

가열 및 알칼리 호화에 의한 쌀 전분의 리올로지 특성

박양균 · 김성곤* · 이신영** · 김 권***

목포대학교 식품공학과, *단국대학교 식품영양학과,
강원대학교 발효공학과, *선남대학교 식품공학과

Rheological Properties of Rice Starches Gelatinized with Thermal or Alkali Solutions

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

Department of Food Engineering, Mokpo National University,

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

***Department of Fermentation Engineering, Kwangwoon National University,*

****Department of Food Science and Technology, Chonnam National University*

Abstract

Rheological properties of Tongjinbyeo(Japonica) and Samgangbyeo(J×Indica) rice starches gelatinized with thermal or alkali solutions were investigated with rotational viscometer(Brabender Viscotron). The two starches showed Bingham pseudoplastics behavior in 4~8% thermal or alkali gelatinized starch solutions. Rheological properties of thermal gelatinized starch solutions were similar between the two varieties. However, alkali gelatinized Samgangbyeo starch solutions showed higher values of yield stress and consistency index than that of Tongjinbyeo starch. The values of pseudoplasticity, yield stress and consistency index were higher in the thermal gelatinized samples than those of in the alkali gelatinized ones.

Key words : rice starch, rheological properties, gelatinization, alkali gletinization

서 론

우리나라 쌀의 품질 특성을 이해하기 위한 기초 연구로서 전보⁽¹⁾에서 동진벼(일반계)와 삼강벼(다수계) 전분을 대상으로 호화 및 산 가수분해 특성에 대하여 보고하였다. 가열에 의한 아밀로그라프 특성값과 알칼리 호화에 의한 점도 및 광투과도의 변화에서 삼강벼 전분이 동진벼 전분보다 높은 값을 나타내어서 삼강벼 전분이 가열이나 전단력 및 알칼리에 대한 안정성이 낮은 결과였다.

우리나라 쌀의 품질에 관한 연구 중 전분의 호화^(2,3) 및 전분 호화액의 유동거동^(4,5)에 관한 연구가 보고되어 있으나 쌀 전분의 특성을 비교하는 관점에서 가열 호화와 알칼리 호화액의 리올로지 특성 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 전보⁽¹⁾에 이어 쌀 전분의 가열 및 알칼리 호화에 의한 리올로지 특성값을 측정하여 쌀 전분의 품질 특성을 비교 검토하였다.

재료 및 방법

재료는 동진벼(일반계)와 삼강벼(다수계) 전분으로서 전보⁽¹⁾에서와 같은 것을 사용하였다.

가열 호화액은 전분에 증류수를 가하고 95℃에서 30분간 가열하여 4~8% 전분 호화액을 만든 후 30~70℃로 냉각시켜 측정시료로 사용하였다. 리올로지 특성의 측정은 회전점도계(Brabender Viscotron)를 사용하여 회전속도 2~130 rpm의 연속적 변화에 따른 토오크의 변화를 자동기록하였다. 리올로지 특성값은 Herschel-Bulkeley식⁽⁶⁾과 Casson식⁽⁷⁾으로부터 구하였다.

알칼리 호화액은 전분 현탁액을 0.17, 0.18 및 0.19N NaOH의 임계농도⁽¹⁾에서 30분간 호화시켜 각각 4, 6 및 8%의 전분 호화액을 만들어 리올로지 측정 시료액으로 하였으며, 리올로지 특성의 측정 및 특성값의 산출은 가열 호화액과 같은 방법으로 하였다.

