

밤전분 수용액의 리올로지 특성

박흥현·김성곤*·변유량**·이신영***

경희호텔경영전문대학 식품영양학과, *단국대학교 식품영양학과

연세대학교 식품공학과, *강원대학교 발효공학과

Rheological Properties of Chestnut Starch Solution

Hong-Hyun Park, Sung-Kon Kim*, Yu-Ryang Pyun** and Shin-Young Lee***

*Department of Food and Nutrition, International College of Hotel Administration,
Kyung Hee University, Seoul*

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

***Department of Food Technology, Yonsei University, Seoul*

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

Abstract

Rheological properties of chestnut starch suspensions (3 and 4%, db) and gelatinized starch (4%, db) were investigated with a capillary and rotational viscometer, respectively. Starch suspensions had no yield stress and showed dilatant flow behavior in the temperature ranges of 30-65°C. However, starch suspension showed pseudoplastic flow behavior at 70° and above 65°C for 3 and 4% concentration, respectively. Flow activation energy below 50°C was 0.56 kcal/mole but increased to 51.9-80.8 kcal/mole at 60-70°C. The behavior of gelatinized starch (4%) was pseudoplastic regardless of heating temperature (65-80°C) and time (15-60 min). The apparent viscosity of the starch remained constant after heating at 80°C for 45 min. The swelling power and log apparent viscosity showed similar pattern. The activation energy of the apparent viscosity of the gelatinized starch at 70-80°C was 13.09 kcal/mole. The apparent viscosity of thermal-gelatinized (90°C) starch was lower than that of 15 psi-gelatinized starch.

Key words: chestnut starch, rheology of chestnut starch

서 론

밤의 주성분은 전분이나 이에 대한 연구는 미미한 실정으로서, 일반성질⁽¹⁻⁴⁾과 희석호화액의 리올로지 성질⁽⁵⁾과 수분-열처리한 전분의 성질⁽⁶⁾에 대한 연구가 보고되어 있다. 박 등⁽⁴⁾은 밤전분은 낮은 농도(5% 이하)에서도 겔을 형성하는 독특한 성질을 보인다고 하였다. 또한 밤전분의 아밀로그래프에 의한 점도는 5% 및 6% 모두 가열 중 점도변화가 크지 않으며, 6% 농도에서의 최고 점도는 5%에서 보다 2배 이상 높은 값을 보인다⁽⁴⁾. 이러한 결과는 밤전분은 비교적 낮은 농도에서

점증제로서 이용 가능성이 있음을 가르킨다.

본 연구는 식품가공에서의 이용 가능성을 높이기 위한 기초자료를 얻고자 전보⁽⁶⁾의 계속으로서 밤전분 현탁액과 호화액의 리올로지 성질에 대하여 조사하였다.

재료 및 방법

재료

전분은 전보⁽⁶⁾와 동일한 것으로서 조성은 수분 14.0%, 단백질 0.11%, 회분 0.06%, 지방질 0.008%이었다.

전분 현탁액의 조제

시료전분에 증류수를 가하여 3% 및 4%의 현탁액을

Corresponding author: Hong-Hyun Park, Department of Food and Nutrition, International College of Hotel Administration, Kyung Hee University, 1, Hoegidong, Dongdaemun-gu, Seoul, 701-701

만들고 이를 30-70°C로 가열하여 전분현탁액 시료로 하였다.

현탁액의 유동특성의 측정

전분 현탁액의 유동특성의 측정은 모세관 점도계를 사용하여 행하였다⁽⁷⁾. 이 점도계는 눈금이 그어져 있는 2개의 시료용기를 stainless steel 모세관(안지름 0.0640 cm, 길이 35 cm)을 연결하여 항온수조에 넣은 것이다.

