

# 시판된장의 리올로지(Rheology) 특성에 관한 연구

## Flow Properties of Doenjang

양 신 철\*

김 선 화\*\*

### 【목 차】

I. 서론	IV. 결론
II. 재료 및 방법	Abstract
III. 결과 및 고찰	참고문헌

## I. 서론

된장은 간장 청국장과 함께 콩을 주원료로 한 우리 고유의 발효 식품으로 단백질과 아미노산 함량이 높아 영양학 적으로도 우리 일상 식탁에서 중요시되는 기본 부 식품이다.<sup>1)2)</sup>

콩을 주원료로한 장류 식품은 1960년 이전에는 자가 생산하여 이용되어 왔으나 식 생활의 향상과 핵가족화에 따른 생활 양식의 변화에 따라 공장에서 생산되는 제품의 수요는 증가하고 있으며<sup>3)4)</sup> 최근 대두의 생리활성에<sup>5)6)</sup> 대한 인식과 관심이 높아지고 대두발효 식품인 된장의 항암성<sup>7)</sup> 항산화성<sup>8)</sup> 항콜레스테롤 효과<sup>9)</sup> 등에 대한 효과가 입증됨에 따라 된장에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

\*롯데호텔 조리팀 경기대학교 박사과정

\*\*동국대학교 강사

## 2. 관광식음료경영연구

된장 품질은 제조원료 혼합비율, 담금 방법, 담근 시기 등에 따라 상이하고 그 제조방법 역시 일정한 기준이 없이 지역 및 각 가정 마다 다르고 또 시대의 변화에 따라 변해왔다.

그러나 최근 수입 식품이 증가하면서 우리 식품의 경쟁력이 약화되고 있어 특유의 조미 식품인 된장도 전통식품 산업화의 일환으로 제조방법의 변화와 다양한 제품의 개발 품질개선 및 표준화 등을 통하여 국제 경쟁력을 높이고 앞으로 더욱 다양화되는 소비자들의 욕구를 충족시키기 위한 품질과 기능성을 강화한 제품의 다양화가 필요하다.

식품의 관능적 품질요소는 겉모양 풍미 레올로지 특성 등으로 분류되나 각 식품마다 그 식품의 종류와 용도에 따라 품질을 결정하는 몇 가지의 특징적인 요소가 있으며 그 중에서도 레올로지 특성은 식품의 품질에 매우 큰 영향을 주는 요소이다.<sup>10)</sup>

반고체의 유동성 식품은 레올로지 특성이 매우 중요한 품질 요소로 작용하게 된다.<sup>11)</sup> 된장의 레올로지 관련연구는 일본된장(miso)에서 제조과정 중의 점도변화 된장의 물추출 단백질의 가열변성과 점도와의 상관관계 및 여러 종류의 일본된장 현탁액의 점조 특성을 농도 및 온도와 관련하여 검토한 보고가 있으며 된장 현탁액은 시료에 따라 점조 특성이 현저한 차이가 있고 텍스트로피적 거동을 나타냄을 밝혔다.

따라서 본 실험 연구에서는 된장의 유동 특성을 보다 정확하게 이해하기 위해 시판용 시료를 대상으로 여러 농도 범위의 된장 현탁액의 non-Newtonian 유동 모델을 적용하여 시판 된장의 유동 특성을 평가하고 시료의 온도 및 농도가 겉보기 점도에 미치는 영향을 비교 검토하였다. 또한 비교적 간단한 장치를 이용하여 손쉽게 측정할 수 있는 capillary extrusion 방법을 사용하여 된장의 유동 특성측정의 적용 가능성을 검토하였다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 재 료

본 실험에서 사용된 된장재료는 대상 식품(주)에서 제조한 것으로 된장의 성분은 대두 31%(미국산) 소맥분 13%(수입산, 국내 가공품)로 이루어 졌고 된장을 사용하기

전에 25℃ 항온기에서 24hr 보관 후 시료로 사용하였다.

