

숙성온도가 전통 고추장의 레올로지 특성에 미치는 영향

유병승[†] · 노완섭

동국대학교 식품공학과

Effect of Fermentation Temperature on Rheological Properties of Traditional *Kochujang*

Byoung-Seung Yoo[†] and Wan-Seob Noh

Dept. of Food Science and Technology, Dongguk University, Seoul 100-715, Korea

Abstract

The steady and dynamic shear rheological properties of traditional *kochujang* fermented at three different temperatures (20°C, 25°C and 30°C) were studied. Flow of *kochujang* samples showed time dependence, which was quantitatively described by the Weltman model. *Kochujang* samples were highly shear thinning fluids ($n = 0.25 \sim 0.27$) with large magnitudes of Casson yield stresses (1.09 ~ 1.21 kPa). Consistency index (K) and apparent viscosity ($\eta_{a,20}$) increased with increase in fermentation temperature of *kochujang*. Storage (G') and loss (G'') moduli increased with increase in frequency (ω), while complex viscosity (η^*) decreased. Based on dynamic shear data, *kochujang* samples exhibit structural properties similar to weak gels. The complex and steady shear viscosities at different fermentation temperatures followed the Cox-Merz superposition rule with the application of the shift factor ($a = 0.011 \sim 0.016$).

Key words : *kochujang*, rheological property, Weltman model, Cox-Merz rule

서 론

고추장은 콩으로부터 얻은 단백질과 쌀, 보리, 밀가루 등의 전분질과 고춧가루 및 소금 등을 원료로 하여 제조되며, 특히 숙성 중 효소작용에 의해 고분자 물질이 저분자 물질로 분해되어 이들 물질의 분해정도에 따라 다양한 레올로지 특성을 가지게 된다. 고추장은 제조과정 중 전분질의 호화에 의해 점성이 부여되고 고춧가루 및 메주가루와 같은 고형입자(solid particle) 첨가로 인해 액체상에서 고체상이 분산되는 강한 겔구조를 형성하고 있는 일종의 분산식품이다(1,2). 따라서 고추장은 입자 분산상들이 형성하는 이러한 구조적 특징으로 인하여 항복응력(yield stress)과 shear-thinning non-Newtonian 유체 성질을 가지고 있으며 또한 측정시간에 따라 내부구조의 파괴가 진행되어 점성이 저하하는 시간 의존성 유체성질을 가지고 있다 이와같은 고추장의 유체 특성으로 인해 고추장의 가공공정 중 기계장치, 수송, 저장 등에서 발생하는 유동현상을 정확하게 예측하고 제조가공 공정의 조절과 최적화를 위해 고추장의 점성거동 및 동적점탄성 뿐만아니라 항복응력과 시간의존성 등 고추장의 레올로지 특성에 대한 여러 정보가 요구되고 있다.

고추장의 품질과 관련된 관능적 특성은 색, 향기, 맛,

레올로지 특성 등을 들 수 있으며 이들 특성의 변화는 고추장의 원료 배합비율, 제조방법 및 제조조건에 의해 크게 영향을 받는다. 특히 고추장은 다른 식품과는 달리 장기간의 발효 숙성과정을 통하여 독특한 레올로지 특성이 부여되기 때문에 고추장 제조시 숙성 온도에 따른 고추장의 레올로지 특성을 연구한다는 것은 매우 중요하다.

고추장의 레올로지 특성 연구는 그동안 주로 배합비율이나 제조방법에 따른 미생물학적, 이화학적 변화에 대한 연구의 일부분으로 간단한 점도측정이 수행되어 왔으며(3-6) 최근에는 숙성시간에 따른 고추장의 유동 및 동적 점탄성에 대한 연구가 진행되었다(1,2). 그러나 고추장 제조시 고추장의 숙성온도가 고추장의 레올로지 특성에 미치는 영향에 대한 연구는 보고된 바가 거의 없다. 따라서 본 연구에서는 숙성온도 20°C, 25°C, 30°C에서 발효숙성된 고추장의 정상유동특성 및 동적점탄성을 측정함으로써 숙성온도가 고추장의 레올로지 특성에 미치는 영향을 검토하였다.

