

NMG 염색법과 화상처리를 이용한 도정도 모델링

윤두현 김의웅 김 훈

Modeling of Milling Degree for Milled Rice using NMG Dying and Image Processing

D. H. Yoon O. W. Kim H. Kim

Abstract

This study was performed to develop experimental model for milling degree and whiteness from analysis the CBB (colored bran balance) index using NMG dying and image processing. The endosperm layer increased and the pericarp, aleurone layer and CBB index decreased as the milling degree and whiteness increased. So, CBB index was closely linked to milling degree and whiteness. A empirical CBB index model was developed according to the milling degree and whiteness. The model were found to fit adequately to all test data with a coefficient of determination of 0.99, and therefore the CBB model proved to be quite applicable.

Keywords : CBB index, Image process, Milling degree, Modeling, NMG, Whiteness

1. 서론

쌀에서 미강의 제거정도인 도정도(milling degree)는 쌀의 외관품질, 식미 및 도정수율에 대단히 큰 영향을 미치므로 미곡 종합처리장(Rice Processing Complex, RPC)과 같은 대형도정공장에서 적절한 도정도로 도정하는 것은 대단히 중요하다(Kim 등, 2005).

도정도를 측정하는 방법에는 현미에서 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 NMG 시약 등으로 염색하여 표면상태를 측정하는 간접적인 방법 등이 있다(Kawamura, 1990; Liu 등, 2002; Kim 등, 2005).

도정과정 중에 전체중량을 직접 측정하거나 천립중을 이용하여 도정도를 측정하는 방법은 RPC와 같이 쌀을 대량으로 연속하여 가공하는 시설에서는 사용하기가 어렵다. 한편, 쌀의 칼라인자 중에서 백도는 도정도와도 상관관계가 높고 용이하

게 백도를 측정할 수 있는 백도계가 개발되어 있어 RPC에서 도정도 측정에 사용이 증가하고 있다(Food Agency, 1995; Kim 등, 2005).

일반적으로 도정도가 증가할수록 백도는 증가하며, RPC에서 도정수율과 품질을 고려할 때 도정도는 8.9~9.2%, 백도는 40~41수준이 적합하다고 보고 되고 있다(Kim 등, 2005). 그러나 동일 도정도를 가진 쌀의 백도도 쌀 품종, 벼 재배 지역 및 조건, 미숙립 및 착색립 등 비정상립의 혼입 비율, 불균일 도정의 발생 여부, 백도 측정 시 시료의 밀도에 따라 다소 영향을 받게 되므로 백도 값의 신뢰를 높일 수 있는 보완적인 방법이 필요하다.

NMG 염색법은 염색처리방법 등 이용이 복잡함에도 불구하고 쌀 표면의 미강의 제거정도를 육안으로 확인할 수 있다는 장점으로 인해 도정도 측정에 이용되고 있다. Bhattacharya 등(1976)은 장립종 쌀을 도정도 10%까지 가공한 후 알카리 붕괴도 측정법과 iodine 염색법으로 도정도에 따른 미강층의 제거정도를 측정하였으며, Kim 등(2005)은 백도별로 가공한

The article was submitted for publication in November 2006, reviewed and approved for publication by the editorial board of KSAM in December 2006. The authors are Doo Hyun Yoon, Researcher, KSAM member, Oui Woung Kim, Principal Researcher, KSAM member, and Hoon Kim, Researcher, KSAM member, Korea Food Research Institute, Seongnam, Korea. Corresponding author: H. Kim, Researcher, Korea Food Research Institute, Seongnam, 463-746, Korea; Fax: +82-31-780-9059; E-mail: <hkim@kfri.re.kr>.

