

## 가다랑어(*Katsuwonus pelamis*) 가공부산물의 부위별 화학·영양학적 특성 및 고부가 활용 가능성 평가

박선영 · 맹효주<sup>1</sup> · 안영현<sup>1</sup> · 이정석<sup>1\*</sup>

국립수산과학원 식품안전가공과, <sup>1</sup>경상국립대학교 해양식품공학과/해양산업연구소

## Chemical and Nutritional Profiles and Value-Added Utilization Potential of Major Processing By-products from Skipjack Tuna *Katsuwonus pelamis*

Sun-Young Park, Hyo Ju Maeng<sup>1</sup>, Young Hyun An<sup>1</sup> and Jung-Suck Lee<sup>1\*</sup>

Food Safety and Processing Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Republic of Korea

<sup>1</sup>Department of Seafood Science and Technology/Institute of Marine Industry, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Republic of Korea

This study aimed to explore the chemical and nutritional components of primary by-products derived from skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* processing, specifically focusing on the head, frame bone, skin, and viscera, and to evaluate their potential value-added applications. Among these, the frame bone exhibited the highest levels of crude protein, ash, caloric value, and total amino acid content, indicating its significant potential as a source of collagen- and protein-based materials. Mineral profiling indicated that phosphorus and magnesium were most concentrated in the frame bone, whereas calcium was most abundant in the head. Docosahexaenoic acid (DHA, 22:6n-3) was identified as the principal polyunsaturated fatty acid across all parts, with significantly elevated levels in the frame bone. These findings underscore the substantial nutritive and functional components inherent in skipjack tuna by-products, supporting their potential use as high-value raw materials for food products, pet food formulations and marine biomaterials. These results provide scientific evidence and foundational insights for the sustainable exploitation of fishery by-products and contribute to the advancement of the blue-food industry.

Keywords: Skipjack tuna, Processing by-products, Nutritional characteristics, Utilization potential

### 서 론

전 세계 수산업은 기후변화, 해양환경 악화, 과잉어획 등의 영향으로 해양자원의 지속가능한 이용에 대한 요구가 지속적으로 증가하고 있다. 특히 어류 가공 과정에서 발생하는 부산물의 양이 확대됨에 따라, 수산부산물을 단순 폐기물이 아닌 고부가 가치 산업 원료로 재활용하는 전략은 환경적·산업적 측면에서 모두 중요성이 커지고 있다(FAO, 2024). 수산부산물은 머리, 뼈, 껍질, 내장, 비늘, 패각 등 다양한 비가식 부위이며, 전체 수산식품 생산량 중 약 35%를 차지하는 것으로 보고된다(MOF, 2021; Shin et al., 2024). 그러나 이들 대부분이 아직도 폐기되거나 사료·퇴비 등 저부가가치 자원으로 이용되고 있어 자원 낭

비뿐 아니라 해양 폐기물·온실가스 발생 등 환경적 문제를 초래하고 있다(Heu et al., 2006; FAO, 2022). 수산자원 중 가다랑어(*Katsuwonus pelamis*)는 전 세계적으로 대량 생산되는 회유성 어종으로, 통조림·가다랑어포·액젓·어분 등 다양한 식품의 원료로 이용되고 있다. 가다랑어는 가공과정에서 어체의 50–60%가 머리, 뼈, 껍질, 내장 등의 부산물로 배출되며(Yoon et al., 2018), 이들 부산물에는 단백질, 필수아미노산, 불포화지방산(docosahexaenoic acid, DHA; eicosapentaenoic acid), 무기질, 콜라겐 등 다양한 유용 성분이 풍부하다(Jimenez-Champi et al., 2024). 특히 뼈와 껍질은 콜라겐 및 칼슘의 중요한 공급원으로, 기능성 식품 및 바이오소재 개발 측면에서 활용 가치가 높다고 할 수 있다. 한편, 가다랑어 가공부산물 관련 선행 연구는

\*Corresponding author: Tel: +82.55.772.9145 Fax: +82.55.772.9149

E-mail address: jungsucklee@gnu.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.2025.0658>

Korean J Fish Aquat Sci 58(6), 658-665, December 2025

Received 20 November 2025; Revised 8 December 2025; Accepted 18 December 2025

저자 직위: 박선영(연구사), 맹효주(대학원생), 안영현(대학원생), 이정석(교수)

껍질의 콜라겐·젤라틴 추출(FAO, 2013)과 이를 활용한 단백질 가수분해물의 기능성 분석(Noreen et al., 2025), 내장 가공부산물의 생리활성 연구(Choi et al., 1996) 등 기능성 연구에 집중되어 있으며, 가공부산물의 부위별 영양특성을 종합적으로 분석한 연구는 매우 제한적이다. 따라서 본 연구는 가다랑어 가공부산물의 부위별 자원화 및 산업적 적용을 위한 과학적 근거자료를 확보하여 지속가능한 블루푸드 산업 기반 구축에 기여할 목적으로 가다랑어 가공부산물인 머리, 뼈, 껍질 및 내장을 대상으로 일반성분, 아미노산 조성, 지방산 조성, 무기질 함량 등 화학 및 영양학적 특성을 분석하였다.

## 재료 및 방법

### 재료

경상남도 소재 S사에서 냉동상태의 가다랑어(*Katsuwonus pelamis*) 10마리를 2025년 5월에 수령하여, 실험실로 운반하였다. 각 개체의 무게는 2,409.6–3,052.5 g (평균  $2,722 \pm 386$  g) 범위었으며, 자연해동( $20^{\circ}\text{C}$ , 12시간) 후 비가식 부위 중 머리(head), 중골(bone), 껍질(skin) 및 내장(intestines)을 각각 분리하였다. 이때, 부산물의 무게는 머리  $390 \pm 87$  g (전체 무게 대비 약 14.3%), 내장  $243 \pm 43$  g (약 8.9%), 껍질  $113 \pm 27$  g (약 4.2%), 중골  $130 \pm 26$  g (약 4.8%)이었다. 가다랑어 부위별 부산물 시료는 이물질을 제거한 뒤 중류수로 2–3회 세척하고 채망에서 15분간 방치 후 마쇄하여 실험에 사용하였다. 이때, 부패 또는 사후 생화학적 변화를 최소화하기 위하여 채취 직후 즉시 냉동고(GC-124HG-FP; LG Co., Seoul, Korea)에 보관( $-20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ )하였으며, 해동 즉시 분석에 이용하였다.