재료 및 방법

재료

본 실험에 사용한 안동청결고춧가루(일직농업협동조합)

[†]To whom all correspondence should be addressed

합), 엇기름가루(고향식품), 찹쌀가루(고향식품), 메주가루(고향식품), 소금(유진염업)은 농업협동조합에서 구입하여 사용하였다.

고추장 제조방법

엇기름물은 엇기름가루를 1시간 동안 침지하여(엇기름가루와 물의 비율은 1 : 5) 60°C에서 1시간 동안 가열한 후 여과함으로써 얻어졌다. 여기에 찹쌀가루를 넣어 5시간 동안 침지하여 삭힌 후 가열하여 전분질을 호화 및 당화시켰다(1). 여기에 메주가루와 고춧가루, 소금을 혼합하여 만든 고추장을 20°C, 25°C, 30°C 항온기에서 12주 동안 숙성하였다. 고추장 담금에 사용한 배합 비율은 Table 1과 같다.

레올로지 특성 측정

고추장의 정상유동특성 및 동적점탄성 측정은 TA Rheometer(AR 1000, TA Instruments Inc., USA)의 plate-plate(직경 4 cm) system을 사용하여 1000 μm의 gap으로 25°C에서 수행되었다. 고추장의 시간의존성 측정은 전단속도 3.0 s⁻¹에서 40분간 측정되었으며 고추장의 시간의존성을 정량화하기 위해 시간에 대한 전단응력 데이터는 Weltman 모델(식 1)(7)을 적용하여 평가하였다

$$\sigma = A - B \ln t \tag{식 1}$$

여기서 σ 는 전단응력(Pa), t 는 시간(sec), A와 B는 σ 와 t 의 선형회귀선으로부터 얻어진다. 정상유동특성 측정은 전단속도 의존성을 파악하기 위해서 전단속도($\dot{\gamma}$) 0.01~100 sec⁻¹범위에서 대수 스케일(logarithmic scale)에 따라 점차 증가시키면서 전단응력을 측정하였으며 여기에서 얻은 전단응력(σ)과 전단속도($\dot{\gamma}$)로부터 power law 모델식과 Casson 모델식에 의하여 유동성지수, 점조도지수 및 항복응력 등 레올로지 매개변수들을 구하였다

$$\text{Power law 모델 : } \sigma = K \cdot \dot{\gamma}^n \tag{식 2}$$

$$\text{Casson 모델 : } \sigma^{0.5} = K_{oc} + K_c \dot{\gamma}^{0.5} \tag{식 3}$$

여기서 $\dot{\gamma}$ 는 전단속도(s⁻¹), σ 는 전단응력(Pa), K는 점조도 지수(consistency index, Pa · secⁿ), n은 유동성지

Table 1. The mixing ratio of raw materials for the preparation of traditional *kochujang*

Raw materials	Mixing ratio (%)
Glutinous rice	23.0
Meju powder	87
Red pepper powder	17.3
Salt	8.2
Water+malt ext. (malt)	42.8 (8.5)
Total	100

수(flow behavior index, dimensionless), Casson 항복응력 $\sigma_{\infty} = (K_{oc})^2$ 이고 Casson plastic viscosity $\eta_c = K_c^2$ 이다. 겔보기점도(apparent viscosity, $\eta_{a,20}$)는 전단속도 20 s⁻¹에서 $\eta_a = K \cdot \dot{\gamma}^{n-1}$ 로부터 결정되었다.

고추장의 동적점탄성(dynamic viscoelasticity)은 0.1~10.0 Hz 범위내에서 저장탄성률(storage modulus, G'), 손실탄성률(loss modulus, G'') 및 복소점도(complex viscosity, η^*)가 측정되었다. 선형 점탄성 범위는 5.0 Hz에서 torque sweep로부터 400 Pa의 변형력에서 결정되었으며 이들 모든 데이터는 TA Rheometer Data Analysis Software(version VI.1.76)에 의해 계산되었다

