

# 에탄올을 활용한 무정형입자감자녹말(Amorphous Granular Potato Starch) 제조방법 최적화

김희운 · 김창남<sup>1</sup> · 최성원<sup>2</sup> · 김병용 · 백무열\*

경희대학교 생명자원과학연구원 식품생명공학과  
<sup>1</sup>혜전대학교 호텔제과제빵학과, <sup>2</sup>오산대학교 호텔조리계열

## Optimization of Preparation Method for Amorphous Granular Potato Starch Using Ethanol

Hui-yun Kim, Chang-Nam Kim<sup>1</sup>, Sung-Won Choi<sup>2</sup>, Byung-Yong Kim, and Moo-Yeol Baik\*

*Department of Food Science and Biotechnology, Institute of Life Science and Resources, Kyung Hee University*

*<sup>1</sup>Department of Hotel Baking Technology, Hyejeon College*

*<sup>2</sup>Department of Food and Culinary Arts, Osan University*

### Abstract

Recently, amorphous granular starch (AGS) or non-crystalline granular starch (NGS) is of great interest because it has specific physicochemical properties compared to native starches. Various approaches have been taken to prepare gelatinized starch while still maintaining its granular shape. The granular cold-water soluble starch (GCWS) can be prepared by alcoholic-alkaline treatment or by using liquid ammonia and ethanol. However, these starches exhibit significant deformation and shrinking, and chemical treatments may raise safety issues for their potential food applications. Therefore, in this study, the optimization of preparation method for amorphous granular potato starch (AGPS) was investigated using ethanol and heat treatments. Response surface methodology (RSM) and central composite design (CCD) were used to find the optimum conditions for AGPS preparation based on granule integrity and birefringence. Optimum conditions were 53.3% ethanol and 93.87°C heat treatment for 15 min. Prepared AGPS maintained its granular structure and lost birefringence, crystallinity, and DSC amylopectin melting peak, suggesting that proper AGPS could be made using optimized conditions.

**Key words:** amorphous granular potato starch, ethanol, heat, response surface methodology

## 서 론

녹말은 재생 가능한 생 분해성 천연 고분자 물질로서 대부분의 식물체에서 에너지 저장 매체로서 합성, 축적되며, 인간에게는 섭취에너지의 70-80%를 제공한다. 식물체의 줄기, 뿌리, 종자 및 쌀, 옥수수, 밀, 타피오카, 감자, 고구마 등의 곡물에서 발견되어 자연계에 존재하는 두 번째로 풍부한 탄소자원이다. 전세계적으로 옥수수(82%), 밀(8%), 감자(5%), 카사바(5%) 등이 주요 녹말 공급원으로 이용되고 있다(Yoo, 2014). 2000년대에는 전세계 녹말시장이 천연 및 변성녹말을 합쳐 48.5 백만 톤 규모로 추정되었고

생산량의 경제적 규모는 연간 150억 유로에 이르는 것으로 파악되었다. 이는 산업계 및 학계에서 녹말의 새로운 특성이나 고부가가치 응용분야를 지속적으로 추구하고 있음을 간접적으로 암시하고 있다(Yoo, 2014).

녹말 산업에서는 습식 제분 공정을 통한 침지, 분쇄, 여과, 건조 과정 등을 통해 녹말을 추출하고 정제한다. 하지만 자연상태에 존재하는 녹말은 물에 잘 녹지 않아 식품산업에 적용하기가 어렵다. 이러한 문제점을 보완하기 위해서 Jane et al. (1986)는 냉수 용해 입자 녹말(*granular cold water soluble starch, GCWSS*)를 만들기 위해 알코올-알칼리 처리법을 제안하였다. 이들은 녹말 입자를 팽윤시키기 위해 에탄올과 알칼리 혼합액을 녹말에 처리했으며, 이후 중화시키기 위해 염산을 사용하고, 알코올로 세척한 후 건조시켰다. 이렇게 제조된 GCWSS는 보다 큰 점도와 부드러운 질감을 나타내었으며, *pre-gelatinized starch*에 비해 가공했을 때 반죽의 질이 더 좋은 것으로 보고되었다(Jane et al., 1986). 그러나 GCWSS의 경우에는 NaOH를 사용하

\*Corresponding author: Moo-Yeol Baik, Department of Food Science and Biotechnology, Institute of Life Science and Resources, Kyung Hee University, Yongin, Gyeonggi-do 17104, Korea  
Tel: +82-31-201-2625; Fax: +82-31-204-8116  
E-mail: mooyeol@khu.ac.kr  
Received July 14, 2016; revised August 8, 2016; accepted August 10, 2016

여 제조하기 때문에 식품산업에 적용시키는데 거부감이 있고 물에 분산시켰을 때 완전히 용해가 되어 사용하는 데 어려움이 있었다.

