

## 고추장의 流動 特性에 關한 研究

변유량 · 이신영 · 이상규\* · 유주현 · 권윤중  
연세 대학교, 식품 공학과 · \*홍능 기계 공업 회사  
(1979년 10월 6일 수리)

## Studies on Rheological Characteristics of Red Pepper Pastes

Yu Ryang Pyun, Shin Young Lee, Sang Kyu Lee,\*  
Ju Hyun Yu & Yoon Jung Kwon

Department of Food Engineering, Yonsei University,

\*Hong Neung Machine Industry Co.

(Received October 6, 1979)

### Abstract

Rheological behaviors of red pepper paste were investigated with rotational viscometer at 25~55°C and the following results were obtained.

1. At shear rate of 0.323~1.653 sec<sup>-1</sup>, red pepper paste was found to be a thixotropic food product which showed pseudoplastic properties and also exhibited a yield stress and time dependent characteristics.
2. At a shear rate of 0.978 sec<sup>-1</sup>, flow behavior index, consistency index and yield stress were 0.597, 192.3 dyne sec<sup>2</sup>/cm<sup>2</sup>, and 91 dyne/cm<sup>2</sup> respectively.
3. Variation of consistency of red pepper paste with time was found to be decayed by a second order kinetic equation and thereafter nearly time independent.
4. Variation of consistency of red pepper paste with temperature was found to follow Andrade's equation and the activation energy as calculated on the basis of this equation was 1.03 kcal/g. mole.

### 서 론

유체 식품의 流動 特性은 傳達系의 流速, 열 전달 속도, 교반 동력의 豫見등 연속 공정의 설계나 원료 및 가공 제품의 적절한 품질 관리 수단으로서 매우 중요한 자료이다. 따라서 최근 우유, 과일 주스, 전분 및 단백질 용액, 푸레, 케첩, 마요네즈등 液相 혹은 半固形 食品의 流動學的 性質에 관한 많은 연구가 보고

되고 있다<sup>(1-3)</sup>.

고추장은 우리나라 固有의 調味品인 동시에 嗜好品으로서 우리의 食生活에 중요한 위치를 차지하고 있다. 현재까지 고추장 熟成 中에 관여하는 미생물의 동태, 숙성 기간 중의 성분 변화등에 관하여는 상당한 연구가 진행되었으나<sup>(4)</sup> 品質 要素로 뿐만아니라 생산 공정의 설계 및 관리를 위한 기본 자료로서 매우 중요한 고추장의 流動 特性에 대하여는 아직 연구된 바 없다. 따라서 본 연구에서는 고추장의 剪斷 應力-剪斷 速度

사이의 정량적인 관계를 얻어 그 流動 特性을 밝히고  
저 하였다.

재료 및 방법

재 료

본 실험에 사용한 재료는 總 固形分 含量 48~50 %  
의 시판 포장 고추장이며 포장 단위 별 품질의 오차를  
줄이기 위하여 각 제조 회사 별 시료 전체를 균일하게  
혼합하여 사용하였다.

점성 측정에 사용한 기기는 Brookfield synchroelectric  
viscometer model LVT (Brookfield Engineering La-  
boratories, Inc., Soughton, Mass.)이며 측정 방법은 다  
음과 같다.

- (1) 시료를 600 ml Griffin 미이커에 넣은 다음 진공  
오븐에 넣고 室溫에서 脫氣한다.
- (2) 측정하고 저 하는 一定 溫度의 항온조액 3시간  
이상 방치하여 熱 平衡에 도달하게 한다.
- (3) 적당한 스피들(spindle)을 선택하여 점도계에 부  
착하고 시료 표면이 스피들의 表線과 一致하도록 한다.
- (4) 점도계의 모터 스위치를 전 후 평형값에 도달할  
때까지 每 회전당 눈금을 계속 측정한다.
- (5) 일단 평형에 도달하면 모터 스위치를 끄고 일정  
한 시간 간격으로 눈금을 읽어 殘存 降伏值를 求한다.

