

## 가교결합 아피오스 전분의 이화학적 특성

박 미 혜<sup>1</sup> · 김 미 라<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>경북대학교 식품영양학과, <sup>2</sup>경북대학교 식품영양학과 장수생활과학연구소

### Physicochemical Properties of Cross-linked Apios Starch

Mi Hye Park<sup>1</sup> and Meera Kim<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Food Science and Nutrition, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

<sup>2</sup>Dept. of Food Science and Nutrition, Center for Beautiful Aging, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea

#### Abstract

*Apios* (*Apios americana* Medikus) belongs to Leguminosae and is called ‘American groundnut’, ‘Potato bean’, and ‘wild bean’. *Apios* is native to the Northern United States but is not widely distributed in Korea. In this study, cross-linked apios starch was prepared by reaction with epichlorohydrin, followed by characterization. FT-IR spectroscopy confirmed the degree of cross-linking of apios starch. X-ray diffraction patterns of native apios showed typical ‘A’ type as peaks at 15.1, 17.1, 17.9 and 23.2°, and cross-linking did not affect relative crystallinity and X-ray diffraction patterns of the starch. Scanning electron micrographs showed that apios starch granules were smooth with a globular shape, and there was little damage to starch granules after cross-linking. The lightness value of cross-linked apios starch was lower than that of native apios starch, whereas the redness value was not significantly different between cross-linked apios starch and native apios starch. Blue value showed that cross-linking of starch did not affect the iodine reaction of starch.

**Key words :** Apios starch, cross-linked starch, epichlorohydrin, physicochemical property

#### 서 론

전분은 아밀로오스와 아밀로펙틴이 서로 결합된 고분자 혼합물로서 아밀로오스와 아밀로펙틴의 사슬 길이, 분자 구조, 비율 등은 전분의 호화, 노화 및 기타 기능적 특성에 영향을 미친다(Colonna & Mercier 1984, Tester & Sommerville 2003, Hoover R *et al* 1988). 전분의 특성은 전분의 급원에 따라 다르기 때문에 다양한 전분 종류에 따른 전분의 구조 및 이화학적 특성에 대한 연구가 필요하다.

전분은 식품산업에서 겔 형성제, 안정제, 보습제, 농후제 등으로 다양하게 이용되고 있으나, 불용성, 이수현상 등이 일어나 이용상의 한계를 가지고 있으므로 전분의 성질을 향상시키기 위해 물리적, 화학적으로 전분을 변화시킨 변성전분을 제조하여 이용한다(Fleche G 1981). 변성전분 중에서 가교결합 전분은 분자 내의 하이드록실기에 가교를 형성하여 사슬의 결합을 강화시키는 것으로, 가교결합에 의해 팽윤이 억제되고, 천연 전분보다 내열성, 내산성, 내전단성이 증가되어 점증제나 안정제로 샐러드 드레싱, 푸딩, 스프 등에 이용

되고 있다(Wurzburg OB 1987, Rutenberg & Solarex 1984). 가교결합 전분에 대한 선행 연구로는 epichlorohydrin을 이용하여 가교화시킨 감자 전분의 호화 특성과 형태학적 변화에 대한 연구(Kim & Lee 1996, Luo FX 2009) 및 가교결합 옥수수 전분(Liu J *et al* 2014), 가교결합 바나나 전분(Roselis CG *et al* 2009), 가교결합 밀 전분(Mahsa & Paniz 2014)과 같이 다양한 급원의 가교결합 전분에 대한 이화학적 특성에 대한 연구들이 보고되었다.

아피오스(*Apios americana* Medikus)는 groundnut, earthnut 혹은 potato bean이라고도 불리며, 원산지는 북미 대륙의 중동부이고, 캐나다와 미국에 많이 분포한다. 아피오스는 콩과(Leguminosae)에 속하는 덩굴성 다년생 식물로 지하부에 덩이줄기를 형성하고, 이것이 주로 식용으로 이용된다(Blackmon & Reynolds 1986). 아피오스의 주된 구성 성분은 수분, 전분, 단백질이며, 아피오스는 괴경을 이용하는 다른 작물보다 3배 많은 조단백질을 함유하고 있고(Ameny MA *et al* 1994) glutamic acid와 aspartic acid가 풍부하여 좋은 단백질 급원 식품이라고 할 수 있다(Yasuo O *et al* 2006). 이 밖에 아피오스에는 사포닌, 칼슘, 철분, 식유성유와 isoflavone과 같은 특수 성분이 풍부하게 함유되어 있어(Okubo K *et al* 1994, Hoshikawa & Juliarni 1995, Krishnan HB 1998) 일본에서는 건강