쌀을 NMG 염색법을 이용하여 표면의 칼라를 측정하여 백도에 따른 미강 제거정도 즉, 도정 정도를 측정하였다. Barber 등(1979)은 도정시간별로 쌀의 중량을 측정하고, NMG 시약으로 염색한 다음 쌀 낱알 표면에서 미강이 남아있는 부분의 면적을 면적계로 측정하고 미강이 남아있는 부분의 면적비를 CBB(Colored Bran Balance) index로 정의하고 7가지 품종에 대해 실험하였으나 모델을 제시하지는 못하였다. Liu 등(2002)은 고시히카리 등 3개 품종의 현미를 이용하여 도정수율 89~93%범위로 도정한 다음, 도정된 쌀을 NMG 염색법과 화상처리방법을 이용하여 미강이 남아 있는 부분의 면적비를 측정하여 도정수율에 따른 도정정도 지표치로 제시하였으나 도정정도 지표치와 백도와의 상관관계에 대한 모델을 제시하지는 못하였다.

RPC에서는 정밀한 도정을 통해 도정편차를 최소화하여 식미와 도정수율을 향상시키기 위한 노력이 시작되고 있으며, 이를 위해서는 도정도 측정에 사용되고 있는 백도의 한계를 보완할 수 있는 방법의 모색이 필요한 실정이다. 이에 따라 Barber 등(1979) 및 Liu 등(2002)이 제안하였던 CBB index 등 미강이 남아 있는 면적비 개념의 도입은 물론이며, 이를 용이하게 측정할 수 있는 장치개발도 필요한 실정이다.

본 연구에서는 CBB index의 개념을 도입하여 마찰식정미기로 도정도 및 백도별로 도정된 쌀을 NMG 염색법과 화상처리방법으로 도정의 진행과정을 구명하고, 백도 및 도정도와 CBB index간의 관계를 구명하여 실험모델을 개발하는데 목적이 있다.

2. 재료 및 방법

가. 공시 재료

본 실험에 사용한 현미는 2005년 경기 비봉지역에서 생산된 추청으로 수확농협RPC에서 구입한 후 색채선별기(ACS-12, A-Mecs, Korea)로 비정상립을 선별하여 정상립을 진공포장한 후 2℃ 저온저장고에 보관하면서 공시하였다. 실험에 사용한 시료는 실험 1일전에 상온에 방치하여 곡온을 상온으로 조정하여 사용하였다. 실험에 사용한 현미의 초기함수율은 16.1%(w.b.), 백도는 18.9이었다.

나. 화상처리에 의한 CBB index 측정

그림 1은 현미의 표면을 화상측정기(Zoom video microscope, INU, Korea)를 사용하여 촬영한 것이다. 현미의 외부명칭은 배아, 껍, 등, 배 및 측면 등으로 구분하며, 측면, 등 및 배에서 우선적으

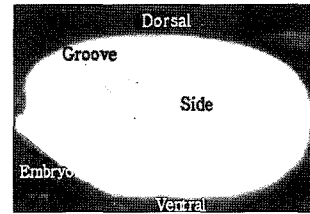


Fig. 1 Surface image of brown rice kernel by zoom video microscope (×300).

로 도정이 진행되고 이후 배아와 껍에서 도정이 진행되게 된다.

도정과정에서 현미는 과피와 호분층이 제거되고 전분층 즉, 백미로 도정되게 된다. 따라서, 도정의 정도가 적정한지는 과피와 호분층의 제거정도로 알 수 있다. 그러나 육안이나 화상으로는 색택의 차이를 구분하기는 매우 어렵다.

백미를 NMG 시약으로 염색처리하면 과피, 호분층 및 전분층은 성분차이로 인해 서로 다른 색택으로 염색되는데, 이를 화상처리와 수치화를 통해 도정의 정도를 측정할 수 있다. 즉, 백미를 NMG 시약으로 염색처리하면 제거되지 않은 과피는 녹색, 호분층은 파란색, 그리고 백미인 전분층은 분홍색으로 염색된다(Baber 등, 1979; Food Agency, 1995; Kim 등, 2005).

