

## 農畜産物の貯藏 및 流通을 위한 減壓蒸發 急冷却시스템에 關한 研究

김성규\* · 김원녕\* · 김경석\*\* · 최순열\*\*\* · 전현필\*\*\*\*

A Study on the Rapid Cooling Vacuum System for the Storage and  
Transportation of the Cold Agriculture and Livestock Products

S. G. Kim · W. N. Kim · S. Y. Choe · H. P. Jeon

**Key words** : Refrigerants(냉매), Latent heat(잠열), Evaporation(증발), Vacuum(진공), Cooling system(냉각장치)

### Abstract

Recently, the new refrigerating system, using non - fluorinated hydrocarbon refrigerants has to be developed for the agricultural fields. One of that kinds of systems is the cooling system using the water vapor and vacuum, in which the water evaporate at the low temperature under vacuum and absorb the large amount of the latent heat. If vapor with large amount of latent heat is removed from the system, the system is cooled accordingly.

The characteristics of cooling under the vacuum was observed and measured using experimental apparatus, which is consisted of vacuum chamber, the ejectors, the pumps and the measurement apparatus.

As the results of experiments, we know that the evaporation in the vacuum occurs vigorously when the materials to be cooled has more amounts of heat before cooling, and by which effects the materials can be cooled. The cooling vacuum system is more efficient than other methods when the agricultural products is chilled or dried.

\* 정회원, 한국해양대학교  
\*\* 정회원, 한국해기연수원  
\*\*\* 정회원, 군산대학교 해양산업대학  
\*\*\*\* 정회원, 우일상운(주)

기호설명

A	: 전열면적	[m <sup>2</sup> ]
C <sub>p</sub>	: 정압비열	[kcal/kg · °C]
d	: 전열두께	[m]
t	: 온도 또는 시간	[°C or sec]
E	: 실효전압	[V]
J	: 열의 일당량	[kJ/kcal]
R	: 전기저항	[Ω]
Q	: 열량	[kcal]
Q <sub>All</sub>	: 총열량	[kcal]
Q <sub>t</sub>	: 침입열량	[kcal]
Q <sub>c</sub>	: 냉각물의 열량	[kcal]
Q <sub>i</sub>	: 호흡열	[kcal]
Q <sub>r</sub>	: 환기 및 출입문에 의한 열량	[kcal]
U	: 열관류율	[kcal/m <sup>2</sup> · hr · °C]
α	: 열전달계수	[kcal/m <sup>2</sup> · hr · °C]
λ	: 열전도계수	[kcal/m · hr · °C]

첨자

a	: 대기
c	: 진공탱크내 냉각물
d	: 진공탱크내 증발증기
i	: 내부
l	: 외부
s	: 냉각물

1. 서 론

지금까지 우리나라에서 농림수산업은 농축산물의 재배와 사육만을 하는 1차산업으로만 여겨져 왔으나, 현대의 선진농업은 농축산물의 유통과 가공에 이르기까지 1, 2, 3차산업이 혼합된 복합산업으로 변모하고 있다. 특히 WTO체제 출범 등으로 시장개방이 현실화되면서 경쟁력의 제고를 위한 농축산물의 생산, 운송 및 저장 등에 관한 선진기술의 개발이 시급하게 요구되고 있는 실정이다.

농축산물의 생산, 운반, 저장 등의 과정에서 가장 염려가 되는 것은 이들의 선도저하와 부패 및 이로 인한 식중독의 발생이다. 지금까지 이러한 문제들의 해결은 주로 냉장고를 이용하는 유통의 최

종 단계인 소비자에게만 맡겨져 있었다. 또한 세계 무역이 우루과이 라운드(Uruguay Round)에 의한 W.T.O체제로 변화됨에 따라, 국내에 취약한 기반을 갖고 있는 농업의 경쟁력을 확보하기 위하여는 그 생산물의 가공처리를 하거나, 생산과 소비와의 불균형을 시정하기 위하여 수확시 일시적으로 과잉되는 물량을 저장하였다가 일정한 시기에 출하함으로써 가격의 안정을 기할 수 있고, 아울러 농민의 불이익을 방지할 수 있으리라 본다. 그러나 아직 국내에는 이를 위한 농축산물의 장기보존기술이 생산지에서부터 채용되는 경우는 거의 없는 실정이다. 더욱이 현대에는 농축산물의 다량 생산에 의한 대형 운송장비와 장거리 운송을 위한 보관시간의 연장이 요구되고 있으므로, 생산지에서부터 농축산물의 선도유지와 장기보존대책이 마련되어야 할 것이다.

이와 같은 장기보존기술을 필요로 하는 농축산물로는 야채, 어묵 등의 가공식품, 통닭 등의 축산물 및 어포의 건조 등이 있다.

진공냉동장치는 증발압력을 낮추어 저온 상태에서 수분을 증발시킬 경우 주위로부터 막대한 증발잠열을 빼앗아 가는 현상을 이용하여 식품을 원하는 온도와 습도상태에서 냉장, 냉동 및 건조시키는 장치이다. 이와 같은 진공냉동장치는 급속냉각이 가능하고, 무균냉각으로 부패의 속도를 감소시킬 수 있으며, 좁은 장소에서의 대량 냉각이 가능한 장점을 갖고 있다<sup>1)</sup>.

베인펌프를 이용한 기존의 진공냉각장치는 베인펌프의 특성상 기름이 함유된 폐수의 발생이 문제가 되므로 본 논문에서는 베인펌프 대신에 수구동 액체이젝터(Water driven ejector)를 이용한 진공냉각실험장치를 설계 제작하여 수구동 액체이젝터의 진공추기특성, 저온상태에서 식품의 건조 특성 및 감압증발에 의한 식품의 냉각속도 등에 관한 실험을 수행하였다.

