

기계시각을 이용한 홍고추의 기하학적·물리적 특성 분석

Analysis of Geometrical and Physical properties of Red Pepper by using Machine Vision

이호준*	김영복*	이승규*	김성태*	송대빈*
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
H. J. Lee	Y. B. Kim	S. K. Lee	S. T. Kim	D. B. Song

1. 서론

고추는 벼 다음으로 중요한 경제 작물로 그 재배면적은 1996년 기준으로 전체 채소류 재배 면적의 약 30%에 이르는 90,761ha를 차지하고 있다(한국농업기계학회, 1997). 현재 국내에는 고추 생산단지를 중심으로 대규모 고춧가루 가공공장이 설치되어 운영되고 있는데, 그 처리량은 농협에서 운영중인 8개의 가공공장인 경우 고춧가루 기준으로 연간 약 2000톤이며, 11개의 민간업체의 경우 고춧가루 기준으로 환산하면 약 1500톤으로 전체 생산량의 약 7%를 차지한다(농협중앙회, 1997). 이와 같이 고추가 우리 생활에서 차지하고 있는 비중이 벼 다음으로 큰 작물임에도 불구하고 고추에 대한 물리적 성질의 영상 분석에 관하여 뚜렷한 논문 자료가 부족한 실정이며, 고추의 선별 또한 거의 대부분 육안 판별에 의존하고 있는 실정이다. 또한 홍고추의 경우 정확한 농률이 확립되지 않아 고추 수확 시 기준이 되는 것이 무제단위이다. 그러나 같은 부가의 질과라 하더라도 그 안에 들어 있는 고추의 개수는 작게는 400개에서 많게는 천 개가 넘으며, 산지 안에 들어 있는 고추의 크기와 형태 또한 제 각각 이어서 고추 관련 기계제작을 하는데 문제점으로 대두되고 있다. 이러한 문제점을 해결하려면 고추의 형상 및 물리적 특성을 정량적으로 추출하여 분석하는 기술의 확립과 일관적으로 외관을 자동으로 검사하여 등급을 판정하거나 선별하는 기술이 필요하다. 또한 고추의 선별이나 판별 시스템이 기계적 시스템과 온라인으로 연결되어야 이 정보를 더 정확하고 신속하게 이용할 수 있을 것이다. 영상처리 장치는 추출한 고추의 형상 및 물리적 특성을 다른 기계적 시스템에 온라인으로 연결하기에 적합하다. 그러므로 본 연구에서는 기계시각을 사용하여 획득한 홍고추 영상의 면적, 중심길이, 체적, 질량을 영상처리로 해석하고 선제의 체적과 무게와의 관계를 분석하고자 하였으며, 색상정보를 이용하여 홍고추의 수지방향을 선별함으로써 고추 관련 기계장치 제작의 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험재료

실험에 사용된 고추는 진주시 대곡면 일대에서 생산된 대과종에 속하는 녹방울 사용하였

* 경상대학교 농업공학부 농업기계공학전공

다. 시료 구입 후 측정 함수율은 81.33%로 나타났고, 시료는 크기별로 대·중·소 세 가지로 분류하여 각 20개씩 60개를 시료로 사용하였다. 상세한 조건은 표 1과 같다.

Table 1 Specifications of red pepper for the experiment

Producing district	Chinju city Taegokmyon
Purchase date	2000. 8. 25
Seed	Nokwang
No. of tested peppers	60
Average moisture content(%)	81.33

나. 실험 장치 및 방법

1) 실험장치

실험장치는 시료로부터 750mm의 높이에 있는 코닥 DC280디지털 카메라(530,000-2,300,000화소)로부터 홍고추의 영상을 얻어 컴퓨터에서 Visual Basic 프로그램을 통한 영상처리를 하여 얻고자 하는 정보를 출력하는 구조로 되어 있다. 실험은 형광등이 16개 있는 실내에서 하였으며, 고추가 놓인 부분의 조도는 10회 측정하여 평균값을 구한 결과 52.6lux로 나타났다. 조명으로부터의 영향을 고려하여 조명이 양쪽으로 대칭 되게 배치를 하였다.

