

## 건식 및 습식제분 흑미 쌀가루의 물리화학적 특성

전현일<sup>1</sup> · 양은진<sup>1</sup> · 김영수<sup>1</sup> · 송근섭<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>전북대학교 응용생물공학부(농업과학기술연구소)

<sup>2</sup>전북대학교 생명공학부

### Effect of Dry and Wet Millings on Physicochemical Properties of Black Rice Flours

Hyun-Il Jun<sup>1</sup>, Eun-Jin Yang<sup>1</sup>, Young-Soo Kim<sup>1</sup>, and Geun-Seoup Song<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Biotechnology, Institute of Agricultural Science & Technology,  
Chonbuk National University, Jeonbuk 561-756, Korea

<sup>2</sup>Division of Biotechnology, Chonbuk National University, Jeonbuk 570-752, Korea

#### Abstract

The physicochemical properties of black rice flours produced from dry and wet milling were carried out to investigate their applications in food processing industry. The dry milled black rice flours showed lower fat, protein, ash, and anthocyanin contents than those of wet milled black rice flours with no effect due to number of millings. Average particle sizes (379~288  $\mu\text{m}$ ) of dry milled flours were bigger than those (336~253  $\mu\text{m}$ ) of wet milled flours. Particles with 60 mesh or more increased with increasing milling times. Wet milled flours had higher damaged starch, water solubility index (WSI), and water absorption index (WAI) compared to dry milled flours. Pasting properties measured by rapid visco analyzer (RVA) resulted in higher pasting temperatures in dry milled flours (62.5~69.4°C) than wet milled flours (46.1~46.4°C). As the number of milling times increased, pasting temperature of wet milled flours were not effected. Dry and wet milling resulted in reduced trough, final viscosity, and consistency with increasing milling times.

**Key words:** black rice flour, dry and wet milling, particle size, pasting properties

#### 서 론

쌀은 옛날부터 우리 민족에게 많은 사랑을 받아온 주식이지만 식생활의 서구화로 인하여 쌀의 소비량이 감소되고 있다. 그러나 현대인들의 건강에 대한 관심이 높아지면서 새로운 기능성을 갖고 있는 유색미 등을 포함한 특수미나 고품질 쌀의 육종과 이를 이용한 제품개발이 쌀의 소비량을 증가시킬 수 있는 대안으로 자리잡아가고 있다(1).

재배면적이 크게 증가하고 있는 대표적인 유색미의 하나인 흑미는 안토시아닌과 아밀로펙틴의 함량이 높은 품종이다(2). 흑미는 안토시아닌계 자주색 색소(cyanidin 3-glucoside)에 의한 항산화, peptide에 의한 angiotensin converting enzyme(ACE)과 혈전용해 활성 등의 생리효과(3,4)가 있는 것으로 보고되었으며, 또한 독특한 향미(5)와 찰기를 부여함으로써 식미에 좋은 영향을 주는 것으로 알려져 있다.

쌀을 가공제품용 중간소재로서 활용하기 위해서는 사용이 쉬운 가루형태로의 공급이 필요하다. 쌀가루의 품질은 제분조건(6-8)에 따라 크게 영향을 받는 것으로 알려져 있으

며, 습식제분 시 행해지는 수침과정에서 곡립에서는 수분 흡수, 경도 감소 및 일반성분 용출이(9,10), 수침용액에서는 유기산과 지방산의 생성에 의한 산도 증가로 pH의 감소(11)가 나타나며, 이런 현상은 수침시간과 수침온도에 영향을 받는다(12-14). 또한 수침과정은 쌀가루 제조 시 입자크기, 아밀로스, 수분용해지수(water soluble index, WSI), 수분흡수지수(water absorption index, WAI), 손상전분 등 여러 가지 품질특성에도 영향(6,12,15)을 미치기 때문에 건식제분 방법으로 조제된 쌀가루와 습식제분방법으로 조제된 쌀가루는 서로 다른 호화특성을 가지게 된다. 제분과정 중 일부 전분은 물리적 충격을 받아서 전분의 치밀도가 낮아지며 수분흡수 능력이 증가하는 미세다공구조로 변하기 때문에 전분분해효소와 수분에 의해서 빠르게 수화되는 특성을 가지는 손상전분이 되며(16), 손상전분 함량은 수용성 물질의 용출 정도를 나타내는 WSI 및 전분입자의 수분 흡수 능력을 나타내는 WAI와 밀접한 관계를 갖게 된다.

흑미에 관한 연구는 주로 안토시아닌 색소의 기능성과 관련된 연구가 주를 이루고 쌀가루 생산을 위한 제분에 관련된

\*Corresponding author. E-mail: songgs@chonbuk.ac.kr  
Phone: 82-63-850-0752, Fax: 82-63-850-0747

보고는 거의 없는 실정이며, 품종도 수원 415호, 중국계 품종인 흑진주, 상해향형나, 길림흑미로 한정되어 있다. 따라서 본 연구에서는 전라북도 농업기술원에서 육종한 새로운 흑미 품종으로 전북 진안지역에서 생산되고 있는 신명흑찰의 활용성을 높이기 위하여 쌀가루 제조를 위한 제분조건별 쌀가루의 이화학적 품질특성을 비교분석하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 실험에서 사용한 쌀은 2006년에 전북 진안에서 생산한 흑미(신명흑찰)를 사용하였으며, 조제된 쌀가루는  $-20^{\circ}\text{C}$ 의 deep freezer에서 보관하면서 실험을 실시하였다. Cyanidin-3-glucoside는 Genay 제품(Genay France Co., Genay, France)을, 쌀전분과  $\alpha$ -amylase solution(from *Aspergillus Oryzae*)은 Sigma 제품(Sigma Co., St. Louis, MO, USA)을 구입하여 사용하였다.

