

최량초포화계획에 의한 수지연필 2B심의 구부림세기를 개선하기 위한 생산공정의 합리화

김철호, 임진수

최근에 실험회수를 줄이기 위한 실험계획적연구가 심화되면서 초포화계획에 대한 연구가 활발히 진행되고있다.

선행연구[2]에서는 처음으로 초포화계획을 정식화하고 2수준초포화계획의 최량성문제를 제기하였으며 선행연구[1, 4, 6]들에서는 2수준, 여러수준최량초포화계획들의 구성법들을 논의하였다. 선행연구[5]에서는 라오에 의하여 일반화된 거꿀행렬의 성질을 밝힘으로써 초포화계획에 대한 회귀파라미터추정의 가능성정도를 평가하였다.

선행연구[3]에서는 두수준초포화계획 $S(10, 2^{17})$ 을 리용하여 젤라틴의 실수률개선을 위한 생산공정에서 중요한 인자들을 선택하고 합리적인 공정조건을 연구하였다.

본문에서는 초포화계획을 리용하여 수지연필2B심의 구부림세기를 개선하기 위한 생산공정의 합리화에 대한 연구를 진행하였다.

수지연필심생산공정에서 수지연필심질을 높이는 문제를 해결하자면 생산공정에 영향을 주는 모든 배합인자와 공정인자들을 모두 동시에 고찰해야 하는데 그러자면 많은 인자들을 고려하여 실험조직을 진행해야 한다.

우리는 선행연구[6]에서 연구된 직교표에 의한 2수준최량초포화계획을 리용하여 수지연필심의 구부림세기에 영향을 미치는 배합 및 공정인자들을 모두 포함하여 실험을 조직하고 중요인자들을 선택하여 공정의 합리적인 조건들을 결정하는 문제를 연구하였다.

심의 구부림세기는 3점구부림원리에 따라 $f = 8PL/(\pi D^3)$ 로 계산한다. 여기서 P 는 심이 파괴될 때의 하중(kg), L 은 심의 측정점들사이의 거리(cm), D 는 심의 직경(cm)이다.

수지연필심생산에 영향을 주는 배합인자와 공정인자, 그 수준들은 표 1과 같다.

표 1. 수지연필심생산에 영향을 주는 배합 및 공정인자와 수준들

기호	인자	단위	수준 (-1)	수준 (+1)	기호	인자	단위	수준 (-1)	수준 (+1)
x_1	흑연립도	채	0.2	0.4	x_{12}	배합시간	분	5	10
x_2	흑연순도	%	60	70	x_{13}	배합순서	방법	1	2
x_3	수지량	g	30	40	x_{14}	롤회수	회	30	40
x_4	용매량	g	15	25	x_{15}	압심온도	°C	100	120
x_5	가소제종류	-	톨루올	아세톤	x_{16}	심봉온도	°C	90	110
x_6	가소제량	g	8	14	x_{17}	심봉압력	기압	6	8
x_7	첨가제(A)량	g	250	300	x_{18}	압심압력	°C	1	2
x_8	카본(탄소그을음)량	g	30	50	x_{19}	저온구역소성승온속도	°C/분	10	30
x_9	스테아린산마그네시움량	mg	20	35	x_{20}	고온구역소성승온속도	°C/분	50	70
x_{10}	스테아린산아연량	mg	9	12	x_{21}	소성최종온도	°C	950	900
x_{11}	산화아연량	mg	18	20	x_{22}	소성최종온도유지시간	분	60	90

수지연필심의 구부림세기를 높이기 위하여 선정된 배합인자와 공정인자, 그 수준수를 고려하여 실험계획으로서 포화직교계획 $L_{12}(2^{11})$ 에 의하여 만든 다음의 2수준 $E(s^2)$ 최량 초포화계획 $S(12, 2^{22})$ 을 리용하기로 한다.

$S(12, 2^{22}) =$

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

이 계획에 의한 실험조직과 매 실험점에서 소성이후 수지연필심의 관측특성인 구부림세기를 반복측정한 평균구부림세기값 \bar{y} 들은 다음과 같다.(표 2)

표 2. $E(s^2)$ 최량초포화계획 $S(12, 2^{22})$ 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}	x_{11}	x_{12}	x_{13}	x_{14}	x_{15}	x_{16}	x_{17}	x_{18}	x_{19}	x_{20}	x_{21}	x_{22}	\bar{y} / MPa
1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	2.72
2	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	2.16
3	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1.96
4	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	2.04
5	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	2.87
6	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	2.56
7	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	2.19
8	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	2.27
9	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	2.53
10	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	2.12
11	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	2.17
12	-1	1	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	-1	2.31

-1, +1은 인자들의 수준 1, 2를 각각 표시한것이다.

