

냉동건조에 의한 잎담배 팽화특성

김 별 구*
한국인삼연초연구원
(1995년 11월 20일 접수)

Characterization of Expanded Tobacco Lamina Tissues by Freeze Drying

Byeoung Ku Kim
Korea Ginseng and Tobacco Research Institute
(Received November 20, 1995)

Abstract : The freeze drying rate was investigated under various conditions such as pressure and moisture contents in order to establish the optimum condition for expansion of the cutted flue cured tobacco lamina. The optimal pressure in the chamber to maintain the heat and mass transfer was about 0.8torr, When the moisture contents of sample was 50 - 60%, expanding rate was the optimum condition and the rate was 67 - 76%. As the thickness of the sample layers was increased, drying rate was decreased conversely and this result seemed to be due to decline of heat and mass transfer coefficients. Differences with the position of its stalk were also observed in drying rate, and low stalk position leaves of 5 and 3 was the fastest.

Key words : freeze drying, popping, expansion tobacco.

현대 담배산업이 지향하는 방향은 순하고 맛있는 애연가들이 요구하는 기호추세에 부응하고 원료의 원가를 절감시키기 위하여 잎담배에 물리적인 처리 과정을 거쳐 밀도를 감소시켜 저비중화하여 상품담

배의 품질개선과 원료의 경제적 가치를 향상시켜 가는데 있다. 그리하여 각국의 담배제조회사 및 연구기관에서는 엽육, 주맥, 등의 담배원료를 팽화시키는 여러 방법들을 연구하였다. 잎담배를 팽화하

* 연락처자 : 305 - 345, 대전광역시 유성구 신성동 302, 한국인삼연초연구원, 상품개발부

* Corresponding Author : Korea Ginseng & Tobacco Research Institute, 302 Shinsong-dong, Yuseoung-Ku, Taejon 305 - 345, Korea.

는 방법에는 일반적으로 팽화제에 의한 방법과 냉동건조에 의한 방법을 들 수 있다. 냉동건조는 건조과정중에 습윤재료를 동결시킨 후 고체상태에서 승화에 의하여 수분을 제거함으로 건조할 시료의 표면경화(case hardening)현상이 생기지 않는다(Hill 등, 1983). 건조물의 다공성 조직이 건조과정중에 수축되지 않고 원형 그대로 유지되면서 건조된다(Mellor, 1978). 냉동건조는 동결층에서 수분을 직접 승화시키는 건조방법이므로 낮은 온도와 압력, 느린 건조속도, 비연속적인 공정과정을 거쳐야 되기 때문에 시간과 비용이 많이 소요되므로 그 응용성이 제한되어 있기도 하다. 그러나 냉동건조법은 흡수팽윤(swelling)된 다공질 잎담배 조직이 형태가 수축되지 않고 동결된 상태 그대로 건조되기 때문에 팽화현상을 나타내게 되는 것으로 건조 후 담배각초가 부스러짐이나, 다른 팽화방법들에서 처럼 고온으로 가열된 공기층과의 접촉에서 발생하는 구성성분의 손실을 줄일 수가 있다. 즉 건조 전 후에 유기물 및 단백질 등에 구성성분의 화학적 변성을 최소화하여 건조 후에도 피건조물에 휘발성물질이나 방향성 향기성분의 보류 비율이 높으며 열가변성이 배제되고, 잔류수분이 거의 없는 상태까지 수분의 제거가 가능하기 때문에 식품가공, 의학, 미생물 등 고부가가치 제품건조에 활용되고 있으며 용도가 점차 확대되어 가고 있다(岩田直樹, 1990). 그래서 미국 B & W 사의(Strube와 Moll, 1965)은 잎담배의 냉동건조를 시도하였으며 1972년 FMC사의(Abbott 등, 1972)은 건조된 잎담배에 물을 충분히 적시어(soaking) 동결시킨 후 수분을 일정한 온도를 가진 기류로 건조한 결과 28-58%팽화하였고(H. Johnson과 L.M.Sykes, 1973)는 열전도를 증가시키는 방법 및 복사열원을 이용하여 건조속도를 빠르게 하기 위한 연구를 수행하였으며 그 후 냉동건조 과정중에 일어나는 잎담배에 대한 현미경적 조직변화 연구를 수행하였다(Mohapatra와 Johnson, 1973).

또한 수확 직후의 건조되기 전 단계인 생엽담배를 각각 냉동건조하여 100%이상의 팽화율을 얻었으며 처리 전후의 과정중에 발생하는 성분변화와 구조적 관계에 대하여 연구한 바 있다(Williamson과 Johnson, 1981). 본 연구에서는 한국산 잎담배의 냉동건조 처리시 적정압력과 온도조건을 구하여 이들 최적조건에서의 건조시간을 구하고, 각 등급에 따

른 잎담배의 냉동건조 특성을 구명하여 제품의 이화학적 손상을 최소화한 고품질의 팽화된 순엽담배를 생산하는 데 기초자료를 제공하고자 한다. 또한 이와 유사한 과일, 야채 등의 방향성식품과 차류의 냉동건조에도 활용할 수가 있는 자료가 될 것으로 추정된다.