이론적 고찰

가. 時間 依存性 流體의 流動 모델

시간 의존성이 아닌 非 뉴턴성 유체 식품의 剪斷 應力  
—剪斷 速度 擧動은 다음 식과 같은 Herschel-Bulkley  
式으로 나타낼 수 있다<sup>(6)</sup>.

$$\tau = b\nu^s + \tau_y \dots\dots\dots(1)$$

그러나 시간 의존성 非 뉴턴 유체 식품의 流動 方程  
式은 시간에 따른 물질 구조의 구조 함수  $\lambda$ 를 사용하여  
(1)식을 다음 式과 같이 수정하여야 한다<sup>(6)</sup>.

$$\tau = \lambda(b\nu^s + \tau_y) \dots\dots\dots(2)$$

여기서  $\lambda$ 는 전단 시간 0일때 초기 값 1과 1보다 적은  
평형값  $\lambda_e$ 사이의 값을 갖는 時間 依存性 構造 函數이  
다. Petrelli等<sup>(6)</sup>이 보고한 바와 같이 구조 함수가 2次  
反應 速度式으로 崩壞한다고 하면 다음 式과 같이 나  
타낼 수 있다.

$$\frac{d\lambda}{dt} = -K_1(\lambda - \lambda_e)^2 \text{ for } \lambda > \lambda_e \dots\dots\dots(3)$$

$K_1$ 은 速度 常數로서 전단 속도의 함수이다. 시간  
의존성 非 뉴턴 식품의 流動學의 特性을 (2)와 (3)식으로  
나타내기 위하여는 流動 常數  $b, s, \tau_y, K_1$  및  $\lambda_e$ 를 실험  
적으로 求하여야 하며  $\lambda=1$ , 즉 전단 시간이 0인 경  
우에 (2)식은 (1)식으로 되므로 이 조건에서  $\tau - \tau_y$  對

$\nu$ 를 양 대수 좌표에 圖示하여 기울기와 절편으로부터  
 $b$ 와  $s$ 를 구할 수 있다. 또  $\tau_y$ 는 전단 응력—전단 속도  
측정에서 전단 속도를 0으로하여 잔존 응력을 측정함  
으로써 직접 구할 수 있다. 그러나 구조 함수  $\lambda$ 를 실험  
적으로 정확히 측정할 수 없기 때문에 속도 상수  $K_1$   
을 구하기 어렵다. Tiu等<sup>(7)</sup>은 이러한 난점을 극복하기  
위하여  $\lambda$ 와  $\lambda_e$ 를 겔보기 粘度의 매개 함수式으로 표현  
하였다. 非 뉴턴 유체의 겔보기 점도  $\eta$ 는 전단 응력  $\tau$   
와 전단 속도  $\nu$ 의 함수로 다음식으로 정의된다.

$$\eta = \tau/\nu \dots\dots\dots(4)$$

여기서 (4)식을 (2)식에 대입하여 정리하면 다음과  
같은  $\lambda$ 와  $\eta$ 의 관계식을 얻는다.

$$\lambda = \eta\nu / (b\nu^s + \tau_y) \dots\dots\dots(5)$$

(5)식은 평형 조건에서도 성립되며 이때  $\lambda$ 와  $\eta$ 는 각  
각  $\lambda_e$ 와  $\eta_e$ 로 치환된다. 일정한 전단 속도에서 (5)식을  
시간에 대하여 미분하고 (3)식과 같다고 놓으면 다음  
(6)식을 얻을 수 있다.

$$\frac{d\eta}{dt} = -a_1(\eta - \eta_e)^2 \dots\dots\dots(6)$$

(6)식은 (3)식과 같은 형태이며  $K_1$ 과  $a_1$ 이 서로 대  
응함을 알 수 있다. 이때  $a_1$ 은  $K_1$ 과 (7)식과 같은 상  
관 관계를 가져야 한다.

$$a_1(\nu) = K_1\nu / (b\nu^s + \tau_y) \dots\dots\dots(7)$$

따라서 속도 상수  $K_1$ 은 전단 속도의 함수로 나타낸  
점도—전단 시간의 테이타로부터 구할 수 있다. 만약  
유체의 構造가 2次式으로 崩壞 된다는 것이 타당하다면  
점도—전단 시간의 테이타는 (6)식으로 나타낼 수  
있어야 한다. 특정한 전단 속도에서 (6)식을  $t=0$ 일때  
 $\eta = \eta_0$ 로 부터,  $t=t$ 일때  $\eta = \eta$  까지 적분하면 다음 식을  
얻는다.

