

# 映像處理 裝置를 利用한 사과의 色澤 判定\*

## Classification of Apple Coloration Using Image Processing System

盧 祥 夏\*\* 柳 寬 熙\*\* 金 成 敏\*\*  
S. H. Noh, K. H. Ryu, S. M. Kim,

### Summary

The aims of this study were to investigate the feasibility of analyzing a few sorting factors such as size, coloration and defect of apples with a monochrome image processing system and to find apparent properties which could be effectively used for apple sorting.

The results are summarized as follows.

1. A computer program was made to analyze the projection area, coloration and defect of an apple with a monochrome image processing system.
2. The algorithm developed to compute the projection area of an apple was between on the proportional relation between a given reference area and the corresponding number of pixels, and the computing time was 0.74 to 0.82 second depending on the size of apple.
3. The coloration of an apple was expressed as the ratio of the gray value of a reference color to that of a given bounded area of the stem end surface (defined as coloration index), and the computing time was about 3.0 seconds with this algorithm.
4. Defect of an apple could be isolated by lowpass filtering and image subtraction but it took about 20 seconds in computing time.
5. The coloration of the Fuji apple could be classified into 3 to 4 groups by the coloration index and also, it was found that the correlation coefficient between the indices and sugar contents was 0.74.
6. The coloration index obtained from a given bounded area of the stem end side of the Fuji apple could represent the coloration of total surface with a correlation coefficient of 0.922.

### 1. 서 론

수확된 농산물의 선별은 농산물의 품위를 향상시키는 중요한 요인의 하나이다. 특히, 과일류의 선별은 크기, 무게, 외피의 색깔, 상처 유무, 이물질의 부착 유무, 외형 등에 의해 분류되며 시각적 선별을 필요로 한다.

현재 사과의 선별은 특정한 장치나 도구없이 대부분 인력에 의해 행하여지며, 일부가 중량 선별기에 의해 중량 선별만이 되고 있다. 인력 선별시 사과 표면의 색택은 무시되고 선별자의 개인적 기준에 의해 크기로만 선별되고 포장되어 시장에 출하되고 있다. 인력에 의한 선별은 대단한 숙련과 노력을 요구하고 있으며, 선별자에 따

\* 본 연구는 1988년도 文敎部의 學術研究助成費에 의한 자유공모 과제로 선정되어 연구되었음.

\*\* 서울大學校 農科大學 農工學科

라 판정 기준도 일정하지 않고, 선별자의 육체적 여건에 따라 변화가 심하다. 또한 농촌 노동력의 감소 및 노임 상승으로 사과 뿐만 아니라, 농산물의 선별 자동화가 절실히 요구되고 있다.

최근 전자산업의 발달로 화상처리장치를 이용한 선별 장치가 인력에 의한 농산물의 선별을 대체할 수 있는 유용한 장치로 부각되고 있으며 이에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

Graf와 Rehkugler(1981)는 화상처리시스템을 이용하여 사과의 표면 상처를 검출하기 위한 연구를 하였으며, Rehkugler와 Throop(1986)는 고주파 통과 필터를 부착한 라인 스캔 카메라와 사과 회전장치가 장착된 시스템을 이용하여 사과 표면의 흠집의 수와 면적을 구하는 알고리즘을 제시하였다. Sakar와 Wolfe(1985)는 흑백 화상처리 시스템을 이용하여 토마토를 대상으로 토마토의 형상, 크기, 색깔, 흠집 등을 조사하는 알고리즘에 대한 연구결과를 발표한 바 있다. Miller와 Delwiche(1989)는 칼라 화상처리 시스템을 이용하여 복숭아의 색깔을 판정하는 알고리즘을 제시하였다.

이들의 연구결과에 의하면 아직까지 각종 특성의 검출시간 및 정확도면에서 개선점이 많은 것으로 보고되고 있다. 한편 우리나라의 경우 화상처리를 이용한 과일선별에 관한 기초연구가 거의 전무한 실정이다.

