

공학박사 학위논문

저온진공건조기술에 의한  
해삼의 고품질 건조열전달에 관한 연구

A Study on the Drying Heat Transfer of the High Quality Sea  
Cucumber by the Low Temperature Vacuum Drying Technology

지도교수 김경근



2010년 2월

한국해양대학교 대학원

기관시스템공학과

문 수 범

本 論 文 을 文 首 範 의 工 學 博 士 學 位 論 文 으 로 認 准 함 .

委 員 長 尹 錫 勳 印

委 員 崔 順 烈 印



委 員 崔 芙 洪 印

委 員 吳 喆 印

委 員 金 京 根 印

2009年 12月 28日

韓 國 海 洋 大 學 教 大 學 院

# 목 차

Abstract .....	iv
List of Figures .....	vii
List of Tables .....	xi
사용기호 .....	xii
제1장 서론 .....	1
1.1 연구의 배경 및 필요성 .....	1
1.2 종래의 연구 .....	7
1.3 해삼 양식에 대한 국내외 기술현황 .....	9
1.4 연구내용 .....	12
제2장 실험장치 .....	13
2.1 실험장치의 개요 .....	13
2.2 가열부 및 진공장치의 설계 .....	17
2.3 측정장치 및 측정방법 .....	19
2.4 건조를 위한 해삼의 전처리 공정 .....	22
2.5 실험범위 및 실험방법 .....	27
제3장 기초이론 .....	29
3.1 건조특성 .....	29
3.2 진공건조 메커니즘 해석 .....	31
3.3 건조기 기술의 비교 평가 .....	34



제4장 실험결과 .....	38
4.1 건조 소요동력 및 소모전력 .....	38
4.2 시간경과에 따른 무게 변동 .....	44
4.3 함수율의 변동 .....	51
4.4 무게 감소율의 변동 .....	56
4.5 열 프럭스의 변동 .....	62
4.6 수분의 평균 증발속도 변동 .....	68
4.7 비등곡선 .....	74
4.8 건조 진행도에 따른 피건조물의 온도 변동 .....	79
4.9 최종 수율 및 경제성 분석결과 .....	84
제5장 실험결과의 고찰 .....	90
5.1 가열수 입구온도의 영향 .....	90
5.2 진공도의 영향 .....	97
5.3 다양한 피건조물 실험결과와의 비교 .....	104
제6장 결론 .....	107
참고문헌 .....	109
Appendix .....	112
[App.1] Experimental data on the drying heat transfer. ..	112
[App.2] Data on the electric power consumption. ....	116

[App.3] Design data on the vacuum extraction app.. ..... 127  
[App.4] Basic arrangement and 3D CAD of exp. app.. .... 135  
[App.5] B. D. of power supply and control circuit. .... 137  
감사의 글 ..... 140



# A Study on the Drying Heat Transfer of the High Quality Sea Cucumber by the Low Temperature Vacuum Drying Technology

Mun Soo-Beom

*Department of Marine System Engineering Graduate School of Korea Marine University*

## Abstract

Drying is an operation which removes it after evaporating the moisture of an object weight from heat. About 2500kJ/kg of fusion heat which changes water into vapor should be heat transferred to a dried matter by using a certain of heating way in any case. Various objects for drying are hedged round with restrictions in each quality, and they cannot be said to be good if thinking of only the efficient supply of the heat of vaporization. That is, the most efficient heat transfer method should be considered and the improvement of the efficiency should be studied among the drying methods suitable for requirements on the quality of dry products, among restrictions of the allowable temperature related to it.

Because the processing technology lags behind other nations relatively though our country has global-class aquiculture and fishing technology at present, processed marine products are mainly frozen foods, canned goods, salty food(fermented fish products), fish paste products(boiled fish paste), and we can see that high-value dehydrated foods by drying

are very few. These problems are considered to be caused directly by the lack of drying technology.

The drying methods performed widely throughout the present industry include an hot-air drying method by convective heat transfer, a vacuum drying by conduction or radiant heat transfer and vacuum freeze drying, infrared drying or microwave drying and ultrasonic drying using mechanically vibration energy. In particular, among these drying methods, interests in the drying methods which the regulation of the moisture contents in the material is easy as compared to other devices, which the thermal deformation of the material is less because the drying temperature is relatively lower, which the corruption and deterioration of the material that may occur during the drying process can be prevented because the oxygen concentration is very low, and which the drying time is relatively short as compared to a hot-air dryer.

This paper aims at developing the localized design technology of an energy-efficient vacuum drying oven which can dry the sea cucumber with the difficult drying condition and the expected overproduction in a short time within 24 hours in a high-quality condition of more than the natural drying level.

The following results were obtained in the scope of this experiment.

1. As the result of having surveyed in Hong Kong for the objective evaluation for the international product level of the sea cucumber dried in this experiment, more excellence as compared to even Japanese products called the world's best quality in the quality was realized in the actual place.

2. As the result of having measured the required electric power and the power, they were the maximum value as 4~5kW in the first stage of drying, average power of 3kW or so was required after about 4 hours, and this was confirmed to be very energy-efficient as compared to other

dryers.

3. The experiment showed that the typical constant-rate drying period and falling-rate drying period exist definitely, and the weight changes during the constant-rate drying period presented the experiment results in the linear expression for the time elapsed, the weight changes during the falling-rate drying period presented the experiment results in the exponential expression which the weight gradually decreases for the time elapsed.

4. We could see that the heat transfer per unit area of the drying board after 8 hours which the drying began, namely, during constant-rate drying period, has the heat flux of  $711.75\sim 1046.70\text{kJ/m}^2\text{hr}$ , and that also the heat flux decreases exponentially in proportion to this because the evaporation of the moisture decreases gradually during the falling-rate drying period.

5. Through a temperature change curve, temperature rising is completed if 2 hours pass after the drying begins, most moisture is evaporated if the regular active evaporation progresses for 8~9 hours, and we can see that the drying is being completed as the temperature in the sea slugs gets similar to the superficial temperature.

## List of Figures

- Fig. 2.1 Schematic diagram of experimental apparatus.
- Fig. 2.2 Schematic diagram of hot-water supplying unit.
- Fig. 2.3 Schematic diagram of vacuum pumping unit.
- Fig. 2.4 Calibration curve of #1 thermocouple.
- Fig. 3.1 Two capillary model for drying.
- Fig. 4.1 Analysis of total energy consumption & power for vacuum drying of Korean sea cucumber(DN:C-1).
- Fig. 4.2 Analysis of total energy consumption & power for vacuum drying of Korean sea cucumber(DN:C-2).
- Fig. 4.3 Analysis of total energy consumption & power for vacuum drying of Korean sea cucumber(DN:C-3).
- Fig. 4.4 Analysis of total energy consumption & power for vacuum drying of Korean sea cucumber(DN:C-4).
- Fig. 4.5 Weight variation of sea cucumber to vacuum drying time(DN:C-1).
- Fig. 4.6 Weight variation of sea cucumber to vacuum drying time(DN:C-2).
- Fig. 4.7 Weight variation of sea cucumber to vacuum drying time(DN:C-3).
- Fig. 4.8 Weight variation of sea cucumber to vacuum drying time(DN:C-4).
- Fig. 4.9 Variation of water contents rate

according to the drying time(DN:C-1).

Fig. 4.10 Variation of water contents rate  
according to the drying time(DN:C-2).

Fig. 4.11 Variation of water contents rate  
according to the drying time(DN:C-3).

Fig. 4.12 Variation of water contents rate  
according to the drying time(DN:C-4).

Fig. 4.13 Variation of weight reducing rate  
of sea cucumber on the No.5 plate(DN:C-1).

Fig. 4.14 Variation of weight reducing rate  
of sea cucumber on the No.5 plate(DN:C-2).

Fig. 4.15 Variation of weight reducing rate  
of sea cucumber on the No.5 plate(DN:C-3).

Fig. 4.16 Variation of weight reducing rate  
of sea cucumber on the No.5 plate(DN:C-4).

Fig. 4.17 Variation of heat flux of vacuum drying  
of sea cucumber on the No.5 plate(DN:C-1).

Fig. 4.18 Variation of heat flux of vacuum drying  
of sea cucumber on the No.5 plate(DN:C-2).

Fig. 4.19 Variation of heat flux of vacuum drying  
of sea cucumber on the No.5 plate(DN:C-3).

Fig. 4.20 Variation of heat flux of vacuum drying  
of sea cucumber on the No.5 plate(DN:C-4).

Fig. 4.21 Mean vapor velocity during vacuum drying(DN:C-1).

- Fig. 4.22 Mean vapor velocity during vacuum drying(DN:C-2).
- Fig. 4.23 Mean vapor velocity during vacuum drying(DN:C-3).
- Fig. 4.24 Mean vapor velocity during vacuum drying(DN:C-4).
- Fig. 4.25 Boiling curve of vacuum drying  
sea cucumber(DN:C-1).
- Fig. 4.26 Boiling curve of vacuum drying  
sea cucumber(DN:C-2).
- Fig. 4.27 Boiling curve of vacuum drying  
sea cucumber(DN:C-3).
- Fig. 4.28 Boiling curve of vacuum drying  
sea cucumber(DN:C-4).
- Fig. 4.29 Temperature variation during vacuum drying  
of sea cucumber(DN:C-1).
- Fig. 4.30 Temperature variation during vacuum drying  
of sea cucumber(DN:C-2).
- Fig. 4.31 Temperature variation during vacuum drying  
of sea cucumber(DN:C-3).
- Fig. 4.32 Temperature variation during vacuum drying  
of sea cucumber(DN:C-4).
- Fig. 5.1 Effect of hot water temperature to sea cucumber  
weight variation.
- Fig. 5.2 Effect of hot water temperature on reducing rate  
of sea cucumber weight.
- Fig. 5.3 Effect of hot water temperature on heat flux variation.

Fig. 5.4 Effect of hot water temperature on vapor speed.

Fig. 5.5 Effect of hot water temperature on boiling curve.

Fig. 5.6 Effect of vacuum pressure on sea cucumber weight variation.

Fig. 5.7 Effect of vacuum pressure on reducing rate of weight.

Fig. 5.8 Effect of vacuum pressure on heat flux variation.

Fig. 5.9 Effect of vacuum pressure on vapor speed.

Fig. 5.10 Effect of vacuum pressure on boiling curve.

Fig. 5.11 Weight variation to vacuum drying time.

Fig. 5.12 Variation of water contents rate according to the drying time.



## List of Tables

Table 1.1 A kind of marine product by processing method.

Table 1.2–a Nutrient of the dried sea cucumber.

Table 1.2–b Nutrient of the dried chestnut.

Table 1.3 Export and importation trend of  
sea cucumber in Korea.

Table 1.4 Culture technique of Sea cucumber in China,  
Japan and Korea.

Table 2.1 Spec. of experimental apparatus.

Table 2.2 Experimental conditions.

Table 3.1 Comparison of drying technique.

Table 4.1 Mean power & energy consumption per unit weight  
(from Appendix 2 Data).

Table 4.2 Empirical equation of drying rate

Table 4.3 Empirical equation of heat flux

Table 4.4 Empirical equation of evaporation rate

Table 4.5(a) Yield–measure results of individual sea cucumbe.

Table 4.5(b) Yield–measure results of mass sea cucumber.

Table 4.6 Economic analysis results of vacuum dryer.

# 사용기호

## Alphabets

$A$	: 면적	$m^2$
$h$	: 평균열전달율	$J/m^2hr^\circ C$
$H_{fg}$	: 수분의 증발잠열	$J/kg$
$kg$	: 표면증발계수	$g/cm^2 \min mmHg$
$L$	: 거리	$cm$
$N$	: 압력비	-
$P$	: 압력	$Pa$
$Q$	: 질량유속	$g/\min$
$q$	: 열유속	$J/m^2 hr$
$R$	: 건조속도	$kg/m^2 hr$
$T$	: 온도	$^\circ C$
$t$	: 시간	$hr$
$W$	: 질량	$kg$
$u$	: 수분의 증발속도	$m/hr$



## Greek symbols

$\nu$	: 비중량	$kg/m^3$
$\eta$	: 효율	—
$v$	: 비용적	$m^3/kg$
$\omega$	: 함수율	%

## Subscripts

$c.p$	: 항울건조기간
$e$	: 실험종료시각
$f.p$	: 감울건조기간
$w$	: 표면
$r.p$	: 최적장기보관함수율



# 제1장 서론

## 1.1 연구의 배경 및 필요성

양식수산업의 발달에 의한 대규모 양식, 연근해 양식장의 오염 심화와 인건비의 상승으로 인하여 국내 수산 양식업은 매우 어려운 상황에 처해있는데, 더욱이 값싼 중국산 제품의 대량 유입에 의하여 우리나라의 수산업은 전반적으로 매우 중대한 시련의 단계에 접어들고 있어, 새로운 고부가가치 제품의 창출과 수산물의 수출산업화가 매우 절실한 상황이다.

현재 우리나라의 수산 양식과 어로기술은 세계적 수준임에도 불구하고 가공기술은 상대적으로 낙후되어 있어, 수산가공품은 냉동품(횡감 등), 통조림, 염식품(젓갈), 연제품(어묵) 등이 대부분으로, 건조에 의한 고부가가치 건조품은 매우 적음을 알 수 있다. 이러한 문제는 단적으로 건조기술의 부족에 기인한다고 사료된다.<sup>(1,2)</sup>

Table 1.1은 가공법별로 주요 수산물을 정리하여 나타낸다. 이 표에서 보는 바와 같이 향후 생산원가의 절감과 고품질건조를 위하여 첨단건조공정을 필요로 하는 것은,

- (1) 대다수 국민이 선호하는 오징어, 멸치, 미역, 다시마, 명태
- (2) 중국요리에서 가장 중요한 해삼, 전복과 다랑어(가츠오부시)
- (3) 조기, 돔, 새우와 같은 고가품

임을 알 수 있다.

Table 1.1 A kind of marine product by processing method.

가공법	중분류	수산물 종류				방법
		오징어	대구	상어 지느러미		
건제품	소건품	오징어	대구	상어 지느러미		세척 건조
	자건품	멸치	해삼	전복	새우/조개	염지 삶기 건조
	염건품	굴비	전갱이	고등어/꽂치	정어리/ 송어알	염지후 말림
	동건품	명태	한천			얼림 녹임 반복
	배건품	은어	정어리			불에 쪼م
	자배품	다랑어 (가츠오부시)				자숙후 건조
	훈제품	청어	굴	오징어		
냉동품	냉동품	어패류	어육 필레	튀김 스테이크		
통조림	보일드 통조림	고등어	꽂치			
	가미 통조림	오징어	정어리			
	기름 담금 통조림	고등어 필레	군훈제			
	기타 통조림	정어리 토마토	뱀장어 조미			
염장품	염장품	고등어	간꽂치	갈치		
젓 갈	젓갈	멸치젓	새우액젓	가자미 식혜		
연제품	어묵	판불이 어묵	부들 어묵	게맛 어묵		
조미 가공품	조림품	바지락	다시마	오징어	미역	
조미 가공품	조미건품	꽃포	귀치포	조미김		
식품 소재	어유	정어리	명태			
	농축 엑기스	어육 엑기스	패류 엑기스			
	농축 단백질	FFP	MTFP			
가공품	소시지 햄					

본 연구에서는 우리나라 국민이 선호하면서도 고가로서 수출산업으로 육성 가능성이 가장 높고, 건조가 가장 까다로운 해삼을 본 연구의 대상으로 하였다.

일반적으로 잘 건조를 하면, 생체에 비하여, 인체에 매우 중요한 미소 영양성분들이 새롭게 생성되거나 비율이 급증하는데 Table 1.2-a에는 해삼의 경우를, Table 1.2-b에는 밤의 경우를 각각 나타낸다.<sup>(3,4)</sup>

Table 1.2-a Nutrient of the dried sea cucumber.

	단백질	지방	탄수화물	회분	칼슘	인	철	나트륨	칼륨	레티놀	카로틴	비타민 A 효력	비타민 B1	비타민 B2	니코틴산	비타민 C	비타민 D	식염 상당량
(단위)	g	g	g	g	mg	mg	mg	mg	mg	μg	μg	IU	mg	mg	mg	mg	IU	g
생해삼	3.4	0.1	0.5	4.4	34	11	0.3	1300	70	0	0	0	0.01	0.02	0.9	0	0	3.3
건해삼	<b>9.3</b>	<b>1.3</b>	<b>0.5</b>	<b>12.4</b>	<b>85</b>	<b>170</b>	<b>4.0</b>	<b>4100</b>	<b>360</b>	<b>60</b>	<b>75</b>	<b>240</b>	<b>0.20</b>	<b>0.50</b>	<b>4.6</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>10.4</b>

※ 수분함량 91.6%의 생해삼 100g 을 기준으로 함.

Table 1.2-b Nutrient of the dried chestnut.

	단백질	지질	탄수화물		무기질					비타민						열량		
			당질	섬유소	칼슘	인	나트륨	철	칼륨	비타민 A RE	베타카로틴	비타민 B1	비타민 B2	나이아신	비타민 C			
(단위)	gr	gr	gr	gr	mg	mg	mg	mg	mg	-	μg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	kcal
건조밤	<b>6.7</b>	<b>4.1</b>	<b>76.1</b>	<b>2.5</b>	<b>52</b>	<b>162</b>	<b>7</b>	<b>3.3</b>	<b>1,281</b>	-	-	<b>0.32</b>	<b>0.38</b>	<b>1.2</b>	-	-	-	<b>367</b>
생밤	3.2	0.6	35.8	1.3	28	68	2	1.6	573	8	45	0.25	0.08	1.0	12	167		
군밤	3.2	0.4	36.0	1.2	16	75	2	1.6	576	8	46	0.22	0.07	1.1	10	161		
삶은밤	3.2	0.3	34.2	1.0	22	65	2	0.6	500	8	50	0.24	0.12	0.8	17	157		
통조림	2.4	0.5	54.5	0.2	8	16	1	0.8	129	0	0	0.04	0.03	8.0	8	232		
넥타	0.7	0.2	12.3	0	3	4	-	0.6	-	0	0	0.02	0.02	0.8	0	54		

※ 생밤 100g 당의 영양성분 함량

이 표에서 보는 바와 같이 첨단 기술에 의한 고가 수산건조품의 생산, 그리고 생산 공정에서 에너지비용의 절감은 건조수산물품의 세계적인 가격경쟁력 확보에 매우 중요함을 알 수 있다.

Table 1.3은 해삼의 연도별 수출입 동향을 나타낸다. 특히 수출에 주목하여 보면, 해삼은 중국의 관세가 70% 정도로 매우 높아, 홍콩을 경유하는 우회 수출과 인편에 의한 소량 무역이 주를 이루며 이는 통계에 잘 잡히지 않는다. 그러나 이 표에서 보는바와 같이 건해삼의 수출은 거의 전무한 형편으로 이는 단적으로 건조기술의 미비에서 비롯된다고 사료되며, 이의 시급한 개선이 국가적으로 필요한 시점이다.



Table 1.3 Export and importation trend of sea cucumber in Korea.

년도	수입수출	대상국	전체금액 (USD)	생해삼 (USD)	냉동해삼 (USD)	염장해삼 (USD)	건해삼 (USD)
2006	수입	전세계	2,096,667	1,119,167	0	2,534	923,155
2006	수입	중국	441,040	389,629	2,600	0	48,811
2006	수입	홍콩	32	32	0	0	0
2007	수입	전세계	1,990,700	691,306	67,058	2,534	1,229,802
2007	수입	중국	98,593	20,108	43,945	0	34,540
2007	수입	홍콩	1,935	0	0	0	1,935
2008	수입	전세계	1,851,643	637,201	964,636	2,724	247,082
2008	수입	중국	139,644	8,134	75,058	0	56,452
2008	수입	홍콩	0	0	0	0	0
<b>2006</b>	<b>수출</b>	<b>전세계</b>	<b>725,323</b>	<b>326,230</b>	<b>1,473</b>	<b>0</b>	<b>397,620</b>
2006	수출	중국	128,096	3,224	0	0	124,872
2006	수출	홍콩	272,748	0	0	0	272,748
<b>2007</b>	<b>수출</b>	<b>전세계</b>	<b>453,800</b>	<b>296,277</b>	<b>63,010</b>	<b>10,898</b>	<b>83,615</b>
2007	수출	중국	290,342	205,104	1,833	9,790	73,615
2007	수출	홍콩	11,603	504	1,099	0	10,000
<b>2008</b>	<b>수출</b>	<b>전세계</b>	<b>553,010</b>	<b>338,614</b>	<b>33,072</b>	<b>86,108</b>	<b>95,216</b>
2008	수출	중국	290,342	167,518	0	10,760	54,566
2008	수출	홍콩	115,617	0	0	74,967	40,650
<b>2009</b>	<b>수출</b>	<b>홍콩</b>	<b>700,000</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>700,000</b>

해삼 양식은 전 세계적으로 극동지역인 한국과 중국, 일본에서 주로 이루어지고 있다. 한국의 경우는 2003년까지는 국가 및 지방자치단체에서 연간 20만 마리 내외로 소량의 해삼종묘를 생산하여 자원조성용으로 어촌계 공동어장에 방류하여 왔지만 매년 자연 자원량이 감소하고 있었으며, 민간에 의한 종묘생산량은 전혀 없었다.<sup>(5)</sup> 그러나 종묘의 대량생산이 가능해질 경우 육상수조 및 바다의 자연특성을 활용한 축제식 양식과 종묘 방류에 의한 집약적 씨뿌림 양식에 의한 대량 생산 가능성이 대두되어 많은 관심이

모아지고 있다. 일본의 경우도 해삼 자원량이 1970년대 이후 크게 감소하고 있어 자율관리에 의한 자원회복계획을 추진하고 있으며, 자원조성을 위한 인공종묘의 대량방류에 중점을 두고 있다. 중국의 경우는 해삼을 지극히 좋아하는 국민 식성으로 경제발전과 함께 소비량이 급격히 증가함에 따라 인공종묘생산과 양식기술이 비약적으로 발전하고 있으며, 2005년에는 연간 인공종묘생산량 218억 마리, 양식생산량이 10만톤 내외에 이르는 거대산업으로 발전하고 있다. 중국의 해삼양식 발전에 자극을 받아 국내에서도 어려움을 겪고 있는 국내 수산양식업의 대체품종으로 해삼양식 기술개발 요구가 급증하고 있다.

해삼의 경우 그 특성상 알칼리성 식품이기 때문에 녹거나 변질되기 쉬워 보존이 매우 어려우며, 국내의 경우 해수탱크를 이용한 당일수송이 전국 어디에나 가능하지만 해외로 운반하는 경우 해수에 포함된 외래생물의 유입금지를 위한 검역관계상 해수탱크를 이용한 수송은 상당한 시간을 요하므로 신선도 유지가 매우 어려울 뿐만 아니라 실제 수송되는 해삼량에 비해 부수적인 보조물의 운송량이 매우 커서 매우 비효율적이라고 할 수 있다. 더욱이 중국인들의 식습관 및 조리방법상 해삼을 날것으로 섭취하지 않고 건조상태의 해삼만을 요구하므로 해수탱크를 이용한 운반은 고려대상이 될 수 없으며, 따라서 국내의 가격안정 및 해외로의 수출을 위해서는 해삼의 건조과정이 필수적이다.

건조라는 것은 열로부터 물체중의 수분을 증발시켜 제거하는 조작이다. 물을 수증기로 상태변화 시키는 잠열량 약  $2500\text{kJ/kg}$ 은, 여하튼 어떤 가열수단을 이용해 피건조물로 전열시켜야만 한다. 여러종류의 건조상대물은 각각에 제품품질면의 제약이 있으며, 단지 증발잠열의 효율적 공급만 생각하면 좋다고는 할 수 없다. 즉, 건조제품의 품질상의 요구에 적합한 건조방식, 그에 관련한 허용온도 등의 제약중에서 가장 효율적인 전열방법을 생각하고, 또 효율의 향상을 연구할 필요가 있다.<sup>(6~9)</sup>

## 1.2 종래의 연구

해삼은 중국요리에서 매우 중요한 식재료로서 농수산물 가격 중 유일하게 한국이나 일본내 가격에 비하여 중국 시장에서 2배 정도 비싸다. 이는 중국의 소득증대와 함께 해삼 소비량이 증가하고 공업화에 따른 해양오염이 확산되어 중국내 해삼 양식면적이 축소되었기 때문이다. 하지만 우리나라는 지금까지 해삼의 고품질 건조기술의 미비로 인하여 저품질의 건해삼과 자숙 해삼을 수출하는 것이 거의 대부분이며 전체적인 수출량도 매우 적은 형편이다. 정부는 2008년 현재 해삼 생산량은 약 3,000톤이지만 2011년 약 9,000톤, 2014년 약 2만6천톤을 생산할 계획을 추진 중<sup>(5)</sup>이며, 더욱이 기존의 건조기술이나 자숙 해삼이 아닌 고품질 건해삼으로 건조가공 하여 연간 10억불 정도 규모의 수출을 계획하고 있다.

그러나 건해삼의 제품화 개발에서 매우 중요한 것은 건조기 자체의 개발과, 건조과정중 부패로 인하여 수율감소를 방지하기 위한 최적의 삶기 공정 개발이라고 할 수 있다. 해삼은 알칼리성 식품으로서 건조과정중에 부패하기가 매우 쉬우므로 열풍건조로서는 좋은 품질의 건해삼 획득이 어려워 진공건조기술이 해삼의 건조에는 매우 유력한 기술이라고 할 수 있다.

한편, 건조에 대한 연구는 많은 연구자들에 의해 진행되어 왔지만, 건조에 대한 이론은 久保 等<sup>(10)</sup>에 의해 확립되었으며, 그들은 건조를 전열방법에 따라 간접건조방법과 직접건조방법으로 분류하였다. 그러나 오늘날 많은 실제 건조장치의 대부분은 두 가지 방법의 조합으로 행해지고 있다. 또한 桐榮 等<sup>(11,12)</sup>은 일반 고체 내에서의 수분이동에 대하여 건조의 입장에서 광범위한 해석을 통하여 건조속도의 해석 및 관련 실험식을 제시하였다. 또한 점토를 이용하여 열유속 일정조건(constant heat flux condition)으로 복사가열 및 전도가열의 경우에 대하여 진공상태하에서 표면증발계수로서  $kg = 4.4 \times 10^{-3} \times P^{-2/3}$  ( $g/cm^2 \text{ min mmHg}$ )임을 제시하였다. 또한 대기압 하에서의 건조특성과 비교하여 진공건조의 특성을 기술하였다.

太田 等<sup>(13)</sup>은 진공건조에 대해 많은 연구를 했으며 특히 종이의 진공건

조 및 절연유의 탈기 건조, 절연종이의 함유수분과 전기적인 제반특성에 관해서도 연구하였다. 河村<sup>(14)</sup>는 진공 유동 연구에서 진공도가 높으면 점성 유체의 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 등은 모세관 모델의 개념을 도입하여 복사전열에 의한 진공건조와 대기압 상태하에서 대류전열로 건조실험을 행하여 건조 특성을 비교하였다. 우리나라에서는 박<sup>(15~17)</sup> 등이 다공질층의 모래와 점토를 사용하여 진공건조 메카니즘을 파악하였으며, 유<sup>(16)</sup>는 진공상태하의 함수다공질층의 건조특성에 관하여, 최<sup>(19~24)</sup> 등은 생체인 고추를 대상으로 하여 저온진공건조의 제반 열전달 특성을 종합적으로 파악하였다.

그러나 지금까지의 많은 연구에도 불구하고, 실용화를 위한 저온진공건조의 국산화라는 측면에서는, 진공건조에 관련한 연구결과가 부족한 실정이며 앞으로도 건조분야에 대해 많은 연구와 노력이 절실히 요구된다.



### 1.3 해삼 양식에 대한 국내외 기술현황

한국과 중국, 일본의 해삼양식 기술을 비교하면 다음과 같이 요약할 수 있다.<sup>(5)</sup> 기존의 우리나라 해삼인공종묘 생산방식의 대부분은 수십만 마리 정도의 종묘생산을 목표로 하는 소규모 생산에 적합한 형태로 운영되어 왔다. 이러한 해삼 인공종묘 방식은 부착기 유생의 채묘 시 먹이공급이 자연 광에 의해 파란에 부착된 규조류에만 의존하는 방식으로써 부착규조류의 탈락 등 먹이공급 조절관리가 불안정하고 종묘의 고밀도 육성이 어려워 대량 생산의 한계가 존재하였다.

그러나 중국의 경우에는 대량의 어미(100~300kg)를 암·수 구분 없이 대형수조에 수용한 후 물리적 자극을 주어 산란을 유도하는 방식으로써 일시에 많은 양을 채란할 수 있는 장점은 있으나 다중 수정 등 양질의 수정란 생산비율이 낮아지고 어미 구입비 등 경제적 비용이 증가하는 단점이 있다.

Table 1.4는 한국, 중국, 일본의 해삼 양식기술을 요약 정리한 것이다.

Table 1.4 Culture technique of sea cucumber in China, Japan and Korea.

구분 국별	인공종묘 생산기술	양 식 방 법		
		육상수조	축제식	씨뿌림(방류)
한국	한국형 인공종묘 대량생산기술 산업화정착 단계(2006년, 종묘생산 3,000만마리)	산업화 기술개발 초기 단계 (2006년)	산업화 기술개발 초기 단계 (2006년)	산업화 기술개발 초기단계 (2006년)
중국	인공종묘 대량생산 기술 산업화 정착(2005년 종묘생산 약 218억마리)	산업화 기술개발 정착 단계	산업화 기술 정착	산업화 기술 정착 단계
일본	인공종묘 생산기술 정착 (2004년 종묘 생산 약 336만 마리)	산업화 기술개발 단계	-	자원회복 기술 정착단계

표에 있어서 육상수조 해삼양식 방식은 우리나라의 경우, 기존의 전복 및 어류양식시설을 활용하여 다시마, 미역 등 자연해조류의 먹이공급과 일부 해조류를 주성분으로 하는 인공배합사료 및 지층 등의 분쇄여과액을 공급하여 해삼을 양식하는 방법이며, 해삼의 단독양식 또는 전복과 함께 복합양식으로 육성하고 있다. 하지만 이 육상수조를 이용하는 우리나라의 해삼양식 기술은 기술 개발 초기 단계에 머물러 있으며 그 경제성 또한 매우 미흡한 실정이다.

또한 이 육상수조 양식은 반드시 중간육성 단계를 거친 종묘에 의해 양식되어야 하나 채묘 후 출하 때까지 채묘기 상태에서 그대로 육성시키고 있어 양식적기에 적정크기의 종묘생산이 이루어지지 않고 있다. 따라서 육상수조 양식의 효율성을 확보하기 위해서는 중간육성 기술개발에 대한 연구가 선행되어야 하며, 양식종묘의 적정크기 및 종묘의 투입시기, 경제단위의 수용밀도, 적정배합사료 개발, 온도조절에 의한 양식기간의 연장 및 적정 은신장치 개발 등의 연구가 지속되어야 한다.

한편, 중국의 육상수조 양식기술은 4~5월경 조기채묘를 거쳐 7월경부터 중간육성을 시작하여 10월경 3~8cm 크기로 성장한 종묘를 수조식으로 양식하며, 이듬해 10월까지 80% 이상을 20cm 내외의 상품크기로 성장시키는 경우도 있다. 이때 육상수조식의 경우 연중 성장 가능한 온도유지 관리가 필요하다. 또 하나는 일반적으로 10월경 1~3cm 크기의 종묘를 중간육성하면 이듬해 4~5월까지 5~8cm로 성장하는데 이것을 4월경 축제식에 넣어 11월까지 100g 이상의 상품으로 양성하여 출하하는 방식이다. 이때 상품크기에 도달하지 못한 개체들은 이듬해 봄까지 양성한다.

또한 축제식 해삼양식에 있어서 우리나라의 경우에는 주로 서해안에 면한 2,000~3,000평 단위의 폐염전 또는 새우 축제식 양식장을 이용하고 있으며, 수심 1~2m 내외, 연중 수온범위 0.5~30℃ 내외(축제식 적정수온 5~28℃)로 조석차에 의한 자연해수의 공급이 원활하지 못한 불리한 환경을 지니고 있는 곳이 많다. 이러한 환경조건에서는 바닥저질이 쉽게 부패할 수 있을 뿐만 아니라 인공먹이공급이 어려워지기 때문에 축제식 양식장의

선정은 반드시 정밀한 조사에 의한 입지선정이 요구된다. 특히 외해성인 해삼의 생태 특성상 수온, 염분, 투명도, 먹이번식, 해수공급 여건 및 수심 등의 양식조건을 갖춘 경제단위의 축제식 양식장 조성을 위해서는 수질이 안정된 도서지역의 내만이나 여름철 수온이 낮은 외해수의 유입이 가능한 지역을 축제식으로 활용하기 위한 정책적 방안과 시설비 지원 등이 검토되어야 한다.

중국의 해삼 축제식 양식은 1개 단위 면적이 5,000평에서 100,000평 이상의 규모로 대부분 외해수가 직접 유입되는 곳에 위치하며, 수심이 3m 내외로 깊고 투명도가 높아 축제식 양식장 자체에서 해조류 등의 자연 먹이생물 증식이 가능하여 별도로 먹이 공급을 하지 않아도 양식이 가능한 곳이 많아 산업화 양식이 정착되어 있다.



## 1.4 연구내용

건조과정에 있어서 특히 생체의 건조에서는 영양가, 맛, 색깔을 손상시키지 않는 범위 내에서 건조가 이루어져야 한다는 것은 중요한 문제이다. 현재 우리나라에서는 해삼을 양식하고, 자연산 해삼을 채취하여 삶아서 대부분을 중국에 수출하고 있다. 이것은 건조기술의 미비에서 비롯된다고 할 수 있다.

해삼의 건조에 있어서 건해삼의 색깔(검정색), 해삼 뿔의 상태, 모양 등이 좋은 건해삼의 중요한 기준이 되며, 현재 우리나라의 해삼 건조기술은 아주 낮은 수준으로 홍콩, 중국 등의 세계시장에서 우리나라의 건해삼은 전무한 상태이며 최하품으로 분류된다.

본 연구에서는 앞으로 대량생산이 예상되는 양식해삼에 대해 건조기 자체의 개발과 알카리성 식품으로 쉽게 녹거나 부패하기 쉬운 해삼의 고품질 건해삼의 건조가공 기술을 습득하는데 있다.

이러한 연구를 위해서 제2장에서는 실험장치의 개요, 실험방법, 측정방법 및 실험시료인 해삼의 건조전 전처리공정에 대하여 기술하였다.

제3장에서는 건조에 대한 일반적인 특성에 대하여 기술하고, 현재 보급되어 사용되고 있는 여러 종류의 건조기에 대해 비교 평가하였다.

제4장에서는 실험결과에 대해 소요동력 및 소모전력, 무게변동, 함수율의 변동, 무게감소율, 열 플럭스의 변동, 수분의 증발속도, 온도변동, 최종수율 및 경제성 분석에 대하여 기술하였다.

제5장에서는 가열수 온도 및 진공도가 건조속도에 미치는 영향에 대해 실험결과를 토대로 고찰하였으며, 다양한 피건조물의 실험결과를 기술하였다.

제6장에서는 본 논문의 결과에 대하여 기술하였다.

## 제2장 실험장치

### 2.1 실험장치의 개요

Fig. 2.1은 실험장치의 전체 계통도를 나타낸다. 실험장치는 크게 나누어 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 응축시키기 위한 응축계통(condensing unit) 및 각 부의 온도계측을 위한 측정계통(on-line measuring unit)등으로 구성되어 있다.

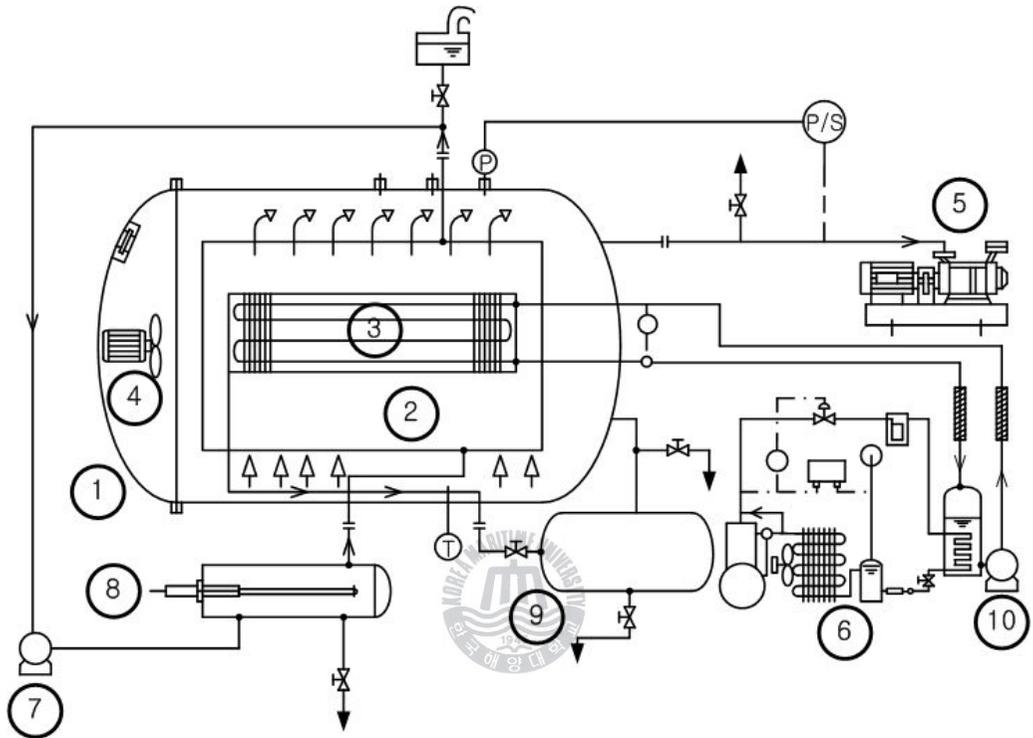
저온진공건조기 본체①의 크기는  $900\text{Ø}\times 1200\text{L}\times 16\text{t mm}$ 의 용기로서 내부용적은  $0.85\text{m}^3$ 이다. 그리고 저온진공건조기의 본체 내부는 건조판 10개를 투입할 수 있도록 설계되었으며, 실험중 내부의 건조상태를 관찰할 수 있는 관찰창( $\text{Ø}200\text{mm}$ )을 설치하였다. 또한 본체 내부는 수봉식 진공펌프⑤를 이용하여 실험진공압( $6.67\text{kPa abs.} \pm 2.67\text{kPa abs.}$ )을 형성시킬 수 있으며, 약 10분 정도가 소요된다.

