

기계시각을 이용한 상추 선별 시스템에 관한 기초 연구

Primary Study on a Lettuce Grading System Using Machine Vision

| | | | |
|----------|----------|-----------|------------|
| 조성인* | 류관희* | 신동준* | 장성주* |
| 정회원 | 정회원 | 정회원 | 정회원 |
| S.I. Cho | K.H. Ryu | D.J. Shin | S.J. Chang |

1. 서론

우리 나라의 농업은 농업노동 기피에 따른 농촌 노동력 부족과 세계무역기구(WTO)체제 출범에 따른 농산물 수입 개방의 어려움을 겪고 있으며, 소비자의 농산물 소비의 고급화와 다양화에 따른 고품질 농산물의 수요가 증대되고 있다. 이러한 변화에 대처하기 위해서는 품질 좋은 농산물을 값싸게 생산할 수 있는 기술 집약적 농업으로 발전되어야 한다.

최근들어, 고품질의 농산물을 생산하여 국제 경쟁력을 갖추려는 시설재배 농가가 늘고 있다. 그러나, 기존의 유리 온실은 막대한 시설투자에도 불구하고 일부 환경 관리 작업만이 자동화되고 있을 뿐 거의 모든 재배관리 및 수확, 선별, 포장 작업이 수작업에 의존하는 노동집약적인 체계이므로 효율이 적다. 따라서, 자본 및 기술 집약적인 자동화 공정생산 방식의 도입이 필요하다.

현행 엽채류 선별 작업은 샘플을 추출하여 등급을 판별하므로 선별자의 주관적인 판단에 의해 등급이 결정되는 문제를 안고있다. 따라서, 샘플이 아닌 수확품 각각에 대하여 품질을 평가할 객관적인 선별 방법이 필요하다.

본 연구는 대규모 엽채류 생산 공장에서 상추의 선별을 자동화하는 시스템을 개발하기 위한 기초 연구로, 상추(적측면)를 대상으로 하였으며, 그 구체적인 목적은 다음과 같다.

1. 상추의 등급 관련 선별인자를 선정하고, 기계시각 시스템을 구축한다.
2. 선별인자에 따른 적절한 등급 판별 알고리즘을 개발한다.
3. 개발한 상추 선별 시스템의 성능 분석을 수행한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험재료

상추는 잎상추와 결구상추로 구분되는데 양액 재배에서는 주로 잎상추가 재배되고 있다. 잎상추는 다시 포기 전체를 수확하는 측면상추와 하엽을 순차적으로 수확하는 치마상추로 나뉜다. 식물공장에 적합한 상추는 연중 생산할 때 에너지 비용이 적게 들고, 비교적 생산

* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

주기가 짧으며, 자동화가 쉬워야 한다. 이러한 점들을 고려할 때 적축면은 노지에서 봄·가을에 쉽게 재배될 수 있어 추가의 냉·난방 비용이 적게 들며, 재배기간이 짧은 조생종이고, 포기 별로 수확되므로 자동화에 유리한 품종이다.

적축면을 실험 대상으로 선정하고 양액 재배하여 수확 적기인 잎이 8~10매 되었을 때 선별 실험을 하였다. 양액은 야마자키액을 사용하였으며, 전기전도도(EC)는 상추의 생육에 적합한 농도인 1.1mS/cm로 유지하였다. 다양한 품질의 샘플을 얻기 위해서 수확 일주일 전에 일부는 차양막으로 햇빛을 가려주었다.

2.2. 기계 시각 시스템

상추의 선별을 위해 기계 시각 시스템을 구성하였다. 기계 시각 시스템은 그림 1과 같이 상추 영상의 질을 향상시키기 위한 조명장치와 영상을 획득하고 처리하는 영상 처리 장치로 구성하였다.

