

반응표면 실험 계획법에 의한 Mono - Acetate 필터담배 설계의 물리성 예측

김영호, 이영택, 김성한, 김운동, 임광수, 김용태
한국인삼연초연구원

Prediction of Physical Properties in the Design of Mono - Acetate Filter Cigarette by Response Surface Methodology

Young Hoh Kim, Young Taek Lee, Sung Han Kim,
Yoon Dong Kim, Kwang Soo Rhim and Yong Tae Kim
Korea Ginseng & Tobacco Research Institute

ABSTRACT : To minimize the time ordinarily spent in mono filter cigarette design, we studied the relationship between major seven independant variables : filament(X_1) and total denier(X_2), porosity of the filter plug wrap(X_3), filter length(X_4), porosity of the tip paper(X_5) and cigarette paper(X_6) and net weight of the reference cut tobacco(X_7). Ninety trial numbers were obtained as a results of using rotatable central composite design and it is analyzed by the multiple regression analysis with stepwise in SAS/pc under restricted conditions.

That is, $UPD(Y_1) = 82.96 - 3.80X_1 + 2.50X_2 - 3.29X_3 - 3.15X_5 - 0.83X_2^2 + 1.88X_5X_6 - 1.38X_5X_7 (R^2=0.63)$, $EPD(Y_2) = 120.91 - 5.70X_1 + 3.60X_2 + 4.23X_4 - 0.93X_6 + 4.06X_7 (R^2=0.84)$, $TVR(Y_3) = 49.70 - 0.78X_1 + 3.60X_3 + 2.00X_4 + 4.20X_5 - 0.93X_6 + 2.64X_7 - 1.07X_1X_2 + 1.01X_1X_3 + 1.05X_2X_6 + 0.45X_2^2 - 0.64X_4^2 + 1.29X_4X_6 - 0.97X_4X_7 - 1.28X_5X_6 + 1.53X_5X_7 + 1.39X_6X_7 (R^2=0.65)$, and $EVR(Y_4) = 3.24 - 0.21X_3 - 0.20X_4 - 0.24X_5 + 0.67X_6 + 0.26X_4X_7 (R^2=0.55)$, where EPD : encapsulated pressure drop, UPD : unencapsulated pressure drop, TVR : tip ventilation rate, and EVR : envelope ventilation rate. All variables in the model are significant at the 0.05 level.

서 론

새로운 담배를 설계하는데 고려해야할 인자로는 필터부와 켈런부로 대별 할 수 있는데, 담배가 연소하여 생성되는 연기의 이행량에 영향을 주는 요소로는 흡인저항(Pressure Drop)²⁻⁴⁾, 공기 회석율(Ventilation Rate)^{14,15)} 그리고 각초 등이 있으며¹⁷⁾, 이들은 담배를 구성하는 필터의 형태와 길이 그리고 팁 페이퍼(Tipping Paper), 켈런지, 필터권지(Plug Wrap)등의 물리성에 의해 크게 변화를 받는다.

1960년대나 70년대 초까지는 담배 재료가 그리 복잡하지 않았으므로 담배 설계시 큰 어려움이 없었으나 소비자들의 다양한 욕구에 따른 담배용 재료품의 다양화로 인해 새로운 제품 설계시 많은 인력과 노력이 필요하게 되었다. 이러한 복잡성을 갖는 담배를 소비자의 변화하는 기호에 맞춰 물리성과 연기 성분을 조절하고 제조하기 위해서는 많은 인자를 검토하고 실험하여야 하므로 실험적 오차와 시간이 소요될 뿐 아니라 그 제품이 최적조건을 갖는 재료품들로 구성이 되었는지에 대한 불확실성이 제

기되어 왔다.

이에 몇몇 연구자들은 이러한 불합리한 요소들을 제거하고 재품에 따른 담배의 물리성과 연기성분 등을 예측하기 위하여 기존의 결과들을 통계적으로 분석하여 수식화 하거나, 이론적인 담배 모형연구에 많은 노력을 기울여왔다.

Keith.C.H⁵⁾(1975)는 필터의 흡인 저항에 대한 기본 이론을 유도하고 이 식과 실험치를 비교한 결과 유의성이 높다고 보고 하였으며 표면적과 Crimp angle 그리고 필라멘트 데니아, 총 데니아, 필터의 단면적이 고려된 회귀식을 발표⁶⁻⁹⁾하였다.

또한 담배 연기입자의 크기별 분포 연구에서 셀룰로오스 아세테이트 필터는 주류연(Mainstream Smoke)중 큰 입자상 물질의 제거능(Removal Efficiency)이 크다고 발표¹⁾가 된 것을 토대로 아세테이트 섬유와 필터 구성요소들의 담배 연기 제거능에 관련된 만족할 만한 회귀식¹⁰⁾을 발표하였으며 이 식은 실제로 필터를 설계하는데 유용하다고 하였다.

