멥쌀과 찹쌀전분의 초미립분쇄 후 특성변화연구

한정아

상명대학교 외식영양학과

Characterization of pulverized normal and waxy rice starches

Jung-Ah Han

Department of Foodservice Management and Nutrition, Sangmyung University

Abstract

Separated normal and waxy rice starches were pulverized, and the physicochemical and digestive properties of the starches were determined. The size of both starch granules significantly decreased (less than 8 μm) after pulverization. For pasting properties, significant decreases of peak and setback viscosity were observed in both of pulverized starches than in native ones. The lower pasting temperature as well as increased solubility and water binding capacity of pulverized starches imply molecular degradation of starch by pulverization. For thermal properties, onset temperature and melting enthalpy significantly decreased after pulverization, especially in normal rice starch, however there was no difference in amylose-lipid complex before and after pulverization. The slowly digestible and resistant starch portion of normal rice starch increased after pulverization, however, in waxy rice starch, the rapidly digestible portion increased.

Key words: rice starch, amylose, pulverization, pasting properties, digestive properties

1. 서 론

최근 급감하고 있는 국내 쌀 소비를 늘리기 위해서는 밥으로 섭취하는 형태 이외에 물리화학적 특성을 개선하여 식품소재로서의 활용도를 높여야 한다. 초미립분쇄는 물질을 초미세 처리하여 입자크기를 감소시켜 조직감을 개선시킬 수 있을 뿐만 아니라, 입자가 큰 물질에서는 기대할 수 없는 기능성도 부여할 수 있다(Ang JF와 Miller WB 1991). 입자 크기에 따른 쌀가루의 특성연구에서(Lee JE 등 2008), 미립분쇄된 쌀가루는 물에 대한 용해도와 퍼짐성이 증가하여 수용액 내에서의 안정성이 증가한다는 보고가 있다.

전분은 입자의 크기, 입자분포, 아밀로오스와 아밀로펙틴의 구성비율 등에 따라 물리화학적 특성이 달라진다. 입자의 크

기감소는 용해도, 안정성, 그리고 bioavailability를 증가시킬 수 있으며 (Rasenack N과 Muller BW 2004), 미세입자의 경우 용해도와 퍼짐성이 증가되므로 콜로이드 현탁액에서 안정성이 더 잘 유지된다고 한다(Madsen MH과Christensen DH 1996). 또한 미립분쇄로 인해 크기가 작아진 cassava전분의 경우, 그 증가된 표면적이 화학반응과 촉매반응에 긍정적 영향을 미친다는 보고도 있다(Sanguanpong V 등 2003).

초미립분쇄는 전분의 결정구조를 바꿈으로써 결과적으로 전분의 물리화학적 특성을 변화시킬 수 있다. 즉, 분쇄 동안 일어나는 물리적 손상은 전분의 결정구조의 손실을 가져오고, 규칙적 배열의 결정성을 불규칙의 무정형으로 바꾸어 결과적으로 용매나 효소의 접근을 손쉽게 한다(Morrison WR과 Tester RF 1994). 쌀전분은 다른 전분에 비해 입자크기가 작기 때문에(3~10 μm) 입안에서 부드럽게 느껴지는 특성이 있어 식품소재로서의 활용이 기대되는 소재이므로(Dziezak JD 1989, Glicksman M 1991), 초미립분쇄 후 효과적인 유지대체 물질로 이용될 수 있다. Han MR 등(2007)은 멥쌀전분을 초미립분쇄하여 그 특성을 분석한 결과를 제시한 바 있다.

본 연구에서는 아밀로오스와 아밀로펙틴의 비율이 다른 멥쌀과 찹쌀에서 각각 전분을 분리하여 초미립분쇄 후 물리 화

[†]Corresponding author: Jung-Ah Han, Department of Foodservice Management and Nutrition, Sangmyung University, Seoul 110-743, Korea

Tel: +82-2-2287-5357

Fax: +82-2-2287-0071

E-mail: vividew@smu.ac.kr

학적 및 소화 특성을 분석하였다. 본 실험결과는 쌀전분의 활용도를 높이기 위한 기초자료로 활용 될 수 있을 것이다.

