

컬러 컴퓨터 시각과 육안에 의한 사과 색깔 식별⁺

Apple Color Discrimination with Color Computer Vision and Human Vision⁺

서 상 룡* 유 수 남* 임 형 돈* 신 건 철** 윤 여 두***
S. R. Suh S. N. Yoo H. D. Yim K. C. Shin Y. D. Yun

Summary

This study was carried out to analyze the characteristics of the color computer vision to discriminate apple surface color for grading apples by their color. It was intended to develop the techniques to be able to discriminate apple color as precisely as human inspection does. For the purpose, discrimination of apple color by human inspection was checked and justified ; various illumination methods for various frames of the color computer vision(R, G, B, H, S and I frames) were tested ; and several methods to analyze image informations of the color computer vision were tried to evaluate their ability to discriminate apple color close to the human inspection.

1. 서 론

노동집약적인 과수 농업 중에서 많은 노동력을 필요로 하는 작업의 하나는 수확한 과일의 선별 작업이다. 이에 따라 수종의 과일 선별기가 개발되고 일부 사용되어 왔다. 그러나 실용되고 있는 대부분의 과일 선별기는 주로 과일의 무게 또는 크기만을 고려하여 선별하므로 과일선별의 또 다른 주요 인자인 색깔과 손상 등이 기계적 선별 과정에서 고려될 수 없는 문제점이 있다. 사과 선별에 있어 그 표면 색깔은 사과 크기 못지 않게 매우 중요한 인자이나 관련 기계의 미개발

로 인하여 표면 색깔 식별을 위해서는 지금까지도 육안에 의존하고 있는 실정이다.

최근 컴퓨터 관련 공학의 분야로서 인공지능(artificial intelligence : AI)의 내용이 개발되고 있고 그의 주요 연구내용으로서 컴퓨터 시각(computer vision) 또는 기계시각(machine vision)이 등장하였다. 컴퓨터 시각은 농산물의 선별에 이용될 수 있을 것으로 예상되어 그에 관한 연구가 많은 과학자에 의해 수행되어 왔다. 이러한 연구를 살펴보면 Rehkugler 등(1985)은 컴퓨터 시각에 의한 사과 선별을 시도한 바 있고, Liao 등(1988)은 과일 표면의 특성을 분석하는

+ 이 논문은 1989년도 문교부 지원 한국학술진흥재단의 자유공부과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었음.

* 전남대학교 농과대학 농공학과

** 과수연구소

*** 국제종합기계(주)

알고리즘을 개발하였으며, Troop 등(1989)은 사과 내부 밀병(watercore)의 존재여부를 파악하는 수단으로, Miller 등(1989)는 복숭아 선별을 위하여, 그리고 Shearer와 Payne(1990)은 벨 페퍼의 색깔 선별을 위하여 컴퓨터 시각을 응용한 바 있다. 국내에서도 서 상룡 등(1989)은 묘목의 형태학적 성질 측정의 방법으로, 김성민(1990)은 사과의 색깔 판정을 위하여, 노상하 등(1990)은 과일의 기하학적 특성 파악을 위하여 컴퓨터 시각을 이용한 연구 결과를 보고한 바 있다. 이상 연구의 대부분은 흑백의 컴퓨터 시각장치를 이용한 연구이다. 최근 컬러 컴퓨터 시각 장치가 개발되어 물체의 색깔을 선별의 주요 인자로 하는 농산물 특히 사과 같은 과일류에 있어서는 그 이용 가능성이 매우 높은 것으로 예상되고 있다.

본 연구는 이상의 내용을 고려하여 기존의 사과 색깔 식별 방법인 육안 식별을 대신할 수 있는 컬러 컴퓨터 시각 개발을 위한 기초연구로서, 첫째 여러 명의 관찰자의 육안에 의한 사과 색깔 식별에 의해 육안에 의한 사과 색깔식별의 특성을 파악하고, 둘째 컬러 컴퓨터 시각에 의한 사과 색깔 식별시 조명의 영향을 분석하며, 셋째 육안과 컬러 컴퓨터 시각의 사과 색깔 식별 결과를 비교하여 컬러 컴퓨터 시각의 사과 색깔 식별 방법을 찾는 목적을 갖고 수행하였다.

2. 실험장치 및 방법

가. 실험장치

1) 컴퓨터 시각 장치

본 연구의 컬러 영상처리장치 구성요소로서 카메라는 Sony사의 비디오 카메라(모델명: CCD-F380)를 사용하였다. 본 연구에서 카메라의 셔터 속도는 1/60초, 초점 조절은 수동 조정, 백색 배런스는 수동 조정, 역광 보정 기능의 상태에서 카메라를 사용하였다.

