

한국산 굴의 저온진공건조 열전달특성에 관한 연구

김경근¹ · 송치성² · 최세현³ · 이서연⁴ · 문수범[†]

(Received October 19, 2015 ; Revised December 12, 2015 ; Accepted December 17, 2015)

Low temperature vacuum drying heat transfer characteristics of Korean raw oysters

Kyung-gun Kim¹ · Chi-sung Song² · Se-hyun Choi³ · Seo-Yeon Lee⁴ · Soo-Beom Mun[†]

요약: 굴은 향기가 좋고 영양성분이 풍부하며 질병 예방의 기능성이 높은 우수한 수산식품으로 동서양인 모두가 선호한다. 대량으로 생산된 굴의 보관 및 유통의 편의성을 증가시키는 가장 좋은 방법은 건조하는 것인데, 기존의 열풍건조나 동결건조에 의한 경우에는 굴의 육질이 매우 약하여 향과 영양 성분의 파괴가 많아 완전건조가 불가능하다. 본 논문에서는 15℃ 저온진공건조기술을 이용하여 한국산 양식 생굴과 자연산 생굴을 완전 건조하는 과정에서 진공상태하의 진공열전달특성에 관한 실험적 결과를 보고하였다.

주제어: 15℃ 저온진공건조, 건조 굴, 진공건조열전달, 양식 생굴, 자연산 생굴

Abstract: Oysters are rich in nutrients with good flavor, and disease prevention is required in both the East and the West for high-quality seafood. The best way to store and transport mass-produced oysters is using dry techniques. Using both hot and frozen drying technologies to obtain a perfectly dried oyster often destroys much of the flavor and nutrients found with the oyster meat. This study uses a low temperature vacuum drying technology to investigate the final weight ratio of wild and farmed dried oysters. Additionally, the heat transfer characteristics of steamed oysters are discussed in this paper.

Keywords: 15℃ Low temperature vacuum dry, Dried oyster, Vacuum drying heat transfer, Farming oyster, Wild oyster

1. 서 론

바다의 우유라고 불리는 굴은 독특한 향과 달콤하면서도 풍부한 단백질과 영양성분을 보유하고 있어 예로부터 허한 기를 돋아주고, 간과 신장의 기능을 원활히 하는데 효능이 있는 것으로 알려져 전 세계인이 애용하는 수산식품이다. 중국, 홍콩, 싱가포르 등에서 굴은 주로 건조된 상태로 유통되므로 향후 한국산 굴의 수출 상품화를 위해서는 고품질 건조 굴 양산에 관한 연구개발이 필수적이다.

건조과정에서 식품의 영양소 파괴가 발생하는 온도한계로는 (1)45~55℃에서는 발효가 일어나며, (2)65~75℃에서 특수 단백질의 파괴, (3)85~95℃에서 비타민-C 등의 파괴, (4)영하의 온도에서 얼음 결정의 생성과정에서 예리한 얼음결정에 의한 성분파괴가 발생하는 점이다. 그러므로 식품 건조과정에서는 피건조물의 온도가 10~45℃의 범위내로 유지되어야 한다는 것을 유추할 수 있다. 즉 10~45℃의 온도범위에서 피건조물의 온도가 유지되어야 식품 고유의 향, 맛, 특수 영양소의 파괴가 없는 최상의 건조품질 얻을 수 있다. 특히, 수

산물은 고단백질 식품으로서 건조 중에 부패하기가 매우 쉽고 더구나 해삼은 약 알카리성 식품으로 육이 녹아내리기 쉬어 중국과 일본에서는 생 해삼의 내장을 제거, 삶아서 염장한 후 열풍, 태양 건조하는 건조기술을 택하고 있어 건조에 1개월 이상의 긴 시간과 품질 저하를 동반하고 있다. 이에 비하여 문 [1]이 연구개발한 첨단적인 “15℃ 저온진공건조기술”에 의하면 해삼을 염장하지 않은 순수 무염 건해삼을 크기에 따라 1~3일에 완전 건조하는 건조생산기술을 개발하였다. 본 연구의 대상인 한국산 야생 굴과 자연산 굴은 해삼에 비하여 육질이 매우 약하므로 열풍건조할 경우 고품질 건조 굴의 생산이 매우 어렵고, 최종함수율이 높아 유통과정에서 시간이 경과하면서 곰팡이가 피기 쉽다는 커다란 문제점이 있어 [2], 이에 대한 새로운 기술적 대처가 필요하다.

