

영상 처리와 가시/근적외선 분광 분석법을 이용한  
육류의 저장 시간 예측  
Prediction of Storage Time for Fresh Meat  
Using Image Processing and VIS/NIR Spectroscopy

조성인\*    배영민\*    강인성\*    이무하\*\*  
정회원    정회원  
S.I. Cho    Y.M. Bae    I.S. Kang    M.H. Lee

## 1. 서 론

신선육(fresh meat)은 도축된 후, 가공 원료로 이용되거나 직접 소비되기 전까지는 냉장 또는 냉동 저장된다. 이 저장 기간 동안 고기 내에는 육색의 변화, 지방의 산패, 미생물의 증식 등이 발생하며(강창기 등, 1993), 이러한 변화는 신선육의 신선도를 떨어뜨리고, 상품성 및 안정성에 많은 영향을 준다. 따라서 신선육의 저장 기간 측정은 육류의 상품성 및 안정성을 판정하는데 도움을 줄 수 있다.

최근에는 여러 가지 비파괴 물성 측정 장치 및 센서를 이용하여 육류의 품질, 성분 계측 및 안정성 평가 등에 관한 기술 개발이 진행되고 있다. 초음파 측정법(Park 등, 1994)을 이용한 식육의 지방 함량을 측정하려는 연구가 있으며, 근적외선 분광분석법을 이용하여 식육의 각종 성분 함량을 측정(오은경과 Dieter Grosskaus, 1992)하거나, 닭고기의 안정성을 평가하려는 연구(Park *et al.*, 1996)가 이루어지고 있다. 그리고, 바이오센서(Yukio *et al.*, 1995a, 1995b)를 이용하여 신선육의 숙성 정도나 신선도를 측정하려는 연구도 진행되고 있다. 그런데, 이들 초음파 측정법이나 근적외선 분광분석법의 이용은 식육내의 지방 등의 성분 측정에 관한 연구에 집중되어 있으며, 바이오센서의 적용은 시료로부터 즙을 내야 하는 등의 작업이 필요한 실정이다.

이에 본 연구에서는 영상 처리와 근적외선 분광 분석법을 이용하여 육류의 저장 기간 측정 가능성을 알아 보았다. 이를 위해서, 냉장 저장중인 돈육의 디지털 영상 정보들과 가시/근적외선 영역의 흡광 스펙트럼을 획득하고 이들 영상 정보 및 흡광 스펙트럼과 돈육의 저장 시간과의 관계를 모형화하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 시료의 제조

본 실험에는 소매정육점으로부터 구입한 돈육을 사용하였으며, 이들 시료는 등심부위로서 도축된 지 8시간 정도 경과된 상태였다.

영상 정보 획득을 위한 시료는 분쇄된 것과 분쇄되지 않은 것의 두 가지로 구분하여 각각 2개씩을 제조하였다. 소매정육점에서 보유한 육류분쇄기를 이용하여 시료를 분쇄하였으며, 각 시료를 각각 지름 10 cm, 깊이 1 cm 정도의 용기에 담은 후, 수분의 증발을 막기 위해서 랩비닐로 밀봉하였다. 근적외선 흡광스펙트럼 획득을 위해서는, 3개의 분쇄된 시료를 제조하였으며, 지름 3cm, 깊

\* 서울대학교 농업생명과학대학 생물자원공학부

\*\* 서울대학교 농업생명과학대학 동물자원학과

이 2cm의 플라스틱 용기에 담고 랩비닐로 밀봉하였다.

제조된 시료는 저온저장고에서 냉장 저장되었으며, 저온저장고의 저장 조건은 온도가 4-6℃, 상대 습도는 10-15% 이고, 공기의 유동은 없다.

#### 나. 영상 정보의 획득

2주 동안 대략 하루 간격으로 시료의 디지털 영상을 획득하였다. 본 실험에서 이용된 영상 처리 장치는 fig.1 과 같이 구성되었다. CCD 카메라는 칼라 영상을 찍을 수 있는 RGB 카메라(Model TMC-7, PULNiX Co., USA)이며, 카메라로부터 잡은 영상은 영상 처리 보드(Coreco Co., Canada)로 전송되어 TIF 형식의 그래픽 파일로 저장되었다. 조명 장치는 측면부와 하부에 설치하여 시료 용기에 의한 그림자 형성을 방지하였으며, 촬영 공간의 조도는 2610 Lux였다. Fig.2는 본 영상 처리 장치를 이용하여 얻은 디지털 영상의 한 예이다.