가열계통은 피건조물에 최소한의 열량을 공급하기 위하여  $5\text{kW}$  전기히터②를 사용 설정온도에서 자동 조절되도록 하였다.

응축계통에는 저온진공건조기 본체 내부에 비체적이 매우 큰 습증기를 응축시키기 위하여 응축기(condenser)2개③와 간접식 냉각장치④를 본체내부에 설치하였다.

또한 온라인 측정계통은 각부 온도는 데이터 집록장치(data acquisition system)에 의해 임의 설정 가능한 범위내에서 실시간 간격으로 데이터를 컴퓨터에 기록하였으며, 피건조물의 무게는 전자저울을 이용하여 측정하였다.

또한 본 실험 장치의 주요 기기에 대한 사양과 전체 사진을 각각 Table 2.1과 Photo. 2.1에 나타내었다.



- ① Vacuum chamber
- ② Heating transfer box
- ③ Water vapor condenser
- ④ Circulation fan
- ⑤ Water ring vacuum pump
- ⑥ Refrigerating machine
- ⑦ Hot water circulation pump
- ⑧ Electric heater
- ⑨ Condensate tank
- ⑩ Cooling water circulation pump

**Fig. 2.1 Schematic diagram of experimental apparatus.**

Table 2.1 Spec. of experimental apparatus.

	maker	size	capa.	power	range
vacuum chamber	KI WON	900 $\varnothing$ × 1200L× 16t			full vacuum ~147.10kPa g.
heating box	JONG WON	500× 920× 690			full vacuum ~343.23kPa g.
circulation pump	KYUNG DONG		2.1m <sup>3</sup> /hr	95W, 220V	
elec. heating tank	KI WON	200 $\varnothing$ × 500L			full vacuum ~245.17kPa g.
heater	SAM SUNG		5kW		40~80℃
vacuum pump	WOO SUNG		6m <sup>3</sup> /hr	220V	full vacuum ~245.17kPa g.
cond. liquid tank	KI WON	300A× 500L			full vacuum ~245.17kPa g.
condenser	DONG KWAN		0.38m <sup>2</sup>		full vacuum ~245.17kPa g.
refrigerator	DONG KWAN		1RT	1.5kW, 220V	
control panel	IL SING				
fan	SING MYUNG		3 $\varnothing$ 4P/ 1.5kW		



Photo. 2.1 Experimental apparatus.

## 2.2 가열부 및 진공장치의 설계

건조성능에 큰 영향을 미치는 가열부에는 전기히터(220 V, 5kW)가 설치되어 있으며, 이 히터를 이용하여 순환수를 가열하고 가열된 순환수는 순환펌프에 의해 순환되는 회로로 구성되어있다.

건조물을 건조하기 위한 히팅박스(500×920×690mm, 6t)는 알루미늄 재질로 구성되었으며, 10단으로 설계되었다.

실험장치 본체의 임의의 진공압을 유지하기 위해 수봉식 진공펌프를 이용하였으며, 진공펌프의 봉수는 응축계통의 응축기를 이용하여 간접 냉각시키는 구조로 구성되었다.

Fig. 2.2는 본 실험에 사용된 가열계통을 그리고 Fig. 2.3은 진공추기계통의 전체 계통도를 나타낸다.



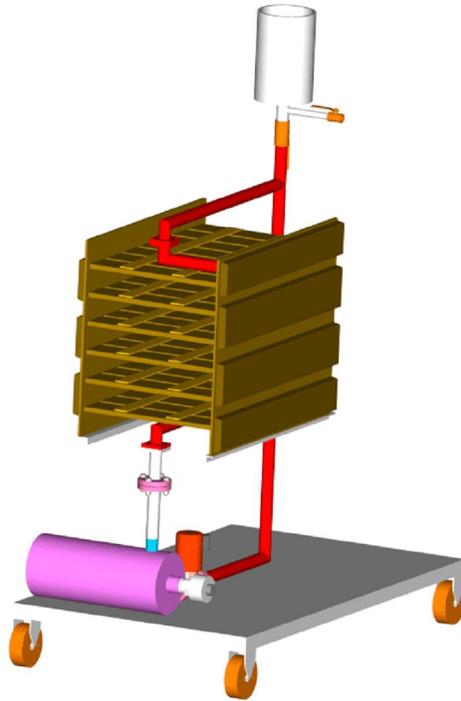


Fig. 2.2 Schematic diagram of hot-water supplying unit.

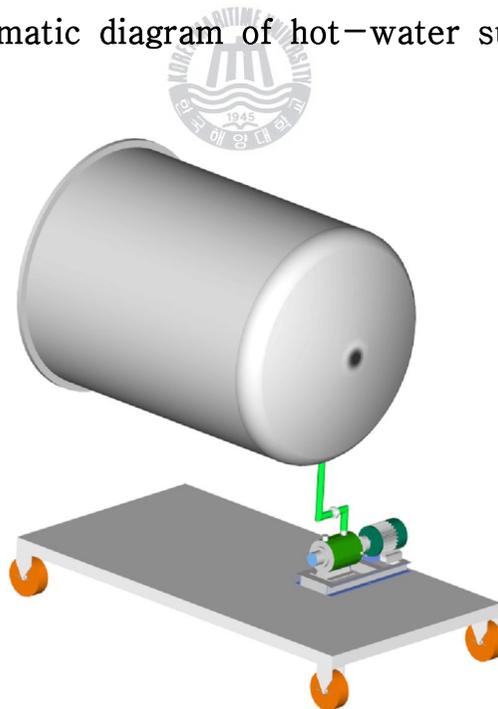


Fig. 2.3 Schematic diagram of vacuum pumping unit.

## 2.3 측정장치 및 측정방법

본 실험장치의 각부 온도측정은 K-Type 열전대(C-A thermocouple)를 사용하였다. 저온진공건조기 본체 내부, 건조판, 피건조물 등의 온도측정을 위하여 설치된 열전대에서 얻어진 측정결과는 데이터 처리장치를 통해 컴퓨터로 저장 및 기록할 수 있도록 하였다. 또한 정확한 온도 측정을 위하여 각각의 열전대에 대해 표준온도계를 이용하여 검정하였으며, 검정장치는 내경 150mm, 두께 4mm, 높이 150mm의 강관의 용기로 제작 하였고, 강관 외벽에 전기 가열선을 설치한 후, 운모 튜브와 유리섬유를 사용하여 단열하고 가열선의 입력전원을 전압조정기로 조절하여 소정의 온도로 일정하게 유지한 후, 여러 개의 열전대를 동시에 같은 조건에서 검정할 수 있도록 하였다. 열전대에서 발생하는 기전력은 기준 온도상자, 로터리 스위치를 거쳐 데이터로거(data logger)에서 측정하였으며, 용기내에 설치된 최소눈금 0.01°C의 표준온도계(standard thermometer)의 눈금과 측정된 기전력을 기록하여 최소자승법(least regression)으로 처리하여 검정하였다. Fig. 2.4는 #1 열전대에 대한 검정결과의 한 예를 나타낸다.

Photo. 2.2는 열전대를 피건조물에 삽입한 모습 및 수집된 온도가 컴퓨터에 실시간으로 기록되는 배치를 사진으로 나타낸다. Photo. 2.2(a)에서 보는 바와 같이 열전대는 해삼의 표면하 깊이 0.5mm의 위치와 내장을 제거한 해삼의 중심부 2곳에 열전대를 꼽도록 하였다. 또한 가열증발부(heating box)의 표면과 중간단의 공간 중심부에 열전대를 부착하여 건조실험기간중 연속적으로 온도를 계측할 수 있도록 하였다. Photo. 2.2(b)에서 보는 바와 같이 측정된 온도는 3분 간격으로 PC에 저장되고 모두 4-채널의 온도가 기록 저장되도록 하였으며, 측정된 온도는 자동적으로 그래픽 처리된다.

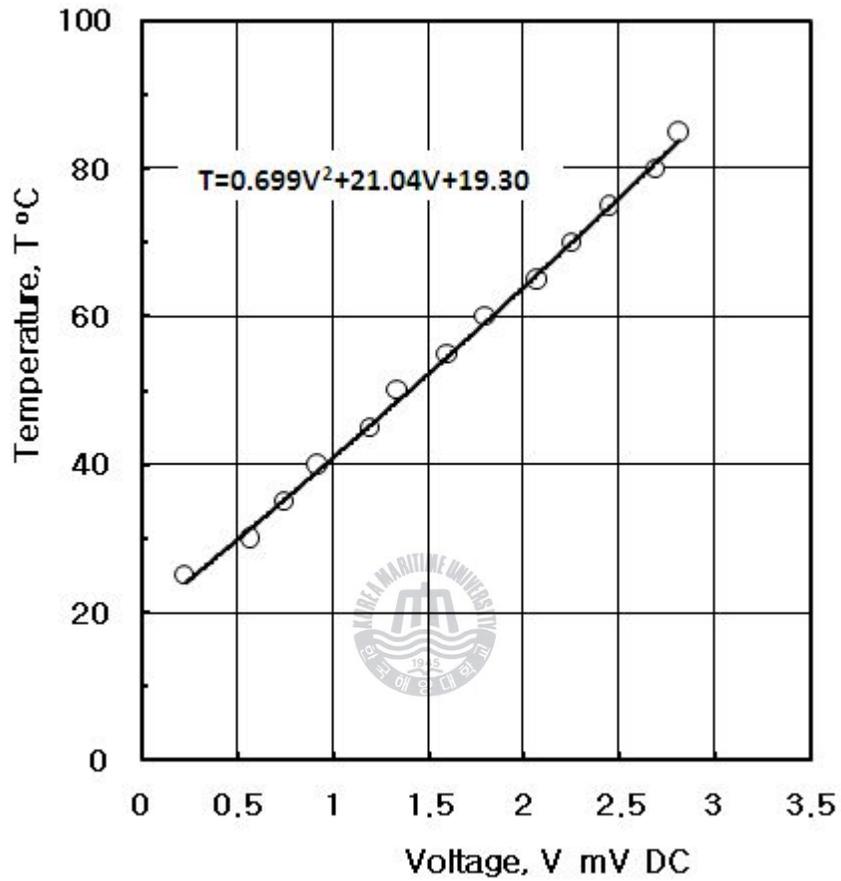
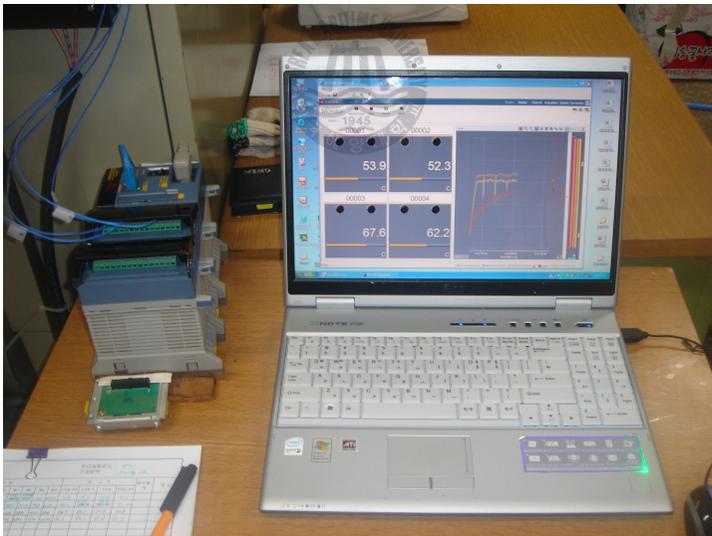


Fig. 2.4 Calibration curve of #1 thermocouple.



(a)



(b)

Photo. 2.2 Present data acquisition computer system.

## 2.4 건조를 위한 해삼의 전처리 공정

앞에서 기술한 바와 같이 해삼은 알카리성일 뿐만 아니라 육도 매우 약하기 때문에 빠른 속도로 부패하기 쉽다. 또한 자기가 위험한 상황에 노출되었다고 판단하면 자신의 몸속에 있는 내장 모두를 몸 밖으로 배출하는 독특한 특성을 지니고 있다. 이와 같이 독특한 특성을 지닌 해삼을 1회에 걸쳐 대량으로 건조할 경우, 그에 해당하는 많은 양의 해삼 내장을 제거하기 위해서는 대략 1~3시간 정도가 소요되며, 이 내장 제거기간 동안에 부패가 빠르게 진행되므로 신속하게 삶기 공정을 실행해야만 한다.

Photo. 2.3은 본 연구의 초기 단계에 있어서 해삼의 복부를 완전히 절개하고 내장을 제거한 후 진공건조한 결과를 보여준다. 사진으로부터 알 수 있듯이, 건조된 해삼의 외형과 품질이 그다지 좋지 않음을 알 수 있으며, 고품질의 건해삼으로써는 평가 받을 수 없을 것으로 판단된다. 이는 해삼의 복부를 완전히 절개하여 진공 건조할 경우 절개 선형에 따라 건조 후의 외형이 각기 달라지며, 또한 해삼의 국부 육질 두께 차이로 인해 건조 속도가 국부 위치에 따라 다르게 되어 외형이 처음 보다 크게 변하기 때문이다.

따라서 이러한 건조 후 해삼의 외형 변화를 최소화하여 시각적으로 양호한 형태를 유지하고 고품질의 건해삼을 얻기 위해서는, 해삼의 내장 제거 작업 시, 해삼 복부의 절개 부위를 최소화하는 것임을 파악하였다. Photo. 2.4는 해삼의 복부를 부분 절개하고 내장을 제거한 후 진공 건조한 결과이다. 내장 제거 시 복부의 절개 길이는 약 1cm 정도이며, 완전 절개하여 건조한 경우에 비해 외형이 매우 좋으며, 검은 색의 윤기 있는 육질과 조직이 매우 탄탄해져 외국의 건해삼 보다 고품질의 건해삼으로 평가 받을 수 있을 것으로 확신한다.



Photo. 2.3 Sea Cucumber dried by vacuum drying after the removal of the internal organs in its abdomen with whole incision.



Photo. 2.4 Sea Cucumber dried by vacuum drying after the removal of the internal organs in its abdomen with partial incision(1cm).

한편, 이와 같은 전처리 공정에서 내장이 제거된 해삼은 다음 공정으로 삶기를 실행하여야 한다. 일반적으로 삶기 공정에서는 민물에 삶는 경우와 소금물에 삶는 2가지의 경우가 있는데, 건조후의 무게 즉, 겉보기 무게 증대를 위하여 소금물 또는 바닷물 삶기를 하기도 하나 본 연구에서는 수돗물을 이용하여 무염 삶기 공정을 택하였다. 삶기 공정은 고품질의 건해삼 생산과 수율의 증대를 위하여 매우 중요한 단계이다. 끓는 물에 해삼을 다량으로 넣으면 급격히 삶는 물의 온도가 내려가므로 비등(boiling)을 위하여서는 시간경과가 필요하게 되고, 이로 인하여 솥 안의 물의 온도 불균형이 발생하여 해삼의 각 부위 온도 및 삶기의 진행 속도가 다르게 된다. 또한 물이 끓는 상태에서 경과시간이 과다해지면 해삼 육질이 녹아버릴 수 있다. 따라서 이를 방지하기 위하여서는 화력을 증대시켜 생해삼 투입 후 재비등까지의 시간을 5분 이내로 단축해야만 한다. 또한 해삼의 부위에 따라 제대로 익지 않은 부분이 있을 경우에는 건조과정에서 녹아버려 급격히 수율이 감소할 수 있으므로 세심한 주의를 기울여야만 한다. 이와 같은 방법으로 잘 삶은 해삼 사진을 Photo. 2.5에 보인다. 또한 이 사진으로부터 알 수 있듯이 생해삼과 마찬가지로 삶은 해삼은 다양한 색상을 지니고 있다.



Photo. 2.5 Boiled Sea Cucumber.

한편, 잘 삶아진 해삼은 진공급냉각 또는 얼음 냉각을 통하여 가능하면 최대한 빠르게 100℃ 상태에서부터 20℃까지 급냉각 시켜야 한다. 이는 냉각과정에서의 부패 진행을 최대한 억제하여야 보다 좋은 고품질의 건해삼을 얻을 수 있기 때문이다.

이와 같이 전처리 공정을 모두 거친 해삼은 건조관에 고르게 배열한 후 건조기 내에 투입된다. 이 때 유의할 점은 해삼과 해삼이 붙어 있으면 붙은 부분이 느리게 건조될 뿐만 아니라 살이 녹아버리는 문제점이 발생한다. 또한 삶기 공정에서 제대로 삶아지지 않은 부위는 살이 녹아버려 수율의 감소에 직결되므로 주의해야만 한다.

Photo. 2.6은 진공건조 개시 후 약 12시간이 경과한 반건 해삼의 사진을 나타낸다. Photo. 2.5에서 보는 바와 같이 삶은 후의 다양한 색상의 해삼이 원래의 색상에 관계없이 검정색으로 변하고 있음을 알 수 있다. 고품질 건해삼이 갖어야 할 조건중의 하나가 “검정색 일 것”이라는 점을 감안하면 이는 매우 중요한 건조 결과이며, 본 연구에서는 어느 경우에라도 건조 후의 해삼 색상이 검정색을 지닐 수 있도록 건조공정을 확립하였다.

또한 본 연구에서는 주로 생해삼을 기준으로 100~300g(건조후 무게로 환산하면 4~12g에 상당함) 전후의 생해삼을 주로 건조하는 실험을 수행하였다. 그러므로 1회에 건조하는 해삼의 무게분포는 다양하게 된다. 따라서 동일한 시간 내에 크기에 관계없이 동시에 완전건조(함수율 4~5%) 상태로 도달시키는 것은 상당히 어려운 일이다. 따라서 이러한 점을 고려하여 되도록이면 크기에 관계없이 균일하게 완전건조에 도달할 수 있도록 해야만 한다.

Photo. 2.7에는 함수율  $\omega=4.2\%$ 로서 매우 잘 건조된 해삼의 경우를 보여준다.



Photo. 2.6 Half-dried Sea Cucumber dried by vacuum drying  
( $t=12\text{hr}$ ).



Photo. 2.7 Full-dried Sea Cucumber dried by vacuum drying  
(water contents rate,  $\omega=4.2\%$ ).

## 2.5 실험범위 및 실험방법

본 연구에서는 주 연구대상인 해삼을 연구하기 위하여 다양한 생물을 이용하여 많은 실험을 실시하였으며, 이를 통하여 진공건조기의 최적 운전방법, 건조 에너지비용의 최소화, 단위기기들의 사용 전력의 최소화, 1회 투입량의 증대 및 균질화 된 건조가 될 수 있도록 하였다.

본 실험에서의 범위를 도표로서 정리하면 Table 2.2와 같다. 이 표에서 보는 바와 같이, 진공압력은 6.67, 13.33, 26.66kPa abs., 가열수의 온도는 65, 70, 75, 80℃의 조건하에서 수행되었다.

Table 2.2 Experimental conditions.

Parameter	Range
Pressure in Drying Chamber	6.67 ~ 26.66kPa
Heated Wall Temperature	65 ~ 80℃

특히 본 실험 장치는 삶은 해삼을 투입 한 후 건조가 완료될 때 까지의 건조공정이 자동적으로 실행될 뿐만 아니라 최적의 운전조건하에서 무인운전이 가능하도록 시퀀스제어를 구현하였다. 또한 삶은 해삼을 건조판에 자연히 널은 상태에서 Heating Box에 투입이 완료하고 개폐문을 밀폐한 이후의 시퀀스 기동순서를 기술하면 다음과 같다.

- ① Main 전원 스위치 ON
- ② 건조시간 설정, 냉동기 가동시간 설정, 가열수 온도 최적 설정
- ③ 자동운전 스위치 ON (자동 운전 회로 고장시 수동운전 절환)
- ④ 냉동/순환팬 자동 기동

- ⑤ 진공펌프 자동 기동 (진공라인 SOL/V open, 냉동기 SOL.2는 봉수온도에 의하여 제어, 진공펌프의 가동 및 정지는 챔버의 진공압력을 Pressure transducer의 측정에 의하여 제어, 최초 가동시 101.33kPa abs. ON, 2.67kPa abs. OFF, 연속운전시 7.80 kPa abs. ON, 5.33kPa abs. OFF)
- ⑥ 전기 히터 5kW 자동 on-off 기동  
(설정된 온도로 전기히터에 의하여 가열수 온도를 제어)
- ⑦ 냉동기의 solenoid valve-1은 냉동기 가동시간에 의하여 제어됨
- ⑧ 본체내의 온도, 압력, 가열수 온도의 실시간 표시,  
이상 발생 시에는 alarm 기능 부여
- ⑨ 정전 또는 고장에 의한 건조 중단시 alarm 기능
- ⑩ 설정된 시간에 도달하면 전기 히터 OFF
- ⑪ 건조가 완료되면 온수 순환 펌프 정지
- ⑫ 순환팬 정지, 냉동기 정지 및 건조 완료 alarm 작동
- ⑬ 운전 스위치 수동 OFF
- ⑭ 전원 스위치 수동 OFF



## 제3장 기초이론

### 3.1 건조특성

건조는 일반적으로 재료예열기간, 항율건조기간(constant-rate drying period), 감율건조기간(falling-rate drying period)으로 구분된다.

재료예열기간은 투입된 재료가 습구온도까지 상승하는 구간이며 시간적으로 비교적 짧고 이 동안의 수분변화는 적다.

항율건조기간은 주위로부터 전열속도와 재료표면으로부터의 증발속도가 조화된 동적 평형을 이루는 시기이며, 피건조물의 온도는 근사적으로 그 열풍의 습구온도로 유지되고 이 기간 중의 건조속도는 일정하게 된다. 따라서 열노화를 받기 쉬운 재료라도 습구온도가 허용 열풍온도 보다 낮으면 열풍온도를 비교적 높게 할 수도 있다.

또한 항율건조기간이 종료하는 시점의 함수율은 한계함수율이라 하지만 한계함수율은 동일재료라도 건조 방식이 바뀌게 되면 이 값도 변하게 된다.

일반적으로 유동층 건조장치나 기류건조장치와 같이 열풍과의 접촉이 심한 건조방식 또는 작은 형상으로 자주 분산되어 열풍과의 접촉면적이 큰 방식에서는 한계함수율이 내려가 항율건조기간이 길어져 유리한 측면도 있다. 한계함수율 이하의 부분에서는 수분이 감소함에 따라 재료 내부 수분 이동 저항이 증가해, 건조속도가 떨어지기 때문에 이 기간을 감율건조기간이라 한다.

감율건조기간의 건조 특성을 예상하는데는 확산계수를 구해야 할 뿐만 아니라 상당히 복잡한 계산이 요구되기 때문에 오히려 실험결과에 따르는 것이 더 간편하고 정확하다.

한계함수율과는 별도로 재료 특유의 수분보유 상태를 나타낸 것으로 평형 함수율이 있다. 재료는 외부조건, 온도, 습도가 정해지면 그에 대응하는 일정의 함수율로 평형을 유지한다. 건조 대상으로 하고 있는 재료를 극히 저수분까지 건조해야만 하는 경우에는 평형 함수율을 내리기 위해 열풍 온

도를 올리던가 혹은 열풍의 습도를 내려야만 한다. 또한 저함수율까지 건조해도 대기중의 수분을 흡습해서 함수율이 다시 올라가 버릴 수 가있으므로 건조 제품의 보관 관리에서 공조 관리도 중요하다.



### 3.2 진공건조 메커니즘 해석

다공질층내의 수분은 입자의 표면에 부착되어 있는 부착수 또는 결합수, 입자와의 간격 사이에 존재하는 모관수, 그리고 자유로이 이동 가능한 자유수의 형태로 구성되어 있다. 이와 같은 함수다공질층의 진공건조과정은 일방향 확산에 관한 Stefan의 법칙을 적용함으로써 진공건조에 관한 열적 특성 고찰이 가능하다. 일방향 확산에 의한 증기의 질량유속은 다음 식과 같다.

$$Q_v = -f \frac{M_v D}{RT} \frac{P}{P - P_v} \frac{dP_v}{dL} \quad (3.1)$$

위 식에서 전압  $P$ 가 일정할 경우, 재료의 증발표면온도가 상승할수록 표면에서의 포화수증기 분압차  $dP_v$ 가 증가하여 수분의 확산량은 증가하게 되며, 재료의 표면온도가 일정할 경우에는 진공도가 클수록  $P/(P - P_v)$ 가 증가하게 되어 수분의 확산량이 증가하게 됨을 알 수 있다. 또한 재료내부의 증발면에 대하여  $dL$ 이 커짐에 따라 확산량이 감소하게 됨을 알 수가 있다.

함수다공질층 재료의 진공건조 메커니즘은 다음과 같은 2모관 확산모델로 근사하여 간략하게 설명되어진다. Fig. 3.1에서 보는 바와 같이 재료는 직경이 다른 2종류의 모관이 서로 결합해 있으며, 수분의 확산과정은 다음과 같은 순서로 일어난다. 먼저(a) 및 (b)에서 보는 바와 같이 수분확산은 모관(1)에서 지배적으로 일어나며, 모관(1)에서 증발한 수분은 모관(2)로부터 측벽을 통하여 모세관력에 의해 흡입되어지는 액체로 보상되어진다. 건조의 진행과 함께 모관(1)내의 액면은 점차로 저하하며, 모관(2)로의 흐름에 대한 저항이 모관력과 평형을 이루는 점 즉, 임계점  $L_c$ 까지 하강한다. 이 기간 동안의 수분확산은 일정한 확산속도를 유지하게 되며 이 기간을 항율건조기간이라 한다. 이 기간에서의 건조속도는 다음 식으로 표시할 수가 있

다.

$$R_{dc} = k_g(P_s - P_c) = k_g(\Delta P) \quad (3.2)$$

여기서  $k_g$ 는 수분의 증발계수를 나타내며,  $P_s$ 는 재료의 표면, 즉 증발면에서의 수증기 분압을 나타내고,  $P_c$ 는 재료표면 주위에서의 수증기 분압을 나타낸다. 계속해서 수분의 확산이 진행됨에 따라 (c)에서 보는 바와 같이 모관(1)의 액면이 임계점  $L_c$ 를 지나게 되면 모관(1)과 모관(2)의 액면은 동시에 하강을 시작한다. 이 때의 수분의 확산속도는  $L_2$ 의 증가와 함께 확산이 지배적으로 일어나는 증발면이 재료의 내부로 침투하게 되므로 기건조층이 수증기의 확산에 대한 저항으로 작용하여 건조속도는 급격하게 감소하게 된다. 이와 같이 건조속도가 급격하게 감소하는 기간을 감율건조기간이라 한다. 이 때 증발면의 수증기 분압은  $P_s$ 가 되지만, 재료표면에서의 수증기 분압은  $P_{so}$ 가 된다.

이 기간에서의 건조속도는 다음 식으로 표시할 수가 있다.

$$R_d = \frac{\lambda}{\mu L_2}(P_s - P_{so}) = k_g(P_{so} - P_c) \quad (3.3)$$

여기서  $\mu$ 는 재료의 구조특성을 나타내는 구조인자로서 기건조층의 확산에 대한 저항을 나타내며 실험에 의하여 구해진다. 식(3.3)을 연립하여  $P_{so}$ 를 제거하면 건조속도는 다음 식으로 표시할 수 있다.

$$R_{dc} = \frac{1}{\frac{1}{k_g} \times \frac{\mu L_2}{\lambda}}(P_s - P_c) \quad (3.4)$$

위 식으로부터 일정한 건조조건에서  $L_2$ 의 증가와 함께 건조속도는 점차 감소함을 알 수가 있다. Fig. 3.1의 (d) 및 (e)에서 보는 바와 같이, 수분의 확산이 더욱 진행되면 모관(1)의 수분은 소멸되고 모관(2)의 액면이 지속적으로 감소함에 따라 건조속도는 더욱 감소하게 된다.

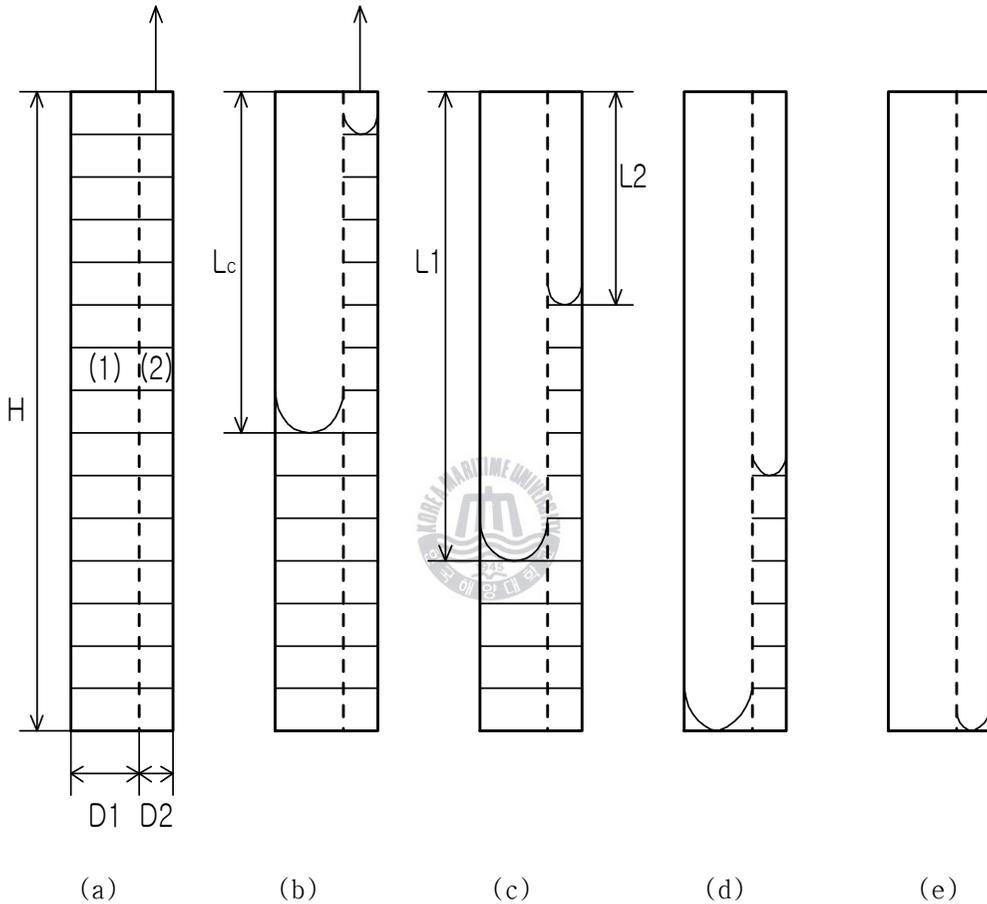


Fig. 3.1 Two capillary model for drying.

### 3.3 건조기 기술의 비교 평가

건조조작은 열에너지를 가장 많이 사용하는 분체 프로세스이고 건조하는 대상물이 매우 다양함으로 많은 종류의 건조장치가 개발되고 있다. 건조 방법에 따라 간접건조방법과 직접건조방법으로 분류 할 수 있다. 간접건조 방법은 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.

적외선건조방식(infrared drying)은 열복사에 의해 재료를 가열하여 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 가열되어 재료의 가열에 필요한 시간이 짧을 뿐 아니라, 건조속도가 빨라지며 효율도 높다. 그러나 마이크로파 변환효율이 40~70% 정도이기 때문에 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 실용화는 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 현열이 폐기되어지기 때문에 에너지 소모가 많이 된다. 현재 국내에 보급되는 건조기는 거의 대부분이 열풍건조기로서 고온상태에서 작동하며, 더욱이 열풍을 계속 외부로 버리는 상태이므로 열공학적 측면에서는 매우 효율이 좋지 않으며 에너지 소모 또한 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 방지할 수 있고, 열풍건조기에 비하여 건조시간도 비교적 짧은 진공건조(vacuum drying)에 대한 관심이 급증하고 있다.

Table 3.1은 현재 보급되어 사용되고 있는 각 건조기기술의 항목별 특성을 요약 정리하여 나타내었다.

Table 3.1 Comparison of drying technique.

		Low temp. vacuum dry	Hot wind dry	Cold wind dry	Frozen dry
건조기 내부압력		Low Vacuum, 1.33~4.10kPa abs.	Atmospheric 101.33kPa abs.	Atmospheric 101.33kPa abs.	Very Low Vacuum 0.04kPa abs.
수분의 증발온도		10~30℃	100℃	100℃	-30 ~ -40℃
열원의 온도		80℃ (Hot Water)	100℃(Hot Wind)	0℃(Cold Wind)	100~150℃ (Thermal Fluid)
주요 처리 에너지		Hot Water Boiler, Pump	Fuel Burner	Refrigerator	High Vacuum Pump System
건조실 환경		Low Vacuum Chamber	Atmosphere Room	Atmosphere Room	High Vacuum Chamber
에너지 원		Electric or Fuel	Fuel Burning	Electric Power	Electric Power
에너지 소비율 비교		100%	300~400%	300~400%	500%
인건비용		100%	300~400%	300~400%	500%
운전 수준		Easy	Careful	Careful	High Technique
운전 상황		Full Automatic	Semi-Automatic	Semi-Automatic	Continuously Watching
유지기술		Easy	Maker Repair	Maker Repair	Special Repair
건조 후 특성	색상	Preservation	Changed	Good	Good
	향기	Preservation	Lost	Partially Lost	Fully Lost
	영양성분	Preservation	Partially Lost	Partially Lost	Partially Lost
	형상	Preservation	Reduced	Partially Lost	Preservation
	건조 후 저장	Room Temp. Vacuum Package	Cold Storage	Cold Storage	Cold Storage
	수분 회복율	High Speed	Slowest	-	High Speed

한편, 해삼은 알칼리성 식품으로 건조를 위한 전처리 및 건조과정에서 아주 빠른 속도로 부패를 하며, 느린 건조의 경우에는 타우린 등이 표면에 하얗게 석출되어 복수과정에서 유실되고 만다. 이러한 관점에서 열풍건조에 의하여 해삼을 건조하면 건조과정에서 상당한 부패가 발생할 염려가 매우 크고 태양건조와 같이 타우린 등이 하얗게 석출되어 결코 고품질의 해삼을 얻을 수가 없다.

또한 동결건조에 의한 경우에는 피건조물이 일단  $-30\sim-40^{\circ}\text{C}$  상태로 동결된 상태에서 수분의 승화에 의한 건조가 진행되므로, Photo. 3.1에서 보는 바와 같이 색상은 비교적 좋으나, 동결팽창에 의한 미소영양성분의 손실로 해삼을 부풀릴 경우 전혀 원래의 해삼과 다른 것이 되므로 해삼의 건조에는 전혀 적용이 불가능하다고 할 수 있다.

일본의 건조현장에서는 냉풍건조기에 의하여 해삼을 주로 건조하는 것으로 알려져 있다. 즉 전처리 한 해삼을 냉풍건조기에 2~3일간 건조한 후 물에 씻으며 모양도 만드는 절차를 되풀이하면서 건해삼을 생산하는 방법이다. 이러한 경우에는 모양과 색상은 비교적 좋다고 할 수 있지만, 많은 인건비와 영양 손실이 불가피할 것으로 판단되어 진다. 그러나 이러한 방식으로 제조된 북해도산 해삼은 색상과 모양이 좋아 중국시장에서 최고의 가격으로 판매되고 있다.



Photo. 3.1 Sea cucumber by freeze drying.

## 제4장 실험결과

### 4.1 건조 소요 동력 및 소모전력

Fig. 4.1~Fig. 4.4는 본 연구를 통하여 개발한 해삼 전용의 에너지 절약형 저온진공건조장치를 이용하여, 소요동력 및 전력량을 측정한 결과들을 나타낸다. 소요전력량은 기본적으로 건조기의 종합적인 열효율과 1회의 투입량에 따라서 결정된다. 이 실험에서는 해삼이 시험재료로서는 워낙 고가이므로, Full Load 상태가 아닌 10~40kg(5.5~22.2% Load)의 생해삼을 투입하여 행한 실험결과들이다. 전력량은 매 2시간마다 저온진공건조장치를 일시 정지하여 약 15분 동안 개방하고 필요한 측정을 수행한 후 재가동하는 방법으로 실시하였다.

