 높이	mm	25 ~ 120
식물의 면적	mm ²	2,000 ~ 4,000
상단카메라 높이	mm	4,050
측면카메라 거리	mm	2,150

식물의 최적화 높이측정을 수행한 결과를 표 2에 나타내었다. 식물모형의 높이는 25[mm], 50[mm], 75[mm], 100[mm], 120[mm]의 5가지 경우로 가변하였고, 넓이는 4,000[mm²]로 고정한 상태로 각각 측정실험을 수행하였다.

[표 2] 최적화 높이측정 결과 1

[Table 2] Result of optimizing a height measurement 1

항목	실측 높이	카메라 측정높이	높이 오차율
1	25[mm]	25.0[mm]	0.00%
2	50[mm]	47.0[mm]	-6.00%
3	75[mm]	77.5[mm]	3.33%
4	100[mm]	96.0[mm]	-4.00%
5	120[mm]	120.9[mm]	0.75%

표 3은 식물의 면적을 가변하여 측정 실험을 수행한 결과를 나타내고 있다. 높이는 100[mm]로 고정하고, 넓이를 2,000[mm²], 2,500[mm²], 3,000[mm²], 3,500[mm²], 4,000[mm²]로 가변하면서 측정실험을 수행하였다.

[표 3] 최적화 높이측정 결과 2

[Table 3] Result of optimizing a height measurement 2

항목	실측 넓이	카메라 측정넓이	넓이 오차율
1	2,500[mm ²]	2013.6[mm ²]	0.68%
2	2,500[mm ²]	2570.0[mm ²]	2.80%
3	3,000[mm ²]	2937.3[mm ²]	-2.09%
4	3,500[mm ²]	3556.7[mm ²]	1.62%
5	4,000[mm ²]	4114.0[mm ²]	2.85%

결과에서 보는바와 같이 실제 높이와 카메라 측정높이 사이에 ±6%의 오차를 나타내고 있다. 이 오차에는 실측 높이를 측정할 때 모눈종이를 이용하여 측정하였으므로 값 자체에 오차를 포함하고 있으므로 실제 식물의 성장을 판단하는데 큰 무리가 없는 값을 얻을 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 식물공장 등에서 사용할 수 있도록 카메라를 이용하여 식물의 성장을 측정하는 시스템에 대해 제안하고 실험을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

첫째, 제안한 식물성장 모니터링 시스템을 이용하여 식물의 높이와 면적을 측정할 결과 높이는 ±6%, 면적은 ±2.85% 이내의 측정 정밀도를 얻을 수 있었으며, 둘째, 제안한 시스템은 두 대의 저해상도 카메라와 간단한 제어 프로그램으로 전체 시스템을 저렴하게 구축할 수 있었고, 셋째, 식물의 크기에 대한 측정 데이터를 유지 관리하는데 소요되는 시간과 노력을 절약하여 경비를 절감할

수 있었다.

나아가 본 시스템의 결과 값을 조명, 수분, 습도 등의 식물관리 센서와 연계하면 식물공장의 완전 자동화를 구현할 수 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] Analog Devices, "12-Bit R/D Converter with Reference Oscillator.", Analog Devices, 2003.
- [2] Analog Devices, "Using the ADSP-2100 Family Volume 1." Analog Devices, Rev 1.0, pp 51~66, 1990.
- [3] Texas Instruments, "TMS320F240 DSP Solution for Obtaining Resolver Angular Position and Speed.", Application Report SPRA605, February 2000.
- [4] Chung S, Kim HM, and Kim SD, "Formulation of stable Bacillus subtilis AH18 against temperature fluctuation with highly heat-resistant endospores and micropore inorganic carriers", Appl. Microbiol Biotechnol. 76, 217~224, 2007.
- [5] Idris EE, Iglesias DJ, Talon M, and Borriss R, "Tryptophan-dependent production of indole-3-acetic acid(IAA) affects level of plant growth promotion", Bacillus amyloliquefaciens FZB42. Mol. Plant-Microbe Interact 20, 619~626, 2007, 2001.
- [6] George Ellis, Jens Ohno Krah, "Observer-based Resolver Conversion in Industrial Servo Systems.", PCIM 2001 Conference, June 21, 2001.
- [7] Reza Hoseinnezhad, Peter Harding, "A Novel Hybrid Angle Tracking Observer for Resolver to Digital Conversion.", 44th IEEE Conference on Decision & Control, and the European Control Conference, pp7020~7025, December 2005.

김 영 춘(Young-Choon Kim)

[종신회원]



- 1989년 8월 : 명지대학교 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 2월 : 명지대학교 전기공학과(공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

전기자동차전력변환, 전장제어, 하이브리드 자동차

조 문 택(Moon-Taek Cho)

[종신회원]



- 1988년 2월 : 명지대학교 전기공학과 (공학사)
- 1990년 2월 : 명지대학교 전기공학과 (공학석사)
- 1999년 2월 : 명지대학교 전기공학과(공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 대원대학교 전기전자계열 부교수

<관심분야>

신재생에너지, 시뮬레이션

주 해 종(Hae-Jong Joo)

[정회원]



- 2008년 6월 : (美)Cumberland University (컴퓨터교육학박사)
- 2010년 2월 : 명지대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)
- 1997년 3월 ~ 2005년 2월 : 대원대학 멀티미디어과 조교수
- 2010년 1월 ~ 현재 : 동국대학교 산학전담교수

<관심분야>

데이터엔지니어링, IT융합기술, 유비쿼터스 컴퓨팅