

# Tween-Span계 혼합계면활성제를 이용한 Coconut Oil 원료 O/W 유화액의 제조 : CCD-RSM을 이용한 최적화

유봉호\* · 주카이양 · 쥬청량 · 이승범†

단국대학교 화학공학과, \*단국대학교 공과대학  
(2019년 11월 5일 접수, 2019년 11월 25일 심사, 2019년 12월 17일 채택)

## Preparation of Coconut Oil in Water Emulsions Using Tween-Span Type Mixed Surfactant : Optimization of CCD-RSM

Bong-Ho Yoo\*, Kaiyang Zhu, Chengliang Zuo, and Seung Bum Lee†

Department of Chemical Engineering, Dankook University, Gyeonggi 16890, Korea

\*College of Engineering, Dankook University, Gyeonggi 16890, Korea

(Received November 5, 2019; Revised November 25, 2019; Accepted December 17, 2019)

### 초 록

본 연구에서는 coconut oil과 Tween-Span계 혼합계면활성제를 사용하여 O/W 유화액을 제조하고 유화안정성을 향상시키기 위한 유화조건을 최적화하였다. 이를 위해 최적화과정은 CCD-RSM (central composite design model-response surface methodology)를 이용하였다. 계량인자로는 HLB (hydrophile-lipophilie balance) value, 혼합계면활성제 첨가량, 유화속도 등을 설정하였으며, 반응치로는 평균액적크기(MDS), 유화액의 유화안정도지수(ESI), 열적 불안정도지수(TII)를 설정하였다. CCD-RSM 분석결과 3가지 반응치를 동시에 만족하는 최적조건으로 HLB value (9.1), 혼합계면활성제 첨가량(8.7 wt.%), 유화속도(6,200.8 rpm)로 산출되었으며, CCD-RSM 분석예상값은 MDS (151.0 nm), 유화액의 ESI (99.86%), TII (3.17%)로 나타났다. 이 조건에서의 실제실험 결과 오차율은 3.5% 이하로 나타나 본 연구에서의 O/W 유화액 제조 과정에 CCD-RSM 최적화 분석을 적용할 경우 비교적 높은 유의수준의 결과를 얻을 수 있었다.

### Abstract

In this study, the O/W emulsions prepared from coconut oil and the non-ionic mixed surfactant as Tween-Span system were evaluated and optimized in order to upgrade the stability of manufactured emulsions. For the optimization, a central composite design model-response surface methodology, so called as CCD-RSM was implemented. Quantitative factors were the hydrophile-lipophilie balance (HLB), amount of non-ionic mixed surfactant and emulsification speed while experimental results included the mean droplet size (MDS), emulsion stability index (ESI), and thermal instability index (TII). Optimized values of the HLB, amount of non-ionic mixed surfactant and emulsification speed obtained from CCD-RSM were 9.1, 8.7 wt.%, and 6,200.8 rpm, respectively. Expected experimental results for MDS, ESI, and TII under the optimized experimental condition were 151.0 nm, 99.86, and 3.17%, respectively. The average error from actual experiments which established for validation of the conclusions was lower than 3.5%. Therefore, a highly favorable level could be obtained when the optimized CCD-RSM was applied to manufacturing the O/W emulsion in this study.

**Keywords:** O/W emulsion, CCD-RSM, Coconut oil, Non-ionic mixed surfactant

## 1. 서 론

과학기술의 발달로 현대사회에서 사람들의 삶의 리듬은 점점 빨라지고, 생활의 흐름이 불안정하여 사람들의 피부노화속도가 크게 빨라

지고 있어 기능성 화장품의 요구도 예전보다 훨씬 높아지고 있다. 화장품은 유럽규정(EC) No.1223/2009에서 인체의 외부부위(피부, 머리, 손톱, 입술 및 외부 생식기) 또는 치아와 구강점막을 청결하게 위한 혼합물로 정의된다. 화장품은 소비자들의 일상생활에서 중요한 구성 부분으로 주로 개인위생, 피부보호 그리고 외모변화를 위한 것이다 [1,2]. 최근 들어 화장품 원료로 천연물에 대한 관심이 고조되어 기능성 오일 및 천연계면활성제의 사용이 증가하고 있다. 본 연구에서는 기능성 오일로 coconut oil을 선정하고 Tween-Span계 혼합계면활성제를 이용하여 O/W 유화액을 제조하였다. Coconut oil은 질병을 일으키

† Corresponding Author: Dankook University,  
Department of Chemical Engineering, Gyeonggi 16890, Korea  
Tel: +82-31-8005-3559 e-mail: leesb@dankook.ac.kr

는 박테리아, 진균, 바이러스 그리고 기생충을 죽일 수 있는 천연의 종합적인 항균 능력을 가지고 있어 식품, 의약 및 다양한 산업에 이용되고 있다. 또한 용융점이 24~27 °C로 낮고, 세포 간 긴밀함을 끌어올려 모공의 수축력을 강화시켜 손상된 피부를 회복시켜준다[3,4]. 혼합 계면활성제는 두 가지 이상의 계면활성제를 혼합하여 사용하는 것으로 계면활성제의 화학구조로부터 hydrophilic lipophilic balance value (HLB value)를 계산하는 방법으로 분류한다. HLB value는 계면활성제의 친수성과 친유성의 정도를 나타내며, HLB value = 10을 기준으로 HLB value가 클수록 친수성이 강하며 작을수록 친유성이 큰 성질을 의미한다[5-7].

