

영상정보를 이용한 자동화 온실에서의 작물 성장 상태 파악에 관한 연구

Identification of Crop Growth Stage by Image Processing for Greenhouse Automation

김 기영*, 정희원, G.Y. Kim,	류 관희*, 정희원, K.H. Ryu,	한 재성*, 정희원, J. S. Han,	전 성필*, 정희원, S. P. Chun
-----------------------------	-----------------------------	------------------------------	------------------------------

1. 서 론

고품질의 안전한 농산물을 소비자의 수요에 따라 계획적으로 생산할 수 있는 온실 자동화 시스템에 관한 연구가 많이 수행되고 있다. 이러한 온실 자동화 시스템에서는 외부 환경의 영향을 줄이고 작물에 필요한 성장 환경을 제공하기 위하여 제어 장치를 이용하여 이산화탄소의 농도, 온도, 광량, 배양액의 양과 농도 등과 같은 환경 요소들을 자동으로 조절하고 있다.

작물은 주위의 환경을 민감하게 반영하기 때문에, 온실 환경 제어 장치를 이용하여 온실 환경을 조절할 때 어느 시점에서의 작물의 성장 상태에 관한 정보를 파악하고 이를 온실 환경 제어에 반영한다면 온실 환경 제어를 작물 성장에 알맞게 보다 효율적으로 조절할 수 있을 것이다.

작물의 성장 상태를 반영한 온실 내 환경제어를 이루기 위해서는 재배중인 작물의 상품성을 떨어뜨리지 않는 방법으로 작물 성장에 관한 정보를 획득하여야 한다. 작물 성장에 방해가 되지 않게 비접촉, 비파괴적으로 작물의 성장을 측정하는 방법 중의 하나로 영상 처리 기술을 들 수 있다. 영상 처리 기술은 몇몇 연구자들에 의하여 식물 형상의 측정, 개별 작물의 성장도 측정, 병해의 감시 등에 성공적으로 이용되어 왔다. 하지만 아직까지 작물 성장과 같은 성장 상태에 관한 정보를 연속적으로 측정하여 온실 환경 제어에 이용한 연구는 찾아 보기 힘들다. 영상 처리 기술을 바탕으로 한 작물 성장상태 측정장치와 이로부터 얻은 작물 성장에 관한 정보를 참고하여 온실 환경을 제어하는 온실환경 제어장치를 작물의 온실 재배에 이용한다면 보다 질 높은 작물을 효율적으로 생산할 수 있으리라 판단된다.

본 연구에서는 작물의 성장 상태에 따라 온실 내의 환경을 효율적으로 제어할 수 있는 종합적인 온실 제어시스템 개발의 일환으로, 영상처리를 이용하여 비파괴적으로 작물 성장을

* 서울대학교 생물자원공학부 농업기계전공

측정할 수 있는 장치와 이 장치로부터 얻어진 작물 성장 정보를 이용하여 양액 공급을 제어해 줄 수 있는 양액 조제 공급 장치를 개발하고자 한다. 연구의 구체적인 목적은 상추의 성장 상태를 영상 처리를 이용하여 비파괴적으로 측정하고 이 정보를 이용하여 서로 다른 성장 상태의 작물 군락에 적절한 양액을 공급해 줄 수 있는 양액 조제 공급 장치를 개발하는데 있다.

2. 재료 및 방법

본 연구에서는 작물 군락의 영상 정보를 분석하여 작물 성장을 나타내는 작물의 중량을 예측하는 작물 생육상태 측정장치를 개발하고, 이 장치로부터 측정된 작물의 성장에 관한 정보를 작물 군락에 따라 각기 다른 농도의 양액을 공급할 수 있는 다구역 양액 조제 장치의 제어에 이용할 수 있도록 하였다. 개발된 작물 생육상태 측정장치의 성능 평가는 재배가 용이하고 생육기간이 짧은 반결구 상추(적측면)를 공시재료로 사용하여 수행하였다.

가. 작물 성장상태 측정장치

작물의 성장상태 측정장치는 카메라 이동 및 제어부, 영상처리 및 분석부, 성장 측정부로 이루어진다. 카메라 이동장치는 CCD 카메라(JVC, TK-1270U)를 영상을 획득할 작물 군락으로 이동시키는 역할을 하는 것으로 행정이 1m인 선형 모터를 사용하였으며, 알루미늄 합금 지지대를 이용하여 작물 재배조의 위쪽에 설치하였다. CCD 카메라로부터 획득된 관심 대상인 작물 군락의 아날로그 영상은 영상처리 및 분석부를 구성하는 주 컴퓨터(IBM Compatible PC, Pentium 133MHz)에 설치된 영상처리보드(Matrox, Meteor)에 의하여 가로 640 pixel 세로 480 pixel 의 해상도와 256단계의 밝기 정보를 갖는 다치 영상으로 변환된다. 디지털 형태로 변환된 작물 군락의 영상은 영상 처리 및 분석 과정을 거쳐 성장 측

