

벼의 分光 反射 特性과 이를 이용한 精白米의 白度 測定器 開發*

Spectral Reflectance of Rice Grain and its Application to Develop a Whiteness-meter of Milled Rice

盧 祥 夏** 池 田 善 郎*** 山 下 律 他***
S. H. Noh, Y. Ikeda, R. Yamashita

Summary

Spectral reflectance of paddy, brown rice, milled rice, greenish grain, yellow grain and denatured grain were measured over the range of 340 to 820 nm with "Double Beam Spectrophotometer(Model UV-180)". Variation in the reflectance depending on milling degree of milled rice appeared greatest over the range of 420 to 500 nm, and that between white rice and other rice samples appeared greatest near 500 nm.

On the basis of the above results, a whiteness meter to measure milling degree of rice was manufactured using tungsten lamp, photodiodes and amplifier, and its performance was compared with the existing whiteness meters (KETT and Z-II optical sensor). There were very high correlations among those whiteness meters.

1. 緒 論

農產物의 物性은 物理的 特性, 熱的 特性, 光學的 特性, 電氣的 特性 등으로 구분될 수 있으며, 이들 特性은 農產物 加工機械 設計에 중요한 基礎 資料가 되고 있다. 先進國의 경우 이와 같은 物性에 관한 研究가 오래전부터 활발하게 이루어져 왔으나, 우리나라의 경우 1980년경부터 주로 穀類에 대해서 物理的 및 熱的 特性에 대해서 단편적으로 수행되었을 뿐이다.

최근 電子產業의 發展과 더불어 기존 기계의 개선, 새로운 機械의 開發 및 각종 制御 裝置의 開發를 위해 이에 대한 研究가 再照明되고 있으며, 특히 가까운 日本의 경우 光學的 特性을 이용한 과일 選別機, 근채류 選別機 및 穀類 選別機가 開發되어 產業의으로 많이 利用되고 있는 実情이다. 그러나 우리나라의 경우 農

產物의 光學的 特性에 대한 研究 결과는 發表된 바 없는 것으로 사료되며, 특히 벼에 대한 것은 外國에서 發表된 것도 소수에 불과하다.

本 研究에서는 벼 精作業에 사용되는 각종 單位 機械의 改善 또는 開發에 필요한 光學的 센서 開發의 基礎 資料가 되는 벼, 玄米, 白米, 變質米 및 겨 제거율이 다른 精米의 分光 反射 特性을 究明하고, 이들 特性에 대한 응용의 일환으로 精米의 反射 特性을 이용한 精白度 측정 센서를 開發하는데 목적이 있다.

2. 문헌 개요

가. 農산물의 광학적 특성

Birth와 Zachariah(1973)는 農산물의 표면은 평면이 아니기 때문에 표면반사(regular reflection)의 일부와

* 本 研究는 한국과학재단에서 지원한 Post-Doc. 해외 연수중('85. 7~'86. 2)에 京都大學 農學部 農業工學科 農產加工研究室에서 수행되었음.

** 서울大學 農科大學 農工學科

*** 京都大學 農學部 農業工學科

물체반사(body reflection : 물체의 특성과 중요한 관계를 갖는 반사)가 산란반사(diffuse reflection)로 나타나며, 물체반사만을 측정하기는 어렵다고 하였다. 따라서 투과율(transmittance)을 측정하는 것이 농산물의 특성 구명에 대단히 중요하며 수학적인 모형을 이용하여 산란반사를, 투과율 및 흡수율과의 관계를 구명하여야 한다고 하였다.

Massie와 Norris(1965)는 분광기(spectrometer)를 이용하여 가시 및 적외선 영역에서 밀, 옥수수, 알파파, 오오트(oat) 및 백미의 분광 반사(spectral reflectance) 특성을 조사하였다. 밀의 경우 분광반사율은 품종, 수분함량 및 곡립의 크기에 따라 2~6%의 차이가 있으며, 옥수수와 백미의 경우 수분함량은 반사율에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보고 했다. 이들 곡물들 간의 반사율에는 큰 차이가 있으며, 수분에 의한 흡수파장(water absorption band)은 770, 970, 1180, 1450 및 1940nm로 나타났다. 또한 산물 상태에서의 투과율은 곡립의 크기가 클수록 즉 공극율이 클수록 큰 것으로 보고했다.

상기 열거한 문헌 이외에도 곡물의 수분함량, 변질 정도 등과 사과, 도마도, 배, 복숭아 등 과일류의 성숙도, 표면상처, 엽록소 함량, 등의 판별과 육류의 지방 함량, 계란내의 혈청량 및 식품가공 공정상의 색깔변화 등을 측정하기 위해 가시광 및 적외선 영역내의 특정 파장에서의 반사 및 투과율 이용에 대한 문헌이 다수 발표되어 있다(Mohsenin, 1984).

나. 精白米의 白度 測定

Stermer(1962)등은 도정미의 정백도를 측정하기 위해 정백정도에 따른 산물 상태에서의 분광 투과율을 측정한 결과 660nm에서의 투과율과 850nm에서의 투과율의 비가 도정미의 리피드(lipid) 함량과 밀접한 관계가 있는 것으로 보고했다. 그러나 이들 투과율의 비는 수분함량 및 산물밀도에도 영향을 받으며, 그 후의 연구결과(1977)곡립의 손상 정도, 저장기간, 복백립등에도 영향을 받는 것으로 판단되어 적외선 영역에서 도정미의 분광반사(spectral reflectance)를 측정 조사하였다. 그 결과 오일흡수 파장인 925, 1215 및 1725nm에서 정백정도 즉 리피드의 함량과 반사율 사이에 상관관계가 있는 것으로 판명되었다.