$$1/(\eta - \eta_e) = 1/(\eta_0 - \eta_e) + a_1 t \dots\dots\dots(8)$$

그러므로 특정한 전단 속도에서  $1/(\eta - \eta_e)$  對 전단  
시간을 圖示하면 직선의 기울기로 부터  $a_1$  값을 구할  
수 있다. 다른 전단 속도에서 같은 순서를 반복하면  
 $a_1$ 과  $\nu$ 를 구할 수 있으며 이로부터  $K_1$ 과  $\nu$ 의 관계를  
얻을 수 있다.

나. 剪斷 應力—剪斷 速度의 計算

회전 점도계의 눈금 값으로부터 전단 응력—전단 속  
도 관계를 얻기 위하여 Charm의 방법을 사용하였다.  
Charm<sup>(8,9)</sup>은 稠密度 指數  $b$ , 流動 指數  $s$ , 降伏值  $\tau_y$ ,  
점도계의 회전 속도  $N$  및 점도계의 스피들 표면이 나  
타나는 torque  $A$ 의 관계를 다음 식과 같이 분석하였다.

$$2\pi N b^{\frac{1}{s}} = \int_{R_1}^{R_2} (A/2\pi R^2 L - \tau_y)^{\frac{1}{s}} \frac{1}{R} dR \dots\dots\dots(9)$$

$$R_2 = \sqrt{A/2\pi L \tau_y} \dots\dots\dots(10)$$

$$\tau_y = \left(\frac{A}{L}\right)_0 \left(\frac{1}{2\pi R_1^2}\right) \dots\dots\dots(11)$$

회전 점도계의 스프링 표면에서의 전단 속도는 회전 속도에 비례하므로 이를 고려하여 Charm의 식을 다음 식과 같이 바꿔 쓸 수 있다.

$$\nu = KN = (A/2\pi LR_1^2 - \tau_y) s \frac{1}{b} \dots\dots\dots(12)$$

$$\text{혹은 } \log N = \frac{1}{s} \log \left( \frac{A}{L} \frac{1}{2\pi R_1^2} - \tau_y \right) + \text{constant} \dots\dots\dots(13)$$

이들 식을 이용하여  $\tau_y$  값은  $\sqrt{A/L}$  對  $\sqrt{N}$ 을 圖示하여 얻은 직선을 외삽하여  $N=0$ 일때의 절편값  $\left(\frac{A}{L}\right)_0$ 를 (11)식에 대입하여 구하였고  $s$ 값은 (13)식을 이용하여  $\log N$  對  $\log\left(\frac{A}{L} \frac{1}{2\pi R_1^2} - \tau_y\right)$ 를 圖示하여 얻은 직선의 기울기로부터 구하였다.  $b$ 값은 구하여진  $\tau_y$ ,  $s$ 값을 (9)식에 대입하고 우변 적분값을 구하므로써 결정하였다. 본 연구에서는 (9)식의 우변 적분값을 구하기 위하여 Simpson rule을 적용하고 Eclipse C330 computer로 계산하여 구하였다. 각 회전 속도에 따른 전단 속도는 위에서 구한  $b$ ,  $s$ ,  $\tau_y$ 값을 사용하여 (12)식으로부터 구하였으며 전단 응력은 다음 식으로부터 구하였다<sup>(10)</sup>.

$$\tau = A/2\pi R_1^2 L \dots\dots\dots(14)$$

또 각 전단 속도에서의 겉보기 점도는 전단 속도에 관한 전단 응력의 도함수인 (15)식으로 부터 구하였다<sup>(11,2)</sup>.