중화권에서는 생굴보다도 연중 사용이 가능하고 보관성이 좋은 건조 굴을 선호하며, 건조 굴은 홍콩을 중심으로 무역이 이루어진다. 2010년 홍콩이 수입한 건조 굴은 1,200톤(약 3,000만 USD)으로 일본에서 719톤(59.7%), 한국에서 441톤

† Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4519-7305>): Training ship of Kunsan National University, 588 Daehak-ro, Gunsan, Jeonbuk 573-701, Korea, E-mail: sbmoon72@kunsan.ac.kr, Tel: 063-469-1727

1 Department of Marine System Engineering, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: kimkg@kmo.ac.kr, Tel: 051-410-4261

2 Chief of energy research team, Korea Institute of Machinery & materials(KIMM), E-mail: scs1675@hanmail.net, Tel: 042-868-7372

3 Graduate School of Korea Maritime and Ocean University, E-mail: seballi@kmo.ac.kr, Tel: 051-410-4261

4 San-Ya co., E-mail: chwa5@naver.com, Tel: 051-324-1385

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

(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 [3]. 건조공정을 거치면 굴 가격이 생 굴에 비하여 4~5배 상승하므로 고부가가치 수출수산물로 전환이 가능하며, 과일 생산시 가격유지를 위한 좋은 방안이 된다.

굴은 한국의 모든 해안에서 서식이 가능하지만, 남해안에서 굴을 대량으로 양식하며, 서해안에서는 자연산 굴을 주로 생산하는 상황으로, 양식 굴은 연간 20~30만톤을 생산하며 2013년도의 경우 약 1만톤(7,000만불)을 수출하였다. 주요 수출국은, Table 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[4].

Table 2에는 한국식품의약품안전처(KFDA)에 의한 무게 100그램에 포함된 굴의 영양성분 함유량 분석결과를 나타낸다[4]. 이 표에서 보는 바와 같이 생굴에는 풍부한 영양성분이 포함되어 있으나, 굴을 65℃ 이상의 고온 열풍으로 건조하면 기본 영양성분 이외에는 특이 성분들이 모두 사라져 결국 저품질의 건조굴이 생산된다는 큰 문제점을 갖고 있어, 한국산 굴의 수출상품화를 위해서는 건조기술의 개선에 의한 고품질 건조 굴을 생산할 수 있어야 한다.

본 논문에서는 이상과 같은 관점에서 15℃ 저온진공건조 기술(Low temperature vacuum drying technology)에 의한 한국산 자연산 굴과 양식 굴의 진공건조 생산공정에서의 시간 경

과에 따른 피건조물과 건조장치 내부의 각부 온도, 피건조물의 무게와 함수율, 열프릭스의 변화와 특히, 진공건조 성능과 품질에 결정적 영향을 미치는 가열수 온도의 영향을 분석함으로써 한국산 굴의 진공건조열전달특성을 규명하고, 성분 분석과 관능평가를 통하여 건조 굴의 품질도 검토하였다.

2. 실험

2.1 전처리 공정

본 실험에서는 경남 통영의 양식 굴과 충남 태안의 자연산을 실험용 시료로 선택하였다. 생굴은 껍질이 제거된 후 깨끗이 씻은 후 전처리 공정을 실시하였다. 건조를 위한 전처리 공정인 삶는 방법으로는 (1)끓는 물에 생 굴을 익히는 방법과 (2)수증기로 생 굴을 찌는 방법을 생각할 수 있는데, 예비실험을 통하여 수증기로 찌는 방법이 맛이 증대된다는 관능평가 결과에 따라, 본 실험에서는 생 굴을 고온의 수증기에 찌서 익히는 방법을 택하였다.

생 굴의 전처리 작업과 Steaming중에, Figure 1에서 보는 바와 같이 육수가 발생하는데, 이 육수는 별도로 건조하면 고품질의 천연 조미료를 만들 수 있다.

2.2 실험장치 및 실험방법

본 실험에서는 참고문헌[6][7]과 같은 저온진공건조장치(모델명: STVD-50)를 사용하였으며, 기본적인 측정 및 분석 방법도 참고문헌[7]과 유사하다.

전처리가 완료된 굴은 건조관의 크기가 0.3667m²(0.78m x 0.47m)인 건조관에 면포를 깔은 다음에 한 마리씩 넣어놓

Table 1: Export of Korean oyster

(Unit : kg, USD)

	2012Y		2013Y		2014Y	
	Weight	Amount	Weight	Amount	Weight	Amount
Total production	687,568,322	2,151,950,602	227,436,209	685,274,807	231,411,177	647,853,664
Total export	9,858,783	70,163,462	3,465,173	23,313,501	3,869,215	25,800,205
Export ratio	1.4 %	3.3 %	1.5 %	3.4 %	0.1 %	2.0 %
Japan	4,867,011	29,974,510	2,278,622	13,808,604	2,294,841	14,211,059
USA	2,535,542	15,255,005	385,770	2,340,043	646,953	4,254,501
Hong Kong	868,321	12,650,231	262,180	3,557,668	234,617	2,662,702
Singapore	182,916	2,835,544	41,226	548,756	42,008	599,665
Malaysia	244,445	2,147,501	119,932	894,393	119,645	1,197,081
China	311,620	1,759,702	107,585	654,702	82,995	476,523
Taiwan	232,252	1,145,651	84,617	331,330	280,616	1,201,188
UK	124,473	982,271	47,113	365,956	54,610	439,055
Canada	93,431	872,147	13,608	61,740	11,946	110,000
Thailand	111,760	547,593	31,875	120,050	38,000	161,228
New Zealand	60,000	444,300	-	-	20,000	157,250
Netherlands	72,050	331,700	30,780	143,750	5,400	24,325
Australia	30,915	288,001	20,715	195,601	-	-
Norway	30,000	228,200	-	-	-	-
Mexico	19,425	204,536	8,400	85,550	8,190	83,628
France	28,247	198,577	9,073	80,970	20,744	165,260

