

기계시각을 이용한 후지사과의 형상선별에 관한 연구

Shape Grading of Fuji Apples using Machine Vision System

이수희*

노상하*

정희원

S. H. Lee

S. H. Noh

1. 서론

사과는 낙엽과수를 대표할 만큼 모양과 맛에서 뛰어난 과실로서 먹기에 간편하고 맛도 좋을 뿐 아니라 영양적 가치와 효능이 널리 알려져 있다. 우리나라는 자연적 기후조건이 사과 재배에 적합하여 농산물 생산의 감소에도 불구하고 농업에서 사과가 차지하는 비중은 증가하는 추세를 보이고 있으며, 생산량 또한 85년 533,000톤에서 96년 651,000톤으로 22%나 증가하고 있다. 그러나 국내적으로 재배면적이 증가하여 공급과잉을 보이고 있고, 국제적으로는 UR 협상의 타결로 미국 등 주요 사과 생산국과 국내외에서 경쟁이 불가피하게 되어 국내 사과산업에 커다란 위기로 받아들여지고 있다.

선별작업은 사과의 상품성을 높일 수 있는 핵심작업으로 선별인자에 따라 크기, 무게, 형상, 색 및 상처유무와 같은 외부품질에 대한 선별과 당도, 산도, 향기와 같은 내부품질에 대한 선별로 나눌 수 있다. 현재 국내의 선별작업은 전자식 센서에 의한 중량선별만이 보편화된 실정이고 그 이외의 품질인자에 대한 선별은 이루어지지 않고 있으며 일부 색 선별을 위한 시작기가 제작되어 전시회 등에 출품된 바 있다. 하지만 선진국의 경우 다양한 품질인자에 대한 선별이 이루어지고 있는데 외국의 선별기를 수입하여 국내에서 사용하기에는 과일의 모양, 크기, 색, 등급규격 등이 다르기 때문에 많은 문제가 있을 것으로 예상된다.

사과는 상품성이 높은 과실로서 특히 외관에 의해 상품가치가 좌우되고 있는데 육안으로 관찰했을 때 착색이 고르고 형상이 양호하며 기타 결점부위가 없는 건전한 과실이 높은 가격을 받게 된다. 본 연구는 상품성을 결정하는 외부품질인자중에서 형상 인자를 기계시각장치를 사용하여 선별하는 알고리즘을 개발하는 것을 주 내용으로 하였으며 실제 이송장치에서 선별작업을 수행하여 알고리즘의 성능을 평가하고자 하였다. 본 연구의 구체적인 목적은 다음과 같다.

1. 기형과의 기하학적 특성을 구명하고
2. 기형과를 검출할 수 있는 선별알고리즘을 개발하고
3. 선별실험을 통하여 개발된 선별 알고리즘의 정확도 및 성능을 평가한다.

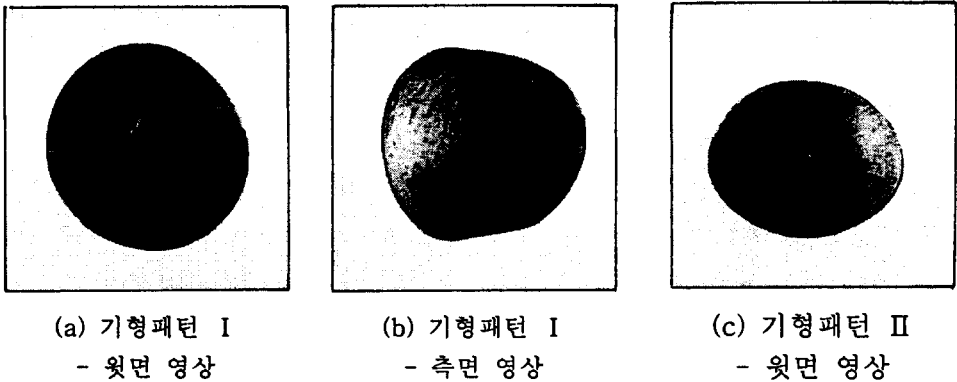
* 서울대학교 생물자원공학부

+ 본 연구는 산업자원부의 공업기반기술과제의 연구비로 수행되었음.