이들 그림에서 알 수 있는 바와 같이 건조초기에는 피건조물이 갖는 초기의 열에너지와 각 요소장치의 기동 및 활발한 건조로 인하여 최대전력이 4~6kW정도로 최대치를 보이며, 약 4시간이 경과하면 평균적으로 3kW 전후의 평균 소요동력이 소비됨을 알 수 있다[App.2].

또한 건조 완료시까지의 적산전력량은 10% 전후의 부분 부하시 약 70~80 kWh정도임을 알 수 있다.

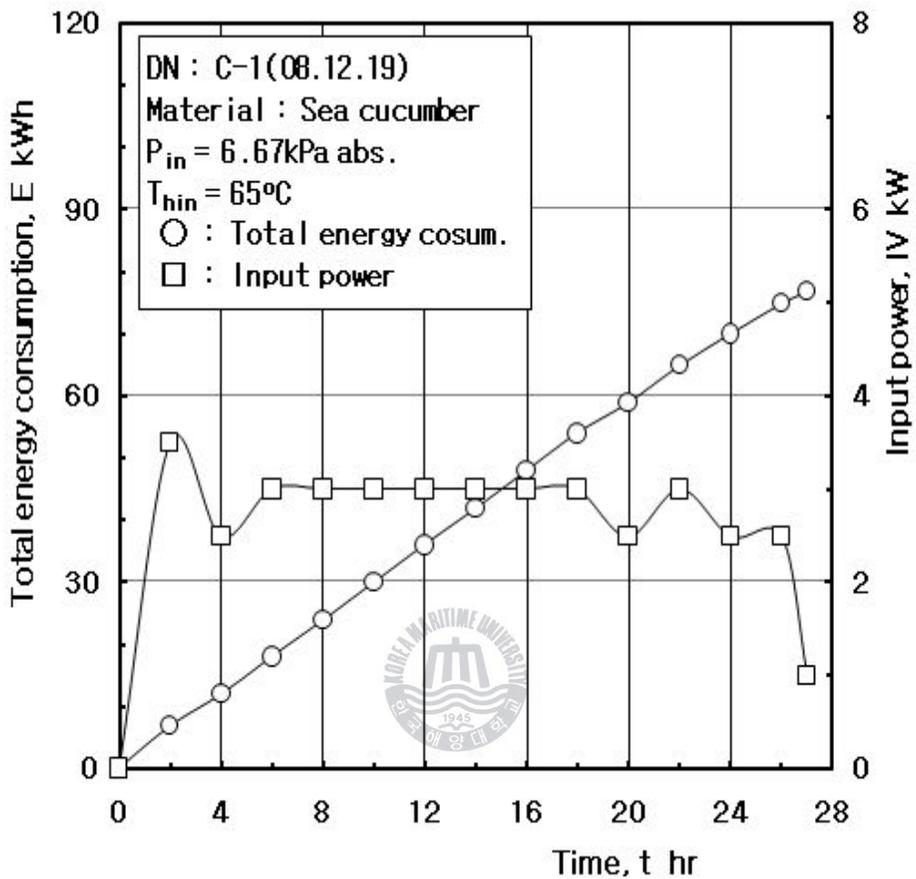


Fig. 4.1 Analysis of total energy consumption & power for vacuum drying of Korean sea cucumber (DN:C-1).

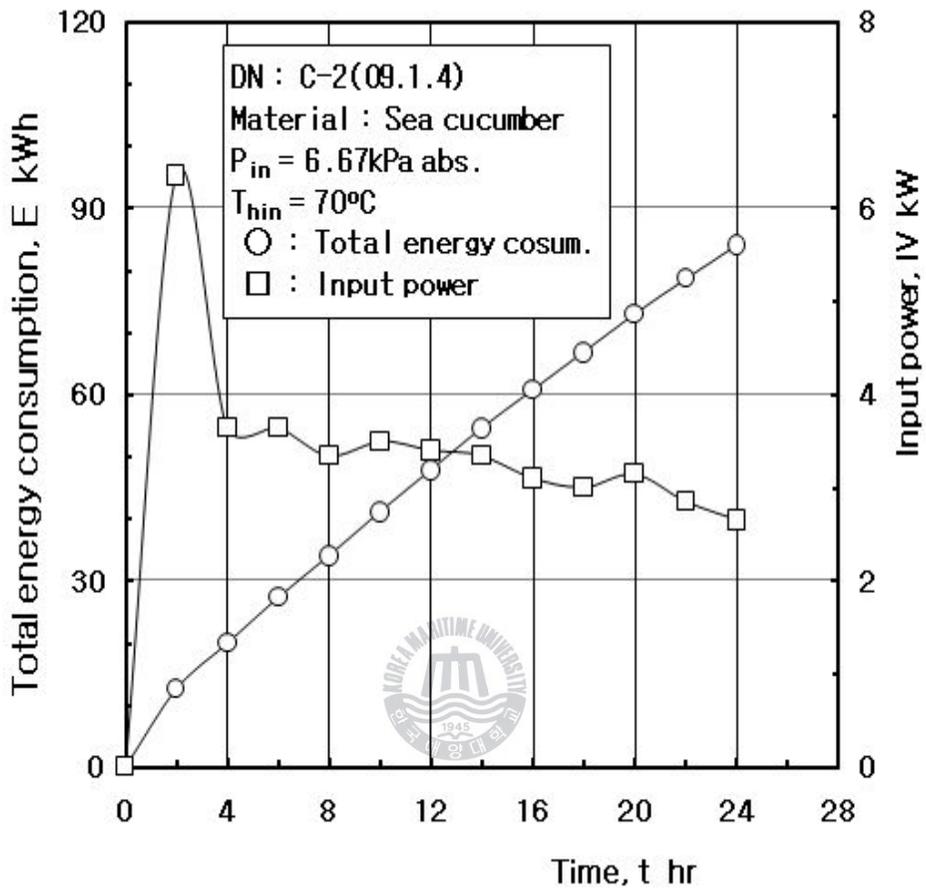


Fig. 4.2 Analysis of total energy consumption & power for vacuum drying of Korean sea cucumber (DN:C-2).

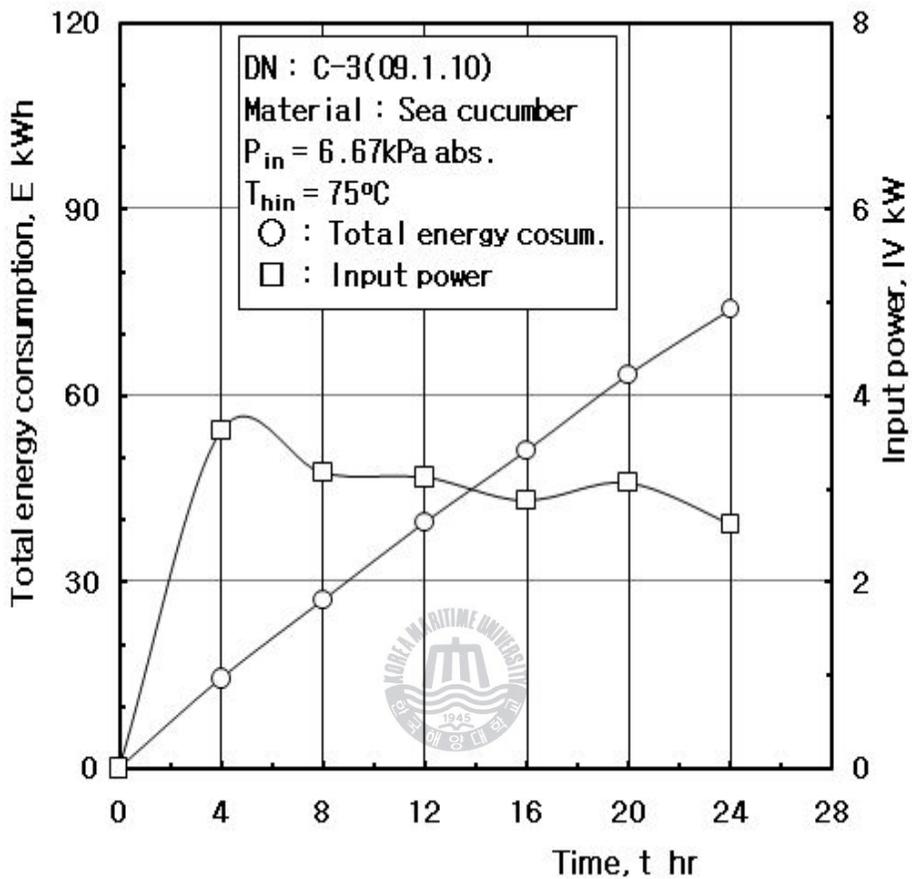


Fig. 4.3 Analysis of total energy consumption & power for vacuum drying of Korean sea cucumber (DN:C-3).

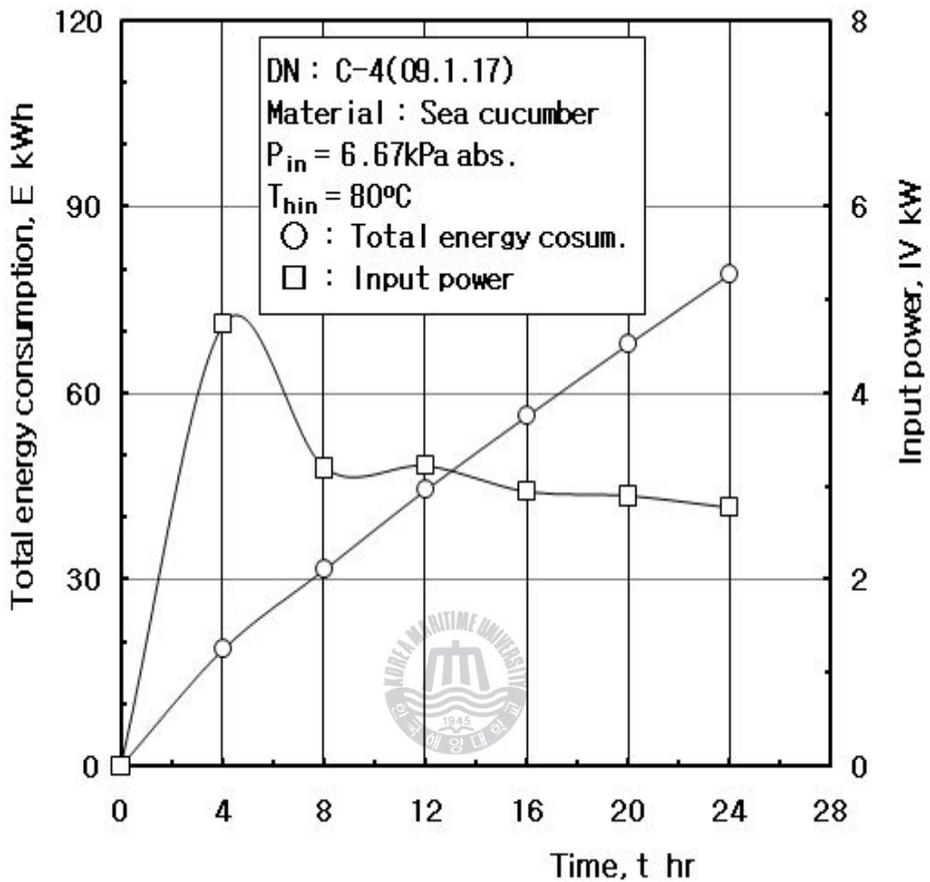


Fig. 4.4 Analysis of total energy consumption & power for vacuum drying of Korean sea cucumber (DN:C-4).

Table 4.1은[App.2]의 소요전력 실험 데이터를 이용하여 평균동력과 생체 1kg당 소모되는 에너지비용을 계산한 것이다. 본 해삼용 건조장치의 평균소요동력은 2.97kW, 생체 1kg당 건조비용은 약 356원 정도로 평가할 수 있었다. 단, 건조에너지는 건조물의 초기상태, 투입량, 건조속도 등에 밀접히 관계됨을 감안하여야 한다. 또한 이 값은 후술하는 경제성 평가에도 적용하였다.

Table 4.1 Mean power & energy consumption per unit weight (from Appendix 2 Data).

번호	생 투입량 (kg)	소요전력량 (kWh)	소요동력 (kW)	전력단가 (원/kWh)	에너지비용 (원/생1kg)
1	20	223	5.00	70	781
2	20	125	2.78	70	438
3	22	132	4.89	70	480
4	22	70	2.98	70	222
5	26	117	2.66	70	315
6	26	101	2.24	70	271
7	26	101	2.15	70	271
8	26	141	3.28	70	379
9	36	80	1.70	70	155
10	40	144	2.00	70	252
	평균값		2.97		356

## 4.2 시간경과에 따른 무게 변동

건조시료인 해삼을 건조판 위에 일정량씩 올려놓은 후, 건조판들을 가열판 위에 올려놓고 건조기의 개폐문을 닫는다. 다음으로 진공추기계통을 작동시키면 실험이 시작되고, 소정의 실험압력으로 유지되어갈 때 가열계통의 작동을 개시하여 진공압력이 일정하게 되는 시점과 소정의 가열수 실험온도와 일치시킨다. 이와 같이 저온진공건조실험이 시작되는 시점을  $t = 0hr$ 로 하였다.

건조기에는 10판의 건조판이 설치되어 있어 가득 채울 경우 약 180kg의 생해삼(삶은 해삼 약 45kg)을 투입할 수 있다. 그러나 실험재료인 해삼은 매우 고가이므로, 실험과정에서는 주로 10~30kg의 생해삼을 대부분 이용하였지만, 최대 100kg을 일시에 사용하여 실험을 실시하기도 하였다. 실험은 평균적인 건조특성을 나타내는 중간부분의 #5 건조판을 이용하여 실행하였다. 건조실험이 시작되면 2시간 간격으로, 건조기를 정지한 후 건조판을 꺼내어 정미의 건해삼 무게변동을 측정하였으며, 한번 측정에 소요되는 시간은 15~20분 정도 소요되며, 이 측정 소요 시간을 제외하고 다음 2시간 후에 2차 측정을 하여, 건조가 완료되는 시간까지 측정을 반복하였다.

지금 임의 시각에서 건조시료 해삼의 무게를  $W_T$ 라고 하고 해삼의 무게합계를  $W_c$ , 수분의 무게를  $W_h$ 라고 하면, 다음 식의 관계가 성립한다.

$$W_T = W_c + W_h \quad (4.1)$$

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

전체 해삼의 무게 중에 수분이 차지하는 무게의 비율을 함수율  $\omega$ 라고 하며, 이는 다음 식과 같이 정의된다.

$$\omega = \frac{W_h}{W_T} = \frac{W_h}{W_c + W_h} \quad (4.2)$$

따라서 저온진공건조 실험이 개시되는  $t = 0$ 에서의 초기 함수율은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\omega_0 = \frac{W_{h0}}{W_{T0}} = \frac{W_{h0}}{W_c + W_{h0}} \quad (4.3)$$

위 식으로부터 해삼의 무게 및 수분의 무게를 구하면 각각 다음과 같다.

$$W_c = \frac{W_{h0}(1 - \omega_0)}{\omega_0} \quad (4.4)$$

$$W_{h0} = \frac{\omega_0}{(1 - \omega_0)} W_c \quad (4.5)$$



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  $\omega_{ST}$ 를 갖는 최적의 건조시간이 존재한다.

이들 실험결과의 데이터 처리에 있어서는 수차례의 검토를 통하여, Fig. 4.5~Fig. 4.8에서 보는 바와 같이 시간의 경과에 비례하여 선형적으로 해삼의 무게가 감소하는 소위 항율건조기간과 시간의 경과에 대하여 무게 감소율이 완만하여지는 감율건조기간이 나타나는 것을 알 수 있었다.

이들 그림에서 보는 바와 같이, 건조개시 후 약 10시간 정도의 항율건조기간에는 피건조물 전체가 함수율이 매우 높으므로 표면 근처의 수분이 활발히 증발하므로써 시간이 경과함에 따라 거의 직선적으로 무게가 감소함을 알 수 있으며, 이 시간이 지나 감율건조기간에 돌입하면 내부의 수분이 피

건조물 표면으로 이동되는 시간이 점차 지연되므로 지속적으로 무게가 감소하여 완전건조상태에 도달함을 알 수 있다.

전체적으로는 진공도가 낮을수록 가열수의 온도가 높을수록 항울건조시간과 감울건조시간이 짧아짐을 확인할 수 있었으며, 항울건조시간은 9~13시간 정도, 그리고 감울건조시간은 약 10시간이 소요됨을 알 수 있었다.



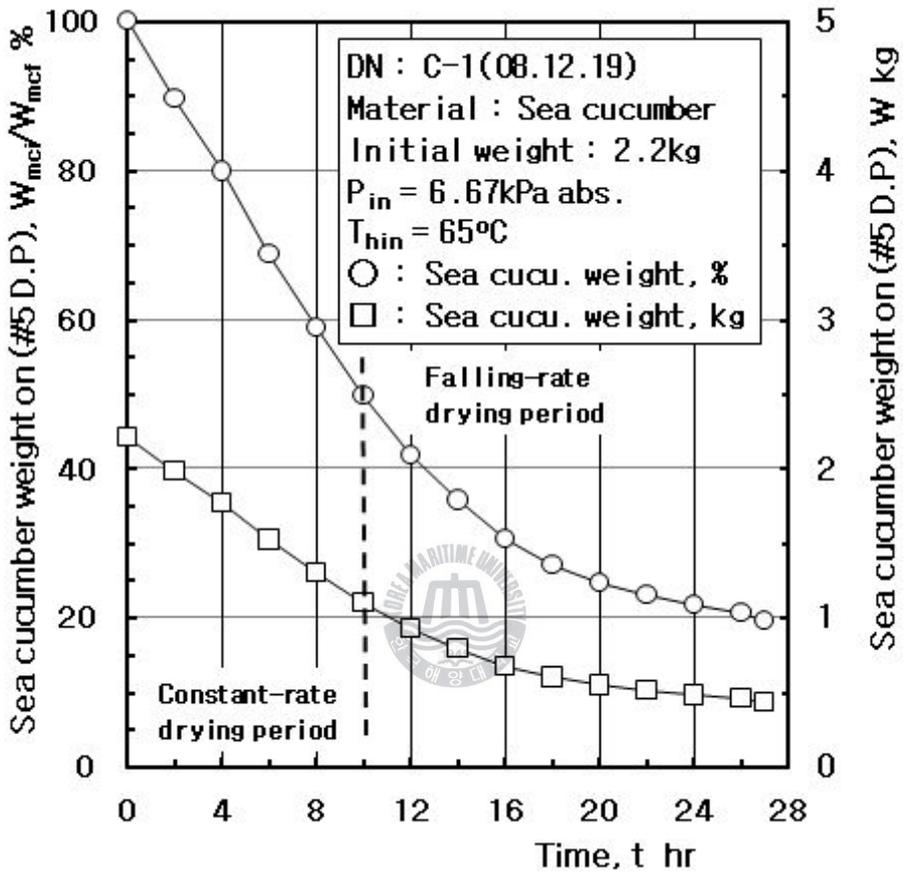


Fig. 4.5 Weight variation of sea cucumber to vacuum drying time(DN:C-1).

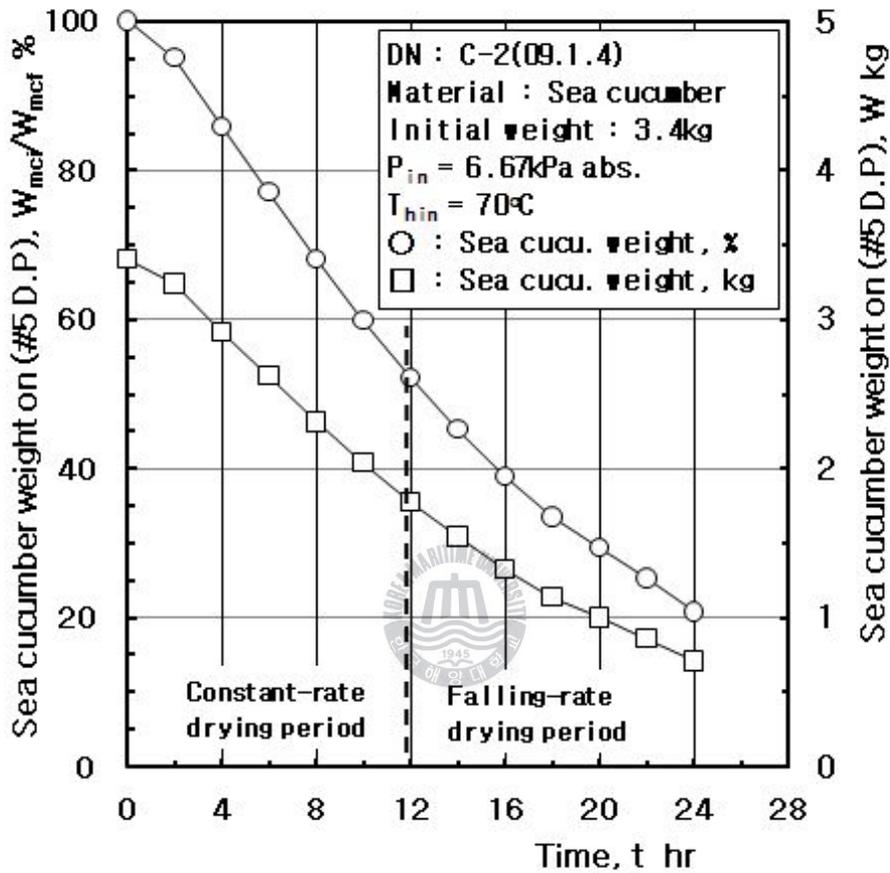


Fig. 4.6 Weight variation of sea cucumber to vacuum drying time(DN:C-2).

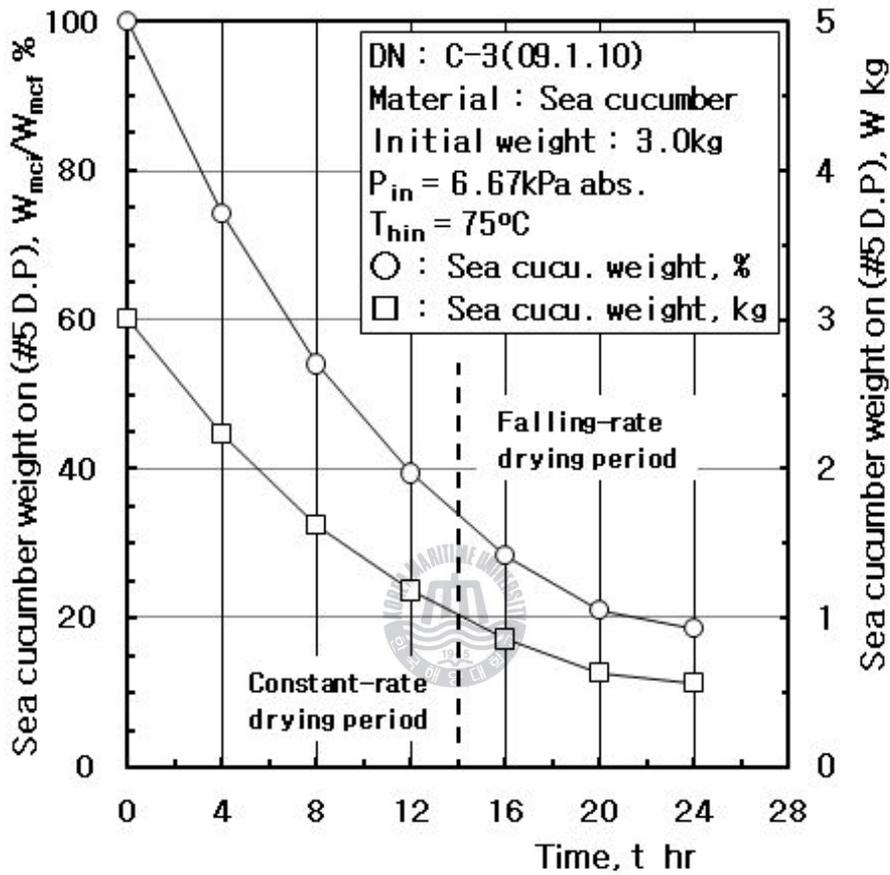


Fig. 4.7 Weight variation of sea cucumber to vacuum drying time(DN:C-3).

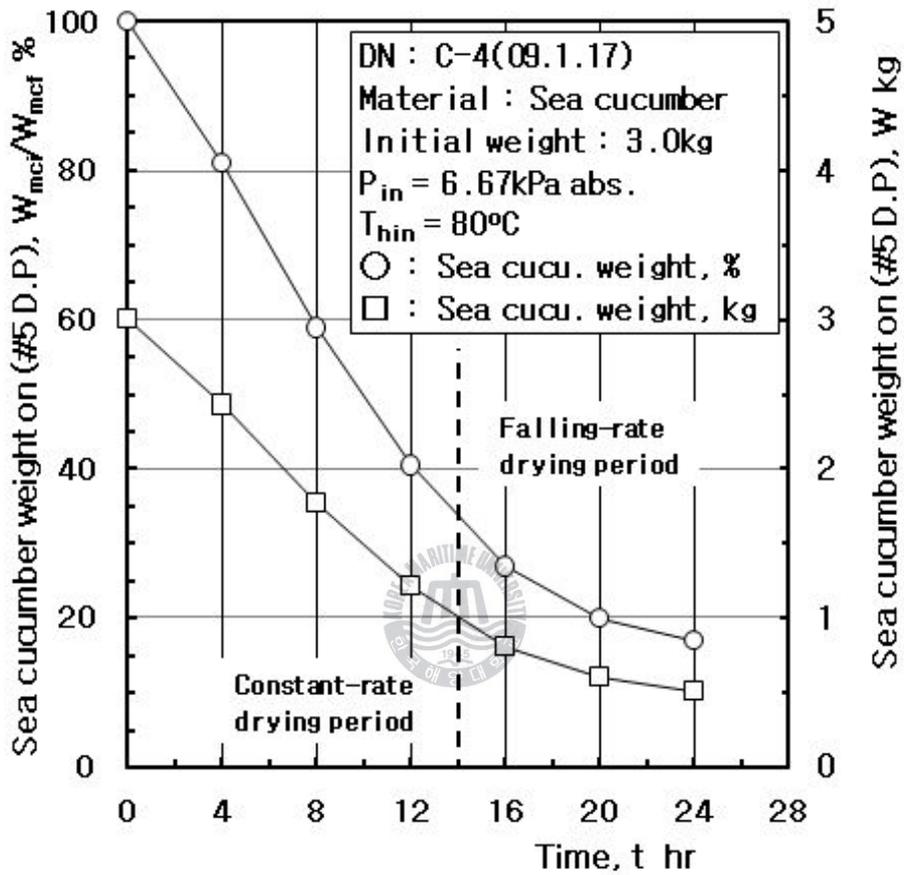


Fig. 4.8 Weight variation of sea cucumber to vacuum drying time(DN:C-4).

### 4.3 함수율의 변동

Fig. 4.9~Fig. 4.12는 생해삼의 배를 약 1cm 절개하여 내장을 제거한 다음, 뜨거운 물에 삶은 해삼을 #5번 건조관에 가득 채우고 건조하여 얻은 실험 결과를 보여준다. 실험은 건조를 개시한 후 매 2시간마다 무게변동을 측정하고, 마지막 무게와 함수율을 계측한 결과로부터 역산하여 각 시각에서의 함수율을 계산하였다. 앞 절에서 설명한 함수율 정의의 식(4.3)으로부터 실험종료 시점의 함수율을 함수율 측정기로 측정하여 건무계를 계산한 다음 각 시각에서의 함수율을 계산하였다. 실험초기 함수율은 삶은 해삼의 경우 약 80~85%, 실험종료 함수율은 약 5% 전후를 나타내었다.

이들 그림에서 보는 바와 같이, 함수율이 매우 높은 건조초기에는 함수율의 감소속도가 완만하다가, 약 8시간이 경과하면 급격히 함수율의 감소속도가 빠르게 됨을 알 수 있다. 이는 후술하는 국소열전달율의 변화와 매우 깊은 관계가 있음을 시사한다.

본 실험에서는 장기보관 및 식품의 상태 보존을 위한 최적 함수율 약 5% 전후로 실험을 수행하였으며, 건조 종료시의 함수율은 수율 등에도 밀접히 관계되므로 건조에 있어서 건조종료시점의 함수율은 매우중요하다고 할 수 있다.

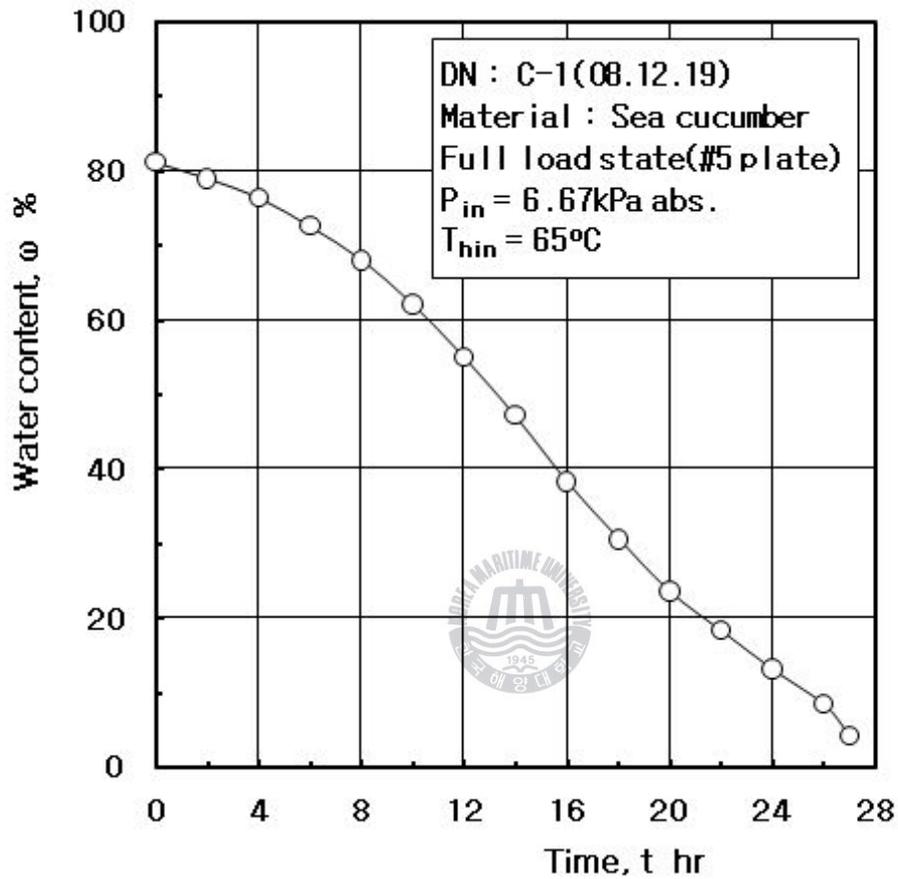


Fig. 4.9 Variation of water contents rate according to the drying time(DN:C-1).

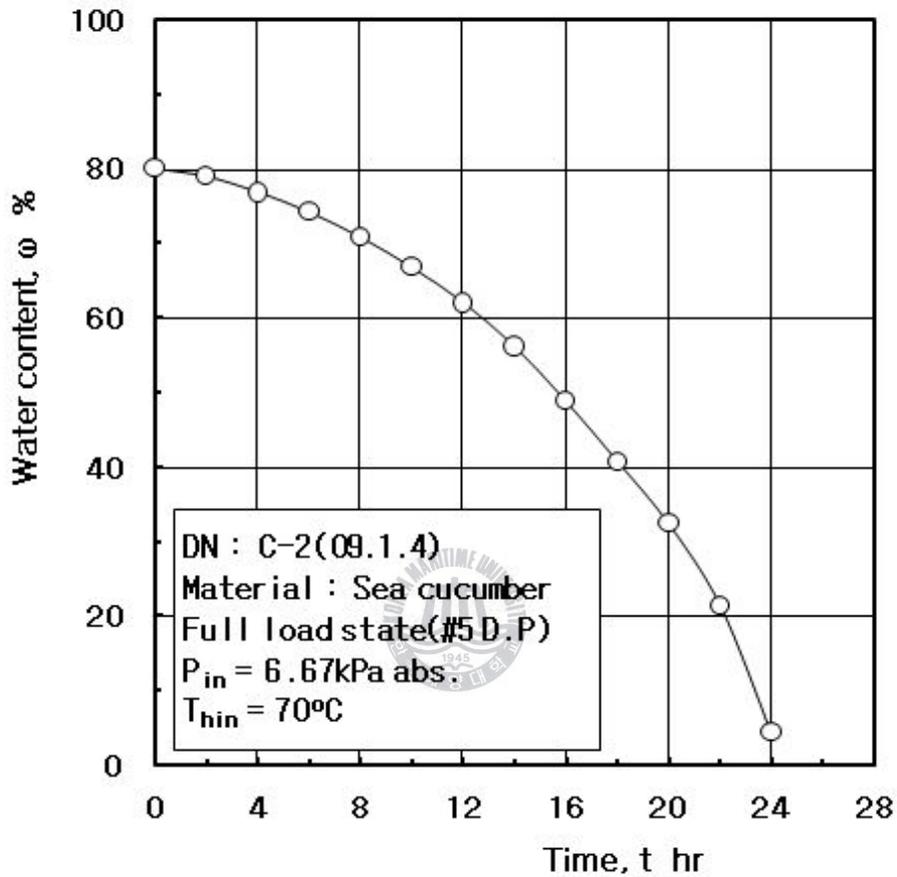


Fig. 4.10 Variation of water contents rate according to the drying time(DN:C-2).

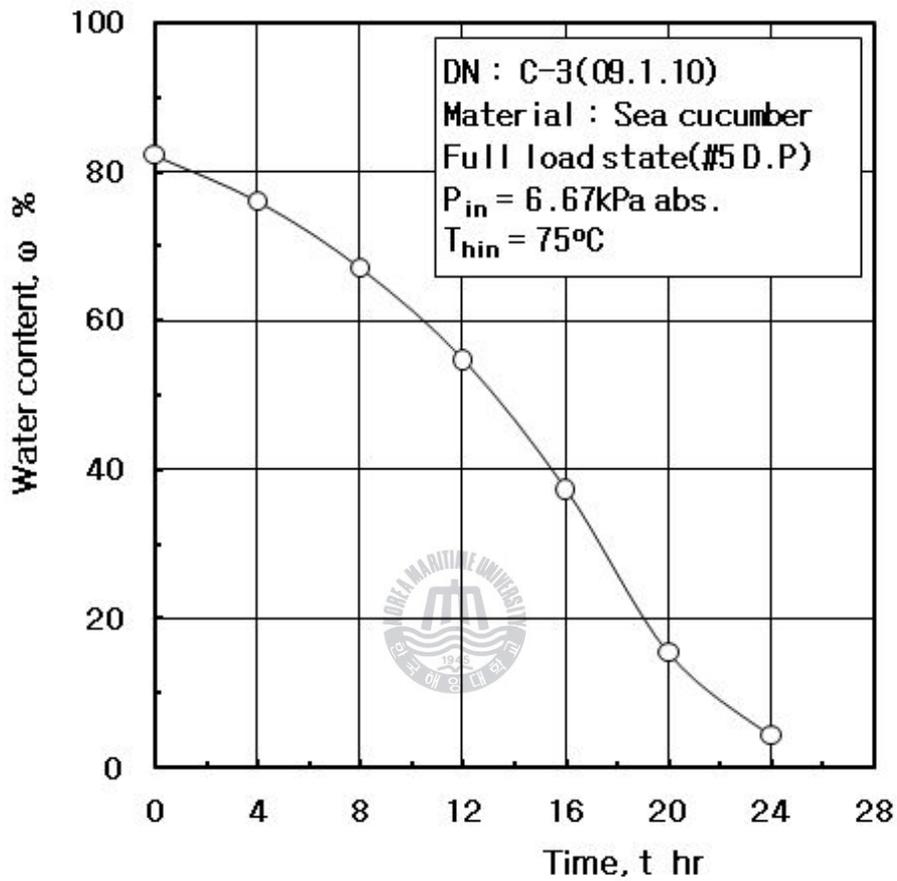


Fig. 4.11 Variation of water contents rate according to the drying time(DN:C-3).

