

마늘 착즙 및 농축액의 Rheological Properties

김병삼 · 박노현 · 박무현 · 한봉호* · 배태진**

한국식품개발연구원, *부산수산대학교, **여수수산대학교

Rheological Properties of Garlic Juice and its Concentrate

Byeong-Sam Kim, Noh-Hyun Park, Moo-Hyun Park, Bong-Ho Han* and Tae-Jin Bae**

Korea Food Research Institute

*Dept. of Food Sci. and Tech., National Fisheries University of Pusan

**Dept. of Food Sci. and Tech., Yosu National Fisheries College

Abstract

To develop a new form of spice material by concentration of garlic juice, its rheological properties were investigated. In the temperature range of 15 to 65°C, the garlic juice with the solid content of 32 to 60°Brix was considered as a pseudoplastic fluid. Flow and consistency indices of the juice interpreted by power-law equation varied from 0.9937 to 0.6130 and 0.0041 to 3.1886Pa·sⁿ, respectively. Apparent viscosity was lineally decreased as shear rate was increased. Activation energy for the flow of the garlic juice changed in the range of 11,216 to 23,195 kJ/kg·mol.

Key words : garlic juice, rheological properties, viscosity

서 론

과채류 주스의 농축은 일시에 다획된 원료를 연중 안정적으로 공급하기 위한 가공 처리방법의 일환으로서 행해지게 되는데, 특히 증발농축에 있어서 증발기의 선정은 원료의 점성특성에 크게 좌우된다. 이는 급액 방법, 운전방식 및 열전달속도 등이 점도에 크게 영향을 받기 때문이다. 따라서 증발기에 대한 열전달식 중에는 점도를 변수로 하는 것들이 많으며^(1,3) 실제 운전은 점도의 감소, 열전달속도의 증가 및 에너지 절약을 위해 높은 전단 속도에서 행하는 수가 많다⁽⁴⁾. 점도는 증발기의 운전 성능에 영향을 미치게 되는데, 만일 농축액의 점도가 어떤 일정한 값(threshold)을 초과하면 출구에서의 농도가 오히려 감소하거나 농축액이 증발기 내부에서 "burn on" 되는 수도 있으며, 결과적으로 농축액과 에너지면에서 손실을 가져올 수도 있다. 그래서 pulp wash concentrate와 같은 경우에는 pectic enzyme 등을 사용해 점도를 감소시킴으로써 에너지 절약 및 최종 농축액의 농도를 높이고 있다⁽⁵⁾. Kelly⁽⁶⁾에 따르면 농축액의 펌핑과 파이프 수송에 있어서 점도 차이에 따라 펌프의 효율이 26%까지 차이가 나며, 농도가 10% 증가함에 따라 저장에너지는 거의 10%가 절약된다고 하였다.

마늘 착즙은 점도가 높을 뿐만 아니라 열과 접촉하면 갈변 및 매운 맛의 손실이 크기 때문에, 본 연구에서는 열 접촉 시간이 짧고 증발 농축 중 열손실이 작아서 열에 민감한 식품이나 고점성의 식품의 농축에 적합하다고 판단되는 원심식 박막증발기, *Centri-Therm*를 마늘 착즙의 농축에 이용하고자 하였으며 그 연구의 일환으로 우선 마늘 착즙 및 농축액의 rheological properties에 대해 연구하였다.

재료 및 방법

시료의 제조

시료인 마늘 착즙은 1989년 7월 10일 경기도 화성군에서 수확한 6쪽 마늘(*Allium Sativum*)을 전기착즙기(J-530S, 4,500 rpm, 삼성전자)로 착즙한 다음 200 mesh 표준체를 통과시켜 제조하였다. 한편, 착즙한 마늘즙을 원심식 박막증발기(*Centri-Therm*, α -Laval Co., Sweden)에서 증발농축(증발온도; 40°C, 증기온도; 110°C, 급액속도; 50 kg/h)시켜 32~60°Brix로 조절하였다.

