

칼라 센서를 이용한 사과와 토마토의 색상 판정⁺

Evaluation of Surface Color of Apples and Tomatoes by Using Color Sensors

배영환*

Y. H. Bae

주 철**

C. Joo

Summary

In this research, the surface color of 'Fuji' apples and tomatoes were measured by using Sharp PD 151 semiconductor color sensors. The measurements were compared with color-difference-meter readings and with visual sensory test scores. A negative exponential function was developed which describe the relationship between the dominant wavelength of the surface color of 'Fuji' apples and the ratio of the photoelectric currents of the color sensor. Also a linear relationship was found for the surface color of tomatoes and the color sensor output. There were good correlations between the visual test scores and the color sensor output for both 'Fuji' apples and tomatoes.

1. 서론

국민소득의 증대에 따라 농산물의 소비 패턴도 변화하여 보다 고품질의 농산물에 대한 수요가 증가하고 있는 추세이다. 고품위의 농산물을 출하하기 위해서는 엄격한 등급 규격에 따른 정확한 선별작업이 필수적이다. 과실 및 채소의 선별에 관련되는 요인에는 표면 색깔, 형상, 크기, 결점부위의 유무 등과 같은 외부적인 요소와, 당도, 향기, 산도, 내부 손상부위의 유무 등과 같은 내부적인 요소가 있다. 일본 등 선진국에서는 과실 및 채소의 종류 및 선별 요인에 따라 다양한 형태의 선별기 및 선별방법이 개발되어 있으나(배, 1992), 국내에서는 중량선별기가 개발되어

일부 과실의 선별에 사용되고 있을 뿐, 대부분의 선별기는 수입에 의존하고 있는 실정이다.

선별에 관한 국내의 연구는 그 역사가 매우 짧은 편이나, 최근 과일의 선별 방법에 관한 여러 편의 논문이 발표되었다. 배(1992)는 사과의 400~820nm 영역에 대한 파장별 표면반사율을 측정하여 반사율의 비에 의한 선별 모델을 제시하였으며, 노 등(1992)은 흑백 영상처리장치를 이용한 후지사과의 크기와 선택 판정에 대하여 보고하였다.

본 연구는 低價의 색상선별기의 개발을 위한 기초 연구로서 수행되었으며, 시판되는 반도체 칼라 센서를 이용하여 사과와 토마토의 표면색을 측정하고, 이를 정량적인 색좌표 및 시각에

+ 이 논문은 1991년도 교육부지원 한국학술진흥재단의 자유공모과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

* 순천대학교 농과대학 농업기계공학과

** 한영공업전문대학 기계설계과

의한 판능검사 결과와 비교함으로써 저가의 센서에 의한 색상 판정의 가능성과 그 정확성을 검증하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

1992年産 후지 사과와 1993年産 토마토를 시중에서 구입하였다. 후지 사과의 정확한 생산지는 모르며, 토마토는 순천 근교에서 생산된 것으로서 품종을 알 수 없었다. 시료의 구입 과정에서 다양한 熟度의 개체가 포함되도록 노력하였다. 품종 고유의 색을 띠고 있는 것부터 아주 덜 익은 것까지 고루 포함되도록 구입한 시료 중 30개의 후지 사과와 16개의 토마토를 선정하였다. 사과 표면의 색은 품종에 따라 完熟果의 고유색이 다르고, 또 각각의 개체 내에서도 다양한 색깔 분포를 갖는다. 따라서 각 개체의 사과 시료에 대하여 육안으로 판단하여 가장 색소 발현이 잘된 부분과 색소 발현이 되지 않은 부분을 취하여 각각에 대한 시험을 행함으로써 총 60개의 측정값을 구하였다. 토마토는 개체 내에서 색소 발현이 거의 균일하였으므로 각 시료당 1 부분을 택하여 시험하였다.

본 실험에서 사용한 반도체 칼라 센서는 일본 샤프사의 PD151이었으며, 그 구조 및 等價回路는 그림 1과 같다 (전, 1987). 이 센서는 그림에서와 같이 하나의 실리콘 母材에 2개의 P-N 접합을 깊이 방향으로 겹쳐서 만든 것으로서, 앞

은 쪽의 접합부를 PD₁이라고 하며 표면 가까이 에 있어서 파장이 짧은 녹색에 대한 感도가 높은 반면, 깊은 쪽의 접합부를 PD₂라 하고 이는 파장이 보다 긴 적색에 대한 감도가 높다.

