

균질기를 이용한 물리적 변성 쌀 전분의 이화학적 특성

한명륜 · 김명환[†]

단국대학교 식품공학과

Physicochemical Properties of Physically Modified Rice Starch by Homogenizer

Myung-Ryun Han and Myung-Hwan Kim[†]

Dept. of Food Engineering, Dankook University, Cheonan 330-714, Korea

Abstract

The objectives of this research were to analyze physicochemical properties of physically modified rice starch which was prepared by hydro-shear homogenizer and ultrasonic homogenizer. The 5:1 of water to starch ratio, 20,500 rpm of hydro-shear homogenizer, and 5 sec of pulse and 40 kHz of frequency of ultrasonic homogenizer, which were operated for 10 min. The 1/3 of size reduction of raw rice starch and gelatinized rice starch, and reduced of particle size were achieved by above processing conditions. The homogenization of raw rice starch and gelatinized rice starch were higher values of specific area, transmittance, solubility and swelling power than control. While, these had lower value of apparent viscosity than control. In raw rice starch, the gelatinization characteristics of ultrasonic homogenizer treated rice starch had some higher values of gelatinization temperature, peak temperature and enthalpy than those of control. While, those of hydro-shear homogenizer treated rice starch had similar values to those of control.

Key words: physically modified rice starch, hydro-shear homogenizer, ultrasonic homogenizer, physicochemical property

서 론

전분은 전분립의 형태로 식물체내에서 합성되는 탄수화물계 고분자이며 생물자원으로서 풍부함과 다양한 용도 및 특성을 보유한 측면에서 매우 중요한 산업적 생물고분자(industrial bio-polymer)이다. 사용분야로는 식품뿐만 아니라 제지, 섬유, 의약품, 화학물질의 전구체 등으로 다양하게 이용되고 있으며 석유 에너지의 대체 가능성이 가장 큰 소재로 태양에너지나 원자력 에너지와 함께 3대 에너지원으로 중요시되고 있다(1). 전분은 다양한 기능성을 가지므로 식품업계에서 가장 많이 활용하는 소재중의 하나이며 천연전분의 취약성을 물리적 또는 화학적 변성으로 보완한 변성전분을 많이 사용하고 있다. 그러나 화학적 변성전분은 안전성에 대한 문제로 식품으로의 사용에 많은 제한을 받으며 현재 국내에서 식품용으로 허가된 것은 초산전분, 하이드록시 프로필 인산전분, 초산 아디핀산전분과 옥테일 호박산전분의 네 가지 품목뿐이다(2). 따라서, 새로운 물리적 방법의 안전성과 기능성이 뛰어난 변성전분 제조기술 개발이 필요하다.

지금까지 개발된 대표적인 물리적 변성전분으로는 드럼 건조기(drum dryer), 분무건조기(spray dryer), 팽하기(puffing gun) 또는 압출성형기(extruder) 등을 이용한 호화전분

(pregelatinized starch) 제조기술(3-7)과 Chen과 Jane(8)에 의해서 개발된 휘발성 알코올을 이용하여 찬물에 녹일 수 있는 전분(granular cold water soluble starch) 제조기술이 있고 최근 들어, 미국의 National Starch사에서 개발된 비만 및 기타 질병의 예방목적으로 직쇄상 아밀로스를 인위적으로 노화시킨 난소화성전분(resistant starch)이 상품화되어 있다(9). 그러나, 이러한 물리적 변성방법들은 변성방법에 따라서 물에 첨가시 덩어리 형성, 전분의 입자상 유지도, 페이스트 점성, 열분해에 의한 이취 등의 문제점들을 안고 있다.

특수영양식에 사용되는 기존의 쌀가루 또는 쌀 전분의 문제점들은 크게 세 가지로 호화된 쌀을 직접 섭취 시 유아기 어린이, 노인, 환자들의 경우 췌장액(pancreatic juice)의 아밀라아제(amylase)활성이 낮기 때문에 쌀 전분이 말토오스나 포도당으로 분해가 완전히 되지 않으므로 소화흡수율이 낮으며, 쌀 전분의 용해도에 한계가 있으며, 쌀 전분의 호화액을 제품화하는 과정에서 냉각되면서 열에너지의 감소로 인한 분자간 수소결합의 생성에 의하여 점도의 상승을 가져와 가공 상에 문제점이 도출되고 있어 높은 영양밀도의 제품을 갖추기 어렵다.

따라서, 본 연구는 새로운 물리적 변성방법으로써 유체전단 균질기와 초음파 균질기를 이용하여 쌀 전분의 크기를

[†]Corresponding author. E-mail: kmh1@dankook.ac.kr
Phone: 82-41-550-3563. Fax: 82-41-550-3566

작게 하여 낮은 점성, 용해도 향상, 소화흡수율 향상 등의 이화학적 특성이 요구되어지는 특수영양식의 새로운 기초소재(basic material)를 개발하는데 있다.

재료 및 방법

재료

시료는 멥쌀(*Oryza sativa* L.)로서 추청벼를 이용하였다.

