

공학석사 학위논문

생체 건조용 대형 저온진공건조기의 열적
특성에 관한 연구

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

지도교수 김 경 근

2000년 2월

한국해양대학교 대학원

기관공학과 문수범

本 論文을 文首範의 工學碩士 學位論文으로 認准함.

主 番 尹 錫 勳 印

委 員 吳 喆 印

委 員 金 京 根 印

1999年 12月 23日

韓國海洋大學校 大 學 院

機 關 工 學 科 文 首 範

목 차

Abstract	III
사용기호	V
제1장 서 론	1
1.1 본 연구의 목적	1
1.2 종래의 연구	5
제2장 실험장치 및 실험계통	7
2.1 실험장치의 개요	7
2.2 실험장치의 각부 상세	13
2.3 온라인 측정장치 계통	19
2.4 실험장치의 운전법	23
2.4.1 기동시 운전법	23
2.4.2 정상측정시 운전법	25
2.4.3 정지시 운전법	26
제3장 실험결과	28
3.1 진공장치의 무부하 추기특성	28

3.2 고추의 실험결과	31
3.2.1 진공도의 영향 평가	31
3.2.2 과열도의 영향 평가	50
3.2.3 공간 위치별의 거시적 건조속도	60
3.2.4 경제성 평가	64
3.3 표고버섯의 실험결과	66
3.3.1 열전달 특성	66
3.3.2 공간 위치별 거시적 건조속도	75
3.3.3 경제성 평가	76
 제4장 결 론	 78
 참고문헌	 80
학술활동 및 산학협동연구 실적	84
Appendix I : Spec. of Experimental Apparatus	86
Appendix II : Experimental Data for Cayennes	87
Appendix III : Experimental Data for Mushrooms	102
Appendix IV : Test Results of Cayennes	103
 謝 辭	

Abstract

Of the roughly four million known substances, about 60,000 are processed and sold ; many of these must be dried. Many materials are processed in the liquid state - ideal for mixing and reacting - but most products are needed or wanted as dry, or relatively dry, solids.

Usually operation is just below atmospheric pressure, as with direct dryers, but some are built for vacuum operation with pressures as low as 50mmHg abs.. This lowers the boiling point to 39°C.

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 The sun drying method which has been adopted traditionally has been replaced by the hot-air drying method which is one of the most general methods of artificial drying, with its simple drying system, low initial cost of drying plant, and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. Also, the hot-air drying method is inducing environmental and sanitary problems which are resulting from the emission of high temperature and high humidity air, including stick on the drying progress.

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.

사 용 기 호

Alphabet

A	: 면적	(m^2)
F	: 진공도달계수	-
H_{fg}	: 증발잠열	($kcal/kg$)
h	: 국소 열전달률	($kcal/m^2hr$)
kg	: 표면증발계수	($gr/cm^2 \cdot min \cdot mmHg$)
L	: 거리	(cm)
q	: 열플럭스	($kcal/m^2hr$)
R_c	: 항울기간에서의 건조속도	(kg/m^2hr)
R_D	: 감울기간에서의 건조속도	(kg/m^2hr)
R_{dc}	: 건조율	(kg/m^2hr)
S	: 배기속도	(ℓ/min)
T	: 온도	($^{\circ}C$)
T_s	: 포화온도	($^{\circ}C$)
ΔT_s	: 벽면 과열도	($^{\circ}C$)
T_w	: 고추 표면 온도	($^{\circ}C$)
t	: 시간	(hr)

$t_{c,p}$	: 항울건조기간이 끝나는 시각	(hr)
t_e	: 실험종료 시각	(hr)
u	: 건조속도	(m / hr)
W_c	: 고추의 건질량	(kg)
$W_{H_2O\ c.p}$	: 항울건조기간 끝에서의 수분무게	(kg)
$W_{H_2O\ e}$	: 실험종료시의 수분무게	(kg)
W_h	: 수분의 질량	(kg)
W_{ho}	: 시각 0에서의 수분무게	(kg)
W_T	: 시료의 총무게	(kg)
W_{To}	: 시각 0에서의 총무게	(kg)
$W_{Tc.p}$	: 항울건조기간 끝에서의 총무게	(kg)
W_{Te}	: 실험종료시의 총무게	(kg)
ω	: 함수율	(%)
$\omega_{c,p}$	: 항울건조기간 끝에서의 함수율	(%)
ω_e	: 실험종료시의 함수율	(%)

Greek symbols

η	: 이젝터의 효율	-
ν	: 수증기 비체적	(kg / m ³)

ω_o : 시각 $t=0$ 에서의 함수율 (%)

Subscripts

$c.p$: 항울건조기간의 종료시각

e : 실험 종료시각

$r.p$: 최적 장기보관 함수율 도달시각

w : 표면

제1장 서론

1.1 본 연구의 목적

대략 4백만개의 알려진 물질과 약 6만개의 제조, 판매되는 대부분의 물질이 거의 모든 산업에서 한번 이상 건조를 해야하는 수분을 함유한 고체로 되어있다. 건조는 고대로부터 인류의 문명과 함께 발전해 왔으며 1960년대에 들어서면서 여러 가지 건조방식에 대한 적극적인 연구가 이루어졌다. 건조에 관한 이론은 열 및 물질이동과 재료와 수분과의 결합형태에 관한 학문을 기초로 토질역학, 전열공학, 여과 혹은 건조공학 등 각 방면에서 많은 연구자들에 의해 오래 전부터 연구가 되었다.(1),(2),(3),(8)

물질의 부패에는 충분한 수분과 산소 그리고 미생물이 자랄 수 있는 영양분이 요구되며, 이 중 한 요소를 물질로부터 제거함으로써 부패의 진행을 막을 수 있는데 가장 일반적인 방법은 물질에 함유된 수분을 제거하는 것이다. 지구상에 있는 것은 모두 수분을 함유하고 있다. 그 함유량에 따라 그 물체의 성질은 변화한다. 또, 수분 자체도 온도, 압력에 따라 고체, 액체, 기체로 변화한다. 지구상의 물체는 그 발생에서 끝날 때까지 물과의 관련을 갖고 변화되어 간다. 물을 수증기로 변화하기 위하여 1kg에 대해 약 600kcal의 열에너지를 필요로 한다. 아무리 에너지 위기를 외쳐도, 인간과 함께 존재하는 건조수법은 기계화에

의한 인력절감, 고능률화를 추구하는 현대사회에서 고전적인 태양열과 바람만을 이용하는 자연건조만에 의지할 수는 없다.(1)(3)(6)

건조조작은 열에너지를 가장 많이 사용하는 분체 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 마이크로파 건조방식 그리고 진동에너지를 기계적으로 이용하는 초음파건조방식 등이 있다.(5)

적외선건조방식(infrared drying)은 열복사에 의해 재료를 가열하고 건조하는 방법으로 두께가 얇은 재료의 건조에 주로 이용되어진다. 가열방식은 전기가열에 의한 방식이 많으며 열효율은 10 ~ 30% 정도로 상당히 낮은 편이다.

마이크로파건조방식(micro wave drying)은 마이크로파의 조사(irradiation)에 의해 재료가 내부로부터 가열되어지므로 재료의 가열에 필요한 시간이 짧을 뿐 아니라, 건조속도가 빨라지며 효율도 높다. 그러나 마이크로파 변환효율이 40 ~ 70% 정도로서 전체적인 효율은 30 ~ 55%로 비교적 낮다.

초음파건조(ultrasonic drying)는 비교적 저온에서 건조하는 이점이

있어 열에 민감한 재료나 의약품 등의 건조에 이용되어지기도 하나, 그 실용화 예는 아직 일부에 지나지 않는다.

동결진공건조방식(freeze vacuum drying)은 저온상태에서 재료를 건조함으로써 재료의 열변형을 방지하고 소요되는 열에너지를 극소화하면서, 가급적 낮은 함수율까지 건조할 수 있으며, 건조전 상태로의 복수성 등이 우수하나 시설비 및 유지비가 너무 많이 들어 일반적인 식품의 건조에는 한계가 있다.

열풍건조방식(air heating drying)은 열풍과 재료를 직접 접촉시킴으로써 열을 전달하여 수분을 증발시키는 방식으로 열풍과 피건조물과의 온도차 및 습도차가 건조의 추진력이 되므로 열풍의 온도를 되도록 높이고 습도를 낮출수록 건조속도를 증가시킬 수 있다. 열풍건조방식은 다른 건조방식에 비하여 비교적 구조가 간단하고 설비비가 적은 반면, 대량의 송풍량을 요구하며 배기송풍에 포함된 대량의 현열을 폐기함으로 인하여 에너지 소모가 많게 된다. 현재 국내에 보급되는 건조기는 거의 대부분이 열풍건조기로서 고온상태에서 작동하며, 더욱이 열풍을 계속 외부로 버리는 상태이므로 열공학적 측면에서는 매우 효율이 나빠 에너지 소모가 과다하다. 특히 임, 수산물의 생물학적 특성상 품질의 고급화 측면에서도 매우 불리하다.

따라서 기존장치에 비하여 재료의 수분함유량의 조절이 간편하며, 재료의 건조온도가 비교적 낮아 재료의 열변형이 적고, 또한 산소농도가 매우 낮아 건조과정 중에 일어날 수 있는 재료의 부패와 변질을 방

지할 수 있고, 열풍건조기에 비하여 건조시간도 비교적 짧은 진공건조 (vacuum drying)에 대한 관심이 급증하고 있다. 이미 미국, 일본등 선진국에서는 이러한 진공건조장치를 개발하여 상품화하고 있으나 자국산업의 보전을 위하여 기술이전을 회피하고 있는 실정이다.(2),(3),(7)

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 경쟁 체제하에서 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 기초실험 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.

1.2 종래의 연구

Dittiman(9) 은 전열방법에 따라 간접건조방법, 직접건조방법의 두가지 유형에 따라 건조이론을 확립하였으며, 오늘날 많은 실제의 장치는 두가지 유형의 조합으로 이루어진다. 桐榮(10)(12) 등은 일반 고체 내에서의 수분이동에 대하여 건조의 입장에서 광범위한 해석을 통하여 건조속도 해석 및 실험식을 제시하였다. 또한 점토를 이용하여 열유속 일정조건(constant heat flux condition)으로 복사가열 및 전도가열의 경우에 대하여 진공상태하에서 표면증발계수로서 $k_g = 4.4 \times 10^{-3} \times P^{-2/3} \text{ (g/cm}^2 \text{ min mmHg)}$ 을 제시하였다. 또한 대기압 하에서의 건조특성과 비교하여 진공건조의 특성을 기술하였다. 太田(7) 등은 진공건조에 대해 많은 연구를 했으며 특히 종이의 진공건조 및 절연유의 탈기 건조, 절연종이의 함유수분과 전기적인 제반특성에 관해서도 연구하였다. 河材(11) 는 진공 유동 연구에서 진공도가 높으면 점성유체의 점성이 적어지는 점과 벽면에 생기는 경계층은 후면에 생기며 한쪽으로의 흐름이 적어지므로 실제의 실험에 있어서 진공 초음속 풍동을 제작하여 실험한다는 것은 상당히 어려움이 많음을 지적하였다. Krischer(12) 등은 모세관 모델의 개념을 도입하여 복사전열에 의한 진공건조와 대기압 상태하에서 대류전열로 건조실험을 행하여 건조 특성을 비교하였다. 우리나라에서는 박(13)(14) 등이 다공질층의 모래와 점토를 사용하여 진공건조 메카니즘을 파악하였으며, 유(15) 는 진공상태하의 함수다공질층의 건조특성에 관하

여, 최⁽¹⁶⁾ 는 생체인 고추를 대상으로 제반 열전달 특성을 파악하였다.

그러나 지금까지의 많은 연구에도 불구하고, 실용화를 위한 저온진공건조기의 국산화라는 측면에서는, 진공건조에 관련한 연구결과가 부족한 실정으로 앞으로도 건조분야에 대한 많은 연구와 노력이 절실히 요구된다.

제2장 실험장치 및 실험계통

2.1 실험장치의 개요

Fig. 2.1은 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 계측을 위한 온라인 측정계통(on-line measuring unit)등으로 구성되어 있다.

저온진공건조기 본체①의 크기는 5,900L×2,500H×2,100W mm의 직사각형 용기로서 내부용적은 30.975m³이다. 그리고 저온진공건조기 본체 내부에는 핀-튜브가 설치되어 있으며, 건조판 96개가 투입되도록 설계되어 있다. 또한 실험중 내부의 건조상태를 관찰할 수 있는 ø 200mm 관찰창 2개를 설치하였다.

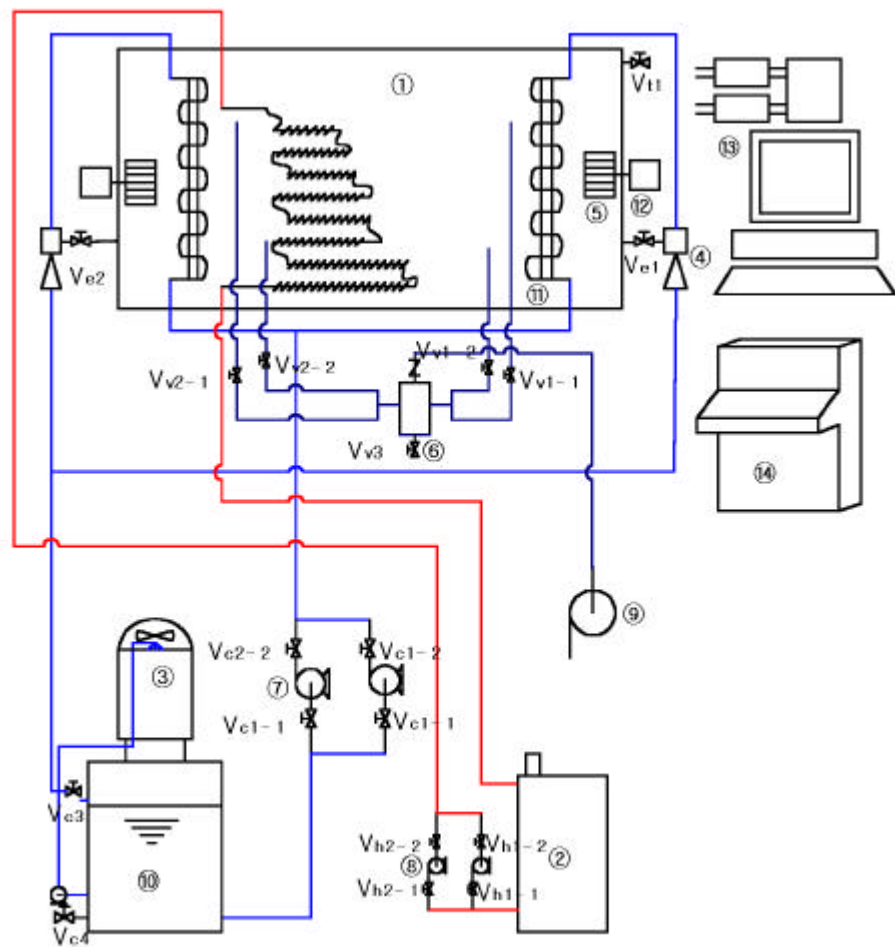
진공추기계통은 진공펌프(vacuum pump)⑨와 정상적인 진공압력 도달시 일정한 진공압력을 유지하기 위한 수구동 기체흡입 이젝터(water jet air ejector)④로서 구성된다.

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.

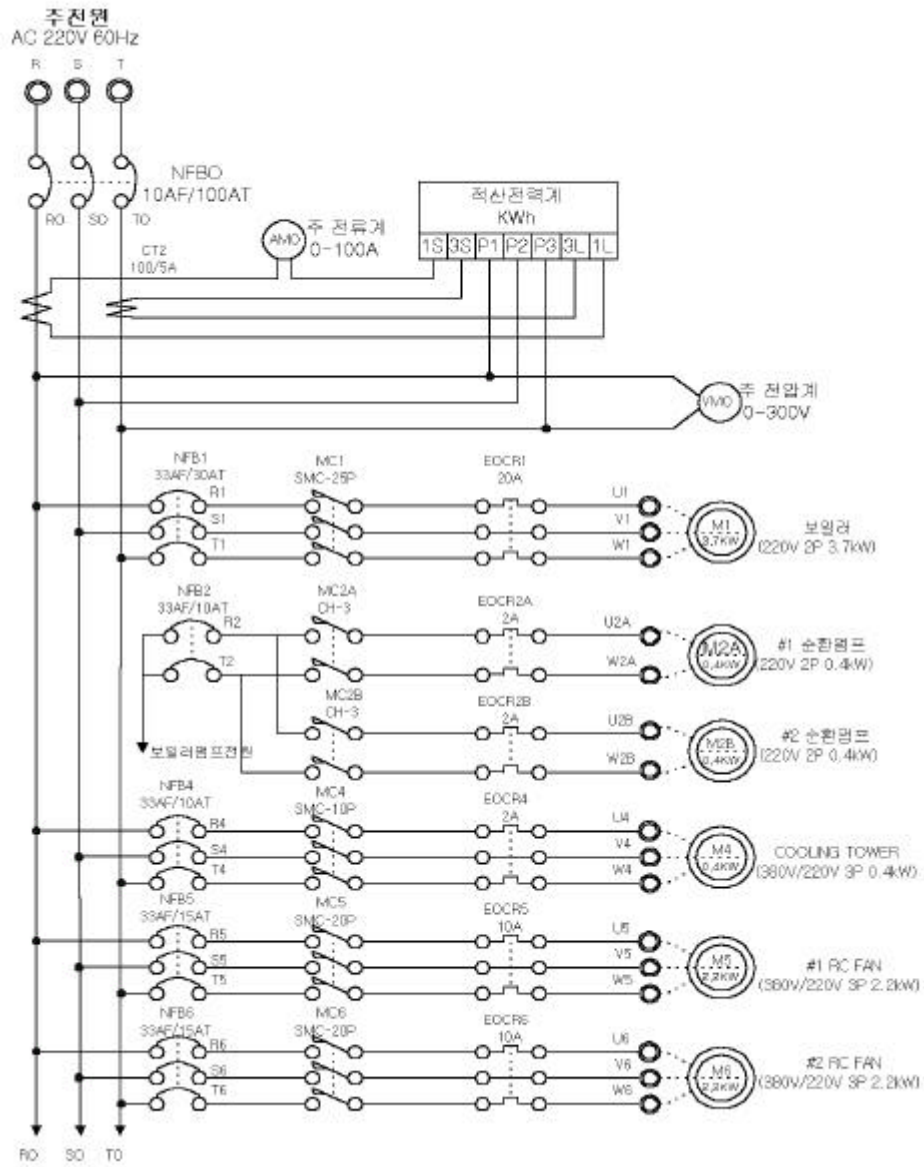
온라인 측정계통은 각부의 온도 및 압력, 건조물의 무게 변화 등을 데이터 집록장치(data acquisition system)⑬에 의해 임의 설정 가능한 실시간 간격으로 데이터를 컴퓨터에 기록할 수 있도록 하였다.

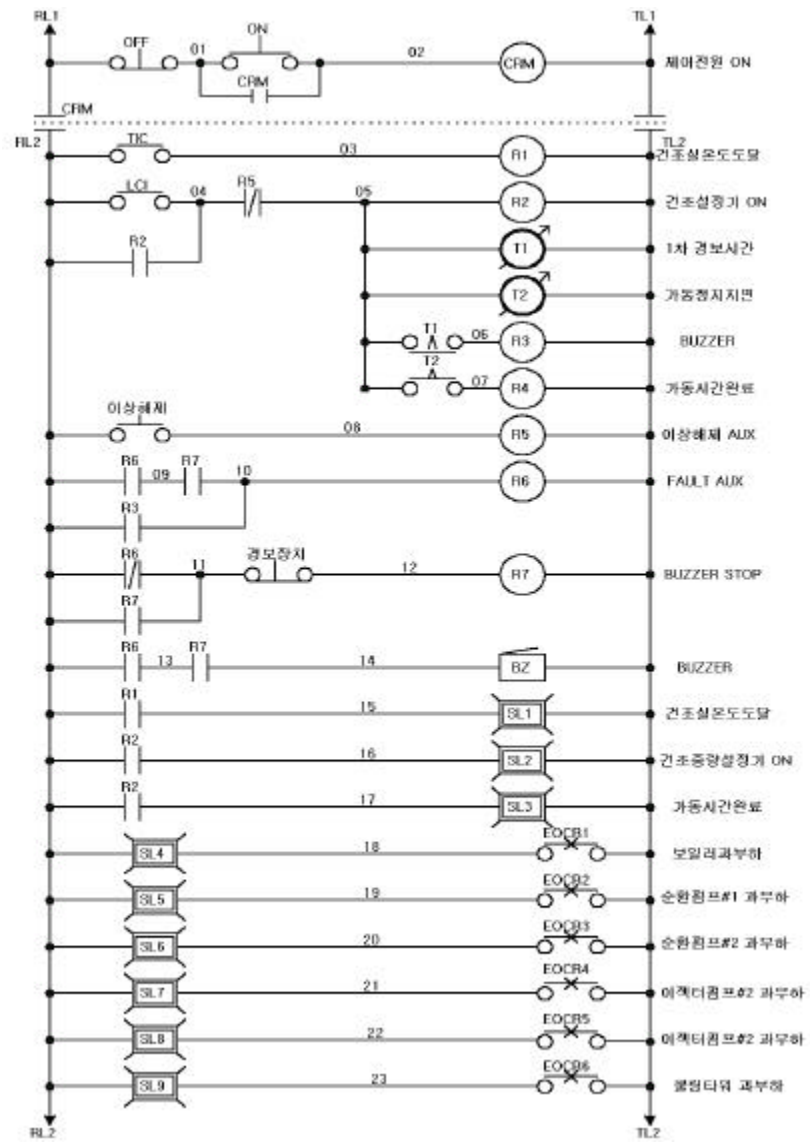
Fig. 2.2는 실험장치의 전체적인 배선 및 제어를 나타낸다.



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

Fig. 2.1 Schematic diagram of experimental apparatus





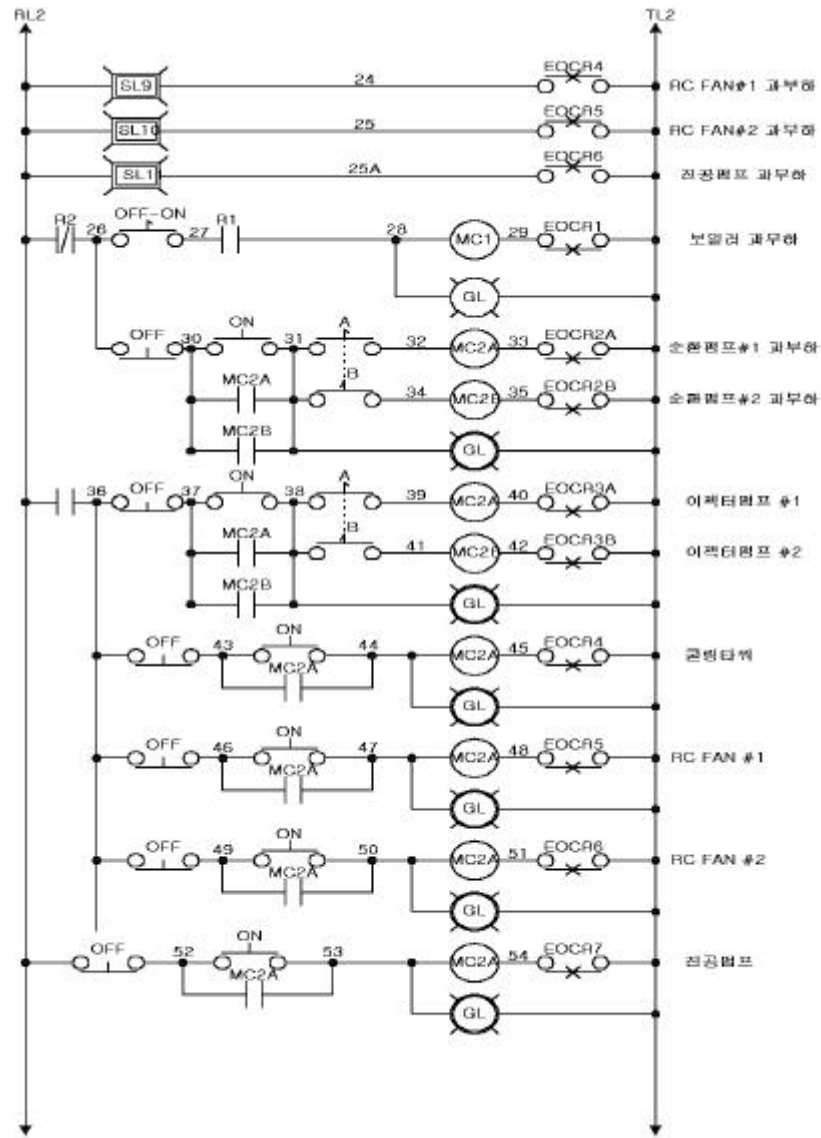


Fig. 2.2 Electrical circuit of experimental apparatus

2.2 실험장치의 각부 상세

저온진공건조기 본체 내부는 Photo. 2.1에서 보는 바와 같이 $\varnothing 19.05 \times 1.65t$ mm의 핀-튜브로 구성되어 있으며 여기에 $8H \times 0.8t \times 5f/in$ 의 핀이 설치되어 있다. 본체 내부에는 $980L \times 800W \times 70H$ mm의 건조판 96개를 얹어 놓을 수 있도록 되어 있다. 그리고 진공건조중 피건조물을 꺼내 무게를 측정할 수 없기 때문에 상단에는 건조 과정 중 무게 변화를 측정할 수 있는 무게측정소자(load cell)를 설치하여 실험종료 시점 및 함수율 등을 파악할 수 있도록 설계되어 있다.

Photo. 2.1은 저온진공건조기 내부의 사진을, Photo. 2.2는 실험장치의 전체 전경을 나타낸다.

저온진공건조기 본체 내부를 일정한 진공압력으로 유지하기 위하여 실험초기에는 피스톤형 진공펌프를 사용 빠른 시간 내에 어느 정도의 진공압력으로 도달시킨 다음, 수구동 기체흡입 이젝터를 이용하여 소정의 진공압력으로 유지시켰다. 실제의 실험에 있어 피스톤형 진공펌프의 가동시간은 약 30분 정도이며, 이후에는 이젝터를 이용하여 피건조물 내부에서 발생하는 불응축 가스 및 반출입창, 각종 밸브 등을 통하여 외부에서 유입되는 공기 등을 배기하였다.

진공시스템을 임의의 압력에서 요구되는 진공압력까지 소정의 시간 내에 도달시키기 위하여 필요한 펌프의 배기속도를 파악하는 것이 중요하다. 진공시스템의 조건이 배기시간에 현저한 영향을 미치므로 이 방

법에서는 경험적으로 구한 도달진공계수가 사용된다. 도달진공계수 F 는 사용되는 펌프에 따라 달라지고 진공도의 함수이다. 배기속도는,

$$S = \frac{FV}{t} \quad (2.1)$$

여기서, F :진공도달 계수, V :용기의 크기, t :진공도달시간을 각각 나타낸다.

Fig. 2.3은 수구동 기체흡입 이젝터의 기본 구조 및 각부의 명칭을 나타낸다. 수구동 기체흡입 이젝터는 압력에너지를 갖는 구동유체를 고속으로 분사시켜 속도에너지로 변환시키는 구동노즐, 흡입유체인 가스나 공기 등을 흡입하는 흡입실, 흡입유체인 가스 또는 공기가 운동량 전달에 의하여 점차 혼합되는 목부(throat), 그리고 혼합유체의 속도에너지가 임의의 압력까지 변환되는 디퓨저(diffuser)로 구성되어 있다. 수구동 기체흡입 이젝터의 작동원리는, Fig. 2.4에서 보는 바와 같이, 구동노즐을 통하여 고속으로 분출된 분류는 흡입된 기체와 목부에서 점차적으로 운동량 교환을 하게 된다. 구동유체는 고속으로 분사됨으로써 흡입실내의 기체를 엔트레인시켜 흡입실 내에 진공을 형성시켜 기체를 흡입하게 된다. 목부에서는 분류가 공기를 엔트레인 및 가속 그리고 혼합하게 되는데, 이 혼합부분은 주어진 구동유량과 흡입압력에 대해 토출압력으로서 조절할 수 있다. 혼합이 목부 내에서 일어날 때에만

효율에 관한 이론치와 실험치가 잘 일치하며 목부에서 혼합된 유체는 목부 보다 단면적이 큰 디퓨저를 지남으로써 압력이 상승하여 공기를 토출하게 된다.(16),(17),(18)

가열계통은 용량 50,000 kcal/hr의 일반 가정용 온수보일러를 이용하였다. 또한 냉각계통은 39,000 kcal/hr의 냉각탑을 사용하여 냉각수의 온도를 낮추었으며, 냉각수는 먼저 건조기 내부에 설치된 10,000 kcal/hr 용량의 Cold Trap용 응축기 2개를 지나 이젝터를 구동하게 설계되어 있다.

