

고주파해동과 일반해동이 냉동 고등어, 명태, 삼치, 조기의 이화학적 품질에 미치는 영향

정석봉* · 서태룡 · 정효정 · 김보경 · 조영제†
(*참코청하 · †부경대학교)

Effect of High Frequency Thawing and General Thawing Methods on the Quality of Frozen Mackerel, Alaska pollack, Japanese Spanish mackerel, and Yellow croaker

Seog Bong JUNG* · Tae Ryoyung SEO · Hyo Jung JUNG · Bo Kyoung KIM · Young Je CHO†
(*Chamco chungha Co. Ltd. · †Pukyong National University)

Abstract

This study was used samples, mackerel (*Scomber japonicas*), Japanese Spanish mackerel (*Scomberomorus niphonius*), alaska pollock (*Theragra chalcogramma*), yellow croaker (*larimichthys crocea*) known as some of the major species fisheries products in Korea We were investigated temperature change during thawing processing, water holding capacity, drip loss, extractive-nitrogen and viable cell count by various thawing methods, thawing at the room temperature (TRT), hot-air thawing (HAT), aeration thawing (AT), high-frequency thawing (HFT). The temperature changes have taken 2~3 hours in HFT and 24 hours by TRT. The expressible drip loss was 0.47~0.87 g/100 g in HFT, 1.91~4.42 g/100g in TRT, 1.31~4.93 g/100g in HAT, and 2.01~4.59 g/100g in AE. The water holding capacity was higher samples thawing by HFT than other thawing methods. Extractive-nitrogen was 276~452 mg/100 g in HFT, 177.21~420.27 mg/100 g in TRT. Viable cell count was 10^2 to 10^3 in HFT, 10^3 to 10^5 in other thawing methods.

The processing speed and uniformity by HFT was minimized the risk of product degradations (drip losses, deterioration of sensorial, chemical and physical characteristics, bacteria growth, etc.), thus helping to preserve at its best the product quality than those by thawing methods. Therefore, HFT was expected to make high-quality thawing products anticipate future thawing technology

Key words : Thawing method, High frequency Thawing, drip, Extractive nitrogen, Quality

I. 연구의 필요성

수산물은 원료 특성상 선도저하가 빠르게 진행된다. 일반적으로 동결을 이용하여 수산물의 선도저하를 억제시킨다. 동결식품은 선도저하를 효과적으로 방지뿐만 아니라 품질 유지에 탁월한

효과가 있으나 동결방법에 따라 품질에 큰 차이가 있으며, 특히 해동은 냉동식품에 반드시 이루어져야 되는 공정이며, 동결과 해동에 의하여 물리화학적 품질에 무엇보다 중요한 작용을 하게 된다(Kang et al., 2007).

해동한 동결식품은 동결하지 않은 것에 비교하

† Corresponding author : 051-629-5826 yjcho@pknu.ac.kr

* 이 논문은 한국해양과학기술진흥원(KIMST)에 의해 연구되었음.

여 선도저하가 빠르며 부패하기 쉬움이 알려져 있다. 이는 해동에 의하여 일어난 조직학적 변화에 의하여 표면에 있는 세균이 내부로 침입하거나, 조직이 약해져서 미생물의 침입 및 증식이 일어나기 쉬워지므로 부패가 촉진되게 된다. 또, 해동할 때에 유출되는 드립(drip) 속에는 amino산, vitamin군 등의 영양원이 많이 포함되어 있어서, 미생물의 증식을 돕기 때문이다(Akhtar et al., 2013). 어육 및 축육을 동결 저장한 후에 해동할 때에는 cathepsin, nuclease, phosphatase, glycosidase 등의 효소가 유출하여 나오며, 이러한 효소들은 자기소화를 촉진시켜서 저분자 화합물을 생성한다. 이러한 생성물은 부패세균이 쉽게 이용 가능하므로 전체적으로 부패가 촉진된다(Akhtar et al., 2013).

따라서 해동기술 개발은 동결기술 못지않게 중요하며, 식품의 조직학적 변화를 최소화하고, 표면과 내부가 균일하게 해동될 수 있는 기술 개발이 필요하다. 일반적으로 산업현장에서 주로 사용되는 해동기술은 자연해동, 고온습식해동, 침수 유수해동, 침지폭기해동 등을 일반적으로 사용하고 있다(Bailey et al., 1974) 이는 해동방법에 따라 드립(drip) 발생, 폐수의 발생, 노동력 소요가 되며 균일한 해동이 불가하다는 등의 단점이 있다(Cho and Park, 2009). 또한 해동수 등에 의한 2차 오염과 품질에도 영향을 주고 있다.

