

효소 전처리에 의한 습식제분 쌀가루의 이화학적 특성

김래영¹ · 박재희² · 김창순^{3*}

¹창신대학 호텔조리제빵과

²경남대학교 식품영양학과

³창원대학교 식품영양학과

Effects of Enzyme Treatment in Steeping Process on Physicochemical Properties of Wet-Milled Rice Flour

Rae-Young Kim¹, Jae-Hee Park², and Chang-Soon Kim^{3*}

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

²Dept. of Food and Nutrition, Kyungnam University, Gyeongnam 630-764, Korea

³Dept. of Food and Nutrition, Changwon National University, Gyeongnam 641-773, Korea

Abstract

This study investigated the physicochemical characteristics of wet-milled rice flour treated with pectinase and cellulase in a steeping process. Enzyme treatments were used as follows: pectinase 0.05%, cellulase 0.05%, and mixed enzyme treatments 0.05~0.2%. For particle distribution, rice flour E-treated with mixed enzymes (pectinase 0.05% and cellulase 0.05%) was the finest at 48.3% particle distribution less than 53 μm . Protein contents and damaged starch were reduced by enzyme treatments. Damaged starch was the lowest (12.1%) in rice flour E compared with non-enzyme treatment (18.1%). Amylose content, water binding capacity, solubility, and swelling power all increased upon enzyme treatments, and their effects increased upon mixed enzyme treatment. For gelatinization characteristics of RVA, peak viscosity, final viscosity, breakdown, and total setback viscosity increased in rice flours treated with mixed enzymes. Especially, in steeping method with mixed enzyme treatment, pectinase 0.05% and cellulase 0.05% treatment was suitable for minimizing damaged starch and high fine particle distribution of rice flours compared with single enzyme treatment.

Key words: wet-milled rice flour, enzyme treatment, particle distribution, damaged starch, pasting properties

서 론

쌀은 전 세계적으로 밀 다음으로 생산량이 많고 옥수수와의 합계 세계 3대 곡물에 속한다. 일반적으로 쌀은 아밀로오스 함량이나 낱알의 형태에 따라 장립종, 중립종, 단립종으로 나누어지며 호화특성도 다르다(1). 우리나라에서 생산되는 쌀은 대부분이 자포니카형의 단립종으로 생산량의 95% 이상이 주식인 쌀밥용으로 소비되고 있어 가공용으로 소비되는 쌀은 매우 적다(2). 최근에는 식생활의 변화로 쌀 생산량에 비하여 국민 1인당 쌀 소비량이 빠른 속도로 감소하여 앞으로 매년 16만 톤 정도의 쌀이 과잉 생산될 것으로 전망하고 있다. 이에 쌀 가공식품 소비촉진을 위하여 정부는 2008년 11월 쌀 가공식품 활성화 대책을 발표한 바 있다(3). 쌀 가공품으로는 쌀빵, 쌀국수, 시리얼, 쌀과자, 떡, 주류 등을 들 수 있으며, 이러한 쌀 가공품은 일차적으로 어떠한 방법으로 제조된 쌀가루를 사용하느냐에 따라 최종 품질이 좌우된다(4). 쌀가루의 이화학적 혹은 기능적 특성인 입도크

기 및 분포, 전분손상, 호화특성은 아밀로즈 함량 차이에 따른 쌀 본래의 전분특성이나 쌀 저장온도나 저장기간 등의 저장유래 외에도 제분방법이나 사용 분쇄기에 따라 크게 영향을 받게 된다(5-13).

따라서 쌀 가공품의 가공적성에 맞는 쌀가루 생산을 위하여 쌀가루 제분방법 및 가공기술의 뒷받침이 먼저 이루어져야 하겠다. 쌀가루의 제분방법은 건식 및 습식제분이 사용되고 있으나, 일반적으로 건식제분보다 습식제분에 의한 쌀가루가 더 우수한 품질을 나타내는 것으로 알려져 있다(14). 건식제분은 쌀가루의 전분손상 증가와 많은 열 발생을 초래하여 쌀 가공품에 바람직하지 않다(15-18). 습식제분은 수침과정을 통해 쌀 전분 내 비결정질 부분에서 결정질 부분으로의 수분흡수가 일어나 쌀 전분구조 사이의 결합력 약화로 건식제분보다 고른 입도 분포를 나타내며, 미세입도 분포 비율이 높고 손상전분이 적어 낮은 호화 개시온도, 최고점도의 증가 등의 전분 호화특성이 나타난다(13,19-21). 이런 현상은 쌀 수침 온도 및 수침시간(22,23), 제분기의 형태(13,18,

*Corresponding author. E-mail: cskim@changwon.ac.kr
Phone: 82-55-213-3512, Fax: 82-55-281-7481

24)에 의해 가장 많은 영향을 받는 것으로 알려져 있다.

