

산화에 따른 옥수수 전분의 이화학적 특성 변화

한진숙[†] · 안승요

서울대학교 식품영양학과

Physicochemical Properties of Corn Starch Oxidized with Sodium Hypochlorite

Jin-Suk Han[†] and Seong-Yo Ahn

Dept. Food and Nutrition, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

Abstract

Corn starch was modified by oxidation with sodium hypochlorite (NaOCl) as an attempt to expand the application of starches in food industry. Corn starch was oxidized with 0.25, 0.5, 0.75, 1.0 and 1.5% active Cl/g starch at pH 7.0 and 25°C for 10 minutes. The size, shape and amylose content of oxidized starches were similar to those of native corn starch. As the extent of oxidation increased, solubility, swelling power and the amount of soluble amylose increased, X-ray diffraction patterns changed, and relative crystallinity decreased. In Brabender amylogram, oxidation did not change the gelatinization temperature, but oxidized starches had a lower peak in viscosity and their cooled pastes gave less setback, compared with native corn starch.

Key words: corn starch, sodium hypochlorite, oxidized starch, physicochemical properties

서 론

전분의 이용성을 확대시키고자 식품산업에서는 전분특성을 지배하는 속성을 변형하기 위하여 다양한 기술을 개발하고 연구하여 현재 다양한 식품에서 변성 전분을 이용할 수 있게 되었다(1-5). 변성전분의 제조방법은 열분해, 방사선 조사, 산화에 의한 음이온이나 양이온의 도입 및 알킬기의 도입 또는 가교반응 등을 이용한 각종의 물리화학적 방법들이 있다(4). 전분의 산화과정에서 가장 흔하게 사용되는 산화제는 sodium hypochlorites이며 드물게 hypobromite, gaseous chlorine과 permanganate 등이 사용되고 있다(5). 전분의 산화는 전분 사슬 내의 하이드록실기가 알데히드, 케토와 카르복실기로 전환되고, 전분의 분자 사슬이 부분적으로 끊어지게 되어 다양한 성질의 변화를 초래하게 된다(6-8).

Sodium hypochlorite를 이용하여 산화시킨 전분은 점착성과 응집성이 뛰어나 deep fried meat와 fish의 coating제로서의 이용성이 부각되고 있는데, 이는 산화 전분내의 알데하이드기가 coating mixture(밀가루)에 있는 전분의 하이드록실기와 단백질의 자유 ϵ -아미노기와 반응하여 결합을 형성함으로써 점착성과 응집성이 개선되어 냉동저장시나 튀김 과정에서 튀김옷이 떨어지는 것을 막아 주기 때문에 알려져 있다(9-11). 또한 산화전분은 우수한 필름 형성 능력을 가지며, 종이의 강도와 인쇄 특성을 개선시키기 때문에 종이와

의류산업에서 많이 이용되고 있다(12). 옥수수와 밀 전분을 산화 hypochlorite로 처리하였을 때 겉보기 점도로 비교하면 산화전분이 더 빠르게 분자량이 감소하였으며, 냉-해동 안정성과 점착력이 우수하였고(13), 분해된 전분을 다시 hydroxypropylation시켰을 때 점도가 안정되고 냉-해동 안정성과 점착력이 더욱 향상되었다(14). 전보(15)에서 다양한 pH와 온도에서 sodium hypochlorite 용액을 처리하여 조건에 따른 산화반응의 기작을 규명하였으며, 본 연구에서는 옥수수전분을 다양한 농도의 sodium hypochlorite 용액에서 산화처리를 한 후 산화에 따른 전분의 이화학적 특성을 조사하였다.

재료 및 방법

옥수수 전분의 제조

옥수수는 홍천의 옥수수 작물 시험장에서 수확한 광한옥 품종을 사용하여 전보(15)의 방법으로 분리하여 정제하였다.

산화전분의 제조

옥수수 전분 20 g(건량 기준)을 50 mL 중류수에 분산시킨 용액을 25°C 항온 수조에서 30분간 교반시켜 평형상태에 도달하게 한 후 전보(15)에서의 NaOCl 농도, 온도와 pH에 따른 산화반응 프로파일을 토대로 0.25, 0.5, 0.75, 1.0과 1.5% active Cl/g starch를 포함하는 NaOCl 용액(25°C, pH 7.0)에서 10분간 반응시켜, 각 처리 농도에서 약 50%정도의 염소

[†]Corresponding author. E-mail: han-miky@aist.go.jp
Phone: 81-727-51-9526 Fax: 81-727 51-9628

가 소모되는 정도로 산화된 전분을 제조하였다. 반응이 완료된 후 반응 용액은 5배의 95% 에탄올과 혼합하여 Whatman No.42 여과지로 여과하였고, 걸러진 산화전분은 다시 500 mL 에탄올에 분산시켜 30분간 교반하고 여과하는 과정을 3회 반복한 후 99% 에탄올로 씻어주면서 여과하였다. 얻어진 산화전분은 상온에서 24시간 건조시켜 60 mesh 체를 통과시켰다. 각 온도에서 처리한 전분의 염소 소모량과 카르복실기 생성량을 측정하였다.

