

Article

수산부산물의 발생·이용 실태 평가 및 해양바이오 산업화 방안

안소연¹ · 이원규^{1,2} · 장덕희³ · 강도형^{1,2*}

¹한국해양과학기술원 제주특성연구센터
(63349) 제주특별자치도 제주시 구좌읍 일주동로 2670
²과학기술연합대학원대학교 해양학과
(34113) 대전광역시 유성구 가정로 217
³한국해양과학기술원 연구전략실
(49111) 부산광역시 영도구 해양로 385

Current Status and Evaluation of Fisheries By-products:
Major Options to Marine Bioindustrial Application

Soeon Ahn¹, Won-Kyu Lee^{1,2}, Duckhee Jang³, and Do-Hyung Kang^{1,2*}

¹Jeju Marine Research Center, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Jeju 63349, Korea
²Department of Ocean Science, University of Science and Technology, Daejeon 34113, Korea
³Research Project Strategy Affairs Section, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Busan 49111, Korea

Abstract : Since the existing mass production and consumption systems are no longer sustainable, countries are pushing for policies to make fisheries by-products as resources in an eco-friendly manner, and international standards are also being strengthened to increase the value of by-products. In Korea, economic and environmental perceptions of the by-products are rapidly changing, such as realizing carbon neutrality and enhancing circular resources by Korean Sustainable Development Goals. Raw materials derived from the by-products have been steadily imported from 2018. In particular, the number of imports of fish collagen peptides was only 16 number of times in 2017, but was rapidly increased to 483 number of times in 2020. Simultaneously, the demand for raw materials and nutrients for health functional food derived from fish by-products, which did not exist statistically until 2017, started to arise from 2018, and in 2019, consumption of high-value-added raw materials for fish by-products increased by 45% compared to the previous year. However, limitations are in legal and biotechnical industry aspects while its value as a biomaterial is recognized in the by-products-related industry. In this study, therefore, the status of by-products for upcycling biomaterials was reported and provided a scientific basis for supporting governmental strategies. In order to fulfill with the principles of a sustainable circular economy, the factors on hinder the marine bio-industrialization of the by-products were derived and suggested directions and plans for development into a high-value added the by-products as the marine bio-industry by substituting imported raw materials to support the development.

Key words : fisheries by-products, upcycling, sustainable circular economy, marine biomaterials, Republic of Korea

1. 서 론

수산부산물이란 수산물의 생산-가공-유통-판매 등의 과정에서 활용되지 못해 부수적으로 남은 부위를 뜻한다. 국가별로 수산부산물의 정의가 상이하지만, 일반적으로 어류 또는 갑각류의 껍질, 뼈, 비늘 등 섭식 또는 가공 과정에서 이용되지 못하는 물질들이 포함된다. 현재 전 세계 수산물 생산량의 약 35%는 부산물로 발생하여 손실되거나 폐기되고 있으며(FAO 2020), 우리나라의 경우 연평균 약 131만 톤의 수산부산물이 발생하고 있는 것으로 추정된다(Yoo and Kim 2020). 우리나라 국민 1인당 수산물 소비량은 2019년도 68.1 kg에서 2025년 74.0 kg으로 증가할 것으로 예상되며, 이에 대응한 수산물 공급을 위해 2016년부터 2020년까지 국내 양식업 생산량은 23.5% 증가하였다(MOF 2021). 이와 더불어 소비패턴 변화로 인한 가공식품 및 가정간편식 가공품 생산 증가가 예상되므로 향후 수산부산물 발생이 지속적으로 증가할 것으로 예상된다.

우리나라에서는 대부분의 수산부산물이 매립, 소각, 해양 배출 등의 형태로 폐기처분되며, 극히 일부만이 폐기물 재활용업체를 통해 사료 및 비료로 재활용되고 있다(Yoo and Kim 2020). 이때, 불법 투기, 방치 및 매립되는 수산부산물로 인해 오수와 악취가 발생하며, 주변 경관을 훼손하거나 지하수 오염, 해충 번식 등 다양한 환경오염 문제를 야기하고 있다. 특히 사업장에서 발생하는 수산부산물의 경우, 2016년부터 「해양환경 관리법」 제22조에 의한 폐기물 외해 투기가 전면적으로 금지되어 관련 업종 종사자들의 수산부산물 폐기 처리에 대한 경제적·사회적 압박이 가중되고 있다. 이와 관련하여, 정부는 폐기물로 인해 발생하는 오염을 방지하기 위해 막대한 비용을 투입하고 있다. 수산부산물의 재활용을 위해 수산부산물 발생량이 상대적으로 많은 일부 지자체에서는 비료 제조 시설을 구축하여 비료, 토착재, 종묘 부착재 등으로 재이용하고 있지만 이와 같은 저차 가공의 재활용 방법은 높은 생산비용에 따른 낮은 가격 경쟁력과 선도 관리 실패로 인한 품질저하 및 품질 유지가 어려운 점 등 고부가가치 제품을 생산하는데 한계가 있어 수산부산물의 자원순환에 어려움을 겪고 있다.

수산부산물을 친환경적으로 자원화하려는 정책 제안은 지자체별 수산부산물 종류에 따라 지속적으로 제시되어 왔다. Shin and Yoon (2018)은 충청남도의 까나리 및 멸치 액젓 생산 부산물인 뼈를 활용하여 가축용 소금 또는 가축용 액상 미네랄로서의 재활용을 제시하였고, Kang and Kim (2019)은 해조류 부산물 처리시설을 구축하여 고부가가치 식품 및 바이오 에너지, 기능성식품 개발, 친환경 플라스틱 등으로 이용하는 등 바이오산업화를 통한 해조

류 부산물의 유효 이용을 제안하였다. 기존의 연구들은 「자원순환 기본법」 및 「폐기물관리법」 등 수산부산물 관련 법령의 개선(Kim and Lee 2015)과 수산부산물 관리 및 이용에 관한 입법(Kim 2020)을 통해 「폐기물관리법」에 의한 법적 처리의 범주에서 벗어나야 함을 강조해 왔다. 이에, 지자체의 지속적인 해결책 요구를 통해 수산부산물 처리 및 재활용에 관한 법률안이 2013년부터 여러 차례 발의되었으나, 「폐기물관리법」 시행령의 범위 등 환경부와와의 이견이 많아 입법화가 이뤄지지 못했다. 그러나 2021년 6월 30일 「수산부산물 재활용 촉진에 관한 법률」 제정안이 국회 본회의를 통과하여 제정됨으로써, 수산부산물 재활용에 대한 법적 근거가 마련되었다. 따라서 수산부산물의 활용 가능성이 제도적으로 확보된 만큼 이에 기초한 전략 방향 마련이 필요하다.

전 세계적으로 더 이상 기존의 대량생산 및 소비 시스템은 지속 가능하지 않다는데 공감하고 수산부산물을 자원화하여 친환경적으로 재활용하기 위한 정책을 다양한 국가에서 추진 중이다. UN, FAO 등의 성명을 통해 수산부산물을 포함한 식품의 폐기물 감량 및 가치 제고를 위한 국제적 규범이 강화되고 있다(MIFAFF 2012; FAO 1995, 2011; Iñarra et al. 2019; Roda et al. 2019; UN 2015). 이에 따라 국내에서도 수산부산물 자원순환을 활성화하여 탄소중립을 실현하고, 수산부산물의 지속 가능성 및 부가가치를 제고하는 등 수산부산물에 대한 환경·경제적 인식 전환이 매우 빠르게 나타나고 있다. 정부는 국가지속가능발전목표의 하나로 천연자원에 대한 지속 가능한 소비와 생산을 12번째 목표로 설정하여 자원의 재활용을 촉진하고 산업계의 자원 생산성 향상 및 식품 손실 감소를 도모하여 생산단계에서의 폐기물 원천 감량 및 자원순환성을 고려한 제품 설계를 추진하고 있다. 이에 따라 폐기물 자원순환 기본계획을 수립하였으며, 폐기물 처리 및 처분과 관련된 경제적·환경적·사회적 비용을 줄이고자 노력하고 있다. 특히 어패류 부산물의 자원화에 대한 정부 및 지자체의 정책 수립은 2015년 6월 수산업·어촌의 지속가능한 발전과 육성을 위해 제정된 「수산업·어촌발전 기본법」 제25조에 규정되어 있다. 따라서 이 연구에서는 「수산업·어촌발전 기본법」 제25조에 따른 어패류의 자원화에 대한 방법으로 수산부산물의 바이오 소재 전환의 필요성과 이를 뒷받침할 수 있는 과학적 근거를 제시하고자 한다. 또한 국내의 수산부산물을 활용한 해양바이오 산업소재의 활용 현황, 소재로서의 충족 요건, 원료 활용의 장애요인 등을 분석하여 자원순환에 필수적인 내용을 도출하여 수입 원료 대체 및 국산 원료 개발을 통한 해양바이오산업 시장 선점을 지원하기 위한 방법과 정책방향을 제안하고자 한다.

2. 연구 방법

이 연구에서는 수산부산물의 관련 법령 및 국내 바이오 기업의 수입 현황 분석을 통해 국내 발생 수산부산물의 바이오 소재 전환 전략을 마련하고, 국내외 문헌조사를 통해 관련 연구들을 고찰하였다. 또한 국가승인통계, 관련 부처 통계 및 법 제도 분석을 통해 수산부산물의 바이오 소재 산업의 활성화를 위한 정책방향을 제시하였다. 연구에 활용한 조사 자료의 유형은 국가승인통계, 정부 보고서, 정책 자료집, 통계자료, 논문, 연구 보고서 등으로 관련 통계자료 분석을 통해 어패류 부산물의 기반 구축을 위한 기초자료를 제공하였다. 수산부산물의 수입 자료는 한국농수산식품유통공사가 생산하는 조사 통계인 식품산업 원료소비 실태조사와 농식품수출정보 홈페이지의 월별·품목별 실적 자료 및 식품의약품안전처 수입식품 정보마루 홈페이지의 가공식품 수입식품 자료를 다운로드해 분석하였다. 이를 통해 식품산업에서 어류부산물 원료 사용량, 국산·수입산 어류부산물의 사용 비율 및 구매 이유 등에 대한 정보를 분석하였다. 모든 자료들은 GraphPad Prism 9.1.1 소프트웨어(버전 9.1.1, GraphPad Software, Inc., La Jolla, CA, USA)를 사용하여 분석하였다. 마지막으로 수산부산물의 바이오 산업화를 저해하는 요인을 도출하고 이에 대응하는 발전 방향 및 해결 방안 등을 제시하였다.