측정은 일정량의 시료를 용기에 넣고 온도범위 30-70°C를 유지하면서 진공펌프로 시료용기 사이의 압력차가 7-38 cm Hg가 되도록 변화시키면서 시료의 일정량을 유동시키는데 요하는 시간을 측정하여 행하였다. 점도계로 실측된 압력차의 변화는 글리세린 용액을 사용하여 보정⁽⁸⁾하였다.

시료 현탁액의 리올로지 특성값은 다음의 Herschel-Bulkley 식⁽⁹⁾으로부터 구하였다.

$$\tau = K\gamma^n + \tau_y$$

$$\text{또는 } \gamma = K^n (\tau - \tau_y)^{1/n} \quad (1)$$

여기에서 γ 는 전단속도(s^{-1}), τ 는 전단응력(Pa), τ_y 는 항복응력(Pa)이며 n 은 유동지수, K ($Pa \cdot s^n$)는 점도지수이다. 유동특성값은 비선형 최소자승법을 이용하여 IBM 360 컴퓨터로 계산하였다.

가열온도 및 시간에 따른 호화액의 점도변화

전분에 증류수를 가하여 4% 전분 현탁액을 만들고 일정온도(65-80°C)에서 일정시간(15-60분) 가열 후 열음물 중에서 3분 이내에 측정온도인 60°C로 냉각시켜 점도측정의 시료로 하였다.

점도특성의 측정은 Haake Rotovisco Viscometer (medel RV-12)로 하였으며, MV-cup (ID=4.20 cm) 및 MVI-bob (OD=4.08 cm, L=6.0 cm)를 연결하여 사용하였다.

시료액 40 ml를 MV-cup에 담고 기포를 제거한 후 측정온도에서 약 5분간 온도를 평형시킨 후 programmer (Haake PG142)를 이용하여 회전속도(46.8~234.0 s^{-1})에 따른 회전우력을 연속 측정하여 행하였다. 전단응력은 점도계의 회전우력에 보정계수 ($mPa \cdot s / \text{scale grad} \cdot \text{min}$)를 사용하여 계산하고 다음 식에 의하여 겔보기 점도를 구하였다.

$$\eta_{app} = \tau / \gamma \quad (2)$$

여기에서 τ 는 전단응력(Pa), γ 는 전단속도(s^{-1})이다. 이 때 bob과 cup의 간격이 매우 좁기 때문에 ($Ra/Ri=1.05$) 비뉴턴유체에 대한 전단속도의 보정은 행하지 않았다.

상압 및 가압가열 호화액의 점도

전분 현탁액(1.5-5.0%)을 90°C에서 20분간 또는 15 psi (121°C)에서 15분간 호화시켜 각각 상압 및 가압가열 호화액을 제조하고 열음물 중에서 3분 이내에 측정온도(30-80°C)로 냉각시켜 점도측정의 시료로 하여 위와 같은 방법으로 점도특성을 측정하였다.

결과 및 고찰

전분 현탁액의 유동 거동

전분 현탁액(3% 및 4%)을 30-70°C에서 유동거동을 측정하고 리올로지 특성값을 산출한 결과는 표 1과 같다. 유동지수값은 3% 전분 현탁액의 경우 30-65°C에서는 1보다 컸으나, 70°C 이상에서는 1보다 작은 값을 보였다. 한편 4% 전분 현탁액의 경우에는 30-60°C에서 유동지수값은 1보다 컸으나 65°C 이상에서는 작은 값을 보였다.

항복응력값은 모두 0에 가까운 값을 보였다. 따라서 밤전분 현탁액은 3% 및 4%에서 30-70°C의 범위에서는 항복응력이 존재하지 않음을 알 수 있다. 쌀전분 현탁액(5%)은 30-80°C에서⁽¹⁰⁾, 칩전분(2-4%)은 30-65°C에서⁽¹¹⁾ 항복응력이 존재하지 않는다고 보고되어 있

Table 1. Viscometric constants of chestnut starch suspensions

Concentration (%)	Measuring temperature (°C)	Flow behavior index, n (-)	Consistency index, K ($Pa \cdot sn$)
3	30	1.215	2.84×10^{-3}
	50	1.216	2.65×10^{-3}
	60	1.188	3.03×10^{-3}
	65	1.006	7.99×10^{-3}
	70	0.915	21.72×10^{-3}
4	30	1.171	2.92×10^{-3}
	50	1.180	2.73×10^{-3}
	60	1.117	2.77×10^{-3}
	65	0.842	6.31×10^{-3}
	70	0.797	38.17×10^{-3}

Yield stress was negligible

다.

