

# 화상처리를 이용한 온실자동화 시스템의 식물성장도 측정<sup>+</sup> Crop Growth Measurements by Image Processing for Greenhouse Automation

김 기영\*, 류 관희\*  
정희원, 정희원  
G.Y. Kim, K.H. Ryu

## 1. 서 론

국민소득 향상으로 인한 청정채소 및 화훼류의 수요 증대에 따라 우리나라의 시설재배에 있어 첨단유리온실 보급이 확대되는 등 많은 발전이 이루어졌지만 그에 상응하는 기계화 및 자동화는 매우 미흡한 실정이다. 고품질의 안전한 농산물을 계절에 구애받지 않고 필요한 시간과 수요에 따라 계획적으로 생산하기 위해서는 온실 외부환경의 영향을 줄이고 작물에 따라 최적환경조건을 제공해 줄 수 있는 자동화된 청정채소생산 시스템의 개발이 필요하다.

청정채소생산 자동화시스템에 있어서 작물의 균일한 성장정도는 작물 수확량에 큰 영향을 미치는 중요한 요소다. 왜냐하면 수확할 단계에 이른 작물은 이웃한 작물의 성장 정도 차이와 상관없이 모두 함께 수확되므로 완전히 자라지 않은 작물이 많이 포함되어 있는 작물군을 수확할 경우 수확량 및 상품성이 떨어지기 때문이다.

작물 생육기간동안 성장정도를 균일하게 하기 위해서는 작물에 따라 적절한 성장환경을 공급해주어야 한다. 하지만 현재 보급된 시설재배 자동화 시스템은 주어진 설정값에 따라 온실 내의 여러 가지 환경 요소들 -이산화탄소 농도, 습도, 광량, 온도, 배양액의 양과 농도 등- 을 자동으로 조절할 뿐 작물의 성장 상태를 바탕으로한 온실 환경제어는 해주지 못하고 있는 실정이다.

작물의 성장 상태를 바탕으로 하여 온실내의 환경을 제어해 주기 위해서는 작물의 성장상태를 작물 성장에 방해가 되지 않는 방법으로 측정하여야 하는데 현재의 측정법은 작물에 영구적인 손상을 줄 뿐만 아니라 시간과 인적 자원을 많이 요구하고 있다. 기르고 있는 작물의 상품성을 떨어뜨리지 않고 효율적으로 온실 안의 환경을 작물 성장 상태에 바탕을 두고 제어하려면 비파괴적인 측정 방법의 개발이 시급하다.

비접촉, 비파괴적인 방법으로 작물의 성장 상태를 신속하게 측정하기 위하여 영상처리기술이 이용되어 왔다. 국내에서는 이 등(1996) 등이 영상처리장치를 이용하여 식물체의 형상

---

+ 한국과학재단의 박사후 연구 지원에 의하여 수행된 연구임

\* 서울대학교 생물자원공학부 농업기계전공

을 분석하는 연구를 하였으나 개별 식물의 형상을 측정하는 방법만을 다루었다. 국외의 연구로는 Shimizu와 Yamazaki(1992)가 영상처리를 이용하여 벼 잎의 길이 성장을 재는 알고리즘을 개발하였고, 양액재배시 토마토의 병해를 영상처리와 전문가시스템을 이용하여 판별하는 방법을 Hatou 등(1995)이 개발하였다. 식물성장 감시장치의 개념적인 구성을 Iwao와 Shibata(1992)가 제시하였는데 그들은 영상처리장치의 구성과 영상 신호의 흐름에 대한 간략한 원리만을 기술했을 뿐 장치의 실제 운용이나 실제 작물을 대상으로 한 검증 실험은 하지 않았다. 이처럼 기존에 수행된 이 분야의 연구들은 개별적인 작물의 측정이나 병해의 감시 등에 중점을 두었을 뿐 다수 작물의 성장을 비파괴적으로 측정하여 그 정보를 온실내 환경제어에 응용하고자 한 연구는 찾아 볼 수 없다.

이 연구에서는 작물의 성장 상태에 따라 온실 안의 환경을 제어할 수 있는 종합적인 온실 제어시스템의 개발을 위한 기초연구로서 화상처리를 이용한 비파괴적인 작물 성장상태 파악 방법을 개발하고자 한다. 연구의 구체적인 목적은 자동화된 온실 시스템에서 작물의 성장 상태를 화상처리기법을 이용하여 비파괴적으로 측정하는 방법을 개발하고 개발된 측정방법이 유효한지를 실증 실험을 통하여 검증하는데 있다.

