

향기성분 미세캡슐화를 위한 유화 및 분무건조 공정 최적화

조영희 · 신동석 · 박지용
연세대학교 생명공학과 및 생물산업소재연구센터

Optimization of Emulsification and Spray Drying Process for the Microencapsulation of Flavor Compounds

Young-Hee Cho, Dong-Suck Shin and Jiyong Park
Department of Biotechnology and Bioproducts Research Center, Yonsei University

Abstract

This study was conducted to optimize the emulsion process and the spray drying process for the microencapsulation of flavor compounds. Using the wall system selected, emulsion process for microencapsulation was optimized on the change of the pressure of piston-type homogenizer. Emulsification pressure of 34.5 MPa was found to be the most suitable for preparing flavor emulsion. Effects of drying temperature and atomizer speed of the spray drier on total oil, surface oil, and flavor release of the flavor powder were investigated using response surface methodology. The optimum spray drying conditions for minimal surface oil and flavor release and maximum total oil were 170°C inlet temperature and 15,000 rpm atomizer speed. The spray-dried powder processed with the highest drying temperature showed spherically-shaped particles with smooth surface.

Key words : emulsification, spray drying, microencapsulation, flavor compounds, optimization

서 론

현재 상업화되어 이용되고 있는 여러 캡슐화방법 중 분무건조방법은 향기성분 미세캡슐화를 위한 방법으로는 가장 오래된 것이며, 이 방법을 이용한 제품의 생산량도 가장 많다. 분무건조는 액상의 제품을 고온건조한 매체속으로 분사시켜 건조분말의 상태로 만드는 것을 말하며, 여러단계의 연속공정으로 이루어져 있다. 분무건조방법에서 가장 고려해야 할 요인은 atomizer의 선택이며, atomizer의 특성에 따라 분말의 크기나 분말크기를 균일하게 조절하는 데 영향을 미친다. 일반적인 atomizer의 형태에는 pressure atomizer, centrifugal(wheel) atomizer, pneumatic(two-fluid) atomizer 등이 있다⁽¹⁾.

분무건조에 의한 미세캡슐화는 피복물질을 수화시킨 후 여기에 핵물질을 분산시키고 이 혼합물을 atomizing unit을 이용하여 분무하는 것이다. 이때 작은 입자들이 180~240°C 정도의 고온건조공기를 통과하면서 미립화

되어 총표면적이 증대되면서 물 입자들이 급속히 증발을 일으켜 피복물질이 서로 엉키게 되어 분말화하면서 향기성분을 내부에 포집하여 미세캡슐을 형성하게 된다. 최종분말의 온도는 70°C 정도이고 건조기에서 머무는 시간은 30초 정도이다^(2,3).

천연 향기성분은 alcohol, aldehyde, ketone, ester, ether와 같은 휘발성 유기화합물들의 혼합 형태이다. 100~180°C에 이르는 분무건조공정에서 어떻게 휘발성 화합물들이 잔존하는가에 대한 의문이 있는데 이는 극성 다당류들이 비극성의 휘발성 화합물을 통과하지 못하게 하기 때문이다. 또한 분무된 미세액적의 겉표면에 있는 물이 일차적으로 유화액의 안쪽에 싸여 있는 휘발성 물질보다 먼저 날아가고 피복물질이 건조되면서 막을 형성하기 때문이기도 하다^(4,5).

피복물질에 기공이 적으면 건조가 진행될 때 내부의 수증기압이 증대하여 피복물질이 파괴되므로 분화구나 용덩이형태가 형성된다. 캡슐화 피막의 경우 수분투과성과 내압에 견딜 수 있는 강도가 충분하면 피막은 파괴되지 않고 건조되어 단핵 미세캡슐이 된다. 또 피막의 수분투과성과 내부에서 발생하는 수증기압에 대한 내압이 불충분하면 피막이 파괴되어, 분화구

현상에 따른 팽창이 일어나 밀도가 낮은 건조입자가 된다.⁽⁶⁻⁹⁾

분무건조를 이용한 분말 제조시 제품과 건조기 형태에 따라 공정변수가 많고 복잡하기 때문에, 통계학적인 방법을 이용하여 캡슐화 분말의 물성 분석치와 공정변수를 연관시켜 분무건조기를 이용한 마이크로캡슐 제조시 최적공정을 규명할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 전보⁽¹⁰⁾에서 최적화한 flavor model system과 wall system을 이용하여 최적의 유화압력을 결정하고, 반응 표면 분석법을 이용하여 분무건조조건을 최적화하는 것을 목표로 연구를 수행하였다.

