

산화정도와 단백질 첨가에 따른 산화 옥수수 전분 겔의 유동특성

한진숙[†] · 박귀선*

동의공업대학 식품생명과학계열
*동아대학교 식품과학부

Effect of Protein and Degree of Oxidation on Viscoelastic Behavior of Corn Starch Gel

Jin-Suk Han[†] and Kui Sun Park*

Division of Food and Biotechnology, Dongeui Institute of Technology, Busan 614-715, Korea

*Division of Food Science, Dong-A University, Busan 602-714, Korea

Abstract

Viscoelastic behavior of oxidized starch gel, modified with sodium hypochlorite (NaOCl) and the adding effects of protein in oxidized starch gel was studied by dynamic viscoelastic measurement. The storage modulus (G') of starch gel increased with the increase of starch concentration. They showed higher value when starch suspension was treated to 95°C rather than 85°C. Consistency of starch gel was decreased over 1.0% active Cl/g starch when heated to 95°C, which means that the swelling of starch granules increased with concentration of NaOCl and showed more sensitive against shear. As the extent of oxidation increased, starch granules were easily destroyed. Therefore, it is hard to separate between compartment of leached-out amylose and that of amylopectin, which means that the ability of gel formation was reduced. When oxidized starches were gelatinized in presence of soy protein and sodium caseinate, it was found that G' decreased, and frequency dependence of G' and G'' increased with the increased degree of oxidation in starch. The reduce of starch-protein interaction was thought to be through the dissociation of the branched amylopectin, which play a leading role in protein interaction, with the oxidation of starch.

Key words: oxidized corn starch, sodium hypochlorite, storage modulus, loss modulus, viscoelastic behavior

서 론

전분은 식품공업뿐만 아니라 제지, 의류 및 의약품 등의 산업에 다양하게 사용되고 있다. 최근 들어서 전분은 영양적 가치보다는 식품가공시 용이성이나 식품에 특징적인 특성을 부여하기 위하여 더 많이 이용되고 있다(1,2). 그러나 전분의 성질은 기본적으로 전분의 출처와 입자의 성질에 따라 크게 영향을 받기 때문에 바람직한 특성을 만족시키지 못하여 이용에 한계가 있다. 따라서 지난 수십 년간 전분의 이용성을 확대시키고자 다양한 방법으로 전분의 변성을 시도하여 전분에 새로운 성질을 부여하거나 원래의 물리적인 성질을 개선하려는 많은 노력이 있었다(1-4). 전분의 산화 과정에서 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(3,4). 이전 연구에서 sodium hypochlorites를 이용

한 옥수수 전분의 산화 기작(6), 산화에 따른 분자량 분포 양상(7)과 이화학적 특성의 변화와 산화전분 겔의 형성시 리올로지 특성의 변화(8)에 대하여 연구 보고하였다.

대부분의 다당류 현탁액은 고체와 액체의 두 특성을 모두 반영하는 물성적 특성을 가지므로 전분 용액의 점탄성(viscoelasticity)의 측정은 탄수화물을 기초로 하는 식품의 가공시 장 단기간의 구조적 변화에 대한 정보를 제공하여 가공의 용이성과 생산물의 조직감, 유동 특성과 저장 기간 등을 이해하고 예견하는데 중요한 역할을 한다(9).

전분은 호화시 입자가 팽윤되고 호화되면서 전분 입자에서 아밀로오스가 용출되어 아밀로오스 매트릭스를 형성하게 되고 그 내부에 전분 입자가 차 있는 상태가 되면서 결정성이 소실되고 리올로지 특성이 변하게 된다. 다양한 온도에서 호화시킨 전분 용액의 전단 속도(shear rate)에 따른 점도 특성에 대한 많은 연구를 보면 호화 전분 용액의 팽윤력과 불용성 침전물의 양으로 낮은 전단 속도와 높은 전단 속도에서의 점도 특성을 설명하였고(10), 전분 페이스트는 팽윤된 입자, 입자의 조각들, 조각난 입자와 입자에서 용출되어 나온 물질

[†]Corresponding author. E mail: hanmiky@dit.ac.kr
Phone: 82 51 860 3178, Fax: 82 51 860 3331

로 구성된다고 간주하여 팽윤력과 용해도 패턴으로 유동 특성을 평가하였다(11). 전분 겔은 아밀로오스 겔 매트릭스에 아밀로펙틴이 들어 있는 팽윤된 호화 전분 입자가 차 있는 현상으로 전분 겔과 페이스트의 물리적인 특성은 전분 입자의 농도, 가열 동안 입자에서 용출되는 아밀로오스와 아밀로펙틴의 양, 입자의 모양, 입자의 팽윤력, 아밀로오스와 아밀로펙틴간의 얽힘(entanglement)과 입자-입자, 아밀로오스-입자와 아밀로펙틴-입자간의 상호작용에 의존한다(12). 선행 연구들에서는 creep과 relaxation test로 전분 겔의 점탄성 특성을 설명하려고 하였다(13-15).