산화전분 입자의 형태 및 크기와 호화 중 전분 입자의 형태 변화

산화전분 입자의 형태 및 크기는 50% 글리세롤 용액에 전분을 1%로 분산시켜 광학현미경과 편광현미경(Nikon Co., Japan)을 사용하여 400배로 확대하여 관찰하였다. 입자의 표면은 전분을 금과 백금(gold-palladium) 200~300 Å 두께로 피복한 후 15 kV에서 주사 전자현미경(Scanning Electron Microscopy, JEOL JSM-35 SEM, Japan)으로 1000배로 확대하여 관찰하였다. 호화 중 전분입자의 형태 변화는 2.5% 전분 혼탁액을 70°C와 80°C의 진탕수욕조에서 30분간 가열한 후 알콜과 에테르로 탈수하고 오산화인 하에서 진공 전조한 후 이를 100 mesh 체를 통과시켜 주사 전자현미경으로 관찰하였다.

X-선 회절 분석

옥수수전분의 X-선 회절 양상을 X-ray diffractometer (Rigaku Co., Japan)를 사용하여 target : Cu-K α , filter : Ni, 35 kV, 15 mA의 조건으로 회절 각도(2θ) 5~40 도 범위에서 분석하였다. 상대적 결정화도는 X-선 회절도에서 피크 강도(intensity)가 최소가 되는 점들을 곡선으로 연결한 후 윗부분의 면적을 결정성 영역(Ac)으로 하고 아래 부분의 면적을 비결정성 영역(Aa)으로 하여 Ac/(Ac+Aa)를 상대결정도로 계산한 다음 무처리 전분에 대한 비율로 나타내었다(16).

아밀로오스 함량

아밀로오스 함량을 측정하기 위하여 전분 30 mg을 0.5 N KOH 10 mL에 완전히 분산시키고 100 mL로 희석하였다. 이 중 5 mL를 취해 0.1 N HCl 2.5 mL로 중화시킨 후 요오드 용액(0.2% I₂+0.02% KI) 0.5 mL를 넣어 발색시키고 50 mL로 정용하여 20분 후 625 nm에서 흡광도를 측정하였고, 가용성 아밀로오스 함량은 전분 30 mg을 10 mL 증류수에 분산시키고 열탕수욕조에서 10분간 교반하면서 가열한 후 3000 rpm으로 30분간 원심분리한 상정액 중 5 mL를 취해 요오드 용액을 가하여 발색시키고 50 mL로 정용하여 20분 후 625 nm에서 흡광도를 측정하였다(17). 비색법을 위한 표준 곡선은 Montgomery와 Senti(18)의 방법으로 분리한 옥수수전분의 아밀로오스와 아밀로펙틴을 일정 비율로 혼합하여 작성하였다.

팽윤력과 용해도

팽윤력과 용해도는 60~90°C의 온도 범위에서 측정하였

다(19). 전분 0.5 g을 30 mL 증류수에 분산시킨 후 각 온도의 진탕수욕조에서 30분간 가열하고 3000 rpm으로 30분간 원심분리하였다. 그 상정액을 취하여 폐놀-황산법(20)으로 총 당량을 구한 후 용해도를 계산하고, 침전물의 무게로부터 팽윤력을 계산하였다.

아밀로그래프

Brabender visco/amylo/graph를 이용하여 10% 전분 혼탁액(w/v 전량 기준)을 30°C에서 95°C까지 1.5°C/min의 속도로 가열하고, 95°C에서 15분간 유지시킨 후 같은 속도로 50°C 까지 냉각시키면서 호화 및 노화 특성을 조사하였다(21).

결과 및 고찰

산화전분의 제조

산화전분을 만들기 위해 분리한 옥수수전분은 조단백질 0.17%, 조지방 0.16%, 수분 12.5%, 회분 함량이 0.08%이었고, 산화전분의 일반성분은 무처리 전분과 차이가 없었다. 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.5% active Cl/g starch를 포함하는 NaOCl 용액에서 pH 7.0, 25°C에서 10분간 처리한 산화전분의 염소 소모량과 카르복실기 생성량은 Table 1에서 보는 것처럼 염소 소모량이 증가됨에 따라 카르복실기 생성량이 증가하였다.

입자의 크기와 형태

전분입자의 크기는 5~30 μm 로 산화 정도에 따른 차이는 보이지 않았다(Fig. 1). 광학현미경으로 입자 형태를 관찰하였을 때 산화에 의한 입자 형태의 변화는 관찰되지 않았다. 대부분이 다각형이고 원형의 작은 입자가 섞여져 있었으며, 중앙에는 hilum이 금간 것처럼 발달되어 있고, 표면까지 뻗어져 있는 입자도 있었다. 가장자리에는 몇 개의 동심원이 보였다(22). 또한 편광현미경을 통해 본 전분 입자는 모두 복굴절 현상이 뚜렷하였다(Fig. 1). 이와 같이 산화시 전분의 형태가 변하지 않고, 복굴절 현상이 그대로 존재하는 것으로부터 산화가 전분 입자의 일부의 무정형 부분에서 이루어지기 때문이라고 생각된다(6). 그러나 산화에 따른 감자 전분 입자의 균열의 발달을 광학현미경으로 관찰하였을 때, NaOCl의 처리 농도가 증가할수록 균열이 입자 표면까지 발달하고 넓어져 산화가 전분 입자의 표면뿐 아니라 내부에서도 이루

