Journal of the Korean Society of
Tobacco Science. Vol.10, No.1(1988)
Printed in Republic of Korea.

제조담배의 연기희석에 미치는 재료품과 궐련 물성 연구

Ⅰ. 제조담배의 연기희석율과 팁흡인저항에 미치는 팁페이파 및 필터권지 기공도의 영향

김성한 · 오영일 · 이영택 · 박태무

한국인삼연초연구소 화학부

Study on cigarette ventilation with cigarette materials and the properties of cigarettes

Ⅰ. Effect of tipping paper permeability and plugwrap porosity on the cigarette pressure drop and ventilation

S.H. Kim · Y. I. Oh · Y. T. Lee · T.M. Park

Korea Ginseng and Tobacco Research Institute

(Received Jun. 1, 1988)

ABSTRACT

The effects of tipping paper permeability and plugwrap porosity on the ventilation and the pressure drop of cigarettes have been studied and the results obtained were as fallows.

1. The single and the multiple regression equation to estimate tip ventilation were establised. In the equations, the observed values of the tip ventilation with the varieties the plugwrap porosity were content with them by the single regression equation.

2. As based on the statistical consideration of the above equation, the deviation of the observed tip ventilation versus the tipping paper permeability were higher than them to the plugwrap porosity.

3. The regression equations to calulate pressure drop ratio and the total ventilation rate in filter tip from the tip ventilation were obtained.
According to the equation, the observed values of the pressure drop ratio were significantly similar to them calculated.

4. It was found that the equations could be applied to the calculation of the ventilation of cigarettes using the mechnical and micro laser perforation tipping paper as well as the electrically perforated tipping paper of this study.

서 론

오늘날 저탈 담배를 만드는 가장 큰 수단으로 통기성 필터팁(ventilated filter tip)을 사용하여 연기성분을 희석(dilution or ventilation)시키는 방법이라는 것은 주지의 사실이다.

물론 필터팁에 의한 공기희석외에도 공기희석은 막궐련부의 다공성 궐련지에 의한 방법, 작은 분자들의 확산에 의한 효과도 있으나 확산효과에 미치는 영향은 궐련지의 기공도 보다는 팁 공기희석률을 증가시키는 것이 더 효과적[1]이기 때문에 그만큼 필터팁의 공기희석이 기여하는 효과가 크다고 할 수 있다.

이러한 필터팁의 공기희석률에 미치는 인자는 여러가지가 있으나 대체로 크게 두 가지로 대별할 수 있다. 첫째가 공기 유입량을 직접 조절할 수 있는 팁페이파의 기공도, 천공폭, 천공크기 및 필터권지의 기공도등 직접적인 인자와, 둘째는 주류연의 유속을 변화시키므로서 그에 따라 공기 유입량을 간접적으로 조절하는 필터팁의 흡인저항, 팁페이파의 천공위치, 막궐련의 흡인저항 등이 간접적 인자들이다. 상기 인자중 필터팁의 흡인저항과 막궐련의 흡인저항등은 또 다른 많은 인자들에 의해 지배되기 때문에 필터팁 공기희석에 미치는 인자의 수는 크게 늘어나게 된다.

필터팁 공기희석에 미치는 각 인자들의 영향을 연구한 보고[1-9]는 많으나 정량적인 분석은 극히 드물다. Keith[11,12]는 필터팁의 공기희석률에 미치는 궐련과 필터팁의 흡인저항(encapsulated pressure drop; EPD, unencapsulated pressure drop; UPD), 필터 길이, vent 길이 등의 영향을 연구하여 정량적인 방정식을 유도한 바 있다. 그러나 이 결과는 기계천공 팁페이파를 사용하였을 때의 결과이며, 또 흡인저항과 길이만을 변수로 하였기 때문에 흡인저항을 모두 측정해야 공기희석률을 계산할 수 있는 번거로움이 있다.

