

가

:

2002 6 18

3

,

1

,

1

☆ 목 차 ☆

1. 머 리 말	3
2. 직교배열표(2수준계)의 이론적 고찰	6
2.1 직교배열표의 개념 / 7	
2.2 2수준계 직교배열표의 이론적 고찰 / 12	
2.3 직교배열표 활용 실험계획 절차 모델설정 / 14	
3. 직교배열표 활용 최공공정조건 설정 실증분석	23
4. 통계프로그램 활용 직교배열 사례분석	49
4.1 SAS / 49	
4.2 SAS/IML / 52	
4.3 SPSS / 57	
5. 맺음말	60
참고문헌	61



1.

최근의 **연구개발 및 품질관리**에 실험을 통한 최적조건의 추구를 위한 **실험계획** 필요성이 점차 증대되고 있음

법랑이란 금속표면에 무기질인 유약성분을 소성용착시킨 것으로서, 현재는 주방기기, 난방기기, 산업용 열연기기부품, 건축의 내외장재 등에 널리 사용중임

법랑제품가공은 성형가공한 강판의 내외면에 법랑유약을 바른 후 소성하는 것으로 가공제품의 품질특성중 성능항목인 **밀착성**의 제품품질 확보가 관건임

중요 품질문제인 **밀착성의 품질을 향상**시키기 위한 최적 공정조건의 조기 설정으로 조기에관련 기술표준인 작업표준, 제조공정도, 중간검사규격과 관리표준인 공정관리 규정, 검사업무규정 등의 설정에 의한 **안정된 제조공정의 확보**가 중요시 됨



3K Team

본 연구의 **목적**은 법랑가공공정 중 밀착성에 영향을 미치는 공정 최적조건 설정에 대한 종합적 **분석모델의 제시** 및 **품질문제 해결**을 조기에 이룩하기 위함이 목적임

① 어떤 요인이 품질특성인 밀착성에 유의한 영향을 주는가

▶ **검정 및 추정**의 문제

② 유의한 영향을 미치는 요인들이 어떠한 공정조건을 가질 때 가장 바람직한 밀착성 결과를 얻는가

▶ **최적공정조건의 결정** 문제

③ 최적공정조건 설정에 의한 품질특성인 **밀착성의 산포감소**

④ 작업 안정화, 특성치를 가장 좋게 하는 인자들의 수준 유지로 **품질향상 도모**

3K Team

D사는 국내 최대규모의 법랑옥조(KS F 4807)를 생산하여 국내 및 해외에 공급하고 있는 법랑제품 전문 제조업체임

제조공정의 기술적 문제로 인해 밀착성에 있어서의 품질불량이 많이 발생하므로 제조공정의 최적화에 의한 안정된 품질의 제품생산을 조기에 정착시키는 것이 종대 관심사로 대두됨

실험계획기법의 선정은 일부실시법을 이용한 2수준계 직교배열표를 사용하여 데이터를 해석하고 그 결과를 추정하여 주요 공정별 제조조건의 요인의 수준에 대한 최적조건을 규명토록 함

또한 통계패키지인 SAS, SAS/IML, SPSS 등을 활용하여 최적공정조건 설정 사례에 대한 검증 실시 및 분석모델 제시

2.



(2)



2.1

(tables of orthogonal arrays)

-

-

(2)

-

- -
 -
- 가 ,

[1]

/

.

.

가

- $\dots = (df=1) = 15$
- 2 \dots ,
- 3 (ab) 6 (bc) ;
(ab) x (bc) = abbc = abc 7
- $\dots : x, y \dots : xy$

[1] 2¹⁵

실험 번호	열 번호															데이터
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	
3	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	
4	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	
5	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	
6	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	
7	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	
8	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	
9	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	
10	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	
11	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	
12	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	
13	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	
14	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	
15	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	
16	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	0	
기본 표시	a	b	a b	c	a c	b c	a b c	d	a d	b d	a b d	c d	a c d	b c d	a b c d	합계
군	1	2	3				4									
배치																

2.2

(1)

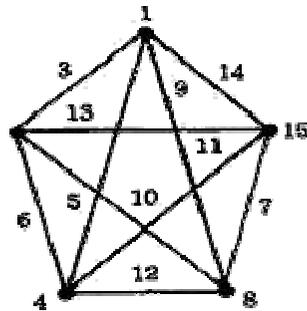
$$\text{각 열의 효과} = \frac{1}{2^{m-1}} \text{[(수준 1data합)-(수준 0data합)]}$$

$$\text{각 열의 변동} = \frac{1}{2^m} \text{[(수준 1data합)-(수준 0data합)]}^2$$

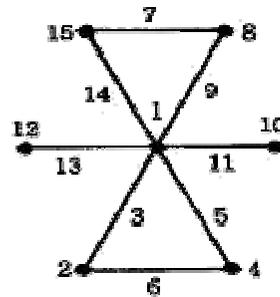
(2)

2

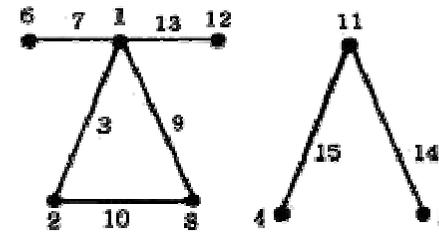
- [2] $L_{16} (2^{15})$



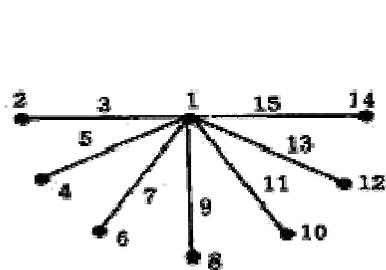
(1)



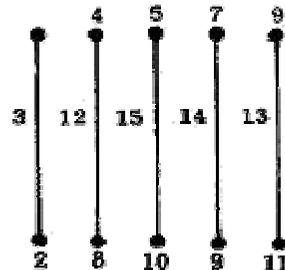
(2)



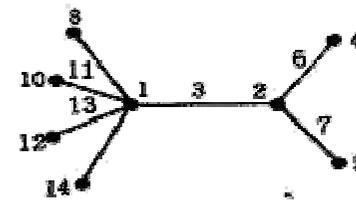
(3)



(4)



(5)



(6)

2.3

(1)

