

고구마전분-sucrose 복합물의 레올로지 특성

조선아 · 유병승*
동국대학교 식품공학과

Rheological Properties of Sweet Potato Starch-sucrose Composite

Sun-A Cho and Byoungseung Yoo*

Department of Food Science and Technology, Dongguk University

Abstract Effects of sucrose at different concentrations (0, 10, 20, and 30%, w/w) on steady and dynamic shear rheological properties of sweet potato starch (SPS) paste (5%, w/w) were investigated. The steady shear rheological properties of SPS-sucrose composites were determined from rheological parameters based on power law and Casson flow models. At 25°C all the samples showed pseudoplastic and thixotropic behavior with high yield stress. Consistence index (K), apparent viscosity ($\eta_{a,100}$), and yield stress (σ_{oc}) values of SPS-sucrose composites decreased with increasing sucrose concentration from 10% to 30%. The decrease of swelling power was observed at higher sucrose concentration (>20%) and the low swelling power yielded a lower K, $\eta_{a,100}$, and σ_{oc} values. In temperature range of 25-70°C, Arrhenius equation adequately assessed variation with temperature. Oscillatory test data showed weak gel-like behavior. Magnitudes of storage (G') and loss (G'') moduli increased with an increase in sucrose concentration and frequency. The SPS-sucrose composite at 30% concentration closely followed the Cox-Merz superposition rule.

Key words: sweet potato starch, rheology, sucrose, storage modulus, Cox-Merz rule

서 론

고구마는 아프리카와 아시아 지역에서 널리 생산되어 여러 가지 식품을 제조하는데 사용되고 있으며, 우리나라에서는 고구마를 주로 삶거나 구어서 직접 섭취한다. 또한 고구마로부터 전분을 제조하여 시럽을 생산하거나 당면 및 과자류 제조의 원료로 사용되고 있다. 2006년 현재 국내 산업에서의 고구마전분 사용량은 옥수수전분과 감자전분 다음으로 가장 높다(1). 고구마 및 고구마전분의 이화학적 특성은 품종, 토양 등 재배조건에 따라 차이를 보인다. 우리나라의 고구마 주요 생산지는 기후가 온난한 제주도 지역을 중심으로 분포되어 있으며, 이들 전분입자의 크기는 5-25 mm이고 amylose 함량은 대략 8.5-37.7% 범위에 있어 품종 간에 큰 차이를 나타내고 있다(2). 일반적으로 고구마전분은 옥수수전분에 비해 페이스트의 점도가 높고 투명하며 젤의 냉·해동 안정성이 우수하여 다양한 식품을 제조하는데 사용되고 있다(3).

Amylose와 amylopectin으로 구성되어 있는 전분은 무정형 영역과 결정형 영역이 공존하는 부분적 결정성 중합체로 분류되고 있으며, 또한 높은 밀도로 인하여 물에서 침전하게 되며, 찬 물에서는 비용해성을 나타낸다(4). 이러한 전분 현탁액을 호화 온도 이상으로 가열하면 전분입자가 팽윤되어 결정형 영역에서 무정형 영역으로 상전이가 일어나면서 점성을 가진 호화전분 페이스트

가 된다(5). 이들 전분 페이스트를 일정 기간 저장하게 되면 팽윤된 입자에서 물이 빠져 나오면서 전분 상호간 체결합을 통해 노화가 진행된다(6). 따라서 전분의 노화를 방지하기 위해서 친연전분을 변성시키거나 혹은 당, gum 등의 첨가제를 사용하고 있으며, 이들 첨가제의 종류와 농도에 의해 전분의 레올로지 특성은 크게 영향을 받는다(7). 특히 당류는 전분 페이스트의 호화와 노화에 중요한 역할을 한다고 알려져 왔다.

일반적으로 전분-당 복합물에서 당의 -OH기와 물의 -OH기가 수소 결합을 통해 전분 페이스트의 점성과 탄성을 증가시키며, 전분의 이동성을 감소시켜 노화를 방지시키는 것으로 알려져 왔다(8). 따라서 전분-당 복합물의 구성성분간의 상호작용을 이해한다는 것은 당이 혼합된 전분 식품들의 레올로지 특성을 개선하는데 매우 중요하다. 지금까지 국내산 고구마전분에 대한 연구는 주로 품종간의 이화학적 특성에 대해 많이 보고되어 왔으나(2,3,9), 고구마전분-당 복합물의 레올로지 특성, 특히 sucrose가 첨가된 고구마전분 페이스트의 레올로지 특성 연구는 미진한 상태이다. 따라서 본 연구의 목적은 정상유동 특성 및 동적 점탄특성 측정을 통하여 sucrose 농도가 고구마전분 페이스트의 레올로지 특성에 미치는 영향을 관찰하는데 있다.