2. 재료 및 방법

가. 기형과에 대한 정의

'품위규격표'를 따르면 사과와 기형과에 대한 정의는 '고유의 형상을 갖춘 것'으로 정의되어 있을 뿐 현재까지 명확하게 정의된 것이 없다. 따라서 본 연구에서는 일반적으로 기형과로 간주되는 형상을 정의하여 이들을 구분할 수 있는 알고리즘을 개발하고자 하였으며 다음과 같은 2가지 형상을 기형과로 정의하였다. 먼저 사과와 윗면을 보았을 때 비교적 원형을 보이나 반대쪽인 꽃받침 주위의 형상이 불규칙하여 사과를 평면에 놓았을 때 기울어지는 특징을 가지고 있는 것을 기형과로 정의하였다(기형패턴 I). 또한 사과와 윗면과 밑면은 편평하나 윗면이 타원인 것을 또 다른 기형과로 정의하였다(기형패턴 II). <그림 1>은 본 연구에서 정의한 기형과에 대한 외형을 나타낸 것이다.



<그림 1> 기형과에 대한 정의

기형 판정에는 정상적인 형상을 가진 20개의 사과와 기형으로 판단되는 20개의 사과를 대상으로 하였다.

나. 실험장치

본 연구에서 사용한 기계시각장치는 먼저 사과 영상 입력을 위한 컬러 CCD 카메라(LG 305NA-GC, Korea)와 컬러 프레임그래버 (FlashBus MV-PRO, USA)와 조명장치로 구성된다. 카메라에는 C마운트 렌즈를 부착하였다. 영상은 640×480, 24비트 컬러의 해상도로 획득하였으며 사용한 컴퓨터는 Pentium MMX (233MHz) CPU를 장착하였다. 조명장치는 3파장 램프를 사용하였으며 균일한 광량을 얻기 위하여 전후좌우에 각각 9개의 램프를 균일한 간격으로 부착하였고, 고른 산란광을 얻기 위하여 백색 아크릴을 부착하였다. 또한 이송상태에서의 실험을 위하여 속도조절이 가능한 간이이송장치를 사용하였다.

한편 물체의 이송상태에서는 주사선 방식의 CCD카메라로는 blurring 현상이 발생하게 되며 이송속

도가 빠를수록 정지상태의 영상과는 다른 영상이 입력되게 된다. 이를 제거하기 위해서는 일반적으로 스트로보 광원이나 라인스캔카메라를 사용하고 있으나 이는 전체 시스템의 가격을 상승시키는 요인으로 작용한다. 본 연구에서는 blurring 현상을 제거하기 위하여 카메라에 내장되어 있는 전자식 셔터를 사용하였으며 강한 조명이 가능하므로 셔터 속도를 빨리하여 이동에 따른 영향을 배제하고자 하였다. 셔터 속도는 1/500초로 설정하였다.

선별 프로그램은 윈도 95환경에서 작동이 가능하도록 C++언어(Visual C, Ver. 5.0)를 사용하였다.

다. 기계시각장치의 속도 설정

형상과 같은 기하학적 측정을 수행하는 경우 기계시각 장치의 속도설정은 매우 중요하다. 기계시각 장치의 속도설정 내용에는 화소의 크기와 종횡비, 배경을 분리하기 위한 문턱값 설정, 기하학적 왜곡 정도를 들 수 있으며 다음과 같은 방법으로 시스템의 특성을 분석하였다.