한편, 경험적 모형연구(Empirical Simulation)인 실험 Model의 최적조건의 규명과 중회귀식을 도출하는데 반응표면분석^{3,15)}(Response Surface Analysis)의 기법이 식품 및 화공분야에서는 종종 도입되어 제품의 품질관리 및 제조공정의 최적화와 신제품 개발시 예측 및 적용키 위한 연구^{11, 12, 13, 16)}가 이루어지고 있으나 담배분야에서는 아직 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 새로운 제품 개발시 실험의 과정을 단축하고 이론적으로 설계할 수 있는 담배 모형연구에 대한 기초가 되는 Mono-acetate 필터 담배에 대하여 물리성인 흡인 저항과 공기 회석을 실험적으로 측정된 것과 필터 담배 설계시 주요 구성요소인 filament denier, total denier, plug wrap의 기공도, 필터 길이, 텡페이퍼 기공도, 컬런지 기공도, 그리고 각초의 전충량 등 7가지 인차들을 Stepwise 법을 이용한 반응표면분석으로 예측한 물리성과 비교 고찰하였다.

재료 및 방법

재료 및 측정

양절담배 제조용 각초는 공지의 88 Gold용으로 하였으며 양절의 길이는 60mm, 원주는 24.5mm로 하여 표 1), 2)와 같이 통계적인 조합에 의해 공시담배를

수작업으로 제조하였다. 또한 연구에 사용된 측정기 기로는 기공도측정기(Air Permeability Tester A09, HB), 흡인저항 측정기(Automatic Pressure Tester, Filtrona), 공기회석을 측정기(Automatic Ventilation Tester, Filtrona), 연기 이행량 측정기(Rm/20CS Automatic Smoking Machine, HB)로 하였으며 기공도 표시단위는 CORESTA기준에 따라 $\text{cm}\cdot\text{min}^{-1}\text{Cbar}^{-1}$ (CU)로 나타냈다.

실험계획

시험담배의 기본 조합 인자는 표 1과 같으며 제품의 물리적 특성중 흡인저항인 EPD(Encapsulated Pressure Drop, mmH_2O) 및 UPD(Unencapsulated Pressure Drop, mmH_2O)와 공기회석을인 TVR(Tip Ventilation Rate, %) 및 EVR(Envelope Ventilation Rate, %)를 종속변수인 반응표면(Response Surface)으로 하고 이 반응표면을 2차 회귀모형(Second Order Regression Model)으로 가정하였다. 아울러 최적 조건(Optimization Conditions)을 찾기 위하여 아세테이트 토우(Acetate Tow)의 Filament denier(F_d, X_1), Total denier(T_d, X_2), 필터텡지 기공도(P_w, X_3), 필터길이(F_l, X_4), 2열 기계천공 텡페이퍼의 기공도(T_p, X_5), 컬런지 기공도(C_p, X_6), 각초 전충량(N_w, X_7) 등을 독립변수로 하여 회전 중심합성계획(Rotatable Central Composite Design)으로 표 2와 같이 실험 설계를 하였으며 이들 변수간의 관계는 $Y_k=f(F_d, T_d, P_w, F_l, T_p, C_p, N_w)$ 로 표시된다. 이때 필터 제조시 가소제(Triacetin, TA) 함량은 8%로 하였다.

또한 중심합성계획에 의한 배열을 각각의 독립변수에 대해 5수준으로 90구의 처리구를 표 2와 같이 조합하였으며 이중 모델의 중앙위치에 있는 조합 즉 12구 (9, 18, 27, 36, 45, 54, 63, 72, 87, 88, 89, 90)의 반복은 순수오차(Pure Error)를 구하기 위한 것이고 그외는 2 factorial 설계로 설정한 것이다. 또한 이들의 수작업에 의한 제조 순서의 결정은 예기치 않은 변수의 영향을 최소화 하기 위하여 무작위로 선정하였다.

담배제조 및 물리성 분석

실험설계에 따라 제조된 양절담배를 중량, 흡인저항을 측정하여 시료를 선별한 다음 각각 공시 시료로 하였으며 필터와 양절담배를 기지의 기공도를 갖는 텡페이퍼로 PVAc 에멀전 접착제를 이용하여 접착,

반응표면 실험 계획법에 의한 Mono Acetate 필터 담배 설계의 물리성 예측

조합하였는데 실험번호 11의 경우, Filament denier가 2.5, Total denier가 37,900. 필터권지(Pw)의 기공도가 19,900 CU, 필터길이(Fl)가 23.5mm, 팁페이퍼(Tp)기공도가 1200 CU, 권련지(Cp) 기공도가 49 CU, 전충량목(Nw)가 730mg으로 조합되어진 것이다.

수작업으로 제조한 담배의 UPD(Y_1 , mmH₂O)와 EPD(Y_2 , mmH₂O) 및 담배의 공기회석율인 TVR(Y_3 , %)와 EVR(Y_4 , %)를 측정하여 종속변수 값으로 하였으며 표 2에서 $Y_1 \sim Y_4$ 로 표기 하였다.