II. 재료 및 방법

1. 실험재료 및 처리

멥쌀과 찰쌀은 각각 서울 소재 마켓에서 2011년에 수확된 쌀을 구입하였으며 2시간 수침 후, 자동분쇄기(Cyclotec 1093, Tecator, Sweden)를 사용하여 분쇄하였다. 분쇄된 시료는 0.2% NaOH용액을 이용하여 전분을 분리한 후 1 N HCl용액을 이용하여 중화하였으며, 원심분리기(Combi 514R, Hanil, Korea)를 이용하여 증류수로 3번 washing한 후, 50℃ 오븐에서 건조하였다. 분리된 전분은 미분쇄기(HKP-05, Korea Energy Technology, Korea)를 사용하여 rotor speed: 10,000 rpm, grinding media diameter: 210 mm 조건에서 분쇄하였다.

2. 입자크기분포 측정

분쇄 전분의 입자크기는 Mastersizer 2000(Malvern Instruments Ltd., Malvern, UK)를 이용하여 측정하였다. 분산 매는 물을 사용하여, 측정하기 전 상온에서 30분간 stirring하였으며, analysis는 single narrow mode로, scattering angle은 90도에서 측정하였다.

3. 물결합능력

물 결합 능력 측정을 위해 전분 0.5 g을 50 mL 원심분리관에 넣고, 증류수 20 mL을 가하여 1시간 동안 6분 간격으로 30초간 vortex mixer로 상온에서 분산시킨 후, 3,000 rpm에서 30분간 원심분리하여 침전물의 무게를 측정하여 아래의 식으로 계산하였다(Medcalf DF와 Gilles KA 1965).

$$\text{물결합능력 (\%)} = \frac{(\text{원심분리 후 침전물 무게(g)} - \text{시료무게(g)}) \times 100}{\text{시료무게(g)}}$$

4. 팽윤력과 용해도

팽윤력과 용해도는 Schoch TJ와 Leach W(1964)의 방법을 참고로 하여 다음과 같이 측정하였다. 시료 0.25 g에 증류수 20 mL을 50 mL 원심분리관에 담아 vortex mixer로 분산시킨 후, shaking water bath를 사용하여 80 에서 180 rpm으로 30 분간 진탕, 분산시킨 후 3000 rpm에서 1시간 동안 원심분리하였다. 원심분리 후 침전된 전분의 무게를 측정하여 팽윤력을 계산하고, 상등액은 미리 항량하여 건조시킨 용기에 부어 105℃에서 건조한 무게로부터 다음 식을 이용하여 용해도를 계산하였다.

$$\text{용해도 (\%)} = \frac{\text{상등액의 건조 무게(g)} \times 100}{\text{시료 무게(g)}}$$

$$\text{팽윤력 (g/g)} =$$

$$\frac{\text{침전된 전분 무게(g)} \times 100}{(\text{시료 무게(g)} \times (100\% - \text{용해도}))}$$

5. 호화특성 및 열적특성 분석

각 전분의 호화특성은 7% 현탁액을 만든 뒤 Rapid Visco Analyser (RVA 3D, Newport Scientific, Warriewood, Australia)를 이용하여 측정하였으며 측정조건은 다음과 같다. 현탁액은 50℃에서 1분간 유지 후, 95℃까지 1분당 9℃의 속도로 가열하고, 95℃에서 5분간 유지하였다. 이 후 50℃까지 1분당 9℃의 속도로 냉각하고, 50℃에서 2분간 유지하면서 측정하였다. 각 전분의 열적특성은 시차주사열량계(DSC 6100, Seiko Instruments Inc., Chiba, Japan)를 이용하여 시료(3 mg)와 증류수의 비율이 1:4가 되도록 DSC용 pan에 넣은 후 밀봉하였다. 밀봉한 pan은 상온에서 1 시간 방치 후, 25℃에서 160℃까지 10℃/min의 속도로 열을 가하면서 측정하였다.