쌀 전분 제조

생전분의 제조는 알칼리 침지법에 의하였다(10). 즉, 쌀가루에 0.2% NaOH용액을 가하고 얻은 침전물을 뷰렛반응이 나타나지 않을 때까지 0.2% NaOH 용액으로 처리한 다음 증류수로 중성이 될 때까지 씻어 정제전분을 얻었다.

호화, 균질화 및 건조

쌀 생전분 대 물의 비율을 1:5~1:10(w/v)으로 조절하여 유체전단 균질기(hydro-shear homogenizer, Ultra-Turrax T-25, Janke & Kunkel Co., Germany)와 초음파 균질기(ultrasonic homogenizer, Model CV-26, Sonics & Materials Inc., USA)를 사용하여 각각 20,500 rpm으로 10~20분간과 pulse 5초, 주파수 40 kHz로 10~20분간 시료를 균질화하였다. 또한 쌀 생전분 대 물의 비율을 1:10(w/v)으로 조절하여 상압, 100°C에서 30분간 호화시킨 다음 각각 앞서의 조건으로 각각 균질화시켰다. 균질화된 각각의 전분들을 동결건조기로 건조한 다음 시료로 이용하였다.

일반성분 분석

쌀 생전분의 수분, 조단백, 조지방 및 회분의 함량은 AOAC법에 의하여 분석하였다(11).

미세구조관찰

각 시료를 주사 전자현미경(scanning electron microscope)으로 500~5,000배 확대하여 전분구조를 관찰하였다.

전분입자의 크기분포 측정

Laser Differential Particle Analyzer를 이용하여 전분 약 1 g 증류수에 분산시켜 1분간 초음파로 처리한 다음 전분입자크기 분포, 평균입자크기 및 비표면적 등을 측정하였다(12).

물리적 성질 분석

생전분과 호화된 전분을 유체전단균질기와 초음파균질기로 각각 균질화시킨 다음 동결건조된 시료의 물리적 성질을 분석하고자 하였다. 팽 투과도는 Wilson 등(13)의 방법에 따라 0.2%의 시료현탁액을 60~90°C에서 5분간 가열한 다음 분광광도계를 사용하여 625 nm에서 측정하였다. 용해도와 팽윤력은 Schoch(14)의 방법을 변형하여 시료 1 g과 물 50 mL를 원심분리관에 담아 잘 분산시킨 후 90°C의 온도에서 30분간 가열한 다음 4,500 rpm에서 30분간 원심 분리하여 측정하였다. 물 결합능력은 Medcalf와 Gilles(15)의 방법에

따라 시료 2 g에 증류수 40 mL을 가하고 실온에서 1시간 동안 잘 저어준 다음 3,000 rpm의 속도로 20분간 원심분리한 후 1분간 거꾸로 세워 상등액을 제거하고 증가된 수분함량과 시료전분의 중량비로부터 물 결합능력을 구하였다.

유동특성

유동특성은 Brookfield 점도계를 사용하여 회전속도를 2~20 rpm으로 변화시키면서 생전분의 균질화 시간, 입자크기 및 가수율에 따른 겔보기 점도를 25°C에서 측정하였다.

호화특성

Differential Scanning Calorimeter(DSC-2010, TA Instruments, UK)를 사용하여 Krog 등(16)의 방법을 변형하여 hermetic aluminum pan에 생전분과 유체전단균질기와 초음파균질기로 각각 균질화시킨 전분들을 증류수에 1:2(w/v)비율로 넣고 밀봉하였다. Reference pan에는 증류수를 사용하였으며 30°C로부터 100°C까지 5°C/min 속도로 가열하여 흡열 peak를 얻었으며 이 peak로부터 호화특성을 분석하였다.

결과 및 고찰

쌀 생전분의 일반성분

쌀 생전분 추출은 알칼리 침지법을 사용하여 3회의 반복 과정을 거쳤으며 조단백, 조지방 및 조회분은 각각 0.14%, 0.07% 및 0.10%이었다.

미세구조

대조구(A)와 균질기의 과부하가 걸리지 않는 범위에서 물 대 생전분의 비가 5:1(v/w)의 조건으로 20,500 rpm에서 10분간 균질화한 전분(B) 및 초음파 균질기로 pulse 5초, 주파수 40 kHz에서 10분간 균질화한 전분(C)을 주사전자현미경으로 5,000배 확대하여 미세구조를 관찰한 결과 Fig. 1과 같다. 유체전단 균질기는 고속회전을 통하여 전단 힘으로서 전분입자의 크기를 작게 하는 것이며, 초음파 균질기는 전분용액이 뿔어 나오는 노즐입구에 장치된 칼날이 빠른 속도로 떨리게 되면서 전분입자의 크기를 작게 하는 것이다.

