

분광 반사특성을 이용한 현미의 품위 판별

Discriminant Analysis for Brown Rice by Spectral Reflectance

최 창 현*	김 재 민**	김 중 훈**
정회원	정회원	정회원
C.H.Choi	J.M.Kim	J.H.Kim

1. 서 론

농가에서 수확한 벼를 정부에서 수매할 때는 주로 지정된 검사원에 의해 현지에서 등급이 판정되며 필요할 경우에만 정밀한 농산물 검사규격의 등급 판정이 요구된다. 그러나 사람의 경험에 의한 품질 평가는 신속하게 판별하는 장점이 있는 반면, 객관적인 평가를 하기에는 미흡하다. 현재 우리 나라의 쌀은 검사규격에 근거하여 등급화하여 수매되고 가공되어 소비자에게까지 유통 판매되고 있다. 이 검사규격은 과거 쌀이 부족한 시기에 식량확보를 위해 만들어진 것이 대부분이다. 이를 개선하기 위해서는 농가의 소득에 직접적으로 연관된 공정하고 객관적인 품질 등급 기준을 보다 현실에 맞게 세분화하여 고품질의 쌀 생산을 유도해야 한다.

농촌노동력의 절감, 미곡손실의 감소, 미곡유통의 합리화, 미질 향상, 부산물의 활용도 제고 등의 목적으로 정부차원에서 추진되고 있는 미곡 종합처리 시설에 이용되는 쌀의 품질판정 시스템은 농산물의 물성에 관한 자료의 부족 때문에 국내 생산품은 거의 없고 수입에 의존하는 것이 현실이다. 그러므로 우리 나라에서 생산되는 농산물의 물성에 관한 기초 자료가 조사되어야 하며, 그 기초 자료를 토대로 객관적인 선별 및 품질 판정을 할 수 있는 근거가 마련되어야 한다. 특히, 우리 나라에서 가장 큰 비중을 차지하는 농산물인 쌀은 그 물성에 관한 구체적인 연구가 빨리 이루어져 쌀의 선별 및 품질 판정 등에서 자동화가 이루어져야 한다.

따라서, 본 연구는 가시광선/근적외선 분광반사 특성을 이용하여 단립 현미의 광학적 특성을 분석하고, 판별분석법을 이용하여 단립 현미의 품위 판정용 모델을 개발하기 위하여 수행하였다.

* 성균관대학교

** 한국식품개발연구원

2. 재료 및 방법

가. 공시재료

실험에 사용된 공시재료는 1997년도에 전북 고창지역에서 생산된 동진벼와 경기 이천지역에서 생산된 추청벼를 사용하였다.

본 실험에서는 현미의 품위에 따라 국립농산물검사소의 검사규격에 의거하여 외관상태에 따라 정상립·피해립·동할립·백미숙립·청미숙립·백사미·청사미·다미·착색립으로 구분하였고, 스펙트럼 측정에 사용된 시료의 수는 표 1과 같다.

시료의 장기보관을 위하여 진공 포장용 비닐 팩으로 밀봉한 후 4℃의 저온 냉장고에 보관하였으며, 스펙트럼의 측정시에는 비닐 팩에 넣은 상태로 상온에서 24시간 동안 노출시켜 곡물의 온도를 상온에 도달하도록 하였다.

Table 1 Variety and number of samples

Variety	Normal	Damage	Red	Discolored	Crack
Number of samples	200	200	59	161	200
Variety	Immature		Dead		
	white	greenish	white	greenish	
Number of samples	200	200	200	200	

