

제분방법 및 수침시간을 달리한 멥쌀가루의 이화학적 특성

김래영^{1*} · 김창순² · 김혁일³

¹창신대학 호텔조리제빵과

²창원대학교 식품영양학과

³계명대학교 식품가공학과

Physicochemical Properties of Non-waxy Rice Flour Affected by Grinding Methods and Steeping Times

Rae-Young Kim^{1*}, Chang-Soon Kim², and Hyuk-II Kim³

¹Dept. of Hotel Culinary & Bakery, Changshin College, Gyeongnam 630-764, Korea

²Dept. of Food and Nutrition, Changwon National University, Gyeongnam 641-773, Korea

³Dept. of Food Science and Technology, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

Abstract

The physicochemical properties of rice flour produced by 3 different grinding methods using various steeping times (3, 6, 9, and 12 hrs) were investigated. Roller mill gave coarse rice flour; the pin mill, intermediate flour; and mixed when both (roller & pin mills) were used. With the increase of steeping times, the rice flours became finer and the contents of crude protein, crude fat and crude ash decreased. Damaged starch was noticeably high in rice flour by roller & pin mills compared to those by roller or pin mills alone. Amylose contents, solubility and swelling power increased as the steeping times increased. Water binding capacity was the highest in roller & pin mills, followed by pin mill. In scanning electron microscope (SEM), pin mill showed distribution of separated fine particles of rice flours. The physicochemical properties of rice flours showed many differences by steeping times of rice and grinding methods. With sufficient steeping times, the rice flours obtained from pin mill were relatively fine having less damaged starch.

Key words: non-waxy rice flour, particle size, damaged starch, grinding methods, water binding capacity

서 론

최근 식생활의 변화로 육류, 과일, 유가공품의 섭취가 증가하고 주식으로 쌀밥 대신 밀가루로 만든 빵이나 면류 등의 편의식 섭취가 증가하고 있다. 그에 따라 국민 1인당 쌀 소비량이 1990년 119.6 kg에서 2005년 80.7 kg, 2007년에는 76.9 kg으로 급감하여 1986년 이후 재고미가 천 만석을 넘는 공급과잉기조 형성으로 쌀 수급 불균형의 문제가 심각하다(1). 앞으로 점진적인 쌀 수입개방에 따른 쌀의 소비 및 재고량 문제는 더욱 심각해질 것으로 우려된다(2). 우리나라의 쌀 소비 형태는 전체 쌀 생산량의 95% 이상이 밥으로 소비되고 있으며 가공용으로는 떡류, 과자류, 국수류, 장류, 주류 등을 포함해서 5% 내외에 머물고 있다(3). 쌀은 자급률이 거의 100%에 근접하고 해외의존도가 낮으나 밀 자급률은 0.2%로 매우 낮다. 최근 지구 온난화로 세계의 밀 생산이 크게 줄어 밀가루 가격이 두 배 가까이 폭등함에 따라 국내 물가경제에 큰 부담을 주고 있다. 이러한 국내외 환경 변화로 빵, 과자,

케이크, 국수 등의 주원료로 사용되어온 밀가루를 쌀가루로 대체하여 국가적 차원에서 좀 더 안정적인 식량공급에 임해야 하는 시점에 이르게 되었다. 따라서 밀가루와 같은 중간 소재 형태인 쌀가루가 각 제품의 가공적성에 맞도록 개발 생산되어 고품질의 쌀 가공품이 소비자들에게 공급되어야 하겠다. 이를 위하여 필요한 적정 쌀가루 제분방법 및 가공기술이 먼저 뒷받침되어야 한다. 일반적으로 제분방법에 따라 밀가루나 쌀가루는 전분 손상도가 변화되면서 가공적성이나 최종제품의 완성도가 크게 영향을 받기 때문이다.

쌀 가공품의 품질은 제분 조건 즉, 수분함량, 제분기 형태 및 제분 속도, 분쇄압력 등에 의한 쌀가루의 입도크기 및 분포, 전분손상, 호화특성 등의 변화로 영향을 받게 된다(4-8). 쌀가루의 제분방법으로는 건식 및 습식 등이 사용되고 있는데, 건식제분은 쌀가루의 전분손상 증대와 많은 열 발생을 초래하여 쌀 가공품에 바람직하지 못한 영향을 주는 것으로 보고되고 있다(6-11). 한편 침지, 분쇄, 건조 등의 과정을 거치는 습식제분은 전분손상의 최소화를 주목적으로

*Corresponding author. E-mail: rykim@csc.ac.kr
Phone: 82-55-250-1208, Fax: 82-55-250-1205

하며 건식제분에 비해 미세하고 균일한 입도분포를 갖는 특징이 있다(12,13). 쌀가루의 입도크기는 호화특성(6,14)이나 겔 강도(15)에 영향을 미치며, 미세입도일수록 케이크의 부피증가와 함께 부드럽고 맛있는 케이크나 빵을 얻을 수 있다(16,17). 따라서 쌀가루 제조에 있어서 중요한 것은 제분방법이나 수침과정이 고려되어야 한다는 것이다(6,7,18,19). 국내 쌀 가공업체의 약 63% 정도는 영세업체로 낙후한 설비와 생산기술의 부족으로 제품개발능력이 매우 미흡한 실정(20)이므로 이들 산업현장에서 적용 가능한 쌀 제분기술의 제공이 무엇보다 중요하다. 현재 소규모 쌀 가공업체에서 가장 흔히 사용되고 있는 제분기로는 roller mill과 pin mill을 들 수 있다. Roller mill은 roll 간격의 조절로 입도크기를 쉽게 변화시킬 수 있고 구조상 높은 수분함량의 곡류들도 제분이 가능하여 수분함량에 따라 다양한 입도 및 전분손상의 최소화를 기할 수 있다(21). Pin mill은 제분 시 다양한 mesh size의 screen 사용과 회전속도 조절로 미세한 쌀가루의 입도분포를 얻을 수 있는 장점을 가지나 전분손상이 높다는 단점을 가지기도 한다(21). 따라서 미세한 입도분포와 전분손상의 최소화를 기할 수 있는 쌀가루의 제분조건을 제시하고자 본 연구에서는 roller mill과 pin mill의 사용이 습식제분 쌀가루의 이화학적 특성에 미치는 효과를 알아보려고 하였다.

