



배치식 및 연속식 고주파해동기 사용에 따른 냉동수산물의 해동 시 품질에 미치는 영향

정연경 · 정민홍* · 김보경 · 정석봉** · 조영제†

부경대학교(학생) · *국방기술품질원(연구원) · ** (주)참코청하(대표이사) · †부경대학교(교수)

Effect of Batch and Continuous-Type High-Frequency Thawing on the Quality of Frozen Fish Blocks

Yeon-Gyeom JEONG · Min-Hong JEONG* · Bo-Kyoung KIM · Seog-Bong JUNG** · Young-Je CHO†

Pukyong National University (student) · *Defence Agency for Technology and Quality(researcher) ·

**Chamco chungha Co. Ltd(CEO) · †Pukyong National University(professor)

Abstract

The present study evaluated the effects of batch and continuous high-frequency (HF) thawing methods on frozen fish blocks. Samples were thawed by natural air convection thawing (NCT), or batch (1kW), or continuous (7kW) HF (27.12 MHz) thawing methods.

The quality aspects of the thawed samples were evaluated by measuring drip loss, water holding capacity, extractive-nitrogen, and viable cell count. The drip loss was similar between the two HF thawing modes (0.47-0.87 g/100 g [batch], 0.1-0.74 g/100 g [continuous]). The water holding capacity did not differ between the two methods. The extractive-nitrogen content significantly differed between the two methods (276.8-420.3 mg/100 g [batch] vs 307.1-485.6 mg/100 g [continuous], $p < 0.05$). The viable cell count range was 10^2 to 10^3 CFU/g (batch) and <20 to 10^2 CFU/g (continuous).

Our findings indicate that HF thawing provides rapid defrosting with minimal quality deterioration of frozen fish blocks.

Key words : High frequency thawing, Drip, Viable cell count, Frozen fish

1. 연구의 필요성

전 세계 수산물의 총 소비량은 2014년 기준으로 약 1억4,600만톤으로 수산물 총 생산량의 87%를 차지하고 있으며, 식용으로 소비된 수산물의 46%(6,700만톤)는 활어, 선어, 냉장 형태로 시장에 유통되며, 나머지는 건조·염장·훈제(12%), 보존처리(13%), 냉동(30%) 등 형태로 가공되어 유통된다(FAO, 2016). 우리나라는 2017년 어업 총 생

산량은 약 375만톤, 총 생산액은 약 8조 6천억 규모이다(KOSIS, 2018). 이들 수산물은 대부분 냉동품으로 가공되고 있으며, 전체 수산가공품 중의 생산비중이 69%를 차지하고 있다. 냉동품은 수산물의 보존과 품질유지, 적정가격의 유지, 원활한 수급을 위하여 필수적이다(Son et al., 2011). 특히 수산식품 산업에서 지속적이고 안정적인 원료 공급이 가능하게 하며, 계획 생산 수립과 안정적인 생산이 가능하도록 하는 저장 및 가공방

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

* 이 논문은 한국해양과학기술진흥원(KIMST)에 의해 연구되었음.

법이다. 이러한 냉동은 이용하기 전에 반드시 해동과정이 필요하며, 특히 냉동수산물의 품질은 동결속도와 저장 중 냉동온도 변화폭이 가장 큰 영향을 미치지만, 해동과정 또한 최종제품의 품질에 큰 영향을 주게 된다(Hong et al., 2005). 해동은 물과 얼음의 열전도와 열확산 차이에 의해 냉동보다 느리게 진행되기 때문에 냉동식품은 해동시 냉동처리보다 더 많은 품질변화가 발생한다(Hong et al., 2007). 그리고 어류의 해동속도는 근육의 조직구조와 수분, 지방 등 구성성분이 종류에 따라서 차이가 있으며, 근육의 수분과 지방 비율도 해동속도 등을 좌우하게 된다(Haugland, 2002).

