

# 참치(*Katsuwonus pelamis*)통조림 가공과정 중 발생하는 생 및 자숙 부산물의 위생안전성 및 영양학적 품질 특성 평가

손숙경 · 이효림 · 이종봉 · 권가연 · 김민재 · 이명주 · 김형준 · 박하은 · 김학선<sup>1</sup> · 심길보\*

국립부경대학교 식품공학과, <sup>1</sup>㈜동원 F&B

## Evaluation of Safety and Nutritional Quality Characteristics of Raw and Steamed By-products Produced During Canned Tuna *Katsuwonus pelamis* Processing

Suk Kyung Sohn, Hyo Rim Lee, Jong Bong Lee, Ga Yeon Kwon, Min Jae Kim, Myeong Joo Lee, Hyeong Jun Kim, Ha Eun Park, Hak Sun Kim<sup>1</sup> and Kil Bo Shim\*

Department of Food Science and Technology, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

<sup>1</sup>Dongwon F&B, Changwon 51407, Republic of Korea

This study assessed the yield, nutrient composition, and safety of raw and steamed by-products from canned tuna *Katsuwonus pelamis* processing to determine their potential as value-added materials. The by-products, expressed as percentages of total weight, included raw viscera (7.9%), steamed heads (18.5%), steamed tails (2.4%), steamed bones (1.2%), and steamed dark muscle (9.7%). The levels of volatile basic nitrogen, histamine, and heavy metals remained below the spoilage and safety thresholds. Steamed dark muscle contained the highest protein (26.75 g/100 g), while the amino acid content ranged from 13.41 to 24.96 g/100 g. Lipid concentration peaked in the mixed steamed fraction (9.95 g/100 g). The eicosapentaenoic acid and docosahexaenoic acid contents varied between 48.45–117.81 mg/100 g and 334.22–1,048.00 mg/100 g, respectively, with steamed heads showing the highest values. Steamed tails and bones exhibited the highest ash content (15.31 g/100 g), predominantly composed of calcium (78,083.0 mg/kg). These findings demonstrate that proteins, lipids, and minerals, are unevenly distributed among tuna by-products, underscoring their potential for developing functional food ingredients.

Keywords: By-products, Nutritional characteristics, Mineral, Protein, Skipjack tuna

### 서론

전 세계적으로 수산업 및 수산가공업이 증가함에 따라 수산 부산물 발생량도 함께 지속적으로 증가하고 있으며(Naseem et al., 2024), 국내에서는 연간 약 50만톤이 배출되는 것으로 추정된다(Ahn et al., 2024). 참치는 전 세계적으로 가장 많이 소비되고 있는 어획물 중 하나로 알려져 있으며, 가다랑어(*Katsuwonus pelamis*), 날개다랑어(*Thunnus alalunga*), 황다랑어(*Thunnus albacares*), 눈다랑어(*Thunnus obesus*), 참다랑어(*Thunnus thynnus*) 등이 통조림 가공 및 횡감 원료로 사용되고 있으며 주로 태평양에서 어획된다(Garofalo et al., 2023). 그

중 가다랑어는 지방 함량이 낮고 단백질 함량이 높은 참치류 중 하나로 알려져 있으며 통조림 원료로 활용되고 있다. 참치 통조림은 크리닝, 살쟁임, 충진액 주입, 밀봉, 살균 등의 공정을 통해 제조되며 백색육을 주원료로 활용하고 있다(López-Álvarez et al., 2024). 통조림은 제조 과정 중 참치의 내장, 머리, 꼬리, 중골, 혈합육 등의 부산물이 발생하게 되며 최대 참치 중량의 50–70%가 해당된다(Garofalo et al., 2023). 이러한 참치 부산물은 활용 가치가 낮아 어류 또는 반려동물 사료 등 저부가가치로 활용되거나 내장 내의 박테리아와 효소로 인한 품질 저하 등으로 인해 폐기처리되고 있으며 이는 미생물 증식, 생화학 반응, 저장 및 취급 중 환경오염의 원인으로 이어지고 있다

\*Corresponding author: Tel: +82. 51. 629. 5834 Fax: +82. 51. 629. 5824

E-mail address: kbshim@pknu.ac.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2026.0001>

Korean J Fish Aquat Sci 59(1), 1-11, February 2026

Received 20 November 2025; Revised 7 January 2026; Accepted 22 January 2026

저자 직위: 손숙경(대학원생), 이효림(대학원생), 이종봉(대학원생), 권가연(대학원생), 김민재(대학원생), 이명주(대학원생), 김형준(대학원생), 박하은(대학원생), 김학선(팀장), 심길보(교수)

(Herpandi et al., 2011; Yi-Li et al., 2025). 그러나 참치를 포함한 어류부산물에는 단백질 및 펩타이드, 지방, 미네랄, 효소 등이 함유되어 있어 고부가가치 소재로서 가치가 있다고 알려져 있다(Nirmal et al., 2022). 따라서 어류부산물을 효과적으로 활용하기 위해서는 부산물의 영양학적 특성을 검토하여 다양한 활용 방안을 개발하는 것이 중요하다. 어류부산물의 주 영양성분인 단백질을 이용한 연구는 메기의 피부, 뼈, 지느러미, 근육에서 산용해성 콜라겐, 펩신 용해성 콜라겐을 추출하여 특성을 비교한 바 있다(Abbas et al., 2022). 또한 아임계수 가수분해를 연어 뼈 가수분해물의 단백질 분자 크기별로 추출하여 기능적 특성을 조사한 바도 있다(Haq et al., 2025). 단백질 다음으로 다량 함유하고 있는 지질에 관한 연구는 청어를 전처리 하지 않고 어체 전체를 원료로 효소 보조 추출 기술을 사용하여 어유를 추출하였으며(Aitta et al., 2021), 초음파 추출 기술을 사용하여 가다랑어의 뼈, 꼬리, 머리에서 어유를 추출하였다(Ciftci and Cavdar, 2025). 그 외에는 참치 혈합육을 이용한 셀레늄 나노입자 개발(Jiang et al., 2022), 미네랄을 이용한 바이오 칼슘 소재 활용 등 다양한 연구가 지속적으로 진행되고 있다(Benjakul et al., 2018).

그러나 부산물을 소재로 활용한 기술 개발연구는 활발히 진행되고 있음에도 불구하고 이를 뒷받침해줄 수 있는 기본적인 어류 부산물의 안전성 및 영양성분 활용 가능성을 확인할 수 있는 기초자료 관련 연구는 미흡하다.

따라서 본 연구에서는 참치통조림 가공과정 중 발생하는 부산물의 발생 현황을 조사하고, 생 또는 자숙 부산물의 휘발성 염기질소, 바이오제닉아민, 중금속 등 위생안전성과 영양학적 품질을 평가하여 고부가가치 소재로서의 잠재적인 활용 가능성을 검토하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

본 연구에서는 참치(*K. pelamis*) 통조림 가공과정 중 발생하는 생 부산물인 내장과 자숙 부산물인 머리, 꼬리, 중골, 혈합육 및 혼합부산물(머리, 꼬리, 중골, 혈합육)을 시료로 사용하였다. 참치가공부산물은 (주)동원F&B 창원공장(Changwon, Korea)에서 2025년 7월에 공급받아 사용하였으며 얼음과 함께 용기에 포장하여 4°C 이하로 유지하면서 2시간 이내에 실험실로 이송하였다. 부위별 참치가공부산물은 분쇄기(HMF-3500TG; Hanil Electric Co., Ltd., Seoul, Korea)로 전처리 후 실험에 사용하기 전까지 -20°C에서 보관하였다.

### 실험방법

#### 참치가공부산물의 발생 비율

총 중량이 3.5 kg인 참치를 대상으로 생 내장과 자숙 처리한 머리, 꼬리, 중골, 혈합육의 무게를 각각 측정하였다. 이후 참치

총중량을 기준으로 각 부산물의 발생비율을 g/100 g으로 계산하였다.