동적인 점탄성 측정 방법은 측정하고자하는 시료에 매우 작은 변형을 줌으로써 전분 겔이나 페이스트의 구조를 파괴하지 않고 리올로지 특성을 점성과 탄성 부분으로 나누어 설명할 수 있다(9). Oscillatory probe rheometer는 호화 용액에 작은 전단 변형을 줌으로써 겔의 구조를 파괴시키지 않고 전분 겔이나 페이스트의 점탄성 특성을 측정할 수 있는 좋은 장치로, 실례로 옥수수 전분 용액을 oscillatory probe rheometer를 이용하여 저장 탄성률, 소실 탄성률과 δ 를 측정하여 농도와 온도에 따른 졸과 겔의 상전이 특성을 연구 보고 하였다(16,17).

다당류와 단백질은 곡류나 다른 알곡 식물로 만든 겔 식품에 바람직한 특성을 제공하며 겔 형성시 증점제로 이용되고 있다(18). 식품에서 옥수수전분과 분리대두단백질은 영양적 가치와 더불어 식품의 조직감 형성에 중요한 역할을 하고 있다. 일반적으로 겔 식품은 다양한 형태의 성분이 들어있는 복잡 물질로 함유 성분의 모양, 크기와 부피에 따라 겔 특성에 영향을 미친다(19). 전분 겔 또는 단백질 겔 각각에 대한 연구는 다양하게 이루어지고 있으나 두 물질이 혼합되어 조리시 식품의 물성에 상승 또는 저해 효과가 어떠한 기작에 의해 나타나는지에 대한 연구는 많이 보고되어 있지 않다. Chedid와 Kokini(20)는 전분 겔에 밀 단백질을 첨가했을 때 물성의 변화에 대한 연구를 하였다. 실험 결과에 따르면 전분겔에 단백질의 첨가는 아밀로오스와 아밀로펙틴의 비율, 온도, 반응시간, 수분함량에 따라 점도의 변화 정도에 영향을 미친다고 하였다. 전분의 산화는 전분입자의 모양과 전분 입자내 아밀로오스와 아밀로펙틴의 구조 변화를 초래하기 때문에 첨가된 단백질은 전분 겔의 물성에 다양한 영향을 줄 것으로 예상된다.

본 연구에서는 산화 옥수수 전분 현탁액을 가열하여 냉각시킨 후 전분 겔의 리올로지 특성 변화를 동적 점탄성 측정 방법으로 측정하여 산화 정도에 따른 전분 겔의 물성 특성과 단백질 첨가에 따른 산화 전분 겔의 유동특성의 변화를 시험 하였다.

재료 및 방법

옥수수 전분

옥수수는 홍천의 옥수수 작물 시험장에서 수확한 광한옥

품종을 사용하여 알칼리 침지법(6)으로 전분을 분리하여 정제하였다. 분리한 옥수수 전분은 조단백질 0.17%, 조지방 0.16%, 수분 12.5%와 회분 함량이 0.08%이었다.

산화전분의 제조

전분의 산화를 위한 조건은 전보(6)의 NaOCl 농도, 온도와 pH에 따른 산화 반응 프로 파일을 토대로 0.25, 0.5, 0.75, 1.0, 1.5% active Cl/g starch를 포함하는 NaOCl 용액(25°C, pH 7.0)에서 10분간 반응시켜 제조하였다. 산화에 따른 카복실기 함량의 변화는 Han과 Ahn(6)의 방법을 이용하여 측정하였으며, 각 처리 농도에서 전분내 생성된 카복실기 함량은 0.141, 0.724, 1.297, 2.046과 3.194 mg/g starch이었다.

유동 특성의 측정

산화전분의 유동특성의 측정은 Rheometrics Mechanical Spectrometer(RMS, model RMS-800, Rheometric Scientific Co., USA)를 사용하였다.

Christianson과 Bagley(21)의 방법을 보완하여 호화 전분 용액을 제조하여 유동특성을 측정하였다. 전분 현탁액의 농도가 8%와 10%(w/v, 건량 기준)가 되도록 시료를 취하여 50 mL screw cap tube에 담고 실온의 증류수 30 mL를 가하여 잘 분산시킨 다음 각각 85°C와 95°C의 진탕수욕조에서 30분간 처리한 후 60°C 항온 수조로 즉시 옮겨서 30분간 냉각시킨 후 RMS에 넣었다. 이 때 원뿔 각도(cone angle)가 0.04 radian인 원뿔-원통형(coni-cylinder type, cup dia. 52.0 mm, bob dia. 50 mm, bob length 20.0 mm, gap 0.05 mm) geometry를 이용하였으며, 실험 중 시료의 수분 증발을 방지하기 위해 실리콘 오일(점도 1 Pa·s)로 표면을 덮은 후 변형률(strain) 0.1에서 각 진동수(angular frequency)를 0.1~100 rad/sec까지 변화시키면서 저장 탄성률(G' , storage modulus), 소실 탄성률(G'' , loss modulus), $\tan\delta$ 와 복소수 점도(η^* , complex viscosity)를 측정하였다.