나. 실험장치 및 방법

가시광선/근적외선 영역의 스펙트럼은 근적외선 분광분석기(NIRSystems, Model 6500, FOSS사, USA)를 이용하여 측정하였다. 근적외선 분광분석기는 회절격자형으로 400~2500nm의 파장범위에서 2nm간격으로 반사 및 투과 스펙트럼을 측정 할 수 있으며, 파장의 정밀도는 $\pm 0.3\text{nm}$ 이다. 본 연구에서는 단립 시료의 위치를 일정하게 유지시킨 후 스펙트럼을 측정하기 위하여 근적외선 분광분석기에 수평시료장치를 제작하여 부착하였다. 스펙트럼은 400~2500nm의 파장영역에서 2nm간격으로 측정하였으며, 근적외선 분광분석기의 구동을 위하여 전용 프로그램인 NSAS(NIRSystems, Silver Spring, USA)를 이용하였다. 기준 스펙트럼(Reference)은 항상 일정한 흡광도를 나타내는 세라믹판(Ceramic plate)을 이용하였다.

다. 모델 개발

본 실험에서는 현미의 품위별 판별분석을 실시하고 모델을 개발하였다. 품위별로는 9개의

집단으로 현미를 분류하였으며 각 집단별로 200개(단, 다미는 59개, 착색립은 161개)의 시료의 스펙트럼을 측정하였다. 각 집단별 스펙트럼 200개중에서 교정부(Calibration Set)의 100개(단, 다미는 30개, 착색립은 80개)스펙트럼으로 표준스펙트럼을 구하여 모델을 개발하였고, 각 집단별 검증부(Validation Set)의 100개의 스펙트럼으로 개발된 모델을 검증하였다. 검증부의 각 스펙트럼이 속한 집단은 미지의 스펙트럼과 각 집단의 표준 스펙트럼까지의 공간상의 거리를 계산하여 가장 가까운 집단으로 결정되었다.

판별분석용 모델의 수학적 처리 및 산란보정 방법은 예비분석을 통하여 결정하였고, 각 품위 집단별로 스펙트럼을 교차검증하여 판별분석에 적합한 팩터의 수를 탐색하였다. 적정 팩터의 수는 교정부의 결과에서 오판된 시료의 수가 최소인 것을 선택하였다.

3. 결과 및 고찰

가. 각 개체의 Spectrum

본 실험에서는 현미의 품위에 따라 국립농산물검사소의 검사규격에 의하여 정상립을 기준으로 하여 피해립·동할립·백미숙립·청미숙립·백사미·청사미·다미·착색립의 9가지로 선별하였다. 미숙립과 사미의 차이는 육안으로 시료를 관찰하여 광택이 있는 것은 미숙립으로, 광택이 없는 것은 사미로 분류하였다.

정상립을 포함한 9가지의 시료를 이용하여 현미의 품위별 분광반사의 특성을 분석하기 위하여 근적외선 분광분석기에 단립의 스펙트럼 측정용 시료대를 부착하여 400~2500nm영역에서 흡광도를 측정하였다. 정상립, 백미숙립, 착색립의 흡광도는 그림 1과 같으며, 그림 2에는 정상립에 대한 청사미와 청미숙립의 흡광도를 나타내었으며, 그림 3에는 정상립, 동할립, 백사미의 흡광도를 나타내었고, 그림 4에는 정상립에 대한 다미, 피해립을 나타내었다. 그림 1, 2, 3, 4에서와 같이 현미의 흡광도는 1100nm를 기준으로 가시광선 영역인 400~750nm까지는 외부상태에 따라 흡광도가 변화하였으며, 근적외선의 영역대인 1100~2500nm에서는 내부 성분의 구성에 따라서 흡광도의 차이가 나타남을 알 수 있었다.

정상립과 동할립은 전 파장영역에 걸쳐 같은 형상의 스펙트럼을 보였으며, 동할립에 비하여 정상립의 흡광도가 높게 나타났다. 착색립은 정상립에 비하여 파장대의 전 영역에서 흡광도가 낮게 나타났다. 청사미와 청미숙립은 가시광선과 근적외선 영역에서 흡광도의 형상이 유사한 경향을 나타내었으나, 청미숙립의 흡광도가 높게 나타났다. 또한, 청사미와 청미숙립은 엽록소 흡수대역인 675nm에서 흡광도의 피크를 나타내었다. 정상립과 백사미는 400~1300nm 영역에서 흡광도가 조금 차이가 나타났으나 1300~2500nm 영역에서는 흡광도의 형태가 유사한 형태로 나타났다. 다미는 표면 색이 붉은 색을 띠므로 600nm 이후의 가시광선 영역에서는 흡광도가 급격하게 감소하는 경향을 나타내었다.