### 수침조건별 특성 변화 측정

수분흡수율과 경도의 변화는 흑미 1 g(dry matter basis)을 50 mL의 증류수에 넣고 water bath에서 수침( $25\sim 45^{\circ}\text{C}$ )하여 2시간마다 꺼내 여과지(Whatman No. 4) 위에 굴리어 표면수를 제거하였다. 수침 후 무게증가량을 이용하여 수분흡수율을 측정하였고, texture analyser(TA-XT2i, Stable Micro system Co. Ltd., Surrey, UK)를 이용하여 수화에 따른 경도 변화를 측정하였다. 수침용액의 anthocyanin 용출경도와 pH의 변화는 spectrophotometer(UV-1650PC, Shimadzu Co., Kyoto, Japan)와 pH meter(Orion 420+, Thermo electronic Co., Beverly, USA)를 이용하여 측정하였다. 또한 Becker의 확산방정식(17)( $M-M_0=k_0 \times t^{-1/2}$ )과 경도 감소 속도식(18)( $\ln(H/H_0)=-k_h \times t$ )을 이용하여 수분흡수속도( $k_0$ )와 경도감소속도( $k_h$ )를 계산하였으며 M은 침지 후 수분의 증가량(g  $\text{H}_2\text{O}/\text{g}$  dry matter),  $M_0$ 는 초기 수분함량(g  $\text{H}_2\text{O}/\text{g}$  dry matter), t는 수침시간(min), H는 t(hr)에서의 경도,  $H_0$ 는 초기시간(hr)의 경도이다. Texture analyser의 분석조건은 return to start mode에서 load cell: 5 kg, deformation rate: 70%, speed: 1.0 mm/sec, pre test speed: 5.0 mm/sec, post test speed: 5.0 mm/sec 및 cylinder probe(part No. P/2, diameter 2.0 mm)이었다.

### 쌀가루 제조

건식쌀가루는 흑미 100 g(dry matter basis)을 3회 세척하고 1시간 동안 상온( $25^{\circ}\text{C}$ )에서 자연 탈수하여 12시간 동안 dry oven에서 건조하여 roll mill(Single type stainless roller, Shinpoong Eng. Ltd., Gwangju, Gyeonggi, Korea)을 이용하여 roll의 간격을 0 mm로 1~7회 분쇄하였다. 제조한 건식쌀가루는 상온에서 풍건하면서 수분함량이 15% 이하가 되도록 조절하였다(단, 수분함량이 15% 미만일 경우에는

풍건과정은 생략하였다). 이때 수분함량 측정은 수분측정기(FD-600, Kett electronic laboratory, Tokyo, Japan)를 이용하여 수분함량을 측정하였으며 수분측정기의 수분함량은 상압가열건조법(19)으로 보정하였다.

습식쌀가루는 흑미 100 g(dry matter basis)을 3회 세척하고 증류수 500 mL를 첨가하여 water bath에서 8시간 동안 수침하고 1시간 동안 상온에서 자연 탈수하여 roll mill을 이용하여 roll의 간격을 0 mm로 1~7회 분쇄하였다. 그리고 제조한 습식쌀가루는 dry oven에서  $25^{\circ}\text{C}$ 에서 8시간 동안 풍건하고  $50^{\circ}\text{C}$ 에서 2시간 동안 열풍 건조한 후에 roll mill을 이용하여 제분(2nd milling)을 1회 하였다.

### 일반성분과 anthocyanin 함량

흑미의 일반성분 분석은 AOAC 방법(19)을 이용하여 수분은 상압가열건조법, 조회분은 직접회화법, 조지방은 Soxhlet법, 조단백은 Micro-Kjeldahl법으로 측정하였다. Anthocyanin의 분석은 Kim 등(20)의 방법을 이용하여 분석하였다. 시료 2 g(dry matter basis)을 50 mL 삼각플라스크에 넣고 1% HCl을 함유한 methanol 20 mL를 가해 shaking incubator( $25^{\circ}\text{C}$ , 150 rpm)에서 3회 추출 후 50 mL로 정용하였다. 추출액을 glass filter(IG4)로 여과한 다음 HPLC 분석 시료는 syringe filter(PVDF, 0.2  $\mu\text{m}$ )로 제차 여과하여 주입하였다. HPLC는 Futecs NSG-Series(Futecs Co. Ltd., Daejeon, Korea)를 이용하였고, 검출은 UV detector로 530 nm, 컬럼은 GROM-SIL 120 ODS-5 ST column(250 mm  $\times$  4.6 mm ID, Futecs Co. Ltd., Daejeon, Korea), 컬럼 온도는  $35^{\circ}\text{C}$ , 이동상은 water : acetonitrile : aceton : phosphoric acid mixture(81.7:8.4:8.4:1.5, v/v), 유속은 1.0 mL/min이었고, 표준물질은 cyanidin-3-glucoside를 사용하였다.

### 입도분포

쌀가루의 입도 분포는 sieve shaker(RO-TAP, Jeil Scientific Co. Ltd., Seoul, Korea)에 표준망체 60~120 mesh(125~250  $\mu\text{m}$ , Daihan Scientific Co. Ltd., Seoul, Korea)를 이용하여 측정하였다. 흑미 쌀가루 100 g을 10분간 체질한 후 각 표준망체에 잔류된 쌀가루의 무게를 측정하여 전체량에 대한 백분율로 나타내었고 평균입자 크기(average particle size,  $d_v$ )는 Fellows의 방법(21)( $d_v = \sum dx / \sum x$ )을 이용하였다. 이때  $d_v$ 는 평균 입자크기( $\mu\text{m}$ ), d는 표준망체의 평균 크기( $\mu\text{m}$ ), x는 표준망체에 남아있는 양의 백분율(%)이다.

### 수분용해지수와 수분흡수지수

수분용해지수(water solubility index, WSI)와 수분흡수지수(water absorption index, WAI)는 Anderson의 방법(22)을 응용하여 측정하였다. 쌀가루 2.5 g(dry matter basis)을 증류수 30 mL가 들어있는 원심관(50 mL)에 넣고 잘 혼합하여 실온에서 30분간 반응시킨 후 3,000 rpm에서 10분간 원심분리 하였다. 미리 항량을 구한 수기에 상등액을 넣

어 건조하여 얻은 고형분량을 시료(2.5 g)에 대한 백분율로 WSI를 구하였으며 침전물의 무게를 측정하여 WAI를 구하였다.

$$\text{WSI} (\%) = \frac{B}{A} \times 100$$

$$\text{WAI} (\text{g/g}) = \frac{C}{A \times (100 - \text{WSI})} \times 100$$

이때 A는 시료의 무게(g), B는 건조된 고형분의 무게(g), C는 침전물의 무게(g)이다.

#### 아밀로스 함량과 요오드 반응

아밀로스 함량과 요오드 반응은 Williams 등의 방법(23)을 응용하여 측정하였다. 아밀로스 함량은 쌀가루 400 mg(dry matter basis)을 0.5 N KOH 용액 10 mL에 분산시키고 증류수를 가하여 100 mL로 정용하였다. 희석용액 10 mL를 취하여 0.1 N HCl 5 mL와 iodine 용액(0.2 g I<sub>2</sub>+2.0 g KI/100 mL D.W.) 0.5 mL를 혼합하고 증류수를 가하여 50 mL로 정용하고 실온에서 20분 동안 방치한 후 680 nm에서 흡광도를 측정하였으며, 표준물질로는 쌀 전분 제품을 사용하였다. 요오드 반응은 400~700 nm에서 scanning을 하여 최대흡수파장(λ<sub>max</sub>)을 측정하였다.

