

고주파해동기 개발에 관한 연구

A Study on Development of the High Frequency Thawing Machine

정석봉¹, 김태훈^{2*}, 손태영³, 유응성⁴, 신지영⁴, 정재연⁴, 황진우⁴, 양지영⁴

Seog-Bong Jung¹, Tae-Hoon Kim^{2*}, Tae-Young Son³, Eung-Seong Yu⁴,
Ji-Young Shin⁴, Jae-Yeun Jung⁴, Jin-Woo Hwang⁴, Ji-Young Yang⁴

〈Abstract〉

This paper deals with the development of the high frequency thawing machine. The fishery products caught over the world are kept frozen to maintain freshness. These fishery products require thawing before they are sold to customers as food. However, the thawing process can cause freshness reduction, drip coming out, quality deterioration, discharging polluted water, as well as a lot of space and time. The high frequency thawing machine developed to solve this problem has a narrow space, a short thawing time and a small drip. The developed high frequency thawing machine can be used in many fields such as fish processing plant, livestock processing plant. This paper describes the design of the high frequency thawing machine by developing the high frequency generator, development of the controller, and the design of mechanism, and shows the superiority of the high frequency thawing machine by the performance evaluation.

Keywords : High frequency thawing machine, Fishery product, Thawing method

1 (주)참코청하

2* 동의과학대학교 전자과, E-mail: kth@dit.ac.kr

3 동의과학대학교 자동차계열

4 부경대학교 식품공학과

1 Chamco chung Co. Ltd.

2* Division of Electronic Engineering, Dongeui Institute of Technology

3 Division of Automotive Engineering, Dongeui Institute of Technology

4 Department of Food Science & Technology, Pukyong National University

1. 서론

세계 각지에서 어획되는 수산물은 선도 유지를 위해 동결 후 냉동 보관 및 유통 되고 있다. 이러한 냉동수산물은 소비자에게 식품으로 판매되기 전 가공공정을 거치게 되는데, 가공 전 반드시 해동을 하여야 한다. 기존 해동 방법으로 자연해동, 고온습식해동, 침지유수해동, 침지폭기해동 등이 있으며 이러한 방식은 해동과정에서 선도저하, 드립발생, 품질저하 등 다양한 문제점이 발생되고 있다[1,2]. 또한 장시간 해동으로 얼음이 물로 변하면서 드립으로 되어 체외로 배출되는 과정에서 맛도 나빠지고 공간을 오염되게 한다. 이로 인하여 해동된 수산물의 식감이 떨어지고, 그 공간에 해동수 등이 들어가 2차오염의 원인이 되고 있으며 가공현장에서는 많은 노동력, 공간 및 시간을 필요로 하는 문제점을 안고 있다[3,4]. Table 1.에 기존 해동방식과 문제점에 대하여 나타내었다.

이에 비하여 고주파 해동방식은 3MHz~300MHz 주파수대를 이용하며 급속(5~30분) 및 균일한 해동이 가능하며 드립을 최소화시킬 수 있다. 또한 포장상태 해동 가능, 작업공간 최소화, 작업인원 최소화 및 폐수발생이 없다. 따라서 선도가 좋고 신속하고 위생적으로 해동 할 수 있으며 품질 향상과 경비 절감이 가능하다[5,6,7]. 본 논문에서는 이러한 고주파를 이용한 해동기 개발에 대한 연구를 다루고 있으며 고주파 발생장치 개발, 제어부 설계 및 제작을 통한 고주파 해동기 구현과 성능평가 내용을 담고 있다.

2. 고주파해동기 개발

고주파해동기는 크게 고주파 발생부, 제어부, 기구부로 나누어질 수 있다. 고주파발생부에서는

Table 1. Existing thawing method and problem

해동방식	해동과정 및 주요 문제점
자연해동	- 외기온도로 해동 - 많은 노동력과 시간 필요
고온습식 해동	- 가습되는 해동고에 투입하여 해동 - 많은 드립 발생 - 넓은 공간과 많은 노동력 필요
침지유수 해동	- 지속적으로 물을 공급하여 해동 - 많은 폐수 발생
침지폭기 해동	- 외기로 물을 가열하여 해동 - 폐수 및 드립이 발생하고 비위생적
저온고습 해동	- 넓은 공간과 시간 필요
마이크로파 해동	- 300MHz~30GHz 주파수대를 이용한 해동 - 침투 깊이가 얇고 불균일 해동