일반적으로 산업계에서 사용되는 해동과정은 자연해동, 유수해동, 폭기해동, 열풍해동이 사용되는데, 이러한 해동방법은 긴 해동시간과 해동시 사용되는 물로 인한 2차 오염 등이 발생하게 된다(Jung et al., 2016). 긴 해동시간은 드립발생량이 증가하며 유용성분이 유출되어 식감, 맛 등이 저하되고 중량감소도 발생할 수 있다. 따라서 산업계에서 일반적으로 사용하는 해동방법에 비하여 해동시간이 단축되어 드립발생량이 적은 고주파해동장치가 개발되어 일부 연구가 진행되었다(Jung et al., 2016).

따라서 본 연구에서는 전보(Jung et al., 2016)에 이어, 박스포장된 냉동수산물을 배치식 및 연속식 고주파해동장치로 해동 시 이화학적 특성을 평가하여 품질변화에 미치는 영향을 조사하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험 재료

실험에 사용된 시료는 고등어(*Scomber japonicus*), 명태(*Theragra chalcogramma*), 삼치(*Scomberomorus nipponius*), 조기(*Larimichthys crocea*)를 사용하였으며, 포장규격은 상업적으로 이용되고 있는 일반적인 용량으로 포장되었다.

고등어는 300~600 g 개체가 10 kg 단위로 동결된 block, 명태는 700~800 g 개체가 20 kg 단위로 동결된 block, 삼치는 700~900 g 개체가 15 kg 단위로 동결된 block, 조기는 300~400 g 개체가 5 kg 단위로 동결된 block을 시료로 각각 사용하였다. 각 시료는 1차적으로 비닐로 포장한 후 박스포장된 상태이며, 대략 6개월 동안 -18°C 냉동 창고에 보관된 것이었다(<Table 1>).

<Table 1> Weight of frozen fish block, body weight, origin and harvested date of fishes used in this experiment

| | Mackerel | Alaska pollack | Japanese Spanish mackerel | Yellow croaker |
|-------------------|-------------|----------------|---------------------------|----------------|
| Block weight (kg) | 10 | 20 | 15 | 5 |
| Body weight (g) | 300~600 | 700~800 | 700~900 | 300~400 |
| Country of Origin | Korea | Russia | Korea | Korea |
| Harvested date | 2015. 3.31. | 2015. 3.31. | 2015. 3.31. | 2015. 4.25. |

2. 해동방법

고주파해동기는 (주)참코청하에서 개발된 장비를 사용하였으며, 주파수는 27.12 MHz의 고주파를 이용하였다. 배치식은 시간당 60~80 kg을 해동할 수 있는 용량이며, 전력은 1 kW이었다. 연속식은 시간당 500~600 kg을 해동할 수 있는 용량을 가졌으며, 전력은 7 kW이었다. 전극 간격 설정은 150~180 mm 이었고, 블록의 상부표면과 상부 전극 사이 거리는 50mm 설정되어 있었으며, 전극과 전극사이에 각 시료를 박스 포장된 상태 그대로 해동하였다. 이 때 해동 종료 온도는 어체 중심부가 -3°C 가 되는 온도로 설정하여 운전하였다. 이러한 온도를 설정한 이유는 완전히 해동된 상태가 아니기 때문에 가공적성이 가장 좋은 상태이기 때문이다(Koray Palazoğlu and Miran., 2017).

그리고 대조구로는 각 시료를 상온에서 자연해동하여 해동 후 시료의 품질을 비교하였다.

3. 실험 방법

가. 해동소요시간

해동소요시간은 냉동수산물을 해동을 시작하고부터 중심부 온도가 -3℃에 도달하였을 때까지 소요된 시간으로 하였다. 냉동수산물의 해동 종료 온도(-3℃)까지의 온도변화는 블록형태로 된 냉동수산물의 어체 중심부에 온도센서를 설치하여 온도자동기록장치(GTDL-620, Green Tech, Korea)를 이용하여 실시간으로 측정하였다. 온도 측정부위는 블록의 가장자리 4군데와 중심의 한 군데를 선정하여, 그곳에 위치하고 있는 어체에서 온도를 확인하였다.