Schneider와 그의 공동 연구자[13]들은 필터팁의 공기희석률에 미치는 필터길이, 각 segment의 흡인저항, 종이류의 비전도도(specific conductivity), 각 segment에서의 유속, 기공도 등의 영향에 대하여 정량적 표현을 하였으나 이경우 궐련의 각 segment의 흡인저항 및 유속, 종이류의 비전도도 등을 측정해야 하는 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서는 우리가 흔히 재료품과 궐련의 분석항목으로 사용하는 인자들 만을 조합하여 궐련 및 필터팁의 공기희석률을 산출할 수 있는 방법을 정리하기 위한 일차적인 연구로서 전자천공 팁페이파와 다공성 필터권지 기공도가 필터팁의 공기희석률에 미치는 영향 및 필터팁 공기희석률이 다공성 궐련지로 제조된 궐련의 총공기희석률과 막궐련부의 공기희석률에 미치는 영향을 이들간 상관분석을 통하여 정량적 관계를 얻었기에 보고하고자 한다.

재료 및 방법

필터플럭 제조용 아세테이트 토우는 선경합섬에서 제조한 2.7/39,000, 2.9/40,000, 2.5/38,000 denier이며 필터권지의 기공도가 1000, 1700, 3000, 5000, 6500, 9500 *cm*/min. c bar인 7종과 조합하여 다공성 필터플럭을 제조하였다. 토우 사용량은 토우의 특성곡선(tow capability curve) 상에서 중간점(medium point)을 적정중량점으로 택하여 triacetin 8%를 첨가하여 길이는 96 ㎜, 둘레는 24.7 ㎜로 권상하였다. 권상기는 저속권상기(1200본/분)를 사용하였다.

1. 시제담배 제조

위와 같이 제조된 필터플럭을 각 필터 종류별로 평균 EPD ± 5 ㎜ H_2O의 흡인저항과 평균중량 ± 20*mg* 및 원주 24.70±0.02 ㎜인 것을 선별하고 24 ㎜로 절단한 후, 팁 흡인저항이 89±1 ㎜ H_2O가 되도록 재선별하여 막궐련 솔(EPD, 42±1 ㎜ H_2O)과 팁페이파를 부착하였다. 이때 사용된 팁페이파 기공도는 144, 200, 384, 480, 680, 760

c.u. 등 6종이며, 수작업으로 부착한 궐련을 23 ℃, 65 % RH 하에서 24 시간 조화시킨 후 시료로 하였다.

2. 시제담배 물성 및 연기성분 분석

제조담배에 대하여 필터팁의 EPD와 UPD는 Filtrona Automatic pressure drop meter 로, 공기희석률은 Filtrona ventilation meter 로 각각 측정하였다. Tar, Nicotine, CO는 CORESTA No. 10 표준법에 따라 분석하였다.

결과 및 고찰

1. 팁공기희석률에 미치는 팁페이파 및 필터권지 기공도의 영향

팁페이파의 기공도와 필터권지의 기공도가 증가함에 따라 공기희석률이 증가하고 그에 따라 궐련 및 팁 UPD가 낮아지는 것은 이미 보고[11,12,13,14]된 바와 같이 본 시험에서도 같은 결과를 얻었다.

팁페이파 기공도의 변화에 의한 팁공기희석률의 변화를 그림 1 에서 보면 기공도의 증가는 팁공기희석률을 비선형적으로 증가시키고 있는데 이것은 기공도가 높아질수록 팁공기희석률의 증가폭이 작아지는 것을 의미한다. 필터권지의 기공도 증가에 따른 팁공기희석률 증가도 그림 2 에서 보는 바와 같이 역시 비선형적인 변화를 나타내고 있으나 다만 변화의 정도는 팁페이파의 기공도를 변화시켰을 때가 더 크며 이는 그림 1 과 그림 2 를 비교하면 알 수 있다.

