



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

# 한국산 굴의 진공건조공정에서의 건조열전달특성에 관한 연구

**A Study on the Drying Heat Transfer Characteristics of the Korean Oyster  
during the Low Temperature Vacuum Drying Process**



한국해양대학교 대학원

기관시스템공학과

최 세 현

본 논문을 최세현의 공학석사 학위논문으로 인준함.

위원장 윤 석 훈



위원 오 철



위원 김 경 근



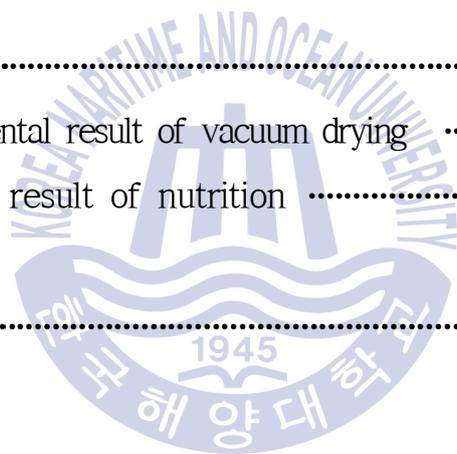
2015년 12월 18일

한국해양대학교 대학원

# 목 차

List of Figures .....	iii
List of Tables .....	v
사용기호 .....	vi
Abstract .....	vii
제1장 서론 .....	1
1.1 연구의 필요성 및 목적 .....	1
1.2 굴의 건조특성 및 건조기술 .....	5
1.3 연구 내용 .....	9
제2장 실험장치 및 실험방법 .....	10
2.1 실험장치의 개요 .....	10
2.2 측정장치 및 검정결과 .....	13
2.3 실험방법 및 실험범위 .....	15
2.3.1 실험 재료 및 전처리 공정 .....	15
2.3.2 실험 범위 및 조건 .....	16
2.3.3 실험 방법 .....	18
제3장 실험결과 .....	20
3.1 무게 수율 .....	20
3.2 건조 소요 동력 및 소모 전력 .....	22
3.3 건조 시간에 따른 무게 변동 .....	27
3.4 건조시간에 따른 함수율의 변동 .....	32
3.5 건조 시간에 따른 피건조물의 온도 변동 .....	37
3.5 열프럭스의 변동 .....	41

제4장 실험결과의 고찰 .....	44
4.1 가열수 입구온도가 무게 수율에 미치는 영향 .....	44
4.2 건조속도에 미치는 영향 .....	46
4.3 열프릭스에 미치는 영향 .....	49
4.4 열프릭스와 함수율의 검토 .....	54
4.5 건조시간 경과에 따른 건조 상태 검토 .....	59
제5장 결론 .....	62
참고문헌 .....	64
Appendix .....	65
Appendix. I Experimental result of vacuum drying .....	65
Appendix. II Analysis result of nutrition .....	72
감사의 글 .....	79



## List of Figures

Fig. 2.1 Schematic diagram of experimental apparatus .....	11
Fig. 2.2 Calibration curve of No.1 thermocouple .....	14
Fig. 3.1 Electric energy consumption during vacuum drying (Wild oyster, $T_{hin} = 40^{\circ}\text{C}$ ) .....	23
Fig. 3.2 Electric energy consumption during vacuum drying (Wild oyster, $T_{hin} = 60^{\circ}\text{C}$ ) .....	24
Fig. 3.3 Electric energy consumption during vacuum drying (Farmed oyster, $T_{hin} = 40^{\circ}\text{C}$ ) .....	25
Fig. 3.4 Electric energy consumption during vacuum drying (Farmed oyster, $T_{hin} = 60^{\circ}\text{C}$ ) .....	26
Fig. 3.5 Weight variation of farmed oyster ( $T_{hin} = 40^{\circ}\text{C}$ ) .....	29
Fig. 3.6 Weight variation of farmed oyster ( $T_{hin} = 50^{\circ}\text{C}$ ) .....	30
Fig. 3.7 Weight variation of farmed oyster ( $T_{hin} = 60^{\circ}\text{C}$ ) .....	31
Fig. 3.8 Variation of water contents rate according to the drying time (D.N: B-1) .....	34
Fig. 3.9 Variation of water contents rate according to the drying time (D.N: B-2) .....	35
Fig. 3.10 Variation of water contents rate according to the drying time (D.N: B-3) .....	36
Fig. 3.11 Temperature variation during vacuum drying (D.N: B-1) .....	38
Fig. 3.12 Temperature variation during vacuum drying (D.N: B-2) .....	39
Fig. 3.13 Temperature variation during vacuum drying (D.N: B-3) .....	40
Fig. 3.14 Heat flux behavior during vacuum drying ( $T_{hin} = 50^{\circ}\text{C}$ ) .....	43

Fig. 4.1 Influence of heating water temp. on vacuum drying speed (Wild oyster, A-series) .....	47
Fig. 4.2 Influence of heating water temp. on vacuum drying speed (Farmed oyster, B-series) .....	48
Fig. 4.3 Influence of heating water temp. on heat flux variation (Farmed oyster, B-series) .....	52
Fig. 4.4 Influence of heating water temp. on heat flux variation (Wild oyster, A-series) .....	53
Fig. 4.5 Comparison of moisture contents of A & B-series .....	56
Fig. 4.6 Variation of heat flux during vacuum drying ( $T_{hin} = 50^{\circ}\text{C}$ ) .....	
Fig. 4.7 The relationship between heat flux and moisture ratio ( $T_{hin} = 50^{\circ}\text{C}$ ) .....	58



## List of Table

Table. 1.1 Recent exports results of Korean oyster .....	2
Table. 1.2 Exports of Korean oyster for top-3 countries .....	3
Table. 1.3 Nutritional analysis results for the raw and the hot wind drying oysters(suggested by KFDA) .....	6
Table. 2.1 Experimental range and data number .....	17
Table. 2.2 Experimental parameters .....	17
Table. 3.1 Weight ratio of each steps for wild oyster .....	21
Table. 3.2 Weight ratio of each steps for farmed oyster .....	21
Table. 4.1 Final weight ratio of wild oyster's meat and broth .....	45
Table. 4.2 Final weight ratio of farmed oyster's meat and broth .....	45

## List of Photographs

Photo. 2.1 Experimental apparatus .....	11
Photo. 2.2 Pre-conditioning of the oysters and the meat broth .....	15
Photo. 2.3 Steamed oyster on the drying plate for vacuum drying .....	19
Photo. 3.1 Wild and farmed oyster according to the change of moisture content ratio .....	60

## List of Appendix

Appendix. I : Experimental result of vacuum drying .....	66
Appendix. II : Analysis result of nutrition .....	72

# 사용기호

## *Alphabets & Greek symbols*

h	: 열전달계수	kcal/m <sup>2</sup> hr°C
q	: 열프럭스	kcal/m <sup>2</sup> hr
t	: 측정시각	hr
$\omega$	: 함수율	%
A	: 건조판의 전열면적	m <sup>2</sup>
E	: 소비전력	kWh
G	: 피건조물의 무게	kg
Q	: 열부하	kcal/m <sup>2</sup> hr°C
T	: 온도	°C
V	: 전압	mV
W	: 사용전력	kW
H <sub>fg</sub>	: 증발잠열	kcal/kg
P <sub>in</sub>	: 건조기내부압력	mmHg
P <sub>s</sub>	: 포화압력	kg/m <sup>2</sup>



## *Subscripts*

c.p	: 항울 건조기간
f.p	: 감울 건조기간
h	: 가열수 온도
o	: 굴
r	: 건조실 내부
s	: 포화상태
w	: 온수측 전열관 표면온도

**A Study on the Drying Heat Transfer Characteristics of the Korean Oyster  
during the Low Temperature Vacuum Drying Process**

***SE-HYUN CHOI***

***Department of Marine System Engineering  
of  
Graduate School of Korea Maritime & Ocean University***

**Abstract**

The oyster is rich in nutrients with good flavor and prefer both the East and the West as a functional high-quality seafood for prevention of disease, so that it has been popular all over the world for centuries. As the demands for the oyster have been increasing, yields of the oyster have also been increased gradually at a time. The best way to increase the ease of storage capacity and convenience of transportation of the mass-produced oysters is to dry. But there are many technical limitations of drying to solve this problem in the world and especially in Korea. By the hot or the frozen drying technology, the perfect dried oyster cannot be obtained because of the much destruction of the flavor and nutrients of the oyster meat's weakness. In the present experiments, STVD-50 type low temperature vacuum dryer was adapted as an experimental apparatus. The initial weight of vacuum drying materials were fixed in 5 kg and the condition of heating temperature of circulating water in low temperature vacuum dryer was maintained in 40, 50, 60°C.

According to comparative experiment between wild and farmed oyster, the drying process of the low temperature vacuum drying technology, the final weight ratio of dried oyster and the heat transfer characteristics of steamed oysters are reported in this paper.

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구의 필요성 및 목적

바다의 우유라고 불리는 굴은 독특한 향과 달콤하면서도 풍부한 단백질과 영양성분을 보유하고 있어 예로부터 허한 기를 돌아주며, 간과 신장의 기능을 원활히 하는데 효능이 있는 것으로 알려져 전 세계인이 애용하는 수산식품이다. 중국, 홍콩, 싱가포르 등에서 굴은 주로 건조된 상태의 굴이 요리에 사용된다. 한국농수산물유통공사(aT)에 의한 해외시장 조사결과에 의하면 한국산 건조 굴은 일본산 건조 굴에 비하여, 건조기술의 부족으로, 육질이 약한 굴이 건조 중 품질이 저하되고, 건조 굴의 향기가 풍부하지 않고, 유통기간 중에 곰팡이가 피기 쉽다는 커다란 문제점이 있음을 지적하고 있다.<sup>[1]</sup>

중화권에서는 생굴보다도 연중 사용이 가능하고 보관성이 좋은 건조 굴을 선호하는데, 건조 굴은 홍콩을 중심으로 무역이 이루어진다. 2010년 홍콩이 수입한 건조 굴은 1,200톤(약 3,000만 USD)으로 일본에서 719톤(59.7%), 한국에서 441톤(36.6%), 중국에서 36톤(3.0%)을 수입하고 있으며, 수입량의 약 17%에 해당하는 204톤(약 400만 USD)은 미국, 캐나다, 말레이시아 및 싱가포르 등의 화교들에게 재수출하여 사용된다.<sup>[2]</sup>

그러므로 품질이 세계적으로 가장 우수한 한국산 생굴을 중국, 홍콩으로 본격적 수출을 위해서는 고품질 건조 굴 생산에 필요한 신기술 개발이 필수적이며, 건조공정을 거치면 굴 가격이 생 굴에 비하여 4~5배 상승하므로 고부가가치 수출수산식품으로 전환이 가능하다.<sup>[3]</sup> 과거에는 통조림 제품을 선호하였으나, 통조림 굴에는 부패를 방지하기 위한 방부제 및 항산화제등의 혼입이 필요하므로 최근에는 전 세계적으로 통조림 제품을 기피하는 경향이다.

한국의 서해안에서는 자연산 굴을 주로 생산하며, 남해안에서 굴을 대량으로 양식하는데, 양식 굴의 경우 과잉생산에 의한 가격폭락 현상이 자주 발생한다. 우리나라에서는 양식 굴은 연간 3.5만톤을 생산하며 2013년도의 경우 약 1만톤(7,00만불)을 수출하였다.<sup>[1]</sup> 주요 수출국은, Table 1.1에서 보는 바와 같이, 일본 4,900톤, 미국 2,500톤, 홍콩 870톤, 중국 311톤, 말레이시아 244톤으로 수출량은 지속적으로 증가하고 있다. 굴 제품의 수출 형태는 생 굴, 통조림 굴, 조미가공 반건조 굴로, 최근에는 생굴보다 반건조 굴의 수출량이 증가하고 있는 추세이다.

Table 1.1 Recent exports results of Korean oyster

(단위 : ton, USD)

국가명	2013년		2013년 4월		2014년 4월	
	중량	금액	중량	금액	중량	금액
총 계	687,568	2,151,950,602	227,436	685,274,807	231,411	647,853,664
일본	4,867	29,974,510	2,278	13,808,604	2,294	14,211,059
미국	2,535	15,255,005	385	2,340,043	646	4,254,501
홍콩	868	12,650,231	262	3,557,668	234	2,662,702
싱가포르	182	2,835,544	41	548,756	42	599,665
말레이시아	244	2,147,501	119	894,393	119	1,197,081
중국	311	1,759,702	107	654,702	82	476,523
대만	232	1,145,651	84	331,330	280	1,201,188
영국	124	982,271	47	365,956	54	439,055
캐나다	93	872,147	13	61,740	11	110,000
태국	111	547,593	31	120,050	38	161,228
뉴질랜드	60	444,300			20	157,250
네덜란드	72	331,700	30	143,750	5	24,325
호주	30	288,001	20	195,601		
노르웨이	30	228,200				
멕시코	19	204,536	8	85,550	8	83,628

주요 3개국의 굴 수출동향을 Table 1.2에서 자세히 살펴보면 2014년 상반기에 4,598만\$를 기록하였고, 2015년 상반기에 7,289만\$로 60.6%의 증가율을 보이고 있다.

Table 1.2 Exports of Korean oyster for top 3 countries

구분	14년		14년 상반기		15년 상반기		증감률	
	물량	금액	물량	금액	물량	금액	물량	금액
굴	9,292	6,6220	6,488	45,387	9,820	72,894	51.4	60.6
국가별								
일본	4,729	31,124	3,812	23,961	7,085	51,129	85.8	113.4
미국	2,243	13,584	1,132	7,370	1,426	8,970	26.0	21.7
홍콩	551	8,404	406	6,191	295	4,938	27.3	20.2
포장상태별								
굴(냉동)	6,182	37,620	4,908	29,538	7,211	50,092	46.9	69.6
굴(밀폐용기)	1,772	10,808	793	5,424	1,377	9,461	73.7	74.4
기타	659	11,651	477	8,022	689	9,555	44.4	19.1

그리고 대일 굴 수출액이 2014년 상반기 대비 113%가 증가한 점에 주목할 필요가 있다. 중국, 한국과 함께 3대 굴 생산국인 일본은 연간 20만 톤 이상의 양식산 굴을 생산했으나, 동일본 대지진 이후 생산량이 약 4만 톤이 줄고, 이는 곧 지속적인 생산량 감소로 이어지게 되어 한국산 굴의 주수출 대상국이 되었다. 이후에도 수출량은 매년 가파른 상승세를 보일 것으로 예상되어 양식굴 산업의 호황은 지속될 것으로 사료된다.

또한 특히 중국으로의 굴 산업이 앞으로 대폭적으로 활발해 질 것이라 예상된다. 최근 중국과의 한중 자유무역협정을 체결되어 중국의 수산식품 소비시장이 전면 개방될 예정이다. 이에 따라 정부는 전복, 넙치, 김과 함께 굴을 주요 수출 전략품목으로 선정하였고, 중국 전자상거래 시장에 국산 수산식품이 성공적으로 정착되기 위해 총력을 기울이고 있다.

참고로 해양수산부의 발표에 의하면 중국 온라인 수산물 쇼핑시장은 2010년에 81조 7,000억 원에서 2013년에 320조 8,000억 원으로 약 4배 성장하였고, 2017년에는 1,064조 원 규모로 급격한 성장을 예상하고 있다.

중국인의 생활 수준향상에 따라 건강식품에 대한 관심이 높아지고 있다. 하지만 급격한 소득증대와 공업화에 따른 해양오염의 확산으로 인해 중국 자국의 먹거리의 안전에 대한 불신은 커져만 가고 있다. 먹거리에 대한 불신을 해소하기 위해 고품질이며 안전한 한국산 먹거리에 대한 관심이 매우 높다.



## 1.2 굴의 건조특성 및 건조기술

Table 1.3에는 한국식품의약품안전처(KFDA)에 의한 무게 100그램에 포함된 굴의 영양성분 함유량 분석결과를 나타낸다.<sup>[4]</sup> 이 표에서 보는 바와 같이 생굴에는 풍부한 영양성분이 포함되어 있다. 그러나 건조 굴을 생산하기 위하여 굴을 65°C 이상 고온 열풍건조하면 기본 영양성분 이외에는 몸에 좋은 성분들이 모두 사라지는 큰 문제점을 갖고 있다는 점이다.

또 한 가지 문제점은 건조 후의 최종함수율이 4~5%로 낮아야 보관, 유통 중에 곰팡이가 발생되지 않아야 건조 굴의 신선도가 유지될 수 있는데, 통상의 열풍건조나 자연건조에 의존할 경우 도달 가능한 최종함수율이 12~15%로 높아서 부패가 발생하기 쉬워 식품보존제(방부제)의 사용을 필요로 한다. 최근의 연구결과에 의하면 방부제는 암과 당뇨의 근원중의 하나라고 학술적으로 연구 보고되고 있다.<sup>[5],[6]</sup> 그러므로 고품질 건조굴의 수출 상품화를 위해서는 건조과정에서 굴의 향과 영양성분의 파괴가 없으며, 방부제의 투입이 필요 없는 첨단 건조기술의 개발이 매우 중요하다고 할 수 있다.

일반적인 식품의 영양소 파괴가 야기되는 온도한계를 정리하면 (1)45°C 이상에서는 발효가 시작되어 성분변화가 발생하고, (2)65°C 이상에서는 생물마다의 특유한 아미노산 성분들의 파괴가 발생하고, (3)85°C 이상에서는 비타민류의 파괴가 발생된다. 또한 동결건조와 같이 영하의 온도에서 건조하면 세포 내외에 존재하는 수분이 얼어서 체적이 팽창하는 과정에서 예리한 얼음결정으로 인하여 미소영양소들을 파괴하게 된다.

국내 굴 산업의 호황, 중국과의 자유무역협정과 중국인의 안심 먹거리에 대한 관심이 증가하고 있는 이러한 정황 속에서 우수한 품질의 국내산 굴의 건조가공 처리기술의 개발은 신 수출효자품목을 위한 필수적인 요소이다.

Table 1.3 Nutritional analysis results for the raw and the hot wind drying oysters(suggested by KFDA)

약어	영양성분 명	단위	생굴	열풍 건조굴
Vit-A	비타민-A	RE	11.0	176.0
P	인	mg	115.0	108.0
Ca	칼슘	mg	75.0	37.0
Pro	단백질	g	9.2	14.7
Nia	나이아신	mg	4.2	4.8
Fe	철	mg	1.3	3.3
Ash	회분	g	2.4	1.2
Thia	티아민	mg	0.22	0.65
Ribf	리보플라빈	mg	0.33	0.09
Vit-C	비타민-C	mg	4.0	0.0
RE	레티놀	ug	11.0	N/A
Ile	이소루신	mg	324.0	N/A
Leu	루신	mg	674.0	N/A
Lys	라이신	mg	669.0	N/A
Met	메티오닌	mg	278.0	N/A
Cys	시스테인	mg	53.0	N/A
Phe	페닐알라닌	mg	389.0	N/A
Tyr	티로신	mg	388.0	N/A
Thr	트레오닌	mg	487.0	N/A
Trp	트립토판	mg	35.0	N/A
Val	발린	mg	390.0	N/A
His	히스티딘	mg	424.0	N/A
Arg	아르기닌	mg	651.0	N/A
Ala	알라닌	mg	681.0	N/A
Asp	아스파르트산	mg	953.0	N/A
Glu	글루탐산	mg	1341.0	N/A
Gly	글리신	mg	593.0	N/A
Pro.	프롤린	mg	502.0	N/A
Ser	세린	mg	497.0	N/A

굴의 건조에 있어서 색깔, 상태, 모양 등은 고품질 건조 굴의 중요한 기준이 되며, 현재 우리나라의 굴 건조기술은 아주 낮은 수준으로 홍콩, 중국 등의 세계시장에서 우리나라의 건조 굴은 전무한 상태이다. 건조 굴도 완전건조가 아닌 반건조 상태의 굴을 수출하는 실정이다.

종래의 해산물 가공처리 방법이 존재하나 여러 문제점을 수반하고 있다. 우선 해산물 가공처리방법으로 흔히 쓰이는 열풍 건조방법은 높은 열원에 의해 피건조물의 온도가 증가하여 알칼리성인 굴에 치명적이기에 지방산화와 색소파괴로 인한 갈변반응, 그리고 색소파괴를 초래한다. 40°C 부터 굴에 포함된 여러 종류의 아미노산의 변성이 시작되어 서서히 파괴되기 때문에 굴 본연의 향과 맛을 상실하게 되어 품질저하 문제를 수반한다. 그리고 낮은 열효율로 인하여 에너지 소비 비용이 높고 건조기간이 긴 문제점도 있다. 마지막으로 건조 굴 내부에 수분함량이 높으면 세균번식의 위험이 있어 장기간의 보관에 취약점을 보인다.

열풍 건조방법과 함께 흔히 쓰이는 가공처리방법으로는 동결건조방법이 있는데, 건조 과정에서 피건조물 내의 수분이 동결 팽창하는 과정에서 미소 영양소들을 파괴하게 되어 굴 고유의 향이 사라져 품질이 저하되며, 동력 건조장치의 운전에 필요한 소요동력이 커서 제조비용이 높아 제품의 가격이 상승하는 요인이 된다.

따라서 최적의 식품 건조온도는 20 ~ 40°C 라고 할 수 있으며, 이와 같은 저온에서 건조하여야 하며 가능하면 산소가 희박한 환경에서 건조가 진행되어야 최상의 건조품질이 얻어진다는 것을 예상할 수 있는데, 이러한 새로운 건조기술이 저온진공건조기술(Low temperature vacuum drying technology)이다.<sup>[7],[8],[9],[10]</sup>

최순열<sup>[11]</sup>은 저온진공건조기술에 의하여 고추를 대상으로 저온진공열전달실험을 수행하여 고추의 진공건조과정에서는 건조 초기 수분증발이 활발히 일어나는 항울건조기간과 감울건조기간이 명확히 구분됨을 실험적으로 확인하고 건조시간이 종래 열풍건조 대비 1/4 정도로 단축되며 사용에너지도 대폭 절감됨을 실험적으로 확인하고 있다.

문수범<sup>[12]</sup>은 건해삼의 저온진공건조 열전달특성에 대하여 연구하였다, 해삼은 주지하는 바와 같이 약알칼리성 식품으로 건조 중에 육이 녹아내리기 쉬워 전통적으로 염장을 하여 건조하는 것이 당연시 되어 왔는데, 삶는 과정과 건조공정에서 전혀 소금을 사용하지 않고 “순수 무염 건해삼”을 생산하는데 성공하였다.

소예덕<sup>[13],[14]</sup>은 일반해수를 이용하여 저온진공농축과 저온진공건조기술을 조합하여 일반해수로부터 소금을 비롯한 다양한 해수내의 용존자원을 농도의 증가에 따라 순차적으로 석고 ⇨ 소금 ⇨ 천연미네랄 ⇨ 금속 성분이 석출되는 물리적 현상을 이용하여 해수 속에 용존된 모든 성분을 추출하는 연구를 수행하였으며 특히, 일반 시판 소금과는 달리 수은, 납, 카드뮴 등이 전혀 함유되지 않은 최고품질의 식용 결정소금을 만드는데 성공하였다.

이상의 저온진공건조기술을 이용한 농수산물의 고품질건조에 관한 연구<sup>[15],[16],[17]</sup>에서 저온진공건조를 하면 열풍건조에 비하여 (1)건조에너지가 1/4 이하로 소모되며, (2)건조시간도 1/4이하로 소용되면서, 건조과정에서 피건조물의 온도가 15 ~ 20°C의 저온으로 유지되기 때문에 향, 맛, 영양소가 보존되어 매우 우수한 건조생산이 가능하다는 것을 실험적으로 확인하고 있다.

