

생체 건조용 대형 저온진공건조기의 열적 특성에 관한 연구

김경근* · 성부용** · 정한식*** · 최순열**** · 문수범*****

A Study on the Thermal Characteristics of the Large Low Temperature Vacuum Dryer for Biological Drying

K. K. Kim · B. Y. Sung · H. S. Jung · S. Y. Choi · S. B. Moon

Key words : Water content(함수율), Low temperature vacuum drying(저온진공건조), Falling rate drying(감율건조), Constant rate drying(항율건조).

Abstract

In tradition, there have been two kinds of drying methods, which are sun drying and artificial drying. The sun drying method which has been adopted traditionally has been replaced by the hot-air drying method which is one of the most general methods of artificial drying, with its simple drying system, low initial cost of drying plant, and easy operating method. But the hot-air drying method has some defects ; (1)much energy loss happens due to the discharge of hot air during the drying process, (2)control of drying rate is not easy on account of changing relative humidity of inlet air for uniform hot air temperature, (3)high temperature of foods in drying process brings about the production of low-grade drying products. Vacuum drying takes advantage of energy saving and mass production because it reduces the drying time by increasing the drying rate under low temperature condition.

The aim of this paper is to develop the low temperature vacuum dryer, with low initial investments and operating costs, easy operating method and trouble-free operation.

1. 서 론

대략 4백만개의 알려진 물질과 약 6만개의 제조, 판매되는 대부분의 물질이 거의 모든 산업에서 한

번 이상 건조를 해야하는 수분을 함유한 고체로 되어있다. 건조는 고대로부터 인류의 문명과 함께 발전해 왔으며 1960년대에 들어서면서 여러 가지 건조방식에 대한 적극적인 연구가 이루어졌다. 건조

* 한국해양대학교 기관공학부(원고접수일 : 2000년 2월)

** 산업기술평가원(ITEP)

*** 경상대학교 선박기계공학과

**** 군산대학교 기관공학과

***** 한국해양오염방제조합

에 관한 이론은 열 및 물질이동과 재료와 수분과의 결합형태에 관한 학문을 기초로 토질역학, 전열공학, 여과 혹은 건조공학 등 각 분야에서 많은 연구자들에 의해 오래 전부터 연구가 되었다. 건조조작은 열에너지를 가장 많이 사용하는 본체 프로세스로, 건조하는 대상물이 여러 종류가 있으므로 많은 종류의 건조장치가 개발되고 있다. 건조 방법에 따라 크게 간접건조방법과 직접건조방법이 있는데, 간접건조방법은 시스템의 외부로부터 열을 공급받아 전도나 복사를 통해 가열면을 가열한다. 직접건조방법은 뜨거운 가스(보통 공기)를 직접 접촉시키는 방식이다. 현재 산업전반에서 널리 행해지고 있는 건조방식은 대류전열에 의한 열풍건조방식, 전도나 복사전열에 의한 진공건조방식 및 동결진공건조방식, 적외선건조방식이나 마이크로파건조방식 그리고 진동에너지를 기계적으로 이용하는 초음파건조방식 등이 있다.

현재 우리나라의 농어촌은 농어가 인구, 호수, 취업자 등이 감소하고 있으며, 이에 따른 영농인력의 부족과 고령화, 토지의 단가상승, 인건비의 상승 등에 의한 경제성 상실로 위기를 맞고 있다. 또 WTO체제의 출범에 따른 농수산물의 국제 경쟁체제하에서 국가의 근간산업으로서 경쟁력을 유지하고, 농어민의 권익보호를 위하여 시설 및 재배 등의 선진기술이 절실히 요구된다.

