

## 진공분무 냉각에 의한 자숙 가다랑어(*Katsuwonus pelamis*)의 냉각 및 품질 특성에 관한 연구

이태헌 · 구재근<sup>1\*</sup>

세인 NW, <sup>1</sup>군산대학교 식품생명공학과

### Effects of Vacuum Cooling Followed by Water Spraying on the Quality of Precooked Skipjack *Katsuwonus pelamis*

Tae-Hun Lee and Jae-Geun Koo<sup>1\*</sup>

SEIN NW, Gangneung 210-340, Korea

<sup>1</sup>Department of food science and biotechnology, Kunsan National University, Kunsan 573-440, Korea

The cooling of precooked skipjack *Katsuwonus pelamis* is a critical thermal process in tuna canning because it affects the quality and yield of the canned tuna, as well as productivity. The combined method of vacuum cooling followed by water spraying (VC-WS) was investigated to increase cooling rates, and prevent loss of yield of the precooked tuna during vacuum cooling. For VC-WS, the precooked skipjack was cooled to 30°C by vacuum at 31 mmHg and then wetted by spraying water for 2 min. The effects of VC-WS on cooling times, cooling loss, color, texture and lipid oxidation of the precooked tuna were compared with conventional spray cooling (SC). The cooling times for precooked skipjack from 75°C - 30°C were 11 min for VC-WS and 145 min for SC. The cooling losses were 1.7 % for VC-WS and 1.6 % for SC. Peroxide and thiobarbituric acid (TBA) values of VC-WS were lower than those of SC. The loin of the VC-WS -treated skipjack was brighter and harder than the SC loin, as indicated by higher lightness and hardness values. Based on these results, we believe that the VC-WS process could compensate for the cooling loss of vacuum cooling and minimize changes in quality that occur during cooling of precooked skipjack tuna.

Key words: Precooked skipjack, Vacuum cooling followed by water spraying, Cooling rate, Cooling loss

## 서 론

참치통조림 제조 시 자숙공정의 주요 목적 중 하나는 해동한 가다랑어의 중심온도를 65°C에 도달할 때까지 스팀 가열하여 육이 단단하게 되도록 육 단백질을 부분 변성시켜 클리닝 작업(cleaning)을 효율적으로 하기 위해서이다. 그러나 자숙된 가다랑어는 냉각 중 높은 온도로 인하여 색상 변화, 지질 산패 발생, 잔존 효소와 미생물에 의해 육의 분해 등 품질저하가 발생하므로 가능한 단시간에 중심온도가 30-35°C가 되도록 냉각을 하는 것이 바람직하다(Zhang et al., 2002). 현재 참치통조림 제조공정에 널리 사용되고 있는 분무냉각(water spray cooling)은 냉각시간이 오래 걸리고 다량의 용수가 필요하고 폐수가 과도하게 발생하는 문제점이 있다. 따라서 보다 신속하고 친환경적인

냉각시스템의 개발이 필요하다.

진공냉각은 진공상태에서 시료의 수분을 증발시켜 이때 생성되는 증발 잠열을 이용하여 시료를 냉각하는 방법으로 냉각이 신속하고, 온도가 균일하며, 냉각용수가 필요하지 않는 매우 효율적인 냉각방법이다(Zheng and Sun, 2004). 그러나 진공 냉각은 수분 증발이 발생하고 이로 인하여 중량 감소가 필연적으로 발생하게 되어 송풍 냉각, 저온 저장, 냉수 침지 냉각보다 냉각 손실률이 높다(Desmond et al., 2000; Zhang et al., 2013). 이에 따라 진공 냉각의 단점인 중량 감소율을 줄이기 위해 여러 방안이 연구되었는데 증발 속도를 조절하는 방법(McDonald and Sun, 2001), 액에 침지하여 진공 냉각하는 방법(Houska et al., 2003; Cheng and sun, 2006; Dong et al., 2012) 등이 보고되어 있다.

