

초포화계획에 의한 젤라틴추출실수률을 높이기 위한 연구

김철호, 전용

본문에서는 최근에 응용성이 높은 실험계획인 초포화계획을 리용하여 낙지껍질에서 젤라틴의 추출실수률을 높이기 위한 연구를 진행하였다.

선행연구[1-3]에서는 두수준초포화계획의 $E(S^2)$ -최량성기준을 만들고 직교계획과 BIB-계획들을 리용하거나 행을 첨가하는 방법으로 최량초포화계획들을 구성하였다.

선행연구[4]에서는 집집승의 가공에서 나오는 부산물을 리용하여 생산된 젤라틴의 성질을, 선행연구[5]에서는 초포화계획 $S(10, 2^{17})$ 을 리용하여 젤라틴생산성을 높이기 위한 합리적인 조건들을 연구하였다.

낙지껍질로부터의 젤라틴추출은 낙지껍질준비, 알카리처리, 산처리, 효소처리, 열처리, 제품추출과 같은 공정을 거친다.

우리는 초포화계획 $S(5, 2^{10})$ 을 리용하여 낙지부산물에 의한 젤라틴생산공정에서 젤라틴추출실수률을 높이기 위한 통계적연구를 진행하였다.

초포화계획에 의한 젤라틴추출실수률의 최적조건을 결정하기 위하여 먼저 추출공정에 영향을 주는 인자와 특성지표들에 대하여 보자.

낙지껍질로부터 젤라틴을 추출하는 생산공정에서 가장 중요한 특성지표는 젤라틴의 추출실수률이다.

젤라틴추출실수률은 알카리처리, 산처리, 효소처리, 열처리공정을 거쳐 얻어지는 상등액으로부터 다음의 식으로 얻어진다.

$$\text{추출실수률(\%)} = \frac{\text{상등액히드록시프로린함량(g/mm)} \times \text{상등액체적}}{\text{가죽의 히드록시프로린함량(g/g)} \times \text{가죽의 질량}}$$

낙지껍질로부터 젤라틴을 추출하는 생산공정에 영향을 주는 인자와 그 수준들은 표 1과 같다.

우리는 젤라틴을 추출실수률에 영향을 미치는 인자로 2수준인자 $m=10$ 개를 포함하는 회귀모형의 회귀결수들을 추정하는 문제를 연구한다.

다음으로 중요인자선택을 위한 실험조작과 회귀모형작성에 대하여 보자.

젤라틴의 추출실수률을 높이기 위하여 선정된 인자와 수준수를 고려하여 실험계획으로서 선행연구[1]에서의 구성방법에

표 1. 추출공정에 영향을 주는 인자와 수준

기 호	인 자 들	단 위	수 준(-1)	수 준(+1)
x_1	알카리시약	-	KOH	NaOH
x_2	알카리농도	%	0.3	0.5
x_3	알카리처리시간	h	36	48
x_4	염산농도	%	0.1	0.2
x_5	효소	-	1	2
x_6	효소력	U/g	10	20
x_7	효소처리온도	°C	0	4
x_8	효소처리시간	h	4	8
x_9	열처리온도	°C	70~80	80~90
x_{10}	열처리시간	min	20	30

따르는 $E(S^2)$ -최량초포화계획 $S(5, 2^{10})$ 을 리용하기로 한다.

$$S(5, 2^{10}) = \begin{pmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & -1 & -1 & +1 & +1 & +1 & -1 & -1 & -1 & +1 \\ -1 & +1 & +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & -1 & +1 & -1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & -1 \\ +1 & +1 & -1 & +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}$$

이 계획에 의한 실험조직과 매 실험점에서 젤라틴을 추출하여 얻은 실수율을 반복측정한 평균실수율 S 값들은 표 2와 같이 주어졌다.

