

해양환경보호활동에 대한 국내외 현황과 정책 방향

Current status and future policy direction on
"Protection of Marine Environments" activity



연구위원장

김수암 한국과학기술한림원 정회원, 부경대학교 명예교수

연구위원

강수경 국립수산과학원 수산자원연구센터장

김성길 해양환경공단 해양수질처장

김종성 서울대학교 지구환경과학부 교수

나한나 서울대학교 지구환경과학부 교수

남정호 한국해양수산개발원 해양연구본부장

신형철 극지연구소 부소장

이영란 WWF Korea 해양보전팀장

이윤호 한국해양과학기술원 부원장

간사

이화현 부경대학교 강사

해양환경보호

지난 세기에 인류가 성취한 과학기술의 진보는 우리의 삶을 한결 안락하게 변화시켰지만, 아직도 굶주림과 경제난, 그리고 온갖 사회적 불평등에 고통을 받고 있는 사람들이 많다. 더욱이 급격한 기후변화와 더불어 예기치 않았던 코로나바이러스(COVID-19)의 발현은 식량안보를 포함한 많은 재해를 발생시킨 지구촌 체계를 불안정하게 만들었다. UN은 2030년까지 인류사회 변영의 위협적 요인을 제거하기 위하여 총 17개의 지속가능발전목표(Sustainable Development Goals, SDGs)를 설정하였고, 인류 중 그 누구도 가난과 기아에 고통 받지 않고, 뒤쳐지는 사람이 없는 사회를 만들기 위하여 노력하는 중이다. 이 과정에서 급격한 지구환경 변화가 자주 인용되면서 바다에 관한 관심이 함께 고조되고 있다.

바다는 지구 표면의 약 71%를 차지하기 때문에 지구환경 변화의 주요 원인이다. 바다는 거대한 산소 발생지로서 우리 인간을 숨 쉬게 하고, 각종 수산물을 제공하는 커다란 식량 창고로서 우리를 살찌우고, 우리의 지친 일상을 위로하고 심신을 치유하고 있다. 또한, 바다는 세계 어디라도 연결하는 물류의 통로이자, 수많은 사람에게 일자리를 제공해 주고 있다. 하지만 최근의 바다는 무분별하게 자행된 인간 활동과 극심한 기후변화의 영향으로 심각하게 병들어가고 있다. 해양의 항상성(homeostasis)과 해양환경의 균형이 깨지고 있으며, 결과적으로 해양생물의 다양성(diversity)이 감소하고, 생태계서비스(ecosystem service)의 질이 저하되고 있다. 따라서 바다의 온전성을 되찾아 인류의 삶을 풍요롭게 하고, 해양생태계의 다양한 혜택을 되살리기 위해서 해양환경을 보호해야 한다는 인식이 일반인과 정책결정자 사이에서 확장되고 있다.

산업혁명 이후, 대기 이산화탄소 농도가 증가하여 온실효과에 의한 지구온난화 현상이 지속되고 있다. 지구의 변화는 이에 그치지 않고, 대기 불균형에 의한 잦은 기상 재해, 해양산성화와 해양 쓰레기를 포함한 오염물질의 배출 증가에 의하여 생태계가 파괴되고, 더 나아가 보건환경이 악화되어 질병발생률이 높아져 인간 사회도 큰 위협을 받기에 이르렀다. 최근, 이러한 위협을 해결하기 위한 국제정치 활동도 눈에 띄게 달라지고 있다. UN은 SDGs에 해양수산자원 문제를 SDG-14에 포함시켰고, 유네스코 해양학위원회(IOC)가

해양환경보호활동에 대한 국내외 현황과 정책 방향

Current status and future policy direction on
"Protection of Marine Environments" activity

“지속발전을 위한 해양과학 10년 계획”을 2021년부터 시작하였다. 한편, 정치적 영향력이 강한 G20 정상들은 2019년 회의에서 처음으로 해양 문제를 과학 의제(주제: 해양생태계에 대한 위협과 해양환경보호)로 다뤘고, 국제한림원연합회(InterAcademy Partnership, IAP)도 2021년 “해양환경보호”라는 제목의 성명서를 발표하여 정부의 정책결정자들이 생물서식지 파괴, 오염물질의 배출, 기후변화, 수산자원 남획 등의 주요 사안에 대해 높은 경각심을 갖고 대응방안을 수립하기를 촉구하였다. 2021년의 과학기술과 사회 포럼(Science and Technology in Society Forum)에서는 각국 한림원장의 토의 주제로 “기후변화가 해양과 극지에 미치는 영향”을 설정하였다. 이처럼 “기후 및 해양환경의 변동이 해양생태계 및 인간 사회에 미치는 영향”이라는 주제가 국제적으로 뜨거운 사안 중의 하나로 각광을 받고 있다.

이러한 국제적 분위기에 영향을 받아 국내에서도 해양에 대한 관심이 고조되고 있다. 특히 해양환경 오염과 해양식량에 대한 문제는 우리의 일상생활과 건강에 직결되어 있으므로, 정부와 학계에서는 대응책을 마련하기에 분주하다. 정부에서는 관련 법안을 정비하여 해양환경의 개선과 해양수산자원의 보호를 위하여 많은 노력을 기울이고 있으며, 2021년에는 해양수산부의 지원을 받아 한국해양한림원이 설립되어 해양 문제에 대한 국내 전문가의 의견이 신속하게 정부에 전달될 수 있는 계기가 마련되었다. 한국과학기술한림원도 해양 이슈에 관한 국제심포지엄을 여러 차례 개최하였고, 해양환경보호 주제의 IAP 성명서를 주도하는 등 국제사회 활동에 적극적으로 대처하여 왔다. 최근에는 인류와 국가의 존망이 달린 민감한 사안에 대해서는 정부에만 전적으로 의존하지 말고, 시민이 앞장을 서서 환경을 개선하고, 생태계와 자원을 보호해야 한다는 의식이 높아지고 있다. 산업체도 국민의 향상된 의식에 동조하지 않으면 소비자로부터 외면을 받으므로, 지속가능발전을 위한 친환경 활동이라는 사회적 책무가 강조되는 환경-사회-지배구조(Environment-Social-Governance, ESG) 경영 활동이 강화되고 있다. 기업의 ESG 경영 원칙은 이미 선택이 아닌 생존을 위한 필수적 사항이 되었다.

해양은 전 지구적 기후변화를 설명하고, 악화되고 있는 생태계 상태를 완화하고, 식량부족과 같은 위협 요소에 대한 대비책을 우리 사회가 준비하는데 빠질 수 없는 중요한 부분이다. 본 보고서는 위에 언급한 국내외적 상황을 고려하여, 정부가 예측 가능한 해양환경보호 정책을 수립하는데 필요한 기초자료를

제공하기 위하여 2021년 6월에 개최된 해양환경보호 심포지엄에서 논의된 주제를 확장하고, 내용을 다듬었다. 국립수산물학원, 부경대학교, 서울대학교, 극지연구소, 한국해양과학기술원, 한국해양수산개발원, 해양환경공단의 해양환경 분야 전공자로 구성된 연구진은 지난 5개월 동안 한국과학기술한림원의 지원을 받으며, 해양환경보호를 위한 실질적 제안을 도출하는 작업을 수행하였다.

이 보고서는 총 7장으로 구성되었다. 제1장은 해양환경보호 정책을 수립하기 위하여 꼭 필요한 해양지식을 설명하였는데, 해양의 지리적 구분과 해저지형, 해수의 특성과 성층구조, 역동적 모습의 해양, 생태계와 생태계서비스를 간략히 정리하였다. 특히, 본 보고서에서 중점적으로 논의하는 해양의 건강성, 생물서식지, 환경오염물질, 기후변화, 수산자원 남획 등의 주제에 대한 기본 정보를 간략히 소개하였다. 뒷부분에는 우리나라가 위치한 북서태평양 지역이 지니고 있는 독특한 사회적, 자연적 특성을 언급함으로써, 우리 사회가 해양환경보호에 적극적으로 대처해야 할 당위성을 강조하였다. 북서태평양 해역의 특징은 다음과 같다: (1) 세계 인구의 25%가 이 지역 연안역에 거주하는 지구상 최대 과밀지역, (2) 세계 해양어획어업 생산량의 약 25%를 생산하는 해역, (3) 이 지역 국가의 빠른 산업화에 의하여 환경오염물질의 해양배출이 심각한 상황인 해역, (4) 국민의 과다소비에 의한 해양 쓰레기 배출이 세계에서 가장 많은 지역이며, 이에 따라 전 지구적으로 미세플라스틱의 문제를 발생시키는 해역, (5) 표층해수의 온난화 속도가 가장 빠른 편이어서 지역 생태계 생물의 분포와 생산력에 큰 변화가 예상되는 해역, 그리고 (6) 한반도 해역은 세계 최고 수준의 해양생물다양성을 기록하는 해역.

제2장부터 6장까지는 해양의 세부 분야인 해양건강성과 생물서식지, 환경오염물질, 기후변화, 수산자원의 남획에 대하여 국내외 현황을 짚어보고, 미래에 나아가야 할 정책 방향을 제시하였다. 제2장에서는 생물다양성 변화와 생물서식지 훼손을 중심 주제로 하여 해양의 건강성을 설명하였다. 생물다양성과 건강성에 관한 국제적 연구 동향과 국내 해양생태계의 건강성, 생물다양성, 침입종, 부영양화, 해양오염, 해양 쓰레기 등의 상황이 집중적으로 조명되었다. 특히, 한반도 연안 생태계는 세계 최고 수준의 생물종 다양성과 종 풍부도를 유지하고 있으며, 서해 갯벌의 생태계서비스 가치가 그동안 너무 과소평가 되어왔음을 강조하였다. 아울러 해양오염과 해양 쓰레기에 의한 생물서식지의 훼손, 기후변화에 의한

해양환경보호활동에 대한 국내외 현황과 정책 방향

Current status and future policy direction on
"Protection of Marine Environments" activity

침입종의 증가 등이 생태계를 위협하는 요소로 대두되고 있으므로, 해양생태계를 지역적으로 분할하여 관리하던 재래적 방법에서 벗어나 광역적으로, 그리고 통합적으로 관리하는 체계로 전환해야 하며, 해양보호구역을 확장하는 선진국형 관리체계로 전환해야 함을 강조하였다.

인간이 만들어내는 환경오염물질이 바다로 유입되면서 해양생물의 서식지 환경이 악화되고 있는 것이 전 세계 해양에서 광범위하게 목격되고 있다. 제3장에서는 해양환경 오염물질에 대한 정의와 종류를 소개하고, 이들에 대한 감시활동인 환경모니터링 결과를 상세히 기술하였다. 특히 유기물 오염, 플라스틱을 포함한 해양 쓰레기, 미량금속, 잔류성 유기오염물질, 방사성 물질에 대한 국내외적 현황을 소상히 소개하였고, 이들 오염원으로부터 해양생태계를 보호하기 위한 방안이 제시되었다. 최근 세계적으로 문제가 되고 있는 미세플라스틱을 포함한 해양 쓰레기, 방사성 물질의 확산 등에 대한 문제를 해결하기 위해서는 해역별, 오염물질별, 발생원별 위해도 관리 프로그램을 개발하여 환경오염물질에 대한 엄격한 통제가 즉시 실행되어야 함을 강조하였다. 특히, 민감하게 영향을 받는 서식지에 대해서는 지속적인 해양환경 모니터링 사업이 필요하며, 서식지 보호, 보전 및 복원 조치를 위한 과학적 조사 노력이 필요함을 역설하였다.

요즘 무슨 특별한 일이 생기면 기후변화의 탓으로 설명하려는 경향이 있다. 확실히 기후변화는 전 지구적으로 큰 영향을 준다. 유럽에서 200~300년 전에 시작된 산업혁명은 인간으로 하여금 물질적 풍요를 누릴 수 있게 하였지만, 다른 한편으로는 이산화탄소의 배출을 증가시켜 지구의 기후환경을 급격히 바꾸어 놓고 있다. 제4장에서는 기후변화가 해양에 미치는 영향과, 해양이 지구의 기후를 조절하고 급격한 기후변화를 완화하는 과정을 설명하였다. 대기 이산화탄소의 양이 산업혁명 이전보다 약 40~50% 증가하였고, 이 결과 온실효과에 의하여 20세기 동안에 기온이 1도 이상 증가하였다. 해양도 대기로부터 열을 전달받아 수온이 급격히 상승하는 중이며, 대기에 있던 이산화탄소가 해수에 녹아들면서 해수의 산성화 현상이 나타나고 있다. 지역적으로 물속에서 산소가 결핍되는 현상도 나타나기 시작하였다. 기후변화가 물고 올 이러한 파장은 경제위기보다 더 클 것이며, 기후변화 대응의 성공 여부가 국가의 미래를 좌우할 것이라는 인식 때문에 지구촌의 전문가들과 각국 정부는 온실가스 감축과 기후변화에 적응하기 위한 새로운 관리전략을 더 적극적으로 개발해야 한다는 것을 강조하였다.

제5장에서는 인류의 식량과 영양안보의 측면에서 매우 중요한 역할을 하는 수산생물자원의 생산량, 소비량에 대한 국내외적 실태와, 수산자원에 대한 남획 사례를 소개하고, 자원을 보전하는 방법을 제시하였다. 특히 국내 수산자원을 보호하기 위하여 미성어 어획을 포함한 각종 불법어업을 사전에 방지하여야 하며, 해저 쓰레기 수거 작업 등을 통하여 해양환경을 정화함으로써 어류의 생존이 가능한 환경을 조성해야 함을 강조하였고, 어류자원 보호조치를 효과적으로 수행하기 위한 방침으로 사고의 전환을 제시하고 있다. 즉, 정부가 주도하고 어업인이 수행하는 과거의 수산자원 관리방침은 한계가 있으므로, 소비자가 직접 관여하고 참여하는 자원관리 방법을 도입하여 수산자원을 효과적으로 관리하자는 것이다. 예를 들면, 어린 물고기의 어획과 소비를 근절해야 한다는 소비자의 현명한 윤리의식은 어업현장에 있는 생산자와 유통업자에게 큰 압력으로 작용할 것이다. 또한, 수산생물은 수많은 종류의 생물과 서식지 생활공간을 공유하고, 포식-피식 과정을 통하여 생물 개체군이 영향을 받고 있기에, 단일 어종 중심의 관리에서 생태계 전 구성 요소와의 상호관계를 파악하는 생태적 개념을 도입하여 예측하는 생태계기반 수산자원 관리(Ecosystem-based fisheries management) 체계로 전환하는 것이 중요하다.

제6장은 극지해양을 주제로 하여 전 지구적 해양환경보호의 중요성을 살펴보았다. 극지, 즉 남극과 북극은 여러 가지 다른 점이 많지만, 인류 공동의 유산, 기후환경 변화의 감시자, 담수의 저장고, 수산자원의 보물 창고, 자연에 대한 경외와 감흥을 우리에게 선사해 주는 정서적 위안체라는 공통점이 있다. 북극과 남극 해양은 문명 세계로부터 멀리 떨어져 있음에도 불구하고 기후변화를 포함한 미세플라스틱, 해양오염물질, 외래생물종, 어업, 해양보호지역 등의 이슈는 온대지역과 공유하는 문제이다. 따라서 극지해양 문제는 극지에만 국한되는 것이 아니라, 전 지구적 환경변화와 밀접한 관련이 있다. 제6장에서는 극지 이슈를 관할하는 거버넌스의 역할과 활동이 극지에서의 개발과 환경보전이라는 균형점을 찾는 시도에서 더 나아가 전 지구적 위험 요소를 해결할 방안을 모색하는 것이며, 이런 시도는 현 세대의 극지 문제를 해결하기 위한 것만이 아니라, 미래 세대를 위한 국제적 협력을 공고히 하는 시험적 무대라는 성격을 가지고 있다.

해양환경보호활동에 대한 국내외 현황과 정책 방향

Current status and future policy direction on
"Protection of Marine Environments" activity

제7장에서는 사회의 각 분야에서 해양환경을 보호하기 위한 노력을 살펴보고, 건강한 해양환경을 조성하기 위해 국가, 산업체, 시민단체가 해야 할 정책과 활동방향을 요약하였다. 이 단원은 '해양교육과 국제협력', '해양환경보전과 시민단체의 역할', '더 나은 바다를 위한 제언' 등 세 부분으로 구성되었다. 먼저, '해양교육과 국제협력' 부분에서는 지구상 바다 전체가 오염될 수 있는 유한한 공간이라는 인식으로의 전환과 함께, 학교 해양교육의 확대 및 사회 해양교육과의 연계 강화, 해양 시민과학의 육성 및 차세대 해양전문가 양성 등을 제시하였다. 또한, 하나로 연결된 전 세계 바다의 환경을 보호하기 위해서는 국제적으로 정부와 비정부기구(NGO)를 포함하는 다양한 이해당사자 간의 협력이 필수적임을 강조하고, 선진국과 개발도상국 간의 협력 확대와 기술 이전 활성화, 국제협력 연구개발(R&D) 사업 지원 확대 등을 나아갈 방향으로 제안하였다. '해양환경보전과 시민단체의 역할'에서는 NGO의 역할을 설명하고, NGO 활동 중에서 어업에 관련된 활동을 집중적으로 다루었다. 정책 제언으로 민관협력 소비자 참여형 정책을 강화하고, 국민의 인식증진을 위한 홍보활동의 필요성을 강조하였다. 마지막으로, '더 나은 바다 환경을 만들기 위한 제언'에서는 바다가 지구촌 위험요소 해결의 열쇠이지만, 공유재에 대한 문제를 해결하기 위한 협력과 책임관리가 공동체에 주어진 책무임을 역설하였다. 구체적인 정책제언으로, 지역 거버넌스와 ESG의 강화, 해양환경-사회경제 연계 통합평가체계 운영, 하천-하구-연안의 통합환경관리, 해양환경 건강성 증진을 위한 자연기반 해법 활용 등을 제시하였다.

부록에서는 해양환경보호 성명서가 탄생한 배경과 의의, 해양환경보호 성명서 기념 심포지엄에서 질문과 대답의 형식으로 토의된 내용이 정리되었다. 무엇보다도, 질의응답에서는 사회학과 자연과학 분야 종사자들이 공동으로 노력하여, 해양환경의 변화가 우리의 삶에 미칠 나쁜 영향을 최소화하는 방안을 추구해야 한다는 것이 강조되었다. 그리고 해양환경보호 성명서에 대한 독자의 정확한 이해를 돕기 위하여 영문과 국문으로 된 성명서 전체 내용을 게재하였다.

과거, 우리나라에서의 기후변화 대응정책은 육상 중심적이어서, 해양의 이산화탄소 포집 능력이나, 저감 효과에 대한 중요성을 간과하고 있었다. 하지만 본 보고서를 통하여 기후변화에 대한 해양의 역할과 중요성이 새롭게 인식되는 계기가 될 것이다. 급변하는 기후변화 상황에서, 해양의 물리 특성 모델과

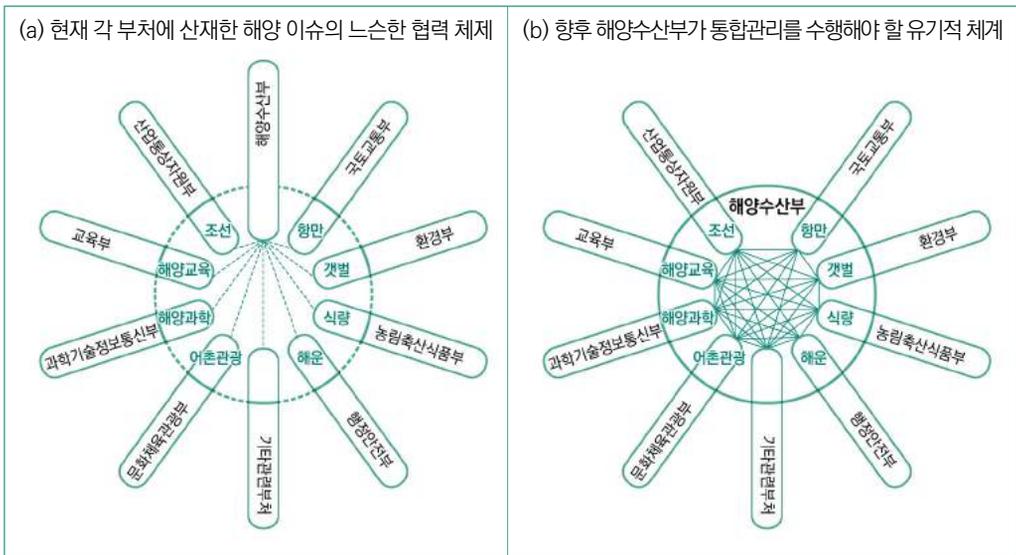
해양생태계 모델을 접합하여 새로운 생태계의 모습을 예견하려는 과학자의 노력이 민간인과 기업이 참여하는 해양환경보존활동, 정부의 효과적인 정책 시행 등과 맞물려 시너지 효과를 발휘하게 될 때, 진정한 의미의 해양환경보존책이 수립될 것이다. 더 이상 해양 훼손에 대한 모든 핑계를 기후변화라는 모호한 답변으로 얼버무리지 말고, 과학지식을 활용한 예측 결과가 해양환경보존 정책 시행의 근간이 되는 과학기반 정책의 수립해야 한다.

결론적으로, 해양환경보호는 지구생태계를 구하고, 인류의 번영을 유지하기 위하여 필수적으로 수행해야 하는 행동조건이다. 해양환경과 해양자원을 보호하기 위하여 각국 정부는 혼신의 힘을 기울이고 있다. 정부는 해양생태계에 대한 과학 지식을 기반으로 해양을 관리하는 생태계기반관리(Ecosystem-based management) 기법을 적용하여 생태계서비스의 능력을 높이고, 해양사업이 환경과 자원을 해치지 않게 수행되어야 한다는 예방적 접근방법(precautionary approach)을 고려하는 정책을 수립하여야 한다. 이러한 정책을 효과적으로 펼치기 위해서는 각 부처 혹은 부서별로 독자적 사업을 수행하는 체제에서 벗어나, 각 부처와 부서가 유기적 체제를 형성하여 모든 정보를 공유하고, 문제해결을 위한 공동체의 집단 노력을 체계화하여야 한다(그림 0.1). 해양수산부는 이러한 통합관리의 주체가 되어, 과학적 조사로부터 취득한 해양정보를 초연결성과 빅데이터, 인공지능에 의한 초지능화를 특징으로 하는 4차 산업혁명 기술로 엮어 해양환경을 통합적으로 진단-평가-관리하는 체제로 만들어야 할 시점이다.

해양환경보호활동에 대한 국내외 현황과 정책 방향

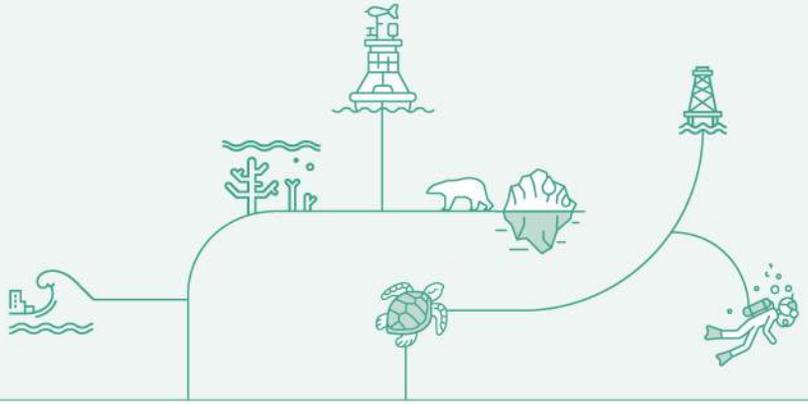
Current status and future policy direction on
"Protection of Marine Environments" activity

그림 0.1 정부 부처 간의 해양업무 연계성 모식도



목 차 Contents

I	해양환경의 이해	
1.	개관	22
2.	해양의 구분과 해저지형	24
3.	해수의 특성	27
4.	해양의 성층구조	31
5.	역동적인 해양	33
6.	해양생태계의 구성과 물질순환	37
7.	변화하는 해양과 해양환경보호	39
8.	우리나라 해역의 특징	43
<hr/>		
II	해양의 건강성: 생물다양성 변화와 생물서식지 훼손	
1.	개관	46
2.	세계적 동향	50
3.	국내의 현황	54
4.	국내외 보호 활동 현황 및 정책 방향	62
5.	미래 연구 방향	65
<hr/>		
III	해양환경 오염물질	
1.	개관	68
2.	해양오염의 국내외 현황	70
3.	해양환경 오염물질에 대한 대응방안	83



Ⅳ 기후변화와 해양환경

1. 개관	86
2. 전 지구적인 해양환경변화	89
3. 우리나라 해양환경변화	93
4. 미래 기후변화와 대응책	95

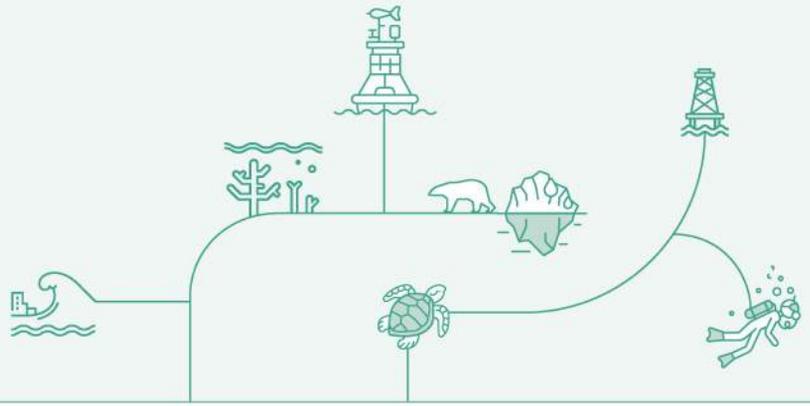
Ⅴ 수산자원 변동과 남획

1. 개관	102
2. 세계적 동향	105
3. 국내 어업 현황과 수산자원 보전 활동	109
4. 수산자원 보호를 위한 정책 제언	117

Ⅵ 극지해양: 멀고도 가까운 지구환경 건강 지킴이

1. 개관	120
2. 기후변화와 극지해양환경	123
3. 남북극의 환경 거버넌스: 생성과 진화	125
4. 극지해양환경과 새로운 위협: 인간 활동의 결과	128
5. 극지환경보호를 위한 구체적 제언: 우리나라를 위하여	130
6. 맺는 말: 남북극 환경오염을 대하는 우리나라의 자세	134

VII	해양환경보호 정책 전환을 위한 제언	
	1. 해양교육과 국제협력	136
	2. 해양환경보전과 시민단체의 역할	152
	3. 더 나은 바다를 위한 제언	162
<hr/>		
	참고문헌	178
<hr/>		
	부 록	
	1. 국제한림원연합회(IAP)의 해양환경보호 성명서	190
	2. 해양환경보호 성명서 기념 심포지엄 프로그램과 전문가 토의	192
	3. IAP Statement on Protection of Marine Environments (English)	203
	4. 해양환경보호에 관한 IAP 성명서 (국문)	209



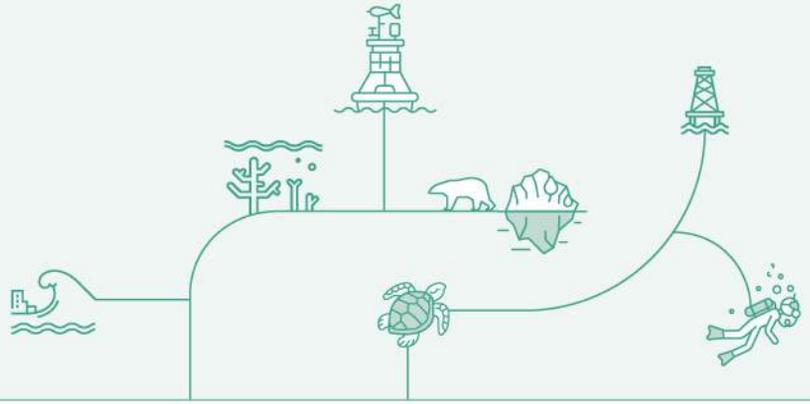
표목차

〈표 1.1〉 각 대양의 크기와 깊이	24
〈표 3.1〉 스톡홀름협약에 따른 잔류성 오염물질 지정 현황	79
〈표 3.2〉 해양환경에 관련된 주요 핵종 및 반감기	82
〈표 5.1〉 양식 생사료 및 배합사료 사용량과 양식어류 생산량	114
〈표 5.2〉 연간 어구 사용량 및 폐어구 유실 현황	116
〈표 7.1〉 유엔해양연합회(UN-OCEANS) 참여 26개 유엔기구와 주요 활동	144
〈표 7.2〉 지속가능발전을 위한 유엔해양과학10년 계획(2021~2030)에서 승인된 프로그램(2021 기준)	151
〈표 7.3〉 「해양환경관리법」 제8조에 따른 해양환경기준	169

목 차 Contents

그림목차

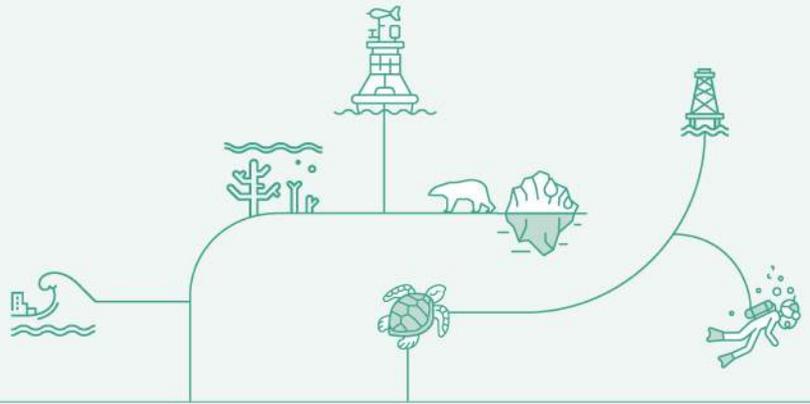
[그림 0.1] 정부 부처 간의 해양업무 연계성 모식도	11
[그림 1.1] 지표 부근에 존재하는 물의 형태	23
[그림 1.2] 세계 해양의 구분	25
[그림 1.3] 지구 표면 지형의 수직적 모식도	26
[그림 1.4] 전 세계 해양의 수온과 염분의 지리적 차이(이 등, 2013)	28
[그림 1.5] 해양에서의 전형적인 성층구조	32
[그림 1.6] 지구 표면에서의 풍계와 해류 시스템(이 등, 2013)	34
[그림 1.7] 해양의 열염순환 궤적을 보이는 해양 컨베이어벨트 시스템	35
[그림 1.8] 북반구 해수의 용승 현상과 침강 현상(이 등, 2013)	36
[그림 1.9] 태평양 적도해역에 나타나는 대기순환과 그에 따른 해양의 구조(김 등, 2011)	36
[그림 1.10] 전통적인 해양생태계 먹이그물 모식도(김 등, 2011)	38
[그림 1.11] UNEP 새천년보고서 및 생태계서비스 개념	40
[그림 2.1] 해양의 건강성을 평가하기 위한 세 가지 대표적인 방법	47
[그림 2.2] 통합적 관점에서의 해양건강성의 개념	48
[그림 2.3] 해양건강성과 생물다양성의 5대 주요 이슈	49
[그림 2.4] 해양생물다양성과 건강성에 대한 국제 연구 동향(scopus, 1980~2020년)	51
[그림 2.5] 주요 해양생태계 평가 방법론의 내용, 평가항목, 연구논문수(scopus, 2020년 기준)	52
[그림 2.6] 해양건강성지수(Ocean Health Index, OHI)의 활용 예시	53
[그림 2.7] 시화호 간척과 매립의 역사, 그리고 시기별 주요 이슈	55
[그림 2.8] 우리나라 해양생물 종 다양성 및 종 풍부도	57



[그림 2.9] 지난 30여 년간 우리나라 해역의 부영양화 평가와 적조 발생 건수	59
[그림 2.10] 지난 30여 년간 우리나라 해역 퇴적물 내 중금속 및 주요 유기오염물질의 오염도 평가	60
[그림 2.11] 우리나라의 해양건강성 지수(Ocean Health Index, OHI) 평가 결과(2019년)	62
[그림 2.12] 주요 4개국의 해양생태계 보호 활동	64
[그림 2.13] 해양관리 패러다임의 변화의 예(Koh and Khim, 2014)	66
[그림 3.1] 해양생태계 부영양화의 발생	70
[그림 3.2] 해양의 빈산소 현상	72
[그림 3.3] 2018년 마산만 및 진해만 지역의 저산소 발생 현황	73
[그림 3.4] 해양 쓰레기 발생 현황	74
[그림 3.5] 미세플라스틱 구분 및 해양에서 발견되는 미세플라스틱(Shim et al., 2018)	75
[그림 3.6] 전 세계 대양 및 대륙(모래해안)별 미세플라스틱의 오염현황(Shim et al., 2018)	76
[그림 3.7] 해수에서 금속이온의 거동 및 생물축적 경로(Ansari et al., 2004; USGS, 2004)	77
[그림 3.8] 전 지구적 수은 순환(UNEP, 2013)	78
[그림 3.9] 잔류성 유기오염물질 환경 내 거동 및 주요 축적 경로(환경부, 2021)	81
[그림 3.10] 주요 방사성 폐기물 투기 해역(Foyen, 2001)	82
[그림 4.1] 대기 이산화탄소 농도 변화	87
[그림 4.2] 1970년~2010년 동안 지구상에 쌓인 잉여 열에너지의 분포	88
[그림 4.3] 1982~2016년 기간 평균 대비 해양 표층 수온 이상치와 지속일수로 계산한 해양열파 발생 (Frölicher and Laufkötter, 2018)	90
[그림 4.4] 기후온난화가 극지환경에 미치는 영향	91
[그림 4.5] 해수면 상승 추세(1993~2018)와 주요 원인	91
[그림 4.6] 해양산성화와 해양생태계	92

목 차 Contents

[그림 4.7] 우리나라 해역 표층 수온 상승 추세(국립수산과학원, 2019)	93
[그림 4.8] 지난 30년(1989~2018) 평균 해수면 상승률(국립해양조사원, 2020)	94
[그림 4.9] 온실기체 배출 시나리오에 따른 미래 변화	96
[그림 4.10] 이산화탄소 배출 시나리오에 따른 우리나라 주변 해수면 상승 예측 결과	97
[그림 4.11] IPCC 지구온난화 1.5℃ 특별보고서 승인	98
[그림 5.1] 전 세계 어획어업 및 양식어업 생산량 변동(FAO, 2020)	106
[그림 5.2] FAO 해구별 어업생산량	107
[그림 5.3] 전 세계 1인당 연평균 수산물 소비량 변동 추세	108
[그림 5.4] 전 세계에서 어획되는 어류의 자원 상태	108
[그림 5.5] 우리나라의 어업별 생산량 변동	109
[그림 5.6] 우리나라 연근해어업의 연도별 어업생산량 변동	110
[그림 5.7] 시대별 주요 어획대상종의 변화	111
[그림 5.8] 우리나라 연근해에서 어획되는 주요 부어류 3종의 어획 비율 변동	112
[그림 5.9] 해조류를 제외한 국민 1인당 연간 수산물 소비량	113
[그림 5.10] 어획량 및 자원량 기준점에 따른 자원상태 분류와 연근해 자원상태	113
[그림 5.11] 우리나라 배타적경제수역에서 저층 트롤조사에 의해 수거된 해양 쓰레기의 분포 밀도	115
[그림 5.12] 저층 트롤조사에서 수거된 해양폐기물 종류(예시)	116
[그림 6.1] 남극대륙을 에워싸는 남극해와 대륙에 갇힌 북극해	121
[그림 6.2] 북극해 해빙 면적의 감소 추세(9월 평균 북극 해빙 면적)	124
[그림 6.3] 남극해에서 해양보호구역으로 지정되었거나 제안된 해역	131
[그림 6.4] 플라스틱과 먹이그물 그리고 해빙	133
[그림 7.1] 지속가능발전을 위한 유엔해양과학10년 계획 추진 체계(IOC-UNESCO, 2020)	137



[그림 7.2] 미국 학교 해양교육 교과과정의 예(Ocean Literacy, 2010)	139
[그림 7.3] 지속가능한 수산물 소비 캠페인 “치어럽” 포스터	161
[그림 7.4] 세계경제포럼 글로벌 리스크 분석(WEF, 2021)	162
[그림 7.5] 공유수면으로서 바다의 특징(남정호·이윤정, 2010)	164
[그림 7.6] 해양환경정책 발전단계	166
[그림 7.7] 해양건강성지수 체계	170
[그림 7.8] 해양생태계서비스 구조(해양수산과학기술진흥원, 2019)	172
[그림 7.9] 관할해역 해양생태계서비스 현황(해양수산과학기술진흥원, 2020)	173
[그림 7.10] 관할해역 잠재적 해양공간상충 현황(해양수산과학기술진흥원, 2020)	174
[그림 7.11] 일인당 국민소득과 습지복원정책(국토해양부, 2012)	176
[그림 7.12] 그린인프라 개념도(NOAA, 2017)	177

KAST Research Report 2021

한림연구보고서 141

해양환경보호활동에 대한 국내외 현황과 정책 방향

Current status and future policy direction on
"Protection of Marine Environments" activity

I . 해양환경의 이해

I

Chapter

해양환경의 이해

지구표면, 즉 해양-대륙-대기에 존재하는 원소와 에너지는 서로의 경계를 넘나들며 순환을 하면서 지구생태계를 유지한다. 최근, 지구환경이 급격히 바뀌면서 해양도 눈에 띄게 변화하고 있는데, 해양환경을 보호할 수 있는 적절한 대책이 필요하다. 전문가들은 해양의 독특한 구조와 물리화학적 특성을 알고, 그 안에서 살아가고 있는 생물의 환경변화에 대한 반응인 생태학적 과정을 이해하는 것이 해양환경보호의 선결조건이라고 조언한다(IAP, 2021). 현시대의 생태계는 지구 역사상 생물종이 가장 다양하고 풍부한 생물상을 보이고 있지만, 인류 활동에 기인한 지구환경 변화라는 큰 위협에 노출되어 있다. 이 단원에서는 해양을 이해하는데 필요한 기본 지식과 개념을 살펴본다.

1 개관

가. 해양과 생명의 탄생

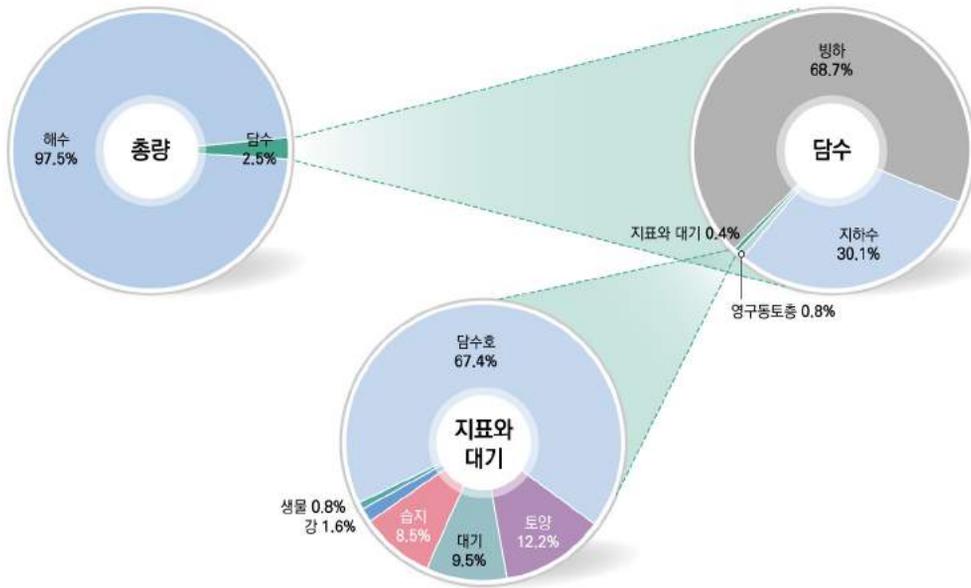
지구가 초기행성이었던 약 40억 년 전, 지각 깊은 곳과 맨틀에 있던 물이 화산활동에 의하여 수증기의 형태로 뿜어져 나왔다. 대기에 농축된 수증기는 비가 되어 지표로 떨어져 낮은 곳을 채워가며 해양의 모습을 갖추기 시작하였다. 현재, 해양은 지구 표면의 71%를 차지하기 때문에 우리가 살고 있는 행성을 지구(地球)가 아니라 수구(水球)라고 부르는 것이 더욱 타당할 수 있다. 한편, 생명 탄생의 기본 조건은 물의 존재 여부이며, 지구상 최초의 생명은 약 35억 년 전 해양에서 기원하였다. 이들은 긴 시간 동안에 단세포 생물에서 다세포 생물로 진화하였고, 서식 공간은 수중에서 육상과 대기로 확장되었다. 비록 지구 전체의 크기에 비교하여 해양과 대륙이 차지하고 있는 공간은 미미하지만, 인류를 포함하는 생명체가 생명을 유지하고 서식하는데 절대적으로 의존하는 장소이다.

나. 지표 부근의 물

물은 강력한 용매로서 해양-대륙-대기를 끊임없이 순환하면서 많은 화합물을 녹여 운반하고 있다. 지구 행성의 깊은 곳에도 많은 물이 매장되어 있으리라 생각하지만, 아직 우리가 정확한 측정치를

가지고 있지 않다. 지구 표면 부근에 있는 물의 양은 비교적 정확히 알고 있는데, 염분을 포함하는 해수가 전체의 97.5%를 차지한다(https://en.wikipedia.org/wiki/Marine_life). 해수는 소금을 포함한 다양한 원소를 함유하거나, 기체를 녹여 독특한 특성을 유지하고 있다. 그리고 바람, 빛, 열 등의 외부적 환경요인과 작용하여 열을 저장/방출하거나, 해류와 조류 등 물의 흐름을 형성하면서 기상과 기후를 조절한다. 염분이 없는 담수는 대륙과 대기에 분포하는데, 가장 많은 비중을 차지하고 있는 것이 빙하의 형태로 대륙에 쌓여 있는 얼음이며, 특히 한반도 면적의 60배가 넘는 남극대륙에 평균 약 2km 정도의 높이로 얼음이 쌓여 있다. 이 양은 지구 전체 담수의 약 4분의 3을 차지한다. 그린란드에도 만년설이 약 2km 두께로 쌓여 있는데, 이 얼음이 녹아 북대서양으로 들어간다면 해양 컨베이어벨트 시스템의 순환작용에 영향을 미쳐 지구의 기후에 큰 변화를 유발할 가능성이 있다(1.5. 다. 해양 대순환 참조). 우리가 식수로 많이 사용하는 지표수 중, 지하수는 강과 호수에 있는 물보다는 많지만, 전체 물의 총량에 비교하면 매우 미미한 수준이다(그림 1.1).

그림 1.1 지표 부근에 존재하는 물의 형태





2 해양의 구분과 해저지형

가. 해양의 지리적 구분

해양은 크게 태평양(Pacific Ocean), 대서양(Atlantic Ocean), 인도양(Indian Ocean)으로 나뉘며(그림 1.2), 그중에서 태평양이 가장 넓고, 깊다(표 1.1). 태평양은 전체 해양의 약 반을 차지하는 거대한 바다이며, 북반구와 남반구에 걸쳐 분포하고 있는데, 적도를 경계로 각각 북태평양과 남태평양이라고 부른다. 북태평양은 베링해협(Bering Strait)으로 북극해와 통해 있지만, 이 통로가 너무 좁아 두 해역 간의 해수 교환이 많지는 않다. 대서양의 경우도 북반구와 남반구에 분포하고 있으므로 북대서양과 남대서양으로 구분되는데, 대서양 북쪽은 북극해와 연결되어 있어 적도지방에서 올라오는 따뜻한 해류가 북극권에 상당히 가까이 갈 수 있다. 북극이 남극에 비하여 상대적으로 온난한 이유는 이 해류의 영향 때문이다. 인도양은 두 대양에 비하여 상대적으로 작으며 남반구 쪽에 치우쳐 있다.

표 1.1 각 대양의 크기와 깊이

	면적 (× 1,000 km ²)	비율 (%)	평균 깊이 (m)	물의 총량 (× 1,000 km ³)	비율 (%)
태평양	168,723	46.6	3,970	669,880	50.1
대서양	85,133	23.5	3,646	310,411	23.3
인도양	70,560	19.5	3,741	264,000	19.8
남극해	21,960	6.1	3,270	71,800	5.4
북극해	15,558	4.3	1,205	18,750	1.4

출처: https://en.wikipedia.org/wiki/Ocean#Oceanic_divisions

그림 1.2 세계 해양의 구분



출처: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3161495>

그 외에 양극지방에 남극해(Antarctic Ocean 혹은 Southern Ocean)와 북극해(Arctic Ocean)가 있다(그림 1.2). 북극해는 유라시아와 아메리카 대륙에 의하여 둘러싸여 있는 바다이지만, 남극해는 남극대륙 주위를 시계방향으로 흐르는 해류인 남극순환류(Antarctic Circumpolar Current, ACC)와 남극대륙 사이의 바다이다. 강한 ACC의 흐름 때문에 태평양, 대서양, 인도양의 해수가 남극해로 침투하기 어려워 찬 수온이 유지된다. 두 해역 모두 겨울에는 전체적으로 혹은 부분적으로 얼어 해빙(海水, sea ice)이 형성되고, 짧은 여름 동안에 해빙이 녹기도 한다. 각 대륙의 주변에는 지역해(regional sea)가 있는데, 대표적인 것이 유럽과 아프리카 사이의 지중해, 아시아와 아메리카 사이의 베링해, 한반도와 중국 사이의 황해, 한반도와 일본열도 사이의 동해 등이다. 대체로 지역해는 대양에 비하여 상대적으로 수심이 얕아 인류의 생활과 밀접하게 관련되어 있다.

나. 해양의 지형

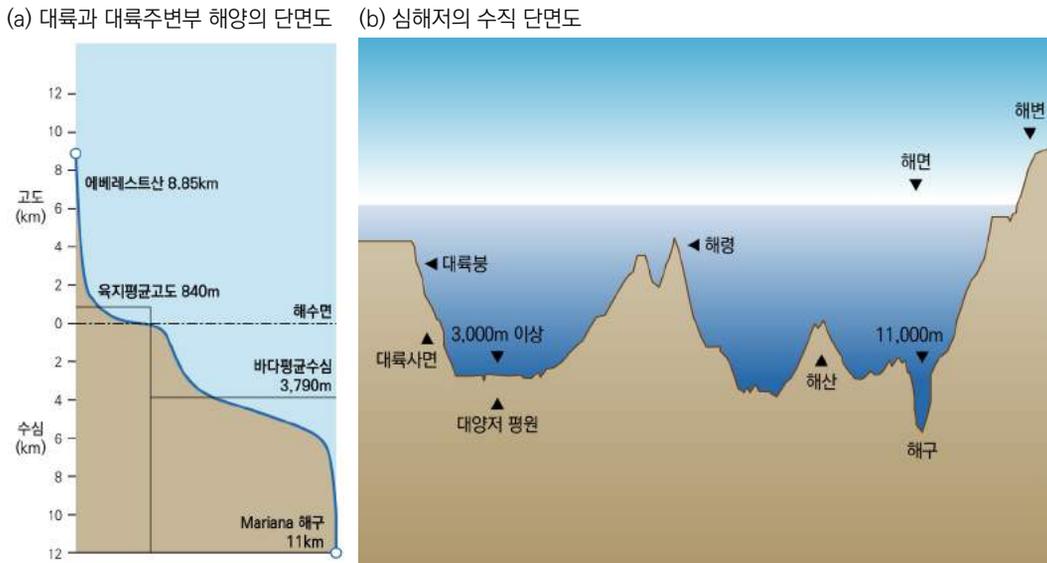
세계에서 가장 높은 에베레스트 산의 해발고도가 약 9km 정도이고, 대륙의 평균 고도가 840m인 것에 반하여, 해양에서 가장 깊은 마리아나 해구는 수심이 10km가 넘고, 해양의 평균 수심도 약 3,700m에 달한다(그림 1.3a). 이처럼 해양은 대륙보다 더 넓고, 폭이 커서 해양생물에게 다양한 형태의 서식처를 제공하고 있다. 해양과 대륙이 만나는 경계를 해안이라고 하며, 강이 바다와 만나는 강어귀(estuary), 해안 부근의 갯벌(tidal flat) 등은 다양한 생물들이 서식하는 생물의 보고이다. 또한, 풍광이 좋은 해변은 여가를 위한 휴식처로, 해안 부근에 형성된 맹그로브 숲은 해안 침식을 완화하는 완충지역으로,



산호초, 해초지, 해조숲 등의 연안 서식지는 높은 생물다양성을 유지하게 만들어 생태계의 건강성을 높인다. 하지만 해안과 맞닿은 연안지역은 인간의 거주지역과 가까워서 해양의 건강성을 위협하는 복합적 스트레스가 항시 존재한다.

대륙 부근의 얕은 바다를 대륙주변부라고 하며, 대륙주변부는 다시 대륙붕, 대륙붕단, 대륙사면, 대륙대로 구분된다(그림 1.3b). 대륙 부근의 수심이 얇고 경사가 완만한 연안을 대륙붕이라고 하는데, 보통 육지와 대양의 영향을 동시에 받고 있다. 전체 해양 면적의 약 9~10%를 차지하는 대륙붕은 식물플랑크톤이 번식하는데 필요한 태양광과 영양염(nutrients)이 많으므로 생명활동이 매우 왕성하고, 인간이 식량으로 이용하는 어패류와 해조류도 주로 이 해역에서 번성하고 있으므로 어업활동이 활발하다. 대륙붕의 끝부분인 대륙붕단부터 경사가 급해지기 시작하며, 그 아래에는 대륙사면과 대륙대가 형성된다. 이러한 대륙주변부의 면적은 전체 해양의 약 21%를 차지하며, 그 외의 78%를 차지하는 나머지 부분은 수심 4~5km의 대양저라고 불리는 평원이다. 이곳은 깊고, 빛이 들어오지 않아 영원한 암흑이다. 그리고 대양저의 한 부분에는 대양저 산맥이 1~2km 이상 돌출되어 지구를 감싸고 있는데, 산맥의 능선(ridge)으로부터 유출되는 용암이 해양판(oceanic plate)을 밀어내어 일부 해양은 계속 넓어지고 있다. 해양판은 대륙 아래로 침강하면서 대륙괴와의 마찰로 지진과 화산이 발생하기도 한다.

그림 1.3 지구 표면 지형의 수직적 모식도



3 해수의 특성

해수는 화학물질뿐만 아니라 기체도 물에 녹여 용존기체의 상태로 만들어 해수가 독특한 생태적 기능을 갖게 한다. 또한, 해수는 태양열을 흡수하고 방출하면서 수온을 유지하고 지구의 기후를 조절한다. 해수가 지나는 수온, 염분, 밀도는 시간이 흘러도 어느 정도 특성을 유지하는 보존적 특징(conservative characteristics)을 지니지만, 해수에 녹아있는 영양염, 산소, 이산화탄소는 생물작용에 의하여 빠르게 변화하는 비보존적 특성이 있다. 해수의 특징과 이들이 해양에서 나타나는 현상을 간략히 기술한다.

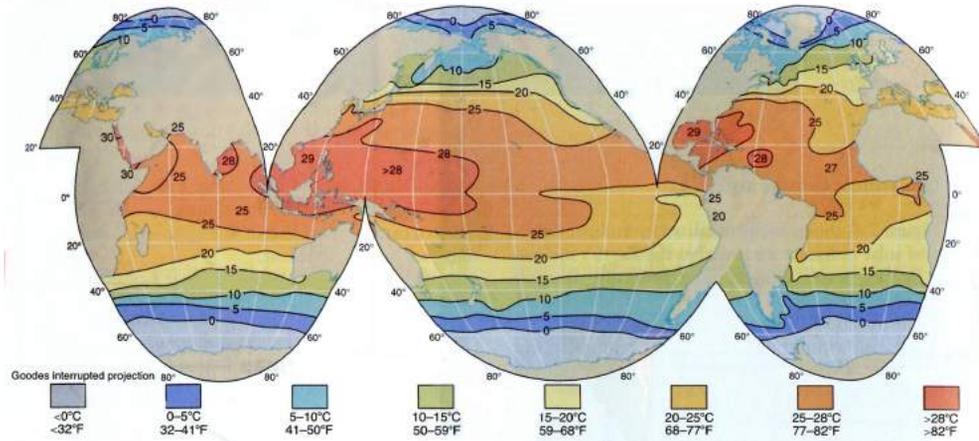
가. 수온

햇빛은 지구의 자연현상을 일으키는 원동력이다. 해양에서는 대기를 통과한 햇빛이 먼저 해수면을 가열하고, 햇빛이 물속을 통과하면서 빛에너지가 열에너지로 전환된다. 해수는 열용량이 대기보다 약 1,000배 정도 크기 때문에, 해양에 들어온 열은 저장되고, 대기와의 열 교환을 통하여 지구의 기후를 조절한다. 해양의 표층은 햇빛과 기온의 영향을 직접적으로 받으므로, 수온은 지역과 계절에 따라 다양하게 나타난다. 대륙과 가까운 연안역의 표층 수온은 외양보다 변화가 크다. 기후대 별로 수온은 현저하게 다른데, 열대해역은 연중 25℃가 넘는 따뜻한 물이 해양 표층을 차지하고 있다. 극지방에서는 연중 영하에 가까운 수온이 형성되고, 중위도 해역은 계절에 따라 수온의 차이가 크다. 해양과 대기가 만나는 해양 표층의 수온을 해면수온(Sea Surface Temperature, SST)이라고 하는데, <그림 1.4a>는 세계 해양의 여름 평균 SST를 보여준다. 극지방에서는 겨울에 대기의 기온이 영하로 내려가면서 해수가 표층에서 얼어버린다. 기상조건의 차이에 따라 얼음이 결빙되는 면적은 해마다 달라지며, 겨울철 결빙 면적과 여름 동안의 해빙(解氷, melting ice) 조건에 따라 생태계와 인류의 산업활동이 큰 영향을 받는다. 세계에서 가장 따뜻한 물은 열대 서부태평양인 보루네오 북부와 동부에서 발견되는데, 이곳에는 29℃ 이상의 따뜻한 해수가 항상 차지하고 있으므로 난수풀(warm pool) 해역이라고 한다. 적도 부근 북반구에서는 해류가 동쪽에서 서쪽으로 흐르는데(1.5.나. 해류 참조), 열대해역에서 뜨거운 햇빛을 받으면서 물이 서쪽으로 이동하기 때문에 서부 해역에는 따뜻한 물이 축적된다.

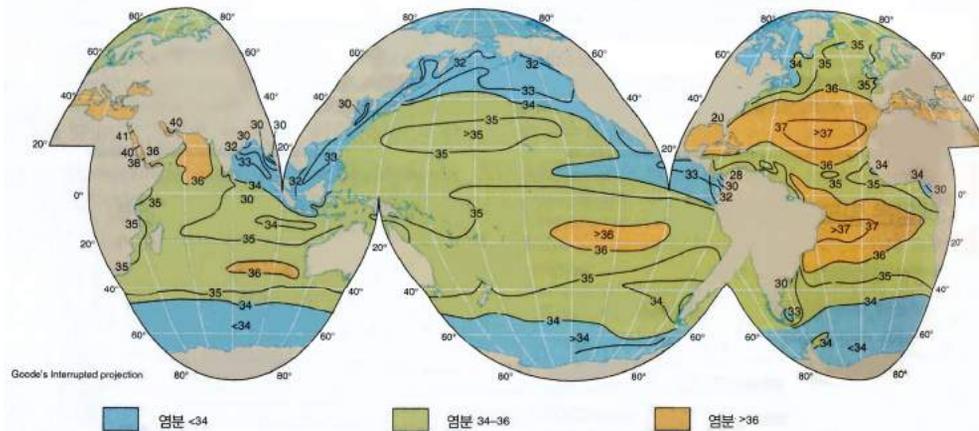


그림 1.4 전 세계 해양의 수온과 염분의 지리적 차이(이 등, 2013)

(a) 여름 평균 해면수온의 분포



(b) 여름 평균 해면염분의 분포



나. 염분

육지에 내리는 빗물은 강으로 흘러들고, 궁극적으로 바다에 모이게 된다. 이렇게 물이 바다로 흘러가는 과정에서 땅에 있는 여러 화학성분을 녹여 함께 바다로 가지고 간다. 물에 녹아 있는 무기입자의 총량 혹은 농도를 염분(salinity)이라고 하는데, 해역과 계절에 따라 다르기는 하지만 평균적으로 약 3.5%의 염분이 바닷물에 녹아있다. 이 중에서 가장 많은 부분을 차지하고 있는 것이 소금(NaCl)인데, 이온의 형태인 나트륨 이온(Na+)과 염소 이온(Cl-)으로 녹아 있고, 이외에도 황산 이온이나 마그네슘 이온도 상당량 들어 있다. 만약 지구에서 바닷물이 모두 증발한다면, 지구는 약 45m 두께의 소금으로 뒤덮일 것이다.

해양의 염분은 강물의 유입, 결빙, 증발, 강수 등의 여러 요인에 의하여 변하는데, 강물의 유입이 많은 연안역은 외해보다 염분이 낮다. 열대해역은 보통 기온이 높아 증발량이 크지만, 강수량도 제법 많아 우리가 생각하는 것처럼 염분이 아주 높지는 않다. 극지방은 증발량이 강수량보다 적으므로 염분이 가장 낮다. 대체로 온대해역에서는 증발량이 강수량보다 적어 열대해역보다는 염분이 낮지만, 아이러니컬하게도 세계 해역에서 염분이 가장 높은 곳은 아열대와 온대해역에 걸쳐 위치한 북대서양과 남대서양의 중앙부이다(그림 1.4b). 북회귀선과 남회귀선이 지나가는 이 해역은 건조한 기후가 형성되어 증발량이 많은데다가, 외곽을 흐르는 해류에 의하여 중앙부가 고립되어 외부로부터 저염분 해수의 공급이 적기 때문이다. 한편, 고위도와 극지해역에서 겨울의 찬 기온에 의하여 해수가 결빙될 때 염분은 얼음 구조에서 빠져나오게 된다. 얼음으로부터 빠져나온 염분은 주위의 해수에 농축되어 표층수의 염분을 높이고, 증가된 밀도에 의하여 해수는 침강하고, 이는 장기간에 걸친 지구적 순환체계를 형성하는 시발점이 된다(1.5.다. 해양 대순환 참조).

다. 밀도

밀도는 단위 체적당 질량으로 물질의 무거운 정도를 지칭한다. 해수의 밀도는 수압이 커질수록 커지며, 염분의 농도가 높을수록, 그리고 수온이 낮을수록 밀도가 높다. 상황에 따라서 해양에 존재하는 수괴(water mass)는 비록 염분과 수온이 다를지라도, 같은 밀도의 수괴가 만들어질 수 있다. 보통, 강물의 영향을 받는 연안역보다 외해 해수의 밀도가 높으며, 표층보다는 수온이 낮은 심층의 밀도가 높다. 밀도의 차이는 표층에서 해류를 발생시키는 원인이 되기도 하며, 해수의 수직적 움직임을 유발하여 표층과 심해의 물질교환에 관여한다.