2. 진공 급냉각시스템

진공 급냉각장치의 원리는 물을 강제적으로 증발시키면, 증발온도에 따라 다르겠지만, 대기압 근방에서 1kg의 물을 증발시키기 위해서는 약

580kcal/kg의 증발열이 필요하다. 이만큼의 열을 외부로부터 물에 공급해 주면 1kg의 물이 증발하며, 본 냉각장치는 이를 원리로 발전된 것이다. 지금 밀폐된 진공용기에 1kg, 80℃의 온수가 들어 있다고 가정하고, 이 온수를 5℃까지 냉각할 경우를 생각해 보면,

필요한 제거 열량은

$$1\text{kg} \times 1\text{kcal}/[\text{kg} \cdot \text{℃}] \times (80 - 5)\text{℃} \approx 75\text{kcal}$$

이에 필요한 제거 열량을 수분의 증발로서 보충한다고 하면

$$75\text{kcal} \div 580\text{kcal/kg} \approx 0.129\text{kg}$$

즉 75kcal의 열량이 제거되므로, 물 자체가 가지고 있는 열량으로부터 75kcal의 열을 빼앗아 5℃가 된다. 따라서 5℃의 물이 되면 원래 1kg의 물은 129gr의 물이 증발하여 달아나므로 871gr이 되고 온도는 5℃가 된다.

Table 1에 진공에 따른 증발온도<sup>2)</sup>를 나타내었다.

Fig. 1은 기본적인 표준형 칠링시스템(chilling unit)방식에 의한 진공냉각장치의 개략적인 플로차트이다<sup>3)</sup>. 워터젯펌프(water jet pump)에 의하여 진공탱크(vacuum tank) 내부를 진공 배기하고, 진공탱크 내의 피냉각물은 진공도에 상응하는 온도가 될 때까지 수분이 자체 증발하면서 냉각이 진행된다. 소정의 온도에 도달한 상태에서 진공밸브(vacuum valve)를 닫고 필터(filter)를 통하여 진공을 파괴하면 개폐가 가능하고 냉각되어진 피

냉각물을 추출하는 것이 가능하다.

Fig. 1의 일반적인 칠링시스템은 15℃ 정도까지 냉각이 가능하며, 보다 낮은 7~8℃까지 냉각하고자 하는 경우에는 진공도도 10Torr 이하가 요구된다.

즉, 고진공에서 냉각하고자 하는 경우에는 Fig.

Table 1. Evaporating temperature and vacuum

Vacuum (진공 압력) (mmHg)	Boiling Point (비등점) (℃)	Latent heat for evaporation (증발잠열) (kcal/kg)	Latent heat for sublimation (승화잠열) (kcal/kg)
760.0	100.00	538.8	-
400.0	82.96	549.3	-
200.0	66.44	559.2	-
100.0	51.57	567.9	-
50.0	38.11	575.6	-
20.0	22.14	584.7	-
10.0	11.18	590.8	-
7.0	5.98	593.9	-
6.0	3.78	595.0	-
5.0	1.22	596.4	-
4.6	0	597.1	676.9
4.0	1.64	-	677.6
3.5	3.23	-	679.7
3.0	5.05	-	681.2
2.5	7.68	-	-
2.0	9.72	-	-

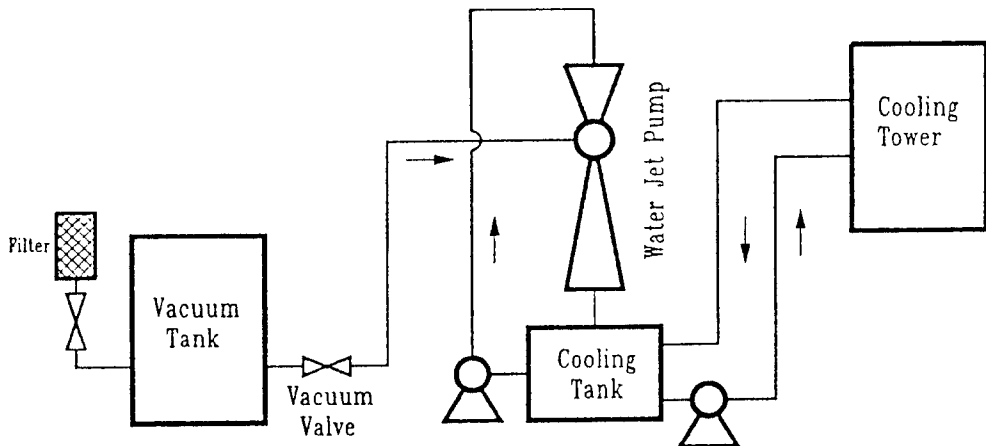


Fig. 1 Standard chilling unit

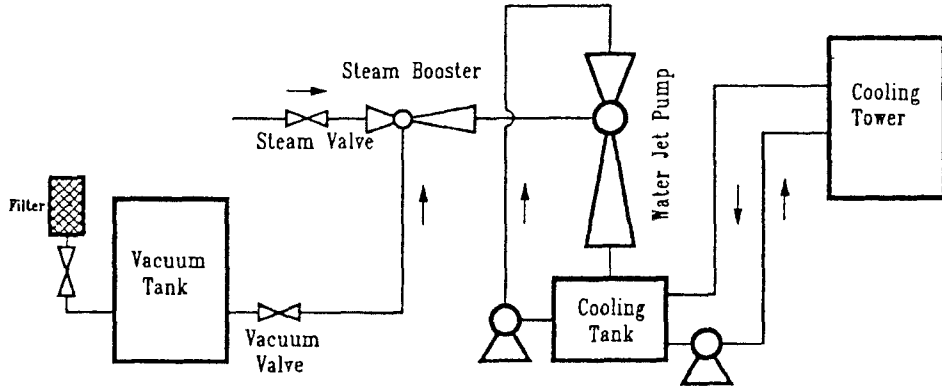


Fig. 2 High vacuum chilling unit with steam booster

1의 일반적인 칠링 유니트시스템에 Fig. 2와 같이 스팀부스터(steam booster)<sup>3,4)</sup>를 추가 해야 한다.

