

근적외선분석계를 이용한 국내산 쌀의 성분예측모델 개발(II)⁺
-생벼를 이용한 현미·백미의 단백질 함량과 현미수율 예측-

Development of a Constituent Prediction Model of Domestic
Rice Using Near Infrared Reflectance Analyzer(II)
-Prediction of Brown and Milled Rice Protein Content and
Brown Rice Yield from undried Paddy-

한 충 수*	연 광 석*	藥科 二郎**
정회원	정회원	
C. S. Han	K. S. Yon	J. R. Warashina

ABSTRACT

The part I was for developing regression models to predict the moisture content, protein content and viscosity of brown and milled rice using Near Infrared(NIR) Reflectance analyzer.

The purpose of this study(part II) is to measure fundamental data required for the prediction of rice quality, and to develop regression models to predict the protein content of brown and milled rice, brown rice yield from undried paddy powder by using Near Infrared(NIR) Reflectance analyzer. The results of this study were summarized as follows:

The predicted values of protein contents obtained from the undried paddy powder were well correlated to the measured values from brown and milled rice.

The predicted yields of brown rice from undried paddy powder were not well correlated to the lab measured values from dried paddy. Continuous study in wavelength selection and of constituent relationship is necessary for practical application.

주요 용어(Key Words) : NIR(근적외선), Undried Paddy(생벼), Brown Rice Yield(현미수율), Protein Content (단백질 함량)

+ 이 研究는 忠北大學校 學術研究財團의 연구비와 (株)靜岡製機의 機器 支援으로 수행된 것임.

* 충북대학교 농기계공학과

** 日本 靜岡製機株式會社 電子事業部 分析技術課

1. 서론

현재 벼의 등급판정은 건벼상태에서 실시하므로 생벼수매시 건조시간과 비용이 많이 소요되는 문제점을 안고 있다. 또한 품질검정은 주로 외관특성과 함수율을 기준으로 하고 있다. 그러나 외관특성이 양호하더라도 밥맛이 떨어지면 상품으로써의 가치가 저하되어 소비자가 외면할 것이다.

앞으로 쌀소비 형태는 품질위주의 경향이 더욱 두드러질 것이며, 수입쌀과의 차별화를 위해서는 밥맛에 의한 품질검정과 가격의 차등화가 필요하다고 생각한다. 그러나 밥맛에 의한 품질평가 기술 개발 및 실용화는 아직 미진한 상태이다.

이에 제 1보(1996)에서는 현미·백미 분말로부터 함수율, 단백질 함량 및 점도 예측 모델을 근적외선 분석계를 이용하여 개발하였다. 구체적으로는 동진과 추정 품종에 대한 성분예측모델을 개발하여 정밀도를 검증하였고, 전시료를 사용한 성분예측 모델과의 정밀도를 비교하여 국내쌀 성분예측 모델 개발의 적합한 방법을 제시하였다.

Marshall 등(1993)은 근적외선 분광분석계를 이용하여 도정수율 예측모델을 개발하였다. 김 등(1997)은 가시광선/근적외선 분광법을 이용하여 쌀의 정백수율을 측정하는 모델을 개발하였고, 다중회귀모델이 우수한 것으로 보고하였다. 또한 김 등(1998)이 분광분석법을 이용한 현미의 함수율 및 단백질 함량 예측모델을 개발하여 그 결과가 우수하다고 보고하였다. 그러나 생벼를 이용한 현미·백미의 성분 및 수율 예측모델 개발에 관한 연구는 한 등(1994, 1997)이 처음 실시하였고, 벼의 품질평가방법으로 특허를 취득하였다.

한편 시료를 건조, 탈부, 선별, 정백가공하는 공정을 단축하고 신속한 판정을 위해서는 현미·백미를 이용한 성분예측모델의 개발보다는 수확 직후의 생벼를 바로 이용한 모델개발이 정밀도만 유지되면 바람직하다고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 등급판정과 밥맛 추정에 필요한 기초자료 및 근적외선분광법을 이용한 생벼로부터 성분측정법을 확립할 목적으로 수확후 생벼를 분쇄하여 현미·백미의 단백질 함량의 예측모델을 개발하고, 그 정밀도를 비교·검토하였다. 또한 등급판정에 현미수율이 중요한 요인으로 작용하므로 근적외선분석계를 이용한 현미수율의 예측모델도 검토하였다.