이론

1. 냉동건조 원리

동결된 잎담배 자체는 주어진 온도에 대응하는 평형증기압을 가지므로 건조물 주위의 증기분압이 그 내부의 포화증기압 보다 낮으면 승화한다. 그러므로 증기압 차를 크게 가지게 하기 위하여 외부 압력은 낮은 진공상태를 유지해 주어야 하는데, 여기서 일어나는 열전달과 물질전달의 두 인자에 의하여 냉동건조 속도가 결정된다고 볼 수 있다. 그림 1에서 보는 바와 같이 동결상태에서 승화에 의하여 수분을 제거하기 위해서는 물의 삼중점(triple point)이하의 압력과 온도 범위 내에서 얼음과 수증기가 평형을 이루는 상태에서 외부에서 가해진 열이 승화잠열로 사용되어 얼음층이 단계 별로 소멸되도록 건조조건을 유지해야 한다(신, 1990).

잎담배나 야채, 과일 같은 피건조물들은 대체적으로 건조 초기단계에서는 공급된 열은 피건조물을

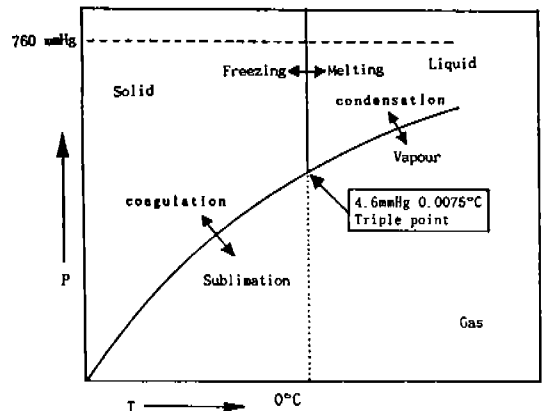


Fig. 1. Phase diagram for water and representation of the sublimation process.

어느 일정한 온도로 높이는데 사용되는 예열기간을 지나며 그 이후 피건조물은 열전달에 의해 공급된 열량은 동결층을 지나 승화면에 이르게 되며 여기서 승화잠열로서 소비되고 수증은 건조물의 외곽으로 부터 점차적으로 소멸되어 간다. 외곽에 다공질의 건조층을 남기면서 승화면은 내부로 진행되어 동결층이 소멸되어가고 항물건조기가 계속된다. 이때 승화면의 온도는 일정하게 유지되고 비교적 일정한 건조속도를 나타낸다. 이 기간 동안에 대부분의 수분 약 90%가 제거된다. 항물건조기간을 지나 동결층은 소멸되고 승화잠열에 소비되는 열량은 격감하여 가열되는 열량과 균형이 깨지면서 건조물의 온도는 상승한다. 이 과정을 감물건조기라 하며 건조속도가 건조곡선에서 직선적으로 내려가며 건조시간의 대부분은 나머지 10% 수분을 제거하기 위하여 소모하게 된다. 냉동건조 과정도 일반적인 건조특성 곡선과 유사한 경향으로 건조가 진행되므로 초기단계, 항물건조기간, 감물건조기간, 마무리건조기간의 단계로 이루어 진행된다. 그러나 피건조물의 내용성분이나 구조적인 특성에 따라서 처리시 건조속도의 유형이 다르게 나타날 수도 있다.

2. 냉동건조와 열전달

냉동건조도 일반건조와 마찬가지로 재료에 포함된 수분을 증발시켜 제거하는 것이 그 목적이므로 냉동건조가 일어날 수 있는 압력과 온도 범위에서 가해진 열량에 의해서 승화열을 이용한 물질전달이 그 기본 메카니즘이라 할 수 있다. 기체, 고체의 변화에 따른 승화잠열에 의한 열전달은 두개의 상으로 나누어 생각할 수 있다. 즉 선반에 의해 동결된 얼음층과 승화하여 수분이 되고 있는 건조층으로 생각할 수 있으며 얼음층에서는 고체의 열전달 현상이 전도에 의해서 이루어지고 건조층에서는 재료

에 의한 전도와 수증기에 의한 대류가 함께 일어난다고 할 수 있다. 동결층에서의 열전달은 그림2에서와 같이 전도에 의해서 일어나므로(Goldblith 등, 1975),

$$q_x - q_{x+dx} = 0 \text{ -----(1)}$$

$$q_x = -K A \frac{\partial T}{\partial x} \text{ -----(2)}$$

Taylor series에 의해서

$$q_{x+dx} = q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x}(dx) + \frac{\partial^2 q_x}{\partial x^2} \frac{(dx)^2}{2!} + \dots \text{---(3)}$$

가 되므로

$$q_{x+dx} \approx q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x}(dx) \text{ 가 된다. -----(4)}$$

(1)식과 (4)식에서,

$$q_x - q_{x+dx} = q_x - (q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x}(dx)) = - \frac{\partial q_x}{\partial x}(dx) = 0 \text{ 이 된다 -----(5)}$$

(2)식과 (5)식에서,

$$\frac{\partial}{\partial x}(-KA \frac{\partial T}{\partial x})(dx) = 0 \text{ -----(6)}$$

동결층에서의 열전도도 K는 거리에 관계없이 일정하다고 하다면 (6)식은,

$$KA \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = 0 \rightarrow \frac{d^2 T}{dx^2} = 0 \text{ -----(7)}$$

가 된다

또한 건조층에서의 열전달은 앞서 언급된 바와 같이 전도와 대류가 함께 일어나므로,

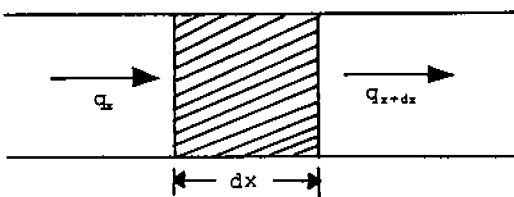


Fig.2. Heat conduction transfer.

