

# 가시광선 / 근적외선 분광 분석법을 이용한 쌀의 정백수율 측정\*

## Determination of Rice Milling Ratio by Visible/Near-Infrared Spectroscopy

김 재 민*	민 봉 기**	최 창 현*
정회원	정회원	정회원
J. M. Kim	B. K. Min	C. H. Choi

### ABSTRACT

The objective of this research was to develop model equations for measuring rice milling ratio by using visible/NIR spectroscopy. Twelve kinds of brown rice(n=149) were milled to obtain various milling ratio ranged from 86% to 94%. Visible/NIR spectra were collected with a spectrophotometer with sample transport module. The reflectance and transmission spectra were measured in the range of 400~2,500nm and 600~1,400nm, respectively, with 2 nm intervals. Multiple linear regression(MLR), Partial least square (PLS), and Artificial neural network(ANN) were used to develop models. Model developed with reflectance spectra showed better prediction results then those with transmission spectra. The MLR model with six-wavelength obtained from first derivative spectra gave to the best results for measuring the rice milling ratio(SEP = 0.535,  $r^2 = 0.980$ ). The PLS model(SEP = 0.604,  $r^2 = 0.976$ ) and ANN model(SEP = 0.566,  $r^2 = 0.978$ ) also can be used to determine the rice milling ratio effectively.

**주요용어(Key Words):** 가시광선(Visible), 근적외선(Near-Infrared), 쌀(Rice), 정백수율(Milling ratio), 다중회귀분석(Multiple linear regression), 부분최소자승법(Partial least square), 신경회로망(Artificial neural network)

### 1. 서 론

곡물의 가공, 저장 및 유통 과정에서의 손실을 방지하기 위한 연구는 곡물의 생산 못지 않게 중요하게 취급되고 있다. 특히 주식인 쌀의 경우, 도정 과정에서 곡물의 양적, 질적 손실을 절감할 수 있는 도정 과정의 자동화가 절실하게 요구되고 있다.

이를 위해서는 정백수율에 대한 신속하고 객관적

인 측정 방법의 개발이 필요하다. 국내에서의 정백수율 판정은 대부분 경험에 의한 주관적 판단에 의존하고 있으나, 일본의 경우, 일본정미공업회(재)에서는 반드시 백도계(whiteness tester)와 수분계 등을 사용하여 품질 측정을 하도록 규정하고 있고, 우리나라에서도 농협이나 중소형 도정공장에서 품질 측정을 위하여 백도계의 사용이 활발하다. 백도계는 가시광선 영역에서의 특정 파장에 의한 도정된 쌀

\* 본 연구는 농림부 농림수산특정연구과제 연구비 지원으로 수행되었음.

\* 성균관대학교 생물기전공학과

\*\* 한국식품개발연구원 쌀 연구사업단

표면의 반사율을 측정하여 백도로 나타내며 이를 정백수율로 환산할 수 있다. 그러나 단순히 쌀 표면의 색상을 측정하여 나타내므로 정백수율을 표현하는 참고 자료로는 활용할 수 있으나, 동일 정백수율에서도 산지 및 품종에 따른 백도의 차이가 다소 있으므로 단순히 백도를 이용한 정백수율의 측정은 적합하지 않은 것으로 판단된다. 미국의 일부 대형 도정 공장에서는 근적외선 분광분석기를 이용하여 지방 함량을 측정함으로써 정백수율을 측정하고 있다.

정백수율을 측정하기 위한 연구는 오래 전부터 많은 연구자들이 관심을 가지고 연구를 수행하였다. 초기에는 시약을 이용하여 지방 함량을 측정하거나 백미의 색을 측정하여 정백수율을 결정하고자 하였다. 1960년대 이후 분광분석법이 보급되면서부터 반사 및 투과 스펙트럼을 이용한 정백수율 측정에 관한 연구가 수행되었다. Stermer 등(1977)은 백미의 투과율과 지방 함량의 비가 밀접한 관계가 있다는 것을 밝혔으나, 투과율은 산물밀도 등의 영향을 받을 것으로 판단하여 반사율을 측정하여 도정도를 측정하였다. Marshall 등(1993)은 근적외선(1,100~2,500nm)을 이용하여 도정도(Degree of Milling) 측정을 위하여 다중회귀 분석법과 부분 최소자승법을 이용하여 모델을 개발하였다. 다중회귀 모델에서는 2차 미분 스펙트럼을 정규화 하여 1,220, 1,640, 1,720, 2,060, 2,120nm 등 5개의 파장을 사용하였으며, 부분 최소자승법에서는 2차 미분 스펙트럼을 정규화하여 1,100~2,500nm 전 영역의 파장을 이용하여 분석하였다. Marshall 등에 의하면 도정도의 측정은 부분 최소자승법을 이용하는 것이 유리하지만 근적외선 분광분석기의 가격이 고가이므로 필터형의 측정장비를 이용하여 다중회귀 분석에서 개발된 모델을 적용하는 것이 바람직하다고 하였다. 또한, 근적외선 영역뿐만 아니라 가시광선 영역을 포함하여 스펙트럼을 측정한 후 분석하는 것이 모델의 적합성을 높일 수 있을 것으로 측정하였다. 국내에서 근적외선을 이용한 쌀의 도정도 측정에 관한 연구는 전무한 실정이며, 노 등(1990)이 가시광선 영역에서 정백미

