

찰옥수수 산화전분의 이화학적 특성

정만곤 · 전영승 · 이서구* · 박종문 · 임번삼
대상(주) 중앙연구소, *국립기술품질원

Physicochemical Properties of Oxidized Waxy Maize Starches with Sodium Hypochlorite

Man-Gon Chung, Young-Seung Jeon, Sur-Koo Lee*, Jong-Moon Park and Bun-Sam Lim

R & D Center, Daesang Corp.
*National Institute of Technology & Quality

Abstract

Physicochemical properties of waxy maize starch and oxidized waxy maize starch with sodium hypochlorite (0~60 mg Cl/g starch, 40°C, pH 10, 3.0 hr) were studied. As sodium hypochlorite concentration was increased, the content of crude lipid and crude protein of the oxidized starch were decreased. And crude protein content and whiteness was considered to show negative regression. However, the crude ash content of the oxidized starch increased significantly with oxidation and bore a positive regression to the chlorine content. There was a progressive increase in the carboxyl content with increasing oxidant level. After pasting in hot water and cooling, viscosity of the oxidized starches were drastically lower than that of native starch. As carboxyl contents of the oxidized starch increased, the solubility and swelling power was increased. When waxy maize starch treated with 0, 1.5, 3.0 and 6.0% sodium hypochlorite, temperature of initial gelatinization of oxidized starch was shown to 65, 65, 60 and 50°C, respectively. The oxidized waxy maize starches also form clearer pastes. Water binding capacity of the oxidized starch decreased as the degree of carboxyl group substitution increased. Waxy maize starch has polygonal and some round granules which range from about 3.7 to 20 µm in diameter. Surface appearance of the waxy maize starch became rough when oxidized with sodium hypochlorite. When homogenate of the oxidized waxy maize starch solution and corn germ oil was stored under room temperature for 24 hours, the emulsion stability was considered to depend on starch concentration and degree of substitution.

Key word: emulsion stability, oxidized waxy maize starch, sodium hypochlorite

서 론

전분은 탄수화물계 고분자 물질로서 식품적 가치가 우수할 뿐만 아니라 식품의 물리적 성질을 조절하는 주요 성분이다.

전분은 출처 및 품종에 따라 이화학적 특성 차이가 클 뿐만 아니라 식품을 조리, 가공 및 저장하는 동안 식품 중에 존재하는 수분, 지방질, 단백질, 당, 염, 산 등의 여러 성분과 상호 작용으로 인하여 물리적 성질이 크게 좌우되기 때문에 사용하고자 하는 용도에 따라 가교, 에테르, 에스테르, 산처리, 산화시킨 변성전

분을 사용하고 있다⁽¹⁻³⁾.

산화전분은 표백 및 살균제인 과망간산 칼륨, 과황산 암모늄, 과산화 수소, 과산화 아세트산, 차아염소산 염 및 염소 가스 등으로 전분을 가수분해 및 산화시켜 제조하며 이 때 분자량, 점도, 호화개시온도는 낮아지고 백색도, 유동성, 냉해동 안정성 및 호액의 투명도는 개선되어 식품, 설포 및 제지공업에서 널리 이용하고 있다⁽⁴⁻⁶⁾.

각종 전분에 염소처리는 리올로지 특성에 영향을 미치며, 특히 제빵특성을 개선하는 것으로 알려져 있다. 한 등⁽⁷⁾은 밀가루에 염소처리량이 증가할 수록 아밀로그램의 최고 점도가 직선적으로 높아지며 각종 지방질 성분이 변한다고 하였고, Seguchi와 Matsuki⁽⁸⁾는 염소처리한 밀가루로 팬-케이크를 제조하였을 때

Corresponding author: Man-Gon Chung, R&D Center, Daesang Corp., 125-8, Pyokyo-ri, Majang-myun, Ichon-si, Kyoungki-do 467-810, Korea

탄성(springness) 및 겹성(gumminess)이 개선되었다고 보고하였다. 또한 염소처리한 전분은 원료 전분에 비하여 소수성(hydrophobicity)이 향상되어 기름과 효과적으로 결합할 수 있으며, 각종 전분 중 옥수수 전분이 가장 우수하다고 하였다⁽⁹⁾.

한편, 전분은 차아염소산 나트륨으로 처리하는 동안 생성된 카르복시기가 전하 반발력을 분산시켜 유화력이 우수한 전분 호액을 나타낸다고 한다⁽¹⁰⁾. Marotta 등⁽¹⁰⁾은 차아염소산 나트륨으로 처리한 옥수수 전분을 튀김용 빵가루에 사용하였을 때 튀김 적성이 향상되었으며, Konno 등⁽¹¹⁾은 타페오카 산화전분의 유화력은 전분 농도에 의존하며, 산을 제외한 염 및 알칼리 등의 전해질의 첨가는 유화력에 영향을 미치지 않는다고 하였다.