재료 및 방법

실험재료

본 실험에 사용한 쌀은 국내에 시판되고 있는 2003년에 수확한 추정 멧쌀(함안농업협동조합) 일반미(아밀로오스 18.23%, 수분 12.14%, 단백질 8.94%, 지방 0.45%, 회분 0.53%)로 대형 유통마트를 통하여 구입 사용하였다.

쌀가루의 제조

쌀가루의 제조는 습식제분방법을 사용하였다. 즉 원료 쌀 3 kg에 1.5배의 물을 가하여 3, 6, 9 및 12시간 동안 30°C에서 수침한 후 3회 수세하여 탈수기(WS-4201T, Hanil Co., Wonju, Korea)로 원심탈수한 후 제분기에 적용하였다. 이때 사용한 제분기는 roller mill(Sam Jin Machine Co., Daegu, Korea), pin mill(SC-1B, Gyoung Chang Machine Co., Gwangju, Korea)의 단독 사용 및 roller mill과 pin mill의 혼용 등 3가지 제분방법으로 roller mill은 roll(smooth roll)의 간격을 15 mm에서 두 차례 제분 후 다시 1 mm로 조정하여 가루화 하였다. Pin mill은 쌀을 투입구에 넣고 고속으로 회전하는 스크루(3000 rpm)에 의해 파쇄 시켜 pin mill내 장착되어 있는 60 mesh screen을 통과한 쌀가루를 시료로 사용하였다. Roller mill과 pin mill의 혼용(roller & pin mills)은 roller mill 사용 후 pin mill한 것으로 roll의 간격을 2 mm로 조절하여 2회 제분 후 pin mill로 가루화 하였다. 또한 제분을 통해 얻은 모든 쌀가루는 40°C 원적외선 건조기(SLD-

1400S, CILIC, Daegu, Korea)에서 최종 수분함량이 14%±1이 되도록 건조하여 밀봉 후 실험에 사용하였다.

쌀가루의 이화학적 특성 측정

쌀가루의 입도 분포 측정: 쌀가루의 입도분포는 쌀가루 1 g을 50 mL 증류수에 5분간 분산시킨 후 Mastersizer 2000(Malvern Inc., New York, USA)을 이용하여 측정하였으며, 이때 Mastersizer 2000 software를 이용하여 입도분포를 입도크기(μm)에 따른 %함량으로 나타내었다.

쌀가루의 일반성분 분석: 쌀가루의 단백질 함량은 근적외선 분광광도계(Near Infrared Spectrophotometer, NIR 6500, Foss, Denmark)를 이용하여 측정하였으며, 수분, 지방 및 회분은 AOAC 방법(22)에 준하여, 수분은 105°C 상압가열건조법으로, 지방은 semi-soxhlet법, 회분은 건식 회화법을 이용하여 분석하였다.

색도 측정: 쌀가루의 색도 측정은 색도계(CM-3400d, Minolta, Tokyo, Japan)를 이용하여 L*(명도), a*(적색도), b*(황색도)값으로 표현하였으며 각 시료 당 5회 반복 측정하여 평균값으로 나타내었다. 이 때 사용된 표준색판으로 백색판(L=96.88, a=-0.16, b=-0.29)을 사용하였다.

전분손상도: 전분손상도의 측정은 AACC method 76-30(24)에 준하였다. 즉, α-amylase(39.3 unit/mg solid, Sigma, Saint Louis, USA) 125,000 unit을 acetate buffer 450 mL에 녹인 용액 45 mL을 쌀가루 1 g(14% mb)에 가한 후 항온수조에서 30°C, 15 min간 방치한 후 H₂SO₄ 3 mL과 sodium tungstate 용액 2 mL을 첨가한 뒤 No. 4번 여과지로 여과하고 AACC method 80-60(23)에 따라 10 mL alk ferri-cyanide 용액을 넣고 boiling water bath에서 15분간 가열한 뒤 acetic acid-salt 용액 25 mL과 1 mL soluble starch-KI 용액을 넣고 발색시킨 후 0.1 N thiosulfate 용액으로 적정하였다. 0.1 N thiosulfate의 적정량을 AACC method 22-18(24)에 따라 다음 식으로 계산하였다.

$$\text{Damaged starch \%} = 0.082 \times (\text{mg maltose} / 10 \text{ g})$$

아밀로오스 함량 측정: 아밀로오스 함량은 Juliano의 방법(24)으로 정량하였다. 즉 쌀가루 100 mg을 95% ethanol 1 mL와 1 N NaOH 9 mL에 완전히 분산시키고 10분간 항온수조에서 가열하여 식힌 후 100 mL로 희석시켰다. 이중 5 mL을 취해 1.0 N acetic acid 1 mL로 중화시킨 후 요오드 용액(0.2% I₂+2.0% KI) 2 mL를 넣어 발색시키고 100 mL로 정용하여 20분 후 620 nm에서 흡광도를 측정하였다. 이때 아밀로오스 함량은 기준 시료인 potato amylose의 표준곡선으로 측정하였다.

물결합력: 쌀가루의 물결합력은 Medcalf와 Gilles 방법(25)을 이용하여 멧쌀가루 1 g(건량기준)과 증류수 40 mL를 혼합하여 1시간 동안 교반하고, 30분 동안 2,300×g로 원심 분리 하여 상등액을 제거한 다음 침전된 멧쌀가루의 무게를 측정하였으며, 이에 처음 쌀가루 무게를 뺀 후 다시 처음

쌀가루 무게로 나누어 100을 곱해 물결합력을 계산하였다.

용해도 및 팽윤력: 쌀가루의 용해도와 팽윤력은 Schoch의 방법(26)을 변형하여 측정하였다. 멥쌀가루 0.5 g(건량기준)과 증류수 40 mL를 혼합한 다음 55, 65, 75, 85 및 95°C로 온도를 유지하면서 30분 동안 교반하였다. 이를 즉시 냉각시키고 5800 g에서 30분 동안 원심분리 한 다음 침전된 멥쌀가루의 무게를 측정하고 상등액의 총당을 페놀-황산법(27)으로 측정하였고, 팽윤력은 원심분리 후 침전된 멥쌀가루의 무게를 측정하여 다음 식을 이용하여 용해도와 팽윤력을 계산하였다.

$$\text{용해도}(\%) = \frac{\text{상등액의 총당}(\text{mg})}{\text{처음 쌀가루 무게}(\text{mg})} \times 100$$

$$\text{팽윤력} = \frac{\text{침전된 쌀가루 무게} \times 100}{\text{처음 쌀가루 무게}(\text{건량기준}) \times (100 - \% \text{용해도})}$$

미세구조 관찰(scanning electron microscopy: SEM): 쌀가루 입자의 형태관찰을 위하여 시료를 액체질소에 냉각시킨 후 알루미늄 표본 지지대 위에 얹고, JEOL 이온 도금기(JFC-1100, Hitachi, Tokyo, Japan)를 이용하여 약 150초 정도 금도금한 후 주사전자 현미경(Scanning electron microscopy, S-3500N, Hitachi)을 이용하여 가속전압 15 kV에서 3000배의 배율로 입자 형태를 관찰하였다.