PD151 칼라 센서의 파장에 따른 감도를 검증하기 위하여 프랑스 Jobin Yvon社의 모델 H10 UV 모노크로메이터(monochromator)를 사용하였다. 모노크로메이터의 광원으로는 100 W 텅스텐 할로겐 램프를 사용하였으며, 출력구 쪽에는 폭 0.5mm의 슬릿을 장착하여 통과하는 빛의 파장폭을 4nm로 조정하였다. 단색광에 대한 칼라 센서의 감도를 측정하기 위하여 슬릿을 통과하는 빛의 중심 파장을 350nm에서 800nm까지 10 nm 간격으로 설정한 후, 이 단색광을 암실 상자 내에 고정시킨 칼라 센서에 照射하여 PD₁과 PD₂의 光電流를 측정하였다.

예비 실험 결과 PD₁과 PD₂의 출력은 반사면과 칼라 센서의 對向角에 따라 달라지므로, 대향각이 고정된 상태에서 사과 및 토마토의 색상을 보다 정확하게 측정하기 위하여 그림 2와 같이 칼라 센서와 광원을 고정하는 장치를 제작하였다. 광원으로는 100W 텅스텐 할로겐 램프를 사용하였으며, 이를 지름 약 7mm의 광섬유 케이블 다발로 유도하여 칼라 센서와 같은 거리에서 시료의 표면을 照射하도록 하였다. 3개의 칼라 센서를 4.91cm²의 면적을 갖는 아크릴 판에 광원을 중심으로 120°의 각을 유지하도록 배치하여 부착하였으며, 이 판과 측정 대상물 사이의 거리를 일정하게 유지시키기 위하여 내면에 산화마그네슘(MgO) 막을 흡착시킨 내경 25mm, 길이 35 mm의 PVC 파이프를 접착하였다. 조사면을 PVC 파이프에 밀착 시켰을 때 광섬유로 유도된 광원에 의한 조사면의 조도는 1,345lux 이었다.

후지 사과 및 토마토의 표면색을 정량적으로 표시하기 위하여 日本電色工業株式會社の 모델 ND-101D 색차계를 사용하였으며, 周邊光의 영향을 없애기 위하여 암실 조건에서 측정하였다. 색차계의 3.1cm²의 면적을 갖는 원형 슬릿 위에 사과 및 토마토 시료를 밀착하여 표면색의 CIE (국제조명위원회) XYZ 三刺戟值를 측정하였다.

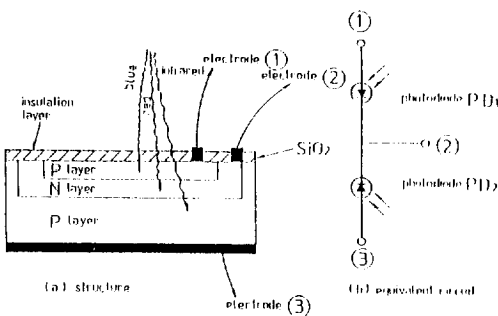
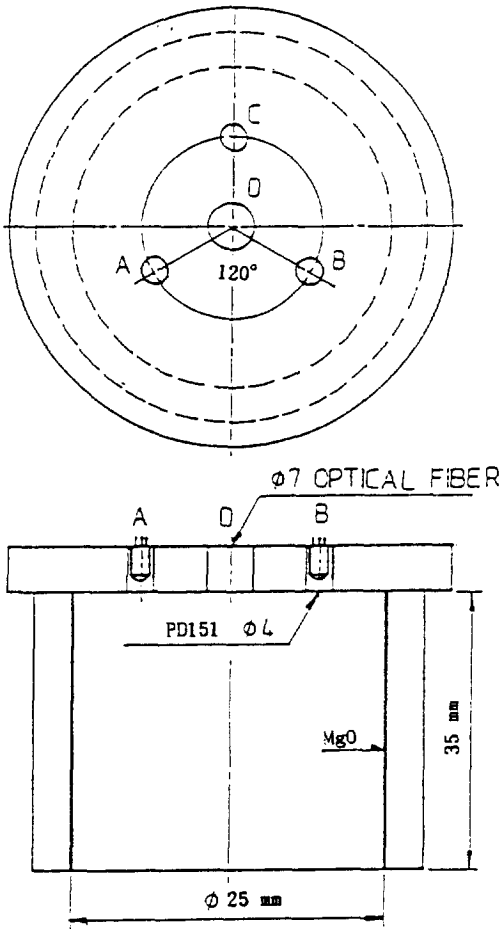


Fig 1. Structure and equivalent circuit of PD 151 color sensor.