이 방식은 최초 워트젯펌프에서 20~25Torr 까지 재빨리 배기하고 그 후 스팀부스터로 계속해서 10Torr 이하의 진공까지 배기하는 방법이다. 이 방식을 이용하면 그다지 작업시간이 걸리지 않으면서 7~8 ℃까지 냉각을 가능하게 할 수 있다. 이들 장치에 대한 진공배기용 기기로서는 로타리펌프를 사용하는 경우와 스팀이젝터 및 수구동이젝터를 조합하여 사용하는 방법이 있으며, 진공냉각 장치는 다음과 같은 특징<sup>5,6)</sup>이 있다.

- a) 5~20분 정도로 냉각 시간이 매우 짧다.
- b) 진공하에서 냉각하므로 거의 무균 냉각에 가깝다.
- c) 진공중발에 의한 냉각이므로 냉각온도분포가 거의 균일하다.
- d) 진공도를 변화시킴에 따라서 0 ℃ 근처 온도까지 임의로 용이하게 냉각온도를 설정할 수 있다.
- e) 고온시에 발생하는 식품의 산화나 열화를 방지하여 식품의 질을 높일 수 있다.
- f) 작업능률이 좋고, 좁은 장소에서 단시간내에 대량 냉각이 가능하다.

### 3. 이젝터를 이용한 진공 급냉각시스템

#### 3.1 진공냉각장치의 열부하 계산

진공냉각탱크의 열부하는 외부로부터의 침입열량, 청과물 자체의 냉각열량, 호흡작용에 의한 호

흡열량, 청과물 등의 반입·반출시의 환기에 따른 환기열량 등으로 구성된다<sup>5,6)</sup>.

먼저 외부로부터의 침입열량은 일반적으로 전체 열부하의 30~35%를 차지하며, 이는 벽면으로부터의 복사열침입, 장치의 벽면으로부터 전도에 의한 열침입, 장치의 구조체 및 방열층을 통한 열전도에 의한 열침입으로 이루어진다. 외부 침입열에 의한 열손실은 대류, 전도 및 복사가 복합적으로 일어나게 되며, 외벽은 주로 복사에 의하여, 내벽은 주로 대류에 의해 열손실이 발생한다<sup>7)</sup>.

단위시간당 진공냉각탱크에 침입하는 전체 침입열량  $Q_i$ 는 다음과 같다.

$$Q_i = UA(t_1 - t_2) \tag{1}$$

위식에서  $t_1$ 은 진공냉각탱크 외부의 온도를,  $t_2$ 는 내부의 온도를,  $A$ 는 진공냉각탱크의 전체 전열면적을 각각 나타내며,  $U$ 는 열관류율로서 다음과 같다.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_a} + \frac{d}{\lambda_1} + \frac{1}{\alpha_i}} \tag{2}$$

위식에서  $\alpha_a$ 는 진공탱크 외부 대기의 평균열전달계수이며 설계시 보통 20kcal/(m<sup>2</sup>·hr·℃)를 사용하며,  $\alpha_i$ 은 진공냉각탱크 내부의 평균열전달계수로서 천정코일식은 5kcal/(m<sup>2</sup>·hr·℃), 강제통풍식은 7kcal/(m<sup>2</sup>·hr·℃), 공기분출식 쿨드디퓨저의 경우에는 20kcal/(m<sup>2</sup>·hr·℃)를 사용한다

2.5.7). 또한  $d$ 는 단열재 및 진공탱크 다층벽의 두께를,  $\lambda$ 는 다층벽의 열전도계수를 각각 나타낸다. 진공냉각장치에서는  $\alpha_f$  값은 강제통풍식과 같은 값을 취한다. 그러나 본 연구에서와 같이 급속냉각을 하는 경우는 냉각에 소요되는 시간이 비교적 짧으므로 외부로부터의 침입열량에 의한 열부하는 무시하여도 무방하다고 판단된다.

다음으로 청과물 등 피냉각물체 자체의 냉각을 위한 냉각열량은 피냉각물의 비열 및 잠열에 의해 계산하나, 처리물의 특성, 크기, 표면적 및 풍속에 따라 열전달현상을 고려하여 여유를 갖도록 계산하여야 한다. 본 연구에서 진공냉각장치를 이용하여 야채를 냉각하는 경우에 피냉각물의 냉각 열량  $Q_c$ 는 다음과 같이 된다.

$$Q_c = C_s \cdot W_s \cdot (t_1 - t_2) \tag{3}$$

위식에서  $C_s$ 는 피냉각물의 비열을,  $t_1$ 은 피냉각물의 초기온도를,  $t_2$ 는 급냉각후의 최종온도를,  $W_s$ 는 피냉각물의 중량을 각각 나타낸다.