대조구에 비하여 유체전단 균질기와 초음파 균질기로 처리한 전분의 크기가 작아져 있음을 알 수 있다. 구조적으로 복합 전분체(compound starch grain)는 불규칙한 다면체의 전분입자들이 서로 부착되어 구형의 형태로 존재하나 Fig. 1에 나타난 전분입자는 5~6각형의 다면체로 나타났다. 구형의 복합체가 각 면이 들어간 다면체의 전분입자로 되는 것은 쌀 전분의 전분입자가 생합성 중에 복합전분입자의 형태로 들어 있다가 분리되기 때문이며, 표면이 움푹 들어간 것은 전분추출과정에서 단백질이 떨어져 나갔기 때문이다(17).

상압, 100°C에서 전분 대 물의 비율을 1:10(w/v)으로 하여 30분간 호화시킨 대조구(A)와 같은 조건에서 유체전단 균질

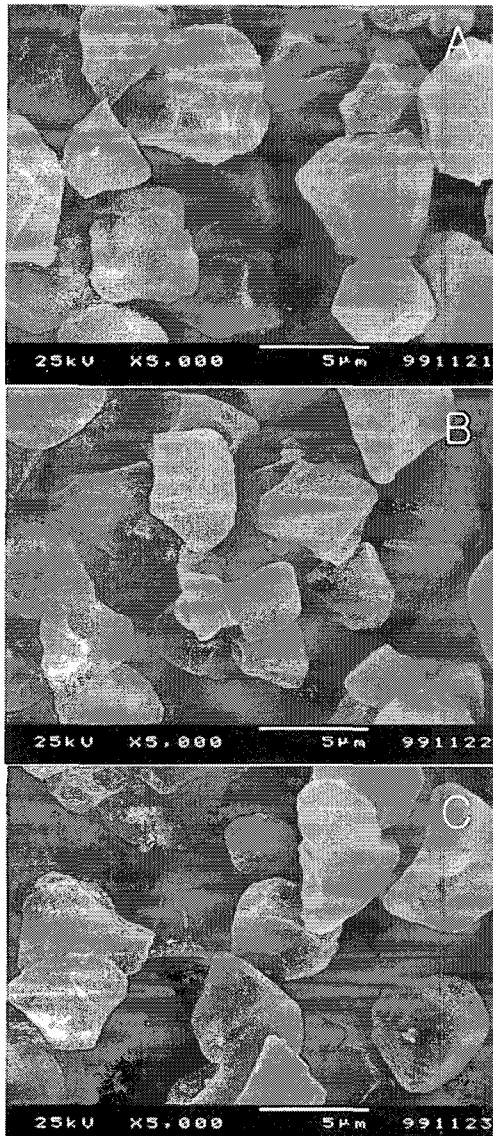


Fig. 1. Scanning electron micrograph ($\times 5000$) of raw rice starches.

A: Control, B: Hydro-shear homogenized raw rice starch, C: Ultrasonic homogenized raw rice starch.

기로 처리한 호화전분(B) 및 초음파 균질기로 처리한 호화전분(C)을 주사현미경으로 500배 확대한 다음 미세구조를 관찰한 결과 Fig. 2와 같다. 호화된 경우 전분입자의 붕괴를 볼 수 있으며 초음파 균질기로 처리한 호화전분보다 유체전단 균질기로 처리한 호화전분이 구조파괴가 많이 된 것을 볼 수 있었다. 생전분과 호화전분의 균질화 작업을 거친 경우 미세 구조(Figs. 1과 2)로 볼 때 크기분포(Fig. 3)와 같이 차이가 나타나지 않은 것은 주사 전자현미경(scanning electron microscope)으로 촬영시 시료의 촬영 부분의 오차로 나타날 수 있는 사항이라 사료된다.

크기분포

Laser differential particle analyzer를 이용하여 생전분입

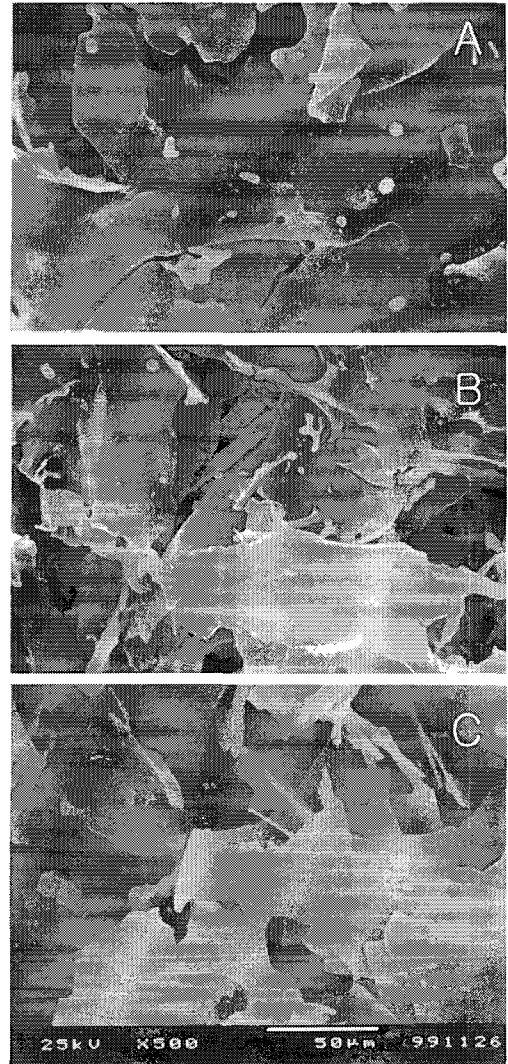


Fig. 2. Scanning electron micrograph ($\times 500$) of gelatinized rice starches.