## 2. 재료 및 방법

이 연구에서는 재배가 용이하고 생육기간이 짧은 반결구 상추(적측면)를 공시재료로 사용하여 영상처리에 의한 상추의 성장 상태를 측정하였다. 상추의 성장 특성을 화상처리기법으로 측정함과 동시에 몇몇 작물의 중량을 기존의 파괴적인 방법으로 측정하였다. 이렇게 파괴적인 방법으로 얻어진 작물의 중량과 화상처리기법을 사용하여 비파괴적으로 예측한 작물의 특성과의 사이에 존재하는 관계를 찾아내었다.

### 가. 작물 성장상태 측정 장치

#### 1) 영상처리장치

온실에서 작물 성장상태를 측정할 영상 처리 장치의 기본적인 구성은 온실내 작물 군락의 영상을 촬영할 칼라 CCD 카메라(JVC, TK-1270U)와 개별 작물의 영상을 획득하기 위한 칼라 CCD 카메라(Panasonic, GP-KS162), 칼라(NTSC) 또는 흑백(RS-170)의 아날로그 방식의 영상신호를 입력받아 최대 크기가 640×480인 디지털영상으로 변환하여 실시간으로 주컴퓨터로 전송하는 영상처리용 프레임그래버(Matrox, Meteor), 그리고 이 영상정보로부터 작물의 성장 정보를 분석하는 IBM 호환 퍼스널 컴퓨터(Samsung, Pentium 133MHz)와 영상 출력을 위한 14인치 컬러 모니터로 이루어진다.

작물영상의 획득과 저장은 프레임그래버와 함께 제공된 MIL-Lite (Matrox Imaging Library)라는 영상처리함수와 개발도구인 Visual C++ 5(MicroSoft, USA)를 이용하여 작성한 프로그램을 사용하여 수행하였다. 작물 영상의 분석은 Image-Pro Plus 2(Media Cybernetics, USA)를 사용하여 수행하였다.

### 가) 작물 군락 성장 상태 측정

작물 군락의 영상 자료는 그림 1에 나타난 것처럼 작물재배장치 위쪽에 설치한 CCD 카메라로부터 획득된다. 카메라는 재배판으로부터 1.1m 상부에, 그리고 재배판 너비부의 중앙에 설치하여 작물 군락의 엽면적비를 측정할 수 있도록 하였다. 흰색 스티로폼을 배지로 사용하였기 때문에 획득된 영상에서 검은 물체로 나타나는 작물과 흰색의 배지 사이에 충분한 명암이 있어 특별한 전처리가 없이도 작물과 배지를 쉽게 구분할 수 있었다. 또한 보조 조명 장치를 사용하지 않은 자연광 아래에서 획득한 영상에서도 작물과 배지를 명확하게 구분할 수 있었다. 획득된 작물 영상은 영상처리보드를 장착한 퍼스널 컴퓨터로 전송되고 이 영상처리보드에 의해 가로 640 pixel 세로 480 pixel의 해상도와 256 단계의 밝기 정보를 갖는 디지털 영상으로 변환된 뒤 영상처리용 소프트웨어에 의해 분석되었다.

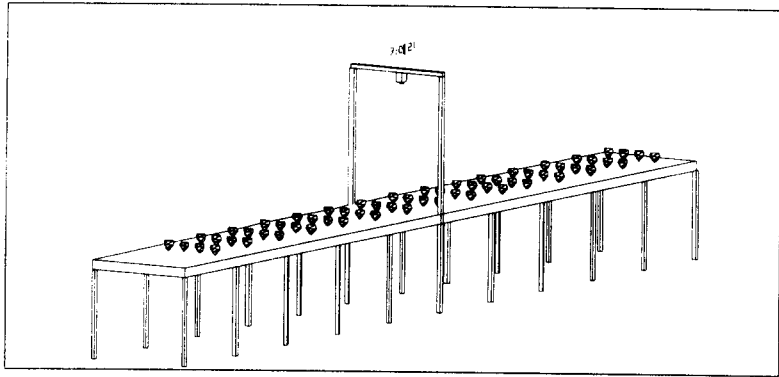


Fig. 1. The image acquisition system for crop canopy.

### 나) 개별 작물 성장 상태 측정

개별 작물의 영상정보를 획득하기 위하여 그림 2와 같은 시료대를 사용하였다. 작물의 배경은 재배판과 동일한 흰색 스티로폼을 사용하였고, 조명은 작물 군락의 영상을 얻을 때와 동일한 조건으로 하기 위하여 자연광을 사용하였다.

