

토마토케첩 현탁액의 리올로지 특성과 점성예측모델

하성권 · 최용희
경북대학교 식품공학과

Rheological Characteristics and Viscosity Prediction Models of Tomato Ketchup Suspensions

Sung-Kwon Ha and Yong-Hee Choi

Department of Food Engineering, Kyungpook National University, Taegu

Abstract

Rheological properties of rehydrated suspensions of freeze dried tomato ketchup were measured by Brabender Viscotron at the temperature range of 30-90°C, at the concentration of 15-50%, and at the shear rate of 0-250sec⁻¹. At the shear rate of 0-210sec⁻¹, tomato ketchup was found to be a thixotropic food product. The values of flow behavior index, consistency index and yield stress at the shear rate of 0-210sec⁻¹, at the temperature of 30°C and at the concentration of 33%, were 0.2131, 22.5047 Pa sec⁻ⁿ, and 8.544 Pa, respectively. It was found that the apparent viscosity model for temperature was expressed by Andrade model and the model for concentration was expressed by Power model, and the model for both temperature and concentration was described by exponential and power models. The activation energies at the concentrations of 15, 20, 30, 33, 40, and 50% were 3.973, 4.985, 5.078, 5.226, 5.357, and 7.655 kcal/g·mole, respectively.

Key words: tomato kechup, viscosity, prediction model

서 론

최근 각종 조립식품 및 간편식품의 개발과 이의 산업적인 생산체계가 확대되어 감에 따라 신제품 개발이나, 새로운 용도 개발이 매우 활발히 진행되고 있다. 그중 현재 생산량은 많으나 그 이용도가 낮은 토마토를 이용하여 소비자의 기호에 알맞고 영양가 높은 제품의 보급이 필요하다고 생각되어 진다.

토마토는 뇌의 활동에 필요한 채소로 주성분이 당질이며, 구연산, 사과산, 주석산을 함유하고 있어 신맛을 내며, 소화를 돕고, 에너지를 생성하는 작용을 한다. 특히 산성 식품인 육류를 알칼리성 식품인 토마토로 중화시키면 체내의 소화를 촉진시켜 장으로의 전달을 신속히 해준다. 뿐만 아니라 토마토는 조미료로서의 역할도 크게 늘어나고 있으며, 그 제품으로는 tomato sauce, tomato ketchup, tomato juice 등이 있는데, 이중 우리나라에서는 토마토쥬스와 케첩만이 공업적으로 생산 시판되고 있는 실정이다.

현재 연구가 활발히 진행되고 있는 유체식품 및 반고체 식품의 리올로지 성질은 크게 공학적 응용, 관능평가, 성분조성의 변화 또는 구조의 이해등에 효율적으로 활용되고 있다.

반고체식품인 마요네즈, Cheese Spread Salade dressing, 토마토케첩 등은 시간의존성 비뉴톤 유동거동을 나타내는 것으로 밝혀졌다⁽¹⁾. 이중 토마토에 대하여는 저장중의 pectin 물질변화⁽²⁾, 토마토쥬스 및 퓨레에 대한 제품의 품질비교⁽³⁾, 성분분석등 화학분야 및 가공분야에 관한 연구가 대부분이었으며⁽⁴⁾, 공학적 응용의 기초자료인 물리적 특성에 대한 연구로는 가공공정의 에너지 계산⁽⁵⁾ 열전도 특성⁽⁶⁾ 토마토쥬스나 퓨레 가공공정에 있어 추출시의 pH, 산, 효소, 온도 및 tomato serum, pulp 함량등이 점성에 미치는 영향에 대한 연구⁽⁷⁻¹⁰⁾가 있었으나, 토마토케첩에 대한 리올로지적 연구는 Dervisoglu 등⁽¹¹⁾의 유동특성에 관한 것 밖에는 없는 실정이다. 더욱이 케첩의 동결건조 분말화 및 분말케첩의 품질특성 지표로서 리올로지 응용은 물론이거니와 온도와 농도에 따른 점성 관계식에 대하여는 아직 연구된 바가 없다.