청과물은 생명체로서 자체의 생명을 유지하기 위하여 호흡작용을 하는 과정에서 호흡열을 발생

한다. 저온보관 및 선박에 의한 저온 유통의 경우에는 저장온도 및 청과물의 종류에 따라서 발생열이 다르지만 대략 호흡열  $Q_r$ 은 전체 열하중의 약 30%를 차지한다<sup>4)</sup>.

진공냉각탱크 또는 냉동컨테이너에 처리물을 반입하거나 반출할 경우에는 문의 개방에 따른 환기로 인하여 열량침입이 발생하는데 이 때는 공기뿐만 아니라 공기 중의 수분에 의한 침입열량도 고려되어야 한다. 이에 의한 열량  $Q_a$ 은 저온유통의 경우 약 30~35%의 비율을 차지한다<sup>7)</sup>.

그러므로 전체의 열부하  $Q_{all}$ 는 다음식과 같이 표현된다.

$$Q_{all} = Q_t + Q_c + Q_i + Q_r \tag{4}$$

## 4. 실험장치 및 결과

### 4.1 실험장치의 개요 및 상세

Fig. 3은 실험장치의 전체 계통도를 나타내고 있다. 실험장치는 진공 형성을 위한 기기, 냉각실험을 위한 진공탱크, 냉각 및 건조시 필요한 열원으로

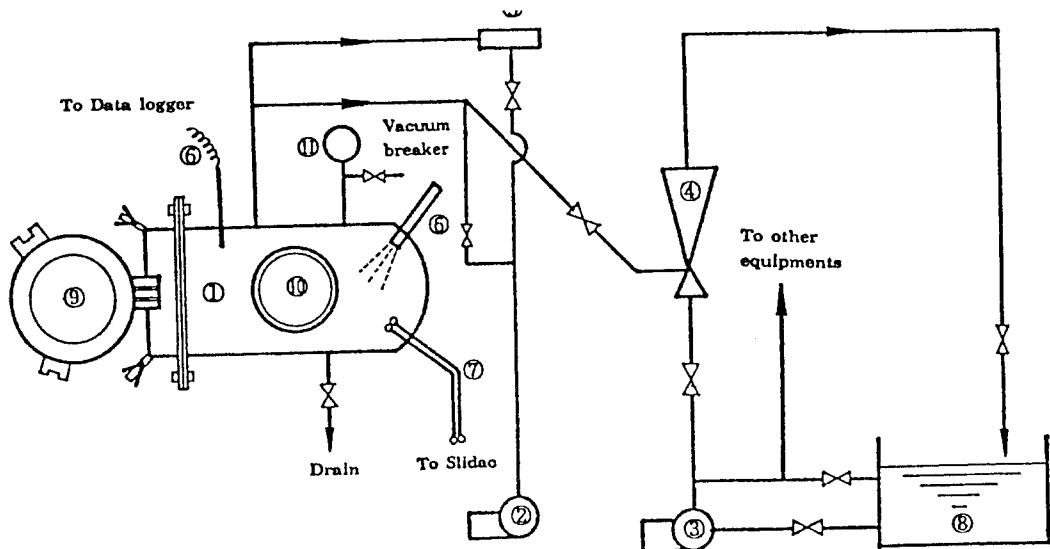


Fig. 3 Schematic diagram of Experimental Apparatus

- |                         |                       |                         |                 |
|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------|
| ① Vacuum chamber        | ② Vacuum pump         | ③ Water pump            | ④ Water ejector |
| ⑤ Conn. for air ejector | ⑥ C - A Thermocouples | ⑦ Electric heating line | ⑧ Water tank    |
| ⑨ Door                  | ⑩ Peep hole           | ⑪ Vacuum pressure gauge |                 |

로서 전열기를 연결하기 위한 전원장치, 실험결과 측정을 위한 계측기기로 구성되어 있으며 각 기기의 상세는 다음과 같다.

(가) 진공탱크(Vacuum chamber)

진공하에서의 수분의 증발상황을 관찰하고 그 특성을 파악하기 위하여 JIS G-3454 규정에 따른 길이 600mm이고 공칭경 300mm인 압력배관용 탄소강관(STPG-38)을 사용하여 제작하였다. 강관의 1면은 강판을 성형 용접하여 폐쇄하였고, 그 반대면에는 실험물체를 넣고 꺼내기 위한 힌지가 부착된 유리창 문을 설치하였다.

측면에는 관찰용 직경 100mm의 파이렉스유리를 부착하였으며, 상부에는 직경 40mm의 추기용 배관 및 직경 2mm의 압력계 설치용 파이프를 설치하였고, 하부에는 드레인배관을 하였다. 진공해제용 벤트밸브는 압력계용 관에 연결하였다. 계측용 열전대 뭉치는 후부에 직경 6mm의 구멍을 시공하여 삽입하였으며 공업용 플라스틱 접착제로서 기밀을 유지하였다.

실용상의 진공냉각장치는 증발을 촉진시키기 위하여 단열시공을 하지 않아도 되나, 본 실험에서는 외부로부터 침입하는 열에 의한 영향을 최소화하기 위하여 두께 20mm의 그라스울 세겟과 비닐테이프로 단열조치를 하였다.

(나) 진공형성장치

수이젝터 및 진공펌프를 이용하는 두 계통의 진공형성장치를 구성하였다. 구동매체로서 물을 사

용하는 수이젝터 계통은 원심식펌프(Centrifugal 0.3m<sup>3</sup>/min, 3.7kw, 760rpm, 45m head)와 수이젝터, 관련배관 및 물탱크로 구성하였다.

