

Optimization of spray drying condition of *Sikhye* using response surface methodology

Gi Chang Kim*, In Hee Jo, Gyoung Mi Kim, Song Yi Choi, Jin Sook Kim
Department of Agro-Food Resources, NAAS, RDA, Wanju 55365, Korea

반응표면분석법을 이용한 식혜의 최적 분무건조 조건

김기창* · 조인희 · 김경미 · 최송이 · 김진숙
농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부

Abstract

Response surface methodology (RSM) is a statistical procedure frequently used for optimization studies. The purpose of this study was to determine the optimal spray drying condition for manufacturing *Sikhye* powder using RSM. Independent variables included the additive contents of maltodextrin (MD), inlet temperature, and velocity of sample feed velocity. The dependent variables were water uptake (g), solubility (%) and particle size (μm). Regression models describing the changes of water uptake (g), solubility (%) and particle size (μm) with respect to the independent variables were statistically significant with coefficients of determination, R^2 , greater than 0.9. The results indicated that the inlet temperature of the spray dryer was the most important independent variable that affected the water uptake (g), while the additive content of MD and the sample feed velocity had maximum effects on the solubility (%) and particle size (μm) of the *Sikhye* powder, respectively. The optimum final product was expected to have the lowest possible water uptake (g) and particle size (μm) but the highest possible solubility (%). In conclusion, the best spray drying conditions were as follows: additive MD content, 22%; inlet temperature, 140 °C ; and spray dryer sample feed velocity, 51 mL/min.

Key words : spray-drying, *Sikhye*, response surface methodology

서 론

우리나라 전통 쌀음료인 식혜는 밥의 전분을 당화시켜 만든 것으로 단맛과 맥아향을 갖으며 예로부터 널리 애용된 음료이다(1). 식혜는 보리를 침맥, 발아, 건조, 분쇄하여 만든 가루를 일정한 온도와 시간에서 물로 추출하여 엿기름 추출액을 제조하고, 엿기름 추출액을 호화시킨 고두밥과 알맞은 온도와 시간에서 당화시키는 과정을 거친다(2). 이와 같은 과정은 발아시킨 보리로 만든 엿기름에 포함되어 있는 amylase가 밥의 전분을 당화시켜 maltose와 glucose

등이 생성되면서 식혜의 단맛과 특유의 향미를 나타나게 한다(3). 식혜는 1993년 파우치 형태로 시작하여 페트병, 캔음료로 제조되어 대량 유통되었으며 이는 대중음료로 인식을 갖게 하였고 또한 전통음료의 보급과 대중화에 기여하였다(4). 이와 같은 식혜는 전통음식에 대한 관심 증가로 인하여 1995년에는 매출액이 2,800억원까지 증가하여 단일 음료 품목으로는 1위를 기록하기도 하였으나(5), 2000년도에는 690억원(6), 2006년에는 400억원으로 최근 매출액이 크게 감소하는 경향을 보이고 있다(7). 이에 우리나라 전통 음료인 식혜의 소비를 촉진시키며, 쌀소비촉진을 위한 쌀 가공제품의 개선 측면에서 식혜의 형태적, 영양학적인 변화와 새로운 가공학적 접근이 필요한 실정이다. 식혜와 관련하여 보고된 연구는 대부분 천연재료를 첨가하여 기능성을 강화시킨 내용으로, 헛개나무열매 추출물을 첨가한 식혜(8), 가루녹차를 첨가한 식혜(9), 오미자를 첨가한 식혜(10), 옥수수수염 추출액을 이용한 식혜(11), 인삼식혜(12) 등의

*Corresponding author. E-mail : recall@korea.kr
Phone : 82-63-238-3504; Fax : 82-63-238-3841
Received 28 July 2015; Revised 26 August 2015; Accepted 11 September 2015.
Copyright © The Korean Society of Food Preservation. All rights reserved.

연구가 보고됐다.

분무건조는 고온의 chamber안으로 시료를 분사시켜 액상형태의 물질을 미세한 고체입자형태로 연속적으로 변환시키는 건조기술로, 현재 미세캡슐화를 위한 제약, 화학, 식품산업에 널리 쓰이고 있다(13). 이러한 분무건조는 부피의 감량화, 포장비용의 절약, 유통의 편이성, 저장성 향상 등의 경제적인 장점을 가지고 있어 특히 식품분야에서 음료의 분말화에 많이 이용되고 있다(14). 분무건조 시 효율적인 분말화를 위하여 피막물질을 이용하는데 식품에 이용되는 피막물질은 피막형성능과 용해성이 우수하고 식용이 가능한 특성을 가져야 한다(15). 주로 starch, dextrin과 같은 전분이 피막물질로 이용되며 이러한 피막물질은 용해 분산성을 향상시키고 최종 생산되는 분말의 흡습성을 낮출 뿐만 아니라 조직감 개선효과가 있다고 알려져 있다(16). 특히 피막물질 중 널리 쓰이는 maltodextrin(MD)은 분무건조 중 식품의 영양성분, 색, 향미 유지에 효과적이며 비용적인 측면에서 유리하여 산업현장에서 많이 이용되고 있다(16).