본 연구는 흑백 화상처리시스템을 이용하여 사과 선별에 필요한 기초 자료를 제공할 목적으로 수행되었으며, 구체적인 목적은 일차적으로 gray value에 의한 사과의 색택판정의 가능성을 구명하고, 사과의 등급별 선별에 필요한 사과의 투영 면적, 색택 및 결점 검출 알고리즘을 제시하며, 사과의 색택과 당도와의 상관관계를 구명하는 데 있다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 화상처리장치의 구성

본 실험에서는 흑백 화상처리장치로서 화상입력장치인 흑백 카메라(RS-170 format 용

Model OTC 512), 화상신호 처리장치와 화상정보 기억 장치가 들어 있는 PCVision plus Frame Grabber (Imaging Tech. Inc.), 처리 결과를 화면에 나타내는 출력 모니터, 그리고 80286 프로세서(processor)를 탑재한 컴퓨터(IBM PC/AT와 호환 기종)를 사용하였다.

PCVisionplus Frame Grabber는 4개의 주요 부분, 즉 화상접속부, 화상저장부, 출력 논리조작부 및 주 컴퓨터 접속부로 구성되어 있다.

화상접속부는 RS-170, RS-330, NTSC 그리고 CCIR 신호를 받을 수 있으며, 8비트 A/D 변환기가 10 MHz의 속도로 신호를 디지털화 한다. 또한 디지털 신호를 기억 장소(frame memory)에 저장하기 전에 8개의 256×8비트 입력(input) look-up table을 통해 디지털 신호를 변환할 수 있다.

화상저장부는 1024×512×8비트 기억 장소가 있어 두 개의 512×512 화상이나 하나의 640×512 화상을 저장할 수 있으며 주컴퓨터에서 직접 화상저장부에 접근할 수 있다.

출력 논리 조작부는 실시간으로 기억 장소의 내용을 1/30초마다 화상을 입력 화상 모니터에 표시할 수 있으며 수도컬러(pseudo color)출력

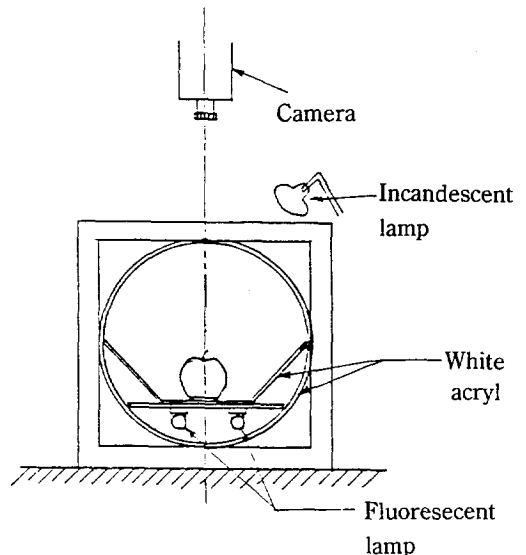


Fig. 1 Physical layout of illumination chamber and camera

을 위해 빨강(red), 초록(green), 그리고 파랑(blue) 3개의 출력(output)채널이 있다.

또한 각 채널마다 8개의 256×8비트 출력 look-up table이 있어 기억장소에 있는 화상정보를 화상모니터에 보내기 전에 변환할 수 있다.

PC를 통해 보드(board)의 모든 기능을 통제할 수 있는 12개의 8비트 레지스터(register)를 가지고 있다.

한편, 사과와 표면을 관측함에 있어 균일한 산란을 얻을 수 있는 조명 장치의 구성은 매우 중요하다. 본 연구에서는 균일한 산란광을 얻기 위해 흰 아크릴로 지름 29cm인 원통을 만들어 흰 아크릴 판 밑에 10와트 형광등 두 개를 장치하고 사과와 밑 부분과 옆 부분에 다시 흰 아크릴을 부착하였다. (Fig. 1)광량을 증가시키기 위해 아크릴 원통의 앞과 뒷부분에 30 와트 백열등을 설치하였다. 그리고 원통의 앞과 뒤에는 외부의 광을 차단하기 위해 한쪽을 검은색 페인트로 칠한 흰 아크릴 판을 부착하였다.

