

## 건조 방법과 제분 방법에 따른 마(*Dioscorea batatas*)의 가공적성 연구

김재용 · 이영철 · 김영찬 · 김영봉 · 최현욱\*

한국식품연구원

### Research on Processing Properties of Yam (*Disocorea batatas*) by Drying Methods and Milling Methods

Jae-Yong Kim, Young-Chul Lee, Young-Chan Kim, Young-Boong Kim, and Hyun-Wook Choi\*

Korea Food Research Institute

#### Abstract

The physiochemical properties of dried yam (*Dioscorea batatas*) by freeze dryer, cold-air dryer or hot-air dryer were examined for chromaticity, water absorption index (WAI), water soluble index (WSI), rehydration, viscosity properties and pasting properties. Freeze dried yam was maintained higher degree of lightness and higher WAI and WSI than those of cold-air or hot air dried one. In the case of rehydration, freeze dried yam was restored within one hour. The viscosity properties of freeze dried yam were the highest viscosity in all shear rates. Freeze dried yam was milled by roll mill (RM), pin mill (PM) or jet mill (JM) to evaluate for particle size, starch damage, pasting property and microstructure. Particle size was JM < PM < RM as 13.85~112.50  $\mu\text{m}$ . In the result of starch damage, it was the highest value as 8.83 in JM, was the lowest value as 7.47 in RM. In pasting property, JM had relatively low viscosity at all shear rates. In the Microstructure by measuring scanning electron microscope, JM particle surfaces were rough with high starch damage, and particle size was confirmed fine particles in JM.

**Key words:** yam (*Disocorea batatas*), dryer, pin mill, roll mill, jet mill

## 서 론

마는 Dioscoreaceae에 속하는 다년생 덩굴초본으로 자양, 강장, 당뇨, 설사 등에 다양한 효과가 있다(Lee & Kim, 1998). 마의 종류로는 장마, 단마, 장풍마 등 약 650종이 있으며, 동남아시아 산지에 많이 자라는 것으로 알려져 있다(Kim et al., 2015). 마의 특징 중 하나는 점성을 나타낸다는 것인데, 이는 마 특유의 점성 물질인 mannan과 globulin이 결합한 당 단백질에 의한 것이다(Im et al., 1995; Kim et al., 2006). 또한 마는 약간 달고 담백한 풍미를 가지고 있지만 쓴 맛도 가지고 있다는 단점이 있다(Im et al., 1995).

마에 대한 연구는 다양하게 보고되었는데, 일반 성분은 수분 함량 82%, 가용성 무질소 물은 15% 수준이며, 총 지질의 지방산 조성에서 linoleic acid가 46%로 가장 많았

고, 다음으로 plamitic acid가 27%이며, 불포화지방산 함량이 포화지방산 함량보다 많다고 보고하였다(Jeong, 1994; Kwon et al., 1998). 마의 탄수화물 조성은 탄수화물 중 유리당을 주로 구성하고 있는 것은 fructose, glucose, sucrose 및 maltose 등이 있으며 총 당은 mannose와 glucose로 구성되어 있는데 80% 이상이 mannose로 이루어져 있다고 보고하였다(Chung, 1995). 어린 마와 성숙한 마의 휘발성 풍미 성분은 어린 참마 뿌리에서 탄화수소류, 알데히드류, 알코올류 및 에스테르류의 함량과 향기 성분 종류가 더 많고, 성숙한 마 뿌리에서는 고급 지방산의 함량이 많이 나타나며(Lee & Choi, 1994), 항산화능과 항균력은 등근 대마의 경우 우수한 DPPH radical 소거능을 보이며, 부채마는 *B. subtilis*, *S. aureus*, *P. vulgaris* 및 *S. typhimurium*에 대한 우수한 항균력이 나타난다고 보고되었다(Kwon et al., 2010).

마 전분의 점도는 호화액에서 pseudoplastic 유체의 성질을 나타내며, 전분 농도가 증가 할수록 pseudo plasticity가 증가하였고, 온도가 높아질수록 농도 의존성은 낮아진다고 보고하였다(Lee et al., 1992). 건조 방법에 따른 특성으로는 선풍기 건조 시 점도는 열풍 건조한 마의 점도보다 약 3배 높게 나타나며(Kim et al., 2006), 총 비타민 C 함량은

\*Corresponding author: Hyun-Wook Choi, Korea Food Research Institute, Seongnam, Gyeonggi 13539, Korea  
Tel: +82-31-780-9372; Fax: +82-31-709-9876  
E-mail: hwchoi96@kfri.re.kr  
Received August 29, 2016; revised September 22, 2016; accepted September 22, 2016

열풍, 진공, 동결 건조방법에 따라 차이가 없으나 환원형 비타민 C는 동결 건조한 마가 가장 많다고 보고하였다 (Shin, 2004).