### 1.3 연구 내용

건조과정에 있어서 수산물의 건조는 영양가, 맛, 색깔을 손상시키지 않는 범위 내에서 건조가 이루어져야 한다는 것은 중요한 문제이다. 현재 우리나라는 세계 2위 굴 생산량을 기록하고 있고 굴을 양식과 자연산 굴을 채취하여 냉동 굴의 형태로 상당량이 아시아, 북미로 유통되고 있다.

양식 굴의 집중 출하와 과잉 생산에 의한 가격 폭락을 방지하고, 고부가가치 수출 상품화를 위해서는 고품질 건조 굴의 건조생산기술이 필요하다. 또한 우리나라 서해안에서는 향과 맛이 아주 좋은 자연산 굴이 많이 생산되므로 이를 최고품질로 건조하여 세계에 수출함으로써 한국산 건조 굴의 일본산을 능가하는 브랜드화를 시도하여야 한다.

본 논문에서는 이와 같은 관점에서 저온진공건조기술에 의한 자연산굴과 양식굴의 건조품 생산에 관련된 진공건조열전달특성, 진공건조공정, 무게수율 등에 관한 실험적 결과를 정리하여 보고한 논문이다. 이러한 관점에서 본 논문의 제2장에서는 실험장치의 개요, 실험 방법 및 범위와 실험시료인 굴의 전처리 공정에 대하여 기술하였다.

제3장에서는 실험결과로서 소요동력 및 소모전력, 무게변동, 함수율의 변동, 무게감소율, 열프릭스의 변동, 건조시간의 경과에 따른 피건조물의 온도변동, 최종 수율에 대하여 기술하였다.

제4장에서는 실험결과와 고찰로서 실험결과를 토대로 가열수 온도가 건조속도 및 열프릭스에 미치는 영향과 자연산과 양식산 굴의 건조특성 비교, 건조 온도에 따른 피건조물의 무게, 온도, 함수율 변동을 고찰하였다.

제5장에서는 본 논문의 결과에 대하여 기술하였다.

## 제 2 장 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치의 개요

Fig. 2.1은 실험장치의 전체 계통도를 나타낸다. 실험장치는 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)등으로 구성되어 있다.

저온진공건조기 본체①의 크기는  $900\varnothing \times 1200L \times 16tmm$ 의 용기로서 내부용적은  $0.85m^3$ 이다. 그리고 저온진공건조기의 본체 내부는 건조판 5개를 투입할 수 있도록 설계되었으며, 실험중 내부의 건조상태를 관찰할 수 있는 관찰창( $\varnothing 200mm$ )을 설치하였다. 또한 본체 내부는 수봉식 진공펌프⑤를 이용하여 실험 진공압력( $6.67\text{ kPa abs.} \pm 2.67\text{ kPa abs.}$ )을 형성시킬 수 있으며, 약 10분 정도가 소요된다.

가열계통은 피 건조물에 최소한의 열량을 공급하기 위하여 5kW 전기히터②를 사용 설정온도에서 자동 조절되도록 하였다.

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

본 실험 장치의 전경을 Photo. 2.1에 나타내었다.

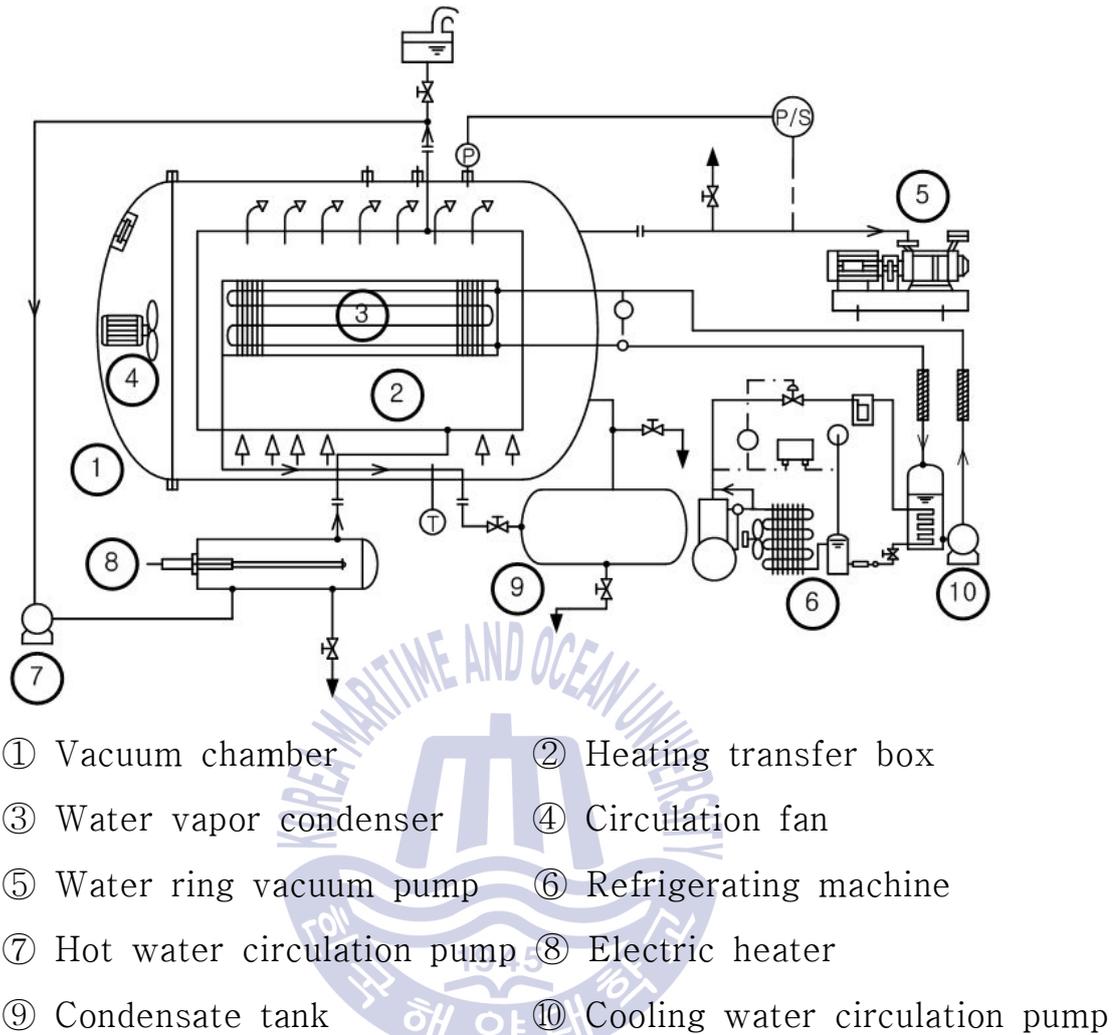


Fig. 2.1 Schematic diagram of experimental apparatus



Photo. 2.1 Experimental apparatus

## 2.2 측정장치 및 검정결과

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 전산으로 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 Tube와 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 0.1℃의 표준온도계(standard thermometer)의 눈금과 측정된 기전력을 기록하여 최소자승법(least regression)으로 처리하여 검정하였다. Fig. 2.2는 No.1 열전대에 대한 검정결과이다. 실험 중 피건조물의 무게는 전자저울을 이용하여 측정하였다.

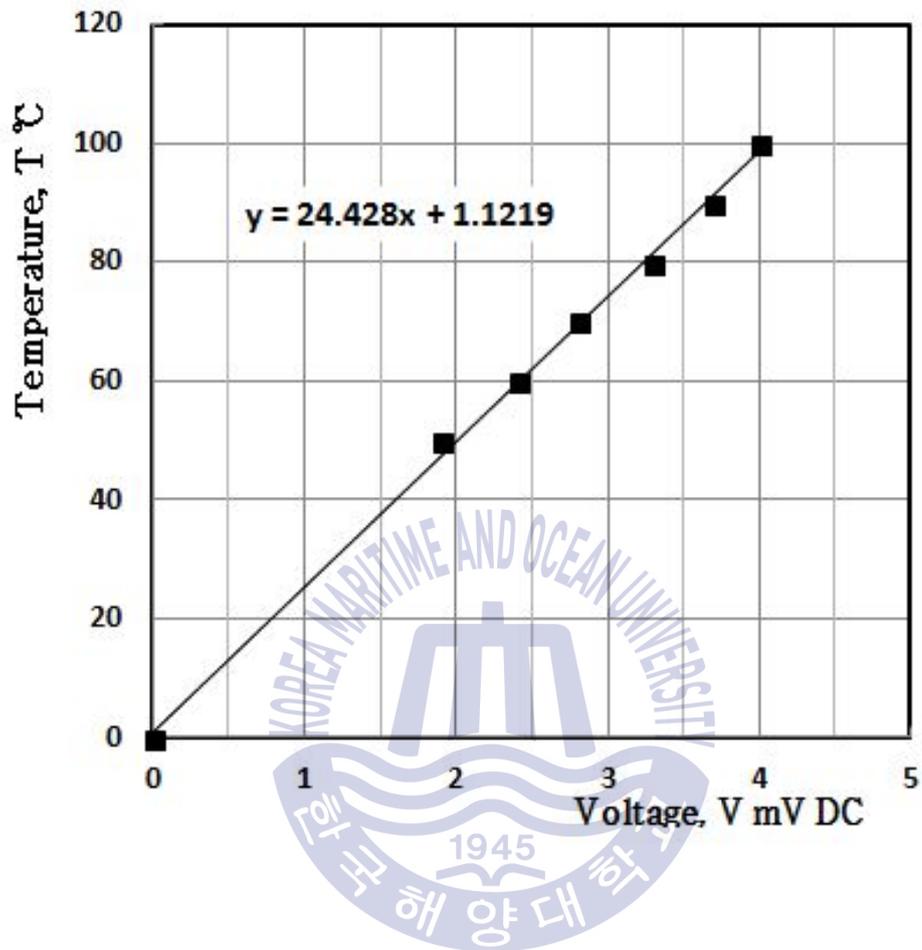


Fig. 2.2 Calibration curve of No.1 thermocouple

## 2.3 실험방법 및 실험범위

### 2.3.1 실험 재료 및 전처리 공정

본 실험에서는 충남 태안의 자연산 굴 및 경남 통영의 양식굴을 시료로 선택하였다. 생굴은 껍질이 제거된 후 깨끗이 씻은 상태의 생굴을 구입하여 저온건조조건을 하기위한 전처리 삶기 공정을 실시하였다.

건조를 위한 전처리공정인 삶기 공정에 관하여는 (1)끓는 물에 생굴을 익히는 방법과 (2)수증기로 생 굴을 찌는 방법을 생각할 수 있는데, 예비실험을 실시한 결과, 수증기로 찌는 방법이 맛이 증대된다는 관능평가 결과에 따라 본 실험은 생굴을 모두 고온의 수증기에 찌서 익히는 방법을 택하였다.

생굴에서는 보관 중 육수가 발생하고, 찌는 중에도 육수가 발생하는데, 이 육수도 끓여서 별도로 건조하였으며, 이는 아주 좋은 천연조미료에 해당한다. Photo. 2.2은 전처리 삶기 공정 실시 후 자연산 굴과 양식 굴의 육과 육수 사진을 참고로 나타낸다.

Photo.2.2 Pre-conditioning of the oysters and the meat broth

	Wild oyster	Farmed oyster	Meat broth
Pre-conditioning			
After Steaming			

### 2.3.2 실험 범위 및 조건

본 실험에서는 우리나라 대표적 굴 생산지인 서해안과 남해안의 굴을 시료로써 채택하였다. 굴의 대량 양식은 주로 남해안(통영)에서 이루어지며, 서해안에서는 굴 양식은 거의 없고 자연산 굴을 채취하는 실정이다. 이러한 이유로 본 실험에서는 태안의 자연산 굴과 통영의 양식 굴을 시료로 선택하였다.

저온진공건조한 건조 굴의 품질은 가열원(수)의 온도에 의하여 건조기 내부 공간의 온도가 변하므로 이에 따라 품질이 미묘하게 다르며, 가열수의 온도에 따라서 진공건조 열전달특성이 변화한다. 따라서 본 실험에서는 가열수의 건조기 입구온도를 40℃, 50℃, 60℃의 3가지를 택하여 실험을 수행하였고, Table 2.1은 그에 따른 실험의 분류이다.

측정 분석용 건조판의 상부로부터 3번째 건조판 즉 No.3 건조판을 측정용으로 선택하였다. 780mm x 470mm의 건조판에는 5kg의 시료를 균일하게 넣어놓고 진공건조 시험을 개시하도록 하였다.

Table 2.2은 본 실험의 실험조건을 나타낸다. 자연산 찢 굴을 A-시리즈, 양식 찢 굴을 B-시리즈로 하여 가열수 온도조건을 실험 파라미터로 하여 순차적으로 진공건조 열전달실험을 수행하였다.

진공건조기 내부의 진공압력은 -640~-680mmHg로 설정하여, 2접점식 진공압력계(Dual pressure vacuum gauge)에 의하여 본체 내부의 압력을 측정하여 수봉식 진공펌프가 자동으로 on-off하도록 하였으므로, 평균적인 본체 내부의 진공압력인 -660mmHg를 대표압력으로 정하여 이에 해당하는 수증기의 포화압력 및 물성치를 참고문헌 [17], [18]로부터 구하여 사용하였다

Table 2.1 Experimental ranges and data number

(측정 : 5kg 기준)

가열수온도 사료의 분류	40.0°C	50.0°C	60.0°C	비고
자연산 굴	A-1	A-2	A-3	충청남도 태안
양식 굴	B-1	B-2	B-3	경상남도 통영

Table 2.2 Experimental parameters

Parameter	Range
Vacuum pressure	-640~-680 mmHg
Inlet temp.of heating water	40~60°C

### 2.3.3 실험 방법

전처리가 완료된 굴은 건조판의 크기가  $0.3667\text{m}^2(0.78\text{m} \times 0.47\text{m})$ 인 건조판에 면포를 깔은 다음에 한 마리씩 넣어 놓아 건조 후에도 모양이 온전하도록 하였다. 한 장의 건조 판에는 찢 굴 5kg이 탑재되어 건조실험을 개시한다. 측정기준은 찢 굴 5kg을 기준(100%)로 하여 건조가 진행됨에 따라서 무게 감소 즉, 수증기의 증발량을 계산하였다.

Photo.2.3에 건조시간 경과에 따른 반건조 굴과 건조기 내부 건조판 사진을 나타낸다. 고품질의 굴을 획득함에 있어서 건조 굴의 품질에 가장 영향을 미치는 인자는 가열판의 온도이므로, 가열수의 온도를 40. 50. 60°C의 3가지로 유지하면서 건조 소요시간, 에너지소모율, 최종무게수율을 측정하였다.

건조 직전의 굴의 무게 5kg을 기준(100%)으로 3시간 간격으로 굴의 무게, 가열판 표면온도, 굴의 온도 및 건조기 내부의 공간온도를 측정 분석하였다.

실험 중 저온진공건조기 내부의 압력의 작동범위는 -640 ~ -680 mmHg의 범위에서 on-off 작동하므로 본체 내부의 평균 진공압력은 -660 mmHg으로 간주할 수 있으며, 이에 상당하는 수증기의 포화온도는 51.57°C, 수분의 증발 잠열  $H_{fg}=568.25 \text{ kcal/kg}$ 이다.<sup>[17][18]</sup> 각 측정온도는 각각의 열전대 검정식을 이용하여 보정하였으며, 3시간 동안의 평균적인 무게 감소로부터 수분의 증발열량을 측정하여 필요한 열계산을 수행하였다.



Photo.2.3 Steamed oyster on the drying plate for vacuum drying

## 제 3 장 실험결과

### 3.1 무게 수율

건 굴의 생산원가는 원료 구입비, 설비감가상각비, 건조에너지비, 가공인건비, 포장비 및 기타 비용으로 구성된다고 할 수 있는데, 가장 중요한 것은 건조 후의 무게수율로 원가산정에서 가장 핵심적인 요소이다.

Table 3.1에는 자연산 굴의 가공단계별 무게 변화를 구입한 생 굴 무게를 기준으로 하여 표로 정리하여 나타낸다. 이 표에서 보는 바와 완전 진공건조한 건 굴의 무게수율은 평균적으로 17.0%이며 가공단계 특히 Steaming하는 과정에서 침출하는 육수의 무게수율도 평균 3.1%로서 도합 약 30%의 건조물이 얻어진다.

Table 3.2에는 양식 굴의 가공단계별 무게 변화를 구입한 생 굴 무게를 기준으로 하여 표로 정리하여 나타낸다. 이 표에서 보는 바와 완전 진공건조한 건 굴의 무게수율은 평균적으로 18.1%이며, 육수의 무게수율의 평균치는 2.1%로 측정되었다.

Table 3.1 Weight ratio of each steps for wild oyster

가공단계별	가열수 입구온도			평균값
	40 °C	50 °C	60 °C	
생 굴 무게 (%)	100	100	100	100.0
물 뺀후 굴 무게 (%)	70.0	70.7	73.5	71.4
데친후 굴 무게 (%)	54.1	55.4	56.0	55.2
완건 굴 무게 (%)	16.4	16.6	16.6	16.5
완건 육수 무게 (%)	2.7	2.8	3.4	2.9

Table 3.2 Weight ratio of each steps for farmed oyster

가공단계별	가열수 입구온도			평균값
	40 °C	50 °C	60 °C	
생 굴 무게 (%)	100	100	100	100
물 뺀후 굴 무게 (%)	91.1	93.6	89.6	91.4
데친후 굴 무게 (%)	77.3	73.4	80.5	77.0
완건 굴 무게 (%)	20.3	19.6	22.0	20.6
완건 육수 무게 (%)	1.7	2.5	1.7	1.9

## 3.2 건조 소요동력 및 소모전력

Fig. 3.1과 Fig. 3.2는 자연산 굴의 진공건조 시 건조초기( $t=0$ )로부터 건조 완료까지의 측정시간 구간 동안의 시간평균적인 순간소요전력(kW)과 누적 소요전력량(kWh)을 정리한 결과를 나타낸다. 순간소요전력은 수분의 증발량이 많은 건조초기에는 비교적 크며 건조시간이 12시간 정도 경과하면 거의 일정한 값이 됨을 알 수 있었으며, 가열수를 가열하는 전기히터, 냉동장치 및 진공펌프계통이 각각 운전과 정지를 자동으로 번복하지만 큰 차이 없이 1.7kW 전후로 유지됨을 알 수 있었다. 가열수 입구온도가 40°C 인 Fig. 3.1과 가열수 온도가 60°C 인 Fig. 3.2의 결과를 비교해보면 가열수 온도가 60°C 인 경우가 순간소요전력이 약간 높게 나타남을 알 수 있었다.

Fig. 3.3과 Fig. 3.4는 양식 굴의 실험에서 가열수 입구온도가 각각 40°C 와 60°C 인 경우 순간소요전력(kW)과 누적 소요전력량(kWh)을 분석한 결과를 나타냈는데, 그 결과는 자연산 굴과 거의 유사한 경향을 나타내었다.

평균적 순간소요전력은 자연산 굴에 비해 양식 굴이 0.3kW가 더 크게 나타나는데, 진공건조 과정에서 발생하는 굴 내부의 수분의 증발량이 양식 굴이 더 많으므로 습증기를 응축하기 위한 응축기의 전력 소모가 많은 것 때문으로 사료된다.

그리고 양식 굴은 자연산 굴에 비하여 건조시간이 길게 나타났는데, 이는 양식 굴이 자연산 굴에 비하여 개개의 크기가 커서 건조시간이 길어진 것으로 사료된다.

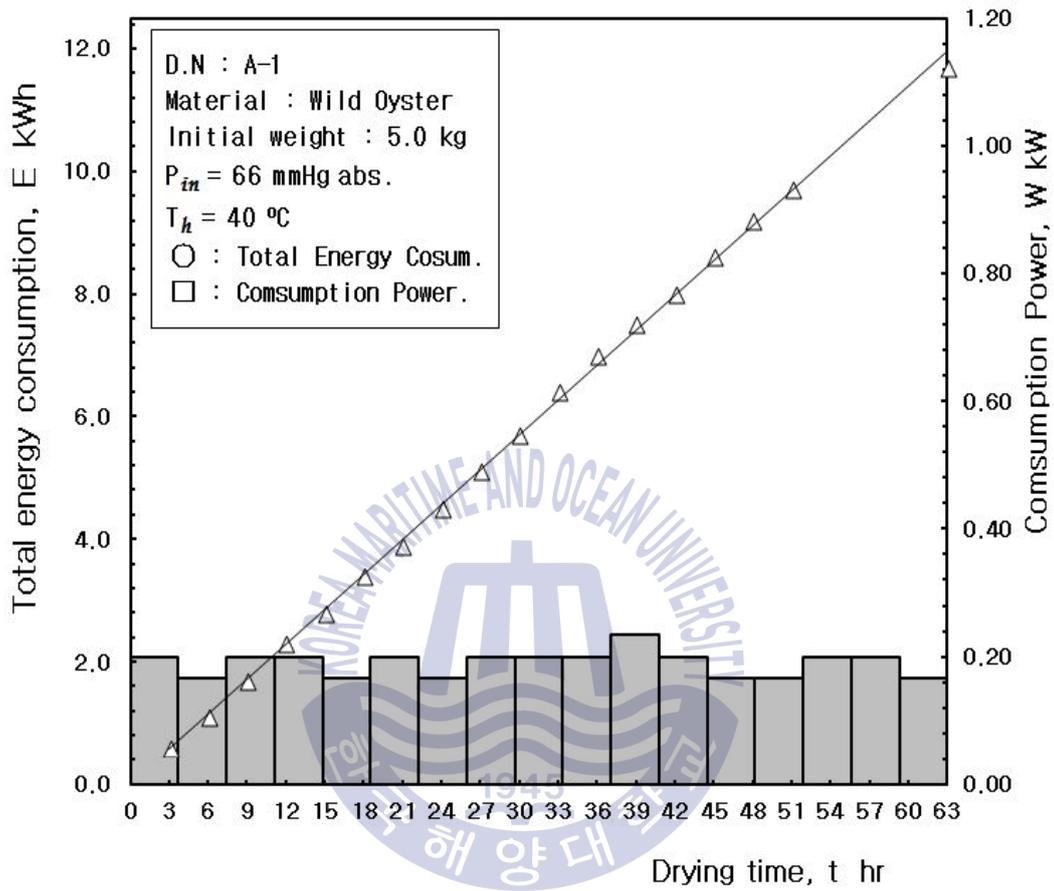


Fig. 3.1 Electric energy consumption during vacuum drying (Wild oyster,  $T_{hin} = 40^{\circ}\text{C}$ )