영상 처리용 하드웨어는 Imaging Technology사의 Color Frame Grabber(CFG)를 사용하였다. 하드웨어 CFG는 아날로그의 천연색 영상을 적색 녹색 청색(이하 RGB라 칭함) 3가지 화면

으로 분해하고 각 화면은 512×480×8bit의 영상 데이터로 분해하도록 구성되어 있다. 이 CFG는 NTSC/PAL 방식의 디코딩/엔코딩 기능을 추가하여 본 연구에서 사용한 카메라의 영상 입력이 가능하도록 하였다.

이 영상처리용 하드웨어는 ITEX-CFG라는 소프트웨어와 함께 공급되고 있는데 이 소프트웨어는 C언어를 사용하도록 되어 있으며 그 내용은 200개 이상의 CFG 관련 함수로 구성되어 있다. 표색계(表色系)는 RGB 차원 외에 색상(hue), 채도(saturation), 명도(intensity) (이하 HSI라 칭함)로 나타내는 HSI 표색계가 있는데 CFG 소프트웨어는 RGB 표색계의 영상 데이터를 HSI 표색계의 영상 데이터로 또는 그 역으로 변환하는 함수를 가지고 있다.

영상용 모니터는 Electrohome사의 천연색 모니터(모델명: ECM1311)를 사용하였고, 컴퓨터는 IBM-AT 계열의 것을 사용하였다.

2) 조명 장치

컴퓨터 시각에 의해 물체를 검사하기 위해서는 물체 영상의 특성을 가능한 두드러지게 하고 배경은 가능한 단순화하여야 하므로 본 연구에서는 <그림 1>과 같은 조명장치를 설계 제작 하

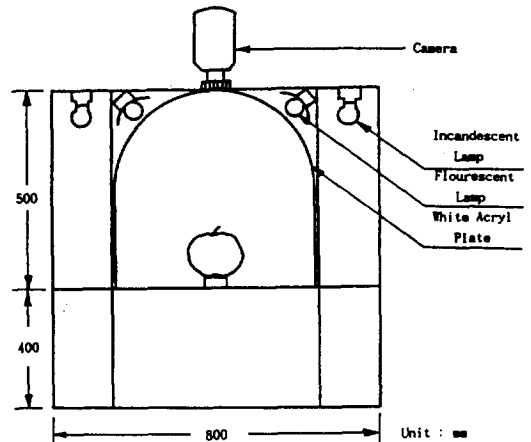


Fig. 1. Lighting apparatus for the computer vision

였다. 조명장치 설계의 주안점은 전구의 불빛이 가능한 난반사 되도록 하여 물체의 그림자가 형성되지 않도록 하였고, 물체에 대한 광량이 가능

한 균일하도록 한 점이다. 조명은 60 W 용량의 백열등을 좌우로 3개씩 설치하였고 전원은 가변 전압장치를 부착하여 전압조절에 따른 광량 조절이 가능하도록 하였다. 형광등은 20 W 용량의 것을 좌우로 1개씩 2개를 설치하였다.

나. 실험 방법

컴퓨터 시각에 의한 사과 색깔 식별의 정당성을 입증하기 위해서는 표준이 되는 사과 색깔 검사 기준이 있어야 하나 국내의 경우 이에 관한 기준은 아직 설정된 바 없다. 외국의 경우는 선별 기준이 되는 표준색을 결정하고 이를 기초로 하여 선별 작업을 수행하고(Rehkugler와 Troop : 1985, Miller와 Delwich : 1989) 있으나 사과 색깔이 품종과 사과가 달려 있는 위치에 따라 다르고 한개 사과에 있어서도 위치에 따라 그 색이 매우 다양하므로 사과 색깔의 검사 기준을 결정하는 것은 매우 어렵다. 결국 사과의 품위를 결정하거나 속도를 판단하기 위하여 사과의 색깔을 식별하는 유일한 방법은 육안에 의한 사과 색깔의 종합적인 판단이다. 그러나 육안에 의한 사과 색깔 판별 방법은 객관성이 의문시 되고 있으므로 본 연구에서는 먼저 육안에 의한 사과 색깔 식별시 관찰자에 따른 차이를 분석하여 육안에 의한 사과 색깔 식별의 타당성을 파악한 후 컴퓨터 시각의 사과 색깔 식별 실험에 사용할 가능한 객관성이 있는 사과 색깔의 표본을 구성하려고 하였다. 그리고 현재 국내에서 사과 착색을 위하여 자연착색 또는 착색 봉지를 사용한 착색 방법을 사용하고 있으므로 육안 식별 그리고 컬러 컴퓨터 시각의 식별에 있어 이상의 두

가지 착색 사과에 대한 차이점 여부도 확인하려고 하였다.