#### 나. 실험 내용 및 방법

사과의 선별과 관계되는 사과의 크기, 색깔 및 결점 등을 화상처리장치를 이용하여 측정 분석하기 위해 일차적으로 사과의 투영면적, gray value에 의한 선택 판정 및 사과표면의 결점을 검출하기 위한 컴퓨터 프로그램을 개발하고, 본 연구에서 구축한 조명장치하에서 gray value에 한 색깔 판정 가능성을 조사하기 위해 7가지 색종이를 사용하여 색깔에 따른 gray value의 차이를 분석하였다.

다음은 서울대학교 농과대학 부설과수원에서 11월 7일에 수확된 후지사과를 대상으로 본 연구에서 개발한 투영면적 측정 알고리즘의 효율성, 조명방향에 따른 사과의 선택지수 결정, 알고리즘의 신뢰도를 조사하였다. 나아가서 후지사과 48개를 시료로 사용하여 선택지수에 따른 사과의 분류가능성을 육안판별과 비교하여 검토하였으며, 선택지수와 사과 당도와 상관관계를 분석하였다. 당도 특성은 사과를 윗부분, 옆부분 및 밑부분으로 세등분하여 각 부분의 당도를 당

도측정기(Shimadzu, Seisakusho LTD)를 사용하여 반복 측정하였다.

한편 본 연구에서 개발된 결점검출 알고리즘에 의한 결점 검출의 유용성을 조사하기 위해 결점의 크기와 결점주위의 표면색깔이 다른 사과를 시료로 사용하여 검출여부 및 검출시간을 조사하였다.

### 3. 알고리즘 및 실행프로그램 개발

#### 가. 투영면적 계산

조명실의 밑 부분을 형광등으로 조명함으로써 물체를 제외한 밝은 배경 부분을 입력 look-up table(LUT)을 이용하여 화상을 입력할 때부터 물체 부분만을 입력하였다.

즉 A/D 변환기를 통과한 아날로그 화상의 한 점(x, y)는 f(x, y)의 gray value를 갖게 되도록 하였다.

$$g(x, y) = \begin{cases} 0 & \text{if } f(x, y) \geq T \\ f(x, y) & \text{if } f(x, y) < T \end{cases}$$

여기서, f(x, y) : A/D 변환기를 통과한 아날로그 화상의 한 점(x, y)에서의 gray value

g(x, y) : 입력 look-up table을 통과한 f(x, y)의 값

T : 물체와 배경의 문턱값(threshold value)

이와 같이 얻어진 물체만의 화상을 대상으로 8방향 체인코드를 이용하여 화상의 화소수를 구하였다. 일반적으로 어떤 주어진 면적을 갖는 화상의 화소수는 카메라와 물체와의 거리, 화상의 왜곡 등에 의해 달라질 수 있으므로 이와 같은 오차를 줄이기 위해 지름 4cm인 검정색 원을 이용하여 주어진 장치하에서 위에서 언급한 방법으로 화소수를 구하고 미지의 화상의 면적 A를 다음과 같이 구하였다.

$$A = \frac{N_x + A_b}{N_b}$$

여기서,  $N_x$ =미지 화상의 화소수

$A_b$ =기준 검정색 원의 면적

$N_b$ =기준 검정색 원의 화소수

### 나. 선택 측정

사과 특히 후지품종의 표면색은 일반적으로 꼭지를 중심으로 방사상으로 붉은 줄무늬를 띠고 있으므로 꼭지를 중심으로 일정한 環狀帶 부분만의 선택을 측정하여 색깔 판정에 이용하고자 하였다.

즉, 사과 of 투영면적을 구하기 위해 8방향 체인코드를 이용하여 화상의 중심점, 내접반지름(R)을 구하고, 0.8R와 0.4R 사이의 環狀帶 부분(Fig. 2)을 설정한 다음, 이 부분의 평균 gray value를 구하였다.

