

## 영상 처리와 가시/근적외선 분광 분석법을 이용한 돈육의 저장 시간 계측

조성인 · 배영민 · 강인성 · 이무하\*

서울대학교 농업생명과학대학 농공학과,  
\*서울대학교 농업생명과학대학 동물자원학과

### Measurement of Storage Time for Pork Meat Using Image Processing and VIS/NIR Spectroscopy

Seong In Cho, Young Min Bae, In Sung Kang and Mu Ha Lee\*

Department of Agricultural Engineering, College of Agriculture and  
Life Sciences Seoul National University

\*Department of Animal Resource Science, College of Agriculture and  
Life Sciences Seoul National University

#### Abstract

Possibility of measuring the storage-time of pork meat was studied using image processing and VIS/NIR spectroscopy. During the storage of the meat samples, digital images and absorbance spectra were acquired. R, G, and B values were calculated from the digital images, and fitting procedures between the values and storage-times were conducted in 2nd-order polynomial. The regression model using R values was the most significant for the storage-times measurement. Correlation analysis between the absorbance and storage-times showed that correlation coefficients in wavelengths near 1500, 1550, 2150, and 2250~2300 nm were higher. The regression model between the absorbance or its 1st, 2nd derivatives and storage-times was made by step-wise regression. The regression model which used 1st derivative as independent variables had the highest determination coefficient.

Key words: pork meat, storage-times, image processing, VIS/NIR spectroscopy

#### 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 저장 기간 동안의 변화는 신선육의 신선도를 떨어뜨리고, 상품성 및 안전성에 많은 영향을 준다. 따라서, 저장 중인 신선육의 저장 기간 계측은 육류의 상품성 및 안정성을 판정하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

최근에는 여러 가지 비파괴 물성 측정 장치 및 센서를 이용한 육류의 품질, 성분 계측 및 안전성 평가 등

에 관한 기술 개발이 진행되고 있다. 초음파 측정법(Park 등, 1994)을 이용한 식육의 지방 함량을 측정하려는 연구가 수행되었으며, 근적외선 분광분석법을 이용하여 식육의 각종 성분 함량을 측정(오은경과 Grosskaus, 1992)하거나, 닭고기의 안전성을 평가하려는 연구(Park *et al.*, 1996)가 이루어졌다. 그리고, 바이오센서(Yano *et al.*, 1995a, 1995b)를 이용하여 시간의 변화에 따른 신선육의 숙성 정도와 신선도를 판정을 위해 아민(amine)류를 측정하려는 연구도 진행되고 있다. 그런데, 이들 초음파 측정법이나 근적외선 분광분석법의 이용은 식육내의 지방 등의 성분 측정에 관한 연구에 집중되어 있으며, 식육의 저장 시간 계측에 관한 연구는 거의 진행되지 않고 있다.

이에, 본 연구의 목적은 영상 처리 및 가시/근적외선 분광 분석법을 이용한 돈육의 저장 시간 계측 기술 개발의 기초 연구를 수행하는데 있다. 이를 위해서, 돈육

Corresponding author: Seong In Cho, Associate Professor,  
Department of Agricultural Engineering, Seoul National University,  
Suwon 441-744, Korea

의 저장 시간과 영상 정보 및 가시/근적외선 흡광 스펙트럼과의 상관 분석을 통해서 모형식을 작성하였다.

## 재료 및 방법

### 시료의 제조

소매정육점으로부터 도출된 지 8시간 정도 경과된 돈육의 등심 부위를 구입하였으며, 이들을 저장 시간의 경과에 따른 영상정보를 얻는 실험에 사용하였다. 구입한 돈육은 분쇄한 것과 분쇄되지 않은 두 가지로 구분하여 각각 2개의 시료를 제조하였다. 시료를 소매정육점에서 보유한 육류세절기를 이용하여 분쇄하였으며, 분쇄되지 않은 시료와 분쇄된 시료를 지름 10 cm, 깊이 1 cm 정도의 플라스틱 용기에 각각 담은 후, 수분의 증발을 막기 위해 랩비닐로 밀봉하였다.

