

기계시각을 이용한 풋고추 선별기 개발(Ⅱ)

- 자동공급장치와 배출장치 개발 및 시스템 성능평가 -

Development of a Grader for Green Pepper Using Machine Vision (Ⅱ)

- Development of Automatic Feeder and Discharge Unit
and Evaluation of System Performance -

조남홍*	박종률*	이수희**	이영희*	조광환*	장동일***	황헌****	최승목*****
정회원	정회원	정회원	정회원	정회원	정회원	정회원	정회원
N.H.Cho	J.R.Park	S.H.Lee	Y.H.Lee	K.H.Cho	D.I.Jang	H.Hwang	S.M.Choi

1. 서론

풋고추의 재배면적은 시설채소 면적이 증가하면서 연중 생산이 가능하게 되어 급속히 증가하고 있으며 신선 채소류에 대한 선호도가 늘어나면서 풋고추의 소비량이 늘어나고 있다. 2001년 현재 고추의 시설재배 면적은 5,517ha로써 과채류 시설재배면적의 10%를 차지하고 있다. 재배지역별로는 경남, 전남, 광주, 충남지역이 전체 재배면적의 73%를 차지하고 있으며 풋고추는 시설재배로 대부분이 주산단지로서 이루어져 있어 선별작업기계화가 요망되고 있다. 이와 같이 풋고추선별에 대한 기계화 요구도가 높은 반면 아직까지 풋고추의 선별작업은 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.

따라서 본 연구에서는 풋고추 선별기 개발을 위한 기초조사와 설계요인시험장치를 통해 영상처리선별부 시스템 구성, 풋고추의 꼭지제거 알고리즘, 선별프로그램을 개발 선별방법을 구명하고 연속작업이 가능하다는 것을 확인하고 본 학회지에 보고하였다. 본 연구에서는 이를 기초로 하여 풋고추를 하나씩 날개로 개체화하여 공급할 수 있는 자동공급장치와 이를 등급별로 자동배출하는 시스템을 개발하였으며, 기 개발된 영상처리 선별알고리즘을 포함한 풋고추 일관처리시스템에 대한 성능평가를 실시하였다.

2. 재료 및 방법

가. 고추선별 시작기 제작

(1) 선별시스템 구성

시작기의 구성은 요인시험에서 구명된 결과를 바탕으로 풋고추를 영상처리에 의하여 고추의 길이, 휨 상태를 선별할 수 있는 풋고추 선별시스템을 설계제작 하였다. 선별 시스템 구성은 그림 1과 같이 공급부, 개체화부, 영상처리부, 시스템제어부, 선별부, 배출부로 구성하였으며 시작기 구조는 그림2와 같고, 표 1은 풋고추 선별시스템 시작기의 제원이다.