본 연구에서는 국내산 마의 활용도를 높이기 위해 건조 방법과 제분 방법에 따른 마의 가공적성을 검토하여 마 가공 제품 개발에 기초 자료로 활용하고자 국내산 마의 일부 성분과 물리적 특성을 조사하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 실험에 사용한 국내산 마는 안동지역 마(수분함량 82.1%, 조단백질 7.2%, 조지방 1.0%, 조회분 4.5%, 조섬유 2.0%, 무질소화합물 85.3%)를 구입하여 사용하였으며 냉장 보관하면서 사용하였다.

### 마의 건조

마의 건조 방법 별 이화학적 특성을 조사하고자 마의 껍질을 제거한 후, 0.5 cm의 두께로 절단하여 열풍 건조, 냉풍 건조, 동결 건조를 시행하였다. 열풍건조(HK DO1000F, Hankuk Science Instrument Co, Hwaseong, Korea)는 건조실의 온도를 40°C로 유지하면서 수분 함량 약 13% 정도까지 건조하였으며, 냉풍건조(MG 501S, Megascience, Seoul, Korea)는 건조실의 온도를 30°C로 유지하면서 수분 함량 약 13% 정도까지 건조하였다. 동결건조(PVTFD100R, Ilshin lab Co. Ltd., Seoul, Korea)는 가열 plate 온도를 30°C로 유지하면서 동결건조 하였고 실험용 분쇄기(FM-909T, Hanil Co. Ltd., Seoul, Korea)로 분말을 만들어 50 mesh로 분별하여 사용하였다.

### 건조 방법 별 마 분말의 색도

동결, 냉풍, 열풍 건조된 마를 실험용 분쇄기(FM-909T, Hanil Co. Ltd., Seoul, Korea)로 분말을 만들어 50 mesh로 분별한 후 투명한 플라스틱 원통용기에 넣어 분광색차계(CM 2500D, Konica Minolta Sensing Inc., Tokyo, Japan)를 이용하여 명도(lightness)를 나타내는 L값과 적색도(redness)를 나타내는 a값, 황색도(yellowness)를 나타내는 b값을 각각 조사하였다. 사용한 표준 백색판의 L, a, b값은 97.75, -0.49, 1.96이었다.

### 건조 방법 별 마 분말의 수분 흡수 지수 및 수분 용해 지수

건조 방법이 다른 마 분말로 10% 현탁액을 제조하여 1시간 방치한 후, 5,000 g로 원심분리 후 상등액의 고형분량과 침전물의 양을 측정하여 수분 흡수 지수(WAI, water absorption index)와 수분 용해 지수(WSI, water soluble index)를 조사하였다.

$$WAI = \frac{\text{Hydrated weigh(g)} - \text{Dry sample weight (g)}}{\text{Dry sample weight (g)}}$$

$$WSI (\%) =$$

$$\frac{\text{Dry solid weight recovered by evaporating the supernatant (g)}}{\text{Dry sample weight (g)}} \times 100$$

### 건조 방법 별 마 분말의 복원력

마의 건조 방법 별 복원 특성을 조사하고자 복원력(rehydration capacity) 측정을 하였다. 마의 껍질을 제거한 후 0.5 cm의 두께로 절단하여 열풍건조, 냉풍건조, 동결건조를 한 후 10 g을 증류수 200 mL에 각각 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18분 동안 침지 하였다. 침지된 마를 25°C 항온 수조에서 1시간동안 120 rpm의 속도로 흔들어 준 다음 2,000 g의 속도로 15분간 원심 분리한 후 원심분리 용기를 1분간 거꾸로 세워 상등액을 제거하고 증가된 수분함량과 건조시료의 중량비로 다음과 같이 계산 하였다.

$$\text{Rehydration capacity (\%)} = \frac{W_r - W_i}{W_i} \times 100$$

$W_r$ 는 재수화된 시료의 무게(g)이고  $W_i$ 는 초기 시료의 무게(g)를 나타낸 것이다.

### 건조 방법 별 마 분말의 호화 특성

건조한 마의 호화특성은 Brabender Viscograph-E (Brabender GmbH Co. Kg., Guisburg, Germany)를 사용하여 측정하였다. 마 분말 10%를 증류수 500 mL에 충분히 교반 후 amylography 용기에 넣고, 1.5°C/min 속도로 25°C에서 95°C까지 가열하였고, 95°C에서 20분간 유지하였다가 40°C까지 1.5°C/min 속도로 냉각시켰다. Amylogram에서 initial pasting temperature, maximum viscosity, temperature at maximum viscosity, viscosity at 95°C 등을 조사하였다.

### 마의 제분

마의 제분 방법 별 이화학적 특성을 조사하고자 동결건조한 마를 Pin mill (Gyoungchang machine co., Gwangju, Korea)을 이용하여 80 mesh screen으로 걸러 제분하였고 이 분말을 PM80으로 표기하였다. Pin mill을 이용하여 20 mesh screen으로 제분한 분말을 PM20, roll mill (Gyoungchang machine Co., Gwangju, Korea)을 이용하여 0.5 mm 간극으로 제분한 분말을 RM, jet mill (HTM-101. Hyunjun, Seoul, Korea)을 이용하여 3,000 rpm으로 제분한 분말을 JM3000, jet mill을 이용하여 9,000 rpm으로 제분한 분말을 JM9000으로 표기하였다.

