

기계시각을 이용한 후지사과의 색 측정

Color Measurement of Fuji Apples using Color Vision System

이수희* 노상하*
정희원

S.H.Lee S.H.Noh

1. 서론

최근 전자산업의 발달로 기계시각을 이용한 시스템의 보급이 확산되었으며 농업 분야에도 이를 이용하여 농산물 선별, 로봇시각, 검사 등 각종 작업에서 기계시각이 응용되고 있다. 기계시각은 처리속도가 빠르고 주관적인 결정이 배제된다는 특성을 가지고 있으나 색 측정시 기계시각장치의 출력값은 시스템에 따라 각기 다르며 특히 켈러는 어떠한 상태로 시스템을 설정하였느냐에 따라 그 절대값은 다르게 나타난다. 한편 농산물에 있어서 색은 품종의 특성을 구분하는 것으로, 특히 선별에서 매우 중요한 인자로서 정확한 측정이 요구된다. 본 연구는 기계시각장치를 이용하여 색 측정의 가능성을 조사하고 농산물중에서 색 측정이 요구되는 작목중의 하나인 사과에 대해서 측정가능성을 조사하고자 하였다.

일반적으로 색은 광원의 특성과 물체의 재질 및 센서의 응답특성에 따라 결정되는 것으로 이를 측정하기 위한 표준방법이 정의되어 있다. 본 연구의 기본 가정은 광원과 센서의 특성이 표준 측정장비의 특성과 다를 지라도 항상 일정한 특성을 제공해 준다면 보정과정을 통하여 간접적으로 색 측정이 가능하리라고 판단하였다. 본 연구의 구체적인 목적은 다음과 같다.

1. 기계시각장치에 의한 색 측정모델을 개발하고
2. 표준색지를 대상으로 색 판정의 가능성을 조사하고
3. 최종적으로 후지사과의 색 측정 정확도 및 측정 방법을 제시하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

기계시각장치에 의한 색 측정의 가능성을 조사하기 위하여 우선 표준색지(DIC Color Guide, Japan)에 대한 색 측정 가능성을 조사하였다. 사용한 표준색지는 총 100매로 구성된 것으로서 각각의 색지는 한 장씩 끊어서 측정할 수 있는 구조로 되어 있다. 그리고 후지사과는 시중에서 구입하였으며 실험에는 총 100개의 사과를 사용하였다.

나. 실험장치

기계시각장치는 영상입력장치, 영상처리부, 주컴퓨터로 구성된다. 영상입력장치는 칼라 RGB CCD카메라(JVC, TK1070U, Japan)를, 영상처리부는 RGB 신호를 처리할 수 있는 켈

* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

러영상처리보드(Imagraph Prism, USA)를 사용하였으며, 주컴퓨터는 IBM PC호환기종(Pentium 166 MHz)을 사용하였다. 또한 직반사를 줄이기 위하여 편광필터를 렌즈의 전면부에 부착하였다. 그리고 조명장치는 현재 국내에서 판매하고 있는 3파장등을 측면에 9개씩 그리고 보다 균일한 광량을 얻기 위하여 전후면에 2개씩 부착하였고 고른 확산광을 얻기 위하여 백색아크릴을 조명 앞에 부착하였다. 한편 측색계(Minolta CR-200, Japan)를 사용하여 색지와 사과의 $L^*a^*b^*$ 값을 측정하였다.

