

## 기계시각에 의한 풋고추 온라인 등급판정 알고리즘 개발

# Development of On-line Grading Algorithm of Green Pepper Using Machine Vision

조남홍	이수희	황 현	이영희	최승묵	박종률	조광한
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
N. H. Cho	S. H. Lee	H. Hwang	Y. H. Lee	S. M. Choi	J. R. Park	K. H. Cho

### SUMMARY

Production of green pepper has increased for ten years in Korea, as customer's preference of a pepper turned to fresh one. This study was conducted to develop an on-line grading algorithm of green pepper using machine vision and aimed to develop the automatic on-line grading and sorting system. The machine vision system was composed of a progressive scan RGB CCD camera, a frame grabber and sets of 3-wave fluorescent lamps. The length and curvature, which were main quality factors of a green pepper were measured while removing the stem region. The first derivative of the thickness profile was used to remove the stem area of the segmented image of the pepper. A new boundary was generated after the stem was removed and a baseline of a pepper which was used for the curvature determination was also generated. The developed algorithm showed that the accuracy of the size measurement was 86.6% and the accuracy of the bent was 91.9%. Processing time spent for grading was around 0.17 sec per pepper.

**Keywords :** Green pepper, Machine vision, Sorting, On-line grading, Length, Curvature.

### 1. 서 론

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

고추 전체재배 면적 중 풋고추의 재배면적 비율

은 매년 늘어나는 추세를 보이고 있는 반면, 붉은 고추 재배면적의 비율은 비슷하거나 다소 감소하는 추세다. 풋고추의 재배면적은 시설채소 면적이 증가하면서 연중 생산이 가능하게되어 급속히 증가하고 있으며 신선 채소류에 대한 선호도가 늘어나면서 풋고추의 소비량이 늘어나고 있다.

현재 풋고추는 길이와 굵은 정도 등을 기준으로 선별 출하되고 있다. 그러나 풋고추의 선별작업은

---

The article was submitted for publication in August 2001, reviewed in September 2001, and approved for publication by the editorial board of KSAM in November 2001. The authors are N. H. Cho, K. H. Cho, Senior Researchers, Y. H. Lee, S. M. Choi, J. R. Park, Junior Researchers, National Agricultural Mechanization Research Institute, S. H. Lee, Senior Researcher, Research Institute of Life Science & Technology, Sungkyunkwan University, and H. Hwang, Professor, Dept. of Bio-Mechatronic Engineering, Sungkyunkwan University. The corresponding author is H. Hwang, Professor, Dept. of Bio-Mechatronic Engineering, Faculty of Life Science and Technology, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea. E-mail : <hhwang@skku.ac.kr>.

전적으로 인력에 의존하므로 많은 노동력이 소요되며 작업능률이 낮고 육안에 의존하기 때문에 정확한 크기선별이 곤란한 실정이다. 또한 고추의 선별·포장에 소요되는 작업노력으로 인하여 주산지별로 선별·포장 작업의 기계화 요구도가 높다.

사과, 배와 같은 과실류에 대하여 기계시각을 이용하여 크기와 형상을 판정하는 연구가 국내에서도 활발히 추진되어 왔다. 크기 판정에 있어서는 투영 단면적을 측정하여 과실의 중량 또는 부피를 예측하였다. Noh 등(1995)은 투영 단면적을 1.5배곱하여 부피를 추정하는 선형회귀모델을 개발하였으며 이 두 인자간의 결정계수는 0.98이상 그리고 측정오차는 8 mm<sup>3</sup>임을 보고한 바 있다. 형상 판정에 있어서는 기형과를 선별하기 위한 연구로 Kuhn 등(1982)은 사과의 기울어짐(lopsideness)을 기형인자로 정의한 바 있으며, Varghese 등(1991)은 기형과 검출을 위해 stem-calyx 축으로 사과가 놓여져 있어야 하며 최소 5번의 관찰이 필요하다고 하였다. Heinemann 등(1995)은 stem-calyx를 주축으로 하는 3차 모멘트를 계산하여 사과의 형상을 판정하는 연구를 수행하였다. 그리고 Noh 등(1990)이 사과영상의 투영단면에서의 장단축비 그리고 원형도를 이용한 기형과 판별에 관한 기초 연구를 수행한 바 있다.