통계분석

무작위 순서로 측정하여 얻은 종속변수 Data를 SAS program package를 이용하여 최소자승법(least square method)에 의한 Stepwise 방식으로 다중회귀분석하였으며 반응표면 분석(Response Surface analysis)에 의한 최적화를 유도하였고, 증회귀식에 의한 예측치와 본 모델의 적합성 검정을 하기 위하여 임의의 시료를 27구 제조하여 실험한 관측치간의 Paired t-Test를 하였다.

Table 1. Coding of independent variables used in developing experimental data for central composite design

Variables	Symbols	Coded values				
		-3.36	-1	0	1	3.36
Filament denier	X_1	2.1	2.5	2.7	2.9	3.3
Total denier	X_2	33,000	37,900	40,000	42,000	47,000
Plug wrap porosity (CU)*	X_3	1,300	11,380	15,650	19,900	30,000
Filter length (mm)	X_4	20.0	23.5	25.0	26.5	30.0
Tip paper porosity (CU)	X_5	500	1202	1500	1797	2500
Cigarette paper porosity (CU)	X_6	10	31	40	49	70
Net weight (mg)	X_7	600	670	700	730	800

* CU: CORESTA Unit as a degree of air permeability (cm/min Cbar).

Table 2. Combination of variables and levels used in the central composite design for response surface analysis

Treatment	7 Independent variables							Dependent variables			
	Fd	Td	Pw	Fl	Tp	Cp	Nw	EPD	UPD	TVR	EVR
No	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4
1	-1	-1	-1	1	-1	1	1	92	127	39.9	4.8
2	-1	-1	1	-1	1	-1	1	81	123	54.3	2.6
3	-1	1	-1	-1	1	1	-1	99	124	30.2	5.6
4	-1	1	1	1	-1	-1	-1	91	132	48.9	2.2
5	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	80	106	37.5	2.9
6	1	-1	1	1	1	1	-1	75	114	53.8	4.7
7	1	1	-1	1	1	-1	1	76	126	57.7	2.5
8	1	1	1	-1	-1	1	1	80	116	47.7	4.3
9	0	0	0	0	0	0	0	81	121	53.1	2.2
10	-1	-1	-1	1	1	-1	1	85	134	54.3	4.0
11	-1	-1	1	-1	-1	1	1	81	115	38.4	4.7
12	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	101	127	38.2	3.0

No	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
13	-1	1	1	1	1	1	-1	88	135	55.7	2.2
14	1	-1	-1	-1	1	1	-1	79	103	39.9	4.9
15	1	-1	1	1	-1	-1	-1	80	115	48.1	2.1
16	1	1	-1	1	-1	1	1	90	124	39.4	5.3
17	1	1	1	-1	1	-1	1	68	111	62.4	2.2
18	0	0	0	0	0	0	0	87	122	48.1	3.4
19	-1	-1	-1	1	1	1	-1	80	119	47.1	4.4
20	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	78	108	44.1	3.5
21	-1	1	-1	-1	-1	1	1	94	129	52.6	3.0
22	-1	1	1	1	1	-1	1	84	140	60.8	2.1
23	1	-1	-1	-1	1	-1	1	68	111	57.0	2.8
24	1	-1	1	1	-1	1	1	74	117	57.4	3.5
25	1	1	-1	1	-1	-1	-1	91	119	36.7	3.0
26	1	1	1	-1	1	1	-1	74	102	43.5	3.6
27	0	0	0	0	0	0	0	90	125	41.8	4.3
28	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	80	117	49.9	2.3
29	-1	-1	1	-1	1	1	-1	80	112	40.1	5.6
30	-1	1	-1	-1	1	-1	1	85	134	62.2	1.8
31	-1	1	1	1	-1	1	1	83	135	60.5	2.9
32	1	-1	-1	-1	-1	1	1	82	113	36.7	5.9
33	1	-1	1	1	1	-1	1	72	122	64.9	2.3
34	1	1	-1	1	1	1	-1	82	118	49.1	2.6
35	1	1	1	-1	-1	-1	-1	79	108	39.3	2.7
36	0	0	0	0	0	0	0	88	123	46.3	2.8
37	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	74	117	56.2	2.0
38	-1	-1	1	1	-1	1	-1	84	124	47.2	3.2
39	-1	1	-1	1	-1	-1	1	110	151	42.2	2.7
40	-1	1	1	-1	1	1	1	80	127	64.0	2.1
41	1	-1	-1	1	1	1	1	69	114	59.7	3.0
42	1	-1	1	-1	-1	-1	1	76	113	52.7	3.4
43	1	1	-1	-1	-1	1	-1	79	105	36.8	5.6
44	1	1	1	1	1	-1	-1	74	120	53.4	1.8
45	0	0	0	0	0	0	0	87	126	41.9	3.9
46	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	82	114	43.2	4.0
47	-1	-1	1	1	1	-1	-1	74	118	62.2	1.6
48	-1	1	-1	1	1	1	1	82	141	63.5	3.4
49	-1	1	1	-1	-1	-1	1	96	133	48.4	3.0
50	1	-1	-1	1	-1	-1	1	88	124	43.7	3.3