재료 및 방법

실험 재료

전보⁽¹⁰⁾에서 개발한 flavor model system을 핵물질로, 최적화한 wall system을 피복물질로 사용하였다.

유화액제조

Flavor model system과 wall system을 homomixer (Model 2.5 spec, Tokushu Kika, Japan)로 1차 혼합하고, piston-type homogenizer (Rannie, APV, Germany)의 압력을 6.9, 13.8, 20.7, 27.6, 34.5, 41.4, 48.3, 55.2 MPa로 달리하여 유화액을 제조하였다.

유화액 분석

유화안정성과 유화액으로 부터의 flavor release는 전보⁽¹⁰⁾와 동일한 방법으로 측정하였다. 제조된 유화액의 형태를 관찰하기 위해 유화액을 slide glass에 10 μL 떨어뜨리고 cover glass로 덮은 후, image analyzer (Diaphot 300, Nikon, Japan)로 직접 관찰하였다.

분말의 total oil 함량과 surface oil 함량 분석

전보⁽¹⁰⁾와 동일하게 Risch 등⁽¹¹⁾의 방법으로 분석하였다.

분말로 부터의 flavor release 측정

건조된 분말 10 g을 50 mL vial에 담고 유화액의 flavor release 측정⁽¹⁰⁾과 같은 방법으로 실험을 수행하였다.

분말의 흡습성

분말 5 g을 계량하여 petri dish에 담고 질량을 측정 한 후, 온도 25°C, 습도 90%로 고정된 향온향습기 (KCL-1000, Eyela, Japan)에서 24시간 보관한 후, 질량

을 측정하여 흡수된 수분의 함량을 계산하였다.

분말입자 크기 측정

분무건조에 의해 캡슐화한 분말의 크기와 분포정도를 측정하기 위해 particle size analyzer(Analysette 22, Fritsch, Japan)를 이용하였다. 각 시료는 3번씩 측정하여 평균치를 냈다.

주사전자 현미경 (scanning electron microscopy) 관찰

분말의 형태를 관찰하기 위해서 주사전자 현미경 (scanning electron microscopy, JSM-5410L, Jeol Co., Japan)를 이용하였다. Specimen stub에 양면 테이프를 붙이고, 그 위에 분말을 고정하였다. 준비된 시료를 ion sputter (ε-1030, Hitachi, Japan)에서 금으로 코팅한 후 주사전자 현미경에서 150배와 750배로 분말의 형태를 관찰하였다^(12,13).

분무건조 공정 최적화를 위한 실험계획 및 통계처리

분무건조기를 이용한 공정에서 가장 중요한 인자로서 송풍 온도와 분무 속도 등을 들수 있는데 이들 인자를 통계적으로 최적화하기 위해 반응표면분석법 (response surface methodology; RSM)⁽¹⁴⁾을 이용하였다. 중심합성계획법(central composite design)을 이용하여 송풍 온도와 분무 속도를 주요 독립변수로 하였으며 분말입자 크기, total oil retention, surface oil content, flavor release를 종속변수로 하였다. 170°C, 15,000 rpm 을 중심으로 하여 송풍 온도의 +α와 -α값의 범위를 127.5~212.4°C로 설정하고, 분무 속도는 10,758~19,242 rpm을 범위로 설정하였다(Table 1). 분석결과는 SAS (statistical analysis system) program을 이용하여 다중회귀분석하고 반응변수에 대한 모델을 추정하여 이를 다항 회귀 모형식으로 변환하였다⁽¹⁵⁾. 송풍 온도와 분무 속도에 의한 미세캡슐 제조조건은 회귀 분석, 분산 분석과 F 검정을 하여 종속 변수의 최적화를 확인하였

