바이오시스템공학 (*J. of Biosystems Eng.*)
Vol. 32, No. 3, pp. 160~165 (2007)

소고기 육색 등급 자동 판정을 위한 기계시각 시스템의 칼라 보정 및 정량화

김정희 최 선 한나영 고명진 조성호 황 헌

Quantization and Calibration of Color Information From Machine Vision System for Beef Color Grading

J. H. Kim S. Choi N. Y. Han M. J. Ko S. H. Cho H. Hwang

Abstract

This study was conducted to evaluate beef using a color machine vision system. The machine vision system has an advantage to measure larger area than a colorimeter and also could measure other quality factors like distribution of fats. However, the machine vision measurement is affected by system components. To measure the beef color with the machine vision system, the effect of color balancing control was tested and calibration model was developed. Neural network for color calibration which learned reference color patches showed a high correlation with colorimeter in L*a*b* coordinates and had an adaptability at various measurement environments. The trained network showed a very high correlation with the colorimeter when measuring beef color.

Keywords : Beef color, Neural network, Beef grading, Machine vision system, Color calibration

1. 서 론

육류 등급제는 육질·육량에 따라 도매 단계부터 등급 부여를 체계화하여 고품질화를 유도하고, 소비자의 구매에 지표를 제시하며, 국산육의 경쟁력을 확보하여 소비자의 신뢰를 구축함에 그 목적을 둔다(Lee and Chung, 1996).

육색과 지방색은 소고기의 육질을 결정하는 주요 인자로서 산성도, 산소 분압, 지질의 산화, 미생물, 나이, 영양 상태 등을 반영한다. 축산물 등급 판정소는 육색과 지방색 등급을 각각 총 7개 단계로 나누었다. 검사는 기준이 되는 색지와 13번째 갈비의 단면에 나타나는 색을 서로 비교함으로써 이루어지며, 그 과정은 숙련된 등급판정 전문가에게 일임되고 있는 실정이다.

그러나 육안에 의한 판정은 개개인의 숙련도나 정신적 상태, 육체적 피로 등으로 인하여 인지하는 색에 차이가 발생하므로, 일관성이 떨어지게 되는 단점이 존재한다. 이에 기인하는 소비자의 불만이나 반발을 방지하기 위해 정량화된 객관적인 데이터가 제시가 요구된다.

현재 대상체의 색상을 정밀하게 측정하는 장치로 색차계가 많이 사용되고 있다. 이는 일정한 텅스텐 광원 하에서 대상체의 색을 CIE L*a*b* 값으로 정량화하여 출력한다. 색차계는 동일한 색상과 반사도를 가지는 대상의 좁은 공간만 취하여 측정하나, 13번째 갈비 단면은 지방과 살코기가 혼합되어 구성되어 있기 때문에 색과 표면 반사도가 균일하지 않으므로, 등급 판정에서의 색차계 사용은 오히려 비효율적일 수 있다.

Lee and Hwang(2003)은 기계시각을 이용한 소고기의 육색과 지방색 측정 시 신경회로망을 이용한 보정 및 정량화 방

The article was submitted for publication in January 2007, reviewed and approved by the editorial board KSAM in June 2007. The authors are Jung-Hee Kim, Sun Choi, Research Assistant, Na-Young Han, Myung-Jin Ko, Undergraduate Students, Sung-Ho Cho, Research Assistant, and Heon Hwang, Professor, Dept. of Biomechatronic Engineering, Faculty of Life Science & Technology, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea. Corresponding author: H. Hwang, Professor, Dept. of Biomechatronic Engineering, Faculty of Life Science & Technology, Sungkyunkwan University, Suwon, 440-746, Korea; Fax: +82-31-290-7885; E-mail: <hhwang@skku.ac.kr>.

법을 제시하였다. 하지만 신경회로망 입출력으로 전체 색상을 대상으로 한 샘플링 입출력을 사용하여 소고기의 육색과 지방색의 품질 등급간 차이를 정량화하는데 문제가 있었으며, 소고기 육색과 지방색의 측정값의 검증에 있어서도 살코기 표면에 존재하는 피를 포함한 수분의 반사특성으로 인하여 측정과 보정의 정확도에 문제가 있었다.