먼저 화소의 크기를 구하기 위해서 카메라의 수직면에 표준도형을 위치시키고 면적을 측정하여 실제 면적과 기계시각장치에 의해 측정된 면적을 비교하였다. 이 때 문턱값 결정은 실험자가 육안으로 판단하였을 때의 값으로 결정하였다. 표준도형으로는 한번의 길이가 7, 10, 12cm인 백색의 원을 대상으로 하였다.

정확한 문턱값을 결정하기 위해서 면적 측정의 정확도를 분석하였다. 사용한 표준도형으로는 앞서 사용한 원도형을 대상으로 하였다. 이들 표준도형을 사용하여 측정 정밀도를 관찰하였으며 실제 측정거리와 비교하였다. 측정치로는 면적, 장단축 길이를 측정하였다.

라. 형상선별 알고리즘 개발

본 연구에서는 앞서 정의한 2가지 기형과를 효과적으로 선별할 수 있는 알고리즘을 개발하고자 하였다. 먼저 꽃받침 형상이 불균일한 사과(기형 패턴 I)는 사과를 이송접시 위에 놓았을 경우 사과의 꼭지가 중앙에 위치하지 않는다는 점에 착안하여 영상에서 꼭지를 검출한 후 사과의 중심과 꼭지와의 거리를 측정하였다. 즉 사과가 비스듬하게 놓이게 되면 꼭지와 중심사이의 거리가 일정 크기 이상으로 나타나고 반대로 똑바로 놓인 사과는 꼭지와 중심의 차이가 미미할 것으로 판단하였다. 그리고 타원형의 사과(기형 패턴 II)에 대해서는 장축과 단축을 측정하고 이 값의 비를 이용하면 구분이 가능할 것으로 판단하였다.

입력된 영상으로부터 장단축 길이를 구하기 위해서는 먼저 사과의 윤곽을 이루는 외곽선 좌표와 중심좌표를 구해야 하는데, 중심좌표는 외곽선 좌표의 평균값으로 계산할 수 있으므로 결국 사과의 윤곽 화소를 구하는 것이 무엇보다 중요하다고 할 수 있다. 물체의 윤곽 화소를 구하기 위한 방법 중에서 가장 간단한 것으로 체인코딩에 의해 윤곽을 찾아내는 방법이 있으며 그 대표적인 알고리즘으로 터틀 알고리즘(Papert's turtle)이 있다. 이것은 최초 물체의 시작점을 탐색한 후 물체에 대해서는 반시계방향으로 이동하고, 배경을 만나면 시계방향으로 이동하면서 최초 시작점에 도달할 때까지 화소를 전진시키

는 방법이다. 이 알고리즘은 개념이 간단하고 또한 간단한 코딩으로 구현이 가능한 반면 찾아낸 윤곽화 소들이 물체 뿐 만 아니라 배경화소도 같이 포함되어 있다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 터틀 알고리즘의 일부를 보완하여 물체 화소만을 반시계방향으로 탐색하면서 외곽선을 만들도록 알고리즘을 일부 수정하였다. 이렇게 탐색한 윤곽화소를 기초로 사과 중심좌표는 윤곽 화소에 대한 x방향과 y방향에 대한 평균을 계산하여 얻었으며 장축의 길이는 중심을 통과하는 직선 중에서 최대 길이를 갖는 것으로, 단축의 길이는 그 직선 중에서 최소 길이를 갖는 것으로 하였다.

