

대두입자가 분산된 두유에서 기름입자의 입도분포 측정

정재봉 · 윤석권 · 손현수
(주)정 · 식품 중앙연구소

The Measurement of Oil Globule Size Distribution in the Soymilk Suspended with the Soybean Particle

J.B. Chung, S.K. Yoon and H.S. Sohn
Central Research Institute, Dr. Chung's Food Co.

Abstract

Although the measurement of oil globule size distribution is necessary to detect the process of demulsification, the reasonable methodology for its measurement has not been suggested because the solution of soymilk contains insoluble soybean particle and the protein to interfere with the detection of oil globule or oil content. The oil globule size distribution was measured by the homogeneous suspension and cumulative method under gravitational force or centrifugal force, which were modified with Stokes' law. The geometric mean diameter of oil globules in this soymilk was $0.33 \mu\text{m}$ and $0.31 \mu\text{m}$ under gravitational method and centrifugal method, respectively. The differences of oil globule size distribution in the solutions emulsified by different pressures were detected by this method. The mean diameter of the solutions treated at higher pressure was shifted to smaller size and the distribution pattern of the solutions at higher pressure became more compact around the mean diameter.

Key words : soymilk, stokes' law, oil globule size measurement

서 론

두유에서 유화(oil-in-water system)의 안정성을 유지시키는 것은 두유의 품질에 중요한 것 중 하나이다. 이런 기름의 유화 안정성에 영향을 주는 것은 기름의 입도 분포, 대두 단백질 농도, 두유 제조과정 과정의 열처리 정도 등 여러 가지가 있는데, 이들의 상호 연관관계를 연구하기 위해서는 유화과피의 결과로 나타나는 creaming oil 양만을 측정해서는 곤란하다. 즉, 여러 요인에 따른 기름입자의 입도분포 변화 측정이 필수적이다. 왜냐하면, 단순한 creaming과 flocculation이나 coalescence에 따른 creaming 등 유화과피 과정에 따라 해결책이 다르기 때문이다. 그러나, 두유가 함유한 대두 단백질, 미세한 대두입자 등이 기름과 반응을 하거나, 기름 양 측정을 제한하고 있어, microscopic image analysis^(1,2), coulter counter, photo-analysis^(3,5) 등을 이용한 기름 입도분포 측정은 어려웠다.

본 실험에서는 Stokes 법칙을 응용하여 기름 입도분포 분석을 시도했다. 본 실험에서는 중력장을 이용한 방법,

원심력을 이용한 방법, incremental method와 cumulative method, 그리고 two-layer suspension method와 homogeneous suspension method 등 여러 방법 중에서,⁽⁶⁾ 기름 분석장치인 milko-scan으로 측정하기에 필요한 양의 기름이 채취될 수 있는 homogeneous suspension 및 cumulative method를 이용하여, 각각 중력장과 원심력장에서 분석하였다.

실험방법

시험제품 제조

두유제조는 대두를 예비처리 과정을 통해 껍질과 이물질을 제거하고 분쇄과정에서 입자를 작게하고 수용성 물질을 추출하여 기름(3.3% w/w) 및 기타 첨가물을 가한 후 열처리하여 제조하며, 사용된 표본두유는 베지밀(주식회사 정 · 식품)을 택하였다.

균질압력 변화는 Gaulin 균질기(Gaulin Co, MA USA)를 사용하여 변화를 주었다.

채취 및 분석방법

중력장에서 실험은 일정기간(45일)동안 정치하면서, 모세관과 정량 펌프를 이용해 8.8 ml/씩 표본채취하고

Corresponding author : H.S. Sohn, Central Research Institute of Dr. Chung's Food Co., 1-25 Songjungdong, Chungjoossi, Chungbuk 360-290, Korea

원심력장하에서는 Beckman J2-21M/E 원심분리기와 JS 13.1 swing bucket rotor를 사용하여, 20°C에서 5,600g과 22,700g으로 10분과 40분씩 원심분리한 후, 원심분리관 내부의 높이에 따라 표본채취하여 지방 분석을 했다.

지방분석은 milko-scan 132(N. Foss Electric Co., Denmark)를 이용한 IR(파장=5.73 μm) 흡광도를 분석하였다. 균질압력 변화를 받은 시료는 원심력하에서 측정하였다.

