

가교결합 감자 전분의 호화특성과 형태학적 변화

김향숙 · 이영은*

충북대학교 식품영양학과, *원광대학교 식품영양학과

Influence of Crosslinking on Gelatinization Behavior and Morphological Change of 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

Gelatinization behavior and morphology of epichlorohydrin-crosslinked potato starches (XPs) were investigated. Native potato starch showed a very steep single-stage swelling pattern, but crosslinked starches showed various patterns with the degree of crosslinking. Swelling power, solubility and light transmittance were reduced drastically as the degree of crosslinking increased. Brabender initial pasting temperature and peak temperature of crosslinked starches increased because the crosslinking reinforces the intermolecular network of the starches. Although the swelling of the potato starch granule was inhibited by crosslinking as compared to that of the native one, Brabender peak viscosities (6.5% w/v, db) were on the order of 2,500 units for the native potato starch, 3,700 for the XP with 2,300 anhydroglucose units per crosslinking (AGU/CL) and 3,400 for the XP with 2,100 AGU/CL, due to the decreased breakdown of the swollen granule resulting from the resistance to heat and shear. The XP with 1,900 AGU/CL, however, did not show the peak viscosity and the viscosity was on the order of 500 units because of the excessive inhibition of the swelling. Unlike the native potato starch, 6.5%(w/v,db) pastes of the crosslinked potato starches could form gels, which could be predicted from the Brabender setback and consistency index. When the degree of crosslinking is low, random contraction and radial swelling of the granule was possible. As the degree of crosslinking increased, morphological change became similar to the single dimensional tangential swelling observed from the lenticular wheat starch. These morphological changes during heating in excess water explained the gelatinization behaviors of crosslinked starches tested.

Key words: crosslinking, swelling, light transmittance, viscosity, morphology

서 론

전분 입자를 물에서 호화온도 이상으로 가열하면 입자가 비가역적으로 팽윤하여 점도가 급격히 증가하며, 적은 분자량의 가용성 전분 분자가 용출되어 반투명한 호화액(paste)을 형성한다. 또한 충분한 농도의 전분 현탁액을 호화시킨 후 실온으로 냉각시키면 겔이 형성되는데⁽¹⁾ 전분의 종류에 따라 호화온도와 리올로지 특성이 다를 뿐만 아니라, 겔의 텍스처 특성에도 차이가 있다. Bear와 Samsa⁽²⁾는 감자전분 입자의 팽윤은 방사선상(radial swelling)이라기 보다는 오히려 접

선 방향의 팽윤(tangential swelling)에 의한다고 했으며, Derby 등⁽³⁾과 Bowler 등⁽⁴⁾은 밀 전분 입자로부터 호화과정 중 일어나는 독특한 형태학적 변화를 보고하였다. 바나나 전분은 밀 전분과 감자 전분의 중간 정도의 형태 변화를 보였다고 했다. Christianson 등⁽⁵⁾은 옥수수 전분 입자는 일차원적인 접선 방향의 팽윤만을 주로 하는 렌즈모양의 밀 전분과는 달리 방사선상의 수축과 사방으로 접선 방향으로의 팽윤에 의해 복잡한 기하학적 구조를 갖게 된다고 보고하였다. Lee와 Osman⁽⁶⁾은 쌀 전분은 옥수수 전분과 형태학적으로 거의 비슷한 변화를 보였다고 하였다.

가교결합 전분은 전분 입자 내에 견고한 고분자 망상구조를 형성하여 전분입자의 팽윤을 억제하여 내열성, 내전단성, 내산성 등을 가지게 된다고 하였다^(7,8).

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

Hollinger 등⁽¹⁰⁾과 Hollinger와 Marchessault⁽¹¹⁾는 epichlorohydrin으로 가교화시킨 감자 전분의 열역학적 특성과 내부구조에 대해 보고하였으며, 허와 김⁽¹²⁾이 phosphorus oxychloride로 제조한 옥수수 가교전분의 이화학적 성질을 보고하였을 뿐 가교결합 전분에 대한 연구는 미비한 실정이다.

본 연구에서는 감자 전분을 epichlorohydrin과 반응시켜 가교화도가 다른 감자 전분을 제조하여 가교결합이 감자전분의 팽윤력 및 용해도, 광투과도, 점도 등의 호화 특성에 미치는 영향과 온도에 따른 전분 입자의 형태학적인 미세구조 변화에 대해 살펴보고, 이들 간의 관계를 알아보았다.

