

Sucrose 첨가가 옥수수전분의 레올로지 특성에 미치는 영향

장윤혁 · 임승택¹ · 유병승*

동국대학교 식품공학과, ¹고려대학교 생명공학원

Effect of Sucrose on the Rheological Properties of Corn Starch

Yoon-Hyuk Chang, Seung-Taik Lim¹ and Byoungseung Yoo*

Department of Food Science and Technology, Dongguk University

¹Graduate School of Biotechnology, Korea University

The steady and dynamic shear rheological properties of gelatinized corn starch dispersions containing different concentrations (0, 10, 20, and 30%) of sucrose were investigated. Power law, Casson, and Herschel-Bulkley models were used to fit the flow behavior of starch dispersions. All the starch dispersions exhibited shear-thinning behavior ($n=0.37-0.58$). The presence of sucrose resulted in the decrease in consistency index (K , K_p), apparent viscosity ($\eta_{a,100}$), and yield stress ($\sigma_{0.1}$, σ_y). Apparent viscosity followed the Arrhenius temperature relationship, indicating that the magnitudes of activation energy (E_a) were in range of 10.80-15.59 kJ/mole. The magnitudes of E_a decreased with increase in sucrose concentration. Dynamic frequency sweeps indicated that starch dispersions exhibited weak gel-like behavior with G' higher than G'' . The Cox-Merz rule with the application of the shift factor (α) was followed by starch dispersions at sucrose concentrations in the range of 0-20%.

Key words: Corn starch, sucrose, rheology, activation energy, Cox-Merz rule

서 론

전분의 구조는 포도당이 수백에서 수천 개씩 중합된 것으로서 결합방법에 따라 아밀로스와 아밀로펙틴으로 구별된다. 아밀로스는 포도당이 α -1,4 결합을 되풀이하여 사슬모양으로 중합한 것이고, 아밀로펙틴은 아밀로스 사슬에 다른 아밀로스 사슬이 α -1,6 결합에 의하여 가지가 난 결합을 하고 있다^(1,2). 아밀로스와 아밀로펙틴으로 구성된 전분입자는 무정형 영역과 결정형 영역이 공존하는 부분적 결정성 중합체 (partially crystalline polymer)로 분류되고 있다. 전분입자에 충분한 물을 가하고 가열하면 결정이 용해되어 무정형 상태로 변하는 상전이 즉 호화가 일어난다. 이렇게 호화된 전분은 준안정 평형상태로 존재하기 때문에 시간과 온도에 따라 이들의 구조와 성질이 변화하며 전분분자의 재배열 및 인접한 분자간의 수소결합 형성이 촉진되어 레올로지 특성의 변화뿐만 아니라 호화과정 중에 이용되었던 물분자의 손실, 재결정화 등의 변화가 발생한다⁽³⁾.

전분의 주요 용도는 물엿, 포도당 등 전분당의 제조원료,

각종 식품의 점증제 등에 광범위하게 쓰이며 대부분 페이스 트(paste) 형태로 제조되어 사용되므로 전분호액 또는 겔의 레올로지 특성은 매우 중요한 자료가 된다. 전분의 레올로지 특성은 전분의 수분함량, 아밀로스와 아밀로펙틴의 비율, pH, 온도, 그리고 여러 유/무기물의 첨가, 호화과정 중의 전분 입자의 팽윤, 아밀로스 리칭(amylose leaching)에 의하여 크게 영향을 받으며 가공공장에서의 동력량 및 전단속도 또한 레올로지 특성에 영향을 주는 요인이 된다⁽¹⁾. 특히 전분의 호화 및 노화에 영향을 미치는 첨가제로 당(sugar)이 많이 사용되어 왔으나 당 첨가가 전분의 레올로지 특성에 미치는 영향에 대해서는 전분 및 당의 종류, 당첨가 농도에 따라 상충된 연구결과를 나타내고 있다^(1,2,4,8).