본 연구는 전통음료의 소비촉진과 쌀소비확대를 위하여 식체의 편이성, 유통성, 저장성을 향상시키고자 했으며, 이를 위하여 피막물질을 첨가하여 분무건조를 통해 식체를 분말화 하였다. 분무건조 시 피막물질의 첨가량, 분무건조기의 유입온도, 유속 등의 최적조건을 설정 하기위하여 반응표면분석법(response surface methodology, RSM)을 통해 최적점을 갖는 제조법을 확립하였다.

재료 및 방법

재 료

엿기름 가루는 시중에 판매되고 있는 하늘가에(Hamyangnonghyup, Hamyang, Korea) 제품을 마트에서 구입하여 사용하였다. 식체제조에 사용된 쌀은 경기도에서 생산되는 '호품'종을 이용하였다. 식체의 분무건조 시 첨가되는 피막물질은 maltodextrin(TS Corporation)을 이용하였으며, 제조된 식체와 피막물질을 혼합하여 분무건조기(Mini spray dryer B-290, BUCHI Labortechnik AG, Switzerland)를 이용하여 분말화하였다.

엿기름의 β -amylase 활성 측정

엿기름 β -amylase의 활성은 1분당 PNPG5(p-nitrophenylmaltopentaoside)로부터 1 micromole의 p-nitrophenol을 생산할 수 있는 효소의 총량인 betamyl unit로 나타내었다. β -Amylase 활성은 β -amylase kit(Megazyme, Wicklow, Ireland)를 사용하여 MaCleary와 Codd의 Betamyl 방법(17)으로 측정하였다. 엿기름 가루 0.5 g을 100 mL 정용플라스크에 담고 5 mL의 extraction buffer(0.05 M Tris-HCl, 1 mM EDTA)를 넣고 20°C에서 1시간 동안 효소를 추출한 후 1,000×g에서

10분간 원심분리하였다. 상등액 0.2 mL을 10 mL dilution buffer로 희석하여 효소추출액으로 사용하였다. 40°C에서 5분간 미리 incubation 시킨 PNPG5(p-nitrophenylmaltopentaoside)를 포함하는 기질용액 0.2 mL과 효소추출액 0.2 mL을 test tube에 넣고 40°C에서 10분간 반응시켰으며 3 mL의 stopping reagent(1% (w/v) Trizma)를 넣고 혼합하여 반응을 중지시켰다. 반응물의 흡광도는 UV-visible spectrophotometer(UV-2550, Shimadzu, Kyoto, Japan)를 이용하여 410 nm에서 측정하였다.

식체의 제조

엿기름 가루 250 g에 물 2.5 L를 넣고 40°C에서 3시간동안 추출시킨 후 24시간동안 냉장(4°C)시켜 맑은 상층액을 엿기름 추출물로 사용하였다. 쌀 250 g에 물 250 mL을 넣어 고두밥을 지은 다음 여기에 미리 준비한 엿기름 추출물을 넣고 70°C에서 3시간동안 당화시켰다. 이후 당화시킨 식체는 100°C에서 20분간 가열하여 설탕을 첨가하지 않고 시료로 사용하였다.

분무건조의 최적화를 위한 실험계획

당화시킨 식체는 체(100 mesh)를 이용하여 밥알과 고형물을 제거한 후 피막물질인 MD를 혼합하여 분무건조기에 유입하면서 inlet 온도별, 식체의 공급 속도별로 조건을 달리하여 분무건조(Mini spray dryer B-290, BUCHI Labortechnik AG, Flawil, Switzerland) 하였다. 식체의 최적 분무건조 조건을 예측하기 위해 반응표면분석법(RSM)을 실시하였고 실험구는 예비실험 결과를 바탕으로 중심합성계획법(central composite design)을 사용하여 설정하였다. 분무건조에 영향을 미치는 인자(parameter)인 공정의 독립변수(X_n)는 피막물질인 MD 첨가비율(X_1)과 분무건조기의 inlet 온도(X_2), 분무건조기로 유입되는 시료의 공급속도(X_3)로 설정하였고, 독립변수에 대한 실험범위는 예비실험을 통해 5단계(-2, -1, 0, 1, 2)로 부호화하였다(Table 1). 이 후 중심합성계획법으로 도출된 16개의 분무건조 조건을 무작위로 수행하여 분말화된 식체의 흡습량, 용해도, 입자크기를 측정하였다.

Table 1. . Independent variables, and their coded and actual values used for analysis

Symbol ¹⁾	Independent variable	Coded level				
		-2	-1	0	1	2
X_1	Maltodextrin addition ratio (%)	5	10	15	20	25
X_2	Inlet temperature (°C)	120	140	160	180	200
X_3	Flow rate (mL/min)	35	40	45	50	55

¹⁾ X_1 , maltodextrin addition ratio (%); X_2 , inlet temperature (°C); X_3 , flow rate (mL/min).

