

적외선 기류 건조 기술을 이용한 반건조 고품질 건조 도루묵 제조

유상권 · 박성희^{1*}

강릉원주대학교 해양식품공학과, ¹서울과학기술대학교 식품공학과

Production of High-Quality, Semi-dried Dorumuk (*Arctoscopus japonicus*) through Infrared-Assisted Air Drying

SangGuan You and Sung Hee Park^{1*}

Department of Marine Food Science and Technology, Gangneung-Wonju National University

¹Department of Food Science and Technology, Seoul National University of Science and Technology

Abstract

This study was conducted to investigate the potential of infrared assisted air drying (IRAD) to dry dorumuk (*Arctoscopus japonicus*). The IRAD system is composed of a far infrared lamp, convection fan, data loggable electronic balance, and proportional-integral-differential temperature controller. The infrared lamp provided radiative energy for temperature increase and substance moisture vaporization. The convection fan removed the moisture outside the drying chamber. Various IRAD conditions were tested at 40°C & 5 m/s, 40°C & 11 m/s, 50°C & 5 m/s, 50°C & 11 m/s, 60°C & 5 m/s, or 60°C & 11 m/s. The IRAD of 40°C & 5 m/s could reduce the moisture content by 42.2 %. The IRAD of 60°C and 11 m/s could further reduce the moisture content to 16.7% within 17 h. During the IRAD test, electrical energy consumption ranged from 1.16 to 1.38 kWh which is lower than that of hot air drying. IRAD resulted in dried dorumuk with yellow color and crispy texture. In this study, IRAD showed potential for the production of high-quality, dried dorumuk products.

Key words: infrared assisted air drying, dorumuk, drying rate, energy efficiency, texture

서 론

우리나라 동해안의 특산품인 도루묵(*Arctoscopus japonicus*)은 어종이 농어목(order Perciformes) 도루묵과(family Trichodontidae)에 속하며 한국 동해안, 알스카, 사할린 및 캄차카등 수심이 비교적 얇고(140-150 m) 바닥이 모래나 진흙인 곳에 주로 서식한다(Jun *et al.*, 2016; Nam *et al.*, 2015; NFRDI, 2004). 한국의 동해안에서는 11-12월에 도루묵이 연안에서 많이 어획되는데 그 이유는 도루묵이 산란을 위하여 수심이 2-10미터 깊이고 수온이 2-13°C 되는 해조류가 번성한 연안으로 이동하기 때문이다(Nam *et al.*, 2015). 이 기간에는 도루묵이 평균 4,000 ton 이상이 어획되지만(KFA, 2015) 단순히 구이나 찌개등의 조리료 소비되어 많은 양이 남아 폐기되거나 냉동되어 보관되는 실정이다. 따라서 도루묵 자원을 보다 다양한 가공품으로 개발

하여 이용하는 것이 자원의 활용이나 어촌 소득 증대 측면에서 유리하다. 최근에는 수산물 가공 기법 중, 냉동법이나 건조법의 가장 큰 단점인 조직감 저하 현상을 개선할 수 있는 반건조 제품에 대한 수요가 높아지고 있는데, 반건조 수산제품은 건제품보다 수분 함량이 비교적 높아 조직이 유연하고 독특한 조직감을 띄게 되어 기호성이 증진되며 일정량의 수분이 제거되어 냉장저장에 의해서도 충분히 유통기간을 연장할 수 있다(Kim *et al.*, 2014). 대표적인 수산물의 건조방법으로는 자연건조법, 열풍건조법, 냉풍건조법, 배건법, 진공 건조법 및 적외선 건조법등이 있다(Kim *et al.*, 2010). 이 중 자연 건조법은 건조에 많은 시간이 소요되고 기후 변화에 의해 건조 과정이 영향을 받으며 건조 중간에 해충이나 기타 물질에 의한 오염이 쉽게 발생하는 문제점이 있다. 가장 널리 쓰이는 열풍 건조법은 건조 속도는 빠르지만 과도한 열로 인하여 수산물의 관능 및 영양학적 특성이 변화되며 표면 경화, 수축 및 변색이 많이 발생된다. 자연 건조 및 열풍 건조법 외에 최근 식품의 건조 방법중 적외선 건조법이 널리 확산되고 있는데, 적외선 건조는 적외선의 복사에너지에 의한 온도 상승으로 빠른 건조가 가능하고 건조 과정 중 식품의 조직 변화 및 표면경화를 최소화하며 에너지 효율이 좋다. 적외선 에너지의 파