전분에 관련된 대부분의 연구는 주로 X선회절법, DSC, 투명도 및 용해도 측정에 의해 진행되어 왔으나 전분호액과 겔에 대한 가장 중요한 성질은 레올로지 특성이라 할 수 있다. 따라서 전분의 레올로지 특성은 정밀도가 높은 rheometer를 사용하여 다양한 실험조건에서 정상유동특성 및 동적 점탄특성을 측정함으로써 구조적 분석 측면에서 체계적으로 연구할 필요가 있다. 최근 몇몇 연구자들은^(1,2,4,5) 제어전단응력 (controlled shear-stress) rheometer를 사용하여 구조파괴가 거의 없는 선형 점탄성 범위에서 진동(oscillation)측정으로부터 동적 점탄성(dynamic viscoelasticity)을 결정하여 전분의 레올로지 특성을 분석하였다. 따라서 동적점탄성 측정은 전분호액과 겔의 구조적 변화를 측정하는데 매우 유용한 수단으로

*Corresponding author: Byoungseung Yoo, Department of Food Science and Technology, Dongguk University, 3 Pil-dong, Chung-gu, Seoul 100-715, Korea
 Tel: 82-2-2260-3368
 Fax: 82-2-2264-3368
 E-mail: bsyoo@dongguk.edu

사용되고 있다. 그럼에도 불구하고 당류-옥수수전분 복합시스템에서의 당 함량에 따른 전분호액의 동적 레올로지 특성 연구는 상대적으로 미미한 상태이다.

본 연구에서는 제어전단응력 rheometer를 사용하여 sucrose-옥수수전분 복합시스템에서의 전분호액을 여러 sucrose 농도 범위(0-30%)에서 정상유동특성 및 동적점탄 특성을 측정함으로써 sucrose첨가가 옥수수 전분호액의 레올로지 특성에 미치는 영향에 대하여 분석하였다.

재료 및 방법

재료

본 연구에 사용된 옥수수전분(수분함량 12%)은 (주)삼양제넥스로부터 제공받았으며 전분에 첨가되는 sucrose는 양리화학 제품을 사용하였다.

전분호액의 제조

5% 옥수수 전분용액(w/w)과 sucrose를 혼합한 분산액은 전분용액에 대해 0, 10, 20, 30% 농도로 sucrose를 첨가하여 실온에서 30분 동안 교반하여 제조되었다. 이들 분산용액은 jacket vessel에서 자석교반기를 사용하여 교반하면서 95°C로 30분간 가열하였으며 가열이 끝난 시료는 즉시 rheometer로 옮겨져서 호화 전분 분산액의 레올로지 특성이 측정되었다.

정상유동특성 측정

정상유동특성은 95°C 전분호액을 10, 25, 40, 55°C로 설정된 Carri-Med CSL 100 Rheometer(TA Instruments, New Castle, DE, USA)의 plate-plate system(직경: 4 cm, gap: 500 μm)을 사용하여 0.4-1000 s⁻¹의 광범위한 전단속도 (γ̇)범위에서 전단응력(σ)을 측정하였다. 여기에서 얻은 σ와 γ̇로부터 power law 모델식, Casson 모델식, Herschel-Bulkley 모델식에 적용되어 유동성지수(flow behavior index, n), 점조도지수(consistency index, K), 및 항복응력(yield stress) 등 레올로지 매개변수들이 얻어졌다.

$$\text{Power law 모델: } \sigma = K \cdot \dot{\gamma}^n \tag{1}$$

$$\text{Casson 모델: } \sigma^{0.5} = K_{oc} + K_c \dot{\gamma}^{0.5} \tag{2}$$

$$\text{Herschel-Bulkley model: } \sigma = \sigma_h + K_h \dot{\gamma}^{n_h} \tag{3}$$

여기서 γ̇는 전단속도(s⁻¹), σ는 전단응력(Pa), K와 K_h는 점조도 지수(consistency index, Pa · secⁿ), n와 n_h는 유동성 지수(dimensionless), σ_{oc}와 σ_h는 항복응력을 나타낸다. 또한 power law 모델식에 의하여 얻어진 n, K로부터 전단속도 100 s⁻¹에서의 겔보기 점도(apparent viscosity, η_{a,100})를 측정하여 10-55°C의 온도범위에서 겔보기 점도의 효과를 나타내었으며 겔보기 점도는 η_{a,100} = K · γ̇ⁿ로부터 결정되었다.