2) 실험 방법

영상처리 과정에서는 우선 규정의 색지를 이용하여 DC280 디지털 카메라의 특성을 거리, 조명, 색상별로 구분하여 평가하였다. 조명이 영상에 어떠한 영향을 주는지 알아 보기 위하여 형광등이 16개 있는 실내에서 형광등 이외의 조명을 주지 않은 상태로 바닥에 검은색 색지를 깔아 놓은 다음 그 위에 빨간색과 하얀색 가로 50mm×세로50mm의 색지와 하얀색 A4용지를 올려놓아 각 면적에 따른 화소수를 비교하였으며, 보색의 색상이 화소수의 측정에 영향을 미치는지 알아보기 위해 17×25cm의 녹색의 색지를 하얀색 바탕과 빨간색 바탕 위에 올려놓고 화소수를 측정하여 비교하였다. 그런 후 고추의 영상을 얻어 그에 대한 최대·최소값을 사용하여 문턱 값을 설정하였다. 설정된 문턱 값으로부터 영상의 왜곡을 보정한 다음 대상영상을 배경과 분리하여 원하는 특성을 구하여 출력하도록 하였다. 그리고 영상처리에 의해 홍고추의 꼭지 방향 판별가능성을 확인하였는데 이것은 고추 꼭지 제거기와 같은 기계적인 시스템에서 고추의 꼭지 방향을 일정한 방향으로 정렬하기 위한 작업이다. 기존 고추 꼭지 제거기에서 고추의 꼭지 방향을 한 방향으로 보낼 수 있다면 더 효율적인 기계를 제작할 수 있을 것으로 기대되기 때문이다. 고추꼭지의 방향 선별에서는 영상을 배경으로부터 분리시키지 않고 꼭지의 방향을 설정할 수 있는 문턱 값을 설정함으로써 영상의 고추꼭지 방향을 선별하도록 하였다. 이는 연결코드나 이치화를 사용하지 않고 취득 영상으로부터 원하는 결과치를 직접적으로 출력함으로써 영상처리 시간을 단축할 수 있는 장점이 있다. 고추의 무게는 저울로 계측하였고, 체적은 고추를 물에 담가 늘어나는 부피로 계측하였는데 계측전후의 무게를 비교하여 가며 정밀측정이 되도록 하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 영상처리 시스템의 특성평가

조명이 영상정보에 미치는 영향은 밝을수록 명확한 정보를 얻을 수 있으나 빛의 반사를 방지하거나 보정할 필요가 있는 것으로 나타났고, 거리의 영향은 근접촬영에 의해 해당 정보가 많을수록 정확한 것으로 나타났으며, 배경색과의 조화관계에서도 보색관계에 따라 약 0.6% 정도의 화소수 차이를 나타내었다.

나. 영상체적과 실제체적의 비교

홍고추의 영상체적 계산은 두 가지로 하였는데, 첫 번째는 홍고추를 원추형으로 가정하여 하나의 영상으로 체적을 계산하는 것이고, 두 번째는 측면과 윗면의 두 가지 영상을 가지고 홍고추의 체적을 계산하는 것이다. 첫 번째의 방법으로 홍고추의 형상을 원추형으로 가정을 하고 하나의 영상만으로 체적을 계산하였을 경우 그림 2와 같이 결정계수 약 0.82 정도의 관계로 나타났으며, 두 번째의 경우로 홍고추의 두 가지 영상을 가지고 체적을 측정하였을 경우 그림 3과 같이 결정계수 약 0.97 정도의 관계로 나타났다. 이것으로 보면, 실측체적에 거의 근접하게 고추의 영상체적이 나타난 것을 볼 수 있는데 이로서 체적의 측정에는 하나의 영상이 아닌 두 개의 영상을 가지고 판단하게 되면 더욱 정확한 판단이 된다는 것을 알 수 있다.