물탱크의 크기는 500mm×500mm×500mm이며, 펌프 흡입관에 스트레이너를 설치하고, 배출측에 격벽을 설치하여 배출되는 증기가 바로 펌프에 흡입되지 않고 대기중으로 쉽게 방출되도록 하였으며, 또한 구동수의 온도가 상승하는 것을 방지하기 위하여 바이패스밸브를 설치하여 비산냉각(飛散冷却)되도록 하였다.

진공펌프계통은 나수식 진공펌프(Nashu type vacuum pump 1.0m<sup>3</sup>/min, 2.2kw, 1150rpm)를 사용하였다.

수이젝터의 상세는 Fig. 4와 같다.

(다) 측정장치

피냉각물 및 피건조물의 온도 측정을 위하여 8개의 열전대를 설치하였으며 데이터로그 및 컴퓨터에 의하여 기록하였다. 열전대는 직경 76m의 C-A열전대 소선을 꼬아서 납땀하였으며, 그 중 5개는 피냉각물에 설치가 용이하도록 주사기 바늘에 삽입하고 공업용 플라스틱 접착제로 고정하였다.

진공탱크 압력 및 구동수 공급용 원심펌프의 토출압력은 0~2.0kgf/cm<sup>2</sup> abs. 및 0~5.0kgf/cm<sup>2</sup>인 연성압력계를 각각 사용하였다.

(라) 가열장치

건조실험시, 건조 촉진을 위하여 진공탱크 내부에서 다음과 같이 제작된 가열기에 의하여 직접 가

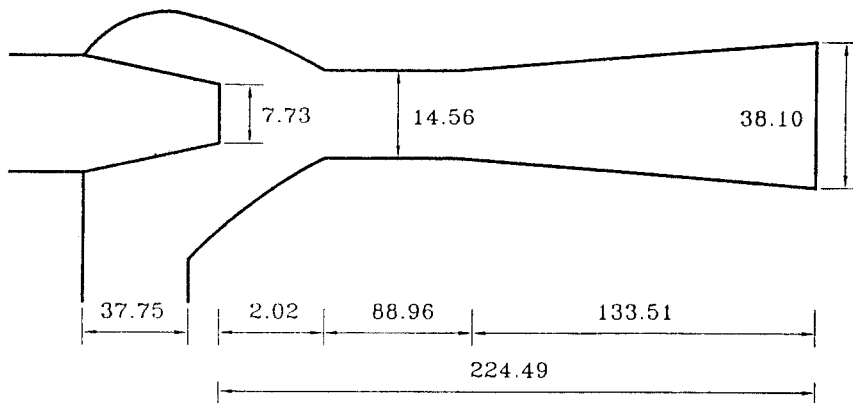


Fig. 4 Assembly diagram of the water ejector

열하였다. 한 종류는 길이 500mm, 폭 200mm, 높이 100mm인 나무상자에 총저항이 50.00Ω이 되도록 니크롬선을 설치하고 전열이 잘 되도록 동판을 부착하였다.

다른 한 종류는 동일한 크기에 총저항이 17.85이 되도록 니크롬선을 설치하였으며, 또 다른 동일한 크기의 상자에는 건조물을 걸어 놓을 수 있는 걸이를 만들어서 자연상태의 건조환경을 재현하려 하였다. 전원의 공급은 100볼트의 전원에서 슬라이다스를 통하여 가해지는 전압을 조정하여 가열량을 변경하였다.

발열량 Q kcal는 다음식과 같다.

$$Q = \frac{1}{J} \frac{E^2}{R} t \quad (5)$$

여기서, J는 열의 일당량이고, 1kcal=4.18673 kJ이고 1kW=1 kJ/sec=3,600 kJ/hr 이므로, 1 kW hr=859.8596 kcal가 되며, R은 가열선의 저항, E는 가열기에 가해지는 실효전압이며, t는 가열시간이다. 따라서, 가열 시간 t분 동안의 가열량은 다음식과 같다.

$$Q = \frac{1}{4.18673} \times 3,600 \frac{E^2}{R} \times t \times \frac{1}{60} = 14.331 \frac{E^2}{R} \quad (6)$$

가열전원의 전압과 가열선의 저항을 측정함으로써 식(6)에 의하여 가열선에서의 발생열량을 구할 수 있다.

## 4.2 실험결과

### (가) 무부하 진공실험

진공을 형성시키는 방법은 용적식 진공펌프를 이용한 방법과 수구동식 증기흡입 배출이젝터를 이용하는 방법이 있으며, 지금까지 수봉식 또는 유밀식 진공펌프가 많이 사용되어 왔다. 진공냉각장치에서는 진공 형성 수단이 가장 중요한 요소이므로 먼저 무부하상태에서 두 장치의 배기특성을 비교하기 위한 실험을 하였다.

진공탱크를 상온 상압하에서 밀폐한 후 배기를 시작하여 시간이 경과함에 따른 진공도 변화 상태를 Fig. 5에 나타내었다. 진공도가 낮은 영역에서

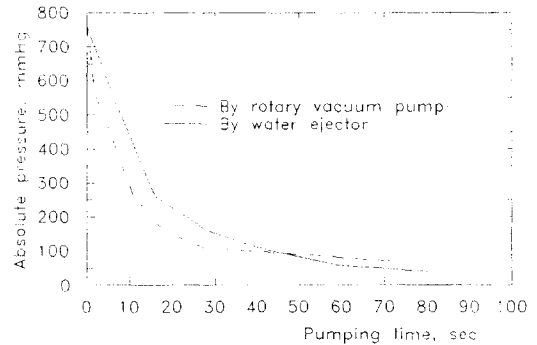


Fig. 5 Performance curve with the water ejector and the vane type vacuum pump without load

부터 절대압력 150mmHg의 압력까지는 진공펌프의 추기능력이 이젝터보다 우수하였으나, 그보다 더욱 낮은 압력에서는 이젝터의 추기능력이 진공펌프보다 우수하였다.

