

## 과열 수증기 공정에 의하여 처리한 현미의 수화 및 조직특성

- 연구노트 -

이수정 · 김철진\*<sup>†</sup> · 조용진\*

부천대학 식품영양과

\*한국식품개발연구원

### Hydration and Textural Characteristics of Brown Rice Treated with Superheated Steam Process

Soo-Jeong Lee, Chul-Jin Kim\*<sup>†</sup> and Yong-Jin Cho\*

Dept. of Food and Nutrition, Bucheon College, Bucheon 420-735, Korea

\*Korea Food Research Institute, Songnam 463-420, Korea

#### Abstract

In order to investigate the effect of superheated-steam process (SSP) on hydration and textural characteristics, brown rice (variety : Dongjin) was treated at three different temperatures of 127, 150 and 160°C and a constant pressure of 1 kg/cm<sup>2</sup> for 1 min. The microscopic views of steam-treated brown rice were compared to those of untreated brown rice and milled rice. Also, their water uptake rates and diffusion coefficients were obtained from a diffusion equation. While the untreated brown rice and milled rice had smooth surfaces, the steam-treated brown rice had fissured surface. The fissures increased with superheated steam temperature. When the steam-treated brown rice was hydrated in a water bath with temperature of 65 and 75°C, its diffusion coefficients varied from 1.90 × 10<sup>-4</sup> to 3.91 × 10<sup>-4</sup> cm<sup>2</sup>/min, depending on superheated-steam processing temperature. At the hydration temperature of 75°C, diffusion coefficient of 3.91 × 10<sup>-4</sup> cm<sup>2</sup>/min for treatment 2, was different from the diffusion coefficient of 2.23 × 10<sup>-4</sup> cm<sup>2</sup>/min for untreated brown rice and relatively close to that of 5.28 × 10<sup>-4</sup> cm<sup>2</sup>/min for untreated milled rice.

**Key words:** superheated-steam, brown rice, water uptake, surface fissures

#### 서 론

최근 식량원으로서 전곡립(whole grain) 소비량 및 이의 가공제품 섭취와 소비는 만성병의 예방에 큰 효과를 제공하는 이점으로 인하여 날로 증가하고 있다. 이 전곡립은 정백미를 주식으로 하는 식단에서 부족한 식이섬유원, 저항전분, 미량원소, 비타민, 기타 phytoestrogen과 항산화제 같이 질병예방에 중요한 성분 등의 주요 제공원이 되고 있다(1).

최근 건강식을 선호하는 추세에 영향을 받아 전곡립 혼합취반이 가정에서 폭넓게 시도되고 있으나, 현미는 정백미의 취반 특성과 크게 달라 백미와 같은 취반 특성을 갖는 현미의 수요가 급증하고 있는 실정이다. 현미는 치밀한 쌀겨층으로 싸여 있어 수화는 물론 취반에 있어서도 그 속도가 약 2배 가량 늦을 뿐 아니라 특성도 백미와는 다르다(2). 현미의 긴 취반시간은 정백미에 비하여 취반 중 수분흡수 속도가 느리기 때문이다. 그러나 최외층으로부터 현미의 1% 중량인 wax층을 제거하면 수분흡수속도는 일반적으로 백미와 거의 유사해진다(3). 이는 현미 최외층의 1%를

차지하고 있는 wax가 수분흡수속도에 관여함으로써 수분의 이동을 지연시키는 것과 관련이 있는 것으로 판단된다.

Normand와 Marshall(4)은 정백미에 용제와 단백질 분해효소를 처리하였을 때 전분의 호화온도가 충분히 낮아 점을 밝혔고, 이 호화온도의 하강 효과는 지질과 단백질의 제거에 기인하는 것보다는 이러한 처리에 의하여 곡립에 균열 및 미세 기공이 형성되어 전분입자가 물에 보다 넓게 노출되기 때문이라고 설명하였다. 수분의 전분입자로의 접근용이성은 현미 또는 정백미 곡립의 독특한 층을 이루는 세포물질의 조성의 차이에 의하여 조절되므로 현미 표면의 강층은 수분이 전분입자로의 이동시 방해벽으로 작용하여 전분의 호화를 지연시킴으로서 높은 온도에서 호화가 일어나도록 한다고 하였다.