본 논문에서는 칼라 기계시각시스템을 이용하여 소의 13번째 갈비 단면의 육색과 지방색을 자동으로 측정하기 위하여 Lee 등이 제시한 방법을 바탕으로 칼라 카메라의 색상 출력값인 RGB 값에 대한 자체 보정 및 조명에 따른 색상 출력값의 차이를 보정하기 위하여 육색 그리고 지방색과 유사한 색상 패턴을 대상으로 신경회로망에 의한 학습을 통하여 RGB 값을 CIE L*a*b* 값으로 변환하였다.

이 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 향상시킬 수 있다.

2. 재료 및 방법

가. 육색과 지방색

신선한 우육의 육색은 선홍색을 띄고 윤기가 있다. 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(Jung 등, 1998). 산소 외에도 pH, 지방산패도 등도 신선육의 육색 변화에 관여하는 요인들로서 지방은 산화할수록 진한 노란색을 띤다(Comforth, 1994).

이러한 육색의 변화를 표색계로 표현하면 RGB 표색계의 적색과 관련하는 R값은 산소화로 증가하고, 산화 반응으로 감소하며, G와 B는 이러한 반응과 거의 무관하다(Cho 등, 1999). 또한 CIE의 L*a*b* 표색계에서도 적색도인 a*값도 마찬가지로 변화하며 특히 a*의 경우 육색을 결정하는 데 중요한 역할을 한다(Kim 등, 2000).

나. 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)이 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.

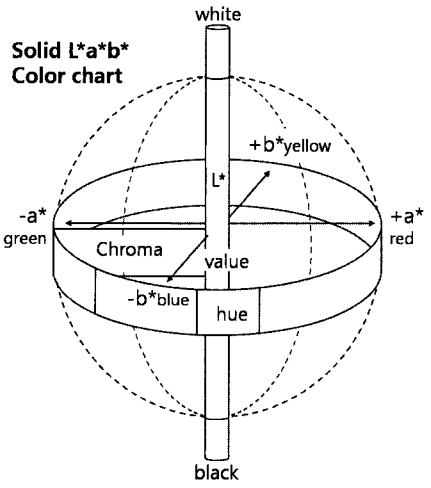


Fig. 1 L*a*b* color chart.

L*a*b* 표색계의 표현 영역은 다른 표색계가 표현할 수 있는 범위를 포괄한다. 또한 색을 정량화시켜 표현할 수 있을 뿐 아니라, 두 색의 차이인 색차(ΔE)도 수치화된 값으로 제시한다. 색차가 크면 클수록 두 색의 차이는 명확해진다. 색차를 통한 색 구분의 정의는 따로 없으나, 대체로 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.

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

다. 측정장치

색상 측정을 위하여 그림 2와 같은 손잡이가 달린 그리고 링형의 LED 조명과 마이크로 칼라 interlace 스캔 CCD 카메라(CV-735, JAI, Copenhagen, Denmark)가 부착된 영상획득 시스템을 개발하였다. 카메라 둘레로 설치한 링 형상의 간접 조명 형태의 white LED(LFR130-SW, CCS Inc.)에 우유빛 디퓨저(diffuser)를 덧씌워 집중광을 방지하였다. 손잡이에는 스위치 버튼을 부착하여 버튼의 누름 동작으로 영상을 획득하도록 하였다.

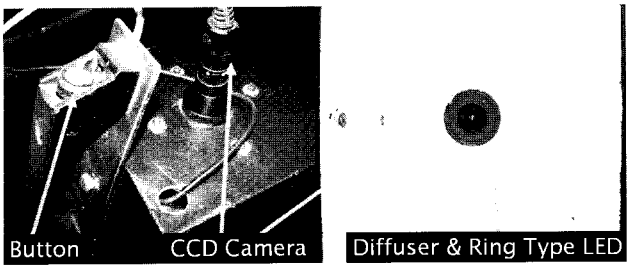


Fig. 2 Hand held image acquisition device.