* 농촌진흥청 농업기계화연구소

** 주식회사 생명과 기술

*** 충남대학교 농공학부

**** 성균관대학교 생명공학부

***** 농림부 농업기계자재과

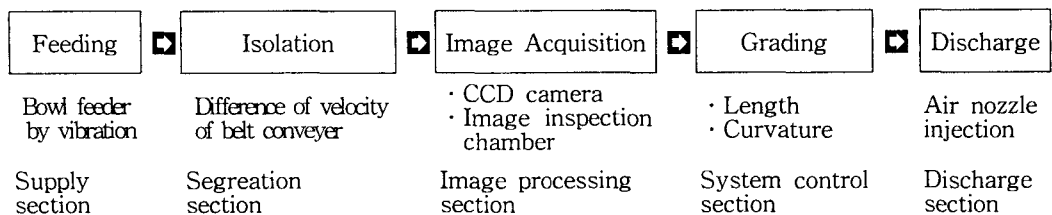


Fig. 1. Flow diagram of green pepper sorting process

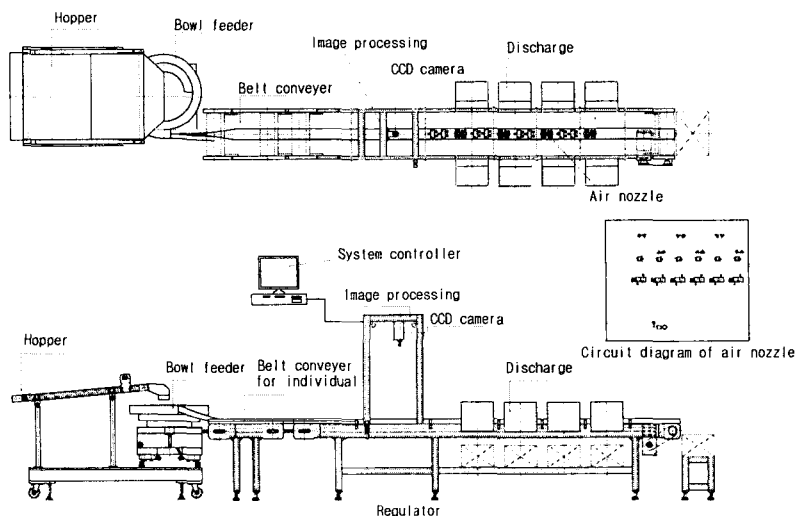


Fig. 2. Schematic diagram of green pepper sorting system

Table 1. Specification of machine vision system

Item	Specification	
Chamber(L×W×H)	7920×998×1770mm	
Image Processing System	CCD Camera	Progressive scan RGB camera
	Frame Grabber	RGB camera support
	Computer	CPU : Pentium III
	S/W Library & Tool	Mil-Lite 6.01
Illumination	Fluorescent light 3wave length florescent lamp)	
Isolation & Conveying	- Belt conveyer for isolation(L×W×H)	- 1,000×400×850mm
	- Belt conveyer for conveying · Size(L×W×H) · Power · Inverter	- 4,360×460×850mm - 3 phase, AC 220V, motor 1Hp - Sungnam eng. SPD 2000 200V
Discharge	- Nozzle type - Nozzle size - Regulator pressure - Solenoid valve - Sensor	- air jet - φ 1.0, 2.0mm - 0 ~10 kg/cm ² - TVF301 (Press 1.5~9.0 kg/cm ²) - Photo sensor(PSN30-15DN)

(2) 공급장치

풋고추 공급부는 진동식 자동공급 방식을 사용하였으며 구조는 그림 3과 같다.

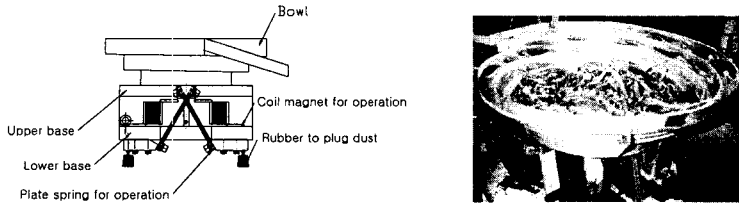


Fig. 3. A feeder operated by vibration for green pepper

(3) 영상처리 선별부 및 시스템 제어부

고추 선별 시스템의 기계시각 장치로 카메라는 이송에 따른 잔상의 영향을 없애기 위하여 컬러 progressive scan 방식의 RGB 카메라(CV M70, Jai)를 사용하였으며, 기계시각부의 광원으로 36W 3파장 형광등을 사용하였으며, 카메라상부와 좌우측에 각 4개를 부착하고 조명을 끌고루 하기 위하여 백색아크릴판을 광원의 전면에 부착하였고, 이를 디지털 영상으로 만들기 위한 프레임그래버(Meteor MC4, Matrox)와 450 MHz CPU를 장착한 컴퓨터를 사용하였다. 고추 등급판정용 소프트웨어는 개발환경의 운영체계를 Windows98(second edition, Microsoft사)을 사용하였으며 C(Visual C++, Ver 6.0, Microsoft사) 컴파일러를 이용하여 개발하였다. 구동 소프트웨어에는 On-Line/Off-Line 선별 모드, 측정 데이터 화면 출력 및 수동 문턱값 설정 기능을 포함하였다.