따라서, 본 실험에서는 품질보유성이 가장 우수한 동결건조 기술을 적용하여 토마토케첩을 건조 분말화한 후 재

Corresponding author: Yong-Hee Choi, Department of Food Engineering, Kyungpook National University, Taegu 702-010

수화시켜 토마토케찹의 유동특성을 측정 규명하였다. 아울러 점성 이론에 입각한 적정 모델식을 탐색하였고, 이로부터 온도 및 농도에 따른 토마토케찹의 점도 변화를 쉽게 예측할 수 있는 수학적인 예측 모델식으로 발전시키고자 하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험의 재료는 시판되는 토마토케찹이다. 동결기(New Brunswick Scientific LTD, Chest Freezer)에서 pan(Super Modulyo Freeze dryer pan)에 2 mm 되게 얇게 부어 -23°C, 12시간 동결시켰다. 동결된 토마토케찹을 동결건조기(Super Modulyo Freeze dryer, Edwards Co.)을 사용하여 건조하였으며, 이때 건조조건은 -45°C, 압력 5.2×10^{-2} mm bar에서 72시간 동안 건조하였다. 제조된 분말케찹을 분쇄하고, 100 mesh 체로 사별하여 흡습을 방지하기 위하여 알루미늄 포일 적층 포장재에 포장한 후 4°C의 저온에서 보관하면서 사용하였다.

시료의 조제

분말 토마토케찹에 소정량의 증류수를 가하여 고품질 함량이 15, 20, 30, 33, 40, 및 50% 농도가 되게 하여 이들을 교반기로 10분간 교반하였다. 이렇게 조제된 토마토케찹을 각각 250ml 플라스크에 담아 오븐에 넣고 실온에서 탈기한 후 30-90°C의 일정온도로 유지시킨 항온조에서 항온이 될 때까지 교반하면서 열평형시켜 리올로지 특성 측정 시료로 하였다.

리올로지 특성의 측정

시료에 대한 리올로지 특성은 회전점도계(brabender viscotron)을 이용하여 측정하였으며, 측정 시스템으로는 외부 실린더 내경 2.17cm, 내부 실린더의 내경 2.0cm이며, 높이 3.0cm로서 측정시스템 E₁₇를 사용하였다.

측정은 먼저 여러농도 범위(15-50%) 시료를 시료 용기에 넣고, 스펀들 표선과 일치하도록 하여 소정의 일정온도(30-90°C)로 3분간 열평형시킨 다음 각 온도에서 회전수를 0-512rpm으로 변화시키면서 나타나는 토오크 값의 변화를 X-Y recorder로 자동 기록하여 측정하였다.

리올로지 특성의 해석 및 특성값의 계산

리올로지 특성의 해석은 다음의 Herschel-Bulkley 상태 방정식을 이용하여 산출하였다.

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

여기서 τ 는 전단응력(Pa), τ_y 는 항복응력(Pa), $\dot{\gamma}$ 는 전단속도(sec⁻¹) n은 유동거동지수, K는 유체의 점도도지수(Pa sec⁻ⁿ)이며, τ , $\dot{\gamma}$ 및 겔보기 점도(η_a)는 각각 다음의 식을 이용하여 구하였다.

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

$$\tau = B \cdot S \cdot Y$$

$$\tau_y = B \cdot S_o \cdot Y$$

$$\eta_a = \frac{B \cdot S \cdot K}{N}$$

$$K_1 = \frac{Y}{X} \times 1000 (\text{viscosity constant})$$

여기서 S와 S_o는 토오크 눈금값, N은 회전속도이며, B, K₁, X 및 Y는 보정계수로서 각각 토오크 측정용 스프링에 의존하는 torque sensitivity, calibration constant, shear rate factor 및 Shear stress factor이다.

이때 리올로지 특성값인 τ_y 값은 다음의 Casson 식에 의하여 구하였다.

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

위의 식에서 얻은 항복응력 τ_y 를 사용하여 Herschel-Bulkley 상태방정식을 다음과 같은 식으로 변형하고 실험값들로부터 비선형 최소자승법으로 Cyber 컴퓨터를 사용하여 유동지수 및 점도도 지수를 각각 구하였다.

$$\ln(\tau - \tau_y) = \ln k + n \ln \dot{\gamma}$$

한편 시간의존 특성은 thixotropy 및 stress relaxation으로 구분하여 측정하였다. 즉, thixotropy는 회전수를 0-512rpm으로 연속적으로 증가시켰다가 다시 감소시키면서 대응하는 전단응력을 측정하여 행하였으며, 응력완화(stress relaxation)는 일정한 전단속도로 유지한 정상전단(steady shear)하의 전단응력 변화를 측정 후 평형에 도달하였을 때에 모터를 끄고 전단시간에 따라 감소하는 전단응력 값을 측정하여 얻었다.

온도 및 농도 변화에 따른 관계식은 지수식을 적용하여 컴퓨터로 최적화 프로그램을 응용하여 구하였다.

