

적외선 동결건조 기술을 이용한 신속 건해삼 제조

신일식 · 박성희^{1*}

강릉원주대학교 해양식품공학과, ¹서울과학기술대학교 식품공학과

Rapid Production of Dried Sea Cucumber (*Stichopus japonicus*) Using Infrared Assisted Freeze Drying (IRAFD)

Il-Shik Shin 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

The feasibility of infrared assisted freeze drying (IRAFD) was evaluated for shelf stable sea cucumber to improve the traditional drying methods such as freeze drying (FD), vacuum drying (VD) and hot air drying (AD, 60, 80, 100°C). Infrared (IR) radiant energy was provided to accelerate the drying rate of freeze drying (FD). IRAFD had the most rapid drying rate among IRAFD, FD and VD. IRAFD showed drying time of 13.7 h followed by VD (18.7 h) and FD (24.3 h). In the final moisture content of sea cucumber, it decreased down to 3.25% at IRAFD. However, FD and VD could not reduce down the moisture content of sea cucumber below 7%. Quality attributes of AD sea cucumber were not acceptable with very low restoration rate and excessive hardness. For example, AD 100 had very low weight restoration rate of 23% and hardness of 22 N. IRAFD showed quite high restoration rates (weight: 50%, width: 82%, length: 91%) and acceptable hardness of 3.1 N. IRAFD consumed the minimal electrical energy of 120 kJ as compared to 209 kJ of FD. This study showed the potential application of IRAFD to produce the shelf stable dried sea cucumber with microbial safety.

Key words: infrared assisted freeze drying; sea cucumber; rapid drying; energy efficiency; restore rate

서 론

해삼은 한국, 중국 및 일본 등 아시아 지역에서 널리 분포하여 건강 가능성을 가진 고부가가치 수산물로 이용된다. 해삼의 일반 성분은 단백질 함량이 2-5%이고 지방은 0-0.4%로 저지방 식품에 속하여 Ca과 Na 과 같은 무기질이 많아 영양학적 가치가 매우 높다(Cui et al., 2007; Yoo et al., 2016). 이러한 해삼은 물밖으로 나오면 자가소화를 진행하기 때문에 유통 및 보관이 어려워 전 세계적으로 유통되는 해삼은 80% 이상이 건조품으로 제조된다(Duan et al., 2010).

전통적으로 건해삼은 염장 및 열수를 이용하여 자숙후에 자연건조를 이용하여 건조되었는데 자연건조의 경우 시간이 오래 걸리고 건조 중 오염이 되기 쉬운 제약점이 있다

(Moon et al., 2014). 해삼의 주요 성분은 콜라겐으로 건조에 오랜 시간이 소요되며 건조 과정 중 품질변화가 일어나기 쉽다(Duan et al., 2007). 최근들어 해삼을 신속하고 다양하게 건조하는 방법이 연구되고 있는데 대표적인 것은 동결건조, 적외선 건조, 마이크로파 건조 및 초음파 건조 등이 있다(Chong et al., 2015; Duan et al., 2010). 동결건조는 열을 이용하지 않고 예비 동결된 식품을 삼중점 이하의 저온 및 진공조건에서 얼음의 승화를 이용하여 건조하는 방법으로 우수한 재수화율, 품질 변화의 최소화 및 영양학적 손실이 거의 없어 고부가가치 식품 및 의약품의 건조에 널리 사용되어 왔다. 동결 건조 기술을 이용하여 건해삼을 제조하는 선행 연구에서는 건조 완료시까지 20시간 이상 소요되고 에너지 소모가 매우 크다고 보고 하였다(Li et al., 2004; Yun et al., 2006).

최근 들어 조합 건조 기술에 관한 연구가 활발히 진행되고 있는데 그 예는 마이크로파 동결건조(Duan et al., 2010), 초음파 삼투건조(Duan et al., 2008), 마이크로파 진공건조(Duan et al., 2007), 적외선 기류 건조(You and Park, 2019) 및 적외선 동결건조(Khampakool et al., 2019)를 들 수 있다. 적외선 동결건조의 선행연구에서는 동결건

*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 14, 2020; revised October 29, 2020; accepted November 5, 2020

조시 적외선 조사가 승화에 필요한 에너지를 제공하여 바나나의 동결건조 속도를 1/3로 단축시키고 우수한 에너지 효율과 품질지표를 보여주었다(Khampakool et al., 2019). 따라서 본 연구에서는 동결건조 기 챔버 내에 적외선 램프를 설치한 simultaneous 적외선 동결건조 시스템을 이용하여 건해삼을 제조하고 건조속도, 품질지표 및 에너지 소모를 기존의 동결건조, 진공건조 및 열풍 건조와 비교하여 적외선 동결건조를 이용한 건해삼 제조의 가능성에 관한 연구를 진행하였다.

