

칼라 컴퓨터 시각시스템과 신경회로망을 이용한 소고기 육색 자동판정 시스템 개발을 위한 기초 연구

Basic Research for the Development of Automatic Color Grading System for the Beef Carcass Based on Color Computer Vision and Neural Network

김정희* 최 선* 한나영* 고명진* 황 현*
C. H. Kim S. Choi N. Y. Han M. J. Ko H. Hwang

1. 서론

육색은 육류의 영양, 풍미 또는 기능적 특성을 반영하지는 않지만 실제적으로 육류 구입에 있어 소비자의 기호성에 관여하는 중요한 품질 특성 중 하나로, 소매점에서의 저장 기간을 결정하는 지표이다(김 등, 2000[1]). 또한 육색은 소비자의 구매 욕구를 증진 또는 감소시키는 일차적인 요인이자 가장 중요한 관능 특성(정 등, 1998[2]) 중 하나이다.

육색과 지방색은 소고기의 품질등급을 결정하는 주요 인자이며 식육의 색은 pH, 온도, 산소 분압, 지질의 산화, 미생물, 도살 전의 스트레스 등 여러 요인의 상호 작용으로 변화하고 전체적인 적색도는 근육 내의 지방이 증가할수록 현저히 증가한다(Ito, 1992[3]). 이 중 육색은 크게 적자색, 선홍색, 갈색으로 나눌 수 있고(Govindarajan, 1997[4]), 농림부 산하 축산물등급판정소는 육색 등급을 보다 세밀하게 총 7개의 단계로 나누고 있다. 지방색은 사료, 나이, 영양

섭취 상태에 따라 변할 수 있으며 흰색에서 진한 노란색까지 역시 총 7개의 단계로 나뉜다([5]).

육류 등급제의 주목적은 도매 단계에서 육질·육량에 따른 등급을 체계화하여 고품질화를 유도하고, 이 등급이 소비 단계까지 연계되어 국산육의 경쟁력을 확보하고 소비자의 신뢰를 구축하고자 함이다(이 등, 1995[6]). 근래 들어 식생활의 수준이 높아짐에 따라 고품질의 안전한 먹거리에 대한 요구가 급속히 높아져 우육 전체량 뿐 아니라 고급 우육의 비율까지도 공급·수요 양면에서 증가하고 있는 추세이다.

현재, 소고기 등급판정을 위한 육색과 지방색에 대한 검사는 숙련된 등급판정 전문가의 육안검사에 의존하고 있으며, 기준이 되는 색지와 13번째 갈비의 단면에서 나타나는 색을 상호 비교하여 등급을 판정하고 있다. 육안에 의한 색 판정은 주관적이며 조명에 의한 효과가 매우 크다. 또한 색상에 대한 판단에 있어 대상체의 주변 색상에 의해 영향을 받는다. 이외에도 육안에

*성균관대학교 생명공학부 바이오메카트로닉스학과

의한 판단은 전문가 개개인의 경험적 지식에 의하고 판정의 차이를 보일 수 있고 정신적 상태, 육체적 피로 등으로 인하여 객관성과 일관성이 떨어지는 단점이 있다. 비록 등급판정 전문가가 판정을 한다고는 하나 판정의 주관적 측면과 육안 판정으로 인하여 생길 수 있는 앞에서 제시한 문제점들을 근본적으로 해결할 수는 없다. 따라서 소 생산자들에게는 등급에 따른 객관적 정량적 데이터를 제공하여 판정 결과에 대한 이의 및 반발을 방지하여야 한다. 객관적이고 체계적인 등급 판정체계를 구축하기 위해서는 등급판정에 영향을 미치는 인자들에 대한 정성적 평가를 정량화 하는 시스템의 개발이 필요하며, 실제 현장에서 등급 판정 시스템을 적용할 수 있는 등급 판정 자동화 시스템의 개발이 필요하다.

대상체의 색상을 정밀하게 측정하는 장치로 색차계가 많이 사용되고 있다. 색차계를 이용하면 일정한 텅스텐 광원 하에서 대상체의 색을 정량적으로 표현하는 CIE L*a*b* 값을 얻게 된다. 측정하는 대상 공간이 좁은 범위로 한정되어 있으며, 측정 대상 물체는 균일한 색상과 반사도를 가져야 정확한 측정이 가능하다. 이러한 점에서 색차계를 이용하여 13번째 갈비 단면의 지방색과 육색을 판정하기에는 갈비 단면이 살코기와 지방으로 구성되어 표면 반사도가 균일하지 않을 뿐 아니라, 측정 범위의 색상이 불균일하여 비효율적이며 지방과 살코기를 완전히 분리하여 측정할 수 없는 경우에는 오차가 크게 발생할 수 있다.

