

옥수수전분 현탁액의 알칼리 호화

조석철* · 신해훈^{1,***} · 차윤환 · 변유량

(주)바이오벤 및 연세대학교 생명공학과, ¹백석문화대학 외식산업학부

Alkali Gelatinization of Corn Starch Suspension

Seok-Cheol Cho*, Hae-Hun Shin^{1,***}, Yun-Hwan Cha, and Yu-Ryang Pyun

Biovan Co. Ltd. and Department of Biotechnology, Yonsei University

¹Division of Foodservice Industry, Baekseok College of Cultural Studies

Abstract In this study, we examined the characteristics of alkali gelatinization of corn starch. Here, the degree of corn starch gelatinization increased exponentially with the NaOH concentration of the starch slurry. The alkali gelatinization initiation point (AGIP) was obtained from the intersection point of gelatinization slope line, which resulted from the regression of the logarithmic degree of gelatinization, and was markedly changed. The effects of temperature and corn starch concentration on alkali gelatinization were studied with a 10% (w/w) corn starch suspension. We found that this corn starch suspension gelatinized in 24.1 meq/g starch of NaOH at 40°C, and in 9.8 meq NaOH/g starch at 60°C. Moreover, a 40% (w/w) corn starch suspension gelatinized with 9.5 meq NaOH/g starch, even at 40°C. These results indicate that the amount of alkali added for the gelatinization of corn starch has an inverse relationship with the temperature and concentration of corn starch.

Key words: corn starch, alkali gelatinization, alkali gelatinization initiation point (AGIP)

서 론

수용액 중의 전분입자가 외부로부터 열을 받아 호화가 발생하는 공정에서는 입자의 급격한 팽윤이 시작되면서 birefringence가 사라지게 되고 내부의 아밀로오스 분자들이 용출되어 용액이 점도를 나타내게 된다(1,2). 이러한, 열에 의한 전분의 호화개시온은 각종 이온의 존재 시에 영향을 받는 것으로 알려져 있다(3). 전분의 호화에 미치는 이온의 영향을 보다 효과적으로 설명한 가설은 전분 자체를 약산성 이온교환수지로 보는 것인데 옥수수전분을 1% 수은 수용액에 24시간 동안 침지하였을 때 수은이온이 전분입자 내부로 침투하는 현상(4) 및 metal-polysaccharide 복합체에 관한 연구(5) 등으로부터 대부분의 neutral polysaccharide (cellulose, starch, amylose)들과 polyvalent cation⁺ complex를 형성한다는 사실이 밝혀졌으며, alkaline salt solution 내에서 amylose-helix를 따라서 sodium alcoholate group들이 형성되는 것(6) 등은 옥수수전분의 약산성 이온교환수지의 기능을 입증하고 있

다. 또한 Roberts(7) 등은 알칼리시스템에서 전분은 sodium alcoholate를 형성함으로써 NaOH를 흡착한다고 설명하고 있다.

전분을 물에 혼탁시킬 경우 전분입자는 대기 중에 있을 때보다 많은 양의 물을 흡수하게 되며 이때 전분입자 내의 자유수 함량이 증가하며(8) 전분입자내의 자유수는 용질을 녹이는 특성을 보여 순수한 물과 동일하다고 판단되며 이로 인하여 전분으로부터 해리되는 알코올그룹과 평형이 되는 시점까지의 수소이온농도에 도달하게 된다. 다시 말해 전분입자 내부는 알코올그룹이 해리될 때와 평형이 되는 수소이온농도를 나타내게 되어 $pK_a = 12.5$ 이며 이때의 수소이온농도는 5.6×10^{-7} 로 pH 6.25의 상태이다(9). 반면 전분입자 외부의 pH는 $pK = 14$ 인 물의 해리 상수에 따라 결정되므로 순수한 혼탁액의 pH값은 7이다. 따라서 전분입자 내부와 외부에는 수소이온농도의 차이가 발생하게 되어 수소이온이 전분 내부로부터 평형상태가 되는 시점까지 외부로 이동하게 되며 이에 따라서 전분입자는 음전하를 띠고 water phase는 양전하를 띠게 된다. 이때 존재하는 potential의 차이는 Donnan potential(10)로 설명이 가능하다. Donnan potential은 전분과 전해질의 반응을 이해하는데 필수적이며 알칼리 첨가에 의한 전분 호화과정의 중요한 이론이 된다.