$$q_x - q_{x+dx} + (C_{pw}AWT)_x - (C_{pw}AWT)_{x+dx} = 0 \quad \text{---(8)}$$

Taylor series에 의해서,

$$(C_{pw}AWT)_{x+dx} \cong (C_{pw}AWT)_x + \frac{\partial}{\partial x}(C_{pw}AWT)_x(dx) \quad \text{---(9)}$$

(4)식, (8)식 및 (9)식 에서,

$$\frac{\partial q_x}{\partial x}(dx) + \frac{\partial}{\partial x}(C_{pw}AWT)_x(dx) = 0 \quad \text{---(10)}$$

(2)식과 (10)식에서,

$$\frac{\partial}{\partial x}(-KA \frac{\partial T}{\partial x})dx + \frac{\partial}{\partial x}(C_{pw}AWT)dx = 0 \quad \text{---(11)}$$

$$\frac{d^2T}{dx^2} - \frac{C_{pw}}{K} \frac{W\partial T}{\partial x} = 0 \quad \text{---(12)}$$

가 된다.

한편 건조층에서의 물질전달은,

$$N_x - N_{x+dx} = 0 \quad \text{---(13)}$$

$$N = -DA \frac{\partial C_d}{\partial x} \quad \text{---(14)}$$

이고, Taylor series에 의해서

$$N_{x+dx} \cong N_x + \frac{\partial N_x}{\partial x}(dx) \quad \text{---(15)}$$

가 되고, (13)식, (14)식 및 (15)식에서

$$-\frac{\partial}{\partial x}(-DA \frac{\partial C_d}{\partial x}) = 0 \quad \text{---(16)}$$

$$AD \frac{\partial^2 C_d}{\partial x^2} + A \frac{\partial D}{\partial x} \frac{\partial C_d}{\partial x} = 0 \quad \text{---(17)}$$

가 된다.

거리가 짧은 경우에는 확산계수(D)는 거리에 관계없이 일정하다고 하면,

$$\frac{\partial D}{\partial x} = 0 \quad \text{---(18)}$$

이므로 (17)식은,

$$\frac{\partial^2 C_d}{\partial x^2} = 0 \quad \text{---(19)}$$

로 쓸 수 있다.

결국 냉동건조의 건조유형은 처음에는 재료전체가 동결층으로만 되어 있으나 건조가 시작되면서 물질 전달이 일어나는 건조층이 발생하고, 건조가 진행됨에 따라 건조층의 확대로 동결층은 점점 소멸되어 가면서 건조가 이루어 진다고 할 수 있다. 이에 의하여 앞담배나 야채와 같이 일정한 향료건조기간이 소멸된 후 비교적 신속히 감률건조기로 전환되는 건조유형에 있어서는 물질내부에서 열전도와 대류가 함께 진행되므로 대체적으로 Taylor의 수식에 의하여 열 및 물질수지의 변화량이 적용받게 된다 (Goldblith 등, 1975 ; Mellor, 1978).

재료 및 방법

1. 시 료

본 실험에 사용된 시료는 1990년 충북 영동에서 생산된 황색종 담배 NC82 품종 상업5등(A.5), 본엽3등(B.3), 본엽1등(B.1), 중엽1등(C.1), 중엽3등(C.3), 하엽5등(D.5) 시료를 6개 등급을 사용하였으며, 앞담배 수분 11.5-12.5% 함량의 시료에 수분을 재침투 포화시켜 함수분 30, 40, 50, 60, 70%로 평형수분을 함유한 시료를 24시간 이상 조화 후 사용하였다.

2. 장 치

본 실험에서 사용한 냉동건조장치는 Okawara SF-02 model 그림3으로 연구개발 목적으로 제작된 냉동건조장치이고 수평형태의 선반식 건조실을 채택 하였으며 아크릴 문을 전면에서 열고 닫게 되어 있다. 건조실내에는 냉각관 및 전열기를 부착한 사각형 plate가 설치되어 있고, 냉각기능은 -60℃ 까지 가능하고 -25~+80℃ 범위내에서 ±1℃ 오차로 자동제어 된다. 건조실내의 습기는 -60℃ 까지 냉각이 가능한 monotube형 cold trap에 의하여 건조중 증기를 응축시킬 수 있다. 또한 건조시험함에 진공 및 저온에서도 임의 대로 감람되는 무게를 측정할 수 있는 천칭(Ohaos G-400)과 시료용기를 이동시킬 수 있는 채취봉이 설치되어 있다. 실험중에 시료의 예비동결과 건조가 일괄 처리되며 진공도도 대기압에서 30분 이내 10³ torr(0.13Pa)까지 감압할 수 있다. 건조실내 온도와 압력측정은 CA열전대와

Pirami 진공계로 측정되어 자동기록 되도록 되어 있다. 본 장치의 처리 능력은 정상조업시 분당 2l이며 최대 4l 까지도 가능하다.

잎담배의 팽화율 측정은 수분 12±0.5%로 조화된 절각엽 담배시료 10g을 독일 Heir Borgwaldt사의 부풀성 측정기(tobacco densimeter)를 사용하여 측정하였고, 측정단위는 1.5 psig의 압력으로 가압시에 중량(g)당 차지하는 부피(cc)로 나타내었다. 팽화율은 미처리구의 부풀성에 냉동건조 후 증가된 부풀성의 비율을 팽화율로 나타냈다.