재료 및 방법

재료 및 전분 페이스트 제조

고구마전분(amylose 함량: 25.6%) 페이스트(5%, w/w)는 서용산업(제주도)으로부터 구입한 고구마전분과 증류수를 혼합하여 준비하였고, sucrose(Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, USA)를 전분용액에 대해 0%, 10%, 20%, 30% 농도로 첨가하여 제조하였다. 고구마전분-sucrose 복합물은 실온에서 자석 교반기로 1시

*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
Received December 31, 2007; accepted January 25, 2008

간 교반하였고, water bath에서 교반하면서 95°C로 30분 동안 가열하였다. 가열이 끝난 시료는 즉시 rheometer로 옮겨서 고구마전분-sucrose 복합물의 레올로지 특성을 측정하였다.

일반성분의 분석

고구마전분의 일반성분은 AOAC방법(10)에 따라 수분, 조단백질, 조지방 질, 조회분 함량을 분석하였으며, 탄수화물은 100에서 이들 함량을 뺀 값으로 하였다.

정상유동 특성 측정

정상유동 특성은 25°C로 설정된 rheometer(Carri-Med CSL 100, TA Instruments, New Castle, DE, USA)의 plate-plate system(직경: 4 cm, 간격: 500 μm)을 이용하여 측정하였다. 시료를 rheometer의 plate에 놓고 1.0-1000 sec⁻¹의 광범위한 전단속도($\dot{\gamma}$) 범위에서 측정하였다. 시료의 정상유동 특성은 power law 모델식(식 1)과 Casson 모델식(식 2)을 적용하였다.

$$\text{Power law model: } \sigma = K \cdot \dot{\gamma}^n \quad (\text{식 1})$$

$$\text{Casson model: } \sigma^{0.5} = K_{oc} + K_c \dot{\gamma}^{0.5} \quad (\text{식 2})$$

여기서 σ 는 전단응력(Pa), $\dot{\gamma}$ 는 전단속도(sec⁻¹), K는 점조도 지수(consistency index, Pa·sⁿ), 그리고 (K_c)²는 Casson plastic viscosity(η_c)이다. Casson 모델식에 따른 항복응력(σ_{oc})은 전단속도-전단응력의 선형회귀 곡선으로부터 얻었다. Power law 모델식에 의하여 얻어진 유동성 지수(n)와 점조도 지수(K)로부터 전단속도 100 sec⁻¹에서의 겔보기 점도(apparent viscosity, $\eta_{a,100}$)를 계산하였다.

동적 점탄특성 측정

동적 점탄특성은 25°C로 설정된 rheometer(AR1000, TA Instruments, New Castle, DE, USA)의 plate-plate system(직경: 4 cm, 간격: 500 μm)을 이용하여 3% strain에서 진동수(frequency, ω) 0.63-62.8 rad/sec범위에서 저장 탄성률(storage modulus, G'), 손실 탄성률(loss modulus, G''), 그리고 복소 점도(complex viscosity, η^*) 및 tan δ 를 측정하였다.

팽윤력 측정

고구마전분 페이스트(0.5%, w/w)를 제조하여, 여러 종류의 당을 첨가한 고구마전분-sucrose 복합물의 팽윤력을 측정하였다. 고구마전분-sucrose 복합물은 실온에서 자석 교반기로 1시간 교반하였고, water bath에서 교반하면서 95°C로 30분 동안 가열하였다. 가열된 고구마전분-sucrose 복합물을 얼음물을 이용하여, 빠르게 상온으로 냉각시킨 후 3,000 rpm에서 20분 동안 원심분리하였다. 팽윤력(g/g)은 건조전분의 무게와 침전물의 무게비율로 계산하였다(11).

결과 및 고찰

일반성분 분석

고구마전분의 수분함량, 조단백질, 조지방, 탄수화물, 회분 함량은 각각 13.2%, 0.58%, 0.10%, 85.92%, 0.20%이며, amylose 함량은 25.6%로 나타났다.