#### 휘발성염기질소 함량

휘발성염기질소 함량은 conway unit을 사용하는 미량확산법 Shim et al. (2021)으로 측정하였다. 시료 10 g에 10% trichloroacetic acid (Junsei Chemical Co. Ltd., Tokyo, Japan)를 혼합한 후 균질화하였다. 이후 12,000 g에서 15분 동안 원심분리(Supra R22; Hanil Scientific Inc., Gimpo, Korea)한 후 50 mL가 되도록 정용한 것을 검체용액으로 사용하였다. 이후 conway unit 외실에 검체 용액 1 mL와 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (Samchun Pure Chemical Co., Ltd, Seoul, Korea) 포화용액 1 mL를 넣고 내실에는 0.01 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Daejung Chemicals & Metals Co., Ltd., Siheung, Korea) 1 mL를 분주한 뒤 검체 용액과 K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (Samchun Pure Chemical Co., Ltd) 포화용액을 혼합하였다. 샘플을 37°C에서 2시간 동안 반응시킨 후 Brunswick (0.07% methyl red, 0.03% methylene blue)을 10 µL 첨가하여 0.01 N NaOH (Daejung Chemicals & Metals Co., Ltd.) 용액으로 적정하였다.

#### 바이오제닉아민 함량

바이오제닉아민 함량은 Shim et al. (2021)에서 언급된 방법에 따라 측정하였다. 시료 5 g에 0.1 N HCl (Daejung Chemicals & Metals Co., Ltd.) 혼합한 후 균질화하였다. 이후 4,500 g에서 15분 동안 원심분리(Supra R22; Hanil Scientific Inc.)한 후 50 mL가 되도록 정용한 것을 검체 용액으로 사용하였다. 표준용액 또는 검체 용액 1 mL를 15 mL 튜브에 분주한 뒤 내부표준물질(1,7-diaminoheptane) 0.1 mL, K<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (Samchun Pure Chemical Co., Ltd) 포화용액 0.5 mL, 1% dansyl chloride (Sigma-Aldrich Co., Saint-Louis, MO, USA) in acetone (Sigma-Aldrich Co.)용액 1 mL를 혼합하여 45°C에서 2시간 동안 유도체화하였다. 다음 0.5 mL의 10% proline (Sigma-Aldrich Co.)용액과 5 mL의 ether (Sigma-Aldrich Co.)를 가하고, 30분동안 진탕 처리하였다. 상층액을 15 mL 튜브에 분리한 뒤 질소(Hurricane-lite; Chongmin Tech, Seoul, Korea) 농축한 것에 acetonitrile (Harvey, Muskegon, MI, USA) 1 mL를 가하였다. 이후 진탕 처리 후 0.45 µm PTFE-D membrane filter (Whatman, Piscataway, NJ, USA)로 여과하여 시료 용액으로 사용하였다.

분석은 high performance liquid chromatography (HPLC; Agilent 1260 infinity; Agilent Technologies Inc., Santa Clara, CA, USA)로 분석하였다. 칼럼은 CAPCELL PAK-C18 (4.6 mm × 250 mm × 5 µm; Osaka Soda Co., Ltd., Osaka, Japan)를 사용하여 증류수와 acetonitrile (Harvey)을 이동상으로 사용하였다. 유속은 1.0 mL/min, 온도는 40.0°C, 검출 파장은 254 nm이었다. 바이오제닉아민은 9종(tryptamine, phenethylamine, putrescine, cadaverine, histamine, serotonin, tyramine,

spermidine and spermine)을 동시에 측정하였다. 9종의 바이오제닉아민 표준 물질은 Sigma-Aldrich Co.에서 구매하였다.

#### 중금속 및 총수은 함량

중금속 함량은 각각의 참치가공부산물 동결건조 시료 0.3 g을 100 mL 테프론 재질의 마이크로파 분해 용기에 칭량하고, nitric acid (65%; Suprapur®; Sigma-Aldrich Co.) 10 mL를 첨가하였다. 그 다음 Microwave 장비(MARS-6; CEM Corp., Matthews, NC, USA)를 이용하여 1,800 W, 190°C, 100% 조건에서 분해하였다. 이후 inductively coupled plasma (ICP-MS NexION 300D; PerkinElmer Inc., Shel-ton, CT, USA)를 사용하여 As, Cd, Pb 3종의 함량을 분석하였다. 이때 표준물질은 Multi element calibration standard 3 (PerkinElmer Inc., Waltham, MA, USA)를 사용하였다.

총 수은 함량은 가열기화금아말감법(combustion gold amalgamation method)을 이용한 mercury analyze (DMA-80 Tri Cell; Milestone Srl, Sorisole, Italy)를 사용하여 시료를 직접 측정하였다. 수은 표준용액은 수은 표준원액인 Mercury Standard (PerkinElmer Inc.) 5 µg/mL를 사용하여 증류수로 희석하여 사용하였다.

#### 조단백질 및 총아미노산 함량

조단백질 함량은 Yoon et al. (2023)에 따라 Semimicro Kjeldahl 장치(Kjelflex k-360; Buchi Ltd., St. Gallen, Switzerland)를 이용하여 분석하였다. 총아미노산 함량 분석은 Jeong et al. (2024)에서 언급된 방법에 따라 측정하였다. 시료 200 mg을 6 N HCl (Daejung Chemicals & Metals Co., Ltd.)로 24시간 동안 110°C에서 가수분해한 후 시료용액을 glass filter (porosity: 10–16 µm)로 여과하고 진공 원심농축기(Hei-VAP Core Rotary Evaporator; Heidolph Instruments GmbH & Co., Bavaria, Germany)로 60°C에서 감압 농축하였다. 이후 농축물을 pH 2.2의 구연산 완충액(Biochrom Ltd., Cambridge, UK)을 혼합하여 50 mL로 정용한 것을 시료로 사용하여 아미노산 분석기(30+ Amino Acid Analyzer; Biochrom)로 분석하였다.

#### 조지방 및 지방산 함량

조지방은 Yoon et al. (2023)에 따라 Soxhlet 장치(ST 243 soxtec; FOSS Co. Ltd., Hilleroed, Denmark)을 이용하여 분석하였다. 지방산은 Jeong et al. (2024)에 따라 지질을 추출한 후 분석하였다. 지질은 chloroform-methanol (2:1, v/v) 혼합액을 추출 용매로 추출하였다. 사용하는 내부표준물질은 glyceryl triundecanoate (98%; Sigma-Aldrich Co.) 1 mL를 chloroform (Sigma-Aldrich Co.)에 녹여 10 mL가 되도록 하였다. 지방산 함량은 SP™ -2560 FUSED SILICA capillary column (100 m×0.25 mm, 0.2 µm; Supelco Inc., Belle-fonte, PA, USA)을 장착한 Gas Chromatography (Shimadzu 17A; Shimadzu Seisakusho CO., Ltd, Kyoto, Japan)를 이용하여 분석하였다.

#### 지용성 비타민 함량

비타민 A 및 비타민 E는 Park et al. (2023)에서 언급된 HPLC (Agilent 1260 infinity; Agilent Technologies Inc.)에 의한 정량법에 따라 전처리 및 분석하였다. 비타민 A 및 비타민 E의 함량 분석은 각각의 참치가공부산물 5 g을 식품공전(MFDS, 2025a)에 따라 추출 및 농축한 후, 3 mL methanol (Sigma-Aldrich Co.)에 녹여 시험용액으로 이용하였다. 비타민 A 및 비타민 E의 분석 시 C30 column (Develosil RPAQUE-OUS; Nomura Chemical, Aichi, Japan; 4.6×250 mm, s–5 µm)이 장착된 HPLC (Agilent 1260 infinity; Agilent Technologies Inc.)을 사용하였다. 컬럼 온도는 30°C, 이동상은 methanol (Sigma-Aldrich Co.) 95%와 formic acid (99%; Samchun Chemical, Seoul, Korea)를 0.1%가한 후 water 5%를 혼합하였으며 유속은 1.2 mL/min이었다.

