

흑백영상처리장치를 이용한 다목적 과실선별기의 등급판정 알고리즘 개발⁺

Fruit Grading Algorithms of Multi-purpose Fruit Grader Using Black & White Image Processing System

노상하*	이종환*	황인근*
정희원	정희원	정희원
S. H. Noh	J. W. Lee	I. G. Hwang

ABSTRACT

A series of study has been conducted to develop a multi-purpose fruit grader using a black & white image processing system equipped with a 550 nm interference filter. A device and high performance algorithms were developed for sizing and color grading of Fuji apple in the previous study.

In this study an emphasis was put on finding correlations between weights of several kinds of fruits and their area fractions(AF), and on compensating the blurring effect upon sizing and color grading by conveying speed of fruit. Also, the effect of orientation and direction of fruit on conveyor during image forming was analyzed to identify any difficulty for utilizing an automatic fruit feeder.

The results are summarized as follows.

1. The correlation coefficients(r) between the weights of fruits and their image sizes were 0.984~0.996 for apples, 0.983~0.990 for peaches, 0.995 for tomato, 0.986 for sweet persimmon and 0.970~0.993 for pears.
2. It was possible to grade fruits by color with the area weighted mean gray values(AWMGV) based on the mean gray values of direct image and the compensated values of reflected image of a fruit, and also possible to sort fruits by size with AF. Accuracies in sizing and color grading ranged over 81.0%~95.0% and 82.0%~89.7% respectively as compared with results from sizing by electronic weight scale and grading by expert.
3. The blurring effect on the sizing and color grading depending on conveying speed was identified and regression equations were derived.
4. It was found that errors in sizing and coloring grading due to the change in direction and orientation of Fuji apple on the conveyor were not significant as far as the stem end of apple keeping upward.

주요 용어(Key Words) : 과실선별기(Fruit Grader), 영상처리(Image Processing), 등급판정 알고리즘(Grading Algorithm)

⁺ 이 연구는 농촌진흥청 농업특정연구개발과제('92 - '94)에 의해 이루어진 것임.

* 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과

1. 서론

과실류의 생산량 및 소비량 증가, 농촌노동력의 감소 및 인건비 상승, UR협상타결로 인한 국제 경쟁력 강화 등을 위해 과실의 수확, 선별, 포장 및 저장 등의 기계화 및 자동화가 절실히 요구되고 있다. 그러나, 이들분야에 대한 국내기술은 미약한 상태이며, 특히, 선별은 주로 과실의 중량과 육안선별에 의해 수행된다. 이러한 선별 방식은 중요한 등급결정 인자인 과실의 표면색택, 결점유무, 기형의 정도 등을 고려할 수 없고 선별자마다 선별기준이 상이하므로 선별오류가 크다.

1980년 중반이후 영상처리(image processing) 및 컴퓨터 시각(computer vision)을 농산물 선별에 응용한 사례가 있으며, 현재 실용화 제품으로 판매되고 있는 실정이다. 국내에서도 최근 과실을 표면색택 및 크기(중량)로 선별하기 위하여 외국으로부터 색채선별기가 도입되고 있으나, 등급판정기준이 국내 과실에 적합하지 않고, 고가이며, 사후보수가 잘 되지 않는 등의 문제점이 있다.

서 등(1992)은 컬러 컴퓨터 시각을 이용하여 사과와 색깔 식별에 관한 연구를 수행하였으며 연구결과, R,G,B,H,S,I 화면중 사과 색깔식별시 가장 바람직한 단일 화면으로 G화면을 추천하였다. Sarkar와 Wolfe(1985)는 디지털 영상처리와 패턴인식 기법을 이용하여 토마토 선별(크기, 형상, 색깔과 표면흠집)에 적용하였다. Miller와 Delwiche(1989, 1991)는 컬러영상처리장치를 실험실용 복숭아 선별기 제작 및 복숭아 결점판정 알고리즘 개발에 응용하였다. Delwiche 등(1990)은 라인스캔 영상처리장치를 이용하여 고속 자두 결점판정 알고리즘을 개발하였으며, Shearer와 Payne(1990)은 컬러영상처리장치를 구성하여 R,G,B신호를 채도(hue)신호로 변환하여 후추(bell pepper)를 6등급으로 선별한 결과 選別精度는 색깔선별의 경우 96%, 흠집의 경우 63%라고 보고하였다.