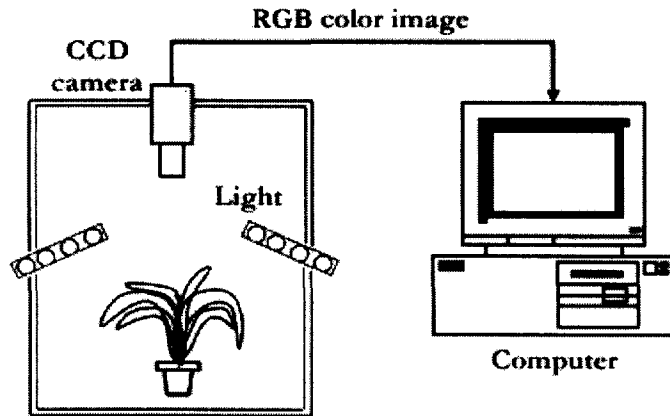


Fig. 1 Machine vision system.

상추의 색 정보 분석을 위해 영상 입력 장치로 출력 신호가 NTSC(National Television Systems Committee) 칼라 신호인 칼라 CCD 카메라(PULNiX, TMC-74)와 16mm 표준 렌즈를 사용하였다. 카메라의 출력 정보는 각 화소의 R(red), G(green), B(blue) 신호이다. 본 연구에 사용된 프레임 그래버는 Matrox社의 Corona-LC/8이다. 이 영상 보드는 프레임 버퍼 4MB, overlay 버퍼 4MB를 제공하여 영상 처리 결과를 별도의 출력 모니터 없이 출력할 수 있는 시스템이다. 영상 처리를 위해 Pentium 100MHz PC를 사용하였으며, 하나의 모니터로 영상 처리와 출력에 모두 이용하였다.

균일한 질의 영상을 획득하기 위하여 영상 면의 좌우에 각각 9개의 3과장등(20W, 주광색)을 설치하고, 앞뒤에는 45° 방향으로 기울여 조명하도록 각각 3개의 3과장등을 사용하였다. 상추 표면에서의 직반사(specular reflectance)를 방지하고, 조명의 밝기가 균일한 확산광(diffused light)을 만들기 위해 광원과 상추 사이에 흰색 아크릴 판을 설치하였다. 구성된 조명 장치의 영상면은 400×400 mm²이며, 전체 영상면에서 조도는 2.3~3.0klux로 유지하였

다.

2.3. 기계시각 시스템의 측도 설정

기계시각 시스템은 카메라, 영상보드 등의 장비와 조명 등의 환경에 의해 고유의 특성을 갖는다. 이러한 이유로 대상물의 특징을 측정하기 전에 측도 설정이 필요하다.

2.3.1 기하학적 측도 설정

영상처리에 의하여 대상물을 측정하는 경우, 입력영상은 측정 윈도우의 크기와 설정 위치 등에 따라 기하학적 왜곡이 나타나게 된다. 이러한 왜곡을 최소화하기 위해서는 카메라 렌즈면과 영상면이 평행을 유지할 수 있도록 카메라를 설치하는 것이 중요하다. 카메라 렌즈면이 영상면과 평행을 유지하도록 하고, 시료대의 4분면 가장자리에 표본을 번갈아 위치시키며 각변의 화소의 개수가 일치하도록 하여 카메라가 영상면의 중앙에 위치하도록 하였다.

화소의 개수로 물체의 외형 정보를 추출하기 위해서는 영상에서의 단위 화소에 해당되는 실제 크기를 구하여야 한다. 한 변의 길이가 각각 200mm, 250mm, 300mm인 3개의 정사각형 모형의 표본을 영상면의 중앙에 위치시킨 후 영상을 획득하여 가로와 세로의 화소의 개수를 세어 평균값을 단위 화소의 X방향, Y방향 실제 길이로 결정하였다.

2.3.2. 색 좌표계 변환

본 연구에서는 CCD 카메라에서 사용하는 RGB 좌표계 값을 $L^*a^*b^*$ 좌표계 값으로 변화하여 색 측정을 하였다. 기계시각 시스템의 색채 분석 가능성을 검증하기 위해 150개의 표준 색지에 대하여 색차 색도계(Minolta, Colorimeter CR-300)에 의한 L^* , a^* , b^* 값과 기계시각 시스템에 의한 L^* , a^* , b^* 값 간의 상관관계를 분석하였다(그림 2). L^* , a^* , b^* 의 결정계수는 각각 0.9846, 0.9569, 0.9405 정도로 비교적 높은 상관관계를 보여 구성된 기계시각 시스템을 이용한 색채 분석이 가능하다고 판단되었다.

