

라디오파 해동기의 해동 및 가열성능 분석

김진세 · 박석호 · 최동수 · 최승렬 · 김용훈 · 이수장 · 박천완 · 한귀정¹ · 조병관² · 박종우*
농촌진흥청 국립농업과학원 농업공학부, ¹농촌진흥청 국립농업과학원 농식품자원부
²충남대학교 바이오시스템공학과

Frozen Food Thawing and Heat Exchanging Performance Analysis of Radio Frequency Thawing Machine

Jinse Kim, Seok Ho Park, Dong Soo Choi, Seung Ryul Choi, Yong Hoon Kim, Soo Jang Lee, Chun Wan Park, and Gui Jeung Han¹, Byoung-Kwan Cho², and Jong Woo Park*

Department of Agricultural Engineering, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration

¹*Department of Agro-food Resource, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration*

²*Department of Biosystems Machinery Engineering, Chungnam National University*

Abstract

This study investigated the effects of 27.12 MHz radio frequency (RF) heating on heat transfer phenomena during the thawing process of frozen food. To determine the velocity of the RF thawing machine, samples were frozen at -80°C and subjected to different power treatments. The phase change times (-5 to 0°C) of frozen radish were 30, 26, 13, and 8 min; those of pork sirloin were 38, 25, 11, and 5 min; those of rump were 23, 17, 11, and 6 min; those of chicken breast were 42, 29, 13, and 9 min; and those of tuna were 25, 23, 10, and 5 min at 50, 100, 200, and 400 W, respectively. The heating limit temperatures of the radish, pork sirloin, rump, chicken breast, and tuna samples were 19.5, 9.2, 21.8, 8.8, and 16.8°C at 50 W; 23.5, 15.5, 27.3, 12.3, and 19°C at 100 W; 42, 26.9, 45.7, 22.1, and 39.4°C at 200 W; and 48.5, 54.7, 63.6, 57.3, and 44.9°C at 400 W. These results suggest that high-power RF improves thawing velocity and heating limit temperatures, and that an improvement on the operation of the RF thawing machine, according to food temperatures, is needed.

Key words: thawing process, radio frequency, frozen food, 27.12 MHz

서 론

경제발달에 따른 소득증가와 식습관의 변화로 인해 육류 및 이를 이용한 가공 식품의 소비가 지속적인 증가추세에 있다(Seong et al., 2009; Moon, 2013). 이러한 식품들로부터 미생물 성장 및 화학반응을 둔화시킴으로써 냉장 및 건조저장에 비하여 높은 품질로 저장기간을 연장하고 식품의 안정적인 공급 및 유통을 위해서 냉동저장이 일반적으로 이용된다(Reied, 1997). 하지만 이와 같은 냉동저장도 동결 방법, 저장기간 및 해동에 대한 관리 부족에 따라 조직감의 변화(Wingger & Fennema, 1976), 변색(Berry, 1990), 드립 발생(Jeremiah, 1980), 지방 및 단백질의 변질이 발생

될 수 있다(Obuz & Dikeman, 2003).

냉동식품은 일반적으로 해동과정이 필요하며, 이러한 해동은 동결 속도에 비하여 느리게 진행되기 때문에 미생물 성장 및 수분손실과 같은 품질 저하를 피하기 위하여 가능한 낮은 온도에서 신속하게 이루어져야 한다(Hong et al., 2005). 하지만 일반적으로 사용되는 상온 해동, 4°C 냉장해동 및 유수 해동에서는 열전도율이 낮아 해동시간이 길어지거나 미생물의 성장 및 드립 발생에 의한 품질저하가 나타나게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 급속해동에 대한 관심이 높아지면서 마이크로파(microwave; MW) (Virtanen et al., 1997; Park et al., 2012), 초고압(Hong et al., 2005; Ko et al., 2006), 초음파(Miles et al., 1999) 및 라디오파(radio frequency; RF)를 이용한 해동기술(Park et al., 2015)이 연구되고 있으며, 915 및 2,450 MHz의 마이크로파를 이용한 전자레인지 정도만 실용화되어 보급된 상태이다. 하지만 마이크로파를 이용한 전자레인지의 경우 조리에는 효과적인 반면, 해동에서는 불균일 해동 및 부분가열을 통하여 식재료의 품질저하를

*Corresponding author: Jong Woo Park, Division of Postharvest Engineering, National Institute of Agricultural Sciences, Wanju, Jeollabuk-do, 54875, Korea
Tel: +82-63-238-4124; Fax: +82-63-238-4105
E-mail: jwpark0824@chosun.kr
Received December 2, 2016; revised February 3, 2017; accepted February 8, 2017

