

영상처리를 이용한 고구마 자동 선별시스템 개발

양길모 최규홍 조남홍 박종률

Development of an Automatic Sweet Potato Sorting System Using Image Processing

G. M. Yang K. H. Choi N. H. Cho J. R. Park

Abstract

Grading and sorting an indeterminate form of agricultural products such as sweet potatoes and potatoes are a labor intensive job because its shape and size are various and complicate. It costs a great deal to sort sweet potato in an indeterminate forms. There is a great need for an automatic grader for the potatoes.

Machine vision is the promising solution for this purpose. The optical indices for qualifying weight and appearance quality such as shape, color, defects, etc. were obtained and an on-line sorting system was developed. The results are summarized as follows.

Sorting system combined with an on-line inspection device was composed of 5 sections, human inspection, feeding, illumination chamber, image processing & control, and grading & discharging. The algorithms to compute geometrical parameters related to the external quality were developed and implemented for sorting the deformed sweet potatoes. Grading accuracy by image processing was 96.4% and the processing capacity was 10,800 pieces per hour.

Keywords : Sweet potato, Machine vision, Grader, Sorting, Image processing

1. 서론

농산물 수확 후 처리기술에는 저장, 공급, 세척, 건조, 선별, 포장, 유통 등이 있다. 이들 작업 중 선별은 포장작업과 더불어 제품의 품위향상, 부가가치 증대에 중요한 역할을 한다.

고구마는 튀김용이나 스낵 등 가공식품의 소비 증가 및 겨울철 간식용 군고구마 수요증가로 소비가 늘어나는 추세이다. 이에 따라 고구마의 부가가치도 최근 5년사이 급격히 향상되었다. 농산물유통공사의 유통조사에 따르면 2000년도에 10 kg당 9,128원 이었던 것이 2002년에 16,031원, 2003년 20,622원, 2004년 28,000원으로 고구마는 매년 높은 농가수익을 가져다주고 있다.

고구마의 유통체계를 보면 기계나 인력으로 수확된 고구마는 3~4등급(특, 상, 중, 하)으로 단순하게 구분하여 PVC 컨테이너상자(24 kg)에 담거나, 지대(사료봉투)에 무선별로 담아

끈으로 결속 후 저장창고로 운반 보관 후 출하시 6~7 등급으로 세척, 건조, 선별, 포장하여 도매 및 소매시장으로 유통된다.

종전까지 고구마, 감자와 같은 부정형 농산물은 형상이나 크기, 무게가 다양한 경우가 많기 때문에 사람이 육안으로 일일이 선별을 해 주어야 하는 문제점이 있다. 특히 육안선별시 사람의 주관과 피로도 등에 따라 선별기준이 다르며 선별에 많은 노동력이 요구된다.

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.

선별기 설계에 관한 연구에 있어서는 Throop 등(2003)이 사과 선별기 설계에 관한 연구를 수행하였다.

The article was submitted for publication in March 2005, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in June 2005. The authors are Gilmo Yang, Kyu-Hong Choi, Nam-Hong Cho and Jong-Rull Park, KSAM member, Research Engineer, National Institute of Agricultural Engineering. The corresponding author is G. M. Yang, Research Engineer, National Institute of Agricultural Engineering RDA, Suwon, Korea, 441-707; E-mail : <bestmomo@rda.go.kr>

현재까지 개발된 고구마 선별시스템으로는 국내의 경우 (주)생명과 기술이 NIR을 이용한 고구마 비파괴 선별시스템을 업계 최초로 개발하여 고품질 고구마 생산의 가능성을 보여주었다. 외국의 경우는 Tanaka 등(2003)이 고구마의 형상 및 무게를 선별하기 위해 영상처리와 인공지능망을 조합한 고구마 등급판정 장치용 소프트웨어를 개발하였다.

