

근적외선 분광분석법을 이용한 현미의 경도측정 Hardness Measurement of Brown Rice by NIR

임 장 희* 고 학 균* 이 강 진** 조 영 길**
정회원 정회원 정회원 정회원
J.H. Im H.K. Koh K.J. Lee Y.K. Cho

1. 서론

농촌의 소요 노동력과 쌀 생산비용을 줄이고 양질미를 생산하며, 농가의 쌀 판로를 확대하고 민간의 쌀 유통기능을 촉진시킬 목적으로 미곡종합처리장(rice processing complex, RPC)이 보급되고 있어 2004년에는 400개소에 이를 것으로 보고되었다(농협중앙회, 1997). 미곡종합처리장의 주요공정은 선별, 계량, 건조, 저장, 도정 등이며, 반입된 벼의 품질검사를 통해 생산농민에게 할당량을 지급하고 있다. 품질검사 항목은 함수율, 산물무게, 제현율 등으로 벼의 물리적 특성에 치우쳐 있다. 날로 고급화되어 가는 소비자들의 기호를 충족시키기 위한 양질미 생산이라는 미곡종합처리장의 기본목적에 고려할 때, 물리적 품질평가 이상의 평가항목이 추가되어야 할 것으로 보이는데, 이는 곧 쌀의 이화학적 특성이 품질평가 항목에 포함되어야 함을 의미한다. 김정일 등(1994)은 식미관능검사와의 관계를 규명하기 위하여 수분과 외관품질 뿐 아니라, 아밀로즈 함량, 단백질 함량, 알칼리 붕괴도, 점도 등의 변화를 보고하였고, 밥의 식미지수를 경도, 응집성, 탄력성, 점착성의 곱으로 나타냈다.

따라서, 앞으로 미곡종합처리장의 품질평가도 함수율, 산물무게, 제현율 등의 물리적 평가 뿐 아니라, 이화학적 품질평가를 포함하는 종합적인 평가체제의 모색이 필요할 것이다.

본 연구에서는 미곡종합처리장의 종합적인 품질평가체제 개발을 위한 기초연구로서, 도정수율과 상관성이 높은 것으로 보고된 현미의 단립경도(Lu 등, 1995)가 근적외선 분광분석법에 의해 측정이 가능한지의 여부를 조사하였다.

2. 재료 및 방법

가. 실험재료

1997년 10월에 수확된 '화성'을 실험재료로 사용하였다. 선별 후 단립수분계(CRT-800E, SHIZUOKA SEIKI)로 곡립 20개 씩 평균값을 5회에 걸쳐 측정하고 전체평균을 구한 결과 22.1%(w.b.)였다. 먼저 함수율별 경도예측을 위해 가압함은함습기(충해 ENG(주))를 사용하여 목표함수율 12, 14, 16, 18%에 대해 각각 12.4, 14.6, 16.1, 17.7%의 현미를 얻었다. 또한, 현미의 품위별 경도예측을 위해 탈부된 현미(함수율 14.6%)를 색채선별기(RN-500, Kett)를 사용하여 정립, 착색립, 동할미, 사미, 미숙립 등 5가지 품위로 선별하였다.

* 서울대학교 농공학과

** 농촌진흥청 농업기계화연구소

나. 실험방법

1) 스펙트럼 측정

품위별 5가지 종류와 합수율별 4가지 종류의 흡광도 측정을 위해 UV-3101PC1 (SHIMADZU, 일본)을 사용하였다. 각 종류별로 40개 곡립의 흡광도를 900nm~1,900nm 범위에서 반사도(R)를 측정하여 흡광도($\log(1/R)$)로 환산하였다. 그림 1은 현미 낱알의 스펙트럼 측정에 사용된 시료고정장치이며, 측정시 현미의 자세는 배아(embryo)를 기준으로 할 때 생기는 4가지(앞·뒤 × 상·하) 중 한 가지 자세만을 고수하였다. 샘플링 간격은 2nm, 슬릿의 폭은 30nm였다.

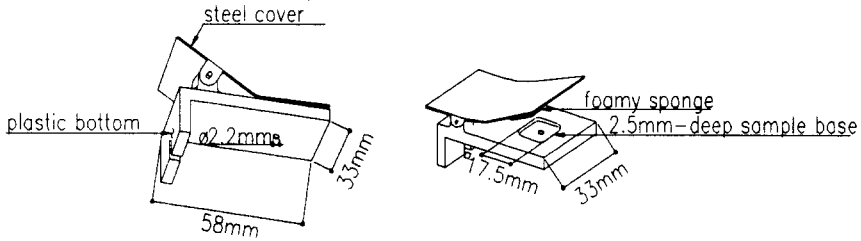


Fig. 1 Sample holder for single-kernel brown rice.