단백질 첨가에 따른 전분 용액의 유동 특성의 변화는 Lindahl과 Eliasson(22)의 방법을 변형하여 측정하였다. 전분 현탁액의 농도가 6%(w/v, 건량 기준)가 되도록 시료를 취하여 50 mL screw cap tube에 담고, 분리 대두 단백질(soyprotein isolate, SPI, Purina Co.)과 Na-caseinate(Meggle Co.)을 각각 1%(w/w, 전분의 건량 기준)씩 첨가하여 분말 상태에서 혼합한 후 실온의 증류수 30 mL를 가하여 잘 분산시킨 다음 95°C의 진탕수욕조에서 30분간 처리한 후 30°C 항온 수조로 즉시 옮겨서 30분간 방치 후 측정하였다.

결과 및 고찰

호화 산화 전분 용액의 유동 특성

호화 전분 용액의 복소수 점도(η^*)는 60°C에서 측정하였을 때 진동수(ω)에 따라 직선 관계를 보였으며, 진동수의 증가와 감소시 점도 곡선이 일치하여 thixotropy는 관찰되지

않았다(10).

호화 전분 용액의 전단 속도($\dot{\gamma}$)에 따른 겔보기 점도(η)와 각진동수(ω)에 따른 복소수 점도(η^*)를 비교하였을 때, Fig. 1에서처럼 두 직선이 거의 일치하여 Cox와 Merz(23)의 법칙에 잘 따르는 것으로 나타나 각진동수(ω)에 따른 복소수 점도(η^*)로 호화 전분 용액의 유동 특성을 비교하였다.

호화 전분 용액의 복소수 점도는 power law를 따르는 것으로 나타났다. 전단 속도에 의해 점도가 영향을 받는 지수 법칙 흐름은 다음 식으로 나타낸다.

$$\eta = K\dot{\gamma}^{n-1}$$

여기서 $\dot{\gamma}$ 는 전단속도, η 는 겔보기 점도, K 는 조점도 지수(consistency index)이고 n 은 유동 지수(flow behavior index)이다. 본 연구에서는 $\eta(\dot{\gamma})$ 와 $\eta^*(\omega)$ 가 잘 일치하여 위의 식을 다음과 같이 나타낼 수 있다(24).

$$\eta^* = K^* \omega^{n^*-1}$$

앞의 식을 이용하여 계산된 조점도 지수(consistency index, K^*)와 유동 지수(flow behavior index, n^*)는 Table 1과 같다. 호화 전분 용액의 기울기와 절편은 가열 온도와 전분의 농도에 의해 영향을 받아 무처리 전분은 전분 농도가 증가함에 따라 절편이 급격히 증가하였고, 기울기는 감소하였다. 산화 전분은 NaOCl의 처리 농도가 증가됨에 따라 절편이 감소하였다. 기울기는 85°C로 가열하였을 때는 NaOCl의 처리 농도와 관계없이 거의 일정한 값을 가지며, 95°C로 가열하였을 때는 1.0% active Cl/g starch이상의 농도에서 기울기가 감소하는 것으로 나타나 95°C로 가열하는 경우 산화전분입자의 팽창이 증가되면서 전단에 더 민감하게 반응하는 것으로 나타났다.

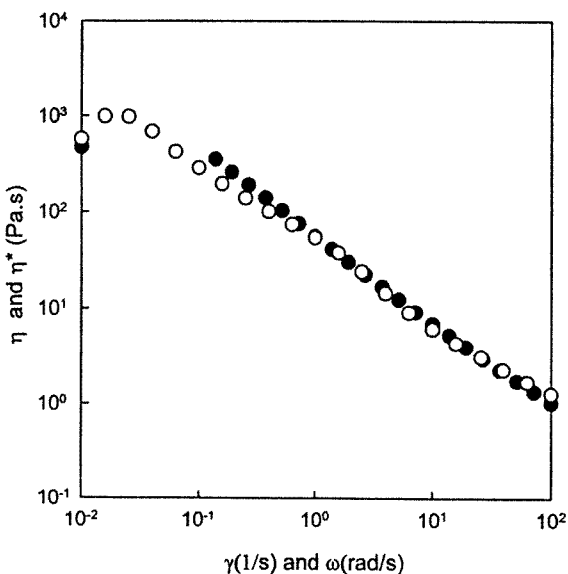


Fig. 1. Comparison of steady shear viscosity (η) and dynamic complex viscosity (η^*) of 6% corn starch paste. ○: dynamic test, ●: steady test.

Table 1. Changes in consistency index (K^*) and flow behavior index (n^*) of oxidized corn starch pastes¹⁾

Oxidant ²⁾	Starch Conc. (w/v %)	Temperature			
		85°C		95°C	
		K^*	n^*	K^*	n^*
Untreated	8	89.0	0.13	56.9	0.11
	10	362.4	0.05	235.8	0.06
0.25	8	92.7	0.22	75.6	0.11
	10	238.8	0.18	216.6	0.09
0.5	8	76.6	0.22	51.0	0.10
	10	215.1	0.16	144.7	0.08
0.75	8	64.8	0.19	23.0	0.12
	10	122.1	0.20	69.1	0.09
1.0	8	36.6	0.20	3.1	0.24
	10	71.5	0.16	18.0	0.13
1.5	8	10.8	0.23	0.3	0.52
	10	22.6	0.17	1.2	0.34

¹⁾Oscillatory frequency 0.1~100 rad/s.