단, 고주파해동 시 고주파에 의하여 온도센서가 손상되기 때문에 온도 측정 시 5분 간격으로 고주파장치를 멈추고 직접 어체의 표면부 5개체, 중심부 5개체에 온도계(TPI 330, Misumi, Korea)로 측정하여 평균값을 사용하였다.

나. 드립량 측정

해동 직후의 시료를 일정크기(1×1×1 cm)로 절단하여 여과지(No.5, Adventec, Japan) 사이에 놓아둔 후 물성측정기(Compac-100, Sun Scientific Co. Ltd., Japan)를 이용하여 10 kg/cm³ 하중으로 20초 동안 가압하여 여과지중량 변화를 근육 중에서 빠져나온 드립 함량으로 측정하였다.

다. 수분보유력 측정

5 g으로 절단한 시료를 항온수조에서 98℃, 30분간 가열한 후 원심분리(1,628×g, 30 min)하여 상층액에 대한 무게를 측정하고, 아래와 같이 계산하였다.

$$\text{Water Holding Capacity (WHC, \%)} = \frac{\text{해동 전 시료무게(g)} \times \text{시료의 수분의 함량(\%)} - \text{이탈된 수분의 무게(g)}}{\text{해동 전 시료무게(g)/100}}$$

라. 엑스분질소 함량 측정

균질화된 시료 5 g과 20% TCA (Trichloroacetic acid) 20 mL를 원심관에 넣고 균질기 (PD-MR 3100D, Kinematica, Switzerland)로 시료가 골고루 분쇄되도록 한 후 원심분리(916×g, 10분)하여, 상층액 10 mL를 A.O.A.C(1995)법에 따라 Semimicro Kjeldahl 법으로 측정하였다.

마. 일반세균수 측정

각각의 시료는 20 g씩 취하여 멸균 stomacher bag에 넣은 후 멸균된 0.85% 식염수 180 mL를 가하여 stomacher (BagMixer 400, Interscience, France)를 이용해 2분간 균질화 시켰다. 균질화된 용액을 멸균된 0.85% 식염수를 이용하여 연속적으로 희석한 후 희석액 1 mL를 각각의 건조필름 배지 중앙에 접종한 뒤 건조필름배지를 35±1℃의 배양기에서 24시간 동안 배양하였다. 배양 후 액화 현상이 없고 배지 당 30~300개 colony를 생성한 평판을 선택하여 일반세균의 경우는 생성된 붉은 집락수를 계산하여 CFU/g으로 나타내었다.

바. 통계분석

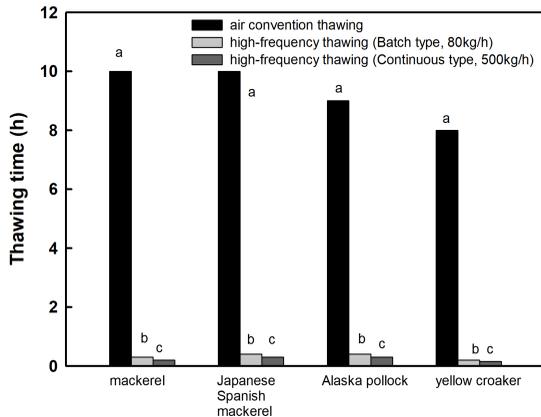
통계분석 통계분석은 SAS 통계프로그램 (Statistical analysis system, Ver. 9.3, SAS Institute Inc., Cary, NC, USA)을 이용하여 각 측정군의 평균과 표준편차를 산출하고 처리 간의 차이 여부를 ANOVA(analysis of variation)로 분석한 뒤 Duncan's multiple range test(Steel and Torrie, 1980)를 이용하여 95% 유의수준 에서 유의성을 검정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 해동 소요시간 비교

실험에 사용된 각 어종의 해동 종료 온도까지 소요된 시간은 자연해동의 경우 고등어와 삼치가 10시간, 명태가 9시간, 조기가 8시간이 소요되었다.

연속식 고주파해동은 배치식에 비해 -3℃까지 해동하는 데 걸린 시간이 고등어는 약 30분에서 약 20분으로 단축되었으며, 삼치는 약 40분에서 30분으로, 명태는 약 40분에서 30분, 부세는 약 20분에서 15분이 소요되었다(Fig. 1)]. 이를 통하여 연속식 고주파해동장치를 이용 시 빠르고 균 일한 해동을 기대할 수 있을 것으로 사료된다.



