

국내 다소비 횡감의 콜라겐과 조직감 특성

박지훈¹ · 이창영² · 최유리¹ · 이정석^{1,2} · 허민수^{2,3} · 김진수^{1,2*}

¹경상국립대학교 해양식품공학과/해양산업연구소, ²경상국립대학교 수산식품산업화 기술지원센터, ³경상국립대학교 식품영양학과

Collagen and Texture Properties of Commonly Consumed Fish Species in Korea as Sliced Raw Fishes

Ji Hoon Park¹, Chang Yong Lee², Yu Ri Choe¹, Jung Suck Lee^{1,2}, Min Soo Heu^{2,3} and Jin-Soo Kim^{1,2*}

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

²Research Center for Industrial Development of Seafood, Gyeongsang National University, Tongyeong 53064, Republic of Korea

³Department of Food and Nutrition, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Republic of Korea

This study investigated the collagen and texture properties of commonly consumed sliced raw fish species (CC-SRF) [olive flounder (OF), red seabream (RS), Atlantic salmon (AS), coho salmon (CoS) and sockeye salmon (SS)] distributed in Korea as sliced raw fishes. The crude lipid contents of CC-SRF were 5.5% for OF, 6.8% for RS, 18.5% for AS, 16.1% for CoS, and 5.7% for SS. The collagen content and solubility from CC-SRF were 622 mg/100 g and 78.0%, respectively, in OF, 270 mg/100 g and 75.6%, respectively, in RS, 237 mg/100 g and 24.1%, respectively, in AS, 341 mg/100 g and 65.7%, respectively, in CoS, and 246 mg/100 g and 17.9%, respectively, in SS. The texture of CC-SRF was affected by the lipid content, collagen content, acid solubility, hydroxylation, and cross linkage degree. The highest hardness of CC-SRF was obtained from OF, followed by RS, SS, AS and CoS. There was, however, no difference ($P>0.05$) in hardness between OF and RS and between AS and CoS.

Keywords: Collagen, Olive flounder, Sliced raw fish, Texture of fish

서론

국내 어류 생산량은 최근 10년(2012–2021년)간 1,125,278–1,278,333 M/T 범위이었고, 이들 중 자연산이 1,043,368–1,197,832 M/T 범위, 양식산이 73,108–89,436 M/T 범위 (6.0–7.9% 범위)로 양식산이 꾸준히 증가하는 추세이다. 이러한 현상은 한일·한중 어업협상에 의한 연근해 어장의 감소와 원양어장의 축소 등으로 앞으로도 지속될 것으로 전망된다(MOF, 2022). 생선회는 생선을 소재로 하여 껍질을 벗기고, 조직감 개선을 위하여 얇은 천으로 물기를 닦아낸 다음 살을 얇게 썬 후 비린내 저감 및 향미 개선을 위하여 마늘, 고추, 겨자 등과 같은 향신료를 곁들여 먹는 음식이다. 생선회는 최근 소득 수준의 향상과 수산물의 건강 기능이 알려진 이래 소비량이 급격히 증가하고 있다. 횡감으로는 광어, 조피볼락, 송어, 참돔 등의 양식

산 어류가 많이 이용되고 있다. 광어는 2021년 국내 양식산 어류 전체 생산량(89,436 M/T) 중 약 절반(41,791 M/T, 46.7%)을 차지할 정도로 많이 생산되고 있고(MOF, 2022), 이들 양의 90% 이상이 횡감으로 이용되고 있으며, 저상품성의 일부만이 연육 소재, 매운탕용 밀키트(meal kit) 소재 등과 같이 다른 용도로 이용되고 있다(Ko et al., 2016). 광어의 지역별 생산량은 제주특별자치도가 21,548 M/T (48.2%)으로 가장 높았고, 다음으로 전라남도 완도군(18,672 M/T, 41.8%), 경상남도 거제시 (1,565 M/T, 3.5%)의 순이었다. 한편, 연어류는 노르웨이, 칠레, 뉴질랜드 등의 국가에서 뉴욕타임즈(New York Times)가 세계 10대 슈퍼푸드(superfoods)로 선정한 내용을 앞세운 건강기능성과 선별을 통한 일정한 크기의 공급, 고품질, 안전성 및 공급 안정성 등을 홍보하면서 브랜드화함과 동시에 저렴한 가격 공략 등에 따라 젊은 층을 중심으로 그 수요가 크게 증가하고 있다

*Corresponding author: Tel: +82. 55. 772. 9146 Fax: +82. 55. 772. 9149

E-mail address: jinsukim@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.2022.0397>

Korean J Fish Aquat Sci 55(4), 397-407, August 2022

Received 31 March 2022; Revised 6 May 2022; Accepted 28 May 2022

저자 직위: 박지훈(대학원생), 이창영(연구원), 최유리(대학원생), 이정석(교수), 허민수(교수), 김진수(교수)

(Horowitz, 2002). 하지만, 연어는 국내에서 양식산은 물론이고 자연산도 생산량이 아주 적어 국내 수요에 대응하기 위하여 대부분 수입산이 유통되고 있다. 또한, 참돔은 양식 생산량이 많아 2021년 국내 생산량의 10,707 M/T 중 양식산이 8,313 M/T (77.6%)에 이르고, 국내 양식 어류 생산량의 4위에 이르고 있다. 하지만 참돔은 어체의 선홍색과 특유의 조직감 등으로 국내에서 광어, 조피볼락 등과 함께 수요가 많고, 국내 공급이 이에 따르지 못하여 일본을 중심으로 대량이 수입되고 있다. 따라서, 광어는 비린내가 적으면서 육질이 쫄득하여 남녀노소에 관계없이 누구나 즐겨 먹는 명실상부한 대표적인 국민 횡감이나, 최근 대일수출 감소, 연어, 참돔 등과 같은 수입수산물의 대폭 증가 등으로 성장이 정체되고 있어 양식 광어 산업에 어려움이 있다.

생선회의 선호도는 조직감과 맛이랄 할 수 있고, 한국인과 일본인 간의 식문화 차이로 우리나라 소비자들은 맛에 비하여 조직감을, 일본 소비자들은 조직감에 비하여 맛을 선호하는 경향을 나타내고 있다. 일반적으로 횡감의 조직감은 콜라겐 함량과 특성, 그리고 지질 함량 등에 따라 차이가 있고, 대체로 광어, 조피볼락, 농어, 도다리 등과 같은 흰살 생선이 단단한 경향을 나타내고 있다(Park et al., 1995).

한편, 횡감의 조직감에 대한 연구로는 Ko et al. (2016)의 횡감의 기호도에 미치는 주요 인자, Sigurgisladottir et al. (1999)의 연어 부위별, Vácha et al. (2013)의 유럽 잉어 양식 방법별 성별 조직감 특성, Moreno et al. (2012)의 연어 조직감에 대한 콜라겐의 역할, Xu et al. (2015)의 저장 중 콜라겐 분해가 잉어 근육의 연화에 미치는 영향, Feng et al. (2022)의 hydroxyproline 보충 사료가 중국 담수산 어류의 조직감에 미치는 영향, Shen et al. (2021)의 냉장 잉어 필릿(fillet)의 조직감 연화에 대한 콜라겐 용해도의 영향, Sato et al. (1986)의 유영형태와 콜라겐 함량이 근육의 조직감에 미치는 영향 등에 대한 언급이 있었으나, 국내에 유통되고 있는 주요 횡감인 국내산 광어와 수입산 참돔 및 연어 3종 간의 조직감과 콜라겐과의 특성을 비교 검토한 연구

사례는 찾아보기 어렵다.

본 연구에서는 양식산 광어의 횡감으로써 소비 촉진을 위한 일련의 기초 연구로 국내에 유통되고 있는 국내산 광어의 콜라겐의 특성을 국내에 유통되고 있는 수입산 참돔 및 연어 3종을 대조군으로 하여 검토하고, 조직감과의 상관성을 살펴보고자 하였다.

재료 및 방법

재료

검체는 횡감으로 많이 사용되고 있는 국내산 양식 광어(*Paralichthys olivaceus*)의 경우 제주특별자치도, 전라남도 완도군, 경상남도 거제시에서 양식한 것 3종을 기간을 달리하여 각각 3회씩 체중 1 kg 총 9건과 2 kg 총 9건을, 수입산 참돔(*Pagrus major*)의 경우 일본에서 경상남도 통영시로 수입된 것을 기간을 달리하여 3회씩 체중 1.5 kg 총 3건과 2.5 kg 총 3건을, 그리고 연어류 중 양식산 대서양연어(*Salmo salar*)의 경우 노르웨이에서, 양식산 은연어(*Oncorhynchus kisutch*)의 경우 칠레에서, 자연산 홍연어(*Oncorhynchus nerka*)의 경우 러시아에서 수입된 것을 기간을 달리하여 3회씩 채취하여 각각 3건씩을 검체로 사용하였고, 이들의 생산 지역(산지), 무게, 길이(전장 및 체장), 시료 개수, 상태(활어, 선어 및 냉동어), 채취 지역, 장소 및 시기 등에 따른 상세한 코드는 Table 1과 같다.