가져오는 경우가 흔하다(Park et al., 2015). 마이크로파의 경우 가열효율이 높은 반면 투과 깊이의 한계 및 안전성이 단점으로 지적되지만, 13.56, 27.12 및 40.68 MHz를 이용 가능한 라디오파의 경우 투과 깊이가 깊고 상대적으로 안전하다는 장점을 가진다. 하지만 라디오파는 장치의 부피가 크고 별도의 정합기가 필요하다는 단점을 가진다(Piyasena et al., 2003). 하지만 최근 전자기술의 발달로 라디오파발전기 및 정합기의 부피가 줄고 간소화 되고 있어 라디오파를 이용한 해동기의 상용화 가능성이 매우 높아 해외에서는 많은 연구 개발이 이루어지고 있다(Llave et al., 2014). 뿐만 아니라 해외에서는 혼합가공식품에 대한 라디오파의 가열 특성을 분석하는 등 라디오파를 식품 해동에 최적화시키기 위한 연구가 지속적으로 이루어지고 있는 추세이지만(Wang et al., 2012; Uyar et al., 2014), 국내에서는 라디오파를 이용한 해동기 연구를 찾아보기 힘든 실정으로 국내 냉동식품 및 저장기술에 발전을 위해서는 라디오파를 이용한 해동기 및 이를 합리적으로 이용하기 위한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 제작된 27.12 MHz의 라디오파 해동기를 이용하여 크기에 따른 해동 속도를 비교하고, 가장 일반적으로 이용되는 냉동 식재료인 돼지고기, 우유, 닭고기, 참치 및 무에 대하여 라디오파 출력에 따른 가열특성과 가열한계온도를 분석하여 라디오파를 이용한 해동에서 그 효과를 극대화하고자 하였다.

재료 및 방법

냉동 시료 준비

식재료에 따른 해동 및 가열 경향비교를 위하여 돼지고기 등심 및 소고기 등심, 닭고기 가슴살, 참치 및 무를 전라북도 전주지역 대형마켓에서 구입하여 사용하였다. 무 및 육류는 냉동하지 않은 상태에서 참치는 냉동상태의 제품을 구입하여 크기성형 및 센서 삽입을 위하여 냉장에서 -5°C 까지 해동하고 시료를 $35\times 25\times 20\text{ mm}$ 의 크기(W×H×D)로 성형하여 이용하였다. 또한 크기에 따른 해동 특성을 분석하기 위하여 Kong et al. (1992)에 따라 2성분 계 시료로서 2% 한천(Agarose, Sigma Co., St. Louis, USA) 수용액을 조제하고 전자레인지에 이용하여 완전히 녹인 후 실온에서 50°C 로 냉각하여 준비된 크기의 용기에 채우고 응고시켜 한천겔을 제작하였다. 최종적으로 준비된 시료는 중심부에 광섬유 온도센서를(TS2, Optocon AG, Dresden, Germany) 삽입하여 -80°C 냉동고(DF9010, Ilshinbiobase Co. Ltd. Dongducheon, Korea)에서 냉동 후 실험에 사용하였다.

함수율 및 조지방 함량 분석

식재료에 따른 가열 경향비교를 위하여 AOAC (1990) 방법에 따라 수분 및 조지방 함량을 분석하였다. 즉, 수분은 105°C 에서 상압 가열건조법을 이용하여 초기중량과 건조 후 중량차이에 따라 분석하였고, 조지방은 Soxhlet 추출

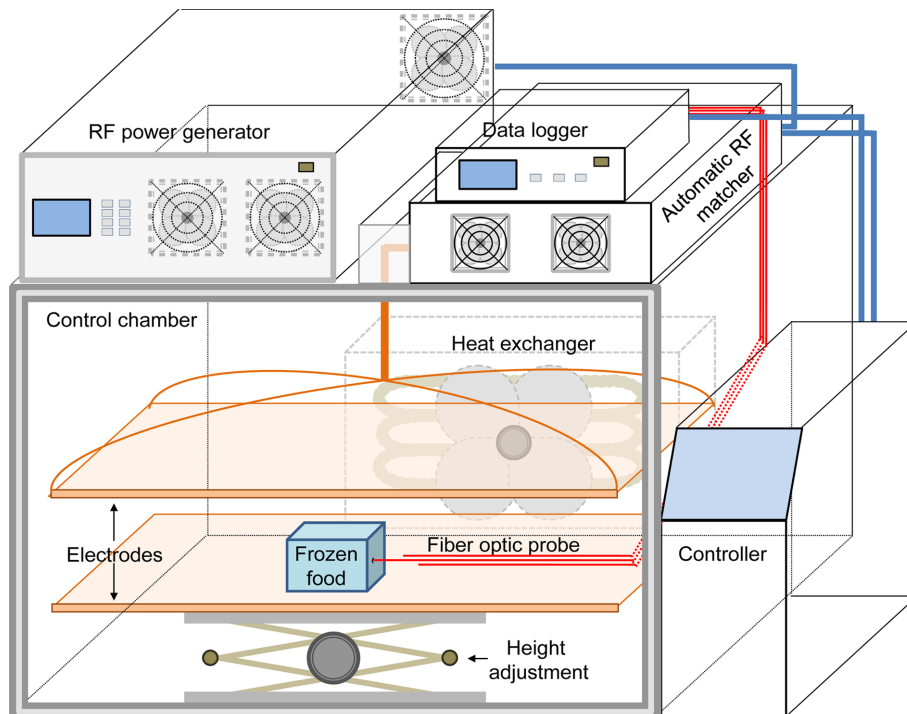


Fig. 1. Schematic diagram of the customized 27.12 MHz RF thawing system. System included a metallic enclosure, 2 kW generator, automatic matching unit, a pair of electrodes, fiber optic probe, chamber cooling unit, and controller.