## 2. 실험 방법

### 1) 시료의 조제

시판 된장에 소정량의 증류수를 가하여 고형물 함량이 30. 32. 34. 36. 38. 40%로 농도를 조절하여 25℃에 보관하면서 레올로지 특성 실험의 시료로 사용하였다.

### 2) 레올로지 특성 측정방법

#### (1) 유동 특성 측정

된장의 유동특성은 non-Newtonian 레올로지 모델식으로부터 레올로지 매개변수들을 구하였다. 실험은 Haake concentric cylindrical viscometer(VT550, system MV II)를 사용하여 아래와 같은 유동모델식에 의하여 측정되었다.

$$\text{Power law model : } \sigma = K \dot{\gamma}^n \quad (\text{식1})$$

$$\text{Casson model : } \sigma^{0.5} = K_o + K_c \dot{\gamma}^{0.5} \quad (\text{식2})$$

여기서  $\dot{\gamma}$ 는 전단속도( $\text{s}^{-1}$ ),  $\sigma$ 는 전단응력(Pa),  $K$ 는 점조도 지수( $\text{Pa}\cdot\text{S}^n$ ),  $n$ 은 유동거동지수, Casson 항복응력은  $\sigma_{oc}=(K_{oc})^2$ 이다. Apparent viscosity( $\eta_{a,s}$ )는 전단 속도  $5\text{s}^{-1}$ 에서  $\eta_{a,s}=K \dot{\gamma}^{n-1}$ 로부터 결정된다. 온도변화가 고추장의 유동특성에 미치는 영향은 10~55℃ 온도 범위에서 Arrhenius 식으로 부터 분석되었다.

$$\eta_a = A \cdot \exp(E_a/RT) \quad (\text{식3})$$

여기서  $A$ 는 상수,  $T$ 는 온도(K),  $R$ 은 기체상수( $8.3144\text{kJ/mole} \cdot \text{K}$ ),  $E_a$ 는 활성화 에너지( $\text{kJ/mole}$ )이다.

#### (2) Vane 항복응력 측정

된장의 항복응력 측정은 controlled shear-rate 조건에서 Haake viscometer (VT550,

#### 4 · 관광식음료경영연구

Haake Inc., Germany)를 사용하여 vane 방법으로 측정하였다. vane은 높이(H<sub>v</sub>)가 3cm, 지름(D<sub>v</sub>)이 2cm인 4개의 날개로 구성된 vane으로 실험하였다.(Fig. 1) controlled shear rate 조건으로 25℃에서 0.1 rpm으로 측정하였으며, vane 항복응력은 아래식에 의하여 계산하였다.

$$T_m = \frac{\pi D_v^3}{2} \left( \frac{H_v}{D_v} + \frac{1}{3} \right) \quad (\text{식4})$$

여기서 T<sub>m</sub> 은 최대 토크값 (maximum torque), D<sub>v</sub>는 vane의 지름H<sub>v</sub>는 vane의 높이, σ<sub>ov</sub>는 vane의 항복응력을 나타낸다<sup>12)13)14)</sup>.

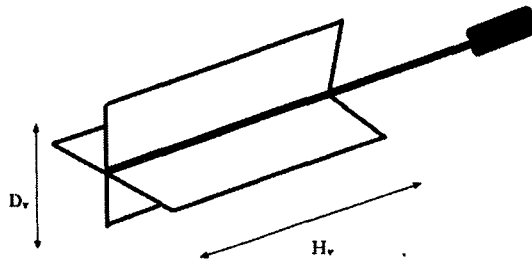


Fig 1. Four-bladed vane attachment for yield stress measurement

#### (3) Capillary extrusion 방법에 의한 점조도 지수와 유동성 지수 측정

Instron Testing Machine (Model1011, Instron Co., Canton, USA)에 capillary extrusion viscometer를 사용하여 된장 시료의 유동특성을 측정하였다. 실험은 상온에서 capillary extrusion cell에 담은 후 4개의 다른 crosshead speed (0.5, 1, 2, 3cm/min)로 시료의 압착거리 50mm에서 측정되었으며, 시료가 orifice를 통과하는데 요구되는 힘(F<sub>o</sub>)과 capillary를 통과하는데 요구되는 힘(F<sub>c</sub>)을 측정하여 다음 식에 의하여 전단응력(σ)과 전단속도 (γ̇)를 계산한다.

