

## 기계시각에 의한 풋고추 자동 선별시스템 개발

조남홍 장동일 이수희 황 헌 이영희 박종률

### Development of Automatic Sorting System for Green pepper Using Machine Vision

N. H. Cho D. I. Chang S. H. Lee H. Hwang Y. H. Lee J. R. Park

#### Abstract

Production of green pepper has been increased due to customer's preference and a projected ten-year boom in the industry in Korea. This study was carried out to develop an automatic grading and sorting system for green pepper using machine vision. The system consisted of a feeding mechanism, segregation section, an image inspection chamber, image processing section, system control section, grading section, and discharging section. Green peppers were separated and transported using a bowl feeder with a vibrator and a belt conveyor, respectively. Images were taken using color CCD cameras and a color frame grabber. An on-line grading algorithm was developed using Visual C/C++. The green peppers could be graded into four classes by activating air nozzles located at the discharging section. Length and curvature of each green pepper were measured while removing a stem of it. The first derivative of thickness profile was used to remove a stem area of segmented image of the pepper. While pepper is moving at 0.45 m/s, the accuracy of grading sorting for large, medium and small pepper are 86.0%, 81.3% and 90.6% respectively. Sorting performance was 121 kg/hour, and about five times better than manual sorting. The developed system was also economically feasible to grade and sort green peppers showing the cost about 40% lower than that of manual operations.

**Keywords :** Green pepper, Sorting, Machine vision, Grading, Image processing

### 1. 서론

고추는 우리의 음식문화와 매우 밀접하여 많은 음식들에 널리 사용되는 조미채소로서 풋고추, 홍고추, 건고추, 고춧가루 등 다양하게 유통되고 있으며, 또한 조림용, 건고추용으로 다양하게 쓰이는 필수 채소류 중의 하나이다. 신선 채소류에 대한 선호도가 늘어나면서 풋고추의 소비도 증가하는 추세로 중요한 성장작목으로 분류 할 수 있다. 채소류 중에서 풋고추는 비타민 C와 카로틴의 함량이 높아서 식용으로 많이 이용되는 양념채소이고 풋고추의 재배면적은 꾸준히 증가하고 있으며, 시설채소 면적이 증가하면서 연중 생산이 가능하게 되

어 중요한 농가소득 작목의 하나이다. 실제로 신선채소의 품질인자에 대한 선호도를 분석한 이현동(2003) 등은 풋고추의 경우 동일 색택에서 형태와 크기로 구분한 풋고추의 외관 선호도를 조사한 결과 곧은 형태의 큰 것을 가장 선호하는 것으로 나타났으며, 자가소비용 구매조건으로는 풋고추의 모양이 중요(80%)한 것으로 보고하였다. 이는 소비자의 고추에 대한 소비형태가 품질에 대한 요구를 만족하기 위해서는 무엇보다도 다양한 품질인자별 선별작업이 수행될 필요가 있음을 보여준다.

또한 생산된 풋고추의 부가가치를 높이고 유통효율을 높이기 위해서는 풋고추의 수확 후 선별작업과 포장작업이 이루

The article was submitted for publication in September 2006, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in December 2006. The authors are Nam Hong Cho, Senior Reseacher, KSAM member, National Institute of Agricultural Engineering, Dong Il Chang, Professor, Division of Bioresources Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Soo Hee Lee, Director, Life & Technology Co., Heon Hwang, Professor, Dept. of Bio-Mechatronics Engineering, Life Science & Technology, Sungkyunkwan Suwon University, Young Hee Lee, Senior Reseacher, KSAM member, and Jong Ryul Park, Junior Reseacher, KSAM member, National Institute of Agricultural Engineering. Corresponding author: D. I. Chang, Professor, Chungnam National University, Daejeon, 305-764, Korea; E-mail: <dichang@cnu.ac.kr>.

어려야 한다. 현재 풋고추의 출하형태는 길이와 굵은 정도 등을 기준으로 출하되고 있다. 그러나 풋고추의 선별작업은 전적으로 인력에 의존하므로 많은 노동력이 소요되며 작업능률이 낮고 육안에 의존하기 때문에 정확한 크기선별이 곤란한 실정이다. 이에 따라 주산지별로 선별·포장 작업의 기계화, 자동화 요구도가 높다.

따라서 이에 대처하기 위해서는 컴퓨터시각기술인 디지털 영상처리 도입이 중요하게 인식되고 있다. 외국의 경우 영상처리기술 응용연구의 주요 대상으로는 토마토, 감자, 사과, 오렌지, 복숭아 등이며 주로 과실류의 수확과 선별자동화 그리고 곡물류의 외관검사에 관한 연구들이 주를 이루고 있다. 그러나 풋고추에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다. 농업분야에 있어서 생산 및 품종개발과 관계되는 영상정보 처리기술의 응용연구는 고부가가치의 생산물을 대상으로 구미와 일본 등에서 활발히 추진되어 왔다. 국외의 경우 Wolfe 등(1985)은 Blueberry와 Cherry Pepper의 꼭지부 위치 판정을 위해 체인 코딩을 통하여 추출한 경계를 이용한 연구를 수행하였다. 체인코딩의 경계화소를 분할하여 얻은 각 경계구간을 원호로 규정하여 곡률각(K-slope)을 비교하는 알고리즘을 제시하였다. CCD 카메라를 이용한 영상처리 연구 분야에서 Noh 등(1995)은 흑백 영상을 이용하여 다목적 과일 등급판정 알고리즘 개발에 관한 연구를 수행하였으며 Nakano 등(1997)은 영상처리를 이용하여 사과와 야채 선별시스템에 관한 연구를 수행하였다. 그리고 Lee(2000)는 기계시각을 이용하여 사과의 외관품질 인자를 추출할 수 있는 온라인 영상처리 시스템을 개발하였다. 노 등(1990)은 흑백 영상처리시스템을 구성하여 사과의 기하학적 특성을 측정하는 연구를 하였다. 사과의 꼭지면 영상으로부터 소벨(Sobel) 연산자 및 체인 코드를 이용하여 사과의 윤곽을 추출하고, 사과의 둘레, 단면적, 장·단축의 길이 및 원형도 등을 계산하는 프로그램을 개발하였으며, 부피를 측정하는 회귀식을 제시하였다. 꼭지 제거 알고리즘의 경우, 황과 이(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. 풋고추의 길이는 꼭지를 제외한 상태에서 측정해야 하므로 꼭지제거 알고리즘이 필요하다. 시간당 처리량을 고려할 때 풋고추는 고속으로 측정되어야하고, 다양한 형상으로 인해 공급 및 배출 시스템을 구성하기에 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서는 고추 생산의 일관 기계화, 고추의 품질 등급화와 유통효율을 높이기 위하여 풋고추의 손상을 최

