

## 가교결합 감자 전분의 이화학적 특성

김향숙 · 이영은\*

충북대학교 식품영양학과, \*원광대학교 식품영양학과

### Physicochemical Properties of Crosslinked Potato Starch

Hyang Sook Kim and Young-Eun Lee\*

Department of Food and Nutrition, Chungbuk National University

\*Department of Food and Nutrition, Wonkwang University

#### Abstract

Crosslinked potato starches (XP), from 2,400 to 1,900 anhydroglucose units per crosslink (AGU/CL), were prepared by reacting with epichlorohydrin. Some of the physicochemical properties of the XPs were then compared with those of native potato and cowpea starches. Crosslinking decreased moisture, protein and ash contents but had no effect on phosphorus content. Water binding capacities of the XPs increased as the degree of crosslinking increased, and that of the XP with 2,100 AGU/CL approached the value of cowpea starch. The absorption maxima of the starch-iodine complex shifted from 594 to 580 nm. Granule size increased slightly and surface appearance of the granule became rough when crosslinked. Both native and crosslinked potato starches showed B type X-ray diffraction pattern, and the relative crystallinity was not affected by crosslinking. Gelatinization temperature and the heat of gelatinization, measured by differential scanning calorimeter (DSC), did not change within the range of crosslinking tested. From X-ray and DSC data, it was concluded that the crosslinking occurred in the amorphous region of the starch granule.

Key words: crosslinked potato starch, epichlorohydrin, physicochemical property

#### 서론

감자는 A.D. 200년 경에 페루에서 처음 이용된 이래 오랫동안 인간이 사용해 온 식량자원이다. 감자 전분은 1811년 미국 New England에서 전분으로 처음 생산되었으며, 19세기에는 가장 중요한 전분이었다. 그 후 20세기 초반부터 감자가 포테이토칩, 프렌치프라이 등의 기호식품의 원료로 사용되면서 값싸고 구하기 쉬운 옥수수 전분이 그 자리를 차지하게 되었다<sup>(1)</sup>. 그러나 감자 전분이 갖는 독특한 성질로 인해 그 필요성은 없어지지 않고 있다. 감자 전분은 옥수수 전분과 같은 다른 전분들에 비해 같은 농도에서도 점도가 매우 높아 증점제(thickening agent)로 이용하기 좋으며, 아밀로오스를 함유하고 있으면서도 호화액이 매우 투명하며, 겔형성과 노화가 잘 일어나지 않는다. 이는 감자 전분의 입자 크기와 아밀로오스의 분자량이 다른 전분들에

비해 크며, 특히 전분입자에 공유결합되어 있는 *o*-phosphate기가 음전하를 띠기 때문이다. 또한 감자 전분은 대부분의 곡류 전분들과는 달리 특유의 향과 맛을 지니고 있지 않아 향이 얇은 식품(mild-flavored foods)에 사용하기에 적합하는데, 이는 감자 전분에 잔존하는 단백질 함량이 적기 때문이다. 감자 전분은 천연 상태에서 특이한 성질을 많이 가지고 있기는 하나 겔형성시 감자 전분 겔은 부드러움과 탄성은 좋으나 겔강도가 약한데<sup>(2)</sup> 이러한 단점은 화학적으로 변성시켜 개선할 수 있을 것이다. 그 대표적인 예로서 식품에 이용되는 변성 전분(modified starch)의 일종인 가교결합 전분은 분자 사슬을 가교시켜 전분입자 내에 견고한 고분자의 망상 구조를 형성하여 내전단성, 내열성, 내산성 등의 성질을 갖게 한 것이며<sup>(3,4)</sup>, 겔 강도를 증가시킬 수 있다.

본 연구에서는 천연 감자 전분의 특성을 개선하기 위해 여러 가교 결합제 중 가장 효과가 큰 것으로 알려진 epichlorohydrin을 사용하여 가교화도가 다른 가교결합 전분을 제조하여, 가교화 반응에 의한 이화학

Corresponding author: Hyang Sook Kim, Department of Food and Nutrition, Chungbuk National University, Cheongju, Chungbuk 360-763, Korea

적 성질의 변화를 알아 보고자 한다.

## 재료 및 방법

### 실험 재료

감자 전분은 Junsei Chemical Co.(동경, 일본) 제품을 구입하여 사용하였다. 동부 전분은 (주)풀무원 식품에서 묵제조용으로 사용하는 동부 양금을 제공받아 알카리 침지법을 이용하여 제조하여 사용하였다.