결과 및 고찰

농도에 대한 전단속도와 전단응력과의 관계

농도에 대한 전단속도와 전단응력의 변화는 Fig. 1과 같다. 낮은 전단속도(0-20sec⁻¹)에서는 Bingham-

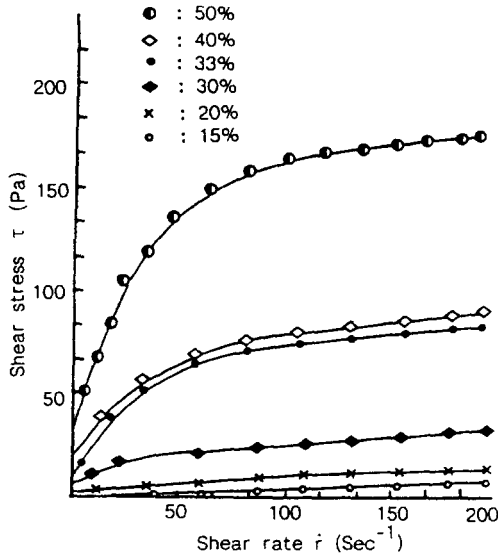


Fig. 1. Flow curve of various concentrations of tomato ketchup suspension at 30°C.

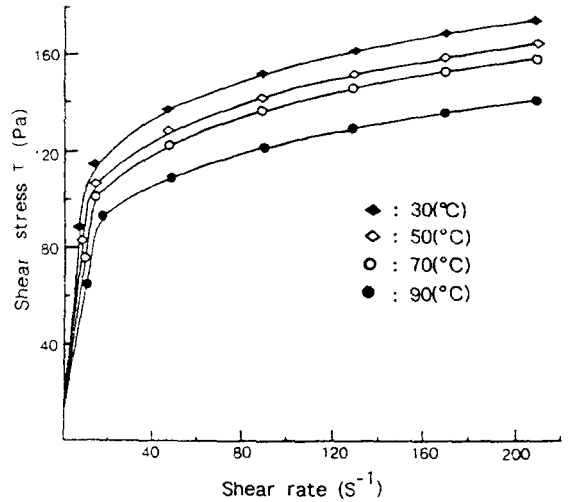


Fig. 2. Flow curves of 50% tomato ketchup suspension at various temperature.

plastic model, 높은 전단속도(20-200sec⁻¹)에서는 Herschel-Bulkley model이 적합하였다. 그리고, 전반적으로는 Herschel-Bulkley model이 가장 적합하였다. 이는 Dervisoglu 등⁽¹¹⁾이 반고체식품에 대한 연구의 결과와 일치하였다.

이와같이 저농도에서는 Binghamplastic 특성을 나타내었으며 농도가 높을 수록 Bingham pseudoplastic 특성이 강하게 나타내었다. 또한, Harper⁽¹²⁾ 등이 토마토 농축 현탁액은 저농도에서는 Binghamplastic model에 가깝고 고농도 일수록 pseudoplastic 특성에 가까워진다고 발표한 것과 잘 일치하였다.

온도에 대한 전단속도와 전단응력과의 관계

온도에 따른 전단속도와 전단응력과의 관계를 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 온도가 높아짐에 따라 전단응력이 낮은 값을 나타내는데 이는 온도가 높아지면 열 운동에 의한 교란에 의하여 결합하는데 방해 작용이 일어나서 케찹이 흐르는데 대한 저항력이 적어지기 때문인 것으로 생각된다. 또한, 그 특성은 온도의 변화에 관계없이 항복응력을 가지며, pseudoplastic 특성을 나타내었다.

온도와 농도에 따른 항복응력

토마토케찹의 항복응력을 전단속도와 전단응력 값으로

부터 Casson model을 이용하여 비선형 최소자승법으로 구하였으며 그 결과는 Fig. 3에서 보는 바와 같다.

그림에서 보는 바와 같이 항복응력 값의 증가는 15-30%에서는 서서히 증가하였다가 농도가 높을 수록 급격히 증가하였는데 이는 micell 형성 및 packing density 등과 관련있는⁽¹³⁾ 것으로 생각된다. 그리고, 온도가 높을 수록 항복응력이 감소하는 경향을 보였으며, 특히 농도가 높을 수록 온도에 영향을 많이 받았다.

전단속도에 따른 겔보기 점도 변화

여러농도(15-50%)에서 토마토케찹의 전단속도에 따른 겔보기 점도 변화를 살펴보기 위하여 전단속도를 변화시키면서 30°C에서 겔보기 점도를 측정하였다. 그 결과는 Fig. 4와 같다.

