

균질혼합조건이 생식음료의 유변특성과 분산안정성에 미치는 영향

이주연¹ · 목철균*

¹나베 S&F 식품과학연구소, 가천대학교 식품생물공학과

Effects of Blending Schemes on the Rheological Properties and Dispersion Stability of *Saengshik* Beverages

Ju-Yeon Lee¹ and Chulkyoon Mok*

¹Food Science Institute, NAVE S&F

Department of Food Science & Biotechnology, Gachon University

Abstract

The blending schemes of *Saengshik* powder with water were established to retain the dispersion stability of the *Saengshik* beverage in order to develop a ready-to-drink type product. The effect of the blending on the rheological properties and the dispersion stability of *Saengshik* beverage were determined. The *Saengshik* beverages, blended with low shear force for a short time, showed dilatant fluid characteristics, while those with high shear force for a long time had pseudoplastic fluid ones. The consistency of *Saengshik* beverage increased with the blending speed and time. *Saengshik* beverage blended at low shear showed rheopexy while becoming time independent by a high-shear blending action. A logarithmic model fitted well to the changes in backscattering light flux with the rest time of *Saengshik* beverage. Based on sedimentation kinetics, the migration speed of clear front, and the thickness of sedimented layer, *Saengshik* beverage with maximum dispersion stability was obtained by a high shear blending at 15,120 rpm for 25 s.

Key words: *Saengshik*, beverage, blending schemes, rheological properties, dispersion stability, sedimentation

서 론

생식은 동·식물성 원료를 동결건조, 자연건조 또는 60°C 이하에서 송풍건조하여 원료의 영양성분과 다양한 생리기능성을 유지하도록 고온에서 가열하지 않고 최소가공한 식품으로 소비자의 건강지향적 수요에 부응하여 식품시장에서 중요한 위치를 차지하고 있다(KFDA, 2005). 우리나라의 생식시장은 대중화되기 시작한 1998년의 340억 원에서 2002년에는 2,000억 원에 이르는 수준으로 고속 성장을 거친 후 그 성장세가 둔화되고 있다(Lee, 2004). 생식시장의 성장둔화는 가열 처리를 거치지 않는 생식 제조특성으로부터 오는 생물학적 위해 가능성과 함께 찬물 등 액체에 쉽게 분산되지 않고 혼합 후에도 바로 침전하므로 섭취하기 불편하기 때문으로 알려져 있다(Lee & Mok, 2009). 생

식시장의 확대를 위해서는 위생 건전성 개선과 함께 물이나 우유, 두유 등 액체에 쉽게 혼합분산되고 이후 일정시간 동안 안정한 현탁액 상태를 유지하도록 분산안정성이 개선된 음료제품의 개발이 필요하며, 이는 생식음료의 카페, 카페테리아 또는 편의점 판매로 이어져 생식시장의 성장에 일조할 것으로 기대된다(Lee & Mok, 2010).

생식음료와 같은 현탁액의 분산안정성은 Stoke 법칙에 의해 설명되며 침강속도를 낮추려면 연속상인 액체의 점도를 높이거나 분산상인 고체입자의 크기를 작게 하는 것이 유리하다(Song & Park, 2005). 이를 위해서는 생식입자를 물 또는 우유, 두유 등 액체에 잘 분산되도록 하여 연속상의 점도를 높임과 동시에 생식입자를 분쇄하여 크기를 작게 만드는 균질혼합 공정이 요구된다. 특히 생식음료와 같이 고형분 함량이 높은 현탁액을 제조하기 위해서는 강력한 분쇄력을 갖고 있는 고속균질혼합기(high speed mixer)가 필요하다(Kim et al., 2012).

통상 생식음료와 같은 현탁액의 유변특성 측정에는 회전 점도계가 사용되고, 분산안정성은 광학적 방법으로 측정한다. 광학적 방법에 의한 분산안정성 측정은 근적외선 등 광선을 현탁액에 쬐어 분산된 입자의 표면에서 산란하는

*Corresponding author: Chulkyoon Mok, Department of Food Science and Biotechnology, Gachon University, 1342 SeongnamDaero, Sujeong-Gu, Seongnam-Si, Gyeonggi-Do, 461-701, Korea
Tel: +82-31-750-5403; Fax: +82-31-750-5389
E-mail: mokck@gachon.ac.kr
Received July 4, 2014; revised November 19, 2014; accepted November 21, 2014

광의 각도와 세기로부터 입자의 침강, 응집, 영킴, 침전 등에 의한 분리현상을 파악하는 기법으로, 최근 다양한 식품의 분산안정성 측정에 적용되고 있다(Closs et al., 1999; Chanamai & McClements, 2000; Durand et al., 2003; Mandala et al., 2004; Lee & Mok, 2010).