### 제분 방법 별 마 분말의 입도분포

다양한 제분기로 제분한 마 분말의 입도분포는 입도분석

기(Laser Particle size analyzer, CILAS 1190, Madison, WI, USA)를 이용하여 분석하였고, 분산용매로 증류수를 사용하였다.

#### 제분 방법 별 마 분말의 전분손상도

다양한 제분기로 제분한 마 분말의 전분 손상도는 전분 손상도 측정 장치(SD matic, Chopin Technologies, Villeneuve-la-Garene, France)를 이용하여 측정하였다.

#### 제분 방법 별 마 분말의 호화특성

다양한 제분기로 제분한 마 분말의 호화특성을 Rapid Visco Analyzer (RVA-Super4, Newport Scientific, NSW, Australia)를 이용하여 측정하였다. 각 시료는 건물 기준으로 14% 수분함량이 되도록 제조하였으며, 측정온도는 1분간 50°C를 유지하고 95°C까지 12°C/min의 속도로 온도를 상승시킨 후 2분 30초 동안 95°C를 유지, 12°C/min의 속도로 50°C까지 온도를 하강시킨 후 50°C에서 2분간 유지하여 점도곡선을 얻었다. 얻어진 점도 곡선으로부터 initial pasting temperature, peak viscosity, peak time, final viscosity를 측정하고 이들 측정치로부터 setback 값을 구하였다.

#### 제분 방법 별 마 분말의 미세구조

다양한 제분기로 제분한 마 분말의 미세구조는 scanning electron microscope (SEM, S-2380N, Hitachi, Ltd, Tokyo, Japan)을 사용하여 검경하였다. 각각의 마 시료를 gold-palladium으로 ion sputter (C1010, Hitachi Ltd, Tokyo, Japan)를 이용하여 도금한 후, 가속전압 20 kV에서 전분의 미세구조를 각각 250배 및 1,000배의 배율로 관찰하였다.

#### 통계처리

실험 결과 data들은 SPSS 12.0 (Statistical package for Social, SPSS Inc, Chicago, IL, USA) software를 이용하여 평균과 표준 편차를 구하였고, ANOVA와 Duncan's multiple range test ( $p < 0.05$ )로 유의적인 차이를 검증하였다.

## 결과 및 고찰

#### 색도

다양한 건조 방법으로 건조된 마의 L (lightness)값과, a (redness)값, b (yellowness)값을 각각 조사한 결과를 Table 1에 정리하였다. L (lightness)값은 동결건조 한 마가 94.96, 냉풍건조 한 마는 93.45, 열풍건조 한 마는 92.21로 동결건조 한 마의 L값이 가장 높은 것으로 보아 마의 하얀색을 가장 많이 유지함을 나타냈지만 sample들 간의 유의적 차이는 보이지 않았다. a (redness)값은 동결건조 한 마가 -0.26, 냉풍건조 한 마는 0.25, 열풍건조 한 마는 0.43으로 나타났다. b (yellowness)값은 동결건조 한 마가 4.70, 냉풍

**Table 1. Color properties of yams dried by various dryer**

Sample	L	a	b
Freeze dried yam	94.96±3.79**	-0.26±0.15 <sup>c</sup>	4.70±0.87 <sup>b</sup>
Cool-air dried yam	93.45±2.11 <sup>a</sup>	0.25±0.08 <sup>b</sup>	6.53±1.03 <sup>a</sup>
Hot-air dried yam	92.21±4.29 <sup>a</sup>	0.43±0.24 <sup>a</sup>	3.52±0.42 <sup>b</sup>

\*Same letters in the same column are not significantly different ( $p < 0.05$ )

건조 한 마는 6.53, 열풍건조 한 마는 3.52로 나타났다. 열풍건조 한 마의 경우 백색도가 낮고 적색도가 높은 것으로 보아 건조 과정 중에 갈변 현상이 진행된 것으로 판단되었다. 이는 polyphenol oxidase와 같은 효소에 의한 효소적 갈변과 비효소적 갈변이 복합적 작용에 의해 나타나게 되는데(Suzuki et al., 1986), 본 실험에서 열풍건조에 의한 갈변 현상은 마의 다양한 효소들이 열풍건조 온도 40°C에서 활성이 가장 활발하여 적색도가 높게 나타난 것으로 판단되었다.

#### 수분 흡수 지수 및 수분 용해 지수

건조 방법 별로 수분 흡수 지수(WAI, water absorption index)와 수분 용해 지수(WSI, water soluble index)를 조사한 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 수분 흡수 지수에서는 동결건조 한 마가 2.7%, 냉풍건조 한 마가 1.8%, 열풍건조 한 마가 1.4%를 나타냈으며, 수분 용해 지수는 동결건조 한 마가 25.5%, 냉풍건조 한 마가 18.0%, 열풍건조 한 마가 16.5%로 동결건조 한 마에서 수분 흡수 지수와 수분 용해 지수 모두 가장 높게 나타났다. 수분 흡수 지수와 수분 용해 지수가 높게 나타나려면 분말이 물에 뭉침 없이 잘 풀어지고(Lee & Kim, 1998), 입자의 크기가 작아야 한다는 것으로 보아(Kim et al., 2009) 동결건조 시킨 마를 분쇄 하였을 때 가장 작게 분쇄 된다는 사실을 뒷받침 해 주는 것으로 생각된다.

