

공학석사 학위논문

저온진공열전달을 이용한 예냉 및 해동에
관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Pre-cooling and Melting
by the Low Temperature Vacuum Heat Transfer

지도교수 김 경 근

2002년 2월

한국해양대학교 대학원

기관공학과

박 영 승

本 論 文 을 朴 永 承 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

主 審 金 性 奎



委 員 吳 喆



委 員 金 京 根



2001年 12月 20日

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

機 關 工 學 科 朴 永 承

목 차

Abstract	iii
사용기호	vi
제1장 서 론	1
1.1 본 연구의 목적	1
1.2 종래의 연구	10
1.2.1 예냉의 종래의 연구	10
1.2.2 해동의 종래의 연구	13
제2장 실험장치 및 실험계통	15
2.1 실험장치의 개요	15
2.2 실험장치의 각부 상세	18
2.3 냉동수산물의 비열 및 동결잠열	33
2.3.1 냉동수산물의 비열	33
2.3.2 동결잠열	35
제3장 실험결과 및 고찰	39
3.1 진공장치의 무부하 추기특성	39

3.2 진공예냉 실험결과	42
3.2.1 콩나물의 예냉	46
3.2.2 배추의 예냉	50
3.3 진공해동 실험결과	58
3.3.1 갈치의 해동	63
3.3.2 조기의 해동	66
제4장 결 론	72
참고문헌	74
학술활동 및 산학협동연구 실적	76
Appendix I : Specification of experimental apparatus	77
Appendix II : Detail drawing for experimental apparatus	78
Appendix III : Operating manual for experimental apparatus	79

謝 辭

Abstract

To maintain the freshness of agricultural products, because of stand away between producer and its consumer, we need refrigeration system that can supply to consumer at cold chain as soon as gathering at the place of production.

General refrigeration system consists of refrigeration chamber or low temperature store. But the vacuum technology to cool down the products have the merits its rapid cooling down interval and saved refrigerator system.

Pre-cooling system suggests possibility get low pre-cooled temperature, suitable for fishes, meat, vegetables, fruit etc. Pre-cooling system have the advantage in quality maintenance through rapid refrigeration of ferment directly generate heat.

Vacuum pre-cooling system's principle is that water saturated temperature is lowered according to the vacuum pressure established in the storage chamber, the temperature of products will be lowered consequently, due to the latent heat of evaporation of stored products. To establish appropriate vacuum in vacuum stored chamber, the rotary type vacuum pump was used to establish the

desired vacuum pressure in the stored chamber, then water-driven gas suction ejector was used to maintain its vacuum pressure.

A number of thawing methods in current use have several disadvantages in melting time, discoloration and damage due to oxidation from the presence of warm air, weight loss caused by drying, partial cooking of the food extremities due to excess heat and high floor space requirements, capital costs and running cost.

These damages to efficient processing are, it is claimed, either eliminated or improved by the vacuum thawing.

An experimental study on the pre-cooling for the sprouted beans and cabbage and melting for hair tail and yellow-croaker by the low temperature vacuum system were carried out.

The cabbage cooling time with this pre-cooling vacuum system took about 60 minutes to reach from 23.2 (°C) to 4.5 (°C) at 5 (*mmHg abs.*). In case of sprouted beans took about 60 minutes to reach from 17.9 (°C) to 1.0 (°C) at 5 (*mmHg abs.*).

The quality for the cabbage and sprouted beans before and after experiments were in good condition with small weight loss.

The yellow croaker melting time with this low temperature vacuum melting system took about 170 minutes to reach from -10.3

(°C) to -0.8 (°C) at 20 (*mmHg abs.*). In case of hair tail took about 220 minutes to reach from -12.2 (°C) to 0.0 (°C) at 20 (*mmHg abs.*).

The quality for the yellow croaker and hair tail before and after experiments were in good condition with small weight loss.

The vacuum pre-cooling and melting system have the merit to compare with present systems in their short intervals to cooling down and to melt without any quality losses.

사 용 기 호

Alphabets

A	: 면적	(m^2)
C_f	: 지질의 비열	($kcal/kg^{\circ}C$)
C_s	: 피냉각물의 비열	($kcal/kg^{\circ}C$)
C_{w1}	: 얼음의 비열	($kcal/kg^{\circ}C$)
C_{w2}	: 물의 비열	($kcal/kg^{\circ}C$)
E	: 전계의 세기	(V/m)
f	: 주파수	(Hz)
F	: 타격력	(kg)
g	: 중력가속도	($9.8 m/sec^2$)
h_{lv}	: 물의 동결잠열	($kcal/kg$)
h_{lvf}	: 식품의 동결잠열	($kcal/kg$)
L	: 거리	(m)
P_1	: 최초압력	($mmHg$)
P_2	: 요구압력	($mmHg$)
S	: 배기속도	(ℓ / min)
t	: 시간	(hr)
T	: 온도	($^{\circ}C$)

T_s	: 포화온도	($^{\circ}\text{C}$)
U	: 열관류율	($\text{kcal}/\text{m}^2\text{hr}^{\circ}\text{C}$)
V	: 전압	(mV)
W	: 냉각물의 중량	(kg)
X	: 수분의 비율	(%)
Y	: 지질의 비율	(%)
Z	: 고형분의 비율	(%)

Greek symbols

γ	: 비중량	(kg/m^3)
ε	: 비전유율	-
η	: 이젝터의 효율	-
v	: 수증기 비체적	(m^3/kg)

Subscripts

c	: center
l	: liquid
m	: middle
r	: right
s	: solid

sp : stop

st : start

sf : surface

t : tank

u : upper

w : water

제1장 서론

1.1 본 연구의 목적

우리나라는 현재 1980년대에 비하여 농어가 수는 거의 비슷하지만, 농·수산업에 종사하는 인구수가 감소하고 고령화되는 실정이며, 또한 대외적으로는 WTO체제의 출범에 따른 농수산업의 대외 개방에 의하여 농어촌 제품이 품질과 가격의 경쟁이라는 이중고를 겪고 있다. 이와 같이 열악한 농수산업 분야의 환경을 개선하기 위해서는, 수확량 증산을 위한 품종개량, 영농의 기계화, 생산물의 저장과 가공 등의 기계화를 통하여 선진 영농국가와의 경쟁력을 확보해야 한다. 특히 농·수·임·축산물의 생산지는 소비지와 멀리 떨어져 있으므로 제품의 신선도를 유지하기 위해서는, 수확 후 빠른 시간 내에 냉각을 현지에서 행하여 저온 유통으로 소비자에게 공급할 수 있는 냉장설비가 필요하다.

식품 및 농·축·수산물을 냉각하기 위한 냉각장치의 기술적 발전추이는 차압통풍 냉각장치 → 강제통풍 냉각장치 → 냉수 냉각장치 → 저온진공 냉각장치의 순서로 발전하게 되며 냉장 대상물에 따라서 냉각방식이 달라지게 된다.

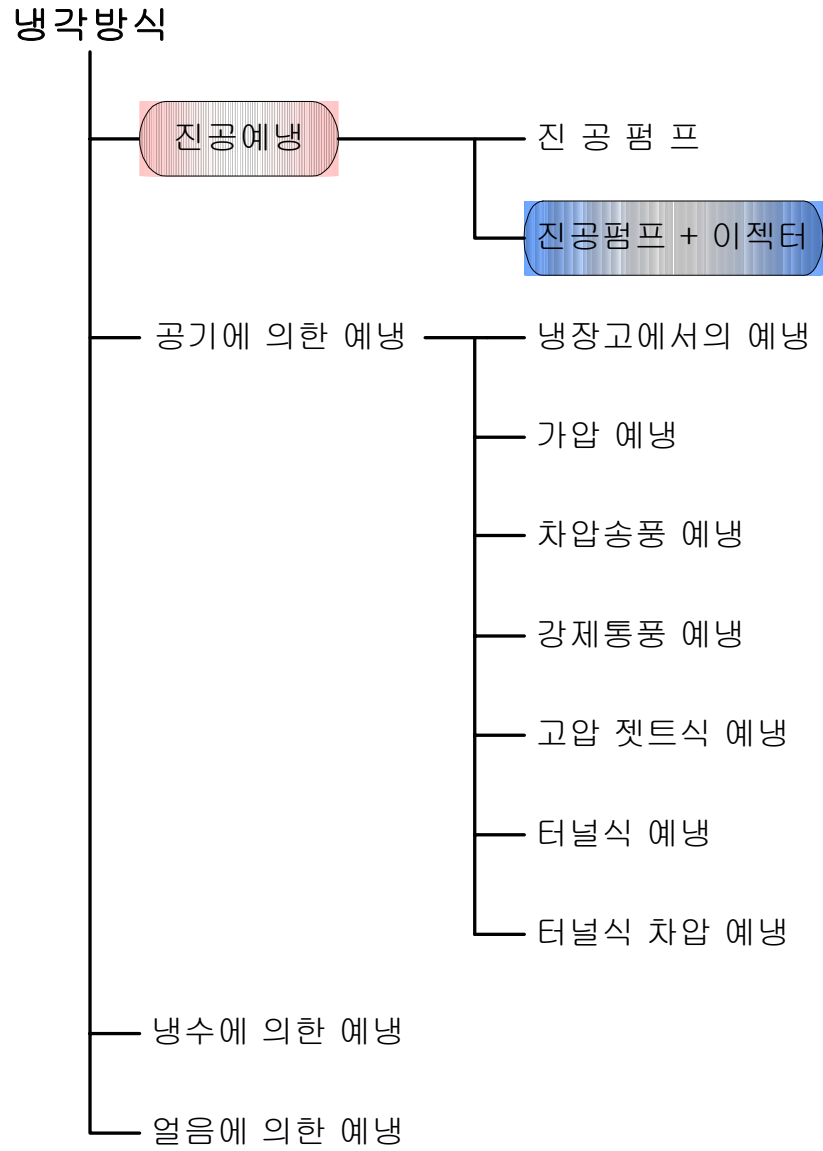
농·축·수산물의 생산지는 일반적으로 소비지역으로부터 멀리 떨어져 있는 경우가 대부분이므로 제품의 유통물량 조절과 신선도를 유지하기 위해서 대형의 냉장차나 대형저장창고를 통하여 유통된다. 따라서 농·축·수·임산물의 생산(채취) 후 유통과정을 통하여 소비자에게 전달되기

까지 장기간의 유통과정으로 인해 제품의 신선도가 저하되는 것은 필연적인 문제이다. 이를 해결하기 위해서는 제품의 생산(채취)후 급속 냉각 과정을 통하여 제품의 온도와 습도를 조절해야하나, 현재 주로 사용되고 있는 방식은 냉동기를 이용한 강제통풍 냉각방식으로 이는 냉각과정이 4~5시간이 소요되며, 내부로부터 표면으로의 전도열전달에 의한 열효율의 저하, 표면에서의 수분과다증발 현상 등에 의하여 신선도의 저하가 크다.

산지에서 수확한 배추, 상추 등의 채소류, 수출을 위한 화훼 및 농장에서 수확된 과일, 녹즙 및 우유 등은 수확 직후 유통을 위한 예냉을 해야 신선도가 유지된다. 냉동기를 사용하는 냉동실이나 저온창고 이외의 식품저장방법으로 냉동기 없이 진공기술만으로도 급속한 저온화가 가능한 식품저장법이 있다.

예냉장치를 냉각방식에 의하여 분류하면 진공예냉, 공기에 의한 예냉, 냉수에 의한 예냉, 얼음에 의한 예냉등으로 구분할 수가 있으며, Table 1.1 과 같이 나타낼 수가 있다.⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾

Table 1.1 Distribution of pre-cooling method

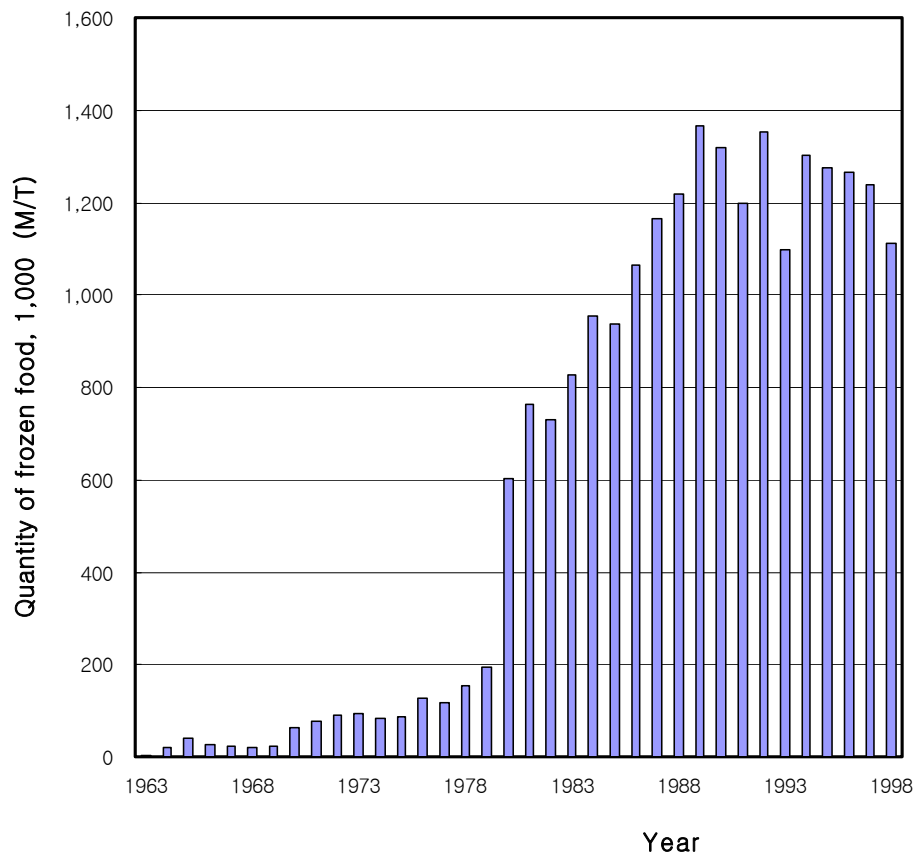


인간이 눈이나 얼음을 이용하여 식품을 보존한 것은 오랜 역사를 가지고 있다. B.C. 1100년경에 이미 중국에서는 자연상태의 얼음을 절단하여 수렵한 식품을 보존하는 데 사용하였고, B.C. 500년경에는 인도나 이집트에서 맑은 겨울 저녁에 토기그릇에 물을 담아서 지붕 위에 놓아 얼음을 만들어 식용하였다. 이처럼, 식품의 보존수단으로서 식품을 냉동하는 방법이 광범위하게 이용되고, 이와 같은 과정을 통하여 냉동기술이 발전하게 되었다.⁽⁴⁾

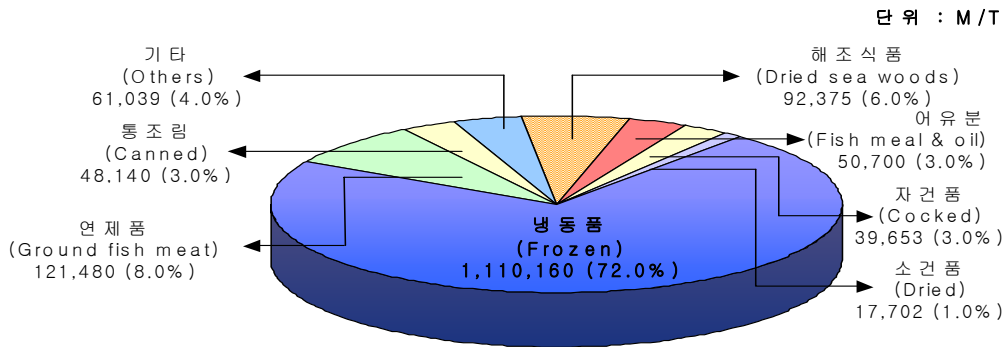
먼저 Fig. 1.1 의 우리나라 냉동식품(수산가공품)의 현황을 살펴보면, (a)의 냉동식품의 연도별 생산량에서 보듯이 1970년대에는 연간 약 10만톤이었던 것이, 1980년 경제성장과 더불어 급속히 증가하여 1988년에는 약 140만톤에 이르렀고, (b)의 품목별 수산가공품 생산량에서 보면, 해조식품이 6.0(%) , 통조림이 3.0(%)인 것에 반해 냉동식품이 차지하는 비율이 72.0(%)로 최근 식품의 양적으로나 질적으로 안정적인 공급을 냉동식품에 의존하는 것이 크게 늘어나고, 이러한 경향은 앞으로 더욱 더 증가할 것으로 예상된다.