[Fig. 1] The comparison of thawing time until -3℃ of frozen fish block thawing using batch and continuous HF thawing.

Mean values in the same group that are not followed by the same letter are significantly different in Duncan's multiple comparison test (P<0.05).

동결 보리새우 (23.0 × 16.8 × 5.0 cm)를 포장된 상태로 500 W와 1 kW 용량의 마이크로웨이브를 이용하여 -22℃ 시료를 -3℃~ -5℃까지 해동하는 데 소요되는 시간은 각각 10분과 4분이었다 (Koray Palazoğlu and Miran, 2017). 그리고 동결된 무, 돼지고기, 소고기, 참치, 닭을 고주파 용량 (0~400 W)에 따라 -30℃에서 0℃까지 해동되는데 소요되는 시간은 400 W에서는 15~20분 소요된다고 보고하고 있어, 용량의 증가와 해동시간과는 밀접한 관계가 있었다(Kim et al., 2013).

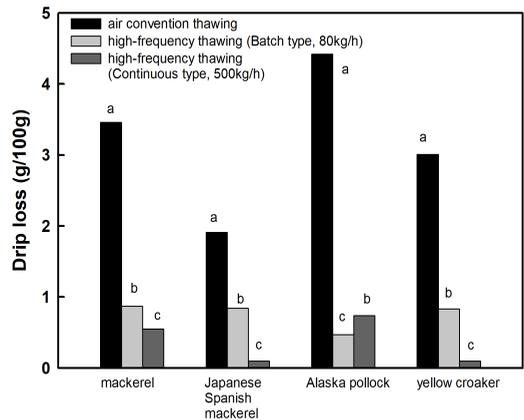
일반적으로 냉동은 유통 기한을 연장하기 위한 수단이며, 운송 및 보관 중에 원료 보존에 사용된다. 그리고 냉동된 육류, 가금류 및 해산물 등

을 섭취하거나 가공하기 위한 해동은 가장 안전하고 신속하게 -5℃~ -2℃로 해동하는 것이다 (Bedane et al., 2017).

따라서 본 연구결과에 사용된 고주파(27.12 MHz)는 침투력이 다른 주파수 보다 우수하여 신속하게 해동이 가능하며, 배치식보다 연속식에서 사용된 고주파 전력이 높기 때문에 해동시간이 더 단축되었다.

2. 드립(Drip) 발생량

고등어, 삼치, 명태, 조기 4종 어류의 냉동포장 블록을 자연해동, 배치식, 연속식 고주파해동한 후 드립(drip)량을 측정하였다. 자연해동 시 각 어종의 드립발생량은 고등어가 3.46 g/100 g, 삼치가 1.91 g/100 g, 명태가 4.42 g/100 g, 조기가 3.01 g/100 g이었다. 그러나 고주파해동에서는 배치식과 연속식 모두가 어종에 관계없이 1 g/100 g 이하였는데, 배치식은 0.47~0.87 g/100 g이었으며, 연속식은 0.10~0.74 g/100 g로, 연속식이 배치식에 비하여 드립발생량이 다소 낮았다(Fig. 2).



[Fig. 2] The comparison of loss of drip of frozen fish block thawing using batch and continuous HF thawing.

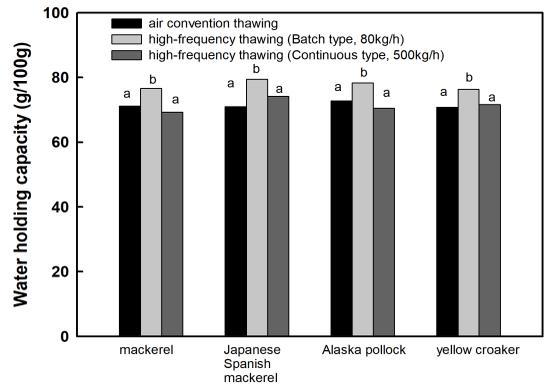
Mean values in the same group that are not followed by the same letter are significantly different in Duncan's multiple comparison test (P<0.05).

