

Annealing 수침처리에 따른 습식제분 쌀가루의 전분 특성

이영택* · 유문식 · 이보람 · 박종현 · 장학길

경원대학교 식품생물공학과

Properties of Starch Isolated from Wet-milled Rice after Steeping at Elevated Temperatures for Annealing Effect

Young-Tack Lee*, Moon-Sik Yoo, Boram Lee, Jong-Hyun Park, and Hak-Gil Chang

Department of Food and Bioengineering, Kyungwon University

Rice was steeped at elevated temperatures of 40, 50, or 60°C for 2 hr, and physicochemical properties of starches isolated from wet-milled rice flour were investigated. Steeping at elevated temperatures slightly decreased lightness of rice starch, while increased yellowness and redness. Average granule size of rice starch was decreased by steeping treatment. Swelling power and solubility increased as temperature increased. Starch from rice steeped at 40°C displayed highest swelling power and solubility. Differential scanning calorimetry data of starch obtained from steeped rice at 60°C showed increased onset and peak temperatures, with narrower gelatinization temperature range, suggesting partial annealing effect. Pasting properties of starch measured by Rapid Visco-Analyzer indicated increased peak viscosity due to rice steeping at 40°C. Peak and breakdown viscosities decreased at 50 and 60°C, whereas setback and final viscosities increased.

Key words: rice, starch, steeping, wet-milling, annealing

서 론

국내에서 쌀은 주로 밥의 형태로 소비되고 있으며 일부가 떡류, 과자류, 국수류, 주류, 장류 등 가공원료로 이용되고 있다. 쌀을 가공원료로 이용하기 위해서는 분말화시켜 쌀가루로 만들어야 하는 경우가 많으며 쌀가공식품이 다양화됨에 따라 쌀가루를 주원료로 하는 새로운 가공제품의 개발과 함께 쌀가루의 연구분야에 관심이 높아지고 있다. 쌀가루 제조시 쌀의 품종에 따른 전분의 특성차이 이외에도 제분기의 종류 및 제분방법 등이 쌀가루의 기능성에 큰 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(1-3).

쌀가루는 쌀을 물에 침지하는 과정을 거친 후 분쇄하는 습식제분 방법이나 쌀을 그대로 분쇄하는 건식제분 방법에 의해 제조되고 있다. 습식제분의 경우에는 침지과정에 따른 과정에서 쌀곡립 성분과 수분과의 상호작용에 따라 쌀가루의 입자크기, 손상전분, 호화양상 등이 건식제분과 다른 것으로 보고되었다(4). 대부분의 상업용 쌀가루는 건식제분으로 생산되는데 건식제분한 쌀가루는 손상전분의 함량이 높아 떡류의 가공에는 어려움이 있어 떡이나 과자류 등의 전통식품의 제조시에는 습식제분에 의한 쌀가루를 사용한다. 쌀의 수침공정중 수침시

간 또는 수침온도는 쌀가루와 전분의 이화학적 및 호화 특성에 영향을 주는 것으로 보고되었다(5,6).

쌀 전분은 물리적 변성에 의해 기능성이 달라질 수 있으며 전분의 물리적 변성을 유도하기 위한 방법인 annealing은 충분한 수분의 존재하에 호화온도 이하에서 일정시간 처리하였을 때 일어나는 현상으로 전분내에 결정성 영역의 결합력을 변화시키는 역할을 한다(7-9). 옥수수의 습식제분시 43-57°C의 준호화온도에서 침지할 경우 알곡의 생전분 입자의 부분적인 annealing을 유발시켰으며(10), 장기간 보관한 쌀을 annealing 처리하였을 때 쌀의 호화특성이 개선되었다는 연구가 보고된 바 있다(11). 쌀가공제품의 제조시 전처리과정으로 물에 침지하는 과정을 거친 후 제분하는 습식제분의 경우 보통 실온에서 이루어지며 최적 수침온도, 시간 등 수침조건에 대하여 연구된 바 있다(5). 그러나 쌀을 호화온도 이전까지 상승시킨 온도에서 수침처리하여 쌀 전분의 특성을 조사한 바는 없는 실정이다.