밤전분 현탁액은 3% 농도에서는 30-65°C, 4% 농도에서는 30-60°C에서 유동지수값이 1보다 크며, 항복응력값이 0이므로(표 1) 델라탄트유체의 거동을 보임을 알 수 있다. 그러나 4% 전분 현탁액의 경우 65°C 이상에서는 유동지수값은 1보다 작으며, 항복응력값은 무시할 수 있는 범위에 있으므로 의가소성 유체의 특성을 보였다.

이 등(10,12)은 아끼바레 전분 현탁액의 경우 가열온도의 증가에 따라 1/n로 나타낸 유동지수값은 점차 증가하며 전분 호화액은 1.0-1.2의 유동지수값을 보인다고 보고하였다. Kuboda 등(13)도 여러 전분의 호화액(3-5%)의 경우 전분의 종류에 관계없이 1/n은 1.2-1.4라고 보고하였다. 따라서 이상의 결과를 토대로 하면, 밤전분 현탁액은 3% 농도에서는 70°C에서 호화가 다소 진행되며, 4% 농도에서는 65°C에서 호화가 진행됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 밤전분의 팽화력이 60-65°C에서 급격히 증가되는 현상(6)과도 잘 일치하는 경향이 있었다.

일반적으로 점조도지수값은 온도에 크게 영향을 받으므로(13), 점조도지수값의 온도의존성을 알아보기 위하여 항복응력값을 0으로 하고 점조도지수값을 재산출한 다음, 점조도지수값과 절대온도 역수와의 관계를 본 결과는 그림 1과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 3% 및

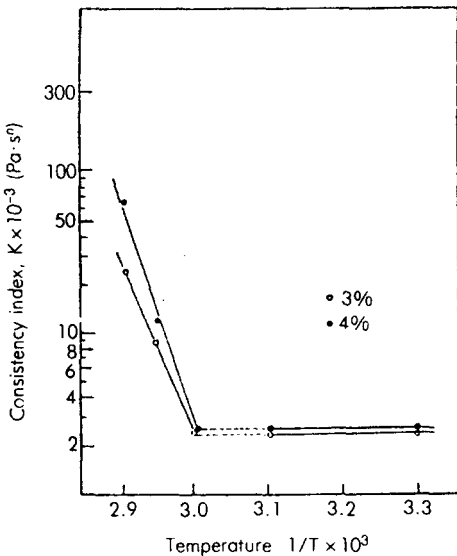


Fig. 1. Effect of temperature on consistency index of chestnut starch suspensions.

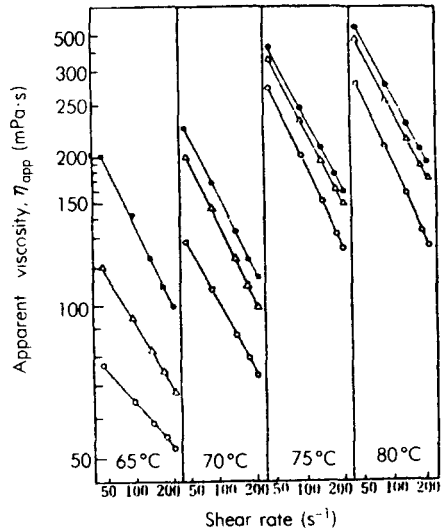


Fig. 2. Comparison of apparent viscosities against shear rate for 4% chestnut starch suspension in water measured at 60°C after cooking for 15 (○), 30 (△), 45 (●) and 60 min (●) at various temperatures.