2) 경도측정

경도측정을 위해서는 TA-HD/250 Texture Analyser(STABLE MICRO SYSTEMS, 영국)를 사용하였으며, 압축강도보다 도정수율과의 상관도가 큰 굽힘강도만을 측정하였다. 그림 2는 경도측정 실험에 사용된 측정장치로, 지지대의 직경은 2.8mm, 프로브의 직경은 2.0mm였다. 곡물의 하중재하속도는 미국 농공학회 표준(ASAE S368.3 MAR95)을 따라 1.25mm/min로 하였고, 측정깊이는 0.2mm였다.

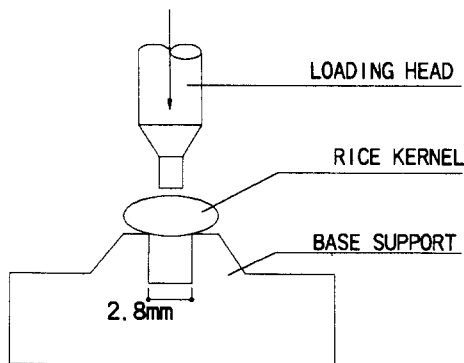


Fig. 2 Dimensions for brown-rice hardness measurement.

3. 결과 및 고찰

가. 경도측정

그림 3(a)는 품위별 각각 40개의 시료에 대한 평균(AVERAGE), 표준편차(STD), 최소값(MIN), 최대값(MAX) 등을 보여준다. cr, wr, co, im, dr은 각각 동할립, 정립, 착색립, 미숙립, 사미 등을 의한다.

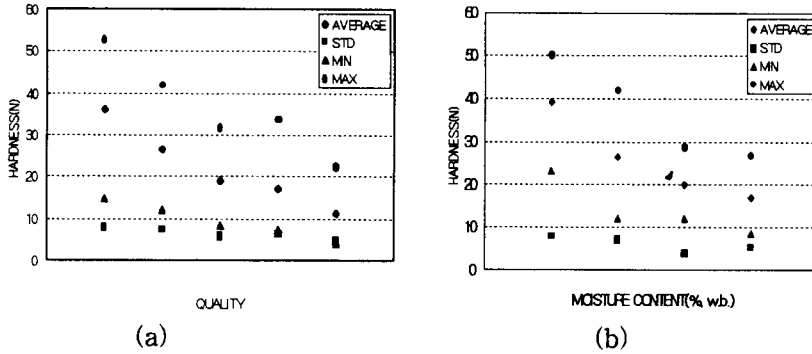


Fig. 3 Hardness distribution of brown rice by external quality or moisture content.

그림 3(b)는 함수율별 경도의 평균(AVERAGE), 표준편차(STD), 최소값(MIN), 최대값(MAX) 등을 보여준다. 함수율 12.4, 14.6, 16.1, 17.7%(w.b.)에서의 평균경도는 각각 39.19, 26.40, 19.82, 16.97N으로 함수율이 높을수록 경도는 낮아지고 경도의 감소율도 낮아졌다. 이는 기존의 연구결과(김만수 등, 1990)와도 일치한다.

나. 흡광스펙트럼 및 2차미분 스펙트럼

그림 5(a)는 품위별 5가지 종류의 시료에 대하여 각각 40개의 흡광도를 평균하여 나타낸 것이고, 그림 5(b)는 함수율별 4가지 종류의 시료에 대하여 평균을 구한 것이다. 품위별, 함수율별 모두 흡광스펙트럼의 외관으로 경도와의 상관성을 발견할 수는 없었다.

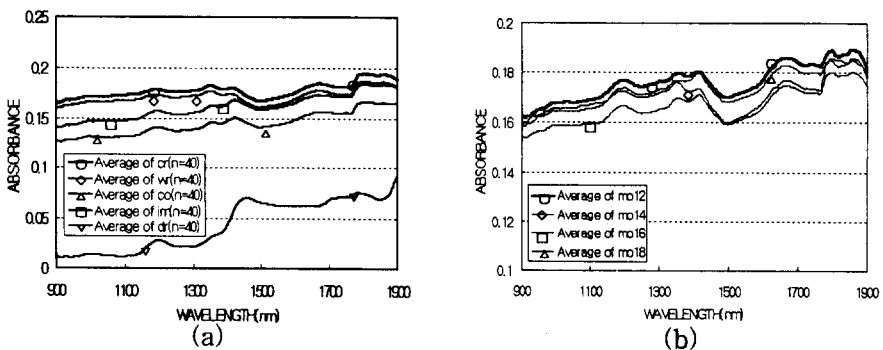


Fig. 5 Mean absorbance spectrum of brown rice with reference to quality or moisture content.