육안에 의한 사과 색깔 판별시 관찰자간의 차이를 파악하기 위한 실험은 1990년 전남 나주산 자연착색 사과 30개, 1991년 전남 나주산 자연착색 사과 25개, 1991년 충남 예산산 착색봉지 사용 사과와 자연착색 사과 각 20개, 1991년 전북 장수산 자연착색 사과 20개를 대상으로 하였다. 이상의 모든 실험용 사과의 품종은 후지이었으며 각 종류의 사과는 미숙한 사과부터 완숙한 사과가 속도별로 비교적 고루 섞인 것이었다. 실험은 이상 5개군의 사과를 3인의 관찰자로 하여금 사과 상부와 전체의 색깔에 따라 각 사과의 색깔을 비교하여 각 관찰자가 사과 속도 색깔의 수준에 따라 서열을 결정하도록 하는 방법으로 수행하였다.

컴퓨터 시각의 사과 색깔 식별 실험은, 첫째 사과 색깔 식별시 조명의 영향을 파악하기 위한 실험과, 둘째 사과 색깔 식별시 컴퓨터 시각 각 화면의 반응 특성 실험으로 구분하여 수행하였다. 조명의 영향을 파악하기 위한 실험은 <표 1>에 명시한 5종의 조명상태에서 수행하였으며 실험시 사용한 사과는 1991년 나주산 사과 20개이었다. 사과 색깔 식별시 컴퓨터 시각 각 화면의 반응 특성을 파악하기 위한 실험은 <표 1>의 조명방법중 B와 C에 의한 조명하에서 1991년 나주산 자연착색 사과 20개와 1991년 예산산 착색 봉지를 사용한 사과와 자연착색 사과 각 20개 그리고 1991년 장수산 자연착색 사과 20개를 대상으로 수행하였다.

Table 1. Various lighting methods for the experiments on the color computer vision

Lighting method	Light Sources *	Illumination(Lux)
A	Inc (60W)×6	2500
B	Inc (60W)×6	4000
C	Inc (60W)×6+Flu (20W)×2	4000
D	Inc (60W)×6+Flu (20W)×2	5500
E	Inc (60W)×6+Flu (20W)×2	7000

* Inc=Incandescent Lamp, Flu=Fluorescent Lamp

3. 사과색깔 식별 프로그램 구성

본 연구에서 개발한 사과선별 프로그램에서 화면으로 부터 사과 영상의 분리는 영상에 적합한 문턱값(threshold value)을 찾고 입력 LUT (Look Up Table)를 조정하여 영상의 배경을 이루는 화소값을 0으로 하고 영상 화소의 각 화소값은 원래의 값을 갖도록 하였다. 분리한 영상에 대해서는 체인 코드(chain code)를 적용하여 사과 영상내에 포함되는 영상의 화소수를 구하였다.

사과의 색깔을 선별하기 위한 영상의 평균 화소값은 사과의 윗면만을 대상으로 하여 구하였는데 이 과정에서 사과 꼭지부는 배제되도록 하였다. 그리고 사과 영상의 가장자리 부분은 입체인 사과의 곡면으로 인하여 빛의 반사특성이 사과 윗면의 반사 특성과 같지 않으므로 이 영역 또한 영상의 평균 화소값 결정시 제외하였다(김성민; 1990). 결과적으로 사과 영상의 평균 화

소값 결정시 고려한 사과 영상의 영역은 체인 코드 작업시 산출한 사과 영상 평균 지름의 40-90 % 범위였다. 영상의 평균 화소값은 R, G, B, H, S 및 I 6개 화면에서 각각 영상 화소값의 누적값을 영상의 화소수로 나누어 구하였다.