풋고추의 길이는 꼭지를 제외한 상태에서 측정해야 하므로 꼭지제거 알고리즘이 필요하고 시간당 처리량을 고려할 때 고속으로 측정해야만 한다. 또한 일정 이상으로 구부러진 고추는 기형으로 분류하여 상품에서 제외해야 한다. 꼭지 제거 알고리즘의 경우, Hwang과 Lee(1994)는 건표고를 대상으로 갖의 크기를 측정하는데 있어 표고 영상의 도심으로부터 대각선 방향으로 양 경계부까지의 거리를 이용하여 꼭지의 존재를 판별하였다. 판별된 꼭지는 제거되고 Overhauser 곡선 생성방법으로 꼭지를 제거한 갖의 형상을 복원한 후 크기를 측정하였다.

본 연구에서는 고추 생산의 일관 기계화, 고추의 품질 등급화와 유통효율을 높이기 위하여 풋고추의 손상을 최소화하면서 정밀하게 온라인 상에서 자동으로 선별할 수 있는 시스템 개발을 목표로 풋고추의 크기와 휨 길이 측정에 의한 실시간 등급판정 알고리즘을 개발하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 공시재료

국립농산물 품질관리원의 농산물 표준출하 등급 규격에 따르면 풋고추 선별은 길이 기준으로 3등급(12 cm 이상-‘상’ 등급, 8~12 cm-‘중’ 등급, 8 cm 미만-‘하’ 등급)으로 분류하고 있으며 기형 선별의 기준이 되는 휨 길이에 대해서는 명확하게 그 크기를 규정하지 않고 있다. 본 연구에서는 등급판정 실험을 위하여 강원도 홍천에서 생산된 풋고추 210개를 시중에서 구입하였다. 공시재료의 물성을 조사한 결과 ‘상’ 등급은 84개, ‘중’ 등급은 94개, ‘하’ 등급은 32개였으며, 꼭지부분을 제외한 고추의 길이는 직선길이로써 최대 148 mm, 최소 58 mm이었으며, 휨 길이는 최대 28 mm로 나타났다. 고추의 길이와 휨 정도에 대한 정의는 고추의 등급요소에 자세히 기술하였다.

### 나. 기계시각 시스템 구성

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

기계시각부의 광원으로는 36 W 삼파장 형광등(20 kHz)을 사용하였으며 카메라의 좌우측에 각각 4개를 부착하고 고른 산란광을 얻기 위해 백색아크릴을 광원의 전면부에 부착하였다. 이송 장치로는 최대 50 cm/sec까지 속도 조절이 가능한 체인 컨베이어에 평판접시를 부착하여 고추를 이송시켰으며, 체인 구동축에 영상획득 동기신호를 부여하기 위하여 근접센서를 부착하였다.

### 다. 등급판정 알고리즘 개발

#### (1) 등급판정 인자 추출

고추의 등급은 흠, 갈변 등 외관에 특별한 하자가 없는 경우 길이와 휨 정도에 의해 판정된다.

Table 1. Specification of machine vision system

Item	Specification
Image Processing System	CCD Camera Progressive scan RGB camera NTSC color camera Shutter speed 1/250 sec Lens : focal length 6 mm(1.4F)
	Frame Grabber RGB camera support PCI BUS
	Computer CPU : Pentium III RAM : 128 M HDD : 20 G
	Monitor 17 inch
	S/W Library & Tool Mil-Lite 6.01
Illumination	Fluorescent light 3 wave length fluorescent lamp (36 W compact type)
	Chamber(L×W×H) 700×840×640 mm

길이와 휨 정도를 측정하기 위해서 그림 1과 같은 6개의 특징점을 설정하였다. 여기서 p1과 p2를 잇는 선은 고추의 길이 및 휨 길이에 대한 기준선 역할을 수행하며, p3와 p4는 기준선에 대하여 수직으로 스캔하여 고추와 접하는 접점을 나타내는데 p3에서 기준선에 직각으로 만나는 점과 p4에서 기준선으로 직각으로 만나는 점 사이의 길이가 고추의 길이가 된다. p6는 p5에서 고추의 경계까지 수선을 그었을 때 길이가 최대가 점이며 p5와 p6를 잇는 선이 휨을 측정하는 선이 된다. 언급한 6개의 특징점을 추출하기 위해서 8방향 체인코딩을 사용하여 윤곽선을 추출하였으며 꼭지 제거 알고리즘을 적용하여 꼭지 부위를 윤곽선 상에서 제외시킨 후 특징점 탐색을 수행하였다.