(2)

(3)

()

(,)

(가)

-
-
-
-

(3) ()

- (region of interest) - 가 ,
- - or 가
- 가
- •
- > : 2 3

(3) ()

- -
 -
 - -
 -
- :
- 가
- (가•)

(4)

- 가
- •

(5)

- ,
- or

(6)

(7)

(8)

<

>

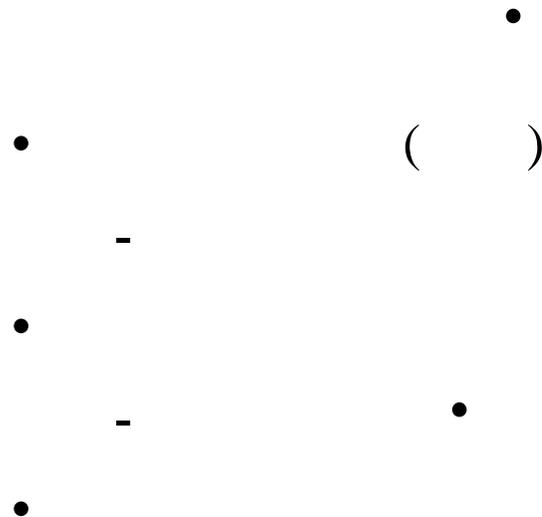
• F-

-

•

<

>



$$\mu(A_0) : \hat{\mu}(A_0) \pm t(\phi_E, \frac{\alpha}{2}) \sqrt{\frac{V_E}{n_e}}$$

$$\mu(A_1) : \hat{\mu}(A_1) \pm t(\phi_E, \frac{\alpha}{2}) \sqrt{\frac{V_E}{n_e}}$$

<

>

•

•

-

가

•

95%

$$\hat{\mu}(A_0 B_1 C_1 H_1 I_1 J_1) \pm t(\phi_E, \frac{\alpha}{2}) \sqrt{\frac{V_E}{n_e}}$$

(9)

- (/ . 가 , 가)
(-)
- [/]
(-]
- []
- , !]
[!]

(10)

- 1 2 , 3 .
- , ,
- < 1 > .
- < 2 > .
- < 3 > 2 .
-

3.

본 실증분석은 법랑옥조에 대한 한국산업규격(KS) 표시허가획득을 위하여 "D"주식 회사에 대한 8개월여 현장지도를 통하여 이루어짐

연구의 대상은 법랑제품 중에서는 법랑옥조가, 소지금속 중에서는 강법랑이, 제조법 중에서는 습식법랑, 2회 도포법랑이 해당됨

실험의 실시는 실험실 및 제조현장을 활용함

시료는 시편을 제작하여 제조현장과 동일한 조건으로 실험실에서 실시함

실험준비는 KS 표시허가 심사기준에 만족하는 우수한 설비를 이용함

분석데이터는 밀착시험기를 사용한 KS L 2324(세라믹 코오팅의 시험방법)의 밀착도 시험으로 분석데이터(결과치)를 얻음

최적공정조건의 선정을 위한 실험은 아래와 같은 방법으로 행함



3K Team

3.1

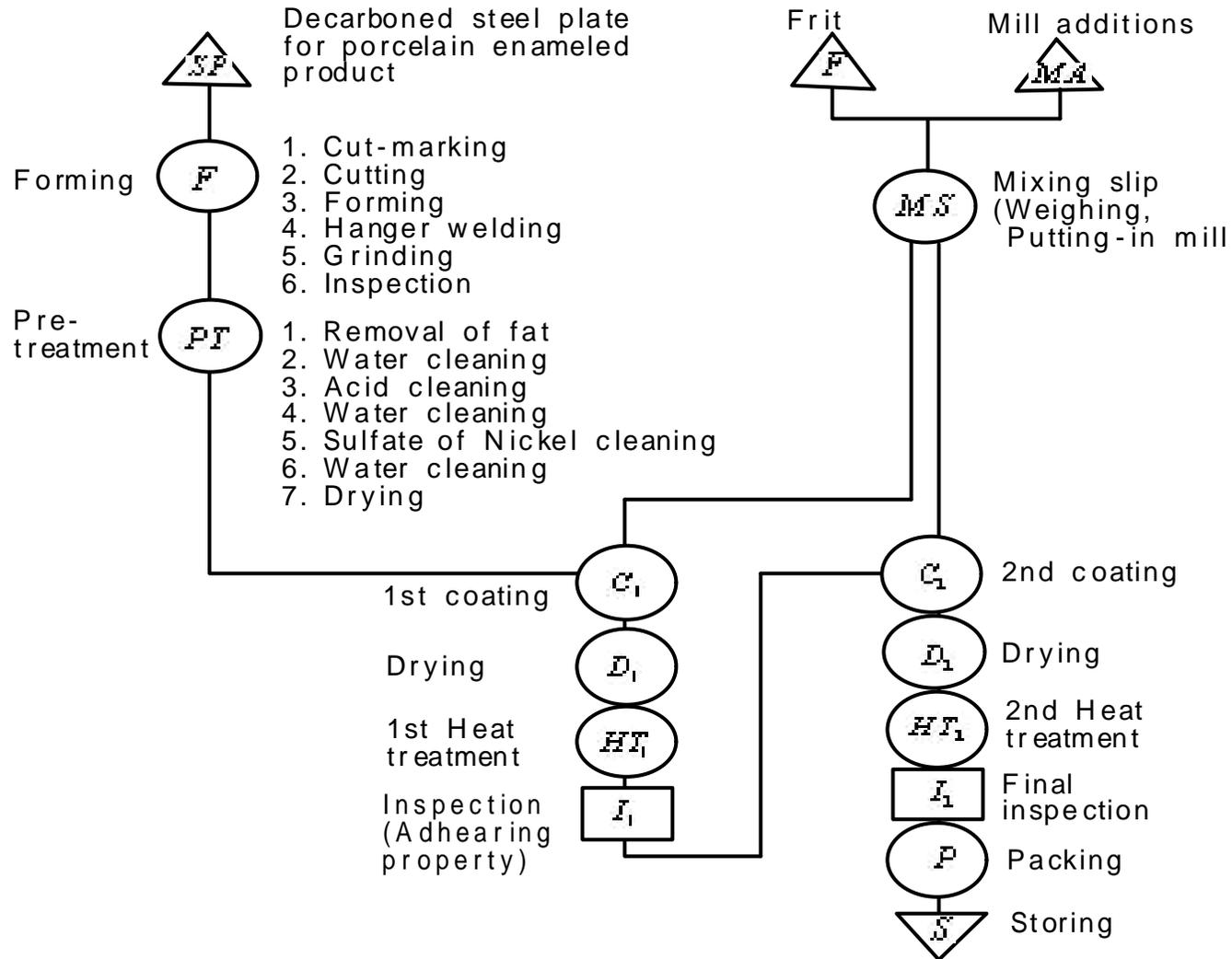
법랑옥조의 전체의 제조공정 중 세척(전처리) 공정 중에서는 탈지, 산세, 황산니켈 세 및 중화공정이, 1차코팅 공정 중에서는 유약제조공정, 1차 열처리 공정 중에서는 소성공정이 제조경험상 품질특성치인 밀착성에 영향을 미친다고 보여짐

