

저온진공건조기의 열적 특성에 관한 연구

최 순 열* · 김 경 근**

A Study on the Thermal Characteristics of Low Temperature Vacuum Dryer

Soon-Yeal Choi · Kyung-Kun Kim

Abstract

Low temperature vacuum drying technique, whose drying time and quantity of exhausting energy is about 1/3~1/4 of hot air drying, is very excellent in the drying efficiency.

This paper is made out in the aspects of heat engineering with the object of developing Korean drying machine which can dry once a large quantity of objects to be dried in the state of low temperature and vacuum. As the results, it took about 15 hours(3~4 days in case of hot air drying) for cayennes to reach about 18% of the final moisture content in order to store products for a long time, from about 70~80% of the early moisture content at the beginning of drying, and maximum drying rate comes to about 0.35 kg/m²hr at about 400% of the moisture content.

And the efficiency of this machine, which was designed, manufactured, and developed through the low temperature vacuum drying of cayennes was confirmed to be excellent in the aspect of heat engineering from the view point that the good quality of dried cayennes whose color, shape, flavor were excellent could be acquired. As the result of this study, it was confirmed that drying speed was very fast and absorbability of water was also very excellent.

* 한국해양대학교 기관공학과 박사과정 열유체 전공

** 한국해양대학교 기관공학부 교수

1. 서 론

지구상의 모든 물질은 수분을 함유하고 있는데, 그 물질에 대류전열, 전도전열, 복사전열을 각각 시키거나 또는 전열방법을 조합하여 열전달의 장점을 선택하여 물체에 열을 전달 공급하고 공급된 열에 의해 건조의 대상 물질에서 수분을 기화 증발시켜 대기속으로 수증기를 확산하게하여 수분을 제거하는 조작으로 열과 물질의 이동이 동시에 진행되는 열적인 분리법을 건조라고 말할 수 있다.

지금까지 개발되어 보급되어 있는 건조기계는 주로 열에너지의 공급 방법으로 분류되어지며, 열풍과 건조물을 직접 접촉시켜 건조물 재료에 열에너지가 전달되어지는 방법인데, 공급되는 열풍에너지의 높은 온도와 낮은 습도를 건조물 재료의 낮은 온도와 높은 습도에 접촉시키므로 열전달에 의한 수분증발을 유도하여 건조시키는 대류전열 열풍건조기가 주종을 이루고 있다. 그러나 이 건조기계는 열풍이 순환되므로 송풍이 필요하게 되고, 순환되면서 증발된 수분에 의해 습도가 높아져 열풍을 배기해야 하므로 다량의 습한 열에너지가 밖으로 버려지게 되므로 건조장치에서 좋은 열효율은 기대할 수 없다. 공학기술의 발달과 진보로 건조공정에 관한 건조기술과 진공기술 등이 날로 발전되어가고 있고 건조기의 제작 및 운전에서도 저비용화 쪽으로 연구개발이 계속되어 지금은 오히려 열풍건조기보다도 진공건조가 경비 및 에너지 사용 측면에서 경제적이다.

진공건조 및 진공동결건조는 건조 후 좋은 제품을 얻을 수 있는 신기술 건조법으로, 이러한 건조기술개발은 공학적 측면에서도 중요한 연구 대상이다.

생체건조를 위하여서는 생체내의 수분이 확산 등을 통하여 피건조물의 표면까지 도달하여야 하며, 수분의 증발을 위하여서는 증발잠열이 필요하므로, 이 열량을 외부로부터 적절한 방법으로 생체에 전달하여야 한다. 이러한 관점에서, 본 연구에서는 우리나라 국민의 주 양념인 고추를 주 연구대상으로 하여, 최상의 품질을 고속으로 건조할 수 있는 고성능 저온진공건조기를 실용화 할 목적으로, 설계 및 기술개발에 필요한 제반 열공학적 특성을 파악하는데 본 연구의 목적을 두었다.

2. 실험장치 및 실험계통

2.1 실험장치

Fig. 1은 본 연구에 이용되어진 실험장치의 전체 계통도를 나타낸다. 이 그림에서 보는 바와 같이 실험장치는 크게 나누어 피건조물을 투입하여 건조하기 위한 진공용기계통, 진공용기 내부를 소정의 진공압력으로 유지하기 위한 진공추기계통, 피건조물의

증발 건조에 필요한 열량을 공급하기 위한 가열계통, 진공 증발된 수분을 응축하기 위한 응축계통, 각부의 온도, 압력, 차압, 무게 등의 실시간 계측을 위한 온라인 측정계통으로 구성되어 있다.

먼저 진공건조계통의 핵심장치로서, ⑥진공용기는 '1,200D×1,226L×6t' mm 크기의 원통형 용기로서 내부 용적은 1.502m³이다. 이 진공용기의 전면에는 밀폐된 진공용기 내부의 건조 상태를 관찰할 수 있는 ϕ 200mm 관찰창을 설치하였으며, 원통의 진공용기 내부에는 시료의 중량 감소를 추적하기 위한 무게 측정기를 설치하였다. 진공용기 개폐창에는 진공용기내의 대류 형성을 위한 날개 지름 250mm의 모우터에 의하여 구동되는 팬 2대를 설치했다.