(2) 기준선 결정

고추의 윤곽선을 추출하기 위하여 획득한 칼라 영상에서 Red 채널의 화소값 80을 문턱값으로 하여 그 이하를 고추 화소로 간주하고 윤곽선 탐색을 수행하였다. 윤곽선 탐색을 마친 후 꼭지 제거와 길이 측정의 기준이 되는 기준선을 결정하였다. 고추에 있어서 길이는 정의하는 방법에 따라 여러 가지가 있을 수 있으나 본 연구에서는 고추

의 몸통을 통과하지 않는 양 끝단의 두 점을 잇는 선을 기준선으로 정의하였다(그림 2). 이 때 선 1-2는 최초 꼭지를 제거하지 않은 상태에서의 기준선이고 선 1-3은 꼭지를 제거한 후 최종적으로 길이를 측정하기 위한 기준선이다.

기준선을 이루는 양 끝단의 두 점을 결정하기 위해서 체인코딩에 의해서 얻어진 윤곽선 좌표를 이용하였다. 먼저 고추의 기하학적 특성상 기준점은 고추의 좌우측 가장자리의 일정 범위 내에 존재하는 것으로 가정하였다. 이 때 탐색 범위는 전체 윤곽화소의 5%에 해당하는 개수로 하였다. 탐색 범위 내에서 좌측과 우측에 대해 각각 한 점씩을 선정하고 이 두 점을 잇는 선이 고추의 몸통을

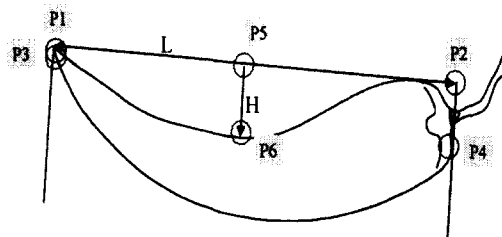


Fig. 1 Extraction of six feature points for pepper grading.

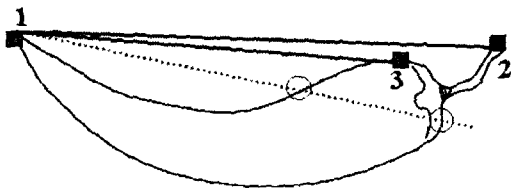


Fig. 2 Decision of baseline for measuring pepper length.

통과하면 다른 점으로 이동하면서 고추의 기준선을 탐색하였다. 좌측과 우측의 5%에 해당하는 화소수의 조합으로 탐색을 수행하면서 고추의 몸통을 통과하는 화소가 나타나지 않을 경우 이 두 점을 기준점으로 선정하였다.

### (3) 꼭지 제거

고추의 길이를 측정하기 위해서는 꼭지가 제거된 상태에서 길이 측정이 이루어져야 한다. 본 연구에서는 고추의 꼭지를 제거하기 위해서 고추의 두께를 측정한 후 두께 곡선의 변화량을 이용하였다. 그림 3은 고추의 두께 곡선과 이것을 1차 미분한 결과를 나타낸 것으로 고추의 몸통 부위는 두께의 변화량이 비교적 작으나 꼭지가 시작되는 지점에서는 상대적으로 큰 두께 변화량을 보이므로 이 부위를 꼭지 영역으로 간주하였다. 고추의 두께는 앞서 결정된 기준선에 대해 수직 방향으로 화소를 탐색하여 만나게 되는 두 개의 윤곽좌표의 거리를 이용하였다. 두께 측정시 탐색 조건으로는 먼저 이웃한 화소가 두께 측정 화소로 선정되는 것을 방지하기 위해 두 개의 거리측정용 화소는 5 화소 이상의 간격이 떨어져 있어야 하며 두께 측정에 실패하는 경우를 방지하기 위하여 좌우측 가장 자리의 10개 화소에 대해서는 두께 측정을 수행하지 않았다.