²⁾% of active Cl/g starch.

Fig. 2에 저장탄성률(G')과 소실탄성률(G'')을 각진동수의 함수로서 양대수좌표로 나타내었고, 유동특성 인자는 Table 2에 나타내었다. 전분 용액의 G' 은 전분 농도가 증가함에 따라 증가하였고, 95°C보다 85°C로 처리하였을 때 더 큰 값을 가지는 것으로 나타났다. 무처리 전분은 측정된 각진동수($10^{-1} \sim 10^2$)내에서 $G' > G''$ 으로 나타나 G' 과 G'' 의 각진동수 의존성이 적어 'true gel'을 형성하였다(25). 반면 산화 전분은 가열 온도에 따라 다른 리올로지 특성을 보여 85°C로 가열한 전분 용액은 전분의 농도와 관계없이 낮은 각진동수에서 $G' < G''$ 이었던가 각진동수가 증가되면서 $G' > G''$ 로 바뀌는 양상을 보여 겔의 유동성이 큰 것으로 생각된다(14). 95°C에서 가열한 전분 용액은 각진동수에 따라 G' 가 비례하여 증가하였으며 NaOCl의 처리 농도가 증가됨에 따라 진동수에 대한 의존성(frequency dependence)이 증가하는 경향을 보였다. 겔의 형성에서 아밀로오스와 아밀로펙틴에 대한 연구를 살펴보면 아밀로오스가 겔 형성에 가장 중요한 역할을 하나, 호화 동안에 용출된 아밀로오스와 아밀로펙틴, 그리고 전분 입자가 겔의 리올로지 특성에 더 큰 영향을 준다고 하였다(26). Orford 등(27)은 초기 겔의 견고성은 호화시 용출되는 아밀로오스 함량과 상관관계가 있으며, Miles 등(28)은 저장시 겔의 G' 이 계속 증가되는 것은 아밀로펙틴을 포함하는 가역적인 결정화(노화)에 따른 것으로 해석하였다. 산화 전분은 아밀로펙틴의 분해와 음이온의 도입으로 호화시 용출되는 아밀로오스의 회합을 방해하여 연속상(continuous phase)의 형성을 방해하는 작용을 하는 것으로 생각된다(8). 또한, 산화 정도에 따라 분자량 분포, 가지치는 정도, 입자의 팽윤 정도와 호화시 용출되는 아밀로오스 함량에 차이를 보여 전분 용액의 겔 특성에 변화를 초래하는 것으로 보인다. Han과 Ahn(7)의 연구에 따르면 전분을 산화시켰을 때 무처리 전분은 가열온도가 증가함에 따라 분자량이 큰 부분의 용출

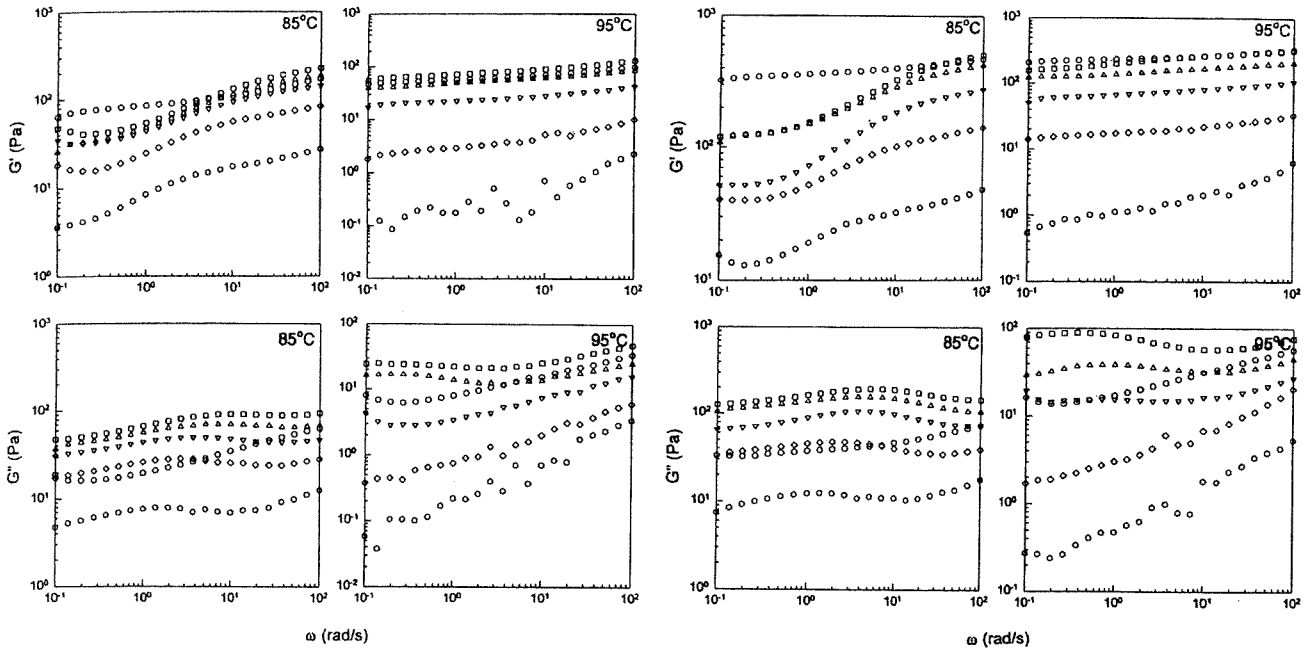


Fig. 2. Frequency dependence of the storage modulus (G') and the loss modulus (G'') for freshly prepared 8% (left) and 10% (right) oxidized starch pastes at 60°C.