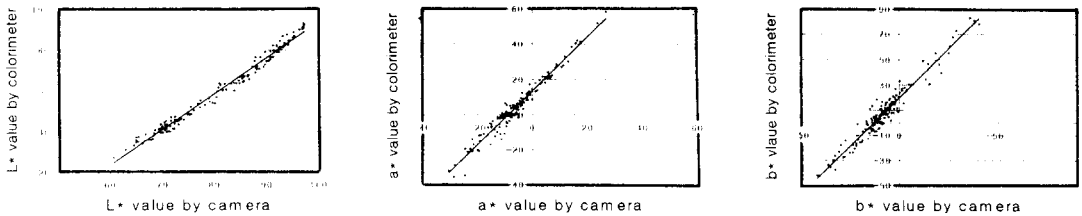


Fig. 2 Relationship between $L^*a^*b^*$ values measured by the colorimeter and those by the machine vision system.

3. 결과 및 고찰

3.1. 상추의 선별인자

상추는 품종에 따라 그 특징이 크게 다르므로 품종에 맞는 품질 판별 인자를 나타내는 것이 중요하다. 적축면은 온도의 차에 따라 성장할 때 잎의 크기가 달라지게 되며, 광량과 일조 시간에 따라 색의 변화가 큰 품종이다. 성장할 때 비교적 고온을 유지하면 잎의 크기가

커지며, 일조 시간이 충분하면 잎 색이 녹색에서 갈색, 적색으로 변화한다. 따라서, 포기
크기와 색이 품질을 판정하는 중요한 인자로 판단된다.

적측면의 특징과 현행 기준 등을 고려하여 선별 인자로 포기의 크기와 색, 중량 등을 선
정하고 이러한 인자를 추출하는 알고리즘을 개발하였다.

3.2. 상추의 특성 분석

3.2.1. 영상 영역화 및 윤곽 추출

획득된 상추의 영상을 R, G, B 값과 a^* , b^* 값에 대하여 각각 히스토그램을 획득하고 이
를 분석하여 문턱값을 설정하였다. 적측면은 녹색에서 적색까지 폭 넓은 색 분포를 이루고
있어 R, G, B 값에 의한 분리는 어려워 보였으며, a^* , b^* 값에 의해 배경과 분리가 가능할
것으로 판단되었다. 샘플의 히스토그램을 분석하여 몇 개의 문턱값 후보를 선정하였으며, 이
를 모든 선별 영상에 적용하여 분리도가 가장 뛰어난 a^* 값 22를 문턱값으로 설정하여 배경
과 상추를 분리하였다.

상추의 기하학적 특성을 분석하기 위해 먼저 상추의 윤곽이 정확하게 추출되어야 한다.
상추의 윤곽선 추출을 위해 8방향 체인코딩(chain coding)을 실시하였다. 그림 3에 상추 영
상의 윤곽을 추출한 결과를 나타내었다.

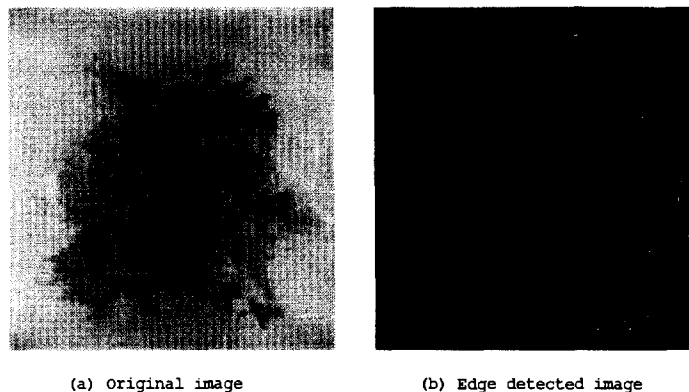


Fig. 3 Edge detection of the lettuce.