이들 두 인자중 하나를 고정시킨 상태에서 다른 한 인자와 팁공기희석률간의 단상관회귀식을 구하였다. 필터권지의 기공도를 고정시키고 팁페이파 기공도와 팁공기희석률과의 회귀식은 표 1 에 나타내고 팁페이파의 기공도를 고정시킨 상태에서 필터권지의 기공도와 팁공기희석률과의 회귀식은 표 2 에 나타내었다. 이들 두 표에서 알 수 있는 공통적 특징은 상수로 된 인자의 기공도 수준이 달

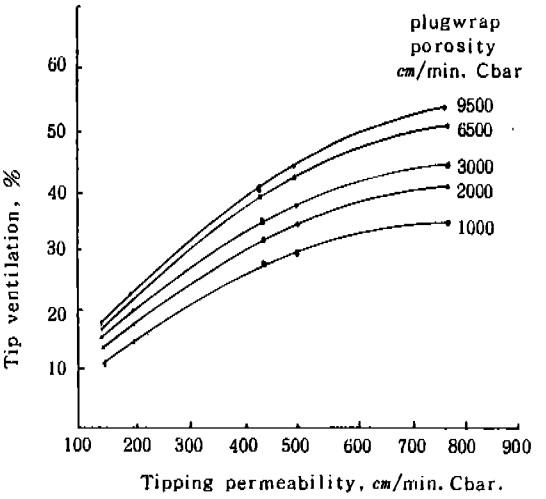

Fig. 1. Effect of tipping paper permeability on ventilation.

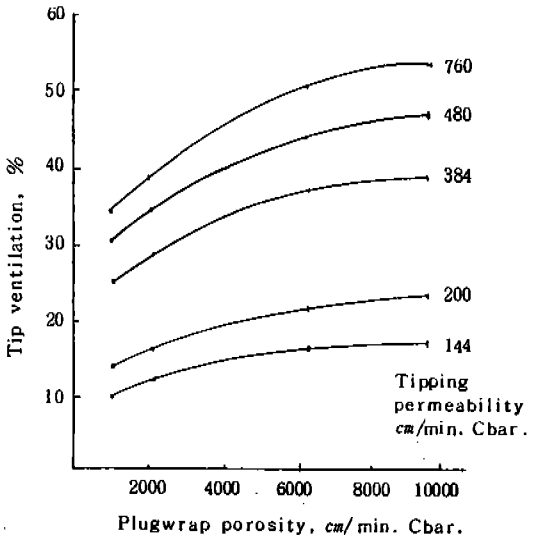

Fig. 2. Effect of plugwrap porosity on ventilation.

라도 그 기울기는 거의 같으며 단지 절편만 다르다는 것을 쉽게 알 수 있다. 그러나 회귀분석에 대한 상관계수 R과 결정계수 R^2를 비교해 보면 표 1 의 팁페이파 기공도와 팁공기희석률의 관계를 나타낸 회귀식에 있어서는 고정된 필터권지의 기

공도 수준이 달라도 거의 유사한 수준의 R과 R^2 값을 보여주고 있지만 표 2에서 필터권지의 기공도와 팁공기희석률의 관계를 나타낸 회귀식은 고정된 팁페이파의 기공도 수준이 낮아짐에 따라 R와 R^2 값이 작아짐을 볼 수가 있다. 예를 들면 팁페이파 기공도가 144 c.u. 로 고정된 상태에서의 회귀식에서 R^2 은 0.8679 로서 이것은 필터권지의 기공도가 팁공기희석률에 미치는 영향이 86.8%이고, 다른 요인에 의해 13.2%만큼 영향을 받는다는 것을 의미한다. 결국 필터팁 설계에서 팁페이파의 기공도 변화는 팁공기 희석률의 편차를 크게 하는 원인임을 집작할 수가 있다.