#### 회분 및 무기질 함량

회분은 Yoon et al. (2023)에 따라 분석하였으며, 건식회화법으로 측정하였다. 무기질은 중금속과 동일한 방법으로 전처리하였다. 이후 무기질분석은 다량 무기질의 경우 inductively coupled plasma-optical emission spectrometer (ICP-OES Optima 7300DV; PerkinElmer Inc.), 미량 무기질의 경우 ICP-MS (NexION 300D; PerkinElmer Inc.)를 사용하여 15종의 미네랄 함량을 분석하였다. 이때 표준물질은 Molybdenum ICP standard (Sigma-Aldrich Co.)와 multielement standard solution 6 for icp (Sigma-Aldrich Co.)를 사용하였다.

#### 통계분석

본 실험 결과에 대한 데이터의 표준편차 및 유의차 검정(5% 유의수준)은 SPSS 통계패키지(SPSS for window, Version 29)에 의한 ANOVA test를 이용하여 분산분석한 후 Duncan의 다중범위검정법을 실시하였다( $P < 0.05$ ).

## 결과 및 고찰

### 참치가공부산물물의 발생현황

참치통조림 가공과정 중 발생하는 생 또는 자숙 부산물의 발생 부위 및 형태 등 발생현황을 조사하였으며, 이들 부산물의 수율과 선도에 대한 결과는 Table 1과 같다. 참치가공부산물물의 비율은 가다랑어 무게 약 3.5 kg 기준으로 측정하였다. 발생 비율은 생 내장이 7.9 g/100 g, 자숙 머리가 18.5 g/100 g, 자숙 꼬리가 2.4 g/100 g, 자숙 중골이 1.2 g/100 g, 자숙 혈합육이 9.7 g/100 g이었다(Fig. 1). 참치통조림 가공 중 발생하는 부산물의 휘발성염기질소 함량을 측정한 결과, 생 내장의 경우  $33.11 \pm 0.35$  mg/100 g으로 수산물 선도 초기부패 기준인 30–40 mg/100 g과 근접한 함량을 나타내었다(Park et al., 2025). 그 다음으로 자숙 혈합육이  $23.43 \pm 0.48$  mg/100 g, 자숙 혼합부산물이  $12.57 \pm 0.03$  mg/100 g이었다. 이때 생 내장은 자숙 혈합육보

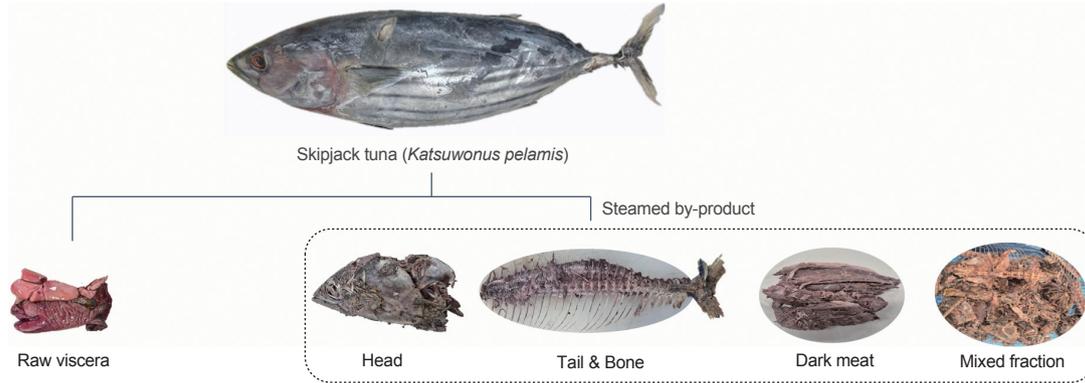


Fig. 1. Raw and steamed by-products produced during canned tuna *Katsuwonus pelamis* processing.

다 약 1.4배, 자숙 혼합부산물보다 약 2.6배 높은 수준이었다. 이러한 결과는 수산부산물이 내인성 효소에 의해 효소활성이 높아 낮은 보관 온도에서도 단백질 분해가 빠르게 진행되기 때문이며 특히, 내장에는 내인성 효소가 다량 함유되어 휘발성 염기 물질의 생성이 촉진된 것으로 판단되었다(Rustad et al., 2011).

생 내장을 포함한 수산부산물의 안전성을 확보하기 위해서는 냉장 또는 적정 온도 유지 등의 철저한 선도 관리가 필수적이며, 이를 통해 부패를 최소화하여 안전성이 확보된 소재 원료로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

#### 참치가공부산물의 위생안전성 평가

참치통조림 가공과정 중 발생하는 생 또는 자숙 부산물의 바이오제닉아민 및 증중속 함량에 대한 결과는 Table 2와 같다. 바이오제닉아민은 유리아미노산이 미생물에 의해 탈탄산되면서 식품 내에 생성되는 화합물로, 미생물 분해의 지표로 활용된다(Barbosa et al., 2018). 이중 히스타민과 티라민은 각각 히스티딘과 티로신에서 생성되며 스크브로이드 식중독, 두통 및 메스꺼움 등의 증상을 유발하는 요인으로 알려져 있다(Lioui et al., 2024). 참치가공부산물의 히스타민 함량은 자숙 혼합부산물과 생 내장에서  $5.50 \pm 0.03$ – $6.11 \pm 0.20$  mg/kg으로 미량 검출되었으며, 자숙 혈합육에서는 검출되지 않았다. 히스타민은 박테리아가 생성하는 히스티딘 탈카르복실화효소에 의한 히스티딘의 탈카르복실화되면서 생성되며, 일단 생성된 히스타민은 열처리로도 쉽게 분해되지 않아 제어가 어렵다고 보고되어 있다(Lin et al., 2012; Hongpattarakere et al., 2016). 특히 히스타민

의 생성을 유발하는 균은 주로 장내세균 계열의 히스타민 생성균으로 알려져 있어 어류의 내장 부위는 히스타민 생성의 잠재적 위험이 높은 부위로 판단된다(Lin et al., 2012).

본 연구에서 사용된 자숙 혼합부산물은 머리, 꼬리, 중골, 혈합육으로 구성되어 있으며, 이 중 참치 머리는 자숙 동맥구 등 내장 조직이 일부 포함될 수 있다. 따라서 자숙 혼합부산물과 생 내장은 장내 히스타민 생성균의 영향으로 히스티딘이 탈탄산반응하여 히스타민이 생성될 수 있으며, 자숙 공정을 거쳤음에도 불구하고 자숙 혼합부산물에서 미량 검출된 것은 이러한 혼입 특성과 관련된 것으로 판단된다. 국내 기준에 따르면, 다랑어류, 고등어류, 연어 및 콩치 등을 냉동, 염장, 통조림 또는 건조·절단 등의 단순 가공을 거친 경우 히스타민 허용기준은 200 mg/kg으로 설정되어 있다(MFDS, 2025b). 참치가공부산물은 국내에서 제시한 기준보다 낮은 미량 함량을 나타내어 식품 소재원료로 활용하기에 안전할 것으로 판단되었다.

티라민 함량은 불검출– $11.67 \pm 0.25$  mg/kg으로 생 내장에서 가장 높았다. WHO/FAO에서는 어류 제품의 티라민 함량을 100 mg/kg 이하로 제시하고 있으며(Lioui et al., 2024) 참치가공부산물은 기준치보다 낮은 함량으로 식품 원료로서의 안전성이 확보되었다고 판단되었다. 그 외에 푸트레신, 카다베린 등의 바이오제닉아민도 생 내장에서 가장 높은 함량이었다. 바이오제닉아민의 주요 원인인 카르복실화효소를 생성하는 미생물은 주로 *Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter aerogenes* 등과 같은 장내세균 형태로 존재한다고 알려져 있다(Yang et al., 2020).