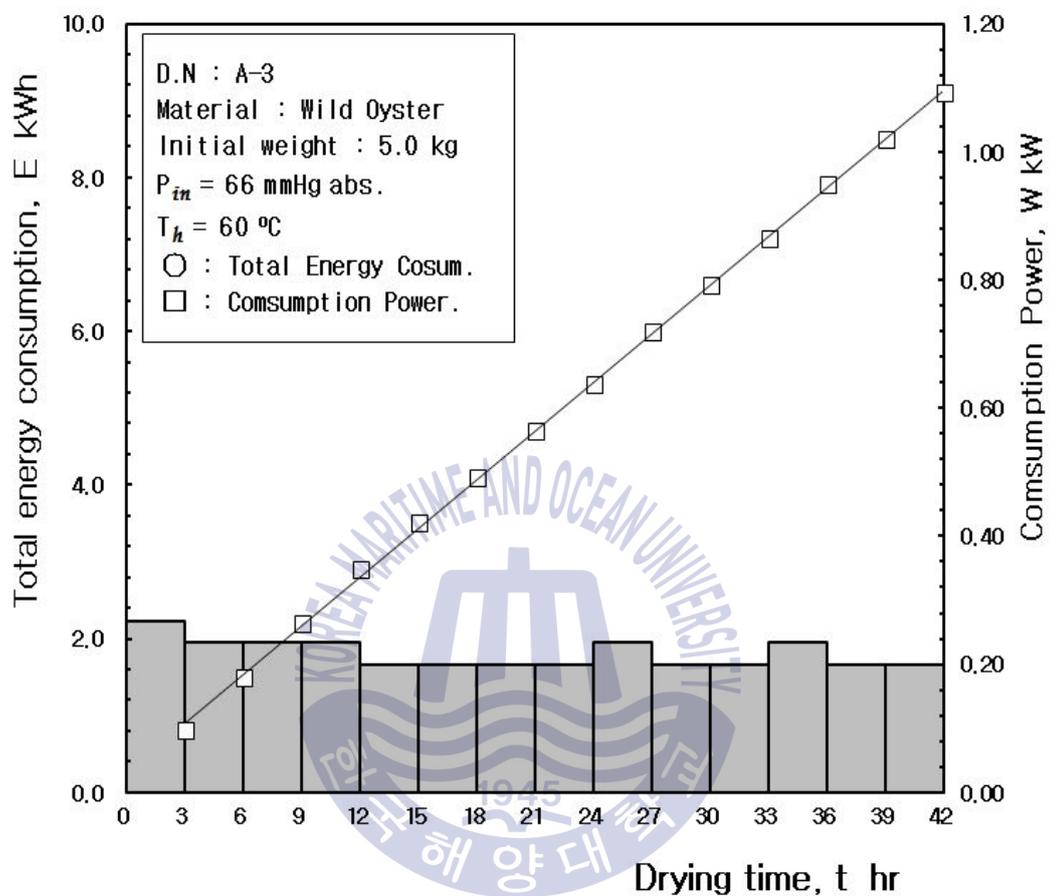


Fig. 3.2 Electric energy consumption during vacuum drying  
 (Wild oyster,  $T_{hin} = 60^{\circ}\text{C}$ )

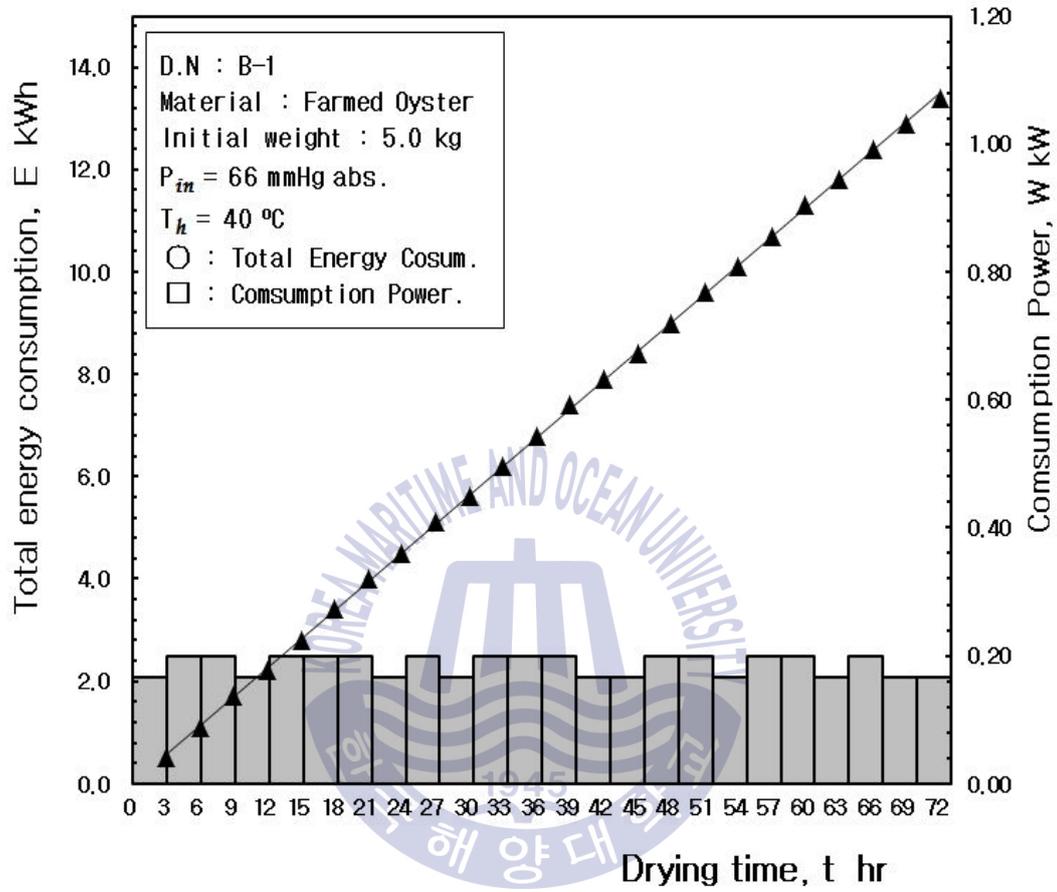


Fig. 3.3 Electric energy consumption during vacuum drying (Farmed oyster,  $T_{hin} = 40^{\circ}\text{C}$ )

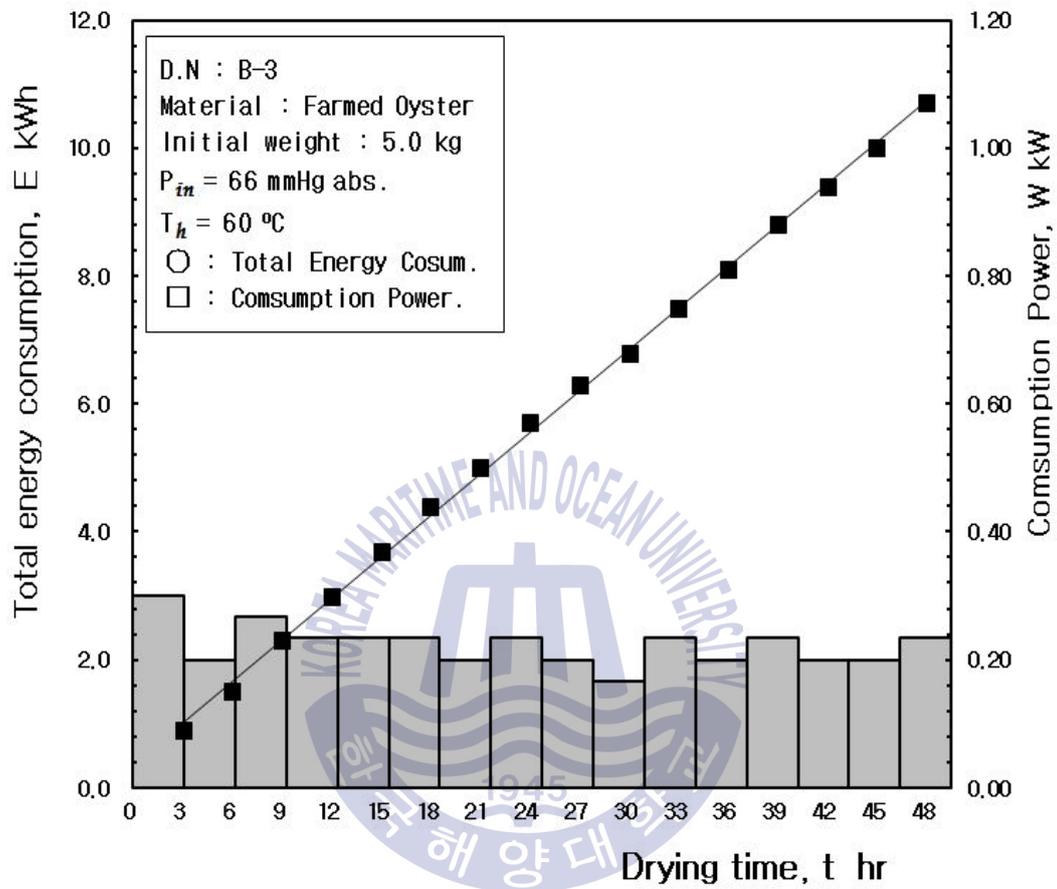


Fig. 3.4 Electric energy consumption during vacuum drying  
 (Farmed oyster,  $T_{hin} = 60^{\circ}\text{C}$ )

## 3.2 건조 시간에 따른 무게 변동

식품의 건조에서는 건조초기에는 표면 근처의 수분이 증발하면서 건조되므로 건조가 활발히 진행된다. 표면이 건조해가면 피건조물 내부의 수분이 수분의 농도차로 내부에서 표면쪽으로 물질이동(Mass transportation)이 일어나 표면에 도달하면 표피로부터 수분 증발이 활발히 진행되는데 이를 항율 건조기간(Constant-rate drying period)라고 한다.

건조시간이 경과하여 피건조물내의 수분의 증발 즉 건조가 상당히 진행되면 전체적으로 수분율이 낮아져 표면으로 물질이동속도가 현저히 느려져 건조속도가 뚝 떨어지게 되는데 이 건조기간을 감율건조기간(Falling-rate drying period)라고 한다. 감율건조기간에는 표면쪽의 수분농도가 내부의 수분농도보다 낮을수록 수분의 물질이동이 활발해지므로 결국 건조기의 성능이 좋아야한다는 것을 알 수 있다.

Fig 3.5~Fig 3.7에는 이상과 같은 관점에서 건조패턴을 “항율건조기간-중간영역-감율건조기간”으로 구분하여 표시하였다.

이들 그림에서 보는 바와 같이 실험 초기에 건조가 매우 활발히 일어나는 항율건조기간이 존재하는데, 실험이 시작되는 시점을  $t=0$  hr이라 하면 실험 직후부터 12시간 정도로 지속되며 무게가 약 절반(함수율 약 40%)으로 줄고 무게는 선형적으로 감소하는 특징이 있다. 이 단계에는 피건조물의 함수율이 높아 표면의 수분이 활발하게 증발함으로써 빠르게 건조가 진행됨을 확인 할 수 있다.

다음으로 중간영역을 거쳐 감율건조기간에 돌입하게 되는데 이 건조기간에서는 피건조물의 무게가 약 35%(함수율 약 13%)까지 감소하고 항율건조기간에 비해 느린 속도로 건조가 진행된다. 이 기간에 진입하는데까지 걸리는 시간은 가열수 온도조건마다 상이한 결과를 보이므로 무관하다고 사료된다.

저온진공건조 마지막 단계인 감율건조기간에서는 건조가 가장 더디게 진행되어 최종 무게 기준 10% 감소하는데 소요되는 시간은 평균 30시간이다.

이 실험의 경우 건조시간 69시간에서 최종함수율은 4.20%이었다. 참고로 기존의 열풍건조, 냉풍건조, 자연건조에 의존할 경우에는 공기 중의 수분의 열평형에 의하여 12% 이하의 건조는 불가능하다.



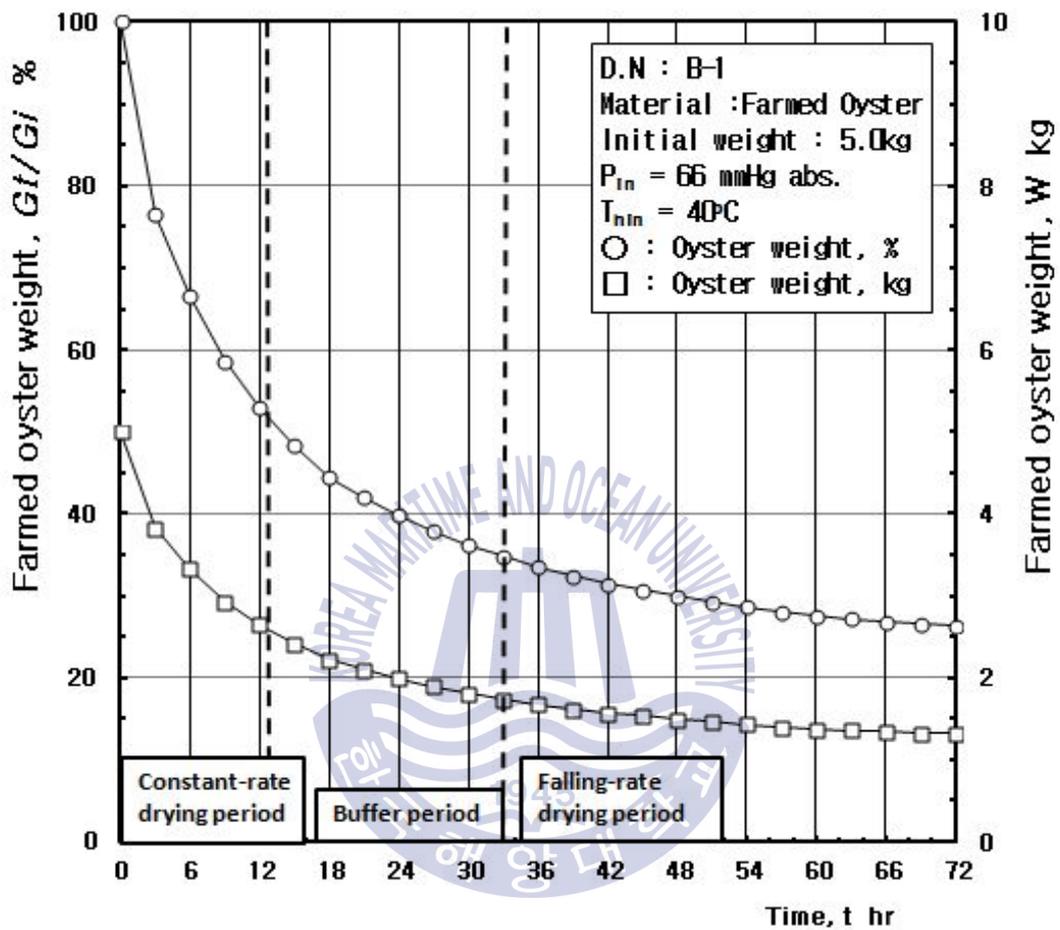


Fig. 3.5 Weight variation of farmed oyster ( $T_{hin} = 40^\circ\text{C}$ )

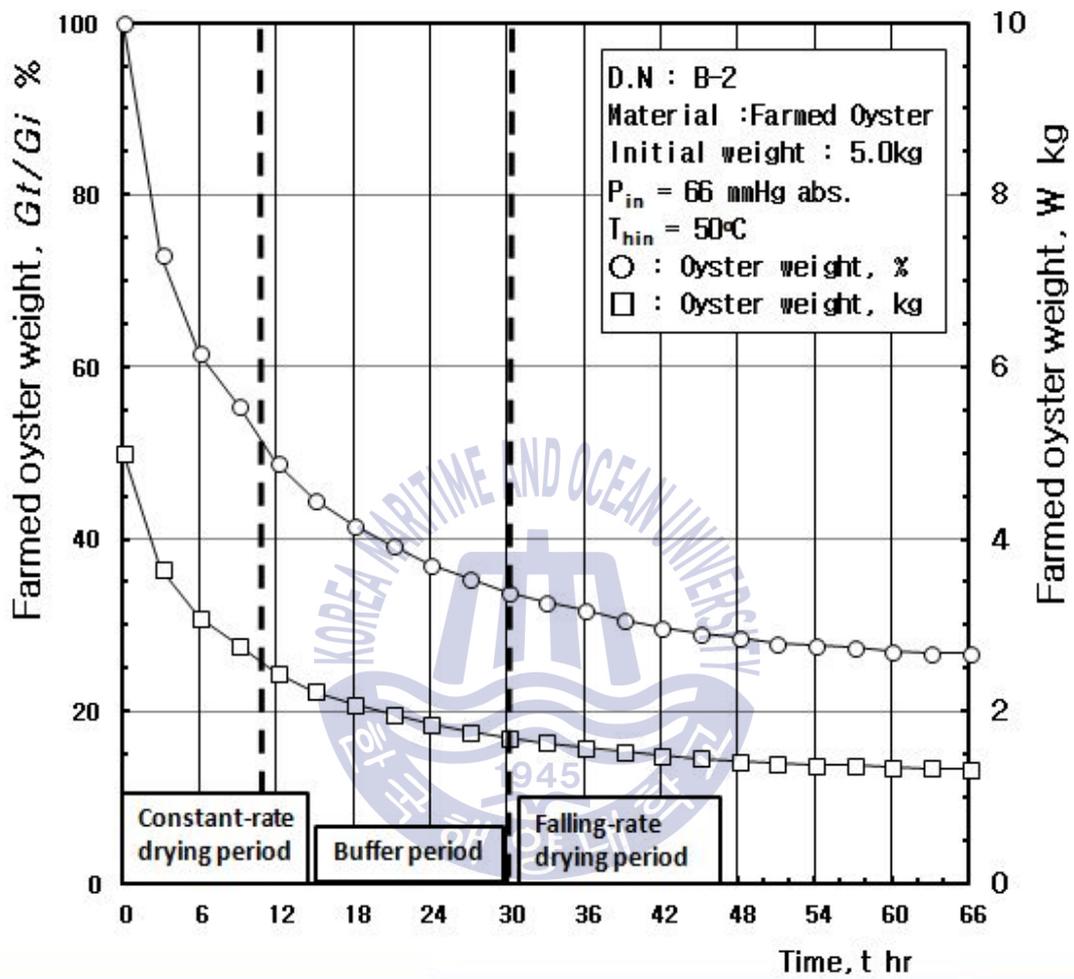


Fig. 3.6 Weight variation of farmed oyster ( $T_{hin} = 50^{\circ}\text{C}$ )

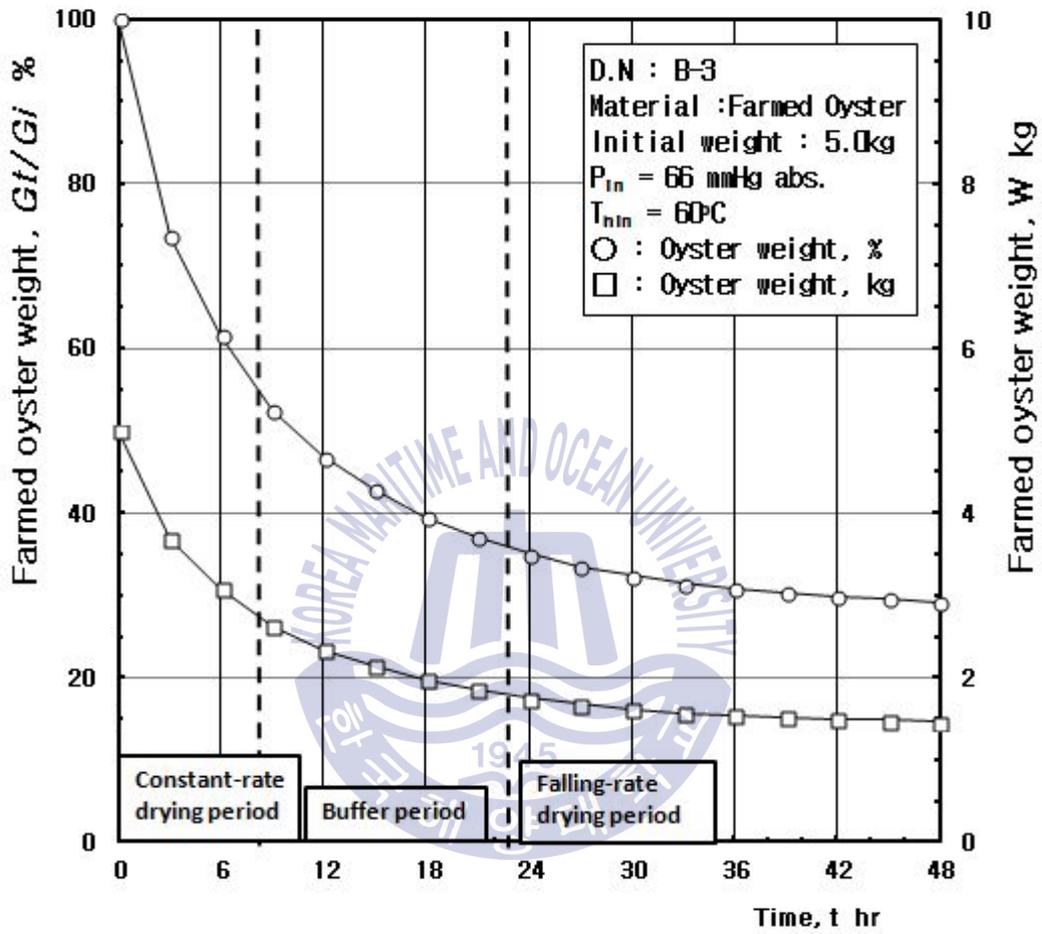


Fig. 3.7 Weight variation of farmed oyster ( $T_{hin} = 60^\circ\text{C}$ )

### 3.3 건조시간에 따른 함수율의 변동

함수율은 피건조물 전체 무게에서 수분이 차지하는 무게의 비율로, 함수율  $\omega$  %는 건조 골중의 수분 무게를  $W_{H_2O}$  (kg), 순수한 골 육의 무게를  $W_{oy}$  (kg)라고 하면 다음식과 같이 정의된다.

$$\omega = \frac{W_{H_2O}}{W_{oy} + W_{H_2O}} \quad (3.1)$$

그러므로 피건조물 중의 골 육만의 순수한 무게  $W_{oy}$ 와 수분의 무게  $W_{H_2O}$ 는 각각 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} W_{oy} &= W_{H_2O} \frac{(1-\omega)}{\omega} \\ &= (1-\omega) W_{oy} \end{aligned} \quad (3.2)$$

$$W_{H_2O} = \frac{\omega}{(1-\omega)} W_{oy} \quad (3.3)$$

본 실험장치와 유사한 저온진공건조장치를 이용한 고추의 저온진공 건조실험<sup>[11]</sup>에서, 해삼에 대한 저온진공 건조실험<sup>[12]</sup>에서 저온진공건조 완료 후 함수율은 물론 건조 중간단계에서 수분을 측정을 통하여 식(3.3)이 성립함을 확인하였다. 또한 농수임산물을 저온진공건조할 경우 시간이 무한대로 경과한 후의 최종함수율은 4.2%에 도달한다는 실험적 결과를 얻고 있다.

따라서 최종함수율이 4.2%임을 알므로 저온진공 건조실험 완료후 건  
굴의 무게를 측정하면 육만의 무게를 알 수 있으므로, 결국 식(3.1)로부터  
각 측정시각 t에서의 함수율을 구할 수 있다.

Fig. 3.8~Fig. 3.10는 이상과 같이 하여 건조를 개시한 후 매 3시간마다  
굴의 무게를 측정하고, 마지막 무게와 함수율을 계측한 결과로 부터 역산하  
여 각 시각에서의 함수율을 계산하여 나타낸 그래프이다. 3.2절에서 설명한  
함수율 정의의 식(3.1)으로부터 실험종료 시점의 함수율을 각 시각에서의 함  
수율을 계산하였다. 실험초기 자연산 굴과 양식 굴의 초기함수율은 약 71%  
정도임을 알 수 있었다.

이들 그림에서 보는 바와 같이, 앞서 무게 감소의 그래프와 흡사한 양상  
을 보여주고 있다. 함수율이 매우 높은 건조초기에는 함수율의 감소속도가  
빠르게 진행되고 , 점점 시간이 경과하면서 함수율의 감소속도가 완만해 짐  
을 알 수 있다.