라. 용존기체

기체가 해수에 녹아있는 상태를 용존기체라 한다. 기체마다 물에 대한 용해도가 달라, 해수에 녹아있는 기체의 조성비는 대기의 조성비와 다르다. 대기와 해수에 존재하는 기체의 농도 차이에 따라 대기의 기체가 해수에 녹아들거나 혹은 해수에 녹아있는 용존기체가 대기로 빠져나가기도 한다. 보통 수온이 높아지면 용존기체 양이 줄어들게 되기 때문에 극지방의 물은 열대지방의 해수에 비하여 더욱 많은 용존기체를 지니고 있다. 기후온난화가 지속되어 수온이 계속 상승한다면, 해수에 녹아있는 용존기체의 양도 적어지게 되어 생태학적으로 많은 문제를 발생시킬 것이다. 특히 해수에 녹아있는 비보존성 기체인 산소와 이산화탄소는 생물 활동과 직결된다. 예를 들면, 식물플랑크톤은 광합성을 수행하기 위해 물속에 녹아있는 이산화탄소가 필요하며, 동물은 호흡을 위해 산소가 필요하다. 용존산소의 경우, 해양의 표층은 대기와 접촉을 하고 있기 때문에 농도가 높으며, 극지방의 표층에서 침강된 심층수는 산소를 많이 포함하였기 때문에 용존산소의 농도가 비교적



높다. 하지만 해양의 중층(700~1,000m)에 존재하던 산소는 그 층에 서식하던 동물의 호흡과 호기성 박테리아에 의한 물질분해에 의하여 소진된다. 따라서 산소의 보충이 원활하지 않으면 산소최소층(Oxygen Minimum Layer)이 형성되어 어류와 같이 산소호흡을 하는 생물의 활동과 생존이 위협을 받는다.

이산화탄소는 온실기체로서 지구온난화의 주범이라고 알려져 있다. 대기 이산화탄소의 농도는 2015년에는 400ppm을 초과하여 산업혁명 이전의 280ppm보다 40% 이상 증가하였으며, 이렇게 빠른 증가 추세는 여전히 유지되고 있다. 이산화탄소는 물에 아주 잘 녹기 때문에 해양은 대기 이산화탄소 총량의 약 30%를 흡수하여 지구의 기후변화가 급격하게 진행되는 것을 완화시켜 왔다. 하지만, 해양에 녹아들어난 이산화탄소는 해수를 산성화시켜 탄산칼슘으로 패각을 형성하는 해양생물에게 치명적인 영향을 미치고 있음이 최근에 알려지게 되었다. 해양산성화는 탄산칼슘 구조를 가진 생물에게 직접적인 영향을 미칠 뿐만 아니라, 특정 생물종의 감소가 생태계 먹이망(foodweb)을 교란하여 우리가 이용하는 수산생물의 감소를 유발할 가능성이 높다.

마. 영양염

생명체는 살아가면서 유기물을 합성하여 성장을 하거나 증식을 한다. 이 과정에서 필요한 화합물이 영양염이다. 식물의 일차생산에 필요한 중요한 무기영양염은 질소와 인을 포함한다. 해양의 표층에는 식물플랑크톤이 항상 영양염을 사용하기 때문에 영양염의 농도가 작고, 특히 육지의 표층토에 비교하여 질소의 양이 훨씬 적기 때문에 작물을 기르는 것이 매우 어렵다. 한편, 육상 농경지의 비료, 도시의 생활하수 등에 녹아있는 질소, 인, 규소 등의 무기질이 강을 통하여 바다로 들어가면 식물플랑크톤이 살아가는데 필요한 영양분이 된다. 과도한 인간 활동의 증가는 연안해역의 부영양화(富營養化, eutrophication)를 빠르게 가속화하며(II.3.나.3. 부영양화 참조), 적조(red tide)를 발생시키거나, 빈산소 수괴 등을 유발하여 궁극적으로 해양생태계에 악영향을 미친다(Heisler et al., 2008). 심층에서는 식물플랑크톤에 의한 합성과정이 없으므로 영양염이 소비되지 않아 풍부하다.

4 해양의 성층구조

해수면부터 깊은 해구까지 가득 찬 해수는 빛의 투과 정도와 밀도 차이 때문에 수직적으로 다른 특성을 보인다. 해양에 도달하는 태양광은 물속으로 투과되면서 급속히 약해진다. 빛이 어느 정도 있는 표층의 얇은 층을 유광층(photoc zone)이라고 한다. 유광층의 깊이는 보통 외해의 경우 100m 정도이지만, 연안에서는 육지로부터 배출되는 부유물질 때문에 물이 탁하여 40m 미만이 되기도 한다. 유광층에는 많은 동식물이 서식하여 생명현상이 활발하다. 유광층의 아래는 빛이 들어오지 않으므로 영구적으로 어두운 무광층(aphotic zone)이며, 빛을 이용하는 광합성 작용도 없으므로 식물플랑크톤도 살 수 없다. 이 층을 통과하는 동물, 빛이 없는 곳에 살 수 있도록 진화한 동물, 분해자의 역할을 하거나 화학합성을 하는 미생물만 발견된다.

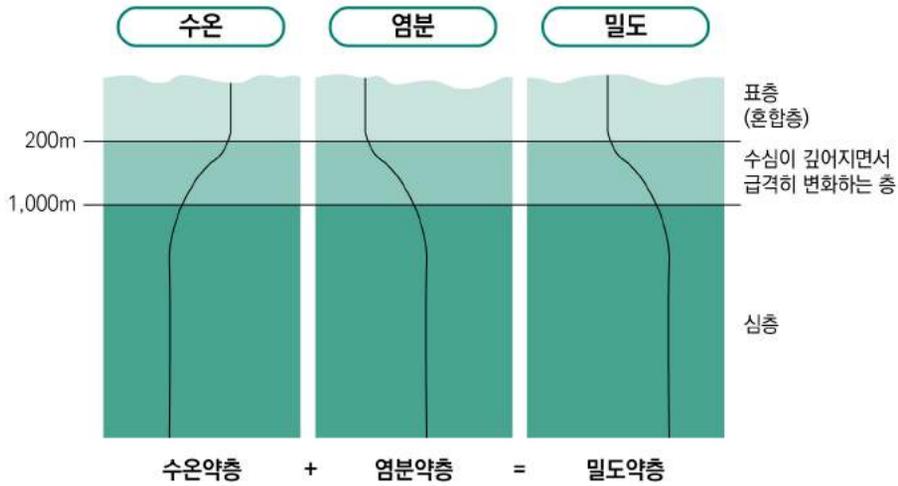
해양에서 가벼운 물은 표층(surface zone)에 위치한다. 바다에서 부는 바람은 물을 교란시켜 수직적으로 혼합시키고 있으며, 이러한 연직혼합이 발생하는 수심까지는 수온, 염분, 밀도가 동일한 혼합층(mixed layer)이 형성된다. 전형적인 혼합층은 수심이 150m 정도이지만, 지역적, 계절적 조건에 따라 혼합층 깊이가 달라지기도 한다. 혼합층 아래에는 해수 특성치 값이 급격히 변화하는 약층이 형성되는데, 해수 특성치에 따라 각각 수온약층(thermocline), 염분약층(halocline), 밀도약층(pycnocline)이라고 부른다. 대양에서 이들 약층의 위치는 거의 일치하며, 수심 1,000m 아래에는 특성치 값이 거의 변함없는 심층(deep zone)이 있으므로 해양은 수직적으로 3층 구조를 가지고 있다고 할 수 있다(그림 1.5a). 실제로 해수 특성치는 위도에 따라, 계절에 따라, 지역에 따라 많은 차이가 있다. 한대지역의 표층은 낮은 수온 때문에 성층(成層, stratification)이 거의 없는 반면, 열대해역에서는 영구수온약층을 동반하는 강한 성층이 유지되고, 중위도의 여름철에는 열대지역과 같이 고온의 얇은 혼합층과 강한 수온약층이 발달하지만, 겨울철에는 성층이 파괴되는 계절변화를 보인다. 염분과 밀도의 경우, 심층이 표층보다 높다.

표층 혼합층, 약층, 심층은 세계 해양에서 각각 2%, 18%, 80%를 차지하여, 심층이 해양의 대부분을 차지하고 있는 것을 알 수 있다(그림 1.5b). 일반적으로, 대기에서 발생하는 태풍과 같은 강한 바람이라 할지라도 밀도약층의 하단부까지 직접적인 영향을 미치지 못하므로 약층은 혼합층과 심층 사이의 경계층에 해당된다. 밀도가 낮은 상층의 물이 심층으로 들어가거나, 반대로 심층의 물이 상승하여 혼합되려면 역학적 에너지가 공급되어야 하는데, 일부 해역에서는 바람의 영향으로 이런 현상이 만들어지기도 한다. (1.5.라. 용승류와 엘니뇨 현상 참조)

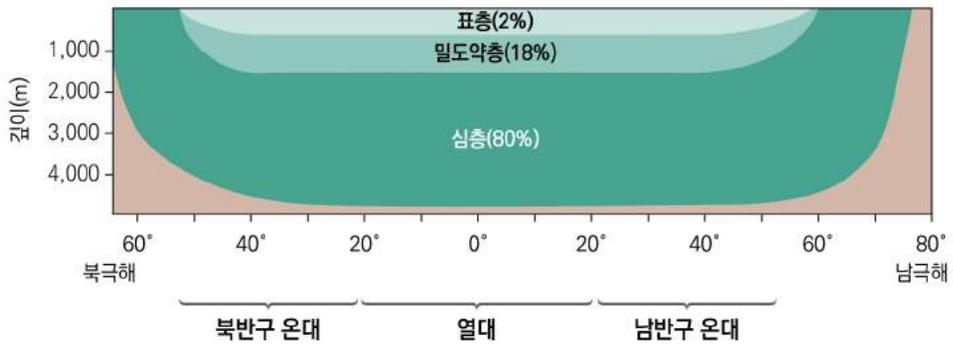


그림 1.5 해양에서의 전형적인 성층구조

(a) 수온, 염분, 밀도의 수직 분포



(b) 세계 해양의 표층, 약층, 심층의 3층 구조



5 역동적인 해양

해수는 바람과 조석과 같은 외부 조건의 영향을 받아 움직이기도 하고, 수괴 사이의 밀도 차이 때문에 움직이기도 한다. 해양의 대규모 순환은 크게 두 종류로 나눌 수 있다. 상층부에는 바람에 의해서 구동되는 순환이 있으며, 표층과 심층의 해수밀도 차이 때문에 발생하는 순환이 있다. 지역적 현상으로, 바람과 지형의 영향으로 해수가 용승 혹은 침강하는 현상이 발견되기도 하는데, 비록 이러한 현상이 발견되는 해역은 전체 해양 면적에 비교하여 매우 작은 부분이지만, 생태학적 그리고 수산학적으로 매우 중요한 의미를 지닌다.

가. 조류

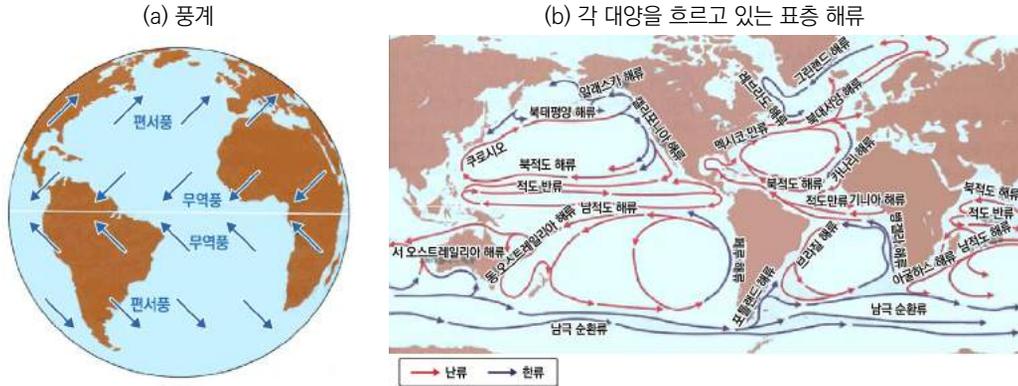
달과 태양의 위치, 지구의 운행상태에 따라서 지구상의 특정 지점에서는 주기적인 해면변동이 나타나고, 이를 조석(tide)이라고 한다. 조석에 의하여 해면이 상승하거나 하강함에 따라 해수의 흐름이 만들어지는데, 조류(潮流, tidal current)라고 불리는 이 흐름은 수평적으로 왕복 운동을 하는 특징이 있다. 연안 부근에서 해안이나 내만으로 밀려들어오는 밀물이 최고 수준으로 높아지면 고조라고 하며, 이렇게 해면이 상승하는 동안의 흐름을 창조류(flood current)라고 한다. 반면, 썰물에 의해 물이 외해로 빠져나가 수면이 아주 낮아진 상태를 저조, 고조시부터 저조시까지 해수가 빠져나가는 동안의 흐름을 낙조류(ebb current)라고 한다. 대체로, 우리나라의 서해안은 조석간만의 차이가 커서 조류가 강하며, 리아스식 해안이 발달한 남해 다도해의 좁은 수로에서는 왕복성 조류가 매우 빠르게 흐르고 있다. 반면, 동해에서는 조석의 차이가 작아 조류의 흐름이 상대적으로 약하다.

나. 해류

해양 상층부의 순환을 일으키는 풍계(wind system)에서 저위도의 무역풍(trade wind)과 중위도의 편서풍(westerly)이 가장 넓은 면적을 차지하고 극지방의 극동풍(polar easterly) 지역은 가장 적다(그림 1.6a). 바람은 해수를 움직이는데, 이렇게 해양의 표층에서 바람에 의하여 형성되는 풍성 순환(wind-driven circulation)을 표층 해류(surface current)라고 한다. 해수는 무역풍과 편서풍의 영향과 더불어 태양열에 의하여 온난해진 해양에서 지구에 적용되는 물리적 법칙을 적용받는다. 즉, 적도지역은 기온이 높아 해수도 더워지고, 해수의 열팽창 때문에 중위도나 고위도보다 해수면의 높이가 높아진다. 그리고 지구는 시계 반대 방향으로 자전을 하고 있기 때문에, 적도 부근에 있는 해양의 물은 동쪽에서 서쪽으로, 그리고 저위도에서 고위도로 흐르는 성질을 가진다. 이에 따라 북반구의 저위도에서 중위도에 이르는 대부분의 해역에 시계방향의 순환이 일어나는데, 이것을 아열대 환류(subtropical gyre)라 한다. 남반구에서는 해류가 반시계 방향으로 흐른다(그림 1.6b).



그림 1.6 지구 표면에서의 풍계와 해류 시스템(이 등, 2013)

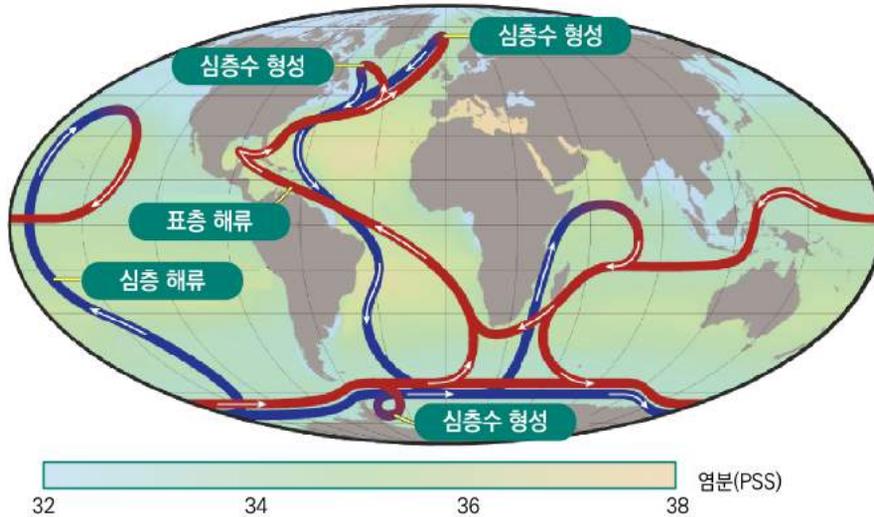


다. 해양 대순환

해수의 밀도 차이에 의해서도 수괴의 운동이 발생하는데, 밀도에 영향을 미치는 수온과 염분에 의하여 해수의 순환이 발생하므로 이를 열염순환(thermohaline circulation)이라고 한다. 남극해와 북대서양에서 해수의 결빙에 의해 만들어진 저온고염의 표층수는 심층으로 가라앉은 후 전 세계 바다로 이동하여 북동태평양까지 흘러가며, 북동태평양에서 다시 표층으로 상승한 후 계속해서 인도네시아 남쪽과 서쪽 그리고 아프리카 희망봉을 지나 북쪽으로 이동한다(그림 1.7). 표층을 통해 이동하는 동안 해수는 태양 가열과 증발로 인해 점차 따뜻해지고 염분이 높아진다. 해류 여정의 마지막은 멕시코만에서 고리 모양 해류를 이뤄 열을 방출하면서 동쪽으로 흐른다. 대기로 열을 방출한 해류는 곧 차가워지지만, 여전히 염분이 높은 채로 동쪽으로 흘러가 그린란드와 뉴펀들랜드에 이르게 되고 마침내 다시 가라앉아 수천 년 주기의 느린 심층수 순환을 다시 시작한다. 이렇게 전 세계 바다로 열을 배분하는 열염순환을 흔히 '해양 컨베이어벨트'라고 부른다.

해양 열염순환은 매우 느리며, 그 영향은 수백 년에 걸쳐 일어난다. 긴 시간 동안 전 세계 해양을 거치면서 해양의 표층에서 대기 이산화탄소와 산소를 흡수하고, 이들을 심해로 공급하는 역할을 한다. 이러한 작용은 전 세계 기후에 영향을 주기도 하며, 국지적으로는 강수량의 분배에 영향을 주거나, 태풍 시스템을 변화시키기도 한다. 대규모 해수혼합을 일으키는 열염순환이 감소하면 기후변화가 급격하게 일어날 수 있다. 지구온난화로 인해 강수량이 증가하고 빙하가 녹게 되면 해양의 표층에 저염분의 거대한 해수층을 형성하여 열염순환이 느려지거나 정지하고, 대기의 온도를 낮추어 예상하지 못한 기후변화를 유발할 수도 있다.

그림 1.7 해양의 열염순환 궤적을 보이는 해양 컨베이어벨트 시스템



출처: https://en.wikipedia.org/wiki/Thermohaline_circulation

라. 용승류와 엘니뇨 현상

해양에서는 바다 깊은 곳의 해수가 표층으로 상승하는 경우가 있는데, 이를 용승(upwelling)이라고 한다. 용승은 지형적인 영향, 해류의 사행운동(meander motion)이나 와류(eddy) 같은 소용돌이 운동에 의해서 나타나기도 하지만 바람에 의한 용승이 가장 중요하다. 북반구에서 바람이 북쪽에서 남쪽으로 불고, 해안이 바람 진행 방향의 왼쪽에 있다면 해양 상층의 물이 외해 쪽으로 이동하는 현상이 나타난다. 이 경우, 해안에서는 부족한 물을 보충하기 위해서 저층의 냉수가 올라오는 연안 용승이 나타난다(그림 1.8a). 만약 바람이 반대로 불면, 해수는 표층에서 깊은 곳으로 이동하는 침강(downwelling) 현상이 나타난다(그림 1.8b). 용승 현상이 발생하면 식물플랑크톤의 증식에 필요한 질소, 인, 규소 등의 무기질 영양염이 저층으로부터 표층으로 공급되므로, 해역의 일차생산력이 대단히 높아진다.

해양에서 용승이 발견되는 곳은 여러 곳이 있는데, 그중에서 가장 유명한 것이 페루 앞바다의 용승이며, 이와 관련된 엘니뇨 현상은 지구생태계와 인류사회에 큰 영향을 미친다. 용승이 발생하면서 찬 심층의 해수가 표층으로 떠오르게 되며, 심층 해수에 존재하던 영양염이 표층으로 함께 올라옴에 따라 표층에서는 식물플랑크톤이 번성한다. 이 결과 식물플랑크톤을 먹이로 하는 동물플랑크톤이 증가하고, 또 이들을 먹는 멸치류가 동반적으로 증가한다. 그러나 3~7년에 한 번씩 용승이 중단되면서 더운 수괴가 해역을 덮고, 그 결과 기상이변이 생기고 생태계가 파괴된다. 이런 일이 대개 크리스마스 전후하여 발생하여 아기 예수라는 의미로 엘니뇨(El Niño)라고 불려왔다. 즉, 엘니뇨는 태평양에



존재하는 기단들끼리의 상호작용에 의하여, 심층의 차가운 해수가 용승되지 않아 페루 앞바다의 표층에 온난한 해수가 출현하는 현상을 말한다(그림 1.9). 요즘은 엘니뇨와 이를 발생시키는 기단의 활동을 함께 묶어 ENSO(El Niño & Southern Oscillation)라고 부른다. 엘니뇨는 한번 시작하면 6~18개월 정도 지속되며, 과거에는 페루 앞바다에서의 지역적 현상으로 간주하였지만, 요즘은 태평양의 열대해역을 포함하여 전 지구적으로 영향을 미치는 효과를 가진다고 이해한다. 특히 최근에 그 빈도와 강도가 잦아지고 있는데, 1997/98 엘니뇨는 20세기에 가장 강했던 엘니뇨라고 불린다. 엘니뇨가 세계 곳곳에서 홍수, 가뭄, 화재, 질병의 발생 원인이 되고 있으며, 특히 페루의 지역 경제에 심각한 영향을 미친다. 엘니뇨 현상과는 반대로 용승이 아주 심할 때를 라니냐(La Niña)라고 하며, 엘니뇨와 라니냐는 교대로 반복하여 이 해역에서 발생한다.

그림 1.8 북반구 해수의 용승 현상과 침강 현상(이 등, 2013)

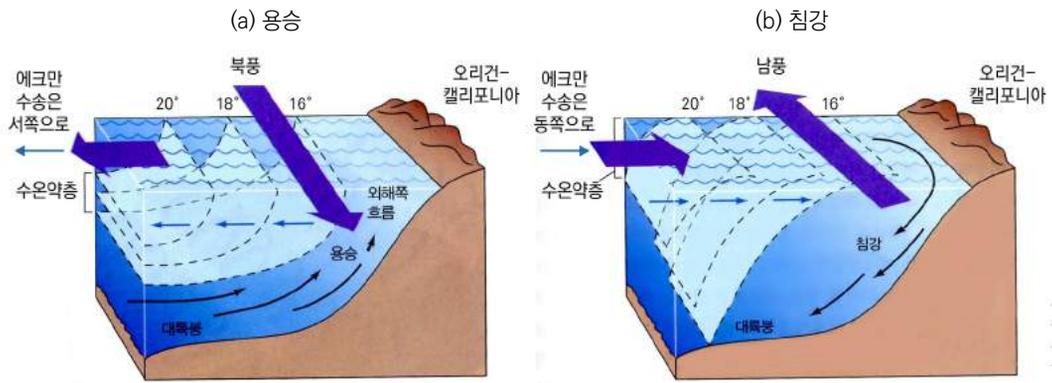
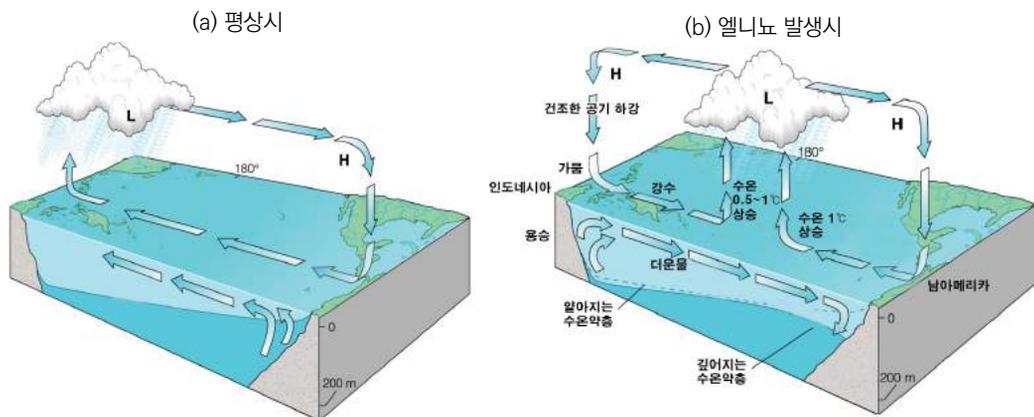


그림 1.9 태평양 적도해역에 나타나는 대기순환과 그에 따른 해양의 구조(김 등, 2011)



6 해양생태계의 구성과 물질순환

현재 전 지구적으로 약 174만 종의 생물이 서식하고 있는 것으로 기록되었으며 (<http://www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2018/info/ac>), 해양에도 다양한 크기의 수많은 생물이 서식하고 있다. 현재까지 20만 종 이상의 해양생물종이 기록되어 있으며, 지금도 계속 신종이 보고되고 있어 아마도 해양에 200만 종이 넘는 생물이 서식할 것이라는 주장도 있다(Drogin, 2009). 대륙 주변의 연안역에는 많은 생물종이 서식하여, 생물량(biomass)이 크다. 생물들은 자기가 서식하는 곳의 환경에 적응을 하거나 환경과 서로 영향을 주고받으면서 독특한 생태계(ecosystem)를 형성한다.

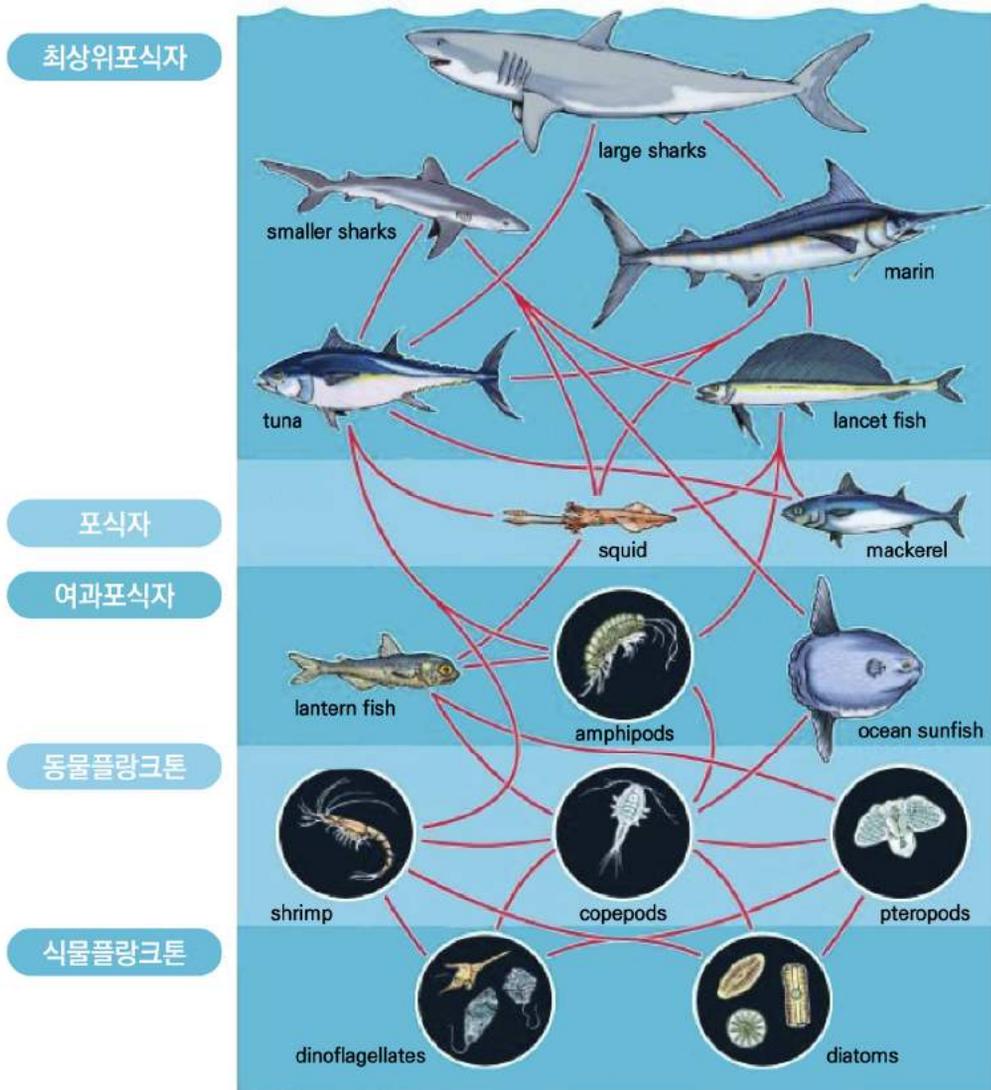
해양생물은 크게 다음의 세 부류로 구분한다: 부유생물(plankton), 유영생물(nekton), 저서생물(benthos). 부유생물, 즉 플랑크톤은 유영능력이 거의 없어 물의 흐름에 따라 떠다니는 생물로서 동물과 식물로 나뉜다. 해양의 표층에 분포하고 있는 식물플랑크톤은 광합성 능력이 있어 태양광을 에너지원으로 활용해서 물속의 이산화탄소를 유기물로 전환한다. 동물플랑크톤은 이들을 잡아먹는 1차 소비자이며, 다른 한편으로는 어류 등의 크기가 큰 동물의 먹이가 된다. 유영생물은 체격이 커서 주위의 물 흐름에 구애받지 않고 자기의 의지대로 유영을 할 수 있는 동물인데, 어류, 오징어류, 해양포유류 등이 이에 속한다. 이들은 주로 동물플랑크톤과 작은 어류를 섭식한다. 저서생물은 연안 가까운 곳의 해저에 부착 혹은 부근을 유영하며 사는 동물과 식물인데, 조개류와 해조류는 선사시대 이래 인류의 주요한 식량원이었다. 이들 생물은 생태계 내에서 서로 먹고, 먹히는 관계를 가지면서 먹이 피라미드를 형성하는데, 생물들이 섭식을 통하여 에너지가 전달되는 먹이 연쇄의 조합을 먹이망(foodweb)이라고 한다(그림 1.10). 광합성을 수행하는 식물플랑크톤과 이들을 섭식하는 작은 초식동물플랑크톤은 하위영양단계에, 중형 및 대형 동물플랑크톤과 소형어류는 중위영양단계에, 작은 동물을 포식하는 어류와 포유류 등의 커다란 동물은 상위영양단계에 위치한다. 최근에는 식물플랑크톤이 직접적으로 동물플랑크톤에게 섭식되기에는 너무 작기 때문에 원생동물을 이 중간 과정에 추가하는 미세생물 먹이망(microbial foodweb) 개념이 도입되었으며, 과거의 전통적인 먹이망 연구에서는 미세생물의 생물량과 생산력이 너무 과소평가되었다는 것이 밝혀졌다.

생태계를 구성하는 원소가 식물플랑크톤으로부터 동물플랑크톤을 거쳐 최상위 영양단계의 동물에까지 전달되고, 그 동물이 죽어 사체로부터 분리된 원소가 다시 무생물 환경 속으로 들어갔다가 다시 유기물 합성에 사용되는 과정을 생지화학적 순환(biogeochemical cycling)이라고 한다. 해양생태계의 다른 원소와 마찬가지로, 광합성에 의하여 만들어진 유기물은 탄소의 형태로 순환된다. 또한 이렇게 순환되는 물질의 양을 에너지로 환산할 수 있으며, 피식-포식 과정을 통해 에너지는 하위영양단계에서 상위영양단계로 이동한다. 현대의 해양생태학은 식물플랑크톤에서 최상위 포식자에 이르는 먹이망을 통하여, 에너지와 물질이 얼마나, 어떻게 상위단계로 전달되는가를 정량화하는데 큰 관심을 두고



있다. 이 생태학적 과정의 이해를 통하여 해양어류자원에 대한 잠재어류생산량(potential fish production) 추정이 가능해지고, 해양생태계의 생물다양성이 유지되는 방법이 모색될 것이다.

그림 1.10 전통적인 해양생태계 먹이그물 모식도(김 등, 2011)



© 2011 Encyclopaedia Britannica, Inc.

7 변화하는 해양과 해양환경보호

산업혁명 이후, 대기 이산화탄소의 농도가 증가하여 지구온난화 현상이 가속되고 있다. 해양환경도 극심한 변화를 맞고 있으며, 그 안에 서식하는 생물은 큰 고통을 받고 있다. 이와 더불어, 대기 불균형에 의한 잦은 기상 재해, 해양오염물질과 쓰레기의 배출 증가에 의한 질병 발생과 보건환경의 악화 등으로 우리 사회는 심각한 위협을 당하고 있다. 전 지구적 기후변화를 설명하고, 악화되고 있는 생태계 현상을 완화하고, 식량부족과 같은 위협 요소에 대한 대비책을 우리 사회가 준비하는데 빠질 수 없는 중요한 요소가 해양이다. 따라서 해양의 온전성과 건강성을 회복하기 위한 해양환경보호활동은 우리에게 주어진 급선무 중의 하나이다. 본 단원에서는 국제한림원연합회의 해양환경보호 성명서에서 언급한 해양의 건강성, 생물서식지, 환경오염물질, 기후변화, 남획 등의 항목을 간단히 설명한다(상세한 내용은 단원 2~5 참조).

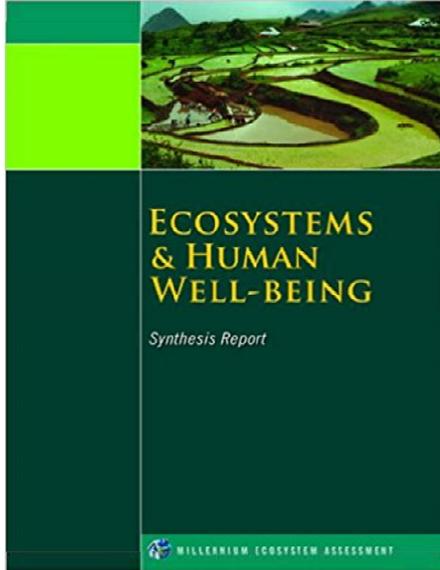
가. 해양의 건강성과 생태계서비스

해양생물은 생태계의 먹이망(foodweb) 구조에 의해 직접, 간접적으로 연결되어 있으며, 먹이망의 안정적 유지는 생태계가 순기능을 수행하는데 필수적이다. 유해물질과 쓰레기의 해양투기, 유류오염사고에 의한 해수의 오염 등과 같은 환경 재해는 생물종 다양성을 감소시킨다. 최근의 과도한 인간 활동은 바다를 위태롭게 만들었고, 이제 바다는 견디기 힘든 한계에 도달했다. 특정 생물종만 남겨진 단순화된 생태계는 해양의 건강성을 저하시켜 생태계서비스의 질을 떨어뜨리고 있다.

최근의 생태계서비스에 대한 관심을 촉발시킨 유엔환경프로그램(UNEP) '새천년 생태계 평가(Millennium Ecosystem Assessment)' 보고서는 최초로 인간과 생태계 변화의 함의를 전 지구적 차원에서 평가하였다. 해당 보고서는 현재 60%의 생태계서비스가 쇠퇴하고 있거나 지속가능하지 않은 방식으로 이용되고 있음을 경고하였다. 생태계서비스는 생태계가 인간에게 제공하는 편익(즉, 물질적, 비물질적 혜택)을 통칭한다. 구체적으로, 해양생태계서비스는 해산물 어획, 양식, 생물유전자, 골재채취 등과 같은 자연자원을 취득하여 재화와 물질을 얻을 수 있는 공급서비스(provisioning services), 기후조절, 수질정화, 재해저감 등과 같은 생태계 조절기능과 관련된 조절서비스(regulating services), 경관, 레크리에이션, 휴양 및 관광 등과 같은 문화서비스(cultural services), 그리고 침식방지, 서식지 제공, 일차생산, 물질순환 등과 같이 공급, 조절, 문화서비스를 부양하고 지지하기 위한 기능들을 포함하는 지원서비스(supporting services)의 네 가지 영역으로 구분된다(그림 1.11; 그림 7.8). 생태계서비스는 근본적으로 생물과 생물 간의, 그리고 비생물 요소들과의 상호작용에 의해 창출되는 구조와 과정에 의해 나타난다. 따라서 생태계서비스의 영역 구분은 생물다양성의 결과로 표출되는 것이다.

그림 1.11 UNEP 새천년보고서 및 생태계서비스 개념

(a) 보고서 표지



(b) 생태계서비스의 구분



나. 해양생물 서식지

해양에서 생물서식지의 훼손은 먼 바다, 심지어 심해와 극지해역에서도 나타나지만, 특히 연안지역에서 현저하다. 인구가 꾸준히 증가하고, 토지 간척과 담수 개발 등의 사회간접자본 시설의 구축 요구가 집중되기 때문에 생물서식지가 파괴될 가능성이 어느 해역보다도 높다. 하구, 해초지, 산호초, 굴밭, 염습지, 대형 해조숲, 맹그로브숲 같은 주요 연안서식지 생물들은 열악해진 환경에서 생물들은 지속적으로 생존의 위협을 받아 왔다. 또한, 서식지의 직접적인 손실 외에도 오염, 외래종 침입, 기후변화 등으로 인해 생태계가 크게 훼손되었고, 이 생태계와 연계되어 생계를 유지하던 사람들도 상당한 사회경제적 어려움을 겪고 있다. 연안서식지는 생물다양성과 해양생물의 세대 연속성을 유지하는 데 매우 중요하며, 특히 먹이가 풍부하여 어린 물고기가 살아가기에 적합한 연안 성육장은 그 자체로 해양을 건강하게 만들고 생물다양성을 높이는 데 큰 역할을 한다. 해양서식지 환경은 마땅히 보호되어야 하고, 현재 손상된 서식지에 대해서는 온전히 그리고 신속하게 복원시켜야 한다.

다. 환경오염물질

인간이 만들어내는 환경오염물질이 끊임없이 해양생태계를 파괴하고 있다. 육지에서의 인간 활동과 연안에서의 양식활동으로 영양염과 유기물이 어느 수준 이상으로 해양에 유입되면, 조류(algae)라고 불리는 플랑크톤이 이들을 이용하여 비정상적으로 증식을 한다. 대표적인 것이 적조(red tide)로서 조류의 이상증식으로 인하여 바닷물이 붉게 보이는 현상이다. 이 과정에서 생산된 독성물질이 그 조류를 먹이로 하는 해양동물에 축적되고, 그 생물을 사람이 섭취할 경우에는 인명 피해가 생기기도 한다. 그뿐 아니라, 조류의 사체가 수중에서 미생물에 의해 부패되면서 해수에 녹아있는 산소가 소모되어 용존산소가 부족한 빈산소(hypoxia) 해역이 만들어지기도 한다. 산소가 부족해지면 어류를 비롯한 각종 해양생물이 이동하거나, 이동이 불가능할 경우에는 집단 폐사까지 발생한다.

해양으로 유입된 중금속 유해물질은 생물 체내에 오랫동안 잔류하는데, 먹이망 내에서 높은 영양단계의 생물일수록 유해물질을 더 많이 축적하게 되어 결국 이들의 성장과 생식에 지장을 준다. 생물확대(biomagnification)라고 불리는 이 현상은 1960~1970년대 사용이 금지된 DDT에서 분명하게 나타나고 있으며, 일부 화학오염물질은 오래 그리고 더 멀리 이동하기 때문에 전 지구적 차원의 문제를 일으킨다. 또한, 중금속을 포함한 잔류성 유해물질은 미나마타병(Minamata disease)과 같은 산업재해를 발생시켜 인체의 건강을 위협할 뿐 아니라 수산물에도 축적되어 수산업에 적지 않은 경제적 손실을 초래한다.

부실하게 관리된 육지의 플라스틱 폐기물이 바다로 흘러드는 양은 연간 약 800만 톤에 달하며, 전체 해양 쓰레기의 80%를 차지하는 플라스틱은 해양생물에 큰 영향을 미치고 있다. 해양생물은 몸체에 걸린 플라스틱 때문에 숨지기도 하고, 플라스틱을 먹이로 오인하여 해를 입기도 한다. 특히 미세플라스틱의 경우, 플랑크톤처럼 작은 생물부터 고래처럼 큰 대형 생물에 이르기까지 해양 먹이망의 모든 단계마다 발견되고, 심지어 우리의 먹거리인 수산물에까지 포함되어 있다. 해양 플라스틱을 매개체로 각종 병원균과 비토착생물종이 확산할 수도 있고, 생물의 서식지가 훼손되어 생태계를 위태롭게 하거나, 바다의 아름다운 경관을 해쳐 관광업을 위축시키기도 한다. 육지와 해상에서 폐기된 부유물체는 선박과 어구를 파손하기도 하며, 선박의 프로펠러에 얽혀 가동을 멈추게 하거나 냉각 시스템을 오작동시키는 등 안전운항에도 큰 위협이 될 수도 있다.

라. 기후변화

온실가스가 대기에 지속적으로 축적되어 기후변화가 유발되고 있다. 기후변화는 생태계의 식량 공급, 탄소저장, 산소 생산, 기후 안정화 등의 순기능이 위축하여, 전 지구를 위태롭게 만들고 있다. 또한, 바다에서 강화된 열대저기압은 어촌과 연안시설물을 파괴하고 있으며, 지구온난화로 극지방의 빙하와 만년설로부터 녹은 물은 해수의 열팽창 현상과 합쳐져 해수면을 상승시키는데, 그 결과



인구밀도가 높은 연안지역이 수몰되는 위험을 당하기도 한다. 이러한 기후위기에 대처하기 위하여 우리는 온실가스 발생을 줄이고, 바뀐 기후에 적응하는 방법을 찾아야 하며, 그 해답의 시발점을 바다에 대한 이해에 두어야 한다.

바다는 지구의 기후를 조절하고 급격한 기후변화를 완화시킨다. 그러나 1980년대 이래 인류가 배출한 이산화탄소의 약 30%가 해양으로 흡수되어 기후변화를 완화시키기도 했지만, 해양의 생지화학 과정에도 영향을 미쳐 생태계가 비정상적으로 변화되고 있다. 즉, 해양생물들은 오랜 기간 안정된 바다 환경에 적응하며 생존해 왔지만, 급격한 해양온난화로 인해 해양생물들은 호흡, 번식, 초기 발달, 성장 등의 과정에서 큰 변화를 겪고 있으며, 심할 경우 생존을 위협받기도 한다. 특히, 조개처럼 탄산염 껍데기를 지닌 생물들은 해양산성화로 단단한 껍데기를 만드는 것이 더욱 어려워지고, 바닷물에 녹아있는 산소가 결핍되어 해양생물의 분포가 바뀌고 있다. 산소가 거의 사라진 '죽음의 해역(dead zone)'이 확장되면 산소호흡을 하는 생물체의 생존이 어려워진다. 따라서 바다에 남아도는 영양분을 활용하고, 광합성을 촉진시켜 산소를 생산하며, 탄소를 유기물 형태로 저장해주는 해초지, 대형 해조숲, 맹그로브숲을 보호하여 기후변화를 완화하는 조치가 필요하다.

마. 남획

첨단과학이 문명을 틀을 바꾸어 놓고 있지만, 식량안보(food security)는 여전히 인류 생존의 문제이다. 세계 인구는 1인당 1년에 약 20.5kg의 수산물을 소비하며, 이는 우리가 필요로 하는 동물단백질의 약 16~17%에 해당된다. 안정된 식량 공급은 국가의 정책에서 중요한 요소인데, 해양수산업은 야생동물로서 환경변화에 크게 영향을 받으므로, 매년 수산물 생산을 일정하게 유지한다는 것은 불가능하다. 현재, 인간이 수확하는 수산어획물 중 약 34%는 이미 자원이 남획된 상태에서, 그리고 60% 정도는 최대 지속가능한 수준에서 어획된 것이므로, 바다의 수산자원은 거의 철저히 이용되는 상황이다. 1980년대 후반 이후, 어획어업 생산량은 약 8,000~9,000만 톤 사이에서 정체되어 왔고, 앞으로도 증가할 것 같지 않다. 어업생산량을 이 정도라도 유지하려면 해양생태계를 체계적으로 관리해야 한다. 수산식품의 수요를 맞추기 위하여 양식생산의 필요성이 대두되는데, 양식업은 이미 우리가 소비하는 수산물의 50% 이상을 공급하고 있다. 전 세계 양식생산량(어류, 무척추동물, 수서식물)은 2018년 기준 1억 1,450만 톤에 달하며, 앞으로도 그 의존도가 증가할 것으로 예상되기 때문에 양식어업의 지속가능발전을 위한 대책이 필요하다.

고부가 가치를 지닌 먹이망 상위영양단계 어류를 무분별하게 포획하면 해양생태계가 불안정해져 생물다양성이 감소하고, 해양생물 군집에 심각한 불균형이 야기된다. 또한 축산업과 양식어업에 필요한 사료를 공급하기 위해 어린 물고기를 남획한다면, 이미 고통을 받고있는 해양생태계에 추가적인 고통을 입히는 것이다. 더욱이 불법-비보고-비규제(IUU) 어업과 서식지 환경 악화, 오염,

폐어구 등으로 인한 생물의 폐사로 수산자원은 갈수록 감소 추세에 직면하고 있다. 연간 최대 2,590만 톤으로 추정되는 어류가 IUU 어업으로 잡히는데, IUU 어업은 수산자원의 지속가능한 이용을 어렵게 하고, 수산업에 의존하는 43억 명 인류의 영양 및 경제 상태를 위태롭게 하고 있다. 수산자원 남획을 방지하고, 바다 환경과 해양생태계를 보전하려는 강력한 개선 의지가 강구되어야 할 시점이다.

8 우리나라 해역의 특징

한반도 주위의 바다는 동해, 서해, 남해로 구분되며, 각기 독특한 자연적 특징을 가지고 있다. 동해 주변의 95%는 일본열도와 한반도, 러시아 해안에 의해 막혀 있으므로, 외부와의 해수 교환은 많지 않다. 내부적으로 한류와 난류가 교차하여 생물상이 다양하고, 먼 바다에는 2,000m가 넘는 깊은 해분이 형성되어 있어 대양의 생태학적 특성이 재현되는 '작은 대양(miniature ocean)'이라는 별명을 가지고 있다(Chang et al., 1998). 서해는 평균 수심 약 44m의 얕은 대륙붕 지역이며, 한반도와 아시아 대륙에 의하여 둘러싸여 있는 큰 내만의 모습을 가지고 있다. 해안 가까이에는 세계적으로도 보기 드문 넓은 갯벌과 큰 조석간만의 차이로 생물생산력이 매우 높은 특징이 있다(Kim and Khang, 2000). 남해는 많은 도서와 리아스식 해안의 아름다운 경관으로 인간의 레저 활동에 유리할 뿐만 아니라 동중국해의 풍부한 수산생물로 인하여 어업이 크게 발달하여 산업적으로도 중요한 위치에 있다.

해양은 국가의 지리적 영역을 제한하기도 하지만, 각 국가를 연결하는 역할을 하므로 국경을 초월하는 여러 문제(trans-boundary issue)를 고려하기 위하여 지역 규모의 특성을 파악할 필요가 있다. 우리나라가 위치한 북서태평양은 세계 해양 면적의 6% 미만인데, 독특한 생태학적, 자원학적, 사회학적 특징 때문에 국제적으로도 많은 주목을 받고 있다. 우선적으로 생각할 것이 이 해역에 거주하는 주민의 규모이다. 북서태평양에는 중국, 일본, 한국, 극동러시아, 타이완, 베트남 등의 인구 대국이 위치해 있어 전 인류의 약 4분의 1이 이 지역에 살고 있다. 일부 주민은 해안 가까이 살면서 직접적으로 해양에 의존하는 생활을 하며, 내륙에 있는 주민들도 직접적으로 혹은 간접적으로 해양과 관련을 맺고 있으므로, 지역 해양환경에 큰 영향을 미친다.

아열대에서 아한대 기후대에 걸쳐 있는 북서태평양은 외양의 공해와 더불어 대륙 부근에는 넓은 지역해가 형성되어 있다. 동중국해, 황해, 동해, 오호츠크해 등의 지역해는 수산생물자원이 풍부하고, 적도해역에서 올라오는 쿠로시오 해류의 영향을 받아 생물다양성이 높다. 최근의 지구환경 변화에 편승하여 북서태평양 국가의 산업발전은 이 해역환경을 급격히 악화시키고 있다. 인간 활동에 의한 해양 쓰레기, 중금속 오염물질, 방사능 물질의 배출은 해양생태계뿐만 아니라 인간의 건강, 더 나아가



해양식량의 안전에도 악영향을 미친다. 중금속 오염에 의한 질병과 함께 플라스틱의 해양배출은 무엇보다도 큰 문제인데, 전 세계 해양으로 배출되는 플라스틱의 약 25%가 이 지역에서 만들어진다. 플라스틱은 해양에서 잘게 부서져 미세플라스틱으로 바뀌며, 이들이 생태계 곳곳에 침투되어 해양환경을 악화시키고, 수산업과 해양생태계의 건강성을 해치고 있다.

또한, 유럽 연안과 더불어 동해와 동중국해는 표층 수온의 온난화 경향이 세계에서 가장 가파른 해역이다(Belkin, 2009). 이 연안역에서는 20세기 후반에서 21세기 초반의 기간에 무려 1℃ 이상의 수온 상승이 있었으며, 이렇게 빠른 온난화는 전 지구 평균 상승률의 2~4배에 해당되어 이 해역의 생태계 구조와 어획 생산의 판도가 바뀌고 있다. 즉, 북서태평양 해역은 수십 년 동안 세계 수산어획 생산의 약 25%를 유지하고 있는데, 이 해역과 면한 동아시아 지역에서의 양식생산량을 포함하면 전 세계 수산물 생산량의 50% 이상이 이곳에서 유래된다(Kim, 2010). 온난화가 진행되면서 수산생물자원의 성쇠와 분포에 큰 변화가 있을 것이라고 예측된다(김 등, 2014). 한편, 온난화가 진행되면서 경제적 이득도 발생할 수 있는데, 북극해 연안역에 형성되는 해빙이 여름기간 동안에 녹으면, 우리나라가 북극해를 통해 유럽까지 가는 북극항로의 시발점이 될 수도 있고, 시베리아의 자연자원을 저렴하게 운송할 수도 있다.

**해양환경보호활동에 대한
국내외 현황과 정책 방향**

Current status and future policy direction on
"Protection of Marine Environments" activity



**II. 해양의 건강성:
생물다양성 변화와 생물서식지
훼손**

II

Chapter

해양의 건강성: 생물다양성 변화와 생물서식지 훼손

1 개관

바다는 인류의 생존과 번영뿐만 아니라 지구상의 많은 생명체가 안정적으로 살아가는데 필수적인 공간이다. 하지만 최근 들어 바다는 심각하게 병들어가고 있다. 규제받지 않은 무분별한 인간 활동과 더불어 한층 더 심해진 기후변화는 조화와 균형을 이루던 해양건강성을 해치고 있다. 결국, 건강한 해양이 제공하는 다양한 혜택이라 할 수 있는 생태계서비스의 감소를 초래하는 것이다.

가. 해양건강성의 정의

해양건강성에 대한 정의는 현재까지 합의된 바 없다(ELC and Bernstein, 2016). 25년 전 해양 관련 정책에 과학적 자문을 제공하기 위한 생태계기반관리 접근이 널리 채택되면서 과학자들은 해양건강성에 대해 상세히 논의하였지만(Scrimgeour and Wicklum, 1996), 해양관리 분야에서 사용될 해양건강성의 정의에 대한 최종 합의는 이루어지지 않았다. 최근 과학기술의 발달과 더불어 해양생태계에 대한 인식의 변화를 고려할 때 해양건강성에 대한 정확한 정의가 필요한 시점임은 분명하다. 해양건강성을 명확하게 정의하기는 쉽지 않으나, 본 보고서에서는 최근의 논의를 바탕으로 건강한 해양을 평가하는 방법을 크게 3가지로 나누어 제시한다(UN, 1992; IUCN, 2011; ELC and Bernstein, 2016)(그림 2.1).

그림 2.1 해양의 건강성을 평가하기 위한 세 가지 대표적인 방법



1) 인간의 지속적인 해양 이용과 관련된 “건강성”

해당 접근법은 해양이 인간에게 제공하는 생태계서비스 관점을 중시한다(IUCN, 2011). 여기서 “건강성”은 인간 활동으로 해양을 이용할 수 없을 정도로 훼손되지 않은 상태를 의미하며, 자연은 인간과 별개의 자원으로써 취급된다. 인간 중심적인 평가법이라 할 수 있다.

2) 인간의 영향이 없는 자연 본연의 상태인 “건강성”

해당 접근법은 인간의 간섭이 전혀 없는 혹은 이에 가까운 상태의 자연적인 상태를 중시한다(ELC and Bernstein, 2016). 이는 특정 해양환경과 비교하여 정책을 설정할 경우 유용할 수 있으나, 광범위한 해양환경 관리에 적용하기는 어려운 방법이다.

3) 인간과 자연의 조화로운 관계를 이루는 “건강성”

해당 접근법은 인간과 자연이 통합되고 상호의존적으로 조화를 이룬다는 관점을 포괄한다(UN, 1992). 이는 1992년 브라질의 리우데자네이루에서 개최된 지구환경회담에서 제안된 개념으로, “건강성”에 대한 자연과 인간의 복잡한 관계를 고려하고 이를 통합한다는 점에서 가장 현실적이고 포괄적인 방법이라 할 수 있다(그림 2.2).

그림 2.2 통합적 관점에서의 해양건강성의 개념



참고로, 우리나라 해양환경 보전 및 활용에 관한 법률 제2조 5항에서는 해양건강성을 다음과 같이 정의하고 있다. “해양건강성”이란 수산물 생산, 해양관광, 일자리 창출, 오염 정화, 이상기후·기후변화 대응, 해안 보호 등 현재 및 미래세대의 복지와 국민경제에 기여하는 해양환경의 상태와 그 상태의 지속가능성을 말한다. 본 정의는 위의 건강성 평가법 중에서 첫 번째 접근법과 관련이 크다는 점에서 향후 세 번째 접근법을 담보하는 방향으로 개선이 필요하다.

나. 해양생태계 목표설정 및 평가

해양의 건강성과 생물다양성의 관점에서 주요 이슈는 아래와 같이 크게 다섯 가지로 나눌 수 있다.

- 서식지 파괴 및 생물다양성 감소,
- 외래종의 침입,
- 부영양화,
- 유기물 또는 중금속 오염,
- 해양 쓰레기.

이상의 5가지 생태계 이슈가 선정된 것은 최근 북서태평양 환경보전실천계획(Northwest Pacific Action Plan, NOWPAP)에서 수행한 일련의 해양생태계 관리 협의에 근거를 두고 있다(그림 2.3).

세부 생태계 목표를 달성하기 위해서는 적합한 인덱스와 기준 설정이 필요하며, 축적된 자료에 기반한 정확한 평가가 요구된다.

그림 2.3 해양건강성과 생물다양성의 5대 주요 이슈



다. 해양건강성에 대한 인식 변화

해양생태계는 먹이망 구조에 의해 직·간접적으로 연결되어 있다. 해수의 오염은 생물종 다양성을 감소시키고, 오염에 내성이 강한 특정 생물종의 번식을 초래하여 생물종의 단순화를 초래한다. 따라서 해양오염으로 인한 서식지 훼손을 줄이고 생물종 다양성을 유지하기 위해서는 생태계 보전이 필수적이다. 과거, 우리나라는 해양생태계 건강성의 가치와 중요성에 대한 인식이 매우 부족하였다. 특히 지난 반세기 우리는 갯벌을 농경지나 산업단지로 개발하기 위해 대규모 간척과 매립 사업을 진행한 바 있다. 유해물질, 바다 쓰레기, 해양투기 등에 의한 해양오염과 인재라 할 수 있는 해양유류오염사고 등은 해양의 건강성을 지속적으로 악화시켜왔다.

국내에서는 건강한 해양이 주는 혜택에 대한 중요성과 대국민 인식이 높아짐에 따라, 최근 해양건강성 유지를 위한 법안과 구체적 법률이 제정되었고, 곧 구체적이고 실질적인 방향이 제시될 예정이다. 모든 국민은 건강하고 쾌적한 환경에서 생활할 권리를 가지며, 국가와 국민은 환경보전을 위하여 노력하여야 한다(대한민국헌법 제35조). 더불어 국가는 해양환경의 특성을 고려하여 해양오염 및



해양생태계 훼손을 예방하고 해양환경을 적정하게 보전·관리·활용하기 위하여 필요한 계획과 시책을 수립하여 시행할 책무를 갖고 있다(해양환경보전 및 활용에 관한 법률 제3조). 이러한 배경을 바탕으로, 본 보고서에서는 해양건강성에 대한 세계적 동향과 국내 현황, 그리고 미래에 나아가야 할 방향을 제시하였다.

2 세계적 동향

바다가 인간에게 제공하는 생태계의 건강성을 진단하고 그 가치를 평가하는 것은 결과적으로 보다 나은 생태계서비스를 얻기 위함이다. 해양생물다양성이 높은 지역에서 풍부한 생물자원의 이용은 국익과 연결되는 중요한 가치이며, 이러한 자원의 지속가능한 이용과 보호를 위해 세계 각국은 지속적인 노력을 기울여왔다.