고압/과열 수증기 공정은 식품에 있어서 플레이크, 팽화, 과립형 제품 등을 생산하는데 응용되고 있는 신속조리(quick-cooking)로서, 이론적 배경은 빠른 수분의 이동에 의한 열적인 재수화(thermal rehydration)에 이은 호화가 일어날 수 있도록 곡류내부에 작은 크기의 미세 기공(pore)이 형성되도록 효과적인 물리적 처리를 행하

<sup>†</sup>To whom all correspondence should be addressed

는 물질전달에 근거한 식품가공기술이라고 할 수 있다(5-7). 고압/과열 처리공정의 산업적 이용은 고압 또는 과열 수증기를 이용하여 진조 상태의 분립체(powdery or granular) 식품의 살균에 응용하여 건식살균 공정을 개발하게 된 것이 시효로서 기존의 방사선의 조사나 화학약품에 의한 살균시 인체에 유해함으로 인하여 법적인 규제를 받는 잔여 독성물질의 발생이 없는 안전성을 제공한다라는 의미에서 유용한 식품가공 기술로 평가되고 있다(8). 이 공정의 최대 장점은 물리적 처리와 삼투효과에 의하여 조리정도를 폭 넓게 조절할 수 있을 뿐만 아니라 조리시간을 5분 이내에서 조절하여 원하는 제품을 처리할 수 있는 신속하고 경제적인 공정이라는데 있다.

본 연구에서는 현미를 과열 수증기를 처리하여 현미의 강층 또는 전분층에 물리적인 손상을 통한 조직변형을 유도하고 이에 따른 현미의 수화속도와 조직특성을 살펴보았다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 연구에 사용한 시료는 1997년산 일반계 벼 동진(Dongjin, Japonica type)을 농협에서 구입하여 실험용 제현기(model 101668, Satake, Japan)로 제현하고, 쇄미 선별기(test rice grader, Satake, Japan), color sorter 등을 사용하여 완전된 현미만을 정선하여 비닐 백으로 포장하여 4°C 정온실에 보관하면서 실험에 사용하였고, 백미는 시료 현미를 표준도정방법에 의하여 도정도 10분도 까지 도정하여 대조구 시료로 하였다. 분석시약은 특별한 언급이 없는 경우는 모두 일급 시약을 사용하였다

### 과열 수증기 처리

현미의 과열 수증기 처리는 연구목적에 맞게 설계제 작된 장치(서강엔지니어링, 천안)를 이용하여, 가열 수증기 처리 chamber의 압력을 1 kg/cm<sup>2</sup>로 일정하게 유지하면서, super-heater의 가열온도를 127, 150 그리고 160°C로 조절하고(과열증기의 super degree 5, 30, 40%) chamber의 압력 및 온도가 평형에 도달하였을 때 투입밸브를 조작하여 시료 현미(200 g)를 투입한 후, 일정시간 경과 후 급격히 vent 밸브를 열어 처리시간을 조절하였다. 처리된 시료는 30분간 상온에서 방치한 후 방습포장하여 저장하면서 분석시료로 사용하였다.

### 처리현미의 표면조직 관찰

과열 수증기 처리한 시료의 표면조직을 영상분석장치를 사용하여 관찰하였다. 무처리 백미와 현미, 처리조건을 각각 달리한 3종의 처리현미의 표면조직을 동시에 비교하기 위하여 줌 렌즈와 크로스업 렌즈가 장착된 영상

분석장치로 화상을 받았으며, 각 시료별로 표면의 높은 해상도를 관찰하기 위하여 CCD 카메라가 장착된 광학 현미경을 사용하였다. 광학현미경(Leica DMRB, Germany)에 ×5 대물렌즈가 사용되었으며, 영상분석장치는 color digitizer module(Oculus-TCX, Coreco Inc., Canada), 2/3" one chip color CCD camera (TMC-74, PULNIX America, Inc., USA), Pentium microcomputer 등으로 구성되었다

### 수분흡수 및 확산속도 측정

임의 형태의 고체에 있어서 비정상상태(unsteady state) 확산 방정식(5)은 다음과 같다.

$$\bar{M} = 1 - \frac{2}{\sqrt{\pi}} X + B X^2 \quad (1)$$

여기서  $\bar{M} = \frac{m_s - m}{m_s - m_0}$ ,  $X = \frac{S}{V} \sqrt{Dt}$  이다.