$$\eta_0 = \frac{d\tau}{d\nu} = b\nu^{s-1} \dots\dots\dots(15)$$

### 결과 및 고찰

#### 고추장의 流動 形態

세 종류의 시판 고추장 시료에 대하여 0.323 sec<sup>-1</sup>의 일정 전단 속도에서 전단 시간에 따른 전단 응력의 변화를 측정된 결과는 Fig. 1과 같다. 시료에 따라 다소 차이는 있으나 시료 A, B, C 모두 전단 시간에 따라 전단 응력이 감소하였으며 특히 초기 20분간에는 매우 급속하게 전단 응력이 감소하므로써 전단 시간에 민감함을 보여주고 있다. 그러나 그 이후 서서히 감소하여 약 80분 후 평형에 도달하였다. 가장 높은 전단 응력을 나타낸 시료 A의 전단 응력은 초기 380.9 dyne/cm<sup>2</sup>에서 평형 전단 응력 2,539 dyne/cm<sup>2</sup>까지 감소 하였으며 시료 C는 초기 209.8 dyne/cm<sup>2</sup>에서 165.7 dyne/cm<sup>2</sup>까지 감소 하였다. 시료 A, B, C의 전단 응력, 즉 겉보기 점도를 비교하여 볼 때 시료 A가 가장 점성이 큰 제품이었으며 각 제품에 따라 유동 거동은 유사 하였으나

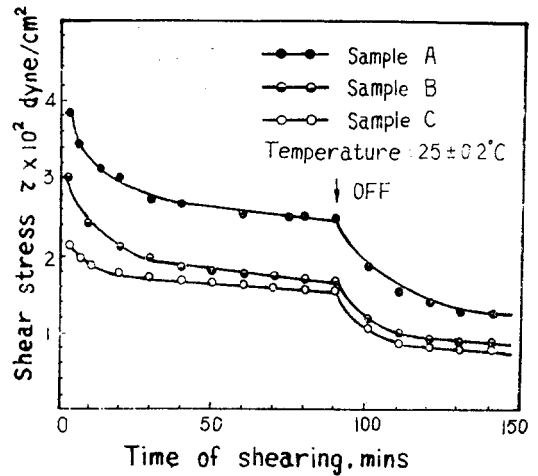


Fig. 1. Change of shear stress as a function of shear time for three red pepper paste samples (Shear rate=0.323 sec<sup>-1</sup>)

겉보기 점도에는 상당한 차이를 나타내고 있다. 한편 평형 점도에 도달한 후, 즉 그림중의 "off" 위치에서 모터 스위치를 끄고 잔존 응력을 측정할 결과 시료 모두 항복치를 나타냈으며 그값은 시료 A, B, C에 대하여 각각 136.3, 97.6, 81.7 dyne/cm<sup>2</sup>이었다. 본 연구에서는 각 제품의 유동이 유사한 사실로부터 고추장의 유동 특성을 究明하기 위하여 시료 C를 선정하여 이하의 실험을 행하였다. 선정된 시료 C에 대하여 前述한 Charm의 방법을 사용하여 전단 속도 계산에 필요한 각종 파라미터를 구한 결과는 Table 1과 같다. 여기서 회전 점도계의 회전 속도  $N$ 가 0.005, 0.010, 0.025, 0.050 r.p.s.일 때 구해진 전단 속도는 각각 0.323, 0.506, 0.978, 1.653 sec<sup>-1</sup>임을 알 수 있다. Fig. 2는 위에서 구한 각 전단 속도에서 일정한 평형값에 도달하였을 때의 겉보기 점도를 圖示한 결과이다. 시료는 전단 속도 증가에 따라 겉보기 점도가 감소하고 있으며 따라서 시간을 고정 시켰을 때 시료 고추장의 전단 속도—겉보기 점도의 관계는 전형적인 pseudoplastic 성질을 보여 줌을 확인할 수 있다<sup>(11)</sup>. 따라서 고추장은 Fig. 1 및 Fig. 2의 결과를 종합할 때 pseudoplastic 성질을 나타내며 항복치를 가지는 시간 의존성인 thixotropic 유체 식품<sup>(1-3)</sup>임을 알 수 있다.