*Corresponding author: Sung Hee Park, Department of Food Science and Technology, Seoul National University of Science and Technology, Seoul 01811, South Korea
Tel: +82-2-970-6621; Fax: +82-2-976-6460
E-mail: sunghpark@seoultech.ac.kr
Received October 24, 2019; revised November 12, 2019; accepted November 15, 2019

장에 따라 근적외선(near-infrared, 0.75-1.4 μm), 중적외선(mid-infrared, 1.4-3.0 μm) 및 원적외선(far-infrared, 3-1,000 μm)으로 분류하며 근적외선의 경우 투과율이 좋아 두께가 두꺼운 식품에 적합하고, 원적외선의 경우 투과율은 낮으나 빠른 가열이 필요한 경우 사용된다(Khampakool *et al.*, 2019; Krishnamurthy *et al.*, 1994; Sakai and Hanzawa, 1994).

본 연구에서는 적외선 건조를 이용하여 도루묵 수산자원을 효율적으로 활용하기 위하여 적외선 기류 조절 건조기를 이용하여 건조된 도루묵 건제품의 건조 효율, 에너지 소모 및 품질지표에 관한 시험을 진행하였다.

재료 및 방법

재료

생도루묵은 도루묵의 산란기인 11월 강원도 주문진 연안

에서 어획된 것을 현지에서 구입하여 1°C로 설정된 저온 냉장고에 보관되었다. 생도루묵은 평균 길이가 180±10 mm 및 무게가 150±10 g인 것을 선별하였다. 본 연구의 조건별 적외선 기류 건조 시험 총 소요기간은 1°C 저온 냉장보관온도 중 7일 내외로 진행되어 선도변화가 일어나지 않도록 통제하였다. 냉장 보관된 생도루묵은 시험 전 수돗물을 이용하여 세척하였으며, 도루묵의 특성상 알을 품고 있는 상태로 건조를 진행하여야 하기 때문에 절개는 하지 않은 상태로 진행하였다.

적외선 기류 건조 시스템(Infrared Assisted Air Drying, IRAD)

Fig. 1은 본 연구에서 사용된 적외선 기류건조(IRAD) 시스템을 보여주고 있다. 적외선 기류 건조 시스템은 ㈜한국이엔씨에서 자체 제작된 장비를 이용하였다. 챔버내부에 근적외선 램프(15021Z, Sungdo L&T, Daejon, Korea)를 건