또한 마이크로파해동이 이용되는데, 2,400 ~ 2500 MHz 사이의 주파수 대역을 이용한 파장을 냉동품에 주사하여 냉동품 내부의 물분자들의 마찰열을 이용하는 방식이다. 식품내부까지 에너지를 전달하므로 해동시간이 빠르고 표면과 중심부의 온도차가 적은 특징이 있다. 그러나 마이크로파해동은 침투력에 의하여 다소 적은 용량의 식품에 이용되고 있으며, 대용량 식품에 이용에는 한계가 있다(Taher and Farid, 2001). 이러한 문제를 해결하기 위하여 침투반감심도가 긴 고주파(27.5MHz)를 이용하여 식품의 중심에서 발열이 시작되어 빠르고 균일한 해동이 이루어지는 고주

파해동장치가 개발되고 있다(Yang et al., 2003; Marra et al., 2007; Romano and Marra, 2008; Wang et al., 2012).

따라서 본 연구에서는 동결상태에 따른 해동방법이 해동수산물의 품질에 미치는 영향을 조사하고자, 산업적으로 이용되고 있는 해동방법인 자연해동, 열풍해동, 폭기해동으로 수산물을 해동시 품질의 변화를 조사하였다. 또한 이러한 조사결과를 토대로 pilot 규모로 개발된 고주파해동장치를 이용하여 수산물을 해동시 기타 해동방법과의 품질을 비교하고자 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험 재료

실험에 사용된 품종은 고등어, 명태, 삼치, 조기로 하였고 포장규격은 일반적인 상업적으로 이용되고 있는 용량으로 각각 10, 20, 15, 5 kg로 포장하여 동결된 시료를 이용하였으며, 이 시료는 대략 6개월 동안 -18℃에서 동결저장되었다(<Table 1>).

<Table 1> The profile of froze block fishes

Scientific name (Korean name)	Mackerel (Go-deung-eo)	Alaska pollack (Myeong-tae)	Japanese Spanish mackerel (Sam-chi)	Yellow croaker (Jo-gi)
Block weight (kg)	10	20	15	5
Body weight (g)	300~600	700~800	700~900	300~400
Origin	Korea	Russia	Korea	Korea
Harvested date	2015. 3.31.	2015. 3.31.	2015. 3.31.	2015. 4.25.

2. 해동방법

산업적으로 이용되는 자연해동, 폭기해동, 열풍해동으로 냉동수산물을 해동하였다. 자연해동은 부경대 수산가공연구센터에서 실내온도를 18℃로

유지하면서 해동을 진행하였다. 열풍해동은 수협 감천항 물류센터에서 열풍기로 15℃ 온도를 일정하게 공급하여 해동을 진행하였다. 폭기해동과 고주파해동은 ㈜참코칭하에서 개발된 장비를 사용하였으며, 폭기해동은 동결 수산물을 물이 담겨 있는 수조에 투입하고 따뜻한 공기를 하부에서 불어넣어 폭기시켜 해동하였으며, 고주파해동은 고주파(27.12 MHz)를 이용한 해동장치기계를 이용하여 각각의 동결 수산물을 해동하였다.

3. 실험 방법

가. 온도 측정

동결수산물의 온도변화는 블록형태의 동결수산물에 온도센서를 설치하여 온도자동기록장치(GTDL-620, 그린테크, 한국)를 이용하여 실시간으로 온도를 측정하였다. 단 고주파해동은 고주파에 의하여 온도센서가 파괴되기 때문에 온도측정시 고주파장치를 멈추고 직접 부위별 온도를 측정하였다.

나. 드립(drip) 생성량 측정

해동후의 시료를 일정크기(1×1 cm)로 절단하여 여과지(No.5, Adventec, Japan) 사이에 놓아둔 후 1 kg 무게의 추로 가압하여 여과지중량 변화를 근육 중에서 빠져나온 드립 함량을 측정하였다.

다. 수분보유력 측정

5 g 으로 절단한 시료를 98℃의 항온수조에서 30분간 가열한 후 원심분리(4,000rpm×30min)하여 상층액에 대한 무게를 측정하고, 아래의 식을 이용하여 함량을 계산하였다.

$$\text{Water Holding Capacity (WHC, \%)} = 1 - \frac{[W_{\text{after}} - W_{\text{before}}]}{W_{\text{meat}}} \times 100$$

라. 엑스분질소 함량 측정

시료 5 g 에 20% TCA (Trichloroacetic acid)를

20 mL를 원심관에 시료와 함께 넣고 균질화한 후 원심분리(3000 rpm×10분)시킨 후, 상층액 10 mL를 AOAC법(1995) 에 따라 Semimicro Kjeldahl 법으로 측정하였다.