따라서 본 연구에서는 기능성 오일인 coconut oil과 혼합계면활성제인 Tween 80/Span 80을 이용하여 O/W 유화액을 제조하였다. 이때 유화과정의 최적화를 위해 반응표면분석법(response surface methodology, RSM) 중 중심합성계획모델(central composite design model, CCD)을 적용하여 두 가지 이상의 반응치를 동시에 만족하는 최적조건을 결정하였다. CCD-RSM의 독립변수로는 HLB value, 혼합계면활성제 첨가량, 유화속도를 설정하였으며, 유화액의 안정성을 평가하기 위해 반응치로는 유화액의 안정성을 평가할 수 있는 평균액적크기(MDS), 유화안정도지수(ESI) 및 열적 불안정도지수(TII) 등을 설정하여 유화안정성을 평가하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1. O/W 유화액의 제조

본 연구에서는 O/W 유화액을 제조하기 위하여 Tween-Span계 계면활성제인 polyoxyethylene sorbitan monostearate (Tween 80, HLB value = 14.9)과 sorbitan monostearate (Span 80, HLB value = 4.0)를 혼합하여 사용하였다. 수상으로는 초순수 (Vivagenen EXL-III)를 사용하였으며 유상은 천연 오일인 coconut oil (Junsei Chemical Co., Ltd, Japan)을 사용하였다. Coconut oil은 lauric acid라는 향산화 물질이 포함되어 있으며 산화 스트레스를 줄이는데 효과가 있고 보습효과가 뛰어난 것으로 알려져 있다[8]. 또한 실험에 사용된 혼합계면활성제는 다음의 식을 이용하여 HLB value 범위를 조절하였다.

$$HLB = \sum HLB_i \times x_i \quad (1)$$

O/W 유화액의 총 질량을 200.0 g로 고정된 후 O/W ratio를 2 : 8로 설정하였다. 수상성분과 유상성분 및 계면활성제를 각 조건별 질량비에 맞춰 계량한 후 water bath에서 75 °C로 예열 용해하였다. 유화속도는 변수로 설정하여 high-speed emulsifier (Homomixer Mark II, T.K. Primix)를 이용하여 10 min 동안 교반하는 실험을 수행하였으며, 유화가 끝난 유화액은 정제수로 부피를 보정하고 35 °C로 냉각시킨 후 25 °C의 incubator에 보관하였다.

### 2.2. O/W 유화액의 특성 및 안정성 평가

O/W 유화액의 평균액적크기(mean droplet size, MDS)와 zeta-potential은 ZETA Sizer (Zen 3600, Malvern)와 광학현미경(KB-320, Optinity)을 이용하여 측정하였다. 유화액의 MDS는 유화액 제조 후 7일차까지 상온(24 ± 3 °C)에서 유화액 0.1 mL를 기준으로 연속상(continuous phase)인 증류수 100 mL에 희석하여 측정하였다. 유화액은 제조 후 시간이 지나면서 분리현상이 나타난다. 이러한 현상은 유화액의 안정성과 관련이 있다. 유화액의 안정성이 떨어질수록 분리현상이 뚜렷해

진다[9]. 유화안정도지수(emulsion stability index, ESI)는 조제된 유화액을 유리병에 넣어 1 month 동안 상온에 보관하고 분리 후 수층과 serum층의 비교결과이다. ESI는 유화액의 안정성을 평가하는 중요한 기준으로 다음 식으로 계산하였다.

$$ESI (\%) = \left(1 - \frac{H_{serum}}{H_{total}}\right) \times 100 \quad (2)$$

여기서  $H_{serum}$ 은 하층부 serum층의 높이이고,  $H_{total}$ 은 전체 유화액의 높이이다. 본 연구에서는 3번의 반복실험을 통해 평균값을 사용하였다.