정백과정중의 도정미의 정백도를 측정하기 위해 실현실용으로 사용되고 있는 계측기에는 KETT 회사의 광전백도계와 일본전색공업사의 측색색차계(Z-II optical sensor) 등이 있다. 前者は 도정미의 백도 측정을 목적으로 제작된 것이며, 후자는 물체의 색깔 또는 투명도를 측정하기 위해 제작된 것인데, 그들 기능중의 하나가 백도를 측정하는 것이다. 이들 계측기들의 상세한 원리는 발표되어 있지 않지만, 이들 모두 광원에 의해 시료로부터 반사된 반사광을 적분구(Integral sphere)를 사용해서 집광시켜 광전관(KETT) 또는 광전지(일본전색)로 반사광량을 감지하고 있다.

3. 실험장치 및 방법

가. 捣精米의 분광반사 측정

(1) 측정장치

도정미의 정백도에 가장 민감한 반응을 보이는 빛의 파장 범위를 규명하기 위해 SHIMAZU(島津)회사의 "Double Beam Spectrometer"(Model UV-180)를 사용하여 정백도 즉 겨제거율에 따른 반사 특성을 조사하였다. 본 측정장치의 측정파장 범위는 195~860 nm(자외선 및 가시광 영역)이며, 밴드(band) 폭은 2 nm, 波長精度는 ± 0.5 nm이다. 광원으로는 텅스텐 램프(가시광)와 중수소 램프(자외선)을 사용하고 있으며, 회折格子形 분광기와 적분구를 사용해서 분광 및 반사도를 측정하고 있다.

(2) 공식 재료 및 실험 방법

파장 범위 340~820 nm 내에서 벼의 분광 반사 특성을 조사하기 위해 JAPONICA계 두 품종(KOSHIHKARI와 NIHONBARE)과 INDICA계 한 품종(IR-8)을 시료로 사용하였다. 먼저 도정미의 겨제거율에 따른 분광 반사 특성을 조사하기 위해 SATAKE 실험실용 연삭식 정백기를 사용해서 표 1과 같이 각 합수율 내에서 정백도가 다른 시료를 준비하였다. 나아가서 KOSHIHKARI를 사용하여 착색된 백미, 변질된 백미(색깔은 변하지 않고 냄새가 나는 백미), 현미 및 청미를 준비하여 이들의 분광 반사 특성을 조사하였다.

매 처리마다 완전미 2.64±0.01 gr을 시료로 사용하

Table 1. Samples used for the measurement of spectral reflectance

VARIETY	M.C. (%)*	WHITENESS DEGREE BY KETT AND MILLING TIME**
KOSHIKARI	14.0	22.0(30), 27.1(70), 32.1(110), 39.5(150), 42.8(190)
	16.0	21.2(36), 27.2(93), 31.5(126), 36.4(180), 39.5(223)
	18.0	22.0(43), 28.5(97), 30.9(122), 36.5(195)
NIHONBARE	13.8	25.3(30), 31.2(57), 37.5(100), 42.2(150)
	16.0	25.7(28), 31.2(52), 38.3(90), 44.1(145)
	17.5	24.9(32), 32.0(60), 37.4(90), 42.2(140)
IR-8	14.0	29.1(35), 33.2(65), 40.5(111), 47.5(195)
	16.0	27.9(35), 34.5(70), 40.0(110), 48.1(199)
	18.0	27.8(30), 36.8(95), 40.8(120), 47.8(195)

Note * Measured by KETT moisture meter

** The numbers in parentheses are milling time in sec.

였으며, 이들 시료를 직육면체내에 원통형으로 파여진 시료통(sample holder)에 약간 다져진 상태로 담아 표면을 석영 유리판으로 덮은 다음, 적분구 표면에 장착시켰다. 시료통의 표면은 검은 색으로 피복시켜 시료를 통해 투과된 빛은 모두 흡수되게 하였다. 각 처리마다 2~3회 반복 측정하였으며, 아날로그 기록계를 사용하여 반사율을 기록하였다.

나. 정백도 측정장치 제작 및 성능실험

(1). 感知部 제작

정백미의 분광 반사를 측정한 결과(결과 및 고찰4-가 참조), 정백도는 파장범위 420~500 nm에서 반사율과 밀접한 관계가 있는 것으로 판단되었으며, 또한 문헌 조사 결과(Stermer 1962) 850±30 nm에서 정백도와 투과율 사이에 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다.

이와 같은 특성을 이용하는 감지기(optical sensor)를 개발하기 위해서는 반사율 측정의 경우 420~500 nm 사이의 파장을 가진 광만을 발하는 광원(예로서 Laser beam)을 사용하여 반사광을 측정하거나, 또는 일반적인 광원을 사용하여 시료 표면에서 반사된 광 중에서 420~500 nm 사이의 광만을 감지하는 sensor를 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단되어, 현재 일본에서 생산되고 있는 각종 광원, 즉, LED, Laser

beam, 텅스텐램프 등에 관한 자료와, 파장에 따라 반응 특성이 다른 각종 광전소자(photodiode)에 대한 자료를 수집하였다. 나아가서 제작비용, 정백기의 제어목적, 구조의 간편성 등을 고려하여 그림 1과 같은 장치를 제작하였다.