#### 전분손상도

전분손상도는 Boyaci 등(24)의 방법을 이용하였다. 쌀가루 9 g에 α-amylase solution 45 mL를 첨가하여 잘 혼합한 다음 shaking incubator에서 반응(30°C, 25분)시킨 후 3.68 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 3 mL와 12% sodium tungstate 2 mL를 가하여 잘 혼합하고 2분간 정지시킨 다음 여과(Whatman No. 4)하였다. 굴절당도계(PAL-1, Atago Co. Ltd., Tokyo, Japan)를 이용하여 여액의 brix를 측정하여 전분손상도를 산출하였다.

$$\text{Degree of damaged starch} (\%) = \frac{(B_2 - B_1) \times V}{M} \times F$$

B<sub>1</sub>은 효소가 첨가되지 않은 여액의 brix(%), B<sub>2</sub>는 효소가 첨가된 시료 여액의 brix(%), F는 변환 상수(1.64), M은 시료의 무게(g), V는 용액의 부피(50 mL)이다.

#### 호화특성

호화패턴은 RVA(RVA-4, Newport Scientific Pty. Ltd., Warriewood, Australia)를 이용하여 측정하였다. 시료 3.5 g(dry matter basis)을 증류수 25 mL에 첨가하여 잘 혼합한 다음 0~1.0분은 50°C 유지, 1.0~4.8분은 95°C까지 가열, 4.8~7.3분은 95°C 유지, 7.3~11.01분은 50°C까지 냉각, 11.01~12.05분은 50°C를 유지하면서 점도(RVU)를 측정하였다. 호화특성은 peak viscosity, trough, final viscosity, pasting temperature, peak time, break down, setback 및 consistency로 표시하였다.