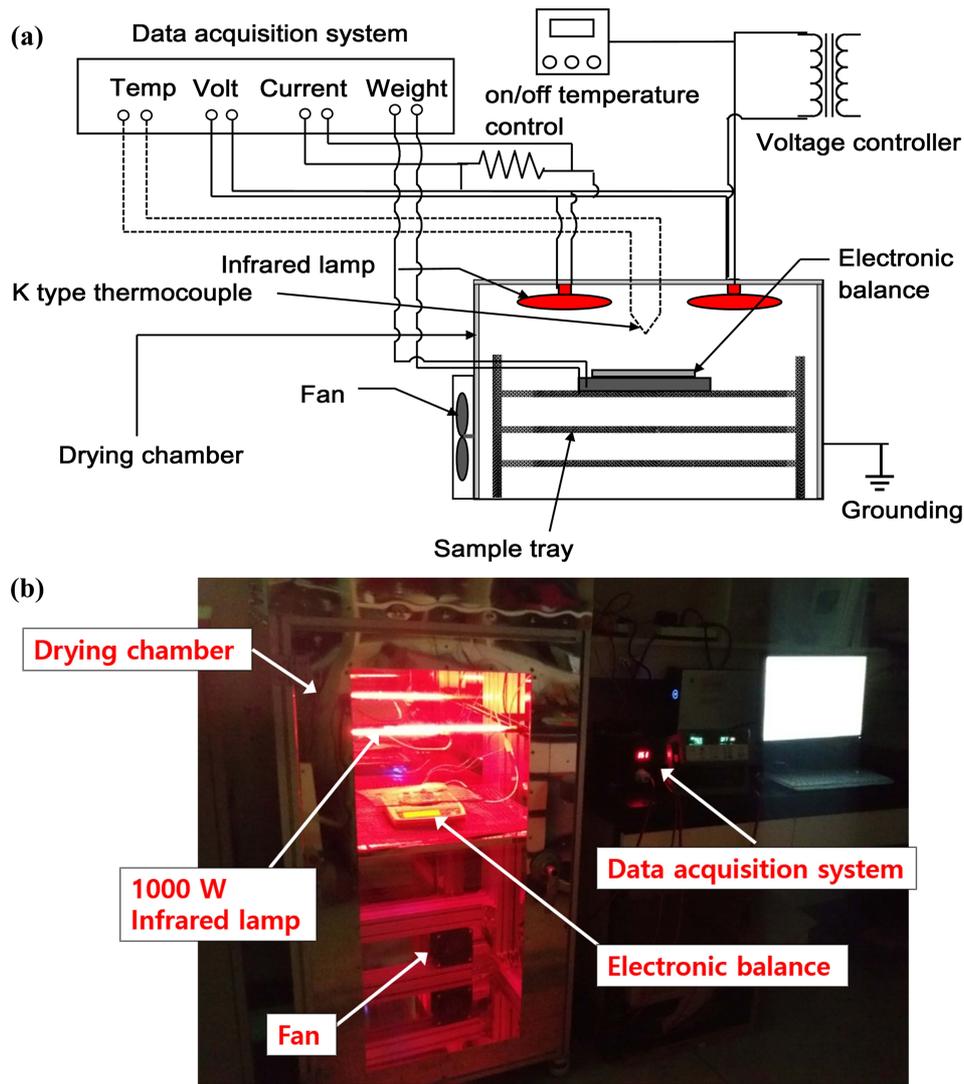


Fig. 1. (a) Schematic diagram and (b) photo image of infrared assisted air drying (IRAD) system.

조기 챔버(62×52×150 cm)에 설치 후 음압팬을 설치하여 제작하였다. 근적외선 램프는 침투 효율이 좋기 때문에 선택되었으며 시료에 복사에너지를 제공하여 건조구동력을 제공 후 수분의 해리를 유도 후 음압팬에 의해 수분이 건조기 외부로 배출될 수 있도록 설계되었다. 본 연구에서 사용된 적외선의 출력, 건조 온도 및 기류 속도는 Table 1과 같다. 건조 중 시료의 온도 측정을 위하여 도루묵 중심부에 K-type thermocouple (Ø 0.25 mm, TFIR-003-50; Omega Engineering, Stamford, CT, USA)을 삽입하였다. 적외선 출력, 건조 온도 및 기류 속도는 Proportional-integral-differential controller (ITC-100, INKBIRD, China)을 이용하여 조절 되었으며, 온도, 전압 및 전류 데이터는 데이터 수집 시스템(Data Acquisition System 34970A; Agilent Technologies, Santa Clara, CA, USA)에 매 5 초마다 기록되어 건조 효율 및 전력 소모 분석에 사용되었다.

건조속도 및 에너지 소모 비교

건조속도는 생도루묵 시료의 적외선 기류 건조 중 무게 변화를 매 3초마다 데이터 수집 시스템을 이용하여 기록하여, Table 1에 제시된 건조 조건별로 비교하였다. 건조 과정 중 에너지 소모(E_c)는 사용전력을 자체 제작된 전기 회로를 이용하여 매 3초마다 전압 및 전류 변화를 데이터 수집 시스템에 기록하여 Ohm의 법칙을 이용하여 (1)의 계산식에 제시된 바와 같이 건조시간에 대하여 적분하였다 (Khampakool *et al.*, 2018). 적분은 MATLAB 수치해석 프로그램(Version 7.9.0.529; Mathworks Inc., Natick, MA, USA)의 정적분 기법을 이용하였다.

$$E_c = \int_{t_i}^{t_f} I \cdot V dt \quad (1)$$

물성분석

건조 도루묵의 물성은 경도를 측정하여 건조 조건별로 비교하였다. TA-XT Plus 텍스처 분석기(Texture Technology Corp., Brewster, NY, USA)를 이용하여 3 mm의 니들형 프로브가 2 mm/s의 속도로 시료의 표면으로부터 5 mm 지점까지 침투시 요구되는 최대힘(Newton)을 측정하였다.