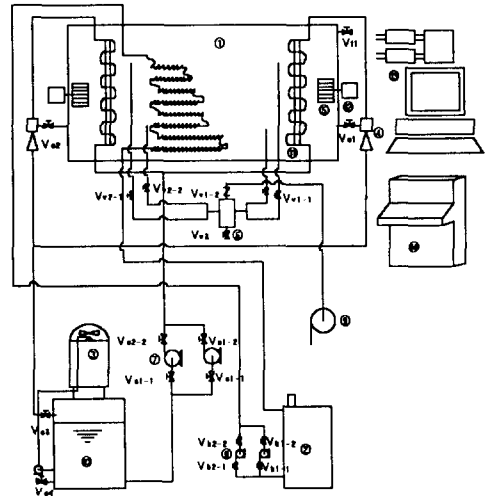
따라서 본 연구의 목적은 기존의 농수산물 건조에 사용되고 있는 열풍건조장치를 대신하여 이젝터(ejector)를 이용한 진공추기장치와 가열원으로 일반 가정용 보일러를 사용한 진공건조시스템의 전체적인 계통과 각 부의 열설계 기술을 확립하고, 진공건조장치의 시스템 설계, 제작, 진공건조 기초 실험 및 실제 농수산물의 건조실증실험을 통하여, 최종적으로 시작품을 제작하고 다양한 농수산물에 대하여 성능시험을 수행함으로써 비교적 시설비 및 유지비가 저렴하고 신속하게 건조할 수 있는 진공건조 시스템을 개발하는 것이다.

2. 실험장치 및 실험계통

Fig. 1은 실험장치의 전체 계통도를 나타낸다. 실험장치는 크게 나누어 건조물을 투입하기 위한

저온진공건조기 본체(low temperature vacuum drying chamber), 저온진공건조기 본체 내부를 일정한 진공압력으로 유지하기 위한 진공추기계통(vacuum pumping unit), 건조물에 필요한 열량을 공급하기 위한 가열계통(hot-water supplying unit), 증발된 수분을 응축하기 위한 응축계통(condensing unit), 각 부의 온도, 압력, 차압, 무게 등의 실시간 측측을 위한 온라인 측정계통(on-line measuring unit)등으로 구성되어 있다.

저온진공건조기 본체①의 크기는 5,900L×2,500H×2,100W mm의 직사각형 용기로서 내부 용적은 30.975m³이다. 그리고 저온진공건조기 본체 내부에는 핀-튜브가 설치되어 있으며, 건조판 96개가 투입되도록 설계되어 있다. 또한 실험중 내부의 건조상태를 관찰할 수 있는 φ200mm 관찰창 2개를 설치하였다. 진공추기계통은 진공펌프(vacuum pump)⑨와 정상적인 진공압력 도달시 일정한 진공압력을 유지하기 위한 수구동 기계흡



- ① Vacuum Chamber
- ② Boiler
- ③ Cooling Tower
- ④ Water Jet Air Ejector
- ⑤ Circulation Fan
- ⑥ Liquid Receiver
- ⑦ Cold Water Supply Pump
- ⑧ Hot Water Supply Pump
- ⑨ Vacuum Pump
- ⑩ Cold Water Tank
- ⑪ Condenser
- ⑫ Circulation Fan Driving Motor
- ⑬ Data Acquisition
- ⑭ Control Box

Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

입 이젝터(water jet air ejector)④로서 구성된다. 가열계통은 피건조물에 최소한의 열량을 공급하기 위하여 가정용 보일러(boiler)②를 이용하였다. 응축계통은 저온진공건조기 본체 내부의 비체적이 매우 큰 습증기를 응축하기 위한 Cold Trap용 응축기(condenser) 2개로 구성된다. 온라인 측정계통은 각부의 온도 및 압력, 건조물의 무게 변화 등을 데이터 집록장치(data acquisition system) ⑬에 의해 임의 설정 가능한 실시간 간격으로 데이터를 컴퓨터에 기록할 수 있도록 하였다.

3. 실험결과

3.1 고추의 실험결과

건조시료인 생고추를 건조판 위에 일정량씩 올려놓은 후, 건조판들을 가열판 위에 올려놓고 건조기의 개폐문을 닫는다. 다음으로 진공추기계통을 작동시키면 실험이 시작되고, 소정의 실험압력으로 유지되어갈 때 가열계통의 작동을 개시하여 진공압력이 일정하게 되는 시점과 소정의 가열수 실험온도와 일치시킨다.