그러나 지금까지 개발된 고구마의 내부품질 및 영상처리식 형상선별 시스템은 선별기와 유기적으로 호환되지 못하여 보급이 미비한 실정이었다. 따라서 본 연구에서는 고구마의 형상, 무게, 손상, 색깔을 정밀하게 선별할 수 있는 영상처리 시스템과 이들과 결합되어 유기적으로 동작할 수 있는 자동 선별시스템을 개발하여 그 성능을 평가하였다.

2. 재료 및 방법

가. 고구마의 선별기준 조사

고구마의 선별기준은 현재 농수산물 시장에서 유통되고 있는 고구마를 각 등급별로 구입하여 조사하였다. 고구마의 장경, 단경, 길이, 무게를 등급별로 100개씩 측정하여 통계처리하였다. 등급간 기준 및 호칭은 농가 또는 산지유통센터에서 사용하는 등급기준을 그대로 적용하였다. 그림 1은 등급별 고구마의 형상을 나타낸 것이다. ‘대(very big)’에 해당하는 고구마는 크기와 무게가 큰 고구마이고, ‘긴특(long large)’과 ‘특(round large)’은 무게는 비슷하면서 길이가 긴 고구마를 ‘긴특’, 짧은 고구마를 ‘특’이라 부른다. 그리고 ‘긴상(long middle)’과 ‘상(round middle)’은 무게는 긴특이나 특보다 작으면서 길이가 긴 쪽을 ‘긴상’, 짧은 쪽을 ‘상’ 이라고 부른다. 그 외 등급은 ‘중/하(middle/small)’ 등급으로 나뉘어진다.

나. 슬라이드 컵 개발

선별등급에 따른 형상특성을 조사한 후에 고구마의 길이와 형상에 적합한 이송용 슬라이드 컵을 개발하였다. 고구마의 길이는 품종에 따라 차이는 있지만 대개 210 mm 범위 내에 있으며 직경은 90 mm 이내에 있기 때문에 슬라이드 컵의 크기는 여유를 생각하여 가로×세로×높이를 각각 240×128×42 mm로 급형을 개발하였다. 컵의 재질은 충격에 강하고 비틀림이 적은

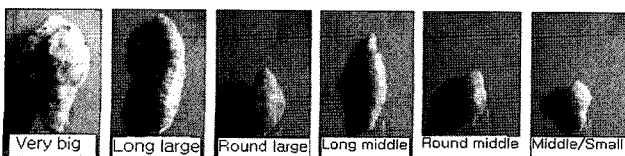


Fig. 1 Features of sweet potato by grades.

ABS(Acrylonitrile butadiene styrene) 수지를 사용하였다. 고구마의 무게를 고려하여 등급 및 배출시 쉽게 배출될 수 있도록 자유낙하에 의한 하부낙하 방식을 채택하여 설계하였다. 그림 2와 그림 3은 각각 슬라이드 컵의 개략도와 개발품의 모습이다.

다. 시작기 개발

시작기는 그림 4, 5와 같이 육안선별부, 공급부, 영상획득

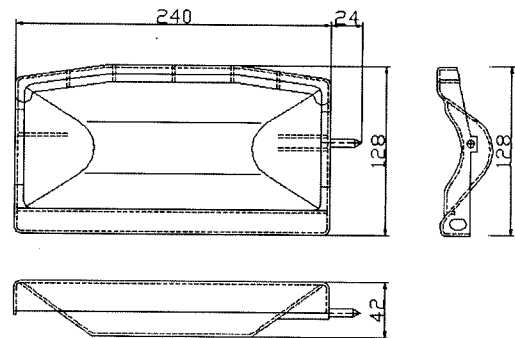


Fig. 2 The schematic diagram of the slide cup.