#### 고추장 流動의 動力學的 舉動

##### 가. 時間 依存 特性

Fig. 3은 시료 C에 대하여 25°C±1°C의 일정 온도에서 각 전단 시간  $t=0, 10, 80$ 분에서의 전단 시간  $\nu$ 와 전단 응력에서 항복 응력을 뺀 값  $\tau - \tau_0$ 의 변화를 양 대수 좌표에 圖示하여 얻은 유동 曲線을 나타내고 있다.

Table 1. Yield stresses and some parameters used in determining the shear stress-shear rate calculation of red pepper paste C

$N$ (r.p.s.)	$\tau_y$ (dyne/cm <sup>2</sup> )	$R_2$ (cm)	$\left(\frac{A}{2\pi LR_1^2} - \tau_y\right)$	$s$	$b$ dyne·sec <sup>2</sup> /cm <sup>2</sup>	$\nu$ (sec <sup>-1</sup> )
0.005	91.0	0.215	74.7	0.597	146.4	0.323
0.010		0.238	112.5		168.9	0.506
0.025		0.279	190.0		192.3	0.978
0.050		0.328	295.2		218.5	1.653

Dimensions of spindle :  $L=3.175$  cm,  $R_1=0.159$  cm

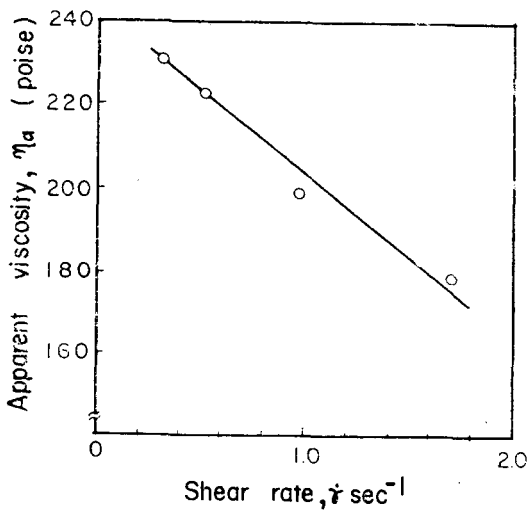


Fig. 2. Velocity gradient dependence on the apparent viscosity of red pepper paste C

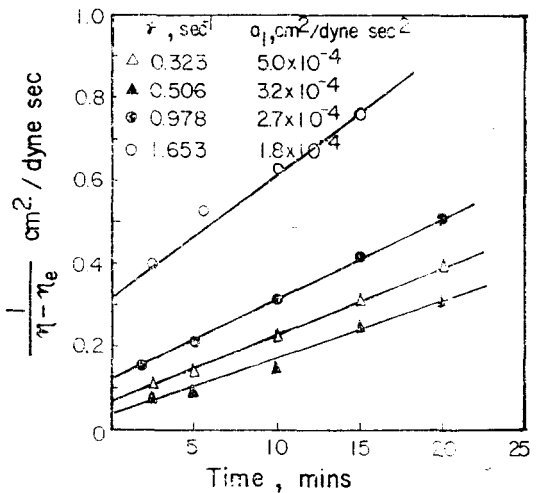


Fig. 4. Linear relationships between  $1/(\dot{\gamma}-\eta_e)$  and time for red pepper paste C

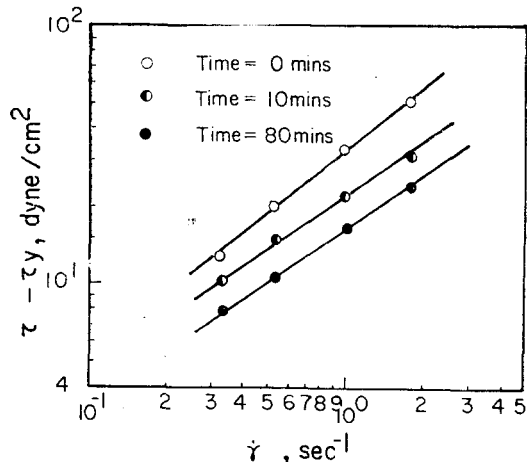


Fig. 3. Plot of  $\log(\tau - \tau_y)$  vs  $\log \nu$  at various shear time for red pepper paste C

이 유동 곡선은 서로 다른 전단 시간에서 서로 평행한 직선 관계를 보여 주고 있으며 따라서 고추장의 유동은 시간을 매개 함수로 한 간단한 동력학적 유동 모델식