고전압 공급 및 고주파출력 회로로 구성되며 제어부에서 전원공급, 고주파 출력, 리프트, 예열히터 등을 제어한다. 이러한 제어를 통하여 냉동식품의 종류와 양에 따라 적절한 해동 조건을 적용하여 효율적인 해동이 수행될 수 있다. Fig. 1에서는 고주파 행동기의 전체 구성도를 나타내고 있다. 고주파 공급회로에서 전원을 공급하고 정합회로를 이용하여 원하는 고주파를 생성하고 전극판 사이에 해동물을 두어 해동을 시킨다. 효율적인 해동

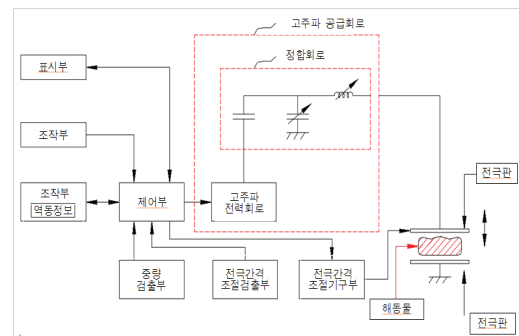


Fig. 1 Diagram of the high frequency thawing machine

을 위하여 전극간격을 조절하고 중량을 검출하여 해동과정에서 이를 이용한다.

2.1 고주파 발생장치 개발

고주파는 마이크로파에 비해 파장이 길기 때문에 해동 제품 내부까지 도달 가능하며, 균일한 해동이 가능한 장점을 가지고 있다[8]. 이러한 고주파를 발생시키기 위해서는 Fig. 2와 같이 저항(R), 코일(L), 콘덴서(C)로 구성된 회로가 필요하다.

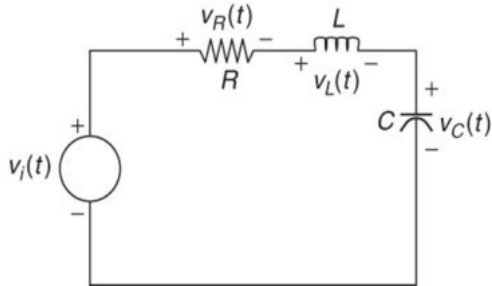


Fig. 2 RLC circuit

고주파 해동을 위하여 27.12MHz의 고주파를 사용하며 Fig. 2의 RLC회로에서 코일(L)과 콘덴서(C)의 값에 따라 공진 현상이 생긴다. 여기서 발생하는 공진주파수(f)는 식 (1)과 같다. 이러한 현상을 이용하여 코일(L)과 콘덴서(C)를 조정하여 원하는 고주파를 생성할 수 있다.

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1)$$

Fig. 3과 같이 개발된 35kw 고주파 발생장치를 위한 회로도에서는 고주파 발생부를 위한 11,000V 고전압을 발생시키며 Fig. 4에서는 고주파 발전부 회로도를 나타내고 있다. 고전압이 가해지면 P의 상부에 연결된 코일(L)과 콘덴서(C)에

의해서 고주파가 발생되며 진공관에 의하여 전력이 증폭된다. 콘덴서 C5사이에 해동물을 두면 고주파 해동이 가능해진다. 이러한 고주파 발전부 회로를 이용하여 Fig. 5에서와 같이 27MHz의 고주파가 발생됨을 확인하였다.