#### 복원 시험

건조 방법 별 복원력을 조사한 결과는 Fig. 2에 나타내었다. 동결건조 마의 경우 1분 이내에 원래 상태로 복원하였으나, 냉풍건조 마의 경우 약 6분, 열풍건조마의 경우 약 16분이 소요되었다. 이는 열풍건조의 미세구조를 확인 하면 작은 공극들로 이루어진 반면(Song et al., 2009), 동결건조를 하면 동결건조 과정에서 수분이 승화되면서 크고 많은 공극이 생겨난다(Song et al., 2009; Koh et al., 2011). 따라서 동결건조 한 마가 냉풍, 열풍건조한 마보다 빠른 시간 내에 원상태로 복원된 것으로 생각되며, 이러한 복원 특성은 복원시간이 중요한 품질 인자로 사용되는 즉석식품 가공에 응용할 수 있을 것이다.

#### 건조 방법 별 호화 특성

다양한 건조 방법으로 건조한 마의 호화특성을 조사한

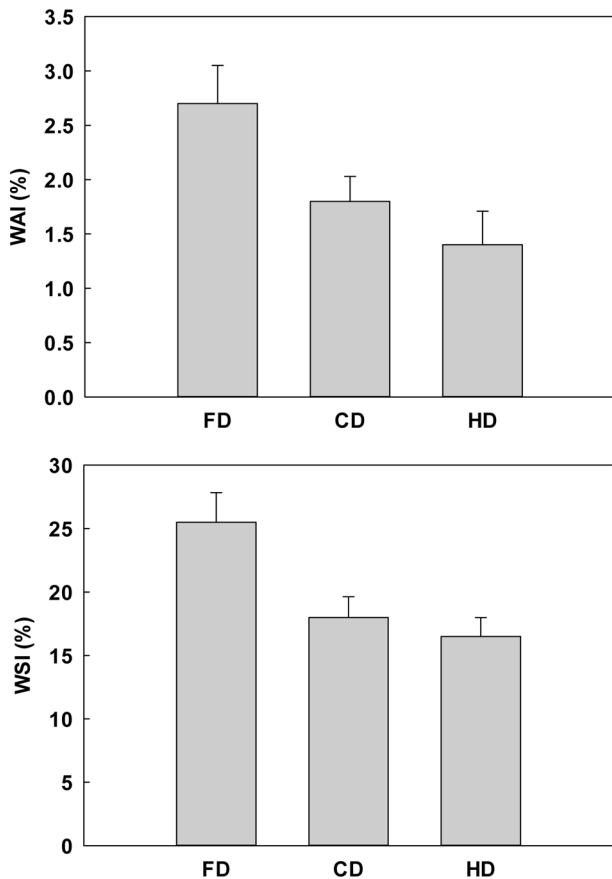


Fig. 1. Water absorption index and water soluble index of yams dried by freeze, cold- air, and hot-air dryers (FD: Freeze dryer, CD: Cold-air dryer, HD: Hot-air dryer).

결과를 Table 2에 나타내었다. Initial pasting temperature는 동결건조 마가 75.30°C, 냉풍건조 마는 76.90°C, 열풍건조 마는 78.65°C로 나타냈다. Maximum viscosity와 그에 상응하는 온도는 동결건조 마가 79.8°C에서 1790 BU, 냉풍건조 마는 82.1°C에서 1720 BU, 열풍건조 마는 85.5°C에서 1650 BU를 보였으며, 95°C에서 점도는 동결건조 마가 1820 BU, 냉풍건조 한 마는 1750 BU, 열풍건조 한 마는 1660 BU를 나타냈다. Initial pasting temperature의 경우는 열풍건조 마가 가장 높고 동결건조 마가 가장 낮게 나타났지만 전 구간에서의 점도는 동결건조 마가 가장 높고 열풍건조 마가 가장 낮게 나타난 것을 확인할 수 있었다. 이는

Table 2. Pasting properties of yams dried by various dryers

Pasting properties	Drying methods		
	FD	CD	HD
Initial pasting temperature (°C)	75.30±1.40 <sup>a*</sup>	76.90±3.08 <sup>a</sup>	78.75±2.13 <sup>a</sup>
Maximum viscosity (BU)	1790±36.76 <sup>a</sup>	1720±17.78 <sup>ab</sup>	1650±52.00 <sup>b</sup>
Temperature at maximum viscosity (°C)	79.80±1.71 <sup>b</sup>	82.10±1.56 <sup>b</sup>	85.50±1.84 <sup>a</sup>
Viscosity at 95°C (BU)	1820±34.51 <sup>a</sup>	1750±29.31 <sup>b</sup>	1660±23.64 <sup>c</sup>

FD : Freeze dried yam, CD : Cold-air dried yam, HD : Hot-air dried yam  
 \*Same letters in the same column are not significantly different ( $p < 0.05$ )