3. 방 법

시료의 건조및 건조과정중 건조속도를 측정하기 위하여 원통형 합성수지관에(내경;78mm, 높이;50mm) 높은 열전도가 이루어 지도록 구리판을 접합시켜 평활한 바닥을 갖도록 하였고 측면으로부터 열의 유입이 최소화 되도록 하여 사용하였다. 또한 피건

1. Recorder
2. Vacuumeter
3. Program controller
4. High temperature freezer ON switch
5. Low " " "
6. Vacuum pump ON switch
7. PLate heater ON switch
8. Air compressor ON switch
9. High temperature freezer select switch
10. Low " " " "
11. Off switch
12. Temperature select switch
13. Freezing select switch
14. Vacuum evacuation control switch
15. Sampling control switch
16. " " "
17. Alarm stop switch
18. Vacuum control switch
19. High temperature pressure gauge(high)
20. " " " " (low)
21. Low " " " (high)
22. " " " " (low)

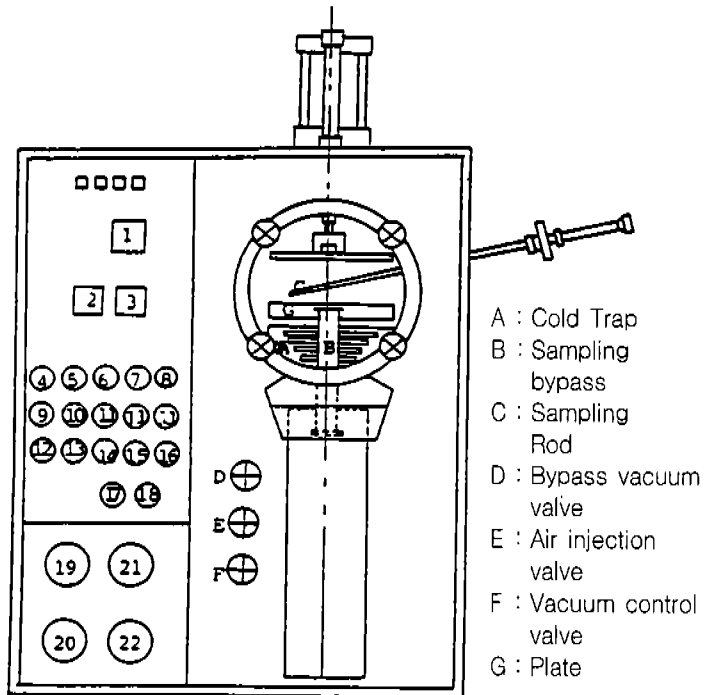


Fig.3. Scheme of experimental apparatus.

조물의 적층 높이는 시료용기 내부에 피건조물 5g을 평활하게 하여 일정한 압력을 가한 후 10mm의 높이의 두께를 가지도록 조절하여 사용하였다. 제작된 용기를 선반위에 놓고 동결을 시작하여 선반 온도가 약 -50℃에 이르면 응축기의 냉각을 개시하고 이 온도가 -40℃ 이하에 도달되면 진공펌프를 작동시켜 controller heating program data를 입력시킨 다음 진공도가 설정압에 도달되면 program에 따라 가동되도록 하였다. dehydration 중에 채취봉을 조작하여 20분 간격으로 수분함량을 측정하였다. 건조실의 전압은 0.2torr - 2.0torr 범위에서 가변적으로 조절할 수 있고 가열선반의 온도는 공융점 (eutectic point)이하인 -4.6℃로 고정하여 실험하였으며 건조실 내부의 온도는 0℃이하로 유지시키며 건조하였다. 잎담배 건조속도에 영향을 주는 인자는 주로 건조실의 압력변화, 선반의 온도변화, 건조물의 적층높이, 내용성분 등에 의하여 물질전달과 열전달계수가 결정되게 된다.

결과 및 고찰

팽화과정에서 일어나는 물질이동 현상은 시료에 전달되는 열에 의한 건조과정에서 부터 진행이 된다. 건조의 일반적인 원리는 열원으로 부터 습윤재료에 열전달과 시료로부터는 물질전달의 이동현상

이다. 건조의 방법으로 통기건조, 분무건조, 회전건조, 냉동건조등 여러 형태가 있으나, 내부에서 일어나는 열 및 물질전달의 유형은 서로 유사한 형태를 가지며 다만 냉동건조에 있어서 만이 다른 건조방식과는 달리 고유한 특성을 나타나게 된다. 표1은 본 실험에서도 전형적인 냉동건조의 시간에 대한 수분 변화율을 나타낸 결과로써 건조물의 예열기간은 20분 이내에 도달하였으며 건조실의 압력 2.0 torr에서는 120분, 0.2 torr에서는 100분, 0.8 torr에서는 80분 정도가 지나면 전체 함수분량 중의 수분이 80%이상 이동하는 것으로 나타났다. 압력을 2.0 부터 0.2torr까지 변화시켜 시간에 따라 수분함량 변동을 조사한 바 일반적으로 높은 압력에서 보다는 압력이 낮아짐에 따라 건조속도가 증가하는 현상을 보였으나 표1의 건조율 변화량을 볼때 냉동건조에서는 압력을 낮게 할 수록 건조속도가 증가하는 일반적인 경향과 달리 0.8torr 가 0.2torr 압력에서 보다 건조속도가 빨랐고, 0.4torr는 1.2torr와 대등한 것으로 나타난 현상은 냉동건조에서 압력을 낮게하면 할 수록 점차 건조속도가 증가하다가 어떤 압력에 다달았을 때 최대 값을 나타내는 최적압력이 있으며, 그 이하의 압력에서는 오히려 건조속도가 감소하는 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 이 같은 현상은 동결건조에서 열전달 속도와 물질전달 속도의 변화에 따른 상호보완작용 때문으로 추정되며 다른 연구자 (Foda 등, 1970 과 Hong 등, 1988)이 연구한