본 연구는 생식을 편리하게 섭취할 수 있도록 생식음료를 제조하기 위한 균질혼합공정을 개발하고자 고전단균질기를 사용하여 회전속도와 균질시간을 달리하여 생식음료를 제조하고 유변특성과 광학적 방법에 기초한 분산안정성을 조사하여 생식음료 제조를 위한 균질혼합 조건을 최적화하고자 하였다.

재료 및 방법

재료

생식음료 제조를 위한 생식원료는 Lee & Mok(2009)의 연구를 바탕으로 E사의 제품 중 음료제조에 가장 적합한 제품으로 선정된 BS제품을 공시 받아 -20°C 냉동실에 보관하며 실험에 사용하였다. 생식 BS는 곡류, 대두, 채소류, 과일류, 해조류를 기본 원료로 하여 대두펩타이드, 비트, 사과, 배, 적양배추, 석류추출물이 첨가된 제품이다. 생식음료의 향미를 개선하기 위하여 사용한 바닐라파우더와 시럽은 (주)삼조셀텍(Seoul, Korea) 제품을 사용하였다.

생식음료 균질혼합

생식음료는 선행연구(Lee & Mok, 2009)를 토대로 Table 1의 비율로 혼합한 후 고전단균질기(Smoothen13, Blendtec, Orem, UT, USA)를 사용하여 rotor 회전속도(이하 균질속도로 칭함) 4,080-20,880 rpm의 범위에서 일정시간(이하 균질시간으로 칭함) 동안 균질혼합하여 제조하였다.

유변특성

제조한 생식음료의 유변특성은 균질혼합 후 30초 이내에 Brookfield 점도계(DV-II+Pro, Brookfield Engineering Labs. Inc., Middleboro, MA, USA)에 UL adaptor를 장착하여 측정하였다. 측정온도는 26±2°C이었으며, 전단속도가 30.6-245.0 s⁻¹범위가 되도록 스펀들 회전속도를 조절하고 안정된 토크가 관측될 때의 전단응력을 측정하여 유변특성을 파악하였다(Lee & Mok, 2009).

Table 1. Ingredients of Saengshik beverage.

Composition	% (w/w)
Water	75.1
Saengshik	7.7
Vanilla powder	2.9
Syrup	14.3
Total	100.0

분산안정성

제조한 생식음료의 분산안정성은 Turbiscan(Turbiscanlab, Formulation SA, l'union, France)을 사용하여 측정하였다(Lee & Mok, 2010). 측정셀에 시료 15 ml를 가하고 Turbiscan에 장착한 후 파장 880 nm의 근적외선을 펄스 형태로 셀의 하단부터 상단 방향으로 40 μm 간격을 두고 주사 방출하고 시료 내 입자에 의해 후방으로 산란되는 빛의 세기(backscattering light flux, 이하 후광플럭스라 칭함)의 변화율(ΔI_{BS} , %)을 측정하였다. 아울러 생식음료를 정지시키고, 침전 생성에 따른 상부 청징층과 하부 침전층 사이의 경계면의 위치와 이동속도 및 침전층의 두께를 조사하여 분산안정성을 파악하였다.

통계분석

실험결과는 Microsoft Office Excel 2007(Microsoft Corporation, 2007)을 이용하여 회귀분석을 실시하였다. 생식음료 점도측정 데이터는 전단속도에 따른 선형모델과 거듭제곱모델(power model)에 의거하여 해석하고 회귀방정식으로부터 점(조)도, 유동거동지수 등 유변특성을 구하였다. 분산안정성 측정을 위한 시간에 따른 생식음료의 후광플럭스 변화율은 로그모델(Lee & Mok, 2010)을 적용하여 해석하였다.

결과 및 고찰

균질혼합 조건에 따른 생식음료의 유변 특성

균질혼합조건에 따른 생식음료의 유변 특성과 이력현상(hysteresis)은 Fig. 1과 같다. 생식음료 제조 시 균질속도 및 균질시간이 증가할수록 동일한 전단속도에서 전단응력이 큰 값을 보여 걸보기점도가 증가하는 것으로 나타났으나, 전단속도-전단응력의 변화양상은 균질속도 및 균질시간에 따라 상이한 패턴을 보였다. 즉, 균질속도를 4,080 rpm으로 하여 제조한 생식음료는 전단속도에 따라 전단응력이 직선적으로 증가하여 뉴턴 유체 특성을 보인 반면, 균질속도를 8,400-20,880 rpm으로 하여 제조한 생식음료는 전단속도에 따라 걸보기점도가 감소하는 의가소성 유체 거동을 보였다. 이러한 현상은 균질속도와 균질시간에 따라 심화되어 20,880 rpm에서 50 s 동안 균질혼합한 생식음료에서 의가소성이 가장 두드러졌다.