6. 소화특성 분석

각 전분의 소화특성은 Englyst HN 등(1992)의 방법으로 측정하였다. 소화특성에 따라 20분 내에 소화되는 빨리 소화되는 전분(rapidly digestible starch, RDS), 20분에서 120분 사이에 소화되는 천천히 소화되는 전분(slowly digestible starch, SDS), 120분이 지나도 소화되지 않는 전분(resistant starch, RS)으로 나눈 후 소화 반응속도 및 예상 당지수(expected Glycemic Index, eGI)를 Gōni 등 (1997)의 방법에 따라 계산하였다. 소화특성은 $[C=C\infty(1 - e^{-kt})]$ 식에 의해 계산되었으며 (C, C ∞ , 와k 는 각각 concentration at time(t), the equilibrium concentration, 그리고, kinetic constant를 뜻함), eGI는 $[eGI = 39.71 + 0.549 HI]$ 에 의해 계산되었다.

7. 통계처리

실험에서 얻은 데이터들은 SAS software(SAS Institute, Cary, NC, USA)를 이용하여 분산분석 하였고, p(0.05수준에서 Duncan의 다중비교법으로 유의성을 검증하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 입자크기분포

초미립분쇄 처리 전, 후의 입자크기 분포는 Fig. 1과 같다. 초미립분쇄 전의 멥쌀전분의 입자크기는 10~100 μm 사이에서, 찰쌀전분은 5~10 μm 에서 가장 큰 분포를 나타내었다. 이러한 분포는 알려진 쌀전분의 크기보다 크게 측정된 것으로, 이는 분산매를 물을 사용하여 측정하는 동안 일부 전분 입자간 응집이 일어났기 때문으로 생각된다. 초미립 분쇄 후 멥쌀전분 입자의 주된 분포는 4 μm (4000 nm) 크기 이하로 감소하였고 일부가 7~8 μm 사이에 분포하는 것으로 나

Fig. 1. Particle size distribution of normal (a, b) and waxy (c, d) rice starches before and after pulverization, respectively

타났다. 찹쌀전분의 경우 10~100 μm 사이의 입자분포는 사라지고 모두 8 μm (8000 nm)이하 크기로 감소하였다. 멍쌀전분은 3~4 μm 부분에서, 찹쌀전분은 7~8 μm 부분에서 가장 많은(약 50%) 분포를 보였다. 초미립분쇄는 물리적으로 입자의 크기를 크게 줄일 수 있는 방법이나, 일부는 분쇄과정에서 발생하는 마찰력이나 전단력으로 인해 입자표면의 정전기가 발생하고 이는 일부 입자들이 뭉쳐지게 하여 입자크기가 실제보다 크게 분석될 수 있다는 보고도 있다(Sim CH 2005, Huang ZQ 등 2007).

2. 용해도, 팽윤력 및 수분결합능력

멍쌀전분과 찹쌀전분의 초미립분쇄 전후의 용해도는 Fig. 2(a)에 나타나있다. 찹쌀전분의 용해도가 멍쌀전분보다 높았으며, 분쇄 후, 두 전분모두의 용해도가 유의적으로 증가하였다. 일반적으로 전분의 용해도는 입자가 작을수록 증가하며 Lee JE 등(2008)의 연구에서도 쌀전분을 일부 nano size를 포함하는 초미립분쇄 했을 때, 용해도와 물에서의 퍼짐성을 증가시켜 결과적으로 현탁액에서 안정성을 높인다고 보고한 바 있다. 전분 뿐 아니라 쌀가루를 초미립분쇄 처리한 경우에도 용해도는 증가한다는 보고도 있다(Kadan RS 등 2008).