소화하면서 정밀하게 온라인상에서 자동으로 선별할 수 있는 시스템 개발을 목표로 풋고추의 크기와 휨 길이 측정에 의한 실시간 등급판정 알고리즘을 개발하였으며 풋고추를 하나씩 날개로 개체화하여 공급할 수 있는 자동공급장치와 배출장치를 포함한 풋고추 일관처리 시스템을 개발하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 공시 재료

풋고추의 등급판정기준을 설정하기 위하여 국립농산물 품질관리원의 농산물 표준출하 등급규격을 조사한 결과, 길이 기준으로 3등급(12 cm 이상·대·등급, 8~12 cm·중·등급, 8 cm 미만·소·등급)으로 분류하고 있으며, 기형 선별의 기준이 되는 휨 길이에 대해서는 명확하게 그 크기를 규정하지 않고 있다. 시험 재료는 2002년 전남 나주산 녹광으로 그림 1에 보인 길이, 휨 등의 특징들을 표 1에 나타내었다, 꼭지부분을 제외한 고추의 길이는 직선길이로써 최대 157 mm, 최소 50 mm이었으며, 휨 길이는 최대 29 mm, 꼭지길이는 45.6~42.8 mm, 고추 굵기는 16.4~4.4 mm, 무게는 13.2~1.7 g으로 나타났다.

### 나. 선별 알고리즘

풋고추 선별을 위하여 고추의 윤곽선 추출, 특징점 탐색 및 기준선 설정, 꼭지 제거의 과정을 통하여 풋고추의 정확한 길이와 휨을 측정하였다. 고추의 길이 및 휨을 측정하여 얻은 결과를 이용하여 등급 판정 후 선별이 이루어지도록 하였고, 영상 이진화를 위해서 고추의 영상 이진화를 위해서 고추의 영상을 획득하여 Green 채널의 명도값 히스토그램을 통해 임계값을 찾아내어 이진화를 하였다. 그림 2(a)에서처럼 히스토그램의 분포가 100~150 구간과 150~230 구간으로 2 구간에 걸쳐서 분포하는 것을 알 수 있다. 이를 이용하여 문턱 값을 150으로 설정하여 영상을 이진화 하였다. 순서도는 그림 3에 보였다.

윤곽선 추출은 체인코딩에 의한 윤곽선 검출 방법을 사용하여 고추의 영상 윤곽에 대한 좌표와 방향을 분석할 수 있게

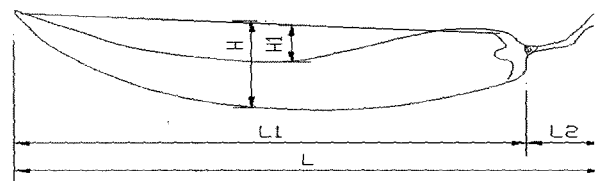
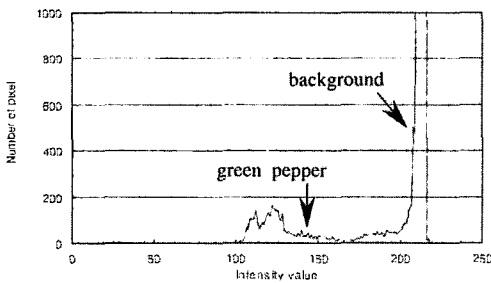


Fig. 1 Dimension of green pepper used for sorting criterion.

**Table 1** Physical properties of green pepper used in the test

Item		Pepper length (L1, mm)	Stem length (L2, mm)	Curved length (H, mm)	Curved length (H1, mm)	Pepper diameter (mm)	Weight (g)
Large size	Average	132.1	42.9	21.4	5.9	16.4	13.2
	Standard deviation	8.30	6.58	4.86	4.23	1.39	2.56
	Max	157.0	59.0	37.0	19.0	20.5	21.1
	Min	119.8	24.0	12.0	0.5	13.0	8.4
Middle size	Average	104.8	45.6	20.8	6.5	14.9	8.2
	Standard deviation	7.07	5.36	6.54	5.22	1.26	1.66
	Max	119.0	60.0	50.0	31	19.0	13.6
	Min	88.0	33.0	10.0	0.5	12.4	4.2
Small size	Average	66.4	42.1	22.9	10.0	14.4	4.7
	Standard deviation	8.97	5.04	7.27	7.40	1.21	1.13
	Max	80.0	50.0	42.0	29.0	16.7	16.6
	Min	50.0	27.0	12.0	0.5	11.5	11.5



(a) Histogram of typical green pepper.



