KOREAN J. FOOD SCI. TECHNOL. Vol. 51, No. 6, pp. 531~536 (2019)
https://doi.org/10.9721/KJFST.2019.51.6.531

KOREAN JOURNAL OF
한국식품과학회지
FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY
©The Korean Society of Food Science and Technology

반응표면분석법을 이용한 현미유 유화 제조공정 최적화

백진우[1] · 이광연[2] · 이현규[1,*]
[1]한양대학교 식품영양학과, [2]서울대학교 농업생명과학연구원

Optimization of the process conditions for the emulsification of rice bran oil using response surface methodology

Jin Woo Baek[1], Kwang Yeon Lee[2], and Hyeon Gyu Lee[1,*]
[1]*Department of Food and Nutrition, Hanyang University*
[2]*Research Institute of Agriculture and Life Sciences, Seoul National University*

Abstract In this study, the optimization of the manufacturing process for the oil-in-water emulsification of rice bran oil was performed by response surface methodology (RSM) using varying amounts of the emulsifier (0.05-0.25%), varying rotation speeds of the homomixer (4,000-8,000 rpm), and varying water to oil ratios (0.8-1.6%) as independent variables, and the emulsion stability index (ESI) as the dependent variable. The optimization conditions predicted by the RSM model were 0.2%g of the total amount of the rice bran oil emulsion, emulsified at the homomixer rotation speed of 6,700 rpm using a water to oil ratio of 1:3. The ESI of the rice bran oil emulsion prepared under the optimized conditions was 95.7%, which was similar to the predicted value of 94.4% obtained by the RSM model. The transmission stability and the backscattering values were found to agree with each other over time and the turbiscan stability index was less than 0.7, indicating that the aggregation and upper floatation were less while the dispersion stability was maintained.

Keywords: rice bran oil, response surface methodology, emulsification, optimization

서 론

쌀은 우리나라의 주식으로 이용되고 있으나 매년 소비량이 감소하고 있는 추세로 1인당 연간 소비량은 2008년 75.8 kg에서 2017년 61.8 kg 수준이다(Bae 등, 2018). 바쁜 현대에 1인 가구 및 맞벌이 부부의 증가와 여성들의 사회적인 역할이 많아지면서 아침식사를 하지 않는 추세가 되어, 주식인 밥의 소비는 점점 감소하고 있다(Kim 등, 2008). 이에 쌀 소비 촉진 일환으로 쌀을 이용한 가공 식품이 개발되고 있으나 주로 전분을 이용한 가공품이 주류를 이루고 있다. 이는 쌀 전분이 고온에서 호화되면 고소하고 단맛이 발현되고 물성적으로는 점도가 높아지기 때문인데 오히려 이러한 물성적인 측면으로 인해 고온살균을 주로 하는 액상 음료 식품에는 가공 적성이 낮은 한계점도 있다(Kang 등, 2009).

이러한 가공 특성 제한 사항을 해결하기 위해 유산균을 첨가한 쌀 발효음료(Kim 등, 2011), 균주를 이용한 혼합잡곡 발효음료(Lee 등, 2014), 호화 쌀가루를 첨가한 요구르트 형태의 음료(Kim 등, 2014) 등 주로 쌀 자체를 발효하거나 당화하여 부가적인 맛을 구현한 연구가 진행되고 있으며(Shin 등, 2017), 최근에는 쌀을 현미로 도정하는 과정에서 생기는 미강을 유지로 추출하여 현미유를 제조하는 방법에 따른 성분 및 항산화 특성에 대한 연구(Pengkumsri 등, 2015)도 진행되었다. 현미유는 현미를 도정할 때 생기는 미강을 활용해 만드는데 항산화 효과가 있는 토코페롤, 토코트리에놀 등의 토콜류와 γ-oryzanol, 체내 콜레스테롤 대사조절을 도와 주는 phytosterol과 squalene 등의 기능성 영양성분들이 함유되어 있다(Kwon 등, 1996). 또한, 15-20% 정도의 불포화지방을 함유하고 있어 건강기능 측면에서 긍정적인 효과를 기대할 수 있을 뿐만 아니라 풍미가 좋고 대두유, 옥수수유 등 다른 식물성유에 비해 비교적 산화안정성이 높은 것으로 알려져 있다(Lee 등, 2010). 그러나, 이러한 장점에도 불구하고 유지의 특성상 수용성 제품에 적용하기 위해서는 최적의 유화 공정이 필요하다. 또한 장시간 안정한 유화물을 만들기 위해서는 유상과 수상의 종류 및 용적비, 유화제의 종류 및 양, 유화제 첨가방법, 균질화 온도 및 속도 등의 다양한 조건을 고려해야 한다. 그러나, 아직까지 식품 가공에 적용을 위해 현미유를 이용한 유화물 제조 최적 조건에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구에서는 건강기능적으로 우수하고 식품의 풍미 향상에 도움을 줄 수 있는 현미유의 식품 가공 활용성 확대를 위해 반응표면분석법(response surface methodology, RSM)을 이용하여 유화 제조시 영향을 미치는 반응 조건에 따른 수중유적형(O/W type) 유화계를 형성시켜 안정성이 뛰어난 현미유 유화물을 제조하고자 하였다.