진공도가 낮아짐에 따라 진공탱크 내부의 수분이 증발함에 따라 배제하여야 할 증기량이 증가하고 그 증발한 증기의 비체적이 대단히 크므로 용적식 진공펌프에서는 추기능력이 떨어진 것으로 생각된다. 이에 비하여 이젝터는 초기에는 용적식 진공펌프보다 추기능력이 떨어지나, 배제하여야 할 증기의 양이 많아짐에도 불구하고, 증기가 흡입실에 흡입되면 즉시 물과 혼합되어 응축하게 되므로, 추기능력이 진공펌프와 비교할 때 개선된다고 볼 수 있다.

### (나) 열수의 진공 급냉각 실험

물의 증발온도와 증발잠열은 절대압력에 따라 달라지는데 이를 Fig. 6에 나타내었다. 압력이 높을수록 포화온도가 높아지고 단위질량당 증발잠열은 작아짐을 알 수 있다. 즉 고진공일수록 낮은 온도에서 증발하지만 보다 많은 열량이 필요함을 알 수 있다.

Fig. 7에는 진공상태에서의 열수의 급냉각 실험 결과를 나타낸 것이다.

대기상태(18℃, 상대습도 60%)에서 90℃의 1.932kg의 열수를 금속용기에 넣고 자연 방열되도록 하여 시간경과에 따른 온도 강하를 계측하였으며, 11분 경과시의 온도는 78.78℃이었다. 따라서 온도강하율은 분당 약 1.02℃ 이었다. 대기상태 실

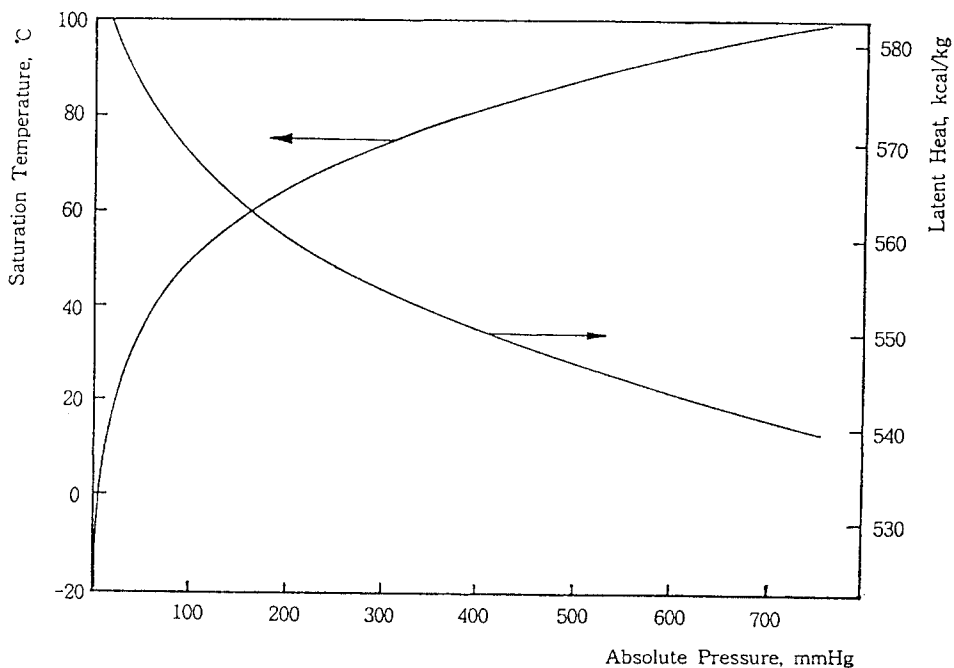


Fig. 6 The saturation temperature and latent heat to absolute pressure

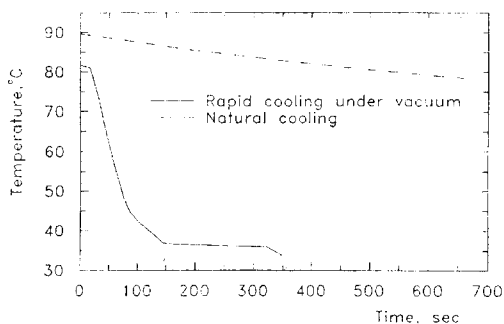


Fig. 7 The result of cooling experiment for the hot water under the vacuum

험시와 같은량(1.932kg)의 81.66℃의 열수를 급속 용기에 담아 진공탱크에 넣은 후 수구동 액체이젝터에 의해 배기를 시작하였으며, 배기 시작 1분 20 초만에 진공 720mmHg가 되었으며 실험개시 2분 26초만에 36.85℃가 되었다. 그 후 계속 720 mmHg의 진공을 유지한 채 실험을 계속하여 5분 50초 지난 후의 온도는 33.76℃이었다. 실험 종료 후 중량을 측정한 바 1.757kg이었다.

실험개시부터 실험종료시까지의 열량은

$$(1.932 \times 81.66 \times 1.0) - (1.757 \times 33.76 \times 1.0) = 98.45 \text{ kcal} \quad (7)$$

이고, 평균 증발잠열은

$$98.45 \text{ kcal} / (1.932 - 1.757) \text{ kg} = 562.57 \text{ kcal/kg} \quad (8)$$

이다.