(b) Color pepper image

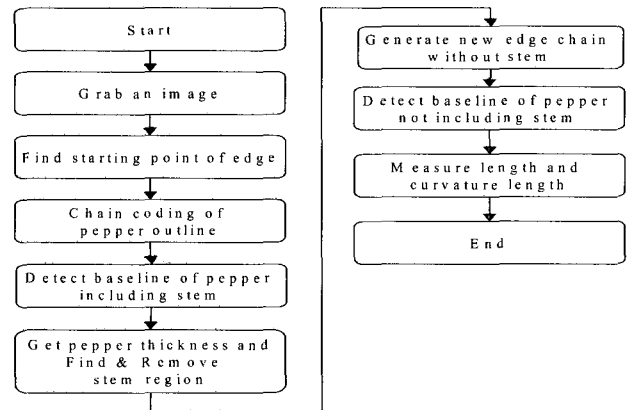


(c) Green channel pepper image



(d) Binary image

**Fig. 2** Histogram and Camera input image and binary image after thresholding.



**Fig. 3** Flow chart for green pepper sorting algorithm.

하였다. 또한 이를 이용하여 풋고추의 중심과 굴곡 길이를 측정할 수 있다. 화면 x축의 중앙 상단에서 하단으로 화소치를 탐색하면서 풋고추가 시작되는 화소치를 알아내고 이를 시작으로 8 방향 체인코딩을 수행하였다.

**다. 풋고추 자동 선별시스템 설계 및 제작**

풋고추 선별 시스템은 그림 4와 같이 자동공급부, 개체화부, 영상처리부, 시스템제어부, 배출부로 구성하였다. 공급부에서는 풋고추가 날개로 공급이 되도록 하였고, 공급된 풋고추 사이에 간격을 주어 풋고추를 개체화하는 개체화부를 개발하여 풋고추가 자동공급이 되도록 하였다. 영상처리부는 개체화된 풋고추를 선별하고, 시스템제어부는 선별된 결과에 따라 시스템을 제어하도록 하여, 이송·배출부에서 정확한 배출이 이루어지도록 시스템을 구성하였다. 풋고추 선별기의 상세한 제원은 표 2에 나타내었고, 선별기의 구조를 그림 5에 보였고, 실제 제작된 풋고추 선별기의 모습을 그림 6에 보였다.

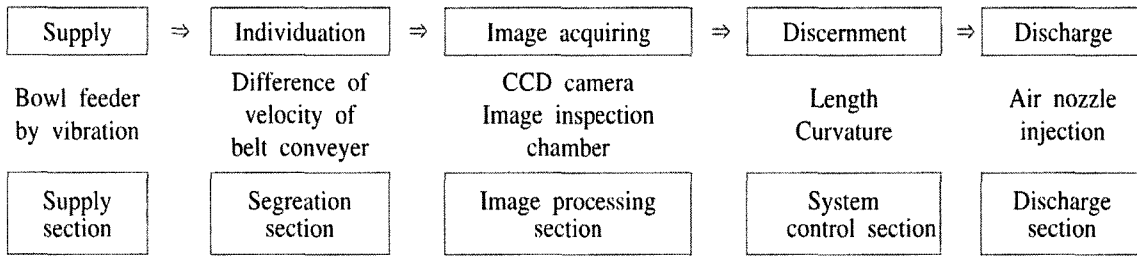


Fig. 4 Flow diagram to sort green pepper.

Table 2 Specification of green pepper sorting system

Item		Specification
Chamber (L×W×H)		7920×998×1770 mm
Image Processing System	CCD Camera	NTSC CCD color camera Shutter speed : 1/60~1/100,000 Lens : 25 mm (1.4F)
	Frame Grabber	CCD camera support
	Computer	CPU : Pentium III
	S/W Library & Tool	Mil-Lite 6.01
Illumination	Fluorescent light	3 wave length fluorescent lamp
Individual & transportation	Belt conveyer for individual (L×W×H)	1,000×400×850 mm
	Belt conveyer for transportation · Size (L×W×H) · Power · Inverter	· 4,360×460×850 mm · 3 phase, AC220V, motor 0.735 kW · Sungnam eng. SPD 2000 200 V
Discharge	Nozzle type	Air jet
	Nozzle size	ø 1.0, 2.0 mm
	Regulator pressure	0~10 kg/cm <sup>2</sup>
	Solenoid valve	TVF301 (Press 1.5~9.0 kg/cm <sup>2</sup> )
	Sensor	Photo sensor (PSN30-15DN)

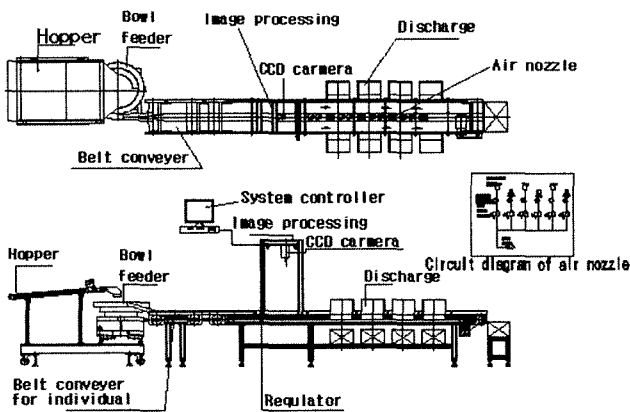


Fig. 5 Schematic diagram for green pepper sorting system.