지방 입도분포에 사용된 계산식

중력장하에서 t시간이 경과한 후 바닥에서부터 높이 h사이에 남아있는 기름입자들이 무게 퍼센트(P)는 다음과 같다⁽⁶⁾.

$$P = \int_{D_{min}}^{D_t} f(D) dD - \int_{D_{min}}^{D_t} \frac{V_t}{h} f(D) dD \dots (1)$$

- D_t : t시간 경과 후 남아있는 가장 큰 입자의 크기
- D_{min} : t시간 경과 후 남아있는 가장 작은 입자의 반경(D_{min}=0)
- f(D) : 입도분포함수
- V : 부상속도
- t : 경과한 시간
- h : 바닥에서의 높이

h에 대해 미분해서, h를 양변에 곱한 후 (1)식에 대입하면,

$$P = \int_{D_{min}}^{D_t} f(D) dD - h \frac{dP}{dh} \dots (2)$$

W을 (2)식에 대입하여,

$$W = P + h \frac{dP}{dh} \dots (3)$$

$$W = \int_{D_{min}}^{D_t} f(D) dD$$

; 일정시간 후에 D_t보다 작거나 같은 반경을 가진 입자의 무게 퍼센트

중력장하에서는 (3)식을 이용하였으며, Stokes 법칙에 따라 높이 h까지 부상한 기름입자의 반경(D)는,

$$D = \sqrt{\frac{18h\mu}{(\rho_o - \rho)gt}} \text{ 식을 사용했다.}$$

- μ : 연속상의 점도
- ρ_o-ρ : 연속성과 분산상의 밀도차이
- g : 중력가속도

원심력장하에서, 원심판이 원통형 튜브일 경우 다음 식을 사용했다⁽⁶⁾.

$$P = \int_0^{D_m} f(D) dD - \int_0^{D_m} \frac{R - X_o}{R - S} f(D) dD \dots (4)$$

표 1. 중력장하에서 측정되는 기름 입자의 입도분포 계산

	h(mm)	D _m (um)	P(%)	$\frac{dP^{(a)}}{dh}$	W(%)
h1	4.6	0.23	36.16	1.666	43.82
h2	9.2	0.33	43.23	1.416	52.26
h3	13.8	0.40	49.24	1.203	65.85
h4	18.4	0.46	54.35	1.024	73.20
h5	23.0	0.52	58.71	0.875	78.83
h6	27.6	0.57	62.44	0.752	83.20
h7	32.2	0.61	65.67	0.653	86.68
h8	36.8	0.66	68.64	0.573	89.55
h9	41.4	0.70	70.96	0.509	92.02
h10	46.0	0.73	72.18	0.458	94.22
h11	50.6	0.77	75.18	0.415	96.21
h12	55.2	0.80	77.01	0.379	97.94
h13	59.8	0.84	78.67	0.345	99.31
h14	64.4	0.87	80.18	0.310	100.14

a) 3차 회귀분석을 이용

- D_m : 남아있는 가장 큰 입자크기
- R : 원심축에서 기름부 상층까지 거리
- S : 원심축에서 튜브 끝까지 거리(=139.5 mm)
- X_o : D_m보다 작은 입자의 부상 보정수치

$$W = \int_0^{D_m} f(D) dD, X_o = R \exp(-kD^2t) \text{ 을,}$$

k : 비례상수 (4)식에 대입하면,

$$P = W - \frac{R}{R-S} \int_0^{D_m} [1 - \exp(-kD^2t)] f(D) dD \dots (5)$$

(5)식을 R에 대해 미분하여, 정리한 후 (5)식에 대입하면,

$$W = P + \frac{R}{S} (R-S) \frac{dP}{dR} \dots (6)$$

원심력장에서는 (6)식을 이용하였고, 반경(D)는

$$D = \sqrt{\frac{18\mu \ln(R/S)}{(\rho_o - \rho) \omega^2 t}} \text{ 식을 이용했다.}$$

ω : 원심각 속도

결과 및 고찰

중력장에서의 입도분포

연속상과 분산상의 밀도차는 0.118g/cm³(20°C)이고, 연속상의 점도는 0.028g/cm · sec이며, 시료를 45일 동안 정치하면서 입도분석한 결과는 표 1이고, log-normal 확률 그래프에 표시한 결과가 그림 1이다. 기하학적 평균 지름은 0.33 μm이며, 표준편차는 1.73 μm이다.

