

Article

<https://doi.org/10.7850/jkso.2021.26.3.277>
pISSN : 1226-2978 eISSN : 2671-8820

해양어류 자료의 정도관리에 대한 고찰

이화현¹ · 손동화^{2*} · 김수암³¹부경대학교 자원생물학과 강사, ²부산대학교 수리과학연구소 연구교수, ³부경대학교 자원생물학과 명예교수

A Review on the Quality Control of Marine Fish Data

HWAHYUN LEE¹, DONGWHA SOHN^{2*} AND SUAM KIM³¹Part-Time Lecturer, Department of Marine Biology, College of Fisheries Science, Pukyong National University, Busan 48513, Korea²Research Professor, Institute of Mathematical Science, Pusan National University, Busan 46241, Korea³Emeritus Professor, Department of Marine Biology, College of Fisheries Science, Pukyong National University, Busan 48513, Korea*Corresponding author: sohdongwha@pusan.ac.kr

Editor Eun-Jin Yang

Received 1 June 2021; Revised 11 August 2021; Accepted 18 August 2021

ABSTRACT

해양에서 얻을 수 있는 여러 자료 중 화학, 물리, 지질분야에서 취득되는 비생물 자료에 대한 정도관리는 이미 부분적으로 정립되어 있으나, 생물자료는 채집과 분석 방법을 통일하기 어려워 자료의 정도관리 방법은 시작단계에 있다. 특히 해양어류의 경우, 자료의 사용 용도가 넓어 정도관리의 필요성이 더욱 요구되고 있지만 어종별 크기, 수명, 생활사 및 서식처에 따른 채집방법, 생산하는 자료의 종류가 다양하고 방대하여 현재 일관된 정도관리 지침을 제시하지 못하고 있다. 본 논문에서는 해양어류 자료가 활용되는 사례를 설명하고, 해양어류 자료수집 방법, 자료수집 방법의 한계, 그리고 해양어류 자료의 품질 개선 방안을 소개한다. 이 자료가 향후 국내에서 생산되는 해양어류자료에 관한 정도관리의 방향 정립에 도움이 되기를 희망한다.

Among various data types obtained from the ocean, the quality controls for abiotic data collected from chemical, physical, and geological field surveys have already been partially established. Due to the difficulties in standardization of the data collections and basic analyses, however, the quality controls of biotic data are in its early stage. For marine fish, the necessity of quality control is more demanded due to the wide range of data usage, but there are currently no consistent quality control guidelines because of the diversity and scope of data types derived from species-specific and age-specific information throughout various habitats. In this paper, we provide examples of marine fish data utilization and also show methods of the marine fish data collection, limitations of the data collection methods, and suggestions for improving the marine fish data quality. We hope this paper will help to establish the direction of quality control for marine fish data from both fishery-dependent and fishery-independent surveys in Korea in the near future.

Keywords: Marine ecosystem, Marine fish, Data collection, Quality control

1. 서론

최근에 들어와, 해양생태계가 건강한 상태로 유지되어야 해양뿐만 아니라 전 지구생태계의 기능이 정상적으로 작동하여 생태계서비스가 최대로 유지될 수 있다는 인식이 강조되고 있다(IAP, 2021). UN은 2015년 인류의 보편적 문제(빈곤, 질병, 교육, 양성평등, 난민, 분쟁 등)와 지구환경 문제(기후변화, 에너지, 환경오염, 물, 생물다양성 등), 경제사회문제(기술, 주거, 노사, 고용, 생산과 소비, 사회구조, 법, 대내외 경제 등)를 해결하고자 지속가능발전목표(Sustainable Development Goals, SDGs)를 수립하였다(<https://sdgs.un.org/goals>). UN SDGs는 2030년까지 인류가 가난에서 해방되어 누구도 굶주리지 않는 세상을 만들고자 하는 목표인데, 특히 14번째 목표인 SDG-14에서 수계에 서식하는 생물자원에 대한 이용과 보전을 담았고, 해양의 생태학적 과정에 대한 이해가 우선적으로 설명되어야 함이 강조되었다. 이러한 국제적 요구에 부응하기 위하여 국제

해양학위원회(IOC)는 ‘지속가능발전을 위한 해양과학 10개년 계획(2021-2030)’을 선포하였다(UNESCO, 2020). 즉, 인류가 바다의 중요성을 인지하고 전 지구생물과 환경에 미치는 해양의 생태계서비스에 대해 자각할 수 있도록 전 지구적 차원의 협력을 통해 해양과학 지식을 통합하여 해양을 위협하는 문제를 해결하고자 하는 것이다. 그리고 UN ‘생물다양성협약(Convention on Biological Diversity)’에서는 매 4년마다 지구생물다양성전망(Global Biodiversity Outlook) 보고서를 발간하여 생물다양성 보전의 중요성을 알리고 국제사회에서 이행해야 할 목표를 수립하여 생물다양성 보전을 위한 노력을 하고 있다. 또한 국제환경단체인 세계자연기금(World Wide Fund For Nature)은 1970년 이래 해양생물종을 포함하는 지구생태계의 야생 척추동물(포유류, 조류, 양서류, 파충류, 어류) 개체군이 얼마나 빠르게 감소하고 있는지 보여주는 지구생명지수(Living Planet Index)를 개발하여 해양어류를 포함한 야생동물의 감소 정도를 보여주고 인간사회에 경종을 울리고 있다(WWF, 2020).

해양생태계를 건강하게 유지하기 위해서는 해양에 대한 인간의 파괴적 활동을 줄이고, 생태계 모니터링을 수행하여 얻은 신뢰성 있는 해양자료로 해양환경과 해양생물이 변화하는 양상을 파악하고 해양생태계를 건강한 상태로 관리하고 보존하려는 노력을 지속적으로 하여야 한다. 이러한 노력의 일환으로 세계 각국에서 해양환경자료와 생물자료를 수집하고 있으며, 국제 협력프로그램인 전지구해양관측시스템(Global Ocean Observing System, GOOS)에서는 전 지구적 해양의 건강성을 측정하기 위해 물리학, 생지화학, 생물학과 생태계 분야에서 자료수집과 보급의 표준이 되는 모니터링의 필수해양변수(Essential Ocean Variables, EOVs)를 제시하였다(Table 1). 특히, 생물 다양성과 생태계 변화에 대한 모니터링의 필수해양변수는 해양 미생물의 생체량과 분포, 식물·동물플랑크톤의 생체량과 다양성, 어류와 무척추동물의 풍도와 분포, 바다거북·조류·해양 포유류의 풍도와 분포, 경산호의 분포와 조성, 그리고 해초류와 해조류 숲의 분포와 조성 등 해양생태계 전체 구성요소를 고려

Table 1. Essential ocean variables of the global ocean observing system (<https://www.goosocean.org>)

Physics	Biogeochemistry	Biology and Ecosystems	Cross-disciplinary
Sea state	Oxygen	Phytoplankton biomass and diversity	Ocean colour
Ocean surface stress	Nutrients	Zooplankton biomass and diversity	Ocean Sound
Sea ice	Inorganic carbon	Fish abundance and distribution	
Sea surface height	Transient tracers	Marine turtles, birds, mammals abundance and distribution	
Sea surface temperature	Particulate matter	Hard coral cover and composition	
Subsurface temperature	Nitrous oxide	Seagrass cover and composition	
Surface currents	Stable carbon isotope	Macroalgal canopy cover and composition	
Subsurface currents	Dissolved organic carbon	Mangrove cover and composition	
Sea surface salinity		Microbe biomass and distribution	
Subsurface salinity		Invertebrate abundance and distribution	
Ocean surface heat flux			

하여 선정되었다(Miloslavich *et al.*, 2018; Table 1). 해양환경조사에서 해양물리 및 화학 현상에 관련된 비생물 분야 자료의 정도관리를 위해 생성·처리·분석과정에서 거쳐야 하는 지침은 정해져 있다(IOC, 1993; IOC, 2010). 하지만, 해양에 서식하는 생물자료의 정도관리는 지역성이 강하거나, 식물플랑크톤, 동물플랑크톤, 해양미생물, 해초류와 해조류, 산호류 등 1차 생산자와 2차 생산자에 대한 시료채집과 실험, 분석 방법에 대한 논의만 이루어져 있고(O'Brien, 2007; Kim, 2020), 상위생태계를 구성하는 해양어류 자료의 정도관리 논의는 미비하다. 본 논문에서는 해양생태계의 구성원 중에서 해양어류에 대한 자료 획득의 필요성과 자료의 수집 방법과 한계를 기술하고, 다양한 방법으로 수집되는 해양어류 자료의 신뢰성 향상을 위한 정도관리 방법을 논의한다.