Table 1. Coded level for independent variables used in developing experimental data

Variable	Coded level					Interval
	-α (-1.414)	-1	0	1	α (1.414)	
Inlet temperature (°C)	127.5	140	170	200	212.4	30
Atomizer speed(rpm)	10,758	12,000	15,000	18,000	19,242	3,000

으며, 가정된 회귀선을 검정하기 위해 적합 결여 분석 (lack-of-fit analysis)을 실시하였다. 또한 반응 표면 분석과 능선 분석에 의해 최대 정상점 이나 최소 정상점을 구하였으며, SAS/GRAPH를 이용한 등고 분석 (contour plot)과 3차원 분석(3-D plot)을 통하여 분무건조 조건의 최적화를 실시하였다.

결과 및 고찰

유화압력의 최적조건 결정

유화공정조건과 관련되는 물리적 요소중 유화압력은 대표적인 요소로서 유화입자 표면의 막형성에 큰 영향을 미친다^(16,17). 유화압력은 유화물의 크기와 피복의 두께 등의 물리적 상태를 결정하여 건조후의 제품의 상태와 저장중 안정성을 좌우하므로, 이에 대한 최적화가 중요하다.

Piston-type homogenizer의 최적 유화압력을 결정하기 위해 6.9~55.2 MPa 로 유화압력을 달리하여 유화액을 제조한 후, 유화액에서의 flavor release와 유화안정성을 실험하였다. Fig. 1을 보면, 유화압력이 증가할수

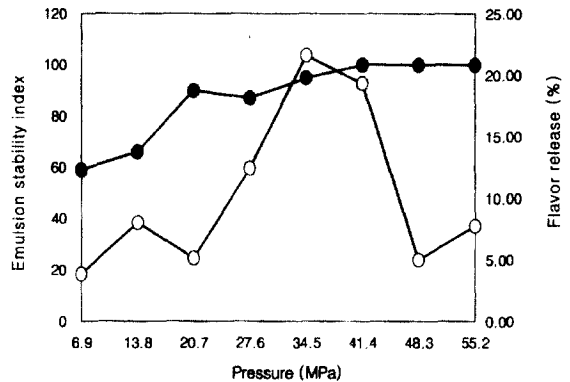


Fig. 1. The effect of emulsification pressure on emulsion stability and flavor release in emulsion.

●-●: emulsion stability index (ESI), ○-○: Flavor release.

록 유화안정성이 증가하였다. 그러나 34.5 MPa 이상에서는 유화액이 paste와 같은 상태가 되므로 실제로 유화액이라 할 수 없었다. 6.9~27.6 MPa에서 제조한 유화액의 분석결과를 비교해 보면, 20.7 MPa에서 유화안정성이 가장 우수하였으며, flavor release 정도가 가장

Fig. 2. Micrographs of emulsion prepared by various emulsification pressure observed by image analyzer. A: 6.9 MPa, B: 13.8 MPa, C: 20.7 MPa, D: 27.6 MPa.

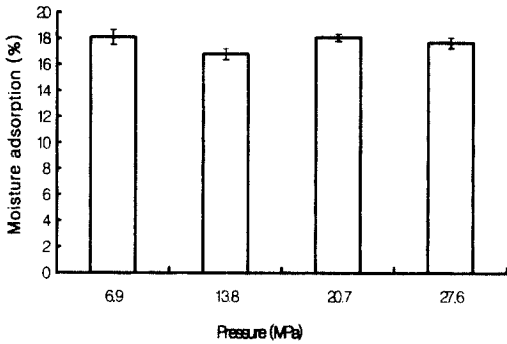


Fig. 3. The effect of emulsification pressure on the moisture adsorption of spray dried microcapsules.

