

## 수산생물병원체의 등급 마련에 관한 고찰

조미영 · 민은영<sup>1</sup> · 최혜승<sup>2</sup> · 정승희<sup>3\*</sup>

국립수산과학원 연구기획과, <sup>1</sup>국립수산과학원 연구협력과, <sup>2</sup>국립수산과학원 병리연구과, <sup>3</sup>국립수산과학원

## Consideration for Classification of Pathogens in Aquatic Animals

Miyoung Cho, Eun Young Min<sup>1</sup>, Hye Sung Choi<sup>2</sup> and Sung Hee Jung<sup>3\*</sup>

Research Planning Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

<sup>1</sup>Research Cooperation Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

<sup>2</sup>Pathology Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

<sup>3</sup>National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea

Even though most of aquatic animal pathogens are considered opportunistic and many pose a low direct risk to personnel, all personnel working with aquatic pathogens and facilities using these organisms must comply with the regulation to prevent the release of the pathogen into the environment and causing disease in aquatic animals. First of all, in order to establish a biosafety system for aquatic pathogen, the list of microorganisms that can infect aquatic animals and humans should be drawn up according to the microorganisms encountered within national boundaries. Second, risk assessment guideline for diseases of livestock and aquatic environment is desperately needed. Third, microorganisms should be classified into risk group based on their potential impact on human and aquatic environment. Fourth, facilities handling aquatic pathogens should ensure that these pathogens are securely contained and safely handled for experimental or commercial development purposes. In conclusion, classification is based on the pathogenicity, mode of transmission and host range of the aquatic microorganisms, availability of effective preventative measures and treatments. Furthermore, risk group of aquatic pathogens should be correlated with physical containment facility requirements according to domestic characteristics.

Keywords: Aquatic microorganisms, Culture collection, Risk group, Biosafety

### 서론

과거에는 코로나19 (COVID-19)와 같은 병원체가 사람이나 동물에게 질병을 일으키는 위험요소로만 인식되었으나, 최근 새로운 질병의 발생이 증가하면서 감염병에 대한 신속한 대처와 예방 및 치료제 개발에 없어서는 안될 필수요소라는 인식이 커지고 있다. 특히, 코로나19 팬데믹 사태를 통해서 병원체차원은 인류가 안전하고 건강한 생활을 영위할 수 있도록 도와주는 보건과 의료기술을 발전시키기 위해서 국가가 반드시 확보해야 하는 핵심요소라는 사실이 입증되었다. 이러한 경향은 글로벌 바이오산업의 확대에도 영향을 미치고 있으며, 가시적으로는 시장 규모에 대한 예측 자료에서도 잘 나타나고 있다. 한 예로, 생명공학정책연구센터(National Institute of Agricultural

Sciences, NBPRC)에서 인용한 MARKETLINE의 예측자료에 따르면 2019년 4,502억 달러 규모였던 것이 연평균 7.4%씩 성장해 2024년에는 6,433억 달러에 이를 것으로 전망되고 있다(NBPRC, 2020). 분야별로는 의료 헬스케어(2,609억 달러(57.9%))로 가장 큰 시장을 형성하고, 그 다음 농식품 분야가 535억 달러(11.9%)로 2위를 차지하고 있다. 국내에서도 바이오산업 부문 총 투자비가 6.3%로 지속적인 증가세를 보이고 있으며, 최근 3년간 시설투자비도 바이오식품(192%), 바이오환경(128%), 바이오의약품(23.7%) 순으로 증가하였다(Ministry of Trade, Industry and Energy, 2019). 미생물소재는 바이오산업 시장의 약 30%를 차지하고 있으며, 이용 기술의 발전과 친환경 소재 및 건강기능성 소재에 대한 수요 증가로 다양한 분야에서 산업적 활용성이 증가하고 있다. 현재 미생물 및 관련 분

\*Corresponding author: Tel: +82. 51. 720. 2114 Fax: +82. 51. 720. 2302

E-mail address: immu2021@naver.com



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.2021.0585>

Korean J Fish Aquat Sci 54(5), 585-595, October 2021

Received 24 August 2021; Revised 17 September 2021; Accepted 28 September 2021

저자 직위: 조미영(연구관), 민은영(연구사), 최혜승(연구관/과장), 정승희(연구관)

야의 세계시장 규모는 연간 100억 달러로 추정되고 있으며, 의약품, 효소, 항생제 개발 등의 막대한 경제적 가치를 창출할 것으로 예측되고 있다(Heo et al., 2016). 미생물 중에서도 병원체 자원은 식품이나 의약, 환경, 에너지 등 다양한 분야에서 활용하고 있으며, 이중 의료기술과 직접적으로 관련된 임상에서의 병원체 활용 빈도는 약 25% 정도로 매우 높은 편이다. 이 중에서도, 병원체를 직접적으로 이용하는 백신산업과 진단키트 시장이 외형적으로 가장 증가하고 있는 분야라고 할 수 있다. 또한, 예로부터 전통적 시장이었던 백신산업 뿐만 아니라 최근에는 진단키트 및 진단제제, 연구·의료 및 산업장비 개발, 치료 의약품 개발, 건강 기능식품 및 기능성 화장품 개발, 소독제 효능 평가, 감염병 연구 소재로서 병원체와 파생물질 제품화까지 아주 폭넓게 형성되고 있다.

## 국내·외 미생물자원의 관리 현황

전 세계적으로 바이오산업의 성장과 미생물자원의 활용성이 확대되는 시점에서 생물다양성협약(Convention on Biological Diversity) 및 나고야의정서(Nagoya Protocol)가 채택되었고, 그 여파로 해외의 미생물자원을 이용하는 것이 현저하게 어려워지면서, 미생물자원에 대한 중요성이 더욱 부각되었다. 결과적으로 각 국가별로 자국이 보유하고 있는 미생물자원의 관리 및 외부 반출에 대한 규제를 강화하게 되었으며, 자국내 고유한 미생물자원을 조사, 발굴 및 확보하는 데에 많은 노력을 기울이고 있다. 2000년까지 국제적으로 공인된 미생물 종수는 약 3,523종이었으나, 미생물 종을 확보하기 위한 각국의 노력으로 매년 350종 이상의 신종이 새롭게 보고되고 있으며, 2016년 12월 기준으로 총 13,317종이 등록되었다(KIOST, 2017).