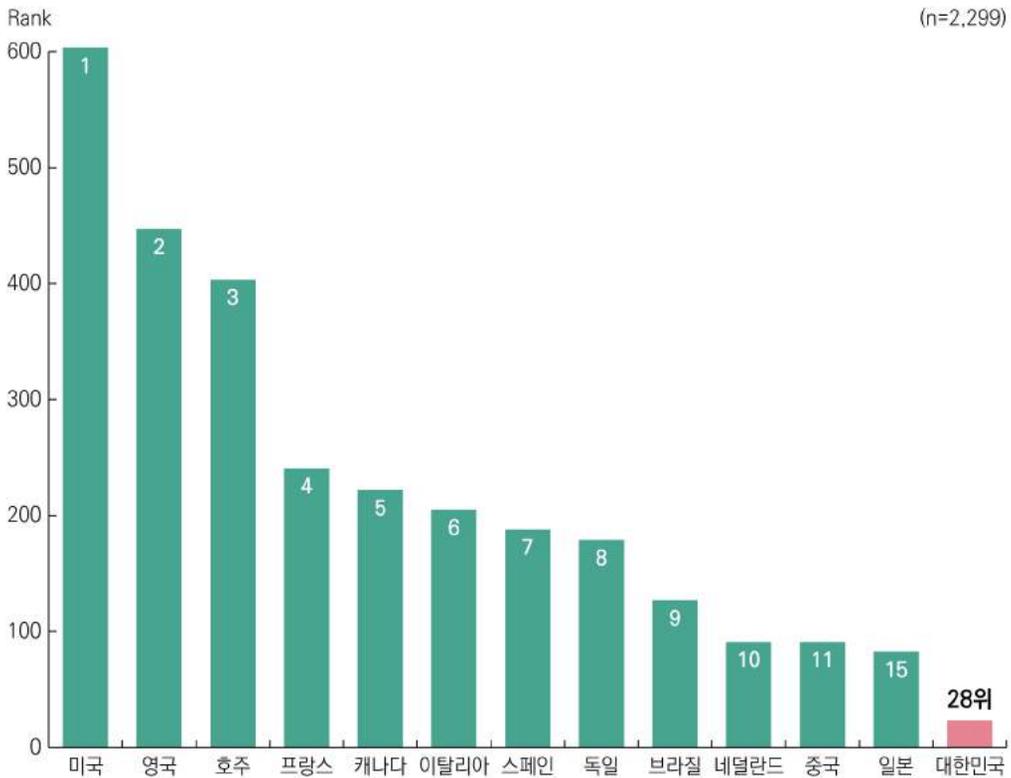
가. 해양생물다양성

해양의 건강성을 평가하는 척도로써 '해양생물다양성' 개념과 그 지수가 널리 이용되고 있다. 생물다양성이 국제적으로 공론화된 것은 1992년에 체결된 생물다양성협약(Convention on Biological Diversity, CBD)에 근거를 둔다. 생물다양성협약은 생물다양성을 생태계, 종, 유전자 세 가지 수준에서 파악하고 생물다양성의 보전, 생물다양성 구성 요소의 지속가능한 이용, 유전자원의 이용으로부터 발생하는 이익의 공정하고 공평한 배분을 목적으로 하는 국제 조약이다. 생물자원의 보전과 지속가능한 이용을 위한 논의는 해양생물다양성과 연계되어 활발히 논의됐고, 최근에는 공해와 심해저의 해양생물다양성의 중요성까지 대두된 바 있다. 국가관할권 이원지역의 생물다양성(Marine Biodiversity Beyond National Jurisdiction, BBNJ)의 보전과 지속가능한 이용을 위한 '(가칭)유엔 공해생물다양성협약'이 2020년 4월 제4차 회의까지 진행되었으며, 협약 초안에 관한 협상 결과가 제75차 유엔총회에 제출될 예정이다.

다양한 인간 활동으로 인해 발생한 환경문제는 지난 세기 동안 해양생물다양성을 급격히 훼손해왔고, 한편 이러한 문제점은 해양건강성을 평가하는 새로운 개념과 방법 등 관련 연구를 활성화하는 계기가 되었다. 2011년에 발간된 생태계 생물다양성의 경제학(The Economics of Ecosystems Biodiversity, TEEB) 보고서는 생태계가 주는 혜택에 대한 경제적 가치 환산의 필요성과 적용 방향에 대한 화두를 불러일으켰다. 이후 전문가들은 경제적 가치 환산을 통해 생태계가 주는 혜택을 보다 직관적으로 그리고 설득력 있게 제시할 수 있는 방법을 제안해왔다.

해양생물다양성과 관련된 최근 40년간의 연구 동향을 각국에서 생태학 분야별로 출간한 논문의 수로 평가하였다. 2000년대 이전의 연구들은 특정 환경문제(군집·서식지 파괴, 해양오염 등)에 대한 해양환경과 생물상 변화에 대한 모니터링에 초점이 맞추어져 있었다. 그러나 2000년대 이후부터 해양보호구역, 어업자원 관리, 해양건강성 평가, 유엔 BBNJ 등과 같은 지속가능한 관리와 정책 설정이 주된 연구 키워드로 부상했다. 이상의 연구는 미국, 영국, 호주, 프랑스, 캐나다 등 서양 선진국을 중심으로 진행됐고, 동아시아 국가에서는 중국(11위)과 일본(15위)이 뒤따랐다(그림 2.4). 최근에는 해양생태계의 가치를 평가하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 생태계가 인간에게 주는 편익인 생태계서비스를 포함하는 총체적이며 포괄적인 접근 방법이 주류를 이루고 있다.

그림 2.4 해양생물다양성과 건강성에 대한 국제 연구 동향(scopus, 1980~2020년)



나. 해양생태계서비스의 평가와 해양건강성 지수

생물, 화학, 서식처, 사회문화, 경제 항목 등을 요소별로 평가하고 재화의 가치로 환산하여 종합적인 생태계서비스 가치를 매기는 일련의 과정을 통해 생태계가 인류에게 제공하는 이익을 명확하게



이해하고 생태계 자체에 대한 이해를 도울 수 있다. 특히, 생태계서비스를 평가하는 데에는 특정 항목에 대한 현재의 상태(status)를 평가하는 것, 그리고 과거부터 현재까지의 변화(trend)에 대해 이해하는 것, 상황을 진단(diagnosis)하는 것이 모두 포함되어야 한다. 이를 통해, 생태계의 중요성을 알리고, 국가적 개발 계획에 대한 로드맵을 제시할 수 있으며, 정책이나 프로그램과 프로젝트에 대한 정량적인 평가를 통해, 개발 계획이나 정책에 대한 우선순위를 선정할 수 있다. 나아가, 국가적인 차원에서의 환경 회계 산정과 생태계-환경 관련 재화의 규모를 설정하는 근거로 활용할 수 있다.

해양생태계서비스 평가는 자료의 제약과 기존 자료의 활용 여부에 따라 불확실성이 높다. 특히, 대부분의 해양 개발 및 보전과 관련된 정책 등은 이러한 가치의 고려 없이 진행되는 것이 현실이다. 현재의 기술 수준으로 최선의 평가 방법을 찾기 위한 다양한 방법들이 제안되고 있으며, 지역, 국가, 대륙별 전 세계적인 기준이 필요하다. 해양생태계서비스의 가치평가는 특정한 동일 범주를 설정해두고 현황과 변화에 대해 정량적으로 평가해야 하는데, 인간복지(Human Well-being)를 주안점으로 하여 2000년대 초기부터 시작되었으며, 평가항목으로는 생물, 화학, 서식처, 경제, 일반이 포함된다(그림 2.5).

그림 2.5 주요 해양생태계 평가 방법론의 내용, 평가항목, 연구논문수(scopus, 2020년 기준)

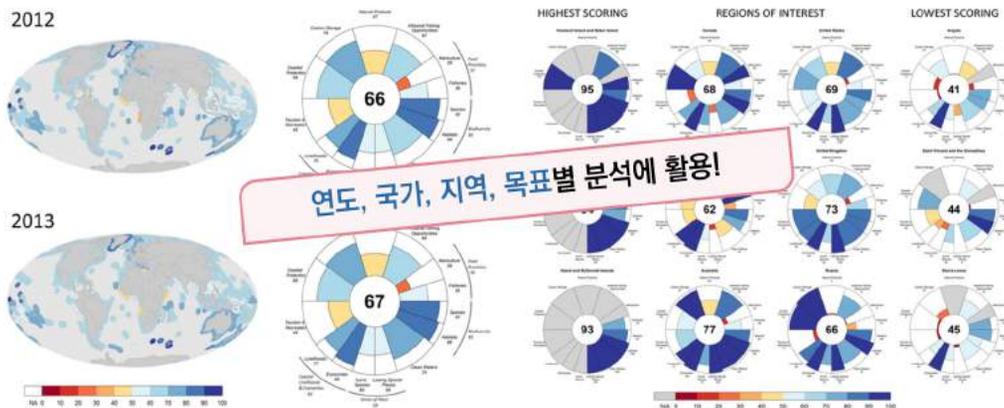
평가 방법론	내용		평가 항목					논문수 (scopus)	
	도입 시기	배경	생물	화학	서식처	사회 문화	경제		일반
1. 생태계기반평가	1970s	Great Lakes Water Quality Agreement (USA)	○	○	○		○	○	1,699
2. 생태계온전성평가	1980s	Water pollution issue (Clean Water Act, USA)	○	○		○			1,289
3. 해양건강성지수	2012	Assessment of global ocean health (10 goals) (221 nations/territories, annual assessment since 2012)	○	○	○	○	○	○	1,267
4. 생태계서비스가치평가	early 2000s	Human well-being (Millennium Ecosystem Assessment) 해양수산부 2019년 공간관리법의 기간이 되는 평가 기법	○	○	○	○	○	○	202
5. 환경지속성지수	2000	Overall progress of nations toward environmental sustainability	○	○	○	○	○	○	141
6. 관리효과성평가	1990s	Protected Area management effectiveness (UNEP, IUCN)	○	○	○	○	○	○	33
7. 환경스트레스지수평가	2000s	Heat stress → Various anthropogenic issues		○		○	○		28

Halpern et al.(2012) 이 개발한 해양건강성지수(Ocean Health Index, OHI)의 경우 활용도가 높은 방법으로, 현재 전 세계 221개국에서 이 방법을 이용하여 해양건강성을 매년 평가하고 있다.

OHI는 해양건강을 포괄적이고 정량적으로 평가하기 위한 맞춤형 해양 평가 틀이다. 바다가 현재 얼마나 건강한지 판단하고 미래에 어떻게 관리해야 하는가를 계획하기 위해서는 사회적, 경제적, 환경적 관점에서 현재 상태를 종합적으로 평가해야 한다. OHI는 건강한 바다를 현재와 미래 세대에게 다양한 혜택을 지속해서 제공할 수 있는 바다로 정의한다는 점에서 가장 현실적이고 유용한 해양건강성 평가 방법의 하나다.

OHI는 건강한 해양이 제공할 것으로 기대하는 혜택과 서비스를 10개의 목표(지표)로 구분하여 제시한다. OHI 평가는 각 목표에 대해 0-100점으로 점수화하여 해양생태계 건강성의 현황을 통합적으로 파악한다(그림 2.6, <http://www.oceanhealthindex.org/region-scores/maps>). 대상 지역은 220개 국가 및 15개 공해 지역으로 전 세계 해역을 포함한다. 모든 자료는 10개 항목인 식량(어획어업과 양식), 생계형 영세어업의 기회, 천연물, 탄소저장, 해안보호, 관광, 연안경제, 자연경관(상징적인 생물종과 보호구역), 수질, 생물다양성(종과 서식지)으로 나누어 연도별로 제공하고 있다. 이를 통해 국가별로 각 목표의 현황을 평가하고 다양한 혜택을 지속가능하게 제공해주는 역할을 한다.

그림 2.6 해양건강성지수(Ocean Health Index, OHI)의 활용 예시



OHI는 학제 간 과학 연구에서 출발하였고(Halpern et al., 2012), 2012년부터 매년 글로벌 평가가 시작되었다(Halpern et al., 2015; Halpern et al., 2017). OHI 프레임워크는 표준화되어 있으며, 다양한 항목에 대한 공간 규모에 맞게 조정될 수 있다. 현재 국가 단위에서 평가되는 동일 범주에는 생물다양성, 연안어업, 지역경제, 식량 공급, 자연자원, 경관자원, 수질, 관광 및 여가, 탄소저장, 연안보호 항목이 있으며 특정 항목에 대한 자료가 불충분할 때에는 평가에서 제외되기도 한다. 나아가 최근에는 OHI 방법을 적용하여 지역 단위의 해양건강성 평가가 시도되고 있는데 이를 OHI+라고



한다. 우리나라의 경우도 특정 혹은 관심 지역에 대한 OHI+ 평가를 시도해 보는 것도 바람직할 것이다.

3 국내외 현황

가. 해양생태계 악화

1) 간척과 매립에 의한 갯벌 서식지 파괴

한국 서해 갯벌은 황해 주변의 지형적인 특성에 따라 수만 년 세월을 지나면서 만들어진 소중한 자연유산이다. 전 세계적으로 갯벌의 환경 가치가 학술적으로 입증된 것은 1970년대부터다. 그 후 1980년대 후반부터 국내에서도 갯벌생태계에 관한 연구가 시작되었고, 갯벌의 생태적 가치가 입증된 것은 최근 들어서다. 우리나라 갯벌은 생태적 중요성이 논의되지 못한 채 개발 위주의 정책(농지, 주거지, 공업단지 제공)에 밀려 대규모 간척의 희생양이 되어왔고, 지난 40년간 지속적인 대규모 간척사업과 매립에 의해 절반가량이 소실되었다. 한국은 과거 5,000km² 가량의 광활한 자연 갯벌을 소유한 몇 안 되는 국가였으나 지금은 약 2,500km² 규모의 갯벌만 남게 되었다. 간척과 매립은 서식지 파괴를 통해 한국 갯벌의 세계적인 생물다양성을 급격히 감소시킨 주요인으로 지적된 바 있다(Koh et al., 2014).

대규모 간척과 매립으로 해양생물의 서식지가 사라지고 해양생물다양성이 크게 감소한 대표적인 지역은 시화와 새만금 갯벌이다. 1989년 건설을 시작한 시화 방조제는 1994년 경기만을 가로질러 12.7km라는 당시로는 가장 긴 방조제가 완공되었다. 방조제 건설 후 인공호수가 된 시화호의 내부 수질은 급격히 악화되어 빈산소 환경으로 바뀌었고, 결국 시화 갯벌에 서식했던 저서생물은 모두 폐사하기에 이르렀다(그림 2.7). 이와 유사하게, 1991년 시작된 새만금 간척 공사는 2006년 33.9km라는 세계 최대 길이의 방조제를 탄생시켰고, 현재도 내부 공사가 진행 중이다. 새만금 사업은 초기 목적인 농경지 확보를 시작으로 산업단지 및 주택, 신항만, 태양광 및 풍력단지, 명품도시 건설에 이르기까지 지난 30년간 꾸준히 탈바꿈을 시도해 왔다. 그러나 해양생물 서식지인 광활한 자연 갯벌이 사라지면서 이들이 주는 혜택, 즉 생태계서비스는 급감한 것으로 보고된 바 있다.

그림 2.7 시화호 간척과 매립의 역사, 그리고 시기별 주요 이슈



갯벌은 다양한 생물이 생육·번식하는 장소로서 생물의 서식 기능을 유지시켜주는 중요한 역할을 한다(Lee and Khim, 2017). 조개, 게, 갯지렁이 등의 갯벌 생물은 하구와 연안의 물질순환이나 생물생산, 생물생식과 같은 중요한 기능을 담당하고, 육상과 해양의 접이치대에서 수질 정화 등 다양한 조절 기능에 크게 기여하는 것으로 알려져 있다. 따라서 갯벌 매립은 다양한 생물의 생육·번식 장소를 소실시키고 자연의 정화능력까지 줄이는 등 해양생태계 전반에 큰 악영향을 주게 된다.

최근 황해 갯벌에 대한 생태계서비스 가치(Ecosystem Services Values, ESVs) 평가 결과가 보고된 바 있다(Yim et al., 2018). 해당 연구는 매립된 황해 갯벌로 인한 생태계서비스 손실액이 연간 78억 달러에 이른다고 추정하였다. 과거 쓸모없는 땅으로 인식되어 매립된 갯벌의 생태계서비스 가치가 막대함을 반증하는 결과이다. 이러한 과학적 추정을 근거로 하여 한국 정부는 최근 갯벌 서식지 보호 관리를 위해 갯벌 및 그 주변 지역의 지속가능한 관리와 복원(약칭 갯벌법)에 관한 법률을 지정하였다. ‘갯벌법’의 핵심은 갯벌 관리의 공간적 범위를 갯벌과 그 주변 지역으로 해 바닷가와 수심 6m 이내 해역까지 확장하여 시행한다는 점이다. 이는 갯벌에 서식하는 생물들의 서식 공간과 산란, 이동 등의 생태적 활동 영역까지 확장해서 관리해야 한다는 개념을 수용한 것으로 선진적인 관리체제로 평가된다.



2) 해양오염에 의한 서식지 훼손

해양오염은 해양생물의 서식지를 훼손시켜 생태계에 큰 악영향을 미친다. 1960년대 이후 급격한 산업화와 도시화가 진행되면서 생활하수, 공장폐수의 유입에 따라 한국 4대강(한강, 영산강, 금강, 낙동강)의 수질은 2급수 이하로 떨어졌다. 이와 같은 하천 오염은 궁극적으로 하구와 인근 해역의 오염을 심화시켜왔다.

유기물질과 무기 영양염류(질산염, 인산염)가 포함된 다량의 폐수는 한국 서·남해안에서 전 계절에 걸쳐 발생하는 적조(red tide)의 주요인이 되기도 한다. 적조는 해수 중 영양염을 고갈시켜 식물플랑크톤을 사멸시킨다. 식물플랑크톤의 사체는 분해되면서 해수 중 산소 결핍과 함께 연쇄적인 대량 해양생물 폐사를 일으킨다. 대규모로 조성된 임해공업 단지로부터 유출되는 산업폐기물은 공단 앞 갯벌 생물의 폐사 및 오염지표종의 증가를 초래한다. 이외에도 해양 기원성 오염으로는 선박수송, 유류유출, 과밀양식 등이 보고되고 있으며, 산업화에 따른 원유 해상 운송량 증대는 유류유출 사고에 의한 해상오염을 증가시키고 있다(Yim et al., 2020).

최근 해양수산부는 해양오염방지와 함께 생물자원의 효율적 관리를 통해 생태계 균형을 유지하는 일에 집중하고 있다. 해양생태계 오염연구는 오염도를 측정하고 오염원을 파악하는 것뿐만 아니라, 생태계와 인간의 경제생활에 파급되는 영향을 설명하고 현상을 예측함으로써 생태계 균형을 유지하는데 기여하는 방향으로 이루어진다. 방법론적으로는 독성물질에 대한 생체 내 생화학적 반응을 이해하기 위한 순수생물학적 연구를 포함하여, 개체종이나 군집을 대상으로 한 생태학적 연구, 오염물질에 대한 화학적 분석, 그리고 해양의 특수성 이해를 위한 제반 해양학적인 연구에 이르는 총체적 접근을 권장한다. 또한, 해양생태계 모니터링을 통해 장기간에 걸쳐 수질 오염도, 서식환경, 군집의 특성을 지속적으로 관찰하여 오염물질에 의한 생태계 내 변화를 신속하게 감지하는 것이 중요하다.

나. 우리나라 해역의 건강성

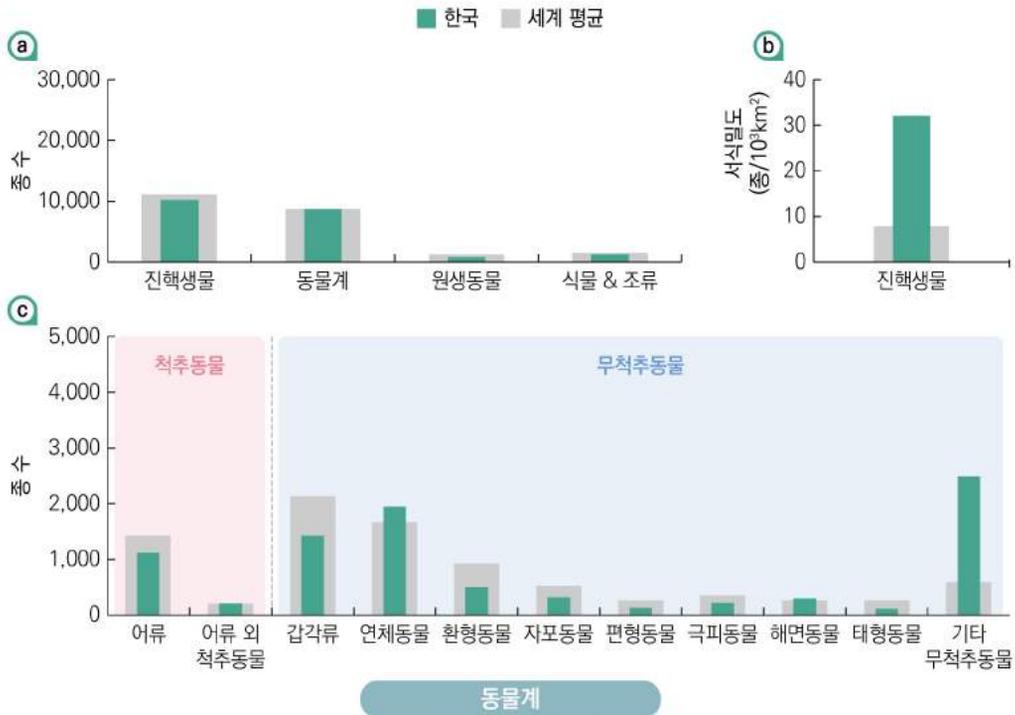
1) 생물다양성(Biodiversity)

생물다양성은 생물의 종 수(number of species)와 밀도(density)를 기준으로 하며, 세계 해양의 평균값 이상으로 유지하는 것을 목표 달성의 기준으로 설정할 수 있다. Costello et al.(2010)의 논문에 따르면 한국의 단위 면적당 해양생물 출현 종수가 전 세계 1위임이 밝혀졌다. 해당 논문을 기반으로 하여 한국과 중국 연안지역의 해양생물다양성을 비교 분석하였다(그림 2.8). 진핵생물의 종 수는 전 세계 평균값(10,759종)보다 약간 낮은 수준이며, 단위 면적당 종 풍부도(species richness)는 전 세계 평균(7.68종 10^3km^2)보다 4배나 높은 것으로 나타났다.

한국의 종 풍부도가 이렇게 높은 이유는, 국토의 삼면이 바다로 둘러싸여 있으며 하구, 조간대(갯벌, 모래사장, 암반조간대, 염습지), 섬 등 다양한 형태의 서식지가 존재하여, 다양한 생물에 적합한

환경 제공이 가능하기 때문이다. 최근 Khim et al.(2021)은 한국 연안에서 보고된 해양무척추동물 관련 선행연구를 전수 조사 및 분석하여 현재까지 총 1,915종이 기록되었음을 보고했다. 해당 논문에서도 연체동물(Mollusca)이 가장 우점하고(670종), 다음으로 환형동물(Annelida, 469종), 절지동물(Arthropoda, 434종) 등이 차례로 우점하는 것으로 나타났다.

그림 2.8 우리나라 해양생물 종 다양성 및 종 풍부도



일부 선행연구에서는 해양생물다양성 및 생태계 건강의 부정적 측면도 보고된 바 있다. 주로 연안개발로 인한 서식지 파괴 및 어획량 증가로 인한 해양포유류 개체 수 감소가 보고되었다. 특히 밍크고래의 경우 2001년 1,685개체에서 2008년 733개체로 감소한 것으로 나타났다. 어족자원의 경우 기후변화, 남획, 오염과 같은 인간 활동으로 인해 개체군과 종 풍부도에 부정적인 영향이 나타났고, 어류의 크기 역시 지속적으로 작아지고 있음이 확인되었다.

그럼에도 불구하고, 한국의 해양생물다양성은 전반적으로 건강한 상태로 평가되고 있음에 주목할 필요가 있다. 그 이유는 해양생물 종수가 전 세계 평균 종수에 근접하고, 단위 면적당 종수는 오히려 세계 최고 수준으로 평가되었기 때문이다. 우수한 해양생물다양성과 서식지 보호를 위해서는 체계적이고



장기적인 생태계 모니터링이 반드시 수반되어야 할 것이다. 또한, 한국의 바다는 중국, 일본, 러시아가 공유하는 바다로 어느 한 국가의 노력과 의지만으로는 건강한 해양생물다양성의 유지가 어렵다는 점에서 국가 차원에서 주변국과의 공동조사와 관리 체계 도입이 필요할 것이다.

2) 침입종(Invasive species)

침입종은 생물다양성과 유전적 오염(genetic contamination), 생물오손(biofouling), 적조, 양식장 황폐화 등의 다양한 문제를 일으키는 것으로 알려져 있다. 침입종 대응이 적시에 이루어지지 못하는 데에는 정보(도입 시기, 경로 파악, 생태계에 미칠 수 있는 부정적 영향)의 부족과 문제 상황에 대한 뒤늦은 파악이 주원인으로 지적되고 있다(Khim et al., 2018). 국내에서는 저서동물 28종, 플랑크톤 20종, 저서식물 7종, 어류 6종, 염생식물 2종을 포함한 총 63종이 외래종으로 기록되었다(Khim et al., 2018).

한국은 지난 수십 년 동안 외래종 침입에 의한 해양생태계의 황폐화와 막대한 경제적 손실을 겪고 있다. 해양생물다양성 감소와 유전적 오염은 외래종이 끼치는 가장 잘 알려진 부정적인 영향이다. 척삭동물(Chordata)이 대표적으로 해당 범주의 주요 분류군으로 보고된 바 있다. 외래종은 대부분 상업적인 양식 생물로 이용하기 위해 들여왔으나, 결국 자생 생태계에 악영향을 미치게 된다. 그 외에도 선박평형수, 선박의 성체 오염 등과 같은 경로로 인해 의도치 않게 유입된다. 한편 따개비나 홍합 등은 한국 연안에서 생물오손을 일으키는 것으로 잘 알려진 외래종이다. 적조의 경우 편모조류, 규조류 등 수많은 외래종에 의해 발생하며 해양에서 독소를 생성한다. 대표적인 외래 적조종으로는 *Cochlodinium polykrikoides*으로 한국 남해안에서 대규모의 유해조류번성(Harmful Algal Bloom, HAB)을 발생시켜 양식업에 매우 심각한 피해를 주기도 했다.

현재까지의 외래종의 시공간 분포와 생태학적 영향에 대한 자료는 매우 부족하여 그 평가가 쉽지 않다. 현재 해양수산부에서는 저서 외래 생물 26종을 지정하고 있으며, 이 중 생태계에 해를 끼칠 수 있는 것으로 예상되는 종은 절지동물 2종(주걱따개비, 화산따개비), 척삭동물 1종(유령명게), 그리고 해조류 2종(쇠기풀구멍갈파래, 띠갈파래)으로 파악된다. 그러나 현재까지 각 외래종의 생태와 이들이 미칠 수 있는 영향은 정확히 알려진 바 없다. 따라서, 해양생태계의 외래종 부분 목표를 충족하기 위해서는 국내 외래종의 군집 구조와 기능 등에 대한 보다 구체적인 모니터링과 관련 연구가 필요하다. 나아가 생태계에 끼치는 부정적 영향에 대한 평가가 지속해서 수행되어야 할 것이다.

3) 부영양화(Eutrophication)

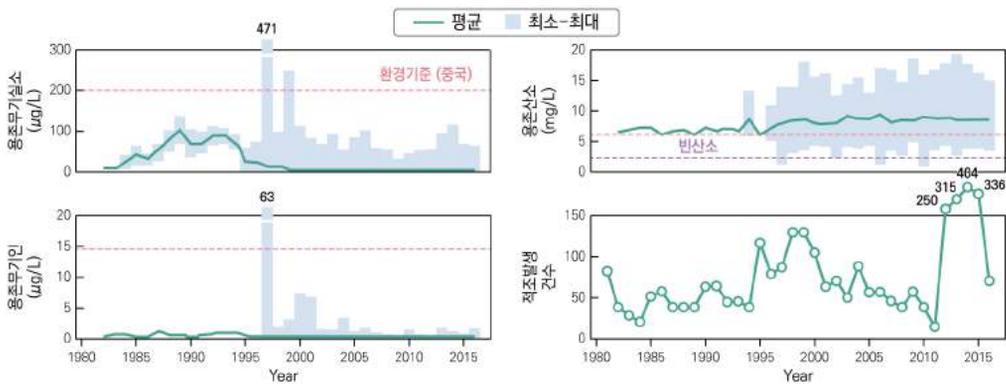
일차적으로 부영양화는 용존 상태로 존재하는 원인 물질인 용존무기질소(DIN)와 용존무기인(DIP)의 농도로 평가할 수 있다. 우리나라 연안에서는 1980년대부터 급격한 산업화와 부족한 정화처리시설의

영향으로 용존무기질소와 용존무기인 농도가 증가하였다. 그러나 1990년대 이후에는 일부 오염지역을 제외하고 용존무기질소와 용존무기인의 농도가 점차 감소하였고, 2000년대부터는 환경관리기준을 초과하지 않는 적절한 수준으로 나타났다(그림 2.9, Khim et al., 2018). 이는 2000년대부터 육지의 점오염원과 비점오염원을 통해 연안 생태계로 유입되는 영양염의 관리를 위해 특별관리해역, 연안오염총량관리 시스템, 하수처리시설 발전 등의 효과로 볼 수 있다(Chang et al., 2012).

부영양화의 반응은 플랑크톤 이상 증식(예: 적조)과 이상 증식된 플랑크톤과 미생물들의 지속적인 산소 소비로 발생하는 빈산소(hypoxia) 현상 발생으로도 평가할 수 있다. 지난 30여 년간 우리나라에서는 적조 현상이 지속적으로 발생하였다. 1995년부터 2000년까지는 연평균 약 100여 회의 적조가 발생하였고, 이후 2010년까지는 감소하는 경향을 보였다(Khim et al., 2018). 하지만 2010년부터 2015년까지는 연평균 약 200회 이상의 적조가 발생하여, 최근에도 해양생태계에 악영향을 미치고 있다(그림 2.9). 1996년부터 가장 문제가 되는 적조 생물종은 *Cochlodinium polykrikoides*으로 수산업에 심각한 경제적 피해를 주고 있다. 하지만 적조 발생의 명확한 이유는 규명되지 않고 있으며, 국내에서는 적조 피해를 저감하기 위한 노력을 지속 중이다.

지난 30여 년간 한국 연안의 연평균 용존산소 농도는 환경기준보다 높았지만, 일부 지역에서 빈산소 현상에 해당하는 농도가 발견되었다(Khim et al., 2018). 이는 지형적, 계절적 원인과 빈산소 발생에 의한 현상으로 국지적으로는 빈산소가 발생하는 것이 확인되었다. 전반적으로 국내 연안에서 부영양화 영향으로 발생하는 적조와 빈산소 현상은 지속적으로 관찰되고 있으며 생태계에 부정적인 영향을 미치고 있었다.

그림 2.9 지난 30여 년간 우리나라 해역의 부영양화 평가와 적조 발생 건수

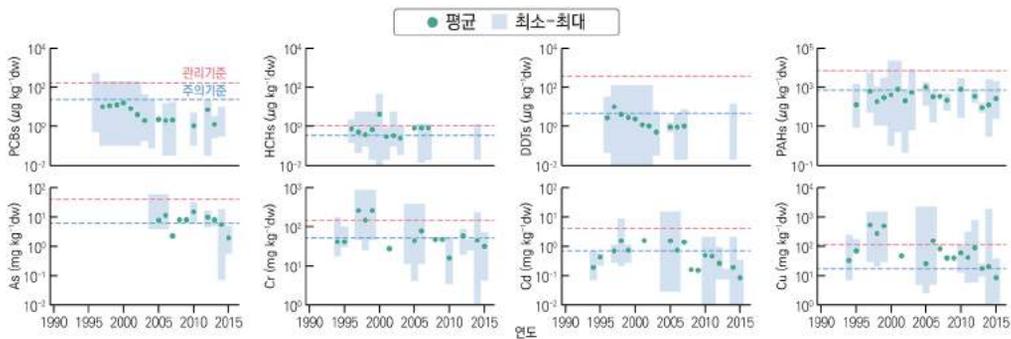




4) 해양오염(Marine pollutants)

인간 활동에 의한 육상기인 해양오염물질은 주로 입자에 흡착하여 해양환경에 유입되어 해수와 퇴적물에 축적되고 생물농축과 확대 등을 통해 전반적으로 해양생태계 건강성을 위협해왔다. 우리나라에서는 1990년대부터 퇴적물 내 유기오염물질과 중금속 오염을 평가해왔고, 다양한 오염물질로 인한 환경오염 문제가 지적되어 왔다(Khim et al., 2018). 지난 30여 년 우리나라 연안에서 환경기준 농도를 초과한 오염물질은 다이옥신/퓨란(PCDD/Fs), 헥사클로로시클로헥산(HCHs), 디디티(DDT), 다환방향족탄화수소(PAHs), 노닐페놀(NPs), 비소(As), 크롬(Cr), 니켈 (Ni), 수은(Hg), 납(Pb), 아연(Zn), 구리(Cu) 등으로 확인되었다(Khim et al., 2018). 비교적 최근 알려진 오염물질로는 폴리브롬화디페닐에테르(PBDEs), 헥사브로모사이클로도데칸(HBCDs), 스티렌 올리고머(SOs)가 있으며 이들 물질은 환경기준을 초과하지 않은 것으로 확인되었다. 주요 오염지역은 시화호, 광양만, 마산만, 부산항, 울산만 등으로 공업 및 산업활동이 활발했던 지역으로 확인되었다. 전반적으로 해양오염물질은 최근 감소추세에 있으나 일부 물질의 경우 환경기준을 초과하는 지역이 있어 생태계 악영향에 대한 지속적인 모니터링과 평가가 필요하다(그림 2.10).

그림 2.10 지난 30여 년간 우리나라 해역 퇴적물 내 중금속 및 주요 유기오염물질의 오염도 평가



5) 해양 쓰레기(Marine litters)

육상의 생활 쓰레기와 산업폐기물에서 유래되는 쓰레기는 해양환경으로 유입되어 해양생물과 환경에 악영향을 미친다. 특히 대부분의 플라스틱 쓰레기는 작은 조각으로 파편화된 후에 미세플라스틱으로 변환되어 수산물이나 사람의 건강성에도 악영향을 미치는 것으로 알려졌다. 하지만 해양 쓰레기와 미세플라스틱에 관한 연구는 최근에 시작되었고 아직 환경기준이나 관리 정책이 명확히 제시되어 있지 않다.

최근 우리나라의 해양 쓰레기와 미세플라스틱에 의한 해양오염 수준을 국외 다른 지역의 오염도와 비교하여 평가한 연구가 소개된 바 있다(Khim et al., 2018). 한국 해안가의 해양 쓰레기 오염을 다른

지역과 비교하였을 때, 밀도는 파푸아뉴기니(120-7830 items/100m), 아카바만(200 items/100m)만 보다 낮은 농도를 보였다. 해안 쓰레기 중 플라스틱이 가장 높은 비중을 차지하였고, 뒤를 이어 유리와 종이도 높은 비중을 보였다. 표층수 내 해양 쓰레기 밀도는 북해(38 items/100km)와 남극해(6 items/100km)보다는 높았지만, 북태평양(459 items/100km)보다는 낮은 밀도를 보였다. 표층수 내 해양 쓰레기에서는 폴리스티렌이 가장 높은 비중을 차지하였고, 나무와 종이도 높은 비중을 차지하였다. 미세플라스틱의 경우 해안가와 표층수 내 밀도를 다른 지역과 비교하였을 때 상대적으로 높게 나타났다(Khim et al., 2018). 브라질의 산토스만, 베링해, 북대서양 지역보다 높은 밀도를 보여 상대적으로 더 높은 오염도를 보였다. 미세플라스틱 오염에 주로 기여하는 물질은 스티로폼(주로 대형 미세플라스틱; >25mm, 메소플라스틱; 5-25mm)과 섬유(주로 마이크로 플라스틱; 1-5mm)였고, 미세플라스틱 크기에 따라 기여도의 차이가 있었다. 전반적으로 국내 해안가와 해수 내 해양 쓰레기와 미세플라스틱의 밀도는 다른 지역과 비교하였을 때 상대적으로 높은 것으로 나타났다. 따라서 해양 쓰레기와 미세플라스틱의 오염을 저감하기 위한 노력이 지속적으로 필요하다.

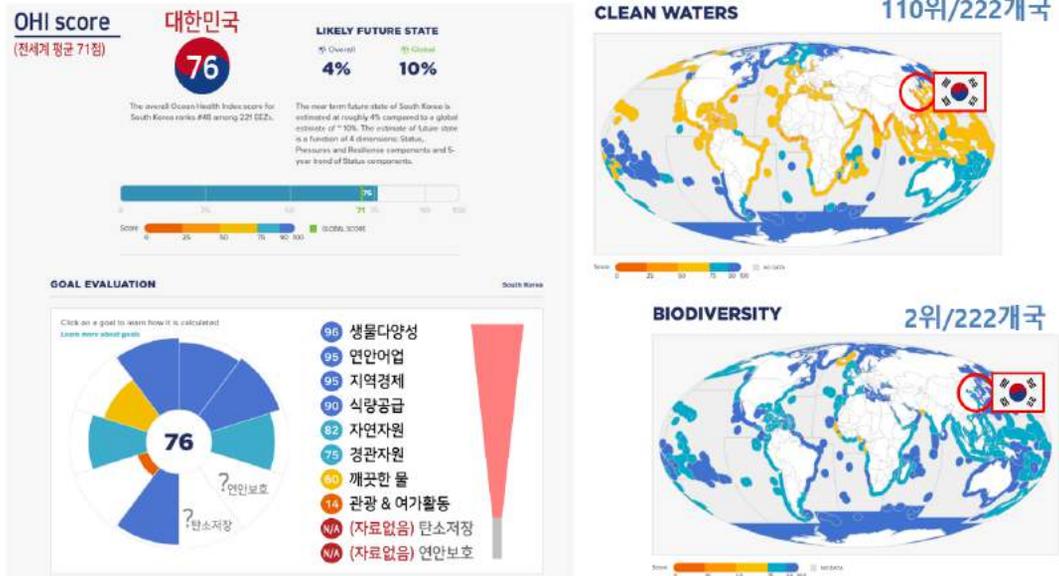
6) 우리나라 해역의 건강성 지수

우리나라 바다에 대한 생태계서비스 가치평가 연구는 초보적 수준이며 아직 미완성이다. 2013년 해양수산부는 한국 갯벌의 연간 가치를 16조 원으로 평가한 바 있다. 당시 갯벌의 기능을 수산물, 수질정화, 여가, 서식처, 재해방지 등으로 국한했다는 점이 한계로 지적되어 왔다. 그 후 해양수산부는 전국 해역을 대상으로 정량적인 생태계서비스 평가를 시작하였다. '생태계기반 해양공간분석 및 활용기술 개발 연구'로 곧 국내 전 해역에 대한 다양한 서비스 항목에 대한 정량적인 가치평가 결과가 제시될 예정이다.

우리나라 해양의 건강성은 2019년 221개국 중 48위로 평균 이상으로 평가되고 있으나, 탄소저장과 연안보호 항목에 대한 평가가 제외된 결과로 다소 과대평가가 되었을 수 있다(그림 2.11). 평가항목 중 생물다양성의 경우 전 세계 2위로 최상위 수준(96점)이며, 꾸준히 높게 평가되고 있다. 반면, 수질항목(60점)과 관광 및 여가항목(14점)에 대한 평가는 100위권 이하이다. 평가에서 제외된 탄소저장과 연안보호에 대한 부분은 기후변화에 대한 저감 및 리스크에 대한 평가 부분이다. 그러나 국내 해양생태계의 탄소저장 능력, 소위 '블루카본'에 대한 국제인증은 아직 이루어지지 않았으며, 최근 5년간(2015-2019년) 축구장 80개 면적이 강원 동해안에서 소실되는 등 연안침식 문제가 심각한 수준으로 가속화되고 있다. 따라서 탄소저장과 연안보호 부분의 자료가 추가되어 평가된다면 전체적인 해양건강성은 현재보다 낮은 수준으로 평가될 가능성이 높다. 지금까지의 분석은 국외에서 평가한 국내 상황에 대한 추정이며, 우리나라 자체적으로 해양건강성을 직접 진단하고 평가하는 체계와 역량을 갖추는 것이 시급하다.



그림 2.11 우리나라의 해양건강성 지수(Ocean Health Index, OHI) 평가 결과(2019년)



4 국내외 보호 활동 현황 및 정책 방향

가. 국내 현황

해양수산부는 지난 20년간 국가 차원에서 바다의 관리와 보호를 목적으로 다양한 해양조사를 수행해왔다. 해양생태계 현황을 진단하고 환경문제에 대해 능동적으로 대처하기 위함이다. 크게 국가해양생태계종합조사, 전국 자연환경조사(해안선 및 석호), 전국 해안사구 정밀조사, 전국 하구역 생태계 정밀조사, 해양환경측정망, 바닷가 실태조사가 있으며 해양생태계법, 습지보전법, 자연환경보전법, 해양환경관리법, 연안관리법 등에 근거하여 조사가 수행되고 있다. 다양한 해양생물군에 대한 조사와 함께, 해양환경인자와 사회경제 현황도 포함하여 조사를 수행하고 기초과학 자료를 생산, 축적, 정보공개를 통해 국민에게 알리고 있다.

해양생물과 생태계 관리를 위해 법정관리 해양생물종을 지정, 관리하고 있다. 우리나라의 고유종, 개체 수가 현저하게 감소하고 있는 종, 학술적·경제적 가치가 높은 종, 국제적으로 보호가치가 높은 종은 '해양보호생물'로 지정하여 보호한다. 사람의 생명이나 재산에 피해를 주는 종은 '유해해양생물'로, 외국으로부터 유입되거나 유전자변형생물체 중 생태계 균형에 교란을 가져오거나 가져올 우려가 있는 생물은 '해양생태계교란생물'로 지정, 관리하고 있다.

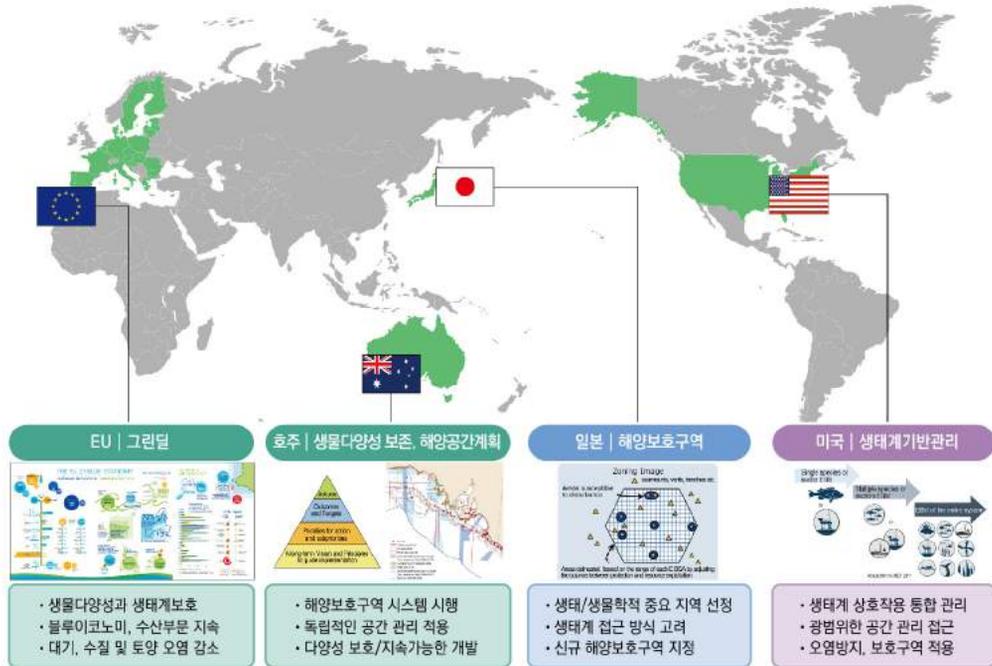
해양생물 서식환경은 크게 보호지역과 관리지역으로 지정, 관리되고 있다. 보호지역에는 해양보호 구역(생물, 생태계, 경관), 습지보호지역(갯벌, 하구, 람사르습지), 해상·해안 국립공원, 도립공원, 군립공원, 환경보전지역, 수산자원보호구역, 천연기념물이 포함된다. 각 보호지역은 해양생태계 보전 및 관리에 관한 법률, 습지보전법, 자연공원법, 해양환경관리법, 국토의 계획 및 이용에 관한 법률, 문화재보호법에 따라 관리되고 있다. 또한, 자연환경보전지역 중 환경상태가 양호하고 수산자원 보호·육성을 위해 필요한 지역을 '환경보전해역', 환경기준 유지가 곤란하여 환경보전에 장애가 있거나 우려가 있는 해역을 '특별관리해역'으로 각각 지정, 관리하고 있다.

향후 국내의 해양생태계 보전·관리 계획은 크게 5개의 추진전략으로 구성된다고 한다. 첫 번째 전략은 해양생태계 서식지 보호로 생태 네트워크 구현, 보호구역 확대 및 관리 강화, 훼손된 생태계 복원 확대를 추진할 계획이다. 두 번째 전략은 해양생물 보호·복원으로 기존의 해양보호생물 보호 및 복원, 안전한 생태계 조성, 기후변화 대응 해양생물 보호·관리가 목표이다. 세 번째 전략은 해양생태계서비스 혜택 증진으로 생태계기반 해양공간 통합관리 추진, 생태계서비스 평가체계 구축 및 증진을 목표로 하고 있다. 네 번째 전략은 해양생태계 보전·관리 기반 선진화로 생태계 조사 선진화, 생태계 평가 강화, 관련 연구개발 강화, 보전 인식 증진을 계획하고 있다. 마지막 전략은 해양생태계 거버넌스 체계화로 국가·지자체·지역주민 협력 체계 확립, 국제 동향 적극대응, 동북아 해양생태계 협력 확대의 추진이 포함된다.

나. 국외 현황

EU에서는 기후변화에 대응하기 위해 그린 딜(European Green Deal)을 수행하고 있다(그림 2.12). 그린 딜의 환경보호 파트에서는 바다 환경을 보존하기 위해 생물다양성과 생태계 보호, 수질 오염 감소, 블루이코노미 및 수산 부문의 지속가능성을 보장하는 것을 우선순위로 포함하고 있다. 구체적인 활동으로는 2030 생물다양성 전략, 무공해 실천 계획, 지속가능성을 위한 화학 물질 관리, 공동 어업 정책, 블루이코노미 전략 등을 포함한다. 황폐해진 생태계를 복원하여 지속가능하게 관리하고, 수질 오염, 폐기물, 플라스틱 쓰레기, 미세플라스틱 등의 관리, 지속가능한 어업, 항구 녹화와 해안지역의 녹색 기반시설 개발 등을 목표로 하고 있다.

그림 2.12 주요 4개국의 해양생태계 보호 활동



미국에서는 통합해양행정조직과 정책을 수립하지 못하였지만, 수산업법, 연안관리법, 연안관리법, 대륙붕법 등에 근거하여 생태계기반관리(Ecosystem-Based Management, EBM)와 지속가능한 개발을 지향해 왔다. 이후에는 통합적 해양관리체계 구축을 위해 연안·해양공간계획제도를 도입하였고, 해양공간계획을 수행하여 광범위한 공간을 관리하고 있다. 또한 연안 관리를 위해 국가연안구역 관리 프로그램, 하구보호구역, 산호초 보전 프로그램, 해양 데이터 디지털화 작업 등을 수행하고 있고, 유역기반 관리, 오염방지, 해양 투기장 관리 및 지역사회 주도 프로그램으로 해양 및 해안 생태계를 보호하고 복원하고 있다.

호주에서는 환경보호 및 생물다양성 보전법에 따라 생물다양성과 환경을 보호하고 있다. 세계 유산, 국가 유산, 멸종 위기종 및 생태 공동체, 국제 보호 철새종, 영연방 해양 지역, 대보초 해양 공원에 관해 법정관리가 이루어지고 있고, 구체적인 활동으로는 멸종 위기 또는 국제 협정 종의 보호, 환경에 중대한 영향을 미칠 가능성이 있는 활동 평가, 해양생물 지역 계획과 세계유산 장소 관리가 있다. 특히 2011년부터 여러 주에서 해양 보전 지역과 관련된 관리 계획을 도입하였고, 해양공간계획을 통해 생물다양성 관리와 해양보호구역 시스템을 운영하고 있다. 이를 통해 지역 내 연안 보호 활동과 어업활동, 산업적 활동의 용도 관리를 구분하여 진행하고 있다.

일본에서는 해양기본법에 따라 해양기본계획이 수행되고 있다. 해양환경보전과 조화라는 이념을 설정하였고, 이를 바탕으로 주변 해역의 자연환경보전을 목표로 하고 있다. 2014년 연안지역 270곳, 근해지역 20곳, 해저지역 31곳을 생태학적 또는 생물학적으로 중요한 해양 지역(Ecologically or Biologically Significant Marine Area, EBSA)으로 지정, 관리하고 있고, 2016년부터는 EBSA를 기반으로 해산, 열수 분출구, 해저, 해구 지역을 포함하는 신규 해양보호구역을 지정, 관리하고 있다. 이때 규제 강도에 따라 2단계로 구분하여 분야별로 관리를 진행하며, 이를 바탕으로 해양생태계 내 생물다양성 보전을 목표로 한다.

5 미래 연구 방향

가. 해양건강성 평가의 다각화

인간 활동에 의해 훼손된 해양생태계를 보호하기 위해 해양생태계의 현 상태를 정확히 진단할 수 있는 평가 시스템 개발은 매우 중요하다. 하지만 국내에는 해양생태계 건강성을 평가·진단할 수 있는 조사체계(조사항목, 조사시기 등)가 여전히 미흡한 바, 이를 다각화하여 국지적 수준에서의 환경변화(간척개발/육상기인해양오염/해양사고)부터 전 지구적 환경변화(기후변화/해양산성화)에 모두 대응할 수 있도록 해야 할 것이다.

전 세계 해양건강성 평가에 있어 주목해야 할 점은 해양건강성지수가 해양환경이나 생태계뿐만 아니라 인간이 해양을 이용하며 얻는 생태계서비스 가치에 주목하고 있다는 점이다. 선진국에서는 환경·생태적 건강성, 경제적 건강성, 사회적 건강성으로 평가를 다각화함으로써 해양건강성지수의 상승과 함께 인류의 지속가능한 삶을 추구하는 노력에 경주하고 있다. 하지만 전 세계 해양건강성 평가에 있어 우리나라는 탄소저장, 연안보호 항목의 경우 자료 부족으로 인해 정확한 평가가 이루어지지 않고 있다. 동아시아 대부분 국가에서 해당 항목의 평가가 수행되고 있는 바, 더 늦기 전에 우리나라도 해당 항목에 대한 조사자료를 구축하여 정확한 평가를 받는 것이 시급하다.

나. 해양관리 패러다임의 전환

우리나라 해양을 보다 효과적으로 보호하고 잘 관리하기 위해서는 광범위한 보호구역의 지정이 무엇보다 중요하다. 이때 전통(문화), 사회적 이해, 과학정책, 제도와 정치적인 측면 모두가 고려되어야 할 것이다. 현재 우리나라는 해양을 단순히 경제적 소득을 얻을 수 있는 영역으로 인식하여 해양보호구역을 국소지역에서 분할하여 관리해오고 있다. 실제로 우리나라는 제10차 생물다양성협약 당사국총회(CBD, 2010)에서 채택된 '2020년까지 연안해양지역의 10% 이상을 효과적으로 보전하고 관리한다'는 목표에 한참 못 미치는 2.5% 만이 해양보호구역으로 지정되어 있다.



또한, 육상과 해양을 잇는 환경보전 정책의 연계와 지자체의 참여가 부족했다는 점이 한계로 지적되어 왔다. 특히 영해의 경우 지자체가 관할권을 가지고 있으므로 해양관리 패러다임의 전환을 위해서는 무엇보다도 지자체의 적극적 참여가 요구된다. 현재의 지역 및 개별 보호구역으로 분할 관리되는 체계에서 탈피하여 유럽 바덴해(Wadden Sea) 갯벌과 같이 광역 통합 관리되는 체계로 전환하여 효율적이고 통합적인 보호구역 관리 정책의 도입이 필요하다(그림 2.13). 최근 해양수산부에서 발표한 제5차 해양환경종합계획 블루이코노미에는 이전 미진했던 해양보호구역에 대한 가치평가 및 환류 시스템 개발, 그리고 국민 참여 프로그램 등이 반영되어 있다는 점은 고무적이다. 향후 해양생태계의 연속성과 통합성을 고려한 선진국형 해양관리로의 전환을 통해 해양건강성과 해양생물다양성을 증진시키는 정책이 정착되어야 할 것이다.

그림 2.13 해양관리 패러다임의 변화의 예(Koh and Kim, 2014)



KAST Research Report 2021

한림연구보고서 141

해양환경보호활동에 대한 국내외 현황과 정책 방향

Current status and future policy direction on
"Protection of Marine Environments" activity

III. 해양환경 오염물질



해양환경 오염물질

1 개관

예전에는 해양의 규모가 매우 크기 때문에 바다는 육상이나 대기로부터 들어오는 모든 오염물질을 정화시킬 수 있는 곳으로 알고 있었다. 하지만, 해양으로 과다한 양의 물질이 배출되면서 해양이 지니고 있는 자정능력도 한계가 있다. 이 한계를 넘어가면 해양환경이 파괴되기 시작하며, 최종적으로는 인간도 피해를 입게 된다는 사실이 알려졌다. 우리나라의 경우에도 대도시와 공업단지가 연안에 들어서면서 엄청난 양의 오염물질이 하천과 강을 통하여 바다로 유입되고, 산업화 과정에서 무분별하고 치밀하지 못한 연안 간척 및 매립이 추진되어 해양환경에 영향을 주었다. 최근에는 영양염의 과다 배출에 기인한 잦은 빈산소(hypoxia) 현상, 그로 인한 '죽음의 바다(dead zone)'가 확장되었고, 1980년대 이후 급격히 성장한 연안양식산업으로부터 발생하는 오염이 심화되고 다양한 오염원이 증가하고 있어 해양환경이 황폐해지고 있다.

가. 해양환경과 해양오염의 정의

해양환경보전 및 활용에 관한 법률 제2조 1항에 “해양환경”이란 해양에 서식하는 생물체와 이를 둘러싸고 있는 해양수(海洋水), 해양지(海洋地), 해양대기(海洋大氣) 등 비생물적 환경 및 해양에서의 인간의 행동양식을 포함하는 것으로서 해양의 자연 및 생활상태라고 정의하고 있다. 이러한 해양환경에 인간 활동에 의한 여러 종류의 물질 혹은 에너지 등이 직접 또는 간접적으로 해양에 과다하게 유입된다면 해양생물에 해로운 영향을 미치고 어업 등 해양활동을 저해할 것이다. 즉, 인간에 의해 해양에 유입되는 물질로 인하여 생물자원이 손상을 받거나, 인간 건강이 해를 입어 해양의 질적 가치 및 쾌적감이 저하되고 (Clark, 2001), 이로 인하여 해양활동이 저해되는 효과를 유발하는 현상을 해양오염이라고 한다.

최근 들어 해양이 국민의 생활과 더욱 밀접해지면서 해양환경을 보호해야 한다는 인식이 증진되고 있으며, 해양을 지속적으로 이용하기 위해서는 해양에서 일어나고 있는 각종 현상들을 보다 상세하게 이해하고, 대중에 대한 해양교육을 펼쳐 해양환경의 중요성을 일깨워야 효과적인 대처방안이 마련될 수 있음이 여러 연구결과에서 제시되고 있다(UNESCO, 2020).

나. 해양환경 모니터링

해양환경 모니터링은 해양환경에 대한 오염원을 찾는 것이며, 각종 오염물질의 기원 및 원인을 분석하고, 해양환경을 보전하기 위한 대책을 찾는 것이다. 또한, 기후변화, 해양오염, 해양투기, 해양보호구역(Marine Protected Area, MPA), 생물다양성 및 해양자원 등 다양한 해양환경의 변화를 감시하는 제도이다. 국제적으로도 해양환경을 보호하기 위하여 UN을 통한 국제협약이나 국제적인 해양환경보호를 위한 프로그램의 운영을 통하여 해양환경의 중요성을 강조하고, 다양한 방식의 해양환경 모니터링 프로그램을 운영하고 있다.

해양환경 모니터링은 그 목적에 따라 크게 두 가지로 분류되고 있다. 즉, 오염이 우려되는 해역에서의 조사, 혹은 오염사고 후 정밀조사 등 목적을 갖고 해양환경 오염원을 찾아내기 위한 집중적인 모니터링(target monitoring)과 장기적으로 해양환경 상태 및 건강도를 평가하기 위해 해양환경의 변동사항을 파악하고 주기적으로 실시하는 지속성 모니터링(survey monitoring)이다. 지속적 모니터링은 해양환경측정망과 생태계종합조사 등과 같은 정기적인 해양환경 모니터링(regular monitoring)과 해양수질자동측정소와 같은 실시간 해양환경 모니터링(real-time monitoring)으로 나눌 수 있다.

다. 해양오염의 종류와 주요 유입원

해양오염을 유발하는 대표적인 현상이나 물질은 부영양화(eutrophication) 및 유기물, 쓰레기와 플라스틱(litter and plastics), 미량금속(toxic trace metals), 잔류성 유기오염물질(persistent organic pollutant), 방사성 물질(radioactive material), 유류사고(oil accident), 해양투기(ocean dumping), 선박평형수(ballast water), 열에너지(thermal energy) 및 기후변화(climate change) 등 매우 다양한 종류가 존재하고 이들은 각기 다양한 원인으로 생성되어 해양에 영향을 미친다. 이 중에서 해양환경에 영향을 주는 오염물질은 주로 육상의 강우 및 점오염원을 통한 유입(runoff & point-source emission, 44%)과 대기를 통한 유입(air pollution, 33%), 기타 선박으로 인한 오염(ships, 12%), 해양투기(dumping, 10%) 및 해양에서 기름이나 가스 생산(marine oil and gas production, 1%)을 통해 유입된다(Liu et al., 2019).

본 보고서에서는 다양한 오염원들 중에서 최근 들어 이슈가 되고 있는 사례들(부영양화 및 유기물, 미세플라스틱을 포함한 플라스틱 쓰레기, 미량금속, 잔류성 유기오염물질, 방사성 물질)을 중심으로 국내외에서 발생하고 있는 현황을 소개하고, 환경오염물질을 저감할 수 있는 대응방안을 제시한다.



2 해양오염의 국내외 현황

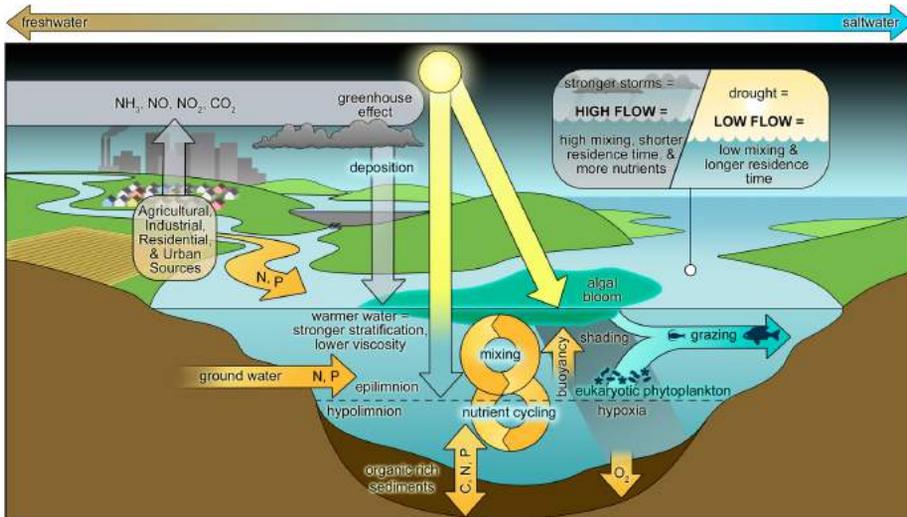
가. 부영양화 및 유기물 오염

부영양화는 해양에서 조류의 증식을 유발하는 영양염류가 과다하게 유입되어 조류의 생산을 높여 해양생태계의 구성과 대사의 질적·양적인 변화를 일으키는 현상이다. 인구증가, 산업발달 및 농업의 대규모화로 부영양화의 원인이 되는 영양염이 다량으로 해양에 유입되어 부영양화 현상이 진행된다. 부영양화에 따른 조류의 번식과 번식을 위한 용존산소의 소비로 연결되어 해양생태계에 피해를 주는 것이다(그림 3.1a, Paerl et al., 2018). 부영양화는 해양의 경제적 및 심미적인 가치 저하를 발생시키는데, 대표적인 피해 사례로는 적조(red-tide) 및 저산소 현상이 있다.