다. 색 변환

본 연구에서는 $L^*a^*b^*$ 좌표계에 의한 색을 측정 목표로 하였다. $L^*a^*b^*$ 좌표계를 선택한 이유는 각각의 $L^*a^*b^*$ 값은 해석에 편리한 물리적인 의미를 가지고 있고 색차 측정이 가능한 색 좌표계이기 때문이다. $L^*a^*b^*$ 값은 C.I.E.에서 정한 XYZ의 3자극치에 의해 계산이 가능하며 한편 NTSC Receiver Primary System에서의 RGB는 XYZ 값과 다음의 선형적인 관계를 가지고 있다⁽²⁾.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.607 & 0.174 & 0.201 \\ 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.000 & 0.066 & 1.117 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_N \\ G_N \\ B_N \end{bmatrix} \dots\dots (1)$$

라. 색 측정모델 개발

표준광원과 측정센서를 사용하지 않는다면 정확한 색 측정은 사실상 불가능하다. 하지만 광원과 기계시각장치가 일정한 환경하에 있다면 색 변환을 통하여 간접적으로 색 측정이 가능할 것으로 생각하였다. 즉, 카메라에서 출력되는 RGB값을 NTSC Receiver Primary System에서의 $R_N G_N B_N$ 으로 변환할 수 있다면 XYZ를 얻을 수 있으며 최종적으로 $L^*a^*b^*$ 를 계산하는 것이 가능해진다. 결국 일정한 측정 환경이 주어진다면 색 측정모델을 사용하여 카메라의 RGB를 $R_N G_N B_N$ 으로 변환하는 것이 가능할 것으로 판단하였다.

색 측정모델로는 신경회로망을 사용하였다. 신경회로망을 사용한 이유는 색은 3차원 공간으로 나타나며 비선형적인 특성을 갖고 있으므로 선형적인 통계모델로는 측정에 많은 오차가 나타날 것으로 예상되기 때문이다. 신경회로망에 의한 색 측정 모델의 구성을 <그림 1>에 나타내었다.

신경회로망의 구조는 입력층의 노드를 3개, 은닉층의 노드 7개 그리고 출력층 노드 3개로 구성된 다층 구조로 하였다. 신경회로망의 학습은 일반화 역전오류학습 방법을 사용하였으며 학습을 0.9, 모멘텀 0.5로 평균제곱오차(MSE)가 0.0025 이하가 될 때까지 학습하였다. 입력데이터는 카메라에서 측정한 RGB 값으로 하였으며 이때의 NTSC Primary RGB값을 입력데이터에 대한 목표값으로 하였다. 입력 및 출력 데이터는 모두 0에서 1사이의 값을 갖도록 선형변환하였다.

마. 색 측정 실험

(1) 표준색지 구성

본 연구에서는 색 기준을 설정하고 색 측정의 가능성을 알아보기 위하여 표준색지를 구

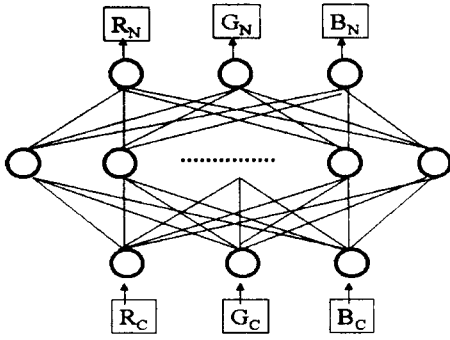


Fig. 1. Neural Network Structure for Color Measurement

성하였다. 표준색지 구성을 위하여 사과와 착색부위를 측정계로 측정하고 이것과 색차가 가장 적은 색지를 표준색지로 선정하였으며, 사과와 색택과 관련은 없지만 색 측정 공간을 확장하기 위하여 백색, 검정색 그리고 파란색을 포함시켰다. 표준색지는 총 28개로 구성하여 이를 색 기준 및 신경회로망의 학습데이터로 사용하였다. 한편 측정오차 분석을 위하여 학습에 사용하지 않은 100개의 색지를 임의로 선정하여 검증실험에 사용하였다.

(2) 표준색지 측정

선정된 표준색지는 측정계로 $L^*a^*b^*$ 값을 측정 후 색변환에 의해 $R_N G_N B_N$ 값을 구하였다. 한편 $L^*a^*b^*$ 계산에 사용되는 기준백색판(reference white)의 값($X_0 Y_0 Z_0$)은 측정계의 측정도설정에 사용되는 백색기준판을 카메라로 측정된 값으로 하였다. 카메라에 의한 RGB 값은 색지의 중심부위에 20×20 화소의 크기로 측정영역을 설정하고 이 영역내의 화소치를 평균한 값으로 하였다.

