

## Frit제품 개발을 위한 최적 원료배합비에 관한 연구

정재화, 김형준, 신주호, 이동권, 이문용, 꺾득연\*  
영남대학교 화학공학과, 대영산업(주)\*

### Optimal Blending Ratio of Raw Materials for Development of Frits.

Jae Hak Jung, Hyung Joon Kim, Ju Ho Shin, Dong Kwon Lee, Moon Yong Lee,  
Deuk Yun Kwak\*

Dept. of Chem. Eng., Yeungnam Univ., Dae Young Ind. co. Ltd.\*

#### 서론

Frit제품이란 세라믹 제품들의 외관을 미려케 하고, 표면에 일정한 강도를 주어 세라믹 제품의 내구성을 좋게 하는 '유약'의 통칭으로, 그 수요처는 주로 건축내외장재인 타일의 표면, 위생도기류, 주방용기 등에 널리 사용되어지고있다. 도기류 제품의 완성에 있어서는 꼭 필요한 소재로서 현재 Frit류 생산의 선진국은 단연 이태리를 들 수 있다. Frit류는 의류의 Fashion과 같이 그 유행과 소비자의 기호 등에 의해 제품의 고급성여부가 결정되어지는 경향이 있으나 일반적으로 투명도, 색상, 타일표면, 원 색상 보존도, 표면강도, 열연화점(softening point), 열팽창도, 무기포성 정도, 표면평활도 등에 의해 결정된다. 최근 선두주자인 이태리의 신제품에 손색없는 우수제품을 모방생산하거나, 그 이상의 품질의 제품을 생산하고자하는 노력들이 영국, 프랑스, 대만, 말레이시아, 한국 등지에서 경주되고 있다. 각국에서 전세계 Frit류 시장을 두고 그 경쟁이 매우 치열한 상황이며, 그 시장의 약 60%이상이 이태리 신제품의 동계열 대응제품시장이며 이 시장을 이태리 외의 각국이 일찍 점유하는 순서대로 시장 크기를 할당하게된다. 대만의 경우 목표제품의 성분 분석 후 약 30-40일이 소요된 후 대응제품을 시장에 내어 놓는다. 한국의 경우 Frit류의 유일한 수출기업인 대영산업(주)이 국내 Frit류의 대부분을 생산하고있다. 대영산업(주)의 경우 목표제품의 성분분석후 약 90-100일 후 대응제품이 시장에 나가게되므로 전세계 시장점유율 측면에서 상당히 열세를 보이고 있다. 따라서 본 연구에서는 대응제품 출하기간을 약 15일-20일로 단축하고, 현재의 방법으로 개발한 원료배합비에 따른 원가를 보다 줄이며 기존의 제품에 비해 품질이 뒤지지 않는 혹은 개선된 품질의 제품을 생산하는 방법으로서 LP(Linear Programming)에 의한 최적화 기법을 도입하여 좋은 성과를 얻었다.

#### Frit류의 원료와 주성분 및 제조방법

Frit류의 주요원료는  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{ZnO}$  등을 다량 함유한 장석, 규석 등의 여러 가지 광물질과 기타 부수적으로 석회석, 납석 등의 소량성분이 있다. 다음 <표1>에 기존의 사용원료와 각 원료들의 성분비 그리고 각원료의 kg당 가격을 나타내었다. 기업의 Know-How 보호를 위해 본 논문에서는 단지 원료의 종류를  $x_i$ , 성분의 종류를  $y_j$ 로 표시하였다.

<표1> 각 원료의 성분비 및 가격

원료 \ 성분	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>3</sub>	y <sub>4</sub>	y <sub>5</sub>	...	y <sub>15</sub>	Ig-loss	가격(W/kg)
x <sub>1</sub>	99.53	0.26	0.03	0.02	0.01		0.02	0.26	300
x <sub>2</sub>	97.22	1.53	0.08	0.01	0.04		0.15	0.5	156
x <sub>3</sub>	99.3	0.47	0.05	0.02	0.01		0.04	0.42	80
⋮									
x <sub>19</sub>							0.59	471	156