이상의 모든 컴퓨터 프로그램은 C 언어를 기본언어로 하였고 본 연구에서 사용한 영상처리용 하드웨어에 맞춰 개발된 많은 함수를 사용하여 구성하였다. 본 프로그램의 구성에 있어 체인 코드 작성법 등은 김성민(1990)의 연구 결과를 이용하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

가. 육안에 의한 사과 색깔 식별

육안에 의한 사과 색깔 식별시 관찰자간 차이를 검토하기 위하여 수행한 육안에 의한 사과 색깔 식별 실험 결과는 3명의 관찰자간의 사과

Table 2. Correlation between 3 inspectors' inspections of apple color by human vision

Apple Sample	Inspectors Compared	Correlation Coefficient	
		Top View	Whole View
1990-Naju Natural Coloring	A : B	0.9924	0.7188
	A : C	0.9693	0.9359
	B : C	0.9453	0.7806
1991-Naju Natural Coloring	D : E	0.9338	0.9368
	D : F	0.9474	0.8301
	E : F	0.9383	0.9489
1991-Yesan Envelope Coloring	G : H	0.9534	0.8842
	G : I	0.9669	0.8180
	H : I	0.9774	0.9654
1991-Jangsu Natural Coloring	G : H	0.9369	0.8917
	G : I	0.9819	0.9248
	H : I	0.9549	0.9729
1991-Yesan Natural Coloring	G : H	0.9519	0.8707
	G : I	0.9789	0.9083
	H : I	0.9564	0.8962

상부색깔과 사과 전체색깔별로 결정한 속도 색깔 서열을 이용하여 관찰자간의 상관계수를 구하는 방법으로 분석하였다. 이러한 상관계수 산출을 포함하여 본 연구에서 수행한 제반의 통계 처리는 STSC, Inc.의 통계 처리 패키지인 STAT-GRAPHICS를 이용하였다. <표 2>는 관찰대상 5개군 사과의 각 군별 분석 결과이다.

표에서와 같이 사과 상부색깔 관찰 결과는 5개 집단내의 사과군에 있어 공히 각 관찰자의 사과 색깔 서열간 매우 높은 상관계수를 갖는 것으로 나타났다. 사과 전체색깔의 관찰 결과는 사과 상부색깔의 관찰 결과 보다는 대체로 그 상관계수가 낮으나 역시 높은 상관관계가 있음을 알 수 있었다. 사과 전체색깔에 대한 관찰자간 상관계수가 사과 상부색깔에 대한 관찰자간 상관계수보다 낮은 이유는 사과 색깔의 육안 식별에 있어 사과 전체의 색깔을 비교하는 것이 사과 상부색깔을 비교하는 것보다 매우 어렵고 까다로운 작업이기 때문인 것으로 판단되었다.

<표 2>의 분석 결과를 종합하면 육안에 의한

사과 상부색깔 식별은 관찰자간 차이를 무시할 수 있는 수준이므로 육안에 의해 객관성 있는 사과 색깔의 순위 결정은 가능함을 알 수 있었다. 그리고 육안에 의한 사과 전체색깔 비교는 사과 상부색깔에 의한 식별보다는 바람직하지 않은 것으로 판단 되었다. 그리고 이러한 결과는 사과 의 착색방법 즉 착색봉지 사용 여부에 관계없이 적용할 수 있음을 알 수 있었다.

나. 컴퓨터 시각에 의한 사과의 색깔 식별

1) 사과 색깔 식별시 조명의 영향

컴퓨터 시각에 의한 사과 색깔 식별시 조명의 영향을 조사하기 위하여 5가지로 설정한 각 조명상태의 H, S, I, R, G 및 B 각 화면에서 사과 상부영상의 평균 화소값을 구하였다. 그리고 이 평균 화소값과 육안으로 식별하여 부여한 서열과의 상관관계를 관찰하기 위하여 두 데이터간 상관계수의 자승값(R^2)을 구하였다. <표 3>은 각 화면별로 다양한 조명방법에 따른 두 데이터간의 R^2 값을 나타낸 것이다.

Table 3. R^2 values in percent for the correlation between human vision and color computer vision for inspection of apple color at various lighting methods and color computer vision frames

Lighting Method	Frame of Color Computer Vision					
	Red	Green	Blue	Hue	Sat.	Inten.
A	15.98	90.68	8.12	88.14	83.29	57.97
B	27.34	87.23	1.59	86.98	76.88	61.64
C	53.74	85.90	0.01	75.73	85.47	72.13
D	48.66	83.93	0.57	75.23	86.02	69.67
E	44.15	92.29	0.31	83.46	86.44	73.74