재료 및 방법

실험재료

동부 전분은 (주)풀무원 식품으로부터 제공받은 목 제조용 동부 앙금으로부터 알칼리 침지법에 따라 제조하였다. 가교결합 감자 전분은 Hammerstrand 등⁽¹³⁾의 방법에 따라 감자 전분(Junsei Chemical Co., 일본)에 epichlorohydrin을 전분 건량의 0.01, 0.02 및 0.03% 첨가하여 가교화도가 각각 2300, 2100, 1900 anhydroglucose units per crosslink (AGU/CL)가 되도록 제조하여 사용하였다.

팽윤력 및 용해도

Schoch⁽¹⁴⁾의 방법을 개량하여 0.5%(w/v, 건량기준) 전분 현탁액을 55°C~95°C 범위에서 10°C 간격으로 각 온도에서 30분간 흔들어주며 가열한 후 1,500 x G에서 30분간 원심분리하여 측정하였다. 용해도는 페놀-황산법⁽¹⁵⁾에 따라 상징액 중의 총당 함량으로부터 구하였다.

광투과도

전분 현탁액(0.2% w/v, 건량기준)을 Visco/Amylo/Graph(Brabender Inc., 독일)를 이용하여 호화시키면서 625 nm에서 온도에 따른 투과도(%T)의 변화를 측정하였다⁽¹⁶⁾. 또한 시료의 농도에 따른 투과도의 변화를 알기 위해 농도 0.5~2.5% (w/v, 건량기준) 범위의 시료를 끓는 수조에서 30분간 가열한 후 실온으로 냉각하여 투과도를 측정 하였다.

아밀로그래프 호화 특성

Visco/Amylo/Graph를 이용하여 전분 현탁액(6.5% w/v, 건량기준; pH 6.5)의 가열과 냉각 과정 중 온도에

따른 점도(BU) 변화를 관찰하였다⁽¹⁷⁾. 측정시 가열 및 냉각 조건은 1.5°C/min, 전단속도는 75 rpm이었다.

형태학적 구조 관찰

전분 현탁액(0.5% w/v, 건량기준)을 65~95°C까지 팽윤력 및 용해도 측정시와 동일하게 가열한 후 급속 냉동 건조시킨 시료를 주사전자현미경(scanning electron microscope, SEM; Hitachi S-2500C, 일본)으로 관찰하였다.

결과 및 고찰

팽윤력 및 용해도

모든 시료 전분의 팽윤력은 호화 개시 전인 55°C에서는 비슷하였으나 65°C에서 천연 감자 전분은 61.8%를 보였고, 가교결합 감자 전분들은 epichlorohydrin의 첨가량이 0.01, 0.02, 0.03%로 증가함에 따라 입자의 팽윤이 억제되어 각각 31.8, 24.4, 17.9%를 나타내었다(Fig. 1). 가교화도에 따른 이러한 팽윤력의 차이는 75, 85, 95°C 가열 온도에서도 같은 경향을 보였다. 천연 감자 전분은 온도에 따라 팽윤력이 급격히 상승하는 한단계 팽윤 양상을 보이며, 동부 전분은 두 단계, 가교결합 감자 전분은 가교화도에 따라 각기 다른 팽윤 양상을 보였다.

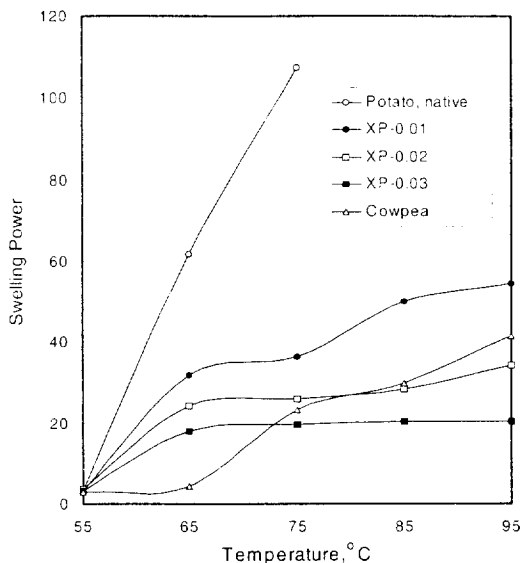


Fig. 1. Swelling power of 0.5% (w/v, db) starch pastes heated for 30 min at 55~95°C XP-0.01, XP-0.02 and XP-0.03: 0.01, 0.02, 0.03% epichlorohydrin-treated crosslinked potato starches

0.5% 전분 호화액의 용해도는 천연 감자 전분이 65°C에서 12.8%이었으나, 가교결합 전분들은 가교화도가 증가함에 따라 각각 4.5, 3.3, 1.8%로 감소하였다 (Fig. 2). 가교결합 감자 전분의 용해도는 완만하게 두 단계로 증가하는 반면, 동부 전분은 65~75°C와 85~95°C 사이에 급격하게 두 단계로 증가하였다. 가교결합 전분에서는 입자의 팽윤이 강하게 억제되므로 호화시 용출되는 전분 분자의 양이 적기 때문일 것이다. 천연 감자 전분의 경우 75°C 이상에서는 팽윤력이 너무 커서 전분 호화액과 상징액의 분리가 어려워 팽윤력과 용해도의 측정이 불가능하였다.