○: untreated, □: 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.

Table 2. The dynamic rheological parameters at the oscillatory frequency 0.1 rad/s for 8 and 10% oxidized corn starch pastes

Oxidant ¹⁾	Rheological parameter					
	8% starch paste			10% starch paste		
	G' ²⁾ (Pa)	G'' ³⁾ (Pa)	$\tan\delta$	G' (Pa)	G'' (Pa)	$\tan\delta$
Prepared at 85°C						
Untreated	64.1	18.9	0.29	321.7	32.8	0.10
0.25	47.4	47.5	1.00	119.2	125.9	1.06
0.5	25.7	36.7	1.43	108.4	105.2	0.97
0.75	34.9	30.8	0.88	51.4	65.1	0.95
1.0	18.1	17.4	0.96	40.5	30.4	0.83
1.5	3.6	4.7	1.31	15.4	7.4	0.48
Prepared at 95°C						
Untreated	46.5	8.0	0.17	207.9	16.2	0.08
0.25	54.7	24.4	0.45	156.0	79.3	0.51
0.5	39.3	16.3	0.42	122.6	29.0	0.24
0.75	16.9	4.3	0.26	50.7	19.2	0.37
1.0	1.8	0.4	0.21	14.2	1.7	0.12
1.5	0.0	0.06	1.22	0.5	0.3	0.51

¹⁾% of active Cl/g starch. ²⁾ G' : Storage modulus. ³⁾ G'' : Loss modulus.

이 증가하였으나 산화전분의 경우 아밀로펙틴이 산화에 의해 분해되어 전분입자내 큰 분자량을 가진 분자가 감소되면서 작은 분자량을 가지는 분자가 증가하여 가용성 탄수화물의 양이 증가하였다.

Kalichevsky와 Ring(29)은 고농도 전분 용액에서는 아밀로오스와 아밀로펙틴이 서로 섞이지 않아(incompatibility) 아밀로오스는 용출되어 연속상을 형성하고 아밀로펙틴은 입자내에 존재하면서 겔을 형성한다고 하였으며, Svegmak와 Hermansson(30)의 연구에서도 전분 용액을 가열시 전단을 크게 주었을 때는 아밀로오스가 많이 분포하는 영역과 아밀

로펙틴이 주로 분포하는 영역의 분리가 이루어지지 못하고 아밀로오스와 아밀로펙틴이 섞이게 되어 겔 형성 능력이 떨어진다고 하였다. 산화 전분은 앞에서 언급한 바와 같이 가열에 따른 전분 입자의 붕괴가 용이하여 아밀로오스가 많이 분포하는 영역과 아밀로펙틴이 주로 분포하는 영역의 분리가 어렵기 때문에 겔의 형성 능력이 감소하는 것으로 사료된다.

단백질 첨가에 따른 호화 전분 용액의 유동 특성의 변화 식품에서 전분은 단백질, 당과 지질 등 다양한 성분과 함께 존재하면서 상호작용을 하는데 특히, 식품내 고분자인 단백질과 전분은 혼합시 조리 동안에 각 성분이 식품의 리올로지

에 다양한 변화를 주어 식품의 질에 상당한 영향을 미칠 수 있다(20,31-33). 본 연구에서는 분리 대두 단백질(soyprotein isolate, SPI)과 우유 단백질인 카제인(Na-caseinate)을 첨가하여 만든 호화전분 용액의 유동특성을 측정하였다. 6%의 전분 용액은 완전히 호화되면서 closed packed system을 이루는 농도이나(34), 1.0% active Cl/g starch 이상의 산화제 처리 농도에서는 본 연구에서 사용한 레오메터로 유동 특성의 측정이 불가능하였다. 분리 대두 단백질과 카제인을 첨가하여 만든 호화 전분 용액도 복소수 점도(n^*)가 각진동수(ω)에 따라 직선 관계를 보였다. 단백질 첨가시 기울기는 거의 변화가 없었으며, 절편은 감소하는 경향을 보였다(Table 3). 무처리 전분과 0.25% active Cl/g starch 처리 전분은 SPI를 첨가하였을 때는 저장 탄성률(G')과 소실 탄성률(G'')의 진동수에 따른 변화가 단백질을 첨가하지 않았을 때와 마찬가지로 $G' > G''$ 로 겔의 성격을 가지나 Na-caseinate를 첨가하였을 때는 낮은 진동수에서 $G' < G''$ 로 $\tan\delta$ 가 증가하여 페이스트의 유동성이 컸으며, 진동수가 증가하면서 $G' > G''$ 되면서 $\tan\delta$ 가 감소하였다(Fig. 3, Table 4). 0.25와 0.5 g % active

Table 3. The effects of added proteins on the consistency index (K^*) and the flow behavior index (n^*) of oxidized corn starch pastes¹⁾

Oxidant ²⁾	6% starch paste		6% starch paste+1% SPI		6% starch paste+1% Na-caseinate	
	K^*	n^*	K^*	n^*	K^*	n^*
Untreated	109.6	0.07	87.1	0.10	100.0	0.24
0.25	134.9	0.13	87.1	0.10	85.1	0.24
0.5	93.3	0.16	43.7	0.11	64.6	0.20
0.75	70.8	0.09	6.0	0.24	5.5	0.24

¹⁾Oscillatory frequency 0.1~100 rad/s.