Frit의 특성은 투명도, 색도, 색채의 명암, 표면 광택도, 평활도, 열 내구성 및 Seger 수로 특징 지워진다. 이러한 특성들은 그 성분이 어떤 분율로 이루어지는가에 따라 달라진다. Frit류의 제조방법은 특정제품을 얻기 위해 각종원료(장석, 규석, 석회석, 납석등)를 밀링하여 주어진 배합비로 혼합한 후, Gas로에서 1400-1450℃로 용융시킨후 냉각 로울러를 통과시켜 판상형태의 제품을 얻고, 이를 분쇄시켜 계량한 후 포장하여 출하한다. 이렇게 만들어진 Frit는 물과 혼합하면서 Ball mill에서 밀링한후 현탁액을 타일 등 요업제품표면에 도포한 후 소성로에서 제품에 따라 내장용은 1030-1080℃, 바닥용은 1200℃에서 굽는다. 이때 열소성변형, 열팽창차이에 의한 휨, 뒤틀림, Frit류 내부의 세공기포등이 불량인 요인이 되며 여기에는 복잡한 여러 가지 이유가 있으나 Frit류 제품성 성분비도 그 원인이 될 수 있다. 본 연구에서는 우선 기존의 대영산업 생산제품 (이하 제품-1이라 명명함)의 성분을 그대로 가지면서 더욱 값싼 또다른 원료배합비를 얻고자 실험하였고, 더 나아가 제품-1의 단점을 보완한 보다 양질의 제품개발을 목표로 연구하였다.

**최적원료배합비를 위한 LP modeling**

대영산업(주)의 Frit제품은 약 50여가지에 이르나, 그 중 비교적 호평을 얻고 있는 제품-1을 대상으로 기존 생산라인에서의 원료배합비보다 싼 원가의 원료배합비를 얻고자 하여 LP를 이용하였다. 초기 LP formulation은 다음과 같다.

$$\text{Min Cost} = \sum_{i=1}^N C_i x_i \quad \text{-----} \quad \text{①}$$

$$\text{Subject to : } \left. \begin{array}{l} y_1 = a_1 \\ y_2 = a_2 \\ \vdots \\ y_M = a_M \end{array} \right\} \text{-----} \quad \text{②}$$

$$\sum_{i=1}^N x_i = 100 \quad \text{-----} \quad \text{③}$$

$$\left. \begin{array}{l} y_1 - \sum_{i=1}^N b_{1i} x_i = 0 \\ y_2 - \sum_{i=1}^N b_{2i} x_i = 0 \\ \vdots \\ y_M - \sum_{i=1}^N b_{Mi} x_i = 0 \end{array} \right\} \text{-----} \quad \text{④}$$

c<sub>i</sub>는 각원료의 kg당 원가, a<sub>i</sub>는 특정제품의 주어지는 성분비, b<sub>ij</sub>는 각원료가 함유하는 성분들의 비율이다. 본 LP model은 x<sub>19</sub> \* y<sub>15</sub>의 크기로 풀이는 PC 486에

서 LINDO를 사용하여 풀이하였다. 위의 LP는 자주 infeasible solution의 결과를 나타내었는데 그 이유는 각원료가 성분을 고루 갖고 있지 않고 매우 편중되게 갖고 있어서 미량함유원소를 맞추기가 까다롭기 때문이다. 그래서 본 연구는 보다 강건한 해답을 얻기 위해 항상 solution이 도출되도록 LP modeling을 수정하여 사용하였다. 수정방법은 2가지로 첫째 식 ②의 엄격한 equality constraint를 다소 풀어주는 것으로 = 대신 >=로 바꾸어 준다. 목적함수가 cost의 최소화이므로 가능한 한 식 ②의 제약조건도 equality에 맞추어 줄려고 LP는 노력하게 될 것이다. 그 후 한두 가지 성분이 제품에 영향을 줄 정도로 커지게되면 이들 몇 개의 제약 조건만 equality로 두고 다시 LP를 풀이하여 근사해를 얻게 된다. 두번째 방법은 y<sub>6</sub>값의 성분분율을 제품에 영향이 없을 정도의 한계 내에서 그 범위를 준다. 미량 성분의 범위를 다소 많이 주더라도 Frit류 제품특성상 큰 문제가 없다는 것을 보다 유용하게 활용할 경우 LP의 수렴에 크게 도움을 줄 수 있다. 본 연구에서는 위의 두가지 시도로 모든 어떤 유형의 문제도 모두 최적해를 얻을 수가 있었고 모든 결과는 매우 만족스러운 범주 내에 들어가고 있다.