### 일반성분 및 에너지

일반성분 함량은 부위별 부산물을 검체로 하여 식품공전(MFDS, 2025)에 따라 수분의 경우 상압가열건조법으로, 조단백질의 경우 semimicro Kjeldahl법으로, 그리고, 회분의 경우 건식회화법으로 측정하여 산출하였고, 탄수화물 함량의 경우  $100\text{-(수분+조단백질+조지방+회분함량)}$ 으로 산출하였다(MFDS, 2025). 또한, 조지방 함량은 식품공전(MFDS, 2025)에 따라 Soxhlet법으로 측정한 Park et al. (2022)을 참고하여 실험하였다. 에너지는 일반성분의 분석 자료를 토대로 하되, 환산 계수는 농업진흥청에서 제시한 에너지 환산계수(RDA, 2016) (단백질 함량  $\times 4.22$ +지방  $\times 9.41$ +탄수화물  $\times 4.11$ )를 활용하여 계산하였다.

### 염도

염도의 경우 식품공전의 회화법(MFDS, 2025)에 따라 실험하고 계산하였다.

검체 적정량(식염 약 1 g을 함유하고 있는 시료량)을 수육 상에서 증발 건조한 후 회화로(Electric muffle furnace J-FM 2;

Jisico Co. Ltd., Seoul, Korea)에서 회화시켜 이를 중류수에 녹이고 다시 중류수를 가하여 500 mL로 정용 및 여과하여 제조하였다.

염도는 전처리한 검체 10 mL에 크롬산칼륨( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) 시액 2–3방울을 가하고 0.02 N 질산은( $\text{AgNO}_3$ ) 용액으로 적정하여 산출하였다.

$$\text{염도}(\%) = [0.02 \text{ N} \text{ 질산은} \text{ 용액} \text{ 적정 소비량}(\text{mL}) \times 0.02 \text{ N} \text{ 질산은} \text{ 용액의 factor} \times 5.85] / \text{검체 채취량}(\text{g})$$

### pH

pH는 식품공전(MFDS, 2025)에서 언급한 방법에 따라 측정하였다. 즉, pH 측정을 위한 시료는 마쇄한 검체 약 5 g을 취한 다음 여기에 9배(v/w)에 해당하는 순수를 가하여 균질기(Polytron PT 1200E; Kinematica AG, Lucerne, Switzerland)로 균질화하고, 원심분리(9,300 g, 15분) 및 여과한 여액으로 하였고, pH 측정은 pH meter (Orion 3-star; Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA)로 실시하였다.

### 총산도

총산도는 Chang et al. (2010)이 언급한 방법에 따라 pH 측정 용 시험용액을 제조하고, 이의 25 mL에 대하여 0.1 N NaOH를 가하여 pH 8.5가 될 때까지 적정한 다음 그 소비량(mL)을 젖산(% w/w)으로 환산하여 나타내었다.

### 총아미노산

총아미노산의 분석은 부위별 부산물을 검체로 하여 식품공전(MFDS, 2025)에서 언급한 방법을 약간 변형하여 실시하였다. 총아미노산 분석용 가수분해물은 부위별 부산물 약 10 mg을 가수분해용 시험관에 정밀히 채취하여 넣고, 여기에 0.05% (w/v) 2-메르캅토에탄올(2-mercaptop- ethanol) ( $\text{C}_2\text{H}_6\text{SO}$ )을 함유한 6 N 염산 약 10 mL를 가한 다음, 이를 밀봉하고,  $105 \pm 1^{\circ}\text{C}$ 로 조정된 정온가열로(heating block, HF21; Yamato Scientific Co., Tokyo, Japan)에서 24시간 가수분해시켜 제조하였다. 아미노산 분석용 전처리시료는 염산 가수분해물을  $40^{\circ}\text{C}$ 에서 감압농축하여 염산을 제거하였고, 0.2 N 구연산나트륨 완충액(pH 2.2)으로 정용(25 mL)하였으며, 이를 membrane syringe filter (pore size 0.2  $\mu\text{m}$ , 13mm, PN6054567; Pall Co., Seoul, Korea)로 걸러 제조하였다. 아미노산 분석은 최종 전처리 시료의 일정량을 이용하여 아미노산자동분석기(Pharmacia Biotech Biochrom 30; Biochrom Ltd., London, UK)로 실시하였다.

### 무기질

무기질 분석용 시험용액은 부위별 부산물을 동결건조하고, 분쇄한 다음 Kim (2014)이 언급한 방법에 따라 제조하였다. 즉, 무기질 분석용 시험용액의 제조를 위하여 테프론 분해기(teflon bomb)에 건조물 1 g과 무기질 분석용 고순도 질산 10 mL를 가

하고 상온에서 150분 동안 반응시킨 다음 시료의 완전 분해를 위하여 테프론 분해기를 밀폐시키고, 가열판으로  $80 \pm 5^\circ\text{C}$ 에서 400분간 가열한 후 노란색을 띠는 맑은 용액이 될 때까지 분해 시켜 제조하였다. 이어서 테프론 분해기의 코크를 열어 압력을 제거하고, 뚜껑을 열어  $100 \pm 5^\circ\text{C}$ 에서 질산이 1 mL 정도가 되도록 증발시킨 다음 여기에 다시 무기질 분석용 고순도 질산 10 mL를 가한후, 테프론 분해기의 밀폐, 가열( $80 \pm 5^\circ\text{C}$ , 400분)하는 과정을 한 번 더 반복하였다. 무기질 분석용 시험용액은 테프론 분해기의 질산이 1 mL 정도가 되었을 때 분해를 종료하고 2% 질산 용액으로 재용해한 다음, 여과 및 정용(100 mL)하여 제조하였다.