세계 각국은 일찍부터 국가기관이 직접 혹은 사업지원으로 미생물자원은행을 운영하고 있다. 과거에는 국가연구기관이 자신들의 연구재대로 활용하고자 미생물을 보관하여 이용해 왔지만, 미생물 기능을 이용한 의약·화학품 제조가 사회에 많은 혜택을 가져오기 시작한 시점부터 미생물의 기능을 최대한 발휘하게 하여 산업 이용을 연결시키는 것이 점차 중요하게 인식되었다(Song et al., 2015). 현재, 미생물자원의 확보·관리 및 활용을 목적으로 많은 나라들이 설립한 미생물자원은행의 대부분은 운영의 영속성을 보장하고 공공성을 담보하기 위하여 정부의 지원을 통해 운영되고 있다(NIAS, 2017). 세계미생물자원은행연맹(WFCC, 2021)에서 운영하는 데이터센터의 가장 최근 통계 자료에 의하면, 현재 78개국의 768개 미생물자원센터가 등록되어 있으며 이들이 보유한 자원은 약 14만여점 정도이다(WDCM, 2021).

우리나라는 아시아 국가 중에서는 중국, 일본, 인도에 이어 네 번째로 많은 미생물자원 보유하고 있는 국가이며, 현재 26개의 은행이 17만 5천여점을 보유하고 있다(Table 1). WDCM에 등록된 26개의 국내 은행 중에서 국가가 직접 운영하거나 지정된 은행은 6개에 불과하며, 아직까지 대부분의 은행들은 과

학기술정보통신부(Ministry of Science and ICT) 산하 한국연구재단(National Research Foundation of Korea, NRF) 등에서 예산을 지원받아 대학에서 운영하고 있다(Table 2). 국가가 직접 운영하고 있는 은행은 국립농업과학원(National Institute of Agricultural Science)의 미생물은행(Korean Agricultural Culture Collection, KACC), 국립수산과학원(National Institute of Fisheries Science)의 한국수산미생물자원은행(Korean Culture Collection of Aquatic Microorganisms, KoCAM), 농림축산검역본부(Animal and Plant Quarantine Agency)의 한국수의유전자원은행(Korea Veterinary Culture Collection, KVCC), 국립보건연구원(National Institution of Health)의 국가병원체자원은행(National Culture Collection for Pathogens, NCCP), 한국생명공학연구원(Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology)의 생물자원센터(Korean Collection for Type Cultures, KCTC), 환경부의 국립생물자원관(National Institute of Biological Resources, NIBR)이 있다. 이 중에서 KACC는 농촌진흥청(Rural Development Administration), KVCC는 농림축산식품부(Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs), NCCP는 질병관리청(Korea Disease Control and Prevention Agency), KCTC는 미래창조과학부, NIBR은 환경부(Ministry of Environment)에서 예산을 지원받고 있으나, KoCAM은 국립수산과학원의 자체 예산으로 운영되고 있다. KoCAM은 2006년부터 국내 유일의 수산생물병원체 자원의 확보·관리 및 활용을 위해 운영되던 ‘균주은행(seed bank)’이 그 전신이며, 2021년부터 KoCAM으로 명칭이 변경되었다.

국립수산과학원의 KoCAM을 비롯해, 농림축산검역본부 및 국립보건연구원에서 운영하는 3개의 은행은 병원체자원을 중점적으로 취급하고 있다. 특히, 수산생물병원체 또는 수서환경에서 유래된 미생물자원을 보유하고 있는 은행은 국내에서 KoCAM이 유일하며, 국제적으로도 5개의 은행 밖에 없을 정도로 그 수가 적은 편이다. WDCM에 데이터가 등록된 시점이

Table 1. The status of culture collections and their retention of microorganisms in Asia region (WDCM website, 2021)

	Countries and regions	No. of Culture collections	No. of Cultures
1	China	48	343,831
2	Japan	26	265,863
3	India	33	220,713
4	Korea (Rep. of)	26	175,183
5	Thailand	66	124,509
6	Iran	18	111,949
7	Chinese Taipei	2	75,746
8	Viet Nam	3	10,236
9	Malaysia	13	16,828
10	Indonesia	22	15,774

모두 달라 각 은행이 보유하고 있는 자원수가 현재 보유하고 있는 수량과 차이가 있을 수 있지만, 중국과 우리나라가 가장 많은 수산미생물을 보유하고 있는 것으로 확인되었다(Table 3). 이 중에서도 우리나라의 KoCAM을 비롯해, 중국수산과학원 황해수산연구소(China Marine Microbe collection, CMMC), 호주 타즈매니아 주정부에서 운영하는 타즈매니아 어류세균은행(Tasmanian collection of fish bacteria, TCFB)은 수산생물의 질병에 대한 연구를 전문적으로 수행하는 기관이기 때문에 병

원체 자원의 수집·보관 등 전문은행의 운영이 가능한 것으로 사료된다.

## 해양수산생명자원의 등급 제도

우리나라도 2017년 8월부터 나고야의정서가 발효되었고, 각 부처별로 우리나라의 고유한 생물자원을 확보하고 관리하기 위한 정책을 마련하고 있다. 해양수산부는 2019년부터 해양수산 생명자원을 체계적으로 관리하고 이용하기 위해 국내 자원을

Table 2. The culture collections in Korea

WDCM Number	Name of culture collection	Acronym	Institution
847	Culture Collection of Antimicrobial Resistant Microorganisms	CCARM	Seoul Women's University
997	Culture Collection and DNA Bank of Mushrooms	CCDBM	University of Icheon
896	Culture Collection of Wild Mushroom	CCWM	University of Icheon
903	Center for Fungal Genetic Resources	CFGR	Seoul National University
984	Gyeongsang National University Hospital Culture Collection for Pathogens	GNUHCCP	Gyeongsang National University Hospital
882	Helicobacter pylori Korean Type Culture Collection	HPKTCC	Gyeongsang National University College of Medicine
806	KACC, Korean Agricultural Culture Collection	KACC	National Institute of Agricultural Science
893	KBPV Korea Bank for Pathogenic Virus	KBPV	Korea Bank for Pathogenic Virus
850	Korean Cell Line Bank/ Korean Cell Line Research Foundation	KCLB/ KCLRF	Seoul National University College of Medicine
1178	Korean Collection for Oral Microbiology	KCOM	Korean Collection for Oral Microbiology, School of Dentistry, Chosun University
597	KCTC Korean Collection for Type Cultures	KCTC	Biological Resource Center, Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology
889	Korea National Environmental Microorganisms Bank	KEMB	Kyonggi University
585	Korean Federation of Culture Collection	KFCC	Yonsei University
894	Korea Marine Microalgae Culture Center	KMMCC	Pukyong National University, Dept. of Aquaculture
1234	Korean Culture collection of Aquatic Microorganisms	KoCAM	National Institute of Fisheries Science
998	Korean Lichen & Allied Bioresources Center	KOLABIC	KOLABIC (Korea Lichen and Allied Bioreources Center)
915	Prostate Tissue and microorganism	KPB	Korea Prostate Bank
1147	Korea Standard Test Researcher	KSTR	Korea Standard Test Researcher
954	Korean Veterinary Culture Collection	KVCC	Animal and Plant Quarantine Agency
996	Myxobacteria Bank	MyxoBank	Hoseo Univeristy
852	National Culture Collection for Pathogens	NCCP	National Institution of Health
1116	National Institute of Biological Resources culture collection	NIBR	National Institute of Biological Resources
1064	Polar and Alpine Microbial Collection	PAMC	Korea Polar Research Institute
992	Bacteriophage Bank of Korea	Phagebank	Hankuk University of Foreign Studies
811	Plant Virus GenBank	PVGB	Seoul Women's University
993	Waterborne Virus bank	WAVA	The Catholic University of Korea