\*Corresponding author : Meera Kim, Tel: +82-53-950-6233, Fax: +82-53-950-6229, E-mail: meerak@knu.ac.kr

식품으로 이용되고 있으나, 국내에서는 아직까지 아피오스에 대해 잘 알려져 있지 않고, 이에 대한 연구도 많이 수행되어 있지 않다. 이에 본 연구에서는 아피오스의 주성분인 전분의 특성과 이를 변형한 가교결합 전분의 특성을 살펴보기 위해 아피오스의 전분을 추출하고, 이를 화학적으로 변성하여 가교결합 전분을 제조한 후, 가교화도와 X-선 회절도, 상대결정화도, 전분 입자의 성상, 색도 및 청가 등 전분의 이화학적 특성을 분석하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 시약

실험에 사용된 sodium periodate와 epichlorohydrin은 Samchun Chem Co.(Ansan, Korea)으로 부터 구입하였다. Sodium arsenite은 Wako Pure Chemical Co.(Tokyo, Japan)에서 구입하였으며, sodium hydroxide, chromatropic acid와 potassium iodide는 Dukson Chem Co.(Ansan, Korea)에서 구입하여 실험에 사용하였다.

### 2. 아피오스 전분 제조

본 실험에 사용된 아피오스는 경기도 양평 농장에서 재배된 것으로 알칼리 침지법(Yamamoto K *et al* 1973)을 이용하여 전분을 분리하였다. 아피오스의 껍질을 벗겨 무게를 측정 한 다음 아피오스 중량 2배의 0.2% NaOH 용액을 가하고, blender를 사용하여 2분간 마쇄한 후 100 mesh와 400 mesh체에 통과시켜 잔사를 제거하였다. 체에 통과된 부분을 냉장고(4°C)에 12시간 동안 방치하여 상등액을 제거하였다. 침전물에 0.2% NaOH 용액을 다시 가하여 현탁시키고, 냉장고에 방치하여 가라앉힌 후, 상등액을 버리는 조작을 상등액이 무색이 될 때까지 반복하였다. 그 다음 현탁액의 pH가 중성이 될 때까지 증류수를 가하여 현탁시키고, 침지하는 세척 과정을 반복하였다. 회수된 전분을 실온에서 풍건한 다음, 100 mesh체에 통과시킨 후 밀봉하여 냉장 보관하고 전분 시료로 사용하였다.

### 3. 가교결합 아피오스 전분 제조

Jane J *et al*(1992)의 방법을 이용하여 가교결합 전분을 제조하였다. 아피오스 전분 100 g을 비커에 넣고 증류수 166 mL를 가하여 상온에서 2시간 동안 교반한 후, 아피오스 전분 무게의 0.1%, 0.5%, 1%, 2% epichlorohydrin을 첨가한 다음, 1 M NaOH 용액을 가하여 pH 10으로 맞추었다. 상온에서 24시간 동안 가교반응을 진행시킨 후 아세트산으로 pH를 5.5로 맞추고, 여과지(Whatman No. 2)로 여과시켜 증류수로 2번, 알코올로 1번 수세하여 40°C의 항온 건조기에서 24시간 동안

건조시켰다.

### 4. 가교화도 측정

아피오스 전분의 가교화도는 Hammerstrand GE *et al*(1960)의 방법을 이용하여 측정하였다. 즉, 가교결합 전분 제조 시 여과한 여과액 20 mL를 50 mL 메스플라스크에 취하고, 2 N NaOH 1 mL를 첨가하였다. 플라스크의 마개를 막고 끓는 수조에서 1시간 동안 열처리 한 후 상온으로 식힌 다음, 10 N 황산 1 mL와 0.1 M sodium periodate 5 mL를 가하여 10분 동안 어두운 곳에 방치하였다. 여기에 1 M sodium arsenite 5 mL를 첨가하고, 증류수로 50 mL까지 희석하였다. 이 용액 1 mL를 시험관에 취하고 chromatropic acid reagent 10 mL를 각 시험관에 첨가하여 30분 동안 끓는 수조에서 열처리하였다. 이를 실온으로 식힌 후 UV/Visible spectrophotometer(Du 800, Beckman coulter, Fullerton, USA)를 이용하여 570 nm에서 흡광도 측정하여 농도를 계산하였다.

### 5. Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy

가교결합의 형성 여부를 확인하기 위하여 가교결합한 전분을 12시간 동안 40°C에서 건조시킨 다음 KBr를 섞어 pellet 형태로 만들어 400~4,000  $\text{cm}^{-1}$  범위에서 FT-IR Spectroscopy(Spectrum GX & AutoImage, Perkin-Elmer, Shelton, USA)를 이용하여 측정하였다.