공기 및 수증기는 진공도가 높아질수록 급격히 체적이 팽창한다. 따라서 진공증발한 수증기를 추기할 경우 추기장치의 효율을 높이기 위하여 먼저 수증기를 응축시키고서 나머지 불응축가스만을 추기장치로 흡입 배기하여야 추기장치를 소형화 시킬 수 있다. 따라서 본 실험장치에서는 응축계통을 두어, 시료로부터 증발하는 저압 상태의 체적이 매우 큰 증기를 응축시키기 위한 ⑤응축기를 설치하였으며, 해수를 이용하여 냉각하였다.

진공추기계통은 ②수구동 기체흡입 이젝터에 의해 진공용기내의 압력을 소정의 진공압으로 유지할 수 있도록 설계하였으며, 이젝터는 수구동 펌프 작동으로 구동되어진다. 이젝터의 흡입 측에는 역류 방지를 위해 체크밸브와 ③수액기를 설치했다. 진공용기내의 가열판을 소정의 온도로 가열시키기 위한 가열계통의 핵심장비는 ⑦보일러이며, 진공건조실험에서 가열수 온도가 피건조물의 열적 특성에 미치는 영향을 알기 위하여 공급되는 온수관의 중간에 ⑧전기가열기(2kw×3개)를 설비하였고 정온도조절 가열장치를 전기가열기에 연결하여 작동할 수 있도록 하였다. 각부의 온도 및 압력, 차압 및 피건조물의 무게 변화 등을 ⑮데이터 집복장치에 의하여 1초 이상의 임의 설정 가능한 실시간 간격으로 데이터를 수집하여 컴퓨터에 기록할 수 있도록 하였다

2.2 실험방법

기초실험은, Fig. 1과 유사한 실험장치를 이용하여, 진공상태하에서 함수다공질층 재료의 열 및 물질전달에 관한 기초자료를 수집하기 위하여 입자 크기가 균일한 모래를 시료로서 사용하였다. 시료로 사용한 모래는 표준 그물망을 이용하여 각각의 입자 크기별로 분류하여 사용하였다. 기초 실험범위의 설정에 있어서는 가열면의 온도를 일정히 유지하고 용기내의 압력을 대기압에서 100mmHg abs.까지 변화시켜 가면서 진공도가 건조속도에 미치는 영향에 대해 검토하였으며, 가열면의 온도가 건조속도에 미치는 영향을 파악하기 위하여서는 진공용기내의 압력을 일정히 유지하고 가열면의 온도