#### Article history;

Received 16 December 2013; Revised 13 January 2014; Accepted 17 January 2014

\*Corresponding author: Tel: +82. 63. 469. 1828 Fax: +82. 63. 469. 1821

E-mail address: kseaweed@kunsan.ac.kr

Kor J Fish Aquat Sci 47(1) 012-017, February 2014

<http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2014.0012>

pISSN:0374-8111, eISSN:2287-8815

© The Korean Society of Fishereis and Aquatic Science. All rights reserved

본 연구에서는 냉각 손실을 줄이기 위해 먼저 자숙된 가다랑어를 진공 상태에서 냉각을 한 후 진공을 풀기 전에 물을 2분간 분무하는 진공-분무 냉각방법(vacuum cooling followed by water spraying, VC-WS)을 이용하여 자숙 가다랑어의 냉각 및 품질 특성을 분무 냉각 방법(spray cooling, SC)으로 냉각한 자숙 가다랑어와 비교 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 재료 및 진공 냉각 장치

실험에 사용한 가다랑어(*Katsuwonus pelamis*)는 중량 2.5-3.0 kg 크기로 동원 F&B 창원공장에서 구하여 -20℃의 냉동고에 보관하여 두고 실험에 사용하였다. 시료 가다랑어의 수분은  $71.0 \pm 0.2\%$ , 단백질은  $25.1 \pm 0.3\%$ , 지질은  $1.7 \pm 0.2\%$ 이며 VBN은  $22.1 \pm 0.5 \text{ mg}\%$ 이다. 스팀 자숙 및 진공 냉각 장치는 자체 제작하였으며 내부 용량은 300 L이고, 탱크와 진공 펌프 사이에 드라이아이스 응축기를, 탱크 하부에는 증기 방출관을, 상부에는 분무 라인을 설치하였다(Lee and Koo, 2012).

### 자숙 및 냉각

해동 후 내장을 제거한 가다랑어를 Fig. 1과 같이 온도 센서를 설치한 후 스팀 자숙 및 진공 냉각 장치에 넣고 100-102℃ 스팀으로 중심온도가 65℃에 도달할 때까지 자숙하였다. 자숙 종료 직후 압력조절 밸브와 배수 밸브를 완전히 열어 스팀과 응축수를 제거하였다. 진공냉각(VC)은 밸브를 다시 닫고 진공 펌프로 31 mmHg까지 감압하여 중심 온도가 30℃에 도달할 때까지 냉각하였다. 진공-분무 냉각(VC-WS)은 진공 냉각 후 물 공급 밸브를 열어 2분간 분무한 다음 압력조절 밸브를 서서히 열어 진공을 해제함으로써 냉각을 종료하였다. 분무냉각(SC)은 자숙이 종료된 직후 배수 밸브와 문을 열어 장치 내의 스팀과 응축수를 완전히 제거하고 물 공급 밸브를 열어 냉각수를 10분 간격으로 분무하였다. 어체의 중심 품온이 30℃가 되면 냉각을 종료하였다.

### 냉각 손실률과 로인 수율

냉각 전후의 가다랑어와 로인의 중량은 전자저울(Model MW II, CAS Co., Korea)로 측정하였다. 냉각 손실률은 냉각 전과 냉각 후 중량 차이로 구하였고 로인 중량은 냉각을 마친 가다랑어에서 두부, 꼬리, 지느러미, 뼈, 껍질 등의 비가식부와 적색육을 제거한 백색육을 모아 중량을 측정하여 구하였다.

### 이화학적 특성 측정

산가와 과산화물가는 AOAC 방법(2003)에 따라 측정하였으며, Thiobarbituric acid (TBA값)은 수증기 증류법(Tarladgis et al., 1960)으로 측정하였다. 지방산 분석은 Folch et al. (1957)의 방법에 따라 지질을 추출하여 methyl ester한 후 GC로 분리 동정하였다. GC 분석조건은 Hewlett Packard GC Model 6890

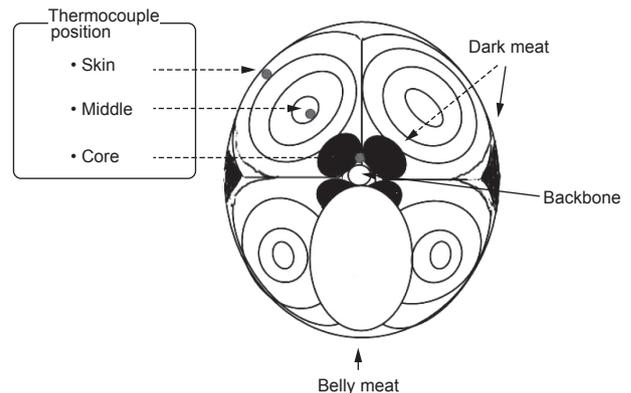


Fig. 1. Cross section of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* and location of thermocouples.

