

도정도에 따른 쌀의 칼라 모델링

김의웅 · 김 훈[†] · 이세은
한국식품연구원

Color Modeling of Milled Rice by Milling Degree

Oui-Woung Kim, Hoon Kim[†] and Se-Eun Lee
Korea Food Research Institute, Seongnam 463-420, Korea

Abstract

To investigate the relationship between the milling degree and color of milled rice, an empirical whiteness model was developed according to the milling degree from 0% to 20% using paddy of three different varieties of Chuchung, Nampyong and Odae. The values of determination coefficient and the root mean square error between measured and predicted whiteness were 0.990, 0.877, respectively, and the whiteness model was proved to be quite applicable. The relationships between whiteness values and color factors in several color systems were tested to select useful color factors for development of convenient whiteness meter. The whiteness value of milled rice according to degree of milling could be converted into b and Hunter whiteness in Lab color system. B in RGB color system at high values of determination coefficient were 0.990, 0.985, and 0.989, respectively.

Key words : rice, milling degree, whiteness, color, model

서 론

도정(搗精, milling)과정 중 미강(bran)의 제거정도는 도정도(milling degree)로 나타내는데, 도정도는 현미(brown rice)중량에 대하여 제거된 미강의 중량비로서 도정수율(milling yield)은 물론이고 쌀의 품질과 밀접한 관계가 있다. 현미에서 미강이 완전하게 제거된 백미(milled rice)는 식미가 높아질 뿐 아니라 유통 중 지방의 산패에 의한 변질을 최소화될 수 있으나(1), 미강이 완전히 제거된 이후까지 과도정이 이루어지면 도정수율이 저하하게 된다. 반면, 저도정이 이루어지면 도정수율은 높아지나 품질이 저하하게 되므로, 적절한 도정도로 쌀을 가공하는 것은 품질 및 도정수율 측면에서 대단히 중요하다.

도정공장에서 적절한 도정도로 가공하기 위해서는 도정도를 측정하면서 미강 제거정도를 조절해야 한다. 도정도는 현미와 백미의 전체중량을 측정하거나 천립중(千粒重)을 측정하는 방법 등이 있다. 그러나, 이들 방법은 측정을

위한 별도의 중량측정시스템, 정밀한 전자저울 등이 구비되어야 하며 특히, 측정에 장시간이 소요되므로 연속적으로 진행되는 도정공정에 적용하기에는 용이하지 않다. 따라서, 도정도의 측정은 쌀의 칼라에 의존하고 있는 실정이다(2).

쌀에 주로 사용되고 있는 칼라시스템에는 백도(whiteness), Lab 및 RGB 등이 있는데, 이 중에서 백도는 완전한 어둠을 0으로 하고, Mg 리본을 태웠을 때 발생하는 하얀색 연기를 100으로 하고 그 사이를 100등분한 일종의 빛의 반사지수(reflective index)로서 일본 등에서 쌀의 도정도 기준으로 사용되고 있으며(3), Lab 칼라 시스템중 b값은 미국과 일본 등에서 품질관리용으로 적용되고 있다(1).

도정공장에서 도정도의 중요성을 감안할 때 의외로 쌀의 칼라와 도정도에 대한 관계를 나타낸 모델에 관한 연구는 거의 찾아볼 수 없는 실정이다. Velupillai 등(4)은 4품종의 장립종과 1품종의 단립종 벼를 가공하여 Lab값을 측정 한 후, 도정도에 따른 색차(color difference)를 1차 선형모델로 제안하였으며, Pandey 등(5)은 7가지 품종의 단립종 현미를 연삭식 정미기로 0~110초간 10초 간격으로 가공하여 도정도와 백도의 변화를 측정하여 도정도에 따른 백도모델을

[†]Corresponding author. E-mail : hkim@kfri.re.kr,
Phone : 82-31-780-9210, Fax : 82-31-780-9059

1차 선형모델로 제안하였다. 이 외에도 도정도에 따라 실험 결과를 1차 선형으로 나타낸 Kawamura(6), 일본식량청(7) 등의 결과가 보고되어 있다. 그러나, 이들의 1차 선형모델은 실제 도정도에 따라 비선형적으로 변하는 칼라의 변화를 잘 나타내지 못하고 있다. 또한, 백도와 타 칼라인자와의 상호 관계에 대해서도 나타난 연구결과도 찾아볼 수 없는 실정이다.

