

치환도가 초산 고구마전분의 물리적 특성에 미치는 영향

- 연구노트 -

유병승[†] · 이혜린

동국대학교 식품생명공학과

Physical Properties of Acetylated Sweet Potato Starches as Affected by Degree of Substitution

Byoungseung Yoo[†] and Hye-Lin Lee

Dept. of Food Science and Biotechnology, Dongguk University, Seoul 100-715, Korea

Abstract

This study examined the flow properties, paste clarity, freeze-thaw stability and gel strength of acetylated sweet potato starch (ASPS) pastes and gels as a function of degree of substitution (DS). ASPS showed high shear-thinning flow behaviors with high Casson yield stress (σ_{oc}). Consistency index (K), apparent viscosity ($\eta_{a,100}$) and σ_{oc} values of ASPS increased with an increase in DS. In the temperature range of 25~70°C, ASPS followed an Arrhenius temperature relationship. The activation energies ($E_a=13.2\sim 14.3$ kJ/mol) of the ASPS samples were much lower than that (18.1 kJ/mol) of the native sweet potato starch (SPS). ASPS gels showed better freeze-thaw stability with a significant decrease in syneresis (%) compared to SPS gel. The gel strength values of ASPS were much lower than that of SPS, and significantly decreased with an increase in DS. The clarity of native SPS paste increased after acetylation.

Key words: acetylated sweet potato starch, flow property, freeze-thaw stability, viscosity

서 론

전분은 현재 가장 많이 사용되고 있는 중요한 탄수화물 중의 하나로 주위에서 광범위하게 얻을 수 있으며, 주로 옥수수, 밀, 쌀, 감자, 고구마와 같은 식물에서 얻어지고 있다. 우리나라에서는 이들 전분 중 고구마전분이 옥수수와 감자 다음으로 가장 많이 사용되고 있으며, 주로 당면이나 물엿 등의 재료로 사용되고 있다. 고구마전분은 평균 전분입자 크기가 5~25 μm 로써 다른 전분에 비하여 크기가 작고 다각형과 달걀모양의 형태를 가지고 있으며, 인과 amylose 함량이 낮고 amylose의 분자량은 큰 것으로 알려져 있다(1,2).

일반적으로 천연전분은 전단응력, 온도, pH, 노화, 냉·해동에 대해서 안정성이 낮기 때문에 미감형성, 점도조정, 감촉개선, 분산성 향상 등의 목적으로 물리적·화학적으로 변성시킨 다양한 변성전분이 식품 산업에서 많이 사용되고 있다. 이들 변성전분 중에서도 초산, 무수초산, 염화아세틸 등의 초산기에 의해 치환된 전분 에스테르인 초산 변성전분이 가장 많이 사용되고 있다. 여러 종류의 천연전분에 초산기를 도입하면 팽윤력, 용해도, 페이스트 투명도 및 냉·해동 안정성이 증가하고, 호화 온도와 전분 페이스트의 이수현상은 감소하며 점성 및 탄성이 증가하는 것으로 알려져 있으며

(3), 현재 미국의 FDA 및 국내의 식품첨가물공전에서는 % 아세틸 함량이 0.5~2.5% 범위에 있는 초산전분에 대해서만 식품첨가물로 허가되고 있다.

최근에는 여러 천연전분을 원료로 하여 초산전분을 제조하여 이들 전분의 이화학적 특성을 연구한 내용들이 보고되고 있으며(4-6), 그중 고구마전분을 이용하여 여러 변성 전분들이 제조되기도 한다. 그러나 국내산 고구마로부터 치환도를 달리한 초산전분을 제조하여 초산 고구마전분의 물리적 특성을 관찰한 연구는 Lee와 Yoo(7)에 의한 동적 유변적 특성 및 열적 특성 연구 이외에는 보고된 바가 없다. 특히 초산 고구마전분의 유동특성과 겔 특성에 대해서는 전혀 연구된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 치환도가 초산 고구마전분 페이스트의 유동특성 및 투과도, 그리고 전분 겔의 냉해동 안정성 및 강도에 미치는 영향에 대하여 분석하였다.