사과의 꼭지를 검출하기 위하여 구조광(structured light)을 사용하는 것을 고려해 볼 수 있다. 꼭지는 대부분 함몰된 상태이므로 구조광을 조사하면 꼭지 부위는 일반적인 표면부위와는 다른 특성을 보여 주게 된다. 하지만 이 방법을 실제 선별장치에 적용하려면 추가적인 시스템이 요구되고 전체적으로 선별성능을 저하시키게 되므로 그리 바람직한 방법이라고 할 수 없을 것이다. 따라서 본 연구에서는 현재의 컬러기체시각 시스템만으로 사과의 꼭지부위를 검출하기 위하여 히스토그램에 의한 꼭지 검출방법을 사용하였다. 이 방법은 꼭지 부위는 사과내의 다른 부위와 비교했을 때 비교적 어두운 부위에 속하게 되고 따라서 사과 히스토그램의 일정 범위 이내에 꼭지 화소가 포함될 것으로 판단하였다. 이렇게 일정 범위내의 화소를 대상으로 체인코딩을 수행하면 몇 개의 독립적인 개체가 판정이 될 것이고 이들 중에서 그 중심좌표가 사과의 중심과 큰 차이를 보이지 않는 것이 꼭지일 가능성이 크다고 판정하였다. 본 연구에서는 꼭지에 해당하는 화소치 범위를 전체 히스토그램의 1% 미만으로 하였고 장축길이의 1/4 거리내에 위치하는 가장 큰 개체를 꼭지로 간주하였다.

마. 형상선별 실험

개발한 알고리즘의 성능을 평가하고자 정지상태 및 이송상태에서 사과 영상을 획득하고 분석하였다. 이송장치의 속도는 초당 3개 선별이 가능하도록 50cm/sec로 고정하였으며 이송접시를 사용하여 개체 공급을 시켰다. 개발한 선별 프로그램의 흐름도는 다음과 같다.

먼저 광전스위치에 의해 이송 접시의 도달 여부를 확인하고 신호가 입력되면 영상을 획득한다. 획득한 영상에 대해서는 체인코딩에 의해 윤곽화소를 얻어내고 이를 기초로 사과의 중심 및 장단축 길이를 측정하도록 하였다. 이어서 꼭지를 검출하기 위하여 사과 화소에 대한 히스토그램을 얻고 히스토그램의 1%에 해당하는 화소를 결정한 후 이 화소들에 대한 체인코딩을 수행하여 일정 범위내의 가장 큰 개체를 꼭지로 간주하고 중심과 꼭지사이의 거리를 구하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 기계시각장치의 측정 정확도 분석

본 연구에서 사용한 기계시각장치의 측정 정확도를 분석하기 위하여 3가지 크기의 표준도형(7, 10, 12cm 원)을 사용하여 기본적인 기하학적 인자를 측정하였는데 이 때 반복간 정

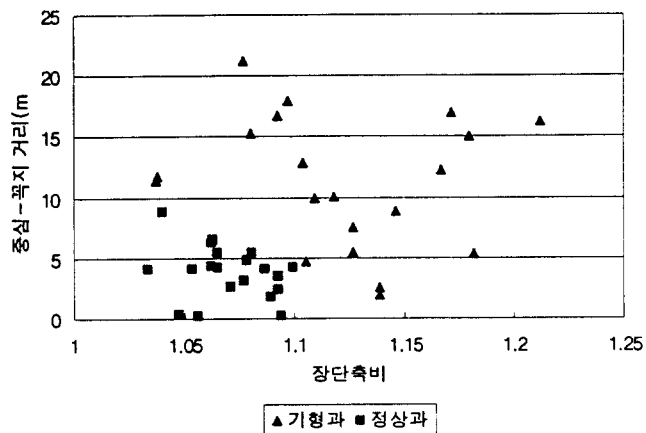
확도를 보기 위해 10회 반복 측정하였다. 표 1은 그 결과를 나타낸 것으로 대부분의 인자에 대해서 매우 낮은 측정 오차를 보여주었으며 반복간 재현성도 충분히 신뢰할 만한 수준인 것으로 판단되었다. 또한 이동영상에 대해서도 정지상태의 정확도를 충분히 갖는 것으로 나타나 셔터조정에 의한 물체의 blurring 현상은 충분히 무시할 수 있는 것으로 판단하였다.