이에 따라 대부분의 RPC(미곡종합처리장, Rice Processing Complex)에서는 도정기사의 경험에 의존하여 도정하고 있는 실정이며, 일부 RPC에서는 도정정도를 판단하기 위하여 백도계를 이용하고 있으나, 도정도와 백도와의 상관관계가 구명되어 있지 않아 백도를 자의적으로 해석하고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 국내산 쌀을 대상으로 도정도에 따른 비선형 백도모델을 개발하고, 백도와 타 칼라인자와의 상호관계를 나타내는데 목적을 두었다.

재료 및 방법

재 료

본 실험에 사용한 벼는 추청, 남평, 오대 등 3개 품종으로서, 2003년 수확기에 함수율 16.5%내외의 벼를 RPC에서 구입하여 정선한 다음, 2℃로 유지되는 저온저장고에 보관하였다. 실험 1일전에 상온에 노출시켜 곡온이 상온과 평형이 되도록 한 후 벼를 임펠라형 현미기(HSMC-4, Hansung, Korea)를 이용하여 제현한 후, 탈부된 현미를 색채선별기(ACS-12, A-Mecs, Korea)를 3회 통과시켜 비정상립을 선별하여 정상립과 비정상립을 목적에 따라 사용하였다. 실험에 사용한 현미의 함수율은 추청, 남평, 오대가 각각 16.1%, 16.3%, 15.2%이었다.

현미와 백미중 비정상립의 혼입 중량비율에 따른 백도변화

현미와 백미중에 섞여있는 비정상립이 백도에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 비정상립의 종류별, 비정상립의 혼입비율별로 백도를 각각 측정하였다. 이를 위해 추청 현미를 색채선별기로 정상립과 비정상립으로 선별한 다음, 비정상립을 수작업으로 백사미, 청사미, 미숙립, 착색립, 피해립 등 종류별로 선별하여 각각의 백도를 측정하였으며, 정상립 현미중에 비정상립 종류별로 혼입 중량비율을 달리하면서 혼합하여 백도변화를 측정하였다. 비정상립의 혼입중량비는 가장 많은 중량을 차지하는 미숙립은 0~20%, 기타 비정상립은 0~5%까지로 하였다.

백미중에 혼입된 비정상립이 백도에 미치는 영향을 살펴 보기 위하여 색채선별기로 선별하지 않는 원료 현미(추청)를 실험용 마찰식정미기(VP-32T, Yamamoto, Japan)로 백도 40.5수준으로 가공한 후 품위분석계(RS-2000, Shizuoka Seiki, Japan)와 수작업으로 비정상립을 선별한 후, 싸라기,

분상질립, 착색립, 피해립 등 비정상립 종류별로 각각의 백도를 측정하였으며, 정립 백미중에 비정상립 종류별로 혼입중량비율을 달리하면서 백도변화를 측정하였다. 비정상립의 혼입비율은 포장등급규격의 각 등급인자의 최고 허용한도를 감안하여 싸라기와 미숙립에서 유래한 분상질립은 0~10%까지, 사미에서 유래한 분상질립과 피해립은 0~5%까지로 하였다.

도정도에 따른 백도모델

추청, 남평, 오대 등 3품종의 현미 정상립을 실험용 마찰식정미기(VP-32T, Yamamoto, Japan)를 이용하여 일정한 분동조건(압력조건 3)하에서 통과횟수를 다르게 하여 연속적으로 가공하면서, 각 통과횟수별로 쌀의 백도, Lab 및 도정도를 각각 측정하였다. 이 때 백도는 백도계(CR-3003, Kett, Japan)로 측정하였으며, Lab값은 시료를 원통형 용기(41×12.5mm)에 담아 흑색패드에서 색차계(CR-300, Minolta Co., Japan)를 이용하여 측정하였으며, tube는 light-projection tube(CRA33)를 사용하였다. 또한, 도정도는 현미와 백미의 천립중을 측정하여 다음 식(1)에 의해 계산하였다.

$$\text{도정도}(\%) = \frac{\text{현미 천립중}(g) - \text{백미 천립중}(g)}{\text{현미 천립중}(g)} \times 100 \quad \dots\dots(1)$$

3품종 쌀의 도정도에 따른 백도 값의 변화에 대해 품종별로 유의성(Anova, SAS)을 분석하여 모델의 개수를 결정한 다음, 프로그램(SAS, NLIN Proc)을 이용하여 비선형모델을 개발하였다.