Table 2: Nutritional analysis results of Korean oyster by KFDA [5]

Symbol	Nutrient	Unit	Raw	Dried	Explanation
Moi	Moisture	g	83.5	81.4	—
Eng	Calory	kcal	73.0	87.0	—
Na	Sodium	mg	N/A	378.0	Significant action for physiological function
Vit-A	Vita-A	RE	11.0	176.0	Damage of skin and hair is occurred in case of lack
K	Kalium	mg	N/A	162.0	Significant action for physiological function
P	Nucleolus	mg	115.0	108.0	Included in bone
Ca	Calcium	mg	75.0	37.0	For strong bone
Pro	Protein	g	9.2	14.7	Proteins are essential nutrients for the human body
Nia	Niacin	mg	4.2	4.8	Niacin is one of vit-B, it's good for fresh skin
Fe	Iron	mg	1.3	3.3	Silver-white color element
Fat	Fat	g	2.6	2.7	Energy source stored in skin, muscle and liver
Ash	Ash	g	2.4	1.2	Remained material after burning of organic material
Thia	Thiamine	mg	0.22	0.65	Complex of Vit-B1 and alicin
Ribf	Riboflavin	mg	0.33	0.09	Significant action for physiological function of metabolism
Car	Carbohydrate	g	2.3	0.0	One of thw three major nurients, caused by photosynthesis
Vit-C	Vit-C	mg	4.0	0.0	Occurrence of scurvy is occurred in case of lack
Tdf	Total dietary fiber	g	0.0	N/A	Food for survival of animal
RE	Retinol	ug	11.0	N/A	Prevention of skin aging
Ile	Isoleucine	mg	324.0	N/A	L-isoleucine component from protein
Leu	Leucine	mg	674.0	N/A	White crystal of amino acid
Lys	Ricin	mg	669.0	N/A	Alkalinity amino acid in albumin and gelatin
Met	Methiodide	mg	278.0	N/A	Indispensable amino acid with sulphur component
Cys	Cysteine	mg	53.0	N/A	Good for treatment of heavy metals
Phe	Phenylalanine	mg	389.0	N/A	Indispensable amino acid in egg and milk
Tyr	Throsine	mg	388.0	N/A	Aromatic amino acid for protein
Thr	Threonin	mg	487.0	N/A	Metable indispensable amino acid good for forage
Trp	Trypophan	mg	35.0	N/A	Metable indispensable amino acid good for growth
Val	Valine	mg	390.0	N/A	Metable indispensable amino acid in vegetable protein
His	Histidin	mg	424.0	N/A	Component in alkalinity amino acid and hemoglobin
Arg	Arginno-succinic	mg	651.0	N/A	One of alkalinity amino acid in protein
Ala	A;anine	mg	681.0	N/A	Alpaca amino acid in protein
Asp	Aspartic acid	mg	953.0	N/A	Succinic anhydride with amino group
Glu	Glutamic acid	mg	1341.0	N/A	Alpaca amino acid in vegetable protein
Gly	Glycine	mg	593.0	N/A	Sweet taste and colorlessness amino acid
Pro.	Proline	mg	502.0	N/A	Amino acid from hydrosis of protein
Ser	Serin	mg	497.0	N/A	Feassible compose amino acid in human body

아 건조 후에도 모양이 온전하도록 하였다. 한 장의 건조판에는 찢 굴 약 2.5 kg 전후가 탑재되어 건조실험이 시작된다. 측정기준은 찢 굴 5kg을 기준(100%)로 하여 건조시간이 경과함에 따라서 무게 감소량 즉, 수증기의 시간 평균적인 증발량을 계산하였다. Figure 2에 건조시간 경과에 따른 반건조 굴과 건조기 내부 건조판 사진을 나타낸다.



Figure 1: Pre-conditioning of the oysters and the meat broth



Figure 2: Steaming oyster on the drying plater for vacuum dry

본 연구의 목적은 굴을 고품질로 저온진공건조하여 수출 상품화 하는 것이 주목적이므로 품질과 최종무게수율이 건조조건에 따라서 어떻게 변화하는가를 체계적으로 연구하는 것이다. 건조 굴의 품질에 가장 영향을 미치는 인자는 가열수의 온도와 이에 따른 건조실 내부의 공간온도이므로, 가열수의 온도를 60, 50, 40℃의 3가지로 유지하면서 건조 소요시간, 에너지소모율, 최종무게수율 등을 측정하였다. 측정 시간간격은 건조 개시 후부터 3시간으로 설정하였다. 실험중 건조기 내부의 압력의 작동범위는 -640 ~ -680 mmHg 범위에서 작동하므로, 본체 내부의 평균 진공압력은 -660 mmHg으로 간주할 수 있으며, 이에 상당하는 수증기의 포화 온도는 51.57℃, 수분의 증발잠열 $H_{fg} = 568.25 \text{ kcal/kg}$ 을 기준으로 측정분석을 수행하였다[8][9].