조직방 함량

조직방 함량은 식품공전(MFDS, 2021)에서 제시하고 있는 방법 중 Soxhlet법으로 분석하고, 산출하였다.

콜라겐의 분획

콜라겐의 분획은 마쇄 어육을 검체로 하여 Sato et al. (1986)과 Nagai and Suzuki (2000)의 방법을 약간 수정하여 모두 5°C

Table 1. Produced area, sampled condition (weight, length, state, area and period) and sample code of commonly consumed fish species [olive flounder *Paralichthys olivaceus*, red seabream *Pagrus major* and salmon (Atlantic salmon *Salmo salar*, coho salmon *Oncorhynchus kisutch*, and sockeye salmon *Oncorhynchus nerka*)] as sliced raw fishes

Fish species	Produced area	Sampled condition							Code	
		Weight (g)	Length (cm)		Number	State	Area	Period		
			Total	Body						
Olive flounder	Jeju/Wando/Geoje	1,026±25	40.7±1.5	35.7±1.4	9	Live	Tongyeong	21.9-10	OF-1	
		2,051±44	52.1±1.2	45.2±1.9	9	Live	Tongyeong	21.9-10	OF-2	
Red seabream	Japan	1,508±107	44.0±1.8	37.2±1.6	3	Live	Tongyeong	21.10-12	RS-1.5	
		2,630±130	48.1±1.9	40.4±1.0	3	Live	Tongyeong	21.10-12	RS-2.5	
Salmon	Atlantic salmon	Norway	4,116±164	64.4±1.0	59.1±1.4	3	Fresh	Busan	21.10-12	AS
	Coho salmon	Chile	4,186±190	63.3±1.1	59.4±1.5	3	Frozen	Busan	21.10-12	CoS
	Sockeye salmon	Russia	4,033±252	60.7±1.2	55.7±1.2	3	Frozen	Busan	21.12	SS

이하의 냉장실에서 실시하였다. 어류 근육으로부터 수용성 물질과 이물질의 제거를 위하여 마쇄하고, 5배(v/w)의 냉수를 가한 다음 30분 동안 교반 및 원심분리(8,000 g, 40분)하여 상층을 제거한 후 잔사층을 얻었다. 이하 원심분리 공정은 모두 8,000 g에서 40분간 실시하였다. 이어서 비콜라겐성 물질의 제거와 자가산화 효소의 불활성화를 위하여 잔사층에 20배(v/w)의 0.1 N NaOH를 가하고, 하룻밤 동안 교반한 다음 원심분리하였다. 이어서 원심분리물의 상층액을 제거하고, 침전물로부터 NaOH를 제거할 목적으로 상층액의 pH가 6-8 범위 내에 있도록 냉수로 철저히 수세하였다. 산가용성 콜라겐(acid soluble collagen) 추출을 위하여 중화물에 대하여 20배(v/w)의 0.5 M 아세트산을 가하고, 3일간 교반한 다음 원심분리하였다. 잔사에 대하여 2배(v/w)의 물을 가하여 세척하고, 이를 원심분리 상층액과 합하였다. 여기에 소금 농도가 0.9 M이 되도록 가하여 염석시키고, 원심분리하였다. 소금의 제거를 위하여 침전물을 0.5 M 아세트산으로 용해시키고, 이를 냉수에 투석(molecular weight cut-off 10,000)시킨 다음 산가용성 콜라겐 획분으로 하였고, 동결건조 처리하여 산가용성 콜라겐 동결건조물로 사용하였다. 이와 별도로 원심분리한 아세트산 추출 잔사에 대하여 3배의 물을 가하고 Autoclave (SX-500; Tomy, Tokyo, Japan)에서 가열(120°C에서 1시간)한 다음 원심분리하였다. 그리고, 이의 잔사에 대하여 2배(v/w)의 냉수를 가한 다음 원심분리 상층액과 합쳐 산불용성 콜라겐 획분으로 하였고, 이를 동결건조하여 산불용성 콜라겐 동결건조물로 하였다.

전기영동

분획한 산가용성 콜라겐의 순도와 단위체의 구성을 살펴보기 위하여 실시한 전기영동은 Laemmli (1970)의 방법에 따라 sodium dodecyl sulfate polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE)로 측정하였다. 전기영동에 의한 단백질 패턴 분석용 콜라겐 전처리 시료는 산가용성 콜라겐 10.0 mg에 5% (w/v) SDS (sodium dodecyl sulfate) 용액 1 mL를 넣어 제조하였다. 전기영동 장치에 주입할 주입액은 SDS-PAGE 시료 조제용 완충액[2% (w/v) SDS, 10% (v/v) glycerol, 2% (v/v) β-mercaptoethanol 및 0.002% (w/v) bromophenol blue]을 함유하는 62.5 mM Tris-HCl buffer [pH (6.8)]와 앞에서 전처리한 시료를 4:1 (v/v) 비율로 혼합하고, 가열(100°C, 3분)하여 제조하였다. 전기영동 장치에 의한 단백질 패턴은 미리 제조하여 둔 주입액을 Any kD Mini-PROTEAN®TGX™ Precast gel (Bio-Rad Lab., Inc., Hercules, CA, USA)에 단백질 함량 10 µg이 되도록 주입하고, Mini-PROTEAN® Tetra cell (Bio-Rad Lab., Inc.)에 장착한 다음, 일정한 전류(10 mA per gel)를 흘려 전기영동을 실시하여 분석하였다. 전기영동 후 겔은 coomassie brilliant blue R-25에서 염색한 다음 methanol:acetic acid:증류수(1:1:8, v/v/v)의 혼합용액으로 탈색하여 단백질 밴드를 확인하였다.

콜라겐 함량

콜라겐 함량은 콜라겐에만 존재하는 아미노산인 하이드록시 프롤린(hydroxyproline) 함량을 어육으로부터 측정하여 산출하는 Sato et al. (1991)의 방법을 수정하여 분석 및 검토하였다. 콜라겐 함량의 산출을 위한 하이드록시프롤린 분석용 검체는 어류 근육의 경우 그 자체로, 콜라겐 전환계수를 산출하기 위한 산가용성 콜라겐의 산가용성 콜라겐 획분은 동결건조물로 하였다. 즉, 하이드록시프롤린 분석용 전처리 시료는 어류 근육과 산가용성 콜라겐 동결건조물을 위에서 언급한 총아미노산 분석 방법에 따라 6 N HCl로 가수분해하고, 사용한 HCl을 제거하기 위하여 감압농축한 다음, 여기에 lithium citrate buffer (pH 2.2)로 정용(25 mL)하여 membrane syringe filter (Polytetrafluoroethylene; pore size 0.22 µm, 13 mm/PN6054567; Pall Co., Seoul, Korea)로 걸러 제조하였다. 어류 근육 및 산가용성 콜라겐의 하이드록시프롤린 분석은 전처리 시료의 일정량을 이용하여 아미노산 자동분석기(Pharmacia Biotech Biochrom 30; Biochrom Ltd., Cambridge, UK)로 실시하였고, 동정은 아미노산 자동분석기에 내재된 동정 프로그램으로 실시하되, 이를 크로마토그램(chromatogram)으로 재확인하였으며, 산출은 제공된 면적을 토대로 실시하였다. 그리고 어류의 콜라겐 함량을 산출하기 위한 전환계수는 위에서 얻은 산가용성 콜라겐 유래 하이드록시프롤린 조성비를 이용하여 산출식[100/하이드록시프롤린 조성(%)]에 따라 계산하였다.

최종적으로 어류 근육 유래 콜라겐 함량은 위에서 산출한 어육의 하이드록시프롤린 함량과 콜라겐 전환계수를 이용하여 다음과 같이 산출하였다.

$$\text{콜라겐 함량(g/100g)} = \text{어육의 하이드록시프롤린 함량} \times \text{전환계수}$$

그리고, 이들 어류 근육의 콜라겐 함량은 산가용성 콜라겐 획분과 산불용성 콜라겐 획분의 단백질 함량으로 산출한 콜라겐 함량과 비교하여 검증하였다.

총아미노산 함량

총아미노산의 분석은 식품공전(MFDS, 2021)에서 언급한 방법을 약간 변형하여 실시하였다. 총아미노산 분석용 가수분해 물은 콜라겐(산가용성 콜라겐) 약 10 mg을 가수분해용 시험관에 정밀히 채취하여 넣고, 여기에 0.05% (w/v) 2-mercaptoethanol (C₂H₆SO)을 함유한 6 N 염산 약 10 mL를 가한 다음, 이를 밀봉하고, 105±1°C로 조정된 정온가열로(HF21; Yamato Scientific Co., Tokyo, Japan)에서 24시간 가수분해시켜 제조하였다. 아미노산 분석용 전처리 시료는 염산 가수분해물을 40°C에서 감압농축하여 염산을 제거하였고, 하이드록시프롤린을 정량할 목적으로 lithium citrate buffer (pH 2.2)로 정용(25 mL)하였으며, 이를 membrane syringe filter (PTFE, pore size 0.2 µm, 13 mm/PN6054567; Pall Co.)로 걸러 제조하였다. 아미노

산 분석은 최종 전처리 시료의 일정량을 이용하여 아미노산 자동분석기(Pharmacia Biotech Biochrom 30; Biochrom Ltd.)로 실시하였다.