또한, 수원 소재 도축장으로부터 도출된 지 30시간 정도 경과된 돈육의 등심 부위를 구입하여, 저장 시간에 따른 근적외선 흡광스펙트럼을 얻는 실험에 사용하였다. 등심 전체를 육류세절기를 이용하여 분쇄하였으며, 이를 지름 10 cm, 깊이 1 cm의 플라스틱 용기 6개에 각각 담아 랩비닐로 밀봉하였다. 그리고, 반사도를 측정할 부위의 근방에 현미경용 커버글라스를 덮고 랩비닐 부분을 제거하였다.

제조된 시료들은 항온항습기에서 냉장 저장시켰으며, 저장기간 내내 항온항습기의 내부 온도는 4~6°C, 상대습도는 85~90%로 유지시켰다. 그리고, 내부의 공기 유동은 없었다.

### 영상 정보의 획득

2주 동안 대략 하루 간격으로 시료의 디지털 영상을 획득하였다. 본 실험에서 이용된 영상 처리 장치는 RGB 카메라(Model TMC-7, PULNiX Co., USA), 영상 처리 보드(Coreco Co., Canada) 및 컴퓨터 그리고, 형광 조명 장치 등으로 구성되어 있으며(Fig. 1), 시료의 디지털 영상은 TIF 형식의 그래픽 파일로 저장하였다. 조명 장치는 측면부와 하부에 설치하여 시료 용기에 의한 그림자 형성을 방지하였으며, 촬영 공간의 조도는 2610Lux였다.

본 실험에서 추출한 영상 정보는 CIE (Commission Internationale de L'clairage)에서 제정한 RGB표색계로 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 영상으

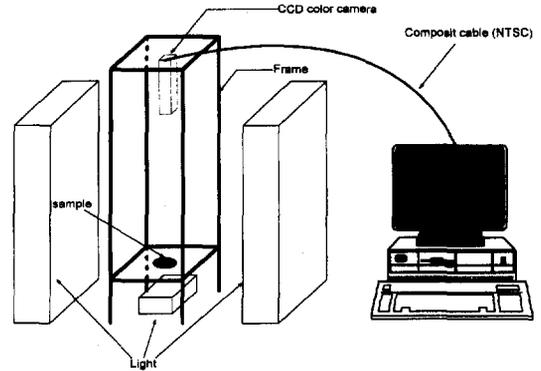


Fig. 1. The image processing system for acquiring and processing digital images.

로부터 추출하였다. 영상 정보 추출 과정은 시료의 영상으로부터 대상체(시료)만을 분리하는 작업과 분리된 영상으로부터 각종 정보를 추출하는 작업으로 나누어서 진행되었다.

Photoshop의 magic wand tool 기능을 이용하여 전체 영상에서 대상체만을 분리하였으며, histogram 기능을 이용하여 분리된 영상의 평균 R, G, B 값을 계산하였다.

### 가시/근적외선 흡광 스펙트럼 측정

분광광도계(NIRSystems Inc., USA)를 이용하여, 19일 동안 대략 하루 간격으로 반사도(R: reflectance)를 측정하였으며, 반사도는 흡광도(absorbance)로 변환한 후, 상관 분석 및 모형식 작성에 이용하였다. 본 실험에서 측정된 파장대는 가시/근적외선 영역(400~2500 nm)이며, 2 nm간격으로 반사도를 측정하였다.