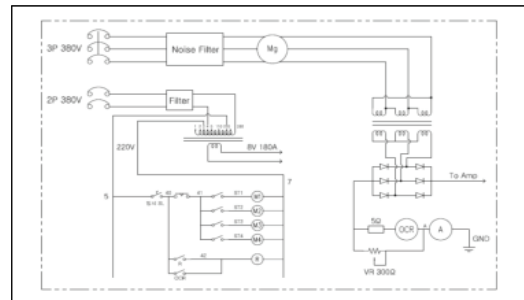


Fig. 3 High-frequency thawing circuit for the high voltage

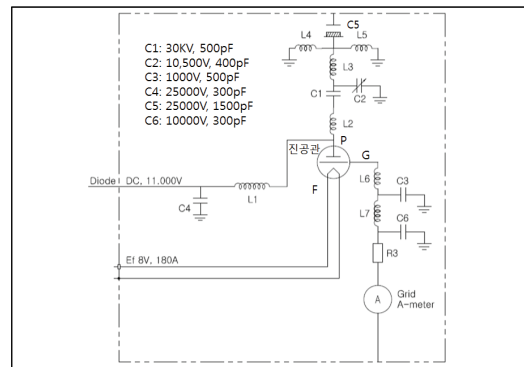


Fig. 4 High-frequency generator circuit

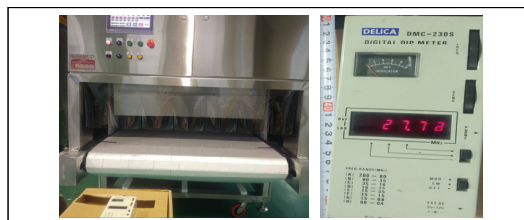


Fig. 5 Measurement of 27MHz high frequency generation

2.2 제어부 설계

고주파해동기 제어부에서는 Fig. 6과 같이 터치 패널, 전력공급회로, 고주파출력, 예열히터 등을 제어하는 기능을 한다. 터치 패널을 이용하여 해동 대상물의 높이, 종류, 고주파 출력량과 시간을 설정할 수 있다. 또한 최적의 해동을 위하여 저장된 레시피에 따라 해동기가 자동 설정될 수 있도록 되어 있다. 제어를 위한 터치 패널은 Fig. 7과 같으며 해동할 종류 선택, 출력 설정 등 수동으로 설정할 수 있으며, 정해진 레시피에 따른 자동 해동도 가능하다. 이러한 레시피는 해동성능 분석을 통하여 최적의 과정으로 결정될 수 있다.

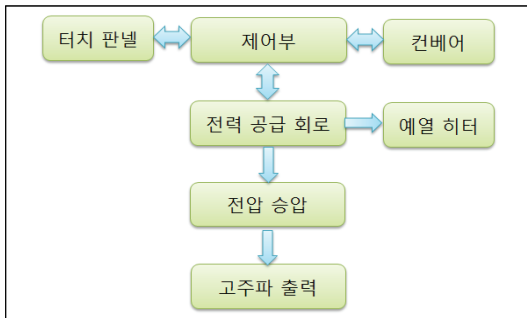


Fig. 6 Control diagram of the high frequency thawing machine



Fig. 7 Touch panel of the high frequency thawing machine

2.3 고주파해동기 설계 및 구현

개발된 고주파해동기 평면도 및 측면도를 Fig. 8과 Fig. 9에 각각 나타내었으며 Fig. 10부터 Fig. 12는 각각 프레임 제작, 고주파 발생부, 고전압부를 나타내었고 제작된 고주파 해동기는 Fig. 13에 나타내었다.

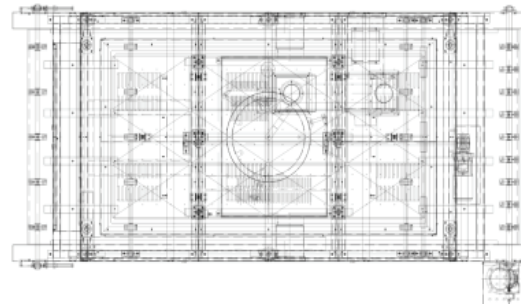


Fig. 8 Floor plan of the high frequency thawing machine

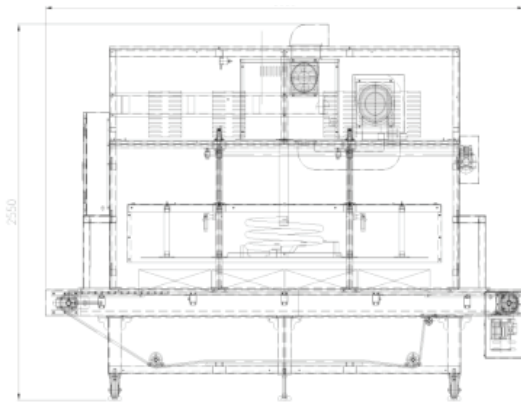


Fig. 9 Side view of the high frequency thawing machine

개발된 고주파 해동기는 6가지 전기 및 전자과의 안전성 검사를 통과하였으며 산업용뿐만 아니라 과학용, 의료용으로 적용 가능한 EMI/EMS 인증인 EN55011 :2009/A1:2010과 EN61000-6-