지금 임의의 시각에서 건조시료 고추의 무게를 W_T 라고 하고 고추표피, 씨 및 꼭지의 무게 합계를 W_c , 수분의 무게를 W_h 라고 하면, 다음 식의 관계가 성립한다.

$$W_T = W_c + W_h \quad (1)$$

전체 고추의 무게 중에 수분이 차지하는 무게의 비율을 함수율 ω 라고 하며, 이는 다음 식과 같이 정의된다.

$$\omega = \frac{W_h}{W_T} = \frac{W_h}{W_c + W_h} \quad (2)$$

그러므로 저온진공건조 실험이 개시되는 $t = 0$ 에서의 초기 함수율은,

$$\omega_0 = \frac{W_{h0}}{W_{T0}} = \frac{W_{h0}}{W_c + W_{h0}} \quad (3)$$

위 식으로부터 건고추의 무게 및 수분의 무게를 나타내면 각각 다음과 같다.

$$W_c = \frac{W_{h0}(1 - \omega_0)}{\omega_0} \quad (4)$$

$$W_{h0} = \frac{\omega_0}{(1 - \omega_0)} W_c \quad (5)$$

일반적으로 생체를 저온진공건조하면 초기에는 건조가 매우 활발히 일어나는 항울건조시간을 거쳐 건조가 서서히 일어나는 감울건조시간에 진입한다. 다음으로 최적의 장기보관 또는 식품이 최고 상태의 맛을 보존하기 위한 최적의 함수율 ω_{ST} 를 갖는 최적의 건조시간이 존재한다.

이들 실험결과와 데이터 처리에 있어서는 Fig. 2 ~ Fig. 5에서 보는 바와 같이 시간의 경과에 비례하여 선형적으로 고추의 무게가 감소하는 소위 항울건조시간에 대하여는 진한 기호를, 그리고 시간의 경과에 대하여 무게 감소율이 완만하여지는 감울건조시간은 연한 기호를 각각 사용하였다. 전체적으로는 진공도가 낮을수록 항울건조시간과 감울건조시간이 짧아짐을 확인할 수 있으며, 항울건조시간은 10~13시간 정도, 그리고 감울건조시간은 약 5~8시간이 소요됨을 알 수 있다.

이들 그림에 표현한 바와 같이 항울건조시간 동안의 고추의 무게는 일반적으로 다음으로 나타낼 수 있다.

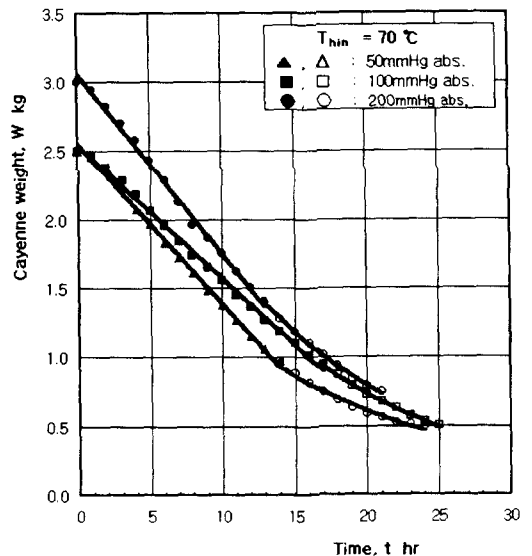


Fig. 2 Effect of vacuum pressure on cayenne weight variation

$$W_T = -a_1 t + b \quad (6)$$

Fig. 2는 이상과 같은 상부 건조판상에 건조시료를 올려놓은 상태에서 저온진공건조를 하였을 경우, 시간의 경과에 따른 무게의 변동을 가열수 온도 70°C로 일정히 유지하고 진공압력을 50, 100, 200mmHg abs.로 변화시켜 가면서 실험한 결과를 나타내고 있다.

또한 감율건조기간에 대하여는 고추의 총 무게가 시간의 경과에 따라서 감소하므로 지수함수를 이용하여 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$W_T = a_2 e^{-k_2 t} \quad (7)$$

항율건조기간 및 감율건조기간에 있어서 시간의 경과에 따른 무게의 변동식이 실험적으로 구하여지면 이를 시간에 대하여 미분함으로써 무게 감소율 즉, 수분의 증발율을 알 수 있다.