백미 단립(Fig. 2(a))을 NMG 시약으로 염색처리 한 후 화상측정기(Zoom video microscope, INU, Korea)를 이용하여 영상을 획득하였다(Fig. 2(b)). 획득한 이미지는 Image analyzer(HAROX, HK-2200, Japan)를 이용하여 과피는 진한 녹색, 호분층은 진한 청색, 그리고 전분층은 노란색의 가상의 색(pseudo color)을 설정하였다(Fig. 2(c)). 가상의 색으로 과피(A), 호분층(B) 및 전분층(C)으로 구분된 영역을 Image analyzer를 이용하여 면적을 산출하고(Fig. 2(d)) 과피와 호분층의 면적비율을 CBB(Colored Bran Balance) index로 정의하였으며, 다음의 식 (1)과 같다.

$$CBB\ index = \frac{(A+B)}{(A+B+C)} \times 100 \quad (1)$$

다. 도정방법 및 모델링

현미 정상립 10 kg을 시험용 마찰식정미기(VP-31T, Yamamoto, Japan)에 총 10회 통과시키면서 도정하였으며, 최종 백도는 44.2 수준이었다. 도정 횟수별로 일정량의 시료를 채취하여 도정도 및 백도를 측정하였으며, NMG시약으로 염색 처리를 하였다.

도정도는 현미와 백미의 정립 1,000립의 중량인 천립중을 이용하여 식 (2)와 같이 계산하였으며, 3회 반복 측정하였다.

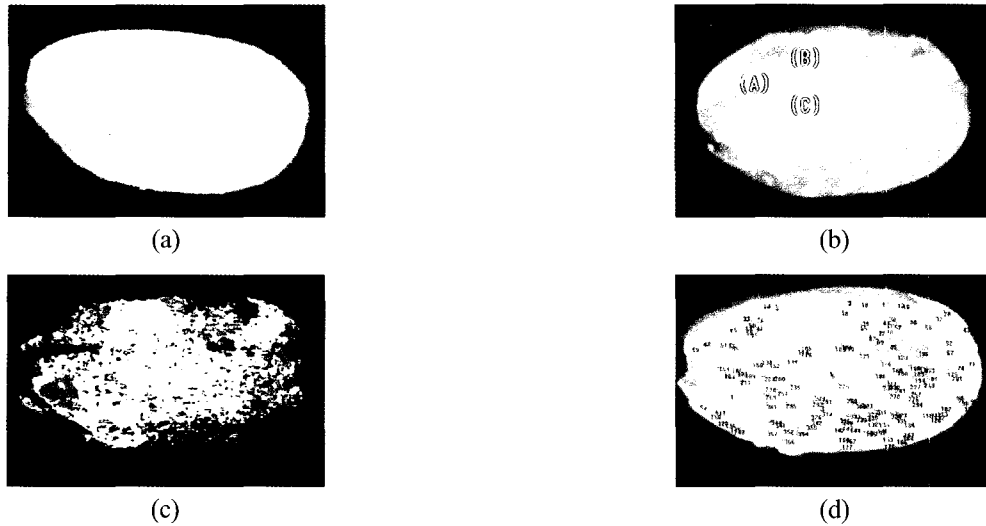


Fig. 2 Procedure to measure of CBB index using NMG reagent dyeing and image processing ($\times 300$) ((a) raw image, (b) dyed image, (c) pseudo colored image, (d) calculated image, (A) pericarp layer, (B) aleurone layer, (C) endosperm layer).

$$\text{Degree of milling}(\%) = \frac{1000\text{kernel of brown rice}(g) - 1000\text{kernel of milled rice}(g)}{1000\text{kernel of brown rice}(g)} \times 100$$

(2)

백도는 수작업으로 정립을 선별한 후 백도계(CR 300-3, kett, Japan)를 이용하여 5회 측정 후 최대값과 최소값을 제외한 평균값을 이용하였다.

NMG 염색법은 Eosin과 Methylene blue 용액을 혼합하여 1% 농도의 NMG시약을 제조한 후 Methanol을 사용하여 3배 희석하였다. 백미 약 50 g을 20초간 증류수로 세척한 후, 제조한 NMG시약으로 염색한 후 Methanol로 세척한 후 상온에서 건조하였다. NMG 염색처리한 백미 정립 10립을 선별하여 면적비 및 CBB index를 산출하였다. 백도 및 도정도에 따른 CBB index 측정치를 SAS 다중회귀분석 프로그램을 이용하여 실험 모델을 개발하였다.