²⁾% of active Cl/g starch.

Cl/g starch에서는 단백질 첨가시 복소수 점도가 크게 감소하였다(Table 5). Kugimiya와 Donovan(35)은 단백질이 첨가되는 경우에 입자가 큰 전분이 작은 단백질 분자에 의하여 희석되어 점도가 떨어질 수 있으며, 가열시 전분이 호화되고 단백질이 변성되어 전분과 단백질간에 엉킴(entanglement)이 가능하여 점도가 증가될 수도 있으나 첨가되는 단백질의 특성 즉 단백질의 소수성에 따라 전분과의 상호작용에 다양

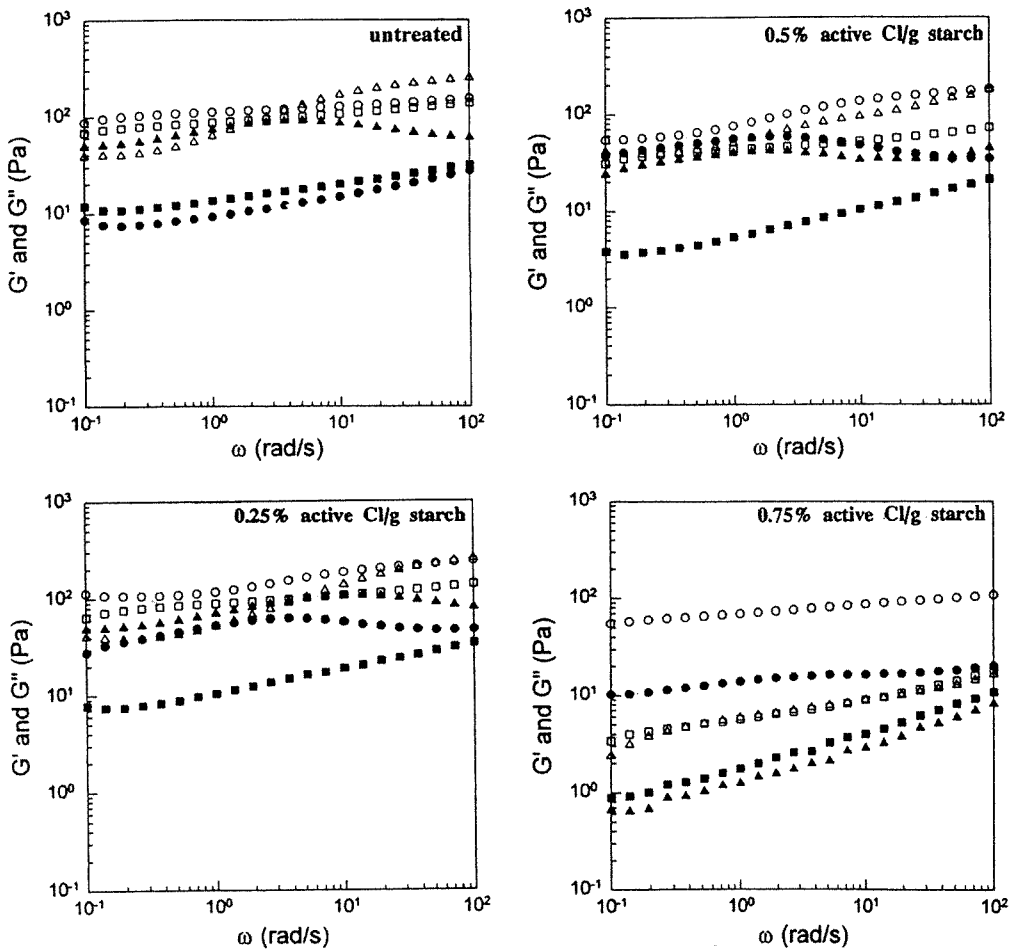


Fig. 3. The effect of added proteins on the storage modulus (G') and the loss modulus (G'') for freshly prepared 6% oxidized starch pastes. Storage modulus ○: untreated, □: SPI 1.0%, △: casein. Loss modulus ●: untreated, ■: SPI 1.0%, ▲: casein.