항속 균질혼합조건에 따른 생식음료의 유동거동모델을 결정하기 위하여 거듭제곱모델과 선형모델을 비교한 결과는 Table 2에 나타난 바와 같이 균질혼합조건에 따라 선형모델과 거듭제곱모델의 결정계수는 큰 차이는 없었으나 거듭제곱모델이 다소 높은 값을 보여 생식음료는 비뉴턴 유체로 확인되었다.

거듭제곱모델을 적용하여 분석한 생식음료의 유동거동지수와 점도도는 Table 3과 같다. 생식음료의 유동거동지수

Table 2. Fitness of rheological models for *Saengshik* beverages prepared by different blending schemes.

Blending scheme		Determination coefficient	
Speed (rpm)	Time (s)	Linear model ¹⁾	Power law model ²⁾
4,080	10	0.9865	0.9833
	25	0.9949	0.9951
	50	0.9995	0.9995
8,400	10	0.9955	0.9956
	25	0.9989	0.9986
	50	0.9971	0.9983
15,120	10	0.995	0.9963
	25	0.9981	0.9995
	50	0.9972	0.9998
20,880	10	0.9989	0.9990
	25	0.9965	0.9995
	50	0.9877	0.9995

¹⁾ $\tau = \mu\gamma$ (where, τ = shear stress, μ = viscosity, γ = shear rate)

²⁾ $\tau = K\gamma^n$ (where, K = consistency, n = flow behavior index)

는 4,080 rpm에서, 10 s 동안 균질혼합한 경우에는 1.0336으로 뉴턴 유체에 가까운 팽창성(dilatant) 유체의 특징을 보였던 반면, 그 외의 균질조건에서 제조된 생식음료의 유동거동지수는 0.8691-0.9741범위를 보여 의가소성 유체 특성을 보였으며, 의가소성은 균질속도와 균질시간에 비례하여 증가하였다.

Table 3. Rheological properties of *Saengshik* beverages prepared by different blending schemes.

Blending scheme		Consistency (mPa·s ⁿ)	Flow behavior index
Speed (rpm)	Time (s)		
4,080	10	22.4	1.0336
	25	34.4	0.9740
	50	35.7	0.9857
8,400	10	40.7	0.9599
	25	42.7	0.9668
	50	49.3	0.9301
15,120	10	47.4	0.9483
	25	51.6	0.9296
	50	59.9	0.9229
20,880	10	42.5	0.9471
	25	58.0	0.9192
	50	88.8	0.8691

균질조건 별 생식음료의 점조도는 균질속도 4,080 rpm에서는 22.4-35.7 mPa·sⁿ, 8,400 rpm에서는 40.7-49.3 mPa·sⁿ, 15,120 rpm에서는 47.4-59.9 mPa·sⁿ, 20,880 rpm에서는 42.5-88.8 mPa·sⁿ으로 균질속도가 높을수록 점조도가 증가하였다. 또한 동일한 균질속도에서는 균질시간이 길수록 높은 점조도를 보였다.