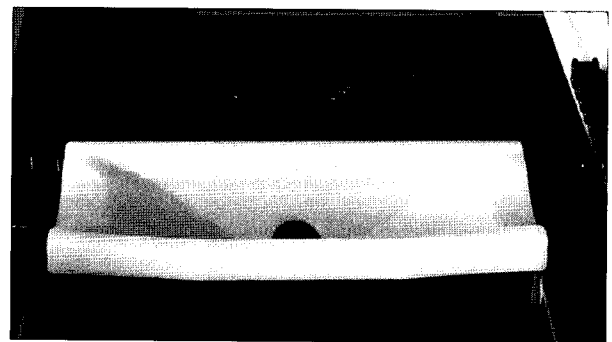


Fig. 3 The picture of the slide cup.

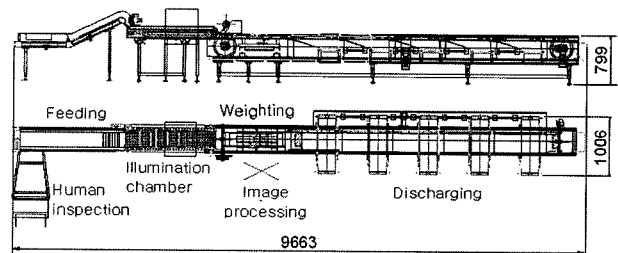


Fig. 4 The schematic of the grader.

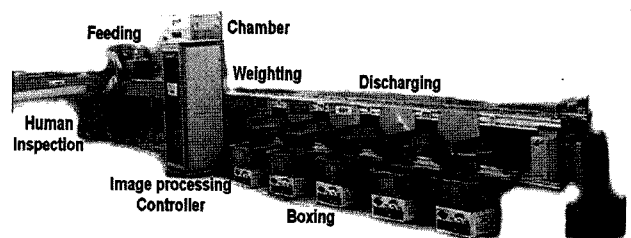


Fig. 5 The picture of the grader.

부, 무게측정부, 영상처리 및 제어부, 등급별 배출부, 상자담기로 되어있다. 육안선별부에서는 이물질이나 기형 고구마들을 1차적으로 육안선별을 한다. 공급부에서는 브러쉬 롤러에 의해 개체공급이 된 후 회전형 고무롤러에 의해 회전하면서 고구마가 이송된다. 영상획득부에서는 CCD 카메라를 이용하여 이송되는 고구마의 영상을 실시간으로 획득하여 영상처리 및 제어부로 데이터를 전송해 준다. 무게측정부에서는 로드셀을 이용하여 무게를 측정하고, 영상처리 및 제어부에서는 농산물의 무게, 형상, 휨, 손상을 계산하고 이들의 조합에 의해 등급판정을 내린다. 등급별 배출부에서는 하부낙하 방식의 슬라이드 컵에 의해 배출을 하며 하부의 소형 컨베이어 벨트에 의해 상자에 자동으로 담겨지도록 설계를 하였다. 그림

6과 표 1은 시작기의 각 구성부와 제원을 나타낸다.

라. 영상처리 시스템 개발

영상처리 시스템은 그림 7에서처럼 빛을 조사할 수 있는 챔버, 영상을 획득하는 CCD 카메라, 시료의 전체 영상을 획득할 수 있도록 도와주는 회전형 고무롤 컨베이어로 구성되어 있으며, 시료마다 3번의 연속 촬영으로 전체영상을 획득하고 등급을 판정하였다.

마. 선별인자

이 연구에서 고려한 선별인자는 무게, 형상, 휨, 손상, 색택이고, 무게측정에는 로드셀을 이용하였다.

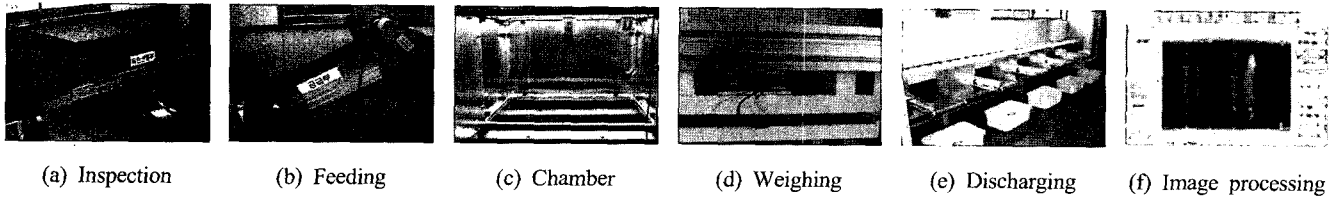


Fig. 6 The constituents of the grader.