Table 1. Change of drying rate(%) with time and various chamber pressure
 $R_w \times 10^{-2}$ (g-water/g-dried material)

chamber press. (torr)	drying times (min.)								
	20	40	60	80	100	120	140	160	180
0.2	15.27	22.85	20.14	17.62	7.82	4.15	3.18	1.87	0.92
0.4	16.04	24.47	22.68	16.30	6.42	4.01	2.52	1.06	0.62
0.8	17.13	27.79	24.55	15.42	5.06	2.26	1.83	0.74	0.41
1.2	16.41	25.84	21.92	16.48	5.26	4.02	2.37	1.05	0.56
1.6	14.63	22.61	19.05	14.62	8.80	6.11	4.41	2.78	1.01
2.0	12.27	20.43	16.18	14.29	10.54	8.52	5.02	4.11	2.26

NC82:B.1, plate temperature:-4.6℃, tobacco thickness:10mm

결과에서도 냉동건조의 그 특징적 유형으로써 피건조물의 시료에 따라서 그에 알맞는 최적압력이 있음을 제시한 바 있다.

잎담배나 야채와 같이 조직 자체가 비중이 낮으며 기공이 많고 각 개체간에 밀도가 불균일한 시료에 있어서는 열 및 물질전달의 정량적이고 수리적인 표현은 어려운 것이겠으나, 시료 자체의 건조속도에 영향을 줄 수 있는 여러 물리적 특성요인을 분석하고 실험의 값에서 얻어진 자료를 정리하여 확인할 수 밖에 없을 것이다. 이때 냉동건조한 잎담배 물질들의 건조속도에 주로 영향을 주는 요인중에는 건조층의 두께와 시료 함수분으로써 그 내용을 실험한 결과 표2는 초기수분을 50%의 황색종 상업 1등 시료를 5, 10, 15, 20mm 높이로 적층하여 건조시간과 건조속도 관계를 나타낸 결과로서 건조층의 두께가 얇을 수록 높은 건조속도에 의해서 빠르게 평형수분 함량에 도달하였다. 건조할 잎담배 층의 두께가 얇을 수록 열전달되는 거리가 짧아져서 열

전달계수가 커지기 때문으로 추정되며 이 결과는 (Chang 등, 1975)의 연구에서와도 일치함을 알수 있었다. 잎담배 층이 5, 10mm의 얇은 두께층의 건조일 경우는 짧은 제일감률 건조기간이 지나고 건조속도가 완만한 제이 감률건조 기간이 길게 계속되는데 비하여 건조층이 15, 20mm로 두꺼워지면 제일 감률건조 기간만이 길게 계속되는 건조속도의 성향을 보이기 때문에 건조시간이 길어 짐을 알수 있다. 그러므로 잎담배를 냉동건조시 시료층의 두께가 두꺼워지면 제일 감률건조기에서 소모되는 시간이 길어지므로 비효율적이며 잎담배층의 열전달계수를 산정하는데 제한을 주게 되므로 건조층의 두께는 10mm가 가장 적합한 결과로 나타났다.

또한 건조속도에 영향을 주는 요인으로서 시료내부의 한 열원으로부터 열을 전달시켜주는 매체로 작용하는 잎담배에 함유된 수분으로써 각 수분함유율에 따른 건조속도를 시험한 결과 표3은 건조속도를 나타낸 변화율로 함수분율이 높은 시료는 수분

Table 2. Change of drying rate(%) with time and various material thickness
 $R_w \times 10^{-2}$ (g-water/g-dried material)

material thickness (mm)	drying times (min.)													
	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280
5	19.16	29.84	25.37	13.85	4.34	1.55	0.87	0.51	0.33	0.17	0.12	0.05	0.04	0.03
10	17.21	26.61	24.83	14.52	5.56	2.44	1.82	0.82	0.46	0.31	0.25	0.18	0.14	0.11
15	16.84	22.29	18.02	12.80	6.91	5.14	3.46	2.65	2.01	1.73	0.85	0.61	0.45	0.29
20	15.37	19.48	15.46	11.53	8.22	6.16	4.52	3.87	3.05	2.20	1.92	1.53	1.02	0.46

NC82:B.1, chamber pressure:0.8torr, plate temperature:-4.6°C

을 제거시키는데 많은 열전달 및 물질전달량이 필요로 하는 것으로 판단 할 수도 있겠으나 잎담배의 함수분 증가율과 건조속도율과는 정의의 일정한 상관관계를 나타내지는 아니하였다. 일반적으로 낮은 함수분에서 보다 높은 함수분에서가 현저히 긴 항률건조기를 가지며 감률건조기에서도 비교적 긴 건조시간을 필요로 하였다. 70, 60%의 고농도 함수분에서는 항률건조 기간내 이동된 수분의 양이 상대적으로 크게 많았으며 50%의 농도에서는 크게 둔화된 다음 40, 30%의 농도에서는 항률건조