재료 및 방법

재료 및 초산 고구마전분 제조

본 연구에 사용되는 초산 고구마전분(치환도: 0.032~0.123)은 국내산 천연 고구마전분(금등농수산, 제주시)을 시료로 사용하여 Wurzburg의 방법(8)을 이용하여 본 연구실에서

[†]Corresponding author. E-mail: bsyoo@dongguk.edu
Phone: 82-2-2260-3368, Fax: 82-2-2264-3368

직접 제조하였다. 천연 고구마전분(500 g)과 증류수(750 mL)를 물이 순환될 수 있는 double-jacket 반응조(3 L)에 함께 넣고, 여기서 얻어진 현탁액(30°C)은 peristaltic pump(MP-1000-H, Eyela, Kyoto, Japan)를 이용하여 무수초산(8.86~35.5 g)을 일정량 주입하면서 반응을 시켰다. 또한 반응하는 동안 이들 현탁액의 pH를 8.1~8.3로 유지시키기 위해 3% NaOH용액을 동시에 peristaltic pump를 사용하여 주입하였으며, 교반속도 1000 rpm에서 2시간 동안 반응시켰다. 이후 15% HCl을 넣어 pH 5.5로 보정하여 반응을 종료하였다. 반응이 종료된 현탁액은 증류수로 3회 수세, 탈수한 다음, 40°C의 열풍건조기(VOS-201SD, Eyela)에서 24시간 동안 건조되었다. 건조된 시료는 분쇄된 후 sieve shaker(AS200, Retsch GmbH & Co., Haan, Germany)의 체(mesh 구멍크기: 150 µm)를 통과시켜 시료로 사용하였다. Smith의 방법(9)에 따라 측정된 초산 고구마전분의 % acetyl 함량은 각각 0.84%, 1.55%, 2.36%, 3.15%로 나타났으며, 이에 대한 치환도는 0.032, 0.059, 0.091, 0.123으로 나타났다.

일반성분 분석

천연 및 초산 고구마전분의 일반성분분석은 AOAC방법(10)에 따라 수분, 단백질, 조지방 및 조회분 함량을 분석하였으며, 탄수화물은 100에서 이들 함량을 뺀 값으로 하였다.

전분 페이스트의 유동특성 측정

전분 페이스트의 유동특성은 여러 온도(25, 40, 55, 70°C)로 설정된 rheometer(Carri-Med CSL 100, TA Instruments, New Castle, DE, USA)의 plate-plate system(직경: 4 cm, 간격: 500 µm)을 사용하여 0.4~1000 sec⁻¹의 광범위한 전단속도($\dot{\gamma}$) 범위에서 전단응력(σ)을 측정하였다. 실험하는 동안 수분의 증발을 방지하기 위하여 paraffin oil을 plate 주변에 주입하였다. 여기에서 얻은 σ 와 $\dot{\gamma}$ 로부터 power law 모델식(식 1)과 Casson 모델식(식 2)에 적용되어 유동성 지수(flow behavior index, n), 점조도 지수(consistency index, K) 및 항복응력(yield stress, σ_{oc}) 등 유변학적 매개변수들이 얻어졌다.

$$\text{Power law model: } \sigma = K \cdot \dot{\gamma}^n \quad (\text{식 1})$$

$$\text{Casson model: } \sigma^{0.5} = K_{oc} + K_c \dot{\gamma}^{0.5} \quad (\text{식 2})$$