Table 1. Phase change times on RF heating

RF power (W)	Thawing time (min)				
	Daikon	Pork	Beef	Tuna	Chicken
0	N ¹⁾	416±9 ^{a2)}	378±8 ^a	411±9 ^a	361±12 ^a
50	56±2 ^a	78±6 ^b	49±4 ^b	64±6 ^b	87±6 ^b
100	50±3 ^b	52±5 ^c	36±5 ^c	49±7 ^c	58±8 ^c
200	25±1 ^c	24±2 ^d	25±4 ^d	28±6 ^d	28±4 ^d
400	18±2 ^d	15±1 ^e	16±2 ^e	16±4 ^e	20±4 ^e

¹⁾Out of range

²⁾The values represent mean±SD for triplicate experiments. Means with different letters within a column are significantly different at $p<0.05$ by Duncan's multiple range test.

법에 따라 각 식재료를 분쇄기(HMF-1000, Hanil, Seoul, Korea)를 이용하여 분쇄하고 5 g의 분쇄 물에서 ether (Duksan Co., Ansan, Korea)를 이용하여 가열 추출 후 중량을 분석하였다.

라디오파 해동장치 구성

해동을 위한 라디오파 해동장치의 구성을 Fig. 1에 나타내었다. 라디오파 해동을 위한 장치의 구성은 27.12 MHz의 2 kW급 전원 발생기(TX-20, ADTEC Plasma Technology Co. Ltd., Hiroshima, Japan)와 자동 정합유닛, 열교환기가 장착된 해동 챔버, 내부에는 라디오파 조사를 위한 상하 전극으로 구성되도록 TST (TST-2720, TST Co., Sungnam, Korea)에 주문 제작하고, 온도 변화를 관찰하기 위한 광섬유 센서 및 온도기록계(TS2)를 장착하였다. 제작된 해동 장치는 0에서 2 kW까지 1 W 단위로 출력조절이 가능하며, 챔버 내부온도는 -40°C까지 1°C단위로 조절할 수 있게 송풍식 열교환기가 부착되었다. Sale (1976)에 따르면 마이크로파 해동과정에서 냉각은 대상물의 열 폭주(thermal runaway)를 감소시키고 안정적인 해동을 유도할 수 있다고 밝히고 있어, 이를 라디오파 해동기에 적용하여 해동실의 온도 조절을 통해 식재료의 표면이 급격하게 녹는 것을 막고 해동 종료 후 설정온도를 유지할 수 있도록 하였다. 라디오파 발생장치의 경우 발열 때문에 수냉식 냉각기를 별도로 운용하도록 제작되었으며, 해동을 위한 전극부는 동판을 이용하여 상부는 고정시키고 하부의 전극만을 냉동 식재료의 크기에 따라 높이 조절이 가능하게 제작되었다.

라디오파 해동시 해동 및 가열특성 특성분석

해동 및 가열 특성 분석을 위하여 센서가 삽입된 일정한 크기의 냉동 식재료를 넣고 해동기 내부를 5°C로 유지시키면서 해동 및 가열을 진행하였다. 해동에 이용된 라디오파 출력은 한천겔 해동에서는 400 W, 식재료에 따른 해동은 50, 100, 200 및 400 W에 대하여 분석하였으며, -30°C에서 해동을 시작하여 -5°C에서 0°C 구간을 상변화 구간으로 정하고 0°C 이상은 가열구간으로 규정 하였다. 이에 따라 각 식재료 및 출력에 따른 해동시간을 비교하고, 온도가 안정

화되는 가열구간을 최대 가열온도로 판단 하였다. 해동속도는 -30°C에서 0°C시까지 온도변화에 대한 총열전달 (1)과 소요된 시간과의 관계식 (2)에 따라 평균 열전달률(kJ/sec)을 산출하고 관계식 (3)에 따라 평균 열유속(W/m²)을 분석하였다.

$$Q = \Delta U = mC_{ave}\Delta T \quad (J) \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{ave} = \frac{Q}{\Delta t} \quad (kJ/sec \text{ or } W) \quad (2)$$

$$\dot{q}_{ave} = \frac{Q_{ave}}{A} \quad (W/m^2) \quad (3)$$

여기에서 m 은 시스템의 질량, C_{ave} 는 비압축성물의 평균 비열, ΔT 는 시스템의 온도변화, 그리고 Δt 는 온도변화에 소요된 시간과 A 는 시스템의 표면적으로 정의될 수 있다 (Cengel, 2003). 서로 다른 식재료의 특성상 주요성분인 수분, 지방, 단백질 및 회분의 비열에 대한 평균값을 $C_{ave} = 0.8 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$ 으로 정의하고, 일정한 크기로 성형된 식재료의 표면적 $A=41.5 \text{ cm}^2$ 이라는 가정하에 계산하였다.