광학부의 구조는 텅스텐 광원, 반사율을 측정하는 광전소자(photodiodes)와 투과율을 측정하는 광전소자로 구성되어 있으며, 반사 및 투과율을 측정하는 광전소자는 그림에는 편의상 2개씩 밖에 표시되어 있지 않지만, 회로도에서 보는 바와 같이 3개를 병렬로 사용하였다. 이들 광전소자는 원주상에 120도 간격으로 설치 하여, 3지점에서의 반사 또는 투과율의 합을 측정할 수 있도록 하였다. 반사율 또는 투과율 측정을 위해 사용된 증폭회로는 그림에서 보는 바와 같다.

본 실험장치에 사용한 광전소자의 分光感度 특성은 그림2에서 보는 바와 같다. 반사율 측정의 경우 440 nm부근에서 분광감도가 가장 높고, 투과율 측정의 경우 920 nm부근에서 감도가 가장 높은 것을 사용함으로써 특정 범위의 파장만을 감지하도록 하도록 하였다.

또한 본 공시기와 기존 측정기기의 정백도 측정 성능을 비교 분석하기 위해 기존의 KETT 광전백도계(Model C-3)와 일본전색공업사의 측색색차계(Z-II optical sensor)를 사용하였다.

(2) 공시재료 및 실험방법

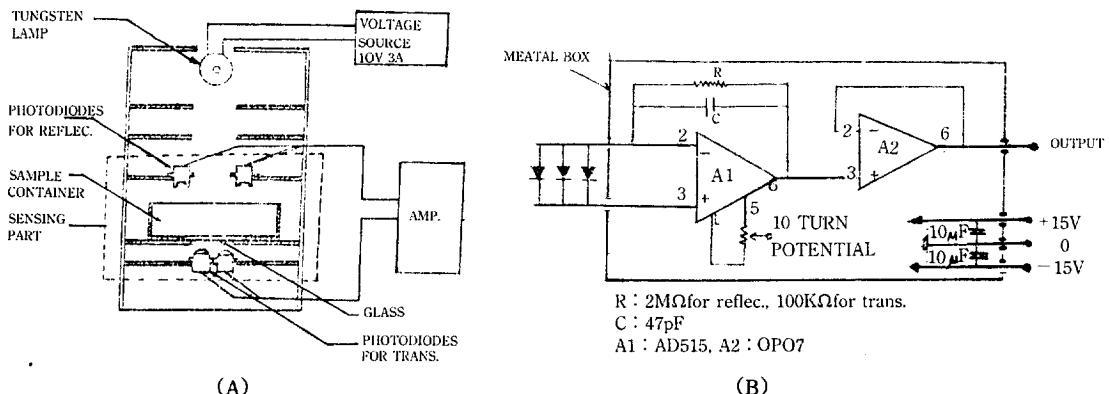


Fig.1. Cutaway view(A) and circuit diagram(B) of the experimental whiteness meter(PHOTO) developed in this study

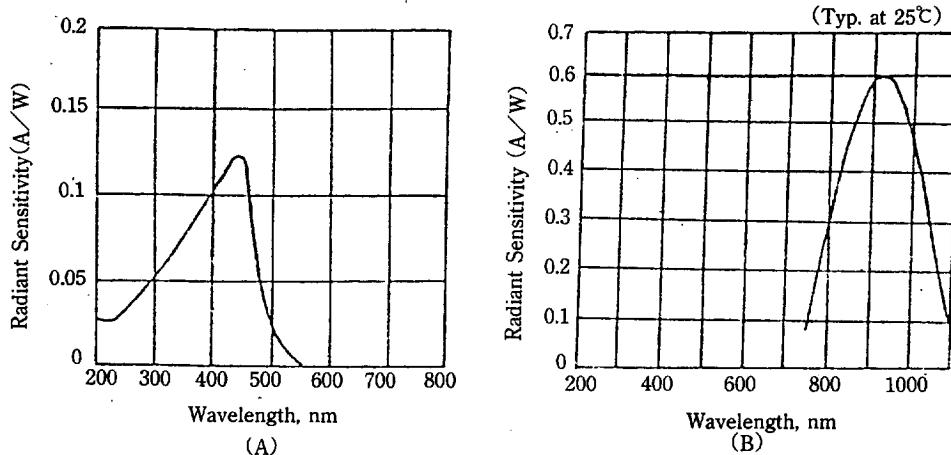


Fig. 2. Characteristics of spectral response of the photodiodes used for reflectance (A) and transmittance (B).

일차적으로 본 연구에서 제작된 정백도 측정 장치의 신뢰성, 精度 등을 검사하고 기존의 정백도 측정기기 와의 상관관계를 조사하기 위해 NIHONBARE(함수율 13.8 %, w.b.)를 사용해서 현미를 비롯하여 9등급의 서로 다른 정백도를 가진 시료(각 시료의 도정시간: 21, 30, 40, 50, 57, 70, 92 및 150 sec)를 SATAKE 실험실용 연삭식 정백도기를 사용해서 준비하였다.

정백도 측정방법은, 본 공시기의 경우 예비 실험 결과 반사율은 시료의 산물밀도에 큰 영향을 받지 않았으나 투과율은 민감한 반응을 보였기 때문에 일정무게

(26.82 ± 0.01 gr)를 사용하여 반사 및 투과율을 측정하였다. 기존기기의 경우 일정무게를 사용하지 않고 취급 설명서에 준하였으며, 모든 경우 각 처리마다 9회 반복 측정하였다.

2차적으로 시료의 품종 및 함수율이 본 공시기 및 기존 정백도 측정기기의 정백도에 미치는 영향을 분석하기 위해 도정미의 분광 반사 특성을 조사하기 위해 준비했던 시료를 냉장고에 보관하였다가 다시 사용하였다(표 1). 정백도 측정방법은 상기 일차실험에 서와 동일하며, 각 처리마다 4회 반복 측정하였다.