*Corresponding author: Hyeon Gyu Lee, Department of Food and Nutrition, Hanyang University, Seoul 04763, Korea
Tel.: +82-2-2220-1202
Fax: +82-2-2281-8285
E-mail: hyeonlee@hanyang.ac.kr
Received September 10, 2019; revised November 13, 2019; accepted November 15, 2019

재료 및 방법

재료

본 실험에서 사용된 재료는 현미유(Chungjungwon rice bran oil, Daesang Corp., Seoul, Korea)와 유화제(SWA-10D, Mitsubishi-

Kagaku Foods Corp., Tokyo, Japan)를 사용하였다.

유화 상태 관찰 방법

수중유적형 유화계의 유화 안정성은 부피비측정법을 이용하여 측정하였고 유화 안정지수(emulsion stability index, ESI)로 나타내었다(Chang, 1994). 즉, 유화물을 50 mL polypropylene conical tube에 담아 마개로 공기의 유입을 차단시킨 후 10°C로 설정한 오븐(LT-DO 135, LAB & TOOLS, Kangwon, Chuncheon, Korea)에서 6시간 경과 후 유화물로부터 분리되는 수용액층과 총 유화물 층의 부피를 측정하고 그 측정값을 아래 식에 대입하여 ESI (%)를 산출하였다.

$$\text{ESI (\%)} = 1 - \frac{\text{Volume of separated layer}}{\text{Total volume of emulsion}} \times 100$$

유화제 첨가량 설정

유화제의 최적 첨가량을 설정하기 위하여 0.05-0.25% 범위에서 0.05% 단위로 단계적으로 증가시키며 유화계를 형성시켰다. 현미유의 함량은 고정시킨 상태에서 유화제의 함량 변화만큼 정제수의 양을 보합하였다.

유화물 제조를 위한 가수량 결정

유지와 물로 이루어진 두 상의 비중차에 따라 유화안정성은 영향을 받는데 이는 크리밍속도를 나타내는 아래의 스톡의 법칙으로 설명될 수 있다.

$$v = r^2 (\rho_1 - \rho_0) g / 18\eta$$

v: 크리밍 속도 ρ_1, ρ_0: 연속상・분상상의 비중
r: 입자 반경 η: 연속상의 점도 g: 중력가속도

가수량에 따라 유화물의 비중이 달라져 유화안정성에 영향을 미치므로(Chang 등, 1994) 유지 함량 대비 0.8, 1, 1.2, 1.4, 및 1.6배 가수하여 유화물 제조 후 유화안정성을 측정하였다.

호모믹서 회전 속도 설정

유화계 형성 시 가장 중요한 요건 중의 하나인 수상과 유상의 균질화를 위해 호모믹서(T.K. homomixer Mark II, Tokushu kika Kogyo Co., Ltd., Osaka, Japan)를 사용하였다. 물, 현미유, 유화제를 비율별로 1 L 비이커에 총 합량 500 g을 취한 다음, 1차 공정으로서 호모믹서의 분당 회전수(revolutions per minutes, rpm)를 4,000-8,000 rpm까지 5단계로 설정하여 유화계를 형성하였다. 온도는 예비 실험으로 선정된 유화제의 최적용해온도인 60°C로 설정하였으며, 유화계 형성 2차 공정으로 고압균질기(APV 1000, Bramsche, Lower Saxony, Germany)를 사용하여 1단계 30 MPa과 2단계 5 MPa로 고압균질화시켰다.

반응표면분석법을 이용한 실험설계

최적의 유화 제조 조건을 확립하기 위해 미니탭(MiniTab 18, Minitab Inc.) 소프트웨어를 사용하여 반응표면분석(RSM)을 수행하였다. 예비실험 결과를 토대로 유화제의 첨가량 (0.05-0.25%, X_1), 호모 믹서 회전속도(4,000-8,000 rpm, X_2), 유상 대비 수상 비율(0.8-1.6, X_3)을 독립 변수로 설정하여 (–2, –1, 0, 1, 2)의 다섯 단계로 부호화하여 설계하였으며, 종속변수는 유화안정지수로 하여 총 20개의 실험 모델을 설정하고 적합성을 평가하였다(Table 1).

Table 1. Independent variables and comparison between actual and predicted values (ESI)

Run No.	Independent variables			ESI (%)	
	X_1 [1)]	X_2 [2)]	X_3 [3)]	Actual values	Predicted values
1	0.15	6,000	1.2	83.5	85.0
2	0.15	6,000	1.2	82.5	85.0
3	0.15	6,000	1.2	85.1	85.0
4	0.20	5,000	1.0	68.1	65.8
5	0.20	7,000	1.4	89.5	92.4
6	0.10	5,000	1.0	43.2	43.4
7	0.10	7,000	1.4	48.9	54.3
8	0.15	6,000	1.2	88.5	85.0
9	0.10	7,000	1.0	44.1	44.5
10	0.20	5,000	1.4	71.1	73.8
11	0.10	5,000	1.4	45.1	48.3
12	0.20	7,000	1.0	79.5	79.4
13	0.15	6,000	0.8	48.2	50.7
14	0.25	6,000	1.2	76.0	76.0
15	0.15	6,000	1.2	86.2	85.0
16	0.15	6,000	1.2	87.2	85.0
17	0.15	4,000	1.2	51.2	50.8
18	0.15	8,000	1.2	73.1	70.4
19	0.15	6,000	1.6	74.0	68.5
20	0.05	6,000	1.2	18.5	15.5