2. 해양어류 자료의 수집과 정도관리의 필요성

대륙과 해양의 수계에 서식하는 어류의 종 수는 지구 전체 척추동물 종 수의 약 반에 해당되는 34,000~35,000 종이고(www.fishbase.org), 그중 해양에는 2만 종이 넘는 어류가 서식한다(https://oceana.org/marine-life/ocean-fishes). 해양어류는 다양한 생물학적, 생태학적 특징을 가지고 연안에서 외해까지, 표층에서 심해까지, 열대해역에서 극지해역까지 분포한다. 대부분의 해양어류는 해양생태계의 중위와 상위에 위치하는 구성원이고 에너지 전달자로서 중요한 기능을 가지며, 인류에게는 중요한 식량원이다. 전 세계적으로 1000여 종이 넘는 해양생물이 인류의 식량으로 사용되는데, FAO에 따르면 2018년에 세계 인류는 1년에 1인당 평균 20.5kg의 수산물을 소비하였다(FAO, 2020). 향후, 인구가 계속 증가하고 수산물 수요 역시 증가할 것으로 예측되고, 식량안보(food security) 분야에서 해양어류의 중요성은 더욱 두드러질 것이다(OECD/FAO, 2020). 또한 해양어류는 산업과 여가의 수단으로서 우리의 삶과 밀접하게 연결되어 있다. 지난 세기부터 지속된 어류자원에 대한 남획과 지구환경의 급격한 악화는 해양어류를 감소시켜 해양생태계 건강, 식량 공급, 산업 경제에 위기를 가져올 수 있다(WWF, 2020; FAO, 2020). 이러한 이유로 남획과 해양환경의 변동이 해양어류의 종조성, 산란시기, 시·공간적 분포, 자원량, 피식과 포식 관계의 변화에 미치는 영향에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있어, 그 어느 때 보다 정확도와 신뢰도가 높은 해양어류 자료가 필요한 상황이다. 그러므로 해양어류 자료를 체계적으로 수집·정리·사용할 수 있는 기준과 자료에 대한 정도관리 체계를 구축할 필요성이 대두되고 있다. 국내에서는 해양어류 자료를 기관별로 매뉴얼에 따라 수집하고 분석하고 있으나 정도관리에 대한 논의는 이제 시작단계이다.

3. 해양어류의 자료수집 방법

해양어류에 관한 자료는 크게 다음의 세 가지 방법으로 수집할 수 있다: (1) 개인과 소규모어업 활동, (2) 대규모 기업형 어업 활동, (3) 연구선을 이용하는 과학적 해양조사 활동. 앞서 세 가지 방법으로 수집된 자료들은 해양환경변수 자료들과 함께 다양한 분석기법(통계적 접근, 기계학습적 접근, 딥러닝 등)으로 분석하여 해양어류의 생물·생태학적 특징과 생물량 변동 메카니즘 규명에 이용되고, 더 나아가 해양환경 변동에 따른 해양생태계 변화 양상을 이해하는데 도움을 줄 수 있다.

3.1 개인과 소규모어업 활동에 의한 자료 수집

우리나라에서 낚시 활동에 참여하는 인구수는 매년 증가하여 2018년에 약 850만 명에 이르렀는데(MOF, 2020), 일부 어종의 경우 연안에서의 낚시 어획량이 상업적 어획량을 넘어서는 현상도 보고되고 있다(KMI, 2019). 낚시를 즐기는 개인으로부터 제공되는 채집·어획 방법과 채집된 어류의 생물적 특징을 기록한 내용을 체계적으로 자료은행(data bank)에 수집하

여 정리한다면 해양어류에 대한 자료는 엄청나게 풍부해진다. 또한 이러한 노력은 해양생물학적 관점에서 아주 중요하다. 예를 들어, 850만 명의 낚시인 각자가 정확한 낚시 정보를 제공해 준다면, 어떤 어종이, 어느 장소에서, 어느 계절에 많이 어획되고, 어류의 출현과 특정 해양환경 조건 사이 인과관계를 밝혀 내는데 도움이 된다.

아프리카와 동남아시아 해역 및 태평양 도서 국가에는 작은 어선을 활용하여 어획하는 소규모 생계형 영세어업(small-scale and artisanal fishery)이 흔하다. UN의 식량농업기구(Food and Agriculture Organization, FAO) 통계에 의하면, 소규모 어업자의 수는 전 세계적으로 약 3,150만 명에 이른다(<http://www.fao.org/fishery/fishcode-stf/activities/ssf/en#:~:text=Around%2090%25%20of%20the%202035,%2Dscale%20post%2Dharvest%20sector>). 소규모어업 자료는 해양생태계의 과학적 평가와 연안해양환경 관리 등에도 필요하지만, 지역 주민의 식량, 일자리, 수입과 지역경제, 건강과 영양, 지속적인 생계, 가난 극복 등의 요인에도 큰 영향을 미치기 때문에 UN SDG-14에서 지향하는 수산업의 지속가능발전의 측면에서도 중요한 자료이다. 이들은 소규모, 저기술, 저자본, 개인의 어업활동의 특징을 보여 대규모 상업어업 활동과 비교된다. 이들이 어획한 어류는 가공되지 않고 주로 지역 내에서 소비되며, 어획강도가 낮아 해양생태계를 파괴할 가능성이 낮을 뿐만 아니라, 어획된 물고기가 폐기되는 것 없이 거의 모두 주민들에게 이용될 수 있어 자원의 손실이 적다(<http://thefishproject.weebly.com/artisanal-fisheries.html>). 소규모어업 활동의 중요성은 국제프로그램 ‘무시하기에는 너무 큰(Too Big Too Ignore, TBTI)’으로 알 수 있는데, TBTI는 전 세계 해역에 사례연구 지역을 설정하여 소규모 어업의 형태로 생산되는 어업의 실태와 관리 방안에 대하여 논의를 하고 있다(Fig. 1).

한편, 우리나라 연근해어업의 조업상황 등의 보고에 관한 규칙에 따르면, 어업허가를 받은 연안자망어업, 연안선망어업, 연안통발어업 및 연안조망어업 등 허가를 받은 어선과 무선설비를 갖춘 어선은 조업상황 및 어획실적 등을 포함하는 어업결과를 수산업협동조합(수협)에 제출하여야 한다. 연안어업이란 일반적으로 육지에서 가깝고 당일에 돌아올 수 있는 항해거리(20 해리, 또는 약 40 km) 범위 내에서 조업하는 어업을 지칭하거나(MOF, 2020), 수산업법 제41조 규정에 따르면 무동력어