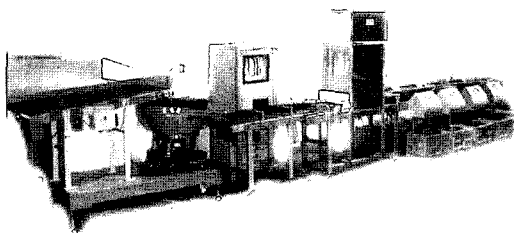


Fig. 6 Green pepper sorting system.

1) 공급장치

컴퓨터시각에 의한 등급판정을 할 때 여러 개의 풋고추가 겹쳐져 있거나 간격이 조밀할 경우 영상 처리에 장애를 일으킨다. 이를 해결하기 위해서 풋고추의 공급량을 일정 간격으로 유지시켜 주는 자동 공급 장치가 필요하다. 따라서 그림 7 과 같은 공급과정을 가지도록 호퍼 및 자동공급컨베이어와 보울피더(Bowl feeder)로 이루어진 공급장치를 구성하였다.

가) 호퍼 및 자동공급컨베이어

풋고추의 공급 및 수납을 위해 설치된 호퍼와 자동공급컨베이어는 보울피더 상단 중앙부에 설치하였고, 풋고추의 원활한 자동공급을 위해 컨베이어의 상단에 광전자센서(Photoelectron sensor)를 설치하였다. 광전자센서는 보울피더 공급부 중앙부를 측정하여 고추의 양에 따라 컨베이어가 작동되어 진동공급기에 풋고추의 공급량이 일정하도록 컨베이어를 조절하여 보울피더의 성능을 향상시킬 수 있도록 하였다. 컨베이어의 속도조절은 컨트롤러가 부착된 속도조절 모터에 의해 구동되며 최대속도는 0.02 m/s이다. 호퍼의 재질은 철판을 절곡한 후 용접하였으며 컨베이어 상단에 고무커버를 부착 고추의 손상방지를 하도록 하였다.

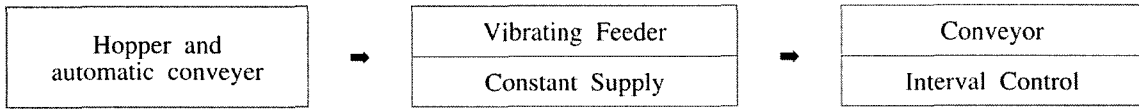


Fig. 7 Flowchart for green pepper feeding system.

나) 보울피더(bowl feeder)

농산물의 자동공급은 크기가 각각 다르기 때문에 공급의 어려움이 있다. 보울피더의 공급속도는 보울피더의 진동가속도에 좌우된다. 컴퓨터 시각에 의한 풋고추 등급판정시 여러 개의 풋고추가 겹쳐있거나 간격이 없이 조밀하게 붙지 않고 일정하게 공급시키기 위하여 풋고추 공급시스템에 보울피더를 사용하였다. 따라서 진동가속도의 변화에 따라서 시료의 공급속도를 살펴보고 보울피더의 진동가속도를 결정하기 위하여 진동레벨을 3단계로 나누어 시험하였다. 풋고추 공급부는 보울 피더의 진동 자동공급 방식을 사용하였으며 설계 제작된 구조는 그림 8과 같다.

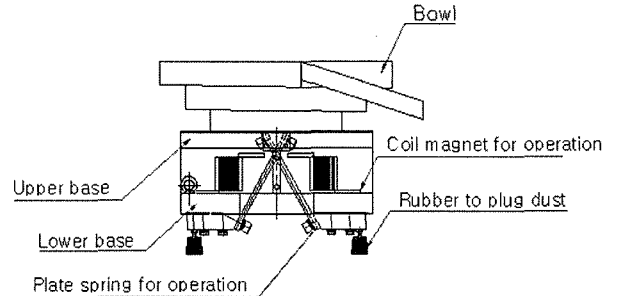


Fig. 8 Configuration of a vibrating feeder for feeding green pepper.

2) 개체화 장치

보울피더에 의해 풋고추가 선별시스템의 컨베이어에 자동 공급할 때 컨베이어로 이송되는 풋고추는 시스템의 처리능력에 맞게 한 개씩 일정한 간격을 두고 공급되어야 한다. 개체화 장치는 개체화 가이드라인과 이송 컨베이어 벨트의 속도차를 이용하여 이송벨트 위의 풋고추의 간격이 점점 벌어져 개체화가 되게 한다. 그림 9와 같이 각각 컨베이어를 연결하였고 2선별 라인이 2개조로 되어있어 가이드라인을 이용해서 이를 분할하는 장치를 제작하였다. 개체화장치의 컨베이어 하나의 길이는 1 m에서 개체화가 충분하였으며 속도 조절을 위하여 스피드 컨트롤 모터를 이용하였고 최대속도는 0.50 m/s이고, 개체화 컨베이어의 속도가 각각 0.30, 0.25 m/s일 때 영상처리부의 고추의 간격은 15 mm~20 mm로 간격을 유지하도록 하였다. 그림 10은 보울피더와 개체화장치를 연결한 시스템이다.