Table 1 Components of prototype and its specification.

Items		Mode
Size (L×W×H, mm)		9,663×1,006×799
Human inspection	Size (L×W×H, mm)	1,306×478×649
	Gas pressure (kg)	60
Feeding	Size (L×W×H, mm)	1,978×478×649
	Roller size (Ø×W, mm)	65×25
Illumination chamber	Size (L×W×H, mm)	1,820×478×1,600
	Tungsten-halogen lamp (Watt)	6 pieces, 220
	CCD camera	Honeywell, DSP color camera
Discharging	Size (L×W×H, mm)	4,134×1,006×799
	Load cell (kg)	CAS, BC-30L (30)
Image processing/Control	Computer	Pentium IV 3.06 GHz
	Image processing	Matrox Meteor II

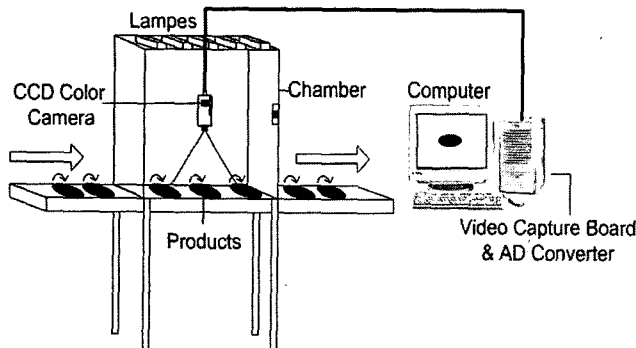


Fig. 7 The schematic of image processing system.

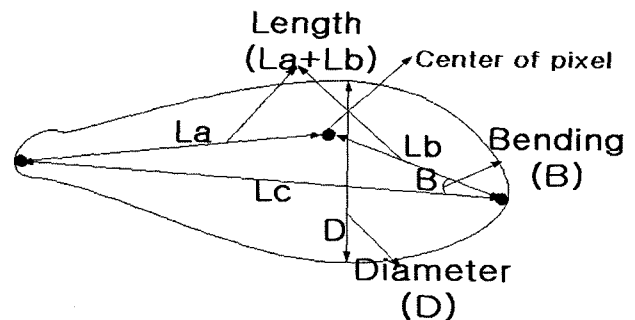


Fig. 8 Morphology feature of sweet potato.

그리고 형상 및 휨 정도를 판정하기 위해 그림 8에서처럼 영상처리를 이용하여 고구마의 양끝단과 화소의 무게중심점을 찾고 양끝단에서 중심점까지의 거리를 각각 L_a 와 L_b , 양끝단을 잇는 선분을 L_c 로 정의 하였다. 형상은 길이대 장경비 $((L_a+L_b)/D)$ 로 휨은 $\angle B$ 로 정의하였다. 손상은 손상된 부위의 화소치를 사용자가 허용기준치를 두어서 손상을 판정할 수 있도록 하였다. 색택은 영상처리의 문턱값을 적용하였다.

바. 영상처리 알고리즘 개발

영상처리를 위해 그림 9와 같이 영상을 획득하여 이치화한 후에 길이, 장경, 휨, 무게, 길이/장경비, 손상, 색택을 측정하고 사용자에게 의해 입력된 등급별 설정값과 측정값을 비교한다. 손상과 휨을 설정값과 비교하여 기준이하이면 등외로 판정하였다. 다음으로 등급별 무게를 설정값과 비교하고 해당 등급으로 보낸 후 마지막으로 길이/장경비를 비교하여 최종적으로 6 또는 7등급 선별을 하도록 알고리즘을 구성하였다.