다. 경도예측모델

품위별 5가지 종류의 시료와 함수율별 4가지 종류의 시료에 대해 측정된 각각의 흡광도 파일 200개와 160개에 의한 경도예측모델을 만들기 위해 인공신경망(NeuralWorks Professional II/PLUS and NeuralWorks Explorer, 1991)으로 분석하였다. 품위별 분석을 위해 총 200개의 시료 중 133개는 학습을 위한 하나의 파일로, 67개는 예측을 위한 하나의 파일로 만들었고, 함수율별 분석을 위해서는 총 160개의 시료 중 106개는 학습을 위한 하나의 파일로, 54개는 예측을 위한 하나의 파일로 만들었다.

또한, 2차미분 투과스펙트럼으로부터 수분과 유의성이 있는 것으로 알려진 958, 1,153, 1,409, 1,460, 1,780nm 등 5개의 입력파장대역을 선택하였고(김영봉, 1996), 각 파장은 $\pm 10\text{nm}$ 범위에서 2nm 간격으로 11개의 파장을 포함하게 되므로 총 55개의 입력파장을 얻었다. 스펙트럼을 2차 미분했을 때도 전처리를 하지 않은 경우와 동일한 55개의 파장대역을 선택하였다. 또한, 위의 5가지 파장대역 중 상대적으로 수분 유의성이 높은 2개의 파장대역 1,409, 1,460nm에 대해 각 파장에 대해 $\pm 2\text{nm}$ 범위에서 파장대역당 3개의 입력파장을 얻어 총 6개의 입력파장을 이용하였고, 2차미분 스펙트럼에 대해서도 동일한 파장들을 이용하였다. 그림 6은 900~1,900nm의 전파장 영역에 대한 품위별 경도예측모델의 학습 및 예측 결과를, 그림 7은 전파장 영역에서의 함수율별 경도예측모델의 학습 및 예측 결과를 보여준다.

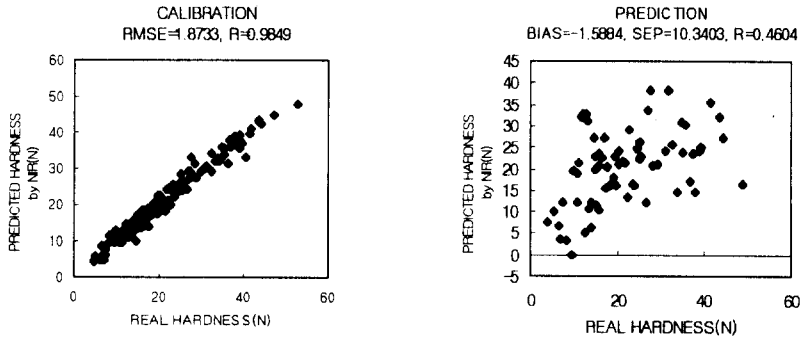


Fig. 6 Learning and prediction with reference to quality, having the original absorbance spectrum over the whole wavelength as input for the network analysis.

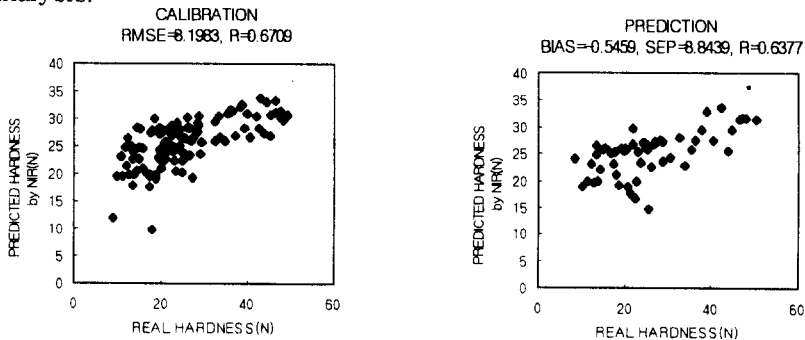


Fig. 7 Learning and prediction with reference to moisture content, having the original absorbance spectrum over the whole wavelength as input for the network analysis.

Table 1 Comparison of models for measuring brown-rice hardness by external quality.

Input band/wave-length	Non-pretreated					Pretreated				
Input band	Calibration		Prediction			Calibration		Prediction		
	RMSE /SEC	R	BIAS	SEP	R	RMSE /SEC	R	BIAS	SEP	R
Overall (900~1,900 nm)	8.1164 RMSE	0.6507	-0.4593	7.8693	0.6916	1.8733 RMSE	0.9849	-1.5884	10.3403	0.4604
5 water-bands	8.3971 RMSE	0.6199	-0.6094	8.0533	0.6760	7.3663 RMSE	0.7261	-0.5415	10.1872	0.4048
2 water-bands	9.0353 SEC	0.5734	-0.7114	8.3572	0.6403	9.3925 SEC	0.5295	-0.7914	10.2201	0.3411

Table 2 Comparison of models for measuring brown-rice hardness by moisture content.

