

흑백영상처리장치를 이용한 과실선별기 개발에 관한 연구(II)*

—잔상의 영향 및 선별성능—

Development of a Fruit Grader using Black/White Image Processing System(II)*

—Effects of Blurring and Performance of the Fruit Grader—

노상하**
S. H. Noh

이종환**
J. W. Lee

이승훈**
S. H. Lee

Summary

The aim of this study was to examine the blurring effects on performance of the experimental fruit grader in grading Fuji apples by size and coloration of the whole surface of individual apples. The grader consisted of a black/white image processing system, one camera, and utilized the algorithm developed for high speed sorting in the previous study. The results are summarized as follows :

1. With the algorithm developed in the previous study, it took 0.27~0.33 second in analyzing the size and coloration of an apple, and relative errors were within 3% for size and 1.3% for coloration.
2. The effect of blurring increased linearly with the conveying speed of apple and showed more significant effect on detection of coloration than on determining of size.
3. Considering the blurring effect, capacity of the experimental fruit grader was estimated to 7,500 apples per hour.

1. 서론

농산물의 선별은 수확된 농산물의 품위, 부가 가치 및 이들을 원료로 한 2차 가공품의 품질을 향상시키는 중요한 작업이다. 선별기는 농산물의 종류, 선별원리, 선별목적 등에 따라 여러가지 종류 및 기종이 개발, 사용되고 있다.

1980년이래 10년 동안, 우리 나라에서 생산되

는 주요 과실류의 총생산량은 약 6 배 이상, 1인당 과실 소비량은 약 2.5배 이상 증가하였다¹⁾. 농산물 수입개방 정책에 의해 수입 및 수출 물량도 최근에 급격한 증가 추세를 보이고 있을 뿐만 아니라 국민경제 성장과 더불어 품질의 고급화와 균일화가 요구되고 있다.

현재 우리 나라에서 선별에 적용하고 있는 과실의 등급별 품위규격²⁾에 의하면 무게, 크기, 결

* 이 연구는 한국과학재단('91-'93)의 지원에 의해 이루어진 것임.
** 서울대학교 농업생명과학대학 농공학과

점 혼입률 등을 비롯하여 표면의 색택이 항목으로 포함되고 있으나 색택, 결점 및 이물질 부착 정도를 판정하는 기준이 애매모호하여 사실상 적용되지 않고 있다.

일본, 미국 및 유럽에서는 사과, 토마토, 감귤, 오이, 감자, 양파 등의 선별에 이미 영상처리식 선별기를 사용하고 있다. 일본에 보급된 영상처리식 사과선별기 중의 하나는 흑백 및 컬러 영상처리시스템을 이용하여 크기와 색택을 측정함으로써 초당 3개 정도의 속도로 선별이 가능하며, 크기별로 최대 8등급, 색택별로 최대 4등급까지 선별할 수가 있다⁴⁾.

이 연구는 가격이 저렴한 흑백영상처리장치를 이용한 과실선별기 개발을 위한 일련의 연구의 하나이다. 이미 과실 개체의 거의 전표면을 동시에 한 대의 카메라에 입력되도록 실험장치를 구성하고, 입력된 영상으로부터 과실의 크기 및 색택을 고속으로 판정하는 방법 등을 구명하였으며, 과일의 성숙도에 따른 표면색의 구성비 및 크기를 분석하여 등급결정을 위한 기초자료를 제시하였다²⁾.

이 연구에서 사용한 흑백영상처리장치는 1/30초의 속도로 하나의 프레임(frame)을 입력하므로 이송상태에 있는 시료에 대한 영상은 원래의 시료영상이 여러개의 화소만큼 이동하여 나타나는 현상, 즉 잔상이 생긴다. 잔상은 시료의 크기 및 색택 판정에 영향을 미치게 되므로 시료의 이송속도에는 한계가 있기 마련이다.

이 연구에서는 이미 개발된 실험실용 간이 선별장치에 시료 이송장치를 설치하고, 시료의 이송에 따른 잔상(blurring)의 영향과 선별성능을 분석하고자 하였으며, 구체적인 목적은 다음과 같다.