결과 및 고찰

시간의존성

대부분의 분산식품들은 일정 전단속도에서 시간에 따라 식품의 구조변화가 계속 진행되기 때문에 이들 식품의 시간의존성 유동특성을 측정함으로써 구조와 유동과의 관계가 파악될 수 있다(8). 본 연구에서는 고추장의 시간의존성을 일정한 전단속도 (3.0 s⁻¹)에서 시간경과에 따른 전단응력의 변화로부터 측정하였으며 다른 분산식품들과 유사하게 고추장 시료들은 시간의존성을 뚜렷하게 보여 주었다(Fig. 1). 이들 시료들은 초기 10분 동안에 전단응력이 급속히 감소하였으며 이후에는 서서히 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 대부분의 분산식품에서 나타나는 유사한 결과이며 Ramos와 Ibarz(9)가 언급했듯이 구조 파괴에 의한 메카니즘으로 설명될 수 있다. 초기의 급속한 구조파괴는 분자간의 결합과 입자간의 결합이 전단에 의해 파괴되고 큰 입자는 작은 입자 또는 균일한 입자 형태로 변형되었기 때문이며, 이후 완만한 구조파괴는 전단작용에 의해 형성되는 입자들의 방향성에 의해 설명될 수 있다.

Thixotropy 구조를 가진 분산식품의 시간의존성은 여러 종류의 모델식들(Weltman 모델, Hahn 모델, Figoni

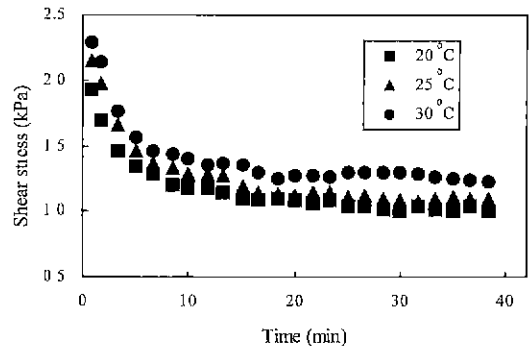


Fig 1. Shear stress as a function of shear time for *kochujang* samples fermented at 20°C, 25°C and 30°C.

& Shoemaker 모델)을 적용하여 정량적으로 측정되고 있으나 최근 Yoo와 Chang(10)의 연구결과에 의하면 고추장의 시간의존성 측정은 세 종류의 모델식들 중 Weltman 모델식이 가장 적합 것으로 나타났다. 따라서 본 연구에서는 숙성온도가 다른 고추장들에 대한 시간의존성을 Weltman 모델식에 적용하였다. 그 결과 고추장의 시간의존성은 높은 결정계수($R^2 = 0.92 \sim 0.95$)를 보여주면서 Weltman 모델의 매개변수들(A, B)로부터 정량적으로 측정될 수 있었으며, 매개변수 A, B 모두 고추장의 숙성온도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타냈다(Table 2). 여기서 Weltman 매개변수 A는 thixotropy 현상에서 구조가 파괴되기 시작하는데 필요한 전단응력을 의미하며, 매개변수 B는 thixotropy 파괴계수로서 전단하는 동안에 파괴되는 구조의 양을 의미한다. 따라서 고추장의 숙성 온도가 증가함에 따라 고추장의 분자 및 입자간의 결합력이 보다 강하고 구조파괴 속도는 보다 빨라짐을 알 수 있었다. 또한 Weltman 모델의 매개변수들은 고추장의 숙성온도에 의해 분명히 영향을 받음을 알 수 있었다.

정상유동특성

Table 3은 숙성온도가 고추장의 정상유동 특성에 미치는 영향에 대해 power law 모델과 Casson 모델에 의해 얻어진 유동지수(n), 점조도 지수(K), 겔보기 점도($\eta_{a,20}$) 및 Casson 항복응력(σ_{oc}) 수치를 보여주고 있다. 고추장의 숙성온도에 따른 n 는 숙성온도에 상관없이 1보다 훨씬 낮은 0.25~0.27 범위에서 거의 일정한 수치를 나타냈으며, 이는 Yoo 등(1)이 측정된 숙성기간에 따른 고추장의 n (0.20~0.25)과 유사한 수치를 보여주었다. 따라서 낮은 n 로부터 고추장은 전단속도가 증가함에 따라 점도가 급격히 감소하는 shear-thinning 거동이 매우 큰 유체임을 알 수 있었다. 이와같이 고추장의 shear-thinning 거동은 입자와 입자간의 결합으로부터 형성된 입자 집합체를 가