A: Gelatinized rice starch, B: Gelatinized hydro-shear homogenized rice starch, C: Gelatinized ultrasonic homogenized rice starch.

자와 호화전분을 유체전단 균질기와 초음파 균질기로 처리하였을 때 크기의 줄어든 정도를 나타낸 결과가 Fig. 3이다. 생전분의 경우 대조구, 유체전단 균질기로 처리한 전분, 초음파 균질기로 처리한 전분의 입자크기분포는 각각 $0.599\sim 5.070\ \mu\text{m}$, $0.289\sim 0.621\ \mu\text{m}$ 및 $0.293\sim 0.644\ \mu\text{m}$ 로 나타났으며 호화된 전분의 경우 대조구, 유체전단 균질기로 처리한 호화전분, 초음파 균질기로 처리한 호화전분의 크기분포는 각각 $0.639\sim 3.563\ \mu\text{m}$, $0.296\sim 3.045\ \mu\text{m}$ 및 $0.725\sim 3.924\ \mu\text{m}$ 로 나타났다. 크기 분포도로 보아 유체전단이나 초음파로 균질화시킨 전분 및 호화전분의 크기분포가 대조구보다 훨씬 적은 범위를 나타내는 것을 알 수 있었으며 이는 크기의 균질화가 이루어졌음을 나타낸 것이다.