이와 같이 산화전분은 주로 밀가루 및 밀 전분의 염소처리 효과에 대한 연구가 대부분으로 차아염소산 나트륨으로 처리한 산화전분의 이화학적 특성에 대한 연구는 아직까지 미진한 편이며, 특히 찰옥수수 및 찰옥수수 산화전분에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다.

따라서 본 연구는 상업적으로 생산하는 찰옥수수 전분이 차아염소산 나트륨에 의해 산화되는 동안 일어나는 각종 이화학적 특성을 조사하는 동시에 찰옥수수 산화전분의 유화 안정성에 미치는 이들의 영향에 대하여 연구하였다.

재료 및 방법

재료

찰옥수수 전분은 대상(주)에서 제조한 제품을 사용하였으며, 차아염소산 나트륨은 유효 염소 12.3%을 함유한 제품을 백광화학에서, 옥배유(롯데 삼강)는 시중에서 구입하여 사용하였다. 그 밖의 시약은 일급 및 특급을 사용하였다.

산화전분의 제조

찰옥수수 산화전분은 Konno 등⁽¹¹⁾의 방법을 일부 변형하여 제조하였다. 즉, 35% 전분 혼탁액을 교반기(EYELA, Z-1000, Japan)가 부착된 반응관에 넣고 1 N NaOH를 가하여 pH를 10.0 (± 0.2)으로 조정하였다. 전분 혼탁액이 40°C가 되면 차아염소산 나트륨(0~60 mg Cl/g starch)을 첨가하면서 3시간 반응시킨 후 7% HCl로 중화하였다(pH 5.0 \pm 0.2). 반응이 종료된 전분 혼탁액은 40배의 증류수로 20회 세척하여 잔류염소를 제거하고 탈수한 후 60°C에서 건조하였다. 건

조된 찰옥수수 산화전분은 분쇄기(Hanil, FM-808, Korea)에서 2~3분간 분쇄하고 100 매쉬 표준체를 통과시켜 얻은 것을 본 실험의 시료로 사용하였다.

카르복시기 측정

차아염소산 나트륨으로 처리한 찰옥수수 산화전분의 카르복시기 함량은 Mattisson과 Legendre⁽¹²⁾의 방법을 일부 변형하여 측정하였다. 즉, 100 mL 비이커에 시료 5 g (± 0.01)을 취하고 0.1 N HCl 50 mL을 가하여 30분간 교반한 후 glass filter (25 G 4)로 여과하고 70% 에탄올로 충분히 수세하였다. 탈염 수세한 시료는 300 mL 삼각 플라스크에 옮기고 증류수 200 mL을 가하여 수욕조에서 95°C까지 가열한 후 즉시 냉각하여 65°C에서 0.1% 페놀프탈레인을 지시약으로 하여 0.1 N NaOH로 적정하였다.

이화학적 성질

찰옥수수 산화전분의 일반성분은 AOAC 방법⁽¹³⁾에 따라 조지방질, 조단백질, 조회분 함량을 분석하였다.

백색도는 Kett 분체용 백도계(Kett Electric Laboratory, C-100, Japan)를 사용하여 측정하였다.

접도는 10% 전분 혼탁액을 자동 호화 장치(Eunhye Electric Co., Korea)에서 호화시킨 후 Brookfield 접도계(Brookfield Engineering Laboratories, Inc., Model LVF, USA)를 사용하여 측정하였다. 이 때 분석조건은 수육조의 온도를 50°C에서 매분당 1.5°C의 온도로 95°C까지 승온시킨 후 30분간 유지하고 즉시 냉각하여 50°C, 60 rpm에서 측정하였다.

물결합능력은 Medcalf와 Gilles⁽¹⁴⁾의 방법으로, 팽윤력 및 용해도는 Leach 등⁽¹⁵⁾의 방법에 따라 측정하였다. 광투과도는 Wilson 등⁽¹⁶⁾의 방법에 따라 0.1% 전분 혼탁액을 수육조에서 가열하는 동안 투과도의 변화를 분광광도계(Shimadzu, UV-1201, Japan)를 이용하여 625 nm에서 측정하였다.

전분 입자의 형태 및 크기

찰옥수수 전분이 차아염소산 나트륨에 의해 산화되는 동안 전분 입자의 크기 및 표면 형태 변화는 주사전자 현미경(scanning electron microscope, SEM: JEOL JSM-840, Japan)으로 1,500배 확대하여 관찰하였다.