만일 X의 값이 작게 되면  $BX^2$ 은 무시할 수 있으므로 식(1)은 다음과 같이 표시된다.

$$1 - \bar{M} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} X \quad (2)$$

이를 실험변수로 나타내면 다음과 같다.

$$\bar{m} - m_0 = k_0 \sqrt{t} \quad (3)$$

여기서  $k_0 = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (m_s - m_0) \left(\frac{S}{V}\right) \sqrt{D}$  이다

백미 및 현미를 일정온도의 물에 침지한 경우 확산에 의하여 수화된다고 하면, X의 값이 작은 경우 식(3)에 의하여 수분의 증가는 흡수시간의 제곱근에 비례하게 된다.

시료 1 g을 60~80°C로 유지되는 증류수에 90분간 침지하면서 일정 시간별로 꺼내어 여과지 위에 깔려 표면수를 제거한 다음 무게를 칭량하여 건물 1 g당 수분증가량을 계산하였으며, 처리현미를 처리구별로 65, 75°C로 유지되는 증류수에 일정시간 침지시키면서 위의 식(3)과 같은 방법으로 수분흡수속도 상수 및 수분확산 계수를 구하였다. 실험은 2회 반복 측정하여 그 평균값을 취하고, 사용한 시료를 타원체로 가정하여 쌀알의 장반경과 단반경을 측정, 이를 이용하여 부피(V)와 표면적(S)을 구하였으며, 수분흡수속도는 Becker의 확산방정식(5)인 식(3)에 의하여 계산하였다 여기서  $m_0$ 는 쌀알의 초기 수분함량(g H<sub>2</sub>O/g dry matter),  $\bar{m}$ 는 일정시간 침지시킨 후의 수분함량(g H<sub>2</sub>O/g dry matter),  $t$ 는 침지시간(min),  $k_0$ 는 수분흡수속도 상수이다.

## 결과 및 고찰

### 처리현미의 표면조직

과열 수증기 처리시료 3종과 대조구 백미 및 현미의

곡립상태는 Fig. 1에 나타낸 것과 같이 처리온도가 높을수록 부분적으로 표면이 팽화된 것과 같은 형상이 나타났다. 과열 수증기를 여러 다른 조건별로 처리하였을 때 현미의 강층에 균열이 형성되고, 온도가 상승될수록 균열의 정도가 커짐을 Fig. 2에서 알 수 있었다.

#### 처리시료의 수화특성 비교

침지실험 결과로부터  $k_0$ 값을 구하고, 확산계수(D)를 구한 결과 Table 1과 같았다. 현미의 수분흡수속도는  $0.03369 \sim 0.1049 \text{ min}^{-1/2}$ 로서 백미의  $0.03474 \sim 0.16180 \text{ min}^{-1/2}$ 보다 좁은 범위를 보였다.

결론적으로, 확산계수를 Arrhenius식에 관계시켜 활성화 에너지를 구하면, 백미와 현미가 각각 6.98 및 9.59 cal/mole로서 백미와 현미의 hydrothermal 특성이 상이함을 알 수 있었다.

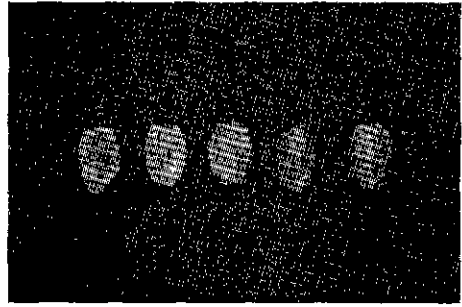


Fig. 1. Comparison of surface of rice kernels (from left : untreated milled rice, untreated brown rice, brown rice with treatment 1 (treated by super-heated steam of 127°C and 1 kg/cm<sup>2</sup> for 1 minute), brown rice with treatment 2 (treated by super-heated steam of 150°C and 1 kg/cm<sup>2</sup> for 1 minute), and brown rice with treatment 3 (treated by super-heated steam of 160°C and 1 kg/cm<sup>2</sup> for 1 minute).