백도와 타 칼라인자와의 상관관계 구명

도정도별로 측정된 백도와 Lab값을 이용하여 각 칼라시스템의 칼라인자와 백도와의 상관관계를 구명하였다. 각 칼라인자간의 변환은 Jain(8) 및 Yamashita(1)의 다음 식(2)~(6)을 이용하였다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.490 & 0.310 & 0.200 \\ 0.177 & 0.813 & 0.011 \\ 0.000 & 0.010 & 0.990 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad \dots\dots(2)$$

$$L = 116 \left[3 \sqrt{\frac{Y}{Y_0}} \right] - 16 \quad \dots\dots(3)$$

$$a = 500 \left[3 \sqrt{\frac{X}{X_0}} - 3 \sqrt{\frac{Y}{Y_0}} \right] \quad \dots\dots(4)$$

$$b = 200 \left[3 \sqrt{\frac{Y}{Y_0}} - 3 \sqrt{\frac{Z}{Z_0}} \right] \quad \dots\dots(5)$$

$$\text{Hunter-Whitness} = 100 - \sqrt{(100 - L^2) + (a^2 + b^2)} \quad \dots\dots(6)$$

결과 및 고찰

현미와 백미중 비정상립의 혼입 중량비율에 따른 백도변화 다음 Fig. 1은 현미(추청)중 정상립과 비정상립의 종류별

백도를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 현미 정상립의 백도는 22.4이었으며, 미숙립과 백사미의 백도는 각각 22.8 및 28.4로 정상립보다 높았으나 청사미, 피해립, 착색립의 백도는 각각 21.4, 21.1, 18.4로 정상립보다 낮았다. 또한, 미숙립은 0~20%, 기타 비정상립은 0~5%까지 혼입 증량비율을 변화하면서 백도를 측정 한 결과는 다음 Fig. 2와 같았다. Fig. 1, 2에서 알 수 있듯이 백사미와 미숙립의 혼입율이 높을수록 현미의 백도는 증가하였으며, 청사미, 피해립 및 착색립의 혼입율이 증가할수록 현미백도는 감소하는 경향을 나타내었다.

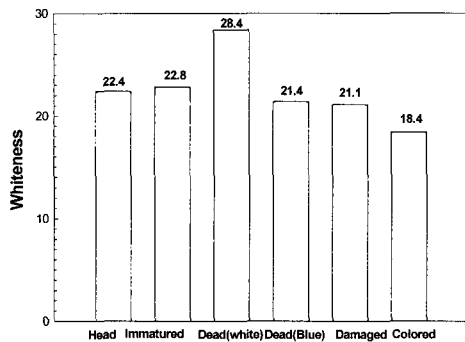


Fig. 1. Whiteness of normal and abnormal brown rice.

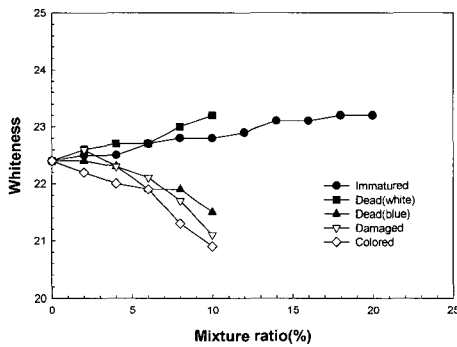


Fig. 2. Whiteness changes of brown rice according to the mixture ratio of abnormal kernels.

다음 Fig. 3은 추청 현미를 백도 40.5수준으로 가공한 후 쌀의 정립과 비정상립의 종류별로 백도를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 백미 정립의 백도는 39.3이었으며, 미숙립에서 유래한 분상질립, 싸라기, 사미에서 유래한 분상질립의 백도는 각각 45.2, 40.6, 55.0으로서 백미 정립보다 높았으며, 피해립의 백도는 30.1로서 정립의 백도보다 높은 값을 나타내었다. 한편, 착색립은 백도를 측정할 수 있을 정도의 충분한 시료를 확보하지 못해 측정하지 못하였다. Fig. 4는 현재 RPC에서 사용되고 있는 포장등급규격의 각 등급인자의 최고허용한도를 감안하여 싸라기와 미숙립에서 유래한 분상질립은 0~10%까지, 사미에서 유래한 분

상질립과 피해립은 0~5%까지 혼입 증량비율의 변화시켰을 때의 백도변화를 나타낸 것이다. Fig. 3, 4에서 알 수 있듯이 미숙립에서 유래한 분상질립과 싸라기, 사미에서 유래한 분상질립의 혼입 증량비율이 높을수록 백미의 백도는 증가하였으며, 피해립의 혼입 증량비율이 증가할수록 백미백도는 감소하는 경향을 나타내었다.