분류하는 ‘해양수산생명자원 등급제’(해양수산생명자원의 등급 부여 절차 및 방법 등에 관한 고시)를 제정하였다. 여기에서는 경제적, 생태적, 연구개발 가치 등을 기준으로 해양수산생명자원을 분류함으로써(Table 4), 등급이 높은 자원을 우선적으로 확보하고 국외반출 승인대상으로 지정해 유용한 국내 생명자원의 해외 무단유출을 방지하고 있다. 또한, 해양수산생명자원에 대한 책임기관인 국립수산물품질관리원과 국립해양생물자원관(Marine Biodiversity Institute of Korea)은 ‘국가해양수산생물종목목집’에 수록된 해양수산생명자원 중 등급 부여의 필요성, 시급성 등을 감안하여 해마다 등급부여 대상종을 선정하고 등급부여심의위원회를 구성해 등급을 부여한 후 그 결과를 홈페이지에서 공개하고 있다. 현재 국립해양생물자원관에서는 해양생명자원 통합정보시스템(Marine Bio-Resource Information System, 2021)을 구축하고 자원의 등급과 국외반출 승인대상 목록을 일반인도 쉽게 확인할 수 있도록 ‘지정관리 해양생물’ 누리집서비스(<https://rank.mbris.kr>)를 시작했다. ‘지정관리 해양생물’ 누리집에는 2019년에 수확된 자원 295종에 대한 등급 부여 결과와 2020년 개정된 국외반출 승인대상 1,475종의 목록을 확인할 수 있다. 아직까지 수산미생물자원에 대한 등급 분류는 마련되지 않았다.

앞으로 무한한 가치가 기대되는 미생물자원을 산업적으로 잘 활용하기 위해서는 지속적으로 새로운 미생물자원을 발굴하고, 동시에 수집된 미생물의 유용성을 구명하고 이를 효과적으로 관리할 수 있는 방법들이 마련되어야 한다. 다른 한편으로는 미생물을 활용해, 생물공학 기술을 적용하는 과정에서 인위적인 변화를 가하거나, 잘못된 사용 및 의도적으로 악용할 경우, 관련 산업이나 생태계에 미치는 피해 정도가 매우 크기 때문에

사전에 이러한 위해를 예방하고, 비정상적인 사용을 방지하기 위해 위해도에 따른 분류 및 그에 상응하는 관리 절차도 마련되어야 한다.

### 병원체자원의 안전관리 등급 제도

최근 기후변화 등으로 병원체가 끊임없이 진화하면서 감염병의 발생 양상도 변화하고 있어, 병원체자원의 다양성을 확보하는 것이 무엇보다 중요한 관건이 되었다. 또한, 병원체자원은 유행 양상 및 토착성에 따라 각기 다른 특성을 나타내고 있어, 국가별로 자국민에 적합한 고부가가치 병원체자원의 확보가 필수적이다. 국내에서는 국립보건연구원이 인체유래 병원체를 관리하기 위해 ‘NCCP’를 운영하고 있으며, 농림축산검역본부는 가축병원체를 관리하는 ‘KVCC’를 운영하고 있다. 인체, 가축과 마찬가지로 수산생물에서 질병을 일으키는 병원체는 국립수산물품질관리원 ‘KoCAM’에서 수집, 관리 및 활용체계를 구축하고 있다.

나고야의정서 발효 이후, 병원체자원의 가치가 부각되고, 국외 병원체자원을 활용해 백신·치료제·진단제 등을 개발할 경우 그 소유권(이익)을 자원 제공국가와 공유해야 하기 때문에 국제적으로 자원의 주권을 확보하고자하는 경쟁이 갈수록 치열해지고 있다. 나고야의정서에 가장 영향을 많이 받게 될 분야로 보건의로 산업이 손꼽히고, 병원체자원의 국가 자산화는 국가이권 및 보건의료산업의 국가경쟁력 확보와 직결되는 핵심요소가 될 것으로 예상되었다(Song et al., 2015). 병원체자원에는 감염병을 일으키는 세균·진균·바이러스 및 관련 정보와 병원체로부터 유래한 세포물질·항원·항체 등의 파생물질 및 관련

Table 3. The culture collections of aquatic pathogens and aquatic microorganisms worldwide (WDCM, 2021)

WDCM Number	Name of culture collections	Acronym	No. of strain	Institution
802	Tasmanian collection of fish bacteria	TCFB	850	State Government of Tasmania (Au)
813	Collection of aquatic important microorganisms	CAIM	1,883	Mexico (Gov)
865	China marine microbe collection	CMMC	5,195	Yellow Sea Fisheries Research Institute
981	SUFAK bacterial collection	SUFAKM	250	Istanbul University
1234	Korean culture collection of aquatic microorganisms	KoCAM	4,657	National Institute of Fisheries Science

Table 4. Classification criteria for marine and fisheries bio-resource

Main Category	Economic value (Usability)	Ecological value (Scarcity-Conservation urgency)	Academic value (Research and Development)
	Edible	Legally protected species	Native species
Class (classified into 1st, 2nd, 3rd grades, respectively)	Medicinal	Number of individual (population)	Status of the breed development, and biotechnology Research
	Industrial materials	Growth/Habitat specificity	Connectivity of traditional knowledge
	Use as environment and food	Distributional characteristics (scarcity)	Genetic characteristics
	Ornamental, Landscaping, Cultural	Ecological role in habitat	Intellectual property rights



정보가 포함된다.

병원체를 이용하는 산업과 R&D 연구가 활발해지면서 병원 미생물을 다루는 실험으로 인해 인체에 일어날 수 있는 위험을 방지하고, 발생할 수 있는 사고를 사전에 예방하기 위하여 물리적 장치와 관련 수칙을 준수하도록 해서 사람에 대한 감염을 방지하고자 하는 생물안전의 개념도 강화되고 있다. 즉, 생물안전을 확보하기 위해서는 병원미생물을 취급하는 과정에서 인체에 가해질 수 있는 위험정도에 따라 등급을 구분하고 취급하는 시설의 기준과 운영 조건이 먼저 마련되어야 한다.