상온 조건에서의 안정성 외에도 유화액은 고온조건에서의 안정성도 중요하다. 유화액의 열적 불안정도지수(thermal instability index, TII)는 상온(25 °C)과 고온(90 °C)의 조건에서 6회(1회 24 h) 번갈아 놓고 마지막으로 분리 정도를 측정한다. 유화액은 고온조건에서 오일층을 분리하기 때문에 TII의 계산방법은 ESI와 차이가 있으며, 다음의 식으로 계산하였다.

$$TII (\%) = \left(\frac{H_{serum} + H_{oil}}{H_{total}}\right) \times 100 \quad (3)$$

여기서  $H_{serum}$ 은 하층부 serum층의 높이이고,  $H_{oil}$ 은 상층부 기름층의 높이이며,  $H_{total}$ 은 전체 유화액의 높이를 의미한다. TII는 3번의 반복실험을 통한 평균값을 사용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. CCD-RSM의 설계 및 분석

본 연구에서는 coconut oil과 Tween-Span계 혼합계면활성제를 이용하여 O/W 유화액을 제조하기 위한 조건의 최적화를 위해 통계학적 분석방법인 CCD-RSM을 적용하였다. 본 연구에서는 CCD-RSM을 통해 3개의 연속 요인 수를 설정한 후 반응표면설계를 생성하였다. 3개의 연속 요인과 각 요인의 범위는 기초실험으로부터 HLB value (8.0~10.0), 혼합계면활성제 첨가량(7.5~10.0 wt%), 유화속도(5,000~7,000 rpm)로 설정하였다[10]. 각 변수범위에 따라 20번의 표면설계를 생성하였고 그에 따른 반응치인 MDS ( $Y_1$ ), ESI ( $Y_2$ ), TII ( $Y_3$ )를 Table 1과 같이 입력한 후 CCD-RSM 분석을 진행하였다. Table 1의 실험결과를 바탕으로 분석을 진행한 결과 독립변수에 따른 각 반응치를 2차 회귀방정식으로 표현할 수 있다.

MDS는 O/W 유화액을 제조하는 과정에서 중요한 평가기준으로 MDS가 작을수록 화장품의 안정성은 향상된다[11]. 따라서 본 연구에서는 CCD-RSM 최적화를 진행하였다. 반응치인 O/W 유화액의 MDS ( $Y_1$ )를 독립변수인 HLB value ( $x_1$ ), 혼합계면활성제 첨가량( $x_2$ ), 유화속도( $x_3$ )로 회귀방정식은 다음과 같이 산출되었다.

$$Y_1 = 2558 - 303.0x_1 - 153.0x_2 - 0.1172x_3 + 13.89x_1^2 + 0.64x_2^2 + 0.00006x_3^2 + 3.78x_1x_2 + 0.00281x_1x_3 + 0.00208x_2x_3 \quad (4)$$

Figure 1은 CCD-RSM를 이용하여 얻은 회귀방정식을 이용하여 MDS에 대한 독립변수들의 영향을 3차원 그래프와 등고선도를 나타낸 그림이다. 본 연구에서 제조된 O/W 유화액의 MDS는 140~190 nm 범

Table 1. Response Surface Methodology of Four Variables and Corresponding Response Values

No.	Experimental factors levels			Response values		
	HLB value [-]	Surfactant [wt.%]	Rotation speed [rpm]	MDS [nm]	ESI [%]	THI [%]
1	10.0	7.50	7,000.0	176.91	92.93	8.18
2	9.0	8.75	6,000.0	148.20	98.52	2.40
3	8.0	10.00	5,000.0	186.76	85.66	15.81
4	8.0	10.00	7,000.0	184.24	87.61	13.63
5	9.0	6.65	6,000.0	162.91	93.19	7.51
6	7.3	8.75	6,000.0	173.98	93.72	7.60
7	10.0	7.50	5,000.0	170.56	91.19	10.92
8	9.0	8.75	6,000.0	150.69	98.59	2.77
9	9.0	8.75	6,000.0	151.06	98.56	2.88
10	10.0	10.00	5,000.0	183.06	87.44	13.08
11	10.0	10.00	7,000.0	179.27	90.64	10.54
12	8.0	7.50	7,000.0	188.27	86.59	14.52
13	10.9	8.75	6,000.0	183.14	88.94	12.31
14	9.0	8.75	4,318.2	115.50	93.60	7.11
15	9.0	10.85	6,000.0	169.03	94.19	5.87
16	8.0	7.50	5,000.0	213.71	84.95	16.65
17	9.0	8.75	6,000.0	149.97	97.06	2.85
18	9.0	8.75	6,000.0	151.24	98.21	2.33
19	9.0	8.75	7,681.8	156.90	96.78	3.08
20	9.0	8.75	6000.0	150.92	97.53	2.83