(4) 압축공기 분사시스템

압축공기분사시스템은 컴프레서에 의해 배출되는 압축공기를 에어호스로 공기필터에 연결하여 공기를 여과하였고 레귤레이터를 장착하여 공기의 압력과 공기량을 일정하게 하였다. 제어부에 연결된 솔레노이드밸브가 작동을 제어하면 에어작동밸브를 거쳐 각 등급 위치에 온 풋고추를 에어젯노즐에 의하여 분사하는 압축공기 분사시스템을 구성하였으며, 노즐은 폴콘형의 2mm 구경 노즐을 장착하였다. 압축공기 분사시스템의 주요부를 보여주는 그림4와 같다.

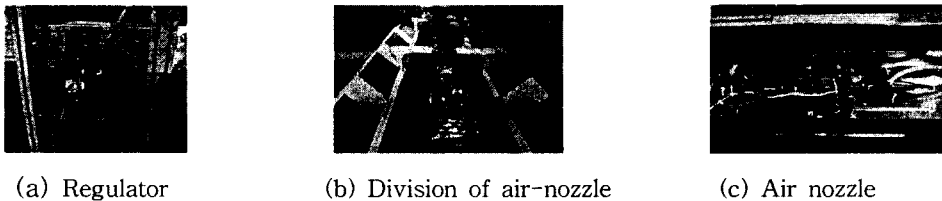


Fig. 4. The lineup of injection system using compressed air

(4) 이송 및 배출부

벨트컨베이어를 사용하였으며 이것은 구동롤러에 스프라켓 체인으로 구동되며 속도조절이 가능토록 하였다. 이송벨트 양쪽에 안내가이드를 설치하였고, 벨트컨베이어 양쪽으로 배출대를 설치하였으며 영상처리선별부의 제어장치로부터 전송받은 신호에 의해 고추를 선별한 후

벨트에 이송되어오는 풋고추를 압축공기 에어젯 노즐로 각 등급별로 배출토록 하였다.

나. 성능시험

(1) 공시재료

선별시험에 사용된 공시재료는 2002년 전남 나주산 녹광으로 크기구분을 표준출하 규격에 따라 대 12cm이상, 중 8~12cm, 소 8cm이하로 구분하여 물성을 조사한 결과 길이가 평균 137.9~73.4mm, 휩 굴곡은 최대 38mm, 꼭지길이는 38~30.1mm, 고추 굵기는 17.4~14.6mm, 무게는 16.2~5.6g으로 나타났다.

(2) 시험방법

설계요인시험을 통하여 구명된 요인을 바탕으로 풋고추의 크기를 대, 중, 소로 등급표시를 한 후 50개씩 선별부에 공급하여 성능시험을 실시하였다. 크기 측정은 등급판정 시험에 사용한 시료를 모눈종이 위에 꼭지가 시작되는 부위를 측정 기준점으로 간주하고 가장 긴 길이를 보이는 방향으로 기준선 방향을 결정한 후 육안으로 모눈종이의 눈금을 mm 간격으로 측정하였다. 휩 높이는 수직선상에서 가장 높은 부분을 측정하였다. 성능시험은 보울피더 (Bowl feeder) 공급장치에 의해 풋고추를 개체화하여 공급하였으며, 이송속도는 30, 45, 60cm/sec로 하였다, 선별등급은 3등급으로 구분하고 종료 후 각 등급별로 배출된 풋고추를 수집하여 시간당 성능과 선별정도, 손상률을 측정하였다. 또한 등급별 선별정도를 조사하였으며, 표준오차는 아래 식을 이용하여 계산하였다.