표 2. 최량초포화계획 $S(5, 2^{10})$ 에 의한 실험조직과 관측결과

No.	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	x_9	x_{10}	평균추출실수율/%
1	-1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	51.88
2	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	-1	+1	38.22
3	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	49.24
4	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	-1	29.92
5	+1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	-1	-1	-1	35.94

여기서 +1, -1은 각각 인자들의 첫째 수준, 둘째 수준들을 기호로 표시한것이다.

이제 회귀모형

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{10} \beta_i x_i + \varepsilon \quad (*)$$

에 대한 회귀계수를 추정하기 위하여 초포화계획 $S(5, 2^{10})$ 에 의한 독립변수행렬을

$$X = \begin{pmatrix} +1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & -1 & -1 & +1 & +1 & +1 & -1 & -1 & -1 & +1 \\ +1 & -1 & +1 & +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & -1 & +1 & -1 \\ +1 & +1 & -1 & +1 & -1 & +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & -1 \\ +1 & +1 & +1 & -1 & +1 & -1 & -1 & +1 & -1 & -1 & -1 \end{pmatrix}$$

라고 할 때 대응되는 정보행렬 $X^T X$ 는 다음과 같다.

$$X^T X = \begin{pmatrix} 5 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ -1 & 5 & 1 & 1 & 1 & 1 & -3 & 1 & 1 & -3 & -3 \\ -1 & 1 & 5 & 1 & 1 & -3 & 1 & 1 & -3 & 1 & -3 \\ -1 & 1 & 1 & 5 & -3 & 1 & 1 & 1 & -3 & 1 & -3 \\ -1 & 1 & 1 & -3 & 5 & 1 & 1 & 1 & -3 & -3 & 1 \\ -1 & 1 & -3 & 1 & 1 & 5 & 1 & -3 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & -3 & 1 & 1 & 1 & 1 & 5 & -3 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -3 & 1 & 1 & -3 & 5 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -3 & 1 & -3 & 1 & -3 & 1 & 5 & 1 & 1 \\ -1 & -3 & 1 & 1 & -3 & -3 & 1 & 1 & 1 & 5 & 1 \\ -1 & -3 & -3 & -3 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 5 \end{pmatrix}$$

그런데 이 행렬은 퇴화행렬이므로 회귀계수를 추정하기 위하여 일반화된 거꾸행렬을 리용하였다.

관측값(표 2)과 식 (*)에 의하여 최소두제곱법을 리용하여 회귀결수 β 를 추정하면 $\hat{\beta} = A^{-1}X^T Y = (27.370 \ 3 \ 0.940 \ 4 \ -0.584 \ 3 \ -13.150 \ 3 \ -14.252 \ 9 \ 0.508 \ 4 \ 1.109 \ 6 \ -1.282 \ 7 \ -0.487 \ 9 \ -1.324 \ 4 \ -0.404 \ 5)^T$

이다. 여기서 A^{-1} 는 $X^T X$ 의 일반화된 거꾸행렬이다.

추정된 회귀결수들을 무게값순서로 배열하면 표 3과 같다.

표 3. 무게값의 순서로 배열한 회귀결수추정값

No.	인자	회귀결수	추정값	무게값	No.	인자	회귀결수	추정값	무게값
1	x_4	$\hat{\beta}_4$	-14.252 9	41.860	6	x_1	$\hat{\beta}_1$	0.940 4	2.760
2	x_3	$\hat{\beta}_3$	-13.150 3	38.620	7	x_2	$\hat{\beta}_2$	-0.584 3	1.710
3	x_9	$\hat{\beta}_9$	-1.324 4	3.890	8	x_5	$\hat{\beta}_5$	0.508 4	1.490
4	x_7	$\hat{\beta}_7$	-1.282 7	3.760	9	x_8	$\hat{\beta}_8$	-0.487 9	1.433
5	x_6	$\hat{\beta}_6$	1.109 6	3.260	10	x_{10}	$\hat{\beta}_{10}$	-0.404 5	1.188

중요인자 6개에 의하여 추정모형을 만들었을 때 기여률을 계산하면 표 4와 같다.