점도의 측정

점도는 외부 실린더 내경 5 cm, 높이 12 cm인 회전 점도계(Brabender Viscotron, System D14)를 사용하여 시료를 용기에 넣고 스피들(spindle) 표선과 일치시킨 후 15~65°C의 온도범위에서 3분간 열평형시키고 회전

Corresponding author : Byeong-Sam Kim, Korea Food Research Institute, 148-1 Dangsoo, Panwol, Hwaseong, Kyonggi-do, 445-820

수를 0~512 rpm으로 변화시키면서 나타나는 토오크 (torque) 값의 변화를 기록, 측정하였다.

레올로지 특성의 해석

Rheological properties는 power law equation(식 1)과 Herschel-Bulkley 상태방정식(식 2)을 이용해 해석하였다. 즉

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

$$\tau = \tau_y + K \cdot \dot{\gamma}^n \tag{2}$$

여기서 전단속도(shear rate, $\dot{\gamma}$)와 전단응력(shear stress, τ)은 스펀들의 회전수 변화에 따른 토오크 값의 변화로부터 다음식을 이용해 구하였다.

$$\tau = B \cdot S \cdot Y \tag{3}$$

$$\dot{\gamma} = N \cdot X \tag{4}$$

그리고 항복응력(yield stress, τ_y)은 다음의 Casson 식을 이용해 구하였다.

$$\sqrt{\tau} = \sqrt{\tau_y} + K\sqrt{\dot{\gamma}} \tag{5}$$

한편, 마늘 착즙 및 농축액의 흐름거동(flow behavior)에 대한 온도의 영향은 Arrhenius 관계에 의해 해석하였다. 즉,

$$\mu_r = A \cdot \exp(E_a/RT) \tag{6}$$

결과 및 고찰

마늘 착즙의 흐름거동을 살펴보기 위해 전단속도의 변화에 따른 전단응력의 변화를 측정하여 Fig. 1에서 알 수 있는 바와 같이 15~65°C의 온도 범위에서 대체로 의가소성 유체(pseudoplastic fluid)와 같은 거동을 보였다. 즉, 전단속도를 469 s⁻¹까지 증가시키기에 따라 전단응력은 비직선적으로 계속 증가하였는데 특히 온도가 낮을수록 전단속도의 증가에 따른 전단응력의 증가폭이 크게 나타났다. 그리고 이러한 경향은 마늘 착즙을 고형물 농도 40, 50, 60°Brix로 농축한 경우에 있어서도 전단응력의 크기에는 차이가 있었으나 대체로 유사한 흐름거동을 나타내었는데 Table 1의 점조도지수(K)와 유동지수(n)의 변화로부터 잘 알 수 있다. 이는 마늘 착즙의 주성분이 수분(68.01%)을 제외할 때 단백질(6.50%)과 탄수화물(25.39%) 등 거대분자를 많이 함유하고 있는 불균일 혼합상 용액이기 때문에 Newtonian fluid의 특성에서 벗어나는 것으로 여겨졌다.

본 연구에서는 마늘 착즙 및 농축액의 점성특성을 power law equation(식 1) 및 Herschel-Bulkley equation

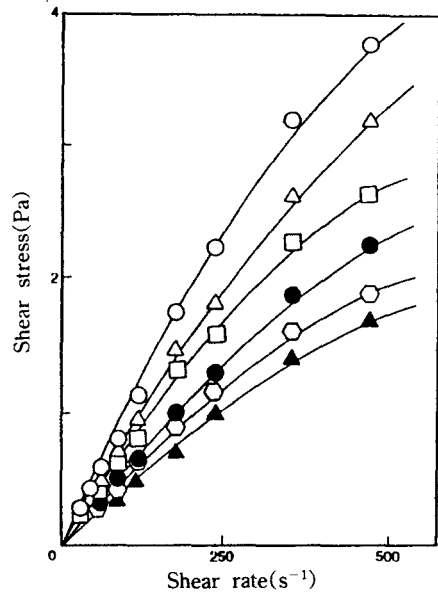


Fig. 1. Flow behavior of garlic juice with the concentration of 32°Brix at different temperatures
 -○- 15°C, -△- 25°C, -□- 35°C, -●- 45°C,
 -○- 55°C, -▲- 65°C