Table 1. Yield and volatile basic nitrogen (VBN) content of raw and steamed by-products produced during canned tuna *Katsuwonus pelamis* processing

Samples	Raw viscera	Steamed by-product			
		Head	Tail and bone	Dark meat	Mixed by-product
Yield (g/100 g)	7.9	18.5	2.4/1.2	9.7	-
VBN (mg/100 g)	$33.11 \pm 0.35^a$	-	-	$23.43 \pm 0.48^b$	$12.57 \pm 0.03^c$

<sup>a</sup>The different letters on the data in the column indicate significant differences at  $P < 0.05$ .

카드뮴 함량은 자숙 머리(1.27±0.05 mg/kg)와 생 내장(1.08±0.01 mg/kg)이 납의 경우 자숙 꼬리 및 중골(0.09±0.00 mg/kg)이 비소의 경우 생 내장(7.94±0.02 mg/kg)이 총수은의 경우 혈합육(0.13±0.00 mg/kg)이 가장 높은 함량을 나타냈다. 카드뮴은 주로 아가미와 장을 통해 체내로 흡수되어 메탈로티오네인에 의해 세포 내로 축적된다고 알려져 있다(Lee et al., 2024). 납의 경우 주로 뼈와 혈액 조직에 결합되어 있다고 알려져 있으며(Asmah and Biney, 2014), 어류 혈합육에는 모세혈관, 미오글로빈 및 설프하이드릴기 단백질 등으로 구성되어 있어 수은이 축적될 가능성이 높다고 알려져 있다(Vieira et al., 2017). 국내 기준에 따르면, 냉동식용어류 머리에는 납 0.5 mg/kg 및 수은 0.5 mg/kg의 허용기준이 설정되어 있으며, 냉동식용어류 내장에는 납 0.5 mg/kg, 카드뮴 3.0 mg/kg (단, 내장 중 어류알은 1.0 mg/kg), 수은 0.5 mg/kg의 기준이 적용된다(MFDS, 2025b). 그러나 다랑어류 등 일부 어종에 대해서는 총수은 기준을 적용하지 않고 메틸수은 1.0 mg/kg을 기준으로 관리하고 있다. 자숙 머리와 생 내장을 포함한 모든 부산물에서 중금속 함량은 관련 기준치 이하로 확인되었으며, 이에 따라 식품원료로서의 안전성이 확보된 것으로 판단되었다.

**참치가공부산물물의 단백질 및 총아미노산 함량**

참치통조림 가공과정 중 발생하는 생 또는 자숙 부산물의 단백질 및 총아미노산 결과는 Table 3과 같다. 수산부산물은 고품질 단백질 공급원으로 알려져 있으며 콜라겐, 항산화 펩타이드 등 다양한 식품 또는 기능성 소재로 활용될 수 있다(Jimenez-Champi et al., 2024). 참치가공부산물의 단백질 함량은 자숙 혈합육이 26.75±0.00 g/100 g으로 가장 높았으며 그 외의 부

산물물은 18.51±0.53–21.19±0.24 g/100 g으로 유사하였다. 이때 단백질의 영양학적 우수성을 검토하기 위해서 WHO (2007)에서 제시한 15–18세의 권장섭취량을 이용하여 필요 단백질 총량을 계산하였다. 생 내장이 32.0–39.1%, 자숙 머리가 33.7–41.1%, 자숙 꼬리 및 중골이 34.9–42.6%, 자숙 혈합육이 46.2–56.5%, 자숙 혼합부산물이 36.6–44.7%이었으며 모든 참치가공부산물의 단백질 함량이 식품으로 활용하기에 영양학적으로 우수하다고 판단되었다.

총아미노산 함량은 생 내장이 13.41±0.04 g/100 g, 자숙 머리가 17.46±0.83 g/100 g, 자숙 꼬리 및 중골이 18.15±0.48 g/100 g, 자숙 혈합육이 24.96±0.21 g/100 g, 자숙 혼합부산물이 19.77±0.08 g/100 g이었으며 단백질 함량과 유사하게 자숙 혈합육이 가장 높은 함량이었다. 이때 주요아미노산은 glutamic acid (1.87–3.58 g/100 g), glycine (0.87–2.99 g/100 g), aspartic acid (1.24–2.57 g/100 g)이었다. Glutamic acid와 aspartic acid는 감칠맛과 연관이 있으며 신경 전달물질 전구체로 알려져 있다(Ryu et al., 2021). Glycine은 콜라겐의 삼중 나선 구조에 영향을 미치며 콜라겐과 연관이 있다(Zhang et al., 2025). FAO/WHO에서는 고품질 단백질의 품질평가를 위해 총아미노산 조성 특성에 대한 기준을 제시하고 있다. 필수 아미노산의 비율이 40% 이상이거나 필수아미노산:비필수아미노산의 비율(essential amino acids, EAA/non-essential amino acids, NEAA)이 60% 이상일 경우 고품질 단백질로 분류된다고 보고되어 있다(Mohammadzadeh and Feizy, 2025). 참치가공부산물의 EAA 비율은 39.4–50.96%이었으며, EAA/NEAA은 65.0–103.9%로 FAO/WHO 기준을 초과하였기 때문에 단백질 소재로써 활용 가치가 있다고 판단되었다.

Table 2. Biogenic amine (BA) and heavy metal contents of raw and steamed by-products produced during canned tuna *Katsuwonus pelamis* processing

Samples	Raw viscera	Steamed by-product				
		Head	Tail and bone	Dark meat	Mixed by-product	
BA contents (mg/kg)	Tryptamine	11.08±0.04 <sup>a1</sup>	-	-	8.17±0.82 <sup>c</sup>	9.38±0.19 <sup>b</sup>
	Phenethylamine	ND <sup>2</sup>	-	-	ND	ND
	Putrescine	26.67±0.25 <sup>a</sup>	-	-	ND <sup>b</sup>	ND <sup>b</sup>
	Cadaverine	11.62±0.04 <sup>a</sup>	-	-	ND <sup>c</sup>	4.84±0.04 <sup>b</sup>
	Histamine	5.50±0.03 <sup>b</sup>	-	-	ND <sup>c</sup>	6.11±0.20 <sup>a</sup>
	Serotonin	ND	-	-	ND	ND
	Tyramine	11.67±0.25 <sup>a</sup>	-	-	ND <sup>c</sup>	6.55±0.22 <sup>b</sup>
	Spermidine	76.81±2.20 <sup>a</sup>	-	-	13.74±0.62 <sup>b</sup>	11.80±0.07 <sup>b</sup>
	Spermine	24.96±1.24 <sup>a</sup>	-	-	16.74±1.00 <sup>c</sup>	6.28±0.31 <sup>b</sup>
Heavy metals (mg/kg)	Cd	1.08±0.01 <sup>b</sup>	1.27±0.05 <sup>a</sup>	0.11±0.00 <sup>d</sup>	0.06±0.00 <sup>d</sup>	0.26±0.01 <sup>c</sup>
	Pb	0.01±0.00 <sup>d</sup>	0.03±0.00 <sup>c</sup>	0.09±0.00 <sup>a</sup>	0.01±0.00 <sup>d</sup>	0.07±0.01 <sup>b</sup>
	As	7.94±0.02 <sup>a</sup>	1.90±0.06 <sup>d</sup>	1.50±0.07 <sup>e</sup>	2.81±0.07 <sup>b</sup>	2.13±0.02 <sup>c</sup>
	Hg	0.03±0.00 <sup>d</sup>	0.05±0.00 <sup>c</sup>	0.05±0.00 <sup>c</sup>	0.13±0.00 <sup>0a</sup>	0.08±0.00 <sup>b</sup>

<sup>1</sup>The different letters on the data in the column indicate significant differences at P<0.05. <sup>2</sup>Not detected.