유화 안정성

적당한 농도로 조제한 찰옥수수 산화전분 혼탁액 50 mL과 옥배유 25 mL을 200 mL 비이커에 넣은 후 균질화기(homogenizer, M. Zipperer GmbH, CAT X

1030D, Germany)로 9,500 rpm에서 5분간 균질화시켰다. 균질화된 유화액은 즉시 100 mL 메스 실린더에 옮긴 후 실온에서 24시간 저장하는 동안 유화액의 분리정도로 유화 안정성을 측정하였다⁽¹¹⁾.

결과 및 고찰

일반성분 및 백색도

찰옥수수 전분을 차아염소산 나트륨으로 처리한 시료와 처리하지 않은 시료의 일반성분은 Table 1과 같으며, 이 때 조단백질 함량과 백색도 및 Cl₂ 함량과 조회분 함량과의 상관관계는 Fig. 1, 2에 나타내었다.

차아염소산 나트륨의 첨가농도가 증가할 수록 조지방질과 조단백질 함량은 감소하는 반면 조회분 함량 및 백색도는 증가하였다. 즉, 차아염소산 나트륨으로 처리하지 않은 시료의 경우 조지방질, 조단백질 및 조회분 함량은 각각 0.11, 0.37 및 0.05%를 나타내었다. 그러나 차아염소산 나트륨을 1.5, 3.0, 6.0%로 증가하였을 때 조지방질 함량은 각각 0.08, 0.06, 0.06%를 나타냈으며, 조단백질 함량은 각각 0.03, 0.02, 0.01%로 백색도와 부의 상관관계($R^2=0.9847$)를 나타냈고,

Table 1. Non-starch constituents of oxidized waxy maize starches with sodium hypochlorite (dry basis %)

| | Cl ₂ content (mg/g starch) | 0 | 15 | 30 | 60 |
|-----------------------------|---------------------------------------|------|------|------|----|
| Crude lipid | 0.11 | 0.08 | 0.06 | 0.06 | |
| Crude protein ¹⁾ | 0.37 | 0.03 | 0.02 | 0.01 | |
| Crude ash | 0.05 | 0.15 | 0.68 | 1.38 | |

¹⁾Kjeldahl nitrogen (%) × 6.25

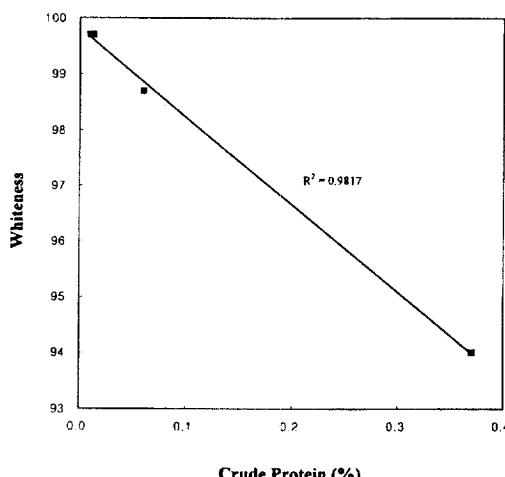


Fig. 1. Relationship between the crude protein content of oxidized waxy maize starch and its whiteness.

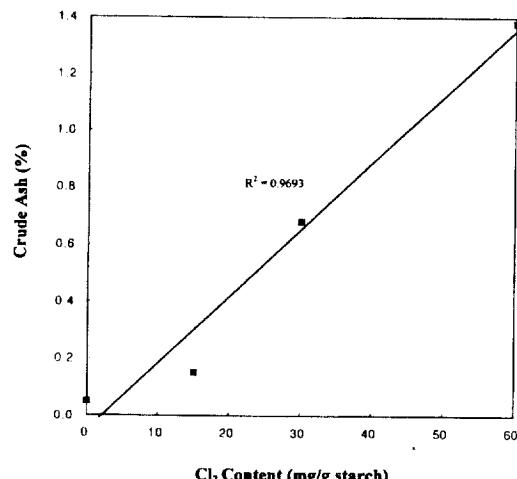


Fig. 2. Relationship between the Cl₂ content of oxidized waxy maize starch and its crude ash content.

조회분 함량은 각각 0.15, 0.68, 1.38%로 차아염소산 나트륨 첨가량과 정의 상관관계($R^2=0.9693$)를 나타내었다. 이와 같은 결과로 차아염소산 나트륨이 시료 전분과 산화반응하는 동안 미량성분에 영향을 미치며 특히, 조단백질 함량과 백색도, 차아염소산 나트륨 처리량과 조회분 함량은 밀접한 관계가 있는 것을 알 수 있었다. Rutenberg과 Solarex⁽¹⁷⁾는 전분을 차아염소산 나트륨으로 처리하는 동안 질소함유 물질을 비롯한 각종 색소들은 70~80%가 용해, 제거되며 유리 지방산 함량은 15~20%가 감소되는 데 이것은 대부분 반응 초기에 발생한다는 보고와 일치한 결과를 나타내었다. 또한 Ail 등⁽⁵⁾은 산화전분의 조회분 함량은 산화되는 동안 현저히 증가하는 데 이는 시료 전분에 나트륨이 점진적으로 결합되기 때문이라고 하였다.