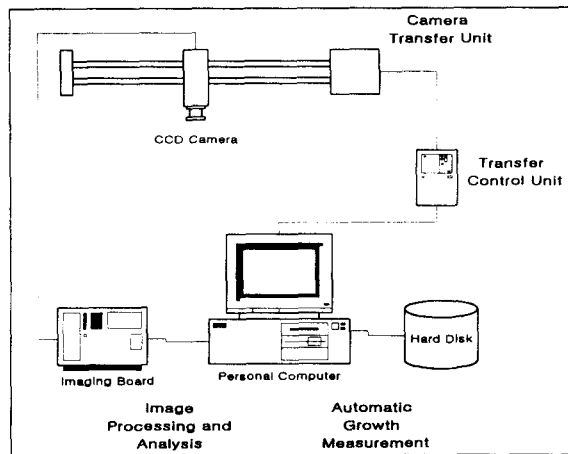


Fig 1. Schematic diagram of growth measuring system

정부에서 작물 성장에 관한 정보를 추출하는데 이용된다. 그림 1에 작물 성장 상태 측정 장치의 구성도를 나타 내었다.

나. 영상처리를 이용한 성장상태 자동 측정

작물의 성장 상태는 획득된 작물 군락의 영상으로부터 자동으로 측정된다. 그림 2에 나타 낸 흐름도에서와 같이 영상처리보드에 의해 디지털화된 작물 군락의 영상은 우선 low-pass 필터를 이용한 전처리 과정을 통하여 잡음이 제거된다. 영상 잡음이 제거된 후 밝기 단계에 따른 화소수를 나타내는 히스토그램을 분석하여 작물과 배경을 구분하는 경계 밝기값을 찾아 내고 이 경계값을 이용하여 배경은 회계, 작물은 검게 나타나는 이치화 영상으로 변환한

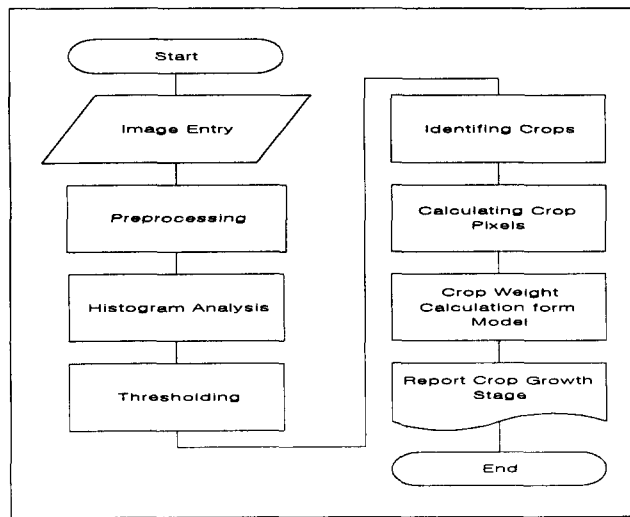


Fig 2. Flow chart of automatic measurement of crop growth by image processing

다. 이치화 영상으로부터 작물을 나타내는 화소의 수를 세고, 이 화소수와 측도 설정에서 밝혀진 화소의 크기와 실제 넓이 단위 사이의 관계($4.9 \text{ mm}^2/\text{pixel}$)를 이용하여 작물 군락의 평균 엽면적을 측정한다. 최종적으로 이렇게 측정된 평균 엽면적을 작물군락의 엽면적과 생체중과의 관계를 이용하여 작물의 성장을 대표하는 생체중으로 변환한다.

다. 양액 조제 공급 제어장치

개발된 성장상태 측정장치로부터 얻어진 작물에 관한 정보를 반영하여 작물의 성장 단계에 알맞은 농도의 양액을 공급할 수 있도록 그림 3과 같은 양액 조제 공급 제어장치를 제작하였다. 양액 제어장치는 DFT방식의 재배장치에 공급되는 양액의 EC를 작물 성장상태에 따라 제어한다. 퍼스널 컴퓨터에서 작물의 성장상태에 따라 양액의 EC 설정값을 정한 뒤

이 값을 RS232C 통신을 통해 양액 조제 공급 장치의 제어기에 전달하면 제어기는 설정값과 현재 측정된 EC 값을 비교하여 솔레노이드 밸브나 공급 펌프와 같은 작동기를 구동시킨다. 양액 조제 공급 장치의 제어기로는 Z-World 사의 Little Star Controller를 사용하였다.