한편, Choi et al.(2016)과 Xia et al.(2012)은 동결 돼지고기 loin을 20℃에서 수중 침지해동에 의한 해동 시 드립량은 6.33%이었고, 4℃ 강제대류 해동과 고주파해동에 의한 해동된 드립량은 1.42~1.98%이었다고 보고한 바 있는데, 이는 본 실험의 결과와 유사하였다.

3. 수분보유력

실험에 사용된 4종의 냉동어류인 고등어, 삼치, 명태, 조기의 블록을 자연해동, 배치식, 연속식 고주파해동한 후 각 시료의 수분보유력을 측정된 결과물 [Fig. 3]에 나타내었다. 수분보유력은 드립(drip)량 결과와는 반비례하였으며, 이는 해동 후 드립(drip)량의 차이에 의해서 육이 가지고 있는 보수력의 차이가 발생하기 때문이다.

4종 냉동어류블록의 자연해동에 의한 수분보유력은 고등어의 경우 71.13 g/100 g, 삼치의 경우 70.98 g/100 g, 명태의 경우 72.75 g/100 g, 조기의 경우 70.84 g/100 g이었다. 이에 반하여 4종 냉동어류블록의 배치식 및 연속식 고주파 해동에 수분보유력은 고등어의 경우 각각 76.63 g/100 g, 및 69.31 g/100 g, 삼치의 경우 각각 79.47 및 74.21 g/100 g, 명태의 경우 각각 78.29 및 70.56 g/100 g, 조기의 경우 각각 76.37 및 71.59 g/100 g이었다. 이와 같은 결과로 미루어 보아 해동 어류의 수분보유력은 자연해동에 비하여 고주파해동이 모든 어종에서 높았으나, 용량에 따른 차이는 어종에 따라 차이가 있었다. 수분보유력의 감소로 인한 동결제품의 직접적인 영양소 손실을 판단하기 어렵지만 식감변화 등에 영향을 주기 때문에 품질에는 영향을 준다고 볼 수 있다(Lan et al., 2016). 이러한 육류에서의 수분보유력은 근원섬유단백질의 구조에 영향을 받게 되며, 이온강도, pH, 보관온도의 변동에 의한 변성, 수분의 결합형태에 영향을 받게 된다(Ali et al., 2015; Huff-Lonergan et al., 2005).



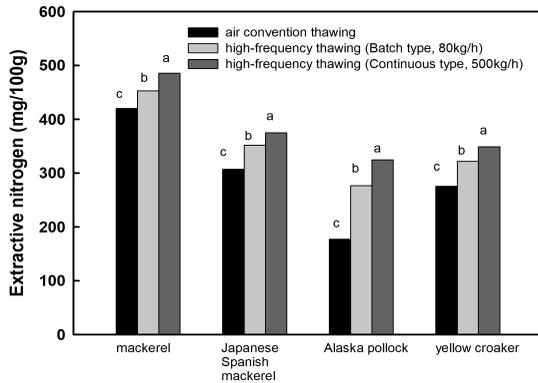
[Fig. 3] The comparison of water holding capacity of frozen fish block thawing using batch and continuous HF thawing.

Mean values in the same group that are not followed by the same letter are significantly different in Duncan's multiple comparison test ($P < 0.05$).

4. 엑스분질소 함량

일반적으로 동결어류의 해동 중 발생하는 드립에는 수용성 성분이 다량 함유되어 있어 과도한 경우 냉동품의 품질, 특히 맛이 저하하게 된다. 해동방법에 따라 해동된 4종의 냉동어류의 근육에서 엑스분질소 함량을 살펴본 결과는 [Fig. 4]와 같다.

