

Wheel형 분무건조기에서 반응표면법에 의한 치즈 분말의 특성 해석

강 안 수 · 여 경 목* · 김 용 렬 · 김 복 남** · 안 형 환*** · 이 한 섭****

명지대학교, *중앙케미칼(주), **한림전문대학, ***충주산업대학교, ****용인대학교
(1996년 8월 13일 접수, 1996년 10월 18일 채택)

Analysis of Powder Characteristics of Cheese by Using RSM in Spray Dryer with Rotating Wheel Atomizer

An-Soo Kang, *Kyung-Mok Yeo, Yong-Ryeol Kim, **Bok Nam Kim,
Hyung-Hwan An, and * Han-Seob Lee

Dept. of Chem. Eng., Myong Ji Univ., Yongin 449-728, Korea

*Ind. of Jungang Chem., Yesan, Chung Nam 340-830, Korea

**Dept. of Traditional Cuisine, Hallym Junior College, 200-850, Korea

***Dept. of Ind. Safty Eng., Chung Ju Ind. Univ., Chung-Ju 383-870, Korea

****Dept. of Environmental & Health, Yongin Univ., Yongin 449-718, Korea

(Received August 13, 1996, Accepted October 18, 1996)

요 약 : Wheel형 분무건조기에서 식품첨가제로 사용되는 치즈분말의 건조공정을 반응표면법에 의하여 원료의 고형분함량, wheel 회전속도 및 출구온도를 독립변수로 하고 분말제품의 수분함량, 겔보기밀도, 분말 입자크기 및 현탁액의 점도를 종속변수로 하여 중심합성계획법에 따라 분산분석한 후 유의성과 상관관계를 검증하였다. 독립변수와 종속변수들의 상관관계를 검증한 결과 입자크기와 수분함량은 wheel의 회전속도가 커질수록 감소하였고, 겔보기밀도는 출구온도가 높아짐에 따라 감소하였다. 현탁액의 점도는 wheel의 회전속도와 고형분함량이 커짐에 따라 증가하였다. 분말제품의 종속변수들의 상관관계에서 수분함량과 겔보기밀도는 비례 관계, 입자크기는 수분함량과 겔보기밀도와 반비례의 관계를 나타내었다.

Abstract: In the spray drying with rotating wheel atomizer of cheese powder, the relationships among variables were analyzed with Response Surface Methodology in which several independent variables such as total solid content, wheel rotation speed, and outlet temperature influenced dependent variables such as particle diameter, moisture content, bulk density, and viscosity of suspended liquid. Significance and correlation were tested according to central composite design. As a results of analyzing the correlations between independent and dependent variables, particle diameter and moisture content of cheese powder were decreased with increasing wheel rotation speed, and bulk density was decreased with increasing outlet temperature. Viscosity of suspended liquid were increased with increasing wheel rotation speed and total moisture content. In correlation among dependent variables, moisture content was proportional to bulk density, and particle diameter was inversly proportional to moisture content and bulk density.

1. 서 론

식품첨가제로 사용되는 치즈분말의 분무건조시 분말의 물성치 즉, 입자의 크기, 수분함량, 겔보기밀도 및 분말을 물에 용해시의 현탁액의 점도 등은 식품제조시 사용되는 식품첨가제로서 가장 중요한 인자로서 건조기의 형태, 원료특성 및 운전조건에 따라서 크게 변화한다[1-3].

그러나 제품과 건조기 형태에 따라 공정변수가 매우 많고 복잡하기 때문에 서로간의 상호관계를 이론적으로 관련시키거나 비교하기가 어렵다. 그러므로 통계학적인 방법을 이용하여 분말제품의 물성치와 공정변수를 연관시켜 분무 건조기를 이용한 식품첨가물 제조시 최적공정을 규명할 필요가 있다.

식품의 분무건조에 관한 연구로 大川原[3]은 각종 원료를 이용하여 제품을 건조할 때 제품의 특성에 적합한 분무기(atomizer)의 선택, 입도분포 및 건조제품의 특성에 대하여 총람하였고, Westergarrd[4]는 단백질, 탄수화물, 유지 및 기타 성분에 따른 분무건조기의 형태에 대하여 연구하였다. Dziezak[5]은 쇠고기, 비타민 등 여러 성분을 분무건조로 microencapsulation하여 건조방법과 건조제품의 물성에 대하여 보고하였다.

식품첨가제의 분무건조를 성분별로 보면 戸田[6]은 혈장분말의 제조법과 특성에 대하여 보고하였고, 福田[7]와 長谷川[8]은 분말유지의 제조법과 기능에 대하여 연구하였다. Knightly[9]는 건조방법에 따른 커피프림의 물성치에 대하여 보고하였다. 그러나 양파[10], 코코넛[11] 및 Sour크림[12] 등과 같이 대부분의 식품 또는 식품첨가제는 분무건조 조건이 복잡하여 특허로 보고되어 있는 실정이다.

분무액적의 크기 및 분포는 분무기에 따라 큰 영향을 받으며 회전분무기는 날개달린 바퀴(vaned wheel)형과 날개가 없는 disk형, cup형의 분무기로 나눌 수 있는 바 치즈분말의 건조에서는 날개달린 바퀴(wheel)형 분무기를 보통 이용한다[3]. Wheel형 분무건조에서 입자크기 및 입자분포에 관한 연구는 Marshall[13]과 Master[14]에 의한 총람에 보고되어 있고, Adler와 Marshall[15, 16]이 7개의 다른 분무기를 이용하여 wheel 회전속도, 급액속도 및 공기펌핑에 따른 무게분율 기준 분포함수, 소요동력을 연구하였다.