[1)]Amounts of emulsifier (%)
[2)]The rotation speed of homomixer (rpm)
[3)]The ratio of water to oil amounts

최적 조건으로 제조된 유화물의 분산안정성 측정

분산안정성 측정기(Turbiscan Analysis, Turbiscan Tower, Toulouse, France)를 이용하여 입자들의 분산안정성을 평가하였다. 분산안정성은 880 nm 근적외선 파장을 광원의 반대편에 위치한 transmission detector에 조사하여 측정하는 transmission (%) 값과 입사각 및 45° 뒤쪽에 위치한 backscattering detector에 조사하여 측정하는 backscattering (%) 값을 24시간 연속적으로 모니터링하여 평가하였다. 유화물은 실제 농도 에서 측정용기(50 mm)에 기포가 없이 15 mL를 담은 후 20°C에서 일정하게 유지하면서 3일간 멀티스캐닝하였으며, 분산안정성에 나타내는 transmission과 backscattering을 동시에 측정하였다.

통계분석

모든 실험결과는 3회 이상 반복하여 실시하였으며 3개의 독립변수에 대한 종속변수의 영향을 살펴보기 위해 미니탭 소프트웨어를 사용하여 각각의 ANOVA 분산분석과 반응표면회귀분석을 실시하였다, 통계적 유의수준은 $p<0.05$로 설정 하여 진행하였으며, 최적 유화조건의 도출을 위해 3차원 반응표면과 2차원 등고선 분석을 실시하였다(Tarun 등, 2016).

결과 및 고찰

유화제 첨가량에 따른 안정성

일반적으로 유화제 선택 시 HLB (hydrophilic lipophilic balance) 값을 이용하는데, 유중수적형(W/O type) 유화에는 HLB 4-6, 수중유적형 유화에는 HLB 8-18의 유화제가 적당하다(Matsaridou 등,

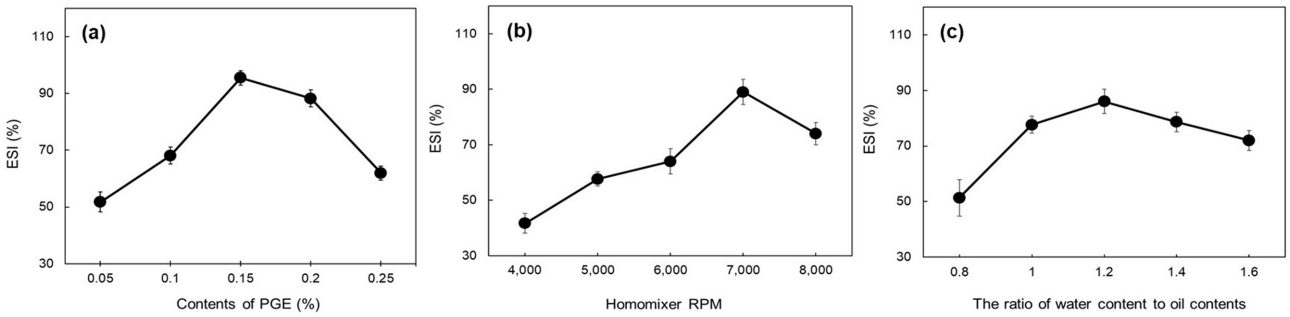

Fig. 1. Effects of PGE contents (a), the rotation speed of homomixer (b), and the ratio of water to oil contents (c) on emulsion stability index.

2012; Kim, 2010; Lee와 Kim, 1993). 수중유적형 유화계에 가장 널리 사용되는 유화제는 모노글리세리드로, 물에 용해되지 않는 단점을 보완하기 위해 모노글리세리드를 유도체로 하여 수용성을 증가시켜 사용하고 있으며, 이 중 폴리글리세린에스테르는 글리세린을 중합시켜 친수성을 높인 것으로 글리세린 중합도에 따라 다양한 HLB 값(3-13)을 나타낸다.