Fig. 4에서 보는 바와 같이 겔보기 점도는 농도에 관계없이 전단속도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. 특히 전단속도가 낮은 범위(0-50 sec⁻¹)에서는 급격한 감소가 있었으나, 전단속도가 증가할 수록 그 감소도는 작아져서 일정한 값 즉, 극한점도(limiting viscosity)에 도달했다. 그리고, pseudoplastic 특성을 나타냈다.

유동특성

전단응력 ($\tau - \tau_0$)과 전단속도($\dot{\gamma}$)에 대수를 취하여 유동

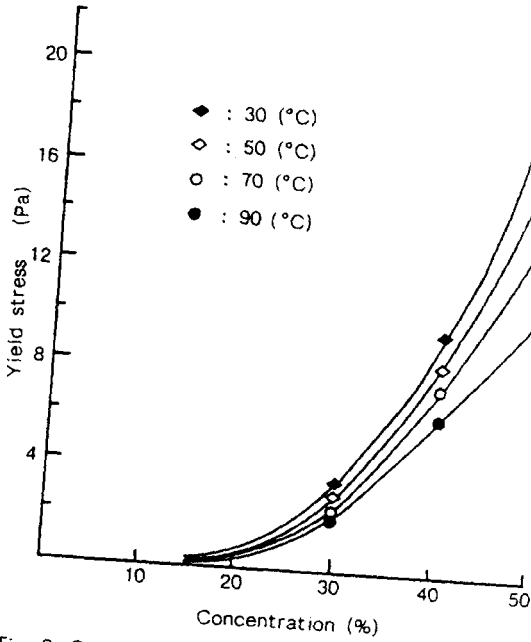


Fig. 3. Concentration and yield stress correlations of tomato ketchup suspension at various temperature.

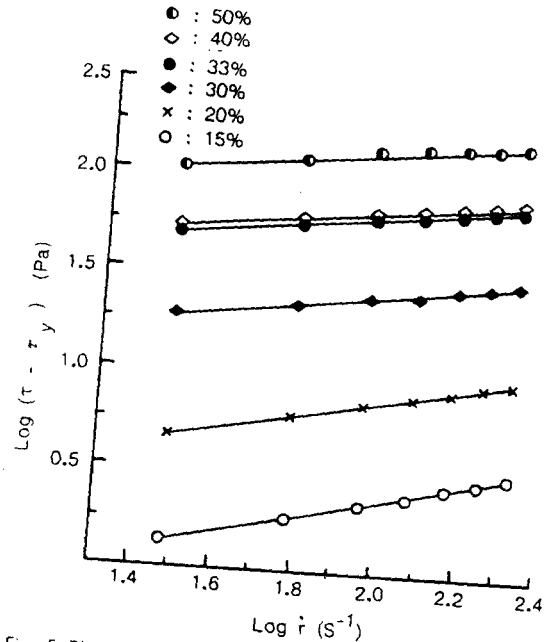


Fig. 5. Plot of $\log(\tau - \tau_y)$ and $\log \dot{\gamma}$ at various concentrations of tomato ketchup suspension at 30°C.

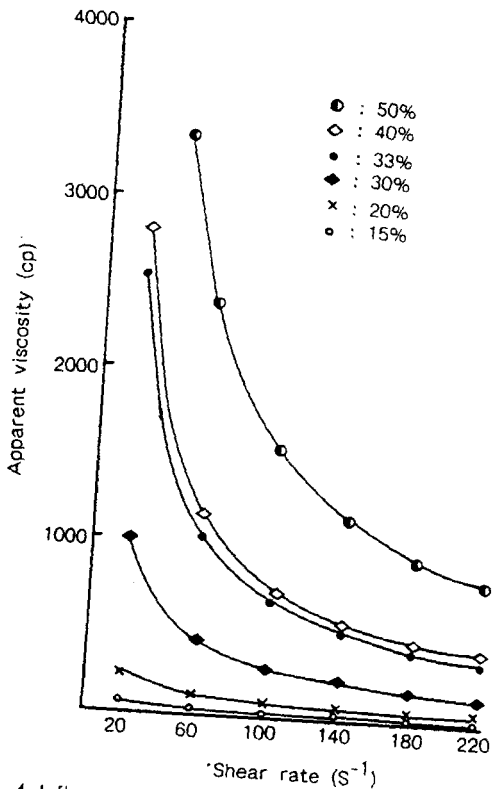


Fig. 4. Influence of shear rate on the apparent viscosity of tomato ketchup suspension at 30°C.