조사 대상의 6종 화면에서 산출한 R^2 값은 표에서와 같이 조명방법에 따른 일정한 추세는 파악할 수 없었다. R 화면에 있어서는 백열-형광등 조명이 백열등만의 조명보다는 분명히 높은 R^2 값을 나타냈고, G 화면에서는 조명방법에 따른 R^2 값의 일정한 변화 추세는 찾아 볼 수 없었으며, B 화면에서는 거의 모든 조명조건에서 매

우 낮은 R^2 값을 기록함으로써 조명과 조도의 변화와 R^2 값간의 어떤 추세를 파악하는 것은 불가능하였다. H 화면의 경우는 백열등 조명방법이 백열-형광등 조명방법 보다 약간 높은 R^2 값을 보였고, S 화면에 있어서는 조명 변화에 따른 R^2 값 변화는 찾아 볼 수 없었으며, I 화면의 경우 조도가 증가함에 따라 산출한 R^2 값이 약간

증가하는 추세가 있는 것으로 판단 되었다. 이상의 결과를 종합하면 사과 색깔 식별시 각 화면에 있어 조명의 영향은 화면에 따라 차이가 있는 것으로 판단되었다. 따라서 컬러 컴퓨터 시각에 의한 사과 색깔 식별시 조명은 위의 실험 결과를 참조하여 각 화면에 적합한 조명 방법을 선택하여야 할 것으로 판단되었다.

2) 사과 색깔 식별시 각 화면의 특성

컬러 컴퓨터 시각의 단일 화면에 의해 사과 색깔을 식별할 경우 바람직한 화면을 <표 3>으로 부터 구한 결과 G, H, S 화면임을 알 수 있었다. 이는 육안으로 식별한 사과 색깔의 서열과 컴퓨터 시각으로 식별한 사과 색깔의 상관관계가 높게 나타난 화면이기 때문이다. 즉 G 화면의 경우 두 서열간 R² 값이 84-92%, H 화면의 경우 그 값이 75-88%, S 화면의 경우는 77-86%이었다. 반면, R 화면에 있어서는 16-54%, B 화면에 있어서는 불과 8.1% 미만이었고, I 화면에서는

58%-74%으로 분석되었다. 그리고 사과 색깔에 가장 둔감한 화면을 <표 3>으로 부터 구한 결과 이는 B 화면으로 나타났다.

일정한 조명 조건하에서 1991년 예산산 착색 봉지 사용 사과와 자연착색 사과 그리고 장수산 자연착색 사과에 대하여 사과 상부 색깔을 대상으로 수행한 사과 식별 실험 결과는 <표 4>와 같다. 표에 의하면 컴퓨터 시각에 의한 사과 색깔 식별시 식별 대상 사과의 착색 방법이 사과의 색깔 식별에 미치는 영향은 별로 없는 것으로 판단되었다. 이는 두가지 착색 방법에 대한 예산산 사과의 경우 착색 봉지 사용 사과에 대한 R² 값이 자연착색 사과보다 대체로 높게 나타났으나 예산산 착색봉지 사용 사과와 장수산 자연착색 사과의 경우는 R² 값이 대체로 거의 같은 크기로 분석 되었기 때문이다. 따라서 컴퓨터 시각에 의한 사과 색깔 식별시 육안에 의한 사과 색깔 식별의 경우와 마찬가지로 사과의 착색방법은 고려할 필요가 없는 것으로 판단되었다.

Table 4. R² values in percent for the correlation between human vision and computer vision for inspection of apple color of naturally and envelope colored apples

Color Frame	Yesan Envelope Colored	Yesan Naturally Colored	Jangsu Naturally Colored
Red	82.85	54.14	88.66
Green	90.91	89.89	91.51
Blue	4.60	2.43	54.83
Hue	70.96	73.71	76.41
Sat.	93.37	86.66	92.41
Inten.	89.60	78.66	91.67

G, H, S 세 화면 중 사과 색깔 식별에 가장 바람직한 화면을 이상의 두 실험 결과에 의하여 구하면 G 화면으로서, G 화면에 의한 사과 색깔의 식별 결과와 육안에 의한 식별 결과의 상관 정도는 90% 내외의 R² 값을 갖는 수준의 것이었다.