### 2) 측도 설정

획득된 영상으로부터 작물의 실제 크기를 알아내기 위해서는 화소의 크기와 실제 측정 단위와의 관계를 밝혀야 하는데 이 관계는 카메라와 대상 작물과의 거리에 따라 달라진다. 본 연구에서는 실험의 전과정 동안 카메라의 설치 위치를 고정시켜서 작물과 카메라 사이의 거리를 일정하게 하였다. 이렇게 하여 초기에 수행한 한 번의 측도 설정을 이용하여 작물의 실제크기를 계속해서 측정할 수 있도록 하였다. 화소의 크기와 실제 단위와의 관계는 이미 알고 있는 다양한 넓이의 도형을 이용하여 알아내었다. 작물 군락의 영상으로부터 작물 성장을 측정하기 위한 화소의 크기와 실제 넓이 단위 사이의 관계는  $3.45 \text{ mm}^2/\text{pixel}$  이었고,

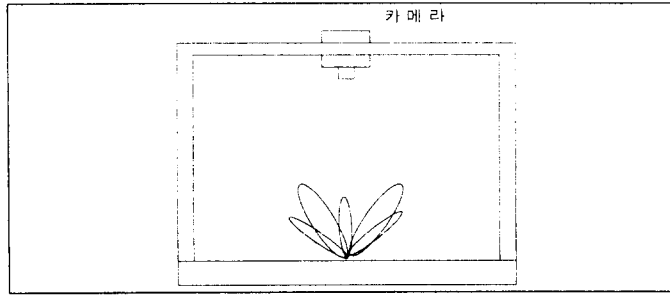


Fig. 2. Image acquisition system for top projected leaf area

개별 작물의 영상으로부터 작물 성장을 측정하기 위해 사용한 측도 값은  $0.19 \text{ mm}^2/\text{pixel}$  이었다.

### 3) 측정항목

작물의 성장상태를 나타내는 여러 가지 측정 가능한 특성들은 작물의 종류에 따라 달라지는데 대표적인 것으로 건중량을 들 수 있다. 건중량은 일반적으로 저울을 사용하여 측정하는데 측정시 작물의 생장에 영향을 줄 경우가 있다. 작물의 성장상태를 작물 성장에 지장을 주지 않고 연속적으로 측정하기 위하여 이 연구에서는 작물을 위에서 바라 본 투영 엽면적과 일정 재배 면적에서 차지하는 작물군락의 엽면적 비를 영상처리를 이용하여 측정하고 이들 측정값과 건중량 사이의 상관관계를 분석하였다.

상추의 상부 투영 엽면적은 상방향 영상에서 상추를 나타내는 총화소수를 세고 이 값에다 측도 설정에 의해 구해진 화소당 실제 면적비( $\text{cm}^2/\text{pixel}$ )를 곱하여 계산하였다. 작물 군락의 엽면적 비는 획득된 영상에서 작물 군락을 나타내는 영역의 화소수를 그 영상의 총화소수로 나눔으로써 계산하였다.

### 나. 작물 재배 장치

실험을 위하여 담액수경방식의 재배장치를 베로형 유리온실내에 제작하여 작물을 재배하였다. 재배장치는 온실내 여유 공간을 고려하여 길이 8m, 너비 90cm, 높이 90cm의 규격으로 철제 앵글을 사용하여 제작하였다. 지상으로부터 90cm되는 곳에 5cm 두께의 스티로폼을 놓고, 그 위에 비닐을 간 다음 4cm 깊이로 양액을 공급하였다. 재배중인 작물의 뿌리에 산소를 충분히 공급하기 위해 양액 수면으로부터 1cm 간격을 두고 3cm 두께의 스티로폼 재배판을 올려놓았다. 재배판에 25cm 간격으로 직경 3cm의 구멍을 뚫은 다음 여기에 상추를 발아 시킨 스폰지 큐브를 끼워 넣어 상추를 고정 시키도록 하였다. 재배 기간중 타이머를 이용하여 하루에 4회씩 6시간 간격으로 15분간 양액을 순환시켰다.