현미유를 이용한 수중유적형 유화계 제조를 위해서는 HLB가 8 이상인 유화제가 적합할 것으로 예상하여 5종의 유화제(polyglycerin fatty acid ester (PGE, HLB 10), sugar ester (SE, HLB 11), polysorbate 60 (HLB14.9), polysorbate 80 (HLB 15), sugar ester (SE, HLB 16)) 중 예비실험을 통해 폴리글리세린지방산에스테르(PGE)를 선택하였다. 예비실험은 5종의 친수성 유화제를 유지 함량당 2% 비율로 30분간 호모믹서를 이용하여 3,500 rpm으로 유화액을 형성시킨 다음 60°C로 설정된 항온기에서 7일간 정치한 후 유화안정성 및 관능을 측정한 결과값은, 각각 95.3, 88.2, 90.8, 91.2, 및 88.5%로 PGE를 사용한 유화액의 유화 안정지수가 가장 높게 측정되었다(data not shown). 이에 유화안정성이 가장 뛰어난 PGE를 이용하여 함량에 따른 안정성을 비교한 결과 0.05-0.25%까지 유화안정성이 유의적인 변화를 보여(p<0.05), 반응표면분석을 위한 독립 변수의 범위를 0.05-0.25%까지로 설정하였다(Fig. 1a).

호모믹서 회전 속도의 범위 설정

호모믹서는 혼합 및 용해를 위한 교반기와 고속회전을 통한 높은 전단력을 부여하는 회전자로 구성되며, 안정한 유화계 형성을 위한 중간 정도 수준의 입자 사이즈를 형성하는 목적으로 사용되는 기기이다. 고압 균질기로 유화물의 입자를 미세화하기 이전에 최적의 호모믹서 공정을 통해 수상과 유상의 유화계를 형성시켜야 유화안정성이 증가하는데, 이때 수상과 유상을 균질화하는 호모믹서의 교반기와 회전자의 회전속도에 따라 유화안정지수는 차이를 나타낸다(Kim 등, 2012). 예를들어 호모믹서의 회전속도를 증가시키면 입자 크기가 작아지는데(Kim 등, 2012), Lee(2001)는 유화물의 입자크기가 작을수록 유화안정성이 증가한다고 보고하였다. Fig. 1b에서 보는 바와 같이, 호모믹서의 회전속도를 4,000-8,000 rpm까지 증가시킴에 따라 유화안정지수가 유의적인 변화를 나타내어(p<0.05), 이를 토대로 반응표면분석을 위한 독립변수로서 호모믹서 회전속도의 범위는 4,000-8,000 rpm으로 설정하였다.

유화물 제조를 위한 가수량 범위 설정

수중유적형 유화방법으로는 자기유화법, 비누생성법, 단순유화법, 전상유화법, 계면활성제 상 유화법 등이 있는데, 본 연구에서는 유지 혹은 물에 유화제를 미리 용해시켜 두고 수중에 유지를 적하시켜 균질화하는 자기유화법을 이용하였다(Mun과 Surh, 2017). 이러한 수중유적형 유화물 제조 시에는 물과 유지의 비율에 따라 수중유적형이 유중수적형으로 반전하는 전상 현상이 종종 일어나 유화안정성 저하에 영향을 주므로 물과 유지의 적절한 비율 선정이 중요하다(Hong 등, 2012). 반응표면분석을 위한 유화물 제조의 최적 가수량 범위를 설정하기 위해 유지 함량 대비 물 함량의 비율을 0.8-1.6까지 달리하여 실험을 하였다. 그 결과 비율에 따라 유의적인 차이를 보여(p<0.05), 본 연구에서는 반응 표면분석법의 독립변수 범위로 가수량의 비율을 0.8-1.6까지로 설정하였다(Fig. 1C).

중심합성법을 이용한 현미유 유화물 제조 최적조건 결정

현미유 유화물 제조조건 최적화를 위해 미니탭 소프트웨어를 통해 반응표면분석법을 수행하였다. 중심합성계획법에(Zainal 등, 2013) 의하여 유화제의 함량(X_1), 호모믹서 회전속도(X_2), 유상 대비 수상 비율(X_3)을 현미유 유화 제조 공정에서 중요 변수로 선택하여 독립변수로 설정하고 –2, –1, 0, 1, 2의 5수준으로 부호화하였다. 중심합성계획법에 따라 20구간의 유화실험계획을 설정하고 유화안정지수를 측정한 결과는 Table 1에 나타내었다. 중심합성법에 의해 설정된 20구간에 대한 반응값을 대입한 모델의 적합성을 판단하기 위해 반응모델의 분산분석을 수행하여 각 독립변수와 종속변수, 상수, 일차항, 이차항, 교차항에 대한 유의성을 확인하였다(Table 2). 반응모델의 적합성과 각 항의 계수 유의성을 분산분석과 다항회귀분석을 통해 확인한 결과상수(Intercept), 일차항(X_1, X_2, X_3), 이차항(X_1^2, X_2^2, X_3^2), 교차항(X_1X_2)이 유의성이 있는 것으로 나타났다(p<0.05). 세가지 독립변수 X_1, X_2, X_3의 변화에 따른 종속변수 Y (유화안정지수)에 대한 2차 회귀식은 다음과 같이 나타내었으며 희귀곡선 결정계수(R^2)는 98.2%로 높은 설명력을 보였다. 2차 다항식 모델의 적합성을 ANOVA로 분석한 결과는 Table 3에 나타내었다.

$$Y = -437.8 + 1010X_1 + 0.0612X_2 + 354.7X_3 - 3927X_1^2 - 0.000006\ X_2^2 - 158.9X_3^2 + 0.0628X_1X_2 + 79X_1X_3 + 0.00619X_2X_3$$

예측변수 사이의 상관관계를 설명하는 분산팽창지수(variance inflation factor, VIF) 값은 1로 나타나 독립변수가 다른 변수에 의존적이지 않는 것으로 나타났다. 또한, 설계된 반응모델의 적합성 결여(lack of fit) 값은 변수와 실험 요인의 관계가 적절하게 설명될 때 p>0.05를 나타내고, 변수와 실험 요인의 관계가 적절하게 설명되지 못하는 경우 p<0.05를 나타낸다(Priepke 등, 1980). 본 실험에서 얻어진 반응모델은 p-value가 0.112를 나타내 반응모델이 적절하다는 것을 확인하였다.