### 가교결합 전분의 제조

가교결합 전분은 Hammerstrand 등<sup>(5)</sup>의 방법을 이용하여 60%(w/v, 건량기준) 감자 전분 현탁액에 epichlorohydrin (1-chloro-2,3-epoxypropane, Sigma Chemical Co.)을 pH 11.0~11.5, 25~30°C로 유지하며 24시간동안 에테르화 반응시켜 제조하였다. 가교결합제인 epichlorohydrin의 첨가수준은 미국 식품의약국(FDA) CFR(Code of Federal Regulations)<sup>(6)</sup>에서 식품용 변성전분 제조시 최대 허용범위인 0.03% 이내에서 전분 건량의 0.005, 0.01, 0.02 및 0.03%를 임의로 선택하였다.

### 가교화도 측정

전분과 epichlorohydrin의 반응수율(%)과 전분의 가교화도(degree of crosslinking)는 Hammerstrand 등<sup>(5)</sup>의 방법에 따라 반응하지 않고 남은 epichlorohydrin을 periodate로 산화시킨 후 chromotropic acid로 발색시켜 570 nm에서 흡광도를 측정하여 정량하였다. 가교화도는 다음 식에 따라 가교결합 당 무수포도당의 갯수(anhydroglucose units per crosslink, AGU/CL)<sup>(5)</sup>와 몰가교화도(molar degree of crosslinking, MDC)<sup>(7)</sup>로 계산하여 표시하였다.

$$\begin{aligned} \text{AGUCL} &= -22,508 \\ &\times \frac{\text{g of epichlorohydrin reacted}}{100 \text{ g of starch (drybasis)}} \\ &+ 2,487.9343 \quad (r^2 = 0.9248) \\ \text{MDC} &= \text{units of crosslinks/100 AGU} \end{aligned}$$

### 일반 성분 분석

수분, 조지방, 조단백, 회분 함량은 AACC 공정시험 방법<sup>(8)</sup>에 따라 분석하였다. 탄수화물 함량은 100%에서 그 차이로 부터 계산하였다.

### 인 함량 측정

Smith와 Caruso<sup>(9)</sup>의 방법에 따라 UV/visible 분광광도계 UV-160A (Shimadzu Co., 일본)를 이용하여 460 nm에서 흡광도를 측정하여 정량하였다.

### 물결합 능력

물결합 능력은 Medcalf와 Gilles<sup>(10)</sup>의 방법을 수정하여 측정하였다. 전분 현탁액(5% w/v, 건량기준)을 실온에서 1시간동안 잘 저어주고 1,500 x G의 속도로 20분간 원심분리한 후, 하룻밤 4°C에서 정치한 다음 1분간 거꾸로 세워 상정액을 제거하고 증가된 수분 함량과 전분 시료의 중량비로 계산하였다.

### 상대 결정화도

X-선 회절도는 Zobel<sup>(11)</sup>의 방법에 따라 X-선 회절기(XRD 2000, Scintag Inc., 미국)를 이용하여 target: Cu-K $\alpha$ , scanning speed: 1°/min, voltage: 40 kV, current: 40 mA의 조건으로 회절각도 4~30°까지 회절시켜 분석하였다. 상대결정화도는 Komiya 등<sup>(12)</sup>의 방법에 따라 peak 면적으로부터 계산하였다.

### 전분의 요오드 흡착 특성 및 첨가

Gilbert와 Spragg<sup>(13)</sup>의 방법을 Suzuki 등<sup>(14)</sup>의 방법으로 수정하여 700 nm에서 500 nm까지 2 nm 간격으로 전분-요오드 복합체의 흡수 스펙트럼을 측정하였다. 680 nm에서의 흡광도로부터 첨가(blue value, BV)를 구하였으며, 최대 흡수 파장( $\lambda_{max}$ )과  $\lambda_{max}$ 에서의 흡광도를 구하였다.

### 열역학적 특성

전분의 호화 중 열역학적 특성을 시차주사열량계 910 DSC (Du Pont Instrument, 미국)를 이용하여 측정하였다. 전분에 증류수를 1:2의 비율로 섞어 평형에 도달하도록 실온에서 1시간 동안 방치한 후 5°C/min의 속도로 30°C에서 150°C까지 가열하여 흡열 peak를 구하였다. 흡열 peak로부터 Biliaderis 등<sup>(15)</sup>의 방법에 따라 상전이온도( $T_0$ ,  $T_p$ ,  $T_m$ )를 구하였으며, 전분 호화에 필요한 열량 ( $-\Delta H_0$ , J/g)은 peak 면적으로부터 산출하였다. 수분부피분율(volume fraction of water)은 물의 부피와 전분과 물의 총 부피의 비로 계산하였으며, 이때 물의 밀도는 1.0, 전분은 평균 1.5 g/ml로 간주하였다.