생전분 및 호화전분의 평균크기와 비표면적을 나타낸 결과는 Table 1과 같다. 생전분에서는 유체전단이나 초음파로

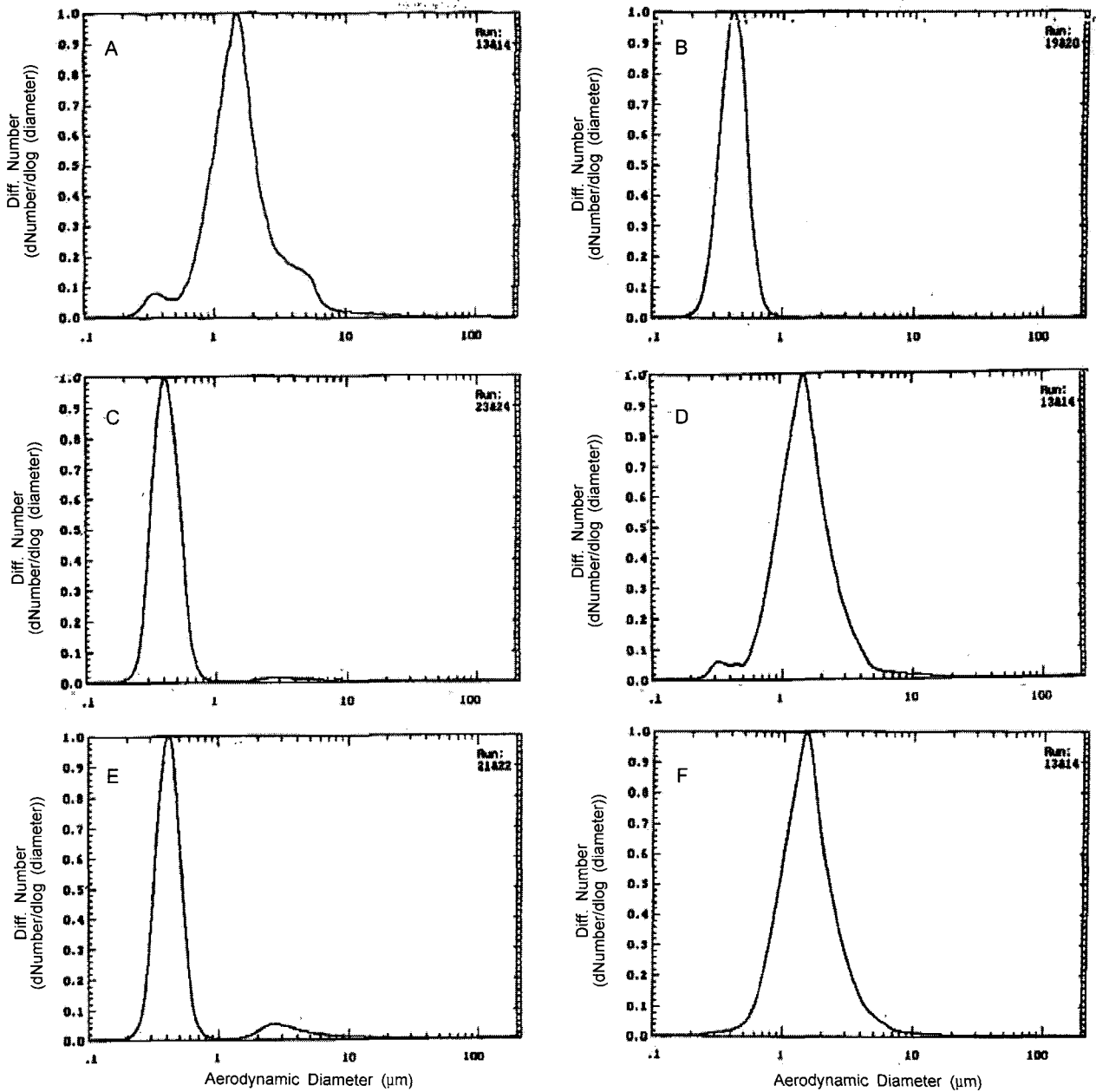


Fig. 3. Particle size distribution of raw rice starch and gelatinized rice starch.

A: Raw rice starch, B: Hydro-shear homogenized raw rice starch, C: Ultrasonic homogenized raw rice starch, D: Gelatinized rice starch, E: Gelatinized hydro-shear homogenized rice starch, F: Gelatinized ultrasonic homogenized rice starch.

Table 1. Mean size and specific surface area of rice starch granules

		Mean size (micron)	Specific surface area (m ² /g)
Raw rice starch	Control	1.589	0.57
	HHS ¹⁾	0.424	12.37
	UHS ²⁾	0.441	10.67
Gelatinized rice starch	Control	1.579	0.96
	HHS	0.505	8.53
	UHS	1.486	0.93

¹⁾Hydro-shear homogenized rice starch.

²⁾Ultrasonic homogenized rice starch.

균질화시켰을 때 전분의 평균크기가 1.589 μm에서 각각 0.424 μm와 0.441 μm로 줄어들었으나, 호화전분에서는 유체전단 균질기가 효과가 있었던 반면 초음파 균질기는 큰 효과가 나타나지 않았다. 비표면적에서는 생전분의 경우 대조구에 비하여 유체전단 균질화와 초음파 균질화시킨 것이 각각 21.7배와 15.2배정도 증가하였다. 이는 전분크기의 감소로 인하여 비표면적이 기하급수적으로 증가되었기 때문이다. 호화전분의 경우 대조구와 초음파 균질화의 경우에는 비슷한 값을 나타낸 반면 유체전단 균질화의 경우에는 약 8.9배 증가하였다. 비표면적의 증가는 효소와의 접촉면 증가에 따

른 소화흡수율 향상과 깊은 관계성을 가지고 있다.

광투과도

생전분과 호화전분의 각 온도에 따른 광투과도의 결과는 각각 Fig. 4와 Fig. 5와 같다. 생전분의 경우(Fig. 4) 대조구, 유체전단 균질기로 처리된 전분, 초음파 균질기로 처리된 전분 모두 60°C 이후부터 광투과도의 증가속도가 높아지기 시작했으며 80°C 이상에서는 급격한 증가현상을 나타내었다. 이는, 쌀 전분의 호화개시온도가 60°C부근임을 알 수 있는 것이고 시간이 지남에 따라서 전분이 호화되면서 분자들 간의 회합이 풀어져 광투과도가 증가되는 것이다(18). 대조구의 광투과도는 균질기로 처리된 전분들에 비하여 80°C까지는 높게 나타났다. Biliaderis 등(18)은 광투과도의 변화양상을 통하여 입자간 결합강도와 입자내부의 치밀한 정도를 예측할 수 있다고 하였다.

호화전분의 경우는(Fig. 5) 세 가지 시료 모두 50°C에서 80°C의 구간에서는 온도의 증가에 따른 광투과도의 증가현상은 미미하였으나, 80°C에서 90°C로 온도가 올라감에 따라서 광투과도의 급격한 증가를 보였다. 또한, 생전분의 경우와는 아주 다르게 호화전분의 경우 초음파로 처리한 호화전

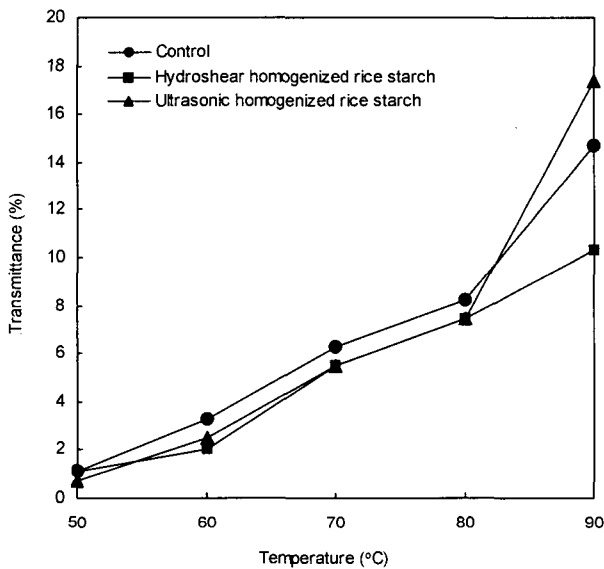


Fig. 4. Transmittance of raw rice starch suspensions.