Table 2. ANOVA for optimization of process conditions for the emulsification of rice bran oil

Source	DF[1)]	Seq SS[2)]	Adj SS[3)]	Adj MS[4)]	F value	*p* value
Model	9	7639.54	7639.54	848.84	60.62	0.000
Linear	3	4358.14	4358.14	1452.71	103.75	0.000
X_1	1	3657.23	3657.23	3657.23	261.2	0.000
X_2	1	383.18	383.18	383.18	27.37	0.000
X_3	1	317.73	317.73	317.73	22.69	0.001
Quadratic	3	3185.44	3185.44	1061.81	75.84	0.000
X_1^2	1	1579.9	2423.69	2423.69	173.1	0.000
X_2^2	1	589.9	933.48	933.48	66.67	0.000
X_3^2	1	1015.64	1015.64	1015.64	72.54	0.000
Cross-product	3	95.96	95.96	31.99	2.28	0.141
X_1X_2	1	78.75	78.75	78.75	5.62	0.039
X_1X_3	1	4.96	4.96	4.96	0.35	0.565
X_2X_3	1	12.25	12.25	12.25	0.87	0.372
Residual	10	140.02	140.02	14.00		
Lack of fit	6	118.80	118.80	19.80	3.73	0.112
Pure error	4	21.22	21.22	5.31		

[1)]Degree of freedom
[2)]Sequential sum of squares
[3)]Adjusted sum of squares
[4)]Adjusted mean of squares
X_1: Amounts of emulsifier (%)
X_2: The rotation speed of homomixer (rpm)
X_3: The ratio of water to oil amounts

Table 3. Regression coefficients of the predicted quadratic polynomial model

Parameter	Estimate	Standard error	*p*-value	VIF[1)]
Intercept	84.99	1.49	0.000	
X_1	15.119	0.935	0.000	1.00
X_2	4.894	0.935	0.000	1.00
X_3	4.456	0.935	0.001	1.00
X_1^2	-9.818	0.746	0.000	1.08
X_2^2	-6.093	0.746	0.000	1.08
X_3^2	-6.356	0.746	0.000	1.08
X_1X_2	3.14	1.32	0.039	1.00
X_1X_3	0.79	1.32	0.565	1.00
X_2X_3	1.24	1.32	0.372	1.00
R^2=98.20%	R^2 (adj)=96.58%			

[1)]Variance inflation factor

현미유 유화물 제조 최적 공정 조건

안정한 유화물을 제조하기 위해서는 유상과 수상의 종류 및 성질, 두 상의 용적비, 유화제의 종류와 첨가량, 균질속도, 균질압, 균질온도 등이 고려되어야 한다(Park과 Row, 2013). 본 연구에서는 현미유를 유상으로 하고 PGE를 유화제로 선정하여, 유화제 첨가량과 유화계 형성 조건에 따른 안정한 유화물 제조 최적 공정 조건을 도출하고자 하였다. 이를 위해 미니탭 18 프로그램을 이용하여 중심합성계획법의 반응모델을 설계하고 계산된 회귀 방정식으로부터 최적화된 변수를 얻었다. 그리고 분산분석을 통해 변수들 간의 상호작용을 분석하고 변수에 따른 반응치(ESI) 변화를 분석한 3차원 반응표면(Fig. 2)과 2차원 등고선그래프(Fig. 3)의 결과를 얻었다. Fig. 2a 및 3a는 물과 유지와 유화제 합의 비율은 고정하고 유화제 함량과 호모믹서 회전속도의 관계를 나타낸 것으로 유화제의 함량은 최소 0.15% 이상으로 하고 호모믹서 회전속도는 5,000 rpm 이상으로 설정 시 유화안정성이 높게 측정되었다. Fig. 2b 및 3b는 호모 믹서 회전속도는 고정하고 유상 대