결과 및 고찰

동진벼와 삼강벼 전분 가열 호화액의 전단속도에 대한 전단응력의 관계는 그림 1과 같다. 동진벼와 삼강벼 전분

Corresponding author : Yang-Kyun Park, Department of Food Engineering, Mokpo National University, Muangun, Chonnam 534-729, Korea

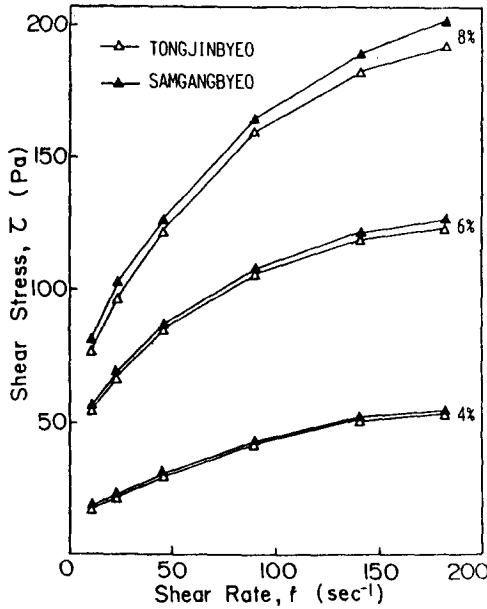


Fig. 1. Relationships of shear stress against shear rate of 4,6 and 8% rice starch solutions gelatinized at 95°C and measured at 30°C

모두 농도에 관계없이 전단속도의 증가에 따라 전단응력이 비직선적으로 증가하여 비뉴턴 유체의 거동을 나타내었다. 비직선적인 경향은 전분농도의 증가에 따라 강해졌으며 각 전단속도에 대응하는 전단응력의 값은 삼강벼 전분이 다소 높은 경향이였다.

Casson식⁽⁷⁾에 의하여 항복응력을 구한 후 Herschel-Bulkley식⁽⁶⁾으로부터 비선형 최소자승법(non-linear least square method)을 사용하여 리올로지 특성값인 유동저항지수 및 점조도지수 값을 구하여 항복응력 값과 함께 표 1에 나타내었다. 동진벼와 삼강벼 전분 모두 농도에 관계없이 유동저항지수가 1보다 작아 항복응력을 갖는 의가소성 유체 즉, 빙행 의가소성 유체의 특성을 나타내었는데 이것은 쌀 전분에 관한 여러 보고^(4,5,8)와 일치하는 경향이였다.

점조도지수의 농도의존성을 보다 자세히 살펴보기 위하여 점조도지수의 대수값을 여러 전분농도에 대하여 도시한 결과는 그림 2와 같다. log K와 전분농도와의 관계는 시료 모두 직선관계를 나타내어 다음의 지수함수식⁽⁹⁾으로 표현할 수 있었다.

$$K = K_0 \exp(B \cdot C) \quad (1)$$

여기서 K_0 및 B 는 무한회석 용액에서의 점조도지수 및 이의 농도의존성의 정도를 나타내는 지표값이다. log K와 전분농도의 관계는 두 시료 모두 6%농도 부근에서 기울기가 서로 다른 직선관계를 보였다. 이는 다른 전분에서도 나타나는 현상이며 쌀 전분은 7~8%⁽¹⁰⁾, 찹쌀

Table 1. Rheological parameters of rice starch solutions gelatinized at 95°C and measured at 30°C

Starch	Concentration (%)	Yield stress (Pa)	Consistency index (Pa · s ⁿ)	Flow behavior index
Tongjinbyeo	4	8.40	2.19	0.60
	6	34.86	5.22	0.58
	8	45.93	7.80	0.59
Samgangbyeo	4	9.68	2.30	0.58
	6	36.55	5.30	0.57
	8	49.55	7.93	0.59

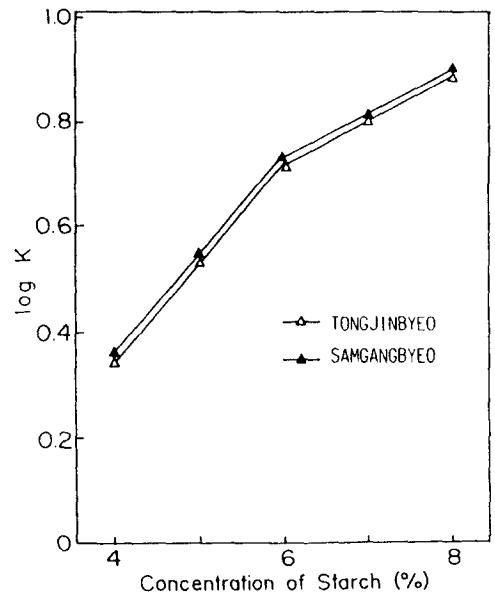


Fig. 2. Effect of starch concentrations on the consistency index of rice starch solutions gelatinized at 95°C