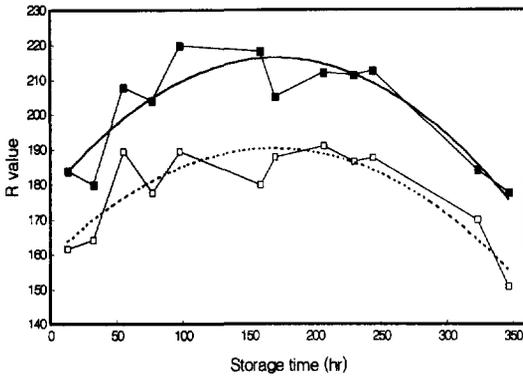
가시/근적외선 흡광스펙트럼의 통계 분석 소프트웨어인 NIRS 2 (Infrasoft International, USA)을 이용하여, 흡광도와 저장 시간간의 상관분석 및 회귀 분석 등의 통계 처리를 수행하였다.

## 결과 및 고찰

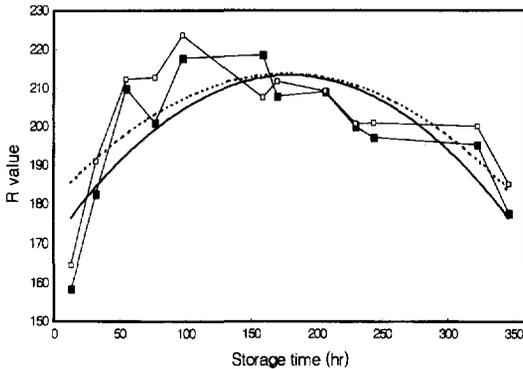
### R(red)값의 변화 양상

디지털 영상으로부터 추출한 R값과 저장 시간과의 관계를 Fig. 2와 Fig. 3에 나타냈다. 각 시료에 대해서 저장 시간이 경과함에 따라 R값은 초기에는 증가하다가 150여 시간을 전후로 하여 감소하는 양상이 공통적으로 나타나고 있다.

이러한 저장 기간 동안의 육색의 변화 양상은 육류에 포함되어 있는 색소의 변화 과정으로 설명할 수 있다(강창기 등, 1993). 일반적으로 육류의 색은 육류에



**Fig. 2. Changes in R-value of crushed samples during storage.** ■—■: Crushed sample I, —: Regression line of crushed sample I, □—□: Crushed sample II, ...: Regression line of crushed sample II.



**Fig. 3. Changes in R-value of non crushed samples during storage.** ■—■: Non-crushed sample I, —: Regression line of non-crushed sample I, □—□: Non-crushed sample II, ...: Regression line of non-crushed sample II.

포함되어 있는 혈액 색소인 hemoglobin과 근육 색소인 myoglobin에 의해서 좌우된다. 이 중 hemoglobin은 도축시에 방혈되므로 식육의 색소는 myoglobin이 80~90%를 차지하며, 식육의 변색은 이 myoglobin의 공기 중에서의 산화 또는 산소화에 의해서 발생한다. 식육이 도체되어 색소가 공기와 접하는 순간 표면에 있는 myoglobin은 높은 산소압으로 인해 산소와 부착된 oxymyoglobin으로 변화하는 산소화 과정을 거친다. 이때 발생하는 oxymyoglobin의 색은 밝은 선홍색이며, myoglobin의 oxymyoglobin으로의 변화는 R값의 증가로 나타난다. 그리고, 저장 기간이 경과됨에 따라 환원효소 및 미생물의 활동으로 산소가 소비되어 식육 표면의 산소분압이 낮아져서 metmyoglobin으로 다시 산화된다. metmyoglobin의 색은 갈색이며, 이 변화 과정이 R값의 감소로 나타난다.

따라서, 저장 기간에 따른 R값의 변화를 식 (1)을

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

	$a_1$	$a_2$	c	$r^2$	F
CR I	-0.0013	0.4486	178.0796	0.83	20.98***
CR II	-0.0011	0.3670	159.2489	0.77	16.09**
NCR I	-0.0013	0.4790	170.3330	0.67	8.59*
NCR II	-0.0011	0.3732	180.7661	0.52	4.87*

CR I: Crushed sample I, CR II: Crushed sample II, NCR I: Non-crushed sample I, NCR II: Non-crushed sample II.  
\*\*\*: significant at 0.001 level, \*\*: significant at 0.01 level, \*: significant at 0.05 level.