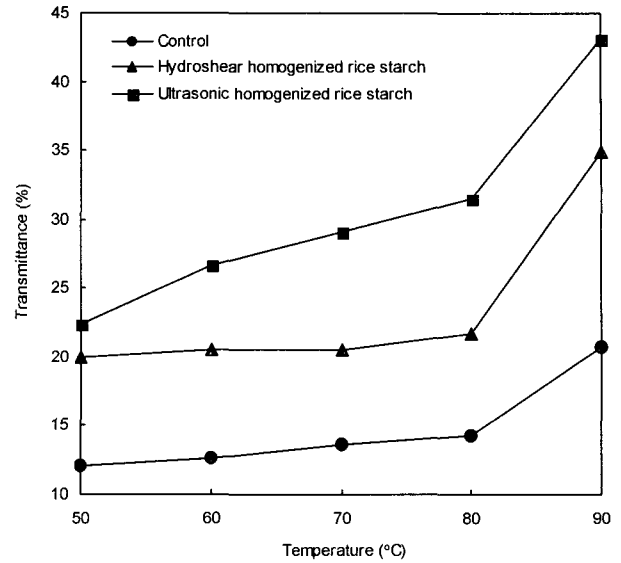


Fig. 5. Transmittance of gelatinized rice starch suspensions.

분이 전반적으로 가장 높게 나타났으며, 그다음 유체전단 균질기로 처리한 호화전분, 대조구 순서이었다. 90°C를 기준으로 각각 43.12, 34.91 및 20.80 순으로 나타났다.

용해도, 팽윤력 및 물 결합능력

생전분과 호화전분의 90°C에서 용해도와 팽윤력 및 실온에서의 물 결합능력 결과는 Table 2와 같다. 생전분과 호화전분 모두 대조구보다 균질기로 처리한 시료가 용해도에서 높은 값을 나타내었으며 생전분 용해도에서는 13~15% 증가를 보인 반면 호화전분의 경우에는 171~180%의 증가를 나타내었다. 이는 균질기로 처리되는 과정에서 손상전분입자의 증가로 인하여 용해도가 증가된 것으로 사료된다. 전반적으로 호화전분 group의 용해도가 생전분 group보다 높은 용해도를 보였다.

팽윤력 또한 생전분의 경우 균질기로 처리한 시료가 78~95% 높게 나타났으며 호화전분은 43~46% 증가를 보였다. 팽윤력은 전분이 수화되는 능력을 측정하는 것으로 손상전분의 증가에 따라서 전분의 수화도는 커지며 전분입자 내부의 결합력과 전분입자의 회합정도에 따라 다르며 전분입자의 크기가 작을수록 팽윤력이 크게 나타나기 때문이다.

Table 2. Solubility, swelling power and water binding capacity of raw rice starch and gelatinized rice starch

		Solubility at 90°C (%)	Swelling power at 90°C	Water binding capacity (%)
Raw rice starch	Control	11.07	13.27	123.74
	HHS ¹⁾	16.89	25.83	116.30
	UHS ²⁾	12.46	23.65	108.49
Gelatinized rice starch	Control	37.20	5.96	638.98
	HHS	67.00	8.73	739.94
	UHS	63.65	8.55	369.60

¹⁾Hydro-shear homogenized rice starch.

²⁾Ultrasonic homogenized rice starch.

물 결합능력은 생전분의 경우 세 가지 시료 모두 비슷하게 나타났으며 호화전분의 경우 대조구와 유체전단 균질기로 처리한 호화전분은 비슷하였으나 초음파 처리한 호화전분은 대조구의 약 50%수준이었다. 호화전분의 물 결합능력(369.60~638.98)은 생전분(108.49~123.70)에 비하여 높게 나타났는데 이는 호화전분을 동결건조시킨 다음 시료의 물 결합능력을 측정하였으므로 나타나는 현상이었다. 물 결합능력은 전분입자내의 비결정성 부분에 의한 것으로 전분입자에 비결정성 부분이 많을수록, 전분입자의 내부치밀도가 낮을수록 수분흡수도가 크다고 알려져 있다(19). 전분에 결합된 물은 입자에 침투된 것과 입자표면에 흡착된 것을 포함하며 같은 종류의 전분은 비슷한 물 결합능력을 가진다고 하였다(20). 일반적으로 물 결합능력이 낮은 전분에서는 OH기의 대부분이 물보다는 전분사슬끼리의 수소결합과 공유결합에 관여하여 결정성이 커지고 분자 간 강한 회합을 한다(21).