Donnan potential은 Donnan effect에 의하여 발생하게 되는데 Donnan effect란 전하를 띠는 고분자에 의하여 이온의 비대칭적인 분포를 발생하도록 하는 효과를 말한다(11). 강한 전해질이 첨가된 저농도의 수용액 상에 존재하는 양이온교환수지를 예상해보면 이온교환수지와 용액 내에 존재하는 이온간의 농도차이를 예측할 수 있다. 양이온 농도는 이온교환수지에서 높은 농도를 나타낼 것이고 음이온기는 용액 내에서 높은 농도를 나타내게 될 것이다. 만약 이온자체가 전하를 운반하지 않는다면 이러한 이온간의 차이는 diffusion에 의하여 조절받게 되나 실제로 대부분의 이온은

*Corresponding author: Seok-Cheol Cho, Biovan Co. Ltd., Yonsei Engineering Research Complex B120F, Yonsei University, Seoul, 120-749, Korea

Tel: 82-2-312-5108

Fax: 82-2-312-5172

E-mail: modistar@unitel.co.kr

**Co-Corresponding author: Hae-Hun Shin, Division of Foodservice Industry, Baekseok College of Cultural Studies, Cheonan, Chungnam, 330-705, Korea

Tel: 82-41-550-0490

Fax: 82-41-550-0690

E-mail: hun@bsc.ac.kr

Received February 13, 2007; accepted April 2, 2007

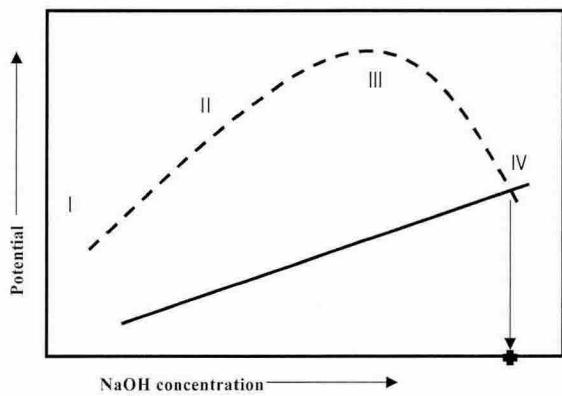


Fig. 1. Relationship between Donnan potential and NaOH concentration of starch solution. —: Donnan potential, -----: Potential due to NaOH concentration gradient, I: Starch granules in water, II: Starch granules has characteristics of weak acid ion exchanger, III: Donnan potential > concentration gradient of negatively charged ion, IV: Donnan potential < concentration gradient of negatively charged ion, ♦: Granule rupture initiation concentration of NaOH.

전하를 운반하기 때문에 diffusion에 의한 이온의 이동은 제한적으로만 발생한다. 양이온기의 용액 상으로의 이동과 음이온기의 이온교환수지로의 이동은 각각 용액 상과 이온교환수지 상의 양이온기와 음이온기의 축적을 의미하는데 초기 diffusion에 의하여 이동한 일부 이온에 의하여 두개의 상(phase)간에는 전기적 potential 차이가 존재하게 되며 이를 Donnan potential이라 한다.

옥수수전분의 알칼리호화는 수용액 상에서 약산성 양이온교환수지의 역할을 하는 전분의 특성에서 발생한 Donnan potential이 음이온기를 repulsion하는 힘이 수용액 중에 첨가되는 NaOH 양의 증가에 따른 음이온기의 농도차이에 의한 driving force보다 약해지는 시점에서 발생한다고 볼 수 있다.

NaOH 농도의 증가에 따라 초기에는 전분의 일부 H^+ 이온은 Na^+ 이온으로 대체되고 H^+ 형태보다 쉽게 분리되는 salt 형태의 이온교환수지의 특성에 의하여 Donnan potential은 더욱 강해지며 전분입자로부터 음이온을 보다 강하게 밀어내지만 수용액 중의 NaOH 함량증가에 따라 Donnan potential은 점차 감소하고 NaOH 가 특정한 농도에 이르면 음이온기에 대한 repulsion이 음이온기의 농도차이에 의한 driving force보다 약해진다(12). 이때부터 전분입자 내부로 침투하는 OH^- 이온은 전분입자형태를 유지하는 수소결합을 파괴함으로써 호화를 진행시킨다(Fig. 1).

전분은 식품 및 다른 산업에의 응용에 있어서 대부분이 호화된 이후의 기능을 필요로 하고 있으며 식품 이외의 분야에 적용될 경우 호화의 수단으로서 열 보다는 알칼리를 사용하는 경우가 많다. 특히 전분계 접착제를 사용하는 골판지업체 등의 분야에서는 알칼리호화에 관한 많은 연구가 진행되고 있다. 이들 분야에서는 주로 알칼리를 사용하여 전분을 호화시킨 후 전분호화액의 접착력 등의 물성에 관련된 연구가 진행되고 있으나(13) 전분이 알칼리에 의하여 호화가 진행되는 과정에서 발생하는 여러 가지 물리적, 화학적 변화에 관해서는 연구된 바가 없다. 기타 알칼리 호화에 관한 연구가 진행되고 있지만 호화 후 전분 gel의 물성에 관한 연구(14,15)에 국한되어 있으며 기타 알칼리호화에 미치는 첨가물질의 영향 및 mechanism에 관한 연구가 보고되고 있지만(16,17) 알칼리 호화점에 관한 정보 및 알칼리 호화과정에 수반되는 전분특성의 변화와 관련된 연구는 찾기 어렵다.