[그림 3]의 법랑옥조 제조공정흐름도에서 1차 소성완료후의 밀착성이 중요 품질 문제로 대두되었으므로 「밀착성」을 품질특성치로 선정

3.2 ()

밀착성에 미치는 각 공정별 공정인자 및 수준을 표로 나타내면 [표 2] 와 같으며, 2인자 사이의 교호작용으로서 $B \times C, D \times F, J \times K$ 가 경험상 존재하리라 예상되어 이를 분석에 포함하기로 함





{ 3 }

{ 2 }

주 공정	세부 공정	공정 관리항목	인자	수준0	수준1	문헌기준	현 적용표준
전처리 (세조)	탈지	알칼리도 (농도)	A	35%	37%	40까지는 높을수록 좋음	35~39%
	산세	산농도	B	5%	7%	7%가 적당, 너무 높으면 법랑에서 고기비를 결함발생	6.7~7.3%
		장입시간	C	6분	7분	7분이 적당, 장입시간이 길면 고기비를 결함발생	7±1분
	황산 니켈세	$NiSO_4$ 농도	D	1.5%	1.7%	높을수록 좋으나 경제성을 고려하여 10%가 적당	1.5~2.0%
		장입시간	F	3분	4분	4분이 적당	4±1분
	중화	Na_2O 농도	G	0.3%	0.2%	녹방지용으로 0.2~0.3%가 적당	0.2~0.4%
1차 코팅	유약 제조	배합기준	H	Frit 2232 DS50 Frit 1470 BDS 25 Frit Ga-9A-DA 25 점토 7.0 규석분 20 불사 0.2 아초산소다 0.15 물 50	2232 DS50 1470 BDS 25 Ga-9A-DA 25 점토 7.0 규석분 20 불사 0.2 아초산소다 0.15 물 50	Frit A 40 Frit B 40 Frit C 30 점토 7 규석분 5 함수법랑사 1/2 아초산소다 1/4 물 50	2232 DS 33.3 1470 BDS 33.3 GA-9A-DA 33.3 점토 7.0 규석분 20 불사 0.2 아초산소다 0.15 물 50
		유약조건 (입도) (g / 200mesh / 50cc)	I	5	6	3~5	5~7
1차 열처리	소성	소성온도	J	825 °C	830 °C	790~870 °C	825 °C
		소성시간	K	18분	19분	5~15분	19분

3.3

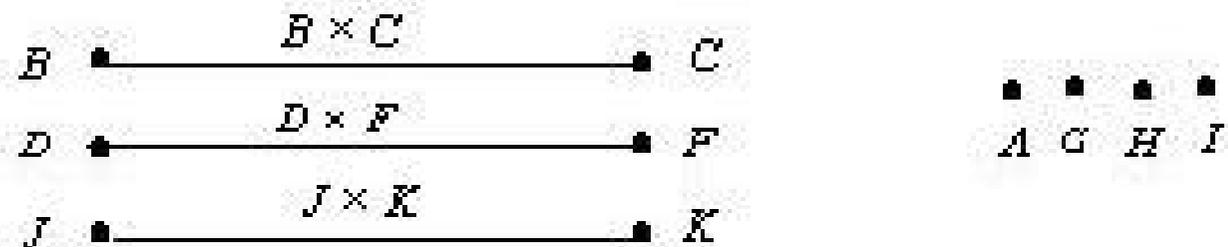
실험의 배치는 기본표시에 의한 배치와 선점도에 의한 배치를 병행실시로 검증함

1) 기본표시에 의한 실험의 배치결과

열번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
기본 표시	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a</i> <i>b</i>	<i>c</i>	<i>a</i> <i>c</i>	<i>b</i> <i>e</i>	<i>a</i> <i>b</i> <i>e</i>	<i>d</i>	<i>a</i> <i>d</i>	<i>b</i> <i>d</i>	<i>a</i> <i>b</i> <i>d</i>	<i>c</i> <i>d</i>	<i>a</i> <i>c</i> <i>d</i>	<i>b</i> <i>e</i> <i>d</i>	<i>a</i> <i>b</i> <i>c</i> <i>d</i>
배치	<i>A</i>	<i>G</i>	<i>e</i>	<i>B</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>J</i>	<i>C</i>	<i>K</i>	<i>F</i>	<i>I</i>	<i>B</i> × <i>C</i>	<i>e</i>	<i>J</i> × <i>K</i>	<i>D</i> × <i>F</i>