Table 4. Crude fat, fatty acids, and fat-soluble vitamins raw and steamed by-products produced during canned tuna *Katsuwonus pelamis* processing

Samples	Raw viscera	Steamed by-product				
		Head	Tail and bone	Dark meat	Mixed by-product	
Crude lipids (g/100 g)	3.39±0.04 <sup>e1</sup>	9.25±0.23 <sup>b</sup>	5.68±0.03 <sup>c</sup>	3.69±0.09 <sup>d</sup>	9.95±0.18 <sup>a</sup>	
Fatty acids (mg/100 g)						
SFA	C14:0	16.68±0.56 <sup>d</sup>	116.90±5.83 <sup>a</sup>	55.51±2.20 <sup>c</sup>	26.09±1.78 <sup>d</sup>	76.23±9.25 <sup>b</sup>
	C15:0	10.01±0.28 <sup>d</sup>	43.27±2.06 <sup>a</sup>	19.78±0.84 <sup>c</sup>	12.64±0.87 <sup>d</sup>	30.52±3.72 <sup>b</sup>
	C16:0	275.12±5.21 <sup>d</sup>	749.48±38.40 <sup>a</sup>	352.01±17.04 <sup>c</sup>	320.97±20.38 <sup>d</sup>	567.49±68.83 <sup>b</sup>
	C17:0	15.47±0.34 <sup>d</sup>	51.66±2.96 <sup>a</sup>	25.82±1.33 <sup>c</sup>	26.94±1.66 <sup>c</sup>	40.60±4.98 <sup>b</sup>
	C18:0	90.75±1.75 <sup>d</sup>	223.11±13.25 <sup>a</sup>	124.64±5.79 <sup>c</sup>	191.34±12.82 <sup>b</sup>	190.37±23.71 <sup>b</sup>
	C20:0	2.69±0.09 <sup>d</sup>	15.20±0.68 <sup>a</sup>	7.47±0.38 <sup>c</sup>	8.68±0.44 <sup>c</sup>	11.32±1.44 <sup>b</sup>
	C22:0	1.39±0.05 <sup>d</sup>	10.48±0.51 <sup>a</sup>	5.47±0.30 <sup>c</sup>	7.41±0.42 <sup>b</sup>	8.03±1.11 <sup>b</sup>
	C23:0	42.96±1.59 <sup>c</sup>	82.91±5.60 <sup>a</sup>	33.71±0.73 <sup>d</sup>	45.17±3.92 <sup>c</sup>	59.80±5.88 <sup>b</sup>
	C24:0	1.69±0.03 <sup>d</sup>	10.50±0.56 <sup>b</sup>	7.35±0.25 <sup>c</sup>	12.18±0.82 <sup>a</sup>	9.57±1.33 <sup>b</sup>
ΣSaturates	456.76±8.82 <sup>d</sup>	1,303.51±69.58 <sup>c</sup>	632.54±27.42 <sup>c</sup>	651.42±43.02 <sup>b</sup>	993.92±120.25 <sup>b</sup>	
MUFA	C16:1n7	22.99±0.48 <sup>e</sup>	149.54±7.78 <sup>a</sup>	63.93±2.66 <sup>c</sup>	37.53±2.64 <sup>d</sup>	109.29±13.05 <sup>b</sup>
	C17:1n7	1.70±0.05 <sup>b</sup>	5.98±4.23 <sup>ab</sup>	3.42±0.13 <sup>ab</sup>	2.68±0.19 <sup>ab</sup>	6.35±0.70 <sup>a</sup>
	C18:1n9t	1.04±0.17 <sup>e</sup>	5.27±0.08 <sup>a</sup>	1.98±0.14 <sup>d</sup>	2.88±0.21 <sup>c</sup>	3.93±0.53 <sup>b</sup>
	C18:1n9c	96.04±1.86 <sup>d</sup>	417.72±21.71 <sup>a</sup>	194.65±7.47 <sup>c</sup>	179.72±12.08 <sup>c</sup>	304.65±37.35 <sup>b</sup>
	C20:1n9	4.71±0.27 <sup>e</sup>	24.87±1.05 <sup>a</sup>	8.98±0.55 <sup>d</sup>	15.54±0.91 <sup>c</sup>	19.98±2.42 <sup>b</sup>
	C22:1n9	0.64±0.01 <sup>d</sup>	3.75±0.21 <sup>a</sup>	1.20±0.11 <sup>c</sup>	2.43±0.14 <sup>b</sup>	2.60±0.39 <sup>b</sup>
	C24:1n9	5.63±0.19 <sup>d</sup>	19.60±1.89 <sup>a</sup>	9.55±0.54 <sup>c</sup>	20.92±1.29 <sup>a</sup>	15.74±2.15 <sup>b</sup>
ΣMonoenes	132.75±2.38 <sup>d</sup>	626.74±36.39 <sup>a</sup>	283.71±11.60 <sup>c</sup>	261.71±17.44 <sup>c</sup>	462.54±56.59 <sup>b</sup>	
PUFA	C18:2n6c	10.49±0.32 <sup>d</sup>	48.97±3.12 <sup>a</sup>	20.83±0.38 <sup>c</sup>	19.23±1.55 <sup>c</sup>	33.07±3.99 <sup>b</sup>
	C18:3n6	2.44±0.13 <sup>c</sup>	7.43±1.34 <sup>a</sup>	2.97±0.06 <sup>c</sup>	3.37±0.24 <sup>c</sup>	5.45±0.99 <sup>b</sup>
	C18:3n3	1.92±0.13 <sup>e</sup>	12.19±0.70 <sup>a</sup>	4.76±0.09 <sup>c</sup>	3.11±0.27 <sup>d</sup>	8.44±0.94 <sup>b</sup>
	C20:2n6	5.17±0.27 <sup>d</sup>	29.32±1.71 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>e</sup>	9.74±0.68 <sup>c</sup>	18.93±2.51 <sup>b</sup>
	C20:3n6	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	1.47±0.74 <sup>a</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>	0.00±0.00 <sup>b</sup>
	C20:3n3	0.47±0.05 <sup>c</sup>	3.08±1.14 <sup>a</sup>	1.25±0.08 <sup>bc</sup>	2.33±0.14 <sup>ab</sup>	1.75±0.11 <sup>b</sup>
	C22:2n6	2.57±0.10 <sup>d</sup>	11.26±0.42 <sup>a</sup>	3.82±0.07 <sup>c</sup>	4.19±0.15 <sup>c</sup>	8.27±1.01 <sup>b</sup>
	C20:5n3	48.45±2.23 <sup>c</sup>	177.81±12.33 <sup>a</sup>	62.09±2.50 <sup>c</sup>	56.29±5.16 <sup>c</sup>	105.69±11.70 <sup>b</sup>
C22:6n3	334.22±14.87 <sup>c</sup>	1,048.00±86.55 <sup>a</sup>	383.54±19.19 <sup>c</sup>	567.89±55.23 <sup>b</sup>	657.12±77.76 <sup>b</sup>	
ΣPolyenes	405.73±17.82 <sup>d</sup>	1,349.49±92.95 <sup>a</sup>	480.00±21.88 <sup>d</sup>	666.16±63.36 <sup>c</sup>	838.73±99.02 <sup>b</sup>	
ΣFatty acids	995.24±26.16 <sup>d</sup>	3,279.73±198.20 <sup>a</sup>	1,396.24±17.14 <sup>c</sup>	1,579.28±123.14 <sup>c</sup>	2,295.18±275.86 <sup>b</sup>	
FLQ (%) <sup>3</sup>	38.45	37.38	31.92	39.52	33.24	
Fat-soluble vitamins (mg/100 g)						
Retinal acetate	61.54±6.21 <sup>a</sup>	60.94±1.73 <sup>a</sup>	33.75±2.94 <sup>b</sup>	34.71±0.91 <sup>b</sup>	59.52±1.42 <sup>a</sup>	
Tocopherol	α	181.58±10.07 <sup>cd</sup>	311.93±1.38 <sup>b</sup>	224.07±40.43 <sup>cd</sup>	141.02±12.35 <sup>d</sup>	371.03±19.91 <sup>a</sup>
	β	ND <sup>2</sup>	ND	ND	ND	ND
	γ	ND	ND	ND	ND	ND
	δ	ND	ND	ND	ND	ND