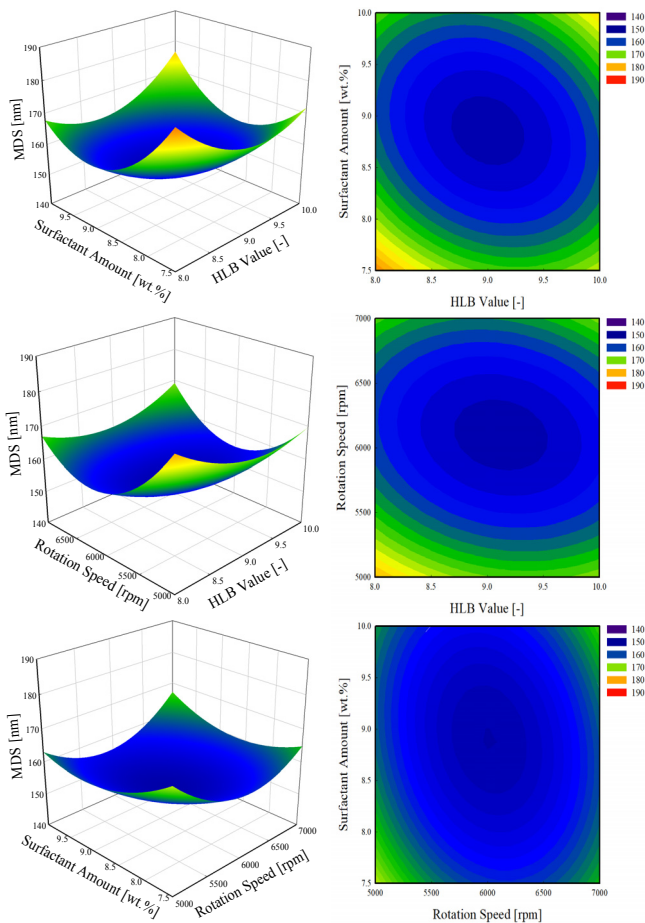


Figure 1. 3D surface and contour graph of MDS according to various variables.

위를 나타내었으며, HLB value, 혼합계면활성제 첨가량 및 유화속도가 증가함에 따라 O/W 유화액의 MDS는 감소하다 증가하는 경향을 보였다. 또한 CCD-RSM으로부터 산출된 회귀방정식을 통해 추출공정 독립변수의 주효과도, 교호효과도, 적합성 결여 등을 판단할 수 있다. 효과도가 실험에 독립변수의 영향도 지수이다. 본 연구에서는 HLB value : 혼합계면활성제 첨가량 : 유화속도 = 2,585.3 : 1,305.5 : 1.0의 비율로 나타났다. 또한 두 변수가 함께 반응치에 영향을 미치는 교호 효과도인 (HLB value × 혼합계면활성제 첨가량) : (HLB value × 유화속도) : (혼합계면활성제 첨가량 × 유화속도)의 비율은 1,817.30 : 1.35 : 1.0로 나타났다. 이를 통해 본 연구에서의 독립변수 중 HLB value의 주효과도와 교호효과도가 가장 큰 것을 알 수 있었다. 따라서 유화액의 MDS만을 고려했을 때의 최적조건은 HLB value (9.08), 혼합계면활성제 첨가량(8.73 wt.%), 유화속도(6,288.8 rpm)로 산출되었다.

O/W 유화액의 안정도에 따른 평가와 그 기준에 관한 연구가 많이 진행되고 있으며 특히 ESI라는 유화안정도 기준을 만족하는 공정을 최적화하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다[12]. 다음 식은 반응표면분석법의 반응치인 ESI ( $Y_2$ )를 독립변수인 HLB value ( $x_1$ ), 혼합계면활성제 첨가량( $x_2$ ), 유화속도( $x_3$ )를 이용하여 나타낸 2차 회귀방정식이다.

$$Y_2 = -428 + 67.6x_1 + 34.4x_2 + 0.0222x_3 - 3.394x_1^2 - 1.637x_2^2 - 0.00002x_3^2 - 0.777x_1x_2 + 0.00017x_1x_3 + 0.000177x_2x_3 \quad (5)$$

Figure 2는 CCD-RSM를 이용하여 얻은 회귀방정식을 이용하여 ESI에 대한 독립변수들의 영향을 3차원 그래프와 등고선도를 나타낸 그림이다. HLB value, 혼합계면활성제 첨가량 및 유화속도가 증가함에 따라 ESI는 증가하다 감소하는 경향을 나타내었다. 또한 회귀방정식을 통해 추출공정 독립변수의 주효과도, 교호효과도, 적합성 결여 등