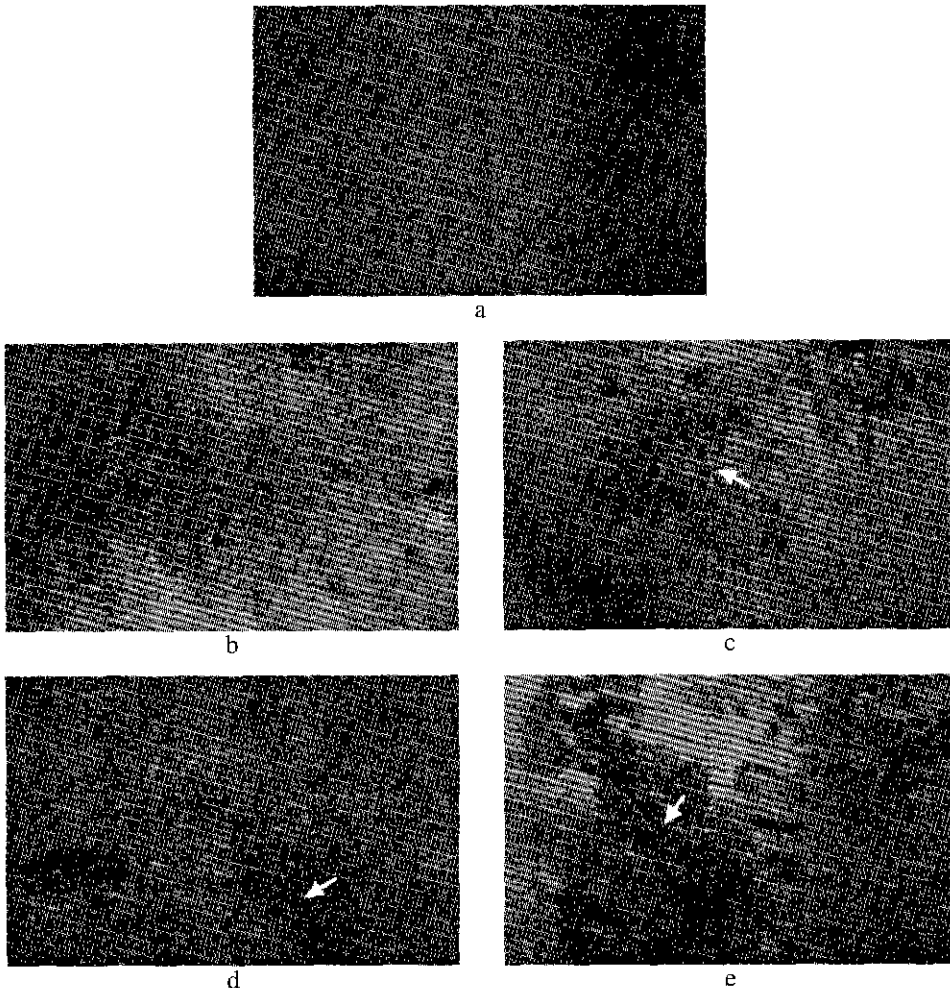


Fig. 2. Surface appearance of untreated milled rice, untreated brown rice and treated brown rices (viewed by optical microscope with  $\times 5$ , objective lens, a; untreated milled rice, b; untreated brown rice, c; treated by super-heated steam of 127°C and 1 kg/cm<sup>2</sup> for 1 minute, d; treated by super-heated steam of 150°C and 1 kg/cm<sup>2</sup> for 1 minute, and e; treated by super-heated steam of 160°C and 1 kg/cm<sup>2</sup> for 1 minute).

**Table 1.** The water uptake rate constant  $k_0$  and diffusion coefficient  $D$  of milled and brown rice at various temperatures (variety : Dongjin)

Soaking temp (°C)	$k_0$ (cm/min <sup>1/2</sup> )		$D$ ( $\times 10^{-5}$ cm <sup>2</sup> /min)	
	Milled rice***	Brown rice***	Milled rice***	Brown rice***
60	0.03474 <sup>c</sup>	0.03369 <sup>c</sup>	4.4444 <sup>c</sup>	4.1710 <sup>c</sup>
65	0.04627 <sup>d</sup>	0.03974 <sup>d</sup>	7.8840 <sup>d</sup>	5.8036 <sup>d</sup>
70	0.05173 <sup>c</sup>	0.04654 <sup>c</sup>	9.8545 <sup>c</sup>	7.9597 <sup>c</sup>
75	0.11970 <sup>b</sup>	0.07786 <sup>b</sup>	52.764 <sup>b</sup>	22.278 <sup>b</sup>
80	0.16180 <sup>a</sup>	0.10490 <sup>a</sup>	96.407 <sup>a</sup>	40.438 <sup>a</sup>