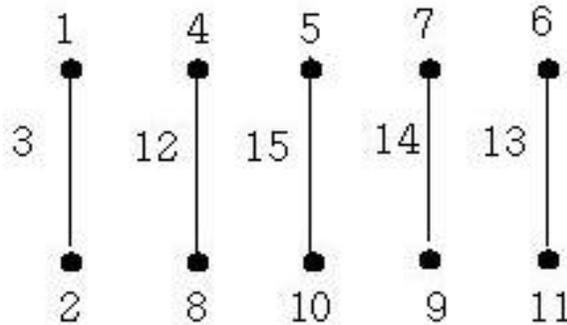
2) 선점도에 의한 배치

① 요구되는 선점도 작성

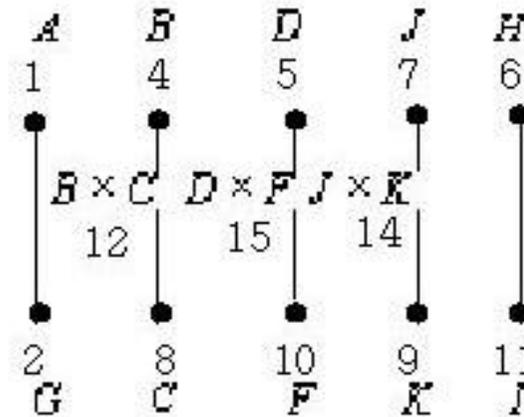


3K Team

② $L_{16}(2^{13})$ 형 선점도에서 요구되는 선점도를 만족시키는 것을 고른 후 대응시킴



(그림 4) $L_{16}(2^{13})$ 형 선점도



(그림 5) $L_{16}(2^{13})$ 형을 만족시키는 선점도

③ 선점도에 의한 실험의 배치결과

열번호	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
배치	A	G	e	B	D	H	J	C	K	F	I	B x C	e	J x K	D x F

3K Team

3.4

실험순서의 랜덤화는 완전랜덤화를 위해 **난수표**를 사용하며 실시하였으며 그 결과는 [표 3] 과 같음

3.5

① 실험의 실시방법

각각 하나의 조건마다 별도의 **실험카드**를 만들고 **지침서**에 의해 실험을 실시
실험자로 하여금 충분히 **숙지후 실험**에 임하도록 하였으며

실험의 실시는 계획된 대로 실시하도록 함

② 시험방법

KS L 2324 세라믹코팅의 시험방법의 6항 밀착성시험에 의거 시험을 함

3.6

$L_{16}(2^{15})$ 형 직교배열표에 의한 밀착성의 실험결과 데이터 : (다음 페이지)



[3] $L_{16}(2^{15})$

실험 번호	실험 순서	열 번호															실험 조건	밀착성(%)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
1	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	$A_0 B_0 C_0 D_0 F_0 G_0 H_0 I_0 J_0 K_0$	66	
2	16	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	$A_0 B_0 C_1 D_0 F_1 G_0 H_0 I_1 J_0 K_1$	69	
3	8	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	$A_0 B_1 C_0 D_1 F_0 G_0 H_1 I_0 J_1 K_0$	76	
4	14	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	$A_0 B_1 C_1 D_1 F_1 G_0 H_1 I_1 J_1 K_1$	83	
5	3	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	$A_0 B_0 C_0 D_0 F_1 G_1 H_1 I_1 J_1 K_0$	71	
6	8	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	$A_0 B_0 C_1 D_0 F_0 G_1 H_1 I_0 J_1 K_1$	70	
7	4	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	$A_0 B_1 C_0 D_1 F_1 G_1 H_0 I_1 J_0 K_0$	79	
8	11	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	$A_0 B_1 C_1 D_1 F_0 G_1 H_0 I_0 J_0 K_1$	74	
9	15	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	$A_1 B_0 C_0 D_1 F_0 G_0 H_0 I_1 J_1 K_1$	71	
10	12	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	$A_1 B_0 C_1 D_1 F_1 G_0 H_0 I_0 J_1 K_0$	74	
11	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	$A_1 B_1 C_0 D_0 F_0 G_0 H_1 I_1 J_0 K_1$	72	
12	10	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	$A_1 B_1 C_1 D_0 F_1 G_0 H_1 I_0 J_0 K_0$	69	
13	7	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	$A_1 B_0 C_0 D_1 F_1 G_1 H_1 I_0 J_0 K_1$	73	
14	2	1	1	0	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	$A_1 B_0 C_1 D_1 F_0 G_1 H_1 I_1 J_0 K_0$	70	
15	13	1	1	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	$A_1 B_1 C_0 D_0 F_1 G_1 H_0 I_0 J_1 K_1$	71	
16	9	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	$A_1 B_1 C_1 D_0 F_0 G_1 H_0 I_1 J_1 K_0$	74	
기본 표시		a	b	a b	c	a c	b c	a b c	d	a d	b d	a b d	c d	a c d	b c d	a b c d	합계 T = 1,162	
군		1	2	3				4										
비치		A	G	e	B	D	H	J	C	K	F	I	B×C	e	J×K	D×F		

3.7

(가) 데이터의 구조식

$$Y_{ijklmnopqr} = \mu + a_i + b_j + c_k + (bc)_{jk} + d_l + f_m + (df)_{lm} + g_n + h_o + i_p \\ + j_q + k_r + (jk)_{qr} + e_{ijklmnopqr}$$

여기서, $e_{ijklmnopqr} \sim N(0, \sigma_E^2)$ 이고 서로 독립

$$i, j, k, l, m, n, o, p, q, r = 0, 1$$

(나) 분산분석

① 변동계산

직교배열표에 대한 **변동 계산표**에 의한 방법에 따른 계산 실시

[4]

열번호	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		13		14		15		
요인	A		G		C		B		D		H		J		C		K		F		I		B×C		e		J×K		D×F		
수준	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	
데이터	66	71	66	71	66	71	66	76	66	76	66	76	66	76	66	69	66	69	66	69	66	69	66	69	66	69	66	69	66	69	
	69	74	69	70	69	70	69	83	69	83	69	83	69	83	76	83	76	83	76	83	76	83	76	83	76	83	76	83	76	83	
	76	72	76	79	76	79	71	79	71	79	79	71	79	71	71	70	71	70	70	71	70	71	71	70	71	70	71	70	71	70	71
	83	69	83	74	83	74	70	74	70	74	74	70	74	70	79	74	79	74	74	79	74	79	74	79	74	79	74	79	74	79	74
	71	73	71	73	73	71	71	72	72	71	71	72	72	71	71	74	74	71	71	74	74	71	71	74	74	71	71	74	74	71	71
	70	70	74	70	70	74	74	69	69	74	74	69	69	74	72	69	69	72	72	69	69	72	69	72	72	69	69	72	72	69	
	79	71	72	71	71	72	73	71	71	73	71	73	73	71	73	70	70	73	70	73	73	70	73	70	73	70	73	70	73	73	70
	74	74	69	74	74	69	70	74	74	70	74	70	74	70	74	71	74	74	71	74	71	71	74	74	71	71	74	71	74	74	71
(1) 계	666	674	660	662	662	680	764	696	762	600	676	664	672	690	679	663	679	663	673	669	673	669	661	661	661	661	679	663	691	671	
(2) (1)의 합	1162		1162		1162		162		1162		1162		1162		1162		1162		1162		1162		1162		1162		1162		1162		
(3) (1)의 차	-14		2		-2		34		36		6		16		4		4		16		16		0		0		4		-20		
(4) (3) ²	196		4		4		1156		1444		36		324		16		16		-66		256		0		0		16		400		
(5) (4)/16	12.25		0.25		0.25		72.25		90.25		2.25		20.25		1.0		1.0		-66		16		0		0		1.0		25.0		