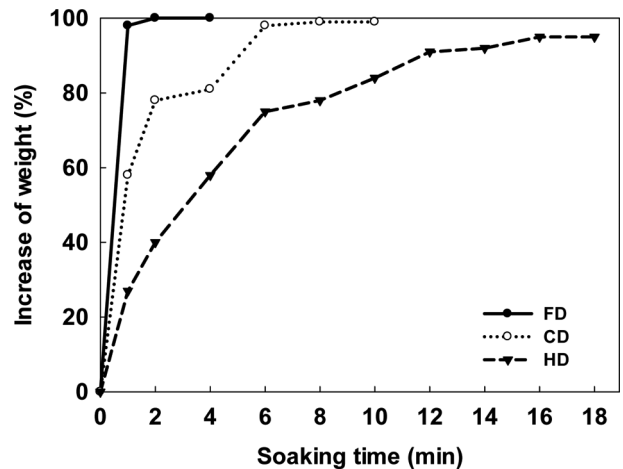


Fig. 2. Restoration properties of yams dried by various dryer (FD: Freeze dryer, CD: Cold-air dryer, HD: Hot-air dryer).

열풍건조 과정 중에 마의 점질성 물질 단백질의 열변성이 일어났기 때문이라고 생각된다(Kim et al., 2006). 따라서 마의 대표적인 특성의 하나인 점도를 유지하기 위해서는 열처리가 들어가지 않는 건조 방법이 가장 좋은 건조법으로 생각되었다. 동결, 냉풍, 열풍건조 한 마에서 모두 95°C에서도 breakdown 현상을 나타내지 않고 점도가 계속 상승했는데, 이는 호화된 마 전분 입자가 열 및 전단력에 대하여 안정성이 높기 때문이라고 보고되었다(Kim et al., 1991). 이러한 건조 방법에 따른 호화 특성의 변화는 제빵, 제면 및 즉석 식품 등 다양한 가공제품 개발에 가열처리 온도 및 시간을 고려해야 할 사항으로 생각된다.

입도분포

다양한 제분기로 제분한 마 분말을 particle size analyzer로 측정된 입도 분포는 Table 3에 정리하였다. 분석 결과 RM 112.50 μm>PM20 110.73 μm>PM80 83.46 μm>JM3000 26.78 μm>JM9000 13.85 μm 순서의 평균 입도 크기를 나타냈다. Roll mill>pin mill의 입도 크기를 보인 Lee & Kim (2011)의 연구 결과와 pin mill>jet mill의 입도 크기를 보인 Kum et al. (1993)의 연구결과와 부합하는 연구결과를 나타내었다. 입자의 크기는 결합력 수분흡수력, 호화도, 전분손상도 뿐만 아니라 반죽의 물성, 제빵 제면 특성

**Table 3. Particle size of yams grinded by various mills**

Sample	Particle size ( $\mu\text{m}$ )			
	Diameter at 10%	Diameter at 50 %	Diameter at 90 %	Mean Diameter
PM80	12.07 $\pm$ 0.65 <sup>a*</sup>	29.88 $\pm$ 2.01 <sup>b</sup>	238.45 $\pm$ 2.25 <sup>b</sup>	83.46 $\pm$ 1.94 <sup>b</sup>
PM20	12.77 $\pm$ 0.42 <sup>a</sup>	37.69 $\pm$ 0.66 <sup>a</sup>	303.04 $\pm$ 3.74 <sup>a</sup>	110.73 $\pm$ 2.48 <sup>a</sup>
RM	13.67 $\pm$ 0.77 <sup>a</sup>	37.07 $\pm$ 2.84 <sup>a</sup>	311.66 $\pm$ 4.33 <sup>a</sup>	112.50 $\pm$ 4.26 <sup>a</sup>
JM3000	7.05 $\pm$ 0.23 <sup>b</sup>	21.61 $\pm$ 0.61 <sup>c</sup>	50.80 $\pm$ 1.35 <sup>c</sup>	26.78 $\pm$ 1.58 <sup>c</sup>
JM9000	3.00 $\pm$ 0.06 <sup>c</sup>	10.55 $\pm$ 0.36 <sup>d</sup>	28.75 $\pm$ 0.69 <sup>d</sup>	13.85 $\pm$ 0.45 <sup>d</sup>

PM80: Pin mill (80 mesh screen), PM20: Pin mill (20 mesh screen), RM: Roll mill, JM3000: Jet mill (3,000 rpm), JM9000: Jet mill (3,000 rpm)

\*Same letters in the same column are not significantly different ( $p < 0.05$ )

등 가공 적성에 큰 영향을 미친다(Cagampang et al., 1973; Bean et al., 1983; Juliano et al., 1985). 따라서 마를 제분 시 가공 적성에 맞는 제분기의 종류와 제분방법 선택이 중요 할 것이라 생각된다.