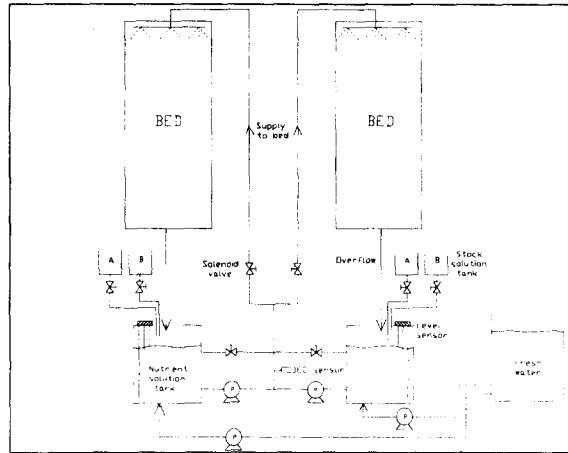


Fig. 3. Schematic diagram of the nutrient-solution control system

라. 연구방법

상추의 성장상태를 나타내는 생체중을 상추 군락의 영상 정보로부터 예측하기 위하여, 상추 영상의 분석을 통해 측정된 상추 군락의 평균 엽면적과 파괴적으로 측정된 상추의 중량 사이의 관계를 규정짓는 모델을 상추 재배 실험을 통하여 구명하였다. 실험은 본 연구를 위하여 제작되어 유리온실 내에 설치된 재배장치를 이용하여 수행하였다. 재배장치의 재배판은 흰색 스티로폼을 사용함으로써 작물의 영상으로부터 작물과 배지를 쉽고 명확하게 구분할 수 있게 하였다. 상추 군락의 엽면적은 작물재배장치 위쪽에 설치한 CCD 카메라로부터 획득된 상방향 영상에서 상추를 나타내는 총화소수를 세고 이 값에다 측도 설정에 의해 구해진 화소당 실제 면적비(cm^2/pixel)를 곱하여 계산하였다.

수립된 모델과 영상처리기법을 이용하여 상추의 중량을 연속적으로 예측할 수 있는지를 알아보기 위하여 1998년 3월에 또 다른 상추 재배 실험을 수행하였다. 실험 대상인 상추는 파종후 본엽이 2-3개 나왔을 때 재배장치에 재식 밀도가 $25\text{주}/\text{m}^2$ 이 되도록 정식하고, 정식 후 2주가 경과하였을 때부터 시작하여 정식 후 4주가 될 때까지 매 1-3일 마다 영상정보를 이용하여 상추군락의 엽면적을 측정함과 동시에 영상정보에 포함되지 않은 영역에서 6포기의 상추를 무작위로 골라 중량을 측정하였다. 재배기간중 온실내 온도는 $14\text{-}20\text{ }^\circ\text{C}$ 로 유지하였고, 양액의 전기전도도(EC)는 $1.5\text{mS}/\text{cm}$, pH는 약 6정도로 유지하였다.

3. 결과 및 고찰

영상처리를 이용하여 비파괴적이고 연속적으로 측정된 작물 성장상태에 관한 정보를 온실 환경의 보다 효율적인 제어에 이용하기 위하여 우선 영상처리장치를 이용하여 알아낸 작물 군락의 성장상태에 관한 정보와 같은 재배 조건하의 영상에 담기지 않은 부위의 상추에서 측정된 생체중과의 관계식을 수립하였다. 그림 4에서 보는 바와 같이 생체중과 작물군락 평균 엽면적 사이에는 식 (1)과 같은 선형적인 관계가 있었다. 2차 실험 결과 역시 그림 5에서와 같은 작물군락 엽면적 사이에 선형적인 관계가 성립하였다.

$$\text{생체중(g)} = 0.0432 \times \text{평균 엽면적(cm}^2\text{)} \quad (R^2 = 0.97) \quad (1)$$

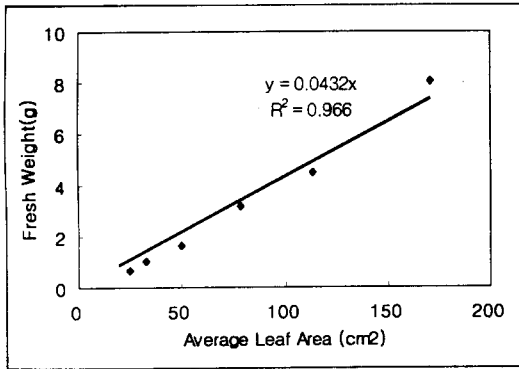


Fig. 4. The relationship between average leaf area and fresh weight of lettuce (experiment 1)