고추에 대한 두께를 얻은 후 두께 곡선에 대해 1차 미분을 수행하여 미분의 절대값 중에서 최대값을 보이는 영역을 꼭지 영역으로 간주하였다. 이 때 미분간격(Gap)은 20으로 설정하였으며 탐색된 두 개의 꼭지 화소를 직선으로 연결하여 꼭지 부분을 제거한 새로운 전체 윤곽선 좌표를 생성하였다.

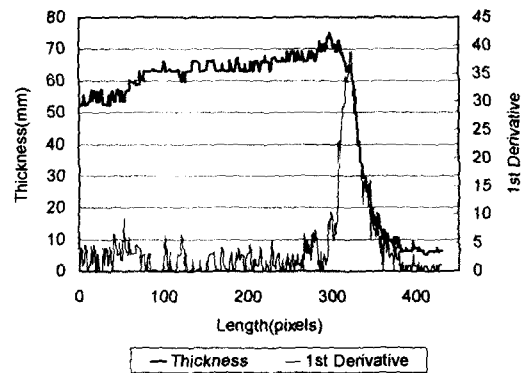


Fig. 3 Stem detection of green pepper using the first derivative of thickness profile.

### (4) 고추 길이 및 휨 길이 측정

고추의 꼭지를 제거한 후 생성된 새로운 윤곽화소를 이용하여 기준선을 선정하였다. 기준선 선정 방법은 앞서 꼭지가 있는 경우에서 적용한 것과 같은 방법을 사용하였다. 기준선이 결정되면 길이를 측정하기 위하여 기준선의 수직방향으로 좌우측 끝 화소를 탐색하고 두 화소의 수평길이를 측정하여 이를 고추의 길이로 하였다. 그리고 휨 길이는 윤곽화소와 기준선과의 거리를 계산하고 이중 가장 큰 길이로 하였다. 그림 4는 등급판정 알고리즘의 흐름도를 나타낸 것이다.

### 라. 등급판정 시험

고추 등급판정용 소프트웨어는 개발환경의 운영체제를 윈도 98(second edition)을 사용하였으며 C(Visual C++, Ver 6.0) 컴파일러를 이용하여 개발하였다. 구동 소프트웨어에는 On-Line/Off-Line 선별 모드, 측정 데이터 화면 출력 및 수동 문턱값 설정 기능을 포함하였다.

등급판정 시험에 사용한 시료는 총 210개로 모눈종이 위에 꼭지가 시작되는 부위를 측정 기준점으로 간주하고 가장 긴 길이를 보이는 방향으로 기준선 방향을 결정한 후 육안으로 모눈종이의 눈금을 mm 간격으로 측정하였다. 고추는 수동으로 하나씩 이송상태의 점시에 놓았으며 이 때 이송속도는 45 cm/sec였다. 측정시 카메라의 화소 크기는

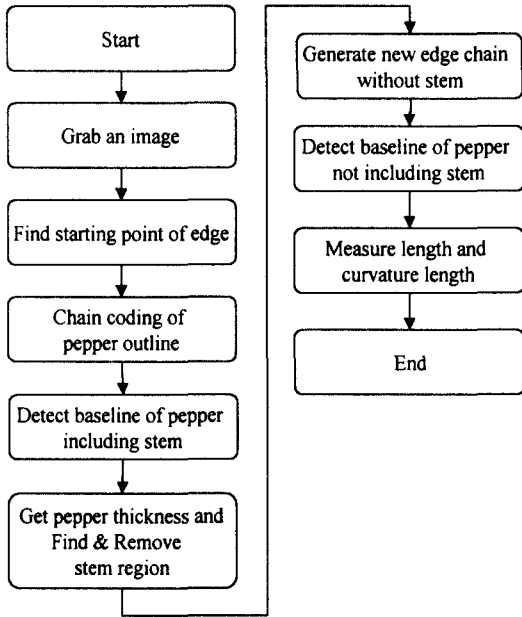


Fig. 4 Flowchart for green pepper grading algorithm.

0.38 mm/pixel이었으며 Red 채널에서 화소값 80 이하 영역을 고추 영역으로 간주하고 윤곽선을 탐색하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 기계시각장치의 정확도 평가

선별 실험에 앞서 구축한 기계시각 장치의 길이 측정 정확도를 평가하기 위해서 이송 속도 50 cm/sec에서 84개의 고추에 대해 꼭지를 포함한 고추의 길이를 분석하였다(그림 5). 고추의 꼭지를 포함한 이유는 육안 측정시 꼭지를 제거한 길이로 하는 경우 놓는 방향에 따라 측정값에 약간의 차이가 발생했기 때문이었다.