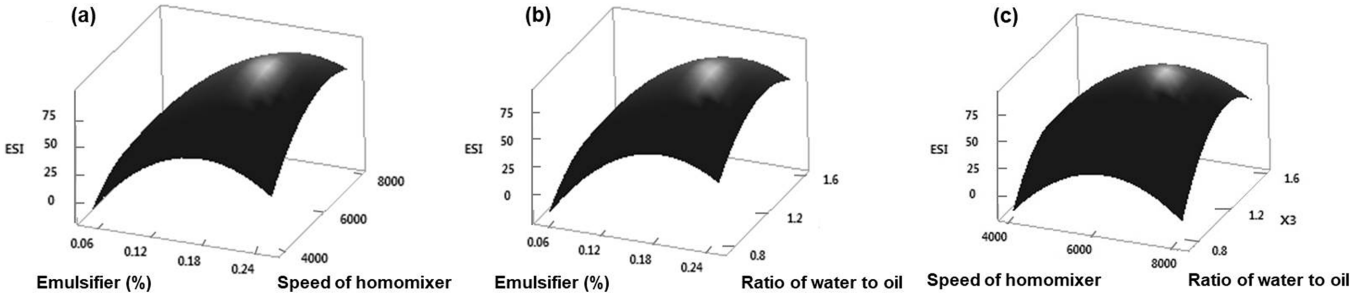

Fig. 2. Response surfaces for the effects of emulsifier amounts, rotation speed of homomixer and, the ratio of water to oil amounts on ESI.

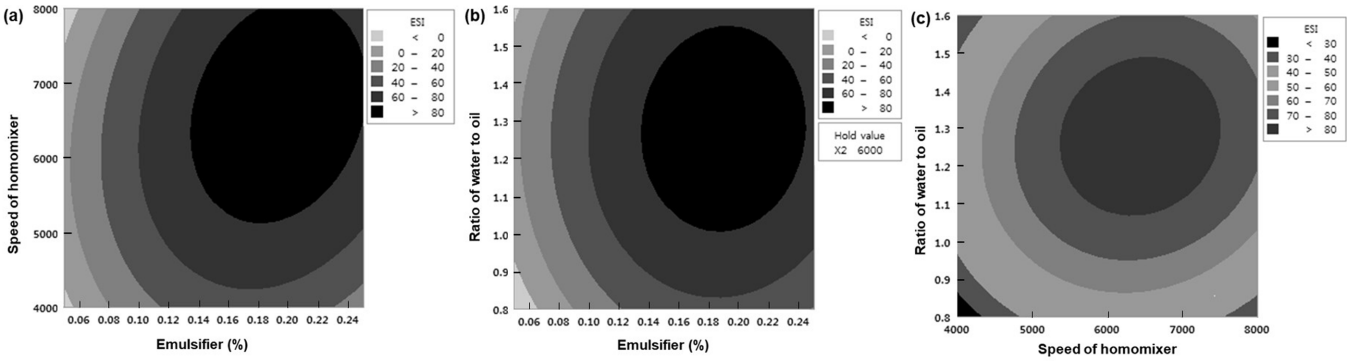

Fig. 3. Contour plot for the effects of emulsifier amounts, rotation speed of homomixer and, the ratio of water to oil amounts on ESI.

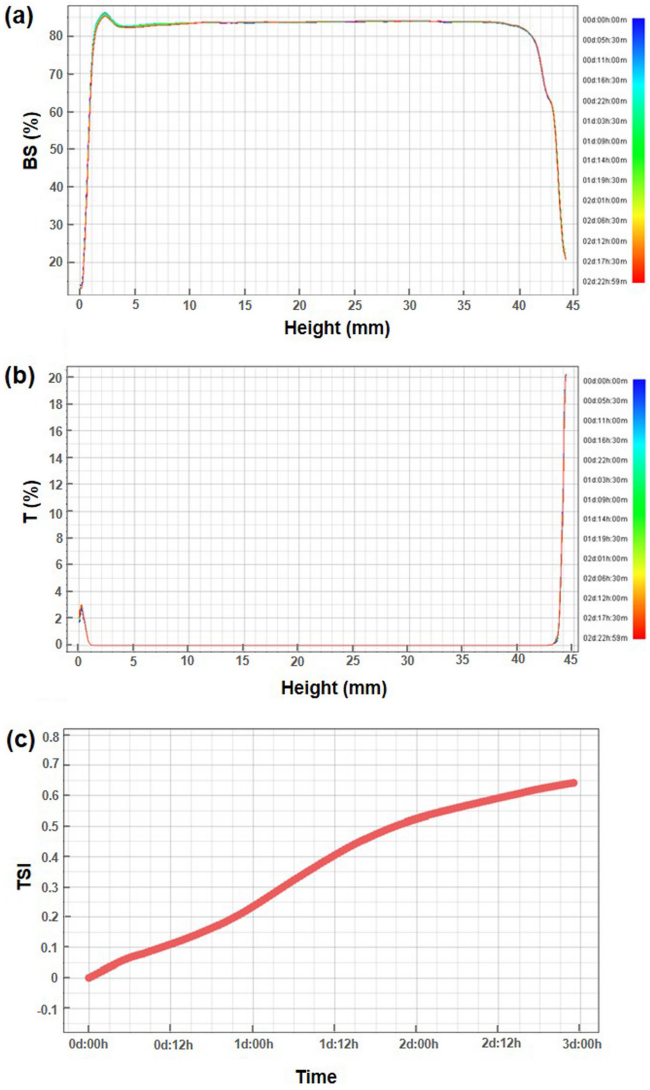

Fig. 4. Dispersion stability of emulsion from rice bran oil manufactured at optimized condition. (a) Backscattering (BS, %), (b) Transmission (T, %), and (c) Turbiscan stability index (TSI).