동결상태에 있는 식품을 사용할 경우, 일반적으로 해동할 필요가 있으며 이 해동방법이 적절하지 않으면 좋은 품질의 식품을 얻는 것이 어렵다. 따라서, 이러한 요구사항을 만족시키기 위해 냉동식품을 취급하는데 있어서는 냉동공정과 마찬가지로 해동공정도 중요한 요소이고, 세심한 주의를 기울이지 않으면 안된다.⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾

해동장치를 해동량의 처리규모에 따라 분류하게 되면 공장용의 대규모, 슈퍼, 식당, 호텔 등의 업무용인 중규모, 가정용의 소규모 해동장치로 분류할 수 있으며, 본 연구에서 다루게 될 공장용 해동장치를 해동방법에 따라 분류하면 Table 1.2 과 같이 나타낼 수 있다.



(a) Yearly production of frozen food



(b) Production value for processed marine product
of article (1988)

출처 : 해양수산부 홈페이지 자료실 (<http://www.momaf.go.kr/>)

Fig. 1.1 The fact of processed marine product

Table 1.2 Distribution of melting method

◎ 해동량의 처리규모에 따른 분류

- 대규모 해동장치 : 공장용
- 중규모 해동장치 : 슈퍼, 식당 등의 업무용
- 소규모 해동장치 : 가정용

◎ 해동방법에 따른 분류

① 공기를 이용한 해동장치

- 정지공기형
- 에어브라스트형
- 가압에어브라스트형

② 물을 이용한 해동장치

- 물침지형
 - 유수형
 - 발포형
 - 가압형
- 스프레이형
- 수증기형
 - 상압형
 - 감압형 (진공해동장치)

③ 접촉식 해동장치

④ 전기식 해동장치

- 전기저항형
- 유전기열형
 - 마이크로파형
 - 초단파형

⑤ 조합형 해동장치

현재 대부분 0~5 (℃), 상대습도 90~98 (%)의 공기를 이용한 공기 해동장치와 청수 또는 유수에 침지해서 해동하는 물 해동장치가 일부 개발되어 사용되고 있지만, 대부분 냉동식품을 실내나 대기상태에 방치해서 해동하는 방법을 사용하고 있는 실정이다. 이러한 해동방법으로는 동결식품내의 해동속도(온도)가 불균일하고, 해동중에 품질이 저하하고, 장소를 많이 차지할 뿐만 아니라 환경 및 에너지 이용효율 측면에 있어서 문제가 되고 있으므로 새로운 냉동식품 해동장치의 개발과 해동에 관한 연구가 요망되고 있다.

본 연구에서는 진공펌프와 수구동 공기흡입 이젝터를 이용한 진공예냉 방식을 이용하여 기존의 강제통풍 냉각장치에 비하여 냉각에 소요되는 시간을 단축시키고, 예냉과정에서 소요되는 에너지량을 최소화하고, 냉각온도를 최적상태로 조절하여 고품질의 농·축·수산물이나 임산물을 생산할 수 있도록 한다. 해동의 경우 진공해동 방식의 장치를 통하여 해동시간의 단축 및 고품질의 제품을 얻을 수 있도록 하며, 이동이 용이하고, 1회 처리량이 약 40 (kg) 정도인 저온진공 예냉 및 해동장치를 연구 개발하는 것이다. 이를 위하여 실제로 예냉 및 해동겸용 실험장치를 제작하여 이론 및 실증적 실험을 수행하여 장치의 설계 및 기술개발에 필요한 제반 열공학적 특성을 파악하는데 본 연구의 목적을 두었다.

1.2 종래의 연구

1.2.1 예냉의 종래의 연구

安生⁽⁸⁾은 1,250×1,600×1,470 mm인 진공용기에 약 10 (kg)의 채소류를 처리할 수 있는 PKS형 유회전식 진공펌프를 사용한 진공예냉장치에 대하여 연구하였으며, 진공펌프는 진공압력이 4 (mmHg abs.)가 되도록 설계하였다. 야채류는 자기 자신의 수분의 증발잠열에 의해 냉각되므로 약 4 (%)의 무게감소를 예측했으며, 이를 응축시키기 위하여 냉각기를 설치하였고, 열부하 Q 를 다음식으로 계산하였다.

$$Q = 1.2 \times \left[600 \times \frac{t_{sp} - t_{st}}{5.5 \times 100} \times W \right] \frac{1}{t / 60} \text{ (kcal/hr)} \quad (1.1)$$

여기서, t (min)는 냉각소요시간을, t_{sp} (°C)는 야채의 실험 종료시의 온도를, t_{st} (°C)는 야채의 실험 시작시의 온도를, W (kg)는 야채의 무게를 각각 나타낸다.

한국농기계연구소⁽⁹⁾는 차압통풍식 예냉저온저장고를 설계 및 제작실험을 실시하여 차압통풍 예냉저온저장고의 이용기준으로 포장상자 제작기준, 상자 적재법, 송풍기 선정기준 및 적정한 냉각 송풍량과 온도 기준을 제시하였고, 완숙 토마토를 예냉저온저장시 상온저장에 비하여 약 7일 정도 유통기간을 연장시킬 수 있으며, 수확시 보다 높은 당도의 토

마토를 공급할 수 있다고 하였다.

이⁽¹⁰⁾등은 터널식 차압 예냉장치를 개발하여 기존의 Batch식 예냉장치의 예냉작업의 번거로움과 낮은 냉각효율, 과실의 선별, 저장시설과의 연계사용의 어려움을 개선하여, 입고, 예냉, 출고까지의 전 공정을 자동화하였고, 예냉실별 운전을 독립화하여, 여러 작물을 동시에 예냉이 가능하도록 하였다.

전⁽¹¹⁾등은 이젝터를 이용한 진공 급냉각시스템을 연구하였으며, 단위 시간당 진공냉각탱크에 침입하는 전체 침입열량 Q_t 를 다음과 같이 구하였다.

$$Q_t = U \cdot A \cdot (t_1 - t_2) \quad (1.2)$$

야채를 냉각하는 경우에 피냉각물의 냉각 열량 Q_c 는 다음과 같이 구하였다.

$$Q_c = C_s \cdot W_s \cdot (t_1 - t_2) \quad (1.3)$$

식(1.2)에서 t_1 (°C)은 진공냉각탱크의 외부 온도를, t_2 (°C)는 내부 온도를, A (m^2)는 진공탱크의 전체 전열면적을, U ($kcal/m^2hr^\circ C$)는 열관류율을 각각 나타낸다.

식(1.3)에서 C_s ($kcal/kg^{\circ}C$)는 피냉각물의 비열을, t_1 ($^{\circ}C$)은 피냉각물의 초기온도를, t_2 ($^{\circ}C$)는 급냉각후의 최종온도를, W_s (kg)는 피냉각물의 무게를 각각 나타낸다.

1.2.2 해동의 종래의 연구

村治⁽¹²⁾ 등은 영국의 APV사와 영국농림어업성의 Torry 연구소에 의하여 공동 개발된 APV Torry 진공해동시스템이 어떻게 냉동식품의 해동에 적절한가를 알기 위하여 어패류, 동결육, 동결액란에 대한 해동실험을 실시하였으며, 해동시 시료의 온도가 $-4 (^{\circ}\text{C}) \sim -5 (^{\circ}\text{C})$ 정도일 때 가장 품질이 우수하다고 하였다. 특히 동결돈육의 해동에 있어서 지방분이 많은 시료가 지방이 적은 고기에 비해 긴 해동시간을 보였고, 이것은 지방의 열전달율이 작기 때문이라고 하였다.

阿曾⁽¹³⁾은 냉동품을 두개의 평행전극사이에 놓고 고주파전원을 통하면 냉동품에는 필히 분자가 (+), (-)의 전하를 갖고 있기 때문에 분자가 서로 충돌 진동하여 마찰열을 발생하고 자기 가열에 의하여 냉동품의 내외를 균일하게 해동시키는 고주파해동장치에 대하여 연구하였다.

이것은 유전가열의 원리를 응용한 것으로 냉동품의 발열량 P 를 다음의 식을 이용하여 구하였다.

$$P = \frac{5}{9} \cdot f \cdot E^2 \cdot \epsilon_r \cdot \tan \delta \cdot 10^{-10} \quad (\text{W/m}^2) \quad (1.4)$$

여기서, f (Hz)는 주파수를, E (V/m)는 시료에 가해진 전기장의 세기를, ϵ_r 은 냉동품(유전체)의 비유전율을, $\tan \delta$ 는 냉동품의 유전력율이며, $\epsilon_r \cdot \tan \delta$ 는 손실계수(loss factor)를 각각 나타내는데 손실계수

는 물질고유의 값으로 온도 주파수 등에 따라 변한다고 하였다.

大森⁽¹⁴⁾는 Spray water에 의한 해동장치에 대하여 연구하였으며, Spray water에 의한 해동과정은 물이 흐름으로서 생기는 열에너지가 물고기 상자의 사이에 있는 얼음 결정과 근육내의 빙결정을 용해하고, 물을 뿜어줌으로써 생기는 타격력으로 블럭을 파괴하여 어체를 하나하나 분리시키며, 표면적이 커진 피해동어는 열전달이 좋아져서 해동이 급속하게 진행되어 타격력에 의한 블럭의 파괴라는 요인쪽이 열전달에 의한 빙결정의 용해라는 요인보다 강하게 해동속도에 영향을 준다고 하였다.

Spray water에 의한 해동속도는 수온, 수량, 유속에 상당한 관계를 갖는다고 하였으며 다음의 식을 제시하였다.

$$F = \frac{r \cdot A \cdot v^2}{g} \quad (1.5)$$

여기서, F (kg)는 분무수의 타격력을, r (kg/m^3)는 유체의 비중량을, Q (kg/m^3)는 유량을, v (m/sec)는 유속을, A (m^2)는 Spray nozzle의 면적을, g ($9.8m/sec^2$)는 중력가속도를 각각 나타낸다.

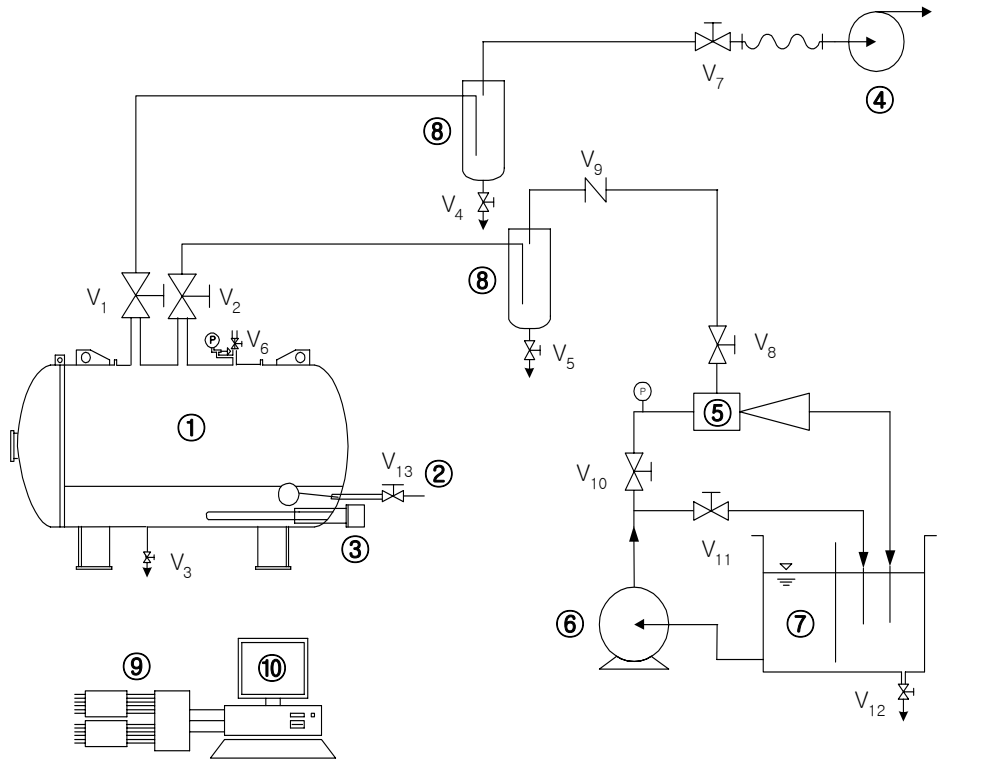
현재 진공 예냉 및 해동에 관한 연구 자료는 식, 어육에 제한된 기초적인 자료에 관한 것으로서, 이 분야의 연구가 더 필요하다고 본다.

제2장 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치의 개요

본 실험장치는 예냉 및 해동을 병행하여서 수행할 수 있는 장치로써, 실험장치의 계통도는 Fig. 2.1 에 보이는 바와 같이 시료의 예냉과 해동이 이루어지는 진공용기(vacuum chamber)①, 진공용기 내부를 소정의 진공압력으로 유지하기 위한 진공펌프(rotary type oil vacuum pump)②와 수구동 기체흡입 이젝터(water jet air ejector)④, 이젝터 구동용 펌프(driving pump)⑥와 물탱크(water tank)⑦, 해동시 필요한 열량을 공급하기 위한 전기가열기(electric heater)③, 각 부의 온도 및 압력을 실시간 측정하기 위한 온라인 측정장치(on-line measuring unit)⑨, ⑩ 등으로 구성되어 있다.

Photo 2.1 는 실험장치의 전경을 나타내는 것이다.