생식은 곡류분말을 위주로 하고 여기에 건조한 채소, 과일, 해조 분말 등 부재료를 혼합하여 제조하는 식품으로

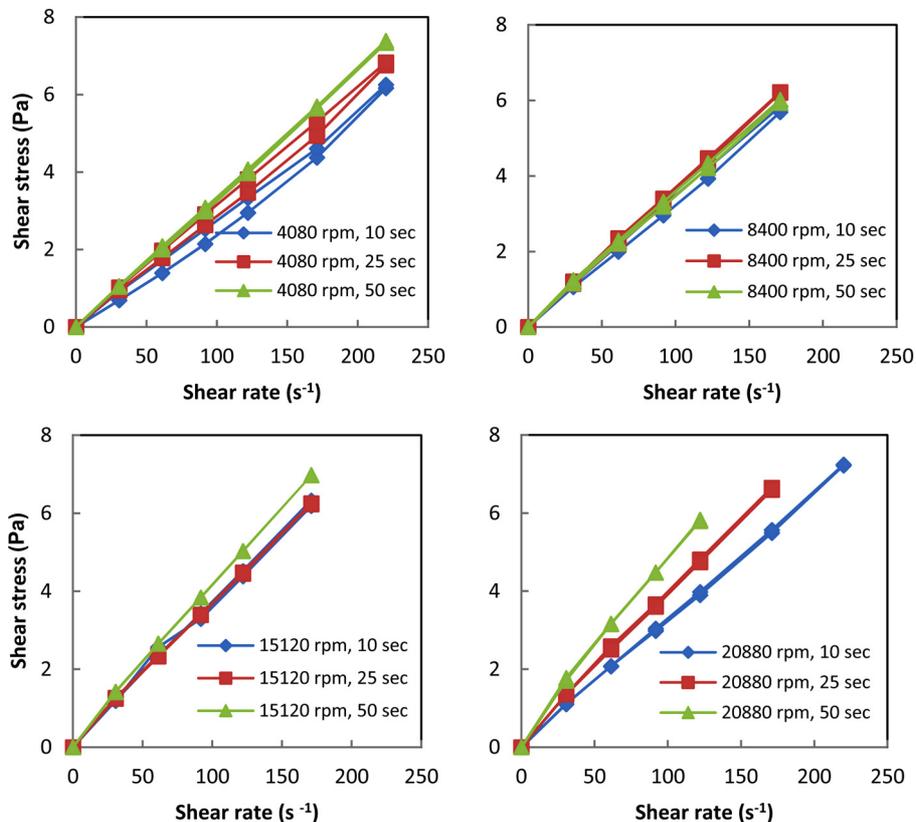


Fig. 1. Shear rate vs. shear stress plots of *Saengshik* beverages prepared by different blending schemes.

전분과 함께 단백질, 당류, 섬유소 등 다양한 성분을 함유한다. 생식분말을 물에 첨가하면 초기에는 수분이 생식분말의 표면을 적시고 이내 내부로 침투한다. 이러한 과정을 통하여 전분입자가 수분을 흡수하여 팽창하며 팽창한 전분입자 끼리, 또는 전분입자와 단백질, 수용성 섬유소 등 고분자물질 사이에 회합이 생기면서 구조가 형성되어 일단 팽창성 유체의 특징을 보인다. 이후 균질시간을 늘리거나 균질속도가 높이면 팽창과 회합에 의해 형성된 구조가 전단력에 의해 파괴되거나 같은 방향으로 정렬됨으로써 점착의가소성을 보이게 되며, 그 정도는 전단력과 전단시간에 비례하는 것으로 사료된다.

생식음료 점조도의 시간의존성을 보기 위하여 전단속도를 30.6 s^{-1} 에서 245 s^{-1} 까지 증가시켰다가 다시 30.6 s^{-1} 로 감소시키며 전단응력의 변화를 관찰하였다. 생식음료는 Fig. 1에 나타난 바와 같이 균질속도가 빠르거나 균질시간이 길어지면 상승곡선과 하강곡선이 일치하는 시간독립성(time independence) 유체특성을 보였다. 그러나 4,080 rpm-10 s, 4,080 rpm-25 s, 8,400 rpm-10 s처럼 균질속도가 느리거나 균질시간을 짧게 하여 제조한 경우에는 이력현상이 관측되었다. 특히 전단속도를 높일 때보다 낮출 때의 전단응력이 크게 나타나는 레오펙틱(rheopectic) 거동을 보이고 있다. 균질속도가 느리거나 균질시간이 짧은 경우 생식음료 내에서는 전분입자가 팽창하고 전분입자끼리 또는 다른 고분자물질 간에 회합이 이루어지면서 구조가 형성되기 때문에

레오펙틱 거동을 나타내는 것으로 추정된다. 통상 식품에서 레오펙틱 거동은 흔하지 않은 현상으로 교반 등 전단력에 의해 조직을 형성하는 계란 노른자나 전분 현탁액 등에 한해서 관측되는 것으로 알려져 있다(Pyun, 2002). 한편 균질속도를 높이거나 균질시간을 늘림으로써 생식음료의 이력현상은 소멸되었는데 이는 형성된 구조가 전단력에 의해 정렬되거나 파괴되어 시간의존성이 약화되는 현상으로 해석할 수 있다.

균질조건에 따른 생식음료의 분산안정성

균질조건을 달리하여 제조한 생식음료의 균질혼합 후 시간 경과에 따른 상부 청징층의 후광플럭스 변화를 백분율(%)로 나타낸 결과는 Fig. 2와 같다. 균질속도 4,080 rpm과 8,400 rpm으로 제조한 생식음료의 경우 균질시간에 따른 후광플럭스 변화는 미미하였으나, 15,120 rpm 이상에서 제조한 경우에는 균질시간에 따라 큰 차이를 보였다. 균질속도 4,080-15,120 rpm에서 제조한 생식음료에서는 균질시간이 짧을수록 후광플럭스가 빠르게 감소한 반면, 20,880 rpm에서 제조한 경우에는 반대 양상을 보여 50 s 동안 균질 혼합한 생식음료의 후광플럭스가 가장 빠르게 낮아졌다. 이는 항속균질조건에 따라 생식음료의 유체특성이 팽창성 유체에서 의가소성 유체로, 레오펙틱형 시간의존성유체에서 시간독립적 유체로 그 특성이 바뀔 때 따라 생식음료의 분산안정성도 달라짐을 의미한다.