$$\sigma = \Delta P/4(L/D) = r \Delta P/2L \quad (\text{식5})$$

여기서  $\Delta P = (F_c - F_o)/A$ ,  $F_o$  = 시료가 orifice를 통과할 때의 최대힘 (g),  $F_c$  = 시료가 capillary를 통과할 때의 최대 힘 (g),  $A$  = capillary의 단면적 ( $\pi r^2$ ),  $L$  = capillary tube의 길이,  $D$  = capillary tube의 직경,  $r$  = capillary tube의 반경이다.

$$\dot{\gamma} = 4Q/\pi r^3 \quad (\text{식6})$$

여기서  $Q = \pi R^2 \times \text{crosshead speed}$ ,  $R$  = extrusion barrel의 반경이며,  $K$ 값과  $n$ 값은 위의 식에서 얻은 각각의 속도별 전단응력 ( $\sigma$ )과 전단속도 ( $\dot{\gamma}$ )로부터 power law 모델식 (식 1)에 의하여 계산된다<sup>15)16)17)</sup>.

### Ⅲ. 결과 및 고찰

#### 1. 된장 현탄액의 레올로지 특성

##### 1) Shear-thinning 거동

여러 농도 범위의 된장 현탄액을 조제한 후 농도에 따른 된장의 유동특성 측정에서 Haake concentric cylindrical viscometer(VT550, system MVⅡ)를 이용하여 얻은 전단 응력과 전단속도로부터 power law 모델식과 Casson 모델식을 적용하여 유동특성 매개변수들을 구하였다. 농도에 따른 유동특성 매개변수들은 Table 1에 나타내었다. Power law 모델에 의한 유동성 측정에서 유동성 지수( $n$ )는 1.0보다 낮은 0.30-0.55의 범위를 나타내고 있어 명백한 shear-thinning (pseudoplastic) 유체임을 알 수 있었다 (Fig 2). 따라서 된장의 총고형분 함량(T.S)이 증가할수록  $n$  값이 감소하는 경향을 나타내는 보다 강한 shear-thinning 유체 성질을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 유체거동은 입자간의 상호결합에 의한 입자들의 응집으로 설명될 수 있으며 입자간의 결합이 강할수록 응집된 입자의 수는 증가하게 된다. 또한 전단 속도가 증가함에 따라 이들 응집입자의 수는 감소하게 되고 그 결과 분산식품에 대해 shear-thinning 거동이 초래된다. 고추장의 경우도 마찬가지로 총고형물 함량이 증가함에 따라 강한 shear-thinning 거동을 보이며 이는 고추장의 농도가 증가함에 따라 입자간의 결합이 강해지기 때문인 것으로 설명 될 수 있다.

## 6. 관광식음료경영연구

점조도 지수(K)와 겉보기 점도 ( $\eta_{a,s}$ )는 된장의 총 고형분 함량이 증가함에 따라 증가하였으며, 온도가 높아질수록 감소하는 경향을 보이거나 된장 현탁액의 농도가 묽을 시료의 경우(30-34%) 온도에 대해 반드시 비례하지는 않았다. 동일한 농도(30-34%)에서 10-40°C사이의 경우, 점조도 지수(K)와 겉보기 점도( $\eta_{a,s}$ )는 온도가 증가함에 따라 점점 감소하는 경향을 보이거나 55°C에서는 다시 증가한다. 이는 55°C라는 높은 온도에 의해 단백질계의 가열에 의한 점성 증가로 된장에 함유되어 있는 대두 단백질에 의한 단백질의 unfolding에 기인한 분자간 s-s 반응에 의해 용액 중 단백질이 회합하여 입자직경이 커지는 것에 기인한 것으로 추론되고 있다. 또한 단백질의 변성 온도가 55°C-60°C인 점을 고려할 때 앞서 말한 점성변화의 주요한 성분이 단백질임을 알 수 있다.