Fig. 2. (a) Solubility, (b) swelling power and water binding capacity of normal and waxy rice starch before (NRS and WRS) and after pulverization (P-NRS and P-WRS).

팽윤력과 수분결합력 결과는 Fig. 2(b)에 나타나있다. 멍쌀 전분의 경우 팽윤력과 물결합능력은 초미립분쇄 후에 약간 증가하였으나, 찹쌀전분에서는 두 값 모두 크게 증가하였다. Kim JN과 Shin WS(2009)도 입자가 다른 쌀가루의 수분결합력을 측정 한 결과 입자가 작을수록 수분결합능력이 증가하는 것으로 보고하였으며, Chung SY 등(2010)도 밀가루와 옥수수 가루의 물결합능력은 입자크기에 따라 달라지며, 입자크기가 작아질수록 증가하는 경향을 보이는 것으로 보고하였다. 입자가 작을수록 수화력과 팽윤력이 향상되는 것은 입자무게에 대한 표면적의 증가비율과 전분입자의 결정성 영역의 비율의 변화 때문으로 설명할 수 있다(Singh N과 Kaur L 2004, Nura M 등 2011).

3. 호화특성

호화특성 측정 결과는 표 1에 나타나있다. 최고점도는 찹쌀전분이 멍쌀 전분보다 높게 측정되었으며, 각 쌀전분에서 초미립분쇄한 쌀전분의 최고점도는 분쇄 전보다 유의적으로 낮게 측정되었다. 최고점도는 용출된 직선상의 사슬과 전분 입자가 shear에 저항하면서 팽윤함에 따른 값이므로 초미립분쇄하여 입자크기가 작아지면 이에 따라 최고점도도 감소하게 된다. 쌀가루를 초미립분쇄 처리한 Kadan RS 등(2008)과 Nura M 등(2011)의 연구에서도 입자의 크기가 큰 쌀가루의 점도는 초미립분쇄하여 입자를 작게 만든 쌀가루의 점도보다 유의적으로 높았다고 보고하였다. 이는 입자사이즈가 작을수록 증가된 표면적을 갖게 되어 물과 더 쉽게 결합하게 되므로 빨리 호화되기 때문으로 설명할 수 있다.

멍쌀전분의 경우, 분쇄 후의 전분은 분쇄 전보다 낮은 점도값을 보였으며 이는 Han MR 등(2007)의 연구결과가 일치했다. Breakdown 점도는 팽윤된 전분입자가 계속적인 shear stress와 열로 인해 파괴되면서 점도가 급격히 감소하는 과정으로 이 때 아밀로오스 분자들이 leaching되어 나오는 것으로 알려져 있다(Whistler RL과 BeMiller JN 1997). 두 전분모두 분쇄 후 breakdown 점도가 감소하는 경향을 보였으나 유의적인 차이는 없었다.

가열 동안 leaching되어 나왔던 아밀로오스들이 온도가 내려가면서 분자재배열을 통한 점도의 증가를 보여 노화와 관련이 있는 것으로 볼 수 있는 setback viscosity는 두 전분 모두 초미립분쇄 후, 더 낮은 값을 보였다. Han MR 등(2007)도 초미립분쇄 후 쌀전분의 peak 점도 최종점도 및 setback점도 값이 크게 감소한 것으로 보고하였으며 감소 정도는 본 연구

에서보다 훨씬 컸다. 이는 분쇄 정도 및 분쇄 조건에 따른 차이 때문으로 생각된다.

호화온도의 경우 두 전분 모두 초미립분쇄 후 낮아졌는데, 이는 입자가 크면 수화되는데 더 오랜 시간이 소요되며, 호화되기 위해 더 높은 온도를 요구하지만, 초미립화된 전분입자들은 증가된 표면적을 갖게 되어 물과 더 쉽게 결합하게 되므로 쉽게 호화되기 때문으로 설명할 수 있다(Kadan RS 등 2008).