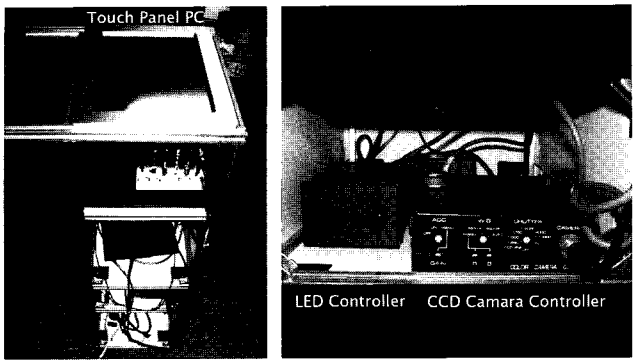
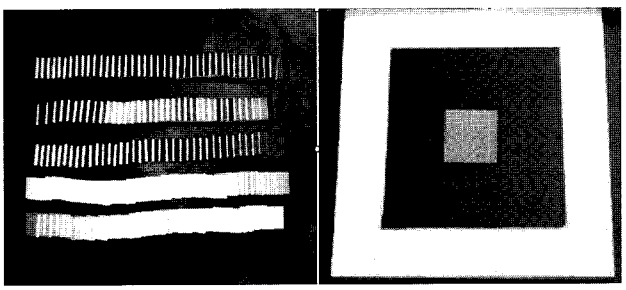


Fig. 3 Mobile frame with touch panel PC and controllers of lighting and camera.

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

라. 재료

크기 60x60x10(mm)의 폼 보드에 아크릴 칼라 물감을 사용하여 육색과 지방색을 포함하도록 그림 4와 같이 색지 판을 제작하였다. 기본적으로 육색은 선홍색, 적자색, 갈색 등으로 나누는데(Govindarajan, 1973) 가능한 모든 육색을 나타내기 위하여 연한 복숭아 색으로 부터 연한 분홍, 진하고 어두운 검붉은 색, 갈색까지 총 85개를 제작하였다. 가능한 모든 지



(A) (B)

Fig. 4 Training and validation (a) color sample templates and (b) template fixture.

방색을 측정하기 위하여 백색 계열 역시 마찬가지로 흰색에서 노란색, 살구색까지 총 85개를 제작하였다.

크기 300x300x10(mm)의 폼 보드 중앙에 구멍을 뚫어 색지 판을 끼워 넣을 수 있도록 하고, 구멍 주위로 200x200(mm) 넓이로 검은 아크릴 물감을 칠하여 주변 반사에 의한 색의 간섭을 최소화하였다.

기준이 되는 L*a*b* 데이터를 얻기 위해 색차계(CR-310, Minolta, 동경, 일본)로 색측을 실시하였다. 색지 색상판의 임의 장소에서 반복하여 3회 측정하였으며 색지판 10개를 측정할 때마다 한 번씩 보정판을 이용하여 재보정하였다.

마. 인공 신경망을 이용한 색표계 변환

본 연구는 칼라 컴퓨터 시각 시스템을 이용하여 받아들인 소의 13번째 갈비 단면 영상으로부터 살코기와 지방 부분을 분리한 후 각각의 육색과 지방색의 RGB(red, green, blue)값에서 CIE L*a*b* 값으로의 변환에 필수적으로 요구된다.

RGB에서 CIE L*a*b* 표색계로 변환하기 위해 칼라 영상 시스템을 이용하여 얻은 색지판 영상으로 부터 RGB 평균값을 측정한 후 RGB값을 CIE XYZ 값으로 식 1을 이용하여 변환하였으며 이를 다시 L*a*b*값으로 바꾸어주는 변환식(식 2)을 사용하였다. CIE $X_nY_nZ_n$ 값은 미놀타 사의 기준 흰색 평판의 영상을 5회 반복하여 획득한 후 이들 RGB의 평균값을 변환식에 대입하여 구하였다. 그 결과를 색차계를 이용하여 측정한 L*a*b* 값과 비교하였다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.607 & 0.174 & 0.201 \\ 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.000 & 0.066 & 1.117 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_n \\ G_n \\ B_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$L^* = 25\left(\frac{100Y}{Y_n}\right)^{1/3} - 16 \quad (1 \le 100Y \le 100) \quad (2)$$

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

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

본 연구에서는 RGB로 표현된 컬러 카메라의 출력값에 대한 자체 보정 및 조명에 따른 색상 출력값의 차이를 보정하기 위하여 신경회로망에 의한 학습을 통하여 CIE L*a*b*값으로 변환하였다.