사. 영상처리

영상처리 과정은 그림 10과 같다. 획득한 영상에서 각 화소의 RGB값을 YIQ 컬러 모델로 변환을 하여 평활화를 시켰다. 필터링은 저역통과 필터(Low-pass filter)를 사용하였다. 이치

화를 위해 고구마와 배경이 가장 잘 구분되는 문턱값은 138이었으며, 품종별 미세한 고구마 색깔의 변화는 ± 30 정도의 문턱값 유동범위를 줌으로써 보완할 수 있었다. 컨베이어의 색깔이 녹색이기 때문에 배경의 문턱값은 48을 적용하였다.

아. 무게, 형상, 휨, 손상, 색택판정

무게는 로드셀로, 형상은 길이/장경비로, 휨은 중심점과 양 끝점이 이루는 각으로 측정하여 모니터에 실시간으로 나타내었다. 표피가 손상된 부분은 하얗게 변하기 때문에 이 부분의 화소치를 읽어 손상을 판정하였다. 문턱값을 이용하여 배경

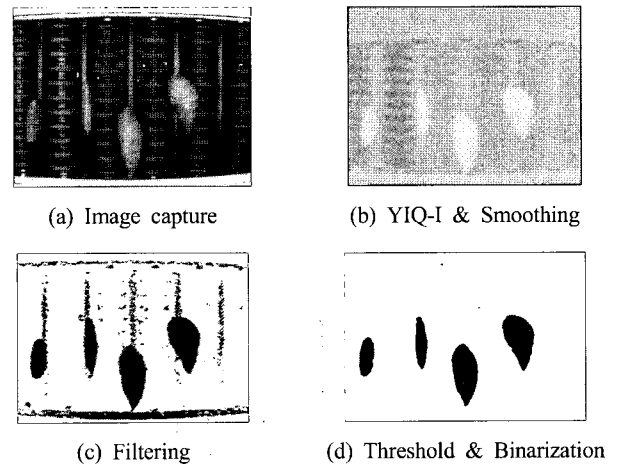


Fig. 10 Image processing.

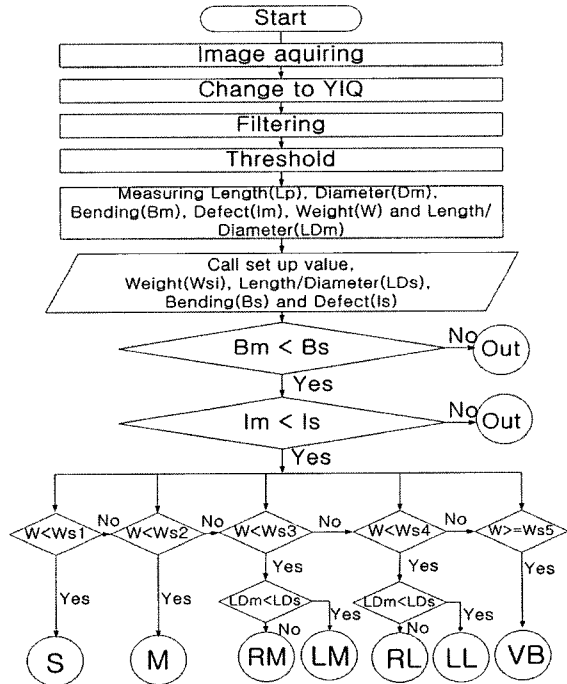
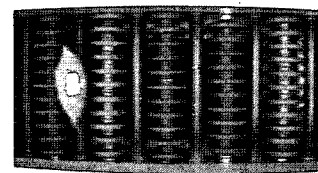
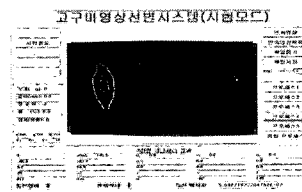


Fig. 9 Flow chart for decision of grade.