(식 2)에 적용시켜 보았는데 Table 1에서 나타난 바와 같이 이들 두 모델식에 의해 구한 유동지수(flow behavior index)로부터도 마늘 착즙이 의가소성 유체의 특성을 나타낸다는 사실을 확인할 수 있었다. 그런데 이들 값에서 보면 유체특성은 32~40°Brix의 농도범위에서는 어느 정도 Newtonian fluid의 특성에 근접하였으나 60°Brix에서는 모든 온도범위에서 Newtonian fluid에서 완전히 벗어나는 것을 알 수 있었다. 특히, 동일 농도에서는 온도가 낮을수록 Newtonian fluid에서 벗어나는 정도가 큼을 알 수 있었고 동일 온도에서는 농도가 높을수록 그러하였다. 두 모델식에 대한 적용성을 비교하여 본 바에 의하면 마늘 착즙의 흐름거동을 해석하는데는 power-law model과 Herschel-Bulkley model이 모두 대체로 잘 적용되어짐을 알 수 있다. 즉, Casson식에 의하여 구한 항복응력(yield stress)은 농도 50°Brix까지는 모든 온도범위에서 아주 적은 값(0.0003~0.4303)이어서 무시할 수 있었으므로 power-law model이 잘 적용되었다. 그러나 농도 50~60°Brix의 경우 55°C 이상에서는 그 값을 무시할 수 있었으나, 55°C 이하에서는 온도가 낮을수록 항복응력이 무시할 수 없을 정도로 증가하였으므로(1.8302~8.2409) 이 범위에서는 Herschel-Bulkley equation이 오히려 잘 적용됨을 알 수 있었다. 따라서 마늘 착즙의 경우 희박한 경우는 단순한 power-law model만으로도 해석이 가능하나 60°Brix 이상 농

Table 1. Experimentally determined coefficients for power-law model and corrected power-law model(Herschel-Bulkley equation)^{a)}

Conc. (°Brix)	Temp. (°C)	Power-law model($\tau = K_1 \dot{\gamma}^{n_1}$)			Corrected model($\tau - \tau_y = K_2 \dot{\gamma}^{n_2}$)			
		n_1	K_1	γ^2	n_2	K_2	τ_y	γ^2
32	15	0.9629	0.0111	0.9960	0.9633	0.0110	0.0003	0.9636
	25	0.9638	0.0093	0.9961	0.9706	0.0089	0.0049	0.9958
	35	0.9889	0.0069	0.9908	0.9945	0.0067	0.0032	0.9945
	45	0.9927	0.0056	0.9954	0.9947	0.0055	0.0010	0.9954
	55	0.9929	0.0048	0.9837	0.9941	0.0048	0.0006	0.9836
	65	0.9937	0.0041	0.9946	0.9993	0.0039	0.0031	0.9944
40	15	0.9109	0.0412	0.9830	0.9437	0.3395	0.0832	0.9437
	25	0.9153	0.0361	0.9889	0.9405	0.0311	0.0582	0.9405
	35	0.9325	0.0282	0.9896	0.9518	0.0251	0.0372	0.9518
	45	0.9372	0.0241	0.9873	0.9583	0.0213	0.0347	0.9583
	55	0.9596	0.0191	0.9795	0.9878	0.0162	0.0378	0.9766
	65	0.9669	0.0174	0.9828	0.9814	0.0154	0.0264	0.9871
50	15	0.8492	0.1793	0.9865	0.8961	0.1353	0.4303	0.9844
	25	0.8869	0.1080	0.9642	0.9470	0.0757	0.3369	0.9573
	35	0.8749	0.0935	0.9610	0.9429	0.0665	0.3325	0.9532
	45	0.8872	0.0706	0.9451	0.9691	0.0437	0.2697	0.9302
	55	0.9015	0.0581	0.9756	0.9427	0.0445	0.1405	0.9427
	65	0.9150	0.0380	0.9734	0.9561	0.0299	0.0928	0.9561
60	15	0.6130	3.1886	0.9884	0.7600	1.3424	8.2409	0.9763
	25	0.6216	2.0801	0.9940	0.7744	0.7995	6.7264	0.9820
	35	0.8073	0.6055	0.9760	0.8919	0.3625	2.0017	0.9641
	45	0.8261	0.4078	0.9251	0.9618	0.1853	1.8302	0.8881
	55	0.8282	0.3344	0.9927	0.8757	0.2509	0.7729	0.9910
	65	0.8678	0.2030	0.9434	0.9320	0.1388	0.6301	0.9337

