

ARTICLE

반응표면분석을 활용한 균질 효율 예측

강호진* · 강신호 · 신용국

서울우유협동조합 중앙연구소

Prediction of Homogenization Efficiency using Response Surface Methodology

Ho Jin Kang*, Shin Ho Kang, and Yong Kook Shin

R&D Center, Seoul Dairy Cooperative

Received: September 18, 2017

Revised: September 25, 2017

Accepted: September 26, 2017

*Corresponding author :

Ho Jin Kang

R&D Center, Seoul Dairy Cooperative,
Ansan, Korea.

Tel :+82-31-481-0111

Fax :+82-31-491-9179

E-mail : hojin9045@seoulmilk.co.kr

Copyright © 2017 Korean Society of Milk
Science and Biotechnology.This is an Open Access article distributed
under the terms of the Creative Commons
Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>)
which permits unrestricted non-commercial
use, distribution, and reproduction in any
medium, provided the original work is
properly cited.

Abstract

The objective of this study was to analyze the effects of homogenization, storage temperature, and storage period on the creaming of milk fat and changes in fat contents in the upper and lower layers and to predict the conditions for optimal homogenization efficiency using response surface methodology (RSM). The homogenization pressure, storage temperature, and storage period were set as independent variables of RSM, and the dependent variables were creaming, US Public Health Service (USPHS) code, and volume weighted mean diameter ($D_{4.3}$) in the upper and lower layers. Based on the results of RSM and regression analysis, the correlation coefficient (R^2) between experimental data and predicted values by RSM for homogenized milk was estimated to be more than 0.8. The RSM analysis indicated that optimal homogenization pressures of 14 MPa or more and 17 MPa or more were required to maintain the creaming layer of 3 mm or less during the storage for 15 days at 10°C and 20°C, respectively. To keep the USPHS code at less than 10% for 15 days at 10°C and 20°C, milk should be homogenized with a pressure of 16.8 MPa or more and 17 MPa or more, respectively.

Keywords

homogenization, USPHS code, NIZO value, creaming, milk fat globule size, response surface methodology

서론

목장에서 집유된 우유는 균질 공정을 거친 후, 살균·냉각 공정으로 진행된다. 균질 공정은 원유의 지방구의 크기를 0.5~1 μm 의 일정한 크기로 작게 만들어주는데 균질 공정의 장점으로는 지방구의 전체 표면적을 증가시켜 지방의 크림화 지연, 빛 반사 증가, 맛과 조직감 향상, 소화율을 증가시킨다(Spreer, 1998). 반면에 균질 공정의 단점으로는 증가된 표면적으로 인한 미생물의 지방 분해 효소에 의한 산화, 빛에 의한 광산화, 미생물 오염 증가, 단백질의 열 안정성 감소 등이 있다(Spreer, 1998). 우유 제품의 균질 후, 지방구의 크기는 제품의 유통기한에 영향을 준다. Spreer(1998)는 신선한 우유의 경우에는 며칠간의 크림화를 회피하기 위해서는 1.0~1.5 μm 의 지방구 크기로 충분하지만, UHT 우유와 같은 긴 유통기간의 제품은 응집과 크림화를 방지하기 위해서 0.2~0.7 μm 의 지방구 크기를 목표로 한다고 기술하고 있다. Pandolfe(2005)는 목적으로 하는 유통기간에 따라 $D_{4.3}$ (volume weighted mean diameter)과 균질압을 제시하고 있다. 유통기간 10~12일 경우에는 $D_{4.3}$ 은 0.88~0.80 μm , 균질압 12.4~13.8 MPa, 유통기간 13~15일 경우에는 $D_{4.3}$ 은 0.78~0.72 μm , 균질압 13.8~16.5 MPa, 유통기간 16~20일 경우에는 $D_{4.3}$ 은 0.70~0.63 μm , 균질압 16.8~18.5 MPa, 유통기한 21~30일 경우에는 $D_{4.3}$ 은 0.61~0.51 μm , 균질압 20.7~31 MPa로 기술하고 있다.