실험개시부터 2분 26초까지의 온도강하율은 분당 18.41℃이었고, 그 후부터 실험종료시까지의 온도강하율이 분당 0.908℃이었다.

즉, 진공냉각시에는 소량의 물 증발에 의하여 물질을 급냉시킬 수 있음을 본 실험에 의하여 확인하였다. 특히 열량이 많은 물질일수록 냉각효과가 크고, 열량이 적은 물체는 냉각율이 작다는 것을 알 수 있었다.

(다) 육류의 진공건조 실험

육류 건조시의 특성을 파악하기 위하여, 진공탱크내의 동판에 100볼트의 전압을 가하여 60℃로 가열하여 놓고, 동판 위에 건조하고자 하는 돈육 62gr을 놓고 진공 탱크 문을 폐쇄한 후 배기를 시작하여 시간경과에 따른 온도강하와 진공도의 변



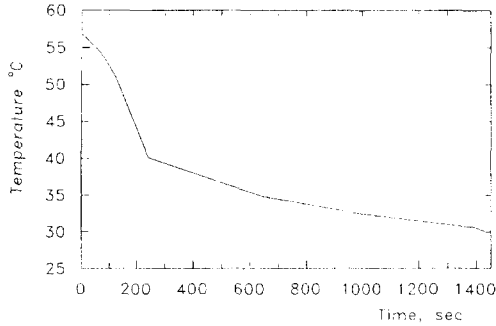


Fig. 8a Result of experiment for drying a sliced pork in vacuum tank

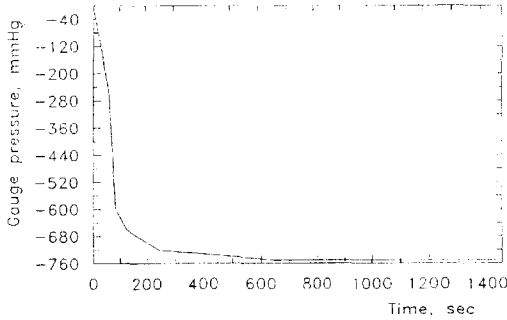


Fig. 8b Result of experiment for drying a sliced pork in vacuum tank

화를 측정하였다. 실험시작 10분 경과후 진공탱크 내 압력은 진공 700mmHg로 떨어졌으며, 약 20분 경과시까지는 진공 700mmHg가 유지되다가 20분 경과 후 압력이 점차 상승하였다.

본 실험에서는 건조할 물체의 양이 전체 탱크의 용적에 비하여 너무 적으므로 탱크로부터 열이 전달되며, 탱크 하부 및 벽에 부착된 수분이 증발하기 때문에 이러한 현상이 발생된 것으로 생각되었다. 이러한 현상을 방지하기 위하여 탱크를 그라스울로써 단열하고 탱크 내부를 깨끗이 청소한 후 다시 실험을 하였다. Fig. 8a와 Fig. 8b에 그 결과를 나타내었다. 23분 40초 후 실험을 끝내고 무게를 계측한바 57.4gr이 되어 7.42%의 중량 감소가 있었다. 시험 후 돈육의 상태는 동판에 닿은 부분은 검게 변색이 되어 있었다. 이는 돈육의 열전달율이 낮으므로 동판에 가해진 열로 돈육이 닿은 부분만 과열되기 때문으로 생각된다. 따라서 이러한 육류

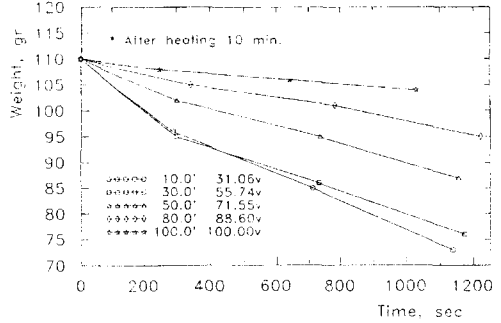


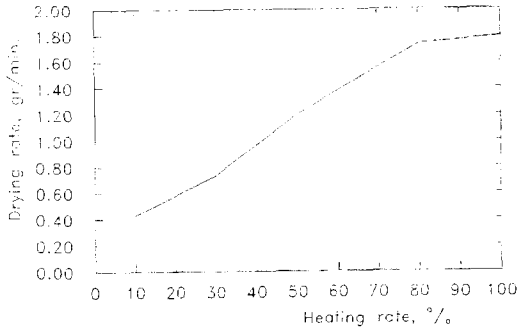
Fig. 9 Result of pseudo experiment for drying a sliced meat with wet towel under vacuum

의 건조 시에는 시간당 가열량을 적게 할 필요가 있다.