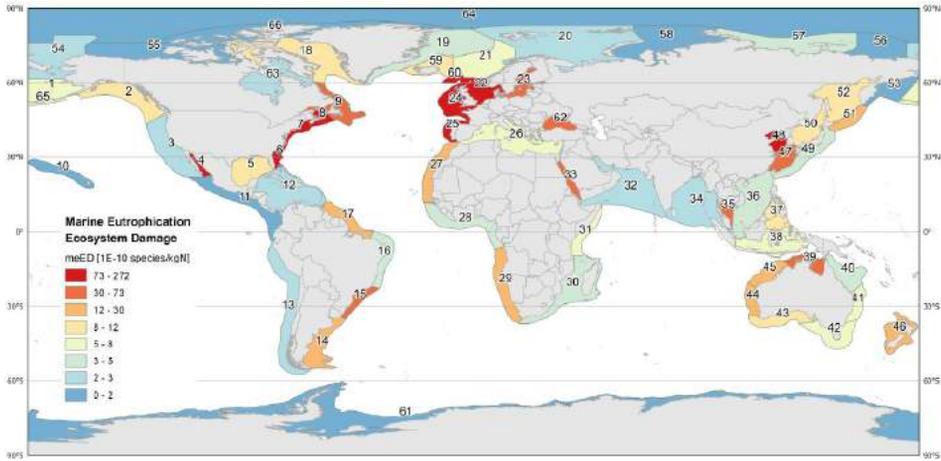
부영양화는 전 세계의 연안해역에서 자주 발견되고 있으며, 해양생태계에 미치는 영향이 지속적으로 증가하는 실정이다. 특히, 최근 인구통계학적 및 사회적 추세에 따르면 아시아, 아프리카 및 라틴 아메리카의 개발도상국 지역의 연안에서 부영양화로 인한 피해는 증가하는 것으로 나타나고 있다(그림 3.1b, Cosme et al., 2017).

그림 3.1 해양생태계 부영양화의 발생

(a) 발생 모식도



(b) 부영양화 피해점수 분포



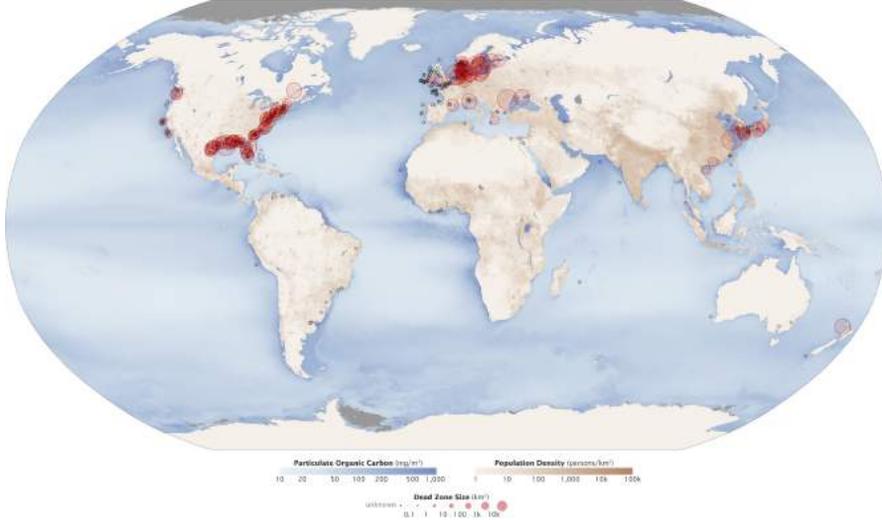
연안해역에서 발생한 부영양화로 산소를 요구하는 물질인 유기물이 해양환경에 축적되고 분해되는 과정에서 다량의 용존산소를 소모하여 저산소(빈산소, hypoxia) 또는 무산소(anoxia) 상태에 이른다. 저산소 혹은 무산소의 정확한 농도 범위는 과학적인 논란의 여지가 있지만 용존산소 변화에 따른 화학·생물학적 반응으로 구분하면 해수 중 용존산소 농도가 2.5ml/L 이하로 떨어지면 저서동물이 폐사하고(Pearson and Rosenberg, 1978), 0.025ml/L 이하에서는 환원반응이 발생한다. 이에 따라 2.5ml/L(포화도 50%) 이하의 DO 농도를 저산소, 0.025ml/L(포화도 0.5%) 이하를 무산소로 구분한다(柳, 1989).

위와 같이 해양에서 산소가 고갈되어 산소호흡을 하는 생물이 살아가기 어려운 곳을 '죽음의 바다'라고 부르며, 이러한 해역은 1950년대 이후 지속적으로 증가하고 있다. Diaz and Rosenberg(2008)는 1960년대 이후 21세기까지 죽음의 바다의 수가 10년에 10배씩 증가하고, 전 세계적으로 500여 곳에서 발견되었다고 하였다(그림 3.2a). Breitburg et al.(2018)의 연구에 따르면 1950년 이후 산소가 전혀 포함되지 않는 죽음의 바다의 면적이 4배가 증가하고, 산소 농도가 매우 낮은 해안 지대도 10배 늘어 산소가 없는 바다에서는 생명체가 살 수 없으며, 바다에 의존하는 수억 명의 인간에게도 영향을 미칠 것이라고 경고했다(그림 3.2b). 또한, IUCN(2019)도 현 상태로 기후변화가 진행되면 2100년에는 세계 해양의 용존산소량이 3~4%가량 줄어들고, 열대지역 가운데는 산소가 약 40%나 감소하는 곳도 나올 것이라고 경고했다.

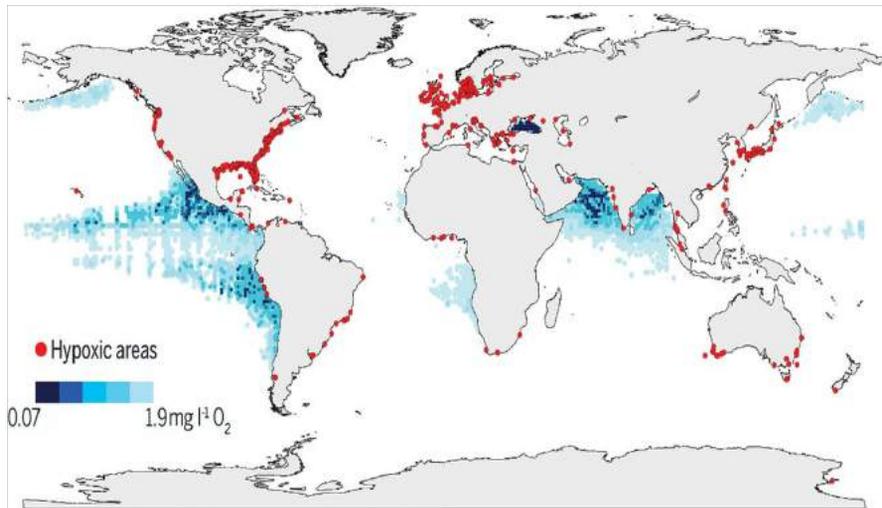


그림 3.2 해양의 빈산소 현상

(a) 전 세계 연안 및 대양에서 죽음의 해역(dead zone)



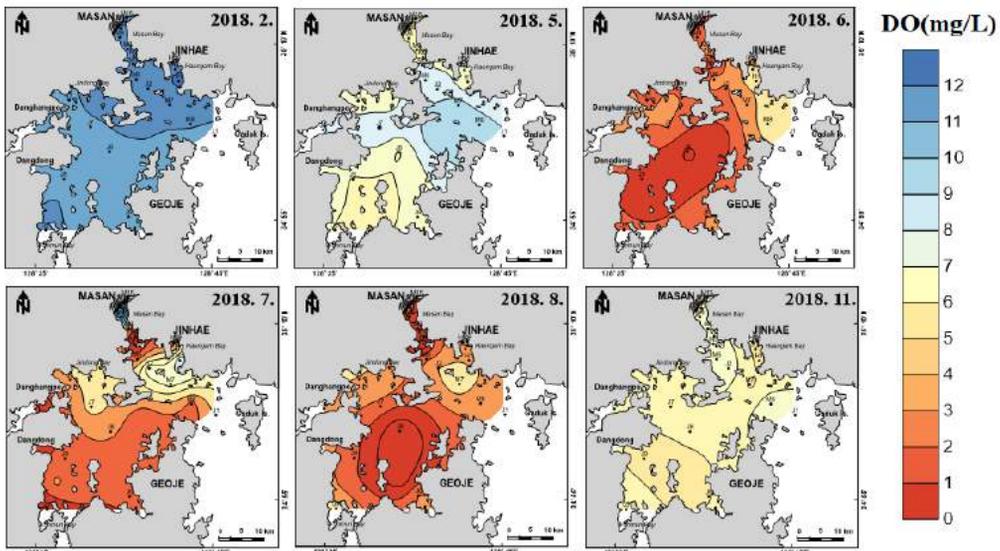
(b) 산소 감소 분포



우리나라 연안의 저산소 발생은 수심이 얇고, 작은 만이 발달한 남해 연안에서 많이 발견된다. 우리나라에서 발생하는 저산소 현상은 산업화, 도시화 및 밀집된 양식으로 인한 부영양화와 하계의 수온약층 및 밀도성층으로 산소 공급이 제한되고 유기물 분해로 인한 산소의 소모로 발생하는 것으로 알려졌다(국립수산과학원, 2009a). 1980년대까지는 마산만에 국한되어 나타났으나, 1990년대 들면서 진해만에서도 매년 여름철에 형성되고 있다. 저산소가 발생하는 대표적인 해역인 마산만은

주로 수온이 상승하는 4월 중순부터 5월 중순 사이에 수온약층에 의해 저산소 현상이 발생한다(그림 3.3). 이후 표층염분이 떨어지며 수온약층과 염분약층의 발달로 밀도성층이 강하게 형성되는 6~9월 사이에는 저산소 혹은 무산소층을 형성하다가, 가을로 접어들면서 수온이 하강하고 표층염분이 회복되면서 저산소 현상이 사라진다(해양수산부, 2019a). 이외에도 통영의 북만과 여수 가막만, 천수만 해역에서도 종종 저산소 현상이 종종 보고되고 있다.

그림 3.3 2018년 마산만 및 진해만 지역의 저산소 발생 현황



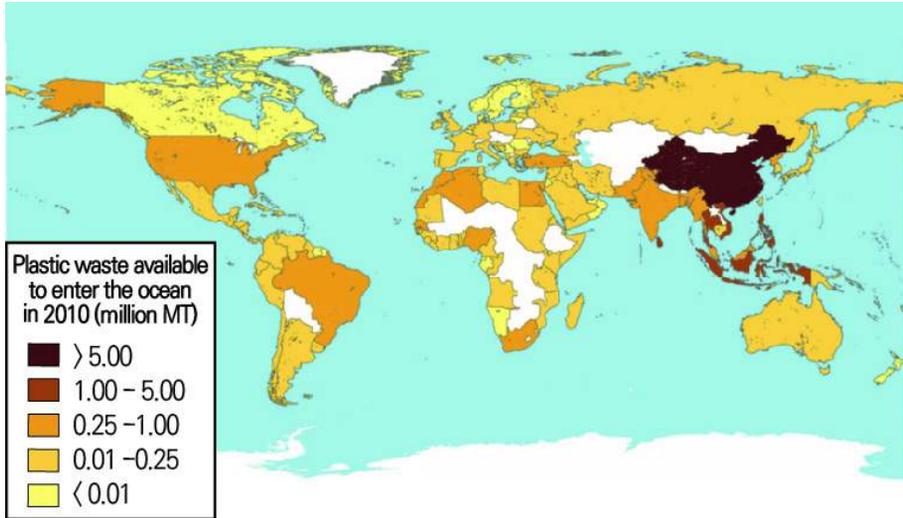
나. 플라스틱과 미세플라스틱(microplastic)

경제 사회의 발전에 따라 전 세계적으로 플라스틱 사용이 증대되고 있으나, 예방을 위한 자원순환 관리의 미흡으로 플라스틱 쓰레기의 해양 유입이 지속적으로 증가하고 있다. Jambeck et al.(2015)의 연구에 따르면 2010년 기준 192개 연안 국가에서 발생한 플라스틱 쓰레기는 2억 7,500만 톤으로 추정되며, 이 중 480만~1,270만 톤이 해양으로 유입되는 것으로 나타났다(그림 3.4a). 우리나라의 경우, 2018년 해양 쓰레기 발생량이 145,258톤으로 추정되며, 플라스틱 재질의 해양 쓰레기가 57% 이상을 차지하는 것으로 나타났다(그림 3.4b, 해양수산부, 2019b).



그림 3.4 해양 쓰레기 발생 현황

(a) 세계 해양에 유입되는 플라스틱 폐기물



(b) 우리나라의 해양 쓰레기 발생량



이러한 플라스틱의 해양 유입으로 인한 피해는 지속적으로 증가하고 있으며, 플라스틱 쓰레기가 해양생태계에 미치는 피해는 2014년 UN 추산 연간 130억 달러(14조 3천억)로 추정되고 있다. 또한, 2016년에 개최되었던 World Economic Forum에서 현 상태가 유지되면 2025년에는 바다 속 플라스틱의 쓰레기양이 약 2억 5,000만 톤으로 증가하여 2050년에는 물고기보다 더 많아질 것으로 우려하기도 하였다. 최근에는 미세플라스틱이 전 세계적으로 새로운 환경 위협 요인으로 부상하였는데, 일반적으로

미세플라스틱은 크기 5mm 이하의 플라스틱을 말한다(그림 3.5). 미세플라스틱은 목적에 따라 1차와 2차로 구분하며 1차 미세플라스틱(primary microplastics)은 제조 당시부터 5mm 이하의 입자로 만들어진 플라스틱을 말하며, 2차 미세플라스틱(secondary microplastics)은 플라스틱이 풍화되거나 깨져서 생성된 5mm 이하 크기의 플라스틱을 말한다.

그림 3.5 미세플라스틱 구분 및 해양에서 발견되는 미세플라스틱(Shim et al., 2018)

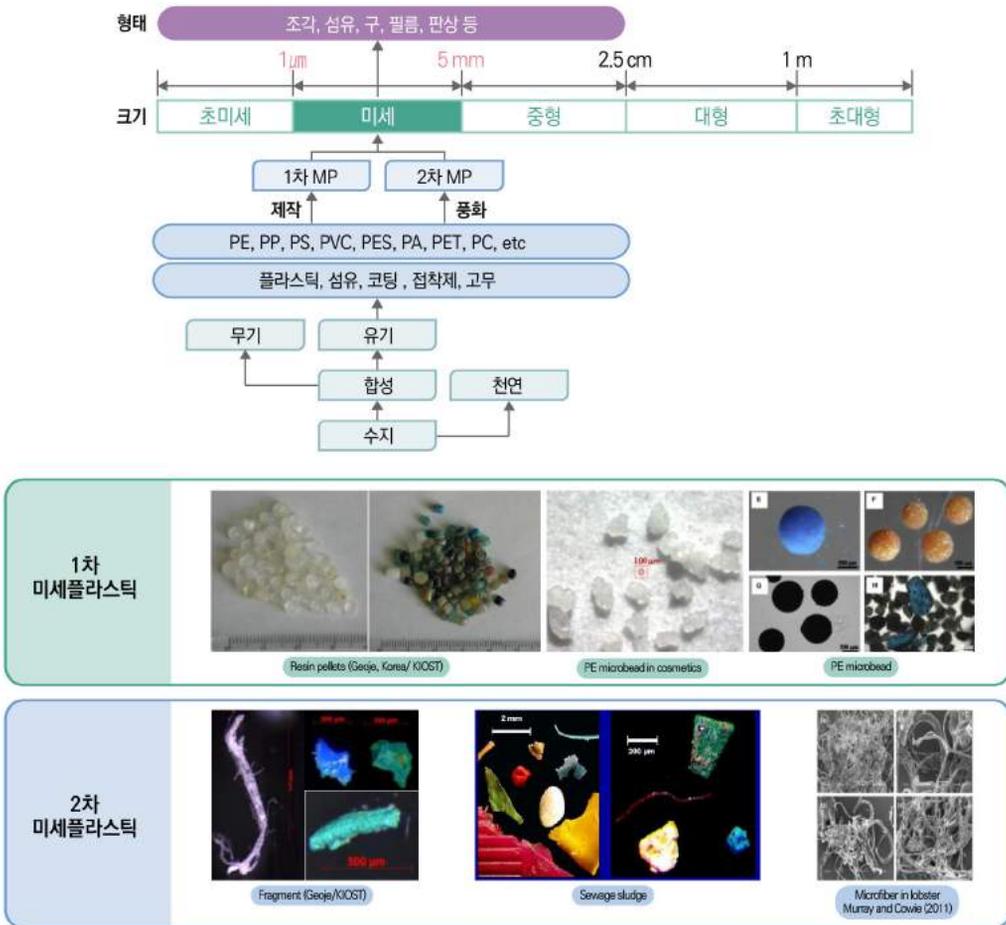
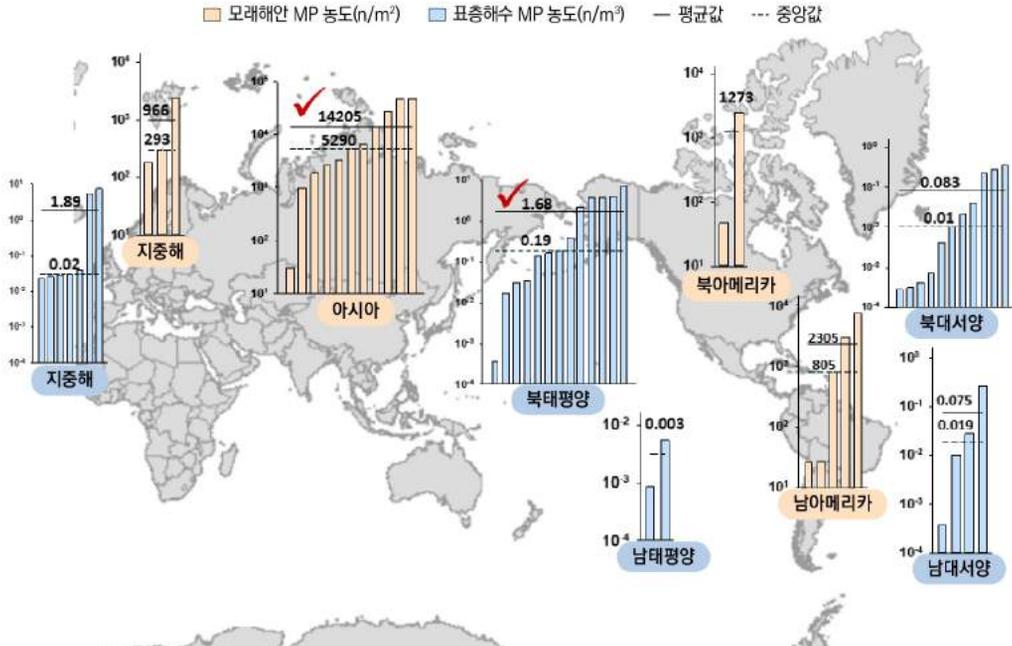




그림 3.6 전 세계 대양 및 대륙(모래해안)별 미세플라스틱의 오염현황(Shim et al., 2018)



실제로 다양한 해양환경에서 미세플라스틱이 발견되고 있고, 해양생물의 미세플라스틱 체내 축적과 같은 다양한 사례들도 보고되고 있으며(그림 3.6) 먹이 사슬에 의해 인체의 미세플라스틱 섭취에 대한 우려가 점차 확대되고 있다. 또한, 미세플라스틱은 그 자체로도 인체에 위해성을 나타낼 가능성이 높을 뿐만 아니라, 플라스틱이 작은 조각으로 부서지는 동안 제조과정 중에 사용된 여러 화학물질들로 인해 오염물질이 흡수되는 이차적인 영향을 받을 수가 있다. 미세플라스틱이 독성물질의 전달자 역할을 할 수 있고 생리적 기능에도 영향을 미칠 수 있다는 연구결과들이 있으나, 아직까지 인체에 미세플라스틱 축적 정도, 위해성에 대한 기준, 현재의 오염현황은 명확하게 밝혀지지 않았다.

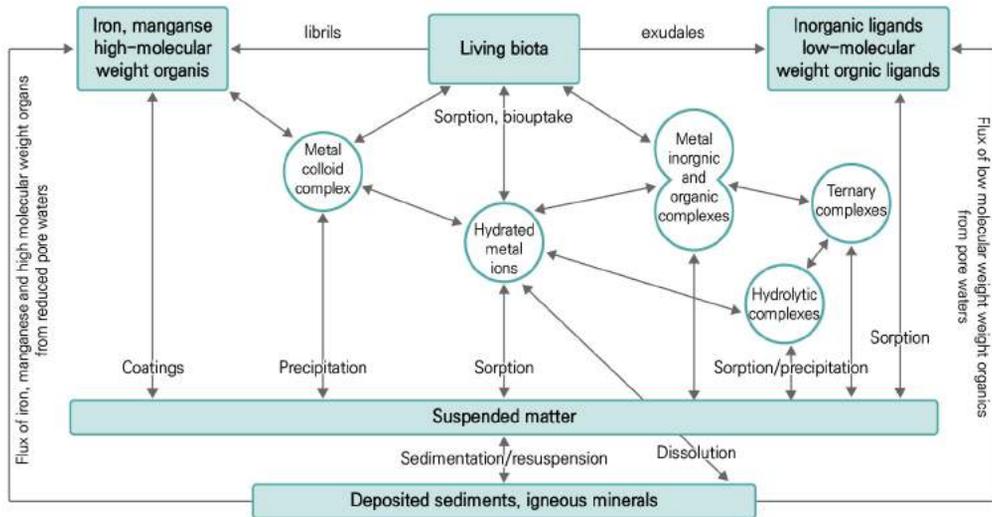
국내에서는 미세플라스틱으로 발생 가능한 환경오염, 인체 건강 위협 등 제반 문제에 대한 대응 요구가 증대됨에 따라 제3차 해양 쓰레기 관리 기본계획(2019~2023)에 미세플라스틱을 포함한 해양 쓰레기의 체계적인 관리를 위한 계획을 수립하였다. 또한, 20년부터 미세플라스틱의 관리정책 수립을 위해 필요한 기초자료의 생산을 위해 해양환경 중 해수, 해변, 지표생물, 해저퇴적물에 대한 미세플라스틱의 풍도, 성상, 크기, 형태에 대한 모니터링을 실시하고 있다.

다. 미량금속

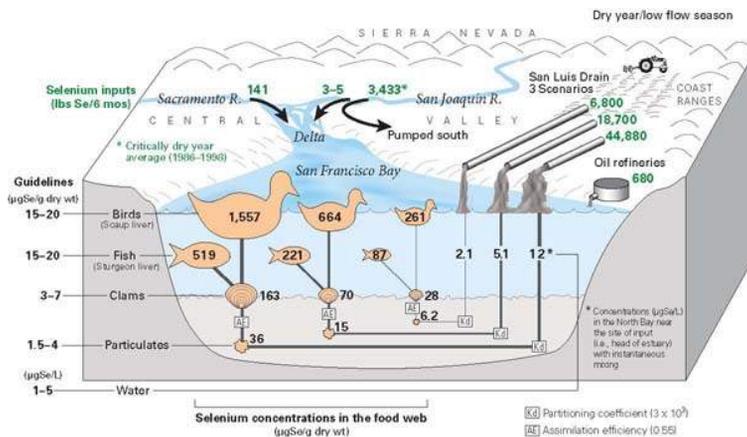
미량금속은 산업 혁명 이후 인위적으로 대량 생산되기 시작하였으며, 산업의 발달 및 삶의 편의를 위해 많은 분야에서 사용되고 있어 현재에도 해양환경을 파괴하는 동시에 인간의 건강을 위협하고 있다. 해양환경 내 미량금속 오염은 암석풍화, 화산활동, 강 및 대기로 유입이 되는 자연기원과 산업폐수, 준설, 쓰레기, 하수, 투기 등을 통해 유입되는 인간기원으로 구분된다. 해양환경에 유입된 미량금속은 물리적·화학적 환경조건(pH, 산소, 유기물 등)에 매우 다양한 형태로 존재를 하며 다양한 노출 및 흡수 경로를 통해 해양생물에 축적된다(그림 3.7).

그림 3.7 해수에서 금속이온의 거동 및 생물축적 경로(Ansari et al., 2004; USGS, 2004)

(a) 해수에서 금속이온의 거동



(b) 생물축적 경로

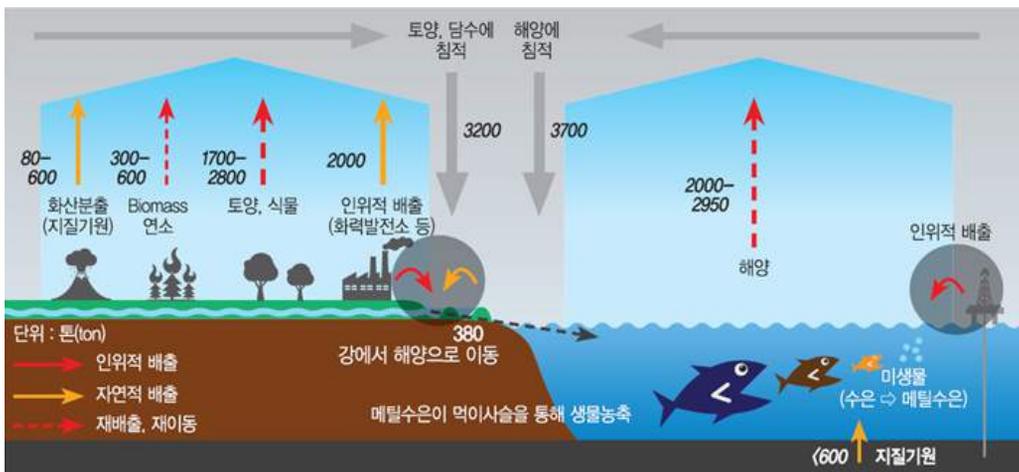




미량금속은 생물의 기능 및 항상성을 유지하도록 도움을 주는 구리(Cu), 아연(Zn), 망간(Mn) 셀레늄(Se), 니켈(Ni) 및 철(Fe) 등과 같은 필요금속(essential metal)과 수은(Hg), 납(Pb), 카드뮴(Cd) 등과 같이 생물에 해로운 영향을 미치는 불필요금속(non-essential metal)으로 구분된다. 필요금속은 일반적으로 해양생물에게 매우 중요한 금속이지만 과량으로 흡수 또는 섭취하면 독성이 되기도 하며, 효소의 정상적인 작용을 억제하기 때문에 필수원소이더라도 독성의 잠재력을 가지고 있다. 이에 비해 불필요금속의 경우 생물체의 대사과정에서 생물종에 따라 극미량이 필요하기도 하지만 일반적으로는 필요하지 않을 뿐만 아니라, 저농도에서 생물에 해를 미치고 농도가 높으면 치사할 가능성도 있다. 특히 수은, 카드뮴 및 납과 같은 미량금속류는 다른 미량금속류에 비하여 독성이 더욱 강하다.

수은은 산소가 부족한 해양환경 내에서 박테리아에 의해 가장 독성이 강한 형태인 메틸수은(methyl mercury)으로 전환되어 해양생물에 축적되고, 생체의 주요한 기능에 장애를 발생하고 먹이 사슬을 통해 이동한다. 수은은 대기에서 가스 상태로 장거리를 이동하며, 인간 활동에 의해 오염이 지속적으로 발생하고 있어 국제사회의 공동 대응 필요성이 지속적으로 제기되고 있는 실정이다(그림 3.8). 수은오염의 대표적 사례로 미나마타병을 들 수 있다. 1950년대 일본의 미나마타시 소재의 비료공장에서 유기수은이 바다로 흘러들었고, 이에 오염된 어·패류를 섭취한 주민이 수은에 중독되어 40여 명이 사망하고 600여 명이 아직도 사지마비, 언어장애 등 신경계 질환으로 투병 중이다. 이에 UNEP에서는 수은에 대한 국제사회의 대응을 위해 2013년에 ‘수은에 관한 미나마타협약’을 채택하고 2017년에 정식으로 발효하였다. 이 협약은 장거리를 이동하고 생물축적이 높은 수은의 사용과 배출을 줄여 수은이 인간의 건강과 환경에 미치는 위해도를 저감하기 위해 제조부터 폐기까지 수은의 전 과정(life-cycle) 관리에 대한 포괄적 규제 방안을 국제사회가 동의·결성하였다.

그림 3.8 전 지구적 수은 순환(UNEP, 2013)



라. 잔류성 유기오염물질

잔류성 유기오염물질(Persistent Organic Pollutants, POPs)은 환경 중 잔류성(persistence), 생물농축성(bioaccumulation), 장거리이동성(long-range transport), 강독성(toxicity)의 특성을 가지고 있는 유기오염물질이다. POPs는 환경 중 안정성(stability)이 강하여 나라 간 이동도 가능하기 때문에, 국제사회에서는 인간의 건강과 환경보호를 위해 POPs에 대한 스톡홀름협약을 발효하고 여러 POPs 중에서도 적절한 관리 및 제거의 시급성이 가장 큰 물질에 대한 국제적 공조 노력을 규정하고 있다. 우리나라는 2007년 1월에 협약에 비준함으로써 협약에 대한 지속적인 이행 의무를 지니는 당사국이 되었고, 2008년 제정된 해양환경관리법 내에 POPs를 조사하도록 하는 조항을 명시하여 해양환경 중 POPs에 대한 지속적인 조사를 위한 기반을 마련하였다. 스톡홀름협약은 최소 다이옥신류를 포함하여 12가지 물질이 지정되었고, 이후 2009년부터 지속적으로 18종의 신규물질이 지정되어 2020년 현재 총 30개의 화학물질을 대상으로 하고 있다(표 3.1).

POP에 의한 대표적인 피해 사례로는 레이첼 카슨의 침묵의 봄(Silent Spring)에서 위해성을 경고하였던 살충제인 DDTs를 들 수 있다. DDTs는 강한 살충효과로 농업의 발달과 말라리아 예방에 공헌하였지만, 생물이나 인간이 흡수하면 암을 유발하거나 면역저하 및 뇌를 손상시켜 1970년대 이후에는 사용이 금지되었다. POPs 특성인 생물농축 및 장거리 이동 특성이 강해 상위 단계의 생물일수록 많이 축적되고, DDTs를 사용한 적이 없는 남극의 펭귄에서 DDTs를 가지고 있는 것으로 밝혀졌다. 또한, 1980년~1990년대에 미국 대기업인 듀폰사에서 테프론 제조공정에 사용한 과불화 화합물의 일종인 PFOA(perfluorooctanic acid)가 포함된 하수를 무단 방류하여 야생동물이 죽고, 약 7만여 명의 주민들이 피해를 입기도 하였다. PFOA 오염으로 2017년 듀폰사는 약 6억 7,500만 달러(약 8,000억 원)를 보상하도록 판결 받았으며, 2019년에 POPs 오염을 문제화한 다크 워터스(Dark Waters)라는 영화로 제작되기도 하였다.

표 3.1 스톡홀름협약에 따른 잔류성 오염물질 지정 현황

<p>의도적 물질</p>	<p>부속서 A (26종)</p>	<p>① 알드린, ② 엔드린, ③ 디엘드린, ④ 톡사펜, ⑤ 클로르데인, ⑥ 헵타클로르, ⑦ 미렉스, ⑧ 헥사클로로벤젠(HCB)☆, ⑨ 폴리클로리네이티드비페닐(PCBs)★, ⑩ 클로르데콘, ⑪ 린덴, ⑫ 알파-헥사클로로사이클로헥산(α-HCH), ⑬ 베타-헥사클로로사이클로헥산(β-HCH), ⑭ 테트라/펜타브로모디페닐 에테르 (4,5-BDEs), ⑮ 헥사/헵타브로모디페닐 에테르(6,7-BDEs), ⑯ 헥사브로모비페닐(HBB), ⑰ 펜타클로로벤젠(PeCB)☆, ⑱ 엔도설파판과 그 이성체, ⑲ 헥사브로모사이클로도데칸(HBCD), ⑳ 펜타클로로페놀 및 그 염류 및 에스테르, ㉑ 헥사클로로부타디엔(HCBD)★, ㉒ 폴리클로리네이티드나프탈렌(PCNs)★, ㉓ 데카브로모디페닐 에테르(BDE-209), ㉔ 단쇄염화파라핀(SCCPs), ㉕ 과불화옥탄산(PFOA)과 그 염류 및 관련 화합물, ㉖ 디코플</p>
----------------------	--------------------	--



의도적 물질	부속서 B (2종)	① 디디티(DDT) ② 과불화옥탄술폰산(PFOS)과 그 염류 및 과불화옥탄술폰닐플로라이드(PFOS-F)
비의도적 물질	부속서 C (7종)	① 다이옥신, ② 퓨란, ③ 헥사클로로부타디엔(HCBD)★, ④ 헥사클로로벤젠(HCB)☆, ⑤ 펜타클로로벤젠(PeCB)☆, ⑥ 폴리클로리네이트드비페닐(PCBs)★, ⑦ 폴리클로리네이트드나프탈렌(PCNs)★

★ 발생요인이 공정부산물, 산업용 중첩 / ☆ 발생요인이 공정부산물, 농약류 중첩

육상에서 인간 활동에 의한 높은 농도의 POPs는 해양환경과 서식 생물에 다양한 경로를 통해 생물체에 축적되거나 다양한 형태의 독성학적인 영향을 미친다(그림 3.9). 현재까지 보고된 POPs에 의한 인체노출의 주요 경로는 해양으로부터 유래한 수산물 섭취로 알려져 있다(Domingo and Bocio, 2007). 특히, POPs 물질은 해양으로 유입되어 해수 중 그 농도가 매우 낮더라도 먹이망을 통하여 생물확대(biomagnification) 되기 때문에, 상위 포식자인 고등어, 다랑어, 갈치 등은 매우 높은 POPs 함유량을 보이는 특성을 가지고 있다. 해양생태계에서 POPs 물질의 검출은 먹이 사슬을 통한 생물확대로 연결되어, 최종적으로 인간에게 수산물 섭취라는 노출경로에 의해 독성학적인 영향을 주게 된다.

따라서 POPs에 대한 오염실태, 발생원 조사, 생태학적 위해도 평가를 통한 해역별, 오염물질별, 발생원별 적절한 위해도 관리 프로그램이 필요하다. 이를 위해, 미국의 경우 환경보호청(EPA), 국립해양대기청(NOAA)를 중심으로 다양한 국가모니터링 프로그램에 POPs가 포함되어 있으며, 일본에서도 환경청과 수산청에서 환경과 생물에 대한 POPs 모니터링을 수행하고 있다. 유럽도 발트해 감시 프로그램(Baltic Sea Monitoring Program) 등을 수행하고 있으며, 캐나다와 노르웨이 등을 중심으로 극지방에서의 POPs 장기 모니터링과 기후변화 관련 생태계 모니터링의 결과를 보고하고 있다. 우리나라는 해양수산부를 중심으로 해양환경관리법에 따라 전국 연안의 해수, 해저퇴적물, 해양생물에 대해 POPs 모니터링 프로그램을 운영하고 있다.

그림 3.9 잔류성 유기오염물질 환경 내 거동 및 주요 축적 경로(환경부, 2021)



마. 방사성 물질

자연계에 존재하는 원자번호가 큰 우라늄, 라듐 등 40여 종의 원소가 원자핵이 붕괴하면서 방사선 (radiation)을 방출하며 이런 현상을 방사능(radioactivity)인데, 이런 방사능의 성질을 가진 물질을 방사성 물질(radioactive material)이라 한다. 이러한 특성으로 방사능으로 오염되었다는 표현은 정확하게 표현하면 방사성 물질에 오염되었다고 하여야 한다.

위와 같이 불안정한 원소의 원자핵을 가진 원자를 방사성 핵종(radionuclides)이라 하며, 방사성 핵종의 기원은 자연적으로 존재하는 천연 방사성 핵종과 인간이 인공적으로 핵반응을 통해 만들어낸 인공 방사성 핵종으로 크게 나누며, 그 외에 우주선(cosmic ray)에 의해 생성된 방사성 핵종이 있다(표 3.2). 일반적으로 천연 방사성 핵종은 크게 우라늄계열(238U), 토륨계열(232Th) 그리고 악티늄계열(235U)로 나뉘며, 최종적으로 안정화된 납은 동위원소가 된다. 천연 방사성 핵종의 붕괴특성 및 반감기가 긴 특성으로 해양환경의 다양한 현상을 이해하는데 추적자로 많이 활용된다 (국립수산과학원, 2009b).

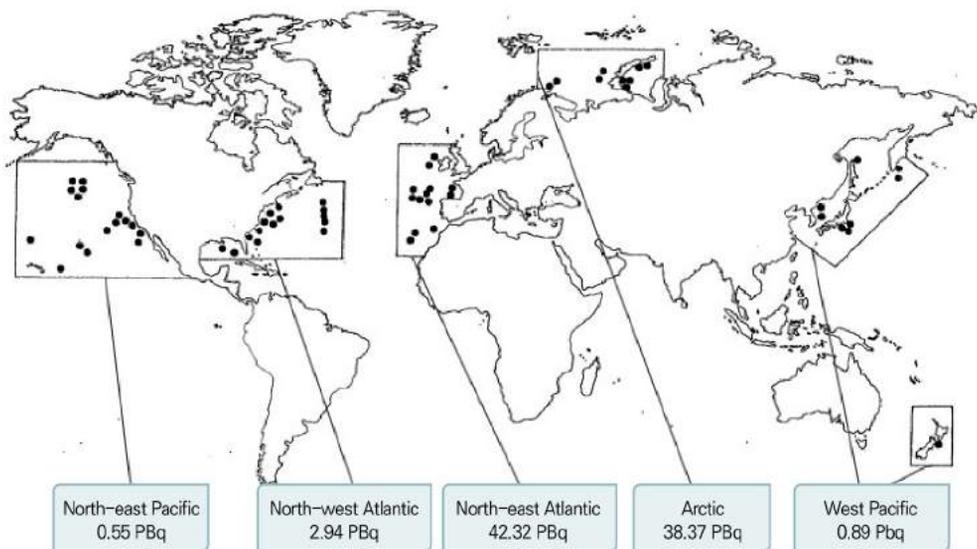


표 3.2 해양환경에 관련된 주요 핵종 및 반감기

기원	핵종	방사선	반감기	기원	핵종	방사선	반감기
천연	^{40}K	β, γ	$1.28 \times 10^9 \text{ yr}$	인공	$\text{T}(^3\text{H})$	β	12.3 yr
	^{87}Rb	β, γ	$4.8 \times 10^{10} \text{ yr}$		^{90}Sr	β	28.78 yr
	^{232}Th	α	$1.41 \times 10^{10} \text{ yr}$		^{131}I	γ	8.04 day
	^{235}U	α	$7.04 \times 10^8 \text{ yr}$		^{134}Cs	γ	2.1 yr
	^{238}U	α	$4.47 \times 10^9 \text{ yr}$		^{137}Cs	γ	30.17 yr
우주선	^{14}C	β	5730 yr		^{239}Pu	α	$2.41 \times 10^4 \text{ yr}$

인공 방사성 핵종들은 1940년대 중반 초기 원자력발전소와 핵폭발로부터 해양환경으로 유입되기 시작하였으며, 1960년대 초에 실시한 해양에서의 핵폭발 실험은 인공 방사성 핵종의 해양환경으로 유입되는 주요한 요인이 되었다. 또한, 1940년대 후반부터 시작된 핵폐기물의 해양투기 또한 인공 방사성 핵종들의 주요한 해양환경 유입되는 원인이 되었다(그림 3.10). 인공적으로 생성된 핵종 중 해양에서 중요한 핵종 중 하나는 ^{90}Sr (해수 내 보전적 거동)과 ^{137}Cs 이며, 방사성 핵종의 낙진으로 유입되어 해양에서 가장 풍부하고 용존성이 강해 해양환경에 대한 추적자로 활용되고 있다(국립수산과학원, 2009b).

그림 3.10 주요 방사성 폐기물 투기 해역(Foyn, 2001)



3 해양환경 오염물질에 대한 대응방안

오염물질로부터 해양환경을 보전하기 위한 많은 노력이 행해지고 있으며, 다양한 연구와 행정적인 제도 개선이 이루어지고 있다. 해양수산부는 최근 해양환경 정책의 기본법인 '해양환경 보전 및 활용에 관한 법률'을 제정하고, 해양환경을 보호하기 위한 '제5차 해양환경종합계획(2021~2030)'과 해양쓰레기 관리 및 오염퇴적물 정화를 위한 '해양폐기물 및 해양오염퇴적물 관리 기본계획(2021~2030)'을 수립하고, 연안오염총량관리제 등 다양한 정책을 실행하고 있다. 또한, 정확한 해양환경진단을 위한 해양환경 모니터링이 1997년 해양수산부가 발족되면서 양적·질적으로 많은 변화와 발전을 거듭해왔다. 특히, 2000년대에 들어서면서 오염이 심화되는 주요 항만과 하구역 및 개발지역에 대한 조사정점의 확대와 해역의 이용목적별로 특성화된 조사체계를 구축하고, 화학적인 기반에서 생태적인 개념으로의 해양환경 모니터링 체계를 확립하기 위한 기반을 마련하였다.

하지만, 인간이 만들어낸 화학물질이 대기, 플라스틱을 포함하는 다양한 쓰레기, 공장 및 가정 하수, 하수처리장 방류수, 각종 해양오염사고를 통해 해양환경 내로 유입되면 결국 우리의 식탁으로 돌아오는 수산자원 속에 아주 높은 수준의 농도로 축적되어 있는 화학물질을 섭취하는 결과를 초래하는 것이다. 따라서 해양환경으로 유입되는 오염물질의 유입을 효율적으로 차단하기 위한 노력이 더욱 필요한 상황이다.

무엇보다 먼저 해양환경보전의 필요성에 대한 인식이 범국민적으로 제고되어 산업계, 학계, 관 및 국민 모두가 해양환경의 중요성을 인식하고 보전하는 노력을 기울여야 한다. 또한, 국민 개개인이 피부로 느낄 수 있도록 지속적인 홍보와 현장방문 등 일상생활과 오염현황과의 인과관계를 인식할 수 있도록 한다. 또한, 해양환경을 평가하고 보전하는 데에는 여러 분야의 전문가가 많이 필요하며 각 분야의 전문가가 균형적으로 육성되고 각 분야에서 능력을 발휘할 수 있도록 제도화해야 한다.

해양환경보호를 위하여 체계적이고 과학적인 기준설정의 프로그램을 적용하여 해양환경기준을 지속적으로 개선 및 보완하여야 한다. 비록 2015년 해양환경기준 백서가 발간되며 기준에 대한 과학적인 접근이 시도되었지만, 제도화되지 못하고 현재 설정된 해양환경기준을 활용하는 방법에 대한 연구가 시행되지 못한 아쉬움이 있다. 이에 따라 해양환경기준 설정 프로그램에서 기준 설정에 필요한 자료들을 수집한 후 자료 요건이 되면 기준을 설정하고, 자료 요건이 되지 않으면 해양환경 모니터링을 통해 자료가 획득되도록 요구하고 다음 프로그램에서 기준을 설정할 수 있는 과학적·정책적 체계를 갖추는 것이 절실히 필요하다.

해양환경 오염물질에 대한 현재의 오염실태, 발생원 조사, 생태학적 위해도 평가를 통해 위해도를 결정하여 해역별, 오염물질별, 발생원별 적절한 위해도 관리 프로그램이 필요하다. 그러나, 해양환경에 대부분 극미량으로 검출되는 오염물질의 특성상 분석하는 과정이 복잡하고 매우 어려운 일이다. 이에



따라, 국가에서는 이에 대한 분석법을 제공하고 많은 연구자들이 이용할 수 있는 환경과 정보를 제공해야 한다. 이러한 측면에서 국가가 기본적으로 해야 할 일은 해양환경에 존재하는 오염물질에 대한 정확한 실태조사와 이에 대한 중·장기적인 모니터링 프로그램을 수행해야 한다.

이를 위해서 지속적인 해양환경 모니터링 제도의 발전과 과학적인 조사를 위한 노력이 필요하다. 수질이나 퇴적물 등의 화학적인 분석만이 아닌 해양환경, 해양생태계, 생물자원의 과학적 진단을 위한 통합모니터링을 실시하여 과학적인 해양환경관리가 이루어져야 할 것이다. 또한, 해양환경 모니터링에 있어서 해양생태계에 대한 위해성 평가를 위한 기술을 개발하고 강화하여야 한다. 해양생태계에 미칠 수 있는 독성학적, 생물학적, 생리학적, 생태학적인 위해성 평가 기술의 개발 및 도입으로 해양생태계를 보호할 수 있는 진보된 해양환경 모니터링이 시급하다.

마지막으로, 기후변화로 인한 해양환경변화, 연안 환경의 훼손, 개발로 인한 다양한 오염물질 해양유입 증가 등 광역화 되고 있는 해양환경 문제를 해결하기 위해서 국제협력의 필요성이 높아지고 있다. 최근 세계적으로 문제가 되고 있는 해양 쓰레기(플라스틱 및 미세플라스틱 포함), 각종 화학물질 및 방사성 물질 등은 바람과 해류를 타고 전 해양으로 확산되어 해양환경을 위협하고 있다. 또한, 많은 양의 다양한 화학물질들이 원재료 또는 가공된 형태로 세계로 확산되고 있어 해양환경 오염물질의 영향은 국경이 없어지고 있다. 따라서, UN 기구를 중심으로 해양환경과 관련한 국제협약 및 프로그램에서의 활동을 강화하고, 인접 국가와의 국제협력이 더욱 강화되어야 한다.

KAST Research Report 2021

한림연구보고서 141

해양환경보호활동에 대한 국내외 현황과 정책 방향

Current status and future policy direction on
"Protection of Marine Environments" activity

IV. 기후변화와 해양환경

IV

Chapter

기후변화와 해양환경

1 개관

가. 기후변화의 정의

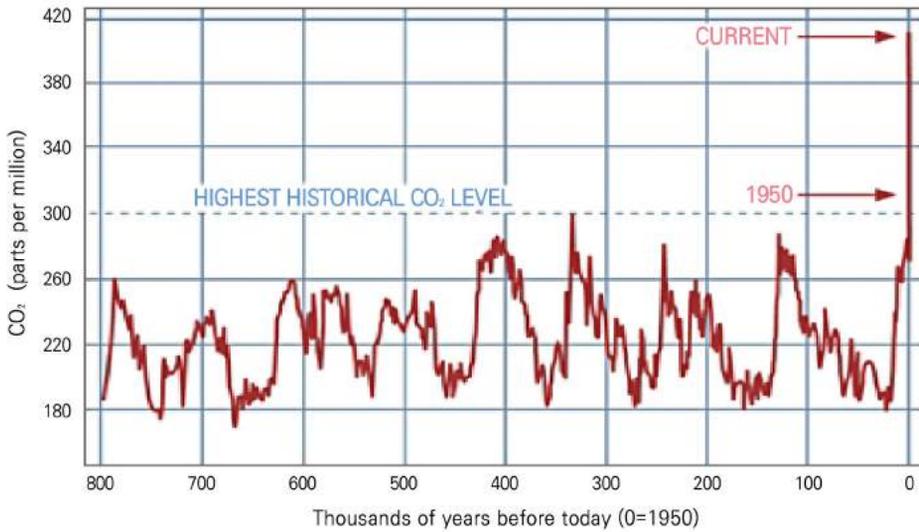
기후는 수십 년 혹은 수 세기에 걸쳐 나타나는 평균적인 날씨를 의미한다. 지구의 기후는 고유의 자연적인 기후변화에 따라 빙하기와 간빙기를 반복하였으며, 현재 인류는 간빙기의 따뜻한 기후를 누리고 있다. 하지만 20세기에 관측된 급격한 기후변화는 자연의 주기를 벗어나는 극단적인 현상이다. 근대 기상관측이 시작된 1880년대 이래 가장 더웠던 해가 2016년, 두 번째로 더웠던 해가 2020년이었으며, 최근 140년간 가장 더웠던 상위 20개년도가 모두 1980년 이후에 해당하는 급격한 온난화를 기록하고 있다. 또한 21세기에 접어들어 지구 곳곳에서 폭염, 폭설, 집중호우, 가뭄 등의 극한 현상과 자연재해가 더욱 강한 강도로 더욱 빈번하게 일어나고 있는데, 그 이유가 급격한 기후변화 때문이라는 연구결과들이 발표되고 있다. 이렇게 유례없는 기후변화의 원인은 산업혁명 이후 인간 활동 증가에 따른 온실기체 배출 증가, 즉 자연적인 원인이 아닌 인간 활동에 의한 것이다.

나. 온실가스와 기후변화

지난 수십만 년 동안 대기 중 이산화탄소 농도 최댓값은 300ppm을 밑돌았지만(그림 4.1a), 산업혁명 이후 인간 활동의 증가로 인해 이산화탄소 배출량이 급격히 증가하면서 대기 중 이산화탄소 농도가 산업화 이전인 1750년에 비해 약 50% 증가하였다. 즉, 20세기 들어와 급격히 증가한 이산화탄소 농도는 1900년대 중반에 300ppm을 초과하였고, 2010년대에는 400ppm을 초과하여 전례 없이 높은 수치를 나타내고 있다(그림 4.1b). 대표적인 온실가스인 이산화탄소 농도가 대기에서 증가하면 온실효과에 의하여 지구로부터 에너지가 빠져나가는 것이 방해되어 잉여 에너지가 대기에 쌓인다. 이에 따라 지구로 들어오는 열과 지구에서 빠져나가는 열 사이의 균형을 깨뜨리는 지구 에너지 불균형이 지속되면서 전 지구 평균 온도가 상승하는 지구온난화가 나타나고 있으며, 이는 기후변화의 근본적인 원인이 되고 있다. 많은 사람들이 기후변화를 이야기할 때 지구온난화를 떠올리고, 실제로 전 지구 평균 표면 온도 상승 정도가 기후변화의 지표가 되고 있다.

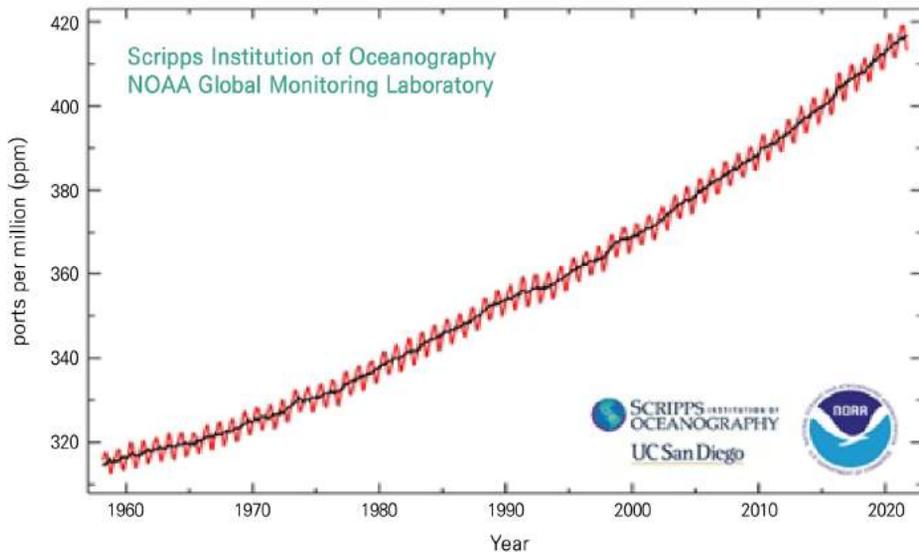
그림 4.1 대기 이산화탄소 농도 변화

(a) 남극 빙하로부터 복원한 지난 80만 년 간 대기 이산화탄소



출처: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>

(b) 미국 하와이 마우나 로아에서 1958년부터 관측한 대기 이산화탄소



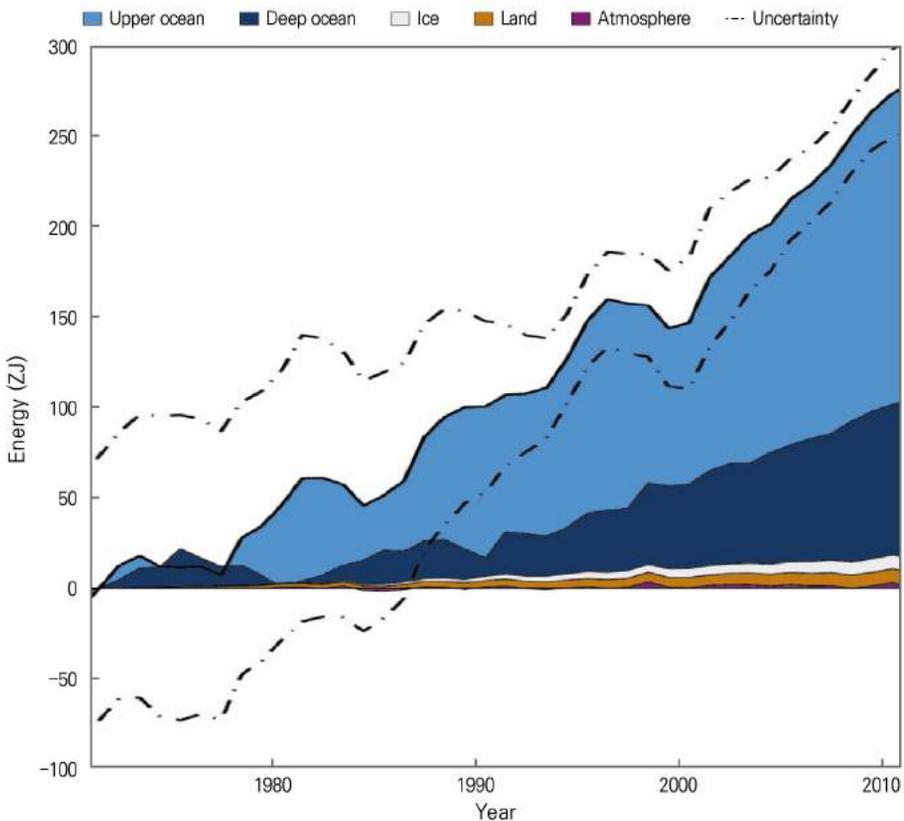
출처: <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>



다. 해수의 열용량과 이상기후

관측 기록에 의하면, 지구 평균 표면 온도는 19세기 후반 대비 약 1.18℃ 상승하였고, 해수면 온도는 1966년 이래로 약 0.33℃ 상승하였다. 대기 중 이산화탄소 농도 증가에 비하면 기온과 수온의 증가 폭이 그리 크지 않은 것을 알 수 있는데, 상대적으로 적다고 느껴질 수 있는 이러한 온도 증가 폭은 해수의 큰 열용량 때문이다. 비열은 어떤 물체 1kg의 온도를 1℃ 상승시키기 위해 필요한 열의 양이고, 열용량이란 비열에 질량을 곱해준 값이다. 따뜻해지기 어려운(즉, 비열이 큰) 물체가 많이 있을수록 열용량이 커지고, 전체적으로 따뜻해지기 어려운 것이다. 바닷물의 비열은 대기 비열의 약 4배이고, 지구상 바닷물의 전체 질량은 대기 전체 질량의 약 250배로, 바닷물 전체의 열용량은 대기 전체 열용량의 약 1,000배가 된다. 따라서 이렇게 열용량이 큰 바다가 온실기체 증가로 인해 지구상에 쌓인 잉여 열의 상당 부분을 흡수해주는 “기후조절자”의 역할을 해 온 것이다.

그림 4.2 1970년~2010년 동안 지구상에 쌓인 잉여 열에너지의 분포



출처: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/observations-ocean/figbox3-1-1/>

실제로 지난 40년 동안 온실기체 증가로 인해 지구상에 쌓인 잉여 열에너지가 어디에 흡수되었는지를 살펴보면, 수심 700m까지의 상층 해양에 가장 많은 양의 열에너지가 흡수된 것을 알 수 있다(그림 4.2). 그보다 깊은 수심의 바다에 흡수된 열에너지도 육상이나 대기에 흡수된 열에너지보다 월등히 많은 양으로, 바다에서 잉여 열에너지의 약 90% 정도를 흡수해온 것으로 나타나고 있다. 그 나머지가 빙하나 빙상을 녹이는 데에, 그리고 육지나 대기의 온도를 상승시키는 데에 사용되었다. 하지만 이렇게 바다에 흡수된 열에너지는 수온을 증가시키며 해빙을 녹이고, 해수면 상승을 일으키면서 여러 이상기후 현상의 원인이 되고 있다.

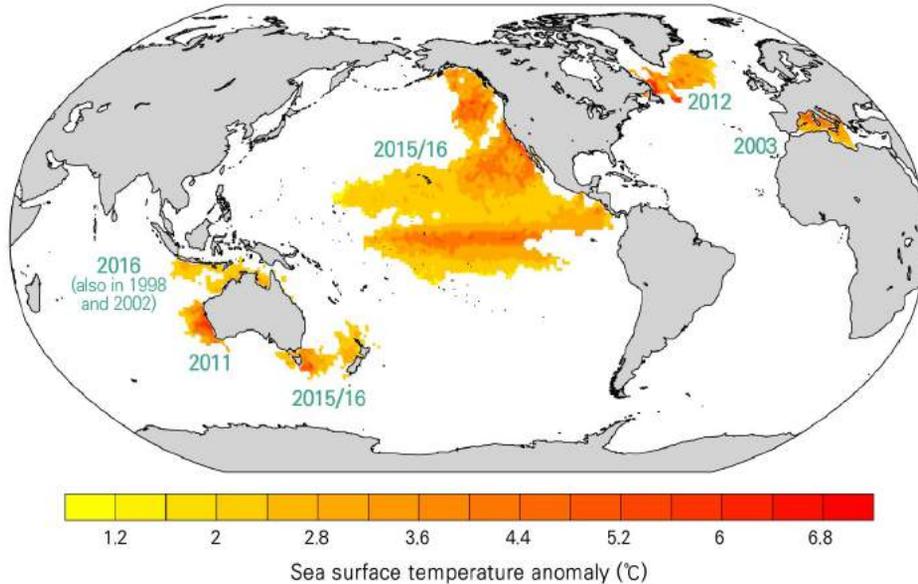
2 전 지구적인 해양환경변화

가. 수온 상승과 해양열파

1970년대 이후 전 지구 평균 해양의 열용량은 200ZJ 이상 증가하였다. 1ZJ은 10^{21} J로서, 10ZJ의 열에너지는 1년 동안 1초마다 원자폭탄이 2개씩 폭발하는 수준에 해당한다. 이렇게 엄청난 양의 열을 해양이 흡수하지만, 해수의 수온 증가는 공간적으로 균일하게 나타나지 않는다. 지구상의 어느 해역에서는 평균적인 수온 상승 폭을 보이는 반면 특정 해역에서는 훨씬 큰 수온 상승 폭을 나타내는 이상 고수온 현상이 발생하기도 한다. 날씨나 해양생태계 등에 큰 영향을 미치는 표층 수온이 특별히 극심하게 증가하여 며칠 이상 지속되는 현상으로 정의되는 해양열파(marine heat wave) 발생 추이를 보면, 2010년대에 들어 1982~2016년 평균 대비 온도 이상치가 5℃보다 높게 나타나는 극심한 해양열파 현상이 빈번히 일어나고 있는 것을 알 수 있다(그림 4.3). 해양열파 현상은 특정 해역에 국지적으로 나타나기도 하지만 2015년에서 2016년의 경우에는 여러 해역에서 동시에 나타나면서, 동태평양에서는 전혀 없이 광범위한 해역에서 나타나기도 했다. 특히 엘니뇨 시기에 일어나는 경우 더욱 극심한 영향을 미치는 것으로 알려진다.