특성을 나타낸 것이 Fig 5이다.

그림에서 보는 바와 같이 모두 직선관계를 나타내므로 유동거동은 Herschel-Bulkley 식을 잘 따름을 알 수 있다.

한편 Fig 5에서 기울기(유동지수) 및 절편(점조도지수) 값은 비선형 최소자승법으로 구하였으며 이들에 대한 결과는 Table 1과 같다.

유동지수는 농도가 증가함에 따라 크게 감소하였으나, 항복응력(τ_y)은 농도가 높을 수록 증가하였으며, 점조도지수(K)도 농도가 증가할 수록 증가하였다. 온도에 대하여는 온도가 높을 수록 유동지수는 증가하였으나, 항복응력 및 점조도지수는 오히려 감소하였다. 따라서, 농도가 온도보다 유동특성에 많은 영향력을 미치는 것으로 나타났다.

겉보기 점도의 온도 의존성

본 실험에서는 온도의존성을 살펴보기 위하여 전단속도 100sec⁻¹에서 $\frac{1}{T}$ 과 $\log \eta_a$ 에 대하여 조사하였으며, 그 결과는 Fig 6과 같다.

한편 이들 결과로부터 겉보기 점도에 대한 예측모델을 다음과 같은 Andrade 식을 이용하여 컴퓨터 프로그램으로 얻은 식은 Table 2에서 보는 바와 같다.

Table 1. Viscometric constants of tomato ketchup suspension

Concentration (wt/wt, %)	Temp. (°C)	Viscometric constants		
		Flow behavior index (n)	Yield stress(τ_0)	Consistency index (K)
15	30	0.4462	0.3570	0.2948
	50	0.4992	0.2260	0.2307
	70	0.5216	0.1240	0.1943
20	30	0.3889	0.5476	1.2246
	50	0.3965	0.3767	1.0837
	70	0.4188	0.3527	0.9904
30	30	0.2491	3.4901	7.9180
	50	0.2590	2.1090	7.7267
	70	0.2727	1.1353	7.2459
	90	0.2919	0.7735	5.2457
33	30	0.2131	8.5443	22.5047
	50	0.2253	7.8542	20.5777
	70	0.2307	7.0490	19.8773
	90	0.2397	4.4628	18.9316
40	30	0.2078	9.4642	25.0626
	50	0.2202	9.2446	23.3979
	70	0.2279	7.4588	21.7131
	90	0.2281	5.9025	20.2527
50	30	1.1898	21.3150	55.7821
	50	0.1938	15.3866	52.9848
	70	0.1956	13.8632	51.3482
	90	0.1979	10.7344	45.6867

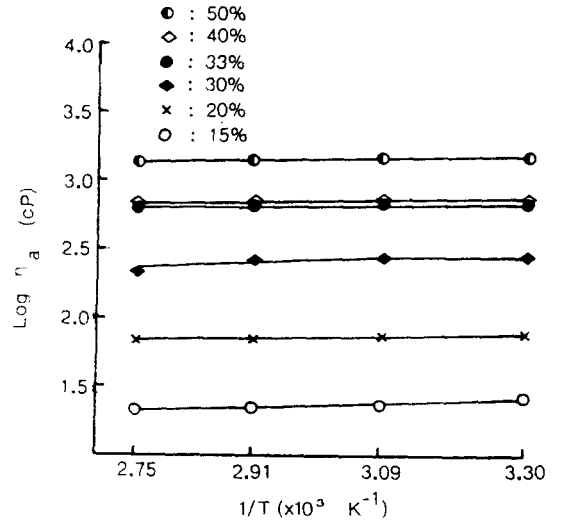


Fig. 6. Temperature dependence on the viscosity of tomato ketchup suspension at various concentrations.

Table 2. Effect of temperature on apparent viscosity of tomato ketchup suspension : Andrade-type models