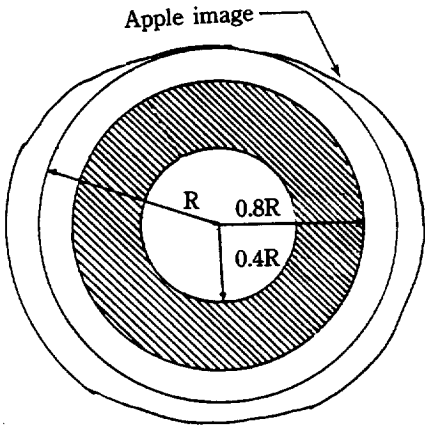


Fig. 2 Window used for computing mean gray value

절대적인 gray value는 조명방법, 전원의 전압 변동 등에 따라 차이가 발생하기 때문에 사과 옆에 임의의 기준색원을 설치하고 기준색의 gray value와 사과의 gray value의 비를 선택지수로 정의하고 선택판정 값으로 사용하였다.

즉,

$$\text{선택지수} = G_m / G_b$$

여기서,  $F_m$ =사과의 꼭지 부분 환상대 구역의 평균 gray value

$G_b$ =기준색의 평균 gray value

### 다. 결점 검출

사과의 결점 부분과 정상 표피의 gray value에는 차이가 있음을 이용하여 결점을 검출하였다. 결점의 gray value는 일정 값 이하로 나타나기 때문에 입력 LUT를 이용하여 화소의 gray value가 주어진 값보다 큰 경우, 즉 정상 표피로 간주되는 화소의 gray value에 일정한 값(약 40)을 더한 다음, 이들 영상 데이터를 A 메모리에 저장하였다. 저장된 데이터에 Low pass filtering을 취한후 B 메모리에 저장하고, B에서 A를 뺀으로써 결점부분을 검출하였다.

사과의 윗부분과 밑부분에 있는 결점을 검출할 때 꼭지 부분을 제외하기 위해 사과의 내접반지름(R)의 0.41배 바깥 부분과 외접 반지름의 내부를 결점 검출 대상으로 하였다. 사과 옆부분의 결점을 검출할 때는 외접 반지름 내부의 모든 구역을 결점 검출 대상 구역으로 하였다. 이들 구역 안에서 얻어진 gray value가 0이 아닌 화소들의 갯수를 모두 세어 기준 면적 화소의 갯수로 나누어 결점 면적을 구하도록 하였다.

### 라. 실행 프로그램

실행 프로그램은 Microsoft C (Version 5.0)와 PCVision plus board를 지원할 수 있는 ITEX plus Library를 이용하여 개발 하였다.

프로그램은 대략 기초자료 입력부와 실행부로 나누어져 있고 흐름도는 그림 3에 나타내었다.

기초자료 입력부는 사과의 투영면적을 계산하기 위해 지름 4cm인 검정색원을 밀면으로부터 높이 5cm 위에 놓고 체인코드에 의해 원의 화소수를 계산하는 기준면적 입력부와, 사과 of 정상 표피가 결점표피로 인식되지 않게 하기 위해 gray level을 조정할 수 있는 gray level 조정부로 나누어져 있다. 실행부는 자료를 얻고자 하는 시료를 카메라 밑에 위치시키고 프로그램을 작동하면 시료의 투영면적, 선택지수, 결점면적, 그리고, 실시간 등을 구하여 file에 저장할 수 있도록 하였다.

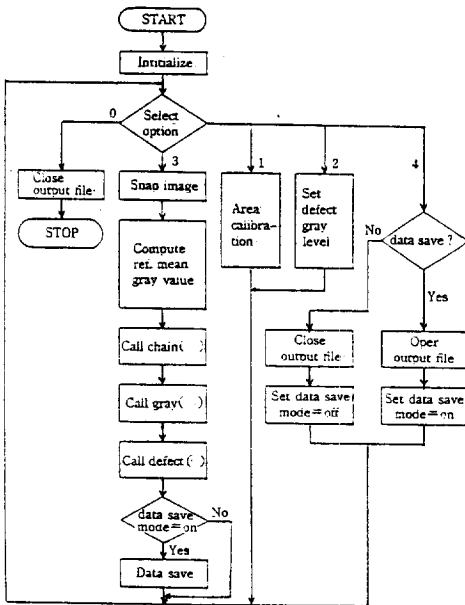


Fig. 3 Flow chart of program

4. 결과 및 고찰

개발된 프로그램의 검증은 조명에 의한 투영 면적의 변화, 명도차에 의한 각 색깔의 gray level의 변화, 선택을 나타내는 지수의 신뢰도 등의 세부분으로 나누어 실시했다.