3.2.2. 기하학적 특성 분석

추출된 체인코딩을 이용하여 상추의 면적, 둘레길이를 측정하였으며, 이들을 이용하여 원
형도(roundness)를 계산하였다.

영상처리 장치의 기하학적 특징 추출의 정확도를 살펴보기 위해 크기를 알고있는 도형의
면적과 둘레길이를 영상처리 장치로 측정하고 실제 값과 비교하였다. 측정 결과 사각형에
대해서는 면적의 최대 오차가 0.709%, 둘레의 최대 오차가 2.149% 발생하였고, 원에 대해
는 면적의 최대 오차가 1.734%, 둘레의 최대 오차가 5.393% 발생하였다. 비교적 중요한 면
적의 측정 오차가 실험한 모든 도형에 대하여 2% 이내의 오차를 보여 영상의 기하학적 특

징 분석에 무리가 없다고 판단되었다.

3.2.3. 색채 정보 분석

적측면은 광량이 충분하면 잎 색이 녹색에서 갈색, 적색으로 변화하는 특징을 갖고 있다. 따라서, 색채 정보는 상추가 성장할 때 충분한 광합성을 하였는가를 나타내는 지표가 될 수 있으며, 이는 품질과 밀접한 관계가 있다.

상추의 색채 특성을 분석하기 위해 육안으로 잎의 색이 녹색, 갈색, 적색인 세 부분에 대하여 각각 30개의 샘플을 준비하고, 기계식각 장치에 의해 샘플의 영상을 획득하여 $L^*a^*b^*$ 좌표계에 대하여 색 분포를 살펴보았다(그림 4). 색 분포를 살펴본 결과, a^*-b^* 값 분포는 녹색→갈색→적색으로 변화하는 상추의 색 변화 추이를 선형적으로 반영하였다. a^*-b^* 값 분포에서 녹색 잎과 적색 잎 샘플의 모멘트 총합이 최대가 되는 점을 녹색 잎과 적색 잎의 구분점으로 계산하였다. 구분점은 $a^* = -12.0$, $b^* = 49.0$ 이었다. 이러한 구분점을 이용하여 영상을 획득하기 7일 전에 차양막으로 햇빛을 가려준 그룹 1(48 포기)과 자연광에서 재배한 그룹 2(55 포기)의 상추를 판별할 수 있는지 살펴보았다. 상추의 영상에서 상추 전체 면적에 대한 $a^* > -12.0$ 인 면적을 x축 값으로, 상추 전체 면적에 대한 $b^* < 49.0$ 인 면적을 y축 값으로 하여 두 그룹의 분포를 그림 5에 나타내었다. 분석 결과 그룹 1은 b^* 구분점을 이용한 면적비가 모두 0.6 이하로 나타났으며, 그룹 2는 2개의 샘플을 제외하고는 모두 면적비가 0.6 이상으로 나타나, b^* 구분점을 이용한 면적비를 '적색잎의 비(b^* index)'로 정의하였으며 이를 통해 쉽게 상추의 색 특징을 표현할 수 있다고 판단되었다

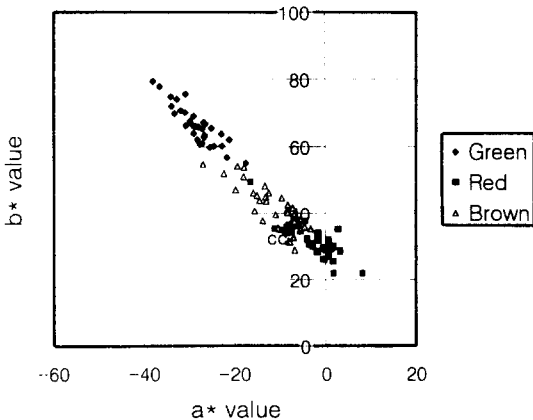


Fig. 4 Color distribution of the lettuce leaves($L^*a^*b^*$ coordinates).