여기서 σ 는 전단응력(Pa), $\dot{\gamma}$ 는 전단속도(sec⁻¹), K는 점조도 지수(consistency index, Pa·sⁿ), n은 유동성 지수, σ_{oc} 는 항복응력을 나타낸다. σ_{oc} 는 $(K_{oc})^2$ 으로 결정되며 $(K_c)^2$ 은 Casson plastic viscosity(η_{c})이다. 겔보기 점도(apparent viscosity, $\eta_{a,100}$)는 power law 모델식에 의하여 얻어진 n, K로부터 전단속도 100 sec⁻¹에서 $\eta_{a,100} = K\dot{\gamma}^{n-1}$ 식으로부터 결정되었으며, 또한 25~70°C의 온도 범위에서 온도 변화가 $\eta_{a,100}$ 에 미치는 영향은 Arrhenius 식(식 3)을 사용하여 결정되었다.

$$\eta_{a,100} = A \cdot \exp(E_a/RT) \quad (\text{식 3})$$

여기서 $\eta_{a,100}$ 는 전단속도 100 sec⁻¹에서 겔보기 점도(Pa·

s)를 나타내고 A는 상수(Pa·s), T는 절대온도(K), R은 기체 상수(8.314 J/mol·K)이며, E_a는 활성화 에너지(kJ/mol)이다.

전분 겔의 이수현상 측정

전분 겔의 이수 정도는 5% 초산 고구마전분 현탁액을 제조하여 95°C에서 30분간 가열한 뒤 얼음물로 상온까지 급냉시킨 후 50 mL 원심분리 튜브에 호화액 15 g을 주입하여 -18°C에서 24시간 냉동하고 30°C에서 1시간 30분 동안 해동시켜 2300×g로 30분간 원심분리 하여 분리된 상등액의 무게를 측정하였다. 이와 같은 냉·해동 과정을 1 cycle로 하여 총 3 cycle까지 냉·해동을 반복하여 이수된 상등액의 % 함량을 Eliasson과 Kim(11)의 방법을 사용하여 아래 식(식 4)에 의해 계산하였다.

$$\text{이수현상(\%)} = \frac{\text{분리된 물의 무게(g)} \times 100}{\text{전체 시료 무게(g)}} \quad (\text{식 4})$$

전분 겔 강도 측정

초산 고구마전분의 겔 강도 측정은 10% 전분 호화액을 지름 35 mm, 높이 40 mm의 플라스틱 실린더에 주입하고 상온에서 1시간 동안 방치시킨 후 수분증발을 방지하기 위해 밀봉하여 4°C에서 24시간 동안 저장시킨 다음 상온에서 1시간 동안 방치시킨 후 Brookfield Texture Analyzer(TA-CT3, Brookfield, Middleboro, MA, USA)에 의해 겔 강도(g)를 측정하였다. 측정 조건으로는 직경 30 mm의 probe를 사용하여 1 mm/sec의 속도로 겔의 중앙 부위에 10 mm 깊이까지 압착하였다.

페이스트의 투과도 측정

초산 고구마전분의 페이스트 투과도 측정은 Craig 등(12)의 방법으로 측정하였다. 1%의 전분 현탁액을 제조하여 95°C의 항온수조에서 30분간 교반하여 호화시킨 뒤 5분간 상온에서 식힌 후 4°C에서 7일간 저장 후 spectrophotometer를 이용하여 650 nm에서 빛 투과도(% T)를 측정하였다.

통계처리

모든 자료의 결과는 평균(mean)±표준편차(SD)로 나타내었으며, 분산분석(Analysis of Variance)은 Statistic Analysis System 프로그램(version 9.1, SAS Institute, Cary, NC, USA)을 이용하여 통계처리 하였다. 평균값에 대한 유의적 차이는 Duncan's multiple range test에 의해 결정되었다.