로 검출기는 FID (Flame ionization detector), 칼럼은 Supelco Omega wax 250 (30.0 m × 250 μm, 0.25 μm)을 사용하였다. 시료 주입구와 검출기 온도는 모두 240℃이고, 이동상 기체 He의 유속은 1.1 mL/min이다. 컬럼 온도는 140℃에서 2분간 유지시키고 200℃까지 4℃/min의 속도로 상승시켜 3분간 유지하고, 200℃에서 220℃까지 4℃/min으로 상승시킨 후 50분간 유지하여 분석하였다.

### 색차와 조직감 측정

색차와 조직감 측정을 위해 가다랑어 로인을 육각형(L 30 mm × W 20 mm × H 20 mm)으로 절단하여 측정 시료로 사용하였다. 색차는 색차계(Model JC-801, Color Techno System Co., Japan)를 사용하여 CIE LAB system으로 측정하였다. 조직감은 경도, 탄력성 및 응집성을 Rheometer (Compac-100, Sun Scientific Co., Japan)를 사용하여 table speed를 60 mm/min으로 측정하였다.

### 통계처리

결과의 통계처리는 SPSS version 10.1K (SPSS, Michigan Avenue, Chicago, IL, USA) program을 사용하여 ANOVA-test를 실시한 후, Duncan's multiple range test로 평균간 유의성을 검정하였다.

## 결과 및 고찰

### 냉각속도

냉동 가다랑어를 해동한 후 100-102℃ 스팀으로 자숙하였다 (Fig. 2). 중심 품온은 65℃에 도달할 때까지 90분이 소요되었으며, 자숙 종료한 후에도 중심 품온이 75℃까지 자연 상승하였다. 반면에 표피 온도는 자숙 시작 후 급속히 증가하여 20분 만에 90℃에 도달하고 이후 자숙이 종료 될 때까지 100℃를 유지되어 고온에 장시간 노출되었다. 자숙된 가다랑어를 냉각하

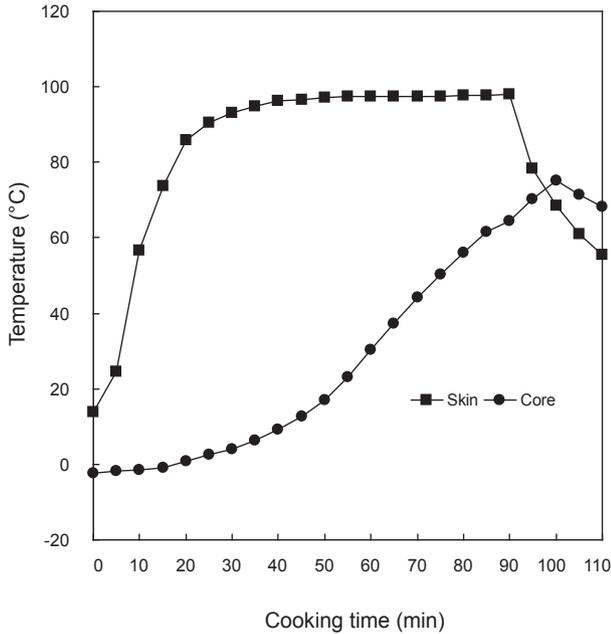


Fig. 2. Changes in temperature of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* during steam cooking at 100°C.