또한, 노 등(1990, 1991, 1992)과 황(1993)은

국내여건에 적합한 다목적 색채선별기 개발을 위한 일련의 연구를 수년에 걸쳐 수행하였다. 이들 연구에서 사과의 장,단축, 둘레, 흠집, 부피 등을 계산할 수 있는 알고리즘을 개발하였으며, 고속 등급(크기, 색택) 판정 알고리즘(이하 그래티컬 방법이라 칭함)이 부분적으로 완성된 상태이다.

본 연구는 기존의 연구에서 개발된 그래티컬 방법을 보완(과실별 반사영상보정, 과실 및 속도별 잔상의 영향보정)하여 우리나라에서 많이 생산되는 다양한 과실에 대해 크기(사과, 배, 복숭아, 진영단감, 토마토) 및 색택(사과, 토마토) 등급판정 알고리즘을 개발하기 위해 수행되었다.

본연구의 구체적인 목적은 다음과 같다.

- 1) 중량기준으로 크기 등급을 판정하기 위해 품종별로 중량과 크기와의 상관관계를 구명하며,
- 2) 색택선별을 위해 품종별 반사영상 보정을 위한 기초 자료를 제시하며,
- 3) 과실이송으로 인한 잔상의 영향구명 및 품종과 속도별 보정을 위한 기초 자료를 제시하며,
- 4) 과실의 놓인 자세와 방향이 등급결정 인자에 미치는 영향을 고찰하며,
- 5) 최종적으로 선별 속도별로 선별 정도를 검토하는 것이다.

2. 실험장치 및 방법

가. 선별장치

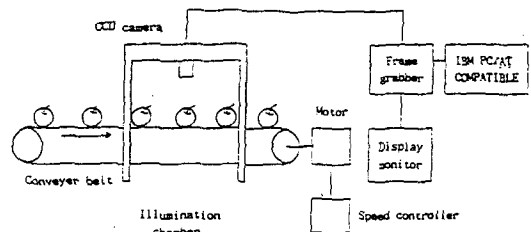


Fig. 1 Schematic diagram of the experimental fruit grader

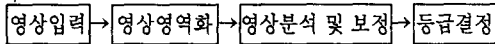
선별장치의 구성은 과실의 등급을 판정하기 위한 영상처리장치, 영상처리장치에 적절한 조명을 가하기 위한 조명장치, 과실의 이송을 위한 시료이송장치로 구성되며, 그림 1에 개략도를 나타내었다.

나. 공시시료

본 연구에서는 우리나라에서 많이 생산되는 사과(후지, 조나골드, 국도, 홍옥, 홍월, 골덴), 배(신고, 장십랑), 진영단감, 토마토 및 복숭아(백도, 황도)를 사용하였다.

다. 실험내용 및 방법

흑백영상처리장치를 이용하여 과실의 크기 및 색택 등급을 판정하기 위한 선별 알고리즘의 개략도는 다음과 같다.



대역폭(bandwidth)이 10 nm이고 중심파장(center wavelength)이 550 nm인 간섭 필터(interference filter)를 장착한 카메라로 영상을 입력하고 분석대상 영상의 콘트라스트를 증가시키기 위해 룩업테이블(look-up-table)을 조절한다. 예비실험에 의해 설정된 문턱값을 이용하여 입력영상에서 배경을 제외시키고 목적물만을 남게한다. 목적물만의 영상에서 기존의 연구(노등, 1992)에서 개발된 그래티컬 방법을 이용하여 선별인자(크기-투영면적비, 색택-면적가중평균화소치)를 계산한다 다음, 등급기준과 비교하여 등급을 판정한다. 과실의 크기는 영상분석을 위해 설정된 윈도우 내에 투영된 과실부분의 화소수와 윈도우의 전체 화소수의 비로서 나타내며 이것을 투영면적비(area fraction, AF)라 칭하고 식(1)과 같이 계산한다(황인근, 1993).