통계처리

데이터의 신뢰성 증가를 위하여 모든 분석결과는 각 식재료에 대하여 3회 반복실험한 결과로부터 평균값과 표준편차로 나타내었으며, 통계분석은 SPSS 23 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA)를 이용하여 ANOVA test와 Duncan's multiple range test를 통해 유의적 차이($p<0.05$)를 검정하였다.

결과 및 고찰

크기에 따른 해동 특성 분석

라디오파 해동에서 크기에 따른 해동곡선을 Fig. 2에 나타내었다. 크기가 서로 다른 한천겔의 중심부와 외곽에 삽입된 온도센서(Fig. 2A)에서 측정된 온도는 크기에 관계없이 중심부에서 해동이 먼저 이루어 졌으나, 상변화 구간에서 편차가 감소하여 0°C에 도달하는 시간은 거의 유사하게 나타났다(Fig. 2B). 하지만, Kim et al. (2016)의 연구에서

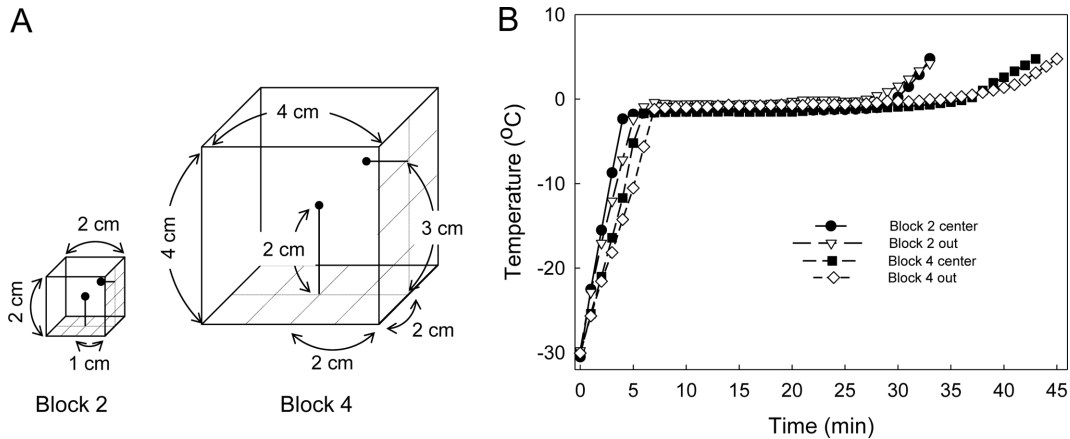


Fig. 2. Locations of the fiber optic probe in the agar block (A) and measured temperature of frozen agar blocks thawing processed in RF system (B).

원기동 형태의 등심육을 고출력(800 W)의 라디오파 이용하여 0°C까지 완전해동하기 위해서는 국부가열을 최소화하기 위하여 해동실의 온도를 -20°C까지 조절함으로써 식재료 표면에 대한 해동속도 조절이 필요하였다. 따라서 큰 부피의 식재료의 균일해동에 대한 추가적인 연구가 이루어진다면, 완전해동과는 다르게 통상적으로 가공 및 이용이 가능한 온도인 -3 ~ -1°C까지(Llave et al., 2014) 해동할 경우 부피가 큰 냉동식품이라 할지라도 내외부가 균등하게 해동 가능할 것이라 판단된다.

라디오파를 이용한 해동

유사한 크기의 각 냉동 식재료에 대한 라디오파 출력별 해동 곡선은 Fig. 3에 나타내었다. 각 식재료가 -30°C에서 0°C까지 소요되는 시간을 분석하여 식재료의 출력별 해동 시간은 Table 2에 나타내었다. 라디오파가 가해지지 않은 상태에서는 해동에 약 400분가량 소요 되었으며, 각 식재료에 따라 50 W에서는 50-70분, 100 W에서는 40-50분, 200 W에서는 25분, 400 W에서는 20분가량 소요되었다. 해동곡선에서는 -30°C에서 -5°C인근 까지는 급격한 온도 상승을 나타내나 -5°C에서 0°C 인근의 상변화 구간에서 해동 시간의 급격한 지연이 나타났다. 열 전달률과 열 유속으로 정의된 해동속도는 Table 3에 나타내었다. 라디오파를 가하지 않은 상태에서 무의 열 전달율은 시간측정 범위를 벗어나 산출이 어려웠으며, 400 W를 이용한 해동에서 0.259 kJ/sec로 증가하였고, 돼지고기의 경우 0 W에서 0.011 kJ/sec에서 400 W 출력에서 0.318 kJ/sec로 증가하였다. 우둔살 역시 0.011 kJ/sec에서 0.292 kJ/sec, 참치 0.012 kJ/sec에서 0.286 kJ/sec, 닭고기는 0.013 kJ/sec에서 0.233 kJ/sec으로 크게 증가하였다. 라디오파 출력에 따른 해동속도를 열 전달률(kJ/sec)을 기준으로 비교하여 Fig. 4A에 나타내었다. 라디오파 비조사 해동에 비하여 50 W의 라디오파를 가했을 때 식재료에 따라 약 5에서 10배의 해동속도가 증가하

