

입자별 감자전분 호화액의 리올로지 특성

강길진·김 관·김성곤*·박양균**·이신영***
전남대학교 식품공학과, *단국대학교 식품영양학과
목포대학 식품공학과, *강원대학교 발효공학과

Rheological Properties of Gelatinized Large and Small Starch Granules of Potato

Kil-Jin Kang, Kwan Kim, Sung-Kon Kim*, Yang-Kyun Park**
and Shin-Young Lee***

Department of Food Science and Technology, Chonnam National University

**Department of Food Science and Nutrition, Dankook University*

***Department of Food Science and Technology, Mokpo National College*

****Department of Fermentation Technology, Kangweon National University*

Abstract

Starches obtained from Seipoong and Daeji potato were classified into large starch granules ($>41\mu\text{m}$) and small starch granules ($<30\mu\text{m}$). Rheological properties of heat-gelatinized starch paste were studied to elucidate difference of the fractionated starches. Heat-gelatinized starch paste of potato showed Bingham pseudo-plastic behavior. The consistency index and yield stress of small starch granule paste were greater than those of large starch granule paste. As starch paste concentration increased, consistency index and yield stress of heat-gelatinized small starch granule paste increased more than those of large one. As measuring temperature increased, consistency index of heat-gelatinized starch paste decreased and temperature dependence was greater in small starch granule paste than in large one.

Key words: potato starch, granule, rheology

서 론

전보⁽¹⁾에서 저자들은 감자전분의 산업적 응용 및 개발을 위한 기초연구의 일환으로 감자전분으로부터 큰 입자($41\mu\text{m}$ 이상)와 작은 입자($30\mu\text{m}$ 이하)를 각각 분획하였으며, 이들의 이화학적 성질과 호화특성에 대하여 보고하였다. 대·소 전분입자는 이화학적 성질과 호화특성의 현저한 차이를 보였으므로 전분의 가공 및 용도 적성, 그리고 전분구조와 밀접한 관련을 갖는 호화액의 리올로지 특성에도 차이가 있을 것으로 예측되었으나 지금까지는 감자전분 입자의 크기에 따른 리올로지 거동에 대하여 보고된 바 없다. 따라서 본 보에서는 2종의 감자전분으로부터 큰 입자와 작은 입자를 분획하고 이들 호화액에 대한 리올로지 특성을 분획전의

감자전분과 비교하면서 검토하였으며, 이로부터 입자크기에 따른 특성차이를 밝히고자 하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험의 재료는 전보⁽¹⁾와 마찬가지로의 세풍 및 대지 감자로서 전라남도 농촌진흥원 완도 시험장에서 1988년 6월에 수확한 것을 사용하였다.

전분의 분리 및 입자의 분획

전분의 분리는 전보⁽¹⁾와 마찬가지로 알칼리침지법⁽²⁾에 의하였고 입자의 분획 역시 전보⁽¹⁾의 침강법⁽³⁾에 의하였다.

리올로지 특성의 측정 및 특성값의 산출

리올로지 특성의 측정은 여러 농도(2-6%)의 전분 현

Corresponding author: Sung-Kon Kim, Department of Food Science and Nutrition, Dankook University, San 8, Hannam-dong, Yongsan-gu, Seoul 140-714

탁액을 95°C에서 30분간 호화시키고 기포를 제거한 후, 얼음물 수조속에서 각 특정온도(30, 50, 60 및 70°C)로 냉각시킨 다음, 회전 점도계 (Brabender model Viscotron, measuring system E17)로 회전속도를 2-100 rpm으로 변화시키면서 대응하는 토크값의 변화를 X-Y recorder로 자동기록하여 실시하였다. 한편, 리올로지 특성값의 산출은 식 (1)의 Herschel-Bulkley 식⁽⁴⁾을 사용하여 구하였으며, 이 때 이 식에 포함된 항복응력값은 식 (2)의 Casson 식⁽⁵⁾에 의하여 구하였다.

$$\tau = k_r \cdot \dot{\gamma}^n + \tau_y \tag{1}$$

$$\sqrt{\tau} = \mu_c \sqrt{\dot{\gamma}} + \sqrt{\tau_y} \tag{2}$$

여기서 τ 와 τ_y 는 각각 전달응력 및 항복응력 (Pa)이며, r 는 전단속도 (Sec⁻¹), K 는 점조도 지수 (Pa₄·Secⁿ), n 은 유동거동지수, μ_c 는 Casson 점도이다.