식(6) 및 식(7)을 시간 t에 대하여 미분하면 각각 다음과 같이 된다.

$$\frac{\partial W_T}{\partial t} = -a_1 \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial W_T}{\partial t} &= -k_2 a_2 e^{-k_2 t} \\ &= -k_1 e^{-k_1 t} \end{aligned} \quad (9)$$

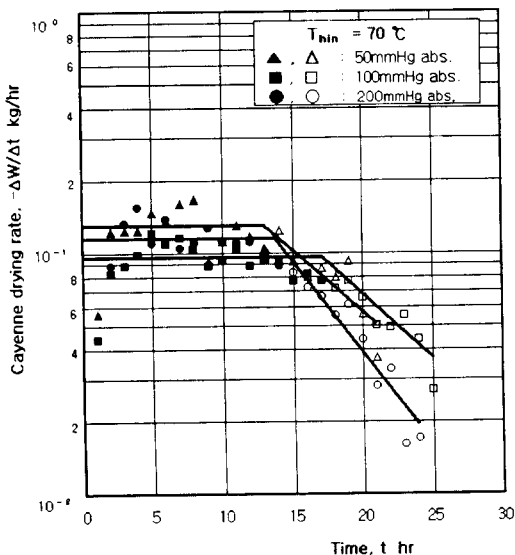


Fig. 3 Effect of vacuum pressure on reducing rate of weight

식(8)에서 보는 바와 같이 항율건조기간에는 수분의 증발율이 일정하므로 $\Delta W/\Delta t$ 가 일정한 값이 되며, 감율건조기간에는 식(9)와 같이 기본적으로는 무게의 변동을 나타내는 식과 같다.

Fig. 3은 가열수 온도를 70°C로 일정하게 유지하고 진공용기 내부압력을 50, 100, 200mmHg abs.로 변화시키면서 실험을 수행한 결과로 실험 시간이 경과됨에 따라 건조 시료의 무게감소 현상을 그래프로 도시한 것이다.

무게 감소율의 그래프에서는 항율건조기간과 감율건조기간이 보다 명확하여짐을 우선 알 수 있으며, 실험치와 상관식은 전 영역에 걸쳐서 매우 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있다.

고추 건조용 저온진공건조기를 실제로 실용화하기 위하여 건조판 단위면적당의 전열량을 알아야 한다. 앞 절에서 전술한 바와 같이 무게 W가 계속되고, 이로부터 시간의 경과에 대한 무게 감소율 즉 $\Delta W/\Delta t$ 가 구하여지면, 건조판 단위면적당의 무게 감소율과 단위면적당의 전열량 즉, 저온진공건조에 관한 구체적인 열프럭스의 변동을 구할 수 있다.

$$q = \frac{1}{A} \left(-\frac{\Delta W_T}{\Delta t} \right) H_{fg} \quad (10)$$

위 식에서 H_{fg} 는 수분의 증발잠열을, 그리고 A는 로드셀이 장착되어 있는 건조판의 면적을 나타낸다. 그러므로 식(10)을 이용하여, Fig. 4와 같이 정리할 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이, 항율건조기간 동안의 단위면적당의 열프럭스는 거의 일정한 값이 되며, 감율건조기간에 대하여는 역시 지수적으로 감소함을 예측할 수 있다.

액체에서 기체로 증발 하는 소위 비등열전달에서는, 생성된 기포가 전열면을 이탈하면 전열면 표면 근처의 난류상태를 촉진하므로, 열전달율을 결정하는 중요한 인자중의 하나가 증기의 증발속도이다. 또한 생체 건조에서는 생체의 상태를 온전히 보존하기 위하여 과열도(wall super heat)를 너무 높여서는 안된다. 또한 본 연구와 같은 저온진공건조에서는 압력이 낮으므로 발생한 증기의 비체적이 매우 크며, 발생된 증기는 진공추기장치를 통하여 외부로 배출되어야 한다. 이러한 의미에서 건조판 단위면적당의 평균적 증기발생속도,

$$u = \frac{q}{H_{fg}} \cdot v'' \quad (11)$$

은 매우 중요하다.

Fig. 5는 가열수 온도 70°C로 일정히 유지하고 진공압력을 50, 100, 200mmHg abs.로 변화시켜 가며 실험한 결과의 증발속도를 나타낸 것이다.