## 결과 및 고찰

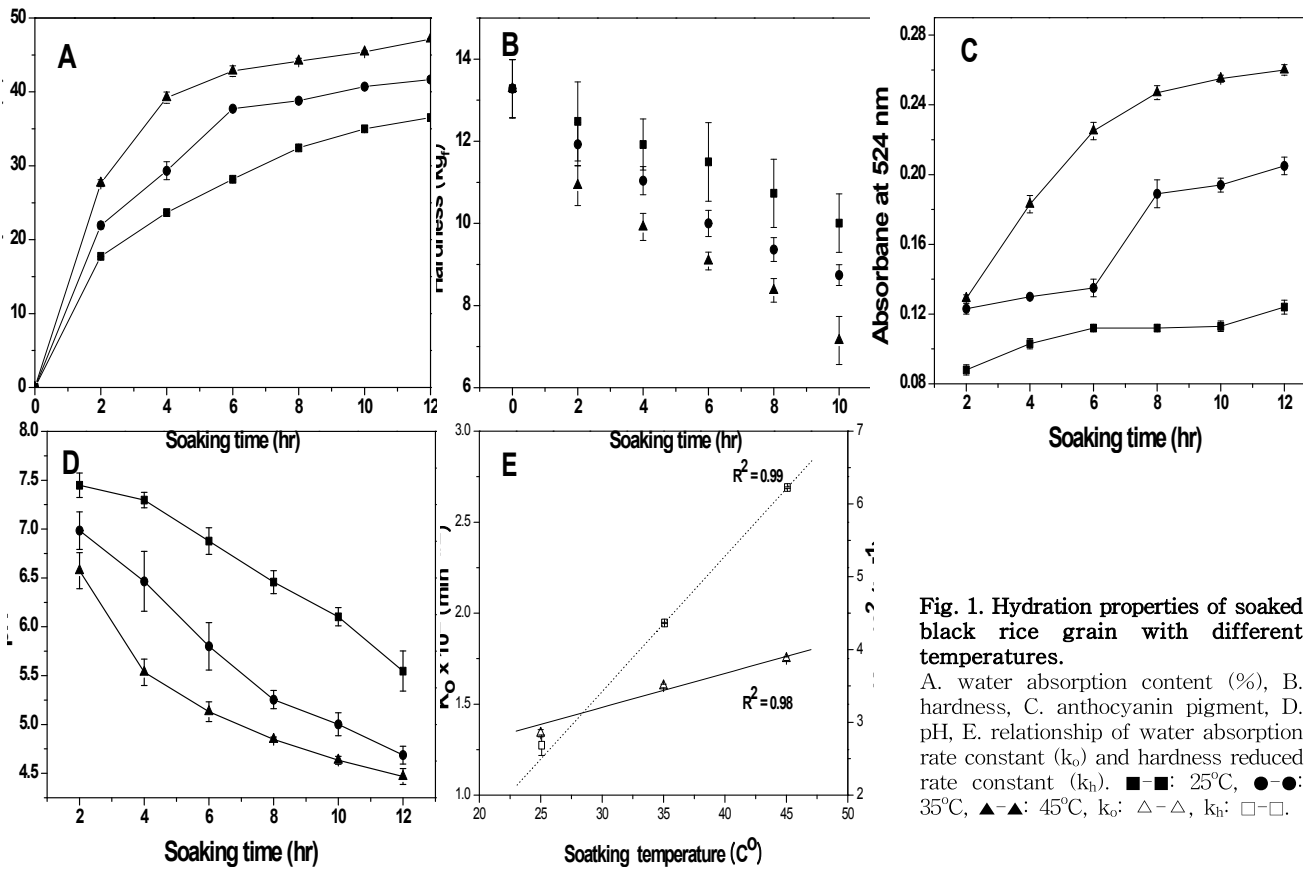
### 수침 조건에 따른 흑미 흡습특성 변화

수침에 따른 흑미 수분흡수율과 경도 및 수침용액의 pH는 수침 초기에 급격하게 변하다가 시간이 경과할수록 완만하게 변하는 양상을 나타내었다. 수침시간이 경과함에 따라 수분흡수율이 증가하였으며, 수침온도가 높을수록 수분흡수율이 35.5%(25°C), 41.7%(35°C) 및 47.2%(45°C)로 높아졌다(Fig. 1A), 경도(Fig. 1B)는 수침 초기 13.28 kg<sub>r</sub>에서 수침시간이 경과함에 따라 낮아지는 경향이었으며, 수침온도가 높을수록 10.0 kg<sub>r</sub>(25°C), 8.7 kg<sub>r</sub>(35°C) 및 7.2 kg<sub>r</sub>(45°C)로 감소하였다. Anthocyanin(Fig. 1C) 색소용출은 수침온도가 높을수록 다소 증가되는 경향을 나타내었으나, 수침용액의 pH(Fig. 1D)는 수침온도가 높을수록 낮은 경향을 나타내었다. 이와 같은 결과는 흑미(진도 흑미와 나주산 수원 415)의 경우 20°C에서 11시간 수침 이후에 최대 수분흡수율(28~31%)에 도달하며, 수침온도와 수침시간이 증가할수록 색소용출은 증가하지만 pH와 경도는 감소한다는 Kim 등(9)의 결과와 일치하였다. 한편 Jeon 등(25)은 수침시간이 증가할수록 수침용액의 amylase 활성이 증가하며 미생물(*Corynebacter* spp., *Candida* spp. 및 *Lactobacillus* spp.)에 의해서 수침용액이 산성화되었다고 보고하였다.

수침온도별로 산출한 흑미의 수분흡수속도상수(k<sub>0</sub>)는 25°C에서 0.013 min<sup>-1/2</sup>, 35°C에서 0.016 min<sup>-1/2</sup>, 45°C에서 0.018 min<sup>-1/2</sup>, 경도감소속도상수(k<sub>h</sub>)는 25°C 0.027 hr<sup>-1</sup>, 35°C 0.044 hr<sup>-1</sup>, 45°C 0.062 hr<sup>-1</sup>로 두 상수값 모두 온도의존성(Fig. 1E)이 높은 것으로 나타났다. Kim 등(13)도 40~70°C에서 현미의 k<sub>0</sub>가 0.023~0.040 min<sup>-1/2</sup>(아끼바레)와 0.029~0.050 min<sup>-1/2</sup>(밀양 23호)로 수침온도가 증가할수록 증가한다고 보고하였다. Lee 등(26)이 20~50°C에서 흑미(매성 수원 415)의 k<sub>0</sub>는 0.011~0.039 min<sup>-1/2</sup>이며 온도의존성(R<sup>2</sup>=0.97)을 갖는다는 결과와 비교할 때 본 연구의 k<sub>0</sub>가 다소 작은 값을 나타낸 것은 본 연구에 사용한 흑미 품종인 신명흑찰이 다른 흑미 품종인 매성 수원 415보다 내부 치밀도가 높아 수분 흡수가 느리게 진행됨을 나타낸다. 한편 과도한 수화과정이 쌀의 품질특성에 영향을 준다는 사실(10,15)을 고려할 때 수분증가율이 완만해지는 8시간이 수침시간으로 적당한 것으로 생각된다.

### 제분방법별 흑미 쌀가루의 일반성분과 anthocyanin 함량 비교

건식 1회 제분 처리한 쌀가루(BRDM1)는 수분 15.0%, 조단백질 8.6%, 조지방 3.5%, 조회분 1.8%로서 습식 1회 제분 처리한 쌀가루(BRWM1)의 수분 12.6%, 조단백질 7.5%, 조지방 2.3%, 조회분 1.4%보다 높았으며, 동일 제분처리 횟수에서 비교할 때 일반성분 및 anthocyanin 함량 모두 전반적으로 건식쌀가루에 비하여 습식쌀가루에서 낮았다(Table



**Fig. 1.** Hydration properties of soaked black rice grain with different temperatures. A. water absorption content (%), B. hardness, C. anthocyanin pigment, D. pH, E. relationship of water absorption rate constant ( $k_0$ ) and hardness reduced rate constant ( $k_1$ ). ■-■: 25°C, ●-●: 35°C, ▲-▲: 45°C,  $k_0$ : △-△,  $k_1$ : □-□.

1). 제분 횟수에 따라서는 거의 유의적인 상관성이 없는 것으로 나타났으며, 수침의 유무에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 신명흑찰 BRDM1의 일반성분 함량과 Ha 등(2)이 보고한 국내산 흑미의 품종별(수원 425, 수원 415, 마곡, 길림 흑미, 흑진주, 상해항혈나) 일반성분 비교에서 조단백질, 조지방 및 조회분 함량이 각각 6.92~11.07%, 2.73~3.13% 및 1.42~1.86%인 결과와 비교할 때, 조단백질 함량은 낮은 편에 속하였으나 조지방 함량은 다른 흑미 품종에 비하여 높았다.

한편 건식쌀가루의 anthocyanin 함량은 177.5~193.5 mg/100 g으로 습식쌀가루의 94.5~105.2 mg/100 g에 비하여 상당히 낮았으며, 이와 같이 습식쌀가루에서 anthocyanin 함량이 낮게 나타난 것은 수침과정에서 상당량의 an-

thocyanin이 용출된다는 사실(Fig. 1C)과 일치하였다. 신명흑찰의 anthocyanin 함량은 Han 등(27)이 보고한 흑진주(417.2 mg/100 g), 길림흑미(407.4 mg/100 g)의 함량보다는 낮았으나, 수원 425(153.2 mg/100 g), 흑남벼(147.7 mg/100 g) 또는 상해항혈나(41.1 mg/100 g)의 함량보다는 높은 수준이었다.

**제분조건별 흑미 쌀가루의 입도분포 비교**

흑미 쌀가루의 입도분포를 살펴보면(Table 2) 건식쌀가루 평균 입도는 379~288  $\mu$ m로 습식쌀가루의 336~253  $\mu$ m 보다 컸으며, 제분횟수가 증가함에 따라 60 mesh 이상의 입도가 작은 쌀가루 분포비율이 증가하고 쌀가루의 입도가 고르게 분포되는 경향을 보임으로써 입도분포는 수침의 유무

