토마토 자동 선별시스템 개발

Development of Automatic Tomato Grading System

최규홍* 이강진* 최동수* 윤진하*
정회원 정회원 정회원 정회원
K.H.Choi K.J.Lee D.S.Choi J.H.Yun

1. 서론

선별은 청과물을 포장하기 이전에 크기, 중량, 색깔 등 정해진 규격에 따라 고르는 과정을 말하고, 크게 인력선별과 기계선별, 개별선별과 공동선별로 구분한다. 국내의 경우 아직까지도 수확된 청과물은 농가단위로 개별선별하고 있으며, 중량식 선별기를 이용하여 등급선별 한 후 15kg, 10kg 상자에 포장하는 것이 가장 일반적이다. 근래에 청과물의 부가가치를 높이기 위해서 중량에 색깔을 선별할 수 있는 기능을 추가한 기계시스템이 개발되어 산업화된 바 있다(최 등, 1997). 또한 근적외선 분광분석법을 이용하여 과일의 당도를 비파괴적으로 측정 선별할 수 있는 시스템이 개발 실용화 단계에 있다(이 등, 1998).

최근 주산단지의 조합 또는 작목반 등이 중심이 되어 농산물산지유통센터(APC : Agricultural Products Processing Center)를 설치하여 공동으로 저장·선별·포장·출하하는 사례가 증가하고 있는데, '97년말 73개소의 농산물산지유통센터가 건설되어 운영중에 있다. 정부는 농가에서 개별적으로 행하던 수확후처리작업이 농산물산지유통센터 한 곳에서 이루어지도록 함으로서 노력과 비용을 절감시키고, 농가소득을 증대시키며, 나아가 이를 산지유통의 핵심체로 발전시킬 뿐만 아니라 농산물의 산지유통 개선 차원에서 2002년까지 220개소를 설치할 계획에 있다(농림부, 1999).

농산물산지유통센터의 내부는 크게 예냉, 저장, 선별, 포장과 관련한 시설 및 기계장치로 구성된다. 이들 요소 가운데 아직 고가로 수입의존도가 높고, 기술적으로 고도의 기술이 요구되는 부분이 선별장치이다. 이를 감안하여 농업기계화연구소에서는 사과의 무게와 색깔을 동시에 선별하는 영상처리선별장치를 개발하였고, 96년도부터 산업화되어 대형 선과시설에서 활용되고 있다. 현재 설치된 선별장치 선별성능은 3개/초/조로서, 금후 공동선별이 정착될 경우 반입물량이 수확기에 크게 집중되고, 특히 저장성이 짧은 청과물의 경우 단위시간당 처리능력이 현재보다 훨씬 증가하도록 기술적 보완이 필요하다.

한편 우리나라의 토마토 재배면적과 생산량은 각각 4,633ha, 245천톤('97)에 불과하지만, 80년대 중반이후 매년 증가추세에 있으며, 특히 90년대 중반이후 노지재배면적이 줄고 있는 반면에 시설재배면적은 크게 증가하고 있다. 토마토는 주요 과채류와 비교했을 때 단가는

* 농촌진흥청 농업기계화연구소

약간 낮은 편이지만 단경기나 홍수출하기에 관계없이 연중가격이 안정되어 있고, 시설재배의 경우 농가표준소득 측면에서는 오이와 비슷하다. 토마토는 기타 작물에 비해 재배관리가 쉬운 작목이고, 단수증대와 품질향상기술을 갖출 수 있다면 안정 소득작목 중의 하나이다(농촌진흥청, 1996).

토마토의 경우 숙성이 진행되면서 푸른 과실이 빨갛게 익어 가는데, 이러한 색 변화는 녹색을 나타내는 엽록소가 파괴되면서 동시에 빨간색을 띠는 lycopene 색소가 합성되기 때문에 일어난다. 따라서 농민이나 유통업자들은 토마토가 일정한 과색에 이르렀을 때 먹기에 알맞는 품질이라고 판단하는, 즉 표면 색을 대표적인 숙성정도 또는 숙도지수로 이용하고 있다. 한 예로서 UDSA는 토마토의 등급화를 위한 컬러차트를 제작 보급하고 있다(CFR, 1991).