우리나라는 병원체의 안전한 사용과 잠재적인 생물재해의 발생을 방지하기 위해 고위험병원체, 생물작용제 및 독소, 가축전염병 병원체 등에 대해 관련 부처에서 각각의 법률을 마련하고 이에 따라 해당 병원체를 관리하고 있다(Table 5). 2018년에는 우리나라에서 처음으로 생명을 다루는 병원이나 연구소에서 위험한 병원체를 안전하게 관리할 수 있도록 6개 부처와 민간협회, 11개 대학의 전문가가 참여해 ‘한국생물안전안내서(Korea biosafety standard and guideline)’를 발간하였으며 2021년에 제2판이 발간되었다(KDCPA, 2021). 이 안내서에서는 병원체 취급기준 및 절차를 표준화하고 국내 생물안전 관리 기술과 관련된 정보와 인체병원체뿐만 아니라 가축병원체에 대해서도 동물질병 원인체별 국내 생물안전등급, 연구자와 기관의 병원체 관리 요령, 해외 사례 및 채취와 운송 등에 관한 규정 등에 관해

아주 상세한 정보를 제공하고 있다. 하지만 국내의 수산식물 및 수산미생물에 대한 별도 규정은 마련되어 있지 않고, 단지 유전자변형생물체 소형 어류 연구시설에 한해 수산동식물 밀폐 실험시설에 대한 설치·운영기준이 마련되어 있다. 수산생물을 대상으로 유전자재조합실험을 하는 경우 ‘유전자변형생물체의 국가간 이동에 관한 법률’에 따라, 대학 및 연구소는 과학기술 정보통신부에, 해양수산부 소속 국공립연구기관은 해양수산부에 연구시설을 신고해야 하며, 개발된 해양수산용 LMO의 환경방출실험을 하는 경우, 해양수산부에 격리포장시설 신고 또는 허가를 받아야 한다(KDCPA, 2018, 2021). 최신 자료집에서는 2018년에 발간된 보고서에 비해 많은 내용이 보강되었지만 여전히 수산생물병원체에 대한 취급기준과 절차에 관해서는 매우 제한된 정보만을 제공하고 있으며, 특히 규제의 대상이 되는 질병은 수산생물질병 관리법에서 규정한 법정전염병에 국한되어 있다. 또한, 생물안전을 위한 수산생물병원체 실험 시 필요한 밀폐시설의 설치운영 기준을 캐나다의 수산생물병원체 실험 시설의 밀폐수준 가이드라인을 참조하여 그대로 안내하고 있어서, 향후 국내 실정에 알맞게 보완하는 작업이 시급하다고 할 수 있다. 우리나라를 포함해 대부분의 국가에서는 인체나 가축에서 질병을 일으키는 병원체에 대해 병원체가 가지는 위험정도를 판정해 등급을 나누고 있다. 세계보건기구(WHO, 2004)는 각 국가의 실정에 따라 미생물을 위험군(risk group) 1-4로 분류

Table 5. Biosafety acts and relevant ministries related to pathogens and toxins in Korea

Name of institute	Name of act	Designated pathogens
Ministry of Health and Welfare (Korea Disease Control and Prevention Agency)	Infectious diseases control and prevention act	36 high-risk pathogens
Ministry of Trade, Industry and Energy	Act on the control of the manufacture, export and import of specific chemical substances and biological agents for the prohibition of chemical and biological weapons	67 biological agents and poisons
Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs (Animal and Plant Quarantine Agency)	Act on the prevention of contagious animal diseases	200 contagious animal diseases

Table 6. Classification of infective microorganism by risk group (WHO, 3rd edition)

Risk group	Definition	Microorganisms
Risk group 1	(No or low individual and community risk) A microorganisms that is unlikely to cause human and animal disease	<i>Escherichia coli</i>
Risk group 2	(Moderate individual risk, low community risk) A pathogen that can human or animal disease but is unlikely to be a serious hazard to laboratory workers, the community, livestock or the environment. laboratory exposures may cause serious infection, but effective treatment and preventive measures are available and the risk of spread of infection is limited	<i>Vibrio cholerae</i> Hepatitis virus
Risk group 3	(High individual risk, low community risk) A pathogen that usually causes serious human or animal diseases but does not ordinarily spread from one infected individual to another. Effective treatment and preventive measures are available	<i>Yersinia pestis</i> SARS virus
Risk group 4	(High individual and community risk) A pathogen that usually causes serious human or animal disease and that can be readily transmitted from one individual to another, directly or indirectly. Effective treatment and preventive measures are not usually available	Ebola virus Lassa virus

하고, 각 위험군에 따라 필요한 생물안전등급(biosafety level, BSL)을 1-4로 규정하여, 등급별로 필요한 실험실 안전기준을 제시하고 각 국가들이 이를 준수할 것을 권고하고 있다(Table 6). 여기서 risk group (RG) 1이 비교적 안전한 그룹이며, RG 4의 경우 극도로 위험한 그룹을 나타내는 것이다. 위험등급을 구분하기 위해서 병원체의 감염 경로, 치료 가능성, 병원성 정도 등이 기준으로 사용되고 있다. 국가별로 위험등급에 대한 분류기준이 조금씩 다른데, 예를 들면 미국국립보건원(National Institute of Health, NIH)의 경우, 사람에 대한 감염성만을 기준으로 하고 있으나, 벨기에의 경우에는 사람을 포함해서, 동·식물에 대한 감염성이 없는 것을 기준으로 위험등급을 규정하고 있다. WHO와 캐나다의 경우에도, 사람과 동물에 대한 감염성의 유무를 기준으로 등급을 나누고 있다(Yoon, 2019).

국내에서 적용되고 있는 인체 병원체와 인수공통감염병의 원인 병원체에 대한 등급 분류도 국제적 기준과 동일하다. 우리나라에서 정부 차원의 공식화된 미생물 분류는 1996년에 고시된 ‘유전자재조합실험지침’을 들 수 있다(Lee et al., 2005). 이 지침은 미국의 BMBL (Biosafety in Microbiological and Biomedical Laboratories)을 기준으로 진단검사의학 전문의의 자문을 거쳐, 우리나라 실정에 맞게 조사 대상 미생물을 선정(144종)하고 위험군을 분류해 마련되었다. 이후, 국내의 실험실 안전수준을 평가하기 위해, 개인보호장비, 생물안전설비, 실험실 구조, 실험실 관리, 생물보장 등 5개 영역, 21개 요소(Table 7)를 기준으로, 우리나라 미생물 실험실의 생물안전 현황을 조사해 세계 보건기구에서 제시한 생물안전등급을 충족하는지에 대한 조사가 이루어졌다. 최근에는 몽골 등 다수의 외국에 지원사업의 일환으로 3등급 생물안전시설을 제공할 정도로 생물안전에 대한