Table 1. Experimental conditions of infrared air assisted drying (IRAD) system

No.	Drying temperature (°C)	Infrared power (W)	Air velocity (m/s)
1	40	1,000	5
2	40	1,000	11
3	50	1,000	5
4	50	1,000	11
5	60	1,000	5
6	60	1,000	11

색도

건조 도루묵의 색도는 색차계(CR-10, Konica Minolta Sensing Inc., Sakai, Osaka, Japan)을 이용하여 L^* (lightness), a^* (redness) 및 b^* (yellowness)를 측정하였다. 측정 전 보정한 표준 백색판의 L^* , a^* 및 b^* 값은 각각 97.26, -0.07 및 1.86 이었다.

통계처리

모든 건조 및 품질지표 분석 시험은 5회 반복되었으며, 평균 및 표준편차를 고려한 유의성 검정을 Statistical Analysis System (SAS) 소프트웨어(version 9.1.3, SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA)를 이용하여 95% 유의수준에서 ANOVA (Analysis of Variance) 분석을 시행하였다.

결과 및 고찰

건조효율 및 전력에너지 소모

Fig. 2는 적외선 기류 건조(IRAD) 조건에 따른 도루묵의 건조 곡선을 보여주고 있다. 적외선 기류 건조기내 풍속을 5 m/s로 조건에서, 적외선 조사에 의한 시료의 온도를 40°C에서 60°C까지 상승 시 건조곡선이 보다 가파르게 형성되어서 빠른 건조가 가능하였다(Fig. 2a). 풍속 5 m/s에서 시료의 온도를 40°C로 유지 시, 시료의 무게는 63±2 g까지 감소한 반면에 동일 풍속에서 시료의 온도를 60°C까지 상승 시 무게를 31±2 g까지 감소시켰다. 적외선 기류 건조기

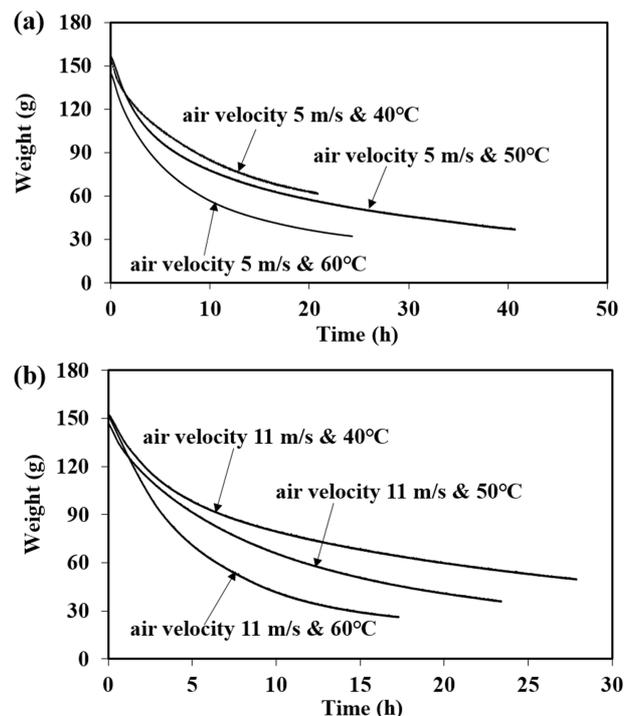


Fig. 2. Drying curve of Dorumuk during different infrared assisted drying (IRAD) trials.