정상유동 특성

Sucrose를 첨가하지 않은 control과 sucrose 농도 (10%, 20%, 그리고 30%)를 달리하여 첨가된 고구마전분 페이스트의 정상 유동 특성은 power law 모델 및 Casson 모델을 적용하여 여러 가지 레올로지 계수를 결정하였다. Table 1은 25°C에서의 정상유동 특성의 모든 계수($\eta_{a,100}$, K, n, σ_{oc})를 나타내고 있다. 모든 유동성 지수(n)값은 1보다 낮은 범위(n=0.31-0.44)에 있어 전단담화(shear-thinning) 거동을 나타냄을 알 수 있었다. n값은 sucrose 농도 증가와 함께 증가하여, 농도가 증가함에 따라 약한 전단담화 거동을 나타내었다.

Morris(12)에 의하면 이와 같은 전단담화 거동은 전단하는 동안 영겨리는 다당류 분자의 그물구조가 파괴되기 때문에 나타나는 현상으로 설명하고 있다. 즉, 영킨 그물 구조 시스템에서 전단 속도가 증가함에 따라 분자 간 영킴의 파괴 속도는 이들 분자의 재형성 속도보다 크기 때문에 나타나는 거동이라 할 수 있다. 고구마전분 페이스트는 31.8-50.8 Pa 범위를 가진 항복 응력(σ_{oc})값을 나타내었으며, 점조도 지수(K)와 σ_{oc} 은 sucrose 농도가 증가함에 따라 낮아지는 것으로 나타났다(Table 1). 대체적으로 $\eta_{a,100}$ 을 제외한 다른 레올로지 측정치들은 control(0% sucrose)과 10% sucrose 농도 사이에서는 적은 변화를 보인 반면에 20% 이상의 농도에서는 큰 차이를 나타냈다. 특히, 30% 농도에서의 레올로지 측정값은 control에 비해 큰 격차를 보였다. Ahmad와 Williams(13)에 의한 당 첨가에 따른 sago전분의 레올로지 특성연구에서는 당 농도가 증가함에 따라 전분의 팽윤과 amylose leaching이 감소하여 전분호액의 점탄성이 낮아진다고 설명하고 있다. 따라서 고구마전분의 정상유동 특성은 sucrose의 농도에 의존함을 알 수 있다.

전분의 팽윤력은 전분의 종류에 따라 그 정도가 크게 다르며, 전분분자가 충분한 물 존재 하에 가열될 때 결정구조는 파괴되고 물 분자가 amylose와 amylopectin에 노출되어 있는 hydroxyl기와 수소결합을 하게 된다. 이로 인해 전분입자의 팽윤력이 증가 된다. 여기서 전분입자의 팽윤력은 무정형 결정 영역 내에 있는 전분 사슬간의 결합 정도를 나타낸다(14). Table 1에서 보여준 바와 같이 본 실험의 sucrose 농도 범위(10-30%)에서 sucrose 농도가 K와 σ_{oc} 값이 감소하면서 팽윤력도 감소하였다. 특히 30% 농도에서 상당히 낮은 팽윤력을 나타냈다. Hoover와 Senanayake(15)의 연구결과에 의하면 전분의 팽윤력은 당 농도에 의존하며 높은 당 농도에서 팽윤력이 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 전분의 팽윤력은 sucrose의 농도에 의해 크게 영향을 받는 것처럼

Table 1. Effect of sucrose concentration on steady shear rheological properties and swelling power of SPS-sucrose composites at 25°C

| Sucrose concentration (%) | Apparent viscosity $\eta_{a,100}$ (Pa · s) | Consistency index K (Pa · s ⁿ) | Flow behavior index, n (-) | Yield stress σ_{oc} (Pa) | Swelling power (g/g) |
|---------------------------|--|--|----------------------------|---------------------------------|----------------------|
| 0 | 1.29±0.02 | 31.2±0.25 | 0.31±0.00 | 49.8±0.14 | 21.9 |
| 10 | 1.46±0.01 | 33.3±0.69 | 0.32±0.00 | 50.8±0.10 | 24.4 |
| 20 | 1.45±0.01 | 25.6±0.27 | 0.38±0.00 | 44.6±0.03 | 21.1 |
| 30 | 1.29±0.02 | 17.4±0.11 | 0.44±0.01 | 31.8±0.04 | 16.4 |

보인다.