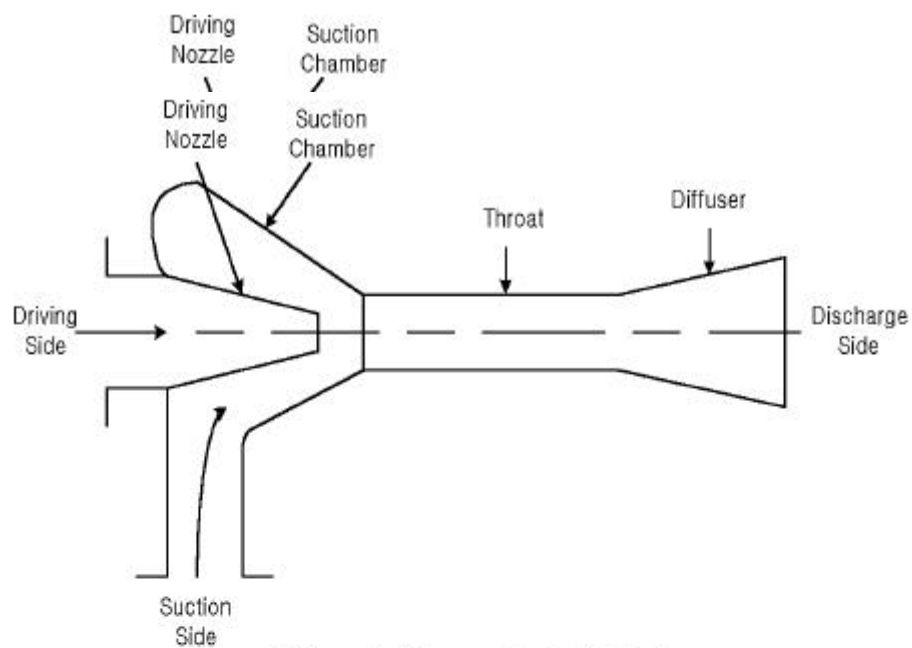
Photo. 2.3은 가열계통에 사용된 보일러의 사진을, Photo. 2.4는 냉각수 구동펌프의 사진을 나타낸다.



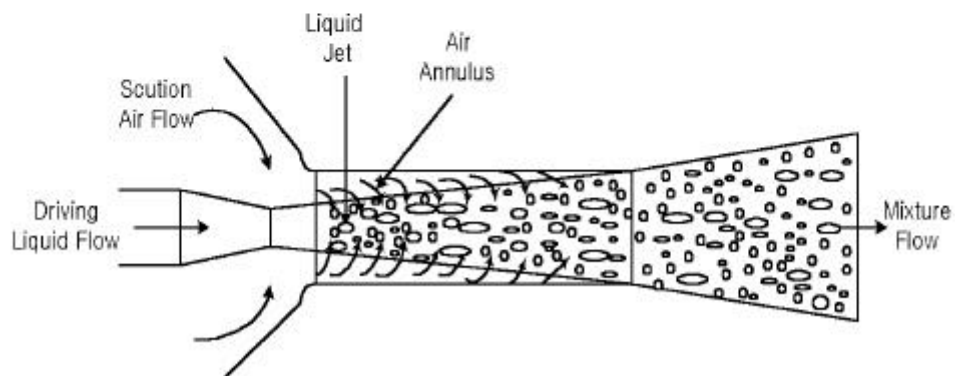
Photo. 2.1 Vacuum drying chamber



Photo. 2.2 Experimental apparatus



Schematic diagram of water jet ejector



Flow state in the water jet ejector

Fig. 2.4 Flow state in water jet ejector



Photo. 2.3 Hot water supplying unit



Photo. 2.4 Driven pump for water jet air ejector

2.3 온라인 측정장치 계통

본 실험장치의 각부 온도측정은 K-Type 열전대(C-A thermocouple)를 사용했다. 저온진공건조기 본체 내부, 온수라인, 냉각수라인 등에서 온도측정을 위하여 설치된 열전대의 데이터는 처리장치를 통해 컴퓨터로 저장, 기록할 수 있도록 하였다. 정확한 온도 측정을 위하여 각각의 열전대에 대해 표준온도계를 이용하여 검정하였는데, 검정장치는 내경 150mm, 두께 4mm, 높이 150mm의 강관의 용기로 제작되어 있고, 강관 외벽에 전기 가열선을 설치하고 운모 튜브 및 유리섬유를 사용하여 단열한 후 가열선의 입력전원을 전압조정기로 조절하여 소정의 온도로 일정히 유지한 다음 여러 개의 열전대를 동시에 같은 조건에서 검정할 수 있도록 하였다. 열전대에서 발생하는 기전력은 기준 온도상자, 로터리 스위치를 거쳐 데이터로거(data logger)에서 측정하였으며, 용기 내에 설치된 최소눈금 0.01°C의 표준온도계(standard thermometer)의 눈금과 측정된 기전력을 기록하여 최소자승법(least regression)으로 처리하여 검정하였다.

Fig. 2.5는 #1 열전대에 대한 검정결과와 한 예를 나타낸다.

저온진공건조기 본체 내부의 압력을 측정하기 위하여 압력센서를 설치하였다. 측정된 압력은 24 V DC가 공급되는 A/D 변환기를 통하여 신호가 증폭된 다음 기전력(mV DC)은 데이터처리 장치를 통해 컴퓨터에 환산된 압력(mmHg abs.)으로 저장, 기록된다.

피건조물의 무게를 측정하기 위하여 최대 20kg 용량의 무게측정기 4개를 설치하였다. Fig. 2.6에서 보는 바와 같이 건조기 내부의 상부에 설치되어 있으며 측정된 무게에 상당하는 기전력은 집록장치를 통해 kg단위로 환산되어 콘트롤박스에 표시된다.

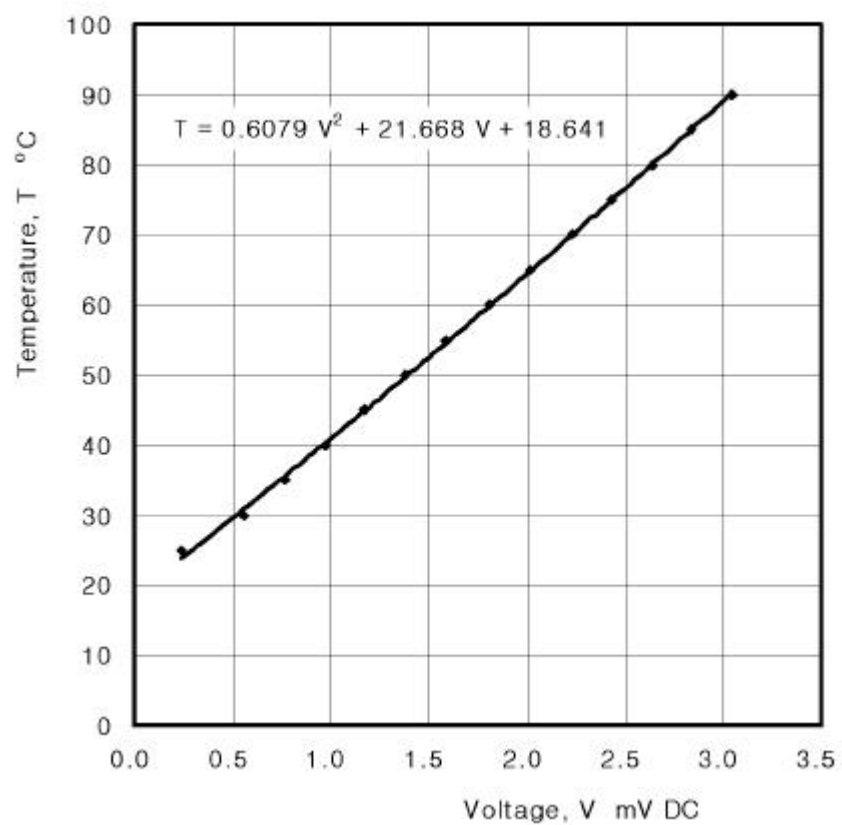
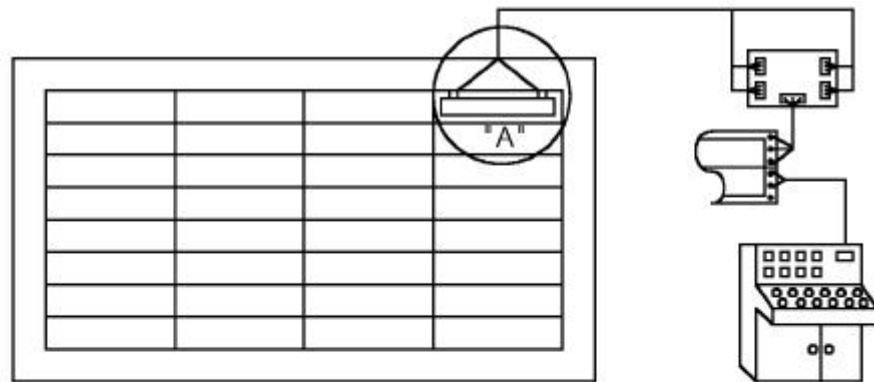
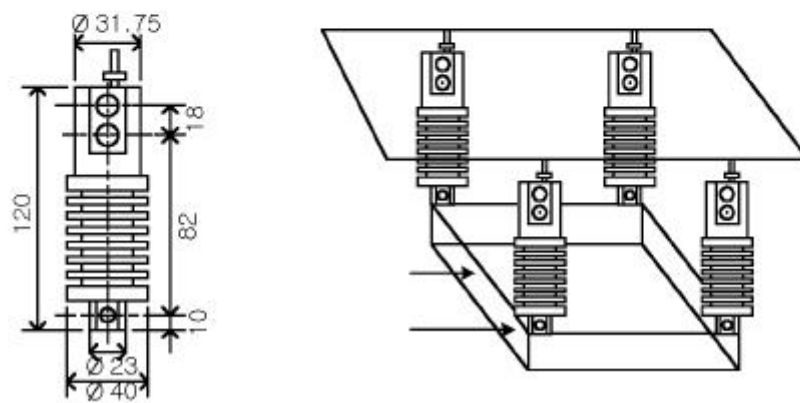


Fig. 2.5 Calibration curve of #1 thermocouple



(a) Wiring diagram of load cell



(b) Detail of "A"

Fig. 2.6 Attachment state of weighing sensors

2.4 실험장치의 운전법

2.4.1 기동시 운전법

건조를 시작 할 경우 우선적으로 건조물을 건조기 내부에 투입하고, 개폐문의 밀폐와 V_{t1} 밸브가 닫혀 있는지 확인한 다음 아래와 같은 순서에 의해 건조를 시작한다.

(1) Control Box⑭의 Main 전원을 투입한다.

(2) 진공펌프⑨를 가동한다.

V_{v1-1} , V_{v1-2} 또는 V_{v2-1} , V_{v2-2} 밸브를 개방하면 건조기 내부에 진공압력이 형성된다.

(3) 이젝터 구동 펌프⑦을 가동한다.

이젝터의 흡입밸브(V_{e1} , V_{e2})를 개방한다.

이젝터 구동 펌프는 2개가 설치되어 있으며, 1개는 예비용으로써 V_{c1-1} , V_{c1-2} 밸브가 개방되어 있을 경우는 V_{c2-1} , V_{c2-2} 밸브는 닫혀 있는 상태가 되며 펌프 고장시 대체하여 사용할 수 있다.

(4) 일정의 진공압력(약 500mmHg abs.)이 되면 보일러②를 가동한다.

순환펌프⑧은 2개가 부착되어 있으며, 1개는 예비용으로써 V_{h1-1} , V_{h1-2} 밸브가 개방되어 있을 경우는 V_{v2-1} , V_{v2-2} 밸브는 닫혀 있는 상태가 되며 펌프 고장시 대체하여 사용할 수 있다.

(5) 냉각탑③을 가동한다.

(6) 좌, 우에 부착된 냉각팬⑫ 2개를 가동한다.

- (7) 일정의 진공압력(약 50mmHg abs.)이 되면 진공펌프⑨를 멈춘다.
이때, 진공펌프를 정지하기 전에 V_{v1-1} , V_{v1-2} 또는 V_{v2-1} , V_{v2-2} 밸브
를 먼저 닫고 펌프를 정지시킨다.
- (8) 실험중 이젝터의 흡입밸브 V_{e1} , V_{e2} 를 조정함으로써 건조기 내부의
진공압력을 임의로 조절할 수 있다.

2.4.2 정상측정시 운전법

실험장치의 정상 운전시 다음의 사항을 관찰한다.

- (1) 저온진공건조기 본체 내부의 진공압력이 소정의 진공압력으로 유지되는지 확인한다.
- (2) 가열수의 온도가 소정의 온도로 유지되는지 확인한다.
- (3) 냉각수의 온도가 소정의 온도로 유지되는지 확인한다.
- (4) 냉각수 탱크의 냉각수량은 충분한지 확인한다.
- (5) 보일러의 가동중 가열수는 충분한지 확인한다.
- (6) 무게감소량을 관찰하여 실험종료 시점을 확인한다.
- (7) 저온진공건조기 본체 내부 및 가열수, 냉각수, 피건조물 등의 온도, 압력 등을 관찰한다.

2.4.3 정지시 운전법

- (1) 보일러② 및 순환펌프⑧을 정지시킨다.
- (2) 냉각탑③을 정지시킨다.
- (3) 좌, 우에 부착된 냉각팬⑫ 2개를 정지시킨다.
- (4) 이젝터 구동 펌프⑦을 정지시킨다.

이때, 이젝터 구동 펌프를 멈추기 전 이젝터의 흡입밸브(Ve1, Ve2)를 먼저 잠근 다음 펌프를 정지시킨다.

- (5) 개폐문의 잠금 장치를 푼다

잠금 장치를 풀지 않을 경우 건조기 내부가 진공 상태에서 대기압 상태로 환원될 경우 개폐문이 원활히 열리지 않게 된다.

- (6) Vt1 밸브를 개방하여 건조기 내부를 대기압 상태로 환원시킨다.
- (7) Control Box⑭의 Main 전원 투입을 중지시킨다.

Table. 2.1은 진공압력 50mmHg abs. 가열수 입구온도 80℃ 조건에서의 저온진공건조 실험데이터를 나타내고있다.

Table. 2.1 Experimental Data

시 각 hr	탱크 압력 mm Hg	시간 평균 압력 mm Hg	평균 포화 온도 °C	평균 증발 잠열 kcal/kg	평균 비용적 m ³ /kg	고추 표면 온도 °C	고추 내부 온도 °C	온수 입구 온도 °C	무게 kg	무게 감소량 kg	무게 감소율 kg/hr	판당 전열량 kcal/hr	열 프릭스 kcal/ m ² hr	온 도 차 °C	평균열 전달율 kcal/ m ² hr °C	평균 증발 속도 m/hr
0	760.0	x	x	x	x	25.4	26.3	22.9	2.500	x	x	x	x	x	x	x
1	43.5	401.8	82.9	549.63	3.05	31.1	33.0	63.1	2.420	0.080	0.080	44.0	79.9	51.8	1.5	0.4
2	41.0	42.3	35.0	577.73	25.25	35.8	37.9	76.9	2.222	0.198	0.198	114.4	208.0	0.8	260.0	9.1
3	55.1	48.1	37.4	576.59	22.76	42.5	43.5	75.4	2.039	0.183	0.183	105.5	191.8	5.1	37.6	7.6
4	51.2	53.2	39.3	575.45	20.56	42.9	44.7	75.0	1.876	0.163	0.163	93.8	170.5	3.6	47.4	6.1
5	48.7	50.0	38.2	576.02	21.63	44.9	46.8	79.3	1.681	0.195	0.195	112.3	204.2	6.7	30.5	7.7
6	43.5	46.1	36.7	577.16	23.97	49.8	51.0	78.1	1.454	0.227	0.227	131.0	238.2	13.1	18.2	9.9
7	52.5	48.0	39.0	575.45	20.56	56.0	58.2	75.9	1.307	0.147	0.147	84.6	153.8	17.0	9.0	5.5
8	42.3	47.4	37.1	576.59	22.76	68.3	71.9	79.1	1.156	0.151	0.151	87.1	158.3	31.2	5.1	6.2
9	52.5	47.4	37.1	576.59	22.76	63.6	65.9	78.5	0.993	0.163	0.163	94.0	170.9	16.2	10.5	6.7
10	55.1	53.8	39.3	575.45	20.56	68.2	67.3	77.7	0.845	0.148	0.148	85.2	154.8	28.9	5.4	5.5
11	46.1	50.6	38.3	576.02	21.63	68.5	67.5	78.0	0.734	0.111	0.111	63.9	116.3	30.2	3.8	4.4
12	44.8	45.5	36.4	577.16	23.97	67.2	66.2	76.1	0.651	0.083	0.083	47.9	87.1	30.8	2.8	3.6
13	51.2	48.0	37.3	576.59	22.76	66.7	66.9	76.5	0.563	0.088	0.088	50.7	92.3	29.4	3.1	3.6
14	58.9	55.1	39.9	574.88	19.55	66.1	66.0	75.9	0.503	0.060	0.060	34.5	62.7	26.2	2.4	2.1
15	43.5	51.2	38.7	576.02	21.63	67.4	66.5	76.8	0.448	0.055	0.055	31.7	57.6	28.7	2.0	2.2
16	49.9	46.7	36.9	577.16	23.97	65.7	64.6	79.8	0.424	0.024	0.024	13.9	25.2	28.8	0.9	1.0
17	52.5	51.2	38.7	576.02	21.63	67.1	66.2	76.9	0.404	0.020	0.020	11.5	20.9	28.4	0.7	0.8
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																

제3장 실험결과

3.1 진공장치의 무부하 추기특성

저온진공건조에 있어서 건조속도를 결정하는 중요한 인자 중의 하나는 본체내의 진공압력이며, 진공압력에 따라서 포화온도가 결정되고, 이에 따라 포화온도와 피건조물 표면온도와의 차에 의하여 건조속도가 결정된다. 본 실험에서는 진공추기장치로서 수구동 기체흡입 이젝터와 일반 피스톤형 진공펌프를 사용하였다. 즉 주 진공추기장치는 수구동 기체흡입 이젝터 시스템으로서, 이와 같은 이젝터 진공추기시스템은 현장 적용시 고장이 없어 매우 유용한 진공추기장치이다.

본 실험은 저온진공건조기 본체 내부의 용적이 매우 커서 소정의 진공압력을 유지시키기 위하여 이젝터만을 사용할 경우 진공압력도달 시간이 많이 소요되므로 실험 초기에는 이젝터와 피스톤형 진공펌프를 동시에 사용했다. Fig. 3.1에서 보는 바와 같이 실험초기 이젝터만을 사용할 경우 50mmHg abs.의 진공압력에 도달하기 위하여 약 180분 정도가 소요되었으며, 이젝터와 피스톤형 진공펌프를 동시에 사용할 경우에는 약 30분 정도가 소요되었다. 피건조물을 저온상태에서 건조하기 위하여 본 실험의 경우 보일러는 100mmHg abs.에서 서서히 가동하여 50mmHg abs.에서 정상가동 되도록 하였다. 그러므로 이젝터만을 사

용할 경우 실험초기 약 180분은 피건조물에 열량을 공급할 수 없으므로 전체적인 건조 시간이 많이 소요되게 된다. 그러므로 건조시간의 단축을 위하여 실험초기에는 이젝터와 피스톤형 진공펌프를 동시에 사용하여 실험하였으며, 이후 소정의 진공압력(50mmHg abs.)에 도달하면, 이젝터만을 사용하여 진공압력을 유지하였다. 이젝터의 용량을 과다하게 설정하면 피스톤형 진공펌프를 사용할 필요는 없으나 그러할 경우 이젝터 구동용 펌프 및 배관 등의 용량이 급격히 커지기 때문에 본 실험에서는 피스톤형 진공펌프와 이젝터를 조합하여 실험하였다. Fig. 3.1에서 이경우 피스톤형 펌프만을 사용할 때와 큰 차이를 나타내고 있지 않는데 이것은 이젝터를 최소한의 용량으로 소정의 진공압력을 유지하기 위하여 사용되어지므로 초기에는 동시에 사용할 때와 피스톤형 진공펌프만을 사용할 경우에 대해서 큰 차이를 나타내지 않았다.

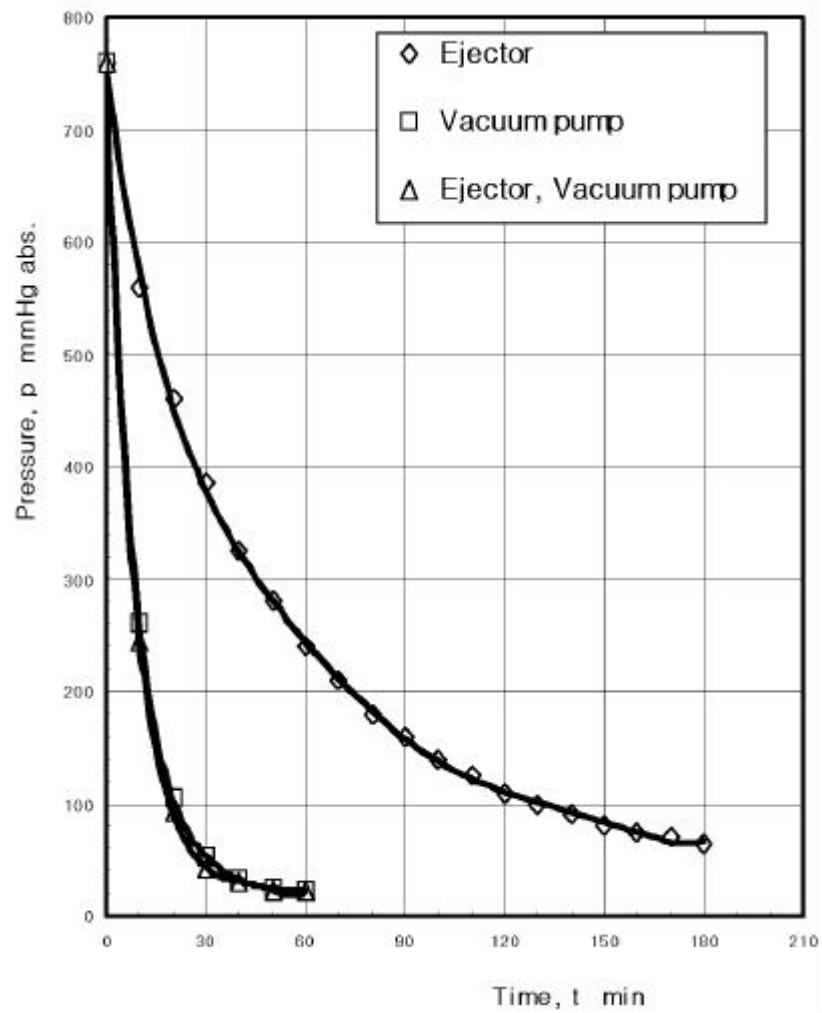


Fig. 3.1 Vacuum pumping characteristic curves

3.2 고추의 실험결과

3.2.1 진공도의 영향 평가

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

이와 같이 저온진공건조실험이 시작되는 시점을 $t = 0$ hr로 하였다. 실험이 개시되면 가열판의 표면온도, 고추 및 그 주위 온도분포는 물론 상부 건조판에서는 Fig. 2.6에서 도시한 무게 센서에 의하여 건조시료의 무게 변동을 측정한다.

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

$$W_T = W_c + W_h \quad (3.1)$$

위 식에서 마른 고추의 무게 W_c 는 불변이므로, 시간 t 가 경과하면 수분이 증발하므로 수분량 W_h 는 적어진다.

전체 고추의 무게 중에 수분이 차지하는 무게의 비율을 함수율 ω 라

고 하며, 이는 다음 식과 같이 정의된다.

$$\omega = \frac{W_h}{W_T} = \frac{W_h}{W_c + W_h} \quad (3.2)$$

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

$$\omega_0 = \frac{W_{h0}}{W_{T0}} = \frac{W_{h0}}{W_c + W_{h0}} \quad (3.3)$$

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

$$W_c = \frac{W_{h0} (1 - \omega_0)}{\omega_0} \quad (3.4)$$

$$W_{h0} = \frac{\omega_0}{(1 - \omega_0)} W_c \quad (3.5)$$

일반적으로 생체를 저온진공건조하면 초기에는 건조가 매우 활발히 일어나는 항율건조기간을 거쳐 건조가 서서히 일어나는 감율건조기간에

진입한다. 다음으로 최적의 장기보관 또는 식품이 최고상태의 맛을 보존하기 위한 최적의 함수율 ω_{ST} 를 갖는 최적의 건조시간이 존재한다.

이들 실험결과의 데이터 처리에 있어서는 수차례의 검토를 통하여, Fig. 3.2 Fig. 3.5에서 보는 바와 같이 시간의 경과에 비례하여 선형적으로 고추의 무게가 감소하는 소위 항율건조시간에 대하여는 진한 기호를, 그리고 시간의 경과에 대하여 무게 감소율이 완만하여지는 감율건조시간은 연한 기호를 각각 사용하였다. 전체적으로는 진공도가 낮을수록 가열수의 온도가 높을수록 항율건조시간과 감율건조시간이 짧아짐을 확인할 수 있으며, 항율건조시간은 10 ~ 13시간 정도, 그리고 감율건조시간은 약 5 ~ 8시간이 소요됨을 알 수 있다.

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

$$W_T = - a_1 t + b \quad (3.6)$$

Fig. 3.2는 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 감율건조시간에 대하여는 고추의 총 무게가 시간의 경과에 따

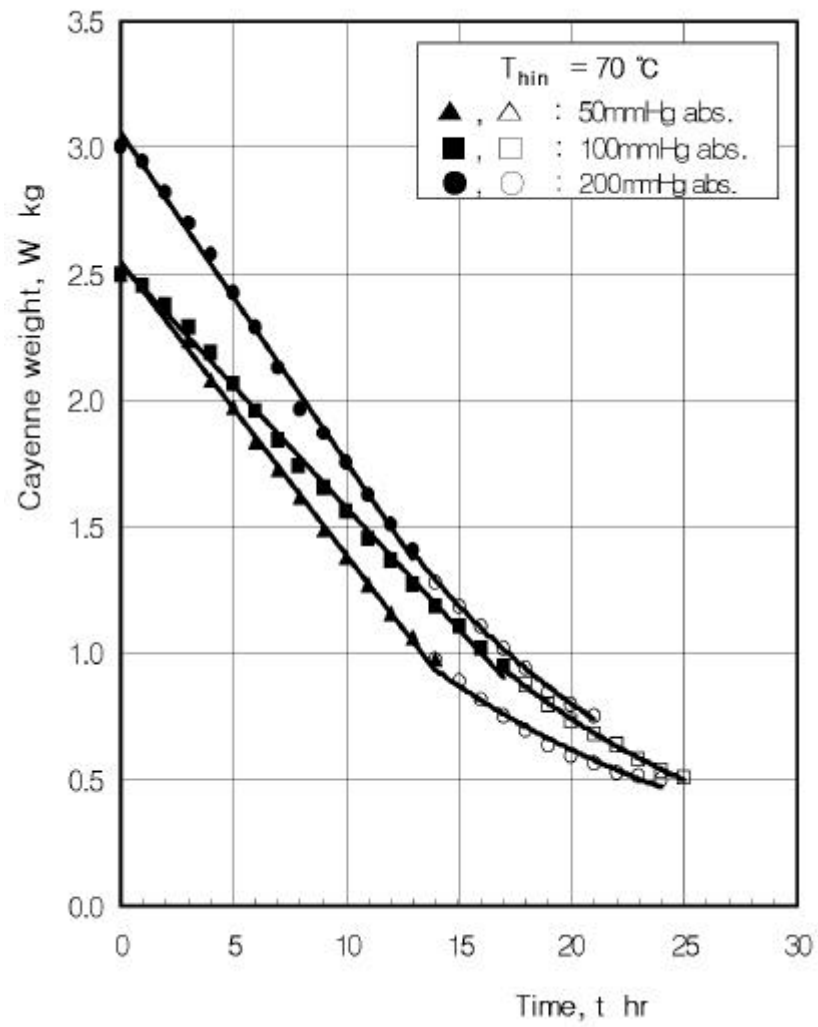


Fig. 3.2 Effect of vacuum pressure on cayenne weight variation

라서 감소하므로 지수함수를 이용하여 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$W_T = a_2 e^{-k_2 t} \quad (3.7)$$

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

식(3.6) 및 식(3.7)을 시간 t 에 대하여 미분하면 각각 다음과 같이 된다.

$$\frac{\partial W_T}{\partial t} = - a_1 \quad (3.8)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial W_T}{\partial t} &= - k_2 a_2 e^{-k_2 t} \\ &= - k_1 e^{-k_3 t} \end{aligned} \quad (3.9)$$

식(3.8)에서 보는 바와 같이 항울건조기간에는 수분의 증발율이 일정하므로 $\Delta W / \Delta t$ 가 일정한 값이 되며, 감울건조기간에는 식(3.9)와 같이 기본적으로는 무게의 변동을 나타내는 식과 같다.