### 전분 입자의 형태 및 크기 분포

전분 입자의 형태는 주사전자현미경(scanning electron microscope, SEM; Hitachi S-2500C, 일본)을 이용

하여 관찰하였다. 입자의 크기 분포는 Image-Pro Plus program (Media Cybernetics, 미국)을 이용하여 전분 입자의 크기를 측정하여 백분율로 나타내었다. 평균 지름은 장정과 단정의 평균값으로 구하였다.

**결과 및 고찰**

**가교화도**

가교결합 전분 제조 중 실제로 전분과 에테르 반응에 참여한 epichlorohydrin의 반응수율은 평균 85.2%이었다(Table 1). 이는 비슷한 조건 하에서 제조한 Hammerstrand 등<sup>6)</sup>의 반응수율 78.2%와 Hollinger와 Marchessault<sup>7)</sup>의 85%와 비슷한 수준이었다.

실제 반응한 epichlorohydrin의 양으로부터 계산한 가교화도는 Table 1과 같다. 전분 분자들의 하이드록실기들은 epichlorohydrin과 단계적으로 에테르 결합을 하여 친수성 가교결합에 의한 망상 구조를 형성한다<sup>3,7)</sup>. 이때 가교결합을 형성하지 않고도 epichlorohydrin을 소비하는 monoglycerol ether starch가 부수적으로 생기기도 하고, 2분자 이상의 epichlorohydrin이 1개의 가교결합을 형성하는데 소비되는 dimeric(또는trimeric) crosslinks가 생기기도 하므로

반응수율과 가교결합의 화학적 효율성과는 다를 수가 있다. 가교결합을 형성하지 않고도 소비되어지는 epichlorohydrin은 반응한 epichlorohydrin 양의 5% 미만 이므로<sup>7)</sup>, 가교결합의 화학적 효율성을 나타내는 가교화도 계산시에는 이를 보정하여 주었다. epichlorohydrin의 첨가량이 0.01%씩 증가함에 따라 몰가교화도는 0.005 CL/100AGU 단위씩 증가하였다.

**전분의 이화학적 특성**

시료 전분의 이화학적 특성은 Table 2와 같다. 일반 성분 중 가교결합 전분의 조단백질과 회분은 가교결합 전분 제조 중 알칼리 수용액에서 반응시킨 후 씻어내는 과정을 반복하기 때문에 약간 감소하였으며, 평형수분 함량도 천연 감자 전분에 비해 약간 감소하였다.

천연 전분들은 일반적으로 적은 양(<0.1%)의 인을 함유하고 있다. 타피오카와 감자 전분에서는 인이 전분에 o-phosphate기로 공유결합을 하고 있는 반면, 옥수수, 밀, 쌀 등 곡류 전분에서는 대개 인지질의 형태로 존재하고 있다<sup>10)</sup>. 천연 감자 전분 및 가교결합 감자 전분은 0.07~0.09%로 비교적 높은 인 함량을 보이고, 동부 전분은 0.01%로 매우 적은 양의 인을 함유하고

**Table 1. Degree of crosslinking and yield of crosslinked potato starches (XP)**

Type of starch	Epichlorohydrin applied	Unreacted epichlorohydrin	Reacted epichlorohydrin	Reaction yield	AGU <sup>1)</sup> /Crosslink	Crosslinks/100AGU
	mg per 100 g of starch (dry basis)			%	MDC <sup>2)</sup>	
XP-0.005	5	0.942	4.058	81.2	2,400	0.042
XP-0.01	10	1.937	8.063	80.6	2,300	0.043
XP-0.02	20	2.048	17.952	89.8	2,100	0.048
XP-0.03	30	3.242	26.758	89.2	1,900	0.053

<sup>1)</sup>Anhydroglucose unit

<sup>2)</sup>Molar degree of crosslinking

**Table 2. Physicochemical properties of the native and crosslinked (XP) potato starches and cowpea starch**

Physico-chemical properties	Potato Starch					Cowpea Starch
	Native	XP-0.005	XP-0.01	XP-0.02	XP-0.03	
Moisture (%)	16.22	14.00	14.29	14.19	14.55	11.07
Protein (% db) <sup>1)</sup>	0.27	0.21	0.16	0.25	0.18	0.46
Lipids (% db)	0.06	0.06	0.07	0.07	0.07	0.27
Ash (% db)	0.26	0.23	0.25	0.22	0.20	0.08
Carbohydrates (% db)	99.19	99.50	99.52	99.46	99.55	99.19
Phosphorus (% db)	0.07	0.08	0.09	0.09	0.07	0.01
WBC <sup>2)</sup> (% db)	64.6	67.4	80.3	85.2	92.5	86.3
X-ray type	B	B	B	B	B	A
Relative crystallinity (%)	34.1	36.1	34.0	34.5	35.9	42.9
Granule size (µm)	8-57	8-69	8-62	8-68	8-62	7-23

<sup>1)</sup>Dry basis

<sup>2)</sup>Water binding capacity

있었으며, 다른 문헌<sup>(14)</sup>에서 보고된 값들과 잘 일치하였다.