3K Team

[표 4] 에서 (5)항이 변동(편차제공합)값이 되고 오차변동 및 총변동은

$$S_A = 12.25, S_B = 72.25, S_C = 1.0, S_D = 90.25, S_F = 160, S_G = 0.25, S_H = 2.25, S_I = 16.0,$$

$$S_J = 20.25, S_K = 1.0, S_{B \times C} = 0, S_{D \times F} = 25.0, S_{J \times K} = 1.0$$

$$\text{오차변동 } S_E = S_{\alpha(3)} + S_{\alpha(1,3)} = 0.25$$

$$\begin{aligned} \text{총변동 } S_T &= S_A + S_B + S_C + S_D + S_F + S_G + S_H + S_I + S_J + S_K + S_{B \times C} + S_{D \times F} + S_{J \times K} + S_E \\ &= 257.75 \end{aligned}$$

『참조』 일부실시법의 해설

- 1) 주어진 인자가 10개이므로 2^{10} 형 즉 2^* 형 실험에 해당하며 2^{10} 회를 16회 실험을 한 일부실시법인 직교배열표를 적용한 것임
- 2) $L_{16}(2^{15})$ 형 직교배열표를 사용하여 총 16회 실험을 했으므로 $16\text{회} / 2^{10}\text{회} = 1/64$ 즉, $1/64$ 반복인 일부실시법에 해당함



『참조』 2^n 형 요인실험인 경우의 일반적 방법에 따른 계산

변동의 계산을 2^n 형 요인실험의 일반적인 방법에 의해서 구해도 같은 결과를 얻음

2^n 형 요인실험인 경우의 일반적 방법에 따른 계산도 하여 보면

$$\begin{aligned}
 A\text{인자의 변동 } S_A &= \frac{1}{2^n \cdot r} [(A\text{인자의 1수준데이터 합}) - (A\text{인자의 0수준 데이터 합})]^2 \\
 &= \frac{1}{2^{10} \cdot (1/64)} [(71 + 74 + \dots + 71 + 74) - (66 + 69 + \dots + 79 + 74)]^2 \\
 &= \frac{1}{16} [574 - 588]^2 = \frac{1}{16} (-14)^2 = 12.25
 \end{aligned}$$

이하 각 인자의 변동은 A인자의 변동계산방법과 같은 방법으로 계산하면

$$S_B = 72.25, S_C = 1.0, S_D = 90.25, S_E = 16.0, S_G = 0.25,$$

$$S_H = 2.25, S_I = 16.0, S_J = 20.25, S_K = 1.0$$

3K Team

$B \times C$ 교호작용의 변동은

$$\begin{aligned} S_{B \times C} &= \frac{1}{2^n \cdot r} [(B \times C \text{인자의 1수준 데이터 합}) - (B \times C \text{인자의 0수준 데이터 합})]^2 \\ &= \frac{1}{2^{10} \cdot (1/64)} [(69 + 76 + \dots + 70 + 71) - (66 + 83 + \dots + 73 + 74)]^2 \\ &= \frac{1}{16} (581 - 581)^2 = 0 \end{aligned}$$

이하 교호작용의 변동은 $B \times C$ 인자의 변동의 계산방법과 같은 방법으로 계산하면

$$S_{D \times F} = 25.0, S_{J \times K} = 1.0$$

3열의 오차변동 $S_{e(3)}$ 는

$$\begin{aligned} S_{e(3)} &= \frac{1}{16} [(71 + 70 + \dots + 72 + 69) - (66 + 69 + \dots + 70 + 74)]^2 \\ &= \frac{1}{16} (580 - 582)^2 = \frac{1}{16} (4) = 0.25 \end{aligned}$$

3K Team

13열 오차변동은 3열 오차변동 $S_{a(3)}$ 의 계산방법과 같은 방법으로 계산하면

$$S_{e(13)} = 0$$

$$\text{오차변동 } S_G = S_{a(3)} + S_{a(13)} = 0.25 + 0 = 0.25$$

$$\begin{aligned} \text{총변동 } S_T &= S_A + S_B + S_C + S_D + S_E + S_G + S_H + S_I + S_J + S_{B \times C} + S_{D \times E} + S_{J \times K} + S_G \\ &= 1215 + 72.25 + \dots + 10 + 0.25 = 257.75 \end{aligned}$$

② 자유도 계산

주효과 및 2인자 교호작용의 수가 13개 이므로 나머지 2개가 **오차의 자유도**가 될
교호작용 $B \times C$ 의 변동값이 0이므로 오차항에 풀림되면 오차항 자유도는 3이 될

③ 분산분석표 작성 및 F -검정④ 구한 변동값들에 의한 분산분석표 작성 및 F -검정 실시

⑤ 유의하지 않는 요인의 오차항에의 풀림

교호작용 $B \times C$ 는 변동이 0이므로 오차항에 풀림되면 오차 자유도가 1이 증가
되어 3이 될



[5] F -

요인	S	ϕ	V	F_0	$F(0.05)$	$F(0.01)$
A	12.25	1	12.25	153.13**	10.1	34.1
B	72.25	1	72.25	903.13**	10.1	34.1
C	1.0	1	1.0	12.5*	10.1	34.1
D	90.25	1	90.25	1128.13**	10.1	34.1
F	16.0	1	16.0	200.0**	10.1	34.1
G	0.25	1	0.25	3.13	10.1	34.1
H	2.25	1	2.25	28.13*	10.1	34.1
I	16.0	1	16.0	200.0**	10.1	34.1
J	20.25	1	20.25	253.13**	10.1	34.1
K	1.0	1	1.0	12.5*	10.1	34.1
$D \times F$	25.0	1	25.0	312.5**	10.1	34.1
$J \times K$	1.0	1	1.0	12.5*	10.1	34.1
E	0.25	3	0.08			
T	257.75	15				