$$AF = AF_L + AF_M + AF_R \dots\dots\dots (1)$$

여기서, $AF_x = \frac{a_x}{A_x}$

a_x : 좌측($X=L$), 직접($X=M$),

혹은 우측($X=R$) 영상에서의 과실 단면적

A_x : 좌측($X=L$), 직접($X=M$),

혹은 우측($X=R$) 영상의 단면적

AF_L, AF_M, AF_R : 좌측, 우측

직접 영상의 투영면적비

예비실험 결과 카메라에 550 nm 간섭 필터를 장착하여 영상을 입력하면 푸른색은 큰 화소치를 가지고 붉은색은 작은 화소치를 가진다. 또한, 좌, 우 반사영상은 직접영상에 비해 화소치가 작으므로 투영면적에 비례하여 직접영상의 화소치로 보정한 지수를 면적가중평균화소치(area weighted mean gray value, AWMGV)라 칭하고 이를 색택을 대표하는 지수로 사용하였다. AWMGV는 식(2), 식(3) 및 식(4)과 같이 계산된다(황인근, 1993).

$$G_L' = G_L \times C_{XL} + C_L \dots\dots\dots (2)$$

$$G_R' = G_R \times C_{XR} + C_R \dots\dots\dots (3)$$

$$AWMGV = \frac{(G_M \times AF_M + G_R' \times AF_R + G_L' \times AF_L)}{AF} \dots\dots\dots (4)$$

여기서,

G_R : 우측 반사영상의 평균화소치

G_L : 좌측 반사영상의 평균화소치

G_M : 직접영상의 평균화소치

C_{XL} : 좌측 반사영상의 보정계수

C_{XR} : 우측 반사영상의 보정계수

C_L : 좌측 반사영상의 보정상수

C_R : 우측 반사영상의 보정상수

G_L' : 보정된 좌측 반사영상의 평균화소치

G_R' : 보정된 우측 반사영상의 평균화소치

본 연구에서는 다양한 과실의 크기와 색택 등급을 판정하고 선별과정상의 문제점 분석 및 해결책 제시를 위해 다음과 같은 실험을 수행하였다.

- 1) 과실의 크기(투영면적비)와 중량과의 상관관계
- 기존의 과실 등급 기준이 주로 중량에 의존하

므로 영상처리장치를 이용하여 과실의 크기등급 판정을 위해서는 과실의 크기와 중량과의 상관 관계를 구명할 필요성이 있다. 또한, 과실마다 내부밀도의 차이가 있으므로 각각의 과실에 대해 크기는 그래디컬 방법을 이용하여 투영면적 비로 나타내고, 중량은 전자저울을 사용하여 측정하였다.

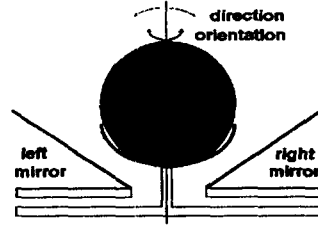


Fig. 2 Orientation and direction of fruit.

2) 과실별 반사영상의 화소치 보정

본 연구에서는 등급판정시 더 많은 부위의 과실표면을 관찰하기 위하여 시료의 좌·우측에 반사경을 설치한다. 따라서, 보다 정확한 색택등급 판정을 위해 좌·우 반사영상의 화소치가 직접영상의 화소치와 같도록 보정하는 것이 필요하다. 보정 방법은 색택이 균일한 과실부위 40~50부위를 사각형으로 표시하고 이것을 직접 카메라로 받아들였을 때와 반사경을 통해 카메라로 받아들였을 때의 평균화소치를 구하여 이들 값을 선형회귀식으로 나타낸 다음 반사영상의 화소치를 직접영상의 화소치로 보정한다. 또한, 과실별로 표면반사 특성이 다르므로 표면의 색깔이 비교적 여러 범위에 걸쳐 분포하는 사과(6종), 복숭아(2종), 토마토(1종)에 대해 실험을 수행하였다.

일정하게 유지시킨 상태에서 자세를 5가지(꼭지면을 상방향, 좌·우·전·후 45°방향)로 변화시키면서 각각 5회씩 반복측정하였다.

4) 잔상의 영향분석 및 보정

이송중인 과실을 선별할 때 일반적으로 영상 입력시 잔상(blurring)이 발생되며 이것은 영상 처리에 의해 실시간적으로 제거하기가 곤란하다. 따라서, 과실 이송에 따른 잔상의 영향을 분석하기 위해 각각의 과실에 대해 속도별로 AF와 AWMGV를 구하였다. 또한, 잔상의 영향으로 인한 등급 판정 오류를 줄이기 위해 이송상태와 정지상태에서의 이들 값간의 상관관계를 구하여 이송상태의 이들 값을 정지상태의 값으로 보정하였다.

