

영상처리를 이용한 쌀의 백도측정

김 훈

유통연구단

Whiteness Measurement of Rice by Image Processing

Hoon Kim

Food Marketing Research Group

백도의 정의 및 측정방법

백도(whiteness)는 완전한 darkness을 0으로 하고, 마그네슘(magnesium) 리본을 태웠을 때 발생하는 연기(fume)의 하얀색을 100으로 하고 그 사이를 100등분한 일종의 반사지수(reflective index)이다. 백도의 표시방법은 1986년 국제조명위원회(CIE)가 권장한 내용에 따라 제정된 한국산업규격(KS A0089)에 규정되어 있다.

쌀에서 미강의 제거정도인 도정도(milling degree)는 쌀의 외관품질, 식미 및 도정수율에 대단히 큰 영향을 미치므로 미국종합처리장(Rice Processing Complex, RPC)과 같은 대형도정공장에서 적절한 도정도로 도정하는 것은 대단히 중요하다. 도정도를 측정하는 방법에는 현미에

서 제거되는 미강의 중량비로 측정하는 직접적인 방법과 미강이 제거되면 쌀의 색깔이 달라지는 점을 이용하여 백도(whiteness), B값 및 b값 등 칼라인자를 이용하여 도정도를 추정하는 방법과 쌀을 NMG시약 등으로 염색하여 표면 상태를 측정하는 간접적인 방법 등이 있다. 도정과정 중에 전체중량을 직접 측정하거나 천립중을 이용하여 도정도를 측정하는 방법은 RPC와 같이 쌀을 대량으로 연속하여 가공하는 시설에서는 사용하기가 현실적으로 어렵다. 한편, 쌀의 칼라인자 중에서 백도는 도정도와도 상관관계가 높고 용이하게 백도를 측정할 수 있는 백도계가 개발되어 있어 RPC에서 도정도 측정에 사용이 증가하고 있으며, 도정도 기준으로 백도의 사용이 점차 확대되고 있다. 현재, 쌀의

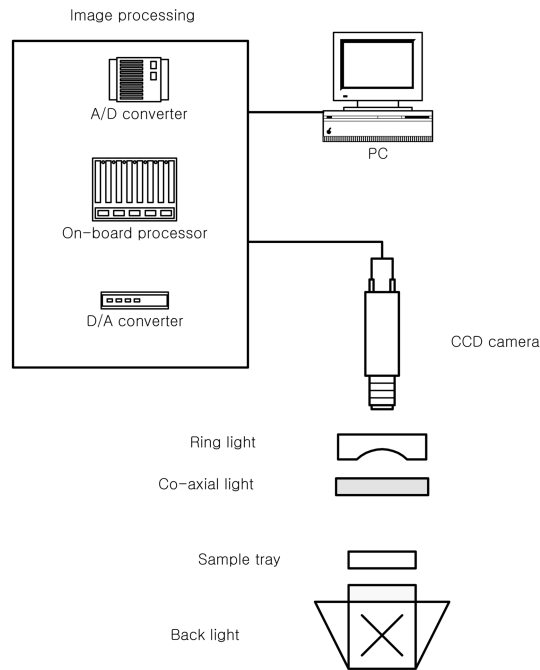


Fig. 1. Image processing system

백도를 측정하는데 사용되고 있는 장치는 백도계, 색차계, 품위판정기 등으로 구분할 수 있다. 백도계는 Fig. 1과 같은 원리를 이용하여 RGB 값을 측정하는데 420 nm만을 선택적으로 사용하기 위해 blue filter를 장착하고 있으며, RGB 값을 백도로 환산하여 나타내고 있다. 품위판정기는 주로 광센서(optical sensor), CCD(charge-coupled device) 등을 이용하여 쌀의 외형품질을 판별하는 장치로서, 최근에 외형품질 이외에 단립의 백도를 부가적으로 측정하고 있다. 색차계(colorimeter)는 물체의 칼라를 측정하는 장치로서, 모든 산업에 널리 이용되는 장치로 XYZ, Lab 및 RGB 등의 칼라시스템을 측정하는데,

이러한 칼라시스템을 이용하여 백도로 환산할 수 있으며, 주로 연구용으로 사용이 가능하다.