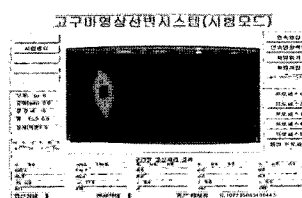
*VB : Very Big(대), LL : Long Large(긴특),
 RL : Round Large(특), LM : Long Middle(긴상),
 RM : Round Middle(상), M : Middle(중), S : Small(하)



(a) Image capture



(b) Defects



(c) Color

Fig. 11 Defects and color decision using image processing.

과 고구마를 구분한 후 고구마 부분에 대한 화소치를 이용하여 색택을 판정하였다. 그림 11은 무게, 형상, 휨, 손상, 색택판정 모니터링 화면이다.

자. 시험방법

1) 공시재료

선별시험에 사용된 공시재료는 2004년 9월에 수확한 고구마 ‘율미’ 품종과 ‘수’ 품종이다.

2) 실험방법

고구마 등급기준은 유통시장에서 인력에 의해 선별된 고구마를 구입하여 등급별로 길이, 장경, 단경, 무게를 측정하였다. 시작기의 성능시험을 위해 선별등급은 6등급으로 정의하고 등급기준을 영상처리 알고리즘에 반영하였다. 시작기의 성능평가는 등급별로 각각 50개씩의 고구마를 무작위로 혼합하여 5회 반복 실험 후 시간당 작업성능과 선별정밀도 및 손상률을 각각 구하였다. 영상처리시스템의 성능은 고구마의 형상, 무게, 손상, 색택 선별정도를 조사하여 시작기의 작업성능 평가에 반영하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 고구마의 선별기준

고구마는 산지에서 6 또는 7등급으로 육안 선별되어 출하되고 있다. 그림 12와 그림 13은 출하된 고구마를 각 등급별로 무게와 길이를 각각 측정하여 선별 균일도를 조사한 것이다.

대와 중/하에 해당되는 고구마는 무게나 길이 기준으로 선별이 가능하지만 그 사이의 긴특, 특, 긴상, 상은 서로 혼재되어 선별된 것을 알 수 있다. 이 같은 사실은 육안 선별이 등급간 구분을 충분히 해 주지 못하고 있음을 보여주는 결과이다. 즉, 무게나 길이 인자만으로는 선별을 명확하게 할 수 없음을 의미한다.

표 2는 여주산과 해남산 고구마 ‘율미’와 ‘수’ 품종을 대상으로 선별기준을 조사한 데이터이다. 길이, 장경, 무게는 등급간 구분이 없이 혼재되어 선별출하 되는 것을 알 수 있다. 그러나 길이/장경비를 분석한 결과 3.83~4.12 사이로 긴특과 긴상 그리고 특과 상을 구분 지을 수 있음을 알 수 있었다. 또한 길이/장경비와 무게를 같이 조합함으로써 긴특, 특, 긴상, 상을 각각 구분 지을 수 있음을 발견하였다. 이 같은 특성을 이용하여 고구마의 기본적인 등급기준을 수립하였다.

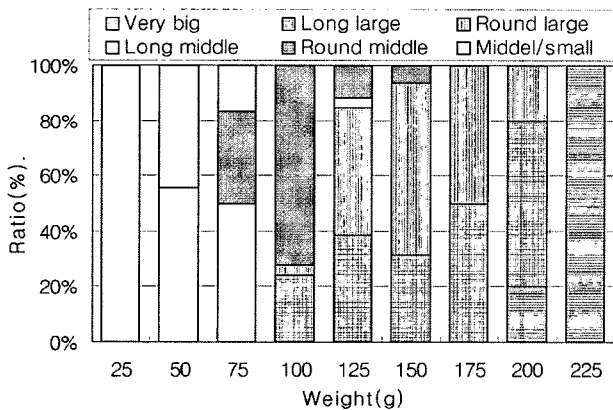


Fig. 12 Grading distribution of sweet potato by weight.