이 연구에서는 농업기계화연구소에서 개발한 영상처리선별시스템의 처리성능을 크게 향상시키고, 이를 토마토 선별에 적용하여 시스템의 성능 및 적응성을 검토하고자 수행하였다. 구체적인 연구목적은 Progressive Scan 컬러 카메라를 채택한 고속영상처리시스템을 구성하고, 토마토 색채선별을 위한 알고리즘을 개발하고, 이를 농산물유통센터에 설치하여 시스템의 선별성능을 평가하고, 금후 시스템의 기술적 보완점을 구명하는데 있다.

2. 재료 및 방법

가. 선별포장시스템 개요

토마토 산지유통센터로 토마토가 반입되면 그림1에서 보는 바와 같이 육안으로 기형과, 부패과 등이 선별(1차선별)되고, 물과 부러쉬 세척후 육안에 의한 2차선별을 거친 후 자동공급장치에 의해 중량 및 색깔 선별부로 공급되어 등급별로 배출된다. 그리고 15kg 단위로 상자에 담겨진 후 컨베이어로 이송되어 계량, 봉함 및 밴딩부를 거쳐 포장된 후 팔렛에 적재되어 출하되도록 구성되었다.

본 시스템의 전체 등급단수는 무게 8등급과 색깔 3등급을 조합한 총 24등급 선별이 가능하도록 설치하였다. 이 시스템은 3조식으로 선별성능은 32,400개/시간이고, 유통센터의 1일 처리용량은 1,500~1,800상자, 23톤 정도이다.

나. 영상처리시스템

토마토 색깔판정을 위한 영상처리시스템은 조명장치, 카메라, 실시간 영상처리 프로그램 등으로 구성되어 있다.

조명장치는 20W 할로겐 광원(Philips Co.)을 이송접시의 상단부 좌우에 각각 3개씩, 전후에 1개씩 총8개를 45 ° 되게 설치하였고, 챔버 내부의 조도는 5030~6100 Lux 였다. 영상입력장치로 NTSC 방식의 Progressive scan 컬러 CCD 카메라(CV-M70, Jai Co., Japan)의 해상도는 450(수평)×480(수직)개이고, Non-interlaced 방식으로서 인터라인 전달 CCD에 의

해 고속 전자 셔터링의 기능을 갖고 있다. 카메라로부터 획득된 영상은 프레임 그래버(Matrox MeteorⅡ, Matrox Electronic System Ltd., Canada)의 입력라인을 통해 컴퓨터로 보내지며, 아날로그 영상신호는 컴퓨터의 확장슬롯에 삽입된 PCI 인터페이스형 프레임 그래버에 의해 디지털신호로 변환된다.

한편 토마토의 무게는 분해능 ±1g인 로드셀을 카메라 바로 아래에 설치하여 측정하였다.

다. 시스템 성능평가

시험에 사용된 공시재료는 춘천시 신북농협 조합원 농가에서 수확한 토마토에서 표피색이 녹색에서 적색까지 고르게 분포하도록 선발하였고, 품종은 도태랑 토마토였다.

먼저 USDA의 토마토 컬러차트(CFR, 1991)와 비교하면서 육안으로 토마토 숙도단계별(Green, Breakers, Turning, Pink, Light red, Red)로 골고루 포함되도록 시료 155개를 선발하였다. 그리고 현재 청과물 유통이 8등급의 무게 선별에 의존하고 있고, 여기에 색깔 등급을 추가할 경우 전체 등급단수가 크게 증가하는 점을 고려하여 이 연구에서는 색깔을 3등급으로 고정시켰다.

따라서 시료를 육안으로 3등급(Green/Breakers, Turning/Pink, Light red/Red) 구분하여 표시한 후, 색채색차계(Chroma Meter CR-200, Minolta)를 이용하여 표피 색도를 측정하였다. 표피색도는 토마토의 과정부(Blossom)를 중심으로 10㎜ 거리에 있는 3지점을 색채색차계를 이용하여 CIE L* a* b* 값을 측정하고, 이들의 평균값을 대표값으로 하였다.