산업적으로 전분의 양이온화 반응을 최적화하기 위해서는 우선 반응 중 촉매로 사용하는 알칼리에 의하여 전분현탁액의 호화가 발생하지 않는 최대첨가량을 알아야 하지만 전분의 알칼리 호화와 관련된 기준의 연구결과는, NaOH용액을 전분현탁액에 첨가하며 반응 pH를 조절하는 water-slurry process에서 적용하기에 충분한 자료를 제공하지 못하는 실정이다.

따라서 일차적으로 현재까지 연구가 미진한 옥수수전분의 알칼리호화에 관련된 연구를 진행하고자 한다. 전분의 호화과정은 물이 존재하는 과정에서 발생하는 현상으로 기존의 알칼리호화에 관한 연구들이 호화시점까지 첨가된 알칼리 양에 중점을 두었을 뿐이며 이마저도 연구자들 간에 많은 차이를 보이고 있다. 따라서 현재까지 정립되지 않은 전분의 농도 및 온도와 알칼리호화와의 관계를 밝히고 그에 따르는 여러 가지 물리, 화학적 변화를 탐색하고자 한다. 이러한 연구결과는 전분의 호화가 발생하는 점의 NaOH 농도 뿐 아니라 전분의 농도 및 온도가 알칼리호화에 미치는 영향을 밝혀냄으로써 옥수수전분의 알칼리호화에 관련된 상이한 결과들에 대한 결론을 구할 수 있을 것이다. 또한 반응조건에 따라 원하는 치환도의 양이온성전분을 가장 낮은 비용으로 생산할 수 있다면 국내의 전분업계 및 제지업계에 많은 발전을 가져올 수 있을 것으로 기대되며 양이온성전분의 치환도별 적용 특성 및 효과에 관한 연구는 제지업계나 전분업계에서 사용할 수 있는 중요한 자료가 될 것이다.

본 연구에서는 전분의 농도가 서로 다른 옥수수전분 현탁액에 산업적으로 가장 많이 사용되는 알칼리인 NaOH 용액을 단계적으로 투입하면서 온도 및 시간별로 호화도를 측정하여 옥수수전분 현탁액의 알칼리 호화점과 현탁액의 온도, 농도와의 상관관계를 밝히고 이렇게 구해진 알칼리 호화점을 기준으로 옥수수전분의 양이온화 조건을 설정하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

실험에 사용된 옥수수전분은 Duksan Pure Chemicals Co., Ltd. (Korea)로부터 시약급을 구입하여 사용하였다.

호화도

알칼리를 첨가한 전분 slurry의 호화도는 Wootton 등(18)의 방법을 변형하여 측정하였다. 옥수수전분 0.5 g에 중류수 47.5 mL를 첨가한 후 10 M KOH 2.5 mL를 첨가하여 5분간 반응시켜 10% (w/w) 농도의 완전 호화용액을 제조한 후 1 N HCl을 이용하여 중화시킨다. 이를 중류수로 흡광도가 0.1-0.8 범위의 값을 갖도록 희석하여 600 nm에서 흡광도를 측정한 결과를 이용하여 100% 옥수수전분 호화용액의 농도별 흡광도(Ac) 곡선을 작성하였다. 이 때 흡광도는 0.1-0.8 범위 내로 들어오도록 조절하였으며 발색시 약은 potassium iodide(4%)과 iodine(1%)의 혼합물을 사용하였으며 측정시료의 1%(v/v)를 첨가하여 측정하였다.

알칼리를 첨가하여 반응을 진행시킨 옥수수전분 현탁액의 호화도를 측정하기 위해서 원하는 반응이 끝난 slurry에 첨가한 NaOH와 동량의 HCl을 첨가하여 중화시킨 후 2,000×g으로 30분간 원심분리 후 상등액을 취했다. 상등액을 적당량 희석하여 총 량을 4 mL로 조절한 후 1%의 발색 용액을 첨가하여 골고루 교반한 후 30분 후에 흡광도를 측정하여 As로 하였다. 이때의 As 값을 같은 농도의 100% 호화액의 흡광도(Ac)와 비교하여 다음과 같이 구하였다.

$$\text{호화도}(\%) = \frac{\text{As}}{\text{Ac}} \times \text{회석배수} \times 100$$

결과 및 고찰

10% 전분 혼탁액의 알칼리 호화점

옥수수전분의 알칼리호화가 발생하는 점을 찾기 위하여 10%(w/w)의 전분현탁액에 1N NaOH를 양을 조절하면서 단계별로 투입한 후 항온 교반조에서 40°C로 온도를 유지하며 반응 중 전분의 침강을 방지하기 위하여 150 rpm으로 24시간 교반 후 전분의 호화도를 측정하였다(Fig. 2). 기존의 알칼리호화와 관련된 연구들이 주로 NaOH로 대표되는 알칼리를 분말상태로 전분과 미리 혼합한 상태에서 물을 첨가하거나(15) NaOH용액을 전분에 첨가시켜 주는 방법으로(19) 진행되었으나 이는 전분이 알칼리와 접촉하는 순간의 농도가 일정치 않으며, 알칼리 호화를 중요하게 생각하는 변성전분 제조공정 및 전분계 협착제 제조공정에서 pH의 조절이 전분현탁액에 NaOH용액을 첨가하는 방법으로 진행된다는 점을 고려할 때 실제 적용하기에는 적당하지 않은 실험법으로 생각된다.