Fig. 3.3은 가열수 온도를 70°C로 일정하게 유지하고 진공용기 내부

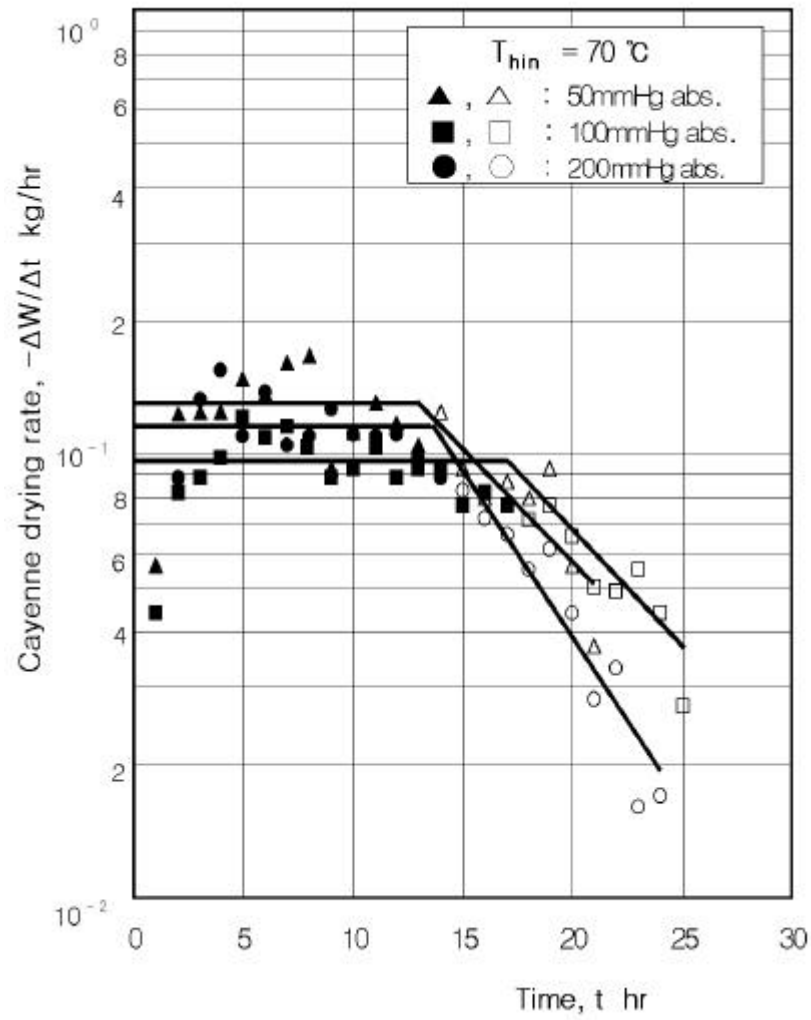


Fig. 3.3 Effect of vacuum pressure on reducing rate of weight

압력을 50, 100, 200mmHg abs.로 변화시키면서 실험을 수행한 결과로 실험 시간이 경과됨에 따라 건조 시료의 무게감소 현상을 그래프로 도시한 것이다.

무게 감소율의 그래프에서는 항울건조기간과 감울건조기간이 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 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.

$$q = \frac{1}{A} \left(- \frac{\Delta W_T}{\Delta t} \right) H_{fg} \quad (3.10)$$

위 식에서 H_{fg} 는 수분의 증발잠열을, 그리고 A 는 로드셀이 장착되어 있는 건조판의 면적을 나타낸다. 그러므로 식(3.10)을 이용하여, Fig. 3.4와 같이 정리할 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이, 항울건조기간 동안의 단위면적당의 열프럭스는 거의 일정한 값이 되며, 감울건조기간에 대하여는 역시 지수적으로 감소함을 예측할 수 있다.

Fig. 3.4는 가열수 온도를 70°C로 일정하게 유지하고 진공용기 내부

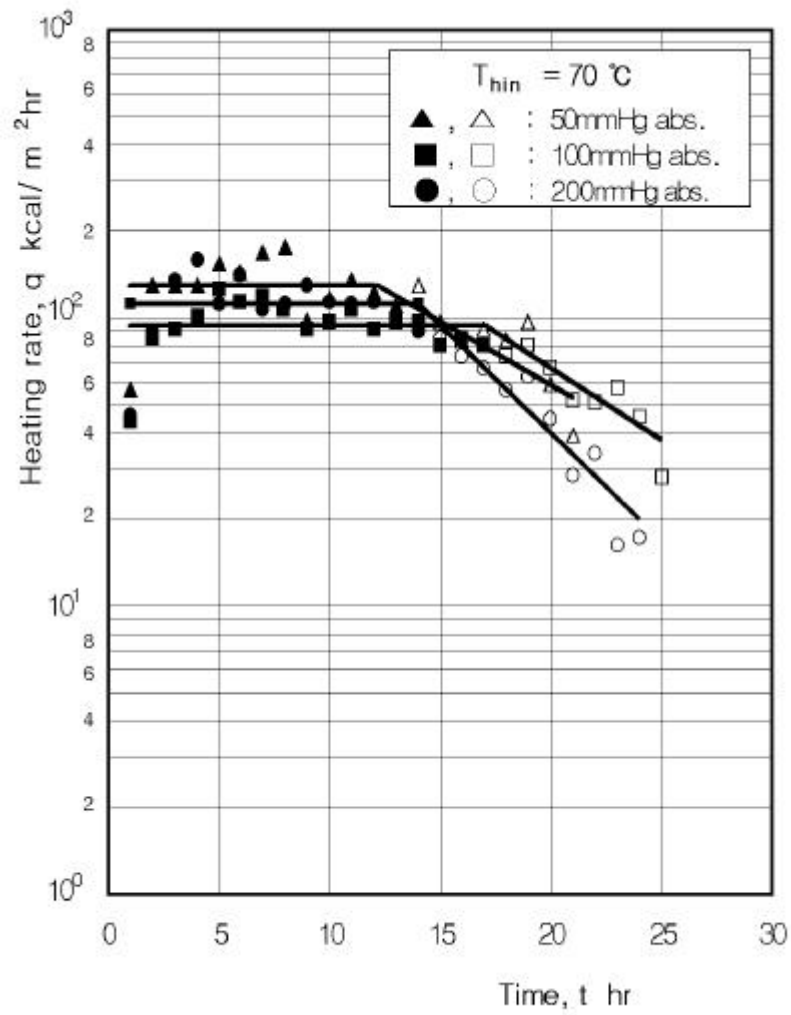


Fig. 3.4 Effect of vacuum pressure on heat flux variation

압력을 50, 100, 200mmHg abs.로 변화시키면서 실험을 수행한 결과로 실험 시간이 경과됨에 따라 건조 시료의 무게감소 현상을 그래프로 도시한 것이다.

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, 발생한 증기는 진공추기장치를 통하여 외부로 배출되어야 한다. 이러한 의미에서 건조판 단위면적당의 평균적 증기발생속도,

$$u = \frac{q}{H_{fg}} \cdot v'' \quad (3.11)$$

은 매우 중요하다.

Fig. 3.5는 가열수 온도 70°C로 일정히 유지하고 진공압력을 50, 100, 200mmHg abs.로 변화시켜가며 실험한 결과의 증발속도를 나타낸 것이다.

열프릭스와 벽면 과열도(wall superheat)와의 관계를 정리하여 비등곡선(boiling curve)을 나타낼 수 있다. 실험적으로는 전술한 식(3.10)을

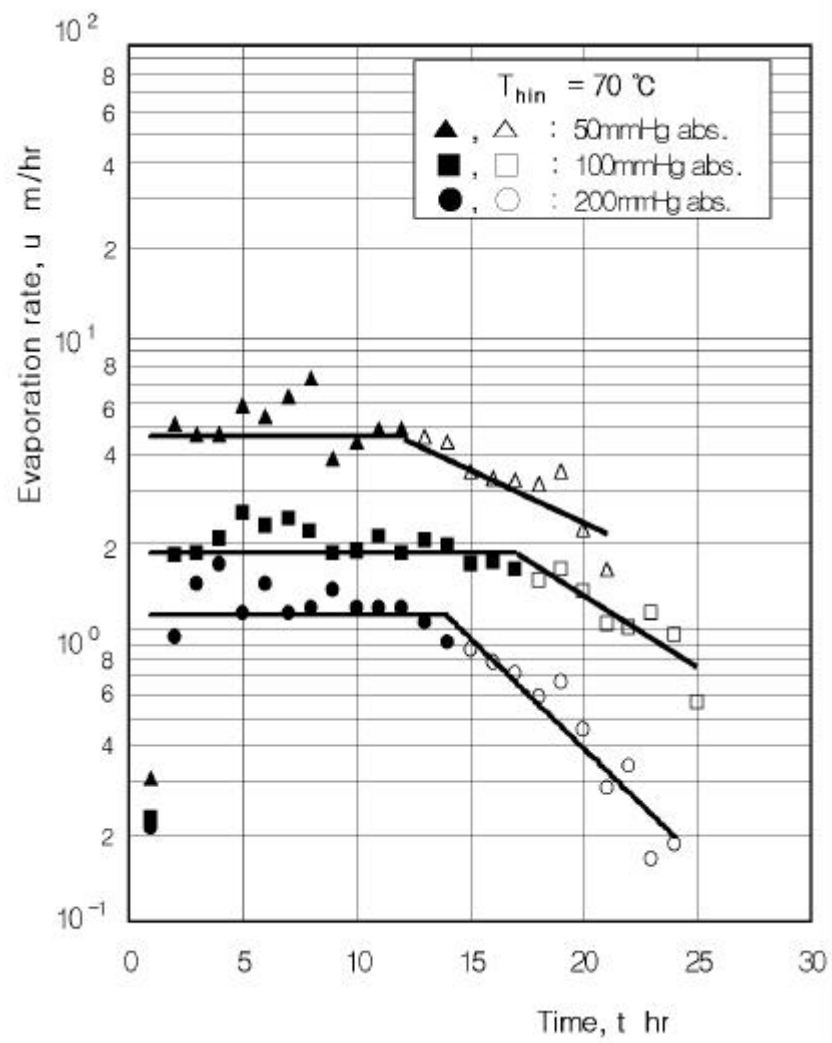


Fig. 3.5 Effect of vacuum pressure on vapor speed

이용하여 먼저 열프럭스를 구한다. 벽면 과열도 ΔT_s 는,

$$\Delta T_s = T_w - T_s \quad (3.12)$$

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

한편 식(3.12)와 같이 벽면 과열도가 얻어지면 다음 식과 같이 국소 열전달율(local heat transfer coefficient), $h(\text{kcal/m}^2\text{hr}^\circ\text{C})$ 를 구할 수 있다.

$$h = \frac{q}{\Delta T_s} \quad (3.13)$$

Fig. 3.6은 가열수 온도 70°C 로 일정히 유지하고 진공압력을 50, 100, 200mmHg abs.로 변화시켜가며 실험한 결과의 비등곡선을 정리하여 나타낸 것이다.

건조분야에서는 식(3.2)와 같이 표현되는 함수율 $\omega(\%)$ 와 건조판 단위면적당의 건조율 $R_d(\text{kgH}_2\text{O/m}^2\text{hr})$ 의 관계로서, 건조특성곡선

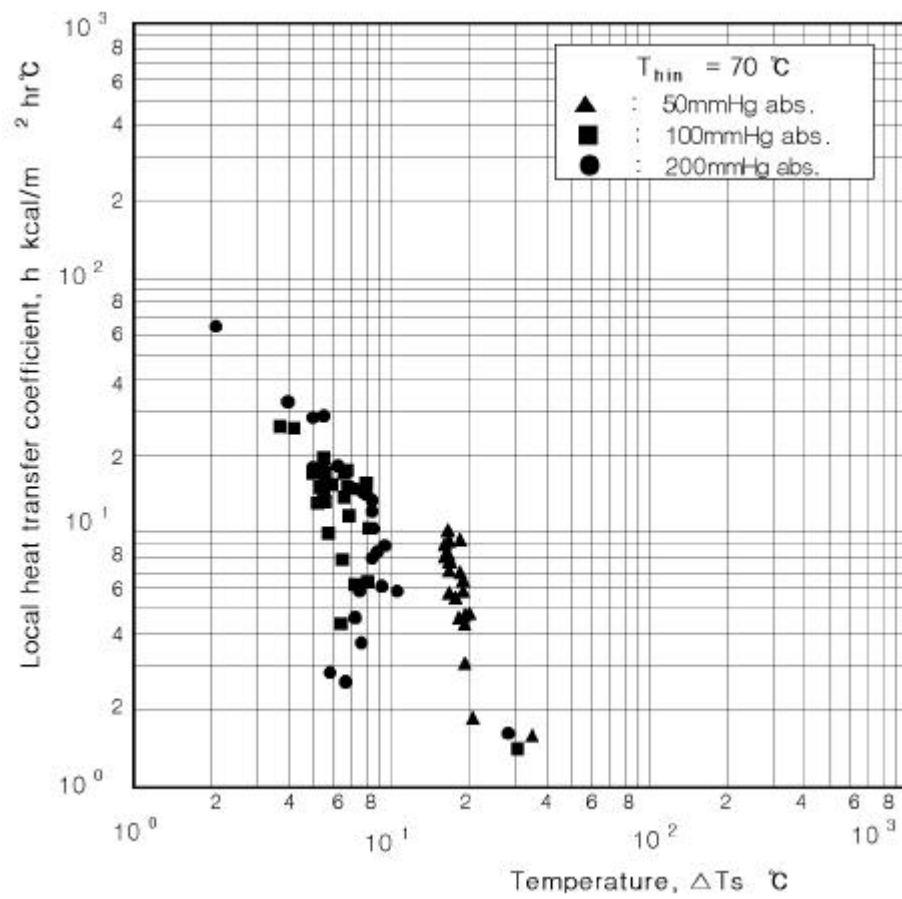


Fig. 3.6 Effect of vacuum pressure on boiling curve

(characteristic curve of drying)을 나타낸다. 여기서 건조율은 다음 식과 같이 정의한다.

$$R_{dc} = - \frac{W_c}{A} \cdot \frac{\Delta W}{\Delta t} \quad (3.14)$$

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

항율건조기간에서의 무게의 감소율, 즉 증발율은 식(3.8)과 같이 표현되었으며, 감율건조기간에 대하여는 식(3.9)와 같이 표현되었다. 그러므로 항율건조가 끝나는 시각 즉, 감율건조가 시작되는 시각은 이 두식을 등호관계로 놓고서 그 시각을 구하면 되므로,

$$\begin{aligned} t_{c.p} &= - \frac{1}{k_3} \left(\ln \frac{a_1}{k_1} \right) \\ &= \frac{1}{k_3} \ln \left(\frac{k_1}{a_1} \right) \end{aligned} \quad (3.15)$$

그러므로 식(3.15)와 같이 구하여진 시각 t 를 식(3.6) 또는 식(3.7)에 대입하면, 항율기간 완료시의 전체 고추의 무게, W_T 를 알 수 있다. 다음으로 건고추의 무게 W_c 는 식(3.7)에서 시각 “ $t = \infty$ ” 놓으면, 기

본적으로는 구할 수 있으며, 실제로는 함수율 측정기에 의하여 측정이 가능하다. 그러므로 항울건조 끝단에서의 함수율은,

$$\begin{aligned}\omega_{c,p} &= \frac{W_{H_2O\ c,p}}{W_{T\ c,p}} \\ &= \frac{W_{H_2O\ c,p}}{W_c + W_{H_2O\ c,p}}\end{aligned}\quad (3.16)$$

위 식을 이용하여 건고추의 무게와 수분의 무게를 각각 표현하면,

$$\begin{aligned}W_c &= \frac{W_{H_2O\ c,p} (1 - \omega_{c,p})}{\omega_{c,p}} \\ &= (1 - \omega_{c,p}) W_{T\ c,p}\end{aligned}\quad (3.17)$$

$$W_{H_2O\ c,p} = \frac{\omega_{c,p}}{(1 - \omega_{c,p})} W_c \quad (3.18)$$

마찬가지 방법으로 감울건조기간이 끝나는, 즉 실험이 끝나는 시각 t_e 에서의 고추의 총무게, 함수율, 건고추량 및 수분량은 각각 다음 식과 같이 표현된다.

$$W_{Te} = a_2 e^{-k_2 t_e} \quad (3.19)$$

$$\omega_e = \frac{W_{H_2O e}}{W_{Te}} \quad (3.20)$$

$$= \frac{W_{H_2O e}}{W_c + W_{H_2O e}}$$

$$\begin{aligned} W_c &= \frac{W_{H_2O e} (1 - \omega_e)}{\omega_e} \\ &= (1 - \omega_e) W_{Te} \end{aligned} \quad (3.21)$$

$$W_{H_2O e} = \frac{\omega_e}{(1 - \omega_e)} W_c \quad (3.22)$$

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

Fig. 3.7의 건조특성곡선은 가열수 온도 70°C로 일정히 유지하고 진

공압력을 50, 100, 200mmHg abs.로 변화시켜가며 실험한 결과를 정리하여 나타낸 것이다.

Fig. 3.8에는 Fig. 3.2 Fig. 3.7과 동일한 경우에 대해 진공도가 건조 속도에 미치는 영향을 건조소요시간으로 나타내었다. 그림에서 진공압력이 낮을수록 건조속도가 증가함으로써 건조시간이 단축된다는 것을 알 수 있다.

Fig. 3.9는 동일한 조건에 대해서 피건조물 표면온도의 변화를 나타낸 것으로 진공도의 변화에 대한 피건조물 표면온도의 변화는 그다지 크지 않음을 알 수 있다. 이것은 실험범위내의 진공압력의 차가 크지 않기 때문에 피건조물의 표면온도도 크게 나타나지 않았다.

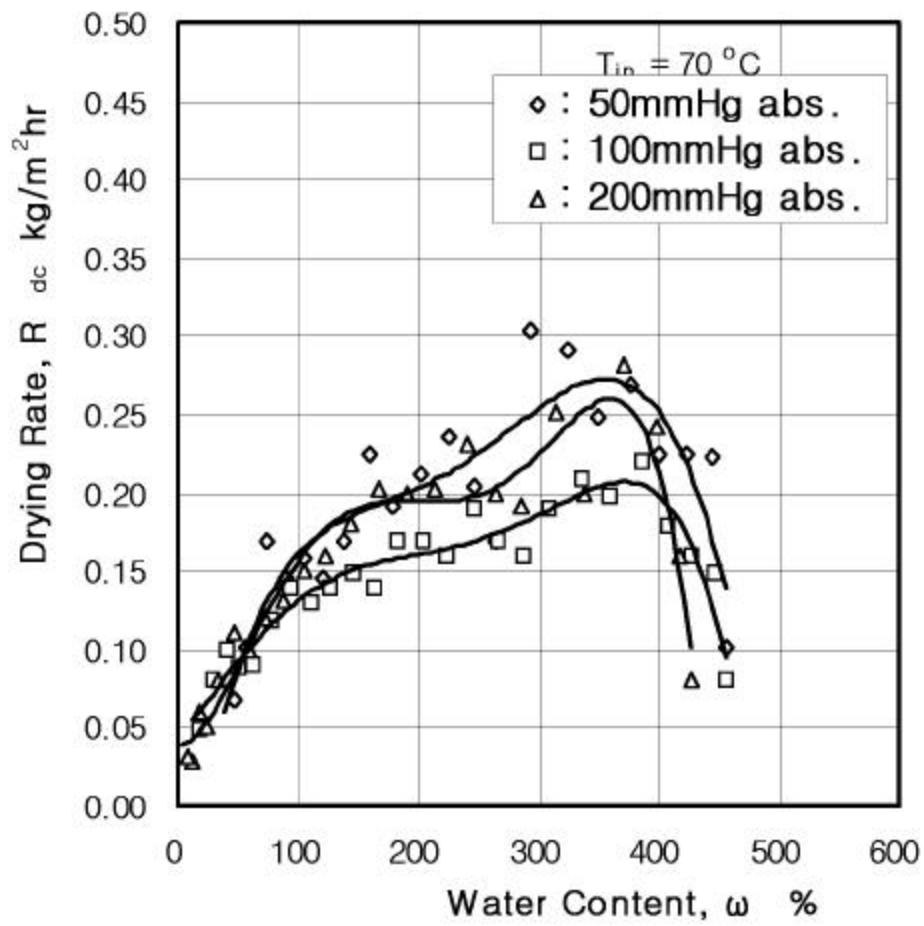


Fig. 3.7 Effect of vacuum pressure on drying rate

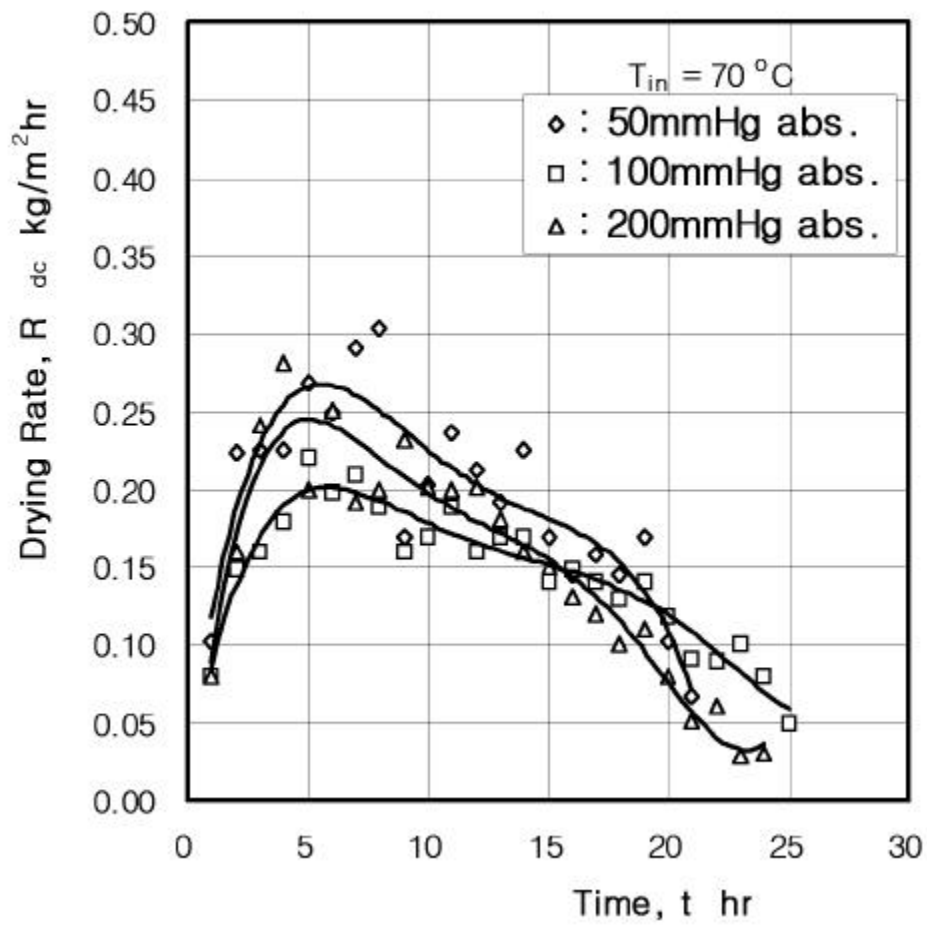


Fig. 3.8 Effect of degree of vacuum on drying rate

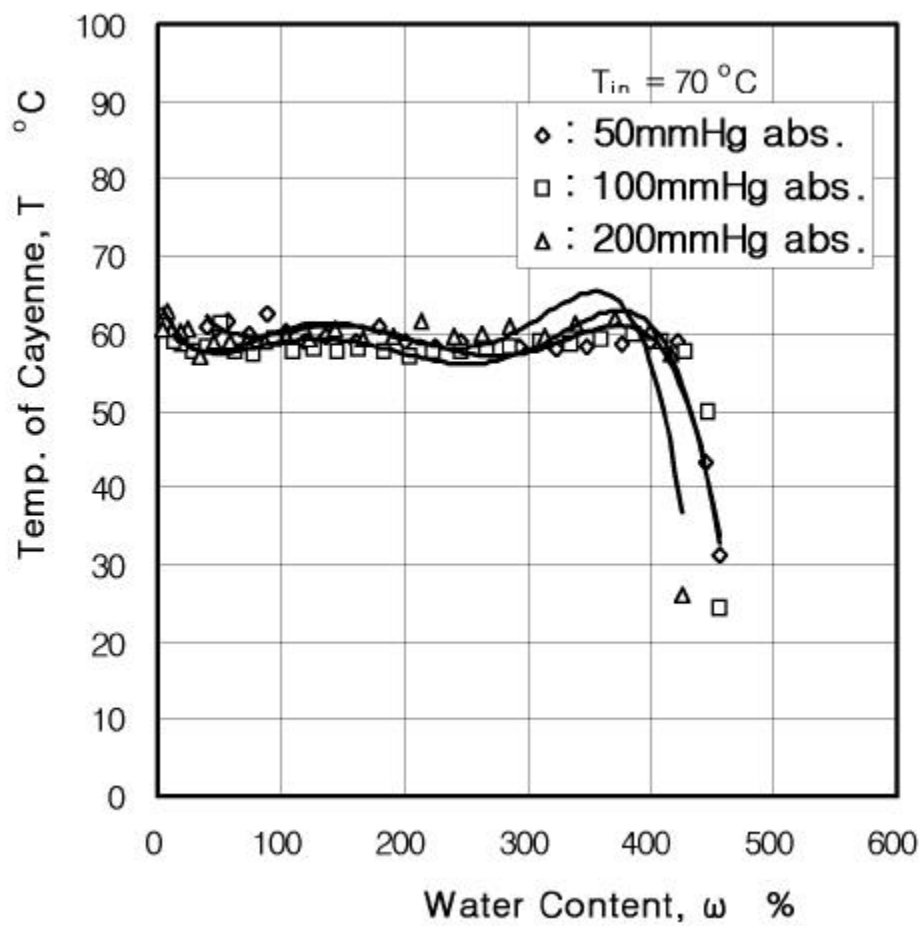


Fig. 3.9 Effect of degree of vacuum on surface temperature of cayenne

3.2.2 과열도의 영향 평가

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

Fig. 3.10은 진공압력이 100mmHg abs.로서 일정히 하고, 가열수의 온도를 80, 75, 70°C로 하였을 경우 무게 변동을 나타낸 것이다. 이들 그림중 진하게 나타낸 것은 항울건조기간이며, 감울건조기간은 연하게 나타냈다. 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.

Fig. 3.11은 Fig. 3.10을 기초로 하여 무게 감소율 즉, 수분의 증발율의 변화를 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 본 실험 범위에서는 가열수의 온도가 높을수록 항울건조기간 동안의 무게감소율의 절대치가 커지는 것을 알 수 있으며, 가열수 온도 80°C에서의 항울건조기간은 약 11시간이며, 75°C일 때 항울건조시간은 13시간 정도였다. 70°C에서는 항울건조기간이 약 16시간으로 가열수 온도가 높을 때 건조시간이 적게 소요되었으며, 항울건조기간도 짧아지고, 건조에 필요한 총시간도 단축된다는 것을 알 수 있다.