시간 의존성

일반적으로 시간 의존성 전단담화 거동을 나타내는 식품들은 thixotropic 유동 거동을 나타내는 것으로 알려져 있다. 이들 식품들은 식품내 분자 혹은 입자들이 약하게 결합되어 있으며, 전단 응력이 충분히 높으면 입자간의 결합이 파괴되어 구조의 단위 크기가 감소되고 따라서 전단하는 동안 유동에 대한 저항이 감소하게 된다. 본 연구에서의 고구마전분-sucrose 복합물의 thixotropic 거동은 전단속도 0.4-1000 sec⁻¹범위에서 처음에는 전단속도가 증가하다가 그 후 감소할 때 나타나는 전단속도-전단응력 곡선으로부터 설명될 수 있다(Fig. 1). 여기서 두 유동곡선이 일치하지 않는 것을 hysteresis loop라 하며, 그 면적은 전단으로 인한 구조파괴 정도를 나타낸다(16). 이들 곡선은 10% 농도까지는 큰 차이가 없었으나 20% 농도부터 loop 면적은 감소하기 시작했다. Sucrose 농도가 높은 시료에서의 loop 면적의 감소는 전단하는 동안 시료의 구조 파괴 정도가 적음을 의미한다. 따라서 sucrose 농도 10-30% 범위 내에서 sucrose 농도가 증가함에 따라 고구마전분의 구조가 보다 안정적임을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 옥수수-sucrose 복합물(14)의 thixotropic 거동과 매우 유사한 것으로 나타났다.

온도 의존성

일반적으로 유체 식품은 광범위한 온도범위에서 가공 및 저장 과정을 거치며, 따라서 온도에 의한 레올로지 특성 변화에 관한

연구는 식품의 조직감 품질관리에 매우 중요하다. 지금까지 여러 유체식품에 대해서 온도가 겔보기 점도에 미치는 영향은 Arrhenius 관계식에 의해 잘 묘사되어 왔다(17). 본 연구에서는 고구마전분-sucrose 복합물 시스템에서 온도가 겔보기 점도($\eta_{a,100}$)에 미치는 영향을 관찰하기 위해서 $\eta_{a,100}$ 를 25-70°C 범위에서 결정하였으며, 온도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다(Fig. 2). 따라서 $\eta_{a,100}$ 에 대한 고구마전분-sucrose 복합물의 온도의존성은 Arrhenius

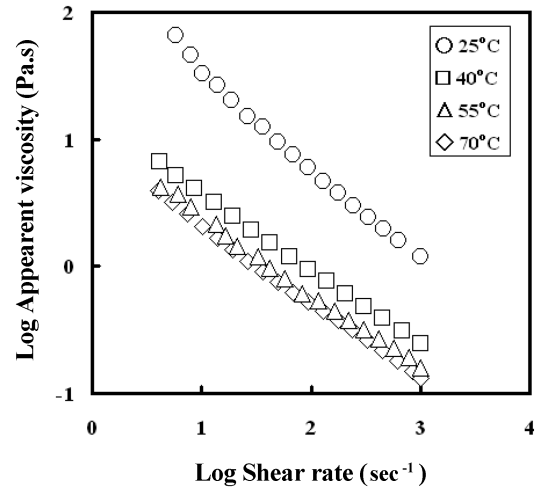


Fig. 2. Plots of log $\dot{\gamma}$ versus log (η_a) for sweet potato starch-sucrose (10% concentration) pastes at different temperatures.