그림 4.3 1982~2016년 기간 평균 대비 해양 표층 수온 이상치와 지속일수로 계산한 해양열파 발생
(Frölicher and Laufkötter, 2018)



나. 해수면 상승

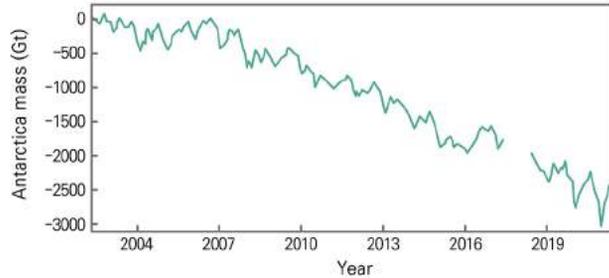
수온 상승은 직접적으로 해빙(sea ice)을 녹이는 데 기여한다. 북극의 해빙 면적은 매년 9월에 최솟값을 나타내는데, 인공위성으로 관측한 매년 9월의 해빙 면적 변화를 보면 그 감소율을 뚜렷하게 볼 수 있다(그림 6.2 참조). 1980년대와 비교했을 때 2010년대에 해빙 면적이 절반 정도로 감소하였으며, 이는 1981~2010 기간 평균 기준으로 10년에 13%씩 감소하는 비율이다. 북극 해빙의 면적뿐만 아니라 두께도 급격하게 감소하고 있으며 2012년에 관측 역사상 가장 최솟값을 보였다. 또한 해빙뿐만 아니라 그린란드나 남극대륙의 빙산도 급격히 감소하여 바다로 흘러 들어가서 바닷물 양의 증가에 따른 해수면 상승에 기여한다. 인공위성으로 관측한 남극 빙산 질량 감소율은 연간 151조 톤에 해당하며, 특히 2010년대 이후로 그 감소세가 더욱 뚜렷해진 것으로 나타나고 있다(그림 4.4). 본 보고서의 6장 2절에서 기후변화에 따른 극지해양환경변화에 대해 다루며 해빙이나 빙산 감소에 대해 설명하고 있다.

그림 4.4 기후온난화가 극지환경에 미치는 영향

(a) 그린란드 빙상이 녹아 내리는 모습



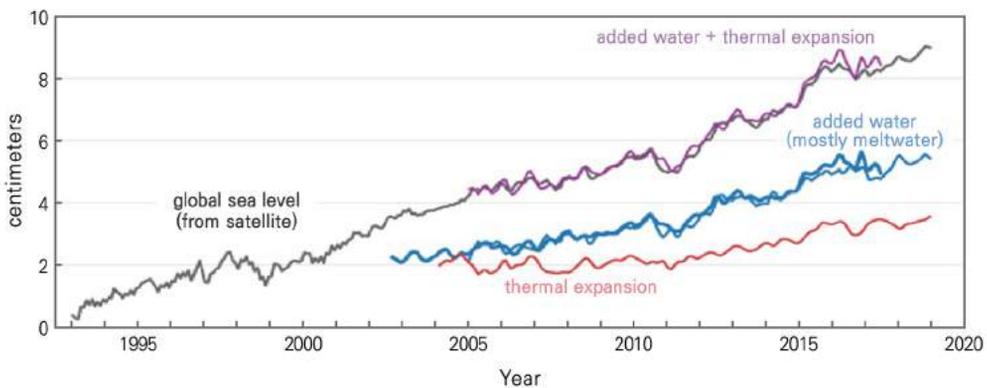
(b) 남극대륙 빙상 질량 변화



출처: <https://climate.nasa.gov/vital-signs/ice-sheets/>

이 같은 해빙과 빙상 감소에 따른 해수 증가(added water)와 해수온 증가에 따른 열팽창(thermal expansion) 효과에 의해 전 지구 평균 해수면이 꾸준히 높아지고 있다(그림 4.5). 인공위성 고도계 자료로부터 전 지구 해수면 관측이 시작된 1993년 이래 15~20cm가 증가하여 해수면 상승률이 연간 3.4mm에 이르며, 2010년대 이후로 그 상승률이 더욱 증가하였다. 해양의 온도 변화가 전 지구적으로 다르게 나타나는 것처럼 해수면 상승률 또한 공간적으로 다르게 나타나는데, 이러한 해수면 상승에 따른 침수 피해는 해면 고도가 낮은 지역에서 더욱 극심하게 나타나고 있다. 투발루를 비롯한 열대태평양 도서 국가들은 이미 국토의 대부분이 물에 잠길 수도 있다는 위협을 받으며 전 국민이 ‘기후난민’이 될 수 있다는 국가 위기상황에 처해 있다. 또한 전 세계 대도시 중 상당수가 해안가에 위치하고 있는 것을 고려하면 해수면 상승에 따른 위협이 전 지구적으로 나타나고 있다고 할 수 있다.

그림 4.5 해수면 상승 추세(1993~2018)와 주요 원인



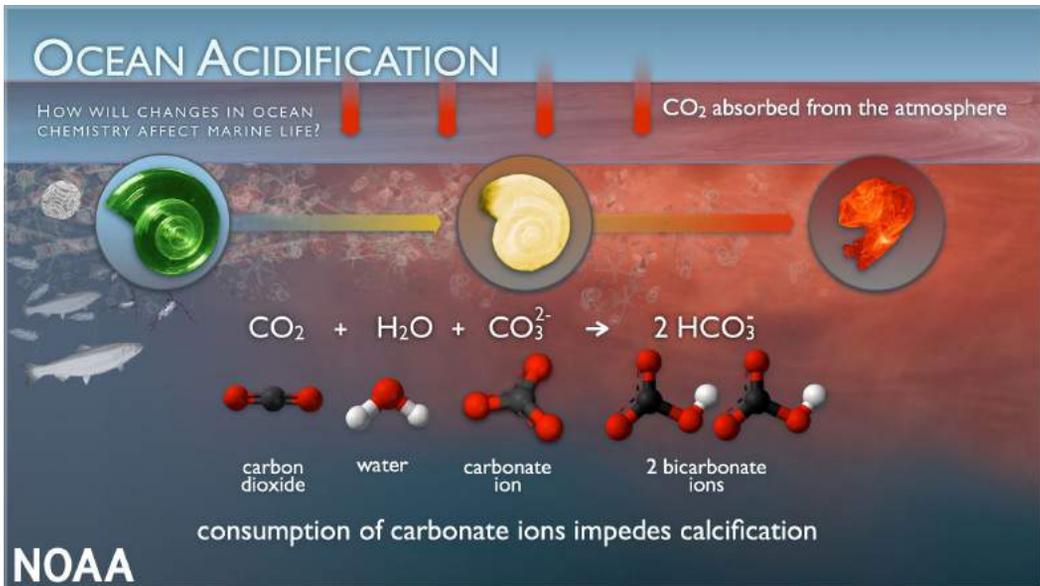
출처: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-sea-level>



다. 해양산성화

대기 중 이산화탄소 농도 증가는 온실효과를 통해 지구에 잉여 열을 쌓이게도 하지만 바다로 흡수되는 이산화탄소량을 증가시켜 해양산성화(ocean acidification)를 일으키기도 한다. 1980년대 이후 인류가 배출한 이산화탄소의 약 30%가 바다로 흡수되었다고 보고되고 있다. 이산화탄소가 물에 녹으면 탄산과 함께 수소이온이 방출되는데, 수소이온이 많아지면서 해양의 pH가 낮아지는 산성화가 일어나게 된다(그림 4.6). 일반적으로 해수의 평균 pH는 약 8.1 정도인데, 산업혁명 이후로 전 세계 해양의 pH가 약 0.1 정도 떨어졌고, 이와 같은 추세가 이어진다면 2100년에는 pH가 0.4 이상 떨어질 수 있다고 예측되고 있다. 대부분의 어류와 플랑크톤이 이런 급격한 pH 변화 환경에 적응할 수 없어서 생장, 생식 능력 저하를 겪게 되고, 이는 결국 해양 먹이 사슬 파괴로 이어질 수 있다. 해양생물 중에서 껍질을 가지고 있는 조개, 굴, 가재와 같은 생물들이 특히 해양산성화에 취약하며, 해양생물다양성의 보고로 알려진 산호초의 백화현상도 많은 해역에서 나타나고 있다. 전 세계 모든 숲과 산림에서 생산되는 산소량에 맞먹는 양의 산소가 바다에서 생산된다는 것을 고려할 때, 해양산성화에 따른 생태계 파괴가 미치는 영향이 광범위하게 나타날 수 있음을 생각할 수 있다.

그림 4.6 해양산성화와 해양생태계



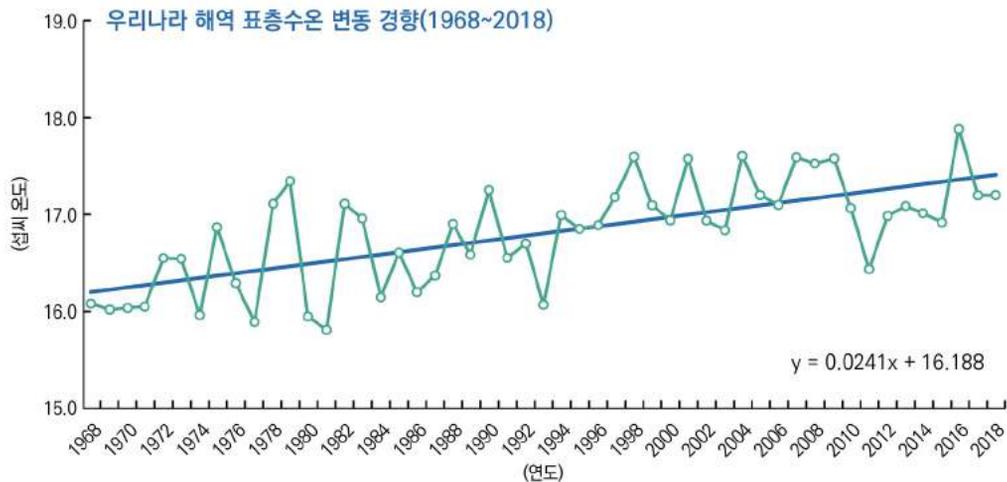
출처: <https://www.noaa.gov/education/resource-collections/ocean-coasts/ocean-acidification>

3 우리나라 해양환경변화

가. 한반도 주변 해역 수온 상승

우리나라 평균 기온은 최근 100년 동안 약 1.4℃ 상승하였으며, 여름철 열대야 일수가 약 두 배 증가하였다. 한반도 주변 해역 표층 수온은 최근 50년 동안 약 1.2℃ 이상 상승하였는데(그림 4.7), 이는 전 지구 평균인 0.5℃의 두 배 이상에 해당하는 높은 상승률이다. 계절별로는 여름보다 겨울의 수온 상승 경향이 두 배 이상 높게 나타나고 있다. 우리나라 주변 동해, 남해, 서해가 고유의 해양환경을 가지고 있고 수온 상승 정도에 큰 영향을 미치는 대기와 해양 순환의 특성도 모두 다른 만큼, 해역별 수온 상승 정도도 다르게 나타나고 있다. 연평균 표층 수온 상승률은 동해에서 가장 높게 나타나서 약 1.43℃ 정도이며, 이는 동해 남쪽의 따뜻한 해수의 세력 확장에 따라 북쪽의 차가운 해수와 만나서 형성하는 전선이 북상한 것과 연관되어 있다고 알려져 있다. 이것은 원래 따뜻했던 저위도 해역보다 고위도 해역에서 수온 상승률이 높게 나타나는 경향과도 관련된 특징이다. 동해에 비해 남해나 서해에서 상대적으로 표층 수온 상승률이 낮은 이유는 수심이 얕은 연안의 발달로 조류의 영향이 크게 나타나 수직적 혼합 효과가 큰 것과 관련되어 있다고 여겨진다. 하지만 최근 서해에서 이러한 수직적 혼합 효과가 줄어들어 연직 성층이 강화되는 추세가 보고되고 있다. 또한 최근에는 수온과 관련된 해양 극한 현상 출현 빈도가 증가하고 있는 것으로 보고되고 있다.

그림 4.7 우리나라 해역 표층 수온 상승 추세(국립수산과학원, 2019)

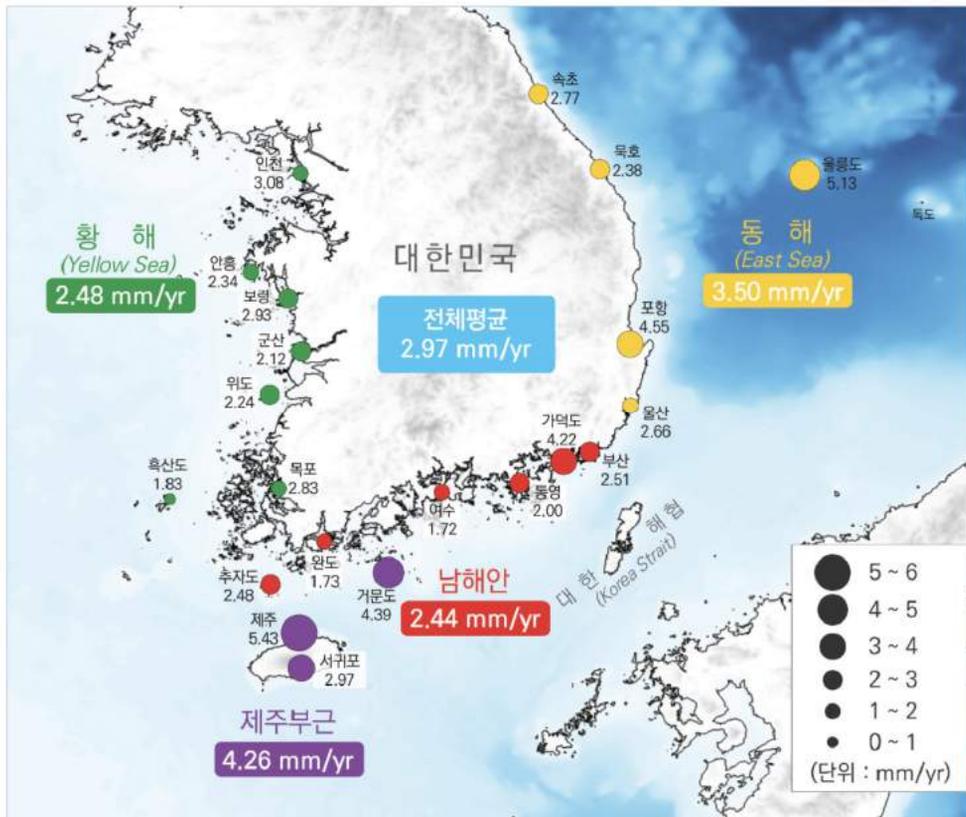




나. 한반도 주변 해역 해수면 상승

지난 30년간(1989~2018) 우리나라의 평균 해수면 상승률은 연간 2.97mm 정도로 전 세계 평균보다 높게 나타나고 있다(그림 4.8). 해역별로는 제주 부근이 연간 4.26mm로 가장 높았고, 그 뒤로 동해안이 연간 3.50mm, 서해안이 연간 2.48mm, 남해안이 연간 2.44mm 순으로 나타났다. 이러한 해수면 상승은 북서태평양 해양순환의 변화, 즉 따뜻한 해수를 저위도에서 고위도로 수송하는 쿠로시오와 대마난류의 세력 강화 또는 북상에 따른 해양 상층 열용량의 증가와 관련된다. 수송되는 해수의 양 증가뿐만 아니라 수온 상승에 따른 열팽창이 해수면 상승에 기여하고 있다. 지난 30년간(1989~2018) 해수면 상승률과 최근 10년간(2009~2018) 해수면 상승률을 비교해보면, 최근 10년간 상승률이 연간 3.48mm로 해수면 상승 정도가 더욱 증가한 것으로 나타난다.

그림 4.8 지난 30년(1989~2018) 평균 해수면 상승률(국립해양조사원, 2020)



다. 한반도 주변 해역 해양산성화

전 지구적인 해양산성화의 주요 원인은 대기로부터의 이산화탄소 흡수이지만, 한반도 주변 해역과 같이 육지의 영향을 많이 받는 해역에서는 부영양화, 산성 물질 침적, 용승과 같은 해양순환 등 다양한 원인이 기여하기도 한다. 특히 남해에서는 부영양화에 따른 적조 발생과 유기물 분해 등에 의해 산성화가 발생하는 것으로 추정되며, 동해에서는 용승과 같은 해양의 수직 순환이 산성화 정도에 영향을 미치는 것으로 예상된다. 또한 인접국에서 대기를 통해 질소나 황 등의 오염물질이 유입되는 것도 한반도 주변 해역 산성화에 기여하고 있는 것으로 보고되고 있다. 국립해양조사원의 조사 결과에 따르면 우리나라 주변 해역 pH는 계절적, 공간적으로 큰 차이를 보이기 때문에, 시공간적 변동과 기후변화에 의한 영향을 이해하기 위해서는 지속적인 모니터링을 바탕으로 한 연구가 더욱 중요하다고 할 수 있겠다.

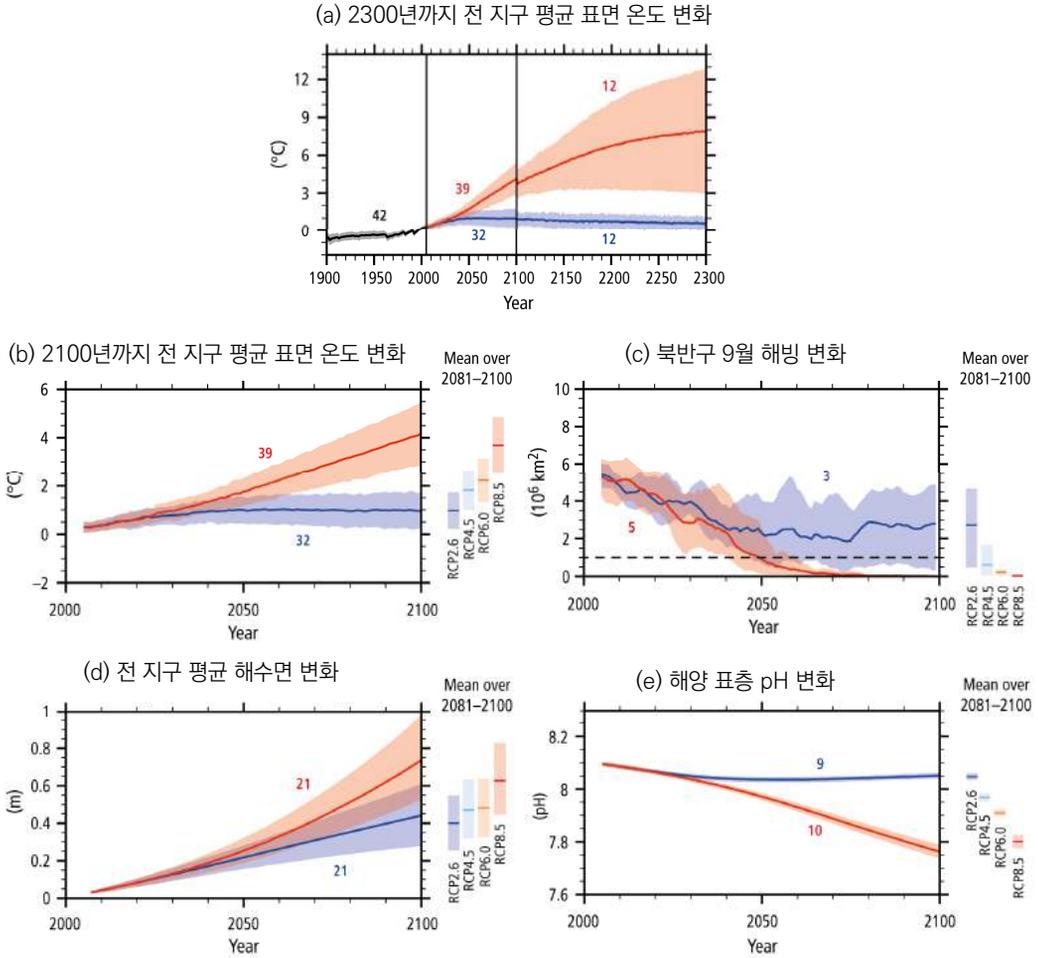
4 미래 기후변화와 대응책

가. 미래 기후변화

산업혁명 이후 인간 활동 증가에 의한 급격한 기후변화는 미래에도 계속될 것으로 예상된다. 다만 온실기체 배출을 얼마나 조절할 수 있느냐에 따라 그 정도가 달라질 것이다. 정부간기후변화협약체(Intergovernmental Panels on Climate Change, IPCC)에서 발표한 온실기체 배출 시나리오(Representative Concentration Pathways, RCP)에 따른 미래 변화를 보면, 온실기체 배출이 현재와 같은 수준으로 지속되는 RCP 8.5의 경우 2100년 온도 증가가 4℃ 가까이 될 것으로 예측된다(그림 4.9). 이 경우 북극해 9월 해빙은 2000년대 중반에 완전히 사라지게 되고, 2100년 전 지구 평균 해수면이 70cm 이상 상승하게 될 것이다(IPCC, 2014). 이는 지구상의 모든 섬나라가 사라질 만큼의 해수면 상승에 해당한다. 해양산성화도 가속되어 pH가 7.8 이하로 내려갈 것으로 예측되고 있다.



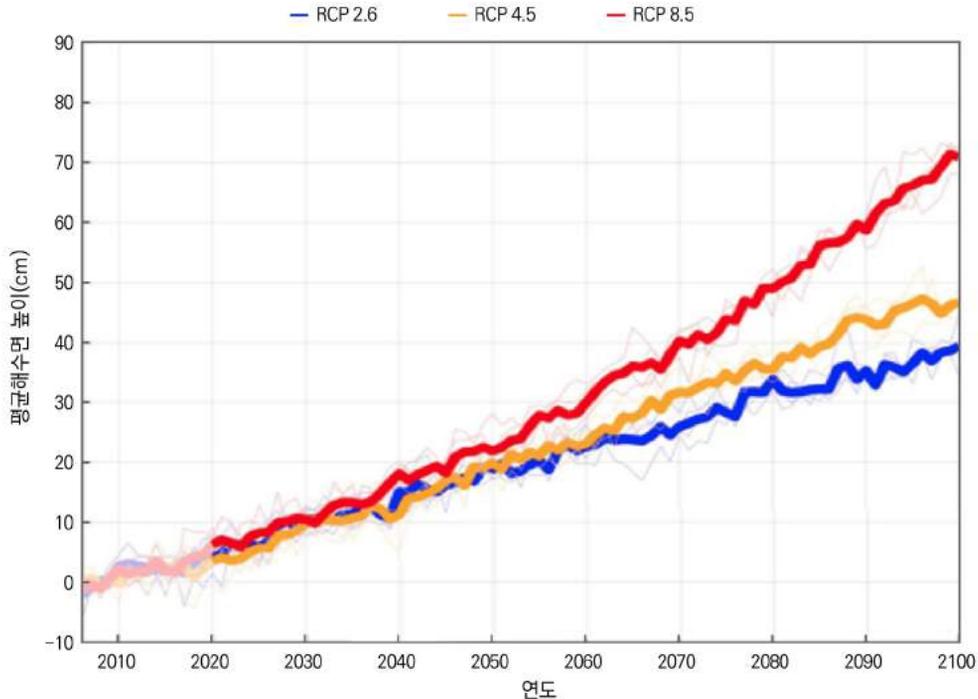
그림 4.9 온실기체 배출 시나리오에 따른 미래 변화



출처: https://ar5-syr.ipcc.ch/topic_futurechanges.php

온실기체가 현재와 같은 수준으로 배출될 경우 2100년 우리나라 주변 해수면도 전 지구 평균 정도의 수준인 최대 73cm까지 상승할 것으로 예측된다(그림 4.10). 온실가스 감축 정책이 어느 정도는 실현될 경우를 가정한 RCP 4.5 시나리오의 경우에는 51cm 상승으로 나타나며, 온실가스 배출이 거의 없는 수준을 달성하는 RCP 2.6 시나리오의 경우에도 해수면 상승이 40cm 수준으로는 나타날 것으로 예상된다. 또한 해수면 상승 폭과 상승률 모두 서해에 비해 동해가 상대적으로 높을 것으로 전망되고 있다. 이산화탄소 배출을 획기적으로 줄이지 않는 한, 우리나라 주변 해역 해수면 상승률은 최근 30년간 약 10cm 상승한 것보다 2배 이상 빨라질 수 있다.

그림 4.10 이산화탄소 배출 시나리오에 따른 우리나라 주변 해수면 상승 예측 결과



출처: https://www.khoa.go.kr/user/bbs/detailBbsList.do?bbsMasterSeq=BOARD_MST_0000000003&bbsSeq=BBS_00000006205#a

나. 파리기후변화협정과 탄소중립

전 지구적으로 나타나고 있는 기후변화와 이에 따른 해양환경변화를 억제하기 위해서는 인간이 만든 기후변화의 근본적 원인인 온실기체 배출량을 획기적으로 줄이는 것이 필요하다. 이에 따라 2015년 유엔 기후변화협약 당사국총회에서 파리기후변화협정을 체결하며 국가별로 온실기체 배출량 감축 목표를 제시할 것을 합의하였다. IPCC 보고서를 비롯한 여러 과학적인 증거들은 2100년에 산업화 이전 대비 지구 평균 온도가 2℃ 상승할 경우 어획량이 300만 톤 감소할 것으로 예측하고 있다. 하지만 지구 평균 온도 상승을 1.5℃로 억제할 수 있다면 어획량 감소를 절반 이상 줄일 수 있다고 예상하고 있다. 따라서 기후변화로부터 해양생태계를 보호하고 지속가능한 해양을 만들어가기 위해서는 지구 평균기온이 1.5℃ 이상 상승하는 것을 억제할 수 있도록 노력을 기울여야 할 것이다(그림 4.11). 이를 위해 전 지구적으로 2050년까지 탄소 순 배출량이 0이 되는 탄소중립에 도달해야 할 것이며, 이 목표 달성을 위해 세계 각국에서 친환경 에너지 관련 여러 정책을 발표하고 있다.



그림 4.11 IPCC 지구온난화 1.5°C 특별보고서 승인



출처: <https://www.korea.kr/news/visualNewsView.do?newsId=148883287>

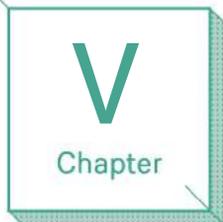
우리나라의 온실가스 배출량은 세계 7위 수준이며, 이산화탄소 배출량 증가율은 경제협력개발기구(OECD) 국가 중 가장 높은 것으로 알려져 있다. 하지만 파리기후변화협정에 발맞추어 우리나라도 기후위기 비상선언을 통해 탄소배출을 억제하기 위한 여러 정책을 펼치고 있다. 온실기체 감축을 위한 전 세계적인, 그리고 국가적인 노력에 더하여 필요한 것이 바로 해양환경에 대한 지속적인 관심과 그 변화를 이해하려는 연구일 것이다. 특히 우리나라 주변 해양환경에 나타나는 기후변화의 영향을 이해하기 위해서는 대양을 통해 전달되는 영향과 지역적으로 나타나는 영향을 구분할 수 있어야 할 것이며, 이를 위해서는 대양 연구와 지역 해양환경에 대한 연구가 모두 필수적일 것이다. 또한 IPCC 기후 모델 실험 결과에서처럼 해양환경과 생태계는 이산화탄소 배출량을 어느 순간 0으로 줄인다고 해서 갑자기 회복되는 시스템이 아닌 만큼 온실기체 감축에 대한 영향이 어떻게 나타날 것인지에 대한 이해가 필요하다. 이러한 과학적인 이해에 대한 필요성을 바탕으로 UN에서는

2021년부터 2030년까지를 “해양과학 10년(United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development, 2021-2030)”으로 지정하여 바다를 지키기 위한 캠페인을 시작하였다 (<https://www.oceandecade.org/>). 이를 통해 우리의 해양생태계를 보존하고 우리가 원하는 바다의 모습을 지켜나가는 초석이 마련될 수 있기를 기대한다.

**해양환경보호활동에 대한
국내외 현황과 정책 방향**

Current status and future policy direction on
"Protection of Marine Environments" activity

V. 수산자원 변동과 남획



수산자원 변동과 남획

1 개관

어업은 인류의 식량과 영양 안보의 측면에서 매우 중요한 역할을 하고 있다. 인류는 해양으로부터 필요한 동물성 단백질 공급량의 약 16~17%를 충당하고 있으며, 수산물 중에서 어류가 차지하는 비율은 대략 80% 정도로 매우 높다. 삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라는 전통적으로 수산물을 많이 섭취하였으며, 최근에는 웰빙, 건강에 관한 관심이 높아지면서 수산물 소비가 더욱 증가하는 추세이다. 본 보고서에서는 수산자원의 종류와 특성, 생산량 추세와 위협 요인, 국내외 현황과 미래에 나아가야 할 방향 등을 제시하였다.

가. 수산자원의 정의 및 특성

수산자원의 정의는 다양한데, 일반적으로는 어업에 의하여 현재 이용되고 있거나, 또는 장래에 이용될 것으로 판단되는 수중생물의 집단을 일컫는다. 우리나라의 수산자원관리법에 따르면, "수산자원"이란 수중에 서식하는 수산동식물로서 국민경제 및 국민생활에 유용한 자원을 말한다.

수산자원의 가장 큰 특징은 석탄, 석유와 같은 화석연료, 광물자원과는 달리 계속적으로 생산되며, 소멸되는 갱신 가능한 자원이라는 점이다. 즉 수산자원은 그 자체로 성장하고, 번식하여 자원을 증가시킨다. 두 번째 특징은 수산자원은 이동성이 있어, 따로 주인이 존재하지 않는다는 점이다. 전 세계적으로 배타적경제수역(Exclusive Economic Zone, EEZ) 체계가 정착되기 전에는 인접국들이 주인이 없는 수산자원을 서로 많이 어획하기 위해 경쟁적으로 어업활동과 어선세력을 증가시켰고, 지역에 따라서는 국가 간의 분쟁이 초래되기도 하였다. 우리나라도 인접한 일본, 중국과 함께 참조기, 갈치, 고등어 등을 포함한 중요 수산자원을 공동으로 이용하고 있어, 수산자원을 효율적으로 이용하기 위한 공동의 노력이 요구된다. 수산자원의 또 다른 특징은 변동성이다. 수산자원량은 해마다 질적, 양적으로 변동하고 있어, 직접적인 자원조사를 통한 어류의 생태적 특성치의 변화와 정확한 자원량 파악이 필요하다.

나. 수산자원의 종류

수산자원은 수중에 서식하는 수산동식물로서 수산생물자원, 해양생물자원 또는 유용해양생물자원으로도 불린다. 수산자원은 어류, 패류, 갑각류, 연체류, 수서식물 및 기타로 구분하기도 하지만, 수산자원관리법에 따르면, 수산동물은 살아있는 어류, 패류, 갑각류, 그 밖에 대통령령으로 정하는 것과 그 정액 또는 알을 말하며, 수산식물은 살아있는 해조류와 그 밖에 대통령령으로 정하는 것과 그 포자를 말한다. 따라서 본 보고서에서는 수산자원관리법을 기준으로 수산자원의 종류를 소개하고자 한다. 어류는 현생하는 모든 척추동물 중 가장 오래되었으며, 구조적으로 가장 간단한 척추동물이다. 어류는 지구상의 여러 수생 환경에서 분포하며, 그 서식지는 열대지방에서 극권, 내륙의 담수 지역에서 해수 지역, 해양의 표층에서 깊은 바다까지 다양하다. 현재까지 학계에 알려진 어류의 종 수는 33,000종 이상이며, 이는 척추동물 전체의 과반수에 해당한다(FishBase, 2021). 어류의 크기는 8mm 정도의 스타우트 인펀트피쉬에서 16m에 육박하는 고래상어까지 다양하다. 어류는 뼈의 골질화 정도에 따라 무악류, 연골어류, 경골어류로 구분된다. 무악류는 턱이 없기 때문에 근육으로 이루어진 입과 치아로 주변을 빨아들이는 방식으로 먹이를 섭취한다. 연골어류는 경골어류의 뼈에 비해 더 유연하고 가벼운 물질로 이루어진 연골의 뼈대를 가지고 있으며, 상어류, 가오리류, 흥어류, 은상어류가 포함된다. 경골어류는 뼈의 일부라도 골질화된 골격을 가지고 있으며, 대부분의 어류는 경골어류이다.

패류는 연체동물문에 속하는 동물 중 패각이 있는 종류를 총칭하며, 일반적으로 딱딱한 패각으로 연체를 보호하고 있다. 현재 약 10만 종 이상의 패류가 알려져 있으며, 우리나라에서는 약 560종이 보고되었다. 패류의 서식지는 바다, 담수, 육지와 바위, 개펄, 해초 위 등 다양하다. 패류는 손쉽게 잡을 수 있어 원시시대부터 이용되고 있으며, 굴, 전복, 가리비 등 양식할 수 있는 종이 많아 수산업상 중요한 동물군으로 간주된다.

갑각류는 절지동물의 한 분류군으로 게와 새우류 등 현재 세계적으로 약 67,000여 종이 있는 것으로 알려져 있으며, 0.1mm에서 3.8m에 이르기까지 크기가 다양하다. 대부분의 갑각류는 수중 생활을 하며, 자유롭게 수영을 하거나, 바닥에 기어 다니면서 생활하는 것이 보통이지만, 수중의 부유물에 고착하거나, 어류나 기타 무척추동물에게 기생하는 경우도 있고, 일부는 부유 생활을 하기도 한다. 주로 온대에서 열대에 걸친 수심 200m까지의 얇은 바다나 민물에 서식하며, 극지방이나 수심 6,000m 이상의 깊은 바다에 서식하는 종도 있다. 따개비류 등의 몇몇을 제외하면 대부분 암수딴몸으로 부유 유생을 거쳐 변태한 끝에 성체로 성장한다. 갑각류는 수산자원이나 어류의 천연사료 등으로 사용되어 경제적인 측면에서도 인간에게 많은 도움이 되고 있다. 새로운 종이 계속해서 발견되어 정확한 종수는 알 수 없지만, 현재 우리나라에는 약 430여 종의 갑각류가 분포하고 있고, 그중 유용하게 이용되고 있는 종은 갑각류 중에서 새우류와 게류는 30여 종, 집게류는 10여 종이 있는 것으로 추정된다.



해조류는 바다에 서식하며 엽록소로 동화작용을 일으키는 식물을 칭하며, 전 세계적으로는 약 8,000종이 있는 것으로 알려져 있다. 우리나라에 서식하는 해조류는 500여 종으로 이 중 약 50여 종이 식용으로 이용되고 있다. 우리나라 사람이 즐겨 먹는 해조류는 김, 미역, 다시마, 파래, 툇, 모자반, 청각 등이다. 해조류는 서식 수심과 색깔에 따라 녹조류, 갈조류, 홍조류로 구분되는데, 녹조류는 엽록소를 다량 함유해 광합성을 활발히 하고, 수심이 얇은 곳에 분포한다. 대표적인 녹조류는 파래, 매생이 등이다. 갈조류는 엽록소 a, c와 카로틴, 후코산틴 등의 색소가 함유된 조류로, 녹조류보다 깊은 바다에 서식하고 다시마, 툇 등이 대표적이다. 홍조류는 깊은 바다에 서식하고 우리나라 해안에 골고루 분포하고 있다. 엽록소 a, d와 피코시아닌 같은 색소를 포함하고 있으며, 김, 우뚝가사리 등으로 대표된다.

수산동식물 중에서 대통령령으로 정하는 것에는 연체동물 중 두족류, 극피동물 중 성게류, 해삼류, 척삭동물 중 미색류, 갯지렁이류, 개불류, 양서류, 자라류, 고래류와 해산 종자식물이 있다.

다. 수산물 생산량 통계

UN의 식량농업기구(Food and Agriculture Organization, FAO)는 1950년부터 각국 정부로부터 품종별 수산물 생산량 통계를 수집해 왔다. 어획어업(capture fisheries) 생산량은 각국의 해면과 내수면에서 어획된 품종별 생산량 정보를 제공하며, 품종별로 FAO 해구별, 대륙별, 국가별 생산량 정보로 구분하여 확인할 수 있다. 양식어업(aquaculture) 생산량 역시 해면과 내수면에서 양식되는 품종의 생산량 정보를 제공한다. FAO의 시계열 통계 프로그램인 FishStatJ를 이용하면, 어획어업, 양식어업의 생산량뿐만 아니라 수산물 무역 및 소비에 관한 자료를 확인할 수 있다. 수산식물(aquatic plants)은 아시아에서 주로 생산-소비되고 있어, FAO의 어획어업 및 양식어업 생산량에서 제외되는 경향이 있다.

라. 남획의 징후

남획은 과도한 어업활동으로 자원을 무분별하게 어획해 그 개체 수가 감소하여 최대 복원력을 넘어선 상태를 말한다. 과도한 어획은 자원의 사망률 증가와 자원량 감소를 초래하여 그 자원의 개체군 생태학적 속성들을 변화시키게 된다. 이러한 변화는 어획 과정이나 어획물을 통해서 반영되게 된다. 남획의 징후는 다양하게 나타나는데, 첫째, 자원이 감소하면 어군의 분포밀도가 감소하여 단위노력당어획량(CPUE)이 점차 감소한다. 이 경우 어획노력량이 일정 수준을 유지하거나 심지어는 증대된 경우에도 총어획량은 감소하게 된다. 둘째는 자원이 감소하면 분포영역이 축소되어 어장면적이 줄어드는 현상이 나타난다. 셋째, 어획이 강화되면 사망률이 높아져서 고령어가 적어지고 어체가 소형화되므로 어획물에서 대형어의 비율이 감소하고 평균 체장과 평균 체중이 감소하게 된다.

또 다른 징후는 연령별 체장이 증가하거나 성 성숙(sexual maturation) 연령이 낮아지는 것이다. 자원이 감소하면 개체당 먹이의 이용도가 높아지므로 성장이 잘되고 성 성숙이 빨라지게 되어 이러한 현상이 나타난다. 다만 남획을 진단할 때, 어구의 능률 및 어법의 변화를 면밀하게 검토해야 하며, 해양환경의 변화 등을 고려해야 한다.

현재 수산물의 소비 증가와 함께 세계 곳곳의 바다에서 남획이 진행되어 수산자원이 급격히 줄어들고 있다. 특히 불법-비보고-비규제(illegal, unreported, and unregulated, IUU) 어업과 서식지 환경 악화, 오염, 폐어구 등으로 인한 폐사로 수산자원은 갈수록 감소 추세에 직면하고 있다. IUU 어업은 지속가능한 수산자원, 생태계와 합법적으로 어업활동을 하는 어업인들을 위협하고 있다. 전 세계적으로 IUU 어업으로 인한 연간 어업손실량은 1,100만~2,600만 톤으로 추정되며, 그 피해액은 연간 미화 100억~235억 달러로 추산된다(Agnew et al., 2009; Haken, 2011). 해양자원평가그룹(Marine Resources Assessment Group, MRAG)에 따르면, IUU 어업은 전 세계 어류 생산의 10~30%에 달한다(MRAG, 2009).

2 세계적 동향

가. 어획어업 및 양식어업 생산량 변동:

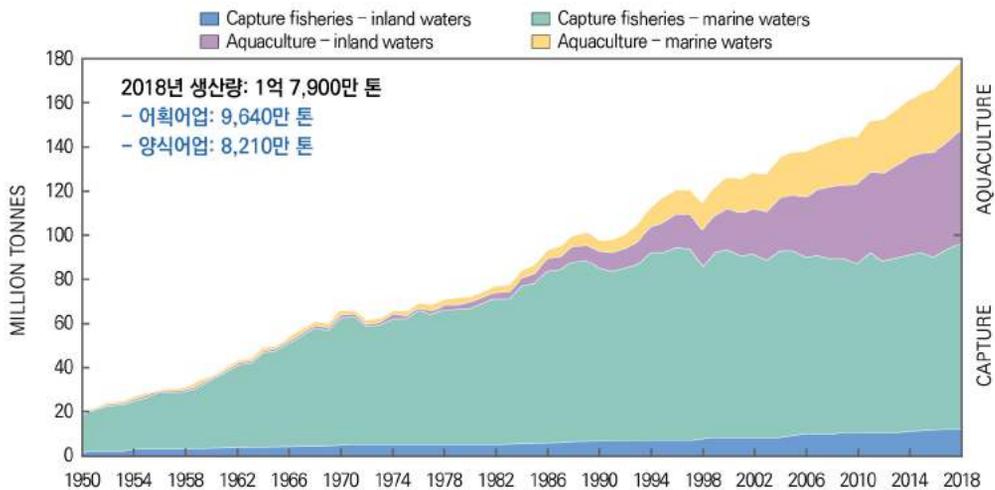
FAO(2020)에 따르면 1980년대 후반 이후, 어획어업 생산량은 거의 정체되어 있으며(그림 5.1), 앞으로도 큰 폭으로 증가할 가능성은 높지 않다. 2018년 전 세계 수산물(어획, 양식 포함) 생산량은 1억 7,900만 톤으로, 이 중 어획어업 생산량은 9,640만 톤, 양식어업 생산량은 8,210만 톤으로 나타났다(그림 5.1). 2018년 어획어업 생산량은 지난 3년의 평균보다 5.4% 증가하였으며, 이 중 해면 어업생산량은 8,441만 톤(그림 5.2), 내수면어업 생산량은 1,200만 톤이 보고되었다. 연간 어획 생산이 가장 많은 국가는 중국이었으며, 인도네시아, 페루, 인도, 러시아, 미국 및 베트남의 순으로 나타났다. 이들 상위 7개국의 어업생산량은 전 세계 어업생산량의 50%를 차지하였다. 어종별로는 멸치가 페루와 칠레 해역에서 700만 톤 이상 어획되어 가장 많이 어획된 종으로 보고되었으며, 알래스카 명태는 340만 톤으로 2위, 가다랑어는 320만 톤으로 9년 연속 3위를 차지했다.

2018년 양식어업 생산량은 생체량 기준으로 사상 최대치인 8,210만 톤을 달성하였다. 해면에서의 양식생산량은 3,080만 톤인 반면, 내수면에서의 양식생산량은 5,130만 톤으로 전 세계 양식생산량의 62.5%를 차지하였다. 분류군별로는 수생 동물은 8,210만 톤, 수서 조류(식물)은 3,240만 톤, 장식용 조개와 진주의 생산량은 2만 6,000톤이었다. 수생 동물 중 어류의 양식생산량은 5,430만 톤이 보고되었다. 최근 해양 어류를 대상으로 하는 양식 기술이 발전했음에도 불구하고 바다에서는 어류,



갑각류보다는 연체동물이 더 많이 양식되고 있다. 전 세계 양식생산량은 2001년에서 2018년 기간 동안 연평균 5.3%가 성장하였으나, 2017년은 4%, 2018년은 3.2%로 성장률이 낮아졌는데, 이는 최대 양식생산국인 중국의 성장 부진에 따른 것으로 나타났다. 전 세계 양식생산량의 89%가 아시아에서 생산되고 있으며, 주요 양식 어업국은 중국, 이집트, 칠레, 인도, 인도네시아, 베트남, 방글라데시, 노르웨이 등이다.

그림 5.1 전 세계 어획어업 및 양식어업 생산량 변동(FAO, 2020)

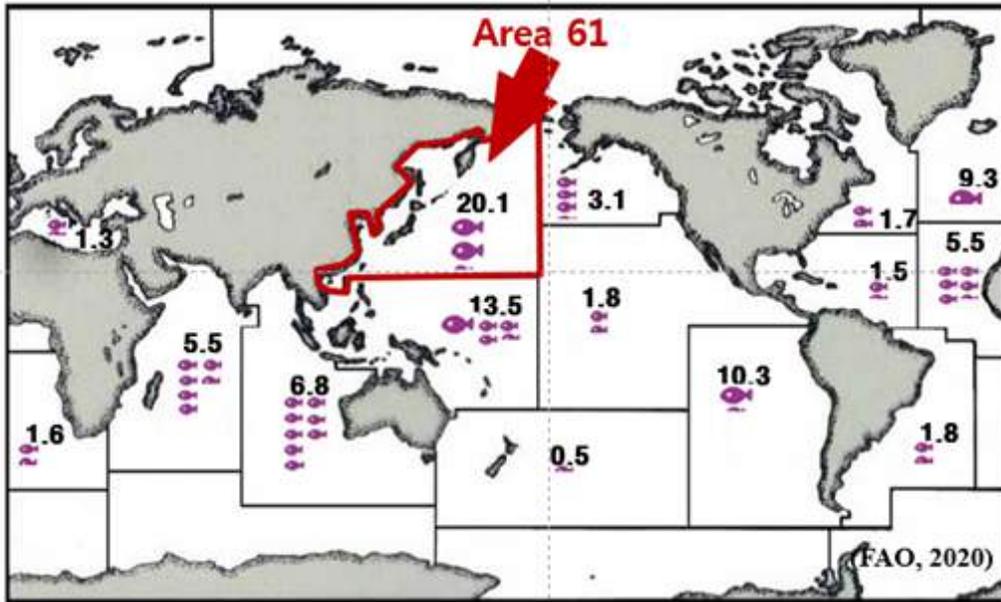


나. FAO 해구별 어획량

FAO는 세계의 해양을 수산물 생산의 관점에서 구분하고 있다. 우리나라가 위치한 북서태평양 해역은 'Area 61'로 불리며, 전 세계 어획생산량의 25%를 생산하는 생산력이 매우 높은 해역이다(그림 5.2). 이 해역에서의 총어획량은 1980년대와 1990년대에는 1,700만 톤에서 2,400만 톤 사이에서 변동했으며, 2017년과 2018년은 각각 2,220만 톤, 2,010만 톤이었다. 역사적으로는 정어리와 명태가 각각 540만 톤과 510만 톤으로 가장 우점한 종으로 보고되었으나, 지난 25년 동안 큰 폭으로 감소하였다. 대조적으로 1990년 이후 오징어, 갑오징어, 문어 및 새우의 어획량은 증가하는 경향을 보인다. 북서태평양 해역에서 어획되는 어류는 65.4%가 생물학적으로 지속가능한 수준 내에서 어획되었고, 34.6%는 이 수준에 도달하지 못하는 것으로 나타났다(FAO, 2020).

그림 5.2 FAO 해구별 어업생산량

(단위: 100만 톤)



2017년 어획 통계를 기준으로, 중서부태평양해역에서는 전 세계 총생산량의 16%인 1,260만 톤이 보고되었다. 이 해역에서는 1950년 이후 지속적으로 생산량이 증가하고 있으며, 주로 다량어와 새치류 및 정어리류, 멸치류가 어획된다. 중서부태평양에서 어획된 어류의 77.6%는 생물학적으로 지속가능한 수준에서 어획되었다.

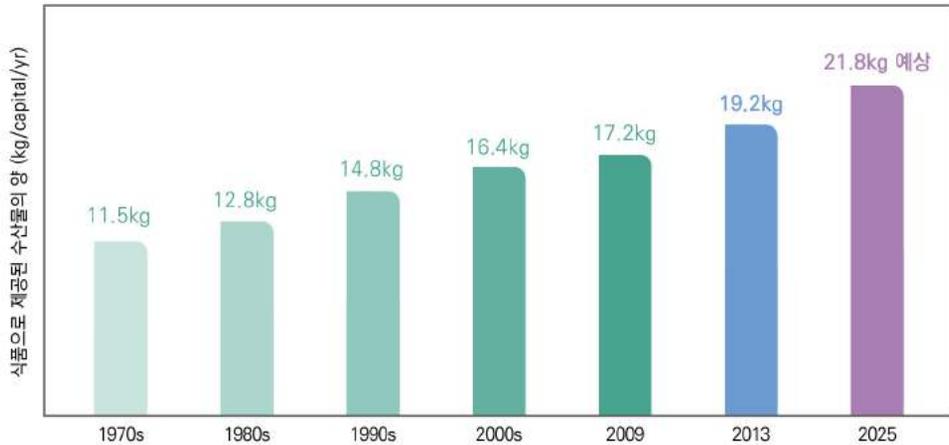
남동태평양해역에서는 720만 톤의 어업생산량이 보고되었으며, 이는 전 세계 총생산량의 약 10% 수준이다. 가장 많이 어획된 종은 페루 멸치와 점보오징어로 각각 400만 톤과 760만 톤이었다. 이 해역에서 어획되는 수산자원은 45%가 지속가능한 수준에서 어획되고 있는 것으로 평가되었다.

다. 수산물 소비 현황

전 세계적으로 수산물은 전체 동물성 단백질의 17%, 전체 단백질의 7%를 차지하고 있다(FAO 2020). 수산물은 전 세계 33억 명 이상에게 1인당 평균 동물성 단백질 섭취량의 20%를 제공했으며, 방글라데시, 캄보디아, 감비아와 작은 섬나라 등에서는 50% 이상을 제공하였다. 1인당 연간 수산물 소비량은 1961년부터 2017년까지 연평균 3.1%의 속도로 증가했으며(그림 5.3), 이는 동기간 세계 인구 증가율(1.6%)의 거의 두 배이다. 전 세계적으로 1인당 연간 수산물 소비량은 1961년 9.0kg에서 2018년 20.5kg으로 약 20% 증가했다. 이는 총 육류 소비량의 거의 절반에 해당하는 양이다.



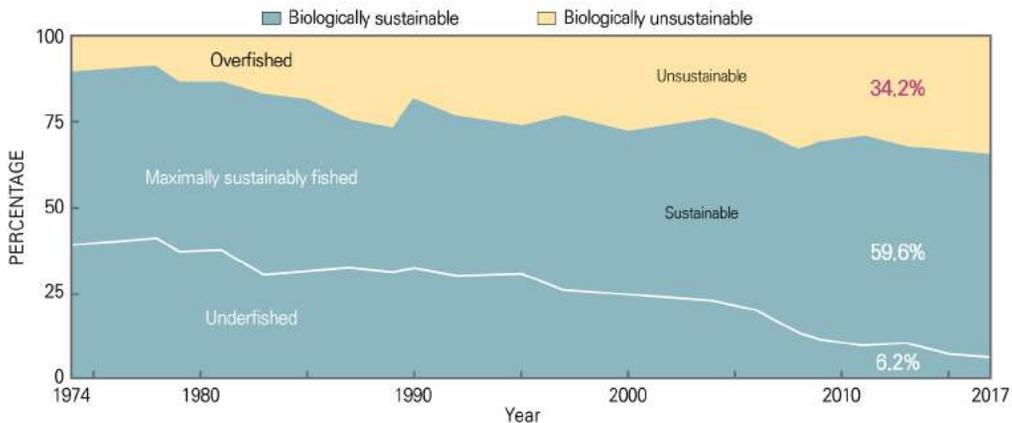
그림 5.3 전 세계 1인당 연평균 수산물 소비량 변동 추세



라. 세계 해양의 수산자원 상태

FAO의 평가에 따르면, 인간이 어획하는 수산물 중 생물학적으로 지속가능한 수준에 속하는 어류의 비율은 1974년 90%에서 2017년 65.8%로 감소했다(그림 5.4). 반대로 생물학적으로 지속 불가능한 자원상태는 1974년 10%에서 2017년에 34.2%로 증가하였다. 생물학적으로 지속가능한 수준 65.8% 중, 최대지속생산에 도달한 비율은 2017년에 59.6%이며, 아직 자원상태가 좋은 어종은 단지 6.2%에 불과하였다. 하지만 자원상태가 좋은 어종의 비율은 계속 감소하고 있는 추세이다. 어종별 생물량을 양륙량 기준으로 고려하면, 현재 양륙량의 78.7%는 생물학적으로 지속가능한 수준에서 어획되고 있다.

그림 5.4 전 세계에서 어획되는 어류의 자원 상태

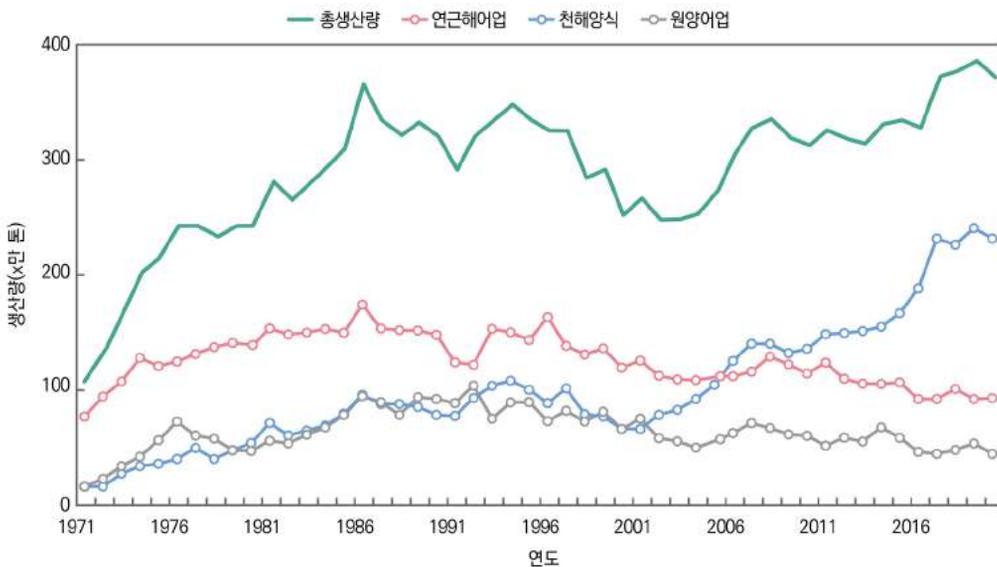


3 국내 어업 현황과 수산자원 보전 활동

가. 우리나라의 어업생산량 변동

우리나라의 어업생산량은 연근해어업, 원양어업, 내수면어업, 천해양식어업으로 나누어 집계된다. 우리나라의 총 어업생산량은 1970년대 200만 톤 수준이었으나, 1980년대와 1990년대 310만 톤으로 증가하였다. 2000년대 들어 290만 톤 수준으로 감소하였으나, 2000년 이후 지속적인 증가 경향을 보이며, 2000년 251만 톤에서 2020년 371만 톤까지 연평균 6.5%씩 증가하였다(그림 5.5).

그림 5.5 우리나라의 어업별 생산량 변동



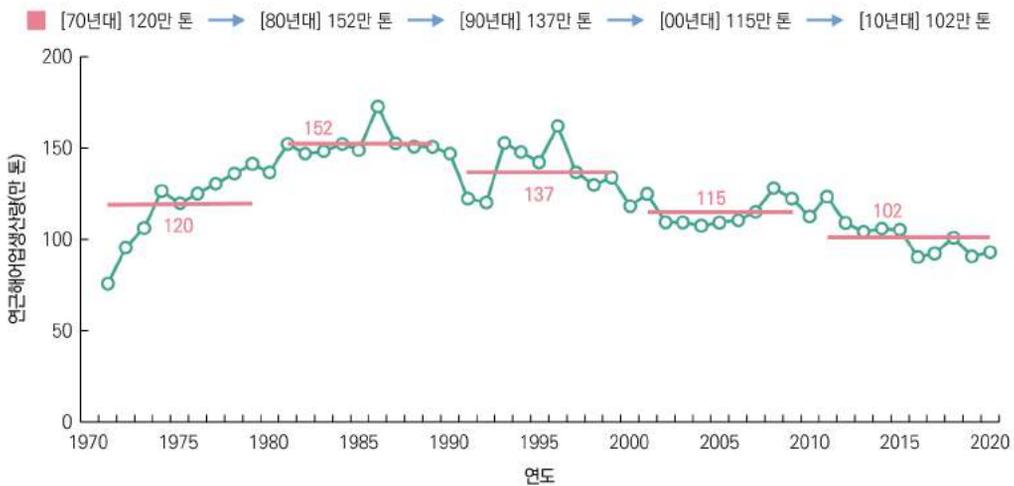
2020년을 기준으로 어업별 구성(물량 기준)을 보면 천해양식어업이 전체의 62.2%로 가장 높은 비중을 차지하였고, 다음으로 일반해면어업이 25.1%, 원양어업이 11.8%의 순서로 나타났다. 천해양식어업은 2000년에는 26.0%로 원양어업과 비슷한 수준이었으나, 이후 연평균 8.4%씩 큰 폭으로 성장하여, 2006년 이후에는 국내 생산의 가장 높은 비중을 차지하게 되었다(그림 5.5). 반면 연근해어업과 원양어업은 각각 연평균 -1.2%와 -0.8%로 감소하였다. 이렇듯 우리나라의 총 어업생산량 증가는 천해양식어업의 생산량 증가에 기인하였으나, 2020년을 기준으로 천해양식어업의 품종별 생산량을 살펴보면 해조류가 생산량의 76%인 176만 톤으로 가장 많았고, 패류(41만 5천 톤), 어류(8만 9천 톤), 기타 수산동물(3만 6천 톤), 갑각류(8천 톤)의 순으로 생산되어 동물성 단백질 공급원으로써의 기여도는 생산량 증가만큼 크지 않았다.