Fig. 2에서 NaOH의 양이 증가함에 따라 호화도가 증가하며, NaOH 첨가량이 어느 농도 이상이 되면서부터 급격하게 호화도가 증가하는 현상을 볼 수 있었다. 이와 같은 호화도의 급격스러운 증가는 전분입자의 Donnan potential이 용액내의 증가된 OH⁻이온을 repulsion하지 못하기 때문에 OH⁻이온이 전분입자 내부로 본격적으로 침투하는 점으로 생각할 수 있으며 다시 말해 알칼리호화가 시작되는 점이라 할 수 있다.

옥수수전분 호화도의 증가율이 변화하는 점을 찾기 위하여 호화도의 값을 자연 log형태로 전환한 후 호화도가 낮은 점으로부터 증가하는 방향으로 regression을 진행하여 상관관계가 가장 높은 점까지를 1차 직선으로 하고 측정값 중 호화도가 가장 높은 점으로부터 낮은 점으로 regression을 진행하여 2차 직선을 구한 후 두 직선간의 교차점으로부터 옥수수전분 혼탁액의 알칼리호화 시작점(alkali gelatinization initiation point, AGIP)을 찾을 수가 있었다(Fig. 2).

알칼리 호화점에 미치는 온도의 영향

De Willigen 등(20)은 전분에 NaOH가 흡착되는 과정은 발열반

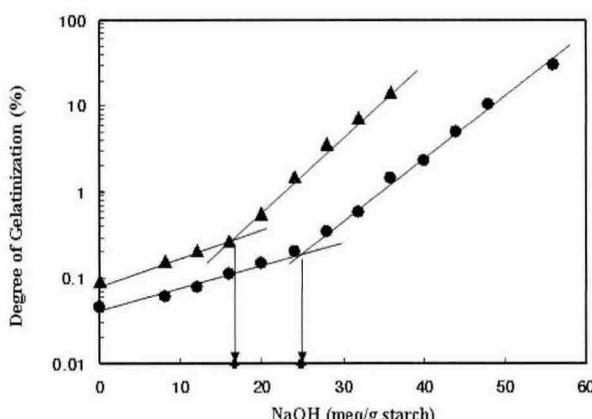


Fig. 2. Change of gelatinization degree of 10% (w/w) corn starch solution at different NaOH concentration determining AGIP. Cross points of two line (+) indicate AGIP at 40°C (●) and 50°C (▲).

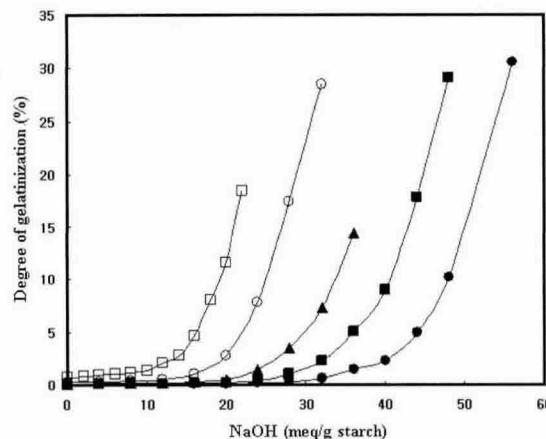


Fig. 3. Change of gelatinization degree of 10% (w/w) corn starch solutions at different NaOH concentrations and temperatures.
●: 40°C, ■: 45°C, ▲: 50°C, ○: 55°C, □: 60°C.

응임을 밝혔다. 이는 곧 온도증가에 따라 NaOH의 전분에 대한 흡착량이 감소함을 의미한다. 따라서 온도가 증가함에 따라 보다 많은 양의 Na⁺이온은 전분에 흡착되지 못하고 수용액 상에 존재하게 되는데 전분에 흡착되지 못하는 Na⁺이온은 수용액 상의 H⁺이온으로 대체되게 된다. 수용액 중의 전분이 OH⁻ 형태를 유지한다는 것은 salt 형태보다 안정적이기 때문에 Donnan potential이 감소하게 되고 이는 전분의 음이온기에 대한 repulsion의 감소를 의미한다. 결과적으로 온도 증가에 따라 낮은 알칼리농도에서도 OH⁻이온이 쉽게 전분입자에 침투할 수 있게 되어 낮은 알칼리농도에서 호화가 진행될 것이다. 그렇지만 현재까지 전분현탁액의 온도에 따른 알칼리호화에 관한 정량적인 결과 및 상관관계 등에 관해서는 보고된 바 없다.