균질 효율을 측정하는 방법으로는 microscopic method, storage methods, centrifugal methods가 있다(Ridgway, 1957). Microscopic method는 현미경으로 2 μm 이하인 지방구 수를 계수하여 균질 효율을 측정한다. Storage methods는 USPHS code와 burette method가 있는데, 균질한 우유를 일정 시간 정치한 후, 상부 100 mL의 우유의 지방 함량과 나머지 여액의 지방 함량을 측정하여 균질 효율을 계산한다. USPHS code는 48시간 정치하고, burette method는 72시간 정치한다. Centrifugal methods는 American method와 English method가 있는데, 전자는 우유 50 mL를 1,500 rpm으로 10분 동안 원심분리한 후, 상등액 10 mL는 버리고, 여액 중 9 mL를 샘플링하여 지방을 측정하여 균질 효율을 계산한다. 후자는 균질한 우유 50 mL를 30분간 원심분리한 후, 아래쪽 11 mL의 우유를 샘플링하여 지방 함량을 측정하고, 균질 효율을 계산한다.

균질 효율에 대한 판단으로 USPHS code에서는 상층부 지방 함량과 나머지 부분의 지방 함량 차이 값이 10%보다 작아야 된다(Ridgway, 1957). English method는 NIZO method로 더 알려져 있는데, 10~14일의 유통기한인 우유는 70% 정도의 NIZO value가 측정되어야 하고, 3~6개월의 유통기한인 UHT 우유는 85% 이상의 NIZO value가 측정되어야 한다(Tetra Pak, 2017).

균질 효율을 측정하는 방법은 다양하지만, 균질 조건, 저장 온도, 저장 기간 등이 유지방의 크림화 정도와 어떤 연관성이 있는지에 대한 연구 보고는 찾기가 어렵다. 따라서 본 연구에서는 반응표면분석법을 활용하여 균질 조건, 저장 온도, 저장 기간 등이 유지방의 크림화와 상층부와 하층부의 지방 함량 변화 등에 대해 미치는 영향을 분석하고, 최적의 균질 효율을 갖는 조건들을 예측하고자 실시하였다.

재료 및 방법

1. 우유의 제조

원유는 서울우유 안산공장에서 수유된 원유를 사용하였고, 미생물 증식을 억제하기 위해 원유에 sodium azide를 0.02%(w/v) 첨가하였다. Table 3의 실험 조건에 따라 원유는 65°C로 가온한 후, two stage 균질기인 APV 1000(Denmark)으로 균질하고, 일반적 우유의 열처리 조건인 $F_0 = 2$ 에 맞추기 위해 97°C 수욕조에서 39분 동안 열처리 후, 냉각하였다.

2. 균질 효율 측정

균질 효율 측정은 USPHS code에 의한 방법(Ridgway, 1957)과 NIZO value에 의한 방법(Tetra Pak, 2017)으로 측정하였다. USPHS code는 1 L 시료를 48시간 방치하여 상층부의 100 mL 지방 함량과 나머지 부분의 유지방 함량을 Milkoscan(FT2, Foss, Denmark)으로 측정하였다.

$$\text{USPHS}(\%) = \frac{(F_t - F_b)}{F_t} \times 100$$

F_t : Fat percentage in top 100 mL

F_b : Fat percentage in the remainder of flask

NIZO value 측정은 원심분리용 튜브에 시료 25 mL를 넣고, 40°C 수욕조에 10분간 방치한 후, 1,000 rpm, 30분간 원심분리하고, 아래쪽 20 mL 시료와 원심분리 전 시료의 지방 함량을 Milkoscan(FT2, Foss, Denmark)으로 측정하였다.

$$\text{NIZO}(\%) = \frac{\text{Fat content in bottom 20 mL of centrifuged sample}}{\text{Fat content in non-centrifuged sample}} \times 100$$

3. 크림화 측정

저장 중의 우유의 크림화 정도(creaming)는 Lu 등(2013)의 방법에 준하여 실시하였다. 시료를 100 mL 메스실린더에 채우고, 10°C, 15°C, 20°C에서 저장하면서 상층부에 형성된 크림층을 측정하였다. 메스실린더를 3등분하여 상층부 30 mL와 하층부 30 mL의 지방 함량을 Milkoscan(FT2, Foss, Denmark)으로 측정하고(Lu *et al.*, 2013), USPHS code를 계산하였다.