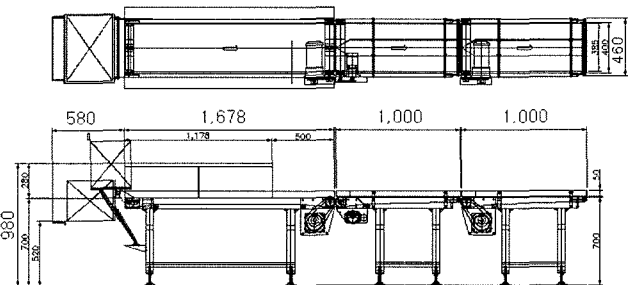


Fig. 9 Schematic diagram of hopper, holder box and segregation guideline for belt conveyor.

3) 압축공기 분사시스템

압축공기 분사장치의 작동을 위하여 압축공기분사시스템을 구성하였다. 압축공기분사시스템의 컴프레서는 압력 안전 밸브와 차단밸브가 부착되어 5~6 kg/cm<sup>2</sup>의 공기압을 공급한다. 제어부에 연결된 솔레노이드밸브가 작동을 제어하면 에어작동밸브를 거쳐 각 등급 위치에 온 풋고추를 에어젯 노즐에 의하여 분사되도록 하였고, 노즐은 풀콘형 노즐로 노즐구경 2 mm이다.

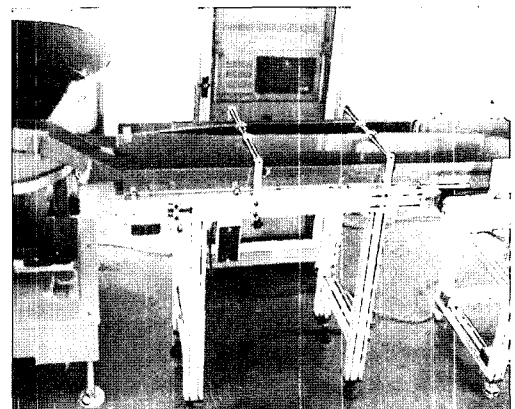


Fig. 10 Outlook of segregation guideline.

4) 영상처리시스템

풋고추 자동 선별 시스템에서는 저조도(0.2 Lux), 고해상도, 셔터 속도 조절 기능(1/60~1/100,000s)을 가진 Honeywell사의 NTSC color camera 방식의 CCD 카메라(Digital DST color camera, GC-435N24G)를 사용하였고, 획득한 영상을 디지털 영상으로 만들기 위해 프레임그래머(Meteor II, Matrox)와 450 MHz CPU를 장착한 컴퓨터를 사용하였다. 영상처리장치의 광원으로는 20 W 3과장 형광램프를 카메라의 상부에 4개를 부착하였고, 균일한 조명상태를 얻기 위해 백색아크릴판을 광원의 전면에 부착하였다. 풋고추 선별 알고리즘과 프로그램이 내장되어 있는 컴퓨터와 선별된 결과를 컴퓨터로부터 전송받아 배출부에 신호를 전송하는 제어장치와 선별된 결과를 나타낼 수 있는 모니터로 구성되어 있다.

5) 시스템 제어부

풋고추 자동선별 시스템을 제어하기 위한 과정은 그림 11과 같다. 컴퓨터에서 판정한 고추 등급을 배출하기 위해서 컴퓨터의 직렬 통신 기능과 원칩 마이크로프로세서(one-chip microprocessor, PIC16F877)를 이용하여 시스템 제어부를 구성하였다. 이와 같은 구성은 비용 절감 및 PC와의 원활한 통신이라는 장점을 가지고 있다.

PC에서 판정한 등급신호는 직렬 통신을 사용해서 컨트롤러로 전송하였다. 이 때 전송속도는 115,200 bps이며 고추가 해당 배출구에 도달하는 시간을 초 단위로 계산하여 1 Byte 데이터로 전송하였다. PIC 컨트롤러에는 하드웨어 버퍼링이 구비되어 있어 프로그램이 가동 중이어도 직렬 통신 데이터의 입력이 가능하다. PC로부터 데이터를 받게 되면 해당 배출구까지의 도달 시간을 메모리에 입력하고 그 시간이 되면 솔레노이드를 작동하는 방식으로 배출 알고리즘을 구성하였다. 한편 컴퓨터의 On/Off, 선별시작, 선별중지와 같은 외부 이벤트에 의한 시스템 명령어를 PC에 전송하여 사용자가 마

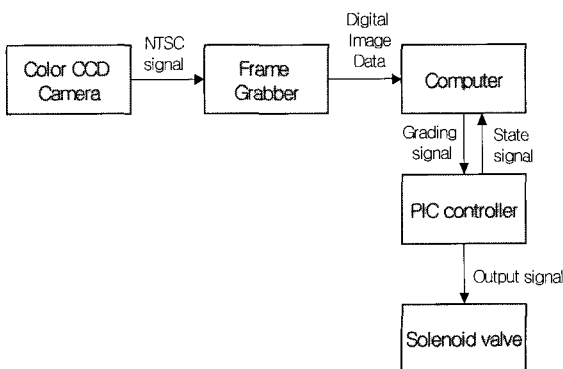


Fig. 11 Block diagram of system control unit and signal.

우스나 키보드를 사용하지 않고 외부 버튼만으로 PC를 조작할 수 있도록 하였다.