### 다. 연구방법

물에 담근 300개의 2cm×2cm 스폰지 큐브위에 상추씨를 1997년 11월 18에 파종하여 발아 시킨 뒤 본엽이 2-3개 나온 1998년 1월 11일에 재식 밀도가 25주/m<sup>2</sup> 이 되도록 재배 장치로 정식하였다. 재배기간중 온실내 온도는 14-20 °C로 유지하였고, 양액의 전기전도도(EC)는 1.5mS/cm, pH는 약 6정도로 유지하였다. 정식후 10일 경부터 시작하여 이웃한 상추의 잎이 서로 겹치기 시작한 정식 후 21일(1998년 1월30일)까지 매 2-3일 마다 영상정보를 이용하여 상추군락의 엽면적 비를 측정함과 동시에 영상정보에 포함되지 않은 영역에서 6포기의 상추를 무작위로 골라 건중량과 개체별 상부투영 엽면적을 측정하였다. 건중량은 105 °C 오븐에서 24시간 동안 상추를 건조시킨 다음 측정하였다. 상추와 배지의 넓이 비 측정을 위하여 실험 기간 동안 카메라의 위치나 초점거리등을 변화시키지 않은 상태에서 동일한 20포기의 상추 군락에 대한 영상을 획득하여 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

온실 환경의 제어는 작물 성장상태에 관한 정보를 이용하면 보다 효율적으로 이룰 수 있다. 작물의 성장상태를 알기 위하여 중량을 파괴적으로 측정하는 대신 영상처리장치를 이용하여 작물의 중량을 예측하기 위하여 36포기의 상추에 대하여 한 포기씩 상부 투영 엽면적을 영상처리장치를 사용하여 측정하고 이 엽면적과 상추의 건중량을 짝을 지어 이들 사이의 관계를 분석하였다. 그림 3에 나타난 것과 같이 상추의 상부 투영 엽면적과 건중량 사이에는 높은 상관 관계가 있었다 ( $R^2=0.95$ ).

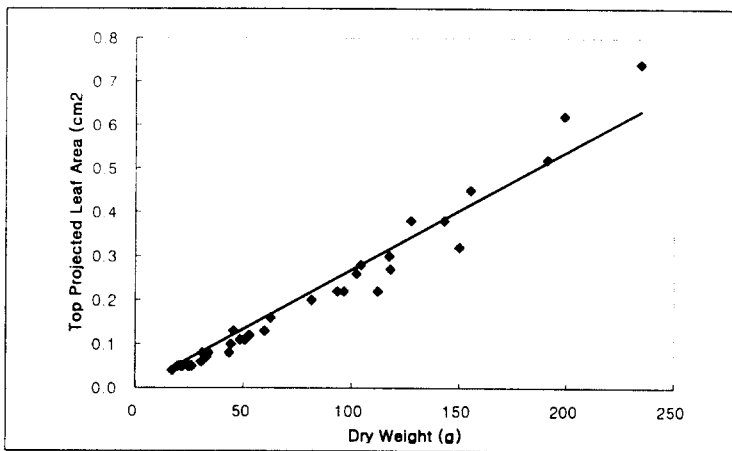


Fig. 3. The relationship between dry weight and top projected leaf area.

위에서 얻어진 관계를 이용하면 개별 작물에 대하여 비파괴적이고 연속적으로 중량을 예측할 수 있지만 온실 환경 제어를 위하여는 개별 작물의 하나 하나에 대한 정보보다 작물 군락의 성장상태에 관한 정보를 알아 내는 것이 실용적인 면에서 더욱 중요하다. 작물 군락

의 성장상태에 관한 정보를 영상처리장치를 이용하여 알아낼 수 있는지 알기 위하여, 비교

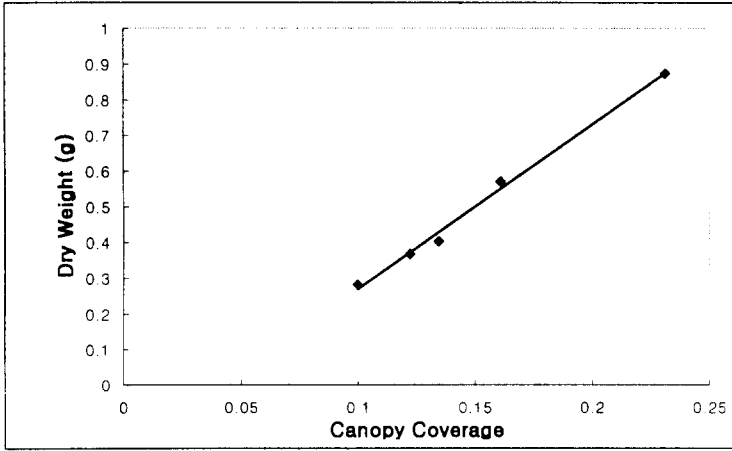


Fig. 4. The relationship between dry weight and canopy coverage. Dry weight was measured from the lettuce which image was taken.