반응표면분석법(Response Surface Methodology,

RSM)에 관한 연구는 Meyer[17]와 Montgomery[18]에 의한 저서가 있으며 SAS(Statistical Analysis System)에 관한 저서[19]가 있을 뿐, 현재까지 분무건조에 적용한 예는 없었다.

식품의 제조에 반응표면법을 이용한 연구로 Henika[20]는 곡물의 사출 성형 가공시 기계적 기능과 제품과의 관계를 규명하였고, Tsao 등[21]은 성형 사출기의 부품인 스크류의 종류에 따라 수학적인 유동 에너지의 모델과 실험 자료를 반응표면법을 이용하여 밝혔다.

본 연구에서는 치즈의 분무건조의 공정변수 즉, 원료의 고품분함량, 건조기의 출구온도 및 wheel의 회전속도에 따라 생성되는 분무건조 분말제품의 물성치 변화, 즉 분말 입자의 크기, 수분함량, 겔보기밀도 및 현탁액의 점도 등을 통계적 방법인 반응표면분석법을 이용하여 공정의 최적 예측모델을 설정하였다.

2. 반응표면법을 이용한 근사모델

반응표면법은 두 개 이상의 회귀변수(독립변수)가 복합적으로 반응변수(종속변수, response)에 영향을 미칠 때 이 반응변수가 이루는 반응표면에 대한 통계적 분석을 하고 이에 관련된 설계를 하는 방법이다[17, 18]. 반응표면분석에서는 회귀분석에서와 같이 회귀변수와 반응변수 간의 함수관계로부터 회귀변수 변화에 따른 반응량을 예측하는 동시에 반응량이 최대, 최소 또는 최적이 되는 회귀변수의 값을 추정하고 또 이러한 과정을 가장 합리적으로 할 수 있는 공정의 설계를 다룰 수 있다. 실험의 위치가 어느 정도 최적점에 가까워지면 변곡이 있는 반응표면을 다루어야 하는데 2차 또는 그 이상 차수의 모델이 필요하다. 회귀독립변수(공정변수)와 반응변수간의 분석은 회귀분석법(regression method)을 이용한 반응표면분석법(RSM)을 이용하였다. 즉, 수분함량(x_1), wheel의 회전속도(x_2), 건조기의 출구온도(x_3)의 세 가지 회귀독립변수와 반응변수 즉, 건조분말의 입자의 크기(y_1), 건조후 수분함량(y_2), 겔보기밀도(y_3) 및 현탁액의 점도(y_4) 등 여러 인자와의 관계를 다음과 같은 2차 회귀모델로 추정하였다.

2차 모델의 일반적인 형태는 식(1)과 같다.

$$y_i = \beta_0 + \sum \beta_1 x_i + \sum \beta_2 x_i^2 + \epsilon \quad (1)$$

본 연구에서는 회귀변수가 3으로 $k=3$ 이면 식(1)

Table 1. Level of Variables for Experimental Design

Definition Variables	level		
	-1	0	1
Moisture Content(x_1)	36	43	50
Wheel Rotation Speed(x_2)	9000	12000	15000
Outlet Temperature(x_3)	85	90	95

을 이용하여 구할 수 있다. 여기에서 추정된 반응치의 최대 또는 최소점이 존재할 때 그 점을 구하려면 벡터 y 를 x 로 편미분하여 0으로 놓을 때 각각 x_0 , y_0 라고 한다면 다음과 같다.

$$y_0 = \beta + x_0\beta + Bx_0 \quad (2)$$

여기에서 β , β_0 , B 및 ε 는 벡터양과 오차이다. 상기의 값들을 정지점(stationary point)이라고 하며, 정지점에는 최대점, 최소점 및 안부점(saddle point)의 세 경우가 있는데, 그 특성은 정준분석(canonical analysis)을 통하여 알 수 있다. 2차 모델을 적용하기 위해서는 각 인자가 최소한 세 개 이상의 수준을 가져야 하며 이를 위하여 가장 널리 사용되는 실험계획법은 중심합성계획(central composite design)이다. 본 연구에서는 예비실험을 통하여 얻어진 독립변수들 x_1 , x_2 및 x_3 의 실험구간은 Table 1과 같이 설정하고 2^3 요인 계획으로 하였다. 따라서 $k=3$ 이므로 본 실험에서 행한 총 실험수는 다음과 같이 15개로 하였다.

$$n = 2^k + 2^k + n_0$$

이때 요인 실험점 (2^k)은 8개, 축점 (2^k)은 6개, 중심점 (n_0)은 1개이다. 이에 따른 직교 배열표에 의하여 Table 1의 조건 범위에서 설정하였다.