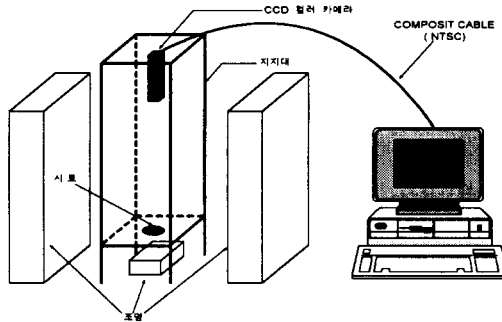


Fig. 1. The image processing system for acquiring and processing digital images

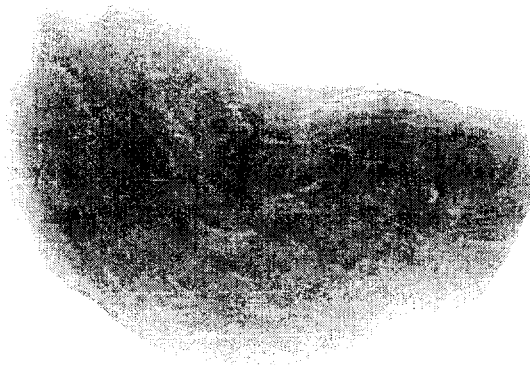


Fig. 2. An digital image of a pork meat sample acquired using the image processor

본 실험에서 추출한 영상 정보는 CIE(Commission Internationale de L'Éclairage)에서 제정한 R.G.B 표색계로 표시되는 R, G, B 값이다. 이들 정보의 값들은 적색, 녹색, 청색의 정도를 나타내며, 본 영상 처리 장치에서는 각 값이 8비트로 표시되어 0~255의 값을 가진다.

이들 영상 정보는 그래픽 처리 소프트웨어인 Photoshop(Adobe System, USA)을 이용하여 시료의 영상으로부터 추출하였다. 영상 정보 추출 과정은 시료의 영상으로부터 대상체(시료)만을 분리

하는 작업과 분리된 영상으로부터 각종 정보를 추출하는 작업으로 나뉘어서 진행되었다. Photoshop의 magic wand tool 기능을 이용하여 전체 영상에서 대상체만을 분리하였으며, histogram 기능을 이용하여 분리된 영상의 평균 R, G, B 값을 추출하였다.

#### 다. 근적외선 흡광 스펙트럼 측정

분광광도계(NIRSystems Inc., USA)를 이용하여 2 주 동안 대략 하루 간격으로 반사도(R: reflectance)를 측정하였으며, 반사도는  $A = \log(1/R)$  (A: absorbance)의 변환 공식에 의해 흡광도(absorbance)로 변환시킨 후에 데이터 처리에 이용하였다. 본 실험에서 측정된 파장대는 가시/근적외선 영역(400nm~2500nm)이며, 2nm간격으로 반사도를 측정하였다.

획득한 흡광도와 육류의 저장 시간사이의 상관 분석 및 회귀 분석을 수행하는데는 가시/근적외선 스펙트럼의 통계 분석 소프트웨어인 NIRS 2(Infrasoft International, USA)를 이용하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. R(red)값의 변화 양상

Fig. 3 과 fig. 4 는 디지털 영상으로부터 추출한 R값과 저장 시간과의 관계를 나타낸 것이다. 시료 I, II 는 각각 분쇄된 시료를, 시료 III, IV 는 분쇄되지 않은 시료를 의미한다. 각 시료에 대해서 저장 시간이 경과함에 따라 R값은 초기에는 증가하다가 150여 시간을 전후로 하여 감소하는 공통된 양상을 나타내고 있다.