반응표면 실험 계획법에 의한 Mono Acetate 필터 담배 설계의 물리성 예측

No	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	Y ₁	Y ₂	Y ₃	Y ₄
51	1	-1	1	-1	1	1	1	67	114	62.7	2.9
52	1	1	-1	-1	1	-1	-1	76	111	49.0	3.4
53	1	1	1	1	-1	1	-1	69	106	53.8	3.6
54	0	0	0	0	0	0	0	85	124	41.9	2.5
55	-1	-1	-1	-1	-1	-1	1	89	126	50.5	3.5
56	-1	-1	1	1	1	1	1	76	127	61.5	4.3
57	-1	1	-1	1	1	-1	-1	80	129	59.6	1.8
58	-1	1	1	-1	-1	1	-1	87	121	45.6	4.3
59	1	-1	-1	1	-1	1	-1	82	112	41.6	3.0
60	1	-1	1	-1	1	-1	-1	64	101	56.5	2.0
61	1	1	-1	-1	1	1	1	73	112	59.8	3.2
62	1	1	1	1	-1	-1	1	81	128	53.3	2.7
63	0	0	0	0	0	0	0	91	124	40.4	4.4
64	-1	-1	-1	-1	1	1	1	84	130	57.1	2.8
65	-1	-1	1	1	-1	-1	1	80	123	54.8	2.3
66	-1	1	-1	1	-1	1	-1	85	125	50.2	2.9
67	-1	1	1	-1	1	-1	-1	74	119	69.4	1.5
68	1	-1	-1	1	1	-1	-1	70	110	52.2	2.1
69	1	-1	1	-1	-1	1	-1	74	103	43.5	4.5
70	1	1	-1	-1	-1	-1	1	88	119	40.7	3.1
71	1	1	1	1	1	1	1	67	123	68.2	3.3
72	0	0	0	0	0	0	0	86	122	40.4	3.8
73	3.36	0	0	0	0	0	0	77	113	47.1	3.3
74	-3.36	0	0	0	0	0	0	94	142	51.2	2.9
75	0	3.36	0	0	0	0	0	85	133	49.4	2.4
76	0	-3.36	0	0	0	0	0	70	107	48.7	2.7
77	0	0	3.36	0	0	0	0	69	120	70.2	1.6
78	0	0	-3.36	0	0	0	0	99	122	31.8	3.8
79	0	0	0	3.36	0	0	0	98	143	45.2	3.6
80	0	0	0	-3.36	0	0	0	89	112	32.2	4.4
81	0	0	0	0	3.36	0	0	87	126	47.8	2.6
82	0	0	0	0	-3.36	0	0	95	125	36.0	4.1
83	0	0	0	0	0	3.36	0	83	122	47.4	5.7
84	0	0	0	0	0	-3.36	0	84	124	50.4	0.9
85	0	0	0	0	0	0	3.36	86	133	52.7	3.8
86	0	0	0	0	0	0	-3.36	82	114	46.0	2.6
87	0	0	0	0	0	0	0	83	121	48.8	2.9
88	0	0	0	0	0	0	0	88	124	46.0	2.8
89	0	0	0	0	0	0	0	81	119	50.9	4.4
90	0	0	0	0	0	0	0	83	119	46.7	3.6

결과 및 고찰

중심합성 계획법에 의해 설정된 조합에 따라 제조된 담배의 물리성을 분석하여 기여도가 Model 내에서 잘 설명 될 수 있도록 변수를 Stepwise 방법으로 반응표면분석을 한 결과에 대한 ANOVA 결과를 보면 표 3과 같다. UPD(Y₁)의 경우 Prob.F가 0.0001로서 1%이하의 높은 유의성을 보였으며 R² 값은 0.633으로 종속변수 변이의 63.3%를 설명이 가능한 매우 높은 상관관계를 보였다.

EPD(Y₂), TVR(Y₃) 및 EVR(Y₄)도 Prob.F가 0.0001로서 모두 높은 유의성을 나타냈으며 R² 값도 0.84, 0.55, 0.55로 각각 얻어졌다. 이때 EPD(Y₂)의 경우는 R² 값이 0.84로 고도의 상관성 관계를 얻었는데 이를 Stepwise에 의한 분석에 대해 살펴보면 Fd(X₁) > FL(X₄) > Nw(X₇) > Td(X₂)의 순으로 기여순위를 나타내고 있고 이에 따른 R² 값이 0.33, 0.18, 0.17, 0.12 차이 만큼 상관성이 높아졌음을 알 수 있었다.