3. 수산부산물의 발생 및 처리 현황

수산부산물의 발생 현황

수산부산물의 발생처는 「수산업·어촌 발전 기본법」에 따른 수산업의 종류에 따라 구분할 수 있다. 어업에서 발생하는 부산물의 경우 주로 부수적인 어획을 통해 발생한 잡어, 미성어와 같은 비(非)상품어를 예로 들 수 있다. Zeller et al. (2017)의 연구에서는 2000년도 이후 전 세계 평균 어업량의 10%가 부수어획되어 버려지고 있는 것으로 나타났다. Keledjian et al. (2014)의 연구에서는 미국의 경우 17~22%의 어획물이 버려지고 있다고 언급하였다. 어선에서 발생하는 부수어획물은 대부분 관행적으로 어업 현장이나 공해에 버려지고 있다. 특히, 국내의 경우 「수산 자원 관리법」 17조에 따라 부수어획물의 유통·가공·보관 판매가 금지되어 있음에도 불구하고, 양식용 생사료 등으로 공급되는 경우가 많다. 2018년 농림축산식품 해양수산위원회 김현권 의원이 공개한 국정감사 자료(Asian Economy 2018)에 따르면 2017년 연근해 어획량의 44%에 달하는 406,896톤이 양식장 생사료로 공급되었다(Table 1). 그리고 양식 부산물은 대상 종에 따라 재활용에 차이가 있고, 고수온 및 적조 등 외부환경에 의해 특정 계절에 대량 발생하는 특징이 있다. 양식 해조류의 경우에도 상품 출하

시, 비가식 부위를 양식장 주위 바다에 투기한다고 보고되고 있다(Kang and Kim 2019).

어업과 양식업에서 발생하는 수산부산물의 발생량에 대해선 농수산물 도매시장 통계 연보(aT 2019)에서 일부 확인할 수 있다. 공영 수산물 도매시장에는 어획량의 최대 16%와 양식수산물의 약 3%가 유입되어 거래되고 있다. 2018년에는 총 어업 생산량의 약 10%에 해당되는 383,750톤이 거래되었으며, 이를 통해 발생한 수산부산물은 13,833톤(3.6%)으로 약 8억 원의 처리비용이 발생하였다. 이렇게 도매시장에서 발생한 혼합부산물은 도매시장의 처리 방법에 따라 비료 생산업체에 위탁 처리하거나 폐기물 재활용업체 또는 용역업체를 통해 처리되고 있다. 그리고 연근해산 수산물의 5~10%, 원양수산물의 40~45%가 유입되어 발생하는 가공부산물의 경우, 공정 과정 중 부산물(뼈, 비늘, 내장, 폐각 등)이 발생된다. 가공부산물은 동일 어종임에도 불구하고 최종 제품에 따라 발생하는 부산물 비율이 다르다. 공공데이터 포털(data.go.kr)에 공개된 K-eco (2020)의 올바로스시스템 사업장폐기물 배출 정보를 분석한 결과, 2019년 117개의 수산물 가공공장 및 어시장으로부터 37,621톤의 수산물가공잔재물(폐기물 분류번호 51-17-03)이 배출되었다. 폐패각(폐기물 분류번호 51-17-04)의 경우 38개의 박신장(패각 제거 작업장) 및 수산물 가공업체에서 30,250톤을 배출하였다(Table 1).

한편 국내에는 수산부산물 발생 및 처리에 관한 정확한 실태를 파악할 수 있는 통계자료가 부재하며, 공식적인 정기조사 및 통계는 별도의 법령을 통해 관리되지 않고 있다. 이와 관련해서는 일부 지자체에서 조사된 자체 통계자료와 2017년에 해양수산부에서 실시한 굴 폐각 발생 및 처리 실태에 관한 조사자료가 있을 뿐 미비한 실정이다. 지방자치단체는 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법」 제13조 제2항에 따라 재활용 가능 자원에 대한 발생량 및 수거량에 대한 조사를 수행하고 공표해야 하지만, 수산부산물을 대상으로 정기조사 및 통계를 관리한 근거는 현재까지 없다. 본 연구에서 취합한 자료에 의하면 약 793,177톤의 부산물이 어업, 양식업 및 가공산업에서 발생하고 있으나(Table 1), 이는 Yoo and Kim (2020)이 보고한 식용 공급량 기준 2017년 발생 추정치인 150만 톤의 52.8%에 해당한다. 따라서 오차를 최소화한 신뢰할 수 있는 수산부산물의 발생량 연구가 필요하고, 이를 위해 수산물 가공업에서 산출되는 각 어종별 품목별 발생 부산물의 규모 정량화가 우선적으로 필요하다.

「폐기물관리법」에 의한 수산부산물의 처리 현황

수산부산물의 처리는 배출자의 용도폐기 의사에 따른 처리 방법에 의해 구분할 수 있다. 수산부산물을 최초 배출하는 자가 불필요성을 이유로 폐기 의사를 밝히는 경우

Table 1. Literatures-based status of amounts and categories of by-products generated from fishery, aquaculture, and processing industries in Republic of Korea

Fisheries	By-products Type	Year of by-products were generated	Treatment method	Amount of fishery by-products	References
Fishery business	By-catch, discarded catch	2017	• Used as raw feed for fish farms	406,896	Asian economy (2018)
	Dead fishes caused by diseases, toxic algae, severe weather and other reasons	2017, 2018	• Producing compost or feed at public treatment facilities • Produce compost at aquaculture farm using the Organic waste composting machine • Landfills, High-temperature Incineration	18,847	Gyeongsangnam-do (2019), Shin and Yoon (2018), KIOST (2019)
Aquaculture industry	Inedible part of seaweeds	2019	• Supply as food for abalone etc. • 80,000 tons reuse for harvesting	1,688	Wando-gun (2020)
	Shells	2017	• 100,000 tons for recycling (fertilizers, feeds, etc.) • 100,000 tons for neglected shore	294,706	Gyeongsangnam-do (2019), Shin and Yoon (2018)
	Sea squirt skin	2018	• Produce compost	3,169	Gyeongsangnam-do (2019)
Marine product processing business	Fisheries Processing Residues	2019	• Compost, Feed, Use in Agricultural production activities etc.	37,621	K-eco (2020)
	Wasted bivalve shell			30,250	
Total				793,177*	

*There is a possibility of duplicate calculations depending on the data, so caution is required in interpretation

수산부산물물은 「폐기물관리법」의 적용에 따라 폐기 처리 후 처분된다. 사업장에서 발생하는 수산부산물물은 유해성 및 위해성이 없기 때문에 사업장일반폐기물로 구분되며 「폐기물관리법」 제2조 제3호에 따른 배출시설 및 시설 유무에 따라 다시 세부 분류된다. 시행령 제2조의 배출시설이 없는 사업장의 경우, 1일 평균 300 kg 이상의 폐기물 배출이 일어나면 사업장폐기물 범주에 속한다(ME 2008). 사업장폐기물로 분류된 수산부산물물은 「폐기물관리법」 제 18조에 따라 처리되어야 한다. 폐기물을 자가 처리하거나 처리가 곤란한 경우에는 폐기물처리업 허가를 받은 자, 폐기물처리 신고자, 폐기물 처리시설을 설치 운영하는 자 또는 「해양폐기물 및 해양오염퇴적물 관리법」에 따른 폐기물 해양배출업 등록을 한 자에게 위탁하여 처리할 수 있다. 수산물 가공시설은 「물환경보전법」 시행규칙 별표 4에 따른 폐수 배출시설이 설치되어 있어 여기에서 배출되는 수산부산물의 경우, 사업장 배출시설폐기물로 구분되어 폐기물처리업 허가자를 통해 위탁 처리되고 있다. 반면

폐수 배출시설이 없는 대부분의 양식장 부산물의 경우 1일 평균 배출량이 300 kg 이하로 발생하기 때문에 생활쓰레기로 분류되어 처리되고 있다(Kim et al. 2018). 이런 경우 전남, 경남 및 제주 지역에서는 「폐기물관리법」 제18조의 5항에 따라 각각의 사업장에서 발생하는 폐기물을 공동으로 처리할 수 있는 폐기물 처리시설을 구축하여, 각 양식장에서 배출하는 부산물을 수거한 후 사료화, 파쇄, 건조 및 분쇄 등의 방법으로 공동 처리하고 있다(Fig. 1).

사업장에서 배출되는 수산부산물의 경우 「폐기물관리법」 시행규칙 별표 4에 의해 수산물가공잔재물(51-17-03)과 폐패각(51-17-04)으로 세부 분류된다. 시행규칙 제18조와 제20조에 따라, 가) 배출시설을 설치·운영하는 자로서 폐기물을 1일 평균 100 kg 이상 배출하는 자, 나) 영 제2조 제1호부터 제5호까지의 시설을 설치·운영하는 자로서 폐기물을 1일 평균 100 kg 이상 배출하는 자, 다) 폐기물을 1일 평균 300 kg 이상 배출하는 사업장, 라) 사업장폐기물 공동처리 운영기구의 대표자 등의 경우 환경

부령으로 정한 전자정보처리프로그램인 올바로시스템에 폐기물 처리 현장 정보를 입력해야 한다. 올바로시스템은 폐기물 배출자, 운반자, 처리자와 관련 행정 관청 등이 사용할 수 있는 전자 시스템으로 외부 접속이 불가하다. 이를 바탕으로 환경부에서 매년 생산하는 국가승인통계인 폐기물 발생 및 처리 현황 자료에는 수산물가공잔재물과 폐패각이 동·식물성잔재물(폐기물 분류번호 51-17)로 합

쳐진 자료가 제공되는 바, 수산부산물에 대한 독립적인 통계정보 취득이 어렵다. 따라서 이를 대신하여 세부 분류번호에 따른 자세한 자료가 제공되는 Circular Resources Information Center (2021)의 폐기물 재활용·처분 업체 자료를 분석한 결과, Fig. 2와 같다. 이를 살펴보면, 수산물가공잔재물(243개)과 폐패각(36개)을 처리·처분하는 폐기물업체는 총 279개소이다. 수산물가공잔재물의 경우, 주