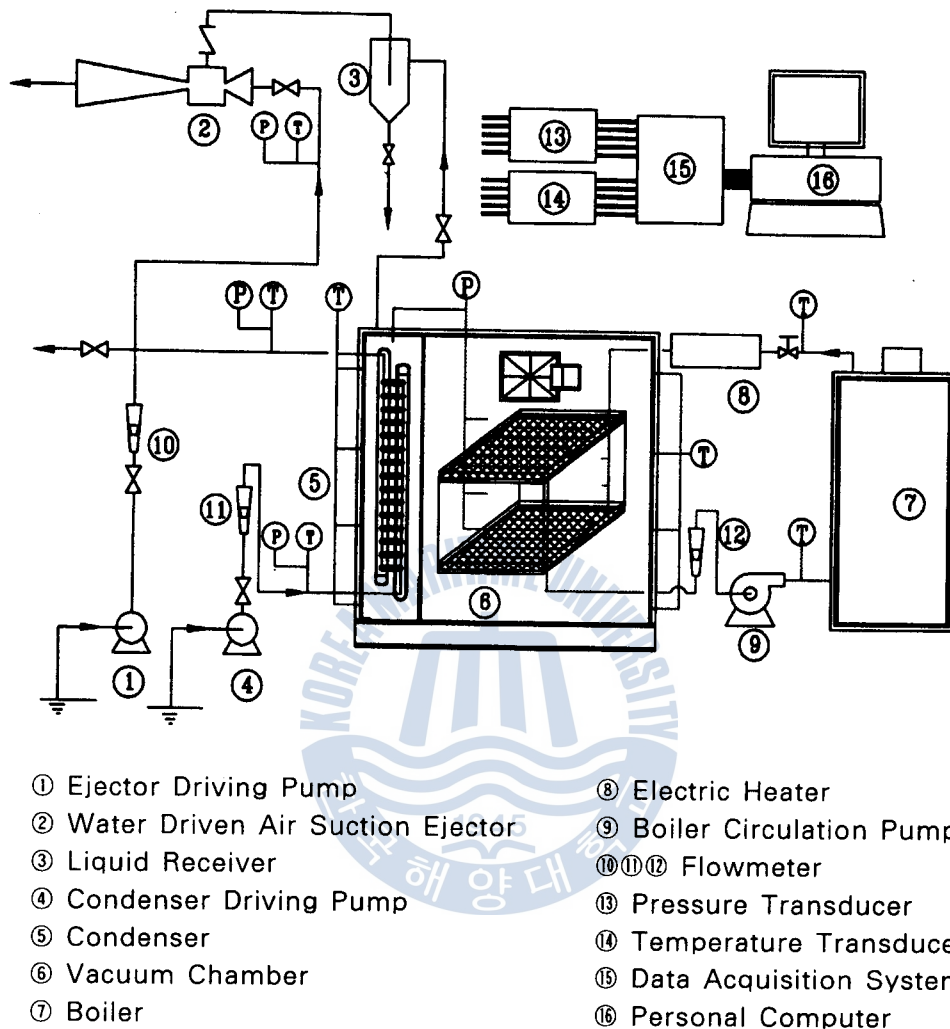


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

를 40~80℃까지 변화시켜 가면서 실험을 행하였다. 또 재료의 종류가 건조속도에 미치는 영향을 파악하기 위하여서는 100메시 모래, 32메시 모래 및 점토를 이용하여 실험을 행하였으며, 재료의 두께를 20~60mm까지 변화시켜 가면서 재료의 두께가 건조속도에 미치는 영향에 관하여 검토하였다.

본 실험에서는 기초실험을 바탕으로 농·수산물의 건조특성에 관해 실험을 실시하였는데, 특히 고추에 주안점을 두고 행하였으며, 용기내의 진공압력을 50~200mmHg abs.까지 변화시켜 가면서 진공도에 따른 고추 건조 특성변화를 검토하였으며, 가열면의 온도가 고추의 건조 특성에 미치는 영향을 파악하기 위해 70~80℃까지 변화시켜

가면서 실험을 행하였다. 또한 고추를 1겹과 2겹으로 각각 실험하여 재료 두께에 의한 영향을 파악했으며 이 때의 열유량, 열프럭스 변동 및 비등곡선 추이 등을 검토하였다. 실험에서의 범위를 도표로서 정리하면 Table 1과 같다. 이 표에서 보는 바와 같이, 진공압력은 50, 100, 200mmHg abs, 가열수의 온도는 70, 75, 80°C의 조건하에서 수행되었으며, 건조판 위에 놓이는 고추는 1겹, 2겹의 2가지 경우에 대하여 수행하였다. 본 실험에서는 실제로 본 실험장치와 같이 저온진공건조기가 보급될 경우 다양한 농수산물도 건조될 수 있다는 점을 감안하여 기타 여러 가지의 농수산물도 건조 실험하였다.

Table 1 Experimental condition for cayenne

Parameter	Range
Pressure in Drying Chamber	50mmHg abs. ~200mmHg abs.
Heated Wall Temperature	70°C ~80°C
Thickness of test Material	1겹 ~2겹

3. 실험결과 및 고찰

3.1 진공건조 메카니즘

건조는 일반적으로 재료예열기간, 항울건조기간, 감율건조기간으로 구분된다. 재료예열기간은 투입된 재료가 습구온도까지 상승하는 구간에서 시간적으로 비교적 짧고 이 동안의 수분변화는 적다. 항울건조기간에는 주위로부터 전열속도와 재료표면으로부터의 증발속도가 조화된 동적 평형에 있으며, 피건조물의 온도는 근사적으로 그 열풍의 습구온도로 유지되며 이 기간중 건조속도 R은 일정하다. 따라서 열노화를 받기 쉬운 재료라도 습구온도가 허용 품온보다 낮으면 열풍온도는 통상 비교적 높게 잡는 것이 가능하다. 항울건조기간이 종료하는 시점의 함수율은 한계함수율이라 하지만 한계함수율은 동일재료라도 건조 방식이 바뀌면 이 값도 변하는 것에 주의해야 한다. 일반적으로 유동층 건조장치나 기류건조장치와 같이 열풍과의 접촉이 심한 건조방식 또는 작은 형상으로 자주 분산되어 열풍과의 접촉면적이 큰 방식에서는 한계함수율이 내려가 항울건조기간이 길게 계속 되어 유리하다. 한계함수율 이하의 부분에서는 수분이 감소함에 따라 재료 내부 수분 이동 저항이 증가해, 건조속도가 떨어져 가기 때문에 이 기간을 감율건조기간이라 한다. 감율건조기간의 건조 특성을 예상하는데는 확산계수를

구하여야 하므로 상당히 복잡한 계산이 필요하다. 한계함수율과는 별도로 재료 특유의 수분보유 상태를 나타낸 것으로 평형 함수율이 있다. 재료는 외부조건, 온도, 습도가 정해지면 그에 대응하는 일정의 함수율로 평형하다. 건조 대상으로 하고 있는 재료를 극히 저수분까지 건조할 필요가 있는 경우에는 평형 함수율을 내리도록 열풍 온도를 올리던가 열풍의 습도를 내려야만 한다. 저함수율까지 건조해도 대기중의 수분을 흡습해서 함수율이 올라가 버릴 수 가있으므로 건조 제품의 보관 관리에서 공조 관리도 중요하다.