4. 열적 특성

초미립분쇄 전 후 전분의 열적 특성은 표 2에 제시되어 있다. 멍쌀전분의 경우 호화개시 온도는 58.2℃, 종결온도는 72.2℃로 나타났으며 결정성영역의 용융 enthalpy값은 16.3 (J/g)이었다. 초미립분쇄한 멍쌀전분은 호화개시온도가 54.9℃로 처리전보다 낮은 호화개시온도를 보였으며 용융enthalpy값도 유의적으로 크게 감소하였다. 이는 멍쌀전분을 초미립분쇄 처리를 한 Han MR 등(2007)의 연구와 같은 결과이다. 찹쌀전분의 경우, 초미립분쇄 처리 후 호화개시온도가 낮아졌으나 peak 온도와 종결온도 값은 차이가 없었다. 용융 enthalpy값도 분쇄 후 감소하였으나 유의적인 감소는 아니었다. Kim HS 등(2011)은 초미립분쇄한 밀전분은 분쇄 전보다 호화개시온도(T_o)와 최대호화온도(T_p)가 낮아지고 용융엔탈피가 크게 감소한다고 하여 밀전분의 결정성 구조손실을 보고하였으며, Bryant RJ 등(2001)과 Kadan RS 등(2008)도 입자크기가 열적 특성에 영향을 미치므로 작은 입자는 낮은 호화온도 및 용융 엔탈피를 보인다고 하였다. 산이나 효소를 사용해서 전분입자의 크기를 감소시키는 경우 반응이 주로 무정형 영역에서 이루어지기 때문에 전분의 결정영역의 상대적 비율이나 전체적인 결정성이 증가하는 것으로 보고되고 있으나(Kim HY 등 2013), 물리적 분쇄는 입자크기 감소와 전분입자 내 결정구조의 변화 및 결정영역의 감소로 용융엔탈피의 감소를 야기한다(Li B 등 2005). 본 연구결과, 초미립분쇄에 의한 열적특성의 변화, 특히 결정의 용융의 값은 찹쌀전분보다는 멍쌀전분에서 더 크게 나타났다. 이는 두 전분의 분자구조적 차이에서 기인하는 것으로 생각되며, 물리적 자극에 의한 분자구조의 변화는 normal type전분에 존재하는 아밀로오스가 물리적 자극 중 아밀로펙틴 사슬의 파괴 및 재배열을 유도함으로써 아밀로오스가 없는 waxy type보다 쉽게 결정구조의 변화를 가져올 수 있다는 Jiranuntakul 등(2011)의 연구결과로 설명할 수 있을 것이다.

Table 1. Pasting properties of normal and waxy rice starch before (NRS and WRS) and after pulverization (P-NRS and P-WRS)

Samples	Peak Viscosity (cP)	Break-Down (cP)	Trough Viscosity (cP)	Final Viscosity (cP)	Setback (cP)	Pasting Temperature(℃)
NRS	1316.0 ^b	97.0 ^b	1219.0 ^a	1727.0 ^a	508.0 ^a	74.8 ^a
P-NRS	1113.5 ^d	78.0 ^b	1035.5 ^b	1442.0 ^b	406.5 ^b	72.9 ^b
WRS	1411.5 ^a	677.3 ^a	734.2 ^c	937.0 ^c	202.8 ^c	70.4 ^c
P-WRS	1238.0 ^c	642.6 ^a	595.4 ^d	722.8 ^d	127.4 ^d	68.1 ^d

Table 2. Thermal properties of normal and waxy rice starch before (NRS and WRS) and after pulverization (P-NRS and P-WRS)

Samples	Peak I				Peak II			
	T _o (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	ΔH(J/g)	T _o (°C)	T _p (°C)	T _c (°C)	ΔH(J/g)
NRS	58.2 ^a	64.8 ^b	72.2 ^c	16.3 ^b	93.2 ^a	102.9 ^a	107.7 ^b	1.4 ^a
P-NRS	54.9 ^c	65.4 ^b	73.5 ^b	14.1 ^c	95.2 ^a	103.9 ^a	109.1 ^a	1.3 ^a
WRS	56.9 ^b	66.1 ^a	76.0 ^a	18.9 ^a	-	-	-	-
P-WRS	54.6 ^c	66.4 ^a	76.8 ^a	18.0 ^a	-	-	-	-