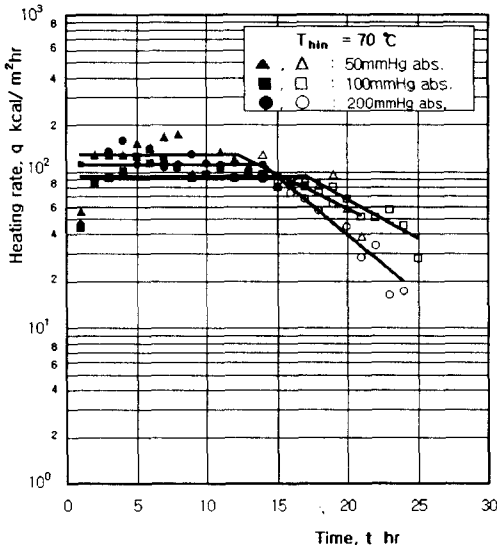


Fig. 4 Effect of vacuum pressure on heat flux variation

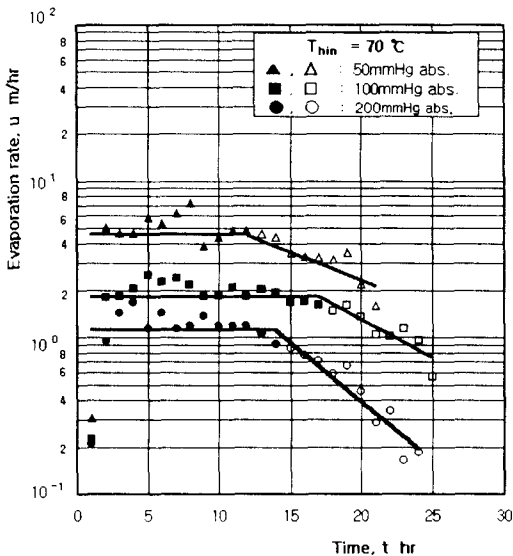


Fig. 5 Effect of vacuum pressure on vapor speed

열프릭스와 벽면 과열도(wall superheat)와의 관계를 정리하여 비등곡선(boiling curve)을 나타낼 수 있다. 실험적으로는 전술한 식(10)을 이용하여 먼저 열프릭스를 구한다. 벽면 과열도 ΔT_s 는,

$$\Delta T_s = T_w - T_s \quad (12)$$

위 식에서 T_w 는 실험에서 측정된 고추의 표면온도를 나타내는데, 이 값은 미세열전대를 주사기 바늘에 삽입하여, 측정하고자 하는 반대측 고추의 표피로부터 삽입하여 거의 외표면 가까이 온도를 고추의 표면온도로 간주하였다. 위 식에서 T_s 는 수증기의 포화온도를 의미하는데, 이는 진공압력에 상당하는 포화온도를 증기표에서 찾아 사용하였다.

한편 식(12)와 같이 벽면 과열도가 얻어지면 다음 식과 같이 국소열전달율(local heat transfer coefficient), $h(\text{kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C})$ 를 구할 수 있다.

$$h = \frac{q}{\Delta T_s} \quad (13)$$

Fig. 6은 가열수 온도 70°C로 일정히 유지하고 진공압력을 50, 100, 200mmHg abs.로 변화시켜 가며 실험한 결과의 비등곡선을 정리하여 나타낸 것이다.

건조분야에서는 식(2)와 같이 표현되는 함수을 ω 와 건조판 단위면적당의 건조율 $R_{dc}(\text{kgH}_2\text{O}/\text{m}^2\text{hr})$ 의 관계로서, 건조특성곡선(characteristic curve of drying)을 나타낸다. 여기서 건조율은 다음 식과 같이 정의한다.

$$R_{dc} = -\frac{W_c}{A} \frac{\Delta W}{\Delta t} \quad (14)$$

Fig. 7의 건조특성곡선은 가열수 온도 70°C로 일정히 유지하고 진공압력을 50, 100, 200mmHg abs.로 변화시켜 가며 실험한 결과를 정리하여 나타낸 것이다.