- 1) 시료의 이송에 따른 잔상의 영향을 알아보고,
- 2) 이미 개발한 크기 및 색택의 고속 판정을 위한 알고리즘의 성능을 구명하며,
- 3) 개발한 실험실용 간이 선별장치의 크기 및 색택에 따른 선별 능력 및 정도를 분석한다.

2. 재료 및 방법

가. 실험장치

이 연구에서는 이미 구성한²⁾ 흑백영상처리장치 및 조명장치와 함께, 시료의 이송속도에 따른 잔상이 선별능력 및 선별 정도에 미치는 영향을 알아보기 위해 벨트 컨베이어를 설치하여 사용하였다(그림 1 참조).

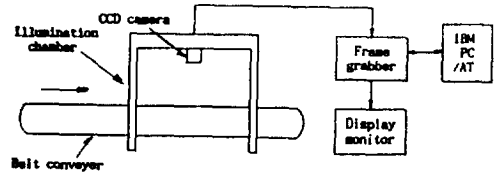


Fig. 1. Layout of the experimental fruit grader using black/white image processing system.

나. 공시재료

4등급으로 선별되어 시판되는 후지(Fuji) 사과를 등급별로 구입하였으며, 그중에서 100개를 실험실용 과실선별기의 선별성능을 분석하는데 사용하였다.

한편, 잔상의 영향을 조사하기 위해, 육안에 의하여 크기 및 색택이 서로 다른 10개의 사과를 사용하였는데 그들에 대한 크기에 해당하는 면적비²⁾, 색택에 해당하는 직접영상에서의 평균화소치 및 좌, 우측 반사영상의 평균화소치의 평균 값은 표 1과 같았다.

Table 1. Area fractions(AF), average gray values of direct image(Gm) and mean of average gray values of two reflected images(Gn) for ten apples.

Sample	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10
AF	0.57	0.55	0.54	0.43	0.43	0.42	0.42	0.39	0.39	0.33
Gm	104	105	107	114	109	110	77	102	115	85
Gn	98	97	99	104	103	87	75	100	109	100

다. 실험 방법

1) 잔상의 영향

이송속도에 따른 잔상이 크기 및 선택 판정에 미치는 영향을 알아보기 위해, 벨트 컨베이어의 이송속도를 5.3cm/sec, 10.1cm/sec, 15.2cm/sec, 20.0cm/sec 및 25.1cm/sec의 5단계로 변화시키면서 크기 및 선택 과정의 상대오차를 계산하였다. 여기에서, 상대오차는 정지된 상태에서 측정된 크기 및 선택을 기준으로 하여 계산하였다.

2) 시료의 자세의 영향

사용한 실험실용 영상처리식 과실선별기는 전 표면영상(whole surface image)을 얻기 위한 반사경과 전표면영상으로부터 시료의 크기 및 선택을 판정하는 알고리즘을 이용하여 시료의 등급을 결정하는 방식을 채택하고 있는데, 만일 주어진 시료에 대한 영상처리장치에 의한 크기 및 선택 판정이 시료의 자세에 관계없이 동일하다면 가장 바람직하다.

예비실험을 통하여 분석한 결과, 동일한 시료에 대하여 크기 및 선택 판정의 반복간의 오차를 줄이기 위해서는 사과와 꼭지부분이 카메라 방향이나 180° 반대방향을 향하는 자세가 바람직하다는 것을 알 수 있었다. 이 연구에서는 사과와 꼭지부분이 카메라를 향하도록 하였다. 그리고, 시료의 꼭지부분을 중심으로 한 시료의 회전방향은 크기 및 선택 판정에 미치는 영향을 조사하기 위하여 각 시료의 자세를 약 90°씩 돌려가며 각 이송속도에서 4회 반복하여 면적비와 선택을 측정하였다.

3) 과실선별기의 성능 분석

이 연구에서는 잔상을 고려한 선별능력 및 선별정도를 분석함으로써, 개발한 영상처리식 과실선별기의 실용화의 가능성을 검토해 보았다.