따라서 본 실험에서는 쌀가루의 가공성을 변화시키기 위한 방안으로 쌀을 실온 이상으로 상승된 온도(40, 50, 60°C)에서 수침처리하여 제분한 후 이로부터 분리한 전분의 물리화학적 특성 변화를 조사하였다.

재료 및 방법

재료

2002년산 일반 백미(경기산 추청미)를 수라청 농협(경기도 화성시)으로부터 구입하여 4°C에서 보관하면서 실험에 사용하였다.

*Corresponding author: Young-Tack Lee, Department of Food and Bioengineering, Kyungwon University, Seongnam 461-701, Korea
Tel: 82-31-750-5565
Fax: 82-31-750-5273
E-mail: ytleee@kyungwon.ac.kr

수침처리 및 제분

백미를 40, 50, 60°C의 온도에서 물에 2시간 동안 침지한 후 채반에 건져 60분간 탈수하였다. 수화된 백미를 roll mill(경창기계, 경기도 광주)에 2번 통과시켜(1번째 통과 간극: 0.475 mm, 2번째 통과 간극: 0.106 mm) 쌀가루로 제조하였다. 제조된 쌀가루는 비닐 백에 밀봉하여 -4°C 냉동고에 보관하였다.

전분의 제조

쌀전분의 조제는 알칼리 침지법(12)에 의해 실시하였다. 쌀가루 300 g에 0.2% NaOH 용액 1,500 mL를 가하고 Waring blender에서 2분간 마쇄한 후 100과 200 mesh 체를 차례로 통과시킨 후 얻은 침전물위에 노란층이 없어지고 뷰렛반응이 나타나지 않을 때까지 침전물을 0.2% NaOH 용액으로 2회 반복 처리한 다음 증류수로 중성이 될 때까지 씻어 정제된 전분을 얻었다. 전분은 실온에서 2일간 건조한 후 분쇄하여 100 mesh 체를 통과시켰다.

전분의 일반성분 분석

전분의 수분, 조단백, 회분의 함량은 각각 AACC 방법(13) 44-15A, 46-13, 08-01에 의해 분석하였으며, 조지방 함량은 AOAC Soxhlet 방법(14)에 의해 분석하였다.

전분의 색도

색차계(CR-300, Minolta Co., Japan)를 사용하여 Hunter L, a, b값으로 표시하였다.

전분의 입자크기 및 표면형태

전분의 입자크기분포는 particle size analyzer(CILAS, model 1064L, France)를 사용하여 측정하였다. 전분입자의 표면형태는 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope: model JSM-5400, JEOL Ltd., Japan)을 사용하여 1,000배로 확대하여 관찰하였다.

전분의 팽윤력과 용해도

전분의 팽윤력은 Schoch 방법(15)을 이용하였는데, 시료 0.4 g을 원심분리관에 넣고 증류수 40 mL에 잘 분산시킨 다음 30-90°C 온도에서 교반기로 30분간 저온 후 5,000 rpm에서 30분간 원심분리하고 상정액을 제거한 다음 침전된 무게로부터 계산하였다. 용해도는 원심분리한 후의 상정액을 페놀-황산법(16)으로 총당을 측정하여 구하였다.

팽윤력 =

$$[\text{침전물의 무게/시료의 무게(건량기준)} \times (100 - \% \text{용해도})] \times 100$$

$$\% \text{용해도} = \text{상정액의 총당 함량/시료의 무게(건량기준)} \times 100$$

DSC 측정

전분의 열적 특성은 Thermal Analysis Data Station(Perkin-Elmer Co., USA)이 연결된 Differential Scanning Calorimeter (Unix DSC 7, Perkin-Elmer Co., USA)를 사용하여 측정하였다. 즉, 9 mg(d.b.)의 전분을 stainless steel sample pan에 취하고 여기에 21 mL 증류수를 가하여 밀봉한 다음 2시간 동안 상온에서 방치하였으며 10°C/min의 속도로 30°C부터 130°C까지 가열하여 흡열피크를 얻었다. DSC 흡열 peak로부터 호화개시온도(T_0), 호화정온도(T_p) 및 호화엔탈피(ΔH)를 Lund의 방법(17)에 의하여 산출하였다.