Leach 등⁽⁸⁾은 전분의 종류에 따라 한 단계와 두 단계의 팽윤 및 용해 양상을 보이는 것이 있는데, 전자는 입자내의 결합력이 균일하여 한 온도 범위 내에서 한꺼번에 호화되기 때문이며, 후자는 전분입자 내에 두가지의 결합력이 존재하여 초기 호화가 일어난 후 저항이 있다가 다시 팽윤이 일어나기 때문이라고 하였다. 천연 감자 전분은 인이 α -phosphate기의 형태로 전분 분자에 공유결합하여 음전하를 띠고 있어 분자간에 반발력이 작용하여 전분 분자들 사이로 물이 쉽게 침투하여 한 단계 팽윤 양상을 보인다고 생각되어진다. 반면에 가교결합 전분에서는 전보⁽¹⁹⁾에서 논의된 것처럼 비결정질 영역의 전분 분자들이 가교결합에 의해 강화되어 팽윤이 억제되므로 천연 감자 전분과는 다른

양상을 보이게 되는 것으로 생각된다. Biliaderis 등⁽²⁰⁾은 물은 전분 현탁액을 가열하는 경우 충분한 양의 물이 비결정질 영역에 침투하면 비결정질 영역을 불안정하게 하여 열에 의한 결정의 용융을 돕게 된다고 하였다. 가교결합 전분에서는 비결정질 영역 내에서 물의 침투에 의한 초기 팽윤이 가교결합에 의해 저항을 받다가 결국 계속 침투되는 물과 열에 의해 가교결합이 끊어지며 2단계 팽윤이 일어나게 되며, 이러한 비결정질 영역에서의 불충분한 수화는 결정질 영역의 용융에도 영향을 주게 될 것이다. 따라서 가교화도에 따라 팽윤 양상이 각기 다르게 나타나게 된다. 즉, 가교화도가 증가할수록 내열성이 증가하였다고 할 수 있다.

전분 호화액의 광투과도의 변화

감자 전분을 가교화시키면 전분 입자의 수화가 지연되거나 입자의 팽윤이 저해되어 (Fig. 1), 가교화도가 증가할수록 광투과도가 천연감자 전분에 비해 감소하여 탁하여졌으나 여전히 동부 전분보다는 투명하였다 (Fig. 3과 Fig. 4). 0.2% 전분 현탁액을 55°C에서 95°C까지 연속적으로 가열하며 측정된 광투과도는 시차주사 열량계로 측정된 호화온도(Tm)인 63°C⁽¹⁹⁾ 이후에 가교화에 따른 차이가 약간씩 나타났다 (Fig. 3). 0.5%에서 2.5%까지의 농도에서 완전 호화(95°C, 30분)시켰을 때

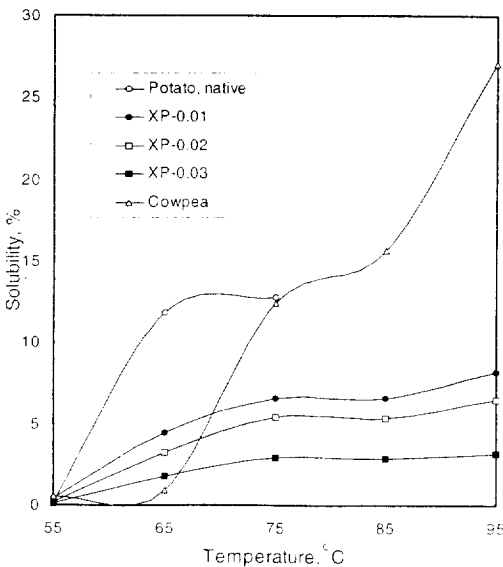


Fig. 2. Solubility of 0.5% (w/v, db) starch pastes heated for 30 min at 55~95°C XP-0.01, XP-0.02 and XP-0.03: 0.01, 0.02, 0.03% epichlorohydrin-treated crosslinked potato starches