Table 1. Magnitudes of flow behavior index (n), consistency index (K) and apparent viscosity ( $\eta_a$ , Pa.s) at different temperatures

T.S. (%)	T=10°C			T=25°C			T=40°C			T=55°C		
	n	K	$\eta_a$	n	K	$\eta_a$	n	K	$\eta_a$	n	K	$\eta_a$
30	0.44	11.58	4.70	0.55	8.63	4.18	0.40	9.15	3.48	0.44	7.94	3.22
32	0.35	22.45	7.89	0.48	16.52	7.15	0.43	14.84	5.93	0.33	14.66	4.99
34	0.36	34.13	12.18	0.46	28.12	11.79	0.47	20.35	8.67	0.32	25.95	8.69
36	0.41	59.67	23.09	0.42	50.83	19.99	0.39	46.98	17.60	0.40	41.34	15.74
38	0.30	134.68	43.65	0.37	107.05	38.84	0.33	89.63	30.49	0.34	75.22	26.00
40	0.30	197.53	64.03	0.33	148.55	50.53	0.30	126.60	41.04	0.31	104.28	34.35

### 2) Casson 항복응력( $\sigma_{oc}$ )과 vane 항복응력( $\sigma_{ov}$ )

Casson 항복응력은 총고형 분함량이 증가함에 따라 높게 나타났다.  $\sigma_{oc}$ (식2)와  $\sigma_{ov}$ (식4)는 총고형분 함량의 증가에 따라서 증가하였으며(Table 3)  $\sigma_{ov}$ 과 총고형분 함량과 높은 상관관계를 보여주었다(Fig 3, Fig 4). Vane 항복응력 측정 수치들은  $\sigma_{oc}$ 에 비해 매우 낮은 편차를 보여주고 있어 vane 방법이 재현성 면에서 우수함을 보여주고 있다.

Table 2. Yield Stress( $\sigma_{oc}$ ) for Casson model at different temperatures

T.S(%)	10℃		25℃		40℃		55℃	
	$\sigma_{oc}$ (Pa)	R <sup>2</sup>	$\sigma_{oc}$ (Pa)	R <sup>2</sup>	$\sigma_{oc}$ (Pa)	R <sup>2</sup>	$\sigma_{oc}$ (Pa)	R <sup>2</sup>
30	4.11	0.92	2.11	0.91	3.18	0.99	2.52	0.98
32	9.22	0.95	4.77	0.94	4.71	0.97	6.31	0.98
34	14.69	0.95	9.45	0.94	5.62	0.98	11.69	0.97
36	22.20	0.93	19.14	0.95	17.59	0.99	13.94	0.99
38	64.59	0.94	44.98	0.93	39.09	0.95	35.09	0.93
40	83.34	0.96	64.02	0.95	61.35	0.94	51.74	0.93

Table 3. Effect of solid(%) on magnitudes of Casson yield stress( $\sigma_{oc}$ ) and vane yield stress( $\sigma_{ov}$ ) for *doenjang*

T.S(%)	$\sigma_{oc}$ (Pa)	$\sigma_{ov}$ (Pa)
30	2.11 ± 0.39	2.30 ± 0.18
32	4.77 ± 0.31	4.59 ± 0.17
34	9.45 ± 0.57	7.60 ± 0.22
36	19.14 ± 2.74	11.05 ± 0.39
38	44.98 ± 0.80	21.71 ± 0.87
40	64.02 ± 2.63	29.75 ± 0.14
R <sup>2</sup>	0.88	0.92