본 논문에서는 칼라 컴퓨터 시각시스템을 이용하여 소의 13번째 갈비 단면의 육색과 지방색을 자동으로 측정하기 위한 기

초 연구를 수행하였다. 본 연구에서는 칼라 카메라의 색상 출력 값인 RGB(red, green, blue) 값에 대한 자체 보정 및 조명에 따른 색상 출력값의 차이를 보정하기 위하여 신경회로망에 의한 학습을 통하여 RGB 값을 CIE L*a*b* 값으로 변환하였다.

이러한 연구는 13번째 갈비의 단면 영상으로부터 살코기와 지방을 분리한 후 각각의 RGB 평균값을 CIE L*a*b* 값으로 변환하기 위해서 필수적으로 요구된다. 더불어 영상 처리에 의한 등급 판정은 육색, 지방색, 근내 지방도, 살코기의 크기 등에 대한 육안 측정을 대신하여 등급판정 전문가에게 객관적이고 일관성있는 정량적 데이터를 제공하여 등급판정의 신뢰도를 향상시키게 된다.

2. 재료 및 방법

2.1 육색과 지방색

신선한 우육의 육색은 선홍색을 띄고 윤기가 있다([5]). 선홍색은 육색소와 그리고 윤기는 수분과 관련이 있다. 육색소는 80~90% 이상이 미오글로빈에 의존하는데, 이는 다른 붉은 색을 내는 육색소인 헤모글로빈이 방혈로 급격히 감소하기 때문이다. 미오글로빈의 환원, 산소화 및 산화 반응에 따라 적자색, 선홍색, 갈색으로 육색이 변화한다. 적자색인 육류를 공기에 노출시키면 공기 중의 산소와 미오글로빈이 결합하여(산소화) oxymyoglobin이 합성되고 선홍색은 증가한다. 그러나 공기 중으로 노출이 심화되면 우육 내의 미생물 등에 의한 산화 반응으로 metmyoglobin이 합성되고 육색은 갈색으로 변한다(Govindarajan, 1997[4]). 이

러한 육색의 변화를 표색계로 표현하면 RGB 표색계의 적색과 관련하는 R값은 산소화로 증가하고, 산화 반응으로 감소하며, G와 B는 이러한 반응과 거의 무관하다(조 등, 1998[7]). 또한 CIE의 L*a*b* 표색계에서도 적색도인 a*값도 마찬가지로 변화하며 특히 a*의 경우 육색을 결정하는 데 중요한 역할을 한다(김 등, 2000[1]).

산소 외에도 pH, 지방산패도(TBARS) 등도 신선육의 육색 변화에 관여하는 요인들이다(Cornforth, 1994 [8]). 지방색은 우윳빛을 내면서 윤기가 있는 것이 좋다. 지방은 산화할수록 진한 노란색을 띤다.

2.2 CIE L*a*b*

L*a*b*는 국제 조명 위원회(CIE, Commission International de l'Eclairage)에서 색채 표준을 국제적으로 정의하기 위하여 제정한 것이다. 그림 1에서 보듯이 명도인 L(L*=0:black, L*=100:white)가 세로축을 이루고, 색상인 ±a (+a:red, -a:green), ±b(+b:yellow, -b:blue)을 사방으로 하는 원이 모여 전체적으로 구의 형태를 띤다. 명도축과 직각으로 (적도와 평행하게) 자른 단면에서 중심으로 갈수록 채도는 떨어져, 색상, 명도, 채도를 모두 표현할 수 있다.

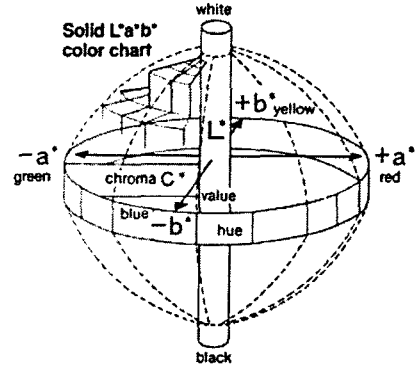


Fig. 2 L*a*b* color chart.