카르복시기 함량

찰옥수수 전분을 차아염소산 나트륨으로 처리한 찰옥수수 산화전분의 카르복시기 함량 및 치환도는 Table 2와 같다.

Table 2. Carboxyl content and degree of substitution (DS) of sodium hypochlorite (0~60 mg/g starch) oxidized waxy maize starch

| Cl ₂ content (mg/g starch) | COOH (%) | DS (moles of COOH/100 AGU) |
|--|-------------|-------------------------------|
| 0 | 0 | 0 |
| 15 | 0.07 | 0.25 |
| 30 | 0.50 | 1.78 |
| 60 | 0.82 | 2.97 |

차아염소산 나트륨을 첨가하지 않았을 경우 시료 전분에서 카르복시기가 전혀 검출되지 않았으나 차아염소산 나트륨 첨가함에 따라 시료 전분의 카르복시기 함량은 현저히 증가하였다. 즉 찰옥수수 전분에 1.5% 차아염소산 나트륨을 첨가하였을 때 카르복시기가 0.07% 생성되어 무수포도당(anhydrous glucose unit; AGU) 100개 당 0.25 mole의 카르복시기를 함유하고 있으며, 3.0% 첨가하였을 때 0.50%로 100 AGU 당 1.78 mole^o, 6.0% 첨가하였을 때 0.82%로 100 AGU 당 2.97 mole^o 생성되었다. 이와 같은 결과는 활성 염소가 전분의 hydroxyl 기를 카르복시기로 산화시키는 것으로 차아염소산 나트륨의 농도가 1.5% 이상에서 산화반응이 현저히 증가하는 것을 알 수 있었다. 산화반응은 산화제의 농도, pH, 온도에 영향을 받으며, 첨가한 산화제 중 약 25%는 C-C 결합을 분해하는 데, 나머지 약 75%는 hydroxyl 기를 산화하는 데 사용된다^(4,6,17).

이화학적 특성

찰옥수수 전분을 다른 농도의 차아염소산 나트륨으로 처리하였을 때 점도의 변화는 Fig. 3과 같다. 차아염소산 나트륨의 첨가 농도에 비례하여 호화액의 점도는 감소하였으며 첨가 농도 3.0%까지 호화액의 점도는 급격한 감소를 나타낸 반면 이후에는 점도 변화가 미약하였다. 즉, 차아염소산 나트륨을 0, 1.5, 3.0, 6.0%로 증가하였을 때 호화액의 점도는 각각 29,000, 1,270, 9.3, 8.0 cp를 나타내었다. 이와 같은 결과는 산화제가 전분의 glucoside 결합을 가수분해한 것으로

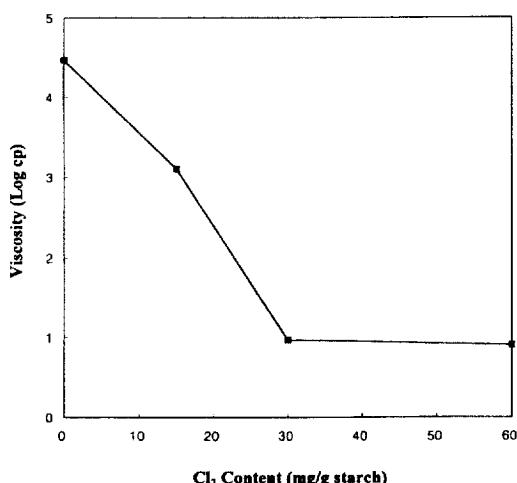


Fig. 3. Effect of Cl₂ concentration (mg/g starch) in the starch slurry during oxidation by sodium hypochlorite on the starch paste (10%) viscosity.

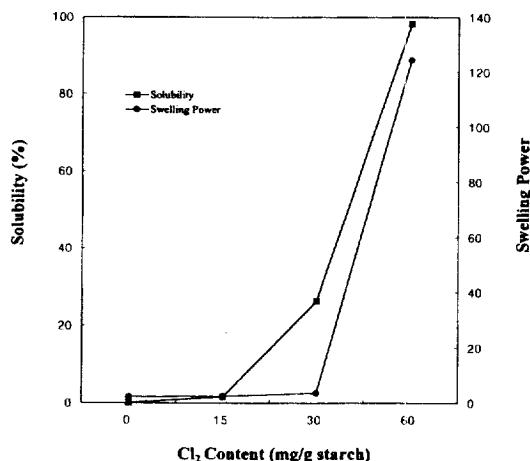


Fig. 4. Effect of Cl₂ concentration (mg/g starch) in the starch slurry during oxidation by sodium hypochlorite on solubility and swelling power of the resultant starch at 55°C.