**Table 1. Chemical composition and anthocyanin of black rice flours with different production conditions**

Samples <sup>1)</sup>	Chemical composition (%)				Anthocyanin (mg/100 g)
	Moisture	Crude protein	Crude fat	Ash	
BRDM1	14.99±0.01 <sup>2)a3)</sup>	8.57±0.15 <sup>a</sup>	3.52±0.26 <sup>a</sup>	1.83±0.15 <sup>a</sup>	184.51±1.12 <sup>c</sup>
BRDM3	14.68±0.14 <sup>b</sup>	8.30±0.20 <sup>a</sup>	3.17±0.10 <sup>a</sup>	1.89±0.08 <sup>a</sup>	190.50±1.05 <sup>b</sup>
BRDM5	14.36±0.04 <sup>c</sup>	8.63±0.74 <sup>a</sup>	3.38±0.23 <sup>a</sup>	1.92±0.14 <sup>a</sup>	193.50±1.06 <sup>a</sup>
BRDM7	14.32±0.09 <sup>c</sup>	7.97±0.04 <sup>a</sup>	3.47±0.38 <sup>a</sup>	1.84±0.14 <sup>a</sup>	177.52±0.81 <sup>d</sup>
BRWM1	12.56±0.19 <sup>a</sup>	7.50±0.30 <sup>a</sup>	2.26±0.14 <sup>a</sup>	1.43±0.06 <sup>a</sup>	105.15±1.10 <sup>a</sup>
BRWM3	11.19±0.09 <sup>b</sup>	7.73±0.15 <sup>a</sup>	2.12±0.07 <sup>a</sup>	1.43±0.08 <sup>a</sup>	94.58±1.12 <sup>b</sup>
BRWM5	8.30±0.10 <sup>c</sup>	7.53±0.42 <sup>a</sup>	2.46±0.43 <sup>a</sup>	1.47±0.07 <sup>a</sup>	94.50±1.07 <sup>b</sup>
BRWM7	7.66±0.23 <sup>d</sup>	7.80±0.66 <sup>a</sup>	2.67±0.16 <sup>a</sup>	1.48±0.11 <sup>a</sup>	94.57±0.97 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>BRDM: black rice dry milling, BRWM: black rice wet milling, 1~7: milling times.

<sup>2)</sup>Values are mean±SD (n=3).

<sup>3)</sup>Values within the same column followed by different letters are significantly different (p<0.05) by Duncan's multiple test.

**Table 2. Particle size distribution of black rice flours with different production conditions**

Samples <sup>1)</sup>	Particle size (mesh, %)					Average particle size (μm)
	< 60	60~80	80~100	100~120	120 <	
BRDM1	82.38±0.18 <sup>2)a3)</sup>	7.50±0.38 <sup>d</sup>	4.15±0.04 <sup>c</sup>	2.57±0.05 <sup>b</sup>	3.41±0.53 <sup>d</sup>	378.73±1.19 <sup>a</sup>
BRDM3	65.39±0.76 <sup>b</sup>	12.30±0.60 <sup>c</sup>	8.14±0.32 <sup>b</sup>	6.60±0.25 <sup>b</sup>	7.56±0.43 <sup>c</sup>	331.60±1.63 <sup>b</sup>
BRDM5	57.65±1.34 <sup>c</sup>	16.30±1.45 <sup>b</sup>	8.58±0.31 <sup>b</sup>	8.08±0.15 <sup>a</sup>	9.38±0.55 <sup>b</sup>	311.21±2.68 <sup>c</sup>
BRDM7	47.56±0.66 <sup>d</sup>	18.74±0.31 <sup>a</sup>	13.22±0.37 <sup>a</sup>	8.47±0.61 <sup>a</sup>	12.01±0.11 <sup>a</sup>	288.40±1.85 <sup>d</sup>
BRWM1	65.88±1.04 <sup>a</sup>	14.88±0.61 <sup>ab</sup>	8.32±0.26 <sup>b</sup>	4.88±0.08 <sup>c</sup>	6.03±1.31 <sup>b</sup>	336.21±4.23 <sup>a</sup>
BRWM3	58.22±0.49 <sup>b</sup>	17.01±0.25 <sup>a</sup>	9.33±0.36 <sup>b</sup>	8.80±0.35 <sup>b</sup>	6.63±0.04 <sup>b</sup>	315.67±1.51 <sup>b</sup>
BRWM5	47.56±3.80 <sup>c</sup>	13.39±2.51 <sup>b</sup>	12.34±0.65 <sup>a</sup>	9.78±1.24 <sup>ab</sup>	16.33±5.24 <sup>a</sup>	276.21±16.83 <sup>c</sup>
BRWM7	41.25±6.72 <sup>c</sup>	13.14±0.14 <sup>b</sup>	12.29±1.05 <sup>a</sup>	11.18±1.60 <sup>a</sup>	22.15±4.10 <sup>a</sup>	253.04±21.98 <sup>d</sup>

<sup>1)</sup>Abbreviations refer to Table 1.

<sup>2)</sup>Values are mean±SD (n=3).

<sup>3)</sup>Values within the same column followed by different letters are significantly different (p<0.05) by Duncan's multiple test.

와 제분횟수에 상당한 영향을 받는 것으로 나타났다. 제분횟수가 증가하면서 특히 60 mesh 이하의 입자 비율이 건식의 경우 82%에서 48%로, 습식의 경우 66%에서 41%로 현저하게 감소한 반면에 120 mesh 이상의 작은 입자 비율이 증가하는 경향이 뚜렷하였다. 건식쌀가루보다 습식쌀가루의 입자 크기가 작은 것은 수침과정을 통하여 곡립의 경도가 감소한 사실(Fig. 1B)과 일치하는 결과이며, Kim 등(15)도 멥쌀에서 입도크기가 수침시간의 영향을 받는다고 하였다.

습식 1회 제분 처리한 쌀가루(BRWM1)의 입도분포 60 mesh 이하 66%, 60~80 mesh 15%, 80~100 mesh 8%, 100~120 mesh 5%, 120 mesh 이상 6%는 건식 1회 제분 처리한 쌀가루(BRDM1)의 입도분포 60 mesh 이하 82%, 60~80 mesh 8%, 80~100 mesh 4%, 100~120 mesh 3%, 120 mesh 이상 3%와는 큰 차이를 보였고, 오히려 건식 3회 제분 처리한 쌀가루(BRDM3)의 입도분포와 비슷한 경향을 나타내었다. 이와 같은 결과는 Kim 등(28)이 수침한 쌀가루가 건식쌀가루보다 입자크기가 작으며 습식제분 시 roll mill로 1차 제분한 쌀가루의 입도분포는 60 mesh 이하(82.6%), 80~100 mesh(9.7%) 및 100 mesh 이상(7.7%)이었다는 결과와 유사하였다. 한편 일반적으로 입도가 작을수록 lightness가 증가하는데 Choi 등(7)도 흑미를 roll mill로 1차 제분한 쌀가루보다 jet mill로 2차 제분까지 한 쌀가루의 lightness가 증가함

을 보고하였다. 이상의 결과를 고려할 때 흑미 쌀가루 제조 시 건식제분보다는 습식제분이 효과적인 것으로 나타났다.