옥수수전분 혼탁액의 온도 증가에 따른 알칼리 호화점의 변화를 살피기 위하여 10%(w/w) 혼탁액의 교반온도를 40°C에서 60°C까지 증가시켜가면서 NaOH 첨가량에 따른 호화도의 변화를 살펴보았다(Fig. 3). 그림에서 온도증가에 따라 10% 옥수수전분 혼탁액은 낮은 NaOH 농도에서도 호화도가 급격하게 증가하는 현상을 볼 수 있었다. 이는 Donnan potential의 감소 및 온도증가에 따라 전분의 무정형영역의 구조가 약해지기 때문에 OH⁻이온의 전분입자로의 침투가 보다 쉬워진 것으로 예측된다.

온도 증가에 따른 알칼리 호화점의 변화를 찾기 위하여 Fig. 2와 동일한 방법으로 각 온도별 알칼리 호화점을 구하여 Fig. 4에 나타내었다. 그 결과 40°C에서 전분현탁액에 첨가된 NaOH의 농도가 24.1 meq/g-starch에서 시작되었던 알칼리 호화가 60°C에서는 9.8 meq/g-starch로 낮아졌으며 온도와 NaOH 용액에 의한 옥수수 전분의 알칼리호화 시작농도(alkali gelatinization initiation concentration, AGIC) 사이에는 다음과 같은 상관관계가 성립하였다.

$$\text{AGIC(meq NaOH/g starch)} = -0.7035 \times \text{Temperature}^{\circ}\text{C} + 51.207 \quad (R^2 = 0.9755)$$

여기에서 AGIC는 알칼리호화가 시작되는 시점까지 첨가된 NaOH 농도를 의미하는 것으로 보는 바와 같이 온도가 증가함에 따라 일정한 비율로 전분을 호화시키는데 필요한 NaOH의 농도가 감소함을 알 수 있었다. 이는 온도증가에 따라 NaOH의 전분입자로의 침투력이 일정하게 증가한 것을 의미하는데 온도 증가에 따라서 Donnan potential 역시 온도에 일차적으로 비례하며 약해진다는 것을 의미한다. AGIC의 대수적인 감소로부터, 예측과

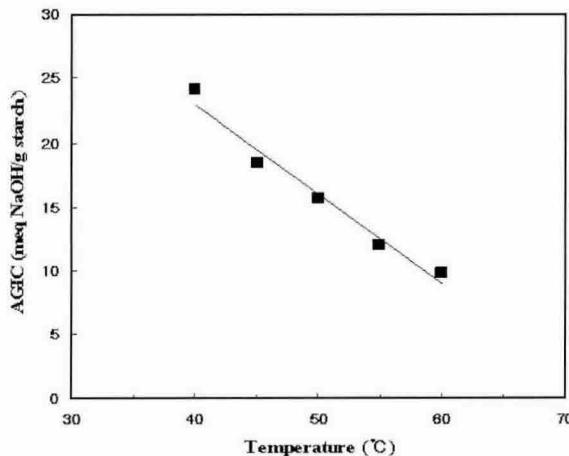


Fig. 4. Effect of temperature of starch solution on AGIC of corn starch.

같이 온도 증가에 의한 전분의 무정형영역의 파괴에 따르는 OH⁻이온 침투의 상승효과는 나타나지 않았다. 이는 호화개시 온도 이하에서 알칼리호화 실험이 진행되었기 때문으로 판단되며 전분 혼탁액의 온도가 열에 의한 호화점에 접근할 경우에는 보다 활발한 알칼리호화가 발생할 것으로 판단된다.

알칼리 호화점에 미치는 농도의 영향

현재까지 전분의 알칼리호화와 관련되어서는 온도뿐만 아니라 용액 중의 전분농도와 관련된 내용은 연구된 바 없이 단지 Maher의 알칼리호화는 전분의 농도와 연관이 있다는 보고(21)가 있을 뿐이며 전분농도와 알칼리호화와의 상관관계에 대하여는 연구가 진행되지 않은 상태이다. 이는 전분농도에 대한 알칼리의 첨가비율이 동일하다고 하더라도 전분혼탁액의 농도가 다를 경우 전분과 접촉하게 되는 알칼리의 농도가 변화한다는 점을 고려할 때 동일한 NaOH 농도에서도 전분의 알칼리호화 형태는 변화가 있을 것이다.