Table 1. Chlorine consumptions and carboxyl contents of oxidized corn starches with various concentrations of NaOCl at 25°C and pH 7.0

Oxidant ¹⁾	Chlorine Consumption mg/g starch	Carboxyl Content mg/g starch
Native	-	-
0.25	2.58	0.14
0.5	4.97	0.72
0.75	7.90	1.30
1.0	9.19	2.05
1.5	15.60	3.19

¹⁾% active Cl/g starch.

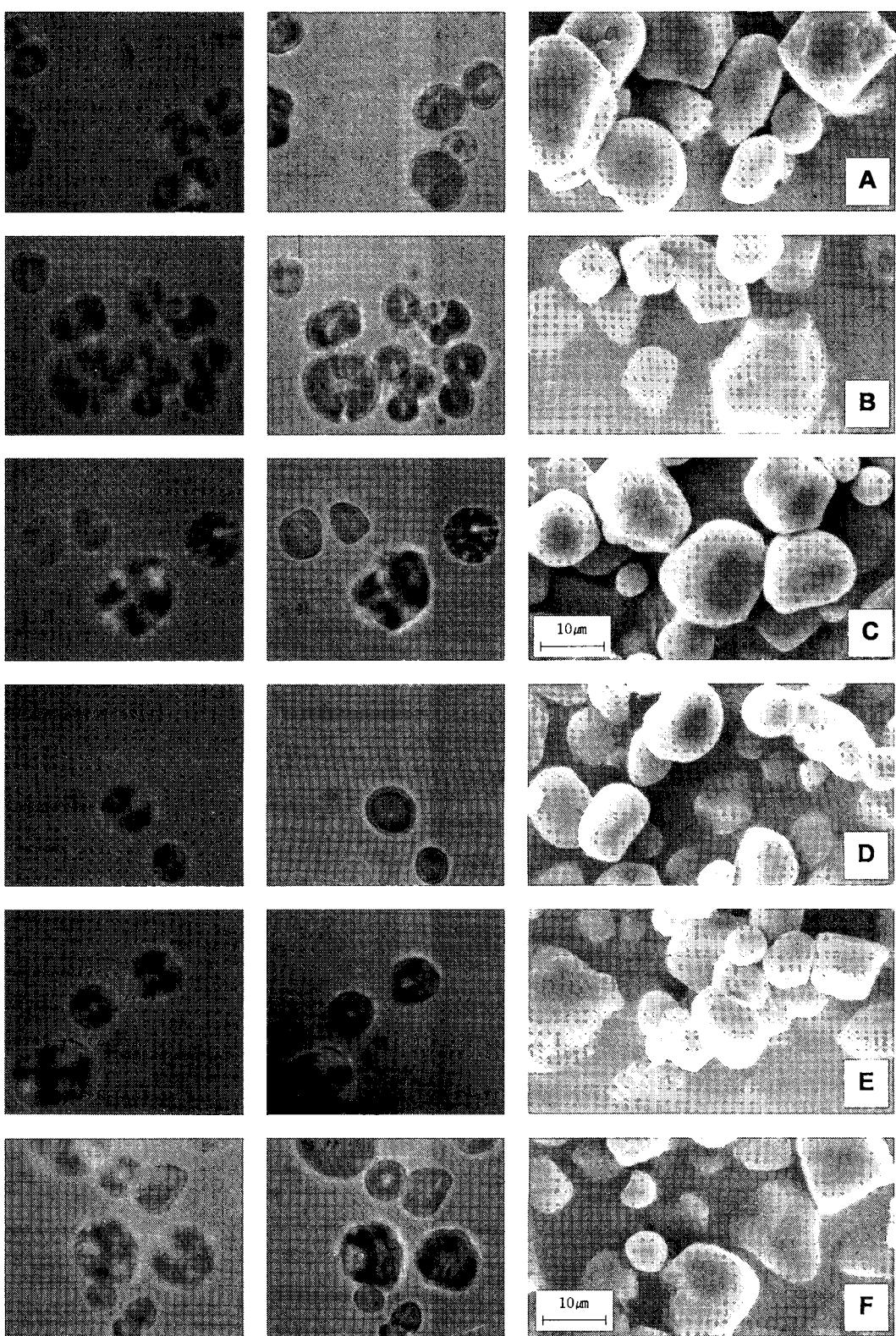


Fig. 1. Photomicrographs ($\times 400$) under polarized (left) and normal (middle), and scanning electron micrographs (right, $\times 1000$) of oxidized corn starches.
 A: native. B: 0.25% active Cl/g starch. C: 0.5% active Cl/g starch. D: 0.75% active Cl/g starch. E: 1.0% active Cl/g starch. F: 1.5% active Cl/g starch.