무기질의 분석은 다량 무기질(칼슘, 인, 마그네슘, 아연)의 경우 ICP-OES (ELAN DRC II; PerkinElmer, Santa Clara, CA, USA)에, 미량 무기질(철, 셀레늄)의 경우 ICP-MS (Nexion 350D; Perkin Elmer)에 전처리 용액(50  $\mu\text{L}$ )을 주입한 다음 식품공전(MFDS, 2025)에 제시되어 있는 조건(carrier gas, argon; RF power, 1,300 W; plasma gas flow, 10 L/min; auxiliary gas flow, 0.2 L/min; pump flow, 1.0 mL/min; pump speed, 100 rpm; nebulizer gas flow, 0.55 L/min)에 따라 실시하였다.

## 지방산

지방산 분석용 시료유는 검체를 부위별 부산물로 하고, 추출 용매는 chloroform-methanol (2:1, v/v) 혼합용액을 사용하는 Bligh and Dyer (1959)법으로 추출하여 사용하였다. 지방산 조성은 추출한 총지질의 일정량을 이용하여 AOCS (1998)법에 따라 지방산 메틸에스테르화한 후에 capillary column [SupelcowaArial Unicode MSx-10 fused silica wall-coated open tubular column, 30 m  $\times$  0.25 mm I.d. (Supelco Japan Ltd., Tokyo, Japan)]이 장착된 gas chromatography (GC-2010 Pro; Shimadzu Seisakusho Co. Ltd., Kyoto, Japan)를 이용하여 분석하였다.

이때 총지질의 지방산 메틸에스테르는 14% BF3-Methanol 용액을 이용하여 조제하였다. 그리고 시료 주입구(injector) 및 FI (flame ionization) 검출기(detector) 온도는  $250^\circ\text{C}$ 로 하였으며, 컬럼오븐(column oven) 온도는  $180^\circ\text{C}$ 에서 8분간 유지한 후  $3^\circ\text{C}/\text{min}$ 으로  $230^\circ\text{C}$ 까지 승온시킨 다음 15분간 유지하였다.

Carrier gas는 He (54.0 mL/min)을 사용하고, split ratio는 1:50 으로 하였다.

분석된 지방산은 시료의 경우와 동일한 조건에서 분석한 표준품(Supelco 37 Component FAME Mix.; Sigma-Aldrich Korea, Seoul, Korea)의 머무름 시간(retention time)과 비교하여 동정하고, 표준품이 없는 지방산의 경우는 문현상(Ackman, 1989)의 ECL (equivalent chain length)과 비교하여 동정하였다. 내부 표준품으로는 methyl tricosanoate (99%; Sigma-Aldrich Korea)를 사용하였다.

## 통계 처리

데이터의 표준편차 및 유의차 검정(5% 유의수준)은 SPSS 통계패키지(SPSS for window, release 18)에 의한 ANOVA test를 이용하여 분산분석한 후 Duncan의 다중위검정을 실시하여 나타내었다.

## 결과 및 고찰

### 일반성분, 염도 및 에너지

가다랑어 가공부산물의 주요 부위별 일반성분, 염도 및 에너지를 Table 1에 제시하였다. 머리(head) 부위는 수분 67.5 g, 조단백질 17.0 g, 조지방 7.7 g, 회분 6.3 g, 탄수화물 1.5 g으로 나타났다. 머리의 경우 중골을 제외하고, 다른 부위에 비해 회분 함량이 상대적으로 높았는데, 이는 두개골 및 피부 조직의 잔존 무기질이 일부 포함된 데서 기인한 것으로 판단된다. Li et al. (2019)은 가다랑어 머리의 일반성분을 수분 75.6 g, 단백질 18 g, 지방 4.8 g, 회분 3.9 g으로 보고하였으며, Toisut et al. (2014) 역시 머리의 단백질 16.8 g, 지방 1.1 g, 회분 5.7 g을 보고하여 본 연구와 유사한 경향을 나타내었다. 다만 본 연구의 머리 지방 함량(7.7 g)이 선행 연구보다 다소 높게 나타났는데, 이는 채집 시기, 개체의 영양 상태, 지방 축적 부위(안구 주변 지방, 피부·표피 조각, 잔존 근육 등) 포함 여부에 따른 차이로 해석된다. 특히 어류의 지방 함량은 먹이 자원, 수온, 산란기 여부, 개체 크기 등 생리·환경적 요인에 따라 변동 폭이 큰 것으로 알려져 있다(Chakraborty, 2017).

껍질(skin)은 수분 64.4 g, 조단백질 20.5 g, 조지방 11.5 g을

Table 1. Proximate composition, salinity and energy of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* processing by-products