원심력장에서 입도분포

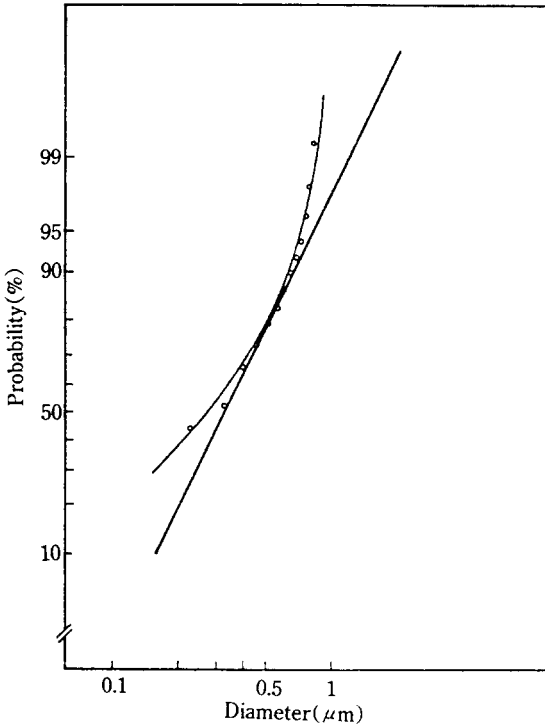


그림 1. 중력장 아래에서 측정된 oil 입도분포

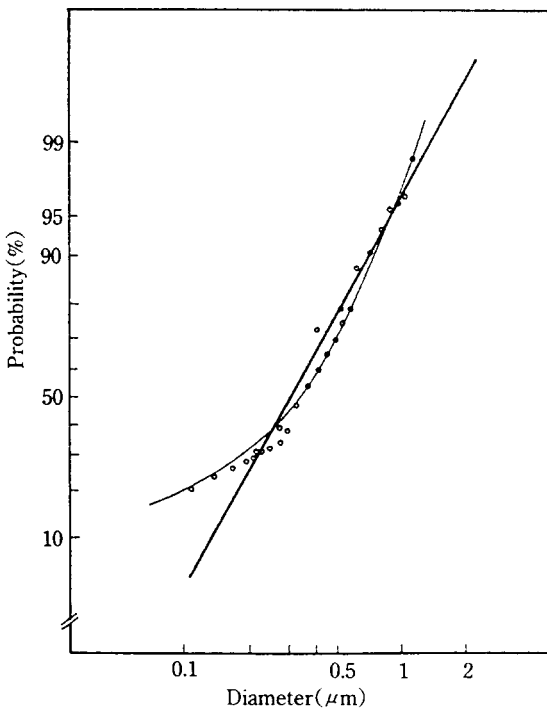


그림 2. 원심력장 아래에서 측정된 oil 입도분포

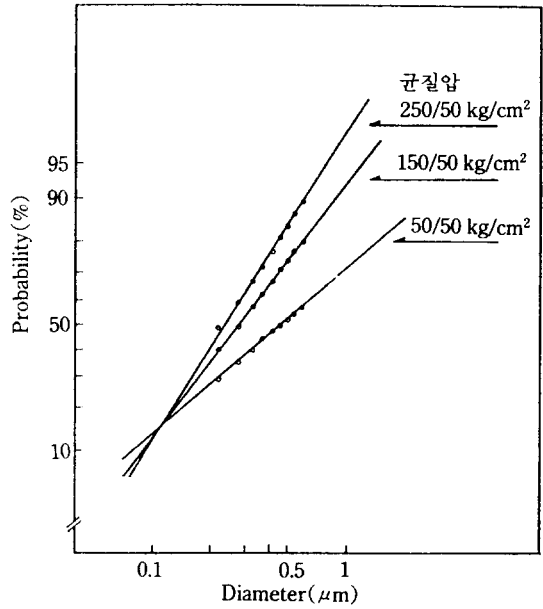


그림 3. 균질압 변화에 따른 oil 입도분포

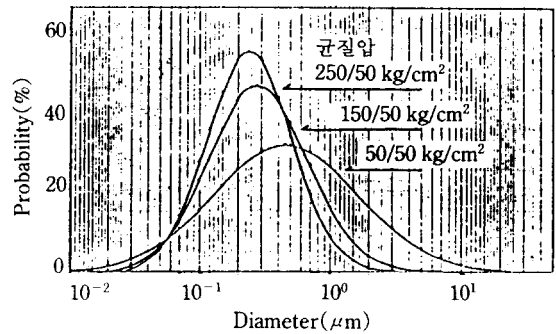


그림 4. 균질압 변화에 따른 oil 입도분포

기하학적 평균 지름은 $0.31 \mu\text{m}$ 이며, 표준편차 $1.81 \mu\text{m}$ 로 나타나, 중력장에서의 결과와 매우 유사했다(그림 2). 대부분의 평균입도가 $1 \mu\text{m}$ 이하이기 때문에 Brownian 운동이 지배하는 중력장 보다 원심력장에서 실험을 해야 할 것이다.

균질압력 변화에 따른 입도분포

Oil-in-water 유화 형성시 물리적인 압력변화에 따라 유화 안정도가 뚜렷이 차이가 나기 때문에, 균질 압력 변화에 따른 입도분포 변화가 어떻게 차이가 나는지를 확인하였다(그림 3). 균질 압력이 증가함에 따라 입자가 작아지면서, 분포도도 밀집된 형태로 나타남을 확인했고, 그림 3의 결과를 정상분포로 다시 표시한 결과는 그림 4이다.

위의 결과를 통해 Stokes 법칙을 응용해 두유의 기름 입도분포를 분석할 수 있었다. 이것은 기존의 방법들 (microscopic image analysis, electric sensing method : coulter counter, LASER diffraction method, photoanalysis 등)이 기름입자 외에도 미세한 대두입자 등의 함께 존재하는 현탁액에서 기름의 입도분포를 정확하고 정밀하게 측정하지 못한 것을 해결할 수 있는 가능성을 제시한 것이다. 그러나, Stokes 법칙이 더욱 잘 적용되는 system을 개발하는 노력과 입도분석 결과를 보완된 log-normal 확률분포에 표시 해야하는 것 등이 더 연구되어야 할 것이다.

요 약

두유에는 기름의 양이나 입도를 분석하는데 장애를 주는 대두단백질, 미세한 대두입자들이 공존하고 있어서 기존의 microscopic image analysis, coulter counter, 또는 photo-analysis 등의 사용이 많은 문제점을 노출했다. 본 실험에서 Stokes 법칙을 응용하여, 중력장과 원심력장하에서 homogeneous suspension과 cumulative method를 이용하여 입도분포를 분석했다. 