흡습량

분말화된 식혜 0.5 g을 aluminium dish에 담고 질량을 측정 후 습도를 보정한 데시케이터에서 3시간 보관한 다음 질량을 측정하여 흡수된 수분의 함량을 계산하였다. 습도의 보정은 데시케이터 밑바닥을 일정량의 증류수로 채운 후 24시간 동안 포화시켜 일정한 습도(92%, 20°C)를 유지하였다.

용해도

분말시료 0.5 g에 20 mL의 증류수를 가한 후 1분간 vortex로 혼합시킨 다음 상층액을 제거하고 진 후의 무게 차이를 구한 다음 백분율로 나타내었다. 각 시료는 3번씩 측정하여 평균값을 산출하였다.

입자 크기

분무건조에 의해 건조된 분말의 입자크기를 측정하기 위해 particle size analyzer(HELOS BF&QUIXEL, Sympatec, Clausthal-Zellerfeld, GERMANY)를 이용하여 건식 분석법으로 측정하였으며 각 시료는 3번씩 측정하여 평균값을 산출하였다.

통계처리

반응표면분석은 MD의 첨가비율(X_1), 분무건조기 inlet 온도(X_2), 시료 공급속도(X_3)를 독립변수로 설정하였고 독립변수조건에 대한 분말의 흡습량(Y_1), 용해도(Y_2), 입자크기(Y_3)를 종속변수로 하였다. 또한 이들의 독립변수(X_n)에 영향을 받는 종속변수(Y_n)는 아래와 같은 2차 회귀식으로 나타냈으며, 최적점을 찾기위해 반응표면그래프의 최대점, 최소점, 안장점 및 능선의 형태를 파악하여 예측하였다.

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{11}X_1^2 + b_{21}X_2X_1 + b_{22}X_2^2 + b_{31}X_3X_1 + b_{32}X_3X_2 + b_{33}X_3^2$$

본 실험의 모든 통계분석과 최적화는 MINITAB software (17, Minitab Inc., State College, PA, USA)를 이용하였다.

결과 및 고찰

엿기름의 β -amylase 활성 측정

식혜의 제조에서 전분의 당화에 관여하는 엿기름의 효소 작용은 식혜의 단맛과 풍미에 큰 영향을 미친다. 주로 당화력은 보리종에 따라 큰 차이를 나타내며 α -amylase보다 β -amylase와 높은 상관관계가 있다(18). 본 실험에서 사용한 엿기름의 β -amylase 활성을 측정한 결과 $1,323.01 \pm 76.59$ betamyl unit이었고, 이는 Ryu 등(19)이 보고한 시판중인 엿기름 6종의 효소활성을 측정한 471.2~922.4 unit/g 범위보다 높은 값을 나타낸 결과였다.

분무건조를 이용한 식혜의 분말화

중심합성계획법에 의하여 산출된 16개의 실험구의 처리 조건에 따른 흡습량, 용해도, 입자크기는 Table 2와 같다. 흡습량은 0.023~0.048 g, 용해도는 78.77~96.08%, 분말 입자의 크기는 6.34~13.24 μm 의 범위를 나타냈다. 분무건조를 통한 식혜분말의 독립변수(흡습량, 용해도, 입자크기)에 대한 회귀분석식은 Table 3과 같으며 흡습량은 $p < 0.001$, 용해도는 $p < 0.05$, 입자크기는 $p < 0.001$ 수준에서 유의성이 인정되었다. 피막물질을 첨가한 식혜의 분무건조 시 각 변수의 F ratio는 Table 4에 나타내었다.

Table 2. Experimental points of the central composite design and the experimental data of *sikhye* manufacture under different conditions based on the central composite design for response surface analysis

No.	X_1	X_2	X_3	Water uptake (g)	Solubility (%)	Particle size (μm)
1	15	140	40	0.033±0.001	91.71±1.53	10.09±0.21
2	25	140	40	0.028±0.004	92.71±7.34	11.32±0.06
3	15	180	40	0.041±0.003	93.46±5.05	10.41±0.07
4	25	180	40	0.039±0.001	89.32±0.8	11.42±0.54
5	15	140	50	0.029±0.003	87.9±6.26	6.34±0.1
6	25	140	50	0.026±0.004	90.79±5.23	7.03±0.06
7	15	180	50	0.039±0.001	89.88±3.79	6.94±0.06
8	25	180	50	0.034±0.002	93.35±1.91	7.48±0.07
9	10	160	45	0.038±0.001	83.77±3.38	7.31±0.11
10	30	160	45	0.031±0.003	78.77±4.69	8.79±0.14
11	20	120	45	0.023±0.003	88.53±2.51	7.29±0.24
12	20	200	45	0.048±0.003	85.9±5.27	8.31±0.39
13	20	160	35	0.038±0.001	89.99±1.45	13.24±0.33
14	20	160	55	0.031±0.002	93.19±1.77	7.35±0.1
15	20	160	45	0.036±0.003	95.52±0.95	8.42±0.52
16	20	160	45	0.036±0.002	96.08±1.61	8.51±0.09