의 풍속을 11 m/s까지 상승 시 모든 온도 조건에서 건조 속도가 상승되었다(Fig. 2b). Table 2는 적외선 기류 건조 조건별 도루묵의 건조 소요 시간, 최종 수분함량 및 전기 에너지 소모를 보여주고 있다. 건조 소요 시간은 최종 수분 함량과 종합적으로 비교 분석하여야 해야 하는 것으로 나타났다. 예를 들어, 40°C & 5 m/s 조건은 23±2시간의 건조 시간을 보여주어 50°C & 5 m/s의 43±2시간 보다 빠른 건조가 가능하였지만 수분함량을 42.2±1.0% 수준까지 밖에 낮추지 못하였다. 적외선 기류 건조 중 건조 온도 및 풍속이 증대될수록 최종 수분함량을 낮추면서도 동시에 건조 시간을 단축할 수 있는 것으로 나타났다. 60°C & 11 m/s로 건조시 수분함량은 최소 16.7±0.7%까지 17±2시간내로 상대적으로 빠르게 건조시켰다. 건조온도의 증가는 원적외선 방사체에서 발생하는 복사에너지를 증가시켜 피건조물의 수분확산 및 증발을 촉진시켜 건조시간을 단축시킨다(Lee *et al.*, 2017; Ning, 2012). 풍속의 증가는 적외선 복사에너지에 의해 시료로부터 해리된 수분을 건조기 밖으로 효율적으로 배출시키며 동시에 대류 열전달의 효과도 증대시킬 수 있는 것으로 예상된다. 일반적으로 반건조 식품이라 일컬어지는 중간수분함량 식품은 수분함량이 20-50% 이르며, 건조 전 식품의 외관, 물성 및 색도의 변화를 최대한 유지하도록 건조한 식품이다(Carla *et al.*, 2010; Qiu *et al.*, 2019). 본 연구에서는 시도한 대다수의 적외선 기류 건조 조건은 중간수분함량으로 고려될 수 있는 20-50% 수분함량의 도루묵 건제품을 생산할 수 있었으며, 최대 온도 및 최대 풍속의 60°C & 11 m/s는 이보다 낮은 16.7±0.7% 수분함량의 건조 도루묵을 생산할 수 있었다.

Table 2에 제시된 전기 에너지 소모는 적외선 기류 건조 기간 중 적외선 램프 및 기류 조절 팬(fan)의 전력 소모를 모두 합한 수치이다. 40°C 조건에서는 수분함량을 30% 이하로 낮출 수 없기 때문에 상대적으로 짧은 건조시간이 소요되었고 이에 따라 전력에너지 소모가 낮은 것으로 나타났다. 최대 전력 소모는 50°C & 5 m/s에서 1.97±0.04 kWh가 소요되었다. Khampakool *et al.* (2019)에 따르면 적외선 건조 중의 전력소모를 최소화하기 위해서는 복사 에너지를 집중적으로 투입시켜 건조속도를 빠르게 하는 것이

Table 2. Drying time (h), final moisture content (%) and electrical energy consumption of different IRAD conditions

IRAD conditions	Drying time (hr)	Final moisture content (%)	Electrical energy consumption (kWh)
40°C & 5 m/s	23±2 ^d	42.2±1.0 ^a	1.16±0.03 ^d
40°C & 11 m/s	28±2 ^b	34.7±0.7 ^b	1.39±0.04 ^c
50°C & 5 m/s	43±2 ^a	26.7±0.7 ^c	1.97±0.04 ^a
50°C & 11 m/s	25±1 ^c	24.7±0.7 ^d	1.51±0.01 ^b
60°C & 5 m/s	27±2 ^c	20.4±1.0 ^e	1.55±0.02 ^b
60°C & 11 m/s	17±2 ^e	16.7±0.7 ^f	1.38±0.02 ^c

^{a-d} Means±SD with different letter in the same column are significantly different at $p<0.05$.

유리하다.