마. 일반세균수 측정

채취한 시료육에 희석액을 가해 균질화한 것을 시험용액으로 하여 단계별로 희석한 희석액 1 mL를 세균수 건조필름배지(3M petrifilm)에 접종한 후 35 ± 2 °C에서 48 시간 배양한 후 집락수를 측정하였다.

바. 통계처리

실험분석 결과는 SAS (SAS Institute, Cary, NC, USA)을 이용하여 각 실험군의 평균과 표준편차를 구하고, 시료간의 차이검증은 일원배치 분산분석(ANOVA)을 사용하였으며, Duncan's multiple range test에 따라 P<0.05 수준에서 유의성을 검증하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 해동 중의 온도변화

일반적으로 산업 현장에서 사용되는 해동방법인 자연해동, 폭기해동 및 열풍해동과 고주파해동을 이용하여 해동시 각각의 냉동수산물의 온도변화를 조사하였다. 해동이 진행되는 동안 시간의 경과에 따른 온도 변화는 온도자동기록장치를 이용하여 측정하였으며, 해동 수산물의 중심부 온도가 0℃에 이르는 시점을 해동완료시점으로 하였다.

어종에 따른 해동완료까지 소요된 시간은 자연해동의 경우 명태와 고등어는 10시간, 삼치는 9시간, 조기는 8시간이 소요되었다. 폭기해동은 명태와 삼치가 2시간과 2시간 20분, 고등어가 2시간, 조기가 1시간 40분이었으며, 열풍해동의 경우 명태가 7시간, 고등어가 7시간, 삼치가 8시간, 조기가 3시간 소요되었다(Fig. 1). 해동동결시점에

이르기까지의 시간을 비교하여볼 때 폭기해동, 열풍해동, 자연해동 순으로 해동시간이 많이 소요되었으며 폭기해동은 다른 자연해동과 열풍해동에 비하여 해동시간이 상당히 빠르게 진행되었다.

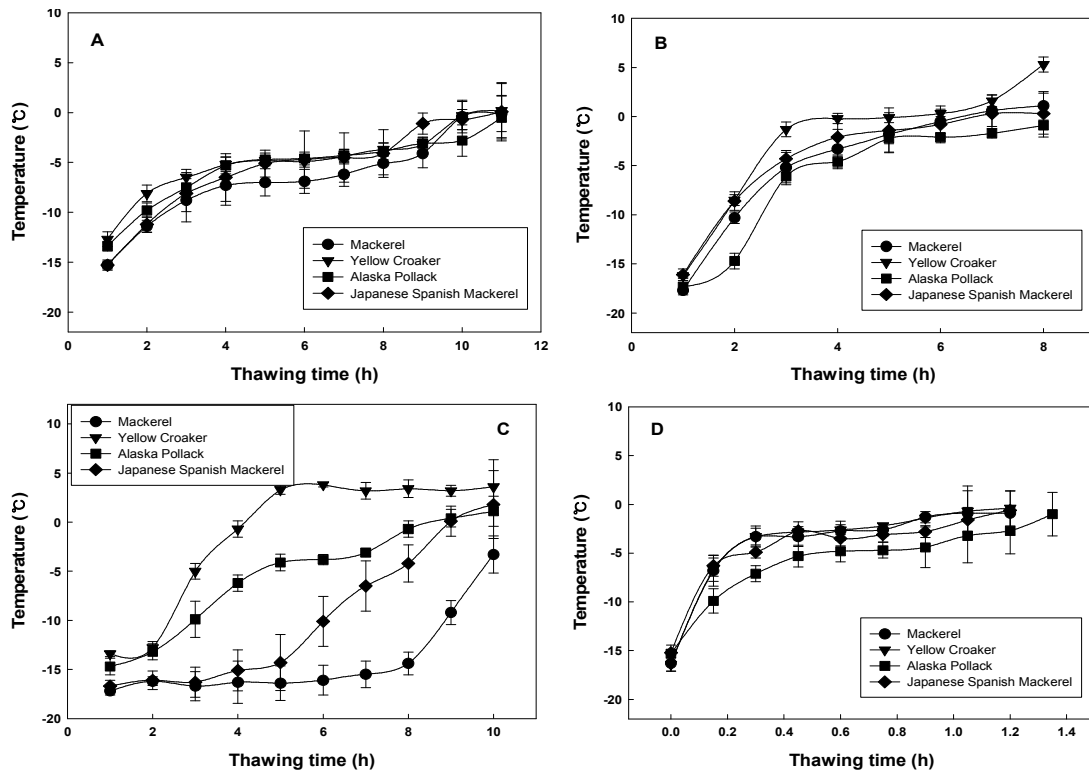
이에 반하여 고주파 해동의 경우, 명태가 1시간 20분, 고등어가 1시간 12분, 삼치가 1시간 20분, 조기가 1시간으로 종래의 해동방법과 비교하여 2배~10배 이상의 시간을 단축할 수 있었다 ([Fig. 1]).