표 4. 인자 6개를 가지는 추정모형들의 기여률

No.	추정결수						기여률
1	$\hat{\beta}_4$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_9$	$\hat{\beta}_6$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	0.918 3
2	$\hat{\beta}_4$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_7$	$\hat{\beta}_6$	$\hat{\beta}_1$	*	0.900 5
3	$\hat{\beta}_4$	$\hat{\beta}_9$	$\hat{\beta}_7$	$\hat{\beta}_6$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	0.879 9
4	$\hat{\beta}_4$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_9$	$\hat{\beta}_7$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	0.854 9

표 4에서 보는바와 같이 6개의 중요인자들에 의한 회귀결수 $\hat{\beta}_4, \hat{\beta}_3, \hat{\beta}_9, \hat{\beta}_6, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2$ 들의 추정회귀모형은 기여률을 91.83%로 보장할수 있다는것을 알수 있다.

다음으로 통계적분석에 의한 최적조건을 결정하자.

이제 추정회귀모형의 기여률을 가장 크게 한 중요인자들에 관한 측정을 진행하면 표 5와 같다.

표 5. 중요인자들에 의한 계획행렬과 측정값

No.	x_4	x_3	x_9	x_6	x_1	x_2	S
1	-1	-1	+1	-1	-1	-1	49.30
2	+1	-1	-1	+1	-1	-1	30.22
3	-1	+1	+1	+1	-1	+1	28.40
4	-1	+1	-1	-1	+1	-1	31.92
5	1	-1	-1	-1	+1	+1	25.94

이때 중요인자들에 의한 회귀모형의 추정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\hat{y} &= \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \hat{\beta}_2 x_2 + \hat{\beta}_3 x_3 + \hat{\beta}_4 x_4 + \hat{\beta}_6 x_6 + \hat{\beta}_9 x_9 = \\ &= 27.370 + 0.940 x_1 - 0.584 x_2 - 13.150 x_3 - 14.250 x_4 + 1.109 x_6 - 1.324 x_9\end{aligned}$$

낙지껍질로 젤라틴을 추출하는 생산공정에서 추출이후 실수률에 대한 요구(실수률 = $57.7 \pm 1.2(\%)$)를 만족시키는 최적조건과 실수률의 예측값과 최적조건에서 실험한 결과는 표 6과 같다.

표 6. 실수율의 요구를 만족시키는 최적조건

변수	인자	최적조건(단위)
x_1	알카리시약	NaOH
x_2	알카리농도	0.3(%)
x_3	알카리처리시간	48(h)
x_4	염산농도	0.2(%)
x_6	효소력	10(U/g)
x_9	열처리온도	80~90(°C)
예측	실수율	57.7 ± 1.2(%)
검토실험	실수율	56.9 ± 1.4(%)

참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 63, 10, 19, 주체106(2017).
- [2] V. K. Gupta et al.; J. Statist. Plann. Inference, 140, 2531, 2010.
- [3] Minqian Liua et al.; J. Statist. Plann. Inference, 91, 139, 2000.
- [4] S. Benjakul et al.; Food Chem., 116, 445, 2009.
- [5] M. Jridia et al.; Food and Bioproducts Processing 94, 525, 2015.

주체106(2017)년 12월 5일 원고접수

A Study for Improving the Actual Extract Rate of the Extraction of Gelatin using Supersaturated Design

Kim Chol Ho, Jon Ung

We did a statistical study to improve the actual extract rate of the extraction of gelatin from the skin of cuttlefish using two level supersaturated design $S(5, 2^{10})$.

In this paper, the supersaturated design was used in screening the key parameters influencing on the gelatin extraction yield and then we obtained an optimal condition for gelatin extraction by the statistical method.

Key words: two level supersaturated design, gelatin extraction