열전도에 의한 건조는 열매체에 의해 가열된 가열면상에 직접 피건조물을 올려놓음으로써 열전도에 의해 건조하는 방법을 말한다. 열전도에 의한 건조에서 정지층에서 건조속도는 항울건조기간중에는 다음 식으로 나타낸다.

$$R_c = \frac{kg}{R_w T} (P_s - P_a) = \frac{k(t_{\min} - t_s) - h(t_s - t_a)}{\gamma} \quad (1)$$

감울건조기간은 다음과 같이 나타낼수 있다.

$$R_D = \frac{\frac{H_{fg}}{x}(t_s - t_w) + \frac{X}{(\ell - x)}(t_b - t_w)}{\gamma} \quad (2)$$

$$= \frac{1}{R_w T} \left(\frac{1}{1/k_g + \mu x/D_v} \right) (P_w - P_a)$$

건조능력을 높이기 위해 재료 표면에 공기를 보내 재료 표면에서 물질이동 계수의 증대를 피하거나 열매체의 온도를 올려 Δt 를 크게 하거나 또 재료층을 얇게 함으로써 $k(1/h_i + l_i/\lambda_i + \ell/\lambda)$ 의 증대를 피함과 함께 감울건조기간에서의 증발면 후퇴에 의한 재료층에서의 확산 저항을 감소시키는 것이 중요하다. 또한 전열면 및 증발면을 변경시켜 열전도 상당 거리인 재료층의 두께를 실질상 줄이는 것이 중요하고 가열면과 재료의 접촉면을 유효하게 활용하는 것도 중요하다.

3.2 진공건조속도 특성

진공건조실험이 시작되는 시점을 $t = 0$ hr로 간주하여 실험이 개시되면 가열판의 표면온도, 고추 및 그 주위 온도분포는 물론 상부의 건조판에서는 Fig. 1에서 도시한 무게 센서에 의하여 건조시료의 무게 변동을 측정하고 임의 시각에서 건조시료 고추의 무게를 W_T 라 하고 고추표피, 씨 및 꼭지의 무게 합계를 W_c , 수분의 무게를 W_h 라고

하면, 다음 식의 관계가 성립한다.

$$W_T = W_c + W_h \quad (3)$$

일반적으로 생체를 진공건조하면 Fig. 2에서 보는 바와 같이 초기에는 건조가 매우 활발히 일어나는 항윤건조기간을 거쳐 건조가 서서히 일어나는 감윤건조기간에 진입한다. 다음으로 최적의 장기보관 또는 식품이 최고상태의 맛을 보존하기 위한 최적의 함수율 ω_{ST} 를 갖는 최적의 건조시간이 존재한다.

Fig. 2는 상부 건조판상에 2,500gr의 건조시료를 올려놓은 상태에서 건조를 하였을 경우, 시간의 경과에 따른 무게의 변동을 측정하여 정리한 것이다. 그림 중에 나타난 결과에서 보는 바와 같이 시간의 경과에 비례하여 선형적으로 고추의 무게가 감소하는 소위 항윤건조기간과 시간의 경과에 대하여 무게 감소율이 완만하여지는 감윤건조기간이 있었다. 이 그림에 표현한 바와 같이 항윤건조기간 동안의 고추의 무게는 일반적으로 다음 식과 같이 표현된다.

$$W_T = -a_1 t + b \quad (4)$$

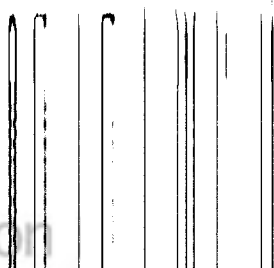
또한 감윤건조기간에 대하여는 고추의 총무게가 시간의 경과에 따라서 감소하므로 지수함수를 이용하여 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$W_T = a_2 e^{-k_2 t} \quad (5)$$

3.3 진공건조의 열전달 특성

3.3.1 저온진공건조시의 열프럭스 변동

고추 건조용 저온진공건조기를 실제로 실용화 하기 위하여서는 건조판 단위면적당의 전열량을 알아야 한다. 제3.2절에서 전술한 바와 같이 무게 W 가 계측되고, 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. 즉,



하면, 다음 식의 관계가 성립한다.

$$W_T = W_c + W_h \quad (3)$$

일반적으로 생체를 진공건조하면 Fig. 2에서 보는 바와 같이 초기에는 건조가 매우 활발히 일어나는 항윤건조기간을 거쳐 건조가 서서히 일어나는 감윤건조기간에 진입한다. 다음으로 최적의 장기보관 또는 식품이 최고상태의 맛을 보존하기 위한 최적의 함수율 ω_{ST} 를 갖는 최적의 건조시간이 존재한다.