결과 및 고찰

가. 도정도 및 백도별 CBB index

그림 3은 CBB index에 따른 백미단립의 영상을 나타낸 것이다. CBB index 51.15에서는 측면의 대부분과 등 및 배의 일부분에서 도정이 발생하는 것을 알 수 있으며, CBB index 25.63에서는 배와 등의 많은 부분에서 도정이 발생되었고, 배아 및 골에서는 대부분 과피층과 일부 호분층이 남아있어 도정이 미비한 것으로 나타났다. CBB index 11.98에 도달해서는 배아부분의 도정이 발생하였으며, 일부 호분층이 측면 등

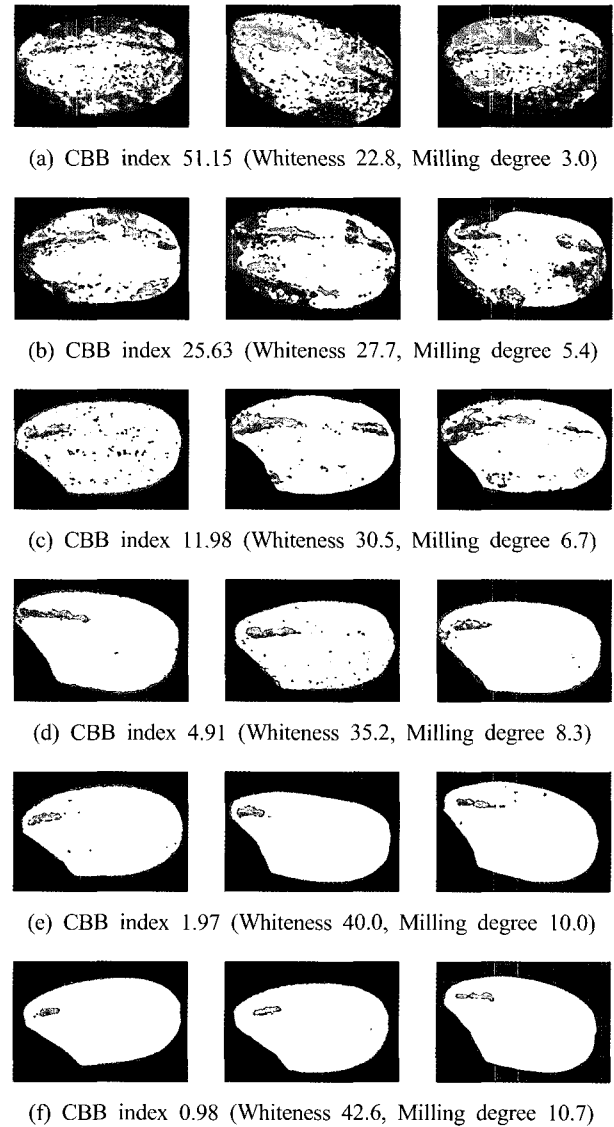


Fig. 3 Images of rice kernels according to CBB index.

에 남아있지만 대부분 골을 중심으로 그 주위에 과피층과 호분층이 남아있음을 알 수 있었다. 이후 CBB index 4.91, 1.97 및 0.98로 진행되면서 골에서의 호분층을 제외한 대부분의 과피와 호분층이 제거되었다. 따라서, 현미의 측면 대부분과 등 및 배의 일부분에서 도정이 시작되어 도정이 진행되면서 배아와 골에서 도정이 이루어짐을 알 수 있었다.

표 1은 도정도 및 백도별 과피, 호분층 및 전분층의 면적비와 CBB index를 나타낸 것으로 도정도와 백도가 증가할수록 전분층의 면적비는 증가하고, 과피 및 호분층의 면적비와 CBB index는 감소한다.