콜라겐의 용해도

콜라겐의 용해도는 콜라겐의 분획단계에서 채취한 산가용성 콜라겐 획분과 산불용성 콜라겐 획분의 단백질 함량(mg/100 g)을 식품공전(MFDS, 2021)에서 제시한 semimicro Kjeldahl법으로 측정하여 다음의 산출식을 적용하여 계산하였다.

$$\text{콜라겐 용해도(}\%) = \frac{\text{산가용성 콜라겐 함량}}{\text{산가용성 콜라겐 함량} + \text{산불용성 콜라겐 함량}} \times 100$$

FT-IR (Fourier transform infrared spectroscopy) 스펙트럼

FT-IR의 분석은 Moreno et al. (2012)이 언급한 방법에 따라 산가용성 콜라겐 획분 분말을 검체로 하여 다이아몬드 ATR (attenuated total reflectance) 부착품이 장착된 FT-IR Spectrometer (Nicolet IS50; Thermo Fisher Scientific, Madison, WI, USA)의 ATR 결정 표면에 약 10 mg을 공극이 없도록 채취하여 넣고 OMNIC Software (Thermo-Nicolet, Madison, WI, USA)를 이용하여 32회 스캔하여 측정하였다. 이때 스펙트럼은 4,000–500 cm⁻¹ 범위에서 측정되었고, 스펙트럼 분해능은 0.09 cm⁻¹이었다.

조직감 특성

조직감은 Seo et al. (2014)이 언급한 방법에 따라 광어 근육, 참돔 근육 및 연어 근육을 일정 크기로 각각 정형(가로 1 cm × 세로 1 cm × 높이 1 cm)한 다음 절단시험(cutting test)에 의한 경도(hardness), 즉 시료에 5.0 g 이상의 힘이 가해지는 시점에서 시료 변형율 80%까지 절단한 값으로 나타내었다. 이때 경도 측정은 길이 6 cm, 깊이 3 cm 및 폭 0.3 cm의 probe (TA-7)를 장착한 물성측정기(TA-CT3; AMETEK Brookfield, Middleborough, MA, USA)를 사용하되, trigger load 10 g 및 test speed

1 mm/sec의 조건으로 실시하였고, 결과는 TexturePro CT (1.9) software를 사용하여 얻었다.

통계 처리

본 연구 용역 결과에 대한 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

조지방 함량

다소비 횡감의 어종(국내산 광어, 수입산 참돔, 대서양연어, 은연어 및 홍연어)별, 중량(광어의 경우 1 kg 및 2 kg, 참돔의 경우 1.5 kg 및 2.5 kg)별 조지방 함량은 Table 2와 같다. 다소비 횡감(국내산 광어, 수입산 참돔, 대서양연어, 은연어 및 홍연어) 100 g 당 조지방 함량은 광어가 5.5 g으로 가장 낮았고, 다음으로 홍연어(5.7 g), 참돔(6.8 g), 은연어(16.1 g) 및 대서양연어(18.5 g)의 순이었으나, 광어, 참돔 및 홍연어의 경우 유의적인 차이가 없었다(P>0.05). 이와 같이 연어 횡감들의 조지방 함량에 있어 큰 차이가 있는 것은 어종의 특성 이외에도 홍연어의 경우 먹이 섭취량이 적고, 활동량이 많은 자연산인데 반하여 대서양연어와 은연어의 경우 먹이 섭취량이 많으면서 활동량이 적은 양식산이었기 때문이라 판단되었다. 한편, Park et al. (1995)는 일반적으로 동일한 어종의 자연산 어류와 양식산 어류들을 비교하는 경우 조직감에서 차이가 있고, 그 원인 중의 하나가 자연산의 경우 근섬유 사이에 다소의 지방이 존재하나, 양식산의 경우 근섬유 사이는 물론이고, 근섬유 내에도 다량의 지방이 존재하기 때문이라고 보고한 바가 있다. 따라서, 동일한 어종이라도 자연산 어류와 양식산 어류에 따라 조직감에 따른 차이는 크게 있으리라 추정되었다.

콜라겐 함량과 용해도

다소비 횡감의 어종(국내산 광어, 수입산 참돔, 대서양연어, 은연어 및 홍연어)별, 중량(광어의 경우 1 kg 및 2 kg, 참돔의 경우 1.5 kg 및 2.5 kg)별 산가용성, 산불용성 및 이들의 합인 총

Table 2. Lipid content of commonly consumed fish species [olive flounder (OF) *Paralichthys olivaceus*, red seabream (RS) *Pagrus major*, Atlantic salmon (AS) *Salmo salar*, coho salmon (CoS) *Oncorhynchus kisutch*, and sockeye salmon (SS) *Oncorhynchus nerka*] as sliced raw fishes

Sample code ¹	Lipid (g/100 g)	Sample code	Lipid (g/100 g)	Sample code	Lipid (g/100 g)
OF 1	5.0±0.5 ^{A2}	RS 1.5	6.2±0.4 ^B	AS	18.5±0.6 ^{EIII}
OF 2	6.1±0.6 ^B	RS 2.5	7.5±0.4 ^C	CoS	16.1±0.4 ^{DI}
Mean	5.5±0.8 ^I	Mean	6.8±0.8 ^I	SS	5.7±0.3 ^{ABI}

¹Sample codes (OF-1, OF-2, RS-1.5, RS-2.5, AS, CoS, and SS) are the same as explained in Table 1. ²The different letters (capital letter in each olive flounders, red seabreams and salmon, and Roman alphabet in mean of olive flounder, red seabream and salmon) on the data in the column indicate significant differences at P<0.05.

콜라겐의 함량 및 아세트산 가용화 정도인 용해도를 살펴본 결과는 Table 3과 같다. 어류 근육 100 g 당 어종별 총콜라겐 함량은 광어가 622 mg로 가장 높았고, 다음으로 은연어(341 mg), 참돔(270 mg), 홍연어(246 mg) 및 대서양연어(237 mg) 순이었으나, 참돔, 대서양연어 및 홍연어 간의 경우 유의적 차이가 없었다($P>0.05$). 한편, 중량별 어류 근육 100 g 당의 총 콜라겐 함량은 광어의 경우 2 kg 어체가 646 mg으로, 1 kg 어체의 597 mg에 비하여 유의적으로 높았고($P<0.05$), 참돔의 경우 2.5 kg 어체가 280 mg으로, 1.5 kg 어체의 259 mg에 비하여 높았으나 유의적인 차이가 인정되지 않았다($P>0.05$). 한편, Park et al. (1995)은 결합조직은 내부기관을 결속하는 조직으로, 교원섬유(collagenous fiber), 탄성섬유(elastic fiber) 및 세망섬유(reticular fiber)로 구성되어 있고, 광어의 결합조직 함량은 0.78%이었다고 보고한 바가 있으며, Sato et al. (1986)은 광어의 콜라겐 함량은 1.42%이었다고 보고한 바가 있다.

다소비 횡감의 어종(국내산 광어, 수입산 참돔, 대서양연어, 은연어 및 홍연어)별, 중량(광어의 경우 1 kg 및 2 kg, 참돔의 경우 1.5 kg 및 2.5 kg)별 총 콜라겐 함량에 대한 아세트산에 가용화되는 산가용성 콜라겐 함량의 상대비율(%), 즉 아세트산 용해도(%는 광어가 78.0%로 가장 높았고, 다음으로 참돔(75.6%), 은연어(65.7%), 대서양연어(24.1%) 및 홍연어(17.9%)의 순이었다. 한편, 중량별 어류 근육 콜라겐의 용해도는 광어의 경우 2 kg 어체가 77.9%로, 1 kg 어체의 78.2%에 비하여 낮았고, 참돔의 경우 2.5 kg 어체가 74.3%로, 1.5 kg 어체의 77.2%에 비하여 낮았다. 이와 같은 어종별, 중량별 어류 근육 유래 콜라겐의 아

세트산에 대한 용해도 차이는 콜라겐, 특히 telopeptide 부분에서 공유결합(covalent cross-linkage)의 정도에 차이가 있었기 때문이라 판단되었고, 결합의 정도가 많을수록 용해도가 낮은 것으로 알려져 있다(Takahashi et al., 1989).