물리적인 변성 방법에는 drum drying, extrusion, high hydrostatic pressure (HHP) 등이 있다. 하지만 drum drying, extrusion의 방법의 경우 변성을 한 후에 녹말입자가 손실되어 pasting quality가 감소하게 되고(Yan & Zhengbiao, 2010; Zhang et al., 2012), HHP는 연속공정이 어려워 상업적으로 대량생산에 어려움이 있다. 하지만 무정형 입자 녹말(amorphous granular starch, AGS)는 에탄올의 함량과 가열온도를 조절조건으로 제조하여 녹말입자가 천연녹말과 같이 유지되지만 복굴절성은 사라지고, 물에 분산시켜도 용해가 되지 않는 pre-gelatinized starches으로 식품산업에 적용하는데 유용하다. AGS와 같은 형태인 non crystalline granular starch (NCGS)를 제조한 Liu et al. (2010)은 이런 새로운 타입의 녹말은 물리적 화학적 반응이 촉진될지도 모른다는 점과 같은 많은 장점들을 가지고 있을지 모른다고 하였으며, NCGS는 다양한 변성녹말이나 제품들을 준비하기 위한 새로운 원자재로서 고려되어야 한다고 보고하였다. 따라서 본 연구에서는, 에탄올과 열처리를 사용하여 AGPS를 효과적으로 제조할 수 있는 최적조건을 찾기 위하여 감자녹말을 각각 48-62%의 에탄올 용액에 분산시켜 88-96°C에서 열처리한 후 반응표면분석법(response surface methodology, RSM)을 사용하여 최적 조건을 찾아 제시하고 제조된 AGPS의 입자모양, 열적 특성, 결정화도를 분석하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

실험재료는 (주)뚜레반(Seoul, Korea)에서 생산한 감자녹말을 사용하였으며, 실험 전까지 4°C에서 냉장 보관 하면서 사용하였다

### 실험 디자인 및 재료 준비

에탄올 함량과 온도 범위는 예비실험을 통하여 에탄올 함량 10-90% (10% 간격으로 총 9개)를 100°C에서 가열을 하였을 때 녹말입자가 가장 잘 보존되며 복굴절성은 많이 사라지는 조건으로 에탄올 함량 48-62%를 선정하였고, 온도는 먼저 선정한 에탄올 함량범위로 온도 100°C에서 가열하였을 때 녹말입자가 예상보다 많이 손실되는 것을 확인하고 88-96°C로 낮추어 선정하였다. 시간 범위는 예비 실험과 동일한 20분으로 잡아주었다. RSM은 central composite design (CCD)으로 녹말입자 손실을 최소화하고 복굴절성은 사라지게 할 수 있는 최적 조건을 목적으로 디자인하였다. 변수인 에탄올 함량( $X_1$ )과 온도( $X_2$ )에 따라 중심점 55% 및 92.5°C를 기점으로 범위를 Table 1처럼 나타내었다.

**Table 1. Central composite design range of the ethanol content and temperature**

Factor	Factor levels				
	- $\alpha$	-1	0	+1	+ $\alpha$
EtOH content ( $X_1$ )	46.5	50	55	60	62.4
Temperature ( $X_2$ )	88.3	90	92.5	95	96.2

감자녹말 10 g (dry basis, d.b)을 에탄올 용액(48-62%) 100 mL에 각각 잘 분산시켜 준 뒤, 88-96°C로 설정된 water bath에 넣어 20분간 교반시키며 중탕하였다. 에탄올의 끓는점은 78°C이기 때문에 88-96°C로 가열 시 에탄올의 손실이 발생한다. 에탄올의 손실을 최소화 하기 위해 50 mL conical tube에 시료를 넣고 뚜껑을 닫은 후 parafilm으로 틈을 막은 상태로 중탕하였다. 중탕이 끝나자마자 겔 형성을 방지하기 위해 무수에탄올 50 mL을 첨가하여 탈수시킨 뒤 원심분리 하였다. 원심분리 조건은 3,000 rpm의 속도로 4°C에서 5분간 하였으며 이러한 과정을 3번 반복하였다. 탈수된 감자녹말은 40°C 드라이오븐에서 24시간 건조하여 분쇄한 후 100 mesh 체로 쳐서 통과한 것을 시료로 사용하였다.

