

## 근적외선 분광 분석법에 의한 감자칩의 지방 함량 측정

배영민 · 조성인 · 전재근\*

서울대학교 농공학과 농업기계전공, \*서울대학교 식품공학과

### Measurement of Fat Content in Potatochips by Near-infrared Spectroscopy

Youngmin Bae, Seong In Cho and Jae Geun Chun\*

Department of Agricultural Engineering, Seoul National University

\*Department of Food Science and Technology, Seoul National University

#### Abstract

This study was conducted to measure fat contents of potatochips by near infrared spectroscopy (NIRS). Both potatochip powder and potatochips were used to find correlations between the absorbance at certain wavelengths and the fat contents. Based on the correlation analysis, linear regression models predicting the fat contents were developed to predict the fat contents. Artificial neural network (ANN) models were also developed. Predicted values were compared to the measured ones. The regression and the ANN model predicting the fat contents of potatochip powder had determination coefficients of 0.93 and 0.92, and standard errors of prediction (SEP) of 1.29% and 1.17%, respectively. The correlation analysis of potatochips showed that the determination coefficients were low. Therefore, the fat contents of not potatochips but potatochip powder could be measured by NIRS.

Keywords: near-infrared spectroscopy, potatochips, fat content, regression model, artificial neural-network

#### 서 론

감자칩은 시중에 나와 있는 스낵류 중에서 인기있는 품목으로 품질을 좌우하는 인자에는 수분, 색, 지방 함량이 있다<sup>(1)</sup>. 이 중, 수분과 색은 이미 감자칩의 생산 공정에서 측정이 이루어져서 공정 제어에 이용되고 있으나, 감자칩의 맛과 향기를 결정하는 지방 함량은 감자내 전조 성분의 양, 슬라이스의 두께, 유탕 기름의 종류, 유탕 공정 동안의 지방 온도, 유탕 시간의 길이 등에 의해서 영향을 받지만, 현재는 그 측정이 이루어지지 않고 있다<sup>(2)</sup>. 그러나, 최근의 소비자 기호가 저지방의 식품을 원하게 되었으며, 균일한 지방 함량의 유지, 과도한 지방 함량에 의한 산패 가능성 때문에, 감자칩의 생산 공정에서도 지방 함량의 제어가 필요하게 되었고 이는 제조 공장의 생산 라인에서 감자칩의 지방 함량의 온라인(on-line) 측정 기술을 요구한다<sup>(3)</sup>.

그러나 대부분의 감자칩 생산 현장에서는 시료를 수거하여 soxhlet 추출법같은 장기간의 측정 시간이 소요되는 화학적 식품 분석법에 의해서 지방 함량을 측정하고 있는데, 이는 공정 제어에 이용하기에는 적절하지 않다. 따라서, 감자칩의 생산 공정에 이용될 수 있는 신속한 지방 함량의 측정 기술이 필요하게 되었다.

근적외 분광 분석법은 농산물의 선별이나 식품의 성분 측정에 이용되고 있는 방법으로 시료의 조제가 간단하며, 스펙트럼의 측정에 의해서 성분의 측정이 신속하다는 장점이 있다. Dull 등<sup>(4)</sup>은 벨론의 가용성 고형물 함량(soluble solid content)을 측정하기 위하여 근적외 분광 분석법을 이용하였으며, 오 등<sup>(5)</sup>은 쇠고기의 수분, 지방, 단백질 등의 성분 측정에 근적외 분광 분석법을 이용하였다. 또한 Osborne 등<sup>(6,7)</sup>은 빵과 케이크의 제조 공정에서 품질에 영향을 미치는 수분, 지방, 과당 등의 성분을 근적외 분광 분석법으로 측정키 위한 가능성을 연구하였다.