동적 점탄성 측정

전분호액의 동적 점탄성 측정(dynamic viscoelasticity)은 95°C 전분호액을 25°C로 설정된 TA Rheometer(AR 1000, TA Instruments Inc., USA)의 plate-plate system(직경: 4 cm, gap: 500 μm)을 사용하여 수행되었다. 실험에 앞서 변형력과 변형을 사이에 선형관계가 나타나는 구간을 결정하기 위해

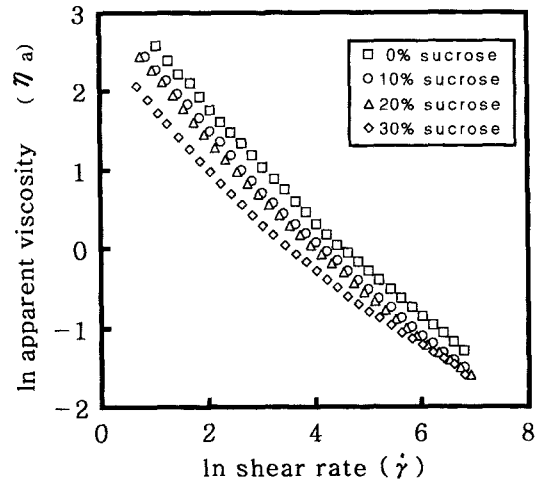


Fig. 1. Dependence of apparent viscosity of corn starch dispersions on shear rate.

1Hz에서 stress sweep가 수행되었으며 여기서 선형 점탄성 구간에 있는 15Pa의 변형력이 결정되어 이 변형력에서 전분호액의 동적 점탄성 수치들이 얻어졌다. 동적 점탄성 실험은 0.1-10Hz 범위내에서 frequency sweep에 의하여 수행되었으며 저장탄성률(storage modulus, G')과 손실탄성률(loss modulus, G'') 및 복소점도(complex viscosity, η*)를 측정하였다. 옥수수 전분호액의 정상유동특성 및 동적 점탄성 측정 데이터는 TA Rheometer Data Analysis Software(version VI.1.76)에 의해 각각 계산되었다.

결과 및 고찰

정상유동특성

Fig. 1은 sucrose가 첨가된 전분호액의 전단속도에 대한 겔보기 점도 변화를 나타내고 있으며 전단속도가 증가함에 따라 겔보기 점도가 감소함을 나타냈다. 이는 전분호액이 비뉴턴 유체임을 의미한다. 따라서 sucrose 첨가에 따른 전분호액의 정상유동특성은 power law 모델, Casson 모델 및 Herschel-Bulkley 모델식에 의해 유동성지수(n, n_h), 점조도 지수(K, K_h), 및 항복응력(σ_{oc}, σ_h)이 결정되었다(Table 1). 이들 전분호액들은 넓은 전단속도 범위 내에서 높은 결정계수(R²=0.98-0.99)를 나타내면서 유동 모델식들에 모두 잘 적용되었다. 또한 n값은 sucrose의 첨가에 관계없이 1 보다 낮은 범위(0.36-0.56)에 있었으며 sucrose 농도가 증가함에 따라 n 값은 증가하는 경향을 나타냈다. 따라서 sucrose 농도가 증가함에 따라 약한 전단담화(shear-thinning) 유체거동을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

Table 1에서 보여주고 있듯이 여러 온도(10, 25, 40, 55°C)에서 측정된 전분호액의 점조도 지수(K, K_h)와 항복응력(σ_{oc}, σ_h) 수치들은 sucrose를 첨가하지 않은 전분호액에서 가장 높은 수치를 보여 주었으며, sucrose 첨가량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타냈다. Ahmad와 Williams⁽¹⁾는 당 첨가에 따른 sago 전분의 열적 특성 및 레올로지 특성 연구에서 당 첨가 농도가 증가함에 따라 팽윤정도와 아밀로스 리칭(amylose leaching)이 감소하는 경향을 보여 주었으며, 특히 아밀로스

Table 1. Effect of sucrose concentration (%) on power law model parameters (n, K), Casson model parameters(σ_{oc} , η_c) and Herschel-Bulkley model parameters (n_h , K_h , σ_h) of corn starch dispersions at 10, 25, 40, 55°C