이러한 현상은 표 1에서 팁페이파의 기공도를 변수로 한 회귀식들의 상관성이 높다해도 회귀계수 자체의 오차가 큰 원인으로 기인될 수 있다. 따라서 표1 및 표2의 회귀계수들에 대한 t-검정이 필요하며 검정결과(표3) 표1의 회귀식들은 필터권지의 기공도가 1000 c.u. 일 때를 제외하고는 회귀계수중 절편에 대한 값은 유의성이 없는 것으로 나타났으며 표2의 회귀식들은 고도의 유

Table 1. Correlationship between tip ventilation rate and tipping paper permeability.

Plugwrap porosity, *cm*/min. cbar	Simple regression equation	R	R^2
1000	$\ln Y = 0.6722 \times \ln X_1 - 0.8603$	0.9826	0.9680
2000	$\ln Y = 0.6806 \times \ln X_1 - 0.7357$	0.9841	0.9687
3000	$\ln Y = 0.6763 \times \ln X_1 - 0.6193$	0.9789	0.9561
6500	$\ln Y = 0.6665 \times \ln X_1 - 0.4198$	0.9790	0.9612
9500	$\ln Y = 0.6414 \times \ln X_1 - 0.2073$	0.9740	0.9483

Y = Tip ventilation
X_1 = Tipping paper permeability
R = Coefficient of simple correlation
R^2 = Coefficient of determination

Table 2. Correlationship between tip ventilation rate and plugwrap porosity.

Tipping paper permeability *cm*/min. c bar	Simple regression equation	R	R^2
144	$\ln Y = 0.2123 \times \ln X_2 + 0.9542$	0.9334	0.8679
200	$\ln Y = 0.2039 \times \ln X_2 + 1.3223$	0.9468	0.8958
384	$\ln Y = 0.2216 \times \ln X_2 + 1.6885$	0.9603	0.9259
480	$\ln Y = 0.2055 \times \ln X_2 + 1.9974$	0.9767	0.9556
760	$\ln Y = 0.2016 \times \ln X_2 + 2.1572$	0.9848	0.9767

Y = Tip ventilation
X_2 = Plugwrap porosity correlation
R = Coefficient of simple
R^2 = Coefficient of determination

Table 3. t-Value from coefficient of the regression.

Constant	Variables	t-Value	
		Slope	Intercept
Plugwrap porosity	Tipping paper permeability		
1000 c.u.		21.35	4.59
3000 c.u.		4.38	0.94
9500 c.u.		17.31	0.94
Tipping paper permeability	Plugwrap porosity		
144 c.u.		10.25	5.62
384 c.u.		12.95	12.03
760 c.u.		26.09	34.05

T_{16}, 0.99 = 2.921
T_{16}, 0.90 = 1.746

의성을 보여 주었다. 이것은 표1의 회귀식들이 예측도구로 사용될 수는 있으나 표2와 같이 고도의 유의적인 값을 주지는 못함을 의미한다.

이들 두 인자들이 팁공기회석률에 미치는 상대적 영향을 비교하기 위하여 이들간의 중상관분석을 하여 다음과 같은 중상관회귀식을 얻었다.

$$Y_{(\text{tip vent.})} = 0.6759\,X_1\,(\text{팁페이파 기공도}) + 0.2070X_2\,(\text{필터권지 기공도}) - 2.2946$$

$(R = 0.9826 : R^2 = 0.9655)$

Table 4. Comparison of tip ventilation measured and tip ventilation estimated from two simple regression equations and maltiple regression equation.