T_o: onset temperature, T_p: peak temperature, T_c: conclusion temperature, ΔH: melting enthalpy

Amylose-lipid complex에 의하여 나타나는 두 번째 peak은 아밀로오스가 없는 찹쌀전분에서는 측정되지 않았으며, 맵쌀전분의 경우 93~95°C 사이에서 호화개시온도를 보였으며 complex의 용융 엔탈피는 초미립분쇄 전, 후 차이가 없이 1.3~1.4(J/g)의 값을 나타내었다.

5. 소화특성

맵쌀전분과 찹쌀전분의 초미립분쇄 전, 후와 호화 전, 후에 따른 소화특성 결과는 표 3에 제시되어 있다. 두 전분모두 호화 전에는 25.4~30%의 소화율(100%-RS 함량)을 보였으며 특히 RDS의 함량이 초미립분쇄 후에는 유의적으로 증가하였다. RS분획은 분쇄 후 감소하는 값을 보였으나 유의적인 차이는 없었다. 호화 후에는 맵쌀전분에서 RDS가 감소하고 천천히 소화되거나 소화되지 않는 전분 비율이 유의적으로 증가하였다. 찹쌀전분은 초미립 분쇄 후, RDS가 크게 증가하고 특히 RS가 유의적으로 감소하는 경향을 보여 빠른 시간 내에 쉽게 소화가 되는 특성을 보였다. 호화 후 두 전분의 소화특성이 다른 이유는 맵쌀에 존재하는 아밀로오스가 호화 후, 사슬간의 결합으로 인한 노화현상이 일어나면서 아밀로오스가 없는 찹쌀전분과는 다른 결과를 가져온 것으로 생각된다. Lee KA 등(2011)에 의하면 입자의 사이즈가 작으면 alpha-amylase에 의해 더 쉽게 가수분해된다고 하였으며, 밀전분의 초미립분쇄 후 소화특성을 연구한 Kim HS 등(2011)의 연구에서도

alpha-amylase에 의한 소화특성이 밀전분은 67.4%인 반면 초미립분쇄된 밀전분은 75.2%로 향상되었다고 보고하면서, 대부분의 결정성이 초미립분쇄에 의해 비결정성으로 변화되면서 효소에 의한 가수분해정도를 증가시키는 것으로 설명하였다(Kaur L 등 2007). 그러나 초미립분쇄된 밀가루로 빵을 만들었을 때 일반 밀가루로 만든 빵보다 효소분해에 의한 소화특성이 낮아졌다는 보고도 있다(Behall KM 등 1999). 본 연구의 소화특성 결과, 맵쌀전분의 경우는 초미립분쇄를 통해 결과적으로 빨리 소화되는 전분분획의 감소로 인해 급속한 혈당상승을 억제하는 효과가 기대되며, 반대로 찹쌀전분은 초미립분쇄 후 소화특성이 크게 향상되므로 소화력이 약한 어린이나 노인을 위한 식품개발 시 소재로 활용할 수 있을 것이다.