3. 실험결과

3.1 함수율, 수율과 건조시간

저온진공건조기술로 충분히 건조하였을 때 도달할 수 있는 경우의 식(6)과 같이 정의되는 최종함수율은 약 4.2%임을 실험적으로 얻고 있으므로[1], 찢 굴 5kg을 완전히 진공

건조하였을 때 순수한 육만의 무게는 1.417kg이다. 따라서 함수율 30%의 경우 건조 굴의 무게는 2.024kg($1.417 \div 0.7 = 2.024$), 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[10].

Moisture content ratio (weight)	Heating water temperature, Thin		
	40 ℃	50 ℃	60 ℃
t = 0, Boiled (5.000kg)			
30 % (2.024kg)			
20 % (1.771kg)			
10 % (1.574kg)			
4.2 % (1.492kg)			

(a) Wild oyster

Moisture content ratio (weight)	Heating water temperature, Thin		
	40 ℃	50 ℃	60 ℃
t = 0, Boiled (5.000kg)			
30 % (2.024kg)			
20 % (1.771kg)			
10 % (1.574kg)			
4.2 % (1.492kg)			

(b) Farming oyster

Figure 3: Wild and farming oyster according to the change of moisture content ratio

Figure 3에는 이와 같이 계산한 함수율과 건조과정에서의 굴 사진을 대비하여 나타내었다. 자연산 굴(Wild oyster)이 양식 굴(Farming oyster)에 비하여 비교적 밝은 색상을 띠는 것을 알 수 있었으며, 함수율이 적어질수록 짙은 색상이 되었다. 완전 건조후 한 마리의 평균적 무게는 자연산이 1.53gr/마리, 양식이 3.30gr/마리로 양식 건조 굴이 자연산 건조 굴에 비하여 2.15배 정도 무거웠다.

Figure 4에는 가열수의 입구온도(T_h)를 40°C로 유지했을 때, 포화온도(T_s), 가열온수관 표면온도(T_w), 건조실 내부 공간온도(T_r), 피건조물인 굴의 온도(T_m)의 측정결과를 나타내었다. 이 그림에서 굴의 온도는 건조 초기에는 활발히 수분의 증발이 이루어지므로 20°C 이하로 유지되다가 건조 개시후 30시간 정도 경과하면 거의 다 건조가 완료되어 건조실 온도와의 온도차가 5°C 이내로 될 때까지 굴의 온도가 상승하여 피건조물의 온도(T_m)가 공간온도(T_r)과 거의 같아질 때까지 수렴함을 알 수 있다. 참고로 이 실험의 경우 30시간이 경과한 시점에서의 함수율은 18.44%이었다.

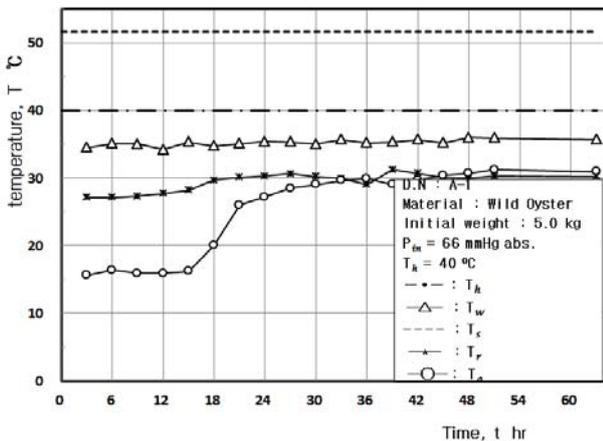


Figure 4: Behavior of the measured temperature (Wild oyster, $T_{hin} = 40^\circ\text{C}$)

무게 변화는 Figure 5에서 보는 바와 같이 건조시간의 경과에 따른 무게 감소율의 변화를 살펴보면 더욱 뚜렷하다. 건조초기 12시간 동안에는 무게가 50% 될 때까지 거의 선형적으로 감소하여 함수율 약 40%가 되며, 39시간이 경과하면 무게가 약 35%로 감소(함수율 12.38%) 되어 이 때부터 건조속도가 매우 느려짐을 알 수 있으며, 완전 건조까지 소요되는 건조시간은 69시간이며, 최종 도달 함수율은 4.20%이었다. 참고로 기존의 열풍건조, 냉풍건조, 자연건조에 의존할 경우에는 공기중의 수분의 농도 평형에 의하여 건조시간이 아무리 경과하여도 함수율 12% 이하의 건조는 불가능하다.