Rapid Visco-Analyzer(RVA) 측정

전분의 호화 양상은 신속점도측정계(Rapid Visco-Analyzer, Newport Sci., Australia)로 점도변화를 측정하였다. 즉, 전분 3 g(14% moisture basis)을 증류수에 분산시켜 25 mL로 조제한 시료를 RVA cup에 넣고 50°C에서 1분간 유지한 후 7.5분간 95°C까지 증가시켰으며 95°C에서 2.5분간 유지시킨 후 다시 7.5분간 50°C로 냉각시켜 측정하였다. 이로부터 호화개시온도, 최고점도, 95°C에서 2.5분 후의 점도, 50°C로 냉각후의 최종점도를 측정하였다.

결과 및 고찰

Annealing 수침처리한 쌀 전분의 일반성분

40-60°C의 상승된 온도에서 수침처리한 백미로부터 분리한 전분의 일반성분을 분석한 결과는 Table 1과 같다. 수분, 단백질 및 회분 함량은 9.59-10.55%, 0.15-0.22%, 0.17-0.23% 범위로 처리구간 별 차이를 보이지 않았으나 지방 함량은 50°C와 60°C의 수침 처리구에서 낮게 나타났다.

Annealing 수침처리한 쌀 전분의 색, 형태 및 크기

40-60°C에서 수침처리한 쌀로부터 분리한 전분의 색도를 수침처리하지 않은 대조구 전분과 비교한 결과 명도는 약간 감소하였으나 거의 차이가 없었고, 적색도와 황색도를 나타내는 a와 b값은 약간 높은 것으로 나타났다(Table 2). 쌀 전분의 표면구조를 주사전자현미경으로 관찰한 결과는 Fig. 1과 같다. 쌀 전분 입자는 다각형의 형태를 보여주었으며 일부 입자의 표면이 납작해지거나 움푹 들어간 모양을 관찰할 수 있었으며 이는 전분추출시 전분에 붙어 있던 단백질체가 떨어져나간 흔적으로(18) 알려져 있다. 쌀 전분의 평균 입자크기는 수침하지 않은 대조구 쌀의 6.3 μm 에서 40, 50, 60°C에서 2시간 수침 처리함에 따라 각각 5.5, 5.4, 5.9 μm 로 다소 감소하는 경향을 나타

Table 1. Proximate composition¹⁾ of starches separated from milled rices steeped at elevated temperatures (% dry basis)

Steeping temp.	Moisture	Crude protein ²⁾	Crude fat	Ash
Control ³⁾	9.59	0.20	0.33	0.23
40°C	10.49	0.15	0.42	0.23
50°C	10.55	0.18	0.04	0.17
60°C	10.43	0.22	0.03	0.18

¹⁾Values are means of triplicate analyses.

²⁾Nitrogen \times 5.95.

³⁾Without steeping.

Table 2. Color and mean granule size of starches separated from milled rices steeped at elevated temperatures¹⁾

Steeping temp.	Color values			Mean granule size ¹⁾ (μm)
	L	a	b	
Control ²⁾	99.84	-0.02	0.24	6.26 \pm 0.09
40°C	99.18	0.00	0.35	5.49 \pm 0.02
50°C	98.33	0.02	0.38	5.44 \pm 0.09
60°C	99.19	0.05	0.30	5.94 \pm 0.02

¹⁾Values are means of triplicate analyses.

²⁾Without steeping.

내었다. 이는 수침이 진행됨에 따라 작은 전분 입자의 빠져 나오는 추출량이 증가하기 때문으로 판단되었다.

쌀 전분은 배유 전분세포에서 커다란 복합 전분입자로 형성되며 각각의 전분입자들이 축적되어 원형 또는 타원형의 다양한 크기의 전분복합체(compound starch granule)를 형성한다. 전분복합체의 분포양상은 배유 중앙부위 전분세포에서는 전분입자가 완전히 성숙되어 채워져 있으나, 호분층과 인접한 바깥부위에서는 전분복합체가 성글게 형성되어 있으며 전분입자의 크기도 배유 중앙부위 세포에 있는 전분입자가 바깥부위에 있는 세포의 입자보다 약 2배 정도 크게 성숙되어 있는 것으로 관찰한 바 있다(19). 이는 40-60°C에서 쌀의 수침처리가 전분 분리시에 크기가 상대적으로 작은 바깥부위의 전분입자 추출을 다소 용이하게 한 것으로 사료되었다.