가. 면적

사과의 투영 면적은 지름이 4cm인 기준 원을 이용하여 앞에서 설명한 바와 같이 구하였다. 투영 면적은 배경과 사과를 분리하기 위한 문턱값, 전원의 전압 변동등 시스템의 불안정에 의해 영향을 받았으나, 그 값은 소숫점 첫째 자리까지 유효한 것으로 판단되었다. 투영 면적 계산시간을 사과의 크기에 따라 차이가 있었으나 0.74~0.82초가 소요되었다.

나. 선택 측정

1) 색깔에 따른 gray value의 변화

색깔에 따른 gray value의 변화 정도를 알아보기 위해 빨강, 주황, 노랑, 초록, 파랑, 보라 그리고 검정 색종이를 가지고 기준 색깔에 대한 지수값을 구해 보았다. 표 1에서 보는 바와 같이 지수값은 노랑, 초록, 주황, 빨강, 보라, 파랑 그리고 검정의 순으로 높았으며 일반적으로 빨강 색 계통이 초록색 계통보다 낮음을 알 수 있다.

이 결과는 본 연구에서 개발된 프로그램이 색깔에 따른 지수값의 차이를 구할 수 있을 뿐만 아니라 측정치의 변이 계수가 0.5% 미만으로 반복간에 차이가 거의 없음을 의미한다.

Table. 1 Indices representing relative gray value of 7 colors

COLOR \ REPEAT	RED	VIOLET	YELLOW	GREEN	BEUE	PURPLE	BLACK
1	0.69	0.73	0.89	0.80	0.66	0.69	0.30
2	0.69	0.74	0.88	0.81	0.66	0.69	0.30
3	0.69	0.74	0.89	0.80	0.67	0.69	0.30
4	0.69	0.74	0.89	0.81	0.66	0.69	0.30
5	0.69	0.74	0.89	0.80	0.67	0.69	0.30
6	0.69	0.74	0.89	0.80	0.66	0.69	0.30
7	0.69	0.75	0.88	0.80	0.67	0.69	0.30
8	0.69	0.74	0.88	0.81	0.66	0.68	0.30
9	0.69	0.74	0.88	0.81	0.66	0.68	0.30
10	0.69	0.74	0.88	0.80	0.67	0.69	0.31
AVERAGE	0.69	0.74	0.88	0.80	0.66	0.69	0.30
STD	0.00150	0.00335	0.00340	0.00265	0.00162	0.00312	0.00142
CV(%)	0.22	0.46	0.38	0.33	0.24	0.45	0.47

Note : Gray value of the reference color=97±3

2) 조명 방향에 따른 지수의 신뢰도

사과의 표면은 평면이 아닌 곡면으로 이루어져 있기 때문에 표면반사의 양상은 조명 방향에 따라 차이가 있을 수 있으며, 그 결과 같은 표면이라도 조명을 받는 방향에 따라 색택을 나타내는 지수값이 달라질 수 있다. 표면 반사에 따른 지수값의 변화를 알아보기 위해 사과의 꼭지 부분을 위로한 상태에서 사과를 0°, 120°, 240°씩 돌려가며 각 각도에서 5회 반복 측정된 결과 표 2와 같은 결과를 얻었다. 이 결과에 의하면 같은 표면에 대한 지수값은 표면의 회전 각도에 관계없이 거의 일정한 값으로 나타남을 알 수 있다. 즉, 본 실험에서 제작된 조명장치하에서는 직접

반사의 영향은 거의 무시할 수 있으며, 색택을 나타내는 지수값은 소수점 이하 둘째자리까지 유효한 것으로 판단되었다.