비 수상 비율 관계를 나타낸 것으로 각 변수가 증가함에 따라 유화 안정성은 증가하나 유화제는 0.2%, 비율은 1.2 부근에서 최대값을 나타내고 일정 함량 이상이 되면 오히려 감소하는 추세를 나타내었다. 또한, 유화제의 함량은 고정하고 호모믹서 회전 속도와 물과 유지와 유화제 합의 비율 관계를 분석한 결과, 단순 최대값 패턴을 나타내 특정 조건하에서 최적 결과값을 얻었는데, 회전속도는 6,500 rpm 부근에서 유상 대비 수상 비율은 1.20 부근에서 유화안정성이 극대화 되는 것으로 나타났다(Fig. 2c 및 3c). 이에 현미유 유화 제조공정 최적화를 확립하기 위해 반응표면분석법을 이용하여 통계적 분석 결과치를 최적화점으로 나타내었을 때, 유화제 함량 0.1955%, 호모믹서 회전속도 6666.7 rpm, 유상 대비 수상 비율 1.29 조건이 유화안정 지수가 94.4891%로 최대값을 가지는 최적 제조조건으로 예측하였다(data not shown).

최적 공정 조건으로 제조된 현미유 유화물 안정성

반응표면분석법로 얻어진 최적 공정 조건으로 현미유 유화물을 제조한 다음 유화안정지수를 측정한 결과, 실측치는 95.7%, 반응표면분석의 예측치는 94.5%로 유사한 수준이어서 사용한 반응표면분석모델이 적합한 것으로 확인되었다(data not shown). 한편, 반응표면분석법에 따른 최적 공정조건으로 제조된 현미유 유화물의 분산안정성을 측정한 결과는 Fig. 4와 같았다. 즉, 현미유 유화물에 대해 3일간 멀티스캐닝한 backscattering (Fig. 4a)과 transmission (Fig. 4b)을 분석한 결과, 시간에 따른 그래프가 겹쳐져 나타나 분산상인 입자가 가라앉거나 부유하지 않고 응집현상이 없는 것으로 관찰되었다. 유화물의 상층부, 중심부, 하층부의 시간 경과에 따른 안정성 차이를 확인하기 위해 turbiscan stability index (TSI)를 측정하였다(Fig. 4c). 일반적으로 초기 transmission (%) 값은 작을수록 backscattering (%) 값은 클수록 유화물의 분산성은 높게 평가되고, 시간 경과에 따라서 차이값이 작을수록 분산안정성이 유지되는 것으로 판단할 수 있으며, TSI가 1.0 미만일 경우 시료의 변화가 거의 없는 안정한 상태를 나타내는데 (Mengual 등, 1999), 최적 공정 조건으로 제조한 현미유 유화물은 0.7 미만으로 측정되어 안정한 것으로 나타났다.

요 약

본 연구에서는 현미유 음료 가공과 관련하여 현미유 유화물을 제조하기 위해 가공적성을 높이고 저장안정성을 증대시키기 위한 공정을 최적화하였다. 이를 위해 유상 대비 수상 비율과 유화제 첨가량, 균질 속도를 독립변수로 하고 유화안정지수(ESI)를 반응값으로 설정하여 실험을 진행하였다. 예비실험을 통해 2종의 유화제를 사용하였는데 HLB가 낮은 슈가에스터(HLB 3)와 수중유적형 유화계 형성을 위한 HLB 10의 폴리글리세린지방산에스터(PGE)를 선정하였다. 안정한 유화계를 형성하는 조건은 다양한 변수들이 복합적으로 작용하여 최적점에 도달할 때라는 가설

을 바탕으로, 반응 표면분석법을 이용하여 유화물 형성에 관여하는 반응조건을 최적화하였다. 그 결과, 유화제 함량은 현미유 유화물 총량의 0.2 g%, 호모믹서 회전속도는 60°C에서 6,700 rpm, 현미유와 물의 비율은 1:1.3 일 때 ESI 예측치가 94.5%로 최대치를 나타냈으며, 실측값은 95.7%이어서 통계적으로 유의하였다. 최적 조건에서 제조한 유화물의 분산안정성을 확인한 결과, transmission 및 backscattering 값이 시간경과에 따라 일치하는 것으로 나타났고, TSI global result는 0.7 미만으로 나타나 응집이나 상층부유 현상이 적어 분산성이 유지되는 것으로 나타났다. 이같은 최적화 조건에서 제조된 현미유 유화물을 쌀 이용 음료에 사용한다면 고소한 풍미와 유지에 함유된 다양한 생리활성 성분을 부여함으로써 기능적인 면에서의 긍정적인 효과를 나타내어 이러한 제품은 국내 쌀 소비 촉진에 기여할 것으로 예상된다.