모델 적용은 녹말 입자 관찰의 실험 데이터를 바탕으로 식 (1)을 이용하여 독립변수인 에탄올 함량( $X_1$ )과 온도( $X_2$ )에 따른 모델 적용을 위한 값들을 구하였다.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^2 \beta_i X_i + \sum_{i=1}^2 \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{j=1}^1 \sum_{i=1}^2 \beta_{ij} X_i X_j \quad (1)$$

여기서 Y는 2개의 종속변수인 granule integrity와 birefringence 결과이고,  $\beta_0$ 는 절편,  $\beta_i$ ,  $\beta_{ii}$  그리고  $\beta_{ij}$ 는 linear, quadratic, interaction에서 각각의 model coefficient를 나타낸다.

### 녹말 입자 관찰

녹말 입자모양은 시료를 증류수에 분산시켜 광학현미경(CX31RTSF, Olympus Corporation, Tokyo, Japan)을 이용하여 40배율로 관찰하였고, 편광렌즈를 이용하여 복굴절 현상을 확인하였다.

### 열적 특성

전분의 호화 중 열적 특성을 알아보기 위해 밀봉된 빈 pan을 reference로 하여 Differential Scanning Calorimeter (DSC 4000, Perkin Elmer Inc., Waltham, MA, USA)를 사용하여 측정하였다. 일반 감자녹말과 최적 조건으로 처리된 AGPS로 수분함량 75% (wet basis, w.b)의 현탁액을 제조하였다. 녹말 현탁액 20 mg을 aluminum pan에 넣고 1시간 동안 실온에서 방치하여 안정화시켜 준 다음 25°C에서 1분간 유지한 후 25°C에서 120°C까지 5°C/min으로 가열하여 열적 특성 곡선을 얻었다.

## X선 회절도

X선 회절도는 X-ray diffractometer (D8 Advance, Bruker AXS GmbH, Karlsruhe, Germany)에 의해 Cu-K $\alpha$ 을 X-ray 원으로 하여 40 kV와 300 mA의 조건에서 0.02° 2 $\theta$  회절간격으로 5-40°까지 3°/min으로 X-ray diffraction pattern을 조사하였다.

## 통계 분석

Design Expert software (Version 7.0, Stat-Ease Inc., Minneapolis, MN, USA)을 이용하여 반응표면분석을 수행하였다. 통계분석은 ANOVA를 이용하여 분석을 하였다. 모든 실험은 3회 이상 반복 측정 한 다음 SAS (version 9.1.3, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA) 통계 프로그램을 이용하여 5% 유의수준에서 Duncan's multiple range test로 평균간의 다중비교를 실시하였다.

## 결과 및 고찰

### 실험디자인 및 모델 적용

실험디자인은 Table 2와 같이 중심점인 에탄올함량 55%, 가열온도 92°C을 3반복으로 하여 총 11회에 걸쳐 진행하였으며, 결과 값은 광학 현미경을 이용하여 분석한 녹말입자의 보존 정도와 복굴절성의 손실 정도를 5점 척도법을 사용하여 녹말입자모양을 잘 유지하고 복굴절성을 많이 손실이 된 경우 5점으로 평가하였다.

**Table 2. Experimental design of the amorphous granular potato starch from the results of two dependent variables (granule integrity and birefringence)**

Run	Coded variable		Response	
	A (EtOH, %)	B (Temp., °C)	Granule (integrity)	Birefringence (degree)
1	46.5	92.5	3.5	3
2	50	90	4.7	4
3	50	95	4.5	4
4	55	88.3	3.5	3
5	55	92.5	4.5	4.3
6	55	92.5	4.5	4.3
7	55	92.5	4.5	4.3
8	55	96.2	4.5	4.3
9	60	90	3	3
10	60	95	3.5	3
11	62.4	92.5	2.5	2

**Table 3. Model fitting of the amorphous granular potato starch from the results of two dependent variables (granule integrity and birefringence)**