④ 분산분석결과

분산분석결과 A, B, C, D, F, H, I, J, K, $D \times F$, $J \times K$ 가 유의하며

특히 A, B, D, F, I, J, $D \times F$ 는 매우 유의한 결과로 나타남



3K Team

(다) 분산분석후 최적조건의 추정

① 각 수준의 모평균 및 신뢰구간 추정

② 밀착성을 크게 하는 유의한 인자의 수준조합의 도출

교호작용이 유의치 않으면 1원표에 의해, 교호작용이 유의하면 2원표에 의해 최적 수준을 구함

A 1원표의 계산은 A 인자의 0수준의 합과 1수준의 합 중에서 큰 값인 A_0 가 밀착성을 크게 함

[표 6] A 1원표

A_0	A	계
588	574	1,162

B 인자, C 인자, H 인자, J 인자에 대해서 같은 방법으로 계산하면 B_1 , C_1 , H_1 , J_1 이 밀착성을 크게 함

DF 2원표는 다음과 같이 DF 조합인자의 합계가 큰 값인 D_1F_1 이 밀착성을 크게 함



(표 7) DF 2원표

	D_0	D_1	계
F_0	66+70+72+74=282	76+74+71+70=291	573
F_1	69+71+69+71=280	83+79+74+73=309	589
계	562	600	1,162

DF 2원표도 같은 방법으로 계산하면 T_0, T_1 이 밀착성을 크게 함

유의한 인자들로부터의 최적수준조합은 각 표로부터

▶▶▶ $A_0B_1C_1D_1F_1H_1I_1J_1K_1$ 이 됨

3K Team

㉞ 각 수준의 모평균의 추정

A인자의 점추정치

$$\hat{\mu}(A_0) = 588/8 = 73.5, \quad \hat{\mu}(A_1) = 574/8 = 71.75$$

B인자, C인자, H인자, I인자의 점추정치도 같은 방법으로 추정하면

$$\hat{\mu}(B_0) = 564/8 = 70.5, \quad \hat{\mu}(B_1) = 598/8 = 74.75$$

$$\hat{\mu}(C_0) = 579/8 = 72.38, \quad \hat{\mu}(C_1) = 583/8 = 72.88$$

$$\hat{\mu}(H_0) = 578/8 = 72.25, \quad \hat{\mu}(H_1) = 584/8 = 73.0$$

$$\hat{\mu}(I_0) = 573/8 = 71.63, \quad \hat{\mu}(I_1) = 589/8 = 73.63$$

D, F 인자는 교호작용 $D \times F$ 가 유의하며 D, F 각 인자에 대한 모평균 추정보다

D, F 수준의 조합 $D_0 F_0$ 에서 모평균을 추정하여 최적조건을 찾는 것이 의미가 있음



3K Team

$D_1 F_m$ 조합의 점추정치는 다음과 같음

$$\hat{\mu}(D_1 F_m) = \overbrace{\mu + d_1 + f_m + (df)_{1m}} \quad \text{에서} \quad \hat{\mu}(D_0 F_0) = \frac{282}{4} = 70.5$$

같은 방법으로 $\hat{\mu}(D_0 F_1) = 70.0$, $\hat{\mu}(D_1 F_0) = 72.25$, $\hat{\mu}(D_1 F_1) = 77.25$ 로 추정됨

J, K 인자도 교호작용 $J \times K$ 가 존재하므로 동일한 방법으로 추정하면,

$$\hat{\mu}(J_0 K_0) = 71.0, \hat{\mu}(J_0 K_1) = 72.0, \hat{\mu}(J_1 K_0) = 73.75, \hat{\mu}(J_1 K_1) = 73.75$$

㉔ 추정정밀도

A, B, C, H, I 인자의 추정정밀도는

$$\beta = t(\phi_E, \alpha/2) \sqrt{\frac{V_E}{n_e}} = t(3; 0.025) \sqrt{\frac{0.08}{8}} = (3.182)(0.1) = 0.318$$

$D_1 F_m$ 조합, $J_0 K_0$ 조합의 추정정밀도는

$$\beta = t(\phi_E, \alpha/2) \sqrt{\frac{V_E}{n_e}} = t(3; 0.025) \sqrt{\frac{0.08}{4}} = (3.182)(0.14) = 0.45$$



㉔ 신뢰구간

A 인자의 신뢰구간은

$$\mu(A_0) : \hat{\mu}(A_0) \pm t(\phi_E^*, \alpha/2) \sqrt{\frac{V_E}{n_e}} = 73.5 \pm 0.318 = (73.18, 73.82)$$

$$\mu(A_1) : \hat{\mu}(A_1) \pm t(\phi_E^*, \alpha/2) \sqrt{\frac{V_E}{n_e}} = 71.75 \pm 0.318 = (71.43, 72.0)$$