### 6. X-선 회절도 및 상대결정화도

전분의 X-선 회절도는 Owush-Ansah J *et al*(1982)의 방법으로 X-ray diffractometer(Max-2500, Rigaku, Japan)를 사용하여 확인하였다. 기기 조건은 target : Cu-K $\alpha$ , Voltage : 40 Kv, Current : 300 mA의 조건으로 회절각도(2 $\theta$ ) 5~45°까지 scanning speed 5°/min으로 회절시켜 측정하였다. 또한 Komiya T *et al*(1986)과 Billaderis CG *et al*(1980)의 방법에 따라 Ac/(Ac+Aa)[Ac : 결정성 영역, Aa : 비결정성 영역]를 계산하여 전분의 상대적인 결정화도를 구하였다.

### 7. 전분 입자의 성상

아피오스 전분의 입자 크기와 표면 형태는 Scanning Electron Microscope(SEM)(S-570, Hitachi, Tokyo, Japan)을 이용하여 관찰하였다. 전분 전처리된 전분을 금/백금으로 도금하여 전도성을 갖게 한 다음 SEM을 사용하여 가속 전압 15 kv, Photo times 85 sec 조건에서 1,500배의 배율로 관찰하였다.

### 8. 색도

전분의 색을 Hunter 색차계(Whiteness checker RF-1, Nippon Denshoku Kogyo, Tokyo, Japan)를 사용하여 측정하였다. 표

준 백색판(L=92.5, a=0.7, b=3.0)을 이용하여 calibration한 다음 용기에 전분 시료를 넣어 전분의 L, a, b 값을 측정하였다. 색도는 3번 반복 측정하여 평균값을 구하였다.

## 9. 청가

아피오스 전분의 청가(Blue value)는 Gilbert & Spragg(1964)의 방법을 이용하여 측정하였다. 시료 200 mg에 증류수 100 mg을 가하고 95℃에서 45분간 호화시킨 후 이 용액 1 mL(2 mg/1 mL)를 50 mL 메스플라스크에 취하고, 여기에 1 N NaOH 0.5 mL를 가하였다. 여기에 1 N HCl 0.5 mL와 potassium hydrogen tartarate 0.09 g을 가한 다음 증류수로 45 mL를 맞추어 희석시켰다. 여기에 요오드-요오드화칼륨 용액(2 mg I<sub>2</sub>/mL, 20 mg KI/mL) 0.5 mL를 가하고, 50 mL까지 정용하여 상온에서 20분간 방치한 다음 UV/Visible spectrophotometer를 이용하여 680 nm에서 흡광도를 측정하여 다음 식으로 청가를 계산하였다. 3번 반복 실험을 하여 평균값을 구하였다.

$$\text{Blue value} = \text{Absorbance} \times 4 / C$$

C : 시료 용액의 농도 (mg/100 mL)

## 10. 통계 분석

실험 결과는 SPSS(v. 14.0)프로그램을 이용하여 처리하였다. 각 실험군 간의 유의성은 분산 분석(ANOVA)을 실시한 후  $p < 0.05$  수준에서 Duncan's multiple range test로 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 가교화도 측정

아피오스 전분에 epichlorohydrin을 처리하여 가교결합 전분 제조 시 반응수율 및 가교화도는 Table 1과 같다. 가교결합 시 epichlorohydrin은 전분 입자 안으로 침투되어 전분 입자 안에서 단계적으로 에테르 결합을 하여 망상구조를 형성한다(Alexander RJ 1995). 이 과정에서 가교결합 반응에 이용되지 못한 epichlorohydrin양을 제외하여 반응수율을 구하였다. 그 결과 반응수율은 62.98~90.32%로 사용한 epichlorohydrin 농도가 증가함에 따라 증가하였으며, 이는 감자 전분의 가교화 반응수율로 보고된 78.2%(Hammerstrand GE *et al* 1960)와 85.2%(Kim & Lee 1996)보다 약간 높은 수준이었다. 몰가교화도(MDC)는 전분 100 g을 anhydroglucose unit (MW=180)로 환산하고, 반응한 epichlorohydrin의 양을 mole 수로 표현하여 계산하였다. 가교결합 아피오스 전분의 몰가교화도는 0.1225~3.5124로 처리한 epichlorohydrin양에 비례하여 증가하였으며( $r^2=0.973$ ), 이는 감자 전분에 2% epichlorohydrin을 처리하였을 때 몰가교화도가 3.333이었다고 보