Fig. 3.12는 건조판 단위면적당의 전열량 즉, 열프럭스에 가열수 온도의 영향을 나타낸 것이며, Fig. 3.13은 건조판으로부터의 평균적인 수

증기의 증발속도에 대한 가열수의 영향을 평가한 것이다. 이 두 그림의 결과는 전술한 Fig. 3.11의 경향과 유사함을 알 수 있다.

Fig. 3.14는 가열수의 온도가 비등곡선에 미치는 영향을 평가한 것으로, 확실하지는 않으나, 같은 열프럭스의 경우에 가열수의 온도가 높을수록 벽면 과열도가 비교적 높다는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 3.15는 가열수 온도가 건조속도에 미치는 영향을 비교 검토한 결과를 나타낸다. 이 그림에서 가열수의 온도는 현격한 건조속도의 증대를 일으키는 것을 알 수 있다. 그러나 본 연구에서와 같은 생체의 건조에서는 영양가, 맛, 색깔을 손상시키지 않는 범위 내에서 건조가 이루어져야 한다는 점에 유의할 필요가 있다.

Fig. 3.16에는 Fig. 3.10 Fig. 3.15와 동일한 조건에 대해 가열수 온도가 건조속도에 미치는 영향을 건조소요시간으로 나타내었다. 그림에서 가열수의 온도가 높을수록 건조속도가 증가함으로써 건조시간이 단축된다는 것을 알 수 있다.

Fig. 3.17은 동일한 조건에 대해서 피건조물 표면온도의 변화를 나타낸 것으로 가열수의 온도 변화에 대한 피건조물 표면온도의 변화를 나타낸 것이다. 진공압력의 변화에 대해서는 피건조물의 표면온도 차가 크게 나타나지 않았지만 가열수 온도에 대해서는 표면온도차가 확연히 구분됨을 알 수 있다.

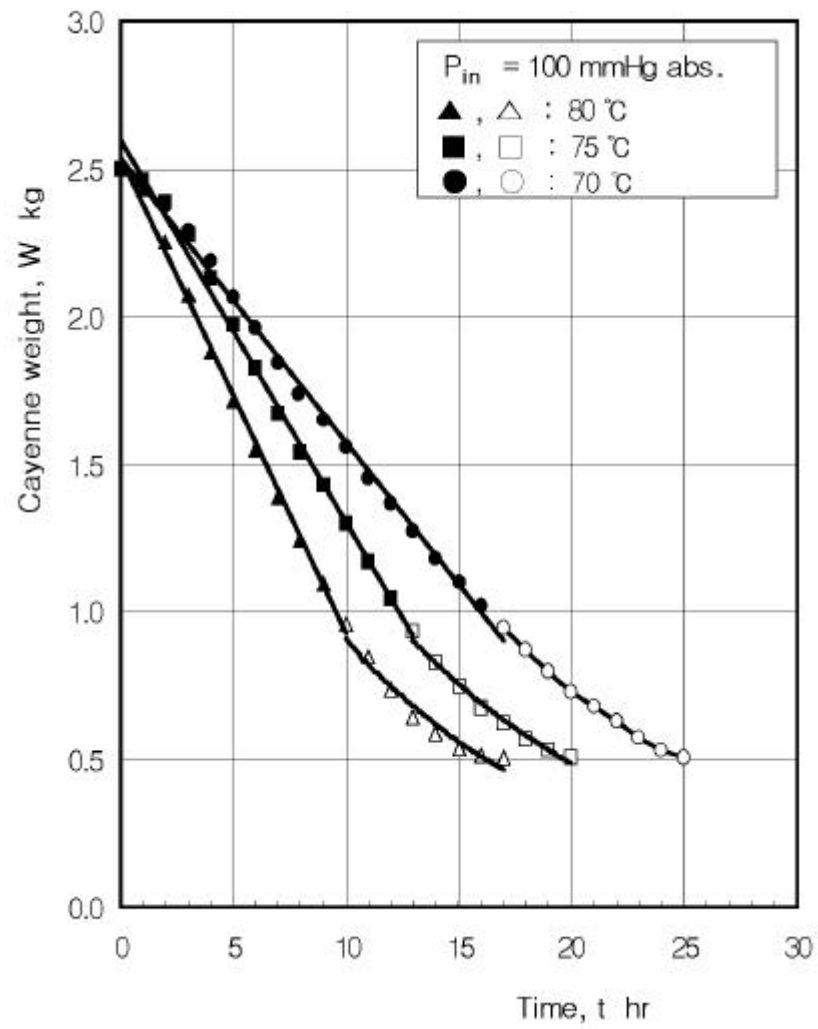


Fig. 3.10 Effect of hot water temperature to cayenne weight variation

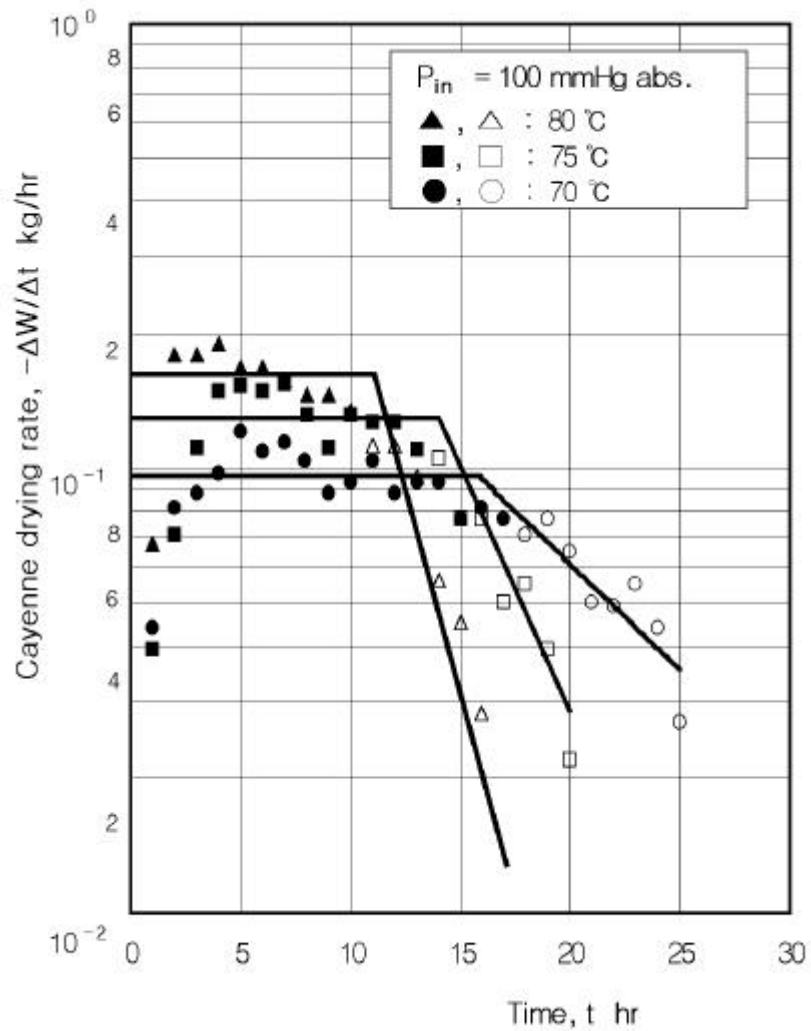


Fig. 3.11 Effect of hot water temperature on reducing rate of cayenne weight

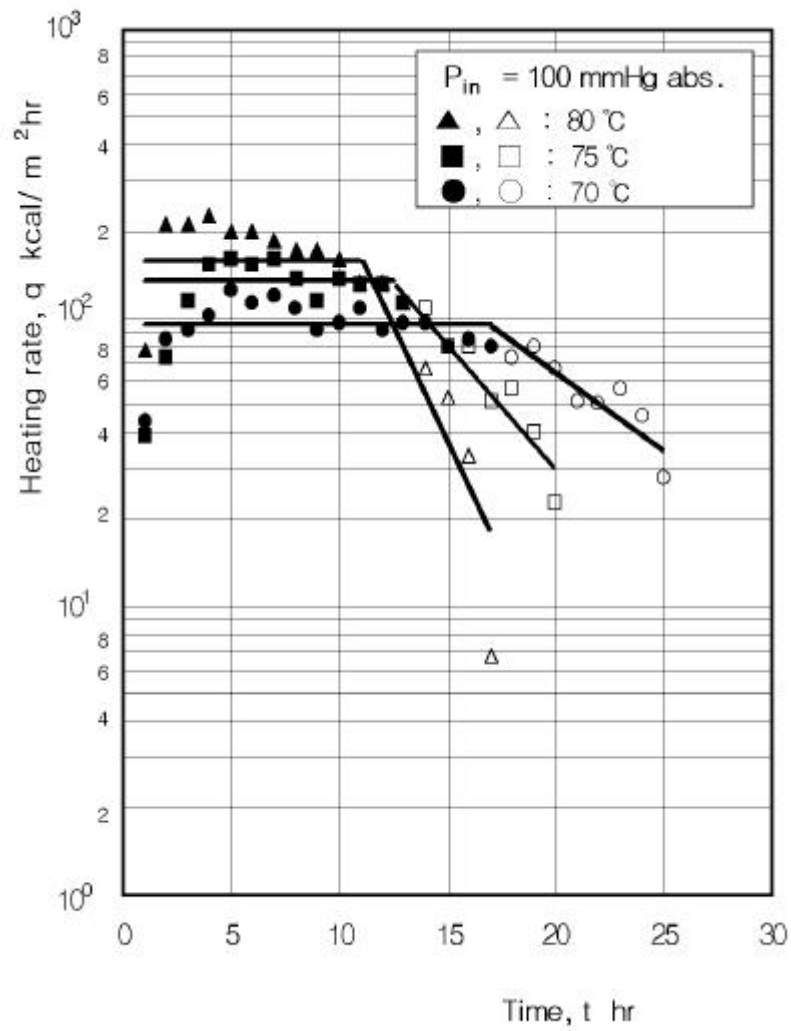


Fig. 3.12 Effect of hot water temperature on heat flux variation

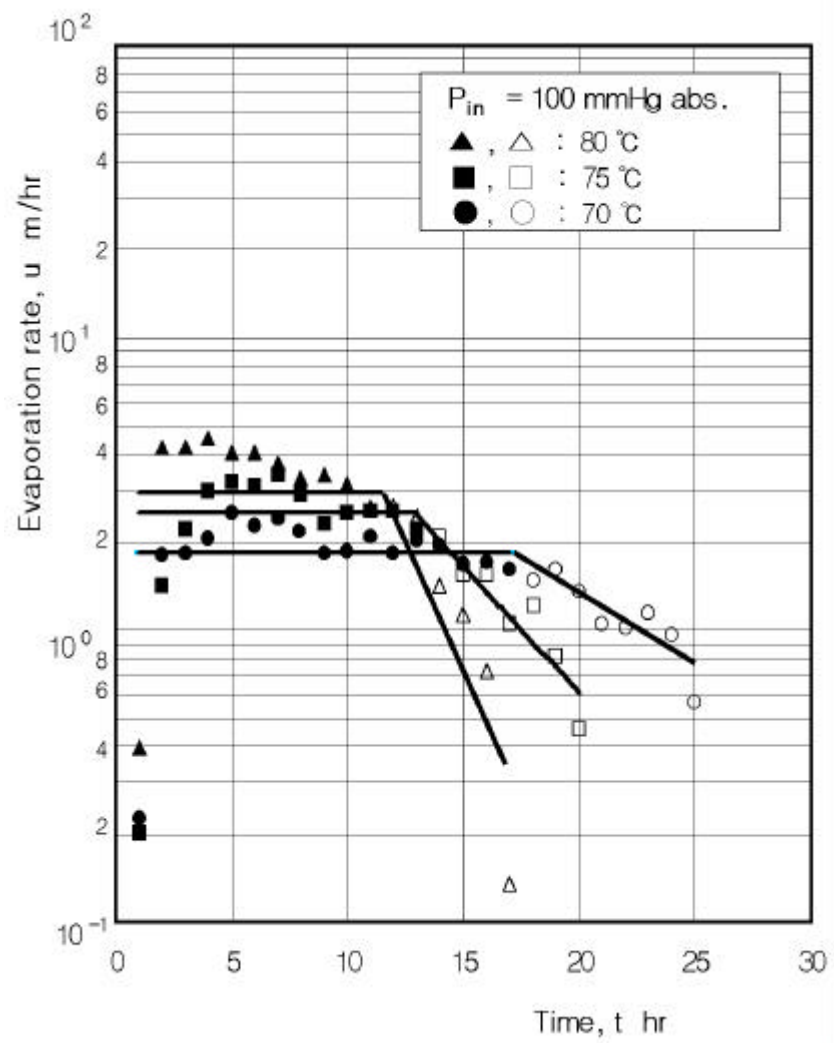


Fig. 3.13 Effect of hot water temperature on vapor speed

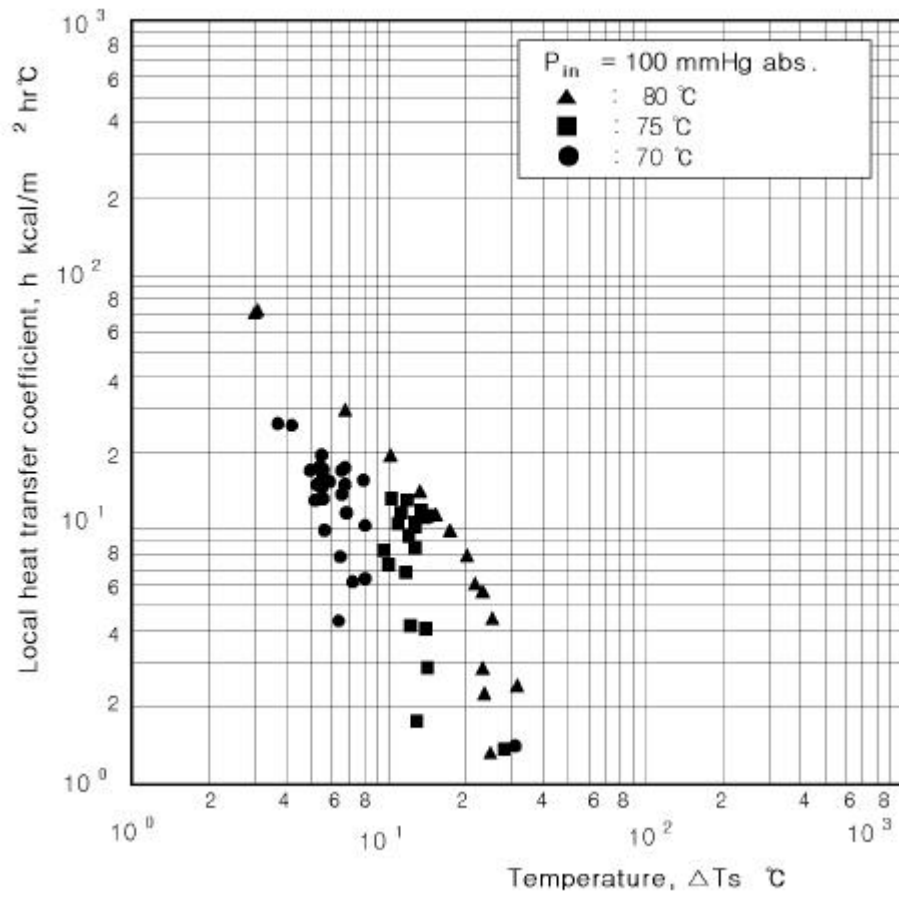


Fig. 3.14 Effect of hot water temperature on boiling curve

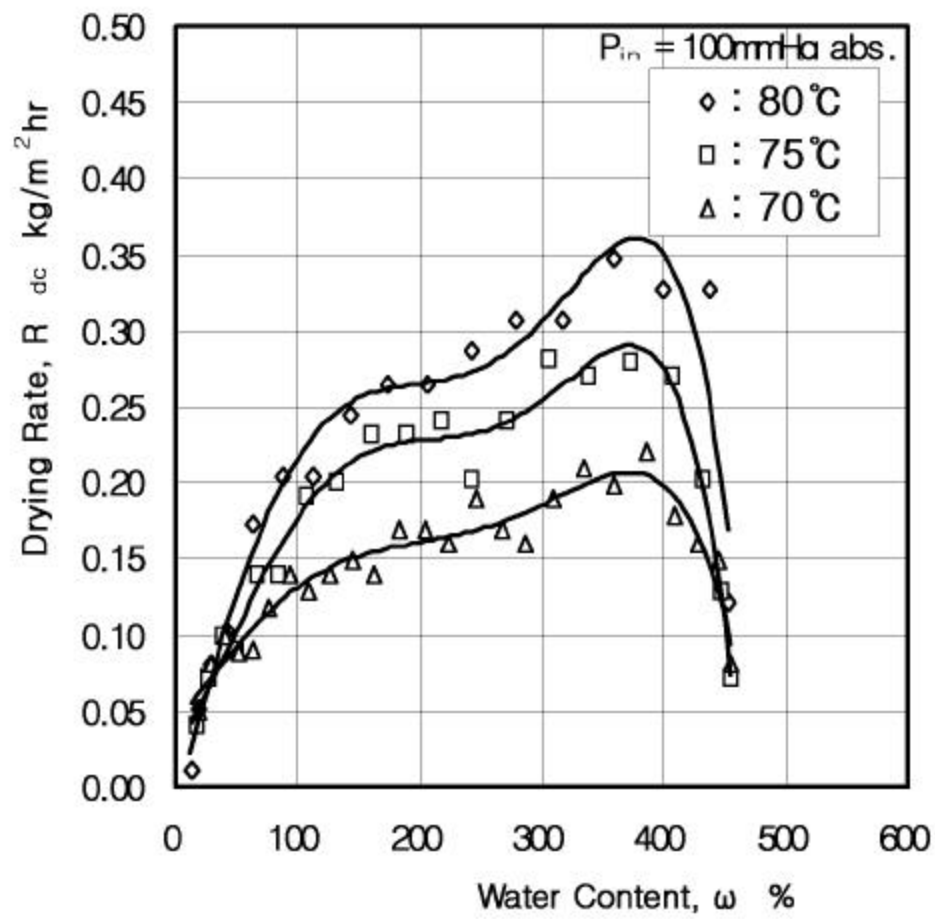


Fig. 3.15 Effect of hot water temperature on drying rate

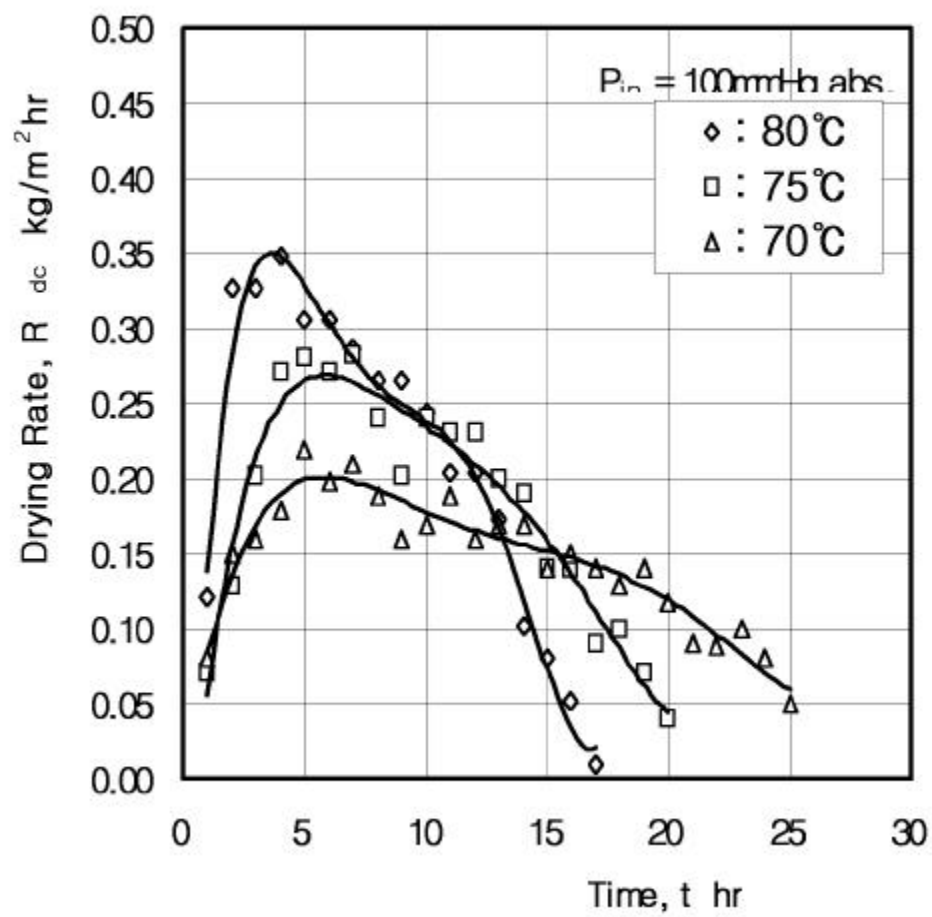


Fig. 3.16 Effect of degree of hot water temperature on drying rate

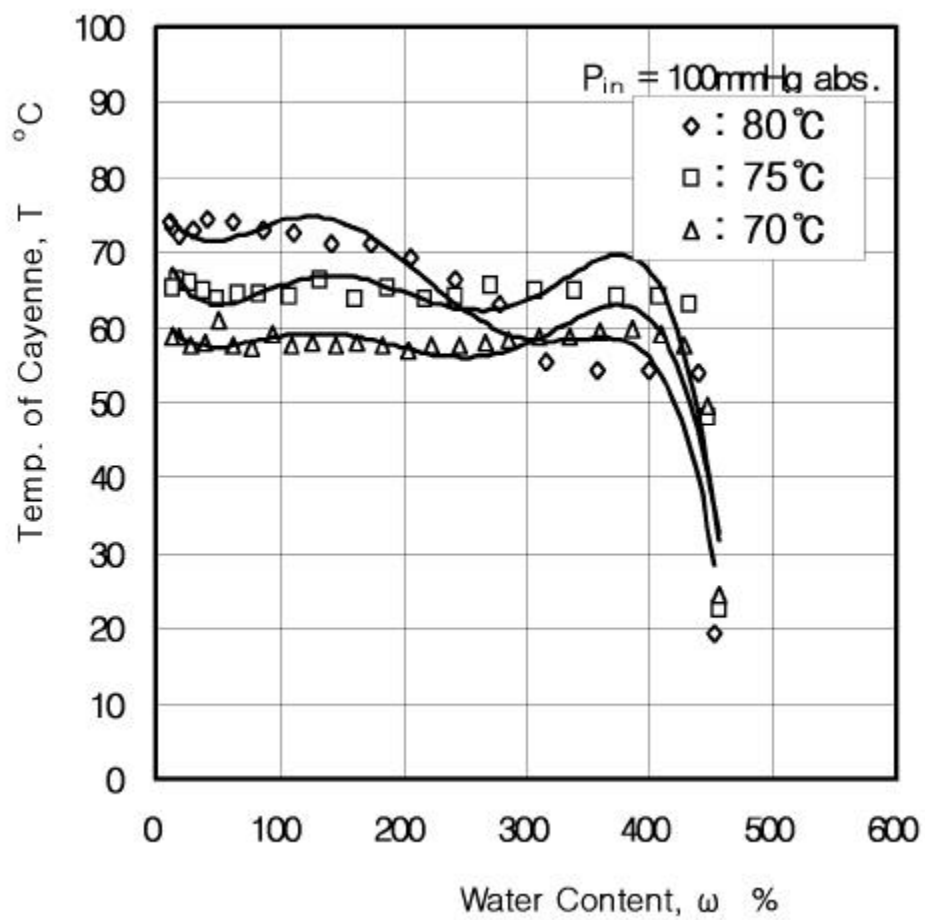


Fig. 3.17 Effect of degree of hot water temperature on surface temperature of cayenne

3.2.3 공간 위치별의 거시적 건조속도

건조기 내부에서의 피건조물 건조속도 차는 상당히 중요하다. 현재 농어촌에 보급되어있는 열풍건조기의 경우 위치별 건조속도의 차가 심해 건조중 위치를 교환해야 하는 큰 단점이 있다. 그러므로 저온진공 건조의 경우도 이러한 위치별 건조속도를 파악하기 위하여 각 부분에서 무게를 측정하여 건조속도를 실험하였다. 저온진공건조기 본체 내부의 상부와 하부, 가운데 부분에 대해서 또한 오른쪽과 왼쪽, 가운데에 대해 각각 실험하였으며 Table. 3.1은 각 부분의 무게 변화를 나타내고 있다. 표에서 보는 바와 같이 가운데 부분의 건조속도가 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 비해 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 하강하게되어 건조속도가 느려짐을 알 수 있었다. 그러나 건조속도 차이는 크지 않기 때문에 열풍건조방식 에서와 같이 건조 과정중 건조물의 위치를 교체하지는 않았다. 실제적으로 건조물의 위치를 교체하지 않아도 건조가 완료되었을 때의 건조물의 건조 상태는 큰 차이를 나타내지 않았다.

Fig. 3.18은 위치별 시험부를, Fig. 3.19는 수평방향에 대해서, Fig. 3.20은 수직방향에 대해서 무게 변화를 나타내고 있다.