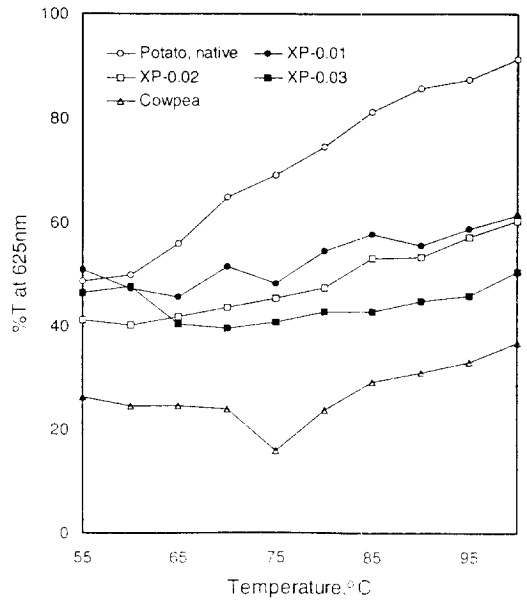


Fig. 3. Changes in light transmittance of 0.2% (w/v, db) starch pastes heated from 55°C to 95°C XP-0.01, XP-0.02 and XP-0.03: 0.01, 0.02, 0.03% epichlorohydrin-treated crosslinked potato starches

가고화도에 따른 광투과도의 차이는 농도가 증가할수록 감소하는 경향을 보였으며, 가고화도가 커질수록 광투과도가 낮아져 1,900 AGU당 1개 정도의 가고 결합이 있을 때(XP-0.03)는 거의 동부 전분과 비슷한 광투과도를 나타내었다(Fig. 4).

식품의 투명도(clarity)는 목, 소오스나 과일 파이 속 (filling) 등을 제조할 때 중요시되는 관능 특성 중의 하나이다. 호화액의 광투과도는 전분의 종류에 따라 다르며, Wurzburg⁽⁶⁾는 아밀로오스 함량이 많고 아밀로오스 분자량이 클수록 냉각 중 분자 간의 회합이 잘 일

어나고 더 탁하다고 하였다. 감자 전분은 동부 전분에 비해 아밀로오스 분자량이 큼⁽⁷⁾에도 불구하고, 아밀로오스 함량이 낮고⁽⁸⁾, 특히 *o*-phosphate기의 존재로 수화되기 쉬워 광투과도가 높게 나타난 것으로 생각된다(Fig. 3과 Fig. 4).

아밀로그래프 호화 특성

전분 호화액의 점도는 전분 입자의 팽윤 정도, 팽윤된 전분 입자의 열과 전단에 대한 저항도, 가열 중 입자로부터 용출된 가용성 전분의 존재, 팽윤된 입자 사이의 마찰 또는 팽윤된 입자와 가용성 전분과의 응집성 등에 의해 영향을 받는다⁽²¹⁾.

시료 전분들의 아밀로그래프 호화 특성은 Table 1과 Fig. 5와 같다. 초기 호화온도(점도가 20 BU에 도달했을 때의 온도⁽¹⁷⁾)는 천연 감자 전분이 60.8°C이며, 가고 결합 전분의 경우 가고화도가 증가할수록 Fig. 6에서 보듯이 입자의 팽윤이 지연되므로 60.7°C (XP-0.01), 61.0°C (XP-0.02), 63.0°C (XP-0.03)로 높아지는 경향이기는 하나, 큰 차이는 나지 않았다.

천연 감자 전분은 온도 상승에 따라 매우 급격히 점도가 증가하여 67.5°C에서 최고점도(2,570 BU)를 보이는데(Fig. 5), 이는 호화 중 아밀로오스와 복합체를 이루어 팽윤을 억제하는 지질의 결핍, 점성이 강한 분자량이 큰 아밀로오스 분자의 존재와 *o*-phosphate기에 의한 팽윤력의 증가에 기인하는 것이다^(7,9). 가고전분은 가고결합에 의해 최고점도에 도달하는 시간이 매우 지연되는데, 이는 팽윤된 입자가 가고결합에 의해 강화되어 내열성과 내전단성을 가지게 되어 붕괴가 거의 일어나지 않기 때문이다(Fig. 6~9 참조). 0.03% epichlorohydrin 첨가 가고결합 전분(XP-0.03)은 95°C에서도 팽윤된 입자를 그대로 유지하고 있어(Fig. 9), 입자의 붕괴에 의한 점도의 감소없이 낮은 점도를 유