Annealing 수침처리한 쌀 전분의 팽윤력과 용해도

Annealing 수침처리한 쌀전분의 팽윤력과 용해도를 30-90°C에서 측정한 결과는 Table 3과 같다. 쌀 전분의 팽윤력과 용해도는 측정온도가 상승함에 따라 증가하였다. 전분을 물과 함께 가열하면 전분입자가 팽윤되고 구성성분이 용출되는데 이는 측정온도 및 전분의 종류에 영향을 받는다. 수침처리하지 않은 쌀 전분의 팽윤력은 50°C까지는 완만히 증가하였으며 그 이후로 급속히 증가하여 70°C와 90°C에서는 높은 팽윤력을 보여주었다. 이는 쌀 전분의 팽윤력이 50-60°C 이후부터 크게 증가하며 80°C 이후부터는 완만히 증가한다는 결과(20)와 유사하게 나타났다. 온도가 증가함에 따라 팽윤력이 증가하는 것은 가열 온도의 상승에 따라 입자 내의 분자간 결합이 약해지기 때문이며 전분 입자 내의 결합 강도가 강할수록 팽윤이 강하게 억제된다고 하였다(21). Leach 등(21)은 온도에 따른 팽윤양상이 전분립 내부의 전분 분자의 회합정도에 따라 다르며 전분립 내의 결합력이 강하면 팽윤력이 강하게 저항한다고 하였다. Wong과 Lelivere(22)는 입자 크기가 작을수록 팽윤력이 크고 비슷한 크기에서는 입자내의 결정성이 클수록 팽윤력이 낮다고 보고하였다. 한편 본 실험에 사용한 메성 쌀의 전분은 보고된 찰성 쌀 전분(23,24)에 비해 팽윤력이 낮게 측정되었으며, 이는 전분의 팽윤력이 주로 amylopectin에 의해 기인하기 때문으로(25) 판단되었다.

40, 50, 60°C에서 수침처리한 쌀로부터 분리한 전분의 팽윤력과 용해도는 대조구 쌀 전분에서 보다 높게 나타나는 경향을 보여주었다. 40°C에서 수침한 쌀 전분의 팽윤력과 용해도가 가장 높았으며 그 이상의 처리온도에서는 일부 다소 감소하는 경향이 있었지만 대조구 전분보다는 높게 나타나 annealing을 유발할 수 있는 상승된 수침온도가 쌀 전분의 팽윤력과 용해도에 영향을 주는 것으로 나타났다.

Annealing 수침처리한 쌀 전분의 DSC 특성

Differential Scanning Calorimetry(DSC)에 의해 전분의 열특

Table 3. Swelling power and solubility of starches separated from milled rices steeped at elevated temperatures¹⁾

Steeping temp.	Swelling power (g/g)				Solubility (%)			
	30°C	50°C	70°C	90°C	30°C	50°C	70°C	90°C
Control ²⁾	1.16 ± 0.09	1.21 ± 0.16	6.61 ± 0.84	12.83 ± 2.92	0.15 ± 0.08	0.17 ± 0.00	2.55 ± 0.78	6.09 ± 1.92
40°C	1.70 ± 0.31	1.88 ± 0.26	7.41 ± 0.32	13.81 ± 3.14	0.55 ± 0.01	0.76 ± 0.01	3.06 ± 0.73	7.85 ± 3.26
50°C	1.51 ± 0.23	1.70 ± 0.00	6.80 ± 0.01	12.27 ± 3.51	0.43 ± 0.07	0.52 ± 0.06	2.24 ± 0.75	6.69 ± 2.16
60°C	1.70 ± 0.29	1.81 ± 0.10	7.22 ± 0.48	12.69 ± 3.47	0.65 ± 0.04	0.86 ± 0.01	2.46 ± 0.84	7.27 ± 2.18

¹⁾Means of three replicates ± standard deviation.

²⁾Without steeping.