재료 및 방법

재료 및 전처리

생해삼(*Stichopus Japonicas*)은 주문진 수산시장에서 구입하여 순치 및 해금 과정을 거친 후 절개, 내장제거, 세척 및 열수 자숙의 전통적인 건해삼 제조 과정을 따라서 전처리 하였다. 생해삼은 전처리 후 평균 크기가 길이 85 ± 11 mm 및 무게 32.5 ± 3.3 g인 것을 선택하여 사용하였다.

건조처리

적외선 동결건조(Infrared Assisted Freeze Drying, IRAFD)

Fig. 1은 본 연구에서 사용된 자체 제작 simultaneous 적

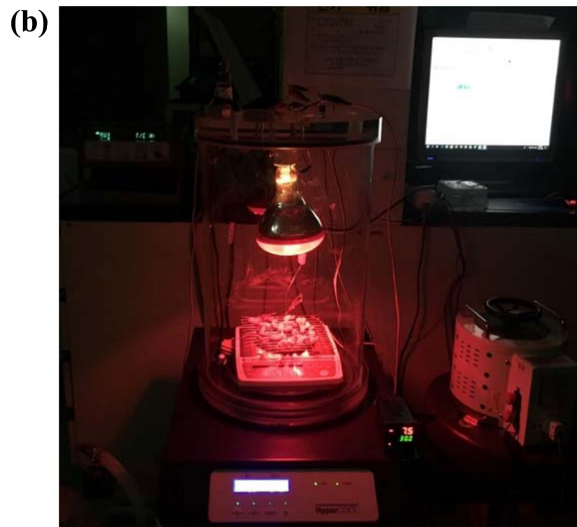
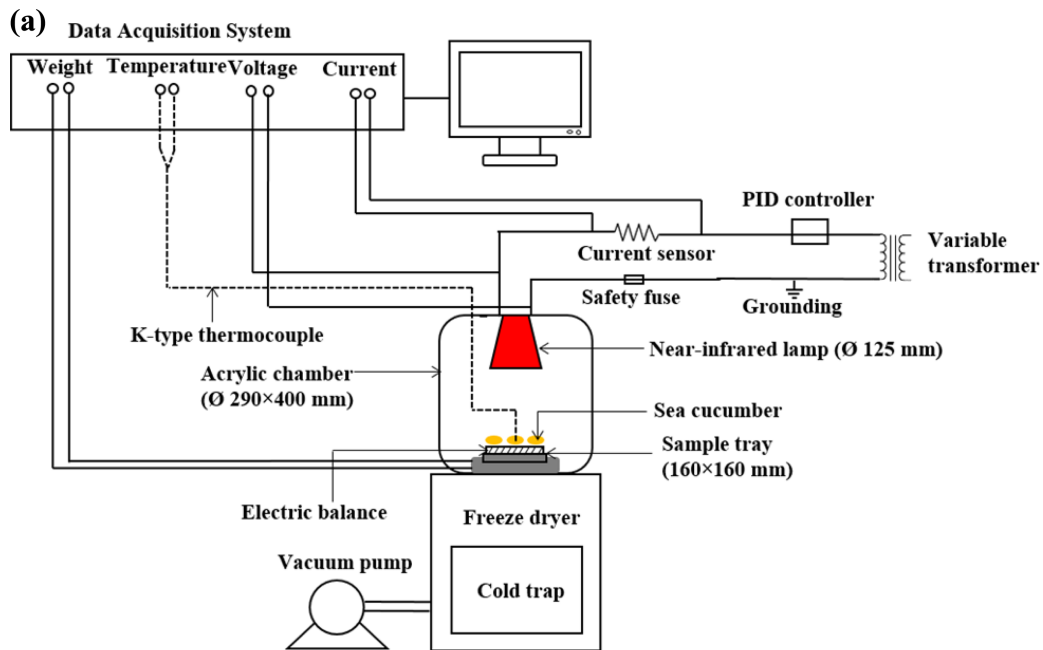


Fig. 1. Simultaneous infrared assisted freeze drying (IRAFD) equipment: (a) schematic diagram and (b) photo image (reproduced and modified with permission from Khampakool et al., 2019: Elsevier and Copyright Clearance Center License Number 4927351384680). IRAFD: infrared assisted freeze drying.

외선 동결건조(IRAFD) 시스템을 보여주고 있다. 적외선 동결건조 시스템은 본 연구실의 선행연구(Khampakool et al., 2019)에서 사용된 바가 있으며, 진공펌프(JBA00089, Jungwoo motor Co., Ltd., Hanam, Korea), 응축기, 냉각트랩(-100°C)으로 구성되어 있고 250 W 근적외선 램프(near-infrared lamp) (BR 125, Phillips Amsterdam, Netherlands)를 동결건조기의 챔버 내에 설치하였다. 근 적외선 램프의 경우 파장이 0.75-1.4 μm 를 가지며, 중적외선(파장 1.4-3 μm) 및 원적외선(파장 3-1,000 μm) 보다 침투율이 5 mm 수준으로 좋아 식품 건조에 널리 사용된다 (Khampakool et al., 2019). 적외선 동결 건조기의 챔버 내부로 K-type thermocouple (\varnothing 0.25 mm, TFIR-003-50, Omega Engineering, Stamford, CT, USA)를 설치하여 건조 과정 중 시료의 온도 변화를 관찰하여 과도한 온도 상승을 방지하도록 하였다.