4. 우유 지방구 크기 측정

우유 지방구 크기는 레이저 입도 회절 측정기인 Mastersizer 3000 (Malvern Instrument Ltd., UK)을 사용하였고, particle refractive index는 1.458, dispersant refractive index는 1.330, particle absorption index는 0.01, laser obscuration은 1~8%를 적용하였다(Huppertz *et al.*, 2003; Marzo *et al.*, 2016). 제품 제조 후, 우유 지방구 크기를 측정하고, 메스실린더에 저장한 시료의 상층부와 하층부의 우유 지방구 크기를 측정하였다.

5. 통계처리

모든 측정은 3반복을 실시하였고, Minitab 14(Minitab Inc., State College, PA)을 이용하여 중심합성계획법(central composite design)에 따라 Table 2와 같이 설계하여 반응표면분석법(RSM, response surface methodology)으로 분석하였다. 독립변수(X)는 균질압, 저장 온도, 저장 기간으로 선정하였고, 종속변수(Y)는 creaming, USPHS code, $D_{4.3}$ 를 선정하였다. 독립변수와 종속변수에 대한 2차 회귀모형을 도출하였으며, β_0 는 상수이고, β_i , β_{ii} , β_{ij} 는 회귀계수이다.

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k \beta_{ij} X_i X_j$$

실험 데이터와 반응표면분석법에 의해 산출된 예측치에 대해서는

Table 1. USPHS code, NIZO value, and $D_{4.3}$ of homogenized milk

Homogenization efficiency	Homogenization pressure(MPa)		
	10	20	30
USPHS(%)	4.81±0.456	0.65±0.559	0.08±0.141
NIZO(%)	74.35±1.668	94.77±0.283	98.45±1.258
$D_{4.3}(\mu\text{m})$	1.01±0.0058	0.69±0.002	0.565±0.020

* Values are mean±SD(n=3).

Table 2. Experimental range and value of the independent variables on the central composite design for homogenized milk

X_n	Experimental condition	Level		
		-1	0	1
X_1	Homogenizer pressure(MPa)	10	20	30
X_2	Storage temp.(°C)	10	15	20
X_3	Storage period(d)	10	15	20

Minitab 14(Minitab Inc., State College, PA)을 사용하여 회귀분석을 실시하였다.

결과 및 고찰

1. 균질 효율 측정

USPHS code, NIZO value와 우유 지방구의 $D_{4.3}$ 측정 결과는 Ta-

ble 1과 같다. 10 MPa, 20 MPa, 30 MPa로 균질한 우유의 USPHS code는 4.81%, 0.65%, 0.08%으로, 균질의 적합성을 판단하는 기준인 10% 미만(Ridgway, 1957)을 만족하였다. NIZO value는 74.35%, 94.77%, 98.45%로 측정되었는데, 10~14일의 유통기간인 우유는 70% 정도의 NIZO 값을, 3~6개월의 유통기간인 UHT 우유는 85% 이상의 NIZO 값을 갖는다(Tetra Pak, 2017). 제시된 기준에 따르면, 10 MPa로 균질한 우유는 적어도 14일 이상의 유통기간이 가능하고, 20 MPa와 30 MPa로 균질한 우유는 3~6개월의 유통기간이 가능하다. Pandolfe(2005)의 기준에 의하면 10~12일의 유통기간인 우유의 $D_{4.3}$ 은 0.88~0.80 μm 이지만, 10 MPa의 $D_{4.3}$ 은 1.007 μm 로 10일의 유통기한도 불가능하다. 20 MPa의 $D_{4.3}$ 은 0.690 μm 으로 16~20일의 유통기한이 가능하고, 30 MPa의 $D_{4.3}$ 은 0.555 μm 로 21~30일의 유통기한이 가능하다.