A, B, C : PD151 color sensor

D : bundle of optical fiber

Fig 2. Schematics of the adapter to fix three color sensors and a bundle of optical fiber.

또한 미국 Pacific Scientific Co.,LTD의 1149 시리즈 표준 색채 블럭 6 개를 이용하여 색차계 자체의 측정값을 보정하였다.

사과와 토마토의 색에 대한 칼라 센서의 출력을 육안에 의한 판단과 비교하기 위하여 5 명의 관능 검사자로 하여금 각 시료의 표면에 표시된 면적 약 5cm² 부분의 색을 판정하여 착색 발현 정도를 기준으로 上 中 下의 3단계로 평가하도록 하였다. 上의 범주에 속하는 것은 착색 발현이 잘된 것이며, 中은 중간 정도, 下는 녹색 또는 노

란색 부분이 많은 것을 기준으로 하였다. 색차계, 칼라 센서 및 관능 검사를 통한 시료 표면색의 판정은 모두 시료의 표면에 표시된 약 5cm²의 부분을 대상으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 단색광의 파장에 따른 칼라 센서의 출력

單色光에 대한 PD151 칼라 센서의 감도를 조사하기 위하여 모노크로메이터를 이용하여 파장폭 4nm의 단색광을 350nm에서 800nm까지 10 nm 간격으로 칼라 센서에 照射하여 센서에서 출력되는 光電流를 측정하였다. 그림 3은 PD151 칼라 센서 내부의 2 개의 광 다이오드에 해당하는 PD₁과 PD₂의 광전류 출력을 나타낸 것이다. 얇은 쪽의 P-N 접합부인 PD₁은 560nm 부근에서 최대 감도를 나타내어 연두색 계통에 대한 감도가 큰 것으로 나타났으며, 깊은 쪽의 P-N 접합부인 PD₂는 620nm 부근에서 최대 감도를 나타내어 적색 계통에 대한 감도가 큰 것으로 나타났다.

PD₁과 PD₂의 광전류 출력은 광원의 광도 및 측정 대상물과 센서와의 거리에 따라 그 값이 변하지만, 2 개의 광전류 출력의 비율을 구함으로써 그 영향을 상쇄시킬 수 있었다. 그림 4는 그림 3에 표시된 PD₂의 광전류 출력(I₂)을 PD₁의

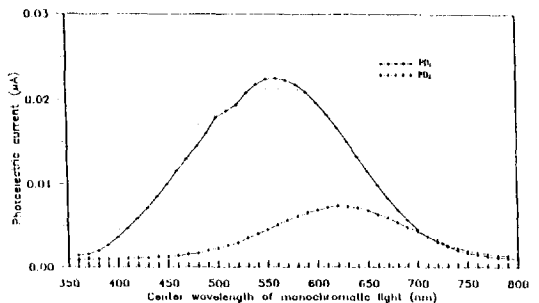


Fig 3. Response of a typical PD151 color sensor in the wavelength range from 350 to 800 nm.

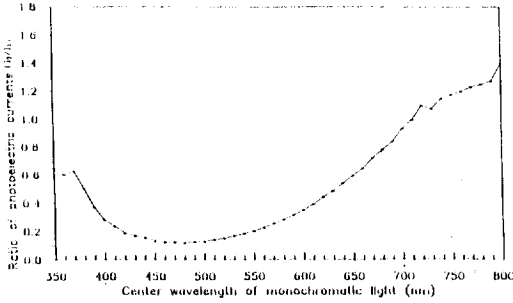


Fig 4. Ratio of photoelectric currents(I_2/I_1) of the PD151 color sensor in the wavelength range from 350 to 800nm.