(3) 후지사과의 색 측정

사과에 대한 색 측정의 가능성을 알아보기 위하여 100개의 시료에 대하여 측정실험을 수행하였다. 사과와 측정부위는 착색(surface color)과 지색(ground color)을 각각 80 부위와 20 부위를 선정하였으며 각 부위에 대하여 측정계로 $L^*a^*b^*$ 값을 측정하였다. 사과에서의 색 측정실험은 먼저 형상에 의한 영향을 비교적 덜 받는 적도면을 측정 및 분석하고 이어서 굴곡이 있는 사과와 상부면에 대하여 색 측정실험을 수행하였다<그림 2>. 사과와 RGB 측정시 영상 중앙에 측정부위가 위치하도록 하였으며 자동 측정을 위하여 백색 페인트로 측정부위의 둘레를 표시하였다. 측정부위는 표시된 백색 페인트의 중심에서 10개 화소를 반지름으로 하는 원을 그리고 그 내부의 평균 RGB 값을 측정하였다.

한편 실제값과 측정된 값과의 차이를 분석하기 위하여 식 (2)와 같이 측정오차를 정의하여 계산하였으며, 반복간 오차를 조사하기 위하여 놓이는 자세를 조금씩 바꾸면서 3회 측정하였다.



Fig. 2. Color Measurement of Fuji apple

$$SEP = \sqrt{\frac{\sum(x_i - y_i)^2}{n - 1}} \dots\dots (2)$$

- x_i : measured color value
- y_i : predicted color value
- n : sample number

3. 결과 및 고찰

가. 기계시각장치의 특성

먼저 연구에서 사용한 기계시각장치의 특성을 알기 위하여 표준색지를 카메라로 측정했을 때 측정영역내의 화소치 변화를 살펴보았다. 그 결과 비록 단일 색으로 구성된 색지이지만 측정영역 내부는 4 ~ 6의 화소치 편차를 갖고 있는 것으로 나타났다. 이것의 가장 큰 원인은 조명의 불균일에 의한 것으로 간주되나 본 연구에서 시도하는 색 측정은 일정한 크기를 갖는 영역의 색 측정을 목적으로 하고 있으므로 평균 화소치에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 판단하였다.

나. 신경회로망에 의한 색 측정

28개의 표준색지 데이터를 학습한 후 100개의 검증용 색지에 대하여 $L^*a^*b^*$ 값을 측정하였다. <그림 3>은 신경회로망에 의해 측정된 $L^*a^*b^*$ 와 측색계에서 측정된 $L^*a^*b^*$ 값의 관계를 나타낸 것이다. 검증을 수행한 결과 예측값과 실제값 사이의 결정계수는 $L^*a^*b^*$ 각각 0.988, 0.628 및 0.744를 보여주었고 이 결과는 L^* 값의 측정 즉, 명암의 측정만이 가능한 것으로 나타났다.

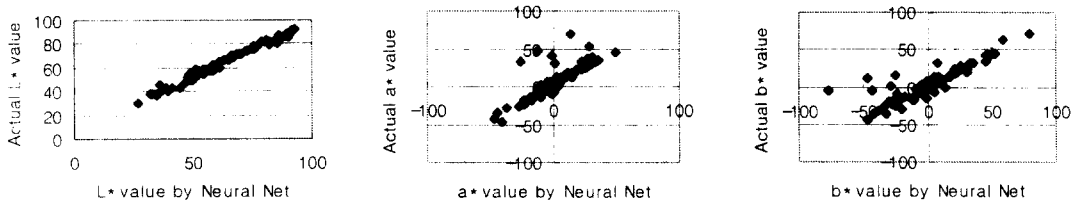


Fig. 3. Result of Color Measurement by Neural Network

한편 검증용 이외의 색지로 추가검증실험을 수행한 결과 측정된 a^* , b^* 값은 실제값과는 많은 차이가 있었다. 결국 28개의 표준색지만으로는 신경회로망에 의한 색 측정에 한계가 있으며 색 공간을 균등하게 나타내는 표준색지를 재구성하는 것이 필요하다고 판단하였다.