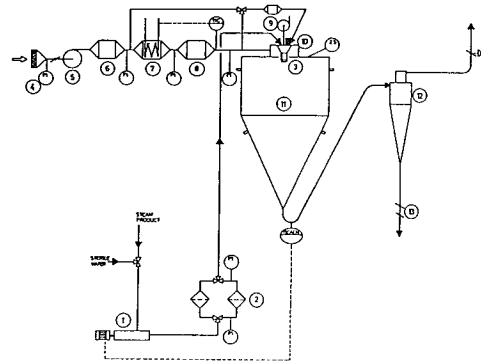
3. 실험재료 및 방법

3.1. 실험재료

본 실험에 사용한 치즈분말을 만들기 위하여 주원료인 연성가공치즈(우리유업(주))를 사용하였고 분말의 안정화와 균질화를 위하여 부원료로 선일포도당에서 구입한 물엿(말토덱스트린), 카제인염, 야자경화유, 제2인산염, 소금 및 조미료 등을 사용하였다. 이때 건조후의 제품의 성분과 조성은 전체 고형분 함량 50%, 조지방(crude fat) 29%, 조단백질 5%, 탄수화물 15% 및 pH 6.1이었다.

Table 2. Dimensions of Spray Dryer

Specification	Dimensions
• Drying Chamber	Diameter : 5,000mm Cylindrical Height : 6,120mm Conical Height : 4,070mm Conical Angle : 60°
• Atomizer	Type : OCA 201W Wheel Dia. : 155mm Number of Pin : 24 Pin Height : 16mm
• Fan and Blower	Type : Turbo Fan Air Flow Rate : 70m ³ /min(150mm Aq.)
• Air Heater	1,270,000 kcal/hr
• Exhaust Fan	Type : Turbo Fan Air Flow Rate : 118m ³ /min(300mm Aq.)



1. Pump
2. Double filter
3. Wheel rotation atomizer
4. Prefilter
5. Fan
6. Air filter
7. Heater
8. Final filter
9. Fan
10. Air distributor
11. Drying chamber
12. Cyclone
13. Power valve

Fig. 1. Schematic diagram of spray dryer.

3.2. 실험장치

본 실험에 사용한 분무 건조기는 일본 Ohkawara Kakohki사 Model ODA-50형의 wheel형의 병류건조기로서 Fig. 1과 같이 건조실, 분무기, 송풍기, 공기 가열기 및 배기 팬으로 구성되어 있다. 건조실의 높이는 10m, 직경은 5m이었고, 분무기는 회전 바퀴형 분무기로 wheel의 직경은 155mm, wheel의 pin수는 24개, pin의 높이는 16mm이었다. 분무건조기의 주요 제원은 Table 2와 같다.

3.3. 분말의 제조방법

미립 균질화시킨 전처리 원료(고형분함량 36~50%)를 분무건조기에 공급하여 입구온도 170~180, 출구온도 85~95°C, wheel speed 9,000~15,000rpm 조건에서 분무건조하여 분말제품을 얻었다. 주원료인 연성가공치즈와 부원료인 카제인염, 야자경화유 및 물엿 등의 식품첨가제를 자동배합기에 투입하여 50~60°C에서 30~60분간 1,800rpm으로 혼합, 1차 균질화시킨후 여과기를 경유하여 2차 2단계 균질기(1단 200kg/cm², 2단계 50kg/cm²)를 이용하여 미립 균질화하였다.

3.4. 분무건조 분말 제품의 물성치 측정

수분, 조단백질, 조지방 및 탄수화물 등 일반 물성의 측정에는 AOAC법을 이용하였다[26].

분무건조 분말의 입자크기는 체분석에 의하여 무게기준에 의하여 측정하였으며, 무게평균직경(D_w)의 측정에는 10μm에서 110μm까지의 체를 이용하여 20분간 체분리한 다음 각각의 체에 존재하는 분무건조 분말의 중량을 측정하여 무게분율을 계산하여 일반적인 식에 의하여 무게평균직경을 구하였다[15]. 이때 각 증분에서의 평균직경은 산술평균하였다. 겉보기 밀도 측정에는 분무 건조물을 메스실린더에 충전시킨 후 평형이 될 때 시료의 질량과 부피를 측정하여 계산하였다. 분말현탁액의 점도 측정은 측정시료는 분무건조 분말을 10wt% 농도의 수용액으로 만들어 제조하였고, 시료 현탁액의 점도측정은 회전점도계(Brookfield, RVF-96865)를 사용하여 20°C 항온조에서 회전속도 0.5~128rpm으로 변화시켜 속도구배와 회전우력의 변화에 따른 전단응력을 비교하여 측정하였다.

3.5. 반응표면법을 이용한 통계처리

통계분석은 원료의 고형분함량, 분무건조기 wheel 회전속도 및 출구온도를 독립변수로 하고 분말제품 입자크기, 수분함량, 겉보기밀도 및 분말 현탁액의 점도를 종속변수로 하여 각 종속변수에 대한 독립변수들의 주효과와 교호작용을 5% 유의수준범위로 분산분석한 후 t-검정하여 시료간의 유의성을 검정하였으며 각 종속변수들 간의 상관관계를 분석하였다. 이때 사용한 컴퓨터 프로그램은 VAX 11/785 software SAS version 5.18(Digital Equipment corporation, DEC, U.S.A.)로서, 이용한 software는 ANOVA(Analysis of

Table 3. Results of t-tests between Total Solid Content and Dependent Variables for Spray Dried Products

Independent Variable \ Dependent Variable	Total Solid Content(x ₁)[%]			LSD _{0.05}
	36	43	50	
MC	2.433 ^c	3.314 ^b	4.179 ^a	0.2876
BD	0.392 ^c	0.425 ^b	0.518 ^a	0.0180
PD(D _w)	70.200 ^b	81.760 ^a	84.940 ^a	3.3370
VIS	12.520 ^b	11.910 ^a	12.970 ^a	0.9707

* Means with the same letter are not significantly different

variance), CORR(Correlation), RsREG(Response Surface Regression), G3D(Graphic 3-Dimension)이었다[19].