그리고 토마토 과정부가 위로 향하도록 이송접시에 공급하여 영상처리시스템에 의해 등급선별된 결과와 육안 판정결과가 일치하는 비율을 산출하여 색깔판정 정밀도로 정의하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 토마토 색채선별 알고리즘

이 연구에서는 CCD 카메라에서 사용하는 RGB 좌표계 값을 CIE 1976 L*a*b* 좌표계 값으로 변환하여 색을 측정하였다. 즉 시료 영상의 전체 화소의 RGB 값에 대한 산술평균을 구한 뒤 식(1)에 의해 3자극치 XYZ값으로 환산하고, 이를 다시 식(2)를 이용하여 CIE L*a*b* 값으로 환산하였다.

그리고 시료 155개를 이용하여 식(3)과 같은 토마토 색깔판정함수 TCV(Tomato Color Value)를 개발하였고, 이 값을 조정하여 토마토의 색깔 등급기준을 결정하였다.

$$\begin{aligned} X &= 2.7689R + 1.7517G + 1.1302B \\ Y &= 1.0R + 4.5907G + 0.0601B \\ Z &= 0.0565G + 5.5943B \end{aligned} \quad \text{.....(1)}$$

$$L^* = 116(Y/Y_0)^{1/3} - 16$$
$$a^* = 500[(X/X_0)^{1/3} - (Y/Y_0)^{1/3}] \quad \text{.....(2)}$$
$$b^* = 200[(Y/Y_0)^{1/3} - Z/Z_0)^{1/3}]$$

$$TCV = 9.40 + 0.056L^* + 0.082a^* + 0.252b^* \quad \text{.....(3)}$$

그림2는 조명챔버 내부에 설치된 Progressive scan 카메라이고, 그림3은 카메라 1대로 3개의 토마토 영상을 동시에 읽어들여 처리한 영상과 색깔과 무게의 판정결과를 보여준 사진이다.

그림 4는 육안으로 숙도를 구분한 토마토에 대하여 영상처리시스템과 색채색차계를 이용하여 측정한 a*와 b* 값의 분포상태를 나타낸 것으로, 영상처리시스템의 의해 측정된 색도는 숙도단계가 a*에 평행되는 경향을 보인 반면에, 색채색차계의 경우는 숙도의 진행정도에 따라 a*와 b* 모두가 변하였다.

표1은 영상처리시스템으로 토마토 숙도별 구분 가능정도를 파악하기 위해 숙도 단계별로 측정된 L*a*b*의 평균값간의 차이를 Turkey의 다중검정법으로 비교한 결과이다. 토마토 숙도별 L*과 b*는 표1에서 보는 바와 같이 녹색에서 적색으로 발전할수록 영상처리시스템, 색채색차계 모두에서 감소하는 경향이 나타났으나, 숙도단계간 유의차를 보이지 않았다. 하지만 적색도(redness) a*는 완숙으로 진행될수록 영상처리시스템과 색채색차계 모두에서 현저히 증가하는 경향이 냈을 뿐만 아니라, 각 숙도단계간 뚜렷한 차이를 보여 토마토의 숙도 판별에는 적색도 a*가 가장 적절한 것으로 나타났다.

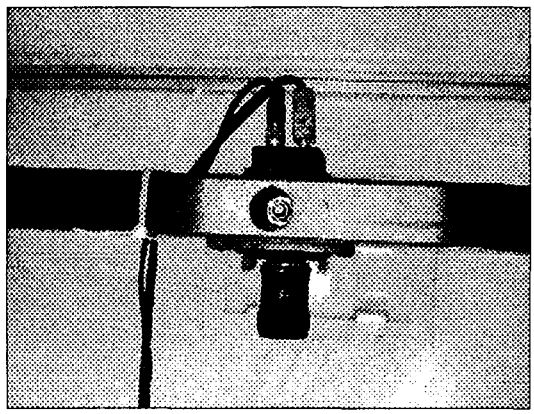


Fig. 2 Progressive camera mounted in the illumination chamber.