쌀의 백도는 도정과정에서 도정기준으로 사용되고 있는 가장 중요한 품질인자이다. 또한, 칼라시스템과 밀접한 관계있는 칼라특성으로서 최근 식품분야, 식재료 선별 등에 널리 이용되고 있는 영상처리시스템을 이용하여 칼라시스템과의 상호 관계식에 의해 표현이 가능하다. 따라서, 쌀의 백도와 영상처리시스템에 의해 측정된 다양한 칼라시스템과의 모델링을 통해 영상처리를 이용하여 쌀의 백도를 측정할 수 있는 기술을 제시하고자 한다.

영상처리시스템

영상처리시스템은 Fig. 1과 같이 CCD 카메라, 영상획득·처리장치, 조명장치 및 PC 등으로 구성하였다. 렌즈는 75 mm 렌즈($f=8\text{ mm}$)를 사용하였으며, CCD 카메라는 Jai사의 칼라 3D용(CV-M70, Jai, Japan)으로 최대해상도는 $659(H) \times 494(V)$ 이며, 통신수단은 RS232로 원격제어가 가능하도록 한다.

영상처리방법은 우선적으로 쌀의 영상을 CCD 카메라로 취득하여, CCD 카메라에 의해 아날로그 신호 형태인 전기 신호로 변환한다. CCD는 2차원 배열 형태의 센서가 있는데, 빛을 감지하여 빛의 세기에 비례하는 전기 신호로 바

꾸어주는 광좌(photosite)와 전기 신호를 읽어내는 전자회로 등으로 구성되어 있다. CCD 카메라로 취득한 영상의 전기 신호는 디지털타이저에 포함된 아날로그-디지털(AD) 변환 기능을 통해 변환하도록 한다. 변환된 신호는 PC에 저장하여, 영상처리 연산을 위해 입출력이 가능하도록 한다. 영상처리 데이터를 디지털-아날로그(DA) 변환기능을 통해 아날로그 신호 형태로 재구성한 후 모니터로 출력하도록 한다. PC 기반의 전체 장치의 조절과 영상획득, 처리, 저장 및 표시 등으로 인터페이스를 제공하도록 한다.

조명은 동축, 링 및 백라이트 등 3종의 조명과 조명의 위치를 제어하는 기구부로 구성하며 (Fig. 2), 3종의 조명은 독립적으로 사용이 가능

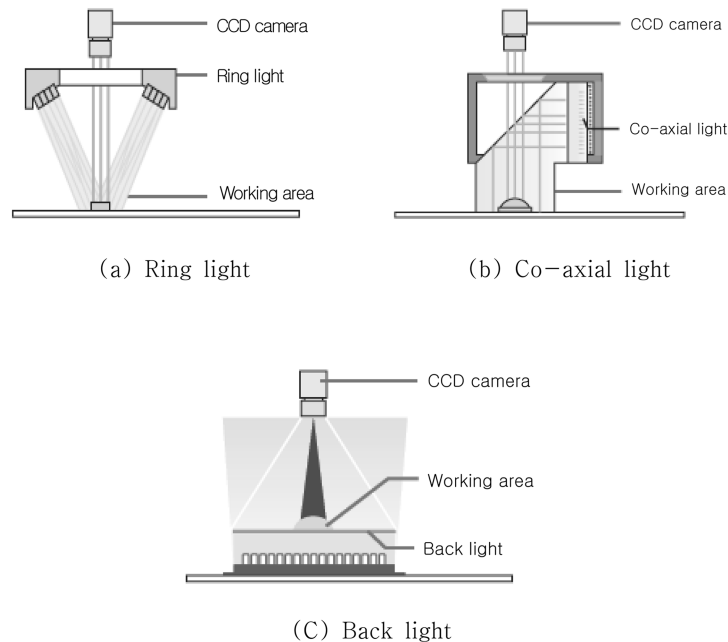


Fig. 2. Working area of illumination

하고, 2종 또는 3종이 동시에 조합될 수 있도록 구성하며, 조명의 밝기를 임의대로 조정이 가능하도록 한다.