유동특성

Brookfield 점도계의 회전속도, 20,500 rpm 조건에서 유체전단 균질기의 균질시간, 입자크기 및 가수율에 따른 겔보기 점도의 변화는 Table 3과 같다. 모든 시료가 Brookfield점도계의 회전속도가 증가함에 따라서 겔보기 점도는 줄어들었다. 쌀 생전분의 유동특성은 시간종속적인 thixotropy 거동을 가지고 있으며 일반적으로 항복응력(yield stress)을 가진 Herschel-Bulkley식을 이용한다(22). 유체전단 균질기의 균질시간이 증가함에 따라서 겔보기 점도는 큰 감소를 보였다. 이는 유체전단 균질기가 전분입자의 크기를 작게 만들기 때문이며 저온의 고농도전분의 경우 점도상승으로 인한 가공상 문제점에 도움이 되리라 사료된다. 시료입자 크기 면에서는 42~100 mesh체(0.147~0.351 mm)와 100⁺ mesh체(0.147 mm 이하)로 구분하여 볼 때 모든 시료에서 100⁺ mesh 크기를 가진 시료의 점도가 작게 나타났는데 이것은 앞서의 유체전단 균질기에서의 효과와 같은 현상 즉, 시료 입자크기가 작을수록 겔보기 점도는 작아진다는 것을 의미한다.

가수율을 5:1과 10:1(v/w)로 조절하였을 때의 겔보기 점도를 비교하여 보면 겔보기 점도에서 매우 큰 차이를 보이고 있으며 전분용액의 농도가 높을수록 겔보기 점도는 증가함을 알 수 있었다.

호화특성

생전분과 생전분을 균질기로 처리한 전분들의 호화특성

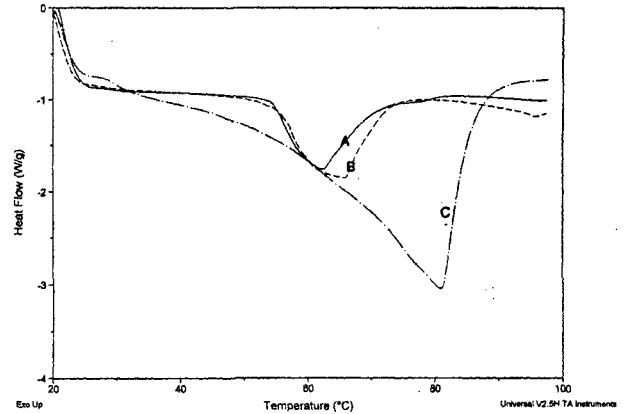


Fig. 6. DSC characteristics of raw rice starch.
A: Control, B: Hydro-shear homogenized raw rice starch, C: Ultrasonic homogenized raw rice starch.

은 DSC로 측정된 결과 Fig. 6과 같다. 대조구에 비하여 유체전단 균질기나 초음파 균질기로 10분간 처리한 전분의 경우 호화개시온도(T_0), 호화최대온도(T_p) 및 호화엔탈피(ΔH_0)가 크게 나타났다. 추정벼 품종의 쌀전분 T_0 와 T_p 및 ΔH_0 는 각각 53.89°C, 62.26°C 및 11.82 J/g으로서 Kim 등(23)의 결과인 58.5°C, 65.0°C 및 9.45 J/g과 비교하여 T_0 와 T_p 는 약간 낮게 ΔH_0 는 약간 높게 나타났다. 유체전단 균질기 및 초음파 균질기로 처리한 전분은 각각 54.55°C, 65.46°C 및 13.49 J/g과 54.46°C, 80.86°C 및 63.48 J/g으로 나타났으며 그만큼 호화가 어렵다는 것을 의미한다. 특히 초음파 균질기로 처리한 전분의 경우는 호화가 유체전단 균질기로 처리한 전분보다 어려웠다. 이는 초음파균질기 처리과정에서 열 발생이 생성되어 나타나는 현상이라 사료되며 Yook 등(12)의 습열 처리시의 결과와 유사하였다. 반면에, 화학적 변성전분은 전분사슬에 인산기, 초산기, hydroxyalkyl기 등이 붙은 starch ester 또는 ether 등은 전분의 hydroxy number를 감소시켜 분자들의 재결합을 억제하여 노화를 억제하고 호화온도를 낮추는 특징을 가지고 있다.

요 약

본 연구는 물리적 전분 변성방법으로서 유체전단 균질기와 초음파 균질기를 이용하여 쌀 전분의 크기 감소로 인한 물리적 변성 쌀 전분의 이화학적 특성을 분석하는데 있다. 물 대 전분

Table 3. Changes of apparent viscosity (Pa · S) as a function of rpm¹⁾ of spindle, hydro-shear homogenized time²⁾, particle size³⁾ and water ratio⁴⁾

RPM ¹⁾	Control				10 min ²⁾				20 min			
	42~100 mesh ³⁾		100 ⁺ mesh		42~100 mesh		100 ⁺ mesh		42~100 mesh		100 ⁺ mesh	
	5:1 ⁴⁾	10:1	5:1	10:1	5:1	10:1	5:1	10:1	5:1	10:1	5:1	10:1
2	974.00	95.00	380.00	58.50	288.00	1.32	71.50	1.58	82.20	0.95	59.80	0.49
4	542.00	51.75	240.00	39.00	171.00	1.10	47.50	1.08	55.80	0.79	35.00	0.46
10	298.00	25.25	126.00	18.70	96.40	0.81	27.30	0.84	33.12	0.62	17.76	0.39
20	185.40	15.80	79.80	11.50	59.20	0.17	16.50	0.83	10.06	0.56	11.70	0.35