물결합능력(water binding capacity)은 천연 감자 전분의 경우 64.6%였는데, 가교화도가 증가할수록 점차로 증가하였다. Hollinger 등<sup>(17)</sup>은 산과 효소에 대한 가교결합 감자 전분의 가수분해율의 차이로부터 가교결합이 전분의 건조과정 중에 분자들의 구조적 재배열을 억제하여 산과 같은 작은 분자들이 접근할 수 있는 내부공간을 형성하게 된다고 하였다. 따라서 가교화도가 증가할수록 전분입자의 비결정질 영역에 더 많은 내부공간이 생기게 되고, 이 공간에 물과 같은 작은 분자가 채워져 물결합능력이 증가했다고 설명할 수 있을 것이다.

X-선 회절도

시료 전분들의 X-선 회절도는 Fig. 1과 같다. 회절각도(2θ) 5.3, 14.4와 23.8° 등에서 B형 전분의 전형적인 peak를 나타내었으며, 가교화가 되어도 X-선 회절 양

상에는 변함이 없었다.

Komiya<sup>(12)</sup>의 방법에 따라 결정한 상대결정화도(relative crystallinity)는 감자 전분이 34.1%이었으며, 물가교화도 0.042~0.053 CL/100AGU 범위 내에서는 가교결합에 의한 상대결정화도의 변화는 거의 없었다(Table 2). 따라서 가교결합이 전분 입자의 비결정질 영역에서 이루어졌으며 결정질 영역에는 영향을 주지 않았다고 볼 수 있겠다.

동부 전분은 두류 전분임에도 불구하고 A형 곡류 전분의 전형적인 peak인 회절각도 15.1, 17.0, 18.2, 22.8°에서 peak를 나타내었으며 B형의 특성인 5.3°에서는 peak를 나타내지 않아 A형에 더 가까웠다. 김 등<sup>(18)</sup>도 동부 전분을 A형으로 분류하였으며, 김<sup>(2)</sup>은 A형에 가까운 C형인 Ca형으로 분류하였다.

요오드 흡착 특성

시료 전분의 요오드 흡착 특성은 Table 3과 같다. 감자전분의 최대 흡수 파장은 594 nm이었으며, 가교결합 감자 전분에서는 580 nm 부근으로 이동하였다. 순수한 아밀로오스의 최대 흡수 파장은 656 nm, 아밀로펙틴은 560 nm이므로<sup>(14)</sup> 아밀로펙틴의 최대 흡수 파장 쪽으로 약간 이동된 것을 알 수 있었다. 가교결합 전분 제조시 알카리 수용액 상에서 전분 분자의 용출을 억제하기 위해 25%의 황산나트륨염을 가해 주었음<sup>(3)</sup>에도 불구하고 입자의 표면에서 분자량이 작은 아밀로오스가 용출되어 나갔기 때문일 것으로 생각되어진다. Fig. 2에서 보는 바와 같이 천연감자 전분 입자의 표면은 매끄러운 반면, 가교결합 전분들의 표면은 거칠어져 있는데, 이러한 현상을 반영하는 것이라 생각된다.

전분-요오드 복합체의 청가(blue value, BV)로부터 Takeda 등<sup>(19)</sup>의 방법에 따라 아밀로오스 함량을 계산하면 감자 전분은 21.1%, 동부 전분은 27.7%로(Table 3)

Table 3. Characteristics of the starch-iodine complex

Type of Starch	Absorbance			Amylose <sup>1)</sup> %
	λmax, nm	at λmax	at 680 nm (BV)	
Potato				
Native		0.573	0.467	21.1
XP-0.005	576-580	0.350	0.290	-
XP-0.01	580	0.260	0.236	-
XP-0.02	580-582	0.231	0.184	-
XP-0.03	580	0.048	0.043	-
Cowpea	598	0.656	0.552	27.7

<sup>1)</sup> % Amylose =

$$\frac{BV \text{ of starch} - BV \text{ of amylopectin}}{BV \text{ of amylose} - BV \text{ of amylopectin}} \times 100$$