$$S.E. = \sqrt{\frac{\sum(x_i - y_i)^2}{n - 1}}$$

x_i : actual data y_i : predicted data n : sample number

3. 결과 및 고찰

가. 노즐성능 시험 결과

적정노즐을 선정하기 위하여 노즐종류, 이송컵 속도와 공기압력별 시험에 따른 노즐형태별 배출상태를 시험한 결과 표2에서와 같이 풀콘형 노즐이 플랫형 보다 좋게 나타났으며, 풀콘형의 구경 및 분사압력별 시험에서는 공기압 5kg/cm²와 노즐구경 2mm에서 가장 좋은 결과를 보여주었으며 예비시험에서 공기압 7kg/cm²에서는 고추의 손상이 있어 공기압은 2 수준으로 수행하였다.

Table 2. Discharge performance of air-jet nozzle according to nozzle type

Velocity of tray (m/sec)	Air pressure (kg/cm ²)	Pullcorn type of nozzle			Plate type of nozzle		
		Size of orifice (mm)			Size of Orifice (mm)		
		0.5	1.0	2.0	0.5	1.0	2.0
0.30	3	×	△	◎	×	△	△
	5	△	◎	◎	×	△	◎
0.45	3	×	△	△	×	△	×
	5	×	△	◎	×	△	△
0.60	3	×	△	△	×	×	×
	5	×	△	◎	×	×	△

◎ : Good, △ : Fair ×: Bad

나. 성능시험

(1) 공급장치 성능시험

공급기에 대한 시험은 표3에서 보는 바와 같이 bowl feeder를 전압별로 시험한 결과 177 이하에서 개체화 정도가 90%이상으로 나타났다.

Table 3. Individuation rate of a bowl feeder according to operating voltage

Vibration(cpm)	Voltage (Amperage)	Capacity (pepper/hour)	Performance of individuation (%)
3500	162(3.3A)	13,800	93
	177(3.9A)	16,200	90
	194(4.3A)	18,600	89

(2) 선별 정도 및 선별성능

시작기의 작업속도별 시험한 결과 표4에서 보는 바와 같이 공급속도 0.30m/s와 0.45m/s에서 선별정도가 91%이상, 손상률이 0.1%로 양호하게 나타났고 작업성능은 이송속도 0.45m/s에서 시간당 121kg으로 인력에 비해 5.5배 높게 나타났다.

Table 4. Accuracy of sorting and damage rate according to conveying velocity

Velocity of supply (m/sec)	Air pressure (kg/cm ²)	Sorting performance(%)	Damage(%)	Remark
0.30	5	93	0.1	pullcorn type of nozzle nozzle size : φ 2.0mm
0.45	5	91	0.1	
0.60	5	86	0.5	

(3) 등급별 길이/휨 선별정밀도 비교

각 등급별로 측정 정밀도를 분석한 결과 표 5와 같이 길이 측정에서는 휨 고추에 있어서 오차가 약간 높았으며 이는 일부 꼭지를 정확히 제거하지 못한 결과로 판단되며 기타 나머지에 있어서는 비교적 높은 측정 정확도를 나타냈으며, 휨 측정에 있어서는 휨 고추에서 오차가 약간 높았으며 휘지 않은 고추에서는 비교적 높은 정확도를 보여주었다.

Table 5. Sorting error by length and curvature of pepper (unit : %)

Size	Length			Curvature		
	#1	#2	#3	#1	#2	#3
Large size	5.7	5.2	6.0	2.4	2.4	2.9
Middle size	4.9	4.8	4.7	1.8	1.5	1.8
Small size	4.3	4.3	4.3	1.6	2.5	1.9
Curved	5.7	4.9	5.8	3.2	3.2	3.9

(4) 등급별 선별 정확도

이송속도 0.45m/s에서 녹광을 이용하여 선별시험 한 결과 표 6과 같이 길이 선별 정확도는 대와 중에서는 각각 86.0, 81.3%, 소에서는 90.6%였고, 이때 측정오차는 4.3~5.6mm로 나타났다으며, 휨 고추에 대해서는 94%의 정확도와 3.4mm의 측정오차를 보여주었다.