4. 결과 및 고찰

4.1. 반응 표면법에 의한 분무건조 운전조건 변수의 유의성 변화

독립변수의 변화에 따라 건조 분말제품 수분함량은 1.2~4.8%이었고, 겉보기밀도 0.321~0.594, 무게평균직경 66.6~91.6μm 및 현탁액의 점도 10.4~14.6 cP의 모 데이터로 이용하여 분무건조 운전조건 변수의 유의성, 종속 변수간의 상관관계 및 독립변수와 종속변수의 회귀분석을 검토하였다.

4.1.1. 독립변수와 종속변수간의 상관관계

각 독립변수들에 따른 종속변수별로 분산 분석한 후 t-검정을 한 후 시료간의 유의성을 검토하였다.

Table 3은 원료의 고형분함량에 따른 종속변수 즉, 분무건조 분말의 물성치의 평균적인 변화로서 고형분함량이 증가할수록 분무건조 분말의 수분함량, 겉보기밀도 및 입자크기는 증가하였으나, 현탁액의 점도는 고형분함량 43%에서 최소값을 나타내었다. 이때 시료간의 유의성은 5% 내에서 유의적인 차를 보여 주고 있다. Table 3에서 LSD_{0.05}는 유의수준 5% 내의 최소유의차이다.

이외에도 원료 유타액을 분무시켜 주는 wheel의 회전속도에 따른 종속변수 즉, 분무건조 분말의 물성치의 평균적인 변화로서, wheel 회전속도가 증가할수

Table 4. Correlation Matrix Among Dependent Variables

Dependent Variables	MC	BD	PD	VIS
MC	—	0.8695***	-0.3317*	-0.2615
BD	—	—	-0.5318**	-0.0180
PD	—	—	—	-0.4249
VIS	—	—	—	—

*significant at 5% , **significant at 1% ,
***significant at 0.1%

록 분무건조 분말의 수분함량, 겔보기밀도 및 입자크기는 감소하였고, 현탁액의 점도는 증가하는 경향을 보여주고 있다. 이때 유의성도 Table 3과 비슷하게 인정되었다.

출구온도에 따른 종속변수 즉, 분무건조 분말의 물성치의 평균적인 변화를 나타낸 것으로 출구온도의 증가에 따라 수분함량과 겔보기밀도는 감소하였고, 입자크기와 현탁액의 점도는 90 °C 이상에서 크게 영향을 미치지 못하였다. 이 결과에도 유의성은 5% 범위에서 인정되었다.

4. 1. 2. 종속변수간의 상관관계

분무건조기 운전조건인 독립변수에 따른 분무건조 분말의 물성치 즉, 종속변수들간의 상관관계를 유의수준 5, 1 및 0.1%에서 조사한 결과는 Table 4와 같으며, 대체로 유의수준 5% 이내로 유의성이 인정되었다. Table 4에서 보는 바와 같이 분무건조 분말의 수분함량은 겔보기밀도와는 0.1%의 유의수준에서 정의 상관관계, 입자크기과는 5%의 유의수준에서 부의 상관관계를 보여주고 있다. 겔보기밀도는 1% 유의수준이내에서 부의 상관관계로서 그 유의성을 나타내었으며 현탁액의 점도는 입자크기와 수분함량에 따라서 부의 상관관계를 보여주고 있었다. 입자크기는 현탁액의 점도와 부의 상관관계를 나타내었다.

4. 1. 3. 반응표면법에 따른 변수들의 상관관계

분무건조 제품의 물성치에 대한 독립변수들의 영향인자에 대한 효과를 검토하여 유의성을 조사한 결과는 Table 5와 같다. 분무건조의 입자크기는 1차원적 회귀에서는 wheel 회전속도에 영향을 받으나, 2차원적 회귀에서는 원료의 고형분함량과 wheel 회전속도에 영향을 주었고, 두 변수가 동시에 작용하는 경우

Table 5. Terms of Significance in Response Surface Analysis for 3-dimension Graphics

Process Variable Terms	Dependent Variables			
	P D(y_1)	MC(y_2)	BD(y_3)	VIS(y_4)
Linear :				
TS (x_1)	ns	ns	ns	ns
N (x_2)	(-)*	(-)**	ns	(+)*
OT (x_3)	ns	ns	(-)*	ns
Quadratic :				
TS ² (x_1^2)	(-)**	ns	(+)*	(+)*
N ² (x_2^2)	(+)*	(+)**	ns	ns
OT ² (x_3^2)	ns	ns	(+)*	ns
Crossproduct :				
TS×N (x_1x_2)	(+)**	(+)**	ns	(-)**
TS×OT (x_1x_3)	ns	(+)*	ns	ns
N×OT (x_2x_3)	ns	ns	ns	(-)*
Number of Significant Terms:				
Max 9	4	4	3	4

*significant at 5%, ** significant at 1%,
*** significant at 0.1%, ns : not significant.

