

## 근적외선 분광분석법을 이용한 고춧가루의 수분 및 지방 함량 측정

조성인 · 배영민 · 노대현  
서울대학교 농업생명과학대학 농공학과

### Measurement of Moisture and Fat Contents in Pepper-powder Using Near-infrared Spectroscopy

Seong-In Cho, Young-Min Bae and Dae-Hyun Noh  
Department of Agricultural Engineering, College of Agriculture and  
Life Sciences, Seoul National University

#### Abstract

Measurement of moisture and fat contents in pepper powder is necessary for on-line pepper processing. The measurement was conducted using near-infrared(NIR) spectroscopy. Linear regression model to predict the moisture and fat contents were developed and validated. The prediction model for measuring moisture content had  $R^2$  of 0.99, SEC of 0.62%, and SEP of 0.65%. The prediction model for measuring fat content had  $R^2$  of 0.82, SEC of 0.71%, and SEP of 0.87%. Therefore, measurement of the moisture and fat contents of red-pepper powder using NIR was feasible.

Key words: near-infrared spectroscopy, moisture content, fat content, red-pepper powder

#### 서 론

고추는 한국인의 식생활에 뿌리깊이 토착화하여 전통적 식생활에 빼놓을 수 없는 양념채소작물이다. 생산 면에서도 재배면적이 85,000 ha(1993년 현재)로써 전체채소재배면적의 22.5%를 차지하며 농가의 소득 기여도도 높다. 생식용으로 이용되는 고추를 제외하고 대부분은 건조된 뒤 가루로 분쇄되어 이용되는데, 전통적으로 가정마다 1년분 건조를 일시에 구입하여 분쇄하여 보관하는 형태를 취해 왔다. 그러나, 최근에는 소량의 포장 고춧가루를 수시로 구입 소비하는 가정이 늘고 있으며, 이에 따라 농협을 위주로 한 고춧가루 공장이 증가하고 있다(김병수 등, 1996).

일반적으로 고추는 태양에 의해서 직접 건조되거나, 석탄이나 전기 같은 에너지에 의한 열풍 건조기를 이용하여 건조된다. 열풍 건조기를 이용하여 건조할 때, 효과적인 에너지 이용과 품질 결정을 위해서 수분 함량 측정이 필요하다. 수분 함량의 측정은 오븐 건조법 같은 분석적 방법으로 수행될 수 있지만, 이 방법

은 시간이 너무 오래 걸리기 때문에 건조 공정의 제어에 이용되기에는 적절하지 않고, 신속한 수분 함량의 측정 방법에 관한 연구가 필요하게 되었다. 따라서, 조성인 등(1997)은 핵자기공명법(nuclear magnetic resonance)을 이용하여 고춧가루 수분 함량의 신속 측정에 대한 가능성을 제시하였다.

고춧가루 내에는 보통 고추의 외피를 분쇄한 것과 고추씨를 분쇄한 것이 혼합된 형태로 존재한다. 고추씨에는 지방 함량이 28%정도 포함되어 있기 때문에 시중에 나오는 고춧가루에는 어느 정도의 지방을 포함한다. 그런데, 고춧가루에 포함되어 있는 지방은 고춧가루의 장시간 보관이 부패의 원인이 될 수 있기 때문에 시판되는 고춧가루의 지방 함량의 조절이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 농산물이나 식품 등의 성분 측정(배영민 등, 1996)에 많이 응용되고 있는 근적외선 분광 분석법을 이용하여 고춧가루의 수분 함량과 지방 함량의 측정 가능성에 대하여 알아보았다. 근적외선분광분석법은 농산물에 대한 근적외선 영역의 흡광 스펙트럼의 분석에 의해서 이루어지는데, 신속하고, 비파괴적 측정이 가능하며 시료의 조제가 필요하지 않아서, 공정 제어 등의 온라인(on-line)모니터링에

Corresponding author: Seong-In Cho, Associate Professor, Department of Agricultural Engineering, Seoul National University, Suwon 441-144, Korea

많이 이용된다.

## 재료 및 방법

### 시료의 제조

검량식 개발에 이용되는 시료는 측정하고자 하는 성분의 함량이 나타날 수 있는 영역을 모두 포함해야 하므로, 시료마다 각 성분의 양을 조절하는 과정을 거쳤다. 고춧가루의 수분 함량 존재 영역을 확장시키기 위해서 가수(加水)과정을 거쳤다. 고춧가루에 시료별로 서로 다른 양의 수분을 첨가하였고, 첨가된 수분이 시료 전체에 적절히 확산되도록 3일 간의 균일화 기간을 거쳤다.

고춧가루의 지방 함량은 대부분이 고추씨에서 나오기 때문에, 지방 함량이 폭넓은 범위에서 나타나도록 고춧가루와 고추씨의 성분비를 적절히 변화시켜가면서 혼합하였다. 혼합된 고춧가루는 지방이 적절히 확산되도록 3일 간의 균일화 기간을 거쳤다.