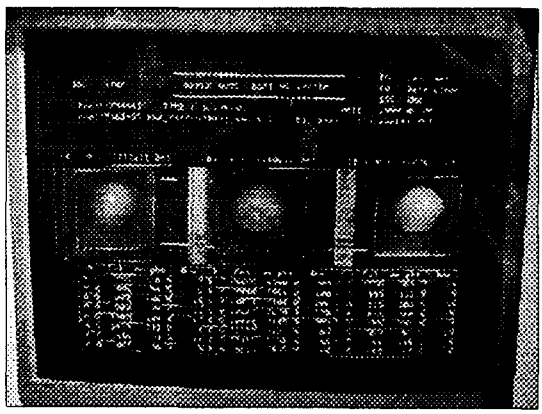
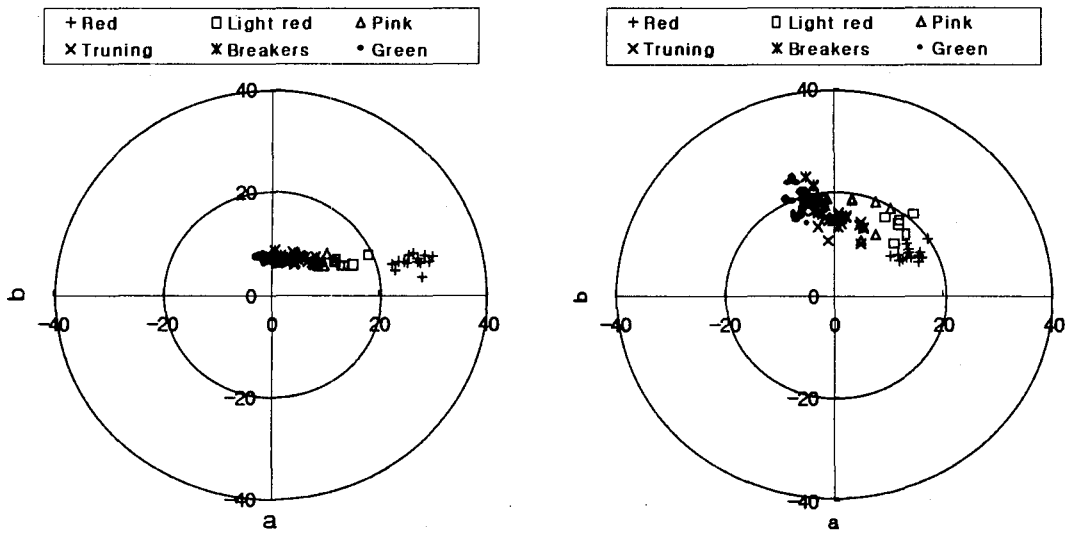


Fig. 3 Digital images of three tomatoes acquired using machine vision system.



(a) machine vision (b) colorimeter

Fig 4. Two dimensional plots of observed data using machine vision and colorimeter.

Table 1. Lightness, redness and yellowness for each maturity stages by machine vision and colorimeter.

Maturity stages	L		a		b	
	Machine vision	Chroma meter	Machine vision	Chroma meter	Machine vision	Chroma meter
Green	66.06a	54.63a	-1.38a	-6.80a	7.31a	18.00a
Breakers	65.88a	55.88a	1.38b	-2.94b	7.06a	17.63a
Turning	65.19b	54.25a	5.25c	1.50c	6.88a	14.31b
Pink	65.00b	55.25a	9.00d	5.25d	6.63a	15.88ab
Light red	64.33c	50.67b	13.83e	12.00e	6.50a	13.67b
Red	63.43d	47.71c	26.29f	14.00f	6.43a	8.00c

* Averages followed by the same letter are not significantly different at 95% confidence level using Turkey's Multiple Range Test.

나. 토마토 선별성능

표2는 영상처리시스템과 육안에 의한 토마토의 색깔 등급선별 결과를 비교한 것이다. 이 연구에서 채택한 Progressive scan 카메라 고속영상처리시스템을 이용하고 155개의 토마토를 공시재료로 하여 선별한 결과 138개가 육안선별과 일치하여 89%의 정밀도를 보였다.