결과 및 고찰

일반성분 분석

천연 및 초산 고구마전분 일반조성은 천연고구마전분인 경우 수분 16.5%, 조지방 0.29%, 조단백질 0.26%, 탄수화물 82.8%, 회분 0.18%이었으며, 초산 고구마전분(치환도: 0.032~0.123)은 수분 13.7~16.0%, 조지방 0.04~0.27%, 조단백질 0.13~0.19%, 탄수화물 83.4~85.8%, 회분 0.19~0.26%

Table 1. Effect of DS on power law parameters and yield stress (σ_{oc}) values of acetylated sweet potato starch pastes at 25°C

DS ¹⁾	$\eta_{a,100}$ (Pa·s)	K (Pa·s ⁿ)	n (-)	σ_{oc} (Pa)
0 (native)	0.92±0.00 ^{b2)}	17.5±0.09 ^b	0.36±0.00 ^b	30.4±0.06 ^b
0.032	0.85±0.02 ^d	14.8±0.47 ^d	0.38±0.00 ^a	25.8±0.92 ^c
0.059	0.89±0.01 ^{cd}	15.6±0.32 ^c	0.38±0.00 ^a	27.5±1.26 ^c
0.091	0.91±0.01 ^{bc}	17.0±0.40 ^b	0.36±0.01 ^b	29.9±1.28 ^b
0.123	1.04±0.01 ^a	20.8±0.10 ^a	0.35±0.00 ^e	35.8±0.76 ^a

¹⁾DS: degree of substitution.

²⁾Means with different letters within each column are significantly different ($p<0.05$).

범위에 있었다.

유동특성

천연 고구마전분과 치환도에 따른 초산 고구마전분(치환도: 0.032~0.123) 페이스트의 전단속도(shear rate)에 대한 전단응력(shear stress)의 실험 결과는 높은 결정계수($R^2=0.98\sim0.99$)를 보여주면서 power law 모델식(식 1)과 Casson 모델식(식 2)에 잘 적용되었다. Table 1에 보여준 것과 같이 25°C에서 모든 시료의 유동성 지수(n)는 1보다 낮은 0.36~0.38로 높은 shear-thinning 거동을 가지고 있는 것으로 나타났다. 치환도가 증가할수록 n값은 감소하는 경향을 보였다. 천연전분의 n값(0.36)은 치환도 0.032와 0.059 초산전분의 n값(0.38)보다 낮았지만 치환도 0.091 초산전분의 n값(0.36)은 같은 값을 나타내었으며, 치환도 0.123 초산전분은 가장 낮은 n값을 보여주었다. 반면 겔보기 점도($\eta_{a,100}$), 점조도 지수(K), 항복응력(σ_{oc})의 크기는 치환도가 증가할수록 증가하였다. 치환도 0.032와 0.059 초산전분의 $\eta_{a,100}$ (0.85~0.89 Pa·s), K(14.8~15.6 Pa·s)와 σ_{oc} (25.8~27.5 Pa)은 천연 고구마전분($\eta_{a,100}=0.92$ Pa·s, K=17.5 Pa·s, $\sigma_{oc}=30.4$ Pa)보다 낮았으나 치환도 0.091 초산전분($\eta_{a,100}=0.91$ Pa·s, K=17.0 Pa·s, $\sigma_{oc}=29.9$ Pa)은 천연 고구마전분의 값과 비슷하게 나타났으며, 치환도 0.123 초산전분의 값($\eta_{a,100}=1.04$ Pa·s, K=20.8 Pa·s, $\sigma_{oc}=35.8$ Pa)은 천연 고구마전분의 값보다 높게 측정되었다. Saartrat 등(13)에 의하면 초반에 천연 전분에 초산기가 도입되면서 점도가 떨어지는 것은 초산전분의 화학적 조성과 초산기의 소수성 거동에 의해서 일어날 수 있다고 설명하고 있으며, 또한 초산 전분 제조 시 알칼리 상태에서 무수초산과 반응시키는데 이때 알칼리에 의해 전분 입자가 손상되었기 때문인 것으로 보고되고 있다(14). 치환도가 증가할수록 점도가 증가하는 이유는 초산기의 도입으로 전분 사슬의 상호작용이 감소되고 전분입자 구조가 느슨하게 되어 팽윤력이 증가하기 때문이다(7). 또한 초산 쌀 전분에서도 이와 유사한 결과가 나타난 것으로 보고되고 있다(4).