적외선 동결건조는 동결 건조 예비 냉동 과정과 동일하게 자숙된 해삼을 -50°C 냉동고에서 24시간 동안 동결시킨 후 적외선 동결 건조 챔버에 넣어 0.05 torr의 진공 상태에서 동결건조기 챔버내에 설치된 적외선 램프의 전원을 인가하여 동결건조 과정 중 실시간으로 시료에 복사에너지를 공급하였다. 적외선 동결 건조 과정 중 시료의 무게는 RS-232 케이블이 연결된 전자저울(CB-300, AND KOREA, Seoul, Korea)을 이용하여 매 3분마다 기록하였고 시료의 무게 변화가 없을 때까지 건조를 진행하였다. 적외선 동결 건조 과정의 전력소모를 분석하기 위하여 적외선, 동결건조기의 응축기 및 진공펌프의 사용전력은 데이터 로거(34970A, Keysight, Santa Clara, CA, USA)를 이용하여 기록 후 분석하였다.

동결건조(Freeze Drying, FD)

본 연구의 동결건조는 전처리된 해삼을 -50°C에서 예비 동결 후 동결건조기(HC 3110, GYROZEN Co., Daejeon, Korea)의 진공도를 0.05 torr로 유지하며 건조를 진행하였다.

진공건조(Vacuum Drying, VD)

본 연구의 진공건조는 전처리된 해삼을 예비 동결하지 않은 상태에서 동결건조기 내에서 시료의 무게 변화가 없을 때까지 진행하였다. 진공건조 과정 중에는 동결 건조기의 콜드트랩의 냉기가 시료로 전달되어 진공 건조 과정 중 시료의 동결이 일어나지 않도록 단열재를 이용하여 콜드트랩의 냉기를 차단하였다.

열풍건조(Hot air drying, AD)

열풍건조는 전처리된 해삼을 60, 80 및 100°C에서 Lab Scale 열풍건조기(OF-12, JEIO TECH, Daejeon, Korea)를 이용 2.3 m/s의 열풍 속도로 시료의 무게 변화가 없을 때까지 건조를 진행하였다.

건조시간, 함수율비(moisture ratio, MR) 수분함량

본 연구에서 해삼을 건조하기 위하여 시험된 적외선동결 건조(IRAFD), FD(동결건조), VD(진공건조) 및 열풍건조(AD)의 건조시간 비교는 각 건조방법별로 무게 변화가 없는 시점까지를 건조 시간으로 설정하고 건조 곡선 및 수분함량과 함께 분석하였다. 건조곡선은 함수율비(MR)를 초기 수분 함량(M_0 , kg water/kg dry water), 시간 별 수분함량(M_t , kg water/kg dry water) 및 건조완료 후의 평형수분함량(M_e , kg water/kg dry water)를 이용하여 다음과 같이 계산하고 이를 시간 대 함수로 제시하였다. 평형수분함량은 선행연구를 참조하여 무게 변화가 없는 시점을 건조기술의 특성에 따른 평형수분함량으로 설정하여 계산하였다(Lee et al., 2017; Park et al., 2016).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (1)$$

최종수분함량은 습량기준으로 무게변화가 없는 시점을 기준으로 계산하였다.

복원율

건조된 해삼의 복원율은 Duan et al. (2010)의 방법을 참고로 하여 측정되었다. 건조된 해삼을 4°C의 물에 4시간 정지 후 복원 후 무게(W_f)를 측정하고 건조 전 초기 무게(W_i) 대비로 복원율을 계산하였다.

$$\text{Restore rate} = \frac{W_{dr}}{W_i} \quad (2)$$

물성분석

건해삼의 물성은 물성분석기(TA-XT Plus, Texture Technology Corp., Hamilton, MA, USA)를 이용하여 실린더형 프로브(\varnothing 3 mm)를 이용 해삼의 표면으로부터 5 mm/s의 재하하중속도로 5 mm 지점까지 침투하는데 소요되는 최대 힘을 측정하여 경도로 나타내었다.