Input band/wave-length	Non-pretreated					Pretreated				
Input band	Calibration		Prediction			Calibration		Prediction		
	RMSE /SEC	R	BIAS	SEP	R	RMSE /SEC	R	BIAS	SEP	R
Overall (900~1,900nm)	8.1983 RMSE	0.6709	-0.5459	8.8439	0.6377	1.4983 RMSE	0.9898	0.9437	12.6406	-0.0804
5 water-bands	9.6820 RMSE	0.3852	-0.8107	10.4035	0.3129	7.4989 RMSE	0.7013	1.5138	14.7725	-0.1805
2 water-bands	10.3962 SEC	0.2990	-0.5022	10.9107	0.1438	10.7803 SEC	0.1473	-0.1763	10.6940	0.2198

표 1은 파장영역별, 전처리 여부에 따른 경도예측모델의 성능을 비교한 것으로, 수분과장 대역을 선별하지 않고 전과장 영역에서의 흡광도를 입력으로 했을 때의 결과가 가장 우수했고, 전처리를 하지 않았을 때가 2차미분 처리를 했을 때보다 우수했다.

표 2는 파장영역별, 전처리 여부에 따른 경도예측모델의 성능을 비교한 것으로, 수분과장 대역을 선별하지 않고 전과장 영역에서의 흡광도를 입력으로 했을 때의 결과가 가장 우수했고, 전처리를 하지 않았을 때가 2차미분 처리를 했을 때보다 우수했다. 특히, 2차미분을 했을 경우 예측은 거의 불가능한 것으로 나타났으며, 이의 개선을 위해서는 학습에 더 많은

시료를 사용해야 할 것으로 판단되었다. 품위별 경도예측모델과 함수율별 경도예측모델 모두 수분대역과장을 5개 또는 2개 선택하여 예측했음에도 성능이 떨어진 것은, 수분 유의성이 반사 또는 흡광스펙트럼이 아닌 투과스펙트럼으로부터 선택되었기 때문인 것으로 보인다.

4. 요약 및 결론

근적외선 분광분석법을 이용한 현미의 경도예측 가능성을 알아보기로 정립, 착색립, 동할립, 사미, 미숙립 등 품위별 5가지 시료와, 12.4, 14.6, 16.1, 17.7% 등 함수율별 4가지 시료의 경도를 측정하였고, 단립의 흡광도를 900~1,900nm 범위에서 측정하여 경도예측을 위한 인공신경망 모델을 개발하였다. 인공신경망 모델에 의한 품위별 예측이나 함수율별 예측 모두 흡광스펙트럼을 2차미분 처리했을 때의 경도예측성능이 전처리를 하지 않았을 때보다 낮았다. 특히, 2차미분 모델에 의한 함수율별 경도예측은 전혀 유의성이 없는 것으로 나타났다. 입력과장대역의 개수에 따라 전과장 영역의 흡광도를 입력으로 한 경우, 5개 및 2개의 수분과장대역에서의 흡광도를 입력으로 한 경우에 따른 예측모델을 개발하였다. 그 결과 전처리 여부에 관계없이 입력과장대역의 수가 감소할수록 예측성능이 전반적으로 저하되었다. 또한, 함수율별 예측모델보다는 품위별 예측모델의 예측성능이 우수했다.

Delwiche(1993)는 밀의 단립경도를 분광분석법으로 예측하기 위하여 투과도를 측정하였는데, 현미의 경우도 반사도보다는 투과도를 측정하는 것이 내부성질을 알아내는데 유리하리라 판단된다.

5. 참고문헌

1. 농협중앙회. 1997. 미곡종합처리장 사업평가와 발전방향.
2. 김정일 외 2인. 1994. 미질향상 재배기술 개발 연구. 농촌진흥청 작물시험장 1994년도 시험연구보고서:420-427.
3. 김만수의 3인. 1990. 벼의 생물체 항복강도 및 극한강도. 한국농업기계학회지 15(2): 99-109.
4. 김영봉. 1996. 식품의 성분분석을 위한 근적외선(NIR)의 이용(I). 식품기술 제9권 제 1호:24-37.
5. 김재민, 민봉기, 최창현. 1997. 가시광선/근적외선을 이용한 쌀의 정백수율 측정. 한국농업기계학회지 22(3):333-342
6. Delwiche, S. R. 1993. Measurement of single-kernel wheat hardness using near-infrared transmittance. Transactions of the ASAE 36(5):1431-1437.
7. Lu, R. and T. J. Siebenmorgen. 1995. Correlation and head rice yield to selected physical and mechanical properties of rice kernels. Transactions of the ASAE 38(3):889-894.