6) 이송·배출장치

이송·배출장치는 이송라인과 공기분사 장치, 배출대로 구성된 시스템으로, 이송장치는 벨트 컨베이어를 사용하였으며, 주속도의 조절이 가능하도록 인버터를 사용하였다. 컨베이어의 이송속도는 0.45 m/s이며 이렇게 하여 영상처리부를 통과하였을 때의 고추의 간격은 15~20 mm의 간격을 유지하게 하여, 2개 라인을 사용하여 풋고추를 배출할 때 초당 5개가 배출이 되도록 하였다. 이송벨트 양쪽에 안내가이드를 설치하였고, 벨트컨베이어 양쪽으로 배출대를 설치하였으며 배출구 내부에는 풋고추가 손상을 입지 않도록 발포 스폰지가 부착되어 있다. 영상처리부에서 각각 등급 판정된 고추가 이송되어 배출부에 도달하면 벨트 속도를 고려하여 솔레노이드벨트에 의해 에어젯 노즐이 압축공기를 분사 하여 배출토록 되어 있다. 배출 등급은 대, 중, 소 3개 등급과 풋고추의 횡단면이 큰 고추를 배출하는 4개 등급으로 구분하였다. 그림 12는 공기분사장치와 이송배출장치를 나타낸 것이다.

라. 풋고추 자동 선별 소프트웨어

고추 등급판정용 소프트웨어는 개발환경의 운영체계를 Windows 98을 사용하였으며 C 컴파일러(Visual C++, Ver 6.0, Microsoft사)를 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 mm간격으로 측정하였다. 소프트웨어의 동작 화면은 그림 13과 같다.

마. 실험 방법

풋고추를 크기를 기준으로 3등급(대, 중, 소)으로 구분하여 등급표시를 한 후 50개씩 선별부에 공급하여 성능시험을 실

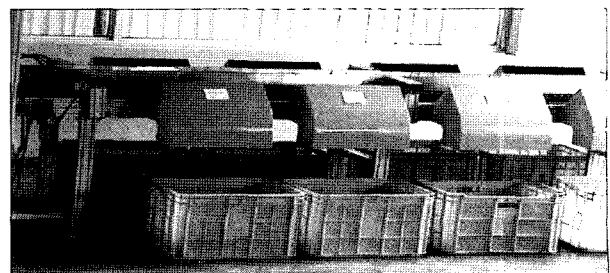


Fig. 12 Outlook of conveying and discharging unit (2 line).

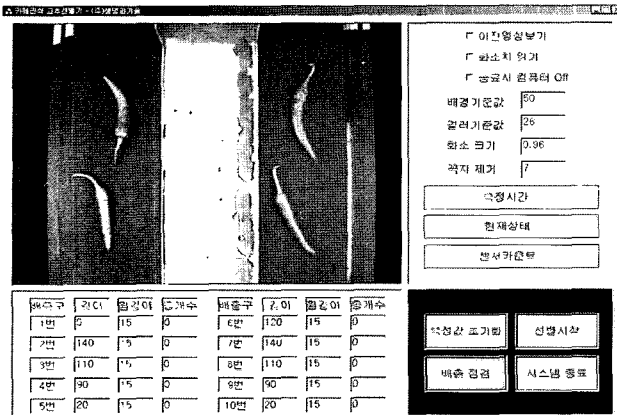


Fig. 13 Green pepper sorting process software.

시하였다. 성능시험은 보울피더 공급장치에 의해 풋고추를 개체화하여 공급하였으며, 이송속도는 0.30 m/s, 0.40 m/s, 0.60 m/s로 하였다. 각 등급별로 배출된 풋고추를 수집하여 선별정도, 손상률을 측정하였다. 아울러 온라인 상태에서 측정된 고추의 길이 및 휨의 정확도를 알아보기 위해 실제 측정된 길이와 휨과의 오차를 선별등급별로 각각 분석하였다. 이때 길이와 휨의 선별등급별로 이루어졌으며 이송속도는 0.45 m/s로 하였다. 선별기를 동작시킨 후 1시간동안에 몇 개의 풋고추가 선별이 되었는지를 측정하였고, 손상률을 측정하기 위해 고추 선별 후 저온저장고에 3일간 저장한 후 풋고추의 이상 유무를 육안으로 확인하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 공급장치 성능시험

보울피더의 입력 전압을 3 수준으로 하여 공급기에 대한 개체화 성능을 조사한 결과 표 3에서 보는바와 같이 177 V 이하에서 공급된 풋고추의 90% 이상이 개체화되어 공급되는 것으로 나타났다.

#### 나. 노즐성능 요인시험

적정노즐을 선정하기 위하여 노즐종류, 이송 컨베이어 속도와 공기압력별 시험에 따른 노즐형태별 배출상태를 시험하였다. 시험 기준은 노즐에서 압축 공기가 풋고추에 분사되었을 때, 풋고추가 배출구의 가운데 부위로 배출되었을 때 양호(Good), 풋고추가 배출이 되었지만 배출구의 가운데에서 벗어난 부위로 배출되었을 때 보통(Fair)이라 하였고, 풋고추가 배출구에 들어가지 않았을 때 불량(Bad)이라 하였다. 시험 결과 표 4에서와 같이 풀콘형 노즐이 플랫형보다 좋게 나타났다.

Table 3 Performance of a bowl feeder according to voltage

Vibration (cpm)	Voltage (V)× Amperage (A)	Performance (piece/h)	Performance of individuation (%)
3,600	162×3.3	16,200	93
	177×3.9	18,600	90
	194×4.3	19,800	89

Table 4 Discharge performance of air-jet nozzle according to nozzle type

Velocity of belt conveyor (m/s)	Air pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Pullcorn type of nozzle			Plate type of nozzle		
		Size of orifice (mm)			Size of orifice (mm)		
		0.5	1	2	0.5	1	2
0.30	3	×	△	◎	×	△	△
	5	△	◎	◎	×	△	◎
0.45	3	×	△	△	×	△	×
	5	×	△	◎	×	△	△
0.60	3	×	△	△	×	×	×
	5	×	△	◎	×	×	△

◎:Good, △:Fair ×: Bad

풀콘형의 구경 및 분사압력별 시험에서는 공기압 5 kg/cm<sup>2</sup>와 노즐구경 2 mm에서 좋게 나타났다.