#### 전분손상도

전분손상도 측정 장치를 이용하여 측정한 마 분말의 전분손상도 결과를 Table 4에 정리했다. 마의 전분손상도 표준범위에 대한 측정결과는 현재 알려진 것이 없어 시료간의 상대적인 값으로 비교하였다. 마 분말의 전분 손상도는 JM9000 마가 8.83으로 가장 높았지만 JM3000의 8.66 값과 PM80의 8.76 값과의 유의적 차이는 보이지 않았다. PM20은 7.84으로 앞의 세가지 시료 다음으로 높은 값을 보였으며, RM은 7.47로 가장 낮은 값을 나타내었다. 마의

**Table 4. Starch damage degree of yams grinded by various mills**

Sample	Iodine absorption ratio %	Starch damage (AACC 76-31)
PM80	98.85 $\pm$ 0.02 <sup>a*</sup>	8.76 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>
PM20	97.91 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>	7.84 $\pm$ 0.03 <sup>b</sup>
RM	97.48 $\pm$ 0.07 <sup>c</sup>	7.47 $\pm$ 0.06 <sup>c</sup>
JM3000	99.02 $\pm$ 0.14 <sup>a</sup>	8.83 $\pm$ 0.13 <sup>a</sup>
JM9000	98.83 $\pm$ 0.58 <sup>a</sup>	8.66 $\pm$ 0.52 <sup>a</sup>

PM80: Pin mill (80 mesh screen), PM20: Pin mill (20 mesh screen), RM: Roll mill, JM3000: Jet mill (3,000 rpm), JM9000: Jet mill (9,000 rpm)

\*Same letters in the same column are not significantly different ( $p < 0.05$ )

전분 입자들은 제분기를 통한 제분 과정 중에 기계로 인한 손상을 받으며(Lee & Kim, 2011), 손상된 전분은 높은 수분흡수력과  $\alpha$ -amylase에 대한 민감도가 올라간다고 보고되었다(Kim et al., 2010). Jet mill로 제분한 마 분말의 전분 손상도가 높게 나타난 이유는 다른 제분기로 제분했을 때 보다 작은 입자로 제분되면서 전분의 결정형 영역이 깨지게 되어 상대적으로 높은 전분 손상도가 나타난 것으로 생각된다.

#### 제분 방법 별 호화 특성

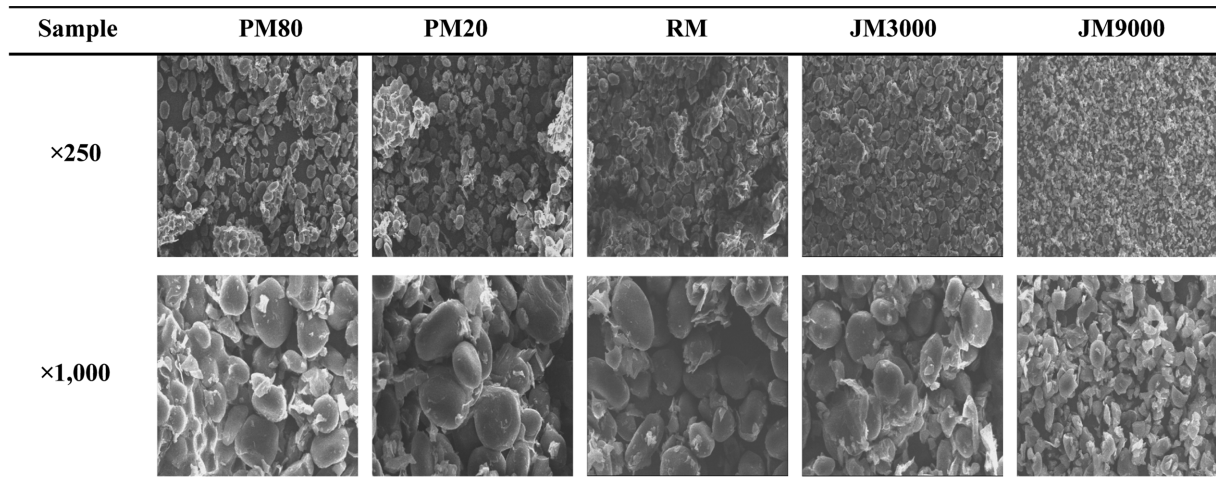
Rapid Visco Analyzer로 측정된 동결건조 마 분말의 호화특성 결과를 Table 5에 정리하였다. 제분 후 마 시료의 initial pasting temperature는 82.30-84.55 $^{\circ}$ C의 범위를 보였으며, JM9000을 제외한 다른 분말들간의 유의적 차이는 없는 것으로 보아 제분기와 제분 방법에 따라 initial pasting temperature는 크게 영향을 받지 않는 것으로 판단됐다. Peak viscosity는 모든 시료가 7분에 나타났으며, 그 값은 169.0-361.5 cp의 넓은 범위의 결과가 나타났다. 특히, JM9000으로 제분한 마의 경우 169.0 cp로 가장 낮은 값을 보였는데 이는 상대적으로 입자 크기가 작아 열에 대한 안정성이 다른 시료들보다 낮아서 퍼짐 현상이 일어난 것으로 생각됐다. Final viscosity는 270.5-478.5 cp의 범위를 보였으며, 앞서 다양한 건조 방법으로 건조한 마 분말의 호화특성과 마찬가지로 breakdown 현상이 일어나지 않고 점도가 계속 상승하는 것을 확인하였다. 전분의 노화경향을