흡습량

분말제품의 흡습특성은 저장기간 중 품질변화에 큰 영향을 미치며 흡습성이 크면 caking 현상 발생을 유도하고 저장 안정성이 낮아진다고 보고되었다(20). 본 실험의 처리조건에 따른 분무건조 식혜의 흡습량에 대한 반응표면 회귀식의 R^2 값은 0.97였고 $p < 0.001$ 이내에서 유의성이 인정되었다. 예측된 정상점은 안장점으로 MD 24.03%, inlet 온도 125.5 $^{\circ}\text{C}$, 시료 공급속도 48.09 mL/min이며 흡습량은 0.022 g였다. 흡습량은 inlet 온도에 유의적으로 가장 큰 영향을 받았으며 maltodextrin 첨가, 시료의 공급속도의 순으로 나타났었다. Table 3의 회귀식과 같이 일차항에서 독립변수인 피막물질 MD 첨가량과 분무건조기의 inlet 온도는 분말식혜의 흡습량에 감소요인으로 나타났고 분무건조기로 유입

Table 3. Polynomial equation calculated by RSM for spray drying of *Sikhye*

Responses	The second order polynomial ¹⁾	R ²	P value
Water uptake (g)	$Y_1 = -0.012106 - 0.000265X_1 + 0.000250X_2 + 0.000844X_3 - 0.000011500X_1^2 + 0.000002500X_2X_1 - 0.0000000625X_2^2 - 0.000000667X_3X_1 - 0.000000167X_3X_2 - 0.000012667X_3^2$	0.9692	0.0007
Solubility (%)	$Y_2 = 13.549494 + 3.826078X_1 + 0.457426X_2 + 0.424220X_3 - 0.145287X_1^2 + 0.011879X_2X_1 - 0.005364X_2^2 + 0.021673X_3X_2 - 0.042059X_3^3$	0.9157	0.0038
Particle size (µm)	$Y_3 = 59.034028 + 0.450083X_1 + 0.057847X_2 - 2.350111X_3 - 0.004167X_1^2 - 0.001267X_2X_1 - 0.000416X_2^2 + 0.002267X_3X_2 + 0.018283X_3^2$	0.9706	0.0001

¹⁾Y = b₀+b₁X₁+b₂X₂+b₃X₃+b₁₁X₁²+b₂₂X₂²+b₃₃X₃²+b₃₁X₁X₃+b₃₂X₂X₃+b₃₃X₃².

Table 4. Regression analysis of variables used to determine optimal spray drying conditions

Responses	F-Ratio		
	X ₁	X ₂	X ₃
Water uptake (g)	4.30*	39.14***	3.85*
Solubility (%)	20.76***	7.88**	3.68*
Particle size (µm)	3.94*	0.80	52.30***

*Significant at 10% level; **Significant at 5% level; ***Significant at 1% level.

Table 5. Predicted values of optimum condition of maximized and minimized responses to variables by ridge analysis of their response surface

Responses	Extraction condition				Morphology
	X ₁	X ₂	X ₃	Estimated responses	
Water uptake (g)	24.03	125.55	48.09	0.022	saddle
	18.07	197.95	42.50	0.046	
Solubility (%)	12.08	182.15	42.44	79.83	maximum
	19.38	152.92	44.30	95.93	
Particle size (µm)	14.51	137.00	51.07	5.78	saddle
	21.07	155.71	35.12	13.81	

되는 시료의 공급 속도는 증가요인으로 나타났다. 또한 MD의 첨가량과 분무건조기 inlet 온도는 긍정적 상호작용을 보인 반면에 분무건조기의 시료 공급속도는 MD의 첨가량과 inlet 온도와 부정적 상호작용을 나타냈다. Kelly 등(21)은 분무건조 시 inlet의 온도가 높아짐에 따라 분말의 수분함량과 수분활성도가 높아진다고 보고하였으며 본 실험에서도 inlet 온도가 높을수록 흡습량이 증가하였으며 이는 생산된 분말의 초기 수분함량이 낮아 더 많은 수분을 흡습한 것으로 생각된다.