선별능력이란 시간당 선별량을 말한다. 선별 시스템 전체의 능력은 곧 선별공정의 선별능력에 의존한다고 말할 수 있다.

한편, 선별인자는 크기 및 선택이며, 각각의 등급수는 실용성을 고려하여 8등급, 4등급으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 잔상이 크기 및 선택 판정에 미치는 영향

잔상이 사과의 크기 및 선택 판정에 미치는 영향을 평가하기 위해 사과의 위치를 일정하게 유지시킨 상태에서 벨트 컨베이어의 이송속도를 변화시켜 가며, 정지된 상태에서 측정된 시료의 크기와 선택값(표 1 참조)을 기준으로 잔상의 영향을 평가하였다.

표 2는 시료의 이송속도별 면적비, 직접영상의 평균화소치, 그리고 두개의 반사영상의 평균화소치를 평균한 값의 상대오차를 나타낸다. 잔상이 사과의 평균면적비에 미치는 영향은 사과의 크기와는 거의 무관하며 이송속도가 빠를수록 상대오차의 평균 및 편차가 커지는 경향을 보였다. 그리고 사과와 평균화소치와 배경부분의 화소치의 차이가 클수록 잔상의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 즉, 표 2에서 가장 붉은 사과(Apple #7)는 가장 푸른 사과(Apple #9)에 비해 각 속도에서 보다 큰 오차를 나타내었다. 그러나 전체적인 오차는 면적비와 화소치에서 4%를 초과하지 않는 것으로 나타났다.

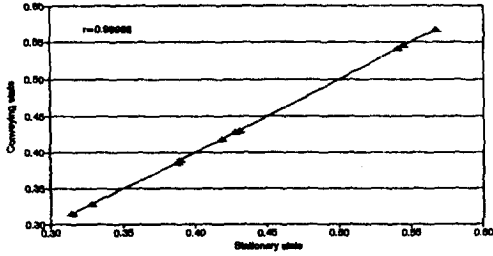
Table 2. Effect of blurring on area fractions, average gray value of direct and mean of average gray values of two reflected images for ten apples due to conveying speed when the apples maintained a fixed orientation.

(Unit : relative error, %)

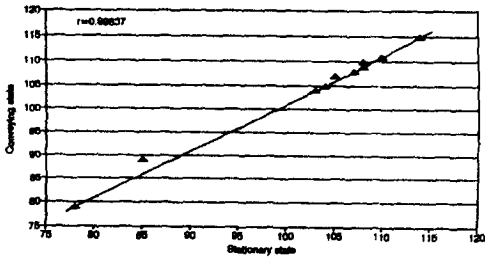
Sample Speed(cm/s)		Sample										Mean	S. D.
		#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10		
5.3	EA ^{a)}	2.21	1.83	1.65	2.98	2.30	2.38	2.35	2.31	1.97	2.62	2.17	0.28
	EG _{direct} ^{b)}	0.33	0.01	0.41	0.30	0.04	0.29	0.33	0.30	0.55	0.30	0.29	0.14
	EG _{mean} ^{c)}	0.15	0.00	0.30	0.05	0.13	0.01	0.00	0.04	0.47	0.47	0.16	0.18
10.1	EA ^{a)}	2.35	2.22	1.78	2.10	2.32	1.98	2.14	2.39	2.23	2.20	2.17	0.17
	EG _{direct} ^{b)}	1.11	0.44	0.82	0.77	0.08	1.07	1.66	1.11	0.85	0.99	0.89	0.40
	EG _{mean} ^{c)}	0.58	0.22	0.61	0.52	0.36	1.46	0.97	0.60	0.90	0.62	0.68	0.33
15.2	EA ^{a)}	2.21	2.23	2.41	2.33	1.99	1.93	2.90	2.39	2.72	2.08	2.22	0.24
	EG _{direct} ^{b)}	1.11	1.35	1.24	1.21	0.82	1.43	2.71	1.63	1.01	2.25	1.48	0.55
	EG _{mean} ^{c)}	0.68	0.59	0.81	0.58	0.51	0.56	1.33	1.08	0.90	1.99	0.90	0.44
20.0	EA ^{a)}	2.46	2.71	2.68	2.05	2.67	1.86	1.73	1.67	2.30	1.50	2.16	0.44
	EG _{direct} ^{b)}	2.26	1.93	1.20	1.99	1.66	2.54	4.59	1.75	1.43	2.55	2.19	0.90
	EG _{mean} ^{c)}	1.35	1.25	0.65	1.18	1.22	2.52	2.20	1.05	1.16	2.19	1.48	0.57
25.1	EA ^{a)}	2.76	2.29	3.18	2.54	3.05	2.15	1.34	1.92	2.07	1.62	2.29	0.57
	EG _{direct} ^{b)}	3.30	1.94	1.98	2.40	2.52	3.32	7.01	3.51	2.26	3.75	3.20	1.41
	EG _{mean} ^{c)}	2.01	1.06	1.05	1.50	1.55	2.75	4.13	2.25	2.00	3.07	2.14	0.92