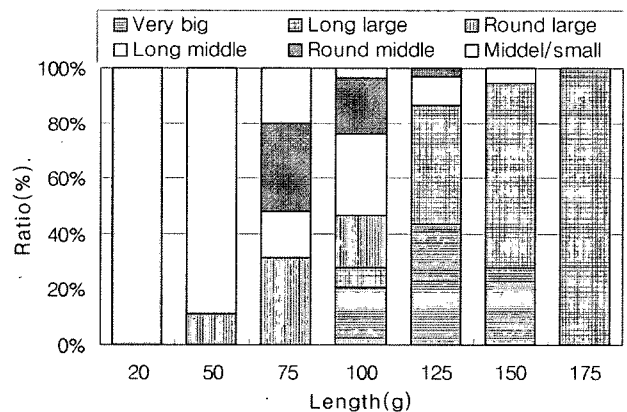


Fig. 13 Grading distribution of sweet potato by length.

Table 2 Datum points by description for grading sweet potato.

Cultivar	Items	Very big	Long large	Round large	Long small	Round small	Middle/Small
Yeoju 'Yulmi'	Length (mm)	over 121	149~190	95~148	92~154	47~94	below 46
	Diameter (mm)	over 45	30~44	43~63	25~46	30~45	below 29
	Length/Diameter	2.71±0.5	4.12±0.5	2.31±0.5	3.83±0.5	2.12±0.5	2.72±0.5
	Weight (g)	over 251	83~250	60~121	30~108	42~98	below 41
Henam 'Su'	Length (mm)	over 135	125~210	100~168	120~170	65~130	below 64
	Diameter (mm)	over 56	35~55	45~65	25~45	35~55	below 34
	Length/Diameter	2.50±0.5	4.05±0.5	2.45±0.5	3.98±0.5	2.48±0.5	2.68±0.5
	Weight (g)	over 281	135~280	125~235	60~150	40~125	below 39

나. 영상처리를 이용한 무게예측

영상처리를 이용하여 시료의 무게를 예측할 수 있는 수학적 모델을 개발하였다. 특히, 고구마의 경우 무게와 화소수간의 상관정도는 그림 14에서처럼 0.95로 높게 나타나 로드셀 없이 영상처리만을 가지고 무게를 예측할 수 있음을 보였다. 그러나 농산물은 수확 후 저장 및 유통기간 동안 감모율이 증가하기 때문에 시간에 따라 무게 예측값과 실측값의 오차 또한 증가하게 된다. 그러므로 로드셀을 이용한 측정값을 반영하도록 시스템을 설계하는 것이 합리적이다.

따라서 본 선별시스템의 무게측정은 로드셀을 이용하였고, 컴퓨터 화면에는 영상처리를 이용한 무게예측 값과 로드셀을 이용한 무게측정 값을 순차적으로 보여줌으로써 선별시스템 운영을 도왔다. 이는 시스템 구성상 로드셀에 의한 무게측정부가 마지막 단에 위치해 있기 때문에 측정값을 맨 나중에 화면에 보여주는 불편을 해소하기 위함이다.

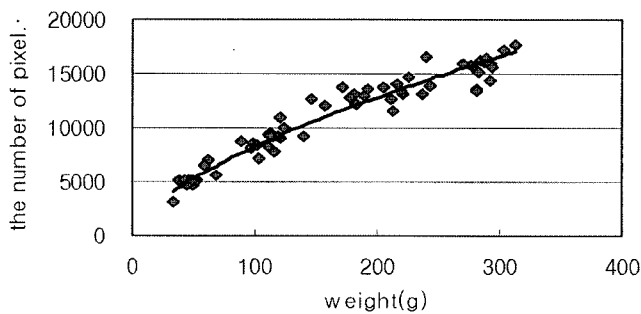


Fig. 14 Prediction of weight using image processing.
 $W = 6.75210^{-5}S^{1.58}$ ($R^2=0.95$)
 W : weight, S : no. of pixel