선정된 두유에서 기하학적 평균지름은 중력장하에서는 $0.33 \mu m$, 표준편차 $1.73 \mu m$ 이고, 원심력장에서는 평균지름은 $0.31 \mu m$, 표준편차는 $1.81 \mu m$ 으로, 매우 유사한 결과를 얻었다. 균질압이 유화안정성에 크게 영향을 주는 인자이기 때문에 균질압을 변화했을 때, 균질압이 높을 수록 평

균입도는 작은 쪽으로 이동하였으며, 입자의 분산 형태는 평균지름을 중심으로 밀도있게 분포하는 쪽으로 변화하여, 균질압이 기름 입도분포에 영향을 미쳐 유화 안정과 깊은 관계가 있는 것을 확인하였다.

문 헌

1. Doxastakis, G., Kiosseoglou, V. and Boskou, D. : Emulsifying properties of Tomato seed proteins obtained from processing waste. *Science Des Aliments*, 8, 259 (1988)
2. Kiosseoglou, V. and Doxastakis, G. : The emulsification properties of soybean protein in the presence of polysaccharides. *Lebensm. -Wiss. U. -Technol.*, 21, 33(1989)
3. Walstra, P. : Estimating globule-size distribution of oil-in-water emulsions by spectroturbidimetry. *J. Colloid and Interface Science*, 27(3), 493(1968)
4. Walstra, P. : Effect of homogenization on the fat globule size distribution in milk. *Neth. Milk Dairy J.*, 29, 279(1975)
5. Reeve, M. and Sherman, P. : Rheological and Particle size changes in corn oil in water emulsions stabilized by 7s soybean proteins. *Food Microstructures*, 5, 163 (1986)
6. Allen, T. : *Particle Size Measurement*, London New York, Chapman and Hall, 3rd ed., p.267(1981)

(1990년 1월 29일 접수)