- | | |
|-------------------------|-------------------------------|
| ① Vacuum chamber | ② Feed water valve |
| ③ Electric heater | ④ Rotary type oil vacuum pump |
| ⑤ Water jet air ejector | ⑥ Ejector pump |
| ⑦ Water tank | ⑧ Vapor/water separator |
| ⑨ Data logger | ⑩ Personal computer |

Fig. 2.1 Schematic diagram of experimental apparatus



Photo 2.1 Front view of experimental apparatus

2.2 실험장치의 각부 상세

2.2.1 진공용기

진공예냉 및 해동장치의 핵심장치에 해당하는 진공용기의 크기는 $1,000 \text{ } \Phi \times 1,220 \text{ L (mm)}$ 의 원통형용기로서 내부용적은 $0.88 \text{ (m}^3\text{)}$ 이다. 본체 내부에는 해동실험의 경우에 $360 \text{ W} \times 180 \text{ H} \times 590 \text{ L (mm)}$ 의 고기상자 5개가 들어가는 트레이 1대가 들어갈 수 있도록 설계되어 있다. 또한 해동시 해동물에서 발생하는 응축수는 아래쪽으로 모아지도록 되어 있으며, 예냉 및 해동 실험중 내부의 상태를 관찰할 수 있도록 $200 \text{ } \Phi \text{ (mm)}$ 의 관찰창 1개를 설치하였다.

Photo 2.2 는 진공용기 내부의 사진을 나타낸다.



Photo 2.2 Inside view of vacuum chamber

2.2.2 진공추기계통

예냉 및 해동과정 중에 예냉물 및 해동물 내부에서 불응축가스가 발생하고 진공용기에 부착된 밸브, 개폐문, 관찰창 및 온도·압력 계측용 센서 라인용 연결부 등을 통하여 외부에서 대기가 조금씩 진공용기 내부로 유입한다. 따라서 이러한 기체를 지속적으로 배출하여야만 진공용기 내부가 소정의 진공압력으로 유지된다.

본 실험에서는 진공추기장치로 진공펌프(rotary type oil vacuum pump)와 수구동 기체흡입 이젝터(water jet air ejector)로 이루어져 있다.

진공용기 내부를 소정의 진공압력으로 유지하기 위하여 실험초기에는 로타리형 진공펌프를 사용하여 빠른 시간 내에 어느 정도의 진공압력으로 도달시킨 다음, 수구동 기체흡입 이젝터를 이용하여 소정의 진공압력을 유지시켰다. 실제의 예냉실험에 있어 로타리형 진공펌프의 가동시간은 약 30분 정도이며, 이후에는 이젝터를 이용하여 용기내 압력을 5 (*mmHg abs.*)로 유지하였다. 또한 해동실험에 있어 로타리형 진공펌프의 가동시간은 약 50분 정도이며, 이후에는 이젝터를 이용하여 해동물 내부에서 발생하는 불응축 가스 및 개폐문, 각종 밸브 등을 통하여 외부에서 유입되는 공기 등을 배기하였다.

실험에서 수구동 기체흡입 이젝터를 사용한 이유는 일반 피스톤형 진공펌프와 달리 소정의 진공압력에 도달하여 이젝터 작동을 정지시키지 않아도 전혀 고장의 발생이 없어 실제로 현장에 적용할 경우 내구성이

월등하기 때문이다.

Fig. 2.2 는 수구동 기체흡입 이젝터의 기본구조와 각부의 명칭을 나타내며, 주요부로는 압력에너지를 갖는 구동유체를 고속으로 분사시켜 속도에너지로 변환시키는 구동노즐, 흡입유체인 가스나 공기 등을 흡입하는 흡입실, 흡입유체인 가스나 공기가 운동량전달에 의하여 점차 혼합되는 목부, 그리고 혼합유체의 속도에너지가 임의의 압력까지 변환되는 디퓨저로 구성되어 있다.

수구동 기체흡입 이젝터의 작동원리는 압력에너지를 갖는 구동유체가 구동노즐을 통과함으로써 보유하고 있는 압력에너지가 속도에너지로 변환하며, 이에 따라 흡입실내에 진공을 형성시켜 유체를 흡입하게 된다.

흡입실에 도달한 흡입유체는 디퓨저의 입구부에서 구동유체와의 속도차에 의한 마찰항력, 즉 흡인력에 의하여 가속된다. 이렇게 하여 양 유체는 디퓨저의 축소부를 지나면서 운동량이 교환되며, 구동유체는 감속, 흡입유체는 가속되어 디퓨저 목부에 이르게 된다. 디퓨저 목부에서는 양 유체가 완전히 혼합되어 거의 균일한 속도분포를 갖는 흐름으로 안정된 후, 유로면적이 점차 커지는 디퓨저의 확대부를 지나면서 다시 운동에너지의 일부가 압력에너지로 환원됨으로써 흡입유체의 토출이 가능하게 된다.

Fig. 2.2 는 설계 제작하여 진공추기장치로 사용된 수구동 기체흡입 이젝터의 상세도로 전장 240 (*mm*), 구동측, 흡입측, 토출측 내경은 각

각 50 (*mm*), 40 (*mm*), 40 (*mm*), 디퓨저의 목경은 22 (*mm*), 확대각은 5°이다. 구동용 노즐은 전장 50 (*mm*), 축소각 5°, 입구부 내경 30 (*mm*), 노즐의 출구경은 10 (*mm*) 이며, Fig. 2.3 에 나타내었다.

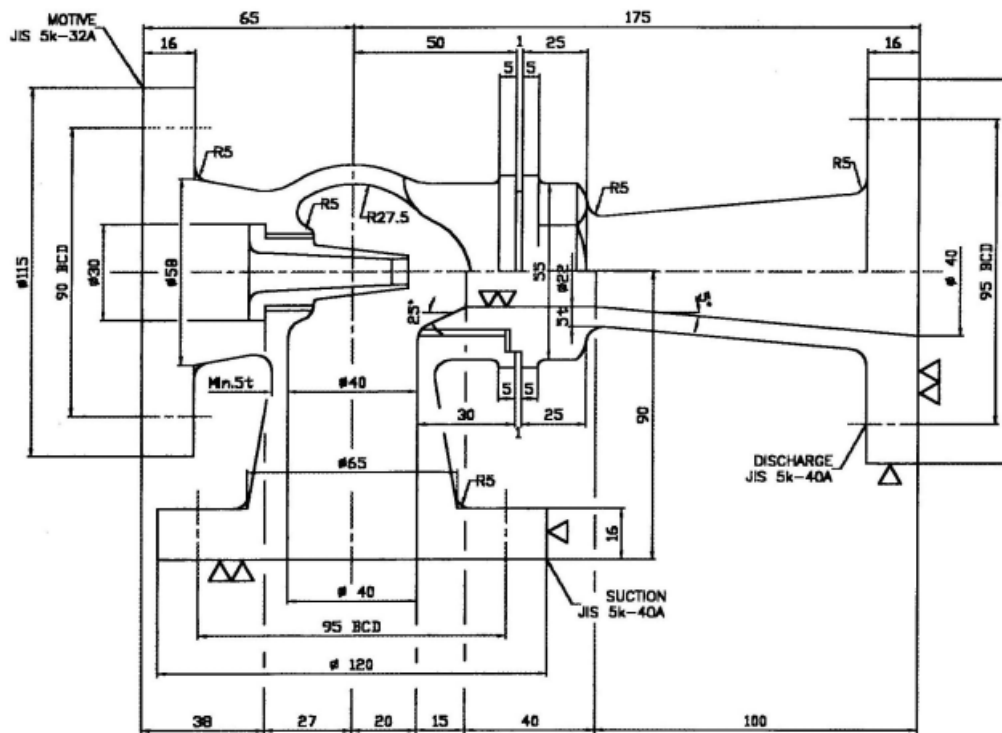


Fig 2.2 Schematic diagram of water jet air ejector

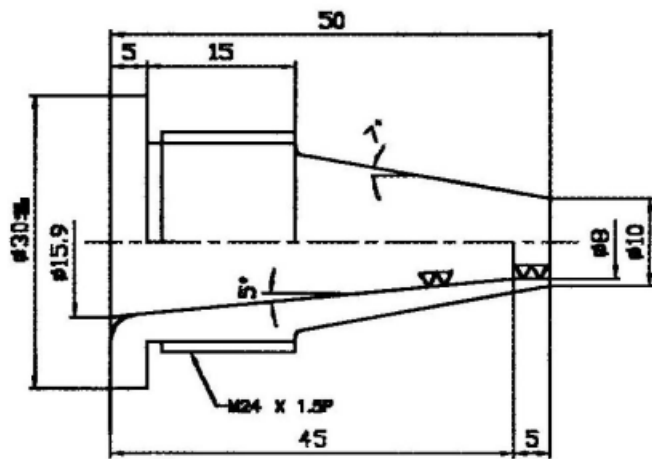


Fig 2.3 Schematic diagram of nozzle for water jet air ejector

진공시스템을 임의의 압력에서 요구되는 진공압력까지 소정의 시간 내에 도달시키기 위하여 필요한 펌프의 배기속도를 파악하는 것이 중요하다.

진공시스템의 조건이 배기시간에 현저한 영향을 미치므로 배기속도를 알아보기 위하여 아래와 같이 식을 사용하였다.

기체의 압력항에 제시된 기본식은

$$P = n \cdot k \cdot T \quad (2.1)$$

여기서, n 은 분자 밀도(단위 체적당 분자수), k 는 볼츠만 상수, T 는 절대 온도를 각각 나타낸다.

공기를 배기 한다는 것은 압력 P 를 작게 한다는 것으로 밀도 n 을 작게 한다는 것이다.

식(2.1)의 양변에 배기하지 않으면 안되는 체적 V 를 곱하면 다음과 같이 된다.

$$P \cdot V = n \cdot V \cdot k \cdot T = N \cdot k \cdot T \quad (2.2)$$

체적 V 중에서 체적 S 중에 있던 만큼의 분자를 방출하는 것으로 하면, (nS) 개 만큼의 분자가 방출되므로 남아 있는 분자수는

$(N - nS)$ 개가 된다.

이것이 체적 V 중에 확산된 경우 식(2.2)은 다음과 같이 된다.

$$P' \cdot v = (N - n \cdot S) \cdot k \cdot T \quad (2.3)$$

식(2.3)에서의 P' 은 최초의 P 보다 낮게 되어 있으므로 양자의 차를 ΔP 로 쓰면, 압력의 저하분은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} P' - P &= \Delta P \\ &= -n \cdot S \cdot k \cdot \frac{T}{V} \\ &= -S \frac{P}{V} \end{aligned} \quad (2.4)$$

배기 속도를 S 라 하고, 미소 시간 dt 에 대한 압력 저하분 dP 는 식(2.5)과 같은 미분 방정식으로 표시할 수가 있다.

$$\frac{dP}{dt} = -S \frac{P}{V} \quad (2.5)$$

$$\frac{dP}{P} = -S \frac{dt}{V} \quad (2.6)$$

$$\int_{P_o}^{P_t} \frac{dP}{P} = - \int_0^t S \frac{dt}{V} \quad (2.7)$$

$$\ln \frac{P_t}{P_o} = - \frac{St}{V} \quad (2.8)$$

식(2.8)을 펌프 용량 S 에 관해 정리하면 아래와 같다.

$$S = \frac{V}{t} \ln \left(\frac{P_o}{P_t} \right) \quad (2.10)$$

여기서, S (l/min)는 배기속도를, V (l) 용기체적을, t (min)은 배기시간을, P_t ($mmHg abs.$)는 최초압력을, P_o ($mmHg abs.$)는 요구되는 압력을 각각 나타낸다.

2.2.3 열량공급장치

해동에 필요한 열량을 공급하기 위한 주 열량공급장치로는 2 (kW), 4 (kW)의 전기가열기(Electrical heater)를 각각 2개씩을 설치하였고, 각각의 히터는 20 (℃)에서 120 (℃)까지 온도조절이 가능한 투입히터를 이용하였다.

Photo. 2.3 에 열량공급장치인 전기가열기를 나타낸다.



Photo. 2.3 Electric heater for heat supply unit

2.2.4 레벨게이지 및 기액분리기

진공용기 저부의 물의 수위는 Photo 2.3 에서와 같은 레벨게이지를 사용하여 용기내부의 수위를 관찰할 수 있으며, 물의 수위가 저수위에 도달하면 자동급수 밸브가 열려 물의 급수가 이루어지고, 시간이 경과하여 고수위가 되면 자동급수 밸브가 닫혀 물의 급수가 중단되도록 설계되어 있다.

진공용기 내부를 소정의 진공압력으로 유지시키기 위해 수구동 기체 흡입 이젝터를 구동시켜 해동물 내부에서 발생하는 불응축 가스 및 개폐창, 각종 밸브 등을 통하여 외부에서 유입되는 공기 등을 배기하였는데, 습증기 상태로 배기되어 기액분리기 위에 설치된 체크밸브를 통하여 기체만 배기되고 증기는 응축되어 기액분리기에서 외기에 의해 응축되도록 되어 있다.

진공펌프가 습증기를 흡입하는 경우에는 진공펌프용 윤활유의 교환이나 내부 고장의 원인이 될 수 있으나 본 실험장치에서 진공펌프의 구동시간은 해동시 초기에 약 30분 정도이며, 또 이 시간에는 증기의 발생량도 적어 진공펌프의 성능에는 전혀 지장이 없다.

2.2.5 측정장치

실험장치의 각부 온도측정은 피복형 및 제작된 C-A type의 열전대를 사용하였다. 해동물의 내부 온도측정을 위한 열전대는 직경 0.5 (mm)의 C-A 열전대 소선을 전기용접으로 제작하여 사용하였다.

정확한 온도 측정을 위하여 각각의 열전대에 대해 표준온도계를 이용하여 검정하였는데, 검정장치는 내경 150 (mm), 두께 4 (mm), 높이 150 (mm)의 강관의 용기로 제작되어 있고, 강관 외벽에 전기 가열선을 설치하고 운모 튜브 및 유리섬유를 사용하여 단열한 후 가열선의 입력 전원을 전압조정기로 조절하여 소정의 온도로 일정히 유지한 다음 여러 개의 열전대를 동시에 같은 조건에서 검정할 수 있도록 하였다. 검정에는 식용유를 사용하였는데 용기내의 온도차를 최소화하기 위하여 스탠드에 고정된 프로펠러를 회전시켜 교반하였고, 그 온도차는 0.1 (°C) 이하가 되게 하였다. 검정할 열전대에서 발생하는 기전력은 기준온도상자, 로터리 스위치를 거쳐 데이터로거에서 측정되게 하였으며, 이 때 용기내에 설치된 최소눈금 0.01 (°C)의 표준온도계의 눈금과 데이터로거로 측정한 각 열전대의 기전력을 기록하여 최소자승법으로 처리하여 검정하였다. Fig 2.4 에 열전대 검정장치의 계략도를 보이고 있다.

진공용기내부의 압력측정은 부로돈 압력계를 사용하였는데, 실험범위의 압력에 대하여 마노미터를 사용하여 압력계를 검정한 후 사용하였다.