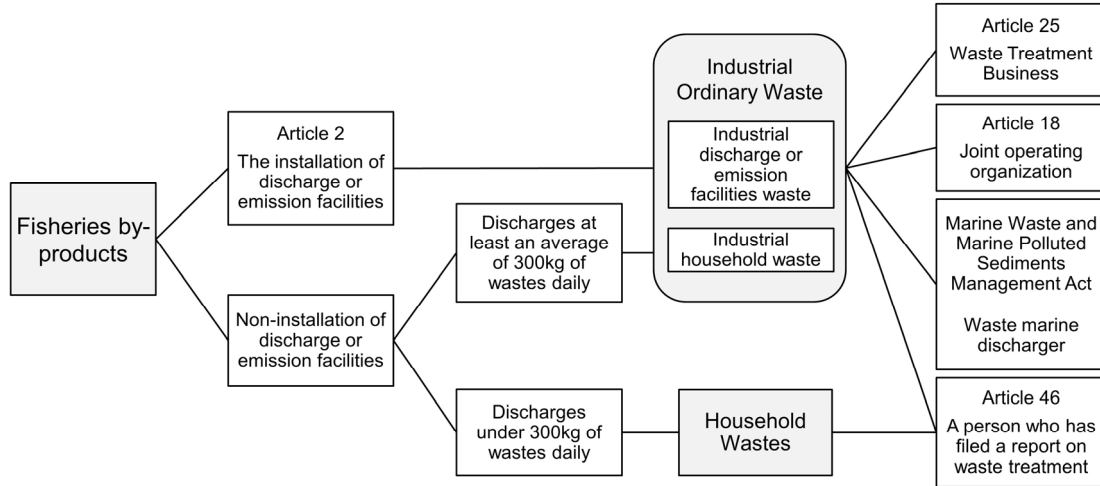


Fig. 1. Summarized current categories on each characterized treatment of fisheries by-products in accordance with the Waste Management Act in the Republic of Korea

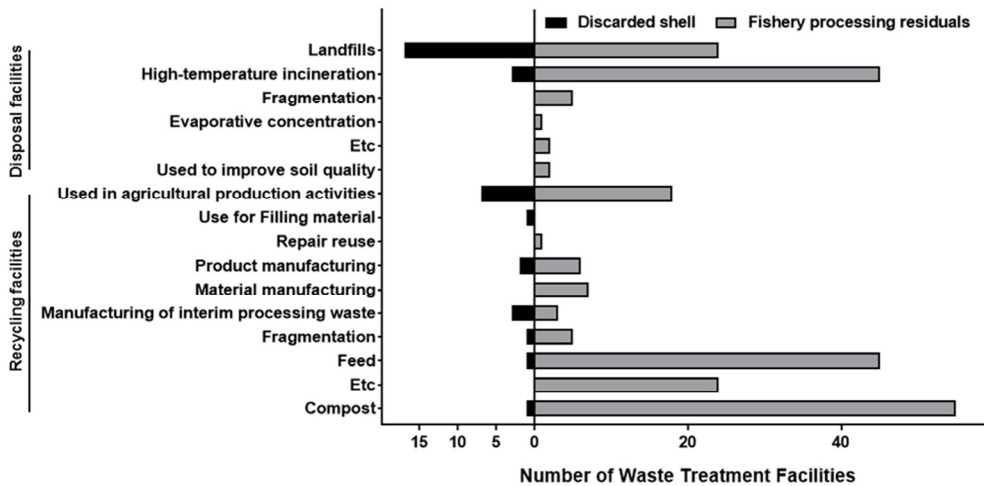


Fig. 2. Current status of recycling or discarding of fishery by-products in accordance with the Waste Management Act in Republic of Korea. According to the data of waste recycling and disposal companies of the homepage of Recycling Resources Information Center (<http://www.re.or.kr>), a total of 279 waste companies that process and dispose of fishery processing residuals (243) and waste shells (36) were identified. In the case of fishery processing by-products, they were mainly recycled as compost or fertilizer, followed by many companies that turned them into feed, and they were mostly disposed of through incineration. Most of the waste shells were recycled for agricultural activities, and most companies disposed of shells in landfills. However, caution is required in data interpretation as this data does not include disposal methods discharged into the ocean according to the Marine Waste and Marine Contaminant Sediments Act

로 퇴비나 비료로 재활용되었고 다음으로 사료화 업체가 많다. 또한 수산물가공잔재물은 주로 소각을 통해 폐기 처분되었으며 폐패각의 경우 매립 처분 형식으로 처리하는 업체가 가장 많다. 다만, 이 자료에는 「해양폐기물 및 해양오염 퇴적물 관리법」에 의한 해양에 배출하는 처분 방식은 포함되지 않아 자료 해석에 주의가 필요하다(Fig. 2).

자원순환 측면의 수산부산물의 처리 현황

수산부산물 최초 발생 사업장에서 ‘사람의 생활이나 사

업 활동에 필요로 이어지는 경우’ 지자체의 제품 승인 과정을 통해 수산식품으로 유통할 수 있다. 수산부산물을 식품으로 생산하기 위해서는 「식품위생법」 제37조 제6항과 시행규칙 제45조 제1항에 따라 식품의 주요사항, 제조 방법, 위생 검토서 및 공정 절차를 담은 품목 제조 보고서를 관할 시·군구에 보고 후 승인을 받아야 한다. 식약처 식품공전에 의하면 수산부산물 유래 식품은 수산가공 식품류에 해당되며 건조된 수산부산물은 건포류, 냉동 수산부산물은 기타 수산물가공품에 속한다. 각 품목들은 식품 유형

Table 2. Raw material consumption and uses of domestic and imported fish by-products from in Republic of Korea (modified from the Food industry raw material consumption survey by Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation)

Year	Classification	Food type	Amount of fish by-product usage (Ton)	Percentage of raw material used by food type (%)	Percentage of imported goods used (%)
2019	Dried fishery products	Dried fish meat	1,206	0.9	0
		Other dried fish meat	106	0.1	100
	Seasoned fishery products	Processed fish meats	5,063	3.7	80
		Salted seafood	8,860	6.4	97.7
		Other processed fish meat	2,601	1.9	27.8
	Instant foods	Instant side dish	13	0.01	0
	Instant cooking foods	Instant soup/stew	113	0.1	0
		Health functional food	Publicly notified functional ingredient (functional ingredient)	29	0.02
	Publicly notified functional ingredient (nutrients)		16	0.01	100
	Non-food	Non-food (feed, cosmetic raw material etc.)	120,683	87	19.8
Total			138,687	100	27
2018	Dried fishery products	Dried fish meat	1,747	1.6	0
		Processed fish meats	5,864	5.4	100
	Seasoned fishery products	Salted seafood	8,377	7.7	64.7
		Other processed fish meat	5,714	5.3	100
		Instant foods	Instant side dish	0.2	0
	Instant cooking foods	Instant soup/stew	17	0.02	100
		Health functional food	Publicly notified functional ingredient (functional ingredient)	20	0.02
	Publicly notified functional ingredient (nutrients)		11	0.01	100
	Non-food	Non-food (feed, cosmetic raw material etc.)	86,929	80	28.9
	Total			108,679	100

별 원료 보존 조건 및 제조·가공 기준 준수 및 위생 검사 (이산화황, 대장균 및 세균수 등)를 통과해야 식품으로 판매가 가능하다. 식품산업에서의 어류부산물 원료 사용량, 국산·수입산 어류부산물의 사용 비율 및 구매 이유 등에 대한 정보를 분석한 결과, 어류부산물은 건조수산 가공품, 조미수산 가공품, 즉석 섭취식품, 즉석 조리식품 및 건강 기능식품 등의 식품 원료로 사용되고 있었다. 이외 동물용 사료와 화장품 원료 등의 비식품류 원료로도 사용되었는데, 2019년 138,687톤의 총 원료 중, 비식품류 사용량은 전체 사용량의 87%를 차지한다(aT 2020)(Table 2). 더불어 Statistic Korea (2019)의 10인 이상 사업체를 대상으로 하는 광업·제조업 조사 결과, 2019년 수산물 가공업체가 부산물과 폐품을 판매한 금액은 1,160억 원 수준이다. 그 중 어묵, 소시지, 젓갈, 통조림, 어분 등을 제조하는 수산 식품 제조업체의 부산물 판매액이 1,104억 원으로 가장 많다.

4. 해양바이오산업 현황 및 바이오 소재화 촉진 방안

국내 해양바이오산업 현황

전 세계 해양바이오산업 시장은 2017년 기준 약 44.9억 달러에서 2030년에는 약 80.5억 달러 수준으로 2배가량 성장할 것으로 예측되고 있으며(Jang and Doh 2018), 국내 시장의 규모는 2017년 약 3,841억 원 규모로 세계시장의 약 2% 수준으로 추정된다(GIA 2013). 국내 해양바이오산업 시장 규모는 2027년까지 약 7,334억 원 수준으로 성장할 것으로 추정되고 있으며, 정부는 2030년까지 1조 2천억 원 규모로 해양바이오 시장을 확대할 예정이다. Table 3을 살펴보면, 최근 국내에서도 어피, 뼈, 비늘 및 갑각류 껍질 등 수산부산물로부터 유용물질들을 추출하여 화장품, 건강기능식품 등의 고부가가치 원료로 사용하고 있다. 국내 수산부산물 유래 바이오 기술 관련 특허를 살펴보면 어피 및 고등어 뼈로부터 콜라겐 및 콜라겐 가수분해물을 수득하여 창상치유 효과를 가진 의료용 콜라겐 제조 방법, 건조된 김 부산물을 활용한 고체연료 제조

Table 3. Bioactive materials from fisheries by-products and their potential application