콜라겐의 전기영동 패턴

다소비 횡감의 어종(국내산 광어, 수입산 참돔, 대서양연어, 은연어 및 홍연어)별, 중량(광어의 경우 1 kg 및 2 kg, 참돔의 경우 1.5 kg 및 2.5 kg)별로 달리한 어류별 근육 유래 산가용성 콜라겐의 전기영동 패턴 결과는 Fig. 1과 같다. 어류별 근육 유래 산가용성 콜라겐의 전기영동 패턴은 어류의 종류 및 중량에 관계없이 모두 분자량 100,000 Da 부근의 사슬이 분리되어 있는 두 개의 α 밴드(band) [$\alpha 1$ (상부)과 $\alpha 2$ (하부)], 이들 밴드 두 개가 나선 결합하여 있는 분자량 200,000 Da 부근의 β -components, 그리고 세 개가 나선 결합하여 있는 분자량 300,000 Da 부근의 γ -components로 구성, 즉 hetero type으로 구성되어 있었다. 한편, Kim and Park (2004)은 콜라겐의 α 사슬은 서로 다른 유전자로부터 생합성되는 $\alpha 1$, $\alpha 2$ 및 $\alpha 3$ 의 3종류가 있는데, 이로부터 구성되는 콜라겐에는 $\alpha 1$, $\alpha 2$ 및 $\alpha 1$, $\alpha 2$, $\alpha 3$ 의 2종류의 subunit 조성의 분자구조가 있으며 어종에 따라 그 분포가 다르다고 보고한 바 있다. 따라서, 본 연구에서 적용한 전기영동 방법의 경우 $\alpha 1$ 과 $\alpha 3$ 의 이동도가 동일하여 분리되지 않는 방법이며 이들을 어류 근육 유래 산가용성 콜라겐의 subunit 조성이 3개

Table 3. Collagen content and solubility of commonly consumed fish species [olive flounder (OF) *Paralichthys olivaceus*, red seabream (RS) *Pagrus major*, Atlantic salmon (AS) *Salmo salar*, coho salmon (CoS) *Oncorhynchus kisutch*, and sockeye salmon (SS) *Oncorhynchus nerka*] as sliced raw fishes

Sample code ¹	Collagen (mg/100 g)			
	Acid soluble	Acid insoluble	Total	
OF	1	467±65 ^{C2} (78.2)	130±29 ^B (21.8)	597±37 ^D
	2	503±50 ^C (77.9)	143±23 ^B (22.1)	646±28 ^E
	Mean	485±56 ^{III} (78.0)	137±24 ^{II} (22.0)	622±40 ^{III}
RS	1.5	200±2 ^B (77.2)	59±4 ^A (22.8)	259±4 ^{AB}
	2.5	208±6 ^B (74.3)	72±9 ^A (25.7)	280±15 ^B
	Mean	204±6 ^I (75.6)	66±10 ^I (24.4)	270±15 ^I
AS		57±13 ^{AI} (24.1)	180±22 ^{CIII} (75.9)	237±11 ^{AI}
CoS		224±16 ^{BII} (65.7)	117±17 ^{BII} (34.3)	341±11 ^{CI}
SS		44±9 ^{AI} (17.9)	202±7 ^{CIII} (82.1)	246±7 ^{ABI}

¹Sample codes (OF-1, OF-2, RS-1.5, RS-2.5, AS, CoS, and SS) are the same as explained in Table 1. ²The different letters (capital letter in each olive flounders, red seabreams and salmons, and Roman alphabet in mean of olive flounder, red seabream and salmons) on the data in the column indicate significant differences at $P<0.05$.

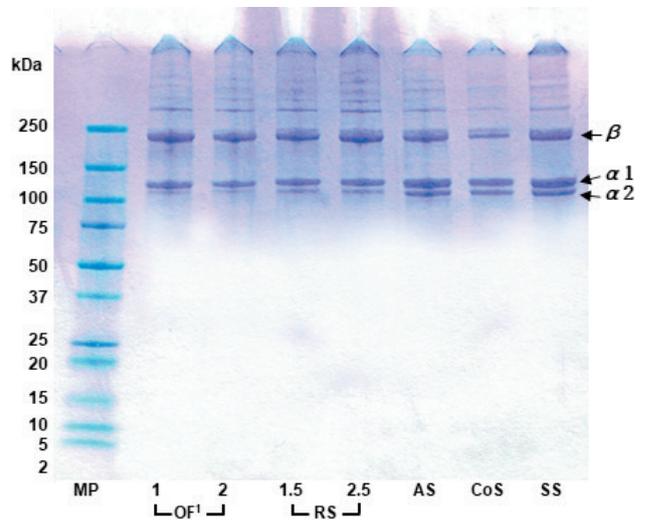


Fig. 1. Sodium dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis (SDS-PAGE) patterns of acid soluble collagen from commonly consumed fish species [olive flounder (OF) *Paralichthys olivaceus*, red seabream (RS) *Pagrus major*, Atlantic salmon (AS) *Salmo salar*, coho salmon (CoS) *Oncorhynchus kisutch*, and sockeye salmon (SS) *Oncorhynchus nerka*] as sliced raw fishes. Sample codes (OF-1, OF-2, RS-1.5, RS -2.5, AS, CoS, and SS) are the same as explained in Table 1 and marker protein is expressed as a MP.

로 구성되어 있는 것인지 2개로 구성되어 있는 것인지 알 수가 없었고, 이를 위하여는 등전점 전기영동 등을 실시하여야 할 수 있을 것으로 판단되었다(Kim and Park, 2004). 한편, Park et al. (1995)은 어류 근육 콜라겐 중 잉어, 쾡치, 연어 및 가다랑어의 경우 $\alpha 1$ 및 $\alpha 2$ 로 구성되어 있고, 명태, 고등어 및 뱀장어의 경우 $\alpha 1$, $\alpha 2$ 및 $\alpha 3$ 로 구성되어 있다고 보고한 바가 있고, Ciarlo et al. (1997)은 Argentine hake *Merluccius hubbsi* 껍질 콜라겐이, Montero et al. (1990)은 송어 껍질 콜라겐이, 그리고 Kim and Park (2004)은 North Pacific hake *Merluccius productus*의 근육과 껍질 콜라겐이 모두 $\alpha 1$ 및 $\alpha 2$ 로 구성되어 있다고 보고한 바가 있다. 한편, 이들 다소비 횡감의 어종(국내산 광어, 수입산 참돔, 대서양연어, 은연어 및 홍연어)별 두 개의 α 밴드($\alpha 1$ 밴드와 $\alpha 2$ 밴드)에 대한 조성은 어종에 관계없이 모두 $\alpha 1$ 밴드가 $\alpha 2$ 밴드에 비하여 훨씬 진하였고, $\alpha 2$ 밴드는 연어(대서양연어, 은연어 및 홍연어)가 가장 진하였고, 다음으로 참돔 및 광어의 순이었다. 다소비 횡감의 중량(광어의 경우 1 kg 및 2 kg, 참돔의

경우 1.5 kg 및 2.5 kg)별 두 개의 α 밴드($\alpha 1$ 밴드와 $\alpha 2$ 밴드)에 대한 시각적 조성은 차이가 없었다.

이상의 다소비 횡감의 어종(국내산 광어, 수입산 참돔, 대서양연어, 은연어 및 홍연어)별 및 중량(광어의 경우 1 kg 및 2 kg, 참돔의 경우 1.5 kg 및 2.5 kg)별로 달리한 어류별 근육 유래 산 가용성 콜라겐의 전기영동 패턴에 대한 결과로 미루어 보아 콜라겐은 잘 정제되어 있었고, hetero type으로 구성되어 있었다.

콜라겐의 아미노산 조성

일반적으로 콜라겐은 3개의 나선이 꼬여져 결합하여 있고, 이들 한 개의 나선이 대략적으로 1,053개 정도의 아미노산 잔기로 구성되어 있어(Park et al., 1995), 특성을 알아보기 위하여는 아미노산을 g/100 g of material로 나타내는 함량보다 1,000 잔기 당 잔기수와 같은 조성으로 나타내고 있다. 다소비 횡감의 어종(국내산 광어, 수입산 참돔, 대서양연어, 은연어 및 홍연어)별, 중량(광어의 경우 1 kg 및 2 kg, 참돔의 경우 1.5 kg 및 2.5 kg)

Table 4. Amino acid compositions (residues/1,000 residues) from commonly consumed fish species [olive flounder (OF) *Paralichthys olivaceus*, red seabream (RS) *Pagrus major*, Atlantic salmon (AS) *Salmo salar*, coho salmon (CoS) *Oncorhynchus kisutch*, and sockeye salmon (SS) *Oncorhynchus nerka*] as sliced raw fish