이 Step을 계속해 보면 X₁, X₂의 교호작용에 관한 변수등이 대입되나 담배설계서 주요인자로 볼 수 있는 표 4에서 plug wrap(X₃)의 기공도나 Tipping paper(X₅)의 기공도가 영향을 미치지 않음을 알 수 있는데 EPD 측정시 이들의 작용이 제외되는 측정 방법에서 기인된 것이다.

이를 UPD(Y₁) 분석결과에서 확인하면 기여순위가 Fd(X₁) > Pw(X₃) > Tp(X₅) > Td(X₂)로 나타남을 볼 수 있는데 담배 필터 Tip 부위의 3mm위치에서 흡인저항을 측정하기 때문에 Acetate filter Tow의 filament denier(X₁)이 가장 큰 영향을 주며 Plug Wrap의 기공도(X₃)의 최대값이 30,000CU(α=3.360)이고 Tipping paper(X₅)의 기공도가 최대 2500CU(α=3.360)이기 때문에 Plug Wrap의 기공도가 Tip paper의 기공도 보다 흡인 저항에 더 큰 영향을 미친것으로 여겨진다.

또한 R² 값은 0.19, 0.34, 0.47, 0.56으로 상관성이 변화하였다. 공기 회석을 결정에 영향을 주는 인자의 순서는 Tp(X₅) > Pw(X₃) > Nw(X₇) > FL(X₄)의 순이며 R²값은 0.21, 0.37, 0.45, 0.50의 순으로 상관성이 높아졌는데이는 Wrapping Paper들의 기공도가 큰 요인으로 작용함을 확인할 수 있는 것이다.

이 반응표면분석의 결과를 토대로 도출된 중회귀식의 회귀계수는 표 4와 같다. 이중에 EVR(Y₄)의 경우, Filament 테니어와 Total 테니어는 영향이 없는 것으로 나타났으며 필터길이와 전충량 단독의 영향은 F 검정한 결과 유의도가 낮았으나 이들의 교호작용에서는 기여도가 높아진 결과를 얻었다.

그림 1은 종속변수인 Y₁~Y₄에 대해 영향도가 큰 2 인자를 선택한 다음 3차원상의 반응 표면의 곡면

Table 3. Analysis of variance table showing the effect of treatment variables on the response variables as a function of UPD(Y₁), EPD(Y₂), TVR(Y₃) & EVR(Y₄)

Source	DF	Sum of square	Mean square	F	Prob.F
UPD Regression (Y ₁)	7	4099.027	585.575	20.27	0.0001
UPD Error (Y ₁)	82	2368.794	28.887		
UPD Total (Y ₁)	89	6467.822			
EPD Regression (Y ₂)	6	7181.080	1196.846	73.57	0.0001
EPD Error (Y ₂)	83	1350.208	16.267		
EPD Total (Y ₂)	89	8531.288			
TVR Regression (Y ₃)	6	3885.983	647.663	16.68	0.0001
TVR Error (Y ₃)	83	3222.752	38.828		
TVR Total (Y ₃)	89	7108.736			
EVR Regression (Y ₄)	5	55.689	11.137	20.70	0.0001
EVR Error (Y ₄)	84	45.207	0.538		
EVR Total (Y ₄)	89	100.897			

반응표면 실험 계획법에 의한 Mono Acetate 필터 담배 설계의 물리성 예측

Table 4. Regression and determinant coefficients of the dependent variables

Coefficient	Dependent Variables			
	UPD(Y_1)	EPD(Y_2)	TVR(Y_3)	EVR(Y_4)
intercept	82.960	120.910	49.700	3.240
X_1	- 3.799	- 5.697	0.780	0.000
X_2	2.498	3.595	0.000	0.000
X_3	- 3.288	0.000	3.600	- 0.211
X_4	0.000	4.228	2.002	- 0.201
X_5	- 3.150	0.000	4.204	- 0.244
X_6	0.000	- 0.931	- 0.931	0.670
X_7	0.000	4.062	2.643	0.000
X_2^2	- 0.833	0.000	0.454	0.000
X_{12}	0.000	0.000	- 1.073	0.000
X_{13}	0.000	0.000	1.012	0.000
X_{26}	0.000	0.000	1.053	0.000
X_4^2	0.000	0.000	- 0.641	0.000
X_{46}	0.000	0.000	1.291	0.000
X_{47}	0.000	0.000	- 0.974	0.260
X_{56}	1.875	0.000	- 1.281	0.000
X_{57}	- 1.375	0.000	1.529	0.000
X_{67}	0.000	0.000	1.392	0.000
R^2	0.63	0.84	0.65	0.55