IV. 요약 및 결론

맵쌀과 찹쌀에서 각각 전분을 분리한 후 초미립분쇄하여 그 특성을 비교하였다. 분쇄 후 입자크기는 두 전분모두에서 크게 감소하여 맵쌀전분은 3~4 μm사이에서, 찹쌀전분은 7~8 μm사이에서 가장 큰 분포를 보였다. 분쇄 후 입자크기가 감소하면서 용해도, 팽윤력 및 물결합능력이 모두 증가되었으며, 호화 중 일어나는 점도도 감소하는 것으로 나타났다. 열적 특성 역시 전체적으로 분쇄 전보다 감소하는 경향을 보였으나 결정의 용융을 나타내는 엔탈피값은 맵쌀전분에서는 유의적으로 감소하였으나 찹쌀전분은 덜 영향을 받는 것으로 나타났다. 소화특성에서도 분쇄된 맵쌀전분은 소화속도 및 정도가 지연되는 것으로, 찹쌀전분은 더 쉽게 빨리 소화되는 것으로 나타났다. 아밀로오스 함량이 다른 두 전분을 초미립분쇄하여 입자의 크기를 감소시키면, 분쇄 전과 다른 물리, 화학적 및 소화특성을 나타내므로 앞으로 다양한 식품산업에의 소재로 활용 가능할 것이다.

V. 감사의 글

본 연구는 2012년도 상명대학교 교내연구비 지원에 의해 수행된 결과로 이에 감사합니다.

Table 3. Digestive properties of normal and waxy rice starch before (NRS and WRS) and after pulverization (P-NRS and P-WRS) (%)

		RDS	SDS	RS
Non-gelatinized	NRS	12.8 ^c	12.6	74.6 ^a
	P-NRS	15.5 ^b	12.1	72.4 ^{ab}
	WRS	15.3 ^b	13.1	71.6 ^b
	P-WRS	17.8 ^a	12.4	69.8 ^b
Gelatinized	NRS	77.5 ^c	16.2 ^b	6.3 ^b
	P-NRS	70.4 ^d	20.3 ^a	9.3 ^a
	WRS	80.3 ^b	13.3 ^{cd}	6.4 ^b
	P-WRS	87.4 ^a	10.3 ^d	2.3 ^c

RDS: rapidly digestible starch, SDS: slowly digestible starch, RS: resistant starch