회귀모형

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{22} \beta_i x_i + \varepsilon \quad (1)$$

에 대한 회귀결수를 추정하기 위하여 초포화계획 $S(12, 2^{22})$ 에 의한 독립변수행렬 X 를 작성하고 정보행렬 $X^T X$ 를 계산하면 초포화성으로부터 행렬은 퇴화된다.

그러므로 회귀결수를 추정하자면 일반화된 거꿀행렬을 리용해야 한다.[5]

모형 (1)에 대한 회귀결수의 추정량은 정보행렬 $X^T X$ 에 대한 일반화된 거꾸행렬 A^- 에 의하여 다음과 같이 표시할수 있다.

$$\hat{\beta} = A^- X^T Y \quad (2)$$

따라서 관측값(표 2)들을 리용하면 식 (2)에 의하여 회귀결수 β 의 추정량

$$\hat{\beta} = A^- X^T Y = (2.326\ 7, -0.484\ 3, -0.546\ 0, -0.066\ 3, -0.048\ 0, -0.834\ 2, -0.832\ 6, \\ -0.523\ 5, -0.608\ 5, 0.358\ 9, 0.362\ 2, -0.544\ 4, -0.441\ 0, 0.350\ 3, 0.282\ 1, \\ 0.029\ 0, 0.024\ 0, -0.101\ 5, -0.151\ 5, 0.336\ 1, 0.289\ 4, -0.614\ 1, -0.817\ 5)^T$$

를 얻는다.

추정된 회귀결수들의 무게기여
률이 큰 인자 10, 9, 8개에 의하여
추정모형을 만들었을 때 회귀모형
에 대한 기여률을 계산한 결과는
표 3과 같다.

표 3에서 보는바와 같이 10개
의 중요인자 $\hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \hat{\beta}_5, \hat{\beta}_6, \hat{\beta}_7,$
 $\hat{\beta}_8, \hat{\beta}_{11}, \hat{\beta}_{12}, \hat{\beta}_{21}, \hat{\beta}_{22}$ 들에 의한 회

표 3. 추정회귀모형들의 기여률

No.	추정결수										기여률
1	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_5$	$\hat{\beta}_6$	$\hat{\beta}_7$	$\hat{\beta}_8$	$\hat{\beta}_{11}$	$\hat{\beta}_{12}$	$\hat{\beta}_{21}$	$\hat{\beta}_{22}$	0.931
2	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$	$\hat{\beta}_{11}$	$\hat{\beta}_{12}$	$\hat{\beta}_{13}$	$\hat{\beta}_{14}$	$\hat{\beta}_{21}$	$\hat{\beta}_{22}$	0.914
3	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_5$	$\hat{\beta}_6$	$\hat{\beta}_7$	$\hat{\beta}_8$	$\hat{\beta}_{11}$	$\hat{\beta}_{12}$	$\hat{\beta}_{22}$	*	0.911
4	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_5$	$\hat{\beta}_6$	$\hat{\beta}_7$	$\hat{\beta}_8$	$\hat{\beta}_{11}$	$\hat{\beta}_{21}$	$\hat{\beta}_{22}$	*	0.905
5	$\hat{\beta}_5$	$\hat{\beta}_6$	$\hat{\beta}_7$	$\hat{\beta}_8$	$\hat{\beta}_{11}$	$\hat{\beta}_{12}$	$\hat{\beta}_{21}$	$\hat{\beta}_{22}$	*	*	0.902
6	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_5$	$\hat{\beta}_6$	$\hat{\beta}_7$	$\hat{\beta}_8$	$\hat{\beta}_{11}$	$\hat{\beta}_{22}$	*	*	0.876

귀결수들의 추정회귀모형이 가장 높은 기여률 93.1%를 보장할수 있다는것을 알수 있다.

추정회귀모형의 기여률이 가장 높은 중요인자들에 관한 회귀모형을 표 4와 같은 계획
행렬과 측정값을 가지고 통계체계(Statistic 6.0)를 리용하여 다시 추정을 진행하여 회귀분석
을 진행한 결과는 표 5와 같다.