Table 4. The effects of added proteins on $\tan\delta$ of 6% oxidized corn starch pastes

Oxidant ¹⁾	6% starch paste		6% starch paste+1% SPI		6% starch paste+1% Na caseinate	
	0.1	100	0.1	100	0.1	100
	(rad/s)	(rad/s)	(rad/s)	(rad/s)	(rad/s)	(rad/s)
Untreated	0.10	0.18	0.18	0.23	1.26	0.24
0.25	0.25	0.20	0.12	0.25	1.21	0.32
0.5	0.69	0.19	0.12	0.29	0.58	0.25
0.75	0.19	0.19	0.25	0.59	0.28	0.49

¹⁾% of active Cl/g starch.

하게 영향을 미친다고 하였다. Lindahl과 Eliasson(22)의 연구에서는 옥수수 전분 용액에 밀 단백질을 첨가하였을 때는 G'이 감소하였으나, 밀 전분에 밀 단백질을 첨가하였을 때는 G'이 증가하여 단백질의 특정 작용기가 전분 표면과 상호작용이 가능한 경우에만 G'의 증가에 상승작용을 가진다고 하였다. 산화 전분은 단백질의 종류에 따른 차이는 있으나 산화 정도가 증가됨에 따라 전 각진동수에서 G' > G''이기는 하지만 무처리 전분과 비교시 G'과 G''이 모두 감소하였다. 단백질과 전분의 상호작용은 아밀로오스와 아밀로펙틴의 비, 단백질의 형태, 가열 온도, 수분함량에 따라 영향을 받는다. 전분 입자 내에서는 아밀로펙틴이 가지를 친 구조로 단백질과의 작용이 더 용이하며, 아밀로오스는 아밀로오스간의 작용이 더 용이하여 아밀로펙틴의 구조가 단백질과의 상호작용에 더 큰 영향을 미치는 것으로 생각된다. 따라서, 산화에 의한 아밀로펙틴의 분해는 단백질과의 상호작용을 크게 감소시키는 것으로 생각된다(20).

요 약

본 연구에서는 전분 현탁액을 가열하여 냉각시킨 후 전분 겔의 리올로지 특성 변화를 동적 점탄성 측정방법으로 측정하여 산화 정도에 따른 전분 겔과 단백질 첨가에 따른 전분 겔의 유동특성의 변화를 시험하였다. 전분 겔의 저장탄성률, G'은 전분 농도가 증가함에 따라 증가하였고, 95°C보다 85°C로 처리하였을 때 더 큰 값을 가지는 것으로 나타났다. 95°C로 가열하였을 때는 1.0% active Cl/g starch 이상의 농도에서 조점도가 감소하는 것으로 나타나 산화전분입자의 팽창

이 증가되면서 전단에 더 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 전분의 산화정도가 증가할수록 가열에 따른 전분 입자의 붕괴가 용이하여 아밀로오스가 많이 분포하는 영역과 아밀로펙틴이 주로 분포하는 영역의 분리가 어렵기 때문에 겔의 형성 능력이 감소하였다. 대두 단백질(soy protein isolate)과 Na-caseinate을 첨가하여 만든 호화 전분 용액은 산화 정도가 증가됨에 따라 저장 탄성률과 소실 탄성률이 모두 감소하였고, 저장탄성률, G'과 소실탄성률, G''의 진동수에 대한 의존성은 증가하였다. 전분 입자 내에서 단백질과의 상호작용에 주로 관여를 하는 아밀로펙틴이 산화에 의해 분해되면서 단백질과의 상호작용이 크게 감소하였다.

문 헌

- Alexander RJ. 1995. Modified starches and their uses. In *Food application*. Korea Corn Processing Industry Association, U.S. Grains Council.
- Filer LJ Jr. 1988. Modified starch an update. *J Am Diet Asso* 88: 342 344.
- Wurzburg OB. 1986. Nutritional aspects and safety of modified food starches. *Nutr Rev* 44: 74 79.
- Pomeranz Y. 1991. Carbohydrates: Starch. In *Functional properties of food components*. 2nd ed. Academic Press, New York. Chap 2, p 68 69.
- Hebeish A, Thalouth AE, Refai R, Ragheb A. 1989. Synthesis and characterization of hypochlorite oxidized starches. *Stärke* 41: 293 298.
- Han JS, Ahn SY. 1997. Characteristics in oxidation of Korean corn starch with sodium hypochlorite. *Korean J Food Sci Technol* 29: 1094 1100.
- Han JS, Ahn SY. 2002. The molecular weight distribution in oxidized corn starch. *Korean J Soc Food Cookery Sci* 18: 200 205.
- Han JS. 2002. Changes of dynamic viscoelastic properties of oxidized corn starch suspensions during heating and cooling. *Food Sci Biotechnol* 11: 231 237.
- Billiaderis CG. 1992. Characterization of starch networks by small strain dynamic rheometry. In *Developments in Carbohydrate Chemistry*. Alexander RJ and Zobel HF, eds. America Association of Cereal Chemists, USA. p 87 135.
- Evans ID, Haisman DR. 1979. Rheology of gelatinized starch suspensions. *J Texture Studies* 10: 347 370.
- Doublin ID, Haisman DR. 1981. Rheological studies on starch Flow behavior of wheat starch pastes. *Stärke* 33: 415 420.
- Billiaderis CG, Zawistowski J. 1990. Viscoelastic behavior of aging starch gels Effects of concentration, temperature