84개의 고추에 대해 사람이 측정한 고추의 길이와 기계시각으로 측정한 고추의 길이 사이에는 상관관계수 0.9949, 표준오차 1.67 mm을 보여주어 구축한 기계시각장치의 길이 측정 정확도는 등급 선별에 적절함을 알 수 있었다.

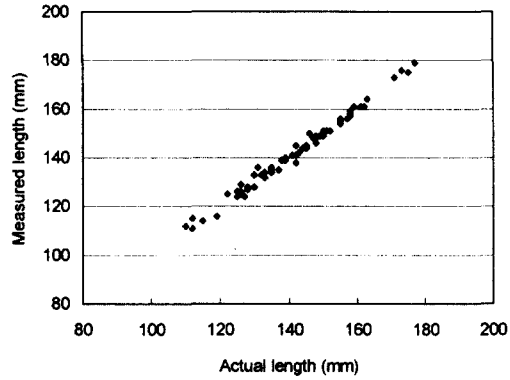


Fig. 5 Measurement accuracy of length with machine vision.

#### 나. 길이 및 휨 측정 결과

그림 6은 이송상태의 고추 영상에 대해 꼭지 제거 알고리즘을 적용하여 꼭지를 제거한 후 고추의 길이 및 휨을 측정한 결과를 나타낸 것이다. 먼저 육안으로 측정한 실제 길이와 기계시각으로 측정한 길이를 비교한 결과 상관계수는 0.949, 표준오차 7.2 mm를 보여주었으며, 휨 길이에 대해서는 상관계수 0.850, 표준오차 2.2 mm를 보여주어 앞서 장치의 측정 정확도 분석에서 보여준 결과보다는 다소 낮은 정확도를 보여주었다. 이와 같은 결과는 사람이 고추의 길이를 측정하는 경우 고추의 꼭지가 제거된 것으로 간주하고 측정했기 때문에 측정값 사이에 차이가 있었으며 심하게 구부러진 고추의 경우 카메라 측정 부위와 실제 측정 부위가 서로 다르기 때문인 것으로 판단되었다.

#### 다. 등급판정 시험 결과

표준출하등급에 따라 측정된 길이를 기준으로 등급을 부여하고 이를 실제 측정한 등급과 비교하였다(표 2, 그림 7). 등급 선별결과 총 210개에 대해서 28개가 다른 등급을 부여함으로써 86.6%의 정확도를 보여주었다. 먼저 '상' 등급의 고추에 대해서는 총 84개에 대해서 13개가 한 등급 아래의 등급을 갖고 있었으며 '중' 등급 고추에 대해서는 7개, '하' 등급 고추에 대해서는 8개의 오 분류가 발생하였으며 두 등급 이상의 차이는 발생하지 않았다.