소량의 산화제가 전분의 점도를 현저히 감소시킬 수 있으며 가수분해 반응은 산화 반응과 동시에 일어나는 것을 알 수 있었다^(4,5).

55°C에서 용해도와 팽윤력을 측정한 결과는 Fig. 4와 같다. 차아염소산 나트륨을 처리하지 않은 시료와 처리량이 1.5%인 경우 처리량에 따른 변화가 없었으나, 처리량이 3.0%로 증가하였을 때 용해도와 팽윤력은 각각 26.3%와 3.6으로 증가하였으며, 처리량이 6.0%로 증가하였을 경우 각각 98.3%와 124.4로 급격히 증가하는 경향을 나타내었다. 일반적으로 용해도와 팽윤력은 전분 입자내의 미셀 구조의 결정성과 밀접한 관련이 있으며, 아밀로스와 아밀로펙틴 함량, 전분의 열처리 방법, 전분과 지방산의 결합 정도 및 전분의 이화학적 변성 등에 영향을 받는다. 즉, 전분 입자내에 결합력에 따라 한 단계와 두 단계의 용해와 팽윤양상을 나타내며, 변성전분 중 가교전분은 가교도의 증가에 따라 용해와 팽윤을 저해하는 반면, 산화전분은 일정 온도 이상에서는 팽윤없이 용해된다^(15,18). 따라서 찰옥수수 전분은 차아염소산 나트륨에 의해 전분의 C-C 결합이 분해되는 동시에 전분의 미셀 구조가 파괴됨을 알 수 있었다.

차아염소산 나트륨 처리량에 따른 시료 혼탁액(0.1%)의 광투과도는 Fig. 5와 같다. 광투과도는 온도 상승에 비례하여 증가하였으며, 차아염소산 나트륨 처리량이 증가할 수록 낮은 온도에서 호화가 개시되었다. 즉 차아염소산 나트륨으로 처리하지 않은 시료와 1.5% 처리한 시료는 65°C 이후 광투과도가 급격히 상

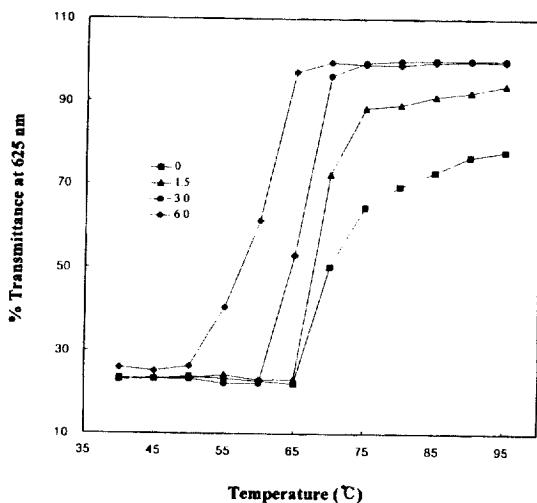


Fig. 5. Changes in light transmittance of oxidized waxy maize starch solutions.

승하여 상호간의 호화개시온도의 차이가 없었다. 그러나 3.0% 처리한 시료는 60°C에서, 6.0% 처리한 시료는 50°C에서 호화가 개시되었다. 이 때 혼탁액은 같은 온도에서 차아염소산 나트륨 처리량에 비례하여 높은 투과율을 나타내어 차아염소산 나트륨 처리는 전분의 용해도를 증가시켜 더 투명한 호화액을 형성함을 알 수 있었고, 옥수수 산화전분은 호화시킨 후 냉각하였을 때 호화액은 gel을 형성하지 않는다는 보고와 일치였으며, 호화액의 투명도 및 안정성을 전분

분자가 산화되는 동안 생성되는 카르복시기 때문인 것으로 사료된다^(6,15).

물결합능력은 차아염소산 나트륨 처리량에 비례하여 감소하는 결과를 나타내었다(Fig. 6). 즉 차아염소산 나트륨을 처리하지 않은 시료의 경우 117.1%를 나타내었으나, 처리량이 1.5, 3.0, 6.0%로 증가시키면 112.7, 108.6, 96.4%로 감소하였다. 일반적으로 전분에 결합된 물은 전분 입자 및 전분 표면에 흡착되는 것으로 전분 입자의 치밀도와 밀접한 관련이 있다⁽¹⁴⁾. 옥수수 전분의 물결합능력은 약 92%로 찰옥수수 전분은 옥수수전분보다 내부 치밀도가 낮은 것을 알 수 있었다⁽¹⁹⁾. 또한 산화전분의 카르복시기는 입체 구조적으로 hydroxyl 기보다 bulk 할 뿐만 아니라 이온 반발력을 나타내므로 물결합능력에 영향을 미치는 것으로 추정된다⁽⁶⁾.