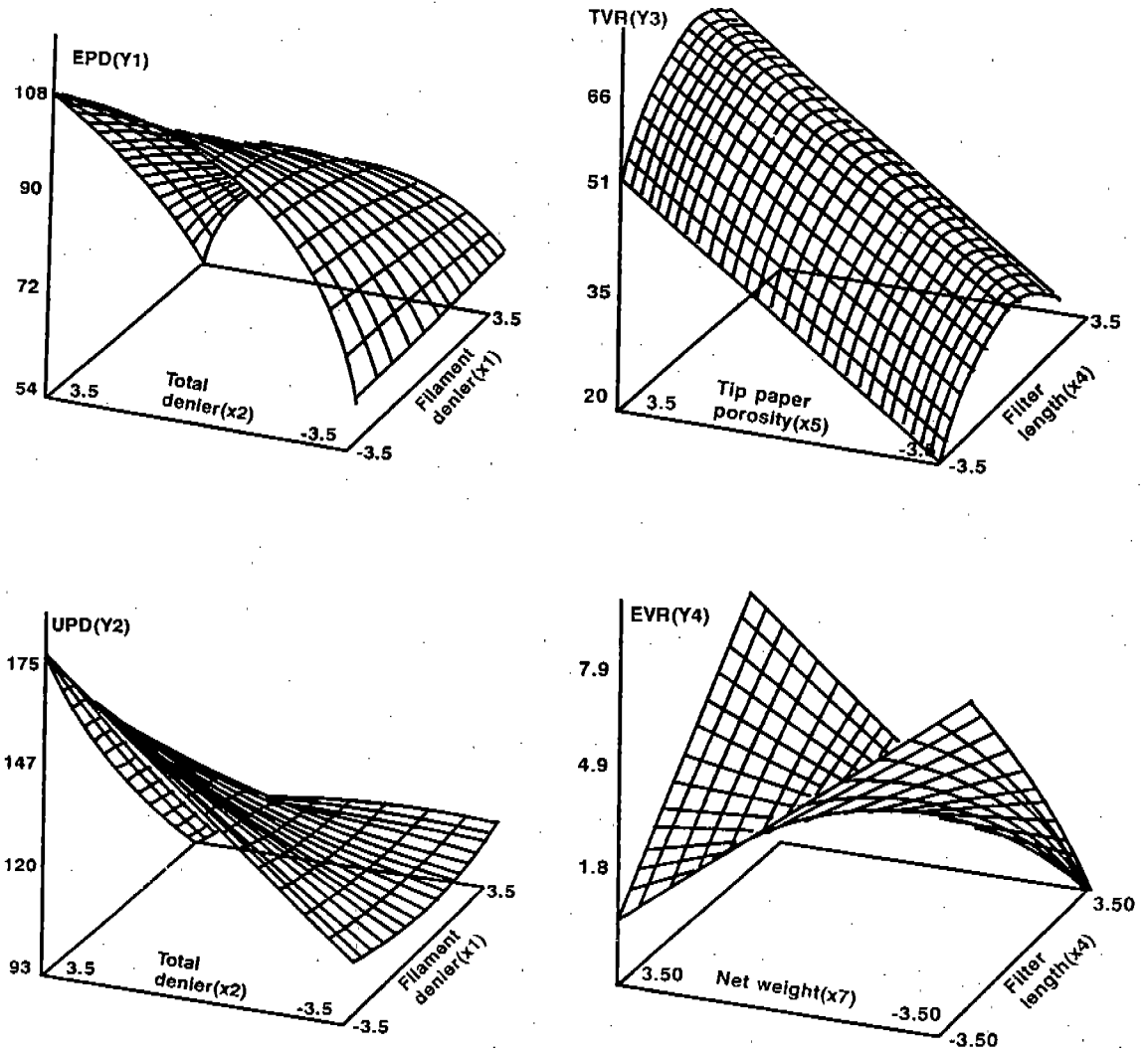


Fig.1 Three - demension response surfaces illustrating comparative effects of major two variables ;
 a : Encapsulated Pressure Drop(EPD, Y_1), b : Unencapsulated Pressure Drop(UPD, Y_2),
 c : Tip Ventilation Rate(TVR, Y_3), d : Envelope Ventilation Rate(EVR, Y_4)

으로 나타낸 그림이다. 흡인저항 중 UPD(a)와 EPD(b)는 X변수를 Acetate tow의 Filament와 Total Denier로 선택한 그림으로 Filament Denier가 클수록 또 Total Denier가 클수록 흡인저항이 커짐을 알 수 있으며 Total Denier가 크면 Filament Denier가 커지더라도 흡인저항은 감소하였다.

또한 공기회석율에 대한 반응곡면의 그림인 TVR(c)을 고찰할때 X축에 필터길이 (X_1)와 Tip Paper(X_2)를 설정하여 보면 필터길이가 길수록 회석율은 20%부터 증가하였으며 팁페이퍼의 기공도가 높을수록 높은 Y값을 나타냈다. 또한 EVR(Y_4)의 경우 필터 길이가 작을수록 또 전충량이 적을수록 그리고 이와반대의 경우에 비교적 높은 공기회석율을 나타내는 Saddle form을 볼 수 있었다.