Amino acid	Olive flounder (OF) ¹			Red seabream (RS) ¹			Salmon ¹		
	1	2	Mean	1.5	2.5	Mean	AS	CoS	SS
Asp	33.4±3.5 ^{AB2}	33.9±3.5 ^{AB}	33.7±3.1	27.2±7.9 ^A	31.4±0.9 ^{AB}	29.3±3.0 ^I	36.2±2.0 ^{BI2}	33.3±0.2 ^{ABII}	37.1±1.8 ^{BI}
Hyp	70.9±3.5 ^{AB}	71.7±1.7 ^{ABC}	71.3±2.5 ^{II}	80.8±3.4 ^D	78.5±3.4 ^{CD}	79.7±1.6 ^{III}	72.6±5.3 ^{BCII}	65.3±5.3 ^{AI}	65.8±1.9 ^{ABII}
Thr	36.4±2.2 ^A	36.7±0.8 ^A	36.6±1.5 ^I	43.0±2.3 ^C	41.9±1.6 ^C	42.5±0.8 ^{III}	38.2±3.1 ^{ABII}	37.4±1.6 ^{ABI}	41.0±1.3 ^{BCII, III}
Ser	50.7±0.3 ^{AB}	52.6±1.6 ^B	51.7±1.5 ^{II}	50.2±1.0 ^{AB}	48.2±1.1 ^A	49.2±1.4 ^I	53.0±2.6 ^{BI}	51.5±2.0 ^{BI}	58.8±0.8 ^{CIII}
Glu	94.5±2.1 ^{AB}	93.8±6.1 ^A	94.2±4.1 ^I	104.0±4.0 ^{CD}	101.1±2.6 ^{BC}	102.6±2.1 ^{II}	107.5±3.8 ^{CDII, III}	96.7±2.0 ^{ABI}	109.4±3.2 ^{DIII}
Pro	100.9±2.9 ^{BC}	102.0±2.6 ^C	101.5±2.5 ^{III}	98.4±2.6 ^{ABC}	103.7±6.6 ^C	101.1±3.7 ^{III}	98.9±1.1 ^{ABCI, III}	93.5±5.3 ^{ABII}	92.0±3.8 ^{AI}
Gly	275.3±15.4 ^{CD}	263.2±18.6 ^{BC}	269.3±16.7 ^{II}	239.0±9.7 ^{AB}	246.3±10.5 ^{AB}	242.7±5.2 ^I	241.3±16.3 ^{ABI}	295.5±6.7 ^{DIII}	236.6±11.7 ^{AI}
Ala	139.7±1.7 ^D	139.8±1.3 ^D	139.8±1.3 ^{III}	142.1±0.4 ^D	141.4±2.0 ^D	141.8±0.5 ^{III}	128.7±1.2 ^{CI}	115.6±7.0 ^{AI}	122.5±2.8 ^{BI}
Val	24.6±0.9 ^{AB}	25.3±2.1 ^{AB}	25.0±1.5 ^{II}	24.7±0.7 ^{AB}	23.7±1.3 ^A	24.2±0.7 ^{II}	23.7±2.4 ^{AI}	24.8±2.5 ^{ABII}	28.0±2.1 ^{BI}
Cys	- ³	-	-	-	-	-	- ³	-	-
Met	1.4±0.3 ^A	2.2±1.7 ^A	1.8±1.2 ^I	2.2±2.2 ^A	2.0±0.6 ^A	2.1±0.1 ^I	6.8±3.1 ^{BI}	4.2±3.6 ^{ABII}	4.6±1.3 ^{ABII}
Ile	12.1±0.4 ^A	12.4±1.1 ^A	12.3±0.7 ^I	11.7±0.3 ^A	11.0±0.5 ^A	11.4±0.5 ^I	16.9±2.2 ^{BI}	17.6±2.5 ^{BI}	19.2±0.9 ^{BI}
Leu	26.9±1.0 ^A	27.7±2.5 ^A	27.3±1.8 ^I	30.8±0.7 ^A	29.5±0.9 ^A	30.2±0.9 ^I	30.8±3.5 ^{AIII}	30.4±2.6 ^{AI}	34.8±1.5 ^{BI}
Tyr	3.3±0.3 ^A	3.6±0.5 ^{AB}	3.5±0.4 ^I	4.6±0.5 ^{AB}	4.8±0.1 ^{AB}	4.7±0.1 ^I	3.7±0.9 ^{ABI}	4.0±1.8 ^{ABI}	5.2±0.6 ^{BI}
Phe	17.3±0.6 ^A	18.0±1.2 ^{AB}	17.7±0.9 ^I	18.7±0.4 ^{AB}	18.0±0.5 ^{AB}	18.4±0.5 ^I	20.2±1.2 ^{BCI, II}	19.1±1.6 ^{ABI}	21.9±2.0 ^{CI}
Hyl	9.6±1.8 ^A	9.6±1.3 ^A	9.6±1.4 ^I	8.8±1.6 ^A	9.0±1.4 ^A	8.9±0.1 ^I	11.2±1.5 ^{AI}	9.0±1.6 ^{AI}	11.2±1.4 ^{AI}
Lys	32.6±1.8 ^A	34.0±3.0 ^{AB}	33.3±2.4 ^I	37.7±1.4 ^B	36.1±0.7 ^{AB}	36.9±1.1 ^{II}	35.3±1.8 ^{ABII}	34.4±1.9 ^{ABII}	37.4±2.3 ^{BI}
His	63.7±0.9 ^A	7.1±0.9 ^A	6.9±0.8 ^I	6.5±0.5 ^A	6.2±0.4 ^A	6.4±0.2 ^I	10.0±1.0 ^{BI}	10.4±1.1 ^{BI}	10.7±0.7 ^{BI}
Trp	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Arg	64.0±3.2 ^B	66.6±0.9 ^{BC}	65.3±2.6 ^{II}	69.6±2.2 ^C	67.2±1.9 ^{BC}	68.4±1.7 ^{II}	65.0±5.1 ^{BCII}	57.4±1.2 ^{AI}	63.9±1.3 ^{BI}
Imino acid	171.8±6.4 ^B	173.7±3.7 ^{BC}	172.8±4.8 ^{II}	179.2±5.8 ^{BC}	182.2±4.1 ^C	180.8±2.1 ^{III}	171.5±6.3 ^{BI}	158.8±3.2 ^{AII}	157.8±4.1 ^{AI}

¹Sample codes (OF-1, OF-2, RS-1.5, RS-2.5, AS, CoS, and SS) are the same as explained in Table 1. ²The different letters (capital letter in each olive flounders, red seabreams and salmons, and Roman alphabet in mean of olive flounder, red seabream and all salmons) on the data in the row indicate significant differences at P<0.05, ³-, Not detected.

별로 달리한 어종별 근육 유래 산가용성 콜라겐의 아미노산 조성을 분석하여 1,000 잔기 당 아미노산 잔기수는 Table 4와 같다. 다소비 횡감의 어종(국내산 광어, 수입산 참돔, 대서양연어, 은연어 및 홍연어)에 관계없이 이들 어류 근육 유래 콜라겐은 1,000 잔기 당 아미노산 잔기수의 경우 glycine이 236.6–295.5 잔기 범위로 가장 높았다. 한편, 콜라겐의 1,000 잔기 당 glycine의 잔기수는 여러 가지 어류 보통육 유래 콜라겐 중 잉어 337 잔기, 장어 347 잔기, 고등어 334 잔기, 꽂치 350 잔기, 백연어(chum salmon) 363 잔기(Kimura et al., 1988)로, 곱질 유래 콜라겐 중 brownstripe red snapper *Lutjanus vitta* 252 잔기(Jongjareonrak et al., 2005), walleye pollock *Theragra chalcogramma* 197 잔기(Yan et al., 2008), cobia *Rachycentron canadum* 307 잔기(Silva et al., 2014), marine eel-fish *Evenchelys macrura* 278 잔기(Veeruraj et al., 2013), turbot 203 잔기(Jinanan et al., 2019), 틸라피아 250여 잔기(Potaros et al., 2009)로, silvertip shark *Carcharhinus albimarginatus* 뼈 유래 콜라겐이 310 잔기(Jeevithan et al., 2014)로 보고되고 있고, 본 연구의 결과도 이들 범위에 있었다. 다소비 횡감의 어종(국내산 광어, 수입산 참돔, 대서양연어, 은연어 및 홍연어) 근육 유래 콜라겐의 아미노산 조성 중 glycine 다음으로 많고, 물리적 특성에 지대한 영향을 미치는 imino acid (hydroxyproline+proline)는 157.8–180.8 잔기 범위로 많이 검출되었으며, 콜라겐에 유일하게 존재하는 아미노산인 hydroxyproline의 경우도 높은 조성비로 검출되어 콜라겐에서 볼 수 있는 특징적인 아미노산 조성 패턴을 나타내었다. Ando et al. (2001)과 Montero et al. (1990)은 hydroxyproline의 경우 triple helix 구조 안정화에 기여한다고 보고한 바가 있다. 이와 같은 결과는 일반적으로 콜라겐의 아미노산 조성이 glycine-imino acid-기타 아미노산으로 구성되어 있는 구조 특성 때문이라 판단되었다(Kim and Park, 2004).