표 4. 중요인자들에 의한 계획행렬과 측정값

No.	x_1	x_2	x_5	x_6	x_7	x_8	x_{11}	x_{12}	x_{21}	x_{22}	y
1	-1	1	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	2.571 7
2	-1	1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1	2.371 7
3	-1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	1	1.998 3
4	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	1.995 0
5	-1	-1	1	1	-1	-1	1	1	1	-1	2.781 7
6	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	1	-1	2.611 7
7	1	1	1	-1	1	1	-1	-1	1	-1	2.281 7
8	1	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	2.251 7
9	1	1	-1	-1	1	-1	1	1	1	-1	2.485 0
10	1	-1	1	1	-1	1	-1	1	-1	1	2.045 0
11	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	-1	1	2.078 3
12	1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	2.448 3

표 5. 유의한 인자의 회귀분석결과

	$\hat{\beta}$	표준편차	T검정값	p-값		$\hat{\beta}$	표준편차	T검정값	p-값
상수	2.32	0.114	48.386	0.013	x_8	-0.61	0.870	-1.290	0.418
x_1	-0.48	0.360	-2.692	0.226	x_{11}	-0.54	0.552	-2.110	0.282
x_2	-0.55	0.679	-1.623	0.352	x_{12}	-0.44	0.428	-3.140	0.317
x_5	-0.83	0.603	1.769	0.327	x_{21}	-0.61	0.531	1.682	0.273
x_6	-0.83	0.446	2.595	0.234	x_{22}	-0.82	0.397	-1.137	0.321
x_7	-0.52	0.483	-2.290	0.262					

이때 유의한 인자들에 의한 회귀모형의 추정식은 다음과 같다.

$$\hat{y} = \hat{\beta}_0 + \hat{\beta}_1 x_1 + \hat{\beta}_2 x_2 + \hat{\beta}_5 x_5 + \hat{\beta}_6 x_6 + \hat{\beta}_7 x_7 + \hat{\beta}_8 x_8 + \hat{\beta}_{11} x_{11} + \hat{\beta}_{12} x_{12} + \hat{\beta}_{21} x_{21} + \hat{\beta}_{22} x_{22} = \\ = 2.33 - 0.48x_1 - 0.55x_2 - 0.83x_5 - 0.83x_6 - 0.52x_7 - 0.61x_8 - 0.54x_{11} - 0.44x_{12} - 0.61x_{21} - 0.82x_{22}$$

따라서 수지연필심생산공정에서 소성이후 구부림세기를 최대로 높이기 위한 조건과 이 조건에서의 구부림세기의 예측값과 실험값은 다음과 같다.(표 6)

표 6. 구부림세기를 높이는 합리적인 조건

인자	조건	인자	조건
흑연립도(채)	0.2	산화아연량/mg	18
흑연순도/%	60	배합순서/방법	1
가소제종류	톨루올	소성최종온도/°C	950
가소제량/g	8	최종온도유지시간/min	60
첨가제(A)량/g	250	구부림세기의 예측값/MPa	3.56
카본량/g	30	구부림세기의 실험값/MPa	3.23 ± 0.42

결과적으로 우리는 수지연필2B심의 구부림세기를 개선하기 위한 수지연필심생산공정에서 중요인자들을 선택하고 수지연필2B심의 구부림세기를 종전에 비하여 평균 0.8MPa정도 개선하는 합리적인 조건을 구할수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] K. Chatterjee et al.; Journal of Statistical Planning and Inference, 113, 589, 2003.
- [2] S. D. Georgiou; Journal of Statistical Planning and Inference, 144, 92, 2014.
- [3] M. Jridia et al.; Food and Byproducts Processing, 94, 525, 2015.
- [4] P. R. Scintoa et al.; Quality Engineering, 23, 15, 2011.
- [5] Rao C. R.; Generalized Inverse of Matrices and its Applications, John Wiley, 23~145, 1971.
- [6] Xuan Lu et al.; Journal of Statistical Planning and Inference, 86, 229, 2000.

주체107(2018)년 9월 8일 원고접수

A Rationalization of the Manufacturing Process for Improvement the Bending Strength of Mechanical Pencil 2B Black Lead by Optimal Supersaturated Design

Kim Chol Ho, Om Jin Su

We study to improve the bending strength of the mechanical pencil 2B black lead using the supersaturated design involving 2-level factors. We search the rational condition for improvement the bending strength of the mechanical pencil 2B black lead using 2-level $E(s^2)$ optimal supersaturated design $S(12, 2^{22})$.

Key words: 2-level factor, supersaturated design