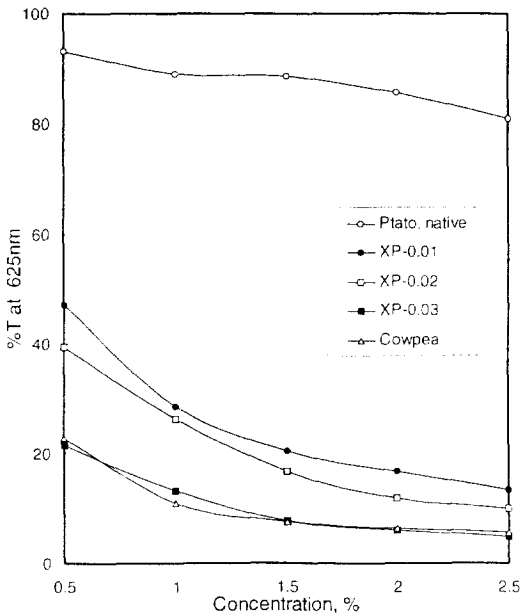


Fig. 4. Changes in light transmittance of starch pastes heated at 95°C for 30 min at 0.5~2.5% (w/v, db) XP-0.01, XP-0.02 and XP-0.03: 0.01, 0.02, 0.03% epichlorohydrin-treated crosslinked potato starches

Table 1. Brabender Visco/Amylo/Graph characteristics of native and crosslinked (XP) potato starches and cowpea starches (6.5% w/v, dry basis; pH 6.5)

Type of starch	Pasting temperature (°C)	Peak temperature (°C)	Viscosity (BU)			Breakdown (P-H) (BU)	Setback (C-P) (BU)	Consistency (C-H) (BU)	
			Peak (P)	95°C	95°C, 15 min (H)				50°C (C)
Potato									
Native	60.8	67.5	2,570	1,000	680	865	1,890	-1,705	185
XP-0.01	60.7	95°C, 4 min	3,650	3,480	3,525	4,150	170	500	625
XP-0.02	61.0	95°C, 11 min	3,390	3,130	3,390	5,300	0	1,910	1,910
XP-0.03	63.0	-	-	205	310	515	-	-	205
Cowpea									
6.5% ¹⁾	74.8	83.0	755	705	680	125	75	495	570
8.0% ²⁾	74.2	81.0	1,420	1,270	1,280	240	140	1,040	1,180

¹⁾6.5% (w/v, dry basis) cowpea starch paste

²⁾8.0% (w/v, dry basis) cowpea starch paste

지하며 가열과 냉각 과정을 통해 점도가 서서히 증가하였다(Fig. 5).

감자 전분 시료들과 같은 농도의 동부 전분(CS-6.5)

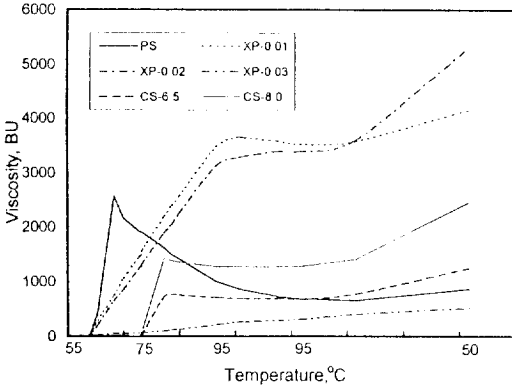


Fig. 5. Brabender Visco/Amylo/Graph viscosities of 6.5% (w/v, db) starch pastes at pH 6.5 One cowpea sample was set to 8.0% (w/v, db) concentration additionally for comparison; PS: native potato; XP-0.01, XP-0.02 and XP-0.03: 0.01, 0.02, 0.03% epichlorohydrin-treated crosslinked potato starches; CS-6.5: 6.5% cowpea paste; CS-8.0: 8.0% cowpea paste

과 목 제조에 적합한 농도인 8.0%^(21,23)의 동부 전분(CS-8.0) 호화액의 최고점도는 천연 감자 전분에 비해 낮으며, setback과 consistency 점도는 매우 커 노화가 쉽게 일어나며 목과 같은 겔 형성에 유리함을 나타내 준다(Table 5). Epichlorohydrin을 0.01%(XP-0.01) 또는 0.02%(XP-0.02) 첨가했을 때 가교결합 감자 전분의 setback과 consistency 점도는 동부 전분과 비슷하거나, 오히려 커져 가교결합 전분이 겔 형성에 사용될 수 있음을 시사하였다(Table 5와 Fig. 5).