어지는 경우도 있는 것으로 보이며(23,24), 전분의 산화는 전분 입자의 특성에 따라 많은 차이가 있어 밀 전분의 경우는 산화에 의해 전분 반경이 16%나 증가하였다는 보고도 있다(25). 주사 전자현미경으로 관찰한 입자 표면은 매끄러운 것과 표면이 유통불통한 것이 섞여 있었는데, NaOCl의 처리 농도가 증가할수록 표면에 움푹 들어간 흔적이 있는 입자가 많아지고, 입자가 깨어진 조각들도 볼 수 있었다.

호화 중 전분 입자의 형태 변화

70°C와 80°C에서 주사 전자현미경으로 관찰한 무처리 전분과 산화전분 입자의 형태 변화는 Fig. 2와 같다. 무처리 전분은 70°C에서 입자들이 약간 팽윤된 상태로 깨어지지 않

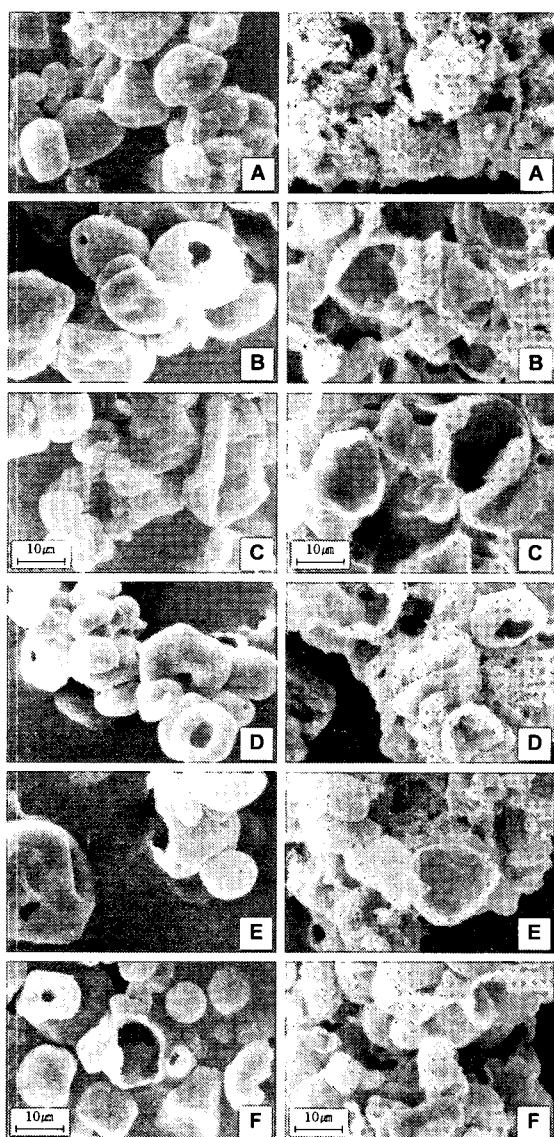


Fig. 2. Scanning electron micrographs ($\times 1000$) of oxidized corn starches gelatinized at 70°C (left) and 80°C (right). A: native. B: 0.25% active Cl/g starch. C: 0.5% active Cl/g starch. D: 0.75% active Cl/g starch. E: 1.0% active Cl/g starch. F: 1.5% active Cl/g starch.

고 원형이 유지되어 있으며, 입자 표면에 입자 내부에서 새어나온 듯한 작은 입자들이 붙어 있는 것이 관찰되었다. 80°C에서는 전분 입자가 깨어지면서 내부 물질이 용출되어 입자 표면에 붙어 있었다.

산화전분은 70°C에서 입자들이 깨지거나 모양이 뒤틀린 것이 관찰되었고, NaOCl의 처리 농도가 증가할수록 더욱 심하게 깨어지면서 동공이 크게 나타났다. 입자 표면은 매끄러워서 무처리 전분에서와 같은 입자 내부에서 새어나온 듯한 작은 입자들이 붙어 있지 않았다. 80°C에서는 입자들이 깨어져 중첩되어 보였으나 무처리 전분에서와는 달리 표면에 내부 용출물이 적게 붙어 있었다.

호화된 전분을 요오드로 염색하여 광학현미경으로 관찰하였을 때, 일반적으로 전분에서 팽윤된 입자 내부는 가용성 아밀로오스가 차 있어 blue로 염색되었고, 입자의 바깥쪽은 아밀로오스와 아밀로펙틴이 같이 존재하였다. 산화가 많이 된 전분은 입자 형태가 적고 팽윤이 많이 되어 있는 것으로 나타났으며, 입자 내부가 아밀로펙틴으로 차 있고 아밀로오스는 세포벽에만 존재하는 것으로 관찰되어 전분 입자 표면의 무정형 부분에서 산화에 의해 약해진 부분으로 입자내 아밀로오스가 쉽게 밖으로 용출되었음을 보여주며 이는 산화에 의해 입자의 견고성이 감소되었음을 시사한다(26).