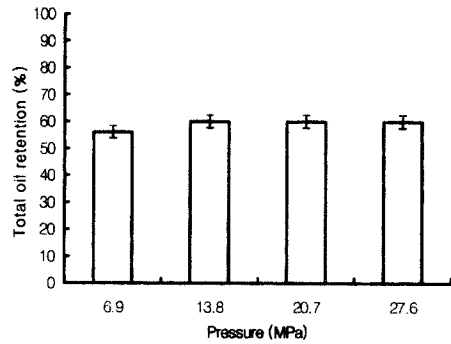


Fig. 4. Comparison of total oil content at different emulsification pressure.

좋은 유화액이 생성된다고 보고하였다. 그러나 Toda 등⁽¹⁹⁾에 의하면 유화입자가 너무 미세하면 입자의 표면적이 증가하여 브라운 운동에 의해 충돌의 기회가 증가하여 유화안정성이 오히려 감소할 수 있다고 하였다. Image analyzer로 유화액에서 유화입자 분포와 형태를 관찰한 결과(Fig. 2), 20.7 MPa에서 제조한 유화액에서 유화입자가 가장 고른 분포를 갖는 것을 볼 수 있었으며, 27.6 MPa에서는 유화입자 크기가 매우 작아지는 것을 관찰할 수 있었다. 그러므로 본 실험에서 27.6 MPa 보다 20.7 MPa에서 유화안정성이 더 우수한 이유는 유화액에서의 유화입자의 크기 때문이라고 생각되었다.

34.5 MPa 이상에서는 유화액이 분무건조가 불가능한 상태로 되기 때문에 6.9~27.6 MPa에서 제조한 유화액을 분무건조하여 분말의 total oil retention, surface oil content, 흡습성을 측정하였다.

Maltodextrin은 높은 상대습도에서 습윤에 의한 caking 발생의 여지가 크다고 알려져 있지만⁽²⁰⁾, 본 실험에서는 30%로 고정해서 사용하였으므로 큰 영향은 없을 것으로 판단되었다. 또한 캡슐화용으로 개발된 gum arabic을 사용하였으므로 흡습에 대한 문제점은 없을 것으로 예상되었다. Fig. 3을 보면 13.8 MPa에서 제조한 유화액을 분무건조한 분말에서 흡습성이 16.5%로 다른 유화압력에 비해 낮은 값을 나타냈다. 그러나 흡습성은 유화압력에 따라 유의적인 차이를 보이지 않았다($p>0.05$).

Total oil은 6.9 MPa에서 제조한 유화액을 분무건조한 분말이 낮은 값을 나타내었고 그외 13.8, 20.7, 27.6 MPa에서는 60%정도로 비슷하였다(Fig. 3). 이 결과는 유화압력에 따라서 total oil content에는 큰 차이가 없다는 Risch 등⁽²¹⁾의 보고와 유사하였다. Surface oil은 Fig. 5에서 볼 수 있듯이 평균적으로 6.9 MPa에서는

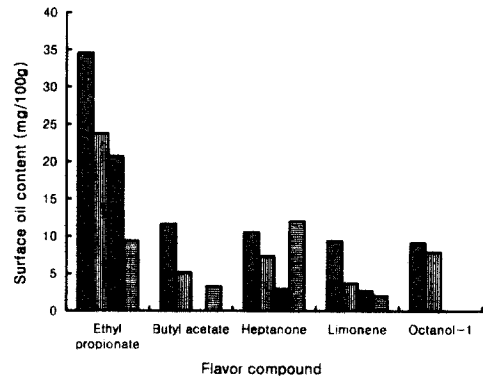


Fig. 5. Comparison of surface oil content at different emulsification pressure.

▨: 6.9 MPa, ▨: 13.8 MPa, ▨: 20.7 MPa, ▨: 27.6 MPa.

15.06%, 13.8 MPa에서는 9.55%, 20.7 MPa에서는 5.26%, 27.6 MPa에서는 5.35%의 값을 나타내어 20.7 MPa에서 가장 낮은 surface oil 함량을 나타냈다.

상기 결과를 종합하여 본 결과, 유화액 제조시 유화입자의 분포 및 생성정도가 가장 우수하였고, 유화액에서 우수한 유화안정성과 낮은 flavor release를 보인 20.7 MPa에서 분무건조한 후의 결과도 우수하였다. 이를 통해 Risch 등^(5,11)의 결과와 마찬가지로 유화액의 상태가 분무건조시 캡슐형성에 큰 영향을 미치고 있음을 확인 할 수 있었다.