#### 제분조건별 흑미 쌀가루의 이화학적 특성 비교

제분조건별 흑미 쌀가루의 이화학적 특성을 분석한 결과 아밀로스 함량, 전분손상도, WSI 및 WAI는 수침의 유무와 제분 횟수에 영향을 받는 것으로 나타났다(Table 3).

신명흑찰 흑미의 요오드반응  $\lambda_{max}$ 는 521~522 nm로서, Oh 등(29)이 보고한 찰흑미(상해항혈나)의 520 nm와는 비슷하였으나 Lee 등(26)이 보고한 메성흑미 수원 415의 565 nm와는 차이가 있었다. 요오드반응의 최대흡수과장은 아밀로펙틴의 함량과 관련된 것으로 신명흑찰의 요오드반응 최대흡수과장이 상대적으로 단과장 쪽에 위치한다는 것은 아밀로펙틴 함량이 높음을 시사한다. 한편 건식 1회 제분 처리한 신명흑찰 쌀가루(BRDM1)의 아밀로스 함량은 12.4%로서 Ha 등(30)이 보고한 상해항혈나 5.5%보다는 높았으나, 수원 425의 16.8%, 마곡의 15.2% 및 길림흑미의 15.8%에 비하여는 낮았다.

전분손상도는 제분 횟수가 많아짐에 따라서 건식 제분에서는 24.6%에서 48.3%까지, 습식제분에서는 43.7%로부터 63.8%까지 증가되어 건식 제분에 비하여 습식 제분에서 손상도가 약 20% 가량 더 큰 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 Park 등(8)이 제분기와 입자크기에 따른 현미쌀가루의

**Table 3. Iodine reaction, amylose, damaged starch, WSI, and WAI of black rice flours with different production conditions**

Samples <sup>1)</sup>	Iodine reaction	Amylose content (%)	Degree of damaged starch (%)	WSI (%)	WAI (g/g)
	$\lambda_{max}$ (nm)				
BRDM1	522±1.00 <sup>2)a3)</sup>	12.35±0.54 <sup>a</sup>	24.60±0.53 <sup>d</sup>	3.05±0.03 <sup>d</sup>	1.55±0.02 <sup>d</sup>
BRDM3	521±1.00 <sup>a</sup>	11.34±0.12 <sup>b</sup>	34.93±0.53 <sup>c</sup>	4.37±0.02 <sup>c</sup>	1.72±0.02 <sup>c</sup>
BRDM5	522±1.00 <sup>a</sup>	9.75±0.17 <sup>c</sup>	40.70±0.53 <sup>b</sup>	8.19±0.02 <sup>b</sup>	2.18±0.02 <sup>b</sup>
BRDM7	522±1.00 <sup>a</sup>	9.79±0.10 <sup>c</sup>	48.29±0.91 <sup>a</sup>	9.87±0.03 <sup>a</sup>	2.59±0.04 <sup>a</sup>
BRWM1	522±1.00 <sup>a</sup>	9.72±0.00 <sup>a</sup>	43.73±0.53 <sup>d</sup>	5.93±0.06 <sup>c</sup>	1.92±0.01 <sup>d</sup>
BRWM3	521±1.00 <sup>a</sup>	9.58±0.24 <sup>a</sup>	55.27±0.53 <sup>c</sup>	6.15±0.27 <sup>c</sup>	2.08±0.03 <sup>c</sup>
BRWM5	522±1.00 <sup>a</sup>	9.02±0.24 <sup>b</sup>	62.96±0.53 <sup>b</sup>	10.10±0.16 <sup>b</sup>	2.45±0.03 <sup>b</sup>
BRWM7	522±1.00 <sup>a</sup>	8.64±0.28 <sup>b</sup>	63.78±0.91 <sup>a</sup>	11.99±0.21 <sup>a</sup>	2.86±0.03 <sup>a</sup>

<sup>1)</sup>Abbreviations refer to Table 1.

<sup>2)</sup>Values are mean±SD (n=3).

<sup>3)</sup>Values within the same column followed by different letters are significantly different (p<0.05) by Duncan's multiple test.

**Table 4. Pasting properties of black rice flours with different production conditions by RVA**

Samples <sup>1)</sup>	Viscosity (RVU) <sup>2)</sup>					Consistency	Pasting temp (°C)
	Peak viscosity	Trough	Final viscosity	Break down	Setback		
BRDM1	98.28±1.76 <sup>3)4)</sup>	60.03±0.31 <sup>a</sup>	90.94±0.17 <sup>a</sup>	38.27±1.47 <sup>d</sup>	-7.33±1.59 <sup>a</sup>	30.95±0.13 <sup>a</sup>	69.35±0.35 <sup>a</sup>
BRDM3	145.45±2.42 <sup>a</sup>	50.60±1.43 <sup>b</sup>	71.21±1.04 <sup>b</sup>	94.94±1.00 <sup>b</sup>	-74.24±1.38 <sup>c</sup>	20.74±0.38 <sup>b</sup>	65.10±0.00 <sup>b</sup>
BRDM5	116.87±0.34 <sup>c</sup>	34.78±0.34 <sup>c</sup>	49.48±0.49 <sup>d</sup>	82.08±0.00 <sup>c</sup>	-67.40±0.25 <sup>b</sup>	14.54±0.04 <sup>c</sup>	62.45±0.00 <sup>d</sup>
BRDM7	137.71±1.96 <sup>b</sup>	38.37±0.61 <sup>d</sup>	53.92±0.96 <sup>c</sup>	99.61±1.43 <sup>a</sup>	-83.80±1.01 <sup>d</sup>	15.72±0.43 <sup>d</sup>	62.50±0.00 <sup>e</sup>
BRWM1	86.68±1.25 <sup>a</sup>	37.61±0.26 <sup>a</sup>	52.15±0.42 <sup>a</sup>	49.06±1.00 <sup>a</sup>	-34.53±0.84 <sup>c</sup>	14.60±0.17 <sup>a</sup>	46.31±0.14 <sup>a</sup>
BRWM3	47.87±0.18 <sup>b</sup>	18.67±0.00 <sup>b</sup>	27.57±0.13 <sup>b</sup>	29.19±0.17 <sup>b</sup>	-20.30±0.04 <sup>b</sup>	8.90±0.13 <sup>b</sup>	46.15±0.15 <sup>a</sup>
BRWM5	17.62±0.21 <sup>c</sup>	9.38±0.05 <sup>c</sup>	14.18±0.17 <sup>c</sup>	8.26±0.25 <sup>c</sup>	-3.45±0.37 <sup>a</sup>	4.78±0.13 <sup>c</sup>	46.38±0.03 <sup>ab</sup>
BRWM7	17.36±0.09 <sup>d</sup>	9.28±0.21 <sup>d</sup>	13.58±0.22 <sup>d</sup>	8.07±0.13 <sup>c</sup>	-3.77±0.16 <sup>a</sup>	4.33±0.00 <sup>d</sup>	46.11±0.15 <sup>b</sup>

<sup>1)</sup>Abbreviations refer to Table 1.

