

기계시각을 이용한 풋고추 선별장치 개발

Development of Sorting System for Green Pepper Using Machine Vision

조남홍* 이수희** 이영희* 최승묵* 박종률* 조광환* 황헌** 김재규*
정희원 정희원 정희원 정희원 정희원 정희원 정희원
NHCho S.H.Lee Y.H.Lee S.M.Choi J.R.Park K.H.Cho H.Hwang J.G.Kim

1. 서론

고추는 원예작물 가운데 가장 많은 재배면적을 차지하고 있으며, 우리 식생활에 없어서는 안될 중요한 채소로, 붉은 고추는 조미료용으로 풋고추는 비타민C와 카로틴 함량이 높아서 생식용으로 주로 소비되고 있는 국민 식생활의 필수적인 채소이다.

고추 전체재배 면적 중 풋고추의 재배면적 비율은 매년 늘어나는 추세를 보이고 있는 반면, 붉은고추 재배면적의 비율은 비슷하거나 다소 감소하는 추세다. 풋고추의 재배면적은 시설채소 면적이 증가하면서 연중생산이 가능하게되어 급속히 증가하는 경향으로 '70년대에는 전체 채소면적의 0.1~0.2%였던 것이 1997년에는 1.2%정도로 많아졌고 이에 따라 생산량도 증가되고 있으며, 신선 채소류에 대한 선호도가 늘어나면서 풋고추의 소비량이 늘어나고 있다.

따라서 소비자가 고품질 농산물을 선호함에 따라 생산지에서는 풋고추를 길이와 굵은 정도 등을 기준으로 선별 출하하고 있다. 그러나 풋고추의 선별작업은 전적으로 인력에 의존하므로 많은 노동력이 소요되며 작업능률이 낮고 등급선별이 곤란한 실정이다. 고추의 선별포장의 작업노력은 101.5시간/10a으로 전체 노동력의 11.9%를 차지하고 있어 최근 주산지별 선별, 포장 작업의 기계화 요구도가 높다

따라서 본 연구에서는 기계시각을 이용하여 풋고추의 크기와 고추의 굴곡을 측정하기 위한 알고리즘을 제시하고 고추생산 일관 기계화, 고추의 품질 등급화와 유통효율을 높이기 위하여 풋고추의 손상을 최소화하면서 정밀 선별할 수 있는 기계시각을 이용한 선별기를 개발하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 시험재료

국립농산물 품질관리원의 농산물표준출하 등급규격은 풋고추의 경우 길이크기 기준으로 4 등급으로 분류하고 있다. 풋고추 선별기를 개발하기 위하여 물성(녹광)을 조사한 결과, 꼭지 부분을 제외한 고추의 길이는 최대 140mm, 최소 77mm이었으며, 굴곡은 최대 20mm 휨 것으로 나타나 선별기의 설계 기준과 알고리즘 개발을 위한 Raw data로 이용하였다.

* 농촌진흥청 농업기계화연구소

**성균관대학교 바이오메카트로닉스 전공

나. 영상처리 시스템 구성



Fig.1. Schematic diagram of the image processing system

고추 선별 시스템의 기계시각 장치에 대한 주요 사양은 표 1과 같다. 먼저 카메라는 이송에 따른 잔상의 영향을 없애기 위하여 컬러 progressive scan 방식의 RGB 카메라(CV M70, Jai)를 사용하였으며, 이를 디지털 영상으로 만들기 위한 프레임그래버(Meteor MC4, Matrox)와 450 MHz CPU를 장착한 컴퓨터를 사용하였다.