Table 4. DSC thermal properties of starches separated from milled rices steeped at elevated temperatures

Steeping temp.	First peak ¹⁾			Second peak ¹⁾		
	T ₀	T _p	ΔH ₁ (J/g)	T ₀	T _p	ΔH ₂ (J/g)
Control ²⁾	60.21 ± 0.13 ³⁾	68.33 ± 0.37	11.83 ± 0.68	93.53 ± 0.02	93.95 ± 0.02	0.04 ± 0.01
40°C	59.87 ± 0.45	66.30 ± 0.58	12.80 ± 0.52	93.51 ± 0.00	93.95 ± 0.02	0.06 ± 0.00
50°C	57.01 ± 0.14	64.68 ± 0.01	12.84 ± 0.48	93.52 ± 0.01	93.95 ± 0.01	0.06 ± 0.01
60°C	61.63 ± 0.16	68.64 ± 0.03	11.16 ± 0.69	93.55 ± 0.03	93.94 ± 0.03	0.04 ± 0.01

¹⁾T₀ and T_p = onset and peak temperatures (°C). ΔH₁ = enthalpy of gelatinization. ΔH₂ = enthalpy of melting.

²⁾Without steeping.

³⁾Mean ± standard deviation.

Table 5. RVA pasting properties of starches separated from milled rices steeped at elevated temperatures

Steeping temp.	Onset temp. (°C)	Viscosity (RVU) ¹⁾				
		Peak	Trough	Breakdown	Final	Setback
Control ²⁾	71.6 ± 1.0 ^{b,3)}	239.4 ± 1.0 ^b	139.0 ± 2.8 ^b	100.5 ± 3.0 ^b	263.0 ± 3.4 ^c	23.5 ± 3.4 ^c
40°C	71.0 ± 0.9 ^b	248.5 ± 0.5 ^a	138.8 ± 1.3 ^b	109.8 ± 1.3 ^a	261.3 ± 2.1 ^c	12.7 ± 2.0 ^d
50°C	72.4 ± 1.0 ^{ab}	237.0 ± 0.8 ^c	151.7 ± 6.2 ^a	85.3 ± 5.5 ^c	276.0 ± 5.1 ^b	39.1 ± 4.4 ^b
60°C	73.8 ± 0.4 ^a	228.7 ± 0.3 ^d	156.5 ± 2.1 ^a	72.2 ± 2.0 ^d	293.7 ± 1.6 ^a	65.0 ± 1.4 ^a

¹⁾Trough = minimum viscosity after the peak, breakdown = peak viscosity minus trough viscosity, setback = final viscosity minus peak viscosity.

²⁾Without steeping.

³⁾Means of three replicates ± standard deviation. Means with different letters within the same column are significantly different ($\alpha=0.05$) using Duncan's multiple range test.

성을 측정할 수 있으며 수침처리한 쌀 전분의 DSC 측정 결과는 Table 4와 같다. 쌀 전분의 DSC thermogram은 2개의 peak를 보여주었으며 첫 번째 peak는 호화상전이 현상을 나타내는 것이며 두 번째 peak는 아밀로오스와 지질 복합체가 용해되는 현상으로(26) 나타났다. 수침처리하지 않은 쌀 전분의 첫 번째 peak는 호화 peak로서 호화개시온도, 호화정점온도는 각각 60.21°C, 68.33°C였으며 호화엔탈피는 11.83 J/g이었는데 이는 Jacobs 등의 결과(8)와 유사하였다. 두번째 peak는 93°C 부근에서 일어났는데 이는 아밀로오스와 지질 복합체가 용해되는 peak로서 90-120°C에서 나타난다는 결과(26)와 일치하였으며 처리구간에는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다.

40°C와 50°C에서 수침처리한 쌀 전분의 호화개시온도와 호화정점온도는 대조구 쌀 전분에 비해 약간 낮아졌으며 호화엔탈피는 약간 증가하였다. 그러나 60°C 수침온도에서 처리한 쌀 전분의 호화개시온도와 호화정점온도가 다시 약간 높아지는 경향이었으며 호화엔탈피에서는 별 차이를 보이지 않았다. 호화에 필요한 엔탈피는 습식제분에 의한 쌀가루가 건식제분에 의해 얻은 쌀가루에 비해 높았으며 호화 엔탈피가 낮은 쌀가루일수록 전분의 결정구조가 더 많이 파괴된 것으로 보고되었다(27). 한편 40-60°C 온도에서 수침처리한 쌀 전분은 호화온도범위인 peak의 폭이 대조구 쌀 전분에 비해 다소 좁아졌다. 전분은 annealing에 의해 호화 endotherm의 온도가 증가하고 호화 온도범위가 좁아지며 호화엔탈피가 증가하거나 변화가 없다고 보고한 결과(8)와 비교할때 40°C와 50°C에서 수침처리한 쌀 보다 60°C에서 수침처리한 쌀에서 전분의 부분적인 annealing 효과가 나타난 것으로 판단되었다.