Marine groups	By-products	Valuable components	Current uses	References
Fishes	Skin, scales and bones	Collagen, gelatin, calcium, proteins, minerals, hydroxyapatite, antimicrobial peptides, pepsin	Fish meal, fish oil, cosmetics materials, food or animal grade hydrolysates, pet food, nutraceutical, medical, pharmaceutical industries	Kim and Mendis (2006), Kang et al. (2014), Smith et al.(2010), Blanco et al. (2019), Caruso et al. (2020), Marinetechno (2019)
	Eggs and eyes	Lectin, Hyaluronic acid	Nutraceutical, cosmetical, pharmaceutical compounds	Kim and Mendis (2006), Nguyen et al. (2020)
	Heads and viscera	Proteins, protein hydrolysates, biopeptide, enzymes, oil	Fish meal, fish oil	Bruno et al. (2019), Wu et al. (2011), Iñarra et al. (2019)
Mollusca	Shells, Ink bags, organs, skin	Bioactive peptide, taurine, enzyme, calcium carbonate	Agricultural liming agent, livestock feed supplement, Biofilter medium, cement, desulfurization material	Morris et al. (2019), Naik and Hayes (2019), Nam et al. (2018)
Seaweed	Seaweed midrib and sporopyll	Alginate acid, mannitol, iodine, fucoidan, agar, cellulose, protein	Livestock feed additives, cosmetics, feed additive, sand complement	Park et al. (2007), SNU (2016), Musthofa et al. (2020)
Crustacean	Shells, tails	Shell proteins, caroteno-protein, chitin, chitosan, calcium	Compost, fish feed, feed additive, livestock feed, fertilizers, food and pharmaceutical industry, biomedicine	KFRI (2015), Kim et al. (2001), Jung et al. (2007), Younes et al. (2014), Kim and Mendis (2006)
Thaliacea	Sea squirt skin	Cellulose, bioactive compounds, Chondroitin Sulfate GAG	Nutraceutical, medical materials (superabsorbent), cosmetics, pharmaceutical compounds	Kim et al. (2005), Lee et al. (2015)

방법, 수생 갑각류의 외피를 이용하여 골조직 공학용 복합물 제조 방법 등이 보고되고 있다. 하지만 아직까지 수산부산물 유래 해양바이오 소재가 산업화에 성공한 사례는 매우 드문 것으로 파악된다. NTIS를 통해 확인한 2014년부터 2019년까지의 수산부산물 유래 바이오 사업의 산업화 건수는 총 10건으로 화장품 및 식품의 원료로 주로 사용되었다. 당해 연도 매출액은 평균 5억 7천만 원대로 기업에 따라 편차가 컸으며 수산부산물 유래 제품으로 인한 매출은 아직 낮은 것으로 확인되었다. 점진적으로 수산부산물 자원의 우수한 기능성 성분이 보고되고 있으나, 건강기능식품으로의 체계적인 진행이 쉽지 않고, 낮은 원료 활용 수준 및 기술 개발을 위한 비용 부담 등으로 인해 바이오 소재 개발에 어려움을 겪고 있는 것으로 보인다.

수산부산물의 국내 바이오 소재 활용 현황

바이오산업은 소재 가공 분야의 시장 규모가 전체 시장의 87%를 차지하는 소재 의존성이 높은 산업군이다. 특히 국내 해양바이오 시장의 경우 소재 수입 의존도가 70%에 달하여 바이오 소재의 국산화를 위한 기술 개발이 시급한 실정이다(Yoo et al. 2019). 대부분의 바이오 소재 제조업체들은 직수입 또는 수입 도매업체를 통해 공급받은 수산부산물 유래 원료를 이용하여 해양바이오 제품을 생산하거나, 일부 기업에서는 수산부산물을 직접 수입하여 가공 후 바이오 소재로 생산하고 있다. 반면, 국내에서 발생하

는 수산부산물을 바이오 소재의 원료로 사용하기 위해서는 폐기물처리업 허가 유무에 따라 업체의 원료 확보 방법이 나뉜다(Fig. 3). 첫째, 폐기물 재활용업의 허가를 받아 폐기물로 버려지는 수산부산물을 활용하는 수산부산물 폐기물 재활용업체이다. 일례로 버려지는 갑각류 껍질을 바이오 기술을 통해 제품을 생산하는 업체는 속초물산과 아메코젠씨엔씨(주)가 있다. 두 업체 모두 붉은대게 껍데기를 사용하여 키토산, 키토올리고당 등을 생산하고 있으며 매출액은 2020년 기준 약 9.17~11억 원 수준이다(KIOST 2020). 두 번째, 폐기물처리업체로 등록하지 않고 원료를 구입하여 활용하는 업체이다. (주)드림미주는 국내산 꼬막 패각을 활용하여 칼슘 보조제 및 항균 위생용품 등을 재가공하여 생산하고 있으며 (주)마린테크노는 어피를 활용하여 천연 마린콜라겐 생산 및 최종 바이오제품인 마린콜라겐을 함유한 화장품을 생산하고 있다. 이처럼 원료를 직접 구매하여 사용하는 경우 맞춤형 선별, 세척 등의 전처리 작업과 냉동 또는 건조 등의 과정을 통해 선도와 품질이 유지된 원료를 확보하는 것으로 판단된다.

수산부산물 유래 원료 수입 현황

식품산업 원료소비 실태조사(aT 2020), 농식품수출정보(aT 2021) 및 식약처 수입식품정보마루(MFDS 2021)의 수산부산물 및 수산부산물 유래 소재의 수입자료를 분석한 결과는 다음과 같다. 첫 번째, 식품산업 원료소비 실태

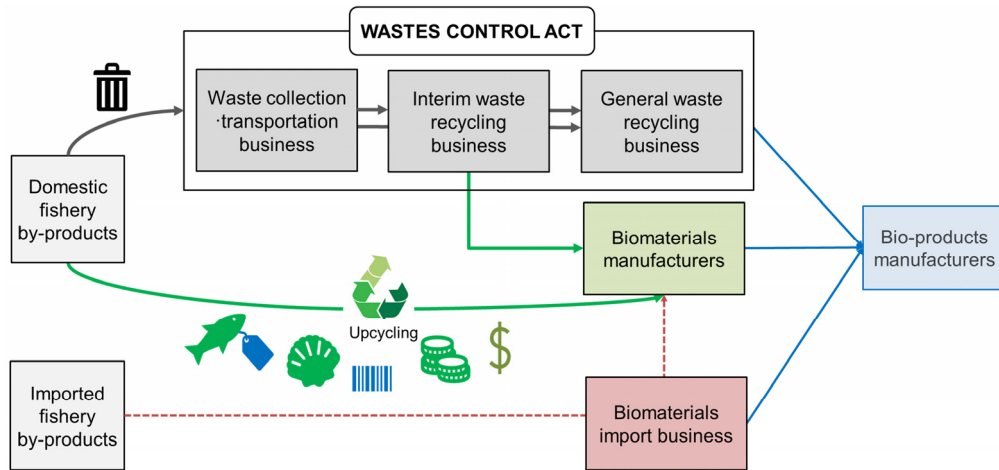


Fig. 3. Schematic diagram and procedures for supplying biomaterials for fishery by-products. In order to utilize domestic fishery by-products and use them as raw materials for biomaterials, the method of securing raw materials differs depending on whether the waste treatment business is licensed. First, it is a marine by-product waste recycling company that utilizes aquatic by-products that are discarded as waste with permission from the waste recycling business (grey line). Second, it is a company that purchases and uses raw materials without registering as the waste treatment company (green line). Finally, there is a way to import fishery by-products (red line). Most companies import raw materials directly or use import wholesalers. The blue line indicates the route through which biomaterials produced by waste recycling companies or biomaterial manufacturers and imported biomaterials are supplied to bio-product manufacturer

조사 자료에 의하면 수산부산물의 바이오산업 수요가 2018년 최초 발생하였고, 건강기능식품의 소재인 고시형 기능성원료 및 영양소 생산을 위해 사용되었다. 2018년 약 31톤의 어류부산물이 전량 수입되었고, 2019년에는 45톤의 수입부산물이 건강기능식품의 원료로 사용되어 2년 동안 약 45%의 수입량 증가율을 보였다. 식약처에서 고시한 수산부산물 유래 기능성 원료를 살펴보면, 상어 간에서 추출한 스퀴알렌, 식용 가능한 어류를 제조하여 생산된 에이코사펜타엔산(Eicosapentaenoic Acid, EPA) 및 도코사헥사엔산(Docosahexaenoic Acid, DHA) 함유 오일, 오징어, 게, 어패류의 연골조직을 제조하여 만든 뮤코다당 등이 있는 것으로 확인되며 수입된 어류부산물이 상위 기능성 원료 제조를 위해 사용된 것으로 추정된다. 다만 건강기능식품 제조를 위한 어류부산물 원료의 수입량은 급격히 늘고 있으나, 품목별 사용 비중은 아직 전체의 0.03%에 불과해 바이오 소재 생산을 위한 어류부산물 활용은 높지 않음을 알 수 있다(Table 2).

두 번째, 식약처 수입식품정보 마루 홈페이지(MFDS 2021)의 품목별 수입 횟수, 수입업체, 수입품목, 제조·수출국 및 수입일자에 대한 정보를 분석한 결과, 식품의 원료로 소비되는 수산부산물은 수산물로, 기능성 원료 및 식

품첨가물 등의 바이오 소재 원료로 사용되는 경우 가공식품으로 구분되어 수입되고 있다. 수산물 카테고리에는 수입 어란, 곤이, 어피, 어류 머리 등이 포함되어 있으며 2019년에는 어피(80회)와 어란(13회)이 총 93회 수입되었다. 2020년에는 수입 횟수가 급등하여 성게알(558회), 어란(257회), 어피(232회), 냉동된 어류머리(193회), 곤이(190회) 순으로 총 1,430회 수입되었다. 반면, 가공식품으로 분류되어 바이오 소재 원료로 수입되고 있는 수산부산물에는 어유, 어류 콜라겐, 어골 분말, 폐각 분말, 어피, 어린, 해조류 분말 등이 있다. 2018년부터 수입품목이 다양해졌으며 특히 어류콜라겐 펩타이드의 경우 2017년에는 16건에 불과했던 수입 횟수가 2020년에는 약 483회로 급격히 증가하였다(Fig. 4).