References

Bae HK, Hwang JD, Seo JH, Kim SY. Optimal transplanting time for ‘Saemimyeon’ production in Youngnam province. Korean J. Crop Sci. 63: 205-209 (2018)

Chang PS. Determination of emulsion stability index in w/o emulsion. Anal. Sci. Technol. 7: 233-236 (1994)

Chang PS, Shin MG, Lee WM. Relationship between emulsion stability index and HLB value of emulsifier in the analysis of w/o emulsion stability. Anal. Sci. Technol. 7: 237-243 (1994)

Hong SS, Park WJ, Hwang KS, Kim KT, Kim KS, Shin SM, Joung KH. Quality characteristics of magnesium chloride emulsion amount used the soybean curd coagulant. J. Korea Acad. Industr. Coop. Soc. 13: 3537-3543 (2012)

Kang MH, Choi IS, Ro HK. A comparative study on the diet quality evaluation and blood oil profiles in adult male drinkers according to the smoking. Korean J. Nutr. 42: 547-558 (2009)

Kim YH. The effects of HLB value of the surfactants added in the silicon oil emulsion antifoamer on the antifoaming ability. J. Korean Oil Chemists' Soc. 27: 223-232 (2010)

Kim DC, Choi JW, In MJ. Utilization of Leuconostoc mesenteroides 310-12 strain in the fermentation of a traditional Korean rice-based beverage. J. Appl. Biol. Chem. 54: 21-25 (2011)

Kim BC, Chun JY, Park YM, Hong GP, Lee SK, Choi MJ. Influence of coating materials and emulsifiers on nanoparticles in manufacturing process. Korean J. Food Sci. Ani. Resour. 32: 220-227 (2012)

Kim SH, Kim AN, An BK, Choi SK. Studies on the fermentation characteristics of yogurt added with pregelatinized rice flour. Korean J. Culinary Res. 20: 37-48 (2014)

Kim HR, Shin ES, Lyu ES. Mothers’ perceptions on nutrition education for elementary school students in the Busan area 1 -A demographical factor approach-. J. Korean Diet. Assoc. 14: 276-290 (2008)

Kwon KS, Kim HK, Ahn MS. Comparative studies on the oil content and neutral oil composition in Japonica and Indica rice bran oils. Korean J. Food Sci. Technol. 28: 207-211 (1996)

Lee YY. Effect of size distribution of oil particles with emulsifiers and stabilizers on the emulsion stability of mayonnaise. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 30: 204-209 (2001)

Lee JS, Kang YH, Kim KK, Lim JG, Kim TW, Kim DJ, Bae MH, Choe M. Production of saccharogenic mixed grain beverages with various strains and comparison of common ingredients. J. East Asian Soc. Diet. Life. 24: 53-61 (2014)

Lee HS, Kim JS. The flow properties and stability of o/w emulsion composed of various mixed nonionic surfactants. J. Korean Ind. Eng. Chem. 4: 196-203 (1993)

Lee ES, Kim KJ, Kim JH, Hong ST. A study on the development of high functional food protein ingredient from rice bran. J. Agric. Sci. 37: 61-68 (2010)

Matsaridou I, Barmpalexis P, Salis A, Nikolakakis I. The influence of surfactant HLB and oil/surfactant ratio on the formation and properties of self-emulsifying pellets and microemulsion reconstitution. AAPS Pharm. Sci. Tech. 13: 1319-1330 (2012)

Mengual O, Meunier G, Cayre I, Puech K, Snabre P. TURBISCAN MA 2000: multiple light scattering measurement for concentrated emulsion and suspension instability analysis. Talanta 50: 445-456 (1999)

Mun SH, Surh JH. Effect of corn oil as an oil phase on the preparation and characterization of oil-in-water nanoemulsions fabricated by spontaneous emulsification. Korean J. Food Cook Sci. 33: 427-434 (2017)

Park HE, Row KH. Optimization of synthesis condition of monolithic sorbent using response surface methodology. Appl. Chem. Eng. 24: 299-304 (2013)

Pengkumsri N, Chaiyasut C, Sivamaruthi BS, Saenjum C, Sirilun S, Peerajan S, Suwannalert P, Sirisattha S, Chaiyasut K, Kesika P. The influence of extraction methods on composition and antioxidant properties of rice bran oil. Food Sci. Technol. 35: 493-501 (2015)

Priepke PE, Wei LS, Nelson AI, Steinberg MP. Suspension stability of Illinois soybean beverage. J. Food Sci. 45: 242-248 (1980)

Shin DS, Sim EY, Lee SK, Choi HS, Park JY, Woo KS, Kim HJ, Cho DH, Oh SK, Han SI, Park HY. Comparison of quality properties of rice cultivars for beverage processing. Korean J. Food Nutr. 30: 1260-1267 (2017)

Tarun B, Praveen D, Indar D. B., Ranbeer SR, Veena P. Optimization extraction conditions for improving phenolic content and antioxidant activity in *Berberis asiatica* fruits using response surface methodology (RSM). Food Chem. 207: 115-124 (2016)

Zainal S, Nadzirah KZ, Noriham A, Normah I. Optimisation of beef tenderisation treated with bromelain using response surface methodology (RSM). Agric. Sci. 4: 65-72 (2013)