L*a*b*와 여타 표색계들과의 차이점은 다음과 같다. L*a*b* 표색계의 표현 영역은 다른 표색계가 표현할 수 있는 범위를 포괄하며 색을 정량화시켜서 표현할 수 있다. 또한 두 색의 차이인 색차(ΔE)를 수치화시켜 표현할 수 있다. 표 1과 같이 색차가 0~1.5 이내의 경우는 두 색이 근소한 차이가 있음을 나타내며, 1.5~3.0 이내는 감지할 수 있을 정도의 차이, 3.0~6.0은 현저한 차이, 그리고 12.0 이상은 다른 계통의 색을 의미한다 (Minolta Manual). 색차를 구하는 식은 다음과 같다.

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Table 3 Delta E

ΔE	Color Difference
0~0.5	Trace
0.5~1.5	Slight
1.5~3.0	Noticeable
3.0~6.0	Appreciable
6.0~12.0	Much
12~	very much

2.3 측정장치

색상 측정을 위하여 그림 2와 같은 손잡이가 달린 그리고 링형의 LED 조명과 마이크로 칼라 interlace 스캔 CCD 카메라(CV-735, JAI)가 부착된 영상획득 시스템을 개발하였다. 카메라 둘레로 설치한 링 형태의 white LED에 우윳빛 디퓨저(diffuser)를 덧씌워 집중광을 방지하였다. 손잡이에는 스위치 버튼을 부착하여 버튼의 누름 동작으로 영상을 획득하도록 하였다.

영상획득 및 처리 시스템(그림 3)은 영상획득용 프레임그래버(Matrox Meteor2 frame grabber)와 영상처리용 컴퓨터(Pentium-3, 700MHz) 그리고 12인치 TFT 터치 패드 디스플레이 스크린으로 구성하였다.

2.4 재료

크기 60x60x10(mm)의 폼 보드에 아크릴 칼라 물감을 사용하여 육색과 지방색을 포함하는 그림 4와 같이 색지 template를 제작하였다. 육색을 측정하기 위한 적색 계열은 가능한 모든 육색을 나타내기 위하여 연한 복숭아 색으로 부터 연한 분홍, 진하고 어두운 검 붉은색, 갈색까지 총 101개를 제작하였다. 가능한 모든 지방색을 측정하기 위하여 백색 계열 역시 마찬가지로 흰색에서 노란색, 살구 색까지 총 90개를 제작하였다.

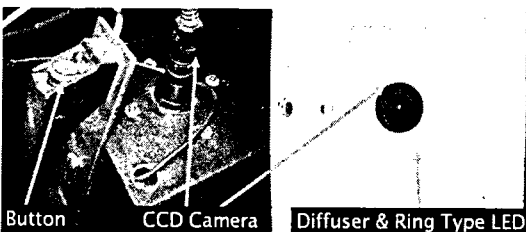


Fig. 2 Hand held image acquisition device.

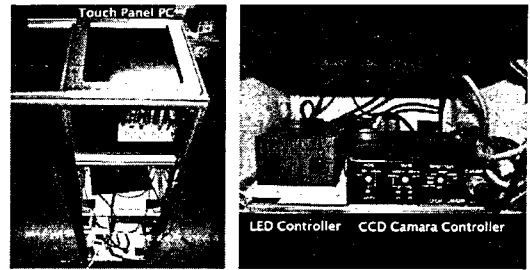
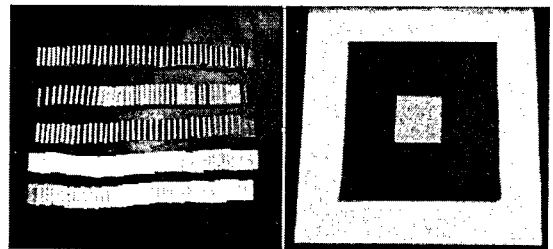


Fig. 3 Mobile frame with touch panel PC and controllers of lighting and camera.

크기 300x300x10(mm)의 폼 보드 중앙에 구멍을 뚫어 색지 template를 끼워 넣을 수 있도록 하였으며, 구멍 주위로 200x200(mm)크기로 검은 아크릴 물감을 칠하여 주변 반사에 의한 색의 간섭을 최소화 하였다.

기준이 되는 L*a*b* 데이터를 얻기 위해 색차계(Minolta사 CR-310)로 색측을 실시하였다. 색지 template의 임의 장소에 반복하여 3회 측정하였으며 색지 template 10개를 측정할 때마다 한 번씩 보정판(calibration plate)을 이용하여 재 보정하였다.