의 백도 측정에 관한 연구가 보고된 바 있다. 노 등은 정백도에 따른 반사율의 차이는 420~500nm에서 가장 크게 나타났다고 보고하였다. 또한, 현미 및 백미의 백도는 품종에 따라 차이가 있었고, 함수율은 백도에 영향을 미치지 않는 것으로 보고하였다.

따라서, 본 연구는 가시광선/근적외선 영역(400~2,500nm)을 이용하여 쌀의 정백수율을 판정함에 있어서 사람의 시각과 백도계가 사용하고 있는 가시광선은 물론 쌀 표면의 이화학적 특성 측정이 가능한 근적외선 영역을 사용하여 반사 및 투과 특성을 분석함으로써 비파괴적 방법으로 현장에서 신속하게 정백수율을 측정할 수 있는 방법을 개발하기 위하여 수행하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 재료

공시 재료는 농촌진흥청 산하의 도진흥원에서 배제한 1995년산 원원종의 벼로서 1996년 2월에 구입하였다. 각 지역별로 선택된 품종은 동진(충남, 경북, 경남, 전북), 화성(강원, 전남, 경북, 경기), 일품(경북, 충남, 충북, 경기) 등으로 모두 12개의 재료를 이용하였다.

시료의 장기 보관을 위하여 진공 포장용 비닐 팩으로 밀봉한 후 4℃의 저온 저장고에 보관 하였으며, 벼의 제현시에는 비닐 팩에 넣은 상태로 상온에서 24시간 동안 노출시켜 곡물의 온도를 상온에 도달하도록 하였다.

### 나. 정백수율별 시료 제조

벼는 제현기(Satake, THU 35A, Japan)를 사용하여 왕겨를 제거한 후 1.7mm 줄체와 쇄미 정선기(Satake, TRCO5A, Japan)를 사용하여 미숙립과 쇄미를 제거함으로써 정립의 현미를 선별하였다. 선별된 현미는 시험용 도정기(Toyo Tester Miller, MC-

90A, Japan)를 이용하여 정백수율 94%~86%까지 0.5%~1% 내외의 간격으로 도정을 실시한 후 무게를 측정하였다. 정백수율은 도정전 현미의 중량과 도정 후 백미의 중량의 비로서 나타낼 수 있으므로 다음 식과 같이 계산하였다(Juliano, 1985).

$$\text{정백수율(Milling ratio)} = \frac{\text{도정 후 백미의 중량(g)}}{\text{현미의 중량(g)}} \times 100$$

#### 다. 근적외선 분광광도계

백미의 정백수율별 흡광 스펙트럼의 측정은 근적외선 분광광도계(NIR Systems, Model 6500, Silver Spring, U. S. A.)를 이용하였다. 근적외선 분광광도계는 반사도 및 투과도를 측정할 수 있으며, 시료의 종류에 따라 각각 다른 모듈을 설치하여 측정할 수 있다. 본 연구에서는 백미의 정백수율별 투과 및 반사스펙트럼을 측정하기 위하여 시료이송 장치(Sample Transport Module, NIR Systems, NR-6511, USA)를 근적외선 분광광도계에 부차하여 측정하였다. 시료 이송장치는 넓은 면적의 스펙트럼을 측정할 수 있으므로 시료 채취시의 오차를 줄이고 다량의 시료로 대표성이 향상되며 시료의 전처리에서 발생하는 오차를 줄일 수 있다. 특히, 투과 스펙트럼 측정시 시료의 밀도를 일정하게 하기 위하여 120g의 시료를 일정 높이에서 자유 낙하시켜 시료 이송장치에 투입하였다.

12개의 공시재료 각각에 대하여 정백수율별로 10~20개의 시료를 선정하므로서 총 149개의 시료를 이용하였으며, 400~2,500nm 범위에서 반사 스펙트럼과 투과 스펙트럼을 각각 149개씩 측정하였다.