컬러 컴퓨터 시각의 R, G, B 각 화면은 일종의 분광광도계(spectro-photometer)로 볼 수 있으

며, 따라서 R, G, B 각 화면에서 얻은 화소값은 RGB 표색계(RGB color coordinates)의 좌표값에 해당된다. 이러한 표색계의 값으로 부터 피사체 발광도(lumiance)의 특성을 제외하고 순수한 색의 질만을 나타내기 위해서는 다음과 같은 수식에 의하여 각 색의 표준화 값(normalized value)을 구할 수 있다(윤일주 ; 1978, Miller and Delwiche ; 1989).

$$r=R/(R+G+B)$$

$$g=G/(R+G+B)$$

$$b=B/(R+G+B)$$

여기서, r, g, b는 색도좌표계(chromaticity coordinate)의 좌표값

1991년 나주산 사과의 조명 B와 C의 실험결과를 대상으로 이상의 수식을 이용하여 R, G, B 화면의 각 평균화소값으로부터 표준화 값인 r와 g를 구하였으며 그 결과를 각각 육안 식별 사과 서열과 비교하였다. R 화면의 표준화 값인 r의 값과 육안 식별 사과 서열과의 상관계수 제곱(R^2)을 구한 결과 B와 C의 두가지 조명광에 있어 각각 85.12%, 83.19%로서 R 화면 평균 화소값의 R^2 값인 27.34%, 53.74% 보다 월등히 높은 값으로 나타났다. 따라서 이러한 상관수준으로 볼 때 사과의 색깔 식별은 r값만으로도 가능함을 알 수 있었다. G 화면의 표준화 값인 g값의 경우는, 육안 식별 사과 서열과의 상관관계가 표준화 전의 G 화면 평균 화소값의 관계와 유사한 상관관계를 나타냈다. 그 R^2 값을 구한 결과 B와 C조명에 있어 각각 90.84%, 89.40%으로서 표준화 전 R^2 값인 87.23%, 85.90%보다 약간 높은 결과였다.

이상의 결과를 종합하면 R, G, B 화면 중 하나의 화면을 이용하여 사과를 색깔 식별할 경우 바람직한 화면은 R와 G 화면인데, R 화면의 경우는 표준화 작업이 필요하므로 결과적으로 R, G, B 3개 화면의 정보가 필요하여 식별에 요하는 시간이 길어지는데 식별의 수준은 R^2 값으로 판단할 때 G 화면 보다 낮은 수준이었다. 반면 G 화면의 경우는 구태여 표준화 과정없이 비교적 높은 수준의 식별이 가능하며 이의 표준화에 의하여 식별의 수준은 약간 향상시킬 수 있는 것으로 분석되었다.

3) R과 G 화면 정보의 복합 분석

사과의 색상은 적, 녹, 황색의 혼합으로 R, G, B 3개 화면의 정보를 복합할 경우, 사과 식별의 수준을 높일 수 있다는 가정을 할 수 있다. 본 연구에서 B 화면의 정보는 <표 3>와 <표 4>의 결과와 같이 사과의 육안 식별 순위와의 상관관

계가 거의 없으므로 이를 무시하고, R와 G 화면 정보만을 복합하여 분석하였다. 분석한 실험 데이터는 1991년 나주산 사과의 조명방법 B와 C에 대한 것으로서, 육안 식별 사과 색깔 서열을 종속변수 그리고 R-G 화면의 평균 화소값을 독립변수로 하여 2중 상관분석을 하여 R^2 값을 구하였다. 분석 결과 얻은 R^2 값은 조명 B와 조명 C에 있어 각각 88.66%, 85.57%로서 대체로 <표 3>의 G 화면에서 얻은 R^2 값과 유사하였다. 따라서 이와 같은 R-G 화면정보 복합 분석의 결과는 단순한 G 화면 정보만을 이용한 경우와 거의 같은 수준임을 알 수 있었다.

R-G 화면의 또 다른 복합 분석 방법으로서 이들 화면 평균 화소값의 표준화 값인 r와 g값을 이용하여 위와같은 방법으로 2중 상관 분석하였다. 분석 결과 얻은 R^2 값은 조명 B와 조명 C에 있어 각각 89.98%, 88.77%로서 위에서 설명한 표준화 전의 R-G 화면 평균 화소값으로부터 얻은 R^2 값과 거의 같은 크기의 것이었다. 따라서 R-G 화면 정보의 복합 분석은 그의 표준화 값을 이용하여도 G 화면 정보의 표준화 값인 g값 수준을 증가할 수 없음을 알 수 있었다.

위에서 분석한 실험 데이터인 r와 g값을 2차원 평면상에 나타낸 것은 <그림 2>와 <그림 3>이다.