그림 2는 반응표면 분석에 의해 도출된 중회귀식에 의하여 예측한 수치를 Y축에 도시하고 실제 무작위의 독립변수의 조합에 의한 시료의 관측치를 X축에 도시한 것이다. 관측치(X)와 예측치(Y)간의 Paired T

- test 분석결과 UPD(그림 a)의 R^2 값은 0.78, EPD(그림 b)는 0.85, TVR(그림 c)은 0.63, EVR(그림 d)은 0.77로 나타났으며 이들에 대한 ANOVA결과(표 5)를 보면 UPD, EPD, TVR, EVR 등 공히 F 검정결과 높은 유의도를 나타냈다. 그리고 그림 2와 표 5에서 UPD의 경우를 살펴보면 예측치와 관측치간의 2차 회귀관계식을 나타내고 있으므로 UPD에 영향을 미치는 인자를 1차식에 의하여 모델을 설정하였으나 2차식에 의한 모델로써 검토할 필요가 있다고 사료된다.

결 론

Mono Acetate 필터 담배의 흡인저항과 공기회석율에 대하여 반응 표면 분석을 적용하여 얻은 중회귀식은 다음과 같으며 모델 예측식을 도출한 결과 R^2 값이 UPD가 0.63, EPD가 0.84, TVR이 0.65 및 EVR이 0.55로 높은 상관성을 나타내어 0.050 level

Table 5. Regression analysis of observed and predicted values in cigarette design

Source	SS	df	MS	F	P
Total	2559.384	25			
UPD Regression (Y_1)	1989.169	2	994.584	40.117	.0000***
X 1	1874.967	1	1874.967	75.628	.0000***
X 2	114.202	1	114.202	4.606	.0426*
Error	570.214	23	24.791		
Total	2417.407	26			
EPD Regression (Y_2)	2044.004	1	2044.004	136.849	.0000***
X 1	2044.004	1	2044.004	136.849	.0000***
Error	373.403	25	14.936		
Total	2043.629	26			
TVR Regression (Y_3)	1283.445	1	1283.445	42.208	.0000***
X 1	1283.445	1	1283.445	42.208	.0000***
Error	760.184	25	30.407		
Total	20.523	26			
EVR Regression (Y_4)	14.275	1	14.275	57.114	.0000***
X 1	14.275	1	14.2755	57.114	.0000***
Error	6.248	25	0.250		