<sup>2)</sup>Break down: difference between peak viscosity and trough, Setback: difference between final viscosity and peak, Consistency: difference between final viscosity and trough (total setback).

<sup>3)</sup>Values are mean±SD (n=3).

<sup>4)</sup>Values within the same column followed by different letters are significantly different (p<0.05) by Duncan's multiple test.

전분손상도가 입자크기가 작을수록 증가하였다는 보고, Lee 등(10)이 수침기간이 증가할수록 찹쌀가루의 손상전분이 증가한다는 보고와 비슷한 경향이였다. 한편 WSI도 건식제분에 비하여 습식제분에서 높게 나타났으며, 이 결과는 Choi 등(7)이 흑미(상해향혈나)의 입자크기가 작을수록 WSI는 증가하며 제분조건에 따라서 WSI(3.7~16.3%)는 영향을 받는다는 보고, Park 등(6)이 입자크기가 작을수록 전분손상도와 쌀가루의 maltose의 용출이 증가하였다는 보고와 일치하는 경향을 나타내었다. 따라서 쌀의 제분 시 미세하게 분쇄된 쌀가루는 전분손상도가 높아 가공특성에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있으므로(31), 가공용도에 따른 적절한 흑미 쌀가루 제조를 위한 제분방법이 모색되어야 한다.

**제분조건별 흑미 쌀가루의 호화특성 변화**

RVA를 이용하여 제분조건별 흑미 쌀가루의 호화특성을 비교한 결과 수침의 유무와 제분횟수에 따라 차이가 있는 것으로 나타났다(Table 4). 흑미 쌀가루의 호화온도는 습식제분 쌀가루의 46.1~46.4°C에 비하여 건식제분 쌀가루는 62.5~69.4°C로 훨씬 높았으며, 습식제분의 경우 제분횟수에 따른 차이가 뚜렷하게 나타나지 않았으나 건식제분에서는 5회 처리까지 호화온도 감소 현상이 나타났다. 이와 같은 결과는 Choi 등(32)이 찹쌀가루 RVA 호화양상에서 입자크기가 작을수록 호화개시온도가 감소하였다는 보고와 Chen 등(33)이 2종류의 찹쌀을 다양한 방법을 사용하여 입자크기가 다른 분획들로 제분하였을 때 입자크기가 감소함에 따라서 초기호화온도가 감소하였다는 보고와 일치하는 경향을 나타내었다. 또한 Kum과 Lee(34)는 품종별 쌀가루의 아밀로그래프 양상에서 입자크기가 작아짐에 따라 호화개시온도가 낮아짐을 확인하고, 이는 쌀가루의 입자가 미세하여짐에 따라 전분의 팽윤이 빨리 일어나 낮아지게 된 것으로 생각하였다. 한편 Ha 등(30)이 흑미 품종별 비교에서 아밀로스 함량과 호화개시온도가 각각 상해향혈나는 5.53%와 63°C, 수원 415는 14.27%와 67°C, 마곡은 15.20%와 71°C로 amylose 함량이 적을수록 쌀가루의 호화가 빨리 시작되었다는

보고와도 관련이 있는 것으로 생각된다.

호화온도의 양상과는 달리 최고점도에 있어서는 건식제분의 경우 1회 제분한 쌀가루(98 RVU)에 비하여 3~5회 제분한 쌀가루(117~145 RVU)에서 높았다. 이와 같이 건식제분에서 입자크기가 작은 쌀가루의 최고점도가 높게 나타난 결과는 Kum과 Lee(34)가 최고점도는 입자크기가 작아짐에 따라 증가하며 호화개시온도는 최대점도와 역의 상관관계가 있는 것으로 나타났다는 보고, 입자크기가 크고 거칠수록 점도가 낮아져 thickening agent로 사용할 수 있다는 Nishita와 Bean(31)의 보고와 유사하였다. 한편 습식제분에서는 제분횟수가 많아짐에 따라 최고점도가 감소하는 경향을 보임으로서 Kum 등(35)이 쌀가루 입자가 미세하여짐에 따라 최고점도가 감소하는 경향을 나타냈다는 보고와 유사하였는데, 손상전분 함량의 차이가 큰 영향을 미친 것으로 생각된다.

또한 건식제분 횟수가 많아짐에 따라 흑미 쌀가루의 trough, 최종점도 및 consistency는 감소하였으나 setback과 breakdown이 증가하는 경향은 Choi 등(32)의 찹쌀가루 RVA 호화양상에서 나타난 결과와 일치하였으나, 습식제분에서는 setback과 breakdown이 감소되는 양상을 보였는데 이는 손상전분 함량의 영향으로 생각된다.

**요 약**

중간소제용 흑미 쌀가루 제조를 위한 조건을 검토하기 위하여 제분조건별 쌀가루의 이화학적 특성을 비교분석하였다. 흑미의 수분흡수속도상수(k<sub>s</sub>)는 25°C에서 0.013 min<sup>-1/2</sup>, 35°C에서 0.016 min<sup>-1/2</sup>, 45°C에서 0.018 min<sup>-1/2</sup>로 수침온도가 높아짐에 따라 값이 증가하였고, anthocyanin 용출정도도 수침온도 상승과 수침시간 증가에 따라 크게 영향을 받았다. 일반성분과 anthocyanin의 함량은 건식쌀가루에 비해 습식쌀가루가 낮게 나타났으며 제분횟수의 증가에는 영향을 받지 않았다. 건식쌀가루의 평균 입도는 379~288 μm로

습식쌀가루의 336~253  $\mu\text{m}$ 보다 컸으며 체분횟수가 증가함에 따라 60 mesh 이상의 쌀가루 분포비율이 증가하고 쌀가루의 입도가 고르게 분포되는 경향을 보였다. 쌀가루 요오드 반응의  $\lambda_{\text{max}}$ 는 521~522 nm으로 체분조건에 큰 영향을 받지 않았으나, 아밀로스 함량을 제외한 전분손상도, 수분분용해지수(WSI) 및 수분흡수지수(WAD)는 건식쌀가루보다 습식쌀가루에서 높았다. RVA 호화양상에서 습식쌀가루의 호화온도가 46.1~46.4°C에 비하여 건식쌀가루는 62.5~69.4°C로 훨씬 높았으며, 습식제분의 경우 체분횟수에 따른 차이가 뚜렷하게 나타나지 않았으나 건식제분에서는 5회 처리까지 호화온도 감소 현상이 나타났다. 또한 건식 및 습식 쌀가루 모두 체분횟수가 증가하면서 trough, 최종점도 및 consistency는 감소하였고, setback과 breakdown은 건식쌀가루에서는 증가한 반면 습식쌀가루에서는 감소되는 상반된 양상을 보였다.