Fig. 10 Frame part of the high frequency thawing machine



Fig. 11 High frequency generator

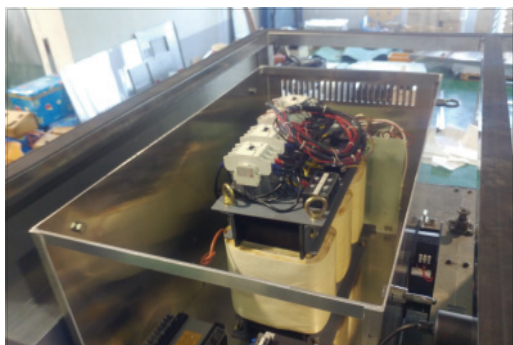


Fig. 12 High voltage generator

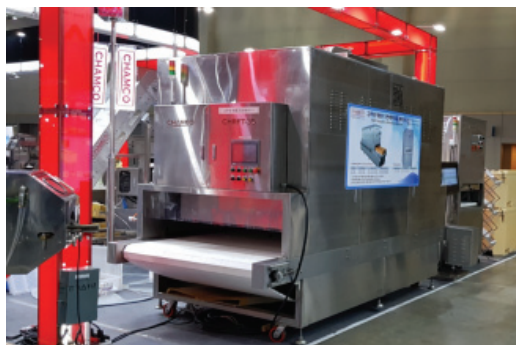


Fig. 13 High frequency thawing machine

2:2005/AC:2005 규격에 적합한 것으로 나타났다.

3. 성능평가

성능평가를 위하여 사용된 냉동수산물은 우리나라 대표적인 냉동 수산물인 고등어, 삼치, 명태, 오징어이다. 기존 해동방법과 고주파해동기를 이용하여 해동한 결과를 온도 변화, 수분함량, 드립 생성량 및 VBN 수치를 대상으로 나타내었다.

3.1 온도 변화 측정

샘플에 구멍을 뚫어 탐침온도계를 이용하여 심

부온도를 측정하였다. 온도 측정은 모든 샘플에 대하여 박스당 대각선으로 온도를 측정하여 평균 값을 취하였다. Table 2에 해동 조건별 온도 변화 실험 결과를 나타내었다. 적정온도가 되기까지 자연해동으로 12시간이 걸린 것에 비하여 고주파 해동은 30분에서 60분사이의 짧은 시간에 해동이 되는 것을 확인할 수 있었다.

Table 2. Temperature change of various thawing methods(°C)

어종	해동전	자연해동	고주파 해동	
		12시간	30분	60분
고등어	-15.9	-4.2	-3.07	10.4
삼치	-14.8	-3.3	-3.63	-1.7
명태	-13.9	-5.0	-5.2	-3.67
오징어	-13.5	-3.9	-8.07	-3.1

3.2 수분함량 측정

수분함량은 해동 전 시료무게와 이탈된 수분의 무게를 이용하여 계산하였다. Table 3에 해동 조건에 따른 수분 보유력을 나타내었다. 실험결과 자연해동 및 침수 해동에 비하여 고주파해동 방식이 높은 수분 보유력을 가짐을 확인할 수 있었다.

Table 3. Water holding capacity of various thawing methods(%)

어종	해동전	자연 해동	침수 ¹⁾		고주파	
			시간 (min)	해동 종료	30분	60분
고등어	53.0	59.5	36	54.3	68.3	73.6
삼치	57.3	60.3	65	65.6	71.0	78.4
명태	74.1	76.8	148	84.2	80.1	85.2
오징어	62.7	69.2	90	69.5	74.6	82.5

¹⁾ 심부온도가 -3°C에 도달하는 시간과 그 때의 샘플의 측정값

3.3 드립발생량 측정

드립발생량을 측정하기 위하여 해동 전, 후의 시료를 흡습지 사이에 둔 후 흡습지 무게의 변화를 통해 드립의 양을 측정할 수 있다. Table 4에 해동 전 및 해동 조건별 드립 발생량을 나타내었다. 실험결과를 통하여 자연해동 및 침수해동에

Table 4. Loss of drip of various thawing methods(%)

어종	해동전	자연 해동	침수해동 ¹⁾		고주파해동	
			시간 (min)	해동 종료	30분	60분
고등어	0.02	0.31	36	0.35	0.22	0.34
삼치	0.08	0.22	65	0.49	0.11	0.2
명태	0.09	0.59	148	0.4	0.2	0.35
오징어	0.12	0.48	90	0.63	0.29	0.38

¹⁾ 심부온도가 -3°C에 도달하는 시간과 그 때의 샘플의 측정값

비하여 고주파 해동 방식이 드립 발생을 적게 시킴을 확인할 수 있었다.