용해도

식혜분말의 용해도에 대한 반응표면 회귀식의 R²값은 0.92였고 p<0.05의 수준에서 유의성이 인정되었으며 반응표면그래프는 Fig. 2에 나타내었다. 종속변수인 용해도와 3가지 독립변수와의 관계는 MD 첨가량에 대한 영향이 가

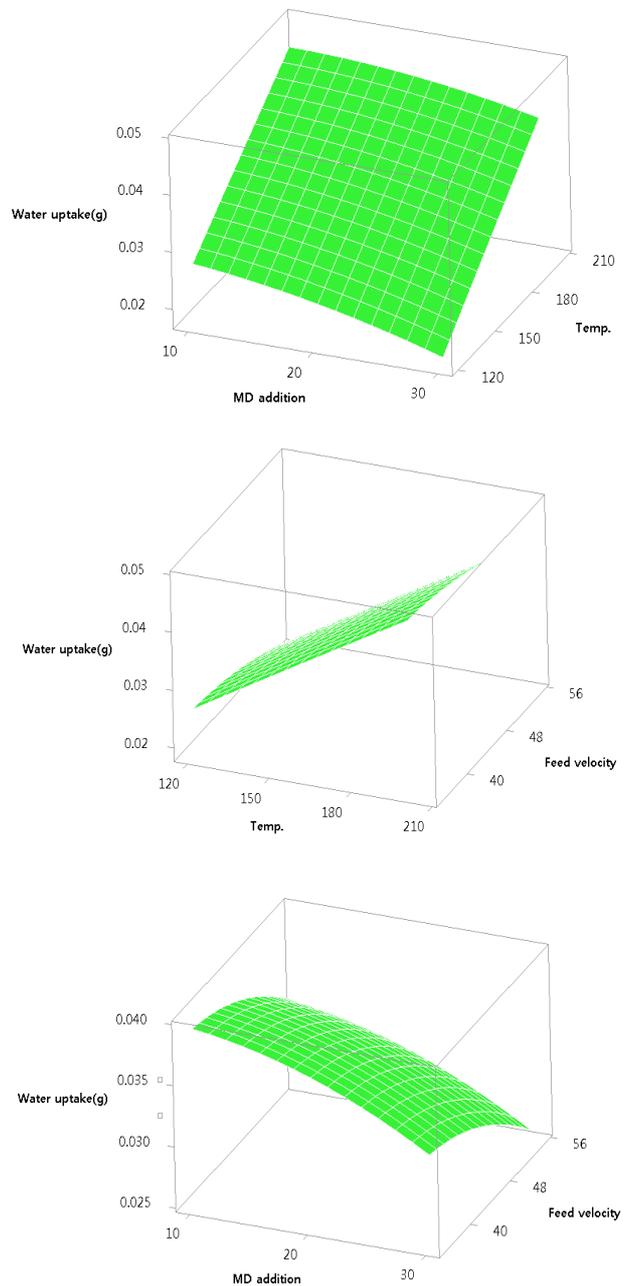


Fig. 1. Response surface analysis for the effects of spray drying conditions on water uptake (g) of *Sikhye* powder.

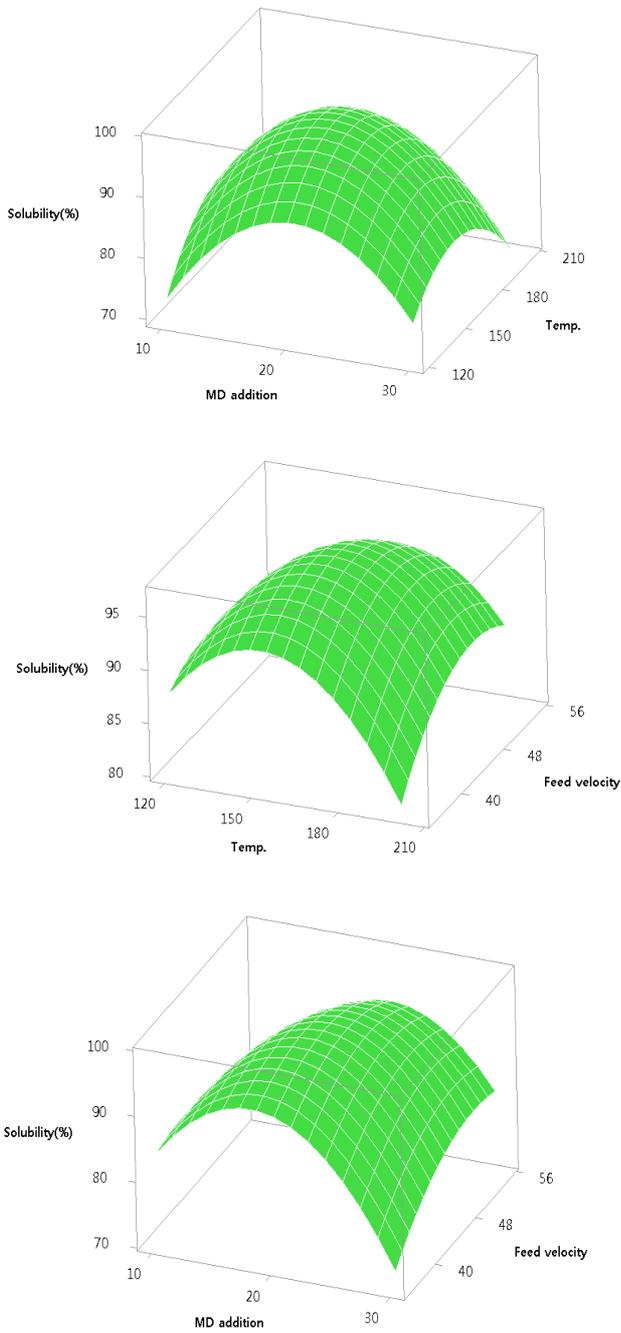


Fig. 2. Response surface analysis for the effects of spray drying conditions on solubility (%) of *Sikhye* powder.