<sup>1</sup>The different letters on the data in the column indicate significant differences at P<0.05. <sup>2</sup>Not detected. <sup>3</sup>FLQ, Fish lipid quality index {[(EPA+DHA)/ΣFatty acids]×100}. SFA, Saturated fatty acids; MUFA, Monounsaturated fatty acids; PUFA, Polyunsaturated fatty acids.

는 주로 어류의 지질 품질을 평가하기 위해 사용한다고 보고되어 있다. 참치부산물물의 FLQ값은 33.24–39.52로 대서양 청어 (*Abramis brama*) (24.46–30.14), 무지개 송어(*Oncorhynchus mykiss*) (17.97)에 비해 높다(Chen and Liu, 2020). 또한, 다중 불포화지방산과 포화지방산의 비율은 76–104%로 확인되었는데 이는 2004년 영국 보건부에서 제시한 기준치인 45%보다 높은 비율로 나타났다(Nava et al., 2023).

어류에서 추출한 어유는 지용성 비타민이 풍부한 것으로 알려져 있으며, 이를 효율적으로 회수·추출하기 위해 초임계 추출, 마이크로파 보조 가수분해, 효소 가수분해 등 다양한 공정에 대한 연구가 진행되어 있다(Mkadem and Kaanane, 2024). 참치가공부산물의 지용성 비타민 결과는 비타민 A 함량의 경우 생 내장이  $61.54 \pm 6.21$  mg/100 g, 자숙 머리가  $60.94 \pm 1.73$  mg/100 g, 자숙 꼬리 및 증골이  $33.75 \pm 2.94$  mg/100 g, 자숙 혈합육이  $34.71 \pm 0.91$  mg/100 g, 자숙 혼합부산물물이  $59.52 \pm 1.42$  mg/100 g이었다. 비타민 E 함량의 경우  $\alpha$ -Tocopherol이 생 내장이  $181.58 \pm 10.07$  mg/100 g, 자숙 머리가  $311.93 \pm 1.38$  mg/100 g, 자숙 꼬리 및 증골이  $224.07 \pm 40.43$  mg/100 g, 자숙 혈합육이  $141.02 \pm 12.35$  mg/100 g, 자숙 혼합부산물물이  $371.03 \pm 19.91$  mg/100 g이었으며,  $\beta$ -Tocopherol,  $\gamma$ -Tocopherol,  $\delta$ -Tocopherol 함량은 모두 불검출이었다. 또한 비타민 A는 과산화물 라디칼과 결합하여 지질과 상호 작용하며, 하이드로과산화물이 생성되기 이전 단계에서 연쇄반응을 차단함으로써 세포를 보호하는 항산화제 역할을 하는 것으로 보고되어 있다. 비타민 E는 항산화제로써 지질 과산화 연쇄반응 중 생성되는 지질 라디칼과 반응하여 지질막 산화를 억제한다

다고 보고되어 있다(Doert et al., 2022). 따라서 참치가공부산물물은 지질 성분을 이용한 EPA, DHA 강화 소재 및 비타민 E를 활용한 항산화 기능성 소재로의 개발 등 고부가가치화에 적합한 영양학적으로 우수하다고 판단되었다.

### 회분 및 무기질 함량

참치통조림 가공과정 중 발생하는 생 또는 자숙 부산물의 회분 및 무기질 함량은 Table 5와 같다. 회분 함량은 생 내장이  $1.98 \pm 0.07$  g/100 g, 자숙 머리가  $10.82 \pm 1.66$  g/100 g, 자숙 꼬리 및 증골이  $15.31 \pm 1.58$  g/100 g, 자숙 혈합육이  $1.33 \pm 0.12$  g/100 g, 자숙 혼합부산물물이  $10.90 \pm 1.47$  g/100 g으로 나타났다. 이중 자숙 꼬리 및 증골이 가장 높은 함량이었다. 일반적으로 참치의 뼈는 약 50%의 회분을 함유하고 있다고 알려져 있으나(Aenglong et al., 2022), 본 연구에서는 자숙 꼬리와 증골을 혼합하여 꼬리 내부에 잔존한 근육의 영향으로 상대적으로 낮은 회분을 보인 것으로 판단된다.

참치가공부산물의 무기질 결과는 생 내장의 경우 황( $8,819.5 \pm 114.5$  mg/kg)이 자숙 머리의 경우 칼슘( $35,727.4 \pm 2,204.6$  mg/kg)이 자숙 꼬리 및 증골의 경우 칼슘( $78,083.0 \pm 2,784.2$  mg/kg)이, 자숙 혈합육의 경우 황( $6,053.4 \pm 107.7$  mg/kg)이 자숙 혼합부산물물의 경우 칼슘( $34,643.9 \pm 1,326.3$  mg/kg)이 주요 무기질로 나타났다. 수산부산물물은 주로 뼈를 이용한 칼슘 소재로 활용한다고 알려져 있으며 본 연구에서도 참치가공부산물 중 머리와 꼬리 및 증골에 다량 함유되어 있었다. 각 부산물의 칼슘 함량을 미국 FDA 강화식품 표시 기준(100 g 제공량 당 RDI 20% 이상)과 비교한 결과, 자숙 머리는 357.3%, 자숙 꼬

Table 5. Ash and mineral content of raw and steamed by-products produced during canned tuna *Katsuwonus pelamis* processing

Samples	Raw viscera	Steamed by-product				
		Head	Tail and bone	Dark meat	Mixed by-product	
Ash (g/100 g)	$1.98 \pm 0.07^{c1}$	$10.82 \pm 1.66^b$	$15.31 \pm 1.58^a$	$1.33 \pm 0.12^c$	$10.90 \pm 1.47^b$	
Na	$3,203.4 \pm 32.6^d$	$6,514.3 \pm 45.8^b$	$4,019.5 \pm 117.5^c$	$1,170.7 \pm 19.4^e$	$8,884.1 \pm 204.1^a$	
Mg	$4,079.5 \pm 52.2^a$	$1,263.8 \pm 6.9^b$	$1,294.6 \pm 26.4^b$	$291.2 \pm 2.0^d$	$884.1 \pm 10.9^c$	
P	$4,386.9 \pm 40.5^c$	$1,633.1 \pm 65.5^b$	$35,960.4 \pm 1,737.6^a$	$2,551.1 \pm 11.3^c$	$15,258.6 \pm 481.9^b$	
S	$8,819.5 \pm 114.5^a$	$4,150.3 \pm 83.9^e$	$6,444.2 \pm 125.5^c$	$6,053.4 \pm 107.7^d$	$7,179.9 \pm 108.0^b$	
K	$3,605.1 \pm 23.0^a$	$1,093.1 \pm 8.2^e$	$2,136.4 \pm 114.4^c$	$3,281.9 \pm 25.1^b$	$1,526.9 \pm 3.1^d$	
Ca	$253.0 \pm 19.2^c$	$35,727.4 \pm 2,204.6^b$	$78,083.0 \pm 2,784.2^a$	$287.8 \pm 27.2^c$	$34,643.9 \pm 1,326.3^b$	
Mineral (mg/kg)	Fe	$46.5 \pm 1.6^e$	$181.8 \pm 4.1^a$	$83.1 \pm 5.6^d$	$166.0 \pm 7.0^b$	$147.3 \pm 1.3^c$
	Cu	$0.8 \pm 0.0^b$	$0.8 \pm 0.0^b$	ND <sup>c2</sup>	$6.6 \pm 0.3^a$	ND <sup>c</sup>
	Zn	$119.0 \pm 2.5^a$	$95.3 \pm 1.5^b$	$72.7 \pm 1.2^c$	$13.4 \pm 0.1^d$	$75.4 \pm 1.4^c$
	Cr	$0.27 \pm 0.01^a$	$0.20 \pm 0.01^c$	$0.24 \pm 0.02^b$	$0.19 \pm 0.01^{cd}$	$0.17 \pm 0.00^d$
	Mn	$0.32 \pm 0.01^d$	$1.93 \pm 0.05^c$	$2.23 \pm 0.09^b$	$0.31 \pm 0.02^d$	$2.34 \pm 0.01^a$
	Co	$0.01 \pm 0.00^e$	$0.06 \pm 0.00^b$	$0.12 \pm 0.00^a$	$0.03 \pm 0.00^d$	$0.05 \pm 0.00^c$
	Se	$2.98 \pm 0.03^c$	$2.89 \pm 0.07^c$	$1.45 \pm 0.08^d$	$4.45 \pm 0.11^a$	$3.25 \pm 0.03^b$
	Mo	ND	ND	ND	ND	ND