3) 과실이 놓인 방향과 자세 변화에 따른 영향분석

실제 과실선별에서 공급은 일반적으로 인력 또는 자동공급장치에 의해 수행된다. 일반적으로 과실의 인력 공급시 그림 2에서와 같이 과실의 꼭지면을 상부로 오게 하는데, 자동공급장치를 사용할 경우 방향(orientation) 및 자세(direction)가 일정하지 않아 이들의 변화에 따라 선별인자(크기, 색택)가 변할 수 있다.

5) 선별 속도별 선별 精度 검토

선별 속도별 선별 정도를 검토하기 위하여 시중에서 후지 사과 100개, 찰 토마토 68개를 구입하여 색택 및 크기 선별에 사용하였으며, 신고 배 100개, 진영단감 100개를 사용하여 크기 선별에 사용하였다. 크기 등급 구간의 설정은 국내 사과의 경우 중량 등급으로 특, 상, 중, 하의 4등급을 제시하고 있으므로 크기 등급 수를 4가지로 하였다. 후지 사과의 경우 380g 이상 1등급, 285g 이상 2등급, 210g 이상 3등급, 210g 미만을 4등급으로 정하고 이들 값을 중량과 AF와의 상관관계식을 이용하여 AF로 변환하였다. 변환된 AF를 정지상태와 이송상태에서의 AF간의 관계식을 이용하여 각각의 이송 속도에서의 AF로 변환하여 등급 구간의 경계값으로 사용하였다.

이와 같이 과실이 놓인 방향 및 자세 변화에 따른 영향을 구명하기 위해 시료로 사용된 과실(후지 사과)의 AWMGV, AF, 좌·우 및 직접영상의 평균화소치(mean gray value : MGV)를 자세가 일정한 상태에서 방향을 120°씩 회전시키면서 각각의 상태에서 5회 반복측정하였고, 자세변화에 따른 영향을 구명하기 위해 방향을

색택 등급 구간의 설정은 전문가의 육안선별에 의해 과실을 4등급으로 분류하여 각 등급의

AWMGV의 평균 및 표준편차를 구하여 식(5)에 의하여 등급 구간을 설정하였다.

$$T_i = (M_i + \sigma_i + M_{i+1} - \sigma_{i+1}) / 2 \dots\dots\dots (5)$$

여기서,

T_i : i 번째 등급의 경계값

M_i : i 번째 등급의 AWMGV의 평균

σ_i : i 번째 등급의 AWMGV의 표준편차

선별 정도는 크기 선별의 경우 전자저울로 측정하여 얻은 등급과 비교하였으며, 색택선별의 경우 전문가의 육안선별 결과와 비교하였다.

이송속도는 접시간의 간격을 15.2cm로 하여 시간당 7,200개(30.4cm/sec), 9,000개(38.0cm/sec) 및 10,800개(45.6cm/sec)의 3가지 경우에 대해 실험을 실시하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 과실의 크기(투영면적비)와 중량과의 상관관계

여러가지 과실을 중량기준을 사용하여 크기별로 선별하기 위해 AF를 x로, 중량을 y로 하여 1차선형회귀식 $y = ax + b$ 로 나타낸 결과 표 1과 같이 나타났다.

표 1에서 상관계수가 배를 제외하고는 0.983 이상으로 높은 상관관계가 있으며, 표준 중량 추정오차도 4.1g~6.4g으로 과실 영상의 AF를 이용하여 크기별 선별을 하더라도 무리가 없을 것으로 판단된다. 배의 경우 상관계수가 장십랑의 경우 0.970, 신고의 경우 0.993이며 표준 중량 추정오차가 각각 9.6g, 18.7g으로 다른 과실에 비해 비교적 큰 값을 나타내는 데, 그 이유는 AF를 계산할 때 직접영상만 사용했기 때문인 것으로 판단된다.