본 연구에서는 학습과 학습 성능 평가를 위한 샘플 색상판의 색상계열을 소고기의 색상과 유사한 영역으로 한정시켜 제작하였다. 이들 샘플 색상판 중 적색 계열 70개와 백색 계

열 70개를 학습에 사용하였고 다른 적색 계열 15개와 백색 계열 15개를 학습 결과의 일반화 효과 검정을 위하여 사용하였다. 신경회로망으로는 오차역전달 다층 신경회로망을 사용하였으며, Matlab을 이용하여 학습 성능을 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(Fig. 5). 입출력의 비선형성과 범위(-1~1)를 고려하여 전달함수로는 tangent hyperbolic sigmoid 함수를 사용하였으며 학습률은 0.05로 하였다. 최종 오차한계는 10^{-3}로 하였고 학습 횟수는 1,000회로 설정하였다.

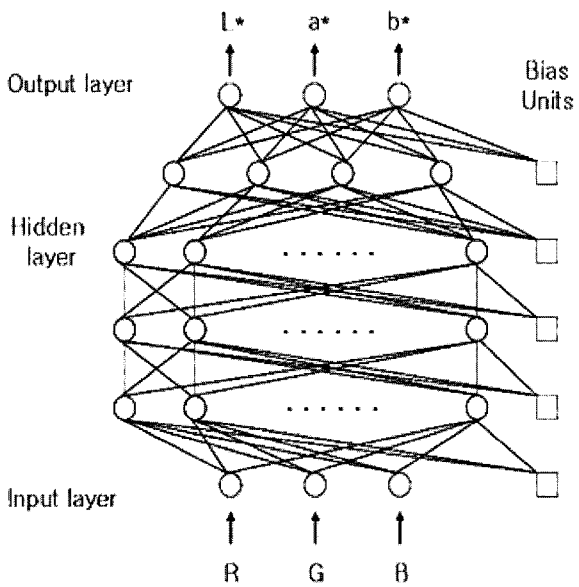


Fig. 5 Structure of the neural network.

3. 결과 및 고찰

본 논문에서는 우육의 육색과 지방색에 해당하는 총 170개의 색상 색상판을 제작하여 CCD카메라로 RGB값을, 색차계로 L*a*b*값을 얻었다. RGB값과 L*a*b*값은 삼자극치인 XYZ를 통해 변환할 수 있으나, 실제 변환 시에는 비선형적인 오차를 보였다.

그림 6은 각 샘플 색상판별 a* 값의 계산값과 실측값과의 차이를 보여준다. 샘플 색상판별 a* 값의 계산값과 실측값과의 오차는 비선형적 특성을 보였다. 이러한

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

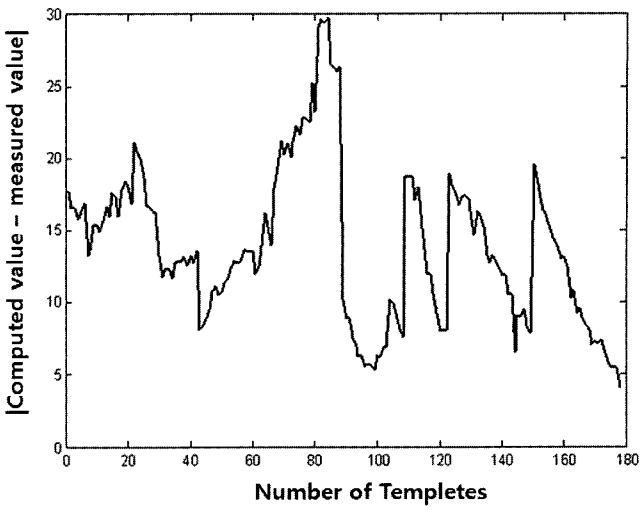


Fig. 6 Difference between measured and computed values of a* for sample color templates.

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 색상판의 색상계열을 소고기의 육색과 지방색과 유사한 영역으로 한정시켜 제작하였다.