<sup>1</sup>The different letters on the data in the column indicate significant differences at  $P < 0.05$ . <sup>2</sup>Not detected.

리 및 증골은 793.6%로 고칼슘 식품으로 활용 가치가 있다고 판단되었다(Skałeck et al., 2020). 하지만 어류 뼈는 수산화인회석[Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>OH]으로 구성된 유기 세포 외 기질로 구성되며 칼슘의 함량은 높지만, 체내에 흡수율이 낮기 때문에 향후 관련 연구가 필수적일 것으로 판단된다(Xu et al., 2020). 따라서 화학적 및 생물학적 처리 기술을 통해 유기물을 파괴하는 등 고부가가치 활용을 위한 기술 개발이 지속된다면 충분히 식품 소재로 활용 가치가 있을 것으로 판단되었다.

본 연구에서는 참치통조림 가공과정 중 발생하는 생 또는 자숙 부산물의 발생 부위 및 수율을 조사하였으며, 부산물의 발생 직후 선도 및 위해물질 분석을 통해 위생학적 안전성을 평가하였다. 그리고 참치가공부산물의 생 또는 자숙 부산물의 영양학적 품질 평가를 통해 고부가가치 소재로서 활용 가능성을 평가하였다. 참치통조림 가공부산물은 가공 공정에 따라 생 부산물 또는 자숙 부산물로 분리되며 부위 특성에 따라 선도 및 위해요소 함량이 다르기 때문에 식품 등으로 재활용하기 위해서는 분리 시 철저한 관리가 필요할 것으로 판단된다. 또한, 참치가공부산물은 부위에 따라 단백질, 지질 등 영양학적 특성이 고루 갖춰져 있기 때문에 고부가가치 식품 소재로서 우수하고 판단된다. 이러한 연구를 통해 참치가공부산물의 활용 가치를 평가함으로써 수산부산물 산업에 긍정적인 영향을 미칠 수 있다고 판단된다. 그러나 어류부산물은 체계적인 관리 방안이 제시되어 있지 않기 때문에 영양성분을 활용한 식품 등 다양한 소재로 활용하기 위해서는 재활용 용도에 따른 분리 및 배출, 수거 방법 등 위생적이고 안전한 관리가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 참치통조림 가공과정 중 발생하는 생 또는 자숙 부산물의 위생학적 안전성과 영양학적 가치를 평가함으로써 수산부산물의 지속 가능한 자원 순환 산업 발전에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

## 사 사

이 논문은 2025학년도 부경대학교의 지원(202510540001)을 받아 수행한 연구이며, 연구비 지원에 감사드립니다.

## References

Abbas AA, Shakir KA and Walsh MK. 2022. Functional properties of collagen extracted from catfish (*Silurus triostegus*) waste. *Foods* 11, 633. <https://doi.org/10.3390/foods11050633>.

Aenglong C, Wang YM, Limpawattana M, Sukketsiri W, Tang QJ, Klaypradit W and Kerdpiboon S. 2022. Synthesis of soluble calcium compound from skipjack tuna bones using edible weak acids. *LWT Food Sci Technol* 162, 113460. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113460>.

Ahn S, Jang D and Oh C. 2024. Legal issues and improvement strategies for maximizing the utilization of fishery by-products: Focusing on fish by-products. *Ocean Policy Res* 39,

97-114. <https://doi.org/10.35372/kmiopr.2024.39.2.005>.

Aitta E, Marsol-Vall A, Damerou A and Yang B. 2021. Enzyme-assisted extraction of fish oil from whole fish and by-products of Baltic herring (*Clupea harengus membras*). *Foods* 10, 1811. <https://doi.org/10.3390/foods10081811>.

Asmah R and Biney CA. 2014. Distribution of heavy metals in tissues and organs of tuna. *Int J Fish Aquat Stud* 1, 82-86.

Barbosa RG, Gonzaga LV, Lodetti E, Olivo G, Costa ACO, Aubourg SP and Fett R. 2018. Biogenic amines assessment during different stages of the canning process of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*). *Int J Food Sci Technol* 53, 1236-1245. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13703>.

Benjakul S, Mad-Ali S, Senphan T and Sookchoo P. 2018. Characteristics of biocalcium from pre-cooked skipjack tuna bone as affected by different treatments. *Waste Biomass Valor* 9, 1369-1377. <https://doi.org/10.1007/s12649-017-9927-8>.

Chen J and Liu H. 2020. Nutritional indices for assessing fatty acids: A mini-review. *Int J Mol Sci* 21, 5695. <https://doi.org/10.3390/ijms21165695>.

Ciftci O and Cavdar HK. 2025. Ultrasound-assisted extraction improved the extraction rate, omega-3, and polyunsaturated fatty acid content of fish oil from Atlantic bonito waste. *Eur J Lipid Sci Technol* 127, e202400131. <https://doi.org/10.1002/ejlt.202400131>.

Doert M, Grebenteuch S, Kroh LW and Rohn S. 2022. A ternary system of  $\alpha$ -tocopherol with phosphatidylethanolamine and l-ascorbyl palmitate in bulk oils provides antioxidant synergy through stabilization and regeneration of  $\alpha$ -tocopherol. *Food Chem* 391, 133084. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133084>.

Ferdosh S, Sarker ZI, Norulaini N, Oliveira A, Yunus K, Chowdury AJ, Akanda J and Omar M. 2015. Quality of tuna fish oils extracted from processing the by-products of three species of neritic tuna using supercritical carbon dioxide. *J Food Process Preserv* 39, 432-441. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12248>.

Garofalo SF, Cavallini N, Demichelis F, Savorani F, Mancini G, Fino D and Tommasi T. 2023. From tuna viscera to added-value products: A circular approach for fish-waste recovery by green enzymatic hydrolysis. *Food Bioprod Process* 137, 155-167. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2022.11.006>.

Haq M, Chun MS, Ali MS, Han JM, Kim JW, Park SW, Choi MS, Lee SM, Park JS, Lee HJ and Chun BS. 2025. Molecular size reduction and functional properties of Atlantic salmon waste protein treated by subcritical water. *Int J Biol Macromol* 309, 142888. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.142888>.