2. 반응표면분석법에 의한 모델 구축

Table 2에 따라 설계한 독립변수(X_i), 균질압력, 저장 온도, 저장 기간에 대한 종속변수(Y_j) creaming, USPHS code, 상층부의 $D_{4.3}$, 하층부의 $D_{4.3}$ 을 예측하기 위해 반응표면분석법을 사용하였다. 각 독립변수를 -1, 0, 1의 3수준으로 부호화하여 20개의 실험구를 설계하여 Table 3과 같이 실험을 실시하였다.

저장 중 크림화 정도를 측정한 creaming은 1~6 mm의 측정 결과

Table 3. Experimental combination and data under various condition of homogenization pressure, storage temperature, storage period, and their responses

Run	Homogenizer pressure (MPa) X_1	Storage temp. (°C) X_2	Storage period (d) X_3	Creaming (mm) Y_1	USPHS (%) Y_2	Top $D_{4.3}$ (μm) Y_3	Bottom $D_{4.3}$ (μm) Y_4
1	10	15	15	5	38.91	1.103	0.823
2	10	10	10	5	30.12	1.113	0.972
3	20	15	15	1	8.55	0.695	0.650
4	20	10	15	1	3.55	0.669	0.641
5	10	10	20	5	36.36	1.150	0.869
6	20	15	20	2	7.84	0.758	0.665
7	30	15	15	1	2.63	0.553	0.539
8	20	15	15	2	6.99	0.702	0.698
9	20	15	15	2	6.56	0.770	0.688
10	10	20	20	6	59.62	0.982	0.674
11	30	10	10	1	0.73	0.542	0.542
12	20	15	15	2	6.78	0.963	0.632
13	30	20	10	1	4.09	0.549	0.540
14	20	15	15	2	5.88	0.669	0.677
15	30	10	20	1	1.96	0.553	0.553
16	20	20	15	3	15.73	0.812	0.680
17	30	20	20	3	8.55	0.563	0.517
18	20	15	10	1	5.65	0.679	0.673
19	20	15	15	2	6.98	0.706	0.679
20	10	20	10	5	48.69	1.070	0.787

를 보였고, 균질압이 높을수록, 보존 온도가 낮을수록, 저장 기간이 짧을수록 creaming 수치는 낮게 측정되었다. Creaming에 대해서 독립변수의 선형, 제곱, 상호작용에 대해 반응표면분석을 수행하였다. 추정된 회귀 계수 중 p 값이 0.05보다 큰 항 X_2^2 ($p=0.181$), X_3^2 ($p=0.602$), X_1X_2 ($p=0.419$), X_1X_3 ($p=0.419$)을 제외시키고, $Y_1=12.2750-0.079X_1-0.125X_2-0.145X_3+0.00015X_1^2+0.015X_2X_3$ 의 모델식을 산출하였다. R^2 값은 0.957이고, p 값은 <0.0001로 유의성이 인정되었으며, 적합성 결여의 p 값은 0.517로 0.05보다 큰 값을 가지므로 반응표면분석에서 얻어진 모델은 적절한 것으로 확인되었다.