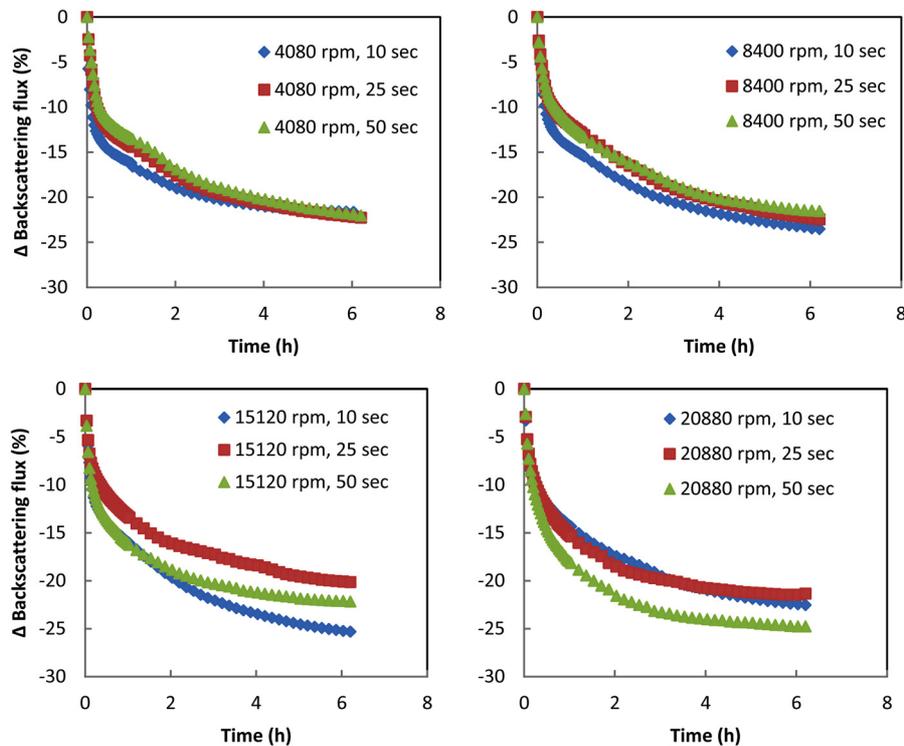


Fig. 2. Changes in backscattering light flux of upper clear layer during storage caused by sedimentation of *Saengshik* beverages prepared by different blending schemes.

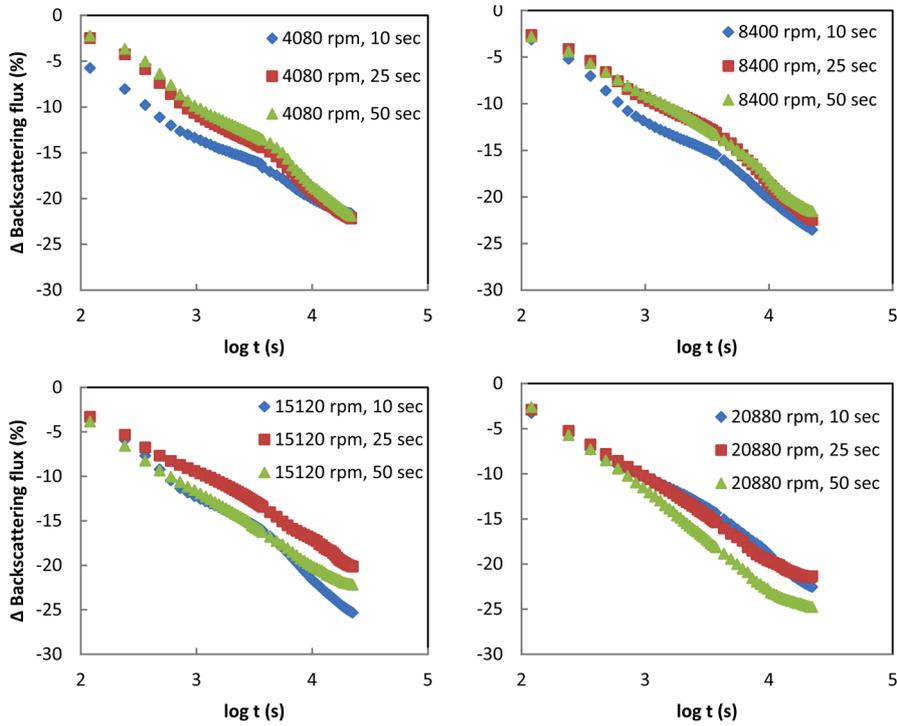


Fig. 3. Sedimentation kinetics of *Saengshik* beverages prepared by different blending schemes.

한편 균질속도와 균질시간이 증가할수록 후광플럭스의 변화가 시작되는 시간은 지연되는 경향을 보였다. 이는 15,120 rpm 이상의 조건에서 균질혼합한 경우 점조도가 높아져 후광플럭스 변화를 억제함으로써 분산안정성이 개선됨을 의미한다. 그러나 균질속도 20,880 rpm의 경우는 15,120 rpm에 비해 후광플럭스변화가 심해졌는데, 이는 생식음료의 주성분인 전분이 현탁액 내에서 아밀로오스와 아밀로펙틴의 열역학적 비상용성 때문에 서로 분리되고 (Kalichevsky & Ring, 1987), 아밀로오스 분자 간의 회합이 이루어짐으로써(Conde-Petit & Escher, 1995) 높은 점조도에도 불구하고 분산안정성은 오히려 저하되는 것으로 추정된다.