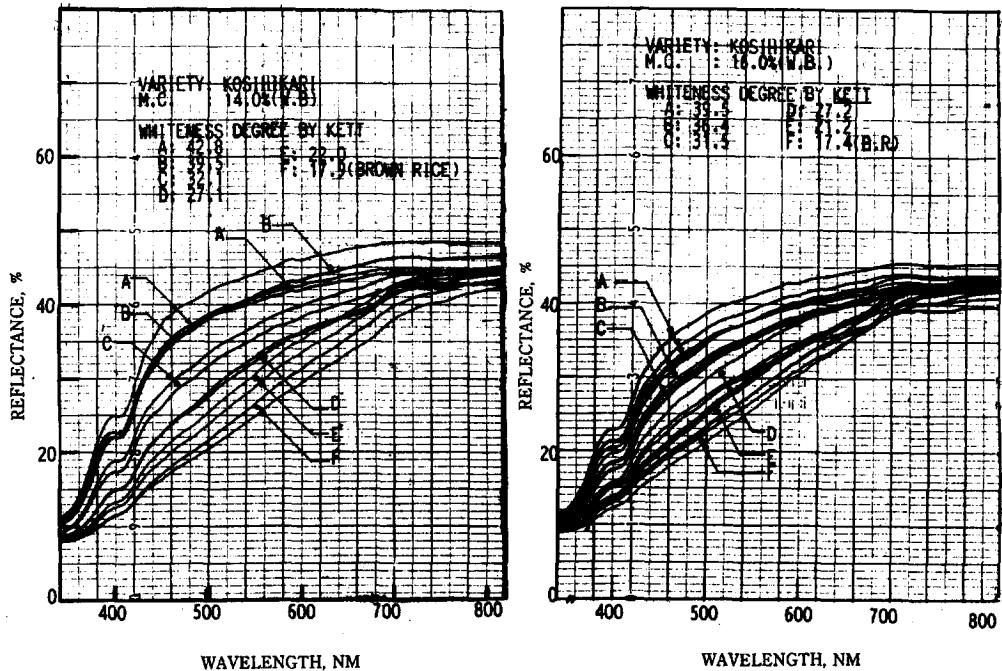


Fig. 3. Spectral reflectance of milled rice depending on milling degree.

4. 결과 및 고찰

가. 분광반사 특성

(1) 捣精米의 분광반사 특성

그림 3은 KOSHIKARI 품종의 거제거율에 따른 분광반사특성을 나타내는 대표적인 결과로서, 세품종 모두 반사율은 자외선에 접근할수록 감소하고 적외선에 가까울수록 증가하며, 420~500nm 범위에서 정백도에 따른 반사율의 차이가 가장 크게 나타남을 알 수 있었다. 일반적으로 정백도가 높을수록 반사율도 크지만 550nm정도 이상에서는 반사율이 정백도에 반드시 비례하지 않고 서로 교차되는 현상을 보이고 있다. 또한 시료에 따라 반복간에 상당한 차이가 있음을 알 수 있으며, 반복간의 차에 대해서는 여러가지 원인을 생각할 수 있을 것이다.

본 실험에서 사용한 Spectrophotometer의 경우, 광속의 직경이 약 2mm로서 광속이 시료 표면에 입사될 때 시료 표면의 형태, 즉 광립의 배열 상태에 따라 반

사율의 차이를 가져올 수 있으며, 또한 시료를 구성하는 각 광립의 정백도가 균일하지 못할 경우에도 차이가 있을 수 있다. 적분구를 이용한 Spectrophotometer를 사용하여 표면이 편편하지 못한 광물의 반사율을 측정할 경우 이와 같은 문제를 해결할 수 있는 실험방법이 개발되어야 할 것으로 사료된다.

상기 결과를 이용하여 반사율을 이용한 정백도 측정장치를 제작하고자 할 경우, 광장이 420~500nm인 광을 이용하고, 시료표면의 광립의 배열 상태 및 정백도의 불균일에 의한 영향을 최소화시킬 수 있도록 광장을 구성해야 할 것으로 생각된다.

(2) 벼, 현미 및 백미의 분광 반사 특성

그림 4는 광장 범위 340~820nm에서 벼, 현미, 백미 및 청미의 분광 반사 특성이다. 백미와 기타 시료 사이에는 460~500nm에서 반사율에 가장 큰 차이를 나타내고 있으며, 청미의 경우 염록소의 흡수 광장인 675nm 뒤에서 반사율이 크게 감소하고, 현미와 벼는

820nm에서 반사율의 차이가 가장 크게 나타나고 있다. 그림 5는 건전한 백미, 황갈색으로 착색된 백미 및 착색은 되지 않았으나 변질된 백미의 분광 반사율을 타나내고 있다. 이 결과에 의하면 착색립과 건전립 사이에는 460nm 부근과, 600nm 이상의 파장에서 반사율에 차이를 보이고 있으며, 건전립과 변질립 사이에

는 조사된 전 구간을 통해 반사율의 차이가 거의 없음을 알 수 있다.

상기 결과를 미루어 볼 때 백미내에 섞여 있는 뉘, 착색립, 혼미 등을 색깔을 이용하여 선별할 경우, 460nm 부근의 반사율을 이용하는 것이 가장 바람직함을 알 수 있다.