쌀은 다른 곡류와 달리 배유부는 매우 조밀하면서 단단한 구조로 여러 개의 전분 입자들로 뭉쳐진 다면체의 복합 전분립에 단백질체가 둘러싸여 결합되어 있다(25,26). 쌀 배유부 세포벽은 밀이나 보리의 세포벽보다 얇지만 구성성분은 현저한 양의 pectin, xyloglucan이 함유되어 있으며 이들은 glycoprotein의 hydroxyproline 잔기와 단단히 결합된 구조를 갖는다. Cellulose 또한 밀이나 보리에 비하여 비교적 많은 양인 25~35%를 함유하고 있어(27) 제분에 앞서 배유부 세포벽을 구성하고 있는 이들의 저분자화를 꾀하는 효소 전처리 방법에 의해 전분손상이나 쌀가루의 호화 특성이 달라질 수 있다는 몇몇 연구자의 보고가 있다(28-30).

전보(24)에서 소규모 산업현장에서 적용가능한 손상전분이 낮은 미세한 멧쌀가루 제조조건으로 충분한 수침과정을 거친 쌀을 pin mill로 가루화 하는 반습식제분이 적합한 것으로 나타났다. 이를 토대로 후속연구로서 본 연구에서는 쌀의 수침과정 중 pectinase와 cellulase 효소 전처리 후 pin mill을 사용하는 반습식제분을 통하여 더욱 미세하고 고른 입도의 손상전분이 적은 쌀가루를 제조하고자 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 구입하였으며, 습식제분 시 수침 중 사용한 효소는 pectinase(3500 unit/g)와 cellulase(3000 unit/g)로 일본의 Amano Enzyme(주)로부터 구입하여 사용하였다.

쌀가루의 제조

쌀가루의 제조는 효소 전처리를 통한 반습식제분방법을 사용하였다. 즉, 원료 쌀 3 kg의 1.5배에 해당하는 물에 9시간 동안 30°C incubator에서 수침한 후 3회 수세하여 원심탈수 후 제분하였다. 이때 사용한 침지액은 0.3% citric acid를 첨가하여 pH 4.5로 보정한 후 수침액의 0.05% 농도로 pectinase와 cellulase를 각각 처리한 시료군과 수침액의 0.05%, 0.1%, 0.15% 및 0.2%의 최종 농도가 되도록 pectinase와 cellulase(1:1)의 혼합효소처리군을 각각 제조하여 사용하였다. 사용한 제분기는 pin mill(SC-1B Gyoung Chang Machine Co., Daegu, Korea)로 장착되어 있는 60 mesh screen을 통과한 쌀가루를 얻어 40°C 원적외선 건조기(SLD-1400S, CILIC, Daegu, Korea)에서 최종 수분함량이 14±1%가 되도록 건조하여 밀봉한 후 실험에 사용하였다.

쌀가루의 입도 분포 측정

쌀가루의 입도분포는 쌀가루 1 g을 50 mL 증류수에 5분

간 분산시킨 후 Mastersizer 2000(Malvern Inc., New York, NY, 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, Hillerod, Denmark)를 이용하여 측정하였으며, 지방 및 회분은 AOAC 방법(31)에 준하여 지방은 semi-Soxhlet법, 회분은 건식 회화법을 이용하여 분석하였다.

전분손상도

전분손상도의 측정은 AACC method 76-30(32)에 준하였다. 즉, α -amylase(39.3 unit/mg solid, Sigma, St. Louis, MO, USA) 125,000 unit을 acetate buffer(pH 4.6~4.8) 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 Whatman No. 4 여과지로 여과하고 AACC method 80-60(32)에 따라 10 mL alk ferricyanide 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(32)에 따라 다음 식으로 계산하였다.

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

아밀로오스 함량 측정

아밀로오스 함량은 Juliano의 방법(33)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, 용해도 및 팽윤력

쌀가루의 물결합력은 Medcalf와 Gilles 방법(34)을 이용하여 멧쌀가루 1 g(건량기준)과 증류수 40 mL를 혼합하여 1시간 동안 교반하고, 원심분리(2,300×g)하여 상등액을 제거한 다음 침전된 멧쌀가루의 무게를 측정하여 물결합력을 계산하였다. 쌀가루의 용해도와 팽윤력은 Schoch의 방법(35)을 변형하여 측정하였다. 멧쌀가루 0.5 g(건량기준)과 증류수 40 mL를 혼합한 다음 55, 65, 75, 85 및 95°C로 온도를 유지하면서 30분 동안 교반하고 원심분리(5800×g, 30 min)하여 침전된 멧쌀가루의 무게와 상등액의 총당을 페놀-황산법(36)으로 측정하여 다음 식을 이용하여 용해도와 팽윤력을 계산하였다.

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

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

미세구조 관찰(scanning electron microscopy: SEM)

주사전자현미경(Scanning electron microscopy, S-3500N, Hitachi, Tokyo, Japan)을 이용하여 가속전압 15 kV에서 500배, 3000배의 배율로 쌀가루의 입자 형태를 관찰하였다.