온도가 겔보기 점도($\eta_{a,100}$)에 미치는 영향

천연 고구마전분과 치환도에 따른 초산 고구마전분의 특정한 온도(25, 40, 55, 70°C)에서 전분 페이스트의 겔보기 점

도의 온도 의존성은 Arrhenius model 식(식 3)에 높은 결정계수($R^2=0.97\sim0.99$)로 잘 적용되었다. 초산 고구마전분의 Ea값은 DS 0.032에서 14.3 kJ/mol, DS 0.059에서 13.4 kJ/mol, DS 0.091에서 13.2 kJ/mol, DS 0.123에서 14.3 kJ/mol을 각각 보여 주었으며, 이들 초산전분은 천연 전분의 Ea값(18.1 kJ/mol)보다 낮은 값을 나타내었다. 이는 초산기의 도입으로 겔보기 점도에 대한 온도의 영향은 더 작아진다는 것을 의미하며, 천연 고구마전분을 초산으로 변성시킴으로써 열 안정성이 개선되는 것으로 나타났다. 그러나 치환도에 따른 Ea값의 차이는 가장 낮은 치환도를 가진 시료(DS=0.032)를 제외하고는 시료 간에 큰 차이를 나타내지 않았다.

전분 겔의 이수현상 및 강도

전분은 호화과정과 호화전분 저장 시 전분입자의 파괴에 의해 물 분자가 빠져나와 전분의 구조적 재배열이 일어난다. 이때 이수현상(syneresis)이 발생하는데 이것을 통해 전분의 노화 특성을 측정할 수 있다. 천연 고구마전분과 치환도에 따른 초산 고구마전분의 이수현상은 Table 2에서 보여주고 있다. 모든 시료의 이수현상은 냉·해동 주기가 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타냈으며, 초산전분의 이수현상은 천연전분보다 낮아지며 치환도가 증가함에 따라 낮아지는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 쌀전분, canna전분, 밀전분, 옥수수전분 및 감자전분에서도 같은 결과를 보여 주었다(4,13-15). 천연전분은 스펀지 같은 조직감 특성을 가지고 있어 수분이 많이 용출되는 반면에 초산전분은 초산 전분 페이스트 내부에 도입된 초산기로 인하여 수분 보유력이 증가되어 냉·해동 안정성이 우수한 것으로 나타났다(13).

치환도가 다른 초산 고구마전분의 겔 강도 측정은 Table 2에서 보여준 바와 같이 초산 고구마전분의 겔 강도(95.3~314 g)는 천연 전분의 겔 강도(1043 g)보다 낮은 값을 나타냈으며, 치환도가 증가할수록 겔 강도는 낮아지는 것으로 나타났다. 이것은 초산화로 인해 전분 겔 저장 시 amylose 사슬의 상호작용을 억제하고 amylose와 amylopectin의 결합을 방해시켜 junction zone의 형성을 방지하여 보다 약한 전분 겔을 형성하였기 때문인 것으로 설명될 수 있다(16).

투과도 측정

초산 고구마전분 페이스트의 투과도 값(11.1~37.0%)은

Table 2. Effect of DS on syneresis (%) and strength (g) of acetylated sweet potato starch pastes and gels

DS ¹⁾	Strength (g)	Syneresis (%)		
		1 cycle	2 cycle	3 cycle
0 (native)	1043±47.7 ^{a2)}	56.1±0.38 ^a	59.9±0.32 ^a	67.4±0.24 ^a
0.032	314±4.93 ^b	53.2±0.19 ^b	56.4±0.17 ^b	59.4±0.44 ^b
0.059	241±3.79 ^c	31.1±0.20 ^c	55.7±0.30 ^c	56.5±0.28 ^c
0.091	185±23.5 ^d	16.7±0.35 ^d	48.4±0.33 ^d	55.6±0.26 ^d
0.123	95.3±12.5 ^e	1.57±0.04 ^e	29.2±0.08 ^e	54.6±0.34 ^e

¹⁾DS: degree of substitution.