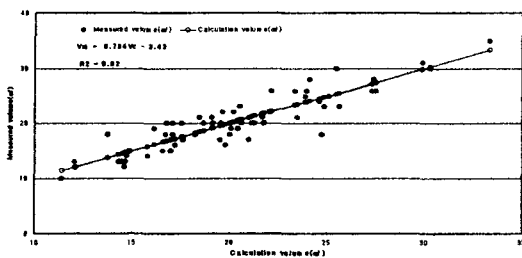


Fig 2. Correlation of calculated volume with measured volume of red peppers on case of one side view image

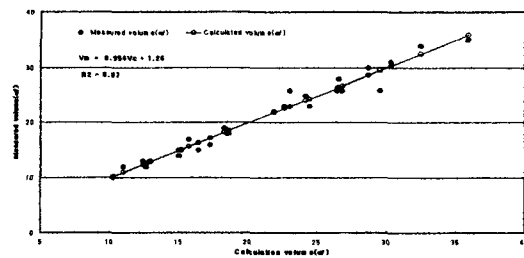


Fig 3. Correlation of calculated volume with measured volume of red peppers on case of combining images of two sides views

다. 홍고추 체적의 예측 및 무게의 예측

영상정보를 이용하여 고추의 체적을 예측하기 위하여 영상처리를 통하여 계산한 고추의 둘레, 면적, 중심길이를 변수로 하여 60개의 시료에 대한 영상 계산치를 가지고 회귀분석을 한 결과 아래 식 (1)과 같이 나타났으며, 무게에 관하여 회귀분석을 한 결과 식 (2)와 같이 나타났다. 세 가지의 변수를 가지고 회귀분석을 한 결과 체적 및 무게에 가장 영향을 많이 미치는 인자는 면적으로 나타났다. 그림 4와 5에는 식 (1)과 (2)에 의한 시료고추의 체적과 무게의 예측값과 실측값을 나타내고 있다. 여기서 y_v : 체적(cm^3), y_m : 무게(g), x_1 : 둘

레(cm^3), x_2 : 면적(cm^2), x_3 : 중심길이(cm)를 나타낸다.

$$y_v = 0.553x_1 + 1.441x_2 - 1.013x_3 \quad (R^2 = 0.9069, R = 0.9523) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$y_m = 0.252x_1 + 0.938x_2 - 0.499x_3 - 1.5112 \quad (R^2 = 0.8582, R = 0.9264) \dots\dots\dots (2)$$

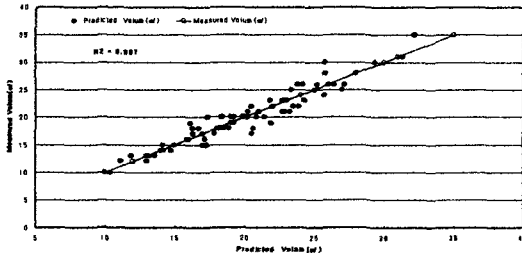


Fig 4. Correlation of predicted volume with measured volume of red pepper

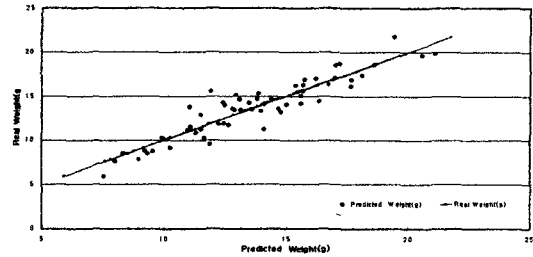


Fig 5. Correlation of predicted weights with real weights of peppers

라. 홍고추의 꼭지방향 선별

홍고추의 꼭지 판별 결과는 홍고추의 시료를 100개로 하여 선별을 한 결과 100개 모두 정확하게 꼭지의 방향을 판별할 수 있었다. 그러나 홍고추의 꼭지 방향 선별은 100% 정확한 선별이 가능하였지만 기계적인 시스템에 적용하기 위해선 응답시간의 개선이 필요한 것으로 판단되었는데 영상처리 하는 데에는 1초 미만이면 가능하였지만 영상을 획득하는 데에 17초 가량 소비되었기 때문이다.