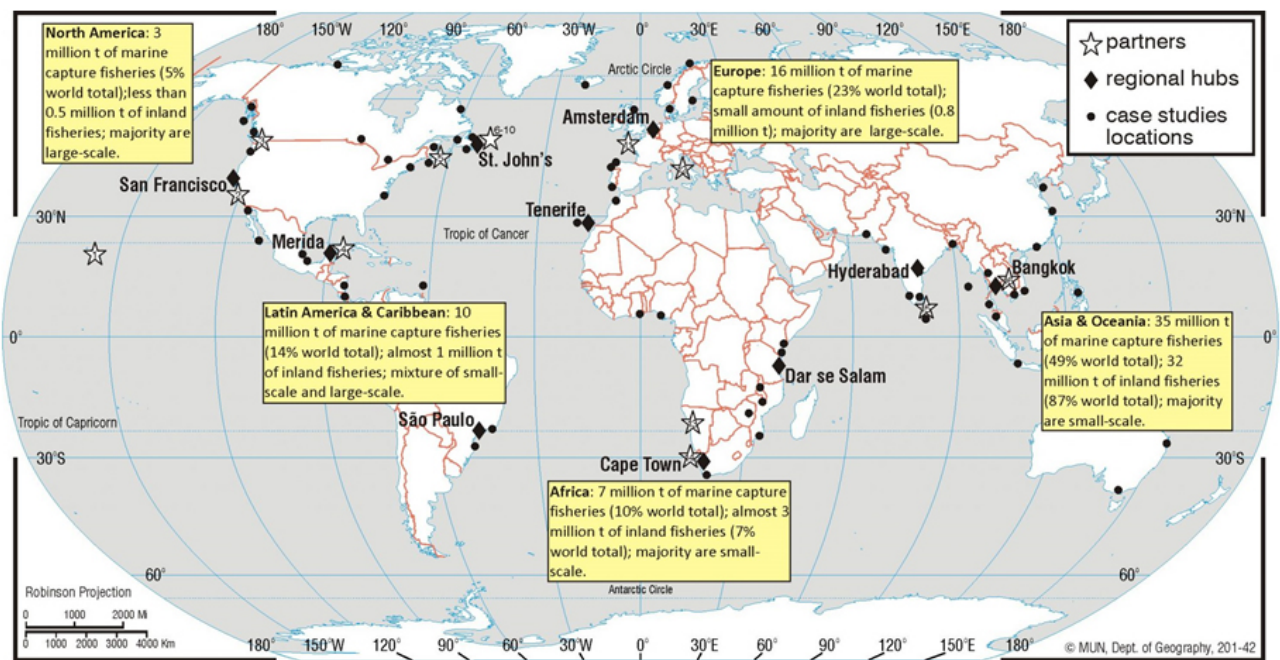


Fig. 1. The status of Global Partnership for small-scale fisheries research - 'Too Big To Ignore' (TBTI; <http://toobigtoignore.net/about-tbti/>).

선 또는 총톤수 8톤 미만의 동력어선이나 어선의 안전조업과 어업조정을 위해 대통령령으로 정하는 총톤수 8톤 이상 10톤 미만의 동력어선을 사용하는 어업을 지칭한다. 통계청에서는 수협 위판장을 통해 수집된 계통 판매 자료와, 사매 등의 비계통 판매 자료를 감안하여 국가의 통계를 만든다.

3.2 대규모어업 활동에 의한 자료 수집

우리가 섭취하는 해양어류의 대부분은 기업형 상업어선에서 어획되기 때문에, 해양어류에 대한 학술적 자료의 대부분은 대규모 상업어업으로부터 생산되었다. 세계의 해역에서 사계절을 통하여 방대한 수산자료가 각국 정부 혹은 지역수산기구(Regional Fisheries Management Organizations, RFMOs)에 보고된다. 이들이 수집하는 어획자료는 공식적 경로를 통하여 매년 FAO에 보고된다. 과거에는 어선 선장의 오랜 경험으로 보유하고 있는 어획 정보를 일종의 지적재산권으로 간주하기도 하였으나, 최근에는 수산생물의 공공재적 성격 때문에 의무적으로 보고하게 한다.

일부 국가에서는 어선에 동승하여 불법조업을 감시하고 연구활동을 병행하는 선상관찰자(onboard observer) 제도를 마련하여 어구, 종별 어획량, 노력량, 조업 해역, 조업 시간 등의 어획기록을 통계화하고 있다. 대규모 상업어선에 승선하는 선상관찰자는 조업해역에서의 어획기록뿐만 아니라, 불법어업을 감시하고 과학적 업무를 수행한다. 과학적 업무 수행으로 조업해역에서 어획을 할 때마다 어획된 어류를 종류별로, 크기별로 분류하여 어획량을 추정하며, 연령(ageing), 성장(growth), 위 내용물(stomach content), 성성숙(sexual maturation) 상태 등의 생물학적 측정치를 수집한다. 이들은 과학적 업무활동을 수행할 수 있도록 훈련을 받았기 때문에 양질의 자료를 생산하고 있다. 특히 어선의 목표어종(target species) 뿐만 아니라 부수어종(bycatch species)에 대한 정보도 포함하고 있으므로, 각국 정부는 선상관찰자 제도를 적극적으로 확대하고 있다.

선상관찰자 제도가 없는 우리나라에서는 상업어선 선장(또는 어업을 허가받은 자)이 수시로 어업 상황을 해양에서 무선으로 보고하게 하거나, 연근해어업보고서를 제출해야 한다. 어획물이 집하되는 양육항에서는 상주 근무를 하는 수산자원조사원이 선장으로부터 어획 위치와 어획량 등의 어획자료를 수집한다. 또한 수산자원조사원은 수산물 위판장에서 수산물을 채집하여 기본적 생물 측정치(즉, 연령, 성장, 위 내용물, 성숙 상태 등)의 생물정보를 확보한다. 각 양육항에서 수협 위판장을 통해 판매된 자료는 통계청에 보고되고, 비계통 판매 자료를 감안하여 국가의 통계를 만든다.

3.3 연구선에 의한 과학적 자료

자료수집의 관점에서 볼 때, 낚시와 같은 개인 활동이나 어획 활동으로부터 수집된 자료는 많은 양의 자료를 비교적 쉽게 수집할 수 있다는 장점은 있지만, 과학적인 시료 채집 원칙이 결여되어 있고, 보고 내용에 대한 신뢰성이 낮아 공신력 있는 자료로 인정을 받기가 쉽지 않다. 따라서 해양 전체에 서식하는 어류자원에 대한 편견 없는 추정치를 생산하기 위하여 연구선에 의한 직접적인 과학조사가 필요하게 되었다. 연구선을 이용한 과학조사로 얻을 수 있는 해양어류 자료는 어류플랑크톤 자료, 과학어탐 자료, 트롤을 이용한 시험조업 자료 등이다. 특정어업으로부터 미성어 자료가 생산되는 경우도 있지만, 일반적으로 낚시, 소규모어업, 대규모어업은 일정 수준 이상의 체장이 되어야 어획이 가능하기 때문에 미성어 자료 수집에는 부적합한데 과학조사는 불충분한 미성어 정보를 보완하는 중요한 수단이다. 이와 같은 해양조사를 통하여 해양어류의 종류, 분포, 이동, 회유, 연령, 먹이, 포식자, 성장, 성숙, 자원량, 가입량 등의 생물 생태학적, 수산학적 파라메타가 추정될 수 있다. 해양생물에 대한 직접적 과학조사의 필요성은 많은 과학자들이 공감하고 있으나, 해양에 서식하는 어류는 광범위한 지역에 퍼져 있고, 발달단계별/생활사별로 이동하기 때문에 전수조사가 어렵고 해양조사에 많은 시간과 경비가 들어 실제 수행에는 어려움이 많았다. 하지만, 1970년대 이후 탐사기술의 진보와 이론의 진전으로 직접적 해양조사가 선진국을 중심으로 활발해졌다.