Spray drying 공정 최적화

분무건조에 관련된 주요한 공정변수로는 송풍 온도, 배풍 온도, 분무 속도, 열풍 속도 및 유입공기의 상대습도 등이 있다. 송풍 온도의 경우에는 가능한 낮게 유지하는 것이 향기성분의 유지를 위하여 바람직하나, 건조효율이 낮아지고 수분함량이 비교적 높기 때문에 생산성 및 저장성이 저하된다고 알려져 있다^(17,18).

Table 2. Experimental data for particle size, total oil retention, surface oil content and flavor release with different combination of inlet temperature (X1) and atomizer speed (X2) used in the central composite, rotatable second-order design for response surface methodology

No.	Coded level of independent variables		Experimental data			
	X1	X2	Particle size (μm)	Total oil retention (%)	Surface oil content (mg/100g)	Flavor release (%)
1	1	1	32.0	59.2	3.99	3.24
2	1	-1	33.4	60.0	3.90	3.21
3	-1	1	32.6	49.2	4.80	3.44
4	-1	-1	31.8	57.0	4.02	3.64
5	α	0	32.7	56.4	4.63	2.02
6	$-\alpha$	0	32.3	52.5	4.29	4.30
7	0	α	32.3	55.0	4.48	2.44
8	0	$-\alpha$	31.9	55.0	5.02	2.93
9	0	0	32.8	58.2	3.15	2.14
10	0	0	32.9	62.5	3.28	2.21
11	0	0	33.4	62.0	3.02	2.21
12	0	0	33.4	63.2	3.42	1.83
13	0	0	32.4	60.4	3.24	2.34

Table 3. Taylor second equations calculated by the response surface models

Responses	Taylor second equations	R ₂	Significance
Total oil retention	$Y_1 = -61.117890 + 0.91607X_1 + 0.005421X_2 - 0.003326X_1^2 + 0.000019444X_1X_2 - 0.000000303X_2^2$	0.8150	0.0168
Surface oil content	$Y_2 = 31.437510 - 0.166292X_1 - 0.001861X_2 + 0.000568X_1^2 - 0.000001917X_1X_2 + 0.00000007304X_2^2$	0.8102	0.0182
Flavor release	$Y_3 = 36.622935 - 0.260441X_1 - 0.001428X_2 + 0.000691X_1^2 - 0.000000639X_1X_2 + 0.00000004277X_2^2$	0.7867	0.0499

본 실험에서는 위에서 언급한 여러 변수중 가장 중요한 송풍 온도와 분무 속도의 최적화에 초점을 맞추었다. 분무진조는 습도의 영향을 크게 받기 때문에 날씨에 따른 데이터 변화가 심하였다. 따라서 본 실험에서는 3번 반복한 실험의 평균치를 종속변수로 하여 송풍 온도와 분무 속도의 최적 조건을 예측하였다. 분말 입자 크기, total oil retention, surface oil content, flavor release를 종속변수로 하였으며, 관찰한 결과는 Table 2와 같으며 분말입자 크기를 종속변수로 했을 때는 시료간의 차이가 적어 통계처리에서 제외하였다.

이상의 결과에 대한 각각의 반응표면 회귀식은 Table 3과 같다. Total oil retention, surface oil content, flavor release에 대한 R²는 각각 0.8150, 0.8102, 0.7867로 모두 5% 이내의 유의수준에서 유의성이 인정되었다. 지정된 반응 모형에 대해 적합 결여 검정을 한 결과(Table 4), total oil retention에 대한 유의 확률의 값은 0.2860로 가정된 모형에 적합됨을 알 수 있었다. 반면에, surface oil content와 flavor release의 유의 확률은 각각 0.0133과 0.0185로 0.05보다 작아 가정된 모형이 자료에 적절히 적합되지 못했다. 그러나 model에 대한 유의확률에서 모두 유의성이 인정되었

으므로, 가정된 선형 회귀 모형이 자료를 설명할 수 있는 최상의 모형은 아니지만, 자료 적합이 가능함을 알 수 있었다.