이는 후술하는 국소열전달율의 변화와 매우 깊은 관계가 있음을 시사한  
다. 본 실험에서는 장기보관 및 식품의 상태 보존을 위한 최적 함수율 약  
5% 전후로 실험을 수행하였으며, 건조 종료시의 함수율은 수율 등에도 밀접  
히 관계되므로 건조에 있어서 건조종료시점의 함수율은 매우 중요하다고 할  
수 있다.

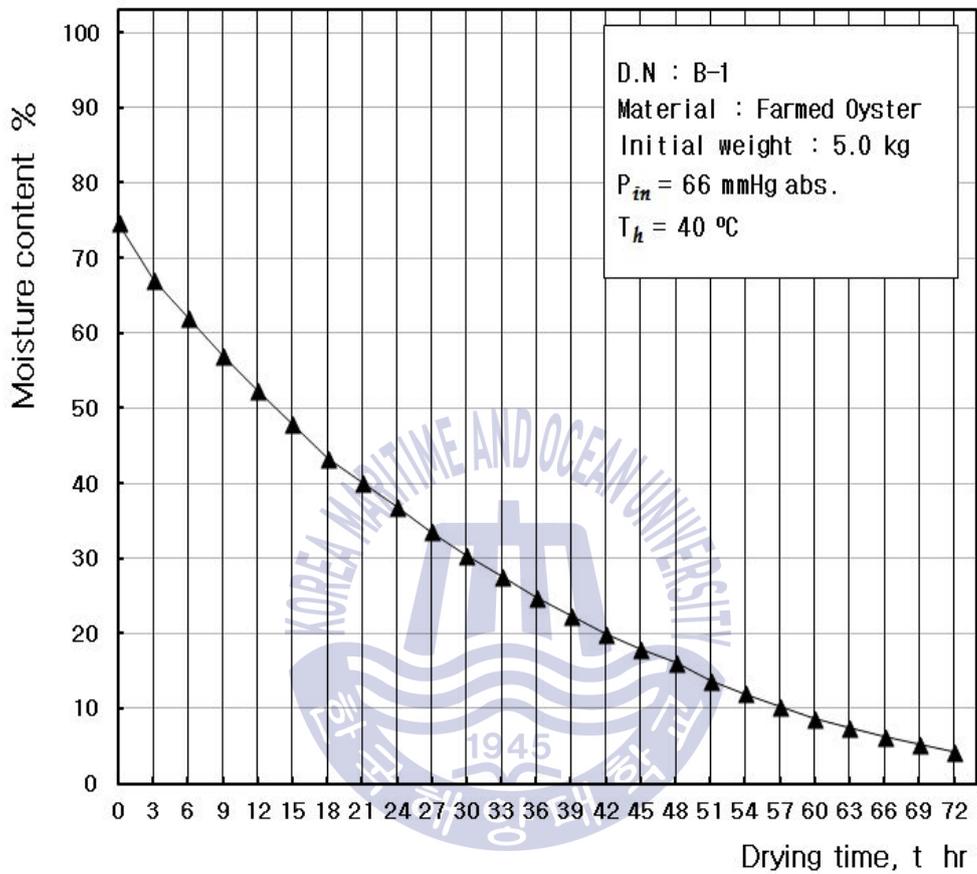


Fig. 3.8 Variation of water contents rate according to the drying time (D.N: B-1)

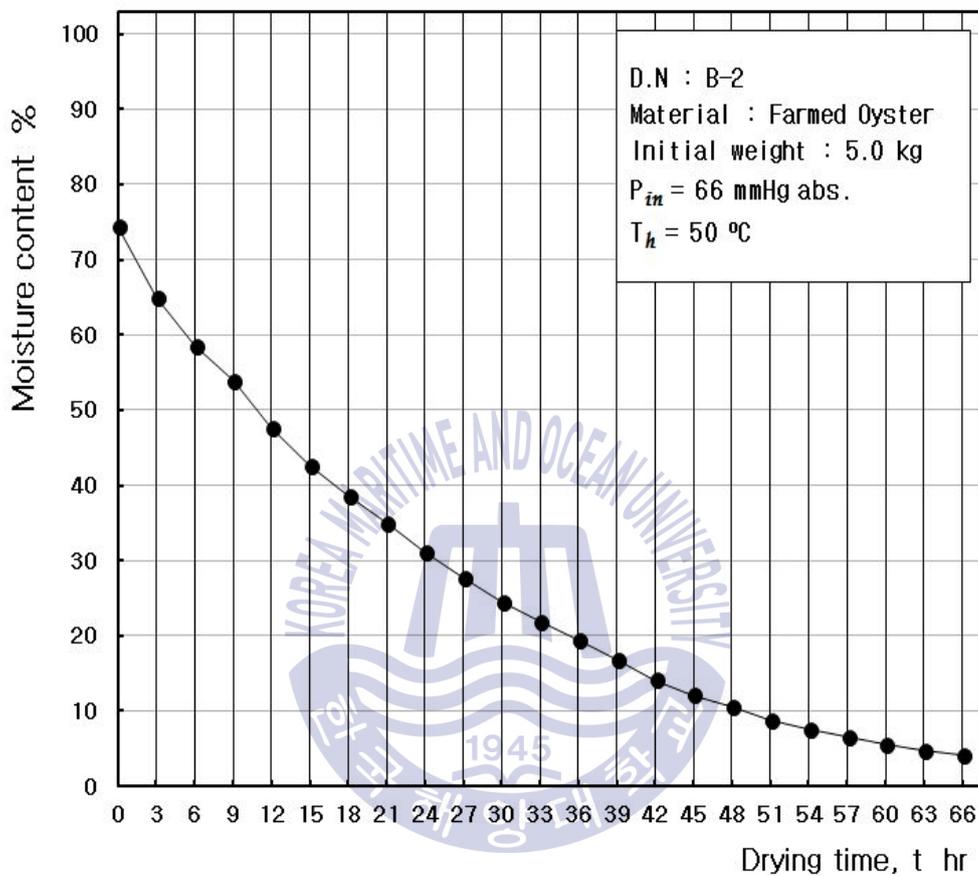


Fig. 3.9 Variation of water contents rate according to the drying time (D.N: B-2).

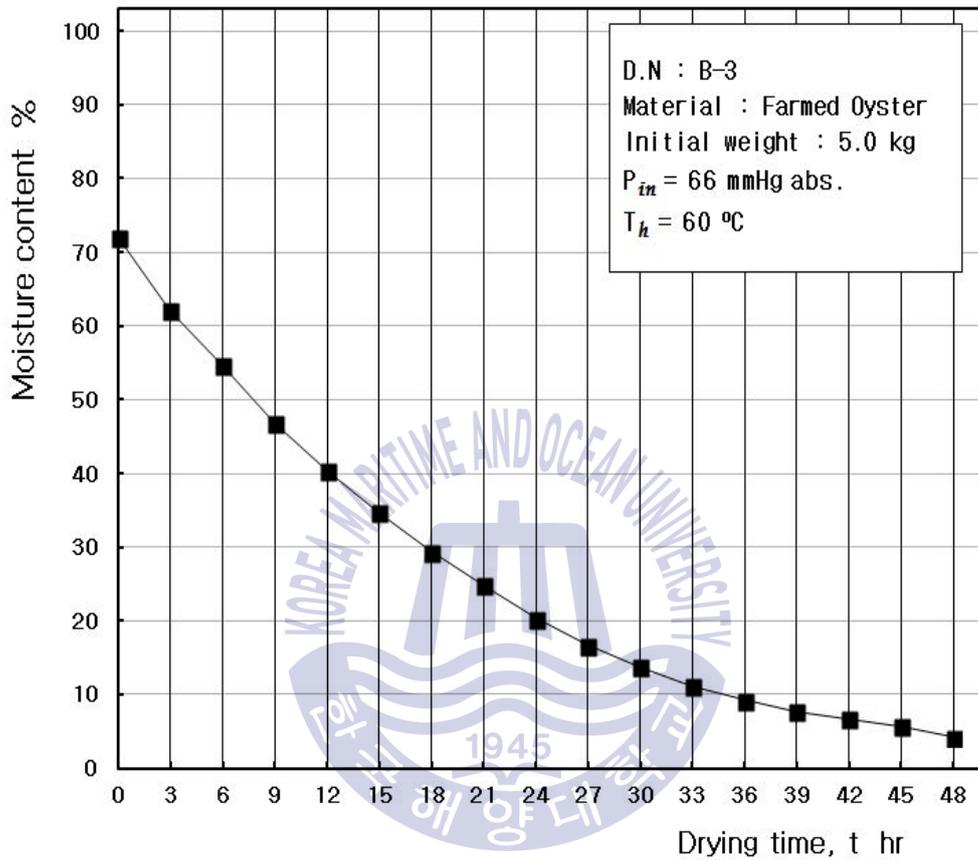


Fig. 3.10 Variation of water contents rate according to the drying time (D.N: B-3).

### 3.4 건조 시간에 따른 피건조물의 온도 변동

Fig. 3.11~Fig. 3.13은 건조실 내부 온도(\*), 가열수 온도(●), 포화온도(-), 전열표면온도(▲), 피건조물인 굴 내부 온도(●)에서 측정한 온도변화를 3시간 간격으로 나타내었다.

Fig. 3.10는 전형적인 온도변화곡선으로서, 건조개시 후 약 12~18시간 까지 빠르게 피건조물의 온도가 증가한다. 이 영역 즉, 항율건조기간 동안 굴의 내부 온도가 거의 일정한 약 30℃ 전후의 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 굴 내부의 온도가 건조실 내부 온도와 근접하여 가면서 감율건조기간에 돌입하고 건조가 완성되어 감을 알 수 있으며, 건조가 거의 완료되는 시점에서는 굴의 온도와 건조기 내부 온도가 같아짐을 알 수 있다. 이는 굴에서 증발되는 수분의 양이 줄어들면서 온도가 상승하게 되는 것이다.

그리고 각 건조 온도 조건(40℃,50℃,60℃)의 전 영역에서 거의 일정한 양상의 온도 변화가 나타남을 볼 수 있는데, 60℃의 경우 굴의 내부 온도(●)와 건조실 내부 온도(\*)가 같아지는데 40℃,50℃의 경우와 비교하여 약 18시간이 적게 소요되는 것으로 나타났다.

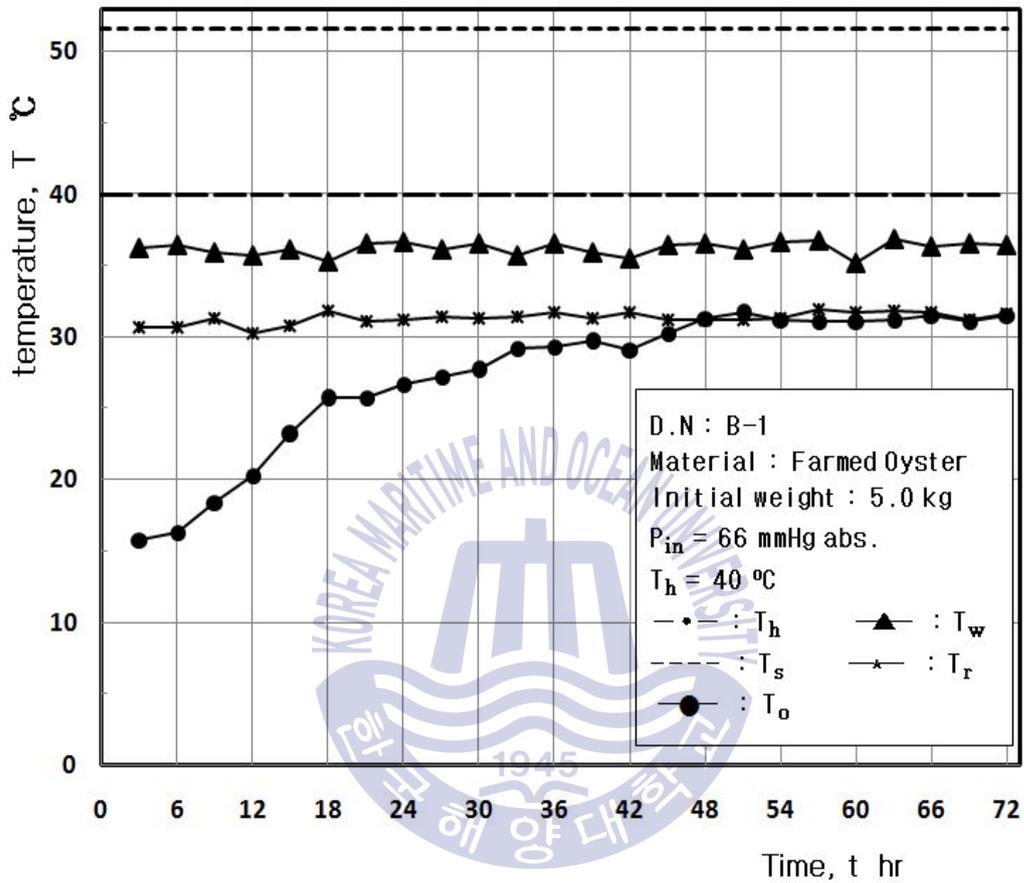


Fig. 3.11 Temperature variation during vacuum drying (D.N: B-1)

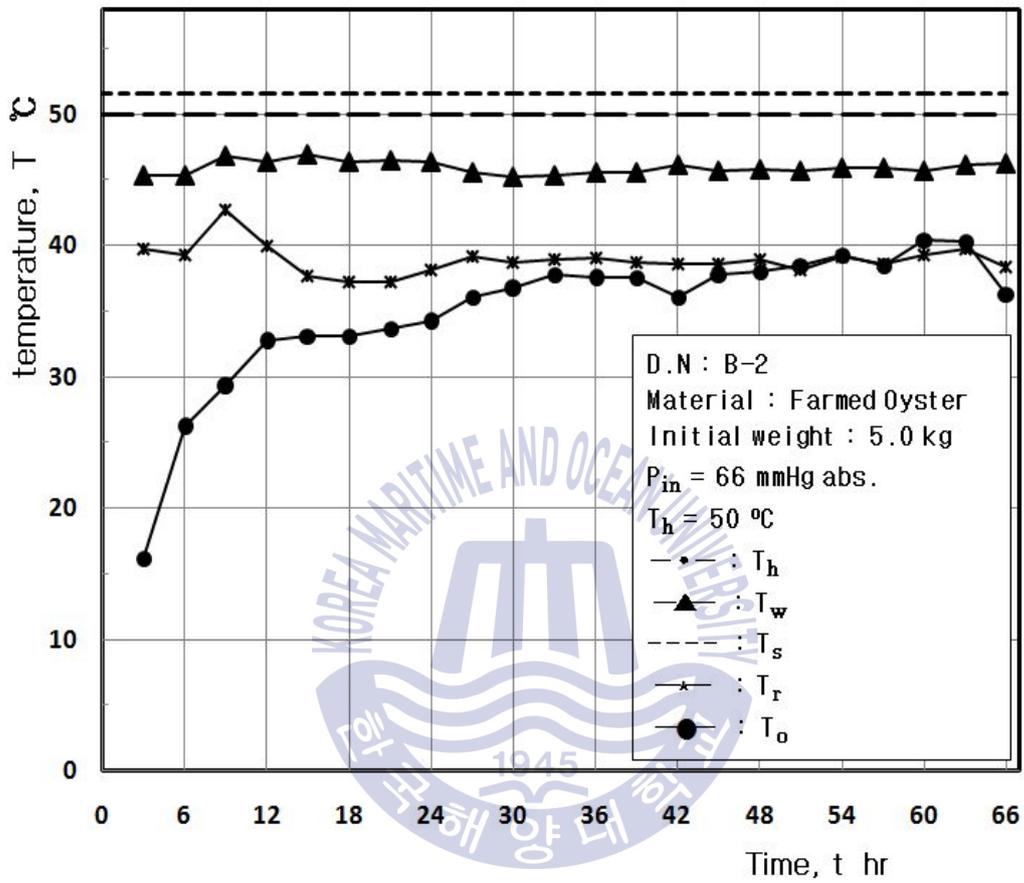


Fig. 3.12 Temperature variation during vacuum drying (D.N: B-2)

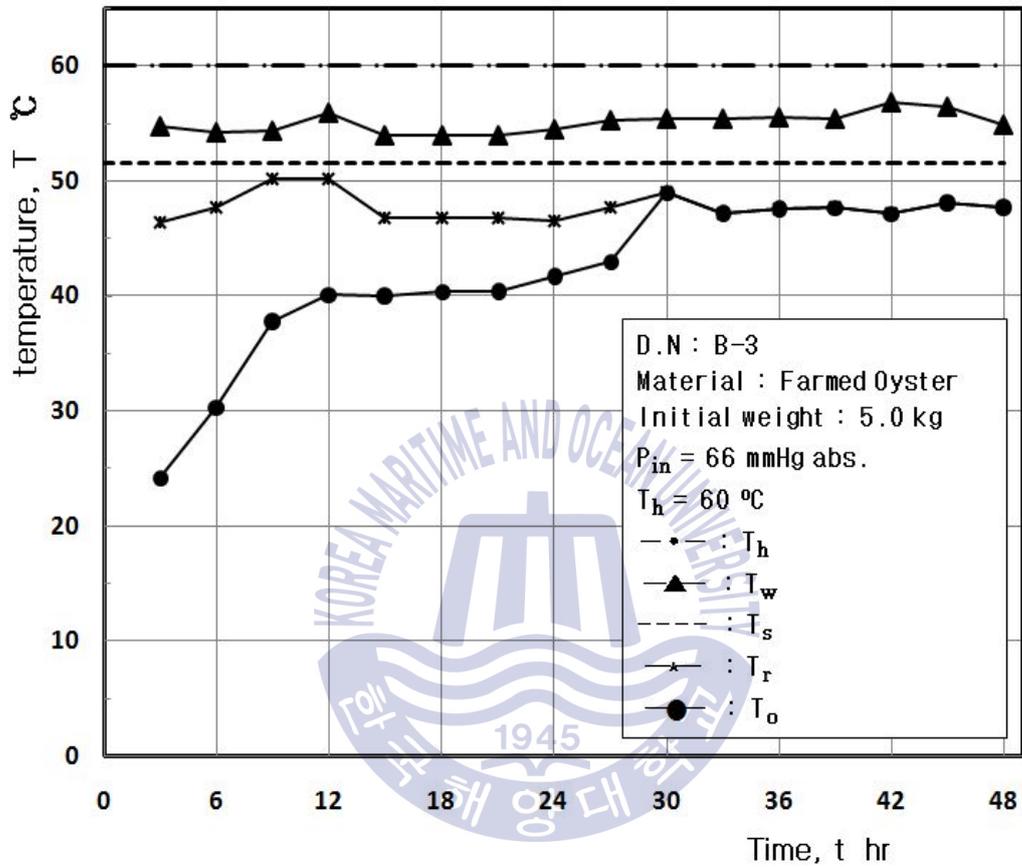


Fig. 3.13 Temperature variation during vacuum drying  
 (D.N: B-3)

### 3.5 열프럭스의 변동

찐 굴의 건조 직전의 무게  $G_i$  kg와 측정시각에서의 관계를 나타내면,

$$\frac{G_t}{G_i} = f(t) \quad (3.4)$$

으로 표현 할 수 있다. 그러므로 시각  $t$ 에서의 굴의 무게  $G_t$  t를 알면, 시간 간격  $\Delta t$  동안의 평균 무게 감소율  $\Delta W_t$ (kg/hr)를 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta W_t = \frac{\Delta G_t}{\Delta t} \quad (3.5)$$

건조판의 면적이  $A = 0.366 \text{ m}^2$  이므로, 건조판 단위면적당의 겉보기 열프럭스 (Heat flux,  $q \text{ kcal/m}^2\text{hr}$ )는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$q = \frac{\Delta W \cdot H_{fg}}{A} \quad (3.6)$$

위 식에서  $H_{fg}$ 는 건조기 내부의 평균진공압력 -660 mmHg에 상당하는 수분의 증발잠열로  $H_{fg} = 568.25 \text{ kcal/kg}$ 이다. Fig. 3.14은 식(3)와 같이 구한 건조판의 크기를 대표면적으로 하여 건조시간의 경과에 따른 겉보기 열프럭스의 거동을 정리하여 나타내었는데, Y축은 대수눈금으로 편대수 그래프임에 유의할 필요가 있다. 이 그림에서 굴을 저온진공건조하면 초기의 12시간 동안에는 활발히 건조가 진행되어 열프럭스가  $200 \sim 600 \text{ kcal/m}^2\text{hr}$ 로 유지되다가, 36시간 정도가 지나면  $20 \text{ kcal/m}^2\text{hr}$ 으로부터 점점 적어져, 이후에는  $10 \text{ kcal/m}^2\text{hr}$  이하로 현격히 적어짐을 알 수 있다.

Fig. 3.14와 같이 구한 자연산 굴의 저온진공건조 열전달특성은 고추에 관한 저온진공건조 연구결과, <sup>[11]</sup> 순수 무염 건해삼의 진공건조과정해석에 관한 연구결과 <sup>[12]</sup>와는 상당히 다르게, 항울건조기간과 감울건조기간이 뚜렷이 구분되지 않고 편대수 그래프상에서 거의 직선적으로 열프럭스가 감소하는 경향을 나타냄을 알 수 있었다.



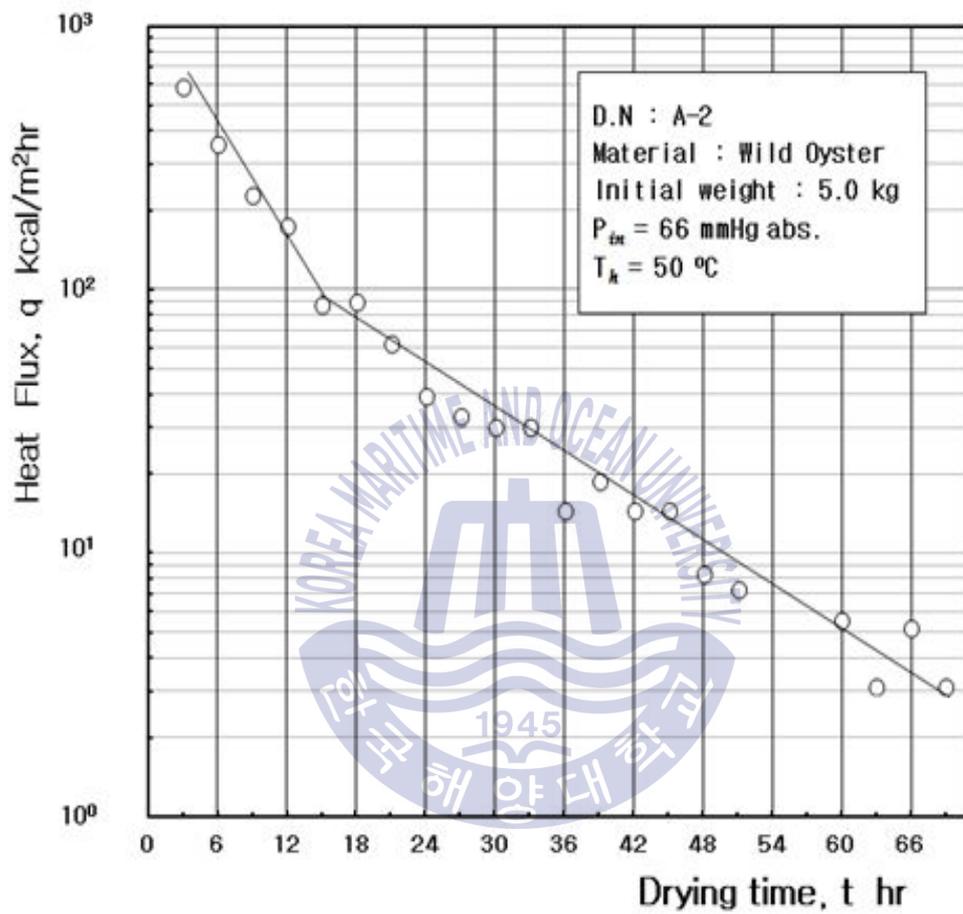


Fig. 3.14 Heat flux behavior during vacuum drying  
 ( $T_{hin} = 50^{\circ}\text{C}$ )

## 제4장 실험결과와 고찰

본 장에서는 한국산 자연산 굴과 양식 굴을 대상으로 저온진공건조에 있어서 무게수율, 건조속도, 열프릭스와 같은 진공건조 열전달특성이 실험과라미터인 가열수 입구온도(40℃, 50℃, 60℃)가 이들에 미치는 영향을 비교 검토하고, 자연산 굴과 양식 굴의 건조과정에서의 사진 촬영결과를 바탕으로 한 관능평가 결과 등에 대하여 기술한다.