과학자들은 미리 준비한 채취 지침서에 의하여 해양어류를 채집한다. 해양어류의 알과 자치어인 어류플랑크톤(ichthyoplankton)의 경우, 국내 주요 연구기관들과 대학에서 다양한 분야의 연구를 위하여 채집하고 있다. 형태적으로 구분이 어렵고 전체 생활사 기간 중 상대적으로 일부 시기를 차지하는 어류 난과 자치어 분류자료의 정확도와 신뢰도 향상은 해양생물학적, 생태학적, 수산자원학적, 수산해양학 등 다양한 학문과 관련하여 중요하다. 예를 들면, 기아, 포식, 해류에 의한 수송, 적정서식환경의 변화 등 다양한 이유로 해양어류는 초기생활사 시기에 높은 사망률을 가지는데 난·자치어 종조성 및 출현량 변동은 각 어종별 가입량과 산란자원량 변동을 추정하는 연구에 이용되고, 난·자치어의 시·공간적 분포 자료는 어종별 산란수심, 산란장과 성육장을 밝히는 연구와 어종별 산란시기 변화 연구에 활용된다(Lasker, 1985; Kim and Zhang, 1994; Matarese *et al.*, 2003; Houde, 2008; Chambers and Trippel, 2012; Asch, 2015; Somarakis *et al.*, 2019). 어류의 알과 자치어를 채집하기 위해 특별히 기구를 제작하기도 하지만 대부분의 경우는 동물플랑크톤을 채집하면서 함께 채집한다. 채집된 알과 자치어는 동물플랑크톤과 분리되어 동정, 계수과정을 거치는데, 채집과정부터 자료의 표준화까지 매뉴얼을 바탕으로 일관성 있는 처리 과정이 적용되어야 한다. 해양어류의 채집을 위하여 가장 많이 수행되는 조사는 저층트롤조사인데, 어업인들에 의한 조업결과와 달리 과학적 조사에서는 어획자료에 대한 정량화 연구가 가능하다. 과학어탐 방법의 경우에는 음파에 의한 수치 자료가 생성되는데, 해양에서의 실험장비의 보정과정과 트롤조사 결과와의 비교를 통하여 음파 자료의 합당성이 부여된다.

4. 해양어류 자료 한계와 개선방안

해양어류는 전 생활사에 걸쳐 다양한 방법으로 채집된다. 플랑크톤 연구로부터 알과 자치어가 채집되며, 어업활동과 연구선에 의한 직접조사로부터 미성어와 성어가 채집된다. 해양어류에 대한 자료 취득방법의 한계점과 취득되는 자료의 질을 개선하기 위한 방법을 살펴본다.

4.1 개인과 소규모어업에 의한 자료

4.1.1 한계점

우리나라에서는 낚시인에게 조획량 보고의 의무가 없으므로, 조획한 어종에 대한 과학적 정보 수집에 관한 세부기준이 없다. 낚시인 개인이 생산하는 자료는 체계적 수집 원칙이 결여되어 있고, 개인의 주관적 행위와 판단에 의하여 자료가 수집될 수 있기에 이러한 자료를 해석하고 활용할 때에는 세심한 주의가 필요하다. 현재까지 일부 연구에서 수행한 낚시 어획량 추정에 따르면 우리나라의 연간 낚시조획량은 11-23만 톤에 달하는 것으로 추정되었다(MOF, 2014; MOF, 2016).

소규모 영세어업인이 밀집한 연안어업에 대한 정량적 또는 정성적 자료를 직접 수집하는 것은 인력과 비용이 크게 소요되기 때문에 제대로 진행되기가 쉽지 않다. 현재 우리나라에서는 5톤 이상의 어선과 5톤 미만이라도 특정어업들은 조업 위치와 어종별 어획량을 어업보고서에 기록하여 보고해야 한다. 하지만 어획량 보고 없이 버려지거나 또는 소매매를 통해서 판매되고 불법적 어업으로 어획량이 누락되는 경우가 발생하면 어획량 조사통계의 정확도와 신뢰도 형성에 부정적인 영향을 줄 수 있다.

4.1.2 개선방안

낚시 인구가 증가하고 낚시활동이 수산자원에 미치는 영향이 증가함에 따라 낚시활동(낚시인 및 낚시어선)에 의해 채취·포획한 어종, 조획량(어종수와 무게), 개체별 크기, 조획위치, 조획기간 등을 보고하는 것을 의무화하고 과학적인 통계 자료를 수집할 수 있도록 구체적인 기준을 마련해야 한다. 미국의 경우, 중앙정부기관인 국립해양대기청(NOAA)과 주 정부가 연

계하여 바다낚시정보프로그램을 통해 바다낚시에 대한 통계자료를 수집하고, 이를 상업어업으로 취득된 자료와 독립된 연구로부터 얻은 생물학적 자료를 함께 취합하여 수산자원 평가에 반영하고 있다(<https://www.fisheries.noaa.gov/recreational-fishing-data/recreational-fishing-data-and-statistics-queries>). 최근에 들어와 우리나라에서도 낚시 활동으로부터 취득한 통계자료를 수산자원관리에 이용하기 위하여 낚시 관련 정량 자료 수집을 위한 시범조사를 실시하고 통계청과 협력하여 국가승인통계로 지정하여 관리하려는 계획을 수립하였다(MOF, 2020).

사매매에 의한 어획량 보고 누락현상을 해결하기 위하여 어획된 수산물 거래 시 보고를 의무화하는 제도 마련이 필요하다. 판매를 하는 어업인 뿐만 아니라 구매하는 유통업자(또는 소비자)가 매도인/매수인 정보, 매매어종, 매매량, 판매금액 등을 신고하는 의무를 부과하는 규칙조례와 법규를 마련할 필요가 있다. 미국에서는 어획물 구매 보고서를 어선으로부터 처음으로 어획물을 구매하는 사람이 기록하고 제출해야 하는 것을 의무화하고 있다. 구매량, 선어, 냉동 등 구매한 어획물 상태, 사용된 어구, 어장번호, 구매일자, 판매자와 구매자 정보, 가격 등을 기재한다(Lee, 2017). 따라서 어획물 유통량에 대한 정보수집이 체계화되면 어업허가자료, 어업인의 조업일지 및 어획량보고 자료, 양륙항에서 수산자원조사원에 의한 자료들의 교차 검증 과정을 통하여 어획량 자료 통계수집 문제를 해소하고 통계량의 정확도와 신뢰도 향상에 큰 도움이 될 수 있다.

4.2 대규모어업 활동에 의한 자료

4.2.1 한계점

기업형 상업어선으로부터 수집되는 어류 종류는 어업에 따라서 어획 방법이 아주 다양하다. 근해어업에서 생산되는 어업 자료는 한반도 주변 해양어류 자원의 분포와 풍도 상태를 파악하는데 중요한 자료로 이용되고 있지만, 어획은 선장의 주관적 경험으로부터 어로 행위가 결정되기 때문에, 생산되는 자료는 편향(bias)될 가능성이 크다. 또한, 급격한 어로기술의 진보는 과거와 현재의 자료가 동일한 기준에서 비교되기 어렵게 만들었다. 그리고 상업어업 활동이 갖는 시기적, 지역적 한계성 때문에 어로가 발생한 해역은 어류의 전 분포 범위에 비해 상대적으로 좁을 수밖에 없어 대상 생물에 대한 생물학적, 생태학적 특징을 대표하는 데는 한계가 있다는 점이 단점으로 지적된다.

국가의 공식적인 어획량 자료는 통계청에서 얻을 수 있다. 하지만 통계청에서 다루는 자료는 수협에서 위판되는 수산물 자료이기 때문에, 수협에 보고되지 않았거나 수협을 통하지 않고 통신판매(인터넷, 개인 판매자) 되는 수산물은 누락될 가능성이 있다. 상업어업의 경우에는 대부분 목표 어종이 정해져 있으므로 부수어획종에 대한 보고는 부실할 수 있다. 특히 경제적 가치가 낮은 부수어종의 경우는 해양에서 폐기되는 경우가 많다. FAO 최근 통계에 따르면, 2010년부터 2014년까지 전 세계 해양포획어업에 의한 연간 폐기량은 910만 톤(95% 신뢰구간: 670 - 1,610만 톤)이었으며, 이는 같은 기간 동안 전 세계 연평균 어획의 10.8%에 해당된다(FAO, 2019). 또한, 해양에서의 불법적 어업활동은 어류자료 수집을 더욱 부실하게 만드는데, 세계적으로, 연간 최대 2,590만 톤으로 추정되는 어류가 불법·비보고·비규제(Illegal-Unreported-Unregulated, IUU) 어업으로 어획되고 있다(FAO, 2016). 그래서 각 RFMO는 IUU 어업을 방지하기 위한 강력한 감시체계를 운영하고 있다. 항공기와 경비선을 이용하여 해양에서 불법어업활동을 감시하기도 하며, FAO의 항만국 조치협정(Port State Measures Agreement)을 통하여 불법어업이 의심되는 선박에 대하여 입항, 항만 서비스(하역, 환적, 연료·물자공급, 정비 등)와 사용 등을 제한하기도 한다.