생식음료의 침강현상에 적합한 모델을 도출하기 위해 식 (1)과 같은 로그모델(Lee & Mok, 2010)을 적용하여 해석한 결과 Fig. 3과 같이 선형화되었으며, 모델의 계수 값을 구하여 Table 4에 나타내었다.

$$\Delta I_{BS} = A - B \log(t) \quad (1)$$

여기서, ΔI_{BS} : 후광플럭스변화량 (%)

t: 시간 (s)

A, B: 상수

적용한 모델의 결정계수는 0.976-0.998범위의 높은 값을 보여 시간에 따른 생식음료의 침강현상은 로그모델이 적용

Table 4. Parameters of logarithmic model¹⁾ for storage time vs. percent backscattering light flux changes of *Saengshik* beverages prepared by different blending schemes.

Blending scheme		Parameters		R ²
Speed (rpm)	Time (s)	A	B	
4,080	10	7.493	6.808	0.991
	25	16.730	8.939	0.991
	50	18.150	9.138	0.988
8,400	10	15.770	8.978	0.991
	25	19.560	9.494	0.976
	50	18.500	9.126	0.983
15,120	10	17.980	9.851	0.984
	25	13.760	7.721	0.992
	50	12.800	8.145	0.998
20,880	10	16.590	8.897	0.983
	25	15.620	8.690	0.995
	50	18.610	10.220	0.994

¹⁾ $\Delta I_{BS} = A - B \log(t)$

됨을 알 수 있었다. 균질속도 8,400 rpm 이하에서는 균질시간에 따라 계수 A와 B 모두 증가하였다. 반면에 15,120 rpm에서는 A 값은 감소한 반면 침강속도와 관련 있는 계수 B의 값은 균질시간 25 s에서 최소값인 7.721을 보여 25 s 동안 균질혼합한 생식음료의 분산안정성이 가장 양호한 것으로 나타났다. 한편 균질속도 20,880 rpm에서는 균질시간이 늘어날수록 다시 B 값이 커져 분산안정성이 약화되는 것

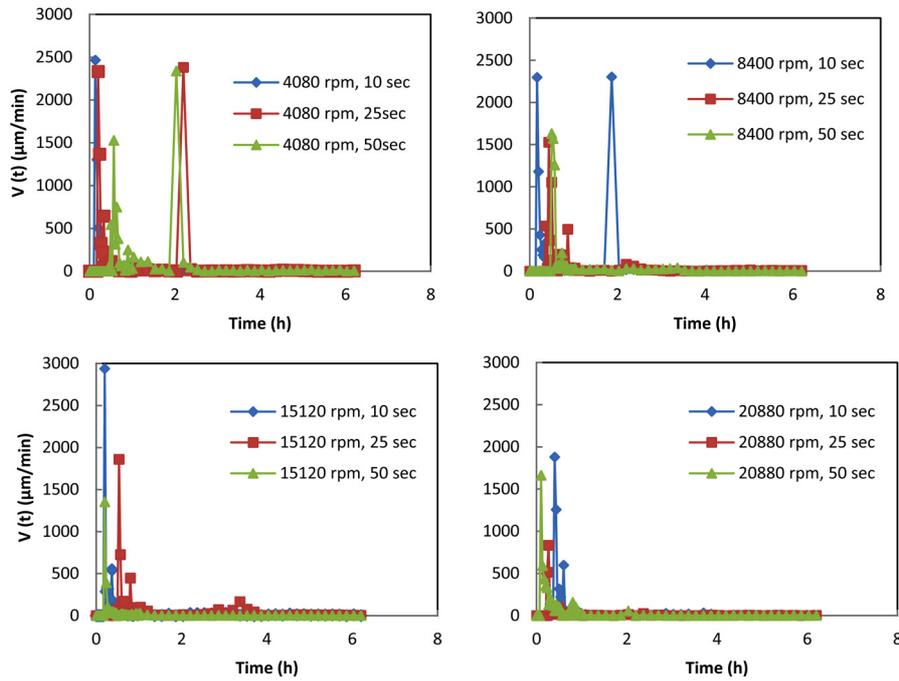


Fig. 4. Migration speed of clarification front at rest of *Saengshik* beverages prepared by different blending schemes.

으로 나타났다. 이러한 현상 역시 물 흡수에 따른 입자의 팽창과 회합에 의한 구조 생성에 이어 전단력에 의한 구조 파괴가 시작되기 때문에 나타난 현상으로 유추할 수 있다. 분산안정성이 최대가 되는, 즉 B 값이 최소가 되는 조건이 생식음료의 최적 균질혼합 조건이라고 할 수 있으며, 이를 근거로 도출한 생식음료 제조를 위한 최적 균질혼합조건은 균질속도 15,120 rpm에서 25 s 동안 시행하는 경우였다.