본 연구의 목적은 근적외 분광 분석법을 응용하여 감자칩의 지방 함량을 측정키 위한 알고리즘을 개발

Corresponding author: Youngmin Bae, Department of Agricultural Engineering, College of Agriculture & Life Sciences, Seoul National University, 103 Seodun-dong, Kwonsun-gu, Suwon, Kyonggi-do 441-744, Korea

하는 것이다. 구체적인 목적으로서 첫째, 감자칩 분말과 감자칩에 대해서 근적외 영역의 스펙트럼과 지방 함량을 측정하고, 둘째, 회귀 분석과 신경회로망 기법을 이용하여 지방 함량과 근적외 스펙트럼과의 관계를 모형화하며, 셋째, 근적외 분광 분석법에 의한 감자칩의 지방 함량의 측정 가능성을 제시한다.

### 재료 및 방법

#### 감자칩 분말의 조제

시판 감자칩(죽염 포테이토칩, 농심)을 막자 사발로 분쇄하고, 600 μm 크기의 체(Endcotts Ltd., England)로 걸러서, 근적외 흡광 스펙트럼 측정시에 입자의 크기에 의한 영향을 최소화하였다. 감자칩 분말은 여지로 지방 함량을 흡유하거나, 옥배유를 첨가하여 지방 함량의 범위를 넓혔다. 지방 함량의 범위가 넓혀진 시료를 큐벳에 담고, 시료의 밀도를 일정하게 만들어서 근적외선의 확산 반사시에 밀도의 변화에 따른 영향을 제거하기 위해서 2 kg/cm<sup>2</sup>의 수직 하중으로 5초간 눌렀다. 밀도가 조정된 시료는 다시 그 위에 현미경용 커버글라스를 덮어서, 근적외선 영역의 빛이 시료에 입사될 때 표면의 거칠기에 따른 표면에서의 산란을 제거하였다. 조제된 시료의 온도는 실내 온도인 20~25°C로 유지되었다. Fig. 1은 본 실험에서 사용된 용기의 형태와 크기이다.

#### 감자칩의 제조

시판 감자칩은 지방 함량의 범위가 넓지 않아 지방

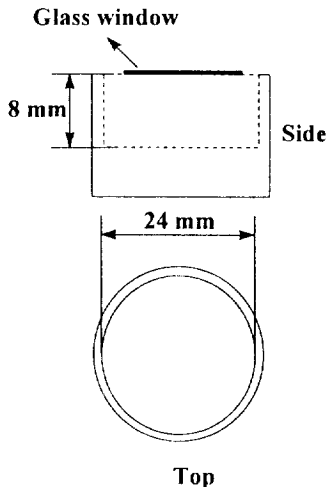


Fig. 1. Shape and dimension of cuvette

함량의 범위를 넓히기 위해 직접 제조하였다. 시료의 제조에 이용된 감자는 아틀랜틱(Atlantic)종이다. 감자의 껍질을 벗긴 후에, 0.8~1.7 mm의 두께로 썬 다음, 흐르는 물에 세척을 하여 표면의 전분을 제거하였다. 표면의 전분을 제거한 감자칩은 175~185°C의 옥배유에서 60~90초 동안 튀김 공정이 이루어졌다. 튀겨진 감자칩은 체를 이용하여 5분 정도 흔들어서, 과도하게 많은 기름은 빼었다. 튀겨진 감자칩은 20~25°C로 유지하여 분석시료로 사용하였다.

#### 근적외 스펙트럼 및 지방 함량의 측정

근적외 영역의 스펙트럼이 측정가능한 스펙트로포토미터(UV-3101PC, Shimadzu Co., Japan)를 이용하여, 700~2400 nm의 범위에서 매 10 nm의 간격으로 반사도(R : reflectance)를 측정 후 검량식 개발을 위해서 흡광도(log 1/R : absorbance)로 변환시켰다.

분말 감자칩 시료의 스펙트럼 측정시에는 용기의 유리창면을 적분구의 창에 밀착시킨 후에 측정하였다. 그리고, 감자칩 시료의 스펙트럼 측정시에는 Fig. 2와 같이 각 시료의 볼록한 면과 오목한 면에 대해 스펙트럼을 측정하였다.