2. 재료 및 방법

가. 공시시료의 수집 및 조제

본 연구에 사용한 공시시료는 1995년산 수확직후의 생벼로 한 시료당 약 500~800g, 각 도별로 10~20개씩 총 80시료를 수집하였다. 초기함수율의 범위는 15~26%(w.b.)였고, 수집된 품종수는 12품종으로 추정과 일품이 각각 24, 21시료로 가장 많았다.

근적외선 분석계(미국, DICKEY-john사, INSTA-LAB 600)를 이용하여 단백질과 현미수율을 측정하기 위한 생벼 시료는 50g을 cyclone-mill(미국, Udy사, 3010-018)로 분쇄(스크린 $\phi 0.5\text{mm}$)하여 사용하였다.

생벼는 14~16%(w.b.)로 음건 후 400~600g을 시험용 현미기로 탈부하여 현미수율을 구하고, 제1보(한 등, 1996)에서와 같이 입선별 후 정백하여 단백질 분석시료로 사용하였다.

나. 측정항목

1) 단백질

제1보에서와 같이 켈달법을 이용하여 현미와 백미 80시료의 질소량을 측정하고, 현미·백미의 질소-단백질 환산계수 5.95를 곱하여 조단백질 함량을 구하였다.

2) 현미수율

현미수율은 입선별 전 현미무게와 투입된 벼무게 비로 나타냈고, 다음과 같이 구하였다.

$$\text{현미수율(\%)} = \frac{\text{입선별전 현미무게}}{\text{투입된 벼무게}} \times 100 \quad (1)$$

다. 모델개발과 검증

근적외선 분석계를 이용하여 측정한 생벼시료는 80개이고, 생벼로부터 현미와 백미의 단백질 함량 및 현미수율 예측모델을 개발하였다.

본 실험에 사용한 근적외선 분석계의 구조 및 측정방법에 관한 것은 제1보(한 등 1996)에서와 같고, 중회귀분석 프로그램(DICKEY-john REGRESSION & DATA COLLECTION PROGRAM, VER. 1.2)을 이용하여 생벼로부터 현미·백미의 단백질 성분과 현미수율의 예측모델을 개발하였다. 실험값은 화학적 분석(Kjeldahl법)에 의한 현미·백미의 단백질값과 탈부 후 상기식에 의한 현미수율값을 사용하였다. 예측모델의 경우 이 프로그램에서는 회귀모델에 설명변수(파장의 사용수)를 10개중 최대 6개까지 지정할 수 있다. 단백질 성분 예측모델 개발의 경우 전파장 10개 중에서 5개를 사용하였고, 현미수율 예측모델의 경우도 전파장 중에서 5개를 사용하였다.

성분 예측 회귀모델의 개발은 시료에 번호를 부여하여 홀수와 짝수로 나누고, 홀수 시료로는 회귀모델을 개발하고, 개발된 식의 검증은 짝수 시료의 파장별 LOG(1/R)값을 개발된 예측모델에 대입하여 화학분석값과 예측값을 비교·검토하였다.

예측모델의 정밀도는 제1보에서와 같이 표준오차(SEC)와 결정계수(r^2)로 나타냈고, 모델의 검증은

예측값의 표준오차(SEP), 결정계수, 예측모델에 의한 예측값의 평균과 화학분석값의 평균과의 차이인 BIAS로 나타냈다. 검증의 척도인 SEP 및 r^2 는 개발된 회귀모델의 SEC 및 r^2 에 가까울수록, 즉 SEP는 작을수록 r^2 는 1에 가까울수록 BIAS는 0에 가까울수록 회귀모델이 정확함을 의미한다.

3. 결과 및 고찰

(1) 생벼를 이용한 현미의 단백질 함량 예측 정밀도

생벼로부터 현미의 단백질 예측 회귀모델 개발에 사용한 파장은 기본 파장 6종류보다 전파장 10종류를 사용하는 것이 정밀도가 높았다. 한편 전파장 10종류 중에서 5종류 이상 사용해도 표준오차(SEC)가 현저히 작아지거나 결정계수(r^2)가 크게 향상되지 않았고, 예측값에 대한 표준오차(SEP)와 r^2 도 크게 향상되지 않았다. 따라서 생벼를 이용한 현미의 단백질 예측모델에 사용한 파장은 각각 2180, 2100, 1940, 1680, 1734nm의 5파장을 사용하였다.

표 1상단에 생벼 41시료로 개발한 현미 단백질 예측모델의 정밀도와 별도의 39시료를 이용하여 예측모델 식 (2)에 대한 검증 정밀도를 나타냈다. 표 1에서 알 수 있듯이 단백질 함량 예측모델의 r^2 , SEC는 각각 0.82, 0.26으로 비교적 높은 정밀도를 나타냈다.