다중 회귀 분석에 의해 설정된 모델식을 이용한 반응표면 분석법으로 Fig. 6~8의 결과를 얻었다. Total oil retention을 종속변수로 했을 때 Fig. 6에서 볼 수 있듯이 182°C, 14,779 rpm에서 61.7%의 최대점을 예측할 수 있었다. 송풍 온도와 분무 속도 모두 5% 이내의

Table 4. Analysis of variance for the fit of experimental data to response surface model

Source	df	Sum of square		
		Total oil retention	Surface oil content	Flavor release
Model	5	165.3557*	4.4346*	5.3103*
Linear	2	52.1401*	0.0268	1.9521*
Quadratic	2	100.9656*	4.2888***	3.3450*
Cross product	1	12.2500	0.1190	0.0132
Lack of fit (Prob>F)	3	21.5830 (0.2860)	0.9497* (0.0133)	1.2945 (0.0185)
pure error	4	15.9520	0.0889	0.1457
Total error	7	37.5350	1.0386	1.4402

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.005.

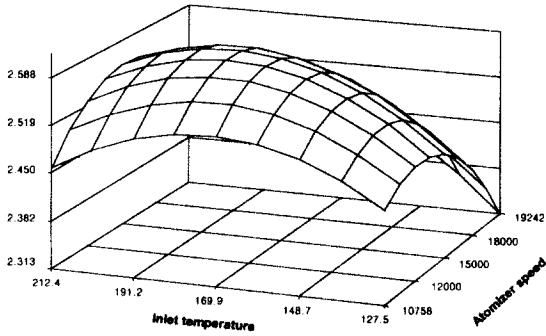


Fig. 6. Response surface of total oil retention as related to inlet temperature and atomizer speed.

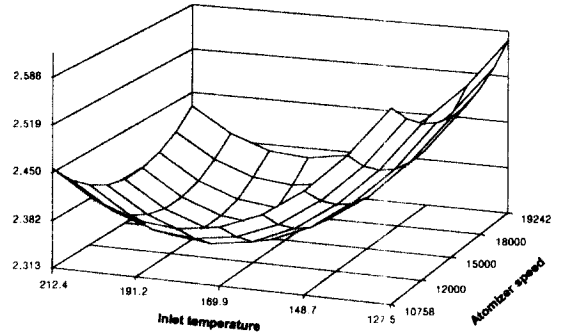


Fig. 8. Response surface of flavor release as related to inlet temperature and atomizer speed.

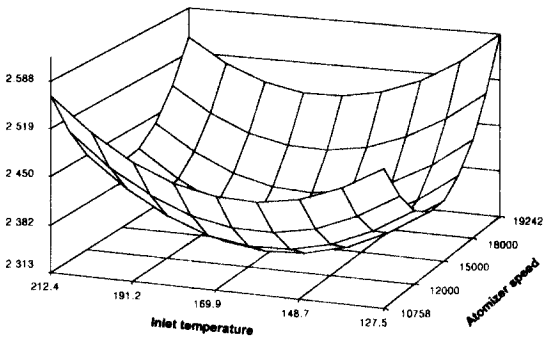


Fig. 7. Response surface of surface oil content as related to inlet temperature and atomizer speed.

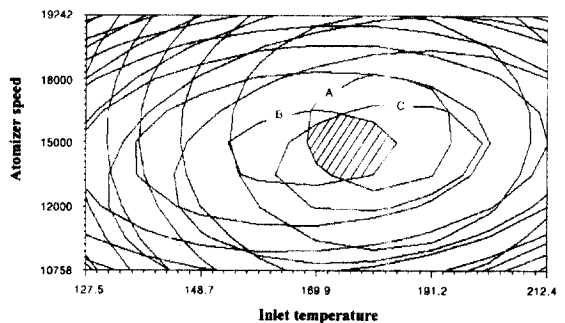


Fig. 9. Superimposed contour map for optimization of response variables in spray drying.