에너지 소모

에너지 소모는 각 건조 공정별로 진공펌프, 적외선 램프 및 동결건조기 콜드트랩(condenser)이 소모하는 에너지를 선행연구(Khampakool et al., 2019)에서 사용된 방법과 같이 자체 제작 저항 전기회로를 이용하여 전압 및 전력을 측정 후 데이터 로거(34970A, Keysight, Santa Clara, CA, USA)에 기록하였다. 기록된 전압 및 전력 측정값은 MATLAB 소프트웨어를 이용하여 (2)의 계산식에 제시된 바와 같이 건조시간에 대하여 적분하여 공정 및 장비별로 사용된 전력을 계산하였다(Park & Jo, 2019; You et al., 2019).

$$E_c = \int_{t_i}^{t_f} I \cdot V dt \quad (3)$$

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

건조곡선

Fig. 2(a)는 적외선동결건조(IRAFD), 동결건조(FD) 및 진공건조(VD)의 해삼의 수분함량 변화에 의한 함수율비(MR)에 의한 건조 곡선을 보여주고 있다. 본 시험에서의 건조 완료는 각 건조 공정보로 무게 변화가 없는 시점을 건조 완료 시점으로 설정하였다. IRAFD의 경우는 FD 및 VD에 비하여 가파른 수분함량의 감소를 보여주었다. 해삼의 무게로 환산 시 평균 27.19 g에서 4.95 g까지 13.7±1.0 h 안에 감소시켰다. FD는 VD에 비하여 건조 완료시까지 8

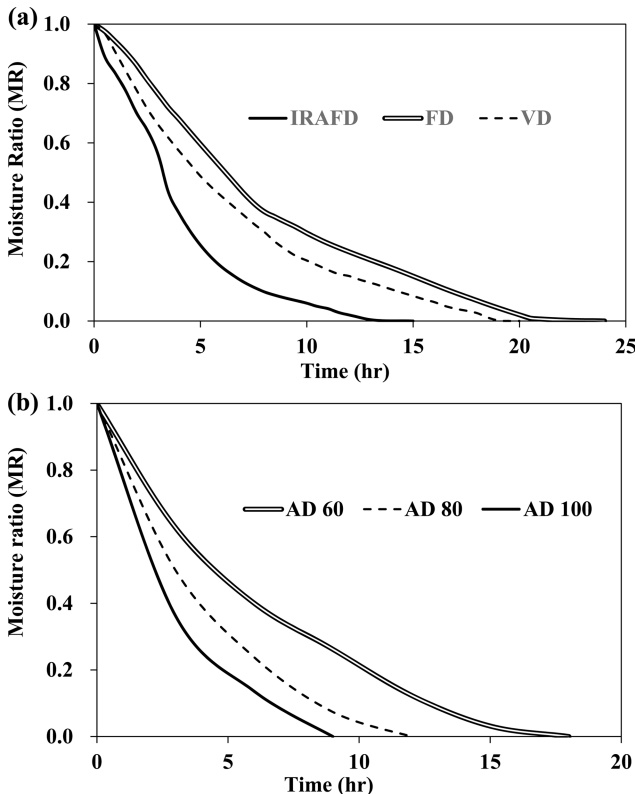


Fig. 2. Drying curve of sea cucumber: (a) IRAFD, FD and VD; (b) AD 60, AD 80, AD 100. IRAFD: infrared assisted freeze drying; FD: freeze drying; VD: vacuum drying; AD 60: hot air drying at 60°C; AD 80: hot air drying at 80°C, AD 100: hot air drying at 100°C.

h 이후 감률건조 구간에서 더 많은 시간이 소요되었다. IRAFD, FD, VD 모두 초반에는 기울기가 가파른 향률건조 구간을 보여준 후 일정시간 후에 기울기가 감소되는 감률건조 구간으로 진입하였다. 식품건조는 자유수면에서 표면 수분이 빠르게 제거되는 향률건조 기간 후 식품내부에 존재하는 수분이 표면으로 이동하며 건조되는 감률건조 기간을 거치게 된다(Kim et al., 2018). 따라서 감률건조 기간을 단축할 수 있는 건조 구동력을 제공하는 것이 해삼의 건조 기간을 단축할 수 있을 것으로 예상된다. 열풍건조의 경우 건조 온도가 60°C에서 100°C로 높아짐에 따라 건조 곡선이 보다 가파르게 나타났으며 온도의 증가가 건조 구동력으로 작용하는 것으로 나타났다.

건조시간 및 최종 수분함량

Fig. 3(a)는 건조 방법별로 소요된 건조 시간을 비교하고 있다. IRAFD의 경우 13.7±1.0 h 안에 건조시켜 열을 건조 구동력으로 이용한 AD를 제외하고 IRAFD, FD, VD 중 가장 빠른 건조 시간을 보여주었다. IRAFD는 동결건조 과정 중 적외선 복사 에너지의 공급에 의하여 FD에 비하여 건조시간을 44% 감소 시켰다. IRAFD 과정 중 적외선 램프로부터 제공된 복사 에너지는 동결건조 과정 중 얼음의 승화를 촉진시키는 승화에너지를 제공하여 동결건조 과정