By-product parts	Proximate composition (g/100 g)					Salinity (g/100 g)	Energy (kcal/100 g) <sup>2</sup>
	Moisture	Crude protein	Crude lipid	Ash	Carbohydrate <sup>1</sup>		
Head	67.5 $\pm$ 0.6 <sup>b3</sup>	17.0 $\pm$ 2.1 <sup>a</sup>	7.7 $\pm$ 1.6 <sup>b</sup>	6.3 $\pm$ 1.1 <sup>b</sup>	1.5 $\pm$ 0.0 <sup>d</sup>	3.2 $\pm$ 0.0 <sup>c</sup>	150.3 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>
Skin	64.4 $\pm$ 1.2 <sup>b</sup>	20.5 $\pm$ 1.7 <sup>b</sup>	11.5 $\pm$ 0.3 <sup>c</sup>	2.3 $\pm$ 1.3 <sup>a</sup>	1.3 $\pm$ 0.0 <sup>c</sup>	1.0 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	200.1 $\pm$ 0.0 <sup>c</sup>
Bone	2.1 $\pm$ 0.4 <sup>a</sup>	31.5 $\pm$ 0.3 <sup>c</sup>	15.2 $\pm$ 1.3 <sup>d</sup>	44.6 $\pm$ 0.7 <sup>c</sup>	6.6 $\pm$ 0.0 <sup>b</sup>	0.1 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	303.1 $\pm$ 0.0 <sup>d</sup>
Intestines	77.4 $\pm$ 0.4 <sup>c</sup>	18.4 $\pm$ 1.3 <sup>a</sup>	2.0 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	1.6 $\pm$ 0.1 <sup>a</sup>	0.6 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	0.2 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>	129.1 $\pm$ 0.0 <sup>a</sup>

<sup>1</sup>Carbohydrate (g/100 g)=100-(moisture+crude protein+crude lipid+ash). <sup>2</sup>Energy (kcal/100 g)=(crude protein $\times$ 4.22)+(crude lipid $\times$ 9.41)+(carbohydrate $\times$ 4.11). <sup>3</sup>The different letters on the data in the column indicate significant differences at  $P<0.05$ .

함유하여 고단백·고지질성 부산물의 대표적 특성을 보였다. 반면, 회분 함량은 2.3 g으로 상대적으로 낮았다.

중골(frame bone)은 수분함량이 2.1 g으로 매우 낮은 반면, 조단백질(31.5 g)과 회분(44.6 g)은 다른 부위에 비해 월등히 높았다( $P<0.05$ ). 이러한 결과는 중골을 구성하는 풍부한 콜라겐 및 구조 단백질 성분에 기인한 것으로 판단된다. 즉, 중골에는 단백질이 고농도로 존재하는 부위로, 어류 부산물 중에서도 단백질 자원으로서의 활용 잠재력이 높다는 점을 의미한다(Nagai and Suzuki, 2000).

내장(intestines)은 수분함량이 77.4 g으로 가장 높았으며, 조단백질 18.4 g, 조지방 2.0 g, 회분 1.6 g을 나타내어 단백질 함량은 상대적으로 높지만 지방과 회분 함량은 낮은 특징을 보였다.

에너지는 100 g 기준 중골에서 303.1 kcal로 가장 높았고 내장은 129.1 kcal로 가장 낮았다( $P<0.05$ ). 이는 중골이 낮은 수분함량에 비해 단백질 함량이 높아 에너지 값이 상대적으로 높게 나타났기 때문으로, 영양밀도가 우수하여 단백질 자원으로서의 활용 가치가 높음을 시사한다. 따라서 부산물의 부위별 에너지 값 비교는 각 부위의 영양적 가치를 평가하는 데 유용한 기초자료가 될 것으로 판단된다(Lee and Woo, 1992; Klomklao and Benjakul, 2017). 부위별 염도는 머리에서 3.2 g/100 g으로 가장 높았으며, 껌질 1.0 g, 내장 0.2 g, 중골 0.1 g 순으로 나타났다. 머리의 높은 염도는 혈액·점액·표피 잔여물에 포함된 염분의 영향으로 볼 수 있고, 중골과 내장은 조직 특성상 단백질·지질 중심 구조로 상대적으로 염이 적게 축적되기 때문에 낮은 값을 보였다. 일반적으로 어류의 조직 특성에 따라 염분 분포가 달라지며, 표피 및 근육 외층에서 상대적으로 높은 염도가 관찰된다는 기존 보고와 일치한다(Rybicka et al., 2022a, 2022b; Jimenez-Champi et al., 2024).

#### pH 및 총산도

가다랑어의 가공부산물 주요 부위별 pH 및 총산도를 분석한 결과는 Table 2에 나타내었다. 가다랑어 가공부산물의 pH는 5.49–5.90 범위였으며, 껌질에서 가장 높은 값을 나타내었고, 중골에서 가장 낮은 값을 보였다. 이러한 결과는 어류의 부위별 단백질 조성 및 수분 함량의 차이에 따른 것으로, 상대적으로 단백질 및 지질 함량이 높은 껌질 부위에서 완충능(buffering capacity)이 커지면서 pH가 높게 유지된 것으로 판단된다(Kim and Mendis, 2006; Kang et al., 2024).

가다랑어 가공부산물의 총산도는 중골에서 1,427.1 mg/100 g

으로 가장 높았고, 다음으로 껌질(280.8 mg/100 g), 머리(221.8 mg/100 g), 내장(124.7 mg/100 g) 순으로 나타났다. 이는 유기산 및 단백질 분해산물이 상대적으로 많이 축적된 데 따른 결과로 해석된다(Yoshida et al., 1999; Bioflux, 2018). 반면 내장과 머리 부위는 상대적으로 단백질 변성 및 분해로 인해 생성되는 산성 물질이 적어 총산도 수치가 낮게 나타났다.