결과 및 고찰

유동거동

두 품종(세풍과 대지)의 감자전분 및 이로부터 각각 분획한 큰 입자와 작은 입자 전분호화액(2-6%)에 대하여 전단속도에 따른 전단응력의 관계를 30°C에서 측정하였으며 그 결과는 Fig.1과 같다. 각 시료 모두 전분농도에 상관없이 비뉴턴 유체의 거동을 보였으며

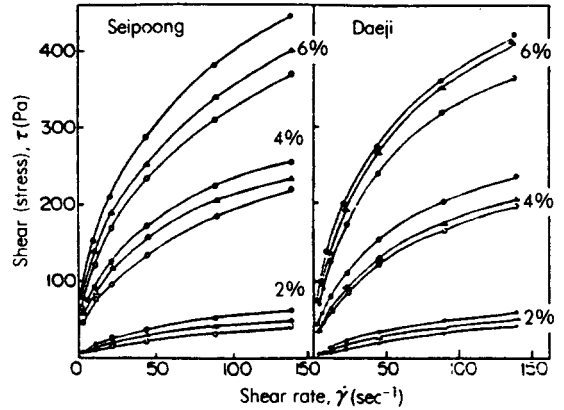


Fig. 1. Relationships of shear stress against shear rate of 2, 4 and 6% potato starch paste gelatinized at 95°C and measured at 30°C.

△△ : parent starch granules, ○○ : large starch granules, ●● : small starch granules

log($\tau - \tau_y$)와 log r 의 관계는 그림으로 나타내지는 않았지만 직선관계를 보여서 다른 전분 호화액⁽⁶⁻¹⁴⁾과 마찬가지로 Herschel-Bulkley 식⁽⁴⁾에 따라 거동함을 알 수 있었다. Casson 식⁽⁵⁾에 의하여 항복응력을 구한 후 Herschel-Bulkley 식을 적용하여 농도별로 유동거동지수 n , 점조도지수 K 값을 구하였으며 이를 항복응력 τ_y 와 함께 Table 1에 나타내었다. 실험농도범위에서 모두 항복응력을 나타내었으며 n 값은 1보다 작아서 각

Table 1. Rheological parameters of potato starch paste gelatinized at 95°C and measured at 30°C

Granules	Concentration (%)	Seipoong			Daeji		
		Yield stress (Pa)	Consistency index (Pa·s ⁿ)	Flow behavior index (-)	Yield stress (Pa)	Consistency index (Pa·s ⁿ)	Flow behavior index (-)
Parent Starch	2	3.49	2.58	0.62	3.46	2.50	0.61
	3	10.96	5.87	0.61	10.30	5.36	0.61
	4	22.66	14.16	0.59	19.29	11.47	0.60
	5	28.62	17.29	0.59	26.01	15.03	0.60
	6	35.52	23.10	0.58	32.60	22.87	0.59
Large starch	2	2.94	2.39	0.61	2.89	2.36	0.61
	3	8.12	5.05	0.60	8.70	4.95	0.61
	4	18.06	12.18	0.59	17.39	10.59	0.60
	5	23.33	14.15	0.58	23.33	14.01	0.59
	6	30.51	21.21	0.58	30.62	21.33	0.59
Small starch	2	3.92	3.10	0.64	3.92	3.04	0.63
	3	14.29	7.46	0.62	12.39	6.55	0.62
	4	27.63	15.64	0.60	21.99	13.59	0.60
	5	34.45	20.49	0.59	28.62	18.54	0.59
	6	42.40	26.57	0.58	35.76	25.79	0.58

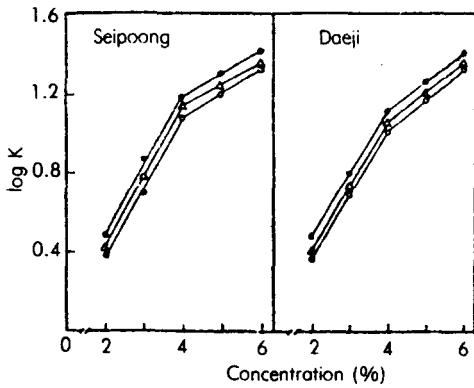


Fig. 2. Effect of starch concentrations on the consistency index of potato starch paste gelatinized at 95°C and measured at 30°C.