Fig. 2는 상부 건조관상에 2,500gr의 건조시료를 올려놓은 상태에서 건조를 하였을 경우, 시간의 경과에 따른 무게의 변동을 측정하여 정리한 것이다. 그림 중에 나타난 결과에서 보는 바와 같이 시간의 경과에 비례하여 선형적으로 고추의 무게가 감소하는 소위 항윤건조기간과 시간의 경과에 대하여 무게 감소율이 완만하여지는 감윤건조기간이 있었다. 이 그림에 표현한 바와 같이 항윤건조기간 동안의 고추의 무게는 일반적으로 다음 식과 같이 표현된다.

$$W_T = -a_1 t + b \quad (4)$$

또한 감윤건조기간에 대하여는 고추의 총무게가 시간의 경과에 따라서 감소하므로 지수함수를 이용하여 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$W_T = a_2 e^{-k_2 t} \quad (5)$$

3.3 진공건조의 열전달 특성

3.3.1 저온진공건조시의 열프릭스 변동

고추 건조용 저온진공건조기를 실제로 실용화 하기 위하여서는 건조관 단위면적당의 전열량을 알아야 한다. 제3.2절에서 전술한 바와 같이 무게 W 가 계측되고, 이로부터 시간의 경과에 대한 무게 감소율 즉 $\Delta W / \Delta t$ 가 구하여지면, 건조관 단위면적당의 무게 감소율과 단위면적당의 전열량 즉 저온진공건조에 관한 구체적인 열프릭스의 변동을 구할 수 있다. 즉,

$$\dot{q} = \frac{1}{A} \left(-\frac{\Delta W_T}{\Delta t} \right) H_{fg} \quad (6)$$

위 식에서 H_{fg} 는 수분의 증발잠열을, 그리고 A 는 로드셀이 장착되어 있는 건조관의 면적을 나타낸다. 본 실험에서 계측용 건조관의 크기는 가로 0.71m, 세로 0.77m이므로 건조관의 면적은 0.55m²이다. 그러므로 식(6)을 이용하여 실험한 결과, 항윤건조기간 동

안의 단위면적당의 열프럭스는 일정한 값이 되며, 감율건조기간에 대하여는 역시 지수 함수로서 표현됨을 예측할 수 있다.

Fig. 3은 열프럭스를 정리하여 나타낸 것이다.

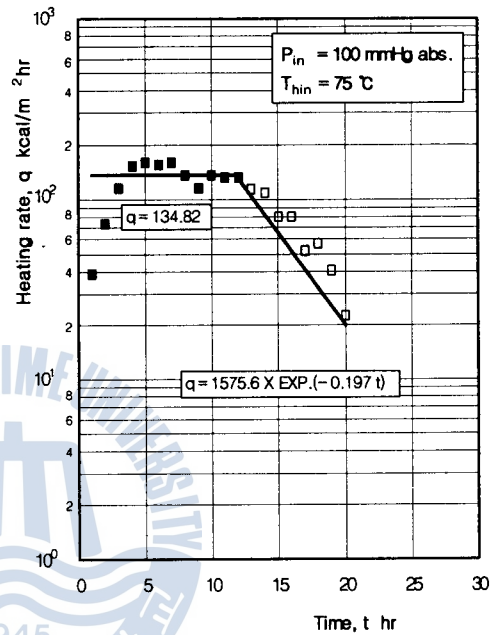
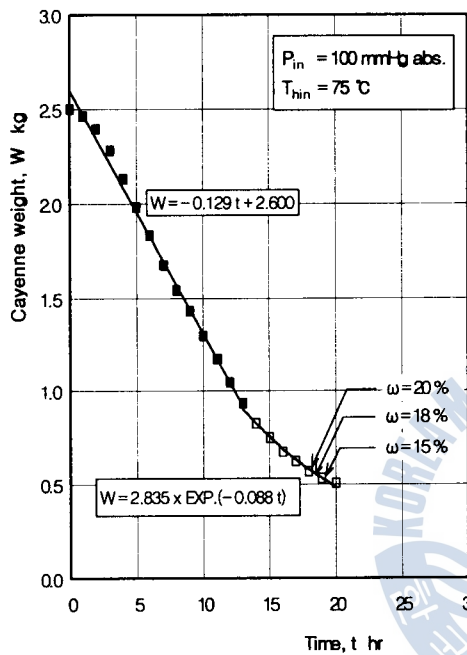


Fig. 2 Cayenne weight variation

Fig. 3 Heat flux variation

3.3.2 비등곡선

비등곡선과 함은 열프럭스와 벽면 과열도와의 관계를 정리한 것을 말한다. 실험적으로는 전술한 식(6)을 이용하여 먼저 열프럭스를 구한다. 벽면 과열도 ΔT_s 는,

$$\Delta T_s = T_w - T_s \quad (7)$$

위 식에서 t_w 는 실험에서 측정한 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(7)과 같이 벽면 과열도가 얻어지면 다음 식과 같이 국소열전달율, $h \text{ kcal/m}^2\text{hr}$ 를 구할 수 있다.

$$h = \frac{q}{\Delta T_s} \quad (8)$$

Fig. 5는 비등곡선을 정리하여 나타낸 것이다.