기본 모형으로 하는 이차 다항 회귀 분석을 이용하여 모형화하였으며, Table 1은 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)

(1)

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

분쇄된 시료(CR I, CR II)에 대한 회귀 모형의 결정계수는 각각 0.83, 0.77의 값을 나타내고 있으며, 분쇄되지 않은 시료(NCR I, NCR II)의 결정계수는 각각 0.67, 0.52의 값으로 분쇄된 시료의 경우보다 낮게 나왔다. 이는 시료의 분쇄 과정에서 시료 내부까지 공기와 접하게 되어 산소화 및 산화 반응에 참여하는 myoglobin의 양이 많아짐에 따라 육색의 변화 정도가 커져서 신호/오차 비(S/N ratio)를 증가시켜 주기 때문으로 판단된다.

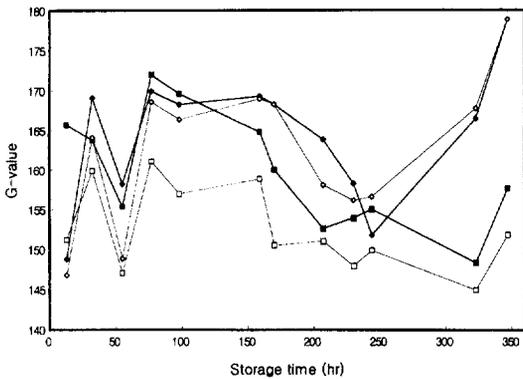
### G(Green), B(Blue)값의 변화 양상

저장 시간에 따른 G값과 B값의 변화 양상을 Fig. 4와 Fig. 5에 나타냈다. 전반적으로 초기에는 상승하다가 감소하는 경향을 나타내고 있으나, 그 양상이 뚜렷하지 않으므로, G, B값과 저장 시간간의 다항 회귀 모형의 작성은 의미가 없을 것으로 판단된다.

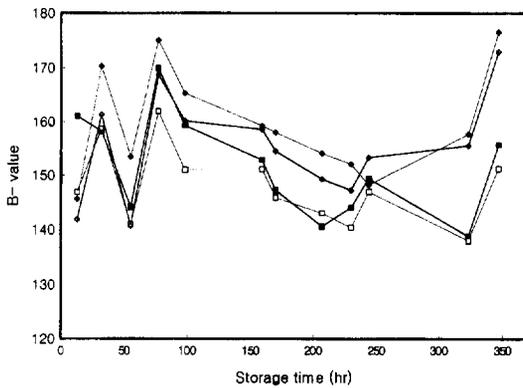
### 근적외선 분광분석법 이용

획득된 흡광스펙트럼 데이터의 수는 총 102개이며, 이 중 임의로 60개를 선정하여 흡광도와 저장 시간 사이의 관계를 모형화하는데 이용하였으며, 나머지 42개는 개발된 모형의 성능을 검증하는데 이용하였다.

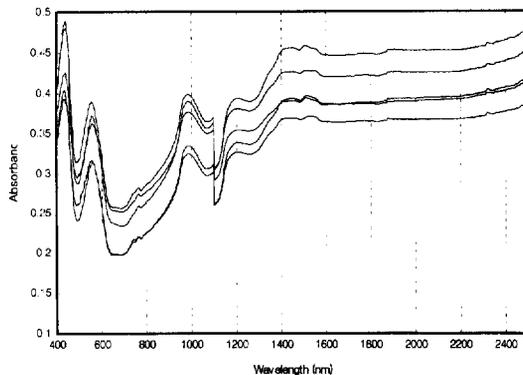
Fig. 6은 저장 시간이 경과함에 따른 흡광도의 변화 양상을 보여 준다. 저장 시간에 따른 각각의 흡광스펙트럼은 비슷한 모양을 가지며 큰 차이가 없는 것처



**Fig. 4. Changes in G-value of samples during storage.** ■—■, □—□: crushed sample I, II; ◆—◆, ◇—◇: Non-crushed sample I, II.