Response	Model	Prob > F	R <sup>2</sup>	Adj-R <sup>2</sup>	Equation in term of coded variable levels
Granule	Quadratic	0.0272	0.8727	0.7455	$Y_1 = 4.5 - 0.51X_1 + 0.21X_2 + 0.18X_1 X_2 - 0.64X_1^2 - 0.14X_2^2$
Birefringence	Quadratic	0.0296	0.8681	0.7361	$Y_2 = 4.3 - 0.43X_1 + 0.23X_2 - 0.79X_1^2 - 0.22X_2^2$

모델 적용 결과 종속변수에서 quadratic 모델이 선정되었다(Table 3). 모델의 적합성은 일반적으로  $p$ -value에 의해 결정되는데, 실험 진행이 원활하게 이루어졌다면  $p < 0.05$ 의 값을 나타낸다. 본 연구의 결과에서는 녹말입자모양과 복굴절성의  $p$ -value가 가열온도의 경우 0.0272, 0.0296 값을 나타내어 quadratic 모델이 적합하다는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 모델 적용에 있어서 적합하다고 판단된 2개의 종속변수 녹말입자모양과 복굴절성에 대하여 ANOVA 분석을 실시하였다.

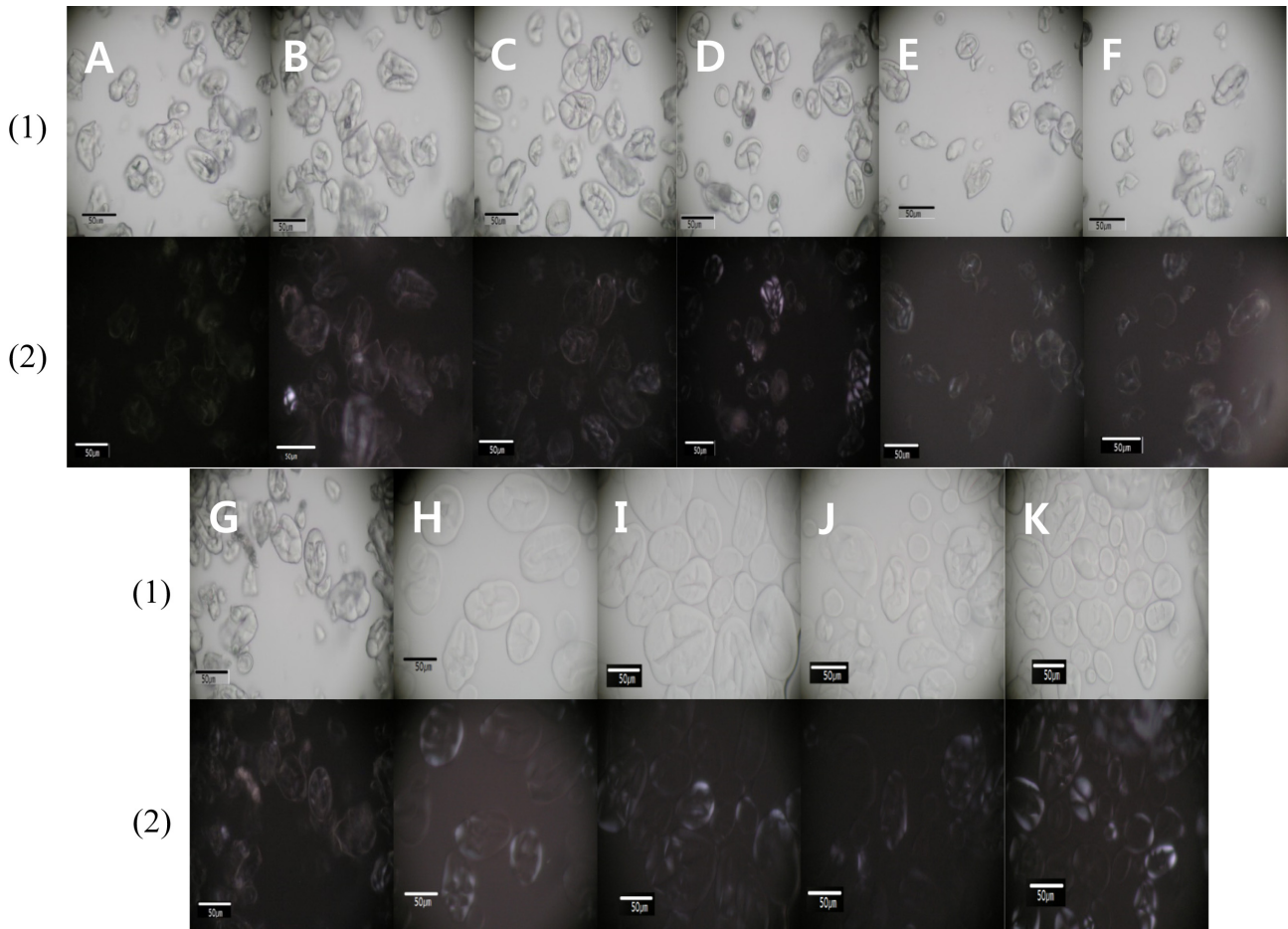
### 녹말입자관찰

11개의 실험디자인대로 실험한 녹말입자를 현미경으로 관찰한 결과는 Fig. 1과 같다. 에탄올 함량이 가장 낮은 46.5%의 경우 상대적으로 수분함량이 많아져 호화가 많이 진행되었으며, 그 결과 복굴절성이 가장 많이 사라진 것을 확인할 수 있었다. 55%의 에탄올 함량으로 처리된 감자 녹말들은 가열온도에 따른 차이가 크게 나지 않아 비슷한 입자모양과 복굴절성을 보였다. 60%대 에탄올 함량을 가진 감자녹말의 경우에는 에탄올 함량이 높아 완전하게 호화가 진행되지 않아 복굴절성이 많이 소실되지 않았다. 하지만 녹말의 입자모양은 부피가 약간 커졌을 뿐 찌그러진 곳 없이 형태를 잘 유지하는 것을 확인할 수 있었다. 최적 조건으로 처리한 무정형입자감자녹말(Amorphous Granular Potato Starch, AGPS)를 Fig. 2에 나타내었다. 녹말 입자모양은 일반감자녹말 입자모양과 비교했을 때 크기가 조금 커졌을 뿐, 형태는 그대로 유지 되고 있고 복굴절성은 완전히 사라진 것을 확인할 수 있었다.