이때, 주목할 점은 현지에서 1차 세척 후 자연 건조된 원물 형태의 어린(fish scale)과 어피(fish skin)를 건강기능식품 및 의약품 제조업체에서 수입하여 바이오 소재로 제조하고 있다는 점이다. 물론 효소 및 가수분해 처리가 되지 않은 단가 낮은 원물이라고 볼 수 있고, 국내 기업들이 가공 처리 방법에 대한 기술을 확보하고 있다는 반증이기도 하다. 해조류 유래 후코이단 분말은 화장품 제조업체가 수입하고 식품첨가물 제조업체는 다시마 분말을 수입하

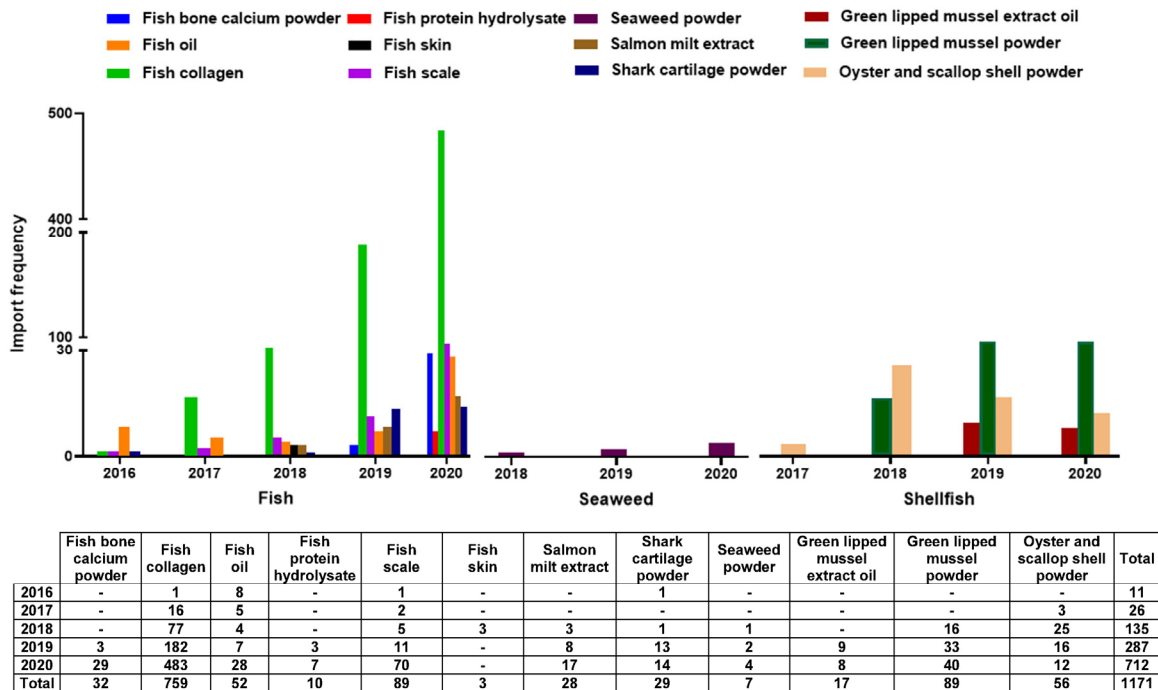


Fig. 4. Statistics for imported raw materials derived from fishery by-products during the period from 2016 to 2020 adopted from the Imported Food Information Maru homepage (<https://impfood.mfds.go.kr/>). Raw materials derived from fishery by-products such as fish scale, fish bone calcium powder, fish oil, shell powder have been steadily imported, and the number of imported products has also diversified after 2018. In particular, in the case of fish collagen peptides, the number of imports, which was only 16 cases in 2017, increased sharply to about 483 cases in 2020

고 있다. 패류의 경우에는 뉴질랜드에서 생산되는 초록입 홍합의 분말과 오일이 가장 많이 수입되었는데 이는 시중에서 관절염 개선 효과를 주는 건강기능식품으로 생산되어 유통되고 있다. 대부분의 수입식품은 단일 어종, 단일 부위로 수입되었으며 일부 식품들은 특정 국가로부터 수입되었다. 예를 들어 연어이리 추출물의 경우 유일하게 일본에서만 수입되었으며 초록입홍합의 분말과 오일은 뉴질랜드에 특정되어 수입되었다. 수입 횟수가 가장 많은 어류콜라겐은 베트남, 태국, 이탈리아, 중국, 프랑스, 인도, 캐나다 등 다수의 국가로부터 수입되었으며 단순 건조된 어린과 어피는 주로 중국, 태국, 베트남 등을 통해 수입되었다(Fig. 5).

세 번째, 농식품 수출정보의 식품·비식품 수산부산물 수입 현황을 살펴보면 2019년 수산부산물 수입량은 총 19,138.3톤에 달한다(Table 4). 식품으로는 어류의 꼬리-

머리·위 등의 부산물과 가공(냉장, 냉동, 건조, 염장) 상태의 어류 간, 어란, 어백(fish milt) 등이 식품으로 수입되었다. 비식품으로 구분된 수산부산물에는 어류폐기물, 수산동물의 사체 그리고 패각이 수입되었다. 2019년 어류폐기물(HSCODE: 0511912000)은 전년대비 50% 증가한 1,690.4톤이 수입되었다. 수산동물의 사체(HSCODE: 0511919000)의 경우 전년 대비 2.1% 증가한 450.7톤이 수입되었으나, 수입 금액의 경우 21.8% 증가해 수입 원료의 가격 상승 추세를 확인할 수 있다. 패각(HSCODE: 0508002090)의 경우, 2019년도에는 전년대비 23.2% 증가한 12,412.6톤이 수입되었으며, 김 종자 생산에 사용되는 굴 패각(HSCODE: 0508002030)의 경우에도 전년대비 6.3%의 상승 추세를 보였다(Table 4). 수산부산물 유래 제품의 수입 현황을 살펴보면, 사료 원료로 사용되는 비식품류 어분(HSCODE: 2301201000)의 수입량은 연간 51,000톤이다. 간유를 제외

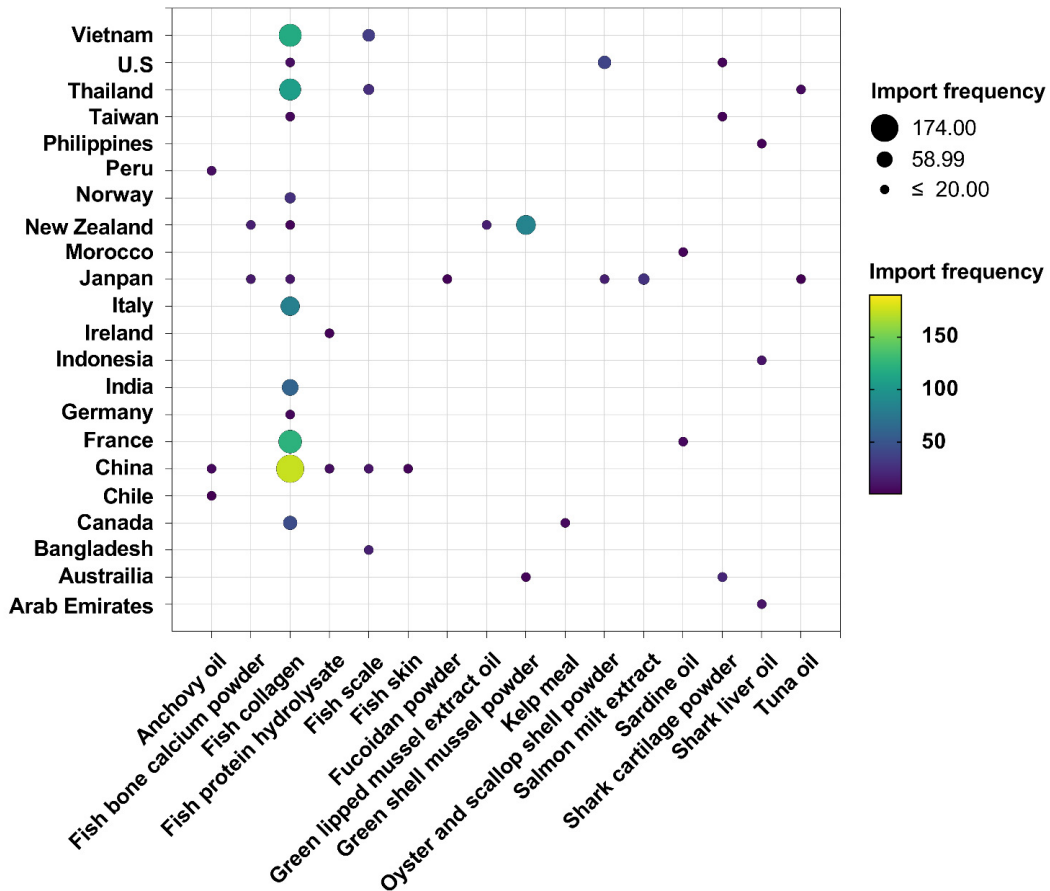


Fig. 5. Major countries and number of imports for fishery by-products by food grade adopted from the Imported Food Information Maru homepage (<https://impfood.mfds.go.kr/>). Most imported foods were manufactured from a single fish species and a single part, and some foods were imported from specific countries. Salmon milt extract was only imported from Japan, and green lipped mussel powder and oil were specifically imported from New Zealand. In the case of fish collagen, which was imported the most, it was imported from a number of countries such as Vietnam, Thailand, Italy, China, France, India and Canada

Table 4. Annual volume, weight, and cost of imported by-products from 2018 to 2019 classified by food and nonfood grades (modified from the Agro-Fisheries export information by Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation)

Classification	Category name	2018		2019		Yearly differences	
		Imported weight (Ton)	Price (1,000 \$)	Imported weight (Ton)	Price (1,000 \$)	Weight (%)	Price (%)
Food	Others (fish head, tail, swim bladder/dried/salted-brine/smoked/ powder-meal/pellets)	420.0	1,484.5	477.0	1,433.0	13.6	△3.5
	Other fish's head, tail and stomach	131.2	367.2	453.3	1,988.6	245.5	441.6
	Frozen fish (other/liver, fish roe, milt, fin, head, tail, swim bladder and other edible fish offal)	3,260.0	11,900.7	4,758.3	17,118.9	46.0	43.8
	Roe or milt of fish (fresh or chilled)	0.2	15.1	0.1	9.5	△38.2	△37.2
	Liver of fish, roe and milt of fish (Others/dried, salted, salted, smoked)	0.1	5.6	0.1	14.4	107.3	157.9
	Products of fish or crustaceans, mollusc or other aquatic invertebrates' dead animals	441.3	737.3	450.7	898.2	2.1	21.8
	Fish Waste	674.6	1,427.9	1,690.4	3,608.5	150.6	152.7
Non-food	Pearl shells	55.3	211.5	25.9	365.9	△53.1	73.0
	Abalone shells	4.5	41.5	23.8	86.3	432.7	108.0
	Oyster shells	3,065.6	1,749.5	3,258.4	1,811.9	6.3	3.6
	Snail shells	476.6	971.8	346.5	747.1	△27.3	△23.1
	Shells	10,067.4	1,657.6	12,412.6	1,966.2	23.3	18.6
	Total	15,336.8	8,669.5	19,138.8	12,929.6	-	-

한 어유(HSCODE: 1504200000)의 경우, 2019년도에 전년 대비 45.1% 늘어난 8,749.1톤이 수입되었으며, 수입금액은 36,860천 달러로 전년대비 264.4% 증가해 수입 어유 가격이 폭등하였음을 확인 할 수 있다(aT 2021).