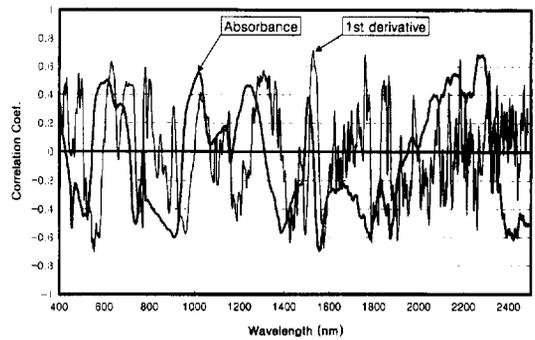


**Fig. 5. Changes in B-value of samples during storage.** ■—■, □—□: Crushed sample I, II; ◆—◆, ◇—◇: Non-crushed sample I, II.



**Fig. 6. The changes of absorbance in VIS/NIR during storing.**

럼 보인다. 이는 근적외선 흡광 스펙트럼의 일반적인 특징으로 흡광도와 저장 시간간의 상관 분석을 통해서 그 차이를 확인해야 한다(Williams과 Norris, 1987).



**Fig. 7. The correlation spectrum between storage times and absorbance.**

Fig. 7은 흡광도 및 흡광도의 1차 미분 값과 저장 시간간의 상관 분석 결과를 보여준다. 흡광도와 저장 시간간의 상관 분석에서 1000, 1250, 1500, 2150, 2250~2300 nm의 근방에서 높은 양의 상관 관계를 보여주고 있으며, 900, 1550, 1800, 2400 nm 근방에서 높은 음의 상관 관계를 보여준다. 이중, 2250~2300 nm 근방은 C-O의 3차 배음(over-tone) 영역으로 지방의 산패에 의해 생성되는 물질이 증가함에 따라 양의 상관 관계를 나타내는 것으로 판단된다. 1500, 2150 nm 근방은 C-N결합의 흡광 파장대로서 미생물의 증가로 발생하는 아민(amine)류의 증가로 상관관계가 높은 것으로 판단된다. 이외에, 1550 nm 근방은 단백질 결합의 흡광파장대로서 저장 기간 동안 발생하는 단백질의 분해로 음의 상관 관계를 나타내는 것으로 판단된다.

위의 상관 분석 결과를 토대로 하여 흡광도 및 흡광도의 1차, 2차 미분값과 저장 시간간의 관계를 다중 회귀 분석을 통해 모형화하였다. 회귀 분석에 이용되는 독립변수는 흡광도 및 흡광도의 1차, 2차 미분값이며, stepwise 변수선택법을 이용하여 선택하였다. Table 2는 다중 회귀 분석을 수행한 결과이다.

각 모형에 대한 SEP값을 기준으로 비교하였을 때, 1차 미분값을 독립변수로 하는 회귀 모형이 저장 시간을 가장 정확하게 예측하는 것으로 나타났다. 이는 흡광도의 미분을 통해 흡광스펙트럼에 포함되는 시스템 바이어스가 제거되었기 때문인 것으로 판단된다. 결정계수를 비교하였을 때, 흡광도를 독립변수로 하는 회귀 모형이 가장 높았지만, 독립변수가 7개로 1차 미분에 이용되는 변수의 수보다 많고 모형의 검정 결과인 SEP가 크게 나왔기 때문에, 과도 적합(overfitting)이 발생한 것으로 판단된다.