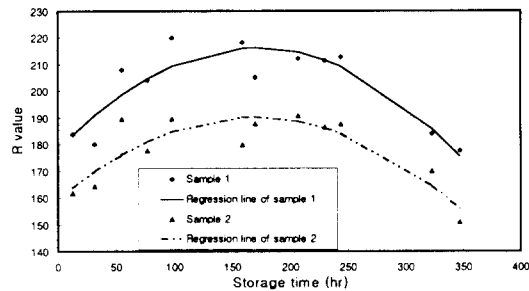


Fig. 3. Changes in R-value during refrigerative storage of sample I and II

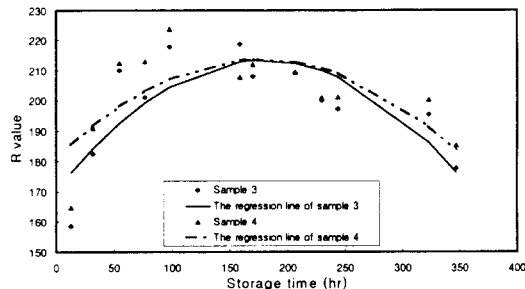


Fig. 4. Changes in R-value during refrigerative storage of sample III and IV

이러한 저장 기간 동안의 육색의 변화 양상은 육류에 포함되어 있는 색소의 변화 과정으로 설명 가능하다. 일반적으로 육류의 색은 육류에 포함되어 있는 혈액 색소인 hemoglobin 과 근육 색소인 myoglobin 에 의해서 좌우된다. 이 중 hemoglobin 은 도축시에 방혈로 인해 감소되므로 식육의 색소는 myoglobin 이 80-90% 를 차지하며, 따라서 식육의 변색은 이 myoglobin 의 공기 중에서의 산화 또는 산소화에 의해서 발생한다. 식육이 도체되어 색소가 공기와 접하는 순간 표면에 있는 myoglobin 은 높은 산소압으로 인해 산소와 부착된 oxymyoglobin 으로 변화하는 산소화 과정을 거친다. 이때 발생하는 oxymyoglobin 의 색은 밝은 선홍색이며, myoglobin 의 oxymyoglobin 으로의 변화는 R값의 증가로 나타난다. 그리고, 저장 기간이 경과됨에 따라 환원효소 및 미생물의 활동으로 산소가 소비되어 식육 표면의 산소분압이 낮아져서 metmyoglobin 으로 다시 산화된다. metmyoglobin 의 색은 갈색이며, 이 변화 과정이 R 값의 감소로 나타난다.

따라서, 저장 기간에 따른 R 값의 변화를 식 (1) 을 기본 모형으로 하는 이차 다항 회귀 분석 (polynomial regression) 을 이용하여 모형화하였다. Fig. 3 과 fig. 4 는 이차 다항 회귀 모형에 의해서 예측된 결과이며, table 1 은 각 시료에 대한 모형의 계수값과 통계량이다.

$$R = a_1 \times ST^2 + a_2 \times ST + c$$

R : value used for description of redness in CIE

ST : storage time(hr)

$a_1, a_2, c$  : coefficients and constant of the regression model

(1)

**Table 1. The coefficient values and statistics of the regression model for each samples**

	$a_1$	$a_2$	c	r	F
Sample I	-0.0013	0.4486	178.0796	0.91	20.98 ***
Sample II	-0.0011	0.3670	159.2489	0.88	16.09 **
Sample III	-0.0013	0.4790	170.3330	0.81	8.59 *
Sample IV	-0.0011	0.3732	180.7661	0.72	4.87 *

\*\*\* : significant at 0.001 level, \*\* : significant at 0.01 level,

\* : significant at 0.05 level

분쇄된 시료(sample I, II)에 대한 회귀 모형의 상관계수는 각각 0.91, 0.88 의 값을 나타내고 있으며, 분쇄되지 않은 시료(sample III, IV)의 상관 계수는 각각 0.81, 0.72의 값으로 분쇄된 시료의 경우보다 낮게 나왔다. 이는 시료의 분쇄 과정에서 시료 내부까지 공기와 접하게 되어 산소화 및 산화 반응에 참여하는 myoglobin 의 양이 많아짐에 따라 육색의 변화 정도가 커져서 신호/오차 비(S/N ratio)를 증가시켜 주기 때문으로 판단된다.

#### 나. G(Green), B(Blue)값의 변화 양상

저장 기간에 따른 G값과 B값의 변화 양상은 fig. 5 와 fig. 6 과 같다. 전반적으로 초기에는 상승하다가 다시 감소하는 경향을 나타내고 있으나, 그 경향이 뚜렷하지는 않다. 이들 값들에 대해서 R 값과 마찬가지로 이차 함수에 의한 다항 회귀 분석을 수행하였으며, 각 시료별 회귀 모형의 상관계수의 값은 table 2 에 나와 있다.