#### 총아미노산

가다랑어 가공부산물의 주요 부위별 총아미노산 함량은 Table 3에 제시하였다. 총아미노산 함량은 중골(29.39 g/100 g)에서 가장 높았으며, 이어서 껌질(18.76 g), 내장(17.26 g), 머리(16.57 g) 순으로 나타났다( $P<0.05$ ). 중골의 높은 함량은 콜라겐 및 구조 단백질 구성비에 기인하며, 껌질 역시 젤라틴 전구체인 아미노산이 풍부하여 높은 수준을 보였다(Nagai and Suzuki, 2000). 주요 구성 아미노산(비율 5% 이상)은 모든 부위에서 공통적으로 글루탐산(12.3–14.2%), 아스파르트산(7.1–9.3%), 라이신(5.1–8.5%), 아르기닌(6.2–8.6%), 글리신(5.9–19.3%)이었다. 특히 중골과 껌질은 글리신·프롤린·알라닌의 비율이 높아, 콜라겐 특유의 아미노산 조성이 뚜렷하게 나타났다. 필수아미노산(5% 이상) 함량은 6.53–9.09 g/100 g 범위이었고, 중골이 9.09 g으로 가장 높았고, 다음으로 내장(8.58 g), 머리(7.94 g), 껌질(6.53 g) 순이었다. 주요 필수 아미노산은 라이신(0.96–1.53 g, 5.1–8.5%), 류신(0.78–1.47 g, 5.0–8.1%), 아르기닌(1.03–2.49 g, 6.2–8.6%)이었다. 특히, 중골 부위에서 높은 라이신과 아르기닌 함량은 콜라겐 및 구조 단백질(콜라겐 및 구조 단백질)의 풍부함과 밀접한 관련된 것으로 판단된다(Nagai and Suzuki, 2000).

비필수아미노산은 중골에서 20.31 g/100 g으로 가장 높았고, 그 다음으로 껌질(12.23 g), 내장(8.68 g), 머리(8.63 g) 순이었다. 주요 비필수아미노산(6% 이상)은 아스파르트산(1.34–2.35 g, 7.1–9.3%), 글루탐산(2.30–3.99 g, 12.3–14.2%), 알라닌(1.14–3.07 g, 6.6–10.4%)였고, 모든 부위에서 높은 함량을 보였다. 이들 아미노산은 어류 가공부산물의 주요 단백질 구성 성분이며, 특히 감칠맛(umami) 형성과 기능성 소재로의 활용에 기여하는 것으로 보고되었다(Nagai and Suzuki, 2000; Chalamaiyah et al., 2012).

#### 무기질

가다랑어 가공부산물 주요 부위별 무기질 함량은 Table 4에

Table 2. pH and total acidity of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* processing by-products

Component	By-product parts			
	Head	Skin	Bone	Intestines
pH	5.71±0.1 <sup>b1</sup>	5.90±0.0 <sup>c</sup>	5.49±0.0 <sup>a</sup>	5.71±0.0 <sup>b</sup>
Total acidity (mg/100 g)	221.8±4.1 <sup>c</sup>	280.8±9.5 <sup>b</sup>	1,427.1±16.3 <sup>d</sup>	124.7±17.4 <sup>a</sup>

<sup>1</sup>The different letters on the data in the column indicate significant differences at  $P<0.05$ .

제시하였다. 인(P), 칼슘(Ca), 마그네슘(Mg), 아연(Zn) 등 무기질의 조성은 부위 간 뚜렷한 차이를 보였다( $P<0.05$ ).

인(P) 함량은 중골(7,601.9 mg/100 g)이 가장 높았으며, 그 다음은 머리(1,318.2 mg), 내장(390.1 mg), 껍질(326.0 mg) 순이었다. 칼슘(Ca)은 머리(2,060.3 mg/100 g)에서 가장 높게 나타났다. 이는 두개골 및 척추뼈 등 골화된 조직이 포함되어 있기 때문이며, 껍질(449.3 mg), 내장(182.0 mg), 중골(151.7 mg) 이 그 뒤를 이었다. 마그네슘(Mg)은 중골(223.4 mg/100 g)에서 가장 높은 수준을 보였으며, 내장(90.3 mg), 머리(76.6 mg), 껍질(26.1 mg) 순으로 나타났다. 또한, 아연(Zn)은 내장(10.7

mg/100 g)에서 가장 높았고, 중골(9.3 mg), 껍질(3.7 mg), 머리(3.3 mg)이 그 뒤를 이었다.

이러한 결과는 중골 부위에 인, 마그네슘 등 골조직 구성 무기질이 집중되어 있고, 머리 부위에는 두개골 및 척추뼈 등 골질 조직이 포함되어 칼슘 함량이 높게 나타난 것과 연관이 깊다(Nagai and Suzuki, 2000). 또한, 내장 부위의 높은 아연 함량은 각종 효소 단백질과 대사 관련 금속이온이 다량 존재하기 때문으로 판단된다(Ngo et al., 2012).

종합적으로, 중골은 인·마그네슘 등 골조직 유래 무기질의 주요 공급원이며, 머리는 칼슘이 풍부하고, 내장은 효소 관련 미

Table 3. Total amino acid contents of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* processing by-products

Amino acid (g/100 g)	By-product parts				
	Head	Skin	Bone	Intestines	
EAA <sup>1</sup>	Threonine	0.75 (4.5) <sup>3</sup>	0.71 (3.8)	ND <sup>4</sup>	0.86 (5.0)
	Valine	0.86 (5.2)	0.58 (3.1)	1.05 (3.6)	1.00 (5.8)
	Methionine	0.52 (3.1)	0.44 (2.4)	0.08 (0.3)	0.48 (2.8)
	Isoleucine	0.77 (4.7)	0.42 (2.2)	0.74 (2.5)	0.87 (5.0)
	Leucine	1.28 (7.7)	0.78 (4.2)	1.47 (5.0)	1.41 (8.1)
	Phenylalanine	0.72 (4.3)	0.52 (2.8)	1.00 (3.4)	0.85 (5.0)
	Histidine	0.68 (4.1)	0.51 (2.7)	0.73 (2.5)	0.57 (3.3)
	Lysine	1.33 (8.0)	0.96 (5.1)	1.53 (5.2)	1.47 (8.5)
	Arginine	1.03 (6.2)	1.61 (8.6)	2.49 (8.5)	1.07 (6.2)
	Sub-total	7.94 (47.8)	6.53 (34.9)	9.09 (31.0)	8.58 (49.7)
NEAA <sup>2</sup>	Aspartic acid	1.55 (9.3)	1.34 (7.1)	2.35 (8.0)	1.61 (9.3)
	Serine	0.69 (4.2)	0.72 (3.8)	1.36 (4.6)	0.84 (4.9)
	Glutamic acid	2.35 (14.2)	2.30 (12.3)	3.99 (13.6)	2.40 (13.9)
	Proline	1.01 (6.1)	2.10 (11.4)	3.10 (10.5)	0.85 (4.9)
	Glycine	1.29 (7.8)	3.55 (18.9)	5.67 (19.3)	1.02 (5.9)
	Alanine	1.16 (7.0)	1.90 (10.2)	3.07 (10.4)	1.14 (6.6)
	Cysteine	0.09 (0.5)	0.06 (0.3)	0.15 (0.5)	0.17 (1.0)
	Tyrosine	0.49 (3.0)	0.21 (1.1)	0.62 (2.1)	0.65 (3.8)
	Sub-total	8.63 (52.1)	12.23 (65.1)	20.31 (69.0)	8.68 (50.3)
	Total	16.57 (99.9)	18.76 (100.0)	29.39 (100.0)	17.26 (100.0)