Note: a) Relative error of area fraction.
 b) Relative error of average gray value of direct image.
 c) Relative error of mean of average gray value of reflected images.

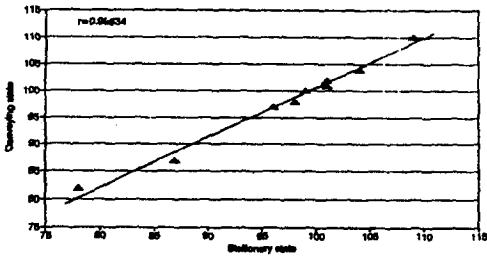
그림 2는 이송속도 15.2cm/sec 에서 면적비, 직접영상의 평균화소치, 두 반사영상의 평균화소치의 평균값을 정지된 상태에서의 그들 값과 비교한 것으로 이들 사이에는 상관계수가 대단히 높은 것으로 나타났다.



(a) area fraction



(b) average gray value of direct image



(c) mean of average gray values of two reflected images

Fig. 2. Correlation of area fractions and average gray values between stationary and conveying states at the conveying speed of 15.2 cm/sec.

나. 사과와 자세변화가 크기 및 선택 판정에 미치는 영향

실제 사과를 자동선별할 경우에는 동일한 사과라도 이송벨트위에 놓는 위치와 각도가 달라질 수 있다. 특히 반사경을 사용할 경우 반사영상의 평균화소치는 사과의 놓인 자세에 따라 차이가 날 수 있다.

그림 3은 각 이송속도에서 시료의 꼭지를 중심으로 약 90°씩 돌려가며 4회 반복 측정된

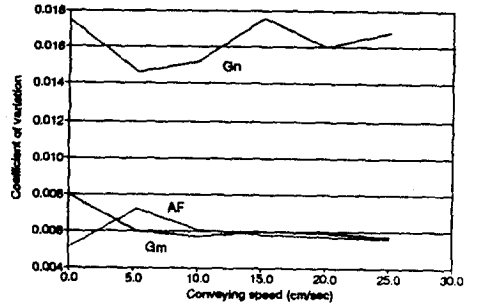


Fig. 3. Coefficient of variation in area fraction (AF), average gray values(Gm) and mean of average gray values of two reflected images(Gn) with increase in conveying speed.

면적비와 평균화소치에 대한 변이계수(coefficient of variation)를 나타낸 것이다. 면적비는 이송속도에 영향을 거의 받지 않으며 평균화소치는 약간의 영향을 받음을 알 수 있다.

다. 선별정도

1) 크기에 따른 선별정도

전자저울에 의해 측정된 무게를 기준으로 100개의 시료를 8등급으로 구분하였다. 그리고, 이송속도가 5.3cm/sec, 15.2cm/sec, 25.1cm/sec일 때, 전표면영상으로부터 얻은 각 시료에 대한 면적비를 역시 8등급으로 구간을 나누었다.

표 3은 이송속도별로 8등급에 대한 무게 및 면적비를 나타낸다.

Table 3. Grading standard by weight and area fraction at each conveying speed.