4.2.2 개선방안

해양어류는 복잡한 생활사 동안 장거리 회유하는 종이 많으므로, 양질의 자료를 확보하는 것이 쉽지 않다. 또한, 수산활동의 관점에서 어류의 생산부터 소비자의 식탁에 이르는 모든 과정을 조절하는 것이 현재 상황에서는 불가능하므로, 수산자원

관리에 필수적 요소인 현장에서의 정확한 어업 자료와 관련된 정보에 제한하여 관리를 시작하는 것이 현실적 대안이다. 따라서 선진국에서 보편적으로 시행하고 있는 선상관찰자 제도와 어선에서의 활동을 세밀히 기재하는 로그북 기록 제도는 정부가 의지를 가지고 지속적으로 추진해야 한다. 그와 더불어, 정부는 인공지능(Artificial Intelligence, AI) 기술을 이용하는 선상 모니터링 장비를 개발하여 부족한 어획정보를 보완하여야 한다. 어선에 감시 카메라를 설치하고, 이를 머신러닝 과정에 익숙한 컴퓨터와 연결함으로써, 그물의 모양, 크기 등을 감안하여 어획량을 산출하여 이 결과를 위판장 자료와 비교함으로써 선상관찰자의 역할을 대신하게 한다. 하지만, 아직 부수어획종 기록, 생물자료의 획득 등의 선상관찰자의 업무를 완전히 대체하기는 어렵다. 국외에서는 인공지능 기술을 어획자료 수집에 적용하기 위해 다양한 시도를 하고 있다. Yusup *et al.* (2020)은 인도네시아 열대 산호초 해역에 서식하는 어류 24종 이미지를 학습한 인공지능을 실시간 동영상 분석에 적용하여 평균 82.82%(최소 68.18%, 최대 90.70%)의 정확도로 어종을 구분하였다고 보고하였다. 또한, 미국에서는 해양환경을 위한 비디오와 이미지 분석기법(Video and Image Analytics for Marine Environments, VIAME)을 이용하여 해양조사기간에 실시간으로 촬영한 동영상으로 가리비의 자원량추정을 시도하였고, 베링해 명태조사에서는 어종판별과 개체크기를 측정하여 자원량 추정에 사용할 수 있는 자료를 생산하였다(Michaels *et al.*, 2019). 그리고 노르웨이에서는 트롤어망에 부착하여 어망으로 들어오는 모든 물고기를 카메라를 이용하여 종을 식별하고 크기를 측정하는 다음, 어획대상이 되는 어류는 그물 속으로 유입되도록 하고 어획대상이 아닌 어류는 어망 밖으로 빠져나가게 하여 목표어종만을 어획하도록 하는 장치를 개발하였다(<https://deepvision.no/deep-vision/deep-vision>). 최근 우리나라에서도 ‘AI기반 스마트 어업 관리 시스템’(예, 선상 전자어획보고, 어선용 AI 옵서버, 육상용 AI 옵서버, 빅데이터 기반 통합 스마트 어업관리 시스템 구축 등)을 개발하고 적용하고자 노력하고 있다. 향후, 4차 산업혁명 기술이 보편화되면서 실시간 해양어류 어획추적시스템을 개발하고, 수집된 과학 정보와 자료를 공유하고, 누구나 차별이 없이 동등하게 접근할 수 있는 국제적 차원의 해양지식 데이터베이스를 구축하는 것이 중요하다(IAP, 2021). 양육항에 도착되는 어류에 대한 공개 가능한 정보, 즉 어종, 어획 장소와 방법, 양육항, 공급망 등을 공유할 수 있도록 한다. 아울러 해양어류 채집자료를 한데 모아서 일반인에게 공개하고, 그 자료들을 표준화/정량화하여 서비스를 한다면 많은 연구자들이 손쉽게 연구할 수 있는 기반을 마련할 수 있을 것이다.

4.3 연구선에 의한 자료

4.3.1 한계점

여러 채집방법에 의하여 어류가 수집되면, 과학자들이 이들에 대하여 분류학적 판정을 내리는 것이 어류자료 관리의 첫 번째 과정이다. 어류는 생활사가 다양하기 때문에, 알부터 성어에까지 다양한 형태의 시료가 채집될 수 있다. 성어의 경우, 비교적 쉽게 어류의 생물조직과 채집정보가 종별로 구분되어 정리될 수 있으나, 알과 자치어의 경우 현장에서 분류를 정확하게 하기 쉽지 않으므로 적절한 고정(fixation) 과정을 거쳐 실험실로 시료를 운반한 후, 분류학자들에 의해 동정이 이루어진다. 알에서 부화한 유생은 계속 성장을 하면서 형태가 바뀌는데(Fig. 2), 학자에 따라서 유생(larva)을 구분하는 명칭이 다르므로 주의를 요한다(Kendall *et al.*, 1984; Fig. 3). 미성어 시기가 되어야 비로소 성어가 가지는 형태와 특징이 나타나기 때문에 자어와 치어의 어종 분류는 쉽지 않다(Kim and Zhang, 1994).

연구선에 의한 조사가 과학적 방법에 의하여 수행된다고 하더라도, 어류를 채집하는 기기들이 가지고 있는 일반적 문제점, 해양생물의 분포 특징과 채집결과에 대한 해석, 해양조사가 가지는 근본적 오차, 채집 정점의 수 등에 대한 고찰이 필요하다. 즉, 채집 기기에 관한 문제로 기기의 적용가능성(availability)의 문제, 기기의 취약성(vulnerability) 문제, 기기의 선택성(selectivity) 문제가 있다(Kim, 1991). 이러한 문제는 어류플랑크톤 조사법, 과학어탐법, 트롤조사법 등 모든 과학조사 방법

에서 공통적으로 나타나는 문제점이다. 또한, 해양어류는 대부분 밀집(patch) 분포를 하므로 채집을 되풀이한다고 하더라도 분산값(variance)의 폭이 커지며, 분산값이 높게 나타나는 임의오차(random error)가 발생한다. 이와 더불어, 연구자의 주관적 판단과 채집장비의 문제로부터 구조적 오차(systematic error)가 유발되기도 한다.