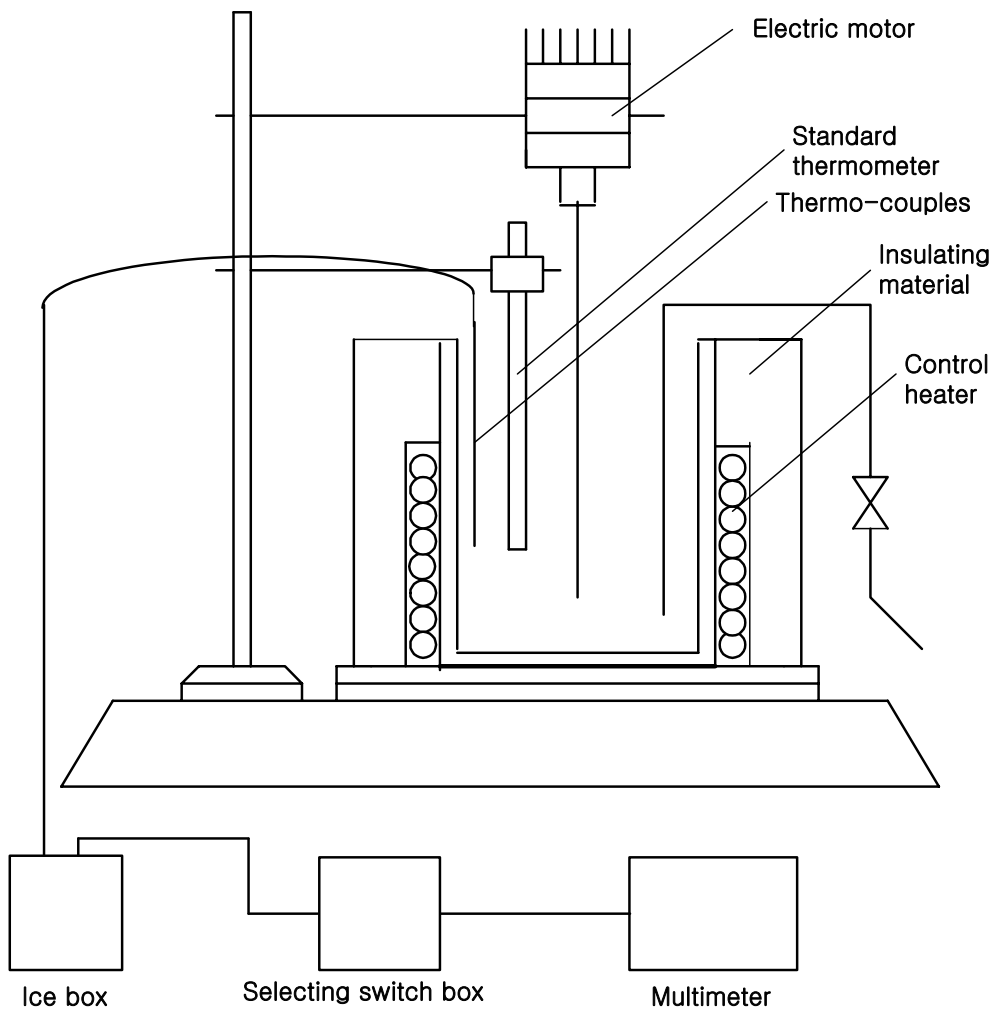


Fig. 2.4 Calibration apparatus of thermo-couple

2.3 냉동수산물의 비열 및 용해열

식품은 수분, 단백질, 탄수화물, 회분 등으로 구성되어 있는데, 이것을 수분, 지질, 고형분(단백질, 탄수화물, 회분)의 3성분으로 분류하여, 식품의 비열 및 용해열을 계산하고, 이를 바탕으로 해동에 필요한 열량을 계산하였다.

2.3.1 냉동수산물의 비열

비열이란 물질 1 (*kg*)을 1 ($^{\circ}\text{C}$) 올리거나 내리는데 필요하거나 제거해야할 열량을 말하며, 비열이 큰 식품일수록 냉각 및 동결할 때에 큰 냉동력이 필요하다. 일반적으로 생선식품은 많은 수분이 함유되어 있으므로 식품의 물성치는 수분함량에 크게 영향을 받는다. 또 얼음의 비열이 물의 약 1/2이므로 동결점 이하에서의 식품의 비열은 동결점 이상에서의 약 1/2이 된다.

각 식품의 비열은 실제로 측정하는 것 보다 다음의 식 (2.2)에 의하여 해동전과 해동후의 개략적인 비열을 계산하는 것이 편리하다.

$$\begin{aligned}C_{p1} &= C_{w1}X + C_fY + C_sZ \\C_{p2} &= C_{w2}X + C_fY + C_sZ\end{aligned}\tag{2.2}$$

단, 위 식(2.2)에서 C_{w1} 는 얼음의 비열을, C_{w2} 는 물의 비열을, C_f 는 지질의 비열, C_s 는 고형분의 비열을, X 는 수분의 비율을, Y 는 지질의 비율을, Z 는 고형분의 비율을 각각 나타낸다.

2.3.1 동결잠열

동결잠열이란 동결점에서 액체상태의 물질이 고체상태의 물질로 상태 변화를 하는데 제거해야 할 열량을 말한다. 즉, 물이 얼음으로 변할 때의 동결잠열은 80 ($kcal/kg$)이며, 식품의 동결잠열은 수분함량과 밀접한 관계가 있으며 다음의 식(2.3)으로 계산한다.

$$h_{wf} = h_w X \quad (2.3)$$

위 식에서 h_{wf} 는 식품의 동결잠열, h_w 는 물의 동결잠열을 각각 나타낸다.

Table 2.1 에 수산물의 성분 분석표를, Table 2.2 에 각각의 물리상수의 값을 나타내었다.

또한, Table 2.3 에 ASHRAE에서 권장하고 있는 수산물의 물성치를 정리해 놓았다.

Table 2.1 Component analysis of aquatic products

Component		Hair tail	Yellow croaker
Calorie	(<i>kcal</i>)	149	93
Moisture	(<i>gr</i>)	72.7	78.7
Fat	(<i>gr</i>)	7.5	1.7
Albumen	(<i>gr</i>)	18.5	18.3
Carbohydrate	Glucide (<i>gr</i>)	0.1	0.0
	Fibres (<i>gr</i>)	0.0	0.0
Lime powder	(<i>mg</i>)	1.2	1.3
Calcium	(<i>mg</i>)	46	36
Phosphorus	(<i>mg</i>)	191	175
Iron	(<i>mg</i>)	1.0	0.9
Vitamin	A (<i>R.E.</i>)	20	8.0
	Retinol (μg)	20	8.0
	β -carotin (μg)	0.0	0.0
	B1 (<i>mg</i>)	0.13	0.05
	B2 (<i>mg</i>)	0.11	0.21
	Naiasin (<i>mg</i>)	2.3	4.4
	C (<i>mg</i>)	1.0	1.0

Table 2.2 Component analysis of aquatic products

		Specific heat ($kcal/kg^{\circ}C$)	Specific weight (kg/m^3)	Heat conductivity ($kcal/mhr^{\circ}C$)	Heat of melting ($kcal/kg$)
Moisture	Ice	$C_{ws} = 0.5$	$\gamma_{ws} = 920$	$k_{ws} = 2.0$	$h_{lv} = 80$ (<i>at 1 atm</i>)
	Water	$C_{wl} = 1.0$	$\gamma_{wl} = 1,000$	$k_{wl} = 0.5$	
Fat		$C_{fs} = 0.5$	$\gamma_f = 920$	$k_{fs} = 0.15$ $k_{fl} = 0.1$	-
Pancake		$C_{ss} = 0.35$	Vegetable food $\gamma_s = 130$ Animality food $\gamma_s = 1,300$	$k_{ss} = 2.0$	-

Table 2.3 Thermal and related properties of fish

Food or Food material	Water content (%)	Highest freezing point (°C)	Specific heat		Latent heat of fusion (kJ/kg)
			Above freezing (kJ/kgK)	Below freezing (kJ/kgK)	
Whole fish					
Haddock-cod	78	-2.2	3.63	1.82	261
Halibut	75	-2.2	3.55	1.79	251
Herring, kippered	70	-2.2	3.43	1.72	235
Herring, smoked	64	-2.2	3.28	1.65	214
Menhaden	62	-2.2	3.23	1.62	208
Salmon	64	-2.2	3.28	1.65	214
Tuna	70	-2.2	3.43	1.72	235
Fillets or Steaks					
Haddock-cod -perch	80	-2.2	3.68	1.85	268
Hake-whiting	82	-2.2	3.73	1.87	275
Pollock	79	-2.2	3.65	1.84	265
Mackerel	57	-2.2	3.10	1.56	191
Shellfish					
Scallop, Meat	80	-2.2	3.68	1.85	268
Shrimp	83	-2.2	3.75	1.89	278
Lobster	79	-2.2	3.65	1.84	265
Oyster-clams, Meat and liquor	87	-2.2	3.85	1.94	291
Oyster in shell	80	-2.8	3.68	1.85	268

제3장 실험결과 및 고찰

3.1 진공장치의 무부하 추기특성

진공예냉 및 해동에 있어서 예냉 및 해동을 결정하는 중요한 인자는 진공용기내의 진공압력이며, 진공압력에 따라서 포화온도가 결정되며, 결국 포화온도와 피예냉물 및 해동물 내부로의 열전도 속도에 의하여 예냉 및 해동속도가 결정된다. 본 실험에서는 진공추기장치로서 수구동 기체흡입 이젝터와 로터리형 진공펌프를 사용하였다. 주 진공추기장치는 수구동 기체흡입 이젝터 시스템으로서, 이와 같은 이젝터 진공추기시스템은 현장 적용시 고장이 없어 매우 유용하게 사용된다.

실험장치내를 소정의 진공압력으로 유지시키기 위해 이젝터만을 사용할 경우 진공압력 도달시간이 많이 소요되므로 실험 초기에는 이젝터와 피스톤형 진공펌프를 동시에 사용했다. Fig. 3.1 에서 보는바와 같이 실험초기 이젝터만을 사용할 경우 5 (*mmHg abs.*)의 진공압력을 형성하기 위해서는 약 150 분 정도가 소요되었으며, 이젝터와 피스톤형 진공펌프를 동시에 사용할 경우에는 약 30 분 정도가 소요되었다. 그래서, 예냉 및 해동시간의 단축을 위해 실험초기에는 이젝터와 피스톤형 진공펌프를 동시에 사용하여 실험하였으며, 이후 소정의 진공압력 5 (*mmHg abs.*)이 형성되면, 이젝터만을 사용하여 진공압력을 유지하였다. 이젝터의 용량을 크게 선정하면 로터리형 진공펌프를 사용할 필요

가 없으나 그럴 경우 기타 실험장치의 전체적인 용량이 커지기 때문에 본 실험에서는 2가지를 조합하여 실험하였다. 그림에서 보는바와 같이 2가지를 동시에 사용할 경우 로터리형 펌프만을 사용할 때와 큰 차이를 나타내고 있지 않는데 이것은 이젝터를 최소한의 용량으로 소정의 진공 압력을 유지하기 위해서만 사용되어 지므로 초기에는 2가지를 동시에 사용할 때와 피스톤형 진공펌프만을 사용할 경우에 대해서 큰 차이를 나타내지 않았다.

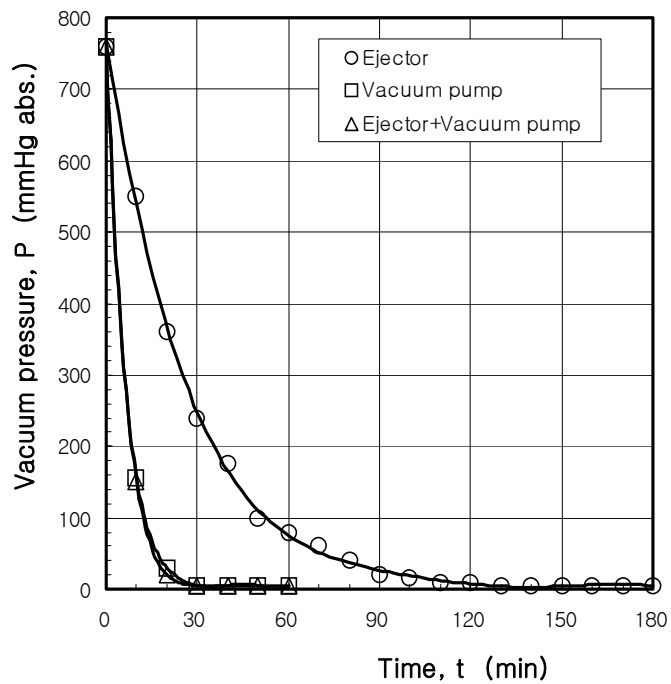


Fig. 3.1 Vacuum pumping characteristic curves

3.2 진공예냉 실험결과

일반적으로 예냉 과정은 흔히 냉동기 시스템을 이용해야만 한다고 인식되어 있다. 그러나, 이러한 냉동기 시스템에 의한 예냉 방법은 식품의 결과 속의 온도를 동시에 낮출 수는 없다. 설령 온도를 똑같이 낮출 수 있다하더라도 부속장치가 과다하게 설치되거나 또는 많은 시간이 필요하게 된다. 그러나, 본 실험장치에서와 같이 수구동 공기흡입 이젝터를 이용한 예냉을 하면 결과 속의 온도를 동시에 낮출 수 있다.

Table 3.1 은 예냉실험에서 사용되어진 실험범위를 요약하여 나타낸 것으로, 진공압력은 5 (*mmHg abs.*)를 유지하도록 하였으며, 이때의 포화온도는 1.6 (°C)이고, 실험 재료로는 물, 콩나물, 배추를 이용하였다.

예비실험으로는 무게 1 (*kg*)의 물을 가지고 실험하였으며, Fig. 3.2 에서와 같이 초기온도가 19.0 (°C)에서 1.7 (°C)까지 도달하는데 21 분이 소요되었음을 알 수 있었다.

Fig. 3.3은 물을 1 (*kg*)의 단위질량으로 환산하고, 실험 수행 시간에 따라 물의 온도를 19.0 (°C)에서 1.7 (°C)까지 낮추는데 필요한 열량을 계산하여 나타내었으며, 예냉 실험 후반부로 갈수록 즉, 온도가 0 (°C)에 가까워질수록 온도 하강에 필요한 열량이 작아짐을 알 수 있으며, 예냉시 필요한 총 열량은 17.30 (*kcal/kg*)이었음을 알 수 있었다.