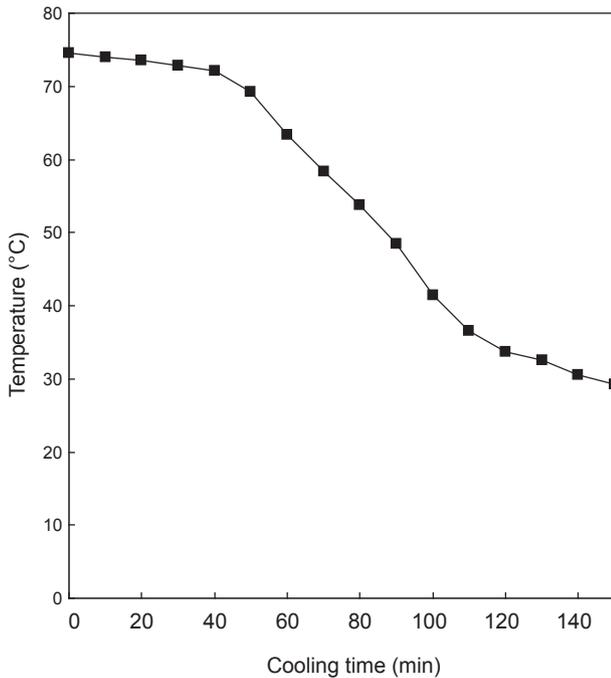


Fig. 3. Change in core temperature of cooked skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* during spray cooling (SC).

기 위해 진공 냉각(31 mmHg, 30°C)과 분무냉각을 실시하였다. 중심온도가 30°C까지 냉각 되는데 소요된 시간은 분무 냉각은 145분, 진공냉각은 9분이 소요되었다. 또한 부위별 온도 분포도 매우 균일하여 냉각 3분 후에는 표피와 중심 품온의 차이

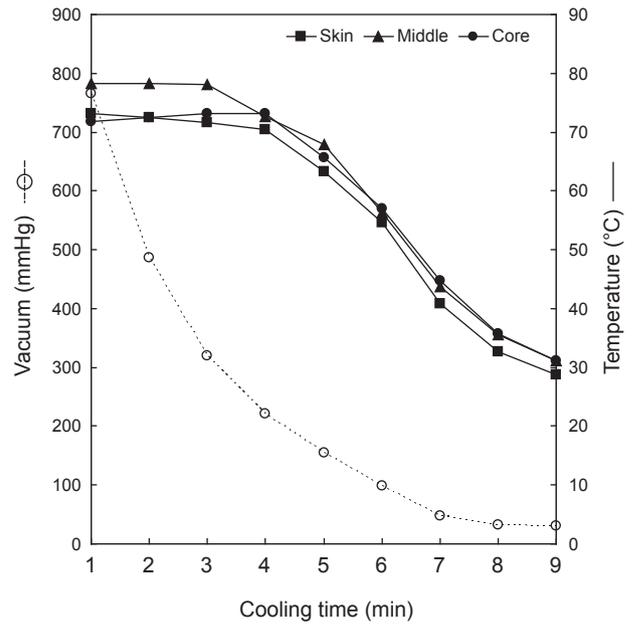


Fig. 4. Changes in vacuum pressure and temperature of cooked skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* during vacuum cooling (VC) at 31 mmHg (30°C).

가 3°C 미만 이었다(Fig. 3, 4). McDonald et al. (2000)은 3.75 kg (W 160 mm × H 130 mm × L 330 mm)의 쇠고기를 70°C에서 4°C로 냉각할 때 진공냉각은 2.8시간, 침수냉각은 14.2시간, 송풍 냉각은 8시간으로 진공냉각이 일반 냉각방법에 비하여 냉각 시간이 현저히 단축된다고 보고하였다. 진공냉각은 감압 하에서 시료의 수분이 증발할 때 발생하는 증발 잠열을 이용하여 시료를 냉각하는 방법으로 진공냉각은 송풍냉각, 냉수침지 등에 비하여 냉각속도가 빠르며 시료의 부위에 따른 냉각속도와 부위별 품온 차이가 적다(Zheng and Sun, 2004). 본 실험에서도 진공냉각이 분무냉각에 비하여 냉각속도가약 16배 정도 빨랐고, 표피와 중심부위가 균일하게 냉각되어 유사한 경향을 나타내었다.

### 냉각손실

냉각 방법에 따른 수율 차이를 확인하기 위해 냉각전과 냉각 후 중량 차이로 냉각 손실률을 구하고, 냉각 후 로인의 무게를 측정하여 로인 수율을 구하였다(Table 1). 분무 냉각의 경우 냉각 손실률과 로인 수율이 각각 1.6%, 42.9%였고, 진공 냉각은 각각 4.4%, 39.5%로 진공 냉각이 분무 냉각에 비해 냉각 손실률이 2.8% 높았으며 로인 수율은 3.4% 낮았다. 즉, 자숙 가다랑어의 경우 진공 냉각을 하면 분무 냉각에 비하여 냉각속도는 빠르나 냉각손실이 증가함을 알 수 있다. 이는 진공냉각이 수분증발에 의한 증발 잠열에 의해 발생하므로 진공냉각이 송풍 냉각, 저온 저장, 냉수 침지 냉각보다 중량감소율이 증가되기 때문이다(Desmond et al., 2000; Zhang et al., 2013).