Concentration (wt/wt,%)	viscosity models	Standard error	Standard % error (%)
15	$\eta_a = 1.3872 \times 10^{-2} \times \text{Exp}(3.973 \times 10^2 \times \frac{1}{RT})$	0.3388	1.29
20	$\eta_a = 3.4665 \times 10^{-2} \times \text{Exp}(4.9855 \times 10^2 \times \frac{1}{RT})$	0.4296	0.56
30	$\eta_a = 1.2405 \times 10^{-2} \times \text{Exp}(5.0780 \times 10^2 \times \frac{1}{RT})$	4.9106	1.83
33	$\eta_a = 2.9759 \times 10^{-2} \times \text{Exp}(5.2667 \times 10^2 \times \frac{1}{RT})$	9.2862	1.40
40	$\eta_a = 3.1123 \times 10^{-2} \times \text{Exp}(5.3571 \times 10^2 \times \frac{1}{RT})$	16.9074	2.40
50	$\eta_a = 4.4155 \times 10^{-2} \times \text{Exp}(7.6556 \times 10^2 \times \frac{1}{RT})$	29.4207	2.07

$$\eta_a = A \text{Exp}\left(\frac{E_a}{RT}\right)$$

여기서 A, R 및 E_a 는 각각 관련상수, 기체상수 및 활성화에너지이다.

모델값과 실험값 사이의 관련계수를 standard error 와 standard percent error로 나타냈으며 standard error는 Chhinnan⁽¹⁴⁾ 등이 사용한 RMSE(Root Mean Square Error)로 다음과 같이 정의하였다.

$$\text{Standard error} = \left[\frac{(Y_{\text{mod}} - Y_{\text{exp}})^2}{N} \right]^{0.5}$$

여기서 Y_{mod} , Y_{exp} , N는 각각 모델값, 실험값 및 측정데이터의 수이며 standard % error는 standard error를 평균실험 값으로 나눈 값이다.

활성화 에너지는 농도 15,20,30,33,40 및 50%에서 각각 3.97, 4.98, 5.07, 5.26, 5.35 및 7.65 kcal/g·mole이었다. 이는 Rao⁽¹⁵⁾의 보고 사실과 잘 일치하는 것으로 Rao는 E_a 값은 당함량이 높을 수록 증가하는 반면에 pulp 함량이 높을 수록 감소한다고 보고하였다.

이와같이 농도의 증가에 따라 활성화 에너지가 증가하였는데, 이에 대해 Eyring⁽¹⁶⁾은 농도가 높은 상태에서는

유동 활성화 에너지외에 분자간 화학등을 절단하는데 구조활성화 에너지가 유동에 필요하기 때문이라고 하였다.

겉보기 점도의 농도 의존성

전단속도 100sec⁻¹에서 겉보기 점도의 농도 의존성은 Fig. 7에서 보는 바와 같이 온도에 관계없이 농도가 증가함에 따라 겉보기 점도는 현저하게 증가하는 곡선관계를 나타내었다. 농도의 변화에 따른 겉보기 점도 예측모델식

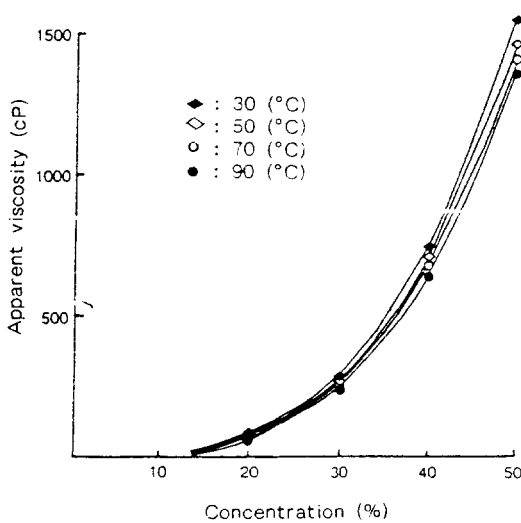


Fig. 7. Dependence of apparent viscosity on concentration of tomato ketchup suspension at various temperature.

은 다음 식을 이용하여 컴퓨터 프로그램으로 최적화하여 얻었으며, 그 결과는 Table 3과 같다.

$$\eta_a = AC^N$$

여기서 A 와 N 은 각각 관련상수 및 지수이다.

Table 3. Effect of concentration on apparent viscosity of tomato ketchup suspension : Power-type models

Temperature (°k)	Viscosity models	Standard error	Standard % error (%)
303	$\eta_a = 4.5019 \times 10^{-5} \times C^{3.2576}$	8.14127	1.22
323	$\eta_a = 4.5523 \times 10^{-5} \times C^{3.2440}$	14.7474	2.31
343	$\eta_a = 4.7571 \times 10^{-5} \times C^{3.2201}$	5.8836	0.9
363	$\eta_a = 4.8870 \times 10^{-5} \times C^{3.1860}$	15.3379	2.16

겉보기 점도의 온도 및 농도의존성

겉보기 점도의 온도 및 농도의존성에 따른 예측모델식을 컴퓨터 프로그램으로 최적화한 것은 Table 4와 같다. Table 4에서 보는 바와 같이 다음의 지수함수 model 로서 나타낼 수 있었다.

$$\eta_a = \text{Exp}\left(\frac{A}{T} - B\right) \cdot C^N$$

여기서 A, B 는 관련상수들이다.