#### 라. 정백수율 측정모델 개발 방법

스펙트럼을 이용한 정백수율 측정 모델을 개발하기 위하여 149개의 스펙트럼은 교정부 92개와 검증부 57개로 분류하였으며, 교정부의 스펙트럼은 모델

의 개발 단계에서 반복하여 사용 되었고 검증부는 측정 모델의 최종 평가에 사용되었다.

정백수율 측정 모델은 다중회귀 분석법(Multiple Linear Regression; MLR), 부분 최소자승법(Partial Least Square method; PLS), 신경회로망 기법(Artificial Neural Network; ANN)을 이용하여 개발하였다. MLR과 ANN 모델 개발은 NSAS 4.0(NIR Systems, Silver Spring, USA)을 사용 하였으며, PLS 모델은 상용 프로그램인 GRAMS/32(Galactic Industries, Salem, USA)를 사용하였다.

각 모델은 교정부의 표준오차(Standard Error of Calibration, SEC), 검증부의 표준오차(Standard Error of Prediction, SEP), Bias를 이용하여 모델의 측정 성능을 분석하였다. 또한 PLS 모델에서는 PRESS 값을 이용하여 최적 팩터를 결정하였다. SEC, SEP, Bias, PRESS는 다음 식과 같은 방법으로 구하였다.

$$\text{SEC} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{ki} - Y_{pi})^2}{n - f - 1}}$$

$$\text{SEP} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_{ki} - Y_{pi})^2}{n}}$$

$$\text{Bias} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_{ki} - Y_{pi})}{n}$$

$$\text{PRESS} = \sum_{i=1}^n (Y_{ki} - Y_{pi})^2$$

여기서, n: 총 스펙트럼 수

Y<sub>ki</sub>: 실측치

Y<sub>pi</sub>: 측정치

f: 모델에 사용된 변수의 수

각 모델의 개발에는 원시스펙트럼(raw spectrum)과 gap과 평활화 간격을 변화시킨 1차 및 2차 미분스펙트럼(1st & 2nd derivative spectrum)이 사용되었으며, 이들 스펙트럼은 빛의 산란효과를 제거하기 위하여 다분산보정(Multiplicative Scatter Correction; MSC)과 표준정규화(Standard Normal Variate and Detrending)를 적용시킨 전처리 스펙트럼과 전처리를 실시하지 않은 스펙트럼으로 분리하여 분석하였다.

#### 마. 다중회귀 분석을 이용한 정백수율 측정 모델(다중회귀 모델)의 결정 조건

다중회귀 모델은 step-up, stepwise 두 가지 방법으로 모델을 개발하였으며, 최대 6개의 파장을 선택할 수 있도록 설정하였다. 이때, 최적의 모델은 실측치와 측정치 사이의 결정계수( $r^2$ )가 높고, 교정부의 표준 오차가 낮으며, 최소의 파장을 가진 모델로 결정된 후 검증부를 이용하여 검증하여 측정치의 표준 오차와 Bias가 낮은 모델을 최종적인 모델로 결정하였다.

#### 바. PLS를 이용한 정백수율 측정 모델의 결정 조건

PLS 모델의 적정 팩터 수는 PRESS(Prediction Residual Error Sum of Squares)의 수치를 이용하여 결정 하였다. 이때, PRESS 값이 수렴하고 F-test의 결과가 0.75 미만의 값을 나타내는 최초의 팩터를 최적팩터로 결정하였다. 개발된 모델은 검증부의 측정에 적용하여 측정치의 표준오차(SEP)를 이용하여 분석하였다.

#### 사. 신경회로망 기법을 이용한 정백수율 측정 모델(ANN모델)의 결정 조건

가시광선/근적외선 스펙트럼을 이용한 정량 및

정성 분석은 비선형 문제로 해석할 수 있으며, 이러한 비선형 문제는 신경회로망 기법을 이용함으로써 보다 우수한 모델을 개발할 수 있다. 본 연구에서는 많은 신경회로망 기법중 오차역전달회로망(Back propagation network)을 이용하였으며, 하나의 은닉층(hidden layer)을 두었고, 입력층(input layer)은 흡광스펙트럼, 출력층(output layer)은 정백수율로 결정하였다. 스펙트럼의 학습시 입력층과 출력층의 전달함수는 시그모이드 함수를 사용하였으며, 시그모이드 함수의 전달율은 0.25, 학습율(learning rate)은 0.2, 모멘텀(momentum)은 0.3으로 하였다. 또한, ANN 모델은 PLS 분석 결과를 이용하여 개발하였다. PLS 모델에서 파장영역, 수처리방법, 산란보정방법 등을 결정된 후 교정부의 전 스펙트럼을 PLS 분석하였으며, 그 결과를 학습시켜 ANN 모델을 개발하였다. 개발된 모델은 검증부의 측정에 적용하여 측정치의 표준 오차, Bias 등을 분석하여 최적의 모델을 결정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 가. 백미의 정백수율별 스펙트럼