RVA 특성(characteristics of rapid visco analyzer)

쌀가루의 호화점도변화 특성은 신속점도측정기(Rapid Visco Analyzer, 3D, Newport Scientific Pty., Let., Narrabeen, Australia)를 이용하여 측정하였다. 쌀가루 3 g을 증류수 25 mL에 분산시키고 처음 1분 동안 50°C까지 가열 후 분당 12°C로 가열하여 95°C까지 상승시키고 95°C에서 2.5분 동안 유지하였다. 또한 50°C까지 분당 12°C로 냉각, 2분 동안 50°C를 유지하면서 점도를 측정하였다. RVA의 특성치는 호화개시온도(PT), 최고점도(P), trough에서 점도(T), 50°C에서 최종점도(F)와 이로부터 구한 total setback 점도(F-T), breakdown 점도(P-T)를 비교하였다.

결과 및 고찰

쌀가루의 입도 분포

효소 전처리를 통한 습식제분 쌀가루의 입도 분포는 Fig. 1과 같다. 150 μm 이상의 비교적 큰 입자들은 효소무처리구가 6.5%, pectinase 0.05% 처리가 5.05%, cellulase 0.05% 처리가 5.8%로 높았으며, 복합효소처리구(pectinase 0.05% + cellulase 0.05%)에서는 가장 낮은 3.8%이었으며, 53 μm 이

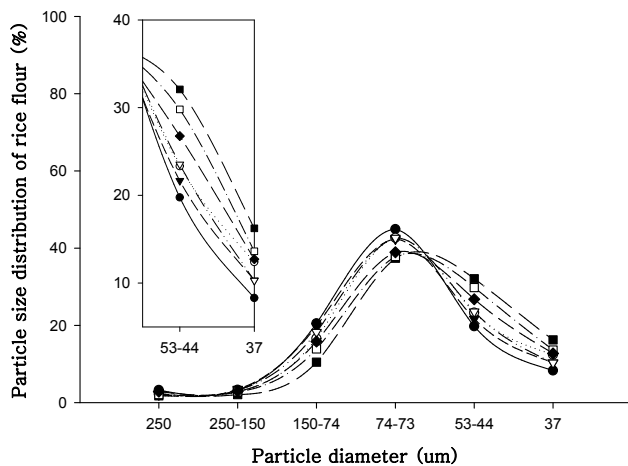


Fig. 1. Particle size distribution of rice flours prepared from steeped non-waxy rice with various enzyme treatments. —●—: non-enzyme,○.....: pectinase 0.05%, --▼--: cellulase 0.05%, --△--: pectinase 0.025%+cellulase 0.025%, -■-: pectinase 0.05%+cellulase 0.05%, --□--: pectinase 0.075%+cellulase 0.075%, --◆--: pectinase 0.1%+cellulase 0.1%.

하의 입도 분포에서는 효소무처리 또는 단일효소처리에 비해 2배나 높은 48.3%를 나타내 높은 미세입도분포 비율이었다. 쌀 배유부 세포벽에는 pectin과 xyloglucan을 함유하고, cellulose 또한 밀이나 보리에 비해 많은 양을 함유하고 있다(27). Pectin은 식물조직의 세포벽이나 세포와 세포사이를 연결해주는 세포간질에 주로 존재하여 세포들을 서로 결합시켜 주는 다당류이며, 식물세포 내 Ca이나 Mg을 중개하여 pectin 분자의 사슬끼리 결합하고 또한 수소결합 등에 의해 cellulose, hemicellulose 등과 결합하여 망상 구조를 이루고 있다(37). 본 실험결과에서 습식제분 시 복합효소 처리에 의하여 수침 동안 견고한 세포벽조직이 연화되어 가루화가 용이하여 높은 미세입도분포의 쌀가루 제조가 가능하였던 것으로 생각된다(30). Egawa(28)는 습식제분 시 pectinase 처리 농도가 증가할수록 효소무처리구에 비해 미세입도분포를 많이 가지나, 오히려 높은 농도의 효소는 수침과정 중 원료 쌀에 좋지 않은 냄새를 부여한다고 하여 관능적 품질면에서의 적정 효소 농도가 필요함을 시사한다.

쌀가루의 일반성분

쌀가루의 일반성분은 측정결과는 Table 1과 같다. 단백질 함량은 효소처리에 의해 낮아졌으며, 복합효소처리 농도가 높아질수록 감소하여 pectinase 0.05%+cellulase 0.05%의 복합효소처리구에서 6.97%로 가장 낮았다. 지방 함량은 모든 시료 간에 유의적 차이가 없었으며, 회분함량은 단백질과 유사한 경향으로 복합처리 농도가 증가할수록 다소 감소하였다. 곡류가공 시 일반성분의 감소는 제분과정 중 압착과 분쇄 후 체를 통과하는 과정에서 많은 일반성분의 분리와 유실이 일어나며(38), 수침과정 중에 쌀의 수용성 단백질, 유리지방 등이 수침액으로 용출되기 때문에 일반성분의 함량이 감소하는 것으로 알려져 있다(7,39). 따라서 본 연구 결과는 쌀의 수침액 효소처리로 수용성물질의 용출과 더불어 세포벽 조직의 연화로 제분 시 쌀가루가 미세화 되어 일반성분의 유실이 다소 증가한 것으로 생각된다.