또한, 콜라겐은 함황아미노산 3종(cystine, cysteine 및 methionine)과 tryptophan, isoleucine, tyrosine, phenylalanine, hydroxylysine 및 histidine과 같은 9종의 아미노산은 일반적으로 검출되지 않거나, 20 잔기 이하로 검출되는 것으로 알려져 있다(Kim and Park, 2004). 본 연구에서 검토한 광어, 참돔, 대서양연어, 은연어 및 홍연어 근육 유래 콜라겐의 20 잔기 이하 아미노산들은 함황아미노산 3종(cystine과 cysteine은 모두 불검출, methionine은 광어 1.8 잔기, 참돔 2.1 잔기, 대서양연어 6.8 잔기, 은연어 4.2 잔기, 홍연어 4.6 잔기), tryptophan (모두 불검출), isoleucine (광어 12.3 잔기, 참돔 11.4 잔기, 대서양연어 16.9 잔기, 은연어 17.6 잔기, 홍연어 19.2 잔기), tyrosine (광어 3.5 잔기, 참돔 4.7 잔기, 대서양연어 3.7 잔기, 은연어 4.0 잔기, 홍연어 5.2 잔기), hydroxylysine (광어 9.6 잔기, 참돔 8.9 잔기, 대서양연어 11.2 잔기, 은연어 9.0 잔기, 홍연어 11.2 잔기), histidine (광어 6.9 잔기, 참돔 6.4 잔기, 대서양연어 10.0 잔기, 은연어 10.4 잔기, 홍연어 10.7 잔기) 등과 같은 8종이었고, phenylalanine은 광어 17.7 잔기, 참돔 18.4 잔기, 대서양연

어 20.2 잔기, 은연어 19.1 잔기, 홍연어 21.9 잔기로 20종 내외를 나타내었다. 이상의 아미노산 특성으로 미루어 보아 본 과제에서 추출 및 정제된 5종 어류 근육 유래 산가용성 콜라겐은 전형적인 콜라겐의 아미노산 조성을 나타내었다. 한편, Song and Jang (1993)도 콜라겐은 그 구조가 glycine-hydroxyproline 또는 proline-기타 아미노산 등이 peptide의 형태를 구성하고 있고, 이를 반복함으로 인하여 glycine과 imino acid가 다량 함유되어 있으며, 함황아미노산(cysteine, cystine 및 methionine)과 필수아미노산인 tryptophan이 함유되어 있지 않다고 보고한 바가 있다.

다소비 횡감 유래 콜라겐 간의 구성 아미노산은 glycine의 경우 은연어가 295.5 잔기로 가장 높았고, 다음으로 광어(269.3 잔기), 참돔(242.7 잔기), 대서양연어(241.3 잔기) 및 홍연어(236.6 잔기)의 순이었으나, 참돔, 대서양연어 및 홍연어들의 경우 유의적인 차이가 없었다($P>0.05$). 그리고, imino acid는 참돔이 180.8 잔기로 가장 높았고, 다음으로 광어(172.8 잔기), 대서양연어(171.5 잔기), 은연어(158.8 잔기) 및 홍연어(157.8 잔기)의 순이었으나, 광어와 대서양연어, 은연어와 홍연어의 경우 유의적 차이가 없었다($P>0.05$). 일반적으로 콜라겐의 녹는 점과 응고점 등과 같은 물리적 특성은 콜라겐 사슬 간의 수소결합에 관여할 수 있는 imino acid 조성고 상관성이 있고, 대체로 imino acid 조성의 경우 어류가 포유류에 비하여, 한대성 어류가 온대성 어류에 비하여 낮게 함유되어 있는 것으로 알려져 있다(Park et al., 1995). 이와 같은 imino acid의 조성고 서식 수온 등으로 미루어 보아 수중에서 이들 어류 근육의 콜라겐 섬유의 열수축 온도나 열변성 온도는 참돔이 가장 높으리라 추정되었고, 다음으로 광어, 대서양연어, 홍연어 및 은연어 등의 순으로 추정되었다. 이와 같은 imino acid의 함량은 다소비 횡감의 콜라겐 함량과 함께 조직감에 영향을 미치리라 추정되었다. Park et al. (1995)은 어류 근육 유래 콜라겐의 아미노산 1,000 잔기 당 hydroxyproline의 잔기수는 별상어의 경우 76 잔기, 잉어의 경우 85 잔기, 뱀장어의 경우 79 잔기, 고등어의 경우 72 잔기라고 보고한 바가 있다.

다소비 횡감 중량(광어의 경우 1 kg 및 2 kg, 참돔의 경우 1.5 kg 및 2.5 kg)별로 달리한 2종의 광어 근육과 2종의 참돔 근육 유래 콜라겐들의 1,000 잔기 당 아미노산 조성(잔기수)은 glycine이 광어의 경우 각각 275.3 잔기 및 263.2 잔기로, 참돔의 경우 각각 239.0 잔기 및 246.3 잔기로, imino acid도 광어의 경우 각각 171.8 잔기 및 173.7 잔기로, 참돔의 경우 각각 179.2 잔기 및 182.2 잔기로, 2종의 어류가 모두 중량에 따른 glycine 간과 imino acid 간에 유의적인 차이가 인정되지 않았다($P>0.05$). 중량별 2종의 광어 근육과 2종의 참돔 근육 유래 콜라겐의 아미노산 조성(1,000 잔기 당 잔기수) 중 cystine, cysteine, tryptophan은 어종과 중량에 관계없이 모두 불검출, methionine은 광어의 경우 각각 1.4 잔기 및 2.2 잔기, 참돔의 경우 각각 2.2 잔기 및 2.0 잔기, isoleucine은 광어의 경우 각각 12.1 잔기 및 12.4 잔

기, 참돔의 경우 각각 11.7 잔기 및 11.0 잔기, tyrosine은 광어의 경우 각각 3.3 잔기 및 3.6 잔기, 참돔의 경우 각각 4.6 잔기 및 4.8 잔기, phenylalanine은 광어의 경우 각각 17.3 잔기 및 18.0 잔기, 참돔의 경우 각각 18.7 잔기 및 18.0 잔기, hydroxylysine은 광어의 경우 모두 9.6 잔기, 참돔의 경우 각각 8.8 잔기 및 9.0 잔기, histidine은 광어의 경우 각각 6.7 잔기 및 7.1 잔기, 참돔의 경우 각각 6.5 잔기 및 6.2 잔기로, 어종과 중량에 관계없이 동일 아미노산의 경우 모든 아미노산에서 유의적인 차이가 인정되지 않았고($P>0.05$), 20 잔기 이하를 나타내어, 전형적인 콜라겐 아미노산 조성을 나타내었다.

콜라겐의 FT-IR 스펙트럼

다소비 횃감의 어종(국내산 광어, 수입산 참돔, 대서양연어, 은연어 및 홍연어)별 및 중량(광어의 경우 1 kg 및 2 kg, 참돔의 경우 1.5 kg 및 2.5 kg)별로 달리한 어류 근육 유래 산가용성 콜라겐의 FT-IR 스펙트럼 특성은 Fig. 2와 같고, 이의 주요 흡수 피크(absorbance peak)는 Table 5와 같다. 콜라겐은 아미노산 조성이 glycine-proline or hydroxyproline-기타 아미노산으로 이루어져 있어, 이의 펩타이드(peptide) 분자구조는 glycine의 -NH group과 polypeptide chain의 carbonyl group인 C=O로 이루어져 있다고 할 수 있다(Bella et al., 1995). Muyonga et al. (2004)과 Jakobsen et al. (1983)은 스펙트럼에서 나타난 amide A, I, II 및 III의 주요 흡수 피크(absorbance peak)는 polypeptide의 형태와 관련이 있고, amide B의 주요 흡수 피크는 2,950–2,850 cm^{-1} 범위의 영역에서 나타나고 있으며, CH_2 의 stretching vibration (신축진동)을 나타낸다고 보고한 바가 있다. 또한, Doyle et al. (1975)은 amide A의 주요 흡수 피크는 3,600–3,200 cm^{-1} 범위의 영역에서 나타나고 있고, N-H group과 OH group의 stretching vibration에 의하여 나타나며, pep-

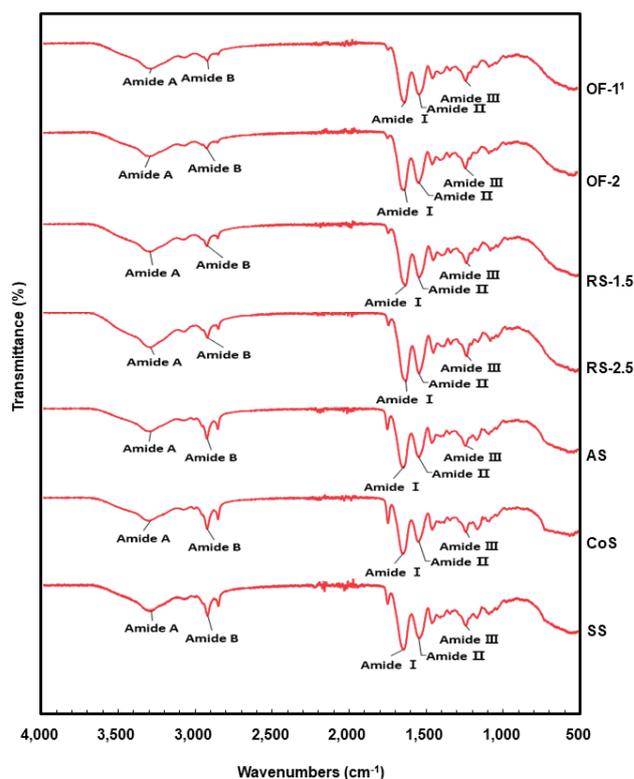


Fig. 2. Fourier transform infrared (FT-IR) spectra of collagens from commonly consumed fish species [olive flounder (OF) *Paralichthys olivaceus*, red seabream (RS) *Pagrus major*, Atlantic salmon (AS) *Salmo salar*, coho salmon (CoS) *Oncorhynchus kisutch*, and sockeye salmon (SS) *Oncorhynchus nerka*] as sliced raw fish. ¹Sample codes (OF-1, OF-2, RS-1.5, RS-2.5, AS, CoS, and SS) are the same as explained in Table 1.