출력(I_1)으로 나눈 값을 표시한 것으로서, 480 nm 부근에서 최소치를 나타내었다. 그림 4에 따르면 단색광의 파장이 광전류 출력비인 I_2/I_1 값과 서로 1 : 1로 대응되지 않고 480nm를 기준으로 그 이상의 파장 범위와 이하의 파장 범위에서 중복되는 현상이 나타나서, 일부 파장 영역에서는 하나의 I_2/I_1 값에 대하여 2개의 파장이 얻어지는 결과를 나타내었다.

그러나 350nm에서 480nm 범위의 파장 대역은 청색 보다 파장이 짧은 보라색에서 남색에 해당하는 영역으로서, 포도 등 일부 과일 및 채소에서 나타나는 색이다. 따라서 그림 4의 결과 중 480nm 이상의 파장 영역만을 고려하면 PD 151 칼라 센서를 이용하여 익을 수록 녹색에서 적색으로 변하는 일반적인 과일 및 채소의 표면색을 판별할 수 있다.

나. 사과 및 토마토의 관능 검사 결과

熟度가 고루 분포된 30 개의 사과와 16 개의 토마토를 대상으로 시각에 의한 관능 검사를 실시하였다. 관능 검사는 5 인으로 검사 패널을 구성하여, 사과 및 토마토 시료의 색차계 및 칼라 센서 시험을 위하여 표면 상에 미리 표시된 부분에 대하여 표면색에 의한 熟度를 3 단계로 평가하도록 하였다. 이 때 가장 잘 익은 그룹에 속하는 것은 3 점을, 가장 안익은 그룹에 대해서는

1 점을, 중간 단계에 대해서는 2 점을 부여 하도록 하였다. 각 시료에 대한 관능 검사 성적의 평균 간의 차이를 분석하기 위하여 Duncan 검정을 이용하였으며, 표 1과 2는 각각 사과와 토마토에 대한 시각적 관능검사 성적의 Duncan 검정 결과를 표시한 것이다. Duncan 검정 결과 30 개의 사과 시료로부터 측정된 60 개의 표면 부위 중 5% 유의 수준에서 최상위 등급인 평균 3.0을 얻은 시료와 같은 그룹으로 구분되는 것이 18 개 이었으며, 최하위 등급인 평균 1.0과 같은 그룹으로 구분되는 것이 20 개 이었으며, 나머지 중간 그룹이 22 개 이었다. 한편 16 개의 토마토 시료는 5% 유의 수준에서 최상위 등급인 평균 3.0을 얻은 시료와 같은 그룹으로 구분되는 것이 3 개 이었으며, 최하의 등급인 평균 1.0과 같은 그룹으로 구분되는 것이 5 개 있었으며, 나머지 중간 그룹이 8 개 이었다.

다. 사과 및 토마토 시료의 CIE 색좌표와 주파장

그림 5는 30 개의 사과 시료의 표면색을 색차계를 이용하여 각 시료당 2 개 부위를 측정하여 CIE 삼자극치 XYZ 값을 구한 후, 이로부터 CIE 색좌표 x, y 값을 구하여 CIE 色度圖에 표시한 것이다. CIE 색도도의 중심점인 $x=0.3333, y=0.3333$ 에서 각 색좌표 점을 연결하여 외곽선과 만나는 점은 그 좌표에 해당하는 색의 주파장을 나타내며, 이와 같이 구한 후지 사과 시료의 주파장의 범위는 541nm에서 607nm 이었다. 같은 방법으로 16개의 토마토 시료에 대하여 구한 CIE 색좌표를 표시하면 그림 6과 같다. 실험에 사용된 토마토 시료의 표면색의 주파장 범위는 567nm에서 597nm 이었다.

라. 시료의 주파장과 칼라 센서 출력의 비교

그림 2와 같이 제작된 칼라 센서 및 광원 부착부를 사과 및 토마토 시료의 표면에 밀착시켜 표면색에 따른 3 개의 센서의 광전류의 출력비(I_2/I_1)를 구한 후, 이 비율의 평균을 계산하였다.

Table 1. Result of the visual sensory test conducted to classify Fuji apples by their surface color.