Grade	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
Weight (g)	above 387	387 ~ 356	356 ~ 324	324 ~ 293	293 ~ 261	261 ~ 229	229 ~ 197	below 197	
Speed (cm/sec)	5.3	above .522	.522 ~ .489	.489 ~ .457	.457 ~ .425	.425 ~ .392	.392 ~ .360	.360 ~ .327	below .327
	15.2	above .509	.509 ~ .479	.479 ~ .449	.449 ~ .418	.418 ~ .388	.388 ~ .358	.358 ~ .328	below .328
	25.1	above .512	.512 ~ .481	.481 ~ .450	.450 ~ .420	.420 ~ .389	.389 ~ .358	.358 ~ .327	below .327

표 4, 5 및 6은 이송속도를 변화시켰을 때 크기별로 사과를 선별한 결과를 무게별로 선별된 결과와 비교한 것이다. 이송속도에 따른 무게별 등급선별은 각각 71%, 76% 및 68%가 정확하였고, 잘못 선별된 경우에도 두 등급 이상의 오류를 보였던 경우는 없었다.

Table 4. Comparison of sorting between by area fraction(AF) at conveying speed of 5.3 cm/sec and by weight of apple.

Weight \ AF	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Total
I	2	2							4
II	2	9							11
III		1	10	5					16
IV				3	1				4
V				3	14	2			19
VI					2	19	1		22
VII						7	9		16
VIII							3	5	8
Total	4	12	10	11	17	28	13	5	100

Table 5. Comparison of sorting between by area fraction(AF) at conveying speed of 15.2 cm/sec and by weight of apple.

Weight \ AF	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Total
I	3	1							4
II	1	9							10
III		2	8	4					14
IV			2	6	1				9
V				1	16	7			24
VI						17	1		18
VII						4	12		16
VIII								5	5
Total	4	12	10	11	17	28	13	5	100

Table 6. Comparison of sorting between by area fraction(AF) at conveying speed of 25.1 cm/sec and by weight of apple.

Weight \ AF	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	Total
I	3	4							7
II	1	5	1						7
III			3	6	4				13
IV				3	5	1			9
V					2	14	2		18
VI						2	20		22
VII							6	10	16
VIII								3	5
Total	4	12	10	11	17	28	13	5	100

크기에 의해 무게에 따른 등급을 결정하는 경우에, 사과가 놓인 자세나 위치, 실험장치의 오차 및 시료 개체간의 밀도의 변이 등에 의하여 등급결정이 달라질 수 있으므로, 한 등급의 선별오차는 그리 중요한 의미를 갖지 않는 것으로 사료된다.

2) 선택에 따른 선별정도

정지상태에서의 전표면영상으로부터 얻은 대표화소치(representative gray value)²⁾를 기준으로 시료에 대한 선택을 4등급으로 구분하였다. 표 7은 선택을 기준으로 한 각 등급별 대표화소치의 범위를 나타낸다.

Table 7. Grading standard by representative gray level.

Grade	I	II	III	IV
0.0	below 96	96 ~ 103	103 ~ 111	above 111
Speed (cm/sec)	5.3	below 94	94 ~ 102	102 ~ 110
	15.2	below 94	94 ~ 102	102 ~ 110
	25.1	below 94	94 ~ 102	102 ~ 109

표 8은 각 이송속도에서 선택별로 사과를 선별한 결과이다. 선별이 정확한 경우는 각 이송속도에 따라 79%, 80% 및 80%이었다. 잘못 선별된 경우에도 두 등급 이상의 오류를 보였던 경우는 거의 없었다.

Table 8. Comparison of sorting by representative gray levels between at each conveying speed and in stationary state of apple.