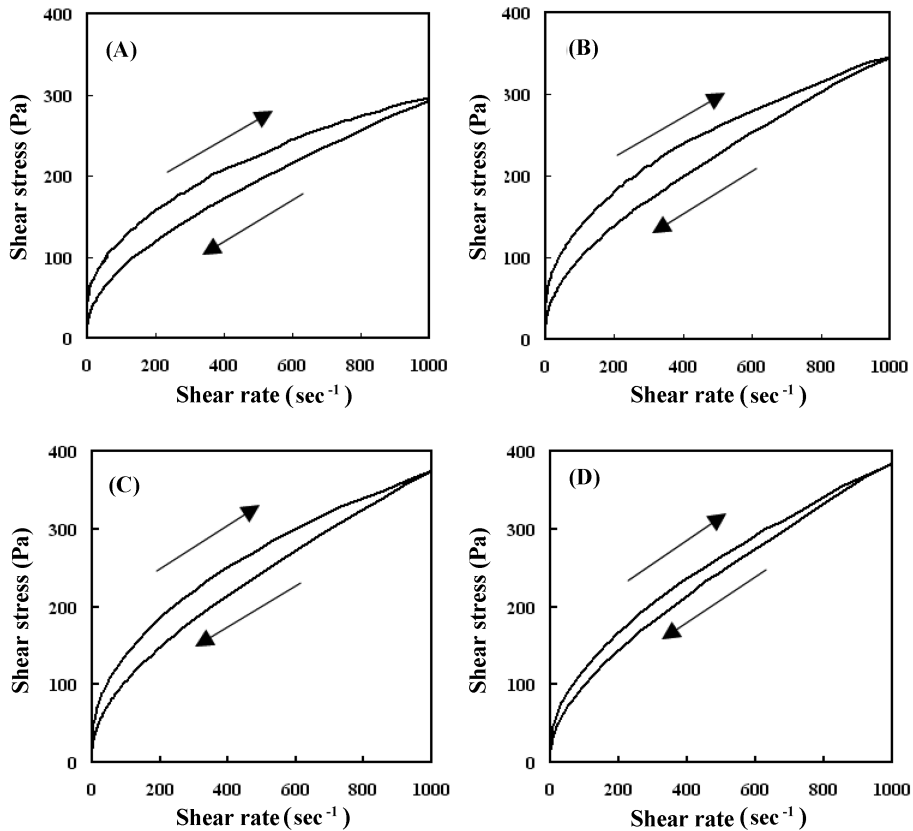


Fig. 1. Thixotropic flow curves for sweet potato starch pastes with different sucrose concentrations at 25°C. (A) control, (B) 10%, (C) 20%, (D) 30%.

관계식(식 3)을 이용하여 결정할 수 있었다.

$$\eta_{a,100} = A \cdot \exp(E_a/RT) \quad (\text{식 3})$$

여기서 $\eta_{a,100}$ 는 전단속도 100 sec⁻¹에서의 겔보기 점도(Pa.s)이고, E_a 는 활성화 에너지(kJ/mol)로서 $\ln \eta_{a,100}$ 과 1/T로부터 직선 방정식의 기울기로부터 결정되었다. A는 상수, R은 기체 상수(8.3114 J/mol), T는 절대 온도(K)를 나타낸다. 일반적으로 E_a 는 온도 변화에 따른 점도의 상대적 민감도를 측정하는데 주로 사용되어 왔으며, E_a 가 크면 클수록 온도가 시료의 점도에 미치는 영향이 적음을 의미한다. Table 2에서 E_a 는 sucrose 농도가 증가함에 따라 감소하였으며, 그 결정계수(R^2)는 0.96-0.99로 높은 상관관계를 가졌다. 따라서 온도에 따른 점도의 변화는 sucrose 농도가 증가함에 따라 감소하기 때문에 sucrose 첨가는 고구마전분 페이스트의 온도 변화에 따른 구조 안정성을 향상시켜 줄을 알 수 있었다.

동적 점탄특성

동적 점탄특성 측정은 소진폭 진동전단(small amplitude oscillatory shear, SAOS)에 의해 저장탄성율(G')과 손실탄성율(G'')로부터 점성과 탄성을 결정하는데 사용되어 왔으며, 이들 측정방법은 시료의 구조를 파괴하지 않고 측정하기 때문에 생고분자(biopolymer)의 구조분석을 위한 물리적 수단으로 사용되고 있다. Fig. 3은 25°C에서 고구마-sucrose 복합물에 대해 진동수(frequency, ω)에 따른 G' 와 G'' 의 변화를 보여주고 있다. ω 가 증가함에 따라 G' 와 G'' 은 증가하였으며, 다른 전분-당 복합물들(14,18,19)에서도 이와 유사한 경향을 나타냈다.

고구마전분-sucrose 복합물에서 $\log(G', G'')$ 및 $\log \omega$ 의 동적 레올로지 수치는 선형회귀에 적용하여 얻어졌으며, G' , G'' 값은 sucrose의 농도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. 이는 sucrose 첨가가 물과 결합하여 전분과 물의 결합을 방해함으로써 전분분자간의 재조합 속도를 증가시키기 때문이다. 이로 인해 고구마전분-sucrose 복합물의 점탄성 증가를 초래하는 것으로 판단된다. G' 의 기울기(0.19-0.23 Pa), G'' 의 기울기(0.30-0.31 Pa)로 나타났다, G' 와 G'' 은 ω 에 강한 의존도를 나타냈으며, 6.28 rad/sec에서의 G' 값(32.4-54.1 Pa)은 G'' 값(10.3-19.0 Pa)보다 높은 값을 나타냈다. 따라서 고구마전분-sucrose 복합물은 약한 젤과 같은 거동을 보여주고 있다. 시료의 점탄성을 평가하는 하나의 측정치로는 G' 과 G'' 의 비율로 표현되는 손실요인 즉 $\tan \delta(G''/G')$ 가 있다. $\tan \delta$ 가 1보다 작으면 점탄성 물질에 대해 탄성적 거동이 보다 크다는 의미이고, 반대로 1보다 크면 점성적 거동이 크다는 것을 의미한다. 모든 시료에 대해 6.28 rad/sec에서의 $\tan \delta(G''/G')=0.32-0.35$ 값은 1보다 낮은 값으로 나타났는데 이는 점성적 성질보다 탄성적 성질이 보다 우세함을 의미한다(Fig. 3). 이들 결과로부터 고구마전분-sucrose 복합물의 동적 점탄특성은 당 첨가에 의해 전분 분자내의 결합이 강해지며, 또한 당 농도에 의해 크게 영향을 받음을 알 수 있었다.