다. 시작기 성능시험

선별등급을 6등급으로 정의하고 등급별로 50개씩의 고구마를 5회 반복 실험한 결과는 표 3과 같다. 고구마의 무게, 형상, 휨, 손상, 색택을 조합하여 성능을 시험한 결과 시간당 최대 작업성능은 10,800개였으며 선별정밀도는 96.4%로 양호한 실험결과를 가져왔다. 이때 주속도는 0.38 m/s였으며 작업 중 손상은 없는 것으로 나타났다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서는 인력에 의존하고 있는 부정형 농산물의 선별작업을 기계화할 수 있도록 영상처리를 이용한 자동선별시스템을 개발하고 고구마를 대상으로 하여 그 성능을 평가하였다.

시작기는 무게, 형상, 휨, 손상, 색택을 영상처리를 이용하여 정밀하게 선별할 수 있었다. 구체적인 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

등급판정 인자는 각 산지에서 생산되는 서로 다른 품종의 고구마를 각 등급별로 구입을 하여 길이, 장경, 단경, 무게를 측정 후 기하학적 특성을 분석하여 구명하였다.

선별용 컵은 이들 기하학적 특성에 기초하여 가로×세로×높이가 240×128×42 mm로 하였고, 하부낙하 슬라이드 방식을 적용하였다.

시작기는 길이 9,663 mm, 폭 1,006 mm, 높이 799 mm의 크기를 가지고 있으며, 구성은 육안선별부, 공급부, 영상획득부, 무게측정부, 영상처리 및 제어부, 등급별 배출부, 자동상자담기로 일괄처리할 수 있도록 고안하였다. 특히, 자동공급부는 브러쉬 롤러와 횡방향 공급, 종방향 정렬방법으로 날개

Table 3 Performance results of the prototype grader.

Items	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th	Average
Very big	93.3 (1.33)	96.7 (0.33)	100.0 (2.00)	90.0 (3.00)	100.0 (2.00)	96.0
Long large	93.3 (1.33)	100.0 (2.00)	93.3 (1.33)	96.7 (0.33)	96.7 (0.33)	96.0
Round large	93.3 (1.67)	96.7 (0.00)	96.7 (0.00)	100.0 (1.67)	96.7 (0.00)	96.8
Long middle	93.3 (2.00)	96.7 (0.33)	96.7 (0.33)	100.0 (1.33)	100.0 (1.33)	97.3
Round middel	100.0 (1.33)	100.0 (1.33)	96.7 (0.33)	90.0 (3.67)	100.0 (1.33)	97.3
Middel/Small	96.7 (0.67)	96.7 (0.67)	93.3 (1.00)	93.3 (1.00)	96.7 (0.67)	95.3
						96.4

Unit : %, () : Standard Deviation

공급 장치를 개발하였다.

영상처리 시스템은 빛을 조사할 수 있는 챔버, 영상을 획득하는 CCD 카메라, 시료의 전체 영상을 획득할 수 있도록 도와주는 회전형 고무롤 컨베이어로 구성하였으며, 시료당 3번의 연속 촬영에 의해 전체영상을 획득하여 등급판정을 하였다. 무게측정은 로드셀을 이용하였고 형상은 길이/장경비로, 붉은 굵은 정도, 손상은 화소값, 색택은 영상처리의 문턱값을 적용하였다. 등급판정은 이들 인자들을 조합하여 판정하였다.

고구마 영상처리 시스템의 작업성능은 시간당 최대 10,800 개를 선별할 수 있으며, 선별정밀도는 96.4%로 양호한 성능을 보였다. 이때 작업 중 손상은 없는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. Tanaka F., K. Morita, M. Nishida and T. Sugawara. 2003. Grading and sorting of sweet potato using machine vision. An ASAE Meeting Presentation. Paper No. : 036127.
2. 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.
3. 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): pp. 13-20.
4. 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): pp. 95-103.
5. Throop, J. A. and W. C. Anger. 2003. Conveyor design for apple orientation. An ASAE Meeting Presentation. Paper No. : 036127.