4% 밤전분 현탁액은 기울기가 다른 두 개의 직선관계를 보였다. 직선의 기울기로부터 구한 활성화에너지는 50°C 이하에서는 농도와 관계없이 약 0.56 kcal/mole이었으나, 60-70°C일 때 3% 농도에서는 51.9 kcal/mole, 4% 농도에서는 80.8 kcal/mole이었다.

가열온도와 시간에 따른 호화액의 점도변화

전분 현탁액을 65-80°C 범위로 각 온도에서 일정(15-60분)호화시키고, 46.8-234.0 s⁻¹의 전단속도로 60°C에서의 겔보기 점도를 구한 결과는 그림 2와 같다. 동일 전단속도에서 겔보기 점도는 가열시간의 증가에 따라 지수적으로 증가하였다. 또한 가열온도 및 시간에 관계없이 전단속도가 증가할수록 점도는 지수적으로 감소하여 의가소성을 나타내었다. 가열시간의 증가에 따라 겔보기 점도값은 증가하였으며, 75°C 이후에는 겔보기 점도값의 증가는 완만하였다.

밤전분 현탁액을 65-80°C로 가열했을 때 전단속도 140.4 s⁻¹에서의 겔보기 점도의 대수값과 팽화력(6)과의 관계는 비슷한 양상을 보였다(그림 3). 이 결과는 겔보기 점도의 증가와 전분의 팽화력과는 밀접한 관계가 있음을 나타낸다. Christianson과 Bagley(14)는 옥수수 전분의 가열에 따른 겔보기 점도의 증가는 팽윤된 전분 입자의 용전분율(volume fraction)과 직접적 관계를

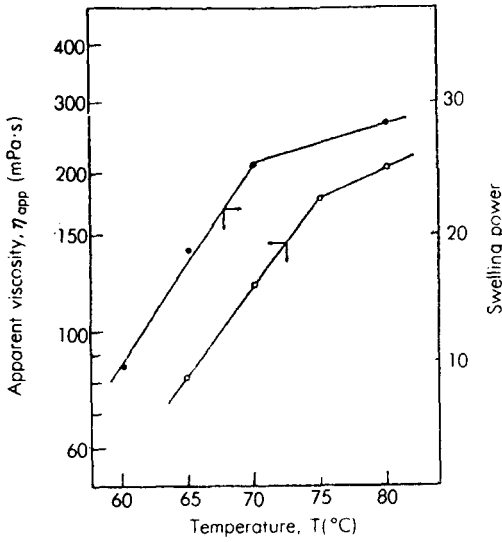


Fig. 3. Effect of temperature on apparent viscosity (○) and swelling power (●) of 4% chestnut starch suspension at shear rate of 140.4 s^{-1} .

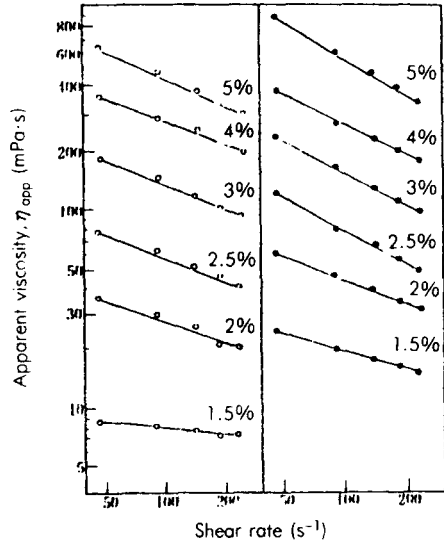


Fig. 5. Comparison of apparent viscosity against shear rate for chestnut starch gelatinized at 90°C (○) and 121°C (●).