선별오차는 표2에서 보는 바와 같이 완숙 토마토에서는 오차가 적었으나, 미숙상태 즉 Green/Breakers와 Turning/Pink 단계에서 상대적으로 매우 높게 나타났다. 이는 토마토의 성숙이 진행되어 녹색의 바탕색이 사라지고 과정부터 적색이 발현하기 시작하기전 회색, 황갈색(tannish-yellow) 또는 녹황색(greenish-yellow) 상태일 때로 금후 이에 대한 보완이 요구된다.

시험을 수행한 춘천시 신북면 농산물산지유통센터에서는 토마토의 유통기간을 고려하여 표피가 푸른 상태에서 수확한 후 곧바로 선별기에 의해 중량과 색깔을 선별하는데, 특히 완전히 푸른 토마토와 덜 푸른 토마토를 구분하여 출하시기를 조정하고 있어 적색보다는 푸른 정도를 구분할 수 있는 알고리즘 개발이 요구되었다.

따라서 금후 청과물의 영상처리 또는 기계시각에 의한 색깔 판별연구는 녹색에서 적색까지의 넓은 범위에서의 색깔 구분이 아니라, 유사한 색상 범위내에서 이를 구분해내는 알고리즘이 개발되어야 할 것으로 판단된다.

Table 2 Color classification results by manual and machine vision classification.

Manual grading	Machine vision classification			Total
	Green/Breakers	Turning/Pink	Light red/Red	
Green/Breakers	62	12		74
Turning/Pink	2	39	2	43
Light red/Red		1	37	38
Total	64	52	39	155

5. 요약 및 결론

이 연구는 농업기계화연구소에서 개발하여 보급중에 있는 사과 영상처리선별시스템을 농산물유통센터와 같은 대형선과장에서의 적응성을 향상시키기 위하여 수행되었다. 구체적으로는 기존의 단위시간당 선별처리성능을 크게 높일 뿐만 아니라, 기타 청과물로의 적응성 확대 가능성 및 금후 기술적 보완점을 구명하고자 실시하였으며, 그 주요결과는 다음과 같다.

가. Progressive scan 컬러 카메라 한 대로 초당 9개의 영상프레임을 처리할 수 있는 고속 영상처리시스템을 구성하였고, RGB 값을 L*a*b* 좌표계로 변환한 후 토마토 색채 선별 알고리즘을 개발하였다.

나. 토마토의 L*과 b* 값은 완숙될수록 영상처리시스템과 색채색차계 모두에서 감소하였으나 숙도단계간 유의차를 보이지 않았다. 반면에 적색도(redness) a*는 크게 증가하였고 숙도별로 뚜렷한 유의차를 보였다. 따라서 a값이 토마토 색채선별에 가장 적절한 것으로 나타났다.

다. 이를 토마토 주산단지의 농산물산지유통센터에 설치하여 육안에 의한 토마토 등급 선별과 비교한 결과 89%가 일치하였다. 또한 이 영상처리시스템은 3조를 동시에 선별함으로서 기존의 10,800개/시간보다 성능이 3배나 향상되었다.

라. 그러나 토마토 선별현장에서는 적색비율에 따른 선별이 아니라 푸른상태 내에서 푸른 정도에 따라 구분해낼 수 있는 알고리즘 개발이 요구되었다.

5. 참고문헌

1. 농림부 · 농수산물유통공사. 1999. 농산물산지유통센타 업무편람.
2. 농촌진흥청. 1996. 표준영농교본-22 [채소재배]
3. 이강진 외 4인. 1998. 근적외선을 이용한 과일 비파괴 품질판정기술 개발. 농업기계화연구소 농업기계화 시험연구보고서 : 109-169
4. 최규홍, 손재룡, 홍종태, 조영길. 1997. 영상처리식 사과선별기 개발. 농촌진흥청 농업과학논문집(농경 · 농기계) 39(1): 55-63
5. Choi, K., G. Lee, Y. J. Han, J. M. Bunn. 1995. Tomato maturity evaluation using color image analysis. Transactions of the ASAE 38(1): 171-176.
6. Code of Fedral Regulations. 1991. United States standards for grades of fresh tomatoes. USDA Agricultural Marketing Service, Washington, D.C.
7. Delwiche, M. J., S. Tang and J. F. Thompson. 1990. Prune defection by line-scan imaging. Transactions of the ASAE 33(3): 950-954.
8. Shewfelt, R. L. and S. E. Prussia. 1992. Postharvest handling - A system approach-. Academic Press, INC.
9. Thai, C.N. and R.L. Shewfelt 1991. Seasonal variability of tomato color thermal kinetics. Transactions of the ASAE 34(4): 1830-1835