결과 및 고찰

쌀가루의 입도 분포

수침시간에 따른 쌀가루의 입도 분포 측정 결과는 Fig.

1에 나타내었다. 실험에 사용한 제분기(roller mill, pin mill 및 roller & pin mills) 모두 수침시간이 증가할수록 입도는 감소하여 미세입도 분포율이 증가하였다. Roller mill 제분 쌀가루는 수침시간 모두에서 150 μm 이상의 입도가 전체의 67.65~78.40% 이상을 차지하였고 roller & pin mills는 11.55~21.44%, pin mill은 6.26~12.44%로 나타나 pin mill이 다른 제분기에 비해 월등히 낮았다. 또한 pin mill의 경우 53 μm 이상의 미세입도 분포율이 수침시간이 3, 6, 9 및 12시간으로 증가에 함에 따라 각각 24.47%, 21.98%, 28.04%, 35.97%로 현저히 증가하여 수침시간이 길어질수록 쌀가루 입도가 크게 감소하였다. 따라서 수침시간이 쌀가루의 미세화에 중요 인자임을 알 수 있다. 이는 충분한 수침을 통해 쌀 낱알내부로 수분 확산이 지속적으로 이루어져 쌀 전분 입자의 결합을 약화시키고 미세다공 구조로 변해 경도를 감소시키므로 가루화가 쉽게 이루어진 것(7,28)으로 보인다. Chen 등(6)은 hammer mill을 건식과 습식제분에 사용 시 습식제분에서 미세입자를 가지며, Chiang과 Yeh(7)는 수침온도가 높을수록 수침시간이 증가할수록 쌀가루의 미세입도 분포율이 증가하며, 쌀의 수분함량이 높을수록 제분 시 입자크기는 감소한다고 하였다. Nishita와 Bean(10)은 건식제분으로 쌀가루를 제조하였을 때 burr mill과 blade mill로 제분한 쌀가루는 거칠고 roller mill은 중간정도이며 pin, hammer, turbo mill은 미세하다고 하여 쌀가루 입도분포의 차이는 제분기의 모델이나 디자인에 의해 많은 영향을 받는다고 하였다.

일반성분

Table 1은 제분기와 수침시간이 쌀가루의 일반성분에 미

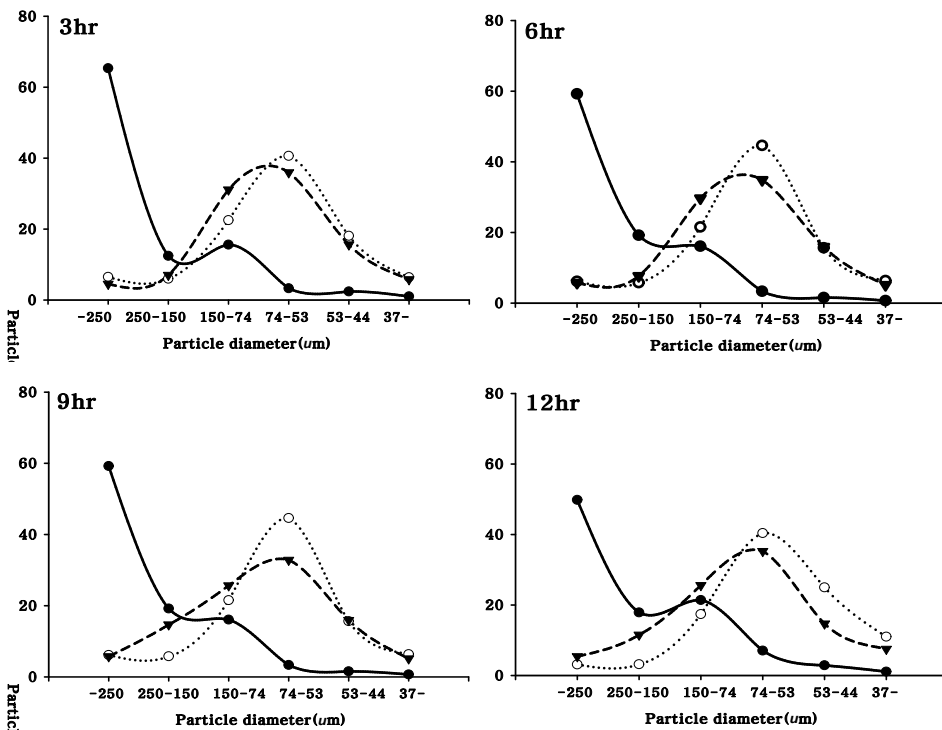


Fig. 1. The effect of grinding methods and steeping times on the particle size distribution of rice flours. -●-: Roller mill, ··○··: Pin mill, -▼-: Roller & pin mills.

Table 1. Proximate composition of non-waxy rice flours prepared at various steeping times using different grinding methods (%)

	Mill	Steeping time (hr)			
		3	6	9	12
Crude protein	Roller	8.65 ± 0.11 ^{aA1)}	8.61 ± 0.01 ^{aB}	8.26 ± 0.03 ^{bA}	8.23 ± 0.02 ^{bA}
	Pin	8.35 ± 0.04 ^{aB}	7.77 ± 0.01 ^{bC}	7.66 ± 0.02 ^{cC}	7.58 ± 0.01 ^{dC}
	Roller & pin	8.77 ± 0.02 ^{aA}	8.65 ± 0.03 ^{bA}	7.77 ± 0.02 ^{cB}	7.73 ± 0.06 ^{cB}
Crude lipid	Roller	0.35 ± 0.02 ^{aA}	0.34 ± 0.01 ^{bA}	0.33 ± 0.01 ^{bcAB}	0.31 ± 0.02 ^{cA}
	Pin	0.34 ± 0.01 ^{aB}	0.34 ± 0.01 ^{aA}	0.30 ± 0.01 ^{bB}	0.29 ± 0.02 ^{bB}
	Roller & pin	0.37 ± 0.01 ^{aC}	0.35 ± 0.02 ^{aA}	0.34 ± 0.03 ^{aA}	0.31 ± 0.01 ^{bAB}
Crude ash	Roller	0.48 ± 0.01 ^{aA}	0.45 ± 0.02 ^{bA}	0.43 ± 0.01 ^{bA}	0.38 ± 0.03 ^{cA}
	Pin	0.46 ± 0.01 ^{aB}	0.45 ± 0.01 ^{aA}	0.42 ± 0.01 ^{bA}	0.38 ± 0.01 ^{cA}
	Roller & pin	0.47 ± 0.01 ^{aAB}	0.46 ± 0.02 ^{aA}	0.43 ± 0.01 ^{bA}	0.40 ± 0.02 ^{cA}

¹⁾Mean ± SD (n=6). Means with the different superscripts in each row (a-d) and each column (A-C) are significantly different (p<0.05).