감자칩의 지방 함량 측정은 표준 지방 함량 정량법인 Soxhlet 추출법을 이용하였다<sup>(6)</sup>.

#### 검량식 작성

측정된 데이터는 검량식 작성(calibration) 데이터와

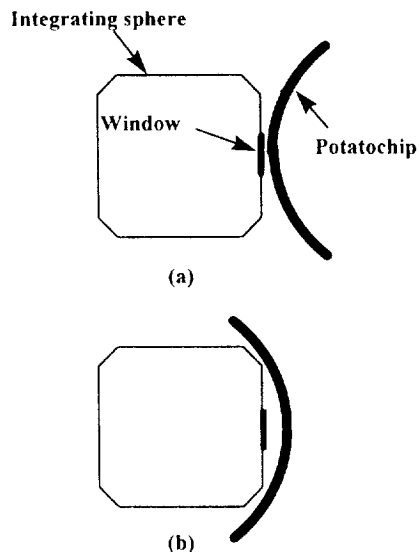
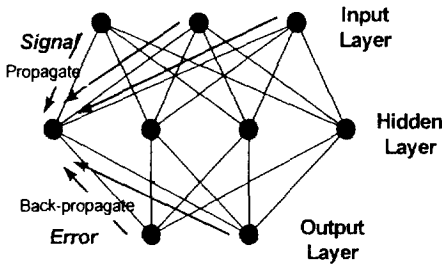


Fig. 2. Measuring position in potatochip (a) Convex surface of potatochip, (b) Concave surface of potatochip

**Table 1. Simple statistics of fat content in potatochip powder and potatochip**

	Potatochip powder		Potatochip	
	Calibration	Prediction	Calibration	Prediction
Number	23	18	50	35
Range (%)	33~45	33~42	34.30~60.68	35~57.22
Mean (%)	38.44	38.29	46.06	45.86
Standard deviation (%)	2.87	2.48	6.12	5.99



**Fig. 3. Multi-layer perceptron model with back-propagation**

검정용(prediction) 데이터의 두 집단으로 나누었다. Table 1은 검량식 작성 및 검정용 데이터의 수와 지방 함량의 분포를 나타내고 있다.

검량식 작성용 데이터에 대해, 지방 함량을 종속 변수로 하고 각 파장에서 흡광도, 각 파장에서의 흡광도들의 비와 차, 2차 미분값을 독립 변수로 하여 상관 분석을 수행하였다.

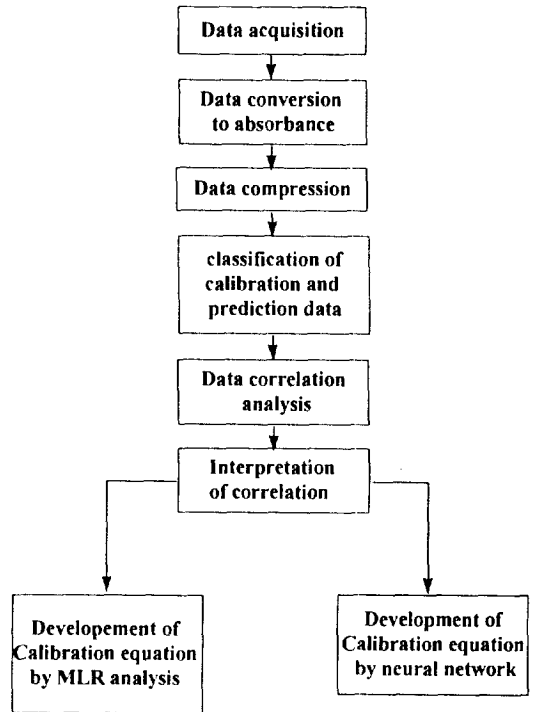
상관 분석을 통하여 가장 좋은 결과를 나타내는 변수들에 대해 stepwise 변수선택법을 수행하였고, 최종적으로 선택된 독립 변수를 가지고 중회귀 모형(multiple linear regression : MLR)에 의해서 검량식을 작성하였다.