나. 우리나라의 연근해 어업생산량 변동

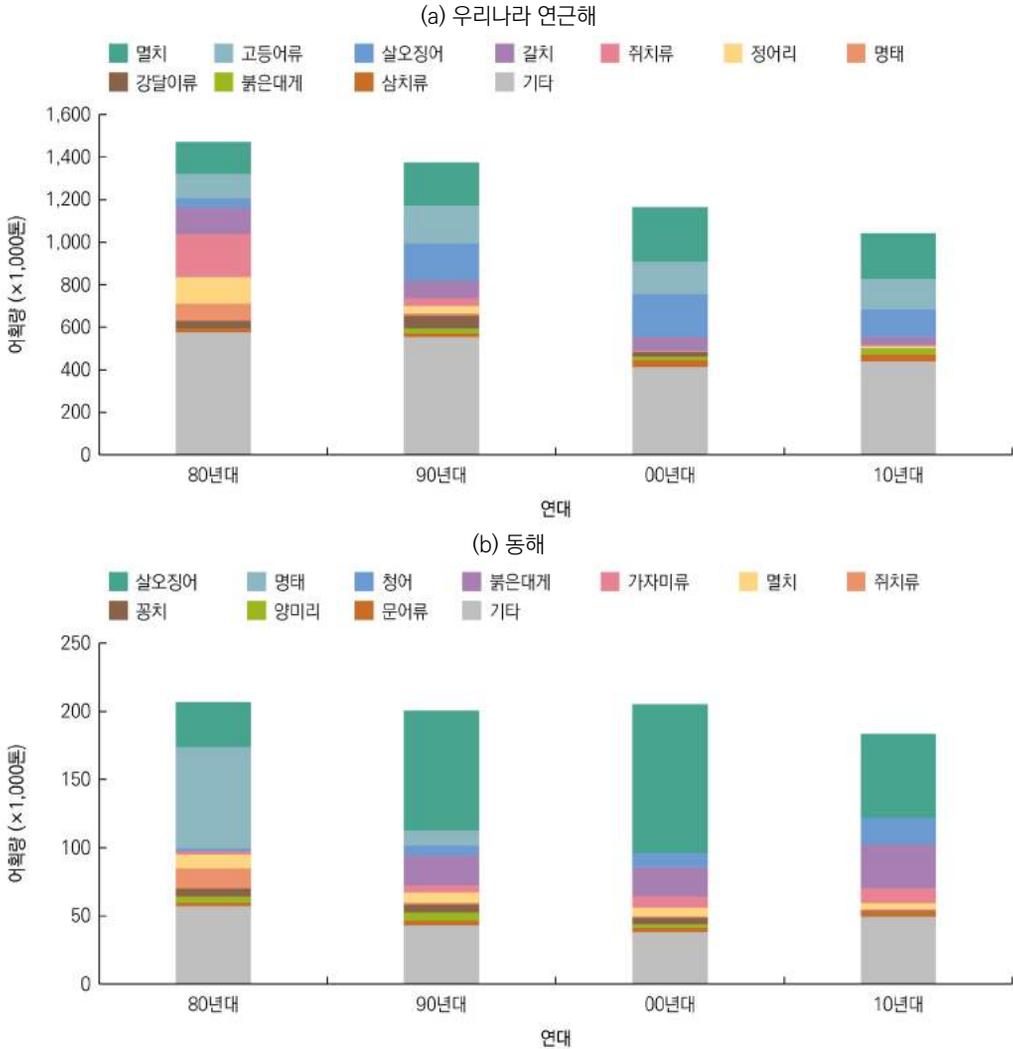
우리나라의 연근해 어업생산량은 1970년대 평균 120만 톤에서 1980년대 152만 톤으로 증가한 후, 1990년대에는 소폭 감소한 137만 톤을 유지하였으나 2010년대에는 102만 톤으로 크게 감소하였다(그림 5.6). 특히 2016년 이후에는 2018년을 제외하고는 100만 톤 이하가 어획되어, 최고 어획량을 기록하였던 1986년 173만 톤과 비교하면 70만 톤 이상이 감소하였다.

그림 5.6 우리나라 연근해어업의 연도별 어업생산량 변동



지난 40년간의 어획통계를 보면, 한반도 부근 해역의 수산자원은 시대적으로 확연한 차이를 보인다(그림 5.7a). 첫 번째 현상은 시대별로 난류성 어종과 한류성 어종의 교대 현상이다. 동해에서의 어획량 변화를 시대로 보면, 1970년대와 1980년대에는 명태가 많이 어획되고, 살오징어가 적게 잡혔지만, 1990년대에 들어서 명태는 거의 자취를 감추었으며, 살오징어가 증가하여 동해 전체 어획량의 거의 절반에 육박하였다(그림 5.7b). 시대별 어획종을 살펴보면, 전체적으로는 수온이 높았던 기간에는 살오징어, 고등어 등 난류성 어종의 어획이 증가하였고, 수온이 낮았던 기간에는 이들 어종의 어획이 감소하였다. 하지만 모든 난류성 어종과 한류성 어종이 수온의 변동에 따라 증감현상을 보이는 것은 아니어서 생물 종 각각의 성쇠에 관한 연구가 필요하다.

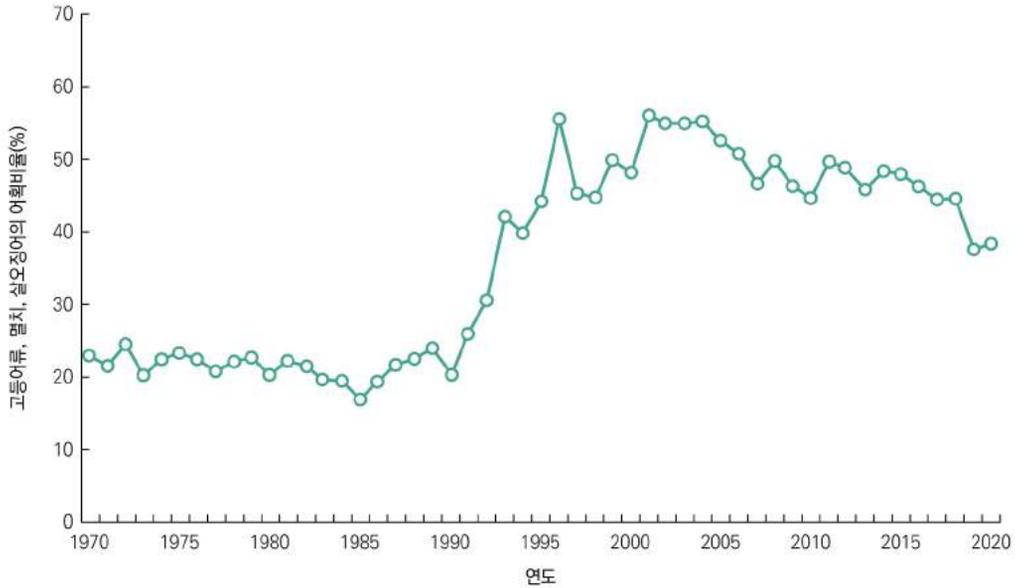
그림 5.7 시대별 주요 어획대상종의 변화



두 번째 현상은 소형표층어류(부어류)의 증가이다. 우리나라 연근해에서 어획되는 가장 대표적인 소형표층어류는 고등어, 멸치, 살오징어인데, 이들 어종의 어획 비율은 1980년대에는 연근해어업 생산량의 21%를 차지하였으나, 1990년대에는 40%, 2000년대에는 52%와 2010년대에는 46%로 급격하게 증가하였다(그림 5.8). 이들 어종의 증가는 어획의 주요 대상이 저어류에서 부어류로 바뀔 때 따라 어획대상 종의 영양단계(trophic level)가 낮아지고, 어종이 단순해져 생태계의 건강도가 악화되었음을 의미한다. 또한 이들 소형표층어류는 기후의 변화에 민감하게 반응하므로, 자원량 및 어획량의 연변화가 매우 커서 효율적인 자원관리 정책 수립이 어렵다.



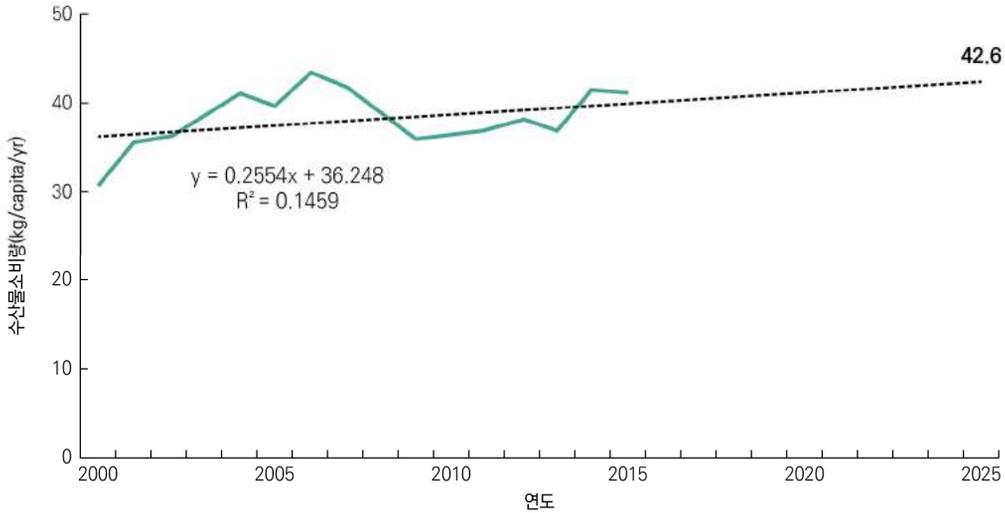
그림 5.8 우리나라 연근해에서 어획되는 주요 부어류 3종의 어획 비율 변동



다. 우리나라의 수산물 소비량 변동

우리나라 국민이 소비하는 수산물 소비량은 지속적으로 증가하고 있는데, FAO(2020)에 따르면, 우리나라의 1인당 수산물 소비량은 54.97kg으로 전 세계 평균에 비해 2.7배나 높은 수준이다. 그러나 이 수치는 총공급량(총생산량, 수입량, 이입량의 합)을 총인구수로 나눈 것으로 실제로 우리가 섭취하는 양과는 차이가 있다. 따라서 김 등(2018)은 수산물을 먹을 수 있는 가식부와 먹을 수 없는 비가식부로 나누어, 즉 폐기율을 고려하여 순 식용공급량을 계산하였다. 분석에 따르면, 2000년에는 우리나라 국민 1인당 연평균 30.7kg의 수산물을 소비하였으며, 2015년에는 41.3kg으로 증가하였고, 2025년에는 42.6kg이 될 것이라고 전망하였다(그림 5.9).

그림 5.9 해조류를 제외한 국민 1인당 연간 수산물 소비량



라. 연근해 자원상태

우리나라 연근해의 어선세력과 어업생산량을 토대로 전체 자원상태를 살펴보면, 2019년 기준으로 연근해의 자원수준은 적정수준 1을 기준으로 0.59였으며, 어획노력량 수준은 1.24로 나타나 1990년대 초에 비해 과잉노력 상태를 나타내었다(그림 5.10). 어획강도는 어선감척사업 등으로 2004년 이후 지속적으로 감소하고 있으나 여전히 높은 수준을 나타내고 있다.

그림 5.10 어획량 및 자원량 기준점에 따른 자원상태 분류와 연근해 자원상태





마. 수산물 생산의 위협 요소

1) 미성어 및 소형어 어획

주변국의 배타적경제수역 선포에 따라 우리나라의 연근해 조업어장이 축소되었으며, 이에 따라 근해 및 연안어업 간 어장경쟁과 조업분쟁 등이 심화되었다. 근해어업은 어장상실로 연안으로 조업어장을 이동하고 연안어업은 어획성능 증가에 따라 근해까지 조업어장을 확장함으로써 한정된 어장에서의 경쟁적인 조업이 치어까지 남획하는 무분별한 어획으로 자원고갈의 원인을 제공하고 있다. 특히, 그물을 사용하는 어업에서 미성어의 어획이 증가하여 어획물의 평균체장이 감소하고 있으며, 산란에 참여하지 못하는 미성어의 남획으로 산란자원량의 감소, 자원의 산란 재생산 기회가 낮아지고 있는 실정이다. 성숙하지 않은 미성어뿐만 아니라 해양생태계에서 먹이생물로 중요한 위치를 차지하고 있는 멸치, 젓새우, 베도라치, 곤쟁이 등과 같이 크기가 작은 소형어의 어획 비중도 증가하고 있다. 어장축소에 따른 연안 측에서의 조업증가로 정치망, 저인망, 근해안강망, 등에서 멸치, 베도라치, 젓새우 등에 대한 어획강도가 증가하고 있다. 이처럼 미성어와 소형어의 어획 비율이 증가하고 있는 것은 고부가 가치를 가진 유용수산자원이 감소함에 따라 어업비용 등을 충당하기 위해 상대적으로 경제적 가치가 높지 않은 어린 고기를 집중적으로 포획하기 때문이다. 미성어와 소형어 어획의 또 다른 문제점은 유통체계가 확립되지 않아 정확한 통계 파악이 어렵다는 점이다. 경제적 가치가 높지 않은 미성어는 주로 비계통 판매(사매매)를 통해 유통되고 있으며, 미성어의 약 80%는 양식장의 생사료로 이용되는 것으로 추정된다(표 5.1). 또한 일부는 낚시 미끼, 가공식품 및 뼈채회(세꼬시) 등으로 이용되고 있다.

표 5.1 양식 생사료 및 배합사료 사용량과 양식어류 생산량

(단위: 톤)

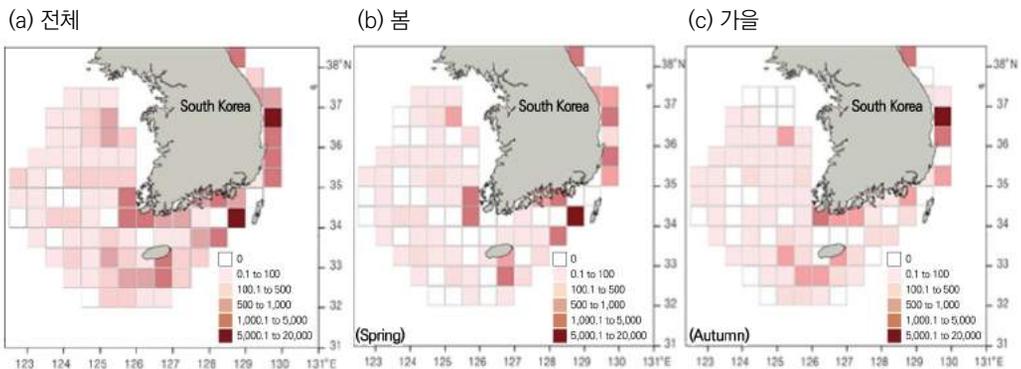
구분	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2020
합계	592,088	559,854	668,114	489,094	525,791	510,509	485,961	553,527	548,955	567,943
생사료	490,946 (82.9%)	472,011 (84.3%)	579,400 (86.7%)	411,571 (84.1%)	448,371 (85.3%)	443,382 (86.9%)	425,149 (87.5%)	473,669 (85.6%)	473,229 (86.2%)	477,027 (84.0%)
배합사료	101,142 (17.1%)	87,843 (15.7%)	88,714 (13.3%)	77,523 (15.9%)	77,420 (14.7%)	67,127 (13.1%)	60,812 (12.5%)	79,858 (14.4%)	75,726 (13.8%)	90,916 (16.0%)
양식 생산량 (어류)	97,663	99,006	109,516	80,110	72,449	76,307	73,109	83,438	85,449	89,100

2) 해양 쓰레기

육지에서 해양으로 흘러들었거나 해양에서 바로 투기되어 침적된 여러 가지 쓰레기들은 해양생물의 산란 및 서식 공간을 침해하고 장기적으로 해양환경을 악화시켜 수산생태계의 변화를 유발하고

어획 활동을 방해하여 어획량의 변동에도 영향을 주고 있다(MIFFAFF, 2012). 국립수산과학원 수산자원연구센터에서는 우리나라 배타적경제수역을 대상으로 트롤조사를 실시하여 해저에 침적된 해양 쓰레기의 분포 상황 및 종류를 분석, 보고하였다(Song et al., 2021). 2018년 2월부터 11월까지 실시한 총 5회의 조사에서 서해보다는 동해와 남해에서 해양 쓰레기가 많이 분포하였으며, 특히 동해와 남해의 연안해역에서 해양 쓰레기가 집중적으로 분포하였다(그림 5.11).

그림 5.11 우리나라 배타적경제수역에서 저층 트롤조사에 의해 수거된 해양 쓰레기의 분포 밀도



해양 쓰레기의 재료별 조성은 플라스틱이 전체 해양 쓰레기의 69.4%를 차지해 가장 높았으며, 금속과 플라스틱이 섞여 있는 쓰레기는 25.3%를 차지하였다. 그 외 고무, 금속, 목재, 유리, 종이류 등이 보고되었다. 용도별로는 수거된 해양 쓰레기의 98.4%가 어업활동에서 발생한 통발(25.7%), 자망(24.6%)의 폐어구와 어구를 운용하는 데 사용되는 밧줄(24.2%) 등이었으며, 비 어업용 해양 쓰레기는 단지 1.6%로 나타났다(그림 5.12). 이렇듯 투기 또는 유실된 폐어구는 선박사고의 위험성을 증가시키고, 저서생태계를 이루고 있는 해양생물이 대량으로 폐어구에 걸려 유령어업이 발생 될 가능성을 높게 된다. 유실된 자망어구로 인한 유령어업과 생물에 미치는 영향이 크다는 연구가 이러한 가능성을 뒷받침하고 있다(Kaiser et al., 1996; Erzini et al., 1997; Humborstad et al., 2003; Revil and Dunlin, 2003).

한국해양수산개발원이 국립수산과학원과 한국어촌어항협회의 자료를 기반으로 연간 어구 사용량 및 폐어구 유실 현황을 보고한 자료에 따르면, 우리나라의 연간 어구 유실량은 2만 4,400 톤이었으며, 어구별로는 자망과 통발이 가장 많이 유실된 것으로 보고되었다(표 5.2). 이로 인한 피해금액은 3,787억 원이었다.



그림 5.12 저층 트롤조사에서 수거된 해양폐기물 종류(예시)



표 5.2 연간 어구 사용량 및 폐어구 유실 현황

구분	자망	통발	안강망 남장망	정치성 구획어업	예망 선망	해상 양식업	계
척수	18,034	7,473	813	6,193	30,746	-	63,259
평균어구수명	1년 미만	2년	3년	3년	3년	2년	
어구종류	20여 종	10여 종	3종	10여 종	20여 종	5종	
사용량 (척/년)	500쪽 (3kg/쪽)	2,500개 이상 (개당 1kg)	20틀 이상 (틀당 100kg)	1-5통			
총 사용량	27천 톤	9.5천 톤	0.6천 톤	5천 톤	0.5천 톤	8.8천 톤	51.4천 톤
실 사용량	54천 톤	18천 톤	1.2천 톤	5천 톤	0.5천 톤	17.6천 톤	96.3천 톤
연간 유실량	17.3천 톤 (32%)	4.9천 톤 (27%)	0.4천 톤 (30%)	없음	없음	1.8천 톤 (해조류 10%)	24.4천 톤

* 출처 : 국립수산과학원-한국어촌어항협회 자료를 기반으로 추정(2014년)

** 실 사용량은 총 사용량의 2배라고 가정(정치성구획어업, 예망, 선망 제외)

4 수산자원 보호를 위한 정책 제언

우리 국민에게 지속적이고 안정적인 수산물을 공급하기 위해서는 수산자원 관리정책의 패러다임을 전환할 필요가 있다. 첫째로 수산자원 관리 주체의 확대가 요구된다. 그간 우리나라의 수산자원 관리는 정부와 어업인 중심으로 추진되었으나, 미성어 어획이 지속되는 등 문제점이 노출되었다. 최근에는 전 세계적으로 정부와 생산자 중심의 자원관리에서 일반 국민이 동참하는 소비자 참여 자원관리가 새롭게 관심을 받고 있다. 우리나라에서도 총알오징어, 총알문어, 풀치(어린 갈치) 등 어린 물고기의 어획 실태를 소비자에게 제공하여, 소비자의 현명한 윤리 소비를 촉구하는 운동이 벌어지고 있다. 이러한 노력을 통해 우리의 일상생활 속에서 수산자원보호 및 관리에 대한 인식이 개선될 뿐만 아니라 어업 현장까지 영향을 줄 수 있을 것이다.

두 번째는 단일 어종 중심의 관리에서 생태계기반 중심의 관리로의 전환이다. 기존의 자원회복·보존, 어업구조의 질적 개선을 도모해 지속가능한 생산체제로 체질을 바꿔나갈 필요가 있다. 이때 자원관리에 생태적 개념을 도입하여 어장분포, 어획량 변동과 더불어 먹이생물 풍도 변동 조사, 피-포식 관계 규명, 산란장 파악, 환경변화에 따른 개체군 변동 및 어업을 예측할 필요가 있다. 특히 기후변화에 따른 수산자원의 변동을 예측하여 지역별, 해역별 맞춤형 자원관리가 필요하며, 자연 산란장 및 서식지의 보호를 위해 노력해야 할 것이다.

세 번째는 양적 생산에서 질적 생산으로 체제를 전환할 필요가 있다. 우리나라의 어획강도는 점차 감소하고 있으나, 여전히 과잉노력 상태이므로 어획강도 감축이 필요하며, 이와 동시에 어업인을 대상으로 자원관리에 대한 홍보를 강화하여 미성어에 대한 조업 금지를 유도하여야 한다. 현재 어획된 미성어는 대부분 양식장에 생사료로 활용되고 있기에 친환경 양식생산이 가능한 배합사료의 개발과 보급 확대를 통해 생사료 사용을 줄일 필요가 있다.

마지막으로 최근 심각한 문제로 대두된 해양 쓰레기에 대한 대책 마련이 시급하다. 특히 우리나라에서 보고되는 해양 쓰레기는 바다에 유실, 투기된 어구가 차지하는 비중이 높으므로 생분해성 어구 개발 등 해양 쓰레기 감소를 위한 대책이 시급하다.

**해양환경보호활동에 대한
국내외 현황과 정책 방향**

Current status and future policy direction on
"Protection of Marine Environments" activity



**VI. 극지해양:
멀고도 가까운 지구환경 건강 지킴이**

VI

Chapter

극지해양: 멀고도 가까운 지구환경 건강 지킴이

우리의 '살아있는 바다, 숨 쉬는 연안'을 위해서도 지구 끝 먼 극지바다가 과연 중요할까? 지구온난화 현상은 남극과 북극, 심지어 고산지대의 빙하까지 빠르게 녹이고 있다. 극지방의 온난화는 남극 황제펭귄의 서식지를 사라지게 하고, 중위도 날씨를 결정하는 기류의 순환에 영향을 미치며, 전 세계 해수면의 상승을 유발하고 있다. 자연스레 드러나는 사실은 극지바다가 멀기는 하지만 전 지구적 환경변화의 영향으로부터 결코 자유롭지 못하고, 또한 국지적 환경변화와 그로 인한 생태계 파급 효과, 도처에서 발견되는 인간 활동의 영향은 남극과 북극이 중위도 온대 지역과 공유하는 문제라는 것이다.

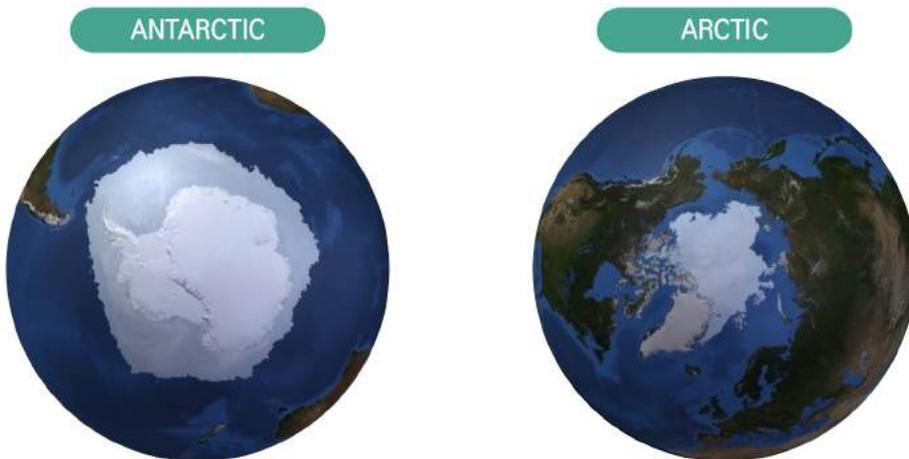
1 개관

가. 극지의 지리적 특징

지구의 자전축이 지구를 뚫고 나오는 북극점과 남극점을 중심으로 이를 에워싸는 고위도 지역을 극지라고 부른다(그림 6.1). 남극은 남극점을 중심으로 펼쳐지는 땅덩어리와 그 위에 얹혀있는 얼음덩어리를 함께 이르는 이름이고 이를 둘러싸는 차가운 바다가 남극해(또는 남대양)이다. 남극해는 태평양, 대서양, 인도양이라는 세 개의 큰 바다가 만나는 곳이다. 바꿔 말하자면 남극해는 육지로 가로막히는 법 없이 남극대륙 주변을 한바퀴 돌 수 있는 바다이고 이는 큰 의미를 지닌다. 편서풍이라고 부르는 서에서 동으로 부는 바람이 남반구에서는 더욱 거침없이 불고, 이로 인해 남극대륙을 둘러싸고 서쪽에서 동쪽으로 시계방향으로 도는 남극순환해류라는 찬물의 큰 흐름이 가능해진다(I.2.가. 해양의 지리적 구분 참조). 남극해의 북쪽 경계를 긋는 것은 칼로 무 자르듯 쉬운 문제가 아니지만, 남극순환해류는 남극의 찬 바다를 그 바깥의 더 미지근한 물과 마치 커튼이라도 친 것처럼 나누어 놓는다. 물론 남극의 찬 물과 저위도 대양을 나누는 극전선이 가장 자연스럽게 합리적인 경계지만 남극조약은 편의상 남위 60°와 같은 지리적인 경계를 채택하고 이는 국제수로기구의 입장이기도 하다.

북극은 그 경계에 대해 남극보다 훨씬 다양한 정의를 갖고 있다. 북위 66.5° 이상 북극권, 산림생장 한계선, 빙하 남하 한계선, 영구 동토선 등의 개념이 북극의 경계 설정에 사용된다. 남극이 바다로 둘러싸인 얼음대륙으로 간주되는 반면, 북극은 북아메리카와 유라시아 대륙으로 둘러싸인 바다가 중심이며, 북극점을 중심으로 상당 부분이 얼음으로 덮여 있다(Aurora Expeditions, 2021). 지중해보다 약 4배가 큰 바다를 덮은 해빙이 광활하게 펼쳐져 있다. 북위 66.5°를 경계로 한 북극권 전체 면적 약 3,000만㎢ 중 북극해가 약 1,400만㎢를 차지한다. 흔히 북극을 의미하는 '북극권'에는 캐나다와 러시아, 미국 알래스카의 북쪽 지역, 노르웨이 북쪽 해안, 그린란드, 아이슬란드, 스발바르 같은 북쪽 섬들이 포함되는데, 이곳에서도 빙하를 볼 수 있다. 경우에 따라 북극권을 '가장 따뜻한 7월의 평균 기온이 10℃를 넘지 않는 지역'으로 정의하기도 하는데, 이 경우 알래스카 남단까지가 북극권이 된다.

그림 6.1 남극대륙을 에워싸는 남극해와 대륙에 갇힌 북극해



나. 극지바다의 자연적 특징

남극과 북극 바다의 특징을 만들어내는 가장 큰 요인은 유난히 낮은 온도, 몇 달씩 계속되는 낮 혹은 어둠, 그리고 바다가 주기적으로 얼었다 녹는 현상이 세 가지라고 할 수 있다. 이 세 가지 요인은 합쳐져서 남북극에도 계절이 있게 한다. 극지라고 하면 일 년 내내 얼어붙은 밋밋한 세상을 떠올리겠지만 남극과 북극의 바다에서도 봄, 여름, 가을, 겨울의 계절변화는 뚜렷하다. 아마 열대바다에서 보이는 계절변화보다 심할 것이며 중위도 온대 해양에 버금갈 것이다. 계절을 만드는 가장 큰 요인은 빛이다.



지구의를 돌려보면 쉽게 알 수 있는 일이지만 동지와 하지를 경계로 하여 낮이 훨씬 긴 여름과 반대로 밤이 훨씬 긴 겨울이 교대한다. 이 현상은 고위도로 갈수록 두드러져 남극해의 가장 남쪽에서는 거의 백야 수준으로 햇빛과 어둠이 지속될 수 있다. 게다가 여름에는 해빙이 녹아 후퇴하고, 겨울에는 해빙이 확장되는 일이 반복되며 뚜렷한 계절변화를 만들어낸다.

남극해는 대륙 주변부의 늘 얼음으로 덮여 있는 해역, 그리고 계절에 따라 바다가 얼고 녹기를 반복하는 해역, 또 얼음에 덮이는 법 없이 늘 열려 있는 해역으로 나누어진다. 남극대륙 주변의 가장자리에는 대륙을 덮은 빙상이 미끄러져 바다로 빠져드는 곳이 있고, 움직이지 않는 정착빙이 바다의 바닥 혹은 육지에 들러붙어 떨어지지 않는 곳이 영구빙 해역이다. 영구빙 해역을 넘어서면 여름에는 해빙이 녹아 바다 표면이 노출되고 겨울에는 바다가 얼어붙어 덮이는 계절빙 해역이 있다. 남극대륙의 면적을 넓히고 좁히는 거대한 자연의 공정이 매해 반복되는 것이다. 그 밖으로 더 나가면 남극 극전선에 이를 때까지 펼쳐지는 바다는 여전히 찬물이지만 얼음에 덮이는 법은 없다.

남극해 대부분의 해역은 천연비료성분인 영양염이 비교적 풍부하지만 생물량은 기대하는 만큼 높지 않다. 생물생산력으로 보면 사막과 같은 초라한 바다이며 척박한 평원이다. 남극의 거센 바람은 식물플랑크톤을 빛이 닿지 않는 깊이까지 계속 밀어 넣어 광합성을 할 수 있는 여지를 크게 줄이고, 무엇보다도 아주 적은 양이라도 광합성에 꼭 필요한 미량금속의 양이 적다. 지구의 다른 곳에서는 육지로부터 날아오는 먼지가 종종 미량 영양물질의 공급원이 되지만 남극해는 지구상 육지 어디로부터도 멀기 때문에 이런 혜택을 기대하기 어렵다. 천연비료가 풍부한 물이 솟구치는 곳임에도 불구하고 미량금속 결핍이 생물의 번성을 가로막는 병목이 된다. 하지만 바다 한가운데 솟아오른 지형 등에 부딪힌 바닷물과 소용돌이가 미량금속을 흩날리게 섞어 공급해주는 특별한 이벤트가 있으면, 풍부한 천연비료의 덕을 제대로 입어 폭발적인 생물 번성에 이르기에도 한다.

남북극 바다의 생태계는 이런 계절변화와 주기를 최대로 활용하도록 진화해왔다. 봄이 찾아오고 해빙(海水)이 녹아 풀려나오는 민물이 표층해수와 섞이면 덜 짜고 가벼운 물 덩어리가 수층의 상층부를 차지해서 성층화가 일어난다. 겨울에 비하면 바람도 한결 잦아들겠지만 이렇게 가벼운 윗물과 무거운 아랫물로 층이 나뉘면 같은 세기의 바람이 불어도 식물플랑크톤이 빛이 미치지 않는 깊이까지 밀려들어 가기 어렵고, 또한 해가 길어지고 빛이 증가하기 때문에 남극의 바다도 새싹이 돋는 봄, 우거진 여름을 맞을 준비를 하게 되는 것이다. 남극권 해양생물의 역설 가운데 하나는, 모든 생물이 번성할 수 있는 근원인 일차생산이 빈약함에도 불구하고 펭귄과 물개, 고래 등 대형동물의 천국이라는 것이다. 이것은 북극 바다코끼리 혹 북극곰의 예를 보더라도 대형동물의 번성이 양극 해역에 공히 적용되는 경우임을 짐작하게 한다. 더디지만 오랜 시간 축적한 지방축적분을 충분히 갖고 있는 것이 남북극 바다의 긴 겨울을 넘길 수 있는 유용한 자산이기 때문에 큰 몸을 갖고 있는 것이 유리할 수 밖에 없는데, 이 역시 뚜렷한 계절변화가 여러해 반복될 때 극지해양의 생태계가 적응한 결과라고 할 수

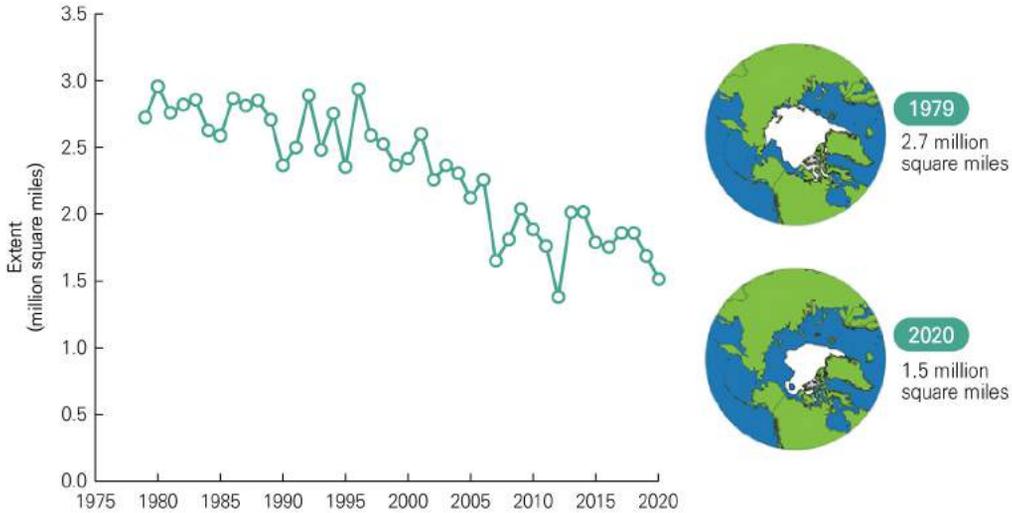
있다. 또한 극지해양의 대형동물은 인간의 자원수확 활동이 과도해질 때 그 위협이 더 선명하게 눈에 띄기 때문에 해양환경과 생태계 보전의 목표이며 상징이 되기도 한다.

2 기후변화와 극지해양환경

기후변화가 심각하긴 해도 국지적으로 일어나는 제한적인 현상이었다면 지구촌 전체의 화두가 되지는 않았을 것이다. 돌발적 이상 한파로 온난화의 큰 추세를 부인할 수 없을뿐더러 오히려 따뜻해지는 북극이 중위도 흑한과 폭설의 배경에 있다는 것이 드러나고 있다. 지구 곳곳에서 사회 거의 모든 분야에 걸쳐 큰 영향을 미치고 있지만, 기후변화의 발현 양상과 강도는 지역적으로 차이가 있을 수밖에 없다. 얼음과 눈으로 뒤덮인 남북극이 지구온난화에 큰 영향을 받는 것은 지극히 당연한 일이다. 지구가 따뜻해지는 만큼 극지의 얼음과 눈은 녹아내린다. 해를 거듭하며 녹아 쪼그라드는 남북극의 해빙(海氷), 또 대륙 빙하가 녹아내리면서 떨어져 나오는 빙산은 온난화를 가장 상징적으로 보여주는 현상으로 자주 대중매체에 등장하여 아주 익숙한 장면이 되었다. 사실 남북극의 얼음 바다는 기후변화가 가장 선명하게 드러나는 바로미터인 동시에 지구환경 변화의 진원지이기도 하다. 역설적으로 지구가 더워지는 현상을 연구하기 가장 적당한 곳이 바로 지구 끝 얼음 바다 한복판이다. 남극과 북극에서 일어나는 환경변화 가운데 가장 두드러진 것을 꼽는다면 우선 해빙(海氷)의 수축이다. 남극해 해빙의 소실이 적어도 아직은 일부 구역에서만 두드러지게 나타나고 남극 전체로 보면 소강상태거나 오히려 살짝 증가하는 반면 북극해 해빙의 감소는 의심할 여지가 없다(NASA 2019). 1979년 인공위성을 이용하는 원격관측이 시작된 이래 북극 해빙의 하락세는 일관되며 그 추세는 모델이 예측하는 것보다 더 가파르다(그림 6.2). 특히 주목할 만한 것은 북극 해빙의 면적뿐 아니라 두께이다. 북극 해빙의 상당 부분은 여름에 녹고 겨울에 다시 얼기를 되풀이하지만 일부는 여름에도 녹지 않아 여러 해 동안 계속 단단하게 자라는 다년빙(多年氷)이다. 미국 국립빙설자료센터(National Snow and Ice Data Center) 소속 과학자들은 북극해의 다년빙이 사라지고 있으며, 그 평균 두께가 1980년대에 비해 절반밖에 되지 않는다고 보고했다. 이산화탄소 배출량이 지금처럼 계속 높게 유지되면 21세기 중반에는 처음으로 북극해에 얼음이 없는 여름이 나타날 것이라는 전문가들의 경고는 더 이상 허풍이 아니다. 해빙의 수축이 가져오는 효과는 심각하다. 극지의 눈과 얼음이 태양 빛을 반사시켜 지구 밖으로 열에너지를 도로 내보내는데, 바다가 얼지 않으면 그만큼 태양에너지 흡수를 막아줄 차단막, 다른 말로 그 에너지를 우주로 되돌려 보낼 반사판 면적의 감소를 뜻한다. 얼음이 녹아내리는 만큼 태양에너지는 지구 안으로 흡수되어 얼음은 더 빨리 녹고, 해빙 감소가 가속화되는 악순환이 계속 되풀이된다. 수온과 염분 차이로 발생하는 해류 순환은 형클어지기 시작하고 열 교환 현상이 약해지면서 저위도와 고위도 사이 열 불균형은 더 심해질 것이다.



그림 6.2 북극해 해빙 면적의 감소 추세(9월 평균 북극 해빙 면적)



둘째는 녹아내려 주저 않고 바다로 흘러 들어가는 빙하이다. 빙하는 해빙과 달리 눈이 녹아 다져지고 땅덩어리 위에 얹혀진 얼음이다. 빙하가 녹아내려 바다로 들어간다면 이는 바다에 새로운 물이 추가되는 셈이고 그 결과 해수면 상승을 초래한다(Chen et al., 2013). 셋째는 동토층 붕괴다. 동토층이 녹아내리며 그 안에 숨어있던 온실기체의 대량 방출이 시작된다. 이 동토층은 육지에만 있는 것이 아니고 동시베리아해 같은 얇은 수심의 연안에도 숨어있다. 결론적으로 얼어붙어 있던 흡과 퇴적물이 녹아내리면서 이산화탄소보다 온난화 효과가 수십 배 강하다는 온실기체 메탄이 대기 중으로 쏟아져 나오고 이는 글자 그대로 온난화 시한폭탄으로 작용한다(Whiteman et al., 2013; Shakhova et al., 2014).

남북극 바다의 환경변화는 생물생산력과 먹이그물의 변화로 이어진다. 물리 변화가 생물적 현상과 결합하게 되면 그 반응 결과는 기하급수적으로 복잡해진다. 생물생산력은 온도와 생산력의 소재가 되는 물질의 증감 사이의 함수이다. 기본적으로 온도가 올라가면 생물생산력은 활발해지는 것이 물리법칙이다. 하지만 생물생산력을 높이는 재료가 모자라면 따뜻해지기만 한다고 생산이 더 일어나는 것은 아니다. 바다가 따뜻해진다고 바로 윤택한 경작지로 되지는 않는다. 바다에서는 천연비료에 해당하는 영양염이 늘 모자라기 쉬운데 영양염이 충분히 공급되지 않는다면 온난화가 비옥화로 연결되지 않는다. 생태계의 먹이그물을 따라 온실기체가 옮겨가고 순환되는 과정에서 극지생태계는 경우에 따라 온실기체의 흡수원으로 작용하며 기후변화의 속도를 조절하는 완충기 역할을 하기도 한다. 눈과 얼음으로 덮인 지구 끝 극지는 지구환경 변화의 종착역이며 시발점이기도

하고 완충장치이기 때문에 기후변화의 속도가 거세지면서 완충 능력이 약해지는 것은 큰 걱정거리이다. 광범위하고 포괄적인 영향이 극지 바깥, 문명 세계로 밀려올 수도 있고 문명 세계에서 시작된 오염으로 인한 피해와 충격은 추가적으로 더 증폭되어 나타날 수 있는 곳이다.

한편, 극지역에서 더 극명하게 나타나는 온난화의 부작용과 역기능은 뚜렷하지만 동시에 순기능과 온난화로만 가능해지는 기회 역시 현실이다. 북극 해빙이 사라지면서 기대하는 항로의 개방, 수산자원 수확과 에너지 자원 채굴의 가능성은 기후변화 위협과 함께 동전의 양면과 같은 문제이다(Huntington et al., 2021). 그럼에도 불구하고 인간 활동의 증대로 인한 보전 수요와 보전 압력의 강화는 예견된 일이며 우리의 대응이 필요한 현안이다.

남극과 북극에서 발현되는 기후변화는 중위도 날씨와 이상기후에 뚜렷한 영향을 미칠 수도 있는데 직접적인 연결고리를 보여줄 수 있을 정도가 되기도 한다. 예를 들어 중위도의 이상 한파가 북극 온난화, 더 구체적으로 '북극 진동'의 변화로부터 유발되었음을 보여주는 연구결과는 이미 다수 나왔다. 북극이 따뜻해지며 북극 해빙 면적이 줄어들고 북극 상공에 존재하는 찬 공기의 소용돌이가 약해지면서 이렇게 소용돌이가 이완된 틈을 타고 북극의 찬 공기가 중위도 지역까지 흘러내려 올 때 한파가 발생한다는 것이다(Kim et al., 2014; Kig et al., 2015). 북극의 변화가 우리나라의 한파뿐 아니라 폭염과 한반도 주변 해역의 고수온 등에도 어떤 영향을 미칠 수 있는지 연구 대상이 되고 있다.

3 남북극의 환경 거버넌스: 생성과 진화

가. 극지 거버넌스와 환경 규범

북극이나 남극에서 거버넌스가 수립되는 데 수십 년이 걸렸다. 극지에서의 거버넌스는 비교적 새로운 체제이고, 그중의 환경 규범은 더욱 그렇다. 남극과 북극의 환경 거버넌스가 세워지는 시기에는 글자 그대로 뽕뽕 얼어붙어 딱히 관리할 필요 없던 세상이 와해되는 해빙(解氷)이 크게 작용했다. 여기서 말하는 해빙은 자연적 해빙(解氷)뿐 아니라 그로 인한 정치적 해빙(解氷)까지 모두 이른다. 남극과 북극은 자연환경이 다른 만큼 거버넌스 체계, 특히 환경 규범도 크게 다르다. 남극이 눈으로 덮인 거대한 땅덩이와 그를 에워싼 찬 바다라면 북극은 대륙들에 둘러싸인 얼어붙은 바다이다. 남극은 사람의 발길이 닿기 어려운 지구의 외딴 구석이라면 북극은 여전히 멀기는 하지만 문명 세계에 훨씬 가까이 있다. 북극의 상당 부분은 강대국들의 관할구역이고 북극의 한가운데 위치한 공해조차 연안국이 장악하고 있는 길목을 지나야만 그곳에 이를 수 있다. 반면 남극은 영유권을 주장하는 나라들이 있지만 영유권 주장을 보류하는 데 합의하면서 정부 간 국제조약으로 남극의 관리체계가



출발했다. 남극 거버넌스는 구조적으로 특정 국가의 독주나 일방적 권리 주장이 통용되기 어렵고 과학과 평화 협력이라는 키워드가 그 중심에 있다. 이는 환경 규범에도 여실히 반영되어 있다. 역설적으로 냉전 시대 최초의 군축조약인 남극조약이 환경보전과 평화 협력의 길을 여는 데 일조를 한 것이다.

나. 북극 거버넌스

북극의 경우 상당한 면적의 북극 구역에 대해 양보할 수 없는 권리라는 인식과 현실적인 힘을 갖고 있는 나라들이 여럿 있다. 얼어붙은 국제 공간이 녹아내리면서 접근성이 갑자기 높아지면서 거버넌스가 만들어지기 시작했다. 북극이 도전과 기회의 공간으로 다가오게 된 배경이다. 기후변화는 북극에 심각한 생태계 변형을 가져오는 동시에 다른 한편으로 항로와 자원개발, 그를 위한 시설기반 구축 등 새로운 비즈니스 기회가 떠오르게 하며 이는 동전의 양면과 같다. 1987년 구소련 공산당 서기장이었던 고르바초프가 동서가 대립하고 있던 북극을 평화의 공간으로 만들자는 무르만스크 선언을 한 이래 북극의 이러한 추세는 계속되고 있다. 북극의 경우 남극조약과 비교할만한 정부 간 협약은 없다. 북극 거버넌스의 중심에는 정부 간 협의체인 북극이사회(Arctic Council)가 자리 잡고 있다. 북극이사회는 1996년 오타와선언으로 출범했는데, 이 선언에는 북극이사회가 추구하는 북극의 환경보호·지속가능한 개발·원주민의 복지라는 3대 목표가 담겨있다. 이 목표는 기본적으로 보전과 개발 사이 균형과 조화를 추구하고 있다. 북극 거버넌스의 실체인 북극이사회도 알고 보면 북극환경보호전략에서 시작된 것에 유의할 필요가 있다. 북극이사회는 북극을 평화와 번영의 공간으로 만들기 위한 노력의 일차 토대가 될 수밖에 없다. 북극이사회는 북극에 영토를 가지고 있는 미국, 캐나다, 러시아와 북유럽 여러 나라를 포함한 8개국을 회원국으로 하고, 북극에 거주해 온 원주민들을 대표하는 6개 단체에 특별한 영구참여자 자격을 부여하고 있다. 그리고 비 북극권의 국가들에 대해서는 옵서버로만 받아들이는데 한국 등 12개국이 옵서버로 참여하고 있고 옵서버 가입을 신청해 놓고 기다리는 나라들이 여럿 있다.

다. 남극 거버넌스

남극은 북극에 비하면 훨씬 더 협력의 공간이다. 1959년에 체결된 남극조약과 그 후에 채택된 일련의 남극 관련 협약들은 함께 남극조약 체계를 이루고 있다. 처음에는 남극 환경보호 규정을 포함하고 있더라도 일관성이 부족하고 효과적인 환경보호에 충분하지 못했던 산재된 협약들과 그 현실은 남극환경보호의정서(일명 마드리드 의정서)의 채택을 획으로 일대 전기를 맞는다. 1991년 성안되고 1998년부터 발효된 이 의정서는 기존의 남극조약체제가 남극환경보호에 미흡하기 때문에, 남극환경보호를 강화하는 포괄적이고 광범위한 조치가 필요하다는 국제적 인식에 따라 채택되었다. 주목할

만한 것은 매우 까다롭게 성안되고 엄격한 개발조건을 담은 남극광물자원활동규제협약(CRAMRA)을 보류시키다 결국 대체한 협약이 이 남극환경보호의정서였다. 1988년 성안된 남극광물자원활동규제협약은 남극에서 상업적 개발이 시작되기 전에 광물자원 탐사와 개발을 규제하는 것을 그 내용으로 하는데, 이 협약도 남극조약체제에 속하는 협약 중에서 가장 광범위한 남극환경보호규정을 두고 있었다. 남극광물자원 개발활동이 남극환경과 관련 생태계에 악영향을 미치지 않도록 상세하고 까다로운 일련의 조건을 명시하고 남극환경과 생태계에 중대한 역효과 내지는 변화를 초래하는 것으로 평가되는 경우에는 광물활동을 금지한다. 광물활동으로 초래되는 남극환경 및 관련 생태계에 대한 피해에 엄격한 책임을 지도록 되어 있고 강제적인 분쟁해결절차를 포함하고 있었다. 매우 강력한 제도임에도 불구하고 결국 보류된 것은 남극 광물자원 개발과 환경보호는 양립하기 어렵다는 국제적 공감대가 형성되었다는 징표이다. 남극환경보호의정서는 남극환경에 관한 기존의 협약, 조치, 권고 등을 포함할 뿐만 아니라 환경보호 규정을 보충하여, 남극대륙에서 수행되는 모든 형태의 인간 활동을 통일된 기준에 따라 규제한다는 점에 의미가 있다. 종종 거론되는 오해이지만 2048년이 된다고 광물자원 개발이 재개되거나 남극환경보호의정서가 만료되지 않는다는 대체할만한 체제가 없는 상태에서 남극환경보호의정서를 폐기하거나 개정할 수 없고 또 관련 규정을 개정할 수 있는 조건은 지극히 까다롭다. 국제사회의 추세는 적어도 지금까지는 남극환경보호의 정신을 변함없이 존중하고 그 의미와 영향을 신뢰하는 것이다.

남극환경보호의정서로 가능해진 환경보전의 구체적 예로 남극특별보호구역(ASPAs)을 들 수 있다. 남극특별보호구역은 과학적 연구대상으로의 가치, 심미적 가치, 보존할만한 역사적 가치를 갖고 있을 때 지정될 수 있다. 남극특별보호구역으로 지정되려면 누군가 이런저런 가치 때문에 특별보호구역으로 지정해서 관리할 가치가 있는 곳이라는 명분과 함께 관리계획을 만들어서 제안해야 한다. 우리나라는 세종기지 인근에 있는 소위 펭귄마을을 남극조약 체결 50주년을 맞은 2009년 제32차 남극조약당사국 회의에서 회원국 만장일치로 남극특별보호구역으로 지정되게 한 바 있다. 남극특별보호구역으로 지정되면 가장 크게 달라지는 것은 관리 당국의 사전허가를 받아서만 출입할 수 있다는 것이다. 연구활동조차 생태계에 미칠 수 있는 영향을 최소화하는 방향으로 추진하고 수행된다.



4 극지해양환경과 새로운 위협: 인간 활동의 결과

계속 증가하는 여행과 탐험, 과학 연구활동과 과학기지 운영, 어업, 대형 유조선의 난파 등에 따른 각종 폐기물과 오염물질의 방출 등은 극지환경에 대한 새로운 위협이다. 남극 상공의 오존층 파괴 역시 과도한 자외선 통과를 허용하므로 동식물의 성장 저해를 초래해 남극 생태계를 위협하는 요인 중 하나가 되고 있다. 본 단원에서는 어업, 오염물질, 외래종을 중심으로 극지해양환경의 위협 요소를 알아본다.

가. 어업

극지는 지리적으로 지구의 다른 구역들로부터 고립되어 있고 문명 세계, 다른 말로 인간 오염원으로부터 멀리 떨어져 있기 때문에 청정의 미답지라고 생각하기 쉽다. 그러나 북극보다 더 외딴 남극만 해도 사람의 발길이 닿기 시작하는 것은 백 년이 훨씬 넘었고 최근 남극에서조차 인간 활동의 범위와 강도가 확대되면서 남극의 환경오염은 심각한 문제가 되고 있다. 남극해 생물자원의 경우, 남획으로 시작되었지만, 현재는 지구상에서 가장 엄격한 자원관리 제도를 시행하고 있다. 남극해의 역사와 어업 경험을 되돌아보고 북극해 어업이 시작되기 전 충분한 과학조사와 정보 축적을 위해 상업어업을 선제적으로 금지하였다. 생물자원의 과도한 채취는 생태계 보전을 방해하는 가장 커다란 위협이다.

나. 오염물질

지구를 병들게 하는 다양한 오염물질의 마지막 행선지가 남극과 북극이 되는 것은 이미 사례가 있는 일이다. '쉽게 분해되지 않고 아주 오랫동안 남아있는 유기 오염물질'이 북극에까지 이른다더니 이제는 온 세상이 걱정하는 플라스틱 오염의 종착역도 결국 북극의 결빙 해역과 동토층이 된다. 심지어 먼 남극해에서도 나타나고 있다. 생각해보면 더 작고 더 미량의 새로운 오염원은 대부분 인간 활동의 결과물이다. 플라스틱뿐 아니라 새로운 화학 오염원도 대부분 사람이 아니라면 세상에 나오지 않았을 물건이니 인간 활동의 흔적이고 어떤 의미에서는 인간 활동의 지시자이다. 지구 끝 극지에서 발견되는 오염물질은 사람의 영향이 이 먼 곳까지 미친다는 '상징'일 뿐만 아니라 해결해야 할 '현안'이다. 사람들의 주목을 끌기도 쉽고 또 새로 듣는 이야기라 오히려 기후변화와 같은 더 근본적이고 광범위한 위협을 가릴 위험이 있지 않을까 걱정해야 할 정도이다. 게다가 북극의 오염은 남극과 달리 야생의 환경뿐 아니라 그곳에 뿌리를 내리고 사는 사람들의 문제이기도 하다. 플라스틱이 멀리 떨어진 곳에서 북극으로 날아들 수 있다는 사실은 누구나 쉽게 원인 제공자가 될 수 있다는 말도 된다. 플라스틱 오염은 마스크를 통해 대중의 눈과 귀에 닿을 수 있는 현안이 되었다. 그렇기 때문에 관련자인 우리가 돌보일 수 있는 기회가 되기도 하고 또 자칫 분명한 고의가 없어도

평판이 나빠질 수 있는 위험도 있다. 극지의 오염물질은 대체 어떻게 극지까지 나타나게 되었을까? 그 경로는 대략 세 가지가 될 것이다. 북극 바깥의 큰 바다에서 해류를 타고 오는 경우 그리고 북극 안에서 국지적으로 배출되는 오염원에서 비롯되는 경우, 그리고 바람을 타고 먼 거리를 날아오는 경우를 생각해 볼 수 있다. 최근 속속 발표되는 결과들을 보면 이 세 가지 경로가 모두 작동하고 있음을 시사한다.

북극해의 플라스틱 오염 특히 미세플라스틱 오염에 대해 다음과 같이 요약할 수 있을 것이다.

- 이제 미세플라스틱은 북극 곳곳에서 발견되고 있다.
- 북극 해빙에서 리터당 1만 개에 이를 정도로 높은 농도의 미세플라스틱이 계속 발견되고 있다. 이는 해양에서 가장 농축된 미세플라스틱 오염, 혹 문명 세계의 오염된 해변보다 더 심한 것이다. 물론 이 수준의 농도가 모든 환경에서 나타나지는 않겠지만 북극도 미세플라스틱의 안전지대가 아니라는 것을 보여주기에 충분하다.
- 빠른 속도로 진행되고 있는 기후변화와 더불어 해빙은 미세플라스틱의 농축기 혹은 일시 저장고 역할을 할 수 있다.
- 북극 미세플라스틱 오염의 기원에 대해서는 아직 잘 알지 못하고 전달되는 경로도 이제 연구가 시작되었다.
- 해양생물이 섭취하기 시작해서 생물 농축 과정이 시작되고 인간의 건강에까지 영향을 미치기 시작하면 그 피해가 얼마나 클지 모르지만 결코 무시할 수 없을 것이다.
- 북극을 오염시키는 미세플라스틱은 다른 오염물질의 탑재체가 되어 오염을 북극해로 확산시키는 역할을 하거나 외래종(invasive species)의 운반체가 될 수 있다.

다. 외래종

남극과 북극의 환경에 위협이 되는 것으로 본래 남극과 북극에 살지 않던 것들이 정착해버린 외래종을 들 수 있다. 남극에 데려다 친구로 삼기도 하고 일도 시키던 개는 우리가 마음만 먹으면 내보내거나 단계적으로 제거할 수 있지만 작고 보잘것없어 보이는 다음 작은 생물은 의외의 큰 골칫거리이다. 종종 극지에서 인간이 따뜻하고 편안하게 지내기 위해 설치한 시설들이 배양기와 보호장치 역할을 하기도 한다. 남극에 버려진 사과 씨가 사과나무로 번성할 가능성은 매우 희박하지만, 북반구에서 어떤 사연으로 흘러들어왔는지 모르는 각다귀라는 이름의 곤충이 이미 남극과학기지에서 말썽거리가 되었고 국제사회의 대응이 필요한 현안이 되었다(Remedios-De León, 2021).



라. 기타 위험

사람들은 바다가 고요할 거라고 특히 극지바다는 더욱 그럴 것이라고 생각할지 모른다. 조용한 바닷속에도 불협화음이 있다. 폭풍과 지진 같은 자연 소음도 해양생물들에게 충분히 큰 악영향을 미칠 수 있지만 강력한 인공 소음은 바닷속에서 길을 잃지 않고 짝을 찾기 위해 소리에 의존하는 동물들에게 치명적인 위협이 된다. 석유와 가스 같은 해저자원을 찾기 위해 사용하는 에어건은 아주 날카로운 위협이지만 무엇보다 선박의 통행이 가장 큰 소음원이다. 극지의 바다 특히 북극의 해빙이 녹고 빙길이 열리며 배들이 드나들기 시작하면 이는 분명히 인간 활동의 결과로 새로 등장하는 위협이 될 것이다(Lancaster, 2021). 그 밖에 아직 현실화되지 않았지만 남북극의 해저자원에 대한 채굴노력에 정말 돌입한다면 이는 그 어떤 경우보다 직접적인 위협이 될 소지가 크다.

5 극지환경보호를 위한 구체적 제언: 우리나라를 위하여

가. 남극해 해양보호구역(Marine Protected Area, MPA)의 설정

남극해는 해양보호구역이 추진되는 대표적 국제 해역 중 하나로 이미 2개의 해양보호구역이 지정되어 시행되고 있으며 이를 더 확대하려는 노력이 두드러진 곳이다. 해양보호구역은 생물다양성을 유지하고 생태계의 구조와 역할을 온전하게 보전하려고 미래를 위해 남겨놓는 공간이며 바다에 두르는 일종의 그린벨트이다. 남극대륙을 둘러싼 찬 바다, 남극해는 사람의 발길이 닿기 어려운 영원한 야생의 바다일 것 같지만 백 년을 훌쩍 넘기는 자원남획의 역사가 펼쳐진 무대이기도 하다. 최근에는 지구 평균보다 한참 가파른 기온 상승과 더불어 바다를 덮고 있던 해빙이 사라지고, 빙상이 녹아내리고 주저앉으며 그 영향이 남극의 일부에서 명백하게 나타나고 있으며 더 이상 모르는 체 할 수 없는 생태계 위협으로 다가오고 있다.

해양보호구역이 설정되면 인간 활동은 원천적인 제한을 받는다. 생물자원 고갈의 직접적인 원인이 될 수 있는 어업을 규제하려는 것도 있지만 인간 활동의 영향을 제거함으로써 기후변화에 대한 생태계 복원력을 확보하고 비교 연구가 가능하게 하려는 뜻이 담겨 있다. 우리나라는 그동안 남극해 생태계 보전에 대해 뒷걸음질 치는 모습을 보이기도 했고 조업이익 감소에 대해서 크게 걱정했다. 조업할 권리와 할당 어획량의 확대가 주요 관심사였고 보존조치가 조금이라도 덜 엄격하길 바라며 어선을 기반으로 가능한 과학 활동에 대해서도 미온적일 때가 있었다. 하지만 최근에는 남극해 환경 및 자원에 대한 인식을 더욱 전향적으로 발전시켰다. 남극해 해양생태계의 보호를 위하여 수산자원 상태가 위험한 일부 구역만 어획을 금지하는 것에 그치지 않고 전 남극해 해역에 대해 충분히 넓은 보호구역을 설정하여 네트워크화해야 한다는 기본 틀을 갖고 있다(Brooks et al., 2020). 만일 동남극과 웨들해

두 곳의 해양보호구역이 남극해양생물자원보존위원회에서 공식 채택되면 최소 수준의 보호구역 면적을 확보하게 되고(그림 6.3), 길게는 10년 이상 끌어온 남극해 보전 현안의 해결에 한 발 더 가까이 다가서게 된다. 이미 잘 알려진 기후위기와 약탈적인 어업에 더해 자원 채굴, 플라스틱 오염과 같은 새로운 위협으로 온 지구의 바다가 몸살을 앓고 있다. 생물다양성이 갖고 있는 가치의 유지와 회복, 온실기체 저장고로서 바다 역할의 유지, 기후변화에 대한 완충 공간의 확보, 각종 새로운 위협의 영향을 감지할 수 있는 비교구역의 설정, 심각한 몸살을 앓고 있는 남극 바다를 위해 이 정도의 양보는 할 수 있다는 국제적인 공감대가 만들어져가는 과정에서 우리도 우리의 자리를 찾아가야 할 때가 되었다.