치는 효과를 측정 한 결과이다. 조단백질은 수침시간이 증가함에 따라 제분기 모두에서 유의적으로 감소하였고(p<0.05), 동일 수침시간 처리 쌀가루 간에는 pin mill의 쌀가루가 낮았으며, 수침 9, 12시간에서 각각 7.66%와 7.58%로 가장 낮게 나타났다. 조지방, 조회분은 수침시간이 증가함에 따라 감소하였으나, 제분기 간에는 큰 차이를 나타내지 않았다. 따라서 수침시간에 따른 일반성분의 감소는 수침과정을 통해 쌀의 수용성 단백질, 유리지방 등의 수용성 물질이 수침액 중으로 용출되었기 때문으로 보이며(6,7,29,30), Weaver 등(31)은 귀리와 보리의 제분과정 중 압착과 분쇄 후 체를 통과하는 과정에서 많은 일반성분의 분리와 유실이 일어난다고 하였다. Chiang과 Yeh(7)는 수침시간이 길어질수록 멥쌀의 일반 성분 함량이 감소하며, Lee와 Shin(32) 또한 멥쌀을 실온에서 12시간 수침 후 roller mill을 이용하여 제분한 결과 단백질과 회분함량은 감소하나 지방의 경우 큰 변화를 보이지 않았다고 하였으며, Lee 등(28)은 습식제분 한 멥쌀가루의 입도분포에 따른 회분함량 변화는 없었으나, 수침시간에 따라 회분함량이 유의적으로 감소하였다고 하여 본 연구와 유사한 경향을 나타내었다.

색도

Table 2는 쌀가루의 색도를 측정 한 결과로 L값은 pin mill

의 쌀가루가 다른 제분기를 사용한 쌀가루보다 높아 밝았으며, 사용한 제분기 모두에서 수침시간 증가에 따라 L값이 증가하였고 a값과 b값은 감소하여 미세입도 분포율이 높은 쌀가루일수록 백색도가 높음을 알 수 있다. 이는 미세입도분포율이 높은 제분기에 의한 쌀가루의 백색도가 높다는 Park 등(33)과 습식제분에서 pin mill과 colloid mill에 의한 쌀가루는 입도가 미세해질수록 L값 증가를 보인 Kum 등(18)의 결과와 일치한다.

손상전분, 아밀로오스 함량 및 물결합력

손상전분은 실험에 사용한 모든 제분기에서 수침시간이 증가할수록 유의적으로 감소하였으며(Table 3), 수침 3시간 후 전분손상은 roller & pin mills > pin mill > roller mill 순으로 낮아졌다. 그러나 12시간의 장시간 수침 후에는 roller mill과 pin mill 간에 유의적인 차이를 보이지 않았으며 roller & pin mills가 가장 높은 전분손상을 보였다. 건식제분에서 roller mill보다 pin mill에 의한 쌀가루에서 전분손상이 높다고 한 Nishita와 Bean(10)의 연구결과와 유사하다. Roller & pin mills는 전 수침시간을 통하여 가장 높은 전분손상 값을 나타내었으며 수침시간간의 차이는 다른 제분방법에 비해 적었다. 이는 쌀가루의 제조과정 중 roller mill에 의해 1차적으로 손상을 받은 후 2차적으로 pin mill을 실시한 결과

Table 2. Hunter color values of non-waxy rice flours prepared at various steeping times using different grinding methods

Hunter color values ¹⁾	Mill	Steeping time (hr)			
		3	6	9	12
L	Roller	92.20 ± 0.04 ²⁾	92.50 ± 0.01	93.36 ± 0.02	93.62 ± 0.04
	Pin	93.10 ± 0.01	93.63 ± 0.07	94.43 ± 0.15	94.81 ± 0.04
	Roller & pin	92.91 ± 0.03	93.16 ± 0.18	93.55 ± 0.01	93.96 ± 0.02
a	Roller	-0.44 ± 0.01	-0.41 ± 0.03	-0.41 ± 0.01	-0.41 ± 0.01
	Pin	-0.36 ± 0.01	-0.36 ± 0.01	-0.33 ± 0.01	-0.32 ± 0.01
	Roller & pin	-0.44 ± 0.01	-0.39 ± 0.01	-0.37 ± 0.01	-0.36 ± 0.01
b	Roller	5.16 ± 0.01	5.16 ± 0.01	5.14 ± 0.03	5.12 ± 0.01
	Pin	4.50 ± 0.07	4.33 ± 0.05	4.27 ± 0.02	4.10 ± 0.01
	Roller & pin	4.84 ± 0.01	4.31 ± 0.01	4.32 ± 0.01	4.25 ± 0.05

¹⁾L: measures lightness and varies from 100 for perfect white to zero black, a: measures redness when plus and greenness when minus, b: measures yellowness when plus and blueness when minus.

²⁾Mean ± SD (n=6).