Sucrose concentration (%)	Temperature (°C)	Power law			Casson			Herschel-Bulkley			
		n (-)	K (Pa · s ⁿ)	R ²	σ_{oc} (Pa)	η_c (Pa · s)	R ²	n_h (-)	K_h (Pa · s ⁿ)	σ_h (Pa)	R ²
0	10	0.43	16.33	0.99	37.60	0.160	0.99	0.52	9.40	27.72	0.99
	25	0.38	14.23	0.99	31.18	0.088	0.99	0.52	6.06	20.48	0.99
	40	0.36	13.09	0.99	25.33	0.073	0.99	0.45	6.19	11.79	0.99
	55	0.39	7.88	0.98	16.51	0.057	0.99	0.59	2.02	10.60	0.97
10	10	0.43	15.64	0.99	36.22	0.157	0.99	0.51	9.09	19.17	0.99
	25	0.40	13.94	0.99	30.60	0.108	0.99	0.52	6.06	19.03	0.99
	40	0.40	10.57	0.99	22.04	0.829	0.99	0.50	5.58	11.20	0.99
	55	0.43	6.42	0.98	14.27	0.066	0.99	0.56	2.48	10.14	0.98
20	10	0.43	14.72	0.99	33.54	0.151	0.99	0.52	7.83	18.98	0.99
	25	0.44	11.10	0.99	26.21	0.118	0.99	0.57	4.16	18.54	0.99
	40	0.43	8.66	0.98	19.10	0.084	0.99	0.56	3.32	10.39	0.98
	55	0.48	4.60	0.98	11.14	0.076	0.99	0.57	2.50	6.29	0.98
30	10	0.56	5.96	0.99	16.41	0.178	0.99	0.63	3.58	10.13	0.99
	25	0.56	4.68	0.99	14.71	0.142	0.99	0.67	2.56	9.72	0.99
	40	0.51	3.96	0.98	13.85	0.112	0.99	0.61	2.19	9.16	0.98
	55	0.54	3.64	0.99	9.62	0.096	0.99	0.61	1.91	4.89	0.99

리칭이 감소함에 따라 저장 탄성률이 감소함을 나타냈다. 또한 Okechukwu와 Rao⁽⁹⁾, Rao 등⁽¹⁰⁾의 연구결과에서는 팽윤 전분입자의 크기가 감소함에 따라 점조도 지수가 감소함을 나타냈다. 따라서 옥수수 전분호액은 sucrose 첨가로 인해 팽윤정도와 아밀로스 리칭이 감소하여 점조도 지수와 항복응력 수치가 낮아지는 것으로 판단될 수 있다.

온도의존성

전분호액의 sucrose 첨가에 의한 측정온도에 따른 온도의존성은 Arrhenius 식(4)을 이용하여 결정될 수 있다⁽¹¹⁾.

$$\eta_{a,100} = A \exp(E_a/RT) \tag{4}$$

여기서, $\eta_{a,100}$ 는 전단속도 100 s⁻¹에서의 겔보기 점도(apparent viscosity, Pa · s)를 나타내고, A는 상수(constant, Pa · s),

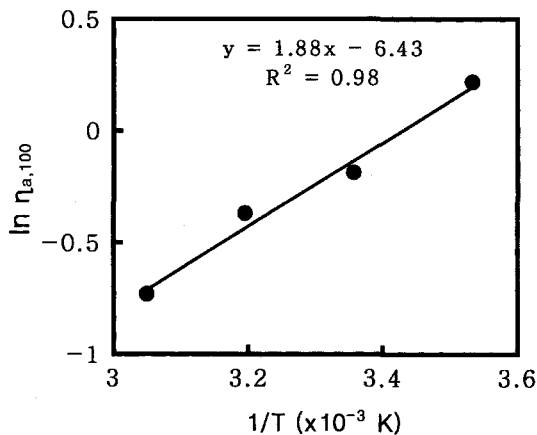


Fig. 2. Apparent viscosity ($\eta_{a,100}$) at 100 s⁻¹ as a function of temperature for a corn starch dispersion (no sugar).

T는 절대온도(absolute temperature, K), R은 기체상수(gas constant, 8.3144 J/mole), 그리고 E_a는 활성화에너지(activation energy, kJ/mole)을 나타낸다. E_a는 ln $\eta_{a,100}$ 과 1/T의 관계를 도식화하여 얻어진 직선의 기울기로부터 결정되었다(Fig. 2). Table 2에서 나타낸 바와 같이 전분호액의 활성화에너지는 sucrose의 농도가 증가함에 따라 감소하였으며 sucrose의 첨가에 관계없이 높은 상관관계를 나타내었다(R²=0.97-0.99). 따라서 온도가 겔보기 점도에 미치는 영향이 sucrose 첨가에 의해 영향을 받으며 sucrose농도가 증가함에 따라 온도에 의한 점도변화가 감소함을 알 수 있었다.