Table 3.1 Experimental parameter of pre-cooling

Pressure	5 (<i>mmHg abs.</i>)
Saturated temperature	1.6 (°C)
Material	Water, Sprouted beans, Cabbage

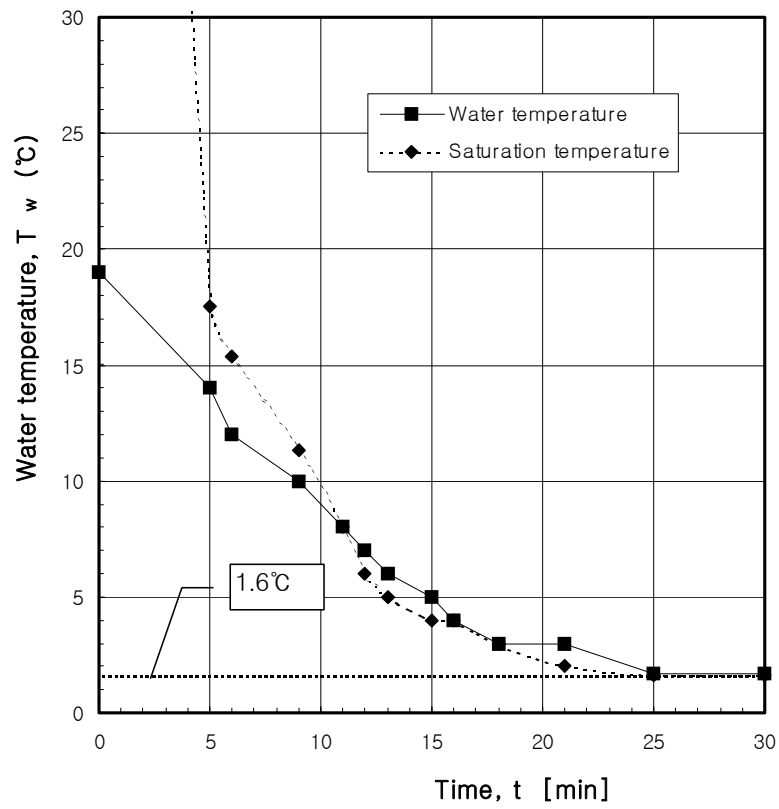


Fig. 3.2 Pre-cooling curve of water

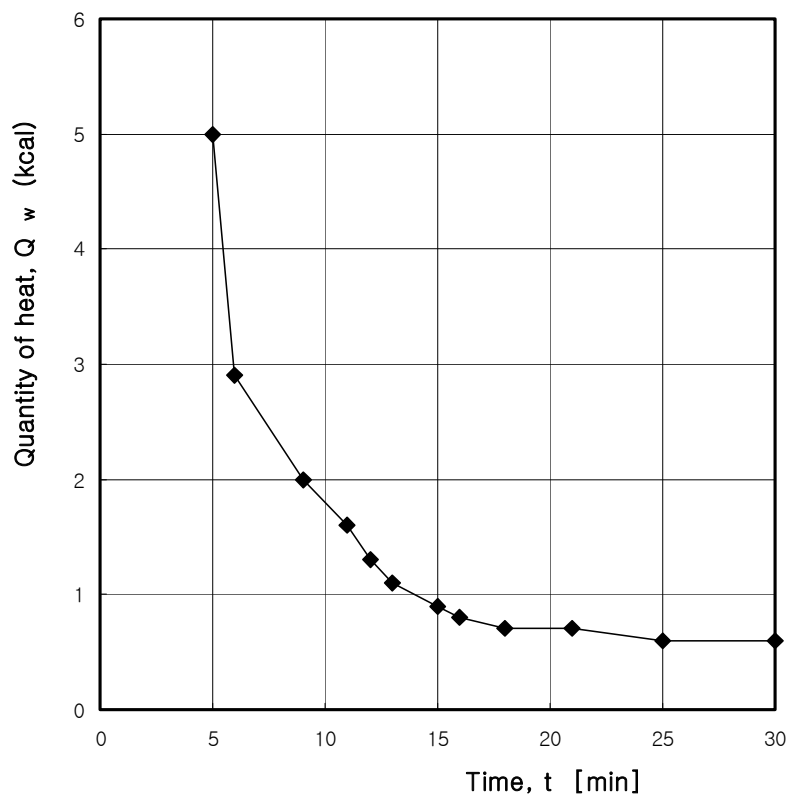


Fig. 3.3 Quantity of heat during pre-cooling for water

3.2.1 콩나물의 예냉

온도계측에 있어서는 콩나물의 경우 콩나물의 줄기 안쪽에 열전대를 꽂아 온도를 계측하였으며, 실험전 상온으로 보관하여 품온을 높인 관계로 자연건조에 의한 무게 감소분만큼을 스프레이기로 물을 뿌려 실험전의 무게를 맞추었다.

Fig. 3.3은 콩나물을 예냉한 결과를 나타낸 것으로 시간의 변화에 따른 챔버내의 진공압력과 콩나물의 온도변화를 알 수 있다. 챔버내 진공압력을 5 (*mmHg abs.*)로 일정하게 하였으며, 이때 콩나물의 온도가 17.9 (°C)에서 1.0 (°C)까지 하강하는데 60 분이 소요되었으며, 25 분만에 콩나물의 온도가 5 (°C)이하로 내려갔음을 알 수 있다. 또한 무게 변화에 있어서 실험전과 비교하여 0.022 (*kg*)이 줄어든 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 3.4은 콩나물을 1 (*kg*)의 단위질량으로 환산하고, 실험 수행 시간에 따라 콩나물의 온도를 17.9 (°C)에서 1.0 (°C)까지 낮추는데 필요한 열량을 계산하여 나타내었으며, 총 필요한 열량은 15.74 (*kcal/kg*)이었음을 알 수 있었다.

Photo 3.1은 예냉실험전의 콩나물의 사진이며, Photo 3.2는 예냉실험 후의 사진이다. 사진으로 볼 수 있듯이 예냉과정중에 콩나물의 건조에 의한 표면의 품질 변화를 찾아볼 수는 없었다.

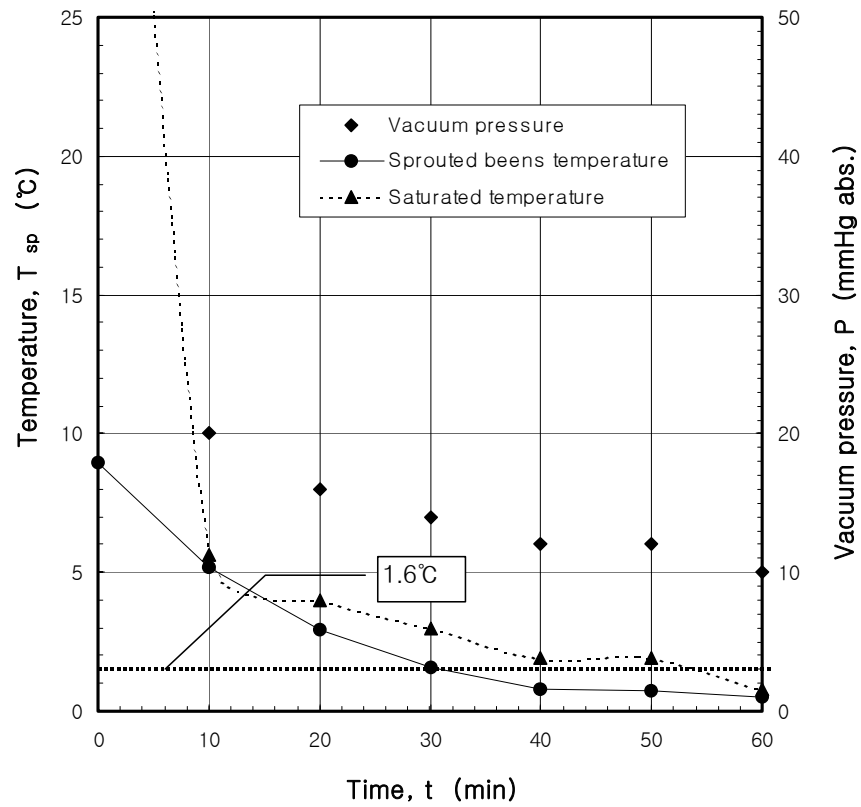


Fig. 3.3 Pre-cooling curve of sprouted beans

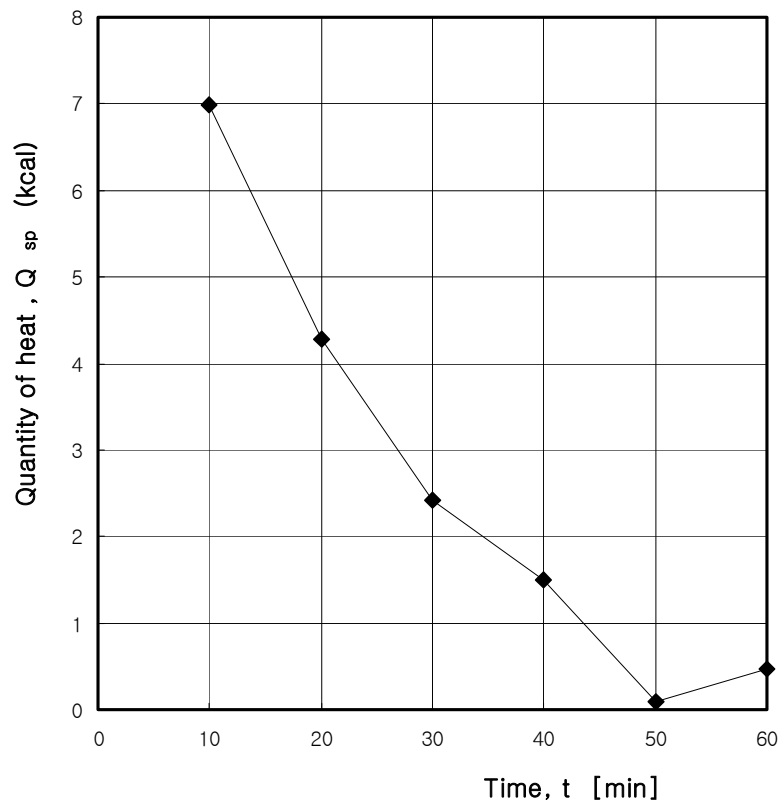


Fig. 3.4 Quantity of heat during pre-cooling for sprouted beans



Photo 3.1 The sprouted beans before experiment



Photo 3.2 The sprouted beans after experiment

3.2.2 배추의 예냉

배추의 경우에는 배추의 표면과 중앙의 온도변화를 측정하기 위하여 Fig. 3.5 에서와 같이 열전대를 설치하여 배추의 온도변화를 측정하였다.

Fig. 3.5 에서 보는바와 같이 T_{cin} 는 배추의 중심 부위의 온도이며, T_{cmid} 는 중심부와 표면의 정 중앙부분의 온도이며, T_{csur} 는 배추의 표면에 최대한 가까운 온도를 측정하도록 하였다.

실험전 배추를 상온으로 보관하여 품온을 높인 관계로 자연건조에 의한 무게 감소분만큼을 스프레이기로 물을 뿌려 실험 전의 무게를 맞추었다.

Fig. 3.6 은 배추에 대하여 진공압력 5 ($mmHgabs.$)을 유지하여 시간의 변화에 따른 챔버내의 진공압력과 배추의 중심, 표면, 중심과 표면의 정중앙부의 온도변화를 알 수 있다. 예냉실험을 해본 결과 배추의 가장 두꺼운 부분의 중심온도인 측정위치 T_{cin} 의 온도가 23.2 ($^{\circ}C$)에서 4.5 ($^{\circ}C$)까지 하강하는데 60 분이 소요되었음을 알 수 있다. 특히 T_{cin} , T_{cmid} , T_{csur} 의 온도변화를 살펴보면 시간에 따라 T_{cin} , T_{cmid} , T_{csur} 의 온도가 거의 동일하게 하강하는 것을 알 수 있다. 또한 무게 변화에 있어 실험전과 비교하여 0.036 (kg)이 줄어든 것을 확인하였으며, 이는 배추 표면의 수분이 약 2 (%)가량만이 증발하고, 시료 자체의 상태에는 변화가 거의 없음을 나타낸다.

Fig. 3.7 은 배추를 1 (kg)의 단위질량으로 환산하고, 실험 수행 시간에 따라 배추의 온도측정위치 T_{cin} , T_{cmid} , T_{csur} 에서 온도를 낮추는데 필요한 열량을 계산하여 나타내었으며, T_{cin} 의 경우에는 22.3 (°C)에서 4.5 (°C) 까지 온도를 낮추는데 필요한 열량은 17.04 (kcal/kg)이었고, 측정위치 T_{cmid} 의 경우에는 22.8 (°C)에서 4.6 (°C)까지 온도를 낮추는데 필요한 열량은 17.42 (kcal/kg)이었으며, 측정위치 T_{csur} 의 경우에는 27.3 (°C)에서 5.2 (°C)까지 온도를 낮추는데 필요한 열량은 21.16 (kcal/kg) 이었음을 알 수 있었다.

Photo 3.3 은 예냉실험전의 배추의 사진이며, Photo 3.4 는 예냉실험 후의 사진이다. 사진으로 볼 수 있듯이 예냉과정중 배추의 건조에 의한 품질의 변화를 찾아볼 수는 없었다.