각 시료에 대한 상관계수의 값들이 상당히 낮기 때문에, G, B 값과 저장 기간과의 회귀 모형의 작성은 의미가 없는 것으로 판단된다

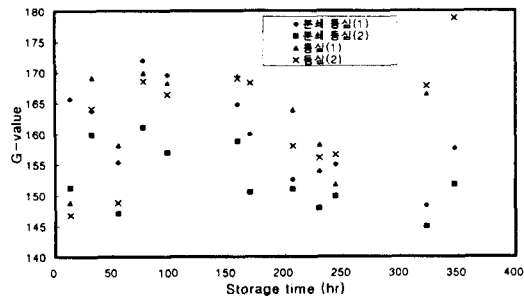


Fig. 5. Changes in G-value during refrigerative storage of sample III and IV

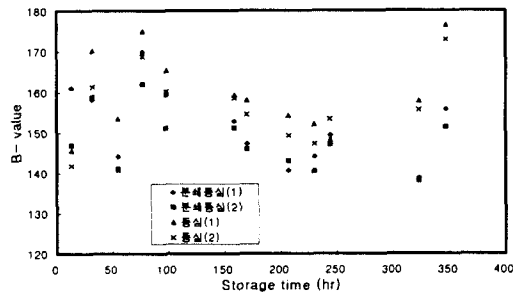


Fig. 6. Changes in B-value during refrigerative storage of sample III and IV

Table 2. The correlation coefficients of regression models for G and B values in each sample

	G value	B value
Sample 1	0.45	0.58
Sample 2	0.25	0.44
Sample 3	0.1	0.26
Sample 4	0.25	0.35

다. 근적외선 분광분석법 이용

획득된 흡광스펙트럼 데이터의 수는 총 39개이며, 이 중 임의로 20개를 선정하여 흡광도와 저장 시간사이의 모형화 이용하였으며, 나머지 19개는 개발된 모형의 성능을 검증하는 데 이용하였다.

Fig. 7은 저장 시간이 경과함에 따른 흡광도의 변화 양상을 보여 준다.

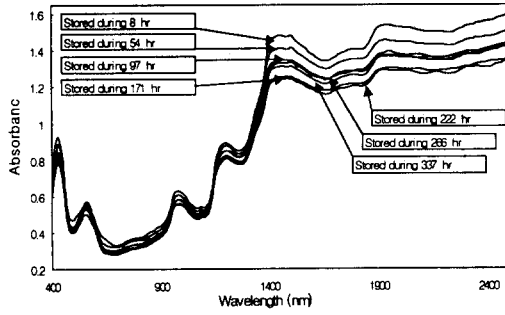


Fig. 7. The changes of absorbance in VIS/NIR during storing

저장 시간에 따른 각각의 흡광 스펙트럼은 비슷한 모양을 가지며 큰 차이가 없는 것처럼 보인다. 이는 근적외선 영역의 흡광 스펙트럼의 일반적인 특징으로 흡광도와 저장 기간사이의 통계 처리에 의해서 차이가 나타나게 된다(Williams 과 Norris, 1987). 400~700nm의 가시광 영역 스펙트럼에서는 적색 계열의 흡광 대역인 700nm 근방에서 최대의 흡광이 나타나는데, 이는 육류의 색소가 적색을 띄고 있기 때문이다.

Fig. 8은 모형 개발에 이용된 20개의 데이터에 대한 과장대별 흡광도와 저장 시간 사이의 상관 관계를 분석한 것이다. 흡광도와 저장 시간 사이에는 모두 음의 상관 관계가 있으며, 가시광 영역 중에서는 650nm 부근의 대역에서 상관관계가 가장 높게 나왔다. 이외에 450, 960, 1150, 1350nm 근방의 대역에서 상관 관계가 높게 나왔다

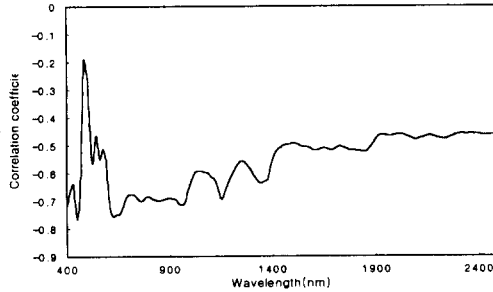
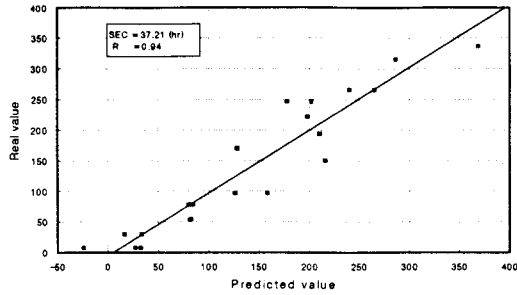