Sample number	Mean Score	Panel	Sample number	Mean Score	Panel
13-1	3.0	a*	28-1	2.0	cdef
12-1	3.0	a	12-2	2.0	cdef
28-2	3.0	a	25-2	1.8	defg
22-1	3.0	a	25-1	1.8	defg
18-1	3.0	a	24-1	1.8	defg
16-1	3.0	a	24-2	1.8	defg
30-1	3.0	a	3-2	1.8	defg
1-1	3.0	a	18-2	1.8	defg
19-1	2.8	ab	27-2	1.8	defg
29-1	2.8	ab	2-1	1.8	defg
8-2	2.8	ab	10-1	1.6	efgh
5-2	2.6	abc	7-2	1.6	efgh
23-1	2.6	abc	6-1	1.6	efgh
9-2	2.6	abc	20-1	1.6	efgh
6-2	2.6	abc	27-1	1.4	fgh
17-2	2.4	abcd	23-2	1.4	fgh
10-2	2.4	abcd	19-2	1.4	fgh
7-1	2.4	abcd	15-2	1.4	fgh
15-1	2.2	bcde	5-1	1.4	fgh
17-1	2.2	bcde	21-2	1.4	fgh
11-1	2.2	bcde	22-2	1.4	fgh
2-2	2.2	bcde	21-1	1.4	fgh
14-1	2.0	cdef	11-2	1.2	gh
26-2	2.0	cdef	1-2	1.2	gh
30-2	2.0	cdef	4-1	1.2	gh
16-2	2.0	cdef	26-1	1.2	gh
29-2	2.0	cdef	20-2	1.2	gh
3-1	2.0	cdef	13-2	1.2	gh
9-1	2.0	cdef	8-1	1.0	h
4-2	2.0	cdef	14-2	1.0	h

Note) * : Mean values followed by the same letter are not significantly different at 5% level in Duncan's multiple range test.

Table 2 Result of the visual sensory test conducted to classify tomatoes by their surface color.

Sample number	Mean Score	Panel	Sample number	Mean Score	Panel
3	3.0	a*	2	1.8	c
5	3.0	a	10	1.6	cd
16	3.0	a	14	1.6	cd
4	2.4	b	1	1.2	de
6	2.0	bc	11	1.2	e
15	2.0	bc	9	1.0	e
12	1.8	c	7	1.0	e
8	1.8	c	13	1.0	e

Note) * : Mean values followed by the same letter are not significantly different at 5% level in Duncan's multiple range test.

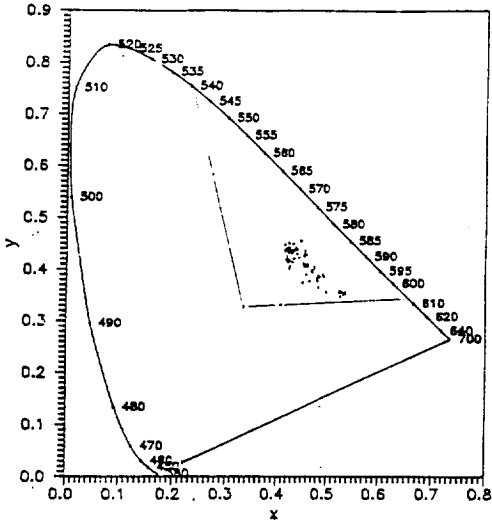


Fig 5. CIE chromaticity coordinate of the surface color of Fuji apples.

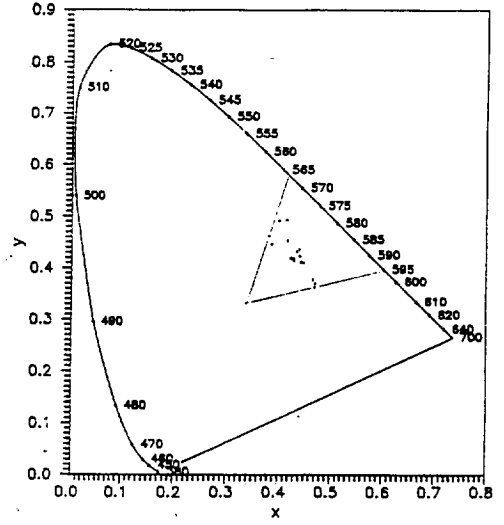


Fig 6. CIE chromaticity coordinate of the surface color of tomatoes.