진 분산식품에서 나타나는 현상으로서 전단속도가 증가함에 따라 이들 입자 집합체의 수의 감소로 인해 shear-thinning 거동을 초래하게 된다(11). Holdsworth(12)와 Rao(13)의 보고에 의하면 대부분의 분산식품들의 의가소성(pseudoplastic) 유체성질은 액상 매개체속의 분산 고체물질이나 고분자물질들로 인해 나타나므로 고추장의 shear-thinning 거동은 액상 매개체내에 분산된 고체물질인 고춧가루와 전분 및 단백질원으로 사용되는 찹쌀가루와 메주가루 원료에 의해 설명될 수 있다.

숙성온도에 따른 고추장의 K 와 $\eta_{a,20}$ 는 높은 수치를 나타냈으며, 숙성온도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 뚜렷하게 보여 주었다. 그러나 σ_{oc} 은 25°C 숙성온도까지 증가하다가 30°C 숙성온도에서 감소하는 경향을 나타냈다(Table 3). 이와같이 30°C 숙성온도에서의 항복응력 감소는 숙성 중 액화효소에 의해 조직구조의 분해속도가 다른 시료에 비해 빨리 진행되어 대부분의 입자가 연한 입자구조를 형성하고 또한 숙성 중 구조내에서 액체성분이 보다 많이 방출되어 일종의 윤활제 역할로 인해 입자와 입자의 결합력을 감소시키거나 유체흐름의 저항을 감소시키기 때문인 것으로 판단될 수 있다. Castaldo 등(14)은 과일 농축물과 같은 분산식품에 액화효소를 처리하면 조직구조가 작은 조각으로 분해되어 연한 구조로 변화하여 항복응력이 감소하게 된다고 보고하고 있다.

동적 점탄성

Fig. 2는 숙성온도를 달리한 고추장 시료들에 대해 각 주파수(ω)에 따른 저장탄성률(G')과 손실탄성률(G'')의 변화를 나타낸 것이다. 여기서 ω 가 증가함에 따라 G' 과 G'' 가 증가하고 있어 고분자 액체의 경우와 같이 각 주파수의존성이 있음을 나타내고 있다. 또한 측정된 주파수 범위 내에서 G' 의 수치가 G'' 보다 높게 나타났고 숙성온도가 증가함에 따라 G' 과 G'' 모두 증가하는 경향을 보여 주었다. 따라서 고추장은 점성적 성질에 비해 탄성적 성질이 보다 우세하며, 숙성온도가 증가함에 따라 고추장의 점성 및 탄성적 성질이 증가함을 알 수 있었다. 또한 복소점도(η^*)는 ω 가 증가함에 따라 감소하고 있어 고추장은 shear-thinning 성질을 가지고 있음을 확인할 수 있었다(Fig. 3). 이러한 고추장의 동적 점탄성특성들은 토마토 농축물과 같은 다른 분산식품에서도 잘 관찰될 수 있다(15,16).

Table 2. Parameters from the Weltman model for *kochujang* sample fermented at 20°C, 25°C and 30°C

Temperature (°C)	A (Pa)	B (Pa·s)	R^2
20	2368.3±50.8	177.8± 3.1	0.94
25	2639.6±38.2	203.0±10.1	0.92
30	2929.1±86.5	238.6±12.5	0.95

Table 3. Effect of fermentation temperature on steady shear rheological properties of *kochujang* samples

Fermentation temperature (°C)	Flow behavior index, n (-)	Consistency index, K (kPa·s ^{n})	Apparent viscosity, $\eta_{a,20}$ (Pa·s)	Casson yield stress, σ_{oc} (kPa)
20	0.27	1.21	133.9	1.09
25	0.26	1.54	166.9	1.26
30	0.25	1.70	180.0	1.21