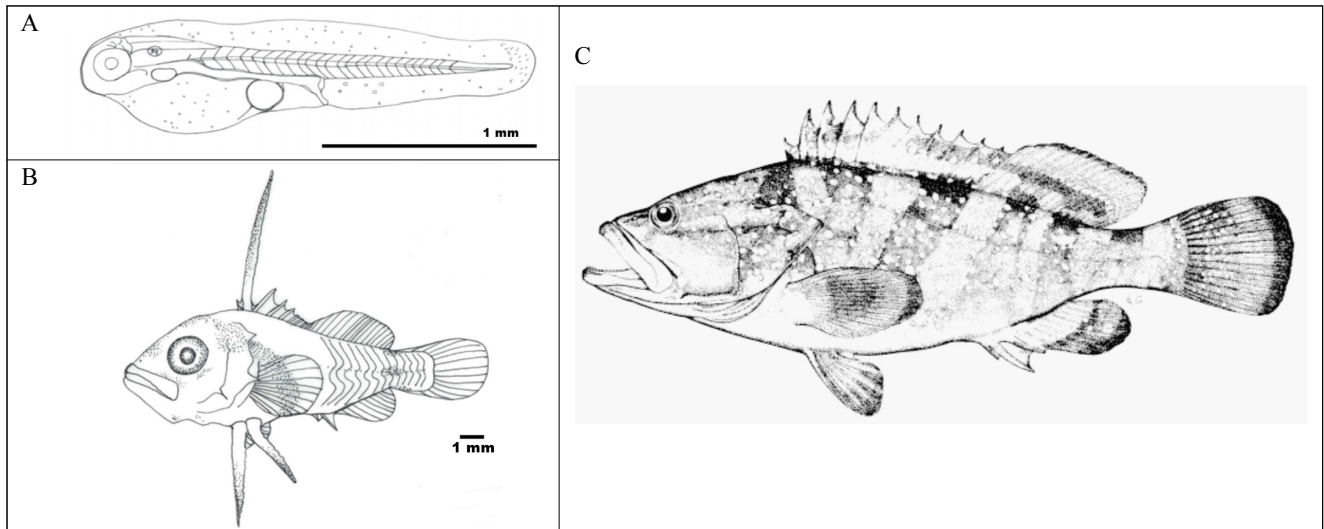


Fig. 2. Morphological change by growth of the red spotted grouper, *Epinephelus akaara*. A: Newly hatched pre-larvae were 2.10 mm TL (Park *et al.*, 2016), B: Post-larvae at 34 days after hatching were 14.9 mm TL (Park *et al.*, 2016), C: Adult fish 232 mm SL (Heemstra and Randall, 1993).

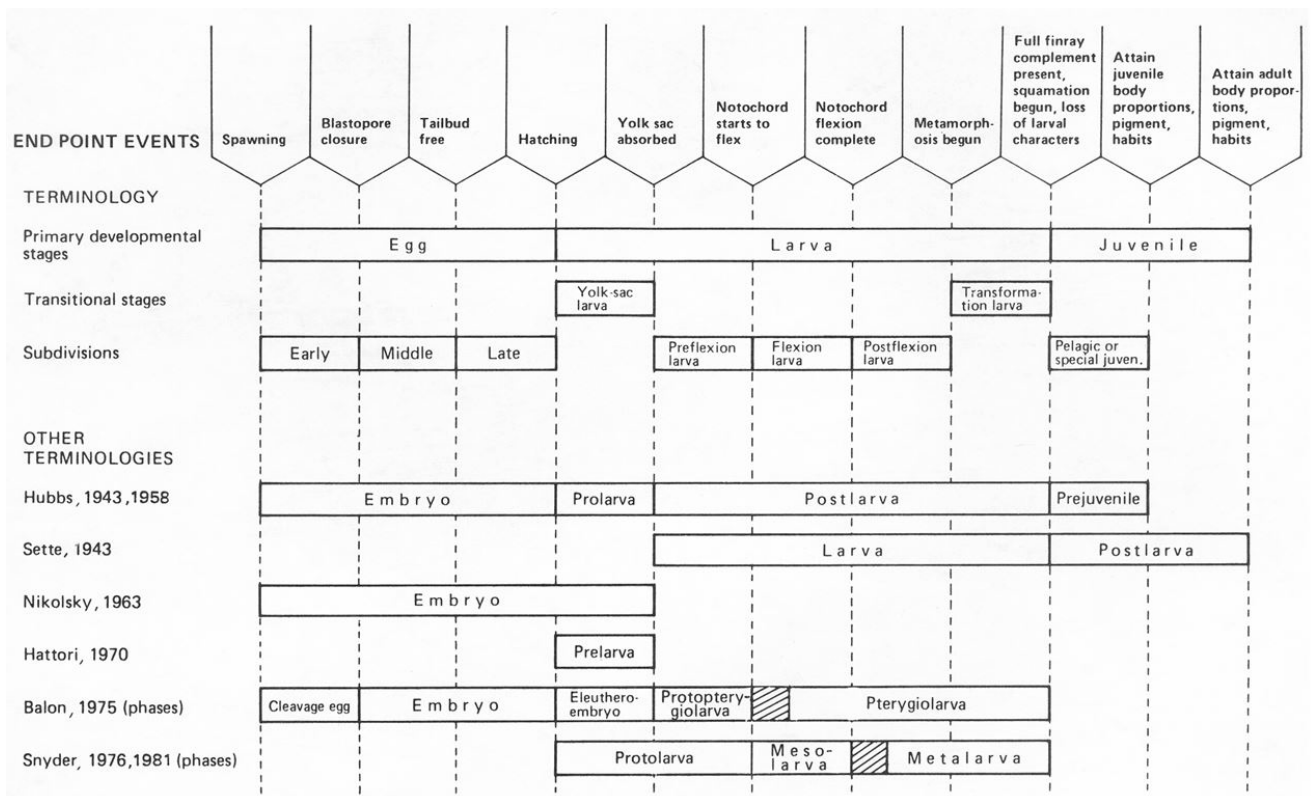


Fig. 3. Terminology of developmental stages of fishes (Kendall *et al.*, 1984).

4.3.2 개선방안

어류의 알과 자어의 분류를 정확하게 수행하기 위해서는 종별로 오랜 관찰을 통하여 각 생활사 단계에 따라 외부 형태의 특징, 해부를 통한 내부 조직과 기관의 정확한 발달상태를 잘 기술해 놓은 분류자료가 준비되어야 한다(Strauss and Bond, 1990). 최근에는 형태관찰 방법 뿐만 아니라 유전자(DNA)의 차이를 파악하고, 생리학적 특징, 행동특징, 채집된 장소의 생태학적 자료와 같은 다양한 자료를 교차 검증하여 종 분류의 정확성을 높이고 있다. 또한, 한 기관 혹은 한 국가에서 모든 어종을 분류하는 작업을 할 수 없으므로 각 지역 연구소의 분류 전문가와 특정 어종을 잘 아는 분류 전문가의 협업을 통해 분류 자료를 공유하고 훈련하는 체제가 마련되어야 한다(FAO, 2013).

북동대서양 연안국에서는 알과 자치어의 분류에 여러 명의 분류학자들이 시료(sample)를 서로 교환하여 형태 특징을 확인하여 종을 판단하는 체계가 구축되어 있다. 어류의 분류를 수행하는 연구소 혹은 연구실 내부적으로 2~3명의 전문가를 확보해야 어류 분류의 정확성을 담보할 수 있는데, 이들 전문가의 숙련도를 향상시키기 위하여 ‘북동대서양 해양생물분석품질 관리계획(NE Atlantic Marine Biological Analytical Quality Control Scheme, NMBAQC)’에서는 6개 영역(Epibiota, Fish, Invertebrates, Macroalgae, Particle size Analysis, Phytoplankton, Zooplankton)에 대하여 품질보증(Quality Assurance, QA) 프로그램을 시행한다. 영국 정부에서 수행하는 연구에 참여하고자 하는 연구소, 연구실, 대학, 사업체 등은 NMBAQC에서 시행하는 다음과 같은 분석품질관리계획(analytical quality control scheme)에 참여해야 한다(<http://www.nmbaqcs.org>).