바이오산업 원료 소재의 충족 요건

수산부산물의 바이오 소재 충족 요건은 원료의 안정성을 첫 번째 기준으로 삼아야 한다. 여타 다른 수산물과 같이 원료의 선도 유지를 위한 저온 보관 및 운송시스템이 필요하며, 원료 가공 시 위생 확보가 가장 중요하다. 연구 결과 바이오산업 소재로 직접 활용 가능한 원료는 수산물 가공시설에서 발생하는 가공 수산부산물로 판단된다(Table 5). 바이오 소재 산업화의 기본 조건들과 비교하여 가공 수산부산물의 장점을 다섯 가지로 요약하여 제시하면 첫 번째, 원료 확보를 위한 정보 제공이 가능해 관련 정책을 수립하여 관리하기가 용이하다. 해양수산부에서 매년 생산하는 수산물 가공업 통계자료는 주요 어종별·월별 가공량, 시도별 생산량 및 생산액, 시도별 업체 수 등 원료 생산과 관련된 기초자료이다. 이를 활용하여 국립수산물과

원 수산물 성분표의 가식부 비율 값을 적용하면, 원료소재 공급 가능량 추정이 가능하다. Jang et al. (2017)의 연구에 따르면 해양바이오산업 진출을 희망하는 기업들은 유용 소재 확보를 위한 정보 제공을 원하고 있다. 수산가공시설에서 발생하는 부산물의 경우 제품별 수출 정보와 발생되는 부산물 종류에 대한 자료를 생성할 수 있다는 점에서 어업 및 양식부산물에 비해 원료 확보를 위한 정보 획득이 용이할 것으로 판단된다. 두 번째, 위생 및 품질 기준을 충족시킬 수 있다. 식품의 위생관리가 강화된 HACCP 인증 가공시설의 경우 원재료의 안정성을 담보 받을 수 있다. 최근 기후변화, 바이러스 및 방사능과 같은 대외환경 변화에 따라 수입산 원료의 인체 안전성이 확보되지 않은 만큼, 청정 가공시설에서 생산되는 국산 원료의 안정성 검증 절차가 마련될 경우 대외 경쟁력 또한 획기적으로 높아질 것으로 예상된다. 세 번째, 별도의 저온시설을 구축해야 하는 위판장, 어시장 및 양식장과 달리 수산물 가공 시설에 구축되어 있는 저온 보관 시설을 통해 원료의 선도 유지가 가능하다. 네 번째, 안정적인 원료 확보가 가능하다. 산업 생태계 측면에서 태동기인 해양바이오산업의

Table 5. Evaluation on the by-products originated from different collecting grounds for securing raw materials and bioindustry application (1: Most feasible, 2: feasible, 3: Not feasible)

Collecting grounds	Availability of statistics	Safety level (Food hygiene condition)	Cold-storage facilities	Constant raw material supply	Separate discharge system	Average score
Processed by-products	1	1	1	1	1	1
Discards or by-products from capture fisheries	3	3	2	3	3	2.8
Aquaculture by-products	2	3	2	2	2	2.2

활성화를 위해서는 원료의 원활한 공급이 뒷받침되어야 한다. 가공 수산부산물의 경우 계절성이 없어 연중 편차 없이 원료 공급이 가능하고 국내 어업 생산량 감소 시 수입 물량을 통해 생산량을 유지하기 때문에 지속적인 원료 공급이 가능하다. 마지막으로 원료의 사용을 용이하게 하는 분리배출이 가능한 인프라가 구축되어 있다. KIOST (2020)의 연구에 따르면 제주특별자치도 한림수협에서 생산되는 수산부산물은 가공제품의 공정 절차에 따라 순서대로 비늘, 머리, 지느러미, 뼈 등이 자동 분리되어 배출되고 있다. 만약 분리배출이 불가능한 사업장에서는 자동두절내장제거기와 같은 자동공정 가공선별 시스템을 구축하면 작업자의 손을 거치지 않고 머리, 비늘, 어피, 뼈 등 부산물 별 위생 분리가 가능하다(Table 5).

경제적 관점에서 살펴보면, 수산물 가공시설에서 발생하는 수산부산물이 해양바이오산업소재로 활용 가능성을 갖는 또 다른 이유는 경제적 관리가 가능하다는 점에 있다. 가공 수산부산물은 i) 유사 동일 물질이, ii) 일정한 가공시설에서, iii) 지속적으로, iv) 대량 발생하는 특징을 갖는다. 일반적으로 수산부산물은 수산물 1차 가공 과정에서 대부분 발생하며, 수산물 가공시설들은 특정 수산물을 대량 확보할 수 있는 기간 동안, 동일한 방법을 이용해 가공제품을 생산한다. 수산물은 어민 또는 양식 생산자 등 다수의 행위자가 분산되어 생산하지만, 가공은 소수의 가공시설을 통해 집중적으로 이뤄진다. 따라서 가공 수산부산물은 특별한 노력을 기울이지 않아도, 일정한 가공시설에서 비교적 유사한 물질을 대량, 안정적으로 확보할 수 있다는 점에서 경제적 측면의 강점을 가지고 있다.

바이오 소재 원료 활용의 장애요인

소재가 되는 원료의 충분한 양과 바이오 공정 기술에 맞춘 원료 공급은 해양바이오 산업화를 위해 선결되어야 하는 기본 전제이다. 과거 R&D 연구 이후 사업화에 실패

한 사례를 살펴보면, 원료 소재의 대량생산이 이뤄지지 않았거나 생산된 원료가 산업화에 부적합했기 때문인 경우가 많다(Han and Jwa 2018). 이런 점에서 수산부산물의 혼합배출은 원료 사용의 활용도를 낮춰 국내 수산부산물의 활용을 저해하고 있다. KIOST (2020)의 연구에 따르면 수산물 가공시설에서 배출되는 수산부산물은 가공 공정에 따라 단계별, 부위별 분리배출되어 발생하나 사업활동에 필요하지 않기 때문에 폐기물통에 일괄 집적되어 혼합된 상태로 배출되고 있다. 이로 인해 어린, 어피, 간 등 특정 부산물 부위를 원료로 사용하기 위해서는 선별, 세척, 건조 등 추가 작업이 필요하게 되고, 이는 사용자의 비용 부담으로 이어져 국산 원료의 사용을 기피하게 되는 중요한 요소로 작용된다. 식품 제조업체의 수입 어류부산물의 구매 이유를 살펴보면 수입 원료는 국산 원료 대비 가격 경쟁력, 대량 납품 가능, 1차 가공 처리(선별·세척·건조 등) 완료 등 사용이 편리하다고 응답하였다(aT 2020). 따라서 국내 수산부산물의 경쟁력 제고를 위해서는 부위별 분리배출을 통해 단일 원료 확보가 용이하도록 하고, 1차 선별·세척 등 간단한 전처리 과정을 통해 합리적인 공급 단가가 형성될 수 있어야 한다.

한편 해양수산생명자원관리 기본계획(MOF 2019)에 따르면 2017년 기준 국내 해양바이오 관련 기업의 총 매출은 5,369억 원으로 전체 바이오산업 매출(8조 8775억 원)의 6% 수준에 불과하다. 또한 국내 해양바이오 분야의 상용근로자 규모는 50인 미만이 62.3%이며 5인 미만의 기업은 전체의 24.2%로 영세한 업체가 대부분이다. 2017년 기준 해양바이오 실태조사에 의하면 기초 연구부터 승인 단계까지의 R&D 공정을 통해 제품을 생산하는 기업은 전체의 23.1%로 국내 해양바이오 기업 대부분은 바이오 소재 수급 및 원천기술 확보에 어려움을 겪고 있는 것으로 보인다(Han 2019). 또한, 이와 같은 현상은 국내 기업들이 수입 소재에 의존하고 저부가가치 식품 분야에 치중

하는 경향으로 이어지고 있는 것으로 판단된다. 해양바이오산업 시장은 개발되지 않은 수산자원의 다양성 및 잠재성에도 불구하고 고위험 및 고수익 산업 특성상 연구개발의 진입 장벽이 높은 산업이다. 따라서 국내 해양바이오산업은 영세성으로 인해 자생적 성장의 한계를 겪고 있는 것으로 판단된다(MABIK 2018). 전술한 바와 같이 2018년부터 증가한 수산부산물 유래 원료 수입 추세를 보면 수산부산물에 대한 바이오산업의 수요 시장은 이미 형성되어 있다고 판단된다. 그러나 어업·양식업·수산물 가공업에서 발생한 수산부산물의 저평가로 인해 처리 곤란한 폐기물로 인식되고 있고, 자원의 선순환을 방해하는 요인이 되고 있다. 수산부산물의 활용 성분들은 수산물과 동일한 원료이므로 비용을 지출하여 처리하는 폐기물의 인식에서 소득 창출의 사업 제품으로의 인식 전환이 빠르게 이뤄져야 한다. 따라서 일반 국민뿐만 아니라 수산부산물 공급처와 바이오산업 수요처 관계자를 대상으로 하는 적극적인 정책 홍보가 필요하다.