표 1. 기계시각장치에 의한 기하학적 특성 분석 결과 (측정오차/변이계수)

항목	정지영상			이동영상		
	7cm	10cm	12cm	7cm	10cm	12cm
장단축비	0.01/0.34	0.00/0.12	0.01/0.01	0.01/0.16	0.01/0.21	0.01/0.11
장축길이(mm)	0.23/0.19	0.19/0.12	0.01/0.01	0.31/0.06	0.21/0.14	0.32/0.10
단축길이(mm)	0.58/0.27	0.35/0.01	0.61/0.01	0.18/0.13	0.64/0.15	0.27/0.10
면적(cm ²)	0.19/0.06	0.20/0.02	0.03/0.04	0.42/0.17	0.16/0.09	0.46/0.05

나. 기형과의 기하학적 특성 분석

본 연구에서 제시한 기본적인 형상인자를 기형 및 정상적인 사과에 대해서 측정하였으며 그 분포를 <그림 2>에 나타내었다. 먼저 타원형인 사과는 장단축비에 의해서 충분히 검출이 가능할 것으로 판단되나 꽃받침 형상이 불균일한 사과에 대해서는 장단축비만으로는 검출이 어려우며 중심-꼭지 거리를 추가할 경우 대부분의 기형과를 검출할 수 있는 것을 보여주었다. 따라서 이 두가지 인자를 이용할 경우 효과적으로 기형사과를 선별해낼 수 있을 것으로 판단하였다.



<그림 2> 기형과의 기하학적 특성

다. 선별실험 결과

본 연구에서 개발한 형상선별인자를 사용하여 정지상태에서의 사과와 이송상태에서의 사과에 대해서 선별실험을 수행하였다. 선별인자의 기준은 장단축비는 1.1을 중심-꼭지 거리는 10mm로 하였다. 분석 결과 대상시료 총 40개에 대해서 정지상태에서는 기형과와 정상과에서 1개씩 총 2개의 오차를 보여주어 95%의 정확도를 갖는 것으로 나타났다. 또한 동일한 시료에 대하여 이송상태에서 실험한 결과 한 개의 오차도 발생하지 않았다. 한편 선별프로그램의 속도를 분석한 결과 사과 하나를 분석하는데 소요되는 시간은 0.21초로 나타났다. 이와 같은 결과를 볼 때 본 연구에서 개발한 형상선별 알고리즘은 실제 선별기에 적용이 가능하며 그 실용성이 매우 크다고 판단하였다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 후지사과의 형상선별을 위한 알고리즘을 개발하고 개발된 알고리즘의 성능을 평가하여 실제 선별기에 적용이 가능한지를 조사하고자 하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 2가지의 기형사과 패턴을 정의하였으며 이들을 구분하기 위하여 중심-꼭지 거리와 장단축비를 형상선별인자로 정의하였다.

2. 사과의 꼭지를 검출하기 위하여 히스토그램에 의한 꼭지검출 방법을 개발하였으며 실제 사과에 대해서 적용한 결과 정확히 꼭지를 검출하는 것을 확인할 수 있었다.

3. 형상선별인자를 이용하여 정지 및 이송상태에서 선별실험을 수행한 결과 95% 이상의 높은 정확도를 갖는 것으로 나타나 개발된 알고리즘의 실용성은 충분한 것으로 판단하였다.

5. 참고문헌

1. 박정관 외 5인. 1998. 인공수분 및 Promalin 처리에 의한 사과 '후지' 품종의 과형 개선. 원예과학기술지 16(1) : 27-29
2. Yang, Q. 1996. Apple Stem and Calyx Identification with Machine Vision. J. agric. Engng. 63, 229-236
3. Varghese, Z. and C. T. Morrow. 1991. Automated inspection of golden delicious apples using color computer vision. International summer meeting ASAE
4. 김일웅, 노상하, 류관희. 1990. 화상처리 시스템을 이용한 과일의 기하학적 특성 예측. 한국농업기계학회지 15(1) : 23-32