3) 색택 판정

먼저 48개의 사과를 대상으로 육안판별에 의해 사과의 꼭지면의 붉은 정도에 따라 4개의 그룹으로 분류한 다음 제3장 나항에서 설명한 바와 같이 각 사과의 꼭지면의 지수값을 구한 결과 0.59~0.75사이에 분포하였으며, 값을 기준으로 각 구간의 계급치를 0.04로 하여 48개의 사과를 4그룹으로 분류한 결과 표 3과 같이 나타났으며, 그 결과는 육안판별에 의한 결과와 거의 일치하였다. 표 3에서 대부분 A 구간에 속하는 사과는 후

Table. 2 Variation in indices indicating relative gray value

SAMPLE	ROTATING ANGLE	INDICES	STD	AVERAGE	STD
# 1	0°	0.576	0.00343	0.570	0.00547
	120°	0.569	0.00141		
	240°	0.564	0.00172		
# 2	0°	0.614	0.00224	0.610	0.00410
	120°	0.611	0.00183		
	240°	0.606	0.00285		
# 3	0°	0.632	0.00049	0.629	0.00328
	120°	0.630	0.00271		
	240°	0.626	0.00250		
# 4	0°	0.632	0.00233	0.635	0.00326
	120°	0.638	0.00196		
	240°	0.633	0.00204		
# 5	0°	0.658	0.00218	0.662	0.00387
	120°	0.663	0.00072		
	240°	0.666	0.00211		
# 6	0°	0.702	0.00297	0.700	0.00229
	120°	0.700	0.00107		
	240°	0.699	0.00126		
# 7	0°	0.730	0.00242	0.728	0.00293
	120°	0.729	0.00214		
	240°	0.725	0.00171		
# 8	0°	0.690	0.00403	0.694	0.00467
	120°	0.696	0.00319		
	240°	0.697	0.00245		



다. 선택과 당도와의 관계

일반적으로 사과와 당도는 수확시기, 표면 색깔, 재배지역 등과 관계가 있는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 사과와 윗면(꼭지면)의 선택이 전체면의 선택과 상관관계가 높은 것을 감안하여 사과와 윗면을 대표하는 선택지수와 사과와 당도와의 관계를 분석하였다.

사과의 당도와 선택지수의 관계는 그림5에서 보는 바와 같으며 이들 사이의 상관계수는 0.738로서 어느 정도의 상관관계가 있음을 시사하고 있다. 또한 이 그림에서 선택지수에 따라 사과를 4그룹으로 분류할 경우 각 그룹에 속하는 사과의 당도를 나타내고 있다. 이 결과에 의하면 A와 B그룹에 속하는 사과의 당도는 대부분 14 이상이고, C 그룹의 사과는 대부분 13 이상 14 미만이며, D 그룹은 13 이하임을 알 수 있다.

당도에 따른 사과와 맛을 조사한 결과 당도 13 이상의 사과는 대부분 달았으며, 당도 12 이하의 것은 달지 않았다. 따라서 맛과 색깔을 고려할 때, 분류 구간을 나타내는 3~4구간으로 나누는 것이 바람직 한것으로 판단되며, 구간을 나타내는 지수의 기준치는 품종, 재배지역, 수확시기 등이 다른 시료를 대상으로 선택과 당도와의 관계를 조사한 다음 제시되어야 할 것이다.

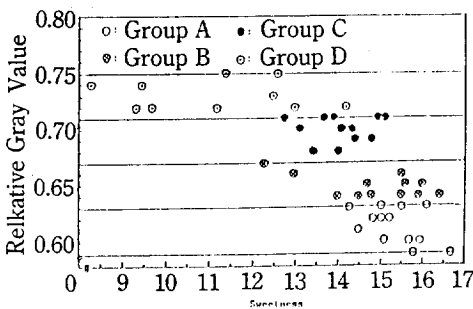


Fig. 5 Relation between sweetness and relative gray value under 4 stages of coloration

라. 결점의 검출

사과의 결점 검출은 결점의 gray value와 결점 주위의 gray value가 차이가 커야만 결점 부분을 검출할 수 있었고, 결점이 사과와 가장자리에 있

을 때는 검출할 수 없었다. 사과와 색깔이 붉을 수록 사과 표면의 gray value가 결점의 gray value와 차이가 크지 않았기 때문에 결점을 검출하기 어려웠고 사과와 색깔이 푸를수록 gray value가 커서 결점을 검출하기 쉬웠다. 그러나 이런 곳에서도 결점이 사과와 가장자리에 있으면 빛의 반사에 의해 결점 부분의 gray value가 커져 결점을 검출하기 어려웠다. 결점 검출 작업은 개당 20초 정도 걸렸다.