나. 과실별 반사영상의 화소치 보정

반사영상과 직접영상의 상관관계를 구명하며

Table 1 Regression coefficients in the model of $y = ax + b$ representing the correlations between the area fraction and weight of fruit

Fruit	Cultivar	a	b	r	S.E.YE*
Apple	Fuji	1044.090	-111.985	0.991	6.3
	Golden	1014.064	-112.918	0.996	5.1
	Hong-Ok	891.970	-85.153	0.994	4.4
	Hong-Wol	889.868	-75.945	0.992	5.4
	Jr-Gold	857.325	-106.105	0.995	5.1
	Kuck-Do	868.751	-87.372	0.984	4.6
Pear	Jang S. R.	1264.004	-119.784	0.970	9.6
	Sin-go	3028.977	-174.108	0.993	18.7
Peach	White	666.910	-75.832	0.990	5.9
	Yellow	707.593	-43.596	0.983	4.1
Persimmon	Jing-Yeong	1022.803	-65.301	0.986	4.6
Tomato	Chal	705.797	-79.215	0.995	6.4

* S.E.Y.E. stands for standard error of y estimate in grams

보정에 사용하기 위하여 사과, 토마토, 복숭아에 대해 실험을 수행한 결과 표 2와 같이 나타났다.

표 2에서 대부분의 과실에 있어서 반사영상과 직접영상간의 평균화소치가 높은 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

Table 2 Regression coefficients in the model of $y = ax + b$ representing the correlation between the mean gray value of direct image and that of reflected image

Fruit	Cultivar	Mirror side	a	b	r^2
Apple	Aori	Left	0.852	20.44	0.987
		Right	0.892	20.32	0.980
	Fuji	Left	0.972	18.43	0.994
		Right	0.980	16.69	0.991

	Hong-Ok	Left	0.885	18.25	0.994
		Right	0.953	16.34	0.992
	Hong-Wol	Left	0.893	18.39	0.995
		Right	0.896	19.56	0.991
	Jr-Gold	Left	1.139	14.93	0.994
		Right	1.076	15.72	0.993
Kuck-Do	Left	0.823	23.35	0.977	
	Right	0.830	25.93	0.981	
Tomato	Chal	Left	1.116	7.14	0.980
		Right	1.054	9.38	0.975
Peach	White	Left	1.237	7.26	0.993
		Right	1.010	15.42	0.991
	Yellow	Left	1.114	10.45	0.981
		Right	1.119	11.92	0.972

다. 과실이 놓인 방향과 자세 변화에 따른 영향분석

과실의 놓인 방향과 자세에 따른 AF와 AWMGV 등의 변화를 살펴본 결과 표 3 및 표 4와 같이 나타났다.

Table 3 Variation in area weighted mean gray value(AWMGV), area fraction(AF), and mean gray values of direct (DMGV), left-reflected(LMGV) and right-reflected(RMGV) images of Fuji apple by the rotation of the sample in the center of stem end

Apple*	Stat.	AWMGV	AF	LMGV	DMGV	RMGV
# 1	mean	70.234	0.297	55.172	67.474	60.157
	std.	0.547	0.001	10.864	0.553	10.718
	c.v.(%)	0.779	0.337	19.691	0.820	17.817
# 2	mean	74.190	0.345	65.766	68.328	63.336
	std.	0.127	0.001	2.423	0.370	2.488
	c.v.(%)	0.171	0.290	3.684	0.542	3.928
# 3	mean	52.054	0.486	41.655	44.871	44.257
	std.	0.627	0.003	6.793	0.495	5.204
	c.v.(%)	1.205	0.617	16.308	1.103	11.759
# 4	mean	48.663	0.389	37.489	38.961	41.101

	std.	0.278	0.001	1.327	0.269	0.789
	c.v.(%)	0.583	0.257	3.540	0.690	1.920

- * #1 : 전체적으로 푸르고 일부 국부적으로 붉은 사과
- #2 : 전체적으로 푸르고 약간 붉은색이 전체적으로 퍼져있는 사과
- #3 : 전체적으로 붉고 푸른색이 불규칙적으로 퍼져있는 사과
- #4 : 전체적으로 균일하게 붉은 사과

Table 4 Variation in area weighted mean gray value(AWMGV), area fraction(AF), and mean gray values of direct (DMGV), left-reflected(LMGV) and right-reflected(RMGV) images of Fuji apple by random rotation of the sample