Table 2. Activation energy of sweet potato starch with different sucrose concentrations

| Sucrose concentration (%) | A($\times 10^{-3}$ Pa.s) | Activation energy (kJ/mol) | R^2 |
|---------------------------|---------------------------|----------------------------|-------|
| 0 | 0.39 | 20.0 | 0.99 |
| 10 | 0.48 | 19.7 | 0.98 |
| 20 | 1.12 | 17.6 | 0.98 |
| 30 | 3.50 | 14.5 | 0.96 |

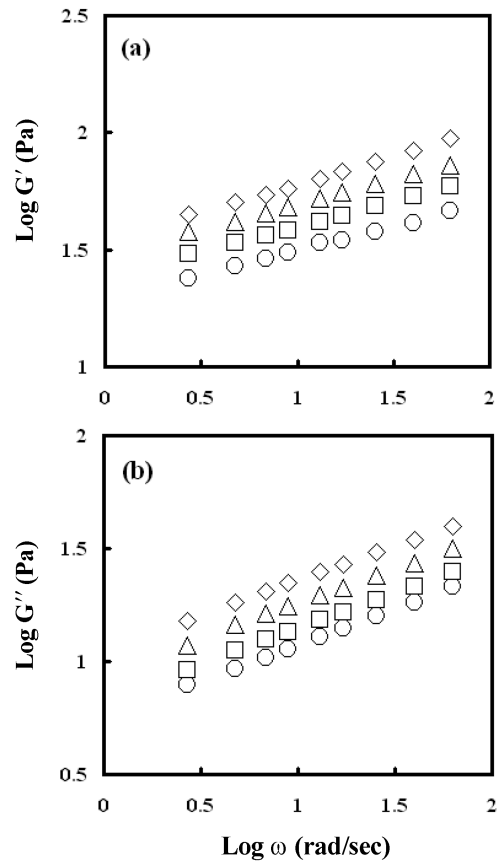


Fig. 3. Plots of $\log(G', G'')$ versus $\log \omega$ for sweet potato starch pastes with different sucrose concentrations at 25°C. (○) control, (□) 10%, (△) 20%, (◇) 30%. (a) G' , (b) G'' .

Cox-Merz 중첩원리

Cox와 Merz(20)는 고분자의 구조적 분석에 대한 유용한 정보를 제공하기 위해 전단속도($\dot{\gamma}$)에 따른 고분자의 겔보기점도(η_a)와 진동수(ω)에 따른 복소 점도(η^*)와의 상관관계를 제안했다. Cox-Merz 중첩원리(식 4)에 의하면 η^* 와 η_a 값은 같은 ω 와 $\dot{\gamma}$ 에서 중첩되어야 한다. 이는 구조파괴없이 얻어진 동적 점탄특성으로부터 시료의 정상유동 특성을 예측할 때 적용된다.

$$\eta^*(\omega) = \eta_a(\dot{\gamma}) \Big|_{\omega = \dot{\gamma}} \quad (\text{식 4})$$

Cox-Merz 중첩원리는 몇몇 생체고분자 분산용액들에는 잘 적용되어 왔으나, 영집 및 응집현상이 있거나 점착성 및 퍼집성이 있는 유체 및 반고체 시료들에는 잘 적용되지 않았다(21). 본 연구에서도 $\log \eta_a - \log \omega$ 와 $\log \eta^* - \log \dot{\gamma}$ 의 관계에서 η_a 가 η^* 보다 높은 수치를 보여주면서 30%를 제외한 모든 시료들은 Cox-Merz 중첩 원리가 적용되지 않았다(Fig. 4). Da Silva 등(22)은 cross-linked waxy maize 전분 페이스트가 Cox-Merz 중첩 원리에 벗어난 이와 유사한 거동($\eta^* < \eta_a$)을 발견했는데 이는 전분 페이스트의 이성질적 특성으로부터 기인되는 것으로 보고 있다. 또한 η^* 와 η_a 의 값 차이는 농도가 증가함에 따라 감소하였으며, sucrose를 30% 첨가한 시료인 경우는 다른 시료들과는 달리 η_a 와 η^* 가 거의 중첩되면서 Cox-Merz 중첩 원리에 잘 적용이 되었다. 따라서 Cox-Merz 중첩원리의 편차는 농도가 증가함에 따라 작아지기 때문에 Cox-Merz 원리는 높은 sucrose 농도를 가진 고구마전분-