해동방법에 의한 냉동소고기 해동온도변화를 조사한 결과에서도 $-1\sim-5^{\circ}\text{C}$ 까지 해동하는데 소요되는 시간은 자연해동과 열풍해동 등은 50시간이 소요되었으나 고주파해동을 이용한 경우는 36분 정도 소요된다고 보고하였다(Farag et al., 2011).

이는 외부에서 어체중심부로 열전도에 의해 해동이 되는 종래방식과는 달리 고주파해동은 양쪽 전극 고주파에 의해 근육 내의 셀의 분자마찰에 의해 해동이 되는 방식의 차이 때문인 것으로 사료되며, 빠른 해동방법으로 산업에서 작업시간을 단축시킬 수 있는 방법으로 응용될 수 있을 것으로 사료된다.

2. 드립(Drip) 발생량

고등어, 명태, 삼치, 조기 냉동포장 블록을 해동방법에 따라 해동한 후 발생하는 드립(drip)량을 측정된 결과, 자연해동, 열풍해동, 폭기해동, 고주파해동과정 중 명태의 경우 1.91, 3.08, 2.83, 0.84 g/100g로 열풍해동시 드립(drip)량이 가장 많았고



[Fig. 1] Changes temperature of frozen block fishes during thawing by various thawing methods. A, thawing at the room temperature; B, Hot-air thawing; C, Aeration thawing; D, High frequency thawing.

고주파해동이 가장 적었다. 고등어 또한 3.46, 4.93, 3.58, 0.87 g/100g로 자연해동의 결과와 같았으나, 삼치의 경우 4.42, 1.31, 2.01, 0.47 g/100g로 자연해동 드립(drip)량이 많고 고주파해동이 가장 적었다. 어체가 가장 작은 조기의 경우 3.01, 3.92, 4.59, 0.83 g/100g로 종래 해동방법 드립(drip)량 차이는 미미하였으나 고주파해동 드립(drip)량은 불검출되거나 극미량이었다(<Table 2>). 어체의 크기 및 블록냉동품의 크기가 클수록 드립(drip)량이 많았으며 이는 냉동품의 중심부와 표면의 온도차이와 비례하는 결과로 최대빙결정 생성대의 머무는 시간이 길기 때문인 것으로 판단된다.

최대빙결정생성대에 머무는 시간이 짧으면 많은 양의 빙결정이 생성되어 조직의 파괴가 비교적 적게 발생하고 이에 따라 해동 후에도 조직 및 세포내로 다수의 수분이 복원되어 밖으로 유출되는 드립(drip)량이 적게 나타나는 것으로 판단된다.

<Table 2> The comparison of loss of drip of frozen block fishes by various thawing methods (g/100g)

	Room temperature thawing	Hot air thawing	Aeration thawing	High frequency thawing
Mackerel	3.46 ±0.08 ^{b1)}	4.93 ±0.04 ^a	3.58 ±0.03 ^b	0.87 ±0.01 ^c
Alaska pollack	1.91 ±0.07 ^c	3.08 ±0.06 ^a	2.83 ±0.06 ^b	0.84 ±0.01 ^d
Japanese Spanish mackerel	4.42 ±0.08 ^a	1.31 ±0.04 ^c	2.01 ±0.06 ^b	0.47 ±0.03 ^d
Yellow croaker	3.01 ±0.13 ^c	3.92 ±0.07 ^b	4.59 ±0.06 ^a	0.83 ±0.03 ^d

¹⁾ Means with different superscript in the row are significantly different by Duncan's multiple range test ($P<0.05$).