조명선정

영상처리의 조명(링, 동축, 백라이트)은 백도를 측정하기 위한 매우 중요한 인자로서 각각의 조명이 단독 또는 조합했을 때 쌀의 형상, 칼라 및 백도에 미치는 영향을 구명하였다. CCD 카메라의 칼라(Lab 및 RGB)특성을 보정하기 위하여 표준색표집(통상산업부, 한국색채연구소)을 이용하여 표준색 7단계의 칼라에 대하여 보정을 실시하였다.

조명조건별로 영상처리가 이루어진 영상은 색차계에 의해 측정된 칼라특성(백도, Lab, RGB)

과의 다중회귀분석법(multiple linear regression, MLR)을 실시하여 상관관계가 높은 적정은 링 및 백라이트의 조합형태로서 상관관계는 Fig. 3과 같다.

백도의 수학적 모델식

백도는 칼라인자로서 RGB, XYZ, Lab 등의 칼라시스템과 상호 연관성이 있다. Lab 칼라시스템은 CIE(Commission Internationale d'Eclairage)라는 국제 표준 칼라 측정기구에 의하여 1976년 제정된 칼라 체계로 CIE Lab 모형을 말한다. Lab 칼라에서 L은 밝기인 명도(luminosity)를 말하며 a는 녹색에서 적색의 보색, b는 황색에서 청색의 보색을 뜻한다. 각 칼라시스템의 칼라인자 사이에는 다음 식(KS

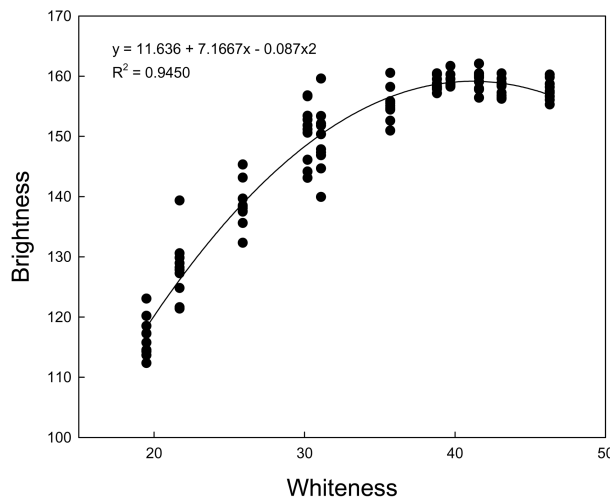


Fig. 3. Comparison of whiteness and brightness of illumination

A 0066, KS A 0067, KS A 0089 등에 의거하여 호환할 수 있으며, 각 칼라인자간의 변환은 Jain(1989) 및 Yamashita(1993)의 식이 대표적이다.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.490 & 0.310 & 0.200 \\ 0.177 & 0.813 & 0.011 \\ 0.000 & 0.010 & 0.990 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (1)$$

X, Y, Z : CIE Primary colors

$$L = 116 \left[\sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} - 16 \right] \quad (2)$$

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

$$b = 200 \left[\sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} - \sqrt[3]{\frac{Z}{Z_0}} \right] \quad (4)$$

$X_0, Y_0, Z_0 = X, Y, Z$ values for standard white

$$\text{Hunter Whiteness} = 100 - \sqrt{(100 - L^2) + (a^2 + b^2)} \quad (5)$$

$$Y = 255 \times \left(\frac{L + 16}{116} \right)^3 \quad (6)$$

$$X = 255 \times \left(\frac{a}{500} + \sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} \right) \quad (7)$$

$$Z = 255 \times \left(\sqrt[3]{\frac{Y}{Y_0}} - \frac{b}{200} \right)^3 \quad (8)$$