B, C, H, I 인자도 같은 방법으로 계산하면

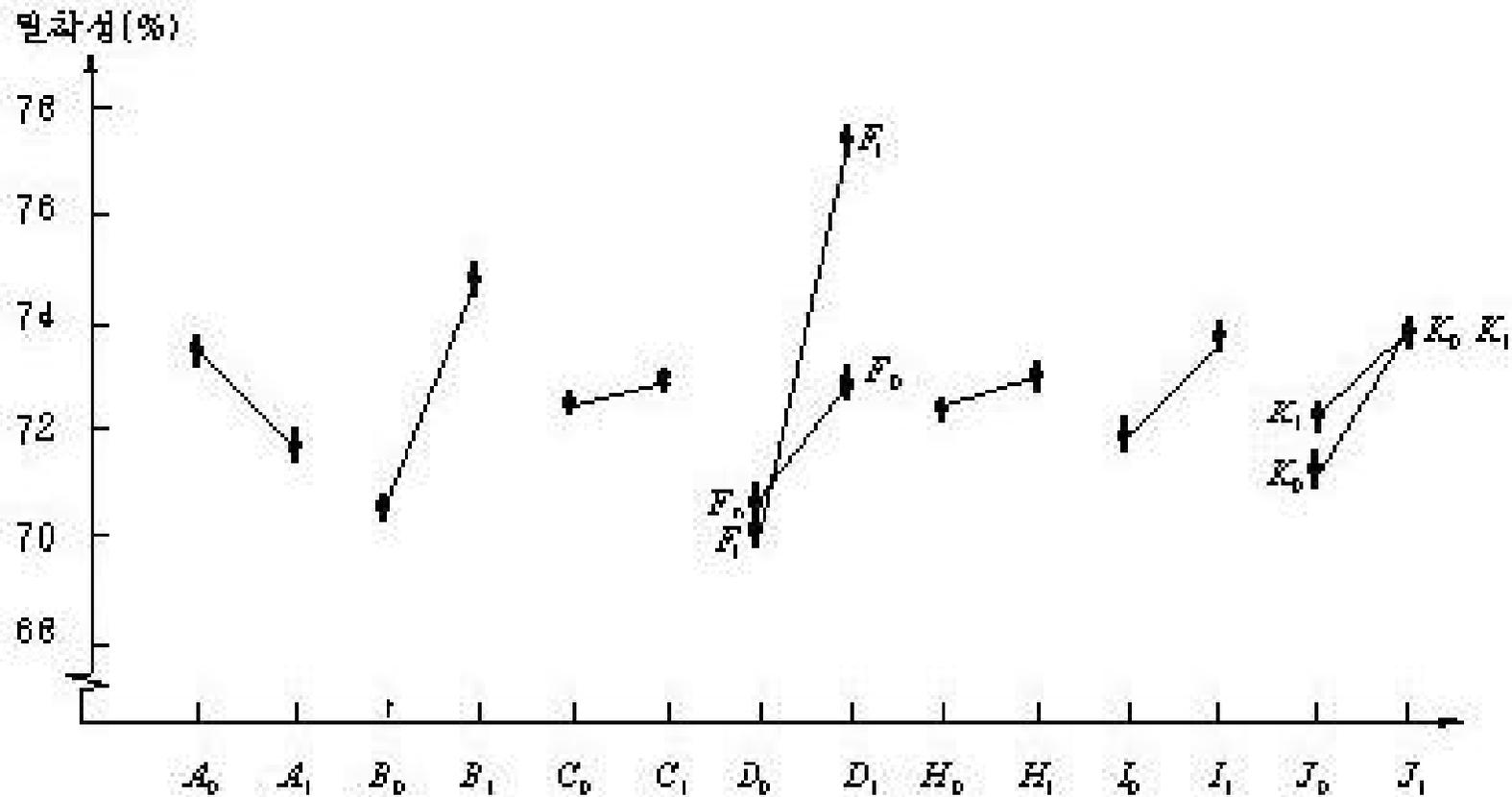
$$\mu(B_0) = (70.18, 70.82), \mu(B_1) = (74.43, 75.07)$$

$$\mu(C_0) = (72.56, 73.20), \mu(C_1) = (72.56, 73.20)$$

$$\mu(H_0) = (71.93, 72.57), \mu(H_1) = (72.68, 73.32)$$

$$\mu(I_0) = (71.31, 71.95), \mu(I_1) = (73.31, 73.95)$$

이 결과로 신뢰구간을 도시하면 (그림 6) 이 됨



(6)

3K Team

㉔ 최적조건 및 신뢰구간추정

㉕ 최적수준조합

유의한 인자의 수준조합 도출에서 **각 인자의 최적**은 $A_0, B_1, C_1, D_1, F_1, H_1, I_1, J_1, K_1$ 이고,
이 수준조합이 밀착성을 가장 크게 함

㉖ 최적수준조합에서의 점추정치

$2^{10} = 1,024$ 회 실험으로부터 가장 좋으리라 생각되는 유의한 인자들로부터의
예측 최적조건의 점추정치는

$$\begin{aligned} & \hat{\mu}(A_0, B_1, C_1, D_1, F_1, H_1, I_1, J_1, K_1) \\ &= \overbrace{\mu + a_0 + b_1 + c_1 + d_1 + f_1 + (df)_{11} + h_1 + i_1 + j_1 + k_1 + (jk)_{11}} \\ &= \overbrace{\mu + a_0} + \overbrace{\mu + b_1} + \overbrace{\mu + c_1} + \overbrace{\mu + d_1} + \overbrace{f_1 + (df)_{11}} + \overbrace{\mu + h_1} + \overbrace{\mu + i_1} + \overbrace{\mu + j_1 + k_1 + (jk)_{11}} - 6\hat{\mu} \\ &= \frac{588}{8} + \frac{598}{8} + \frac{583}{8} + \frac{309}{4} + \frac{584}{8} + \frac{589}{8} + \frac{295}{4} - 6 \times \frac{1,162}{16} = 83.01(\%) \end{aligned}$$

㉔ 최적수준조합에서의 추정정밀도

$$\text{추정정밀도 } \beta = t(\phi_E, \alpha/2) \sqrt{\frac{V_E}{n_e}} = t(3; 0.025) \sqrt{\frac{0.08}{16/12}} = 0.78$$

$$\text{단, 유효반복수 } \frac{1}{n_e} = \frac{1}{8} + \frac{1}{8} + \frac{1}{8} + \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{8} + \frac{1}{4} = \frac{6}{16} = \frac{12}{16}$$

㉕ 최적수준조합에서의 밀착성의 95% 신뢰구간

$$\begin{aligned} \text{신뢰구간} &: \hat{\mu}(A_0, B_1, C_1, D_1, F_1, H_1, I_1, J_1, K_1) \pm t(\phi_E, \alpha/2) \sqrt{\frac{V_E}{n_e}} \\ &= 83.01 \pm t(3; 0.025) \sqrt{\frac{0.08}{16/12}} = 83.01 \pm 0.78 = (83.23, 83.79\%) \end{aligned}$$

