

마 전분 호화액의 리올로지 특성

이부용 · 이영철 · 김홍만 · 김철진 · 박무현
한국식품개발연구원

Rheological Properties of the Gelatinized Yam Starch Solution

Boo-Yong Lee, Young-Chul Lee, Heung-Man Kim, Chul-Jin Kim and Moo-Hyun Park

Korea Food Research Institute

Abstract

To increase utilization of Korean yam, the rheological properties of gelatinized yam (*Dioscorea alata*) starch solutions at various concentrations (1~5%) and temperature (30~60°C) were investigated. The rheological behavior of gelatinized yam starch solutions was illustrated by power-law model and Casson equation and exhibited pseudoplastic behavior with yield stress. The pseudoplasticity of starch solutions increased largely concentration of starch increased. As the temperature increased from 30°C to 60°C, the dependency of starch concentration decreased, B were decreased from 0.40449 to 0.39352. The activation energy of flow of gelatinized yam starch solutions were increased from 4.1415 to 5.45329×10^6 J/kg·mol by increasing starch concentration from 1% to 5%.

Key words: yam starch, gelatinization, rheological properties

서 론

국내에서 재배되는 식용 마는 덩이 뿌리 모양에 따라 긴마, 단마 및 참마로 나누며, 가식부는 뿌리가 원주상으로 비대한 생근형태로서 내부는 백색, 외부는 다갈색의 덩굴초본이다. 긴마(*Dioscorea batatas DECNE*)는 장산약 또는 마라고도 부르며, 우리나라 전역에 걸쳐 재배되는 마이며, 단마(*D. alata*)는 1979년 일본 대화마를 도입하여 재배시킨 품종으로 긴마에 비해 덩이 뿌리의 길이가 짧아 수확이 간편하고, 수량성도 높아 식용마 재배용으로 보급시키는 품종이다. 참마(*D. japonica THUNB*)는 환산약 또는 진주지역에서 재배가 잘 되어 일명 진주마라고도 한다⁽¹⁾.

마에 대한 국내 연구로는 김 등⁽²⁾의 긴마, 단마, 참마^(2,3)로부터 분리한 마전분의 이화학적 분자구조 특성에 대한 연구가 있고, 국외 연구로는 Suzuki 등⁽⁴⁾, Rasper 등⁽⁵⁾과 Nagashima 등⁽⁶⁾의 외국산 마전분에 대한 이화학적 특성의 연구보고가 있을 뿐 마전분의 호화액의 리올로지적 성질에 대한 연구가 전무한 실정이다. 이에 본 연구는 앞으로 마전분을 이용한 가공식품개발에서 중요한 기초자료로 사용될 수 있는 단마 전분호화액의 기본적인 리올로지적 특성에 대해 보고하고자 한다.

재료 및 방법

재료

마는 경상북도 안동군에서 91년 10월에 수확한 건조마를 구입하여 실험에 사용하였다. 건조마의 일반성분은 수분 12.6%, 조회분 4.34%, 조지방 3.70%, 조단백 7.30%, 조섬유 1.35% 및 무질소화합물 83.30%이었다.

전분의 분리

건조한 마를 디스크 밀로 조분쇄한 후 0.01 N NaOH 용액을 약 5배 가하여 냉장고에서 하룻밤 방치하였다. 알칼리용액의 처리를 2회 반복하여 120메쉬의 표준망체를 통과시켰다. 생성된 전분유를 325메쉬의 표준망체로 한번 더 정제한 후 생성된 침전물에 증류수를 가하여 상등액의 pH가 중성이 될 때까지 세척하였다⁽⁷⁾. 이 침전물을 원심분리(10,000g)하여 상등액을 버리고 침전물 중의 상층부의 단백질을 끊어낸 후 증류수에 다시 현탁시켜 원심분리를 4~5회 반복하여 거의 순수한 전분을 분리하였다. 분리한 전분을 40°C를 유지하는 열풍건조기로 건조하여 시료로 사용하였다⁽⁸⁾.

호화액의 조제

건물량 기준 1~5% 상당량의 마전분을 증류수 50 ml에 현탁시켜 상온에서 100 rpm으로 10분간 교반하였다. 이 현탁액을 수욕상에서 서서히 교반하면서 100°C에 도달하였을 때 20분간 가열호화시킨 후 얼음물에서 5분 이내에 측정온도로 냉각시키고, 진공펌프로 호화액 중의

Corresponding author: Boo-Yong Lee, Korea Food Research Institute, San 46-1, Baekhyun, Bundang, Sungnam, Kyonggi 463-420, Republic of Korea

기포를 제거하여 측정시료로 하였다.