Table 3에는 전체적인 실험결과로부터 가열수 온도를 40°C, 50°C, 60°C로 셋팅하였을 경우 자연산 굴과 양식 굴의 함수율(%)이 70-5%까지 각각 도달하는데 필요한 소요시간을 표로 정리하여 나타내었으며, Figure 6는 양식 굴에 대

한 데이터를 그림으로 나타낸 것이다. 이들 결과로부터 저온진공건조기술을 이용한 굴의 완전 건조에는 2~3일이 소요되며, 가열수 온도가 높을수록 소요시간이 짧아짐을 알 수 있었다.

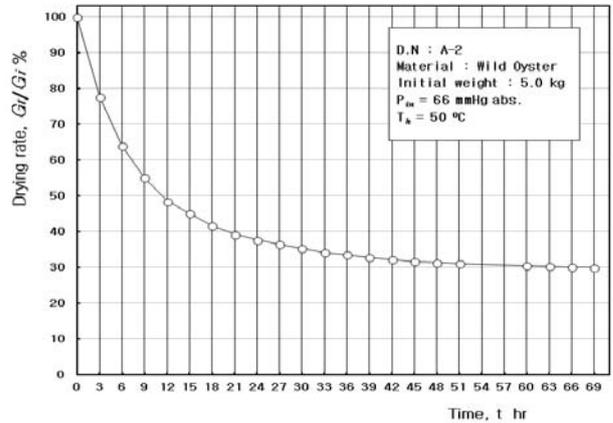


Figure 5: Weight reduction behavior during vacuum dry (Wild oyster, $T_{hin} = 50^\circ\text{C}$)

Table 3: Relationship between moisture content ratio to drying time

H.W Temp.(°C)	Wild oyster			Farming oyster			
	40	50	60	40	50	60	
Data No.	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	
Initial ω (%)	70.99	71.26	71.68	74.82	74.44	72.10	
Moisture ratio (wt %)	Drying time (hr)						
	70%	0.25	0.45	0.42	1.86	1.42	0.63
	60%	2.77	4.11	2.97	7.26	5.30	3.87
	50%	7.08	8.10	5.95	13.62	10.87	7.78
	40%	12.45	12.45	9.22	21.10	16.98	12.21
	30%	18.42	18.65	12.94	30.40	24.98	17.63
	20%	26.22	28.20	18.36	41.90	35.24	24.24
	10%	38.70	43.60	26.91	57.40	48.85	34.77
4.2	49.55	64.00	37.29	69.62	62.03	46.32	

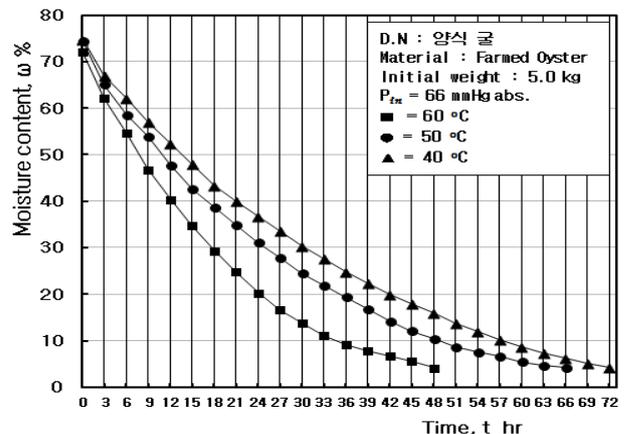


Figure 6: Relationship between moisture content ratio and drying time(Farming oyster)

Table 4에는 자연산 굴을 최종함수율 4~5%까지 저온진공 건조하였을 경우, 생 굴의 무게를 기준(100%)으로 건조된 굴의 무게 수율 실험결과를 정리하여 나타낸 것이다. 이 표에서 보는 바와 같이 함수율 4.2%까지 완전 건조하였을 경우 육만의 무게 수율은 17.0% 전후가 되며, 굴 육수의 수율도 약 3% 정도가 되어 도합 약 20%가 됨을 알 수 있었다.

Table 4: Final weight ratio of wild oyster meat and broth

H.W Temp(°C)	40°C		50°C		60°C	
	Meat	Broth	Meat	Broth	Meat	Broth
Raw oyster	100%		100%		100%	
Seperation	70.0%	30.0%	70.7%	29.3%	73.5%	26.5%
after Steaming	54.1%		55.4%		56.0%	
after Drying	17.8%	2.7%	16.6%	2.8%	16.6%	3.4%
Total final weight ratio	20.5%		19.4%		20.0%	

3.2 열전달특성

건조 직전(t=0)의 무게 찢 굴의 무게를 G_{ikg}, 임의의 측정 시각 t에서 찢 굴의 무게를 G_t라고 하면 다음 식과 같이 이 관계를 나타낼 수 있다.

$$\frac{G_t}{G_i} = f(t) \tag{1}$$

그러므로 시각 t에서의 굴의 무게 G_t를 알면, 시간간격(Δt) 동안의 평균 무게 감소율 ΔW_t(kg/hr)를 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$\Delta W_t = \frac{\Delta G_t}{\Delta t} \tag{2}$$

건조판의 면적이 A = 0.366 m² 이므로, 건조판 단위면적당의 겉보기 열프럭스(Superficial Heat flux, kcal/m²hr)는 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$q = \frac{\Delta W \cdot H_{fg}}{A} \tag{3}$$

위 식에서 H_{fg}는 건조기 내부의 평균진공압력 -660 mmHg에 상당하는 수분의 증발잠열로 H_{fg} = 568.25 kcal/kg 이다.