기간내 이동되는 수분의 양이 고농도에서 보다 현저히 감소하였다. 즉 저농도 함수분에서는 비교적 짧은 항률건조기가 진행된 후로 연속하여 감률건조기로 전환되는 건조 특성곡선을 나타냈다. 이는 잎담배조직 내부에 함수분이 높으면 높을 수록 수분층 자체가 열을 전달 시킬 수 있는 매체로 작용하기 때문에 동일한 시간내에 수분이 이동되는 양은 상대적으로 높은 함수분에서가 많았음을 보여 준 결과였다(Mohapatra 등, 1973). 그러므로 팽화를 수준도 유지되면서 처리시간도 효율적인 적절한 함수분

Table 3. Change of drying rate(%) with time and various moisture contents
 $R_w \times 10^2$ (g-water/ g-dried material)

moisture contents (%)	drying times (min.)								
	20	40	60	80	100	120	140	160	180
30	8.21	13.57	7.85	5.03	2.40	1.93	1.18	0.38	0.12
40	12.72	21.08	12.47	7.86	4.19	2.48	1.64	0.68	0.32
50	17.25	27.04	24.51	14.70	5.22	3.12	1.87	0.81	0.45
60	21.61	37.68	31.64	23.82	9.75	7.33	4.72	2.45	1.21
70	29.37	52.25	42.35	35.06	18.48	13.62	9.50	6.71	4.73

NC82:B.1, chamber pressure:0.8torr, plate temperature:-4.6°C, tobacco thickness:10mm

은 항률건조기가 비교적 짧게 지속된 후 바로 감률건조기로 전환된 전형적인 냉동건조 유형을 가지는 함수분 50%수준이 있다. 함수분 70% 이상에서는 시료의 물리적구조 및 형태를 유지하기가 곤란하였고 또한 성분이 물에 용해, 소실됨으로 인하여 실험을 제한하였다.

수분함량과 팽화율과의 관계는 그림4에서 보는 바와 같이, 첨가된 수분의 양이 증가하면 팽화율이 높아졌다. 이는 식물세포막의 주요 성분은 섬유소(cellulose)로서 다당류이며, 내부에는 고농도의 수용성 용질을 함유하고 있다. 건조된 잎담배에 수분을 침투시키면 세포막 내부로 수분이 용이하게 통과되며 세포는 다시 수분으로 포화되어 비후(crassula)한 형태를 나타내게 된다. 이는 부분적으로 잎담배 세포가 주위의 수분과 삼투압(osmotic pressure) 현상의 한 형태인 저장성(hypotonic) 특성을 가지기 때문이다. 또한 일반적으로는 시료 본래의 생체엽이 건조되면서 수축되었던 책장조직(palisade tissue)과 세포간극(intercellular space)이 충분한 해면조직(spongy tissue)에 첨가된 수분에 의해서 물리적 이완 현상이 나타남으로 생체엽 본래 구조의 체적 형태에 가깝게까지 구조적으로 팽윤(swelling)되어 비후(crassula)한 형태를 갖게되는 것으로 추정할 수도 있다. 그림4에서와 같이 수분율을 증가함에 따라 팽화율도 증가하나 수분율 50-60% 부터는 팽화율의 증가가 현저히 둔화하는 현상을 보였다. 이는

수분이 세포및 조직내에 일정량 침투 포화된 후 부터는 부풀음의 정도가 더 이상 확대되지 않고 한계치를 나타내기 때문인 것으로 생각할 수 있으며 함수분 70%에서 팽화율은 81.4%로 큰 값을 나타냈으나, 증가된 팽화율에 비하여 첨가한 수분을 제거하는데 요구되는 일에 사용을 비교하여 볼 때 수분율 50-60%로하여 팽화율 67-76%로 하는 것이 가장 경제적이며 건조후의 품질수준 유지에도 적합할 것으로 추정되는 바이다.

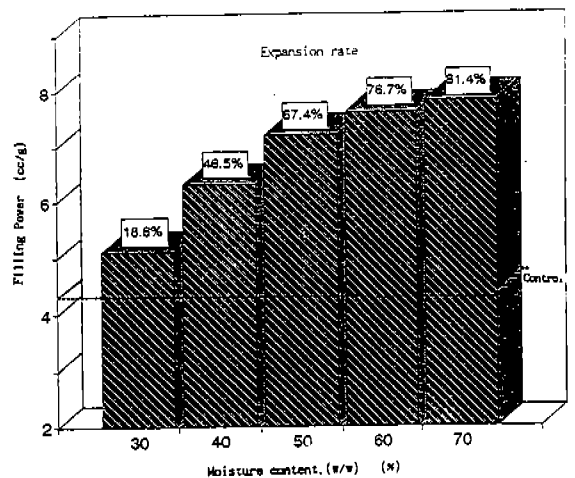


Fig. 4. Effect of expansion rate with moisture contents. (NC82:C.3, chamber pressure : 0.8torr, plate temperature : -4.6°C)