Table 5. The effect of added proteins on the dynamic rheological parameters at the oscillatory frequency 0.1 rad/s for 6% oxidized corn starch pastes heated at 95°C

Oxidant ¹⁾	Rheological parameter								
	6% starch paste			6% starch paste+1% SPI			6% starch paste+1% Na caseinate		
	G' ²⁾	G'' ³⁾	η^* ⁴⁾	G'	G''	η^*	G'	G''	η^*
Untreated	87.1	8.6	876.9	68.1	11.9	691.0	38.9	49.1	625.9
0.25	113.8	27.9	1171.6	64.3	7.8	647.3	40.8	49.3	639.9
0.5	54.3	37.4	659.7	30.9	3.8	311.0	41.3	23.9	477.3
0.75	55.5	10.3	564.3	3.4	0.9	35.2	2.4	0.7	24.9

¹⁾% of active Cl/g starch. ²⁾G': Storage modulus. ³⁾G'': Loss modulus. ⁴⁾ η^* : Complex viscosity.

- and starch hydrolysates on network properties. *Cereal Chem* 67: 240 246.
13. Eliasson AC, Bohlin L. 1982. Rheological properties of concentrated wheat starch gels. *Stärke* 34: 267 271.
 14. Eliasson AC. 1986. Viscoelastic behavior during the gelatinization of starch. I. Comparison of wheat, maize, potato and waxy barley starches. *J Texture Studies* 17: 253 265.
 15. Ring SG, Colonna D, I'anson KJ, Kalichvsky MT, Miles MJ, Morris VJ, Orford PD. 1987. The gelation and crystallization of amylopectin. *Carbohydr Res* 162: 227 293.
 16. Hansen LM, Hoseney RC, Faubion TM. 1990. Oscillatory probe rheometry as a tool for determining the rheological properties of starch water systems. *J Texture Studies* 21: 213 224.
 17. Hansen LM, Hoseney RC, Faubion TM. 1991. Oscillatory rheometry of starch water system Effect of starch concentration and temperature. *Cereal Chem* 68: 347 351.
 18. Aguilera JM, Rojas E. 1996. Rheological, thermal and microstructural properties of whey protein cassava starch gel. *J Food Sci* 61: 962 966.
 19. Chen J, Dickinson E. 1998. Viscoelastic properties of heat set whey protein emulsion gels. *J Texture Studies* 24: 411 422.
 20. Chedid LL, Kokini JL. 1992. Influence of protein addition on rheological properties of amylose and amylopectin based starches in excess water. *Cereal Chem* 69: 551 555.
 21. Christianson DD, Bagley EB. 1983. Apparent viscosities of dispersions of swollen corn starch granules. *Cereal Chem* 62: 116 121.
 22. Lindahl L, Eliasson AC. 1986. Effects of wheat proteins on the viscoelastic properties of starch gels. *J Sci Food Agric* 37: 1125 1132.
 23. Cox WP, Merz EH. 1958. Correlation of dynamic and steady viscosities. *J Polym Sci* 28: 619 622.
 24. Beruand S, Launay B. 1985. Rheological properties of wheat flour doughs in steady and dynamic shear: Effect of wheat content and some additives. *Cereal Chem* 72: 48 52.
 25. Kalichevsky MT, Ring SG. 1983. Incompatibility of amylose and amylopectin on aqueous solution. *Carbohydr Res* 162: 323 328.
 26. Bello Pérez LA, Paredes López O. 1994. Starch and amylopectin Rheological behavior of gels. *Stärke* 46: 411 413.
 27. Orford PD, Ring SG, Carroll V, Miles MJ, Morris VJ. 1987. The effect of concentration and botanical source on the gelation and retrogradation of starch. *J Sci Food Agric* 39: 169 177.
 28. Miles MJ, Morris VJ, Orford PD, Ring SG. 1985. The roles of amylose and amylopectin in the gelation and retrogradation of starch. *Carbohydr Res* 135: 271 281.
 29. Kalichevsky MT, Ring SG. 1983. Incompatibility of amylose and amylopectin on aqueous solution. *Carbohydr Res* 162: 323 328.
 30. Svegmarm K, Hermansson A M. 1991. Distribution of amylose and amylopectin in potato starch pastes. Effects of heating and shearing. *Food Structure* 10: 117 129.
 31. Petrofsky KE, Hoseney RC. 1995. Rheological properties of dough made with starch and gluten from several cereal sources. *Cereal Chem* 72: 53 58.
 32. Ahmad FB, William PA. 1999. Effect of salts on the gelatinization and rheological properties of sago starch. *J Agric Food Chem* 47: 3359 3366.
 33. Champenois Y, Rao MA, Walker LP. 1998 Influence of gluten on the viscoelastic properties of starch pastes and gels. *J Sci Food Agric* 78: 127 133.
 34. Ring SG. 1985. Some studies on starch gelation. *Stärke* 37: 80 83.
 35. Kugimiya M, Donovan DW. 1981. Calorimetric determination of amylose content of starches based on formation and melting of the amylose lysolecithin complex. *J Food Sci* 46: 765 770.

(2003년 5월 7일 접수; 2003년 9월 5일 채택)