△—△: parent starch granules, ○—○: large starch granules, ●—●: small starch granules

Table 2. Values of K_c and B of potato starch paste gelatinized at 95°C and measured at 30°C

Granules	Concentration	Seipoong		Daeji	
		K_c	B	K_c	B
Parent starch	< 4%	0.46	0.35	0.55	0.33
	> 4%		0.11		0.15
Large starch	< 4%	0.45	0.36	0.53	0.32
	> 4%		0.12		0.16
Small starch	< 4%	0.63	0.37	0.68	0.34
	> 4%		0.12		0.14

K_c : Consistency index at unlimited paste ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$)

B : Constant in effect of starch concentrations

시료 호화액 모두 병행의가소성유체로 거동하였다. n 값은 품종 또는 입자크기간의 유의차없이 0.58~0.64 범위로 비슷하였고 각 시료 모두 농도증가에 따라 n 값의 비슷한 감소경향을 보여서 농도가 높아질수록 다소 병행의가소성 성질은 강해졌다. 그러나 K 및 τ_y 값은 농도증가로 현저한 증가경향을 보였다. 품종간의 차이는 없었으나 각 품종으로부터 분획한 큰 입자와 작은 입자 사이에는 큰 차이를 보여서 각 대응하는 농도에서 작은 입자는 큰 입자보다 훨씬 큰 K 및 τ_y 값을 나타내었다.

리올로지 특성값의 농도의존성

K 의 대수값을 여러 농도(C)에 대하여 도시한 결과는 Fig. 2와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 시료 모두 기울기가 서로 다른 직선관계를 보였으며 따라서 이들 관계는 다음의 지수함수식으로 설명할 수 있었다⁽⁶⁾.

$$K = K_c \exp(B \cdot C)$$

여기서 K_c 는 무한희석용액에서의 점조도지수 ($\text{Pa}\cdot\text{s}^n$), B 는 농도의존성을 나타내는 상수, C 는 전분의 농도(%)이며 K_c 및 B 값을 구한 결과는 Table 2와 같다.

4% 이하 농도에서 B 값은 각 품종에서 작은 입자가 큰 입자보다 컸으며 분획전의 각 전분은 이들의 평균값 범위이었고 품종간에는 대지전분이 다소 낮은 범위이었다. 그러나 4% 이상의 농도에서는 반대 경향을 나타내어 농도에 따라 그 의존성이 달라짐을 보였고 다른 전분의 경우⁽⁸⁻¹⁴⁾와도 일치하였다. 또 K_c 값의 경우는 품종간의 뚜렷한 차이는 없었으나 각 품종에서 작은 입자의 경우가 큰 입자보다 훨씬 높은 범위 (0.63-0.68 $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$)이었으며 이들 값은 쌀 (0.034 $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$)^(3,13,14), 보리 (0.017-0.020 $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$)⁽⁸⁾, 옥수수 (0.044 $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$)⁽¹²⁾ 등 다른 전분에 비하여 매우 큰 특징을 보였다. 4% 농도에서 직선의 기울기가 변한 현상은 다른 전분 호화액에 대한 연구⁽⁸⁻¹⁴⁾에서 얻어진 결과와 비슷하며 이 부근에서 감자전분 호화액의 구조적 특성이 달라지기 때문이라 생각된다⁽¹⁴⁾.

한편, 각 시료 호화액의 농도에 따른 항복응력의 변화를 조사한 결과는 Fig. 3과 같다. 시료 모두 농도증가에 따라 $\sqrt{\tau_y}$ 값은 4% 농도에서 서로 다른 기울기를 가지고 직선적으로 증가하였으며 따라서 다음의 Evans 등⁽¹⁵⁾의 제한식에 잘 적용되었다.

$$\sqrt{\tau_y} = K_y (C - C_0)$$

여기서 C_0 는 전분 호화액이 항복응력을 갖기 시작하는 농도, K_y 는 농도의존성을 나타내는 상수이며 위 식

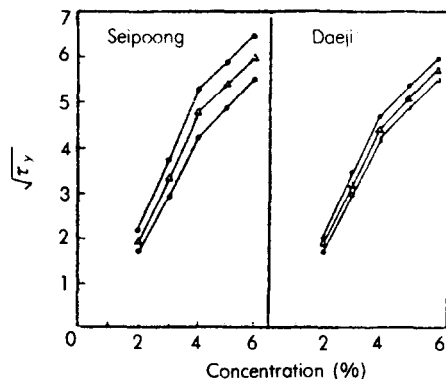


Fig. 3. Effect of starch concentrations on the yield stress of potato starch paste gelatinized at 95°C and measured at 30°C.