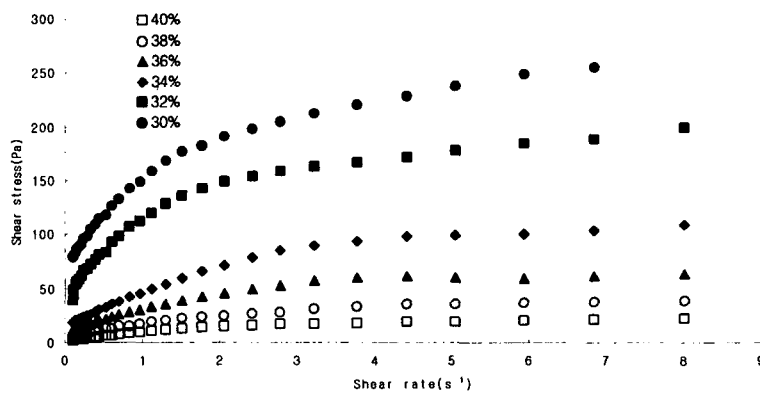


Fig 2. Flow curve of various concentrations of *doenjang* suspension at 25℃

8 · 관광식음료경영연구

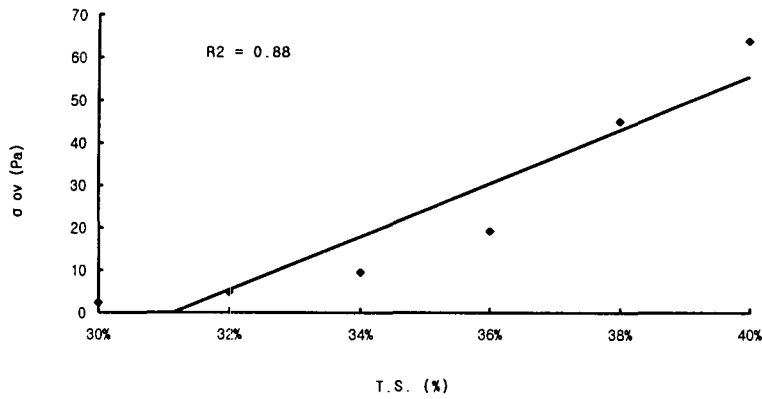


Fig 3. Effect of total solid (T.S.%) on Casson yield stress ( $\sigma_{oc}$ ) of *doenjang*

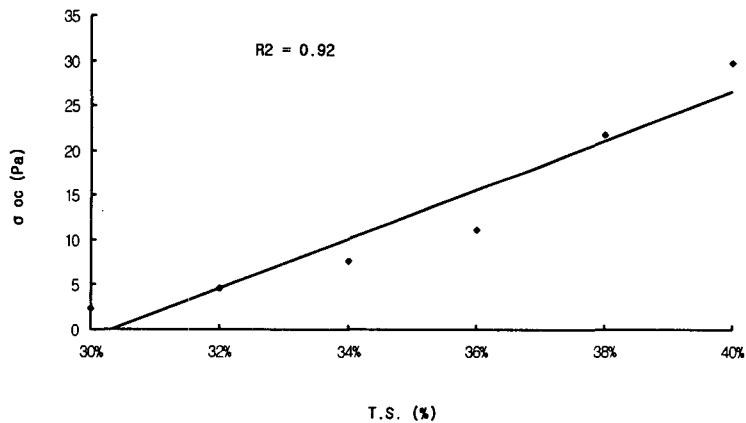


Fig 4. Effect of total solid (T.S.%) on vane yield stress ( $\sigma_{oc}$ ) of *doenjang*

3) 겉보기 점도, 농도, 온도의 영향

온도에 따른 전단속도와 전단 응력과의 관계는 Fig 5에서 와 같이 온도가 높아짐에 따라 전단 응력이 낮은 값을 나타낸다. 이는 온도가 높아짐으로서 열운동에 의한 교란에 의하여 결합하는데 방해작용이 일어나 된장이 흐르는데 대한 저항력이 적어지기 때문인 것으로 생각된다.



총고형분 함량과 겔보기 점도( $\eta_{a,5}$ )는 다음식에 의해 상관관계를 가진다( $R^2=0.99$ )  
Table 4).

$$\eta_{a,5} = a(T.S.)^b \quad (\text{식5})$$

겔보기 점도는 온도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보여주었으며(Table 1), 유동에 대한 활성화 에너지는 6.58-10.70 kJ/mole 사이의 수치를 보인다.(Table 5). 고추장의 경우 활성화 에너지가 14.9 kJ/mole의 수치를 보여 된장이 보다 낮았다.