전분은 4.5%⁽¹¹⁾, 옥수수 전분은 6~7%⁽¹²⁾ 및 보리 전분은 5%⁽¹³⁾에서 기울기 값이 서로 달라진다고 보고되어 있다. 김 등⁽¹²⁾은 이 농도 부근에서 미셀의 형성, 겔의 형성 및 packing density등과 밀접한 관련을 갖는다고 하였다.

그림 2의 직선관계로부터 식(1)을 적용하여 절편과 직선으로부터 구한 K_0 및 B 값은 각각 4~6%에서 동진벼 전분은 0.3918 Pa · s² 및 0.4316, 삼강벼 전분은 0.4331 Pa · s² 및 0.4174이었으며, 6~8%에서 동진벼는 1.5652 Pa · s² 및 0.2008, 삼강벼는 1.5825 Pa · s² 및 0.2015이었다.

한편, $\sqrt{\tau}$ 와 전분농도와의 관계를 나타낸 그림 3에서는 두 시료 모두 농도의 증가에 따라 $\sqrt{\tau}$ 값이 증가하였으며, 전분농도 6%를 기준으로 각각 다른 기울기를 나타내었다.

Evans와 Haisman⁽¹⁴⁾은 전분 호화액의 항복응력과 전

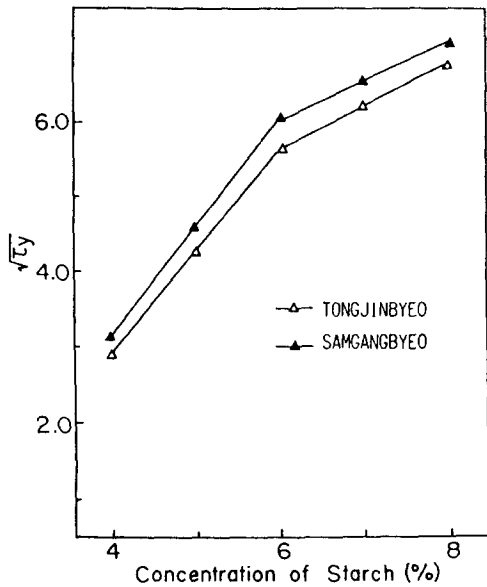


Fig. 3. Effect of starch concentrations on the yield stress of rice starch solutions gelatinized at 95°C

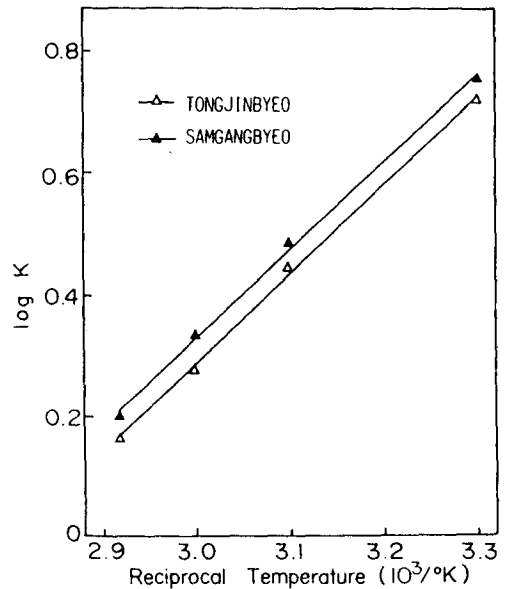


Fig. 4. Arrhenius plots of 6% rice starch solutions gelatinized at 95°C

Table 2. Rheological parameters of gelatinized 6% rice starch solutions at various measuring temperatures