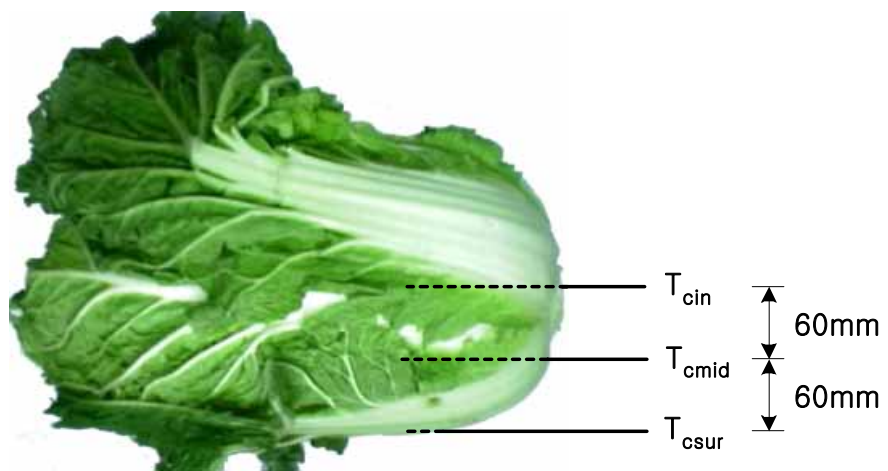


Fig. 3.5 Temperature measurement position

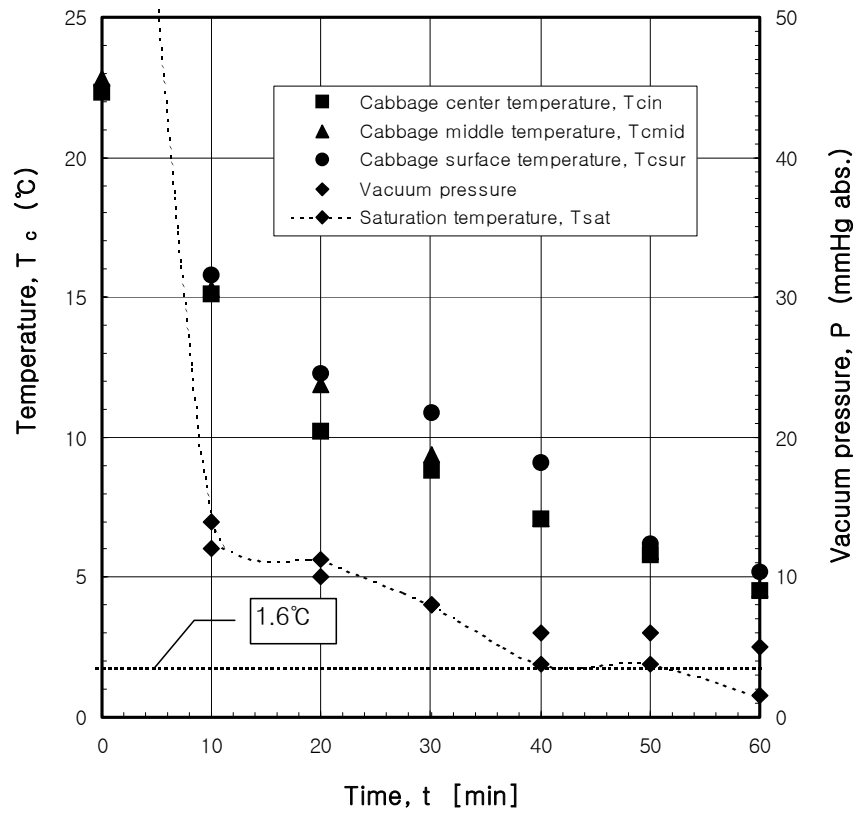


Fig. 3.6 Pre-cooling curve of cabbage

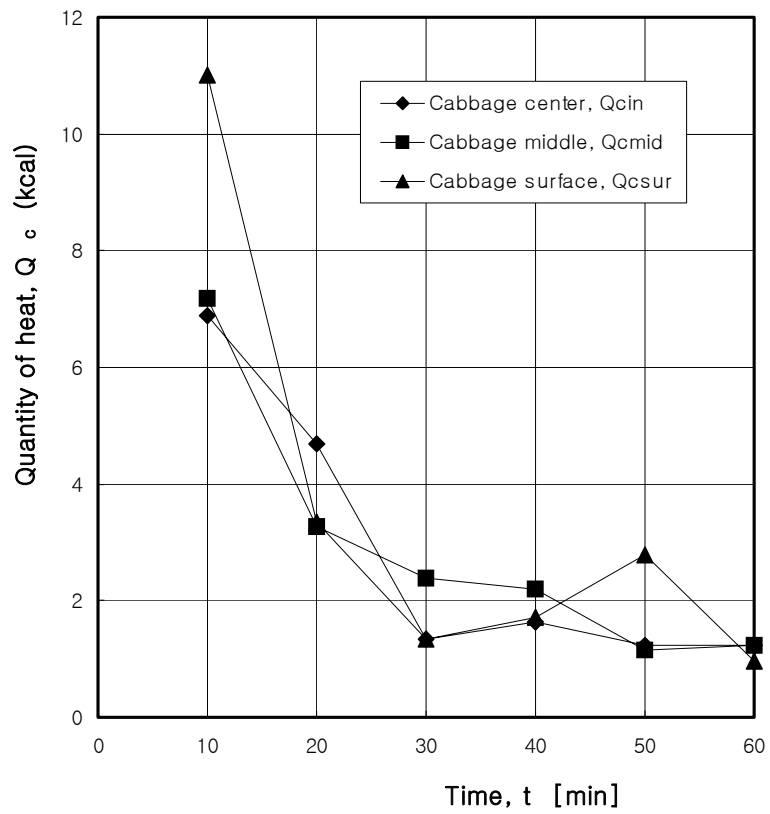


Fig. 3.7 Quantity of heat during pre-cooling for sprouted beans



Photo 3.3 The cabbage before experiment



Photo 3.4 The cabbage after experiment

Table 3.2 는 물, 콩나물, 배추에 대한 예냉실험의 결과를 정리한 것이다. 표에서 알 수 있는 바와 같이, 시료의 무게 변화, 예냉온도(증발 온도), 시료의 초기온도(온도는 시료의 정 중앙부의 온도를 측정), 예냉 후의 온도, 예냉에 필요한 시간과 각 실험재료에 따라서 단위질량당 예냉에 필요한 열량을 알 수 있다.

Table 3.2 Results of vacuum pre-cooling

Material	Weight		Weight reducing rate (%)	Saturated temperature (°C)	Initial temperature (°C)	Final temperature (°C)	Estimated pre-cooling time (min)	Quantity of heat (kcal/kg)
	Initial	Final						
	(gr)							
Water	1,000	984	0.6	1.6	30.0	5.0	21	17.3
Cabbage	1,846	1,810	1.9	1.6	30.0	5.0	68	17.1
Sprouted beans	1,106	1,084	1.9	1.6	30.0	5.0	24	15.7

3.3 진공해동 실험결과

해동과정은 흔히 냉동과정의 반대일 것으로 생각하기 쉬운데 사실은 해동과정이 냉동과정과는 상당히 다르다는 점을 인식해야 한다. 식품과 같이 열이 주로 전도에 의해 전달되는 경우, 해동은 냉동보다 느리게 이루어지며, 해동의 시간-온도 곡선은 냉동의 시간-온도 곡선과 유사한 점이 거의 없다.

냉동과 해동과정의 차이점을 알기 위해 금속관에 진분 젤을 채우고 중심부에 열전대를 연결하여 두 금속관을 78.5 (°C)로부터 -78.5 (°C)까지 냉동 및 해동할 때의 온도변화를 나타내면 Fig. 3.8 와 같다. 즉, 냉동이 완료되는 데 필요한 시간은 약 30 분이며 해동은 약 52 분이 소요된다. 그리고 해동과정에서는 온도가 급속히 빙점 부근으로 상승한 후 빙점 부근에서 장시간 경과한 후 해동이 완료됨을 알 수 있다.

Fig. 3.9 는 해동실험시 조기와 갈치 냉동블럭의 온도측정을 위한 위치를 나타내는 것으로 조기와 갈치의 블럭크기가 가로 590 (mm), 세로 360 (mm), 높이 150 (mm) 인 냉동블럭을 이용하였으며, 측정위치 ①은 시료의 가장 두꺼운 부위의 중심온도로 평균 75 (mm)의 위치의 온도를 측정하도록 하였으며, 측정위치 ②는 오른쪽으로 240 (mm) 떨어진 곳을, 측정위치 ③은 위쪽으로 112.5 (mm) 떨어진 곳을 측정하였으며, 깊이 방향으로는 각각의 측정위치 ①, ②, ③에서 표면으로부터 75 (mm), 40 (mm) 깊이 방향의 온도를 측정하였다. 측정위치 ①의

깊이에서 깊이방향으로 75 (*mm*)부분의 측정 온도가 0 (°C)에 가까워졌을때 시료의 해동완료 여부를 판단하였다.

Table 3.3 은 해동실험에서 사용되어진 실험범위를 요약하여 나타낸 것으로, 진공압력은 20 (*mmHg abs.*)를 유지하도록 하였으며, 이때의 포화온도는 22 (°C)이고, 실험 재료로는 갈치와 조기를 이용하였다.

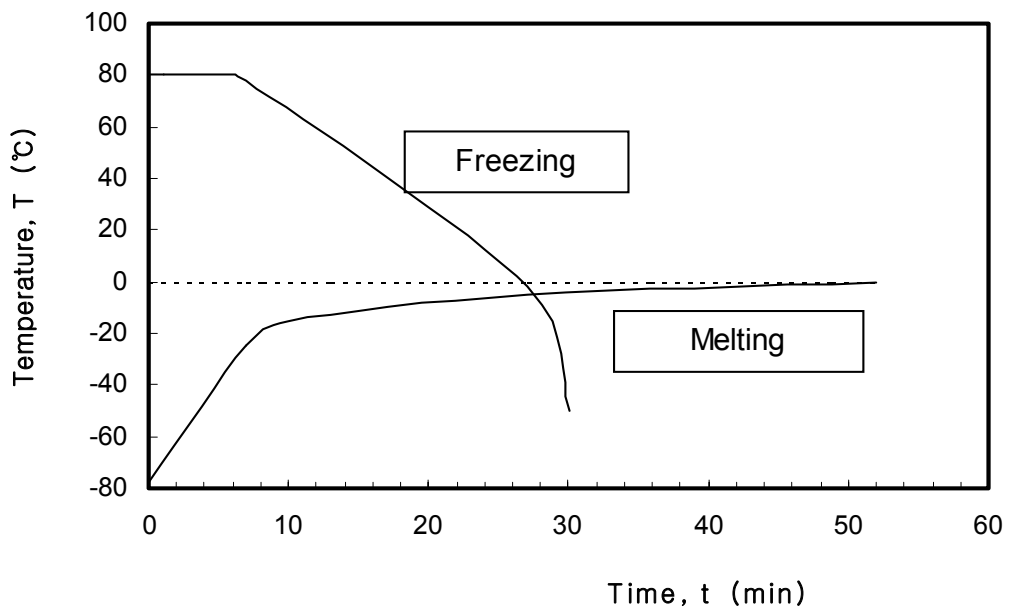


Fig. 3.8 Temperature variation of freezing and melting.

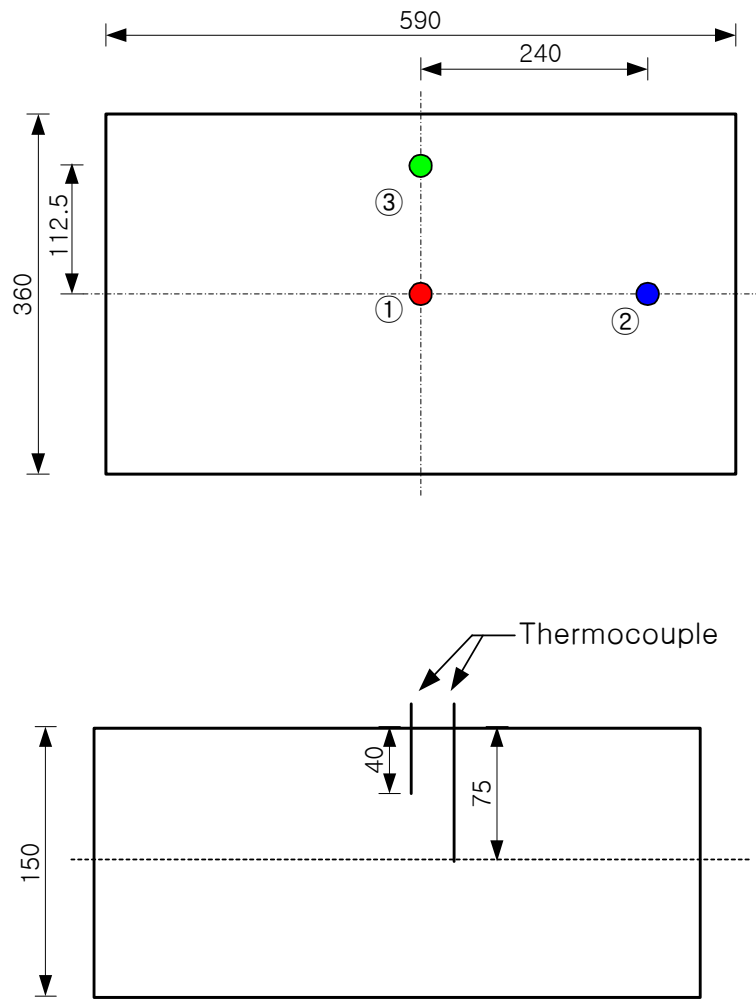


Fig. 3.9 Temperature measurement position

Table 3.3 Experimental parameters of vacuum melting

Pressure	20 (<i>mmHg abs.</i>)
Temperature	22 (°C)
Material	Yellow croaker, Hair tail

3.3.1 갈치의 해동

Fig. 3.10 는 갈치에 대하여 진공압력 20 (*mmHg abs.*)로 유지하면서, 가열수의 온도를 22 (°C)로 일정하게 하여 시간의 변화에 따른 갈치의 중심, 표면, 중심과 표면의 정중앙부의 온도변화를 나타낸 것이다. Fig. 3.10 에서 보는바와 같이 시료의 가장 두꺼운 부분의 중심온도인 측정위치 ①의 온도가 -12.2 (°C)에서 0.0 (°C)까지 상승하는데 230 분이 소요되었으며, 측정위치 ①, ②, ③의 온도변화가 매우 유사한 형태로 해동되고 있음을 알 수 있었다. 또한 무게변화도 실험전과 비교해서 2 (*kg*) 줄어든 것을 확인했으며, 이는 얼음만 녹고 시료자체의 영양 성분유출이 소량임을 나타낸다. 이 해동은 자연공기해동과 병행해서 실시해 본 결과, 자연공기해동은 시간이 30~40 시간 걸릴 뿐만 아니라 장시간 해동함으로써 표면이 건조해져 외관상 품질이 떨어지는 현상을 보였지만, 진공해동을 하면 이런 현상을 보이지 않았고 품질을 살펴보았을 때에 외관, 신선도, 색조에 있어서 선어의 상태에 매우 가까워 해동후의 상태가 매우 좋았음을 알 수 있었다.

Fig. 3.11 는 시간에 따른 해동시 소모된 열량을 나타내는 그래프로써, 갈치의 질량을 단위질량으로 환산하여 총 소모된 열량을 계산한 결과 열량의 합은 387.65 (*kcal/kg*) 이었다.