△—△: parent starch granules, ○—○: large starch granules, ●—●: small starch granules

Table 3. The values of K_y and C_0 of potato starch paste gelatinized at 95°C and measured at 30°C

Granules	Concentration	Seipoong		Daeji	
		K_y	C_0	K_y	C_0
Parent starch	<4%	0.63	0.70	0.66	0.63
	>4%	1.40		1.25	
Large starch	<4%	0.63	0.83	0.68	0.71
	>4%	1.37		1.24	
Small starch	<4%	0.60	0.54	0.64	0.50
	>4%	1.43		1.28	

K_y : Constant in effect of starch concentrations at yield stress
 C_0 : Initial concentration in yield stress (%)

으로부터 구한 K_y 및 C_0 값은 Table 3 과 같다. K_y 는 품종 또는 전분 입자의 크기에 따라 큰 차이없이 4% 이하에서는 0.60-0.68 인 반면 4% 이상에서는 1.25-1.43 으로 농도가 높아질수록 더 큰 농도의존성을 보였다. 이와 같이 높은 농도의존성은 항복응력이 분자간 2차 결합력 등을 나타내는 지표임을 고려할 때 농도가 높아질수록 전분 입자간 수소결합과 같은 상호작용이 증가하기 때문이라 생각된다. 이들 K_y 값은 비슷한 농도범위의 보리(2.97)⁽⁸⁾와 쌀(1.94)⁽¹¹⁾ 전분보다는 낮고 옥수수 전분(1.31)⁽¹²⁾과는 비슷하였다. 한편, C_0 값은 각 품종에서 큰 입자(0.71-0.83%)가 작은 입자(0.50-0.54%)보다 훨씬 큰 값의 범위이었으며 분획전 전분의 C_0 값은 이들의 평균값 범위로 세풍(0.7%)의 경우가 대지전분(0.63%)보다 다소 높았다. 그러나 이들 값은 옥수수(2.68%)⁽¹²⁾, 보리(2.58%)⁽⁸⁾, 쌀(2.56%)^(9,14)

전분보다는 훨씬 낮은 값으로 항복응력을 갖기 시작하는 농도가 매우 낮은 특징을 보였다.

리올로지 특성값의 온도의존성

리올로지 특성에 미치는 온도의 영향을 살펴보기 위하여 4% 전분 호화액의 리올로지 특성을 30-70°C의 측정온도에서 조사하였으며 그 결과를 Table 4에 나타내었다. 유동거동지수(n) 값은 품종 및 입자크기에 관계없이 0.58-0.61 범위로 비슷한 경향이였다. 그러나 점조도 지수 및 항복응력값은 품종간의 차이를 보였으며 입자크기에 따라라도 차이를 보여 온도증가에 따라 작은 전분입자>분획전의 전분입자>큰 전분입자의 순서로 감소하였다. 이러한 감소현상은 온도증가로 열운동이 증가되어 분자간 결합을 방해하므로서 유동에 대한 저항력이 감소되기 때문이라고 생각된다. 점조도 지수값의 온도의존성을 보다 상세히 살펴보기 위해 $\ln K$ 와 $1/T$ 의 관계를 조사한 결과는 Fig. 4와 같다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 직선관계를 보여 아레니우스식에 따름을 알 수 있었다.

직선의 기울기로부터 활성화에너지값을 구하여 Table 5에 나타내었다. 세풍 전분의 활성화에너지는 1.43 kcal/mol로 대지전분의 1.25 kcal/mol보다 커서 세풍 전분의 온도의존성이 대지전분보다 큼을 알 수 있었다. 입자 크기별로는 각 품종에서 작은 입자(1.47-1.71 kcal/mol)가 큰 입자(1.14-1.41 kcal/mol)보다 높은 온도의존성을 보였다.

Table 4. Rheological parameters of gelatinized 4% potato starch paste at various measuring temperatures

Granules	Temperature (°C)	Seipoong			Daeji		
		Yield stress	Consistency index	Flow behavior index	Yield stress	Consistency index	Flow behavior index
		(Pa)	(Pa·s ⁿ)	(-)	(Pa)	(Pa·s ⁿ)	(-)
Parent starch	30	22.66	13.32	0.59	19.29	11.47	0.60
	50	22.46	9.39	0.59	14.16	8.16	0.59
	60	13.59	8.54	0.60	11.22	7.22	0.60
	70	8.94	6.55	0.61	9.06	6.42	0.61
Large starch	30	18.06	12.18	0.59	17.39	10.59	0.60
	50	17.34	8.41	0.59	15.33	7.61	0.59
	60	15.53	7.17	0.60	13.46	6.96	0.60
	70	8.65	6.42	0.61	8.60	6.17	0.61
Small starch	30	27.63	15.64	0.59	21.99	13.59	0.59
	50	23.12	10.91	0.58	20.73	9.79	0.58
	60	15.94	8.93	0.59	15.72	8.39	0.59
	70	9.80	6.96	0.60	9.55	6.82	0.60

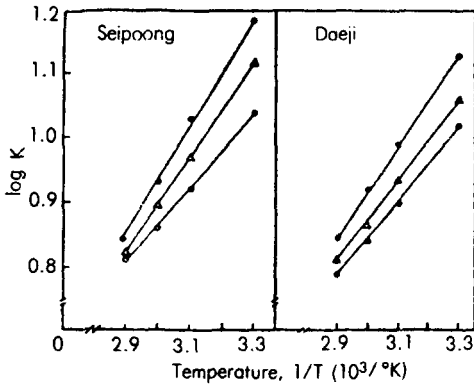


Fig. 4. Arrhenius plots of 4% potato starch paste gelatinized at 95°C.