전분 입자 크기 및 형태 변화

주사 전자 현미경으로 시료 전분의 크기 및 표면 구조 변화를 관찰한 결과는 Fig. 7과 같다. 찰옥수수 전분은 다각형과 원형 분자의 혼합물로 입자 크기는 3.7~20 μm였으며, 전분 입자에는 분화구 모양이 있거나 조그만 구멍이 있는 것이 특징적이었다. 한편, 차아염소산 나트륨으로 처리한 찰옥수수 산화전분은 치환도가 증가할 수록 전분 입자의 구멍이 커지기 시작하여 최종적으로는 매끄러운 입자 표면이 분해되는 것을 볼 수 있었다.

일반적으로 찰옥수수 전분의 입자 크기는 5~25 μm로 평균 15 μm이며 전분은 부분적으로 결정성을 가진 영역과 완전히 무정형 영역이 함께 존재하는 것으로 알려져 있으며 전분의 화학적 처리는 주로 무정형 부분에서 일어난다^(5,20). 본 실험에서 사용한 찰옥수수 전분의 구멍은 전분 제조시 아황산 처리에 기인한 것으로 사료되며 전분의 분화구 모양은 옥수수가 성장하는 동안 zein에 압박을 받기 때문이다⁽²¹⁾.

유화 안정성

찰옥수수 전분에 6.0% 차아염소산 나트륨 처리한 치환도 2.97인 시료 전분 혼탁액에 일정량의 옥배유를 첨가한 후 균질화하여 24시간 상온에서 저장하는 동안 유화 안정성을 측정한 결과는 Fig. 8과 같다.

전분을 첨가하지 않았을 경우 균질화 즉시 물과 기름으로 분리되어 유화액을 형성하지 못하였으나(결과를 나타내지 않았음), 전분 첨가량이 증가함에 따라 안정한 유화액을 형성하였고 저장하는 동안 유화 안정성 또한 현저히 증가하였다. 즉, 균질화 직후 유화액

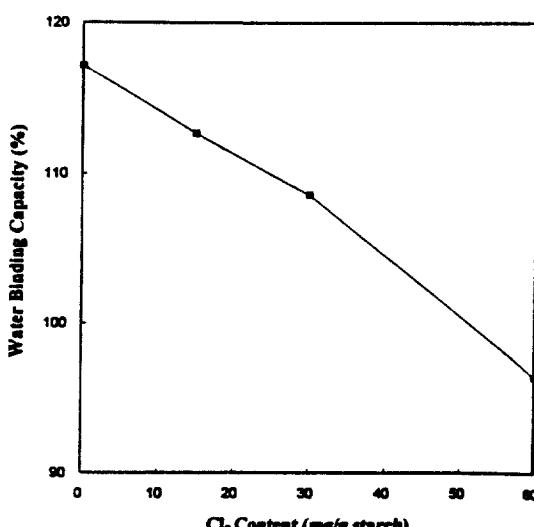


Fig. 6. Effect of Cl₂ concentration (mg/g starch) in the starch slurry during oxidation by sodium hypochlorite on the water binding capacity.