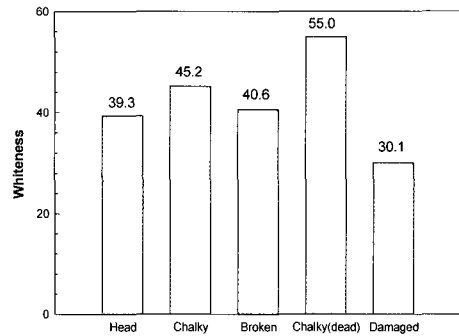


Fig. 3. Whiteness of normal and abnormal milled rice processed at the same milling degree.

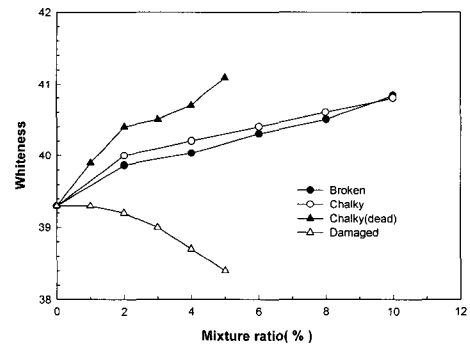


Fig. 4. Whiteness changes of milled rice according to the mixture ratio of abnormal kernels.

이상의 결과에서 현미 및 백미의 백도는 비정상립의 종류 및 혼입 증량비율에 의해 영향을 받을 수 있다는 것을 알 수 있었으며, 비정상립에 의한 영향을 배제하기 위해서는 정립만을 사용해야 하는 것을 알 수 있었다.

도정도에 따른 백도모델

Fig. 5는 3품종 쌀(추청, 남평, 오대)의 도정도에 따른 백도변화를 나타낸 것이다. 품종에 상관없이 도정도가 증가할수록 백도는 증가하는 경향을 나타내었으나 그 증가폭은 일정하지 않았으며, 백도 약 45부근을 정점으로 도정도가 증가하여도 백도의 증가는 거의 없는 비선형 형태를 나타내었다. 따라서, 기존에 발표되어 있는 Velupillai 등(4), Pandey 등(5) 등이 제안한 1차 선형모델로는 표현이 불가능하다는 것을 알 수 있었다.

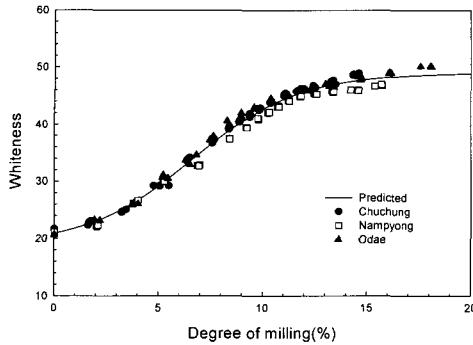


Fig. 5. Whiteness changes of milled rice according to the milling degree.

도정도에 따른 백도 값의 변화에 대해 품종별로 유의성을 분석한 결과, $p < 0.05$ 수준에서 품종별로 유의하지 않는 것으로 나타나 도정도별 백도변화는 1개 모델로 표현이 가능하였다. 따라서, 도정도별 백도 실험치는 비선형형태인 Sigmoid type의 식(7)과 같은 모델로 표현이 가능하였으며, 최소자승법으로 식(7)의 계수를 결정한 결과는 다음 Table 1과 같았다. 이 때 결정계수는 0.990이었으며, RMSE (Root mean square error)는 0.877로서 식(7)이 도정도에 따른 백도변화를 잘 나타낼 수 있을 것으로 판단되었다.

$$W = y_0 + \frac{a}{1 + \exp\left(-\frac{x - x_0}{b}\right)} \dots\dots\dots(7)$$

여기서, W : 백도 (whiteness)
 y_0, a, b, x_0 : 실험상수
 x : 도정도 (degree of milling)

Table 1. The coefficients of prediction model for whiteness according to milling degree

a	b	x_0	y_0
30.1818	2.5584	6.6422	18.8087

백도와 타 칼라인자와의 상관관계 구명

도정도에 따라 색차계로 측정된 Lab값을 식(2)~(6)을 이용하여 각 칼라체계의 칼라인자로 환산한 다음, 측정된 백도와와의 상관관계를 살펴보았다. 그 결과, Lab 칼라체계의 b값과 백도와와의 관계는 다음 Fig. 6과 같이 2차 다항식으로 나타낼 수 있었으며, Lab 칼라체계의 L값, a값, b값 및 Hunter whiteness값, RGB 칼라체계의 R값, G값 및 B값과의 관계는 다음 Table 2와 같았다. 표에서 알 수 있듯이 쌀의 백도는 b값, Hunter whiteness값, B값과 결정계수 각각 0.990, 0.985, 0.989로 높은 상관관계를 나타낸 반면 L값, a값, R값, G값은 각각 결정계수 0.981, 0.951, 0.907, 0.983으로 비교적 낮은 상관관계를 나타내었다.