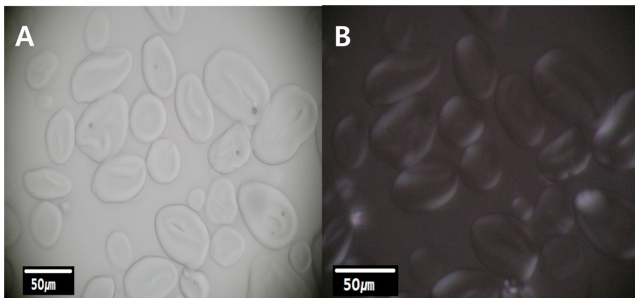
고온과 수분에 의한 감자녹말의 호화가 일어날 때, 감자 녹말의 팽윤이 동시에 일어난다. 감자녹말이 팽윤될 때, 녹말 분자 결정체에 장력이 가해져 결정체가 일그러지는 경향이 있다. 이로 인해 이중나선이 풀리고 분리되어, 결국 결정영역이 붕괴되고, 배열이 망가진다. 감자녹말 내부에서는 amylose와 amylopectin이 뒤얽혀 감자녹말의 입자모양을 유지하고 있다(Yan & Zhengbiao, 2010).

에탄올 처리법은 녹말 표면에 변화를 가져오는데, 옥수수 와 타피오카의 경우 녹말 입자표면에 주름이 생겼고, 감자의 경우에는 크랙이 생성되었다고 하였으며, 이러한 녹말 입자표면의 변화는 아마도 녹말의 분자 구조 차이에 기인한 것이라 보고하였다(Zhang et al., 2012).

감자녹말을 팽윤시키기 위한 수분과 열, 팽윤을 막기 위한 알코올을 포함하는 에탄올 용액에 의해 녹말은 입자 모



**Fig. 1.** Light (1) and polarized (2) micrographs of amorphous granular potato starches treated at 88.3-96.2°C with 46.5-62.4% EtOH (46.5%-92°C: A, 50%-90°C: B, 50%-95°C: C, 55%-88.3°C: D, 55%-92.5°C: E, 55%-92.5°C: F, 55%-92.5°C: G, 55%-96.2°C: H, 60%-90°C: I, 60%-95°C: J, 62.4%-92°C: K).



**Fig 2.** Light and polarized micrographs amorphous granular potato starch treated at 94°C with 53% EtOH (LM: A, PM: B).