장 컸으며 inlet 온도, 공급속도 순이었다(Table 4). 예측된 정상점은 MD 19.38%, inlet 온도 152.92°C, 시료 공급속도 44.30 mL/min 일 때 최대값 95.93%로 예측되었다. 독립변수인 MD첨가량과 inlet 온도는 서로 긍정적인 상호작용을 보였으며 inlet 온도와 시료 공급속도도 긍정적인 상호작용을 보였다. Fig. 2와 같이 MD의 첨가량이 많아질수록 유의적($p < 0.001$)으로 분말식체의 용해도는 감소하는 경향을 보

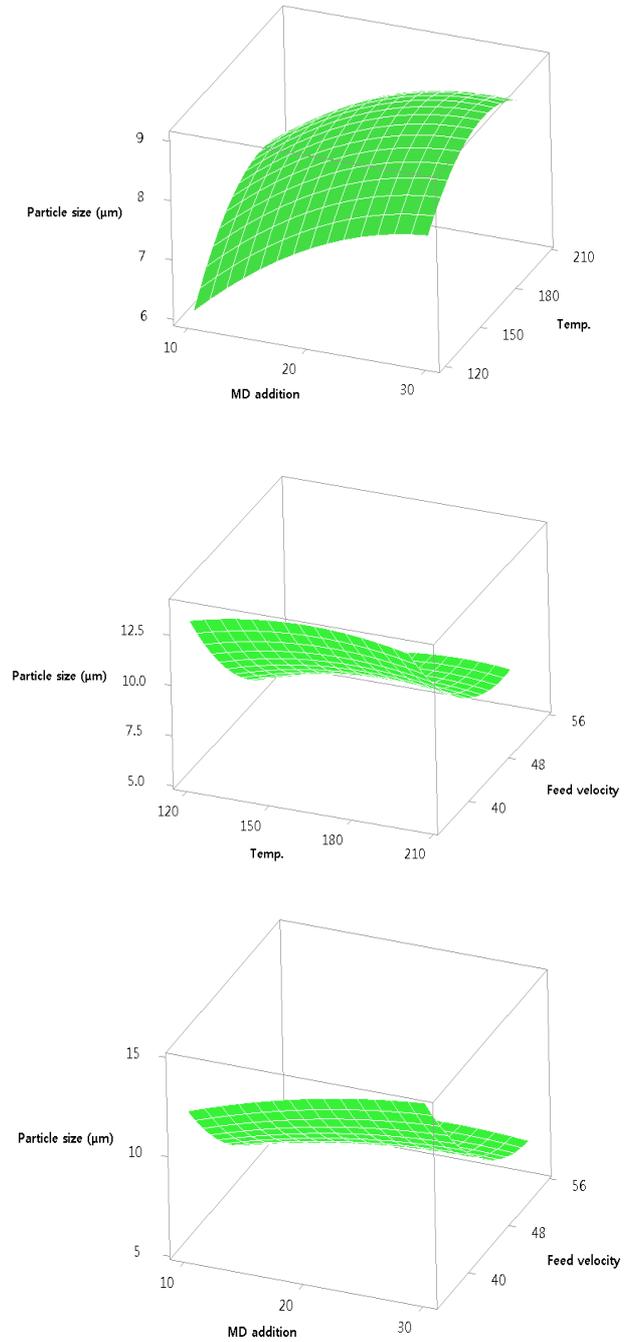


Fig. 3. Response surface analysis for the effects of spray drying conditions on particle size (μm) of *Sikhye* powder.

였다. 일반적으로 망고나 파인애플 주스의 분무건조 시에도 말토덱스트린의 첨가량이 많아질수록 건조분말의 용해도가 감소하는 경향을 보인다고 하였으며 이는 말토덱스트린과 같은 첨가제가 용해될 때 덩어리를 형성하여 용해도를 감소시키는 것으로 추정하였다(22,23). 또한 Fig. 2의 반응표면 그래프와 같이 MD의 첨가량을 고정했을 때 inlet의 온도가 높을수록 용해도가 증가하는 경향을 나타냈다. 이

는 분무건조기의 inlet 온도가 높을수록 빠른 증발로 인해 건조된 분말입자가 용적밀도(bulk density)가 낮아지는 다공성 입자구조를 갖는 것(24)에 기인하는 것으로 보인다.