a) K_1 , K_2 : Consistency index(Pa·sⁿ). n_1 , n_2 : Flow behavior index(-). $\dot{\gamma}$: Shear rate(s⁻¹), τ : Shear stress(Pa), τ_y : Yield stress(Pa)

축한 농축액의 경우는 오히려 항복응력을 고려한 Herschel-Bulkley equation에 적용하는 것이 더 적절한 것으로 여겨졌다.

Crandall 등⁽⁷⁾이 수종의 과일 주스에 대하여 시험한 결과에 의하면 동일 농도에서는 온도를 -10°C에서 25°C까지 증가시켰을 때 온도가 증가함에 따라 유동지수와 점조도지수는 모두 감소하였다. 그러나 Varshney and Kumbhar⁽⁸⁾에 의하면 13° Brix의 오렌지 주스의 경우 30~45°C의 온도범위에서 온도가 증가할수록 유동지수는 증가한 반면 점조도지수는 오히려 감소한다고 하였으며, Rao 등⁽⁹⁾이 65.1° Brix의 오렌지 주스를 power-law model에 적용시켰을 때에도 -18~29.5°C에서 역시 이와 유사한 결과를 나타낸 것으로 보고하였다. 본 연구에서도 마늘 착즙의 경우 농도 32~60 Brix, 온도 15~65°C의 범위에서 농도와 온도증가에 따라 유동지수는 0.6130~0.9937로 증가한 반면 점조도지수는 3.1886~0.0041 Pa·sⁿ로 감소하였는데 이는 오렌지 주스와 유사한 경향을 나타내는 것으로 여겨졌다.

Fig. 3에는 전단속도에 따른 각 농도별, 온도별 겔보기 점도(apparent viscosity)의 변화를 나타내었다. 전단속

도의 증가에 따른 점도는 거의 직선적으로 감소하였으며 이러한 경향은 농도가 높을수록 다소 심하였다.

Fig. 4와 Table 2는 마늘 착즙의 점도에 대한 온도의 영향을 나타낸 것으로서, 유동에 따른 활성화에너지(activation energy)는 11,216 kJ/kg·mol에서 23,195 kJ/kg·mol이었다. 일반적으로 활성화에너지는 뉴우톤 유체의 경우는 점도를 그리고 비뉴우톤 유체의 경우는 일정 전단속도에서의 겔보기점도를 바탕으로 계산하게 되는데 본 연구에서는 각 전단속도별로 농도변화에 따라 활성화에너지의 변화를 알아보았다. 표에서 보면 마늘 착즙의 유동에 필요한 활성화에너지는 동일한 전단속도에서는 마늘 착즙의 고형물 농도가 높을 수록 증가하였다. 그리고 동일 농도에서는 전단속도의 변화에 따라 활성화에너지의 값이 차이를 보이는데 이는 비뉴우톤 유체의 경우 전단속도의 변화에 따라 전단응력의 변화나 겔보기점도가 다르게 나타나기 때문에 결과적으로 활성화에너지의 계산치가 약간씩 다르게 나타나는 것으로 여겨진다. 이와 같은 현상은 Mizrahi and Berk⁽¹⁰⁾가 두 종류의 오렌지주스의 유동에 대한 활성화에너지를 전단속도 1.41, 1.27 및 1.141 s⁻¹에서 측정된 겔보기점도를 바