시간의존성

전분호액의 thixotropic거동은 전단속도를 증가하다가 감소시키면서 전단응력의 변화를 측정함으로써 얻어졌다. Fig. 3은 모든 옥수수 전분호액에 대한 전단상승 유동곡선과 전단하강 유동곡선이 서로 일치하지 않고 hysteresis loop를 형성하여 시간의존특성을 가지고 있음을 보여주고 있다. Thixotropic 거동은 전단시간에 따라 계속적으로 구조가 파괴되거나 재구성되고 있음을 의미하며 이때 hysteresis loop의 면적은 전단하는 동안 구조의 파괴정도를 나타낸다⁽¹²⁾. Fig. 3에서 보여주고 있듯이 전분호액은 sucrose의 첨가에 의해 hys-

Table 2. Activation energies of corn starch dispersions with different sucrose concentrations

Sucrose concentration (%)	A (Pa · s)	Activation energy (kJmol ⁻¹)	R ²
0	0.0016	15.59	0.98
10	0.0020	14.89	0.99
20	0.0019	14.87	0.98
30	0.0085	10.80	0.97

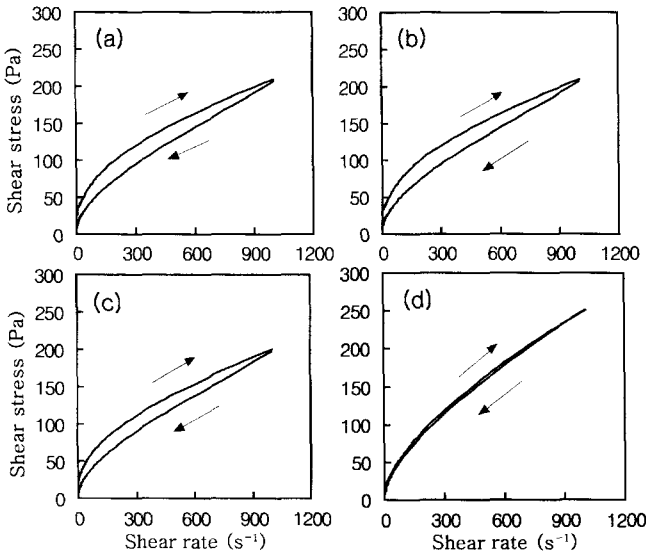


Fig. 3. Thixotropic flow curves for corn starch dispersions with different sucrose concentrations at 25°C: (a) 0%, (b) 10%, (c) 20%, (d) 30%.

teresis loop의 면적이 감소하였으며, 또한 sucrose의 농도가 증가함에 따라 hysteresis loop의 면적은 감소하였다. 특히 sucrose 30%를 첨가한 전분호액의 경우는 hysteresis loop를 거의 형성되지 않아서 전단시간에 따른 구조의 파괴가 거의 없는 것으로 나타났다.

동적 점탄특성

Fig. 4는 전분호액의 주파수(angular frequency, ω)에 따른 저장탄성률(storage modulus, G'), 손실탄성률(loss modulus, G'') 및 복소점도(complex viscosity, η^*)의 변화를 나타낸 것이다. 적용된 주파수 범위 내에서 ω 가 증가함에 따라 G' 과 G'' 는 증가하였으며 G' 의 수치가 G'' 수치보다 높게 나타났다(Fig. 4). 따라서 전분호액은 점성적 성질에 비해 탄성적 성질이 보다 우세하며 η^* 는 ω 가 증가함에 따라 감소하고 있어 전분호액은 전단담화 유동특성을 가지고 있음을 확인할 수 있었다. Table 3은 $\ln G'$ 및 $\ln G''$ 과 $\ln \omega$ 와의 관계식들 식 (5)와 (6)로부터 선형회귀에 적용하여 얻어진 G' 과 G'' 의 절편(K', K''), 기울기(n', n'') 및 결정계수(R^2)를 보여주고 있으며 sucrose 30%를 제외하고는 G' 과 G'' 모두 기울기(0.08-0.10)가 낮고 결정계수($R^2=0.96-0.99$)가 높은 직선관계를 나타냈다.