도 영향을 주었다. 분무건조 제품의 수분함량은 wheel 회전속도에 의하여 가장 크게 영향을 받는 것으로 나타났으며, wheel 회전속도와 고형분함량이 동시에 작용하거나 원료의 고형분함량과 출구온도가 동시에 작용하는 경우도 영향을 받는 것으로 나타났다. 겔보기밀도의 경우는 고형분함량과 출구온도에 다소 영향을 받으며 wheel 회전속도의 경우 2차항이 인정되었다. 현탁액의 점도의 변화는 단순한 1차원적 회귀에서는 wheel의 회전속도에 영향을 받으나, 2차원적 회귀에서는 원료의 고형분함량에 따라서 영향을 많이 받고, 고형분함량과 wheel 회전속도가 동시에 작용할 때도 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

이와 같이 일원 중심합성계획법에 따라 분산분석한 후 유의성, 상관관계를 검정한 결과 종속변수들에 대한 유의성을 갖는 독립변수 자체와 독립변수 사이의 조합 항은 각각 4, 4, 3 및 4이었다.

이상의 독립변수와 종속변수의 상관관계에서 분말제품의 입자크기와 수분함량은 wheel의 회전속도, 겔보기밀도는 출구온도, 점도는 wheel의 회전속도와 고형분함량에 의하여 가장 크게 영향을 받았다. 즉, 입자크기는 wheel의 회전속도가 9,000에서 15,000rpm으

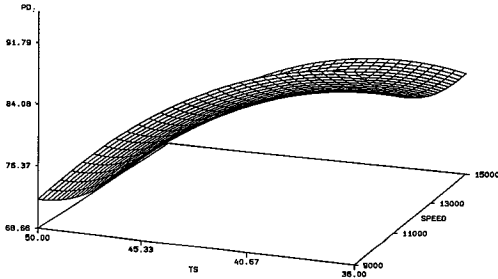


Fig. 2. Effect of total solid content and wheel rotation speed on particle diameter of spray dried products.

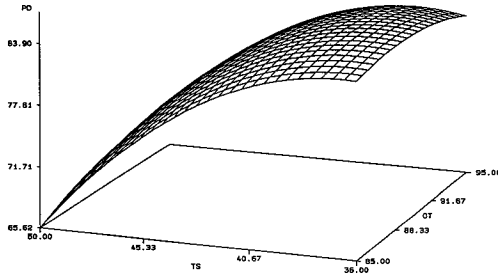


Fig. 3. Effect of total solid content and outlet temperature on particle diameter of spray dried products.

로 증가함에 따라 81.99에서 76.74 μ m로 감소하였고, 수분함량도 동일한 회전속도의 경우 4.078에서 2.724%로 감소하였다. 겔보기밀도는 출구온도가 85에서 95 $^{\circ}$ C로 증가함에 따라 0.442에서 0.395g/cm³로 감소하였고 현탁액의 점도는 wheel의 회전속도와 고형분함량이 커짐에 따라 증가하여 고형분함량 50%, 15,000rpm에서 14.2cP이었다.

4. 2. 반응표면법에 의한 회귀방정식 모델 예측

4. 2. 1. 입자크기

가. 원료 고형분함량과 wheel 회전속도의 영향

Fig. 2는 출구온도를 90 $^{\circ}$ C로 고정하였을 때, 원료 고형분함량과 wheel 회전속도에 따른 변화의 반응표면 곡선을 나타낸 것으로 입자크기는 wheel 회전속도보다 고형분함량에 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났으며 안부점에서 최적 반응표면을 나타내었다.

나. 고형분함량과 출구온도의 영향

Fig. 3은 wheel 회전속도를 12,000rpm으로 고정하였을 때, 고형분함량과 출구온도에 따른 변화 중 반

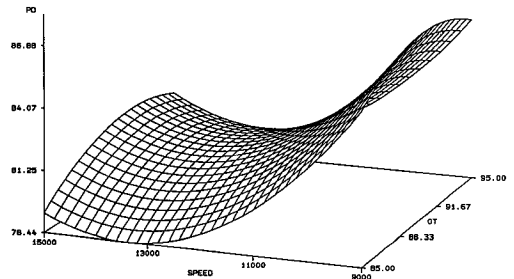


Fig. 4. Effect of wheel rotation speed and outlet temperature on particle diameter of spray dried products.

응표면 곡선으로 입자크기가 고형분함량과 출구온도에 따라 크게 변화하는 것을 보여주고 있으며 최고점에서 최적 반응표면을 가졌다.

다. Wheel 회전속도와 출구온도의 영향

Fig. 4는 고형분함량을 43%로 고정하였을 때, wheel 회전속도와 출구온도의 변화에 따른 반응표면 곡선으로 입자크기는 회전속도보다 수분함량에 더 영향을 받는 것으로 나타났으며 안부점에서 최적 반응표면을 가졌다.