3.4 진공건조 특성곡선

건조분야에서는 함수율 $\omega(\%)$ 와 건조판 단위면적당의 건조율 $\text{kgH}_2\text{O}/\text{m}^2\text{hr}$ 의 관계로서, 건조특성곡선을 나타낸다. 여기서 건조율은 다음 식과 같이 정의한다.

$$R_{dc} = \frac{q}{H_{fg}} \quad (9)$$

실제의 실험에 있어서는 저온진공건조에 의하여 연속적으로 고추 무게의 변동을 측정하고 있으므로, 이로부터 임의 시각에서의 함수율을 알 수 있다.

항윤건조기간에서의 무게의 감소율, 즉 증발율은 식(4)와 같이 표현되었으며, 감윤건조기간에 대하여는 식(5)와 같이 표현되었다. 그러므로 항윤건조가 끝나는 시각 즉, 감윤건조가 시작되는 시각은 이 두식을 등호관계로 놓고서 그 시각을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} t_{c,p} &= -\frac{1}{k_3} \left(\ln \frac{a_1}{k_1} \right) \\ &= \frac{1}{k_3} \ln \left(\frac{k_1}{a_1} \right) \end{aligned} \quad (10)$$

실제의 경우에는 고추를 건조하여 최고의 맛과 영양상태를 유지하고, 장기보관을 하는 경우에는 건조과정 끝단에서의 함수율을 최적치로 유지할 필요가 있다. 이러한 경우에는 함수율이 주어지므로, 역으로 건조고추의 무게와 최종적인 함유 수분량을 계산할 수 있으므로, 저온진공건조에 소요되는 시간을 역순서로 계산할 수 있다.

Fig. 6은 건조특성곡선을 정리하여 나타낸 것이다.

3.5 가열수 입구온도의 영향 평가

저온진공건조의 피건조물인 고추에 관하여 특히 가열수의 온도와 진공압력이 진공건조의 열적 특성에 미치는 영향에 관하여 중점적으로 연구하였다.

Fig. 6은 진공압력이 100mmHg abs. 로서 일정히 하고, 가열수의 온도를 $80, 75, 70^\circ\text{C}$ 로 하였을 경우 무게감소율 즉 수분의 증발율을 나타낸 것이다. 이들 그림중 검게 칠

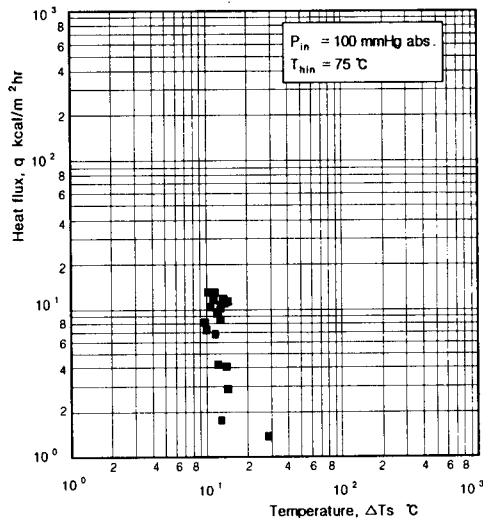


Fig. 4 Boiling curve

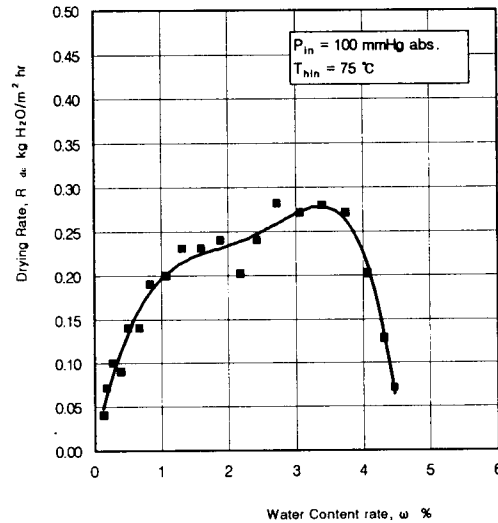


Fig. 5 Vacuum drying characteristic curve

칠한 것은 항울건조기간이며, 하얗게 나타낸 데이터는 감울건조기간을 나타낸다. 이 그림에서 보는 바와 같이 가열수의 온도가 높을수록 무게감소의 속도가 빠른 것을 알 수 있다. 이것은 가열면 온도가 높을수록 시료의 증발표면에서의 온도가 상승하게 되므로 확산의 구동력이 되는 시료의 증발표면과 주위와의 수증기 분압차가 크게 되기 때문이다.