Table 4. Relationship between apparent viscosity and total solid content (T.S.) at apparent viscosity ( $\eta_{a,5}$ ) :  $\eta_{a,5} = a \times (T.S.)^b$

exponential model	T=10℃	T=25℃	T=40℃	T=55℃
a	$1.09 \times 10^{-15}$	$3.44 \times 10^{-15}$	$3.32 \times 10^{-15}$	$7.86 \times 10^{-15}$
b	9.24	8.88	8.83	8.55
R <sup>2</sup>	0.99	0.99	0.99	0.99

Table 5. Magnitudes of activation energy for diluted doenjang sample

Total solid(%)	Ea(KJ/mole)
30	6.78
32	7.98
34	6.80
36	6.58
38	9.21
40	10.70

#### 4) 온도와 농도에 따른 항복응력

항복응력의 값의 증가는 30-36%까지 서서히 증가하였다가 농도가 높을수록 급격히 증가하였다. 또 온도가 높을수록 항복응력이 감소하는 경향을 보였으며 특히 농도가

10 · 관광식음료경영연구

높을수록 온도에 영향을 많이 받았다. Casson 항복응력은 농도가 증가함에 따라 높게 나타나고 온도가 높아짐에 따라 낮은 값을 보였다.(Table 2) 그러나 앞서 말한 점조도 지수(K)와 겔보기 점도 ( $\eta_{as}$ )와 마찬가지로 온도가 높아질수록 항복응력은 감소하는 경향을 보이거나 된장 현탁액의 농도가 물을 시료의 경우(30-34%) 온도에 대해 반드시 비례하지는 않았다. 동일한 농도(30-34% 된장 현탁액)에서 10-40℃사이의 경우, 항복응력은 온도가 증가함에 따라 점점 감소하는 경향을 보이거나 55℃에서는 다시 증가한다. 이러한 결과도 단백질계의 가열에 의한 점성증가로 추정된다.

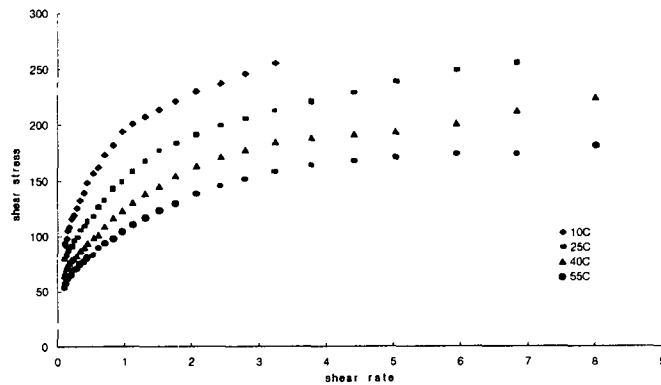


Fig 5. Flow curves of 40% *doenjang* suspension at various temperature

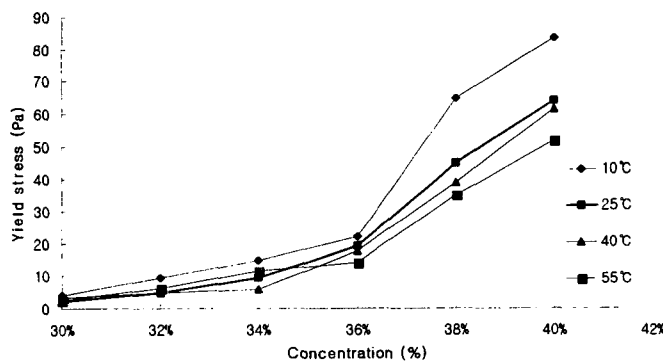


Fig 6. Concentration and yield stress correlations of *doenjang* suspension at various temperature.