3.2 공간 위치별의 거시적 건조속도

건조기 내부에서의 피건조물 건조속도 차는 상당히 중요하다. 현재 놓여준에 보급되어있는 열풍 건조기의 경우 위치별 건조속도의 차가 심해 건조 중 위치를 교환해야 하는 큰 단점이 있다. 그러므

로 저온진공건조의 경우도 이러한 위치별 건조속도를 파악하기 위하여 각 부분에서 무게를 측정하여 건조속도를 실험하였다. 저온진공건조기 본체 내부의 상부와 하부, 가운데 부분에 대해서 또한 오른쪽과 왼쪽, 가운데에 대하여 각각 실험하였다. 건조속도는 가운데가 빨랐고, 수직방향에 대해서는 아래 부분이 윗쪽 보다 건조속도가 다소 빨랐으며, 수평방향에 대해서는 가운데 부분을 중심으로 건조가 옆쪽으로 진행됨을 알 수 있었다. 이것은 옆쪽에 응축기가 설치되어 있어 가운데 부분에 비

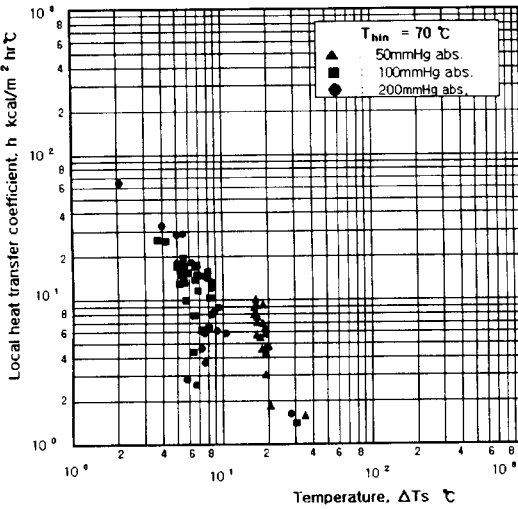


Fig. 6 Effect of vacuum pressure on boiling curve

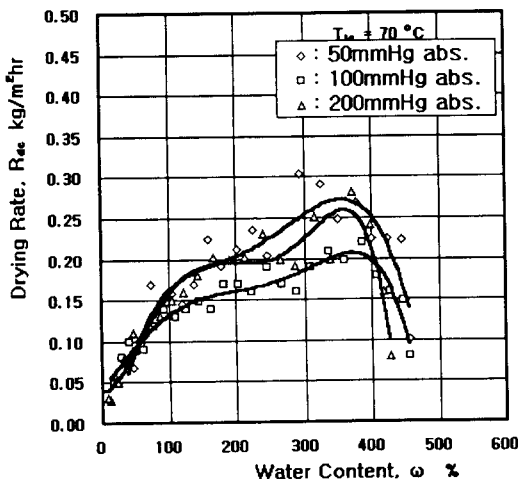


Fig. 7 Effect of vacuum pressure on drying rate

해 주위 온도가 낮아 건조속도가 느림을 알 수 있었으며, 윗 부분에 비해 아래 부분의 건조속도가 다소 빠름은 가열수의 공급이 아래 부분에서 윗 부분으로 진행되므로 가열수의 온도가 서서히 하강하게 되어 건조속도가 느려짐을 알 수 있었다. 그러나 건조속도 차이는 크지 않기 때문에 열풍건조방식에서와 같이 건조 과정에서 건조물의 위치를 교체하지는 않았다. 실제적으로 건조물의 위치를 교체