### NIR 스펙트럼의 측정

제조된 시료를 분광분석기(NIRS, USA)에서 제공하는 용기에 10 g 정도 담고 외력을 가하지 않아 일정한 밀도를 유지한 후에 스펙트럼을 측정하였다. 본 연구에서 측정한 스펙트럼의 영역은 가시/근적외선(400 nm~2500 nm)영역이며, 반사도(reflectance, R)를 측정한 후에 흡광도( $\log(1/R)$ )로 변환시켰다.

### 분석적 방법에 의한 성분 측정

수분 함량은 진공 건조법을 이용하여 건조된 시료의 무게 변화를 측정하여 측정하였다. 진공 건조는 0.5 g 정도의 시료를 43°C에서 12시간 건조시키는 것으로 이루어졌다. 지방 함량은 식품 성분 분석에 표준 방법으로 인정되는 속슬렛(soxhlet)법(주현규 등, 1994)을 이용하였다. 지방을 녹이는 데 이용된 용매로는 에틸에테르(ethyl-ether)를 사용하였다.

### 예측 모형의 개발 및 검증

각 과정의 흡광도와 성분과의 상관 관계를 분석하였고, 그것을 바탕으로 한 step-wise 변수 선택법에 의해서 회귀 모형을 개발하였다. 개발된 모형의 결정 계수( $R^2$ )를 계산하였고, 정확도를 평가하기 위해서 SEC (Standard Error of Calibration)를 계산하였다.

개발된 모형은 다시 검증용 데이터를 이용하여 검증을 수행하였으며, 검량식의 과도적합(overfitting)을 평가하기 위해서 SEP (Standard Error of Prediction)를 계산하였다.

## 결과 및 고찰

### 고춧가루의 흡광 스펙트럼

고춧가루의 흡광 스펙트럼과 수분과 지방 함량간의 파장별 상관 관계는 Fig. 1과 같다. 400~700 nm의 파장대는 가시광선 영역으로 700 nm 근방에서부터 흡광도가 매우 낮아지는 것을 볼 수 있다. 이는 고춧가루의 색은 빨간 색이고, 빨간 색의 광반사 영역인 700 nm이기 때문인 것으로 볼 수 있다. 700 nm 이상의 파

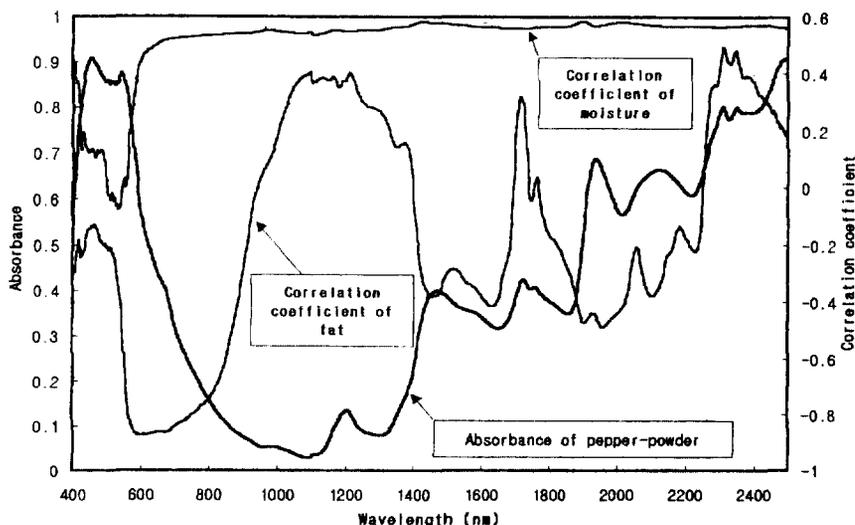


Fig. 1. NIR absorbance spectrum of pepper powder.

장대에서는 여러 개의 완곡한 봉우리(peak)를 이루면서 흡광도가 증가하고 있다. 각 봉우리는 고춧가루에 존재하는 C-H 또는 O-H 등의 결합의 흡광 봉우리들이다. 본 연구에서 검량식 작성의 대상이 되는 수분과 지방은 O-H 또는 C-H 등으로 구성되어 있기 때문에 개발되는 검량식의 독립 변수들은 이들 관련 흡광 봉우리들의 흡광도가 될 것이다.

수분 함량과 근적외선 영역의 흡광도와와의 상관 관계는 전반적으로 상당히 높게 나온 반면에, 지방 함량의 경우, 1200 nm, 1700 nm, 2000 nm 근처의 파장에서 높은 상관 관계가 얻어 졌다.