손상전분, 아밀로오스 함량 및 물결합력

전분의 손상정도는 전분 구조, 수분함량, 분쇄압력, 제분기 형태 및 속도 등에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다(40). Table 2에서 쌀가루의 손상전분은 효소처리 전 구간에서 효소무처리구 18.1%에 비해 유의적으로 낮은 값인 17.0~12.1%이었고, 특히 pectinase 0.05%+cellulase 0.05%의 복합효소처리구에서 12.1%로 가장 낮았으며, 복합효소처리 농도가 그 이상으로 증가할수록 유의적으로 증가하였다. 본 실험에서 효소처리에 의한 쌀가루의 현저한 손상전분 감소는 세포벽 구성성분인 pectin과 cellulose가 저분자화 됨으로 인해 충분히 수화된 전분 결정성영역의 결합력약화에 의한 것으로 생각된다. 이로써 습식제분 시 pectinase 효소처리로 미세입도분포와 함께 낮은 손상전분을 가지는 쌀가루를 얻을 수 있다고 보고한 Egawa(28)의 연구결과를 확인할 수

Table 1. Proximate composition of rice flours prepared from steeped non-waxy rice with various enzyme treatments (%)

	Non-enzyme	P ¹⁾ 0.05%	C 0.05%	Mix enzymes			
				PC 0.05%	PC 0.1%	PC 0.15%	PC 0.2%
Protein	7.66±0.02 ^{a2)}	7.47±0.06 ^b	7.58±0.06 ^a	7.59±0.07 ^a	6.97±0.05 ^d	7.11±0.01 ^c	7.18±0.06 ^c
Lipid	0.30±0.01 ^a	0.31±0.02 ^a	0.32±0.01 ^a	0.31±0.01 ^a	0.30±0.01 ^a	0.32±0.01 ^a	0.31±0.02 ^a
Ash	0.42±0.01 ^a	0.40±0.02 ^b	0.42±0.02 ^a	0.41±0.01 ^a	0.38±0.01 ^c	0.39±0.01 ^{bc}	0.40±0.02 ^{bc}

Mean±SD (n=6).

¹⁾P: pectinase, C: cellulase, PC 0.05%: pectinase 0.025%+cellulase 0.025%, PC 0.1%: pectinase 0.05%+cellulase 0.05%, PC 0.15%: pectinase 0.075%+cellulase 0.075%, PC 0.2%: pectinase 0.1%+cellulase 0.1%.

²⁾Means with the same superscripts in each row are not significantly different (p<0.05).

Table 2. Damaged starch, amylose content and water binding capacity of rice flours prepared from steeped non-waxy rice with various enzyme treatments (%)

	Non-enzyme	P ¹⁾ 0.05%	C 0.05%	Mix enzymes			
				PC 0.05%	PC 0.1%	PC 0.15%	PC 0.2%
Damaged starch	18.1±0.48 ^{a2)}	15.1±0.62 ^c	17.0±0.44 ^b	14.6±0.64 ^c	12.1±0.54 ^e	14.0±0.62 ^d	15.3±0.43 ^c
Amylose	26.0±0.28 ^e	27.2±0.14 ^{cd}	26.9±0.19 ^d	27.4±0.46 ^{cd}	29.3±0.48 ^a	28.2±0.81 ^b	27.8±0.14 ^{bc}
Water binding capacity	186.5±0.61 ^f	190.8±0.56 ^{cd}	189.2±0.69 ^e	192.0±1.15 ^{bc}	197.4±1.26 ^a	195.6±1.28 ^a	193.3±0.67 ^b

Mean±SD (n=5).

¹⁾Abbreviations: See the Table 1.

²⁾Means with the same superscripts in each row are not significantly different (p<0.05).

있었다.

겉보기 아밀로오스 함량은 효소처리구가 효소무처리구보다 높았고(Table 2), pectinase와 cellulase를 각각 처리한 단일효소처리구보다 미세입도분포를 나타낸 pectinase 0.05%+cellulase 0.05%의 복합효소처리구에서 더 높은 값이었다. Lee 등(23)은 쌀의 수침과정 중 전분분해 효소의 활성 증가로 전분 입자내 저분자 물질의 추출이 용이해지는 것으로 보고하여 본 연구에서 효소처리에 따른 겉보기 아밀로오스 함량 증가는 이로 인한 결과로 생각된다.

물결합력은 전분입자의 표면에 흡착되거나 내부로 침투되는 물의 양을 측정된 것으로 효소무처리구에 비해 단일효소처리구 또는 복합효소처리구에서 유의적으로 높았다(Table 2). 이러한 결과는 습식제분한 쌀가루의 입자크기가 작을수록 물결합력이 높다는 선행연구결과(41,42)와 일치하며, 이는 효소처리를 통해 얻어진 쌀가루의 미세입도분포율 증가와 함께 수분과 결합할 수 있는 표면적 증대에 기인한 것으로 사료된다.