어류에 대한 분석품질관리 테스트는 두 가지 인데, 첫 번째는 NMBAQC 에서 제공하는 표준 시료(어류 15종)의 사진, 실물 시료를 이용하여 해당 어종을 동정 및 분류하는 Ring Test 이다. 본 테스트에서 요구하는 것은 어류 동정 및 분류 실무자의 숙련도 향상이므로 오답이 제출된 어종은 표준 시료 어종과 오답으로 제출된 어종의 다른 점을 하나하나 확인할 수 있도록 사진과 자료를 제공해주고, 향후 같은 어종에 대한 확실한 동정이 가능하도록 가이드를 제공한다(Duncombe-Smith and Hall, 2021). 두 번째 테스트는 Reverse Ring Test로서, 본 프로그램에 참여하는 대학 연구실, 연구소, 사업체가 채집하였으나 정확한 동정이 어려운 시료를 NMBAQC에 제공하고, NMBAQC의 분류 전문가가 동정 및 분류를 확실하게 한 다음, 해당 시료를 NMBAQC에 참여하는 연구소, 연구실, 사업체의 분류전문가들에게 시료로 제공한다. 첫 번째 테스트와 마찬가지로 오답에 대하여 분류를 위한 가이드를 제공하여 향후 같은 어종에 대한 분류에 도움이 되도록 한다(Duncombe-Smith and Hall, 2021). NMBAQC의 생물에 대한 분석품질관리계획은 일면 국내에서 시행되는 해양화학, 해양지질 분야의 QC를 위한 테스트와 비슷하지만, 합격과 불합격으로 기준을 나누지 않고 지속적으로 어종 분류를 위한 시료를 제공하고 어류의 분류와 동정 업무를 위한 전문적인 도움과 가이드라인은 제공하여 전체적인 어류 분류의 정확성을 높이는데 기여한다. 국내 전문가에 의한 어류 알과 자치어의 동정 및 분류는 각 연구실에서 단일 혹은 두 명 정도 연구자가 형태특징을 이용하여 수행하는 경우가 대부분이었다. 최근에는 유전자 분석을 통한 종 판별을 우선시하는 경향이 생겨나면서 연구자들 사이에 종 분류 결과 검토와 의견교환이 활발해지고 있다. 실무자의 숙련도 향상과 분류자료의 신뢰성 제고를 위해 유럽의 NMBAQC의 Ring Test, Reverse Ring Test와 같은 체계 구축이 필요하다.

연구선을 이용한 해양과학조사는 대부분의 연구기관이 표집방법에 대한 매뉴얼을 만들어 자료를 생산하고 있다. 양질의 생물자료를 확보하는 과정은 여러 단계를 거치는데, 먼저 해양조사를 시작하기 이전에 조사계획서를 작성하고, 채집 정점과 방법을 명확하게 기술한다. 해양에서 많은 수의 조사정점을 무작위로 선정하면 이상적이긴 하지만 연구사업의 예산문제로 제약이 있다. 일반적으로 어류의 밀도가 높은 곳에서는 조사정점을 조밀하게 하여 표집 노력을 최대로 할당하고, 밀도가 낮은 곳에서는 정점 간의 간격을 넓히는 층별표집(stratified sampling) 방법을 시행함으로써 임의오차를 줄인다. 또한 층 구역에 따라 각 층에서 무작위채집을 할 것이지, 아니면 체계적 표집방법(systematic sampling)을 할 것인지 정하는데, 전자가 오

차를 줄일 수 있는 방법이긴 하지만, 보통 시간과 편리성을 고려하여 후자를 선호한다. 그리고 현장에서 사용할 기기에 대한 보정작업을 조사 이전에 수행함으로써 관측치의 정밀도를 높인다. 또한 채집 기기의 적용가능성, 취약성, 선택성에 대한 세 가지 문제점은 해양에서의 관찰이나 실험을 통하여 생물의 습성을 파악함으로써 개선될 수 있으므로, 어류생물학 연구가 병행되어야 한다. 이렇게 채집 장비를 올바르게 선정하거나, 채집 계획을 정확히 준수하여 구조적 오차를 줄인다.

5. 제 언

비록 어류자료의 수집이나 정도관리에 어려움이 있더라도, 지속적으로 일관성 있게 수집된 어류자료는 해양생태계의 변화를 파악하고 생물다양성 보전 및 지속가능한 생태계서비스를 유지하기 위한 근거를 제시할 수 있으므로 해양의 비생물적 자료들에 못지않게 중요하게 다루어져야 한다. 해양어류 자료의 정도관리는 채집방법, 수집체계 및 관리 등 다양한 분야에서 수행되어야 하는데, 국가가 주도하여 학계와 이해당사자의 의견을 수렴하고, 과학적 자료수집과 체계적인 분석방법의 개발, 신뢰성 높은 자료의 생산을 목표로 해야 한다. 해양어류 자료의 정도관리를 위하여 아래의 사항을 제안한다.

- (1) 자료저장 체계의 구축: 미래를 위한 해양어류자료 수집계획을 설정하는 것도 중요하지만, 현재까지 수집된 자료를 체계적으로 정리하여 앞으로 수집하는 해양어류관련 자료의 종류와 범위를 설정하는 기초연구가 필요하다. 한반도 주변의 해역은 1000여 종 이상의 어류가 서식하여 생물다양성이 높은 해역으로 알려졌는데, 제주 해역에서 612종, 동해 439종, 서해 304종, 남해에서 301종이 보고되었다(Kim and Ryu, 2016). 지난 100년 동안 국내 여러 대학과 연구소에서 지속적으로 해양어류 자료를 수집하고 분석하였으나, 그 자료에 대한 사후관리가 부실하여 한 번 사용한 이후에는 사라져서 다시 찾을 수 없는 자료가 많았다. 대부분의 해양조사 사업과 관련 연구들은 국가지원으로 이루어지는 만큼, 국내의 대학과 연구소에서 활동하는 연구자들이 채집한 자료를 한 기관에서 모아 일관된 방법으로 자료를 처리하고 저장·보관하는 서비스 체계를 구축하는 것이 권장된다. 또한, 해양어류의 체장, 체중, 생식소 무게, 이석 등 생물측정자료도 한 기관에서 통괄적으로 저장·보관·서비스하여 자료를 필요로 하는 연구자들에게 쉽게 제공하여 사용할 수 있는 시스템이 구축된다면 보다 다양한 연구에 도움이 될 것으로 생각된다.
- (2) 자료수집 프로토콜의 지속적 개선: 해양조사 활동으로 수집된 어류 알, 자치어, 성체의 자료들은 연구기관 혹은 연구자에게 귀속되어 보관되는 경우가 많다. 또한 여러 기관에 의해 일관되지 않은 방법으로 채집하고 정리된 자료를 정량 및 통계분석에 활용하고자 할 때에는 채집방법의 상이함과 자료의 불균질성으로 인하여 어려움을 겪게 된다. 해양어류 조사를 하는 연구자들은 연구의 목적에 맞는 현장 매뉴얼을 준비하여 시료의 채집 방법을 엄격하게 준수해야 한다. 해양생물자료의 경우에는 구 목적에 따라 채집 방법과 자료의 분석 방법이 많이 달라서 하나의 자료로 표준화하기에 어려운 점이 있다. 따라서 해양조사에서 일관된 방법을 제시하기 위하여 해양어류자료를 채집하기 위한 프로토콜을 개발 혹은 보완할 필요가 있으며, 국내에서 어류 알과 자치어 분류에 대한 정도관리의 시발점에서 알과 자치어의 발달단계에 따른 명칭을 협의에 의하여 재정립하여 연구자들이 생성하는 자료의 혼동을 줄일 필요가 있다. 수서환경에서 채집된 자치어를 연구하는 학자의 수는 적지만 어류양식 분야에 많은 인력이 종사하고 있으므로 연구자들은 이들과 연계하여 어류의 알과 자치어의 발달단계별 명칭을 확정하여 미래 연구자들이 생성해내는 자료에 동질성을 도모하여야 한다.
- (3) 글로벌 네트워크 참여: 해양에서 채집된 알과 자치어의 동정 및 분류를 위해 글로벌 네트워크 체계를 만들 필요가 있다. 한 기관에서만 판단하는 것 보다 북동대서양의 NMBAQC와 같이 두 명 혹은 두 기관 이상의 전문가의 검수를 받는 체계를 우리나라 주변국들의 전문가들과 함께 구축하여 분류의 정확도를 향상시킬 수 있도록 한다. 최근에는 형태적으로 명확하게 분류되지 않는 어류의 알과 자치어는 유전학적 방법을 이용하여 빠르고 정확하게 판단하는 경우가 많은데, 국제적

데이터베이스와의 비교를 통하여 미기록종·신종을 빠르게 확인할 필요가 있다. 유전자를 이용한 동정 및 분류 방법이 간편하고, 빠르고, 확실한 결과를 얻을 수 있지만, 크기가 작은 어류의 알과 자치어는 유전자 분석을 시도하면 해당 개체(시료)가 사라지게 되므로 형태 특징을 이용한 동정 및 분류를 여러 번 시도한 다음에 확인용으로 사용하는 것이 바람직하다.