아밀로오스 함량

전분의 겉보기 아밀로오스 함량은 16.2~19.3%로 산화에 따른 차이를 보이지 않았다. 일반적으로 옥수수 전분의 아밀로오스 함량은 20~32% 정도로 실험에 사용한 옥수수의 아밀로오스 함량이 약간 낮은 것으로 나타났다(23). 전분이 산화되면 요오드 복합체 형성 능력이 감소하는 것은 산화에 의한 아밀로오스의 분해 가능성의 증가와 전분 분자의 형태 변화로 전분 분자 내에 요오드와 복합체를 형성할 수 있는 나선형(spiral) 구조의 아밀로오스 함량이 감소되는 것과 관련이 있는 것으로 생각된다(27).

Fig. 3에서 보는 것처럼 가용성 아밀로오스 함량은 NaOCl의 처리 농도가 높아질수록 증가하여 1.5% active Cl/g starch의 경우 총 아밀로오스의 90% 이상이 용출되는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 전분 입자가 산화되면서 무정형 부분에서 입자의 견고성(granule integrity)이 감소하여 용출되어 나오는 아밀로오스의 양이 증가하는 것에 의한 것으로 사료된다.

X-선 회절도

무처리 전분과 산화 전분의 X-선 회절도는 Fig. 4에, 상대적 결정화도는 Table 2에 나타내었다. 무처리 전분과 산화 전분의 피크의 강도와 위치는 NaOCl 처리 농도가 증가됨에 따라 차츰 변하였다. 무처리 전분은 회절각도 15.1, 16.7, 17.9와 23.0에서 강한 피크를 보여 A형의 회절 양상을 보였다. 산화 전분도 이 위치에서 피크가 나타나나 피크의 강도가 약해지고, 회절각도 17.9와 23.0 사이에서 피크의 갈라짐이 나

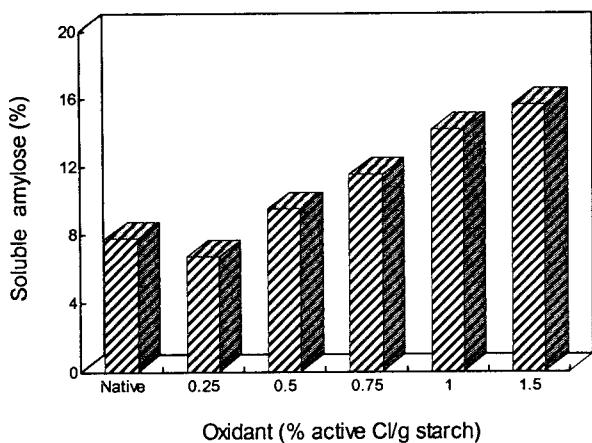


Fig. 3. Soluble amylose contents of oxidized starches with various concentration of NaOCl.

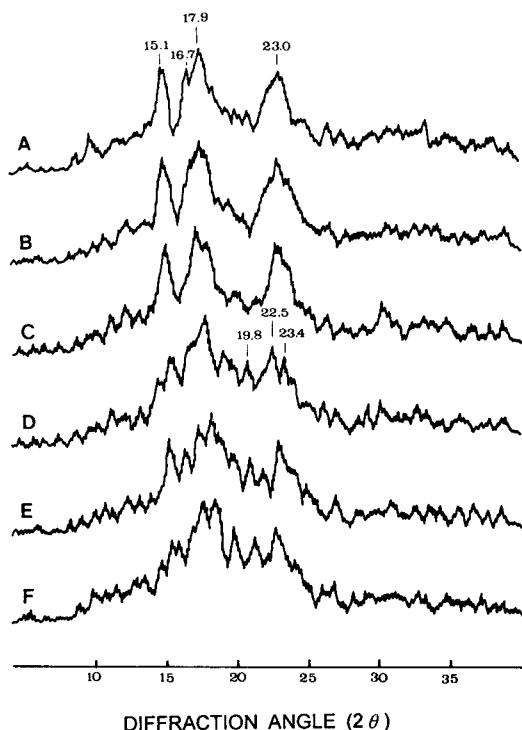


Fig. 4. X-ray diffraction patterns of oxidized corn starches. A: native. B: 0.25% active Cl/g starch. C: 0.5% active Cl/g starch. D: 0.75% active Cl/g starch. E: 1.0% active Cl/g starch. F: 1.5% active Cl/g starch.

타났다. 그리고 무처리 전분에 대한 산화 전분의 상대적 결정화도는 NaOCl 처리 농도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 전분은 산화시 X-선 회절도에는 변화가 없었다는 이전의 연구보고(28,29)와는 다른 결과를 보였다. 이와 같은 실험 결과로 볼 때 NaOCl 처리 농도가 0.5% active Cl/g starch이상에서는 전분 입자 표면의 무정형 부분 이외에 결정 영역에서도 산화가 이루어진다는 것을 보여주는 것으로 산화제의 처리 농도가 증가되면 전분의 분자구조가 변화될 수 있음을 시사한다.