신경회로망을 이용한 표색 변환 학습 후, 학습에 사용한 샘플 색상판 총 140개의 색차계로 측정한 L*a*b*와 제시한 인공신경망을 이용한 L*a*b* 출력값과의 상관관계를 각각 그림 7의 (a), (b), (c)에 나타내었다. 그리고 학습화 결과의 일반화 검정을 위해 준비한 총 30개의 색상판을 색차계로 측정한 L*a*b*와 이 수치를 신경망에 입력하였을 때의 L*a*b* 출력값과의 상관관계를 각각 그림 7의 (d), (e), (f)에 나타내었다. 각 경우의 상관계수는 최대 0.999, 최소 0.987로 입출력 값의 일치율이 매우 높음을 알 수 있었다.

또한 학습 결과 색차계로 측정한 L*a*b*와 제시한 인공신경망을 이용한 L*a*b*는 0.5 내의 RMS(root mean squared) 색차 $\triangle E$를 보였고 1.68의 최대 색차오차를 보였다(Fig. 8). 학습하지 않은 색상 색상판에 대해서도 0.5내의 RMS 색차 $\triangle E$를 보였고 0.6의 최대 색차오차를 보였다(Fig. 9). 이 정도의 색차는 동일한 색으로 판단 가능하였으며 향후 소고기의 육색과 지방색의 정량화에 성공적으로 적용할 수 있을 것으로 판단되었다.