Table 3. Damaged starch, amylose content and water binding capacity of non-waxy rice flours prepared at various steeping times using different grinding methods (%)

	Mill	Steeping time (hr)			
		3	6	9	12
Damaged starch	Roller	20.95±0.68 ^{aC1)}	18.82±0.25 ^{bC}	16.85±0.24 ^{cC}	16.21±0.98 ^{dB}
	Pin	22.39±0.28 ^{aB}	19.45±0.44 ^{bB}	18.06±0.48 ^{cB}	15.29±0.25 ^{dB}
	Roller & pin	24.33±0.55 ^{aA}	23.12±0.40 ^{bA}	22.51±0.51 ^{bA}	21.63±0.44 ^{cA}
Amylose	Roller	18.13±0.09 ^{dA}	20.63±0.47 ^{cB}	22.12±0.26 ^{bb}	23.28±0.23 ^{aB}
	Pin	17.19±0.19 ^{cB}	22.46±0.43 ^{bA}	26.03±0.59 ^{aA}	26.30±0.56 ^{aA}
	Roller & pin	16.91±0.14 ^{cB}	21.12±0.19 ^{bb}	25.29±0.14 ^{aA}	25.90±0.14 ^{aA}
Water binding capacity	Roller	140.52±1.12 ^{cC}	170.00±0.61 ^{bC}	180.17±1.22 ^{aC}	182.33±0.64 ^{aC}
	Pin	152.16±1.83 ^{cB}	183.91±0.81 ^{bB}	186.52±0.61 ^{abB}	189.04±0.42 ^{aB}
	Roller & pin	159.57±0.52 ^{cA}	189.57±1.23 ^{bA}	191.67±1.86 ^{bA}	202.17±1.84 ^{aA}

¹⁾Mean±SD (n=6). Means with the different superscripts in each row (a-d) and each column (A-C) are significantly different (p<0.05).

로 기계적 손상이 가장 컸던 것으로 사료된다. Nishita와 Bean(10)은 제분 횟수가 반복되면 전분손상도 증가한다고 하였으며, 수침시간 증가에 따른 전분손상의 감소는 제분 시 전분 내 결정성 영역의 결합력 약화에 의한 것으로 보인다. Lee 등(34)은 찹쌀을 3, 7일 동안 수침하였을 때 수침시간이 길어질수록 수침액의 pH는 직선적으로 증가하며, 쌀가루의 평균입자크기는 감소하고 수침과정 중 생산된 amylase 등의 전분분해효소를 통해 쌀 전분의 손상도가 증가한다고 하여 본 연구와는 상이한 결과를 나타내었다. 그러나 Chiang과 Yeh(7)는 고아밀로오스 쌀을 수침온도 25°C에서 (10, 20, 30, 60, 120, 240 및 480분간) 8시간까지 수침한 후 stone mill과 hammer mill로 제분한 결과 수침시간이 증가할수록 수분함량은 양의 상관관계를, 쌀가루 입도분포와 손상전분과는 음의 상관관계를 가진다고 하여 본 연구결과를 뒷받침한다. Lee 등(35)은 쌀보리의 제분과정 중 건식 및 습식제분에 의한 특성변화 외에도 사용한 제분기의 형태에 따라 전분입자의 손상정도가 틀리며, 밀가루의 경우도 전분의 손상정도에 따라 물 흡수력, 탄산가스 발생력, 반죽성 및 빵의 제적 등이 영향을 받게 된다고 하였다. 따라서 곡류의 제분 시 적절한 제분방법이 식품가공용도에 맞게 선택되어야 할 것이다.

겉보기 아밀로오스 함량은 수침시간이 경과할수록 증가하였으며 전 수침과정에서 pin mill과 roller & pin mills에 의한 쌀가루가 roller mill 쌀가루보다 유의적으로 높았다 (Table 3). 겉보기 아밀로오스 함량 증가는 수침과 제분과정을 통해 미세 입자 분포를 나타내 쌀가루 내부의 전분입자로부터 많이 빠져나와 알칼리에 의해 쉽게 소화될 수 있었기 때문으로 생각된다. 이는 쌀의 수침시간이 증가할수록 전분의 blue value가 증가하였다는 Baek과 Shin(36), 수침한 쌀이 수침하지 않은 쌀보다 아밀로오스 함량이 높았다는 Lee 등(28)의 결과와 일치한다.

물결합력은 전분입자의 표면에 흡착되거나 내부로 침투되는 물의 양을 측정된 것으로 사용한 제분기 모두에서 수침시간이 증가할수록 증가하였으며 (Table 3), 수침 초기인

3시간과 6시간 사이에 급격히 증가하나 그 이후 완만한 증가로 수침 12시간에는 roll mill이 182%, pin mill이 189%, roll & pin mills가 202% 순으로 증가하였다. 이는 수침시간 증가로 미세입도가 증가하고 제분을 통해 결정구조가 파괴되어 비결정구조로 되어 물 분자와 접촉단위면적이 커져 전분의 수산기와 물분자간에 수소결합이 쉽게 형성되기 때문으로 생각된다. 쌀은 오랜 시간 수침한 후에는 쌀알조직의 변화가 뚜렷하여 세포막의 파괴가 관찰되며, 수분흡수력은 수침시간이 증가할수록, 입도가 작을수록, 전분의 손상도가 높을수록, 수침과정에서 전분표면과 내부에 결합된 지방의 유실이 클수록 높아지는 것으로 알려져 있다(37). Chiang과 Yeh(7)는 전분손상도와 수분흡수력은 양의 상관관계를, 전분손상과 시료의 수분함량과는 음의 상관관계를 가진다고 하였다. 따라서 본 실험결과 비교적 입도 크기가 작은 pin mill과 roll & pin mills에서 물결합력이 증가하였으며, 그 중 높은 전분손상을 나타낸 roll & pin mills가 비교적 높게 나타났다.

용해도 및 팽윤력

수침시간과 제분기에 따른 용해도 및 팽윤력의 변화는 10°C 간격으로 55~95°C에서 측정하여 그 결과를 Fig. 2, 3에 각각 나타내었다. 모든 쌀가루 시료에서 수침시간이 증가할수록 용해도와 팽윤력은 증가하였다. 용해도와 팽윤력의 변화는 제분기에 따라 상이한 패턴을 보이고 있으며, 이는 쌀가루 입도분포의 차이 때문인 것으로 생각된다. 용해도는 roller mill에 의한 쌀가루에서 수침시간 간에 큰 차이를 보였으나 pin mill과 roller & pin mills에서는 수침시간 간의 용해도 차이가 상대적으로 적었다. 9시간 이상 수침한 pin mill과 roller & pin mills 쌀가루에서는 온도가 상승할수록 용해도가 빠르게 지속적으로 증가하였다 (Fig. 2). 팽윤력의 변화는 모든 제분기에서 75°C 이후 수침시간 간에 팽윤력 차이가 나타나기 시작하였으며, 초기온도 범위인 55~65°C보다는 완만한 증가를 보였다. Roller mill은 다른 제분기 사용에 비해 전체적으로 팽윤력이 낮았다 (Fig. 3). 최종 온도 95°C 용해도와 팽윤력은 pin mill 사용 시 용해도와 팽윤력이 가장