리올로지 특성의 측정

마전분 호화액의 리올로지 특성은 Hakke Rotovisco Viscometer(Model RV20)를 사용하였다. 측정은 측정 온도로 냉각시킨 시료액 9 ml를 측정용기에 넣고 전단 속도를 0~2500(1/S)까지 변화시키면서 전단응력을 측정하였다.

리올로지 특성값의 계산

리올로지 특성값의 계산은 식 (1)의 Power-law model을 사용하였고⁽⁹⁾, 항복력은 식 (2)의 Casson 식⁽¹⁰⁾에 의하여 구하였다. 한편 호화액의 유동특성에 대한 온도의 영향은 식 (3)의 Arrhenius식^(11,12)으로 분석하였다.

겔보기 점도도 (3)식에 의하여 구하였다.

$$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n \tag{1}$$

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{C \cdot K_1} \sqrt{\dot{\gamma}} \tag{2}$$

$$\eta_{app} = \eta_{\infty} \cdot \exp(Ea/RT) \tag{3}$$

- τ : 전단응력(shear stress, Pa)
- $\dot{\gamma}$: 전단속도(shear rates, 1/S)
- η_{app} : 겔보기 점도(apparent viscosity, Pa·s)
- η_{∞} : 무한 겔보기 점도(infinite apparent viscosity, Pa·s)
- Ea : 유동 활성화에너지(activation energy of flow, J/kg·mol)
- R : 기체상수(J/kg·mol·K)
- T : 절대온도(absolute temperature, K)
- K, K₁ : 점도도 지수(consistency index, Pa·s⁻ⁿ)
- n : 유동지수(flow behavior index)

결과 및 고찰

유동특성

1~5% 전분농도에 대하여 대표적으로 30℃에서 전단속도를 0~2500(1/S)까지 변화시키면서 전단응력을 측정된 결과는 Fig. 1과 같다. 전단속도가 증가함에 따라 전단응력이 비직선적으로 증가하였으며, 다른 측정온도도 모두 같은 경향을 나타내어 마전분 호화액의 흐름 거동은 의가소성임을 알 수 있었다. 마전분 호화액의 유동특성을 Power law model과 Casson식에 적용시켜 해석한 결과는 Table 1과 같다.

유동지수(n)값은 일정 전분농도에서는 측정온도에 상관없이 비슷한 값을 보였으나, 동일온도에서는 농도가 3~5%로 증가할수록, 0.7828~0.8335, 0.6069~0.6872, 0.4619~0.5879로 각각 감소하여 의가소성이 증가하는 것으로 나타났다. 점도도 지수(K)는 동일온도에서는 전분농도가 증가할수록, 같은 전분농도에서는 온도가 감소할수록 증가하는 경향을 보여 전분농도와 측정온도 모두에 의해 영향을 받는 것으로 나타났다. 한편, 항복력

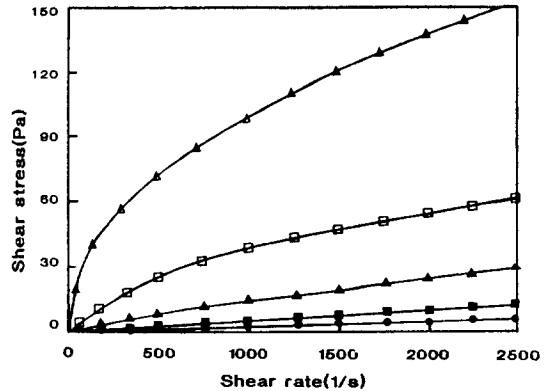


Fig. 1. Flow curves of gelatinized yam starch solutions at 30℃

●—●; 1%, ■—■; 2%, ▲—▲; 3%, □—□; 4%, △—△; 5%

Table 1. Rheological parameters of the gelatinized yam starch solutions

Concentration (%)	Temperature (℃)	Power law model			Casson model
		K(Pa·s ⁻ⁿ)	n	r ¹⁾	C(Pa)
1	30	0.0087	0.7857	0.97	0.0166
	40	0.0084	0.7757	0.96	0.0142
	50	0.0084	0.7585	0.96	0.0155
	60	0.0089	0.7374	0.94	0.0154
2	30	0.0167	0.8279	1.00	0.0771
	40	0.0129	0.8408	0.99	0.0325
	50	0.0110	0.8486	0.98	0.0124
	60	0.0097	0.8484	0.99	0.0119
3	30	0.05773	0.7828	1.00	0.5410
	40	0.03360	0.8187	1.00	0.1725
	50	0.02668	0.8340	1.00	0.1101
	60	0.02533	0.8335	1.00	0.1108
4	30	0.5219	0.6069	1.00	4.3090
	40	0.1886	0.7013	1.00	1.4790
	50	0.1640	0.7051	1.00	1.3400
	60	0.1923	0.6872	1.00	1.1050
5	30	4.1020	0.4619	0.99	23.9200
	40	1.1860	0.5949	1.00	7.9780
	50	0.9535	0.6032	1.00	6.4720
	60	1.0810	0.5879	1.00	7.5760