Tip paper permeability, *cm*/min.	Plugwrap porosity, *cm*/min.	Tip ventilation, %			
		Measured	Simple regression Table 1	Table 2	Multiple regression
144	1000	11.4	11.9	11.3	12.1
384	1000	24.8	23.1	25.0	23.5
760	1000	34.2	36.5	34.8	37.3
144	3000	14.6	15.5	14.2	15.2
384	3000	31.7	30.1	31.9	29.5
760	3000	43.3	47.8	43.5	46.8
144	6500	16.8	18.0	16.7	17.8
384	6500	37.1	34.7	37.9	34.6
144	9500	18.5	19.7	18.2	19.9
760	9500	53.3	57.3	54.8	58.2
480	6500	44.9	40.3	44.8	40.3
384	6500	40.5	37.0	41.2	37.4

위 식에서 각 회귀계수와 측정치의 편차로 부터 β-계수를 구한 결과,

β_1 (팁페이파 기공도) = 1.1052
β_2 (필터권지 기공도) = 0.2730

의 값을 얻었는데 이것은 필터권지의 기공도 변화보다 팁페이파 기공도가 변할 때 팁 공기희석률의 변화율과 편차가 4배정도로 커질 수 있다는 것으로 앞의 예측을 정량적으로 뒷받침 해 주는 것이다. 상기 중상관 회귀계수에 대한 통계적 검정결과도 표1의 경우와 같이 절편에 대한 값은 유의성이 없는 것으로 분석되었다. 즉 예측도구로서 이용은 가능하되 필터권지의 기공도를 변수로 해서 얻은 단상관회귀식과 같이 근접된 값은 얻을수 없다는 것이다. 이들 회귀식에서 계산된 값과 실측된 값을 표4에 정리하고 비교한 바, 역시 통계적 검정의 결과와 같이 표2의 회귀식으로 계산된 값은 실측치와 아주 근접된 값을 나타내고 있다.

따라서 어떤 제품의 공기희석률을 높이고자 할 때는 그 증가폭이 크지 않으면 필터권지의 기공도를 증가시키는 것이 품질 편차를 줄일 수 있는 방법이 될 것이다.

2. 팁공기희석률이 필터팁 흡인저항(PD ratio)에 미치는 영향

팁페이파와 필터권지의 기공도 증가가 팁공기희석률을 높이고, 그에 따라 필터팁 UPD를 감소시킨다는 것은 앞에서 언급한 바 있으며 이러한 이유로 UPD/EPD ratio가 낮아진다. 팁공기희석률에 따른 PD ratio의 변화는 그림3에서와 같이 선형적인 감소를 보여주는데 이들의 상관분석결과 다음과 같은 단상관회귀식을 얻을 수 있었다.

$$Y'_{(\text{PD ratio})} = 1.017 - 4.400 \times 10^{-3} X'_{(\text{Tip vent.})}$$

$$(R = 0.9839 \ : \ R^2 = 0.9681)$$

위 식으로부터 팁공기희석률을 알면 필터팁의

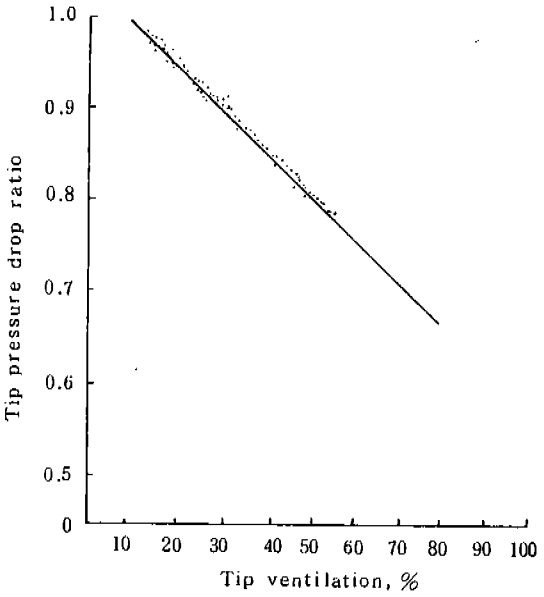

Fig. 3. Effect of tip ventilation on pressure drop ratio.

흡인저항 수준을 산출할 수 있고 목표하는 팁공기희석률을 얻기 위해 흡인저항 수준을 예측할 수 있을 것이다.

표5에는 상기 단상관회귀식에서 계산한 PD ratio와 실측 EPD, UPD에서 구한 PD ratio를 비교한 것으로 서로 매우 근접된 값을 보여주고 있다.