Starch	Measuring temperature(°C)	Yield stress (Pa)	Consistency index (Pa · s ⁿ)	Flow behavior index
Tongjinbyeo	30	34.86	5.22	0.58
	50	32.35	2.82	0.61
	60	25.78	1.90	0.60
	70	15.76	1.43	0.59
Samgangbyeo	30	36.55	5.30	0.57
	50	36.96	3.27	0.55
	60	26.49	2.20	0.55
	70	21.70	1.53	0.57

분농도는 다음 식으로 표시될 수 있다고 하였다.

$$\sqrt{\tau_y} = K_y(C - C_0) \quad (2)$$

여기서 C_0 는 팽윤된 입자의 hydrodynamic volume이 시료 전체부피와 같아지는 농도(packing density=1) 또는 전분 호화액이 항복응력을 갖기 시작하여 순수한 유체에서 soft solid로서 거동하기 시작하는 농도이며, K_y 는 항복응력의 농도의존성을 나타내는 상수이다.

그림 3의 직선관계로부터 식 (2)을 적용하여 구한 K_y 및 C_0 값은 각각 동진벼 전분이 1.503 및 2.072%, 삼강벼 전분이 1.467 및 1.880%로 항복응력의 농도의존성과 항복응력이 나타나기 시작하는 농도는 동진벼 전분이 삼강벼 전분보다 다소 높았다.

전분 호화액(6%)의 측정온도에 따른 리올로지 특성

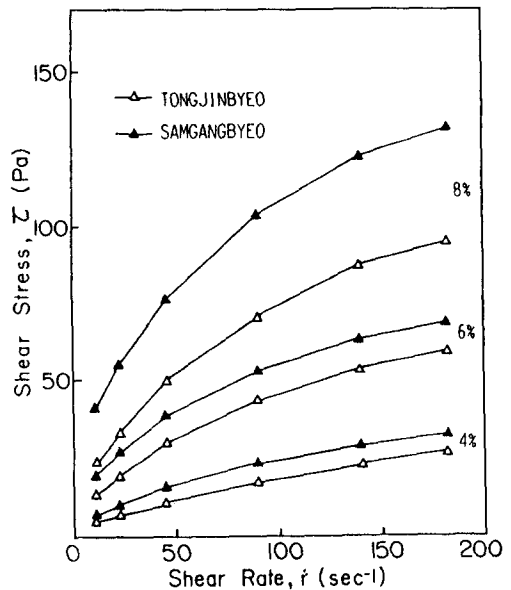


Fig. 5. Relationships of shear stresses against shear rate of 4, 6 and 8% rice starch solutions gelatinized with sodium hydroxide and measured at 30°C

값은 표 2와 같이 측정온도가 증가함에 따라 두 시료 전분의 점조도지수와 항복응력 값은 감소하였으나 유동 거동지수 값은 차이가 없었다.

점조도지수 값의 온도의존성은 그림 4에서와 같이 직선관계를 보여서 Arrhenius식⁽¹⁵⁾으로 설명할 수 있었

Table 3. Rheological parameters of rice starch solutions gelatinized with sodium hydroxide and measured at 30 °C

Starch	Concentration (%)	Yield stress (Pa)	Consistency index (Pa · s ⁿ)	Flow behavior index
Tongjin-byeo	4	1.14	0.87	0.67
	6	4.61	1.93	0.66
	8	8.81	3.28	0.65
Samgang-byeo	4	2.80	1.23	0.66
	6	8.55	2.61	0.62
	8	16.16	4.71	0.60

으며, 기율기에서 구한 활성화 에너지 값은 동진벼와 삼강벼 전분이 각각 6.73 및 6.35 Kcal/mol으로서 큰 차이를 보이지 않았다.