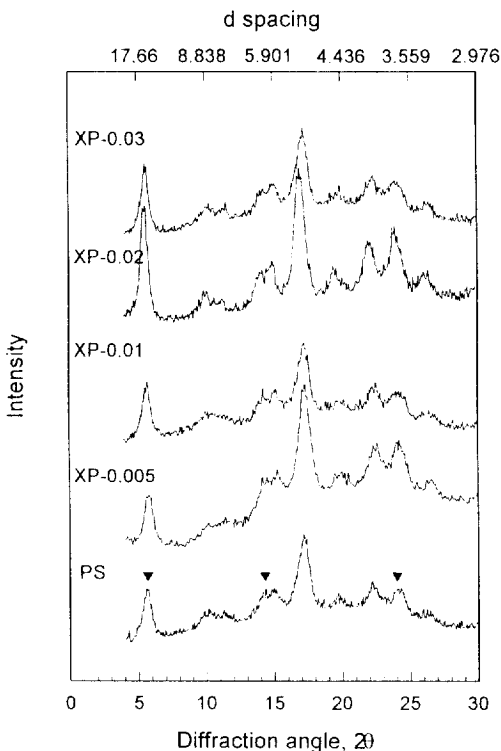
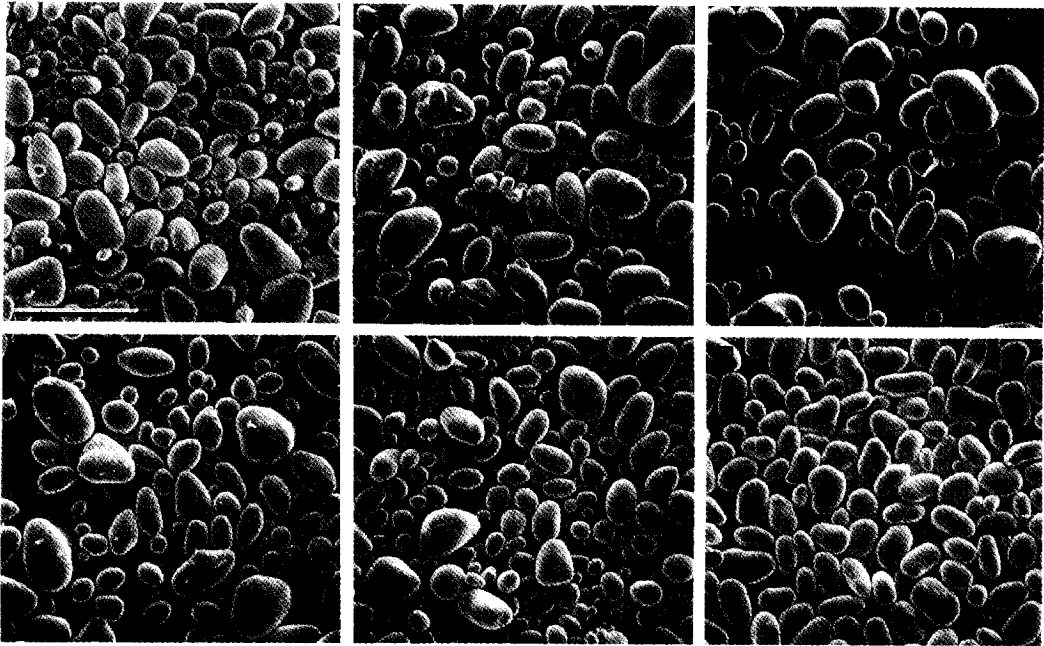


Fig. 1. X-ray diffraction patterns of native (PS) and crosslinked potato starches (XP) PS: native potato; XP-0.005, XP-0.01, XP-0.02 and XP-0.03: 0.005, 0.01, 0.02, 0.03% epichloro-hydrin-treated crosslinked potato starches ▼ represents typical peaks for B type pattern



**Fig. 2.** Shapes and sizes of starch granules shown by scanning electron microphotogram (A) Native potato, (B) XP-0.005, (C) XP-0.01, (D) XP-0.02, (E) XP-0.03, (F) Cowpea; XP-0.005, XP-0.01, XP-0.02 and XP-0.03: 0.005, 0.01, 0.02, 0.03% epichlorohydrin-treated crosslinked potato starches

다른 문헌들<sup>(1,2,18)</sup>의 값과 비슷하였다. 이때 순수한 아밀로오스와 아밀로펙틴의 요오드 복합체의 청가는 각각 1.49와 0.193으로 Suzuki 등<sup>(14)</sup>이 감자전분으로부터 얻은 값을 사용하였다. 감자 전분의 지질 함량은 Table 2에서 보듯이 매우 적으므로 탈지 과정 없이 그대로 사용하였으며, 동부 전분은 Soxhlet 장치를 이용하여 95% 에탄올로 48시간 탈지하여 사용하였다.