전분농도와 알칼리 호화점의 관계를 살펴보기 위하여 초기 전분농도를 10-40%(w/w)로 조절한 후 1 N NaOH의 투입량을 증가시켜가면서 항온 교반조에서 40°C, 150 rpm의 조건으로 24시간 교반 후 전분의 호화도를 측정하였다. 그 결과 동일한 NaOH 첨가량에서도 전분농도가 증가함에 따라 호화도는 높은 값을 나타내었으며 호화도의 차이는 전분의 농도가 낮아질수록 더욱 커지는 것으로 나타났다(Fig. 5). 이러한 결과는 전분혼탁액에 첨가되는 NaOH의 농도가 전분고형분에 대하여 같은 양이더라도 혼탁액 중의 수분함량에 따르는 알칼리 농도변화에 의하여 전분의 호화도가 변한다는 것을 의미한다. 호화도 변화에 대한 기울기 변화점을 이용하여 전분농도별 AGIP을 구하여 Fig. 6에 나타내었다. 농도별 AGIP의 NaOH농도는 40% 농도의 전분혼탁액이 9.5 meq/g starch의 NaOH 농도에서 호화가 시작된 반면 10%의 전분 혼탁액은 24.1 meq/g starch의 농도가 되어서야 호화가 시작되는 현상을 보여 알칼리 호화에 필요한 NaOH 농도 차이가 약 3배가 되는 것을 알 수 있었다. 이로서 기존의 연구에서 전분의 알칼리 호화에 필요한 NaOH농도를 규정지을 때 전분혼탁액의 농도에 관련된 자료가 제외된 것은 많은 문제의 소지가 있음을 알 수 있었다.

옥수수전분의 농도변화에 따라 AGIC는 다음과 같은 상관관계를 나타내었다.

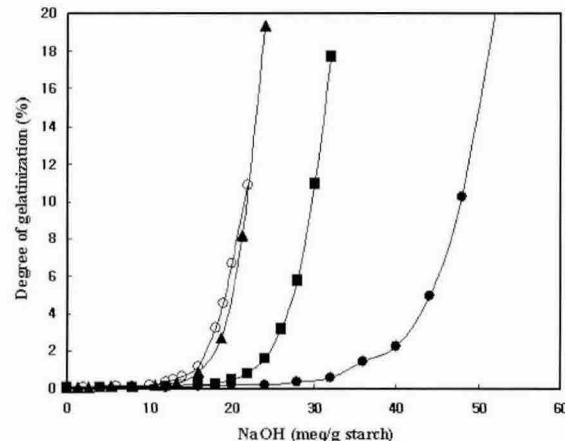


Fig. 5. Change of gelatinization degree of 40°C corn starch solutions at different starch concentrations. ●: 10%, ■: 20%, ○: 40%.

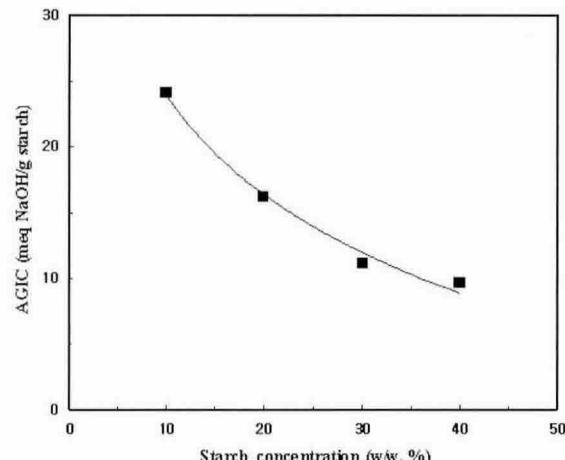


Fig. 6. Effect of starch concentration of solution on degree of AGIC of corn starch.

$$\text{AGIC(meq NaOH/g starch)} = -10.814 \times \ln C + 48.742 \quad (R^2 = 0.989)$$

여기에서 C는 옥수수전분 혼탁액의 초기농도(w%)를 의미한다. 온도 증가에 따라 AGIC가 대수적으로 감소한 결과는 달리 전분의 농도가 증가함에 따라서는 지수적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 전분입자가 OH⁻이온과 접촉하는 순간의 농도가 전분의 AGIC 및 알칼리 호화도에 많은 영향을 준다는 사실을 의미하며 전분입자로 침투하는 NaOH의 물농도 증가에 따라서 전분입자의 형태를 유지하는 수소결합의 파괴가 지수적으로 증가하는 것을 예상할 수 있다.

옥수수 전분의 알칼리 호화 완료점

전분의 변성공정에서는 전분의 호화개시점이 중요한 의미를 갖지만 전분을 호화시켜서 사용하는 접착제 제조공정 등에서는 알칼리 첨가에 의하여 호화가 완료되는 시점(alkali gelatinization ending point, AGEП)이 중요한 의미를 가질 것이다.