$$G' = K'(\omega)^{n'} \tag{5}$$

$$G'' = K''(\omega)^{n''} \tag{6}$$

Sucrose 농도 증가에 따라 K' 과 K'' 의 수치가 감소하고 있어 sucrose 첨가가 전분호액의 점성 및 탄성성질을 감소시킬 수 있었다(Table 3). Ahmad와Williams⁽⁵⁾에 의하면 sucrose의 첨가는 호화과정 동안 아밀로스 유출량이 감소하여 G' 값을 현저히 감소시켜 주며 또한 Prokopowich⁽⁷⁾는 sucrose의 첨가에 의해 아밀로스와 아밀로펙틴의 재회합을 방해하여 G' 값은 현저히 감소시킨다고 보고하였다. 일반적으로 구조적 측면에서 볼 때 강한 겔인 경우 기울기(n', n'')가 거의 "0"에 접근하지만 약한 겔이나 고농도의 용액인 경우 양

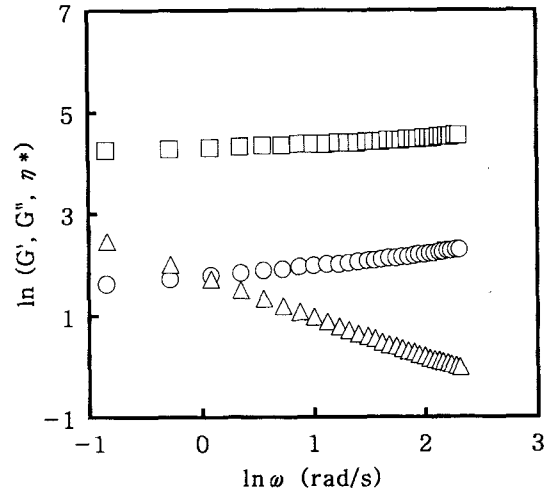


Fig 4. Plot of $\ln \omega$ vs. $\ln G'$ (□), $\ln G''$ (○), $\ln \eta^*$ (△) for a corn starch dispersion (no sugar) at 25°C.

Table 3. Slopes and intercepts ($\text{Pa} \cdot \text{s}$) of $\ln (G', G'')$ versus \ln frequency ($\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$) data of corn starch dispersions with different sucrose concentrations at 25°C

Sucrose concentration (%)	G'			G''		
	n'	K'	R^2	n''	K''	R^2
0	0.08	70.24	0.97	0.21	5.67	0.99
10	0.09	41.80	0.97	0.21	5.44	0.99
20	0.10	35.52	0.96	0.28	4.82	0.99
30	0.98	0.65	0.99	0.54	2.89	0.99

(+)의 기울기를 나타낸다⁽¹³⁾. 따라서 sucrose의 첨가에 의해 옥수수 전분호액은 더욱 약한 겔과 같은 구조적 성질을 나타낼 수 있고 이러한 효과는 농도의 증가와 함께 비례함을 알 수 있었다. 따라서 옥수수 전분에 sucrose를 첨가하면 전분 분자내의 결합력이 약해져서 약한 겔을 형성하여 전분의 레올로지 특성을 개선할 수가 있음을 확인할 수 있었다.

Cox-Merz 중첩원리

동적전단(dynamic shear) 데이터는 정상전단(steady shear) 데이터보다 쉽게 데이터를 얻을 수 있기 때문에 $\ln \eta^* - \ln \omega$ 와 $\ln \eta_a - \ln \dot{\gamma}$ 의 상호관계는 여러 연구가에 의해 관심의 대상이 되어 왔으며, Cox-Merz⁽¹⁴⁾의 중첩(superposition)원리가 여러 생체고분자 용액에 적용되어 왔다. 그러나 Cox-Merz 원리는 몇몇 합성 혹은 생체고분자 분산용액들에는 잘 적용되어 왔으나 엉킴(entanglement) 및 응집(aggregate)현상이 있는 생체고분자 용액이나 점착성(thickness) 및 퍼짐성(spreadability)이 있는 유체 및 반고형 식품들에는 적용되지 않았다⁽¹⁵⁾. 본 연구에서 사용된 전분호액 또한 Cox-Merz 원리가 적용되지 않았으며 sucrose를 30%첨가한 시료를 제외하고는 η^* 가 η_a 보다 높은 수치를 보여주면서 $\ln \eta^* - \ln \omega$ 와 $\ln \eta_a - \ln \dot{\gamma}$ 의 관계에서 오차가 발견되었다(Fig. 5). 일반적으로 이들 오차($\eta^* > \eta_a$)는 측정시 적용되는 변형율의 강도에 따른 시료의 구조 파괴 정도를 의미한다. 즉 동적점탄성 측정에서는 선형성이 인정되는 작은 진폭(낮은 변형율)하에서 수행되므로 평형상태를 유지하고 있어 구조의 파괴가 나타나지 않지만 정상유동성 측