생벼 41시료를 이용한 현미의 단백질 함량 예측 회귀모델은 식 (2)와 같다.

Table 1. Calibration and validation results for protein content prediction model of brown and milled rice using undried paddy

Sample	Constituent	Calibration			Validation			
		n	r^2	SEC	n	r^2	SEP	BIAS
Paddy	Brown rice protein	41	0.82	0.26	39	0.88	0.20	-0.03
	Milled rice protein	41	0.87	0.23	39	0.86	0.25	0.005

$$\begin{aligned} \text{현미단백질}(\%) = & 8.1542 + 0.8999X_{2180} - 0.6564X_{2100} \\ & + 0.0374X_{1940} + 0.5547X_{1680} - 0.8287X_{1734} \end{aligned} \quad (2)$$

현미의 단백질 범위 : 6.20~8.50%

X_{2180} , X_{2100} , X_{1940} , X_{1680} , X_{1734} : 2180, 2100, 1940, 1680, 1734nm에서 얻은 LOG(1/R)의 값

그림 1은 화학 분석법(Kjeldahl법)으로 측정한 현미의 단백질값과 상기 예측모델로 예측한 단백질값과의 상호관계를 나타낸 것이다.

그림 1에서 Kjeldahl법으로 측정한 현미 단백질값의 범위는 9.5~6.4%였고, 예측회귀모델 식 (2)로 예측한 단백질 값의 범위는 9.54~6.39%를 나타냈다. 실제 측정 단백질값과 예측값간의 최소 및 최대오차는 각각 0.01%와 0.44%였다.

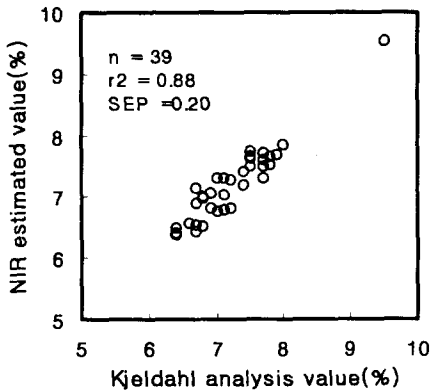


Fig. 1. Comparison of Kjeldahl analysis and NIR estimated values of brown rice protein using undried paddy.

표 1상단과 그림 1에서 알 수 있듯이 생벼를 이용한 단백질 함량 예측 회귀모델을 검정한 결과의 정밀도 r^2 과 SEP는 예측 회귀모델보다 정밀한 0.88, 0.20을 나타냈다. 또한 회귀모델에 의한 예측값의 평균과 표준 측정법의 평균과의 차이인 BIAS도 0에 가깝기 때문에 생벼를 이용한 현미의 단백질 예측모델은 실용상에 충분한 정밀도가 있다고 판단된다.

(2) 생벼를 이용한 백미의 단백질 함량 예측 정밀도

생벼로부터 백미의 단백질 예측모델 개발에 사용한 과장선택은 현미의 단백질 예측모델개발과 같은 방법으로 하였고, 사용한 과장은 현미의 단백질 예측모델에 사용한 것과 같은 종류의 5과장을 사용하는 것이 정밀도가 높게 나타났다.

표 1하단에 백미의 단백질 예측 회귀모델의 정밀도와 별도의 39시료를 이용한 예측모델 식 (3)에 대한 검정 정밀도를 나타냈다. 표 1에 나타냈듯이 백미의 단백질 함량 예측모델의 정밀도인 r^2 , SEC는 각각 0.87, 0.23으로 비교적 높은 정밀도를 나타냈다.

생벼 41시료를 이용하여 개발한 백미의 단백질 함량 예측 회귀모델은 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} \text{백미단백질}(\%) = & 8.3057 + 0.8227X_{2180} - 0.5605X_{2100} \\ & + 0.0450X_{1940} + 0.6569X_{1680} - 0.9849X_{1734} \end{aligned} \quad (3)$$

백미의 단백질 범위 : 5.60~8.10%

X_{2180} , X_{2100} , X_{1940} , X_{1680} , X_{1734} : 2180, 2100, 1940, 1680, 1734nm에서 얻은 LOG(1/R)의 값

그림 2에 화학 분석법(켈달법)으로 측정한 백미 단백질 값과 상기의 예측모델로 예측한 단백질 값과의 관계를 나타냈다.