피해립은 400~600nm 영역에서는 정상립과 유사한 스펙트럼을 나타내었으나, 600~900nm 영역에서는 흡광도가 급격하게 감소하였다. 1100nm 이상의 근적외선 영역에서는 정상립과 같은 형상의 스펙트럼을 나타내었다.

나. 판별분석

현미의 품위별 특성의 분류를 위하여 가시광선 및 근적외선 영역의 스펙트럼을 이용하여 판별분석을 하였다. 각 품위별 200개(단, 다미는 59개, 착색립은 161개)의 스펙트럼 중에서 100개(단, 다미는 30개, 착색립은 80개)씩을 임의 추출하여 총 810개의 스펙트럼을 교정부로 활용하여 모델을 개발하였고, 나머지 100개(단, 다미는 29개, 착색립은 81개)씩의 스펙트럼은 검증부로서 개발된 모델의 검증에 이용하였다.

판별분석에 이용된 스펙트럼은 400~1100nm의 가시광선 및 근적외선 영역과 1100~2500nm의 근적외선 영역을 포함한 400~2500nm의 전영역의 파장을 이용하였다. 실험에 이용된 근적외선 분광분석기의 감지부가 1100nm를 기준으로 하여 가시광선용과 근적외선용으로 분리되므로 1100nm를 기준으로 가시광선 영역과 근적외선 영역의 스펙트럼으로 분리하였다.

400~2500nm의 전과장 영역을 이용하여 정상립과 8종류의 비정상립을 1 : 1로 판별측정한 결과 모든 교정부에서 100.00%의 판별율을 보였다. 그리고 검증부의 판별율은 각각 97.50~100.00%의 판별율을 나타내었다. 특히 검증부의 판별에서 피해립 1개, 동할립 2개, 백사미 5개, 착색립 1개는 각각 정상립으로 오판되었다. 동할립이 정상립으로 판별된 시료는 부분적으로 금이 간 시료가 동할립으로 분류되어 정상립과 오류를 일으킨 것으로 판단된다.

400~2500nm의 영역을 이용하여 정상립과 착색립, 동할립의 스펙트럼을 이용하여 판별분석을 실시하였다. 280개의 교정부의 판별결과는 99.64%의 판별율을 보였고, 281개의 검증부로 검증한 결과는 98.93%의 판별율을 나타내었다. 교정부에서 동할립 1개가 착색립으로 오인되었으나 다른 시료의 판별은 정확하였다. 검증부에서는 착색립 1개가 동할립으로, 착색립 2개가 정상립으로 오인되고, 다른 시료는 정확하게 판별되었다.

정상립, 백미숙립, 청사미, 다미, 피해립, 동할립, 청미숙립, 백사미, 착색립의 9개의 시료를 동시에 판별 측정한 결과, 400~2500nm의 영역을 이용한 모델은 810개의 교정부의 판별결과는 44개를 오인하여 94.57%의 판별율을 나타내었고, 810개의 검증부의 판별결과는 54개를 오인하여 93.33%의 판별율을 나타내었다.

위의 결과에서와 같이 가시광선/근적외선을 이용한 판별분석에서는 가시광선 및 근적외선 영역을 포함하는 400~2500nm의 전과장영역에서 현미의 품위판정을 위한 판별분석용 모델을 개발한 결과, 검증부의 판별율이 93.33%로 나타났다.