저장 중 상층부와 하층부의 지방 함량을 측정하여 산출한 USPHS code는 0.73~59.62%의 결과를 보였다. 10 MPa의 압력으로 균질한 우유는 10°C에서 10일간 저장한 제품도 30.12%의 결과를 보였고, 20 MPa의 압력에서 균질한 우유 중에서는 20°C에서 15일간 저장한 제품이 15.73%로 가장 높은 결과를 보였다. 30 MPa로 균질한 우유 중에서는 20°C에서 20일간 저장한 제품이 8.55%로 가장 높았고, 10°C에서 10일간 저장한 제품은 0.73%로 가장 낮은 결과를 보였다. 독립변수의 선형, 제곱, 상호작용에 대해 반응표면분석을 수행하여 도출한 회귀 계수 중에서 p 값이 0.05보다 큰 항 X_3^2 ($p=0.924$)을 제외시키고, $Y_2=77.4610-0.5596965X_1-1.07955X_2-0.486X_3+0.00139331X_1^2+0.112125X_2^2-0.00772X_1X_2-0.00262X_1X_3+0.0346X_2X_3$ 의 모델식을 산출하였다. R^2 값은 0.998이고, p 값은 <0.0001로 유의성이 인정되며, 적합성 결여의 p 값은 0.246으로 0.05보다 큰 값을 가지므로 반응표면분석에서 얻어진 모델은 적절한 것으로 확인되었다.

지방구 크기는 부피로 산출한 평균 직경인 $D_{4.3}$ 을 측정하였다. 10 MPa로 균질하여 보존한 우유 상층부의 $D_{4.3}$ 은 0.982~1.150 μm , 하층부의 $D_{4.3}$ 은 0.674~0.972 μm 였고, 20 MPa로 균질하여 보존한 우유의 상층부의 $D_{4.3}$ 은 0.669~0.963 μm , 하층부의 $D_{4.3}$ 은 0.632~0.698 μm , 30 MPa로 균질하여 보존한 우유의 상층부의 $D_{4.3}$ 은 0.542~0.563 μm , 하층부의 $D_{4.3}$ 은 0.517~0.553 μm 이었다. 상층부의 $D_{4.3}$ 의 독립변수의 선형, 제곱, 상호작용에 대해 반응표면분석을 수행하여 도출한 회귀 계수 중에서 p 값이 0.05보다 큰 항 X_1^2 ($p=0.133$), X_2^2 ($p=0.992$), X_3^2 ($p=0.699$), X_1X_2 ($p=0.388$), X_1X_3 ($p=0.770$), X_2X_3 ($p=0.640$)을 제외시키고, $Y_3=1.31105-0.002658X_1-0.00102X_2-0.00106X_3$ 의 모델식을 산출하였다. R^2 값은 0.856이고, p 값은 <0.0001로 유의성이 인정되었으며, 적합성 결여의 p 값은 0.873으로 0.05보다 큰 값을 가지므로 반응표면분석에서 얻어진 모델은 적절한 것으로 확인되었다. 하층부의 $D_{4.3}$ 의 독립변수의 선형, 제곱, 상호작용에 대해 반응표면분석을 수행하여 도출한 회귀 계수 중에서 p 값이 0.05보다 큰 항 X_1^2 ($p=0.499$), X_2^2 ($p=0.798$), X_3^2 ($p=0.894$), X_2X_3 ($p=0.668$)을 제외시키고, $Y_4=1.55575-0.0034815X_1-0.02468X_2-0.001492X_3+0.0000855X_1X_2+0.00$

0051 X_1X_3 의 모델식을 산출하였다. R^2 값은 0.947이고, p 값은 <0.0001로 유의성이 인정되었으며, 적합성 결여의 p 값은 0.247로 0.05보다 큰 값을 가지므로 반응표면분석에서 얻어진 모델은 적절한 것으로 확인되었다.