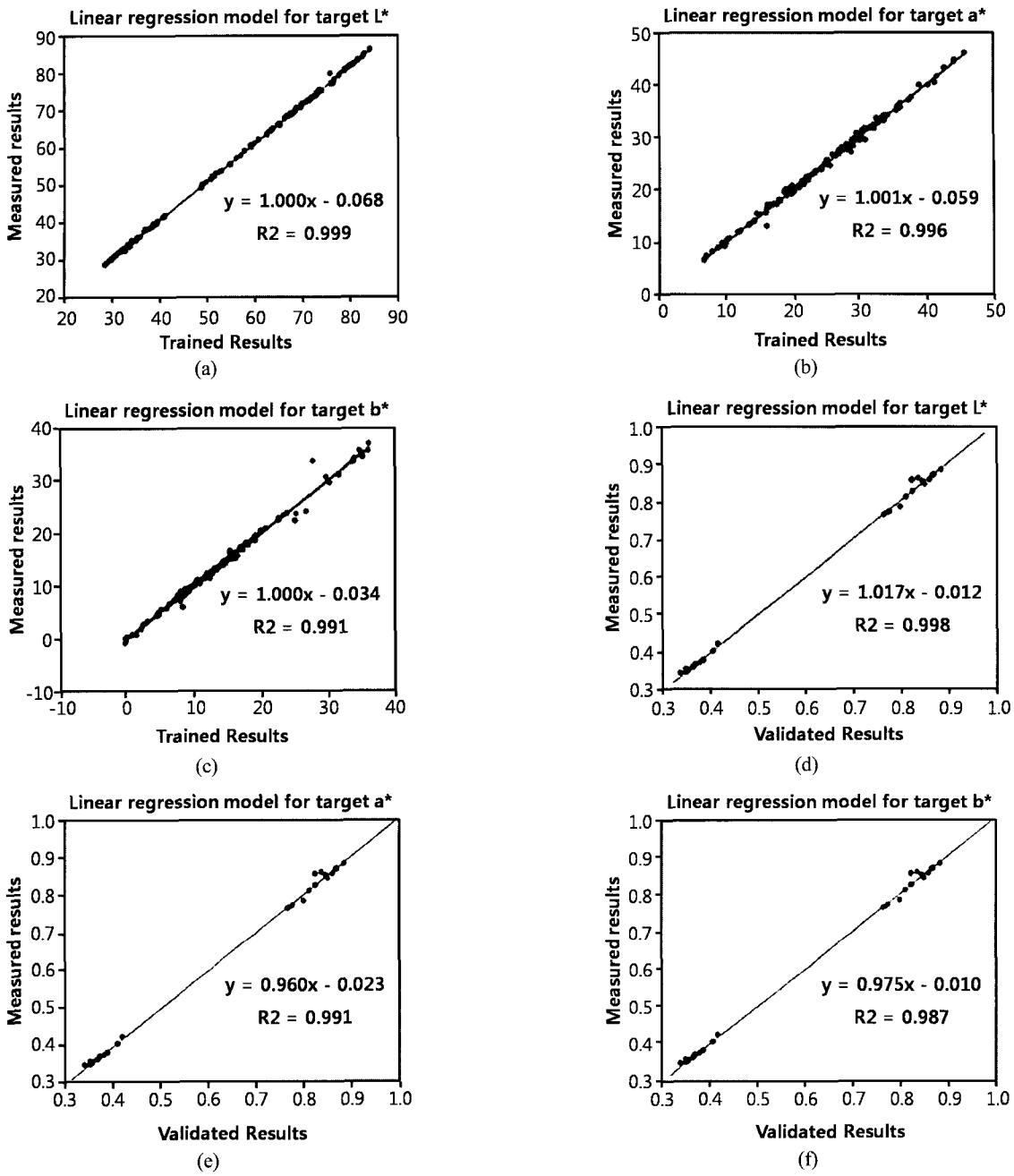


Fig. 7 Linear regression results of the measured L*a*b* and trained result; (a), (b), (c): linear regression results the measured L*a*b* and validated results; (d), (e), (f).

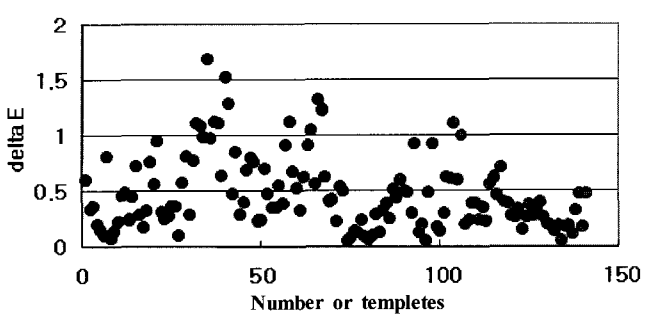


Fig. 8 $\triangle E$ of trained data sets.

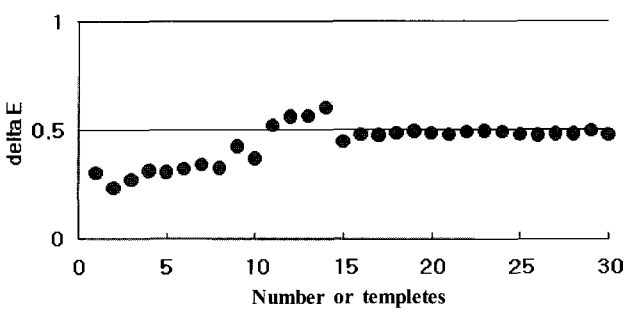


Fig. 9 $\triangle E$ of tested data sets.

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 측정한 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 근내 지방과 살코기색의 정확한 측정을 가능하게 한다.

참 고 문 헌

1. Cho, S. I., Y. M. Bae, I. S. Kang and M. H. Lee. 1999. Original research papers: measurement of storage time for pork meat using image processing and VIS / NIR Spectroscopy. Food Engineering Progress 3(1):51-55. (In Korean)
2. 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), pp 39. Blackie academic & Professional, London.
3. Govindarajan, S. 1973. Fresh meat color. Crit. Rev. Food Technol. 4:117.
4. Jung, I. C., G. I. Moon, C. Y. Liang, K. Y. Lee and S. J. Kang. 1998. Effect of moisture, relative humidity and pH on color and pigments of cold storage beef meat. Korean J. Food & NUTR 11:221-227. (In Korean)
5. Kim, Y. S., J. Y. Kim, C. Y. Liang and S. K. Lee. 2000. Variation in surface solor of hanwoo (Korean Native Cattle) beef as influenced by light intensity of display condition. J. Amin. Sci & Technol 42(6):915-924. (In Korean)
6. Lee, B. O. and C. K. Chung. 1996. Economic effects of meat grading system and its improvement measures in retail market. Korean Food Marketing Association 13(1):101-120. (In Korean)
7. Lee, S. H. and H. Hwang. 2003. Calibration for color measurement of lean tissue and fat of the beef. Agri..& Biosys. Eng. 4(1):16-21.