Table 5. Fourier transform infrared (FTIR) spectra peak locations and their assignments for collagens from commonly consumed fish species [olive flounder (OF) *Paralichthys olivaceus*, red seabream (RS) *Pagrus major*, Atlantic salmon (AS) *Salmo salar*, coho salmon (CoS) *Oncorhynchus kisutch*, and sockeye salmon (SS) *Oncorhynchus nerka*] as sliced raw fish

Sample code ¹	Amide ² (Wave length, cm^{-1})					
	A	B	I	II	III	
General	3,200-3,600	2,850-2,950	1,600-1,800	1,300-1,600	600-1,300	
OF	1	3,296	2,926	1,633	1,538	1,234
	2	3,300	2,926	1,637	1,542	1,235
RS	1.5	3,294	2,925	1,632	1,542	1,237
	2.5	3,297	2,925	1,633	1,544	1,237
AS		3,296	2,924	1,637	1,542	1,235
CoS		3,307	2,924	1,648	1,545	1,236
SS		3,306	2,924	1,640	1,540	1,233

¹Sample codes (OF-1, OF-2, RS-1.5, RS-2.5, AS, CoS, and SS) are the same as explained in Table 1. ²Amide A, N-H Stretch, coupled with hydrogen bond; Amide B, CH_2 Asymmetrical stretch; Amide I, C=O Stretch/hydrogen bond coupled with COO^- ; Amide II, N-H Bend coupled with C-N stretch; Amide III, N-H Bend coupled with C-N stretch.

tide 내에 N-H group이 수소결합에 관여할 때 주요 흡수 피크 값이 낮아지는 경향을 나타내고 있다고 보고한 바가 있다. 다소비 횡감(국내산 광어 2 kg, 수입산 참돔 2.5 kg, 대서양연어, 은연어 및 홍연어) 근육 유래 산가용성 콜라겐의 FT-IR 스펙트럼 중 주요 흡수 피크는 전형적인 어류 근육 및 껍질 유래 콜라겐의 주요 흡수 피크인 amide A, B, I, II 및 III와 같은 5종이 모두 검출되었다.

콜라겐의 FT-IR 스펙트럼 중 amide A의 주요 흡수 피크는 일반적으로 3,600–3,200 cm⁻¹ 범위에서 나타나고 있고, NH group과 OH group의 stretching vibration (신축진동)에 의하여 나타난다. 다소비 횡감 근육 산가용성 콜라겐 amide A의 주요 흡수 피크는 3,307–3,296 cm⁻¹ 범위로, 일반적인 흡수 피크에 비하여 약간 낮은 범위에 형성되었으며, 은연어가 가장 높은 파장이었고, 다음으로 홍연어(3,306 cm⁻¹), 광어(3,300 cm⁻¹), 참돔(3,297 cm⁻¹), 대서양연어(3,296 cm⁻¹)의 순이었다. 따라서, 다소비 횡감 근육 유래 콜라겐 amide A의 중 주요 흡수 피크로 미루어 보아 peptide 내에 N-H group이 수소결합에 관여하는 것으로 판단되었다. 콜라겐의 FT-IR 스펙트럼 중 amide B의 주요 흡수 피크는 일반적으로 2,950–2,850 cm⁻¹ 범위에서 나타나고 있고, CH₂의 신축진동을 나타낸다. 다소비 횡감 근육 산가용성 콜라겐 amide B의 주요 흡수 피크는 2,926–2,924 cm⁻¹ 범위로, 그 차이(2 cm⁻¹)가 아주 미미하였고, 일반적인 흡수 피크에 비하여 최대치와 가까운 파장에 위치하였으며, 광어가 가장 높았고, 다음으로 참돔(2,925 cm⁻¹)의 순이었으며, 대서양연어, 은연어, 홍연어(모두 2,924 cm⁻¹)의 경우 동일하였다. 콜라겐의 FT-IR 스펙트럼 중 amide I의 주요 흡수 피크는 1,800–1,600 cm⁻¹ 범위의 영역에서 나타나고 있고, peptide 내에 carbonyl group의 신축진동을 나타낸다. 다소비 횡감 근육 산가용성 콜라겐의 amide I 주요 흡수 피크는 1,648–1,633 cm⁻¹ 범위로, 일반 영역의 최저치 부근에 위치하였으며, 참돔이 가장 낮았고, 다음으로 대서양연어와 광어(모두 1,637 cm⁻¹), 홍연어(1,640 cm⁻¹) 및 은연어(1,648 cm⁻¹)의 순이었다. 콜라겐의 FT-IR 스펙트럼 중 amide II의 주요 흡수 피크는 1,600–1,300 cm⁻¹ 범위의 영역에서 나타나고 있고, NH bending 및 CN 신축진동과 관련이 있다. 다소비 횡감 근육 산가용성 콜라겐의 amide II의 주요 흡수 피크는 1,545–1,540 cm⁻¹ 범위로, 일반 영역의 최고치 부근에 위치하였으며, 은연어가 가장 높았고, 다음으로 참돔(1,544 cm⁻¹), 대서양연어와 광어(모두 1,542 cm⁻¹) 및 홍연어(1,540 cm⁻¹)의 순이었다. 콜라겐의 FT-IR 스펙트럼 중 amide III의 주요 흡수 피크는 600–1,300 cm⁻¹ 범위에서 나타나고 있고, peptide 내에 CN group 과 NH group 신축진동과 관련이 있으며, 콜라겐의 triple helical 구조와도 관련이 있다. 다소비 횡감 근육 산가용성 콜라겐 amide III의 주요 흡수 피크는 1,237–1,233 cm⁻¹ 범위로, 일반 영역의 최고치 부근에 위치하였으며, 참돔이 가장 높았고, 다음으로 은연어(1,236 cm⁻¹), 광어와 대서양연어(모두 1,235 cm⁻¹) 및 홍연어(1,233 cm⁻¹)의 순이었다.

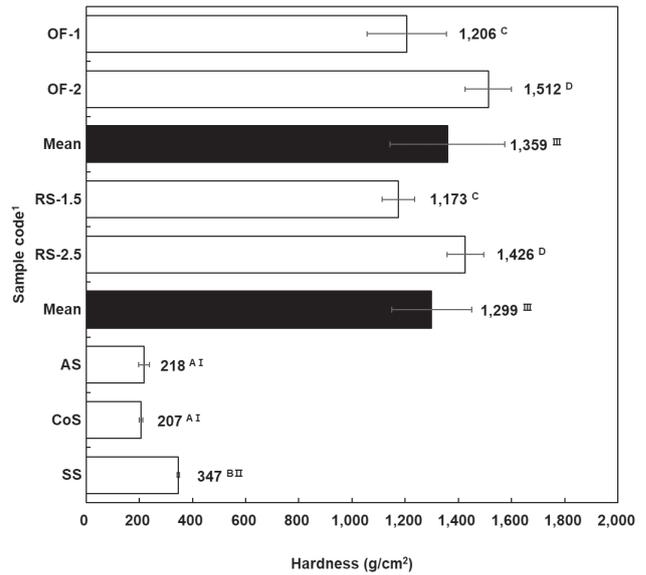


Fig. 3. Hardness of commonly consumed fish species [olive flounder (OF) *Paralichthys olivaceus*, red seabream (RS) *Pagrus major*, Atlantic salmon (AS) *Salmo salar*, coho salmon (CoS) *Oncorhynchus kisutch*, and sockeye salmon (SS) *Oncorhynchus nerka*] as sliced raw fishes. ¹Sample codes (OF-1, OF-2, RS-1.5, RS-2.5, AS, CoS, and SS) are the same as explained in Table 1. ²The different letters (capital letter in mean of olive flounders, red seabreams and salmons, and Roman alphabet in mean of olive flounder, red seabream and salmons) on the data indicate significant differences at P<0.05.

조직감

다소비 횡감의 어종(국내산 광어, 수입산 참돔, 대서양연어, 은연어, 홍연어)별 및 중량(광어의 경우 1 kg 및 2 kg, 참돔의 경우 1.5 kg 및 2.5 kg)별 어류 근육의 조직감을 경도(hardness)로 살펴본 결과는 Fig. 3과 같다. 어종별 횡감 근육의 경도는 광어 근육이 1,359 g/cm²으로 가장 높았고, 다음으로 참돔 근육(1,299 g/cm²), 홍연어 근육(347 g/cm²), 대서양연어 근육(218 g/cm²), 은연어 근육(207 g/cm²)의 순이었으나, 광어 근육과 참돔 근육, 대서양연어 근육과 은연어 근육의 경우 유의적인 차이가 인정되지 않았다(P>0.05). 또한, 어류의 중량(광어의 경우 1 kg 및 2 kg, 참돔의 경우 1.5 kg, 2.5 kg)별 경도는 광어의 경우 2 kg 어체가 1,512 g/cm²으로, 1 kg 어체의 1,206 g/cm²에 비하여, 참돔의 경우 2.5 kg 어체가 1,426 g/cm²으로, 1.5 kg 어체의 1,173 g/cm²에 비하여 유의적으로 높았다(P<0.05).