A: total oil retention, B: surface oil content, C: flavor release.

유의확률에서 유의성이 있었으나, 분무 속도보다는 송풍 온도의 영향을 더 받는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 분무 속도가 total oil retention에 결정적인 영향을 미친다는 Risch 등⁽²¹⁾의 보고와 비슷하였다. Surface oil content를 종속변수로 했을 때는 Fig. 7에서 볼 수 있듯이 170°C, 15,000 rpm에서 3.22 mg/100 g의 최소점을 예측할 수 있었다. 독립변수에 있어서는 송풍 온도와 분무 속도 모두 5% 이내의 유의수준에서 유의성이 있음을 알 수 있었으며, 송풍 온도의 영향을 더 받는 것으로 나타났다. Flavor release를 종속변수로 했을 때 Fig. 8에서 볼 수 있듯이 182°C, 15,364 rpm에서 2.05%의 최적점을 예측하였다. 독립변수에 있어서 송풍 온도는 5% 이내의 유의확률에서 유의성이 있었지만, 분무 속도는 유의성이 없었다. 분무 속도와 송풍 온도에 대한 각 종속변수들의 contour map을 superimposing하여 모두를 만족시켜 주는 범위를 나타내 보았다(Fig. 9). 예측된 최적조건 범위는 Fig. 9의 빗금친 부분으로 송풍 온도 165~181.5°C, 분무 속도

13,758~15,364 rpm이 우수한 공정조건이라고 예상하였다. 이상의 예측모델식을 검증하기 위해 최적조건 범위 내의 임의의 최적점 즉, 송풍온도 170°C, 분무 속도 15,000 rpm으로 제조 조건을 설정하여 실제 실험을 실시한 결과, total oil retention 60%, surface oil content 3.52 mg/100 g, flavor release 2.3%를 얻어, 실제값들은 예측된 값들과 유사한 수준으로 비교되었다.

캡슐화 분말의 미세구조 관찰

위의 결과에서 송풍 온도가 분무 속도보다 분말의 특성에 더 영향을 미친다는 것을 알 수 있었다. 분무 속도를 15,000 rpm으로 고정하고, 송풍 온도를 각각 140, 170, 212.4°C로 달리하여 분무건조한 캡슐화 분말의 형태를 SEM으로 관찰한 결과 분무건조시 송풍 온도가 낮으면 건조시간이 길어지면서 수축작용이 일어나고, 온도가 높을수록 분말이 비교적 둥글고 매끈한 이상적인 형태를 보였다(Fig. 10). 이는 Zilberboim 등⁽¹²⁾의 이론과 같음을 확인할 수 있었다.

Fig. 10. Scanning electron microscopic photogram of microencapsulated flavor.

A: inlet temperature (IT)=140°C, atomizer speed (AS)=15,000 rpm (×150), B: IT=170°C, AS=15,000 rpm (×150), C: IT=212.4°C, AS=15,000 rpm (×150), D: IT=212.4°C, AS=15,000 rpm (×750).

요 약

본 연구는 분무건조를 이용한 미세캡슐화 기술을 이용하여 유화압력 및 분무건조에 있어서 송풍 온도와 분무 속도를 최적화하는데 목표를 갖고 수행되었다. 분석지표로 유화액의 유화안정성과 flavor release를, 분무건조 분말의 total oil, surface oil, flavor release, 흡습성을 측정하고, SEM에 의해 분말의 형태를 관찰하였다. Wall system을 이용하여 piston-type homogenizer의 압력을 달리하여 실험한 결과 향기성분의 미세캡슐화를 위한 최적 유화압력은 20.7 MPa이었다. 분무건조공정에 있어서 송풍 온도와 분무 속도를 독립변수로, total oil retention, surface oil content, flavor release를 종속변수로 반응 표면 분석법을 행한 결과 송풍 온도는 170°C, 분무 속도는 15,000 rpm이 우수한 공정 조건임을 예측 할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 1996년 농림수산부에서 시행한 농림수산 기술개발사업에 의해 수행된 결과중의 일부이며 연구비 지원에 감사드립니다.