으로 표현할 수 있음을 알 수 있다. 한편  $t=0$ 에서의 기울기와 절편값으로 부터 구한  $b$ 와  $s$ 의 값은 각각  $170$  dyne·sec<sup>2</sup>/cm<sup>2</sup> 및  $0.662$ 이었다. 이 값은 Table 1에서 구한  $b=192.3$  dyne·sec<sup>2</sup>/cm<sup>2</sup>,  $s=0.597$ 의 값과 비교하여 다소 차이를 보여주고 있는데 이것은 Fig. 3에서 구한  $\tau_y$ 의 값이 유체의 流動 또는 變形前의 固有 降伏値가 아닌 점도계 모터를 끄고 난 후에 측정된 殘存 降伏値이기 때문인 것으로 생각된다<sup>(12,13)</sup>.

유체의 구조가 2次式으로 붕괴 된다면 이론적 그림에서 기술한 바와 같이 전단 시간에 대하여  $1/(\dot{\gamma}-\eta_e)$ 를 圖示하면 각 전단 속도에서 기울기  $a_1$ 을 갖는 직선을 나타내어야 한다. 시료 고추장의 경우 Fig. 4에서 보는 바와 같이 직선 관계를 보여주었다. 따라서 고추장의 유동 특성은 (8)식에 따름을 알 수 있다. 그러나 여기서 얻은 직선 관계는 실제 점도 변화의 측정은 80분까지 행하였음에도 불구하고 전단 시간 약 20분까지의 초기 기간 동안에만 유효한 것으로 나타났다. 이와 같은 사실은  $\eta$ 의 값이 시간의 증가에 따라 서서히 감

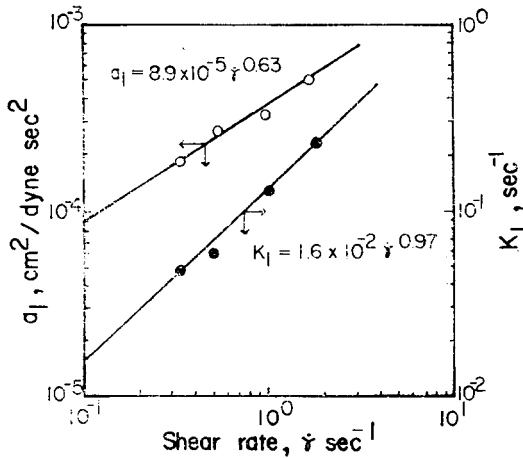


Fig. 5. Power function correlations between  $a_1$ ,  $K_1$  and shear rate for red pepper paste C