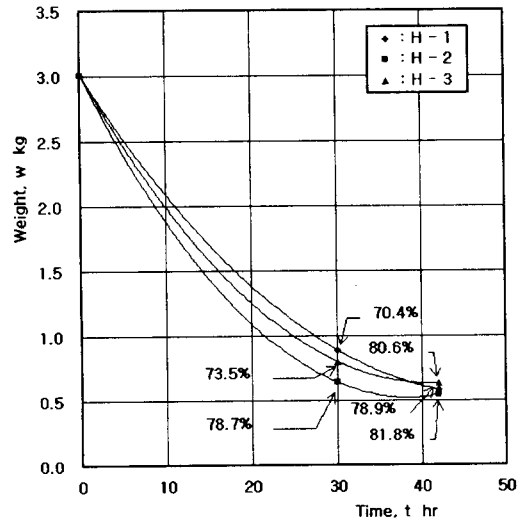


Fig. 8 Cayenne weight variation according to the location

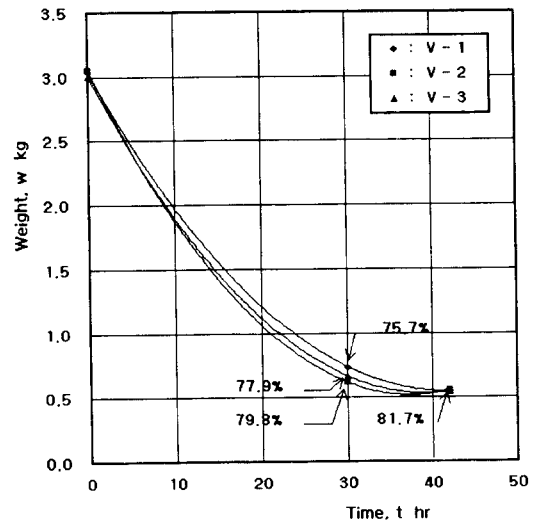


Fig. 9 Cayenne weight variation according to the location

하지 않아도 건조가 완료되었을 때의 건조물의 건조 상태는 큰 차이를 나타내지 않았다.

Fig. 8은 수평방향에 대해서, Fig. 9는 수직방향에 대해서 무게 변화를 나타내고 있다.

3.3 경제성 평가

실험장치의 상용화를 위하여 기존 농어촌에서 사용하고 있는 건조기(열풍건조기)와의 경제성 평가가 우선되어야 한다. 본 실험 범위 내에서 고추의 경우 인건비를 제외한 전기사용료, 기름소모량 등을 적용하여 경제성을 파악하였는데 전기사용료는 농공업용 전기가격(50원/kwh)과 기름가격(500원/l)을 적용하였다. 또한 생고추(700원/kg)와 건조후 생산된 고춧가루(18,000원/kg)의 가격은 '99년 농협에서 시판되고있는 가격을 동일하게 설정하였다.

Table. 1에서 보는 바와 같이 1회 건조시 소요되는 금액은 열풍건조기에 비해 약 76천원 정도가 적게 소요되었으며, 고추가 본격적으로 생산(7~9월)되는 3개월 동안 건조기를 가동할 경우 Table.

Table 1 Cost of one time drying

	Low Temperature Vacuum Drye	Hot-air Dryer
Drying quantity (green cayenne), kg	1,000	1,000
Farm electricity cost, kwh	333	185
Full cost, l	45	213
Total cost, 1,000won	739.2	815.7

Table 2 Cost of drying during three months

	Low Temperature Vacuum Drye	Hot-air Dryer
Drying number of time /month	15	7
Total cost ,1,000won	33,300	17,100

Table 3 Comparison of net income during three months

	Low Temperature Vacuum Drye	Hot-air Dryer
Production, kg	9,000	4,200
Amount, 1,000won	162,200	75,600

2에서 보는 바와 같이 약 16,200천원 정도가 더 소요됨을 알 수 있는데, 이는 3개월 건조시 표에서 보는 바와 같이 건조횟수가 많기 때문이다. 최종적으로 3개월 동안 건조하여 생산된 고춧가루의 가격을 인건비를 제외한 소요금액으로 볼 경우 저온진공건조기는 약 128,900천원의 순이익을, 열풍건조기의 경우 약 58,500천원의 순이익이 남게 된다. 그러므로 열풍건조기 대비 저온진공건조기의 순이익은 약 70,400천원이다. 위의 평가는 3개월 동안 계속 건조기를 가동할 경우이며 저온진공건조기와 열풍건조기에서 생산된 고춧가루의 가격을 동일하게 설정한 것이다.

4. 결 론

본 연구에서는 한국인의 식생활과 관련하여 매우 중요한 농, 수, 임산물의 저온진공건조 방법에 관하여 전열공학적 측면에서 정량적인 해석을 시도하였다. 이를 위하여 실제 사용이 가능한 대형 저온진공건조기 본체와 관련 주변 장치를 직접 설계 제작하여 실험을 수행하였으며, 본 실험의 범위 내에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 본 실험을 통하여 저온진공건조용 건조기를 열설계하기 위한 많은 정량적 설계 데이터를 습득하였으며, 고추의 저온진공건조 실험을 통하여 개발한 본 저온진공건조기는 그 성능이 열공학적 측면에서 매우 우수함을 확인하였다.
- (2) 생체의 저온진공건조실험에서도 전형적인 항울건조기간과 감울건조기간이 확연히 존재함을 확인할 수 있었으며, 항울건조기간 동안의 무게 변화는 경과시간에 대한 1차식으로, 감울건조기간 동안에 대하여는 경과시간에 대하여 점진적으로 무게가 감소하는 지수형태의 식으로 각각 정량적인 실험식의 제시가 가능하였다.
- (3) 항울건조기간에서의 무게변화가 본 실험의 범위 내에서 0.196 kg/hr, 또한 감울건조기간에서는 $2.807e^{-0.165t}$ kg/hr를 나타내었다.
- (4) 항울건조기간에서의 증발속도가 본 실험의 범위 내에서는 진공압력이 낮을수록 증가하

였으며 6.16 m/hr를, 또한 감율건조기간 동안의 증발속도는 $95.93e^{-0.272t}$ m/hr를 나타내었다.