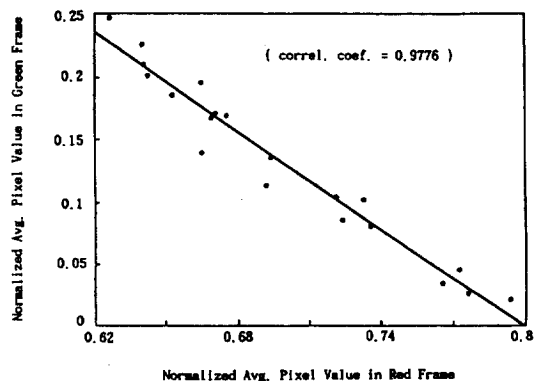


Fig. 2. Relationship between the normalized average pixel values of apple image in red frame and the values in green frame obtained at the B type lighting condition

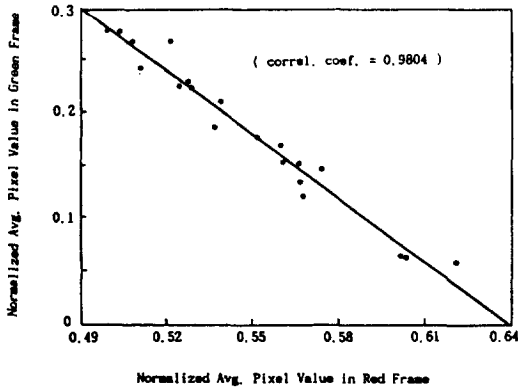


Fig. 3. Relationship between the normalized average pixel values of apple image in red frame and the values in green frame obtained at the C type lighting condition

그림과 같이 r-g 색도도 위에서 사과 색상의 r와 g의 관계는 선형 관계로서, 그들의 상관계수

를 구한 결과 절대값으로 각각 97.76%, 98.04%로 분석되어 사과의 경우 r값과 g값은 고도의 상관관계에 있음을 알 수 있었다. 따라서 사과 선별의 경우 r값과 g값의 복합해석은 의미가 없었으며 단순히 g값에 의해 식별하므로써 좀 더 육안 식별 결과에 접근할 수 있었다.

4) H, S, I 화면의 복합 분석

HSI 차원의 각 화면에서 평균 화소값과 육안으로 식별한 사과 색깔의 서열과의 상관수준은 <표 3>과 <표 4>에서 보인 바와 같이 RGB 차원과는 다르게 상관수준이 낮은 I 화면에 있어서도 상관수준은 R²의 최저값이 5.8% 정도의 크기였다. 본 연구에서는 이 점을 고려하여 1991년 나주산 사과 실험 결과를 이용하여 HSI의 3가지 화면의 평균 화소값을 독립변수로 하고 육안 식별 사과 색깔 서열을 종속변수로 한 2중 또는 3중 상관 분석을 하였으며, <표 5>는 이상의 분석결과를 나타낸 것이다.

Table 5. R² values in percent for the multiple correlation between human vision and color computer vision for inspection of apple color

Lighting method	Frames of Color Computer Vision			
	H-S	H-I	S-I	H-S-I
B	91.89	89.41	74.19	91.39
C	90.92	80.53	84.09	90.59

표에서와 같이 조명 방법에 따라 약간의 차이는 있으나 H-S 화면 평균 화소값의 복합 분석 결과는 H 또는 S 화면만의 분석결과 보다 높은 R² 값으로 나타났고, 이는 H-I 화면 또는 S-I 화면 평균 화소값의 복합 분석 결과보다 높은 R² 값을 나타냈다. 그리고 이러한 H-S 화면 복합 분석 R² 값은 표에서와 같이 H-S-I의 3개 화면 복합 분석의 R² 값 보다도 약간 높게 나타났다.

5) 분석방법 종합 검토

이상의 사과 색깔 식별을 위한 컬러 컴퓨터 시각 정보의 여러가지 분석방법을 육안 식별 결

과에 근접하는 순으로 정리한 결과, 첫째 H-S 화면의 복합분석, 둘째 H-S-I 화면의 복합분석, 셋째 G 화면 평균 화소값의 표준화 값인 g값에 의한 분석, 넷째 r-g 값 분석, 다섯째 R-G 화면의 복합분석, 여섯째 G 화면 분석의 순이었다. 그리고 이들 분석 방법에 의한 육안 식별 결과에의 접근 정도인 R² 값을 살펴보면, 첫째 순위인 H-S 화면 복합 분석 방법의 R² 값은 90.92% - 91.89%이고, 여섯째 순위인 단순 G 화면 분석 방법의 R² 값은 85.90% - 89.23%로서 큰 차이는 없는 것으로 나타났다.