Table 1. Specification of machine vision system

Item		Specification
Chamber(L×W×H)		700×840×640mm
Image Processing System	CCD Camera	Progressive scan RGB camera NTSC color camera shutter speed 1/60 ~ 1/10,000sec Lens : 25mm(1.4F)
	Frame Grabber	RGB camera support PCI BUS Display : 1600×1200
	Computer	CPU : Pentium III RAM : 128M HDD : 20G
	Monitor	17 inch
	S/W Library & Tool	Mil-Lite 6.01
Illumination	Fluorescent light	3wave length fluorescent lamp) (36W compact type)
	Controller	1kW

조명장치는 36W 콤팩트 형광등을 사용하였으며 고른 산란광을 얻기 위해 백색아크릴을 광원의 전면부에 부착하였다. 또한 이송 장치로 최대 110 cm/sec 까지 속도 조절이 가능한 벨트 컨베이어를 사용하였으며 벨트의 중앙에 가이드를 부착하여 2열로 고추를 이송할 수 있도록 제작하였고, 이송 상태 감지를 위하여 투과형 광센서를 카메라의 수직 하단부에 부착하였다.

다. 고추 선별 알고리즘 개발

(1) 기본 개념

고추의 주요 선별 인자는 고추의 길이와 휨 정도로서 기계시각을 이용한 고추 선별 알고리즘의 주요 내용은 그림 2에서 보는바와 같이 6개의 특징점을 찾는 것으로 요약될 수 있다. 여기서 p1과 p2는 고추의 길이 및 휨 길이에 대한 기준선 역할을 수행하며 p3와 p4는 길이 측정용 보조선이고 p5와 p6는 휨 측정용 보조선이다. 본 연구에서는 언급한 6개의 특징점을 추출하기 위해서 8방향 체인코딩을 사용하여 윤곽선을 추출하였으며 꼭지 제거 알고리즘을 적용하여 꼭지 부위를 윤곽선 상에서 제외시킨 후 특징점 분석을 수행하였다.

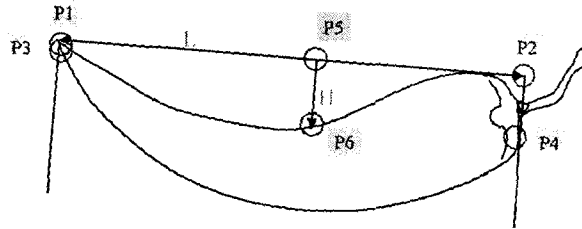
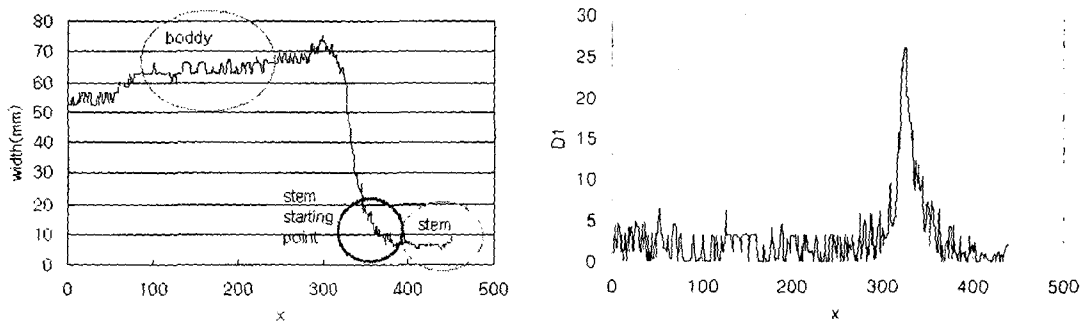


Fig. 2. Extraction of particular points for green pepper grading

(2) 꼭지 제거 알고리즘 개발

고추의 꼭지를 제거하기 위해서 본 연구에서는 고추의 두께를 측정하고 두께에 대한 프로파일 곡선의 변화량을 이용하였다. 그림 3-(a)는 고추의 두께 변화량을 나타낸 것으로 고추의 몸통 부위는 일정한 두께를 유지하고 있으나 꼭지 부위는 몸통에 비해서 상대적으로 적은 두께를 보이고 있으므로 두께의 변화가 급격한 부위를 꼭지 영역으로 간주하였다. 두께 변화량에는 1차 미분의 절대값을 사용하였으며 프로파일에 대한 평활화를 수행한 후 gap의 크기를 5로 설정하여 1차 미분 프로파일을 획득하였다.