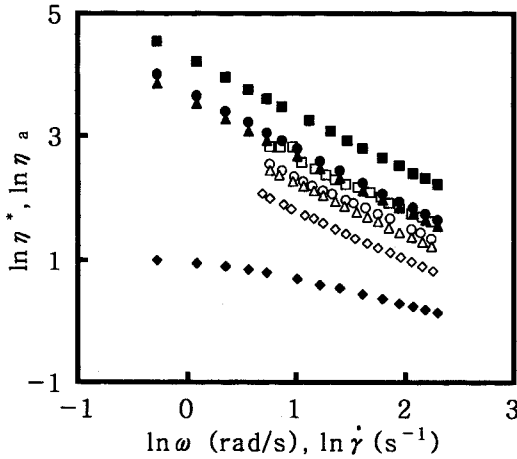


Fig. 5. Comparison of steady flow viscosity (η_a) and complex viscosity (η^*) for corn starch dispersions with different sucrose concentrations at 25°C - 0% sucrose (\square, \blacksquare), 10% sucrose (\circ, \bullet), 20% sucrose ($\triangle, \blacktriangle$), 30% sucrose (\diamond, \blacklozenge). open symbol: η_a , closed symbol: η^* .

정에서는 높은 정상전단(높은 변형율)이 적용되어 분자내 혹은 분자간의 구조적 결합을 파괴시킨다⁽¹⁶⁾. 따라서 이들 오차 정도는 시료의 분자내 혹은 분자간의 구조적 결합의 강도를 의미할 수 있다. Sucrose를 30% 첨가한 시료인 경우는 다른 시료들과는 달리 η^* 가 η_a 보다 낮은 수치를 보이면서 다른 시료와 유사한 Cox-Merz 원리에서의 오차를 나타냈다. Da Silva 등⁽¹⁷⁾은 cross-linked waxy maize 전분호액이 Cox-Merz 원리에 벗어난 이와 유사한 거동($\eta^* < \eta_a$)을 발견했으며, 이와 같은 현상은 전분분산액의 이성질적 성질로부터 기인되는 것으로 보고 있다.

Fig. 5에서 나타낸 바와 같이 $\ln \eta^* - \ln \omega$ 와 $\ln \eta_a - \ln \dot{\gamma}$ 의 관계에 대한 이들 두 직선은 서로 수평으로 진행되고 있어 ω 에 이동인자(shift factor, α)를 곱함으로써 두 직선이 하나의 직선으로 중첩될 수 있다. 따라서 두 직선의 중첩을 위해 Cox-Merz 원리는 다음 식에 의해 변형될 수 있다(식 7).

$$\eta^*(\omega\alpha) = \eta_a(\dot{\gamma}) \quad | \quad \omega = \dot{\gamma} \quad (7)$$

Sucrose를 첨가하지 않은 시료와 sucrose를 10%, 20%를 첨가한 시료들의 이동인자는 0.610, 0.465, 0.449로 각각 나타났으며 sucrose 농도가 증가함에 따라 이동인자 수치는 감소하였다. 따라서 이들 결과로부터 옥수수 전분호액 시료들의 동적점탄성 수치에 이동인자를 적용함으로써 동적점탄성 수치로부터 정상유동성 수치가 예측될 수 있으며, 또한 sucrose 첨가 농도가 증가함에 따라 전분 분자간의 구조적 결합이 약한 전분호액이 형성됨을 알 수 있었다.

요 약

Sucrose첨가가 옥수수 전분호액의 레올로지 특성에 미치는 영향에 대하여 평가하였다. 전분호액은 sucrose 첨가에 관계없이 전단담화 비뉴턴 거동($n = 0.37 - 0.58$)을 나타내었으며, 또한 sucrose의 농도가 증가함에 따라 점조도지수(K, K_p), 결