본 연구에 이용된 시료는 현미의 정백수율을 100%로 하였을 때, 백미의 정백 수율은 86.0~94.9 %로서 약 0.5 % 간격으로 도정을 실시한 후 반사 및 투과 스펙트럼을 측정 하였다. 반사 및 투과 스펙트럼은 가시광선/근적외선 영역이 포함된 400~2,500nm 영역에서 2nm 간격으로 측정하였다. 그러나, 투과 스펙트럼의 경우 600~1,400nm 이외의 파장에서는 시스템 감지부의 특성으로 나타나는 잡음이 많아 분석시 사용하지 않았다.

정백수율별 원시 스펙트럼을 분석한 결과 가시광선 영역에서는 현미의 흡광도( $\log(1/R)$ )가 가장 높게 나타났으며, 정백수율이 감소할수록 흡광도는 감소하였다. 근적외선 영역에서는 현미의 흡광도가 가장 낮았으며, 백미의 경우에는 정백수율에 따라 유사한

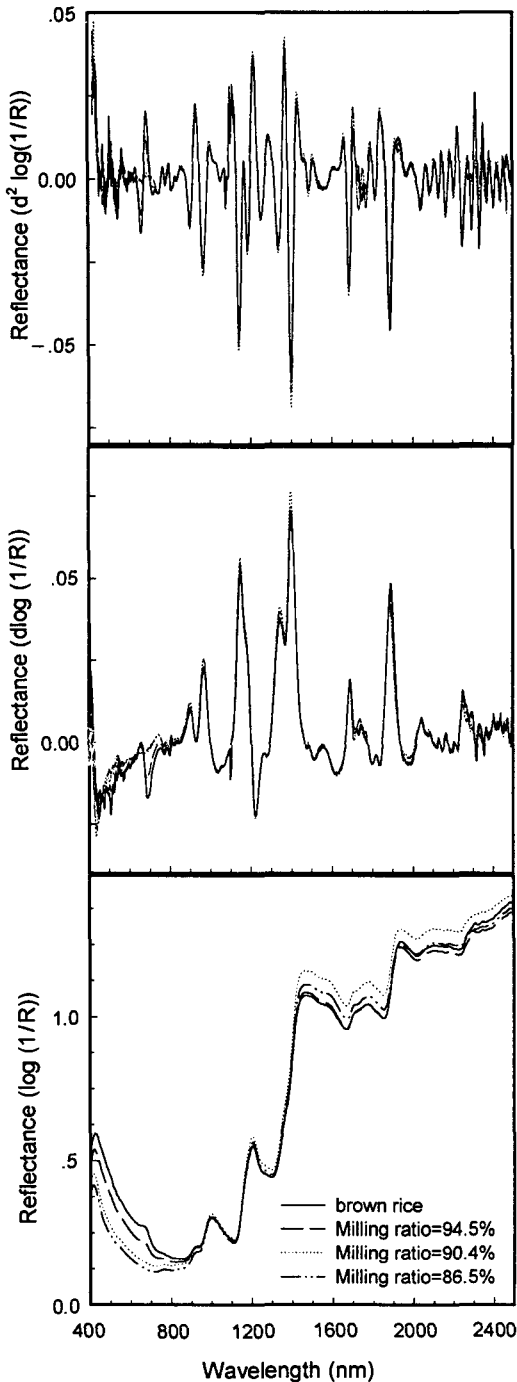


Fig 1. Raw, 1st and 2nd visible/NIR Reflectance spectra for brown rice and various milling ratio.

흡광도를 나타내었다. 그림 1은 백미의 정백수율별 원시, 1차 및 2차 미분한 반사 스펙트럼을 나타내고 있다.

나. 다중회귀 모델을 이용한 정백수율 측정

다중회귀 분석을 이용하여 정백수율 측정 모델을 개발하기 위하여 수처리 및 전처리를 실시한 스펙트럼과 실시하지 않은 반사 및 투과 스펙트럼에 대하여 step-up, stepwise 방법을 적용하였다.