²⁾Means with different letters within each column are significantly different ($p<0.05$).

Table 3. Effect of DS on the paste clarity of sweet potato starch

DS ¹⁾	Transmittance (%T at 650 nm)
0 (native)	8.50±0.01 ^{e2)}
0.032	11.1±0.06 ^d
0.059	25.8±0.50 ^c
0.091	29.8±0.44 ^b
0.123	37.0±0.12 ^a

¹⁾DS: degree of substitution.

²⁾Means with different letters within each column are significantly different (p<0.05).

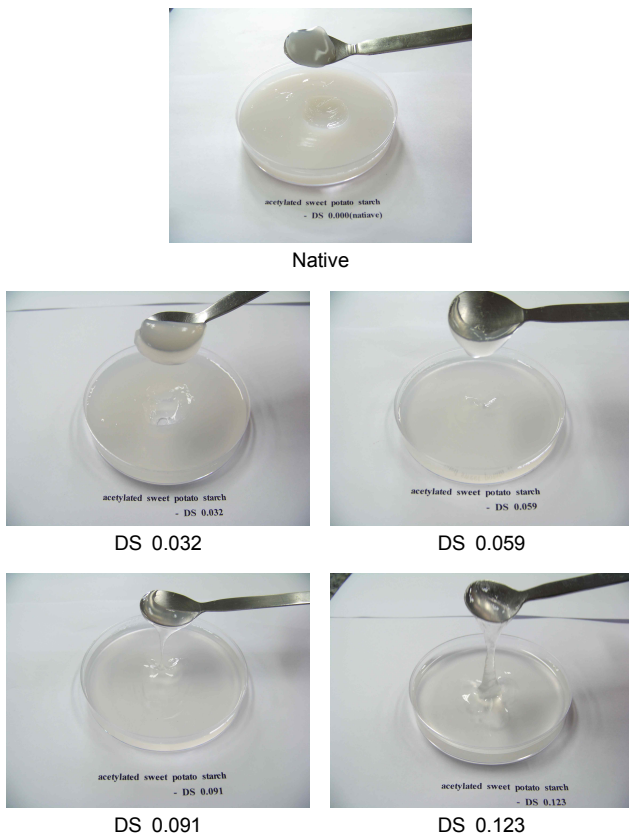


Fig. 1. Appearance of native and acetylated sweet potato starch gels.

천연 고구마전분의 투과도 값(8.50%)보다 높게 나타났으며 치환도가 증가할수록 투과도 값도 증가하는 경향을 나타내었다(Table 3). 이는 천연 고구마전분 내부에 초산기가 도입되면서 팽윤력이 증가함으로써 전분 분자가 분리되고 빛을 반사하는 능력이 줄어들어 빛을 반사하는 대신에 더 많은 빛이 입자를 통과하기 때문이다. Fig. 1에서 보여주는 바와 같이 호화 페이스트를 수저로 떠보았을 때의 육안으로 보는 겔 표면 또한 투과도 값과 유사한 결과를 나타내었다. 천연 전분의 페이스트는 노화가 가장 많이 일어나 유동성이 없이 투명도가 낮게 나타났으며, 초산 전분의 경우는 치환도가 증가할수록 유동성이 증가하면서 투명도가 증가함을 보여주었다.