3. 반응표면분석법을 이용한 결과값의 최적화

각 실험구의 데이터와 반응표면분석법에 의해 산출된 예측값에 대한 회귀분석 결과는 Table 4와 같다. Creaming 회귀모델의 상관관계수 (correlation coefficient)인 R^2 는 0.957이고, 수정 R^2 은 0.954, 예측 R^2 은 0.9451이었다. USPHS code 회귀모델의 상관관계수 R^2 는 0.993, 수정 R^2 은 0.993, 예측 R^2 은 0.9856이고, 상층부 $D_{4.3}$ 회귀모델의 상관관계수 R^2 는 0.856, 수정 R^2 은 0.848, 예측 R^2 은 0.8304, 하층부 $D_{4.3}$ 회귀모델의 결정계수 R^2 는 0.947, 수정 R^2 은 0.944, 예측 R^2 은 0.9367이었다. 회귀모델에서 입력 변수가 증가하면 R^2 도 증가하는데 이러한 단점을 보완해 주는 것이 수정 R^2 이고, 예측 R^2 은 회귀모델에서 새로운 관측치에 대한 반응을 예측하는 정도를 보여주며, 수정 R^2 과 예측 R^2 은 0.2 미만의 차이를 보여야 한다(Mohan *et al.*, 2016). 결과적으로 실험치와 예측치의 회귀모델은 통계적으로 유의하며, 수정 R^2 과 예측 R^2 은 0.2 미만의 차이를 보였다. Fig. 1은 creaming에 대해 균질압과 저장 온도, 균질압과 저장 기간,

Table 4. Regression analysis between experimental data and predicted values by RSM program for homogenized milk

Run	Creaming (mm)	USPHS(%)	Top $D_{4.3}$ (μm)	Bottom $D_{4.3}$ (μm)
1	5.2	40.2975	1.04585	0.81835
2	4.675	30.0946	1.04565	0.9481
3	1.8	6.8904	0.78005	0.67495
4	1.3	3.3975	0.78515	0.71285
5	4.725	35.7946	1.05625	0.8499
6	2.2	9.2954	0.78535	0.65135
7	1.4	1.3495	0.51425	0.53155
8	1.8	6.8904	0.78005	0.67495
9	1.8	6.8904	0.78005	0.67495
10	6.475	57.8366	1.04605	0.6886
11	0.875	1.4866	0.51405	0.5248
12	1.8	6.8904	0.78005	0.67495
13	1.125	4.6286	0.50385	0.5345
14	1.8	6.8904	0.78005	0.67495
15	0.925	1.9466	0.52465	0.5286
16	2.3	15.9895	0.77495	0.63705
17	2.675	8.5486	0.51445	0.5383
18	1.4	4.4854	0.77475	0.69855
19	1.8	6.8904	0.78005	0.67495
20	4.925	48.6766	1.03545	0.7868
R^2	0.957	0.993	0.856	0.947
R^2_{adj}	0.954	0.993	0.848	0.944
R^2_{pred}	0.9451	0.9856	0.8304	0.9367
p	<0.0001	<0.0001	<0.0001	<0.0001

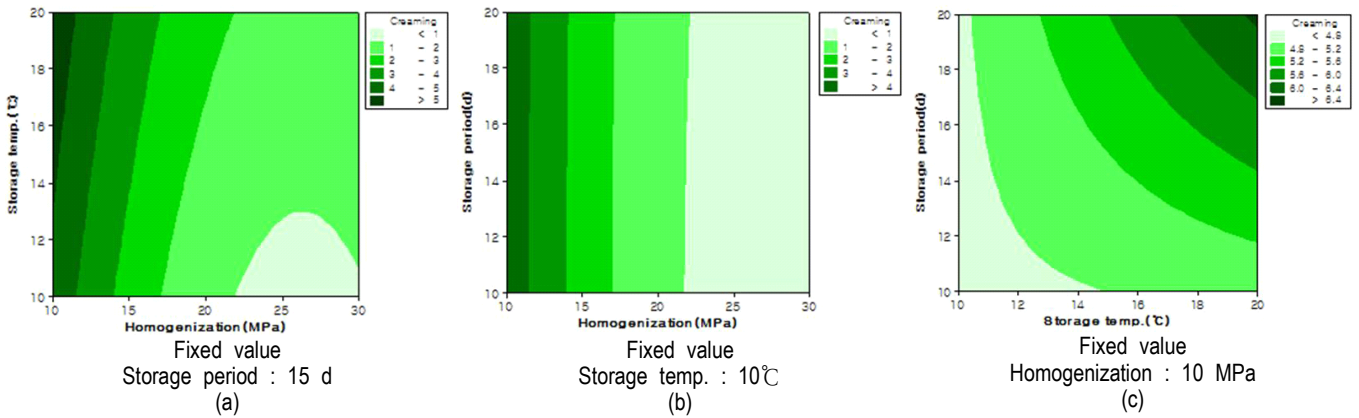


Fig. 1. Contour plot of creaming response for change in homogenization pressure, storage temperature, and storage period. (a) homogenization and storage temperature; (b) homogenization and storage period; (c) storage temperature and storage period.