용해도 및 팽윤력

쌀은 배유세포벽과 불용성단백질 간의 가교결합에 의해 쌀의 구조는 매우 조밀하고 단단하게 결합되어 있어 가열동안 용해도와 팽윤력이 제한적이며 쌀을 이용한 가공식품의 조직감에도 영향을 주는 것으로 알려져 있다(43-45). 용해도와 팽윤력을 10°C 간격으로 55°C~95°C에서 측정된 결과는 Fig. 2와 같다. 용해도와 팽윤력은 모든 실험군에서 측정 55°C에서 95°C까지 지속적으로 상승하였다. 용해도는 85°C 이후 효소처리구에서 비교적 높은 용해도 증가를 나타내었으며, pectinase 0.05%+cellulase 0.05%의 복합효소처리구에서 95°C 용해도가 가장 높아 용출되는 전분분자가 가장 많음을 알 수 있다. 이는 효소처리에 의해 쌀가루 입자크기

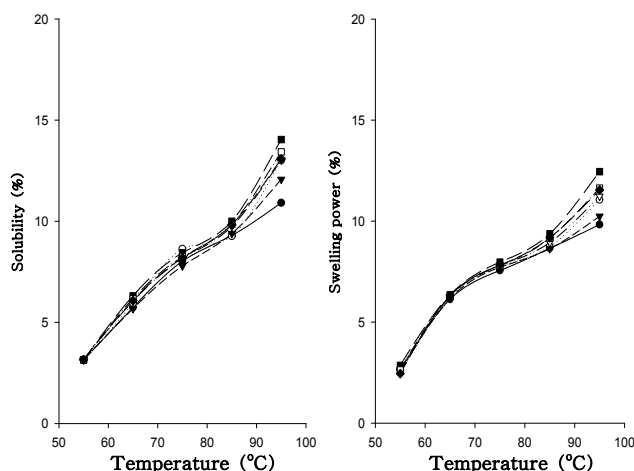


Fig. 2. Swelling power and solubility patterns of rice flours prepared from steeped non-waxy rice with various enzyme treatments. ●: non-enzyme, ○: pectinase 0.05%, ▼: cellulase 0.05%, ▲: pectinase 0.025%+cellulase 0.025%, ■: pectinase 0.05%+cellulase 0.05%, □: pectinase 0.075%+cellulase 0.075%, ◆: pectinase 0.1%+cellulase 0.1%.

가 작아져 표면적 증가로 수용성 성분 용출이 더욱 용이해진 결과로 보인다. 팽윤력은 55~75°C까지 시료 간에 별다른 차이를 보이지 않았으나 그 이후 온도가 상승할수록 시료 간에 차이가 커지면서 95°C에서 그 차이가 최대를 보여 용해도와 유사한 경향이 있었다. 즉, 낮은 손상전분, 높은 물결합력과 높은 아밀로오스 함량을 보인 pectinase 0.05%+cellulase 0.05%의 복합효소처리구가 가장 높은 팽윤력을 보였다.

미세구조 관찰

쌀가루 시료를 3000의 배율로 전자현미경으로 미세구조를 관찰한 결과는 Fig. 3과 같다. 쌀가루의 미세입자 분포가 비교적 높은 단일효소처리 및 복합효소처리 시료는 효소무