## 2. capillary extrusion 방법에 의한 점조도 지수와 유동성 지수

총 고형물 함량에 대하여 capillary extrusion 방법에 의하여 측정된 힘 (force)를 이용하여 power law 모델 (식 1)의 유동특성 매개변수들을 비교하였다.(Table 6) 된장의 총고형분 함량에 대한 유동거동 지수(n)은 1보다 낮았으며 0.42-0.49을 나타내어 pseudoplastic 특성을 가지고 있음을 알 수 있었다. n값은 총 고형분 함량이 증가함에 따라 감소하였으며 따라서 총고형분 함량이 증가함에 따라 보다 강한 pseudoplastic 유체 성질을 나타내고 있음을 알 수 있었다(Table 5). 점조도 지수(K)는 총고형분 함량이 증가함에 따라서 증가하였으며( $R^2=0.97-0.99$ ), 겔보기 점도 ( $\eta_{a,s}$ )도 K값과 마찬가지로 유사한 유형을 보였다. 따라서 capillary extrusion 방법은 유동성 식품의 겔보기 점도와 유동 특성을 간편하게 측정하는 방법이며 또한 된장의 품질 관리에 유용하게 적용될 수 있다.

Table 6. Effect of total solid (T.S.%) on flow behavior index(n), consistency index(K), apparent viscosity ( $\eta_{a,s}$ ) by capillary extrusion method for doenjang

T.S(%)	n(-)	K(Pa)	$\eta_{a,s}$ (Pa · s)
32	0.49	105.77	46.47
34	0.48	171.25	74.16
36	0.46	269.83	113.33
38	0.42	760.75	299.16
40	0.42	1225.85	465.56

## IV. 결론

본 실험에서 사용한 non-Newtonian 유동 모델식들은 된장의 유동 특성을 잘 나타내 주었으며 유동 지수(n)은 0.30-0.55의 범위를 나타내어 shear-thinning(pseudoplastic) 유체임을 알 수 있었다. 총고형분 함량이 증가함에 따라 n값은 감소하는 경향을 나타

내었으며 고형분 함량이 증가함에 따라 보다 강한 shear-thinning 유체성질을 나타내고 있음을 알 수 있었다. 점조도 지수(K)와 겔보기 점도( $\eta_{a,s}$ )는 된장의 고형분 함량이 증가함에 따라 증가하였으며 10-40°C사이의 온도 범위에서는 온도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였으나 55°C의 높은 온도에서는 40°C에서보다 더 높은 값을 보였다. 마찬가지로 casson 항복응력( $\sigma_{oc}$ )도 총고형분 함량이 증가함에 따라 증가하였으나 온도에 있어서는 10-40°C사이의 경우 온도가 증가함에 따라 항복응력은 감소하였으나 55°C에서는 다시 증가하였다. 이러한 결과는 단백질의 변성 온도가 55°C-60°C인 점으로 볼 때, 된장 현탁액의 단백질 존재와 관련이 깊은 것으로 사료된다. 25°C에서 측정된 casson 항복응력( $\sigma_{oc}$ )과 vane 항복응력( $\sigma_{ov}$ )은 총고형분 함량이 증가함에 따라 증가하였으며 vane 항복응력 측정 수치들이 재현성면에서 보다 우수함을 보여주었다( $R^2=0.92$ ) 겔보기 점도는 온도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보여주었으며 유동에 대한 활성화 에너지는 6.58-10.70 KJ/mole 수치범위를 나타냈다. 온도에 따른 전단속도와 전단응력은 온도가 높아짐에 따라 전단응력이 낮아짐을 알 수 있었다. 또한 겔보기 점도는 전단속도가 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다.

총고형분 함량에 대한 capillary extrusion 방법에 의해 측정된 power-law 모델의 매개변수들은 유동 거동지수(n)가 1보다 낮은 0.42-0.49을 나타내어 pseudoplastic 특성을 가지고 있음을 알 수 있었으며 점조도 지수(K)와 겔보기 점도( $\eta_{a,s}$ )는 고형분 함량이 증가함에 따라 증가하였으며 좋은 상관관계를 보였다. Instron을 사용하여 측정되는 capillary extrusion 방법 비교적 장치가 간단하고 측정이 간편하며 된장의 유동특성 측정에 유용하게 적용될 수 있다.