\*\*\*p<0.001

현미를 처리구별로 65, 75°C의 물에 침지시켰을 때의 수화속도 상수( $k_0$ ) 및 수분확산계수(D)를 Table 2에 나타내었다. Table 2에 나타낸 것과 같이 처리 현미의 경우 65°C에서의 확산계수는  $18.96 \times 10^{-5}$  cm<sup>2</sup>/min 이상으로 백미의  $7.88 \times 10^{-5}$  cm<sup>2</sup>/min보다 큰 값을 나타내어, 표면 관찰의 결과에서도 알 수 있듯이 가열 수증기 처리가 현미 강층의 구조를 변화시킨 것 뿐 아니라, 내부 전분층에도 부분적 균열이 발생하게 하는 작용을 일으켰음을 알 수 있었다. Satake(9)에 의하면 쌀입자의 표면에 형성된 균열은 침지시 내부전분의 용출을 쉽게 하며 궁극적으로 쌀알 자체의 파괴를 초래하여 고압수증기 처리된 쌀을 이용하여 밥을 하였을 때 전체적인 식미 및 취반특성에 많은 영향을 미친다고 하였으며, Henderson(10)은 곡류 입자 내부로의 수분이동은 표면조직에서의 흡수현상과 모세관 현상 등이 관여한다고 하였다. 또한 Qu와 Wang(11)은 고온에서 수분이 거의 없을 경우에 cooking은 과립상 전분의 열적 용융 한가지에 의하여 일어난다고 하여 고열처리 곡립에 있어서의 수화가 전분의 호화뿐만이 아니라 과립상 전분의 용융에 의한 현상도 수반됨을 보고하였다. 한편, 75°C 침지온도에서 과열수증기 처리 현미의 수분확산계수는  $34.01 \times 10^{-5}$  cm<sup>2</sup>/min로 백미( $52.76 \times 10^{-5}$  cm<sup>2</sup>/min)와 처리하지 않은 현미( $22.28 \times 10^{-5}$  cm<sup>2</sup>/min)의 중간 값을 나타내었는데 이러한 결과는 침지온도 75°C는 쌀전분의 호화온도 부근이기 때문에 내부 균

열이 발생한 부근의 전분입자가 수분을 흡수하여 수분이 많은 상태에서 우선적으로 팽윤되고, 이 팽윤으로 인하여 균열이 막힘으로서 더 이상 내부로의 모세관 현상에 의한 수분이동이 진행되지 않고 내부 수분의 확산에 의한 수분이동이 일어나기 때문인 것으로 예측된다.

이상과 같은 결과에서 알 수 있듯이 과열 수증기 처리된 현미의 특성은 처리하지 않은 대조구보다 백미와 유사한 수화속도 및 확산계수 값을 보여주고 있다. 이러한 사실은 과열 수증기 처리가 현미 강층의 균열과 부분적으로는 전분의 내부층에도 균열이 형성되게 함으로써 취반시 조리특성 및 식미의 개선을 제공할 수 있음을 시사한다고 할 수 있다.

### 요 약

과열 수증기 공정처리 효과가 현미의 수화 및 조직특성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 현미(동진)를 과열 수증기의 압력이 1 kg/cm<sup>2</sup>로 유지되는 상태에서 수증기의 온도를 127, 150, 160°C로 달리하면서 과열 수증기 처리를 하였다. 수분흡수속도는 수침온도(60~80°C)에 따라서 현미와 백미가 각각 0.03569~0.1049 cm/min<sup>1/2</sup>와 0.03474~0.1618 cm/min<sup>1/2</sup>의 범위를 보였다. 현미와 백미의 활성화에너지는 각각 6.98 및 9.59 cal/mole을 나타내어 열수화 특성이 다름을 보였다. 한편, 과열 수증기 처리현미의 경우 65°C에서의 확산계수는  $18.96 \times 10^{-5}$  cm<sup>2</sup>/min 이상으로 백미의  $7.88 \times 10^{-5}$  cm<sup>2</sup>/min보다 큰 값을 나타내었다. 또한 75°C에서 수증기 처리 현미의 수분확산계수는  $34.01 \times 10^{-5}$  cm<sup>2</sup>/min으로 백미( $52.76 \times 10^{-5}$  cm<sup>2</sup>/min)와 처리하지 않은 현미( $22.28 \times 10^{-5}$  cm<sup>2</sup>/min)의 중간 값을 나타내었다. 과열 수증기처리 후 현미의 표면 조직은 균열이 발생하였는데, 수증기 온도가 높을수록 균열의 정도가 컸다. 이상과 같은 수증기 처리는 현미 강층의 구조를 변화시킬 뿐만 아니라, 내부 전분층의 부분적 균열에도 효과적으로 작용하는 결과를 보인 것으로 예측된다.