Table 2. Relative crystallization of oxidized corn starches with various concentration of NaOCl

Oxidant ¹⁾	Relative crystallinity (A _c /A _c + A _a) ²⁾	Relative crystallinity Ratio ³⁾
Native	0.39	1.00
0.25	0.42	1.07
0.5	0.37	0.94
0.75	0.33	0.84
1.0	0.35	0.89
1.5	0.31	0.78

¹⁾% active Cl/g starch.

²⁾A_c: Crystalline area, A_a: Amorphous area.

³⁾Ratio of relative crystallinity between native and oxidized corn starch.

팽윤력과 용해도

NaOCl 처리 농도가 증가함에 따라 용해도가 크게 증가하였다. 무처리 전분은 85°C 이후부터는 용해도의 증가가 완만하였으나, 산화정도가 클수록 용해도는 계속 증가하는 양상을 보였다(Fig. 5). 산화는 전분입자 내부의 구조와 아밀로오스의 길이를 변화시켜 입자 내부 물질의 용출이 용이하게 하는 것으로 보인다(30). 70°C에서는 처리 농도에 따른 용해도의 차이가 뚜렷하였으나 팽윤력은 큰 차이를 보이지 않았

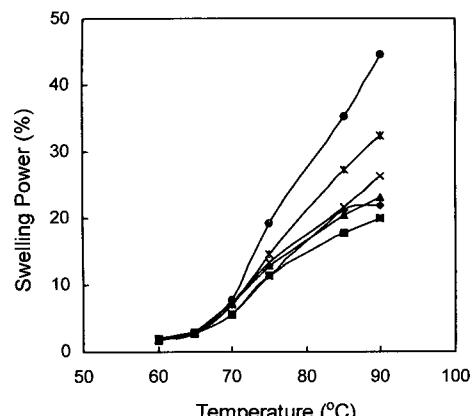
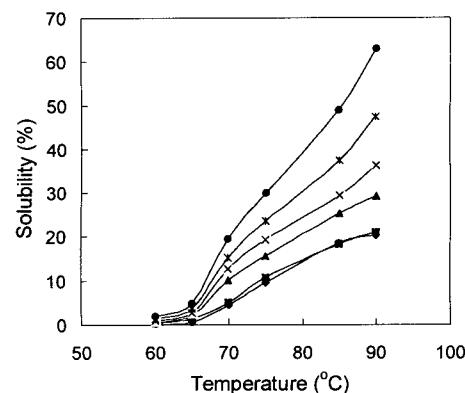


Fig. 5. Solubility (upper) and swelling power (lower) of oxidized corn starches.

◆: native. ▲: 0.25% active Cl/g starch. ■: 0.5% active Cl/g starch. ×: 0.75% active Cl/g starch. *: 1.0% active Cl/g starch. ●: 1.5% active Cl/g starch.

으며, 그 이후의 온도에서부터 팽윤력의 변화를 볼 수 있었다. 이러한 현상은 산화에 의해 전분입자 표면의 무정형 부분에서 용출되는 가용성 물질의 함량 차이로 보여지며, 아직 전분입자의 팽윤은 일어나지 않은 상태이기 때문인 것 같다.

NaOCl 처리 농도가 0.5% active Cl/g starch까지는 용해도는 증가하나 팽윤력에서는 무처리 전분에서 보다 작게 나타났다. 낮은 산화제 농도(<0.5% active Cl/g starch)에서는 카르복실기에 대한 카보닐기의 생성 비율이 높아서 분자간에 결합을 강화시켜 팽윤을 억제시키는 효과를 가질 수도 있다(31). 무처리 전분과 산화 전분은 온도가 증가됨에 따라 팽윤력이 증가하였다. 온도에 따른 팽윤양상은 전분 입자 내부의 결합력과 전분 분자의 회합 정도에 따라 다르며 전분 입자 내의 결합력이 강하면 팽윤에 강하게 저항하여 입자 내의 결정성이 클수록 팽윤력이 낮아진다(32). 따라서 0.75% active Cl/g starch이상의 농도에서 팽윤력이 증가하는 것은 전분 입자 내부의 결합력이 약화되어 팽윤이 용이해지는 것으로 X-선 회절도에서 산화에 따른 상대적 결정화도의 감소로 설명되어진다.

아밀로그래프 특성

무처리 전분과 산화전분의 가열 온도에 따른 점도변화 양상은 Fig. 6에 나타내었고, 아밀로그램 특성치는 Table 3과 같다. 산화시 전분입자 내부의 견고성이 감소하여 가열시 팽윤이 용이하여 호화 개시 온도가 감소할 것으로 생각되었으나 시료의 호화 개시 온도는 71~72°C로 산화에 의한 차이가 없었으며, 온도에 따른 점도 변화 양상은 큰 차이를 보였다. 무처리 전분은 호화 개시 후 78°C에서 최고 점도에 도달한 후 급격하게 점도가 감소하였으나, 산화전분은 초기에 급격한 점도의 증가가 있은 후 완만하게 점도가 증가하거나 감소하였다.