#### 다. 성능 평가

##### 1) 측도설정

기계시각 장치의 측도를 설정하기 위하여 카메라의 수직면에 10 cm인 원형 백색 플라스틱판을 놓은 상태에서 가로 및 세로방향으로 백색 플라스틱의 직경에 해당하는 화소수를 측정하고 이를 실측 길이로 나누어 한 화소의 수직/수평크기를 결정하였다.

선별 실험에 앞서 구축한 기계시각 장치의 길이 측정 정확도를 평가하기 위해서 이송 속도 0.5 m/s에서 84개의 고추에 대해 꼭지를 포함한 고추의 길이를 분석한 결과를 그림 14에 나타내었다. 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 결정계수 0.995, 표준오차 1.67 mm을 보여주어 구축한 기계시각장치의 길이 측정 정확도는 등급 선별에 적절함을 알 수 있었다.

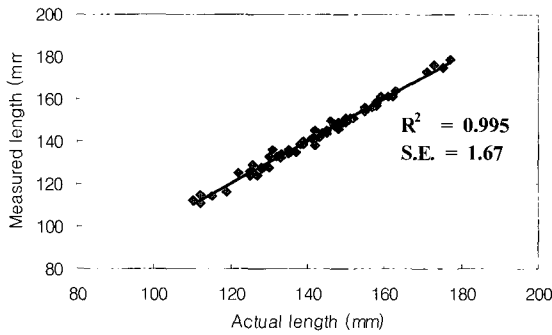


Fig. 14 Measurement accuracy of length with machine vision.

2) 정지상태에서의 고추 길이와 휨 측정 정확도

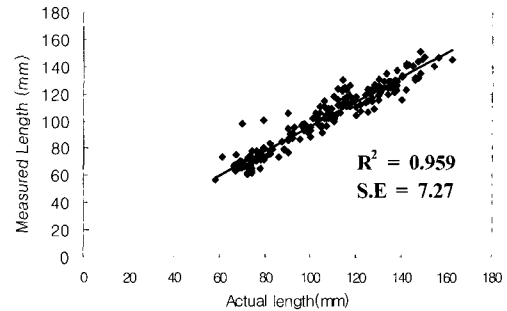
길이와 휨 측정 정밀도에 있어서 시험결과 그림 15에서 보는 바와 같이 길이 측정에 있어서는 실제 길이와 측정 길이의 차이가 ±10 mm 이내에 대부분 모여 있는 것을 관찰할 수 있었으며, 결정계수는 0.959, 표준오차는 7.27 mm를 보였다. 휨 측정에 있어서는 실제 길이와 측정 길이의 차이가 ±5 mm 이내에 대부분 모여 있었으며, 결정계수는 0.924, 표준오차는 2.98 mm를 보였다.

3) 선별속도별 성능시험

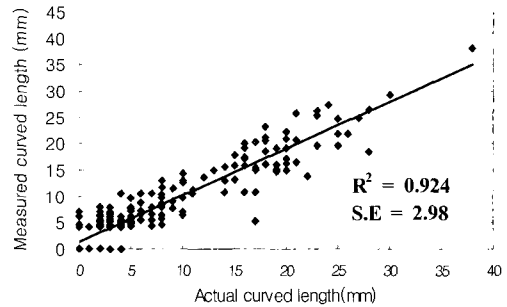
시작기의 선별 작업속도별로 풋고추가 등급별로 선별이 잘 되었는지 시험하였다. 고추의 간격은 15~20 mm의 간격으로 개체화 하여 공급하였다. 이송 컨베이어의 속도가 0.70 m/s 정도로 빠르면 고추의 이송 중 자세가 흐트러지고, 부딪쳐 틈에 끼는 현상이 발생하였다. 0.15 m/s는 처리 속도가 너무 낮았기 때문에 컨베이어의 이동속도를 0.30 m/s, 0.45 m/s, 0.60 m/s의 3수준으로 시험하였다. 또한 고추의 손상도를 확인하기 위해 시험에 사용되었던 고추를 저온저장고에 3일간 저장한 후 풋고추의 이상 유무를 확인하였다. 표 5와 같이 공급속도가 0.3 m/s 및 0.45 m/s 일때 선별정도는 91%이상 이었고 손상도는 0.1%를 나타냈으나 0.60 m/s에서는 선별정도가 86%가 되고 손상도는 0.5%로 다소 증가하여 부적합한 것으로 판단하였다.

4) 고추 등급별 선별 정확도

이송속도 0.45 m/s에서 선별시험 한 결과 표 6과 같이 길이 선별 정확도는 크기가 대와 중에서는 각각 86.0, 81.3%, 소에서는 90.6%였고, 이때 측정오차는 4.3~5.6 mm로 나타났으며, 휨 고추에 대해서는 94%의 정확도와 3.4 mm의 측정오차를 보여주었다. 크기가 작은 고추는 복잡하게 휘어있어서 이송 자세에 따라 측정오차가 발생하는 것으로 사료된다.



(a) Length



(b) Curvature

Fig. 15 Results of length and Curvature measurement with machine vision.