또한, 신경 회로망 기법<sup>(9,10,11)</sup>을 이용하여 검량식을 작성하였다. 신경 회로망 모형으로는 Fig. 3과 같은 다층 인식자(multi-layer perceptron, MLP)를 이용하였고, 학습 방법으로는 오류역전파 알고리즘(error back-propagation algorithm, BP)을 이용하였다. 입력은 중회귀 모형에 이용된 독립 변수를 이용하였고, 출력은 지방 함량으로 하였다.

지방 함량에 대한 검량식 작성의 전체적인 개발 순서도는 Fig. 4와 같다.

**검량식의 검증**

작성된 검량식의 평가에는 상관계수(correlation coefficient, r) 또는 결정 계수(determination coefficient,



**Fig. 4. Process of calibration development for determining the content of fat in potatochip**

$R^2$ ), SEC (standard error of calibration)를 이용하였다.

또한, 작성된 검량식을 이용하여 검량식 작성에 이용되지 않은 데이터의 지방 함량을 예측하였다. 예측된 값들에 대한 정확도는 SEP (standard error of prediction)로 나타내었다.

**결과 및 고찰**

**분말 감자칩 시료의 스펙트럼의 특성과 상관 분석**

분말 감자칩 시료의 근적외선 영역에서의 스펙트럼은 Fig. 5와 같다. 1200 nm, 1400 nm, 1700 nm, 2300 nm 근처에서 흡수가 이루어지고 있는데, 이는 지방에 의한 흡수로 여겨지며, 여러 가지 다른 시료에 대한 근적외 스펙트럼에서의 지방 흡수 대역<sup>(4,5)</sup>과 일치한다.

근적외선 영역의 흡광도와 지방 함량과의 상관 분석의 결과는 Table 2와 같다. 흡광도와 지방 함량과의 상관 분석의 결과에 비해, 흡광도의 비나 흡광도의 차를 이용하였을 때 상관 계수가 더 높게 나왔다. 상관 계수가 높게 나온 독립 변수들은 지방의 흡수 파장인 1200 nm, 1400 nm, 1700 nm, 2100 nm 근방의 파장들로 구성되어 있다.

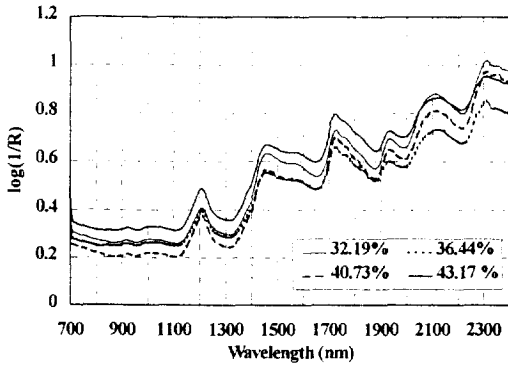


Fig. 5. NIR spectra of the potatochips containing different content of fat

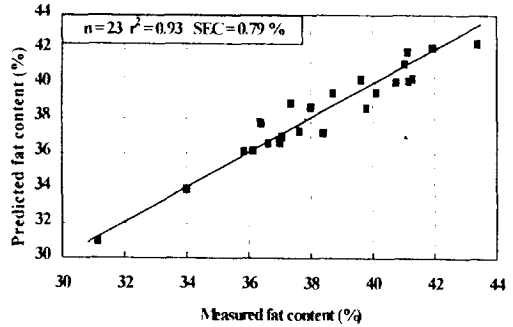


Fig. 6. Relationship between NIR data predicted by regression model and fat content measured by Soxhlet method for potato-chip powder (calibration)