현미(도정도 0%)에서 도정도가 3.0%에 도달할 때 과피의 면적비는 37.54%이었으며, 호분층은 13.61%로 CBB index는 51.15 수준이었다. 과피의 면적비는 도정도 6.7%에 도달할 때 10%이하 수준으로 감소하였고, 이후 완만하게 감소하여 도정도 10.0%에서 0.5%, 도정도 11.5%에서는 완전히 제거되었다. 호분층은 과피가 제거될 때 대부분 함께 제거되었으나, 도정도 10.0%에서부터는 과피에 비해 면적비가 높았으며, 도정도 11.5%에 도달하여도 완전히 제거되지 않았다.

따라서, NMG 시약으로 염색한 백미를 화상처리방법으로 산출한 CBB index는 도정도 및 백도가 증가할수록 감소하였으며, 서로 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다.

Table 1 Results of CBB index and area ratio of according to milling degree and whiteness

Milling degree (%)	Whiteness	Pericarp layer (%)	Aleurone layer (%)	Endosperm layer (%)	CBB index
0.0	18.7	100.00	0.00	0.00	100.00
3.0	22.8	37.54	13.61	48.85	51.15
5.4	27.7	21.36	4.27	74.37	25.63
6.7	30.5	9.40	2.58	88.02	11.98
8.3	35.2	3.23	1.68	95.09	4.91
9.0	38.3	1.98	1.01	97.01	2.99
10.0	40.0	0.50	1.47	98.03	1.97
10.4	41.2	0.34	1.12	98.54	1.46
10.6	41.8	0.16	1.06	98.78	1.22
10.7	42.6	0.14	0.84	99.02	0.98
11.5	44.2	0.00	0.33	99.67	0.33

나. 모델개발

도정도 및 백도별 CBB index 측정치를 이용하여 다음의 식 (3)과 식 (4)의 실험모델을 개발하였으며, 결정계수는 0.99 이상으로 CBB index 실험모델이 측정치와 잘 일치하는 것으로 나타났다.

$$CBB\ index = c_0 + ae^{-bx} \quad (R^2 = 0.999) \quad (3)$$

여기서, $c_0 = -7.5472$, $a = 107.5594$, $b = 0.2284$

x : Milling degree(%)

$$CBB\ index = ae^{-bx} + ce^{-dx} \quad (R^2 = 0.997) \quad (4)$$

여기서, $a = 1972.49$, $b = 0.15938$, $c = 3164472.3$, $d = 0.782719$

x : Whiteness

그림 4 및 그림 5는 도정도 및 백도별 측정치와 개발한 CBB index 실험모델의 예측치를 비교한 것이다. 그림에서와 같이 도정도가 증가할수록 CBB index는 감소하였으며 도정도 8~11범위일 때, CBB index는 10~4범위이었다. 도정도와 마찬가지로 백도도 증가할수록 CBB index는 감소하였으며 백도 38~41범위일 때, CBB index는 3.0~2.5범위이었다.

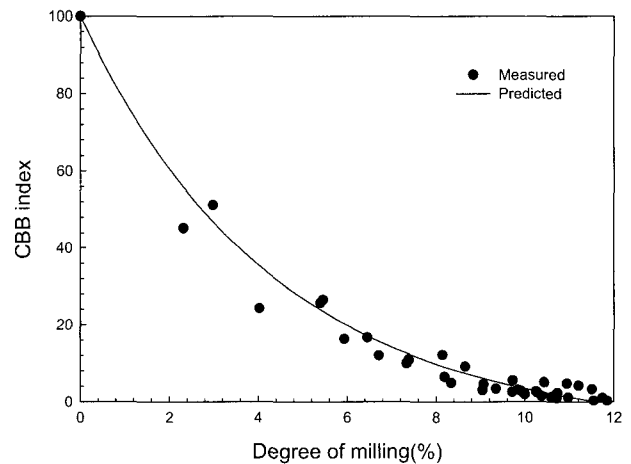


Fig. 4 Comparison of measured and predicted CBB index model by milling degree.