양은 유지하되, 복굴절성을 소실하게 된다. 즉, 호화를 촉진하고 팽윤을 저지하기 위한 두 힘이 동등할 때, 수분과 열에 의한 호화와 알코올의 팽윤 억제에 의해 AGPS가 얻어진다.

**반응표면분석**

모델적용이 적합한 2개의 종속변수 입자모양과 복굴절성에 대하여 ANOVA로 분석한 결과를 Table 4에 나타내었

**Table 4.** ANOVA analysis of amorphous granular potato starch from the results of two dependent variables (granule integrity and birefringence)

Source	Granule		Birefringence	
	Prob > F (p-value)	Significance	Prob > F (p-value)	Significance
Model	0.0272	*	0.0296	*
X <sub>1</sub> -EtOH	0.0123	*	0.0312	*
X <sub>2</sub> -Temp.	0.1719	ns	0.1708	ns
AB	0.3996	ns	1.0000	ns
A <sup>2</sup>	0.0101	*	0.0056	*
B <sup>2</sup>	0.4102	ns	0.2572	ns

\*Significant at  $p \leq 0.05$ ; \*\*\*Significant at  $p \leq 0.0001$ ; ns, not significant ( $p \geq 0.05$ )

다. 2개의 종속변수 모두 95%의 신뢰도로 모델적용에 있어 유의적 차이를 보이는 것을 확인할 수 있었다. Linear term에서 에탄올 함량에는 입자모양과 복굴절성 모두 95%의 신뢰도로 유의적 차이를 보였다. 그러나 온도에서는 2개의 종속변수 모두 유의적 차이를 보이지 않았다. 또

한 interaction term에서 있어서도 2개의 종속변수 모두 유의적 차이를 보이지 않았다. Quadratic term에서도 linear term과 마찬가지로 입자모양과 복굴절성 모두 에탄올 함량에 있어서 95%의 신뢰도로 유의적 차이를 보였으며, 온도에 있어서도 2개의 종속변수 모두 유의적 차이를 보이지 않았다. 따라서 2개의 종속변수 모두 온도보다는 에탄올 함량에 더 큰 영향을 받는다고 볼 수 있다.

입자모양과 복굴절성에 따른 반응표면분석 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 최적 조건을 contour plot으로 표기하였고 그 최적화 정도의 척도로 desirability를 사용하였다. Desirability는 52.5-54% 에탄올함량과 92.5-95°C의 가열온도에서 가장 높은 값을 보이는 것을 확인 할 수 있었다. Liu et al. (2010)은 옥수수녹말로 50% 에탄올을 이용하여 AGPS를 제조하였고, 감자전분과 유사한 조건으로 AGPS를 제조할 수 있음을 알 수 있었다. 한편 일정 온도에서 에탄올 함량이 증가할수록 감자녹말의 입자모양이 잘 유지가 되지만 AGPS는 복굴절성이 소실되어야하기 때문에 종속변수의 점수에서 낮은 점수를 나타내었다. 따라서 최대의 desirability는 반복 연산도중 계산되어, 여러 결과들 사이에 최적화 된 한 값에 수렴하며 이 값은 0.987로 측정되었고, 최적 조건은 에탄올 함량 53.3%, 온도는 93.87°C로 선정 되었다(Table 5).

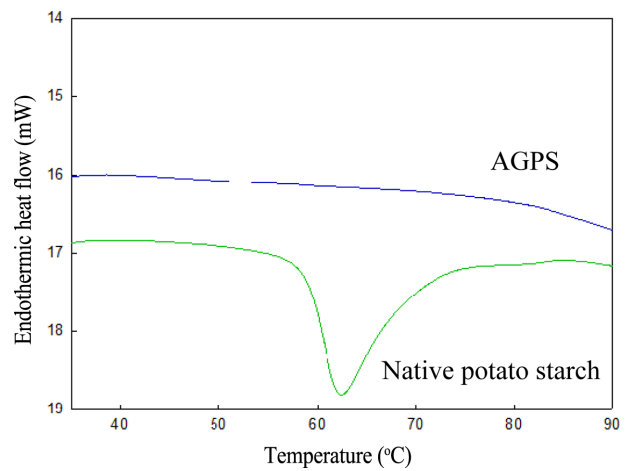
**열적 특성**

일반감자녹말과 AGPS의 열역학적 특성을 알아보기 위해 DSC분석을 실시하였고, 그 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 일반감자녹말의 그래프를 보면 57°C에서 72°C사이에 녹말이