### 4.1 가열수 입구온도가 무게 수율에 미치는 영향

Table 4.1과 Table 4.2에는 본 실험결과인 자연산 굴의 함수율을 실험 종류 기준인 약 4.2%까지 완전 진공건조하였을 경우, 생 굴의 무게를 기준으로 한 건조 굴의 무게 수율 실험결과를 정리하여 나타낸 것이다.

Table 4.1의 자연산 굴의 경우는 함수율 4.2%까지 완전 건조하였을 경우 육만의 무게 수율은 평균적으로 17.0% 전후가 되며, 굴 육수의 수율도 약 3% 정도가 되어 도합 약 20%가 됨을 알 수 있었으며, 무게수율은 기본적으로는 가열수 온도와는 무관함을 알았다.

Table 4.2의 양식 굴의 경우는 함수율 4.2%까지 완전 건조하였을 경우 육만의 무게 수율은 평균적으로 20.0% 전후가 되며, 굴 육수의 수율도 약 2% 정도가 되어 도합 약 22.0%가 됨을 알 수 있었으며, 무게수율은 자연산 굴의 경우와 마찬가지로 가열수 온도와는 무관함을 확인하였다.

Table 4.1과 Table 4.2로부터 자연산 굴과 양식 굴의 육의 무게 수율의 차이는 약 3%인데, 이는 각 개의 크기가 자연산 굴에 비해 양식 굴이 더 크다는 점에 기인한다고 사료된다.

Table 4.1 Final weight ratio of wild oyster's meat and broth

H.W Temp(°C)	40°C		50°C		60°C	
	Meat	Broth	Meat	Broth	Meat	Broth
<b>Raw oyster</b>	100 %		100%		100%	
<b>Seperation</b>	70.0 %	30.0 %	70.7 %	29.3 %	73.5 %	26.5 %
<b>After Steaming</b>	54.1 %	-	55.4 %	-	56.0 %	-
<b>After Drying</b>	16.4 %	2.7 %	16.6 %	2.8 %	16.6 %	3.4 %
<b>Total final weight ratio</b>	19.1 %		19.4 %		20.0 %	

Table 4.2 Final weight ratio of farmed oyster's meat and broth

H.W Temp(°C)	40°C		50°C		60°C	
	Meat	Broth	Meat	Broth	Meat	Broth
<b>Raw oyster</b>	100 %		100%		100%	
<b>Seperation</b>	91.1 %	8.9 %	93.6 %	6.4 %	89.6 %	10.4 %
<b>After Steaming</b>	77.3 %	-	73.3 %	-	80.5 %	-
<b>After Drying</b>	20.3 %	1.7 %	19.6 %	2.5 %	22.0 %	1.7 %
<b>Total final weight ratio</b>	22.0 %		22.1 %		23.7 %	

## 4.2 건조속도에 미치는 영향

Fig. 4.1은 자연산 굴의 경우, 저온진공건조에 있어서 가열수 온도가 건조속도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 가열수 입구온도( $T_{hin}$ )가 40℃, 50℃, 60℃인 경우를 비교하여 보았다. 가열수온도가 40℃와 50℃의 경우는 건조속도가 유사하며, 초기 무게의 50%에 도달하는 건조시간이 약 15시간 임에 비하여, 가열수 온도가 60℃인 경우는 약 10시간 만에 빠르게 50%에 도달함을 알 수 있었다.

Fig. 4.2는 양식 굴의 경우에 위와 마찬가지로 가열수 온도와 건조 속도와 관계를 나타내는 그림이다. 건조속도의 차이는 자연산 굴에 비해 크지 않지만, 가열수온도가 고온일수록 빠르게 건조가 진행되는 것을 나타내는 전형적인 건조 패턴임을 알 수 있다. 자연산 굴에 비해 건조가 빠른, 가열수온도가 40℃의 경우 초기 무게의 50%에 도달하는 건조시간이 14시간, 가열수온도가 50℃인 경우 12시간, 가열수온도가 60℃인 경우 10시간으로, 측정된 가열수온도 조건(40~60℃)에서 가열수온도 10℃당 2시간의 균등한 건조시간의 차이가 나는 것을 알 수 있었다.

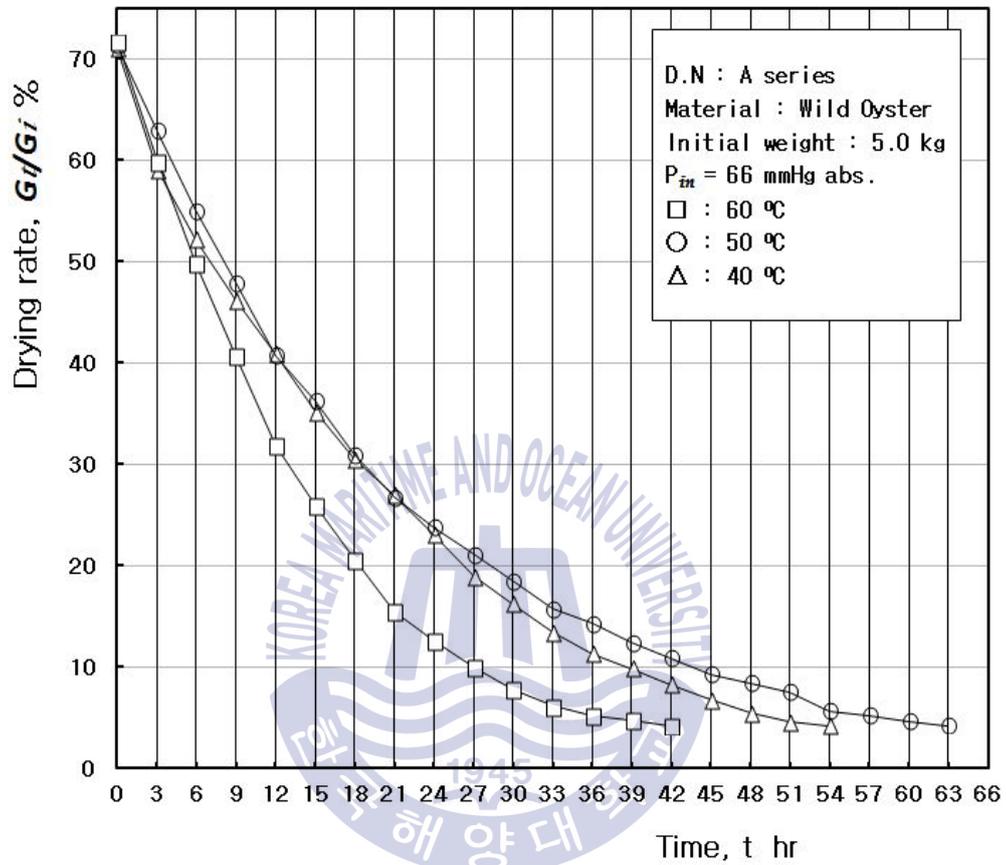


Fig. 4.1 Influence of heating water temperature on vacuum drying speed (Wild oyster, A-series)

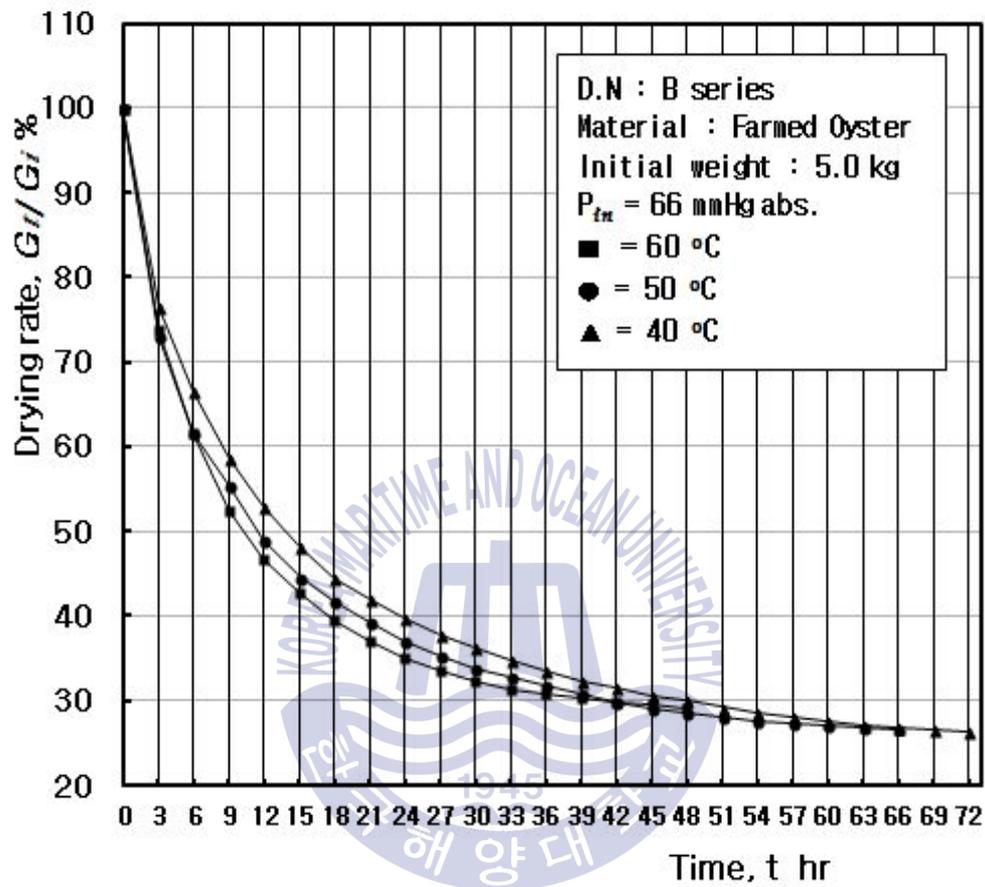


Fig. 4.2 Influence of heating water temperature on vacuum drying speed (Farmed oyster, B-series)

### 4.3 열프럭스에 미치는 영향

본 실험용 저온진공건조장치는 절대압력 -660 ~ -700mmHg의 범위에서 자동운전 되도록 설계되어 있다. 그러므로 평균적으로 본 실험용 저온진공 건조장치의 운전압력은 절대압력 -680mmHg으로 간주할 수 있다.

이 진공압력에 해당되는 포화온도( $T_s$ )와 증발잠열( $H_{fg}$ )은 김경근, 김경석 등<sup>[18],[19]</sup>의 증기 이젝터(Steam Ejector)의 전산지원설계기술의 국산개발과정에서 진공압력 ~ 초고압까지 물과 수증기의 물성치를 ASME Code에 근거한 수식을 P.C상에서 실현한 반이론식을 전산화 하였는데, 본 논문에서는 이들 값을 다음 식과 같이 채용하였다.

$$H_{fg} = 568.2 \text{ kcal/kg} \quad (1.3)$$

$$T_s = 51.57 \text{ }^\circ\text{C} \quad (1.4)$$

임의의 측정시각  $t$ 에서  $\Delta t$  시간동안에 1개의 단위시간당 1개의 건조판에서 증발하는데 소모되는 열량  $\Delta Q$  kcal/hr가 다음 식과 같이 구해진다.

$$\Delta Q = \Delta G \times H_{fg} \quad (1.5)$$

전열면적( $A$ )는 건조판의 면적이  $0.78\text{m} \times 0.47\text{m} = 0.366 \text{ m}^2$ 이므로, 이 면적을 대표면적으로 하면 다음과 같이 건조판 단위면적당의 열프럭스(Heat Flux,  $q$  kcal/ $\text{m}^2\text{hr}$ )가 구해진다.

$$\Delta q = \Delta Q / A \quad (1.6)$$

진공상태하의 농축과 건조과정은 비등(Bulk Boiling)과는 열전달 현상이 상당히 다르다. 그러나 예를 들어 Barometric Condenser에서 수분의 증발량에는 포화온도( $T_s$ )가 결정적 영향을 미친다. 그러므로 본 실험에서와 같이 저온진공건조장치를 이용한 실험의 경우 대표온도를 포화온도( $T_s$ )와 가열수의 건조기 유입온도 ( $T_{hin}$ )로 취하여 대표온도차 ( $\Delta T_s$ )를 다음식과 같이 정의하여 저온진공건조 열전달특성을 규명하도록 하였다.

$$\Delta T_s = T_{hin} - T_s \quad (1.7)$$

임의의 시각 t에서 측정 시간간격  $\Delta t$ 동안의 평균적 무게감소율  $\Delta W_t(\text{kg/hr})$  는,

$$\Delta W_t = \frac{\Delta G_t}{\Delta t}$$

와 같이 표현되며, 따라서 건조판( $A = 0.366 \text{ m}^2$ ) 단위면적당의 전열량 즉, 열프럭스는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$q = \frac{\Delta W \cdot H_{fg}}{A}$$

Fig. 4.3은 양식굴에 대한 가열수 온도가 열프럭스에 미치는 영향을 조사하고자 가열수 입구온도를 실험파라미터로 건조시간의 증가에 따른 열프럭스의 감소 상태를 그래프로 정리한 것이다. 열프럭스 q를 나타내는 Y-축이 편대수 눈금임을 감안하면 건조시간의 경과에 따라 항울건조기간에서 감울건조기간으로 이행하면서 열프럭스가 급격히 감소함을 알 수 있으며, 가열수 입구온도가 높을수록 즉, 식(1.5)로 표현되는 과열도가 클수록 건조소요시간이 짧아지고 열프럭스도 더욱 급격히 감소함을 알 수 있었다.

가열수 입구온도가 60℃의 경우는 건조속도가 매우 빨라, 40℃와 50℃를 비교했을 때 열프럭스 값의 감소율이 급감하고 건조소요시간도 2일 정도로 대폭 단축되었다.

Fig. 4.4는 위와 마찬가지로 자연산 굴에 대해서 가열수 온도가 열프럭스에 미치는 영향을 보기위해 건조시간의 증가에 따른 열프럭스의 감소 상태를 그래프로 정리한 것이다. 양식 굴의 경우와는 다르게 가열수의 40℃와 50℃의 경우 매우 흡사한 열프럭스 값의 감소 추세를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 가열수의 온도가 60℃인 경우는 40℃와 50℃와는 건조시간이 약 2일 정도 차이가 났다. 참고로 순수 무염 건해삼의 저온진공건조의 경우, 완전건조에 소요되는 시간은 약 3일 이었다.<sup>[10]</sup>



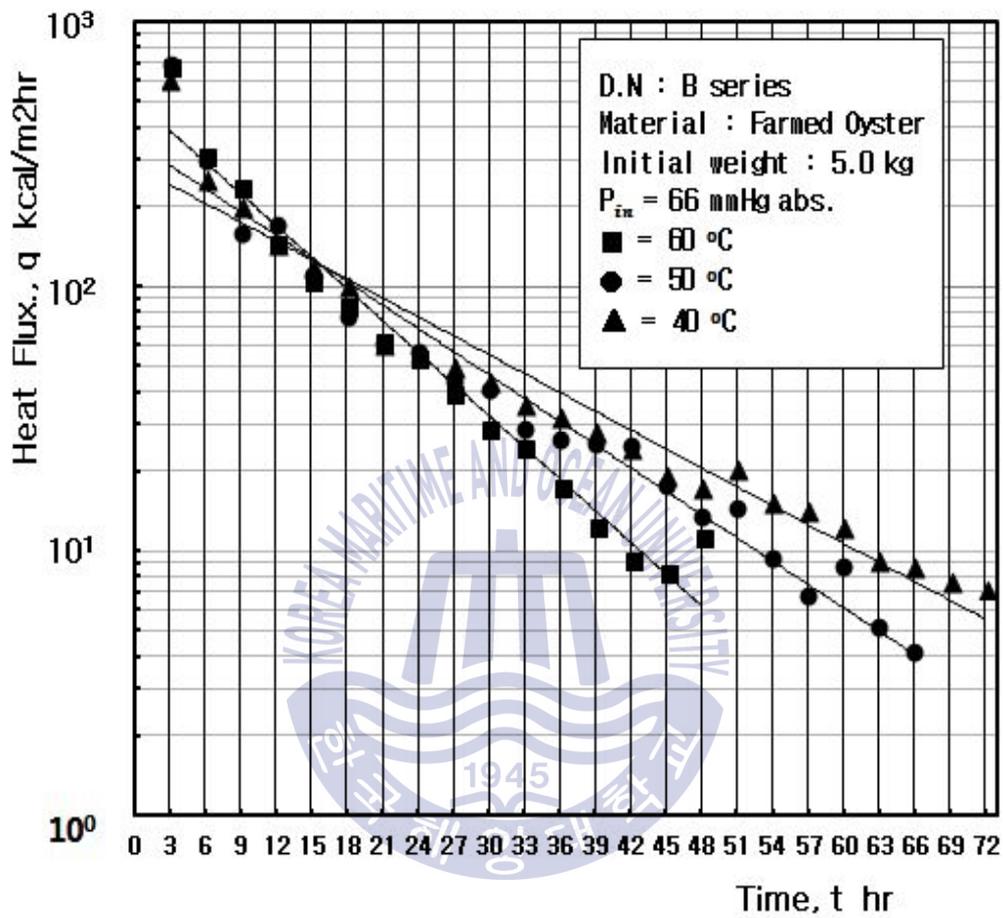


Fig. 4.3 Influence of heating water temp. on heat flux variation (Farmed oyster, B-series)

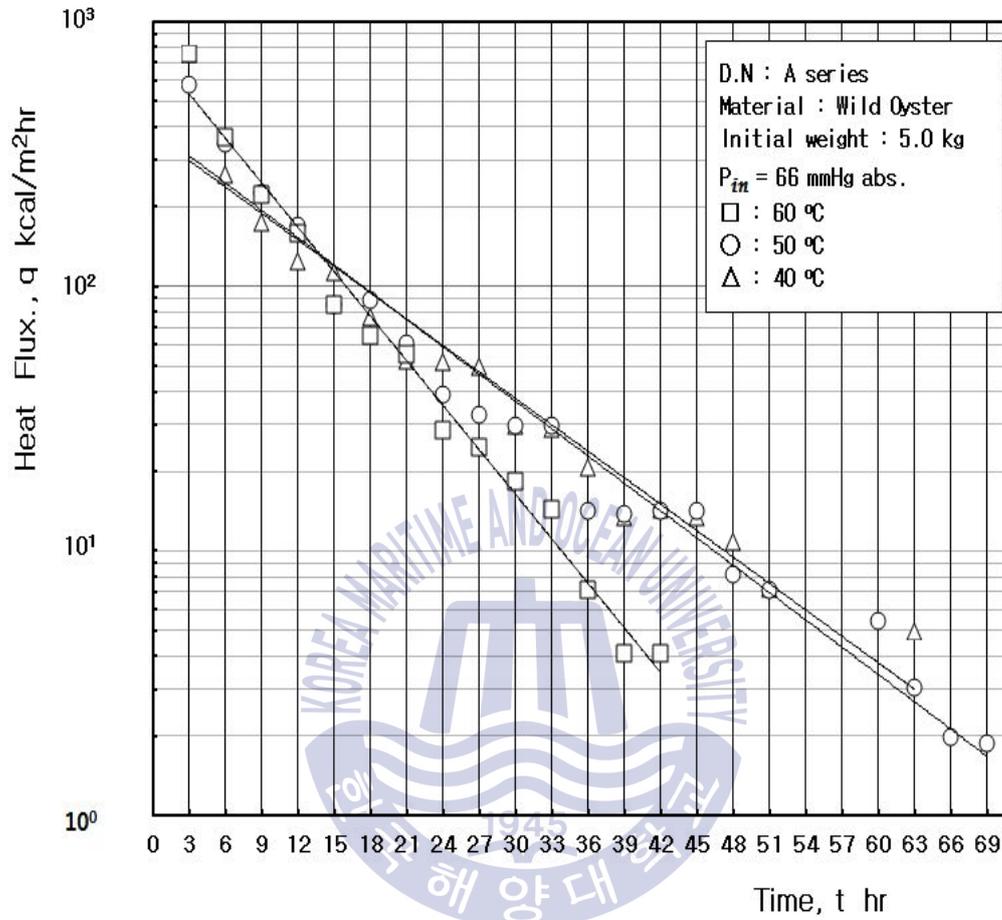


Fig. 4.4 Influence of heating water temp. on heat flux variation  
(Wild oyster, A-series)

#### 4.4 열프릭스와 함수율의 검토

함수율이 낮아져 감율건조에 진입하면 굴 내부의 함수율이 낮아져 굴 표면으로부터 내부로의 수분농도차가 적어져 수분의 이동이 느려져 결과적으로 수분의 증발속도가 느려지고, 이에 따라 겉보기 열프릭스도 급격히 적어진다.

이러한 관점에서 열프릭스와 함수율의 관계를 그래프로 정리한 것이 Fig. 4.5이다. 이 그림은 가열수 입구 온도를 40°C, 50°C, 60°C로 하였을 때 자연산 굴과 양식 굴의 건조속도를 나타내는 함수율을 로그눈금으로 나타내어 비교한 그림이다.

같은 가열수 온도 조건에서 자연산 굴의 건조속도가 양식 굴에 비하여 빠름을 알 수 있는데, 자연산 굴의 경우 함수율의 감소율은 선형적으로 감소하는데 비해, 양식 굴의 경우 지수의 형태로 감소하는 것에 주목할 필요가 있다. 자세히 살펴보면 실험이 종료되는 기준인 함수율 4.2%까지의 소요시간은 가열수의 온도가 60°C인 경우 6시간 정도 차이가 나고, 가열수의 온도가 50°C인 경우는 3시간, 가열수의 온도가 40°C인 경우 다소 많은 18시간이 차이가 나는 것을 알 수 있었다. 이는 양식 굴의 크기가 약 2.1배 크며, 유분이 많아 수분의 증발을 저해하기 때문에 건조속도가 상대적으로 느린 것으로 판단되고, 가열수의 온도가 낮은 40°C인 경우 특히 건조 소요시간이 길게 측정되었다.

Fig. 4.6은 가열수 온도를 50°C를 기준으로 전 저온진공건조과정에서의 열프릭스의 변화를 정리하여 나타내었다. 열프릭스 측정결과를 보면 건조 초기에는 커다란 차이가 없다가 건조 후반에 자연산 굴의 열프릭스가 상대적으로 상당히 적은 것을 확인 할 수 있다. 이는 소요 건조 시간이 자연산 굴이 양식 굴에 비해 짧으므로 실험이 진행 됨에 따라 열프릭스 값이 먼저 감소하는 것이다.