¹⁾correlation coefficient

(C)도 전분농도가 높고, 측정온도가 낮을수록 큰 값을 나타내었으며 30℃ 측정시 4%에서 5%로 농도가 증가할 때 항복력은 4.3090 Pa에서 23.9200 Pa로 크게 증가하였다.

겔보기 점도의 농도의존성

마전분 호화액의 겔보기 점도에 대한 전분농도의 영향을 보기 위하여 전단속도 1500(1/S)에서의 log η_{app}와 전분농도를 도시한 결과는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 농도에 따른 시료 모두가 직선관계를 나타내어 아래와 같은 지수함수식으로 설명할 수 있었다.

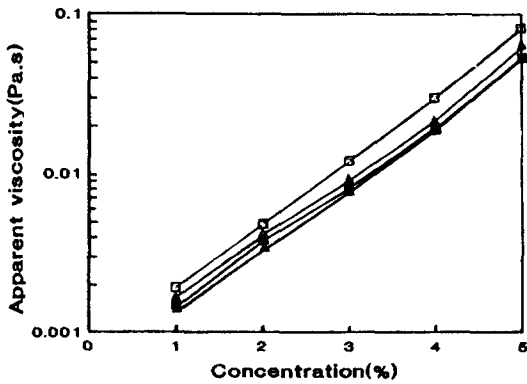


Fig. 2. Effect of concentration on apparent viscosity of gelatinized yam starch solutions at 1500(1/S)
 ▲—▲; 60°C, ■—■; 50°C, △—△; 40°C, □—□; 30°C

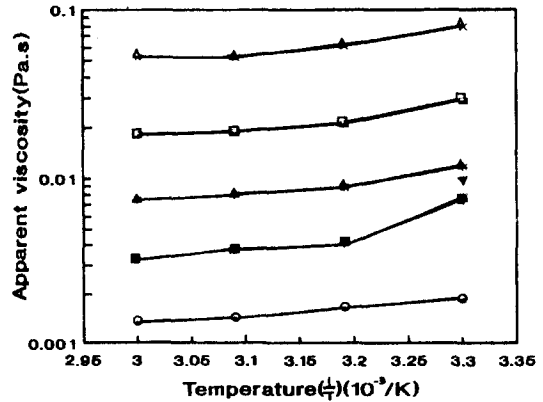


Fig. 3. Arrhenius plots of gelatinized yam starch solutions at 1500(1/S)

○—○; 1%, ■—■; 2%, ▲—▲; 3%, □—□; 4%, △—△; 5%

Table 2. Values of η_{∞} and B of the gelatinized yam starch solutions at various temperatures

Temperature (°C)	Concentration (%)	η_{∞} (Pa·s)	B (-)	$r^{(1)}$
30°C	1-5	0.00073	0.40449	0.9998
40°C	1-5	0.00066	0.38577	0.9986
50°C	1-5	0.00059	0.38318	0.9989
60°C	1-5	0.00052	0.39352	0.9991

¹⁾correlation coefficient

$$\eta_{app} = \eta_{\infty} \cdot \exp(B \cdot A)$$

여기서 B값은 농도의존성을 나타내는 상수이며, A는 전분의 농도(%)로서 전분농도에 따른 η_{∞} (농도=0일 때의 η) 및 B값을 구한 결과로 Table 2와 같다.

Fig. 2에서 본 바와 같이 η_{∞} 는 온도가 30~60°C로 증가함에 따라 전체적으로 감소하는 경향을 보여주었으며, Table 2에서 B값은 온도가 30~60°C로 증가함에 따라 0.40449~0.39352로 감소하고, η_{∞} 는 0.00072~0.00052 Pa·s로 감소하여 측정온도가 높아질수록 농도의존성은 낮아짐을 알 수 있었으나, 다른 전분^(13,14)과 밤전분⁽¹⁵⁾에서 보여주는 기울기가 달라지는 현상을 나타내지는 않았다.

겉보기 점도의 온도의존성

마전분 호화액의 겉보기 점도에 대한 측정온도의 영향을 보기 위하여 $\log \eta_{app}$ 와 1/T을 도시한 결과는 Fig. 3과 같다. Arrhenius식에 따라 η_{∞} 와 Ea를 구한 결과는 Table 3과 같다.