(a) Green pepper thickness

(b) 1st derivative of thickness

Fig. 3. Thickness profile for stem removal

(3) 고추 선별 알고리즘 개발

고추의 길이 및 휨 길이 측정에 있어서 가장 중요한 것은 고추의 놓은 자세를 나타내는 기준점(p1, p2)을 결정하는 것이다. 이 때 기준점은 정의하는 방법에 따라 여러 가지가 있을 수 있지만 본 연구에서는 그림 4에서처럼 고추의 내부를 통과하지 않는 윤곽선 상의 두 점 중에서 가장 긴 것으로 정의하였다

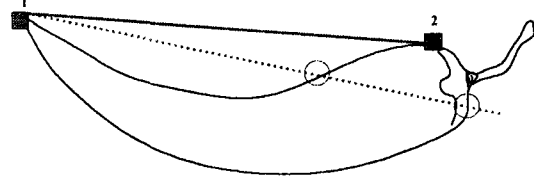


Fig. 4. Decision of baseline for grading

한편 고추의 기준선을 결정하기 위해서는 고추의 볼록 여부를 조사해야 하며 이는 상부 윤곽화소 개수와 하부 윤곽화소 개수를 비교하여 화소의 개수가 많은 쪽이 휘어진 면으로 결정하여 기준선에 대한 기본 방향을 설정하였다. 기준선이 결정되면 길이 측정을 위한 보조 특징점(p3, p4, p5, p6)을 탐색하였다. 이들 보조 특징점은 윤곽화소이면서 기준선에 수직인 것들도 정의하였다. 그림 5는 고추선별 알고리즘의 전체 흐름도를 나타낸 것이다.

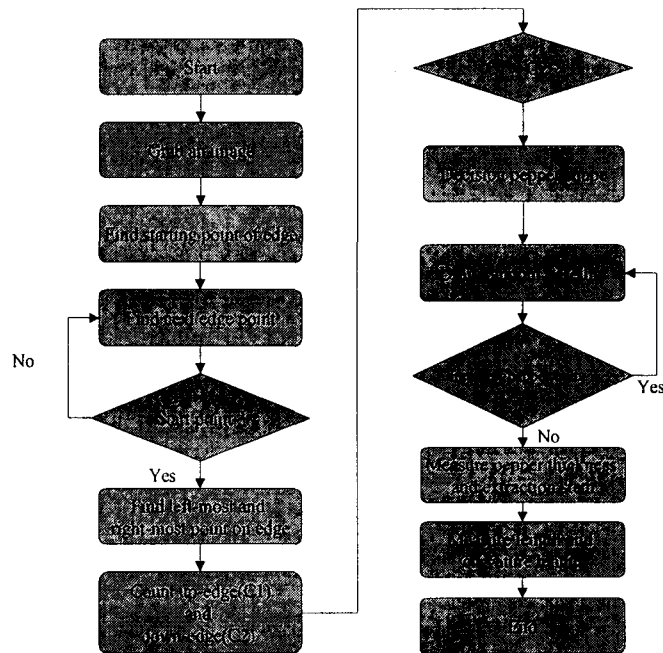


Fig. 5. Flowchart for green pepper algorithm

라. 선별 실험

고추 선별 실험을 위한 측정용 소프트웨어를 개발하였다. 개발환경은

윈도 98 second edition로 Visual C++(Ver 6.0) 컴파일러를 이용한 윈도프로그램을 개발하였으며 주요 기능으로는 On-Line/Off-Line 선별 모드, 측정 데이터 화면 출력 및 수동 문턱값 설정 기능을 포함하고 있다.