Table 5 Accuracy of sorting and damage rate by velocity of supply

Velocity of supply (m/s)	Sorting performance (%)	Damage (%)	Remark
0.30	93	0.1	Nozzl : pullcorn type with ø2.0mm
0.45	91	0.1	
0.60	86	0.5	

5) 선별능력 및 경제성 분석

선별성능 검정시험 결과 인력으로 선별하였을 때 시간당 선별하는 풋고추가 22 kg인데 비해 선별기의 성능은 공급 속도를 0.45 m/s로 하였을 때 시간당 선별량이 121 kg으로 나타나 풋고추 선별기의 선별능률이 인력에 비해 5.5배 높게 나타났다.

시작기의 경제성 분석을 하기 위해 풋고추 선별기의 연간 사용시간은 풋고추 수확기간과 풋고추선별기의 1일 사용시간을 기준으로 설정하였다. 풋고추 수확기간은 지역에 따라 시기적인 차이는 있지만 남부지방은 파종이 8~9월, 정식기 11~12월, 수확기 익년 1월~6월까지 6개월 정도의 수확기간을 가진다. 1일 작업시간은 8시간으로 하여 풋고추 선별기의 연간 작업시간을 1,200시간으로 설정하였다. 100 kg을 선별할 때 소요경비는 시작기의 경우 12,784원이 소요되어 인력 21,364원에 비하여 40%의 경비절감 효과가 있는 것으로 나타났다.



Table 6 Performance of sorting by grade

Size	Number of repetition	Number of sample	Number of peppers sorted correctly	Accuracy (%)	Standard error (mm)
Large	1	50	45	90	5.7
	2	50	41	82	5.2
	3	50	43	86	6.0
	Average	50	43.0	86.0	5.6
Middle	1	50	39	78	4.9
	2	50	39	78	4.8
	3	50	44	88	4.7
	Average	50	40.6	81.3	4.8
Small	1	50	45	90	4.3
	2	50	44	88	4.3
	3	50	47	94	4.3
	Average	50	45.3	90.6	4.3
Curved pepper	1	50	49	98	3.2
	2	50	46	92	3.2
	3	50	46	92	3.9
	Average	50	47.0	94.0	3.4

#### 4. 요약 및 결론

본 연구는 수확한 풋고추의 품위를 향상시키기 위하여 온라인 자동 등급판정 시스템개발을 목적으로 하드웨어를 구성하였고 기계시각을 이용하여 고추를 등급판정 선별할 수 있는 선별알고리즘을 개발한 다음 그 성능을 실험하였으며 주요 결과는 다음과 같다.

가. 정밀선별을 위하여 고추의 물성을 조사한 결과 녹광의 경우 길이가 평균 137.9~73.4 mm, 횡 굵폭은 최대 38 mm, 꼭지길이는 38~30.1 mm, 고추 굵기는 17.4~14.6 mm, 무게는 16.2~5.6 g으로 나타났다.

나. 정확한 고추의 크기를 측정하기 위해서 윤곽선을 탐색하고 고추의 특성을 이용하여 꼭지를 검출하고 이를 제거하는 알고리즘을 개발하였으며, 사용자가 선별조건을 입력할 수 있는 GUI방식(출하시기별 이용자가 선별조건 설정)의 프로그램을 개발하였다. 또한 심하게 휘어 고추(S자, U자)에 대해서도 측정오류가 나지 않도록 꼭지제거 알고리즘을 개발하였다.

다. 시작기는 자동공급을 위하여 보울피더를 사용하였으며 포토센서를 이용하여 공급량을 조절하였다. 선별을 원활하게 하기 위하여 고추를 개체화할 수 있는 이송벨트를 사용하였으며, 소형모터를 사용하여 주속도 조절이 가능토록 하였고 이송라인은 평벨트 컨베이어를 이용하여 공

급에서 배출까지 일관작업이 가능하게 되었다.

라. 이송속도 0.45 m/s에서 녹광을 이용하여 길이 선별의 정확도를 분석한 결과 대와 중에서는 각각 81.3 및 86.0%이었으며 소의 경우 90.6%였으며, 이때 측정오차는 4.3~5.6 mm로 나타났다. 휨 고추에 대해서는 94%의 정확도와 3.4 mm의 측정오차를 보여주었다. 크기가 작은 고추는 복잡하게 휘어 있어서 이송중 측정시 자세에 따라 측정오차가 발생하는 것으로 사료된다.

마. 시작기의 선별능률은 시간당 121 kg으로 인력에 비하여 5.5배 정도 높았으며, 소요경비는 시작기의 경우 12,784 원/100 kg으로 나타나 인력의 21,364 원/100 kg에 비하여 40%의 경비절감 효과가 있는 것으로 나타났다.

#### 참고 문헌

- 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):24-137. (In Korean)
- Kuhn E. D., J. T. Ambrose and C. R. Unrath. 1982. A measurement technique for 'Delicious' apple shape. *HostScience* 17(5):785-787.
- Lee, S. H. 2000. Machine vision system for on-line extraction and quantification of appearance quality factors of apple. Ph. D dissertation, Seoul National Univ.
- Nakano, K. and K. Takizawa. 1997. Studies on sorting systems for fruits and vegetables. part 2. Development of whole image

- data collecting system and detection of injured apples. J. Soc. Agr. Structures Jap. 28(1):13-20.
5. 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)
  6. 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)
  7. Yang, G. M, K. H. Choi., N. H. Cho and J. R. Park. 2005. Development of an automatic sweet potato sorting system using image processing. Journal of the Korean society for Biosystems Eng. 30(3):172-178. (In Korea)
  8. 이현동, 윤홍선, 이원옥, 정 훈, 김우일. 2003. 신선채소의 품질 계량화 연구. 농업공학시험 연구보고서. pp.449-462.