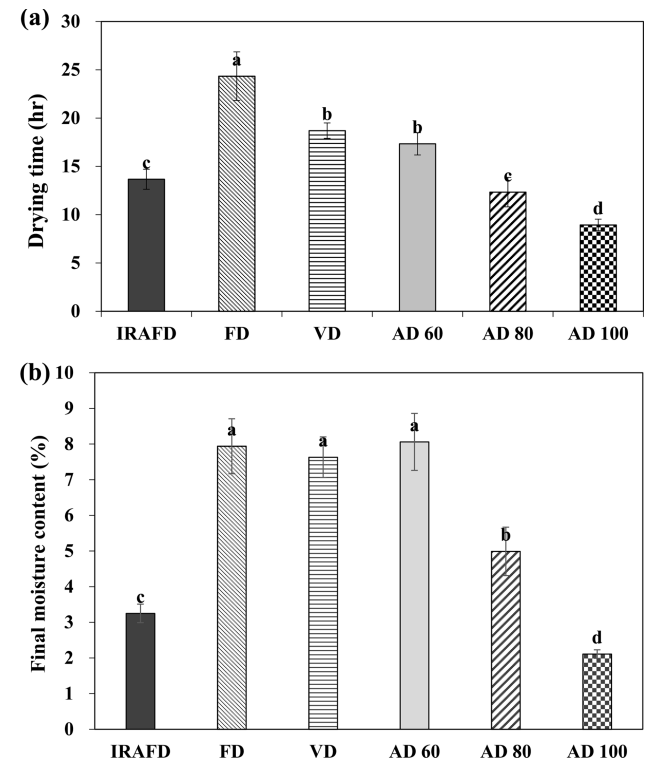


Fig. 3. Comparison of (a) drying time and (b) final moisture content among IRAFD, FD, VD, AD 60, AD 80 and AD100. IRAFD: infrared assisted freeze drying; FD: freeze drying; VD: vacuum drying; AD 60: hot air drying at 60°C; AD 80: hot air drying at 80°C, AD 100: hot air drying at 100°C.

중 적외선을 조사할 경우 바나나의 건조 시간이 1/3으로 단축된다고 보고하였다(Khampakool et al., 2019). 적외선의 조사는 수분이 많은 물질 내부로 에너지가 침투하여 분자간의 진동을 유발하여 내부 발열을 유도하여 건조 속도를 증가시킨다(Lin et al., 2005). FD와 VD 경우 건조 완료시까지 각각 24.3 ± 2.5 h 및 18.7 ± 0.8 h이 소요되어, FD가 가장 긴 건조 소요시간을 보여주었다($p < 0.05$). Duan et al. (2010)의 경우 해삼을 수분함량 7%까지 동결건조시키는데 18 h이 소요되었다고 보고하였는데, 해삼은 대부분의 결체조직이 콜라겐 섬유로 구성되어 있기 때문에 매우 강한 수화능력을 가지고 있고 수분의 이동이 느린 특성이 있다(Duan et al., 2008). 진공건조는 동결건조보다 비교적 높은 온도에서 동결과정 없이 수분이 액상인 상태로 진행되기 때문에 동결건조보다 건조 속도가 빠르다(Kim et al., 2018). 열풍건조의 경우 AD 60, AD 80 및 AD 100은 각각 17.3 ± 1.2 , 12.3 ± 1.5 및 8.9 ± 0.6 h의 건조시간이 소요되어 열풍건조 온도가 높을수록 해삼의 건조시간이 단축되었다. 시험된 건조 방법 중 AD 100의 건조속도가 가장 빠른 것으로 나타났다. 이는 식품 건조의 경우 열풍 건조가 동결 및 진공 건조 등의 저온 건조에 비하여 건조속도가 빠른 일반적 결과가 해삼 건조에도 적용된다고 볼 수 있으며, 건조속도와 복원율 및 물성등의 품질지표와 종합적으로 비교하여야 한다.

Fig. 3(b)는 건조 방법별로 얻어진 건해삼의 최종 수분 함량을 보여주고 있다. 열을 이용하지 않은 건조 방법인 IRAFD, FD 및 VD 중 IRAFD가 $3.25 \pm 0.26\%$ 로 가장 낮은 수분함량을 보여주었다. 이는 동결건조 과정 중 공급된 적외선 복사에너지가 건조속도의 단축과 함께 해삼의 근육으로부터 수분을 보다 효율적으로 해리시킬 수 있음을 보여준다. FD 및 VD의 경우 각각 $7.94 \pm 0.77\%$ 및 $7.63 \pm 0.57\%$ 의 수분 함량을 보여주었다. 대다수의 해삼 동결 건조 연구에서도 동결건조 건해삼의 최종 수분 함량은 습량기준 7-8% 수준을 유지한다고 보고되었다(Duan et al., 2010). Lee and Yoon (2017)의 연구에 의하면 시판 건해삼의 수분함량은 5% 선에서 유지된다고 보고하였으며 IRAFD의 수분함량은 그보다 낮은 수준으로 저장 안전성이 높은 것으로 예상된다.

열풍건조의 경우 건조 온도가 증가함에 따라 최종 수분 함량이 감소하였는데 100°C 에서 진행된 AD 100의 수분함량은 처리시료구 중 가장 낮은 $2.11 \pm 0.12\%$ 를 보여주었다. 과도한 건조의 경우 지방 산화, 갈변, 조직감 변성 등의 물성학적 관능적 단점을 가질 수 있기 때문에 건제품의 적절 수분 함량은 품질지표와 동시에 고려되어야 한다(Kim et al., 2014; Lee et al., 2007).