Table 5. Comparison of the measured and the estimated PD ratio.

Tip ventilation %	PD ratio	
	Measured	Estimated
10.3	0.977	0.973
16.5	0.952	0.944
24.9	0.909	0.907
36.7	0.864	0.856
42.3	0.830	0.831
53.2	0.778	0.783
57.0	0.762	0.766
63.3	0.733	0.738

3. 궐련의 총공기희석률(cigarette ventilation rate)에 미치는 팁공기희석률의 영향

팁공기희석률은 궐련의 총공기희석률의 대부분을 차지하고 있는 바, 그림 4 에서 보는 바와 같이 팁공기희석률이 낮은 범위에서는 팁 공기희석률을 나타내는 line이 총공기희석률을 나타내는 line과 상당히 멀어져 있지만 팁공기희석률이 높아질수록 두 line이 서로 접근하고 있음을 알 수 있다. 이것은 팁공기희석률이 높아지면 총공기희석률에 미치는 막궐련부의 공기희석 효과가 점차로 감소하는 것으로 해석할 수 있다.

두 변수간의 상관분석 결과 다음과 같은 회귀식을 얻어 이미 제품설계에 활용하고 있으나[15],

$$Y''_{(Cig.\ vent.)} = 5.6800 + 0.9432X'_{(Tip\ vent.)}$$

$$(R = 0.9996 \ : \ R^2 = 0.9992)$$

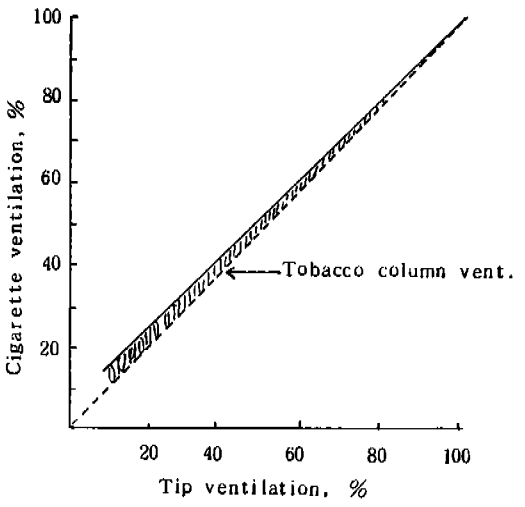

Fig. 4. Comparison of cigarette ventilation and tip ventilation.

Table 6. Comparison of ventilation measured and cigarette ventilation estimated from tip ventilation.

Tipping perforation	Tip. vent. %	Cigarette ventilation, %		
		Estimated from A	Estimated from B	Measured
Electric	9.5	14.6	14.2	13.7
	13.7	18.6	18.2	17.4
	28.7	32.7	32.2	32.3
	30.6	34.7	34.0	33.6
	34.8	38.5	37.9	37.4
	40.3	43.7	43.1	42.8
	53.1	55.7	55.0	54.9
	59.2	61.5	60.7	60.7
Micro laser	56.1	58.6	57.8	58.0
	63.3	65.4	64.6	64.7
	39.9	43.3	42.7	42.5
	16.1	20.9	20.4	20.0
Mechanical	7.6	12.9	12.5	12.3
	42.5	45.8	45.1	45.0
	56.0	58.5	57.8	57.9

이 식은 팁흡인저항을 89±1㎜H_2O로 고정한 제품에 대하여 공기희석률이 10~73% 범위의 제품에 적용한 것으로 표5에서 보듯이 실측치와 근접된 값이기는 하나 전반적으로 약간 높은 값을 보여주고 있다. 이러한 편차를 감소시키기 위해 제품의 공기희석률 범위를 10~60%로 좁히고 팁흡인저항(EPD)을 63~105㎜H_2O로 넓혀 두 변수간 단상관회귀분석한 결과(표5)에서 보는 바와 같이 실측치와 아주 근접된 값을 얻었으며 또 다른 회귀식 (B)를 얻을 수 있었다.