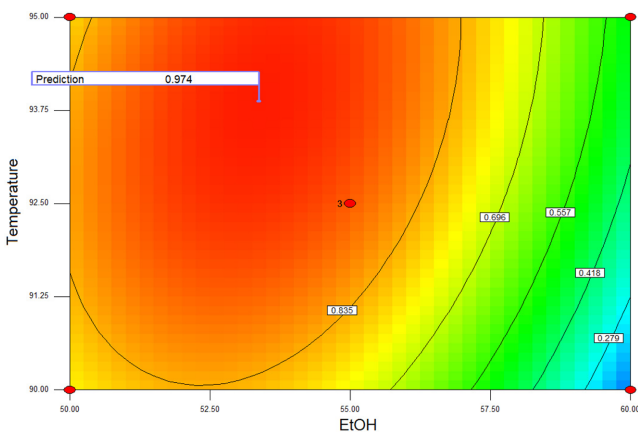
호화될 때 피크가 나타나는 것을 볼 수 있다. 하지만 AGPS의 그래프에서는 피크가 나타나지 않아 이미 호화가 진행되어 내부의 결정영역이 파괴된 것을 알 수 있었다.

**X선 회절도**

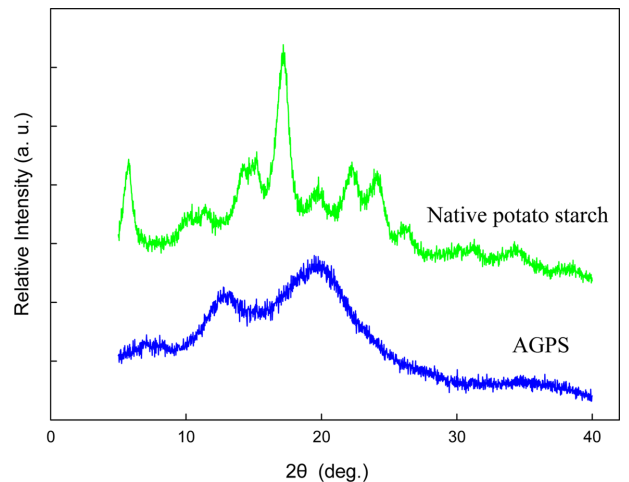
일반감자녹말의 경우 결정형태는 B-type의 패턴을 보이며 7°, 17°, 22°, 24°에서 피크가 나타났다. 하지만 AGPS의 경우 7°, 17°, 22°, 24°에서의 피크는 사라졌고, 13° 부근에서 새로운 피크를 보였다. 또한, 무정형녹말(amorphous granular starch, AGS)에서 관찰할 수 있는 V-type 패턴 형태와 유사한 완만한 곡선을 보였다. Jane et al. (1986)은



**Fig. 4. DSC thermograms of native potato starch and amorphous granular potato starch.**



**Fig. 3. 3D response surface of amorphous granular potato starch for desirability.**



**Fig. 5. X-ray diffraction patterns of native potato starch and amorphous granular potato starch.**

**Table 5. Optimum conditions that considering both granule integrity and birefringence**

Number	Solution					
	EtOH (%)	Temperature (°C)	Granule	Birefringence	Desirability	Selected
1	53.3	93.87	4.6422	4.4150	0.987	Selected

V-type 회절에 기여하는 것이 amylose, amylopectin 및 지방족 알코올 복합체(complexes)라고 보고하였다. Benshan et al. (2012)는 에탄올 용액을 이용하여 고온처리 한 감자 녹말 같은 B-polymorphic 녹말들은 옥수수나 타피오카 녹말과 같은 A-polymorphic 녹말보다 더 약한 피크를 나타낸다고 보고하였다. 옥수수 녹말과 비교했을 때, 감자 녹말에서는 V-type 회절이 더 약하게 나타났으며, 이는 녹말 입자의 amylose와 amylopectin 분자의 결합 정도의 차이에 의한 것으로 보인다. Zobel (1984)은 amylose와 amylopectin 분자들이 옥수수 녹말에서는 대체로 분리되어 있으나, 감자 녹말의 경우에는 더 밀접하게 연결되어 있다고 보고하였다. 따라서 일반 감자 녹말과 AGPS의 회절패턴을 비교하였을 때, 결정형태가 B-type 패턴에서 V-type 패턴으로 바뀌는 것으로 보아 AGPS는 호화가 진행되어 결정영역이 파괴되었다는 것을 확인 할 수 있었다.