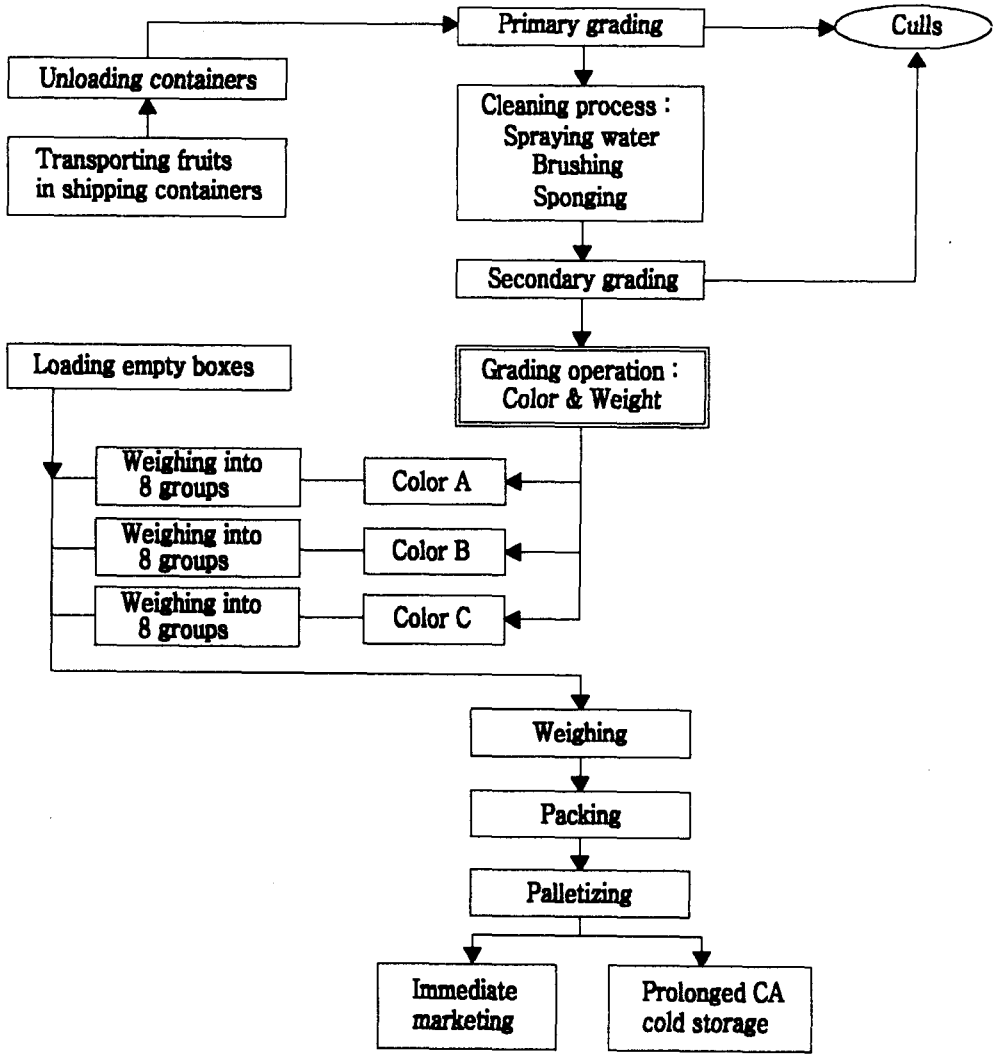


Fig. 1 Block diagram of tomato packing line facility established in the agricultural products processing center(APC) of Shinbuk Nonghyup, Chunchon, Kangwon.