라. 입자크기에 대한 3차원적 반응표면 회귀분석

분무건조 분말의 입자크기에 대하여 고형분함량, wheel 회전속도 및 출구온도 등의 운전조건을 3차원적으로 나타낸 결과 반응표면 회귀식은 식(3)과 같으며, 안부점에서 최적 반응표면을 나타내었다.

$$y_1 = -16.861 + 3.057 x_1 - (1.58 \times 10^{-2}) x_2 + 7.49 x_3 - (9.89 \times 10^{-2}) x_1^2 + (3.53 \times 10^{-7}) x_2^2 - (5.039 \times 10^{-2}) x_3^2 + (1.09 \times 10^{-4}) x_1 x_2 + (3.41 \times 10^{-2}) x_1 x_3 + (1.929 \times 10^{-5}) x_2 x_3 \quad (3)$$

입자크기는 고형분함량 38.7%, wheel 회전속도 13,942rpm, 출구 온도 90 $^{\circ}$ C에서 82.4 μ m로서 최소점을 나타내 주었으며, 이때 최적 회귀모델의 판정기준으로서 회귀변동의 전체변동을 나타내는 결정계수 (coefficient of determination) R²는 0.8865이었다. 회귀변수 중에서 어떤 변수를 선택할 때 결정계수가 높을수록 최적회귀모델이라고 할 수 있다.

4. 2. 2. 건조후 수분 함량

가. Wheel 회전속도와 고형분함량의 영향

출구온도를 90 $^{\circ}$ C로 고정하였을 때, 추정된 분무 건

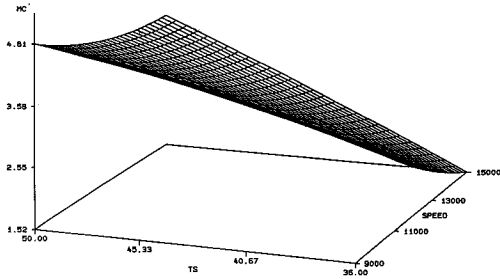


Fig. 5. Effect of total solid content and wheel rotation speed on moisture content of spray dried products.

조물의 반응표면 곡선은 Fig. 5와 같으며, 최소점에서 최적 반응표면을 나타내었고 wheel 회전속도 보다는 고형분함량에 영향을 더 받는 것으로 나타났다.

나. 고형분함량과 출구 온도의 영향

분무 건조기의 wheel 회전속도를 12,000rpm으로 고정하였을 때, 추정된 반응표면 회귀방정식은 식(4)와 같으며, 최대점에서 최적 반응표면을 나타내었으며, 반응표면 회귀방정식의 유의성은 나타나지 않았다.

$$y_2 = 14.7214 - (4.067 \times 10^{-3}) x_1 - (7.968 \times 10^{-3}) x_3 - (1.171 \times 10^{-3}) x_1^2 - (9.13 \times 10^{-4}) x_3^2 + (2.515 \times 10^{-3}) x_1 x_3 \quad (4)$$

이에 대한 반응표면 곡선은 분무 건조물의 수분 함량은 고형분함량과 출구온도에 따라 크게 영향을 받는 것으로 나타났다.

다. wheel 회전속도와 출구온도에 따른 변화

고형분함량을 43%로 고정하였을 때, 수분의 최적 반응표면식은 식(5)와 같으며 최소점에서 최적 반응표면을 나타내었다.

$$y_2 = 19.235 - (8.4018 \times 10^{-4}) x_2 - (9.085 \times 10^{-1}) x_3 + (2.2414 \times 10^{-8}) x_2^2 + (9.13 \times 10^{-4}) x_3^2 + (7.77 \times 10^{-7}) x_2 x_3 \quad (5)$$

Wheel 회전속도와 출구온도에 따른 변화를 최적 반응표면 곡선을 분석하면, 분말제품의 수분은 출구온도가 wheel의 회전속도보다 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

라. 수분함량에 대한 3차원적 반응표면 분석

분무건조 분말의 수분함량에 대하여 고형분함량, wheel 회전속도 및 출구온도 등의 운전조건을 3차원

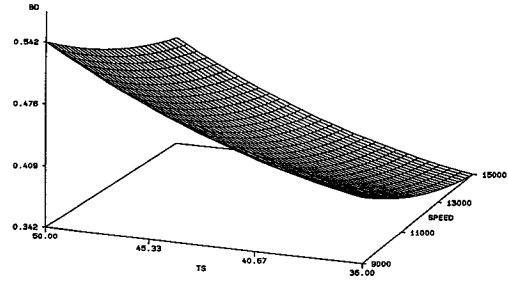


Fig. 6. Effect of total solid content and wheel rotation speed on bulk density of spray dried products.

적으로 나타낸 결과 반응표면 회귀식은 식(6)과 같으며, 안부점에서 최적 반응표면 곡선을 나타내었다.

$$y_2 = 29.4698 - (1.876 \times 10^{-1}) x_1 - (1.498 \times 10^{-3}) x_2 - (1.729 \times 10^{-2}) x_3 + (1.171 \times 10^{-3}) x_1^2 + (2.241 \times 10^{-8}) x_2^2 + (9.13 \times 10^{-4}) x_3^2 - (1.529 \times 10^{-5}) x_1 x_2 - (2.515 \times 10^{-3}) x_1 x_3 + (7.77 \times 10^{-7}) x_2 x_3 \quad (6)$$

분무건조 분말의 수분함량에 대한 독립변수들의 영향은 고형분함량 69%, wheel 회전속도 8,161rpm, 출구온도 89.5℃에서 안부점을 가지며, 이때의 수분함량은 5.38%이었고 R²는 0.9323로서 독립변수에 따른 유의성을 가지고 있었다.