Figure 7는 식 (3)과 같이 구한 건조판의 크기를 대표면적으로 하여 건조시간의 경과에 따른 겉보기 열프럭스(대수 눈금)를 건조 경과시간(t)에 대하여 정리하여 나타내었는데, 이 그림에서 보는 바와 같이, 자연산 찢 굴의 건조판을 기준으로 한 단위면적당의 겉보기 열프럭스는 건조시간의 경과에 따라 급속하게 감소하는 것을 알 수 있었다.

저온진공건조 초기의 12시간 동안에는 활발히 건조가 진행되어 열프럭스가 200~600 kcal/m²hr로 비교적 높게 유지

되다가, 36시간 정도가 지나면 20 kcal/m²hr 정도로 적어지며, 이후에는 10 kcal/m²hr 이하로 더욱 현격히 적어짐을 알 수 있었다. Figure 4와 같이 구한 자연산 굴의 저온진공건조 열전달특성은 최순열의 고추에 관한 저온진공건조 연구결과[11] 문수범의 순수 무염 건해삼의 진공건조과정해석에 관한 연구결과[1]과는 상당히 다르게, 항울건조기간과 감울건조기간이 뚜렷이 구분되지 않고, 편대수 그래프 상에서 거의 직선적으로 열프럭스가 감소하는 경향을 나타냄을 알 수 있었다.

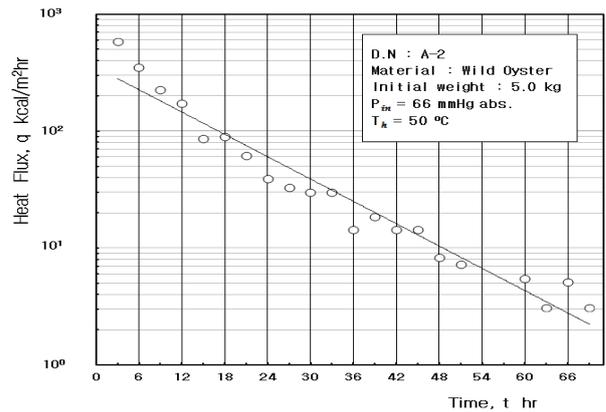


Figure 7: Heat flux behavior during vacuum dry (Wild oyster, T_{hin} = 50°C)

함수율은 피건조물 전체 무게에서 수분이 차지하는 무게의 비율 즉 함수율(ω %)은 건조 굴 중의 수분 무게를 W_{H₂O}, 순수한 굴 육의 무게를 W_{oy}라고 하면 다음 식과 같이 정의된다.

$$\omega = \frac{W_{H_2O}}{W_{oy} + W_{H_2O}} \tag{4}$$

그러므로 피건조물 중의 굴 육만의 순수한 무게 W_{oy}와 수분의 무게 W_{H₂O}는 각각 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$W_{oy} = W_{H_2O} \frac{(1-\omega)}{\omega} = (1-\omega) W_{oy} \tag{5}$$

$$W_{H_2O} = \frac{\omega}{(1-\omega)} W_{oy} \tag{6}$$

김경근 등[12]의 다양한 수산물에 관한 저온진공건조 실험결과와 문수범의 연구결과[1]에 의하면 충분한 시간 동안 저온진공건조한 수산물과 과일, 채소의 최종함수율은 약 4.2%에서 열평형을 이룬다는 실험적 결과를 얻고 있다. 그러므로 건조완료시 건조 굴 무게와 최종함수율로부터 건조 굴의 육만의 무게를 구하면, 역산하여 순차적으로 시각

t에서의 함수율을 추정할 수 있다. Figure 8는 이와 같이 구한 함수율과 열프럭스의 관계를 정리하여 나타낸 것이다. 이 그림에서 보는 바와 같이 함수율이 10% 이하가 되면 열프럭스가 1.0 kcal/m²hr 이하로 급감함을 알 수 있다. 그리고 전술한 바와 같이 열풍건조기속도는 10% 이하의 함수율은 아무리 건조시간을 길게 하여도 도달 할 수 없는 함수율 영역이다.