반사 스펙트럼의 경우 Stepwise방법으로 전파장 영역에서 산란보정을 하지 않고 평활화 간격 4nm, gap 8nm로 하여 1차 미분한 후 6개의 파장을 선택하였을 때 가장 적합한 모델을 구할 수 있었다. 사용된 파장은 404, 1,184, 1,216, 1,732, 1,734, 1,846nm 였다. 이 결과를 바탕으로 가시광선인 404nm를 제외한 후, 1,100~2,500nm의 근적외선 영역만을 이용하여 새로운 모델을 구하였지만 만족한 결과를 구하지 못하였다. 따라서, 쌀의 정백수율 측정 모델은 가시광선과 근적외선을 포함한 400~2,500nm의 파장범위에서 개발되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서 구한 다중회귀 모델에서 교정부의  $r^2$ 는 0.984, SEC는 0.416%으로 나타났으며, 57개의 미지시료에 대하여 검증한 결과  $r^2$ 는 0.980, SEP는 0.535%, Bias는 -0.069로 나타나 이 모델은 우수한 모델임을 알 수 있었다. 표 1은 다중회귀 분석 결과를 나타내며, 그림 2는 실제 측정된 정백수율과 다중회귀 모델로 예측한 값의 관계를 나타낸 것이다.

600~1,400nm 영역에서 스펙트럼을 분석한 투과 스펙트럼의 경우에도 반사 스펙트럼의 경우와 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 산란보정을 실시하지 않고 평활화 간격 4nm, gap 8nm로 하여 1차 미분한 후 6개의 파장을 선택한 모델이 가장 우수 하였으며, 교정부의  $r^2$ 는 0.973, SEC는 0.549%로 나타났다. 이때, 사용된 파장은 610, 664, 684, 692, 968, 1,228nm 였다. 투과 스펙트럼을 이용하여 57개의 미지 시료에 대하여 검증한 결과  $r^2$ 는 0.963, SEP는 0.724%,

Bias는 -0.078로 나타났다.

산란보정을 하지 않고 1차 미분하여 6개의 파장을 선택한 모델이 정백수율을 가장 잘 측정할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 1 Summary of multiple linear regression method for calibration and validation results using six wavelength calibration equations by reflectance

Preprocessing	Math. Treatment	No. of Wavelength	Calibration		Validation		
			r <sup>2</sup>	SEC	r <sup>2</sup>	SEP	Bias
None	Raw	6	0.984	0.420	0.977	0.577	0.019
	1st deriv.	6	0.984	0.416	0.980	0.535	0.069
	2nd deriv.	6	0.980	0.465	0.967	0.701	0.092
SNV & Detrend	Raw	6	0.978	0.488	0.967	0.697	-0.039
	1st deriv.	6	0.976	0.510	0.964	0.724	-0.078
	2nd deriv.	6	0.980	0.473	0.969	0.802	-0.073

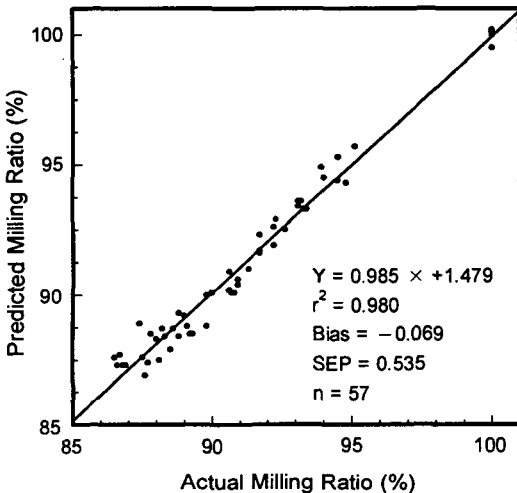


Fig 2. Comparison of actual and predicted values for milling ratio by visible/NIR Reflectance. (Multi-Linear Regression)

다. PLS 모델을 이용한 정백수율 측정

부분 최소자승법은 교정부의 모든 스펙트럼을 각각의 고유벡터(eigenvector)와 스코어(score)로 분해하여 스펙트럼과 성분에 대한 분석을 연속적으로 수

행하게 된다. 본 연구에서는 PLS 모델을 개발하기 위하여 교정부를 수처리 및 전처리를 실시한 스펙트럼과 실시하지 않은 스펙트럼으로 분리하여 각각 교차검증(cross validation)을 실시하였다.