Table 3.1 Weight variation of cayenne in drying chamber

Time Layer	Initial Weight→ 32 hr→ 42hr, gr	Initial Weight→ 32 hr→ 42hr, gr	Initial Weight→ 32 hr→ 42hr, gr	Initial Weight→ 32 hr→ 42hr, gr
1- Layer	3,058→862→566	3,016→974→568	3,034→736→552	3,022→685→630
2- Layer	5,014→2,048→1,170	5,018→2,192→1,136	5,012→2,004→1,084	5,034→1,920→1,044
1- Layer	3,017→804→612	3,032→736→594	3,050→616→560	3,008→678→554
2- Layer	5,038→2,158→1,080	5,044→1,928→1,030	5,022→1,592→926	5,024→1,896→956
1- Layer	3,010→890→584	3,008→640→546	3,004→664→548	3,020→800→638
2- Layer	5,004→2,320→1256	5,018→1,726→1,002	5,006→2,132→1,068	5,012→2,290→1,211

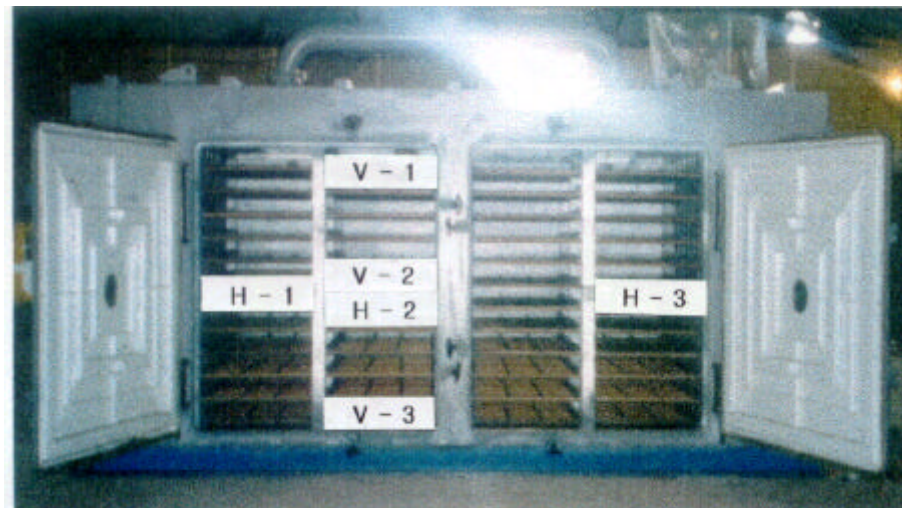


Fig. 3.18 Testing location in vacuum chamber

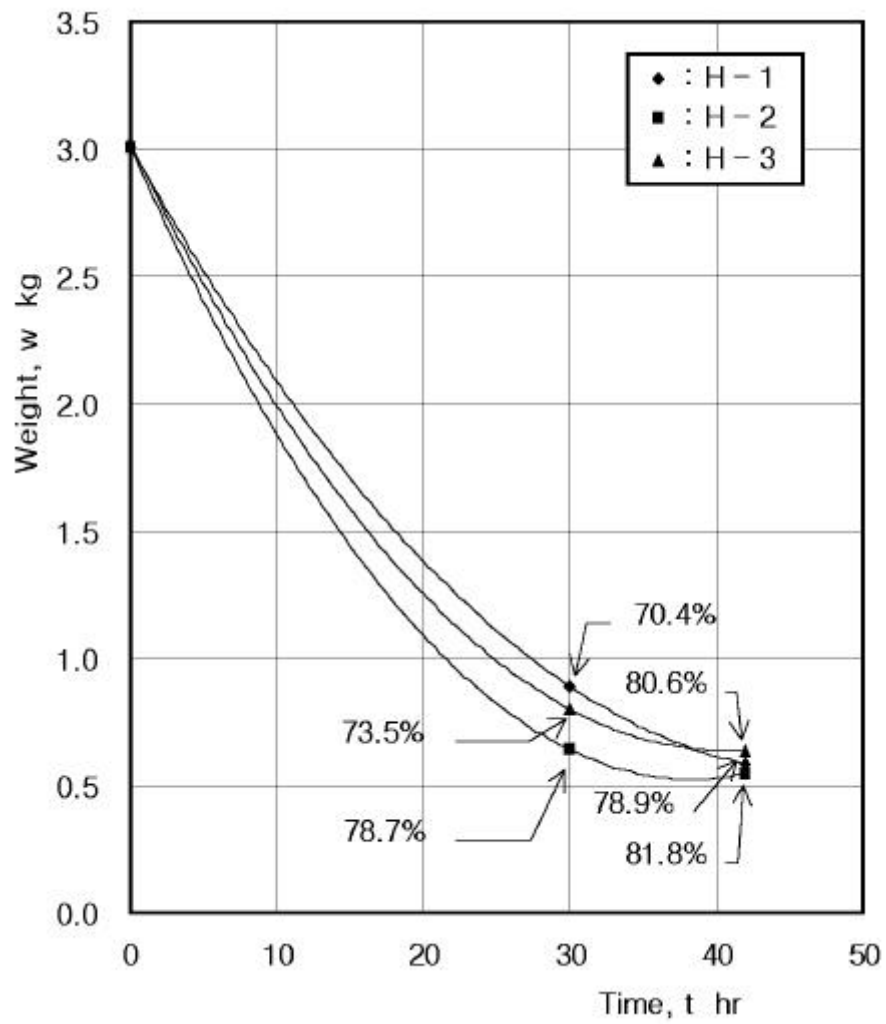


Fig. 3.19 Cayenne weight variation according to the location

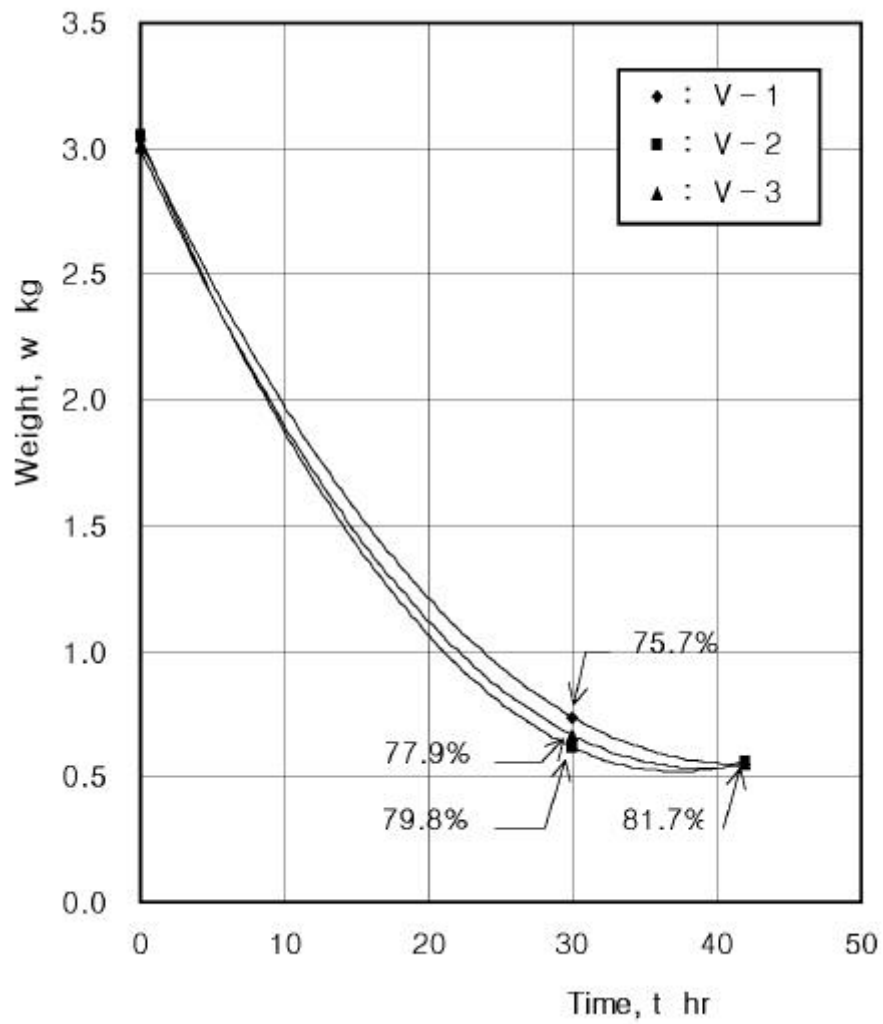


Fig. 3.20 Cayenne weight variation according to the location

3.2.4 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, 기름 소모량 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 가격도 동일하게 설정하였다.

Table. 3.2에서 보는 바와 같이 1회 건조시 소요되는 금액은 열풍 건조기에 비해 약 76천원 정도가 적게 소요되었으며, 고추가 본격적으로 생산(7~9월)되는 3개월 동안 건조기를 가동할 경우 Table. 3.3에서 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 뺀 경우 저온진공건조기는 약 128,900천원의 순이익을, 열풍건조기의 경우 약 58,500천원의 순이익이 남게 된다. 그러므로 열풍건조기 대비 저온진공건조기의 순이익은 약 70,400천원 이다. 위의 평가는 3개월 동안 계속 건조기를 가동할 경우이며 저온진공건조기와 열풍건조기에서 생산된 고춧가루의 가격을 동일하게 설정한 것이다.

Table 3.2 Drying Cost per one time

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

Table 3.3 Drying Cost during three months

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

Table 3.4 Comparison of net income during three months

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

3.3 표고버섯의 실험결과

3.3.1 열전달 특성

본 연구의 핵심은 저온진공건조 대상물을 고추뿐만 아니라 농, 수, 임산물의 광범위한 건조장치를 개발했다는 것이다. 그러므로 개발한 진공건조기의 특성을 파악하기 위하여 표고버섯을 저온진공건조하여 보았는데, 그 결과를 Fig. 3.21 Fig. 3.24에 나타냈다.

Fig. 3.21은 무게 변동율, Fig. 3.22는 무게 감소율의 변화를, Fig. 3.23은 건조판 단위면적당의 열프릭스의 변화를 각각 나타낸다. 이들 그림에서 버섯의 경우는 수분이 주로 버섯 하부를 통하여 외부로 확산되고, 육질이 연하여 수분이 확산하기 용이하므로 건조시간도 약 7시간 정도의 항울건조와 3시간 정도의 감울건조기간에 건조됨을 알 수 있었다. 그리고 이와 같이 저온진공건조가 용이한 관계로 열프릭스도 고추에 비하여 매우 높음을 알 수 있었다.

그러나 Fig. 3.24에서와 같이 비등곡선 에서 알 수 있는 바와 같이 횡축인 벽면 과열도가 60°C 정도까지 상당히 높은 쪽으로 이동함을 알 수 있는데, 이는 버섯의 경우 복사열전달 효과 등이 좋아서 표피의 온도상승이 촉진되었기 때문이다.

Fig. 3.25는 Fig. 3.21 Fig. 3.24에서와 같은 조건에서의 피건조물의 함수율에 대한 건조속도를 나타내고 있다. 고추와 마찬가지로 실험초기 건조속도가 급격히 상승하는 재료예열기간, 건조속도가 거의 일정히

유지되는 항울건조기간 및 건조속도가 작아지는 감울건조기간을 뚜렷이 확인할 수 있었다.

Fig. 3.26은 같은 조건에 대해 건조시간의 진행에 대한 건조속도를 나타내고 있는데 시간의 경과에 대해 건조속도가 하강함을 나타내고 있다. Fig. 3.27은 건조가 진행됨으로써 함수율 변화에 대한 피건조물의 표면온도를 나타내고 있다. 함수율 200 ~ 800%에서는 피건조물 표면온도가 25 ~ 30°C로 일정히 유지되다, 200% 이하에서 급격히 상승함을 나타내고 있다. 이것은 200% 이하에서 건조가 거의 완료되어 피건조물의 표면온도가 상승하기 때문이다.

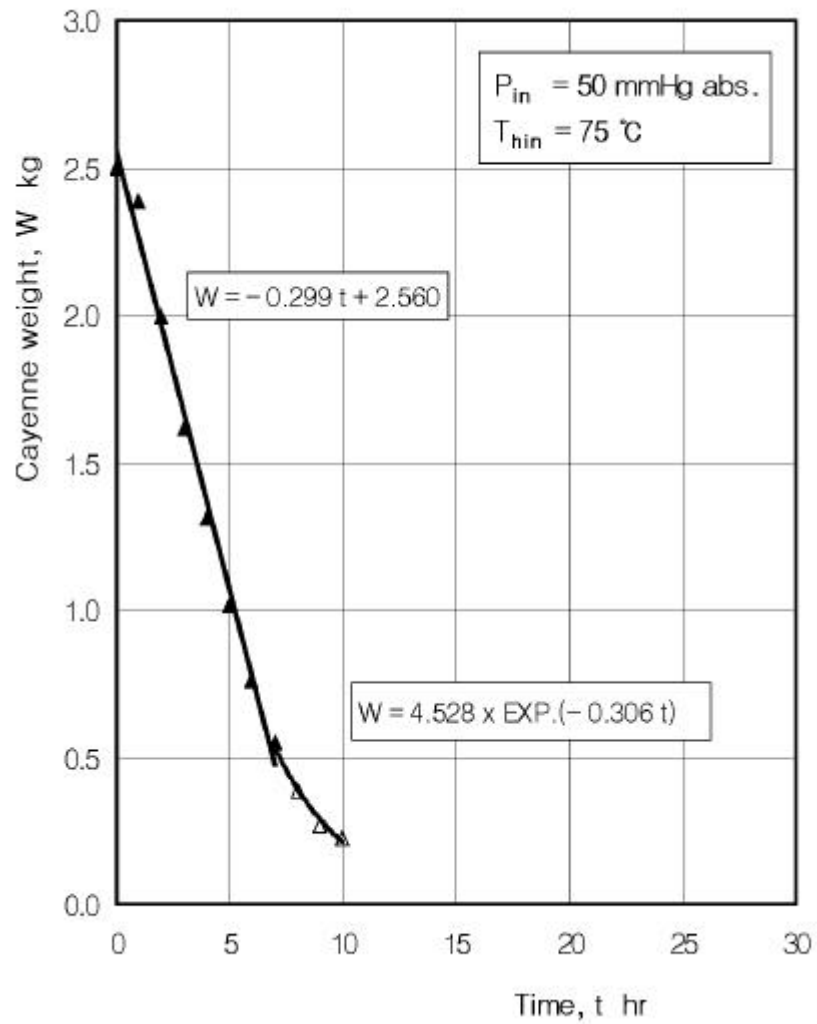


Fig. 3.21 Measuring results of weight variation of mushroom

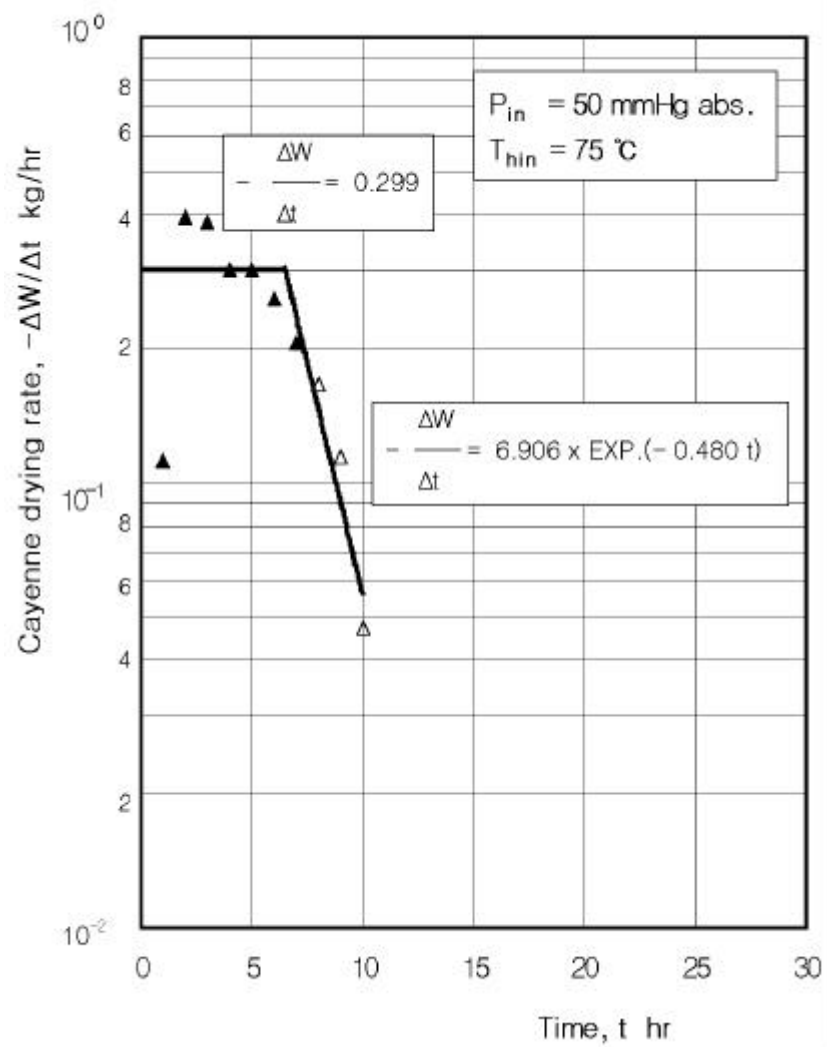


Fig. 3.22 Variation of weight reducing rate of mushroom

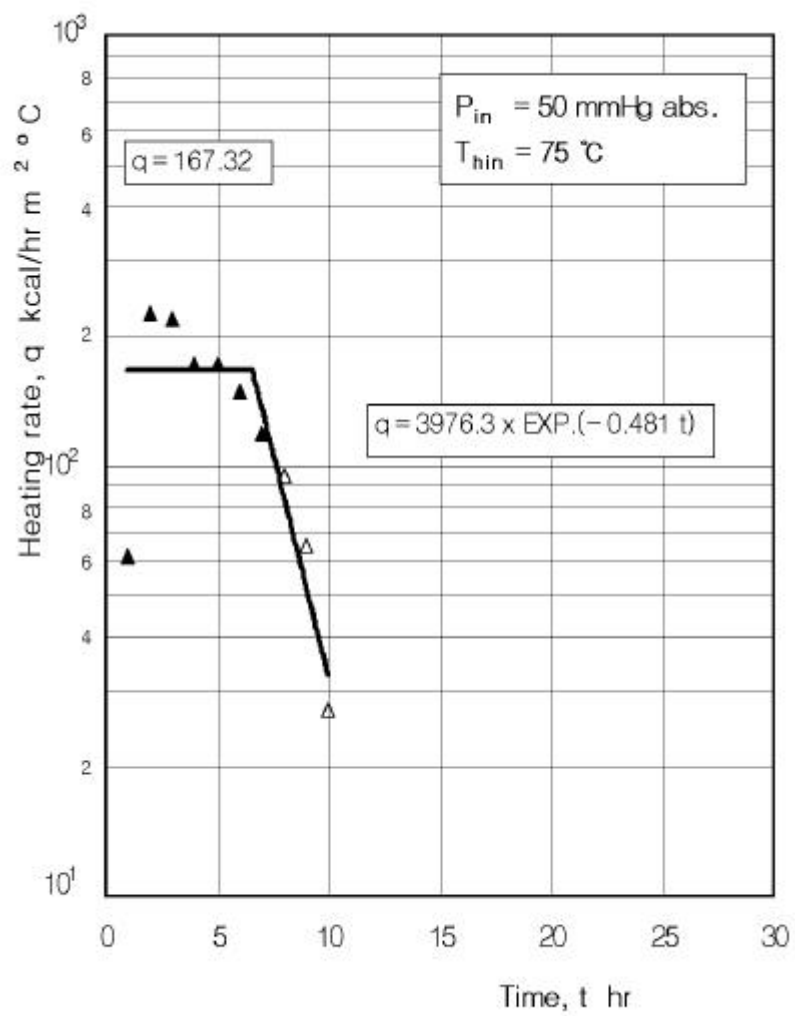


Fig. 3.23 Variation of heat flux in case of vacuum drying of mushroom

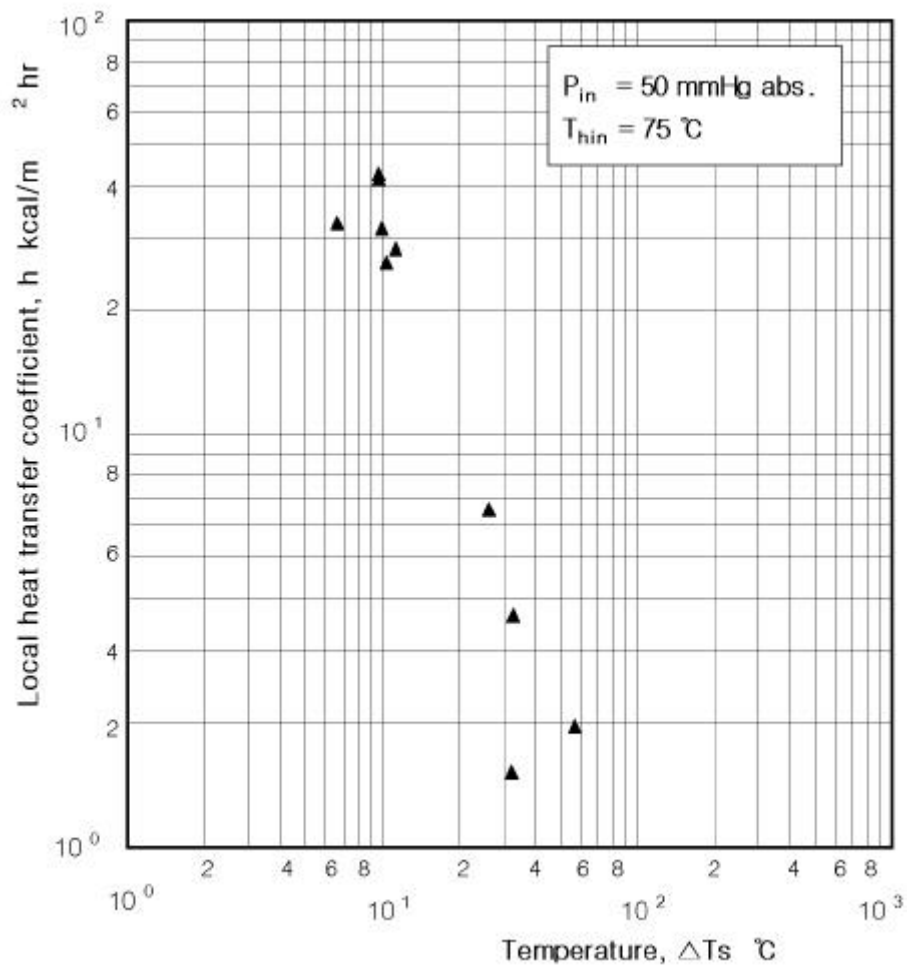


Fig. 3.24 Boiling curve of mushroom

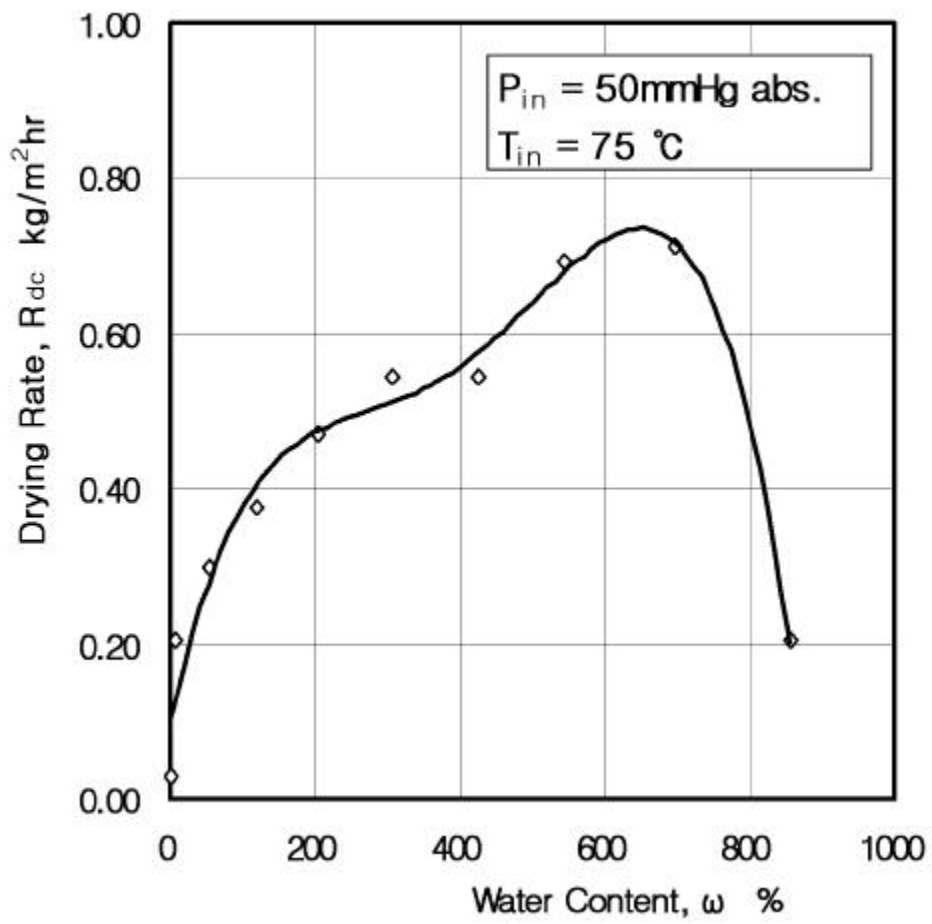


Fig. 3.25 Drying rate of mushroom

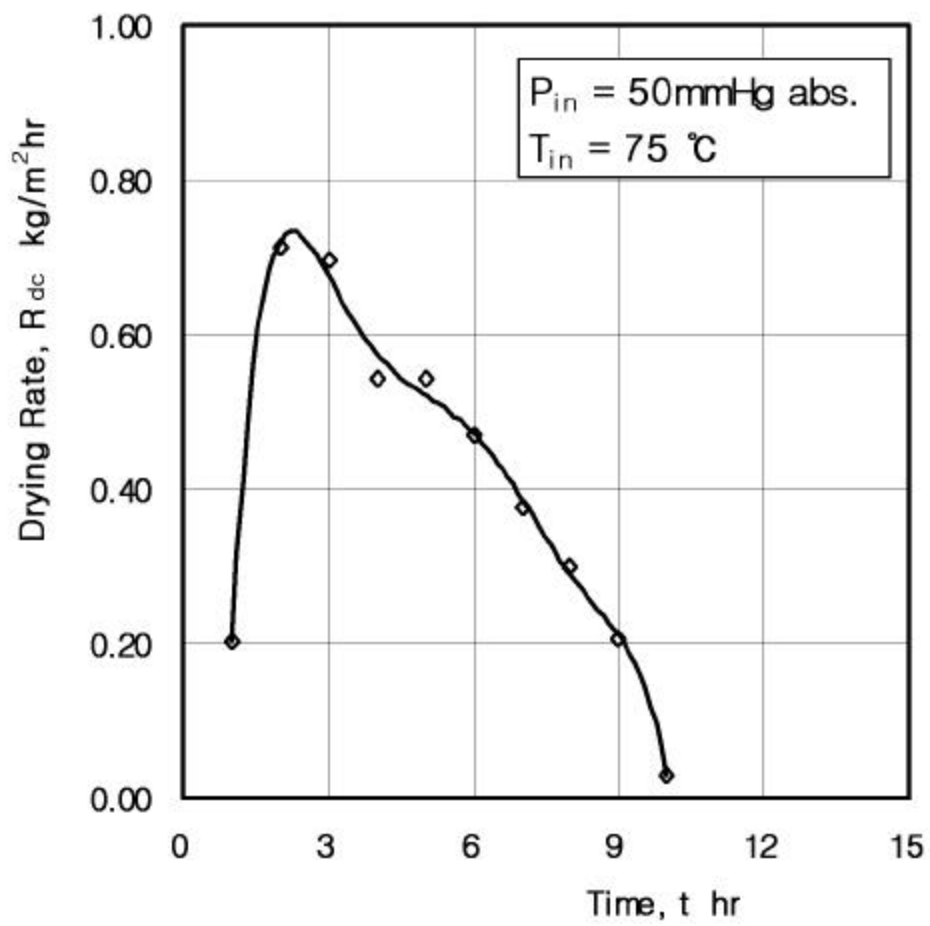


Fig. 3.26 Drying rate of mushroom

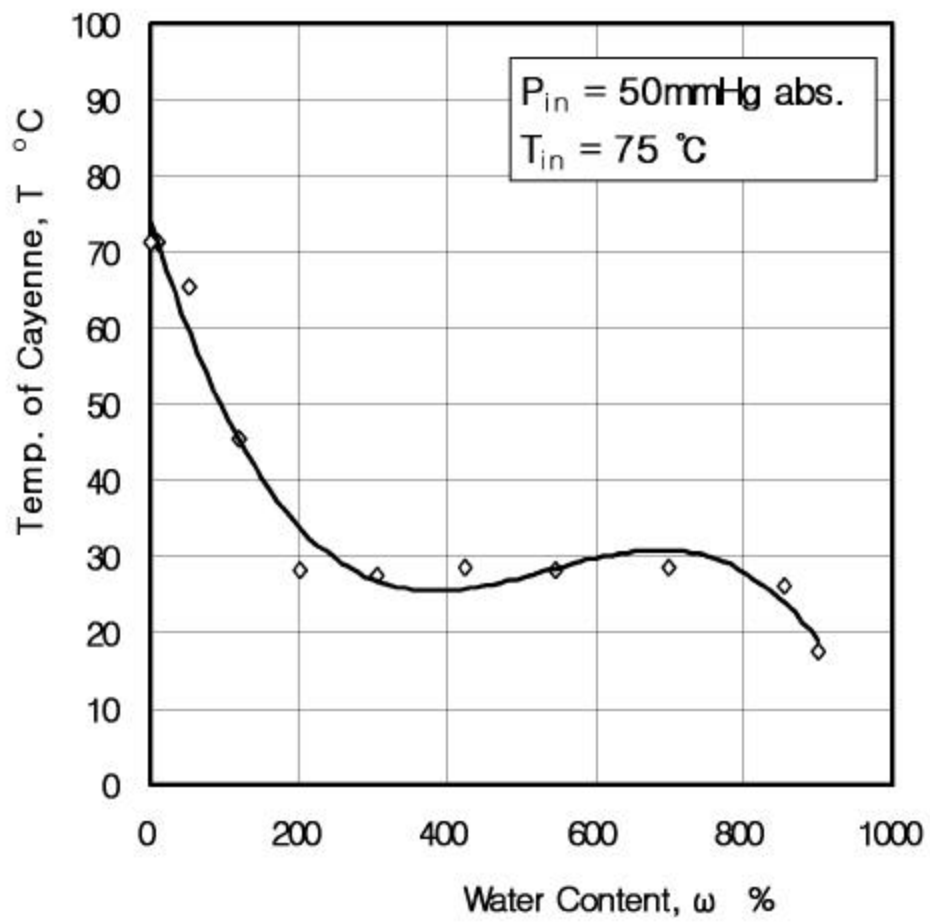


Fig. 3.27 Surface temperature of mushroom

3.3.2 공간 위치별 거시적 건조속도

고추의 경우와 마찬가지로 실험장치 내부의 공간별 건조속도를 파악하기 위하여 각 부분에서의 무게를 측정하였다.