Fig. 4.7은 가열수 온도를 50°C를 기준으로 한 함수율( $w_t$ )과 열프럭스의 관계를 나타낸다. 이 그림에서 보는 바와 같이 함수율이 약 10% 이하인 감율건조기간에서 자연산 굴과 양식 굴의 차이 없이 열프럭스가 1.0 kcal/m<sup>2</sup>hr 이하로 급감하여 건조기간만 길어짐을 알 수 있다.

참고로 전술한 바와 같이 열풍건조기술로는 10% 이하의 함수율은 아무리 건조시간을 길게 하여도 도달 할 수 없는 함수율 영역이다.



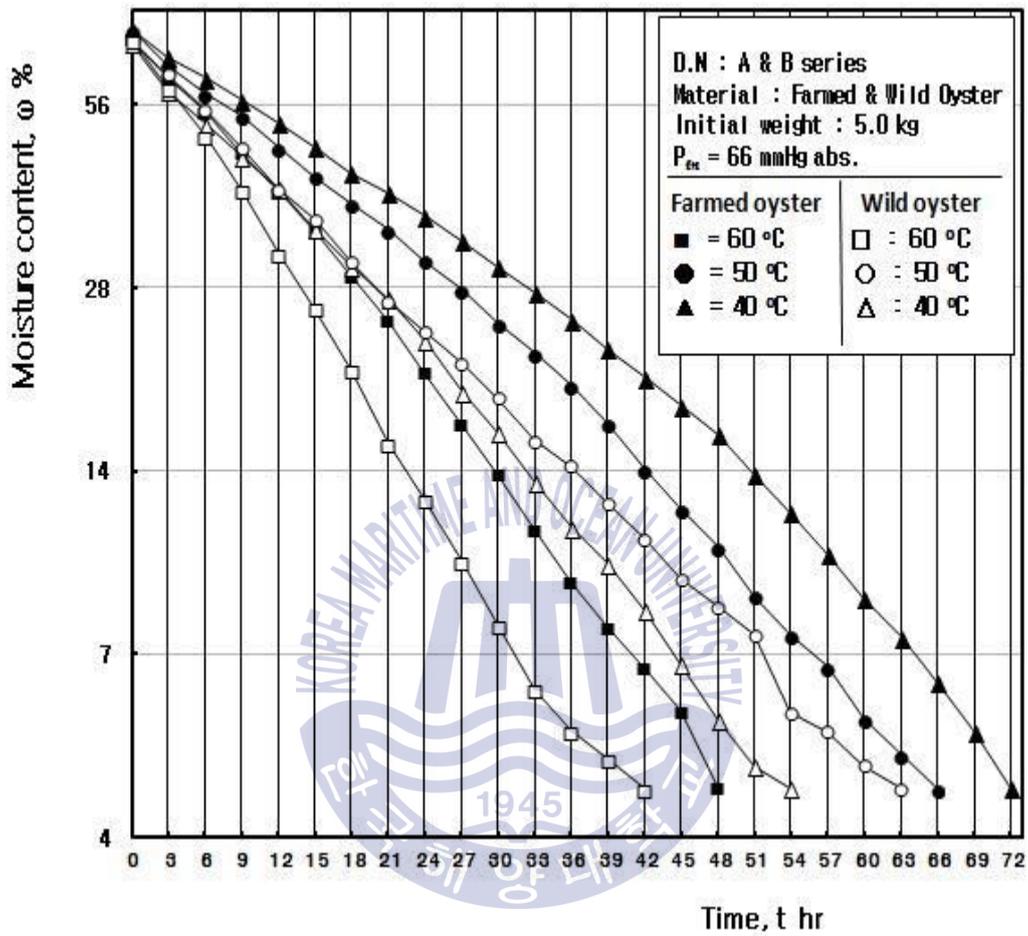


Fig. 4.5 Comparison of moisture contents of A & B-series

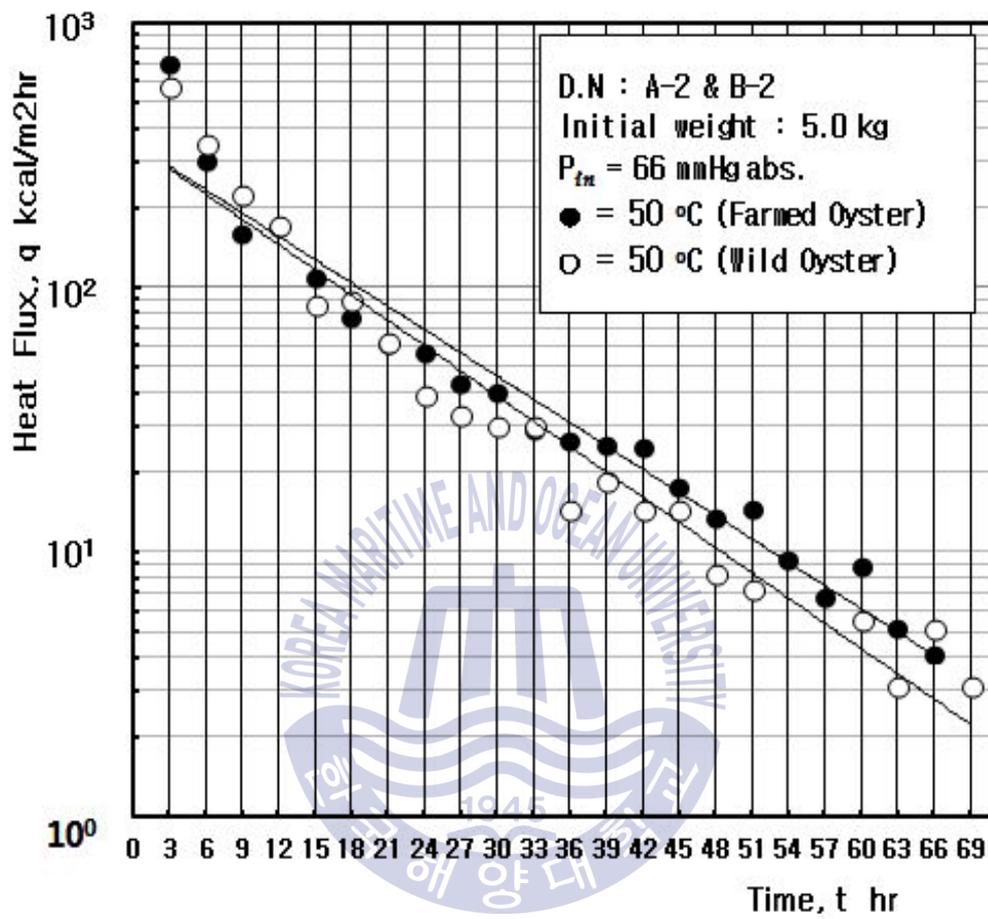


Fig. 4.6 Variation of heat flux during vacuum drying  
 ( $T_{hin} = 50^{\circ}\text{C}$ )

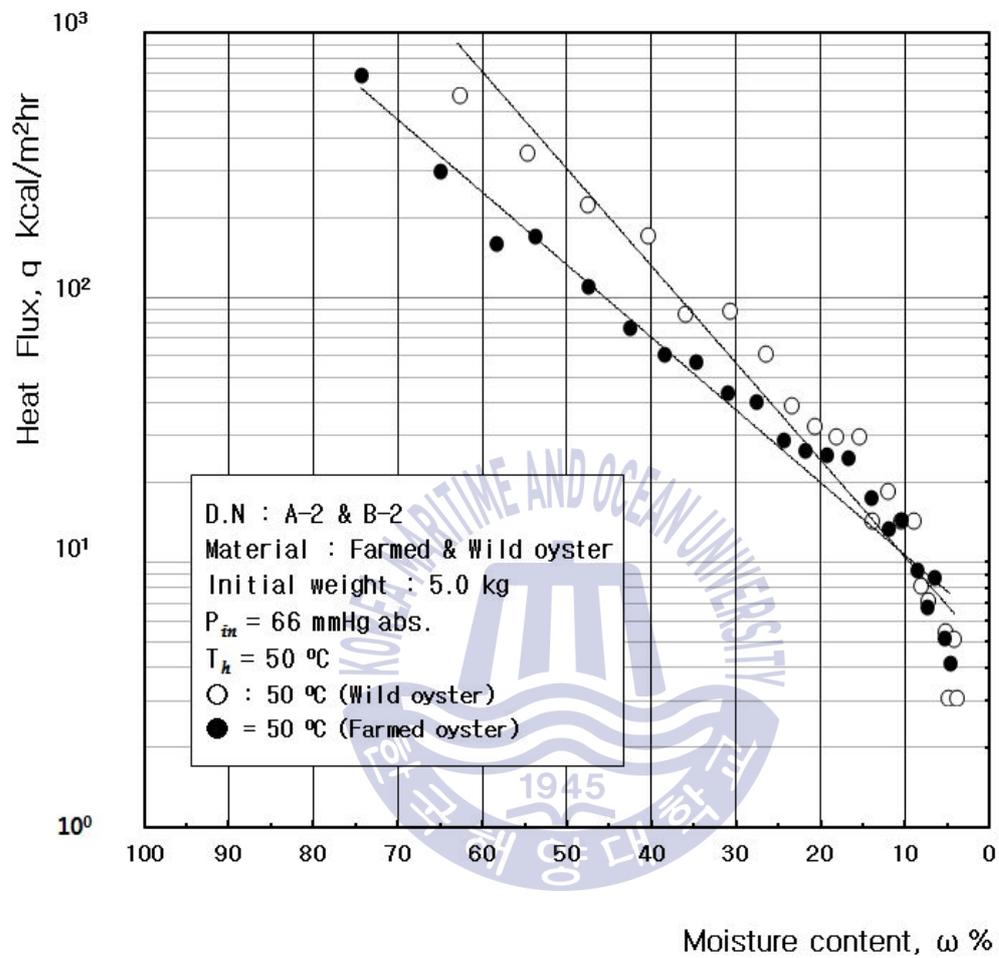


Fig. 4.7 The relationship between heat flux and moisture ratio  
 ( $T_{hin} = 50^{\circ}\text{C}$ )

## 4.5 건조시간 경과에 따른 건조 상태 검토

Photo.3에 함수율의 감소 즉 건조시간의 경과에 따른 굴의 사진촬영 결과를 정리하여 나타내었다, 저온진공건조기술로 충분히 건조하였을 때 도달할 수 있는 경우의 식(3.3)과 같이 정의되는 최종함수율은 약 4.2%임을 실험적으로 얻고 있으므로,<sup>[7]</sup> 썬 굴 5kg중의 순수한 육만의 무게는 1.417kg이다.

따라서 함수율 30%의 경우 굴의 무게는 2.024kg, 함수율 20%의 경우 굴의 무게는 1.771kg, 함수율 10%의 경우 굴의 무게는 1.574kg, 함수율 5%의 최종 건조 굴의 무게는 1.492kg이 된다. 참고로 자연산 건조 굴 한 마리의 평균적 무게는 1.53g, 양식 건조 굴 한 마리의 평균적 무게는 3.30g으로 양식 건조 굴이 자연산 건조 굴에 비하여 2.15배 무거웠다.

완전히 건조된 자연산 굴의 표면은 윤기가 흐르며 육질이 단단하며 속이 딱 차있는 상태라면, 양식 굴의 표면은 자연산 굴에 비해 다소 윤택함이 덜하며 내부에 빈공간이 존재한다. 향 또한 양식 굴에 비해 자연산 굴의 향이 매우 뛰어난 것을 알 수 있었고, 가열수 온도 40~50℃에서 건조한 건 굴이 우수한 품질의 건 굴을 수득할 수 있었다.

Moisture content ratio (Weight)	Heating water temperature, $T_{hin}$		
	40 °C	50 °C	60 °C
t = 0 ; 삶은 굴 사진 (5.000 kg)			
30 % (2.024 kg)			
20 % (1.771 kg)			
10 % (1.574 kg)			
5 % (1.492 kg)			

Photo.3.1 Wild and farmed oyster according to the change of moisture content ratio

(a) Wild oyster

Moisture content ratio (Weight)	Heating water temperature, $T_{hin}$		
	40 °C	50 °C	60 °C
t = 0 ; 삶은 굴 사진 (5.000 kg)			
30 % (2.024 kg)			
20 % (1.771 kg)			
10 % (1.574 kg)			
5 % (1.492 kg)			

(b) Farmed oyster

## 제 5 장 결 론

본 연구에서는 열풍건조나 동결건조에서 건조온도의 상하 한계에 의하여 굴 특유의 향과 영양 성분의 파괴가 거의 없으면서도 건조효율이 가장 높은 첨단 저온진공건조기술(low temperature vacuum drying technology)에 의하여 자연산 굴과 양식 굴을 대상으로 한 건조생산 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 가열수 온도가 40℃와 50℃의 경우에는 건조시간, 건조속도, 열프릭스, 함수율 감소 등에서 서로 비슷한 양상의 건조열전달특성을 나타내고 있으나, 가열수 온도가 60℃인 경우와는 위의 건조열전달특성이 많이 다르게 나타났다.
- (2) 굴은 육질이 약하여 가열수 온도가 40 ~ 45℃ 근방에서 건조하는 것이 향이 좋은 최상품의 완전 건조가 가능하며 이는 건조 과정 중 산소차단으로 인한 미생물의 번식과 부패의 방지로 인한 것이다. 이 경우 최종 함수율 4 ~ 5%에 도달하는데 필요한 소요시간은 2.5일 전후가 되며, 가열수 온도가 높을수록 짧게 걸린다.
- (3) 보존기간이 비교적 짧은 경우에는 함수율이 10%가 되어도 유통 및 보관에 충분하므로 이 경우 건조 소요시간은 1.5일이면 충분하다.
- (4) 굴을 함수율 4 ~ 5%까지 완전 건조하면, 생굴의 무게 대비 16.6 ~ 17.8%의 건조 굴이 얻어지며, 천연조미료로서 사용될 수 있는 육수도 약 3% 정도가 얻어져 도합 20%의 건조물이 얻어진다.

- (5) 저온진공건조과정에서 무게감소율의 측정결과를 토대로 열계산을 수행한 결과, 실험 초기 12시간 동안의 열프럭스는  $200 \sim 600 \text{ kcal/m}^2\text{hr}$ 로 유지되다가, 36시간 정도가 지나면  $20 \text{ kcal/m}^2\text{hr}$ 으로부터 점점 감소하여, 함수율이 10% 이하가 되면서 열프럭스는  $10 \text{ kcal/m}^2\text{hr}$  이하로 현격히 감소함을 알았으며, 굴은 항율건조기간과 감율건조기간의 변화 패턴이 다른 건조물과는 상당히 다름을 알았다.
- (6) 저온진공건조후의 자연산 건조 굴 한 마리의 평균 무게는 1.53g, 양식 굴 한 마리의 평균 무게는 3.30g으로 양식 건조 굴이 자연산 건조 굴에 비하여 2.15배 무거웠으며, 이러한 영향으로 양식 굴의 건조 소요시간이 자연산 굴에 비하여 6 ~ 12시간 정도 긴 것으로 나타났다.



## 참 고 문 헌

- [1] 한국농수산물유통공사, “핵심전략 수산물 해외시장정보(굴)”, 농수산물 유통공사 수출정보팀, www.kait.net(2009.11)
- [2] 한국농수산물유통공사, “건굴의 홍콩 시장 조사” (2011.11)
- [3] 한국농수산물유통공사, “수산물 수출확대를 위한 주요국 시장조사 (건조전복과 건조굴), 시장조사보고서, www. at.or.kr (2011.12)
- [4] KFDA, www.foodnara.go.kr.
- [5] Jin Feng, “유산균 혁명(일본어판)”, 評言社(2009.6)
- [6] Jin Feng, ” New Sun 유산균 - 병을 예방한다(일본어판)”, 評言社 (2012.3)
- [7] 김경근 등, “양식 굴의 수출상품화를 위한 저온진공건조 건조굴의 생산 공정기술 개발”, 2014년도 중기청 산학연공동기술개발사업(2014.10 ~ 2015.9)
- [8] 최세현, 김경근, 송치성, 문수범, 이춘화, “고품질 건조 굴의 진공건조 공정에서의 건조열전달특성에 관한 연구”, 한국마린엔지니어링학회 전기학술대회, 제39권, pp.137(2015.06)
- [9] 문수범, 김경근, 송치성, 최세현, 이춘화, “한국산 굴의 저온진공건조 열전달특성에 관한 연구”, 한국마린엔지니어링학회, 투고중(2015.10)
- [10] Kim K.G et. al, “A study on the drying heat transfer of the high quality seafoods”, The Korean Society of Marine Engineering, No.34, Vol.4, pp.460-469, ISSN 1226-9549(2010.5)

- [11] 최순열, “저온진공건조기의 열적특성에 관한 연구”, 한국해양대학교 기관공학과 박사학위논문(1992.2)
- [12] 문수범, “저온진공건조기술에 의한 해삼의 고품질 건조열전달에 관한 연구”, 한국해양대학교 대학원 공학박사학위 청구논문.(2010.2)
- [13] 소예덕, “인체에 유해성분이 없는 식탁염의 제조를 위한 저온진공 열전달에 관한 연구”, 한국해양대학교 기관공학과 석사학위논문 (2015.08)
- [14] 소예덕, 문수범, 김경근, 최부흥, 이춘화, “진공열전달 기술에 의한 해수의 종합자원화에 관한 연구”, 한국마린엔지니어링학회, 제39권 제7호, pp.685~695(2015.09.30.)
- [15] 김경근 등, “고품질 수산 건제품의 건조열전달에 관한 연구”, 한국마린엔지니어링학회지, 제34권 제4호 pp.460~469, ISSN 1226-9549(2010.5)
- [16] 문수범, 최순열, 김경근, “생체 건조용 대형 저온진공 건조기의 열적 특성에 관한 연구”, 한국박용기관학회지, 제24권 제4호, pp.35 ~ 42(2000.7).
- [17] 김경근, 최순열, 최두열, 이정혜, 문수범, 「저온진공건조기를 이용한 고추의 열적특성에 관한 연구」, 공기조화 냉동공조학회 학술논문집, pp. 410 ~ 414(1999.6.25).
- [18] 김경석, 김경근 등, “P.C를 이용한 물과 증기 열물성치의 전산수식화에 관한 연구”, 한국마린엔지니어링학회지, 제16권 제4호, pp.88~101(1992.11)
- [19] Kim K.G et. al, “Detailed digital data book of the steam & water”, Thermal Engineering Lab. of Maritime College of Korea Maritime and Ocean Univ.(1998.8)

# Appendix

## *Appendix. I : Experimental result of vacuum drying* (Experimental data on A-1)

년	월	일	측정 시작	경과 시간 (t (hr))	시간 간격 (Δt (hr))	전력계 누급 (kWh)	계 누급 (W)	계산 전력 ΔW (kW)	평균 전력 ΔW (kW)	진조실 온도 T <sub>r</sub> (°C)	쿨 온도 T <sub>oy</sub> (°C)	건열 표면 온도 (°C)	보정 표면 온도 T <sub>w</sub> (°C)	포화 온도 T <sub>s</sub> (°C)	T <sub>w</sub> - T <sub>s</sub> ΔT (°C)	#3측정 무게 비율(%)	유 무게 H2O무게	함수율 (%)	#3 무게 감소 Δ G(kg/hr)	증발량 열 (kcal/k g)	열부하 (kcal/ hr)	열부하 (kcal/ m <sup>2</sup> hr)	열전달 계수 (kcal/ m <sup>2</sup> hr°C)
2015	4	21	20:00	0	0	1,660.5	0.0	0.00	0.00	-	-	-	-	51.57	0.00	100.0	1.450	70.99	0.000	568.2	-	-	0.00
2015	4	21	23:00	3	3	1,661.1	0.6	0.20	0.20	27.1	15.6	34.5	34.5	51.57	-17.07	70.9	1.450	59.09	0.4850	568.2	275.58	751.71	-44.04
2015	4	22	2:00	6	3	1,661.6	1.1	0.17	0.17	27.1	16.4	35.1	35.1	51.57	-16.47	60.6	1.450	52.15	0.1713	568.2	97.35	265.55	-16.12
2015	4	22	5:00	9	3	1,662.2	1.7	0.20	0.20	27.3	15.9	35.0	35.0	51.57	-16.57	53.9	1.450	46.18	0.1120	568.2	63.64	173.59	-10.48
2015	4	22	8:00	12	3	1,662.8	2.3	0.20	0.20	27.7	15.9	34.2	34.2	51.57	-17.37	49.1	1.450	40.87	0.0807	568.2	45.83	125.03	-7.20
2015	4	22	11:00	15	3	1,663.3	2.8	0.17	0.17	28.2	16.2	35.3	35.3	51.57	-16.27	44.7	1.450	35.10	0.0727	568.2	41.29	112.63	-6.92
2015	4	22	14:00	18	3	1,663.9	3.4	0.20	0.20	29.7	20.0	34.7	34.7	51.57	-16.87	41.7	1.450	30.50	0.0493	568.2	28.03	76.46	-4.53
2015	4	22	17:00	21	3	1,664.4	3.9	0.17	0.17	30.1	26.0	35.1	35.1	51.57	-16.47	39.7	1.450	26.93	0.0340	568.2	19.32	52.70	-3.20
2015	4	22	20:00	24	3	1,665.0	4.5	0.20	0.20	30.3	27.2	35.4	35.4	51.57	-16.17	37.7	1.450	23.06	0.0333	568.2	18.94	51.66	-3.20
2015	4	22	23:00	27	3	1,665.6	5.1	0.20	0.20	30.6	28.5	35.3	35.3	51.57	-16.27	35.8	1.450	18.93	0.0320	568.2	18.18	49.60	-3.05
2015	4	23	2:00	30	3	1,666.2	5.7	0.20	0.20	30.2	29.0	35.0	35.0	51.57	-16.57	34.6	1.450	16.21	0.0193	568.2	10.99	29.97	-1.81
2015	4	23	5:00	33	3	1,666.9	6.4	0.23	0.23	29.9	29.6	35.7	35.7	51.57	-15.87	33.5	1.450	13.41	0.0187	568.2	10.61	28.93	-1.82
2015	4	23	8:00	36	3	1,667.5	7.0	0.20	0.20	29.0	29.9	35.2	35.2	51.57	-16.37	32.7	1.450	11.29	0.0133	568.2	7.58	20.67	-1.26
2015	4	23	11:00	39	3	1,668.0	7.5	0.17	0.17	31.2	29.0	35.3	35.3	51.57	-16.27	32.2	1.450	9.86	0.0087	568.2	4.92	13.43	-0.83
2015	4	23	14:00	42	3	1,668.5	8.0	0.17	0.17	30.7	29.6	35.7	35.7	51.57	-15.87	31.6	1.450	8.26	0.0093	568.2	5.30	14.47	-0.91
2015	4	23	17:00	45	3	1,669.1	8.6	0.20	0.20	30.1	30.4	35.2	35.2	51.57	-16.37	31.1	1.450	6.73	0.0087	568.2	4.92	13.43	-0.82
2015	4	23	20:00	48	3	1,669.7	9.2	0.20	0.20	29.9	30.7	36.0	36.0	51.57	-15.57	30.7	1.450	5.45	0.0070	568.2	3.98	10.85	-0.70
2015	4	23	23:00	51	3	1,670.2	9.7	0.17	0.17	30.3	31.2	35.9	35.9	51.57	-15.67	30.4	1.450	4.58	0.0047	568.2	2.65	7.23	-0.46
2015	4	24	11:00	63	12	1,672.2	11.7	0.17	0.17	30.2	30.9	35.7	35.7	51.57	-15.87	30.3	1.450	4.20	0.0020	568.2	1.14	3.10	-0.20