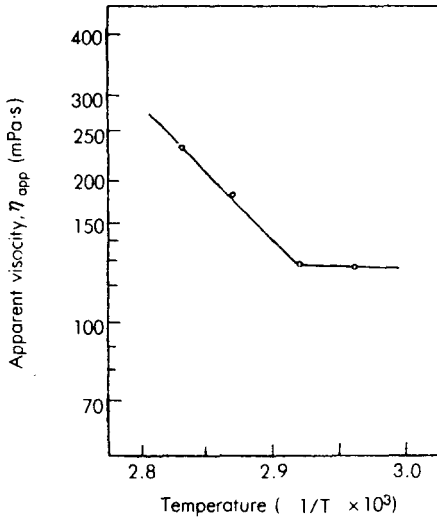


Fig. 4. Effect of temperature on viscosity of 4% gelatinized chestnut starch at shear rate of 140.4 s^{-1} .

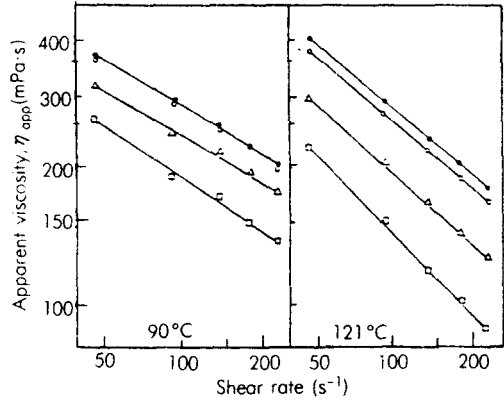


Fig. 6. Comparison of apparent viscosity against shear rate for 4% chestnut starch paste measured at $30, 40, 50^\circ\text{C}$ (●), 60°C (○), 70°C (△) and 80°C (□) after gelatinization at 90°C and 121°C .

보인다고 보고하였다.

그림 3의 결과로부터 가열시간 45분에서의 겔보기 점도와 온도와의 관계를 보면 그림 4와 같다. 가열온도 65-70°C에서의 겔보기 점도의 활성화에너지값은 3.21 kcal/mole로서, 물의 활성화에너지가 3.56 kcal/mole⁽¹⁵⁾임을 고려해 볼 때 밤전분은 가열온도 70°C 이하에서의 물과 비슷한 온도의존성을 보임을 알 수 있

다. 그러나 70-80°C에서의 겔보기 점도의 활성화에너지값은 13.09 kcal/mole이었다(그림 4).

삼압 및 가압가열 호화액의 점도

여러 농도의 밤전분 현탁액을 90°C 및 121°C에서 가열하여 호화액을 제조하고 전단속도 46.8~234.0 s⁻¹에서 겔보기 점도의 변화를 30°C에서 측정된 결과는 그림 5와 같다. 밤전분 호화액은 농도 및 호화방법에 관계없

이 의가소성을 나타내었다. 가압호화액의 겔보기 점도는 동일농도에서 상압호화액보다 높은 값을 보였다. 이러한 현상은 멍쌀⁽¹⁶⁾ 및 찰쌀^(16,17) 전분에서도 보고되어 있다.

상압 및 가압호화액(4%)의 측정온도에 따른 겔보기 점도의 변화는 그림 6과 같다. 전분 호화액의 겔보기 점도는 호화방법에 관계없이 측정온도가 증가할수록 감소하였다. 이러한 현상은 쌀전분⁽¹⁰⁾에서도 보고되어 있다. 가압호화액의 겔보기 점도는 동일한 측정온도에서 상압호화액의 겔보기 점도보다 높은 값을 보였다.