잎담배는 품종 및 지역, 등급에 따른 이화학적 구성 성분의 특성 차이에 의하여 팽화처리시 그 특성과 처리과정에서 일어나는 여러 물리화학적 변화 과정도 함께 포함하여 다르게 나타나게 된다. 그림5에서는 초기수분을 50% 조건의 각 엽분 등급에 따른 건조속도의 변화곡선으로서 하엽 5, 3 등은 건조속도가 비교적 빨랐으며 상엽3, 1 하엽1, 상엽5 등의 4개등급에 건조속도는 유사한 경향을 나타냈다. 이는 상엽5, 3, 1 등 하엽1 등 시료에 대표적인 성분으로서 total-sugar는 상.하엽 1 등에서 17.53, 13.96%로 가장 높았으며 상엽3, 5 등과 하엽 3등 에서도 12.38, 8.89와 10.78%로 상당히 높은 수준을 유지한 후 하엽 5등에서는 2.25%로 현저히 낮은 수준을 보여 주었다. 그 외 total-alkalod 및 crude ash, ether extracts 등의 내용성분에 있어서도 큰 차이를 보였다(이 등, 1990). 비교적 수분 결합 능력이 큰 성분으로 알려진 왁스, 당류와 결합수가 존재하는 유기물인 아미노산, 단백질 등의 함량이 상엽1, 3 등과 하엽 1등에서 높았기 때문에 수분을 제거하는데 소요되는 건조시간이 길어진 것으로 추정된다. 반면 하엽3, 5에서는 섬유소와 무기물 함량이 많았고 상엽에서보다 상대적으로 수분과 관련있는 내용

성분의 함량이 크게 감소되었으며 또한 엽육의 구조적 형태로 인하여 비교적 빠른 건조속도를 보인 것으로 보고된 바 있다(Chang 등, 1975).

위 표의 설명에서와 같이 각등급에 따라서 팽화처리시 여러 물리적 특성 차이를 보인 것처럼 유기용매 팽화법과 냉동건조 처리법과의 팽화를 비교에 있어서도 다음과 같은 결과를 보였다. 그림6은 착엽위치에 따라 각처리 방법간 팽화율을 조사한 결과로서 상엽3, 5등에서는 냉동건조에 의한 팽화율이 유기용매 침투법에 의한 팽화율보다 높았으나 하위엽으로 갈수록 상대적으로 냉동건조방법에서보다 유기용매 침투방법에 의한 팽화율이 높은 값을 갖는다. 이 같은 현상은 유기용매에 의한 방법은 잎담배 조직에 팽화제를 침투시킨 후 열을 가하여 일어나는 압력에 의하여 조직이 확대되는 강제적인 방법인데 비하여 본 처리법은 단순히 침투되는 수분에 의한 부풀어 확대된 조직을 그대로 수축되지 않게 수분만이 제거하는 차이에 기인하는 것 때문임으로 사료된다. 또한 생엽 본래의 구조에 있어서 하엽3, 5 등에서 보다 상엽3, 5 등에서 건조과정에서 이탈되었던 수분이 다시 침투되서 부푸는 정도가 상대적으로 크기 때문으로 설명될 수 있다. 부

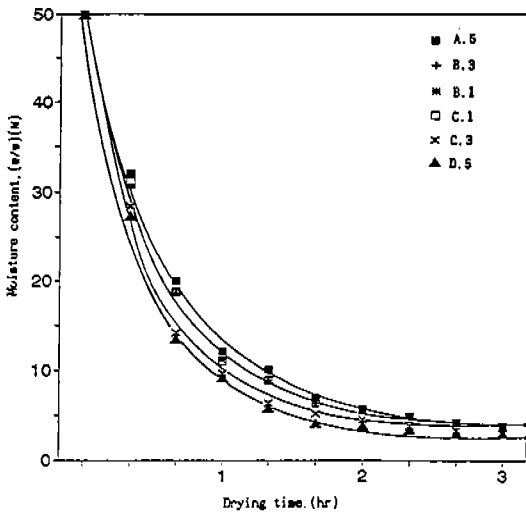


Fig.5. Change of moisture content with different tobacco stalks position and drying time. (chamber pressure: 0.8torr, plate temperature: -4.6°C)

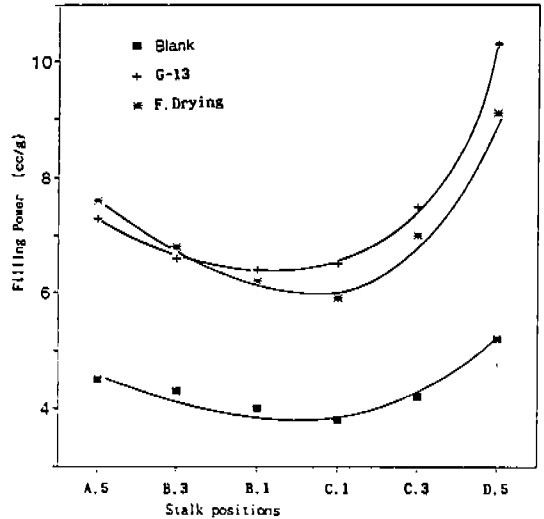


Fig.6. Comparison of expansion rate with tobacco stalks position and treated process. (chamber pressure:0.8torr, plate temperature: -4.6°C)

품질에 영향을 주는 인자로서는 팽화 처리후 시료의 조직에 공기층인 기포상이 형성되어 증가하는 체적이 주로 관련하지만 냉동건조 이외의 팽화방법에서는 팽화하는 순간 높은 온도의 열처리과정을 거치는 동안에 엽조직 자체의 구조적 차이와 내용 성분에 변화로 인하여 팽화효과를 나타내는 요인 때문이기도 하다(김 등,1995).

결 론

잎담배를 냉동건조시 건조실의 최적압력과 건조 속도, 적정팽화를 등을 조사 한 바 다음과 같은 결과를 얻었다.