(Experimental data on A-2)

년	월	일	측정 시작	경과 시간 (hr)	시간 간격 (Δt)	시간 (hr)	전력계 눈금 (kWh)	계 눈금 (W)	평균 전력 ΔW (kW)	진조실 온도 Tr (°C)	굴 온도 Toy (°C)	전열 표면 온도 Tw (°C)	보정 표면 온도 Tw (°C)	포화 온도 Ts (°C)	$T_w - T_s$ ΔT (°C)	#3측정 무게 (kg)	#3측정 무게 비율 (%)	육 무게	H2O 무게	함수율 (%)	#3 무게 감소 ΔG (kg/hr)	증발량 열 (kcal/kg)	열부하 (kcal/hr)	열피복스 (kcal/m <sup>2</sup> hr)	열전달 계수 (kcal/m <sup>2</sup> hr°C)
2015	4	11	22:00	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	51.57	0.00	5.000	100.0	1.437	3.563	71.26	0.000	568.2	-	0.00	
2015	4	12	1:00	3	3	19.0	-	-	-	34.0	44.2	44.2	44.2	51.57	-7.37	3.876	77.5	1.437	2.439	62.93	0.3747	568.2	212.89	580.70	
2015	4	12	4:00	6	3	20.8	-	-	-	34.4	45.0	45.0	45.0	51.57	-6.57	3.194	63.9	1.437	1.757	55.01	0.2273	568.2	129.17	352.35	
2015	4	12	7:00	9	3	26.8	-	-	-	35.2	43.8	43.8	43.8	51.57	-7.77	2.756	55.1	1.437	1.319	47.86	0.1460	568.2	82.96	226.29	
2015	4	12	10:00	12	3	30.4	-	-	-	35.6	43.1	43.1	43.1	51.57	-8.47	2.422	48.4	1.437	0.985	40.67	0.1113	568.2	63.26	172.56	
2015	4	12	13:00	15	3	27.3	-	-	-	36.9	41.3	41.3	41.3	51.57	-10.27	2.254	45.1	1.437	0.817	36.25	0.0560	568.2	31.82	86.80	
2015	4	12	16:00	18	3	30.1	-	-	-	37.1	43.6	43.6	43.6	51.57	-7.97	2.080	41.6	1.437	0.643	30.91	0.0580	568.2	32.96	89.90	
2015	4	12	19:00	21	3	30.3	-	-	-	37.6	42.1	42.1	42.1	51.57	-9.47	1.960	39.2	1.437	0.523	26.68	0.0400	568.2	22.73	62.00	
2015	4	12	22:00	24	3	30.8	-	-	-	37.1	40.8	40.8	40.8	51.57	-10.77	1.884	37.7	1.437	0.447	23.73	0.0253	568.2	14.39	39.26	
2015	4	13	1:00	27	3	31.2	-	-	-	35.3	40.9	40.9	40.9	51.57	-10.67	1.820	36.4	1.437	0.383	21.04	0.0213	568.2	12.12	33.06	
2015	4	13	4:00	30	3	30.9	-	-	-	35.4	41.7	41.7	41.7	51.57	-9.87	1.762	35.2	1.437	0.325	18.44	0.0193	568.2	10.99	29.97	
2015	4	13	7:00	33	3	31.2	-	-	-	36.7	43.3	43.3	43.3	51.57	-8.27	1.704	34.1	1.437	0.267	15.67	0.0193	568.2	10.99	29.97	
2015	4	13	10:00	36	3	39.3	-	-	-	39.1	43.5	43.5	43.5	51.57	-8.07	1.676	33.5	1.437	0.239	14.26	0.0093	568.2	5.30	14.47	
2015	4	13	13:00	39	3	37.3	-	-	-	36.3	40.2	40.2	40.2	51.57	-11.37	1.640	32.8	1.437	0.203	12.38	0.0120	568.2	6.82	18.60	
2015	4	13	16:00	42	3	37.1	-	-	-	37.1	40.3	40.3	40.3	51.57	-11.27	1.612	32.2	1.437	0.175	10.86	0.0093	568.2	5.30	14.47	
2015	4	13	19:00	45	3	38.7	-	-	-	37.0	40.4	40.4	40.4	51.57	-11.17	1.584	31.7	1.437	0.147	9.28	0.0093	568.2	5.30	14.47	
2015	4	13	22:00	48	3	39.0	-	-	-	36.0	45.2	45.2	45.2	51.57	-6.37	1.568	31.4	1.437	0.131	8.35	0.0053	568.2	3.03	8.27	
2015	4	14	1:00	51	3	38.9	-	-	-	35.8	45.1	45.1	45.1	51.57	-6.47	1.554	31.1	1.437	0.117	7.53	0.0047	568.2	2.65	7.23	
2015	4	14	10:00	60	9	38.3	-	-	-	36.7	42.6	42.6	42.6	51.57	-8.97	1.522	30.4	1.437	0.085	5.58	0.0036	568.2	2.02	5.51	
2015	4	14	13:00	63	3	38.3	-	-	-	37.3	41.8	41.8	41.8	51.57	-9.77	1.516	30.3	1.437	0.079	5.21	0.0020	568.2	1.14	3.10	
2015	4	14	16:00	66	3	39.8	-	-	-	37.7	41.4	41.4	41.4	51.57	-10.17	1.506	30.1	1.437	0.069	4.58	0.0033	568.2	1.89	5.17	
2015	4	14	19:00	69	3	39.4	-	-	-	37.7	40.8	40.8	40.8	51.57	-10.77	1.500	30.0	1.437	0.063	4.20	0.0020	568.2	1.14	3.10	

(Experimental data on A-3)

년	월	일	측정 시각	경과 시간 (hr)	측정 시간 (hr)	시간 간격 (Δt)	적산 전력계 눈금 (kWh)	적산 전력 계 눈금 (W)	평균 전력 (kW)	건조실 온도 Tr (°C)	쿨 온도 Toy (°C)	전열 표면 온도 (°C)	보정 표면 온도 Tw (°C)	포화 온도 Ts (°C)	TW - Ts ΔT (°C)	#3측정 무게 (kg)	#3측정 무게 비율 (%)	육 무게	H2O무게	함수율 (%)	#3 무게 감소 Δ G (kg/hr)	증발량 열 (kcal/kg)	열부하 (kcal/hr)	열프릭스 (kcal/m2hr)	열 전달 계수 (kcal/m2hr°C)
2015	4	14	20:00	0	0	0	1,629.1	0.0	0.00	29.3	23.4	38.0	38.0	51.57	-	5.000	100.0	1.416	3.584	71.68	0.000	568.2	-	0.00	
2015	4	14	23:00	3	3	3	1,629.9	0.8	0.27	41.9	26.1	54.4	54.4	51.57	2.83	3.532	70.6	1.416	2.116	59.91	0.4993	568.2	278.04	758.43	
2015	4	15	2:00	6	3	3	1,630.6	1.5	0.23	42.5	34.1	54.6	54.6	51.57	3.03	2.822	56.4	1.416	1.406	49.82	0.2367	568.2	134.47	366.81	
2015	4	15	5:00	9	3	3	1,631.3	2.2	0.23	43.2	36.3	52.9	52.9	51.57	1.33	2.386	47.7	1.416	0.970	40.65	0.1453	568.2	82.58	225.25	
2015	4	15	8:00	12	3	3	1,632.0	2.9	0.23	43.9	36.8	53.6	53.6	51.57	2.03	2.078	41.6	1.416	0.662	31.86	0.1027	568.2	58.34	159.12	
2015	4	15	11:00	15	3	3	1,632.6	3.5	0.20	43.2	39.6	53.7	53.7	51.57	2.13	1.912	38.2	1.416	0.496	25.94	0.0553	568.2	31.44	85.76	
2015	4	15	14:00	18	3	3	1,633.2	4.1	0.20	44.1	38.2	54.8	54.8	51.57	3.23	1.784	35.7	1.416	0.368	20.63	0.0427	568.2	24.24	66.13	
2015	4	15	17:00	21	3	3	1,633.8	4.7	0.20	43.1	41.3	53.3	53.3	51.57	1.73	1.676	33.5	1.416	0.260	15.51	0.0360	568.2	20.46	55.80	
2015	4	15	20:00	24	3	3	1,634.4	5.3	0.20	42.3	43.2	52.1	52.1	51.57	0.53	1.620	32.4	1.416	0.204	12.59	0.0187	568.2	10.61	28.93	
2015	4	15	23:00	27	3	3	1,635.1	6.0	0.23	45.7	43.1	52.8	52.8	51.57	1.23	1.572	31.4	1.416	0.156	9.92	0.0160	568.2	9.09	24.80	
2015	4	16	2:00	30	3	3	1,635.7	6.6	0.20	44.6	46.1	53.3	53.3	51.57	1.73	1.536	30.7	1.416	0.120	7.81	0.0120	568.2	6.82	18.60	
2015	4	16	5:00	33	3	3	1,636.3	7.2	0.20	46.1	44.3	52.7	52.7	51.57	1.13	1.508	30.2	1.416	0.092	6.10	0.0093	568.2	5.30	14.47	
2015	4	16	8:00	36	3	3	1,637.0	7.9	0.23	44.7	46.3	51.7	51.7	51.57	0.13	1.494	29.9	1.416	0.078	5.22	0.0047	568.2	2.65	7.23	
2015	4	16	11:00	39	3	3	1,637.6	8.5	0.20	43.1	43.7	52.7	52.7	51.57	1.13	1.486	29.7	1.416	0.070	4.71	0.0027	568.2	1.52	4.13	
2015	4	16	14:00	42	3	3	1,638.2	9.1	0.20	45.1	44.1	52.3	52.3	51.57	0.73	1.478	29.6	1.416	0.062	4.19	0.0027	568.2	1.52	4.13	

(Experimental data on B-1)

년	월	일	측정 시작 시각	강파 시간 (t hr)	강파 시간 간격 ( $\Delta t$ hr)	전력계 눈금 (kWh)	계산 전력 계 눈금 (W)	평균 전력 $\Delta W$ (kW)	진조실 온도 $T_r$ (°C)	쿨 온도 $T_{oy}$ (°C)	진열 표면 온도 (°C)	보정 표면 온도 $T_w$ (°C)	포화 온도 $T_s$ (°C)	$T_w - T_s$ $\Delta T$ (°C)	#3측정 무게 (kg)	#3측정 무게 비율(%)	육 무게	H2O 무게	함수율 (%)	#3 무게 감소 $\Delta$ (kg/hr)	증발량 열 (kcal/kg)	열부하 (kcal/hr)	열프리스 (kcal/m <sup>2</sup> hr)	열 전달 계수 (kcal/m <sup>2</sup> hr/°C)
2015	5	26	14:30	0	0	1,798.1	-	-	-	-	-	-	51.57	0.00	5.000	100.0	1.259	3.741	74.82	0.000	568.2	-	-	0.00
2015	5	26	17:30	3	3	1,798.6	0.5	0.17	30.7	15.8	36.2	36.2	51.57	-15.37	3.824	76.5	1.259	2.565	67.08	0.3920	568.2	222.73	607.57	-39.53
2015	5	26	20:30	6	3	1,799.2	1.1	0.20	30.7	16.3	36.4	36.4	51.57	-15.17	3.324	66.5	1.259	2.065	62.13	0.1667	568.2	94.70	258.32	-17.03
2015	5	26	23:30	9	3	1,799.8	1.7	0.20	31.3	18.4	35.9	35.9	51.57	-15.67	2.984	58.7	1.259	1.675	57.10	0.1300	568.2	73.87	201.49	-12.86
2015	5	27	2:30	12	3	1,800.3	2.2	0.17	30.3	20.3	35.7	35.7	51.57	-15.87	2.648	53.0	1.259	1.389	52.46	0.0953	568.2	54.17	147.76	-9.31
2015	5	27	5:30	15	3	1,800.9	2.8	0.20	30.8	23.2	36.1	36.1	51.57	-15.47	2.416	48.3	1.259	1.157	47.90	0.0773	568.2	43.94	119.86	-7.75
2015	5	27	8:30	18	3	1,801.5	3.4	0.20	31.8	25.7	35.3	35.3	51.57	-16.27	2.220	44.4	1.259	0.961	43.30	0.0653	568.2	37.12	101.26	-6.22
2015	5	27	11:30	21	3	1,802.1	4.0	0.20	31.1	25.8	36.6	36.6	51.57	-14.97	2.102	42.0	1.259	0.843	40.11	0.0393	568.2	22.35	60.96	-4.07
2015	5	27	14:30	24	3	1,802.6	4.5	0.17	31.2	26.7	36.7	36.7	51.57	-14.87	1.992	39.8	1.259	0.733	36.81	0.0367	568.2	20.83	56.83	-3.82
2015	5	27	17:30	27	3	1,803.2	5.1	0.20	31.4	27.2	36.1	36.1	51.57	-15.47	1.894	37.9	1.259	0.635	33.54	0.0327	568.2	18.56	50.63	-3.27
2015	5	27	20:30	30	3	1,803.7	5.6	0.17	31.3	27.7	36.5	36.5	51.57	-15.07	1.808	36.2	1.259	0.549	30.38	0.0287	568.2	16.29	44.43	-2.95
2015	5	27	23:30	33	3	1,804.3	6.2	0.20	31.4	29.2	35.7	35.7	51.57	-15.87	1.738	34.8	1.259	0.479	27.57	0.0233	568.2	13.26	36.16	-2.28
2015	5	28	2:30	36	3	1,804.9	6.8	0.20	31.7	29.3	36.6	36.6	51.57	-14.97	1.675	33.5	1.259	0.416	24.85	0.0210	568.2	11.93	32.55	-2.17
2015	5	28	5:30	39	3	1,805.5	7.4	0.20	31.3	29.7	35.9	35.9	51.57	-15.67	1.620	32.4	1.259	0.361	22.30	0.0183	568.2	10.42	28.42	-1.81
2015	5	28	8:30	42	3	1,806.0	7.9	0.17	31.7	29.1	35.5	35.5	51.57	-16.07	1.572	31.4	1.259	0.313	19.92	0.0160	568.2	9.09	24.80	-1.54
2015	5	28	11:30	45	3	1,806.5	8.4	0.17	31.2	30.3	36.4	36.4	51.57	-15.17	1.584	30.7	1.259	0.275	17.94	0.0127	568.2	7.20	19.63	-1.29
2015	5	28	14:30	48	3	1,807.1	9.0	0.20	31.2	31.3	36.5	36.5	51.57	-15.07	1.500	30.0	1.259	0.241	16.08	0.0113	568.2	6.44	17.57	-1.17
2015	5	28	17:30	51	3	1,807.7	9.6	0.20	31.2	31.7	36.1	36.1	51.57	-15.47	1.460	29.2	1.259	0.201	13.78	0.0133	568.2	7.58	20.67	-1.34
2015	5	28	20:30	54	3	1,808.2	10.1	0.17	31.3	31.2	36.7	36.7	51.57	-14.87	1.430	28.6	1.259	0.171	11.97	0.0100	568.2	5.68	15.50	-1.04
2015	5	28	23:30	57	3	1,808.8	10.7	0.20	31.9	31.1	36.8	36.8	51.57	-14.77	1.402	28.0	1.259	0.143	10.21	0.0093	568.2	5.30	14.47	-0.98
2015	5	29	2:30	60	3	1,809.4	11.3	0.20	31.7	31.1	35.2	35.2	51.57	-16.37	1.378	27.6	1.259	0.119	8.65	0.0080	568.2	4.55	12.40	-0.76
2015	5	29	5:30	63	3	1,809.9	11.8	0.17	31.8	31.2	36.9	36.9	51.57	-14.67	1.360	27.2	1.259	0.101	7.44	0.0060	568.2	3.41	9.30	-0.63
2015	5	29	8:30	66	3	1,810.5	12.4	0.20	31.7	31.5	36.3	36.3	51.57	-15.27	1.343	26.9	1.259	0.084	6.27	0.0057	568.2	3.22	8.78	-0.58
2015	5	29	11:30	69	3	1,811.0	12.9	0.17	31.2	31.1	36.5	36.5	51.57	-15.07	1.328	26.6	1.259	0.069	5.21	0.005	568.2	2.84	7.75	-0.51
2015	5	29	14:30	72	3	1,811.5	13.4	0.17	31.6	31.5	36.4	36.4	51.57	-15.17	1.314	26.3	1.259	0.055	4.20	0.005	568.2	2.65	7.23	-0.48

(Experimental data on B-2)

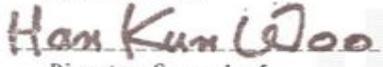
년	월	일	측정 시간	경과 시간 (hr)	시간 간격 (Δt, hr)	전력계 누급 (kWh)	저산 전력계 누급 (W)	평균 전력 ΔW (kW)	진조실 온도 Tr (°C)	쿨 온도 Toy (°C)	전열 표면 온도 (°C)	보정 표면 온도 Tw (°C)	포화 온도 Ts (°C)	Tw - Ts ΔT (°C)	#3측정 무게 (kg)	#3측정 무게 비율(%)	육 무게	H2O무게	함수율 (%)	#3 무게 감소 Δ (G/kg/hr)	증발량 밀 (kcal/kg g)	일부하 (kcal/hr)	일프로스 (kcal/ m2hr)	열 전달 계수 (kcal/ m2hr°C)
2015	5	21	18:00	0	0	1,774.6	-	-	-	-	-	-	51.57	0.00	5.000	100.0	1.278	3.722	74.44	0.000	568.2	-	-	0.00
2015	5	21	21:00	3	3	1,775.2	0.6	0.20	39.7	16.2	45.3	45.3	51.57	-6.27	3.658	73.2	1.278	2.380	65.06	0.4473	568.2	254.17	693.33	-110.68
2015	5	22	0:00	6	3	1,775.8	1.2	0.20	39.3	26.2	45.3	45.3	51.57	-6.27	3.078	61.6	1.278	1.800	58.48	0.1933	568.2	109.85	299.65	-47.79
2015	5	22	3:00	9	3	1,776.4	1.8	0.20	42.7	29.3	46.8	46.8	51.57	-4.77	2.771	55.4	1.278	1.493	53.88	0.1023	568.2	58.15	158.61	-33.25
2015	5	22	6:00	12	3	1,777.0	2.4	0.20	39.9	32.7	46.3	46.3	51.57	-5.27	2.442	48.8	1.278	1.164	47.67	0.1097	568.2	62.31	169.97	-32.25
2015	5	22	9:00	15	3	1,777.7	3.1	0.23	37.7	33.1	46.9	46.9	51.57	-4.67	2.230	44.6	1.278	0.952	42.69	0.0707	568.2	40.15	109.53	-23.45
2015	5	22	12:00	18	3	1,778.2	3.6	0.17	37.2	33.1	46.3	46.3	51.57	-5.27	2.082	41.6	1.278	0.804	38.62	0.0493	568.2	28.03	76.46	-14.51
2015	5	22	15:00	21	3	1,778.9	4.3	0.23	37.2	33.7	46.5	46.5	51.57	-5.07	1.964	39.3	1.278	0.686	34.93	0.0393	568.2	22.35	60.96	-12.02
2015	5	22	18:00	24	3	1,779.5	4.9	0.20	38.1	34.2	46.3	46.3	51.57	-5.27	1.854	37.1	1.278	0.576	31.07	0.0367	568.2	20.83	56.83	-10.78
2015	5	22	21:00	27	3	1,780.1	5.5	0.20	39.2	36.1	45.6	45.6	51.57	-5.97	1.770	35.4	1.278	0.492	27.80	0.0280	568.2	15.91	43.40	-7.27
2015	5	23	0:00	30	3	1,780.7	6.1	0.20	38.7	36.7	45.2	45.2	51.57	-6.37	1.692	33.8	1.278	0.414	24.47	0.0260	568.2	14.77	40.30	-6.33
2015	5	23	3:00	33	3	1,781.3	6.7	0.20	38.9	37.8	45.3	45.3	51.57	-6.27	1.636	32.7	1.278	0.358	21.88	0.0187	568.2	10.61	28.93	-4.61
2015	5	23	6:00	36	3	1,781.9	7.3	0.20	39.0	37.5	45.6	45.6	51.57	-5.97	1.585	31.7	1.278	0.307	19.37	0.0170	568.2	9.66	26.35	-4.41
2015	5	23	9:00	39	3	1,782.7	8.1	0.27	38.7	37.6	45.5	45.5	51.57	-6.07	1.536	30.7	1.278	0.258	16.80	0.0163	568.2	9.28	25.32	-4.17
2015	5	23	12:00	42	3	1,783.3	8.7	0.20	38.6	36.1	46.1	46.1	51.57	-5.47	1.488	29.8	1.278	0.210	14.11	0.0160	568.2	9.09	24.80	-4.53
2015	5	23	15:00	45	3	1,783.9	9.3	0.20	38.6	37.8	45.7	45.7	51.57	-5.87	1.454	29.1	1.278	0.176	12.11	0.0113	568.2	6.44	17.57	-2.99
2015	5	23	18:00	48	3	1,784.4	9.8	0.17	38.9	38.0	45.8	45.8	51.57	-5.77	1.428	28.6	1.278	0.150	10.51	0.0087	568.2	4.92	13.43	-2.33
2015	5	23	21:00	51	3	1,785.0	10.4	0.20	38.1	38.5	45.7	45.7	51.57	-5.87	1.400	28.0	1.278	0.122	8.72	0.0093	568.2	5.30	14.47	-2.46
2015	5	24	0:00	54	3	1,785.6	11.0	0.20	39.1	39.3	45.9	45.9	51.57	-5.67	1.382	27.6	1.278	0.104	7.53	0.0060	568.2	3.41	9.30	-1.64
2015	5	24	3:00	57	3	1,786.2	11.6	0.20	38.6	38.5	45.9	45.9	51.57	-5.67	1.369	27.4	1.278	0.091	6.65	0.0043	568.2	2.46	6.72	-1.18
2015	5	24	6:00	60	3	1,786.9	12.3	0.23	39.3	40.4	45.7	45.7	51.57	-5.87	1.352	27.0	1.278	0.074	5.48	0.0057	568.2	3.22	8.78	-1.50
2015	5	24	9:00	63	3	1,787.4	12.8	0.17	39.7	40.3	46.1	46.1	51.57	-5.47	1.342	26.8	1.278	0.064	4.77	0.0033	568.2	1.89	5.17	-0.94
2015	5	24	12:00	66	3	1,788.1	13.5	0.23	38.3	36.3	46.2	46.2	51.57	-5.37	1.334	26.7	1.278	0.056	4.20	0.0027	568.2	1.52	4.13	-0.77

(Experimental data on B-3)