한편 본 모델과 유사한 Weltman 모델($\sigma = C - D \ln(t)$), 여기서 σ : 전단응력, t : 시간은 틱소트로피(thixotropy) 유체특성의 시간에 따른 구조붕괴 양상을 설명하는데 (Weltman, 1943), 계수 C는 구조가 파괴되기 시작하는 전단응력을, D는 파괴속도를 나타낸다. 본 실험결과의 해석에 적용한 식(1)의 모델에서도 계수 A는 침강에 필요한 최소 힘을, B는 침강속도를 나타내는 인자로 해석할 수 있는데 (Lee & Mok, 2010), 이러한 유사성은 현탁액 점도의 시간의존성과 시간에 따른 침강안정성의 변화 사이에 관련이 있음을 시사한다.

생식음료의 층분리 현상

침강에 의한 층분리 현상을 파악하기 위하여 생식음료를 정지시켰을 때 형성되는 상부의 청징층과 하부의 침전층 사이의 경계면의 이동속도를 측정된 결과 Fig. 4와 같이 균질혼합 조건에 따라 이동속도가 다르게 나타났다. 균질속도를 낮춰 4,080 rpm과 8,400 rpm 으로 제조한 생식음료는 피크가 2 개로 이루어져 초기에 1 차 층분리가 일어나

고, 이후 다시 2 차적으로 층분리가 발생하였다. 반면 높은 균질속도인 15,120과 20,880 rpm에서 제조한 생식음료는 1 개의 피크만을 보여 층분리는 한꺼번에 일어나고, 15,120 rpm, 10 s인 경우를 제외하고는 분리속도(경계면 이동속도)도 작은 값을 보여 균질속도를 높일수록 분산안정성이 향상됨을 알 수 있다.

침전층의 두께 변화

균질혼합 후 경과시간에 따라 생식음료 하부에 생성된 침전층의 두께변화를 보면 Fig. 5와 같이 4,080 rpm의 경우 그 두께가 20-25 mm로 가장 두터운 침전층을 형성하였다. 반면에 균질속도와 균질시간을 늘릴수록 침전층 두께는 감소하여, 20,880 rpm에서 제조한 생식음료의 침전층 두께는 13-19 mm 범위로 얇아졌다.

침전 개시시간도 균질속도와 시간에 영향을 받아 4,080 rpm에서 제조한 생식음료가 가장 빠르게 침전이 생겼으며, 15,120 rpm에서 제조한 경우에 침전 생성이 최대한 지연되었다. 균질시간에 따른 침전 개시시간은 균질속도 4,080과 8,400 rpm에서는 균질시간을 늘릴수록 침전 개시가 지연되었으나, 15,120과 20,880 rpm에서는 균질시간이 길어지면 오히려 침전 개시시간이 짧아져 균질혼합시간 50 s의 경우가 침전층이 가장 빠르게 생성되었다. 균질속도 15,120 rpm에서 25 s 간 균질혼합하여 제조한 생식음료는 침전 개시시간이 1시간 이상으로 가장 느리게 침전이 생성되었으며, 최종 침전층의 두께도 15 mm 이하로 가장 적은

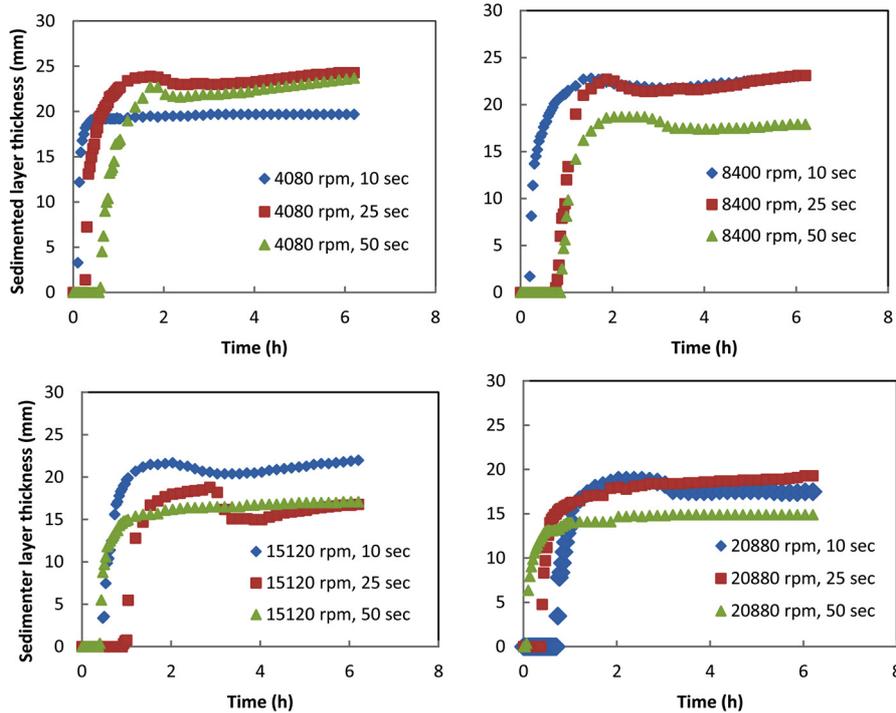


Fig. 5. Changes in thickness of sedimented layer at rest of *Saengshik* beverages prepared by different blending schemes.