3.4 VBN

VBN(volatile basic nitrogen, 휘발성 염기질소)는 암모니아를 위주로 한 것으로, 어획 직후에 어패류에는 극히 적으나 선도 저하와 더불어 그 함량이 증가한다. 따라서 VBN의 함량을 측정하여 어패류의 선도를 판정할 수 있다. VBN 값이 30 이상이 되면 부패가 시작된다고 볼 수 있다. 품질 평가의 척도로써 VBN을 측정한 결과를 Table 5에 나타내었다. 고주파 해동을 하는 경우에는 VBN의 값이 상대적으로 낮게 나타나났으므로 고주파 해동이 더 좋은 품질을 유지한다는 것을 확인할 수 있었다.

Table 5. VBN content of various thawing methods(mg%)

어종	해동전	자연 해동	침수해동 ¹⁾		고주파	
			시간 (min)	해동 종료	30분	60분
고등어	8.2	10.4	36	5.5	1.8	12.9
삼치	9.0	9.3	65	7.9	2.7	3.2
명태	7.6	0.9	148	7.7	0.5	0.9
오징어	4.7	13.2	90	24.1	4.5	6.4

¹⁾ 심부온도가 -3°C에 도달하는 시간과 그 때의 샘플의 측정값

4. 결론

고주파 해동 방식은 기존의 해동 방식에 비하여 짧은 해동 시간, 많은 수분함량, 적은 드립 발생량 및 고신선도 유지가 되는 효율적인 해동방법이다. 이러한 고주파 해동방식을 이용한 해동기는

고전압부, 고주파 발생부, 제어부, 기구부로 구성 되어 있으며 해동기의 성능은 온도변화, 수분함량, 드립발생량, VBN 실험을 통하여 우수성을 검증하였다. 이러한 고주파 해동기는 수산물 가공공장, 대형 식육백화점, 대형 식육식당 뿐만 아니라 냉동식품을 취급하는 많은 장소에서 시간과 비용이 절약된 신선한 수산물을 이용할 수 있도록 할 수 있다. 또한 개발된 고주파 해동기는 효율적인 해동 방법을 제공하여 냉동 수산물 산업에 많은 기여할 수 있다.

사 사

본 연구는 한국해양과학기술진흥원에서 지원하는 2017년도 미래해양산업기술개발사업의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참고문헌

- [1] Bailey, C. · James, S. J. · Kitchell, A. G. & Hudson, W. R. "Air, water, and vacuum-thawing of frozen pork legs." *Journal of the Science of Food Agriculture* 25(1), pp. 81~97, (1974).
- [2] Kang, Sun-Moon · Kang, Chand-Gie & Lee Sung-Ki, "Comparison of quality characteristics of Korean native black pork and modern genotype pork during refrigerated storage after thawing." *Korean Journal Food Science Animal Resource* 27, pp. 1~7, (2007).
- [3] Cho, Kook-Hee & Park, Seung-Ho. "The development of high efficiency tempering system using microwave." *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers* 23(10), pp. 69~74, (2009).
- [4] Sehar Akhtar · Muhammad Issa Kha & Farrukh Faiz, "Effect of thawing on frozen meat quality; A comprehensive review," *Pakistan Journal of Food Science* 23(4), pp.198~211, (2013).
- [5] Marra, Francesco · Lyng, James · Romano, Vittorio & McKenna, Brian, "Radio-frequency heating of foodstuff: solution and validation of a mathematical model," *Journal of Food Engineering*. 79(3), pp.998~1006, (2007).
- [6] Wang, Jian · Luechapattananorn, Kunchalee · Wang, Yifen & Tang, Juming, "Radio-frequency heating of heterogeneous food-meat lasagna." *Journal of Food Engineering* 108(1), 18pp. 3~193, (2012).
- [7] Yang, Jun · Zhao, Yanyun & Wells, John Henry, "Computer simulation of capacitive radio frequency (RF) dielectric heating on vegetable sprout seeds." *Journal of Food Process Engineering*, 26(3), pp. 239~263. (2003).
- [8] Taher, B. J. & Farid, Mohammed M. "Cyclic microwave thawing of frozen meat: experimental and theoretical investigation." *Chemical Engineering and Processing* 40(4), pp. 37~389. (2001).

(접수: 2018.09.28. 수정: 2018.11.18. 게재확정: 2018.12.03.)