$$Y''_{(Cig.\ vent.)} = 5.3618 + 0.9354X'_{(Tip\ vent.)}$$

$$(R = 0.9960\ ,\ R^2 = 0.9920)$$

다만 식(B)는 팁공기희석률 83%(예상치)이상에서는 총공기희석률과 같아지는 문제점이 있어 80% 전후의 높은 희석률에서는 적용하기가 어렵다. 그러나 담배의 공기희석률이 70%를 넘는 제품은 흔치 않으므로 제품 설계에 적용할 수 있을 것으로 생각된다. 이 회귀식들은 실험에서 사용한 전자천공 뿐만 아니고 기계천공, micro laser 천공에도 잘 적용될 수 있음을 표6은 나타내고 있다. 물론 상기 식들은 현재 우리나라에서 사용중인 다공궐련지 35±9 c.u. 제품에 대한 것이므로 위의 기공도 범위외의 다공성 궐련지와 천공된 궐련지를 사용할 경우에는 다른 pattern을 나타낼 것이다.

결 론

팁페이파 기공도 및 필터권지 기공도가 제조담배(필터팁 EPD는 89±1㎜H_2O로 고정, 다공성 궐련지는 35±9 *cm*/min. c bar, 그리고 전자천공 팁페이파 사용)의 공기희석률과 흡인저항에 미치는 영향을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 팁페이파 기공도와 필터권지 기공도로서 필터팁 공기희석률을 계산할 수 있는 단상관 및 중상관회귀식을 얻었으나 실측치와 가장 근접된 값을 보인것은 팁페이파 기공도를 고정시키고 필터권지 기공도를 변수로 한 단상관회귀식이었다.

2. 상기 회귀식의 통계적 고찰로 부터 팁페이파 기공도를 변수로 하는 경우가 필터권지 기공도를 변수로 하는 것보다 팁공기희석률의 편차가 크게 나타났다.

3. 팁공기희석률로 부터 제품 필터팁의 PD ratio와 총공기희석률을 산출할 수 있는 회귀식을 얻었고 이 두 회귀식에서 산출된 값은 실측치와 매우 근접된 값을 보여주었다. 특히 궐련 총공기희석률의 산출된 값은 기계천공이나 micro laser 천공 제품에도 잘 적용되었다.

참 고 문 헌

1. D.F. Durocher, C.F. Maffina and W.A. Selke, Beitr. Tabakforsch, 9, 4 (1978).
2. V. Norman, Beitr. Tabakforsch, 7, 5 (1974).
3. Eastman 연구보고서, FTR-22.
4. Eastman 연구보고서, FTR-57.
5. J.E. Kiefer, Recent Adv. Tob. Sci., Vol. 4, p. 60 (1975).
6. W. Cummings and D.H. Jones, Carreras Rothmans Limited 보고서, (1978).
7. W.A. Selke and J.H. Mathews, Beitr. Tabakforsch, 7, 4, pp. 193-200 (1978).
8. V. Norman, Beitr. Tabakforsch, 12, 4, p. 178 (1984).
9. D.F. Durocher, Tob. Jan. Int., March (1985).
10. C.H. Keith, Beitr. Tabakforsch, 10, 3, pp. 191-192 (1980).
11. C.H. Keith, Beitr. Tabakforsch, 10, 1, pp. 7-14 (1979).

12. W.A. Selke, Beitr. Tabakforsch, 9, 4, pp.190-192 (1978).
13. W. Schneider, Beitr. Tabakforsch, 12, 3, pp.123-128 (1984).
14. D.E.Mathis, Beitr. Tabakforsch, 12, 4, p.169 (1984).
15. 박태무, 박영수, 김성한, 오영일, 이영택, 한국인삼연초연구소 연구보고서, pp.541-580 (1987).