복원율

Fig. 4는 건조 방법별로 건조된 해삼의 무게, 넓이 및 길이 복원율을 보여주고 있다. IRAFD 건해삼의 경우 50%

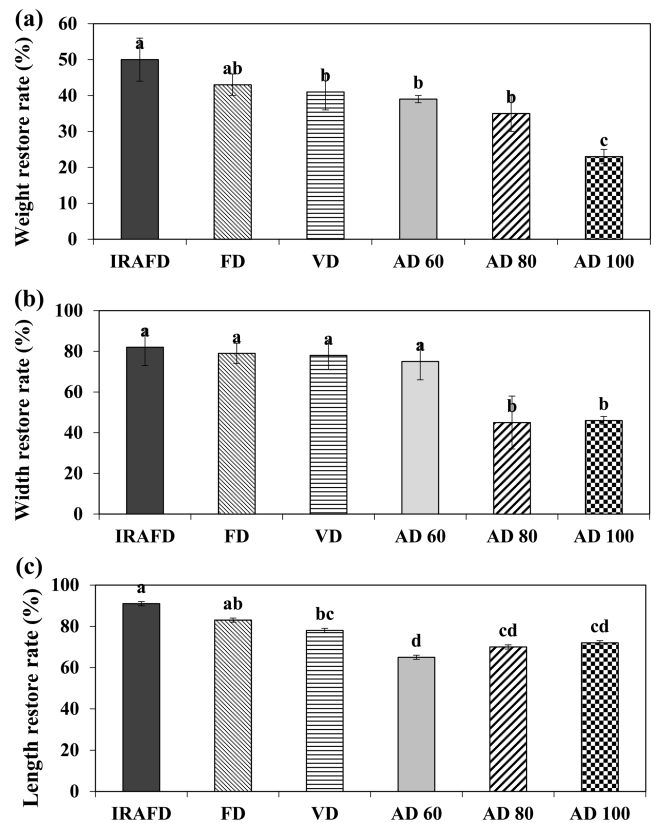


Fig. 4. Comparison of (a) weight, (b) width and (c) length restore rate among IRAFD, FD, VD, AD 60, AD 80 and AD100. IRAFD: infrared assisted freeze drying; FD: freeze drying; VD: vacuum drying; AD 60: hot air drying at 60°C ; AD 80: hot air drying at 80°C ; AD 100: hot air drying at 100°C .

의 넓이 복원율을 보여 시험된 건조 방법 중 가장 높은 무게 복원율을 보여주었으며 FD의 경우 IRAFD 보다 낮은 43%의 복원율을 보여주었으나 IRAFD와 유의적 차이는 없었다($p > 0.05$). 열풍 건조인 AD 60과 AD 80은 각각 39% 및 35%의 무게 복원율을 보여주어 IRAFD보다 유의적으로 낮은 수치를 보여주었다($p < 0.05$). 건조 온도의 상승에 의하여 무게 복원율이 유의적으로 감소하는 경향을 보여주었는데 가장 높은 온도인 100°C 에서 진행된 AD 100의 경우 23%의 무게 복원율로 AD 60 및 AD 80 보다 유의적으로 낮은 무게 복원율을 보여주었다 ($p < 0.05$). Bai et al. (2013)은 해삼의 건조 시 건조온도가 낮을수록 수축 현상을 방지하여 높은 복원율을 나타낸다고 보고하였다. Duan et al. (2010)은 마이크로파를 이용한 해삼 건조 시 과도한 마이크로파 에너지가 시료에 가해질 경우는 경화 현상으로 복원율이 저하된다고 보고하였다. 본 시험의 결과 열풍건조의 경우 온도가 과도하게 상승될 경우 표면 경화 및 수축의 외관변화와 함께 복원율이 저하되었으며, IRAFD의 경우 이러한 현상 없이 높은 복원율을 보여주어 IRAFD로 건조된 해삼의 경우 복원이 용이하여 상품성이 우수할 것으로 기대된다.

경도

Fig. 5는 건조 방법별로 건조된 해삼의 물성과 관련된 경도를 보여주고 있다. IRAFD는 경우 가장 낮은 3.15 N의 경도를 보여주었으나 FD 및 VD와 유의적인 차이는 관찰되지 않았다($p>0.05$). 열풍 건조의 AD의 경우 표면경화 및 수축 현상과 더불어 경도가 급격하게 증가하여 AD 100의 경우 22.05의 최대 경도를 보여주었다. Bai et al. (2013)은 복원된 해삼의 경도가 낮을수록 씹힘성이 우수해 기호도를 높인다고 보고하였다. 해삼의 가공 과정 중 과도한 열에 노출될 경우는 콜라겐 섬유를 변형시켜 물성에 부정적 영향이 발생된다(Dunn & Rustad, 2008; Palka & Duan, 1999, Wang et al., 2020). 본 연구에서 시도된 IRFAD 처리로 제조된 건해삼은 복원 시 기존의 동결건조와 대등한 우수한 물성과 경도를 보여주면서 건조시간과 에너지 소모를 획기적으로 절약할 수 있어서 고품질 건해삼 제조에 효율적으로 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