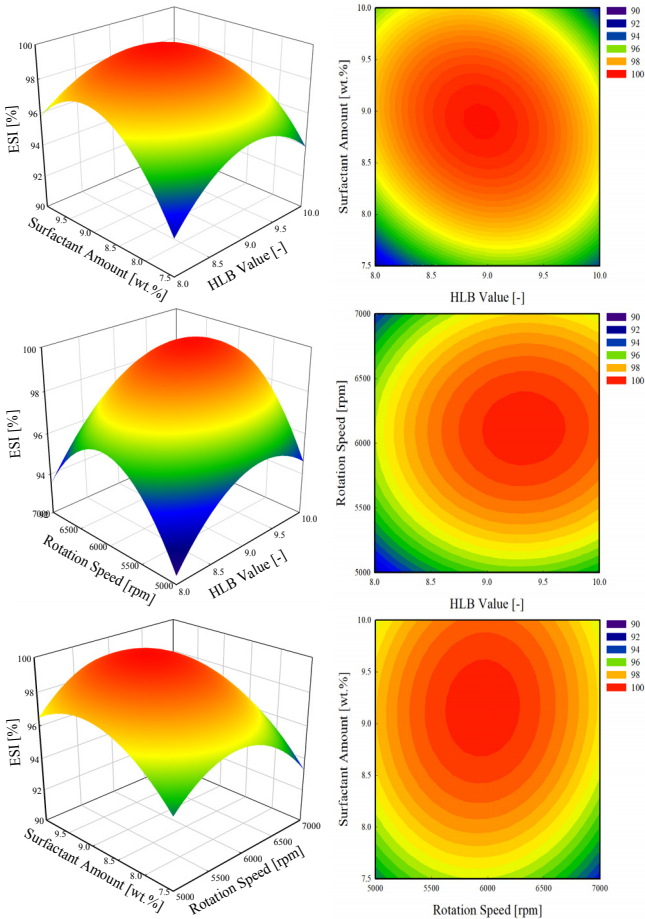


Figure 2. 3D surface and contour graph of ESI according to various variables.

을 판단할 수 있다. 본 연구의 주효과도인 HLB value : 혼합계면활성제 첨가량 : 유화속도 = 3,045.0 : 1,549.5 : 1.0의 비율로 나타났다. 또한 교호효과도인 (HLB value × 혼합계면활성제 첨가량) : (HLB value × 유화속도) : (혼합계면활성제 첨가량 × 유화속도)의 비율은 4,570.6 : 0.96 : 1.0로 나타났다. 따라서 유화액의 ESI만을 고려한 최적조건은 HLB value = 9.12, 혼합계면활성제 첨가량 = 8.69 wt.%, 유화속도 = 6,254.8 rpm로 나타났다.

TII는 제조한 유화액의 열적 불안정성을 측정하는 실험으로 O/W 유화액의 동결융해과정을 통해 유화상태의 열역학적 안정성 및 물성을 측정하는 데 사용되는 평가방법이다. 다음 식은 CCD-RSM의 반응치인 TII ( $Y_3$ )를 독립변수인 HLB value ( $x_1$ ), 혼합계면활성제 첨가량 ( $x_2$ ), 유화속도( $x_3$ )를 이용하여 나타낸 2차 회귀방정식이다.

$$Y_3 = 558 - 72.4x_1 - 34.4x_2 - 0.0241x_3 + 3.720x_1^2 + 1.640x_2^2 + 0.000002x_3^2 + 0.63x_1x_2 - 0.00012x_1x_3 + 0.00001x_2x_3 \quad (6)$$

Figure 3은 회귀방정식을 이용하여 TII에 대한 독립변수들의 영향을 3차원 그래프와 등고선도를 나타낸 그림이다. HLB value, 혼합계면활성제 첨가량 및 유화속도가 증가함에 따라 TII는 감소하다 증가하는 경향을 나타내었다. 또한 회귀방정식을 통해 추출공정 독립변수의 주효과도, 교호효과도, 적합성 결여 등을 판단할 수 있다. 본 연구

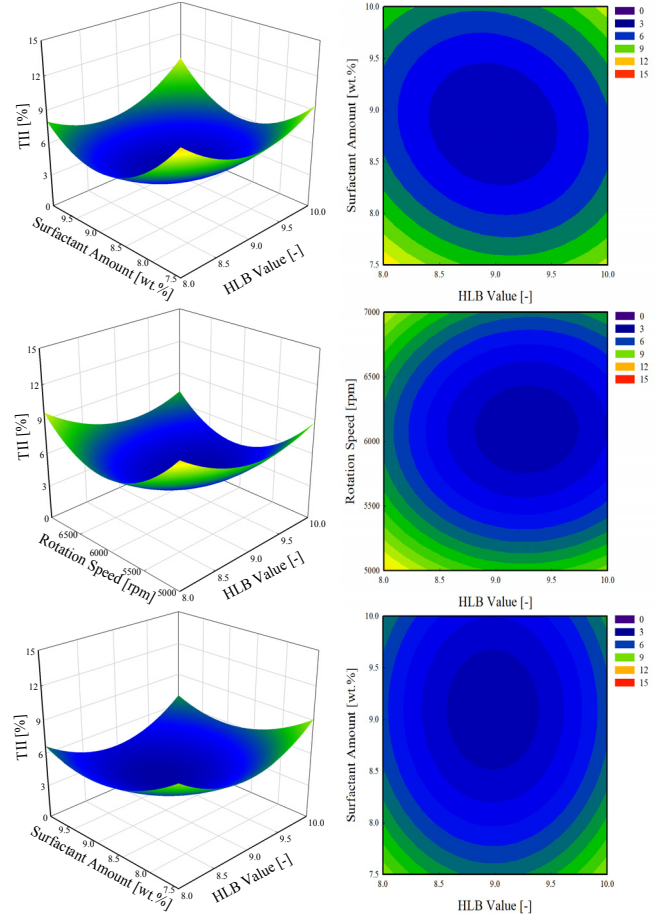


Figure 3. 3D surface and contour graph of TII according to various variables.