## 요 약

중심합성계획법과 반응표면분석을 통해 에탄올 함량과 온도 조건을 최적화하여 에탄올 함량 53.3%, 온도 93.87°C를 설정 하였다. 최적 조건으로 제조한 AGPS를 일반감자 녹말과 비교하여 물리화학적 특성을 알아본 결과 AGPS는 녹말입자의 모양을 유지하면서 복굴절성은 소실되었고, DSC실험 결과 호화피크를 보이지 않았고, XRD 분석 결과 결정영역에서 피크가 보이지 않아 제시된 조건으로 최적화된 AGPS를 제조할 수 있음을 확인하였다.

## 감사의 글

본 연구는 농림축산식품부 고부가식품기술개발사업(과제 번호: 314041-3)에 의해 이루어진 것으로 연구비 지원에 감사 드립니다.

## 참고문헌

- Bayer R, Cagiao M, Calleja F. 2006. Structure development in amorphous starch as revealed by x-ray scattering: influence of the network structure and water content. *J. Appl. Polym. Sci.* 99: 1880-1886.
- Charles AL, Kao H, Huang T. 2003. Physical investigations of surface membrane-water relationship of intact and gelatinized wheat-starch systems. *Carbohydr. Res.* 338: 2403-2408.
- Chen J, Jane J. 1994. Properties of granular cold-water-soluble starches prepared by alcoholic-alkaline treatments. *Cereal Chem.* 71: 623-626.
- Dhital S, Shrestha AK, Hasjim J, Gidley MJ. 2011. Physicochemical and structural properties of maize and potato starches as a function of granule size. *J. Arg. Food Chem.* 59: 10151-10161.
- Donovan JW. 1979. Phase transitions of the starch-water system. *Biopolymers* 18: 263-275.
- Jane J, Craig S, Seib P, Hoseney R. 1986. Characterization of granular cold water-soluble starch. *Starch-Stärke* 38: 258-263.
- Jane J. 1992. Preparation and food applications of physically modified starches. *Trends Food Sci. Technol.* 3: 145-148.
- Jane J, Craig SA, Seib PA, Hoseney RC. 1986. A granular cold water-soluble starch gives a v-type x-ray diffraction pattern. *Carbohydr. Res.* 150: c5-c6.
- Jivan MJ, Yarmand M, Madadlou A. 2014. Preparation of cold water-soluble potato starch and its characterization. *J. Food Sci. Technol.* 51: 601-605.
- Lee W, Yusof S, Hamid NSA, Baharin BS. 2006. Optimizing conditions for enzymatic clarification of banana juice using response surface methodology (RSM). *J. Food Eng.* 73: 55-63.
- Lin J, Lii C, Chang Y. 2005. Change of granular and molecular structures of waxy maize and potato starches after treated in alcohols with or without hydrochloric acid. *Carbohydr. Polym.* 59: 507-515.
- Liu P, Zhang B, Shen Q, Hu X, Li W. 2010. Preparation and structure analysis of noncrystalline granular starch. *Int. J. Food. Eng.* 6: 4.
- Sang-Ho Yoo. 2014. Understanding starch biogenesis pathway toward application in food industry. *Food Sci. Ind.* 47: 11-20
- Stute R, Klingler R, Boguslawski S, Eshtiaghi M, Knorr D. 1996. Effects of high pressures treatment on starches. *Starch-Stärke* 48: 399-408.
- Wang J, Zhai W, Zheng W. 2011. Preparation of granular cold-water-soluble corn starch by surface modification with poly (ethylene glycol). *Starch-Stärke* 63: 625-631.
- Yan H, Zhengbiao G. 2010. Morphology of modified starches prepared by different methods. *Food Res. Int.* 43: 767-772.
- Zhang B, Dhital S, Haque E, Gidley MJ. 2012. Preparation and characterization of gelatinized granular starches from aqueous ethanol treatments. *Carbohydr. Polym.* 90: 1587-1594.
- Zobel HF. 1984. Gelatinization of starch and mechanical properties of starch pastes. *Starch: Chem. Technol.* 2: 285-309.
- Zobel H. 1964. X-ray analysis of starch granules. *Methods. Carbohydr. Chem.* 4: 109-113.