였으며, 400 W에서는 17에서 27배까지 증가하였다. 라디오파 출력 증가에 따른 해동속도 변화 양상은 분석된 식재료에서 모두 유사하게 나타났으나, 라디오파를 가하지 않은 경우 모든 식재료에서 열전달률 및 열유속이 유사하게 나타난 것에 반하여, 라디오파를 이용한 해동에서는 열전달률 및 열유속이 식재료에 따라 다른 증가율 양상을 나타내었다(Table 2). 이러한 원인은 Bernardi et al. (2003)에 따르면 조직구성에 따른 전자파 흡수율 차이에 의해서 나타난다고 밝히고 있으며, Wang et al. (2012)은 라디오파를 이용한 즉석식품 가열시 내용물별 온도 분포차이를 분석하기도 하였다. 수분과 지방이 해동에 어떠한 영향을 미치는지 분석하기 위하여 해동실험에 이용된 식재료의 수분 함량 및 지방산 함량을 Table 3에 나타내었다. 수분함량은 무에서, 지방함량 소고기에서 가장 높게 나타났으나, 수분 및 지방함량만으로 해동속도와의 연관성은 낮은 것으로 판단되었다. 하지만 이러한 가열 속도차이는 해동시 상변화 구간에서 편차가 축소되고 최종 해동 시간에서는 큰 차이를 보이지 않기에 식재료의 해동 및 가공식품의 해동에도 효과적으로 이용 가능하다고 판단된다.

라디오파 해동시 최대 가열온도

해동이후 가열이 진행될 경우 식재료의 낮은 온도에서 단백질 변성 및 드립의 증가로 인하여 식감 저하와 풍미가 감소하는 등의 문제가 발생할 수 있다(Obuz & Dikeman, 2003). 과도한 해동시 발생할 수 있는 문제를 분석하기 위하여 라디오파에 의한 출력별 최대 가열 온도를 증가를 Fig. 4B에 나타냈다. 해동이 종료된 0°C에서부터 더 이상의 온도상승이 없을 때를 최대가열온도로 하였을 때의 소요시간 및 최대온도를 분석하여 Table 4에 나타내었다. 출력별 최대가열온도는 50, 100 및 200 W의 낮은 출력에서는 가열 속도가 빠른 소고기, 무, 참치 등이 높은 최대 온도를 나타내었으며, 400 W에서는 닭고기와 돼지고기가 높