Table. 3.5는 각 부분의 무게 변화를 나타내고 있으며, 표에서 보는 바와 같이 건조속도는 수직방향에 대해 아래 부분이 윗쪽 보다 다소 빨랐으며, 수평방향에 대해서는 가운데 부분을 중심으로 건조가 옆쪽으로 진행됨을 알 수 있었다. 이것은 고추의 경우와 동일한 양상을 나타내고 있는데 마찬가지로 응축기 및 가열수 입구온도에 의한 영향 때문에 미소한 건조속도의 차이를 알 수 있다. 버섯의 경우도 고추와 같이 건조중 위치를 교체하지는 않았으며, 또한 건조후 건조 정도는 큰 차이를 나타내지 않았다.

Table 3.5 Weight variation of mushroom in drying chamber

Time Layer	Initial weight→ 16 hr, gr	Initial weight→ 16 hr, gr	Initial weight→ 16 hr, gr	Initial weight→ 16 hr, gr
1- Layer	3,500→866	3,494 → 868	3,498 → 956	3,502 → 820
1- Layer	3,486→692	3,494 → 652	3,498 → 646	3,502 → 664
1- Layer	3,496→774	3,504 → 724	3,502 → 698	3,504 → 780

3.3.3 경제성 평가

3.2.4절의 고추와 같이 표고버섯의 경우도 기존 농어촌에서 사용하고있는 건조기(열풍건조기)와 경제성 평가를 실시하였다. 마찬가지로 표고버섯의 경우도 인건비를 제외한 전기사용료, 기름 소모량 등을 적용하였으며, 전기가격은 농공업용전력(50원/kwh)과 기름가격(500원/ℓ)을 사용하였다. 생표고가격(3,250원/kg)과 건조후 생산된 건표고가격(kg/35,000원)은 동일하게 적용하였다.

Table 3.6에서 보는 바와 같이 1회 건조시 소요되는 금액은 열풍 건조기에 비해 약 42천원 정도가 적게 소요되었으며, 표고버섯의 건조기간을 1개월로 하여 건조기를 가동할 경우 Table. 3.7에서 보는 바와 같이 약 24,100천원 정도가 더 소요되나 이는 건조횟수가 많기 때문이다. 최종적으로 1개월 동안 건조하여 생산된 표고버섯의 가격을 인건비를 제외한 소요금액으로 뺀 경우 저온진공건조기는 약 55,000천원의 순이익을, 열풍건조의 경우 약 27,240천원의 순이익이 남게 된다. 그러므로 열풍건조기 대비 저온진공건조기의 순이익은 약 27,760천원 이다. 위의 평가는 1개월 동안만을 기준으로 계속 표고를 건조할 경우와 생산된 건표고의 가격을 동일하게 설정한 것이다.

Table 3.6 Drying Cost per one time

	Low Temperature Vacuum Dryer	Hot- air Dryer
Drying quantity (green cayenne), kg	500	500
Farm electricity cost, kwh	167	93
Full cost, ℓ	23	107
Total cost, 1,000won	1,645.4	1,683.7

Table 3.7 Drying Cost during a month

	Low Temperature Vacuum Dryer	Hot- air Dryer
Drying number of time /month	30	15
Total cost ,1,000won	49,361	25,260

Table 3.8 Comparison of net income during a month

	Low Temperature Vacuum Dryer	Hot- air Dryer
Production, kg	3,000	1,500
Amount, 1,000won	105,000	52,500

제4장 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, 건고추의 색깔, 모양, 향이 매우 탁월한 양질의 건고추 습득이 가능한 점으로 비추어 볼때, 그 성능이 열공학적 측면에서 매우 우수함을 확인하였다.

(2) 고추 및 버섯의 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 $W = -0.173t + 2.548$ $W = 0.115t + 2.548$ kg 을, 또한 감울건조기간에서는 $W = 2.405 \times 10^{-4}t + 2.451$ kg 을 나타내었다.

(4) 항울건조기간에서의 증발속도가 본 실험의 범위 내에서는 진공압력이 낮을수록 그리고 가열수의 온도가 높을수록 증가하였으며 $u = 6.16 \times 10^{-4}t + 1.12$ m/hr를, 또한 감울건조기간 동안의 증발속도는 $u = 95.93 \times 10^{-4}t + 12.75$ m/hr를 나타내었다.

(5) 본 실험 데이터를 열프럭스와 생체의 벽면 과열도의 관계 즉 비등곡선 상에 나타내 본 결과, 항울건조기간 동안에는 5°C 전후의 벽면 과열도 하에서 높은 열프럭스를 유지하며, 감울건조기간에 진입하면 열프럭스가 급감하고, 대신 벽면 과열도는 거의 일정치를 유지하였다.

(6) 본 연구를 통하여 개발한 저온진공건조기를 이용하여 표고버섯의 저온진공건조를 수행한 결과 열풍건조에 비하여, 고추의 저온진공건조 실험에서와 마찬가지로, 건조속도가 매우 빠르며 건조후 복수성도 매우 우수한 것이 확인되었다.

참 고 문 헌

- (1) 김경근, 최순열, 최두열, 이정혜, 문수범 ; “저온진공건조기를 이용한 고추의 열적특성에 관한 연구”, 공기조화 냉동공조학회 학술논문집 pp.410 414(1999. 6. 25)
- (2) 김경근, 최순열, 문수범 등 ; “가열/진공증발 교호열조작에 의한 임산·수산물 건조장치 개발(1차년도 연구보고서)”, 산업자원부 산업기반기술과제(1998. 9. 30)
- (3) 김경근, 최순열, 문수범 등 ; “가열/진공증발 교호열조작에 의한 임산·수산물 건조장치 개발(2차년도 연구보고서)”, 산업자원부 산업기반기술사업(1999. 9. 30)
- (4) 김경근 ; “농수산물의 저온진공건조 열적특성”, 대한기계학회 추계학술논문집 특강자료 pp.1 6(1999. 6. 12)
- (5) 최순열 ; “저온진공건조기의 열적특성에 관한 연구”, 한국해양대학교 기관공학과 박사학위논문(1999. 2)
- (6) 신기술 편집부역 ; “건조장치의 이론과 실제”, 신기술(1998. 4. 5)
- (7) 太田勇夫, 益子正教, 木村進 ; “眞空乾燥”, 日刊工業新聞(1964)

- (8)Edward M. Cook, Harman D. DuMont ; “Process Drying Practice”, McGraw- Hill
- (9)久保田濃 ; “乾燥装置”, 省エネルギー- センタ- (1995. 10. 12)
- (10)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)
- (11)河村祐治; “真空流動”, 化學工學, 第24卷, 第9號, pp.25 27(1960)
- (12)若尾法昭 ; “細孔内のガス擴散”, 化學工學, 第28卷, 第6號, pp.135 139(1964)
- (13)박형진, 김명환, 윤석훈, 최순열 ; “함수다공질층의 진공건조에 관한 연구(Ⅱ)”, 한국박용기관학회 학술논문집, pp.115 121(1997. 4. 26)
- (14)박형진, 김경근, 김명환 ; “함수다공질층의 진공건조에 관한 실험적연구(Ⅰ)”, 한국박용기관학회지, 제20권, 제5호, pp.514 521 (1996. 12)
- (15)유재해 ; “진공상태하의 함수다공질층 건조특성에 관한 연구”, 한국해양대학교 기관공학과 석사학위논문(1997. 2)
- (16)김경근, 김용모, 최병철 ; “선박용 수 이젝터의 자동설계를 위한 전산프로그램의 개발”, 한국박용기관학회 논문집, 제10권, 제1호, pp. 74 84(1986. 2)

- (17)김경근, 고상철 ; “액체용 이젝터 성능의 CAD와 실험결과와의 비교에 관한 연구”, 대한기계학회 춘계학술강연회, 7-17, pp.730-734(1988. 7)
- (18)김경근, 권형정, 최순호 송치성 등 ; “대형 액체용 이젝터의 성능 특성에 관한 연구”, 산학협동재단(1988. 7. 1 - 1989. 6. 30)
- (19)日本眞空協會 關西支部 ; “眞空技術”, pp.24 - 25(1994. 11. 30)
- (20)高野玉吉, 唯野哲男 ; “食品工業の乾燥”, 光琳(1996. 8. 10)
- (21)桐榮, 林信也, 澤田周三 ; “立體および粉體材料層の乾燥における層分布”, 化學工學, 第29卷, 第1號, pp.25 - 27(1965)
- (22)平田彰 ; “固 - 流 間 物質移動について”, 化學工學, 第28卷, 第6號, pp.103 - 105(1964)
- (23)淺野康一 ; “物質移動に對する境界層理論の應用”, 化學裝置, 第28卷, 第6號, pp.112 - 115(1964)
- (24)井降, 田中重之, 吉田後二 ; “流動層内に置かれた單一球の傳熱および物質移動”, 化學工學, 第29卷, 第11號, pp.880 - 884(1965)
- (25)大谷茂盛, 大內義三 ; “熱と水分の び流れによる乾燥法”, 化學工學, 第28卷, 第12號, pp.27 - 29(1964)
- (26)若林嘉一郎 ; “乾燥過程における固體內の水分擴散係數の研究”, 化學工學, 第28卷, 第1號, pp.34 - 38(1964)

- (27)大谷茂盛, 前田四郎 ; “湿った粒状物質内における水分の移動機構”,
化学工学, 第5号, pp.14 16(1964)
- (28)Newitt D. M., Nagara P. Na, Paradopowlus A. L. ; “Trans. Inst.
Chem. Engrs.”, Vol.38, pp273(1960)
- (29)Arun S. Mujumdar ; “Handbook of Industrial Drying”, Marcel
Dekker(1995)

학술활동 및 산학협동연구 실적

- (1) 문수범, 김경근, 최두열, 이정혜, 최순열 ;
“저온진공건조기를 이용한 고추의 열적특성에 관한 연구”
공기조화냉동공조공학회, 하계학술대회 논문집, 1999, pp.410
414(1999. 6. 25)
- (2) 문수범, 김경근, 최순열, 최두열, ;
“가열/진공증발 교호열조작에 의한 임산·수산물 건조장치 개발
(1차년도)”,
산업기반기술과제, 기원산업사+태양기전+수원원예연구소+충북대학
(1998.9.30)
- (3) 문수범, 김경근, 최순열, 최두열, ;
“가열/진공증발 교호열조작에 의한 임산·수산물 건조장치 개발
(2차년도)”,
산업기반기술과제, 기원산업사+태양기전+수원원예연구소+충북대학
(1999.9.30)
- (4) 문수범, 김경근, 최순열, 최두열, 이정혜, ;
“판형 동결된 생선의 신속한 해동을 위한 저온진공 해동장치
개발”, 산업기반기술과제(1999.8.1 2001.7.31)

- (5) 문수범, 이정혜, 전현필, 최두열, ;
“MARK-Ⅲ Membrane Type LNG선의 만재 정상상태하의 열해석
에 관한 연구”, 한국박용기관학회, 춘계학술대회 논문집,
1999, pp.M- 99 M104(1999. 4. 23)
- (6) 문수범, 김경근, 송성옥, 최두열, ;
“MARK-Ⅲ Type LNG Tank의 공선향해 비정상상태 열해석에
관한 연구”, 대한기계학회 부산지부, 춘계학술대회 논문집,
1999, pp.171 176(1999. 6. 12)
- (7) 문수범, 김경근, 최두열, 이정혜, 최현규, ;
“가압 해수를 이용한 소규모 담수화 장치의 개발”
산학연 지역컨소시엄과제, 우성기계(1999.6.30)

Appendix I : Spec. of Experimental Apparatus

	maker	size	capa.	power	range	head	quantity
v a c u u m chamber	WOOSUNG ENG.	5900 ℓ × 2485h × 2100w					1
v a c u u m pump	WOOSUNG VACU. CO.		3,200 ℓ / min	220/380 V AC	ultimate press.: 0.5 Torr		1
water jet air ejector	KI WON		0.5m ³ / min				2
boiler	KYUNG DONG		50,000 kcal/hr	220 V AC			1
load cell	CAS		20kgf	220 V AC	- 45 ~ 65°C		4
c o o l i n g tower	COOL TOP CO.	ø 800 × 1590 ℓ	39,000 kcal/hr	220/380 V AC			1
hot water circulation pump	KYUNG DONG		155 ℓ /mi n	220 V AC		7m	2
cold water circulation pump	HAN IL		0.8m ³ / min	220/380 V AC		45m	2
circulation fan	DOONG- A CO.	ø 750	160m ³ / min	220/380 V AC			2
fin tube	WOOSUNG ENG.	ø 19.05 × 1.65t					
condenser	WOOSUNG ENG.		5,000kcal /hr				2

Appendix II : Experimental Data for Cayennes

Data No. 42 (P=50mm Hg abs. T=80°C)

실험일자 : 1998. 8. 19.

시 각	탱크 압력	시간 평균 압력	평균 포화 온도 °C	평균 증발 잠열 kcal/kg	평균 비용적 비용적 m ³ /kg	고추 표면 온도 °C	고추 내부 온도 °C	온수 입구 온도 °C	무게 kg	무게 감소량 kg	무게 감소율 kg/hr	판당 전열량 kcal/hr	열 프럭스 kcal/ m ² hr	온 도 차 °C	평균열 전달율 kcal/ m ² hr °C	평균 증발 속도 m/hr
hr	mm Hg	mm Hg														
0	760.0	x	x	x	x	25.4	26.3	22.9	2.500	x	x	x	x	x	x	x
1	43.5	401.8	82.9	549.63	3.05	31.1	33.0	63.1	2.420	0.080	0.080	44.0	79.9	51.8	1.5	0.4
2	41.0	42.3	35.0	577.73	25.25	35.8	37.9	76.9	2.222	0.198	0.198	114.4	208.0	0.8	260.0	9.1
3	55.1	48.1	37.4	576.59	22.76	42.5	43.5	75.4	2.039	0.183	0.183	105.5	191.8	5.1	37.6	7.6
4	51.2	53.2	39.3	575.45	20.56	42.9	44.7	75.0	1.876	0.163	0.163	93.8	170.5	3.6	47.4	6.1
5	48.7	50.0	38.2	576.02	21.63	44.9	46.8	79.3	1.681	0.195	0.195	112.3	204.2	6.7	30.5	7.7
6	43.5	46.1	36.7	577.16	23.97	49.8	51.0	78.1	1.454	0.227	0.227	131.0	238.2	13.1	18.2	9.9
7	52.5	48.0	39.0	575.45	20.56	56.0	58.2	75.9	1.307	0.147	0.147	84.6	153.8	17.0	9.0	5.5
8	42.3	47.4	37.1	576.59	22.76	68.3	71.9	79.1	1.156	0.151	0.151	87.1	158.3	31.2	5.1	6.2
9	52.5	47.4	37.1	576.59	22.76	63.6	65.9	78.5	0.993	0.163	0.163	94.0	170.9	16.2	10.5	6.7
10	55.1	53.8	39.3	575.45	20.56	68.2	67.3	77.7	0.845	0.148	0.148	85.2	154.8	28.9	5.4	5.5
11	46.1	50.6	38.3	576.02	21.63	68.5	67.5	78.0	0.734	0.111	0.111	63.9	116.3	30.2	3.8	4.4
12	44.8	45.5	36.4	577.16	23.97	67.2	66.2	76.1	0.651	0.083	0.083	47.9	87.1	30.8	2.8	3.6
13	51.2	48.0	37.3	576.59	22.76	66.7	66.9	76.5	0.563	0.088	0.088	50.7	92.3	29.4	3.1	3.6
14	58.9	55.1	39.9	574.88	19.55	66.1	66.0	75.9	0.503	0.060	0.060	34.5	62.7	26.2	2.4	2.1
15	43.5	51.2	38.7	576.02	21.63	67.4	66.5	76.8	0.448	0.055	0.055	31.7	57.6	28.7	2.0	2.2
16	49.9	46.7	36.9	577.16	23.97	65.7	64.6	79.8	0.424	0.024	0.024	13.9	25.2	28.8	0.9	1.0
17	52.5	51.2	38.7	576.02	21.63	67.1	66.2	76.9	0.404	0.020	0.020	11.5	20.9	28.4	0.7	0.8
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																

Data No. 44(P=50mm Hg abs. T=75°C)

실험일자 : 1998. 8. 28.

시 각	탱크 압력	시간 평균 압력	평균 포화 온도	평균 증발 잠열	평균 비용적	고추 표면 온도	고추 내부 온도	온수 입구 온도	무게	무게 감소량	무게 감소율	판당 전열량	열 프릭스	온 도	평균열 전달율	평균 증발 속도
hr	mm Hg	mm Hg	°C	kcal/kg	m ³ /kg	°C	°C	°C	kg	kg	kg/hr	kcal/hr	m ² hr	°C	kcal/ m ² hr °C	m/hr
0	760.0	x	x	x	x	16.3	16.3	19.9	2.500	x	x	x	x	x	x	x
1	49.9	405.0	83.3	549.63	3.05	19.0	19.7	57.3	2.459	0.041	0.041	22.5	41.0	64.3	0.6	0.2
2	48.6	49.3	37.9	576.02	21.63	34.8	35.4	74.1	2.326	0.133	0.133	76.6	139.3	3.1	44.9	5.2
3	46.0	47.3	37	576.59	22.76	35.0	36.6	71.7	2.194	0.132	0.132	76.1	138.4	2.0	69.2	5.5
4	51.2	48.6	37.6	576.59	22.76	36.8	37.4	70.0	2.020	0.174	0.174	100.3	182.4	0.8	228.0	7.2
5	44.8	48.0	37.4	576.59	22.76	36.1	38.4	73.4	1.796	0.224	0.224	129.2	234.8	1.3	180.6	9.3
6	48.6	46.7	36.9	576.59	22.76	40.9	42.6	75.8	1.614	0.182	0.182	104.9	190.8	4.0	47.7	7.5
7	57.6	53.1	39.2	574.45	20.56	50.6	53.4	72.4	1.473	0.141	0.141	81.0	147.3	11.4	12.9	5.3
8	40.9	49.3	37.9	576.02	21.63	53.8	56.5	70.0	1.324	0.149	0.149	85.8	156.0	15.9	9.8	5.9
9	57.6	49.3	37.9	576.02	21.63	56.4	56.7	72.7	1.150	0.174	0.174	100.2	182.2	18.5	9.9	6.8
10	43.5	50.6	38.3	576.02	21.63	57.1	56.3	73.9	1.026	0.124	0.124	71.4	129.9	18.8	6.9	4.9
11	44.8	44.2	35.9	577.16	23.97	61.3	60.3	75.7	0.902	0.124	0.124	71.6	130.1	25.4	5.1	5.4
12	46.0	45.4	36.3	577.16	23.97	60.2	59.3	74.6	0.794	0.108	0.108	62.3	113.3	23.9	4.7	4.7
13	51.2	48.6	37.6	576.59	22.76	60.1	58.9	73.7	0.744	0.050	0.050	28.8	52.4	22.5	2.3	2.1
14	58.8	55.0	39.9	574.88	19.55	60.2	59.0	72.1	0.670	0.074	0.074	42.5	77.3	20.3	3.8	2.6
15	42.2	50.5	38.3	576.02	21.63	58.9	57.6	70.6	0.595	0.075	0.075	43.2	78.5	20.6	3.8	2.9
16	55.0	48.6	37.6	576.59	22.76	61.1	60.1	74.0	0.521	0.074	0.074	42.7	77.6	23.5	3.3	3.1
17	51.2	53.1	39.2	575.45	20.56	59.9	58.7	72.6	0.496	0.025	0.025	14.4	26.2	20.7	1.3	0.9
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																

Data No. 45 (P=50mm Hg abs. T=70°C)

실험일자 : 1998. 9. 1.

시 각	탱크 압력	시간 평균 압력	평균 포화 온도	평균 증발 잠열	평균 비용적 비용적	고추 표면 온도	고추 내부 온도	온수 입구 온도	무게	무게 감소량	무게 감소율	판당 전열량	열 프릭스 kcal/ m ² hr	온 도 차 °C	평균열 전달율 kcal/ m ² hr °C	평균 증발 속도 m /hr
hr	mm Hg	mm Hg	°C	kcal/kg	m ³ /kg	°C	°C	°C	kg	kg	kg/hr	kcal/hr				
0	760.0	x	x	x	x	33.6	31.4	38.3	3.000	x	x	x	x	x	x	x
1	42.3	401.2	83.0	549.63	3.05	47.7	43.3	70.6	2.944	0.056	0.056	30.8	56.0	35.3	1.6	0.3
2	52.5	47.4	37.1	576.59	22.76	55.6	59.1	68.0	2.821	0.123	0.123	70.9	128.9	18.5	7.0	5.1
3	49.9	51.2	38.6	575.45	20.56	55.6	58.9	68.5	2.697	0.124	0.124	71.4	129.7	17.0	7.6	4.6
4	56.3	53.1	39.2	575.45	20.56	55.3	58.6	73.2	2.573	0.124	0.124	71.4	129.7	16.1	8.1	4.6
5	42.3	49.3	37.9	576.02	21.63	54.7	58.2	70.0	2.425	0.148	0.148	85.3	155.0	16.8	9.2	5.8
6	55.1	48.7	37.7	576.02	21.63	53.8	58.0	65.7	2.288	0.137	0.137	78.9	143.5	16.1	8.9	5.4
7	42.3	48.7	37.7	576.02	21.63	54.2	58.3	66.7	2.128	0.160	0.160	92.2	167.6	16.5	10.2	6.3
8	47.4	44.9	36.1	577.16	23.97	54.7	59.1	66.7	1.961	0.167	0.167	96.4	175.2	18.6	9.4	7.3
9	46.1	46.8	36.9	576.59	22.76	54.5	58.8	70.2	1.868	0.093	0.093	53.6	97.5	17.6	5.5	3.8
10	53.8	50.0	38.1	576.02	21.63	54.8	58.4	67.0	1.756	0.112	0.112	64.5	117.3	16.7	7.0	4.4
11	49.9	51.9	38.8	575.45	20.56	55.3	59.1	68.1	1.626	0.130	0.130	74.8	136.0	16.5	8.2	4.9
12	42.3	46.1	36.7	576.59	22.76	55.7	60.8	69.8	1.509	0.117	0.117	67.5	122.7	19.0	6.5	4.8
13	48.7	45.5	36.3	577.16	23.97	55.2	59.1	67.4	1.404	0.105	0.105	60.6	110.2	18.9	5.8	4.6
14	60.2	54.5	39.8	574.88	19.55	56.6	59.7	67.9	1.280	0.124	0.124	71.3	129.6	16.8	7.7	4.4
15	42.3	51.3	38.6	575.45	20.56	55.4	59.1	68.9	1.187	0.093	0.093	53.5	97.3	16.8	5.8	3.5
16	53.8	48.1	37.4	576.59	22.76	56.6	60.1	67.6	1.107	0.080	0.080	46.1	83.9	19.2	4.4	3.3
17	48.7	51.3	38.6	575.45	20.56	57.8	62.7	68.8	1.020	0.087	0.087	50.1	91.0	19.2	4.7	3.3
18	48.7	48.7	37.7	576.02	21.63	55.8	59.8	65.9	0.94	0.080	0.080	46.1	83.8	18.1	4.6	3.1
19	56.3	52.5	39.0	575.45	20.56	59.1	61.7	69.8	0.847	0.093	0.093	53.5	97.3	20.1	4.8	3.5
20	44.8	50.6	38.3	576.02	21.63	57.6	60.7	67.2	0.791	0.056	0.056	32.3	58.6	19.3	3.0	2.2
21	46.1	45.5	36.3	577.16	23.97	57.1	60.8	66.3	0.754	0.037	0.037	21.4	38.8	20.8	1.9	1.6
22																
23																
24																
25																

Data No. 56(P=100mm Hg abs. T=80℃)

실험일자 : 1998. 10. 19.

시 각	탱크 압력	시간 평균 압력	평균 포화 온도	평균 증발 잠열	평균 비용적	고추 표면 온도	고추 내부 온도	온수 입구 온도	무게	무게 감소량	무게 감소율	판당 전열량	열 프릭스	온 도	평균열 전달율	평균 증발 속도
hr	mm Hg	mm Hg	℃	kcal/kg	m ³ /kg	℃	℃	℃	kg	kg	kg/hr	kcal/hr	kcal/m ² hr	℃	kcal/m ² hr	m/hr
0	766.7	x	x	x	x	20.0	19.4	19.8	2.500	x	x	x	x	x	x	x
1	102.4	434.6	85.1	548.40	2.81	53.6	53.9	79.5	2.433	0.067	0.067	36.9	77.0	31.5	2.4	0.4
2	99.9	101.2	51.8	567.20	11.20	54.8	54.2	80.0	2.253	0.180	0.180	101.9	212.4	3.0	70.8	4.2
3	99.9	99.9	51.6	567.40	11.32	54.6	54.3	80.1	2.073	0.180	0.180	102.0	212.5	3.0	70.8	4.2
4	96.0	98.0	51.2	567.70	11.45	54.3	55.4	79.5	1.882	0.191	0.191	108.4	225.9	3.1	72.9	4.6
5	96.0	96.0	50.7	568.50	11.57	57.5	63.3	80.1	1.714	0.169	0.169	95.8	199.6	6.8	29.3	4.1
6	97.3	96.7	50.9	568.30	11.50	61.1	66.3	79.9	1.545	0.169	0.169	95.8	199.5	10.2	19.6	4.0
7	102.4	99.9	51.6	567.40	11.32	64.8	69.2	80.3	1.388	0.157	0.157	89.2	185.9	13.2	14.1	3.7
8	105.0	103.7	52.1	567.80	10.89	67.3	71.3	80.1	1.242	0.146	0.146	82.9	172.8	15.2	11.4	3.3
9	97.3	101.2	51.8	567.20	11.20	69.1	71.3	79.9	1.096	0.146	0.146	82.8	172.6	17.3	10.0	3.4
10	101.1	99.2	51.6	567.40	11.32	71.9	72.6	80.9	0.961	0.135	0.135	76.5	159.4	20.3	7.8	3.2
11	101.1	101.1	51.8	567.20	11.20	73.5	72.9	81.0	0.849	0.112	0.112	63.7	132.7	21.7	6.1	2.6
12	96.0	98.6	51.3	567.90	11.38	74.6	74.1	80.9	0.736	0.112	0.112	63.8	132.9	23.3	5.7	2.7
13	84.5	90.3	49.4	568.20	12.27	74.7	74.3	81.5	0.641	0.095	0.095	54.3	113.0	25.3	4.5	2.4
14	98.6	91.6	50.2	568.00	12.15	73.5	72.9	79.7	0.585	0.056	0.056	31.9	66.5	23.3	2.9	1.4
15	88.3	93.5	50.4	569.20	11.97	74.0	72.3	79.1	0.540	0.045	0.045	25.6	53.3	23.6	2.3	1.1
16	92.2	90.3	49.4	568.20	12.27	74.5	73.2	79.9	0.512	0.028	0.028	16.0	33.2	25.1	1.3	0.7
17	101.1	96.7	50.2	568.40	11.47	74.7	74.2	79.6	0.506	0.006	0.006	3.2	6.7	24.5	0.3	0.1
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																

Data No. 46(P=100mm Hg abs. T=75°C)

실험일자 : 1998. 9. 3.