3.6 진공도의 영향 평가

Fig. 7은 무게 감소율 즉, 수분의 증발속도에 대한 진공압력의 영향을 평가한 것이다. 앞 절의 가열수 온도의 영향보다는 작지만, 역시 진공압력이 높을수록 항울건조기간 및 감울건조기간 동안의 무게감소율이 큼을 확인할 수 있다. 그림으로부터 건조속도는 진공도가 클수록 증가하고 있다는 것을 알 수 있다. 이것은 전압 P 가 감소할수록 $P/(P-P_0)$ 가 커져서 확산 질량유속이 증가하기 때문이다. 즉, 전압 P 가 감소할수록 수분이동에 대한 확산 저항이 감소하기 때문에 건조속도가 증가하게 된다.

3.7 피건조물의 두께의 영향 평가

실제의 건조에서는 피건조물을 건조판상에 가뜰 올려놓고 건조를 행할 수가 있다. 그러나 다량의 피건조물을 올려놓으면 통풍저항이 증가하고, 열전달이 용이하지 못하므로, 과연 평균적으로 어느 정도의 피건조물을 1회에 건조하느냐는 매우 중요한 문제

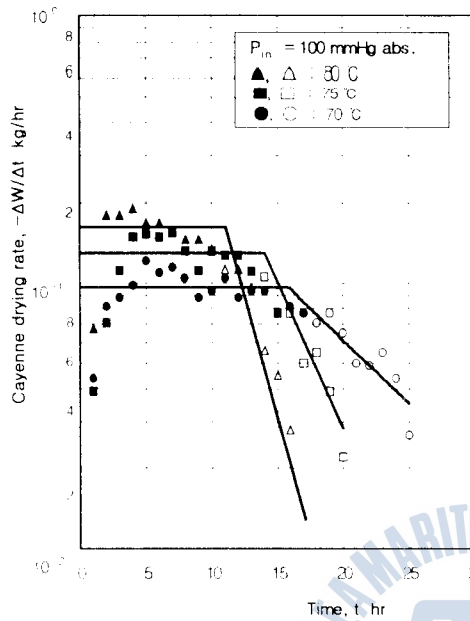


Fig. 6 Effect of hot water temperature on reducing rate of cayenne weight

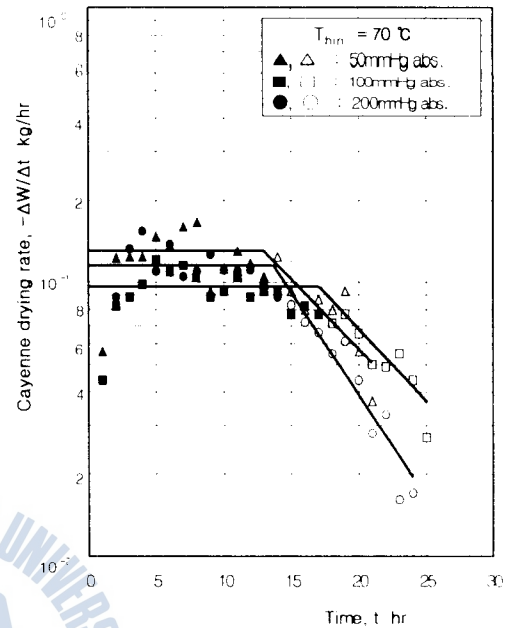


Fig. 7 Effect of vacuum pressure on reducing rate of weight

이다. 따라서 본 실험에서 건조판상의 고추를 1점과, 2점으로 배열하여 건조실험을 행하였으며, 그 결과를 비교 평가한 것이 Fig. 8이며 무게 감소율이 두점의 경우가 무게 감소가 빠르다는 것을 확인할 수 있다. 그러나 그림에서 보는 바와 같이, 무게 감소율은 2점의 경우가 1점의 경우보다 크기는 하지만 2배에 도달하지는 못함을 알 수 있다. 그리고 건조에 소요되는 총시간은 1점의 경우가 20시간, 2점의 경우가 30시간으로 2점의 경우가 결국 1점의 경우보다 건조속도가 빠르다는 것을 알 수 있다.

3.8 향울건조기간과 감율건조기간의 평가

Fig. 9는 고추를 1점 상태로 저온진공건조하였을 경우의 향울건조기간과 감율건조기간 그리고 실험종료시까지의 시간을 정리하여 나타낸 것이다. 이 그림에서 보는 바와 같이, 1점 건조의 경우 향울건조에 소요되는 시간은 약 10~15시간이며, 진공압력이 높을수록 그리고 가열수의 온도가 높을수록 짧아지는 것을 알 수 있다. 감율건조에 소요되는 시간은 2~5시간 정도이며, 진공압력의 영향은 비교적 적고, 가열수의 온도가 높을수록 짧아지는 것을 알 수 있다.