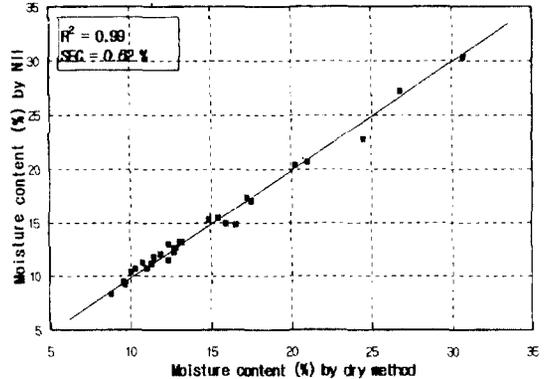
**수분 함량의 검량식 개발**

총 53개의 시료에 대한 흡광 스펙트럼과 수분 함량을 측정하였다. 시료는 검량식 작성용 시료와 검증용 시료의 두 집단으로 나누었다. Table 1은 각 집단의 통계적 특성을 나타낸다. ① 각 집단은 비슷한 통계량을 나타내고 있기 때문에 비슷한 특성의 데이터로 판단할 수 있다. 검량식은 다중 회귀식을 이용하였고, 다중 회귀식에 이용된 독립 변수는 step-wise 변수 선택법에 의해서 선택하였다. 개발된 검량식은 식 (1)과 같다. Step-wise 변수 선택법에 의해서 1204 nm의 파장이 선택되었으며, 이 파장대는 물이 이루는 분자 구조인 O-H의 2차 배음의 영역이다(Williams와 Norris, 1987). 이 파장은 조래광 등(1990)이 고춧가루의 수분 함량 측정에서 이용한 1240 nm의 파장과 근사하다.

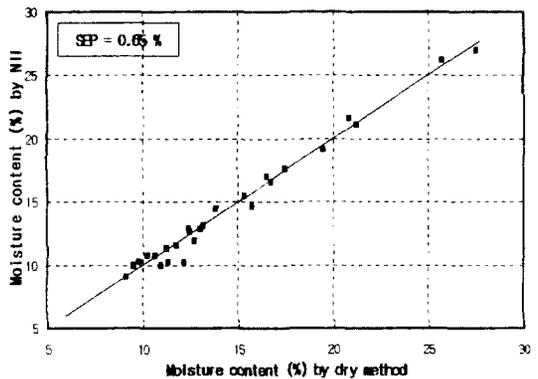
$$\text{Moisture content (\%)} = 34.416 - 204.891 \times \log \left( \frac{1}{R_{1204}} \right) \quad (1)$$

개발된 검량식의 결정 계수는 0.99이고, SEC는 0.62%였다(Fig. 2). 검증용 데이터를 이용하여 검량식을 검증하였을 때 SEP는 0.65%였다. 이 값은 검량식의 SEC값과 거의 같은 수준으로 개발된 검량식은 근적외선 분광 분석법에 의한 수분 함량에 측정이 가능함을 보여주었다.

Fig. 3은 검량식을 이용하여 예측된 수분 함량과 진



**Fig. 2. The regression model to predict moisture content of pepper powder.**



**Fig. 3. Validation of moisture content of pepper powder using the regression model.**

공 건조법을 이용하여 측정된 수분 함량을 비교하여 나타내었다.

**지방 함량의 검량식 개발**

총 52개의 시료에 대한 흡광 스펙트럼과 지방 함량을 측정하였다. 시료는 수분 함량의 검량식 개발에서와 마찬가지로 검량식 작성용 시료와 검증용 시료의 두 집단으로 나누었다. Table 2는 각 집단의 통계적 특성을 나타낸다. 검량식은 다중 회귀 모형을 기본 모형으로 하였고, 독립 변수 선택은 step-wise 변수 선택법

**Table 1. The statistics of samples in development of model predicting moisture content**

	Calibration	Prediction
Number	27	26
Range (%)	8.82~30.68	9.13~27.46
Mean (%)	14.88	14.64
Std. Dev (%)	5.54	4.87

**Table 2. The statistics of samples in development of model predicting moisture content**

	Calibration	Prediction
Number	26	26
Range (%)	6.45~12.60	6.72~12.90
Mean (%)	9.196	9.305
Std. Dev (%)	1.713	1.738

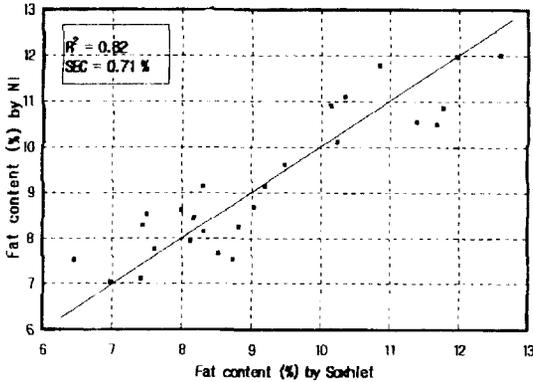


Fig. 4. The regression model to predict fat content of pepper powder.