시간의존성

시간의존성 관계를 알아보기 위해 현재 시판되고 있는 토마토케찹의 농도와 유사한 33% 농도의 토마토케찹을 여러 전단속도(0.35-716.8 sec⁻¹)에서 측정하였으며, 그 결과는 Fig. 8과 같다.

Table 4. Effect of concentration and temperature on apparent viscosity of tomato ketchup suspension : Exponential and power models

Temperature (°k)	Concentration (%)	Shear rate (S ⁻¹)	Viscosity models	Standard error	Standard % error (%)
303-363	15-30	50	$\eta_a = \text{Exp}(-21.9888/T - 8.037) \times C^{3.4199}$	0.4698	5.89
		100		0.4080	3.85
		150		0.3337	2.67
303-363	40-50	50	$\eta_a = \text{Exp}(-11.8664/T - 7.3652) \times C^{3.1494}$	0.3125	0.44
		100		0.6110	0.73
		150		3.0523	3.33
303-363	15-50	50	$\eta_a = \text{Exp}(-17.5747/T - 7.6949) \times C^{3.2720}$	2.8449	8.53
		100		1.5530	3.88
		150		2.3998	5.43

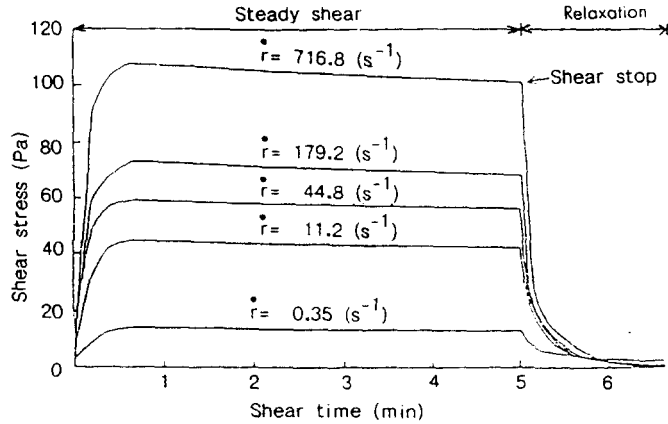


Fig. 8. Change of shear stress as a function of shear time for tomato ketchup suspension at various shear rates and at 30°C and 33%.

그림에서 보는 바와 같이 전단응력 값이 최대값에 도달할 때까지는 급격히 증가한 후 서서히 감소하여 일정한 값인 평형전단응력 값에 도달하였다. 그리고, 전단속도가 클수록 최대 전단응력과 평형값 사이의 차가 컸는데, 이는 구조 붕괴의 정도가 커지는 경향을 말해주며, 전단력을 멈추면 감소경향은 전단속도가 클수록 빨리 감소하였다.

Thixotropic 특성

농도 33%인 케찹의 thixotropic 특성을 살펴보기 위하여 전단속도를 0-250 sec^{-1} 로 증가시키면서 나타나는 전단응력 값과 다시 감소시키면서 나타나는 전단응력 값을 비교하였는데, 그 결과는 Fig. 9와 같다.

그림에서 보는 바와 같이 상승곡선과 하강곡선이 일치하지 않는 hysteresis loop를 형성하였는데 이 loop로 둘러싸인 면적은 시간의존성의 크기에 비례하며, 구조적 붕괴를 나타낸다. 이에 Bauer 등⁽¹⁷⁾은 이와같은 thixotropic 특성은 전단속도하에서 물체의 구조적 파괴에 기인하며, 시간이 경과함으로써 겔보기 점도의 감소 및 유동이 연속되지 않을 시에는 차후의 점성 회복이 감소되기 때문이라고 하였다.

요 약

토마토케찹의 리올로지 성질을 온도 30-90°C, 농도 15-50% 전단속도 0-250 sec^{-1} 의 범위에서 Brabender viscotron를 사용하여 측정된 결과는 다음과 같다.