색도 및 외관

Table 3는 적외선 기류 건조 조건에 따른 건조 도루묵의 색도 변화를 보여주고 있다. 수분함량이 높은 40°C & 5 m/s 조건에서 건조된 도루묵은 42.1±6.3, 9.5±0.1 및 9.0±0.3의 L* (Lightness), a* (redness) 및 b* (yellowness) 값을 각각 나타내었다. 높은 건조온도조건에서 시료의 수분 함량이 낮아질수록 L* 값은 저하되었으며 a* 및 b* 값은 증대되었다. 예를 들어, 60°C & 11 m/s 적외선 기류 건조조건에서 수분함량이 16.7±0.7%까지 저하된 건조 도루묵은 각각 35.8±2.4, 11.0±0.4 및 16.4±1.5의 L*, a* 및 b* 값을 나타내었다. 외관 상 관찰에서도 건조율이 증대될수록 시료가 갈색의 색깔이 짙어지는 것으로 나타났다. 수산물은 건조 중 비효소적 갈변에 갈색을 나타내고, 저장 중에도 계속해서 갈변이 진행된다(Park *et al.*, 2005; Yang and Oh, 1999). 일반적으로 황색도가 증가된 진한 갈색의 건조 수산물은 소비자의 기호도가 높아서 적외선 기류 건조가 색도에 긍정적 영향을 미칠 것으로 예상된다.

경도

Fig. 3은 적외선 기류조건 변화에 의한 건조 도루묵의 물성(경도 변화)을 나타내고 있다. 상대적으로 높은 수분

Table 3. Effect of different IRAD trials on the color of dried Dorumuk

IRAD condition	L*	a*	b*
40°C & 5 m/s	42.1±6.3 ^{ad}	9.5±0.1 ^c	9.0±0.3 ^b
40°C & 11 m/s	38.0±1.3 ^b	10.2±0.7 ^{bc}	10.4±1.2 ^b
50°C & 5 m/s	38.7±2.0 ^b	10.8±0.2 ^{abc}	12.0±2.4 ^b
50°C & 11 m/s	30.1±2.0 ^c	12.2±0.3 ^{ab}	16.2±0.4 ^a
60°C & 5 m/s	46.6±5.2 ^{ab}	13.0±3.1 ^a	16.9±3.5 ^a
60°C & 11 m/s	35.8±2.4 ^{bc}	11.0±0.4 ^{abc}	16.4±1.5 ^a

^{a-d} Means ±SD with different letter in the same column are significantly different at $p<0.05$.

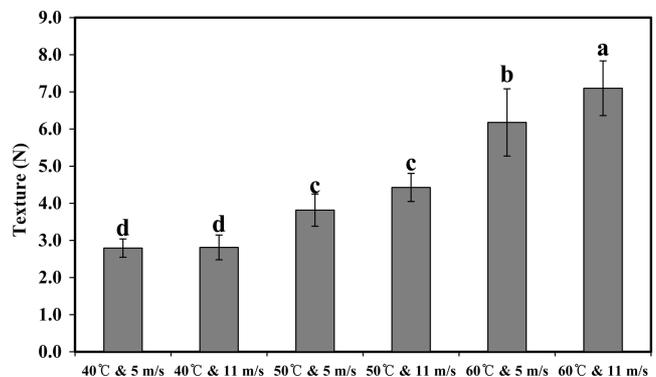


Fig. 3. Textural changes of Dorumuk after different IRAD trials.
^{a-d} Means±SD with different letter are significantly different at $p<0.05$.

함량의 40°C & 5 m/s 및 40°C & 11 m/s에서는 각각 2.79±0.25 N 및 2.81±0.33 N의 낮은 경도를 나타내었다. 건조 도루묵의 경도는 건조 온도 및 풍속이 증대됨에 따라 높아졌다. 최대 경도는 60°C & 11 m/s에서 7.10±0.74 N으로 나타났으며 이는 수분함량의 저하에 의한 것으로 예상된다. Ock and Lee (2016)은 수산물 가공시 온도가 높아질수록 수분함량의 저하와 어류의 껍질 내 콜라겐의 겔화로 단단한 식감이 나타난다고 보고하였다.

요 약

본 연구에서 진행된 적외선 기류 건조는 시험된 다양한 조건(40°C & 5 m/s, 40°C & 11 m/s, 50°C & 5 m/s, 50°C & 11 m/s, 60°C & 5 m/s and 60°C & 11 m/s) 중, 60°C의 건조 온도가 반건조 도루묵의 제조에 적절 온도임을 보여 주었다. 60°C에서 기류 속도를 5 m/s로 유지 시, 도루묵의 수분함량을 27시간내에 적정 수준인 20%까지 낮출 수 있었으며, 전력소모도 1.55 kWh 수준으로 우수한 것으로 판명되었다. 적외선 기류 건조를 통하여 제조된 반건조 도루묵의 황색도가 증가되어 갈변된 형태를 선호하는 소비자의 기호에 적합하였으며, 경도도 7.1 N 수준으로 굽기 등의 조리 시 적절한 식감을 제공할 수 있을 것으로 예상된다. 본 시험은 적외선 기류건조 기법이 고품질 반건조 도루묵의 제조에 효율적으로 사용될 수 있음을 보여주었다.