Table 2. Variable having high correlation coefficient for potatochip powder

Variable	Potatochip powder	
	Variable	Correlation coefficient (r)
Log(1/R)	log(1/R <sub>1210</sub> )	0.203
	log(1/R <sub>1720</sub> )	0.337
	log(1/R <sub>2120</sub> )	0.294
	log(1/R <sub>2330</sub> )	0.233
Ratio of log(1/R)	log(1/R <sub>1680</sub> )/log(1/R <sub>1620</sub> )	0.900
	log(1/R <sub>1390</sub> )/log(1/R <sub>1210</sub> )	-0.919
Difference of log (1/R)	log(1/R <sub>2010</sub> )-log(1/R <sub>1740</sub> )	-0.906
	log(1/R <sub>1690</sub> )-log(1/R <sub>1500</sub> )	0.896
	log(1/R <sub>1380</sub> )-log(1/R <sub>1200</sub> )	-0.962
2nd derivative of log (1/R)	d <sup>1</sup> log(1/R <sub>1300</sub> )	0.511
	d <sup>2</sup> log(1/R <sub>1450</sub> )	-0.525
	d <sup>2</sup> log(1/R <sub>1690</sub> )	0.434
	d <sup>2</sup> log(1/R <sub>2170</sub> )	0.626

<sup>1</sup>Variable with maximum coefficient of determination

중회귀 모형에 의한 분말 시료의 검량식 작성 및 검정 상관 계수가 높게 나온 변수들 중에서, stepwise 변수선택법에 의해서 독립 변수를 선택한 후에, 검량식 (1)을 작성하였다. 검량식의 결정 계수의 값은 0.93이며, SEC는 0.79%였다(Fig. 6). 그리고 검정용 데이터에 의해서 예측하였을 때, SEP는 1.29%였다(Fig. 7).

$$\text{Fat content (\%)} = -547.06 \times \left( \log \frac{1}{R_{1380}} - \log \frac{1}{R_{1200}} \right) + 30.75 \quad (1)$$

신경 회로망에 의한 분말 시료의 검량식 작성 및 검정 신경 회로망 기법을 이용하였을 때의 지방 함량의 검량 모형의 구조는 Table 3과 같다. 예측 모형의 결정

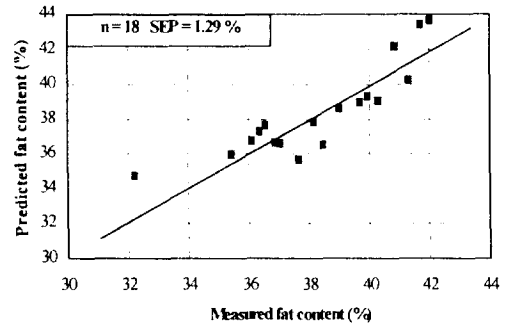


Fig. 7. Relationship between NIR data predicted by regression model and fat content measured by Soxhlet method for potato-chip powder (prediction)

Table 3. Structure of neural network used

	Value
Input variables	log(1/R <sub>1380</sub> )-log(1/R <sub>1200</sub> )
Number of input node	1
Number of hidden node	3
Number of output node	1
Learning rate	0.05
Learning mode	batch type
Sweep	20,000

계수의 값은 0.92이고, SEC는 0.81%, SEP는 1.17%였다(Fig. 8, Fig. 9). SEP를 비교해 볼 때, 신경회로망에 의한 예측 모형이 회귀 분석에 의한 것보다 좋은 결과를 나타냈다.

시료의 분쇄와 근적외 스펙트럼의 측정에 소요되는 시간은 2~3분이며, 예측 모형의 검정 결과를 볼 때, 감자칩의 생산 공정에서 근적외선 분광 분석법에 의한 지방 함량의 신속한 측정은 가능하리라 판단되었다.