Apple*	Stat.	AWMGV	AF	LMGV	DMGV	RMGV
# 1	mean	69.986	0.296	53.553	66.385	62.224
	std.	1.509	0.003	5.637	4.621	6.450
	c.v.(%)	2.156	1.014	10.526	6.961	10.366
# 2	mean	74.070	0.348	67.524	68.183	62.394
	std.	0.358	0.004	1.605	1.935	2.937
	c.v.(%)	0.483	1.149	2.377	2.838	4.707
# 3	mean	52.684	0.490	37.719	44.810	50.578
	std.	1.271	0.003	2.855	3.929	1.664
	c.v.(%)	2.412	0.612	7.569	8.768	3.290
# 4	mean	48.351	0.394	36.906	39.525	44.019
	std.	0.642	0.006	4.244	1.096	5.029
	c.v.(%)	1.328	1.522	11.499	2.773	11.425

* : 표 3과 같음.

방향변화에 의해 AWMGV의 변화가 가장 심한 사과는 #3으로, 이는 불규칙하게 퍼져있는 붉은 색 부분의 위치변화에 의한 것으로 판단된다. 그러나, 표준편차는 0.672이고 변위계수가 1.205% 임을 감안할 때 방향변화에 대한 AWMGV의 변화는 선택판정에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

사과의 자세변화에 따른 AWMGV, AF, 반사영상의 평균화소치의 변화는 방향변화에 따른 경우보다 다소 크게 나타났다. AWMGV의 경우 #1의 표준편차가 1.509, 변위계수가 2.156% 이

고, #3은 표준편차가 1.271, 변위계수가 2.412%로 다른 사과에 비해 비교적 크게 나타났다. 이것은 방향의 변화에 따른 결과와 마찬가지로, 자세의 변화에 따라 국부부적으로 색깔이 다른 부위의 위치 이동에 의한 것으로 판단되며, 실제 선별시 과실의 꼭지 부분이 상방향으로 올 경우 등급판정에 큰 영향을 미치지 않을 것으로 판단된다.

라. 잔상의 영향분석 및 보정

과실이송으로 인한 잔상의 영향을 알아보기 위하여 이송속도 0 - 48.0cm/s 범위에서 AF와 AWMGV의 변화를 살펴보았으며, 그림 3에 후지사과의 속도에 따른 이들 값들의 변화를 나타내었다. 그림 3에서 속도가 증가할수록 AF는 감소하고, AWMGV는 증가하는 경향을 나타낸다. 이것은 속도의 증가에 따라 잔상의 발생이 심해지고 과실영상이 흐려져서 결과적으로 화소치가 증가하기 때문인 것으로 판단된다.

또한, 잔상에 의한 이들 값들을 정지상태의 값으로 보정하기 위하여 정지상태의 이들 값을 y, 이송상태의 이들 값을 x로 하여 선형회귀식 $y = ax + b$ 로 나타낸 결과 후지 사과의 경우 표 5 및 표 6과 같이 나타났다.

마. 선별 속도별 선별 精度 검토

크기선별의 속도별 선별 정도를 검토하기 위하여 후지 사과, 신고 배, 진영 단감, 찰 토마토에 대해 선별을 실시한 결과 표 7과 같으며, 배의 경우 본 실험장치의 구성상 10,800개/시간의 선별 속도에서는 실험을 할 수 없었다. 표 7에서 선별 속도 7,200개/시간에서 모든 과실의 선별 정도가 90.0% 이상이었고, 속도가 증가할 수록 선별 정도가 대체적으로 감소하는 경향을 나타내었다.

선택선별의 경우 후지 사과 및 찰 토마토에 대해 선별을 실시한 결과는 표 8과 같으며 3가지의 선별 속도에서 후지사과의 경우 선별 정도는 각각 82.0%, 82.0% 및 85.0% 였고, 토마토의

경우는 이보다 조금 높은 값을 나타내는 데 그 이유는 토마토가 후지 사과보다 과실표면의 착색이 비교적 고르게 분포하기 때문인 것으로 판단된다.