### 감사의 글

본 연구는 농촌진흥청에서 시행한 공동연구사업의 결과로 이에 감사드립니다.

### 문헌

- Chae JC. 2004. Present situation, research and prospect of rice quality and bioactivity in Korea. *Food Science and Industry* 37: 47-54.
- Ha TY, Park SH, Lee CH, Lee SH. 1999. Chemical composition of pigmented rice varieties. *Korean J Food Sci Technol* 31: 336-341.
- Chung YA, Lee JK. 2003. Antioxidant properties of phenolic compounds extracted from black rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 32: 948-951.
- Lee KY, Kim JH, Son JR, Lee JS. 2001. Detection and extraction condition of physiological functional compounds from bran of HeugJinJu rice (*Oryza sativa* L.). *Korean J Postharvest Sci Technol* 8: 296-301.
- Song SJ, Lee YS, Rhee CO. 2000. Volatile flavor components in cooked black rice. *Korean J Food Sci Technol* 32: 1015-1021.
- Park YK, Seog HM, Nam YJ, Shin DH. 1988. Physicochemical properties of various milled rice flours. *Korean J Food Sci Technol* 20: 504-510.
- Choi BK, Kum JS, Lee HY, Park JD. 2006. Physicochemical properties of black rice flours (BRFs) affected by milling conditions. *Korean J Food Sci Technol* 38: 751-755.
- 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: 495-500.
- Kim DW, Eun JB, Rhee CO. 1998. Cooking conditions and textural changes of cooked rice added with black rice. *Korean J Food Sci Technol* 30: 562-568.
- Lee YH, Kum 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.
- Kim K, Kang KJ, Lee YH, Kim SK. 1993. Change in properties of waxy rice during steeping in water. *Korean J Food Sci Technol* 25: 86-87.
- 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.
- Kim KJ, Pyun YR, Cho EK, Lee SK, Kim SK. 1984. Kinetic studies on hydration of Akibare and Milyang 23 brown rice. *Korean J Food Sci Technol* 16: 297-302.
- Kim SK, Bang JB. 1996. Physicochemical properties of rice affected by steeping conditions. *Korean J Food Sci Technol* 28: 1026-1032.
- Kim HY, Lee BY, Choi JK, Ham 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.
- Meuser F, Klingler RW, Niediek EK. 1978. Characterization of mechanically modified starch. *Starch* 30: 376-384.
- Becker HA. 1960. On the absorption of liquid water by the wheat kernel. *Cereal Chem* 37: 309-311.
- Thiews HJ, Steeneken PA. 1997. Comparison of the bra-bender viscograph and the rapid visco analyzer. I. Statistical evaluation of the pasting profile. *Starch* 49: 85-92.
- AOAC. 1996. *Official Methods of Analysis*. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington DC, USA.
- Kim SL, Hwang JJ, Song J, Song JC, Jung KH. 2000. Extraction, purification, and quantification of anthocyanins in colored rice, black soybean, and black waxy corn. *Korean J Breed* 32: 146-152.
- Fellows P. 1998. *Food processing technology*. Ellis Horwood Ltd., Chichester, England and VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim, Federal Republic of Germany. p 78-80.
- Anderson. 1982. Water absorption and solubility and amylograph characteristics of rolled-cooked small grain products. *Cereal Chem* 59: 265-271.
- Williams PC, Kuzina FD, Hlynka I. 1970. A rapid colorimetric procedure for estimating the amylose content of starches and flours. *Cereal Chem* 47: 411-420.
- Boyaci IH, Williams PC, Koksels H. 2004. A rapid method for the estimation of damaged starch in wheat flour. *J Cereal Sci* 39: 139-145.
- Jeon HJ, Sohn JH, Lee MK. 1995. Characteristics on enzyme and microorganism by soaking time of glutinous rice. *Korean J Soc Food Sci* 11: 104-107.
- Lee YS, Cho JI, Rhee CO. 2002. Physicochemical properties of pigmented starch (Suwon-415). *Korean J Food Sci Technol* 34: 842-845.
- Han SJ, Ryu SN, Park SZ, Kim HY. 2004. Analysis of cyanidin 3-glucoside in blackish purple rice. *Korean J Crop Sci* 49(spc1): 97-101.
- Kim HY, Lee BY, You HS, Choi JK, Ham SS. 1999. Properties of rice flour prepared with roll mill and pin mill after tempering. *Korean J Postharvest Sci Technol* 6: 313-318.
- Oh GS, Kim K, Na HS, Choi GC. 2002. Comparison of physicochemical properties on waxy black rice and glutinous rice. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 31: 12-16.
- Ha TY, Park SH, Lee SH, Kim DC. 1999. Gelatinization properties of pigmented rice varieties. *Korean J Food Sci Technol* 31: 564-567.
- Nishita KD, Bean MN. 1982. Grinding methods-their impact on rice flour properties. *Cereal Chem* 59: 46-49.
- Choi CR, Kim JO, Lee SK, Shin MS. 2001. Properties of

- fractions from waxy rice flour classified with particle size. *Food Sci Biotechnol* 10: 54-58.
33. Chen JJ, Lu S, Lii CY. 1999. Effects of milling on the physicochemical characteristics of waxy rice in Taiwan. *Cereal Chem* 76: 796-799.
34. Kum JS, Lee HY. 1999. The effect of the varieties and particle size on the properties of rice flour. *Korean J Food Sci Technol* 31: 1542-1548.
35. Kum JS, Lee SH, Lee HY, Kim KH, Kim YI. 1993. Effect of different milling methods on physicochemical properties and products. *Korean J Food Sci Technol* 25: 546-551.

(2008년 5월 7일 접수; 2008년 6월 26일 채택)