반사 스펙트럼의 경우 400~2,500nm의 전과장 영역에서 PLS를 실시한 결과, 산란보정 및 전처리 방법에 따라 약간의 차이는 있었지만 정백수율과 반사 스펙트럼은 높은 상관관계를 보여 주었다. 본 연구에서는 반사 스펙트럼을 이용한 모델은 원시 스펙트럼을 전과장 영역에서 다분산 보정을 실시하여 적정 팩터를 4로 결정하였을 때, 가장 양호한 모델로 개발할 수 있었다. 이 모델에서 교정부의 r<sup>2</sup>는 0.970 SEC는 0.564%로 나타났으며, 57개의 미지 시료에 대하여 검증한 결과 r<sup>2</sup>는 0.976, SEP는 0.604%, Bias는 -0.145로 나타났다. 표 2는 PLS를 이용한 분석 결과를 나타내며, 그림 3은 실제 정백수율과 본 연구에서 개발된 PLS 모델을 이용한 측정치의 관계를 나타내었다. 표 2에서와 같이 산란보정 및 전처리를 하지 않은 원시 스펙트럼의 경우, 본 연구에서 개발한 PLS 모델보다는 검증 결과가 우수하게 나타났지만 팩터의 수가 8로서 시스템의 잡음 등이 모델에

포함될 가능성이 높아 제외하였다.

투과 스펙트럼에서는 원시 스펙트럼을 전파장 영역에서 산란보정과 전처리를 하지 않고 적정 팩터를 7로 결정하였을 때, 가장 양호한 모델을 작성할 수

있었다. 이 모델에서 교정부의  $r^2$ 는 0.961, SEC는 0.651%로 나타났으며, 57개의 미지 시료에 대하여 검증한 결과  $r^2$ 는 0.964, SEP는 0.720%, Bias는 0.005로 나타났다.

Table 2 Summary of partial least squares method for calibration and validation results by reflectance

Preprocessing	Math.	Factor	Calibration		Validation		
			$r^2$	SECV	$r^2$	SEP	Bias.
None		8	0.971	0.556	0.981	0.529	-0.063
MSC	Raw_data	4	0.970	0.564	0.976	0.604	-0.145
SNV & Det.		7	0.964	0.621	0.973	0.620	-0.016
None	1st	5	0.972	0.547	0.976	0.604	-0.132
MSC	derivative	5	0.970	0.572	0.975	0.596	-0.029
SNV & Det.	(gap = 4)	5	0.966	0.603	0.974	0.606	-0.028
None	2nd	6	0.971	0.558	0.974	0.607	-0.010
MSC	derivative	5	0.964	0.625	0.971	0.642	-0.014
SNV & Det.	(gap = 20)	13	0.972	0.553	0.972	0.636	0.043

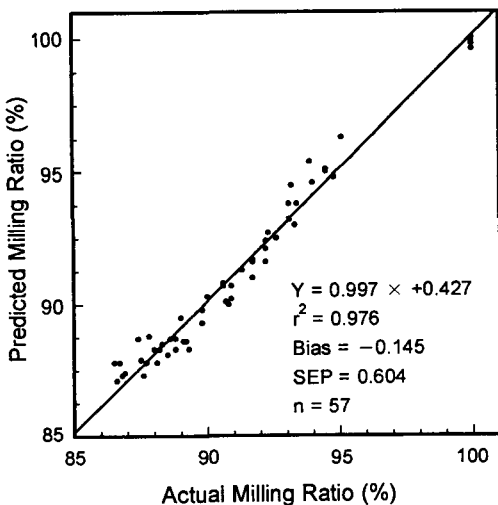


Fig 3. Comparison of actual and predicted values for milling ratio by visible/NIR Reflectance. (Partial Least Squares)

위의 결과에서 알 수 있듯이 PLS 모델은 교정부 보다는 검증부에서 오히려 오차가 줄어들었으며, 다중회귀 모델과 같이 반사 스펙트럼을 이용하여 모델을 개발하면 정백수율을 정확히 측정할 수 있을 것으로 판단된다.

라. ANN 모델을 이용한 정백수율 측정

ANN 모델은 PLS 분석 결과를 기초로 하여 개발하였다. 원시 스펙트럼과 1차 및 2차 미분 스펙트럼을 이용하여 전처리를 하였을 때와 하지 않은 경우 각각에 대하여 모델을 개발하여 비교 하였으며, 각 모델의 교정부의 결정계수와 SEC 값을 검토하여 적정 모델을 선정하였다.