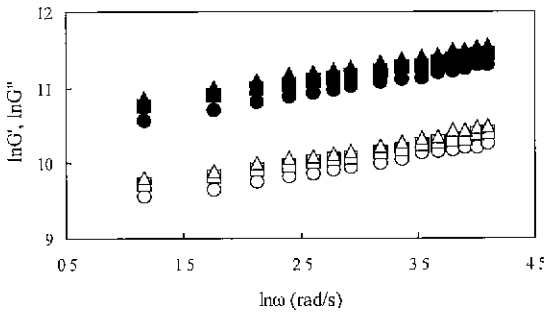


Fig. 2. $\ln(G', G'')$ vs. $\ln \omega$ for *kochujang* samples at of 20°C (\blacktriangle ; \triangle), 25°C (\blacksquare ; \square) and 30°C (\bullet ; \circ) – open symbols G'' , closed symbols G' .

$$G' = K'(\omega)n' \quad (\text{식 4})$$

$$G'' = K''(\omega)n'' \quad (\text{식 5})$$

Table 4는 $\ln G'$ 및 $\ln G''$ 과 $\ln \omega$ 와의 직선회귀식들(식 4와 5)로부터 절편(K' , K''), 기울기(n' , n'') 및 결정계수(R^2)를 나타내고 있으며, G' 과 G'' 모두 기울기(0.23~0.25)가 낮고 결정계수($R^2 = 0.99$)가 높은 직선관계를 보여주었다

일반적으로 구조적 측면에서 볼 때 강한 겔인 경우 기울기(K' , K'')가 거의 "0"에 접근하지만 약한 겔이나 고농도의 용액인 경우 양(+)의 기울기를 보여주며, 또한 전체 주파수 범위내에서 G' 이 G'' 보다 높은 수치를 나타낸다(17). 이는 고추장이 입자간의 강한 결합에 의한 약한 겔과 같은 구조적 성질을 가지고 있음을 의미한다.

정상유동특성과 동적 점탄성과의 상관관계

정상유동특성과 동적점탄성과의 상관관계는 Cox-Merz (18)의 겹침(superposition)원리에 의해 여러 생고분자, 즉 식품 gum 용액들에 적용되어 왔다. 그러나 엉킴(entanglement) 및 응집(aggregate) 현상이 있는 생고분자 용액이나 점착성(thickness) 및 퍼짐성(spreadability)이 있는 유체 및 반고형 식품들에는 Cox-Merz 원리가 적용되지 않는다(19). 이들 식품들과 마찬가지로 고추장 또한 고춧가루 및 메주가루가 분산되어 있는 고분자 물질로서 강한 망상구조를 가지고 있기 때문에 Cox-Merz 원리에 적용되지 않으며 고추장 시료들의 복소점도(η^*)는 정상류점도(η)보다 높은 수치를 보여주고 있다(Fig. 3). 특히

Table 4. Slopes and intercepts (kPa·s) of $\ln(G', G'')$ versus $\ln(\text{frequency, rad s}^{-1})$ for *kochujang* samples fermented at 20°C, 25°C and 30°C

Fermented temperature (°C)	G'			G''		
	Intercept	Slope	R^2	Intercept	Slope	R^2
20	31.25	0.25	0.99	10.80	0.25	0.99
25	35.33	0.24	0.99	12.39	0.24	0.99
30	39.64	0.23	0.99	12.91	0.25	0.99

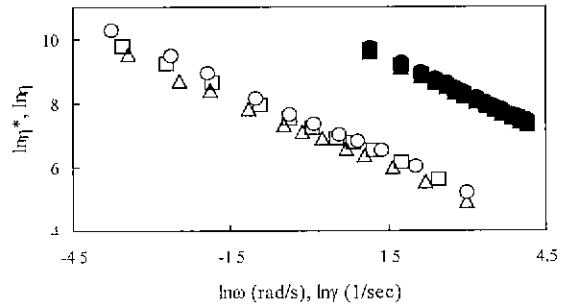


Fig. 3. Comparison of steady flow viscosity (η) and complex viscosity (η^*) for *kochujang* samples fermented at 20°C (\blacktriangle ; \triangle), 25°C (\blacksquare ; \square) and 30°C (\bullet , \circ) – open symbols η , closed symbols η^* .