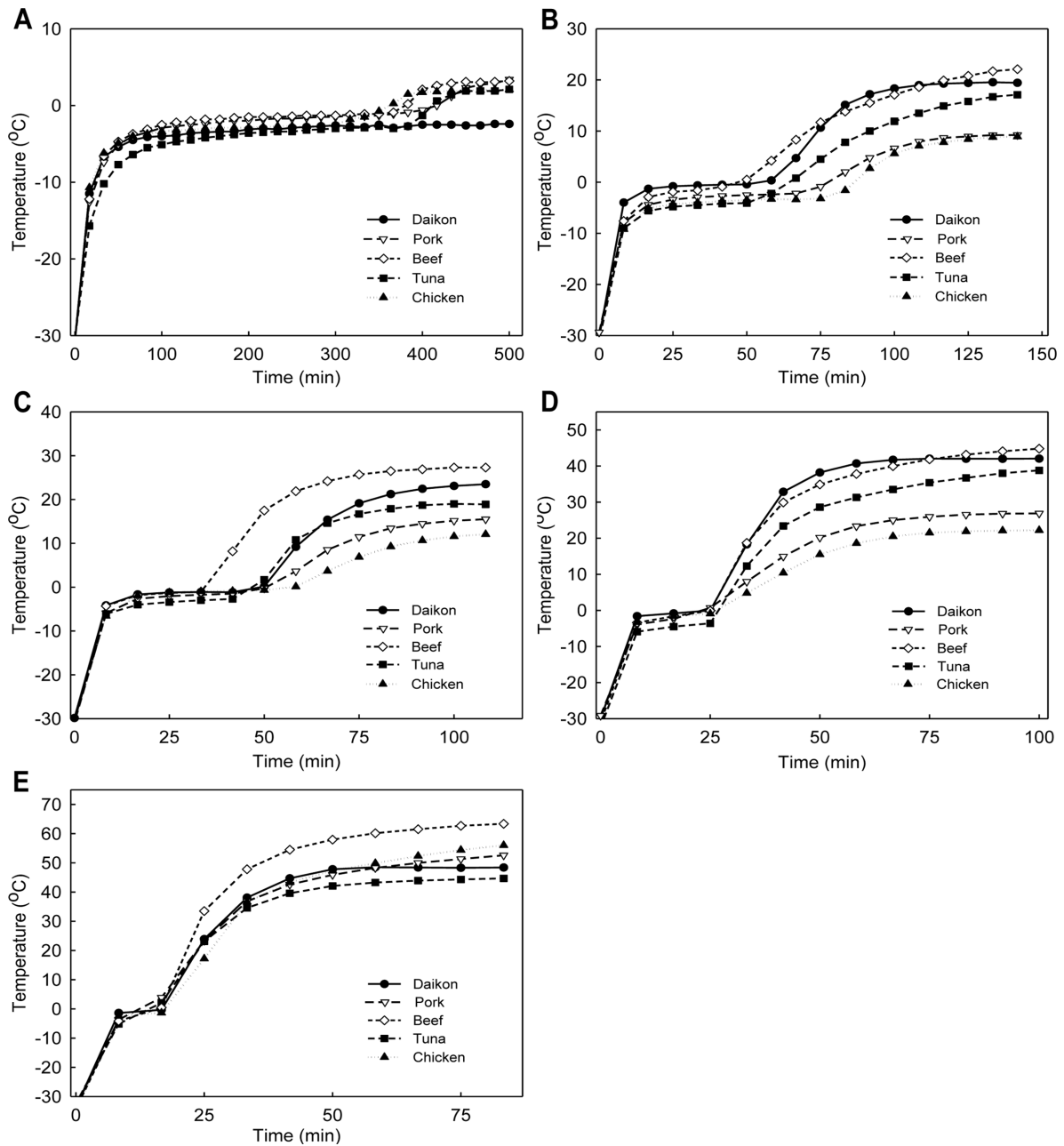


Fig. 3. Thawing curve of frozen foods under 5°C (A), 50 W RF (B), 100 W RF (C), 200 W RF (D), and 400 W RF (E) heating conditions. Phase change temperature range was -5 to 0°C. The values represent mean for three experiments.

Table 2. Coefficient of heat transfer and heat flux on RF thawing

RF power (W)	Frozen food									
	Daikon		Pork		Beef		Tuna		Chicken	
	kJ/sec	W/m ²	kJ/sec	W/m ²	kJ/sec	W/m ²	kJ/sec	W/m ²	kJ/sec	W/m ²
0	N ¹⁾		0.011	0.270	0.011	0.274	0.012	0.297	0.013	0.312
50	0.083	2.008	0.060	1.442	0.073	1.757	0.096	2.311	0.054	1.293
100	0.093	2.249	0.090	2.176	0.095	2.295	0.128	3.095	0.080	1.939
200	0.184	4.439	0.192	4.621	0.169	4.064	0.184	4.439	0.169	4.064
400	0.259	6.247	0.318	7.667	0.292	7.028	0.286	6.885	0.233	5.622

¹⁾Out of range

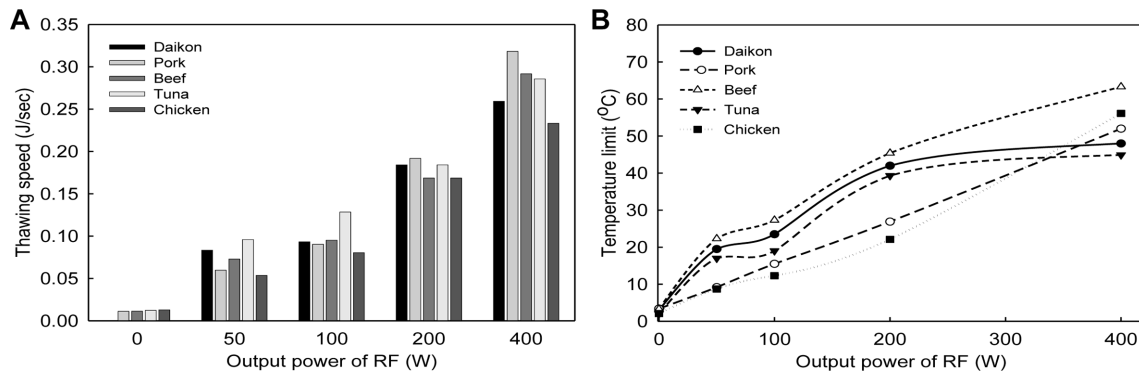


Fig. 4. Comparison of the thawing speed (A) and temperature limit (B) of frozen foods at different output power. Thawing speed is expressed as a coefficient of heat transfer. Temperature limit was obtained by thawing curves.