건조실의 압력을 0.2torr까지 낮게 할 수록 짧은 항률건조기와 긴 감율건조 특성을 나타냈고 건조속도도 빠르게 진행했으나 0.8torr 이하의 압력에서는 오히려 건조속도가 늦어 지므로 최적압력은 0.8torr 이었다.

잎담배 건조층의 두께는 얇게 할 수록 짧은 시간에 평형수분함량에 도달하였으나, 15mm 이상에서는 제일 감률건조기가 장시간 지속되므로 건조효율이 감소되었으며 10mm에서 제일,제이 감율건조기가 연속하여 진행되는 경향을 보였으므로 가장 적합한 수준으로 나타났다.

수분함량이 증가하면 팽화율이 높아지나 함수분이 60% 이상에서는 팽화율의 증가가 현저히 둔화되므로 가장 적절한 함수분은 50%에서 67.4% 팽화 효과를 얻을 수 있었다.

착엽위치에 따라 서도 건조속도가 다르게 나타났으며 상엽 1, 3, 5등 보다는 하엽 3, 5등에서가 건조속도가 비교적 빨랐다.

Nomenclature

K	: thermal conductivity (cal/cm ² , sec. °C)
A	: area (cm ²)
X	: distance (cm)
T	: temperature (K)
C _{pw}	: specific heat at constant pressure of water vapor(cal/g, °C)

W	: mass flux of water vapor (g/cm ² , sec)
D	: effective diffusivity (cm ² /sec.)
Cd	: concentration of vapor (g/cm ³)

참 고 문 헌

1. Altmann, R. (1890) Die Elementarorganismen und ihre Beziehungen Zu den Zellen, *Viet. Leipzig*.
2. Burke, R. F. and Decareau, R.U. (1964) Recent advances in the freeze drying of food products, *Advances in Food Research* 13 : 1 - 89.
3. Chang, C. S., W, H. Johnson (1975) Studies on the heat transfer properties of tobacco during freeze drying, *Tobacco Science* 19 : 56 - 59.
4. Cox, C. C., and Dyer, D. F. (Feb, 1972) Freeze-drying of spheres and cylinder, *Trans. ASME. Ser. C.* 57 - 63.
5. Foda, Y. H., Hamed, M. G. E. and Add-Allah, M. A. (1970) Preservation of orange and guava juices by freeze drying, *Food Tech.* 24 : 74 - 80.
6. Goldblith, S.A., L.Rey and W.W. Rothmayr (1975) Freeze drying and advanced food technology, p. 177 - 201. Academic press.
7. Hill, E. A. and Hirtenstein, M. D. (1983) Affinity Chromatography:Its application to industrial scale processes, *Advances in Technological Processes.* 2 : 86 Liss, Inc., New York.
8. Hong, Sung-Sun (1988) The drying of acorn paste by Freeze drying, *J. of Ind. Sci. and Tech.* Institute, Chung Buk National University, Vol. 2, No 2 : 17 - 29.
9. John, A. A. and C,D.Watson. (1973) Freeze drying shredded tobacco at atmospheric pressure, *Am. Inst. Chem. Eng. Symp. Vol.* 69, No. 132 : 42 - 46.
10. Katherine Esau (1977) Anatomy of seed plants, p.98 - 113, 327 - 404.
11. 김병구,김기환,정한주외 (1995) 고온증기를 이용한 잎담배의 팽화연구. 한국연초학회지, 17 : 68 - 78.
12. L, M. Sykes., W. H. Johnson (1973) Bulk thermal conductivity of cured bright tobacco shreds during

- freeze drying, *Tobacco Science*. 17 : 47 - 51.
13. 이윤환, 안동명, 김상범, 이경구, 양광규 (1990) 담배연구보고서, 제조 및 화학분야 p.167 - 342. 한국인삼연초연구원.
 14. Liapis, A. L. and Litchfield, R. J. (1979) Optimal control of a Freeze dryer, I: Theoretical development and Quasisteady-State analysis, *Chem. Eng. Sci.*, 34 : 975 - 981.
 15. Liapis, A. L. and Marcheool, J. M. (1982) A Modified sorption-sublimation model for freeze-dryers, *Paper No. 8a. proc. 3rd Int. Drying Symp.*, Univ. Birmingham, England, Drying Research Limited 2. 479.
 16. Mellor, J. D. (1978) Fundamentals of Freeze drying, *Academic Press, London*.
 17. Mohapatra, S. C., W. H. Johnson (1973) Microscopic studies of bright leaf tobacco I: Conventionally cured vs freeze dried during curing, *Tobacco Science* 17 : 33 - 34.
 18. Mohapatra, S. C., W. H. Johnson (1973) Microscopic studies of bright leaf tobacco II: Freeze drying after curing, *Tobacco Science* 17 : 33 - 36.
 19. 岩田直樹 (1990) 冷凍食品 技術 の 最近 の 傾向, *食品 と 科學*, 12 : 81 - 86.
 20. Shackell, L. F. (1909) An improved method of desiccation with some applications to biological problems, *Am. J. Physiol.* 24 : 325.
 21. 신호일 (1990) 동결건조장치, 건조장치 p.341 - 388. 대광서림.
 22. Williamson, R. W., W. H. Johnson (1981) Chemical and physical characteristic of freeze dried tobacco stalk and midrib, *Tobacco Science* 25 : 61 - 63.