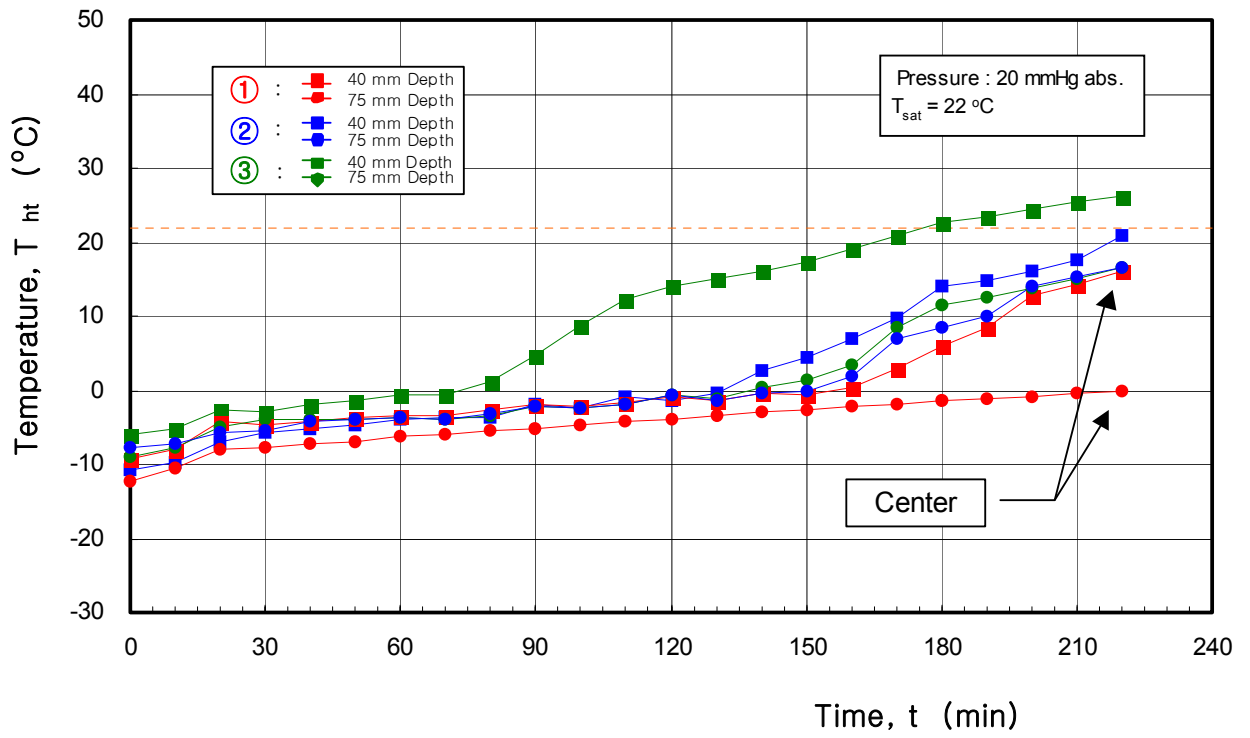


Fig. 3.10 Melting curve of hair tail

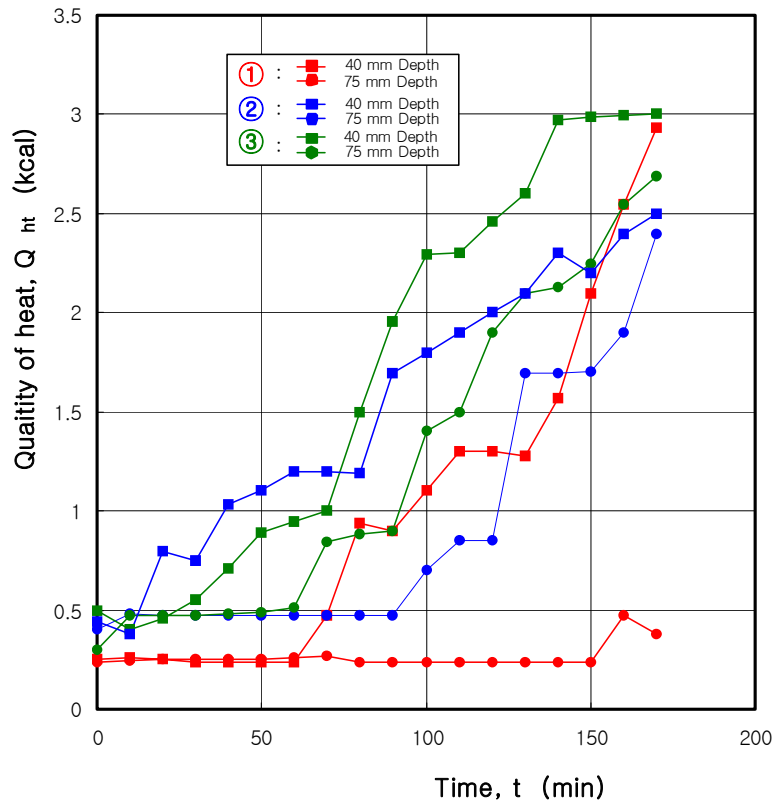


Fig. 3.11 Quantity of heat during melting for hair tail

3.3.2 조기의 해동

Fig. 3.12 는 조기에 대하여 진공압력 20 (*mmHgabs.*)로 유지하였으며, 가열수의 온도를 22 (°C)로 일정하게 하여 시간의 변화에 따른 갈치의 중심, 표면, 중심과 표면의 정중앙부의 온도변화를 나타낸 것이다. Fig. 3.12 에서 보는바와 같이 시료의 가장 두꺼운 부분의 중심온도인 측정위치①의 온도가 -10.3 (°C)에서 -0.8 (°C)까지 상승하는데 170 분이 소요되었으며, 측정위치 ①, ②, ③의 온도변화가 매우 유사한 형태로 해동되고 있음을 알 수 있었다. 또한 무게변화도 실험전과 비교해서 2 (*kg*) 줄어든 것을 확인했으며, 이는 얼음만 녹고 시료자체의 영양 성분유출이 거의 없음을 나타낸다.

Photo 3.5 와 Photo 3.6 는 각각 조기의 해동실험 전과 후의 모습으로 Photo 3.5 의 해동전의 모습은 조기 주위로 얼음이 보이고 있다. 그러나 Photo 3.6 에서와 같이 해동후의 모습은 조기주위로 얼음이 거의 보이지 않으며, 손으로 조기를 한 마리씩 떼어낼 수가 있었다. 또한 외관상 해동시 건조에 의한 조기의 손상은 발견되지 않았다.

Fig. 3.13 는 시간에 따른 해동시 소모된 열량을 나타내는 그래프로써, 조기의 질량을 단위질량으로 환산하여 총 소모된 열량을 계산한 결과 열량의 합은 413.03 (*kcal/kg*) 이었다.

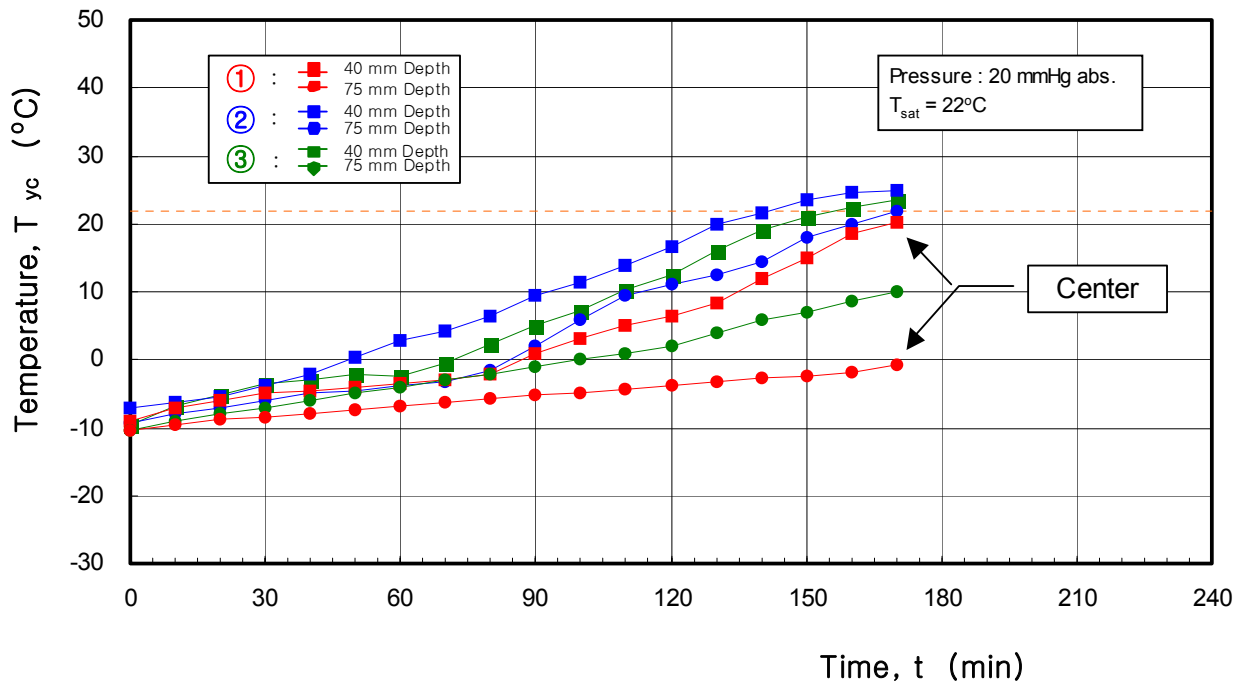


Fig. 3.12 Melting curve of yellow croaker

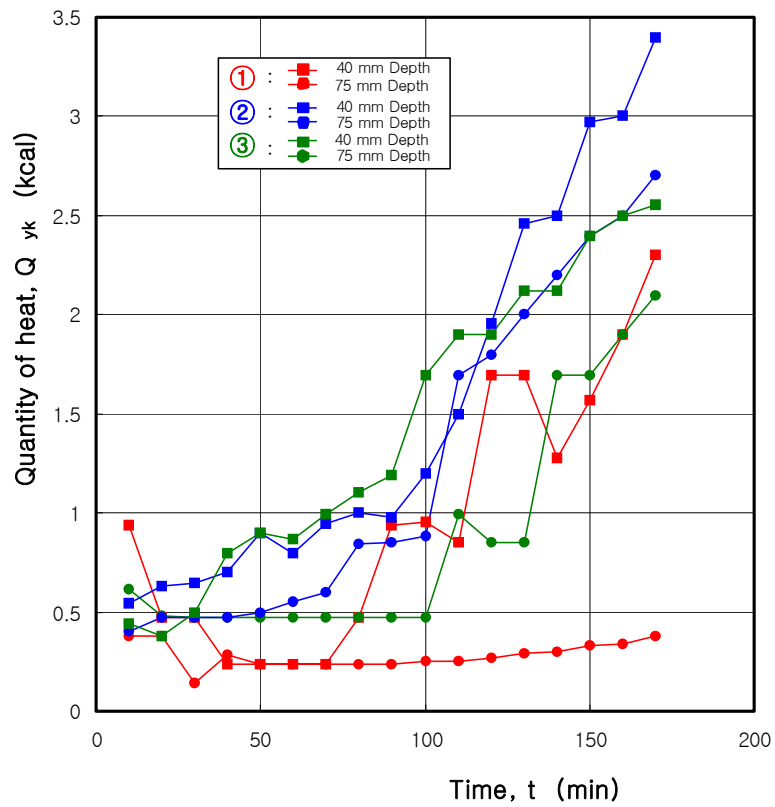


Fig. 3.13 Quantity of heat during melting for yellow croaker



Photo 3.5 The yellow croaker before experiment



Photo 3.6 The yellow croaker after experiment

Table 3.14 은 갈치와 조기에 대한 해동실험의 결과를 정리한 것이다. 표에서 알 수 있는 바와 같이, 시료의 무게 변화, 해동온도(증발온도), 시료의 초기온도(온도는 시료의 정 중앙부의 온도를 측정), 해동후의 온도, 해동에 필요한 시간과 각 실험재료에 따른 단위질량당 예냉에 필요한 열량을 알 수 있었다.

Table 3.14 Results of vacuum melting

Material	Weight		Weight reducing rate (%)	Saturated temperature (°C)	Initial temperature (°C)	Final temperature (°C)	Melting time (min)	Quantity of heat (kcal/kg)
	Initial	Final						
	(kg)							
Hair tail	21.1	19.7	9.5	29.0	-12.2	0.0	230	387.65
Yellow croaker	16.5	14.5	12.1	22.0	-10.8	-0.8	170	413.03

제4장 결 론

본 연구에서는 식품의 예냉에 있어서는 콩나물, 배추를 대상으로 해동에 있어서는 조기 및 갈치를 대상으로 진공장치를 이용한 예냉 및 해동 방법에 대하여 전열공학적 측면에서 기초적 연구를 수행하였다. 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 본 실험을 통하여 진공예냉 및 해동장치를 설계하기 위한 정량적인 설계 데이터를 습득하였으며, 콩나물과 배추의 진공예냉과 냉동수산물에 진공해동을 통하여 설계·제작한 수구동 액체이젝터 시스템을 이용한 진공예냉장치의 성능이 우수함을 확인하였다.

(2) 진공압력 5 (*mmHg abs.*), 무게 1.846 (*kg*)인 배추를 23.2 (°C)에서 4.5 (°C)까지 예냉하는데 60 분이 소요되며, 무게감소는 0.036 (*kg*)이었으며, 이 때의 무게감소율은 1.9 (%)이었고, 배추의 결과 속의 온도가 거의 동시에 떨어졌으며, 17.10 (*kcal/kg*)의 열량이 소모됨을 알았다.

(3) 진공압력 5 (*mmHg abs.*), 무게 1.106 (*kg*)인 콩나물을 17.9 (°C)에서 1.0 (°C)까지 예냉하는데 60 분이 소요되며, 무게감소는 0.022 (*kg*)이었으며, 이 때의 무게감소율은 1.9 (%)이었고, 15.7 (*kcal/kg*)의 열량이 소모됨을 알았다.

(4) 진공압력 20 (*mmHg abs.*), 가열수 온도 22 (°C)로 크기 360 W

$\times 150 H \times 590 L$ (mm), 무게 20 (kg)의 조기블럭을 초기온도 -10.3 ($^{\circ}C$)에서 -0.8 ($^{\circ}C$)까지 해동하는데 170 분이 소요되었고, 해동시 소모된 열량은 413.03 ($kcal/kg$)임을 알았다.

(5) 진공압력 20 ($mmHg$ *abs.*), 가열수 온도 22 $^{\circ}C$ 로 크기 $360 W$ $\times 150 H \times 590 L$ (mm), 무게 20 (kg)의 갈치블럭을 초기온도 -12.2 ($^{\circ}C$)에서 0.0 ($^{\circ}C$)까지 해동하는데 220 분이 소요되었고, 해동시 소모된 열량은 387.65 ($kcal/kg$)임을 알았다.

참 고 문 헌

- (1) 김병삼 ; “농산물의 예냉 및 저온저장”,
한국식품개발연구원 보고서, pp13-17(1995)
- (2) 김성규, 김원녕, 김경석, 최순열, 전현필 ; “농축산물의 저장 및 유통
을 위한 감압증발 급냉각시스템에 관한 연구”, 한국박용기관학회지,
21권 1호, pp.26-36(1997.2)
- (3) 정의창 ; “청과물의 예냉 관련 기술”, 한국농산물저장유통학회,
2권 2호, pp.303~313(1995.8)
- (4) 김경근외 ; “판형 동결된 생선의 신속한 해동을 위한 저온진공 해동
장치 개발”, Spin-off과제 1차년도 중간보고서(2000.9)
- (5) 이영춘 저 ; “식품냉동공학”, 신광출판사(1999)
- (6) 냉동물제조 수산업 협동조합 ; “냉동식품의 이론과 실제”(1997)
- (7) 이영호 ; “식품냉동에서의 동결과 해동”,
공기조화냉동공학회, 제16권, 제1호, pp.34-43(1987)
- (8) 安生三雄 ; “野菜の 予冷装置”, 冷凍空調装置の 設計, 日本冷凍協會, pp.174~183
- (9) 한국농기계연구소 ; “차압통풍 예냉 저온저장고 설계 이용기준 및
효과”, 시험성적서(1995)
- (10) 이원옥 외 ; “터널식 차압예냉장치 개발”, 청과물 저온유통 기계화
기술연구, 한국농기계연구소(1999.9)

- (11) 전현필 외 ; “농축산물의 저장 및 유통을 위한 감압증발 급냉각 시스템에 관한 연구”, 한국박용기관학회지, pp.26~36(1997.2)
- (12) 村治哲男 외 ; “眞空法による解凍食品の解凍”, 食品と科學, Vol.16, No.10, pp.112~116
- (13) 阿曾好修, “高周波解凍装置”, 冷凍, 制70卷, 809号, pp.13~18,(1995)
- (14) 大森秀聡 외 ; “冷凍魚ブロックの打撃散水解凍装置”, 冷凍, Vol. 71, No. 80, pp.32~36(1996.12)
- (15) 김성규 외 ; “컴팩트한 소형 담수화장치의 열설계에 관한 연구”, 한국박용기관학회지, 23권3호, pp.37~45(1999.5.)
- (16) 김성규 외 ; “1톤급 도서지방용 담수화장치에 관한 연구”, 한국해양대학교 부설 해사산업연구소 논문집 제8집, pp.155~169(1998.12)
- (17) “1993 ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS”, ASHRAE(1993)
- (18) 김경근, 성부용, 정한식, 최순열, 문수범 : “생체 건조용 대형 저온진공 건조기의 열적 특성에 관한 연구”, 한국박용기관학회지, 제24권, 제4호, pp.35-42(2000.7.)
- (19) 일본기계학회 ; “JSME STEAM TABLES”, 도서출판 신기술 (1997.2.)
- (20) 日本眞空協會關西支部 ; “알기쉬운 眞空技術”, 세화(1994.11.)
- (21) 우자원 역 ; “알기쉬운 식품분석화학”, 광문각(2001.3.)