△-△ : parent starch granules, ○-○ : large starch granules, ●-● : small starch granules

Table 5. Activation energy of gelatinized 4% potato starch paste

Granules	Activation energy (kcal/mol)	
	Seipoong	Daeji
Parent starch	1.43	1.25
Large starch	1.41	1.14
Small starch	1.71	1.47

요 약

2종의 감자전분(세풍과 대지)로부터 각각 큰 입자(41 μm 이상)와 작은 입자(30 μm 이하)를 분획하고 각 입자 크기별 가열 호화액에 대한 리올로지 특성을 분획전의 전분과 비교하면서 검토하였다. 시료 호화액은 모두 병행의가소성의 거동을 보였고 이 거동은 품종 또는 입자크기간의 차이를 보이지 않았으며 온도의 영향도 없었으나 농도의 증가로 의가소성의 성질은 다소 강해졌다. 점조도지수 및 항복응력값은 품종간의 차이는 없었으나 입자크기간에는 현저한 차이를 보여서 각 대응하는 농도에서 작은 입자의 경우가 큰 입자보다 훨씬 큰 점조도지수 및 항복응력값을 보였고 농도증가로 지수함수적으로 증가하였다. 또, 이들 값은 측정온도에 대하여 품종 및 입자크기에 따라 차이를 보이면서 온도 증가로 감소하였고, 작은 입자>분획전의 전분입자>큰 입자의 순으로 온도의존성을 보였다.

문 헌

1. 강길진, 김 관, 김성근, 박양균, 한재경 : 감자전분의 입자별 성질. 한국식품과학회지, 21, 528(1989)
2. Yamamoto, K., Sawada, S. and Onogaki, T. : Properties of rice starch prepared by alkali method with various conditions. Denpun Kagaku, 20, 99(1973)
3. Meredith, P. : Large and small starch granules in wheat-Are they really different? Staeke, 33, 40 (1981)
4. Sherman, P. : Industrial Rheology, Academic Press, New York (1970)
5. Casson, N. : Rheology of Disperse Systems, Pergamon Press, New York (1959)
6. Kim, S.K., Lee, S.Y. and Park, Y.K. : Gelatinization properties of heat-moisture treated potato and sweet potato starches. Korean J. Food Sci. Technol., 19, 435(1987)
7. 김 관, 윤한교, 김성근, 이신영 : 칩 전분 호화액의 리올로지적 성질. 한국식품과학회지, 19, 300(1987)
8. 박양균, 노일환, 김 관, 김성근, 이신영 : 쌀보리 전분 호화액의 리올로지 특성. 한국식품과학회지, 18, 278 (1986)
9. 김주봉, 김영숙, 이신영, 변유량 : 쌀 전분의 호화액의 텍스투로픽성질. 한국식품과학회지, 16, 451(1984)
10. 박영희, 김성근, 이신영, 김주봉 : 밤 전분 호화액의 유동 특성. 한국식품과학회지, 16, 314(1984)
11. 최형택, 이신영, 오두환 : 탈지 및 지방산 첨가가 쌀 전분의 리올로지 특성에 미치는 영향. 한국식품과학회지, 20, 850(1988)
12. 김성근, 이신영, 김주봉 : 유체식품의 리올로지. 단국대학교부설 식량개발연구소, p.53(1983)
13. 송범호, 김성근, 이규한, 변유량, 이신영 : 일반계 및 다수계 찹쌀전분의 점성특성. 한국식품과학회지, 17, 107 (1985)
14. 이신영, 변유량, 조형용, 유주현, 이상규 : 쌀 전분의 현탁액과 호화액의 유동거동. 한국식품과학회지, 16, 29 (1984)
15. Evans, L.A. and Haisman, D.R. : Rheology of gelatinized starch suspensions. J. Texture Stuetes, 10, 347(1979)
16. Rao, M.A. : Rheology of liquid foods-A review. J. Texture Studies, 8, 135(1977)

(1989년 7월 11일 접수)