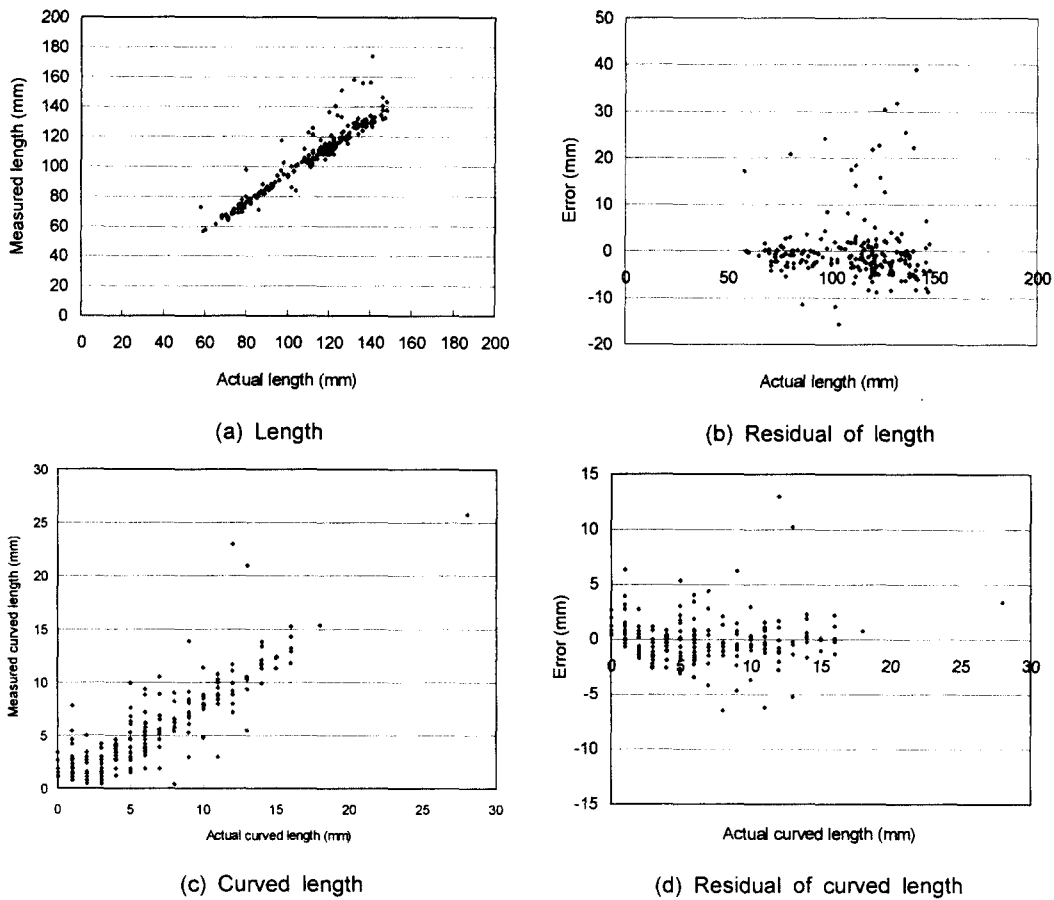


Fig. 6 Result of length and curved length measurement with machine vision.

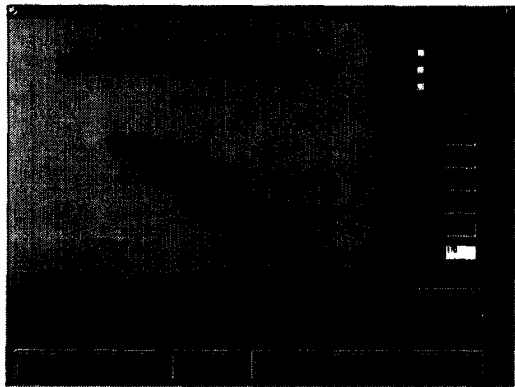


Fig. 7 Display of length and curved length of green pepper after removing stem.

시험 결과 등급판정 오류는 크게 두 가지로 나눌 수 있었다. 첫 번째는 고추의 꼭지를 정확하게 제거하지 못하여 실제 길이보다 길게 측정됨으로써 등급이 한 단계 올라가는 경우로 '중' 등급에 대해서 6개, '하' 등급에 대해서 8개가 발생하였으며 오류를 보여준 고추에 대한 길이 측정 오차는 각각 16.2 mm와 6.6 mm를 보여주었다. 고추의 꼭지를 정확하게 제거하지 못한 이유는 꼭지가 시작되는 부위의 두께 변화량이 미미해서 미분값 만으로는 꼭지가 시작되는 위치를 검출하지 못했기 때문으로 나타났다.

한편 고추의 형상이 매우 복잡하게 휘어있어서 이송접시에 놓일 때 구부러져 놓여있게 됨으로써 실제보다 작게 측정되는 경우가 발생하였다. 이 경우는 고추가 길수록 편차가 크게 됨으로써 '하'

Table 2 Results of size grading

Grading		Vision			Total
		above 120 mm	80~120 mm	below 80 mm	
Manual	above 120 mm	71	13	-	84
	80~120 mm	6	87	1	94
	below 80 mm	-	8	24	32
Total		77	108	25	210

등급 고추에서는 1개 밖에 발생하지 않았으나 '중' 등급의 경우 13개가 발생하였으며 이 때의 측정오차는 5.2 mm로 나타났다.