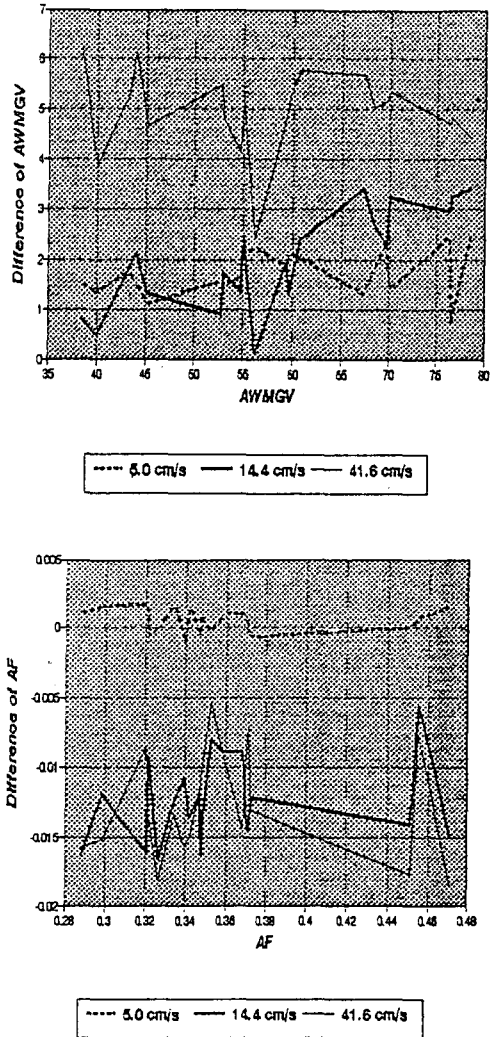


Fig. 3 Blurring effect on the AWMGV and AF of Fuji apple due to moving of the fruit at speed range of 0.0 to 41.6 cm/s

Table 5 Regression coefficients in the model of $y=ax+b$ representing correlation between the AWMGV in stationary state (y) and in moving state(x) of Fuji apple at various speeds

Speed(cm/s)	a	b	r ²
5.0	0.988	-1.023	0.999
9.6	0.972	0.299	0.997
14.4	0.941	1.582	0.998
19.1	1.007	-3.504	0.999
23.0	0.984	-2.511	0.999
28.3	1.007	-4.369	0.999
32.9	1.044	-6.949	0.998
37.5	1.021	-5.623	0.996
41.6	1.002	-5.059	0.995
48.0	1.046	-8.312	0.990

Table 6 Regression coefficients in the model of $y=ax+b$ representing correlation between the AF in stationary state(y) and in moving state(x) of Fuji apple at various speeds

Speed(cm/s)	a	b	r ²
5.0	0.988	-1.023	0.999
9.6	0.972	0.299	0.997
14.4	0.941	1.582	0.998
19.1	1.007	-3.504	0.999
23.0	0.984	-2.511	0.999
28.3	1.007	-4.369	0.999
32.9	1.044	-6.949	0.998
37.5	1.021	-5.623	0.996
41.6	1.002	-5.059	0.995
48.0	1.046	-8.312	0.990

Table 7 Sizing accuracies of each fruit at various capacity

capacity	7,200	9,000	10,800
fruit	fruit/hr	fruit/hr	fruit/hr
Fuji apple	90.0%	87.0%	81.0%

Sin-go pear	96.0%	82.0%	-
Persimmon	92.0%	88.0%	94.0%
Tomato	91.2%	88.2%	89.7%

Table 8 Grading accuracies of each fruit at various capacity

capacity	7,200	9,000	10,800
fruit	fruit/hr	fruit/hr	fruit/hr
Fuji apple	82.0%	82.0%	85.0%
Tomato	89.7%	89.7%	83.8%

4: 요약 및 결론

550nm 간섭 필터를 장착한 흑백영상처리 장치를 이용한 다목적 과실 선별기 개발을 위한 일련의 연구가 서울대학교 농공(농업기계)학과 농산가공기계연구실II에서 수행되어 왔다. 기존의 연구에서 후지 사과를 크기와 색택으로 선별하기 위한 장치와 고속 등급판정 프로그램이 이미 개발되어 있다.