요 약

각기 다른 치환도를 가진 초산 고구마전분 페이스트의 유동특성 및 투과도 그리고, 이들 전분 겔의 냉·해동안정성 및 강도가 치환도의 함수로 분석되었다. 유동특성 측정 결과 power law 모델식과 Casson 모델식에 잘 적용되었으며, 높은 shear-thinning 거동을 가지고 있는 것으로 나타났다. 특정한 온도 범위(25~70°C)에서 전분 페이스트의 겔보기 점도($\eta_{a,100}$)의 온도 의존성은 Arrhenius 모델식에 잘 적용되었으며 초산 고구마전분이 천연전분에 비해 더 낮은 온도 의존성을 나타내었다. 전분 페이스트 이수현상 측정에서는 초산화에 의해 이수현상이 감소하는 것으로 나타났으며, 치환도가 증가할수록 낮아지는 것으로 나타났다. 겔 강도 측정에서도 초산화에 의해 겔 강도가 감소하는 것으로 나타났으며, 치환도가 증가할수록 겔 강도는 감소하는 것으로 나타났다. 페이스트 투과도(% T) 측정에서 초산전분은 천연전분 보다 투과도가 높은 것으로 나타났다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2007-000-10180-0).

문 헌

- Chen Z, Schols HA, Voragen GJ. 2003. Physicochemical properties of starches obtained from three varieties of Chinese sweet potatoes. *J Food Sci* 68: 431-437.
- Moorthy SN. 2002. Physicochemical and functional properties of tropical tuber starches: a review. *Starch/Stärke* 54: 559-592.
- Whistler RL, BeMiller JN. 1997. Starch. In *Carbohydrate Chemistry for Food Scientists*. Eagan Press, St. Paul, MN, USA. p 117-152.
- Shon KJ, Chung MG, Kim HI, Yoo B. 2006. Physicochemical properties of acetylated rice starch as affected by degree of substitution. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 35: 487-492.
- Chen Z, Schols HA, Voragen GJ. 2004. Differently sized granules from acetylated potato and sweet potato starches differ in the acetyl substitution pattern of their amylose populations. *Carbohydr Polym* 56: 219-226.
- Yadav AR, Guha M, Reddy SY, Tharanathan RN, Ramteke RS. 2007. Physical properties of acetylated and enzyme-modified potato and sweet potato flour. *J Food Sci* 75: 249-253.
- Lee HL, Yoo B. 2009. Dynamic rheological and thermal properties of acetylated sweet potato starch. *Starch/Stärke* 61: 407-413.
- Wurzburg OB. 1964. Acetylation. In *Methods in Carbohydrate Chemistry*. Whistler RL, ed. Academic press, New York, NY, USA. Vol 4, p 286-288.
- Smith RJ. 1967. Characterization and analysis of starches. In *Starch Chemistry and Technology*. Whistler RL, Paschall EF, eds. Academic press, New York, NY, USA. Vol 2, p 569-635.

10. AOAC. 1984. *Official methods of analysis*. 14th ed. Association of Official Analytical Communities, Arlington, VA, USA. p 249-255.
11. Eliasson AC, Kim HR. 1983. Changes in rheological property of hydroxypropyl potato starch pastes during of freeze-thaw treatments I: A rheological approach for evaluation of freeze-thaw stability. *J Texture Stud* 23: 277-285.
12. Craig SAS, Maningat CC, Seib PA, Hosney RC. 1989. Starch paste clarity. *Cereal Chem* 66: 173-182.
13. Saartrat S, Puttanlek C, Rungsardthong V, Uttapap D. 2005. Paste and gel properties of low-substituted acetylated canna starches. *Carbohydr Polym* 61: 211-221.
14. Hung PV, Morita N. 2005. Effects of granule sizes on physicochemical properties of cross-linked and acetylated wheat starches. *Starch/Starke* 57: 413-420.
15. Singh J, Kaur L, Singh N. 2004. Effect of acetylation on some properties of corn and potato starches. *Starch/Starke* 56: 586-601.
16. Liu H, Ramsden L, Corke H. 1997. Physical properties and enzymatic digestibility of acetylated ae, wx, and normal maize starch. *Carbohydr Polym* 34: 283-289.

(2011년 4월 12일 접수; 2011년 6월 16일 채택)