본 실험에서 호화도 측정에 사용된 Wootton 등(18)의 방법은 많은 시료의 호화도를 쉽게 구할 수 있으나 10% 이상의 농도를 갖는 전분혼탁액의 호화도가 30-40% 이상이 될 경우 호화액의

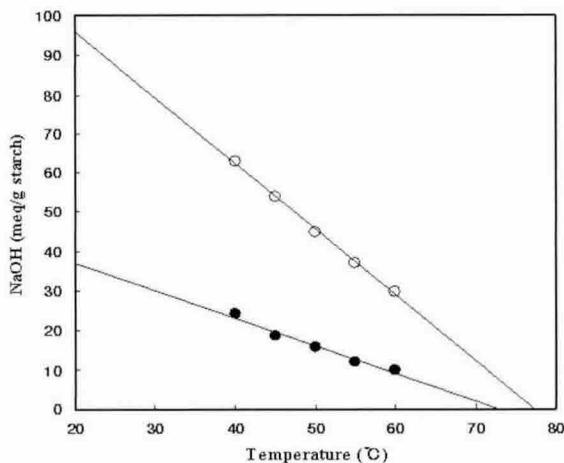


Fig. 7. Range of NaOH concentrations needed for alkali gelatinization of 10% corn starch solution at various temperature. ●: AGIP, ○: AGEP.

원심분리에 의한 상등액 분리가 쉽지 않기 때문에 호화도 측정에 문제점이 있다. 따라서 알칼리에 의한 옥수수전분의 AGEP의 탐색을 위하여 AGIP 이후에 지수적으로 증가하는 호화도의 기울기를 이용하여, 호화도가 100이 되는 지점을 구하였다. 그 결과 AGIP와 마찬가지로 온도와 농도 변화에 대하여 다음과 같은 상관관계를 나타내었다.

$$\text{AGEC(meq NaOH/g starch)} = -1.67 \times T + 129.2 \quad (R^2 = 0.9975) \quad (1)$$

$$\text{AGEC(meq NaOH/g starch)} = -26.7 \times \ln C + 121.6 \quad (R^2 = 0.9326) \quad (2)$$

여기서 식(1)은 온도와의 상관관계를 나타낸 것으로 T는 혼탁액의 온도($^{\circ}\text{C}$)를 나타내며 식(2)는 농도와의 상관관계로 C는 혼탁액의 농도(wt%)를 의미한다.

AGIP와 AGEP의 온도와의 상관관계를 이용하여 10% 전분현탁액의 온도별 호화개시 및 완료선을 Fig. 7에 나타내었다. 그럼에서 두 개의 선이 온도축과 교차하는 점의 온도는 각각 72.79와 77.37 $^{\circ}\text{C}$ 로 이는 NaOH의 첨가가 없을 경우의 호화시작과 완료점을 의미하는 것으로 해석할 수 있다.

8% 옥수수전분 혼탁액의 amylograph에서 pasting properties를 관찰한 연구결과는 호화개시온도를 75-80 $^{\circ}\text{C}$ 로 보고하고 있으며 (22), 10% 옥수수전분 혼탁액의 amylograph 상에서의 호화개시온도 측정결과는 72 $^{\circ}\text{C}$ 로 나타나 관계식으로부터 유추된 결과지만 어느 정도의 신뢰성을 갖는 것으로 판단되어 실제 공정에 적용이 가능할 것으로 기대된다.

알칼리 호화점에 미치는 NaOH 농도의 영향

옥수수전분 혼탁액에 일정한 농도의 NaOH를 첨가할 경우 첨가량이 증가함에 따라 전분입자와 접촉하는 NaOH의 농도는 조금씩 변하게 된다. 따라서 현재까지의 상관관계는 연속적으로 변하는 NaOH의 농도에서 밝혀진 것이라 할 수 있다.

옥수수전분 혼탁액의 알칼리호화에 NaOH용액의 농도가 미치는 영향을 밝히기 위하여 NaOH용액 첨가 후의 전분농도를 5-30%(w/w)가 되도록 조절하여 혼탁액의 온도 40 $^{\circ}\text{C}$ 에서 24시간 교반한 후의 호화도를 살펴보았다(Fig. 8).

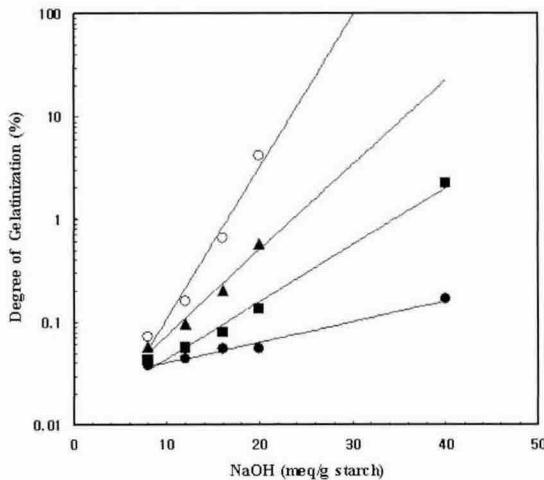


Fig. 8. Effect of NaOH concentration on degree of gelatinization. Gelatinization degree increased exponentially by increasing NaOH concentration. ●: 5%, ■: 10%, ▲: 20%, ○: 30%.