Fig. 8. The correlation spectrum between storage times and absorbance

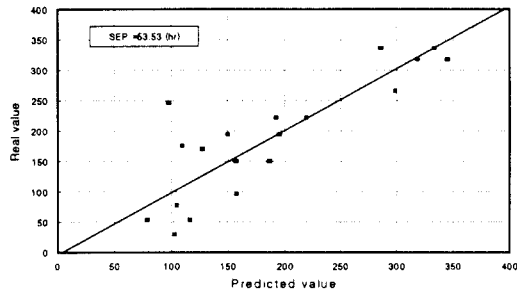
이러한 상관 관계를 이용한 다중 회귀 분석(multiple regression)을 통해서 흡광도와 저장 시간 간의 관계를 모형화하였다. 개발된 모형은 흡광도를 독립 변수로 하고 저장 시간을 종속 변수로 하는 다중 회귀 모형이며, 독립 변수는 step-wise 변수 선택법을 이용하여 선택하였다. 식 (2)는 개발된 회귀 모형이며, 이 회귀 모형의 상관 계수값은 0.94 이었다.

$$ST \text{ (hr)} = -202.94 - 4896.70 \times \log\left(\frac{1}{R_{656}}\right) + 7528.82 \times \log\left(\frac{1}{R_{536}}\right) - 3081.37 \times \log\left(\frac{1}{R_{456}}\right) \quad (2)$$

$R_{\lambda}$  : reflectance at  $\lambda$  nm wavelength



**Fig. 9. The calibration of the storage time using the regression model**



**Fig. 10. The prediction of the storage time using the regression model**

Fig.9 와 fig.10 은 개발된 모형을 이용하여 저장 시간을 예측한 결과이다. 회귀 모형 개발에 이용된 20개의 데이터에 대한 예측 정확도를 알아보기 위해서 SEC를 구하였으며, 그 값은 38.23(hr)이었다.그리고, 회귀 모형의 개발에 이용되지 않은 19 개의 데이터를 이용한 검증결과인 fig. 10의 SEP 값은 53.53(hr)이었다

#### 4. 요약 및 결론

영상처리와 가시/근적외선 분광분석법을 이용한 신선육의 저장 시간 측정의 가능성을 알아보았다. 돼지고기를 시료로 하여 냉장 저장을 하면서 디지털 영상과 가시/근적외선 영역의 흡광 스펙트럼을 측정하였다. 디지털 영상에서 R, G, B 값을 추출하였으며, 이들 값과 저장 시간 사이의 관계를 이차 함수로 모형화하였다. 이 중 R 값을 이용한 모형이 가장 유의하게 나왔으며, 상관 계수의 값이 0.91~0.72 이었다. 가시/근적외선 영역의 흡광스펙트럼과 저장 시간과의 상관 관계를 분석한 결과 450, 650, 960, 1150, 1350nm 근방에서 상관 계수가 높게 나왔으며, step-wise 다중 회귀 분석에 의해서 저장 시간과 흡광도 사이의 관계를 모형화하였다. 개발된 모형의 상관 계수값은 0.94 였으며, SEP 는 53 시간이었다.

따라서, R값을 이용한 영상처리방법과 근적외선 분광분석법을 이용하여 육류의 저장시간을 예측할 수 있으리라 판단된다.

## 5. 참고 문헌

- 강창기, 박구부, 성삼경, 이무하, 이영현, 정명섭, 최양일. 1993. 식육생산과 가공의 과학, 선지문화사, 서울, 대한민국.
- 오은경, Dieter Grossklaus. 1992. 근적외선 반사분광분석법에 의한 정육 및 그 구성성분의 반사 spectra에 관한 연구. *식품과학회지* 24(5): 404-407
- Park, B., A.D. Whittaker, R.K. Miller, and D.E. Bray. 1994. Measuring intramuscular fat in beef with ultrasonic frequency analysis. *J. of the animal science*, 72(1): 117-125
- Park, B., Y.R. Chen. 1996. Multispectral image co-occurrence matrix analysis for poultry carcasses inspection. *Trans. of ASAE*, 39(4): 1485-1491
- Yukio Yano, Nobuko Kataho, Mino Watanabe, Toyoo Nakamura, and Yasukazu Asano. 1995a. Evaluation of beef aging by determination of hypoxanthine and xanthine, contents : application of a xanthine sensor. *Food chemistry*, 52(4): 439-445
- Yukio Yano, Nobuko Kataho, Mino Watanabe, and Toyoo Nakamura. 1995b. Change in the concentration of biogenic amines and application of tyramine sensor during storage of beef. *Food chemistry*, 54(2): 155-159
- Williams, Phil, and Karl Norris. 1987. *Near-infrared technology in the agricultural and food industries*. American Association of Cereal Chemists, Minnesota, USA.