Table 3. Moisture and total fat contents of foods

Composition (%)	Daikon	Pork	Beef	Chicken	Tuna
Moisture	95.91 ± 0.15*	74.15 ± 0.30	69.14 ± 0.83	76.20 ± 0.49	72.93 ± 0.27
Total fat	0.23 ± 0.09	6.72 ± 0.42	7.44 ± 1.41	1.66 ± 0.87	1.20 ± 0.11

*The values represent mean± standard deviation for three experiments.

Table 4. Time consumption of heating limit temperatures on RF heating

Output power of RF (W)	Frozen food									
	Daikon		Pork		Beef		Tuna		Chicken	
	T ¹⁾	Max ²⁾	T	Max	T	Max	T	Max	T	Max
0	N ³⁾	2.0±0.5 ⁴⁾	94±6 ^a	3.4±0.9 ^c	132±9 ^a	3.3±1.1 ^c	99±3 ^a	2.0±0.7 ^c	149±8 ^a	2.1±0.8 ^c
50	93±4 ^a	19.5±1.2 ^d	71±6 ^b	9.2±1.2 ^d	101±9 ^b	22.3±1.6 ^d	85±7 ^b	17.0±0.5 ^d	62±9 ^b	8.7±1.2 ^d
100	67±6 ^b	23.5±1.9 ^c	65±7 ^c	15.5±2.3 ^c	68±6 ^d	27.3±2.0 ^c	50±3 ^d	19.0±1.6 ^c	56±3 ^{bc}	12.3±1.5 ^c
200	46±3 ^c	42.0±3.1 ^b	52±6 ^d	26.9±3.1 ^b	66±2 ^d	45.4±2.8 ^b	75±6 ^c	39.3±2.5 ^b	59±6 ^b	22.1±2.0 ^b
400	33±3 ^d	48.4±2.6 ^a	64±4 ^c	52±4.0 ^a	61±5 ^{dc}	63.3±3.1 ^a	52±4 ^d	44.9±3.1 ^a	63±8 ^b	56.1±2.7 ^a

¹⁾Time of 0°C to maximum temperature (min)

²⁾Maximum temperature (°C)

³⁾Out of range

⁴⁾The values represent mean±SD for triplicate experiments. Means with different letters within a column are significantly different at $p < 0.05$ by Duncan's multiple range test.

은 최대가열온도를 나타내었다. 이와 같은 최대가열온도에 서는 경향성이 나타나지 않았으나 라디오파 출력 증가에 따라 최대가열온도 또한 급격한 증가를 나타내었으며, 이러한 원인은 각 식재료의 구성이 단일성분이 아닐 뿐만 아니라 밀도 또한 다르기 때문으로 판단된다(Wang et al., 2012) 따라 해동시간을 단축시킬 수 있는 반면, 최대가열 온도 또한 지속적으로 증가하기 때문에 고출력에서는 해동 시간 조절 및 해동시 온도 관측을 통한 자동정지 기능이 필요할 것으로 판단된다.

요 약

본 연구는 제작된 27.12 MHz 라디오파 해동기의 성능을 분석하고, 냉동 식재료의 해동 중 열전달 특성을 분석하기 위하여 수행되었다. 라디오파 해동 중 크기에 따른 가열

특성 분석을 위한 한천겔 블록과 식품 및 출력별 해동 속도와 최대가열온도를 분석하기 위하여 일정한 크기의 시료를 -80°C에 냉동하여 준비하고 각각 50, 100, 200 및 400 W의 라디오파를 가하여 해동을 수행하였다. 그 결과 한천겔은 크기에 관계없이 내외부에서 균등해동이 이루어졌으며, 각 출력별 -5°C에서 0°C까지의 상변화 시간은 무에서 30, 26, 13, 8분, 돈육 등심에서 38, 25, 11, 5분, 우둔살에서 23, 17, 11, 6분, 닭 가슴살에서 42, 29, 13, 9분, 참치에서 225, 23, 10, 5분이 소요되었다. 각 식재료에서 라디오파의 출력이 증가할수록 해동속도가 급격히 증가하였지만 상변화 구간에서 지연되어 완전해동까지는 시간이 다소 소요되었으나 효과적으로 균일 해동이 이루어졌다. 해동 이후 최대가열온도는 무, 돈육 등심, 우둔살, 닭 가슴살, 참치에서 50 W는 각각 19.5, 9.2, 21.8, 8.8 및 16.8°C였으며, 100 W에서 23.5, 15.5, 27.3, 12.3 및 19°C, 그리고

200 W에서는 42, 26.9, 45.7, 22.1와 39.4°C, 마지막으로 400 W에서는 48.5, 54.7, 63.6, 57.3과 44.9°C까지 상승하였다. 출력 증가에 따라 모든 식재료에서 최대가열온도 또한 증가하였지만 냉동 식재료의 수분 및 지방 함량이 라디오파 가열속도 미치는 영향은 나타나지 않았다. 이러한 결과는 제작된 라디오파 해동기가 고출력으로 갈수록 해동효율이 증가하는 반면 해동 후 가열이 일어나기 때문에 이를 제어하기 위한 개선이 필요하며, 라디오파 해동이 냉동 식재료의 해동품질에 미치는 영향에 대한 추가적인 연구 또한 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호: PJ01083601)의 지원 및 국립농업과학원 박사후 연수과정 지원 사업에 의해 이루어진 것이며, 이에 감사드립니다.