<sup>1</sup>Essential amino acid. <sup>2</sup>Nonessential amino acid. <sup>3</sup>The value of parenthesis means percentage of each amino acid content to total amino acid content. <sup>4</sup>Not detected.

Table 4. Mineral content of of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* processing by-products

By-product parts	Minerals (mg/100 g)			
	P	Ca	Mg	Zn
Head	1,318.2±0.0 <sup>c1</sup>	2,060.3±0.0 <sup>d</sup>	76.6±0.0 <sup>b</sup>	3.3±0.0 <sup>a</sup>
Skin	326.0±0.0 <sup>a</sup>	449.3±0.0 <sup>c</sup>	26.1±0.0 <sup>a</sup>	3.7±0.0 <sup>a</sup>
Bone	7,601.9±0.0 <sup>d</sup>	151.7±0.0 <sup>a</sup>	223.4±0.0 <sup>d</sup>	9.3±0.0 <sup>b</sup>
Intestines	390.1±0.0 <sup>b</sup>	182.0±0.0 <sup>b</sup>	90.3±0.0 <sup>c</sup>	10.7±0.0 <sup>c</sup>

<sup>1</sup>The different letters on the data in the column indicate significant differences at  $P<0.05$ .

양무기질(Zn)의 중요한 공급원임이 확인되었다. 이는 가다랑어 부산물의 부위별 특성을 기반으로 기능성 무기질 소재 개발·고부가가치 활용 전략 수립에 기초자료로 활용될 수 있다.

## 지방산

가다랑어의 가공부산물 주요 부위별 지방산 함량과 조성은 Table 5와 같다. 머리, 껍질, 중골 및 내장 총지질에서 각각 14~15종의 지방산이 확인되었으며, 부위별 총지질 함량과 지방산 조성 패턴은 뚜렷한 차이를 보였다.

머리의 지방산 함량은 6,234.6 mg이었고, 포화산 42.0% (2,619.6 mg), 폴리엔산(38.3%, 2,390.3 mg) 및 모노엔산(21.1%, 1,314.6 mg)의 순이었다. 주요 지방산은 16:0 (1,717.3 mg, 27.5%), 18:1n-9 (921.7 mg, 14.8%), 22:6n-3 (1,841.3 mg, 29.5%)였다.

껍질의 지방산 함량은 9,128.4 mg이었고, 지방산 조성은 포화산 42.5% (3,882.4 mg), 폴리엔산(36.4%, 3,321.6 mg) 및 모노엔산(21.1%, 1,924.4 mg)의 순이었다. 주요 지방산은 16:0 (2,525.1 mg, 27.7%), 18:1n-9 (1,371.0 mg, 15.0%), 22:6n-3 (2,549.9 mg, 27.9%)로 머리와 유사한 경향을 보였다.

중골의 지방산 함량은 12,606.5 mg으로 부산물 중 가장 높

았으며, 폴리엔산 45.9% (5,790.9 mg), 포화산(35.4%, 4,467.2 mg) 및 모노엔산(18.6%, 2,348.4 mg)의 순이었다. 주요 지방산은 16:0 (2,806.3 mg, 22.3%), 18:1n-9 (1,638.8 mg, 13.0%), 22:6n-3 (4,579.8 mg, 36.3%)으로, 특히 DHA (22:6n-3)의 비율이 높게 나타난 것은, 중골 부위에 잔류하는 골수 및 연조직 내 인지질 성 지질에 DHA가 풍부하게 존재하기 때문으로 판단된다. 이는 다랑어류 부산물에 중골 분말 및 추출한 오일의 지방산 조성 연구에서도 확인된 바 있으며, DHA가 주요 고도불포화지방산으로 검출되어 다랑어류 중골 부위가 오메가-3 지방산의 중요한 저장 부위임을 보고된 바 있다(Murthy et al., 2014; Ahmed et al., 2017).

내장의 지방산 함량은 1,137.3 mg이었고, 포화산이 40.0% (454.6 mg), 폴리엔산(38.7%, 440.2 mg) 및 모노엔산(21.3%, 242.5 mg)의 순이었으며, 주요 지방산은 16:0 (306.3 mg, 26.9%), 18:1n-9 (196.4 mg, 17.3%), 22:6n-3 (357.6 mg, 31.4%)로 분석되었다.