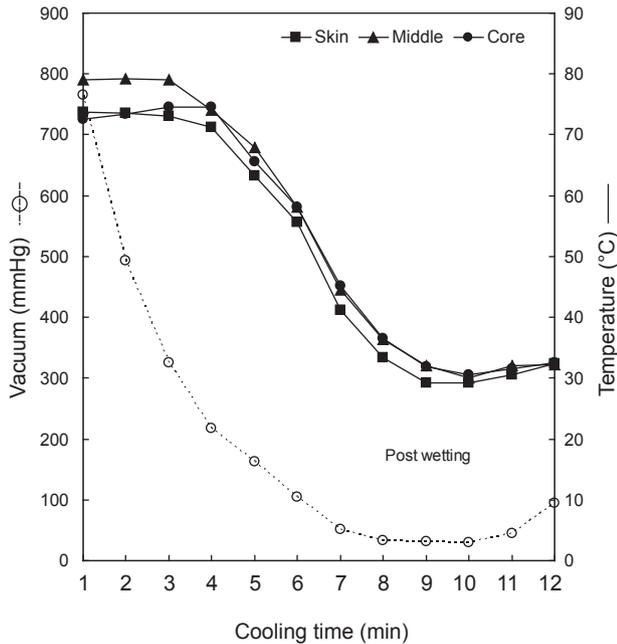


Fig. 5. Changes in vacuum pressure and temperature of cooked skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* during vacuum cooling followed by water spraying (VC-WS).

Table 1. Comparison of cooling losses and loin yields of cooked skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* cooled by spray cooling (SC) and vacuum cooling followed by water spraying (VC-WS)

	SC	Vacuum cooling <sup>1</sup>	
		VC	VC-WS
Cooling loss (%)	1.6 ± 0.3 <sup>a2</sup>	4.4 ± 0.2 <sup>b</sup>	1.7 ± 0.3 <sup>a</sup>
Loin yield (%)	42.9 ± 0.8 <sup>a</sup>	39.5 ± 0.7 <sup>b</sup>	42.6 ± 0.9 <sup>a</sup>

<sup>1</sup>Vacuum cooling condition: 31 mmHg/30°C.

<sup>2</sup> Different letters within a row denote significant differences ( $P < 0.05$ )

따라서 냉각 손실을 줄이기 위해 본 실험에서는 진공 냉각을 한 후 진공을 풀기 전에 물을 2분간 분무하는 진공-분무 냉각 (VC-WS) 방법을 검토하였다. 진공-분무 냉각한 자숙 가다랑어의 냉각 속도 및 냉각 손실률은 Fig. 5와 Table 1과 같다. 어체 중심 품온이 30°C로 냉각될 때까지 걸리는 냉각 시간은 9분으로 진공 냉각보다 동일하였으나 2분간 분무 시간이 더 소요되어 총 11분이 소요되었다. 그러나 냉각 손실률의 경우 진공 냉각에 비하여 2.7%가 줄었고, 로인 수율은 3.1% 증가하여 진공 냉각 후 분무함으로써 진공 냉각시 발생하는 냉각 손실을 줄일 수 있음을 알 수 있었다. 진공-분무한 냉각 손실률은 기존의 분무 냉각의 냉각 손실률과 거의 차이가 없었다.

Table 2. Comparison of Peroxide value(POV) and Thiobarbituric acid(TBA) values of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* loin prepared by spray cooling (SC) and vacuum cooling followed by water spraying (VC-WS)

	SC	VC-WS
POV (meq/kg)	65.6 ± 0.3 <sup>2</sup>	61.2 ± 0.5
TBA value (OD at 420 nm)	17.7 ± 0.4	13.5 ± 0.5

<sup>1</sup>Vacuum cooling condition: 31 mmHg/30°C.