호화 중 전분 입자의 형태학적 구조 변화

천연 감자 전분은 65°C에 이미 팽윤된 입자들이 접선 방향으로 퍼져, 팽윤된 입자와 용출된 가용성 전분이 서로 응집되어(Fig. 6) 점도가 크게 증가하였으며(Fig. 5) 75°C 이상 온도가 올라가면 입자들이 붕괴하여 점점 가느다란 실가닥처럼 되어(Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9) 점도가 크게 감소하는 아밀로그래프 점성 특성(Fig. 5)과 잘 일치하였다.

0.01% epichlorohydrin 첨가 가교결합 전분(XP-0.01)은 75°C에도 입자의 원형을 유지하다가(Fig. 7), 85°C 이상에서 한 덩어리로 되며(Fig. 8) 상호작용에 의해

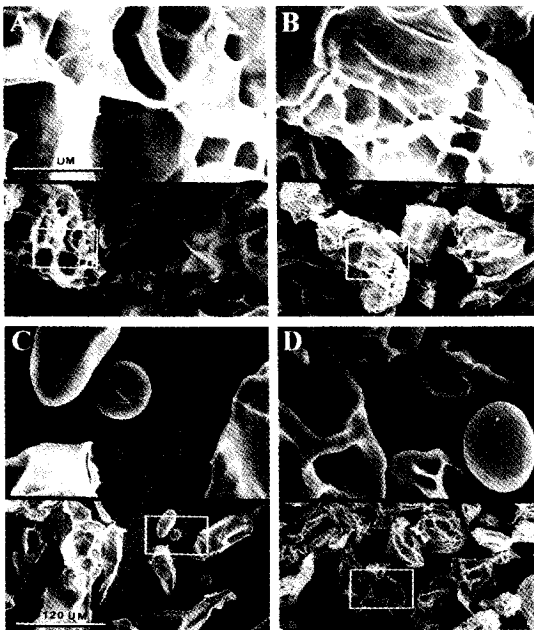


Fig. 6. Starch granules cooked at 65°C for 30 min in 0.5% (w/v, db) suspension of native potato (A), XP-0.01(B), XP-0.02(C), and XP-0.03(D) XP-0.01, XP-0.02 and XP-0.03: 0.01, 0.02, 0.03% epichlorohydrin-treated crosslinked potato starches; Magnification of upper region is 1,250X

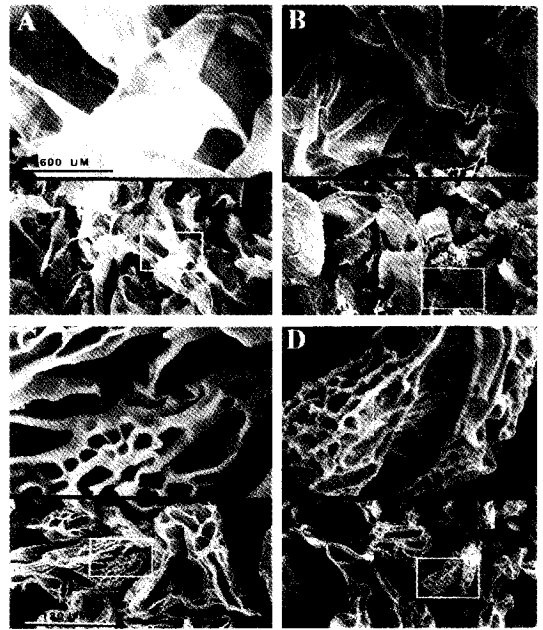


Fig. 7. Starch granules cooked at 75°C for 30 min in 0.5% (w/v, db) suspension of native potato (A), XP-0.01(B), XP-0.02(C), and XP-0.03(D) XP-0.01, XP-0.02 and XP-0.03: 0.01, 0.02, 0.03% epichlorohydrin-treated crosslinked potato starches; Magnification of upper region is 1,250X

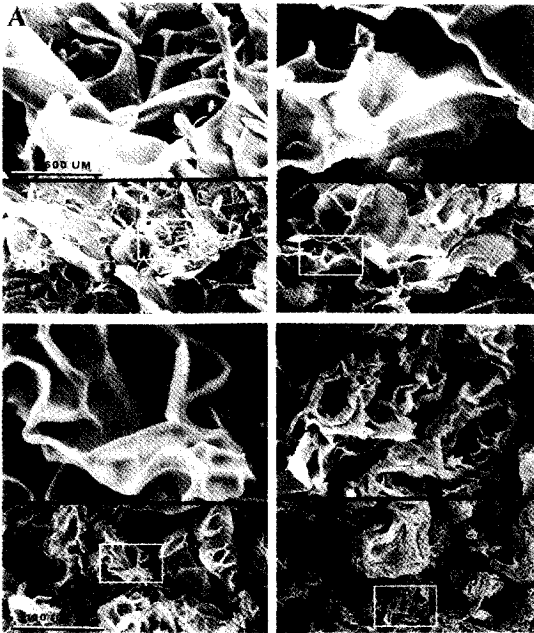


Fig. 8. Starch granules cooked at 85°C for 30 min in 0.5% (w/v, db) suspension of native potato (A), XP-0.01(B), XP-0.02(C), and XP-0.03(D) XP-0.01, XP-0.02 and XP-0.03: 0.01, 0.02, 0.03% epichlorohydrin-treated crosslinked potato starches; Magnification of upper region is 1,250X