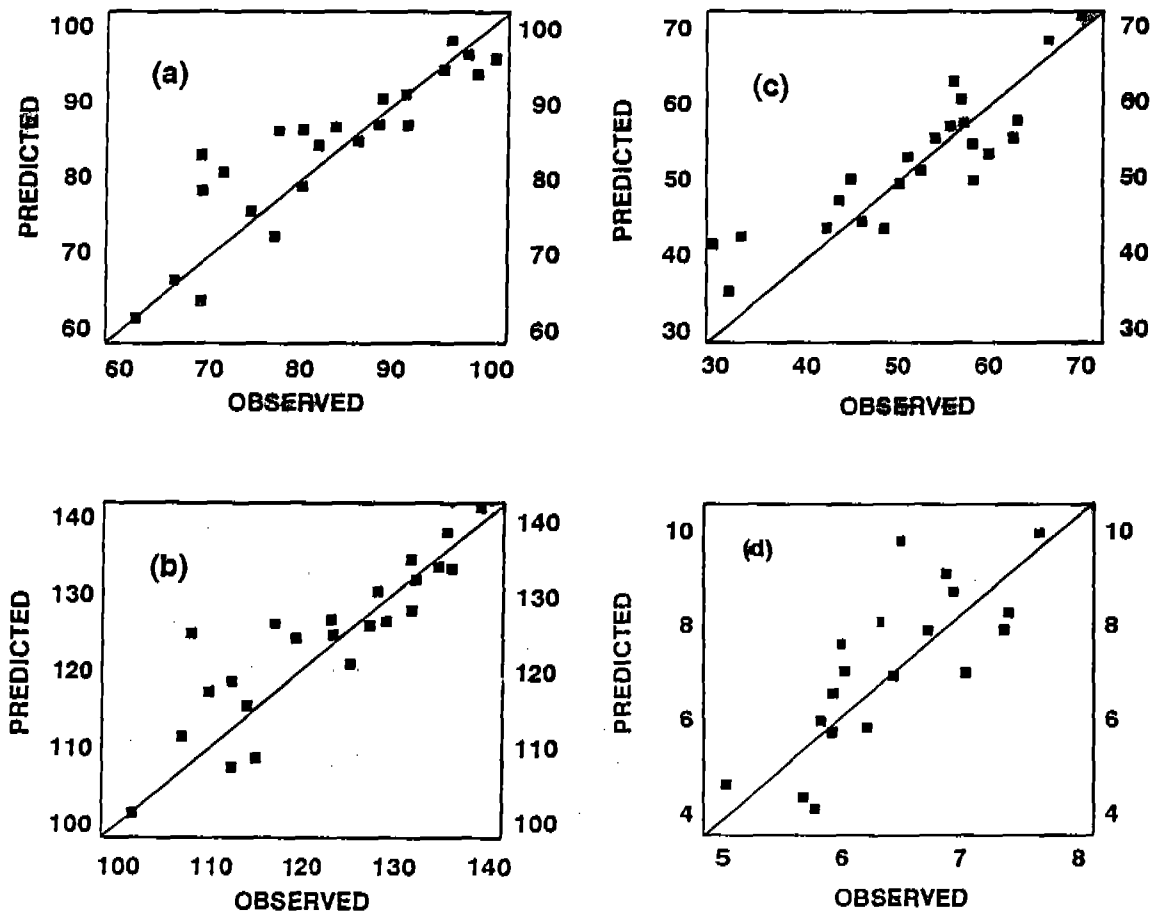


Fig. 2 Distribution of predicted and observed values of the responses following the changed conditions ; a : Unencapsulated Pressure Drop(UPD, Y_1), b : Encapsulated Pressure Drop(EPD, Y_2), c : Tip Ventilation Rate(TVR, Y_3), d : Envelope Ventilation Rate(EVR, Y_4).

에서 Model을 잘 설명할 수 있었다.

$$\begin{aligned} \text{즉, UPD}(Y_1) &= 82.96 - 3.80X_1 + 2.50X_2 - 3.29X_3 - 3.15X_5 - 0.83X_2^2 + 1.88X_5X_6 - 1.38X_5X_7 \\ \text{EPD}(Y_2) &= 120.91 - 5.70X_1 + 3.60X_2 + 4.23X_4 - 0.93X_6 + 4.06X_7 \\ \text{TVR}(Y_3) &= 49.70 - 3.60X_3 + 2.00X_4 + 4.20X_5 - 0.93X_6 + 2.64X_7 - 1.07X_1X_2 + 1.01X_1X_3 \\ &\quad + 1.05X_2X_6 + 0.45X_2^2 - 0.64X_4^2 + 1.29X_4X_6 - 0.97X_4X_7 - 1.28X_5X_6 + 1.53X_5X_7 + 1.39X_6X_7 \end{aligned}$$

$$\text{EVR}(Y_4) = 3.24 - 0.21X_3 - 0.20X_4 - 0.24X_5 + 0.67X_6 + 0.26X_4X_7$$

Step wise법에 의하여 중회귀 분석한 결과에 의하면 EPD는 $F_d > F_l > N_w > T_d$ 의 순으로 33%, 18%, 17%, 12%의 기여율을, UPD는 $F_d > P_w > T_p > T_d$ 의 순으로 19%, 15%, 13%, 9%의 기여율을, TVR는 $T_p > P_w > N_w > F_l$ 의 순으로 21%, 16%, 8%, 5%의 기여도를 나타냈다. 또한 예측치와 관측치에 대한 Paired t-test결과 유의성이 높았으므로 예측식의 활용이 가능할 것으로 사료된다.

인용문헌

1. Derrick, J.C. and C.H. Keith.(1961) Tob. Sci. 5 : 84 - 91p.
2. Durocher, D.F., C.F.Mathina and W.A.Selke(1978) Beitr. Tabakforsch, 9, 4.
3. Durocher, D.F.(1985) Tob. Jan. Int., March.
4. Eastman Technical Report(1984), FTR - 57.
5. Keith, C.H.(1975) Romoval of Trace Contaminants from the Air, ACS Symposium Series No. 17 : 79 - 90p.
6. Keith, C.H.(1978) 32nd. TCRC. : 25 - 45p.
7. Keith, C.H.(1980) Banbury Report 3 ; Safe Cigarette ? ; Cold Spring Habor Lab. : 225 - 237p.
8. Keith, C.H.(1979) Beitr. Tabakforsch, 10(1) : 7 - 16p.
9. Keith, C.H.(1980). Tabakforsch, 10(3) : 191 - 192p.
10. Keith, C.H.(1972) The Chemistry of tobacco and Tobacco Smoke, P. 149 - 166 I. Schmeltz Ed., Plenum Press, New York, U.S.A.
11. Lah, C.L., M.Cheryan, and R.E. Devor,(1980) J. Food. Sci., 45 : 1720 - 1726p.
12. Lee, H.O., H.S.Sung and K.B.Suh,(1986) Korean J.Food. Sci. Tech., 18 : 259 - 263p.
13. Mudahar, G.S.R.T.Toledo, J.D.Floros, and J.J. Jen, (1989) J.Food. Sci., 54 : 714 - 719p.
14. Norman, V.(1973) Beitr. Tabakforsch, 4(5) : 282 - 287p.
15. Norman, V.(1984) Beitr. Tabakforsch, 12, 4 : 178 P.
16. Sayavedra - Soto, L.A. and M.W.Montgomery, (1988) J. Food. Sci., 53 : 643 - 644p.
17. Selke, W.A. and J.H. Mathews(1978) Beitr. Tabakforsch, 7, 4 : 193 - 200p