의 비가 5:1이고, 20,500 rpm 조건의 유체전단 균질기와 5초의 파동과 40 kHz의 주파수조건의 초음파 균질기로 각각 10분간 처리하였을 때 생전분과 호화전분의 크기를 1/3수준으로 줄일 수 있었으며 동시에 균질화시킬 수가 있었다. 균질화된 전분과 균질화된 호화전분은 대조구에 비하여 높은 값의 비표면적, 팽투과도, 용해도 및 팽윤력을 나타내었으며, 매우 큰 폭의 겔 보기 점도 감소를 보였다. 반면에, 초음파 균질기로 처리한 변성전분의 호화과정은 대조구에 비하여 어려웠으나 유체전단 균질기의 경우는 대조구와 비슷하였다.

감사의 글

본 논문은 2004학년도 단국대학교 대학연구비의 지원으로 연구되었으며 이에 감사드립니다.

문헌

- 이현수. 1997. 전분산업의 현황과 전망. *식품기술* 10: 24-35.
- 임승택. 1997. 식품에 이용되는 변성전분. *식품기술* 10: 51-67.
- Soral SM, Lewandowicz G, Wronkowska M. 2003. Pea starch as the basic material for physical modification by iterated syneresis. *Pol J Food Nutr Sci* 12: 74-78.
- Doublier JL, Colonna P, Mercier C. 1984. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. I. Physical and macromolecular modification. *Cereal Chem* 61: 583-588.
- Gamez MH, Aguilera JM. 1984. A physicochemical model for extrusion of corn starch. *J Food Sci* 49: 40-43.
- Kum JS, Lee HY, Shin MG, Yoo MR, Kim KH. 1994. Properties of modified rice starch by physical modification. *Korean J Food Sci Technol* 26: 428-435.
- Wen LF, Rodis P, Wasserman P. 1990. Starch fragmentation and protein insolubilization during twin screw extrusion of corn meal. *Cereal Chem* 67: 268-275.
- Chen J, Jane J. 1994. Properties of granular cold-water-soluble starch. Starches prepared by alcoholic-alkaline treatments. *Cereal Chem* 71: 623-626.
- Shin MS. 2004. Development and applications of resistant starch. *Food Industry and Nutrition* 9: 1-9.
- Yamamoto K, Sawada S, Onogaki T. 1973. Properties of rice starch prepared by alkali method with various conditions. *Denpun Kagaku* 20: 99-104.
- AOAC. 1984. *Official Method of Analysis*. Association of official analytical chemists, Washington, DC. p 777-790.
- Yook C, Pek UH, Park KH. 1991. Physicochemical properties of hydroxypropylated corn starches. *Korean J Food Sci Technol* 23: 175-182.
- Wilson LA, Brimingham VA, Moon DF, Synder HE. 1978. Isolation and characterization of starch from mature soybeans. *Cereal Chem* 55: 661-668.
- Schoch TJ. 1964. Swelling power and solubility of granular starches. In *Methods in Carbohydrate Chemistry*. Whistler RL, ed. Academic Press, New York. Vol 4, p 106.
- Medcalf DG, Gilles KA. 1968. Wheat starches. I. Comparison of physicochemical properties. *Cereal Chem* 42: 558-568.
- Krog N, Olesen SK, Toernaes H, Joensson T. 1989. Retrogradation of the starch fraction in wheat bread. *Cereal Foods World* 34: 281-285.
- Lee JH, Kim SR, Song JY, Shin MS. 1999. Comparison on physicochemical properties of amaranth starch with other waxy cereal starches. *Korean J Food Sci Technol* 31: 612-618.
- Biliaderis C, Page CM, Maurice TJ, Juliano BO. 1986. Thermal characterization of rice starches: A polymeric approach to phase transitions of granular starch. *J Agric Food Chem* 34: 6-14.
- Wong RBK, Lelievre J. 1982. Comparison of the crystallinities of wheat starches with different swelling capacities. *Starch* 34: 159-161.
- Hoover R, Sosulki F. 1986. Effect of cross-linking on functional properties of legume starches. *Starch* 38: 149-156.
- Halick JV, Kelly VJ. 1959. Gelatinization and pasting characteristics of rice varieties as related to cooking behavior. *Cereal Chem* 36: 91-98.
- Lee SY, Lee SG, Kwon IB. 1995. Effect of alum on the rheological properties of gelatinized solutions of nonwaxy and waxy rice starches. *Korean J Food Sci Technol* 27: 776-782.
- Kim K, Kang KJ, Kim SK. 1992. Comparison of some structural characteristics of japonica and tongil rice starches and their fractions. *Korean J Food Sci Technol* 24: 187-192.

(2005년 1월 27일 접수; 2005년 5월 30일 채택)