**Table 1. Crosslinking degree and yield of cross-linked apios starches**

Sample	Applied epichlorohydrin (g/100 g)	Reacted epichlorohydrin (g/100 g)	Yield (%)	AGU <sup>1)</sup> /CL <sup>2)</sup>	CL /100AGU (MDC <sup>3)</sup> )
CLAP <sup>4)</sup> -0.1%	0.1	0.0630	62.90	817	0.1225
CLAP-0.5%	0.5	0.3942	78.85	130	0.7665
CLAP-1%	1.0	0.8604	86.04	60	1.6730
CLAP-2%	2.0	1.8065	90.32	28	3.5124

1) Anhydroglucose unit.

2) Crosslink.

3) Molar degree of crosslinking.

4) CLAP : Cross-linked apios starch.

고한 Lee & Kim(1999)의 결과와 비슷한 수준이었다.

### 2. FT-IR Spectroscopy

천연 아피오스 전분과 가교결합 아피오스 전분의 FT-IR 측정 결과는 Fig. 1과 같다. 천연 아피오스 전분에서는 3419, 2932, 1646, 1150, 1082, 1016, 576 cm<sup>-1</sup>에서 피크가 관찰되었으며, 2,900에서 3,500 cm<sup>-1</sup>까지는 넓은 피크가 나타났다. 천연 아피오스 전분에 비해 가교결합 전분은 2,930 cm<sup>-1</sup>에서 피크의 강도가 세어진 것을 볼 수 있었는데, 이는 H-C-H와 C-O-H가 결합되어 생성된 -CH의 신축 진동으로 인한 것으로 보인다(Vercelheze A ES *et al* 2012). 또한 가교결합 전분은 1,646 cm<sup>-1</sup>에서도 피크 강도가 증가하였는데, 이것은 C=O 신축 진동에 해당하는 것으로(Vercelheze A ES *et al* 2012) 가교결합 시 에테르 결합이 증가하면서 피크의 강도가 증가했기 때문으로 생각된다. Liu J *et al*(2014)는 옥수수 전분을 가교결합하여 FT-IR을 측정한 결과, 1642 cm<sup>-1</sup>에서의 피크가 천연 전분의 피크보다 뾰족하지는 않으나, 피크의 강도는 증가하였다고 보고하여 본 연구와 유사한 양상을 나타내었다. 이러한 피크들의 변화로 천연 아피오스 전분이 epichlorohydrin과 반응하여 가교결합 반응이 잘 이루어졌음을 확인할 수 있었다.

### 3. X-선 회절도 및 상대결정화도

X-선 회절도는 전분의 결정 상태를 측정하기 위해 이용되는 방법으로, 전분은 결정 형태에 따라 A, B, C형으로 구분된다. A형의 곡류 전분 피크는 회절각도가 15°, 23° 근처에

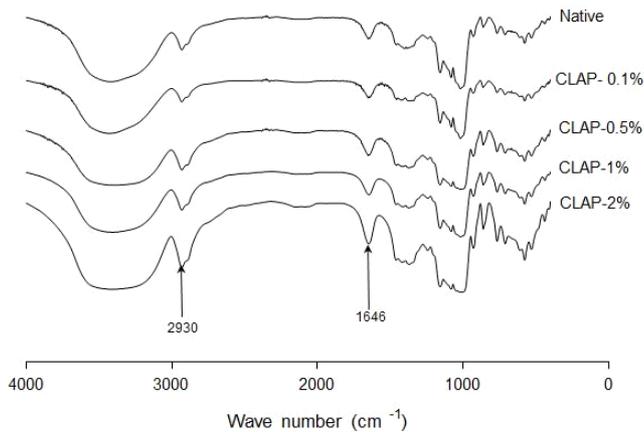


Fig. 1. FT-IR spectra of native and cross-linked apios starch.

서 강하게 나타나며, 18° 부근에서도 두 개의 강한 피크를 보인다. B형에는 감자와 같은 근경류, 과일, 줄기에서 추출된 전분들이 속하고, 회절각도 5°, 17° 부근에서 강한 피크와 22~24° 사이에서 피크를 나타낸다. A와 B의 혼합형인 C형에는 고구마, 녹두, 완두 전분이 속하고, 피크는 A형의 피크와 B형의 피크가 함께 나타난다(Zobel HF 1964). 이와 같이 전분의 급원에 따라 다르게 나타나는 피크의 차이는 결정격자 내에 채워진 전분 분자 구조의 차이 때문이다.