관리체계를 인정받고 있다(Yoon and Lee, 2019)

우리나라는 가축에 질병을 일으키는 병원체에 대해서도 국가 방역 및 국민 보건 등을 고려해 특별관리 병원체, 일반관리 병원체, 기타 병원체로 구분하고 있다(가축전염병예방법, 가축전염병 병원체 등 수의유전자원 관리규정). 특별관리 병원체에는 제1종 가축전염병 병원체와 ‘화학무기·생물무기의 금지와 특정 화학물질·생물작용제 등의 제조·수출입 규제 등에 관한 법률’에 명시된 생물작용제 중 동물병원균(제2종 가축전염병 병원체), ‘감염병의 예방 및 관리에 관한 법률’에 명시된 고위험병원체 중 인수공통감염병 관련 병원체 등이 포함되어 있으며, 일반관리 병원체에는 2종과 3종 가축전염병 병원체 등이 포함되어 있다(Table 8). 이외에도 고위험병원체에 속하는 가축전염병 병원체에 대해서는 생물안전정보집에서 상세한 정보들을 제공하고 있다(KDCPA, 2013). 예를 들면, 조류인플루엔자 바이러스(H5N1)에 대해서는 생물안전 정보를 비롯해 병원체 정보, 검체의 취급방법 및 수송, 역학 및 감염, 진단 및 예방·치료정보 등이 자세하게 기술되어 있다. 하지만 아직까지 수산생물병원체에 대해서는 병원체별로 수산생물에 미치는 위해도를 평가하거나, 위험 등급에 따른 별도의 관리 지침이 마련되지는 못하고 있다. 단지 ‘수산생물전염병 예찰 및 방역실시 요령에 관한 고시’에서 수산생물의 국가 방역에 미치는 영향에 따라 법정전염병을 제1종 수산생물전염병부터 제3종 수산생물전염병까지 구분하고 있다(Table 9).

### 수산생물병원체에 대한 국제적 관리 체계

최근 양식수산물 이 식품에서 차지하는 비중이 커지고 있음에

Table 7. The biosafety items used for estimating biosafety level 2 (from Lee et al., 2005)

Categories	Items
Personal protective equipment	Laboratory coveralls, gowns or uniforms
	Closed-toed footwear
	Safety glasses
	Masks
	Latex gloves
Equipment for biosafety	Autoclaves
	Pipetting aids
	Loop incinerator
	Periodical decontamination of equipment
Structure of laboratory	Imperviousness to water and resistance to the organic solvents of bench tops
	Different lockers for protective laboratory clothing from those for street clothing
	Hand washing sinks
Management of laboratory	Biohazard warning symbol and sign
	Chemical disinfectants used in the of spills of infectious materials
	Limited access to the laboratory when work with infectious agents
Biosecurity	Training in safety measures as an integral part of new employee’s introduction to the laboratory
	Maintenance of adequate medical record for all personnel in case of need
	Continuing education for biosafety and biosecurity
	Written protocols or safety or operation manuals Laboratory’s protocol for biosafety and biosecurity

도 불구하고, 수산생물병원체에 대한 관리 체계는 아직도 미흡한 부분이 많은 것이 현실이다. 식중독의 원인이 되는 병원체를 제외하고는, 가축병원체와는 달리 심각한 인수공통감염병을 야기한 사례가 없었기 때문에 관리의 중요성이나 시급성 차원에서 관련 규정의 마련이 도외시되었던 것으로 사료된다. 하지만 국제적으로 수산물 교역량이 폭발적으로 증가하고 있고, 질병 관리의 중요성에 대한 인식이 확대되면서 수산생물병원체에 대한 관심과 관리 제도의 구축이 시급한 실정이다.

현재 수산생물에서 발생하는 질병과 병원체에 대한 국제표준(Terrestrial and Aquatic animal Codes and Manuals)은 세계동물보건기구(World Organization for Animal Health, OIE)에서 정하고 있다. 아직까지 OIE 규정에서도 국제적으로 통용되는 수산생물병원체에 대한 등급분류 기준에 대한 정보는 찾아볼

수 없다. 그러나 일부 국가에서는 생물안전(biosafety)과 관련된 총괄적인 규정에서 수산생물병원체를 함께 포함시키고 있는 사례를 쉽게 찾을 수 있으며, 이렇게 수산생물의 위험등급을 지정하고 있는 국가에서는 이들 병원체를 취급하는 기관에서 반드시 위험등급에 해당하는 밀폐시설을 갖추도록 규정하고 있다. 한 예로 호주의 경우, 수산생물병원체에 대해, 숙주의 범위, 병원성, 환경 내에서의 확산 범위, 예방 및 치료 방법의 유무 등에 대한 위험평가(risk assessment)를 실시하고 그 결과에 따라 1-4 등급의 위험군(risk group, RG)을 구분하고 있다(University of Tasmania, 2021). 그렇지만 인체병원체와는 달리 수산생물병원체 중에서 4단계의 높은 밀폐시설(aquatic containment level)을 요구하는 병원체는 없기 때문에 밀폐시설의 등급은 1-3 등급까지만 구분하고 있다(Table 10). 북미지역에서는 캐나다

Table 8. Classification of risk group for animal pathogens in Korea

Class	Livestock epidemics	Name of disease
Special management animal pathogens	Livestock epidemics of category I	Contagious bovine pleuropneumonia
	Livestock epidemics of category II	Foot and mouth diseases
General management animal pathogens	Zoonosis-related among high-risk pathogens	Bovine spongiform encephalopathy
	Livestock epidemics of category II	Rabies, Anthrax, Q-fever
Other pathogens	Livestock epidemics of category III	Nipah virus infection, Lassa fever
	Other infectious disease pathogens of animals designated by the head of APQA	Ebola virus disease, Smallpox Etc.
General management animal pathogens	Livestock epidemics of category II	Fowl typhoid, Fowl cholera
	Livestock epidemics of category III	Blackleg, Brucellosis ( <i>Brucella</i> spp.)
Other pathogens	Non - Livestock epidemics of category I, II and III	Avian mycoplasmosis
		Bovine ephemeral fever
General management animal pathogens	Livestock epidemics of category II	Canine distemper, Parvo
	Livestock epidemics of category III	Porcine rotavirus infection
Other pathogens	Non - Livestock epidemics of category I, II and III	Equine influenza, Lyme disease
		Zika virus disease, Taeniasis Etc.