Table 6. Performance of length and curvature sorting

Size	Number of repetition	Number of sample	Num of exact sorted sample	Accuracy(%)	Error of length measurement (mm)
Large size	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 size	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 size	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
Curvature	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

다. 경제성 분석

시작기의 경제성 분석결과 표18에서와 같이 100kg을 선별할 때 소요경비는 시작기의 경우 12,014원이 소요되어 인력 20,164원에 비하여 40% 경비절감 효과가 있는 것으로 나타났다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 수확한 풋고추의 품위를 향상시키기 위하여 온라인 자동 등급판정 시스템개발을 목적으로 기계시각을 이용하여 고추를 등급판정 선별할 수 있는 선별알고리즘을 개발하고 RGB 카메라와 이를 디지털 데이터로 만들기 위한 프레임그래버 및 삼파장 형광등을 이용하여 기계시각 시스템을 구축하였으며, 아울러 풋고추를 개체화하여 공급하고 자동으로 등급별로 배출하는 선별시스템 개발하였다. 이에 대한 연구한 주요 결과는 다음과 같다.

- 가. 선별시험에 사용된 고추(품종:녹광)의 물성을 조사한 결과 길이가 평균 137.9~73.4mm, 횡 굴곡은 최대 38mm, 꼭지길이는 38~30.1mm, 고추 굵기는 17.4~14.6mm, 무게는 16.2~5.6g으로 나타났다.
- 나. 풋고추 자동공급을 위하여 진동식 Bowl feeder를 사용하여 벨트컨베이어에 공급하고 선별을 원활하게 하기 위하여 고추를 개체화할 수 있도록 속도조절이 가능한 벨트컨베이어를 사용하였으며, 자동공급장치 개발로 공급에서 배출까지 일관작업이 가능하게 되었다.
- 다. 선별 능력을 고려하여 이송속도를 0.45m/s로 하였으며, 등급별 배출은 풀콘형 노즐 2개로 압축공기를 분사하여 고추를 등급별로 배출되도록 하였으며, 이 때 노즐의 공기 분사압력은 5kg/cm²으로 하였다.
- 라. 이송속도 0.45m/s에서 녹광을 이용하여 선별시험 한 결과 길이 선별 정확도는 대와

중에서는 각각 86.0%, 81.3%, 소에서는 90.6%였고, 이때 측정오차는 4.3~5.6mm로 나타났으며, 휨 고추에 대해서는 94%의 정확도와 3.4mm의 측정오차를 보여주었다.

마. 시작기의 선별성능은 시간당 121kg으로 인력에 비하여 5.5배 높았으며, 시작기의 소요 경비는 12,014원/100kg으로 인력 20,164원/100kg에 비하여 40% 경비절감 효과가 있는 것으로 나타났다.

5. 참고문헌

1. 김일웅, 노상하, 류관희. 1990. 화상처리 시스템을 이용한 과일의 기하학적 특성 예측. 한국농업기계학회지 15(1) : 23-32
2. 농산물 표준출하규격. 1999. 국립 농산물품질관리원.
3. 조남홍 외 6인, 2001. 기계시각에 의한 풋고추 온라인 등급판정 알고리즘 개발, 한국농업기계학회지 26(6): 571~578.
4. 조남홍 외 7인, 2001. 기계시각을 이용한 풋고추 선별장치 개발(I), 한국농업기계학회 하계학술대회 논문집.
5. 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.
6. Hwang, H., 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).
5. Kuhn E. D. J. T. Ambrose. and C.R. Unrath. 1982. A measurement technique for 'Delicious' apple shape. HortScience 17(5):785~787.
7. 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.
8. 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).
9. 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).