입자 크기

분말제품은 입자의 크기는 작을수록 내부물질의 포집에 유리하다는 연구결과가 있으며, 작은 입자는 표면적이 넓어져 수화에 용이한 이점이 있다(25). 건조 조건에 따른 분말 입자크기에 대한 회귀식은 Table 3에 나타내었으며 R²는 0.97로 p<0.001수준에서 유의성이 인정되었다. 그리고 예측된 최소점은 maltodextrin 첨가 함량 14.51%, inlet 온도 137℃ 그리고 공급 속도 51.07 mL/min일 때 최소값 5.78 μm로 예측되었다(Table 5). 분말입자의 크기는 독립변수 중 분무건조기로 유입되는 시료의 공급속도가 유의적으로 가장 큰 영향을 미쳤고, 그 다음으로 MD 첨가 함량의 영향력이 컸다(Table 4). Table 3의 회귀식과 같이 일차항에서는 피막물질 MD 첨가량과 분무건조기의 inlet 온도는 분말식혜의 입자크기에 증가요인으로 나타났고 시료의 공급속도는 감소요인으로 나타났다. 이차항에서는 MD 첨가량과 inlet 온도는 분말식혜 입자크기에 감소요인으로, 시료 공급속도는 증가요인으로 나타났다. 그리고 MD의 첨가량과 분무건조기 inlet 온도는 부정적 상호작용을 보인 반면에 inlet 온도와 시료 공급속도는 긍정적 상호작용을 나타냈다. Fig. 3의 반응표면 그래프와 같이 분말식혜 입자크기에 가장 영향력이 큰 분무건조기의 시료 공급속도는 유입속도가 증가할수록 입자의 크기는 작아지다가 다시 증가하는 경향을 보였다. 이는 시료의 공급속도가 높을수록 단위시간당 분무되는 시료의 양이 많아지고 한계이상의 분무량은 건조되는 입자간의 뭉침현상을 높여 입자 크기가 커지게 하는 것으로 추정된다. 또한 외국 선행연구에서는 inlet 온도가 증가할수록 분말입자의 크기가 증가한다고 보고(26)하여 본 실험결과와 유사하였으나, 통계적으로 분무건조기의

inlet 온도는 최종 생산되는 분말 입자크기에 유의적인 영향을 미치지 않는 것으로 보였다.

식혜 분말화 조건의 최적화

식혜 분말화의 최적조건 설정을 위하여 독립변수는 MD의 첨가량, 분무건조기의 inlet 온도, 분무건조기 내로 유입되는 시료의 공급속도로 설정하고 반응변수로는 흡습량(g), 용해도(%), 분말입자의 크기(μm)로 설정하였다. 최종 산물인 식혜분말은 낮은 흡습량과 작은 크기의 입자를 갖고 높은 용해도를 갖는 품질을 최적으로 고려하였다. 그래서 각 반응변수의 최적점 조건으로 최적화한 결과 Fig. 4와 같이 MD 22% 첨가, inlet 온도 140℃, 그리고 시료의 공급속도는 51 mL/min로 결정되었다. 이때 입자의 크기는 6.8 μm, 용해도는 92%, 흡습량은 0.03 g으로 나타났다.

요 약

본 연구는 식혜의 편이성, 유통성, 저장성을 향상시키기 위하여 피막물질을 첨가하고 분무건조를 통하여 분말화를 하고자 하였다. 최적조건 설정을 위하여 반응표면분석법을 이용하였으며 독립변수는 피막물질 maltodextrin의 첨가량(%), 분무건조기의 inlet 온도(℃) 그리고 분무건조기내 시료의 공급속도(mL/min)로 설정하였으며 이에 따라 영향을 받는 반응변수는 분말의 흡습량(g), 용해도(%), 입자크기(μm)로 설정하였다. 각 반응변수에 따른 회귀식은 흡습량은 p<0.001, 용해도는 p<0.05, 입자크기는 P<0.001 수준에서 유의성이 인정되었다. 그리고 각 독립변수와 종속변수의 영향을 나타내는 반응표면그래프를 이용하여 최적 분말화 조건을 예측한 결과 각 종속변수 최적점인 MD 22%, 분무건조기의 inlet 온도 140℃ 그리고 분무건조기 내로 유입되는 시료의 공급속도는 51 mL/min로 예측되었다.

감사의 글

이 연구는 농촌진흥청 국립농업과학원 기관연구사업(과제번호 PJ01094701)에 의해 지원된 것이며, 그 지원에 감사드립니다.

References

1. Yook C, Cho SC (1998) Application of heat/moisture treated riced for Sikhe preparation. Korean J Food Sci Technol, 28, 1119-1125
2. Lee WJ, Kim SS (1998) Preparation of sikhe with brown

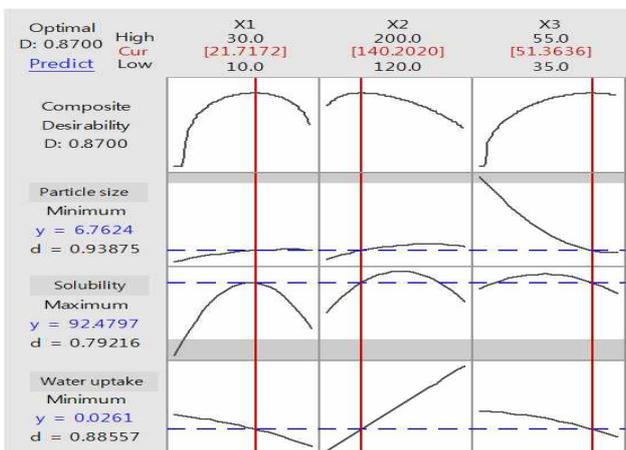


Fig. 4. Process optimization curve for spray drying conditions of Sikhye powder.