위의 회귀 분석에 의해서 개발된 저장 시간 추정 모형들에 의하면 가시/근적외선 흡광스펙트럼을 이용하

**Table 2. Result of calibration and validation for regression model between absorbance, 1st, 2nd derivative and storage time**

	Absorbance	1st derivative	2nd derivative
Selected Wavelength	496, 1428, 1684, 1732, 1788, 1996, 2460	504, 632, 752, 808, 1308	648, 664, 680, 792, 856, 1252,
r <sup>2</sup>	0.89	0.86	0.87
SEC	43.46	48.23	46.80
SEP	68.78	67.23	71.60

여 저장 시간을 추정할 수 있을 것으로 판단된다. SEP값이 비교적 큰 값을 가지는 이유는 저장 기간 동안 육류 내부에서 진행되는 지방의 산패, 미생물의 증가 양상으로 설명할 수 있다. 미생물의 증가, 지방의 산패 등은 비선형적 형태로 진행되며, 이로 인해 아민 등의 각종 부산물들 또한 비선형적으로 생성된다 (Yano *et al.*, 1995a, 1995b). 그런데, 이들 부산물들이 흡광도에 영향을 미쳐서, 흡광스펙트럼 또한 저장 시간에 따라 비선형적으로 변화하기 때문에 SEP값이 큰 값을 가지는 것으로 판단된다. 그러나, 육류내에서 생성되는 각종 부산물들은 저장시간에 따라 단조 증가하는 추세를 나타내기 때문에, 이러한 경향이 상관 분석 결과에 반영되어 관련 파장대에서 상관계수의 값이 비교적 높게 나온 것으로 생각된다. 따라서, 추후에, 독립변수와 종속변수와의 관계를 비선형적으로 모형화할 수 있는 신경회로망기법 등을 이용하여 저장 시간의 추정 모형을 개발할 필요가 있을 것으로 판단된다.

## 요 약

영상처리와 가시/근적외선 분광분석법을 이용한 돈육의 저장 시간 예측 가능성을 구명하기 위해, 돈육의 등심부위를 구입하여 시료로 이용하였다.

영상처리를 이용한 분석에서는, 시료를 분쇄되지 않은 것과 분쇄된 것으로 구분하여 2주 가량 저장하며, 저장 시간에 따른 디지털영상을 얻었다. 그리고, 이들 영상에서 R, G, B값을 추출하였으며, 이들 R, G, B의 각 값과 저장 시간간의 관계를 모형화하였다. 이중 R값과 저장 시간간의 모형이 가장 유의하게 나왔으며, 결정계수의 값은 0.83~0.52범위에서 나타났다.

가시/근적외선 분광분석법을 이용한 분석에서는, 시료를 분쇄하여 19일 가량 저장하며, 저장 시간에 따른

가시/근적외선 흡광스펙트럼을 얻었다. 그리고, 가시/근적외선 흡광스펙트럼과 저장 시간간에 상관분석을 수행하여, 유의한 파장에 대한 분석을 수행하였다. 그리고, 흡광도 및 흡광도의 1차, 2차 미분값이 각각 독립변수가 되는 저장 시간 추정 모형을 개발하였으며, 1차 미분값을 이용한 회귀 모형이 가장 유의한 것으로 나타났다.

## 감사의 글

본 연구는 한국 과학재단에서 지원하는 “농산물 비파괴 품질 및 안정성 평가 연구소”의 '97년도 지원 과제로 수행되었기에 이에 감사드립니다.

## 문 헌

- 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. 한국식품과학회지 **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., and Y.R. Chen. 1996. Multispectral image co-occurrence matrix analysis for poultry carcasses inspection. *Trans. of ASAE* **39**(4): 1485-1491
- Yano, Y., N. Kataho, M. Watanabe, T. Nakamura, and Y. Asano. 1995a. Evaluation of beef aging by determination of hypoxanthine and xanthine, contents : application of a xanthine sensor. *Food chemistry* **52**(4): 439-445
- Yano, Y., N. Kataho, M. Watanabe, and T. 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, P. C. and K. H. Norris. 1987. *Near-infrared technology in the agricultural and food industries*. American Association of Cereal Chemists, Minnesota, USA