저장 온도와 저장 기간에 대한 등고선도를 나타내었다. Fig. 1의 (a), (b) 등고선도에서 균질압이 증가할수록 creaming은 낮아지는 것을 볼 수 있다. 20 MPa로 균질한 우유의 creaming의 가장 높은 결과인 3 mm를 기준으로 각 등고선도를 비교해 보면 다음과 같다. 저장 기간을 15일로 고정했을 때, 저장 온도 10°C에서 3 mm 이하의 creaming을 유지하기 위해서는 14 MPa 이상의 균질압이 요구되고, 저장 온도 20°C에서 3 mm 이하의 creaming을 유지하기 위해서는 17 MPa 이상의 균질압이 요구된다. 저장 온도를 10°C로 고정했을 때, 10일간 3 mm 이하의 creaming을 유지하기 위해서는 13.9 MPa 이상의 균질압이 요구되고, 20일간 3 mm 이하의 creaming을 유지하기 위해서는 14 MPa 이상의 균질압이 요구된다. 균질압을 10 MPa로 고정했을 때에는 등고선도에서 10°C에서 10일 저장했을 때, creaming은 4.67 mm 정도이고, 20°C에서 20일 저장했을 때, creaming은 6.47 mm였다.

Fig. 2는 USPHS code에 대해 균질압과 저장 온도, 균질압과 저장 기간, 저장 온도와 저장 기간에 대한 등고선도를 보여준다. USPHS

code 10% 미만에 대해 각 등고선도를 비교하면 다음과 같았다. 저장 기간을 15일로 고정했을 때, 저장 온도 10°C에서는 16.8 MPa 정도의 균질압이 요구되고, 저장 온도 20°C에서는 23.1 MPa 이상의 균질압이 요구된다. 저장 온도를 10°C로 고정했을 때, 10일 저장 기간에서는 15.9 MPa 이상이, 20일의 저장기간에서는 17.5 MPa 이상의 균질압이 필요하고, 균질압을 10 MPa로 고정했을 때, 10°C에서 10일 저장에서는 30.11%, 20°C에서 20일간 저장했을 때에는 57.72%의 USPHS code가 예측되었다.

요약

본 연구에서는 반응표면분석법을 활용하여 균질 조건, 저장 온도, 저장 기간 등이 유지방의 크림화와 상층부와 하층부의 지방 함량 변화 등에 대해 미치는 영향을 분석하고, 최적의 균질 효율을 갖는 조건들을 예측하고자 실시하였다. 반응표면분석법의 독립변수로는 균질압, 저장 온도, 저장 기간을 설정하였고, -1, 0, 1의 3수준으로 20개의