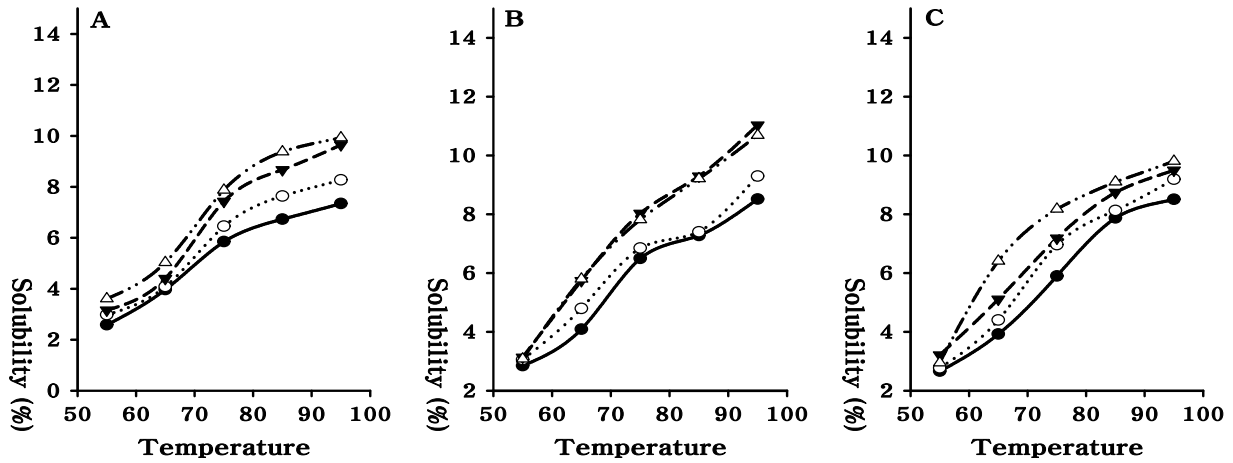


Fig. 2. Solubility patterns of non-waxy rice flours prepared at various steeping times using different grinding methods. A: Roller mill, B: Pin mill, C: Roller & pin mills. -●- 3 hr, ...○... 6 hr, -▼- 9 hr, -△- 12 hr.

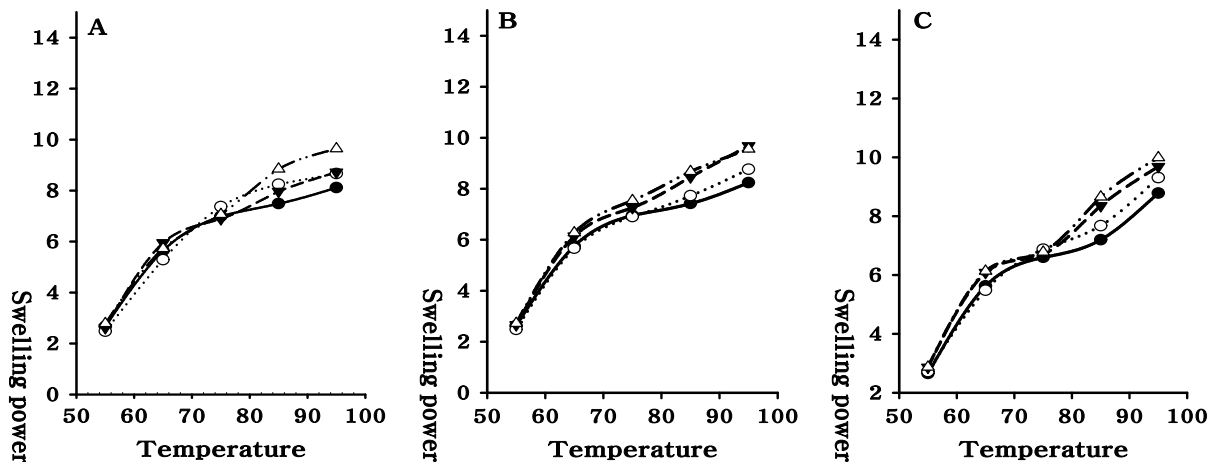


Fig. 3. Swelling power patterns of non-waxy rice flours prepared at various steeping times using different grinding methods. A: Roller mill, B: Pin mill, C: Roller & pin mills. -●- 3 hr, ...○... 6 hr, -▼- 9 hr, -△- 12 hr.

높고 다음으로 roller & pin mills, roller mill 순으로 나타났다. Leach 등(38)은 온도에 따른 팽윤양상은 입자크기가 작을수록 팽윤력이 크고 비슷한 입도크기에서는 입자내의 결정성이 클수록 팽윤이 낮다고 보고하였다. 또한 Wong 등(39)은 쌀 전분이 쌀가루에 비해 팽윤 및 용해도가 큰 것은 쌀가루에 함유되어있는 전분외의 다른 성분 즉, 쌀 전분의 팽윤을 억제하는 단백질, 지방, 세포벽 물질들이 제거되었기 때문이라고 하였다.

미세구조 관찰

3000배의 배율로 수침시간과 제분기에 따른 쌀가루의 미세구조를 관찰한 결과는 Fig. 4와 같다. Pin mill과 roller & pin mills는 수침 6시간 이후 쌀가루 표면에서 전분입자의 형태대로 파여져 나간 자국을 관찰할 수 있으며, 수침시간이 증가함에 따라 쌀 전분 특유의 다각형 입자형태를 유지하며 쌀가루 표면에서 떨어져 나와 있는 것을 관찰할 수 있었다.