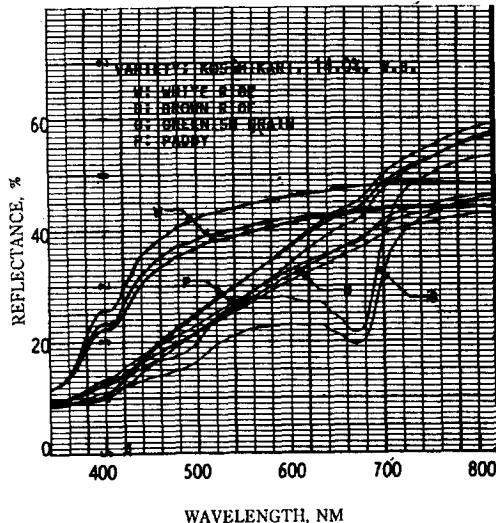


Fig. 4. Spectral reflectance of white rice, brown rice, greenish grain and paddy.

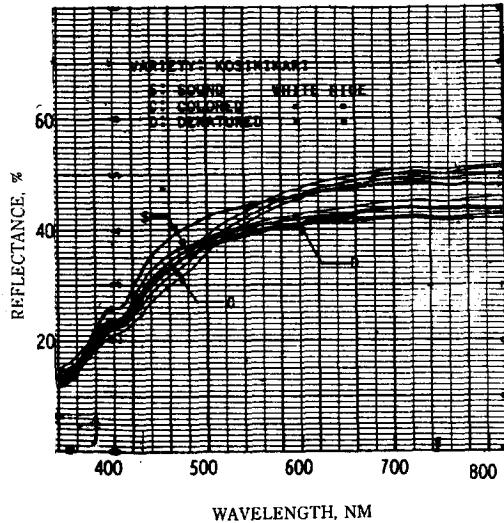


Fig. 5. Spectral reflectance of sound, colored and denatured white rice.

(3) 품종 및 수분 함량에 따른 분광 반사 특성

품종 및 함수율이 분광 반사율에 미치는 영향을 조사하기 위해서는 거의 함량을 화학적으로 분석하여 같은 겨 함유율에서 품종 및 수분 함량이 다른 시료를 사용하여 반사율의 차이를 조사하여야겠지만, 시간 및 시설 부족으로 혼미를 사용하여 품종 및 함수율에 따른 분광반사율을 조사하였다.

먼저 각 품종내에서 수분 함량에 따른 반사율을 보

면(그림 6), 각 품종 모두 수분 함량과 반사율 사이에는 일정한 상관 관계가 없는 것으로 판단되며, 이 결과는 Massie 와 Norris(1965)가 발표한 바와 같다.

같은 함수율내에서 품종에 따른 반사율의 차이를 살펴보기 위해 함수율 16%인 각 품종의 혼미의 반사율을 그림 7을 근거로 420nm와 500nm에서 조사한 결과 표 2와 같이 품종간에 약간의 차이가 있었다.

이와 같은 차이는 각 시료의 겨 함유율을 조사하지 않았기 때문에 겨 함유율의 차이에 의한 것인지, 또는

Table 2. Reflectance of brown rice by rice variety at wavelength of 420 and 500nm.

Variety	M.C. (% , w.b.)	Wave length(nm)	Reflectance(%)
NIHONBARE	16.0	420／500	16.5／26.5
KOSHIKARI	16.0	420／500	14.5／22.2
IR-8	16.0	420／500	17.5／27.3

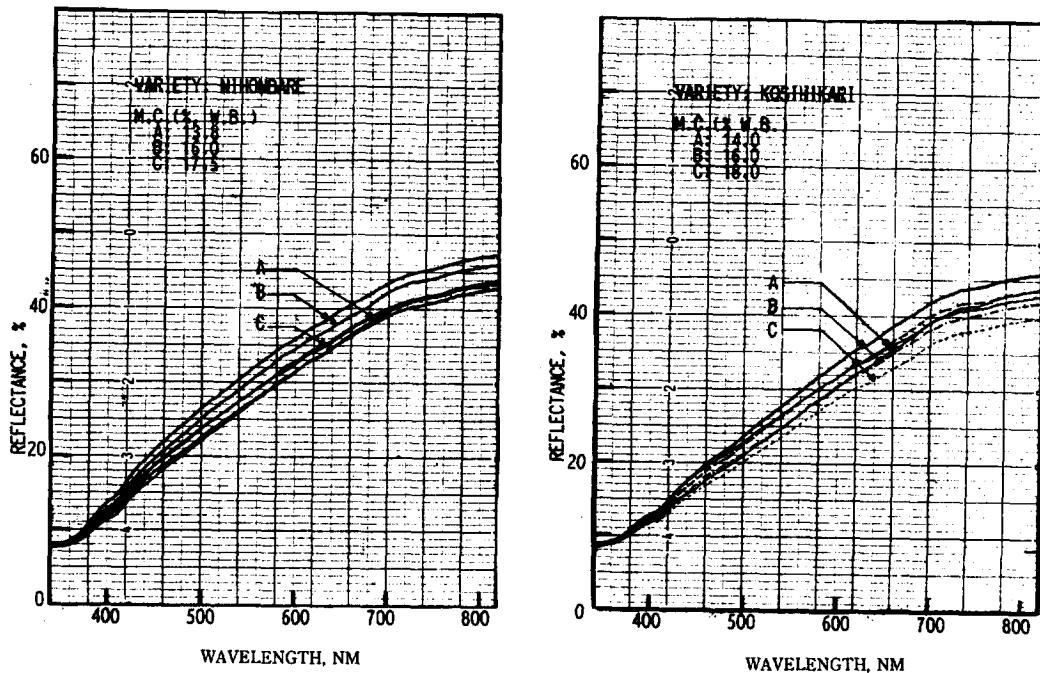


Fig. 6. Spectral reflectance of brown rice having different moisture contents.