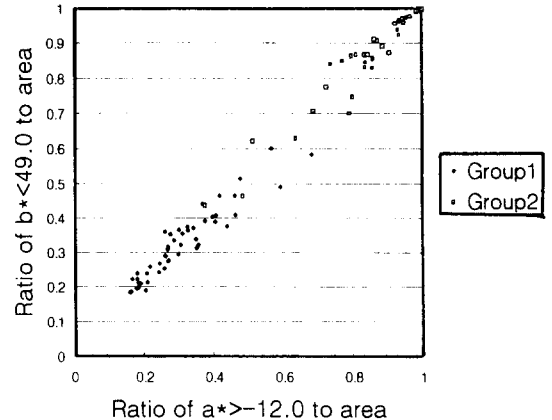


Fig. 5 Color distribution of the lettuces cultivated in different light condition.

3.2.4. 중량 예측 모델

상추의 중량을 정밀도가 0.01g인 독일의 Sartorius사의 BP3100S 모델을 사용하여 측정하고, 앞에서 추출한 기하학적 특성 정보(면적, 둘레길이, 원형도)와 색채 정보(적색잎의 비)를 이용하여 상추의 중량 예측 모델을 개발하였다.

중량 회귀식에 유의한 인자를 선정하기 위하여 통계 패키지인 SAS 회귀분석의 변수 선

택법을 수행하였다. 변수 선택 결과 설명 변수 중에서 상추의 면적이 중량과 가장 밀접한 관계가 있음을 알 수 있었으며, 적색도의 비(b^* index)는 면적을 보조하는 변수 역할을 할 수 있음을 알 수 있었다.

변수 선택의 결과를 이용하여 중량 예측 모델을 개발하였다. 42 포기의 상추 데이터를 모델 개발에 이용하였으며, 상추 61 포기에 대하여 개발된 예측식을 검증하였다. 개발된 회귀식은 식 1과 같으며, 개발된 모델의 결정계수(R^2)는 0.9317, 표준오차(SEC)는 6.1211g이었고, 검증자료에 대한 결정계수(R^2)는 0.9306, 검증오차(SEP)는 6.9515g이었다.

$$\text{Weight} = 0.00136 \times \text{Area} + 16.6117 \times b^* \text{ index} - 31.2340 \quad \dots\dots(1)$$

상추 한 포기의 기하학적 특성과 색 정보를 추출하여 중량을 예측할 때 소요되는 시간은 0.61초였다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 대규모 엽채류 생산 공장에서 상추의 선별을 자동화하는 시스템을 개발하기 위한 기초 연구로, 구체적인 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 식물공장 재배에 적합한 품종인 적축면을 실험 대상으로 선정하고, 적축면의 특성을 고려하여 선별 인자를 포기의 크기와 색, 중량으로 선정하였다.
2. 칼라 CCD 카메라, 프레임 그래버, PC, 조명장치로 구성된 기계시각 시스템을 구축하고, 상추의 기하학적 특성과 색 정보를 추출하여 중량을 예측하는 선별 알고리즘을 개발하였다.
3. 개발된 중량 예측 모델은 결정계수(R^2)는 0.9317, 표준오차(SEC)는 6.1211g, 검증오차(SEP)는 6.9515g이었으며, 선별 시간은 포기당 0.61초가 소요되었다.

5. 참고문헌

1. 조한근, 송현갑. 1994. 컴퓨터 시각에 의한 잎담배의 외형 및 색 특징 추출. 한국농업기계학회지 vol.19(4): 380-396.
2. 황창선. 1996. 영상처리를 이용한 원미의 품위 판별 알고리즘 개발. 서울대학교 석사학위논문.
3. 황헌, 이충호. 1992. 컴퓨터 시각에 의거한 측정기술 및 측정오차의 분석과 보정. 한국농업기계학회지 vol.17(1): 65-78.
4. Chang, Y. C., J. F. Reid. 1996. Characterization of a Color Vision System. Transactions of the ASAE vol.39(1): 263-273.
5. Mohsenin, N. N. 1984. Electromagnetic Radiation Properties of Foods and Agricultural Products. Gordon and Breach Science Publishers.
6. Sonka, M., V. Hlavac, R. Boyle. 1993. Image Processing, Analysis and Machin Vision. Chapman & Hall Computing.