사 사

이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2020R1A6A3A01099937). 논문을 심사해주신 심사위원들과 평가위원께 감사드립니다.

참고문헌(References)

- Asch, R.G., 2015. Climate change and decadal shifts in the phenology of larval fishes in the California Current ecosystem. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **112**(30): E4065-E4074.
- Chambers, R.C. and E.A. Trippel, eds., 2012. Early life history and recruitment in fish populations (Vol. 21). Springer Science & Business Media, 596 pp.
- Duncombe-Smith, S. and D. Hall, 2021. NE Atlantic Marine Biological Analytical Quality Control Scheme. Scheme Operation 2020/2021 (Year 27). A report to the NMBAQC Scheme co-ordinating committee, 16 pp.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2013. Fish identification tools for biodiversity and fisheries assessments - Review and guidance for decision-makers. *FAO Technical Paper 585*, 118 pp. <http://www.fao.org/3/i3354e/i3354e.pdf>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016. The global record of fishing vessels, refrigerated transport vessels and supply vessels (global record), 6 pp.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2019. A third assessment of global marine fisheries discards. *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 633*. Rome, FAO, 78 pp.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome, FAO, 224 pp. Available online; retrieved June 9, 2020: <https://doi.org/10.4060/ca9229en>.
- Heemstra, P.C. and J.E. Randall, 1993. *FAO species catalogue*. Vol. 16. Groupers of the world (Family Serranidae, Subfamily Epinephelinae). An annotated and illustrated catalogue of the grouper, rockcod, hind, coral grouper and lyretail species known to date. *FAO Fisheries Synopsis*. No. 125, Vol. 16. Rome, FAO, 382 pp.
- Houde, E.D., 2008. Emerging from Hjort's shadow. *J. Northw. Atl. Fish. Sci.*, **41**: 53-70.
- Inter Academy Partnership, 2021. IAP Statement on Protection of Marine Environments. Inter Academy Partnership. Rome, 6 pp.
- Intergovernmental Oceanographic Commission, 1993. *Manual of quality control procedures for validation of oceanographic data*. Paris, France, UNESCO, 436 pp. DOI: <https://doi.org/10.25607/OBP-1416>.
- Intergovernmental Oceanographic Commission, 2010. *GTSP Real-Time Quality Control Manual*. Revised edition 2010. Paris, France, UNESCO, 7 pp. & Annexes. DOI: <https://doi.org/10.25607/OBP-1425>.
- Kendall, A.W., E.H. Ahlstrom and H.G. Moser, 1984. Early life history stages of fishes and their characters. In: Moser, H.G. *et al.*, (eds.) *Ontogeny and Systematics of Fishes*, p.11-22. Spec. Publ. 1, Am. Soc. of Ichthyol. and Herp.
- Kim, J.-K. and J.-H. Ryu, 2016. Distribution map of sea fishes in Korea. Maple Design. Busan, 668 pp. (written in Korean)
- Kim, S. 1991. Fish stock assessment. Woosung Publishing Co. Seoul, 175 pp. (written in Korean)
- Kim, S. and C.I. Zhang, 1994. Fish Ecology. Seoul press. Seoul, 273 pp. (written in Korean)
- Kim Y.O., 2020. Quality Control on monitoring of marine Ciliates. In: Proceedings of the Korean Society of Oceanography Conference (SC05, p. 82). November 2020. (written in Korean)

- Korea Maritime Institute, 2019. A Study on Measures for Effective Implementation of Recreational Fishing, 193 pp. (written in Korean)
- Lasker, R., 1985. An egg production method for estimating spawning biomass of pelagic fish: application to the northern anchovy, *Engraulis mordax*. NOAA Technical Report NMFS 36., 105 pp.
- Lee, J., 2017. A Study on the US Fishing Performance Management System. J. Kor. Soc. Fish. Mar. Edu., **29**(4): 1178-1187. (written in Korean with English abstract)
- Matarese, A.C., D.M. Blood, S.J. Picquelle and Jan L. Benson, 2003. Atlas of abundance and distribution patterns of ichthyoplankton from the northeast Pacific Ocean and Bering Sea ecosystems based on researched conducted by the Alaska Fisheries Science Center (1972-1996). NOAA Prof. Paper NMFS 1, 281 pp.
- Michaels, W.L., N.O. Handegard, K. Malde and H. Hammersland-White (eds.). 2019. Machine learning to improve marine science for the sustainability of living ocean resources: Report from the 2019 Norway - U.S. Workshop. NOAA Tech. Memo. NMFS-F/SPO-199, 99 pp. <https://spo.nmfs.noaa.gov/tech-memos/>.
- Miloslavich, P., N.J. Bax, S.E. Simmons, E. Klein, W. Appeltans, O. Aburto-Oropeza, M. Andersen Garcia, S.D. Batten, L. Benedetti-Cecchi, D.M. Checkley Jr and S. Chiba, 2018. Essential ocean variables for global sustained observations of biodiversity and ecosystem changes. Glob. Chang. Biol., **24**: 2416-2433.
- Ministry of Oceans and Fisheries, 2020. Marine and Fisheries Vocabulary Dictionary, 353 pp. <http://www.mof.go.kr>. (written in Korean)
- Ministry of Oceans and Fisheries, 2014. The Plan for Rational Use of Fishing Resources, 186 pp. (written in Korean)
- Ministry of Oceans and Fisheries, 2016. A Study on the Improvement of the Self-Management Fishing System-Part2: Survey on the status of recreational fishing boat industry and restriction standards, 290 pp. (written in Korean)
- Ministry of Oceans and Fisheries, 2020. The 2nd Basic Plan for Fishing Promotion, 30 pp. (written in Korean)
- O'Brien, T.D., 2007. COPEPOD, a global plankton database: A review of the 2007 database contents and new quality control methodology. U.S. Dep. Commerce, NOAA Tech. Memo., NMFS-F/ST-34, 28 pp.
- OECD/FAO, 2020. OECD-FAO Agricultural Outlook 2020-2029, FAO, Rome/OECD Publishing, Paris, 330 pp. <https://doi.org/10.1787/1112c23b-en>
- Park, J.Y., J.K. Cho, M.H. Son, K.M. Kim, K.H. Han and Park, J.M. 2016. Artificial spawning behavior and development of eggs, larvae and juveniles of the red spotted grouper, *Epinephelus akaara* in Korea. Dev. Reprod., **20**: 31-40. DOI: <https://doi.org/10.12717/DR.2016.20.1.031> (written in Korean with English abstract)
- Strauss, R.E. and C.E. Bond, 1990. Taxonomic methods: morphology. In: Methods for fish biology. American Fisheries Society Publication, 704 pp. <https://doi.org/10.47886/9780913235584>.
- Somarakis, S., S. Tsoukali, M. Giannoulaki, E. Schismenou and N. Nikolioudakis, 2019. Spawning stock, egg production and larval survival in relation to small pelagic fish recruitment. Mar. Ecol. Prog. Ser., **617**: 113-136.
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization, 2020. United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021-2030). Available online; accessed May 24, 2020: <https://en.unesco.org/ocean-decade>.
- World Wildlife Fund for Nature, 2020. Living Planet Report - 2020: Bending the curve of biodiversity loss. Almond, R.E.A., Grooten M. and Petersen, T. (Eds). WWF, Gland, Switzerland, 83 pp.
- Yusup, I.M., M. Iqbal and I. Jaya, 2020. Real-time reef fishes identification using deep learning. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci., **429**: 012046.