일반적으로 어육 경도는 콜라겐 함량이 많을수록 단단하나, 이외에도 근섬유의 굵기가 굵을수록, imino acid 함량이 많아가교결합 정도가 많을수록 단단한 것으로 알려져 있고, 지방 함량이 많을수록 연한 것으로 알려져 있다(Park et al., 1995).

사 사

본 연구는 한국광어양식연합회의 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- Ando M, Makino M, Tsukamasa Y, Makinodan Y and Miyosh M. 2001. Interdependence between heat solubility and pyridinoline contents of squid mantle collagen. *J Food Sci* 66, 265-269. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2001.tb11329.x>.
- Bella J, Brodsky B and Berman HM. 1995. Hydration structure of a collagen peptide. *Structure* 3, 893-906. [https://doi.org/10.1016/S0969-2126\(01\)00224-6](https://doi.org/10.1016/S0969-2126(01)00224-6).
- Ciarlo AS, Paredi ME and Fraga AN. 1997. Isolation of soluble collagen from hake skin (*Merluccius hubbsi*). *J Aquat Food Prod Technol* 6, 65-77. https://doi.org/10.1300/J030v06n01_06.
- Doyle BB, Bendit EG and Blout ER. 1975. Infrared spectroscopy of collagen and collagen-like polypeptides. *Biopolymers* 14, 937-957. <https://doi.org/10.1002/bip.1975.360140505>.
- Feng H, Peng D, Liang XF, Chai F, Tang S and Li J. 2022. Effect of dietary hydroxyproline supplementation on Chinese perch (*Siniperca chuatsi*) fed with fish meal partially replaced by fermented soybean meal. *Aquaculture* 547, 737454. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737454>.
- Horowitz JM. 2002. 10 Foods that pack a wallop. *Time* 159, 76-81.
- Jakobsen RJ, Brown LL, Hutson TB, Fink DJ and Veis A. 1983. Intermolecular interactions in collagen self-assembly as revealed by Fourier transform infrared spectroscopy. *Science* 220, 1288-1290. <https://doi.org/10.1126/science.6857249>.
- Jeevithan E, Wu W, Nanping W, Lan H and Bao B. 2014. Isolation, purification and characterization of pepsin soluble collagen isolated from silvertip shark (*Carcharhinus albimarginatus*) skeletal and head bone. *Process Biochem* 49, 1767-1777. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2014.06.011>.
- Jianan S, Jingjing Z, Dandan Z, Changhu X, Zhen L and Xiangzhao M. 2019. Characterization of turbot (*Scophthalmus maximus*) skin and the extracted acid-soluble collagen. *J Ocean Univ China* 18, 687-692. <https://doi.org/10.1007/s11802-019-3837-2>.
- Jongjareonrak A, Benjakul S, Visessanguan W, Nagai T and Tanaka M. 2005. Isolation and characterisation of acid and pepsin-solubilised collagens from the skin of brownstripe red snapper (*Lutjanus vitta*). *Food Chem* 93, 475-484. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.10.026>.
- Kim JS and Park JW. 2004. Characterization of acid-soluble collagen from Pacific whiting surimi processing byproducts. *J Food Sci* 69, C637-C642. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb09912.x>.
- Kimura S, Zhu XP, Matsui R, Shijoh M and Takamizawa S. 1988. Characterization of fish muscle type I collagen. *J Food Sci* 53, 1315-1318. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1988.tb09266.x>.
- Ko JY, Kang N, Lee JH, Kim JS, Kim WS, Park SJ, Kim YT and Jeon YJ. 2016. Angiotensin I-converting enzyme inhibitory peptides from an enzymatic hydrolysate of flounder fish (*Paralichthys olivaceus*) muscle as a potent anti-hypertensive agent. *Process Biochem* 51, 535-541. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2016.01.009>.
- Laemmli UK. 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of Bacteriophage T4. *Nature* 227, 680-685. <https://doi.org/10.1038/227680a0>.
- MFDS (Ministry of Food and Drug Safety). 2021. General Analytical Method in Food Code. Retrieved from http://www.foodsafetykorea.go.kr/foodcode/01_02.jsp?idx=263 on Sep 30, 2021.
- MOF (Ministry of Oceans and Fisheries). 2022. Major Statistics of Oceans and Fisheries. Retrieved from <https://www.fips.go.kr/p/S020304/> on Feb 28, 2022.
- Montero P, Borderias J, Turnay J and Leyzarbe MA. 1990. Characterization of hake (*Merluccius merluccius* L.) and trout (*Salmo irideus* Gibb) collagen. *J Agric Food Chem* 38, 604-609. <https://doi.org/10.1021/jf00093a004>.
- Moreno HM, Montero MP, Gómez-Guillén MC, Fernández-Martín F, Mørkøre T and Borderias J. 2012. Collagen characteristics of farmed Atlantic salmon with firm and soft fillet texture. *Food Chem* 134, 678-685. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.160>.
- Muyonga JH, Cole CGB and Duodu KG. 2004. Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopic study of acid soluble collagen and gelatin from skins and bones of young and adult Nile perch (*Lates niloticus*). *Food Chem* 86, 325-332. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2003.09.038>.
- 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).
- Park YH, Jang DS and Kim SB. 1995. Processing and Utilization of Seafood. Hyungseoul Publishing Co., Daegu, Korea, 76-151.
- Potaras T, Raksakulthai N, Runglerdkreangkrai J and Worawatnamateekul W. 2009. Characteristics of collagen from Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) skin isolated by two different methods. *Kasetsart J Nat Sci* 43, 584-593.
- Sato K, Ohashi C, Ohtsuki K and Kawabata M. 1991. Type V collagen in trout (*Salmo gairdneri*) muscle and its solubility change during chilled storage of muscle. *J Agric Food Chem* 39, 1222-1225. <https://doi.org/10.1021/jf00007a005>.
- Sato K, Yoshinaka R, Sato M and Shimizu Y. 1986. Collagen content in the muscle of fishes in association with their swimming movement and meat texture. *Nippon Suisan Gakkaishi* 52, 1595-1600. <https://doi.org/10.2331/suisan.52.1595>.
- Seo YJ, Gil BJ, Kyoung JS, Yoo BS, Chang YH, Yu SY and

- Lee YS. 2014. Effect of environmentally-friendly red clay-processed materials on quality characteristics of eel. *J Korean Soc Food Sci Nutr* 43, 287-292. <https://doi.org/10.3746/jkfn.2014.43.2.287>.
- Shen J, Yu D, Gao P, Xu Y, Jiang Q and Xia W. 2021. Relevance of collagen solubility and gelatinolytic proteinase activity for texture softening in chilled grass carp (*Ctenopharyngodon idellus*) fillets. *Int J Food Sci Technol* 56, 1801-1808. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14805>.
- Sigurgisladottir S, Hafsteinsson H, Jonsson A, Lie Ø, Nortvedt R, Thomassen M and Torrissen O. 1999. Textural properties of raw salmon fillets as related to sampling method. *J Food Sci* 64, 99-104. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1999.tb09869.x>.
- Silva RSG, Bandeira SF and Pinto LAA. 2014. Characteristics and chemical composition of skins gelatin from cobia (*Rachycentron canadum*). *LWT-Food Sci Technol* 57, 580-585. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.02.026>.
- Song KW and Jang PS. 1993. *Animal Food Processing*. Moonundang Publishing Co., Seoul, Korea, 12-13.
- Takahashi K, Suzuki A and Wada K. 1989. Gelatinization of pig bone insoluble collagen. *Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi* 36, 538-542. https://doi.org/10.3136/nskkk1962.36.7_538.
- Vácha F, Stejskal V, Vejsada P, Kouřil J and Hlaváč D. 2013. Texture profile analyses in tench (*Tinca tinca* L., 1758) from extensive and intensive culture. *Acta Vet Brno* 82, 421-425. <https://doi.org/10.2754/avb201382040421>.
- Veeruraj A, Arumugam M and Balasubramanian T. 2013. Isolation and characterization of thermostable collagen from the marine eel-fish (*Evenchelys macrura*). *Process Biochem* 48, 1592-1602. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2013.07.011>.
- Xu C, Wang C, Cai QF, Zhang Q, Weng L, Liu GM, Su WJ and Cao MJ. 2015. Matrix metalloproteinase 2 (MMP-2) plays a critical role in the softening of common carp muscle during chilled storage by degradation of type I and V collagens. *J Agric Food Chem* 63, 10948-10956. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5b03893>.
- Yan M, Li B, Zhao X, Ren G, Zhuang Y, Hou H, Zhang X, Chen L and Fan Y. 2008. Characterization of acid-soluble collagen from the skin of walleye pollock (*Theragra chalcogramma*). *Food Chem* 107, 1581-1586. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.10.027>.