0.25% active Cl/g starch에서는 무처리 전분보다 높은 점도를 보여 낮은 산화제 농도에서 카르복실기에 대한 카보닐기의 생성 비율이 높아 분자간에 결합을 강화시켜 팽윤을 억제시키기 때문인 것으로 보여진다(30). 0.5% active Cl/g starch 이상의 처리 농도에서는 농도가 증가됨에 따라 최고 점도가 낮아지고, 최고 점도에 대한 비로 보았을 때 breakdown정도가 증가하여 산화시 전분분자내 작용기의 도입과 전분분자 사슬이 부분적으로 끊어져서 호화 중열과 전단에

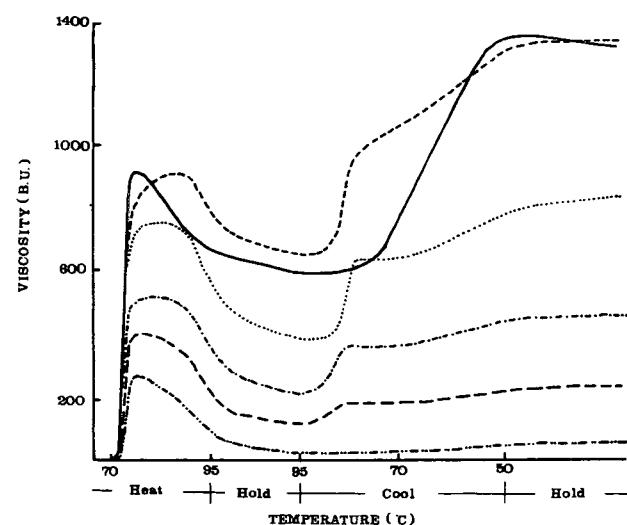


Fig. 6. Brabender Visco/amylo/Graph pasting curves for 10% slurries of oxidized corn starches.

—: native. - - : 0.25% active Cl/g starch. ...: 0.5% active Cl/g starch. - · - : 0.75% active Cl/g starch. ---: 1.0% active Cl/g starch. - · · - : 1.5% active Cl/g starch.

대한 저항성이 감소하는 것으로 생각된다. 즉, 산화 정도가 증가됨에 따라 호화 전분용액의 shear thinning 정도가 증가하였다.

50°C의 냉각점도의 증가와 setback은 노화 경향을 반영하며 값이 클수록 노화가 쉽게 일어나는 것을 의미하는데, 산화제 처리 농도가 증가됨에 따라 냉각시 전분 용액의 점도 변화가 작아지고 1.5% active Cl/g starch 농도에서는 거의 변화하지 않았다. 이는 산화에 의해 카르복실기의 도입과 아밀로오스의 분해에 따른 노화억제 경향으로 전분 용액의 점도 안정성이 커졌기 때문으로 생각된다(32).

이러한 결과로 볼 때 산화정도가 증가하면 카르복실기의 도입, 아밀로오스와 아밀로페틴의 분해로 전분입자의 변화를 초래하여 전단에 대한 저항성이 감소, 용액의 점도 감소, 냉각시 절도의 악질성이 증가되는 것으로 보인다.

10

전문의 물리화학적 성질과 기능 특성을 개선하여 식품에서의 이용성을 확대하고자 0.25, 0.5, 0.75, 1.0과 1.5% active

Table 3. Brabender Visco/amylo/Graph characteristics of oxidized corn starches with various concentration of NaOCl

Oxidant ¹⁾	Temperature (°C)			Viscosity (B.U.)					
	Initial increase	Peak (P)	Hold (H) min.	Cool to 50°C (C)	Consistency C-H	Breakdown P-H	Setback C-P		
Native	72.0	78.0	945	610	1390	780	445	820	
0.25	71.3	87.3	930	675	1345	670	255	415	
0.5	72.0	84.5	775	398	798	400	377	23	
0.75	71.5	82.0	525	217	447	230	308	-78	
1.0	71.5	79.5	408	120	228	108	288	-180	
1.5	71.5	77.0	280	30	50	20	250	-230	

¹⁾% active Cl/g starch.

Cl/g starch를 포함하는 NaOCl 용액으로 pH 7.0, 25°C에서 10분간 처리하여 산화 전분을 제조한 후 산화전분의 이화학적 특성과 호화 특성을 비교 분석하였다. 산화전분은 입자의 형태와 크기에 차이가 없었고, 뚜렷한 복굴절 현상을 보였다. 무처리 전분과 산화전분의 겉보기 아밀로오스 함량은 차이가 없었으며, 가용성 아밀로오스의 함량은 증가하였다. 산화됨에 따라 X-선 회절도의 피크 강도와 위치가 변하여 상대적 결정화도가 감소하였고, 용해도와 팽윤력이 증가하였다. 아밀로그램에서 산화전분은 호화 개시 온도가 무처리 전분과 차이가 없었으나 산화제의 처리 농도가 증가됨에 따라 최고 점도와 setback이 감소하였다.