Table 9. Classification of legally designated diseases of aquatic animal in Korea

Category	Definition	Reportable diseases	Control measures
Group 1	Stamping out diseases	Spring viraemia of carp	Slaughter
		Acute hepatopancreatic necrosis disease	Isolation Movement restriction
Group 2	Diseases that have not occurred in Korea	Epizootic ulcerative syndrome	Isolation Movement restriction Waste incineration
		Epizootic haematopoietic necrosis	
Group 3	Diseases that occurred frequently in Korea	Infectious salmon anaemia	Movement restriction Waste incineration
		Crayfish plague	
Group 3	Diseases that occurred frequently in Korea	Infectious hypodermal and haematopoietic necrosis	Movement restriction Waste incineration
		Infectious myonecrosis	
Group 3	Diseases that occurred frequently in Korea	White tail disease	Movement restriction Waste incineration
		Necrotising hepatopancreatitis	
Group 3	Diseases that occurred frequently in Korea	Acute hepatopancreatic necrosis disease	Movement restriction Waste incineration
		Koi herpesvirus disease	
Group 3	Diseases that occurred frequently in Korea	Red sea bream iridoviral disease	Movement restriction Waste incineration
		Viral haemorrhagic septicaemia	
Group 3	Diseases that occurred frequently in Korea	Taura syndrome	Movement restriction Waste incineration
		White spot disease	

(Public Health Agency of Canada)가 The Canadian Biosafety Guideline (2018)을 발간하고, 병원성(pathogenicity), 사전 및

사후 노출정도(pre-exposures and post-exposure measures), 인체에 대한 위험성(communicability), 숙주범위(host range), 경

Table 10. The risk group of aquatic pathogen in Australia (University of Tasmania, 2021)

Risk group	Containment level	Organism
Risk group 1	Aquatic containment level (AQC) 1	No tables are provided for Risk group 1, as the number of relevant microorganisms is very large
Risk group 2	AQC 2	<i>Abalone herpesvirus</i> <i>Aphanomyces invadans</i> <i>Aeromonas salmonicida</i> subsp.(exc. subsp. salmonicida) <i>Batrachochytrium dendrobatidis</i> <i>Bonamia exitiosa</i> <i>Bonamia</i> sp. <i>Edwardsiella ictaluri</i> Epizootic haematopoietic necrosis virus Gill-associated virus Infectious hypodermal and haematopoietic necrosis virus <i>Macrobrachium rosenbergii</i> nodavirus <i>Marteilia sydneyi</i> Nervous necrosis virus <i>Ostreid herpesvirus-1</i> including uVar <i>Perkinsus olseni</i> Ranavirus
Risk group 3	AQC 3	<i>Aeromonas salmonicida</i> subsp. <i>salmonicida</i> <i>Aphanomyces astaci</i> <i>Bonamia ostreae</i> <i>Candidatus</i> hepatobacter penaei Channel catfish virus European catfish virus/ European sheatfish virus Grouper iridovirus <i>Gyrodactylus salaris</i> Infectious haematopoietic necrosis virus Infectious myonecrosis virus Infectious pancreatic necrosis virus Infectious salmon anaemia virus Koi herpesvirus Laem-Singh virus <i>Marteilia refrigens</i> <i>Marteilioides chungmuensis</i> <i>Mikrocytos mackini</i> <i>Myxobolus cerebralis</i> <i>Perkinsus marinus</i> <i>Piscirickettsia salmonis</i> Red seabream iridovirus <i>Renibacterium salmoninarum</i> Salmonid alphavirus Spring viraemia of carp virus Taura syndrome virus <i>Vibrio parahaemolyticus</i> (VPA <sub>HPND</sub> ) <i>Xenohaliotis californiensis</i> Yellow head virus <i>Yersinia ruckeri</i> – Hagerman strain
Risk group 4	AQC 4	No pathogens

Risk group 1, low individual and low community risk. These microorganisms are unlikely to cause disease. Risk group 2, moderate individual risk, limited community risk. These microorganisms are unlikely to be a significant risk to laboratory workers or the environment, but exposure may cause infection. Risk group 3, high individual risk, limited/moderate community risk. These microorganisms usually cause serious disease and may present a significant risk to laboratory workers, but may only present a moderate risk of spreading amongst a community. Risk group 4, high individual and high community risk. These microorganisms usually cause life-threatening disease and may be readily transmissible. Effective treatments are not usually available.



제적 파급효과(economic impact) 등을 분석해 위험군을 RG 1에서 RG 4까지로 분류하고(Table 11), 관련 정보를 pathogen safety data sheet (PSDSs)로 제공하고 있다. 이러한 자료는 모두 데이터베이스(Risk Group Database)인 'ePATHogen'에서 제공된다. 이 외에도 미국생물안전협회(American Biological safety association, ABSA)에서 운영하는 웹사이트인 '위험군 데이터베이스(risk group database)'에서도 다양한 수산미생물에 대한 위험등급 정보를 제공하고 있다(ABSA, 2021; Table 12).

Table 11. Overview of risk groups in terms of individual and community risk in Canada

Risk group	Individual risk	Community risk	Example
Risk group 1	No or Low	Low	Commensal bacteria
Risk group 2	Moderate	Low	Pathogenic <i>Escherichia coli</i>
Risk group 3	High	Low	<i>Bacillus anthracis</i>
Risk group 4	High	High	Ebola virus

이들 국가에서 지정하고 있는 수산생물병원체의 위험군 분류 사례를 살펴보면, 우리나라에서 빈번하게 분리되는 연쇄구균의 하나인 *Streptococcus iniae*와 *Edwardsiella tarda* 등은 대부분의 국가에서 RG 2로 지정되어 있다. 하지만 *Renibacterium salmoninarum*이나 연쇄구균병을 일으키는 *Lactococcus garvieae*의 경우에는 국가별로 지정 등급이 다른 경우도 찾아볼 수 있다. 이외에도, 담수어류에서 분리되는 *Aeromonas salmonicida*도 국가별로 RG 1 또는 RG 2로 다르게 분류되어 있다. 국가별로 발생하는 질병의 차이로 인해서 우리나라 양식생물에서 심각한 피해를 일으키는 세균 중 하나인 *S. parauberis*, *E. piscicida*, *A. hydrophila* 등에 관한 정보는 찾아볼 수 없다(Table 11). 병원체 중에는 동일한 속(Genus)에 속하지만 국가별로 위험등급이 다르게 지정된 경우도 있었는데, 우리나라에서는 발생한 적이 없지만, 수산생물의 근육에 육아종을 형성하는 것으로 알려진 곰팡이류, *Aphanomyces invadans*는 RG 2로 지정되어 있었지만, 가재전염병의 원인병원체로 알려진 *A. astaci*는 RG 3로 지정되어 있는데, 이는 미국과 유럽에서 *A. astaci*로 인한 피해가 심각하고, EU에서는 박멸대상 병원체(devastating pathogen)로 지정되어 있기 때문에 판단된다(Makkonen et al., 2016).