그림 6.3 남극해에서 해양보호구역으로 지정되었거나 제안된 해역



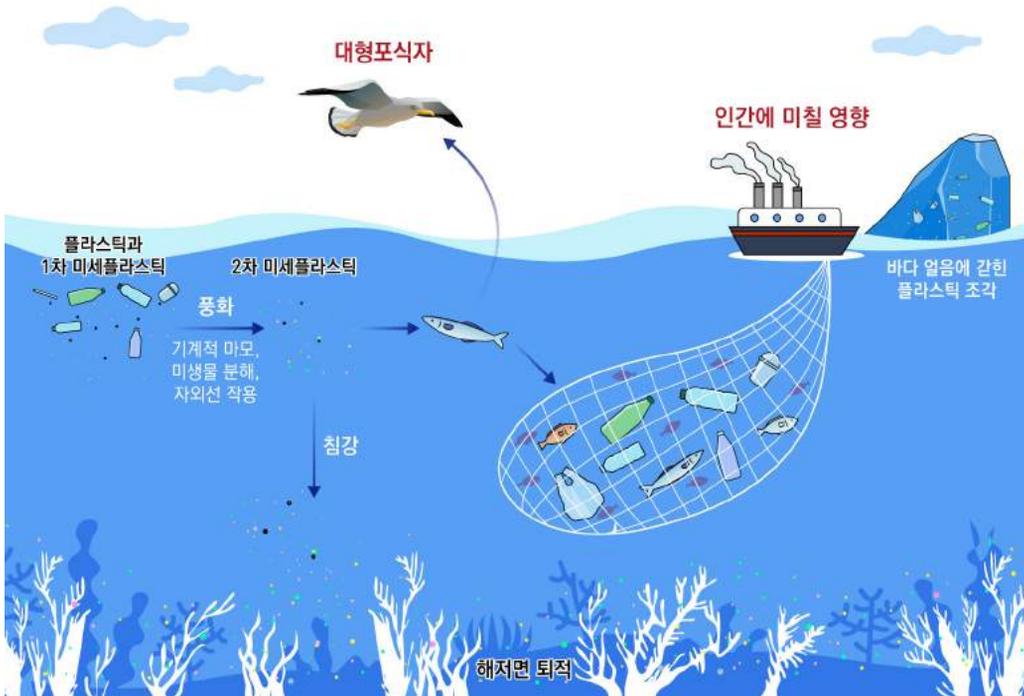


책임 있는 조업으로부터 일탈한 사례로 눈총을 받기도 했던 우리의 과거를 떠올리면 격세지감이기도 하지만 남극해 해양보호구역 설정 노력에 참여하는 것은 우리나라에도 다음과 같은 의미가 있다. 남극 해양보호구역의 설치가 합리적인 자원 수확 활동을 외면하는 것이라고 생각할 이유는 없다. 오히려 조업이익과 생태계 보전을 모두 고려하는 포괄적인 사고와 전망이 선택이 아닌 필수가 되었고 남극해 해양보호구역을 실질적인 방안을 모색해야 하는 현실로 받아들여지게 되었다. 둘째, 정부와 학계, 그리고 원양어업계가 협력하지 않을 수 없을뿐더러 공동과제를 구상해도 될 만한 계기가 마련되었다. 자원의 수확으로 얻는 경제적 수혜만 좇다 보면 생태계 보전과 미래 후손에게 물려줄 가치는 눈에 잘 들어오지 않을 수 있다. 이제는 세상이 바뀌었다. 생태계 보전이 자원 수확의 희생양이 되지 않도록 하는 것이 답이고 선제적인 과학 기여를 통해 그 기회를 찾는 것이 우리의 숙제이다. 우리의 역량으로 만든 선례가 지구촌 사회에 모범관행과 시금석으로 회자되게 한다면 이 또한 놓치지 말아야 할 중요한 국익이다.

나. 북극해 플라스틱 오염 대응

매년 800만 톤의 플라스틱이 바다로 쏟아져 들어가는 요즘 해양 미세플라스틱 오염은 큰 걱정거리이다. 지금도 미세플라스틱은 바닷물과 바람에 실려 지구 곳곳으로 퍼져나가고 있다. 지구 끝 청정지역이라는 북극도 예외는 아니다. 미세플라스틱은 북극의 특수한 환경과 만나면서 더욱 심각한 환경을 만들어낸다. 북극의 바다 얼음은 계절에 따라 얼었다 녹기를 되풀이하는데 이 과정에서 바다에 실린 미세플라스틱이 해빙 속으로 간헐적 들어갈 수 있다(그림 6.4). 자세한 과정은 아직 잘 모르지만 이미 기후변화에 시달리는 북극바다에 이것은 또 다른 짐이 된다. 북극해를 떠다니는 유빙들 속에 쌓인 미세플라스틱이 기록적인 수준으로 높아졌다는 연구결과도 나왔다. 북극해 미세플라스틱 오염이 대중적 관심을 더 받고 또 해결을 촉구하기 쉬운 배경에 다음과 같은 이해는 필요할 것이다. 우선 플라스틱 오염은 기후변화에 비하면 그 영향을 실감하기 훨씬 쉽다. 일단 미세플라스틱이 북극해에 도달하면 바다가 얼어붙으며 만들어지는 얼음 속으로 잡혀 들어가고 바다 얼음은 미세플라스틱의 임시 저장고 역할을 할 수 있다. 북극해의 바다 얼음이 수년간 플라스틱을 붙잡고 있을 수 있겠지만 기후변화로 해빙이 녹는 속도가 점점 빨라지면 해빙이 잡아 가두고 있던 미세플라스틱이 바다로 퍼져나가는 속도도 빨라질 수 있다는 것이 진짜 더 큰 우려이다(Peeken et al., 2019). 결국 중요한 것은 플라스틱이 얼마나 많이 또 어디에 있는지, 어디에서 왔는지 알아야 할 것이고, 한번 북극에 들어온 플라스틱이 어떻게 순환하고 어떤 영향을 남기는지 연구가 필요하며 생태계의 건강과 인간 사회의 보건에 어떤 영향을 미치는지, 그 대책은 무엇인지 모색이 가능해질 것이라는 것이다.

그림 6.4 플라스틱과 먹이그물 그리고 해빙



연구를 위해 남아있는 숙제는 많다. 북극해 미세플라스틱을 측정한다는 것은 어마어마한 품을 팔아야 하는 일이다. 미세먼지라면 위성사진이라도 찍겠지만 미세플라스틱은 직접 골라내야 하는 일이니 ‘가내수공업’이 따로 없다. 도처에 플라스틱이 차고 넘치는 환경이니 시료 채취와 처리 과정에서 혹시 섞여들 수 있는 외부 플라스틱을 어렵게 수집한 북극의 플라스틱과 잘 분리하는 것이 매우 까다롭고 머리카락보다 얇은 물건을 대상으로 하는 일은 많은 품이 필요하다. 정말 깨끗하게 준비된 용기에 미세플라스틱을 오염 없이 수집해서 모양과 크기에 따라 분류하고 적외선 분광기 등을 포함하는 분석화학 장비를 동원해 성분을 분석하는데 이 또한 다른 연구진들의 결과와 비교할 수 있도록 방법의 표준화가 시급한 실정이다.

일회용 플라스틱을 일상생활에서 쓰지 못하게 하는 것은 사실 역부족이고 근본적인 해답은 될 수 없고 플라스틱의 생산을 원천적으로 줄이고 사용을 줄이는 것이 너무나 평범한 모범답안이다. 처음 플라스틱이 만들어졌을 때 미칠 파급효과를 알았다면 우리는 지금처럼 무분별하게 사용하지 않았을 것이다. 익숙해진 것을 다시 되돌리기 위해서는 훨씬 더 큰 노력이 필요하다. 과학과 국가, 그리고 개인의 노력도 절실하다. 연구와 감시는 시작되었고 생태계에 미치는 영향까지 그 범위를 계속 확대해갈 일이다. 지금까지 북극해 미세플라스틱 연구는 유럽 연구진들의 대서양 통로에 다분히 집중되어 있었다. 우리



연구진이 주로 현장조사를 수행하는 태평양 권역 북극해의 조사 결과가 더해진다면 그 의미가 한층 커지고 북극해 현황을 온전히 이해할 수 있게 된다(Kim et al., 2021). 태평양에 면한 북극해에서 플라스틱은 어떻게 유입되고 있고 어디서 그 기원을 찾을 수 있는지 결국 미세플라스틱의 종착역은 어디가 될 것인지는 과학적 호기심이 아니라 생활 속 현안이 된다. 또 그 연구결과가 좁게는 북극권에서 넓게는 인류 전체에 실질적으로 기여를 한다는 점에서 미세플라스틱 연구는 ‘바닷속 미세먼지’ 연구라고 부를만하다.

우리나라가 북극해 미세플라스틱에 주목해야 할 이유는 충분하다. 북극 안에서 만들어진 플라스틱이 유일한 출처가 아닐진대 북극해의 미세플라스틱 오염 문제는 지리적으로 북극권 밖에 있는 국가들도 책임을 나눠야 하는 경우가 될 수 있다. 야생동물의 배 속에 발견되는 플라스틱 봉지는 그야말로 충격인데 잘게 쪼개진 미세플라스틱이 사람의 식량이 되는 물고기와 물개의 입속으로 들어가고 또 식수와 생활용수로 녹아든다. 400만 북극인의 건강과 보건의 위협이 될 수 있는 문제에 대해 북극권이 국제사회의 협조를 요청하고 있다. 북극권의 초청을 바탕으로 우리나라가 북극권 현안에 직접 기여할 수 있는 기회가 될 것이다.

6 맺는 말: 남북극 환경오염을 대하는 우리나라의 자세

남극과 북극이 마냥 신비의 땅이 아니라는 것은 분명하다. 남북극을 곧 뚜껑을 열 수 있는 자원의 보물단지로 기대하는 마음이 아직도 남아있기는 하지만 조금만 냉정하게 생각하면 멀고 외딴곳까지 가는 초기 투자비용이 크다는 것 다 안다. 오히려 극지에서 단기에 회수할 수 있는 현금 이익보다 지구의 미래에 끼치는 영향에 주목할 일이다. 극지연구는 극지환경을 망가뜨리지 않고 보존하면서 연구하고 사람과 자연이 공존하는 지혜를 배우며 지구의 미래를 기약하는 노력의 일부가 되었다.

이상적인 철학과 접근법이 처음 구체화되는 곳은 나중에 지구 전역에서 시행될 각종 조치의 출발점이 되는 시금석 같은 곳이다. 아마 극지의 심미적이고 보전적인 가치가 그렇게 만든다고 할 수 있겠다. 극지환경 연구는 세계 선진국이라면 모두 하는 연구처럼 되어버렸다 국력의 상징, 중견국이라는 증거처럼 여겨지기도 한다. 극지연구로 인류가 지구에 진 빛을 갠 방법의 하나로 극지연구, 중견국이 되는 증거로 극지연구이다. 우리 정부가 또 국민이 극지의 환경을 대하는 법은 지구촌 사회에서 우리의 위상을 결정한다. 감성 이상으로 이성을 충분히 활용하는 보전 그리고 착한 개발을 어떻게 조화시키느냐. 극지에서 우리가 어떻게 연구하고 어떻게 대접하는가 하는 것은 인류가 지구의 미래와 어떻게 공존할지 가능하게 해준다.

KAST Research Report 2021

한림연구보고서 141

**해양환경보호활동에 대한
국내외 현황과 정책 방향**

Current status and future policy direction on
"Protection of Marine Environments" activity

**VII. 해양환경보호 정책
전환을 위한 제언**

VII

Chapter

해양환경보호 정책 전환을 위한 제언

1 해양교육과 국제협력

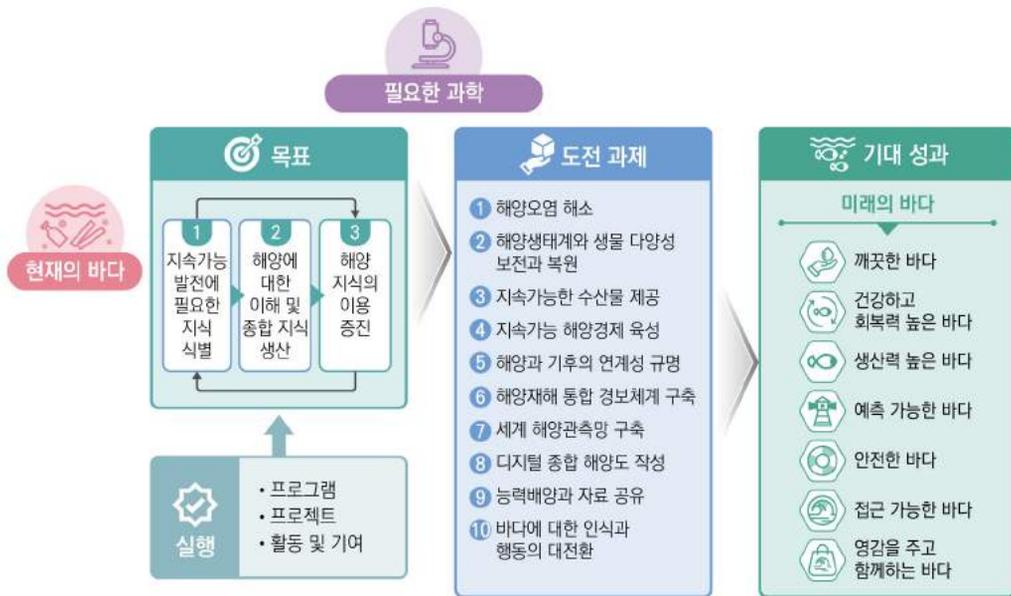
가. 최근의 국제적 동향

유엔은 인류의 생존과 번영, 지속가능한 발전에 해양환경을 보호하는 일이 필수적임을 인식하고 2016년부터 2030년까지 국제사회가 함께 추구할 지속가능발전목표(Sustainable Developmental Goals, SDGs)에 해양을 14번째 항목으로 포함시켰다. 해양과 해양자원의 보존과 지속가능한 이용을 목표로 삼은 SDG-14에는 해양오염 감축, 해양생태계 보호, 기후변화에 따른 해양산성화 예방, 수산자원 관리와 지속가능한 어업, 해양지식의 증진과 역량 강화, 유엔해양법협약에 반영된 국제법의 이행 등이 세부목표로 들어갔다. 세계의 모든 바다는 서로 연결되어 유기적으로 움직이고 있다. 그러기에 해양환경보호라는 목표를 달성하기 위해서는 개별 국가의 노력을 넘어 국가 간 협력을 통해 전 세계가 힘을 한데 모아야 한다. 유엔이 앞장서서 해양환경보호를 주창하는 이유가 여기에 있다. 국제사회가 함께 전 세계 바다의 환경 상태를 평가한 첫 번째 시도가 2015년에 완성되었다. 제1차 세계해양평가로 알려진 이 보고서에는 해양환경이 심각하게 파괴되고 있으며 이를 해결하지 않으면 파괴의 악순환이 지속되어 인류가 해양에서 얻는 혜택을 더는 누릴 수 없게 된다고 지적하였다(UN, 2017). 이를 토대로 하여 2030 아젠다로 알려진 유엔 지속가능발전목표에 해양환경보호가 14번째 항목으로 들어가는 계기가 만들어졌다. 세계해양평가 보고서는 결론에서 과학에 기반하여 해양환경을 평가하고 정책을 결정해야 한다고 강조한다. 2021년 4월에는 제1차 보고서를 보완하여 인간과 해양의 상호관계를 더욱 심도 있게 분석한 제2차 세계해양평가 보고서가 발간되었다(UN, 2021). 제2차 보고서는 인구 증가와 그에 따른 경제활동의 증가, 기술의 진보, 해양에 대한 거버넌스 구조의 변화와 지정학적 불안정, 기후변화 등이 해양환경에 압력을 가하고 변화를 가져오는 주된 동인이 된다고 보았다. 보고서에 따르면 2015년 제1차 세계해양평가 이후 해양 관측체계가 향상되고 이해가 증진되었으며 해양환경에 악영향을 미치는 압력을 완화시키려는 노력이 어느 정도 이루어졌지만, 아직도 인간 활동에서 유발되는 많은 압력에 의해 해양환경이 지속적으로 파괴되고 있다. 또한, 인간의 해양 이용이 통합적으로 관리되지 않아 생태계서비스 등 해양으로부터 얻는

해택이 한층 위협받고 있으며, 이를 개선하기 위해서는 국제사회의 협력과 조정을 통해 능력 배양, 해양기술의 혁신, 해양 지식의 교환, 통합 관리체계의 구축 등이 시급한 것으로 드러났다.

유네스코 산하의 해양과학기술 분야 전문기구인 정부간해양학위원회(International Oceanographic Commission, IOC)는 유엔총회의 위임을 받아 SDG-14 목표를 달성하기 위한 실행계획으로서 ‘지속가능발전을 위한 유엔해양과학10년 계획(UN Decade of Ocean Science for Sustainable Development)’을 올해 2021년부터 시작한다(IOC-UNESCO, 2021). ‘사람과 바다를 연결하여 지속가능발전을 위한 대전환적인 해양과학 기반의 해결책을 제시함’을 사명으로 삼은 이 계획은 국제사회가 시급히 해결해야 할 해양환경 관련 10대 도전과제를 제시한다: 1) 해양오염 해소, 2) 해양생태계와 생물다양성의 보전과 복원, 3) 지속가능한 수산식량 제공, 4) 공정하고 지속가능한 해양경제 육성, 5) 해양과 기후의 연계성 규명, 6) 해양재해 통합 경보체계 구축, 7) 세계 해양관측망 구축과 해양정보 서비스, 8) 디지털 종합해양도 작성, 9) 능력 배양과 해양자료 공유, 10) 바다에 대한 인식과 행동의 대전환 등이 그것이다(그림, 7.1).

그림 7.1 지속가능발전을 위한 유엔해양과학10년 계획 추진 체계(IOC-UNESCO, 2020)



전 세계 100여 개국 140여 개의 한림원과 과학기술단체를 회원으로 두고 있는 국제한림원연합회 (InterAcademy Partnership, IAP)도 2021년 6월 ‘해양환경보호 성명서’를 발표하고 각국의 정부와 시민단체 및 전 세계 IAP 회원 아카데미 모두가 해양환경보호를 위한 활동에 적극적으로 나서줄 것을



권고하였다(IAP, 2021). IAP 성명서는 해안 서식지 파괴, 환경오염물질 유입, 기후변화, 수산자원의 남획 등에 의해 해양의 건강성이 심각히 악화되고 있음을 지적하면서, 바다에 관한 정책수립과 의사결정을 돕고 해양환경 문제에 대한 적절한 해결책을 모색할 수 있도록 과학 정보와 자료를 공유하고 해양에 대한 종합적인 이해를 높일 것을 권고한다. 이 성명서는 또한 인류의 삶이 바다와 밀접하게 연결되어 있음을 인식하고 바다의 중요성을 깨달을 수 있도록 해양교양을 높이는 해양교육을 장려한다.

나. 유네스코의 해양교육

해양환경을 보호하는 행동은 해양을 제대로 이해하고 그 중요성을 인식하는 것으로부터 시작된다. 국제한림원연합회의 ‘해양환경보호 성명서’가 해양교육을 강조하고, 지속가능발전을 위한 유엔해양과학10년 계획이 10대 도전과제에 바다에 대한 인식과 행동의 대전환을 포함시킨 이유이다. 유엔교육과학문화기구인 유네스코는 해양소양에 대한 논의를 모아 2017년 ‘모두를 위한 해양소양: 도구 세트’를 제작하여 회원국에 배포하고 해양교육에 이를 적극 활용할 것을 권장하였다(Santoro et al., 2017). 지속가능발전 목표를 이루기 위해서는 해양교육을 통해 우리가 일상생활을 영위하는 데 해양이 주는 혜택이 필수적인 요소임을 인식하고, 우리의 활동이 역으로 해양환경에 심각한 영향을 주고 있음을 깨달아 생활습관과 행동양식에서 대전환을 가져와야 한다고 강조한다. 그 주된 내용을 살펴보면 다음과 같다.

1) 해양소양 7대 원칙

유네스코는 해양교육을 통해 증진해야 할 해양학적 소양의 주요 원칙으로 7가지를 제시한다:

1. 지구에는 다양한 속성을 가진 하나의 큰 해양이 있다,
2. 해양과 해양의 생명체가 지구의 특징을 형성한다,
3. 해양은 날씨와 기후에 주된 영향을 미친다,
4. 해양은 지구를 생물서식이 가능하게 만든다,
5. 해양은 다양한 생물과 생태계를 지원한다,
6. 해양과 인간은 불가분하게 연계되어 있다,
7. 해양은 거의 탐사되지 않았다.

2) 해양교육의 현실

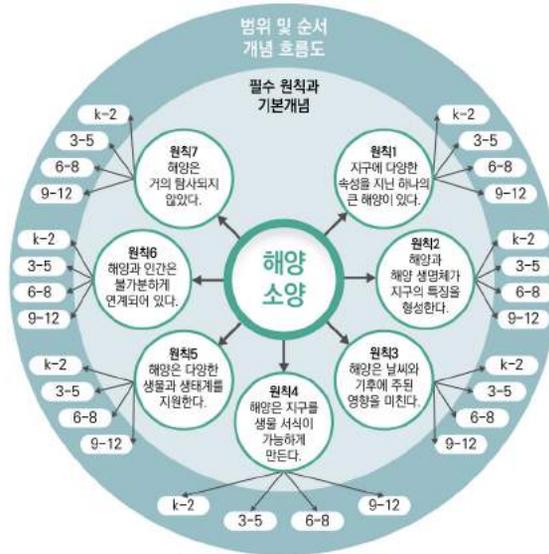
가) 학교 해양교육

우리나라에서 초·중등학교 교과과정에 반영된 학교 해양교육은 유네스코가 제시한 해양학적 소양의 7가지 원칙과 그에 따른 기본개념들을 고려할 때 매우 부족한 실정이다. 초등학교 과정에서 4학년 과학교과에 ‘대기와 해양’ 단원을 넣고 해수의 성질과 순환을 가르치며, 중학교에서는 1학년 과학교과의

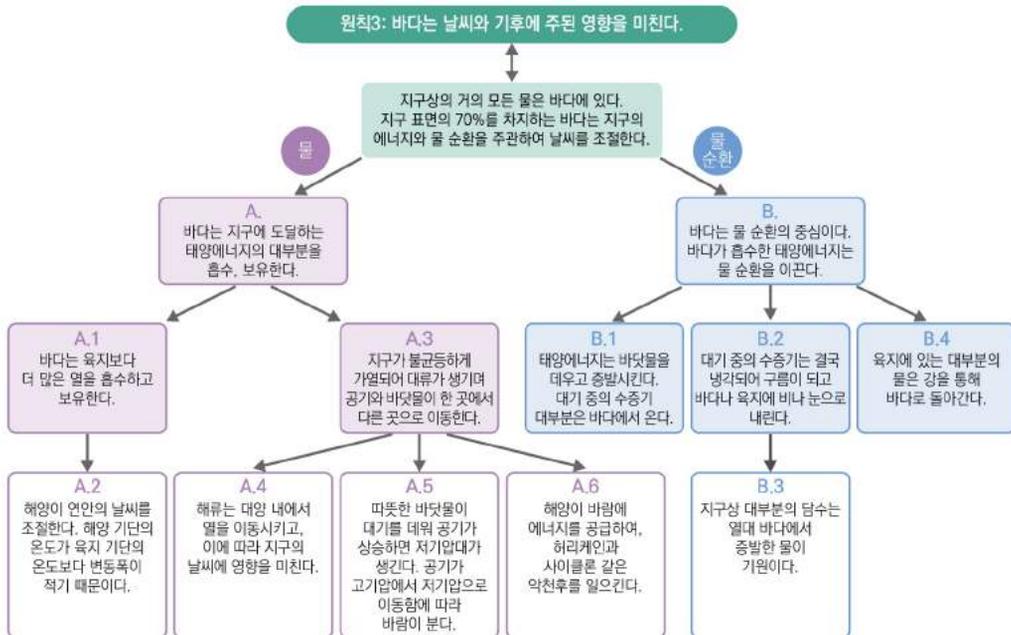
‘생물다양성 보전’ 단원에서 멸종 위기의 생물을 다루는 정도에 불과하다. 고등학교 과정에서는 통합과학 교과와 ‘환경과 에너지’ 단원에서 지구온난화와 지구환경 변화를 다루고 있을 뿐이다.

그림 7.2 미국 학교 해양교육 교과과정의 예(Ocean Literacy, 2010)

(a) 해양소양 7대 원칙



(b) 원칙 3에 대한 3~5학년 교과과정





학교 해양교육의 확대를 지향하는 (사)한국해양교육연구회는 해양수산부의 의뢰를 받아 2016년 『초·중등학교 해양교육 종합 로드맵 수립 연구』를 실시한 바 있다. 이 연구에서 한국인이 갖추어야 할 해양소양을 ‘인간과 해양의 상호작용을 이해하고 지속가능한 공존을 위해 실천할 줄 아는 능력’으로 정의하고 해양에 관한 과학, 영토, 산업, 문화, 진로 등 5개 분야 원리와 25개 개념을 정립하였다. 특히 해양과학 영역에서는 해양의 기초과학적 특성과 해양오염, 기후변화, 생물다양성 등을 기본개념으로 가르치는 교과과정을 확립하여 해양교육에 반영하도록 제시하였다(신춘희, 2021). 또한 정부의 탄소제로 정책에 부응하여 2020년 전국시도교육감협의회는 지구가 당면한 기후위기와 환경재난에 대응하고 지속가능한 미래를 준비하기 위해서는 학교에서 해양환경 교육을 강화해야 한다고 선언하였다. 그러나 아직 교육부나 교육청이 주관하는 교원 연수과정에서 해양교육에 관한 내용은 거의 다루어지지 않고 있는 실정이다.

대표적인 학교 해양교육의 예는 미국에서 찾을 수 있다. 전미해양교육자협회(National Marine Educators Association)와 해양대기청(National Ocean and Atmospheric Agency), 해양과학 교육수월성센터(Centers for Ocean Science Education Excellence)는 해양적 소양을 ‘해양이 나에게 미치는 영향과 내가 해양에 미치는 영향을 이해하는 것’으로 정의하고 해양소양의 주요 원칙 7가지와 45개의 기본개념을 정립하였다(Ocean Literacy Campaign, 2013). 이러한 주요 원칙과 기본개념은 유치원부터 고등학교까지의 교육과정을 유치원~2학년, 3학년~5학년, 6학년~8학년, 9학년~12학년 등으로 나눈 4개의 학년군별 교과과정에 수준에 맞게 반영되어 있다(Ocean Literacy Network, 2015; 그림 7.2).

나) 사회 해양교육

우리나라에서는 학교 해양교육이 부족한 데 비하여 사회의 다양한 해양교육 시설과 해양교육단체 등이 실시하는 사회 해양교육은 비교적 활발히 이루어지고 있다. 해양수산부 산하의 국립해양박물관은 역사와 문화적 시각에서 전시물을 통해 해양을 교육하고 있으며, 국립해양생물자원관은 다양한 해양생물의 전시와 체험교육을 통해 해양과 해양생명에 대한 지식과 정보를 전파한다. 2020년 7월 개관한 국립해양과학관은 해양과학의 교육, 전시, 체험을 통해 국민이 해양에 대해 갖는 이해의 폭을 넓히고 해양산업을 진흥하겠다는 목표 아래 다양한 교육 프로그램을 제공한다. 한국해양재단에서도 ‘수요일에 바다톡톡’ 프로그램을 통해 서울, 대전, 대구, 광주, 부산 등 5개 지역에서 학생은 물론 시민이 참가하는 해양강좌를 열어 시민의 해양소양을 함양하고 있다. 한편, 사회적으로 해양교육과 해양문화를 활성화하기 위한 법적 장치도 마련되어 있다. 2020년 제정된 ‘해양교육 및 해양문화의 활성화에 관한 법률’은 해양수산부 장관으로 하여금 국가 해양교육센터를 설치하고 지역 해양교육센터를 지정하며, 국가나 지방자치단체가 해양교육 시설과 해양교육단체를 지원할 수 있게 하였다. 해양수산부

소관의 해양교육 시설뿐만 아니라 여성가족부 산하의 국립청소년센터, 다수의 지방자치단체가 운영하는 청소년해양수련원 혹은 청소년수련관, 기업체가 경영하는 수족관 등에서도 다양한 해양 체험교육 프로그램이 제공되어 사회 해양교육에 기여하고 있다.

3) 미래 방향을 위한 제언

가) 해양에 대한 인식의 대전환

해양환경보호를 위해 해양교육이 나아가야 할 첫 번째 방향은 인간이 해양에 대해 갖는 인식의 대전환을 가져오는 것이다. 해양이 화수분 같이 무한히 이용할 수 있는 자원의 보고이며 자정능력이 뛰어나 쉽게 오염되지 않는 막대한 공간이라는 막연한 인식을 이제 바꾸어야 한다. 해양의 대부분이 아직 탐사되지 않은 영역으로 남아있는 것은 사실이지만, 육상의 물을 포함하여 전 세계 바닷물을 한데 모은다면 지름이 약 1,385km에 불과한 작은 물 덩어리가 만들어질 뿐이다(USGS, 2019). 지구를 반지름 1m의 커다란 공에 비유한다면 바다는 두께가 1mm도 채 되지 않는 얇은 막에 불과하게 된다. 즉, 해양은 규모가 막대하지도 않고 전체가 쉽게 오염될 수 있는 지구상 매우 한정된 공간인 것이다(김 등, 2019). 지구 전체에 비하여 규모가 작은 바다에 인간 활동으로 만들어진 각종 오염물질이 자정능력의 한계를 넘어 흘러 들어가고 있다. 지구 표면의 약 71%를 차지하고 평균 깊이가 4km인 해양을 지구상 총인구수 약 70억 명으로 나눈다면 각 개인에게 돌아가는 바다 부피는 0.2km³에 불과하다. 이렇게 적은 해양 영역이 우리 각자가 매일 필요로 하는 산소, 물, 해산물, 레저 공간 등과 같은 모든 혜택을 제공해주는 것이다(UN, 2017).

나) 학교 해양 교과과정의 확대 및 사회 해양교육과의 연계

앞서 해양교육의 현실에서 지적하였듯이, 우리나라 학교 해양교육은 매우 미흡한 실정이다. 학교 교과과정이 유네스코가 권장하는 해양소양 7개 원칙과 그에 따른 기본개념을 제대로 담아내지 못하고 있다. 이를 극복하기 위해서는 유네스코의 권고에 따라 학교 해양교육을 체계적으로 실시하고 있는 미국을 벤치마킹하고, 우리나라 해양교육의 교과과정을 대폭 확대 개편해야 한다. 과학교과에서 다루는 해양과학의 영역을 확대하고 거의 모든 학년군의 교과과정에 해양교육을 포함시켜야 한다. 이러한 학교 해양교육 과정을 해양교육 시설이 비교적 잘 갖추어져 있고 다양한 체험교육 프로그램이 제공되고 있는 사회 해양교육과 연계시킨다면 시너지 효과가 클 것이다. 특히, 바다 수영과 스노클링, 서핑, 요팅 등 해양레저 활동과 연계된 체험교육을 학교 교과과정에 포함시켜 운영한다면 해양환경에 대한 인식 증진은 물론 바다의 특성을 이해하는 데 크게 도움이 될 것이다. 우리 역사 속에서 국가의 운명을 가른 해전에 관한 현장체험 교육도 학교 교과과정에 포함시킬 필요가 있다. 바다를 이용하여 나라를 지키고 국력을 확대한 선조들의 활동을 강조함으로써 한국인의 몸속에 흐르는 해양에 대한



도전과 개척정신의 DNA를 일깨울 수 있을 것이다. 신라 시대 동북아를 제패한 해상왕 장보고 대사의 해상무역, 나당전쟁을 승리로 이끈 기벌포 전투, 임진왜란을 막아낸 이순신 장군의 명량해전, 6.25 한국전쟁에서 반격의 전환점을 만들어 낸 인천상륙작전 등은 바다의 특성을 심분 활용하여 국가를 지켜내고 국력을 신장한 역사적 사건으로서 해양교육의 효과를 배가시킬 것이다.

다) 해양 시민과학의 육성 및 차세대 해양전문가 양성

과학자뿐만 아니라 비전문가인 시민이 함께 자발적으로 참여하는 과학 활동인 시민과학은 많은 사람이 협력하여 집단지성을 통해 과학적 성과를 이루고 사회문제를 해결해 낸다. 2000년대 중반 이후 인터넷과 스마트폰의 발달로 시민과학이 다양한 분야에서 활발히 이루어지고 있다. 미국은 2016년 ‘크라우드소싱 및 시민과학법’을 제정하고 연방정부와 비정부기구가 일반 시민의 과학 활동 참여를 적극 지원하고 있다. 유럽연합과 호주에서도 시민과학협회가 만들어져 정부의 지원을 받으며 활동한다. 해양환경보호를 위한 과학 활동은 시민과학의 주된 연구주제의 하나로서 해양포유류 연구, 해안가 및 암반연안 생태계 모니터링, 산호초와 맹그로브 생태계 연구 등이 수행되고 있다. 우리나라에서는 대표적인 시민과학 네트워크로서 ‘네이처링’이 활동 중이다. 여기서 국가 해안 쓰레기 모니터링 프로젝트가 시행되기도 한다. 해양 시민과학은 많은 국민들이 직접 참여를 통해 해양환경보호 문제를 제기하고 함께 과학적인 해결책을 찾아간다는 측면에서 해양소양을 증진하는 효과가 매우 크다. 앞으로 해양교육의 주요 방향으로서 해양 시민과학을 적극 육성할 필요가 있다. 차세대 해양전문가를 양성하는 일도 해양교육이 나아가야 할 주요한 부분이다. 해양에 대한 이해를 넓히고 해양환경을 보호하는 일에 매진할 인력과 리더가 필요하기 때문이다. 지속가능발전을 위한 유엔해양과학10년 계획에서도 차세대 해양전문가 네트워크 구축과 육성을 주요 프로그램의 하나로 선정하고 적극 지원하고 있다. 해양수산부의 위탁을 받아 한국해양과학기술원이 매년 개최하는 젊은 해양과학자 워크숍은 이를 위한 좋은 발판이 될 수 있다. 워크숍 참가자들이 네트워크를 만들어 지속적으로 활동을 이어가고 전문가로 발전할 수 있도록 지원을 확대해야 한다.

다. 해양환경보호를 위한 국제협력

유네스코가 해양소양 7대 원칙에서 첫째로 삼은 ‘지구에는 다양한 속성을 가진 하나의 큰 해양이 있다’가 말해주듯이 세계의 모든 바다는 연결되어 있다. 따라서, 각 국가의 주변 바다는 물론 지구 전체의 해양환경을 보호하기 위해서는 국제협력이 필수적인 요소가 된다. 더욱이 세계 바다 표면적의 64%, 바닷물의 약 95%는 각국의 배타적경제수역을 넘어 공해에 위치하고 있다. 국제사회가 함께 관심을 기울여 보호하지 않으면 공해수역은 곧 자원이 고갈되고 환경이 파괴되기 쉽다. 이른바 공유지의 비극을 맞게 되는 것이다(Hardin, 1968). 다행히도 유엔은 1982년 유엔해양법협약(United

Nations Convention on the Law of the Sea)을 제정하고 유엔해양연합회(UN-Oceans)에 속하는 다양한 유엔 기구를 통해 국제사회가 해양과 해양자원의 공정하고 지속가능한 이용과 보전을 위해 함께 노력할 것을 강조하고 있다(표 7.1). 최근 전 세계 해양 곳곳에서 심각한 문제로 대두되고 있는 플라스틱 쓰레기는 국제협력의 필요성을 더욱 절실히 보여준다. 부유성이 강한 플라스틱 쓰레기는 해류를 타고 각국의 배타적경제수역을 넘어 공해상 한가운데에 쓰레기 섬을 만들었다(Lebreton et al., 2018). 국제한림원연합회(IAP)가 긴급히 ‘해양환경보호 성명서’를 발표하고 전 세계 정부와 시민, 과학자들로 하여금 해양환경보호를 위해 함께 행동할 것을 권고하고 나선 이유이기도 하다(IAP, 2021).

1) 해양환경보호 관련 유엔 산하의 국제기구와 주요 활동

세계 해양환경이 심각하게 파괴되고 건강성이 악화되어 간다는 제1차 세계해양평가 보고서에 충격을 받은 국제사회는 유엔 지속가능발전목표(2016~2030)에 해양환경보호를 14번째 항목에 포함시켰다. 유엔은 2017년 6월 유엔본부에서 유엔해양컨퍼런스를 개최하여 SDG-14를 어떻게 실현해야 할지를 집중적으로 논의하고, 각 회원국과 국제기구 및 비정부기구로부터 현재까지 1652건의 자발적 이행계획을 약속받았다(<http://oceanconference.un.org/commitments>). 유엔 경제사회국(DESА)은 제출된 이행계획의 실행을 돕기 위해 9개 분야에서 해양행동공동체 (Communities of Ocean Action)를 만들어 운영 중이다. 여기에는 산호초, 맹그로브, 해양과 연안 생태계 관리, 해양오염, 해양산성화, 해양식사와 연구능력의 배양 및 기술 이전, 지속가능 수산업, 지속가능한 해양경제, 유엔해양법협약에 반영된 국제법의 이행 등을 주제로 하는 공동체가 속하여 SDG-14의 각 세부목표를 달성하기 위해 노력한다. 한편, 유엔총회는 SDG-14 달성을 위한 또 다른 추진전략으로 2017년 결의를 통해 유엔해양과학10년 계획(2021~2030)을 채택하고 정부간 해양학위원회(IOC)로 하여금 이행방안을 마련토록 하였다. 이 10년 계획은 국제협력 프로그램과 프로젝트를 통해 지속가능발전에 필요한 해양지식을 식별하고, 해양에 대한 이해를 넓히고 종합적인 지식을 생산하며, 그 활용을 증대할 것을 3대 목표로 하였다. 이와 병행하여 IOC는 2017년과 2020년에 글로벌해양과학보고서 1편과 2편을 펴내어 유엔해양과학10년 계획이 실행되기 이전의 각 회원국의 해양과학 현황을 평가하고, 앞으로 이 계획이 실행됨에 따라 그 현황이 어떻게 개선되는지를 주기적으로 점검할 예정이기도 하다(IOC-UNESCO, 2017; 2020). 2015년과 2021년 두 차례에 걸쳐 세계해양평가를 실시한 유엔 해사해양법국(DOALOS) 또한 2030 아젠다의 목표시점까지 매 5년마다 해양환경이 변화되는 과정을 지속적으로 평가할 계획이다(UN, 2017; 2021). 유엔해양법협약에 따라 해저광물자원의 공정하고 지속가능한 이용을 목적으로 설립된 국제해저기구(ISA)는 최근 해저광물자원 개발 규칙을 개정하여 공해상의 광물자원 개발이 해양환경에 미치는 영향을 평가할



것을 의무화하였다(ISA, 2020). 유엔은 이제 공해상 광물자원은 물론 생물자원을 보전하기 위한 규범도 조만간 마련할 예정이다. 유엔총회는 2017년 국가관할권 이원영역의 해양생물다양성(Biodiversity Beyond National Jurisdiction, BBNJ)에 대한 보존과 지속가능한 이용을 위해 법적 구속력이 있는 국제협약을 맺기로 결의하고, 매년 정부 간 회의를 개최하여 논의를 진척시키고 있다(UNGA, 2017). 이 협약에는 공해상에 해양생물 보호구역을 설정하는 내용도 포함시킬 예정이다. 국제해사기구(IMO)는 선박에서 배출되는 쓰레기, 기름, 유해물질 등으로 인해 해양이 오염되는 것을 방지하기 위해 1973년 해양오염방지협약(MARPOL 73/78)을 체결하였으며, 폐기물 및 기타 물질의 해양투기와 해상소각을 규제하는 런던협약·의정서(72/96)를 채택하고 회원국들의 이행상황을 점검해 오고 있다. IMO는 또한 2004년에 선박평형수관리협약을 맺고 국가 간에 이동하는 대형 선박의 평형수를 매개로 외래 침입종이 들어와 해양생태계를 파괴하는 것을 막고 있다. 지난해부터는 마포 부속서 6, '선박으로부터의 대기오염 방지 규칙'에 들어있는 황산화물과 이산화탄소의 배출 허용량을 대폭 줄이고 해양과 대기오염에 대한 규제를 한층 강화하였다. 그 밖에도 환경에 관한 유엔의 활동을 조정하는 유엔환경계획(UNEP)은 해양과 바다(Oceans & Seas)라는 프로그램을 운영하며 육지로부터 해양으로 들어오는 오염물질 방지, 해양 쓰레기 문제 해결, 산호초 보호, 해양보호구역의 효과적 관리 등에 힘쓴다. 세계 170여 국가에서 빈곤 퇴치와 불평등 해소를 위해 활동을 펴고 있는 유엔개발계획(UNDP)도 광역해양생태계(Large Marine Ecosystems)가 제공하는 수산물과 혜택을 지속적으로 유지하기 위해 해양환경보호활동에 나서고 있으며, 생물다양성협약(CBD) 또한 지속가능한 해양계획(Sustainable Ocean Initiative)을 통해 해양생물다양성을 보전하고 지속가능한 이용을 돕기 위해 능력배양을 중심으로 한 국제협력 활동을 벌이고 있다.

표 7.1 유엔해양연합회(UN-OCEANS) 참여 26개 유엔기구와 주요 활동

유엔해양연합회 참여 기구	주요 활동
정부간해양학위원회 (Intergovernmental Oceanographic Commission, IOC)	유엔해양과학10년 사업 주관; 해양에 대한 과학적 조사와 연구, 기술 이전과 역량강화
국제해사기구 (International Maritime Organization, IMO)	해운의 안전과 안보 확보 및 선박에 의한 해양과 대기의 오염 방지
세계기상기구 (World Meteorological Organization, WMO)	지구 대기와 육지, 바다의 상호작용 및 기상과 기후변화 연구, 예측, 서비스
유엔기후변화기구 (United Nations Framework Conventions on Climate Change, UNFCCC)	지구 기후변화 분석과 대응
유엔식량농업기구 (Food and Agricultural Organization, FAO)	기아 해소와 식량 안보

유엔해양연합회 참여 기구	주요 활동
유엔환경계획 (UN Environmental Programme, UNEP)	지구환경보존
유엔개발계획 (UN Developmental Programme, UNDP)	가난 극복과 불평등 해소
세계해저기구 (International Seabed Authority, ISA)	공해상 해저광물자원의 지속가능한 개발
유엔해사해양법국 (Division for Ocean Affairs and the Law of the Sea, DOALOS)	세계해양환경평가 주관: 유엔해양법 실행에 필요한 자문과 지원 및 연구
유엔경제사회국 (Department of Economy and Social Affairs, DESA)	경제사회환경에 대한 글로벌 의제 설정과 이행, 지속가능발전목표 추진
유엔대학(UN University, UNU)	국제사회 문제 해결을 위한 싱크탱크, 석·박사과정 교육, 개발도상국 역량강화
세계은행(World Bank)	개발도상국의 가난해소와 지속가능발전을 위해 필요한 국제금융 제공
생물다양성협약 (Convention of Biological Diversity, CBD)	생물다양성 파악 및 보전, 지속가능한 이용, 활용 이익의 공정한 배분
야생동물이동성종보존협약 (Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals, CMS)	국가 간에 이동하는 야생 동물과 그 서식지를 보존
국제원자력기구 (International Atomic Energy Association, IAEA)	원자력기술의 안전하고 평화로운 이용 증진, 핵무기 확산 방지
유엔대테러위원회집행국 (Counter-Terrorism Committee Executive Directorate, CTED)	국내외 테러 대응을 위한 유엔결의문 1373 이행을 감시
유엔아시아태평양경제사회위원회 (Economic Social Commission for Asia Pacific, ESCAP)	아시아태평양지역의 지속가능발전을 위한 싱크 탱크, 협력 플랫폼
국제노동기구 (International Labor Organization, ILO)	노동표준 확립, 품위 있는 노동 증진
유엔최빈국내륙국소도서국고위대표실 (Office of High Representative for the Least developed countries, Landlocked developing countries and Small Island developing states, OHRLLS)	최빈국, 내륙국, 소도서국의 지속가능한 발전과 경제사회문제 해결 활동을 조정
유엔무역개발회의 (UN Conference on Trade and Development, UNCTAD)	국제 무역체제에서 개발도상국의 이익 확보, 투자, 기술 지원
유엔교육과학문화기구 (UN Educational, Scientific and Cultural Organization, UNESCO)	세계 각국의 교육, 과학, 문화를 증진; IOC를 산하에 둠



유엔해양연합회 참여 기구	주요 활동
유엔난민기구 (UN High Commissioner for Refugees, UNHCR)	난민 보호와 난민 문제 해결을 위한 국제적인 조치를 주도하고 조정
유엔산업개발기구 (UN Industrial Development Organization, UNIDO)	지식, 기술, 정보를 활용하여 생산직 일자리를 늘리고, 경제 경쟁력을 증진
유엔훈련조사연구소 (UN Institute for Training and Research, UNITAR)	글로벌 정책결과와 더 나은 미래를 위한 활동 지원, 혁신 교육프로그램 제공
유엔세계관광기구 (UN World Tourism Organization, UNWTO)	책임있고, 지속가능하며, 누구에게나 개방된 관광산업 촉진
유엔비무장국 (Office for Disarmament Affairs, ODA)	대량살상무기의 비무장과 비확산 및 재래식 무기의 관리

2) 비정부기구 및 기업체의 해양환경보호활동

2017년 6월 개최된 유엔해양컨퍼런스 이후에 SDG-14를 실현하기 위해 제안된 1,652건의 자발적 이행계획 중 각국의 정부는 물론 비정부기구(NGO), 시민단체, 민간 부문, 공익 재단 등도 각 383건, 100건, 126건, 23건의 해양환경보호활동을 약속하였다. 세계의 자원과 자연 보호를 위해 설립된 최대 규모의 환경보호 단체인 세계자연보전연맹(IUCN)은 해양과 극지라는 주제 하에 해양보호구역의 확대, 산호초 보호, 멸종위기 해양생물종의 복원, 해양으로의 플라스틱 유입 차단 활동을 활발히 전개한다. 세계야생동물기금(World Wildlife Fund)은 해양 플라스틱 오염을 방지하기 위해 자연에서 플라스틱 금지, 폐어구 중지 등의 활동을 펴고, 적도 연안 생태계 보호 프로그램을 운영한다. 해양환경보호를 위한 대중교육과 해양정책 전환에 집중하는 해양보전협회(Ocean Conservancy) 또한 30년 이상 연안청소 프로그램을 시행해 오고 있으며, 그 외에도 그린피스, 서프라이더 재단, 오션아, 씨세퍼드보전협회 등 다양한 시민단체가 국제 네트워크를 통해 해양환경보호를 위해 협력한다. 우리나라를 기반으로 국제적인 해양환경보호활동을 펴는 시민단체로서는 (사)동아시아바다공동체 오션이 해양 쓰레기 문제 해결에 집중해 왔으며 (사)생태지평은 갯벌의 보전에 힘을 기울여 왔다. 최근 산업계에서도 환경-사회-지배구조(Environment-Social-Governance, ESG)적 요소가 기업의 가치를 좌우하고 지속가능 성장을 촉진하는 경쟁력으로 평가되는 ESG 경영이 강조되면서 해양환경보호에 관심을 기울이는 기업체들이 늘고 있다. 우리나라는 기업의 ESG 수준을 평가하는 기준을 마련하기 시작하였으며 2025년부터는 대기업이 ESG 경영정보를 공시하도록 의무화할 예정이다(윤석민, 2021). 유엔은 책임투자원칙(UN Principles for Responsible Investment, UNPRI) 기구를 만들고 여기에 참여하는 투자사들로 하여금 기업의 ESG 경영 수준에 따라 투자 여부를 결정하도록 권장하고 있다. UNPRI에 참여하는 세계 주요 투자사들의 ESG 운용자산 규모가

2006년 약 6조 달러에서 2020년에는 약 104조 달러로 증가하면서 그 영향력이 막강해지고 있다. 또한, 유엔 산하 전문기구로서 지속가능발전에 공조하는 기업체들의 연합체인 유엔글로벌콤팩트(UN Global Compact)는 최근 해양관리연합회(Ocean Stewardship Coalition)를 출범시키고 해양환경보호에 기업체들이 앞장서고 사회적 책임을 다할 것을 강조하고 있다. 수산 분야에서는 국제적인 비정부기구로 해양관리협의회(Marine Stewardship Council, MSC)가 조직되어 남획, 불법어획, 혼획 및 해양환경 파괴를 최소화하는 지속가능 어업에 대한 기준을 마련하고 이를 실행하는 수산기업체에게 인증서를 발급해 준다. MSC의 푸른 생태라벨(Blue Ecolabel) 인증을 받은 수산물에 대하여 소비자의 선호도가 증가하고 국가 간의 수산물 유통에 MSC 인증 여부가 제한조건으로 더해지면서 지속가능 어업에 참여하는 수산기업체가 증가하는 추세이다.

3) 한국의 해양환경보호 관련 국제협력 현황

바다가 삼면에 있어 다양하고 싱싱한 수산물을 언제나 쉽게 얻을 수 있는 우리나라는 1인당 연간 수산물 소비량이 58.4kg으로 2위 노르웨이(53.3kg), 3위 일본(50.2kg)을 제치고 세계 1위(FAO, 2016; 2013~2015년 기준)를 기록할 만큼 바다에 대한 식량 의존도가 높다. 당연히 해양환경보전에 대한 관심 역시 높을 수밖에 없다. 2012년 한국은 국제사회에 해양환경보호의 중요성을 일깨우고자 '살아있는 바다, 숨쉬는 연안'을 주제로 한 여수세계박람회를 개최하고 IMO, FAO, CBD, OECD 등의 국제기구 및 주요 이해당사자들과 함께 여수선언을 발표하였다. 5개항의 서문과 10개항의 본문으로 된 여수선언은 해양과 연안 환경이 심각하게 훼손되고 있음을 지적하고 그 보호를 위한 활동에 국제사회가 함께 나서줄 것을 호소하였다. 또한, 인류의 미래를 위해 해양자원에 대한 지속가능한 이용을 강조하고 개발도상국 지원과 능력배양과 같은 국제협력 활동을 강화할 것을 촉구하였다.

우리나라는 해양환경보호에 관한 국제 규범을 국내적으로 이행하기 위한 법적, 제도적 틀도 착실히 갖추어 왔다. 2006년 해양생태계를 인위적인 훼손으로부터 보호하고 해양생물다양성을 보전하며 해양생물자원의 지속가능한 이용을 촉진하기 위해 '해양생태계의 보전 및 관리에 관한 법률'을 제정하였다. 2008년에는 국제해사기구 주관의 해양오염방지협약(MARPOL 73/78)과 런던협약·의정서에 부합하는 국내법으로서 선박, 해양시설, 해양공간 등 해양오염물질의 발생원을 관리하고 기름 및 유해액체물질 등 해양오염물질의 배출 규제를 주 내용으로 하는 '해양환경관리법'이 만들어졌다. 최근 들어 2018년에는 해양공간의 지속가능한 이용과 보전에 관한 계획을 수립하고 집행하기 위해 '해양공간계획 및 관리에 관한 법률'이 제정되었으며, 갯벌의 보전과 관리, 복원에 관한 사항을 정한 '갯벌 및 그 주변 지역의 지속가능한 관리와 복원에 관한 법률'이 2019년에 제도화되었다.



한국은 국제사회의 해양환경보호활동에도 적극 참여해 왔다. 유엔해사해양법국이 주관하는 세계해양평가(UN, 2017; 2021)의 추진과정에서 우리나라 주변 해역의 해양환경 상태를 주기적으로 평가하여 보고함은 물론 유엔 보고서 작성과정에도 전문가를 파견하여 참여토록 하였다. 유엔총회의 위임을 받아 정부간해양학위원회(IOC)가 주관하는 지속가능발전을 위한 유엔해양과학10년 계획에 있어서도 공식 제안국의 일원이 되었으며 시행계획 수립 과정에 인력을 파견하고 재정적으로 지원하였다. 또한, 이 계획과 연계하여 IOC가 정기적으로 발간하는 글로벌해양과학보고서의 편찬(IOC-UNESCO, 2017; 2020) 사업에도 적극 참여해 왔다. 한편, 한국은 개발도상국이 세계 해양환경보호활동에 동참할 수 있도록 그 능력 배양을 돕고 관련 기술을 이전하고 있다. 한국해양과학기술원은 2016년 열린 런던협약·의정서 당사국 총회에서 ‘런던의정서 경영공학’ 대학원 설립을 승인받고 석사과정을 운영 중이다. 전액 무료로 제공되는 이 교육과정에는 개발도상국에서 해양환경 관리를 담당하는 공무원들이 참가하여 런던협약·의정서 준수 방법과 해양환경 관리 및 해양오염 방지를 위한 지식과 기술, 연안 구조물과 항만시설의 관리에 필요한 지식을 배운다. 수산양식 분야에서는 부경대학교가 2017년부터 시범사업으로 시작한 세계수산대학을 통해 개발도상국의 수산양식 분야 공무원을 대상으로 관련 지식과 기술을 전수하고 있다. 2019년에는 세계식량농업기구(FAO)로부터 정식 시범사업으로 인정받아 현재 제2기 석사과정 교육을 완료하였다.

해양수산부는 공적개발원조(ODA) 사업을 통해 개발도상국이 해양환경을 보호하면서 지속가능발전을 이룰 수 있도록 돕는다. 2021년 현재 약 120억 원의 예산을 들여 수산 인프라 개선 및 수산자원 조성관리, 양식산업 육성, 해양조사와 해양예보 역량 강화, 해양생태계 보전과 해양 쓰레기 관리 사업 등을 지원하고 있다. 우리나라가 시행하는 해양수산 분야의 국제협력은 2002년 제정된 ‘해양수산발전기본법’ 제21조 국제협력의 추진과 2019년에 신설된 제21조의2 국제개발협력의 추진 등에 근거하여 추동력을 얻고 있다. 2021년부터 향후 10년 동안 적용될 제3차 해양수산발전기본계획(2021~2030)에도 국제협력이 주요 내용으로 반영되어 있다. ‘세대와 세계를 아우르는 상생의 바다’가 3대 목표의 하나로 포함되었고 추진전략에는 ‘국제협력을 선도하는 해양강국’이 들어갔으며 그 정책목표의 첫 번째로서 ‘K-해양수산으로 국제사회 상생 견인’이 명시되었다. 이와 같은 해양수산 분야의 활발한 국제협력 활동과 국가 정책의 틀 속에서 한국과학기술한림원(KAST)은 국제한림원연합회(IAP)에 2021년에 공표할 성명서의 주제로서 ‘해양환경보호’를 제안하였고, 승인과정을 거쳐 성명서에 포함될 내용을 주도적으로 작성하여 국제사회에 제시하였다.

4) 미래 방향을 위한 제언

가) 민간 부문의 국제 해양환경보호활동 강화

한국은 국제 규범이나 정부의 제도적 틀 안에서 이루어지는 국제 해양환경보호활동에는 적극적으로

참여하고 있으나, 비정부기구나 시민단체가 주도하는 국제협력 활동에는 비교적 참여가 미흡하다. 유엔 경제사회국(DESA)이 SDG-14 목표 달성을 위해 유엔해양컨퍼런스 개최 이후 약속받은 1,652건의 자발적 이행계획 내에 한국의 비정부기구나 시민단체, 민간 부문, 공익 재단 등이 제안한 사항은 거의 전무한 실정이다. 자연히 해양행동공동체에서의 활동도 미약하다. 앞에서 살펴보았듯이 우리에게 비해 선진국들은 비정부기구나 시민단체, 기업과 같은 민간 부문의 해양환경보호활동이 활발하다. 인터넷과 정보통신 기술의 발달은 세계 시민이 쉽게 연결되고 함께 활동할 수 있는 여건을 제공한다. 이제 한국 정부와 공익 재단은 비정부기구나 시민단체가 국제적인 해양환경보호활동에 적극 참여하고 주도적으로 프로그램을 시행할 수 있도록 지원을 대폭 확대해야 한다. 특히, 최근 지구 전체에 심각한 문제로 떠오르고 있는 해양 플라스틱 쓰레기 문제를 해결하기 위해서는 국내외의 다양한 시민단체가 국제적 연대를 맺으며 함께 노력해야 한다. 이에 대한 지원 확대가 절실히 요구된다.

나) 개발도상국과의 해양수산 협력 확대 및 기술 이전 활성화

한국은 선진국이 개발도상국에 지원하는 공적개발원조의 수원국에서 공여국으로 전환된 유일한 국가로서 개발도상국에게 부러움과 배움의 대상이 되고 있다. 정부간해양학위원회가 작성하고 유네스코가 펴낸 글로벌해양과학보고서(IOC-UNESCO, 2017; 2020)에 따르면 선진국과 개발도상국의 해양과학기술 격차가 큰 것으로 나타났다. 유엔이 2030년까지 국제사회 전체가 추진할 목표로 제시한 소위 누구도 뒤처지지 않는 지속가능발전을 이룩하기 위해서는, 특히 해양환경보전이라는 SDG-14 목표를 달성하기 위해서는 개발도상국의 해양수산 분야 능력개발과 기술력 증진이 필수적이다. 이제 선진국의 반열에 올라선 우리나라가 해양수산 분야에서 공적개발원조의 규모를 늘려 개발도상국과의 협력을 확대해야 할 때이다. 2021년 현재 한국의 공적개발원조 규모는 연간 약 3조 7,000억 원에 달하며 매년 약 11.7%씩 증가해 왔다. 그런데, 해양수산 분야의 공적개발원조 규모는 전체의 0.35%에도 미치지 못하는 연간 약 120억 원에 불과하다. 한국의 경제규모에서 해양수산 분야의 GDP 기여율이 2020년 기준 2.21%에 이르는 점을 감안하면(한국해양수산개발원, 2021) 해양수산 공적개발원조의 규모와 비율을 대폭 상향시켜야 한다.

우선 개발도상국에서 해양환경보전 정책을 담당하는 공무원과 이를 실행하는 연구자 등 이해당사자의 능력을 배양하고 관련 기술을 이전해 주는 교육과정 에 대한 지원을 확대해야 한다. 부경대학교가 운영하는 세계수산대학은 이제 시범사업 단계를 넘어 FAO가 공인하는 정식 대학원 교육과정으로 발전시킬 필요가 있다. 한국해양과학기술원이 운영하는 런던의정서 경영공학 석사 교육과정도 지원 대상을 늘려 개발도상국의 해양환경 관리 담당 공무원은 물론 연구자 및 시민단체와 기업체의 이해당사자들에게도 문호를 개방하면 좋을 것이다. 한편, 한국에서 학위를 받고 본국으로 돌아가 자리를 잡고 있는 개발도상국 유학생들을 활용하는 국제협력도 매우 효과적인 방법이 될 수 있다.