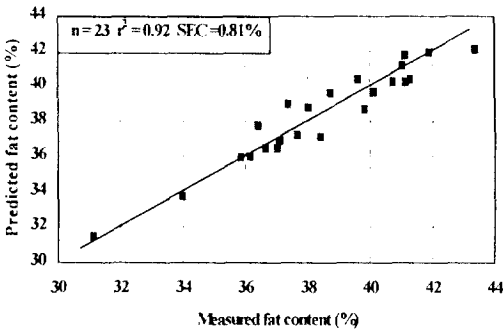


Fig. 8. Relationship between NIR data predicted by neural network model and fat content measured by Soxhlet method for potato-chip powder (calibration)

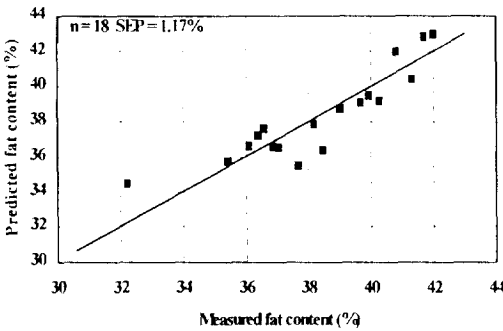


Fig. 9. Relationship between NIR data predicted by neural network model and fat content measured by Soxhlet method for potato-chip powder (prediction)

감자칩에 대한 예측 모형 개발

감자칩의 스펙트럼은 분쇄된 시료의 근적외선 영역의 스펙트럼의 형태와 비슷하게 지방의 흡수 대역인 1200 nm, 1400 nm, 1700 nm, 2300 nm에서 흡수가 나타났다.

감자칩에 대해서는 두 군데의 위치에서 스펙트럼을 측정하였는데, 볼록한 면보다는 오목한 면의 흡광도가 더 높은 것으로 나타났다. 이는 시료를 적분구에 고정시킬 때 볼록한 면보다는 오목한 면이 보다 더 밀착되어, 볼록한 면의 측정시 확산 반사된 빛이 적분구 내로 더 많이 모아지기 때문에 반사도는 높아지고 흡광도는 낮아지는 것으로 판단되었다. 본 연구에서는 볼록한 면의 흡광 스펙트럼이 시료의 성분에 대한 정보를 더 많이 가지고 있을 것이라고 판단되어, 예측 모형의 개발과 검증에 볼록한 면의 흡광 스펙트럼을 이용하였다.

예측 모형 개발용 데이터의 흡광도의 비와 지방 함량과의 상관 관계 분석 결과는 Table 4와 같다. 각 변

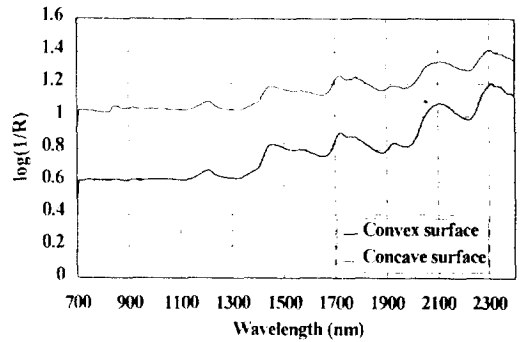


Fig. 10. NIR spectra of potatochip with two measuring position

Table 4. Ratio of wavelength having high correlation coefficient of potatochip

Variables	Correlation coefficient (r)
$\log(1/R_{1860})/\log(1/R_{1530})$	-0.480
$\log(1/R_{1630})/\log(1/R_{1670})$	-0.465
$\log(1/R_{1150})/\log(1/R_{1280})$	0.460

수들과 지방 함량간의 상관 계수의 값이 검량식을 개발하기에는 적절하지 못하다.

감자칩 시료에 대한 지방 함량과 흡광도와의 상관 관계가 낮게 나온 원인으로는, (1) 시료 표면의 거칠기와 (2) 시료 형태의 휘어짐, (3) 시료내의 지방 함량의 균일하지 못함 등을 생각할 수 있다. 시료 표면의 거칠기는 입사한 빛을 산란시키며, 시료의 형태의 휘어짐으로 인해, 확산 반사된 빛의 충분한 양이 적분구로 되돌아 가지 못한다. 또한 시료내의 지방 함량이 균일하지 못하여, 스펙트럼이 측정된 부위의 지방 함량과 속슬렛 추출법에 의해서 측정된 지방 함량과는 차이가 날 수 있다. 이러한 원인으로 분쇄되지 않은 시료 중의 지방 함량 측정은 추후 구체적으로 연구할 필요가 있는 것으로 판단되었다.