Annealing 수침처리한 쌀 전분의 RVA 특성

신속점도측정기(Rapid Visco-Analyzer)에 의해 수침처리한 쌀 전분의 호화양상을 측정한 결과는 Table 5와 같다. 40, 50, 60°C에서 수침처리한 쌀 전분의 호화개시온도는 각각 71.0, 72.4, 73.8°C로서 대조구 쌀 전분의 71.6°C에 비해 40°C 수침을 제외하고 약간 증가하였으며 이는 수침처리에 의해 호화개시온도는 늦어진다는 결과(4)와 유사하였다.

수침처리하지 않은 쌀 전분에 비해 40°C 수침처리한 쌀 전분은 최고점도가 증가하였고 breakdown이 증가하였으며 50°C 최종점도가 대조구와 비슷하여 setback은 약간 감소하였다. 그러나 50°C와 60°C에서 수침처리한 쌀의 전분은 최고점도가 감소하였고 trough 점도가 증가하여 breakdown이 감소하였으며 최종점도는 증가하여 setback이 증가하는 것으로 나타났다. 최고점도와 95°C에서 2.5분후의 점도인 trough와의 차이 즉 breakdown 점도는 전분 paste의 전단에 대한 안정성을 나타내 주는 지표이며, 전분 paste의 전단에 대한 저항성의 증가는 전분입자

의 annealing에 기인한 점도의 변화 때문인 것으로 판단되었다. 따라서 본 실험 결과 50°C와 60°C의 상승된 온도에서 수침처리한 쌀 전분은 RVA 최고점도, trough, breakdown, 최종점도, setback에 차이를 보여 생전분의 호화 양상에 변화를 유발시키는 것으로 나타났다.

요 약

40, 50, 60°C의 실온 이상의 상승된 온도에서 쌀을 수침처리한 후 습식제분한 쌀가루로부터 분리한 전분의 특성을 조사하였다. 수침처리하지 않은 대조구 쌀 전분에 비해 수침처리한 쌀 전분의 명도는 약간 감소하였으며 전분의 평균 입자크기는 다소 감소하였다. 전분의 팽윤력과 용해성은 대조구보다 전반적으로 높았으며 특히 40°C에서 수침처리한 쌀 전분에서 가장 높았지만 그 이상의 처리온도에서는 다소 감소하는 경향이였다. DSC 호화개시온도, 호화정점온도는 40°C와 50°C 수침처리한 쌀 전분에서 감소하였고 호화엔탈피는 증가하였으나 60°C 수침처리에서는 호화개시온도와 호화정점온도가 증가하였고 호화온도범위가 감소하여 전분의 annealing 현상이 나타남을 제시해 주었다. 40°C에서 수침처리한 쌀 전분은 Rapid Visco-Analyzer(RVA) 최고점도가 증가한 반면, 50°C와 60°C에서는 최고점도가 감소하였고 breakdown이 감소하였으며 최종점도는 증가하여 setback이 높게 나타났다.

감사의 글

본연구는 농림부에서 시행한 농림기술개발사업의 연구비 지원으로 수행된 연구결과의 일부로 이에 감사드립니다.