**실제 제품실험 및 기존제품과의 비교**

본 연구를 통한 최적 원료배합비의 결과는 수치적으로는 모든 측면에서 만족할 만한 결과를 보이고 있으나, 그 결과를 실제조업에 적용했을 때 어떤 결과를 보여줄 것인가에 대한 실제 제품의 제조실험 및 그 결과의 분석이 가장 중요하다. 제품의 원가와 그 품질을 비교하기 위해 기존의 대영산업(주)의 제품중 제품-1을 대상으로 실험하여 비교분석 해 보았다.

제품-1은 기존 이태리제품을 목표제품으로하여 개발된 대영산업(주)의 고유상품이다. 다음 <표2>에 기존의 제품-1, 본 연구의 두가지 방법에 의한 제의 성분을 나타내었다. 또한 Seger 수를 나타내기 위해 RO, R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, RO<sub>2</sub> 즉 염기성, 산화물, 과산화물의 수치를 비교해 놓았다. Seger 수식은 유약의 조성을 구성 산화물의 몰비로 표시한 것으로서 Frit중 산성 분자 대 염기성 분자의 비가 1:1과 3:1사이에 있어야 한다. <표2>에서 볼 수 있듯이 제품의 성분비는 매우 유사하지만 본 연구의 두번째 제품이 다소 차이가 난다고 보아진다. 최종 제품의 품질비교는 <표3-1>과 <표3-2>에 나타내었으며 <표3-1>과 <표3-2>에서도 나타나듯이 본 연구에 의한 제품들이 품질 및 원가의 모든 면에서 상당히 우수함을 알 수있다.

<표2> 제품 성분비 결과

<표3-1> 원료 배합비 결과 (단위:원)

	제품-1	본 연구 1	본 연구 2		제품-1	본 연구 1	본 연구 2
y <sub>1</sub>	63.863	63.856	63.907	x <sub>5</sub>	300	288.9	291.2
y <sub>2</sub>	5.879	5.879	5.953	x <sub>6</sub>	-	76.5	38.9
y <sub>5</sub>	2.86	2.86	2.903	x <sub>8</sub>	153	159.3	152.7
y <sub>6</sub>	9.636	10.202	9.706	x <sub>9</sub>	-	-	0.8
y <sub>7</sub>	0.2951	0.2951	0.397	x <sub>10</sub>	284	226.9	259.2
y <sub>8</sub>	4.086	4.086	4.207	x <sub>11</sub>	41	49.5	42.4
y <sub>10</sub>	0.0113	0.0113	0.1021	x <sub>12</sub>	10	-	9.4
y <sub>11</sub>	3.155	3.143	3.198	x <sub>14</sub>	84	84	84
y <sub>13</sub>	9.477	9.477	9.468	x <sub>15</sub>	71	70.4	71.8
RO	1	1	1	x <sub>17</sub>	52	44.5	49.6
R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.14	0.14	0.14	計(kg)	995	1000	1000
RO <sub>2</sub>	2.72	2.65	2.69	원재료비	399,400	391,940	397,029
				절감액		-7,460	-2,371

<표3-2> 제품 특성 분석 결과

	제품-1	본 연구 1	본 연구 2
외관색상	YELLOW	YELLOW	YELLOW
투명도	양호	우수	우수
광택도	양호	양호	양호
평활도	양호	양호	양호
S.P	800℃	800℃	800℃
Color value	L:83.3 a:-1.5 b:2.5	L:82.5 a:-1.2 b:1.5 ΔE:1.2	L:80.5 a:-1.1 b:1.3 ΔE:2.7

### 결론 및 기대효과

본 연구에 의한 제품의 품질이 매우 우수함을 앞서 볼 수 있었고, 또한 원가의 감소에도 상당히 기여하고있다. 무엇보다도 본 연구의 큰 기대효과는 재래적 실험법에 의한 신제품 혹은 유사제품의 개발에 드는 기간(약 90-100일)을 본 연구를 통해 15-20일 정도로 줄일 수 있게 되어 그 시장경쟁성에 매우 큰 효과를 줄 것으로 평가되고있다. 그 결과 시장 점유율을 최소 현재의 200%이상 증가시킬 수 있을 것으로 평가되고있다.

### 감사

본 연구를 위해 연구비를 지원해주신 대영산업(주)과 한국과학재단지정 공정산업의 지능자동화센타에 감사드립니다.

### 참고문헌

곽득연, "Frit 제조공정의 용융특성에 관한 연구", 영남대학교 산업대학원 화공과 석사학위논문, 1995.

LINDO Software manual, 1988.