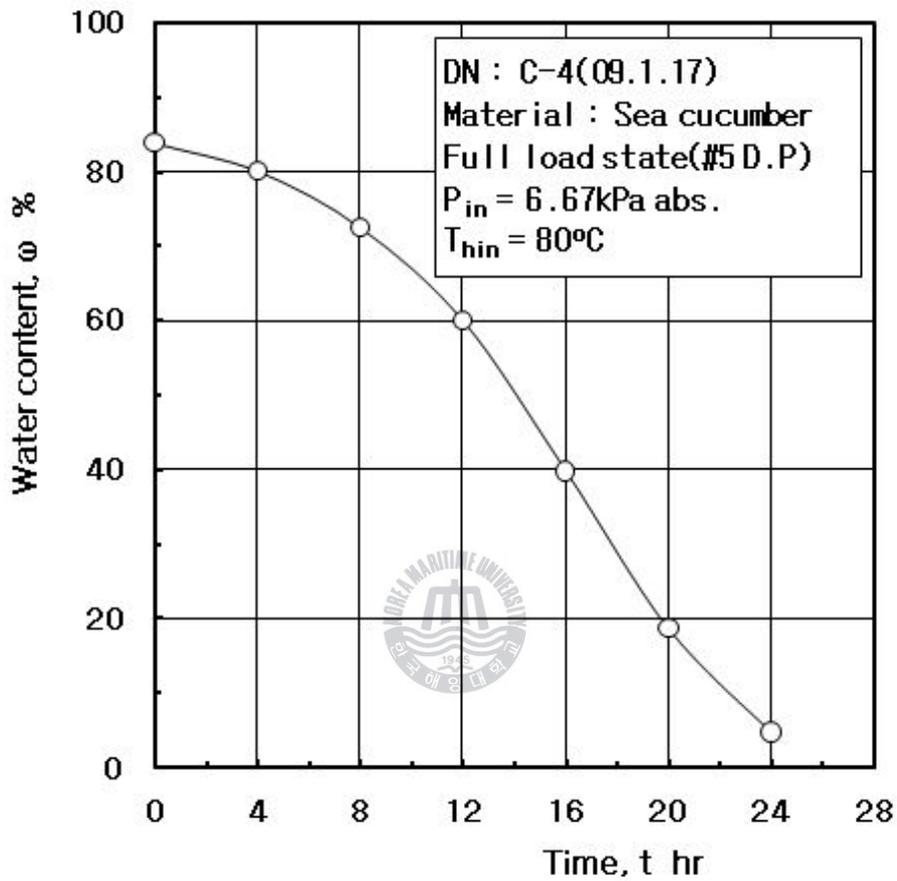


Fig. 4.12 Variation of water contents rate according to the drying time(DN:C-4).

#### 4.4 무게 감소율의 변동

항울건조기간에는 피건조물의 무게가 시간경과와 함께 직선적으로 감소하므로, Fig. 4.13~Fig. 4.16 나타낸 바와 같이, 항울건조기간 동안의 해삼의 무게는 일반적으로 다음 식의 형태로 나타낼 수 있다.

$$W_T = -a_1 t + b \quad (4.6)$$

또한 감울건조기간에 대하여는, 해삼의 총 무게가 시간경과에 따라 감소하므로 지수함수를 이용하여 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$W_T = a_2 e^{-k_2 t} \quad (4.7)$$

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

식(4.6) 및 식(4.7)을 시간  $t$ 에 대하여 미분하면 각각 다음과 같이 된다.

$$\frac{\partial W_T}{\partial t} = -a_1 \quad (4.8)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial W_T}{\partial t} &= -k_2 a_2 e^{-k_2 t} \\ &= -k_1 e^{-k_3 t} \end{aligned} \quad (4.9)$$

식(4.8)에서 보는 바와 같이 항울건조기간에는 수분의 증발율이 일정하므로  $\Delta W / \Delta t$ 가 일정한 값이 되며, 감울건조기간에는 식(4.9)와 같이 기

본적으로는 무게의 변동을 나타내는 식과 같다.

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

Fig. 4.13~Fig. 4.16은 항율건조기간 동안의 무게 감소율을 나타내는 식(4.8)과 감율건조기간 동안의 무게 감소율을 나타내는 식(4.9)을 이용하여 실험 데이터로부터 감소율을 구한 결과를 보여준다. 그림으로부터 알 수 있듯이 항율 건조기간에는 건조판 1-판당 0.11~0.15kg/hr의 속도로 수분이 증발하며, 항율 건조기간 동안의 값으로부터 건조가 진행됨에 따라 지속적으로 감소하여 최소 0.01kg/hr까지 감소하여 최종적인 건조에 도달함을 알 수 있다.

Table 4.2는 실험결과의 상관관계식을 정리하여 나타내었다.

Table 4.2 Empirical equation of drying rate

DATA NO.	$\frac{\Delta W}{\Delta t}, \text{ kg/hr}$	
	Constant-rate drying period	Falling-rate drying period
C-1	$-\frac{\Delta W}{\Delta t} = 0.11$	$-\frac{\Delta W}{\Delta t} = 0.567 \times \text{EXP.}(-0.15t)$
C-2	$-\frac{\Delta W}{\Delta t} = 0.13$	$-\frac{\Delta W}{\Delta t} = 0.245 \times \text{EXP.}(-0.05t)$
C-3	$-\frac{\Delta W}{\Delta t} = 0.15$	$-\frac{\Delta W}{\Delta t} = 1.776 \times \text{EXP.}(-0.11t)$
C-4	$-\frac{\Delta W}{\Delta t} = 0.15$	$-\frac{\Delta W}{\Delta t} = 2.230 \times \text{EXP.}(-0.19t)$

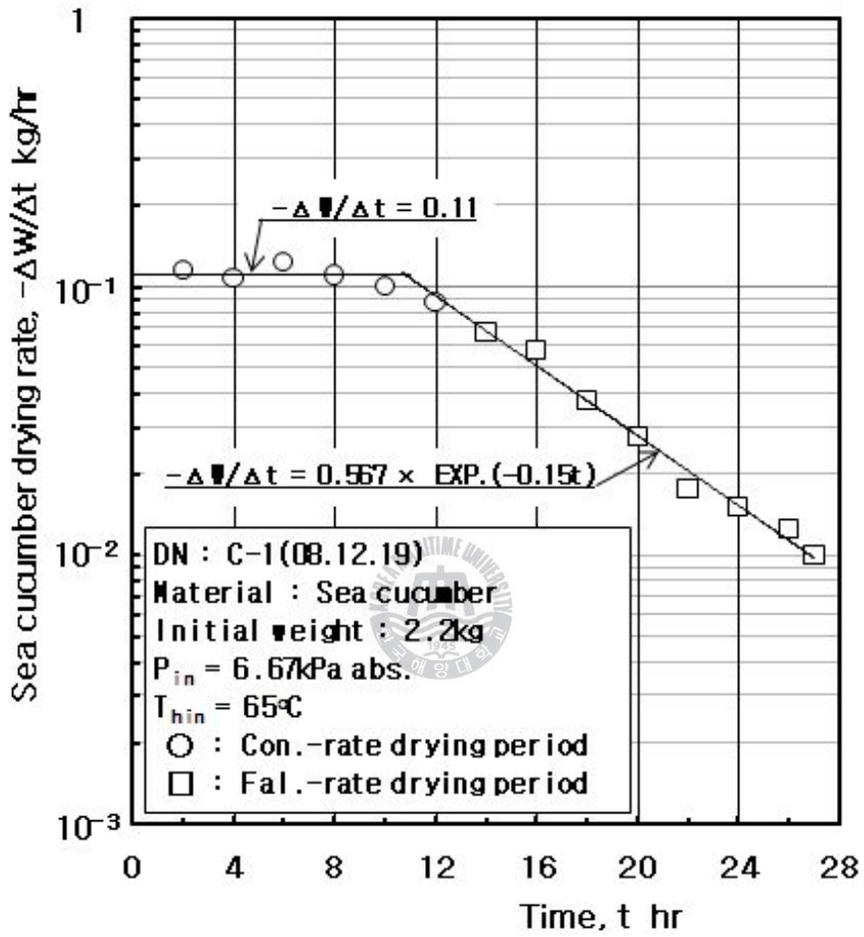


Fig. 4.13 Variation of weight reducing rate of sea cucumber on the No.5 plate(DN:C-1).

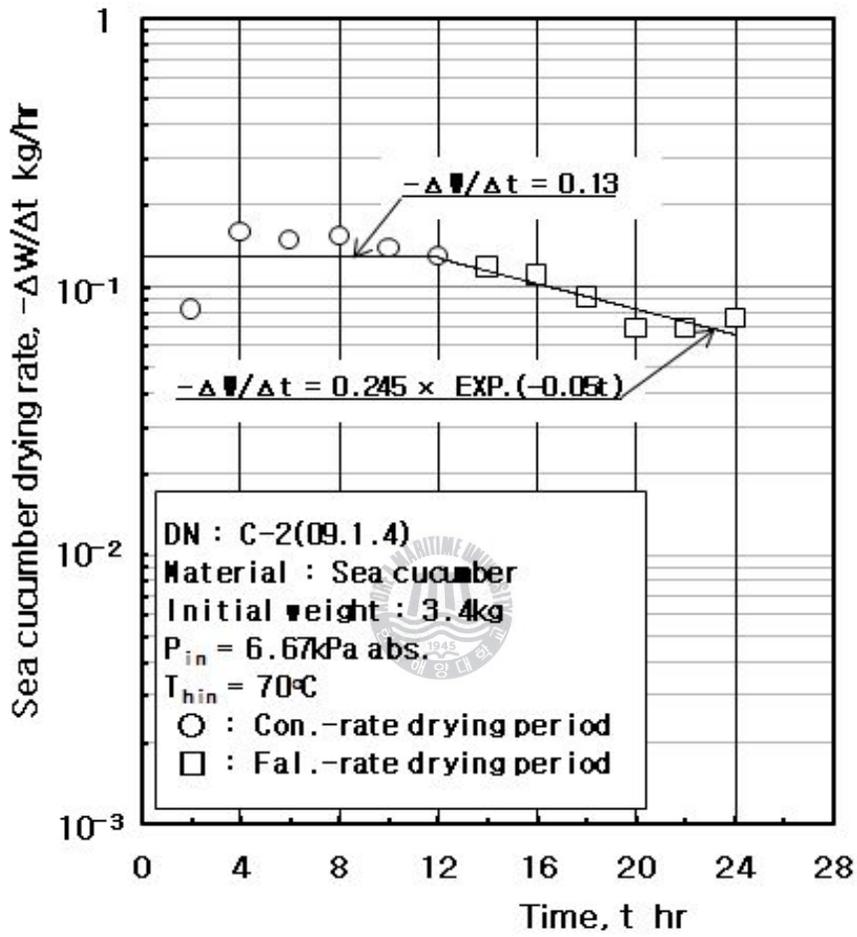


Fig. 4.14 Variation of weight reducing rate of sea cucumber on the No.5 plate(DN:C-2).

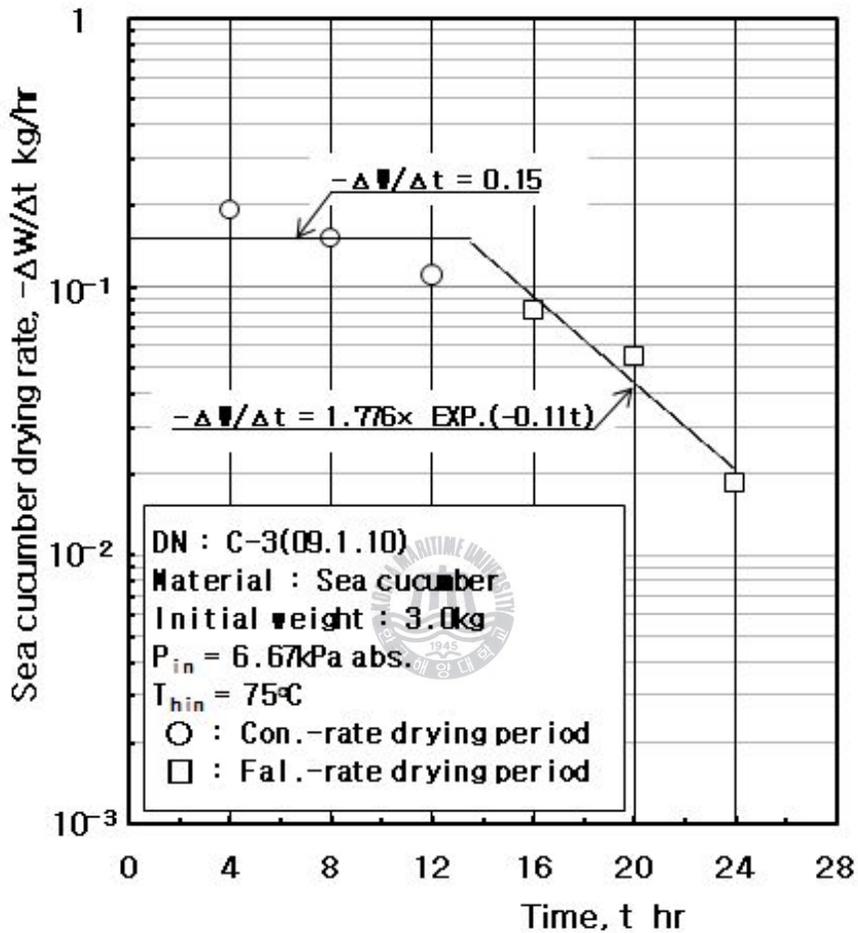


Fig. 4.15 Variation of weight reducing rate of sea cucumber on the No.5 plate(DN:C-3).

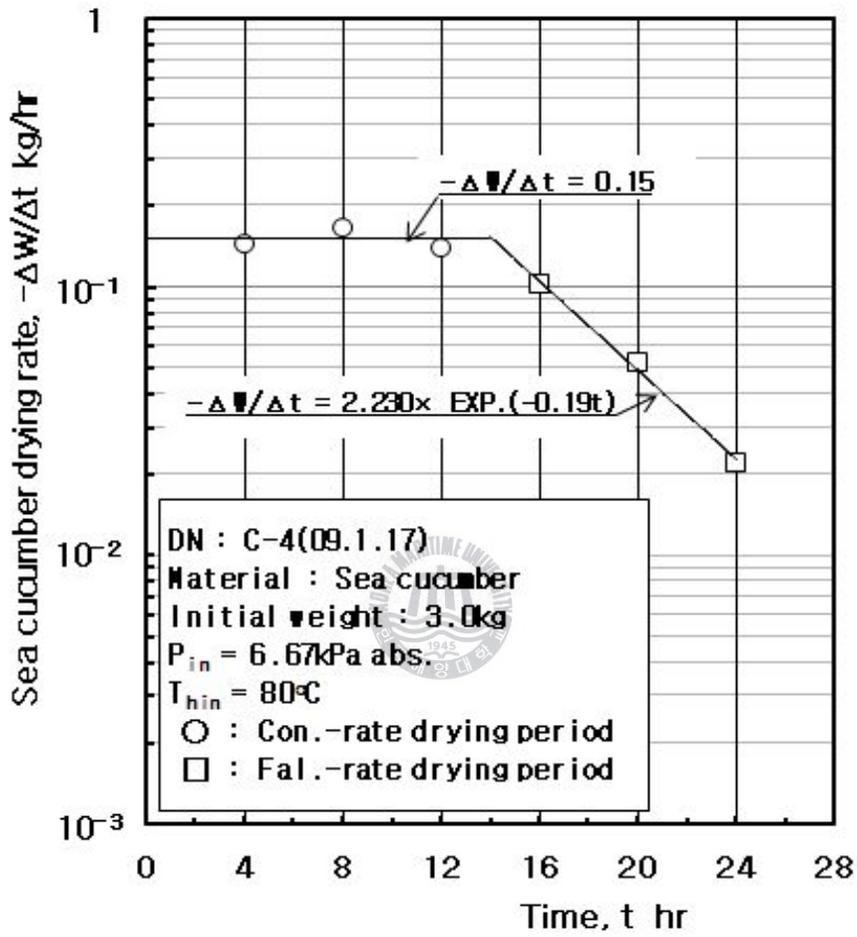


Fig. 4.16 Variation of weight reducing rate of sea cucumber on the No.5 plate(DN:C-4).

## 4.5 열 프릭스의 변동

해삼 건조용 저온진공건조기를 실제로 설계, 실용화하기 위해서는 우선 건조판 단위면적당의 전열량을 예측해야만 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 열 프릭스의 변동을 구할 수 있다.

$$q = \frac{1}{A} \left( -\frac{\Delta W_T}{\Delta t} \right) H_{fg} \quad (4.10)$$

여기서  $H_{fg}$ 는 수분의 증발잠열을, 그리고  $A$ 는 건조판의 면적을 나타낸다. 그러므로 식(4.10)을 이용하여, Fig. 4.17~Fig. 4.20과 같이 정리할 수 있다. 그림에서 보는 바와 같이, 항울건조기간 동안의 단위면적당의 열 프릭스는 거의 일정한 값이 되며, 감울건조기간에 대하여는 역시 지수적으로 감소함을 알 수 있다.

Fig. 4.17~Fig. 4.20은, Fig. 4.13~Fig. 4.16의 무게감소율 데이터를 이용하여, 실험 시간의 경과에 따른 열 프릭스 변동을 그래프로 도시한 것이다. 항울 건조기간, 즉 건조 개시후 약 10시간 건조가 매우 활발히 진행되는 동안에는 약  $750\sim 850\sim 1070\sim 997 kJ/m^2 hr$ 의 열 프릭스를 갖음을 알 수 있다. 여기서 전열면적은 가상적인 전열면적으로서, 물질전달이 일어나는 해삼의 표면적이 아니고 건조판의 넓이임을 밝혀둔다. 감울 건조기간 동안에는 수분의 증발율이 점차 감소하므로 열 프릭스도 이에 비례하여 지수적으로 감소하는 것을 알 수 있다.

Table 4.3은 실험결과의 상관관계식을 정리하여 나타내었다.

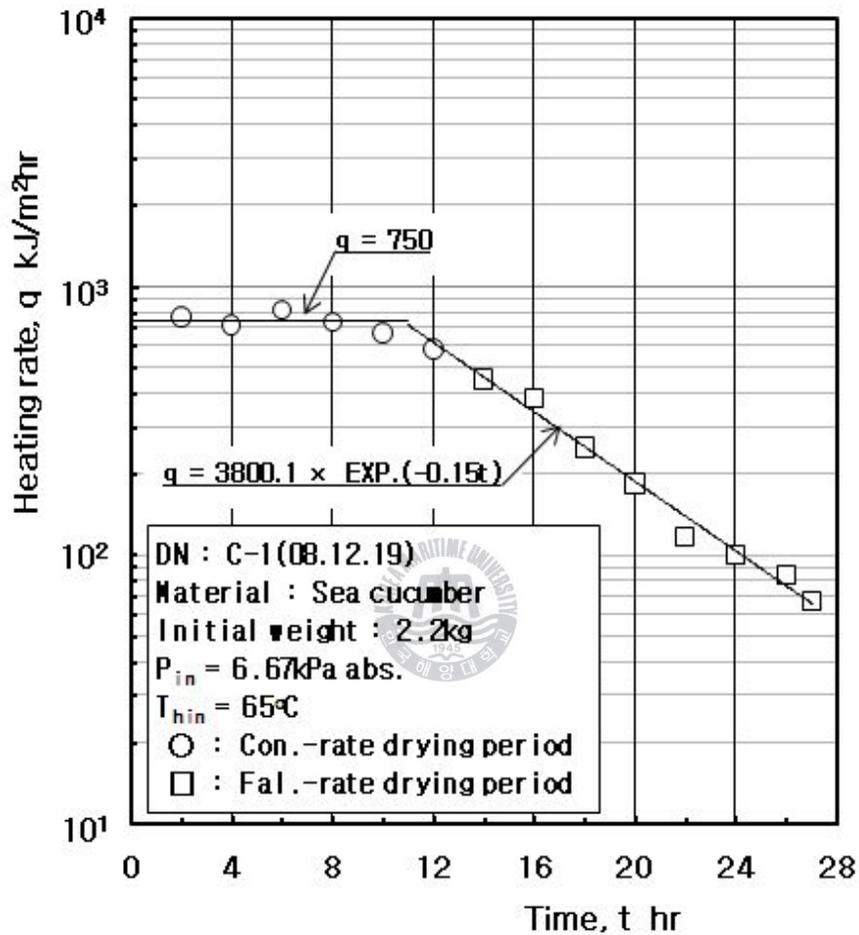


Fig. 4.17 Variation of heat flux of vacuum drying of sea cucumber on the No.5 plate(DN:C-1).

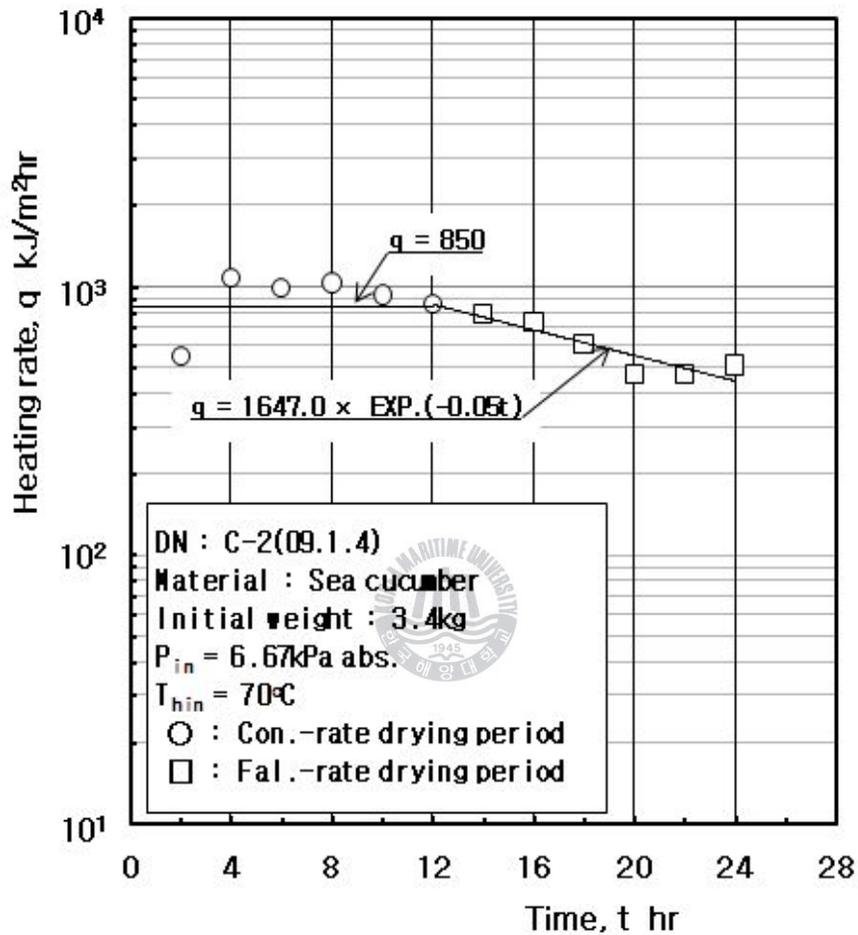


Fig. 4.18 Variation of heat flux of vacuum drying of sea cucumber on the No.5 plate(DN:C-2).

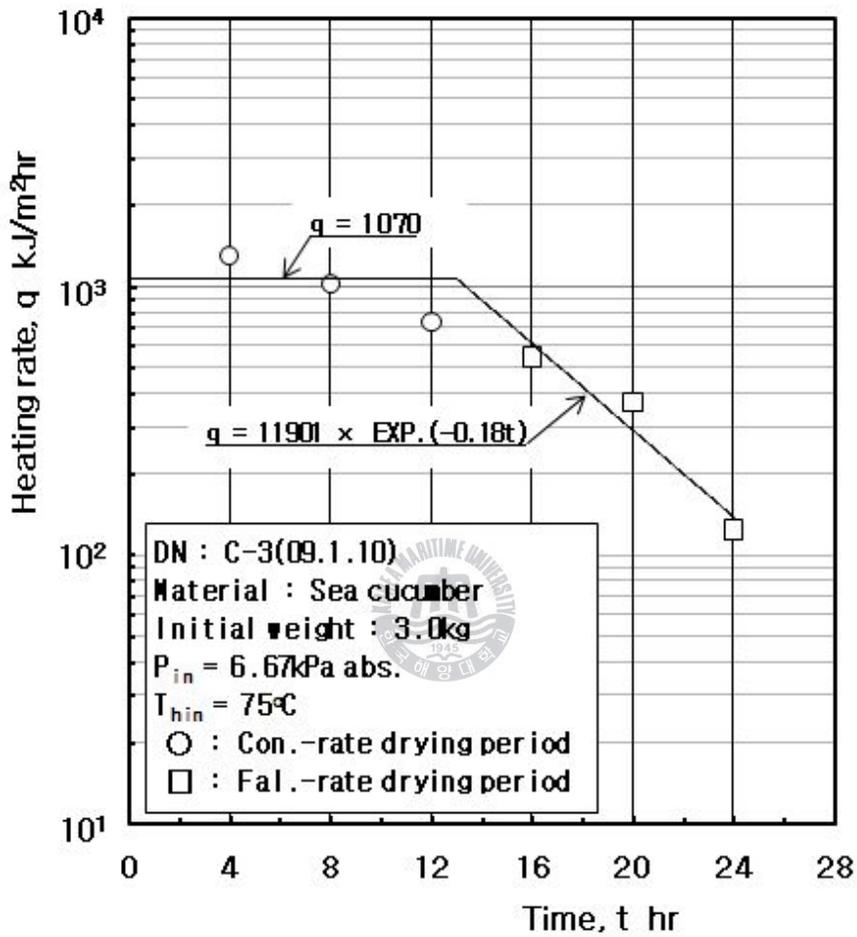


Fig. 4.19 Variation of heat flux of vacuum drying of sea cucumber on the No.5 plate(DN:C-3).

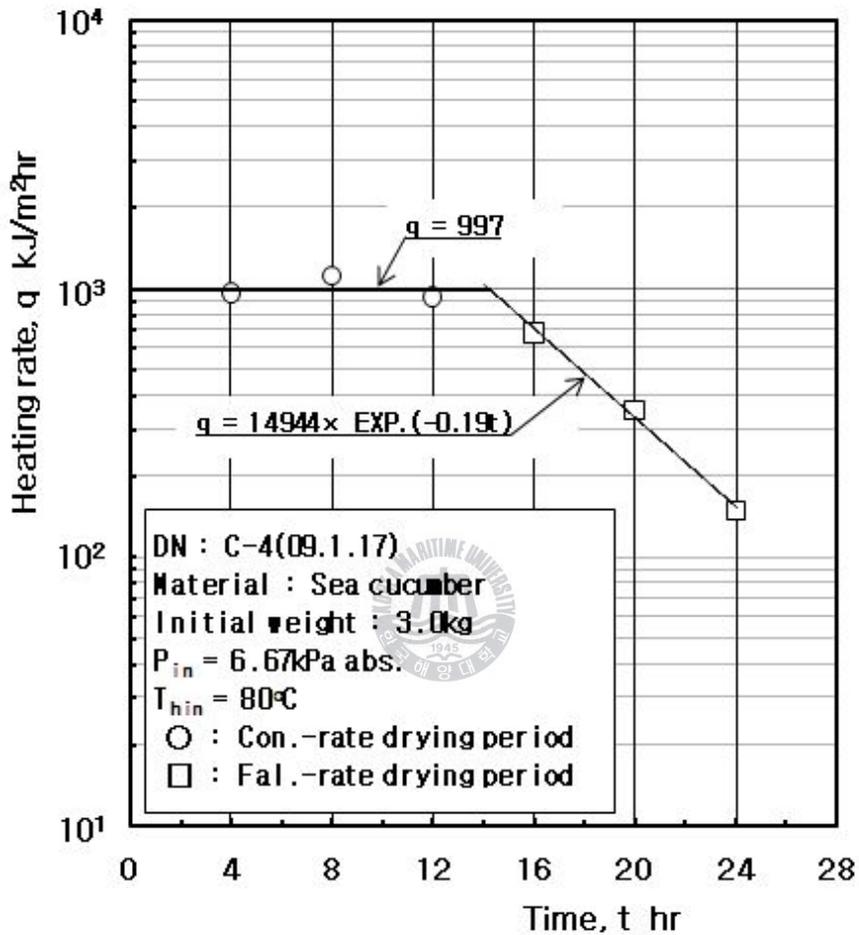


Fig. 4.20 Variation of heat flux of vacuum drying of sea cucumber on the No.5 plate(DN:C-4).

Table 4.3 Empirical equation of heat flux

DATA NO.	$q, kJ/m^2 hr$	
	Constant-rate drying period	Falling-rate drying period
C-1	$q = 750$	$q = 3800.1 \times \text{EXP.}(-0.15t)$
C-2	$q = 850$	$q = 1647.0 \times \text{EXP.}(-0.05t)$
C-3	$q = 1070$	$q = 11901 \times \text{EXP.}(-0.18t)$
C-4	$q = 997$	$q = 14944 \times \text{EXP.}(-0.19t)$

#### 4.6 수분의 평균 증발속도 변동

액체에서 기체로 증발 하는 소위 비등열전달에서는, 생성된 기포가 전열면을 이탈할 때 전열면 표면 근처의 난류상태를 촉진시킨다. 따라서 비등열전달의 열전달율을 결정하는 중요한 인자중의 하나는 증기의 증발속도이다. 그러나 생체 건조에서는 생체의 상태를 온전히 보존시켜야 하기 때문에 증기의 증발속도를 지나치게 증가시켜서는 안 되며, 따라서 과열도(wall super heat)를 너무 높여서는 안 된다.

한편, 해삼에서 증발한 수분은 건조내부의 진공압력에 상당하는 체적으로 팽창하여 해삼을 이탈하게 된다. 본 연구와 같은 저온진공건조기에서는 압력이 낮으므로 발생한 증기의 비체적이 매우 크며, 발생한 증기는 진공추기장치를 통하여 외부로 배출되어야 한다.

이러한 의미에서 건조판을 기준면적으로 하여, 건조판 단위 표면적당의 수분의 증발속도(boiling Velocity)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$u = \frac{q}{H_{fg}} \cdot v'' \quad (4.11)$$



여기에서  $H_{fg}$ 는 해당진공압력에서 수분의 증발잠열을,  $q$ 는 건조판 표면적 기준의 열프럭스를 의미한다.

Fig. 4.21~Fig.4.24에는 식(4.11)을 이용하여 계산한 증발속도를 보여준다. 그림으로부터 알 수 있듯이, 실험범위 내에서 항울건조기간 동안의 수분의 증발속도는  $6.2\sim 8.7m/hr$  ( $1.72\sim 2.24mm/sec$ ) 정도이며, 감울건조기간 동안에는 지속적으로 감소하여 최저  $0.6m/hr$  ( $0.17mm/sec$ )까지 감소함을 알 수 있다[App.1].

Table 4.4는 실험결과의 상관관계식을 정리하여 나타내었다.

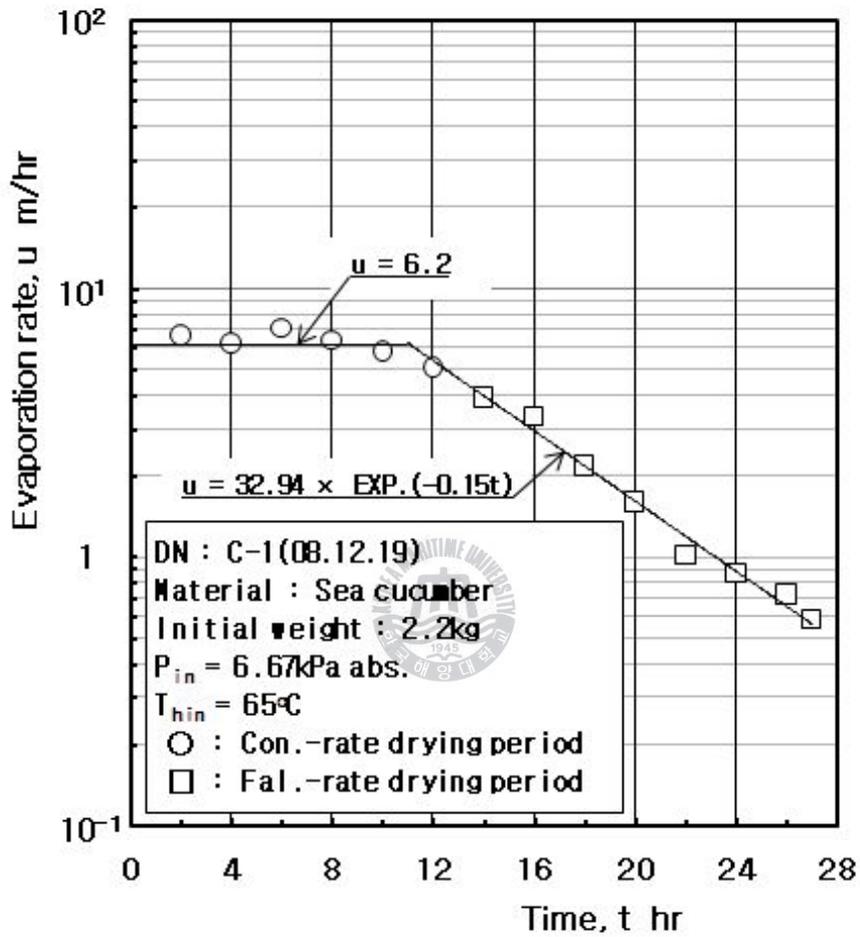


Fig. 4.21 Mean vapor velocity during vacuum drying(DN:C-1).

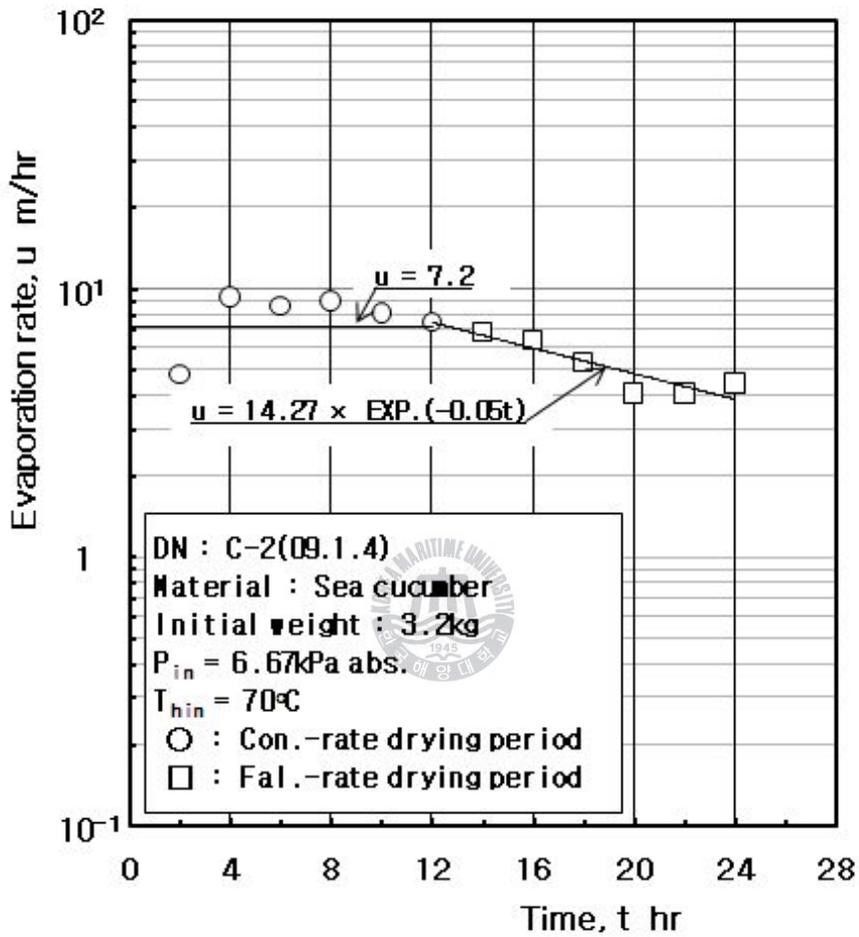


Fig. 4.22 Mean vapor velocity during vacuum drying(DN:C-2).

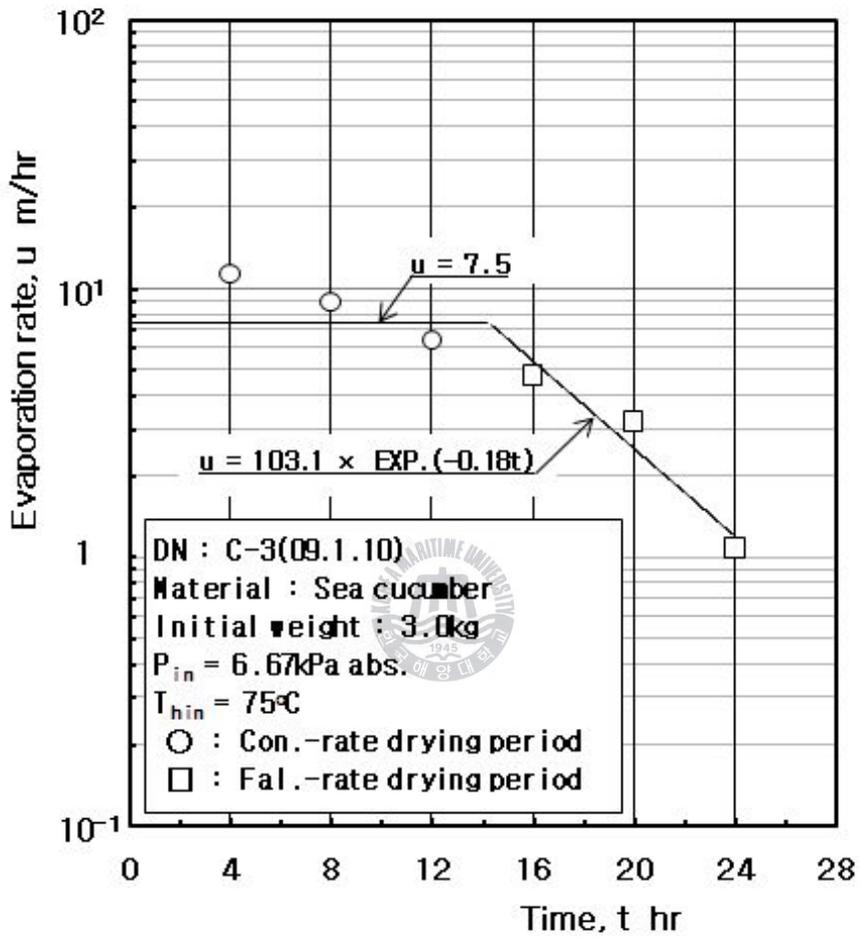


Fig. 4.23 Mean vapor velocity during vacuum drying(DN:C-3).