- rice. Korean J Food Sci Technol, 30, 146-150
3. Moon SJ, Cho HJ (1978) A scientific student on Sikhe. J Korean Home Economics Association, 16, 43-49
 4. Seo JH, Lee KS, Oh SH, Kim MR (2002) The opinion of food and nutrition specialists about the qualities of commercial Sikhe. J Korean Soc Nutr, 31, 945-951
 5. Ann YG, Lee SK (1996) Some problems of Sikhe production and an improvement method of Sikhe quality. Korean J Food Nutr, 9, 45-51
 6. Yoon YJ (2001) A study on the case for forefront brand marketing for tradition drink sales promotion : focusing on the rice nectar. MS Thesis. University of Hanyang, Seoul, Korea, p 20
 7. Kim UK (2005) Market trends of beverage. In: Food World. Korea Food Information Institute, Seoul, Korea, p 62, 64-72
 8. Kim HH, Park GS, Jeon JR (2007) Quality characteristics and storage properties of Sikhe prepared with extracts from *Hovenia dulcis* THUNB. Korean J Food Cookery Sci, 23, 848-857
 9. Park SI (2006) Application of green tea powder for Sikhe preparation. Korean J Food Nutr, 19, 227-233
 10. Lee JH (2001) Quality of Sikhe incorporated with hot water extract of Omija (*Schisandra chinensis* Ballou) fruit. Food Eng Prog, 15, 80-84
 11. Cho KM, Joo OS (2010) Manufacture of Sikhe (a traditional Korean beverage) using corn silk extracts. Korean J Food Preserv, 17, 644-651
 12. Hur SS (2007) Change in the composition of ginseng Sikhye during the saccharification process. Korean J Food Preserv, 14, 650-654
 13. Tan LH, Chan LW, Heng PWS (2005) Effect of oil loading on microspheres produced by spray drying. J Microencapsul, 22, 253-259
 14. Wang S, Konkol E (2011) Spray drying of fruit juice using proteins as additives. Dry Technol, 29, 1868-1875
 15. Reinccius GA (1991) Carbohydrates for flavor encapsulation. Food Technol, 45, 144-150
 16. Rodriguez HGR, Gonzales GR, Grajales LA, Ruiz CM (2005) Spray-drying of cactus pear juice : effect on the physicochemical properties of powder and reconstituted product. Dry Technol, 23, 955 - 973
 17. McCleary BV, Codd R (1989) Measurement of β -amylase in cereal flours and commercial enzyme preparations. J Cereal Sci, 9, 17-33
 18. Lee YT, Seo SJ, Chang HG (1999) Quality characteristics of barley varieties related to enzymatic activity in malt. Korean J Food Sci Technol, 31, 1421-1426
 19. Ryu BM, Kim JS, Kim MJ, Lee YS, Moon GS (2008) Comparison of the quality characteristics of Sikhe made with N2-circulated low-temperature dry malt and commercial malts. Korean J Food Sci Technol, 40, 311-315
 20. Chung HS, Hong JH, Youn KS (2005) Quality characteristics of granule prepared by protein-bound polysaccharide isolated from *Agaricus blazei* and selected forming agents. Korean J Food Preserv, 12, 247-251
 21. Kelly GM, O'Mahony JA, Kelly AL, O'Callaghan DJ (2014) Physical characteristics of spray-dried dairy powders containing different vegetable oils. J Food Eng, 122, 122-129
 22. Jaya S, Das H (2004) Effect of maltodextrin, glycerol monostearate and tricalciumphosphate on vacuum dried mango powder properties. J Food Eng, 63, 125 - 134
 23. Abadio FDB, Domingues AM, Borges SV, Oliveira VM (2004) Physical properties of powdered pineapple (*Ananas comosus*) juice effect of maltodextrin concentration and atomization speed. J Food Eng, 64, 285-287
 24. Walton DE (2000) The morphology of spray-dried particles. A qualitative view. Dry Technol, 18, 1943-1986
 25. Rosenberg M, Kopelman IJ, Talmon Y (1990) Factors affecting in spray-drying microencapsulation of volatile materials. J Agric Food Chem, 50, 139-144
 26. Renata VT, Catherine B, Míriam DH (2008) Influence of process conditions on the physicochemical properties of açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) powder produced by spray drying. J Food Eng, 88, 411-418