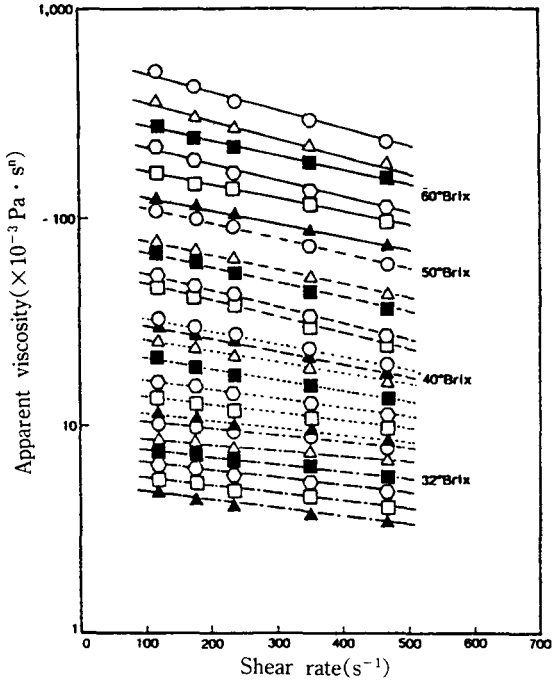


Fig. 2. Changes of apparent viscosity of garlic juice at different shear rates

Legends are the same as in Fig. 1.

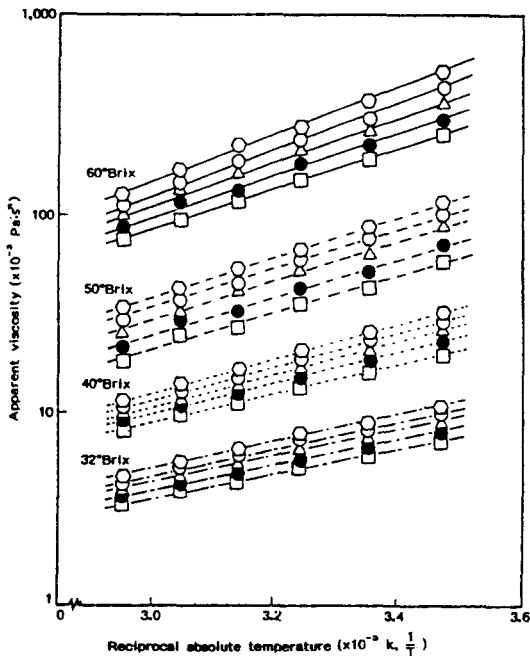


Fig. 3. Arrhenius plot of temperature dependence on the viscosity of garlic juice with different shear rates

Shear rate : \circ — 117 s⁻¹, \square — 117 s⁻¹, \triangle — 234 s⁻¹, \bullet — 352 s⁻¹, \square — 496 s⁻¹

Table 2. Effect of temperature on the flow behavior of garlic juice

Concentration (°Brix)	Shear rate (s ⁻¹)	Activation energy (×10 ⁴ kJ/kg·mol)	Constant (×10 ⁻⁵ kg/m·s)
32	117	1.4708	2.4116
	176	1.4176	2.7855
	234	1.3182	3.8521
	352	1.1810	5.5989
40	469	1.1216	6.3241
	117	1.7096	2.6170
	176	1.6905	2.5763
	234	1.6561	2.7214
50	352	1.4968	4.5144
	469	1.3982	5.7743
	117	1.9801	2.8774
	176	1.8707	3.8913
60	234	1.8483	3.7662
	352	1.7745	4.0804
	469	1.7506	3.7094
	117	2.3195	3.2794
60	176	2.0853	7.0013
	234	1.9999	8.6796
	352	1.9063	1.0301
	469	1.8936	8.9351

탕으로 계산한 경우 3.62~7.0 kcal/g·mol로 다르게 나타난 경우에서도 알 수 있다.