의 주효과도인 HLB value : 혼합계면활성제 첨가량 : 유화속도 = 3,004.1 : 1,427.4 : 1.0의 비율로 나타났다. 또한 교호효과도인 (HLB value × 혼합계면활성제 첨가량) : (HLB value × 유화속도) : (혼합계면활성제 첨가량 × 유화속도)의 비율은 63,000 : 12 : 1로 나타났다. 유화액의 TII만을 고려한 최적조건은 HLB value (9.12), 혼합계면활성제 첨가량(8.73 wt.%), 유화속도(6,288.8 rpm)이다.

Figure 4는 MDS에 대한 나타낸 95% 신뢰구간 내의 확률도를 나타낸 그림이다. 본 연구에서 통계학적 방법으로 normal distribution 이론을 이용하였다. P-value (유의확률 값)란 실험값의 검정 통계량이 귀무가설을 지지하는 정도를 확률로 표현한 것으로 P-value가 작을수록 귀무가설을 지지하는 정도가 약하므로 귀무가설을 기각하게 된다. P-value가 유의수준보다 작으면 귀무가설 하에 일반적인 형상이 아니므로 귀무가설을 기각하고 대립가설을 채택하게 되며 일반적인 유의수준으로는 5.0%를 설정한다[13]. 본 연구에서의 P-value는 5.2%로 나타났다. 유화액의 ESI와 TII에 대한 평균값은 각각 92.8와 8.144이었으며, 표준편차의 값은 각각 4.688과 4.971로 나타났다.

Figure 5는 독립변수변화가 유화액의 MDS에게 미치는 영향을 자세히 알아보기 위해 각 독립변수들의 변수범위의 10%를 증가 또는 감소시켜 나타낸 perturbation 곡선이다. 독립변수인 HLB value의 경우 최적조건을 기준으로 ± 0.2, 혼합계면활성제 첨가량의 경우 최적조건을 기준으로 ± 0.25 wt.%, 그리고 유화속도의 경우 최적조건을 기준으로 ± 200 rpm을 ± 10%로 설정하였다. 모든 독립변수의 경우 O/W 유

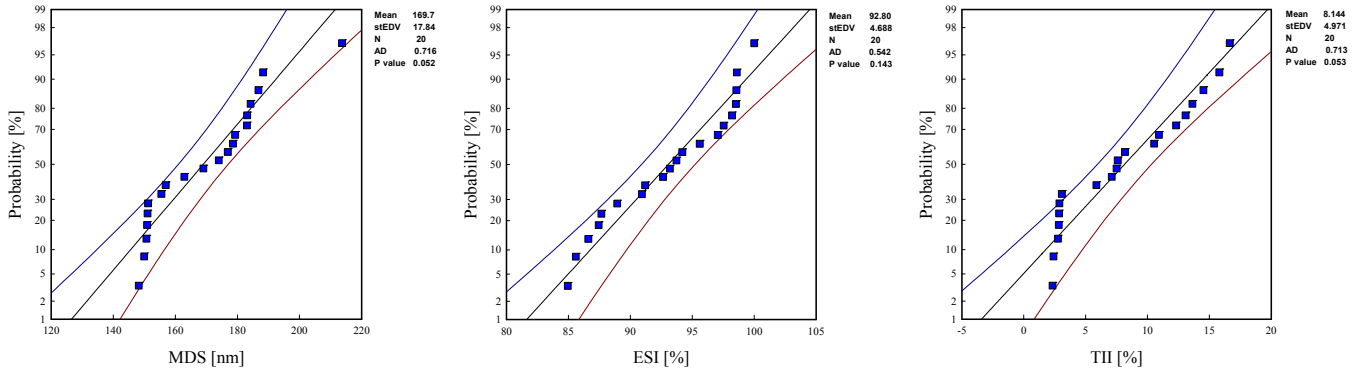


Figure 4. Scatter plot of MDS, ESI and TII.