Table 12에 나타난 것처럼, EU 국가 중에서는 독일, 스위스,

Table 12. Risk group database of American biological safety association (my.ABSA.org)

Pathogens	Pathogenicity		Country (risk group level)
	Human	Animal	
<i>Aphanomyces astaci</i>	no	yes	Australia/New Zealand (3), Belgium (3), Switzerland (3)
<i>Renibacterium salmoninarum</i>	no	yes	Belgium (3), Switzerland (2), Germany (1)
<i>Streptococcus iniae</i>	yes	no	NIH* (2), Belgium (2), Germany (1), Switzerland (2)
<i>Lactococcus garvieae</i>	no	yes	Belgium (2), Germany (2), Switzerland (2)
<i>Edwardsiella tarda</i>	yes	yes	NIH (2), Australia/New Zealand (2), EU (2), UK (2), Germany (2), Switzerland (2)
<i>Edwardsiella ictaluri</i>	yes	yes	Belgium (2/RG3 in animal), Germany (2), Switzerland (2)
<i>Edwardsiella anguillimortifera</i>	no	yes	Belgium (2), Switzerland (2)
<i>Flavobacterium columnarae</i>	no	yes	Belgium (2), Germany (1), Switzerland (2)
<i>Aeromonas salmonicida salmonicida</i>	no	yes	Belgium (2), Switzerland (2), Germany (1)
<i>Listonella anguillarum</i>	no	yes	Belgium (2), Switzerland (2)
<i>Photobacterium damsela subsp. damsela</i>	yes	yes	Belgium (2), Germany (2), Switzerland (2)
<i>Vibrio vulnificus</i>	yes	yes	Australia/New Zealand (2), EU (2), Germany (2)
<i>Vibrio parahaemolyticus</i>	yes	no	NIH (2), EU (2), UK (2), Germany (2)
<i>Vibrio ordalii</i>	yes	yes	Belgium (2), Germany (1), Switzerland (2)
<i>Vibrio alginolyticus</i>	no	yes	Belgium (2), Germany (2), Switzerland (2)
<i>Vibrio fluvialis</i>	yes	no	Belgium (2), Germany (2), Switzerland (2)
<i>Vibrio ichthyenteri</i>	no	yes	Belgium (2), Germany (1), Switzerland (2)
<i>Vibrio salmonicida</i>	no	yes	Belgium (2), Switzerland (2)
Salmonid herpesvirus	no	yes	Belgium (3), Germany (1), Switzerland (2)
Channel catfish virus	no	yes	Belgium (2), Germany (1), Switzerland (2)

\*NIH, National Institute of Health of USA.

벨기에의 경우가 병원체에 대한 생물안전 등급 분류가 가장 상세한 것으로 파악되었다. 특히, 벨기에의 과학보건기구(Scientific Institute of Public Health)에서는 사람, 동·식물의 병원체에 대한 생물안전서버(Belgian Biosafety Server, 2021)를 별도로 운영하고 있으며, 다양한 수산생물병원체의 생물안전등급을 지정하고 관련된 취급 규정을 안내하고 있다. 여기서는 미국 생물안전협회(ABSA, 2021)에서 제공하지 않는 병원체에 대한 정보도 제공하고 있는데, 한 예로 잉어의 병원체인 cyprinid herpesvirus를 동물병원체로 분류하고 RG 2로 지정하고 있고, 무지개송어 치어에 감염하는 infectious pancreatic necrosis virus (IPNV)는 RG 3로 지정하고 있다. 특이한 점은 캐나다(ePATHogen)에서는 RG 4에 해당하는 수산생물병원체가 지정되어 있지 않았지만, 벨기에의 경우 무지개송어에 감염하는 infectious hematopoietic necrosis virus (IHNV)를 RG 4에, viral hemorrhagic septicemia virus (Egtved virus)를 RG 3로 지정하고 있다. 한편, 국내에서 고래회충의 유충으로 잘 알려져 있는 *Anisakis* spp.는 인체병원체 위험등급 2로 지정되어 있다. 이외에도 호주에서는 위험등급 2에 지정되어 있는 *E. ictaluri*와 *E. tarda* 2종 모두 인체병원체로서 RG 2로 지정되어 있으며, 동물병원체로서는 RG 3로 격상되어 있다. 이외에도 *Mycobacterium marinum*, *S. iniae* 및 *V. vulnificus*는 인체, 동물 모두에서 RG 2로 지정되어 있다.

## 고 찰

앞서 언급한 것처럼, 수산생물의 수출입 과정에서 매우 까다롭게 국가의 질병관리 수준을 평가하는 EU (DIRECTIVE 2000/54/ Council DIRECTIVE 89/391/EEC)를 비롯해 캐나다, 호주 및 미국 등에서는 생물안전 데이터베이스를 운영하면서, 수산생물병원체에 대해서도 위험등급을 부여하고 있으며, 해당 병원체를 취급, 운영하는데 필요한 표준 매뉴얼도 마련하고 있다. 현재까지 수산생물병원체 중에서 심각한 인수공통감염병을 일으키는 것은 없지만, 취급을 소홀히 할 경우, 해수나 담수생태계로 유입되어 새로운 질병의 원인으로 작용할 수도 있기 때문에 취급에 필요한 밀폐시설 기준, 관리 요령 등의 제도가 마련되어야 한다.

따라서, 국내에서도 수산생물에 질병을 일으키는 병원체에 대한 위험등급을 구분하고, 취급시설에 대한 운영기준을 마련하는 것이 시급하다고 생각한다. 이를 위해서는 병원체별로 감염 숙주에 대한 위험평가가 먼저 이루어져야 한다. 이미 국제적으로 수산생물병원체를 대상으로 한 위험평가에 필요한 절차와 매뉴얼이 마련되어 있으며, 국내에서는 수산생물전염병에 제한적이지만 수입 시 필요한 위험분석 절차가 고시로 마련되어 있다. 호주와 EU 국가들간에 수산생물병원체에 대한 위험등급에 차이가 있었던 것은 국가별로 감염숙주의 범위와 환경 내에서의 생존 잠재력, 병원체의 감염력 등의 차이에 기인한 것이므로 우리나라의 수서생태계와 서식하는 수산생물, 인체에 대

한 위험성이 종합적으로 고려되어 위험평가가 이루어져야 한다. 수산생물병원체의 특성을 반영한 위험군 분류를 위해서는 인체에서 추진된 사례처럼, 수산생명의학 전문가의 자문을 거쳐 우리나라 실정에 맞게 조사 대상 미생물을 선정하고 위험평가를 통해 위험군을 분류할 필요가 있다. 즉, 국내에서 발생하거나 국내 유입이 우려되는 병원체에 대한 포괄적인 위험등급 분류를 위해서는 먼저, 수산생물병원체의 종류를 리스트화하고, 감염 숙주의 범위, 병원성 정도, 환경에서의 생존과 확산 범위 등을 종합적으로 고려해 위험평가를 실시하여야 할 것이다.