그림 7은 색차계를 이용하여 구한 사과 시료의 주파장과 칼라 센서 광전류 출력비의 평균 사이의 관계를 나타낸 것이다. SAS의 비선형 회귀 분석(PROC NLIN)을 이용하여 negative exponential 함수로 나타낸 후지 사과 시료 표면색의 주파장과 광전류 출력비의 평균 사이의 관계는 다음 식과 같다.

$$y = 0.100[1 - e^{-(\lambda - 575.0)/16.880}] + 0.374$$

$$(r^2 = 0.9988)$$

여기서

y = 칼라 센서 광전류 출력비(I_2/I_1)의 평균치,

λ = 후지 사과 시료 표면색의 주파장, nm.

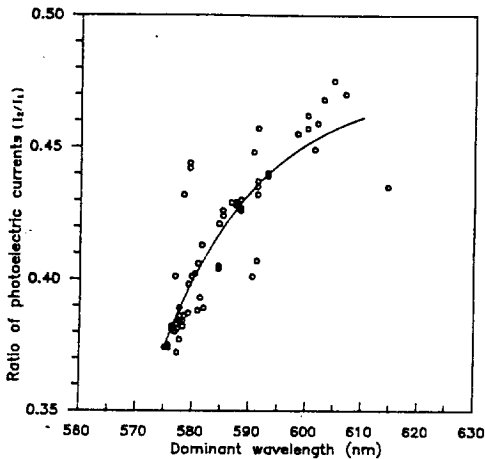


Fig 7. Ratio of the PD151 photoelectric currents vs. dominant wavelength of the surface color of Fuji apples.

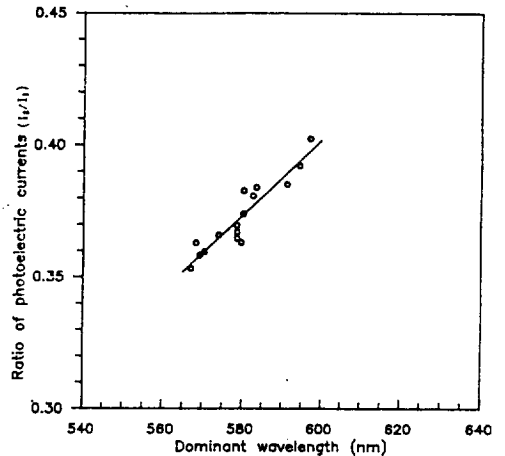


Fig 8. Ratio of the PD151 photoelectric currents vs. dominant wavelength of the surface color of tomatoes.

토마토 시료 표면색의 주파장과 3 개의 칼라 센서 광전류 출력비의 평균치 사이의 관계는 그림 8과 같으며, 다음과 같은 직선 회귀식으로 나타낼 수 있다.

$$y = -0.460 + 0.00144\lambda \quad (r^2 = 0.8623)$$

여기서

y = 칼라 센서 광전류 출력비(I_2/I_1)의 평균,
 λ = 토마토 시료 표면색의 주파장, nm.

마. 칼라 센서의 출력과 관능 검사 성적의 비교

본 실험에 사용된 PD151 칼라 센서가 과일 및 채소의 색상을 판정하는데 효과적으로 이용되기 위해서는 칼라 센서의 출력이 사람의 시각적 판단과 잘 일치하여야 한다. 그림 9는 후지 사과 시료에 대한 3 개의 PD151 칼라 센서의 광전류 출력비(I_2/I_1)의 평균과 5 인으로 구성된 관능검사자에 의한 시각적 관능 검사 성적의 평균과의 관계를 나타낸 것이다. 센서의 출력과 관능검사 성적은 비교적 잘 일치하였으며, 이들 사이의 관계식은 다음과 같다.

$$y = -5.660 + 18.512x \quad (r^2 = 0.8318)$$

여기서

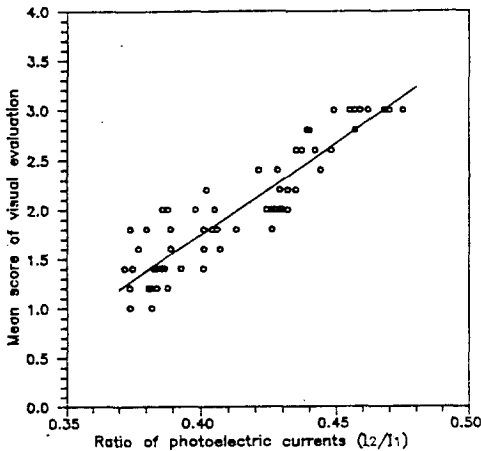


Fig 9. Mean score of visual evaluation vs. ratio of PD151 photoelectric currents for the surface color of Fuji apples.

y = 후지 사과에 대한 관능검사 성적의 평균,
 x = 칼라 센서 광전류 출력비(I_2/I_1)의 평균.