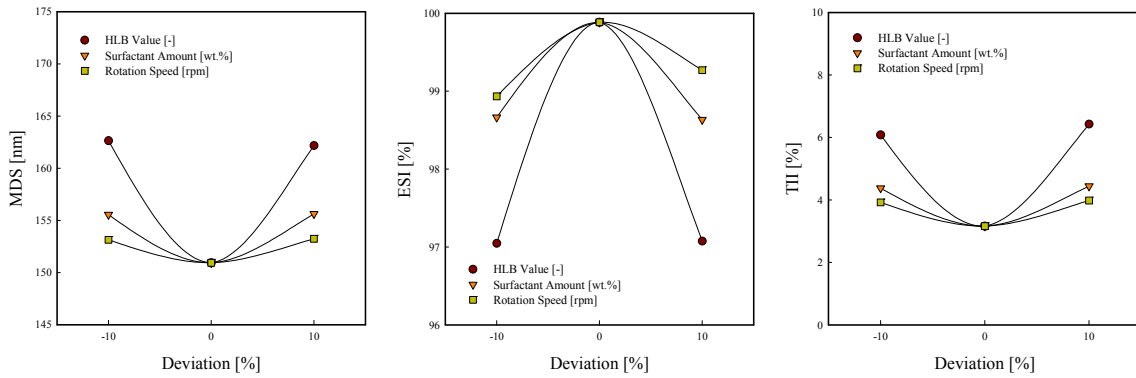


Figure 5. Perturbation plot for the effect of variables on MDS, ESI and TII.

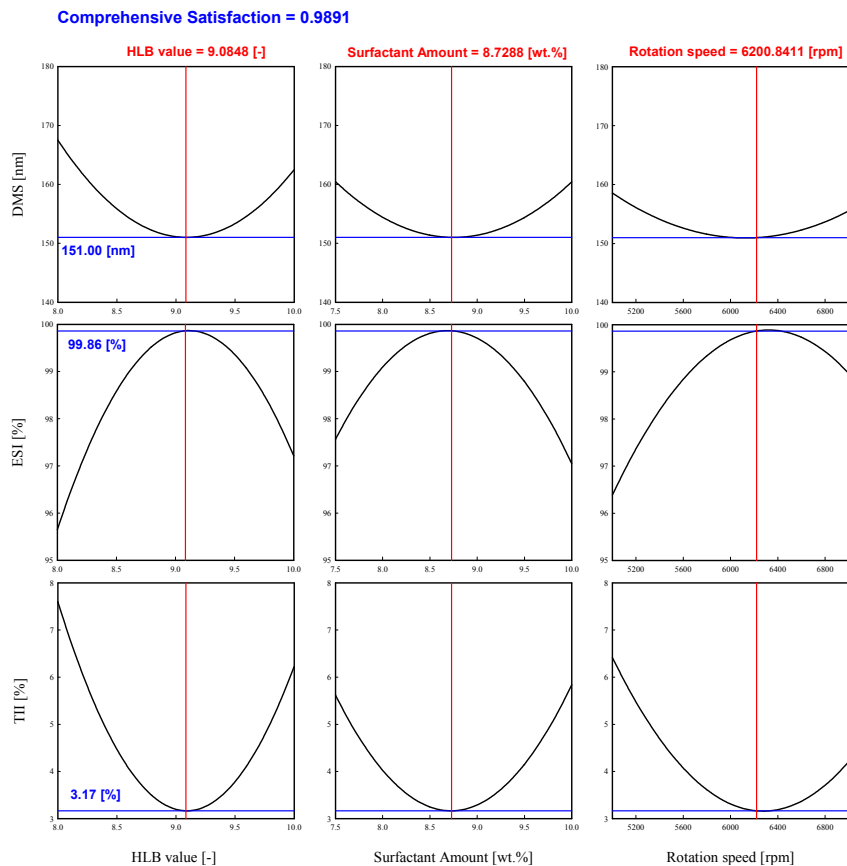


Figure 6. Multiple optimization graphs of MDS, ESI and TII.

화액의 MDS 및 TII는 감소하다 증가하는 경향을 나타내었으며, ESI의 경우는 반대로 증가하다 감소하는 경향을 나타냈다. HLB value가 모든 반응치에 혼합계면활성제 첨가량이나 유화속도에 비해 상대적으로 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다.

### 3.2. 다중반응 최적화

본 연구에서는 3개의 독립변수에 따른 3개의 반응치를 적용한 최적화과정의 종합만족도 그래프를 Figure 6에 나타내었다. CCD-RSM의 독립변수인 HLB value, 혼합계면활성제 첨가량, 유화속도의 변화에 따라 반응치인 MDS, ESI, TII의 목표치에 부합하는 최적조건을 도출한 결과이다. 그림을 통해 종합만족도(comprehensive satisfaction,  $D$ )는 0.9891로 알 수 있으며, 최적조건은 혼합계면활성제의 HLB value (9.1), 혼합계면활성제 첨가량(8.73 wt%), 유화속도(6,200.8 rpm)로 도출되었다. 각 독립변수를 모두 고려하여 얻은 예상 결과는 MDS (151.0 nm), ESI (99.86%), TII (3.17%)로 나타났다. 이 조건에서의 실제 실험 결과 MDS (156.2 nm), ESI (99.61%), TII (3.20%)로 나타났으며, 오차율은 각각 3.4, 0.3, 0.9%이었다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 Tween-Span계 혼합계면활성제를 이용한 coconut oil의 유화과정을 CCD-RSM을 이용하여 최적화한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 유화액의 MDS, ESI, TII 모두 독립변수 중 HLB value의 영향이 가장 크게 나타났으며, 교호효과도는 (HLB value  $\times$  유화속도)가 크게 나타났다. 하나의 반응치만을 고려한 최적조건은 유화액의 MDS의 경우 HLB value (9.08), 혼합계면활성제 첨가량(8.73 wt%), 유화속도(6,288.8 rpm)로 산출되었으며 유화액의 ESI와 TII의 경우 HLB value = 9.12로 유화액의 MDS에 비해 조금 높게 나타났다.