요 약

밤전분 현탁액(3% 및 4%)의 유동특성을 모세관 점도계로 분석하였을 때 30-65°C에서 항복응력이 존재하지 않는 딜라탄트유체의 거동을 보였다. 그러나 3% 전분 현탁액은 70°C에서, 4% 전분현탁액은 65°C 이상에서 의가소성 유체의 거동을 보였다. 밤전분 현탁액의 점조도지수의 활성화에너지는 50°C 이하에서는 0.56 kcal/mole, 60-70°C에서는 51.9-80.8 kcal/mole 이었다. 전분 호화액(4%)의 유동특성을 회전점도계로 측정하였을 때 가열온도 및 시간에 관계없이 겔보기 점도는 지수적으로 감소하여 의가소성을 나타내었다. 밤전분 호화액을 65-80°C로 가열했을 때의 겔보기 점도의 대수값은 동일온도에서의 전분의 팽화력과 밀접한 관계를 보였다. 가열온도 70-80°C에서의 겔보기 점도의 활성화에너지값은 13.9 kcal/mole 이었다. 상압(90°C) 및 가압(121°C) 호화액은 측정온도의 증가에 따라 겔보기 점도가 감소하였으나, 가압호화액은 측정온도의 증가에 따라 겔보기 점도가 감소하였으나, 가압호화액의 겔보기 점도는 동일온도에서 상압호화액의 겔보기 점도보다 높은 값을 보였다.

문 헌

1. 서기봉, 한관주, 이성종 : 밤 가공에 관한 연구, 제1보, 밤의 가공적성 및 유색가공품 개발을 목적으로, 한국식품과학회지, 6, 98(1974)
2. 백광욱, 함승시 : 밤전분의 생화학적 연구, 강원대 식자 연논문집, 2, 57(1975)

3. 함승시, 백광욱 : 밤전분의 이화학적 성질에 관한 연구, 강원대학교 연구논문집, 10, 117(1976)
4. 박인순, 김성곤, 김춘수 : 밤전분의 이화학적 특성, 한국농화학회지, 25, 218(1982)
5. 박영희, 김성곤, 이신영, 김주봉 : 밤전분호화액의 유동거동, 한국식품과학회지, 16, 314(1984)
6. 박흥현, 이규한, 김성곤 : 수분-열처리에 의한 밤전분의 물리화학적 성질의 변화, 한국식품과학회지, 18, 437(1986)
7. 김일환, 김성곤, 이신영 : 인산염이 쌀전분 현탁액의 리올로지에 미치는 영향, 한국식품과학회지, 19, 239(1987)
8. Ram, A. and Tamir, A. : A capillary viscometer for non-newtonian liquids, *Ind. Eng. Chem.*, 56, 47(1964)
9. Sherman, P. : *Industrial Rheology*, Academic Press, New York (1970)
10. 이신영, 변유량, 조형용, 유주현, 이상규 : 쌀전분 현탁액과 호화액의 유동거동, 한국식품과학회지, 16, 29(1984)
11. 김관, 윤한교, 김성곤, 이신영 : 칩전분 현탁액의 리올로지적 성질, 한국식품과학회지, 18, 114(1986)
12. 이신영, 조형용, 김성곤, 이상규, 변유량 : 쌀전분 호화중의 리올로지적 특성, 한국식품과학회지, 16, 273(1984)
13. Kuboda, K., Hosokawa, Y., Suzuki, K. and Hosaka, H. : Determinations of viscometric constants in empirical flow equations of heated starch solutions, *J. Fac. Fish. Anim. Husb.*, Hiroshima Univ., 17, 1(1978)
14. Christianson, D.D. and Bagley, E.B. : Apparent viscosities of dispersions of swollen cornstarch granules, *Cereal. Chem.*, 60, 116(1983)
15. Sawayama, S., Kawabata, A., Okate, M. and Sugi, J. : Viscosities of carrageenan aqueous solution and physical properties of carrageenan-water gels, *Nippon Nogeikagaku Kaishi*, 52, 409(1978)
16. 김영숙, 김주봉, 이신영, 변유량 : 쌀전분 회색호화액의 유동학적 특성, 한국식품과학회지, 16, 11(1984)
17. 송범호, 김성곤, 이규한, 변유량, 이신영 : 일반계 및 다수계 찰쌀전분의 점성특성, 한국식품과학회지, 17, 62(1985)

(1989년 8월 7일 접수)