Roller mill의 경우 수침 9시간까지 쌀 전분입자 사이에 섬유질과 같은 단백질체들이 잔존하여 있는 것을 관찰할 수 있으나 수침 12시간에는(pin mill과 roller & pin mills에와 같이 그 정도는 작지만) 쌀가루로부터 깨끗하고 뚜렷한 작은 전분입자가 파열되지 않고 쌀가루 표면에서 떨어져 나와 있는 것을 관찰할 수 있었다. 이는 충분한 수침과정 중에 단백질, 지질, 유리당, 회분 등이 유실되면서 수분확산이 용이하여 배유부 구조가 느슨해지고 입자간의 결합력 약화로 손상전분 감소와 함께 미세입자가 얻어지는 것으로 보인다. Arisaka 등(40)은 건식제분 한 turbo mill에서 전분입자들이 뭉쳐져 보이고 습식제분에서는 전분입자들이 분리되어 있는 것을 볼 수 있다고 하였으며, Utsunomiya 등(41)은 건식 제분된 쌀가루는 입자가 불규칙한 파편 형태를 하고 습식제분 된 쌀가루는 전분입자가 다각형의 형태를 보인다고 하였다. 또한 Chiang과 Yeh(7)는 습식제분 시 수침초기는 전분분자들

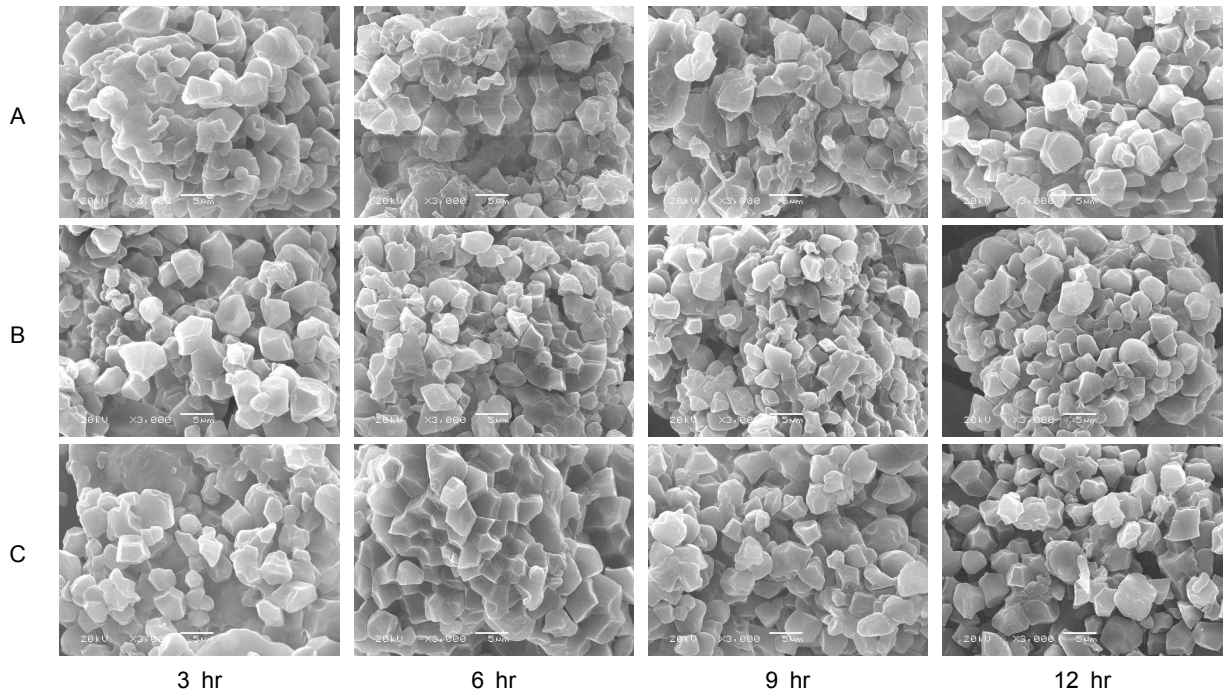


Fig. 4. Scanning electron micro photographs of non-waxy rice flours prepared at various steeping times using different grinding methods ($\times 3000$). A: Roller mill, B: Pin mill, C: Roller & pin mills.

이 단백질체들로 둘러싸여져 있으나 수침시간이 증가할수록 전분입자들이 단백질체로부터 떨어져 분명해지며, 뭉쳐있던 전분입자들이 떨어져 나온다고 하여 본 실험의 결과를 뒷받침하여 준다.

요 약

국내 소규모 쌀 가공 산업현장에서 적용될 수 있는 쌀가루의 습식제분방법을 모색하고자 수침시간(3, 6, 9 및 12 hr)을 달리한 세 가지 제분방법에 의해 제조된 쌀가루의 이화학적 특성을 비교분석하였다. 사용된 제분방법은 roller mill, pin mill 그리고 roller & pin mills 등 세 가지이다. 모든 제분기에서 수침시간이 증가할수록 미세입도 분포율이 상승하였다. 쌀가루의 미세 정도는 roller mill의 쌀가루가 가장 거칠었고 roller & pin mills는 중간정도, pin mill의 쌀가루가 가장 미세하였다. 조단백질, 조지방, 조회분은 수침시간 증가에 따라 감소하였다. 조단백질 함량은 pin mill 9, 12시간 수침에서 각각 7.66%와 7.58%로 낮게 나타났다. 수침시간 증가에 따라 L값은 증가하였고, a, b값은 감소하였다. 손상전분은 수침초기 roller mill에서 낮았으나 수침시간이 증가하면서 pin mill이 낮아져 수침 12시간에는 roller mill과 유사하였다. 그러나 roller mill & pin mills는 모든 수침시간에서 유의적으로 높은 손상전분을 나타내었다. 아밀로오스 함량은 수침시간이 증가할수록 증가하였고, 미세입도 분포율이 높은 pin mill과 roller & pin mills에서 높았다. 물 결합 능력은 쌀가루가 미세하여질수록 높게 나타났고, 손상전분이 많은 roller

& pin mills에서 가장 높게 나타났다. 용해도와 팽윤력은 수침시간 증가에 따라 사용한 제분기 모두에서 지속적으로 상승하였으며, 특히 pin mill에서 용해도와 팽윤력 모두 비교적 높은 값을 나타내었다. 또한 미세구조 관찰시 수침시간 증가에 따라 pin mill 사용 시 미세한 쌀가루의 분포를 나타내었다. 이러한 결과로부터 습식제분과정 중 쌀의 수침시간과 사용한 제분기에 따라 쌀가루의 이화학적 특성 변화가 많으며, 소규모 산업현장에서 손상전분이 낮은 미세한 쌀가루를 제조하려면 충분한 수침을 통한 pin mill의 사용이 가장 적합하리라 생각된다.

감사의 글

본 연구는 창원대학교 교내연구비 지원에 의하여 수행된 연구내용의 일부로서 이에 감사드립니다.

문 헌

1. 통계청. 2008. 2007 양곡소비량조사. p 3-11.
2. Yang IS, Lee MA, Cha SM, Jo YH, Lee SY, Lee SJ, Lee HY. 2008. Perception of school foodservice officials on rice bread as school foodservice menu. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37: 729-737.
3. Cho JH, Koh BK. 2003. A survey on the rice-based processed food consumption of the housewives at Daegu. *Korean J Soc Food Sci* 19: 38-45.
4. Kang MY, Koh HJ, Han JY. 2000. Comparison of some characteristics relevant to rice bread made from eight varieties of endosperm mutants between brown and milled rice.