위에서 개발된 가시광선/근적외선을 이용한 현미의 품위 판정용 모델은 김(1997)의 모델보다 교정부와 검증부의 스펙트럼의 수를 충분히 확보하여 판별율은 높게 나타났으나, 반사 스펙트럼을 이용한 판별분석의 모델은 여전히 6.66%의 오차를 나타내었다. 따라서 판별율을 더 높이기 위한 방법으로 반사 스펙트럼만을 이용하는 것보다 반사 및 투과 스펙트럼을 이용한 현미의 품위판정용 모델을 개발하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 가시광선/근적외선을 이용하여 단립 현미의 광학적 특성을 분석하고, 현미의 품위 판정용 모델 개발을 위한 기초 자료를 제공하기 위하여 수행하였다. 시료의 스펙트럼은 400~2500nm의 파장영역에서 근적외선 분광분석기를 이용하여 측정하였다. 현미의 품위별 스펙트럼의 측정은 단립 시료를 이용하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 현미 시료를 정상립, 피해립, 동할립, 백미숙립, 청미숙립, 백사미, 청사미, 다미, 착색립의 9가지로 선별하여 각각의 반사 스펙트럼을 400~2500nm의 파장 영역에서 측정하였다. 전 파장 영역대에서 정상립에 비하여 착색립과 동할립은 흡광도가 낮은 스펙트럼을 보였고, 동할립은 정상립과 같은 형상의 스펙트럼을 보였다.
- 2) 400~2500nm의 파장영역에서 제시한 현미의 품위별 반사 스펙트럼을 측정하여, 품위를 판별하기 위하여 각 스펙트럼을 교정부와 검증부로 분리되었으며, 교정부는 모델 개발에, 검증부는 모델의 검증에 각각 사용된 판별분석법을 이용한 모델을 개발하였다. 현미의 교정부의 판별율은 94.57%였으며, 검증부의 판별율은 93.33%로 나타났다.

5. 참고 문헌

1. 고학균, 금동혁, 김만수, 노상하, 문성홍, 박경규, 장동일. 1990. 농산가공기계학. 문운당.
2. 김재민. 1997. 광학적 특성을 이용한 쌀의 품질판정. 성균관대학교 박사 학위 논문.
3. 김재민, 민봉기, 최창현. 1997. 가시광선/근적외선을 이용한 정백수율 측정. 한국농업기계학회지 22(3):333-342.
4. 김재민, 최창현. 광학적 특성을 이용한 현미 및 백미의 품위 판별. 성균관대학교 논문집.
5. 임장희, 고학균, 이강진, 조영길. 1998. 근적외선 분광 분석법을 이용한 현미의 경도 측정. 한국농업기계학회 하계학술대회 논문집 3(2):178-184.
6. Delwiche, S. R. and K. H. Norris. 1993 Classification of Hard Red Wheat by Near-Infrared Diffuse Reflectance Spectroscopy. Cereal Chemistry 70(1):29-35
7. Delwiche, S. R. 1993. Measurement of Single-Kernel Wheat Hardness using Near-Infrared Transmittance. Transaction of the ASAE 36(4):1431-1437.