가교결합 감자 전분은 청가의 측정이 불가능하였다. 모든 아밀로오스 함량 측정 방법들은 우선 전분을 알칼리 수용액으로 완전 소화, 팽윤시킨 후 요오드 복합체를 만들어 비색법 또는 전위차 적정법 등을 이용하도록 되어 있다. 그러나 epichlorohydrin으로 가교화시킨 감자 전분은 알칼리에 의해 완전 소화, 팽윤되지 않아 균일한 전분-요오드 복합체의 수용액을 형성하지 못하므로 흡광도가 아밀로오스 함량과 정량적인 비례관계를 갖지 못하였다. 가교전분은 가교결합제의 종류에 따라 다른 형태의 가교결합을 형성할 수 있는데, 에테르 결합에 의한 가교결합은 열, 산, 알칼리에 모두 내성을 가지며, acetal 형성에 의한 것은 산에, 에스테르 결합에 의한 가교전분은 알칼리에 내성을 가진다고 알려져 있다<sup>(9)</sup>.

**열역학적 특성**

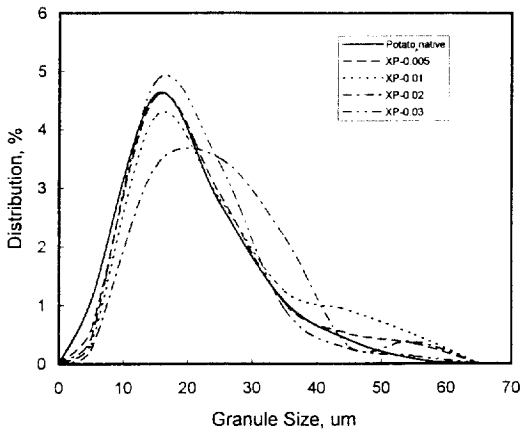
시차주사열량계를 이용하여 측정한 시료 전분들의

열역학적 특성은 Table 4와 같다. 천연 감자 전분은 63.1°C에서, 가교결합 감자 전분은 62.9~63.4°C에서 흡수 peak를 보여 가교화에 따른 시차주사열량계 호화온도에는 차이가 없었다. 호화에 필요한 열량(-ΔH<sub>0</sub>)도 천연 감자 전분이 10.86 J/g, 가교결합 감자 전분은 10.63~11.32 J/g으로 천연 감자 전분과 비슷한 수준을 유지하였다. 이와 같이 호화엔탈피의 차이가 없는 것은 가교화 반응이 전분 입자의 결정성 영역에 별다른 영향을 주지 않았다고 해석할 수 있으며, X-ray 회절도에 의한 상대결정화도의 차이가 없는 것에도 일치하는 결과이다. Hollinger 등<sup>(17)</sup>은 몰가교화도가 12.5 CL/100AGU가 될 때까지 호화엔탈피가 변하지 않았으며, 18.5 CL/100AGU로 가교화도가 크게 증가하면 감소하는 경향을 보였다고 했다. 감자 전분의 호화엔탈피는 수분함량이 비슷한 조건에서 측정시 Hollinger 등<sup>(17)</sup>은 14.28 J/g, Donovan<sup>(20)</sup>은 17.6 J/g, Kugimiya와 Donovan<sup>(21)</sup>은 18.6 J/g의 값을 보고하였는데 본 실험에서는 약간 작은 값을 보였다.

열역학적 특성 측정시 가열 속도와 시료의 수분함량이 DSC (differential scanning calorimetry) 호화온도와 호화 peak의 모양에 영향을 준다고 한다<sup>(15, 20, 22, 23)</sup>. 가열 속도가 빠를수록 호화 온도는 올라가며, 전분의 종류에 따라 다르지만 대개 시료의 수분함량이 수분부

**Table 4. Thermodynamic characteristics of the native and crosslinked (XP) potato starches and cowpea starch**

Type of Starch	To <sup>1)</sup>	Tp <sup>2)</sup>	Tm <sup>3)</sup>	- $\Delta H_G$	Volume fraction of water
	°C			J/g	
Potato					
Native	58.9	63.1	68.5	10.86	0.78
XP-0.005	58.9	62.9	69.5	10.65	0.77
XP-0.01	59.9	62.9	69.5	11.32	0.79
XP-0.02	60.0	63.0	69.5	10.63	0.78
XP-0.03	59.8	63.4	70.0	11.01	0.78
Cowpea	66.1	73.3	81.9	16.50	0.77

<sup>1)</sup>To : onset temperature of the endotherm<sup>2)</sup>Tp : peak temperature of the endotherm<sup>3)</sup>Tm : upper temperature limit of the endotherm**Fig. 3. Granule size distribution of native (PS) and crosslinked (XP) potato starches XP-0.005, XP-0.01, XP-0.02 and XP-0.03: 0.005, 0.01, 0.02, 0.03% epichlorohydrin-treated crosslinked potato starches**

피분율(volume fraction of water)로 0.7 이하가 되면 단일 흡열 peak가 아니라 호화 peak에 끌리는 어깨 peak가 생긴다고 하였다. 본 실험에 쓰인 천연 감자 전분과 가교결합 전분들은 수분부피분율이 0.77~0.79 (Table 4)임에도 불구하고 작은 어깨 peak를 보였다.