시 각	탱크 압력	시간 평균 압력	평균 포화 온도	평균 증발 잠열	평균 비용적	고추 표면 온도	고추 내부 온도	온수 입구 온도	무게	무게 감소량	무게 감소율	판당 전열량	열 프릭스	온 도	평균열 전달율	평균 증발 속도
hr	mm Hg	mm Hg	°C	kcal/kg	m ³ /kg	°C	°C	°C	kg	kg	kg/hr	kcal/hr	m ² hr	°C	m ³ hr °C	m/hr
0	761.6	x	x	x	x	22.5	22.8	23.2	2.500	x	x	x	x	x	x	x
1	106.3	434.0	85.1	548.41	2.83	56.7	48.1	73.7	2.461	0.039	0.039	21.4	38.9	28.4	1.4	0.2
2	101.1	103.7	52.3	567.99	10.98	62.4	63.1	71.7	2.390	0.071	0.071	40.3	73.3	10.1	7.3	1.4
3	106.3	103.7	52.3	567.99	10.98	63.3	64.2	71.5	2.279	0.111	0.111	63.0	114.6	11.0	10.4	2.2
4	98.6	102.5	52.1	567.99	10.98	63.9	64.2	72.5	2.130	0.149	0.149	84.6	153.9	11.8	13.0	3.0
5	97.3	98.0	51.2	568.57	11.50	64.6	65.1	72.9	1.976	0.154	0.154	87.6	159.2	13.4	11.9	3.2
6	97.3	97.3	51	568.57	11.50	64.9	64.9	76.9	1.827	0.149	0.149	84.7	154.0	13.9	11.1	3.1
7	93.5	95.4	50.6	569.15	12.05	64.8	65.7	72.1	1.672	0.155	0.155	88.2	160.4	14.2	11.3	3.4
8	92.2	92.9	50.1	569.15	12.05	62.9	64.4	71.5	1.540	0.132	0.132	75.1	136.6	12.8	10.7	2.9
9	102.4	97.3	51	568.57	11.50	63.1	64.0	71.9	1.429	0.111	0.111	63.1	114.7	12.1	9.5	2.3
10	101.1	101.8	53.2	567.42	10.49	63.6	65.2	73.3	1.297	0.132	0.132	74.9	136.2	10.4	13.1	2.5
11	101.1	101.1	51.8	567.99	10.98	63.1	64.0	72.6	1.170	0.127	0.127	72.1	131.2	11.3	11.6	2.5
12	103.7	102.4	52.1	567.99	10.98	64.9	66.4	74.4	1.043	0.127	0.127	72.1	131.2	12.8	10.2	2.5
13	97.3	100.5	51.7	567.99	10.98	63.8	64.4	73.7	0.933	0.110	0.110	62.5	113.6	12.1	9.4	2.2
14	106.3	101.8	51.9	567.99	10.98	64.7	64.6	75.6	0.828	0.105	0.105	59.6	108.4	12.8	8.5	2.1
15	106.3	106.3	52.8	567.99	10.98	62.5	64.6	71.5	0.751	0.077	0.077	43.7	79.5	9.7	8.2	1.5
16	101.1	103.7	52.3	567.99	10.98	64.0	63.8	74.4	0.674	0.077	0.077	43.7	79.5	11.7	6.8	1.5
17	97.3	99.2	51.4	568.57	11.50	63.7	64.9	71.9	0.624	0.050	0.050	28.4	51.7	12.3	4.2	1.0
18	94.7	96.0	50.8	569.15	12.05	64.8	65.9	73.2	0.569	0.055	0.055	31.3	56.9	14.0	4.1	1.2
19	94.7	94.7	51.5	568.57	11.50	65.7	66.4	74.3	0.53	0.039	0.039	22.2	40.3	14.2	2.8	0.8
20	99.9	97.3	51	568.57	11.50	63.9	65.5	71.4	0.508	0.022	0.022	12.5	22.7	12.9	1.8	0.5
21																
22																
23																
24																
25																

Data No. 47 (P=100mm Hg abs. T=70°C)

실험일자 : 1998. 9. 5.

시 각	탱크 압력	시간 평균 압력	평균 포화 온도	평균 증발 잠열	평균 비용적	고추 표면 온도	고추 내부 온도	온수 입구 온도	무게	무게 감소량	무게 감소율	판당 전열량	열 프럭스	온 도 차	평균열 전달율	평균 증발 속도
hr	mm Hg	mm Hg	°C	kcal/kg	m/kg	°C	°C	°C	kg	kg	kg/hr	kcal/hr	kcal/m ² hr	°C	kcal/m ² hr	m/hr
0	757.8	x	x	x	x	24.1	24.5	22.6	2.500	x	x	x	x	x	x	
1	92.2	425.0	84.5	548.41	2.83	53.4	49.7	68.5	2.456	0.044	0.044	24.1	43.9	31.1	1.4	0.1
2	89.6	90.9	49.5	569.15	12.05	57.7	57.8	67.6	2.374	0.082	0.082	46.7	84.9	8.2	10.3	0.5
3	107.5	98.6	51.5	568.57	11.5	58.1	59.1	67.1	2.286	0.088	0.088	50.0	91.0	6.6	13.8	0.6
4	92.2	99.9	51.7	568.57	11.5	58.5	59.9	66.2	2.188	0.098	0.098	55.7	101.3	6.8	14.9	0.6
5	103.7	98.0	51.4	568.57	11.5	59.4	59.4	69.3	2.067	0.121	0.121	68.8	125.1	8.0	15.6	0.8
6	90.9	97.3	51	568.57	11.5	57.6	58.7	65.7	1.958	0.109	0.109	62.0	112.7	6.6	17.1	0.7
7	105	98.0	51.4	568.57	11.5	58.2	58.9	66.8	1.843	0.115	0.115	65.4	118.9	6.8	17.5	0.7
8	94.7	99.9	51.7	568.57	11.5	57.2	58.4	66.6	1.739	0.104	0.104	59.1	107.5	5.5	19.5	0.7
9	106.3	100.5	51.8	568.57	11.5	57.7	57.9	70	1.651	0.088	0.088	50.0	91.0	5.9	15.4	0.6
10	102.4	104.4	52.5	567.99	10.98	56.2	57.6	70.3	1.558	0.093	0.093	52.8	96.0	3.7	26.0	0.6
11	102.4	102.4	52	567.99	10.98	56.2	57.7	65.7	1.454	0.104	0.104	59.1	107.4	4.2	25.6	0.6
12	90.9	96.7	50.9	568.57	11.5	56.5	56.9	70.1	1.366	0.088	0.088	50.0	91.0	5.6	16.2	0.6
13	99.9	95.4	50.5	569.15	12.05	55.9	57.7	65.5	1.273	0.093	0.093	52.9	96.2	5.4	17.8	0.6
14	93.5	96.7	50.9	568.57	11.5	56.5	58	66	1.180	0.093	0.093	52.9	96.1	5.6	17.2	0.6
15	93.5	93.5	50.2	568.57	12.05	57.1	57.8	70	1.103	0.077	0.077	43.8	79.6	6.9	11.5	0.5
16	103.7	98.6	51.5	568.57	11.5	56.5	58.1	68.9	1.021	0.082	0.082	46.6	84.8	5.0	17.0	0.5
17	99.9	101.8	51.9	568.57	11.5	57.2	57.8	70	0.944	0.077	0.077	43.8	79.6	5.3	15.0	0.5
18	97.3	98.6	51.5	568.57	11.5	57.1	59.3	66.9	0.873	0.071	0.071	40.4	73.4	5.6	13.1	0.4
19	94.7	96.0	50.7	568.57	11.5	56.2	57.3	66.1	0.796	0.077	0.077	43.8	79.6	5.5	14.5	0.5
20	99.9	97.3	51	568.57	11.5	56.2	57.8	66.3	0.731	0.065	0.065	37.0	67.2	5.2	12.9	0.4
21	94.7	97.3	51	568.57	11.5	59.1	61.1	69.5	0.681	0.050	0.050	28.4	51.7	8.1	6.4	0.3
22	102.4	98.6	51.5	568.57	11.5	58	58.2	69.5	0.632	0.049	0.049	27.9	50.7	6.5	7.8	0.3
23	92.2	97.3	51	568.57	11.5	56.7	57.6	70.7	0.577	0.055	0.055	31.3	56.9	5.7	10.0	0.3
24	94.7	93.5	50.2	569.15	12.05	57.5	58.6	65.9	0.533	0.044	0.044	25.0	45.5	7.3	6.2	0.3
25	101.1	97.9	51.3	568.57	11.5	57.7	58.8	65.1	0.506	0.027	0.027	15.4	27.9	6.4	4.4	0.2

Data No. 43(P=200mm Hg abs. T=80°C)

실험일자 : 1998. 8. 21.

시 각	탱크 압력	시간 평균	평균 포화	평균 증발	평균 비용적	고추 표면	고추 내부	온수 입구	무게	무게 감소량	무게 감소율	판당 전열량	열 프럭스	온 도	평균열 전달율	평균 증발
hr	mm Hg	mm Hg	°C	kcal/kg	m ³ /kg	°C	°C	°C	kg	kg	kg/hr	kcal/hr	kcal/m ² hr	°C	kcal/m ² hr °C	속도 m/hr
0	760.0	x	x	x	x	24.4	24.6	23.0	2.500	x	x	x	x	x	x	x
1	203.5	481.8	88.2	546.57	2.54	56.9	58.0	80.4	2.420	0.080	0.080	43.7	79.5	31.3	2.5	0.4
2	186.9	195.2	65.9	560.41	6.20	60.0	59.9	79.3	2.267	0.153	0.153	85.7	155.9	5.9	26.4	1.7
3	188.2	187.6	65.0	560.41	6.20	61.1	60.7	76.1	2.053	0.214	0.214	119.9	218.1	3.9	55.9	2.4
4	186.9	187.6	65.0	560.41	6.20	60.3	60.5	75.3	1.868	0.185	0.185	103.7	188.5	4.7	40.1	2.1
5	198.4	192.7	65.6	559.82	6.20	60.5	60.3	75.3	1.675	0.193	0.193	108.0	196.4	5.1	38.5	2.2
6	195.9	197.2	66.1	559.82	5.95	60.4	60.8	75.4	1.490	0.185	0.185	103.6	188.3	5.7	33.0	2.0
7	195.9	195.9	65.9	559.82	5.95	60.9	62.1	78.7	1.305	0.185	0.185	103.6	188.3	5.0	37.7	2.0
8	199.7	197.8	66.2	559.82	5.95	58.9	61.4	75.2	1.152	0.153	0.153	85.7	155.7	7.3	21.3	1.7
9	201.0	200.4	66.5	559.82	5.95	58.1	61.6	76.6	0.979	0.173	0.173	96.8	176.1	8.4	21.0	1.9
10	198.4	199.7	66.4	559.82	5.95	59.8	62.6	77.6	0.847	0.132	0.132	73.9	134.4	6.6	20.4	1.4
11	199.7	199.1	66.3	559.82	5.95	60.6	61.2	74.7	0.734	0.113	0.113	63.3	115.0	5.7	20.2	1.2
12	203.5	201.6	66.6	559.82	5.95	62.7	62.9	75.7	0.637	0.097	0.097	54.3	98.7	3.9	25.3	1.0
13	204.8	204.2	66.9	559.23	5.71	62.2	62.1	75.3	0.557	0.080	0.080	44.7	81.3	4.7	17.3	0.8
14	207.4	206.1	67.1	559.23	5.71	63.5	62.9	75.5	0.497	0.060	0.060	33.6	61.0	3.6	16.9	0.6
15	206.1	206.8	67.2	559.23	5.71	64.5	64.1	76.3	0.444	0.053	0.053	29.6	53.9	2.7	20.0	0.6
16	203.5	204.8	67.0	559.23	5.71	64.9	64.6	76.5	0.416	0.028	0.028	15.7	28.5	2.1	13.6	0.3
17	197.1	200.3	66.5	559.82	5.95	63.9	63.9	75.8	0.396	0.020	0.020	11.2	20.4	2.6	7.8	0.2
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																

Data No. 49(P=200mm Hg abs. T=75℃)

실험일자 : 1998. 9. 9.

시 각	탱크 압력	시간 평균 압력	평균 포화 온도	평균 증발 잠열	평균 비용적	고추 표면 온도	고추 내부 온도	온수 입구 온도	무게	무게 감소량	무게 감소율	판당 전열량	열 프럭스	온 도	평균열 전달율	평균 증발 속도
hr	mm Hg	mm Hg	℃	kcal/kg	m ³ /kg	℃	℃	℃	kg	kg	kg/hr	kcal/hr	m ² hr	℃	kcal/ m ² hr ℃	m/hr
0	762.9	x	x	x	x	22.5	22.7	24.0	2.500	x	x	x	x	x	x	x
1	197.1	480.0	87.6	547.18	2.63	58.1	56.9	69.9	2.461	0.039	0.039	21.1	38.3	29.5	1.3	0.2
2	197.1	197.1	66.1	559.82	5.95	62.3	62.7	71.8	2.395	0.066	0.066	37.0	67.2	3.8	17.7	0.7
3	201.0	199.1	66.3	559.82	5.95	62.0	62.6	71.2	2.230	0.165	0.165	92.5	168.1	4.3	39.1	1.8
4	192.0	196.5	66.0	559.82	5.95	63.2	63.4	72.4	2.076	0.154	0.154	86.3	156.9	2.8	56.0	1.7
5	199.7	195.9	66.0	559.82	5.95	62.6	63.1	72.0	1.927	0.149	0.149	83.2	151.3	3.4	44.5	1.6
6	197.1	198.4	66.2	559.82	5.95	62.8	63.0	72.6	1.779	0.149	0.149	83.2	151.3	3.4	44.5	1.6
7	195.9	196.5	66.0	559.82	5.95	62.1	62.2	74.8	1.647	0.132	0.132	74.0	134.5	3.9	34.5	1.4
8	197.1	196.5	66.0	559.82	5.95	61.3	61.9	70.3	1.503	0.143	0.143	80.1	145.7	4.7	31.0	1.5
9	192.0	194.6	65.8	559.82	5.95	61.8	62.5	71.3	1.371	0.132	0.132	74.0	134.5	4.0	33.6	1.4
10	193.3	192.7	65.6	559.82	5.95	61.9	62.7	71.6	1.234	0.138	0.138	77.1	140.1	3.7	37.9	1.5
11	193.3	193.3	65.7	559.82	5.95	61.4	62.3	71.1	1.124	0.110	0.110	61.6	112.1	4.3	26.1	1.2
12	197.1	195.2	65.9	559.82	5.95	63.5	62.8	73.8	1.002	0.121	0.121	67.8	123.3	2.4	51.4	1.3
13	193.3	195.2	65.9	559.82	5.95	62.9	62.9	74.2	0.887	0.116	0.116	64.7	117.7	3.0	39.2	1.3
14	197.1	195.2	65.9	559.82	5.95	60.0	61.6	70.2	0.810	0.077	0.077	43.2	78.5	5.9	13.3	0.8
15	201.0	199.1	66.3	559.82	5.95	62.8	62.9	74.1	0.733	0.077	0.077	43.2	78.5	3.5	22.4	0.8
16	198.4	199.7	66.4	559.82	5.95	61.8	62.9	72.2	0.667	0.066	0.066	37.0	67.2	4.6	14.6	0.7
17	193.3	195.9	66.0	559.82	5.95	59.0	60.6	71.6	0.601	0.066	0.066	37.0	67.2	7.0	9.6	0.7
18	194.6	194.0	65.8	559.82	5.95	63.9	64.9	75.5	0.546	0.055	0.055	30.8	56.0	1.9	29.5	0.6
19	198.4	196.5	66.1	559.82	5.95	63.3	64.5	75.2	0.540	0.006	0.006	3.1	5.6	2.8	2.0	0.1
20	193.3	195.9	66.0	559.82	5.95	63.3	64.9	74.9	0.518	0.022	0.022	12.3	22.4	2.7	8.3	0.2
21																
22																
23																
24																
25																

Data No. 48(P=200mm Hg abs. T=70℃)

실험일자 ; 1998. 9. 7.

시 각	탱크 압력	시간 평균 압력	평균 포화 온도	평균 증발 잠열	평균 비용적	고추 표면 온도	고추 내부 온도	온수 입구 온도	무게	무게 감소량	무게 감소율	판당 전열량	열 프럭스	온 도	평균열 전달율	평균 증발 속도
hr	mm Hg	mm Hg	℃	kcal/kg	m ³ /kg	℃	℃	℃	kg	kg	kg/hr	kcal/hr	m ² /hr	℃	kcal/m ² hr	m/hr
0	759.1	x	x	x	x	26.7	26.1	23.7	2.500	x	x	x	x	x	x	x
1	195.9	477.5	87.5	574.18	2.63	59.0	57.3	67.8	2.456	0.044	0.044	25.3	45.9	28.5	1.6	0.2
2	197.1	196.5	66.0	559.82	5.95	61.0	60.4	69.9	2.368	0.088	0.088	49.3	89.6	5.0	17.9	1.0
3	193.3	195.2	65.9	559.82	5.95	63.8	62.0	70.0	2.235	0.133	0.133	74.5	135.4	2.1	64.5	1.4
4	204.8	199.1	66.3	559.82	5.95	60.8	61.4	68.2	2.080	0.155	0.155	86.8	157.8	5.5	28.7	1.7
5	206.1	205.5	67.1	559.23	5.71	58.7	59.6	65.3	1.970	0.110	0.110	61.5	111.8	8.4	13.3	1.1
6	197.1	201.6	66.6	559.23	5.71	61.6	61.0	68.2	1.832	0.138	0.138	77.2	140.3	5.0	28.1	1.4
7	204.8	201.0	66.5	559.82	5.95	59.2	59.8	67.0	1.727	0.105	0.105	58.8	106.9	7.3	14.6	1.1
8	194.6	199.7	66.4	559.82	5.95	58.0	59.7	66.8	1.617	0.110	0.110	61.6	112.0	8.4	13.3	1.2
9	207.4	201.0	66.5	559.82	5.95	62.5	61.7	70.3	1.490	0.127	0.127	71.1	129.3	4.0	32.3	1.4
10	189.5	198.5	66.2	559.82	5.95	58.2	59.6	66.5	1.379	0.111	0.111	62.1	113.0	8.0	14.1	1.2
11	202.3	195.9	66.0	559.80	5.95	58.2	59.4	66.5	1.269	0.110	0.110	61.6	112.0	7.8	14.4	1.2
12	199.7	201.0	66.5	559.82	5.95	60.3	60.5	68.4	1.158	0.111	0.111	62.1	113.0	6.2	18.2	1.2
13	202.3	201.0	66.5	559.82	5.95	58.1	59.3	66.7	1.059	0.099	0.099	55.4	100.8	8.4	12.0	1.1
14	204.8	203.6	66.8	559.23	5.71	58.2	59.5	66.2	0.971	0.088	0.088	49.2	89.5	8.6	10.4	0.9
15	208.7	206.8	67.2	559.23	5.71	57.7	59.1	65.7	0.888	0.083	0.083	46.4	84.4	9.5	8.9	0.9
16	193.3	201.0	66.5	559.80	5.95	57.7	58.9	67.3	0.816	0.072	0.072	40.3	73.3	8.8	8.3	0.8
17	201.0	197.2	66.1	559.80	5.95	57.6	59.1	68.9	0.750	0.066	0.066	36.9	67.2	8.5	7.9	0.7
18	201.0	201.0	66.5	559.80	5.95	57.3	58.8	65.3	0.695	0.055	0.055	30.8	56.0	9.2	6.1	0.6
19	204.8	202.9	66.7	559.80	5.95	56.1	57.0	65.3	0.634	0.061	0.061	34.1	62.1	10.6	5.9	0.7
20	204.8	204.8	67.0	559.23	5.71	59.4	60.7	68.8	0.59	0.044	0.044	24.6	44.7	7.6	5.9	0.5
21	203.5	204.2	66.9	559.23	5.71	59.2	60.1	67.0	0.562	0.028	0.028	15.7	28.5	7.7	3.7	0.3
22	206.1	204.8	67.0	559.23	5.71	59.7	60.7	67.3	0.529	0.033	0.033	18.5	33.6	7.3	4.6	0.3
23	203.5	204.8	67.0	559.23	5.71	61.2	63.0	68.2	0.513	0.016	0.016	8.9	16.3	5.8	2.8	0.2
24	194.6	199.1	65.8	559.80	5.95	59.1	60.6	65.9	0.496	0.017	0.017	9.5	17.3	6.7	2.6	0.2
25																

Data No.50-2(P=50mm Hg abs. T=80℃)

실험일자 : 1998. 9. 24.

시 각	탱크 압력	시간 평균 압력	평균 포화 온도	평균 증발 잠열	평균 비용적	고추 표면 온도	고추 내부 온도	온수 입구 온도	무게	무게 감소량	무게 감소율	판당 전열량	열 프릭스	온 도 차	평균열 전달율	평균 증발 속도
hr	mm Hg	mm Hg	℃	kcal/kg	m ³ /kg	℃	℃	℃	kg	kg	kg/hr	kcal/hr	m ² /hr	℃	kcal/m ² hr	m/hr
0	770.6	x	x	x	x	21.0	19.5	21.3	5.000	x	x	x	x	x	x	x
1	47.4	409.0	83.5	549.02	2.93	21.6	20.8	64.5	4.933	0.067	0.067	36.7	76.4	61.9	1.2	0.2
2	46.1	46.8	36.9	576.59	22.76	28.8	30.0	80.2	4.707	0.226	0.226	130.4	271.7	8.1	33.5	5.1
3	49.9	48.0	37.3	576.59	22.76	35.2	35.0	79.6	4.465	0.242	0.242	139.3	290.2	2.1	138.2	5.5
4	58.9	54.4	39.7	574.88	19.55	38.4	39.6	79.8	4.280	0.185	0.185	106.4	221.6	1.3	170.5	3.6
5	43.5	51.2	38.6	575.45	20.56	34.0	34.2	79.4	4.090	0.190	0.190	109.4	228.0	4.6	49.6	3.9
6	47.4	45.5	36.3	577.16	23.97	35.5	36.4	79.5	3.915	0.175	0.175	100.9	210.1	0.8	262.7	4.2
7	49.9	48.7	37.6	576.02	21.63	36.1	36.7	81.5	3.669	0.247	0.247	142.1	296.1	1.5	197.4	5.3
8	48.7	49.3	37.9	576.02	21.63	36.3	36.8	79.8	3.468	0.200	0.200	115.5	240.6	1.6	150.3	4.3
9	53.8	51.3	38.7	575.45	20.56	37.4	37.7	80.2	3.237	0.231	0.231	133.1	277.3	1.3	213.3	4.8
10	52.5	53.2	39.3	575.45	20.56	37.2	37.8	79.5	3.042	0.195	0.195	112.4	234.2	2.1	111.5	4.0
11	42.3	47.4	37.3	576.59	22.76	35.1	34.8	80.1	2.852	0.190	0.190	109.7	228.4	2.2	103.8	4.3
12	47.4	44.9	36.1	577.16	23.97	38.5	37.1	79.5	2.697	0.154	0.154	89.0	185.4	2.4	77.3	3.7
13	49.9	48.7	37.6	576.02	21.63	41.1	39.6	80.0	2.512	0.185	0.185	106.6	222.1	3.5	63.4	4.0
14	47.4	48.7	37.6	576.02	21.63	41.8	41.8	79.9	2.343	0.170	0.170	97.7	203.5	4.2	48.5	3.7
15	41.0	44.2	35.9	577.16	23.97	42.7	42.7	79.9	2.183	0.159	0.159	92.0	191.6	6.8	28.2	3.8
16	46.1	43.6	35.7	577.16	23.97	46.3	46.2	79.9	2.055	0.128	0.128	74.2	154.5	10.6	14.6	3.1
17	58.9	52.5	39.0	575.45	20.56	51.4	51.5	80.4	1.916	0.139	0.139	79.9	166.4	12.4	13.4	2.9
18	41.0	50.0	38.1	576.02	21.63	51.9	50.6	80.3	1.772	0.144	0.144	82.9	172.7	13.8	12.5	3.1
19	41.0	41.0	34.4	578.29	26.60	54.2	52.6	79.3	1.633	0.139	0.139	80.3	167.2	19.8	8.4	3.7
20	46.1	43.6	35.7	577.16	23.97	58.2	56.9	80.4	1.531	0.103	0.103	59.3	123.6	22.5	5.5	2.5
21	58.9	52.5	39.0	575.45	20.56	61.9	60.4	79.6	1.433	0.098	0.098	56.2	117.1	22.9	5.1	2.0
22	56.3	57.6	40.8	574.31	18.60	65.5	65.5	79.5	1.330	0.103	0.103	59.0	123.0	24.7	5.0	1.9
23	49.9	53.1	39.3	575.45	20.56	66.8	66.7	79.0	1.263	0.067	0.067	38.5	80.1	27.5	2.9	1.4
24	58.9	54.4	39.7	574.88	19.55	66.7	66.4	79.8	1.207	0.057	0.057	32.5	67.7	27.0	2.5	1.1
25	55.1	57.0	40.6	574.31	18.60	67.0	66.7	80.2	1.145	0.062	0.062	35.4	73.8	26.4	2.8	1.1
26	46.1	50.6	38.3	576.02	21.63	66.7	66.5	79.9	1.094	0.051	0.051	29.6	61.7	28.4	2.2	1.1
27	43.5	44.8	36.1	577.16	23.97	66.7	66.5	79.6	1.053	0.041	0.041	23.7	49.4	30.6	1.6	1.0
28	56.3	49.9	38.1	576.02	21.63	67.4	67.0	79.6	1.027	0.026	0.026	14.8	30.8	29.3	1.1	0.6
29	56.3	56.3	40.3	574.88	19.55	68.3	67.6	80.8	1.006	0.021	0.021	11.8	24.6	28.0	0.9	0.4
30	51.2	53.8	39.4	575.45	20.56	67.2	66.9	80.1	0.996	0.010	0.010	5.9	12.3	27.8	0.4	0.2
31																
32																
33																
34																
35																

Data No. 51-2(P=50mm Hg abs. T=75°C)

실험일자 : 1998. 9. 28.

시 각	탱크 압력	시간 평균 압력	평균 포화 온도	평균 증발 잠열	평균 비용적	고추 표면 온도	고추 내부 온도	온수 입구 온도	무게	무게 감소량	무게 감소율	판당 전열량	열 프릭스	온 도 차	평균열 전달율	평균 증발 속도
hr	mm Hg	mm Hg	°C	kcal/kg	m ³ /kg	°C	°C	°C	kg	kg	kg/hr	kcal/hr	m ² hr	°C	m ³ hr °C	m/hr
0	760	x	x	x	x	20.7	20.6	22.1	5.000	x	x	x	x	x	x	
1	61.5	410.8	83.7	549.21	2.9	39.3	24.5	74.5	4.939	0.061	0.061	33.5	69.9	44.4	1.6	0.2
2	47.4	54.5	39.9	574.91	19.6	49.3	35.8	75.3	4.725	0.214	0.214	122.8	255.8	9.4	27.2	4.2
3	48.7	48.1	37.3	576.4	22.4	49.7	35	75.4	4.522	0.203	0.203	117.3	244.3	12.4	19.7	4.6
4	48.7	48.7	37.3	576.4	22.4	49.8	35.8	75	4.349	0.173	0.173	99.7	207.6	12.5	16.6	3.9
5	49.9	49.3	38.6	575.6	20.9	50.8	36.3	75.5	4.156	0.193	0.193	111.2	231.8	12.2	19.0	4.0
6	49.9	49.9	38.6	575.6	20.9	51.4	36.8	75.3	3.922	0.234	0.234	134.7	280.5	12.8	21.9	4.9
7	52.4	51.2	38.6	575.6	20.9	51.3	37.5	73.7	3.744	0.178	0.178	102.5	213.5	12.7	16.8	3.7
8	49.9	51.2	38.6	575.6	20.9	50.8	35.6	74.4	3.510	0.234	0.234	134.7	280.5	12.2	23.0	4.9
9	43.5	46.7	37.3	576.4	22.4	50	33.7	74.2	3.291	0.219	0.219	126.1	262.6	12.7	20.7	4.9
10	40.9	42.2	34.3	578.1	26.2	50.4	33.8	75.2	3.088	0.203	0.203	117.6	245.0	16.1	15.2	5.3
11	53.7	47.3	37.3	576.4	22.4	51.7	37.5	74.6	2.945	0.142	0.142	82.1	171.0	14.4	11.9	3.2
12	53.7	53.7	38.6	575.6	20.9	52.6	37.8	75	2.777	0.168	0.168	96.6	201.3	14.0	14.4	3.5
13	47.3	50.5	38.6	575.6	20.9	52.3	36.8	75.2	2.625	0.153	0.153	87.8	183.0	13.7	13.4	3.2
14	44.8	46.1	37.3	576.4	22.4	52.6	35	74.9	2.457	0.168	0.168	96.7	201.5	15.3	13.2	3.8
15	49.9	47.4	37.3	576.4	22.4	54	36.9	75.3	2.304	0.153	0.153	87.9	183.2	16.7	11.0	3.4
16	49.9	49.9	38.6	575.6	20.9	52.6	35	75.2	2.162	0.142	0.142	82.0	170.8	14.0	12.2	3.0
17	49.9	49.9	38.6	575.6	20.9	56.5	40.6	75.4	2.050	0.112	0.112	64.4	134.2	17.9	7.5	2.3
18	51.2	50.6	38.6	575.6	20.9	57.1	41.4	75.2	1.948	0.102	0.102	58.5	122.0	18.5	6.6	2.1
19	48.7	50.0	38.6	575.6	20.9	57.5	40.9	75.1	1.826	0.122	0.122	70.3	146.4	18.9	7.7	2.6
20	48.6	48.7	38.6	575.6	20.9	57.1	41.8	74.9	1.725	0.102	0.102	58.5	122.0	18.5	6.6	2.1
21	47.3	48.0	37.3	576.4	22.4	58.1	43.6	74.9	1.623	0.102	0.102	58.6	122.1	20.8	5.9	2.3
22	48.6	48.0	37.3	576.4	22.4	59.3	47.2	76.1	1.542	0.081	0.081	46.9	97.7	22.0	4.4	1.8
23	46.0	47.3	37.3	576.4	22.4	59.0	49.2	75.8	1.460	0.081	0.081	46.9	97.7	21.7	4.5	1.8
24	48.7	47.4	37.3	576.4	22.4	58.3	51.5	75.0	1.394	0.066	0.066	38.1	79.4	21.0	3.8	1.5
25	48.7	48.7	38.6	575.6	20.9	60.4	57.0	74.7	1.328	0.066	0.066	38.1	79.3	21.8	3.6	1.4
26	49.9	49.3	38.6	575.6	20.9	60.9	58.0	75.4	1.257	0.071	0.071	41.0	85.4	22.3	3.8	1.5
27	49.9	49.9	38.6	575.6	20.9	61.4	60.2	74.9	1.216	0.041	0.041	23.4	48.8	22.8	2.1	0.9
28	49.9	49.9	38.6	575.6	20.9	61.7	60.8	75.2	1.175	0.041	0.041	23.4	48.8	23.1	2.1	0.9
29	48.7	49.3	38.6	575.6	20.9	62.3	61.2	75.7	1.135	0.041	0.041	23.4	48.8	23.7	2.1	0.9
30	49.9	49.3	38.6	575.6	20.9	63.4	62.8	75.4	1.094	0.041	0.041	23.4	48.8	24.8	2.0	0.9

Data No. 54-2(P=50mm Hg abs. T=70℃)

실험일자 : 1998. 10. 14.