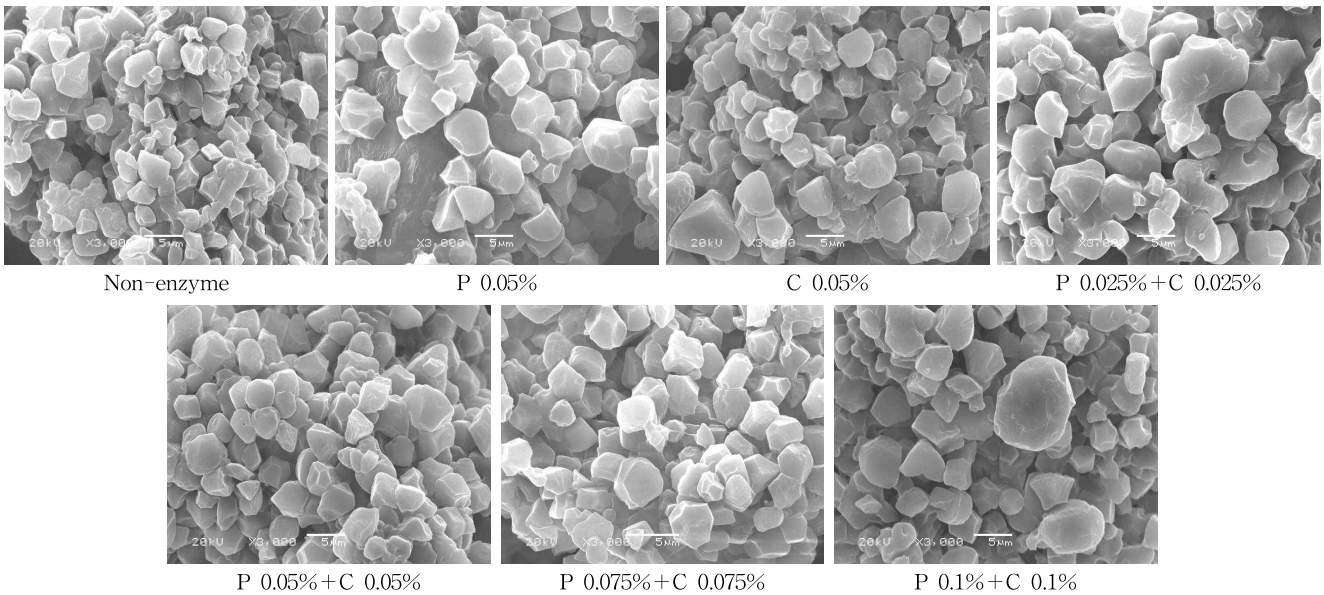


Fig. 3. Scanning electron microphotographs of pin milled rice flours prepared from steeped non-waxy rice with various enzyme treatments ($\times 3000$). P: pectinase, C: cellulase.

처리구에 비해 쌀가루의 집합체로부터 미세입자들이 매끈하게 떨어져나간 것을 확인할 수 있었다. 그러나 pectinase나 cellulase의 단일효소처리구에서는 전분립 사이의 protein body가 아직 남아 있는 것을 확인할 수 있고, 복합효소처리농도가 높아질수록 protein body는 감소하고 쌀가루의 집합체로부터 떨어져 나온 미세입자들이 증가하였음을 알 수 있었다. 이는 저장미를 pectinase와 cellulase로 처리하여 쌀가루의 미세구조를 관찰한 선행연구결과(30)와 유사하다.

RVA 특성

효소 전처리를 통한 습식제분 쌀가루의 RVA 호화특성은 Table 3과 같다. 호화개시온도는 모든 처리구에서 큰 차이를 나타내지 않았으나, 효소무처리구가 pectinase 0.05%+cellulase 0.05%의 복합효소처리구를 제외한 다른 효소처리구보다 다소 낮게 나타나 미세입자의 가루일수록 거친 입자가루에 비해 낮은 호화개시온도를 나타낸다는 다른 연구결과(7,17)와 차이를 가졌다. 그러나 아밀로오스 함량이 높을수록 호화개시온도가 높아진다는 선행연구(46)에 비추어 볼 때 본 연구에서도 효소처리에 의한 미세 쌀가루의 아밀로오스 함량 증가가 호화개시온도에 영향을 미친 것으로 생각된다.

다. 최고점도는 복합효소처리구에서 효소무처리와 단일효소처리보다 높은 값을 나타내었다. 이는 Fig. 2와 같이 가열온도 상승에 따른 팽윤력의 증가양상을 반영한 것으로 Singh과 Eckhoff(47)가 보고한 용해도와 팽윤력은 최고점도와 양의 상관성을 가진다는 결과와 일치한다. 최종점도 또한 pectinase 0.05%+cellulase 0.05%의 복합효소처리구에서 419.5 RVU로 가장 높았고, 그 이상의 복합효소처리농도 상승에 따라 큰 차이는 나타나지 않았으나 효소무처리와 단일효소처리보다는 현저히 높았다. 이는 습식제분 시 pectinase 효소처리로 쌀가루의 최고호화점도와 냉각점도가 현저히 증가한다고 보고한 Egawa(28)의 연구결과와도 유사하다. RVA 최고점도 이후의 붕괴된 paste에는 온전한 호화전분입자, 파열된 전분입자 잔존물, 용출된 아밀로오스와 아밀로펙틴 등이 존재한다. Breakdown은 호화전분입자구조의 파괴에 기인하며, 팽윤 전분입자의 단단한 정도에 따라 달라진다고 알려져 있다(48). 따라서 본 연구에서는 효소처리로 팽윤력, 용해도증가에 따른 최고점도상승과 더불어 전분입자 내 구조의 약화로 breakdown이 증가한 것으로 판단된다.

노화정도 또는 냉각과정에서 겔화로 인해 구조가 형성되는 정도를 예측할 수 있는 total setback 점도는 pectinase

Table 3. Pasting characteristics of rice flours prepared from steeped non-waxy rice with various enzyme treatments

		Treatment ¹⁾						
		Non-enzyme	P 0.05%	C 0.05%	PC 0.5%	PC 0.1%	PC 0.15%	PC 0.2%
Viscosity (RVU)	Pasting temp. (°C)	67.8	68.6	68.9	68.3	67.6	68.4	68.9
	Peak (P)	383.7	390.2	384.2	410.2	449.3	443.6	445.8
	Trough (T)	228.8	203.6	197.8	229.3	250.2	244.4	248.5
	Breakdown (P-T)	154.9	186.6	186.4	180.9	199.1	199.2	197.4
	Final (F)	389.7	360.3	353.8	383.1	419.5	406.7	410.4
	Setback (F-T)	160.9	156.7	156.0	153.8	169.3	162.3	161.9

¹⁾Abbreviations: See the Table 1.