컬러 컴퓨터 시각의 화면 분석에 있어 분석

대상 화면의 수가 증가하면 그에 상응하여 컴퓨터 분석 시간이 증가한다. 위에서 열거한 6가지 분석 방법에 있어 소요로 하는 화면수를 위의 순위로 나열하면 각각 2개, 3개, 3개, 3개, 2개, 1개이었다. 따라서 컴퓨터 시각 하드웨어의 기본 화면이 RGB 화면인 경우 빠른 분석 시간이 요구될 때는 G 화면만의 분석이 바람직하고, 정밀도가 중요한 경우는 G 화면 평균 화소값의 표준화 값을 이용한 분석 방법이 바람직한 것으로 판단되었다. 그리고 컬러 컴퓨터 시각 하드웨어의 기본 화면이 HSI 화면인 경우, H-S 화면 복합분석 방법은 작업의 정도(精度)와 소요시간 관점에서 가장 바람직한 분석 방법임을 알 수 있었다.

5. 결 론

컬러 컴퓨터 시각을 이용하여 육안에 의한 사과 색깔 식별을 대신할 수 있는 방법을 모색하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 가. 육안에 의한 사과 색깔 식별시 사과 상부 색깔 식별에 있어 관찰자간의 식별 차이는 무시할 수 있는 수준이므로 육안에 의해 객관성이 있는 사과 색깔의 순위 결정은 가능하다.
- 나. 컬러 컴퓨터 시각에 의한 사과 색깔 식별시 조명의 영향은 컬러 컴퓨터 시각의 R, G, B, H, S, I 6종 화면에서 각각 일정하지 않으므로 사용할 화면에 따라 적합한 조명을 선택하여야 한다.
- 다. 컬러 컴퓨터 시각의 R, G, B, H, S, I 6종 화면중 사과 색깔 식별시 가장 바람직한 단일의 화면은 G 화면이며, 사과 색깔에 대해 가장 둔감한 화면은 B 화면이다.
- 라. 사과 색깔 식별을 위한 컬러 컴퓨터 시각의 R-G 화면의 복합 분석 또는 R와 G 화면의 표준화 값인 r와 g값을 이용한 r-g 복합 분석 결과는 단순한 G 화면만을 이용한 분석 방법보다는 약간 우수하나 g값을 이용한 분석 방법에는 미치지 못한다.
- 마. 컬러 컴퓨터 시각의 기본 화면이 RGB 화면

인 컴퓨터 시각에 의해 사과 색깔을 식별할 경우 짧은 분석 시간이 요구될 때는 G 화면만의 분석이 바람직하고, 정밀도가 중요한 경우는 G 화면 평균 화소값의 표준화 값을 이용한 분석이 바람직하다.

- 바. 컬러 컴퓨터 시각의 기본 화면이 HSI 화면인 컴퓨터 시각에 의해 사과 색깔을 식별할 경우 바람직한 분석 방법은 H-S 화면의 복합 분석 방법이다.

參 考 文 獻

1. 김 성민. 1990. 화상처리 장치를 이용한 사과 색깔 판정. 석사학위논문, 서울대학교.
2. 노 상하, 유 관희, 김 일웅. 1990. 영상처리 시스템을 이용한 과일의 기하학적 특성 측정. 한국농업기계학회지 15(1) : 23-32.
3. 서 상룡, G. E. Miles. 1989. 컴퓨터 화상처리에 의한 묘목의 형태학적 성질 측정. 한국농업기계학회지 14(3) : 188-95.
4. 서상룡 외 3인. 1991. 컬러 컴퓨터 시각의 화면별 색깔 식별의 특성-정확도와 조명의 영향. 전남대학교 논문집 36 : 101-107.
5. 윤일주. 1978. 색채학 입문. 믿음사.
6. 日本 色彩學會. 1985. 新編 色彩科學 Handbook 5ed.
7. Miller, B. K. and M. J. Delwiche. 1989. A color Vision System For Peach Grading. Trans. of the ASAE 32(4) : 490
8. Rehkugler, G. E. and J. A. Troop. 1985 Apple Sorting with Machine Vision. ASAE Paper No. 85-3543.
9. Shearer, S. A. and F. A. Payne. 1990. Color and Defect Sorting of Bell Peppers Using Machine Vision. Trans. of the ASAE 33(6) : 2045-2050
10. Throop, J. A., G. E. Rehkugler and B. L. Upchurch. 1989. Application of Computer Vision for Detecting Watercore in Apples. Trans. of the ASAE 32(6) : 2087-2092.