- (5) 본 실험 데이터를 열프릭스와 생체의 벽면 과열도의 관계 즉 비등곡선 상에 나타내 본 결과, 항율건조기간 동안에는 5°C 전후의 벽면 과열도 하에서 높은 열프릭스를 유지하며, 감율건조기간에 진입하면 열프릭스가 급감하고, 대신 벽면 과열도는 거의 일정치를 유지하였다.

참고문헌

- (1) 김경근, 최순열, 최두열, 이정혜, 문수범, “저 온건조기를 이용한 고추의 열적특성에 관한 연구”, 공조화 냉동공조학회 학술 논문집, pp.410~414, 1999.
- (2) 김경근, “농수산물의 저온건조건조 열적특성”, 대한기계학회 추계학술논문집 특강자료, pp.1~6, 1999.
- (3) 최순열, “저온건조건의 열적특성에 관한 연구”, 한국해양대학교 기관공학과 박사학위 논문, 1999.
- (4) 太田勇夫, 益子正教, 木村進, “真空乾燥”, 日刊工業新聞, 1964.
- (5) Edward M. Cook, Harman D. DuMont, “Process Drying Practice”, McGraw-Hill,
- (6) 久保田濃, “乾燥裝置”, 省エネルギーセンター, 1995.
- (7) 桐榮, 前田金剛, 山内敏夫, 不破威信, 和田一洋, 山本博久, “真空乾燥の基礎的研究”, 化學工學, 第24卷, 第5號, pp.289~297, 1960.
- (1) 김경근, 최순열, 최두열, 이정혜, 문수범, “저 온건조기를 이용한 고추의 열적특성에 관한 연구”, 공

저 자 소 개



김경근(金京根)

1952년 10월생. 1974년 한국해양대학교 해사대학 기관공학과 졸업. 1976년 한국해양대학교 대학원 기관공학과 졸업(석사). 1979년 일본 동경대학 대학원 기계공학부 졸업(석사). 1985년 일본 동경대학 대학원 기계공학부 졸업(박사). 1979년~1986년 한국해양대학교 선박기계공학과 교수. 1986년~현재 한국해양대학교 기관시스템공학부 교수. 1994년~1999년 조선·해양기자재 지역컨소시엄 사업단장, 1994년~현재 박용기관학회 평의원, 대한기계학회 평의원. 2000년~현재 한국해양대학교 해사산업연구소장.



성부용(成富鏞)

1961년 9월생. 1984년 한양대학교 공과대학 기계공학과 졸업. 1986년 한양대학교 대학원 기계공학과 졸업(석사). 1998년 홍익대학교 대학원 기계공학과 졸업(박사). 1986년~1989 한국기계연구소 연구원. 1989년~현재 산업기술정책연구소 선임연구원.



정한식(鄭漢植)

1954년 4월생. 1981년 동아대학교 공과대학 기계공학과 졸업. 1983년 동아대학교 대학원 졸업(석사). 1987년 동대학원 졸업(박사). 1981년~1985년 대림 자동차 공업(주) 사원. 1988년~1991년 창원기능대학 열심비학과 조교수. 1993년~1995년 통영수산전문대 기계과 조교수. 1995년~2000년 현 경상대학교 수송기계공학부 부교수.



최순열(崔順烈)

1947년 6월생. 1986년 서울산업대학교 기계공학과 졸업. 1992년 조선대학교 대학원 졸업(석사). 1999년 한국해양대학교 대학원 졸업(박사). 1992년~현재 군산대학교 교수.



문수범(文首範)

1972년 12월생. 1998년 군산대학교 기관공학과 졸업. 2000년 한국해양대학교 대학원 졸업(석사). 2000년~현재 한국해양오염방지조합 근무.