4. 2. 3. 겉보기밀도

가. 고형분함량과 wheel 회전속도에 따른 변화

건조기 출구온도를 90℃로 고정하였을 때, 고형분함량과 wheel 회전속도에 따른 분무건조 분말의 겉보기밀도의 최적 반응곡선은 Fig. 6과 같으며, 최소치에서 최적 반응표면을 나타내고 있었다. 고형분함량과 wheel 회전속도가 증가할수록 증가하였다.

나. 고형분함량과 출구온도에 따른 변화

분무 건조물의 wheel 회전속도를 12,000rpm으로 고정하였을 때, 겉보기밀도의 반응표면은 최소치에서 최적 반응표면을 나타내었다. 고형분함량과 출구온도에 따른 변화에 따른 겉보기밀도에 대한 분무 건조물의 최적 반응표면 곡선에서는 고형분함량보다는 건조기의 출구온도가 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

다. wheel 회전속도와 출구온도에 따른 변화

원료의 고형분함량을 43%로 고정하였을 때 겉보

기밀도의 최적 반응표면 은 최소점에서 최적 반응표면을 나타내었다. 겔보기밀도에 대한 wheel 회전속도와 출구온도에 따른 변화의 최적 반응표면 곡선에서는 출구온도가 wheel의 회전속도보다 더 큰 영향을 받는 것으로 나타났다.

라. 겔보기밀도에 대한 3차원적 반응표면분석

분무건조 분말의 겔보기밀도에 대하여 고형분함량, wheel 회전속도 및 출구온도 등의 운전조건을 3차원적으로 나타낸 결과 최적 반응표면 회귀식은 식(7)과 같으며, 최소치에서 최적 반응표면 곡선을 나타내었다.

$$\begin{aligned} y_3 = & 8.957 - (8.339 \times 10^{-3}) x_1 - (5.63 \times 10^{-5}) x_2 \\ & - 0.147 x_3 + (3.42 \times 10^{-4}) x_1^2 \\ & + (1.185 \times 10^{-9}) x_2^2 + (8.26 \times 10^{-4}) x_3^2 \\ & - (8.36 \times 10^{-8}) x_1 x_2 - (1.22 \times 10^{-4}) x_1 x_3 \\ & + (2.15 \times 10^{-7}) x_2 x_3 \end{aligned} \quad (7)$$

분무건조 제품의 겔보기밀도에 대한 독립 변수들인 고형분함량 30%, wheel 회전속도 16,670rpm, 출구온도 89.5°C에서 최적 반응곡선을 나타내며, 이때의 겔보기밀도는 0.3269g/cm³이었고 결정계수 R²은 0.9349로서 유의성을 가지고 있었다.

4.2.4. 현탁액의 점도

가. 고형분함량과 wheel 회전속도에 따른 영향

Fig. 7은 출구온도를 90°C로 고정하였을 때, 고형분함량과 wheel 회전속도 변화에 따른 현탁액의 점도에 대한 반응표면 곡선을 나타낸 것으로 현탁액의 점도는 고형분함량 37%, wheel 회전속도 8,000rpm에서 최소치를 가졌으며, 함량이 wheel 회전속도보다 더 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있었으며 최소치에서 최적 반응표면을 나타내었다.

나. 고형분함량과 출구온도에 따른 변화

Wheel 회전속도를 12,000rpm으로 고정하였을 때, 현탁액의 점도가 가지는 반응표면은 안부점에서 최적 반응표면을 가졌으며, 고형분함량과 출구온도가 증가할수록 현탁액의 점도는 감소하는 경향을 보여주고 있었다.

다. Wheel 회전속도와 출구온도에 따른 변화

현탁액의 점도는 고형분함량을 43%로 고정하였을 때, wheel 회전속도와 출구온도에 따른 변화를 반응표면 곡선에서는 wheel 회전속도가 출구온도보다 현탁액의 점도에 더 큰 영향을 나타내었으며, 회전속도

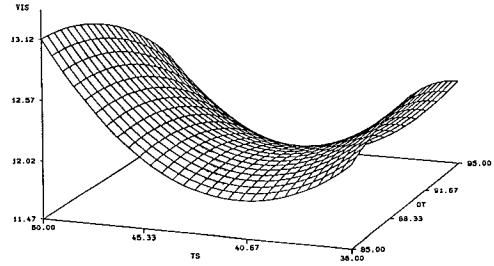


Fig. 7. Effect of total solid content and wheel rotation speed on viscosity of suspended liquids of spray dried products.

와 출구온도가 함께 증가함에 따라 현탁액의 점도도 증가하였으며 반응표면은 안부점에서 최적 반응표면을 가졌다.

라. 현탁액의 점도에 대한 3차원적 반응표면 분석

분무건조 분말 현탁액의 점도에 대하여 고형분함량, wheel 회전속도 및 출구온도 등의 운전조건을 3차원적으로 나타낸 결과 반응표면 회귀식은 식(8)과 같으며, 안부점에서 최적 반응표면을 나타내었다.

$$\begin{aligned} y_4 = & -48.7769 - 0.2841 x_1 + (3.513 \times 10^{-3}) x_2 \\ & + 2.0352 x_3 + (1.64 \times 10^{-2}) x_1^2 \\ & + (3.0562 \times 10^{-8}) x_2^2 - (8.558 \times 10^{-3}) x_3^2 \\ & - (4.568 \times 10^{-5}) x_1 x_2 - (6.058 \times 10^{-3}) x_1 x_3 \\ & - (2.2947 \times 10^{-3}) x_2 x_3 \end{aligned} \quad (8)$$

분무건조 제품의 현탁액의 점도에 대한 독립변수인 고형분함량 34.88%, wheel 회전속도 5,716rpm, 출구온도 98.8°C에서 최적 반응표면으로 10.5 cP를 나타내었으며 이때의 R²는 0.8147이었다.