각 품종의 특성에 의한 것인지는 알 수 없지만, 현미의 반사율은 품종간에 차이가 있는 것으로 판단되며, 이에 대한 것은 앞으로 좀 더 연구되어야 할 것이다.

나. 본 실험에서 개발된 정백도 측정기의 성능

(1) 정백도 측정장치의 精度

본 연구에서 제작된 정백도 측정장치의 정도 및 신뢰도를 기존 측정기기와 비교 검토하기 위해 일차적으로 정백도가 다른 NIHONBARE(함수율 13.8%, 현미 포함 9등급의 정백도)를 사용하여 각 처리마다 9회 반복 측정하여, 각 측정기기에 의한 측정치의 표준편차 및 변이계수와 측정기기 간의 상관관계를 조사하였다.

표 3에 표시된 각 측정기기의 변이계수를 보면 Z-II가 평균 0.55%로 가장 작고, 다음은 PHOTO(R)(반사율 이용), KETT 및 PHOTO(T)(투과율 이용)의 순이다. 이 결과는 반사율을 이용하고 있는 PHOTO(R)의 경우 변이계수가 1.58%로서 기존기기에 못지

않는 测定精度를 얻을 수 있음을 의미한다.

또한 본 공시기의 신뢰도를 간접적으로 증명하기 위해 본 공시기를 비롯한 기존 측정기기의 측정치들 간의 상관계수를 구한 결과 표4에서와 같이 높은 상관관계가 있으며, 특히 도정미의 백도를 측정할 목적으로 상품화되어 널리 사용되고 있는 KETT와 반사율을 이용한 본 공시기 PHOTO(R) 사이의 상관관계는 0.99911로서, 이들 두 기기의 측정치 사이에는 고도의 상관관계가 있음을 알 수 있다.

(2) 품종 및 수분함량의 영향

표 5는 각종 정백도 측정기를 사용해서 품종 및 함수율이 다른 각종 시료의 백도를 측정한 결과이며, 그림 7은 이들 결과 중에서 함수율 16% (w.b.)인 각 품종의 정백시간에 따른 백도 변화를 표시한 것이다. 이 결과에 의하면 정백시간이 증가할 수록 백도는 거의 직선적으로 증가하며, 현미뿐만 아니라 최종 백미의 백도는 품종에 따라 차이가 있음을 알 수 있다. 본 실험에서 최종 백미의 겨제율은 화학적으로 분석하지

Table 3. Standard deviations and coefficients of variance of whiteness meters.

Items Sampls	AVG. WHITENESS DEGREE				STD DEVIATIONS				COEFF. OF VARIANCE(%)			
	PHOTO(V) * *		KETT	Z-II	PHOTO		KETT	Z-II	PHOTO		KETT	Z-II
	REFL.	TRAN.	C-3	OPT.	REFL.	TRAN.	X-3	OPT.	REFL.	TRAN.	C-3	OPT.
1(B.R.)	1.35	2.80	19.6	50.72	.041	.067	.609	.0411	3.02	2.37	3.11	.81
2(2ls) *	1.82	3.41	25.3	56.64	.026	.114	.664	.370	1.43	3.34	2.62	.65
3(30s)	2.11	3.54	29.8	59.82	.030	.686	.677	.441	1.40	2.44	2.27	.74
4(40s)	2.31	3.70	31.8	61.38	.049	.096	.600	.401	2.14	2.59	1.88	.65
5(50s)	2.63	3.68	36.3	64.19	.035	.132	.990	.233	1.32	3.59	2.73	.36
6(57s)	2.73	3.88	38.2	65.30	.042	.093	.543	.235	1.53	2.10	1.12	.36
7(70s)	2.99	3.94	41.6	66.78	.047	.128	.741	.295	1.58	3.25	1.78	.44
8(92s)	3.14	4.17	42.6	67.58	.033	.078	.603	.265	1.06	1.86	1.42	.39
9(150)	3.43	4.59	47.0	68.93	.026	.133	.953	.354	.75	2.90	2.03	.51
AVG.					.037	.170	.709	.334	1.58	2.75	2.14	.55

Note : * Milling time in sec

** The name designated for the experimental whiteness meter (Output were read in volts)

않고 실험자의 육안 판별에 의해 10분도 정도로 도정하였기 때문에 약간의 오차는 있겠지만 최종 백미의 백도는 품종에 따라 상당한 차이가 있는 것으로 판단된다.

함수율이 백도에 미치는 영향을 조사하기 위해 각 품종내에서 현미와 최종 백미의 함수율에 따른 백도를 보면 함수율의 영향은 거의 무시할 정도임을 알 수 있다.

상기 결과는 기존의 백도 측정기 뿐만 아니라 본 연구에서 제작 한 반사율을 이용한 공식 측정기, PHOTO(R)에서도 동일하게 나타나고 있다.

10분도 백미의 품종에 따른 백도의 차이는 정백도 측정기를 사용하여 거제거율을 판단코자 할 경우 커다란 장애요인이 되므로, 가능하다면 품종 뿐만 아니

라 저장기간 등 기타 요인의 영향과는 무관하고 단지 거제거율과 높은 상관관계를 갖는 새로운 지수를 발견해야 할 것이다.