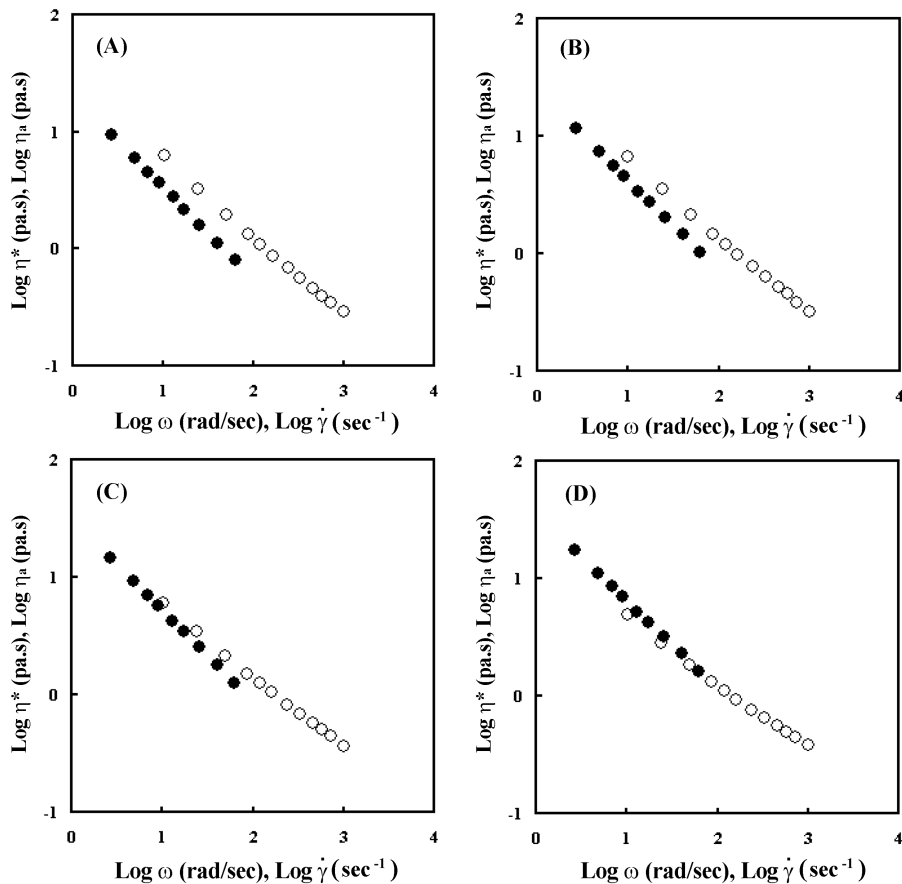


Fig. 4. Comparison of $\log \eta_a$ and $\log \eta^*$ for sweet potato starch pastes with different sucrose concentrations at 25°C. (A) control, (B) 10%, (C) 20%, (D) 30%. (○): η_a , (●): η^* .

sucrose 복합물에 잘 적용되는 것처럼 보인다.

요 약

농도(0, 10, 20, 30%, w/w)를 달리한 sucrose가 혼합된 고구마 전분 페이스트(5% w/w)의 정상유동 특성과 동적 점탄특성에 미치는 영향에 대하여 평가하였다. 고구마전분-sucrose 복합물의 정상유동 특성은 power law 모델 및 Casson 모델로부터 레올로지 계수를 결정하였다. 일정한 온도(25°C)에서 모든 시료들은 높은 항복응력과 함께 pseudoplastic과 thixotropic 거동을 나타내었다. 고구마전분-sucrose 복합물의 점조도 지수(K), 겔보기 점도(η_a), 그리고 항복응력(σ_{oc}) 값들은 control(0% sucrose)에 비해 10% sucrose가 더 높았으며, 또한 sucrose 농도(10-30%)가 증가함에 따라 이들 값들은 감소하였다. 팽윤력은 30% 농도에서 급격한 감소를 나타내었고, 레올로지 계수(K, η_a , σ_{oc})값이 낮게 나타난 시료는 낮은 팽윤력을 보여주었다. 온도 의존성은 25-70°C 온도 범위에서 Arrhenius 관계식에 의하여 높은 상관관계를 나타내었다. 또한 동적 점탄특성 측정 결과에 의하면 고구마전분-sucrose 복합물은 약한 젤과 같은 거동을 보여주었으며, G'과 G'' 값들은 sucrose 농도와 진동수(ω)가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였다. Cox-Merz 중첩원리는 30% sucrose 농도를 가진 고구마전분-sucrose 복합물에서 잘 적용되는 것으로 나타났다. 따라서 sucrose 첨가에 의해 고구마전분 페이스트의 레올로지 특성이 변화하게 되며, 이들 특성은 sucrose의 농도에 의해 크게 영향을 받