<sup>2</sup> Mean ± standard deviation (n=3)

Table 3. Fatty acid composition of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* loin prepared by spray cooling (SC) and vacuum cooling followed by water spraying (VC-WS)

Fatty acids	(Area %)	
	VC-WS	SC
C14:0	2.8	2.6
C14:1	1.0	0.1
C15:0	1.1	1.0
C16:0	25.9	26.4
C16:1	5.0	4.9
C17:0	1.4	1.4
C17:1	1.7	1.6
C18:0	8.6	9.5
C18:1	14.4	15.0
C18:2	0.9	0.9
C18:3	1.1	1.0
C19:0	0.7	0.6
C20:0	0.4	0.4
C20:1	0.4	0.5
C20:2	0.2	0.2
C20:3	0.1	0.1
C20:4	1.6	1.7
C20:5	3.4	3.3
C22:0	0.3	0.3
C22:1	0.4	0.4
C22:4	2.3	2.4
C22:5	0.7	0.7
C22:6	25.7	25.1
Saturated fatty acids	41.2	42.3
Unsaturated fatty acids	58.8	57.7

### 지질 산화와 지방산 조성

냉각 방법이 가다랑어 지질의 산화에 미치는 영향을 알기 위해 과산화물가와 TBA값을 측정하였다(Table 2). 과산화물가와 TBA가 진공-분무 냉각의 경우 각각 61.2 meq/kg, 13.5, 분무 냉

Table 4. Color value and texture profiles of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* loin prepared by spray cooling (SC) and vacuum cooling followed by water spraying (VC-WS)

		SC	VC-WS
Color	L	60.5 ± 2.1 <sup>a2</sup>	63.7 ± 2.2 <sup>b</sup>
	a	5.6 ± 0.5 <sup>a</sup>	7.0 ± 0.7 <sup>b</sup>
	b	14.5 ± 0.4 <sup>a</sup>	13.2 ± 0.3 <sup>b</sup>
Texture	Hardness (dyne/m <sup>2</sup> )	603 ± 27 <sup>a</sup>	633 ± 39 <sup>b</sup>
	Springiness (%)	101 ± 6 <sup>a</sup>	110 ± 7 <sup>b</sup>
	Cohesiveness (%)	113 ± 9 <sup>a</sup>	105 ± 5 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>Vacuum cooling condition : 31 mmHg/30°C.

<sup>2</sup> Different letters within a row denote significant differences ( $P < 0.05$ )

각은 각각 65.6 meq/kg, 17.7로 과산화 물가와 TBA값 모두 진공-분무 냉각이 분무 냉각보다 낮아 진공-분무 냉각이 분무 냉각보다 유지의 산화에 다소 안정한 것으로 여겨졌다. Cheng and Sun (2006)은 가열한 돼지고기 햄을 침지감압 냉각한 결과 침지액이 지질과 산소의 접촉을 막아 송풍 냉각보다 지질 산화에 안정하다고 보고하였다. 본 실험에서도 진공-분무 냉각이 분무 냉각보다 지질 산화에 안정한 것은 진공-분무 냉각이 분무 냉각에 비하여 냉각 속도가 월등히 빨라 신속하게 냉각됨에 따라 높은 온도에 머무르는 시간이 적어 지질 산화가 상대적으로 억제되며 또한 진공 후 분무 공정에 의해 지질과 산소의 접촉이 저지되었기 때문으로 여겨진다. 가다랑어 로인의 지방산 조성은 Table 3에 나타내었다. 진공-분무 냉각과 분무 냉각 모두 palmitic acid (C16:0), docosahexaenoic acid (DHA, C22:6), oleic acid (C18:1) 순으로 함량이 높았으며 불포화 지방산이 포화지방산에 비하여 함량이 높았으나 냉각 방법에 따른 차이는 나타나지 않았다. 그리고 고도 불포화 지방산인 DHA 함량(25.09-25.71)이 eicosapentaenoic acid (EPA, 3.31-3.42)에 비하여 현저히 높았는데 이는 자숙한 참치 머리의 경우 DHA가 25.5%, EPA가 0.1% 함유되었다는 보고와 일치하였다(Chantachum et al., 2000).