양의 침전을 형성하였다.

이상의 결과에서 생식음료의 분산안정성은 균질속도 15,120 rpm 에서 25 s 동안 균질혼합한 음료에서 가장 높게 나타났으며, 침전량도 가장 적게 생성되어 생식음료 제조를 위한 최적 균질혼합조건으로 도출되었다.

요 약

섭취가 편리한 음료 타입의 생식 제품을 개발하기 위한 목적으로 균질혼합 조건을 달리하여 생식음료를 제조하여 유변학적 특성을 파악하고, 광학적 방법을 사용하여 분산안정성을 조사하였다. 완만한 균질혼합 조건에서 제조한 생식음료는 팽창성유체 특성을 보인 반면, 균질속도와 균질시간을 높여 제조한 생식음료는 의가소성 유체 특성을 나타내었으며 균질조건이 급격할수록 의가소성이 증대되었다. 생식음료의 점도는 대체적으로 균질속도와 균질시간에 비례하여 증가하는 경향을 보였다. 낮은 균질속도에서 균질시간을 짧게 하여 제조한 생식음료는 레오펙틱형 시간 의존성을 보였으나, 균질속도와 균질시간을 높인 경우는 시간독립적 유체특성을 나타내었다. 생식음료는 균질혼합 후 시간이 경과함에 따라 침강에 의해 상부의 후광플릭스가 약화되었으며, 경과시간에 따른 후광플릭스변화율은 로그모델이 적용되었다. 침강속도 및 청징층과 침전층 사이의 경계면 이동현상을 토대로 파악한 분산안정성은 균질속도 15,120 rpm에서 25 s 동안 균질혼합한 음료에서 가장

높게 나타났으며, 침전량도 가장 적게 생성되어 생식음료 제조를 위한 최적 균질혼합조건으로 결정되었다.

References

- Chanamai R, McClements DJ. 2000. Impact of weighting agents and sucrose on gravitational separation of beverage emulsions. *J. Agr. Food Chem.* 48: 5561-5565.
- Closs CB, Conde-Petit B, Roberts ID, Tolstoguzov VB, Escher F. 1999. Phase separation and rheology of aqueous starch/galactomannan systems. *Carbohydr. Polym.* 39: 67-77
- Conde-Petit B, Escher F. 1995. Complexation induced changes of rheological properties of starch systems at different moisture levels. *J. Rheol.* 39: 1497-1518.
- Durand A, Franks GV, Hosken RW. 2003. Particle sizes and stability of UHT bovine, cereal and grain milks. *Food Hydrocolloid.* 17: 671-678.
- Kalichevsky MT, Ring SG. 1987. Incompatibility of amylase and amylopectin in aqueous solution. *Carbohydr. Res.* 162: 323-328.
- KFDA. 2005. Food Codes. Korea Food and Drug Administration. Seoul, Korea. p. 510.
- Kim WJ, Lee SY, Mok C. 2012. *Fundamental Theory of Food Processing*. Hyoil Press, Seoul, Korea. pp. 61-63.
- Lee JY, Mok C. 2009. Development of *Saengshik* beverage products and their physico-chemical properties. *Food Eng. Prog.* 13: 341-347.
- Lee JY, Mok C. 2010. Dispersion stability determination of *Saengshik* beverage by optical methods. *Food Eng. Prog.* 14: 41-48.
- Lee SY. 2004. The present and prospect of *Saengshik* industry. *Korean J. Food & Nutr.* 17: 94-99

- Mandala I, Michon C, Launay B. 2004. Phase and rheological behaviors of xanthan/amylose and xanthan/starch mixed systems. *Carbohydr. Polym.* 38: 285-292.
- Microsoft Corporation. 2007. Microsoft Office Excel 2007. Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA.
- Pyun YR. 2002. Food Engineering. Jigu Publishing Co., Seoul, Korea. pp. 93-95.
- Song JC, Park HJ. 2005. Physical, Functional, Textural and Rheological Properties of Foods. Ulsan University Press, Ulsan, Korea. pp. 236-237.
- Weltman RN, 1943. Breakdown of thixotropic structure as a function of time. *J. Appl. Phys.* 14: 343-350.