는 것으로 나타났다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. R01-2007-000-10180-0).

문 헌

1. Food News, The Korea Food Marketing Year Book. Food News, Seoul, Korea, pp. 432-438 (2007)
2. Park JY, Ahn YS, Shin DH, Lim ST. Physicochemical properties of Korean sweet potato starches. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 28: 1-8 (1999)
3. Jung SH, Shin GJ, Choi CU. Comparison of physicochemical properties of corn, sweet potato, potato wheat and mungbean starches. Korean J. Food Sci. Technol. 23: 272-275 (1991)
4. Chen Z. Physicochemical properties of sweet potato starches and their application in noodle products. PhD thesis, Wageningen University, Wageningen, Netherlands (2003)
5. Mita T. Structure of potato starch pastes in the aging process by the measurement of their dynamic moduli. Carbohydr. Polym. 17: 269-276 (1992)
6. Morris VJ. Starch gelation and retrogradation. Trends Food Sci. Tech. 1: 2-6 (1990)
7. Whistler RL, BeMiller JN. Guar and locust bean gums. pp. 117-152. In: Carbohydrate Chemistry for Food Scientists. Eagan Press, St. Paul, MN, USA (1997)

8. Grosso CRF, Rao MA. Dynamic rheology of structure development in low-methoxyl pectin+Ca²⁺sugar gels. *Food Hydrocolloid*. 12: 357-363 (1998)
9. Beak MH, Shin MS. Physicochemical properties of modified sweet potato starch by steeping. *Korean J. Food Sci. Technol*. 25: 736-741 (1993)
10. AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC. Intl 14th ed. Association of Official Analytical Chemists Inc., Arlington, VA, USA. pp. 249-255 (1984)
11. Schoch TJ. Swelling power and solubility of granular starches. pp. 106-108. In: *Methods in Carbohydrate Chemistry*. Whistler RL (ed). Academic Press, NY, USA (1964)
12. Morris ER. Polysaccharide solution properties: Origin, rheological characterization and implications for food system. pp. 132-163. In: *Frontiers in Carbohydrate Research-1: Food Applications*. Elsevier Applied Science Pub., NY, USA (1989)
13. Ahmad FB, Williams PA. Rheological properties of sago starch. *J. Agri. Food Chem*. 29: 939-946 (1998)
14. Yoo D, Yoo B. Rheology of rice starch-sucrose composites. *Starch/ Stärke* 57: 254-261 (2005)
15. Hoover R, Senanayake N. Effect of sugars on the thermal and retrogradation properties of oat starches. *J. Texture Stud*. 20: 65-83 (1996)
16. Weltman RN. Breakdown of thixotropic structure as a function of time. *J. Appl. Phys*. 14: 343-350 (1943)
17. Rao MA. Flow and functional models for rheological properties of fluid foods. pp. 27-58. In: *Rheology of Fluid and Semisolid Foods*. Rao MA (ed). Springer, NY, USA (2007)
18. Chang YH, Lim ST, Yoo B. Dynamic rheology of corn starch-sugar composites. *J. Food Eng*. 64: 521-527 (2004)
19. Yoo B, Yoo D, Kim YR, Lim ST. Effect of sugar type on rheological properties of high-methoxyl pectin gels. *Food Sci. Biotechnol*. 12: 316-319 (2003)
20. Cox WP, Merz EH. Correlation of dynamic and steady viscosities. *J. Polym. Sci*. 28: 619-622 (1958)
21. Da Silva JAL, Rao MA. Viscoelastic properties of food hydrocolloid dispersions. pp. 285-316. In: *Viscoelastic Properties of Foods*. Rao MA, Steffe JF (eds). Elsevier Applied Science Pub., London, UK (1992)
22. Da Silva PMS, Oliveria JC, Rao MA. Rheological properties of heated cross-linked waxy maize starch dispersions. *Int. J. Food Prop*. 1: 23-34 (1998)