## Abstract

Flow properties of doenjang samples at various total solid contents (30, 32, 34, 36, 38, 40%) were evaluated in this study. Flow properties of doenjang samples was determined by using Haake concentric cylindrical viscometer and Instron testing machine with capillary extrusion viscometer, and consistency index(K), and flow behavior index(n) was also determined from power models, and yield stress was derived from Casson models and vanes methods. Doenjang samples showed shear-thinning (pseudoplastic) fluid with small magnitude of flow behavior index(n) ( $n=0.30-0.55$ ). Casson yield stress was from

2.11 to 64.02(Pa). Vane yield stress was more effective than casson yield stress in property of reactivation. Apparent viscosity was decreased with the increase in temperature and activation energy was in the range of 6.58 to 10.70 kJ/mole. From the capillary extrusion method, K and n was increased with the increase in solid content with good correlation with. The result revealed that capillary extrusion method is useful for measuring the flow properties of doenjang.

## 참 고 문 헌

1. 박정숙, 이명렬, 김경수, 이택수 : 균주를 달리한 향기성분. Korean J. Food sci. Technol. Vol. 26. No. 3 pp 255 ~ 260(1994)
2. 이용호, 손태호, 박정용, 이상규, 이만정 : 식품가공 및 저장. 동명사 (서울), p 284(1993)
3. 김설희, 김선재, 김보희, 강성국, 정순택 : 천일염으로 제조한 된장의 발효특성. Korean J. Food sci. Technol. Vol. 32. No 6. pp 1365 ~1370(2000)
4. 농수축산신문. 한국연감. P547(1995)
5. 이부용, 김동만, 김길환 : Extrusion Capillary Viscometer를 이용한 반고체 식품의 점도 측정방법. J. Korean Soc. Food Nutr. 20(5), 509 ~512(1991)
6. 이철호 : 식품공업 품질관리론. 유림 문화사(1984)
7. Malcom, CB : Texture viscosity, and food In Food texture and viscosity : concept and measurment Academic Press. New York(1982)
8. Yoo. B.S.,Choi, W.S and Ryu, Y.K. Flow properties of traditional kochujang : Effect of fermentation time. J. Korean Soc. Food Nutr. 28 : 554-558(1999)
9. Rao,M.A. and Steffe, J.F. Measuring yield stress of fluid foods. Food Technol. 51(2): 50-52(1997)
10. Yoo, B.S. and Rao, M.A. Yield stress of food dispersions with the vane method at controlled shear rate and shear stress. J. Texture studies 26(5):1-10(1995)
11. Yoo, B.S and Rao, M.A. Yield stress and relative viscosity of tomato concentrates : Effect of total solid and finisher screen size. J. Food Sci. 60:777-785(1995)

12. Rao, M.A. and Steffe, J.F. Measuring yield stress of fluid foods. *Food Technol.* 51(2): 50-52 (1997)
13. Yoo, B.S. and Rao, M.A. Yield stress of food dispersions with the vane method at controlled shear rate and shear stress. *J. Texture Studies.* 26(5): 1-10 (1995)
14. Yoo, B.S. and Rao, M.A. Yield stress and relative viscosity of tomato concentrates: Effect of total solid and finisher screen size. *J. Food Sci.* 60: 777-785 (1995)
15. Lee, B.Y., Kim, D.M. and Kim, K.H. Measurement of the viscosity of semi-solid foods by extrusion capillary viscometer. *J. Korean Soc. Food Nutr.* 20: 509-512 (1991)
16. Mayfield, T.L., Hale, K.K., Rao, V.N.M and Angulo-chacon, I.A. Effects of levels of fat and protein on the stability and viscosity of emulsions prepared from mechanically deboned poultry meat. *J. Food Sci.* 43: 197-201 (1978)
17. Yoo, B.S. and Lee, C.M. Rheological relationships between surimi sol and gel as affected by ingredients. *J. Food Sci.* 58: 880-883 (1993)