마. 홍고추 둘레와 중심길이의 계산과 그 상관관계

홍고추의 중심길이 측정은 인력에 의해 하기 힘들다. 그 이유는 홍고추의 형상이 장 방향으로 직선모양이 아니기 때문인데 본 연구에서는 홍고추의 중심길이를 구하기 위해 먼저 조명에 의해 왜곡된 영상을 보정해 주었다. 그런 다음 그림 6에서 수직방향의 각 화소(Pixel) 칼럼(Column)에서 홍고추로 인식된 최상위 좌표와 최하위 좌표 사이의 중심점들을 연결하여 중심선을 구하였으며, 그 중심선은 그림 6에 나타난 바와 같다. 홍고추 시료의 중심선의 길이는 6.57~13.98 cm 사이에 존재하였으며, 평균값은 10.65 cm로 나타났고, 둘레길이는 17.16~31.71 cm의 범위에 있었으며, 평균값은 23.58 cm로 나타났다. 그리고 고추의 영상처리된 둘레길이를 이용하여 중심길이를 계산하는 관계식은 식 (3)과 같이 분석되었으며, 그 예측값과 영상처리에 의한 중심선길이와의 관계는 그림 7과 같다.

$$y_l = 0.4384x_1 + 0.314 \quad (R^2 = 0.8984, R = 0.9478) \quad \dots\dots\dots (3)$$

여기서 y_l : 중심길이(cm), x_1 : 둘레길이(cm)

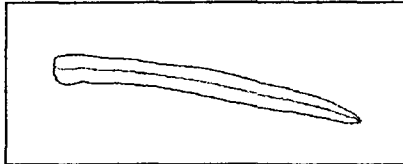


Fig 6. Image of boundary line and center line of red pepper

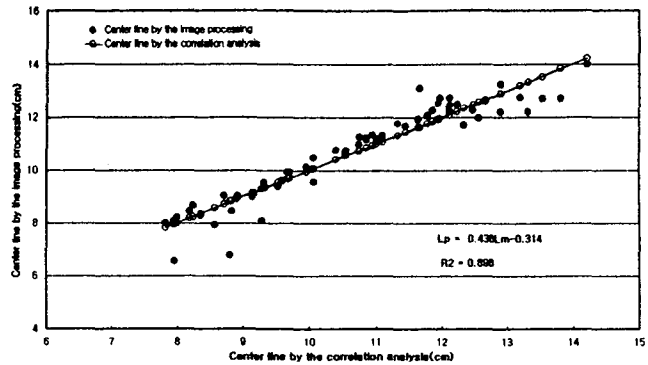


Fig 7. Comparison of the center line by the correlation analysis with the center line by the image processing