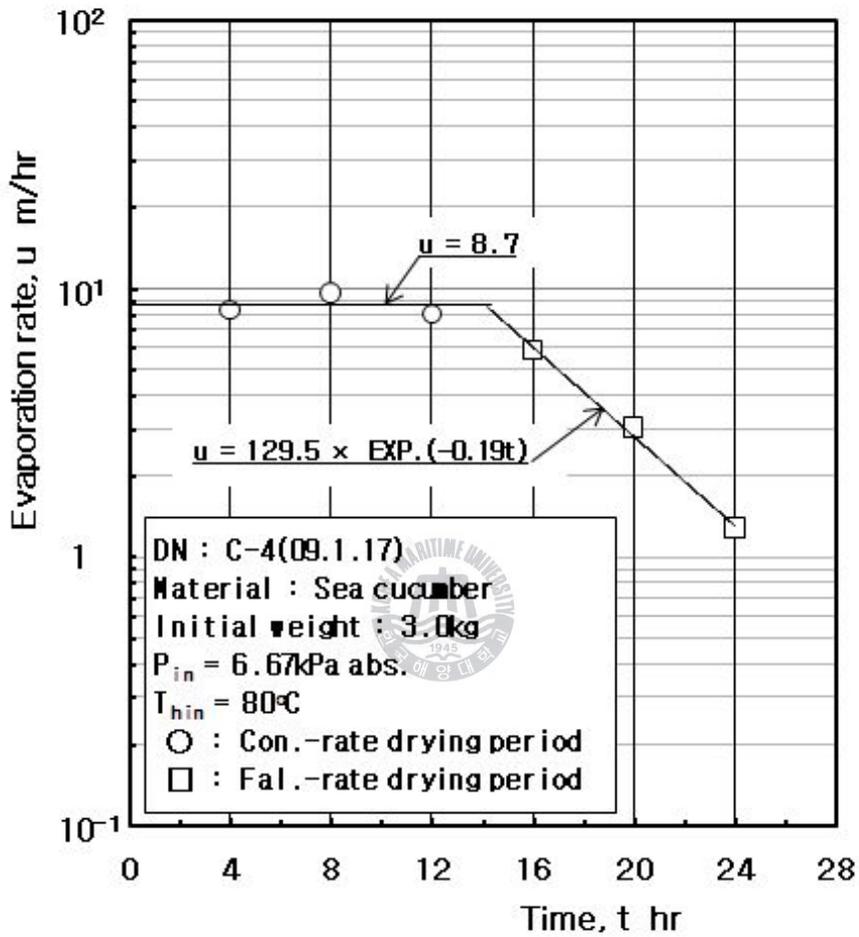


Fig. 4.24 Mean vapor velocity during vacuum drying(DN:C-4).

Table 4.4 Empirical equation of evaporation rate

DATA NO.	$u, m/hr$	
	Constant-rate drying period	Falling-rate drying period
C-1	$u = 6.2$	$u = 32.9 \times \text{EXP.}(-0.15t)$
C-2	$u = 7.2$	$u = 14.3 \times \text{EXP.}(-0.05t)$
C-3	$u = 7.5$	$u = 103.1 \times \text{EXP.}(-0.18t)$
C-4	$u = 8.7$	$u = 129.5 \times \text{EXP.}(-0.19t)$

## 4.7 비등곡선

증발현상을 가장 잘 나타낼 수 있는 그래프가 비등곡선으로서, 단위면적당의 열 플럭스와 벽면 과열도(wall superheat)와의 관계를 정리하여 비등곡선을 나타낼 수 있다.

실험적으로는 전술한 식(4.10)을 이용하여 먼저 열플럭스를 구한다. 또한 벽면 과열도  $\Delta T_s$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta T_s = T_w - T_s \quad (4.12)$$

여기에서  $T_w$ 는 실험에서 측정된 해삼의 표면온도를 나타내는데, 이 값은 미세열전대를 주사기 바늘에 삽입하여, 측정하고자 하는 반대측 해삼의 표피로부터 삽입하여 얇은 외표면 부근의 온도를 해삼의 표면온도로 간주하였다. 또한  $T_s$ 는 해당 진공압력 상태에서의 포화온도이다.

Fig. 4.25~Fig. 4.28은 이와 같이 하여 계산한 비등곡선을 나타내는데, 해삼의 경우 항울건조기간 동안의 최대 열 플럭스는 약  $840 \text{kJ/m}^2 \text{hr}$  정도이며, 벽면과열도가  $10^\circ\text{C}$  이하가 되면서 열 플럭스가 급격히 감소하면서 감울건조기간에 돌입함을 알 수 있다.

한편 식(4.12)와 같이 벽면 과열도가 얻어지면 다음 식과 같이 국소 열 전달율,  $h$ (local heat transfer coefficient,  $\text{kJ/m}^2 \text{hr } ^\circ\text{C}$ )를 구할 수 있다.

$$h = \frac{q}{\Delta T_s} \quad (4.13)$$

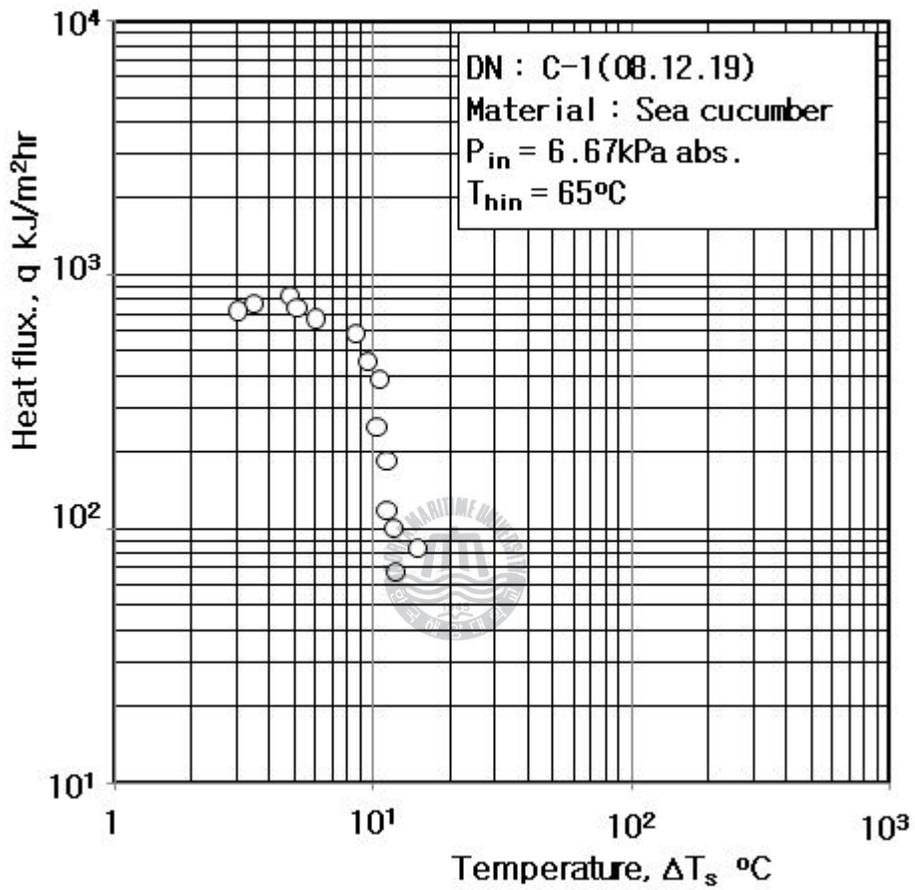


Fig. 4.25 Boiling curve of vacuum drying seacucumber (DN:C-1).

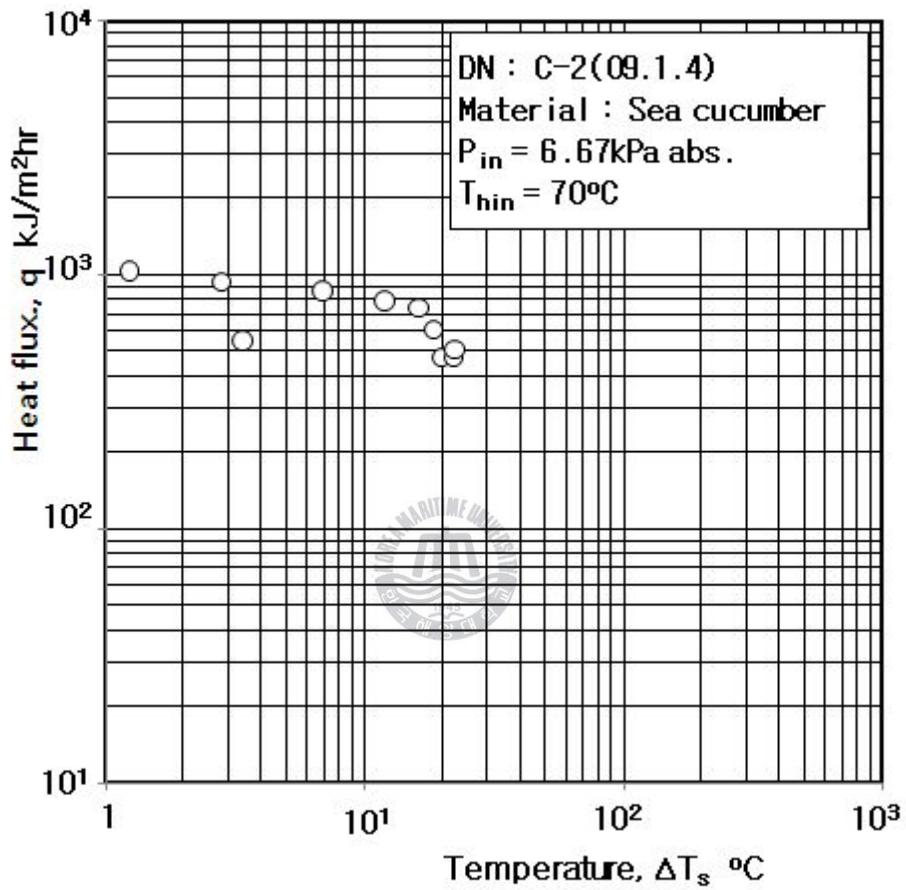


Fig. 4.26 Boiling curve of vacuum drying sea cucumber (DN:C-2).

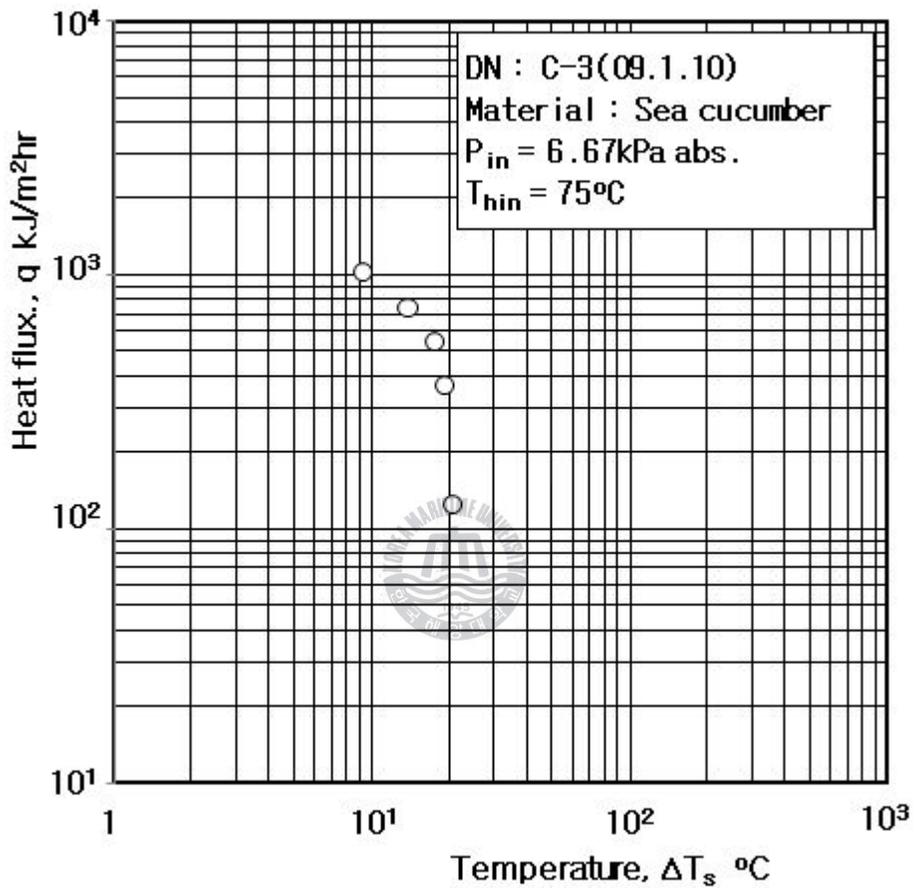


Fig. 4.27 Boiling curve of vacuum drying sea cucumber (DN:C-3).

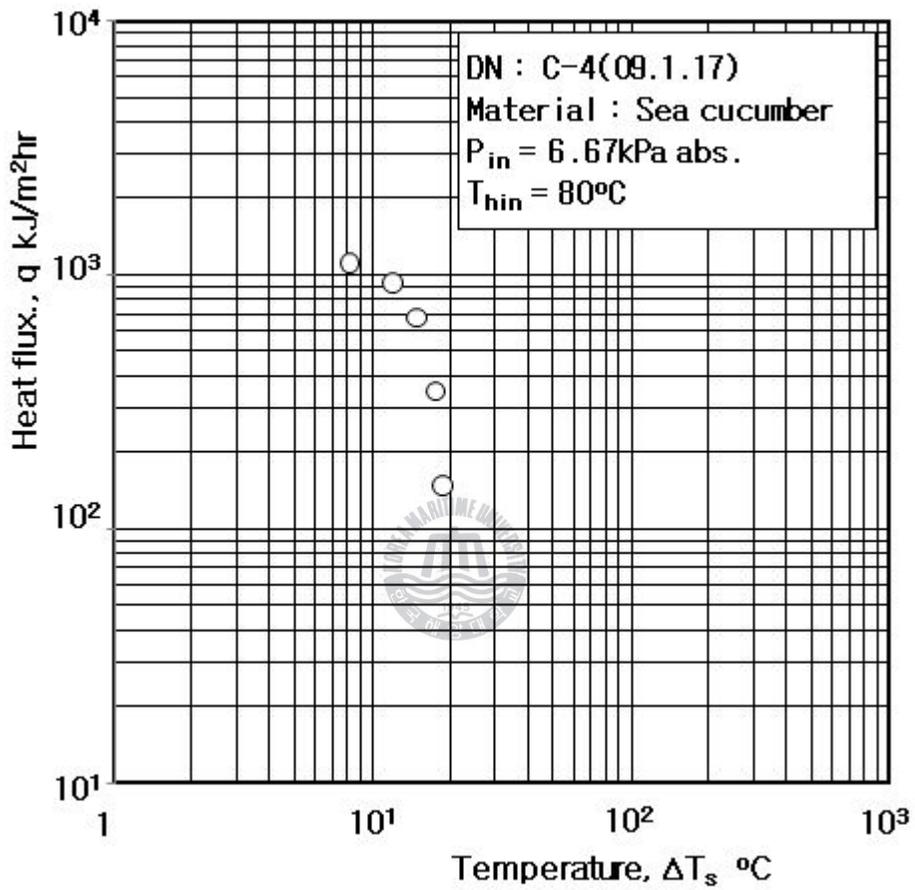


Fig. 4.28 Boiling curve of vacuum drying sea cucumber (DN:C-4).

#### 4.8 건조 진행도에 따른 피건조물의 온도 변동

Fig. 4.29~Fig.4.32는 가열판( $\Delta$ ), 건조기 내부공간( $\diamond$ ), 해삼의 표면( $\circ$ )과 피건조물인 해삼내의 중심부공간( $\square$ )에서 측정된 온도변화를 2시간 간격으로 나타내었다.

Fig. 4.30은 전형적인 온도변화곡선으로서, 건조개시 후 약 2시간이 경과하면 포화온도에 근접하는 온도상승이 완료됨과 동시에 본격적인 증발이 시작되며, 건조시작 후 8~9시간이 경과되면 대부분의 수분이 증발하게 된다. 이 영역 즉, 항울건조기간 동안의 해삼의 온도는 속, 표면의 온도가 거의 일정한 약 35~40℃의 온도로 건조됨을 알 수 있으며, 이는 진공건조 특성상 진공압력에서의 수분의 증발 온도가 낮기 때문이며, 특히 생체 건조의 경우 중요한 요소이다. 또한 시간이 더욱 경과됨과 함께 해삼 내부의 온도가 표면온도와 근접하여 가면서 건조가 완성되어 감을 알 수 있으며, 건조가 거의 완료되는 시점에서는 해삼의 온도와 건조기 내부 온도가 같아짐을 알 수 있는데, 이는 해삼에서 증발되는 수분의 양이 적어짐으로서 온도가 상승하게 된다.

실험범위 전 영역에서 거의 일정한 양상의 온도특성을 나타내었는데 해삼 내부 및 중심부 공간의 온도차는 생해삼 자체의 두께차이, 해삼 전처리 과정에 있어서 삶은 해삼의 삶기 정도의 의한 해삼육의 두께 차이 등으로 인해 약간의 오차는 발생 할 수 있음을 고려해야한다.

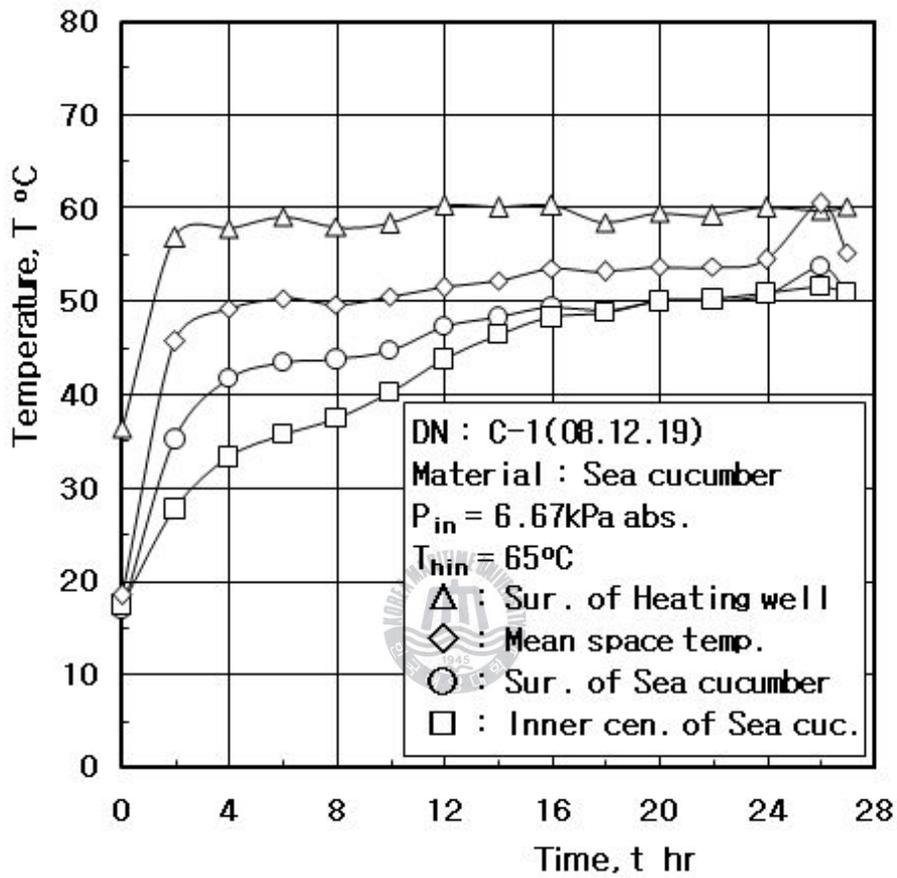


Fig. 4.29 Temperature variation during vacuum drying of sea cucumber(DN:C-1).

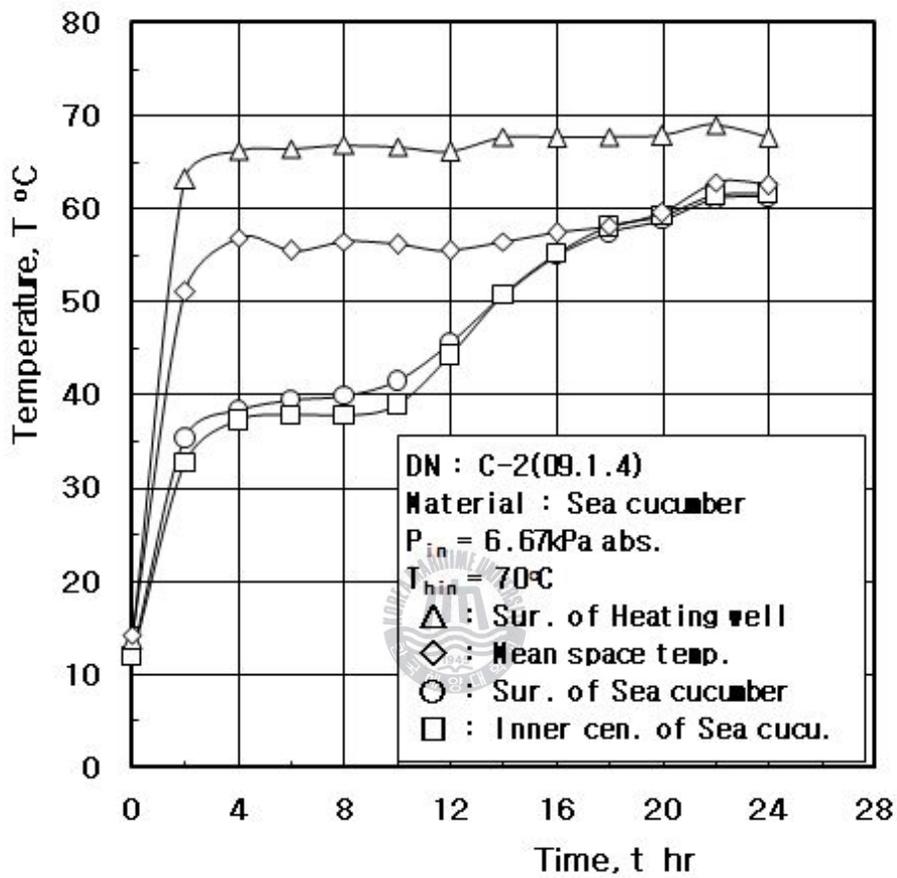


Fig. 4.30 Temperature variation during vacuum drying of sea cucumber(DN:C-2).

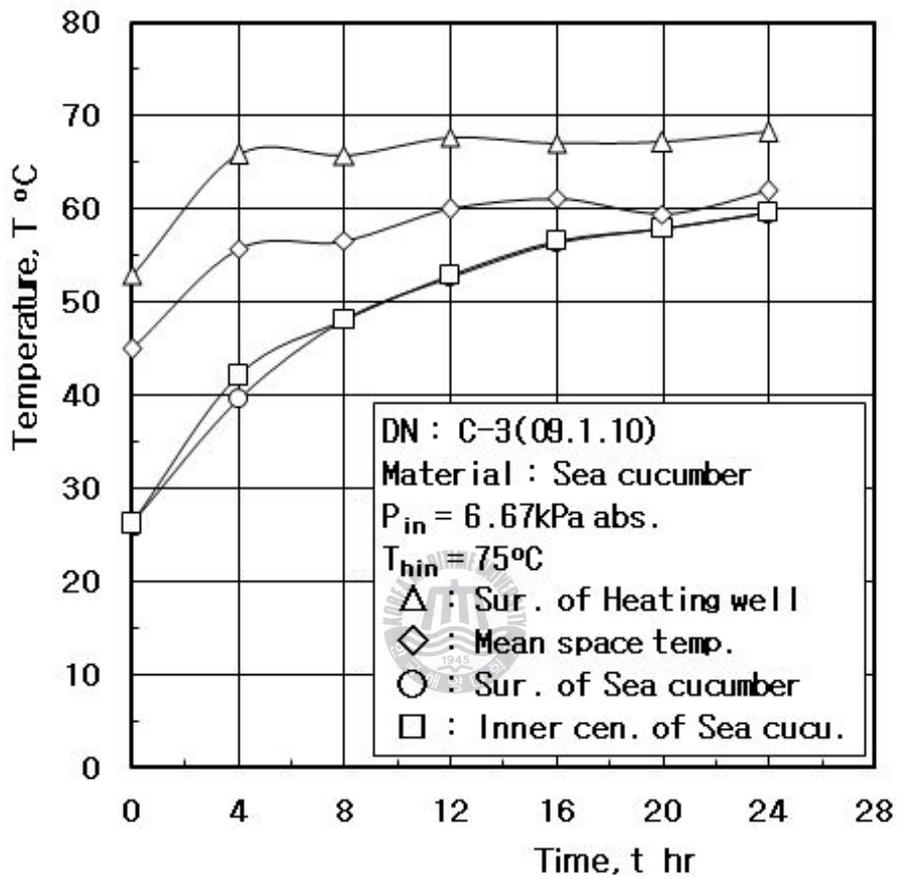


Fig. 4.31 Temperature variation during vacuum drying of sea cucumber(DN:C-3).

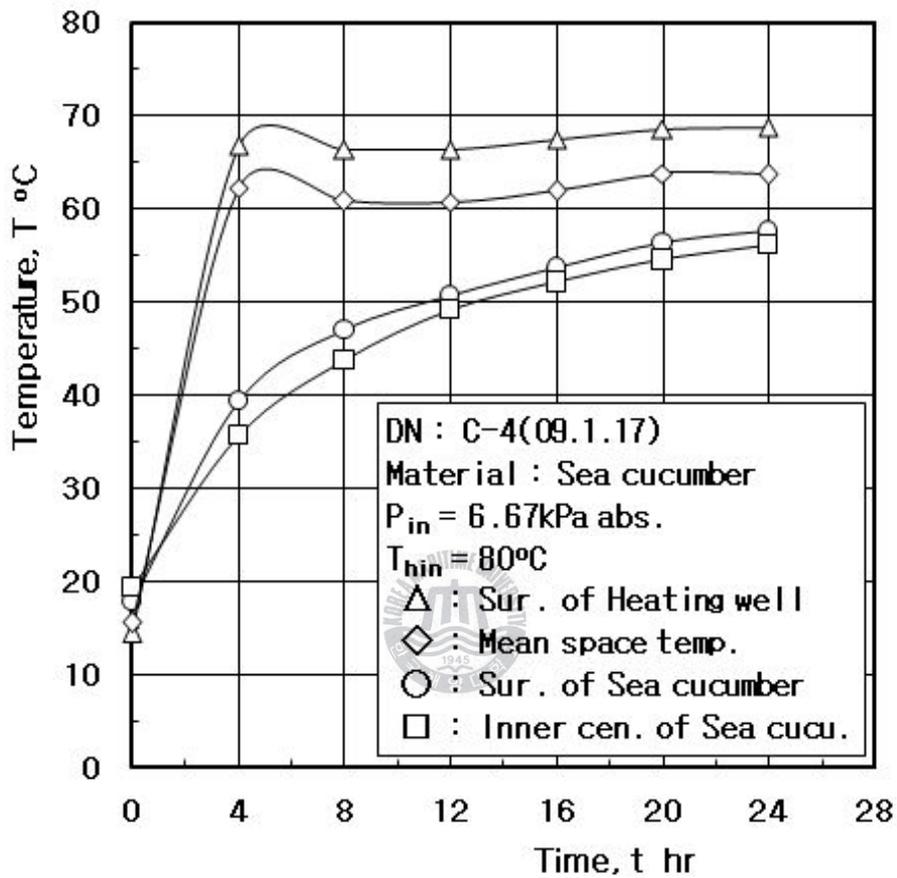


Fig. 4.32 Temperature variation during vacuum drying of sea cucumber(DN:C-4).

#### 4.9 최종 수율 및 경제성 분석결과

건해삼의 생산공정에서 가장 중요한 것은 물론 품질 좋은 건해삼을 생산하는 것이지만, 경제성(수익) 또한 확보하기 위하여서는 수율(100kg의 생해삼을 건조하여 몇 kg의 건해삼이 얻어지는가?)이 가장 중요한 또 하나의 변수이다. 일반적인 건조물은 전처리 및 분처리 공정과 무관하게 함수율만으로 수율이 결정되지만, 해삼의 경우는 알카리성 식품이기 때문에 전처리 및 분처리 공정에서 육의 손실이 발생되면 바로 수율의 하강으로 직결된다.

따라서 본 연구에서는 수율의 증대와 품질개선을 위하여 수많은 실험을 반복적으로 수행하였다. 초기의 수율은 1% 대이었지만, 부단한 실험적 연구를 통하여 수율이 3%대로 향상되었으며, 어떠한 조건에서도 3.3% 정도의 수율을 안정적으로 확보할 수 있는 연구 성과를 얻었으며, 이 값은 후술하는 경제성 분석의 가장 중요한 Factor로서 사용하였다.

Table 4.5(a)는 30마리의 해삼을 이용하여, 생해삼 전체의 무게, 분리되는 내장 무게, 배속 물의 무게의 비율, 삶은 후 육의 무게, 완전 건조후의 육의 무게 등을 정밀하게 분석한 결과 중에서 특히 수율에 중점을 두어 실험데이터를 재정리한 것이다. 표로부터 알 수 있듯이, 개개 해삼의 수율은 상당히 램덤하지만, 평균적인 수율은 1.99% 정도로 평가되었다.

또한 중요한 다른 하나의 문제는 건조 후의 색상이 문제이었는데, 생해삼 색깔이 어느 경우를 막론하고도 최종적으로는 검정색의 건해삼을 얻을 수 있었다.

Table 4.5(b)는 수율데이터의 신뢰도를 높이기 위하여, 1판 또는 여러 판을 이용하여 10~30kg, 정도의 해삼을 동시에 처리하여 얻어진 실험데이터들을 나타낸다. 물론 이 일련의 실험과정에서는 수율의 향상과 품질향상을 위하여 다양한 전처리 및 후처리 공정이 설정되었음을 밝히며, 결과적으로는 최대 3.87%, 안정적으로는 3.3%의 수율을 얻을 수 있었으며, 최종함수율은 약 4.2%임을 확인하였다

Table 4.5(a) Yield-measure results of individual sea cucumber.

시료 번호	구분	년	월	일	생해삼전 체무게 (gr)	건조직후 무게 (gr)	건조직후 수율 (%)	전처리 공정	비고
1	객체실험	9	3	21	220	4	1.82	생략	
2	객체실험	9	3	21	306	8	2.61	생략	
3	객체실험	9	3	21	262	2	0.76	생략	
4	객체실험	9	3	21	170	4	2.35	생략	
5	객체실험	9	3	21	374	2.5	0.67	생략	
6	객체실험	9	3	21	262	4	1.53	생략	
7	객체실험	9	3	21	214	4	1.87	생략	
8	객체실험	9	3	21	292	2	0.65	생략	
9	객체실험	9	3	21	292	6	2.05	생략	
10	객체실험	9	3	21	224	2	0.92	생략	
11	객체실험	9	3	21	350	4	1.14	생략	
12	객체실험	9	3	21	222	6	2.70	생략	
13	객체실험	9	3	21	264	6	2.27	생략	
14	객체실험	9	3	21	260	6	2.31	생략	
15	객체실험	9	3	21	256	6	2.34	생략	
16	객체실험	9	3	21	520	10	1.92	생략	
17	객체실험	9	3	21	196	4	2.04	생략	
18	객체실험	9	3	21	170	4	2.35	생략	
19	객체실험	9	3	21	136	6	4.41	생략	

(To be continued)

시료 번호	구분	년	월	일	생해삼전 체무게 (gr)	건조직후 무게 (gr)	건조직후 수율 (%)	전처리 공정	비고
20	객체실험	9	3	21	114	4	3.51	생략	
21	객체실험	9	3	21	390	10	2.56	생략	
22	객체실험	9	3	21	358	8	2.29	생략	
23	객체실험	9	3	21	242	6	2.48	생략	
24	객체실험	9	3	21	208	4	1.92	생략	
25	객체실험	9	3	21	226	4	1.77	생략	
26	객체실험	9	3	21	336	6	1.78	생략	
27	객체실험	9	3	21	384	10	2.60	생략	
28	객체실험	9	3	21	384	8	2.08	생략	
29	객체실험	9	3	21	328	8	2.44	생략	
30	객체실험	9	3	21	312	6	1.92	생략	
	<b>평균</b>				<b>8,272</b>	<b>164.5</b>	<b>1.99%</b>		

Table 4.5(b) Yield-measure results of mass sea cucumber.

시료 번호	구분	년	월	일	생해삼전 체무게 (gr)	건조직후 무게 (gr)	건조직후 수율 (%)	전처리 공정	비고
A-1	1판평균실험	9	3	24	<sup>74</sup> 마리/10kg	238	2.38	생략	
A-2	1판평균실험	9	3	24	<sup>67</sup> 마리/10kg	188	1.88	생략	
A-3	1판평균실험	9	3	24	<sup>67</sup> 마리/10kg	242	2.42	생략	
A-4	1판평균실험	9	3	24	<sup>73</sup> 마리/10kg	248	2.48	생략	
A-5	1판평균실험	9	3	24	<sup>98</sup> 마리/10kg	254	2.54	생략	
<b>A</b>	<b>판평균</b>				<b>50,000</b>	<b>1170</b>	<b>2.44%</b>	<b>생략</b>	
B-1	홍삼	9	3	24	450	14	3.11	생략	
B-2	홍삼	9	3	24	480	14	2.92	생략	
B-3	홍삼	9	3	24	312	8	2.56	생략	
B-4	홍삼	9	3	24	162	6	3.70	생략	
C-1	집단해삼	9	5	31	30	1.014	<b>3.38</b>	생략	
C-2	집단해삼	9	6	12	2.274	0.310	1.36	생략	
C-3	집단해삼	9	6	7	40	1.362	3.54	생략	
C-4	집단해삼	9	6	8	6	0.216	3.60	생략	
C-5	집단해삼	9	6	13	32.566	1,262	<b>3.87</b>	생략	
C-6	집단해삼	9	6	13	1.262	0.282	0.22	생략	
C-7	집단해삼	9	6	19	60	2.022	3.37	생략	
C-8	집단해삼	9	6	26	12	0.456	<b>3.80</b>	생략	

(To be continued)

시료 번호	구분	년	월	일	생해삼전 체무게 (gr)	건조직후 무게 (gr)	건조직후 수율 (%)	전처리 공정	비고
C-9	물렁해삼	9	6	26	1.506	0.222	14.70	생략	
C-10	단단해삼	9	6	26	1.356	0.234	17.20	생략	
C-11	전복	9	7	7	1	0.88	8.80	생략	전복
C-12	집단해삼	9	7	5	10	880	8.80	생략	
C-13	집단해삼	9	7	13	10	1.08	10.80	생략	
C-14	aT샘플	9	8	24	15,000	750	5.00	생략	바이 어용 샘플
C-15	aT샘플	9	8	24	10,000	450	0.45	생략	바이 어용 샘플
C-16	러시아 해삼	9	8	29	40,000	1,756	4.39	생략	육만
C-17	러시아 해삼	9	8	29	40,000	1.154	2.89	생략	내장 만
C-18	러시아 해삼	9	8	29	40,000	2.910	7.28	생략	육과 내장 전체

Table 4.6은 본 연구를 통하여 건해삼을 생산할 경우, 연간 해삼 전용 저온진공건조기 1대를 70% 가동율로 1년간 운전할 경우의 종합적인 경제성 분석결과를 정리하여 나타낸 것이다. 생산원가에 고려된 사항은 원재료 구입비, 전처리를 위한 인건비, 에너지비용, 건조기 구입이자비용, 구입비상환금, 부대장비 사용료, 수도료, 포장비이며, 이들의 값은 그동안의 시장조사결과 등에 근거하여 높은 신뢰도를 갖는다. 다음으로 건해삼 판매에 의한 수익금은 근본적으로 제품의 품질과 수율에 밀접히 관계되므로, 경우-1,2,3,4로 나누어 정리하였다. 외국 시장조사 결과 등을 감안하면 본 저온진공 건해삼의 도매가격은 60~100만원/건1-kg 범위에서 설정됨이 타당하다고 사료된다.

Table 4.6 Economic analysis results of vacuum dryer.