시 각	탱크 압력	시간 평균 압력	평균 포화 온도	평균 증발 잠열	평균 비용적 비용적	고추 표면 온도	고추 내부 온도	온수 입구 온도	무게	무게 감소량	무게 감소율	관당 전열량	열 프릭스	온 도 차	평균열 전달율	평균 증발 속도
hr	mm Hg	mm Hg	℃	kcal/kg	m ³ /kg	℃	℃	℃	kg	kg	kg/hr	kcal/hr	kcal/ m ² hr	℃	kcal/ m ² hr ℃	m/hr
0	759.0	x	x	x	x	21.2	20.7	23.6	5.000	x	x	x	x	x	x	x
1	51.2	405.1	83.1	549.43	2.97	28.5	27.2	67.2	4.873	0.127	0.127	69.6	144.9	54.6	2.7	0.8
2	51.2	51.2	38.6	575.64	20.91	39.8	39.2	66.8	4.645	0.228	0.228	131.2	273.4	1.2	227.9	9.9
3	48.7	50.0	38.4	575.60	21.02	39.3	37.3	70.9	4.433	0.213	0.213	122.5	255.2	0.9	283.5	9.3
4	53.7	51.2	38.6	575.64	20.91	40.7	40.1	70.1	4.205	0.228	0.228	131.2	273.4	2.1	130.2	9.9
5	49.9	51.8	38.7	575.46	20.82	39.1	38.5	70.2	3.966	0.238	0.238	137.0	285.5	0.4	713.7	10.3
6	53.7	51.8	38.7	575.46	20.82	37.0	37.0	70.0	3.733	0.233	0.233	134.1	279.4	1.7	164.4	10.1
7	49.9	51.8	38.7	575.46	20.82	36.0	36.2	70.4	3.485	0.248	0.248	142.9	297.6	2.7	110.2	10.8
8	51.2	50.6	38.6	575.64	20.91	35.3	35.2	69.7	3.211	0.274	0.274	157.5	328.1	3.3	99.4	11.9
9	56.3	53.8	39.1	574.23	20.24	37.1	36.9	70.3	3.054	0.157	0.157	90.2	187.9	2.0	94.0	6.6
10	47.3	51.8	38.7	575.46	20.82	32.0	31.8	69.8	2.902	0.152	0.152	87.5	182.2	6.7	27.2	6.6
11	51.2	49.3	38.6	575.64	20.91	37.0	37.5	68.6	2.761	0.142	0.142	81.7	170.1	1.6	106.3	6.2
12	52.4	51.8	38.7	575.46	20.82	36.8	38.8	69.2	2.624	0.137	0.137	78.7	164.0	1.9	86.3	5.9
13	52.4	52.4	38.7	575.46	20.82	36.5	40.5	70.2	2.467	0.157	0.157	90.4	188.3	2.2	85.6	6.8
14	48.6	50.5	38.6	575.64	20.91	37.4	44.2	70.5	2.386	0.081	0.081	46.7	97.2	1.2	81.0	3.5
15	46.0	47.3	37.2	575.71	22.51	36.5	43.6	69.9	2.208	0.177	0.177	102.1	212.7	0.7	303.8	8.3
16	49.9	48.0	37.3	576.32	22.32	39.6	45.9	69.5	2.082	0.127	0.127	73.0	152.1	2.3	66.1	5.9
17	53.3	51.6	38.7	575.46	20.82	42.3	50.6	69.6	1.945	0.137	0.137	78.7	164.0	3.6	45.6	5.9
18	56.3	54.8	39.8	575.10	19.69	45.6	52.4	68.6	1.843	0.101	0.101	58.3	121.4	5.8	20.9	4.2
19	47.4	51.9	38.7	575.46	20.82	46.5	53.3	69.6	1.783	0.061	0.061	35.0	72.9	7.8	9.3	2.6
20	46.1	46.8	36.1	576.84	23.24	54.4	55.5	69.7	1.681	0.101	0.101	58.5	121.8	18.3	6.7	4.9
21	49.9	48.0	37.3	576.32	22.32	55.5	56.3	69.8	1.605	0.076	0.076	43.8	91.3	18.2	5.0	3.5
22	53.7	51.8	38.7	575.46	20.82	56.5	56.9	69.5	1.555	0.051	0.051	29.2	60.7	17.8	3.4	2.2
23	57.6	55.7	40.1	574.71	19.39	57.0	57.3	68.8	1.499	0.056	0.056	32.0	66.7	16.9	3.9	2.3
24	53.7	55.7	40.1	574.71	19.39	56.9	57.2	68.7	1.438	0.061	0.061	34.9	72.8	16.8	4.3	2.5
25	53.7	53.7	39.1	574.23	20.24	57.7	57.9	69.6	1.387	0.051	0.051	29.1	60.6	18.6	3.3	2.1
26	48.7	51.2	38.6	575.64	20.91	59.4	59.7	69.5	1.342	0.046	0.046	26.2	54.7	20.8	2.6	2.0
27	51.2	50.0	38.4	575.60	21.02	61.0	60.7	69.3	1.306	0.035	0.035	20.4	42.5	22.6	1.9	1.6
28	49.9	50.6	38.6	575.64	20.91	60.9	60.9	69.8	1.291	0.015	0.015	8.7	18.2	22.3	0.8	0.7
29	49.9	49.9	38.4	575.60	21.02	61.0	61.1	69.6	1.276	0.015	0.015	8.8	18.2	22.6	0.8	0.7
30																

Data No. 52-2(P=100mm Hg abs. T=75°C)

실험일자 : 1998. 9. 30.

시 각	탱크 압력	시간 평균 압력	평균 포화 온도	평균 증발 잠열	평균 비용적 비용적	고추 표면 온도	고추 내부 온도	온수 입구 온도	무게	무게 감소량	무게 감소율	관당 전열량	열 프릭스	온 도 차	평균열 전달율	평균 증발 속도
hr	mm Hg	mm Hg	°C	kcal/kg	m ³ /kg	°C	°C	°C	kg	kg	kg/hr	kcal/hr	kcal/m ² hr	°C	kcal/m ² hr	m/hr
0	747.5	x	x	x	x	33.7	11.6	31.1	5.000	x	x	x	x	x	x	x
1	115.2	431.4	84.9	548.41	2.89	18.8	38.0	75.8	4.925	0.075	0.075	41.0	85.4	66.1	1.3	0.2
2	92.2	103.7	52.3	567.99	10.98	41.9	44.1	69.9	4.726	0.199	0.199	113.2	235.8	10.4	22.7	2.2
3	98.6	95.4	50.7	568.57	11.50	50.1	51.0	76.1	4.567	0.159	0.159	90.6	188.8	0.6	314.7	1.8
4	96.0	97.3	51.0	568.57	11.50	47.9	48.8	73.5	4.377	0.189	0.189	107.6	224.2	3.1	72.3	2.2
5	103.7	99.9	51.5	567.99	10.98	47.2	48.1	72.4	4.223	0.154	0.154	87.7	182.7	4.3	42.5	1.7
6	102.4	103.1	52.2	567.99	10.98	47.7	48.5	72.2	4.039	0.184	0.184	104.7	218.1	4.5	48.5	2.0
7	99.9	101.2	51.8	567.99	10.98	47.8	48.8	71.9	3.864	0.174	0.174	99.0	206.3	4.0	51.6	1.9
8	101.1	100.5	51.7	567.99	10.98	47.6	48.7	72.0	3.670	0.194	0.194	110.3	229.9	4.1	56.1	2.1
9	94.7	97.9	51.1	568.57	11.50	47.2	48.3	71.9	3.496	0.174	0.174	99.1	206.5	3.9	53.0	2.0
10	94.7	94.7	50.4	569.15	12.05	47.0	48.2	72.8	3.326	0.169	0.169	96.4	200.8	3.4	59.1	2.0
11	99.9	97.3	51.0	568.57	11.50	47.1	48.6	75.3	3.142	0.184	0.184	104.8	218.3	3.9	56.0	2.1
12	101.1	100.5	51.7	567.99	10.98	47.8	49.0	74.7	2.958	0.184	0.184	104.7	218.1	3.9	55.9	2.0
13	102.4	101.8	51.9	567.99	10.98	47.7	49.7	74.2	2.783	0.174	0.174	99.0	206.3	4.2	49.1	1.9
14	103.7	103.1	52.2	567.99	10.98	47.9	50.4	74.0	2.614	0.169	0.169	96.2	200.4	4.3	46.6	1.9
15	106.3	105.0	52.7	567.42	10.49	48.0	51.4	73.4	2.460	0.154	0.154	87.6	182.5	4.7	38.8	1.6
16	103.7	105.0	52.7	567.42	10.49	47.0	51.6	74.2	2.305	0.154	0.154	87.6	182.5	5.7	32.0	1.6
17	103.7	103.7	52.3	567.99	10.98	48.5	53.0	74.7	2.151	0.154	0.154	87.7	182.7	3.8	48.1	1.7
18	105.0	104.4	52.4	567.99	10.98	49.2	54.1	73.6	1.996	0.154	0.154	87.7	182.7	3.2	57.1	1.7
19	97.3	101.2	51.8	567.99	10.98	49.2	55.2	74.6	1.862	0.134	0.134	76.4	159.1	2.6	61.2	1.5
20	93.5	95.4	50.7	568.57	11.50	50.5	57.6	75.0	1.722	0.139	0.139	79.3	165.2	0.2	826.0	1.6
21	97.3	95.4	50.7	568.57	11.50	51.1	58.2	73.7	1.613	0.110	0.110	62.3	129.8	0.4	324.5	1.3
22	94.7	96.0	50.8	568.57	11.50	52.9	59.3	73.4	1.493	0.120	0.120	68.0	141.6	2.1	67.4	1.4
23	90.9	92.8	50.0	569.15	12.05	54.1	60.2	72.5	1.389	0.105	0.105	59.5	124.0	4.1	30.3	1.3
24	90.9	90.9	49.7	569.15	12.05	55.9	60.1	72.1	1.319	0.070	0.070	39.7	82.7	6.2	13.3	0.8
25	99.9	95.4	50.7	568.57	11.50	60.5	62.9	73.6	1.244	0.075	0.075	42.5	88.5	9.8	9.0	0.9
26	98.6	99.3	51.4	568.57	11.50	62.1	63.2	73.0	1.184	0.060	0.060	34.0	70.8	10.7	6.6	0.7
27	106.3	102.5	52.1	567.99	10.98	65.9	65.6	74.4	1.125	0.060	0.060	34.0	70.7	13.8	5.1	0.7
28	103.7	105.0	52.7	567.42	10.49	65.8	64.3	73.0	1.075	0.050	0.050	28.3	58.9	13.1	4.5	0.5
29	101.1	102.4	52.1	567.99	10.98	66.4	65.6	74.2	1.035	0.040	0.040	22.6	47.2	14.3	3.3	0.4
30	98.6	99.9	51.5	567.99	10.98	67.4	66.2	74.5	1.020	0.015	0.015	8.5	17.6	15.9	1.1	0.2

Data No. 53-2(P=200mm Hg abs. T=75°C)

실험일자 : 1998. 10. 11.

시 각	탱크 압력	시간 평균	평균 포화	평균 증발	평균 비용 적	고추 표면	고추 내부	온수 입구	무게	무게 감소량	무게 감소율	판당 전열 량	열 프럭스	온 도	평균열 전달율	평균 증발
hr	mm Hg	mm Hg	온도 °C	잠열 kcal/kg	m ³ /kg	온도 °C	온도 °C	온도 °C	kg	kg	kg/hr	kcal/hr	kcal/ m ² hr	차 °C	kcal/ m ² hr °C	속도 m/hr
0	769.3	x	x	x	x	19.0	19.0	18.7	5.000	x	x	x	x	x	x	x
1	195.9	482.6	87.7	546.57	2.45	50.6	35.8	77.5	4.887	0.113	0.113	61.7	128.6	37.1	3.5	0.6
2	194.6	195.3	65.9	559.82	5.95	56.0	49.1	73.7	4.733	0.154	0.154	86.2	179.5	9.9	18.1	1.9
3	194.6	194.6	65.8	559.82	5.95	57.4	49.4	74.7	4.502	0.231	0.231	129.2	269.2	8.4	32.1	2.9
4	201.0	197.8	66.1	559.82	5.95	58.9	50.0	75.4	4.271	0.231	0.231	129.2	269.2	7.2	37.4	2.9
5	198.4	199.7	66.4	559.82	5.95	58.2	49.9	75.0	4.035	0.236	0.236	132.1	275.2	8.2	33.6	2.9
6	203.5	201.0	66.6	559.23	5.71	58.2	50.0	75.6	3.794	0.241	0.241	134.8	280.9	8.4	33.4	2.9
7	208.7	206.1	67.1	559.23	5.71	58.5	49.9	75.6	3.553	0.241	0.241	134.8	280.9	8.6	32.7	2.9
8	206.1	207.4	67.3	559.23	5.71	58.3	49.8	75.3	3.327	0.226	0.226	126.2	263.0	9.0	29.2	2.7
9	202.3	204.2	66.9	559.23	5.71	58.3	49.3	74.9	3.102	0.226	0.226	126.2	263.0	8.6	30.6	2.7
10	203.5	202.9	66.8	559.23	5.71	58.9	50.2	74.7	2.881	0.221	0.221	123.4	257.0	7.9	32.5	2.6
11	197.1	200.3	66.5	559.23	5.71	59.7	50.6	74.1	2.676	0.205	0.205	114.8	239.1	6.8	35.2	2.4
12	198.4	197.8	66.1	559.82	5.95	59.8	50.6	73.3	2.486	0.190	0.190	106.3	221.4	6.3	35.1	2.4
13	203.5	201.0	66.6	559.23	5.71	60.1	50.8	73.2	2.322	0.164	0.164	91.8	191.3	6.5	29.4	2.0
14	198.4	201.0	66.6	559.23	5.71	61.4	51.5	73.5	2.117	0.205	0.205	114.8	239.1	5.2	46.0	2.4
15	198.4	198.4	66.2	559.82	5.95	61.6	51.0	73.3	1.973	0.144	0.144	80.4	167.5	4.6	36.4	1.8
16	199.7	199.1	66.3	559.82	5.95	62.6	51.3	73.4	1.835	0.139	0.139	77.5	161.5	3.7	43.7	1.7
17	203.5	201.6	66.7	559.23	5.71	64.3	52.7	74.1	1.701	0.133	0.133	74.6	155.4	2.4	64.8	1.6
18	203.5	203.5	66.8	559.23	5.71	65.2	53.6	74.4	1.578	0.123	0.123	68.9	143.4	1.6	89.7	1.5
19	206.1	204.8	67.0	559.23	5.71	64.3	53.2	72.8	1.460	0.118	0.118	66.0	137.5	2.7	50.9	1.4
20	207.4	206.8	67.2	559.23	5.71	64.9	54.7	73.5	1.383	0.077	0.077	43.0	89.7	2.3	39.0	0.9
21	202.3	204.9	67.0	559.23	5.71	65.3	57.0	74.0	1.306	0.077	0.077	43.0	89.7	1.7	52.7	0.9
22	197.1	199.7	66.4	559.82	5.95	66.0	59.4	74.8	1.245	0.062	0.062	34.5	71.8	0.4	179.5	0.8
23	199.7	198.4	66.2	559.82	5.95	66.0	61.3	74.7	1.183	0.062	0.062	34.5	71.8	0.2	359.0	0.8
24	197.1	198.4	66.2	559.82	5.95	65.7	62.7	74.0	1.132	0.051	0.051	28.7	59.8	0.5	119.7	0.6
25	197.1	197.1	66.1	559.82	5.95	65.7	63.2	73.3	1.096	0.036	0.036	20.1	41.9	0.4	104.7	0.4
26	204.8	201.0	66.6	559.23	5.71	67.2	65.3	74.0	1.086	0.010	0.010	5.7	12.0	0.6	19.9	0.1
27	185.6	195.2	65.9	559.82	5.95	67.0	64.8	74.9	1.060	0.026	0.026	14.3	29.9	1.1	27.1	0.3
28																
29																
30																

Data No. 55N (P=50mm Hg abs.T=75°C)

실험일자 : 1998. 10. 16.

시 각	탱크 압력	시간 평균 압력	평균 포화 온도	평균 증발 잠열	평균 비용적	고추 표면 온도	고추 내부 온도	온수 입구 온도	무게	무게 감소량	무게 감소율	판당 전열량	열 프릭스	온 도 차	평균열 전달율	평균 증발 속도
hr	mm Hg	mm Hg	°C	kcal/kg	m ³ /kg	°C	°C	°C	kg	kg	kg/hr	kcal/hr	kcal/ m ² hr	°C	kcal/ m ² hr °C	m/hr
0	761.6	x	x	x	x	18.6	18.0	20.7	2.500	x	x	x	x	x	x	x
1	48.7	405.2	83.1	549.43	2.97	41.6	41.5	75.6	2.447	0.053	0.053	29.3	61.0	41.5	1.5	0.3
2	48.7	48.7	37.4	576.32	22.22	42.0	42.7	75.5	2.358	0.089	0.089	51.2	106.6	4.6	23.2	4.1
3	48.7	48.7	37.4	576.32	22.22	41.9	43.0	75.2	2.240	0.118	0.118	68.2	142.1	4.5	31.6	5.5
4	46.1	47.4	37.2	575.71	22.51	41.0	41.7	75.8	2.092	0.148	0.148	85.2	177.5	3.8	46.7	6.9
5	43.5	44.8	35.7	577.13	24.08	41.6	41.9	75.2	1.926	0.166	0.166	95.6	199.2	5.9	33.8	8.3
6	49.9	46.7	36.1	576.84	23.24	43.0	44.9	75.4	1.796	0.130	0.130	75.1	156.5	6.9	22.7	6.3
7	48.7	49.3	38.6	575.64	20.91	44.5	49.5	75.7	1.642	0.154	0.154	88.6	184.5	5.9	31.3	6.7
8	48.7	48.7	37.4	576.32	22.22	51.6	58.9	75.6	1.500	0.142	0.142	81.9	170.5	14.2	12.0	6.6
9	46.1	47.4	37.2	575.71	22.51	57.6	63.0	75.9	1.370	0.130	0.130	75.0	156.2	20.4	7.7	6.1
10	51.2	48.7	37.4	576.32	22.22	62.1	64.8	75.7	1.245	0.124	0.124	71.6	149.2	24.7	6.0	5.8
11	53.8	52.5	38.7	575.46	20.82	64.9	65.8	76.1	1.133	0.112	0.112	64.7	134.8	26.2	5.1	4.9
12	55.1	54.5	39.8	575.10	19.69	65.9	66.0	75.4	1.044	0.089	0.089	51.1	106.4	26.1	4.1	3.6
13	56.3	55.7	40.0	574.71	19.42	66.4	66.7	75.4	0.944	0.101	0.101	57.8	120.5	26.4	4.6	4.1
14	55.1	55.7	40.0	574.71	19.42	66.0	67.2	74.7	0.849	0.095	0.095	54.4	113.4	26.0	4.4	3.8
15	52.5	53.8	39.2	575.32	20.21	66.6	67.2	75.9	0.766	0.083	0.083	47.7	99.3	27.4	3.6	3.5
16	42.3	47.4	37.2	575.71	22.51	68.1	68.1	76.2	0.642	0.124	0.124	71.5	149.1	30.9	4.8	5.8
17	43.5	42.9	35.6	577.46	24.98	68.1	69.0	76.3	0.583	0.059	0.059	34.2	71.2	32.2	2.2	3.1
18	44.8	44.2	35.8	577.26	24.18	68.2	68.2	76.0	0.535	0.047	0.047	27.3	56.9	32.4	1.8	2.4
19	46.1	45.5	36.2	576.82	23.42	68.2	68.2	76.2	0.500	0.036	0.036	20.5	42.7	32.0	1.3	1.7
20	53.8	50.0	38.4	575.60	21.02	67.1	67.9	75.2	0.488	0.012	0.012	6.8	14.2	28.7	0.5	0.5
21	51.2	52.5	38.7	575.46	20.82	67.2	67.3	75.3	0.476	0.012	0.012	6.8	14.2	28.5	0.5	0.5
22	52.5	51.9	38.7	575.46	20.82	67.3	67.8	76.0	0.476	0.001	0.001	0.6	1.2	28.6	0.0	0.0
23																
24																
25																
26																
27																
28																
29																

Appendix III : Experimental Data for Mushrooms

Data No. 57

실험일자 : 1998. 11. 11.

시 각	탱크 압력	시간 평균 압력	평균 포화 온도	평균 증발 잠열	평균 비용적 비용적	버섯 표면 온도	버섯 꼭지 온도	온수 온도	무게	무게 감소량	무게 감소율	판당 전열량	열 프럭스 kcal/ m ² hr	온 도 차 ℃	평균열 전달율 kcal/ m ² hr ℃	평균 증발 속도 m/hr
hr	mm Hg	mm Hg	℃	kcal/kg	m ³ /kg	℃	℃	℃	kg	kg	kg/hr	kcal/hr	m ² hr	℃	m ² hr ℃	m/hr
0	760.0	x	x	x	x	17.7	17.9	16.2	2.500	x	x	x	x	x	x	x
1	51.2	405.6	83.2	549.5	2.97	26.1	26.6	74.4	2.388	0.112	0.112	61.6	112.0	57.1	2.0	0.6
2	46.1	48.7	38.2	576.2	22.12	28.5	29.4	74.7	1.995	0.393	0.393	226.3	411.4	9.7	42.4	15.8
3	49.9	48.0	38.1	576.3	22.42	28.4	30.2	76.1	1.613	0.382	0.382	220.4	400.7	9.7	41.3	15.6
4	49.9	49.9	38.5	575.8	21.54	28.5	30.5	75.3	1.313	0.300	0.300	172.6	313.8	10.0	31.4	11.7
5	51.2	50.6	38.7	575.7	21.02	27.5	31.1	74.2	1.013	0.300	0.300	172.5	313.7	11.2	28.0	11.5
6	49.9	50.6	38.7	575.7	21.02	28.3	42.6	74.1	0.755	0.258	0.258	148.7	270.4	10.4	26.0	9.9
7	53.8	51.9	38.9	575.5	20.32	45.6	55.7	74.6	0.548	0.207	0.207	119.0	216.3	6.7	32.3	7.6
8	52.5	53.2	39.2	575.2	20.14	65.6	65.9	75.6	0.383	0.165	0.165	95.1	172.9	26.4	6.6	6.1
9	51.2	51.9	38.7	575.6	21.02	71.4	71.4	75.8	0.269	0.114	0.114	65.4	119.0	32.7	3.6	4.3
10	52.5	51.9	38.9	575.2	20.32	71.3	71.6	75.6	0.222	0.047	0.047	27.2	49.4	32.4	1.5	1.7
11																
12																
13																
14																
15																

1) 시험방법 : 현재 가장 일반적으로 사용하는 L*a*b* 표색을 사용하여 색도측정을 하였으며, 수치가 커지면 색은 선명하게된다. 고추의 색도 측정부위는 고추의 꼭지 방향을 상부로 하여 상·부·하부로 나누고 앞면과 뒷면을 2회 측정하여 평균값을 취함.

시 험 명 : 강도 평가시험

시험결과

구분 횟수	1차 시도	2차 시도	3차 시도 (태양초)	4차 시도	5차 시도
상 부	175	210	290	380	270
중 부	195	220	280	405	275
하 부	210	230	310	520	320

1) 시험방법 : 강도 측정은 바늘형 어댑터를 사용하여 최대하중(gf)으로 표시하였고, 측정 모드 20, 테이블 스피드 120mm/min로 설정하였다. 고추의 강도 측정은 고추 꼭지를 상부로 하여 상·중·하부로 나누어 부위별 각각10회 측정후 평균값을 취함.

시 험 명 : 발아율 평가시험

시험결과

구분 경과일	1차 시도			2차 시도			3차 시도 (태양초)			4차 시도			5차 시도		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
측정 1일째	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
측정 5일째	60	40	69	78	79	31	24	2	1	100	91	99	84	85	90
측정 7일째	74	50	93	80	91	38	44	15	5	100	98	100	93	93	93
측정 9일째	78	56	97	81	83	87	64	25	5	100	100	100	95	95	95

1) 시험방법 : 고추에서 씨앗을 분리 300개를 채취하여, 증류수로 완전히 세척한 후 사려에 거름종이를 깔고 100개씩 배열하고 물을 적정하게 주입한 후 온도를 25℃, 1일 1회씩 수분을 공급하면서 발아율을 측정하여, 결과는 3개의 실험군을 만들어 백분율로 표시함.

※1) 위 내용은 의뢰자가 제공한 시료의 시험결과이며, 시료명과 시험조건은 의뢰자가 제시한 것임.

※ 이 성적서는 상업적 광고나 선전 및 소송용으로 사용할 수 없음.

담당연구원 : 한충수교수, (0431) 261-2500

충북대학교 농과대학장



謝 辭

본 연구논문이 완성되기까지 배움의 길을 열어 주시고, 성심 성의껏 지도하며 모자란 부분을 채워주신 김정근 지도교수님께 진심으로 감사드립니다.

바쁘신 중에도 귀중한 시간을 내시어 논문심사를 하여 주신 윤석훈 교수님, 오 철 교수님께 감사드리며, 대학원 과정을 무사히 마칠 수 있도록 학문지도와 용기, 사랑을 주신 최순열 교수님께 감사드립니다.

또한 실험장치 제작에 도움을 주신 우성기계 사장님 이하 임직원 여러분께 감사드리며, 실험장치의 설계 및 실험에 있어 많은 도움을 주신 열공학 연구실의 최두열 선배님, 이정혜, 김호영, 박영승님 그리고 전열제어연구실의 선후배님들께 감사드립니다.

끝으로 오늘이 있기까지 사랑과 정성으로 뒷바라지해 주신 아버지님, 어머니께 이 작은 정성을 드립니다.