$$Y_1 = 0.49Y - 0.177X \quad (9)$$

$$Z_1 = 0.16832Z - 0.0049Y_1 \quad (10)$$

$$B = \frac{Z_1}{0.16678} \quad (11)$$

$$G = \frac{0.03001B + Y_1}{0.3435} \quad (12)$$

$$R = \frac{-0.31G - 0.2B + X}{0.49} \quad (13)$$

백도와 칼라시스템의 상관관계

마찰식정미기(VP-32T, Yamamoto, Japan)로 유량을 조정하면서 현미(4품종)를 11회 반복 투입하면서 도정하여 백도별 11개의 시료를 조제하였다. 백도는 일본(全國食糧検査協會, 2002) 및 국내에서 기준장비로 널리 사용되는 백도계(CR 300-3, Kett, Japan)를 이용하여 5회 반복 측정하여 최대값과 최소값을 제외한 평균치를 이용하였다. Lab값은 색차계(CR-300, Minolta, Japan)를 이용하여 측정하였다. 측정된 백도와 Lab값을 이용하여 각 칼라시스템의 칼라인자와의 관계식을 SAS 비선형 회귀분석 프로그램을 이용하여 개발하였으며, 실험치와 관계식에 의한 예측치간의 결정계수를 이용하여 백도와 칼라인자간의 상관관계를 구명하였다.

실험모델의 결정계수는 Lab 시스템에서 0.838~0.947범위, RGB 시스템에서는 0.812~0.919범위로 나타났으며, 이중에서 특히, b값의 결정계수는 0.947로 가장 높게 나타나 b값이 쌀의 백도를 잘 표현할 수 있는 칼라인자로 판단된다. 또한, a값의 결정계수도 0.946으로서 표현 가능한 칼라인자로 판단되었다. Lab 시스템에서 백도

Table 1. Relationship between color factors in Lab and RGB color system and whiteness

Color system	Color factor	Regression equation whiteness = f(color factor)	Determination coefficient
Lab	L	$y = -240.521 + 6.05811x - 0.02987x^2$	0.838
	a	$y = 36.53672 - 7.3723x + 0.8255x^2$	0.946
	b	$y = 77.52984 - 4.11838x + 0.07138x^2$	0.947
	Hunter whiteness	$y = -89.568 + 12.4589x - 0.1458x^2$	0.936
RGB	R	$y = -215.8598 + 2.1625x - 0.0157x^2$	0.812
	G	$y = -96.2689 + 1.8547x - 0.0356x^2$	0.915
	B	$y = -45.4987 + 2.3369x - 0.0145x^2$	0.919

y: whiteness, x: color factors

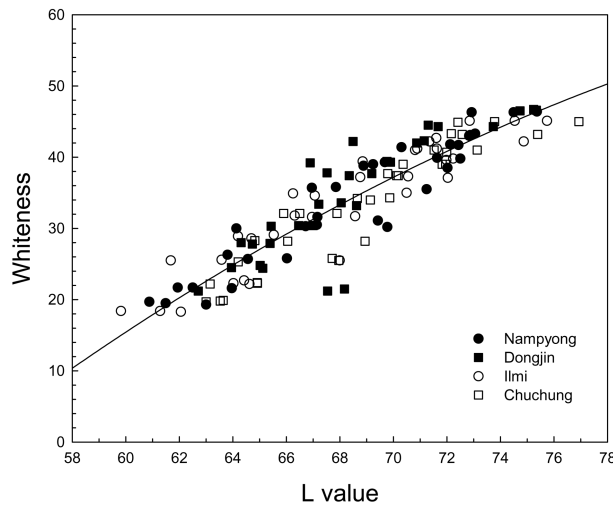


Fig. 4. Relationship between L value in Lab color system and whiteness

에 따른 칼라인자와의 실험치 및 모델의 예측치는 Fig. 4~6과 같이 나타났으며, b값은 백도 20~47범위에서 8~26범위로서 비교적 넓은 범위에서 예측이 가능하였으며, a값은 결정계수는 0.946으로 높았으나, -1~6범위로 다소 좁은 범위로서 예측에 한계가 있을 것으로 판단된다.