문 헌

1. Re, M.I. Microencapsulation by spray drying. *Drying Technol.* 16(6): 1195-1236 (1998)
2. Dziezak, J.D. Microencapsulation and encapsulated ingredients. *Food Technol.* 42(4): 136-151 (1988)
3. Kwan, I.B. Microencapsulated flavors: its preparation and application. *Food Sci. & Ind.* 30(2): 26-35 (1997)
4. Kieckbusch, T.G. and King, C.J. Volatiles loss during atomization in spray drying. *AIChE J.* 26(5): 718-725 (1980)
5. Shahi, F.S. and Han, X. Encapsulation of food ingredients. *Cri. Rev. in Food Sci. and Nut.* 33(6): 501-574 (1993)
6. Donhowe, D.P., Amundson, C.H. and Hill, C.G. Performance of heat recovery system for a spray dryer. *J. Food Process Eng.* 12(2): 13-32 (1989)
7. Sankarikutty, B., Sreekumar, M.M., Narayannan, C.S. and Mathew, A.G. Studies on microencapsulation of cardamon oil by spray drying techniques. *J. Food Sci. Technol.* 25(3): 352-356 (1988)
8. William, E.B. and Reineccius, G.A. Influence of dryer infeed matrices on the retention of volatile flavor compounds during spray drying. *J. Food Sci.* 47: 254-259 (1981)
9. Risch, S.J. and Reineccius, G. A. Differences between gum acacias for the spray drying of citrus oils. *Perfumer & Flavorist* 15(7/8): 55-58 (1990)

10. Cho, Y.H. Shin, D.S. and Park J. A study on wall materials for flavor encapsulation. *Korean J. Food Sci. Technol.* 31(6): 1563-1569 (1999).
11. Risch, S.J. and Reineccius, G.A. Spray dried orange oil-effect of emulsion size on flavor retention and shelf stability, pp. 67-77. In: *Flavor Encapsulation*, Risch, S.J. and Reineccius, G.A. (eds.). ACS symposium series No 370, American Chemical Society, Washington D.C., USA (1988)
12. Zilberboim, R., Kopelman, I.J. and Talmon, Y. Microencapsulation by a dehydrating liquid a microstructural study by scanning electron microscopy. *J. Food Sci.* 51(5): 1307-1320 (1986)
13. Hansen, F. and Flink, J.M. Application of microscopic techniques to the description of structure of dehydrated food systems. *J. Food Sci.* 41: 483-489 (1976)
14. Montgomery, D.C. *Design & Analysis of Experiments*, 2nd ed, pp. 445-474. John Wiley & Sons, New York, USA (1984)
15. Sung, N.K. *SAS/STAT-Regression Analysis*, pp. 201-230. Jayu Academy, Seoul, Korea (1991)
16. Sheu, T.Y. and Rosenberg, M. Microencapsulation by spray drying ethyl caprylate in whey protein and carbohydrate wall systems. *J. Food Sci.* 60(1): 98-103 (1995)
17. Reineccius, G.A. and Bangs, W.E. Spray drying of food flavors III. Optimum infeed concentrations for the retention of artificial flavors. *Perfumer & Flavorist* 9(2/3): 27-29 (1985)
18. Reineccius G.A. and Kinha, J. Spray drying of food flavors- IV. The influence of flavor solvent on release of volatile flavors. *Perfumer & Flavorist* 13(8/9): 1-4 (1988)
19. Toda, G., Kadota, S., Kato, Y. *Food Emulsifier-Basic and Application*, pp. 167-190. Kwanglim, Tokyo, Japan (1998)
20. Fishman, M.L. Edible and biodegradable polymer films-challenge and opportunities. *Food Technol.* 51(2): 60-72 (1997)
21. Risch, S.J. and Reineccius, G.A. Spray-drying of food flavors, pp. 55-63. In: *Flavor Encapsulation*, Risch, S.J. and Reineccius, G.A. (eds.). ACS symposium series No 370, American Chemical Society, Washington D.C., USA (1988)

(1999년 10월 25일 접수)