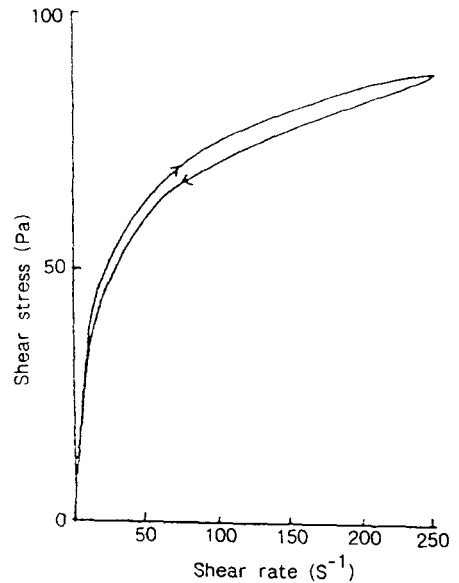


Fig. 9. Hysteresis loop of tomato ketchup suspension at 30°C and 33%

토마토케찹은 전단속도 0-210 sec^{-1} 에서 의가소성을 나타내며, 항복응력을 가지는 Bingham-pseudoplastic으로 시간의존성을 나타내는 thixotropic 식품이었다.

전단속도 0-210 sec^{-1} , 온도 30°C, 농도 33%의 경우 유동지수, 점조도지수 및 항복응력은 각각 0.2131, 22.5047 (Pasec^{-n}) 및 8.5443 (Pa)이었다.

토마토케찹의 온도 및 농도에 따른 겔보기 점도 관계식

은 각각 Andrade 및 Power type 식으로 나타낼 수 있었으며, 또한 온도와 농도에 따른 겔보기점도 관계식은 지수함수 모델로 표현할 수 있었다.

활성화 에너지는 농도 15,20,30,33,40 및 50%에서 3.973, 4.985, 5.078, 5.226, 5.357 및 7.655 kcal/g · mole 이었다.

감사의 말

본 연구는 1986년도 문교부 자유과제 학술 연구 조성비 지원에 의하여 수행된 것이다. 연구비를 지원해 준데 대하여 깊은 사의를 표하는 바이다.

문 헌

- Lewis, J.I. and Shoemaker, C.F. : A Method for measurement of the transient response of semisolid foods under steady shear. *J. of Food Sci.*, **49**, 741(1984)
- 최성진, 김영철, 박원우 : 토마토 과실의 저장중 Pectic Substances의 변화에 관한 연구, *한국원예학회지*, **24**(2), 118(1983)
- 노숙영 : 시판 토마토 가공품의 품질비교연구, *한국영양학회지*, **8**(1), 9(1974)
- 이희봉, 양차범, 유태종 : 한국산 주요 과채류 및 과실류의 화학성분에 관한 연구, *한국식품과학회지*, **4**(1), 36(1972)
- Paul Singh, R. and Carroad, R.A. : Energy accounting in canning tomato products. *J. of Food Sci.*, **45**, 735(1980)
- Choi, Y. and Okos, M.R. : The thermal properties of tomato juice concentrates. *Transactions of the ASAE*, **26**(1), 305(1983)
- Miers, J.C. and Wagner, J.R. : Consistency of tomato products. *Food Tech.*, **21** 117(1967)
- Wagner, J.R., Miers, J.C., Sanshuck, D.W. and Becker, R. : Consistency of tomato products. *Food Tech.*, **23**, 113(1969)
- Miers, J.C., Sanshuck, D.W., Nutting, M.D. and Wagner, J.R. : Consistency of tomato product. *Food Tech.*, **24**, 81(1970)
- Tanglerpaibul, T, Rao, M.A. : Flow properties of tomato concentrates. *J. of Food Science*, **52**(2), 318(1987)
- Dervisoglu, M. and Kokin, J.L. : Steady shear rheology and fluid mechanics of four semisolid Food. *J. Food Sci.*, **51**(3), 541(1986)
- Harper, J.C. and El-Shrigi, A.F. : Viscometric behavior of tomato concentrates. *J. Food Sci.*, **30**, 470(1965)
- 단국대학교 식량개발 연구소 : 유체식품의 리올로지, 65(1983)
- Chhinnan, M.S., Mcwatters, K.H. and M. Rao, V.N. : Rheological characterization of grain legume pastes and effect of hydration time and water level on apparent viscosity. *J. Food Sci.*, **50**, 1167(1985)
- Rao, M.A. and Bourne, M.C. : Flow properties of tomato concentrates. *J. Texture Studies*, **12**, 521(1981)
- Eyring, H. : The theory of rate processes. *J. Chem. Phy.*, **4**, 283(1936)
- Bauer, W.H. and Collins, E.A. : Thixotropy and dilatancy. In *Rheology Theory and Applications*, Eirich, F.R. (ed), Academic Press, New York, Vol. 4, p.423(1972)

(1988년 7월 8일 접수)