동진벼와 삼강벼 전분 알칼리 호화액의 전단속도에 대한 전단응력의 관계는 그림 5와 같다. 동진벼와 삼강벼 전분 모두 전분농도에 관계없이 가열 호화액의 경우와 마찬가지로 비뉴우톤 유체의 기동을 나타내었다. 그러나 대응하는 전단속도에서의 알칼리 호화액의 전단응력 값은 가열 호화액의 전단응력 값 (그림 1)보다 훨씬 낮았으나 시료간의 차이는 뚜렷하였다. 이는 알칼리 호화액이 가열 호화액과는 유동의 구조적 특성이 서로 다른 것을 의미하며 시료간의 차이는 알칼리에 대한 안정성에 기인하는 것으로 보인다¹¹⁾.

Casson식¹²⁾으로 구한 항복응력 값과 Herchel-Bulkley식¹⁶⁾으로 구한 유동기동지수 및 점조도지수 값을 표 3에 나타내었다. 동진벼와 삼강벼 전분 모두 유동기동지수 값은 시료농도에 관계없이 1보다 작아 병행의 가소성 유체의 특성을 나타내었으나 가열 호화액보다는 다소의 가소성이 약함을 보였다. 또 알칼리 호화액의 항복응력 값과 점조도지수 값도 농도가 증가함에 따라 가열호화액과 마찬가지로 증가(표 3)하였다. 시료간에는 삼강벼 전분이 높은 경향이었으나 가열호화액보다는 매우 낮은 특징을 보였다.

점조도지수의 대수값과 전분농도의 관계를 나타낸 그림 6에서 볼 수 있는 바와 같이 두 시료 모두 가열 호화액과는 달리 단일의 직선관계를 보였다. 이는 알칼리 호화액의 구조적 특성이 가열 호화액과는 달리 농도에 무관함을 의미한다. 알칼리 호화액은 가열 호화액보다 점조도지수의 농도의존성이 낮고 무한희석 용액에서의 점조도지수 값도 낮음을 보였다.

또, $\sqrt{\tau_0}$ 와 전분농도와의 관계도 그림 7에서 볼 수 있는 바와 같이 두 시료 모두 전분 농도의 증가에 따라 $\sqrt{\tau_0}$ 값이 직선적으로 증가하였다. 이 직선의 기울기와 절편값을 식 (2)로부터 구한 K_0 및 C_0 값은 각각 동진벼 전분에서 0.475 및 1.661%, 삼강벼 전분에서 0.587 및 1.104%로 삼강벼 전분이 동진벼 전분보다 항복응력의

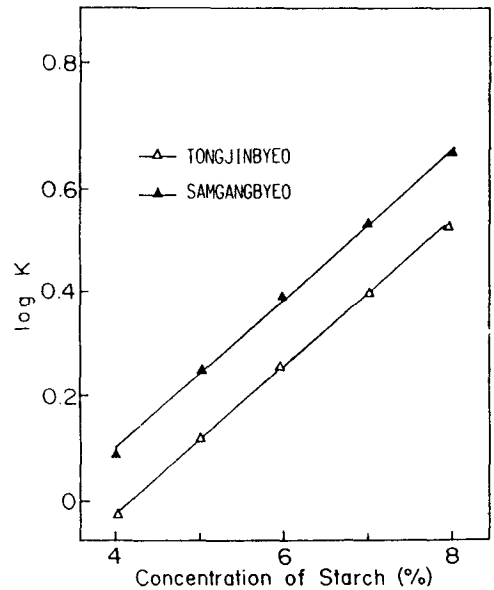


Fig. 6. Effect of starch concentrations on the consistency index of rice starch solutions gelatinized with sodium hydroxide

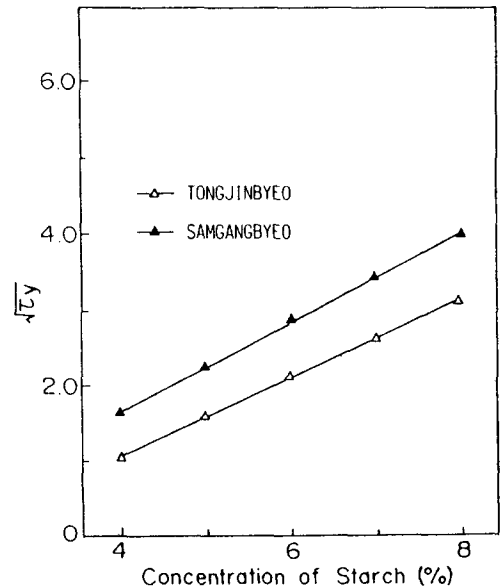


Fig. 7. Effect of starch concentrations on the yield stress of rice starch solutions gelatinized with sodium hydroxide