보기 점도($\eta_{a,100}$)값은 크게 감소하였고 항복응력(σ_{oc}, σ_b)도 감소하는 경향을 나타내었다. 전분호액의 겔보기점도에 대한 온도의존성은 Arrhenius식에 의하여 높은 상관관계를 나타내었으며, 활성화에너지는 각각 10.80-15.59 kJ/mole을 나타내었고 농도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. 적용된 주파수(ω) 범위에서 저장탄성률(G')의 수치가 손실탄성률(G'')보다 높게 나타났으며 sucrose의 농도가 증가함에 따라 감소하여 탄성 및 점성 성질을 감소시켜 주었다. 이들 동적데이터로부터 전분호액은 sucrose 첨가에 의해 더욱 약한 겔과 같은 구조적 성질을 나타냄을 알 수 있었다. 그러므로 sucrose 첨가는 전분호액 내의 입자들의 재회합을 방해하여 전분호액의 레올로지 특성을 변화시킨다. Sucrose 30%를 첨가한 옥수수 전분호액을 제외한 모든 시료들은 이동인자(shift factor, α)를 사용함으로써 Cox-Merz 중첩 원리에 잘 적용되었다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(2000-2-22000-002-3) 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

문 헌

- Al-Malah, K.I., Azzam, M.O.J. and Abu-Jdayil, B. Effect of glucose concentration on the rheological properties of wheat-starch dispersions. *Food Hydrocoll.* 14: 491-496 (2000)
- Ahmad, F.B., and Williams, P.A. Rheological properties of sago starch. *J. Agric. Food Chem.* 46: 4060-4065 (1998)
- Baik, M.Y., Kim, K.J., Cheon, K.C., Ha, Y.C., Kim, W.S. Effect of moisture content on recrystallization of rice starch gels. *Korean. J. Food Sci. Technol.* 29: 939-946 (1997)
- Evageliou, V., Richardson, R.K. and Morris, E.R. Effect of sucrose, glucose, and fructose on gelation of oxidised starch. *Carbohydr. Polym.* 42: 261-272 (2000)
- Ahmad, F.B., and Williams, P.A. Effect of sugars on the thermal and rheological properties of sago starch. *Biopolymers* 50: 401-412 (1999)
- Hoover, R. and Namal, S. Effect of sugars on the thermal and retrogradation properties of oat starches. *J. Food Biochem.* 20: 65-83 (1996)
- Prokopowich, D.J. and Biliaderis, C.G. A comparative study of the effect of sugars on the thermal and mechanical properties of concentrated waxy maize, wheat, potato and pea starch gels. *Food Chem.* 52: 255-262 (1995)
- Germani, R., Ciacco, C.F., and Rodriguez-Amaya, D.B. Effect of sugars, lipids and type of starch on the mode and kinetics of retrogradation of concentrated corn starch gels. *Starch*, 35: 377-381 (1983)
- Okechukwu, P.E. and Rao, M.A. Role of granule size and size distribution in the viscosity of cowpea starch dispersions heated in excess water. *J. Texture Studies*, 27: 159-173 (1996)
- Rao, M.A., Okechukwu, P.E., Da Silva, P.M.S. and Oliveira, J.C. Rheological behavior of heated starch dispersions in excess water; role of starch granule. *Carbohydr. Polym.* 33: 273-283 (1997)
- Rao, M.A. Rheological behavior of processed fluid and semisolid foods, pp. 219-254. In: *Rheology of Fluid and Semisolid Foods*, Rao, M. A.(ed), Aspen Pub. Maryland, USA (1999)
- Shoemaker, C.F. and Figoni, P.I. Time-dependent rheology behavior of foods. *Food Tech.* 38: 112-118 (1984)
- Ross-Murphy, S.B. Rheological methods. pp. 138-199 In: *Biophysical Methods in Food Research*. Chan, H.W.S. (ed), Black-

- well Scientific Publications, London, UK (1984).
14. Cox, W.P. and Merz, E.H. Correlation of dynamic and steady viscosities. *J. Poly. Sci.* 28: 619-622 (1956)
 15. Da Silva, J.A.L. and Rao, M.A. Viscoelastic properties of food hydrocolloid dispersions. pp. 285-316. In: *Viscoelastic Properties of Foods*. Rao, M.A. and Steffe, J.F. (ed.), Elsevier Applied Science Publishers, London, UK (1992)
 16. Chamberlain, E.K. and Rao, M.A. Rheological properties of acid converted waxy maize starches in water and 90% DMSO/10% water. *Carbohydr. Polym.* 40: 251-260 (1999)
 17. Da Silva, P.M.S., Oliveria, J.C. and Rao, M.A. Rheological properties of heated cross-linked waxy maize starch dispersions. *Inter. J. Food Properties* 1: 23-34 (1998)
-

(2001년 9월 25일 접수)