부위별 지방산 조성을 비교한 결과, DHA는 모든 부위에서 가장 풍부한 고도불포화지방산이었으며, 특히 중골에서 그 함량과 비율이 가장 높았다. 머리와 껍질에서는 16:0, 18:1n-9, 22:6n-3이 주요 지방산으로 유사한 분포를 보였고, 내장에

Table 5. Fatty acid composition of skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* processing by-products

Fatty acid (mg/100 g)	By-product parts			
	Head	Skin	Bone	Intestines
14:0	248.9 (4.0)	330.7 (3.6)	302.3 (2.4)	21.6 (1.9)
15:0	80.4 (1.3)	119.4 (1.3)	130.3 (1.0)	11.3 (1.0)
16:0	1,717.3 (27.5)	2,525.1 (27.7)	2,806.3 (22.3)	306.3 (26.9)
17:0	104.0 (1.7)	157.6 (1.7)	212.3 (1.7)	13.1 (1.2)
18:0	438.2 (7.0)	714.2 (7.8)	974.0 (7.7)	95.4 (8.4)
20:0	30.8 (0.5)	35.4 (0.4)	42.0 (0.3)	6.9 (0.6)
Saturated	2,619.6 (42.0)	3,882.4 (42.5)	4,467.2 (35.4)	454.6 (40.0)
16:1n-7	350.9 (5.6)	493.6 (5.4)	481.3 (3.8)	38.2 (3.4)
18:1n-9	921.7 (14.8)	1,371.0 (15.0)	1,638.8 (13.0)	196.4 (17.3)
20:1n-9	42.0 (0.7)	59.8 (0.7)	82.3 (0.7)	7.9 (0.7)
24:1n-9	ND <sup>3</sup>	ND	146.0 (1.2)	ND
Monoenoic	1,314.6 (21.1)	1,924.4 (21.1)	2,348.4 (18.6)	242.5 (21.3)
18:2n-6	83.9 (1.3)	128.5 (1.4)	160.0 (1.3)	12.3 (1.1)
18:3n-3	27.6 (0.4)	34.7 (0.4)	52.3 (0.4)	7.7 (0.7)
20:4n-6	119.4 (1.9)	131.2 (1.4)	324.0 (2.6)	11.4 (1.0)
20:5n-3	318.1 (5.1)	477.3 (5.2)	674.8 (5.4)	51.2 (4.5)
22:6n-3	1,841.3 (29.5)	2,549.9 (27.9)	4,579.8 (36.3)	357.6 (31.4)
Polyenoic	2,390.3 (38.3)	3,321.6 (36.4)	5,790.9 (45.9)	440.2 (38.7)
TFA <sup>1</sup>	6,234.6 (101.4)	9,128.4 (100.0)	12,606.5 (100.0)	1,137.3 (100.0)
TL <sup>2</sup>	7.7 (0.1)	11.5 (0.1)	15.2 (0.1)	2.0 (0.2)

<sup>1</sup>Total fatty acid. <sup>2</sup>Total lipid contents (g) of samples (100 g). <sup>3</sup>Not detected.

서는 총지질 함량은 낮지만 DHA 비율이 높게 나타났다. 따라서 가다랑어 부산물은 부위별 특성에 따라 지방산 조성이 상이 하나, 전반적으로 오메가-3 계열 지방산의 주요 공급원으로서 활용 가능성이 높은 것으로 판단되었다(Lauritzen et al., 2016; Vázquez et al., 2022).

이상의 가공부산물의 화학 및 영양특성 차이를 분석한 결과, 중골은 단백질·콜라겐·무기질·DHA 등 기능성 성분이 가장 풍부하여 고부가가치 소재 개발에 적합하였고, 껍질과 머리도 단백질·무기질 측면에서 활용 가치가 높을 것으로 사료된다. 본 연구는 가다랑어 부산물의 자원화 및 산업화 전략 수립에 필요한 기초자료를 제공하며, 향후 부산물 기반 기능성 소재 개발 및 블루푸드 산업 확장에 중요한 근거자료로 활용될 수 있기를 기대한다.

## 사 사

이 논문은 2025년도 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2025-02263222, 수산부산물 산업 활용성 기술개발 사업).

## References

Ackman RG. 1989. Nutritional composition of fats in seafoods. *Prog Food Nutr Sci* 13, 161-289.

Ahmed R, Haq M, Cho YJ and Chun BS. 2017. Quality evaluation of oil recovered from by-products of bigeye tuna using supercritical carbon dioxide extraction. *Turk J Fish Aquat Sci* 17, 663-672. [https://doi.org/10.4194/1303-2712-v17\\_4\\_02](https://doi.org/10.4194/1303-2712-v17_4_02).

AOCS (American Oil Chemists' Society). 1998. AOCS Official Method Ce 1b-89 (4th Ed). AOCS, Champaign, IL, U.S.A.

Bligh EG and Dyer WJ. 1959. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Can J Biochem Physiol* 37, 911-917. <https://doi.org/10.1139/o59-099>.

Chakraborty K, Raola VK, Joy M and Makkar F. 2017. Nutritional attributes in the fillet of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) from the Arabiana Sea near the south-west coast of India. *J Mar Biol Assoc UK* 97, 419-432. <https://doi.org/10.1017/S0025315416000527>.

Chalamaiyah M, Kumar BD, Hemalatha R and Jyothirmayi T. 2012. Fish protein hydrolysates: Proximate composition, amino acid composition, antioxidant activities and applications: A review. *Food Chem* 135, 3020-3038. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.06.100>.

Chang CL, Ding Z, Patchigolla VN, Zuaue B and Savran CA. 2010. Diffractometric biochemical sensing with smart hydrogels. In: Proceeding of the 2010 IEEE Sensors Conference. Waikoloa, HI, U.S.A., 1617-1621. <https://doi.org/10.1109/ICSENS.2010.5690402>.

Choi YJ, Kim IS, Lee KW, Kim GB, Lee NG and Cho YJ. 1996. Available components of cooking drips, dark muscle, head and raw viscera from skipjack. *Korean J Fish Aquat Sci* 29, 701-708.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2013. By-products of tuna processing. Retrieved from <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/bb215e> on Nov 10, 2025.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2022. Utilization and Processing of Fisheries and Aquaculture Production. In: The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. Retrieved from <https://openknowledge.fao.org/> on Nov 10, 2025.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2024. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024: Blue Transformation on Action. Retrieved from <https://doi.org/10.4060/cd0683en> on Nov 10, 2025.