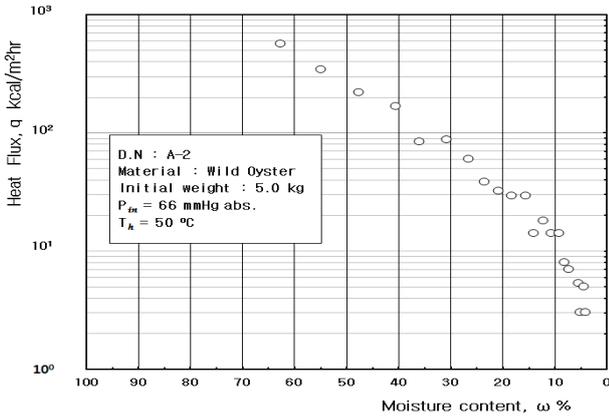


Figure 8: The relationship between heat flux and moisture contents rate(Wild oyster, T_{hin} = 50 °C)

3.3 고찰

Figure 9은 자연산 굴의 경우, 저온진공건조에 있어서 가열수 온도가 건조속도에 미치는 영향을 알아보기 위하여 가열온도(T_{hin})가 40°C, 50°C, 60°C인 경우를 비교하여 보았다. 가열수온도가 40°C와 50°C의 경우는 건조속도가 거의 유사하며, 초기 무게의 50%에 도달하는 건조시간이 약 12시간임에 비하여, 가열수 온도가 60°C인 경우는 약 9시간만에 빠르게 50%에 도달함을 알 수 있었다.

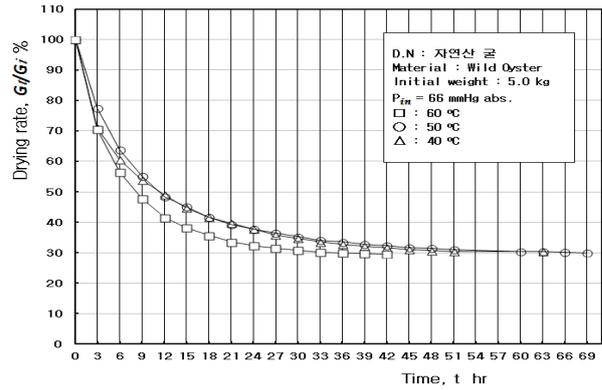


Figure 9: Influence of heating water temp. on vacuum drying speed (Wild oyster)

Figure 10은 가열수 온도가 50°C인 경우 자연산 굴과 양식 굴의 건조속도를 비교한 것으로, 양식 굴이 약 2.1배 큰데도 불구하고 양식 굴의 건조속도가 자연산에 비하여 빠름을 알 수 있는데, 이는 자연산 굴은 유분이 많아 수분의 증발을 저해하기 때문에 건조속도가 상대적으로 느린 것으로 판단된다.

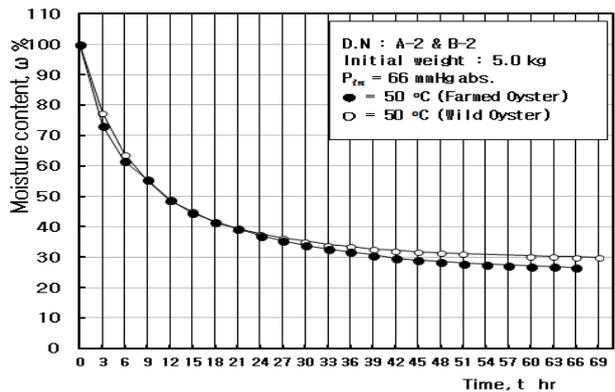


Figure 10: Comparison of drying speed for wild and farming oyster (T_{hin} = 50 °C)

Table 5: Comparison of nutritional components of the vacuum dried oyster to the others

No.	Nutrient	Unit	Raw	Cookin g	Vacuum Dried wild oyster				Vacuum Dried farmed oyster				Semi -dried
					40°C Heating	50°C Heating	60°C Heating	Mean	40°C Heating	50°C Heating	60°C Heating	Mean	
					KFDA	KFDA	KFDA	-	KFDA	KFDA	KFDA	-	
	Institute		KFDA	KFDA	KFDA	-	KFDA	KFDA	KFDA	-	KFDA		
	Origin		Korea	Korea	Taeon	Taeon	Taeon	-	Tongyeong	Tongyeong	Tongyeong	-	China
1	Calory	kcal	73	137	368.0	382.7	380.1	376.9	356.9	386.4	389.3	377.5	263.6
2	Carbohydrate	%	2.3	7.8	52.3	52.2	52.4	52.3	35.1	40.2	40.0	38.4	47.0
3	Crude protein	%	9.2	14.1	28.0	29.3	28.9	28.7	39.5	41.1	37.3	39.3	9.0
4	Crude fat	%	2.6	4.9	5.2	6.3	6.1	5.9	6.5	6.8	8.9	7.4	4.4
5	Soildum	mg	-	422	512.8	575.1	540.4	542.8	521.4	461.8	666.8	550.0	1067.1

Table 5은 한국식품의약품(KFDA)의 공인식품성분분석을 대행하는 “한국식품과학연구원 부산지소”에서 저온진공건조기술에 의한 자연산 굴과 양식 굴의 주요성분 분석결과를 타 결과와 비교하여 정리하였다. 이 표에는 비교를 위하여 Table 2에 나타낸 한국산 생 굴과 조리 굴에 대한 평균적 영양성분과 제품화 되어 중국시장에서 판매중인 중국산 반건조 굴을 성분분석과 결과를 병기하였다. 본 연구를 통하여 저온진공건조한 양식 굴과 자연산 굴은 생 굴, 조리 굴 및 중국산 반건조 굴에 비하여 탄수화물, 조단백질 및 조지방 모두 성분비율이 현저히 높으며, 자연산과 양식을 비교하면 탄수화물은 자연산 굴이 조단백질과 조지방은 양식 굴이 높음을 알 수 있었다.