동일한 방법에 의한 토마토 관능 검사 성적과 칼라 센서 출력과의 관계는 그림 10과 같으며, 이들 사이의 관계식은 다음과 같다.

$$y = -15.401 + 46.232x \quad (r^2 = 0.8225)$$

여기서

y = 토마토에 대한 관능 검사 성적의 평균,
 x = 칼라 센서 광전류 출력비(I_2/I_1)의 평균.

4. 요약 및 결론

본 연구는 저가의 색상선별기의 개발을 위한 연구의 일환으로 수행되었으며, 시판되는 반도체 칼라 센서(Sharp PD151)를 이용하여 사과와 토마토의 표면색을 판정하였다. 사과 및 토마토 시료의 표면 중 색깔이 균일한 부분을 선정하여 색차계로 표면색을 측정하여 CIE xyz 좌표 및 주파장을 구하였으며, 주파장과 칼라 센서의 출력 및 시각적 관능검사 결과를 비교하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

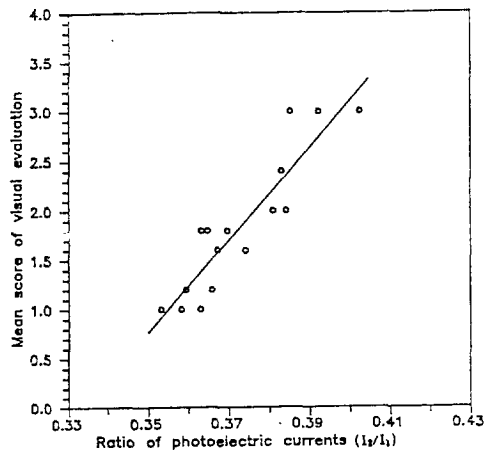


Fig 10. Mean score of visual evaluation vs. ratio of PD151 photoelectric currents for the surface color of tomatoes.

1) PD151 반도체 칼라 센서의 2 개의 광 다이오드는 각각 560nm 및 620nm에서 감도의 피크를 나타내었으며, 광전류의 비를 이용하여 광원의 광도 및 센서와 측정 대상물 사이의 거리에 의한 영향을 무시할 수 있었다. 또한 광전류 출력비(I_2/I_1)는 480nm에서 최소치를 나타내었다.

2) 실험에 사용된 후지 사과 시료 표면색의 주파장의 범위는 541에서 607nm이었으며, 주파장(λ)과 칼라 센서의 광전류 출력비(y) 사이에 다음과 같은 관계가 성립하였다.

$$y = 0.100[1 - e^{-(\lambda - 575.0)/16.880}] + 0.373$$

3) 토마토 시료 표면색의 주파장의 범위는 567nm에서 597nm이었으며, 주파장(λ)과 칼라 센서의 광전류 출력비(y) 사이에 다음과 같은 직선식을 유도 하였다.

$$y = -0.460 + 0.00144\lambda$$

4) 후지 사과 및 토마토 시료의 시각적 판능 검사 성적과 칼라 센서의 광전류 출력비 사이에는 고도의 상관관계가 인정되었으며, 그 상관계수는 각각 0.912와 0.907이었다.

인 용 문 헌

- 1) 노상하. 1992. 흑백영상처리장치를 이용한 과실선별기 개발에 관한 연구(I)-크기 및 선택 판정. 한국농업기계학회지. 17(4) : 354-362.
- 2) 배영환. 1992. 표면 반사율에 의한 사과의 색상 선별. 한국농업기계학회지. 17(4) : 382-395.
- 3) 전재승. 1987. 센서 인터페이싱 No. 4. 기전출판사. p. 86.