L값은 b값과 마찬가지로 비교적 넓은 범위에서 예측이 가능하였지만 결정계수가 다소 낮은 (0.838) 수준이다.

따라서, 영상처리를 이용한 쌀의 백도측정에는 링과 백라이트를 조합한 조명과 Lab 칼라시스템에서 b값 및 a값에 의해 측정이 가능하다.

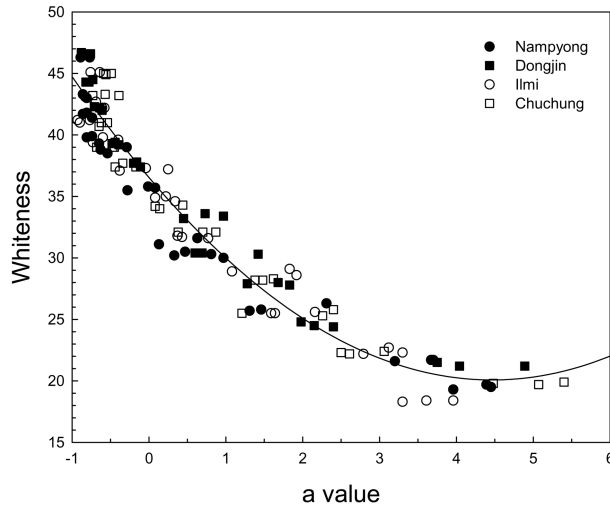


Fig. 5. Relationship between a value in Lab color system and whiteness

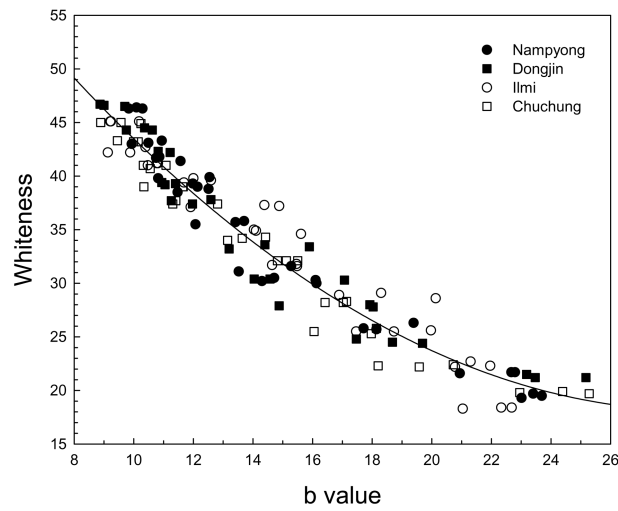


Fig. 6. Relationship between b value in Lab color system and whiteness

참고문헌

1. Jain AK, Fundamentals of digital image processing, Prentice-Hall, Inc., 62-72, 1989
2. Kawamura S, Rice milling, and quality and taste of milled rice (part 2), Milling characteristics, Faculty of Agriculture, Hokkaido Univ., 17, 25-49, 1990

3. Kim OW, Kim H, Lee SE, Color modeling of milled rice according to milling degree, Korean J. Food Preserv., **12**(2), 68-74, 2005
4. Pandey JP, Sah PC, Modelling of bran removal and whiteness of milled rice, J. Food Technol., **27**(5), 256-259, 1990
5. The Food Agency, Rice post-harvest technology, Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan, 416-425, 1995
6. Wadsworth JI, Sequeira DJ, Velupillai L, Verma LR, Rice degree of milling measured by NIR. ASAE Meeting Presentation, Albuquerque, NM, USA., Paper No.91-6030, 1991
7. Watanabe T, Measurement of whiteness on rice grain, J. Japanese Soc. Agric. Mach., **42**, 91-96, 1997
8. Yamashita R, New technology in grain post-harvesting, Farm Machinery Industrial Research Corp., Tokyo, 183-187, 1993

김 훈 공학박사

- 소속 한국식품연구원 유통연구단
- 전문분야 곡류 수확후 처리기술
- E-mail hkim@kfri.re.kr
- TEL 031-780-9210