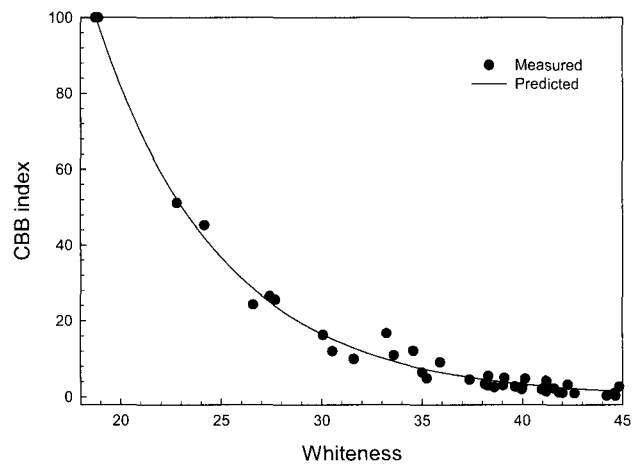


Fig. 5 Comparison of measured and predicted CBB index model by whiteness.

따라서, 측정치와 실험모델의 예측치는 전체 영역에서 잘 일치하여 도정도 및 백도에 따른 CBB index 변화를 잘 나타낼 수 있을 것으로 판단되어 CBB index를 이용하여 도정 정도의 측정이 가능할 것으로 판단되었다.

4. 요약 및 결론

본 연구는 도정정도를 측정하기 위하여 도정도 및 백도별로 도정된 백미단립을 NMG 염색법과 화상처리를 이용하여 도정의 진행과정을 구명하고, 도정도 및 백도와 CBB index간의 관계를 구명하여 실험모델을 개발하기 위하여 수행되었다.

현미는 측면 대부분과 등 및 배의 일부분에서 도정이 시작되어 도정이 진행되면서 배아와 골에서 도정이 이루어졌다.

NMG 시약으로 염색한 백미를 화상처리방법으로 과피, 종피 및 호분층 등 도정이 이루어지지 않는 영역을 측정하여, 이 면적비율을 CBB(Colored Bran Balance) index로 정의하고 산출하였다. 도정도와 백도가 증가할수록 전분층의 면적비는 증가하고, 과피 및 호분층의 면적비와 CBB index는 감소하였으며, CBB index는 도정도 및 백도와 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다.

도정도 및 백도별 CBB index 측정치를 이용하여 CBB index 실험모델을 개발하였으며, 결정계수는 0.99이상으로 나타났으며, 측정치와 실험모델의 예측치는 전체 영역에서 잘 일치하여 도정도 및 백도에 따른 CBB index 변화를 잘 나타낼 수 있을 것으로 판단되어 CBB index를 이용하여 도정 정도의 측정이 가능할 것으로 판단되었다.

향후 염색하지 않은 쌀을 대상으로 한 CBB index 측정기술 및 시스템 개발에 관한 논문을 보고할 예정이다.

참고 문헌

1. Barber, S. and C. B. de Barber. 1979. Outlook for rice milling quality evaluation system. Proceeding of the workshop on chemical aspects of rice grain quality. IRRI. pp.209.
2. Bhattacharya, K. R and C. M. Sowbhagya. 1976. Technical note : An alkali degradation test and an alcoholic alkali bran-staining test for determination the approximate degree of milling of rice. J. Food Technol. 11:309-312.
3. Food Agency of Japan. 1995. Rice post-harvest technology. Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan. pp.331, 472-474.
4. Kawamura, S. 1990. Rice milling, and quality and taste of milled rice (part 2), Milling characteristics. Faculty of Agriculture, Hokkaido Univ. 17:25-49.
5. Kim, O. W., H. Kim and S. E. Lee. 2005. Color modeling of milled rice by milling degree. Korean Journal of Food Preservation 12(2):141-145.
6. Kim, O. W., H. Kim., D. C. Kim and S. S. Kim. 2005. Determination of whiteness condition for efficient milling in rice processing complex. Journal of Biosystems Engineering 30(4):242-248.
7. Liu, H. J., K. Watanabe and S. Tojo. 2002. Correlations between quality and proportional extent of milling in optical images of rice stained using the NMG method. Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery 64(6):111-117.