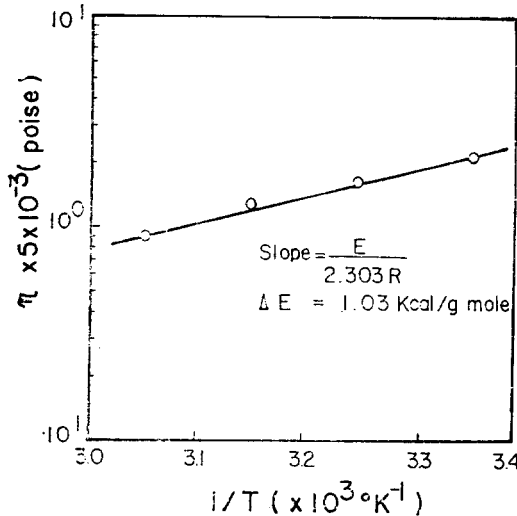


Fig. 6. Temperature dependence on the viscosity of red pepper paste C

소하고 전단 시간이 80분에 가까와지면  $\eta_s$ 에 접근하여  $1/(\eta - \eta_s)$ 의 값이 무한대에 달하기 때문이다. 따라서  $\eta$ 의 붕괴 속도가 2차 반응 속도식에 따르는 것은 전단 응력이 전단 시간에 따라 급격히 감소하는 0~20분에서만 가능하다고 보아야 할 것이며 20분 이후에는  $\eta$ 가  $\eta_s$  값에 접근하여 즉  $\lambda \rightarrow \lambda_s$ 가 되어 전단 시간에 크게 의존하지 않음을 알 수 있다. 고추장의 경우 이  $\lambda_s$ 값은 (5)식으로부터 0.59로 계산되었다. 한편 Fig. 5는 Fig. 4의 결과로부터 (7), (8)식을 이용하여 동력학적 속도 상수  $a_1$ ,  $K_1$ 을 구하고 이들 값을 전단 속도  $\dot{\gamma}$ 의 변화에 따라 圖示한 결과이다. 여기서 볼 때 전단 속도에 따른  $a_1$ ,  $K_1$ 의 관계는 직선을 보여 주었으며 따

라서 전단 속도와  $a_1$ ,  $K_1$  사이에는 정량적인 관계가 있음을 알 수 있다. 이들 관계식은 직선의 기울기와 절편값으로부터 각각  $a_1 = 3.8 \times 10^{-4} \dot{\gamma}^{0.63}$ ,  $K_1 = 1.3 \times 10^{-1} \dot{\gamma}^{0.97}$ 의 지수 함수식으로 표현할 수 있었다. 그러므로 고추장의 時間 依存 特性은 이상의 결과들로 미루어 보아 Tiu등의 모델식에 잘 따르는 것을 알 수 있다. 溫度 依存 特性

온도 25~55°C, 전단 속도 0.323 sec<sup>-1</sup>에서 겔보기 점도를 구하고 log  $\eta_s$ 와 절대 온도의 역수를 圖示한 결과 Fig. 6과 같이 나타났다. 여기서 log  $\eta$ 와 절대 온도의 역수 관계는 직선 관계가 성립하였으며 따라서 고추장의 겔보기 점도에 관한 온도 의존성은  $\eta = B e^{\frac{\Delta E}{RT}}$  혹은  $\log \eta = \frac{\Delta E}{2.303RT} + B$ 의 Andrade 점도식<sup>(14)</sup>으로 표시할 수 있음을 알 수 있다. 한편 직선의 기울기로부터 Andrade 점도식을 적용하여 계산한 유동의 활성화 에너지는 1.03 kcal/g·mole이었다. 이 값은 역시 의가스성 물질로 고추장 유동과 비슷하다고 볼 수 있는 토마토 케첩<sup>(1)</sup>, 과일 퓨레<sup>(15)</sup>등의 3.2 및 1.2~1.9 kcal/g·mole의 활성화 에너지와 비교할 때 비슷한 값이라고 볼 수 있으며 고추장의 낮은 활성화 에너지는 과일 퓨레등에 있어 낮은 활성화 에너지가 부유 물질의 존재에 기인한다는 사실<sup>(15)</sup>을 고려할 때 역시 불균일한 큰 부유 입자 존재 때문인 것으로 생각된다. 또 고추장 유동에 대한 낮은 활성화 에너지는 Eyring의 반응 속도 과정의 이론을 적용하면 내부 결합력, 즉 유동에 따른 저항력이 적은 것을 의미하며 따라서 유동에 대한 온도 의존성은 크지 않음<sup>(16)</sup>을 지적해 주고 있다. 그러므로 이와 같은 온도 의존 특성은 유동, 열 전달 등의 공정과 관련하여 高溫에서 조작하여도 고추장의 점도 감소는 크지 않다는 사실을 의미한다.

### 요 약

회전 점도계를 사용하여 온도 25~55°C에서 시판 고추장의 유동학적 거동을 조사하고 다음의 결과를 얻었다.

1. 고추장은 전단 속도 0.323~1.653 sec<sup>-1</sup>에서 의가 소성을 나타내며 항복치를 가지며 시간 의존성을 나타내는 thixotropic 식품이었다.
2. 전단 속도 0.978 sec<sup>-1</sup>에서 유동 지수, 조밀도 지수, 항복치는 각각 0.597, 192.3 dyne·sec<sup>2</sup>/cm<sup>2</sup>, 91 dyne/cm<sup>2</sup>이었다.
3. 고추장의 시간 경과에 따른 겔보기 점도 변화는 초기 20분 동안에는 2차 반응 속도식에 따라 붕괴되었으나 그 이후는 시간에 거의 무관하였다.