측정에 사용한 시료는 총 84 개로 꼭지를 제거한 상태에서 77~140 mm 길이 분포와 0~20 mm의 휨 분포를 가지고 있는 것이었다. 측정시 카메라의 화소 크기는 0.74 mm/pixel이었으며 Green 채널에서 화소치 200 이하 영역을 고추 영역으로 간주하고 윤곽선을 탐색하였다. 그리고 재현성 분석을 위하여 동일 시료에 대하여 5회 투입하여 선별 실험을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 기계시각장치의 정확도 평가

선별 실험에 앞서 구축한 기계시각 장치의 길이 측정 정확도를 평가하기 위해서 이송 속도 50 cm/sec에서 획득한 고추 영상에서 꼭지를 포함한 고추의 길이를 분석하였다. 고추의

꼭지를 포함한 이유는 사람에 의해 수동으로 고추의 길이를 측정하는 경우 꼭지를 포함한 길이 측정이 보다 객관적이고 측정이 용이하기 때문이었다. 70개의 고추에 대해 사람이 측정한 고추의 길이와 기계시각으로 측정한 고추의 길이 사이에는 상관계수 0.9949, 표준오차 1.67 mm을 보여주어 구축한 기계시각장치의 길이 측정 정확도는 매우 높음을 알 수 있었다.

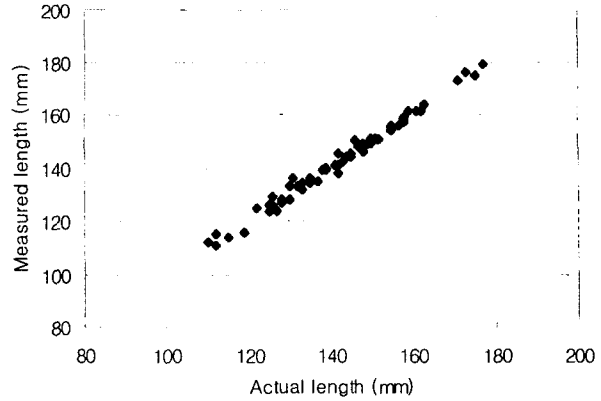


Fig. 6. Measurement accuracy of length with machine vision

나. 길이 및 휨 측정 결과

그림 7은 이송상태의 고추 영상에 대해 꼭지 제거 알고리즘을 적용하여 꼭지를 제거한 후 고추의 길이 및 휨을 측정한 결과를 나타낸 것이다. 먼저 사람이 측정한 실제 길이와 기계시각으로 측정한 길이의 상관계수는 0.974, 표준오차 3.22 mm를 보여주었으며, 휨 길이에 대해서는 상관계수 0.956, 표준오차 1.27mm 를 보여주어 앞서 장치의 측정 정확도 분석에서 보여준 결과보다는 다소 낮은 정확도를 보여주었다. 이와 같은 결과는 사람이 고추의 길이를 측정하는 경우 고추의 꼭지가 제거되지 않은 상태에서 제거된 것으로 간주하고 측정한 것이 주 요인으로 작용하였으며 이외에도 이송시 고추가 컨베이어의 바닥면에 안착되지 않았기 때문인 것으로 판단된다.