5. 결론 및 정책 제언

이 연구에서는 수산부산물의 발생·이용 실태를 평가하고, 향후 이를 고부가가치 해양바이오 원료 소재로 전환하여 고차 활용하기 위한 전략 방안을 제안하였다. 분석 결과, 현재 해양바이오 소재로 직접 활용 가능한 원료는 i) 원료 확보를 위한 통계 및 정보가 제공되고 ii) HACCP 인증 시설을 통해 위생과 안전성 확보가 가능하며 iii) 저온 보관 시설이 구축되어 있으며 iv) 안정적인 원료 공급이 가능하고 v) 공정별 분리배출이 가능한 가공 수산부산물로 판단된다. 국내 수산물 가공업체들이 「식품위생법」에 따라 세척 후 건조 또는 저온 보관한 부산물을 수산가공식품으로 생산한다면 고부가가치 바이오 소재의 원료로 사용될 수 있다. 이는 수산부산물을 폐기물이 아닌 수산물과 동일한 식품으로 판단하는 것으로 「폐기물관리법」의 제약을 받지 않고 기능성 식품·의약품·화장품 등 바이오산업의 해양 원료로 활용할 수 있을 것이다. 바이오 소재 원료로서 수산부산물은 각 어종별·부위별·용도별 특정 원료만을 필요로 한다. 예를 들어 콜라겐의 경우 어류의 어피 또는 비늘에서 추출되며, 알긴산은 해조류에서 추출이 가능하고, 키틴은 갑각류의 껍질에서 추출된다(Table 3). 가공 후 남은 특정 원료를 사용하여 제조하기 때문에 사업장에서 발생하는 잔재물 중 바이오 소재로 활용 가능한 부산물은 식품으로 가공하여 판매할 수 있다.

수산부산물을 식품으로 생산하기 위한 분리배출, 세척, 선별, 저온 운송 등 1차 가공제품을 생산하기 위한 필수 요소는 시장성에 따라 민간주도로 이루어질 수 있다. 하지만 폐기물 저감과 자원순환을 통한 수산부산물의 가치 제

고 및 수입 원료의 국산화 촉진을 위해 정부에서 시행할 수 있는 정책들을 제안하면, 다음과 같다. 첫째, 「수산식품산업의 육성 및 지원에 관한 법률」 제5조 제4항에는 기능성이 확인된 수산식품의 개발 및 관련 산업의 육성에 관한 기본계획 수립에 대한 내용이 명시되어 있다. 그리고 동법 제9조에 따라 수산식품산업 관련 기술 개발의 촉진을 위해 기능성 성분 분석 및 연구·개발을 투자해야 하며 제15조에 따라 수산물을 주원료 또는 주재료화하여 가공한 제품에 대해 품질 향상, 표준·규격화 및 물류 표준화를 촉진하기 위한 자재, 시설 및 자동화 장비의 매입에 대해 자금을 지원할 수 있다. 따라서 상기 법령을 활용하여 정부에서는 수산물 가공시설의 수산부산물 종류별 분리배출이 가능한 자동공정기계 및 저온 보관시설 등 관련 인프라 구축을 지원할 수 있다. 둘째, 쉽게 부패되어 상품성을 상실하기 쉬운 수산부산물의 유통을 위해 「수산물 유통의 관리 및 지원에 관한 법률」 제35조에 따른 저온 유통체계 구축을 지원할 필요가 있다. 바이오 소재의 원료로 사용되는 수산부산물에 대한 위생관리 기준을 확립하고, 저온 유통을 위한 운송 기준을 마련함으로써 수산부산물 소비를 위한 시장의 신뢰를 제고할 필요가 있다. 이때, 시행규칙 제42조와 제43조에 따라 운영하는 수산물소비자분산물류센터(Fisheries Products Distribution Center, FDC)와 수산물산지거점유통센터(Fisheries Products Processing & Marketing Center, FPC)를 수산부산물의 바이오산업화를 위한 시범운영 시설로 활용한다면 산업화의 성공 예시를 만들 수 있다. 동 시설에 대한 시설 기준과 운영에 필요한 사항은 해양수산부 장관이 정하여 고시할 수 있기 때문에 빠른 법적 지원 또한 가능할 것으로 판단된다.

유럽연합(European Union, EU)에는 수산부산물의 정의와 필수 위생 조건에 대한 규정이 마련되어 있고, Mozuraityte et al. (2020)은 EU의 「식품위생법」에 따라 품질이 보장되는 경우 수산부산물을 식품으로 생산할 수 있다고 보고하였다. 해당 규정에 따르면 수산부산물은 용도에 따라 크게 세 가지로 구분된다(Penven et al. 2013). 첫째, 식품을 생산하는 과정에서 발생하며 먹을 수 있는 상태의 잔여 원재료 (Residual Raw Material, RRM)이다. 흔히 사용되고 있는 부산물과 같은 의미로 사용될 수 있으나, 주원료보다 낮은 가치의 의미를 부여하는 부산물과는 달리 주원료와 동일함을 강조하고 있다. 따라서 잔여 원재료는 식품 기준에 맞춘 원료로 식품 공급망(food chain)에 재투입될 수 있는 원료로 규정하고 있다. 반면에 동물성 부산물은 식품에 사용할 수 없지만 식용을 제외한 용도로 사용될 수 있음을 명시하고 있다. 비록 인간 소비에 사용되지 않으나 위험성이 낮아 동물 사료로 사용이 가능하며 위험등급에 따른 세 가지의 위생 조건과 규정이 마련되어 있다. 마지막으로 인간이나 동물이 소비할 수 없어 매립 등을 통

해 버려지는 폐기물이다. 이처럼 우리나라에서도 체계적이고 세분화된 수산부산물 관리체계를 수립하여 산업 분야별 용도에 따른 수산부산물에 대한 정의와 위생 조건 및 이용 절차에 관한 법적·기술적 근거를 지원해야 한다.

국내 수산부산물의 활용 최적화를 위해서는 「식품위생법」에 따라 수산가공식품으로 생산하여 인간 소비를 위한 원료로 사용해야 한다. 2019년 기준 국내 HACCP 인증 수산물 가공시설은 1,409개소이다. 따라서 전체 수산가공식품 가공업체의 32.4%를 차지하는 HACCP 인증시설을 통해 안정성 높은 식용 품질의 수산부산물을 공급받아 인간 소비를 위한 자원으로 활용해야 한다. 그 외 인증되지 않은 2,936개소의 수산물 가공시설에서 발생하는 부산물은 동물용 사료, 비료, 퇴비로 활용 가능하다. 마지막으로 버려지는 수산부산물의 폐기량을 최소로 제한하여 처리한다면 수산부산물의 선순환적 활용과 부가가치의 최대화 등 시너지 효과를 창출할 수 있을 것으로 판단된다. 이와 관련하여, Stevens et al. (2018)은 식품으로서 수산물의 가치를 최대화하기 위해 최우선으로 시행되어야 할 방안은 가식 부위의 수율 극대화, 1차 식품을 제외한 의약품 및 기능성식품과 같은 2차 가공품의 원료 활용을 상위 단계로 제시했다. 물론 두 가지 모두 식품에 준수하는 위생과 품질을 필수조건으로 제시하고 있다. 다음 하위 단계로 축산·양식생물 사료 및 펠푸드 등 사료화, 연료 및 비료화, 토양 개선용 퇴비화, 마지막으로 매립되는 순으로 수산부산물 활용을 제시한 바 있다. 이처럼 단순 저차 가공에 따른 제품 생산에 활용하는 것보다는 상대적으로 더 높은 부가가치 창출이 가능한 해양바이오 소재로 활용하는 전략이 경제적 관점에서의 정책 전략에 더 부합하는 것으로 판단된다.

국내 수산부산물 유투 바이오 소재 개발 성공을 위해서는 원료의 안정적인 공급과 국산화를 위한 바이오 기술능력을 확보해야 한다. Jang et al. (2017)의 연구에 따르면 해양바이오산업 진출을 희망하는 바이오 기업들은 기술 개발 지원과 유용 소재 확보를 위한 공급체계 지원을 희망하고 있다. 따라서 정부는 수산물 가공시설 및 지자체와의 협의를 통해 1차 원료 생산자로부터 바이오 소재화를 위한 맞춤형 원료 생산 및 공급 체계를 구축하고, 기업의 원료 확보를 위한 가공 수산부산물 생산량 통계 및 유통 정보 지원을 통해 일반 바이오 기업의 해양바이오 분야에서의 활동을 촉진시켜야 한다. 나아가 상용화 제품화 중심의 R&D 연구를 통해 대량 시스템 구축, 원료 표준·규격화 기준 개발 및 기술이전을 통해 대학과 연구기관이 보유하고 있는 기술의 산업적 활용을 도모해야 한다. 바이오 소재로서의 원료 활용은 수산물의 폐기 및 식품 손실을 최소화하는 동시에 부가가치를 제고함으로써 환경에 대한 부정적 영향을 최소화할 수 있다. 이용률이 낮은 수산

부산물을 바이오 소재화함으로써 수산자원 이용의 지속 가능성과 이용 효율성을 높이고 해양바이오산업에서 가장 중요한 원료 확보 문제를 해결할 수 있다. 이를 통해 어촌지역의 소득증대 및 지역 균형 발전 전략에 도움이 될 수 있으며, 탄소 저감 및 그린뉴딜 정책의 지속 가능성을 담보할 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

이 연구는 해양수산부와 국립해양생물자원관의 ‘해양 수산부산물의 바이오 소재화 방안 연구 용역(PG2020)’과 KIOST 기본과제(PE99922)의 연구비로 수행되었고, 이에 대한 지원에 감사를 표합니다. 또한 KIOST 제주연구소와 관련 분야 연구자들의 노력과 도움에 깊이 감사드립니다.