다. 표준색지 재구성

앞서 실험에서 표준색지를 재구성하는 것이 필요하다는 판단아래 가급적 다양한 색 및 단계별 색을 갖도록 96개의 색지로 표준색지를 재구성하였다. 표준색지는 사과 색과 유사한 색, 단계별 녹색과 빨간색 그리고 앞서 언급한 백색과 검정색 및 파란색을 추가하여 가능한 넓은 색 범위를 갖도록 구성하였다. <그림 4>는 학습에 사용한 96개의 표준색지의 색 분포를 나타낸 것이다.

라. 재구성한 표준색지에 의한 색지 측정

색지를 재구성하여 학습을 수행하고 검증용 색지에 대하여 색 측정실험을 수행하였다.

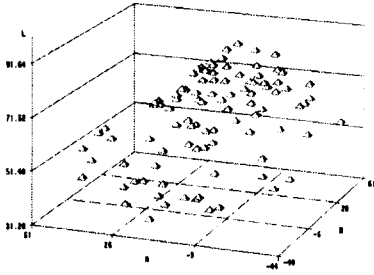


Fig. 4. Color Distribution of Standard Color Paper

Table 1. Result of Color Measurement in Color Papers

Color	R ²	SEP
L*	0.993	1.9
a*	0.993	1.9
b*	0.986	2.6

<표 1>은 검증결과를 나타낸 것으로 L*a*b* 모든 값에 대하여 결정계수 0.98이상과 3.0 이하의 측정오차를 갖는 것으로 나타났다. 또한 색 공간에서의 측정오차를 알아보기 위하여 측정값과 실측값 사이의 색차를 나타내는 ΔE를 계산하였으며 그 결과 평균 3.2의 색차를 갖는 것으로 나타났다. 결국 측정오차 및 색차의 크기를 고려할 때 재구성한 표준색지에 의한 색 측정은 충분히 가능하다고 판단하였다.

마. 후지사과의 색 측정

표준색지를 학습한 결과를 이용하여 이번에는 후지사과의 측면 착색부위를 측정하고 이를 실제 데이터와 비교하였다. <그림 5>는 측정 데이터간의 관계를 <표 2>는 측정오차 및 반복간 정확도를 나타낸 것이다.

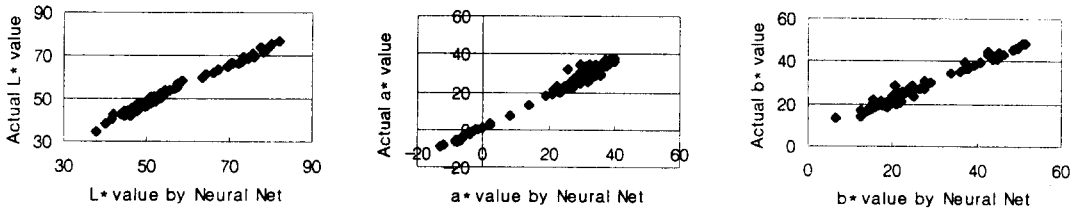


Fig. 5. Color Measurement by Neural Network in Fuji Apples

측정 결과 사과측면 부위에 대해서는 색지보다는 정확도가 낮으나 결정계수 0.97이상, 측정오차 3.5 이하로 측정이 가능하였다. <그림 5>는 L*a*b* 값 각각에 대한 실측값과 측정

Table 2. Result of Color Measurement in Fuji Apples

Test	L*		a*		b*	
	R ²	SEP	R ²	SEP	R ²	SEP
1	0.989	3.2	0.978	3.2	0.973	2.6
2	0.982	3.4	0.975	2.5	0.974	2.2
3	0.987	3.1	0.976	3.0	0.975	2.4

값의 관계를 나타낸 것으로 사과의 착색과 지색이 뚜렷하게 구분되어 있는 것을 볼 수 있다. 측면 부위의 측정은 반복간 차이도 크지 않은 것으로 나타나 측면부위의 형상이 굴곡이

없는 평탄한 부위라면 그 부위의 색 측정은 충분히 가능하다고 판단되었다.