현재 해양수산생명자원 목록집에 포함된 수산미생물자원에 대한 등급 분류 기준도 보완할 필요가 있다. 지금은 경제적, 생태적, 학술적 가치 등 생명자원이 가지는 효용성만 분류 기준에 포함되어 있기 때문에 미생물이 가지고 있는 위해성에 대해서도 적절한 평가가 이루어지기 위해서는 별도의 기준이 추가될 필요가 있다. 인체나 가축병원체와 유사한 평가 기준을 적용한다면, 대분류 기준으로 병원체 위해도가 추가되고, 중분류 기준으로 수산생물 위해성, 환경생태 위해성, 인체 위해성 등이 추가될 수 있을 것이다. 수산생물 위해성의 경우, 1등급은 '감염 시, 수산생물의 대량폐사를 유발하는 독성과 전염력을 가진 종', 2등급은 '수산생물간 전염력은 있으나 대량폐사를 유발하지 않거나, 쉽게 치료가 가능한 종', 3등급은 '수산생물에 전염력이 없거나, 피해가 없는 종'으로 각각 정의할 수 있을 것이다.

금번 코로나19 백신의 국제적 수급 상황에서 잘 나타난 것처럼, 국내 백신 산업의 낮은 자급률과 개발 능력은 해외 제약사의 공급지연, 신종 감염병에 대한 대처 능력 저하와 가격 상승 등의 문제를 일으킬 수 있다. 인체의 경우와 마찬가지로 수산생물병원체와 관련된 바이오산업도 고부가가치의 국가 기간산업에 속한다. 병원체자원은 질병을 치료하고 제어하는 기술의 자체 개발에서 유익한 연구자원이며 필수 불가결한 원료이므로, 의약품뿐만 아니라 다양한 분야에 적용 가능한 병원체를 탐색하고, 양식현장의 최신 병원체를 확보해서, 국가 자원화하는 것이 가장 우선되어야 한다. 하루빨리 수산생물병원체를 포함해서 수산미생물자원을 이용한 바이오산업의 성장을 위해 활용성과 위해도가 모두 고려된 제도 개선이 이루어져야 할 것이다.

## 사 사

본 논문은 국립수산물과학원 “수산생물질병 특성연구(R2021-065)” 연구개발비 지원에 의해 수행되었습니다.

## References

- ABSA(American Biological Safety Association). 2021. Risk group classifications for infectious agents. Retrieved from <https://ABSA.org> on Jul 8, 2021.
- Belgian Biosafety Server. 2021. Tool-Belgian classification for micro-organisms based on their biological risks. Revised lists of pathogens and their corresponding class of biological

- risk. Retrieved from <https://www.BelgianBiosafetyServer/biosafety> on Jul 8, 2021.
- Canadian Biosafety Guideline. 2018. Conducting a biosecurity risk assessment. Retrieved from <https://www.canada.ca/en/public-health/services/canadian-biosafety-standards-guidelines/guidance.html> on Jul 8, 2021.
- ePATHogen. 2021. Risk group database. Retrieved from <https://health.canada.ca/en/epathogen> on Jul 14, 2021.
- Heo MS, Kim CM, Hwang SY and Lee HJ. 2016. Optimization of fermentation processes for microbial resources. Microorganism resources division biological resources research department. National institute of biological resources, Incheon, Korea, 1-2.
- KDCPA(Korea Disease Control and Prevention Agency). 2013. Korea centers for disease control and prevention. KDCPA, Cheonju, Korea, 174-178.
- KDCPA(Korea Disease Control and Prevention Agency). 2018. Korea biosafety standard and guideline. First edition. KDCPA, Cheonju, Korea, 484-534.
- KDCPA(Korea Disease Control and Prevention Agency). 2021. Korea biosafety standard and guideline. Second edition. KDCPA, Cheonju, Korea, 596-659.
- KIOST(Korea Institute of Ocean Science and Technology). 2017. Report of the marine microbial culture collection in South Korea. KIOST, Seoul, Korea, 13.
- Lee JY, Eun SJ, Park KD, Kim JK, Im JS, Hwang YS and Kim YI. 2005. Biosafety of microbiological laboratories in Korea. *J Prev Med Public Health* 38, 449-456.
- Makkonen J, Vesterbacka A, Martin F, Jussila J, Dieguez-Uribeondo J, Kortet R and KoKKo H. 2016. Mitochondrial genomes and comparative genomics of *Aphanomyces astasi* and *Aphanomyces invadans*. *Sci Rep* 6, 36089. <https://doi.org/10.1038/srep36089>.
- Marine Bio-Resource Information System. 2021. Designated marine bio-resource. Retrieved from <http://rank.mbris.kr/designation/main> on Sep 19, 2021.
- Ministry of Trade, Industry and Energy. 2019. Survey on the status of domestic bio-industry in 2018. Ministry of Trade, Industry and Energy, Seoul, Korea, 35-43.
- NBPRC (National Biotech Policy Research Center). 2020. Predictions for the global life sciences industry. Retrieved from <https://www.bioin.or.kr> on Jul 8, 2021.
- NIAS (National Institute of Agricultural Sciences). 2017. Preservation, characterization, database and collective management for agricultural microbial resources. NIAS, Wanju, Korea, 7.
- Song SJ, Lee KM and Hwang KJ. 2015. Essential to “Act on the promotion of collection, management, and exploitation of pathogen resources”. *Public H, earth Weekly Report* 8, 1068-1071.
- University of Tasmania. 2021. Aquatic risk groups. Retrieved from <https://www.utas.edu.au/research-admin/research-integrity-and-ethics-unit-rieu/biosafety/risk-groups/aquatic-risk-groups> on Aug 7, 2021.
- WDCM (World Data Centre for Microorganisms). 2021. Culture collections information worldwide. Retrieved from <http://www.wfcc.info/ccinfo/> on Aug 7, 2021.
- WFCC (World Federation for Culture Collections). 2021. WFCC guidelines for the establishment and operation of collections of microorganisms. Retrieved from <http://www.wfcc.info/guidelines/> on Aug 7, 2021.
- WHO (World Health Organization). 2004. Laboratory biosafety manual. Third edition (revised). Retrieved from <https://www.patho.org/en/documents/laboratory-biosafety-manual-3rd-edition-who-2005> on Aug 7, 2021.
- Yoon Y. 2019. Risk group and biosafety level of biological agents. M.S. Thesis, Sun Moon University, Asan, Korea.
- Yoon YS and Lee HC. 2019. Risk Groups of biological agents and biosafety level applications. *Korean Soc Biotechnol Bioeng J* 34, 352-358. <https://doi.org/10.7841/ksbbj.2019.34.4.352>.