20°C에서 숙성된 고추장의 정상류점도는 측정범위내에서 가장 낮은 수치를 보여주었다. 이는 정상유동성 측정시 전단속도가 증가함에 따라 식품내 망상구조의 파괴가 진행되지만 동적점탄성 측정시에는 선형성이 인정되는 작은 진폭하에서 수행되므로 평형상태를 유지하고 있어 구조의 파괴가 나타나지 않기 때문이다(20). 그러나 Fig. 3에서 나타낸 바와 같이 고추장의 $\ln \eta^* - \ln \omega$ 와 $\ln \eta - \ln \gamma$ 에 대한 수치들은 서로 평행한 두 직선을 보여주고 있으며, ω 에 이동인자(shift factor, a)를 곱함으로써 두 직선은 하나의 직선으로 중첩될 수 있다. 따라서 이 두직선의 중첩을 위해 Cox-Merz 원리는 아래 식(식 6)에 의해 변형될 수 있다.

$$\eta^*(\omega a) = \eta(\gamma)_{\omega=\gamma} \quad (\text{식 6})$$

여러 분산식품들에 대한 이들 이동인자는 Bistany와 Kokini(21)의 연구에 의해 그 수치들이 제시되었으며 특히 항복응력이 있는 식품들에 대해 이동지수를 이용하여 Cox-Merz 원리가 잘 적용되었다. Fig. 4는 숙성 고추장 시료의 복소점도가 주파수의 보정에 의해 얻어진 정상류점도와 거의 일치함을 보여주고 있다. 온도 20°C, 25°C, 30°C에서 숙성된 고추장 시료들의 이동인자는 0.011, 0.015, 0.016를 각각 나타냈으며, 숙성온도가 증가함에 따라 이동인자 수치가 약간 증가함을 알 수 있었다. 따라서 숙성온도를 달리한 고추장 시료들의 동적점탄성 수치에

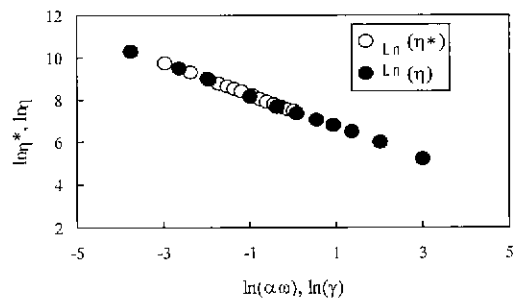


Fig. 4. Modified Cox-Merz plot for a *kochujang* sample fermented at 30°C.

이동인자를 적용함으로써 동적점탄성 수치로부터 정상 유동성 수치가 예측 가능함을 알 수 있었다.

요 약

숙성온도(20°C, 25°C, 30°C)를 달리하여 발효시킨 전통 고추장의 정상유동특성 및 동적점탄특성들이 연구되었다. 고추장의 유동특성은 시간의존성을 나타냈으며 Weltman 모델식에 의해 정량적으로 잘 설명될 수 있었다. 고추장 시료들은 낮은 유동지수($n = 0.25-0.27$)와 높은 Casson 항복응력(1.09~1.21 kPa)을 가진 shear thinning 유체특성을 나타냈다. 고추장의 점도도 지수(K)와 겔보기 점도(η_{a20})는 숙성온도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타냈다. 저장탄성률(G')과 손실탄성률(G'')은 주파수(ω)가 증가함에 따라 증가하였으며 G' 의 수치가 G'' 보다 높게 나타났다. 이들 동적점탄성 데이터로부터 고추장 시료들은 입자간의 강한 결합에 의한 약한 겔과 같은 구조적 성질을 가지고 있음을 알 수 있었다. 숙성온도가 증가함에 따라 G' 과 G'' 모두 약간 증가하는 경향을 보여 주었다. 숙성온도를 달리한 고추장 시료들의 복소점도(η^*)와 정상류점도(η)은 이동지수($\alpha = 0.011-0.016$)를 적용함으로써 Cox-Merz 중첩 원리에 잘 적용되었다.

감사의 글

본 연구는 1999년도 한국학술진흥재단의 연구비에 의하여 지원되었으며 이에 감사 드립니다(KRF-99-041-G00114).