품종의 영향과는 무관한 새로운 지수를 찾기 위한 노력의 일환으로 상대적 정백지수를 다음과 같이 정의하고, 즉

$$\text{상대적 정백지수} = \frac{\text{도정미의 백도}}{\text{현미의 백도}}$$

표 5의 결과를 이용하여 최종백미의 상대적 정백지수를 구하였다(표 6). 원래의 백도를 사용하여 정백도를 표시할 경우와 상대적 정백지수를 사용할 경우 품종에 의한 영향을 비교 검토하기 위해 표 5 및 6의 결과를 사용하여 최종 백미의 변이계수 및 상대적 변이계수(백도 또는 상대적 정백지수의 전체 변화에 대한 최종

Table 4. Correlation coefficients between whiteness meters.

Whiteness meters	PHOTO(R)	PHOTO(T)	KETT	Z-II
PHOTO(R)	1.0000	9.9658	0.9991	0.9860
PHOTO(T)		1.0000	0.9612	0.9493
KETT			1.0000	0.9859
Z-II				1.0000

Table. 5. Whiteness degrees measured with four whiteness meters.

VARIETY	M	M	WHITENESS				M	WHITENESS				M	WHITENESS				M	WHITENESS								
	C	T	PHOTO*		KE		T	PHOTO*		KE		T	PHOTO*		KE		T	PHOTO*		KE						
	(sec)	(sec)	R	T	TT	Z-II	(sec)	R	T	TT	Z-II	(sec)	R	T	TT	Z-II	(sec)	R	T	TT	Z-II					
KOSHIKARI	14.0	0	1.22	2.46	17.9	48.73	30	1.49	2.89	22.0	53.01	70	1.95	3.31	27.28	57.93	150	2.30	3.36	32.7	61.67	150	2.81	3.59	39.5	65.99
	16.0	0	1.14	2.64	17.4	48.32	36	1.46	3.13	21.2	52.5	93	1.95	3.71	27.2	57.82	126	2.25	3.68	31.15	60.58	180	2.59	3.70	36.4	63.45
	18.0	0	1.13	2.44	17.0	47.73	43	1.56	3.20	22.0	53.01	97	1.98	3.51	28.5	58.07	122	2.25	3.72	30.90	60.04	195	2.66	4.02	36.45	64.15
NIHONBARE	13.8	0	1.31	2.86	19.5	50.75	30	1.82	2.81	25.28	53.47	57	2.19	3.31	31.25	61.15	100	2.68	3.73	37.55	64.92	150	3.09	4.08	42.23	67.63
	16.0	0	1.39	2.44	20.5	51.98	28	1.78	3.14	25.65	57.15	52	2.17	3.25	31.20	60.90	90	2.70	3.42	38.5	65.09	145	3.11	3.81	44.08	68.52
	17.5	0	1.33	3.02	19.2	50.54	32	1.79	3.47	25.10	56.88	60	2.26	3.79	32.0	61.37	90	2.64	3.94	37.49	64.23	140	2.99	4.40	42.20	66.43
IR-G	14.0	0	1.53	0.67	23.0	53.96	35	2.00	1.00	29.1	55.80	65	2.30	1.27	33.23	62.5	111	2.83	1.54	40.5	67.41	195	3.34	1.67	47.5	71.88
	16.0	0	1.58	1.70	23.2	54.14	35	1.95	1.12	28.13	59.24	70	2.33	1.136	34.48	63.39	110	2.79	1.61	39.95	67.09	199	3.40	1.88	48.12	72.88
	18.0	0	1.54	0.61	23.3	53.81	30	1.93	1.03	27.8	58.77	95	2.53	1.48	36.8	65.12	120	2.84	1.47	40.5	67.57	195	3.33	1.75	48.0	71.68

* : R and T stand for reflectance and transmittance, respectively.

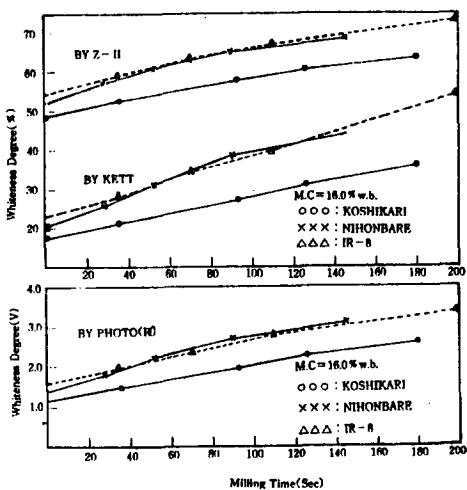


Fig. 7. Change in whiteness degree of milled rice with milling time by rice variety.

백미의 표준편차의 비를 상대적 변이계수로 정의)를 각 백도계별로 구하였다(표 7).

이 결과를 보면 변이계수는 원래의 백도 값을 사용할 경우 백도계에 따라 차이는 있으나 4.8~10.2%이며, 상대적 정백지수의 경우에는 1.06~3.25%로서 후자를 사용하여 정백정도를 표시하는 것이 훨씬 유리한 것으로 판단된다. 상대적 변이계수 역시 유사한 경향을 나타내고 있다. 상대적 변이계수의 물리적 의미는 현미를 0분도, 겨가 100% 제거된 백미를 10분도로 표시할 경우 10분도 백미를 PHOTO(R)로 측정할 경우 품종에 따라 0.65분도의 표준편차가 있음을 의미한다.

극히 제한된 자료이지만 상기 결과를 미루어 볼 때 상대적 정백지수로 정백도를 표시하는 것이 품종의 영향을 감소시킬 수 있는 한가지 방법이 아닌가 생각되며, 이에 관한 연구가 요망된다.

Table. 6. Relative whiteness indices of final white rice*.