자연해동처리한 냉동어류의 엑스분 질소 함량은 고등어의 경우 420.3 mg/100 g, 삼치의 경우 307.1 mg/100 g, 명태의 경우 177.2 mg/100 g, 조기의 경우 275.7 mg/100 g이었다. 배치식과 연속식으로 각각 달리하여 고주파해동 처리한 냉동어류의 엑스분질소 함량은 고등어가 각각 452.9 및 485.6 mg/100 g, 삼치가 각각 351.8 및 375.2 mg/100 g, 명태가 각각 276.8 및 324.7 mg/100 g, 조기가 각각 322.2 및 348.9 mg/100 g이었다. 따라서 엑스분질소 함량은 어류의 종류에 관계없이 모두 자연해동법보다 고주파해동법이 높았고, 고주파해동법 간에는 연속식이 배치식보다 높았다 ([Fig. 4]).



[Fig. 4] The comparison of extractive nitrogen content of frozen fish block thawing using batch and continuous HF thawing.

Mean values in the same group that are not followed by the same letter are significantly different in Duncan's multiple comparison test ($P < 0.05$).

5. 일반세균수

4종의 냉동어류 블록을 자연해동, 배치식과 연속식 고주파해동장치로 해동한 후 근육 중의 일반세균수를 측정된 결과를 <Table 2>에 나타내었다. 자연해동한 어류의 일반세균수는 고등어가 2.43×10^5 CFU/g, 명태가 2.08×10^5 CFU/g, 삼치가 5.90×10^3 CFU/g, 조기가 7.55×10^4 CFU/g이었다. 반면 배치식 고주파해동장치를 이용하여 해동된 시료의 일반세균수는 $1.0 \times 10^2 \sim 1.20 \times 10^3$ CFU/g이었으며, 연속식 고주파해동장치를 이용하여 해동된 시료의 일반세균수는 $<20 \sim 2.01 \times 10^3$ CFU/g이었다.

자연해동은 해동시간이 길고 세균이 번식하기 쉬운 온도대에 장시간 방치하므로 세균에 대한 오염이 비교적 용이하였다. 그리고 고주파해동에 의하여 해동된 냉동어류 근육의 일반세균수 농도는 $<20 \sim 1,000$ CFU/g으로, 고주파해동기의 용량과 상관없이 일반세균수 함량은 자연해동에 비하여 월등히 낮았다. 이러한 동결과 해동 과정의 살균 효과는 수분이 농축된 세포외액의 노출이나 삼투압에 의한 탈수에 의한 박테리아 세포막 파괴의 결과로 발생하게 된다고 보고하고 있다(Sriket et al., 2007).

<Table 2> The comparison of viable cell count capacity of frozen block fishes by various thawing methods (CFU/g).

| Fish block | Room temperature thawing | High frequency thawing (batch type) | High frequency thawing (Continuous type) |
|---------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--|
| Mackerel | 2.43×10^5 | 1.00×10^2 | <20 |
| Alaska pollock | 2.08×10^5 | 3.50×10^2 | 1.06×10^2 |
| Japanese Spanish mackerel | 5.90×10^3 | 6.00×10^2 | 2.01×10^3 |
| Yellow croaker | 7.55×10^4 | 1.20×10^3 | <20 |

IV. 결론

본 연구에서는 산업현장에서 주로 사용되는 블록형태의 냉동포장 수산물을 배치식과 연속식 고주파해동기를 이용하여 해동 시 냉동수산물의 품질에 미치는 영향에 대해 알아보았다. 고주파 해동은 자연해동에 비해 가공적성이 가장 좋은 -3℃까지의 해동완료 시간을 크게 단축시킬 수 있었다. 그리고 고주파해동장치의 시간당 처리 용량이 증가된 연속식 고주파해동기는 배치식 고주파해동기에 비해 해동속도가 단축됨으로 인하여 드립발생량이 감소하였으며, 수분보유력과 엑스분질소 잔존량이 높았다.

따라서 고주파해동 장치를 이용하여 냉동 수산물을 해동하면 품질의 변화를 최소화할 수 있고, 해동시간 또한 크게 단축할 수 있어 해동방법 중 가장 적합한 방법이라 판단된다.

References

A.O.A.C(1995). Official methods of analysis. 16th ed. Association of official analytical chemists, Washington D.C. USA.