점도가 점점 급격하게 증가하였다(Fig. 5). 0.02%(XP-0.02)와 0.03%(XP-0.03) epichlorohydrin 첨가 가교결합 전분은 65°C에서 20 µm 이내의 작은 입자들의 팽윤이 큰 입자들에 비해 더 강하게 억제되고 있는 것을 볼 수 있으며(Fig. 6), 온도가 증가하면 방사선상의 팽윤(radial swelling)과 접선 방향의 팽윤(tangential swelling)에 의해 기하학적 형태가 점점 복잡해지기는 하나, 입자는 붕괴되지 않고 그 원형을 유지하였다(Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9). 이러한 형태의 미세구조의 변화는 가교화도가 낮을 때는 Christianson 등⁽⁶⁾이 옥수수 전분에서 관찰했던 방사선상의 팽윤과 접선 방향의 팽윤 양상과 더 유사하였으며, 가교화도가 증가하면 Bowler 등⁽⁴⁾이 밀 전분에서 관찰했던 길이 방향으로의 팽윤은 억제되며 측면으로의 팽윤만이 일어나는 일차원적인 접선 방향의 팽윤에 더 가까워졌다.

요 약

감자 전분을 epichlorohydrin과 반응시켜 제조한 가교결합 감자 전분(가교화도 2,300, 2,100, 1,900 AGU/CL)의 호화 특성과 호화 중 전분 입자의 형태학적 변

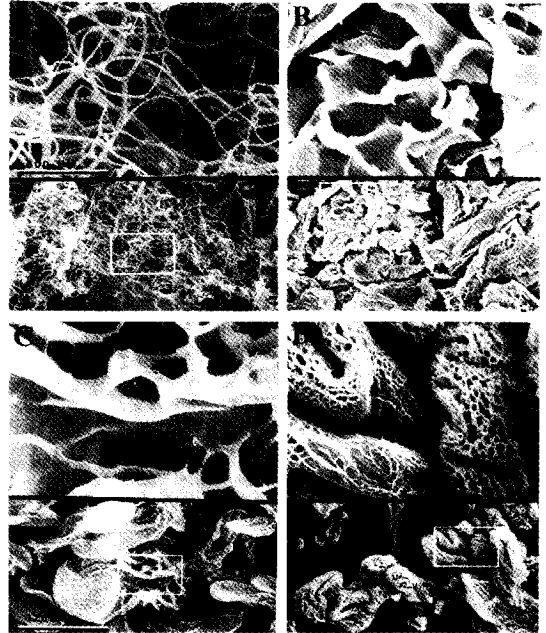


Fig. 9. Starch granules cooked at 95°C for 30 min in 0.5% (w/v, db) suspension of native potato (A), XP-0.01(B), XP-0.02(C), and XP-0.03(D) XP-0.01, XP-0.02 and XP-0.03: 0.01, 0.02, 0.03% epichlorohydrin-treated crosslinked potato starches; Magnification of upper region is 1,250X

화를 조사하였다. 천연 감자 전분은 한 단계의 급격한 팽윤 양상을 보이나, 동부 전분은 두 단계, 가교결합 전분은 가교화도에 따라 각각 다른 팽윤 양상을 나타내었다. 가교화도가 증가할수록 팽윤력과 용해도는 입자의 팽윤이 억제되어 크게 감소하였다. 광투과도는 가교화도가 증가할수록 감소하였다. 가교결합 전분 입자의 팽윤이 동부 전분에 비해 억제되었음에도 불구하고 55~95°C 온도 범위와 2.5%까지의 농도 범위에서는 동부 전분보다 더 투명하였다. 아밀로그래프에 의한 초기 호화온도는 가교화도가 증가할수록 입자의 팽윤이 지연되어 올라갔으며, 최고점도에 도달하는 시간이 매우 지연되었다. 가교화도 2,300과 2,100 AGU/CL 가교 전분은 어느정도 팽윤이 억제되며 동시에 팽윤된 전분 입자가 내열성과 내전단성을 갖게되어 서서히 점도가 증가하여 천연 감자 전분보다 더 높은 최고 점도에 도달하는 반면에, 1,900 AGU/CL 가교 전분은 너무 강하게 팽윤이 억제되어 최고 점도를 나타내지 못하였다. 또한 가교 결합 전분의 setback 과 consistency 점도는 천연 감자 전분과는 달리 냉각하면 겔 형성도 가능함을 시사하였다. 가교화도가 낮을 때는 사방으로의 접선방향의 팽윤이 가