그림 2에서 Kjeldahl분석법으로 측정한 백미의 단백질값 범위는 9.0~5.6%였고, 식 (3)으로 예측한 단백질값의 범위는 8.63~5.84%를 나타냈다. 실제 측정 단백질값과 예측값간의 최소 및 최대오차는 각각 0.02%와 0.52%를 나타냈다.

표 1하단과 그림 2에서 알 수 있듯이 백미의 단백질 예측모델을 검정한 결과 r^2 과 SEP는 예측 회귀모델의 정밀도와 차이가 적은 0.86, 0.25을 나타냈다. 또한 BIAS도 0.005로 작은 값을 나타냈다. 따라서 생벼를 이용한 백미의 단백질 예측모델도

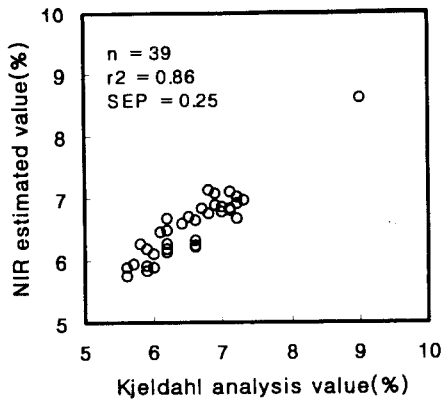


Fig. 2. Comparison of Kjeldahl analysis and NIR estimated values of milled rice protein using undried paddy.

건벼를 백미로 가공하지 않고, 생벼 상태에서 성분 예측에 충분히 적용할 수가 있다고 판단된다.

(3) 생벼를 이용한 현미수율의 예측 정밀도

생벼로부터 현미수율 예측모델 개발에 사용한 파장은 기본 파장 6종류와 전파장 10종류를 사용한 경우, 예측모델의 정밀도는 후자가 높게 나타났다. 한편, 예측모델 개발에는 5종류 이상의 파장을 사용하더라도 정밀도가 크게 향상되지 않았다. 따라서 현미수율 예측모델 개발은 각각 2310, 1940, 1680, 1734, 2139nm의 5종류 파장을 사용였다.

표 2에 생벼 39시료로 개발된 현미수율 예측모델의 정밀도와 별도의 39시료를 이용하여 예측모델 식 (4)에 대한 검정 정밀도를 나타냈다. 표 2에서와 같이 현미수율 예측 회귀모델의 r^2 , SEC는 각각 0.54, 0.61을 나타내 앞에서 설명한 단백질 예측모델의 정밀도 보다 낮게 나타났다.

생벼 39시료를 이용하여 개발한 현미수율의 예측 모델은 식 (4)와 같다.

$$\text{현미수율(\%)} = 68.7728 - 0.4824X_{2310} - 0.1298X_{1940} - 1.0388X_{1680} + 1.0653X_{1734} + 0.6683X_{2139} \quad (4)$$

현미수율의 분포 : 81.31~84.90%

X_{2310} , X_{1940} , X_{1680} , X_{1734} , X_{2139} : 2310, 1940, 1680, 1734, 2139nm에서 얻은 $\text{LOG}(1/R)$ 의 값

그림 3은 생벼를 건조하여 탈부한 후 식 (1)에 의해 계산된 현미수율과 식 (4)로 예측한 현미수율과의 관계를 나타낸 것이다.

그림 3에서 탈부한 후 측정된 현미수율의 범위는 84.75~80.89%였고, 예측모델 식 (4)로 예측한 현미수율의 범위는 84.48~81.59%를 나타냈다. 실제 측정 현미수율과 예측값간의 최소 및 최대오차는 각각 0.20%와 2.21%였다.

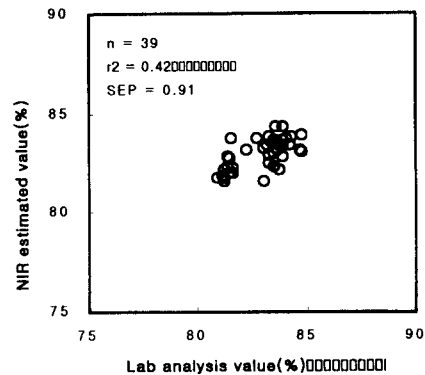


Fig. 3. Comparison of lab analysis and NIR estimated values of brown rice yield using undried paddy.