문 헌

- Nishita KD, Bean MM. Grinding methods: Their impact on rice flour properties. *Cereal Chem.* 59: 46-49 (1982)
- Bean MM. Rice flour-its functional variations. *Cereal Foods World* 31: 477-481 (1986)
- Park YK, Seog HM, Nam YJ, Shin DW. Physicochemical properties of various milled rice flours. *Korean J. Food Sci. Technol.* 20: 504-510 (1988)
- Chiang PY, Yeh AI. Effect of soaking on wet-milling of rice. *J. Cereal Sci.* 35: 85-94 (2002)
- Kim SK, Bang JE. Physicochemical properties of rice affected by steeping conditions. *Korean J. Food Sci. Technol.* 28: 1026-1032 (1996)
- Choi EJ, Kim HS. Physicochemical and gelatinization properties of glutinous rice flour and starch steeped at different conditions. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* 26: 17-24 (1997)
- Stute R. Hydrothermal modification of starches: The difference

- between annealing and heat-moisture treatment. *Starch/Stärke* 44: 205-214 (1992)
8. Jacobs H, Eerlingen RC, Clauwaert W, Delcour JA. Influence of annealing on the pasting properties of starches from varying botanical sources. *Cereal Chem.* 72: 480-487 (1995)
 9. Teste RF, Debon SJJ. Annealing of starch: A review. *Int. J. Biol. Macromol.* 27: 1-12 (2000)
 10. Shandera DL, Jackson DS. Effect of corn wet-milling conditions (sulfur dioxide, lactic acid, and steeping temperature) on starch functionality. *Cereal Chem.* 73: 632-637 (1996)
 11. Yamamoto A, Shirakawa K. Annealing of long-term stored rice grains improves gelatinization properties. *Cereal Chem.* 76: 646-649 (1999)
 12. Yamamoto K, Sawada, S, Onogaki T. Properties of rice starch prepared by alkali method with various conditions. *Denpun Kagaku* 20: 99-104 (1973)
 13. AACC. Approved Methods of the AACC. 10th ed. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN, USA (2000)
 14. AOAC. Official Methods of Analysis, 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA (1990)
 15. Schoch TJ. Swelling power and solubility of granular starches: Whole starches and modified starches. Vol. 4, p. 106. In: *Methods in Carbohydrate Chemistry*. Whistler RL (ed). Academic Press, New York, NY, USA (1964)
 16. Dubois M, Gilles KA, Smith F. Colorimetric method for determination of sugars and related substance. *Anal. Chem.* 28: 350-356 (1956)
 17. Lund DB. Influence of time, temperature, moisture, ingredients, and processing conditions on starch gelatinization. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 20: 249-252 (1987)
 18. Hayakawa T, Seo SW, Igaue I. Electron microscopic observation of rice grain. I. Morphology of rice starch. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.* 27: 173-179 (1980)
 19. Kim SK, Chang BS, Lee SJ. Ultrastructure of compound starch granules and protein bodies of starchy endosperm cell in rice. *J. Korean Soc. Agric. Chem. Biotechnol.* 39: 379-383 (1996)
 20. Ko YD, Choi OJ, Park SK, Ha HS, Sung NK. Changes in physicochemical properties of rice starch from rice stored at different conditions. *Korean J. Food Sci. Technol.* 27: 306-312 (1995)
 21. Leach HW, McCowen LD, Schoch TJ. Structure of the starch granule. I. Swelling and solubility patterns of various starches. *Cereal Chem.* 36: 534-544 (1959)
 22. Wong RBK, Lelievre J. Comparison of the crystallinities of wheat starches with different swelling capacities. *Starch* 34: 159-165 (1982)
 23. Lii CY, Tsai ML, Tseng KH. Effect of amylose content on the rheological properties of rice starch. *Cereal Chem.* 73: 415-420 (1996)
 24. Tsai ML, Li CF, Lii CY. Effects of granular structures on the pasting behaviors of starches. *Cereal Chem.* 74: 750-757 (1997)
 25. Tester RF, Morrison WR. Swelling and gelatinization of cereal starches. I. Effect of amylopectin, amylose, and lipids. *Cereal Chem.* 67: 551-557 (1990)
 26. Kugimiya M, Donovan JW, Wong RY. Phase transitions of amylose-lipid complexes in starches: A calorimetric study. *Starch/Stärke* 32: 265-270 (1980)
 27. Stevens DJ, Elton GAH. Thermal properties of starch/water system. I. Measurement of heat gelatinization by differential scanning calorimeter. *Starch/Stärke* 23: 8-11 (1971)

(2004년 2월 25일 접수; 2004년 5월 30일 채택)