4. 결론

굴은 해삼, 진복과 함께 우리나라의 전락수출수산물 향기가 좋고 영양성분이 풍부하며 질병예방의 기능이 높은 우수한 수산식품으로 동서양인 모두가 선호한다. 중국, 홍콩, 싱가포르 등에서는 생굴보다도 건조 굴을 선호하는 형편이고, 대량으로 양식된 굴의 장기보관과 유통의 편의성을 증가시키기 위해서는 고품질 고부가가치 건조 굴의 생산이 필수이다. 본 연구에서는, 열풍건조나 동결건조에 비하여 굴 특유의 향과 영양성분의 파괴가 거의 없으면서도 건조 효율이 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) 굴은 가열수 온도가 40~45℃ 근방에서 건조하는 것이 잡냄새가 없는 최상품의 완전 건조가 가능하며, 이 경우 최종함수율 4~5%에 도달하는데 필요한 소요시간은 2.5일 전후가 되며, 가열수 온도가 높을수록 짧게 걸린다.

(2) 생 굴을 함수율 4~5%까지 완전 건조하면, 생굴의 무게 대비 약 17%의 건조 굴이 얻어지며, 천연조미료로서 사용될 수 있는 육수도 약 3% 정도가 얻어져 도합 20%의 건조물이 얻어진다.

(3) 저온진공건조과정에서 무게감소율의 측정결과를 토대로 열계산을 수행한 결과, 실험 초기 12시간 동안의 열프럭스는 200~600 kcal/m²hr로 유지되다가, 36시간 정도가 지나면 20 kcal/m²hr으로부터 점점 적어져, 함수율이 10% 이하가 되면서 열프럭스는 10 kcal/m²hr 이하로 현격히 적어짐을 알았다.

(4) 양식 굴이 평균적으로 2.1배 무거운데도 불구하고 양식 굴의 건조속도가 자연산에 비하여 5~6시간 정도 빠르게 건조됨을 알았다.

(5) 저온진공건조한 양식 굴과 자연산 굴은 KFDA가 제시한 생 굴과 조리 굴 그리고 중국산 반건조 굴에 비하여 탄수화물, 조단백질 및 조지방 모두 성분비율이 훨씬 높은 고품질 건조 굴임을 확인하였다.

후 기

본 연구는 2014년도 부울중소기업청의 산학연공동기술개발사업에 의한 연구비지원으로 수행되었음을 밝히며, 이에 심심한 감사의 말씀을 전합니다.

References

- [1] S. B. Moon, A Study on the Drying Heat Transfer of the Sea Cucumber by the Low Temperature Vacuum Drying Technology, Ph.D. Dissertation, Korea Maritime and Ocean University, 2010.
- [2] Honkong aT Center, “Hongkong market report for the dried oyster”, Accessed November 11, 2011.
- [3] J. S. Park, “Market research report for the enlargement of seafood export(dried abalone and oyster),” aT Market Research Report, www.at.or.kr, 2011.
- [4] aT, "Core strategy of oversea's seafood information(Oyster)", at Export Team, www.kait.net, Accessed November 5, 2011.
- [5] KFDA, www.mfds.go.kr. Accessed October 10, 2010.
- [6] Y. D. Shao, A Study on the Vacuum Heat Transfer for the Production of Table Salt without the Pernicious Ingredients to Human Body, M.S Thesis, Korea Maritime and Ocean University, 2015
- [7] Y. D. Shao, S. B. Moon, K. G. Kim, B. H. Choi, and C. H. Lee, “A study on the comprehensive resources utilization of seawater by the vacuum heat transfer technology,” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 39, no. 7, pp. 685-695, 2015.
- [8] G. S. Kim and K. G. Kim, “A study the formulation for the properties of steam and water according to the ASME code on P.C,” Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 6, no. 4, pp. 88-101, 1992.
- [9] K. G. Kim and D. Y. Kim, “Detailed digital data book of the steam & water”, Thermal Engineering Lab. of Maritime College of Korea Maritime and Ocean University, Report, 1998.
- [10] K. G. Kim et.al., “A study on the vacuum drying production process for the export of the dried oyster”, 2014 The Small and Medium Business

Administration. Academic & Research Joint
Technology Development, Report, 2014.10~2015.9.

- [11] S. Y. Choi, A Study on the Thermal Characteristics of Thw Low Temperature Vacuum Dryer, Ph.D. Dissertation, Korea Maritime and Ocean University, 1999.
- [12] S. B. Moon, K. S. Kim, C. H. Lee, C. Oh, and C. W. Bael, "A study on the drying heat transfer of the high quality seafoods," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 34, no. 4, pp. 460-469, 2010.