반사 스펙트럼의 경우, 원시 스펙트럼을 전파장 영역에서 전처리를 하지 않고 4nm의 gap으로 1차 미

분한 스펙트럼을 사용한 PLS 모델로서 교정부의 전 스펙트럼을 학습시킨 ANN 모델이 가장 우수한 결과를 나타내었다. 이 모델에서 교정부의  $r^2$ 는 0.997, SEC는 0.143%로 나타났으며, 57개의 미지 시료에 대하여 검증한 결과  $r^2$ 는 0.978, SEP는 0.566%, Bias

는 0.031로 나타났다. 표 3은 반사 스펙트럼을 수처리와 전처리를 하여 신경회로망으로 분석 결과를 나타내며, 그림 4는 실제 정백수율과 본 연구에서 개발된 ANN 모델을 이용한 측정치의 관계를 나타내었다.

Table 3 Summary of artificial neural network method for calibration and validation results by reflectance

Preprocessing	Math. Treatment	Calibration		Validation		
		$r^2$	SEC	$r^2$	SEP	Bias
MSC	Raw	0.979	0.454	0.968	0.690	-0.154
None	1st deriv.	0.997	0.143	0.978	0.566	0.031
None	2nd deriv.	0.990	0.307	0.973	0.626	0.051

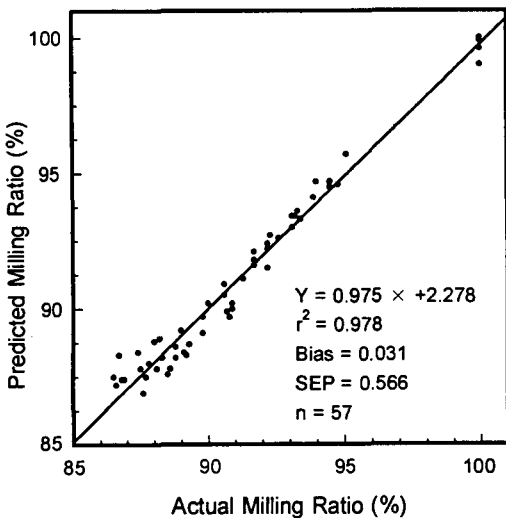


Fig. 4 Comparison of actual and predicted values for milling ratio by visible/NIR Reflectance. (Artificial Neural Network)

투과 스펙트럼에서는 전과장 영역에서 전처리를 하지 않은 원시 스펙트럼에서 적정 팩터를 7로 결정한 PLS 모델을 기초로 하여 개발된 ANN 모델이 가장 양호하였다. 이 모델에서 교정부의  $r^2$ 는 0.978, SEC는 0.439%로 나타났으며, 57개의 미지 시료에 대하여 검증한 결과  $r^2$ 는 0.968, SEP는 0.672%, Bias

는 0.024로 나타났다.

따라서, ANN 모델도 다중회귀 모델 및 PLS 모델과 같이 반사 스펙트럼을 이용하는 것이 우수한 모델을 개발할 수 있었다.

마. 정백수율 측정 모델의 비교

본 연구에서는 반사 스펙트럼을 이용하여 정백수율 측정 모델을 개발하였다. 본 연구에서 개발한 정백수율 측정 모델은 MLR 모델, PLS 모델과 ANN 모델이다. 정백수율은 물리적 특성으로 표현할 수 있으므로 각 측정 모델의 개발에 2차 미분 스펙트럼이 적합하게 사용되지 않은 것으로 판단되었다. 이것은 일반적으로 2차 미분 스펙트럼이 물리적 특성의 분석보다는 이화학적 특성의 분석에 유용하게 이용되기 때문인 것으로 판단되었다. 또한, PLS 모델에서는 각 스펙트럼의 잡음과 산란 등을 제거하여 정백수율과 상관없는 스펙트럼의 피크를 제거하기 위하여 전처리로서 다분산 보정이 사용된 것으로 판단되었다.

표 4는 본 연구에서 개발된 각 모델의 교정부와 검증부의 결과를 나타낸 것이다. MLR 모델과 ANN 모델은 전처리를 하지 않은 1차 미분 스펙트럼을 이



용한 모델이 우수하였으며, PLS 모델은 전처리로서 다분산 보정을 한 원시 스펙트럼으로 모델을 개발한 것이 우수한 것으로 나타났다. 표 4에서와 같이 교

정부의 결과만을 분석할 경우 ANN 모델이 우수하였지만, 검증부의 결과에서는 MLR 모델이 가장 우수한 것으로 나타났다.