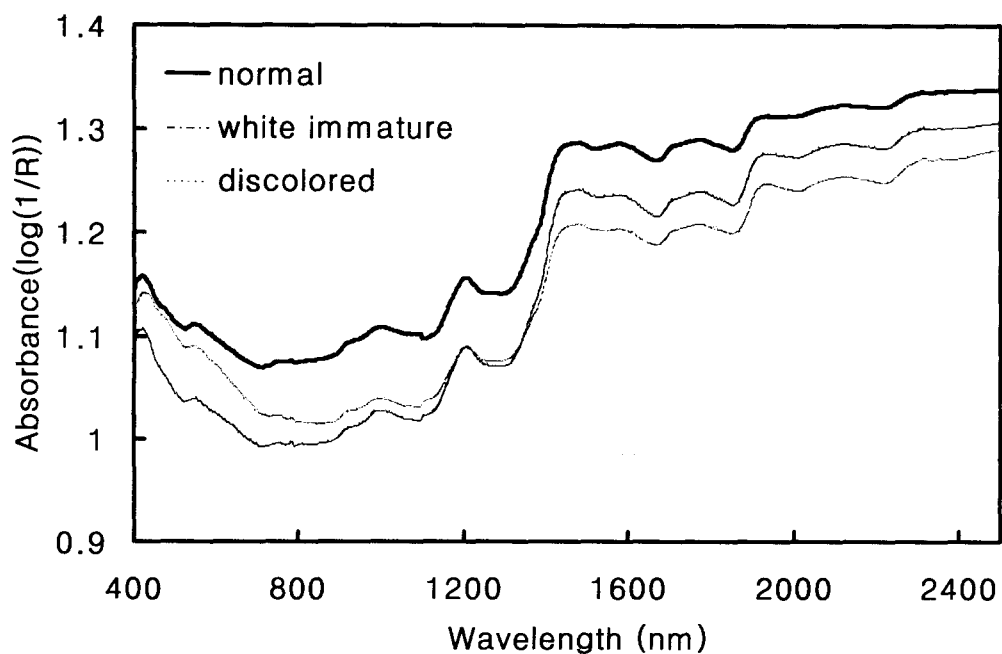


Fig. 1 Spectra for normal, white immature, and discolored brown rice kernels.

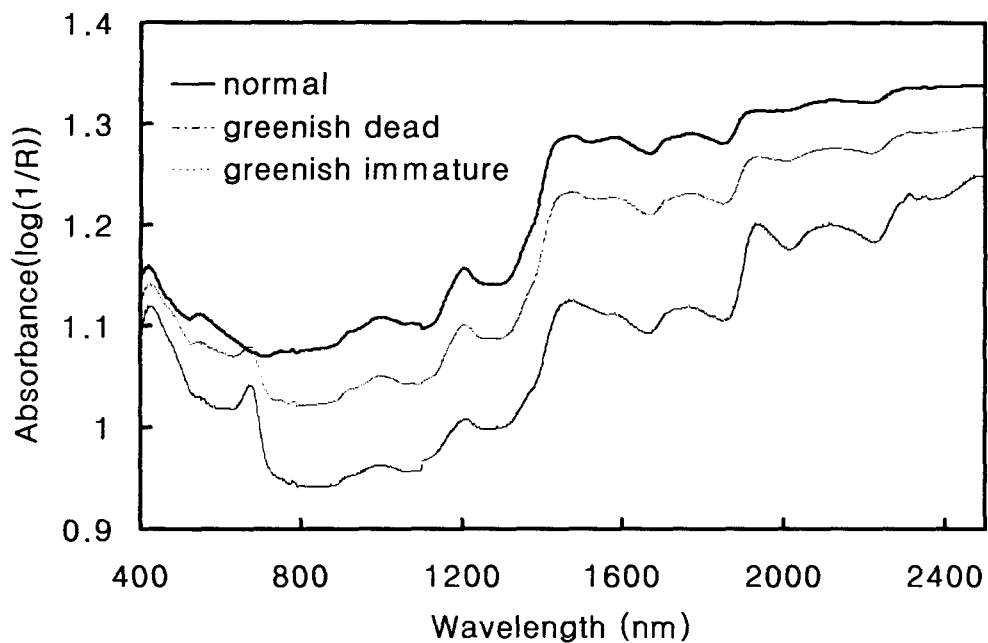


Fig. 2 Spectra for normal, greenish dead, and greenish immature brown rice kernels.