(a) Color Templates
(b) Fixed Template
Fig. 4 (a) Color Templates
(b) Fixed Template

2.5 인공 신경망을 이용한 색표계 변환
칼라 영상시스템을 이용하여 얻은 색지

template 영상으로 부터 RGB 평균값을 측정 한 후 RGB값을 CIE XYZ 값으로 식 1을 이용하여 변환하였으며 이를 다시 L*a*b* 값으로 바꾸어주는 변환식(식 2)을 사용한 결과 색차계를 이용하여 측정한 L*a*b* 값과 차이가 있는지를 실험하였다. CIE X_nY_nZ_n 값은 미놀타 사의 기준 흰색 평판의 영상을 5회 반복하여 획득한 후 이들 RGB의 평균값을 변환식에 대입하여 구하였다.

이러한 표색계 변환에 인공 신경망을 이용한 바가 있다. 하지만 소고기의 육색과 지방색의 구현에 있어서 만족스럽지 못한 학습결과를 보였다. 이는 학습에 사용한 샘플이 대상 색상영역의 표색변환에 적절하지 않아 초래한 결과로 판단되었다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.607 & 0.174 & 0.201 \\ 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.000 & 0.066 & 1.117 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_n \\ G_n \\ B_n \end{bmatrix}$$

----- Eq.1

$$L^* = 25 \left(\frac{100Y}{Y_n} \right)^{1/3} - 16 \quad (1 \leq 100Y \leq 100)$$

$$a^* = 500 \left[\left(\frac{X}{X_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} \right]$$

$$b^* = 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_n} \right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_n} \right)^{1/3} \right]$$

----- Eq. 2

본 연구에서는 샘플 template의 색상계열을 소고기의 색상과 유사한 영역으로 한정시켜 제작하였다. 이들 샘플 template 중 적색 계열 70개와 백색 계열 70개를 학습에

사용하였고 다른 적색 계열 15개와 백색 계열 15개를 학습 결과의 일반화 효과 검정을 위하여 사용하였다. 신경회로망으로는 오차 역전달다층신경회로망을 사용하여 MatLab을 이용하여 학습성능을 시험하였다. 은닉층은 4층으로 각각 10개, 10개, 10개, 4개의 처리 노드(node)를 갖도록 하였다. 입력층은 RGB의 3개의 처리 노드로 그리고 출력층은 L*, a*, b*의 3개 노드로 구성하였다. 입출력의 비선형성과 범위(-1~1)를 고려하여 전달함수로는 tangent hyperbolic sigmoid 함수를 사용하였으며 학습률은 0.05로 하였다. 최종 오차한계는 10⁻⁷로 하였고 학습 횟수는 1000회로 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

본 논문에서는 우육의 육색과 지방색에 해당하는 총 191개의 색상 template를 제작하여 CCD카메라로 RGB값을, 색차계로 L*a*b*값을 얻었다. RGB값과 L*a*b*값은 삼자극치인 XYZ를 통해 변환할 수 있으나, 실제 변환시에는 비선형적인 오차를 보였다.

그림 5는 각 샘플 template별 a* 값의 계산값과 실측값과의 차이를 보여준다. 샘플 template별 a* 값의 계산값과 실측값과의 오차는 비선형적 특성을 보였다.

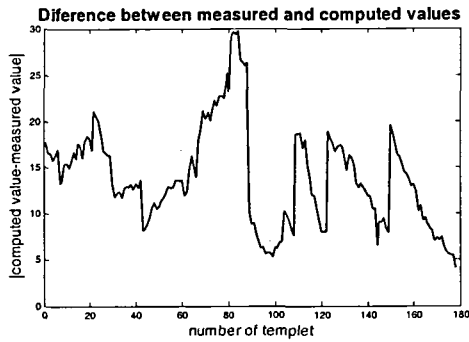


Fig. 5 Difference between measured and computed values of a^* for sample color templates.

이러한 오차는 카메라의 CCD 센서 특성, 프레임 그래버의 정량화에 따른 오차, 조명 문제, 색차계의 오차, 측정실험 오차 등 다양한 원인에 기인한다고 판단되었다.

오차를 제공하는 다양한 인자들에 대한 특성을 분석하고 이를 직접 보정하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 이러한 오차를 효과적으로 보정하고 획득 영상으로부터의 RGB 값을 $L^*a^*b^*$ 값으로 효율적으로 변환하기 위하여 인공 신경망을 이용한 색좌표계 변환 방법을 제시하였다.

특히 본 연구에서는 향후 소고기의 육색과 지방색의 정량화에 사용할 수 있도록 샘플 templet의 색상계열을 소고기의 색상과 유사한 영역으로 한정시켜 제작하였다.