아피오스 전분의 X-선 회절도는 Fig. 2에 나타난 바와 같이 천연 아피오스 전분은  $2\theta$ 가 15.1, 17.1, 17.9, 23.2° 되는 곳에서 피크가 나타나는 전형적인 A형의 X-선 회절 양상을 보였다. 가교결합 전분은  $2\theta=18.02$ 에서 피크가 관찰되었으나, 천연 아피오스 전분과 큰 차이를 나타내지 않았으며, 상대 결정화도도 천연 아피오스 전분과 가교결합 아피오스 전분 사이에 유의적인 차이는 없는 것으로 나타났다(Table 2). 이러한 결과를 볼 때, 가교결합 반응이 전분의 무결정 영역에서 일어났기 때문에(Hood & Mercier 1978) 전분의 결정 상태에 큰 영향을 주지 않은 것으로 생각된다.

#### 4. 전분 입자의 형태

SEM으로 관찰한 천연 아피오스 전분과 가교결합 전분의 입자 모양은 Fig. 3과 같다. 천연 아피오스 전분 입자들은 구형 또는 타원형이며, 입자의 평균 직경은 3~20  $\mu\text{m}$ 로 다양한

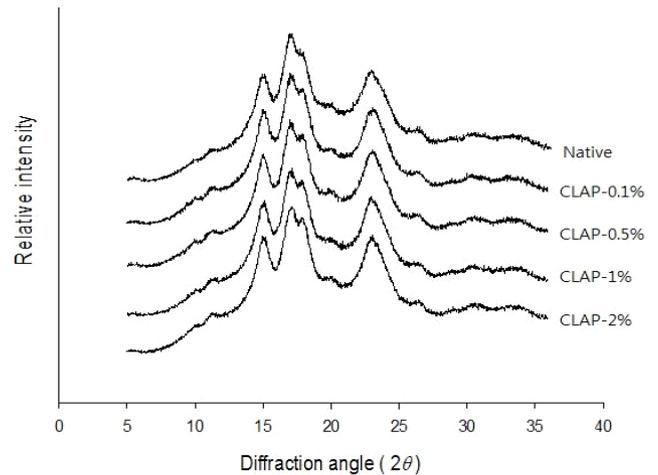


Fig. 2. X-ray diffractogram patterns of native and cross-linked apios starch.

크기의 입자들로 구성되어 있었다. Yasuo O *et al*(2006)의 연구에서도 아피오스 덩이줄기에 함유된 전분의 입자는 타원형으로 직경 5~10  $\mu\text{m}$ 의 크기를 가지고 있으며, 평균 크기가 10.6  $\mu\text{m}$ 라고 하였는데, 본 연구에서도 이와 유사한 형태와 크기의 전분이 관찰되었다. 천연 아피오스 전분과 가교결합 아피오스 전분 사이에 입자의 형태에서는 큰 변화가 관찰되지 않아 가교화도가 증가하여도 전분 입자의 형태에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 가교결합 찹옥수수 전분이 천연 찹옥수수 전분과 형태적인 차이를 나타내지 않았다고 한 Luo FX(2009)의 연구 결과와 유사하였다.