문 헌

1. Yoo, B.S., Choi, W.S. and Ryu, Y.K. : Flow properties of traditional *kochujang*: effect of fermentation time. *J. Korean Soc Food Sci Nutr.*, **28**, 554-558 (1999)
2. Yoo, B.S. and Choi, W.S. : Effect of fermentation time on rheological properties of *kochujang* in steady and dynamic shear. *Food Sci. Biotechnol.*, **8**, 300-304 (1999)
3. Lee, K.Y., Kim, H.S., Lee, H.G., Han, O. and Chang, U.J. : Studies on the prediction of the shelf-life *kochujang* through the physicochemical and sensory analyses during storage. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.*, **26**, 588-594 (1997)
4. Moon, T.W. and Kim, Z.E. : Some chemical physical characteristics and acceptability of *kochujang* from various starch sources. *J. Korean Agri. Chem. Soc.*, **31**, 387-393 (1988)
5. Shin, D.W., Kim, D.H., Choi, U., Lim, D.K. and Lim, M.S. : Studies on the physicochemical characteristics of traditional *kochujang*. *Korean J. Food Sci Technol.*, **28**, 157-161 (1996)
6. Woo, D.H. and Kim, Z.U. : Characteristics of improved *kochujang*. *J. Korean Agri. Chem. Soc.*, **33**, 161-168 (1990)
7. Weltman, R.N. : Breakdown of thixotropic structure as a function of time. *J Appl. Phys.*, **14**, 343-350 (1943)
8. Fighi, P.L. and Shoemaker, C.F. : Characterization of time dependent flow properties of mayonnaise under steady shear. *J Texture Studies*, **14**, 431-442 (1983)
9. Ramos, A.M. and Ibarz, A. : Thixotropy of orange concentrate and quince puree. *J. Texture Studies*, **29**, 313-324 (1998)
10. Yoo, B.S. and Chang, Y.H. : Time dependent flow properties of *kochujang*. Paper presented at the 64th Meeting of Korean Society of Food Science and Technology, Daegu, Korea (2000)
11. Tsai, S.C. and Zammouri, K. : Role of interparticle van der Waals force in rheology of concentrated suspensions. *J. Rheol.*, **32**, 737-750 (1988)
12. Holdsworth, S.D. : Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behaviour of fluid food products. *J Texture Studies*, **2**, 393-396 (1971)
13. Rao, M.A. : Rheology of liquid foods-a review. *J. Texture Studies*, **8**, 135-143 (1977)
14. Castaldo, D., Trufiro, A., Gherardi, S., Zambelli, G. and Bazzarini, R. : Rheological characterization of apple purees treated with fluidizing enzymes. *Ind. Conserv.*, **59**, 109-115 (1984)
15. Rao, M.A. and Cooley, H.J. : Rheological behavior of tomato pastes in steady and dynamic shear. *J. Texture Studies*, **23**, 415-425 (1992)
16. Yoo, B.S. and Rao, M.A. : Relationship between steady viscosity and complex dynamic viscosity of tomato concentrate. *Foods and Biotechnol.*, **6**, 319-321 (1997)
17. Ross-Murphy, S.B. : *Rheological methods In Biophysical Methods in Food Research*. Chan, H.W.S. (eds.), Blackwell Scientific Publications, London. p 138-199 (1984).
18. Cox, W.P. and Merz, E.H. : Correlation of dynamic and steady viscosities. *J. Poly Sci.*, **28**, 619-622 (1956)
19. Da Silva, J.A.L. and Rao, M.A. : Viscoelastic properties of food hydrocolloid dispersions. In *Viscoelastic Properties of Foods*. Rao, M.A. and Steffe, J.F. (eds.), Elsevier Applied Science Publishers, London, p.285-316 (1992)
20. Song, K.W. and Chang G.S. : Steady shear flow and dynamic viscoelastic properties of semi-solid food materials. *Korean J Rheol.*, **11**, 143-152 (1999)
21. Bistany, K.L. and Kokini, J.L. : Dynamic viscoelastic properties of foods in texture control. *J Rheol.*, **27**, 605-620 (1983)

(2000년 8월 11일 접수)