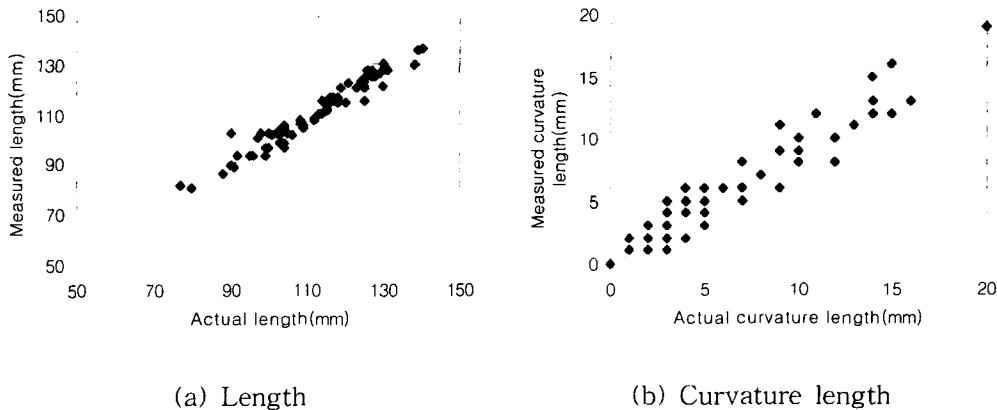


Fig. 7. Result of length and curvature measurement with machine vision

다. 측정 재현성 및 선별 정확도 분석

5회 반복 측정을 통하여 측정 정확도에 대한 재현성을 조사하였다. 그림 8에서 보는 바와 같이 반복간 오차는 약 1.79mm 였으며 최대 5mm 이상의 오차를 보여주는 것도 있었다. 반복간 오차가 존재하는 이유는 고추 꼭지를 정확하게 인식하지 못한데 따른 것으로 실험결과

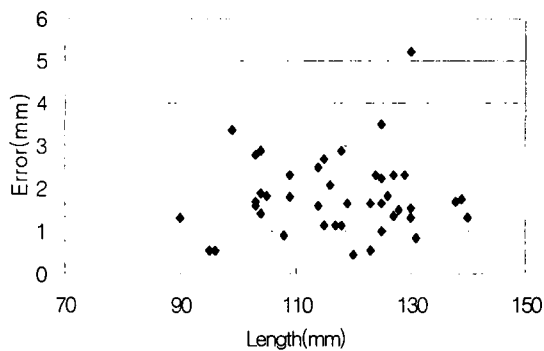


Fig. 8. Replication result of length measurement

처리할 수 있으므로 처리속도 면에서 실용성은 충분한 것으로 나타났다.

총 84개의 고추에 대하여 73개를 측정하여 평균 86.9% 정도만이 정확하게 꼭지를 제거했기 때문이었다. 실험 수행 중 매우 다양한 고추의 꼭지 형상을 관찰할 수 있었으며 이로 인해 고추의 두께를 정확하게 측정하지 못했기 때문에 오차가 발생한 것으로 앞으로 이에 대한 보완이 요구된다.

한편 본 연구에서 구축한 장치는 동시에 2개의 고추 영상을 입력받을 수 있으며 이를 처리하는데 소요되는 시간을 분석한 결과 170 msec로 나타나 시간당 42,000개를

4. 요약 및 결론

본 연구는 고추 선별 시스템 개발을 최종 목적으로 기계시각을 이용하여 고추를 선별할 수 있는 알고리즘을 개발하고자 하였다. 잔상의 영향을 줄이기 위해 프로그래시브 스캔 방식의 RGB 컬러 CCD 카메라와 이를 디지털 데이터로 만들기 위한 프레임 그래버 및 삼파장 형광등을 이용하여 기계시각 시스템을 구축하였다. 고추의 주요 선별 인자인 길이와 휨 길이를 측정하기 위하여 윤곽선 탐색과 고추 꼭지 제거를 수행하였으며 고추의 기준선을 검출하여 길이 및 휨 길이를 측정하였다. 측정 실험 결과 길이 오차는 3.22mm, 휨 길이 오차는 1.27mm였다. 오차의 대부분은 고추의 꼭지 제거가 불완전했기 때문으로 이에 대해서는 차후 보완이 요구된다.

5. 참고문헌

1. Gonzalez, R. C. and P. Wintz. 1987. Digital Image Processing. Addison Wesley
2. Jain, A. K. 1989. Fundamentals of Digital Image Processing, Prentice Hall
3. Matrox Imaging Library. 1999.
4. Pitas, I. 1993. Digital image processing algorithms. Prentice Hall
5. Shearer, S. A. and F. A. Payne. 1990. Color and defect sorting of bell peppers using machine vision. Trans of the ASAE. 33(6) : 2045-2050
6. Tao, Y. et. al. 1995. Fourier-based separation technique for shape grading of potatoes using machine vision. Trans. of the ASAE : 38(3) 949~957
7. 김일웅, 노상하, 류관희. 1990. 화상처리 시스템을 이용한 과일의 기하학적 특성 예측. 한국농업기계학회지 15(1) : 23-32
8. 국립 농산물품질관리원. 1999. 농산물표준규격