3. 수분보유력

고등어, 명태, 삼치, 조기 냉동포장 블록을 해

동방법에 따라 해동한 후 발생하는 수분보유력을 측정된 결과를 <Table 3>에 나타내었다. 수분보유력은 드립(drip)량과 반비례 경향을 나타내었는데 그 이후는 해동 후 드립(drip)량의 차이에 의해서 근육이 가지고 있는 보수력의 차이가 발생하는 것으로 보인다.

자연해동, 열풍해동, 폭기해동, 고주파해동과정 중 명태의 경우 70.98, 75.01, 73.07, 79.47%로 고주파해동, 열풍해동, 폭기해동, 자연해동 순이었으며 고등어의 경우 71.13, 72.83, 73.21, 76.63% 고주파해동, 폭기해동, 자연해동, 열풍해동 순으로 수분보유력이 좋았다. 삼치의 경우 72.75, 74.41, 74.48, 78.29%로 고등어와 같은 경향을 나타내었으며 조기는 고주파 해동을 제외하고 종래의 세가지 해동법에서 미미한 차이를 나타내었는데 그 이유는 냉동품의 두께가 작고 중심부의 비율이 적어 표면적이 넓었기 때문에 해동방법에 따른 차이가 적었을 것이라고 판단된다. 전체적으로 수분보유력은 어종과 관계없이 자연해동이 가장 좋지 않았고 고주파해동장치로 해동을 하였을 때 우수하였다.

<Table 3> The comparison of water holding capacity of frozen block fishes by various thawing methods (g/100g)

	Room temperature thawing	Hot air thawing	Aeration thawing	High frequency thawing
Mackerel	71.13 ±1.70 ^b	72.83 ±1.24 ^b	73.21 ±1.07 ^b	76.63 ±0.45 ^a
Alaska pollack	70.98 ±2.84 ^b	75.01±1 .47 ^{ab}	73.07 ±1.10 ^b	79.47 ±0.64 ^a
Japanese Spanish mackerel	72.75 ±1.61 ^b	74.41±1 .37 ^b	74.48 ±1.29 ^b	78.29 ±0.54 ^a
Yellow croaker	70.84 ±2.19 ^b	74.59±1 .13 ^{ab}	71.12 ±1.44 ^b	76.37 ±0.59 ^a

¹⁾ Means with different superscript in the row are significantly different by Duncan's multiple range test ($P<0.05$).

4. 엑스분질소 함량

해동과정에서 발생하는 드립 중에 엑스분질소 함량이 많을수록 영양성분의 소실이 많은 것으로 해동후 제품의 품질이 저하될 수 있다. 본 연구에서 사용되는 폭기해동은 물속에 시료를 침지시키고 공기를 주입하여 해동이 이루어지고, 고주파해동은 드립 발생량이 상당히 적어서 드립 중의 엑스분질소 함량을 측정하는 것은 어려웠다. 따라서 본 연구에서는 해동 후 시료의 근육에서 엑스분질소 함량을 잔존량으로 가정하여 측정할 결과를 나타내었다(<Table 4>). 자연해동, 열풍해동, 폭기해동, 고주파해동의 해동방법에 따라 해동완료시점에 측정한 엑스분질소 함량은 명태가 307.05, 262.94, 283.42, 351.81 mg/100g이었고 고등어는 420.27, 400.91, 421.73, 452.96 mg/100g으로 드립(drip) 생성량이 많은 해동방법일수록 높게 나타나 반비례하였다(<Table 4>).

<Table 4> The comparison of extractive nitrogen capacity of frozen block fishes by various thawing methods (g/100g)

	Room temperature thawing	Hot air thawing	Aeration thawing	High frequency thawing
Mackerel	420.27 ±7.24 ^b	400.91 ±5.81 ^c	421.73 ±4.51 ^b	452.96 ±2.64 ^a
Alaska pollack	307.05 ±10.04 ^b	262.94 ±5.56 ^c	283.42 ±4.78 ^c	351.81 ±1.82 ^a
Japanese Spanish mackerel	177.21 ±8.29 ^c	175.24 ±5.25 ^c	206.70 ±5.74 ^b	276.80 ±2.28 ^a
Yellow croaker	275.68 ±9.60 ^b	102.41 ±4.48 ^d	232.22 ±5.81 ^c	322.22 ±1.71 ^b

¹⁾ Means with different superscript in the row are significantly different by Duncan's multiple range test ($P<0.05$).