신경회로망의 표색변환 학습 결과 학습 샘플에 대해서는 색차계로 측정된 $L^*a^*b^*$ 와 제시한 인공신경망을 이용한 $L^*a^*b^*$ 출력값과는 0.5 내의 RMS(root mean squared) 색차 ΔE 를 보였고 1.68의 최대 색차오차를 보였다. 학습하지 않은 색상 templet에 대해서도 0.5내의 RMS 색차 ΔE 를 보였고 0.6의 최대 색차오차를 보였

다. 이 정도의 색차는 동일한 색으로 판단 가능하였으며 (Nihon dennshoku 자료실) 향후 소고기의 육색과 지방색의 정량화에 성공적으로 적용할 수 있을 것으로 판단되었다.

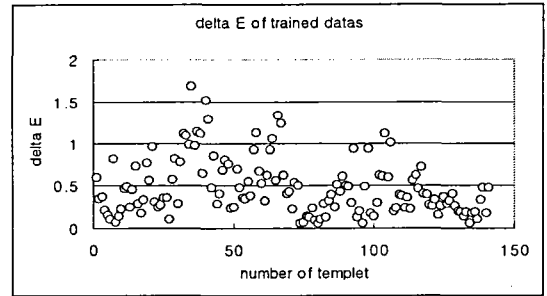


Fig. 6 delta E of trained datas

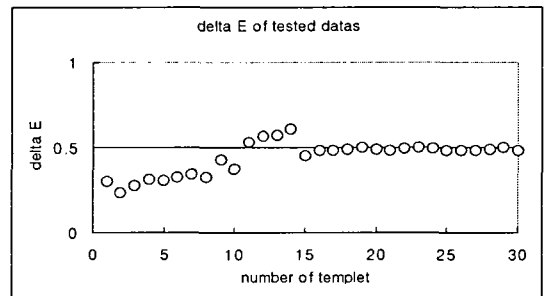


Fig. 6 delta E of tested datas

4. 요약 및 결론

색차계를 이용한 소고기 육색과 지방색의 측정은 소고기의 단면이 다양한 육질로 구성되어 있어 살코기의 육색과 지방색을 분리하여 독립적으로 측정할 수 없다는 단점이 있다. 이를 해결하기 위하여 칼라 영상처리시스템을 이용하여 획득한 영상의 RGB 값으로부터 CIE $L^*a^*b^*$ 를 산출할 수 있는 방법을 제시하였다. 영상으로부터 얻은 RGB 값을 입력으로 하는 신경회로망 출력값 $L^*a^*b^*$ 는 색차계로 측정된 $L^*a^*b^*$

값과 비교하여 색차 0.5내의 만족스러운 결과를 보여 주었다.

향 후 소고기의 육색과 지방색을 정량화하는 데 있어서 13번째 갈비의 단면 영상으로부터 살코기와 지방 영역을 분리하여 이로부터 산출한 평균 RGB 값으로부터 보다 객관적인 L*a*b* 값을 산출하는 것이 가능하게 되었다. 또한 영상처리를 통하여 영역별 L*a*b* 값을 구하는 것이 가능하게 되었다. 영상처리시스템과 신경회로망을 이용한 색좌표계 변환은 등급판정의 영역이 되는 살코기의 근내지방색 그리고 살코기색의 정확한 측정을 가능하게 한다.

[8] Comforth, D. P. 1994, Color:Its basis and importance. In Quality Attributes and Their Measurement in Meat, Poultry and Fish Products, A. M. Pearson and T. R. Dutson(Ed), Blackie academic& Professional, London, p39

5. 참고 문헌

- [1] 김용선, 김주용, 양성운, 이성기, 2000, 진열 조건 중 조도 변화에 따른 한우육의 표면 육색 변화, 동물자원지 42(6)
- [2] 정인철, 문귀임, 김기영, 김미숙, 이교연, 강세주, 1998, 수분함량, 상대습도 및 pH가 냉장우육의 색도 및 색소에 미치는 영향, Koean j. Food & NUTR Vol.11
- [3] 伊藤 良, 1992, 牛肉の色調に影響を及ぼす要因, 食肉の科學, 33, 173
- [4] Govindarajan, S. 1973 Fresh meat color. Crit. Rev. Food Technol., 4, 117
- [5] 축산물등급판정소, 축산물등급판정 세부 사항, 2004
- [6] 이병오, 정찬길, 1995, 육류등급제의 경제효과와 소비단계 정착방안
- [7] 조성인, 배영민, 강인성, 이무하, 1998, 영상처리와 가시/근적외선 분광 분석법을 이용한 육류의 저장 시간 예측, 한국농업기계학회 하계학술대회논문집, 3(2)