특히, 미국과 일본 등에서 쌀의 품질관리용으로 비교적 많이 적용되고 있는 b값은 백도와 밀접한 관계를 나타내고 있었다. b값이 노란색과 파란색의 정도를 나타내는 칼라인자이고, RGB 칼라체계의 칼라인자중에서는 B값이 파란색의 정도를 나타내고 있는 점을 감안할 때 쌀의 백도는 특히, 노란색과 파란색의 정도로 나타낼 수 있다는 것을 알 수 있었다.

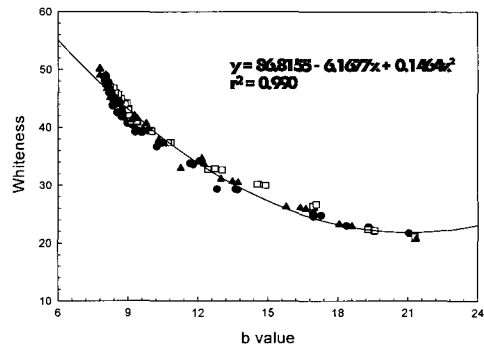


Fig. 6. Relationship between b value in Lab color system and whiteness for milled rice.

Table 2. Relationship between color factors in Lab and RGB color system and whiteness for milled rice

Color system	Color factor	Regression equation whiteness = f(color factor)	Determination coefficient
Lab	L	$y = -760.3085 + 21.9328x - 0.1488x^2$	0.981
	a	$y = 29.0815 - 9.6763x + 2.7847x^2$	0.951
	b	$y = 86.8155 - 6.1677x + 0.1464x^2$	0.990
Hunter whiteness		$y = -255.463 + 7.5258x - 0.0459x^2$	0.985
	R	$y = -327.9975 + 6.4341x - 0.0275x^2$	0.907
RGB	G	$y = -119.4436 + 2.9016x - 0.0126x^2$	0.983
	B	$y = -24.2894 + 1.2712x - 0.0054x^2$	0.989

요 약

RPC에서 도정수율은 물론이며 쌀의 품질과 직접 관계가 있는 도정도의 측정에 활용하기 위하여 3품종(추청, 남평, 오대)의 현미를 도정도 0~20%범위에서 도정하면서 측정된 백도를 이용하여 도정도별 비선형 백도모델을 개발하였으며, 이 때 결정계수는 0.990, RMSE는 0.877로서 실측치와 예측치는 잘 일치하여 개발된 백도모델은 적용이 가능한 것으로 판단되었다. 또한, 칼라간의 상관관계를 구명하기 위하여 Lab와 RGB 쌀의 칼라시스템의 칼라인자와 백도와와의 상관관계를 검토한 결과, Lab 칼라체계에서 b값 및 Hunter whiteness와 RGB 칼라체계에서 B값이 각각 결정계수 0.990, 0.985, 0.989로서 백도와 높은 상관관계를 나타내었다. b값과 B값이 쌀의 노란색과 파란색정도를 나타내고

있어 쌀의 백도는 특히 노란색과 파란색의 정도로 나타낼 수 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

1. Yamashita, R. (1993) New technology in grain post-harvesting. Farm Machinery Industrial Research Corp., Tokyo, p.183-187
2. Wadsworth, J.I., Sequeira, D.J., Velupillai, L. and Verma, L.R. (1991) Rice degree of milling measured by NIR. ASAE Meeting Presentation, Albuquerque, NM, USA., Paper No. 91-6030
3. Watanabe, T. (1997) Measurement of whiteness on rice grain. J. Japanese Soc. Agric. Mach., 42, 91-96
4. Velupillai, L. and Pandey J.P. (1989) Colour and bran removal in rice processing. ASAE Paper No. 87-6042
5. Pandey, J.P. and Sah, P.C. (1990) Modelling of bran removal and whiteness of milled rice. J. Food Technol., 27, 256-259
6. Kawamura, S. (1990) Rice milling, and quality and taste of milled rice(part 2). Milling characteristics, Faculty of Agriculture, Hokkaido Univ., 17, 25-49
7. The Food Agency. (1995) Rice post-harvest technology. Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan, p.416-425
8. Jain, A.K. (1989) Fundamentals of digital image processing. Prentice-Hall, Inc., p.62-72

(접수 2005년 1월 14일, 채택 2005년 3월 18일)