본 연구에서 제시한 결점 검출 방법은 경우에 따라 결점 검출이 불가능할 뿐만 아니라 검출 소요시간이 많이 걸려 실용성이 없는 것으로 판단된다.

5. 요약 및 결론

최근 외국의 경우 영상처리 장치를 이용한 과채류의 자동 선별 장치를 개발하기 위해 많은 연구가 수행되고 있으며, 크기에 의한 선별은 이미 실용화 단계에 있다. 본 연구에서는 흑백 영상처리 장치를 이용하여 사과와 크기, 표면의 선택 및 결점 등 몇몇 선별 인자의 검출 가능성을 조사하고, 효율적인 사과선별에 필요한 기초자료를 제시하는데 목적이 있으며, 연구 결과는 다음과 같다.

- ① 흑백 영상처리 시스템을 이용하여 입력 영상으로부터 사과와 투영면적, 선택 및 결점을 검출하는 프로그램을 개발하였다.
- ② 사과와 크기를 결정하기 위한 투영면적을 기준 면적과 그에 대응하는 화소 수 사이의 비례관계를 이용하여 구하였으며, 투영면적 계산 소요시간은 0.74~0.82초였다.
- ③ 선택은 임의의 기준색의 gray value에 대한 사과와 꼭지면의 일정부위의 gray value의 비(선택지수로 정의)를 이용하여 표시하였으며, 선택지수의 계산시간은 3초정도 소요되었다.
- ④ 결점은 lowpass filtering과 image subtraction을 이용하여 검출가능 하였으나, 결점 검출 소요시간은 약 20초 정도였다.
- ⑤ 사과와 색깔은 선택지수에 의해 3-4등급으로 분류가 가능하였으며, 또한 사과 꼭지면의



색택지수와 당도 사이에  $r=0.74$ 의 상관관계가 있었다.

⑥ 사과(후지 품종)의 꼭지면의 색택은 전체 표면의 색택과  $r=0.922$ 의 상관관계가 있었다.

### 참 고 문 헌

1. Imaging Technology. 1987. ITEX PCplus PROGRAMMER'S MANULA. Imaging Technology Inc., Massachusetts.
2. Gonzalez, R. C. and P. Wintz. 1987. Digital Image Processing. Addison Wesley, Massachusetts.
3. Microsoft. 1987. Microsoft C 5.1 Optimizing Compiler. Microsoft Corporation, Washington.
4. Miller, W. M. 1985. Decision model for computer-based grade separation of fresh produce. Trans. ASFE. 28(4) : 1341-1345.
5. Paulsen, M. R. and W. F. McClure. 1986. Illumination for computer vision system. Trans. ASAE. 29(5) : 1398-1404.
6. Rehkugler, G. E. and J. A. Throop. 1986. Apple sorting with machine vision. Trans. ASAE. 29(5) : 1388-1397.
7. Rehkugler, G. E. and J. A. Throop. 1989. Image Processing Algorithm for Apple Defect Detection. Trans. ASAE. 32(1) : 267-272.
8. Sarkar, N. and R. R. Wolfe. Future extraction techniques for sorting tomatoes by computer vision. Trans. ASAE. 28(3) : 970-979.
9. Sarkar, N. and R. R. Wolfe. 1985. Computer vision based system for quality separation of fresh market tomato. Trans. ASAE. 28(5) : 1714-171.
10. Wolfe, R. R. and W. E. Sandler. 1985. An algorithm for stem detection using digital image analysis. Trans. ASAE. 28(2) : 641-644.
11. 김일웅. 1998. 화상 처리 시스템을 이용한 과일의 기하학적 특성 판정. 서울대학교 대학원 농공학과 농업기계전공 석사학위 논문.