에너지 소모

Table 1은 시험된 건조 방법 별로 펌프(pump), 응축기(condenser) 및 적외선 램프(infrared lamp)의 사용한 전력 및 총 전력소모를 제시하고 있다. 총 전력소모의 경우 시험된 건조 방법 중 열풍건조 AD가 28,587-55,467 J의 전

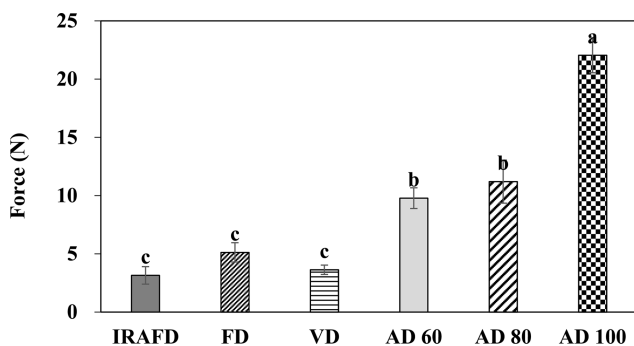


Fig. 5. Comparison of hardness time among IRAFD, FD, VD, AD 60, AD 80 and AD100. IRAFD: infrared assisted freeze drying; FD: freeze drying; VD: vacuum drying; AD 60: hot air drying at 60°C; AD 80: hot air drying at 80°C, AD 100: hot air drying at 100°C.

력 소모율을 보여주어 열을 이용하지 않은 IRAFD, FD 및 VD 보다 전력효율이 우수함을 보여주었다. 에너지 소모의 경우는 총 전력소모 뿐만이 아니라 품질지표와도 연관되어 고려되어야 한다. IRAFD의 경우는 기존의 FD의 209,267 J의 약 57%인 119,583 J의 전력을 소모하여 전력을 유의적으로 절감할 수 있음을 보여주었다($p<0.05$). 이는 전체 IRFAD 과정 중 적외선의 복사 에너지에 의한 건조시간의 감소로 펌프 및 응축기의 가동시간을 단축하기 때문에 가능하였으며 적외선 램프가 소모하는 전력은 2,050 J 수준으로 펌프 및 응축기에 비하여 미미하기 때문에 램프에 의한 전력소모는 실제 산업적 적용에 영향을 주지 않을 것으로 판단된다. 농산물의 건조에서도 해삼과 유사한 IRAFD의 우수한 전력 효율이 보고 되었다(Khampakool et al., 2019). 본 연구는 IRAFD를 이용한 신속 건조 기술이 전력효율 측면에서도 건해삼의 제조에 우수하게 적용될 수 있음을 보여주었다.

요약

본 연구에서 진행된 IRFAD 건조 방법은 동결건조 과정 중 적외선 조사를 통한 복사 에너지 제공으로 기존의 동결 건조 방법에 비하여 건조시간을 44% 감소시켜 신속한 건해삼 제조 공정 적용 가능성을 보여주었다. 최종 수분 함량의 경우 IRAFD의 경우 습량기준 3.25%로 나타나 동결 건조의 7.94%보다 낮은 수분 함량으로 저장성을 증대시킬 것으로 나타났다. 복원율의 경우 IRAFD에 의해 제조된 건해삼이 가장 높은 복원율을 보여서 수화에 의한 복원 공정을 단축시키고 소비자가 선호하는 물성을 나타낼 것으로 기대된다. 본 연구는 IRAFD에 의해서 기존의 동결 건조 공정 보다 매우 신속하게 고품질의 건해삼을 제조할 수 있음을 보여주었다.

감사의 글

본 연구는 강원환경해본부의 연구용역(고품질 건해삼 제조 공정기술 연구용역, 수행기간: 2017.05.10-2017.10.31)의

Table 1. Electrical energy consumption (J) of different drying technologies for dried sea cucumber

	Pump (J)	Condenser (J)	Infrared Lamp (J)	Total (J)
IRAFD	15,033±1,145 ^b	102,500±7,806 ^b	2,050±156	119,583±9,107 ^b
FD	26,767±2,768 ^a	182,500±18,875 ^a	.	209,267±21,643 ^a
VD	25,300±2,910 ^a	172,500±19,843 ^a	.	197,800±22,753 ^a
AD 60	.	.	.	55,467±3,695 ^c
AD 80	.	.	.	39,467±4,888 ^{cd}
AD 100	.	.	.	28,587±1,929 ^d

^{a-d}Different letters in the same column are significantly different ($p<0.05$)

IRAFD: infrared assisted freeze drying; FD: freeze drying; VD: vacuum drying; AD 60: hot air drying at 60°C; AD 80: hot air drying at 80°C, AD 100: hot air drying at 100°C.