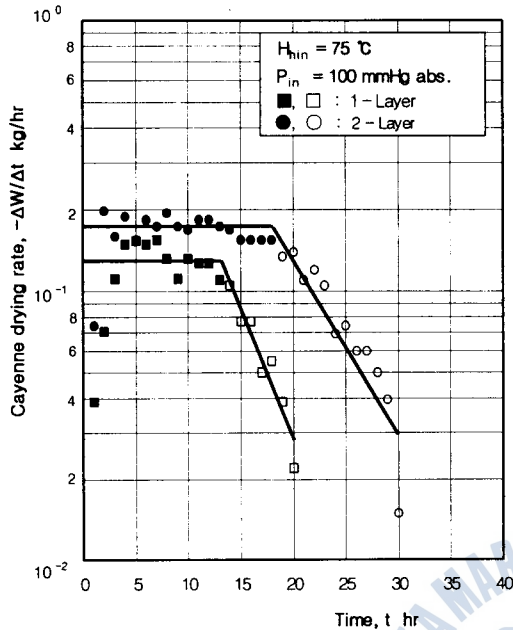


Fig. 8 Effect of layers on reducing rate of cayenne

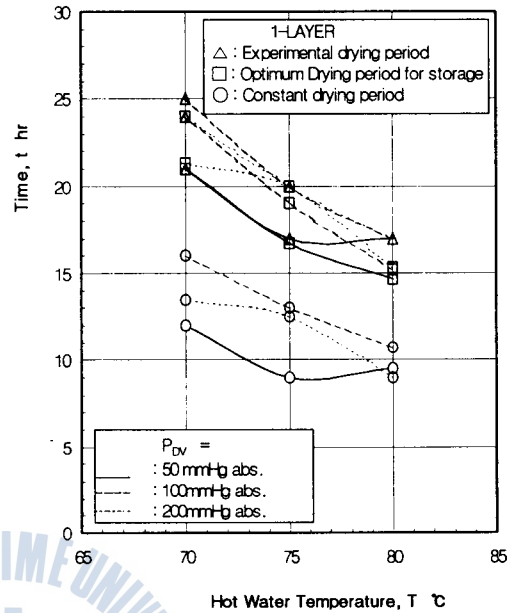


Fig. 9 Constant and reducing drying rate period for 1-layer vacuum drying

4. 결론

본 연구에서는 한국인의 식생활과 관련하여 매우 중요한 식품중의 하나인 고추를 대상으로, 건조후의 건조 품질이 탁월한 저온진공건조 방법에 관하여 전열공학적인 측면에서 정량적인 해석을 시도하였다. 이를 위하여 실제 사용이 가능한 크기의 저온진공건조기 본체와 관련 주변 장치를 직접 설계 제작하여 실험을 수행하였으며, 분석에 필요한 모든 데이터는 온라인 계측을 통하여 얻어졌다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 본 실험을 통하여 저온진공건조용 건조기를 열설계하기 위한 많은 정량적 설계 데이터를 습득하였으며, 고추의 저온진공건조를 통하여 설계·제작하여 개발한 저온진공건조기는, 그 성능이 열공학적인 측면에서 매우 우수함을 확인하였다.
- (2) 고추의 저온진공건조실험에서도 전형적인 항울건조기간과 감울건조기간이 확연히 존재함을 확인할 수 있었으며, 항울건조기간 동안의 무게의 변화는 경과시간에 대한 1차식으로, 감울건조기간 동안에 대하여는 경과시간에 대하여 점진적으로 무게가 감소하는 지수형태의 식으로 각각 정량적인 실험식의 제시가 가능하였다.

- (3) 항울건조기간에서의 증발속도가 본 실험의 범위내에서는 진공압력이 높을수록 그리고 가열수의 온도가 높을수록 증가하였으며, 감울건조기간 동안의 증발속도도 동일한 양상을 보였다.
- (4) 건조관상에 2겹으로 생고추를 배열시켜 건조하면, 1겹 건조에 비하여, 가열판으로부터 고추로의 대류 및 복사에 의한 열전달이 저해되어 결국 생고추의 무게 증가만큼 건조시간도 길어지므로, 1회 투입량의 증대 즉 건조기의 용량 증대에는 그다지 좋은 효과가 없음을 알았다.

참 고 문 헌

1. 김경근, 김원녕, 김성규, 최순열 등 ; “가열/진공증발 교호열조작에 의한 임산·수산물 건조장치 개발 (1차년도 연구보고서)”, 산업자원부 공업기반기술과제(1998)
2. 박형진, 김경근, 김명환 ; “함수다공질층의 진공건조에 관한 실험적연구(I)”, 한국박용기관학회지, 제20권, 제5호, pp.514~521(1996)
3. 久保田濃 ; “乾燥装置”, 省エネルギーセンター(1995)
4. 日本真空協會 關西支部 ; “真空技術”, pp.24~25(1994)
5. 太田勇夫, 益子正教, 木村進 ; “真空乾燥”, 日刊工業新聞(1964)
6. Newitt D. M., Nagara P. Na, Paradopowlus A. L. ; “Trans. Inst. Chem. Engrs.”, Vol.38, pp273(1960)
7. 신기술 편집부역 ; “건조장치의 이론과 실제”, 신기술