Grade in stationary state		I	II	III	IV	Total
Grade by speed						
5.3cm/sec	I	13	1			14
	II	7	29	3		39
	III	1	6	28	1	36
	IV			2	9	11
	Total	21	36	33	10	100
15.2cm/sec	I	15	1			16
	II	6	32	2		36
	III		3	30	7	40
	IV			1	3	4
	Total	21	36	33	10	100
25.1cm/sec	I	16				16
	II	5	27	1		33
	III		9	28	1	38
	IV			4	9	13
	Total	21	36	33	10	100

무계별 8등급 및 선택별 4등급으로 선별할 경우, 거의 모두가 한 등급이내의 오차를 보였다. 선별할 등급의 수를 적게 하거나, 조명장치, 시료 받침대 및 이송 컨베이어 등을 보다 정밀하게 설치한다면 한 등급간 선별오차도 크게 줄어들 수 있을 것이다. 따라서, 이 연구에서 개발한 흑백영상처리장치를 이용한 과실선별기의 실용화의 가능성은 매우 높은 것으로 판단된다.

라. 선별능력

10개의 사과를 대상으로 이들에 대한 입력 영상을 히스토그램 클러스터링 방법에 의하여 영역화하였다. 영역화된 영상으로부터 사과의 크기 및 선택을 개발한 프로그램을 이용하여 판정하였다. 크기와 선택을 동시에 판정하고 이로부터 무계별(8 등급), 선택별(4 등급) 등급을 결정하는데 소요되는 시간을(host computer : IBM PC/AT, clock speed 12MHz, w/o math. co-processor) 도스시간(dos-time)에 의하여 측정하였다. 그 결과, 소요시간은 사과 한개당 0.27초~0.33초 정도였으며 사과 개체간의 시간 차이는 0.05초 정도였다. 따라서, 개발된 실험실용 과실선별기의 사과의 이론적인 선별능률은 10,000개/시간 이상이다.

그러나, 시료의 이송속도가 빨라질수록 잔상에 의한 크기 및 선택의 측정오차는 커진다. 표 2에서 알 수 있듯이 크기 및 선택 측정오차를 4% 정도로 가정할 때, 시료의 이송속도가 25cm/sec 정도이다. 이 연구에서는 시료의 이송속도를 25.1cm/sec로 할 때의 선별능률을 조사하였는데, 시간당 선별 가능한 사과의 갯수는 약 7,500개 정도이었다.

4. 요약 및 결론

다양한 선별인자, 우수한 선별성능 및 선별대상 과실의 다양화 등을 고려할 때, 영상처리식 과실선별기는 국내외에 보급된 중량식 과실선별기나 형상식 과실선별기 등을 충분히 대신할 수 있다.

이 연구에서는 저렴한 흑백영상처리장치를 이용하여 사과의 크기 및 선택을 측정할 수 있는 실험실용 간이선별장치에 시료 이송장치를 설치하고, 시료의 이송속도에 따른 잔상(blurring)의 영향과 선별성능을 분석하였다.

그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 잔상이 선별성능에 미치는 영향은 이송속도의 증가에 따라 커지는데, 사과의 크기 판정보다는 선택 판정에 큰 영향을 미치며 붉은 사과일수록 그 영향이 큰 것으로 나타났다.
- 2) 이송속도를 달리하면서 무계별 8 등급, 선택별 4 등급으로 선별할 경우, 무계별 및 선택별 선별오차는 각각 24% ~ 32%, 20% 이었으며, 두 등급이상의 오류를 보이는 경우는 없었다.
- 3) 이 연구에서 개발한 컴퓨터 알고리즘을 이용한다면, 크기 및 선택 판정소요 시간은 0.27초~0.33초 이었으며, 선별능률은 잔상의 영향을 고려할 때, 시간당 7,500개 정도였다.

참고문헌

1. 노상하. 1991. 농산물의 선별, 포장, 저장 현황과 발전방향. 시설농업기계화 현황과 발전 방향, 농촌진흥청 농업기계화연구소 주최 심포지움 발표문, 55-88.
2. 노상하, 이종환, 이승훈. 1992. 흑백영상처리장치를 이용한 과실선별기 개발에 관한 연구 (I)-크기 및 색택 판정-. 한국농업기계학회지, 17(4) : 354-362.
3. 농림수산부. 1991. 농산물 표준출하집.
4. 住友重機械工業株式會社. 1990. カラーカメラ式 自動選果システム(pamphlet).