0.05%+cellulase 0.05%의 복합효소처리에서 169.3 RVU로 가장 높았고, 단일효소처리 또는 복합효소처리의 낮은 조합에서 153.8~156.7 RVU로 가장 낮은 값을 나타내었다. 일반적으로 낮은 total setback 점도를 가질 경우 호화된 겔의 냉각 시 점도변화가 적어 network 형성이 어려우며, pectinase 0.05%+cellulase 0.05%의 복합효소처리에서와 같이 높은 경우 단단한 겔을 형성할 수 있어 곡류식품의 산업적 활용방안이 확대될 수 있다. 따라서 효소무처리구나 단일효소처리구보다 pectinase 0.05%+cellulase 0.05%의 복합효소처리구에서 미세입도분포 증가와 낮은 손상전분함량 등으로 인해 높은 최고점도(PV), 최종점도(FV), breakdown 및 total setback viscosity 등의 호화특성을 가지는 것을 알 수 있었다.

요 약

미세한 입도분포와 전분 손상도를 최소화할 수 있는 쌀가루의 제분조건을 제시하고자 쌀 침지과정에서 pectinase와 cellulase 효소를 처리한 반습식제분 쌀가루의 이화학적 특성을 조사하였다. 효소처리는 단일효소 처리(0.05%)와 두 가지 효소를 동일비율로 사용한 복합효소처리로 0.05~0.2% 농도 수준에서 사용하였다. 입도분포는 복합효소처리(pectinase 0.05%+cellulase 0.05%) E에서 53 μm 이하의 입도분포율이 48.3%로 높아 가장 미세한 쌀가루를 얻을 수 있었다. 단백질 함량은 효소처리로 감소하였으며, 복합효소처리 E에서 6.97%로 가장 낮았다. 손상전분 함량은 효소무처리구는 18.1%로 높은 반면 효소처리 후 감소하여 복합효소처리 E는 12.1%로 가장 낮았다. 효소처리로 겔보기 아밀로즈 함량, 물결합력, 용해도 및 팽윤력이 증가하였으며, 단일효소처리보다 복합효소처리에서 그 증가폭이 컸다. SEM 미세구조관찰에서 수침 및 효소처리를 통해 쌀가루의 집합체로부터 매끈하게 떨어져나간 미세입자의 증가를 확인할 수 있었다. 복합효소처리 쌀가루의 경우 RVA 호화특성인 최고점도, 냉각 점도, breakdown 및 total setback 점도의 증가를 보였다. 이상의 결과로 쌀가루 제분의 전처리 과정으로서 단일효소처리보다는 pectinase 0.05%와 cellulase 0.05%의 복합효소처리 침지조건이 높은 미세 입도분포율과 낮은 전분손상도를 갖는 쌀가루 제조에 가장 적합함을 알 수 있었으며 이는 호화특성에도 영향을 미쳐 쌀 가공품의 품질 향상에 기여할 것으로 예상된다.

문 헌

1. Juliano BO. 1985. Production and utilization of rice. In *Rice Chemistry and Technology*. AACC, St. Paul, MN, USA. p 1-16.
2. 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.
3. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries. The

- strategies for promoting of rice processed foods. Press Release. 2008.11.25.
4. Shin MS. 2009. Rice-processed food. *Food Sci Industry* 42: 2-18.
5. 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.
6. Kum JS. 1998. Effects of amylose content on quality of rice bread. *Korean J Food Sci Technol* 30: 590-595.
7. Chen JJ, Lu S, Lii CY. 1999. Effect of milling on the physicochemical characteristics of waxy rice in Taiwan. *Cereal Chem* 76: 796-799.
8. Chiang PY, Yeh AI. 2002. Effect of soaking on wet-milling of rice. *J Cereal Sci* 35: 85-94.
9. Meuser F, Klingler RW, Niediek EK. 1978. Characterization of mechanically modified starch. *Starch* 30: 376-384.
10. Fan J, Marks BP. 1999. Effects of rough rice storage conditions on gelatinization properties of rice flours. *Cereal Chem* 76: 894-897.
11. Kadan RS, Bryant RJ, Miller JA. 2008. Effects of milling on functional properties of rice flours. *J Food Sci* 73: E151-E154.
12. Kum JS, Lee HY. 1999. The effect of varieties and particle size on the properties of rice flours. *Korean J Food Sci Technol* 31: 1542-1548.
13. Park, JD, Choi BK, Kum JS, Lee HY. 2006. Physicochemical properties of brown rice flours produced under different drying and milling conditions. *Korean J Food Sci Technol* 38: 495-599.
14. Kim MA. 1992. Effect of different kinds of rice flours on characters of sponge cake. *Korean J Soc Food Sci* 8: 371-378.
15. Yeh AI. 2004. Preparation and applications of rice flour. In *Rice Chemistry and Technology*. 3rd ed. AACC, St. Paul, MN, USA. p 495-539.
16. Park YK, Seog HM, Nam YJ, Shin DH. 1988. Physicochemical properties of various milled rice flours. *Korean J Food Sci Technol* 20: 504-510.
17. Nishita KD, Bean MM. 1982. Grinding methods: Their impact on rice flour properties. *Cereal Chem* 59: 46-49.
18. Arisaka M, Nakamura K, Yoshii Y. 1992. Properties of rice flour prepared by different milling methods. *Denpun Kagaku* 39: 155-163.
19. Medcalf SL, Luned DB. 1985. Factors affecting water uptake in the milled rice. *J Food Sci* 50: 1674-1679.
20. Choi EJ, Kim HS. 1997. Physicochemical and gelatinization properties of glutinous rice flour and starch steeped at different conditions. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 26: 17-24.
21. Kim RY, Kim CS, Kim HI. 2009. Physicochemical properties of non-waxy rice flour affected by grinding methods and steeping times. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 1076-1083.
22. Kim SS, Kang KA, Choi SY, Lee YT. 2005. Effect of elevated steeping temperature on properties of wet-milled rice flour. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 34: 414-419.
23. Lee MK, 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.
24. Kim RY, Kim CS, Kim HI. 2009. Physicochemical properties of non-waxy rice flour affected by grinding methods and steeping times. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 38: 1076-1083.
25. Hosney RC. 1994. *Principles of cereal science and technology*. AACC, St. Paul, MN, USA. p 18-19.
26. Shibuya N, Iwasaki T. 1978. Polysaccharides and glycoproteins in the rice endosperm cell wall. *Agric Biol Chem*