### 문 헌

**Table 2.** The water uptake rate  $k_0$  and diffusion coefficient  $D$  of brown rice (variety : Dongjin) treated with superheated-steam

Treatment type	$k_0$ (cm/min)		$D$ ( $\times 10^{-5}$ cm <sup>2</sup> /min)	
	65°C***	75°C***	65°C***	75°C***
Milled rice	0.0463 <sup>d</sup>	0.1197 <sup>a</sup>	7.8840 <sup>d</sup>	52.764 <sup>b</sup>
Brown rice	0.0397 <sup>e</sup>	0.0779 <sup>c</sup>	5.8036 <sup>e</sup>	22.278 <sup>e</sup>
Treatment 1 <sup>1)</sup>	0.0856 <sup>a</sup>	0.0962 <sup>d</sup>	26.946 <sup>a</sup>	34.062 <sup>d</sup>
Treatment 2 <sup>2)</sup>	0.0718 <sup>c</sup>	0.1031 <sup>b</sup>	18.955 <sup>c</sup>	39.062 <sup>b</sup>
Treatment 3 <sup>3)</sup>	0.0755 <sup>b</sup>	0.1015 <sup>c</sup>	20.964 <sup>b</sup>	37.860 <sup>c</sup>

<sup>1)</sup>Brown rice was treated at 127°C and 1 kg/cm<sup>2</sup> for 1 min.

<sup>2)</sup>Brown rice was treated at 150°C and 1 kg/cm<sup>2</sup> for 1 min.

<sup>3)</sup>Brown rice was treated at 160°C and 1 kg/cm<sup>2</sup> for 1 min.

\*\*\*p<0.001

- Slavin, J.L. : Epidemiological evidence for the impact of whole grains on healths. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, **34**, 427-440 (1994)
- Kim, K.J., Pvn, Y.R., Cho, E.K., Lee, S.K. and Kim, S.K. : Cookong properties of Akubare and Milyang 23 brown rice. *Korean J. Food Sci. Technol.*, **16**, 457-462 (1984)
- Marshall, W.E. : Effect of degree of milling of brown rice and particle size of milled rice on starch gelatinization. *Cereal Chem.*, **69**, 632-636 (1992)
- Normand, F.L. and Marshall, W.E. : Differential scanning calorimetry of whole grain milled rice and milled rice flour. *Cereal Chem.*, **66**, 317-320 (1989)
- Becker, H.A. : On the absorption of liquid water by the

- wheat kernel *Cereal Chem.*, **37**, 309-323 (1960)
6. Lewis, D. and Lewis, V. : New quick-cooking whole-grain foods to be marketed in Australia. *Food Technol. Australia*, **35**, 461-462 (1983)
  7. Robert, R.L., Carlson, R.A. and Farkas, D.F. : Preparation of quick-cooking rice products using a centrifugal fluidized bed drier. *J Food Sci*, **45**, 1080-1081 (1980)
  8. 塚田 直. 高壓水蒸氣と過熱水蒸氣の利用. 最先端食品加工技術. 木村進, 龜和田光男, CMC, 東京, p.137-153 (1985)
  9. Satake, R.S. : New methods and equipment for processing rice In *Rice Science and Technology*, Marshall, W.E. and Wadsworth, J.I. (eds.), Marcel Dekker, Inc., New York, p.229-262 (1994)
  10. Henderson, S.M. . A basic concept of equilibrium moisture. *Agr Engng*, **33**, 29-31 (1952)
  11. Qu, D. and Wang, S.S. Kinetics of the formations of gelatinized and melted starch at extrusion cooking conditions. *Starch*, **46**, 225-229 (1994)

(2000년 9월 2일 접수)