번호	계산항목	금액 (만원/회)	계 산 근 거	비 고
1	원재료(생해삼) 구입비	180	$180\text{kg} \times 1.0\text{만원/kg/회} =$	
2	전처리 인건비	4.5	$180(\text{kg/회}) / 20(\text{kg/hr}) / 10\text{hr} \times 5(\text{만원/일}) =$	20(kg/인/시)처리능력 , 5만원/일(10시간)
3	에너지 비용	2.1	$3\text{kW} \times 72 \text{ hr/회} \times 100\text{원/kWhr} =$	전력3kw/hr, 전력요금100원/kwh, 72hr소요
4	건조기구입 이자지급	2.9	$(7,000\text{만원}/2) \times 0.07 / (365 \times 0.7/3\text{일/회}) =$	건조기구입비(7,000만원) , 이율 7%, 가동율 70%, 1회/3일 소요
5	건조기 구입비 상환금	8.4	$7,000\text{만원}/7\text{년} / (365 \times 0.7/3\text{일/회}) =$	상환기간 7년, 균등상환
6	부대장비 사용료	0.3	$2.9\text{만원} \times 10\% =$	건조기 이자비용의 1/10 수준 가정
7	수도료	0.1	$1000\text{원/톤} \times 1\text{톤/회} =$	1,000원/톤
8	포장/물류비	1.7		
9	건해삼 생산량	0	$180\text{kg/회} \times 3.3\% =$	수율(3.3%)
10	원가합계	200	생산원가(원재료 외 제비용 : 22만원/회)	1회 생해삼 180kg 건조시 전체비용
11	(경우-1) 건해삼 판매금액	238	$5.94\text{kg/회} \times 40\text{만원/kg} =$	수율(3.3%), 40만원/건1-kg
12	(경우-2) 건해삼 판매금액	356	$5.94\text{kg/회} \times 60\text{만원/kg} =$	수율(3.3%), 60만원/건1-kg
13	(경우-3) 건해삼 판매금액	475	$5.94\text{kg/회} \times 80\text{만원/kg} = 475\text{만원/회}$	수율(3.3%), 80만원/건1-kg
14	(경우-1) 건해삼 판매금액	594	$5.94\text{kg/회} \times 100\text{만원/kg} =$	수율(3.3%), 100만원/건1-kg
15	(경우-1) 1회 건조 이득금	36만원/회	$238 - 200 = 38\text{만원/회} = 12\text{만원/일} = 3,060\text{만원/년}$	수율(3.3%), 40만원/건1-kg, $36/180 = 20\%$
16	(경우-2) 1회 건조 이득금	154만원/회	$356 - 200 = 156\text{만원/회} = 51\text{만원/일} = 13,090\text{만원/년}$	수율(3.3%), 60만원/건1-kg, $154/180 = 85\%$
17	(경우-3) 1회 건조 이득금	273만원/회	$475 - 200 = 275\text{만원/회} = 91\text{만원/일} = 23,205\text{만원/년}$	수율(3.3%), 80만원/건1-kg, $273/180 = 152\%$
18	(경우-4) 1회 건조 이득금	392만원/회	$594 - 200 = 392\text{만원/회} = 131\text{만원/일} = 33,320\text{만원/년}$	수율(3.3%), 100만원/건1-kg, $392/180 = 218\%$

## 제5장 실험결과의 고찰

### 5.1 가열수 입구온도의 영향

저온진공건조의 피건조물인 해삼에 관하여 특히 가열수의 온도와 진공압력이 진공건조의 열적 특성에 미치는 영향에 관하여 실험하였다.

Fig. 5.1은 진공압력이  $26.66\text{ kPa abs.}(\pm 2.67\text{ kPa abs.})$ 으로 일정 하고, 가열수의 온도를 80, 75, 70°C로 하였을 경우 무게 변동을 나타낸 것이다. 이들 그림 중 하얗게 칠한 것은 항울건조기간이며, 검게 나타낸 데이터는 감울건조기간을 나타낸다.

이 그림으로부터 알 수 있듯이, 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. 5.2는 Fig. 5.1을 기초로 하여 무게 감소율 즉, 수분의 증발율의 변화를 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 실험범위내에서는 가열수의 온도가 높을수록 항울건조기간 동안의 무게감소율의 절대치가 커지는 것을 알 수 있으며, 가열수 온도 80°C에서의 항울건조기간은 8시간 이고, 75°C일 때 항울건조시간은 11시간이었다. 70°C에서는 항울건조기간이 13시간으로 가열수 온도가 높을 때 건조시간이 적게 소요되었으며, 항물 건조기간도 짧아지고, 건조에 필요한 총 시간도 단축된다는 것을 알 수 있다.

Fig. 5.3은 건조판 단위면적당의 전열량 즉 열프럭스에 가열수의 온도 영향을 나타낸 것이며, Fig. 5.4는 건조판으로부터의 평균적인 수증기의 증발속도에 대한 가열수의 영향을 평가한 것이다. 이 두 그림의 결과는 전술한 Fig. 5.2의 경향과 유사함을 알 수 있다.

Fig. 5.5는 가열수의 온도가 비등곡선에 미치는 영향을 평가한 것으로, 명확하지는 않으나, 같은 열프럭스의 경우에 가열수의 온도가 높을수록 벽

면 과열도가 비교적 높다는 것을 확인할 수 있다.

그러나 본 연구에서와 같은 생체의 건조에서는 영양가, 맛, 색깔을 손상시키지 않는 범위 내에서 건조가 이루어져야 한다는 점에 유의할 필요가 있다.



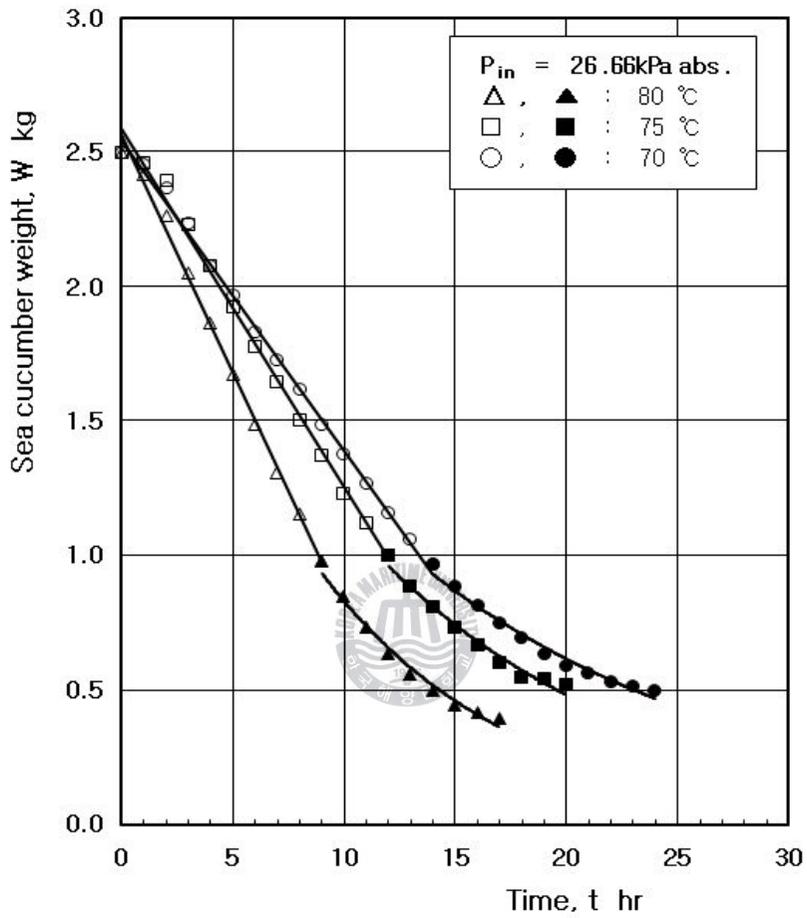


Fig. 5.1 Effect of hot water temperature to sea cucumber weight variation.

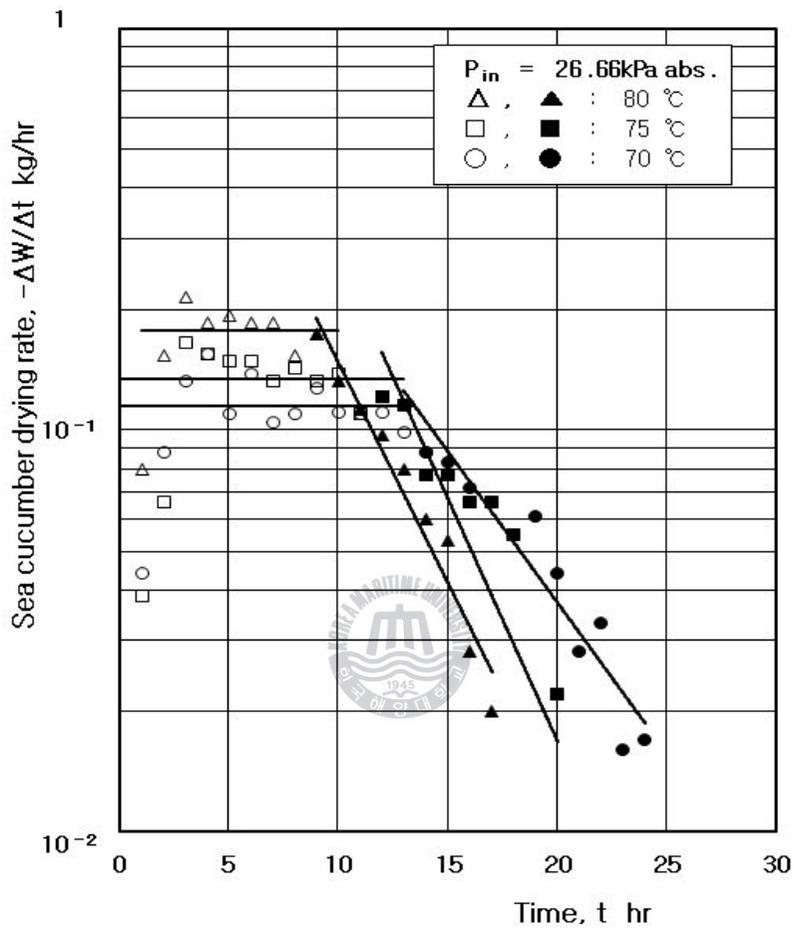


Fig. 5.2 Effect of hot water temperature on reducing rate of sea cucumber weight.

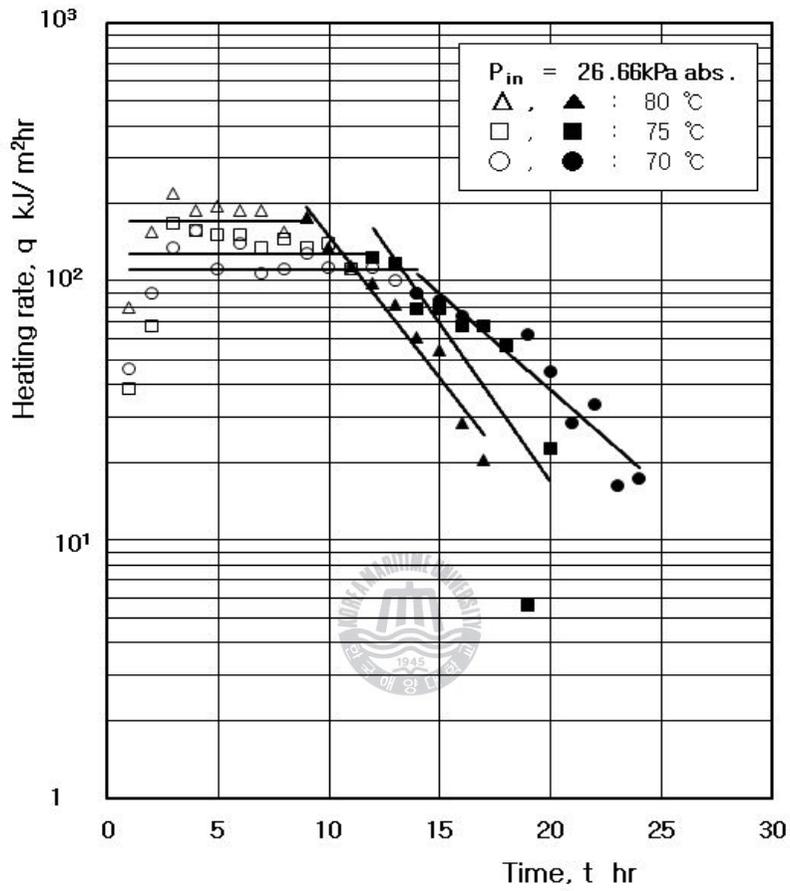


Fig. 5.3 Effect of hot water temperature on heat flux variation.

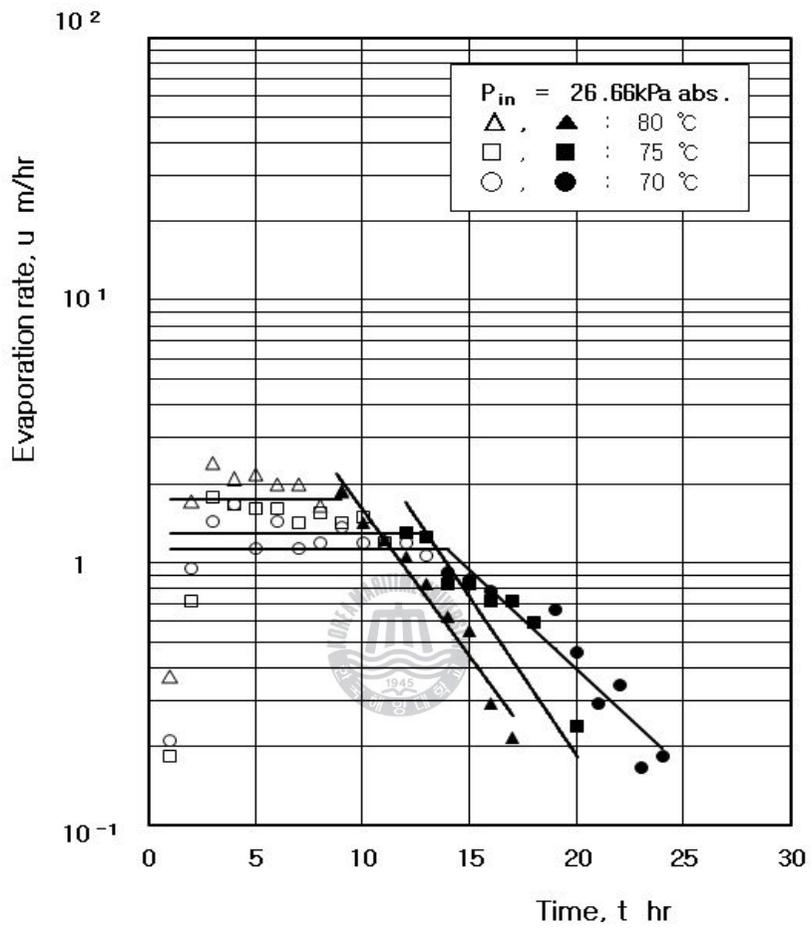


Fig. 5.4 Effect of hot water temperature on vapor speed.

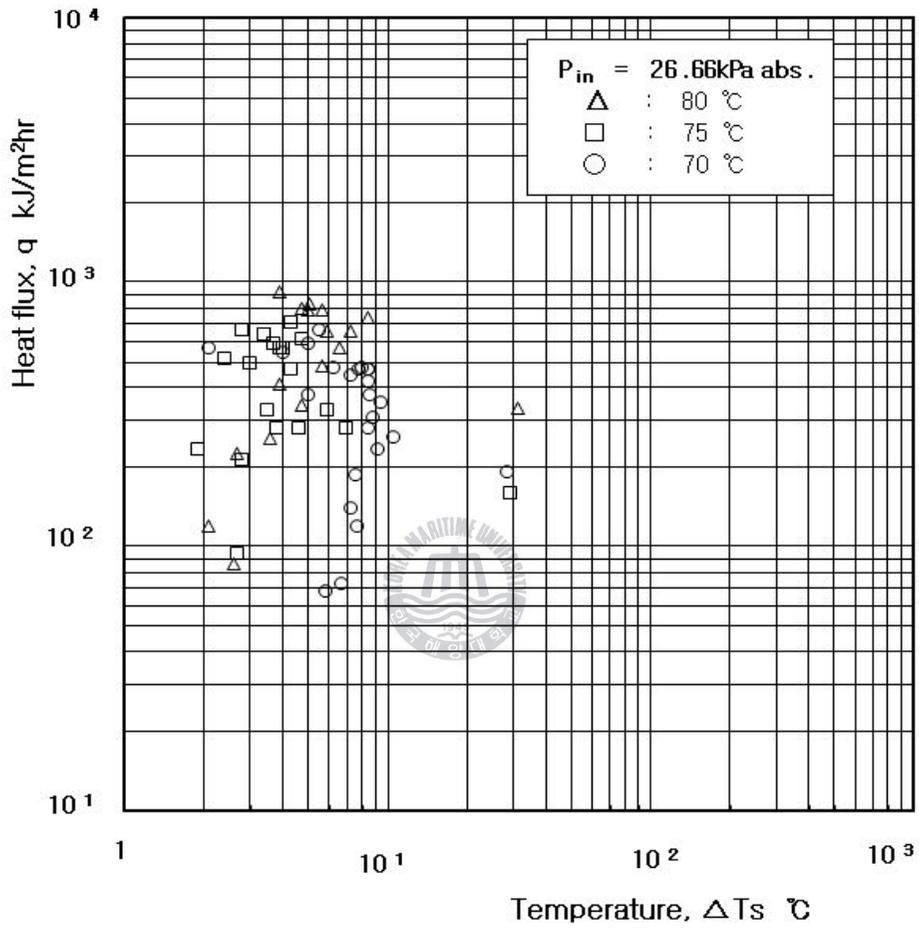


Fig. 5.5 Effect of hot water temperature on boiling curve.

## 5.2 진공도의 영향

Fig. 5.6~Fig. 5.10은 저온진공건조를 하는 경우 진공압력이 건조에 미치는 영향을 평가한 결과들을 나타낸다.

먼저 Fig. 5.6은, 가열수의 온도를 75°C로 일정하게 하고, 변수로서 진공압력을 6.67, 13.33, 26.66 *kPa abs.*로 하여 시간의 경과에 따른 무게 변동을 정리한 것이다. 비교적 진공압력이 높을수록 무게 감소율이 증대함을 알 수 있다.

Fig. 5.7은 무게 감소율 즉, 수분의 증발속도에 대한 진공압력의 영향을 평가한 것이다. 진공압력이 높을수록 항울건조기간 및 감울건조기간 동안의 무게 감소율이 증가함을 알 수 있다. 이는 앞 절의 가열수 온도의 영향보다는 진공압력의 영향에 대해 건조속도차가 적음을 알 수 있다.

Fig. 5.8은 가열판 단위면적당의 열흐름에 대한 진공압력의 영향을 대수그래프로 나타내었다. 압력의 변화시에는 열흐름의 변화가 많았는데, 온도의 변화시에는 열흐름이 적었다. 이것은 온도차가 있을 때보다도 압력차이가 있을 때 무게 감소율이 많기 때문이다.

Fig. 5.9는 증기의 증발속도에 대한 진공압력의 영향을 나타낸다. 건조기 가열판에 공급되는 가열수 온도를 75°C로 하고 압력을 6.67, 13.33, 26.66 *kPa abs.*로 변화시켰을 때 증발속도가 어떻게 변화 되었는가를 나타낸 것이다. 진공용기내의 진공압력이 높을수록, 항울건조 및 감울건조 등 전체 건조과정에서 증발속도가 높았다. 그 이유는 진공압력이 높을수록 수분이 확산 및 이동될 때 저항이 적어지게 되기 때문이다.

Fig. 5.10은 비등곡선 상에서 진공압력의 영향을 평가한 것이다. 가열판에서의 열이 시료에 흐르는 사항을 그래프로 도시하였으며 상기와 같은 조건에서는 재료표면 온도와 포화온도의 차가 4~20°C 정도에 집중되었으며 열흐름은 약 16.7~125.4 *kJ/m<sup>2</sup> hr*이었다. 원인은 진공압력이 높을수록 온도차가 컸으며, 진공압력이 낮을수록 열흐름은 활발했다.

본 실험의 범위 내에서는 저온진공건조에 있어서 진공압력의 영향은 가

열수 온도의 영향보다 건조속도에 미치는 영향이 적음을 정량적으로 확인할 수 있었다.

그림으로부터 알 수 있듯이, 건조속도는 진공도가 클수록 증가하는 것을 알 수 있다.



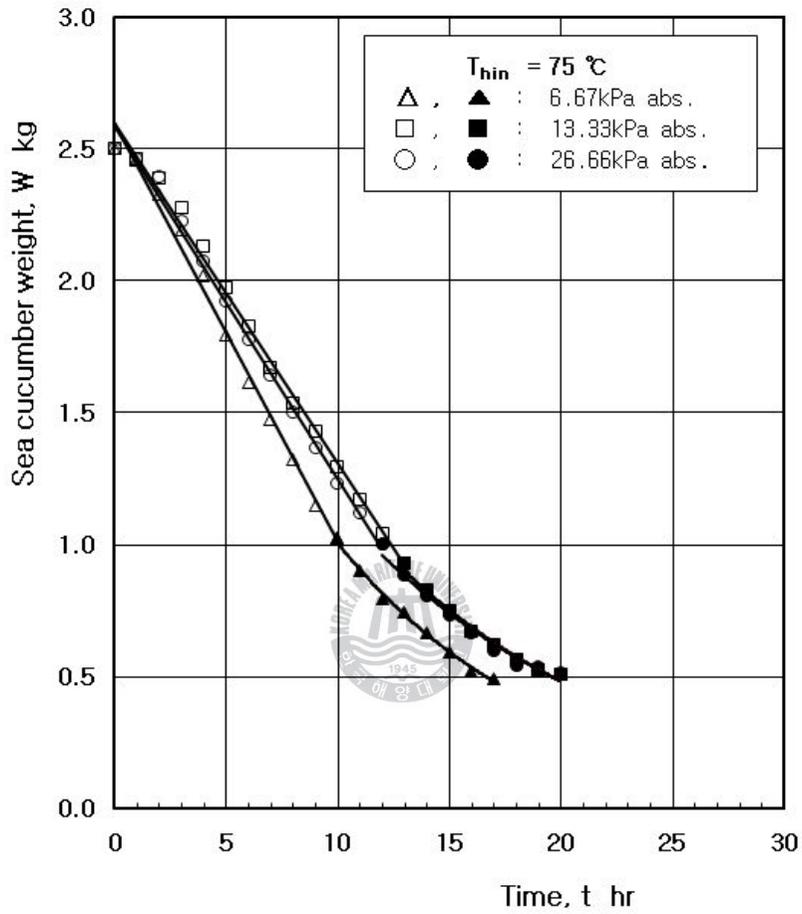


Fig. 5.6 Effect of vacuum pressure on sea cucumber weight variation.

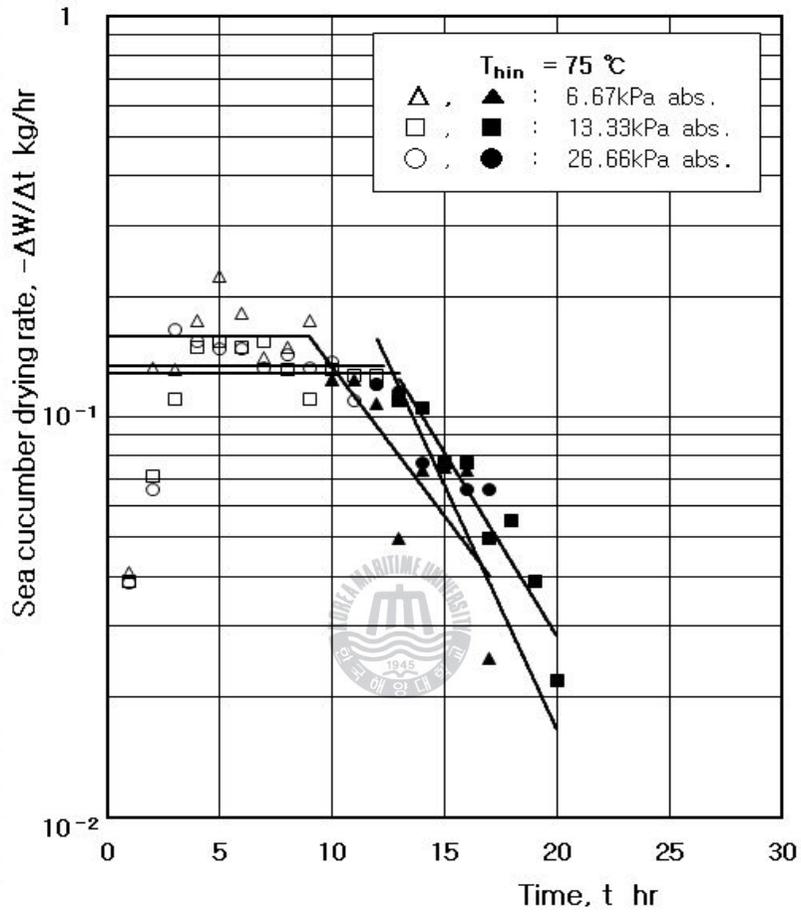


Fig. 5.7 Effect of vacuum pressure on reducing rate of weight.

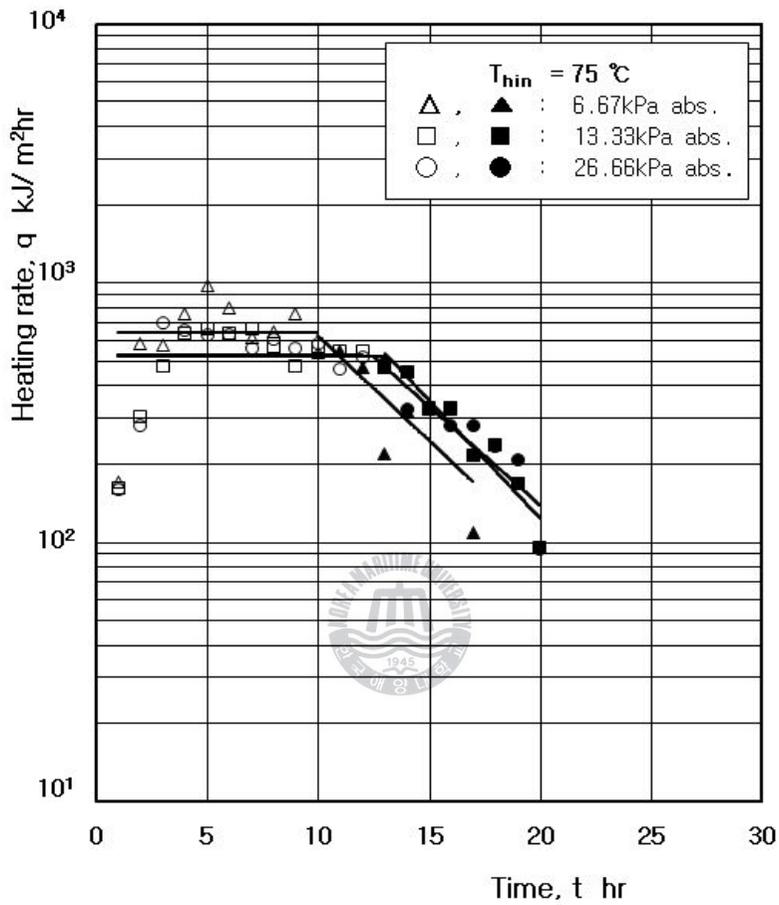


Fig. 5.8 Effect of vacuum pressure on heat flux variation.

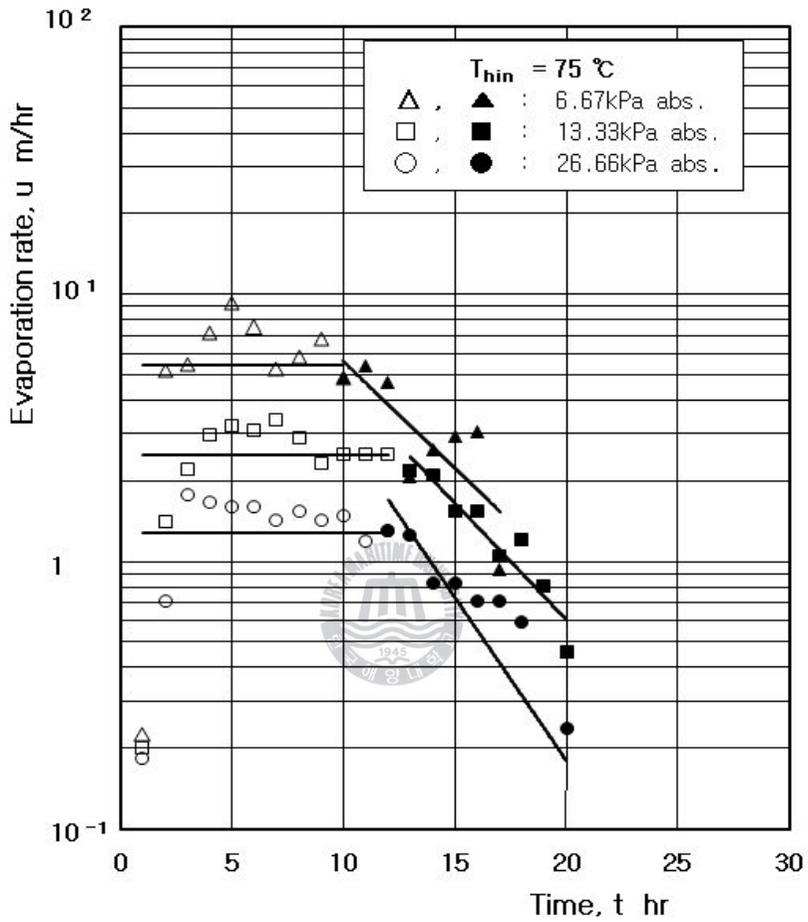


Fig. 5.9 Effect of vacuum pressure on vapor speed.

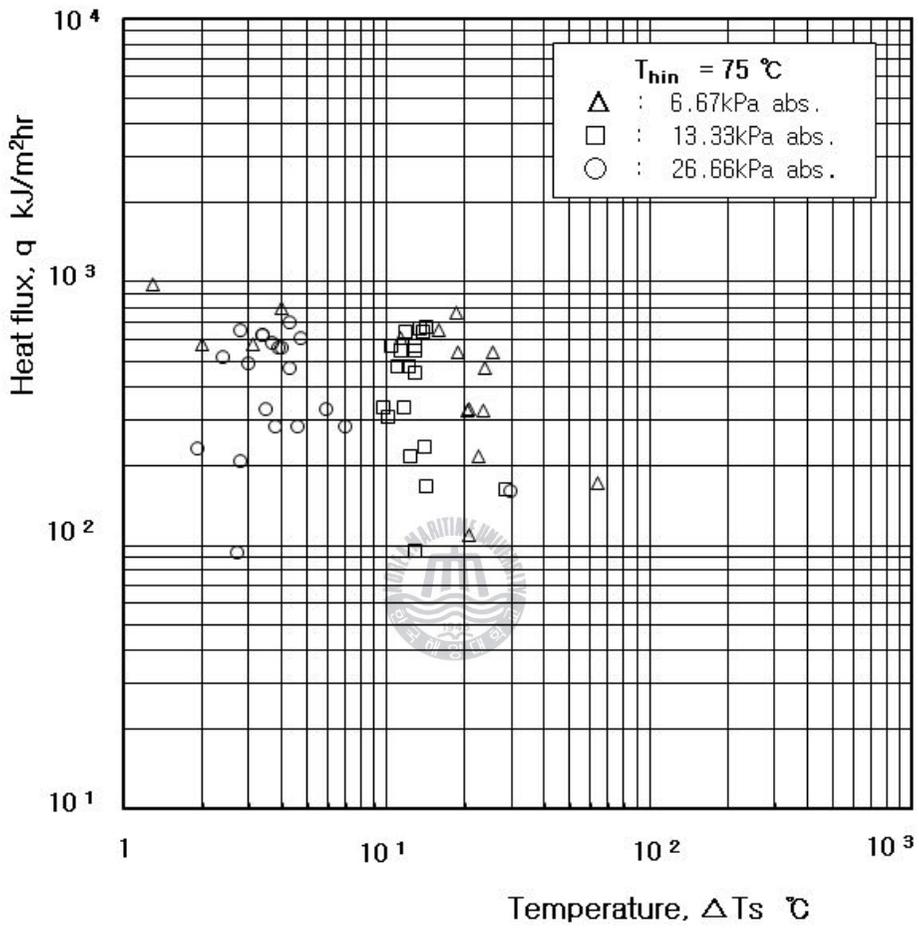


Fig. 5.10 Effect of vacuum pressure on boiling curve.

### 5.3 다양한 피건조물 실험결과와의 비교

다양한 종류를 대상으로 실험을 행하였다. 진공압력  $6.67\text{kPa abs.}$  가열 수 온도  $72^{\circ}\text{C}$ 의 조건으로 실험하였으며, 전체적으로 건조시간은 20~24시간이 소요되었다.

Fig. 5.11에서 보는바와 같이 밤, 고추 등은 전복, 미역, 다시마, 파래에 비해 수분 함유량이 적음을 알 수 있었다. 통밤의 경우 약 50%, 고추의 경우 약 80%, 미역의 경우 약 95%의 수분의 무게가 건조함으로 증발한다는 것을 알 수 있었다. 이는 Fig. 5.12의 함수율 변화 추이를 통해 확인할 수 있었으며, 모든 종류에 대해 건조 후 함수율은 약 5%전후임을 알 수 있다. 또한, 본 실험 대상인 해삼의 경우 고추와 매우 유사한 건조 특성을 갖음을 정량적으로 알 수 있다.



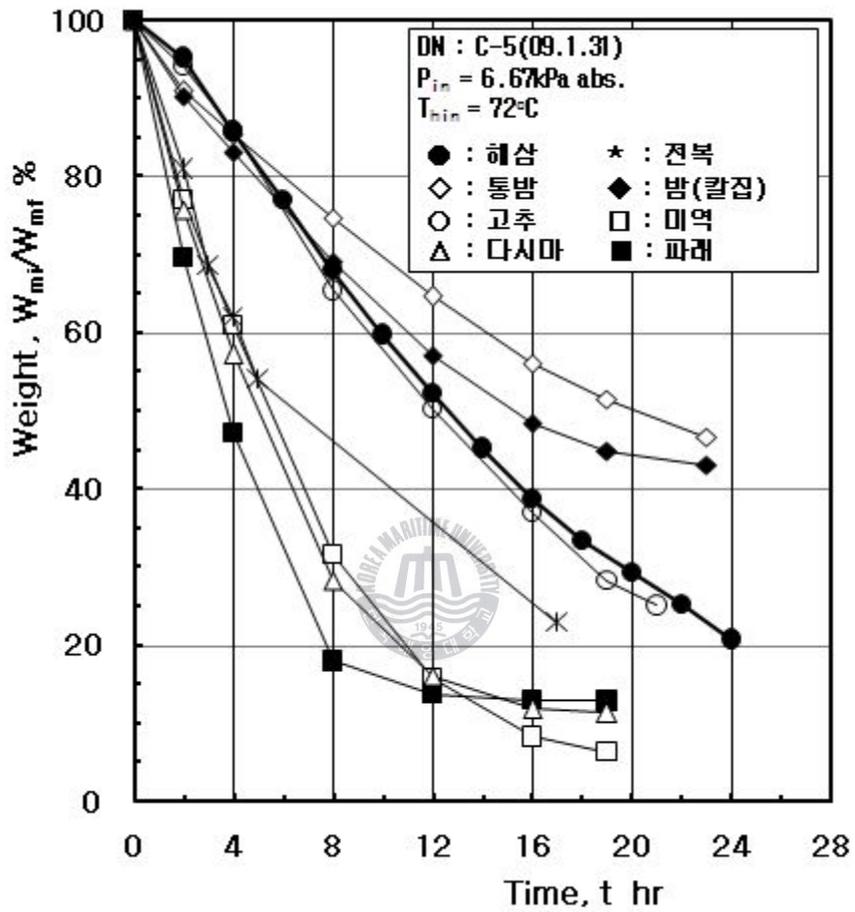


Fig. 5.11 Weight variation to vacuum drying time.

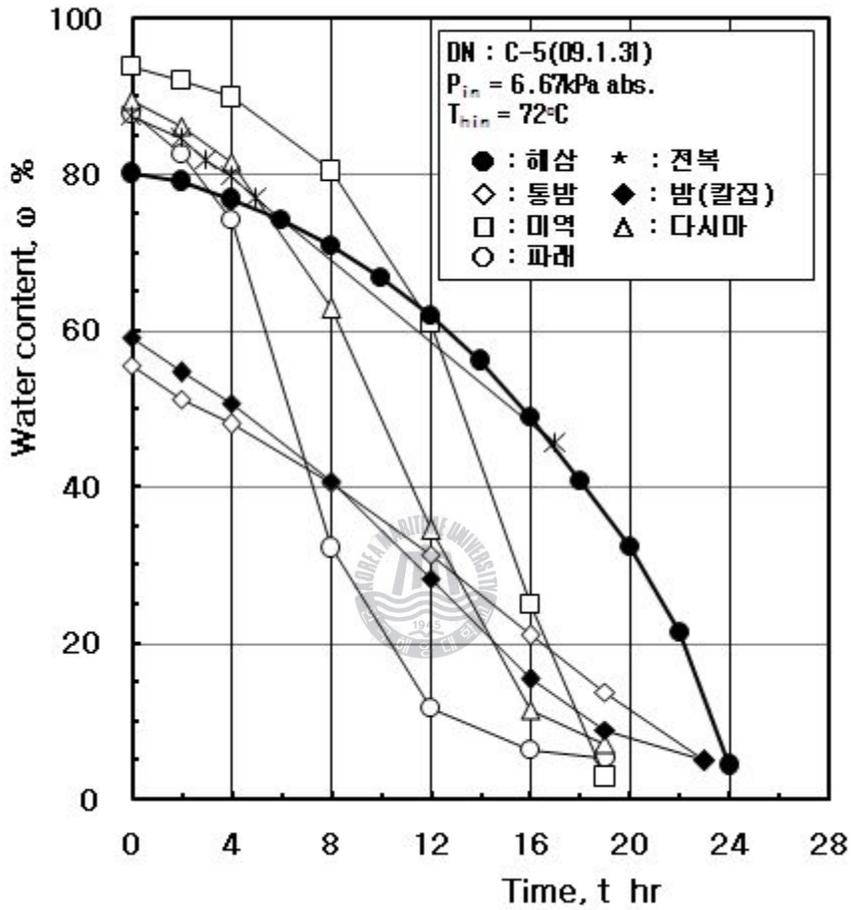


Fig. 5.12 Variation of water contents rate according to the drying time.