마늘 착즙의 경우 증발농축을 행하는 경우 효소나 색택 등이 열에 민감하다는 특성을 제외하더라도 저온 영역에서의 점성특성 때문에 적절한 펌핑 및 수송 시스템이 구비된 증발기의 선택이 요구된다. 특히 칼란드리아 타입이나 일부 박막형 증발기의 경우 스케일(scale)의 형성에 의한 오염이 문제가 되어서 일반적인 CIP(clean in place)가 불가능할 것으로 여겨져 원심식 박막 증발기와 같은 특별한 증발장치가 필요할 것으로 여겨진다.

요 약

마늘의 장기저장 및 새로운 향신료 개발의 일환으로 마늘을 착즙한 후 농축시켜 저장 및 중간 향신 소재화 하고자 하였으며, 그 연구의 일환으로 마늘 착즙 및 농축액의 rheological properties에 대해 연구하였다. 마늘 착즙 및 농축액의 흐름거동은 고형물 농도 50°Brix까지는 power-law model에 대체로 잘 적용되었으나 60°Brix 이상의 농도에서는 항복응력을 고려한 Herschel-Bulkley model이 더 적절한 것으로 여겨졌으며, 의가소성 유체(pseudoplastic fluid)의 특성을 나타내었다. 고형물 농도 32~60°Brix, 온도 15~65°C의 범위에서 유동지수는 0.6130~0.9937로 온도가 상승할 수록 증가하였으며, 이 때 점조도지수는 3.1886~0.0041 Pa·

sⁿ였다. 마늘 착즙의 겉보기점도는 전단속도의 증가에 따라 직선적으로 감소하였으며 유동에 따른 활성화에너지는 11,216~23,195 kJ/kg·mol이었다.

기호설명

A : frequency factor(kg/m · s)
 B : scale factor
 E_a : activation energy(kJ/kg.mol)
 K : consistency index(Pa · sⁿ)
 N : rotational speed of spindle(rpm)
 n : flow behaviour index(-)
 R : gas constant(kJ/kg·mol·K)
 S : torque(N.m)
 T : absolute temperature(K)
 X : shear rate factor
 Y : shear stress factor
 μ_r : apparent viscosity(Pa · sⁿ or kg/m·s)
 τ : shear stress(Pa)
 τ_y : yield stress(Pa)
 γ̇ : shear rate(sec⁻¹)

문헌

1. Heldman, D.R. and Singh, R.P. : *Food Process Engineering*, 2nd ed., AVI Pub. Co., Inc., Westport, Conn. p. 81

- (1971)
2. Charm, S.E. : *The Fundamentals of Food Engineering*, 2nd ed., AVI Pub. Co., Inc., Westport, Conn. p.112 (1971)
 3. Charm, S.E. and Merrill, E.W. : Heat transfer coefficients in straight tubes for pseudoplastic food materials in streamline flow. *Food Res.*, **24**, 319(1959)
 4. Saravacos, G.D. : Effect of temperature on viscosity of fruit juice purees. *J. Food Sci.*, **35**, 122(1970)
 5. Braddock, R.J. and Kesterson, J.W. : Use of enzymes in citrus processing. *Food Technol.*, **33**(11), 78(1979)
 6. Kelly, C.L. : Pumping viscous liquids. *Trans. Citrus Eng. Conf.*, **24**, 60(1978)
 7. Crandall, P.G., Chen, C.S. and Carter, R.D. : Models for predicting viscosity of orange juice concentrate. *Food Technol.*, **36**(5), 245(1982)
 8. Varshney, N.N. and Kumbhar, B.K. : Effect of concentration temperature on rheological properties of pineapple and orange juice. *Food Sci. Technol.*, (India), **15**(2), 53(1978)
 9. Rao, M.A., Cooley, H.J. and Vitali, A.A. : Flow properties of concentrated juice at low temperatures. *Food Technol.*, **38**(5), 113(1984)
 10. Mizrahi, S. and Berk, Z. : Flow behaviour of concentrated orange juice. *J. Texture Studies*, **1**, 342(1970)

(1990년 6월 14일 접수)