지원에 의해 이루어진 것으로 감사드립니다.

References

- Bai Y, Qu M, Luan Z, Li X, Yang Y. 2013. Electrohydrodynamic drying of sea cucumber (*Stichopus japonicus*). LWT-Food Sci. Technol. 54: 570-576.
- Chong NVW, Pindi W, Chye FY, Shaarani SM, Lee JS. 2015. Effects of drying methods on the quality of dried sea cucumbers from sabah-a review. Int. J. Novel Res. Life Sci. 2: 49-64.
- Cui FX, Xue CH, Li ZJ, Zhang YQ. 2007. Characterization and subunit composition of collagen from the body wall of sea cucumber (*Stichopus japonicus*). Food Chem. 100: 1120-1125.
- Duan X, Zhang M, Mujumdar AS. 2007. Study on combination drying technique of sea cucumber. Dry. Technol. 25: 2011-2019.
- Duan X, Zhang M, Li X, Mujumdar AS. 2008. Ultrasonically enhanced osmotic pretreatment of sea cucumber prior to microwave freeze drying. Dry. Technol. 26: 420-426.
- Duan X, Zhang M, Mujumdar AS, Wang S. 2010. Microwave freeze drying of sea cucumber (*Stichopus japonicus*). J. Food Eng. 96: 491-497.
- Duun AS, Rustad T. 2008. Quality of superchilled vacuum packed Atlantic salmon (*Salmo salar*) fillets stored at -1.4 and -6°C. Food Chem. 106: 122-131.
- 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 MJ, Lee SJ, Kim CT. 2014. Quality characteristics and storage stability of semi-dried silver pomfret (*Pampus argenteus*) processed with treatment of high hydrostatic pressure. Korean J. Food Nutr. 27: 805-816.
- Kim AN, Lee KY, Ha MH, Heo HJ, Choi SG. 2018. Effect of freeze, hot-air, and vacuum drying on antioxidant properties and quality characteristics of samnamul (*Aruncus dioicus* var. kantschaticus). Korean J. Food Preserv. 25: 811-818.
- Lee CU, Yoon WB. 2017. Sea cucumber (*Stichopus japonicus*) Grading system based on morphological features during rehydration process. J. Korean Soc. Food Sci. 46: 374-380.
- Lee DL, Lee JH, Cho BH, Lee HS, Han CS. 2017. The far-infrared drying characteristics of steamed sweet potato. Food Eng. Prog. 21: 42-48.
- Lee IS, Kim CI, Chae MH, Chang CH. 2007. Storage and acceptability of a smoked *Sebastes schlegeli* product. J. Korean Soc. Food Sci. Nutr. 36: 1458-1464.
- Li ZP, Fu P, Yang WY, Xu Z. 2004. Study on the freeze-dry processing technology of *Stichopus japonicus*. Mar. Fish. 26: 52-55.
- Lin YP, Tsen JH, King AE. 2005. Effects of far-infrared radiation on the freeze-drying of sweet potato. J. Food Eng. 68: 249-255.
- Moon JH, Kim MH, Chung DH, Pan CH, Yoon WB. 2014. Drying characteristics of sea cucumber (*stichopus japonicas selenka*) using far infrared radiation drying and hot air drying. J. Food Process. Pres. 38: 1534-1546.
- Palka K, Daun H. 1999. Changes in texture, cooking losses, and myofibrillar structure of bovine M. semitendinosus during heating. Meat Sci. 51: 237-243.
- Park HW, Kim ST, Choung MG, Han WY, Yoon WB. 2016. Effect of air velocity and drying temperature on drying characteristics of soybean (*Glycine max*) using hot air drying. Food Eng. Prog. 20: 128-134.
- Park SH, JO YJ. 2019. Static hydrothermal processing and fractionation for production of a collagen peptide with anti-oxidative and anti-aging properties. Process Biochem. 83: 176-182.
- Wang J, Lin L, Sun X, Hou H. 2020. Mechanism of sea cucumbers (*Apostichopus japonicus*) body wall changes under different thermal treatment at micro-scale. LWT-Food Sci. Technol. 103: 109461.
- Yoo JS, Hong ES, Honh KW, Yoon WB. 2016. Optimization and Quality Characteristic of Noodles with Hydrolysate of Sea Cucumber (*Stichopus Japonicas*) Using a Mixture Design. Food Eng. Prog. 20: 143-151.
- You SG, Park SH. 2019. Production of high-quality, semi-dried dorumuk (*Arctoscopus japonicus*) through infrared-assisted air drying. Food Eng. Prog. 23: 265-269.
- Yun X, Han XH, Nong SZ, Yang H. 2006. Technological condition of vacuum freeze-drying in *Stichopus japonicus*. J. Fish. Sci. China. 13: 662-665.

Author Information

신일식: 강릉원주대학교 교수

박성희: 서울과학기술대학교 교수