**Table 5. Pasting properties degree of yams grinded by various mills**

Sample	Viscosity (cp)				
	Initial pasting temperature ( $^{\circ}$ C)	Peak viscosity	Peak Time (min)	Final Viscosity	Setback
PM80	84.55 $\pm$ 0.49 <sup>a*</sup>	361.50 $\pm$ 16.26 <sup>a</sup>	7.00 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	462.00 $\pm$ 16.97 <sup>a</sup>	161.50 $\pm$ 3.54 <sup>b</sup>
PM20	84.53 $\pm$ 0.60 <sup>a</sup>	351.50 $\pm$ 4.95 <sup>a</sup>	6.97 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>	478.50 $\pm$ 0.71 <sup>a</sup>	180.50 $\pm$ 6.36 <sup>a</sup>
RM	84.03 $\pm$ 1.10 <sup>a</sup>	254.50 $\pm$ 19.09 <sup>c</sup>	7.00 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	384.50 $\pm$ 26.16 <sup>b</sup>	175.50 $\pm$ 10.61 <sup>a</sup>
JM3000	84.08 $\pm$ 0.04 <sup>a</sup>	308.50 $\pm$ 17.68 <sup>b</sup>	7.00 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	418.50 $\pm$ 19.09 <sup>b</sup>	164.50 $\pm$ 3.54 <sup>b</sup>
JM9000	82.30 $\pm$ 0.00 <sup>b</sup>	169.00 $\pm$ 2.83 <sup>d</sup>	7.00 $\pm$ 0.00 <sup>a</sup>	270.50 $\pm$ 7.78 <sup>c</sup>	123.50 $\pm$ 6.36 <sup>c</sup>

PM80: Pin mill (80 mesh screen), PM20: Pin mill (20 mesh screen), RM: Roll mill, JM3000: Jet mill (3,000 rpm), JM9000: Jet mill (9,000 rpm)

\*Same letters in the same column are not significantly different ( $p < 0.05$ )



**Fig. 3. Scanning Electron Microscope (SEM) of yams grinded by various mills.** PM80: Pin mill (80 mesh screen), PM20: Pin mill (20 mesh screen), RM: Roll mill, JM3000: Jet mill (3,000 rpm), JM9000: Jet mill (9,000 rpm).

나타내는 setback의 경우 PM20 180.50 cp > RM 175.50 cp > JM3000 164.50 cp > PM80 161.50 cp > JM9000 123.50 cp 순의 경향을 보였으며, JM9000 마 분말의 setback이 가장 낮은 것으로 보아 amylose에 의한 노화가 가장 적게 일어날 것으로 예상되었다.

#### 미세구조

마의 SEM 결과는 Fig. 3과 같이 제분 방식에 따라 250배와 1,000배의 배율로 나타내었다. 마의 SEM 분석 결과 상대적으로 전분 손상도가 낮았던 PM20과 RM의 경우 둥글고 걸 표면이 매끈한 반면, PM80, JM3000, JM9000은 표면이 거칠고 조각이 많은 것을 볼 수 있었다. 또한, 입자 크기도 가장 작게 측정됐던 JM9000의 경우 같은 배율의 SEM을 비교해 보면 확연하게 작은 입자들을 가지고 있는 것을 확인 할 수 있었다.

## 요 약

마의 수분 함량은 82.1%였으며, 건물기준으로 조단백은 7.2%, 조지방은 1.0%, 조회분은 4.5%, 조섬유는 2.0%, 무질소화합물은 85.3%로 나타났다. 마를 동결건조, 냉풍건조, 열풍건조 하였을 때 각각의 색도는 동결건조 한 마의 백색도가 가장 높았으며, 열풍건조 한 마의 경우 적색도가 높아진 것으로 보아 건조 과정 중 갈변현상이 진행한 것으로 사료되었다. 수분 흡수 지수와 수분 용해 지수는 동결건조 한 마가 가장 높았으며, 열풍건조 한 마가 가장 낮게 나타났다. 복원력은 동결건조 한 마는 1시간 이내에 원래 상태로 복원되었으나, 냉풍건조 마는 6시간, 열풍건조 마는 13시간이 소요된 것으로 보아 원물 형태로 가공한다면 동결건조법이 가장 복원력이 우수한 것으로 사료되었다. 호화 특성은 건조 방법에 따라 약간의 차이가 나타났으며,

동결건조 마의 호화개시온도는 열풍 건조 마보다 약 3°C 낮았다. 따라서 건조 방법에 따른 호화 특성의 변화는 제빵, 제면, 즉석 식품 등 다양한 가공 제품 개발에서 건조 방법 및 가열 처리 시간을 고려해야 할 사항으로 판단되었다. 건조방법에 따른 마의 가공 적성을 연구 결과 동결건조를 하는 것이 가장 적절할 것으로 생각되어 마를 동결건조 후 다양한 제분기로 제분하여 분말의 가공적성을 확인하였다.