3.8

(가) 분석결과 해석 및 경제적·기술적 검토

① 분석결과 해석

㉠ 밀착성에 A, B, D, F, I, J 및 교호작용 $D \times F$ 는 **고도로 유의**하며 큰 영향을 줌

㉡ 인자 C, H, K 및 교호작용 $J \times K$ 는 밀착성에 **유의**한 영향을 줌

㉢ 인자 G 는 밀착성에 별로 영향을 주지 않으며, 또한 교호작용 $B \times C$ 는 밀착성에 전혀 영향을 주지 않는 것으로 나타남

㉣ 밀착성을 가장 크게 하는 유의한 인자들의

최적수준조합은 $A_0B_1C_1D_1F_1H_1I_1J_1K_1$ 이며,

이 최적조합에서의 밀착성의 **점추정치**는 83.01%이며,

95%의 **구간추정**은 (83.23, 83.79%)임



3K Team

② 경제적· 기술적 검토

- ㉠ A 인자(탈지공정의 알칼리도)는 40%까지는 높을수록 좋으나 $A_0(35\%)$ 에서 더 좋은 밀착성을 주므로 현생산 평균수준 $A_1(37\%)$ 대신 사용키로 함
- ㉡ G 인자(중화공정 Na_2O 의 농도)는 기술적 견지에서 0.2~0.3%가 적당하나, 이 인자는 밀착성에 유의치 않아 현생산수준인 $G_0(0.3\%)$ 를 계속 사용키로 함
- ㉢ J 인자(소성공정의 소성온도)는 기술적 견지에서 790~870 °C 가 적당하여 현생산기준인 825° C를 제조경험상 사용하고 있는데, 높은 밀착성을 주는 J_1 수준(830° C)를 사용해도 경제적 견지에서 문제가 없으므로 J_1 수준으로 변경사용토록 함

(나) 표준화

경제적· 기술적 검토에서 살펴본 바와 같이 최적수준조합은 $A_0B_1C_1D_1F_1G_0H_1I_1J_1K_1$ 으로 하여 작업의 표준화를 시키기로 하였으며, 이 조건에 의해 **확인실험**해 본 결과 밀착성이 **평균 82%**가 되어 품질의 균일성 달성에 만족할 만한 결과를 얻음

3.9

- ① 범람옥조 제조공정은 다공정이고 유효하다고 판단되는 인자의 수가 많으므로 일부실시법인 2수준계 직교배열표로써 적은 실험회수 및 실험비용으로도 목적으로 하는 최적조건을 구할 수 있었으며
- ② 선정된 인자들의 대부분이 품질 특성인 밀착성에 영향을 주고 있었으며
- ③ 16회의 실험조건에서 데이터의 분석 및 해석결과 유의한 인자들로부터의 최적수준조합은 $A_6 B_1 C_1 D_1 E_1 H_1 I_1 J_1 K_1$ 이고, 점추정치는 83.01% 이었으며, 추정정밀도는 0.78%, 신뢰도 95%에서의 신뢰구간은 (83.23, 83.79%)이었음
- ④ 품질수준은 종래의 밀착성이 평균 65% 정도 이었으나 본 사례에 따른 변경된 최적수준조합에서는 평균 82% 정도로서 본 사례의 목적인 품질의 향상 및 공정안정에 큰 기여를 하게 됨
- ⑤ 밀착성을 좋게 하는 제조공정인자의 조건을 설정하게 됨으로써 작업의 표준화, 공정관리규정의 공정조건 설정, 제조공정도의 공정관리기준 등의 합리적 설정으로 공정관리체제의 조기정착에 기여를 하게 됨



4.

4.1 SAS

4.2 SAS/IML

4.3 SPSS

5.

법랑제품 가공공정상 품질문제의 관건인 밀착성에 영향을 주는 주요 공정인자들에 대해 2수준계 직교배열표 활용으로 **조기에 최적공정조건**을 얻을 수 있었음
 한편 통계프로그램 활용 직교배열 최적공정조건 설정 사례분석으로는 **SAS 및 SAS/IML, SPSS** 등을 활용한 실증사례의 추가적 분석결과도 수작업에 의한 계산과 거의 동일하거나 유사한 결과를 얻음

실험실시 결과의 예상 **문제점 정리 및 대책**으로서는

- ① 현장에서의 환경조건들의 제어 난이로 재현성이 없는 경우가 생길 수 있는 점
- ② 주요인자로 선정되지 않은 수 많은 인자들의 조건들에 대한 상대적 소홀 문제
- ③ 확장된 실험계획의 반복 미흡 문제
- ④ 시료의 효과가 시료의 사용량에 비례하는 경우 기술적 검토 미흡 문제
- ⑤ 교호작용이 존재 여부 혹은 무시할 수 있을 것인지의 기술적 검토 미흡 문제
- ⑥ 한정된 조건에서의 결과치는 정황에 따라 변동가능하므로 관리상태 유지 문제



3K Team

1. 박성현, 「현대실험계획법」(서울 : 대영사, 1987), pp. 1-25
2. 이순용, 「현대품질관리론」(서울 : 법문사, 1988), PP. 17-25
3. 한국표준협회, 「통계적 공정관리와 다구찌 실험계획법」(서울 : 한국표준협회, 1989) p. 108
4. 활익철, 「최신 품질관리」(서울 : 박영사, 1986), p. 757
5. 공업진흥청장 「KS F 4807 법랑욕조」(서울 : 공업진흥청, 1981), pp. 3-4
6. 공업진흥청장 「KS L 2324 세라믹 코팅의 시험방법」(서울 : 공업진흥청, 1986), pp. 5-7
7. 공업진흥청장 「KS L 7101 법랑욕조의 품질기준」(서울 : 공업진흥청, 1986), pp. 1-3
8. 박성현 「통계적 품질관리」(서울 : 대영사, 1986), pp.89-91
9. Andrew,I. Andrews, Porcelain Enamels,(Illinois : The Garrard Press, Publishers Champaign), pp.97-106
10. 田口玄一, 小西省三 「直交表による 실험의 ありつけ方」(東京 : 日科技連, 1981), 附表 p. 4
11. 일본법랑공업회, 「법랑기술통신강좌テキスト」(동경 : 일본법랑공업회), p. 10
12. 일본법랑공업회, 「법랑기술ガイドブック」(동경 : 일본법랑공업회), pp. 1-2
13. 임성수·허명희, 「SAS실험설계 및 분산분석 입문」(서울 : 자유아카데미,1988), pp.125-126
14. 김충련, 「SAS라는 통계상자」(서울 : 데이터플러스, 2000), pp. 350-352
15. 윤태연 외 「통계조사분석(SPSS 10K)」(서울 : SPSS 아카데미, 2001), pp. 371-401
16. 허명희, 「사회과학을 위한 통계적 방법」(서울 : 자유아카데미, 1999), pp. 80-99