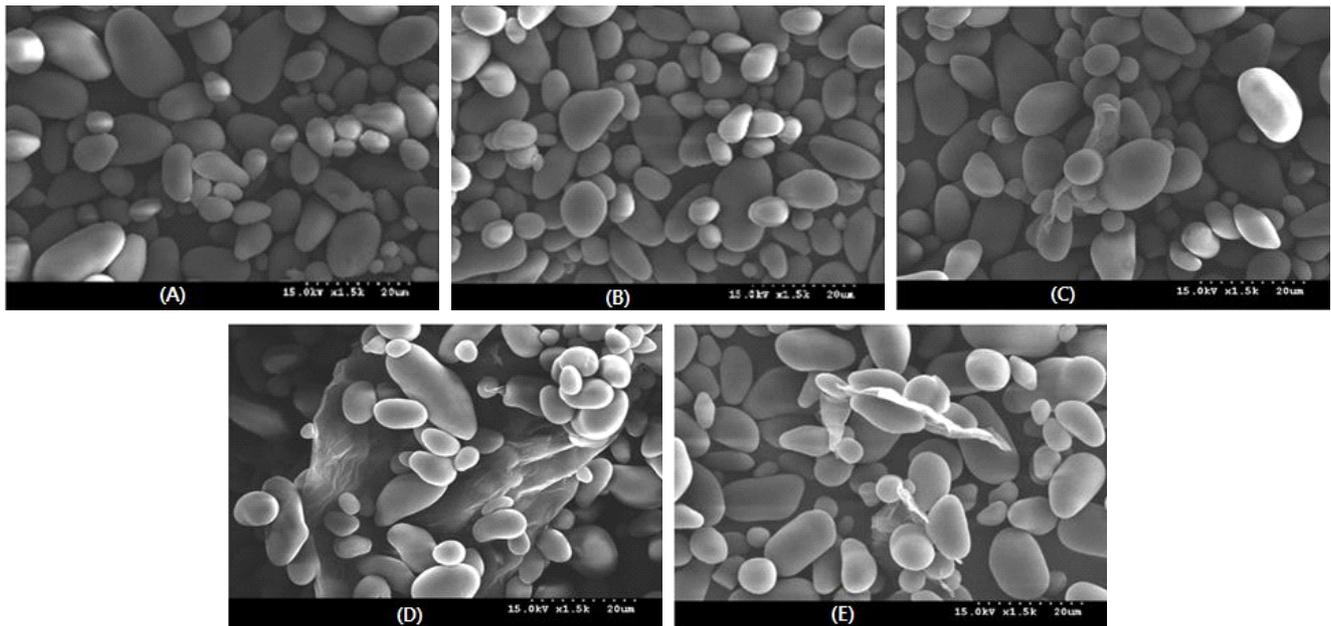
#### 5. 색도

천연 아피오스 전분과 가교결합 아피오스 전분의 색도를 측정된 결과는 Table 3과 같다. 천연 아피오스 전분의 명도인 L값은 97.53으로 나타났으며, 가교결합도가 증가할수록 97.07, 96.88, 96.28, 95.31로 그 값이 감소하는 경향을 나타내었다. Waliszewski KN *et al*(2003)는 바나나 전분을 가교결합시켜 색도를 측정된 결과, 가교결합으로 인하여 색이 어두워져 L값이 73.60에서 61.09로 감소하였다고 보고하였는데, 본 연구 결과도 이와 유사한 양상을 나타내었다. 적색도인 a값은 천연 아피오스 전분과 가교결합 전분 사이에 유

Table 2. Relative crystallinity of cross-linked apios starch

	Type of starch				
	Native	CLAP-0.1%	CLAP-0.5%	CLAP-1%	CLAP-2%
Relative crystallinity(%)	21.99±0.14 <sup>NS1)</sup>	21.68±0.42	21.57±0.69	21.14±0.29	21.71±0.46

<sup>1)</sup> NS : No significant difference ( $p<0.05$ ).



**Fig. 3. Shape and size of cross-linked apios starch granules shown by scanning electron microscope ( $\times 1500$ ).**  
(A) Native, (B) CLAP-0.1%, (C) CLAP-0.5%, (D) CLAP-1%, (E) CLAP-2%.

의적인 차이를 나타내지 않았다. 또한 청색도를 나타내는  $-b$  값은 천연 아피오스 전분이  $-0.87$ 로 나타났으며, 가교 화도가 증가하면서  $-0.69$ 로 변화하여 유의적인 차이를 보였다. 따라서 가교결합을 위한 화학적 처리가 아피오스 전분의 명도와 청색도에 영향을 미치는 것으로 보인다.

## 6. 청가

천연 아피오스 전분과 가교결합 아피오스 전분의 청가를 Table 4에 나타내었다. 천연 아피오스 전분의 청가는  $0.45$ 로 나타나, Yang KH *et al*(2011)이 보고한 도토리 조전분의 청

가  $0.445$ 와 비슷하였으며, 맵쌀 전분의 청가  $0.28\sim 0.38$ (Kim HS *et al* 1972)보다는 높고, 감자 전분의 청가  $0.6741$ (Lee & Kim 1999)보다는 낮았다. 한편, 가교결합 치환도가 증가하여도 청가는 유의적인 차이를 나타내지 않았다. 이와 같이 가교결합 아피오스 전분의 청가가 변화하지 않는 것은 가교결합 반응이 요오드와 복합체를 형성할 수 있는 나선형 구조의 아밀로오스 함량에 영향을 주지 않았기 때문으로 생각된다. 한편, Jane J *et al*(1992)의 연구에서는 epichlorohydrin으로 가교시킨 감자 전분의 청가가 감소하여 본 연구 결과와 상이하였는데, 이는 사용된 전분과 가교결합 조건의 차이 때문으로