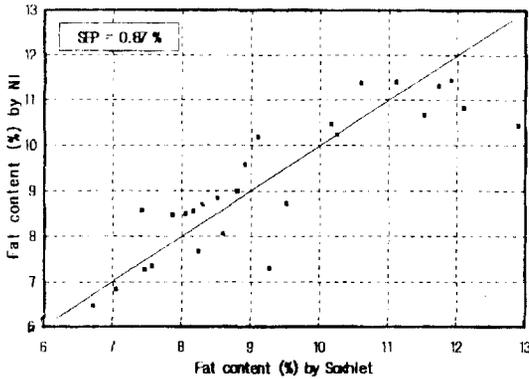


Fig. 5. Validation of fat content of pepper powder using the regression model.

을 이용하였다. 식 (2)는 지방 함량 측정을 위해서 개발된 검량식이다.

$$\text{Fat content(\%)} = 50.123 - 66.240 \times \log \left( \frac{1}{R_{1932}} \right) \quad (2)$$

검량식 개발에 이용된 1932 nm의 파장은 지방에 포함되어 있는 탄소(C)와 수소(H)의 이중 결합의 제 3차 배음(overtone)이며, 이 파장이 지방 함량과 가장 상관관계가 높은 것으로 나타났다. 개발된 검량식의 결정계수는 0.82이고, SEC는 0.71%였다(Fig. 4). 검증용 데이터를 이용하여 검량식을 검증하였을 때 SEP는 0.87%로 SEC와 비슷한 값을 나타내었다.

Fig. 5는 검량식을 이용하여 검증용 데이터에 적용한 결과이다. 지방 함량을 측정하는 검량식의 경우, 수분 함량과는 달리 우수한 측정 능력을 나타내고 있지 않다. 이는 Fig. 1에서 나타난 바와 같이 각 파장에서

의 지방 함량과 흡광도의 상관 계수가 수분 함량에서와는 달리 낮은 값을 나타내고 있기 때문이다. 따라서, 지방 함량의 검량식 개발에서는 본 연구에서 이용된 다중 회귀 분석법을 개선시킨 새로운 검량식 개발법을 이용할 필요가 있다.

최근에 많이 이용되는 검량식 개발법으로는 측정된 스펙트럼 중 한두개의 파장을 이용하는 방법이 아닌 모든 파장을 이용하는 PCR (principal component regression)이나 PLS (partial least square) 등의 통계적 방법과 신경회로망(neural network) 같은 인공 지능 기법 등이 있으며, 이들을 이용하여 검량식의 성능을 개선시킬 수 있을 것으로 판단된다.

## 요 약

근적외선 분광 분석법을 이용하여 고춧가루의 수분 함량과 지방 함량의 신속 측정 가능성에 대해서 연구하였다. 검량식의 기본 모형은 다중 회귀 모형으로 하였으며, 회귀 모형의 독립 변수의 선택은 step-wise법을 이용하였다.

수분 함량을 예측하기 위해서 개발된 검량식은 SEC가 0.62%, SEP은 0.65%정도로 근적외선 분광 분석법에 의한 고춧가루의 수분 함량의 측정 가능성이 매우 높은 것으로 나타났다.

지방 함량을 예측하기 위해서 개발된 검량식은 정확도는 SEC가 0.71%, SEP가 0.87%로 우수한 결과를 나타내고 있지는 않았다. 하지만, 검량식 개발법으로 다중 회귀 분석법 이외에, PCR, PLS, 신경회로망 등을 이용할 경우 검량식의 성능 개선이 이루어 질 것으로 판단된다.

## 참고문헌

- 김병수, 김광용, 김상기, 성진근. 1996. 고추, 수지맞는 기술과 유통 전략. 농민신문사, 서울, 대한민국.
- 배영민, 조성인. 1996. 근적외선 분광 분석법에 의한 감자칩의 지방 함량 측정. 한국식품과학회지 28(5): 916-921.
- 조래광, 홍진환, 김현구, 박무현. 1990. 근적외 분광분석법에 의한 건조고추의 품질 측정. 한국식품과학회지 22(6): 675-680.
- 조성인, 정창호, 노대현. 1997. 10 MHz Pulsed NMR을 이용한 고춧가루의 함수를 측정. 산업식품공학 1(1): 42-46.
- 주현규, 조광연, 박충균, 조규성, 채수규, 마상조. 1994. 식품분석법. 유림출판사, 서울, 대한민국.
- Williams, P. and K. Norris. 1987. Near-Infrared Technology in the Agricultural and Food Industries. American Association of Cereal Chemists, USA.