학술활동 및 산학협동연구 실적

- (1) 김경근, 최두열, 김호영, 박영승, 이정혜 ;
“관형 동결된 생선의 신속한 해동을 위한 저온진공 해동장치 개발”,
산업자원부 공업기반기술과제 1차년도 (1999.8.1~2000.7.31)

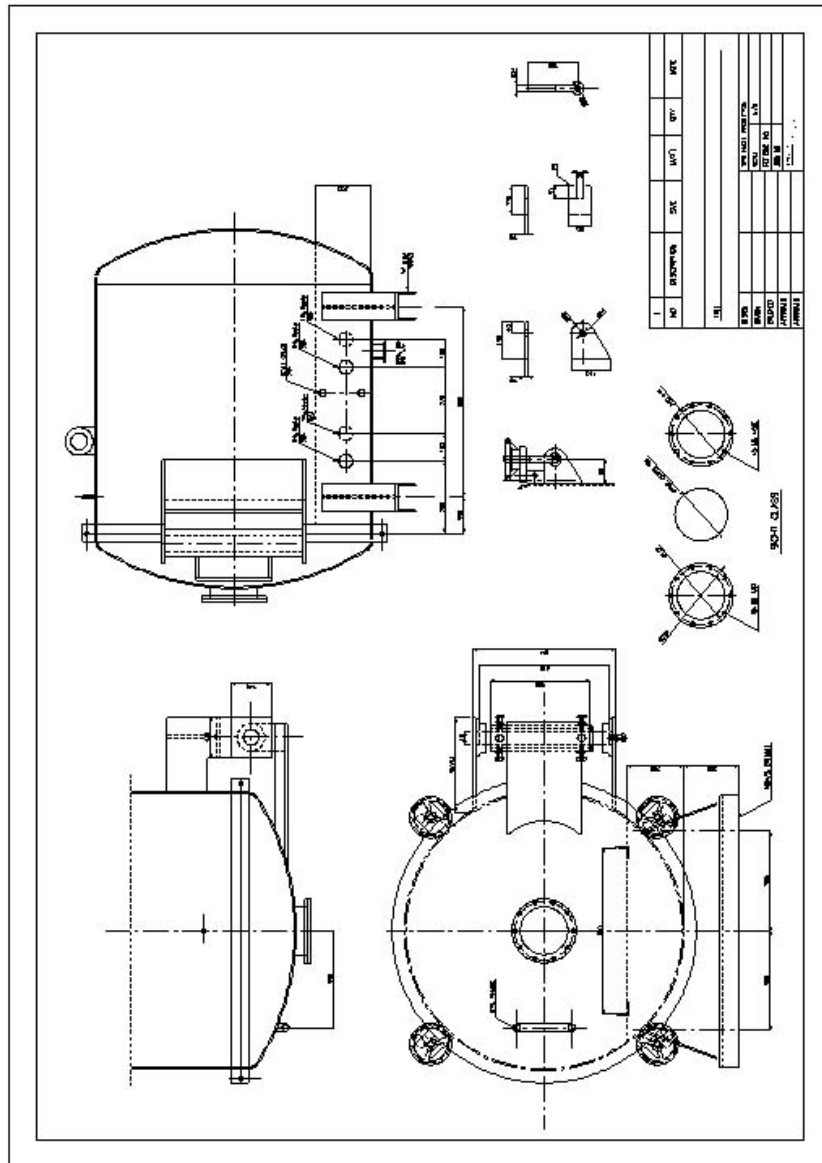
- (2) 박영승, 김호영, 이정혜, 최두열, 김경근 ;
“소형 마늘 탈각기 개발에 관한 연구”,
산학연 지역컨소시엄과제, 중소기업청 지역컨소시엄 기술혁신과제,
우성기계+지원냉열 (2000.5.1~2001.4.3)

- (3) 박영승, 김호영, 이정혜, 김경근 ; “수구동 액체이젝터를 이용한 농
산물의 예냉특성에 관한 연구”, 한국박용기관학회 2001년도
추계학술대회 논문집, pp.45~49 (2001.11.1.)

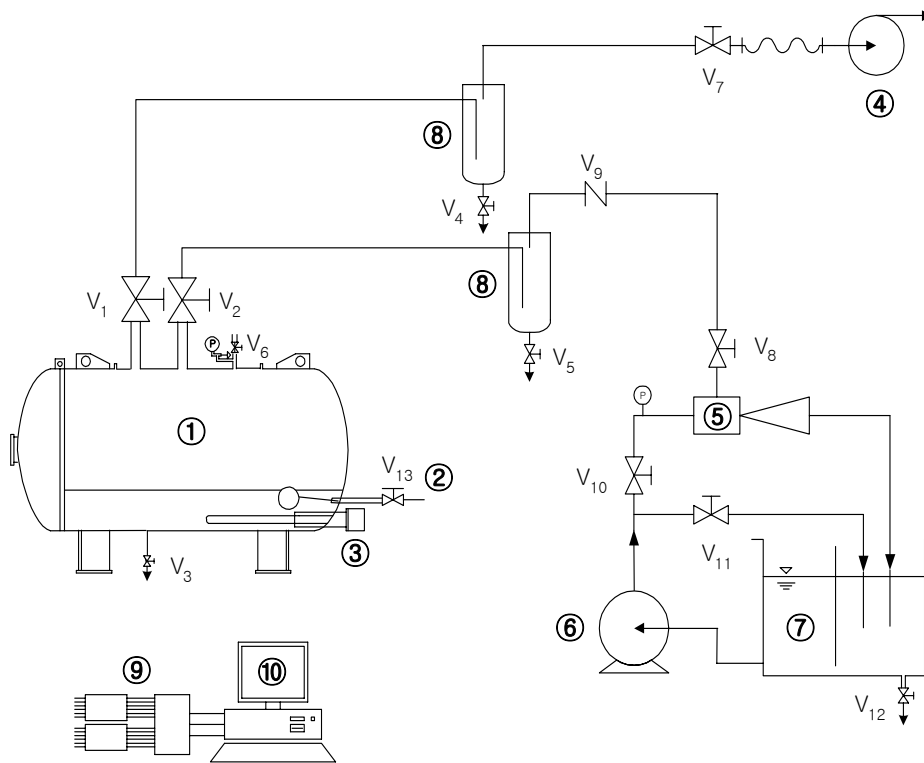
Appendix I : Specification of experimental apparatus

	Maker	Size	Capacity	Power	Range	Quantity
Vacuum chamber		1000Φ ×1220L				1
Vacuum pump	Woosung vacuum co.			220V	Ultimate press.: 10 ⁻³ Torr	1
Water jet air ejector	Ki won	32A ×40A ×40A	0.5 m ³ /min			1
Ejector pump			20 m ³ /hr			1
Electric heater	Samsung heater co.		2kW		20~120℃	2
Electric heater	Samsung heater co.		4kW		20~120℃	2
Cooling water tank		800W ×800L ×800H				1

Appendix II : Detail drawing for
experimental apparatus



Appendix III : Operating manual for experimental apparatus



- | | |
|-------------------------|-------------------------------|
| ① Vacuum chamber | ② Feed water valve |
| ③ Electric heater | ④ Rotary type oil vacuum pump |
| ⑤ Water jet air ejector | ⑥ Ejector pump |
| ⑦ Water tank | ⑧ Vapor/water separator |
| ⑨ Data logger | ⑩ Personal computer |

Schematic diagram of experimental apparatus

1. 예냉시 운전법

1.1 기동시 운전법

예냉을 시작할 경우 먼저 식품의 탈수 현상에 의한 품질의 변화를 막고, 처음 온도를 상온으로 만들기 위해 대기에 어느정도 방치하였으며, 실험전 미리 측정된 만큼의 무게를 맞추기 위하여 스프레이기를 이용하여 충분한 수분을 공급하여 무게를 맞춘다. 시료를 진공용기 내부에 넣고, 개폐문의 밀폐와 밸브 $V_1 \sim V_{11}$ 이 닫혀 있는지 확인한 다음 아래의 순서대로 실험을 실시한다.

(가) Main 전원을 투입한다.

(나) 이젝터 펌프 라인내의 바이패스 밸브 V_{11} 을 개방한 후 이젝터 펌프를 기동한다.

(다) 밸브 V_{10} 을 개방한 후 이젝터 펌프⑥를 구동하여 이젝터⑤로 구동수를 흐르게 한다. 그 후 바이패스 밸브를 잠근다.

(라) 챔버①내 흡입 밸브인 V_2 를 개방하고, 바이패스 밸브 V_{11} 을 닫고, 이젝터 흡입 밸브인 V_8 를 개방한다. 이 때부터는 챔버내 진공압력이 형성되기 시작한다.

(마) 진공펌프④를 기동하고, 챔버내 흡입 밸브인 V_1 를 개방하고 이젝터 흡입 밸브인 V_7 를 개방한다. 이 때부터는 챔버내 진공압력형성이 더욱 가속되기 시작한다.

(바) 소정의 진공압력에 도달하면, 밸브 V_7 를 닫고 진공펌프④를 멈춘다.

1.2 정상측정시 운전법

실험장치가 정상 운전을 하게 되면, 다음의 사항을 관찰한다.

(가) 진공용기 내부의 진공압력이 소정의 진공압력으로 유지되는지 확인한다.

(나) 이젝터 구동수의 온도 및 압력이 소정의 온도와 압력으로 유지되는지, 물탱크내에 구동수량은 충분한지 확인한다.

(다) 예냉물의 각 부의 온도 및 예냉중의 상태변화를 데이터 로그 및 관찰창을 통해서 관찰한다.

(라) 진공펌프를 계속 운전시키면 수증기를 흡입하여 진공펌프용 윤활유와 섞이게 되므로, 실험중에도 진공펌프용 윤활유의 양을 확인하고, 실험이 끝나고 5~6시간이 경과하게 되면 수분을 드레인 시켜 준다.

1.3 정지시 운전법

예냉물의 온도가 원하는 온도에 도달하면 실험장치를 다음의 순서대로 정지한다.

(가) 챔버내 흡입 밸브인 V_2 를 닫고, 이젝터 흡입 밸브 V_8 를 닫는다.

(나) 이젝터 펌프 라인내의 바이패스 밸브 V_{11} 을 개방한 후 이젝터 펌프를 정지한다.

(다) 진공파기 밸브 V_6 을 개방하여 챔버내 압력을 대기압으로 환원시킨다.

(라) 드레인 밸브 V_3 , V_4 , V_5 을 개방하여 드레인을 배출한다.

2. 해동시 운전법

2.1 기동시 운전법

해동을 시작할 경우 예냉과 같이 먼저 해동물을 진공용기 내부에 넣고, 개폐문의 밀폐와 밸브 $V_1 \sim V_{11}$ 이 닫혀 있는지 확인한 다음 아래의 순서대로 실험을 실시한다.

(가) Main 전원을 투입한다.

(나) 급수 밸브 V_{13} 을 개방하여 자동급수밸브를 통해 챔버내에 일정량의 물이 채워지도록 한다.

(다) 이젝터 펌프 라인내의 바이패스 밸브 V_{11} 을 개방한 후 이젝터 펌프⑥를 기동한다.

(라) 밸브 V_{10} 을 개방한 후 이젝터 펌프⑥를 구동하여 이젝터⑤로 구동수를 흐르게 한다. 그 후 바이패스 밸브를 잠근다.

(마) 챔버①내 흡입 밸브인 V_2 를 개방하고, 바이패스 밸브 V_{11} 을 닫고, 이젝터 흡입 밸브인 V_8 를 개방한다. 이 때부터는 챔버내 진공압력이 형성되기 시작한다.

(마) 진공펌프④를 기동하고, 챔버내 흡입 밸브인 V_1 를 개방하고 이젝터 흡입 밸브인 V_7 를 개방한다. 이 때부터는 챔버내 진공압력형성이 더욱 가속되기 시작한다.

(바) 소정의 진공압력에 도달하면, 밸브 V_7 를 닫고 진공펌프④를 멈춘다.

(사) 전기가열기③를 켜다.

(아) 소정의 진공압력에 도달하면, 밸브 V_7 를 닫고 진공펌프④를 멈춘다.

(자) 실험중 이젝터의 흡입밸브 V_8 및 밸브 V_6 을 조정함으로써 진공용기 내부의 진공압력을 임의로 조절할 수 있다.

2.2 정상측정시 운전법

실험장치가 정상 운전을 하게 되면, 다음의 사항을 관찰한다.

(가) 진공용기 내부의 진공압력이 소정의 진공압력으로 유지되는지 확인한다.

(나) 진공용기 내부 물의 온도가 소정의 온도로 유지되는지 확인한다.

(다) 이젝터 구동수의 온도 및 압력이 소정의 온도와 압력으로 유지되는지, 물탱크내에 구동수량은 충분한지 확인한다.

(라) 해동물의 각 부의 온도 및 해동중의 상태변화를 데이터 로그 및 관찰창을 통해서 관찰한다.

(마) 진공펌프를 계속 운전시키면 수증기를 흡입하여 진공펌프용 윤활유와 섞이게 되므로, 실험중에도 진공펌프용 윤활유의 양을 확인하고, 실험이 끝나고 5~6시간이 경과하게 되면 수분을 드레인시켜 준다.

2.3 정지시 운전법

(가) 전기가열기③를 끈다.

(나) 이젝터의 흡입밸브 V_8 를 먼저 잠근 다음, 밸브 V_{11} 를 열어 구동

수를 바이패스 시키면서, 동시에 밸브 V_2 를 잠그고 이젝터 구동펌프⑥을 정지시킨다.

(다) 개폐문의 잠금 장치를 푼다

진공용기 내부가 진공상태에서 대기압상태로 환원될 경우 개폐문이 원활히 열리지 않게 되므로 잠금장치를 미리 풀어두는 것이 좋다.

(라) 밸브 V_6 를 개방하여 진공용기 내부를 대기압 상태로 환원시킨다.

(마) 밸브 V_5 를 열어 기액분리기에서 수분을 드레인시킨다.

(바) Control Panel의 전원을 끈다.

실험장치를 장시간 사용하지 않거나, 특히 겨울철에 방치할 경우 반드시 진공용기 내부의 물과 보일러 내부의 물을 드레인시켜 동파에 의한 실험장치의 파손을 방지한다.

謝 辭

본 논문이 완성되기까지 세심한 지도와 조언을 아낌없이 해주신 김경근 지도교수님께 무한한 감사를 드립니다.

바쁘신 중에도 귀중한 시간을 내시어 아낌없는 지도와 조언으로 부족한 논문을 세심하게 다듬어 주신 김성규 교수님과 오철 교수님께 깊은 감사를 드립니다.

본 연구를 수행할 수 있도록 실험장치 제작에 도움을 주신 (주)일신 엔지니어링 조정제 사장님과 김규태 차장님 이하 임직원 여러분께 감사를 드립니다.

또한 실험장치의 실험에 있어 지대한 도움을 주신 열공학 연구실의 여러 선배님들께 감사의 말씀을 드리며, 전열제어연구실의 선후배님들께 감사드립니다.

끝으로 오늘이 있기까지 사랑과 정성으로 지켜봐 주신 부모님과 장인, 장모님께 이 결실을 드리며, 형님과 형수님께도 감사의 말씀을 드립니다. 아울러 시작 전부터 오늘이 있기까지 어려움 속에서도 인내하며 아낌없는 사랑으로 늘 곁에서 격려해준 아내와 뱃속의 아기와 함께 이 작은 결실을 나누고자 합니다.