#### 전분 입자의 형태 및 크기 분포

감자 전분 입자는 작은 것은 구형, 큰 것은 타원형이 많았으며, 크기는 8~57 μm로 타원형의 동부 전분 7~23 μm 보다 컸다(Table 2와 Fig 2). 대부분의 문헌에는 감자 전분은 5~100 μm의 크기 분포를 하고 있다고 하고 있으나, 60 μm 이상이 되는 크기의 입자는 찾아보기 어려웠다. Snyder<sup>(24)</sup>는 입자의 크기분포의 자료의 정확성은 입자의 크기와 측정된 입자의 갯수에 의해 영향을 받는다고 하였는데 coulter counter에 의한 감

자 전분의 크기 분포는 10~70 μm라하여 실험 결과와 잘 일치하였다. 평균 178개 전분 입자에 대해 측정된 본 실험에서는 천연 감자 전분 입자의 평균 크기는 20.5 μm이며, 가교화도가 증가함에 따라 22.7, 24.9, 25.6, 22.4 μm로 증가하는 경향을 보였다(Fig. 3).

## 요 약

Epichlorohydrin과 반응시켜 제조한 가교 결합 감자 전분의 이화학적 성질을 조사하였다. 가교화 반응의 수율은 평균 85.2%, 가교화도는 epichlorohydrin 첨가량이 전분 건량의 0.005%일 때 2400 AGU/CL이고 0.01% 증가시 가교결합 1개 당 200개의 무수포도당 단위씩 감소하였다. 가교화에 의해 일반성분 중 평형 수분함량, 조단백, 회분함량이 감소하였다. 천연 및 가교결합 감자전분의 인 함량은 0.07~0.09%로 동부 전분 0.01%에 비해 높았다. 물결합능력은 가교화도가 증가함에 따라 증가하였으며 가교화도가 2100 AGU/CL일 때 85.2%로 동부 전분 86.3%와 비슷한 수준에 도달하였다. 전분의 요오드 흡착 특성은 천연 감자 전분이 594 nm, 동부 전분이 598 nm에서 최대흡수파장을 나타냈으며, 가교화에 의해 580 nm 근처로 이동하였다. 첨가로부터 계산한 아밀로오스 함량은 감자 전분이 21.1%, 동부 전분이 27.7%이었으며, 가교결합 감자 전분은 알칼리에 의한 완전 호화 팽윤이 억제되어 아밀로오스 함량 측정은 불가능하였다. 감자 전분 입자는 작은 것은 구형, 큰 것은 타원형이 많았으며, 크기는 8~57 μm로 타원형의 동부 전분 7~23 μm보다 컸으며, 가교화도가 증가함에 따라 크기 분포는 약간 큰 쪽으로 이동하였다. 천연 감자 전분의 표면은 매끄러웠으나, 가교반응에 의해 표면이 녹아내리듯 거칠어졌다. X-ray 회절양상은 가교화에 의해 변하지 않아 천연 감자 전분과 동일한 B형을 나타냈으며, 상대결정화도는 34.0~36.1%로 천연 감자 전분의 34.1%와 비슷한 수준을 유지하였다. 시차주사열량계로 측정된 호화온도(Tp)는 천연 감자 전분이 63.1°C, 가교결합 감자 전분은 62.9°C~63.4°C로 거의 변화가 없었으며, 호화엔탈피(- $\Delta H_G$ )는 10.63 ~11.32 J/g으로 천연 감자 전분과 비슷하였다. X-ray 회절도와 시차주사열량계 결과로부터 가교결합은 전분 입자의 비결정질 영역에서 이루어졌다고 결론지을 수 있다.

## 감사의 말

본 연구는 1993년 충북대학교 학술연구재단 일반과

제연구비에 의해 수행된 연구 결과의 일부로 이에 감사사를 드립니다.