요 약

감자칩의 생산 공정에서 속슬렛 추출법에 의한 지방 함량의 측정은 측정 시간이 길어서 공정 제어에 이용하기에 적절하지 못하기 때문에, 근적외선 분광 분석법에 의한 감자칩의 지방 함량의 신속한 측정에 대한 연구를 수행하였다. 분쇄된 시료와 분쇄되지 않은 시료에 대한 스펙트럼과 지방 함량과의 상관 관계를 각각 분석하였고, 분석된 상관 관계를 토대로 하여 예측 모형을 개발하였으며, 개발된 예측 모형에 대해 검

증하였다. 예측 모형의 개발에는 회귀 분석과 신경회로망 기법을 이용하였다.

분쇄된 시료에 대한 지방 함량의 예측 모형은 회귀 모형과 신경 회로망 기법에 의해서, 결정 계수가 각각 0.93, 0.92, SEP는 각각 1.29%, 1.17%였다. 이와 같은 결과에 의해서, 근적외 분광 분석법에 의한 분쇄된 감자칩의 지방 함량의 예측 모형 개발이 가능하다고 판단되었다. 또한 SEP를 비교할 때, 회귀 모형보다는 신경 회로망 기법에 의한 예측 모형이 더 우수한 것으로 나타났다.

분쇄되지 않은 시료에 대한 흡광도와 지방 함량과의 상관 관계 분석 결과, 근적외 분광 분석법에 의한 지방 함량의 예측 모형의 개발은 적절하지 못하다고 판단되었다.

## 문 헌

1. Briggs, D.S.: On-line Moisture and Constituent Analysis. In *Food Processing Automation II*, ASAE, Michigan, p. 18 (1992).
2. Smith, O.: *Potatoes: Production, Storing, Processing*. AVI Publishing, Connecticut, p.558 (1968)
3. Giese, J.: On-line sensors for food processing. *Food Technol.*, **47**(5), 88 (1993)
4. Dull, G.G., Leffler, R.G., Birth, G.S. and Smittle, D.S.: Instrument for nondestructive measurement of soluble solids in honeydew melons. *Transaction of the ASAE.*, **35**, 735 (1992)
5. 오은경, Dieter Grossklaus : 근적외선 반사분광분석법에 의한 정육 및 그 구성성분의 반사 spectra에 관한 연구. *한국식품과학회지*, **24**, 404 (1992)
6. Osborne, B.G., Fearn, T. and Randall, P.G.: Measurement of fat and sucrose in dry cake mixes by near infrared reflectance spectroscopy. *J. of Fd. Technology*, **18**, 651 (1983)
7. Osborne, B.G., Barret, G.M., Cauvain, S.P. and Fearn, T.: The determination of protein, fat and moisture in bread by near infrared reflectance spectroscopy. *J. Sci. Food Agri.*, **35**, 940 (1984)
8. 이만정 : 식품분석. 동명사 (1982)
9. 김승찬, 조성인, 전재근 : 제빵 굽기 공정의 신경회로망 모형화. *한국식품과학회지*, **27**, 525 (1995)
10. Dowell, F.E.: Neural network classification of undamaged and damaged peanut kernels using spectral data. *Presented at 1993 ASAE International Summer Meeting*. Paper No. 93-3050. ASAE, 2950 Niles Rd., St. Joseph, MI 49085-9659, USA (1993)
11. Park, B., Chen, Y.R., Whittaker, A.D., Miller, R.K. and Hale, D.S.: Neural network modeling for beef sensory evaluation. *Transaction of the ASAE.*, **37**, 1547 (1994)

(1996년 5월 2일 접수)