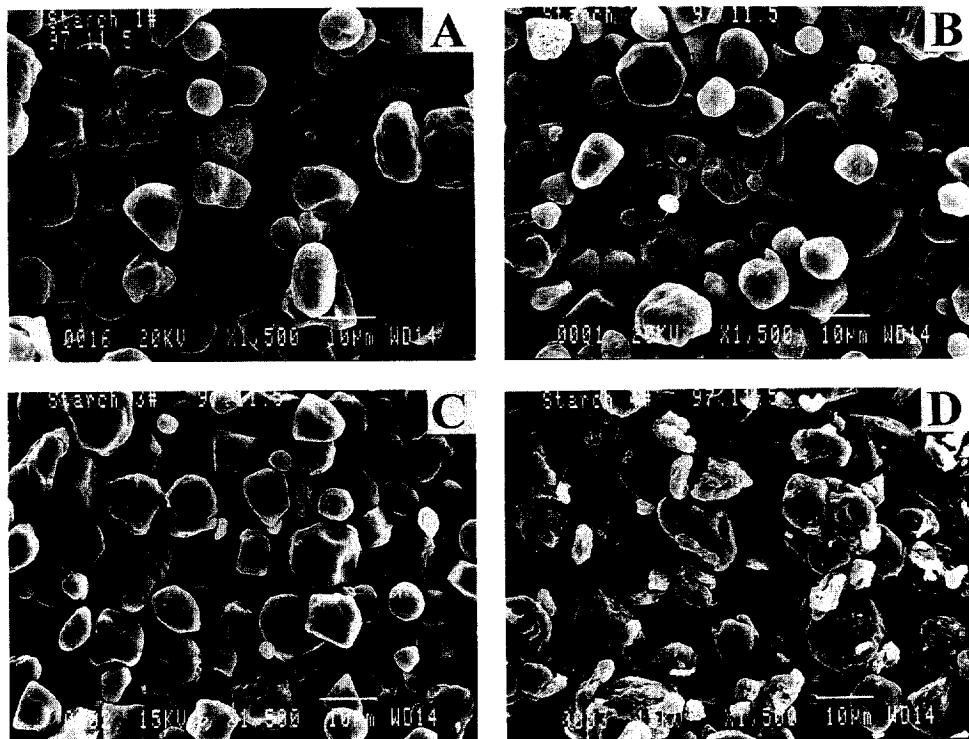


Fig. 7. Scanning electron micrographs of waxy maize starch and oxidized waxy maize starches ($\times 1,500$). A: waxy maize starch, B, C and D: waxy maize starches treated with 1.5, 3.0 and 6.0% sodium hypochlorite, respectively

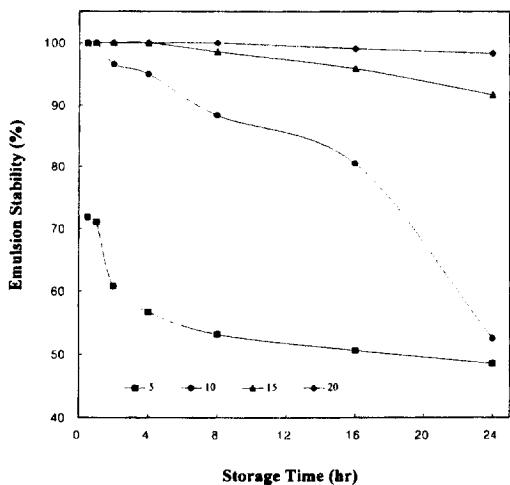


Fig. 8. Effect of starch concentration (%) on emulsion stability during storage under room temperature for 24 hours.

형성 정도는 전분을 5% 첨가하였을 경우 72%만이 유화액으로 형성되었으나, 10% 이상 첨가하였을 때 전분 혼탁액과 기름은 균일한 유화액을 형성하였다. 5,

10% 첨가군은 저장 30분 후부터 유화액이 분리되어 시작하였고 저장기간이 경과함에 따라 급속히 분리되어 24시간 후에는 각각 50.6, 80.5%의 유화액을 나타내는 반면 15, 20% 첨가시에는 유화 안정성이 현저히 증가되어 각각 4, 8시간 경과 후에부터 분리가 시작되었고 24시간 경과 후에도 8.3, 1.7%만이 분리되어 산화전분의 카르복시기는 유화 안정성을 향상시킬 수 있었다. 이는 Konoo 등⁽¹¹⁾과 일치한 결과로 이들은 산화전분의 유화성은 전분 첨가에 따른 점도 증가에 의한 것이 아니라 전분에 생성된 카르복시기의 정전기적 반발력 때문이라고 보고하였다.

요약

찰옥수수 전분을 차아염소산 나트륨(0~60 mg/s starch)과 반응시켜 제조한 찰옥수수 산화전분의 이화학적 특성 및 유화 안정성에 미치는 영향에 대하여 연구하였다. 찰옥수수 산화전분의 일반성분 중 조지방질 및 조단백질 함량은 차아염소산 나트륨 처리량의 증가에 따라 감소하여 조단백질 함량과 백색도와 부의 상관관계($R^2=0.9847$)를 나타내었고 조화분 함량은

증가하여 염소 함량과 정의 상관관계($R^2=0.9693$)를 나타내었다. 산화전분의 카르복시기 함량은 활성염소 첨가 농도에 비례하여 증가하였다. 호화액의 점도는 차아염소산 나트륨 처리량에 따라 현저히 감소하였고, 용해도와 팽윤력은 산화도가 높을 수록 증가하였으며, 광투파도는 치환도가 증가할 수록 낮은 온도에서 높은 투파도를 나타내어 호화개시온도가 약 15°C 낮아졌고, 호화액의 투명도 또한 개선되었다. 물결합능력은 치환도가 증가할 수록 생성된 카르복시기로 인하여 감소하였다. 찰옥수수 전분의 입자는 다각형과 원형의 혼합물로 크기는 3.7~20 μm였으며, 차아염소산 나트륨 처리량이 증가할 수록 전분 표면이 거칠어졌다. 찰옥수수 산화전분과 옥배유를 균질화하여 저장하는 동안 유화액은 산화전분의 치환도가 높을 수록 전분의 농도가 증가할 수록 유화 안정성이 증가하였다.