감사의 글

본 연구는 강원어촌특화지원센터의 ‘고품질 도루묵 건조 품 개발’ 연구용역(수행기간: 2017.11.01.~2018.03.31.) 및 ㈜한국이엔씨의 적외선 기류 건조기 기술지원에 의해 이루어진 것으로 감사드립니다.

References

Carla S, Rosaria CM, Antonio D, Antonio B, Roma G. 2008. Use of humectants for the stabilization of pesto sauce. *Int. J. Food Sci. Technol.* 43: 1041-1046.
 Jun JY, Lim YS, Lee MH, Kim BM, Jeong IH. 2016. Changes in the physicochemical quality of sailfin sandfish *Arctoscopus*

japonicas sauces fermented with soybean Koji or Rice Koji during storage at room temperature. *Korean J. Fish Aquat. Sci.* 49: 101-108.
 Khampakool A, Soisungwan S, Park SH. 2019. Potential application of infrared assisted freeze drying (IRAFD) for banana snacks: drying kinetics, energy consumption, and texture. *LWT - Food Sci. Technol.* 99: 355-363.
 Kim KS, Mun SB, Lee CW, Choe SY, Park MK, Kim KK. 2010. A study on the development of the producing zone type marine dryer (on weight reduction rate and temperature variations). *J. Korean Soc. Marine Eng.* 34: 477-484.
 Kim MJ, Lee SJ, Kim CT. 2014. Quality characteristics and storage of semi-dried silver pomfret (*Pampus argenteus*) processed with treatment of high hydrostatic pressure. *Korean J. Food & Nutr.* 27: 805-816.
 KFA. 2015. Korean fisheries yearbook. Korea Fisheries Association. Seoul, Korea.
 Krishnamurthy K, Khurana HK, Jun S, Irudayaraj J, Demirci A. 2008. Infrared heating in food processing: An overview. *Compr. Rev. Food Sci. F.* 7: 2-13.
 Lee DI, Lee JH, Cho BH, Lee HS, Han CS. 2017. The far-infrared drying characteristics of steamed sweet potato. *Food Eng. Prog.* 21: 42-48.
 Nam KH, Jang MS, Park HY, Kwak WJ. 2015. Physicochemical characteristics of rapidly processed salt-fermented sandfish *Arctoscopus japonicus* sauce with Thermophilic bacillus. *Korean J. Fish Aquat. Sci.* 48: 674-680.
 NFRDI. 2004. Commercial fishes of the coastal and offshore waters in Korea. 2nd ed. National Fisheries Research and Development Institute. Busan, Korea.
 Ning XF. 2012. Drying characteristics and quality of agricultural products using combined drying of microwave and far-infrared, Ph.D. Thesis, Chungbuk National University, Cheongju, Korea.
 Ock SE, Lee KH. 2016. Quality characteristics of skate pipyun prepared with skate skin. *J East Asian. Soc. Diet. Life.* 26: 171-180.
 Park JH, Hong JH, Lee WY. 2005. Quality characteristics of dried squid (*Todarodes Pacificus*) by warm air drying. *Korean J. Food Preserv.* 12: 417-423.
 Qiu L, Zhang M, Tang J, Adhikari B, Cao P. 2019. Innovative technologies for producing and preserving intermediate moisture foods: A review. *Food Res. Int.* 116: 90-102.
 Sakai N, Hanzawa T. 1994. Applications and advances in far-infrared heating in Japan. *Trends Food Sci. Tech.* 5: 357-362.
 Yang SY, Oh SW. 1999. Color changes of dried squid differs in packaging films during storage. *Korea J. Food Sci. Technol.* 31: 1289-1294.