Heu MS, Kim HS, Jung SC, Park CH, Park HJ, Yeum DM, Park HS, Kim CG and Kim JS. 2006. Food component characteristics of skipjack (*Katsuwonus pelamis*) and yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) roes. *J Kor Fish Soc* 39, 1-8. <https://doi.org/10.5657/kfas.2006.39.1.001>.

Jimenez-Champi D, Romero-Orejon 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>.

Kim KH. 2014. Concentration and risk assessment of heavy metal in mainly consumed fishes. M.S. Thesis, Gyeongsang National University, Tongyeong, Korea.

Kim SK and Mendis E. 2006. Bioactive compounds from marine processing by-products - A review. *Food Res Int* 39, 383-393. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.10.010>.

Klomklao S and Benjakul S. 2017. Utilization of tuna processing byproducts: Protein hydrolysate from skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) viscera. *J Food Process Preserv* 41, e12970. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12970>.

Kang SI, Kwon IS, Yoon IS, Kim JS, Lee JS, Kim HS and Heu MS. 2024. Influence of pH-shift on food functionality of protein isolates recovered by isoelectric solubilization and precipitation from olive flounder *Paralichthys olivaceus* roes. *J Korean Soc Fish Aquat Sci* 57, 1-14. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2024.0001>.

Lauritzen L, Brambilla P, Mazzocchi A, Harsløf LB, Ciappolino V and Agostoni C. 2016. DHA effects in brain development and function. *Nutrients* 8, 6. <https://doi.org/10.3390/nu8010006>.

Lee SC and Woo KL. 1992. A study on development of effective utilization method skipjack tuna viscera. *Korean J Food Sci Technol* 24, 86-91.

Li W, Liu Y, Jiang W and Yan X. 2019. Proximate composition and nutritional profile of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) heads and skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) heads. *Molecules* 24, 3189. <https://doi.org/10.3390/mol-24-3189>.

ecules24173189.

MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2025. Food Code. 8. General Test Methods. Retrieved from [http://www.food-safetykorea.go.kr/foodcode/01\\_01.jsp](http://www.food-safetykorea.go.kr/foodcode/01_01.jsp) on Nov 11, 2025.

MOF (Ministry of Oceans and Fisheries). 2021. 2021 Master Plan for Ocean and Fisheries Development and Legal Framework for Fishery By-products Recycling Materials. Retrieved from <https://www.mof.go.kr/index.do?menuSeq=1574> on Nov 10, 2025.

Murthy LM, Rao BM, Ash KK and Prasad MM. 2014. Extraction and quality evaluation of yellowfin tuna bone powder. Fish Technol 51, 38-42.

Nagai T and Suzuki N. 2000. Isolation of collagen from fish waste material-skin, bone and fins. Food Chem 68, 277-281. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00188-0](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00188-0).

Ngo DH, Ryu B, Vo TS, Himaya SWA, Wijesekara I and Kim SK. 2012. Free radical scavenging and angiotensin-I converting enzyme inhibitory peptides from Pacific cod (*Gadus macrocephalus*) skin gelatin. Int J Biol Macromol 49, 1110-1116. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2011.09.009>.

Noreen S, Hashmi B, Aja PM and Atoki AV. 2025. Health benefits of fish and fish by-products—a nutritional and functional perspective. Front Nutr 12, 1564315. <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1564315>.

Park JH, Lee CY, Choe YR, Lee JS, Heu MS and Kim JS. 2022. Collagen and texture properties of commonly consumed fish species in Korea as sliced raw fishes. Korean J Fish Aquat Sci 55, 397-407. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2022.0397>.

RDA (Rural Development Administration). 2016. 9th Korean Food Composition Table. RDA Report, Jeonju, Korea.

Rybicka I, Gonçalves A, Oliveira H, Marques A and Nunes ML. 2022a. Salt reduction in seafood—A review. Food Control 135, 108809. <https://doi.org/10.1016/j.food-cont.2022.108809>.

Rybicka I, Silva M, Gonçalves, A, Oliveira H, Marques A, Fernandes MJ, Fernandes MH, Alfaia CM, Fraqueza MJ and Nunes ML. 2022b. The development of smoked mackerel with reduced sodium content. Foods 11, 349. <https://doi.org/10.3390/foods11030349>.

Shin YR, Roy VC, Park JS, Zhang W and Chun BS. 2024. Consecutive extraction of neutral and polar lipids from skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) byproducts using supercritical carbon dioxide. J Supercrit Fluids 206, 106175. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2024.106175>.

Toisuta BR, Ibrahim B and Suseno SH. 2014. Characterization of fatty acid from by product of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*). GJBAHS 3, 278-282.

Vázquez JA, Pedreira A, Durán S, Cabanelas D, Souto-Montero P, Martínez P, Mulet M, Pérez-Martín RI and Valcarcel J. 2022. Biorefinery for tuna head wastes: Production of protein hydrolysates, high-quality oils, minerals and bacterial peptones. J Clean Prod 357, 131909. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131909>.

Yoon IS, kang SI, Park SY, Cha JW, Kim DY, Kim JS and Heu MS. 2018. Physicochemical properties of alkaline-insoluble fractions recovered from bastard halibut *Paralichthys olivaceus* and skipjack tuna *Katsuwonus pelamis* roes by alkaline solubilization. Korean J Fish Aquat Sci 51, 230-237. <https://doi.org/10.5657/KFAS.2018.0230>.

Yoshida H, Terashima M and Takahashi Y. 1999. Production of organic acids and amino acids from fish meat by sub-critical water hydrolysis. Biotechnol Prog 15, 1090-1094. <https://doi.org/10.1021/bp9900920>.