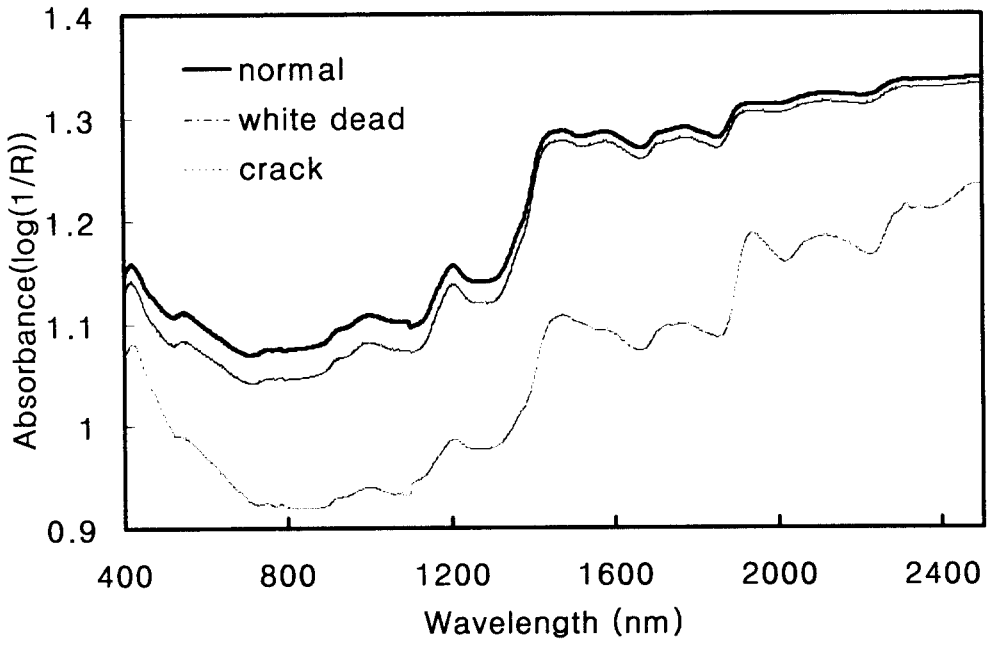


Fig. 3 Spectra for normal, white dead, and crack brown rice kernels.

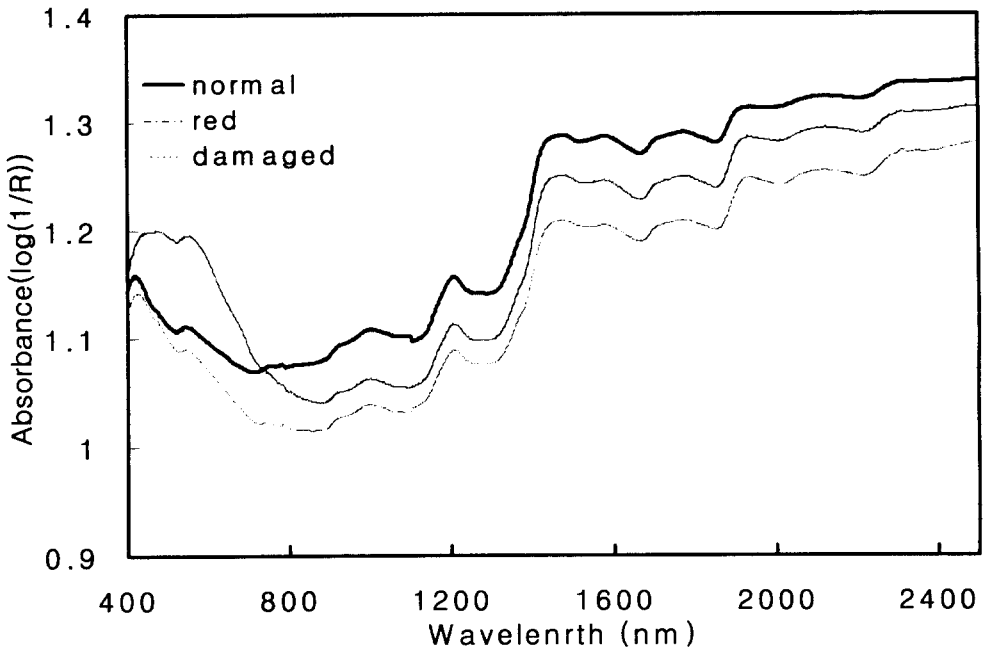


Fig. 4 Spectra for normal, red, and damaged brown rice kernels.