References

- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th Ed., Association of analytical chemists, Washington, DC, USA, No. 990.19 & 960.39.
- Bernardi P, Cavagnaro M, Pisa S, Piuze E. 2003. Specific absorption rate and temperature elevation in a subject exposed in the far field of radio frequency source operating in the 10-900 MHz range. *IEEE Trends Biomed. Eng.* 50: 295-304.
- Berry BW. 1990. Changes in quality of all-beef and soy-extended patties as influenced by freezing rate, frozen storage temperature, and storage time. *J. Food Sci.* 4: 893-897.
- Cengel YA. 2003. Heat Transfer; A Practical Approach. 2th Ed., McGraw-Hill Education, Columbus, OH, USA, pp. 4-20.
- Hong GP, Park SH, Kim JY, Lee CH, Lee S, Min SG. 2005. The effect of thawing rate on the physicochemical properties of frozen ostrich meat. *Food Sci. Biotechnol.* 14: 676-680.
- Jeremiah LE. 1980. Effect of frozen storage and protective wrap upon the cooking losses, palatability and rancidity of fresh and cured pork cuts. *J. Food Sci.* 45: 187-192.
- Kim JS, Park JW, Park SH, Choi DS, Choi SR, Kim YH, Lee SJ, Park CW, Han GJ, Cho BK. 2016. Study of radio frequency thawing for cylindrical pork sirloin. *J. Biosystems Eng.* 41: 108-115.
- Ko SH, Hong GP, Park SH, Choi MJ, Min SG. 2006. Studies on physical properties of pork frozen by various high pressure freezing process. *Kor. J. Food Sci. Ani. Resour.* 26: 464-470.
- Kong JY, Kim JH, Kim MY, Bae SK. 1992. Effect of freezing conditions on the formation of ice crystals food during freezing process. *J. Korean Soc. Food Nutr.* 21: 213-218
- Llave Y, Terada Y, Fukuoka M, Sakai N. 2014. Dielectric properties of frozen tuna and analysis of defrosting using a radio-frequency system at low frequencies. *J. Food Eng.* 139: 1-9.
- Miles CA, Morley MJ, Rendell M. 1999. High power ultrasonic thawing of frozen foods. *J. Food Eng.* 39: 151-159.
- Moon YH. 2013. Changes in physical properties of ham and loin from low-fat pork cuts during chilling after thawing. *J. East Asian Soc. Dietary Life.* 23: 487-495.
- Obuz E, Dikeman ME. 2003. Effects of cooking beef muscles from frozen or thawed states on cooking traits and palatability. *Meat Sci.* 65: 993-997.
- Park JW, Kim JS, Park SH, Choi DS, Choi SR, Kim YH, Lee SJ, Kim HY. 2015. Effects of various thawing conditions on quality characteristics of frozen garlic. *J. East Asian Soc. Dietary Life.* 25: 893-901.
- Park MH, Kwon JE, Kim SR, Won JH, Ji JY, Hwang IK, Kim MR. 2012. Physicochemical and microbiological properties of pork by various thawing methods. *J. East Asian Soc. Dietary Life.* 22: 298-304.
- Piyasena P, Dussault C, Koutchma T, Ramaswamy HS, Awuah GB. 2003. Radio frequency heating of foods : principles, applications and related properties-a review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 43: 587-606 .
- Reied DS. 1997. Overview of Physical/chemical Aspects of Freezing Quality in Frozen Food. Springer SBM, New York, USA, pp. 10-28.
- Sale AJH. 1976. A review of microwaves for food processing. *J. Food Technol.* 11: 319-329.
- Seong PM, Cho SH, Kim JH, Hah KH, Park BY, Lee JM, Kim DH. 2009. Meat quality of pork muscles from low-fat cuts. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* 29: 364-373.
- Uyar R, Erdongdu F, Marra F. 2014. Effect of load volume on power absorption and temperature evolution during radio-frequency heating of meat cubes: a computational study. *Food Bioprod. Process.* 92:243-251.
- Virtanen AJ, Goedeken DL, Tong CH. 1997. Microwave assisted thawing of model frozen foods using feed-back temperature control and surface cooling. *J. Food Sci.* 62: 150-154.
- Wang J, Luechapattaporn K, Wang Y, Tang J. 2012. Radio frequency heating of heterogeneous food-meat lasagna. *J. Food Eng.* 108: 183-193.
- Wingger RJ, Fennema O. 1976. Tenderness and water holding properties of beef muscle as influenced by freezing subsequent storage at -3°C or 15°C. *J. Food Sci.* 41: 1433-1438.