문 헌

- Alexander RJ. 1995. Modified starches and their uses in food application. Korea Corn Processing Industry Association, U.S. Grains Council.
- Filer LJJr. 1988. Modified starch-an update. *J Am Diet Asso* 88: 342-344.
- Seib PA, Maningat A. 1983. Modified starches for food. AACC short course; "Starch : Structure, properties and food uses". Chicago Illinois.
- Wurzburg OB. 1986. *Modified starches: Properties and uses*. CRC Boca Raton, FL. p 113-129.
- Hebeish A, Thalouth AE, Refai R, Ragheb A. 1989. Synthesis and characterization of hypochlorite oxidized starches. *Stärke* 41: 293-298.
- Wurzburg OB. 1986. Nutritional aspects and safety of modified food starches. *Nutr Rev* 44: 74-79.
- Smith PS. 1982. Starch derivatives and their use in foods. In *Food carbohydrates*. Lineback DR, Inglett GE, eds. Avi Publishing Co, Inc, Westport Conn. p 237-269.
- Pomeranz Y. 1991. Carbohydrates: Starch. In *Functional properties of food components*. 2nd ed. Academic Press. Chap 2, p 68-69.
- Ronald RG. 1972. Method of preparing a food batter starch. *US Patent*, 3607393.
- Charles SC. 1972. Processing for making a better mix starch for breaded deep fried foods. *US Patent*, 3655443.
- Fruin JC. 1973. Batter starch. *US Patent*, 3767826.
- Radly JA. 1982. Food industry. In *Industrial uses of starch and its derivatives*. Applied Sci Pub LTD. Vol 3, Chap 2, p 51-116.
- Ali SZ, Kempf W. 1986. On the degradation of potato starch during acid modification and hypochlorite oxidation. *Stärke* 38: 83-86.
- Chung KM, Seib PA. 1991. Thin-boiling and nongelling adhesive prepared from maize and wheat starches. *Stärke* 43: 441-446.
- Han JS, Ahn SY. 1997. Characteristics in oxidation of Korean corn starch with sodium hypochlorite. *Korean J Food Sci Technol* 29: 1094-1100.
- Komiya T, Nara S. 1986. Change in crystallinity and gelatinization phenomena of potato starch by acid treatment. *Stärke* 38: 9-16.
- Sowbhagya CM, Bhattacharya KR. 1971. Simplified colorimetric method for determination of amylose in rice. *Stärke* 23: 53-56.
- Mongomery EM, Senti FR. 1958. Separation of amylose from amylopectin of starch by an extraction-sedimentation procedure. *J Polymer Sci* 28: 1-9.
- Schoch TJ. 1964. Swelling power and solubility of granular starches In *Methods in carbohydrate chemistry*. Whistler RL, ed. Academic Press. Vol 4, p 106-108.
- Dubois M, Gilles KA, Hamilton JK, Robers PA, Smith F. 1956. Colorimetric method for determination of sugar and related substances. *Anal Chem* 28: 350-356.
- Hoover R, Vasanthan T. 1994. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of cereal, legume, and tuber starches. *Carbohydr Res* 252: 33-53.
- Blanshard JMV. 1987. Starch granule structure and function: A physicochemical approach. In *Starch properties and potential*. Galliard T, ed. Thon Willey and Sons Ltd. Chap 2, p 16-54.
- Takeda Y, Shitaozona T, Hizukuri S. 1988. Molecular structure of corn starch. *Stärke* 40: 51-54.
- Prey VV, Fischer SK, Kinger S. 1976. New knowledge on degradation of starch by hypochlorite. Part 3. Microscopic characterization of oxidized starch. *Stärke* 28: 166-169.
- Prey VV, Fischer SK, Kinger S. 1976. New knowledge on degradation of starch by hypochlorite. Part 4. Swelling and gelatinization behavior of oxidized starches. *Stärke* 28: 259-263.
- Autio K. 1990. Rheological and microstructural changes of oat and barley starches during heating and cooling. *Food Structure* 9: 297-304.
- Boruch M. 1985. Transformation of potato starch during oxidation with hypochlorite. *Stärke* 37: 91-98.
- Autio K, Suortti T, Hamunen A, Poutanen K. 1992. Microstructural and physicochemical properties of oxidized potato starch for paper coating. *Stärke* 44: 393-398.
- Morton WR, Danial S. 1981. Starch derivatives : Production and uses. In *Starch chemistry and technology*. 2nd ed. Whistler RL, BeMiller JN, Paschall EF, eds. Academic Press. Chap 10, p 315-323.
- Kitahara K, Oii Y, Mizukami SI, Suganuma T, Nagahama T. 1996. Physicochemical properties of starches from sweet-potato cultivars. *Oyo Toshitsu Kagaku (J Appl Glycosci)* 43: 59-66.
- Miyakoshi K, Kikuchi K. 1975. Several properties of sodium hypochlorite oxidized corn starch. *J Jap Soc Starch Sci* 22: 12-13.
- Subrahmanyam SN, Hosney RC. 1995. Shear thinning properties of sorghum starch. *Cereal Chem* 72, 7-10.

(2001년 12월 11일 접수; 2002년 3월 26일 채택)