다음은 굴곡이 있는 사과 of 윗면 부위에 대하여 색 측정을 실험하였다. 측정 결과 $L^*a^*b^*$ 값에서 결정계수는 각각 0.974 0.969 0.976을 그리고 측정오차는 4.8 3.5 2.1을 갖는 것으로 나타났다. 이 결과는 측면 측정에서의 결과보다 비교적 큰 오차를 보여준 것으로 그 원인은 형상에 의한 반사 특성의 변화로 여겨진다. 한편 측정값과 실측값의 차이를 분석한 결과 a^* 와 b^* 값은 편차의 경향성이 관찰되지 않았으나 L^* 값은 측정값 전부 실측값보다 작아지는 것을 보여주었다<그림 6>. 결론적으로 사과의 측면과 같은 비교적 평탄한 부위에 대한 색 측정은 충분히 가능하나 상부면과 같이 굴곡이 있는 부위의 색 측정에는 형상에 따른 반사특성을 구명하는 것이 보다 정확한 색 측정을 위해 필요할 것으로 판단되었다.

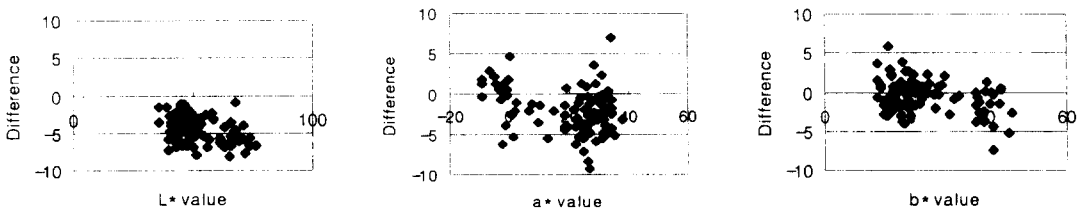


Fig. 6. Characteristics of Color Measurement in Fuji Apples(Upper Area)

4. 요약 및 결론

본 연구는 컬러기계시각장치와 신경회로망 색 측정모델을 이용하여 후지사과의 색 측정의 가능성을 조사하고자 하였다. 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 일정한 조명조건하에서 다양한 색 데이터를 학습한 신경회로망은 색지의 색을 정확히 측정할 수 있는 것으로 나타났다.
2. 비교적 굴곡이 적은 사과의 측면부위에 대한 색 측정 결과 측정오차는 $L^*a^*b^*$ 값에서 모두 3.5 이내인 것으로 나타났으며 반복간 차이는 없었다.
3. 측정부위가 곡면을 이루고 있는 사과 상부에 대한 측정에서는 $L^*a^*b^*$ 값에서 ± 5 이내의 범위내에서 측정이 가능하나 보다 정확한 측정을 위해서는 형상이 색 측정에 미치는 영향을 분석해야 할 것으로 판단된다.

5. 참고문헌

1. Billmeyer, F. W. and M. Saltzman. 1966, Principles of Color Technology. Willey
2. Jain, A. K. 1989, Fundamentals of Digital Image Processing, Prentice Hall
3. Miller. M and R. Zaucha. 1995, The Color Mac. Hayden Books
4. Mohsenin, N. N. 1984, Electromagnetic Radiation Properties of Foods and Agricultural Products. Gordon and Breach Science Publishers
5. 김인성 역. 1996, 색채화상공학. 세진사