## 제6장 결론

본 연구에서는 값싼 중국산 제품의 대량 유입에 의한 우리나라 농, 수산품의 새로운 고부가가치 제품의 창출과 수출산업화를 위한 저온진공건조기의 건조열전달 측면에서 정량적인 해석을 시도하였다. 실제 사용되는 저온진공건조기를 이용하여 건조가 가장 까다로운 해삼을 본 연구의 대상으로 하였다.

본 실험의 범위 내에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 본 실험에서 건조된 건해삼의 국제적인 제품수준의 객관적 평가를 위해 홍콩지역에서 조사한 결과 품질적으로 세계 최고품이라는 일본산에 비하여서도 더욱 우수함을 현지에서 인정받았으며, 수요자가 건해삼 제품에 대하여 요구하는 사항도 충분히 파악할 수 있었다.

(2) 소요전력 및 전력량을 측정한 결과 건조초기에는 피건조물이 갖는 초기의 열에너지와 각 요소장치의 기동 및 활발한 건조로 인하여 최대전력이 4~6kW였으며, 약 4시간이 경과하면 3kW 전후의 평균소요동력으로 운전되었다. 이는 타 건조기에 비해 매우 에너지 절약적임을 확인 하였다.

(3) 해삼의 저온진공건조실험 결과 전형적인 항울건조기간과 감울건조기간이 확연히 존재함을 확인 할 수 있었으며, 항울건조기간 동안의 무게 변화는 경과시간에 대한 1차식으로, 감울건조기간 동안에 대하여는 경과시간에 대하여 점진적으로 무게가 감소하는 지수형태의 식으로 실험결과를 제시하였다.

(4) 본 실험의 범위에서 항울건조기간 동안의 무게감소율은 건조판 1-판당 0.11~0.15kg/hr 정도로 거의 일정한 속도로 수분이 증발하며, 감울건

조기간에는 항울건조기간의 값으로부터 건조가 진행됨에 따라서 지속적으로 감소하여 최소  $0.01\text{kg/hr}$ 까지 감소하여 최종적인 건조에 도달함을 알 수 있었다.

(5) 건조 개시후 약 10시간 즉 항울건조기간에서의 건조판 단위 면적당의 전열량은  $700\sim 1000\text{kJ/m}^2\text{hr}$ 의 열프럭스를 갖음을 알 수 있었으며, 감울건조기간 동안에는 수분의 증발율이 점차 감소하므로 열 프럭스도 이에 비례하여 지속적으로 감소함을 확인할 수 있었다.

(6) 열전달율을 결정하는 중요한 인자중의 하나인 증기의 증발속도는 항울건조기간동안  $6.2\sim 8.7\text{m/hr}$ ( $1.72\sim 2.24\text{mm/sec}$ )범위이며, 감울건조기간 동안에는 지속적으로 감소하여 최저  $0.6\text{m/hr}$ ( $0.17\text{mm/sec}$ )까지 감소함을 알 수 있었다.

(7) 단위면적당의 열 프럭스와 벽면 과열도와의 관계를 정리하여 비등 곡선을 나타낼수 있는데 최대 열 프럭스는 약  $800\text{kJ/m}^2\text{hr}$ 정도이며, 벽면 과열도가  $10^\circ\text{C}$  이하로 되어 열 프럭스가 급격히 감소하면서 감울건조기간에 돌입함을 알 수 있었다.

(8) 온도변화 곡선에서는 건조개시 후 약 2시간이 경과하면 온도상승이 완료되며, 활발한 증발이 8~10시간 진행되면 대부분의 수분이 증발되고, 이어서 해삼 내부의 온도가 표면온도와 근접하여 가면서 건조가 완성되어 감을 알 수 있었다.

## 참고문헌

- (1) 김경근, 문수범 등, 《해삼의 상온상태에서의 에너지 절약적인 진공건조장치 개발》, 농림수산식품부, 한국해양기술진흥원(2006. 8. 9~2009.8. 8).
- (2) 김경근, 「농수산물의 저온진공건조 열적특성」, 대한기계학회 추계 학술논문집 특강자료, pp.1~6(1999. 6. 12).
- (3) 장주리, 김경근, 임선영, 「건조방법에 따른 추출물의 항암 및 항산화 효과」, 생명과학지 제18권 제9호, JLS/ISSN 1225~9918(2008.9).
- (4) 高玉吉, 唯野哲男, 《食品工業の乾燥》, 光琳(1996. 8. 10).
- (5) 국립수산물과학원 서해수산연구소, 《해삼양식 기술개발》(2006. 8).
- (6) 신기술 편집부역, 《건조장치의 이론과 실제》, 신기술(1998. 4. 5).
- (7) 日本眞空協會 關西支部, 「眞空技術」, pp.24~25(1994. 11. 30).
- (8) Edward M. Cook, Harman D. DuMont, 《Process Drying Practice》, McGraw-Hill.
- (9) Arun S. Mujumdar, 《Handbook of Industrial Drying》, Marcel Dekker(1995).

- (10) 久保田濃, 《乾燥裝置》, 省エネルギーセンター(1995. 10. 12).
- (11) 桐榮, 前田金剛, 山内敏夫, 不破威信, 和田一洋, 山本博久, 「眞空乾燥の基礎的研究」, 化學工學, 第24卷, 第5號, pp.289~297(1960).
- (12) 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).
- (13) 太田勇夫, 益子正教, 木村進, 「眞空乾燥」, 日刊工業新聞(1964).
- (14) 河村祐治, 「眞空流動」, 化學工學, 第24卷, 第9號, pp.25~27(1960).
- (15) 박형진, 김명환, 윤석훈, 최순열, 「함수다공질층의 진공건조에 관한연구(Ⅱ)」, 한국박용기관학회 학술논문집, pp.115~121(1997. 4. 26).
- (16) 유재해, 《진공상태하의 함수다공질층 건조특성에 관한 연구》, 한국해양대학교 기관공학과 석사학위논문(1997. 2).
- (17) 박형진, 김경근, 김명환, 「함수 다공질층의 진공건조에 관한 실험적연구(Ⅰ)」, 한국박용기관학회지, 제20권, 제5호, pp.514~521(1996.12).
- (18) 김경근, 최순열, 「가열수 온도에 의한 저온진공건조 열적 특성에 관한 연구」, 한국박용기관학회지, 제25권 제3호, pp.35~42(2001.5).
- (19) 문수범, 최순열, 정한식, 김경근, 「생체 건조용 대형 저온진공 건조기의 열적 특성에 관한 연구」, 한국박용기관학회지, 제24권 제4호, pp.35~42(2000.7).

(20) 김경석, 최순열, 전현필, 「농축산물의 저장 및 유통을 위한 감압증발 급냉각시스템에 관한 연구」, 한국박용기관학회지, 제21권, 제1호, pp.26~36(1997.3).

(21) 김경근, 최순열, 최두열, 이정혜, 문수범, 「저온진공건조기를 이용한 고추의 열적특성에 관한 연구」, 공기조화 냉동공조학회 학술논문집, pp. 410~414(1999. 6. 25).

(22) 김경근, 최순열, 문수범 등, 《가열/진공증발 교호열조작에 의한 임산수산물 건조장치 개발(1차년도 연구보고서)》, 산업자원부 산업기반기술과 제(1998. 9.30)

(23) 김경근, 최순열, 문수범 등, 《가열/진공증발 교호열조작에 의한 임산수산물 건조장치 개발(2차년도 연구보고서)》, 산업자원부 산업기반기술사업(1999. 9. 30).



(24) 최순열, 《저온진공건조기의 열적특성에 관한 연구》, 한국해양대학교 기관공학과 박사학위논문(1999. 2).

# Appendix

## [App.1] Experimental data on the drying heat transfer.

2008. 12/19 16:00 ~ 12/20 20:00

시 각	전력 계 논급	전력 소비 량	평균 전력	함 수 율	시간 평균 압력	평균 포화 온도	평균 증발 잠열	평균 비용 적	해삼 표면 온도	해삼 내부 온도	가열 수 온도	정미 해삼 무게 변화	무게 감소 량	구간 평균 무게 감소율	판당 전열량	열 프릭스	온 도 차	평균열 전달율	평균 증발 속도
hr	kWh	kWh	kW	%	kPa abs.	°C	kJ/ kg	m <sup>2</sup> /kg	°C	°C	°C	kg	kg	kg/hr	kJ/ hr	kJ/ m <sup>2</sup> hr	°C	kJ/ m <sup>2</sup> hr °C	m/hr
0	3753	0	0	81.1					16.9	17.4		2.210							
2	3760	7	3.5	79.0	6.67	38.66	2411.9	20.91	35.2	27.7	65	1.980	0.230	0.12	277.37	770.48	3.5	220.14	6.68
4	3765	12	2.5	76.4	6.67	38.66	2411.9	20.91	41.7	33.3	65	1.765	0.215	0.11	259.28	720.23	3.0	236.92	6.24
6	3771	18	3.0	72.6	6.67	38.66	2411.9	20.91	43.5	35.7	65	1.520	0.245	0.12	295.46	820.73	4.8	169.57	7.12
8	3777	24	3.0	67.9	6.67	38.66	2411.9	20.91	43.8	37.5	65	1.300	0.220	0.11	265.31	736.98	5.1	143.38	6.39
10	3783	30	3.0	62.1	6.67	38.66	2411.9	20.91	44.7	40.3	65	1.100	0.200	0.10	241.19	669.98	6.0	110.92	5.81
12	3789	36	3.0	54.9	6.67	38.66	2411.9	20.91	47.3	43.8	65	0.925	0.175	0.09	211.04	586.23	8.6	67.85	5.08
14	3795	42	3.0	47.2	6.67	38.66	2411.9	20.91	48.3	46.5	65	0.790	0.135	0.07	162.81	452.24	9.6	46.91	3.92
16	3801	48	3.0	38.3	6.67	38.66	2411.9	20.91	49.4	48.3	65	0.675	0.115	0.06	138.69	385.24	10.7	35.87	3.34
18	3807	54	3.0	30.5	6.67	38.66	2411.9	20.91	49.1	48.8	65	0.600	0.075	0.04	90.45	251.24	10.4	24.07	2.18
20	3812	59	2.5	23.5	6.67	38.66	2411.9	20.91	50.1	50.0	65	0.545	0.055	0.03	66.33	184.24	11.4	16.11	1.60
22	3818	65	3.0	18.3	6.67	38.66	2411.9	20.91	50.1	50.2	65	0.510	0.035	0.02	42.21	117.25	11.4	10.25	1.02
24	3823	70	2.5	13.2	6.67	38.66	2411.9	20.91	50.8	50.9	65	0.480	0.030	0.02	36.18	100.50	12.1	8.28	0.87
26	3828	75	2.5	8.4	6.67	38.66	2411.9	20.91	53.7	51.6	65	0.455	0.025	0.01	30.15	83.75	15.0	5.57	0.73
27	3830	77	1.0	4.2	6.67	38.66	2411.9	20.91	51.0	51.0	65	0.435	0.020	0.01	24.12	67.00	12.3	5.43	0.58
시간평균압력은6.67kPaabs. 정리하였음. 전열판면적은0.36m <sup>2</sup> 으로 정리하였음.																			

2009. 1/4 16:00 ~ 1/5 16:00

시각	전력 계 능급	전력 소비 량	평균 전력	합 수 율	시간 평균 압력	평균 포화 온도	평균 증발 잠열	평균 비용 적	해삼 표면 온도	해삼 내부 온도	가열 수 온도	정미 해삼 무게 변화	무게 감소 량	구간 평균 무게 감소율	관당 전열량	열 프릭스	온 도 차	평균열 전달율	평균 증발 속도
hr	kWh	kWh	kW	%	kPa abs.	°C	kJ/ kg	m <sup>3</sup> /kg	°C	°C	°C	kg	kg	kg/hr	kJ/ hr	kJ/ m <sup>2</sup> hr	°C	kJ/ m <sup>2</sup> hr °C	m/hr
0	4289.5	0.0	0.0	80.2					12.1	11.8		3.400							
2	4302.2	12.7	6.3	79.2	6.67	38.66	2411.9	20.91	35.3	32.6	70	3.236	0.164	0.08	197.78	549.38	3.4	161.6	4.76
4	4309.5	20.0	3.7	76.9	6.67	38.66	2411.9	20.91	38.3	37.2	70	2.916	0.320	0.16	385.91	1071.97	0.4	2679.9	9.29
6	4316.8	27.3	3.7	74.3	6.67	38.66	2411.9	20.91	39.5	37.8	70	2.620	0.296	0.15	356.97	991.57	0.8	1180.4	8.60
8	4323.5	34.0	3.3	70.8	6.67	38.66	2411.9	20.91	39.9	37.8	70	2.312	0.308	0.15	371.44	1031.77	1.2	832.1	8.94
10	4330.5	41.0	3.5	66.9	6.67	38.66	2411.9	20.91	41.5	38.9	70	2.034	0.278	0.14	335.26	931.27	2.8	327.9	8.07
12	4337.3	47.8	3.4	62.0	6.67	38.66	2411.9	20.91	45.6	44.2	70	1.776	0.258	0.13	311.14	864.28	6.9	124.5	7.49
14	4344.0	54.5	3.3	56.2	6.67	38.66	2411.9	20.91	50.7	50.7	70	1.540	0.236	0.12	284.61	790.58	12.0	65.7	6.85
16	4350.2	60.7	3.1	48.9	6.67	38.66	2411.9	20.91	55.0	55.1	70	1.320	0.220	0.11	265.31	736.98	16.3	45.1	6.39
18	4356.2	66.7	3.0	40.8	6.67	38.66	2411.9	20.91	57.4	58.0	70	1.138	0.182	0.09	219.49	609.68	18.7	32.5	5.29
20	4362.5	73.0	3.2	32.4	6.67	38.66	2411.9	20.91	58.7	59.2	70	0.998	0.140	0.07	168.84	468.99	20.0	23.4	4.07
22	4368.2	78.7	2.8	21.4	6.67	38.66	2411.9	20.91	61.0	61.4	70	0.858	0.140	0.07	168.84	468.99	22.3	21.0	4.07
24	4373.5	84.0	2.7	4.5	6.67	38.66	2411.9	20.91	61.2	61.6	70	0.706	0.152	0.08	183.31	509.19	22.5	22.6	4.41

시간평균압력은6.67kPaabs.정리하였음.  
전열판면적은0.36m<sup>2</sup>으로정리하였음.

2009. 1/10 17:00 ~ 1/11 17:00

시각 hr	전력 계 눈금 kWh	전력 소비 량 kWh	평균 전력 kW	합 수 율 %	시간 평균 압력 kPa abs.	평균 포화 온도 °C	평균 증발 잠열 kJ/ kg	평균 비용 적 m <sup>3</sup> /kg	해삼 표면 온도 °C	해삼 내부 온도 °C	가열 수 온도 °C	정미 해삼 무게 변화 kg	무게 감소량 kg	구간 평균 무게 감소율 kg/hr	관당 전열량 kJ/ hr	열 프릭스 kJ/ m <sup>2</sup> hr	온 도 차 °C	평균열 전달율 kJ/ m <sup>2</sup> hr °C	평균 증발 속도 m/hr
0	4510.0	0.0	0.0	82.2					26.2	26.2		3.000							
4	4524.5	14.5	3.6	76.0	6.67	38.66	2411.9	20.91	39.5	42.1	75	2.226	0.774	0.19	466.71	1296.41	0.8	1543.3	11.24
8	4537.2	27.2	3.2	67.0	6.67	38.66	2411.9	20.91	48.0	48.0	75	1.618	0.608	0.15	366.61	1018.37	9.3	109.0	8.83
12	4549.7	39.7	3.1	54.6	6.67	38.66	2411.9	20.91	52.6	52.9	75	1.178	0.440	0.11	265.31	736.98	13.9	52.9	6.39
16	4561.2	51.2	2.9	37.3	6.67	38.66	2411.9	20.91	56.4	56.5	75	0.852	0.326	0.08	196.57	546.03	17.7	30.8	4.73
20	4573.5	63.5	3.1	15.4	6.67	38.66	2411.9	20.91	57.9	57.9	75	0.632	0.220	0.06	132.66	368.49	19.2	19.2	3.19
24	4584.0	74.0	2.6	4.2	6.67	38.66	2411.9	20.91	59.5	59.6	75	0.558	0.074	0.02	44.62	123.95	20.8	5.9	1.07

시간평균압력은6.67kPaabs.정리하였음.  
전열판면적은0.36m<sup>2</sup>으로정리하였음.



2009. 1/17 16:00 ~ 1/181 6:00

시각 hr	전력 계 등급 kWh	전력 소비 량 kWh	평균 전력 kW	합 수 율 %	시간 평균 압력 kPa abs.	평균 포화 온도 °C	평균 증발 잠열 kJ/kg	평균 비용 적 m <sup>3</sup> /kg	해삼 표면 온도 °C	해삼 내부 온도 °C	가열 수 온도 °C	정미 해삼 무게 변화 kg	무게 감소 량 kg	구간 평균 무게 감소율 kg/hr	관당 전열량 kJ/ hr	열 프릭스 kJ/ m <sup>2</sup> hr	온 도 차 °C	평균열 전달율 kJ/ m <sup>2</sup> hr °C	평균 증발 속도 m/hr
0	4759.5	0.0	0.0	83.8					17.8	19.3		3.000							
4	4778.5	19.0	4.8	80.0	6.67	38.66	2411.9	20.91	39.3	35.7	80	2.428	0.572	0.14	344.91	958.07	0.6	1497.0	8.31
8	4791.3	31.8	3.2	72.5	6.67	38.66	2411.9	20.91	46.9	43.7	80	1.766	0.662	0.17	399.17	1108.82	8.2	134.6	9.61
12	4804.2	44.7	3.2	59.9	6.67	38.66	2411.9	20.91	50.7	49.1	80	1.212	0.554	0.14	334.05	927.92	12.0	77.1	8.04
16	4816.0	56.5	3.0	39.7	6.67	38.66	2411.9	20.91	53.6	52.1	80	0.806	0.406	0.10	244.81	680.03	14.9	45.5	5.90
20	4827.6	68.1	2.9	18.7	6.67	38.66	2411.9	20.91	56.4	54.5	80	0.598	0.208	0.05	125.42	348.39	17.7	19.6	3.02
24	4838.7	79.2	2.8	4.7	6.67	38.66	2411.9	20.91	57.5	56.1	80	0.510	0.088	0.02	53.06	147.40	18.8	7.8	1.28

시간평균압력은6.67kPaabs.정리하였음.  
전열판면적은0.36m<sup>2</sup>으로정리하였음.



[App.2] Data on the electric power consumption.

## 소요전력 실험일지

작성일자 : 2008년 11월 7일

사용실험장치	STVD-50	실험개시일자	08. 10. 30.	실험장소
시료 종류	배+단감	시각	13:30	연구실
시료 원산지				
투입량(상자)	1 상자 약간	실험완료일자	08. 10. 31.	구입금:2만원
투입량(무게)	20 kg	시각	12:45	총시간:44.5hr
실험참가자				
참가자인건비				
전력계개시눈금	1,781 kWh	시각:10/30 13:30		
중간 1	1,794 kWh	시각:10/30 18:00	소비: 13 kWh/4.5hr	율: 2.88 kWh/h
중간 2	1,852 kWh	시각:10/31 12:45	소비: 58 kWh/18.8hr	율: 3.09 kWh/h
전력계완료눈금	2,004 kWh	시각:11/1 10:00	소비:152 kWh/21.3hr	율 : .72 kWh/h
총소비전력/시간	223 kWh/44.5hr		소비율: 5.0 kWh /1-hr	
요금환산금액	223 x 70 = 15,610원		15,610/20 = 781 원/생1-kg	
건조후 무게	2.0 kg 회수율: 10%	o 생체 1kg당 에너지 소비량 : 11.15 kWh/1-kg o 건조 1kg당 에너지 소비량 : 111.5 kWh/1-kg		
메모 :				

# 소요전력 실험일지

작성일자 : 2008년 11월 8일

사용실험장치	STVD-50	실험개시일자	08. 11. 6.	실험장소
시료 종류	단감	시각	15:00	연구실
시료 원산지				
투입량(상자)	1 상자 약간	실험완료일자	08.11. 8.	구입금:2만원
투입량(무게)	20 kg	시각	12:00	총시간: 45hr
실험참가자				
참가자인건비				
전력계개시눈금	2,004 kWh	시각:11/6 15:00		
중간 1	2,081 kWh	시각:11/7 17:30	소비: 77 kWh/26.5hr	율: 2.91 kWh/h
중간 2	- kWh	시각: -	소비: - kWh/hr	율: - kWh/h
전력계완료눈금	2,129 kWh	시각:11/8 12:00	소비: 48 kWh/18.5hr	율: .259 kWh/h
총소비전력/시간	125 kWh/45 hr		소비율: 2.78 kWh /1-hr	
요금환산금액	125 x 70 = 8,750 원		8,750/20 = 438 원/생1-kg	
건조후 무게	2.625 kg 수율:13.1%	o 생체 1kg당 에너지 소비량 : 6.25 kWh/1-kg o 건조 1kg당 에너지 소비량 : 47.62 kWh/1-kg		
<b>메모 :</b> - 11월 8일 날씨 : 비가 부슬부슬 내리는 짓곳은 날씨로 습도가 높음.				

# 소요전력 실험일지

작성일자 : 2008년 11월 일

사용실험장치	STVD-50	실험개시일자	08. 11. 10.(월)	실험장소
시료 종류	사과	시각	15:00	실험실
시료 원산지				
투입량(상자)	2 상자	실험완료일자	08. 11.	구입금:6만원
투입량(무게)	40 kg	시각		총시간: 72 hr
실험참가자				
참가자인건비				
전력계개시눈금	2,129 kWh	시각:11/10 15:00		
중간 1	2,193 kWh	시각: 11/11 13:00	소비: 64 kWh/22 hr	율: 2.91 kWh/h
중간 2	2,226 kWh	시각: 11/12 12:00	소비: 33 kWh/23.0 hr	율: 1.43 kWh/h
전력계완료눈금	2,273 kWh	시각: 11/13 15:00	소비: 47 kWh/ 27hr	율: 1.75 kWh/h
총소비전력/시간	144 kWh/ 72 hr		소비율: 2.0 kWh /1-hr	
요금환산금액	144 x 70원 = 10,080원		10080/40 = 252 원/생1-kg	
건조후 무게	2.75 kg 수율: 6.88%	o 생체 1kg당 에너지 소비량 : 3.6 kWh/1-kg o 건조 1kg당 에너지 소비량 : 52.4 kWh/1-kg		
<b>메모 :</b> - 중간 4시간을 정지함.				

# 소요전력 실험일지

작성일자 : 2008년 11월 12일

사용실험장치	STVD-200	실험개시일자	08. 11. 9.(일)	실험장소
시료 종류	솔잎	시각	19:00	실험실
시료 원산지	한국해양대학교 뒷산 채집			
투입량(상자)	8 자루	실험완료일자	08. 11.	구입금: -만원
투입량(무게)	30 kg	시각		총시간: hr
실험참가자				
참가자인건비				
전력계개시눈금	62,890 kWh	시각: 11/9 19:00		
중간 1	63,247 kWh	시각: 11/11 13:00	소비: 357 kWh/42 hr	율: 8.5 kWh/h
중간 2	- kWh	시각:	소비: kWh/ hr	율: kWh/h
전력계완료눈금	65,429 kWh	시각: 11/12 06:30	소비: 83 kWh/ 17.5 hr	율: 4.74 kWh/h
총소비전력/시간	440 kWh/ hr		소비율: 7.39 kWh/1-hr	
요금환산금액	440 x 70원 = 3.08 만원		3.08/30 = 1,030 원/생1-kg	
건조후 무게	12.36 kg 수율: 0.412%	<ul style="list-style-type: none"> <li>o 생체 1kg당 에너지 소비량 : 14.67 kWh/1-kg</li> <li>o 건조 1kg당 에너지 소비량 : 35.6 kWh/1-kg</li> </ul>		
<p><b>메모 :</b> - 생솔잎 : 30 kg 초기투입 .</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 마른 솔잎 : 12,36 kg (회수 무게비율 ; <math>12.36/30 = 41.2\%</math>).</li> <li>- 피톤치드 수액 : 16.9 kg (회수 무게비율 ; <math>16.9/30 = 56.3\%</math>).</li> <li>- 진공펌프에 의한 손실 피톤치드량 : <math>30-12.36-16.9 = 0.74\text{ kg}</math>(<math>0.73/30=2.5\%</math>).</li> <li>- 사용전력량 : <math>44,0\text{ kWh}/59.5\text{ hr}</math> (<math>0.739\text{ kWh}/1\text{-hr}</math>) = 0.739 kW.</li> </ul>				

# 소요전력 실험일지

작성일자 : 2008년 11월 16일

사용실험장치	STVD-50	실험개시일자	08. 11. 14.	실험장소
시료 종류	사과	시각	15:00	실험실
시료 원산지	밀양 단감 구입			
투입량(상자)	상자	실험완료일자	08. 11. 16.	구입금: 2만원
투입량(무게)	26 kg	시각	11:00	총시간: 44 hr
실험참가자				
참가자인건비				
전력계개시눈금	2,274 kWh	시각: 11/14 15:00		
중간 1	kWh	시각:	소비: kWh/ hr	율: kWh/h
중간 2	kWh	시각:	소비: kWh/ hr	율: kWh/h
전력계완료눈금	2,391 kWh	시각: 11/16 11:00	소비: 117 kWh/44 hr	율 : 2.659 kWh/h
총소비전력/시간	117 kWh/ hr		소비율: 2.659 kWh /1-hr	
요금환산금액	117 x 70 = 8,190만원		8,190/26 = 315원/생1-kg	
건조후 무게	3.30 kg 수율: 12.7 %	o 생체 1kg당 에너지 소비량 : 4.5 kWh/1-kg o 건조 1kg당 에너지 소비량 : 35.5 kWh/1-kg		
메모 :				

# 소요전력 실험일지

작성일자 : 2008년 11월 18일

사용실험장치	STVD-50	실험개시일자	08. 11. 16.(일)	실험장소
시료 종류	단감	시각	15:00	실험실
시료 원산지	말양 단감			
투입량(상자)	상자	실험완료일자	08. 11.	구입금: 2만원
투입량(무게)	26 kg	시각	11:	총시간: hr
실험참가자				
참가자인건비				
전력계개시누금	2,391 kWh	시각: 11/16 15:00		
중간 1	2,447 kWh	시각: 11/17 10:00	소비: 56 kWh/19.0hr	율: 2.947 kWh/h
중간 2	kWh	시각:	소비: kWh/ hr	율: kWh/h
전력계완료누금	2,492 kWh	시각: 11/18 12:00	소비: 45 kWh/26 hr	율: 1.731 kWh/h
총소비전력/시간	101 kWh/45 hr		소비율: 2.244 kWh/1-hr	
요금환산금액	101 x 70 = 7,070원		7,070/26 = 271.9 원/생1-kg	
건조후 무게	2.42 kg 수율: 9.3 %	o 생체 1kg당 에너지 소비량 : 3.88 kWh/1-kg o 건조 1kg당 에너지 소비량 : 41.7 kWh/1-kg		
<p><b>메모 :</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 전력소비율을 전체적으로 체크함 (대형: 7 kW, 소형: 3 kW)</li> <li>- 무부하 운전시의 전력을 체크할 예정임.</li> </ul>				

# 소요전력 실험일지

작성일자 : 2008년 11월 22일

사용실험장치	STVD-50	실험개시일자	08. 11. 16.(일)	실험장소
시료 종류	단감	시각	15:00	실험실
시료 원산지	말양 단감			
투입량(상자)	상자	실험완료일자	08. 11.	구입금: 2만원
투입량(무게)	26 kg	시각	11:	총시간: hr
실험참가자				
참가자인건비				
전력계개시누금	2,499 kWh	시각: 11/20 16:00		
중간 1	kWh	시각:	소비: kWh/hr	율: kWh/h
중간 2	kWh	시각:	소비: kWh/ hr	율: kWh/h
전력계완료누금	2,600 kWh	시각: 11/22 15:00	소비: kWh/ hr	율: kWh/h
총소비전력/시간	101 kWh/ 47 hr		소비율: 2.149 kWh/1-hr	
요금환산금액	101 x 70 = 7,070원		7070/26 = 271 원/생1-kg	
건조후 무게	3.3 kg 수율: 12.7 %	o 생체 1kg당 에너지 소비량 : 3.885 kWh/1-kg o 건조 1kg당 에너지 소비량 : 42.70 kWh/1-kg		
<b>메모 :</b> - 새로히 투입 : 전력 사용량 기록이 조금은 불확실함.				

# 소요전력 실험일지

작성일자 : 2008년 11월 22일

사용실험장치	STVD-50	실험개시일자	08. 11. 20.(목)	실험장소
시료 종류	단감	시각	15:00	실험실
시료 원산지	밀양 단감 구입			
투입량(상자)	2 상자	실험완료일자	08. 11. 22.(토)	구입금: 2만원
투입량(무게)	26 kg	시각	11: 30	총시간: hr
실험참가자				
참가자인건비				
전력계개시누금	2,600 kWh	시각: 11/20 16:00		
중간 1	kWh	시각:	소비: kWh/hr	율: kWh/h
중간 2	kWh	시각:	소비: kWh/ hr	율: kWh/h
전력계완료누금	2,741 kWh	시각: 11/22 11:00	소비: kWh/ hr	율: kWh/h
총소비전력/시간	141 kWh/ 43 hr		소비율: 3.279 kWh/1-hr	
요금환산금액	141 x 70 = 9,870원		9,870/26 = 379 원/생1-kg	
건조후 무게	3.795 kg 수율: 14.6 %	o 생체 1kg당 에너지 소비량 : 3.885 kWh/1-kg o 건조 1kg당 에너지 소비량 : 37.15 kWh/1-kg		
<b>메모 :</b> - 새로히 투입 : 전력 사용량 기록이 조금은 불확실함.				

# 소요전력 실험일지

작성일자 : 2008년 11월 27일

사용실험장치	STVD-50	실험개시일자	08. 11. 23.(일)	실험장소
시료 종류	단감	시각	13:00	실험실
시료 원산지	모과 1상자(13 kg, 1.5만) + 좋은 사과 1박스(23 kg/3만)			
투입량(상자)	2 상자	실험완료일자	08. 11. 25.(화)	구입금: 4.5만원
투입량(무게)	36 kg	시각	12:45	총시간: 47.25 hr
실험참가자				
참가자인건비				
전력계개시누금	2,741 kWh	시각: 11/23 13:00		
중간 1	2,792 kWh	시각: 11/24 03:00	소비: 51 kWh/14hr	율: 3.64 kWh/h
중간 2	2,797 kWh	시각: 11/24 05:00	소비: 5 kWh/2hr	율: 2.0 kWh/h
전력계완료누금	2,821 kWh	시각: 11/25 12:45	소비: 24 kWh/31.75 hr	율: 0.756 kWh/h
총소비전력/시간	80.0 kWh/47.25 hr		소비율: 1.693 kWh/1-hr	
요금환산금액	80 x 70 = 5,600원		5,600/36 = 155.6 원/생1-kg	
건조후 무게	4.565kg 수율: 12.7%	o 생체 1kg당 에너지 소비량 : 2.22 kWh/1-kg o 건조 1kg당 에너지 소비량 : kWh/1-kg		
<b>메모 :</b> - 온수 순환펌프 누설중임, 관찰 및 수리 필요 여부 검토요 - 히팅박스용 내부 온수가 태부족하여, 다량으로 주입하였음				

# 소요전력 실험일지

작성일자 : 2008년 11월 27일

사용실험장치	STVD-50	실험개시일자	08. 11. 25.(목)	실험장소
시료 종류	사과	시각	12:00	실험실
시료 원산지	보수 청과도매시장			
투입량(상자)	1 상자	실험완료일자	08. 11. 22.(토)	구입금: 3만원
투입량(무게)	22 kg	시각	10:00	총시간: 22 hr
실험참가자				
참가자인건비				
전력계개시눈금	2,821 kWh	시각: 11/25 12:00		
중간 1	2,938 kWh	시각: 11/26 10:00	소비: 117 kWh/22hr	율: 5.318 kWh/h
중간 2	kWh	시각:	소비: kWh/ hr	율: kWh/h
전력계완료눈금	2,953 kWh	시각: 11/26 15:00	소비: 117 kWh/22hr	율: 5.318 kWh/h
총소비전력/시간	132 kWh/ 27 hr		소비율: 4.889 kWh/1-hr	
요금환산금액	132 x 70 = 10,560원		10,560/22 = 480 원/생1-kg	
건조후 무게	2.75 kg 수율: 12.5 %	o 생체 1kg당 에너지 소비량 : 6.0 kWh/1-kg o 건조 1kg당 에너지 소비량 : 48.0 kWh/1-kg		
<b>메모 :</b>				
- 청과시장에서 구입한 사과 1상자를 시험 건조함 - (1)날씨가 차거워지자 전력소비량의 급증 : 온수 보온 필요성 대두 - (2)과한 히터 온도설정 : 본체내부 (히팅박스⇔응축기)간 무효 열교환 손실 급증 - 적절한 히터온도 설정이 필요함.				

# 소요전력 실험일지

작성일자 : 2008년 11월 28일

사용실험장치	STVD-50	실험개시일자	08. 11. 27.(목)	실험장소
시료 종류	사과	시각	15:00	실험실
시료 원산지	보수 청과도매시장			
투입량(상자)	1 상자	실험완료일자	08. 11. 28.(금)	구입금: 3만원
투입량(무게)	22 kg	시각	14:30	총시간: 23.5 hr
실험참가자				
참가자인건비				
전력계개시누금	2,953 kWh	시각: 11/27 15:00		
중간 1	3.018 kWh	시각: 11/28 12:00	소비: 65 kWh/21hr	율: 3.095 kWh/h
중간 2	kWh	시각:	소비: kWh/ hr	율: kWh/h
전력계완료누금	3,023 kWh	시각: 11/28 14:30	소비: 5 kWh/2.5hr	율 : 2.0 kWh/h
총소비전력/시간	70 kWh/ 23.5 hr		소비율: 2.979 kWh/1-hr	
요금환산금액	70 x 70 = 4,900원		4,900/22 = 222.7 원/생1-kg	
건조후 무게	2.64 kg 수율: 12.0 %	o 생체 1kg당 에너지 소비량 : 3.182 kWh/1-kg o 건조 1kg당 에너지 소비량 : 26.5 kWh/1-kg		
<b>메모 :</b>				
- 청과시장에서 구입한 사과 1상자를 시험 건조함.				

[App.3] Design data on the vacuum extraction apparatus.