Herpandi NH, Rosma A and Wan Nadiah WA. 2011. The tuna fishing industry: A new outlook on fish protein hydrolysates. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 10, 195-207. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00155.x>.

Hongpattarakere T, Buntin N and Nuylert A. 2016. Histamine

- development and bacterial diversity in microbially-challenged tonggol (*Thunnus tonggol*) under temperature abuse during canning manufacture. *Int J Food Sci Tech* 53, 245-256. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2042-6>.
- Jeong YR, Kim JE, Kwon JY, Yang JW and Yoon NY. 2024. Comparison of proximate fatty acid and total amino acid contents of five flounder special along the Korean coast. *Korean J Fish Aquat Sci* 57, 186-191. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2024.0186>.
- Jiang W, He S, Su D, Ye M, Zeng Q and Yuan Y. 2022. Synthesis, characterization of tuna polypeptide selenium nanoparticle, and its immunomodulatory and antioxidant effects *in vivo*. *Food Chem* 383, 132405. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132405>.
- Jimenez-Champi D, Romero-Oregon FL, Muñoz AM and Ramos-Escudero F. 2024. The revalorization of fishery by-products: Types, bioactive compounds, and food applications. *Int J Food Sci* 2024, 6624083. <https://doi.org/10.1155/2024/6624083>.
- Lee JW, Jo AH, Kang YJ, Lee D, Choi CY, Kang JC and Kim JH. 2024. Review of cadmium bioaccumulation in fish exposed to cadmium. *Toxics* 13, 7. <https://doi.org/10.3390/toxics13010007>.
- Lin CM, Kung HF, Huang YL, Huang CY, Su YC and Tsai YH. 2012. Histamine production by *Raoultella ornithinolytica* in canned tuna meat at various storage temperatures. *Food Control* 25, 723-727. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.12.019>.
- Lioupi A, Papaioannou A, Iakovakis A, Kaidatzis I, Theodoridis G and Virgiliou C. 2024. Development and validation of a rapid and simple HILIC-MS/MS method for the determination of biogenic amines in tuna fish. *J Chromatogr B* 1243, 124204. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2024.124204>.
- López-Álvarez M, Souto-Montero P, Durán S, Pérez-Davila S, Vázquez JA, González P and Serra J. 2024. Valuable Ca/P sources obtained from tuna species' by-products derived from industrial processing: Physicochemical and features of skeleton fractions. *Recycling* 9, 109. <https://doi.org/10.3390/recycling9060109>.
- Naseem S, Imam A, Rayadurga AS, Ray A and Suman SK. 2024. Trends in fisheries waste utilization: A valuable resource of nutrients and valorized products for the food industry. *Crit Rev Food Sci Nutr* 64, 9240-9260. <https://doi.org/10.1080/10408398.2023.2211167>.
- Nava V, Turco VL, Licata P, Panayotova V, Peycheva K, Fazio F, Rando R, Di Bella G and Potorti AG. 2023. Determination of fatty acid profile in processed fish and shellfish foods. *Foods* 12, 2631. <https://doi.org/10.3390/foods12132631>.
- Nirmal NP, Santivarangkna C, Rajput MS, Benjakul S and Maqsood S. 2022. Valorization of fish byproducts: Sources to end-product applications of bioactive protein hydrolysate. *Compr Rev Food Sci Food Saf* 21, 1803-1842. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12917>.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2025a. Korea Food Code. Chapter 8. General Testing Method. Retrieved from <https://various.foodsafetykorea.go.kr/fsd/#/ext/Document/FC> on Nov 13, 2025.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2025b. Korea Food Code. Chapter 2. Common Standards and Specifications for General. Retrieved from <https://various.foodsafetykorea.go.kr/fsd/#/ext/Document/FC?searchNm=%EC%95%84%EB%AF%B8%EB%85%B8%EC%82%B0&itemCode=FC0A090004005A093> on Nov 13, 2025.
- Mkadem H and Kaanane A. 2024. A comprehensive review on marine by-products use for the recovery of value-added products. *Curr Opin Green Sustain Chem* 50, 100972. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2024.100972>.
- Mohammadzadeh B and Feizy J. 2025. Evaluation of the nutritional quality of the five commercial fish species from the Persian Gulf from human health Perspective. *Food Sci Nutr* 13, e70704. <https://doi.org/10.1002/fsn3.70704>.
- Park HM, Lee JB, An BK, Lee WJ, IN JJ, Han HG, Son SA, Bae YJ and Shim KB. 2023. Quality characteristics of rice paper roll with frozen rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* meat treated with polysaccharide and TGase. *Korean J Fish Aquat Sci* 56, 585-595. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2023.0585>.
- Park SK, Seong GU, Han SJ, Jo YH, Choi EJ, Lee GS, Kim YM, Park KJ and Lim JH. 2025. Evaluating mackerel *Scomber japonicas* by-products as food materials for industrial applications. *Korean J Fish Aquat Sci* 58, 192-200. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2025.0192>.
- Rustad T, Storrø I and Slizyte R. 2011. Possibilities for the utilisation of marine by-products. *Int J Food Sci Technol* 46, 2001-2014. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2011.02736.x>.
- Ryu B, Shin KH and Kim SK. 2021. Muscle protein hydrolysates and amino acid composition in fish. *Mar Drugs* 19, 377. <https://doi.org/10.3390/md19070377>.
- Shim KB, Han HG, An BK, Lee WJ, In JJ and Dong HW. 2021. Comparison of the physicochemical compositions and biogenic amine contents of salt-fermented fishery products from different raw materials. *Korean J Fish Aquat Sci* 54, 835-840. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2021.0835>.
- Skatecki P, Florek M, Kędzierska-Matysek M, Poleszake, Domaradzki P and Kaliniak-Dziura A. 2020. Mineral and trace element composition of the roe and muscle tissue of farmed rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) with respect to nutrient requirements: Elements in rainbow trout products. *J Trace Elem Med Biol* 62, 126619. <https://doi.org/10.1016/j.jtemb.2020.126619>.
- Vieira HC, Bordalo MD, Morgado F, Soares AMVM and Abreu SN. 2017. Mercury content in the white and dark muscle of Skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) along the canning process: Implications to the consumers. *J Food Compos Anal* 56, 67-72. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2016.11.011>.

- WHO (World Health Organization). 2007. Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition: Report of a Joint WHO/FAO/UNU Expert Consultation. WHO Technical Report Series No. 935, WHO, Geneva, Switzerland.
- Xu Y, Ye J, Zhou D and Su L. 2020. Research progress on applications of calcium derived from marine organisms. *Sci Rep* 10, 18425. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75575-8>.
- Yang Q, Meng J, Zhang W, Liu L, He L, Deng L, Zeng X and Ye C. 2020. Effects of amino acid decarboxylase genes and pH on the amine formation of enteric bacteria from Chinese traditional fermented fish (Suan Yu). *Front Microbiol* 11, 1130. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01130>.
- Yoon NY, In JJ, An BK, Han HG, Son SA, Lee WJ, Lee JB, Bae YJ, Park HM, Joo HJ and Shim KB. 2023. Comparison of the nutritional composition of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* from different inland-based trout farms. *Korean J Fish Aquat Sci* 56, 33-43. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2023.0033>.
- Yi-Li T, Juhari NH, Jambari NN, Rozzamri A, Nor-Khaizura MAR and Ismail-Fitry MR. 2025. Tuna and tuna products: A review of the nutrition, processing, safety, and future prospects. *Fish Sci* 91, 657-678. <https://doi.org/10.1007/s12562-025-01878-2>.
- Zhang R, Li H, Wang X, Liu L and Zhu H. 2025. Potential benefits of glycine, proline and hydroxyproline on growth and flesh quality of mirror carp (*Cyprinus carpio* var. *specularis*). *Int J Mol Sci* 26, 9011. <https://doi.org/10.3390/ijms26189011>.