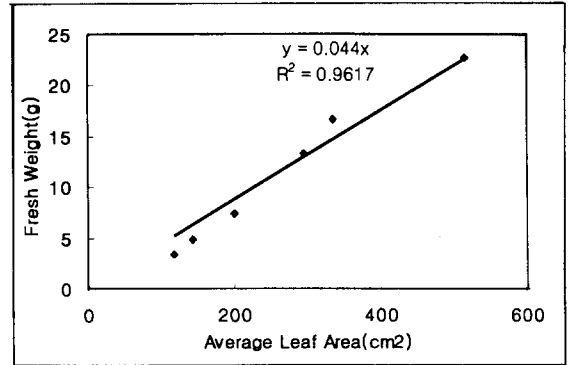


Fig. 5. The relationship between average leaf area and fresh weight of lettuce (experiment 2)

영상처리장치를 바탕으로한 성장상태 측정장치와 위 관계식을 이용하여 비파괴적으로 예측한 상추의 중량과 상추 군락에서 무작위로 선택하여 파괴적인 방법으로 측정된 생체중이 얼마나 잘 일치하는가를 비교한 실험 결과를 그림 6에 나타 내었다. 그림에서 보듯이 파괴적인 방법으로 측정된 상추의 생체중이 생육상태 측정장치를 이용하여 예측한 중량과 잘 일치하는 것을 알 수 있었다.

재배중인 상추의 성장상태를 위에서 개발한 측정장치를 이용하여 시간의 경과에 따른 성장 상태의 변화를 연속적으로 예측할 수 있으며, 연속적으로 측정된 성장상태에 관한 정보와 위에서 제작된 양액 공급 장치와 같은 온실 환경 제어장치를 이용하면 각 성장단계에 알맞은 환경을 효과적으로 공급해 줄 수 있어 온실 환경을 보다 효율적으로 제어할 수 있을 것으로 판단된다.

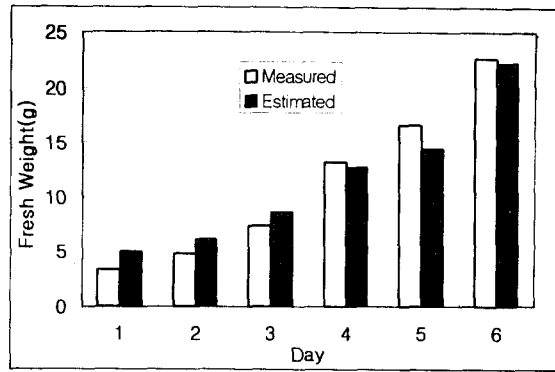


Fig. 6. A comparison of estimated fresh weight with measured fresh weight of lettuce

4. 결론

본 연구에서는 작물 성장상태를 비파괴적이고 연속적으로 측정하여 자동화 온실에서의 양액 조제 공급 장치 제어에 이용할 수 있도록 영상처리장치를 바탕으로한 작물 성장상태 측정장치를 개발하였다. 개발된 작물 성장상태 측정시스템은 칼라 CCD 카메라(JVC, TK-1270U)와 프레임그래버(Matrox, Meteor), 카메라 이동 장치, 컴퓨터, 그리고 영상분석 및 자동 측정을 위한 영상분석 프로그램으로 구성되어 있다. 성장상태 측정장치를 평가하기 위하여 2회에 걸쳐 생육장치를 이용하여 상추재배 실험을 수행하였다. 첫 번째 실험으로부터 작물 군락의 엽면적으로 부터 상추의 생체중을 예측하는 모델을 수립하였고, 두 번째 실험을 통하여 이 모델과 측정장치를 이용하여 예측한 상추의 중량과 실측 중량과를 비교 평가하였다. 실험 결과 성장상태 측정장치는 최소한의 오차로 상추의 중량을 연속적으로 예측할 수 있어 온실 환경을 효율적으로 제어하는데 이용될 수 있으리라 판단되었다.

5. 참고문헌

1. 이 중환, 노 상하, 류 관희. 1996. 영상처리에 의한 식물체의 형상분석. 농업기계학회지 21(3):315-324
2. Hatou, K., H. Nonami, T. Fukuyama, and Y. Hashimoto. 1995. Physiological diagnosis of tomato plants grown in hydroponic culture by using image analysis. Acta Horticulturae. No. 399. p225-232.
3. Iwao, K. and T. Shibata. 1992. Development of an automatic plant growth monitoring system based on a personal computer. Acta Horticulturae. No. 319. p613-616.
4. Shimizu, H. and M. Yamazaki. 1992. Non-contact growth analysis using computer vision system. Acta Horticulturae. No. 319. p641-646.