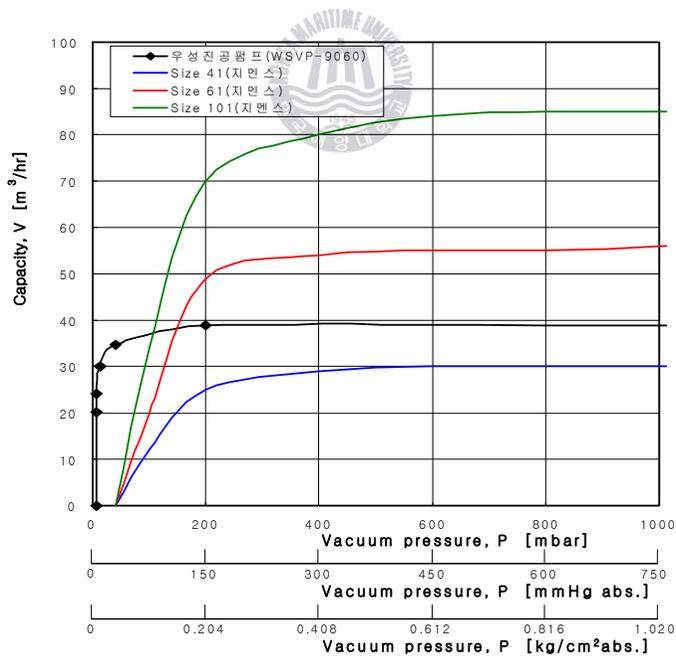
(실험-1) 저온진공건조기 추기특성

Time (hr)	Vacuum pressure (mmHg)	Vacuum pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Vacuum pressure (mbar)	진공 추기특성 V <sub>0</sub> (m <sup>3</sup> /hr)	비고
0.000	760	1.033	1013	38.9	start
0.167	150	0.204	201	38.8	
0.333	30	0.109	40	34.6	
0.500	10	0.014	6	30.1	
0.667	5	0.007	6	24.1	
0.833	5	0.007	6	20.1	
1.000	5	0.007	6	-	

※ 내부용적 =  $\pi r^2 \times L = \pi \times 0.7^2 \times 2.6 = 4.002 \text{ m}^3$

※ 진공펌프 : Maker(우성진공펌프), Model(WSP-9060), 36 [Nm<sup>3</sup>/hr]

※ 추기용량 : 31.1 [Nm<sup>3</sup>/hr]



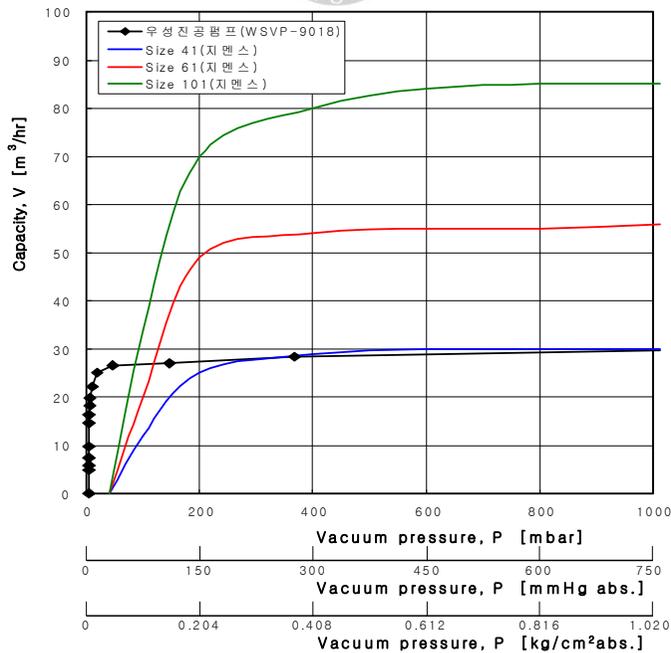
## (실험-2) 해동/예냉 겸용장치용 진공펌프의 추기특성

Time (hr)	Vacuum pressure (mmHg)	Vacuum pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Vacuum pressure (mbar)	진공 추기특성 V <sub>0</sub> (m <sup>3</sup> /hr)	비고
0.000	760	1.033	1013	29.8	start
0.030	275	0.374	367	28.3	
0.060	110	0.150	147	27.1	
0.100	35	0.048	47	26.6	
0.130	15	0.020	20	25.0	
0.160	8	0.011	10	21.3	
0.200	6	0.008	8	19.8	
0.233	4	0.005	5	18.2	
0.267	3	0.004	4	16.2	
0.300	3	0.004	4	14.6	
0.333	3	0.004	4	9.7	
0.500	3	0.004	4	7.3	
0.667	3	0.004	4	5.8	
0.833	3	0.004	4	4.9	
1.000	3	0.004	4		

※ 내부용적 =  $\pi r^2 \times L = \pi \times 0.5^2 \times 1.1 = 0.88 \text{ m}^3$

※ 진공펌프 : Maker(우성진공펌프), Model(WSVP-9018), 28 [Nm<sup>3</sup>/hr]

※ 추기용량 : 23.6 [Nm<sup>3</sup>/hr]



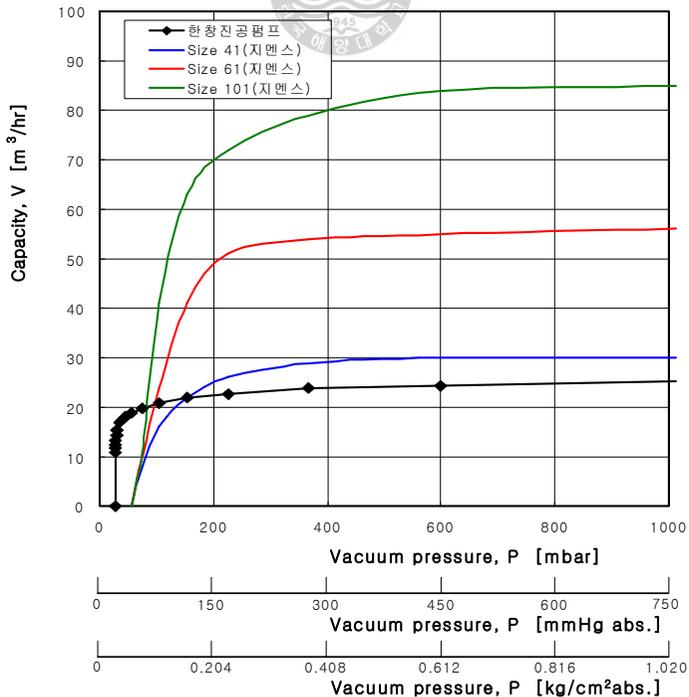
### (실험-3) 저온진공건조기 추기특성

Time (hr)	Vacuum pressure (mmHg)	Vacuum pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Vacuum pressure (mbar)	진공 추기특성 V <sub>0</sub> (m <sup>3</sup> /hr)	비고
0.000	760	1.033	1013	25.1	start
0.083	450	0.612	600	24.4	
0.167	275	0.374	367	24.0	
0.250	170	0.231	227	22.7	
0.333	115	0.156	153	21.9	
0.417	78	0.106	104	20.9	
0.500	56	0.074	75	19.9	
0.583	42	0.057	56	18.9	
0.667	33	0.045	44	18.0	
0.750	26	0.035	35	17.0	
0.833	22	0.030	29	15.5	
0.917	22	0.030	29	14.4	
1.000	21	0.029	28	13.3	
1.083	21	0.029	28	12.5	
1.167	20	0.027	26		

※ 내부용적 =  $\pi r^2 \times L = \pi \times 0.7^2 \times 2.6 = 4.002 \text{ m}^3$

※ 진공펌프 : Maker(한창진공펌프), Model(HWVP-2-085), 51 [Nm<sup>3</sup>/hr]

※ 추기용량 : 19.2 [Nm<sup>3</sup>/hr]



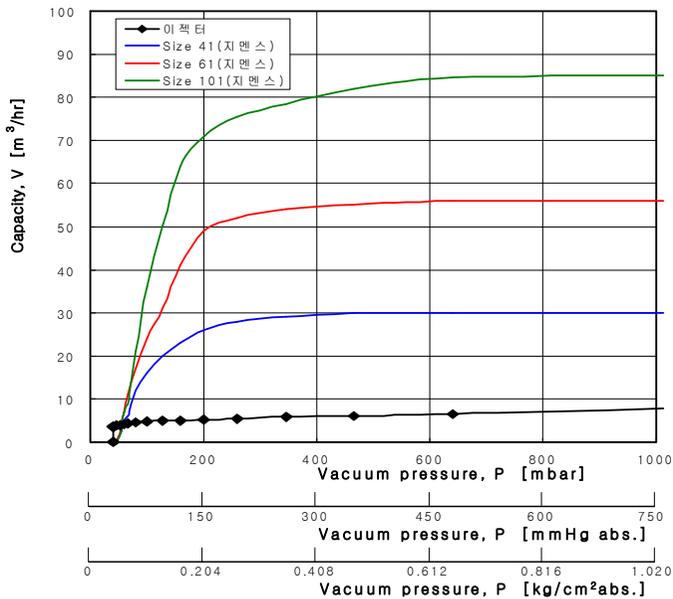
## (실험-4) 저온진공건조기 추기특성

Time (hr)	Vacuum pressure (mmHg)	Vacuum pressure (kg/cm <sup>2</sup> )	Vacuum pressure (mbar)	진공 추기특성 V <sub>0</sub> (m <sup>3</sup> /hr)	비고
0.000	760	1.033	1013	7.8	start
0.083	480	0.653	640	6.6	
0.167	350	0.476	466	6.1	
0.250	260	0.354	346	5.8	
0.333	195	0.265	260	5.5	
0.417	150	0.204	200	5.2	
0.500	120	0.163	160	5.0	
0.583	95	0.129	126	4.9	
0.667	75	0.102	100	4.8	
0.750	60	0.082	80	4.6	
0.833	50	0.068	66	4.4	
0.917	45	0.061	60	4.2	
1.000	40	0.054	53	4.0	
1.083	35	0.048	46	3.9	
1.167	30	0.041	40		

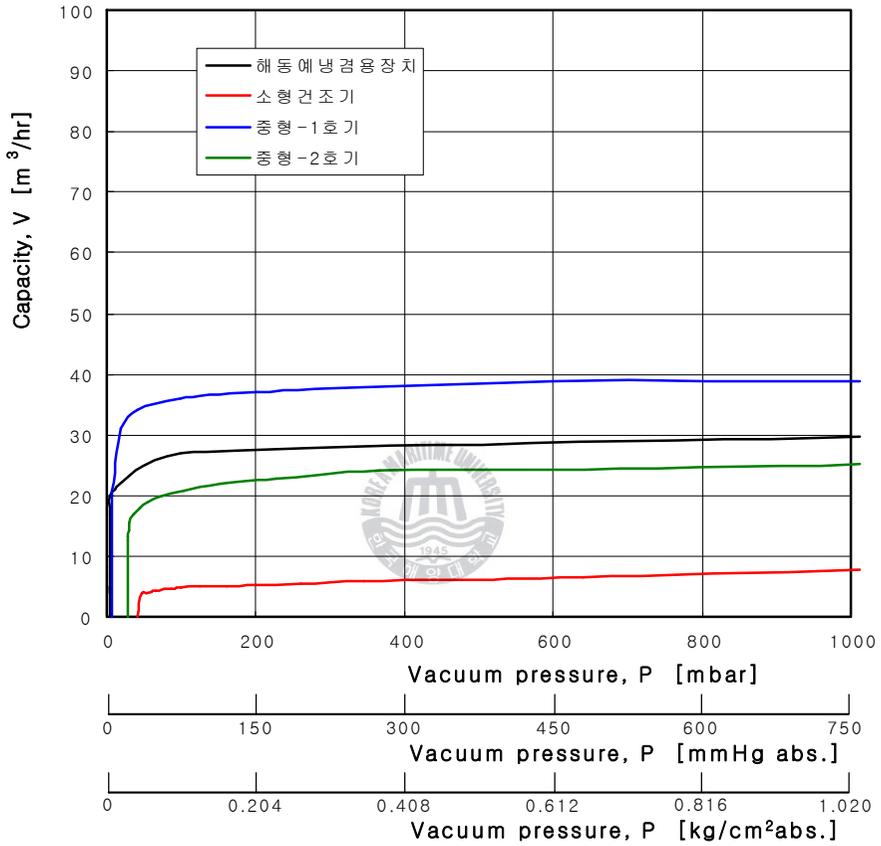
※ 내부용적 =  $\pi r^2 \times L = \pi \times 0.6^2 \times 1.25 = 1.41 \text{ m}^3$

※ 진공펌프 : 수구동공기흡입이젝터

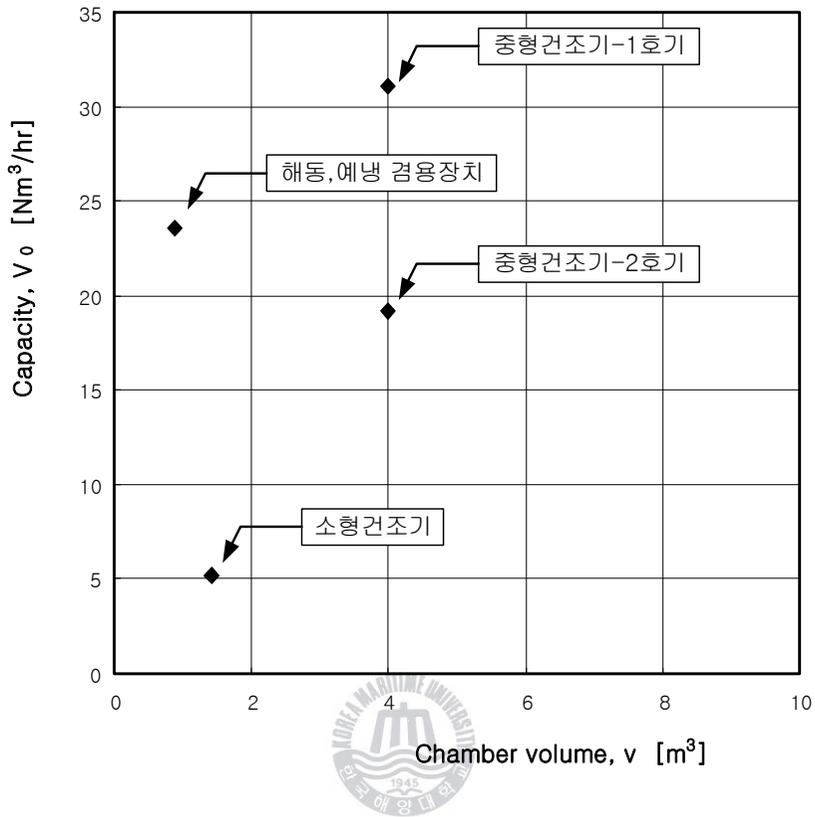
※ 추기용량 : 5.2 [Nm<sup>3</sup>/hr]



(종합평가) 저온진공건조기용 진공펌프 추기특성



## (종합평가) 본체 용량에 따른 진공추기량

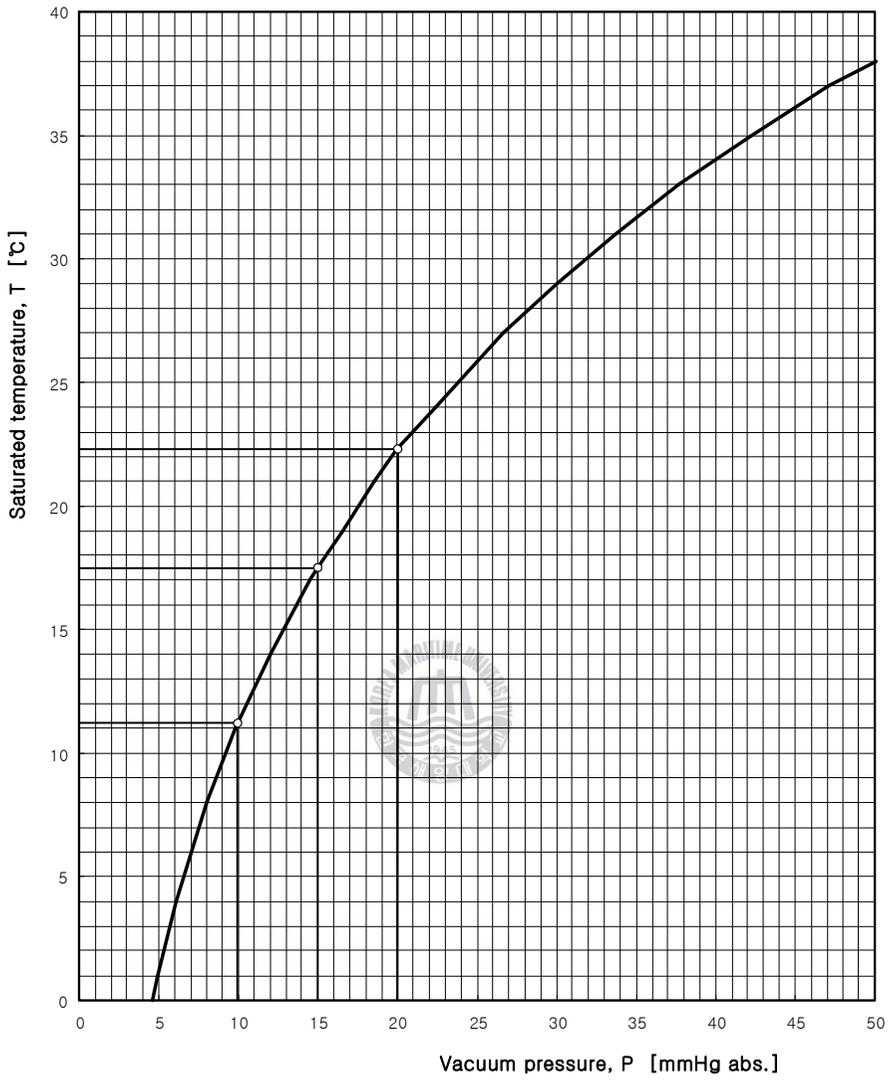


## 본체 용량에 따른 진공추기량

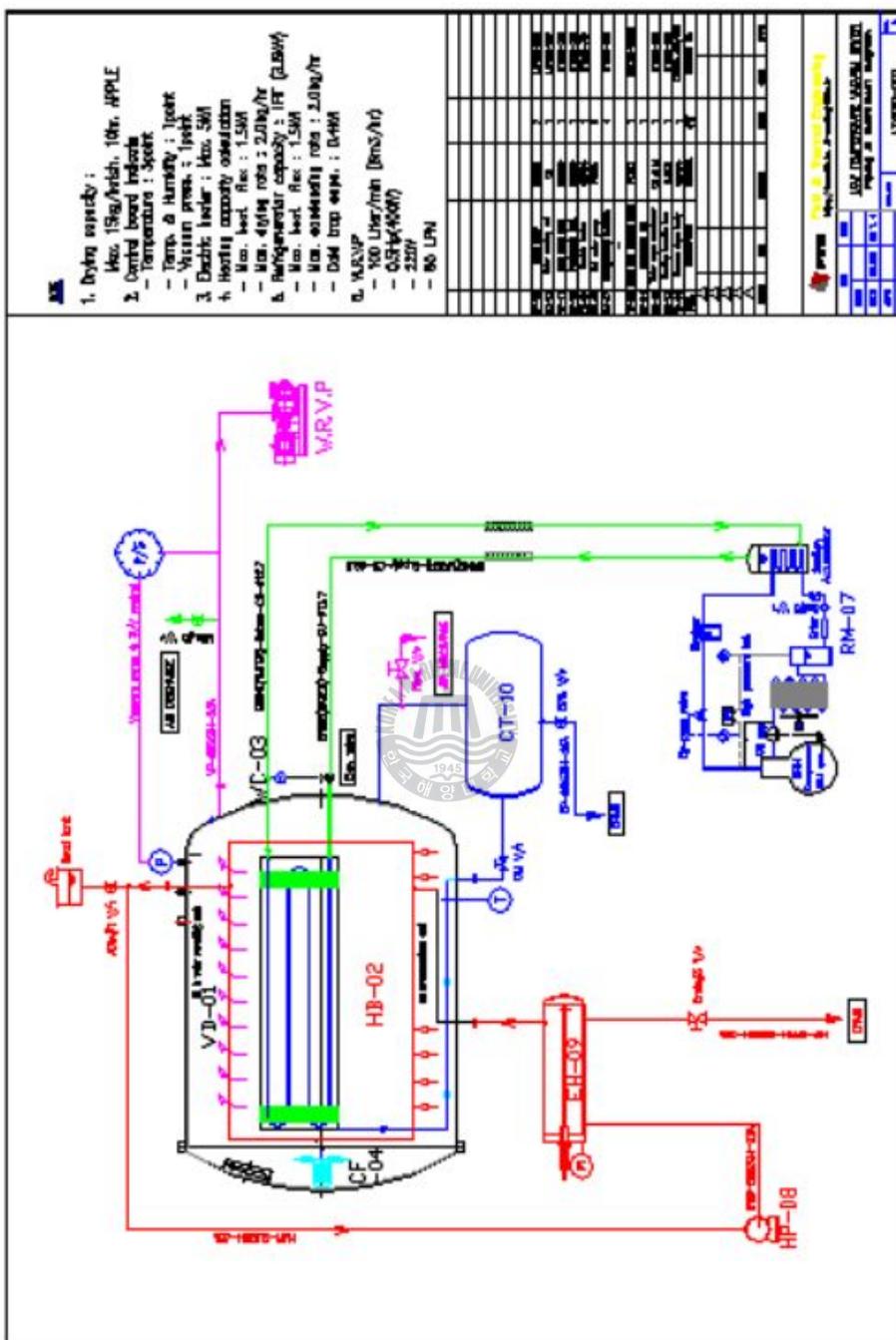
구 분	소형건조기	해동예냉검용	중형1호기	중형2호기	비 고
내부용적 [M³]	1.41	0.88	4.002	4.002	
사용진 공펌프	Maker	기원산업사	우성진공펌프	우성진공펌프	한창진공펌프
	Model	공기이젝터	WSVP-9018	WSVP-9060	HWVP-2-085
	추기능력 [Nm³/hr]	-	28.0	36.0	51
실제추기용량 [Nm³/hr]	5.2	23.6	31.1	19.2	

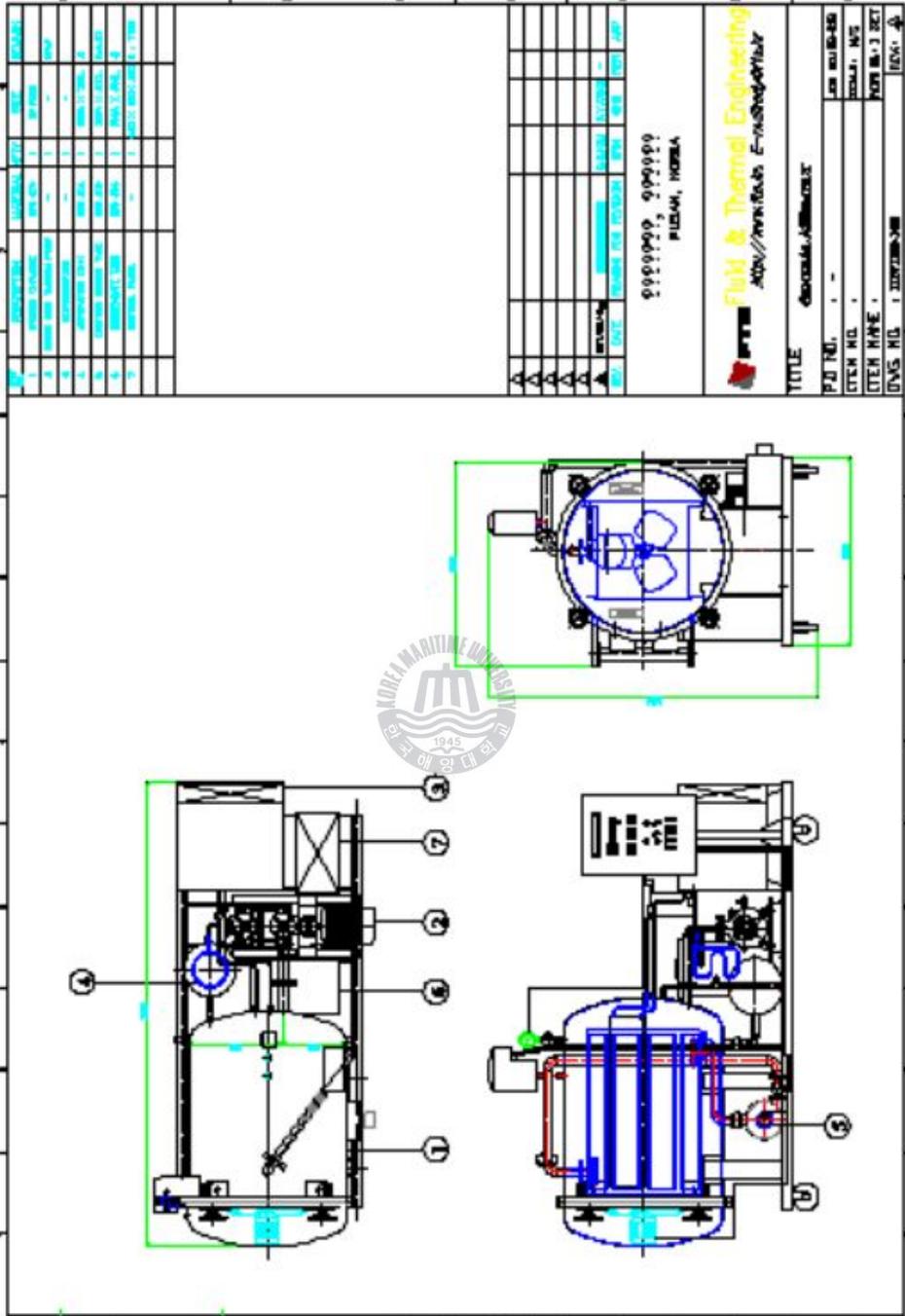


# 眞空圧力에 따른 飽和温度 曲線



[App.4] Basic arrangement and 3D CAD of exp. apparatus.





NO	REVISIONS	REVISIONS	DATE	REVISION
1	DESIGN	1	10/10/2018	1
2	CONSTRUCTION	1	10/10/2018	1
3	OPERATION	1	10/10/2018	1
4	MAINTENANCE	1	10/10/2018	1
5	REPAIR	1	10/10/2018	1
6	REPLACE	1	10/10/2018	1
7	REWORK	1	10/10/2018	1
8	REDESIGN	1	10/10/2018	1
9	RECALCULATE	1	10/10/2018	1
10	RECHECK	1	10/10/2018	1
11	REVERIFY	1	10/10/2018	1
12	REAPPROVE	1	10/10/2018	1
13	RETEST	1	10/10/2018	1
14	RECALIBRATE	1	10/10/2018	1
15	REVALIDATE	1	10/10/2018	1
16	RECOMMISSION	1	10/10/2018	1
17	RESTART	1	10/10/2018	1
18	RESTART	1	10/10/2018	1
19	RESTART	1	10/10/2018	1
20	RESTART	1	10/10/2018	1
21	RESTART	1	10/10/2018	1
22	RESTART	1	10/10/2018	1
23	RESTART	1	10/10/2018	1
24	RESTART	1	10/10/2018	1
25	RESTART	1	10/10/2018	1
26	RESTART	1	10/10/2018	1
27	RESTART	1	10/10/2018	1
28	RESTART	1	10/10/2018	1
29	RESTART	1	10/10/2018	1
30	RESTART	1	10/10/2018	1
31	RESTART	1	10/10/2018	1
32	RESTART	1	10/10/2018	1
33	RESTART	1	10/10/2018	1
34	RESTART	1	10/10/2018	1
35	RESTART	1	10/10/2018	1
36	RESTART	1	10/10/2018	1
37	RESTART	1	10/10/2018	1
38	RESTART	1	10/10/2018	1
39	RESTART	1	10/10/2018	1
40	RESTART	1	10/10/2018	1
41	RESTART	1	10/10/2018	1
42	RESTART	1	10/10/2018	1
43	RESTART	1	10/10/2018	1
44	RESTART	1	10/10/2018	1
45	RESTART	1	10/10/2018	1
46	RESTART	1	10/10/2018	1
47	RESTART	1	10/10/2018	1
48	RESTART	1	10/10/2018	1
49	RESTART	1	10/10/2018	1
50	RESTART	1	10/10/2018	1

0000000, 0000000  
 PUSAN, KOREA

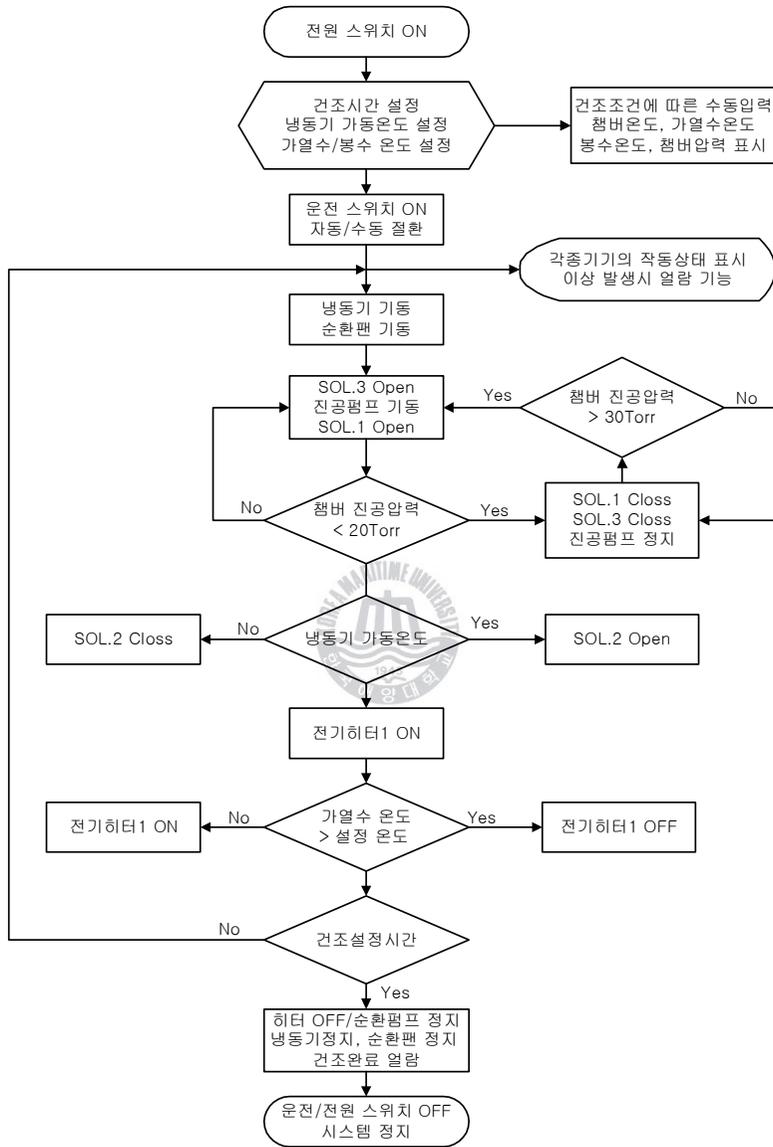
**Fluid & Thermal Engineering**  
 ADVANCED RESEARCH ENGINEERING

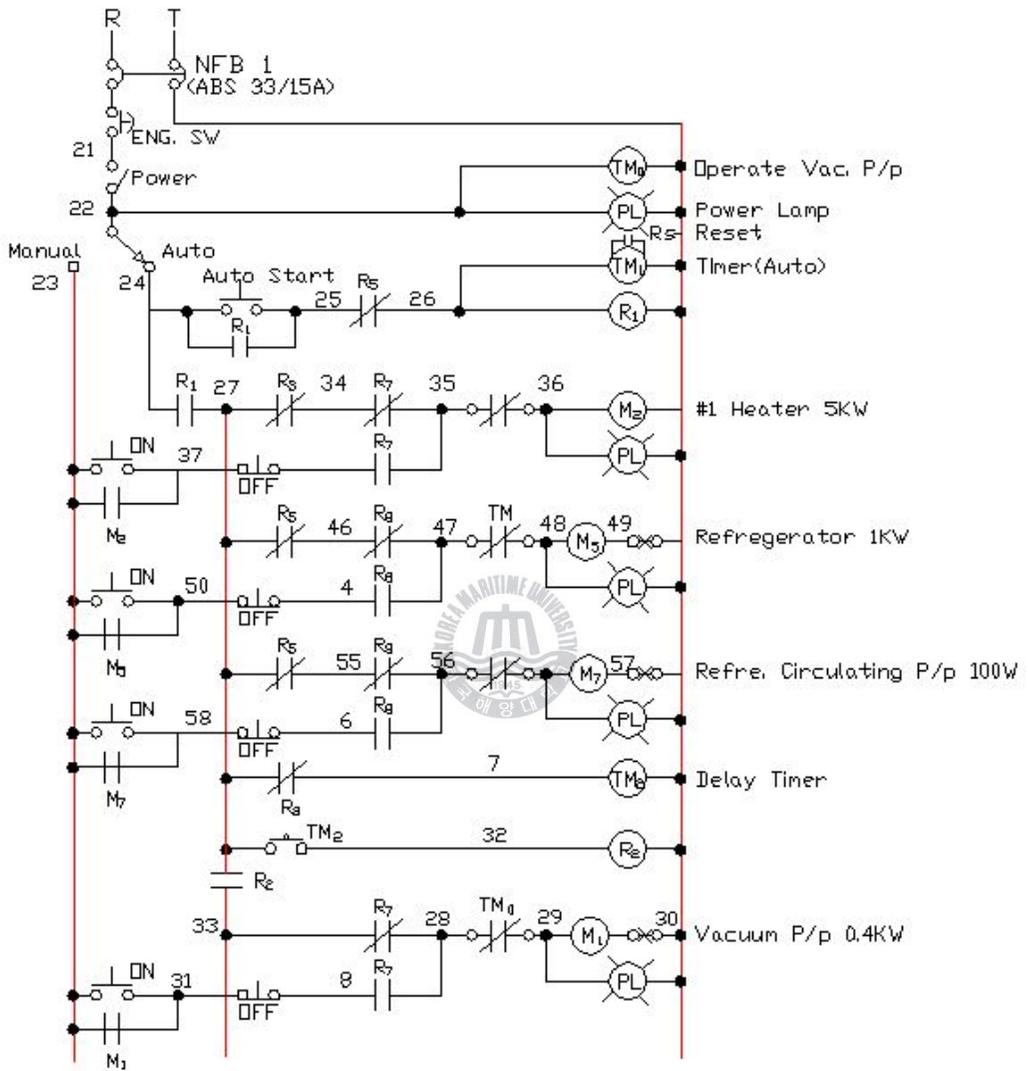
TITLE: HEAT EXCHANGER DESIGN

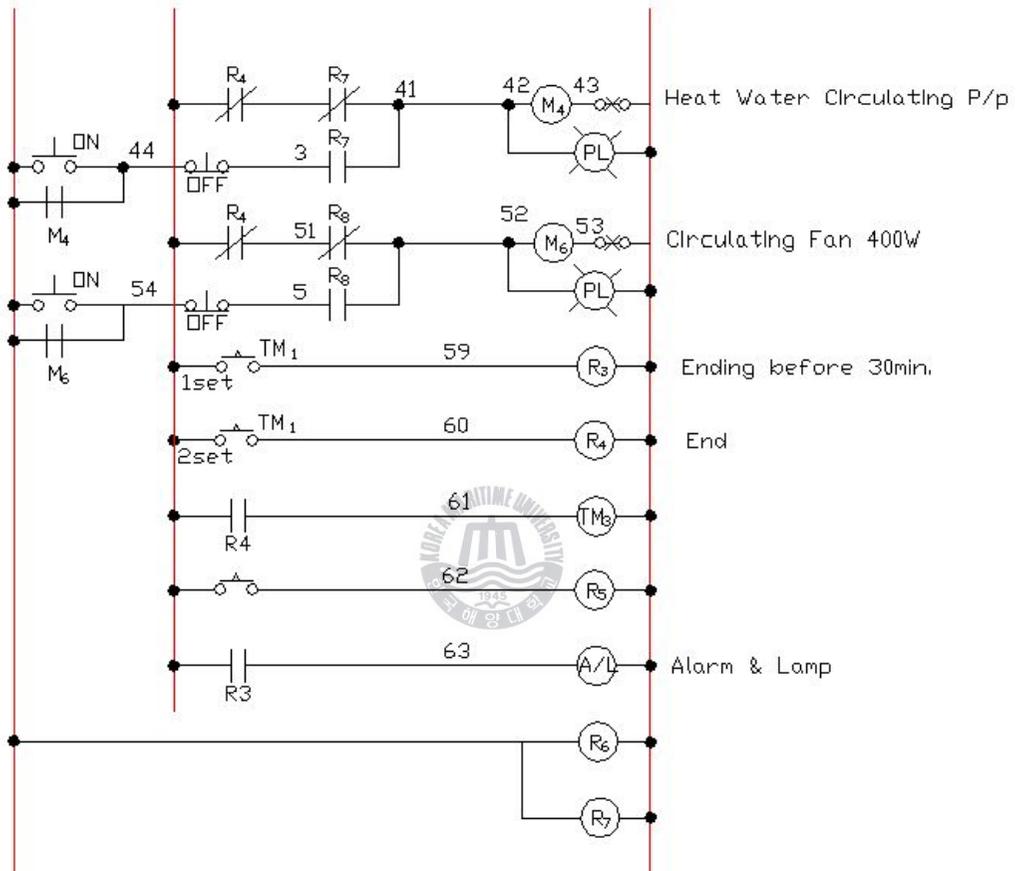
P.J. NO.: -  
 ITEM NO.: -  
 ITEM NAME: -  
 DWS. NO.: 1 1000000000

DATE: 10/10/2018  
 SCALE: 1:1  
 REV. NO.: 1

[App.5] Block diagram of power supply and control circuit.







## 감사의 글

논문이 완성되기 까지 인도하여 주신 하나님께 감사드립니다. 정들었던 대학원 생활을 마치면서 보람과 회개가 교차했던 것을 정리하면서 최선을 다하지 못한 것을 후회하며 결실을 맺고자 합니다.

오늘 학위를 하기 까지 부족하고 서투른 저를 이 자리가 있기까지 지도해 주시고 아낌없는 사랑을 베풀어 주신 김경근, 최순열 교수님께 고개 숙여 감사의 인사를 드립니다. 바쁜 일정에도 학위논문 지도를 위하여 귀중한 시간을 할애해 주신 윤석훈 교수님, 오철 교수님, 목포해양대학교 최부홍 교수님께 진심으로 감사드립니다.

항상 따뜻한 마음으로 대해 주신 군산대학교 김명준 교수님, 실습선 양해용, 이근환, 조상곤 기관장님, 이호현 일기사님께 감사드립니다. 항상 든든한 후배로 저에게 많은 도움이 되어준 해양경찰청 최현규님, 군산대학교 정연욱님, 김상용님, 황상진님께 감사드립니다.

끝으로 대학원 과정동안 항상 사랑과 용기를 준 아내 윤선경과 아들 찬혁, 찬희에게 고마움을 전하며, 자식의 성장을 묵묵히 지켜봐 주시고 힘이 되어주신 부모님, 장인, 장모님께 고개 숙여 감사드립니다.