참고문헌

- Ang JF, Miller WB. 1991. Multiple functions of powdered cellulose as a food ingredient. *Cereal Foods World* 36(7): 558-559
- Behall KM, Scholfield DJ, Hallfrisch J. 1999. The effect of particle size of whole grain flour on plasma glucose, insulin, glucagon and thyroid stimulating hormone in humans. *J Am Coll Nutr* 18(6): 591-597
- Bryant RJ, Kadan RS, Champagne ET, Vinyard BT, Boykin D. 2001. Functional and digestive characteristics of extruded rice flour. *Cereal Chem* 78(2): 131-137.
- Chung SY, Han SH, Lee SW, Rhee C. 2010. Physicochemical and bread-making properties of air flow pulverized wheat and corn flours. *Food Sci Biotechnol* 19(6): 1529-1535
- Dziezak JD. 1989. Fats, oils, and fat substitute. *Food Technol* 43(7): 66-74
- Englyst HN, Kingman SM, Cummings JH. 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fraction. *Eur J Clin Nutr* 46(2): 33-50
- Glicksman M. 1991. Hydrocolloids and the search for the oily grain. *Food Technol* 45(10): 94-103
- Goffi I, Garcia-alonso A, Saura-calixto FA. 1997. Starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutr Res* 17(3): 427-437
- Han MR, Chang MJ, Kim MH. 2007. Changes in physicochemical properties of rice starch processed by ultra-fine pulverization. *J Appl Biol Chem* 50(4): 234-238
- Huang ZQ, Lu JP, Li XH, Tong ZF. 2007. Effect of mechanical activation on physico-chemical properties and structure of cassava starch. *Carbohydr Polym* 68(1): 128-135
- Jiranuntakul W, Puttanlek C, Rungsardthong V, Pancha-amon S, Uttapap D. 2011. Microstructural and physicochemical properties of heat-moisture treated waxy and normal starches. *J Food Eng* 104(2): 246-258
- Kadan RS, Bryant RJ, Miller JA. 2008. Effects of milling on functional properties of rice flour. *J Food Sci* 73(4): 151-154
- Kaur L, Singh J, McCarthy OJ, Singh H. 2007. Physico-chemical, rheological, and structural properties of fractionated potato starches. *J Food Eng* 82(3): 383-394
- Kim JN, Shin WS. 2009. Physical and sensory properties of chiffon cake made with rice flour. *Kor Food Sci Technol* 41(1): 69-76
- Kim HS, Han MR, Kim AJ, Kim MH. 2011. Physicochemical property changes in wheat starch by ultra-fine pulverization. *Food Sci Biotechnol* 20(1): 137-142
- Kim HY, Han JA, Kweon DK, Park JD, Lim ST. 2013. Effect of ultrasonic treatments on nanoparticle preparation of acid-hydrolyzed waxy maize starch. *Carbohydr Polym* 93: 582-588
- Lee JE, Jun JY, Kang WS, Lim JD, Kim DE, Lee KY, Ko S. 2008. Effect of particle size on the solubility and dispersibility of endosperm, bran and husk powders of rice. *Food Sci Biotechnol* 17(4): 833-838
- Lee KA, Ryu MJ, Kim MS, Kang WS, Ko S, Shin M, Chung HS. 2011. A comparative study of submicron- and micron-sized rice particles: enzymatic hydrolysis in vitro and food efficiency ratio in vivo. *Int J Food Sci Tech* 46(2): 372-378
- Li B, Xia J, Wang Y, Xie B. 2005. Grain-size effect on the structure and antiobesity activity of konjac flour. *J Agr Food Chem* 53(19): 7404-7407
- Lim ST, Lee JH, Shin DH, Lim HS. 1999. Comparison of protein extraction solutions for rice starch isolation and effects of residual protein content on starch pasting properties. *Starch/Stärke*, 51(4): 120-125
- Madsen, MH, Christensen DH. 1996. Changes in viscosity properties of potato starch during growth. *Starch/Stärke* 48(7-8): 245-249
- Medcalf, DF, Gilles KA. 1965. Determination of starch damage by rate of iodine absorption. *Cereal Chem* 42: 558-568.
- Meuser F, Klinger RW, Niedeck EA. 1978. Characterization of mechanically modified starch. *Starch/Stärke*, 30(11): 376-384
- Morrison WR, Tester RF. 1994. Properties of damaged starch granules. IV. Composition of ball-milled wheat starches and of fractions obtained on hydration. *J Cereal Sci* 20(11): 69-77
- Morrison WR, Tester RF. 1994. Properties of damaged starch granules. 2. Crystallinity, molecular order, and gelatinization of ball-milled starches. *J Cereal Sci* 19(3): 209-217.
- Nura M, Kharidah M, Jamilah B, Roselina K. 2011. Textural properties of laksa noodle as affected by rice flour particle size. *Int Food Res* 18(4): 1309-1312
- Rasenack N, Muller BW. 2004. Micron-size drug particles: common and novel micronization techniques. *Pharm Dev Technol* 9(1): 1-13.
- Sanguanpong V, Chotineeranat S, Piyachomkwan K, Oates CG, Chinachoti P, Sriroth K. 2003. Hydration and physicochemical properties of small-particle cassava starch. *J Sci Food Agr* 83(2): 123-132
- Schoch TJ, Leach W. 1964. Whole starches and modified starches.

- In: Method in Carbohydrate Chemistry. Vol. II. Whistler, R.L. (ed). Academic Press, New York, NY, USA, p. 106-108
- Sim CH 2005. Change in angle of repose of potato starch by planetary milling. Food Eng Prog 9(2): 97-103
- Singh N, Kaur L. 2004. Morphological, thermal, rheological, and retrogradation properties of potato starch fractions varying in granule size. J Sci Food Agric 84: 1241-1252
- Whistler RL, BeMiller JN 1997. Starch. In Carbohydrate chemistry for food scientists. St. Paul: Eagan Press. pp 173-223.

2013년 10월 28일 접수; 2013년 11월 11일 심사(수정); 2013년 12월 31일 채택