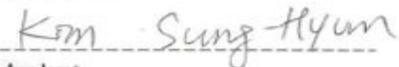
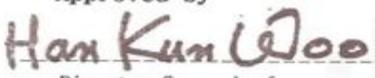
년	월	일	측정 시각	경과 시간 (t hr)	시간 간격 (Δt hr)	전력계 눈금 (kWh)	적산 전력 계 눈금 (W)	평균 전력 ΔW (kW)	진조실 온도 Tr (°C)	굴 온도 Toy (°C)	건열 표면 온도 Tw (°C)	보경 표면 온도 Tw (°C)	포화 온도 Ts (°C)	Tw - Ts ΔT (°C)	#3측정 무게 (kg)	#3측정 무게 비율(%)	#3측정 무게 비율(%)	육 무게	H2O 무게	함수율 (%)	#3 무게 감소 Δ G(kg/hr)	증발량 열 (kcal/kg)	열부하 (kcal/hr)	열프릭스 (kcal/m2hr)	열 전달 계수 (kcal/m2hr°C)
2015	5	19	18:00	0	0	1,763.9	-	-	-	-	-	-	51.57	0.00	5.000	100.0	1.395	3.605	72.10	0.000	568.2	-	-	0.00	
2015	5	19	21:00	3	3	1,764.8	0.9	0.30	46.3	24.2	54.7	54.7	51.57	3.13	3.686	73.7	1.395	2.291	62.16	0.4380	568.2	248.87	678.86	216.89	
2015	5	20	0:00	6	3	1,765.4	1.5	0.20	47.7	30.3	54.2	54.2	51.57	2.63	3.078	61.6	1.395	1.683	54.68	0.2027	568.2	115.16	314.12	119.44	
2015	5	20	3:00	9	3	1,766.2	2.3	0.27	50.2	37.7	54.3	54.3	51.57	2.73	2.622	52.4	1.395	1.227	46.80	0.1520	568.2	86.37	235.59	86.30	
2015	5	20	6:00	12	3	1,766.9	3.0	0.23	50.1	40.1	55.9	55.9	51.57	4.33	2.340	46.8	1.395	0.945	40.39	0.0940	568.2	53.41	145.69	33.65	
2015	5	20	9:00	15	3	1,767.6	3.7	0.23	46.7	39.9	53.9	53.9	51.57	2.33	2.138	42.8	1.395	0.743	34.76	0.0673	568.2	38.26	104.36	44.79	
2015	5	20	12:00	18	3	1,768.3	4.4	0.23	46.7	40.4	53.9	53.9	51.57	2.33	1.974	39.5	1.395	0.579	29.34	0.0547	568.2	31.06	84.73	36.36	
2015	5	20	15:00	21	3	1,768.9	5.0	0.20	46.7	40.3	53.9	53.9	51.57	2.33	1.854	37.1	1.395	0.459	24.77	0.0400	568.2	22.73	62.00	26.61	
2015	5	20	18:00	24	3	1,769.6	5.7	0.23	46.5	41.6	54.4	54.4	51.57	2.83	1.760	35.0	1.395	0.355	20.29	0.0347	568.2	19.70	53.73	18.99	
2015	5	20	21:00	27	3	1,770.2	6.3	0.20	47.6	43.0	55.2	55.2	51.57	3.63	1.674	33.5	1.395	0.279	16.68	0.0253	568.2	14.39	39.26	10.82	
2015	5	21	0:00	30	3	1,770.7	6.8	0.17	49.0	49.0	55.4	55.4	51.57	3.83	1.618	32.4	1.395	0.223	13.79	0.0187	568.2	10.61	28.93	7.55	
2015	5	21	3:00	33	3	1,771.4	7.5	0.23	47.1	47.1	55.3	55.3	51.57	3.73	1.570	31.4	1.395	0.175	11.16	0.0160	568.2	9.09	24.80	6.65	
2015	5	21	6:00	36	3	1,772.0	8.1	0.20	47.5	47.5	55.5	55.5	51.57	3.93	1.536	30.7	1.395	0.141	9.19	0.0113	568.2	6.44	17.57	4.47	
2015	5	21	9:00	39	3	1,772.7	8.8	0.23	47.7	47.7	55.3	55.3	51.57	3.73	1.512	30.2	1.395	0.117	7.75	0.0080	568.2	4.55	12.40	3.32	
2015	5	21	12:00	42	3	1,773.3	9.4	0.20	47.2	47.2	56.8	56.8	51.57	5.23	1.494	29.9	1.395	0.099	6.64	0.0060	568.2	3.41	9.30	1.78	
2015	5	21	15:00	45	3	1,773.9	10.0	0.20	48.0	48.0	56.4	56.4	51.57	4.83	1.478	29.6	1.395	0.083	5.63	0.0053	568.2	3.03	8.27	1.71	
2015	5	21	18:00	48	3	1,774.6	10.7	0.23	47.6	47.6	54.8	54.8	51.57	3.23	1.456	29.1	1.395	0.061	4.20	0.0073	568.2	4.17	11.37	3.52	

## Appendix. II : Analysis result of nutrition

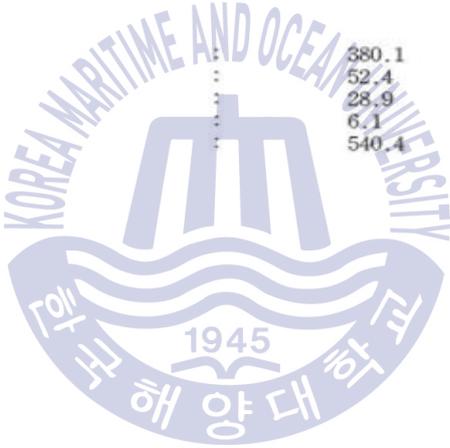
### ○ Low Temperature Vacuum Dried Wild Oyster (A-1)

 한국식품과학연구원부산지소 <small>Korea Advanced Food Research Institute of Busan Branch</small>		1 page of 1 page																
<b>Korea Advanced Food Research Institute Busan Branch</b>																		
314-79 Daeyeon 3 Dong Nam-Gu, Busan, Korea TEL : 051-628-7915 FAX : 051-628-7953 <a href="http://Kafribusan.re.kr">http://Kafribusan.re.kr</a>																		
<b>Certificate of Analysis</b>																		
Name of Product	Low Temperature Vacuum Dried Wild Oyster(A)	Receipt No.	2015-11-005297															
Client Name	Kyung-kun KIM	Date of Receipt	Jul. 06. 2015															
Client Tel/Fax	051-410-4261 /	Date of Issue	Jul 17, 2015															
Client Address	Maritime science college of Korea maritime and ocean university 727	Use of Report																
Client Company	KOREA MARITIME AND OCEAN I	Lot No.																
Date of Manufacture / Shelf life	2015.05.01 / 제조일자로부터 3년	Test method Used	Korea Food Code															
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 30%;">Calorie(kcal)</td> <td style="width: 40%; text-align: center;">  </td> <td style="width: 30%; text-align: right;">368.0</td> </tr> <tr> <td>Carbohydrate(%)</td> <td></td> <td style="text-align: right;">52.3</td> </tr> <tr> <td>Crude protein(%)</td> <td></td> <td style="text-align: right;">28.0</td> </tr> <tr> <td>Crude fat(%)</td> <td></td> <td style="text-align: right;">5.2</td> </tr> <tr> <td>Sodium(mg/100g)</td> <td></td> <td style="text-align: right;">512.8</td> </tr> </table>				Calorie(kcal)		368.0	Carbohydrate(%)		52.3	Crude protein(%)		28.0	Crude fat(%)		5.2	Sodium(mg/100g)		512.8
Calorie(kcal)		368.0																
Carbohydrate(%)		52.3																
Crude protein(%)		28.0																
Crude fat(%)		5.2																
Sodium(mg/100g)		512.8																
<ul style="list-style-type: none"> <li>• The above merchandise was submitted and identified by the client.</li> <li>• The results shown in this test report refer only to sample tested and it does not cover the quality of all products.</li> <li>• No one can use this report for the purpose of public information, advertisement, and litigation without KAFRI's consent.</li> <li>• This document cannot be reproduced except in full, without prior written approval of the client.</li> </ul>																		
<b>Tested by</b>  Analyst		<b>Approved by</b>  Director General of Laboratory Manager																
<b>Korea Advanced Food Research Institute Busan Branch</b> Food sanitation inspection agency designated by Korea Food & Drug Administration																		

○ Low Temperature Vacuum Dried Wild Oyster (A-2)

Korea Advanced Food Research Institute Busan Branch													
314-79 Daeyeon 3 Dong Nam-Gu, Busan, Korea TEL : 051-628-7915 FAX : 051-628-7953 http://Kafribusan.re.kr													
<b>Certificate of Analysis</b>													
Name of Product	Low Temperature Vacuum Dried Wild Oyster(B)	Receipt No.	2015-11-005298										
Client Name	Kyung-kun KIM	Date of Receipt	Jul. 06. 2015										
Client Tel/Fax	051-410-4261 /	Date of Issue	Jul 17, 2015										
Client Address	Maritime science college of Korea maritime and ocean university 727	Use of Report											
Client Company	KOREA MARITIME AND OCEAN U	Lot No.											
Date of Manufacture / Shelf life	2015.05.01 / 제조일자로 부터 3년	Test method Used	Korea Food Code										
<table border="0"> <tr> <td>Calorie(kcal)</td> <td>382.7</td> </tr> <tr> <td>Carbohydrate(%)</td> <td>52.2</td> </tr> <tr> <td>Crude protein(%)</td> <td>29.3</td> </tr> <tr> <td>Crude fat(%)</td> <td>6.3</td> </tr> <tr> <td>Sodium(mg/100g)</td> <td>575.1</td> </tr> </table> <div style="text-align: center;">  <p>KOREA MARITIME AND OCEAN UNIVERSITY 1945 해양대학교</p> </div>				Calorie(kcal)	382.7	Carbohydrate(%)	52.2	Crude protein(%)	29.3	Crude fat(%)	6.3	Sodium(mg/100g)	575.1
Calorie(kcal)	382.7												
Carbohydrate(%)	52.2												
Crude protein(%)	29.3												
Crude fat(%)	6.3												
Sodium(mg/100g)	575.1												
<ul style="list-style-type: none"> <li>* The above merchandise was submitted and identified by the client.</li> <li>* The results shown in this test report refer only to sample tested and it does not cover the quality of all products.</li> <li>* No one can use this report for the purpose of public information, advertisement, and litigation without KAFRI's consent.</li> <li>* This document cannot be reproduced except in full, without prior written approval of the client.</li> </ul>													
Tested by  Analyst		Approved by  Director General of Laboratory Manager											
<b>Korea Advanced Food Research Institute Busan Branch</b> Food sanitation inspection agency designated by Korea Food & Drug Administration													

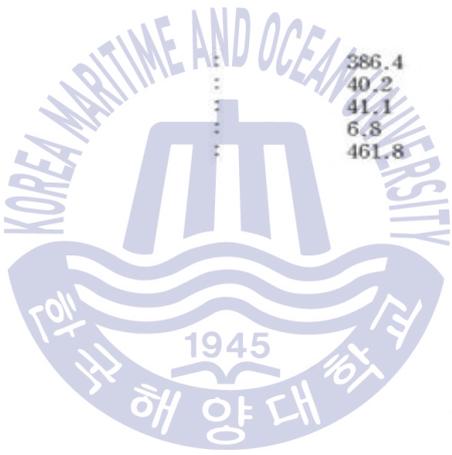
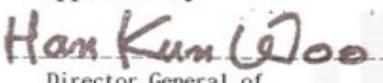
○ Low Temperature Vacuum Dried Wild Oyster (A-3)

 한국식품과학연구원부산지소 Korea Advanced Food Research Institute Busan Branch		1 page of 1 page			
Korea Advanced Food Research Institute Busan Branch					
314-79 Daeyeon 3 Dong Nam-Gu, Busan, Korea TEL : 051-628-7915 FAX : 051-628-7953 http://Kafribusan.re.kr					
<b>Certificate of Analysis</b>					
Name of Product	Low Temperature Vacuum Dried Wild Oyster(C)	Receipt No.	2015-11-005299		
Client Name	Kyung-kun KIM	Date of Receipt	Jul. 06. 2015		
Client Tel/Fax	051-410-4261 /	Date of Issue	Jul 17, 2015		
Client Address	Maritime science college of Korea maritime and ocean university 727	Use of Report			
Client Company	KOREA MARITIME AND OCEAN U	Lot No.			
Date of Manufacture / Shelf life	2015.05.01 / 제조일자로 부터 3년	Test method Used	Korea Food Code		
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;">                     Calorie(kcal)                      Carbohydrate(%)                      Crude protein(%)                      Crude fat(%)                      Sodium(mg/100g)                 </td> <td style="width: 50%; border: none; text-align: right;">                     380.1                      52.4                      28.9                      6.1                      540.4                 </td> </tr> </table> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>KOREA MARITIME AND OCEAN UNIVERSITY 1945 해양대학교</p> </div>				Calorie(kcal) Carbohydrate(%) Crude protein(%) Crude fat(%) Sodium(mg/100g)	380.1 52.4 28.9 6.1 540.4
Calorie(kcal) Carbohydrate(%) Crude protein(%) Crude fat(%) Sodium(mg/100g)	380.1 52.4 28.9 6.1 540.4				
<ul style="list-style-type: none"> <li>* The above merchandise was submitted and identified by the client.</li> <li>* The results shown in this test report refer only to sample tested and it does not cover the quality of all products.</li> <li>* No one can use this report for the purpose of public information, advertisement, and litigation without KAFRI's consent.</li> <li>* This document cannot be reproduced except in full, without prior written approval of the client.</li> </ul>					
Tested by  Analyst		Approved by  Director General of Laboratory Manager			
<b>Korea Advanced Food Research Institute Busan Branch</b> Food sanitation inspection agency designated by Korea Food & Drug Administration					

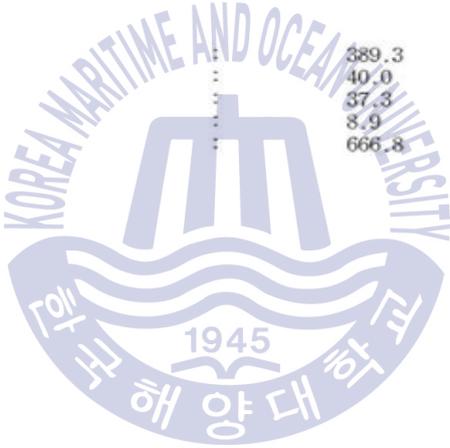
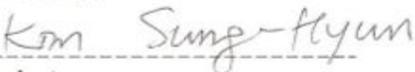
○ Low Temperature Vacuum Dried Farmed Oyster (B-1)

 한국식품과학연구원부산지소 Korea Advanced Food Research Institute of Busan Branch		1 page of 1 page	
Korea Advanced Food Research Institute Busan Branch			
314-79 Daeyeon 3 Dong Nam-Gu, Busan, Korea TEL : 051-628-7915 FAX : 051-628-7953 http://Kafribusan.re.kr			
<h3>Certificate of Analysis</h3>			
Name of Product	Low Temperature Vacuum Dried Farmed Oyster(A)	Receipt No.	2015-11-005300
Client Name	Kyung-kun KIM	Date of Receipt	Jul. 06. 2015
Client Tel/Fax	051-410-4261 /	Date of Issue	Jul 17, 2015
Client Address	Maritime science college of Korea maritime and ocean university 727	Use of Report	
Client Company	KOREA MARITIME AND OCEAN I	Lot No.	
Date of Manufacture / Shelf life	2015.05.01 / 제조일자로 부터 3년	Test method Used	Korea Food Code
			
Calorie(kcal)			356.9
Carbohydrate(%)			35.1
Crude protein(%)			39.5
Crude fat(%)			6.5
Sodium(mg/100g)			521.4
<ul style="list-style-type: none"> <li>* The above merchandise was submitted and identified by the client.</li> <li>* The results shown in this test report refer only to sample tested and it does not cover the quality of all products.</li> <li>* No one can use this report for the purpose of public information, advertisement, and litigation without KAFRI's consent.</li> <li>* This document cannot be reproduced except in full, without prior written approval of the client.</li> </ul>			
Tested by  Analyst		Approved by  Director General of Laboratory Manager	
<b>Korea Advanced Food Research Institute Busan Branch</b> Food sanitation inspection agency designated by Korea Food & Drug Administration			

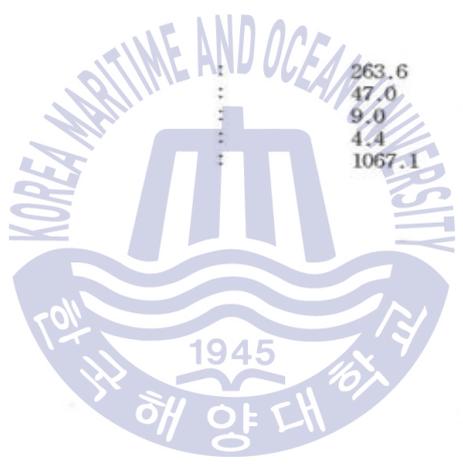
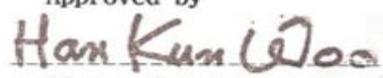
○ Low Temperature Vacuum Dried Farmed Oyster (B-2)

Korea Advanced Food Research Institute Busan Branch													
314-79 Daeyeon 3 Dong Nam-Gu, Busan, Korea TEL : 051-628-7915 FAX : 051-628-7953 http://Kafribusan.re.kr													
<b>Certificate of Analysis</b>													
Name of Product	Low Temperature Vacuum Dried Farmed Oyster(B)	Receipt No.	2015-11-005301										
Client Name	Kyung-kun KIM	Date of Receipt	Jul. 06. 2015										
Client Tel/Fax	051-410-4261 /	Date of Issue	Jul 17, 2015										
Client Address	Maritime science college of Korea maritime and ocean university 727	Use of Report											
Client Company	KOREA MARITIME AND OCEAN I	Lot No.											
Date of Manufacture / Shelf life	2015.05.01 / 제조일자로 부터 3년	Test method Used	Korea Food Code										
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%;">Calorie(kcal)</td> <td style="width: 50%; text-align: right;">386.4</td> </tr> <tr> <td>Carbohydrate(%)</td> <td style="text-align: right;">40.2</td> </tr> <tr> <td>Crude protein(%)</td> <td style="text-align: right;">41.1</td> </tr> <tr> <td>Crude fat(%)</td> <td style="text-align: right;">6.8</td> </tr> <tr> <td>Sodium(mg/100g)</td> <td style="text-align: right;">461.8</td> </tr> </table> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>KOREA MARITIME AND OCEAN UNIVERSITY 1945 해양대학교</p> </div>				Calorie(kcal)	386.4	Carbohydrate(%)	40.2	Crude protein(%)	41.1	Crude fat(%)	6.8	Sodium(mg/100g)	461.8
Calorie(kcal)	386.4												
Carbohydrate(%)	40.2												
Crude protein(%)	41.1												
Crude fat(%)	6.8												
Sodium(mg/100g)	461.8												
<ul style="list-style-type: none"> <li>* The above merchandise was submitted and identified by the client.</li> <li>* The results shown in this test report refer only to sample tested and it does not cover the quality of all products.</li> <li>* No one can use this report for the purpose of public information, advertisement, and litigation without KAFRI's consent.</li> <li>* This document cannot be reproduced except in full, without prior written approval of the client.</li> </ul>													
Tested by  Analyst		Approved by  Director General of Laboratory Manager											
<b>Korea Advanced Food Research Institute Busan Branch</b> Food sanitation inspection agency designated by Korea Food & Drug Administration													

○ Low Temperature Vacuum Dried Farmed Oyster (B-3)

 한국식품과학연구원부산지소 Korea Advanced Food Research Institute of Busan Branch		1 page of 1 page			
Korea Advanced Food Research Institute Busan Branch					
314-79 Daeyeon 3 Dong Nam-Gu, Busan, Korea TEL : 051-628-7915 FAX : 051-628-7953 http://Kafribusan.re.kr					
<b>Certificate of Analysis</b>					
Name of Product	Low Temperature Vacuum Dried Farmed Oyster(C)	Receipt No.	2015-11-005302		
Client Name	Kyung-kun KIM	Date of Receipt	Jul. 06. 2015		
Client Tel/Fax	051-410-4261 /	Date of Issue	Jul 17, 2015		
Client Address	Maritime science college of Korea maritime and ocean university 727	Use of Report			
Client Company	KOREA MARITIME AND OCEAN I	Lot No.			
Date of Manufacture / Shelf life	2015.05.01 / 제조일자로 부터 3년	Test method Used	Korea Food Code		
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; border: none;">                     Calorie(kcal)                      Carbohydrate(%)                      Crude protein(%)                      Crude fat(%)                      Sodium(mg/100g)                 </td> <td style="width: 50%; border: none; text-align: right;">                     389.3                      40.0                      37.3                      8.9                      666.8                 </td> </tr> </table> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>KOREA MARITIME AND OCEAN UNIVERSITY 1945 해양대학교</p> </div>				Calorie(kcal) Carbohydrate(%) Crude protein(%) Crude fat(%) Sodium(mg/100g)	389.3 40.0 37.3 8.9 666.8
Calorie(kcal) Carbohydrate(%) Crude protein(%) Crude fat(%) Sodium(mg/100g)	389.3 40.0 37.3 8.9 666.8				
<ul style="list-style-type: none"> <li>* The above merchandise was submitted and identified by the client.</li> <li>* The results shown in this test report refer only to sample tested and it does not cover the quality of all products.</li> <li>* No one can use this report for the purpose of public information, advertisement, and litigation without KAFRI's consent.</li> <li>* This document cannot be reproduced except in full, without prior written approval of the client.</li> </ul>					
Tested by  Analyst		Approved by  Director General of Laboratory Manager			
<b>Korea Advanced Food Research Institute Busan Branch</b> Food sanitation inspection agency designated by Korea Food & Drug Administration					

○ China's Smoked Oyster

Korea Advanced Food Research Institute Busan Branch																		
314-79 Daeyeon 3 Dong Nam-Gu, Busan, Korea TEL : 051-628-7915 FAX : 051-628-7953 http://Kafribusan.re.kr																		
<b>Certificate of Analysis</b>																		
Name of Product	Imported Dried Farming Oyster(China)	Receipt No.	2015-11-005303															
Client Name	Kyung-kun KIM	Date of Receipt	Jul. 06. 2015															
Client Tel/Fax	051-410-4261 /	Date of Issue	Jul 17, 2015															
Client Address	Maritime science college of Korea maritime and ocean university 727	Use of Report																
Client Company	KOREA MARITIME AND OCEAN I	Lot No.																
Date of Manufacture / Shelf life	2015.05.01 / 제조일자로 부터 3년	Test method Used	Korea Food Code															
<table border="0"> <tr> <td>Calorie(kcal)</td> <td>:</td> <td>263.6</td> </tr> <tr> <td>Carbohydrate(%)</td> <td>:</td> <td>47.0</td> </tr> <tr> <td>Crude protein(%)</td> <td>:</td> <td>9.0</td> </tr> <tr> <td>Crude fat(%)</td> <td>:</td> <td>4.4</td> </tr> <tr> <td>Sodium(mg/100g)</td> <td>:</td> <td>1067.1</td> </tr> </table> <div style="text-align: center; margin-top: 20px;">  <p>KOREA MARITIME AND OCEAN UNIVERSITY 1945 해양대학교</p> </div>				Calorie(kcal)	:	263.6	Carbohydrate(%)	:	47.0	Crude protein(%)	:	9.0	Crude fat(%)	:	4.4	Sodium(mg/100g)	:	1067.1
Calorie(kcal)	:	263.6																
Carbohydrate(%)	:	47.0																
Crude protein(%)	:	9.0																
Crude fat(%)	:	4.4																
Sodium(mg/100g)	:	1067.1																
<ul style="list-style-type: none"> <li>• The above merchandise was submitted and identified by the client.</li> <li>• The results shown in this test report refer only to sample tested and it does not cover the quality of all products.</li> <li>• No one can use this report for the purpose of public information, advertisement, and litigation without KAFRI's consent.</li> <li>• This document cannot be reproduced except in full, without prior written approval of the client.</li> </ul>																		
Tested by  Analyst		Approved by  Director General of Laboratory Manager																
<b>Korea Advanced Food Research Institute Busan Branch</b> Food sanitation inspection agency designated by Korea Food & Drug Administration																		