2. CCD-RSM을 이용하여 3가지 반응치인 유화액의 MDS, ESI, TII를 동시에 만족하는 독립변수의 영향으로 주효과도는 HLB value가 가장 크게 나타났고, 교호효과도는 (HLB value  $\times$  혼합계면활성제 첨가량)이 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 또한 CCD-RSM에 의해 산출된 최적조건은 혼합계면활성제의 HLB value (9.1), 혼합계면활성제 첨가량(8.73 wt%), 유화속도(6,200.8 rpm)이었고, 실제 실험 결과 오차율은 3.5% 이내로 나타났다. 이 조건에서의 예상 반응치는 O/W 유화액의 MDS (151.0 nm), ESI (99.86%), TII (3.17%)로 나타났다.

## References

1. A.-S. Ficheux, M.-P. Gomez-Berrada, A.-C. Roudot, and P.-J. Ferret, Consumption and exposure to finished cosmetic products: A systematic review, *Food Chem. Toxicol.*, **124**, 280-299 (2019).
2. L. M. Katz, K. Dewan, and R. L. Bronaugh, Nanotechnology in cosmetics, *Food Chem. Toxicol.*, **85**, 127-137 (2015).
3. A. C. Dave, A. Ye, and H. Singh, Structural and interfacial characteristics of oil bodies in coconuts, *Food Chem.*, **276**, 129-139 (2019).
4. S. Pengon, N. Chinatangkul, C. Limmatvapirat, and S. Limmatvapirat, The effect of surfactant on the physical properties of coconut oil nanoemulsions, *Asian J. Pharm. Sci.*, **13**(5), 409-414 (2018).
5. A. Nesterenko, A. Drelich, H. Lu, D. Clause, and I. Pezron, Influence of a mixed particle/surfactant emulsifier system on water-in-oil emulsion stability, *Colloids Surf. A*, **457**, 49-57 (2014).
6. L. O. Orafidiya and F. A. Oladimeji, Determination of the required HLB values of some essential oils, *Int. J. Pharm.*, **237**, 241-249 (2002).
7. J. Liang, Y. Qian, X. Yuan, L. Leng, G. Zeng, L. Jiang, L. Shao, Y. Luo, X. Ding, Z. Yang, and X. Li, Span80/Tween80 stabilized bio-oil-in-diesel microemulsion: Formation and combustion, *J. Renew. Energy*, **126**, 774-782 (2018).
8. J. Ponphaiboon, S. Limmatvapirat, A. Chaidedgumjorn, and C. Limmatvapirat, Optimization and comparison of GC-FID and HPLC-ELSD methods for determination of lauric acid, mono-, di-, and trilaurins in modified coconut oil, *J. Chromatogr. B*, **1099**, 1110-116 (2018).
9. M. C. Chalapud, E. R. Bäumlner, and A. A. Carelli, Emulsions of sunflower wax in pectin aqueous solutions: Physical characterization and stability, *Food Res. Int.*, **108**, 216-225 (2018).
10. S. Hong, K. Zhu, C. Zuo, and S. B. Lee, Evaluation of coconut oil-based emulsion stability using Tween-Span type nonionic mixed surfactant, *Appl. Chem. Eng.*, **30**(4), 453-459 (2019).
11. V. Castel, A. C. Rubiolo, and C. R. Carrara, Droplet size distribution, rheological behavior and stability of corn oil emulsions stabilized by a novel hydrocolloid (Brea gum) compared with gum arabic, *Food Hydrocolloids*, **63**, 170-177 (2017).
12. Z. Wang, J. Hong, L. Zhang, and P. Liu, Voltage fault detection and precaution of batteries based on entropy and standard deviation for electric vehicles, *Energy Procedia*, **105**, 2163-2168 (2017).
13. J. Sharma, S. P. Anand, V. Pruthi, A. S. Chaddha, J. Bhatia, and B. S. Kaith, RSM-CCD optimized adsorbent for the sequestration of carcinogenic rhodamine-B: Kinetics and equilibrium studies, *Mater. Chem. Phys.*, **196**, 270-283 (2017).