#### 진공냉각에 의한 색차와 조직감

냉각 방법 차이에 따른 가다랑어 로인의 색차와 조직감은 Table 4와 같다. 색차의 경우 진공-분무 냉각한 로인이 분무 냉각한 로인에 비해 백색도와 적색도는 높고 황색도는 낮게 나타나 진공-분무냉각을 함으로서 로인의 색상은 밝고 붉은 색을 띠는 것으로 나타났다. 조직감은 진공-분무 냉각한 로인이 분무 냉각한 로인 보다 hardness는 높고 cohesiveness는 낮게 나타나 진공 처리를 함으로서 식감은 단단하고 탄력이 증가하는 것으로 나타났다. Desmonds et al. (2000)과 McDonald et al. (2000)은 냉각 방법에 따른 가열 조리한 쇠고기의 조직감을 측정하여 일반 냉각한 육에 비하여 진공 냉각한 육이 hardness가 높게 나

타났다고 보고하였는데 본 실험도 동일한 결과를 나타내었다. 이상의 결과는 진공-분무 냉각 방법을 이용하여 자숙 가다랑어의 냉각시간을 현저히 단축시킬 수 있으며 지질의 품질 저하를 억제할 수 있음을 보여주고 있다. 또한 진공 냉각의 단점인 수율 감소를 줄일 수 있어 참치 통조림의 공정 시간 단축 및 품질 향상에 도움이 될 것으로 사료되었다.

## 사 사

본 논문은 2013년 군산대학교 수산과학연구소 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음

## References

- AOAC. 2003. Official Methods of Analysis, 17th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, D.C., U.S.A.
- Chantachum S, Benjakul S and Srixirat N. 2000. Separation and quality of fish oil from precooked and non-precooked tuna heads. Food Chem 69, 289-294. [http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00266-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00266-6).
- Cheng Q and Sun DW. 2006. Effects of combined water cooking-vacuum cooling with water on processing time, mass loss and quality of large pork ham. J Food Process Eng 30, 51-73. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1745-4530.2007.00089.x>.
- Desmond EM, Kenny TA, Ward P and Sun DW. 2000. Effect of rapid and conventional cooling methods on the quality of cooked ham joint. Meat Sci 56, 271-277.
- Dong X, Chen H, Liu Y, Dai R and Li X. 2012. Feasibility assessment of vacuum cooling followed by immersion vacuum cooling on water-cooked pork. Meat Sci 90, 199-203. <http://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2011.07.002>.
- Folch J, Lees M and Stanley GHS. 1957. A simple method for the isolation and purification of total lipids from animal tissues. J Biol Chem 266, 497-509.
- Houska M, Sun DW, Landfeld A and Zhang Z. 2003. Experimental study of vacuum cooling of cooked beef in soup. J Food Eng 59, 105-110. [http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774\(02\)00435-1](http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774(02)00435-1).
- Lee TH and Koo JG. 2012. Comparison of the quality of frozen skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* thawed by vacuum and water immersion. Kor J Fish Aquat Sci 45, 635-639. <http://dx.doi.org/10.5657/KFAS.2012.0635>.
- McDonald K and Sun DW. 2000. Vacuum cooling technology for the food processing industry: A review. J Food Eng 45, 55-65. [http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00041-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00041-8).
- McDonald K, Sun DW and Kenny T. 2000. Comparison of the quality of cooked beef products cooled by vacuum and by conventional cooling. Lebensm-Wiss u Technol 33, 21-29. <http://dx.doi.org/10.1006/fstl.1999.0603>.
- McDonald K and Sun DW. 2001. Effect of evacuation rate

- on the vacuum cooling process of a cooked beef product. *J Food Eng* 48, 195-202. [http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774\(00\)00158-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0260-8774(00)00158-8).
- Tarladgis BG, Watts MM and Younathan MT. 1960. A distillation method for quantitative determination of malonaldehyde in rancid food. *J Am Oils Chem Soc* 37, 44-48.
- Zhang J, Farkas BE and Hale SA. 2002. Precooking and cooling of skipjack tuna: A numerical simulation. *Lebensm-Wiss u Technol* 35, 607-616. <http://dx.doi.org/10.1006/fstl.2002.0912>.
- Zheng L and Sun DW. 2004. Vacuum cooling for the food industry-a review of recent research advances. *Trends in Food Sci Technol* 15, 555-568. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2004.09.002>.
- Zhang Z, Drummond L and Sun DW. 2013. Vacuum cooling in bulk of beef pieces of different sizes and shape-Evaluation and comparison to conventional cooling methods. *J Food Eng* 116, 581-587. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.12.036>.