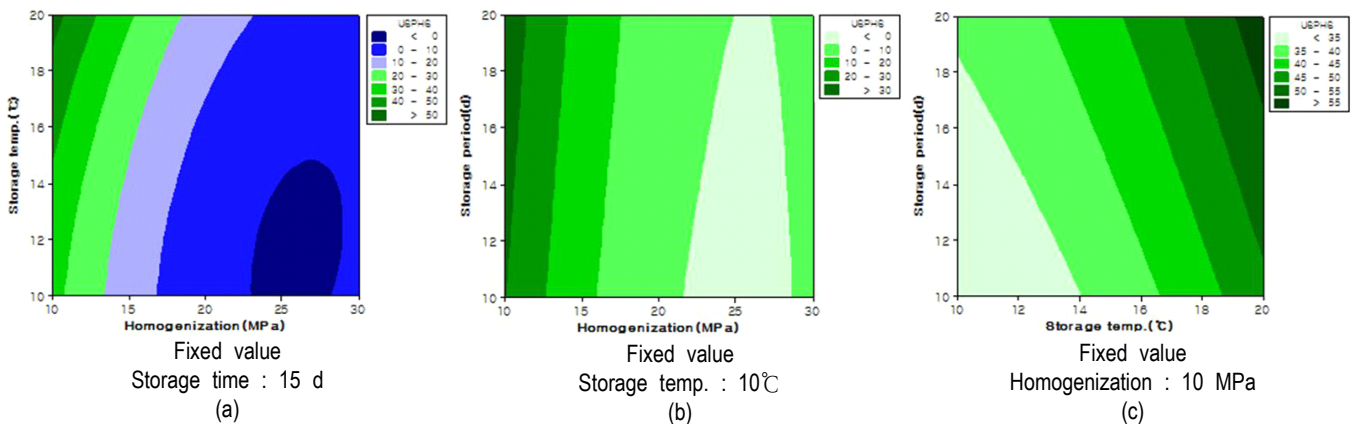


Fig. 2. Contour plot of USPHS response for change in homogenization pressure, storage temperature, and storage period. (a) homogenization and storage temperature; (b) homogenization and storage period; (c) storage temperature and storage period.

실험구를 설계하여 종속변수인 creaming, USPHS code, 상층부의 $D_{4.3}$, 하층부의 $D_{4.3}$ 에 대해 실험을 실시하였다. 반응표면분석과 회귀분석 결과, 균질한 우유의 실험 데이터와 RSM에 의해 예측된 값들간의 상관계수는 0.8 이상의 상관성을 보였다. 반응표면분석의 최적화 결과, 10℃에서 15일의 저장 기간 동안 3 mm 이하의 크립화를 유지하기 위해서는 14 MPa 이상의 균질압이 요구되고, 20℃에서 15일의 저장 기간 동안 3 mm 이하의 크립화를 유지하기 위해서는 17 MPa 이상의 균질압이 요구된다. 10℃에서 15일의 저장 기간 동안 USPHS code를 10% 미만으로 유지하기 위해서는 16.8 MPa의 균질압이 요구되며, 20℃에서 15일 동안의 저장 기간을 유지하기 위해서는 23.1 MPa의 균질압이 요구된다.

References

- Huppertz, T., Fox, P. F. and Kelly, A. L. 2003. High pressure-induced changes in the creaming properties of bovine milk. *Innov. Food Sci. Emerg.* 4:349-359.
- Lu, C., Wang, G., Li, Y. and Zhang, L. 2013. Effects of homogenization pressures on physicochemical changes in different layers of ultra-high temperature whole milk during storage. *Int. J. Dairy Technol.* 66:325-332.
- Marzo, L. D., Patrick C., and Barbano, D. M. 2016. Prediction of fat globule particle size in homogenized milk using Fourier transform mid-infrared spectra. *J. Dairy Sci.* 99:8549-8560.
- Mohan, C. C., Rakhavan, K. R., Krishnan, K. R., Babuskin, S., Sudharsan, K., Babu, P. A. S. and Sukumar, M. 2016. Development of predictive preservative model for shelf life parameters of beer using response surface methodology. *LWT - Food Sci. Technol.* 72:239-250.
- Pandolfe, W. D. 2005. Estimating creaming rates for homogenized milk. SPX Technical Bulletin http://www.spxflow.com/en/assets/pdf/TB84_Rate_Of_Creaming_Milk_3088_US_tcm11-7656.pdf
- Ridgway, J. D. 1957. Tests for effectiveness of homogenization of milk. *Int. J Dairy Technol.* 10:214-218.
- Spreer, E. 1998. Milk processing. Pages.89-94 in milk and dairy product technology. Marcel Dekker, Inc., New York, USA.
- Tetra Pak. 2017. 4 important questions about NIZO. <http://processinginsights.tetrapak.com/4-important-questions-about-nizo-2>.