표 2에 나타났듯이 현미수율 예측모델을 검정한 결과의 정밀도 r^2 과 SEP는 예측모델의 정밀도보다 낮은 0.42, 0.91을 나타냈다. 한편 BIAS는 0.06으로 낮은 값을 나타냈지만, 생벼를 이용한 현미수율 예측모델의 r^2 값이 너무 낮고, 예측값의 최대오차가 2.2%를 나타냈다. 따라서 생벼의 분말을 이용한 현미수율 예측은 실용상에 정밀도가 떨어져 바로 이용할 수 없는 것으로 판단된다.

이와같이 NIR을 이용한 현미수율 예측정밀도가 낮은 이유는 단백질과 같이 화학적인 성분 특성에

Table 2. Calibration and validation results for brown rice yield using undried paddy

Sample	Constituent	Calibration			Validation			
		n	r^2	SEC	n	r^2	SEP	BIAS
Paddy	Brown rice yield	39	0.54	0.61	39	0.42	0.91	0.06

의해 예측하는 것과는 달리 수율은 물리적인 특성 $r^2=0.88$, $SEP=0.20$ 으로 실용 가능성이 충분한 것이기 때문이라 판단된다. 그러나 현미수율은 등급 로 나타났다.

판정시 매우 중요한 인자로 대금정산과 밀접한 관계가 있기 때문에 현미수율과 주요성분과의 관계를 검토하고, 수율에 영향을 미치는 성분과 파장관계를 규명하여 예측모델의 정밀도를 높이는 연구가 계속적으로 필요하다.

4. 결론

제1보에서는 현미·백미의 분말로부터 함수율과 단백질 및 점도를 근적외선 분광법으로 측정하기 위한 예측모델을 개발하고, 그 정밀도를 비교·검토하였다.

한편 신속하게 성분의 함량을 측정하고, 판정하기 위해서는 생벼를 건조, 탈부, 선별, 정백하여 현미·백미로 가공하지 않고 생벼 상태로 측정할 수 있으면 많은 노력이 절감된다.

따라서 본 연구에서는 수확 직후의 생벼를 이용하여 등급판정과 밥맛 추정에 필요한 기초자료 및 근적외선분광법에 의한 성분측정법을 확립할 목적으로 생벼로부터 현미·백미의 단백질 함량과 현미수율의 예측 회귀모델을 개발하여 정밀도를 비교·검토하였다.

연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1)생벼를 이용한 현미단백질 함량의 예측회귀모델 정밀도는 $r^2=0.82$, $SEC=0.26$ 였고, 검증 정밀도는

(2)생벼를 이용한 백미단백질 함량의 예측회귀모델 정밀도는 $r^2=0.87$, $SEC=0.23$ 였고, $r^2=0.86$, $SEP=0.25$ 로 실용상 충분한 정밀도를 얻었다.

(3)생벼로부터 현미수율 예측결과 $r^2=0.54$, $SEC=0.61$ 였고, $r^2=0.42$, $SEP=0.91$ 로 r^2 이 너무 낮게 나타났다. 근적외선분광법을 이용한 현미수율의 예측은 실용상에 있어서 r^2 이 너무 낮아 현미수율과 주요 성분과의 관계 및 파장과의 관계 등을 포함해서 계속적인 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 한충수, 夏賀元康. 1996. 근적외선 분광분석계를 이용한 국내산 쌀의 성분 예측모델 개발(I)-현미와 백미의 성분예측모델-. 한국농업기계학회지 22(1):198~207
2. 김재민 외 3인. 1998. 분광분석법을 이용한 단립 쌀의 함수율 및 단백질 함량 예측모델 개발. 한국농업기계학회지 23(1):49~56
3. 김재민 외 2인. 1997. 가시광선/근적외선 분광분석법을 이용한 쌀의 정백수율 측정. 한국농업기계학회지 22(3):333~342
4. 한충수 외 5인. 1997. 벼의 품질 평가 방법. 특허 제123898호
5. 韓忠洙 外 2人. 1994. 韓國産米の品質改善に關す

- る研究 (第1報), 近赤外分光法による生粉からの玄米 タンパク質含量と食味値の推定. 第53回 日本農機械
・ 精白米の タンパク質含量と歩留の推定. 第53回 學會年次大會. 203~204.
- 日本農機械學會年次大會. 201~202. 7. Marshall, W. E. and J. I. Wadsworth. 1993.
6. 韓忠洙 外 2人. 1994. 韓國産米の品質改善に關す Degree of Milling. Rice Science and Technology.
る研究 (第2報), 近赤外分光法による玄米・精白米の Marcel Dekker, Inc. New York. 139~176.