- Ali S, Zhang W, Rajput N, Khan M, A Li, C B and Zhou GH(2015). Effect of multiple freeze-thaw cycles on the quality of chicken breast meat. *Food Chem.* 173, 808~814.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.095>
- Bedane T, Marra F, Wang S(2017). Performance comparison between batch and continuous thawing of food products assisted by radio frequency heating. *Chem. Eng. Trans.* 57, 2017~2022.
<https://doi.org/10.3303/CET1757337>
- Choi HJ, Lee SY, Lee JS, Kim SJ, Seo JH, Lee JG, Kim HY, Shin HR, Cho SK, Shin MJ and Choi MJ(2016). Effect of packaging, freezing, and thawing methods on the quality properties of sweet potato stem. *Food Eng. Prog.* 20, 111~119.
<http://dx.doi.org/10.13050/foodengprog.2016.20.2.111>
- FAO(2016). The state of world fisheries and aquaculture 2016. Rome. pp. 200.
- Haugland A(2002). Industrial thawing of fish: To improve quality, yield and capacity. PhD. Norway: Norwegian University of Science and Technology Trondheim. 14~22.
- Hong GP, Min SG, Ko SH, Shim KB, Seo EJ, Choi MJ(2007). Effect of brine immersion and electrode contact type low voltage ohmic thawing on the physico-chemical properties of pork meat. *Korean J. Food Sci. Ani. Resour.* 27, 416-423.
<https://doi.org/10.5851/kosfa.2007.27.4.416>
- Hong GP, Park SH, Kim JY, Lee CH, Lee S and Min SG(2005). The effect of thawing rate on the physicochemical properties of frozen ostrich meat. *Food Sci. Biotechnol.* 14, 676~680.
- Huff-Lonergan E and Lonergan SM(2005). Mechanisms of water-holding capacity of meat: The role of postmortem biochemical and structural changes. *Meat Sci.* 71, 194~204.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.04.022>
- Jung SB, Seo TR, Kim BK, Cho YJ(2016). Effect of high frequency thawing and general thawing methods on the quality of frozen Mackerel, Alaska pollack, Japanese Spanish mackerel, and Yellow croaker. *JFMSE.* 28, 1152~1158.
<http://dx.doi.org/10.13000/JFMSE.2016.28.4.1152>
- Kim YB, Jeong JY, Ku SK, Kim EM, Park KJ and Jang A(2013). Effects of various thawing methods on the quality characteristics of frozen beef. *Korean J. Food Sci.* 33, 723~729.
<http://dx.doi.org/10.5851/kosfa.2013.33.6.723>
- Koray Palazoğlu T and Miran W(2017). Experimental comparison of microwave and radio frequency tempering of frozen block of shrimp. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 41, 292~300.
<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.04.005>
- KOSIS(2018). Fisheries production trend summary table.
- Lan Y, Shang Y, Song Y and Dong Q(2016). Changes in the quality of superchilled rabbit meat stored at different temperatures. *Meat Sci.* 117, 173~181.
<https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.02.017>
- Son CH, and Oh HK(2011). Present situation and analysis of cold storage facilities for fisheries products. *Korean J. Air-Cond. Refrig. Eng.* 23, 406~412.
<http://dx.doi.org/10.6110/KJACR.2011.23.6.406>
- Sriket P, Benjakul S, Visessanguan W and Kijroongrojana K(2007). Comparative studies on the effect of the freeze - thawing process on the physicochemical properties and microstructures of black tiger shrimp (*Penaeus monodon*) and white shrimp (*Penaeus vannamei*) muscle. *Food Chem.* 104, 113~121.
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.11.004>
- Steel RGD and Torrine JH(1980). Principle and procedures of statistics, 1 st ed. Tokyo, McGraw-Hill Kogakusha, Japan, 187-221.
- Xia X, Kong B, Liu J, Diao X and Liu Q(2012). Influence of different thawing methods on physicochemical changes and protein oxidation of porcine longissimus muscle. *LWT Food Sci. Technol.* 46, 280~286.
<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.09.018>

• Received : 11 February, 2019

• Revised : 28 May, 2019

• Accepted : 19 August, 2019