NaOH 농도가 증가함에 따라 전분농도에 관계없이 호화도는 지수적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 전분현탁액의 알칼리호화는 전분입자와 접촉하는 시점에서의 NaOH용액의 농도에 따라 일정한 경향을 나타낸다는 사실을 입증하는 것이라 할 수 있다.

요약

옥수수전분의 알칼리호화는 NaOH 첨가에 의하여 지수적으로 증가하였으며, 호화도가 급격히 증가하기 시작하는 구간을 알칼리호화 개시점으로 추정하였다. 10%(w/w) 옥수수 전분 혼탁액의 40 $^{\circ}\text{C}$ 에서 호화개시점은 24.1 meq NaOH/g starch인 반면에 60 $^{\circ}\text{C}$ 에서는 9.8 meq NaOH/g starch이었다. 또한 옥수수전분 혼탁액의 농도를 40%로 증가시킨 경우 40 $^{\circ}\text{C}$ 에서 9.5 meq NaOH/g starch에서 호화가 개시되었다. 이와 같은 결과로부터 전분의 알칼리호화 개시농도가 전분 혼탁액의 농도와 온도에 반비례하는 것을 알 수 있었다.

문헌

1. Donovan JW. Phase transitions of the starch-water system. *Biopolymers* 18: 263-275 (1979)
2. Biliaderis CG. Structures and phase transitions of starch polymers. *Food Sci. Technol.* 87: 57-168 (1998)
3. Evans ID, Haisman DR. The effect of solutes on the gelatinization temperature range of potato starch. *Starch-Starke* 34: 224-231 (1982)
4. Whistler RL, Spencer WW. Distribution of substituents in corn starch granules with low degrees of substitution. *Arch. Biochem. Biophys.* 87: 137-139 (1960)
5. Rendleman JA. Complexes of alkali metals and alkaline-earth metals with carbohydrates. pp. 209-220. In: *Advances in Carbohydrate Chemistry*. Academic Press, New York-London (1966)
6. Banks W, Greenwood CT, Hourston DJ, Proctor AR. Amylose in aqueous solution-a viscometric study. *Polymer* 12: 452-466 (1971)
7. Roberts HJ. Nondegradative reactions of starch, pp. 575-590. In: *Starch, Chemistry and Technology*. Vol I. Whistler RL, Paschall EF (eds). Academic Press, New York-London (1965)
8. Jane J, Craig SAS, Seib PA, Hoseney RC. Characterization of

- granular cold water-soluble starch, *Starch-Starke* 38: 258-263 (1986)
9. Doppert HL. The behavior of amylose in aqueous salt solutions. PhD thesis, State University, Leiden, Netherland (1963)
10. Helfferich F. Ion Exchange. McGraw-Hill Book Company, Inc., London, UK. pp.134 (1962)
11. Ohshima H, Miyajima T. Evaluation of the Donnan model for polyelectrolytes using the composite Poisson-Boltzmann equations. *Colloid Polym. Sci.* 272: 803-811 (1994)
12. Helfferich F. Ion Exchange. McGraw-Hill Book Company, Inc., London, UK. p. 157 (1962)
13. McPherson R. Preparation and use of corrugating adhesive made without borax. *Tappi J.* 72: 135-138 (1989)
14. Ragheb AA, Abd El-Thalouth I, Tawfik S. Gelatinization of starch in aqueous alkaline solutions. *Starch-Starke* 47: 338-345 (1995)
15. Ragheb AA, Abd El-Thalouth I, Tawfik S. Gelatinization of thermally treated starch with sodium hydroxide in the solid state. *Starch-Starke* 48: 57-64 (1996)
16. Jane JL. Mechanism of starch gelatinization in neural salt solutions. *Starch-Starke* 45: 161-166 (1993)
17. Bryant CM, Bruce RH. Effect of lime on gelatinization of corn flour and starch. *Cereal Chem.* 74: 171-185 (1997)
18. Woottton M, Weeden D, Munk M. A rapid method for the estimation of starch gelatinization in processed foods. *Food Aust.* 23: 612-615 (1971)
19. Woottton M, Ho P. Alkali gelatinization of wheat starch. *Starch-Starke* 41: 261-265 (1989)
20. De Willigen AHA, De Groot PW. Adsorption of electrolytes on potato starch. *Starch-Starke* 23: 37-42 (1971)
21. Maher GG. Alkali gelatinization of starches. *Starch-Starke* 35: 226-234 (1983)
22. Woottton M, Bamunarachchi A. Application of differential scanning calorimetry to starch gelatinization. I. Commercial native and modified starches. *Starch-Starke* 31: 201-204 (1979)