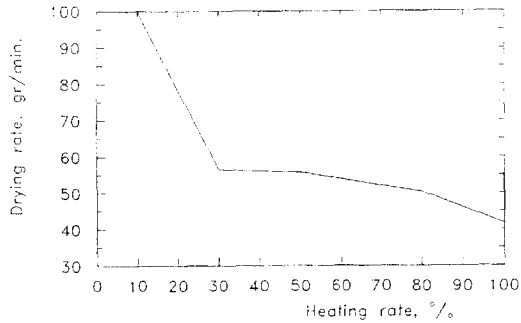
두번째로, 가열량에 따른 건조속도를 확인하기 위하여 젖은 물수건을 이용하여 다음과 같이 실험을 하였다. 상기 가열기를 이용하여 슬라이드스에 의하여 가열량을 조정하였으며, 가열 후 10분간 가열하여 동판 상면의 온도가 일정하게 안정된 후 110gr인 젖은 물수건을 놓고, 진공탱크를 배기하였다. 시험중 일정한 시간마다 배기를 중단하고 그 무게를 계측하여 건조 정도를 확인하였으며, 그 결과를 Fig. 9에 나타내었다. 가열량이 많을수록 건조 속도는 빠르지만 에너지소모에 대한 건조효율은 가열량의 증가율만큼 증가하지 않음을 알 수 있다. 10%시의 건조율을 100으로 하여 각각의 건조율에 대하여 에너지 가열비율을 고려, 상대적인 건조율을 계산하여 보면 Fig. 10a, 10b와 같다. 이 결과에서 알 수 있는 바와 같이 에너지절약면에서 검토하면 가열량을 낮추어 건조할 필요가 있다.

(라) 도시락의 진공 급냉각 실험

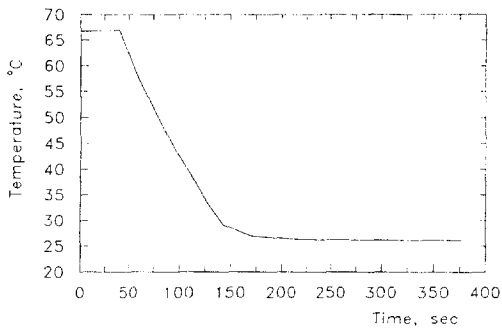
어묵이나 도시락 등을 제조할 경우, 가공 즉시 온도를 낮추는 것은 맛을 유지하고 변질을 방지하는데 중요하다. 본 실험은 진공냉각장치가 식품에 적용 가능한지를 검토하고자 실시하였다. 도시락을 66.68℃로 가열한 후 진공탱크에 넣고 배기를 시작하여, 온도 변화를 계측하였다. 그 결과를 Fig. 11에 나타내었다. 배기 개시후 2분 30초만에 26.95℃로 냉각되고 그 이후는 온도저하가 거의 없었다. 이것은 도시락과 같은 수분이 많은 식품은



**Fig. 10a** Drying rate and relative drying rate according to the heating ratio under the vacuum



**Fig. 10b** Drying rate and relative drying rate according to the heating ratio under the vacuum



**Fig. 11** Result of cooling experiment for the lunch box

냉각속도가 빠르고 또한 온도가 높을수록 냉각속도가 빠름을 알 수 있었다. 따라서 식품의 특성상 수분함유량이 많고 가공후 온도가 높은 식품일수록 냉각을 위하여 본 진공냉각장치를 응용하는 것이 유리하다는 것을 알 수 있다.

## 5. 결 론

농축산물의 최적 보관 및 수송을 위한 냉각 및 건조방식중에서 수구동 액체이젝터를 이용한 진공냉각장치의 기본적 특성을 규명하고자 진공냉각실험장치를 설계 제작하여 수구동 액체이젝터의 진공추기특성, 감압증발에 의한 열수, 육류, 도시락 등의 냉각속도 및 건조 특성등에 관한 실험을 수행하였으며 그 결과는 다음과 같다.

(1) 진공도가 낮은 영역에서부터 절대압력 150 mmHg 의 압력까지는 진공펌프의 추기능력이 수구동 액체이젝터보다 우수하였으나, 그보다 더욱 낮은 압력에서는 수구동 액체이젝터의 추기능력이 진공펌프보다 우수하였다.

(2) 진공냉각시에는 소량의 물 증발에 의하여 물질을 급냉시킬 수 있으며, 피냉각체의 초기 열량이 많을수록 냉각효과가 크고, 냉각속도도 빠르다.

(3) 진공에서의 냉각은 물의 증발에 의하여 이루어지므로 자체의 열량만으로 냉각시키는데는 한계가 있다. 따라서 피냉각물체의 온도를 보다 효과적으로 포화온도까지 낮추기 위해서는 증발을 보다 촉진시킬 어떠한 보조수단이 필요하다.

(4) 식품의 특성상 수분함유량이 많고 가공후 온도가 높은 식품일수록 냉각을 위하여 진공냉각장치를 응용하는 것이 유리하다.

## 참고문헌

- 1) 安生三雄, "真空冷却装置とその利用", 日本冷凍協會, 冷凍 66卷768號, pp. 1019 - 1026(1991)
- 2) "冷凍倉庫", 日本冷凍協會, (1983, 1990)
- 3) 川上修, "真空冷却装置", 日本冷凍協會, 冷凍 68卷 793號, pp.1101 - 1104(1993)
- 4) 日本冷凍協會, 冷凍空調便覽, 4卷 冷凍應用装置編, 第1章, pp. 15 - 52(1993)
- 5) SALEN, "Instruction for the Transportation of the Reefer Cargoes" (1982, 1983, 1984)
- 6) 高野玉吉, 唯野哲男, "食品工業の乾燥", 光琳書院 (1962)
- 7) Refer Express Line S. A, "Instruction for the Carriage by reefers" (1987)
- 8) 윤석훈, 김원녕, 전현필, "각종 이젝터를 이용한 진

- 공냉각장치”, 한국박용기관학회지, 제19권 4호, pp. 299 - 304(1995)
- 9) 김명환, 김경근, 박형진, “진공냉각장치와 그 응용”, 한국박용기관학회지, 제19권 4호, pp. 305 - 314(1995)
10. 安生三雄, “野菜眞空冷却裝置”, 日本冷凍協會, 冷凍 70卷810號, pp. 451 - 454(1995)