5. 결 론

중심합성계획법에 따라 분산분석한 후 유의성 및 독립변수와 종속변수간의 상관관계를 검정하여 반응표면분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 입자크기와 수분함량은 wheel의 회전속도가 커질수록 감소하였고, 겔보기밀도는 출구온도가 높아짐에 따라 감소하였다. 현탁액의 점도는 wheel의 회전속도와 고형분함량이 커짐에 따라 증가하였다.

2. 분말제품의 종속변수들의 상관관계에서 수분함량과 겔보기밀도는 비례관계, 입자크기와 수분함량은

반비례관계 및 입자크기와 겔보기밀도는 반비례관계를 나타내었다.

3. 본 실험에서 치즈분말은 제과분야에서 사용되는 원료로 분말의 입자크기는 $83\mu\text{m}$, 수분함량 7% 이하, 겔보기밀도 0.382 및 현탁액의 점도 11.5 cP로 생산되고 있으며, 반응표면분석 결과 각각 $82.4\mu\text{m}$ 로 최소점과 5.38%에서 안부점을 얻었고, 0.3269에서 최소점 및 10.5 cP에서 안부점을 나타내었고, 이때의 결정계수 R^2 는 각각 0.8865, 0.9323, 0.9349 및 0.8147이었다. 그러나 겔보기 밀도나 현탁액의 점도에서는 차이점이 나타났으며, 분무건조에서 개별적인 물성치의 최적조건은 얻을 수 있으나, 4가지 물성치를 동시에 만족하는 최적조건은 구하기 어려웠다.

기호 설명

LSD : least significant difference[-]

$$=t(\alpha/2, N-t)\sqrt{\frac{2MSe}{r}}$$

R^2 : coefficient of determination

$$=SSr/SSt[-]$$

$x_1(=TS)$: total solid content[%]

$x_2(=N)$: atomizer wheel speed[rpm]

$x_3(=OT)$: outlet temperature[°C]

$y_1(=PD)$: weight mean particle diameter[%]

$y_2(=MC)$: moisture content[kg/m³]

$y_3(=BD)$: bulk density [μm]

$y_4(=VIS)$: viscosity of suspended particle[cP]

Greek Letters

α : significance level

β_0 : regression coefficient

β_{ij} : regression coefficient

ϵ : error

ρ : density

참고 문헌

1. A. S. Mujumdar, "Advances in Drying", 3, Springer Verlag, Berlin(1985).

2. J. A. Duffie and W. R. Marshall, Jr., *Chem. Eng. Prog.*, **49**, 417(1953).
3. 大川原 正明, *食品工業*, **2**, 20(1987).
4. V. Westergarrd, "Dehydration of Foodstuffs", Korean/Danish AgroIndustrial and Food Processing Symposium, 14~15, Nov., Seoul(1988).
5. J. Dziezak, *Food Technology*, **136**(April 1988).
6. 戸田 義郎, *フードケミカル*, **12**, 49(1986).
7. 福田 哲郎, *フードケミカル*, **8**, 72(1987).
8. 長谷川 鉄一, *フードケミカル*, **11**, 95(1985).
9. W. H. Knightly, *Food Technol.*, **23**, 37(1969).
10. P. P. Noznick, U. S. Pat. 3,357,838, Apr. 22 (1963).
11. P. P. Noznick, U. S. Pat. 3,183,103, Mar. 5 (1965).
12. P. P. Noznick, U. S. Pat. 3,183,103, May. 5 (1965).
13. W. R. Marshall, Jr., "Atomization and Spray Drying", Chap VIII., *Chem. Eng. Prog.*, Monograph Ser., No. 2(1954).
14. K. Masters, "Spray Drying Handbook", 4th/ed., George Godwin Ltd., London(1985).
15. C. R. Adler and W. R. Marshall, Jr., Part I, *Chem. Eng. Prog.*, **47**, 515(1951).
16. *ibid*, Part II, *Chem. Eng. Prog.*, **47**, 601~608 (1951).
17. R. H. Myers, "Response Surface Methodology", Allyn and Bacon, Inc., Boston(1976).
18. D. C. Montgomery, "Design and Analysis of Experiments", John Wiley & Sons, New York (1984).
19. 김충현, "SAS라는 통계상자-통계분석 및 시장조사기법을 중심으로", (주)데이타리서치, 서울 (1994).
20. R. G. Heneka, *Cereal Sci. Today*, **17**, 309(1972).
21. T. F. Tsao, J. M. Harper, and K. M. Reppolz, *AIChE Symp. Ser.*, **14**(172), 142(1978).
22. A. O. A. C. "Official Methods of Analysis", 11th ed. Ass. of Off. Anal. Chem., Washington D. C.(1984).
23. 여경목, 명지대학교 석사학위논문(1994).