적 같은 성장상태인 9포기로 이루어진 상추 군락의 엽면적이 상추군락 영상에서 차지하는 비율과 이 9포기의 상추로부터 측정된 건중량 사이의 관계를 알아 보았다. 그림 4에서 보는 바와 같이 두 값 사이에는 높은 상관 관계가 있었다 ( $R^2 = 0.99$ ).

실제 작물 재배시 유전적 영향으로 같은 성장시기와 환경하의 작물이라도 성장상태가 다를 수 있다. 따라서 일정한 위치에서 한정된 작물로부터 얻은 영상정보로 같은 재배 조건하의 영상에 담기지 않은 부위의 작물의 상태도 예측할 수 있는지를 조사하였다. 실험 기간 동안 모두 6번에 걸쳐 작물 군락의 엽면적 비를 영상처리를 통하여 측정함과 동시에 영상에 나타나지 않은 부위의 상추를 무작위로 골라 파괴적인 방법으로 건중량을 측정하였는데 그림 5에서 보는 바와 같이 건중량과 작물군락 엽면적 비 사이에는 선형적인 관계가 있었다. 작물 군락 엽면적의 상대적 비율과 작물 건중량 사이의 관계식을 식 1에 나타내었다.

$$\text{건중량(g)} = 0.0027 \times \text{작물 군락 엽면적 비} - 0.0295 \quad (R^2 = 0.98) \quad (1)$$

위 관계식과 영상처리장치를 이용하면 비파괴적으로 재배중인 상추의 성장상태를 신속하게 측정할 수 있을 것으로 판단된다.

위의 방법으로 작물의 성장상태를 연속적으로 측정된 뒤 이 정보와 작물의 성장모델을 비교하여 각 성장단계에 알맞은 환경을 효과적으로 공급해 주면 작물 생산에 드는 비용을 절감할 수 있고 작물의 상품성도 높일 수 있을 것이다. 또한 자동화된 식물 공장에서 작물의 성장상태를 연속적으로 파악할 수 있어 제 때에 다음 양육 단계로 옮길 수 있으리라 판단된다.

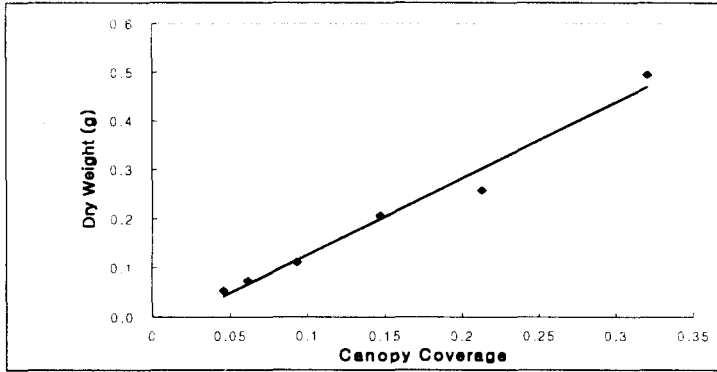


Fig. 5. The relationship between dry weight and canopy coverage. Dry weight was measured from the lettuce which image was not taken.

#### 4. 결론

이 연구는 영상처리장치를 이용하여 작물 성장상태에 관한 정보를 비파괴적으로 신속하게 측정하기 위한 시스템을 개발하기 위하여 수행하였다. 개발된 작물 성장상태 측정시스템은 칼라 CCD 카메라(JVC, TK-1270U 및 Panasonic, GP-KS162)와 프레임그래버(Matrox, Meteor), 컴퓨터, 그리고 영상분석을 위한 영상분석 프로그램으로 구성되어 있다. 성장상태 측정장치를 평가하기 위하여 생육장치에서 재배중인 상추를 이용하여 실험을 수행하였다.

실험 결과 개별 상추의 건중량과 영상처리장치를 이용하여 측정한 상부 투영 엽면적 사이에 높은 상관관계가 있었고, 작물 군락 엽면적 비와 상추의 평균 건중량 사이에도 선형적인 관계가 발견되었다. 이 연구에서 개발된 영상처리를 이용한 작물 성장상태 측정법은 작물의 성장을 연속적으로 측정하여 온실 환경을 효율적으로 제어하는데 이용될 수 있으리라 판단된다.

#### 5. 참고문헌

1. 이 종환, 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.