바. 색상값, 명도, 채도, 명암정보를 이용한 고추의 특징 분석

영상처리에서 홍고추를 다른 배경과 분리하여 정확히 인식할 수 있는 기준 값을 찾기 위하여 디지털카메라에 얻어진 영상을 약 만개의 화소로 읽어 들여 그 각 화소에 대한 RGB, rgb, HSI, YIQ값들을 계산하여 그 분포를 비교 분석하였는데 rgb좌표계를 제외한 모든 좌표계에서 고추의 인식 및 특징 분석이 가능한 것으로 나타났다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 기계시각을 이용하여 홍고추의 형상과 물리적 특성을 분석하여 홍고추의 선별, 분석 등 대량 가공처리를 위한 관련 기계장치 제작에 필요한 기초자료로 제공하고자 하였다. 이를 위하여 홍고추의 면적, 중심길이, 체적, 둘레를 영상처리로 해석하였으며, 실제의 체적과 무게와의 관계를 비교 분석하고, 무게 및 체적 예측방정식을 만들었으며, 색상정보를 이용하여 홍고추의 꼭지방향을 판별하도록 하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 홍고추 시료의 중심선의 길이는 6.57~13.98 cm 사이에 존재했으며, 평균값은 10.65 cm로 나타났고, 둘레길이는 17.16~31.71 cm의 범위에 있었으며, 평균값은 23.58 cm로 나타났다.
2. 회귀분석을 통한 홍고추의 무게 및 체적의 예측 방정식은 다음과 같이 나타났으며, 두 예측방정식에 가장 영향을 크게 미치는 인자는 면적으로 나타났다. 체적(y_v) 예측방정식과 무게(y_m) 예측방정식은 다음과 같으며, 식에서 x_1 , x_2 , x_3 은 각각 둘레(cm_3), 면적(cm_2), 중심길이(cm)를 나타내며, 체적과 무게의 단위는 각각 cm^3 , g 이다.

$$y_v = 0.553x_1 + 1.441x_2 - 1.013x_3 \quad (R^2 = 0.9069, R = 0.9523)$$

$$y_m = 0.252x_1 + 0.938x_2 - 0.499x_3 - 1.5112 \quad (R^2 = 0.8582, R = 0.9264)$$

3. 중심길이(y)와 둘레와의 상관관계를 분석한 결과 결정계수가 0.898로 나타났으며, 관계식은 $y_l = 0.4384x_1 + 0.314$ ($R^2 = 0.8984$, $R = 0.9478$)로 나타나 일부 고추를 제외하고는 비례관계가 성립하는 것을 알 수 있었다. 여기서 x_1 은 둘레길이(cm)를 나타내며, 중심길이의 단위는 cm 이다.
4. 홍고추의 꼭지 방향 선별은 100% 정확한 선별이 가능하였지만 기계적인 시스템에 적용하기 위해선 응답시간의 개선이 필요한 것으로 판단되었다.
5. 색상값, 명도, 채도, 명암정보를 이용한 고추의 특징분석에서 rgb좌표계를 제외한 HSI, YIQ좌표계에서는 고추의 인식 및 특성 분석이 가능한 것으로 나타났다.

5. 참고문헌

- 1) Cho, S. I., K. H. Ryu, D. J. Shin and S. J. Chang. 1999. Primary study on a lettuce grading system using machine vision. Proceedings of the KSAM 1999 winter conference. : 557-563.
- 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. pp 225-232
- 3) Lee, S. H., H. K. Cho and W. K. Choi. 2000. Detection surface cracks in eggshell by machine vision and artificial neural network. J. of the KSAM 25(5):409-414
- 4) Meyer, G. E. and D. A. Davison. 1987. An electronic image plant growth measurement system. Trans. of the ASAE. 30(1). pp 242-248
- 5) Noh, S. H., C. S. Hwang and J. W. Lee. 1997. Algorithm for discrimination of brown rice kernals using machine vision. J. of the KSAM 22(3):295-302
- 6) Noh, S. Y., H. Hwang, Y. C. Chang and D. H. Im. 1998. Three dimensional geometric feature detection using computer vision system and laser structured light. Proceedings of the KSAM 1998 summer conference. : 291-300
- 7) Shearer, S. A. and F. A. Payne. 1990. Color and defect sorting of bell peppers machine vision. Trans. of the ASAE 33(6). PP2045-2050
- 8) Sung, S. H., D. W. Lee and W. C. Jung. 1998. The relationship between the geometrical essential element(area) and practical weight of the cucumber. Proceedings of the KSAM 1998 summer conference. : 148-156
- 9) 농업기계연감. 1997. 한국농업기계학회. 한국농기계공업협동조합.
- 10) 농축산물 비파괴 품질 및 안전성 평가기술 연구센터. 2000. 농축산물의 비파괴 품질 및 안전성 평가를 위한 신기술. pp. 1-68
- 11) 농협중앙회. 1997. 가공사업추진 평가 보고자료