본 연구에서는 다목적으로 선별을 수행하기 위해 여러종류의 과실에 대한 투영면적비와 중량과의 상관관계, 과실별 반사영상 보정을 위한 기초 데이터 수집, 과실의 이송에 의한 잔상발생으로 인한 투영면적비와 면적가중평균화소치의 변화를 이송속도별로 보정하는 것에 중점을 두었으며, 최종적으로 선별 속도별 선별 정도에 대해 고찰하였다. 또한, 자동공급기 사용에 따른 문제점 분석을 위하여 과실의 방향과 자세가 등급결정 인자에 미치는 영향을 고찰하였다.

그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 여러가지 과실에 대한 투영면적비와 중량과의 상관관계를 품종에 따라 구하였으며, 상관계수(r)은 사과의 경우 0.984~0.996, 복숭아의 경우 0.983~0.990, 단감의 경우 0.986, 토마토의 경우 0.995로 나타났고, 배의 경우 0.970~0.993으로 나타났다.

2) 반사영상의 평균화소치를 직접영상에 대응하는 평균화소치로 변환하고 이 값과 직접영

상의 평균화소치를 면적에 가중치를 주어 계산한 면적가중평균화소치로 과실의 선택선별을 한 결과 전문가의 육안선별과 비교할 때 선별 정도가 82.0%~89.7%였으며, 투영면적비로 크기선별을 수행한 결과 전자저울로 선별한 결과와 비교할 때 선별 정도가 81.0%~95.0%였다.

3) 과실의 이송속도에 의한 잔상발생이 투영면적비와 면적가중평균화소치에 미치는 영향을 구명하였으며 직선회귀식을 통해 잔상발생에 의한 영향을 보정해 주었다.

4) 과실의 자세와 방향 변화에 따른 선별인자(투영면적비 및 면적가중평균화소치)의 변화를 고려해 볼 때, 자동공급기를 사용하면 인력공급시 보다 다소 등급판정 오류가 증가할 것으로 판단되나 과실의 꼭지면이 상방향으로 가면 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. Delwiche, M. J., Tang, S., and Thompson, J. F. 1990, Prune Defect Detection By Line-Scan Imaging, Trans. of the ASAE. 33(3) : 950~954.
2. Gonzalez, R. C. and P. Wintz. 1987. Digital Image Processing. Addison Wesley, Massachusetts.
3. Imaging Technology. 1987. ITEX PCplus Programmer's Manual. Imaging Technology Inc., Massachusetts.
4. Miller, B. K. and M. J. Delwiche, 1989. A Color Vision System for Peach Grading. Trans. of the ASAE. 31(3) : 962~966.
5. Miller, B. K. and M. J. Delwiche. 1991. Peach Defect Detection with Machine Vision. Trans. of the ASAE. 34(6) : 2588~2579.
6. Sakar, N. and R. R. Wolfe. 1985. Feature Extraction Technique for Sorting Tomatoes by Computer Vision. Trans. of the ASAE. 28(3) : 970~979.
7. Sakar, N. And R. R. Wolfe, 1985. Computer Vision Based System for Quality Separation of Fresh Market Tomatoes. Trans. of the ASAE. 28(5) : 1714~1718.
8. Shearer, S. A. and F. A. Payne. 1990. Color and Defect Sorting of Bel Peppers Using Machine Vision. Trans. of the ASAE. 33(6) : 2045~2050.
9. 노상하, 류관희, 김일용. 1990. 화상처리 시스템을 이용한 과실의 기하학적 특성 측정. 한국농업기계학회지. 15(1) : 23~32.
10. 노상하, 류관희, 김성민. 1991. 영상처리 장치를 이용한 사과의 선택판정. 한국농업기계학회지. 16(3) : 272~280.
11. 노상하, 이종환, 이승훈. 1992. 흑백영상처리 장치를 이용한 과실선별기 개발에 관한 연구 (I). 한국농업기계학회지. 17(4) : 354~362.
12. 노상하, 이종환, 이승훈. 1992. 흑백영상처리 장치를 이용한 과실선별기 개발에 관한 연구 (II). 한국농업기계학회지. 17(4) : 363~369.
13. 서상룡, 유수남, 임형돈, 신건철, 윤여두. 1992. 컬러 컴퓨터 시각과 육안에 의한 사과 색깔 식별. 한국농업기계학회지. 17(2) : 123~131.
14. 황인근. 1993. 영상처리를 이용한 다목적 과실 선별기 개발에 관한 기초 연구. 서울대학교 석사학위논문.