4. 고추장의 온도 변화에 따른 겉보기 점도 변화는 Andrade 식에 따랐으며 이 식으로 부딪 구한 유동에 대한 활성화 에너지는  $1.03 \text{ kcal/g} \cdot \text{mole}$ 이었다.

## 문 헌

## 기 호 설 명

- $a_1$  : Rate constant in equation (6),  $\text{cm}^2 \text{ dyne}^{-1} \text{ sec}^{-2}$   
 $A$  : Torque exerted at surface of spindle,  $\text{dyne} \cdot \text{cm}$   
 $B$  : Constant  
 $b$  : Fluid consistency index,  $\text{dyne sec cm}^{-2}$   
 $\Delta E$  : Activation energy for viscous flow,  $\text{kcal/g} \cdot \text{mole}$   
 $k_1$  : Rate constant in equation (3),  $\text{sec}^{-1}$   
 $K$  : Shear rate at spindle surface/N  
 $L$  : Length of spindle in contact with fluid,  $\text{cm}$   
 $N$  : Speed of rotation, *r.p.s.*  
 $R$  : Gas constant,  $1.987 \text{ kcal/kg} \cdot \text{mole} \cdot ^\circ\text{k}$   
 $R_1$  : Radius of spindle,  $\text{cm}$   
 $R_2$  : Distance from center of spindle to the point where shear stress equals yield stress,  $\text{cm}$   
 $S$  : Flow behavior index  
 $t$  : Time, min or sec  
 $T$  : Reciprocal of absolute temperature,  $^\circ\text{k}^{-1}$   
 $\nu$  : Shear rate,  $\text{sec}^{-1}$   
 $\eta_a$  : Apparent viscosity,  $\text{dyne sec}^{-1} \text{ cm}^{-2}$   
 $\eta_e$  : Apparent viscosity at equilibrium,  $\text{dyne sec}^{-1} \text{ cm}^{-2}$   
 $\eta_0$  : Apparent viscosity at zero shear time,  $\text{dyne sec}^{-1} \text{ cm}^{-2}$   
 $\lambda$  : Structural parameter  
 $\lambda_e$  : Structural parameter at equilibrium  
 $\tau$  : Shear stress,  $\text{dyne cm}^{-2}$   
 $\tau_y$  : Yield stress,  $\text{dyne cm}^{-2}$
1. Holdsworth, S. D. : *J. Texture Studies*, 2, 393 (1971)
  2. Rao, M. A. : *J. Texture Studies*, 8, 135 (1977)
  3. Rha, C. K. : *Food Technol.*, 77 (1978)
  4. 한국 식품 과학회 편 : 한국 식품 문헌 총람(2), 262 (1977)
  5. Sherman, P. : *Industrial Rheology*, Academic Press, New York (1970)
  6. Petrellis, N. C. and Flumerfelt, R. W. : *Can. J. Chem. Eng.*, 51, 291 (1973)
  7. Tiu, C. and Boger, D. V. : *J. Texture Studies*, 5, 329 (1974)
  8. Charm, S. E. : *J. Food Sci.*, 28, 107 (1963)
  9. Charm, S. E. : *Advances in Food Research*, 11, 355 (1962)
  10. Boger, D. V. and Tiu, C. : *Food Technol.*, 325 August (1974)
  11. Wohl, M. H. : *Chem. Eng., Feb.*, 12, 130 (1968)
  12. Balmaceda, E., Rha, C. K. and Huang, F. : *Rheological Properties of Food Binders*, Paper No. 70-877, Am. Soc. Agr. Eng., Chicago, Illinois (1970)
  13. Balmaceda, E., Rha, C. K. and Huang, F. : *J. Food. Sci.*, 38, 1169 (1973)
  14. 澤山茂 : 日本 農藝 化學 會誌, 52(9), 409 (1978)
  15. Saravacos, G. D. : *J. Food Sci.*, 35, 122 (1970)
  16. 松本幸雄, 山野 善正(編) : 食品の物性, 第一集, 201 (1975)