Whiteness meter	Variety	KOSHIKARI			NIHONBARE			IR-8			
		M.C.	14.0	16.0	18.0	13.8	16.0	17.5	14.0	16.0	18.0
PHOTO (R)			2.30	2.27	2.35	2.36	2.24	2.25	2.18	2.15	2.16
KETT			2.21	2.09	2.14	2.17	2.15	2.20	2.07	2.07	2.06
Z-II			1.35	1.31	1.34	1.33	1.32	1.31	1.33	1.35	1.33

* Milling degree of the final white rice is about 10 Bundo by visual inspection.

Table. 7. Whiteness degrees and relative whiteness indices of brown and white rice.

Items	Whiteness meter	PHOTO(R)	KETT	Z-II
Brown rice	A.W.D.	1.3522	20.1111	51.1067
	S.D.	0.1614	2.3881	2.3729
White rice	A.W.D	3.0356	42.7200	68.0678
	S.D	0.2815	4.3700	3.2456
	C.V. (%)	9.27	10.23	4.77
	A.R.W.I.	2.2511	2.1289	1.3300
	S.D.	0.0731	0.0549	0.0141
	C.V. (%)	3.25	2.58	1.06

Note : A. W. D : Average whiteness degree, A.R.W.I. : Average Relative Whiteness Index

S. P. : Standard Deviation, C.V. : Coefficient of Variance

V. 요약 및 결론

“DOUBLE BEAM SPECTROPHOTOMETER”(일본 시마즈 회사 제품)를 사용하여 가시광 영역내에서 벼, 현미, 도정미, 청미, 착색립 및 변질미의 분광반사 특성을 조사하였다. 또한 상기 결과 및 도정미의 투과 특성을 이용하여 텅스텐 램프, photodiode 및 충폭 부분으로 구성되는 정백도 측정기를 제작하여, 그 성능을 기존 백도계와 비교시험 하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

1. 가시광내에서 도정미의 분광반사율은 균적의 선에 가까울 수록 증가 하였으며, 정백도에 따른 반사율의 차이는 420-500nm에서 가장 크게 나타났다.
2. 백미와 기타 시료(벼, 현미 및 청미)사이에는 500nm부근에서, 그리고, 현미와 벼 사이에는 820nm 부근에서 반사율에 가장 큰 차이가 있었으며, 청미는 엽록소의 흡수 파장인 675nm에서 반사율이 크게 감소하였다.

3. 건전한 백미와 착색된 백미(colored grain) 사이에는 460nm부근에서 반사율의 차이가 있었으며, 건전한 백미와 착색되지 않은 변질미 사이에는 가시광 영역내에서는 차이가 없었다.

4. 현미의 분광반사율은 함수율에는 거의 영향을 받지 않았으나 품종에 따라서는 차이가 있는 것으로

나타났다.

5. 본 실험에서 제작된 반사율을 이용한 정백도 측정기(PHOTO(R))는 기존의 광전백도계(KETT 사의 모델 C-3) 및 측색색차계(일본 전색공업사의 모델 Z-II)와 각각 0.9991 및 0.9860의 높은 상관관계를 보였으며, 이들 측정기의 평균 변이계수는 Z-II(0.55%), PHOTO(R)(1.58%) 및 KETT(2.14%)의 순으로 나타났다.

6. 현미 및 백미의 백도는 품종에 따라 큰 차이가 있었으며, 함수율에는 별 영향을 받지 않았다.

7. 도정미의 백도를 상대적 정백지수(도정미의 백도/현미의 백도)를 사용하여 표시할 경우 품종에 의한 영향이 크게 감소하였으며, 앞으로 이에 관한 연구가 요망된다.

참 고 문 헌

1. Beerwinkle, K.R. and R.A. Stermer, 1972, “A Device to Facilitate Optical Sorting of Milled Rice Based on Translucence Differences”, Trans. of ASAЕ, 15(3), pp476-478, 481
2. Birth, G.S. and G.L.Zachariah, 1973, “Spectrophotometry of Agricultural Products”, Trans. of ASAЕ, 16(2), pp548-552.

3. Massie, D.R. and K.H.Norris, 1965, "Spectral Reflectance and Transmittance Properties of Grain in the Visible and Near Infrared", Trans. of ASAE, pp 598-600
4. Mohsenin, N.N., 1984, Electromagnetic Radiation Properties of Foods and Agricultural Products, Gordon and Breach Publishers, New, York
5. Pen, C.L. et al, 1985, "Classification Analysis of Good and Bruised Peeled Apple Tissue Using Optical Reflectance", Trans of the ASAE, pp326-330
6. Pomeranz, Y., R.A. Stermer and E. Dikenman, 1975, "NMR-Oil Content As Related to Degree of Milling", Cereal Chemistry, pp742-747
7. Stermer, R.A. et. al, 1962, "A Rice Photometer for Measuring the Degree of Milling of Rice", The Rice Journal, May pp22-29
8. Stermer, R.A., 1968, "An Instrument of Objective Measurement of Degree of Milling and Color of Milled Rice", Cereal Chemistry, Vol. 45, pp358-364
9. Stermer, R.A. et. al, 1977, "Infrared Spectra of Milled Rice", Trans of ASAE, pp598-600
10. Watson, C.A. et. al, 1975, "A Note on Surface Lipid Content and Scanning Electron Microscopy of Milled Rice As Related to Degree of Milling", Cereal Chemistry, pp742-747



學位取得

姓 名：金 容 顯
生 年 月 日：1958年 6月 25日
取 得 學 位 名：農 學 博 士
學 位 授 與 大 學：서울大學校 大學院
學 位 取 得 年 月 日：1990年 2月 26日
學 位 論 文：플라스틱 溫室의 热貯藏 시스템
開發에 關한 研究