- 42: 2259-2266.
27. Fincher GB, Stone BA. 1986. Cell walls and their components in cereal grain technology. In *Advances in Cereal Science and Technology*. AACC, St. Paul, MN, USA. p 220.
 28. Egawa K. 1992. Recipe and baking technology of rice flour for making bread. *New Technol North Agric* 5: 95-101.
 29. Munakata R, Ojima S. 2002. Study on rice bread and oil. *Food Technol* 7: 38-46.
 30. Shibuya N, Iwasaki T. 1982. Effect of the enzymatic removal of endosperm cell wall on the gelatinization properties of aged and unaged rice flours. *Starch* 34: 300-303.
 31. AOAC. 1990. *Official methods of analysis of AOAC International*. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA. p 8-35.
 32. AACC. 1992. *Approved methods of the AACC*. 8th ed. Method 22-18, 76-30, 80-60. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA.
 33. Juliano BO. 1971. A simplified assay for milled-rice amylose. *Cereal Science Today* 16: 334-339.
 34. Medcalf F, Gilles KA. 1965. Wheat starches. I. Comparison of physicochemical properties. *Cereal Chem* 42: 558-568.
 35. Schoch TJ. 1964. Swelling power and solubility of granular starches. In *Method in Carbohydrate Chemistry*. Whistler RL, ed. Academic press, New York, NY, USA. p 106-108.
 36. Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, Rebers PA, Smith F. 1956. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal Chem* 28: 350-358.
 37. Chae SK, Kim SH, Shin DH, Oh HK, Lee SJ, Jang MH, Choi O. 2005. *Food Chemistry*. Hyoil press, Seoul, Korea. p 226-238.
 38. Weaver CM, Chen PH, Rynearson SL. 1981. Effect of milling on trace element and protein content of oats and barley. *Cereal Chem* 58: 120-124.
 39. Kim SR, Ahn SY. 1995. Effect of protease and disulfide bond reducing agent treatment on the physicochemical and gelatinization properties of rice. *Agric Chem Biotechnol* 38: 554-562.
 40. Pomeranz Y. 1988. Criteria of flour quality. In *Wheat Chemistry and Technology*. AACC, St. Paul, MN, USA. p 76-78.
 41. Kim SK, Bang JB. 1993. Physicochemical properties of rice affected by steeping conditions. *Korean J Food Sci Technol* 28: 1026-1032.
 42. Lee SH, Shin MS. 2009. Characteristics of preparation of rice manju and rice flour with soaking and different particle sizes. *Korean J Food Cookery Sci* 25: 427-434.
 43. Teo CH, AA Karim, Cheah PB, Norziah MH, Seow CC. 2000. On the roles of protein and starch in the aging of non-waxy rice flour. *Food Chem* 69: 229-236.
 44. Qiu MF, Jin TC, Zhou RF. 1998. The change of oryzenin and starch components during rice ageing process. *J Chinese Cereals Oils Assoc* 13: 12-15.
 45. Juliano BO. 1984. Polysaccharides, proteins, and lipids of rice. In *Rice: Chemistry & Technology*. AACC, St. Paul, MN, USA. p 117-160.
 46. Lee SH, Han O, Lee HY, Kim SS, Chung DH. 1989. Physicochemical properties of rice starch by amylose content. *Korean J Food Sci Technol* 21: 766-771.
 47. Singh N, Eckhoff SR. 1995. Hydrocyclone procedure for starch-protein separation in laboratory wet milling. *Cereal Chem* 72: 344-348.
 48. Han XZ, Hamaker BR. 2001. Amylopectin fine structure and rice starch paste breakdown. *J Cereal Sci* 34: 279-284.

1. (2011년 7월 14일 접수; 2011년 8월 23일 채택)