고추의 휨 길이에 대해서는 현재 정확한 출하규격이 제시되었지 않으므로 휨 길이가 10 mm 이상인 경우 기형으로 간주하고 측정 시료를 대상으로 선별하였다. 기형판정 결과 17개의 고추에 대해 오류를 보여주어 정확도는 91.9%의 정확도를 보여주었다. 오분류 유형별로는 기형고추를 정상으로 판정한 경우가 13개로 전체 오류에 대해 76.4%를 차지하였다. 이 경우도 앞서 길이 측정과 마찬가지로 실제 고추는 휘어 있으나 고추가 놓일 때 휨 부분이 화면상에 나타나지 않음으로써 정상고추로 판정되었으며, 정상고추인데 기형으로 판정한 경우는 4개로 이는 꼭지 제거에 실패하여 꼭지가 포함된 상태에서 휨 길이를 측정하여 기형으로 판정한 것이다.

본 연구에서 개발한 등급판정 알고리즘의 평균 소요 시간은 개당 170 msec로 나타나 영상처리 측면에서 초당 5개를 처리할 수 있어 온라인 시스템 적용에 충분한 것으로 나타났다.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 온라인 자동 고추 등급판정 시스템 개발을 목적으로 기계시각을 이용하여 고추의 등급을 판정할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 잔상의 영향을 줄이기 위해 progressive scan 방식의 RGB 컬러 CCD 카메라와 이를 디지털 데이터로 만들기 위한 프레임그래버 및 삼파장 형광등을 이

용하여 기계시각 시스템을 구축하였다. 고추의 등급판정 인자인 전체 길이와 휨 길이를 측정하기 위하여 윤곽선 탐색과 꼭지 제거를 수행하였으며 꼭지가 제거된 새로운 윤곽선을 기준으로 길이 및 휨 길이를 측정하였다. 총 210개에 대해서 이송상태의 고추 영상을 획득하고 이를 분석하였으며 구체적인 연구 결과는 아래와 같다.

1) 정확한 고추의 크기를 측정하기 위해서 윤곽선을 탐색하고 고추 두께의 1차 미분 특성을 이용하여 꼭지를 검출하고 이를 제거하는 알고리즘을 개발하였으며 길이 측정오차는 7.2 mm, 휨 길이 측정오차는 2.2 mm로 나타났다.

2) 최대 길이에 따른 3등급 선별실험 결과 86.6%의 정확도를 보여주었으며 휨 정도에 따른 형상 선별에 대해서는 91.9%의 정확도를 보여주었다.

3) 개발된 알고리즘의 등급판정 소요시간은 평균 0.17초로써 이를 이용할 경우 초당 5개 이상을 처리할 수 있어 온라인 시스템에 적용이 가능한 것으로 판단되었다.

#### 참 고 문 헌

1. Heinemann, P. H., Z. A. Varghese, C. T. Morrow, H. J. Sommer III, and R. M. Crassweller. 1995. Machine vision inspection of 'Golden Delicious' apples. *Applied Engineering in Agriculture* 11(6):901-906.
2. Hwang, H. and C. H. Lee. 1994. Automatic recognition of the front/back sides and stalk states for mushrooms(*Lentinus Edodes* L.). *The Journal*

- of the KSAM 19(2):124-137(In Korean).
3. Kuhn E. D., J. T. Ambrose. and C. R. Unrath. 1982. A measurement technique for 'Delicious' apple shape. HortScience 17(5):785-787.
  4. Lee, S. H. 2000. Machine vision system for on-line extraction and quantification of appearance quality factors of apple. Ph.D. Thesis, Seoul National University.
  5. Noh, S. H., J. W. Lee and I. G. Hwang. 1995. Fruit grading algorithms of multi-purpose fruit grader using black & white image processing system. Journal of the Korean society for agricultural machinery. 20(1):95-103(In Korean).
  6. Noh, S. H., K. H. Ryu and Y. W. Kim. 1990. Measurement of geometrical characteristics of fruit by image processing system. The Journal of the KSAM 15(1):23-31(In Korean).
  7. Varghese, Z. and C. T. Morrow. 1991. Automated inspection of golden delicious apples using color computer vision. International Summer Meeting ASAE.
  8. 농산물 표준출하규격. 1999. 국립 농산물품질관리원.