- Korean J Food Sci Technol* 32: 82-89.
5. Kum JS. 1998. Effects of amylose content on quality of rice bread. *Korean J Food Sci Technol* 30: 590-595.
 6. Chen JJ, Lu S, Lii CY. 1999. Effect of milling on the physicochemical characteristics of waxy rice in Taiwan. *Cereal Chem* 76: 796-799.
 7. Chiang PY, Yeh AI. 2002. Effect of soaking on wet-milling of rice. *J Cereal Sci* 35: 85-94.
 8. Meuser F, Klingler RW, Niediek EK. 1979. Characterization of mechanically modified starch. *Starch* 30: 376-381.
 9. Park YK, Seog HM, Nam YJ, Shin DH. 1988. Physicochemical properties of various milled rice flours. *Korean J Food Sci Technol* 20: 504-510.
 10. Nishita KD, Bean MM. 1982. Grinding methods: Their impact on rice flour properties. *Cereal Chem* 59: 46-49.
 11. Nishita KD, Bean MM. 2004. Preparation and applications of rice flours. In *Rice: Chemistry and Technology*. 3rd ed. AACC, St. Paul, MN, USA. p 495-539.
 12. Jun HI, Yang EJ, Kim YS, Song GS. 2008. Effect of dry and wet millings on physicochemical properties of black rice flours. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 37: 900-907.
 13. Kim HY, Lee BY, Choi JK, Han SS. 1999. Milling and rice flour properties of soaking in water time on moisture content of rice. *Korean J Postharvest Sci Technol* 6: 71-75.
 14. Halick JV, Kelly VJ. 1959. Gelatinization and pasting characteristics of rice varieties as related to cooking behavior. *Cereal Chem* 36: 91-96.
 15. Cagampang GB, Perez CM, Juliano BO. 1973. A gel consistency test for eating quality of rice. *J Sci Food Agric* 24: 1589-1593.
 16. Yamazaki K, Nakazato T, Kosegawa T. 1971. Cooking quality of rice flour. II. Experiment on butter cakes. *Nihon Shokuhin Kogyo Gakkai-Shi* 18: 512-516.
 17. Bean MM, Elliston-Hoops EA, Nishita KD. 1983. Rice flour treatment for cake-baking applications. *Cereal Chem* 60: 445-449.
 18. Kum JS, Lee SH, Lee HY, Kim KH, Kim YI. 1993. Effect of different milling methods on distribution of particle size of rice flours. *Korean J Food Sci Technol* 25: 541-545.
 19. Masami A, Kouichi N, Youichi Y. 1992. Properties of rice flour prepared by different milling method. *Denpun Kagaku* 19: 155-163.
 20. 김준석. 2008. 쌀가공산업의 활성화. 2008년 쌀의 영양학적 우수성 및 가공산업 발전방향 한국식품영양과학회 심포지엄. p 33-42.
 21. Kim KH. 1992. Development of functional modified technique for rice flour. Korea Food Research Institute.
 22. AOAC. 1996. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.
 23. AACC. 1992. *Approved Methods of the AACC*. 8th ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.
 24. Juliano BO. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. *Cereal Science Today* 16: 334-339.
 25. Medcalf F, Gilles KA. 1965. Wheat starches. I. Comparison of physicochemical properties. *Cereal Chem* 42: 558-568.
 26. Schoch TJ. 1964. Swelling power and solubility of granular starches. In *Method in Carbohydrate Chemistry*. Whistler RL, ed. Academic press, New York, NY, USA. Vol 4, p 106-108.
 27. Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PA, Smith F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal Chem* 28: 350-356.
 28. Lee MG, Kim JO, Shin MS. 2004. Properties of nonwaxy rice flours with different soaking time and particle sizes. *Korean J Food Sci Technol* 36: 268-275.
 29. Kim SK, Bang JB. 1996. Physicochemical properties of rice affected by steeping conditions. *Korean J Food Sci* 28: 1026-1032.
 30. Kim K, Lee YH, Kang KJ, Kim SK. 1993. Effects of steeping on physicochemical properties of waxy rice. *Korean J Food Sci* 25: 535-540.
 31. Weaver CM, Chen PH, Rynearson SL. 1981. Effect of milling on trace klement and protein content of oats and barley. *Cereal Chem* 58: 120-124.
 32. Lee MG, Shin MS. 2006. Characteristics of rice flour prepared by moisture-heat treatment. *Korean J Food Cookery Sci* 22: 147-157.
 33. Park YK, Seog HM, Nam YJ, Shin DH. 1988. Physicochemical properties of various milled rice flours. *Korean J Food Sci Technol* 20: 504-510.
 34. Lee YH, Kim JS, Ku KH, Chun HS, Kim WJ. 2001. Changes in chemical composition of glutinous rice during steeping and quality properties of yukwa. *Korean J Food Sci Technol* 33: 737-744.
 35. Lee YT, Seog HM, Cho MK, Kim SS. 1996. Physicochemical properties of hull-less barley flours prepared with different grinding mills. *Korean J Food Sci Technol* 28: 1078-1083.
 36. Baek MH, Shin MS. 1999. Microstructure of recombinated gels of amylose and amylopectin isolated from rice starch. *Korean J Food Sci Technol* 31: 1171-1177.
 37. Kim SK, Bang JB. 1993. Physicochemical properties of rice affected by steeping conditions. *Korean J Food Sci Technol* 28: 1026-1032.
 38. Leach HW, McCowen LD, Schoch TJ. 1959. Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of starches. *Cereal Chem* 36: 534-544.
 39. Wong RBK, Lelievre J. 1982. Comparison of the crystallinities of wheat starches with different swelling capacities. *Starch* 34: 159-161.
 40. Arisaka M, Nakamura K, Yoshii Y. 1992. Properties of rice flour prepared by different milling methods. *Denpun Kagaku* 39: 155-153.
 41. Utsunomiya H, Yamagata M, Dio Y. 1975. Scanning electron microscopy of the endosperm of cereal crops. VI. Starch cell layer of imperfect grain of rice (non-glutinous) and glutinous rice. *Yamaguti Daigaku Nogakubu Gakujutsu Hokoku* 26: 19-44.

(2009년 3월 9일 접수; 2009년 7월 10일 채택)