전분농도가 1~5%로 증가함에 따라 η_{∞} 는 0.00004~0.00068 Pa·s로 증가하였으며, 활성화에너지 Ea도 전체적으로 4.1415~5.4539×10⁶J/kg·mol로 증가하는 경향을 나타내어 다른 전분^(15,16)들과 비슷한 값을 보여주었다. 이와 같이 농도증가에 따른 활성화에너지 값이 크게

Table 3. Values of η_{∞} and Ea of the gelatinized yam starch solutions

Concentration (%)	Temperature (K)	η_{∞} (Pa·s) (×10 ⁶ /kg·mol)	Ea	$r^{(1)}$
1	303-333	0.00004	4.1415	0.9939
2	303-333	0.00008	4.3778	0.9937
3	303-333	0.00008	5.3451	0.9989
4	303-333	0.00017	5.1517	0.9991
5	303-333	0.00068	5.4539	0.9412

¹⁾correlation coefficient

변하지 않은 것은 호화전분의 내부 결합력, 즉 유동에 따른 저항이 농도에 크게 의존하지 않기 때문으로 생각된다.

요 약

국내산 마의 이용성 및 활용성을 증진시키기 위하여 단마 전분 호화액의 농도(1~5%)와 온도(30~60°C)에 따른 유동특성을 살펴보았다. 마전분 호화액은 모두 유동지수 1 이하의 의가소성 유체의 성질을 나타냈으며, 전분농도가 증가함에 따라 의가소성이 증대되었다. 호화액의 농도의존성을 나타내는 B값은 측정온도가 30~60°C로 증가할수록 0.40449~0.39352로 감소하여 측정온도가 높을수록 농도의존성은 낮아짐을 알 수 있었다. 온도에 따른 호화액의 유동 활성화에너지는 전분농도가 1~5%로 증가함에 따라 4.1415~5.4539×10⁶J/kg·mol로 증가하는 경향을 보여주었다.

문 헌

1. 정을권 : 산약 제배, 새농민 기술대학 교육자료 42, 서울,

- p.241(1989)
2. 김화선, 김상순, 박용곤, 석호문 : 한국산 마전분의 이화학적 특성. 한국식품과학회지, **23**, 554(1991)
 3. 차연수 : 참마(*Dioscorea japonica Thunberg*) 전분의 이화학적 특성에 관한 연구. 숙명여자대학교 대학원 석사학위논문 (1983)
 4. Suzuki, A., Kanayama, M., Takeda, Y. and Hizukuri, S.: Physicochemical properties of nagaimo(yam) starch. *J. Jpn. Soc. Starch Sci.*, **33**, 191(1986)
 5. Rasper, V. and Coursey, D.G.: Properties of starches of some west african yams. *J. Sci. Food Agric.*, **18**, 240(1967)
 6. Nagashima, T. and Kamoi, I.: Some properties of starch from yam(*Dioscorea*). *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi*, **37**, 124(1990)
 7. Yamamoto, K., Sawada, S. and Onogaki, T.: Properties of rice starch prepared by alkai method with various conditions. *Denpun Kagaku*, **20**, 99(1973)
 8. Meredith, P.: Large and small starch granules in wheat are they really different. *Stärke*, **33**, 40(1981)
 9. Rao, M.A. and Anantheswaram, R.C.: Rheology of fluid in food processing. *Food Technol.*, **36**, 116(1982)
 10. Charm, S.E.: The direct determination of stress-shear rate behaviour of foods in the presence of a yield stress. *J. Food Sci.*, **28**, 197(1963)
 11. Harper, J.C. and Lebernamn, K.W.: Viscometric behaviour of tomato concentrations. *J. Food Sci.*, **30**, 470 (1965)
 12. 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)
 13. 이신영, 변유량, 조형용, 유주현, 이상규 : 쌀전분 현탁액과 호화액의 유동거동. 한국식품과학회지, **16**, 29 (1984)
 14. 박양균, 노일환, 김관, 김성곤, 이신영 : 쌀보리 전분 호화액의 리올리지 특성. 한국식품과학회지, **18**, 278 (1986)
 15. 박영희, 김성곤, 이신영 : 밤전분 호화액의 유동특성. 한국식품과학회지, **16**, 314(1984)
 16. 김관, 윤한교, 김성곤, 이신영 : 쉰 전분 호화액의 리올리지적 성질. 한국식품과학회지, **19**, 300(1987)
-
- (1992년 9월 3일 접수)