5. 일반세균수

고등어, 명태, 삼치, 조기 냉동포장 블록을 해동방법에 따라 해동종료 후의 근육중의 일반 세

균수를 측정한 결과를 <Table 5>에 나타내었다. 어종과 관계없이 고주파해동의 세균수 함량은 100~1,000 CFU/g으로, 해동후 수산물의 위생학적 품질이 매우 우수하였다. 더불어 자연해동과 열풍해동은 해동시간이 길고 세균이 번식하기 쉬운 온도대에 장시간 방치하므로 세균에 대한 오염도가 비교적 용이하다고 사료되며 폭기해동의 경우 드립(drip) 및 해동수로 인한 2차 오염이 발생할 가능성이 있으므로 비위생적이라고 판단된다.

이상의 결과 산업현장에서 주로 사용되는 블록 형태의 냉동포장 수산물을 자연해동, 열풍해동, 폭기해동, 고주파해동 방법에 의한 해동후 수산물의 품질은 서로 상이한 것으로 나타났다. 해동방법에 따라 장담점이 있으며, 품질변화 또한 큰 것으로 확인되었다. 반면 고주파해동은 해동 후 동결수산물의 품질에 가장 큰 영양을 주는 드립(drip)발생량이 기타 해동방법에 비해 적었으며, 근육의 수분보수력과 엑스분질소 함량 등이 높았다. 따라서 고주파해동 장치를 이용한 냉동 수산물의 해동은 품질변화를 최소화하고 해동시간을 단축할 수 있어 가장 적합한 해동방법으로 사료된다.

<Table 5> The comparison of viable cell count capacity of frozen block fishes by various thawing methods (CFU/g)

	Room temperature thawing	Hot air thawing	Aeration thawing	High frequency thawing
Mackerel	2.43×10 ⁵	1.94×10 ⁵	2.62×10 ⁵	1.00×10 ²
Alaska pollack	2.08×10 ⁵	3.11×10 ⁶	1.47×10 ⁵	3.50×10 ²
Japanese Spanish mackerel	5.90×10 ³	4.25×10 ³	2.90×10 ³	6.00×10 ²
Yellow croaker	7.55×10 ⁴	3.57×10 ⁴	4.55×10 ⁴	1.20×10 ³

References

- AOAC.(1995). Official Methods of Analysis. 16th Ed. Association of Official Analytical Chemist, Arlington, VA. USA.
- Bailey, C. · James, S. J. · Kitchell, A. G. & Hudson, W. R.(1974). Air, water, and vacuum-thawing of frozen pork legs. *Journal of the Science of Food Agriculture* 25(1), 81~97.
- Cho, Kook-Hee & Park, Seung-Ho(2009). The development of high efficiency tempering system using microwave, *Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers* 23(10), 69~74.
- Farag, K. W. · Lying, J. G. · Morgan, D. J. · Cronin, D. A.(2011). A comparison of conventional and radio frequency thawing of beef meats: effects on product temperature distribution. *Food and Bioprocess Technology* 4(7), 1128~1136.
- Kang, Sun-Moon · Kang, Chand-Gie & Lee Sung-Ki (2007). 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, 1~7.
- Marra, Francesco · Lyng, James · Romano, Vittorio &, McKenna, Brian(2007). Radio-frequency heating of foodstuff: solution and validation of a mathematical model. *Journal of Food Engineering*. 79(3), 998~1006.
- Romano, Vittorio & Marra, Francesco(2008). A numerical analysis of radio frequency heating of regular shaped foodstuff. *Journal of Food Engineering* 84(3), 449~457.
- Sehar Akhtar · Muhammad Issa Kha & Farrukh Faiz (2013). Effect of thawing on frozen meat quality; A comprehensive review, *Pakistan Journal of Food Science* 23(4), 198~211.
- Taher, B. J. & Farid, Mohammed M.(2001). Cyclic microwave thawing of frozen meat: experimental and theoretical investigation. *Chemical Engineering and Processing* 40(4), 37~389.
- Wang, Jian · Luechapattanaporn, Kunchalee · Wang, Yifen & Tang, Juming(2012). Radio-frequency heating of heterogeneous food-meat lasagna. *Journal of Food Engineering* 108(1), 183~193.
- Yang, Jun · Zhao, Yanyun & Wells, John Henry (2003). Computer simulation of capacitive radio frequency (RF) dielectric heating on vegetable sprout seeds. *Journal of Food Process Engineering* 26(3), 239~263.

-
- Received : 30 June, 2016
 - Revised : 13 July, 2016
 - Accepted : 27 July, 2016