문헌

1. Alexander, R.J.: Potato starch: new prospects for an old product. *Cereal Foods World*, **40**, 763 (1995)
2. 김향숙 : 아밀로오스와 아밀로펙틴이 목의 텍스처에 미치는 영향. 서울대학교 박사학위 논문 (1987)
3. Rutenberg, M.W. and Solarek, D.: X. Starch derivatives: production and uses. In *Starch Chemistry and Technology*, 2nd ed., Whistler, R.L., BeMiller, J.N. and Paschall, E.F. (Ed.) Academic Press, New York, N.Y., p. 324 (1984)
4. Wurzburg, O.B.: Introduction. In *Modified Starches: Properties and Uses*, Wurzburg, O.B. (Ed.), CRC Press, FL, p.12 (1987)
5. Hammerstrand, G.E., Hofretter, B.T. and Mehlretter, C. L.: Determination of the extent of reaction between epichlorohydrin and starch. *Cereal Chem.*, **37**, 519 (1960)
6. CFR (Code of Federal Regulations) : Food starch-modified. Title 21, Chapter 1, Part 172, Section 172.892. In *Food Additives Permitted in Food for Human Consumption*, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C. (1991)
7. Hollinger, G. and Marchessault, R.H.: Ultrastructure of acid and enzyme-modified cross-linked potato starch. *Biopolymers*, **14**, 265 (1975)
8. AACC : *Approved Methods of the American Association of Cereal Chemists*, 8th ed., AACC, St. Paul, MN (1983)
9. Smith, R.J. and Caruso, J.: Determination of phosphorus. In *Methods in Carbohydrate Chemistry*, Vol. 4, Whistler, R.L., Smith, R.J., BeMiller, J.N. and Wolfrom, M.L. (Ed.), Academic Press, New York, N.Y., p.47 (1964)
10. Medcalf, D.G. and Gilles, K.A.: Wheat starches. I. Comparison of physicochemical properties. *Cereal Chem.*, **42**, 558 (1968)
11. Zobel, H.F. : X-ray analysis of granular starches. In *Methods in Carbohydrate Chemistry*, Vol. 4, Whistler, R.L., Smith, R.J., BeMiller, J.N. and Wolfrom, M.L. (Ed.), Academic Press, New York, N.Y., p.109 (1964)
12. Komiya, T., Nara, S. and Tsu, M.: Changes in crystallinity and gelatinization phenomena of potato starch by acid treatment. *Stärke*, **38**, 9 (1986)
13. Gilbert, G.A. and Spragg, S.P.: Iodometric determination of amylose. In *Methods in Carbohydrate Chemistry*, Vol. 4, Whistler, R.L., Smith, R.J., BeMiller, J.N. and Wolfrom, M.L. (Ed.), Academic Press, New York, N.Y., p.168 (1964)
14. Suzuki, A., Hizukuri, S. and Takeda, Y.: Physicochemical studies of kuzu starch. *Cereal Chem.*, **58**, 286 (1981)
15. Biliaderis, C.G., Maurice, T.J. and Vose, J.R.: Starch gelatinization phenomena studied by differential scanning calorimetry. *J. Food Sci.*, **45**, 1669 (1980)
16. Lim, S. and Seib, P.A.: Preparation and pasting properties of wheat and corn starch phosphates. *Cereal Chem.*, **70**, 137 (1993)
17. Hollinger, G., Kuniak, L. and Marchessault, R.H.: Thermodynamic aspects of the gelatinization and swelling of crosslinked starch. *Biopolymers*, **13**, 879 (1974)
18. 김향숙, 권미라, 안승요 : 동부 전분의 이화학적 특성. 한국식품과학회지, **19**, 18 (1987)
19. Takeda, C., Takeda, Y. and Hizukuri, S.: Physicochemical properties of lily starch. *Cereal Chem.*, **60**, 212 (1983)
20. Donovan, J.W.: Phase transition of the starch-water system. *Biopolymers*, **18**, 263 (1979)
21. Kugimiya, M. and Donovan, J.W.: Calorimetric determination of the amylose content of starches based on formation and melting of the amylose-lysolecithin complex. *J. Food Sci.*, **46**, 765 (1981)
22. Nakazawa, F., Noguchi, S., Takahashi, J. and Takada, M.: Gelatinization and retrogradation of rice starch studied by differential scanning calorimetry. *Agric. Biol. Chem.*, **48**, 201 (1984)
23. Wootton, M. and Bamunuarchchi, A.: Application of differential scanning calorimetry of starch gelatinization. *Stärke*, **31**, 262 (1979)
24. Snyder, E.M.: X XII. Industrial microscopy of starches. In *Starch Chemistry and Technology*, 2nd ed., Whistler, R.L., BeMiller, J.N. and Paschall, E.F. (Ed.), Academic Press, New York, N.Y., p.661 (1984)

(1996년 3월 15일 접수)