감사의 글

본 연구중 SEM 분석에 많은 도움을 주신 금호케미칼(주) 중앙연구소 양차섭 과장님께 감사드립니다.

문 헌

- Zobel, H.F.: IX. Gelatinization of starch and mechanical properties of starch pastes. In *Starch: Chemistry and Technology*. Whistler, R.L., Bemiller, J.N. and Paschall, E. F. (2nd Ed.), Academic Press, Inc., London, p.285-309 (1984)
- Waniska, R.D. and Gomez, M.H.: Dispersion behavior of starch. *Food Technol.*, **46**, 110-123 (1992)
- BeMiller, J.N. and Whistler, R.L.: Carbohydrates. In *Food Chemistry*. Fennema, O. R. (3rd Ed.), Marcel Dekker, Inc., New York, p.157-223 (1996)
- Fleche, G.: Chemical modification and degradation of starch, In *Starch Conversion Technology*. Van Beynum, G. M. A. and Roles, J. A., Marcel Dekker, Inc., New York, p.73-99 (1985)
- Ail, S.Z., Mysore and Kempf, W.: On the degradation of potato starch during acid modification and hypochlorite oxidation. *Starch/Stärke*, **38**, 83-86 (1986)
- Wurzburg, O.B.: Converted Starches. In *Modified Starches: Properties and Uses*, Wurzburg, O.B. (Ed.), CRC Press, FL, p.17-40 (1986)
- Han, M.K., Chang, H.G. and Shin, H.S.: Effect of chlorine treatment on the rheological properties of wheat flour (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **24**, 127-131 (1992)
- Seguchi, M. and Matsuki, J.: Studies on pan-cake baking. I. Effect of chlorination of flour on pan-cake quality. *Cereal Chem.*, **54**, 286-299 (1977)
- Seguchi, M.: Comparison of oil-binding ability of different chlorinated starches. *Cereal Chem.*, **61**, 244-247 (1984)
- Marotta, N. G., Milltown, Bell, H., Plainfield, N. and Ronai, K. S.: Process for preparing deep-fried foodstuffs. U. S. Patent 3,482,984 (1969)
- Konoo, S., Ogawa, H., Mizuno, H. and Iso, N.: The emulsification ability of oxidized tapioca starches with sodium hypochlorite (in Japanese). *J. Jpn. Soc. Food Sci. Technol.*, **43**, 880-886 (1996)
- Mattisson, M.F. and Legendre, K.A.: Determination of the carboxyl content of oxidized starches. *Anal. Chem.*, **24**, 1942-1944 (1944)
- A.O.A.C: *Official Method of Analysis*, 14th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D. C. (1984)
- Medcalf, D.G. and Gilles, K.A.: Wheat starches. I. Comparison of physicochemical properties. *Cereal Chem.*, **42**, 558-568 (1968)
- Leach, H.W., McCowen, L.D. and Schoch, T.J.: Structure of starch granule. I. Swelling and solubility pattern of various starches. *Cereal Chem.*, **35**, 534-544 (1959)
- Wilson, L.A., Birmingham, V.A., Moon, D.F. and Snyder, H.E.: Isolation and characterization of starch from mature soybeans. *Cereal Chem.*, **55**, 661-670 (1978)
- Rutenberg, M.W. and Solarex, D. X. Starch Derivatives: Production and Uses. In *Starch: Chemistry and Technology*. Whistler, R. L., Bemiller, J. N. and Paschall, E. F. (2nd Ed.), Academic Press, Inc., London, p.311-388 (1984)
- Kim, H.S. and Lee, Y.E.: Influence of crosslinking on gelatinization behavior and morphological change of potato starch (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **28**, 580-586 (1996)
- Jung, S.H., Shin, G.J. and Choi, C.U.: Comparison of physicochemical properties of corn, sweet potato, potato, wheat and mungbean starches (in Korean). *Korean J. Food Sci. Technol.*, **23**, 272-275 (1991)
- Wurzburg, O.B.: Introduction. In *Modified Starches: Properties and Uses*, Wurzburg, O.B. (Ed.), CRC Press, FL, p.3-16 (1986)
- Fitt, L.E. and Snyder, E.M.: XXIII. Photomicrographs of Starches. In *Starch: Chemistry and Technology*. Whistler, R.L., Bemiller, J. N. and Paschall, E. F. (2nd Ed.), Academic Press, Inc., London, p.675-689 (1984)