능하였으나, 가교화도가 증가함에 따라 밀전분과 같은 일차원적인 접선방향의 팽윤이 우세해졌다. 가열 중 전분입자의 형태학적인 미세구조의 변화는 가교화도에 따른 호화특성들의 차이를 잘 설명하여 주었다.

감사의 말

본 연구는 1993년 충북대학교 학술연구재단 일반과제연구비에 의해 수행된 연구 결과의 일부로 이에 감사드립니다.

문헌

- Oikku, J. and Rha, C.K.: Gelatinization of starch and wheat flour starch - A review. *Food Chem.*, **3**, 293 (1978)
- Bear, R.S. and Samsa, E.G.: Gelatinization mechanism of starch granules. *Ind. Eng. Chem.*, **35**, 721 (1943)
- Derby, R.I., Miller, B.F. and Trimbo, H.B.: Visual observation of wheat-starch gelatinization in limited water system. *Cereal Chem.*, **52**, 702 (1975)
- Bowler, P., Williams, M.R. and Angold, R.E.: A hypothesis for the morphological changes which occur on heating lenticular wheat starch in water. *Stärke*, **32**, 186 (1980)
- Christianson, D.D., Baker, F.L., Loffredo, A.R. and Bagley, E.B.: Correlation of microscopic structure of corn starch granules with rheological properties of cooked paste. *Food Microstructure*, **1**, 13 (1982)
- Lee, Y. and Osman, E.M.: Physicochemical factors affecting cooking and eating qualities of rice and ultrastructural changes for rice during cooking. *J. Korean Soc. Food Nutr.*, **20**, 637 (1991)
- Alexander, R.J.: Potato starch: New prospects for an old product. *Cereal Foods World*, **40**, 763 (1995)
- 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)
- Wurzburg, O.B.: Introduction. In *Modified starches: Properties and Uses*, Wurzburg, O.B. (Ed.), CRC Press, FL, p.12 (1987)
- Hollinger, G., Kuniak, L. and Marchessault, R.H.: Thermodynamic aspects of the gelatinization and swelling of crosslinked starch. *Biopolymers*, **13**, 879 (1974)
- Hollinger, G. and Marchessault, R.H.: Ultrastructure of acid and enzyme-modified crosslinked potato starch. *Biopolymers*, **14**, 265 (1975)
- 허준, 김성곤: 생강 전분과 옥수수 가교 전분의 이화학적 성질 비교. *한국식품과학회지*, **15**, 201 (1984)
- 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)
- Schoch, T.J.: Swelling power and solubility 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.106 (1964)
- Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebers, P.A. and Smith, F.: Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, **28**, 350 (1956)
- Wilson, S.A., Birmingham, V.A., Moon, D.P. and Snyder, H.E.: Isolation and characterization of starch from soybeans. *Cereal Chem.* **55**, 661 (1978)
- Tipples, K.H.: In *The Amylograph Handbook*, Shuey, W.C. and Tipples, K.H. (Ed.), Revised ed., AACC, St. Paul, MN, p.12 (1982)
- Leach, H.W., McGowen, L.D. and Schoch, T.J.: Structure of starch granule. 1. Swelling and solubility pattern of various starches. *Cereal Chem.*, **35**, 534 (1959)
- 이영은, 김향숙: 가교결합 감자 전분의 이화학적 특성. *한국식품과학회지*, **28**, 573 (1996)
- Biliaderis, C.G., Maurice, T.J. and Vose, J.R.: Starch gelatinization phenomena studied by differential scanning calorimetry. *J. Food Sci.*, **45**, 1669 (1980)
- Hood, L.F.: Current concepts of starch structure. In *Food Carbohydrates*, Lineback, D.R. and Inglelett, G.E. (Ed.), AVI Publishing Co., Westport, CT, p.231 (1982)
- 배광순, 손경희, 문수재: 목의 구조와 텍스처. *한국식품과학회지*, **16**, 185 (1984)
- 문수재, 손경희, 박혜원: 목의 식품과학적 연구. 제1보, 목 재료의 물리화학적 성질을 중심으로. *대한가정학회지*, **15**, 31 (1984)

(1996년 3월 15일 접수)