**Table 3. Color properties of cross-linked apios starch**

	Type of starch				
	Native	CLAP-0.1%	CLAP-0.5%	CLAP-1%	CLAP-2%
L	$97.53\pm 0.12^{a1)}$	$97.07\pm 0.13^a$	$96.88\pm 0.18^{ab}$	$96.28\pm 0.10^b$	$95.31\pm 0.30^b$
a	$2.13\pm 0.06^a$	$2.14\pm 0.06^a$	$2.02\pm 0.18^{ab}$	$1.94\pm 0.10^{ab}$	$1.83\pm 0.07^{ab}$
b	$-0.87\pm 0.06^a$	$-0.80\pm 0.03^{ab}$	$-0.77\pm 0.04^{ab}$	$-0.73\pm 0.07^{ab}$	$-0.69\pm 0.06^b$

<sup>1)</sup> The same superscripts are not significantly different within each row ( $p < 0.05$ ).

**Table 4. Blue value of cross-linked apios starch**

	Type of starch				
	Native	CLAP-0.1%	CLAP-0.5%	CLAP-1%	CLAP-2%
Blue value	$0.45\pm 0.01^{NS1)}$	$0.44\pm 0.03$	$0.42\pm 0.05$	$0.41\pm 0.04$	$0.39\pm 0.02$

<sup>1)</sup> NS : No significant difference ( $p < 0.05$ ).

생각된다.

## 요 약

본 연구에서는 아피오스로부터 전분을 추출하여 epichlorohydrin으로 가교결합을 시킨 후 가교결합 아피오스 전분의 이화학적 특성을 분석하였다. 가교결합 아피오스 전분은 치환도가 증가함에 따라 몰가교화도가 0.1225에서 3.5124로 비례적으로 증가하였으며, FT-IR을 측정된 결과, CLAP-2%는 에테르 결합으로 인하여  $1,646\text{ cm}^{-1}$ 과  $2,930\text{ cm}^{-1}$ 에서 피크의 강도가 강해져 가교결합 반응이 이루어졌음을 확인할 수 있었다. 천연 아피오스 전분의 X-선 회절도는  $2\theta=15.1, 17.1, 17.9, 23.2^\circ$ 에서 피크가 나타나는 전형적인 A형 전분 형태를 나타내었으며, 가교결합 아피오스 전분은 가교화에 의해 회절도와 상대결정화도에 큰 변화를 보이지 않아 무결정 영역에서 가교결합 반응이 일어난 것으로 추정되었다. 아피오스 전분 입자를 SEM으로 관찰한 결과, 전분 입자는 구형 또는 타원형 모양을 나타내었으며, 가교결합 아피오스 전분은 천연 아피오스 전분과 비교하였을 때 전체적인 형태에는 변화가 없는 것이 관찰되었다. 색도는 가교결합이 진행되면서 명도와 청색도가 변화하였으며, 청가는 천연 아피오스 전분과 가교결합 아피오스 전분 사이에 유의적인 차이가 나타나지 않았다.