다양한 제분기로 제분한 마 분말의 입도 분포를 알아본 결과 jet mill으로 제분한 마 분말의 입자 크기가 작았으며, 그 중에서도 9000 rpm으로 제분한 마 분말이 가장 작게 나타났다. 마 분말의 전분 손상도 역시 jet mill으로 제분한 마 분말이 높게 나타났고 이를 SEM 사진을 통해서도 확인하였다. 호화 특성을 알아본 결과는 다양한 건조 방법으로 건조한 마 분말과 마찬가지로 breakdown 현상이 일어나지 않고 점도가 꾸준히 상승하는 것을 확인하였으며 setback 값으로 미루어 봤을 때 jet mill로 9,000 rpm으로 제분한 마 분말이 amylose에 의한 노화가 가장 느리게 일어날 것으로 생각됐다.

## 감사의 글

본 연구는 2016년 농림축산식품부 고부가가치식품기술개발사업(과제번호: 2016-313050-3)의 지원에 의해 이루어진 것이며 이에 감사드립니다.

## References

- Bean MM, Elliston Hoops EA, Nishita KD. 1983. Rice flour treatment for cake-baking applications. *Cereal chem.* 60: 445-449.

- Cagampang GB, Perez CM, Juliano BO. 1973. A gel consistency test for eating quality of rice. *J. Sci. Food. Agr.* 24: 1589-1594.
- Chung HY. 1995. Carbohydrates analyses of Korean yam (*Dioscorea*) tubers. *Korean J. Food Sci. Technol.* 27: 36-41.
- Im SA, Kim YH, Oh SH, Ha TI, Lee MJ. 1995. The study on the comparisons of ingredients in yam and bitter taste material of African yam. *J. Korean Soc. Food Nutr.* 24: 74-81.
- Jeong HY. 1994. Fractionation and quantitative analysis of lipid components in Korean yam (*Dioscorea*) Tubers. *J. Korean Sci. Biol. Chem.* 37: 509-515.
- Juliano Bo, Perez CM, Alyoshin Ep, Romanov VB, Bean MM, Nishita KD, Blakeney AB, Welsh LA, Delgado L, El Baya AW, Fossati G, Kongseere N, Mendes FP, Brilhante S, Suzuki H, Tada M, Webb BD. 1985. Cooperative test on amylography of milled-rice flour for pasting viscosity and starch gelatinization temperature. *Starch.* 37: 40-50.
- Kim IH, Son HS, Chung KM. 2006. Viscosity of yam suspension by drying methods and additives. *Korean J. Food Sci. Technol.* 38: 444-447.
- Kim KM, Kang MK, Kim KJ, Kim GC, Choi SY. 2015. Physicochemical composition and antioxidant activities of Korean *Dioscorea* species. *J. East Asian Soc. Dietary Life.* 25: 880-886.
- 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.
- Kim WS, Kim SS, Park YK, Seog HM. 1991. Physicochemical properties of several Korean yam starches. *Korean J. Food Sci. Technol.* 23: 554-560.
- Kim YJ, Kim RY, Park JH, Ju JC, Kim WT, Chun SS. 2010. Physicochemical characteristic of Korean wheat semolina. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 39: 837-842.
- Koh SM, Rhim JH, Kim JM. 2011. Effect of freezing temperature on the rehydration properties of freeze-dried rice porridge. *Korean J. Food. Sci. Technol.* 43: 509-512.
- 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.
- Kwon JB, Kim MS, Sohn HY. 2010. Evaluation of antimicrobial, and antithrombin activities of the rhizome of various *Dioscorea* species. *Korean J. Food Preservation.* 17: 391-397.
- Kwon JH, Lee GD, Lee SJ, Chung SK, Choi JU. 1998. Changes in chemical components and physical properties with freeze drying and hot air-drying of *Dioscorea batatas*. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 27: 908-913.
- Lee BY, Kim HK. 1998. Quality properties of Korean yam by various drying method. *Korean J. Food Sci. Technol.* 30: 877-882.
- Lee BY, Lee YC, Kim HM, Kim CJ, Park MH. 1992. Rheological properties of the gelatinized yam starch solution. *Korean J. Food Sci. Technol.* 24: 619-622.
- Lee MS, Choi HS. 1994. Volatile flavor components of *Dioscorea japonica*. *Korean J. Food Sci. Technol.* 26: 68-73.
- Lee YT, Kim YU. 2011. Physicochemical properties of brown rice flours differing in amylose content prepared by different milling methods. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 40: 1797-1801.
- Shin SR. 2004. Changes on the components of yam snack by processing methods. *Korean J. Food Preservation.* 4: 516-521.
- Song BS, Park JG, Park JN, Han IJ, Choi JI, Kim JH, Byun MW, Kang SW, Choi GH, Lee JH. 2009. High-dose processing and application to Korean space foods. *Radiat. Phys. Chem.* 78: 671-674.
- Suzuki Am, Kanauama M, Takeda Y, Hizukuri S. 1986. Physicochemical properties of *Nanaimo* (yam) starch. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.* 33: 191-198