Table 4 The best result of calibration and prediction milling ratio for models

Method	Math. Treatment	Preprocessing	Calibration		Validation		
			r <sup>2</sup>	SEC	r <sup>2</sup>	SEP	Bias
MLR	1st derivative	None	0.984	0.416	0.980	0.535	-0.069
PLS	None	MSC	0.970	0.564	0.976	0.604	-0.145
ANN	1st derivative	None	0.997	0.143	0.978	0.566	0.031

#### 4. 결론 및 요약

본 연구는 가시광선/근적외선 분광분석법을 이용하여 쌀의 정백수율을 측정할 수 있는 적정 모델을 개발하기 위하여 수행하였다. 공시 재료는 농촌진흥청 산하의 도진홍원에서 재배하여 저장중인 1995년 산 원원종의 벼로서 재배지역별로 구별하여 3개 품종을 각 4개 도별로 선택하여 1996년 2월에 구입하였다. 각 시료에 대하여 400~2,500nm 영역에서 반사 및 투과 스펙트럼을 측정 하였으며, 특히 투과 스펙트럼은 분석시 600~1,400nm 영역만을 이용하였다. 정백수율 측정 모델은 반사 및 투과 스펙트럼에 대하여 전처리를 하지 않은 원시 스펙트럼과 1차 및 2차 미분 스펙트럼과 각 스펙트럼을 전처리한 스펙트럼을 이용하였다. 측정 모델은 반사 및 투과 스펙트럼에 대하여 다중회귀 분석법(Multiple Linear Regression; MLR), 부분 최소자승법(Partial Least Square method; PLS), 신경회로망 기법(Artificial Neural Network; ANN)을 이용하여 개발하였다.

정백수율 측정을 위한 다중회귀 모델은 투과 스펙트럼을 이용하기 보다는 반사 스펙트럼을 이용하여 전파장 영역에서 전처리를 않은 1차 미분 스펙트럼에 대하여 6개의 파장을 선택하여 모델을 개발하는 것이 정백수율을 가장 잘 측정할 수 있을 것으로 판단된다. PLS 모델은 교정부 보다는 검증부에서 오차

가 줄어들었으며, 다중회귀 모델과 같이 반사 스펙트럼을 이용함으로써 우수한 모델을 개발할 수 있었다. ANN 모델은 반사 스펙트럼을 PLS 분석한 후, 분석 결과를 학습시켜 모델 개발에 이용하였다. 본 연구에서 개발된 ANN 모델은 PLS 모델에 비하여 SEP와 Bias가 감소하는 경향을 나타내어 정백수율 측정용 모델로서 우수하게 이용할 수 있음을 보여 주었다.

위의 결과로부터, 본 연구에서 개발된 세 가지 모델 중에서 다중회귀 모델이 정백수율 측정을 위한 가장 우수한 모델로 나타났으나, PLS 모델 및 ANN 모델 또한 정백수율 측정을 위한 시스템 개발에 적용시킬 수 있을 것으로 판단된다. 다중회귀 모델은 6개의 특정 파장을 사용함으로써 광다이오드와 대역 필터를 이용한 시스템에 적용시킬 수 있으며, PLS 모델과 ANN 모델은 400~2,500nm의 파장 영역에서 스펙트럼을 측정할 수 있는 회절격자형(grating type) 시스템에 적용시켜 가시광선과 근적외선 영역의 전 파장을 이용함으로써 정백수율의 측정 정도를 높일 수 있는 것으로 나타났다.

#### 5. 참고 문헌

1. 고학균, 금동혁, 김만수, 노상하, 문성홍, 박경규, 장동일. 1993. 농산가공기계학. 향문사.

2. 노상하, 也田善郎, 山下律也. 1990. 벼의 분광반사 특성과 이를 이용한 정백미의 백도 측정기 개발. 한국농업기계학회지. 15(1):33-43.
3. Delwiche, S. R., K. S. Mckenzie and B. D. Webb. 1996. Quality Characteristics in Rice by Near-Infrared Reflectance Analysis of Whole-Grain Milled Samples. Cereal Chem. 73(2):257-263.
4. Juliano, B. O. 1985. Rice Chemistry and Technology. Am. Assoc. of Cereal Chemists, Inc., St. Paul, MN.
5. Kao, C. 1986. Determination of Rice Milling Degree with Near Infrared Reflectance Method, Proceedings, 21st Rice Technical Working Group Feb. 24-26. 101-116.
6. Marshall, W. E. and J. I. Wadsworth. 1993. Degree of Milling. Rice Science and Technology. Marcel Dekker, Inc. New York. 139-176.
7. Stermer, R. A., C. A. Watson and E. Dikeman. 1977. Infrared Spectra of Milled Rice. ASAE Paper No. 76-3030.
8. Wadsworth, J. I., D. J. Sequeira, L. Velupillai and L. R. Verma. 1991. Rice Degree of Milling Measured by NIR. ASAE Paper No. 91-6030.