## References

- Alexander RJ (1995) Potato starch: New prospects for an old product. *Cereal Foods World* 40: 763-764.
- Ameny MA, Wilson PW, Hegsted M (1994) Protein-quality of weaning baby food from African white-fleshed sweet potato varieties and *Apios americana* with pigeon peas added as a complementary protein. *Nutr Res* 14: 1397-1406.
- Billaderis CG, Maurice TJ, Vose JR (1980) Starch gelatinization phenomena studied by differential scanning calorimetry. *Food Sci* 45: 1669-1674.
- Blackmon WJ, Reynolds BD (1986) The crop potential of *Apios americana*-preliminary evaluations. *Hort Science* 21: 1334-1336.
- Colonna P, Mercier C (1984) Pisum-Sativum and Vicia-Faba carbohydrates. 5. Macromolecular structure of Wrinkled-Pea and Smooth-Pea starch components. *Carbohydr Res* 126: 233-247.
- Fleche G (1981) Chemical modification and degradation of starch. In *Starch Conversion Technology*. Marcel Dekker. New York, Basel. pp 71-73.
- Gilbert LM, Spragg SP (1964) Iodimetric determination of amylose iodine sorption : "Blue value" in "Method in Carbohydrate Chemistry". Academic Press, Academic Press. New York. pp 168-169.
- Hammerstrand GE, Hofreiter BT, Mehlreiter CL (1960) Determination of the extent of reaction between epichlorohydrin and starch. *Cereal Chem* 37: 519-524.
- Hood LF, Mercier C (1978) Molecular structure of unmodified and chemically modified manioc starches. *Carbohydr Res* 61: 53-66.
- Hoover R, Hannouz D, Sosulski FW (1988) Effects of hydroxypropylation on thermal properties, starch digestibility and freeze-thaw stability of field pea (*Pisum sativum* cv Trapper) starch. *Starch/Starke* 40: 383-387.
- Hoshikawa K, Juliarni Y (1995) The growth of apios (*Apios americana* Medikus), a new crop, under field conditions. *Jpn J Crop Sci* 64: 323-327.
- Jane J, Xu A, Radosavljevic M, Seib PA (1992) Location of amylose in normal starch granules. Susceptibility of amylose and amylopectin to cross-linking reagents. *Cereal Chem* 69: 405-409.
- Kim HS, Lee KY, Choi ES (1972) Studies on the utilization of naked barley flour ( I ). *Korean J Food Sci Technol* 4: 77-83.
- Kim HS, Lee YE (1996) Influence of crosslinking on gelatinization behavior and morphological change of potato starch. *Korean J Food Sci Technol* 28: 580-586.
- Komiya T, Nara S, Tsu M (1986) Change in crystallinity and gelatinization phenomena of potato starch by acid treatment. *Starch/Starke* 38: 9-13.
- Krishnan HB (1998) Identification of genistein, an anticarcinogenic compound, in the edible tuber of the American groundnut (*Apios americana* Medikus). *USA Crop Sci* 38: 1052-1056.
- Lee SJ, Kim MR (1999) Physicochemical properties of potato starches crosslinked with epichlorohydrin. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 28: 132-139.
- Liu J, Wang B, Lin L, Zhang J, Liu W, Xie J, Ding Y (2014) Functional, physicochemical properties and structure of cross-linked oxidized maize starch. *Food Hydrocolloids* 36: 45-52.
- Luo FX (2009) Preparation and characterisation of crosslinked waxy potato starch. *Food Chem* 115: 563-568.
- Mahsa M, Paniz B (2014) Effects of acetic acid and lactic

- acid on physicochemical characteristics of native and cross-linked wheat starches. *Food Chem* 147: 312-317.
- Okubo K, Yoshiki Y, Okuda K, Sugihara T, Tsukamoto C, Hoshikawa K (1994) DDMP-conjugated saponins isolated from groundnut (*Apios americana*). *Biosci Biotech Biochem* 58: 2248.
- Owush-Ansah J, van de Voort FR, Stanley DW (1982) Determination of starch gelatinization by X-ray diffractometry. *Cereal Chem* 59: 167-171.
- Roselis CG, Mirna M SR, Guadalupe MM, Bellanira GM, Luis A BP (2009) Effect of the cross-linked reagent type on some morphological, physicochemical and functional characteristics of banana starch (*Musa paradisiaca*). *Carbohydr Polym* 76: 117-122.
- Rutenberg MW, Solarex DX (1984) Starch derivatives, production and uses. In *Starch Chemistry and Technology*. 2<sup>nd</sup> ed. Roy Whistler. Academic press, New York. p 324.
- Tester RF, Sommerville MD (2003) The effects of non-starch polysaccharides on the extent of gelatinisation, swelling and alphaamylase hydrolysis of maize and wheat starches. *Food Hydrocolloids* 17: 41-54.
- Vercelheze A ES, Fakhouri FM, Dall'Antônia LH, Urbano A, Youssef EY, Yamashita F, Mali S (2012) Properties of baked foams based on cassava starch, sugarcane bagasse fibers and montmorillonite. *Carbohydr Polym* 87: 1302-1310.
- Waliszewski KN, Aparicio MA, Bello LA, Monroy JA (2003) Changes of banana starch by chemical and physical modification. *Carbohydr Polym* 2: 237-242.
- Wurzburg OB (1987) Introduction. In *Modified Starches: Properties and Uses*. CPG Press, Florida. pp 29-43.
- Yamamoto K, Sawada S, Onogaki T (1973) Properties of rice starch prepared by alkali method with various conditions. *Denpun Kagaku* 20: 99-104.
- Yang KH, You BR, Kim HJ, Lee JY, Kim MJ, Kim MR (2011) Gelatinization properties of crude starches prepared from acorns harvested in various countries. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 40: 1279-1284.
- Yasuo O, Yutaka H, Yoji K (2006) Study on carbohydrate composition of *Apios*(*Apios americana* Medikus) flower and tubers. *Nippons Shokuhin Kagaku Kogaku Kaishi* 53: 130-36.
- Zobel HF (1964) X-ray analysis of starch granular starches. In *Method in Carbohydrate Chemistry*. Academic press. New York. p 109.

---

접 수: 2014년 5월 8일  
 최종수정: 2014년 6월 17일  
 채 택: 2014년 6월 30일