참고문헌

- Asian Economy (2018) Young fish in the coastal waters disappearing as raw feed from farms. <https://www.asiae.co.kr/article/2018101114531236174> Accessed 10 Mar 2021
- aT (2019) Agricultural and marine products wholesale market survey. Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation, 11-1543000-001762-10, 250 p
- aT (2020) Food industry raw material consumption survey. Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation. <https://www.atfis.or.kr/> Accessed 10 Mar 2021
- aT (2021) Agri-food export information Monthly seafood import and export data. Korea Agro-Fisheries & Food Trade Corporation. <https://www.kati.net/index.do> Accessed 10 Mar 2021
- Blanco M, Sotelo CG, Perez-Martin RIP (2019) New strategy to cope with common fishery policy landing obligation: collagen Extraction from skins and bones of Undersized Hake (*Merluccius merluccius*). *Polymers* **11**:1485-1501
- Bruno SF, Kudre TG, Bhaskar N (2019) Impact of pretreatment-assisted enzymatic extraction on recovery, physicochemical and rheological properties of oil from *Labeo rohita* head. *J Food Process Eng* **2**:1-11
- Caruso G, Floris R, Serangeli C, Paola LD (2020) Fishery wastes as a yet undiscovered treasure from the Sea: biomolecules sources, extraction methods and valorization. *Mar Drugs* **18**:622. doi:10.3390/md18120622
- Circular Resources Information Center (2021) <https://www.re.or.kr/main.do> Accessed 12 Apr 2021
- FAO (1995) Code of conduct for responsible fisheries. <http://www.fao.org/fishery/code/en> Accessed 11 May 2021
- FAO (2011) International guidelines on bycatch management and reduction of discards. FAO, Rome, 73 p

- FAO (2020) The state of world fisheries and aquaculture 2020. Sustainability in action. FAO, Rome, 206 p
- GIA (2013) Marine biotechnology a global strategic business report. Global Industry Analysts, New York, 22 p
- Gyeongsangnam-do (2019) Reinforcement of eco-friendliness by turning aquaculture by-products into resources in Gyeongsangnam-do. <https://www.gyeongnam.go.kr/seed/index.gyeong> Accessed 3 May 2021
- Han KW (2019) Current status of Korea's marine bio industry and plan. Chungcheongnam-do Marine Bio Industry Fostering Forum, Asan, 24 Jun 2019
- Han KW, Jwa MR (2018) Policy directions of national research & development program for the promotion of marine biotechnology industry. Korea Maritime Institute, 2018-13, 115 p
- Iñarra B, Larsen E, Viðarsson JR (2019) D6.5 DiscardLess: validation of final solution(s) for best use of unavoidable unwanted catches. EU, <http://discardless.eu> Accessed 11 May 2021
- Jang D, Doh S (2018) Trends in the Korean government support for marine biotechnology R&D investment and its implication. *Ocean Polar Res* **39**(3):177-190
- Jang D, Kang Y, Oh C, Doh S (2017) Analysis of biotechnology companies' needs related to supporting their entry into the marine biotechnology industry. *Ocean Polar Res* **39**(3):233-244
- Jung WJ, Jo GH, Kuk JH, Kim YJ, Oh KT, Park RD (2007) Production of chitin from red crab shell waste by successive fermentation with *Lactobacillus paracasei* KCTC-3074 and *Serratia marcescens* FS-3. *Carbohydr Polym* **68**(4):746-750
- Kang JH, Kim WS (2019) Study on industrialization strategy for efficient reuse of seaweed by-products. *J fish Bus Adm* **50**(4):1-9
- Kang NL, Lee WW, Ko JY, Kim HS, Kim JS, Ahn YS, Ko CI, Jeong JB, Jeon YJ (2014) Development of bioactive substances from fishery processing by-products in Jeju. *J Mar Biosci Biotechnol* **6**(2):62-67
- K-eco (2020) Information on companies that produce general industrial waste at the Allbaro System. Korea Environment Corporation. <http://www.data.go.kr> Accessed 16 Apr 2021
- Keledjian A, Brogan G, Lowell B, Warrenchuk J, Enticknap B, Shester G, Hirshfield M, Cano-Stocco D (2014) Wasted catch: unsolved problems in U.S. fisheries. *Oceana*, Washington DC, 44p
- KFRI (2015) Report on value-added processed commercialization of red snow crab (aka: red crab). Korea Food Research Institute, Wanju, 264 p
- Kim BS, Park KS, Joo OS, Suh MG, Hur JW (2001) Preparation and physicochemical properties of Chitosan from red crab waste-shell. *Kor J Env Hith Soc* **27**(1):36-43
- Kim DR (2020) A comparative study on the legislative policy of fishery by-products in Korea and Japan. *Korea Pub Land Law Rev* **90**(1):251-271
- Kim DY, Lee JS (2015) Directions for eco-friendly utilization and industrialization of fishery by-products. *J Fish Mar Sci Edu* **27**(2):566-575
- Kim KS, Lee YJ, Kim YS (2018) A study on resources circulation for marine debris of aquaculture farm. Korea Maritime Institute, 2018-04, 224 p
- Kim SK, Mendis E (2006) Bioactive compounds from marine processing byproducts - A review. *Food Res Int* **39**:383-393
- Kim SM, Lee JH, Jo JA, Lee SC, Lee SK (2005) Development of a bioactive cellulose membrane from sea squirt skin for bone regeneration - a preliminary research. *J Kor Oral Maxillofac Surg* **31**:440-453
- KIOST (2019) Planning for cyclic utilization of aquacultural dead flounder. Korea Institute of Ocean Science & Technology, BSPE99787-12142-7, 131 p
- KIOST (2020) Strategies for converting marine by-products into biomaterials. Korea Institute of Ocean Science & Technology, BSPG52020-12418-3, 424 p
- Lee SM, Lee YR, Cho KS, Cho YM, Lee HA, Hwang DY, Jung YJ, Son HJ (2015) Stalked sea squirt (*Styela clava*) tunic waste as a valuable bioresources: cosmetic and antioxidant activities. *Process Biochem* **50**(11):1977-1984
- MABIK (2018) Analysis on the domestic & foreign marine biology trend and provision of the information. National Marine Biodiversity Institute of Korea, 2018M01400, 17 p
- Marinetchno (2019) Report on commercialization of bio food using marine collagen. Korea Institute of Marine Science Technology Promotion, R&D 2017-0113, 77 p
- ME (2008) Industrial waste inquiry and answer casebook. Ministry of Environment. <http://www.me.go.kr/> Accessed 21 Apr 2021
- MFDS (2021) Imported food information maru. Ministry of Food and Drug Safety. https://impfood.mfds.go.kr/CFCC_C01F01 Accessed 10 Mar 2021
- MIFAFF (2012) A study on the establishment of the domestic implementation system for international fisheries standards. Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 11-1541000-001461-01, 171 p
- MOF (2019) First plan for the management of marine, fisheries, life and resources (2019-2023). Ministry of Oceans and Fisheries. <https://www.mof.go.kr> Accessed 03 May 2021
- MOF (2021) First plan for the promotion of the fisheries food

- industry (2021–2025). Ministry of Oceans and Fisheries. <https://www.mof.go.kr> Accessed 3 May 2021
- Morris JP, Backeljau T, Chapelle G (2019) Shells from aquaculture: a valuable biomaterial, not a nuisance waste product. *Rev Aquac* **11**:42–57
- Mozuraityte R, Perote A, Kumari A, Kaushik N, Thakur M (2020) Regulations on the use of rest raw materials from seafood processing in EU and India: revalue project deliverable 4.2. SINTEF ocean. <https://www.sintef.no/en/publications/publication/1811594/> Accessed 3 May 2021
- Musthofa AA, Bahtiar MZA, Saputra E, Sahidu AM, Abdillah AA (2020) Addition of by product from industrial seaweed waste as sand mixed material on manufacture of cellular lightweight concrete. *Poll Res* **39**(2):283–286
- Naik A, Hayes M (2019) Bioprocessing of mussel by-products for value added ingredients. *Trends Food Sci Tech* **92**: 111–121
- Nam G, Lee N, Ahn JW (2018) Sustainable management of oyster shell by-products and recent research techniques. *J Energ Eng-ASCE* **27**(1):1–11
- Nguyen TT, Neri TA, Choi BD (2020) Characterization of hyaluronic acid extracted from *Liparis tessellatus* eggs grafted with phenolic acids and nisin. *Int J Biol Macromol* **157**:45–50
- Park YG, Kang SG, Jeong ST, Kim DH, Kim SJ, Park JI, Kim CH, Im JH, Kim JM (2007) Development of value-added products using seaweeds. *J Mar Biosci Biotechnol* **2**(3):133–141
- Penven A, Gálvez RP, Bergé JP (2013) By-products from fish processing: focus on french industry. Utilization of fish waste. CRC Press, Boca Ration, 26 p
- Roda MAP, Gilman E, Huntington T, Kennelly SJ, Suuronen P, Chaloupka M, Medley P (2019) A third assessment of global marine fisheries discards. FAO, Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 633, 78 p
- Shin WS, Yoon YK (2018) Research on the promotion of recycling of seafood by-products in Chungcheongnam-do. ChungNam Institute, 29 p
- Smith VJ, Desbois AP, Dyrinda EA (2010) Conventional and unconventional antimicrobials from fish, marine invertebrates and micro-algae. *Mar Drugs* **8**:1213–1262
- SNU (2016) Production and industrialization of well-being source meat through development of environment-friendly functional feed additive. Seoul National University, Ministry for Food, Agriculture, Forestry and Fisheries, 11-1543000-001234-01, 171 p
- Statistic Korea (2019) Mining & manufacturing survey. <http://kostat.go.kr/> Accessed 21 Apr 2021
- Stevens JR, Newton RW, Tlusty M, Little DC (2018) The rise of aquaculture by-products: increasing food production, value, and sustainability through strategic utilisation. *Mar Policy* **90**:115–124
- UN (2015) Sustainable development goals: 17 goals to transform our world. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/> Accessed 17 Feb 2021
- Wando-gun (2020) Military government major business plan report. <http://www.wando.go.kr/administration> Accessed 16 Mar 2021
- Wu TH, Nigg JD, Stine JJ, Bechtel PJ (2011) Nutritional and chemical composition of by-product fractions produced from wet reduction of individual red salmon (*Oncorhynchus nerka*) heads and viscera. *J Aquat Food Prod Technol* **20**: 183–195
- Yoo G, Pan CH, Ahn SJ (2019) A strategy for establishment of marine biotechnology digital innovation ecosystem. Korea Institute of S&T Evaluation and Planning, Seoul, 29 p
- Yoo JB, Kim KM (2020) Problems related to the generation and treatment of fishery by-products and directions for improvement. National Assembly Research Service, No. 118, 20 p
- Younes I, Hajji S, Frachet V, Rinaudo M, Jellouli K, Nasri M (2014) Chitin extraction from shrimp shell using enzymatic treatment. antitumor, antioxidant and antimicrobial activities of chitosan. *Int J Biol Macromol* **69**:489–498
- Zeller D, Cashion T, Palomares M, Pauly D (2017) Global marine fisheries discards: a synthesis of reconstructed data. *Fish Fish* **19**:30–39

Author's Information

Soeon Ahn

Research Specialist, Korea Institute of Ocean Science & Technology

Won-Kyu Lee

Ph.D. Student, University of Science and Technology

Duckhee Jang

Principal Research Scientist, Korea Institute of Ocean Science & Technology

Do-Hyung Kang

Professor, University of Science and Technology

Received Jun. 9, 2021

Revised Jul. 16, 2021

Accepted Jul. 26, 2021