농도의존성이 컸으나 항복응력을 나타내기 시작한 농도는 낮음을 보였다. 또한 알칼리 호화액은 가열 호화액보다 항복응력의 농도의존성이 낮았으며 항복응력을 나타내는 농도도 더 낮은 결과를 보였다.

요 약

동진벼(일반계)와 삼강벼(다수계) 전분의 특성을 이해하기 위하여 가열 및 알칼리 호화액에 대한 리올로지 특성을 회전점도계로 비교 검토하였다. 가열 호화액의 리올로지 특성값은 품종간의 차이가 크지 않았으며, 활성화 에너지는 동진벼 전분이 6.73 및 삼강벼 전분이 6.35 Kcal/mol 이었다. 알칼리 호화액의 리올로지 특성값은 뚜렷한 차이를 나타내었으며, 삼강벼 전분의 항복응력 및 점조도지수 값이 동진벼 전분보다 컸다. 가열 호화액은 알칼리 호화액보다 의가소성, 항복응력 및 점조도지수 값이 큰 결과를 보였다.

문 헌

1. 박양균 : 쌀 전분의 호화 및 산 가수분해 특성. 한국영양식량학회지, 19, 443(1990)
2. 김성곤, 정혜민, 조만희 : 쌀, 옥수수, 칩 및 생강 전분의 알칼리 호화. 한국농화학회지, 27, 214(1984)
3. 김남수, 석호문, 남영중, 민병용 : 멥쌀 전분의 호화 특성. 한국농화학회지, 30, 24(1987)
4. 이신영, 조형용, 김성곤, 이상규, 변유량 : 쌀 전분 호화액 중의 리올로지 특성. 한국식품과학회지, 16, 273(1984)
5. 김영숙, 김주봉, 이신영, 변유량 : 쌀 전분 회석 호화액의 유동학적 특성. 한국식품과학회지, 16, 11(1984)
6. Sherman, P. : *Industrial Rheology*. Academic Press,

New York(1970)

7. Casson, N. : A flow equation for pigment oil suspensions of the printing ink type. In *Rheology of disperse systems*, Mill, C.C.(ed), Pergamon Press, New York, p. 84 (1959)
8. 김일환, 김성곤, 이신영 : 인산염이 쌀 전분 호화액의 리올로지에 미치는 영향. 한국식품과학회지, 16, 366(1987)
9. Rao, M.A. : Rheology of liquid foods-A review. *J. Texture Studies*, 8, 135(1977)
10. 김주봉, 김영숙, 이신영, 변유량 : 쌀 전분 호화액의 텍스투로픽 성질. 한국식품과학회지, 16, 451(1984)
11. 송범호, 김성곤, 이규환, 변유량, 이신영 : 일반계 및 다수계 찹쌀 전분의 점성특성. 한국식품과학회지, 17, 107(1985)
12. 김성곤, 이신영, 김주봉 : 유체 식품의 리올로지, 단국대학교 부설 식량개발연구소, p. 53(1983)
13. 박양균, 노일환, 김관, 김성곤 : 쌀 보리 전분 호화액의 리올로지 특성. 한국식품과학회지, 18, 278(1986)
14. Evans, L.D. and Haisman, D.R. : Rheology of gelatinized starch suspensions. *J. Texture Studies*, 10, 347(1979)
15. Sawayama, S., Kawabata, A., Okabe, M. and Sugi, J. : Viscosities of carageenan aqueous solution and physical properties of carageenan-water gels. *Nippon Nogeikagaku Kaishi*, 52, 409(1978)

(1990년 9월 28일 접수)