개발도상국 유학생들은 대부분 자국에서 그 능력을 인정받은 우수한 인재들이며 자국의 해양환경 상태를 잘 아는 현지 전문가이기도 하다. 이들이 귀국한 후에 자국의 해양환경보호를 위해 적극적인 활동을 전개할 수 있도록 지원해 준다면, 본인의 전문성을 계속 살려 나가 자국 최고의 전문가로 성장하는 기회가 될 것이며 해양환경보전의 결과를 내는데도 효과가 클 것이다.

다) 국제협력 연구개발(R&D) 사업 지원 확대

한국은 2020년 경제규모가 세계 10위로 올라서면서 유엔무역개발회의(UNCTAD)는 올해 제68차 무역개발이사회 의결을 거쳐 우리나라의 지위를 개발도상국에서 선진국으로 공식 변경하였다. UNCTAD은 개발도상국의 산업화와 국제 무역 참여 증진을 지원하기 위해 설립된 국제기구로서, 우리나라에게 선진국으로서 국제사회 기여를 확대할 것을 요청한 것이라 볼 수 있다. 한국은 이제 국제사회를 주도적으로 이끌어 가야 할 책임과 권한이 주어졌다. 우리나라의 2021년 정부의 연구개발(R&D) 예산은 약 27조 4,000억 원으로 국가 전체 예산 558조 원 대비 4.9%에 달한다(한웅용·김주일, 2021). 선진국 내에서 GDP 대비 최고 수준인 것이다. 그런데, 정부 연구개발 예산 중 국제협력 연구개발(R&D) 사업을 지원하는 예산은 아직 미미한 수준이다. 지구촌의 해양환경 문제를 해결함에 있어서도 한국이 선진국으로서 국제사회를 견인하는 기술혁신을 이루려면 세계의 우수한 인재들을 활용하는 국제협력 연구개발 사업을 적극 권장하고 지원해야 한다. 이를 위해 정부 연구개발 예산의 일정 부분을 국제협력 사업 지원에 별도로 할당할 필요가 있다.

정부간해양학위원회(IOC)는 2021년 지속가능발전을 위한 유엔해양과학10년 계획(2021~2030)을 시작하면서 하구 삼각주, 연안 생태계, 산호초, 대양 중층대, 심해, 해양-대기 상호작용, 해양 디지털 트윈, 해양 예보, 해양소양 증진, 해저지형도 제작 등에 대한 국제공동연구 프로그램 28건을 공식 승인하였다(표 7.2). 우리나라 연구기관이나 과학자가 주관하는 프로그램은 없지만, 몇몇 한국인 과학자가 제안한 사업이 기 승인된 프로그램과 연계된 프로젝트로 승인되거나 심사 중에 있다. 올해부터 시작되어 향후 10년 동안 세계 해양과학 전반을 다루게 될 유엔해양과학10년 계획에 한국의 과학자들이 새로운 프로그램이나 프로젝트의 책임자로서, 승인된 프로그램의 운영위원회 위원으로서, 혹은 참여자로서 활동할 수 있도록 적극 지원해야 한다.

세계자연보전연맹(IUCN)은 2030년까지 전 세계 바다를 서식지별로 그 면적의 30%를 해양보호구역으로 지정하자는 30%-by-2030 계획을 2016년 세계환경보호총회에서 의결하였다. 즉 공해상일지라도 앞으로 그 면적의 30%를 해양보호구역으로 지정하자는 것이다. 이러한 결정은 2017년 유엔총회가 국가관할권 이원영역의 해양생물다양성(BBNJ)을 보전하기 위해 국제협약 체결을 추진하기로 한 결정과 맞닿아 있다(UNGA, 2017). 국제협력을 선도하는 해양강국으로의 도약을 국가 전략으로 삼은 제3차 해양수산발전기본계획(2021~2030)에 따라 한국은 이제 연근해 해역을 넘어 대양으로 나아가

표층, 중층, 심해에 서식하는 다양한 해양생물에 대해 국제사회와 함께 본격적인 연구개발 사업을 시작할 때이다. 이를 위해 대양연구 인프라의 확충은 물론 해양과학 전문인력과 해양법 전문가의 양성이 병행하여 이루어져야 한다.

표 7.2 지속가능발전을 위한 유엔해양과학10년 계획(2021~2030)에서 승인된 프로그램(2021 기준)

프로그램명	주요 내용
Blue Climate 이니셔티브: 사람, 해양, 지구를 위한 해답	해양보호 및 기후변화 대응을 위해 과학자·주민·기업 간 과학 기반 협력
Challenger 150: 심해 생물 연구를 위한 10년	심해 생태계 이해를 위한 연구
CoastPredict: 전 지구 연안 관측 및 예측	연안 생태계, 인간 유발 변화가 연안지역에 미치는 영향 연구
해양 유산 체제 프로그램	바닷속 해양 유산 연구
산호초 보초병: 청색 지구 건강을 위한 도전	산호초 보전을 위한 실시간 관측
심해 관측 연구 전략	심해저 관측, 측량, 탐험, 모델링 등
대형 강의 삼각주: 지속가능의 문제에 대한 해답 찾기	삼각주 유역의 지반 침식, 홍수 위험, 맹그로브 감소 등 연구
해양 디지털 트윈(DITTO)	AI 융합을 통해 전 대양 데이터, 모델링, 시뮬레이션에 대한 디지털 체계 수립
젊은 세대 해양전문가(ECOP)	젊은 해양학자의 네트워크 형성 지원
지속가능한 발전을 위한 UN Ocean Decade 여성 지위 향상	해양과학 분야 양성 균형 확보 등
변화하는 대양과 회복력 있는 생태계를 위한 어업 전략 2030	수산자원 보전과 지속가능한 이용
ForeSea: 미래 해양 예측력	해양 예측 시스템 개선, 해양 정보 체계 구성
해양 해결책을 위한 전 지구 생태계(GEOS)	과학자, 기술자, 혁신가, 투자자 등이 탄소 제거, 연안사회 회복력 강화 촉진
세계 연안 하구 관측 프로그램(GEM)	미세플라스틱, 화학적 잔여물 등 오염물질의 해양 유입 관측·분석
세계 해양 산소 10년	기후변화에 따른 탈산소화 연구 및 적응 전략
대양 중층대 연구(JETZON)	중층대의 생화학적 순환 및 탄소 저장 효과
해양생물 2030: 통합 해양생물다양성 정보관리와 예측 시스템	해양 생물 관측·예측을 위한 기술 연계, 정책 결정자에게 정보 제공
대기-해양 상호작용 관측(OASIS)	대기-해양 간 상호작용과 이산화탄소 분배 연구
지속가능성을 위한 해양산성화 연구	해양생태계에 해양산성화가 미치는 영향 이해



프로그램명	주요 내용
해양 생체분자 관측 네트워크(OBON)	바이러스, 고래 등 해양생물 DNA 정보 분석
해양도시 네트워크(Ocean-Cities network)	연안도시와 해양 간의 상호작용과 육지-해양생태계, 도시의 복원력 연구
해양 수중음향 환경 연구(UN-MAE)	수중음향 분석을 통해 물리·생물학적 이해도 제고
바다의 목소리	해양문화, 복지, 행동이 지속가능성에 영향을 주는 요인 등을 분석하고 변화적 행동 촉진
심해 관측 One Ocean 네트워크	수중 관측 장비 개발을 통해 심해 연구 진흥
태평양 해결책: 태평양 지역 통합 해양과학 프로그램	태평양 지역의 문화를 고려한 해양연구로 정책에 반영
전 지구 지식 네트워크를 통한 해양생태계 지속가능성(SMARTNET)	ICES와 PICES 간 협력하여 해양생태계 관리, 기후변화 등 연구
Sea Bed 2030 프로젝트	2030년까지 전 지구 해양의 정확한 수심도 제작
Hydrous 프로그램: 해양공감 10개년	해양소양에 대한 미디어 제작, 해양교육 확대

* 국제기구가 제안한 프로그램은 제외

2 해양환경보전과 시민단체의 역할

가. 서론

인류의 급속한 증가는 지구 자원의 과도한 개발로 이어지고 있다. 먹거리, 즐길 거리, 에너지, 교통, 문화적 혜택까지 제공하는 다양한 해양자원의 이용이 심화됨에 따라 이에 수반되는 해양환경의 파괴는 전 세계적인 현상으로 나타나고 있다. 전례 없는 규모의 해양환경 악화는 그 종류와 원인이 다양하며, 특정 지역이나 업종에 국한되지 않고 인간 활동의 모든 분야에 걸쳐 발생한다. 해양환경의 훼손을 방지하기 위한 조치는 정부 주도로 수행되기도 하지만, 건전한 시민의식에 근거한 시민활동의 역할을 간과할 수 없다. 본 단원에서는 시민운동을 주도하는 비정부기구(Non-Government Organization, NGO)의 일반적 역할과 해양보전을 위한 NGO의 활동방식과 범위를 소개하고, 시민활동 중에서 가장 많은 활동이 이루어지고 있는 어업과 관련된 시민운동의 국내외 현황을 논의하고, 우리나라에 필요한 해양환경보전 정책을 제언한다.

1) 비정부기구란

비정부기구(Non-Government Organization, NGO)에 대해 명확하게 정리된 정의는 없으나 일반적으로 비영리 목적으로 정부의 영향 없이 독립적으로 운영되는 기구를 말한다(<https://>

learning.candid.org/ resources/knowledge-base/ngo-definition-and-role/). 1945년 UN 헌장 제 71조에서 처음 소개되었으며 흔히 국제기구 개념으로 쓰이지만 지역, 국가, 국제적 수준에서 공공의 이익을 위한 비영리 목적의 자발적인 시민들의 모임을 통칭하기도 한다(Leverly, 2015). 우리나라 국립국어원 표준국어대사전은 '정부 간의 협정이 아닌, 민간단체가 중심이 되어 만들어진 비정부(非政府) 국제 조직'으로 정의되어 있다. 이들은 환경, 사회, 인권, 소비자 보호, 건강 같은 공익을 주제로 사회적 또는 정치적 변화를 추구하고 대중의 참여를 이끌어낸다. 18세기 후반부터 1914년까지 무려 1,000개 이상의 NGO들이 노예와 여성의 인권 개선을 위해 노력했다. 20세기에 들어 그 역할이 더욱 두드러지며 인도주의와 지속가능한 개발로 초점이 맞춰졌다.

해양환경보전 분야에서는 1992년 유엔환경개발회의(United Nations Conference on Environment and Development)를 기점으로 국제 환경 거버넌스에 NGO가 본격적으로 참여하기 시작하였다(<https://www.un.org/en/conferences/environment/rio1992>). 유엔환경개발회의(Conference on Environment and Development, UNCED)는 해양생물자원의 보전과 지속가능한 이용에 대한 유엔회원국들의 책임과 의무뿐 아니라 이를 위한 국제적 또는 다자간 협력을 기본 원칙으로 채택하며 NGO의 참여를 선언하였다(Rio Declaration on Environment and Development).

2) 비정부기구의 역할

NGO가 해양환경보전 활동을 위하여 수행하는 역할에 따라 지지자(Advocate), 감시자(Watchdog), 전문가(Expert), 관리자(Manager), 조력자(Enabler) 등 다섯 개로 나뉘었다(Crosman, 2013). 대부분의 NGO들은 이 중 1개 이상, 많게는 5개까지 활동을 수행한다. 과거 NGO들의 역할은 보통 지지자 또는 감시자 등에 국한되어 있었지만, 90년대 말 이후부터 전문가, 관리자, 조력자 역할로 그 활동 영역을 점차 확대하고 있는 추세이다. 각각의 역할과 활동내용은 다음과 같다.

가) 지지자: 해양환경 이슈에 대한 관심을 고취시키고 지지자들을 결집하는 역할을 한다. 이들은 정부 또는 산업계를 대상으로 로비활동을 하고 협회에 참여하기도 한다. 또한 법적 소송이나 분쟁을 통해 뜻을 관철시키기도 하며 언론을 상대로 홍보활동을 하기도 한다. 길거리 시위, 캠페인, 퍼포먼스 등 직접적인 교육활동이나 대중 인식증진 활동을 한다. 한국에서는 가장 일반적인 역할 중 하나이지만 로비활동과 협의의 참여가 비교적 낮고, 교육과 대중인식 증진 활동이 활발하다.

나) 전문가: 해양환경보전 및 관리에 대한 과학적인 자문을 제공하는 역할을 한다. 이들은 자체적, 정부 또는 국제 프로그램 등과 협력하여 과학연구를 실시하고 결과를 공유하며 전파시킨다. 과학적인 보전 도구(Tool)를 개발하는 데 큰 역할을 한다.



다) 관리자: 다양한 방법으로 현장에서 해양보전 활동을 수행한다. 주요 보전지역의 소유권을 획득하여 인간 활동의 영향을 최소화시키기도 하고 보호지역을 직접 관리하기도 한다. 이들의 특징은 서식지 복원 사업 등 보전 활동을 직접 수행한다는 점이다.

라) 감시자: 주로 해양보전관련 협약 등의 이행 여부를 모니터링하고, 불이행 사실이 있다면 널리 전파하고, 불법행위가 발생하는 현장에서 시위 등 직접적인 저지 활동을 하거나 법적을 소송을 주도하기도 한다. 우리나라에서 시민단체의 활동으로 가장 널리 기대되고 있는 역할이다.

마) 조력자: 한국에서는 다소 생소한 개념으로 이해관계자들이 해양보전을 할 수 있도록 직접적으로 도와주거나 자문하는 역할을 한다. 이들은 이해관계자 개인 또는 단체의 역량을 강화시키거나 직접적인 재정 지원을 통해 보전 활동에 참여할 수 있는 기회를 창출해낸다. 또한 보전에 필요한 도구(tool)를 제공하거나 이해관계자 사이에서 코디네이터 역할을 하기도 하고, 특히 지역 또는 국가 간 네트워크 구성과 교류를 활성화한다.

나. 해양수산자원 보전을 위한 NGO의 국제활동 동향

어업, 오염, 채굴, 항만, 연안개발, 관광 등 인간 활동에 의한 해양환경 훼손을 멈추고 기후변화에 대비하기 위해서 다양한 시민사회의 역할이 확대되고 있다. 이들은 국가 간 기구, 국가, 지역, 업계, 시민을 대상으로 폭넓은 활동을 수행 중이며 특히 지구 표면의 절반을 차지하지만 보호가 어려운 공해상의 수산자원 보전을 위해 노력하고 있다. 최근에는 국가나 지역, 활동 분야, 전략, 대상 청중 등이 각기 다른 NGO들이 스스로 가지고 있는 한계점(예산, 전문성, 영향력 등)을 뛰어넘고, 시너지를 높이기 위해 연합체를 구성하기도 한다. 이러한 연합체에 참여하는 NGO들은 각자의 고유한 활동 영역은 유지하되, 공통 관심주제별로 다수 연합체에 참여하여, 각자의 역량을 집중하여 공동의 목표를 효과적으로 달성하고 있다. 남극해양생물자원보전위원회(Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living Resources, CCAMLR)의 NGO 연합체인 ASOC(Antarctic and Southern Ocean Coalition)가 대표적이다.

20세기 이후 산업화 발달과 함께 어업기술의 고도화로 전 세계 바다가 무분별한 남획과 불법어업으로 주요 수산자원은 급감하고 해양환경 오염이 심화되었다. 배타적경제수역(EEZ), 총허용 어획량(TAC), 금어기 등과 같은 각국 정부의 규제와 정책도 제대로 효과를 발휘하지 못했다. 국제적으로는 해양법에 관한 유엔협약(United Nations Convention on the Law of the Sea, UNCLOS)과 UN 식량농업기구의 책임 있는 수산업 규범(Code of Conduct for Responsible Fisheries) 등 국가 간 협약을 신설했지만 근본적인 문제를 해결하지는 못했다. 캐나다 뉴펀들랜드의 대구어장과 같이

어업기술 고도화 이전에 비해 자원량이 급감한 어장들이 생겨나면서 생태계 파괴, 자연자원 보전 및 환경문제는 해당 지역의 경제 및 사회적인 문제로 비화되었다. 이처럼 90년대 말 이후부터 정부와 어업자들 간의 의사결정으로는 전 인류의 공공재인 수산자원과 해양환경을 보호하는 데 한계가 있음이 드러나기 시작했다. 이 무렵 시민사회를 대변하는 비정부기구들이 ‘지속가능한 수산물 운동’을 주도하면서 국제 어업질서의 주요 이해관계자로 급부상하였다.

여기서는 NGO의 해양보전을 위한 활동 방식과 내용을 크게 세 가지로 나누어 정리하였다: (1) 해양활동에 대한 의사결정에 참여하거나 정책을 제언 혹은 촉구(Advocacy)하는 활동, (2) 해양 현장에서 이해관계자들과 함께하는 보전사업 프로젝트, (3) 시장의 유통 과정 및 공급망 관리를 통한 수산자원 보전을 이루는 방식. 특히, 마지막 활동은 소비자의 감시기능에 힘입어 해양생태계를 크게 훼손하는 인간 활동을 제한하고, 시민이 어업관리의 주체가 되는 새로운 방식을 도입하고 있다.

1) 정책 형성에 대한 제언 및 촉구(Advocacy)

NGO는 공해상 어업활동을 규제하는 지역수산관리기구(Regional Fisheries Management Organization, RFMO)의 정책 형성 과정에 적극적으로 참여하고 있다. RFMO는 크게 (1) 고도회유성 어종인 다랑어와 다랑어 어업의 관리를 위해 설립된 다랑어 관련 RFMO와 (2) 특정 지역의 비(非) 다랑어 어종의 어업을 관리하는 RFMO로 분류한다. 대한민국은 전 세계 모든 다랑어 관련 RFMO와 태평양 및 남극지역의 비 다랑어 조업의 관리를 위한 RFMO에 회원국으로 가입되어 있다. RFMO에 참여하는 국제 NGO는 각종 회의에 공식적으로 참여하여 공공 및 시민사회의 이익을 대변하고 정부 간 의사결정을 모니터링하는 옵서버(Observer) 역할을 수행한다. RFMO 회원국의 동의를 받아 옵서버 자격을 획득한 NGO는 전 세계에서 80개 이상으로 집계되고 있다. 그 밖에도 세계무역기구(WTO)의 수산물 보조금 협상에 참여하여 수산물 보조금 폐지에 대한 경제학적 근거 제시, 불법어업에 대한 정부 지원 중단 등을 촉구하고 있다.

가) 다랑어 관련 RFMO

다랑어는 경제학적 가치가 가장 높은 어종이므로 어획량 확보를 위한 부작용도 많다. 지속가능한 다랑어 어업을 위한 RFMO는 중서부태평양수산위원회(WCPFC), 전미열대다랑어(IATTC), 인도양참치위원회(IOTC), 대서양참치보전위원회(ICCAT), 남방참다랑어보존위원회(CCSBT)로 5개이며 옵서버로 활동하는 NGO의 수도 많다. 우리나라에서 활발하게 활동을 펼치고 있는 NGO로는 Greenpeace, 환경운동연합, WWF 등이 있으며, 그 외에도 국제적으로 명성을 떨치고 있는 NGO에는 PEW Charitable Trust, ISSF, The Nature Conservancy, Birdlife International, Blue Marine Foundation, Ocean Outcomes, Oceana, Marine Stewardship



Council, IUCN, Global Ghost Gear Initiative, Human Rights at Sea, Humane Society International, Sea Turtle Restoration Project, Seafood Legacy, Environmental Defense Fund 등이 있다. 다랑어 RFMO의 어드보커시(Advocacy) 활동은 다음과 같다.

- (1) 수산자원의 사전예방적/과학적 관리 촉구: 어획전략(Harvest Strategy) 등 지속가능한 수산자원 관리방법의 채택 및 이행 촉구
- (2) 특정 생물종의 부수어획(혼획) 저감 대책 수립 촉구: 상어, 바다거북, 해양포유류, 바닷새 등
- (3) 특정 어구의 관리 강화 촉구: 어군집어장치(Fish Aggregating Device, FAD), 생분해성 어구 등 어구의 환경적 영향 최소화 대책 마련
- (4) 어업 모니터링 강화 정책 수립 촉구: 전자조업모니터링 제도 의무화, 국제 읍서버 승선 비율 증가, 어획물 환적에 대한 모니터링 강화 등
- (5) 사회적 영향 관리 촉구: 어선원 인권 보장 및 안전 관리 강화, 국제 읍서버 안전 강화, 군서도서국가 지역주민 권리 강화 등
- (6) 불법어업 방지 및 처벌 강화 촉구: 불법어업 의심 선박에 대한 법적 조사, NGO 자체 조사 발표, 불법어업 재발 방지 대책 마련 등
- (7) 정보자료(Information paper) 제출: 어업의 환경적 영향, 선원 인권 침해 등 다양한 주제로 자체 조사를 실시하고 이를 보고서 형태로 제출하여 정책 및 제도 신설에 대한 법률적, 과학적 근거 제시
- (8) 기업 파트너십 활용: 유럽, 북미 등 주요 수산물 수입국의 글로벌 유통체인(월마트, 알디, 코스트코, 테스코 등)과 상기 주제에 대한 입장문(Position statement)을 공동으로 작성/제출하여, 환경/사회적 조치의 경제적/시장적 인센티브 창출
- (9) 정부대표단 참여: 일부 국가에서 지역수산기구 회의에 정부대표단 자격으로 참가

나) 비 다랑어 RFMO

대표적인 비 다랑어 RFMO로는 남극해양생물자원보존위원회(CCAMLR), 남태평양수산관리 기구(SPRFMO), 북태평양수산위원회(NPFC) 등이 있으며, 이들 기구에서 활동하는 주요 NGO에는 Blue Marine Foundation, Cetacean Society International, Global Fishing Watch, DSCC(Deep Sea Conservation Coalition), Conservation International, Friends of the Earth, Humane Society International, The Pew Environment Group, Sierra Club, Whale and Dolphin Conservation, Greenpeace, 환경운동연합, 시민환경연구소, WWF 등이 있다. 이들은 아래와 같은 활동을 한다.

- (1) 남극환경보전 촉구: 남극조약 환경 프로토콜의 완전한 이행 등 국제협약 체결 또는 이행, 남극해 선박안전 강화 강령 제정, 남극 관광개발 제한 등
- (2) 해양보호구역(Marine Protected Area, MPA) 추가 지정 촉구: 로스해 등 남극권 MPA 지정 지지, 추가 MPA 지정(웨들해 등) 촉구, 신규 MPA 지정 예정지역 발굴 등
- (3) 수산자원의 지속가능한 이용 방안 마련 촉구: 콩치, 오징어, 크릴 등 비 다랑어 어종에 대한 사전예방적 수산자원 관리 방안 등
- (4) 고래류, 바닷새 등 특정야생생물 보호 촉구: 부수어획(혼획) 저감 방안 마련, 특정 생물종 보호를 위한 보호구역(Sanctuary) 신설 등
- (5) 기후변화 대응: 기후변화에 의한 남극생태계 영향에 대한 자체 조사 실시 및 보고서 발간, 기후변화 적응전략 수립 촉구 등
- (6) 심해광물채굴 중단 촉구: 코발트, 니켈 등 산업용 광물의 심해채굴에 대한 환경적 영향평가 실시, 심해광물 채굴의 잠정적 중단(Moratorium) 선언 등

2) 현장 프로젝트 및 시범사업

해양환경 혹은 해양자원의 훼손이 발생하는 현장에서 이해당사자들과 함께 하는 프로젝트로서 다음과 같은 프로젝트가 있다.

가) 어업개선 프로젝트(Fishery Improvement Project, FIP)

지속가능한 어업인증(Marine Stewardship Council, MSC) 획득을 목표로 하지만 선사 단독으로 해결하기 어려운 문제가 있거나, 자문이 필요한 경우 장기적으로 실시하는 프로젝트로 생산된 수산물은, 많은 유통업체에서 인증 받은 지속가능한 수산물과 동등하게 인정받는다. 이를 위해 활동하는 NGO로는 WWF, The Nature Conservancy, Sustainable Fisheries Partnership, Ocean Outcomes 등이 있다. 최근에는 MSC 인증을 위한 수산자원, 부수어획(혼획) 및 어구관리, 어업관리정책의 지속가능성에 대하여 예비심사(어업개선프로젝트), 본심사로 이어지는 단계적 접근이 많다. 현재 전 세계적으로 다랑어, 연어, 대구, 갑각류(게, 랍스터 등), 이빨고기, 넙치 등을 대상으로 151개의 프로젝트가 진행 중이다.

나) 전자조업 모니터링(Electronic Monitoring, EM) 사업

불법어업을 방지하고 어업 정보의 투명성 강화할 뿐 아니라 과학적 데이터를 확보하고 어선원 및 승선 옵서버 안전을 강화하려는 목적으로 실시한다. 무인카메라, 영상저장장치, 위성통신장치, 어구동작센서 등 다양한 IT 기기를 설치/운영하여 조업영상 데이터를 확보하고 어종과 어체 등을 자동으로 인식하는



인공지능(Artificial Intelligence, AI)기술이 도입되는 추세이다. 주요 활동하는 NGO로는 WWF, International Seafood Sustainability Foundation, Ocean Outcomes, The Nature Conservancy 등이 있다.

다) 다랑어 어업 생태계 영향 저감

그 밖에 다랑어 선망어업에 사용되는 어군집어장치(FAD)가 유실되어 해양 플라스틱 쓰레기, 유령어업, 해양생물의 서식지 파괴 등을 야기하는 문제를 예방하고자, FAD를 생분해성 재료로 제작하여 사용하는 프로젝트가 진행 중이다. 또한 다랑어 연승어업 시 수면 위의 미끼에 유인되는 바닷새의 혼획을 막기 위해, 일정 수심 아래까지 미끼를 외부로 노출하지 않는 바닷새 혼획 저감 장치(Hookpod) 부착 프로젝트도 실시 중이다.

라) 유령어업 방지 프로젝트

어업 중 또는 이후 버려지거나 유실된 어구로 인해 어류 및 해양생물의 개체 수가 감소하는 '유령어업(ghost fishing)'을 줄이기 위해 실시하는 프로젝트로 전 세계 60개 NGO가 참여하는 글로벌 이니셔티브 프로젝트인 Global Ghost Gear Initiative가 진행 중이며 생분해성 어구, 폐어구 수거, 폐어구 재활용 등의 활동을 하고 있다.

3) 소비자 인식 증진 및 기업 파트너십

가) 지속가능한 수산물 소비 알림(신호등 체계)

어종별 자원현황, 어업의 혼획, 어구의 관리, 어업정책의 투명성 등 지속가능성을 평가하여 그 결과를 소비자들이 알기 쉽도록 신호등 불빛(빨강-위험, 노랑-재고, 녹색-안전)으로 알리고 소비자들이 지속가능성이 높은 수산물을 구매하도록 유도하는 캠페인으로 미국, 홍콩, 남아공을 비롯한 많은 국가에서 실시 중이다. 소비자들은 어업방식, 어구 등 어업에 대한 정보 외에도 어종 및 해양생물의 생물학적 정보, 해양환경 이슈, 수산물 활용 음식 레시피 등 다양한 정보를 함께 얻고 능동적으로 지속가능한 수산물이 생산될 수 있는 동인의 역할을 한다. 일반적으로 소비자 접근성을 높이기 위해 스마트폰 앱을 제작하여 운영하고 있으며 대표적인 프로그램으로 Goodfish, Seafood Watch, Sustainable Seafood Guide 등이 있다.

나) 지속가능한 수산물 공급망(supply chain) 관리

어업이 이루어지는 순간부터 유통·가공되어 소비자에게 전달되는 전 과정에서 지속가능성을 높여 유통업체의 리스크 관리에 활용하고 어업인과 수산업계에 지속가능한 수산물 생산에 대한 시장

인센티브를 제공하는 공급망 관리 기법이다. 일반적으로 NGO와 유통기업 간 파트너십을 체결하고 NGO의 권고에 따라 수산물 공급망에 대한 검증/평가/관리를 강화한다. 전체 수산물의 전부 또는 일부를 MSC, ASC 등 국제 수산물 지속가능성 인증을 획득한 제품으로 전환하고 이를 기업 환경-사회-지배구조(Environment, Social, and Governance, ESG) 홍보에 적극 활용하고 있다. 또한 어린이 노동착취, 노동인권탄압 등이 발생하지 않도록 자체 감사를 실시하는 등 노동·사회 문제에도 적극적으로 나서고 있다. 이미 Walmart, Kroger, Tesco, Costco, Aldi, Aeon, Metro, Woolworths 등 유럽, 북미, 오세아니아 대형 유통기업들은 대부분 실시 중에 있으며 이 활동을 주도하는 NGO는 Sustainable Fisheries Partnership, Global Sustainable Seafood Initiative, Environmental Justice Foundation, International Seafood Sustainability, Ocean Outcomes, WWF 등이 있다.

다) 지속가능한 수산물 소비 주간 캠페인

NGO 주도로 정부, 지자체, 유통업체, 레스토랑 등과 협업하여 지속가능한 수산물 주간을 지정하고 집중 홍보하는 캠페인으로 MSC, ASC(Aquaculture Stewardship Council) 등에 의한 지속가능한 수산물 시식회, 길거리 퍼포먼스, 레스토랑 등 지속가능한 수산물 메뉴 판매, 마트 행사 등이 영국, 호주, 일본, 싱가포르, 홍콩 등에서 진행 중이다. 관련된 NGO는 Marine Stewardship Council, Aquaculture Stewardship Council, Australia Marine Conservation Society, WWF 등이 있다.

다. 국내 동향

1) 정부협업, 과제공동수행 : 한반도 연안에는 13개의 습지보호구역과 17개의 해양생태계/생물/경관 보호구역까지 30개의 해양보호구역이 지정되어 있으며, 이 과정에서 타당성 및 실태조사, 지정 후 관리 및 홍보 등에 NGO가 큰 역할을 하고 있다. 또한 해안 쓰레기 문제에 대해 종합적, 과학적 대응을 위해 관련 연구, 정책제안, 교육·홍보활동의 주체인 해양환경공단과 함께 해안 쓰레기 모니터링을 하고 있다.

2) 홍보 및 캠페인 : 해양 쓰레기 저감, 수산보조금 철폐, 어구실명제, 불법어업금지, 후쿠시마 원전수 방류차단, 사육 고래류 방류, 해양보호구역확대 등의 이슈에 대하여 대국민 인식을 증진시키고 행동실천을 촉구하며, 정부 및 지자체에 관련법 제정, 수정 또는 철폐 시킬 것을 요구하기도 한다.

3) 현장프로젝트 - 직접 해양환경보전과 관련된 프로젝트로는 다양한 규모로 진행 중인 해양 쓰레기 수거활동이 가장 활발하다. 소규모 시민단체부터 대규모 프로젝트 또는 정부협력과제 등도 진행된다.



4) 어드보커시(Advocacy) - 민관해양환경정책협의회

국내에서 해양환경과 관련된 정책협약에 NGO가 참여하는 경우는 매우 드물다. 최근 국내의 해양환경 아젠다 형성에서 NGO의 역할이 급부상하면서 NGO들의 의견을 적극적으로 청취하고 다양한 해양환경 이슈에 대해 협의하기 위해 2020년 10월 '민관해양환경정책협의회'가 발족되었다. 정책위원회는 총 17명으로 구성되어 있으며, 정부 측 위원장 5명(당연직)과 교수 2인과 국내 10개 NGO의 대표자 1인이 민간위원(위촉직)으로 구성되어 있다. 정책협의회는 협의의 전문성을 높이고자 원양어선 불법·비규제·비보고(IUU) 어업, 해양포유류 보호, 해양 쓰레기 관리를 주제로 3개의 소분과를 구성하였다. 분과별로 해양보호구역 확대, 해양 쓰레기 수거·처리 강화, 불법·비규제·비보고 어업 근절을 위한 수산 분야 민관 협력 강화, 해양포유류 보호 강화, 원양어선 불법·비규제·비보고 어업 방지 등을 논의하기 위해 정례적인 협의를 개최하고 있다. 국립공원을 지키는 시민의 모임, 자원순환연대, 녹색연합, 그린피스, 환경운동연합, 글로벌피싱워치, 세계자연기금, 환경정의재단, 시민환경연구소, 핫핑크돌핀스 등이 참여한다.

라. 정책 제언

1) 민관협력 소비자 참여 정책 기반 강화

바다와 같은 공공재에 대한 인식부족으로 인해 그동안의 해양정책은 바다와 직접적인 이해당사자들만의 입장만 반영된 채 방향이 결정되어왔다. 모든 국민이 주인인 해양을 회복시키기 위해서는 현행 자원관리위원회 등에 산업계, 학계 전문가, NGO 단체 등이 함께 수산자원 관리를 추진할 수 있는 민간참여 기능을 강화시키고 소비자가 참여하는 수산자원 관리방침 개발이 필요하다. 또한 MSC, ASC와 같은 국제조직의 지속가능한 수산물 인증인 에코 라벨링 획득에 대한 노력이 필요하다.

2) NGO 공동 홍보 및 교육 프로그램

수산자원 관리에 대한 소비자 역할의 중요성을 적극 홍보하기 위해 NGO와 협력해야한다. 정부가 주도적으로 실시하는 대국민 홍보 또는 교육은 한계가 있을 수밖에 없다. 2019년부터 해양수산부와 WWF가 공동으로 기획한 어린 물고기 보호를 위한 '치어럽 캠페인'이 국내외에서 좋은 평가를 받은 것은 NGO가 전면에 나서고 소비자의 입장에서 기획했기 때문으로 볼 수 있다. 어린 물고기 어획 정보, 자원 상태, 포획금지 관련 법령 등을 소비자에 직접 제공하여 건전한 소비를 유도하는 신호등 체계를 구축하고 소비자 참여 수산자원 보호 캠페인을 확대 추진하여 올바른 수산물 소비문화를 정착시켜야 한다. 치어럽 캠페인은 2019년 소비자 참여형 수산자원 관리의 일환으로 WWF, 제일기획, 해양수산부가 공동으로 남획문제 해결을 위해 기획하였다(그림 7.3). 치어의 크기를 측정하는 밴드를 제작해 배포하여, 포획금지체장을 홍보하고 수산자원 보전에 대중이 참여할 수

있다는 메시지를 전해 민관 협력의 모범적인 사례로 꼽힌다. 치어럽이란 치어를 사랑하자(love), 키우자(up)의 중의적 의미를 담고 있으며, 대한민국 광고 대상 공익광고 대상 등 국내외 광고제에서 수상했다. 앞으로도 민관이 협력하여 소비자의 입장에서 소비자의 눈높이에 맞는 홍보 및 교육활동이 확대되어야 할 것이다.

그림 7.3 지속가능한 수산물 소비 캠페인 “치어럽” 포스터





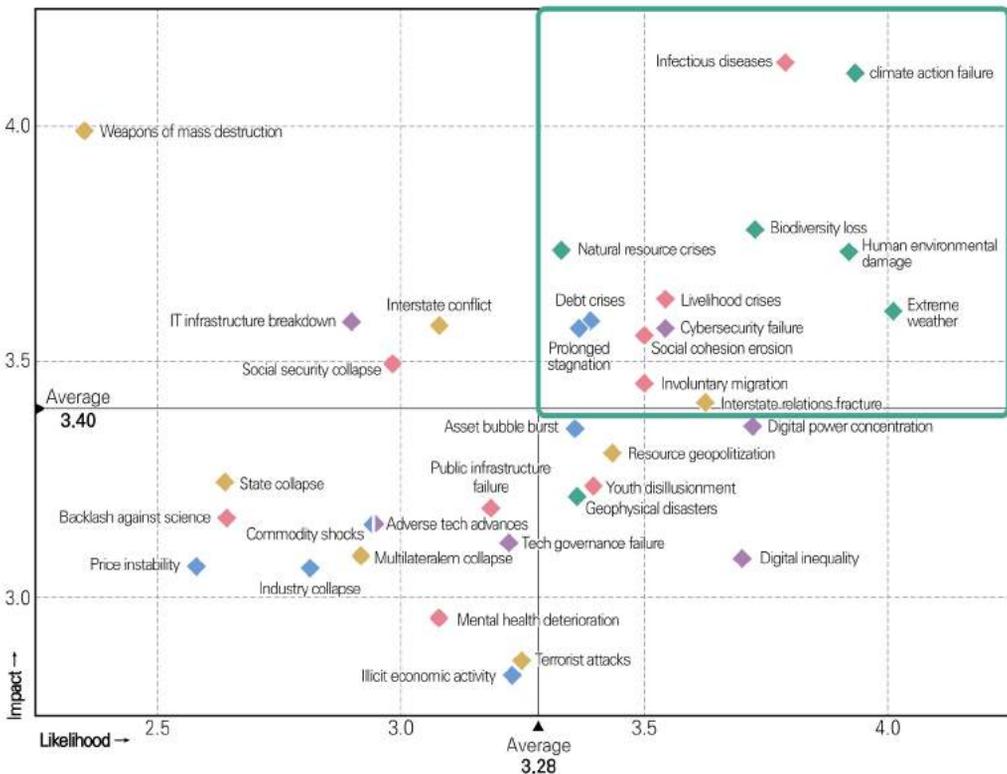
3 더 나은 바다를 위한 제언

가. 바다는 지구촌 리스크 해결의 열쇠

위기(危機)는 위험만 있는 것은 아니다. 위험에는 어떤 형태로든 기회가 수반되어 그 둘은 뗄 수 없는 불가분의 관계에 있다. 인류의 역사에서 위험은 항상 존재했지만, 위험을 해소하기 위해 가용한 자원을 집중 투입했다. 위험을 해소하는 과정에서 사회발전의 새로운 기회가 만들어지기도 했다. 위험과 기회를 마주하며 축적한 역사적 경험과 지혜는 현대 사회에도 통용된다.

세계경제포럼은 매년 전 세계 사회, 경제에 영향을 미칠 리스크를 분석하고 이를 보고서로 발간한다. 아래 그림은 가능성과 영향(파급력)에 따라 주요 리스크의 상태를 보여주는 것으로, 우상향 면에 있는 리스크가 가능성과 영향력에서 모두 상위에 있는 항목이다. 2021년 보고서는 감염병, 기후 대응실패, 자연자원 훼손, 생물다양성 손실, 인간환경 훼손 등을 발생 가능성과 사회경제에 미치는 영향이 매우 큰 리스크로 분류했다(그림 7.4).

그림 7.4 세계경제포럼 글로벌 리스크 분석(WEF, 2021)



2020년 발생하여 전 세계 사회경제체제에 영향을 주고 있는 COVID-19 팬데믹을 제외하고 생물다양성, 환경, 기후변화는 2010년대부터 세계경제포럼이 꾸준히 제기하고 있는 리스크이다. 그만큼 해결이 쉽지 않고, 지구촌 공동체를 지속가능하게 유지하는데 장애 요인이 될 것이라는 분석을 반영한 결과이다.

이 리스크는 해양에도 그대로 적용된다. 기후변화로 인한 해수면과 해수온 상승, 이에 따른 해양생태계의 변화, 오염물질 유입과 해양생태계 건강성의 악화 등은 이미 진행되고 있다. 현대사회의 주요 리스크인 에너지 위기도 기후변화와 밀접히 관련되어 있다. 지구촌과 해양에서 발생하는 리스크의 근원을 기후변화라고 규정해도 무리가 없을 듯하다. 반면 해양은 지구촌 구성원이 배출한 온실가스를 가장 많이 흡수하여 기후변화의 영향을 완충하거나 줄이는 데 기여한다. 해양을 건강하게 유지하고 관리하는 것은 기후변화로 가속화될 리스크를 줄일 수 있는 현명하고 경제적인 방법이다. 생태계가 건강하고 해양환경이 쾌적한 상태를 유지할수록 대기 중 온실가스를 흡수하여 바다에 저장하는 기능도 활발하게 작동하기 때문이다.

나. 협력과 책임관리가 필요한 바다

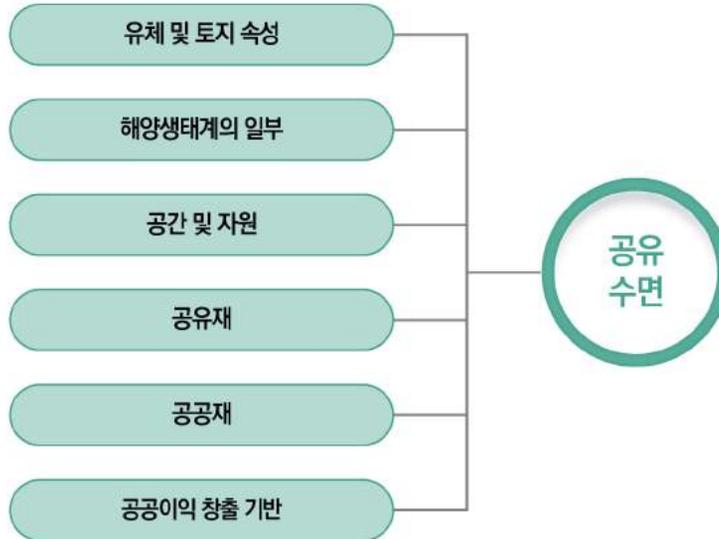
1) 공유수면으로서 바다

바다를 흔히 공유재라고 부른다. 바다는 하딘(Hardin)이 언급한 공유지의 비극(tragedy of commons)을 쉽게 목도할 수 있는 공간이다. 누구의 소유도 아니어서 누구나 쉽게 이용할 수 있지만, 책임의식과 주인의식이 낮고 미래세대를 위한 배려와 형평의 정신이 없으면 더 이상 이용할 수 없는 상태가 되기 쉽다. 우리나라는 바다의 공유재로서 속성 때문에 「공유수면 관리 및 매립에 관한 법률」을 제정하여 시행하고 있다. 바다를 체계적으로 관리하고, 환경과 자원의 지속가능성을 유지함으로써 궁극적으로 국민이 그 혜택을 누리기 위해서는 공유수면으로서 바다의 특성을 파악하는 것이 필요하다. 남정호·이윤정(2010)은 공유수면의 특성을 다음과 같이 규정하고 있다(그림 7.5). 첫째, 공유수면이 가진 공유재로서의 속성 때문에 공유수면은 특정 이해관계자의 사적 이익이 아닌 공공의 이익을 위해 활용되어야 한다. 둘째, 공유수면은 바다, 해수면을 지칭하는 것처럼 보이나, 토지의 속성이 있는 바닷가를 포함하고 있다. 따라서 이용과 보전에서 특성이 상이한 자원인 해수와 토지의 속성, 사회경제적 요소를 체계적으로 이해해야 한다. 셋째, 「해양생태계의 보전 및 관리에 관한 법률」 제2조¹⁾에 따른 해양생태계의 특성을 보면 공유수면은 생물공동체와 무기적, 유기적 환경을 포괄하고 있어 종합적이고 통합적인 관리가 필요하다.

1) 해양생태계를 '일정한 해역의 생물공동체와 이를 둘러싼 무기적(無機的) 또는 유기적 환경이 결합된 물질계 또는 기능계'로 정의하고 있다.



그림 7.5 공유수면으로서 바다의 특징(남정호·이윤정, 2010)



넷째, 공유수면은 사회경제적 수요를 충족시킬 수 있는 재화를 공급하고 있어, ‘공간’이기도 하고 ‘자원’이기도 하다. 다섯째, 공유수면은 특정 법인격이 독점적으로 소유할 수 없는 공유재이다. 다섯째, 공유수면은 공유재로서 속성뿐만 아니라 공공재의 속성도 있다. 공공재는 이용자 간 경쟁이 없는 비경합성(non-competitiveness)과 특정 집단을 제외하는 비배제성(non-exclusiveness)이 특징이다. 공유재는 자원 또는 공간의 유한성 때문에 경합성이 있지만, 바다가 제공하는 무형의 혜택(기후조절, 오염정화, 심미와 여가 등)은 경쟁 없이 누릴 수 있어 공공재로서 속성도 있다.

2) 협력과 책임관리는 공동체의 책무

공유재를 이용·개발하여 혜택을 누릴 권한이 있는 모든 법인격(집단과 개인)은 합법적 절차에 따라서 그 재화를 이용할 수 있다. 공유재의 관리와 합리적 이용에 관한 법률과 규정에 따라 이를 이용하고 개발하더라도 공유재의 과잉이용과 훼손을 완벽히 통제하는 것은 불가능하다. 법률과 규정은 해당 시점의 사회적 특성, 경제적 여건, 국민인식, 정부정책을 반영하기 때문에 사회의 발달 정도에 따라 공유재 관리에 관한 규정도 달라진다.

공유재로서 바다를 둘러싼 여건 변화에 따른 정책 변화를 쉽게 확인할 수 있는 대표적인 사례는 간척과 매립이다. 1960년대부터 농업과 산업, 주거용 토지확보를 위해 서해안과 남해안을 간척·매립했다. 간척·매립면적은 지속적으로 증가하여, 1982년부터 2007년까지 약 420여 개 지구, 754km²의 공유수면이 매립되었다. 시간당 3,440m²의 바다가 매우 빠른 속도로 육지로 변한 것이다(국토해양부,

2011). 그러나 바다의 간척과 매립으로 인한 생태환경 문제가 사회적으로 부각되는 1990년대 중반부터 정책환경은 조금씩 변했다. 국민의 갯벌보전에 대한 인식의 변화는 「습지보전법」의 제정, 연안통합관리체제의 도입과 시행, 해양환경과 생태계 관련 법률의 제정으로 이어졌다. 2010년대 들어 갯벌매립을 최소화하기 위해 연안통합관리계획에 향후 10년간 매립면적의 한도를 정책목표로 제시했다.

바다, 해양환경과 생태계에 대한 국민의 인식변화는 정부의 정책과 법체계를 변화시키는 데 영향을 주었다. 그러나 여전히 보전과 이용·개발 수요 간 균형과 조화는 형성과정에 있다. 사회경제적으로 바다를 이용·개발하는 수요도 충족해야 하고, 보전을 통해 자산의 가치를 유지하는 것도 중요하다. 다양한 이해가 얽혀 있고 갈등과 상충이 있기 때문에 어느 일방의 주장과 이해를 반영하는 것은 공유재로서 그 효용을 떨어뜨리고 공동체의 안정을 저해한다. 따라서 합의과정이 힘들고 절차가 복잡하지만 상충하는 요구를 조정하여 공동비전(Co-Vision)을 도출하는 것이 중요하다. 공동비전을 마련하는 과정과 이를 구현하는 과정에서 관련된 이해당사자가 협력하는 것은 해양환경과 생태계를 현명하게 관리하는 핵심 원칙이다.

바다 이용자뿐만 아니라, 육상의 오염물질을 바다로 흘려보내 육상환경관리의 비용절감으로 혜택을 입는 육상 사회경제활동 주체의 바다에 대한 이해를 증진하고 협력을 강화하는 것도 중요하다. 바다 관리를, 바닷가를 이용하거나 바다에 의존하여 삶을 영위하는 집단, 개인만의 책무로 귀속해서는 안 된다. 바다와 멀리 떨어져 사회경제활동을 하는 집단, 개인도 바다의 혜택을 입고 있어 한국사회 공동체의 구성원이라면 모두가 저야 할 책무이다. 이용으로 얻는 이익과 피해구제를 통합하는 책임관리(ocean stewardship)의 범위가 바닷가에서 내륙으로 확장되어야 하는 이유이다. 물론 책임관리의 정도는 공동체 구성원별로 다르다. 바닷가, 해양공간, 자원을 직접 이용하거나 개발하여 이익을 얻는 구성원들의 책무가 더 크므로 ‘책임관리’에서 비중도 다른 구성원보다 커야 한다. 그렇다고 바다를 직접 이용하지 않는 구성원들의 책임관리가 면제되는 것은 아니라는 점을 주지할 필요가 있다.

다. 해양환경과 생태계 보호를 위한 제언

1) 들어가는 글

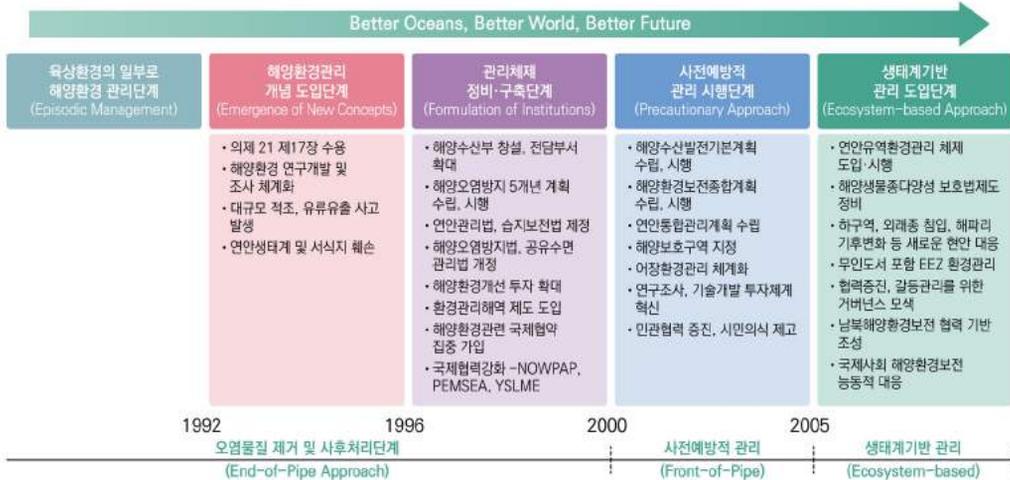
바다에 대한 정책 여건은 매우 빠른 속도로 변하고 있다. 시민의 인식도 변하고 있고, 바다 이용을 둘러싼 수요도, 바다에 영향을 줄 사회경제적 환경도 변하고 있다. 이에 따라 법률과 제도도 변하고 있다. 이러한 변화는 환류과정(feed-back)을 거쳐 우리가 관심을 갖고 보호해야 할 해양생태계와 환경에 다시 영향을 준다. 공유재로서 공유수면의 특성 때문에 바다 이용·개발 주체는 이용과 개발로 인한 피해와 영향에 큰 관심을 두지 않았다. 공유재 관리의 국민의 권한과 책임을 위임받은 정부가



영향을 관리하는 역할을 했는데, 해양환경과 생태계 관리 기능을 담당하는 해양수산부가 공적 자산으로서 바다 관리를 담당했다. 그러나 앞서 설명한 바와 같이 공유재로서 바다는 모든 이해관계자의 협력과 책임관리가 전제되어야 지속가능한 이용이 가능하다는 점을 상기할 필요가 있다. 따라서 바다의 지속가능한 이용과 직접 관련이 있는 해양환경 및 생태계 보호는 정부 부처 간 협력, 이해관계자 간 협력이 전제되어야 가능하다.

해양수산부를 비롯한 관련 정부 부처는 해양환경과 생태계 보호를 위해 정책을 개발하고, 법제도를 고도화하는 데 기여했다. 이에 따라 해양환경관리정책도 1990년대 초반 해양환경관리 개념을 도입한 이후 관리체제 기반을 구축한 후, 오염물질의 사후관리에서 사전관리로 발전하였고, 2000년대 중반부터 생태계기반관리(Ecosystem-based Management)로 진화했다(그림 7.6).

그림 7.6 해양환경정책 발전단계



시민환경단체의 해양환경보호활동도 증가했다. 육상의 수질, 폐기물, 대기환경에 중심을 두었던 환경단체가 1990년대 후반 갯벌보전을 현안으로 제기한 이후, 2000년대 초반 해양폐기물로 활동범위를 확대하였다. 지금은 시민환경단체의 역할도 개발을 반대하는 활동에서 대안을 제시하거나 정부 부처와 협업하여 합리적인 방안을 공동 모색하는 형태로 진화했다. 수산자원의 일방적 이용자로 인식되었던 어민들도 해양환경보호가 수산자원 관리에 기여하고, 궁극적으로 어민의 삶과 관련이 있음을 인식하고 있다. 도입된 지 20여 년이 지난 자율어업관리의 성공사례가 많아지며 가시적인 성과도 크게 늘면서 책임관리자로서 역할이 커지고 있다. 학교 교육 현장에서 해양환경교육 프로그램이 늘어난 것도 고무적이다.

이 글에서 다룰 해양환경과 생태계를 보호하기 위한 제언은 이미 시행하고 있는 정책이나 제도, 활동보다는 법제화되어 있음에도 제대로 시행되고 있지 않거나 변화된 여건에서 강화해야 할 제도, 활동 등으로 주요 내용은 아래와 같다.

2) 지역 거버넌스와 ESG 강화

환경과 자원관리에서 1970년대 이후 가장 많이 회자되는 용어는 거버넌스일 것이다. 거버넌스는 행정체제나 지배구조로 이해되기도 하지만, 환경과 생태계 관리 영역에서는 협치로 이해되기도 한다. 해양환경과 생태계 보호는 협력과 책임관리를 전제로 하는바, 거버넌스를 성공적으로 구성하고 운영하는 것이 중요하다. 사회적 역량을 집중할 수 있고, 가용한 자원을 최대한 활용하여 집단지성(collective intelligence)과 집합행위(collective action)를 유도함으로써 문제를 효과적이고 효율적으로 해결할 수 있기 때문이다.

우리나라 해양환경과 생태계 보호에서 거버넌스 역사는 그리 길지 않지만, 국가 환경 및 생태계 관리 사례에서 가장 모범적인 사례도 많다. 2000년 한국해양수산개발원이 주도하여 연안지역 시민단체와 조직한 가칭 ‘바다사랑 시민연대’에서 해양폐기물의 주기적 모니터링, 국제연안정화의 날 행사 조직, 일본 민간단체와 협업 등은 민·관·연 협력사업의 효시라 할 수 있다. 이후 마산만, 시화호와 같이 오염심각해역 관리를 위해 연안오염총량관리제와 같은 선진적인 관리 수단을 적용할 목적으로 운영 중인 ‘특별관리해역 민관산학 협의회’는 우리나라 해양환경 거버넌스 역사에서 가장 성공적인 사례라 평가할 수 있다. 특히 마산만 특별관리해역 민관산학협의회는 구성 초기 단계부터 지역상공회의소를 협의회 구성원으로 참여시켜, 이후 상공회의소가 자발적으로 홍보 및 교육활동을 주도했다.

몇몇 성공 사례가 있지만 거버넌스 구조가 해양환경과 생태계 보호 영역 전반으로 확대되지 못한 확장성의 한계를 겪고 있다. 또한 이미 구성·운영 중인 거버넌스도 초기의 문제의식과 역동성을 온전히 유지하고 있다고 보기 어렵다. 공간적으로는 지역이 중심이지만 지역 행정기관인 지방자치단체, 중앙부처의 지방행정기관, 지역전문가, 지역 산업체의 인식과 역량도 부족한 실정이다. 중앙부처의 관심이나 담당자의 거버넌스 활성화와 발전에 대한 문제의식, 정책우선순위도 예전 같지 못하다. 하향식 정책이 초기에 제도의 안착과 운영에는 기여했지만, 관리 역량과 인식을 높일 여건을 지역의 관점에서 적극적으로 고려하지 못했던 한계 때문이다. 또한 산업체에 대해서는 강제규정은 없지만 해양환경에 영향을 미치는 책임 있는 이해당사자로서 참여할 수 있는 공간이 미비했던 것도 원인이다. 향후 거버넌스 강화와 산업체의 ESG 경영(환경, 사회, 지배구조)을 활성화하기 위한 방향을 제시하면 아래와 같다.



가) 지역거버넌스 활성화를 위한 지원조직 운영

최근 제정하거나 개정된 법률은 지역 이해관계자가 참여하는 거버넌스의 구성과 운영에 관한 사항을 규정하고 있지만, 법제도만으로 거버넌스 성공적 운영을 보장할 수 없다. 의사결정 절차의 정당성(due-process)을 확보했다고 하여 실제적 효력이 발생하는 것은 아니기 때문이다. 지역에서 거버넌스를 구성하는 초기단계부터 운영의 전 과정에 걸쳐 환경현안을 지역거버넌스가 어떻게 이를 처리할지를 도와줄 지원기구는 실질적 효과를 창출하는 데 기여할 수 있다. 중간 지원조직 없이 자발적·자생적으로 거버넌스의 활성화를 기대하는 것은 협치의 전통이 축적되지 않은 현실에서 한계가 있기 때문이다. 지원기구는 정부중심 또는 민간중심으로 운영할 수 있지만 우리나라 여건, 지역의 특성에 맞게 융통성 있게 설치, 운영할 수 있다.

나) 참여 이해관계자에게 권한 부여(empowerment) 제도화

정부 부처나 이용·개발 주체가 법률에서 정한 환경영향평가, 공청회 또는 사업개발 추진 의견수렴 절차를 거쳤다고 하여 지역 거버넌스가 작동하고 있다고 평가해서는 안 된다. 이용·개발 사업의 시행 여부를 결정할 때뿐만 아니라 해양환경·생태계 보호 정책을 결정하는 과정에서도 이해관계자의 참여를 제도화해야 한다. 참여로 그치는 것이 아니라 협의와 합의가 없이는 정책을 결정하는 것이 불가능하다는 점을 명확히 하고 이를 제도화함으로써 권한이 배분되고 있음을 인식하도록 해야 한다. 물론 결정에 따른 이행의 책임도 동시에 나눠 가지는 것도 규정화할 필요가 있다.

다) 산업체 해양환경 ESG 이행현황 및 보전 기여도 주기적 평가

기후변화, 에너지 위기, 생물다양성 감소가 국제사회의 사회·경제·정치 등 전 영역에 영향을 주고 있어, 공적 기구인 국가와 유엔기구의 영역이었던 해당 이슈들이 산업체 경영과정에서 주요 고려 요소가 되었다. ESG 경영은 과거 지속가능발전의 3대 요소였던 환경적 지속가능성, 사회적 형평성과 분배정의 외에 기업의 사회적 책임(Corporate Social Responsibility, CSR)이라는 아젠다를 계승하며, 기후위기와 생태위기라는 글로벌 여건변화에 대응하기 위해 형성된 담론이다. 기업이 사용하는 에너지를 모두 재생에너지로 충당하겠다는 RE100은 대표적인 ESG 경영 방침의 하나로, 여러 영역에서 다양한 형태로 ESG를 실현하려는 노력이 확대되고 있다.

그러나 해양환경과 생태계 보호에 관한 기업의 ESG 경영은 아직 걸음마 단계이다. 2000년대 초반 바닷가의 담배꽂초가 환경 이슈가 되었을 때 담배회사가 해안가 폐기물 수거를 지원한 사례는 있지만 해양환경과 생태계의 보호와 관련하여 ESG 경영이 확산되고 있는 상황은 아니다. 어떻게 하면 기업의 ESG 경영에서 해양환경과 생태계 이슈를 포괄하도록 할 수 있을 것인가?

먼저, 기업의 ESG 담당자와 경영인들에게 해양환경과 생태계 보전의 중요성과 가치, 의미를 알리고, ESG 경영에 포함할 해양환경 이슈를 구체적으로 개발하고 제시해야 한다. 해양환경보호에 대한 인식이 미흡한 상황에서 당위적 필요성보다는 구체적 대안을 제시할 때 ESG 경영에서 해양환경 이슈를 담을 수 있을 것이다.

둘째, 연안지역 공간 의존성이 있는 조선, 해양물류, 화학, 에너지(전력) 기업을 위한 해양환경과 생태계 분야 ESG 경영평가 방법을 개발하고, 주기적으로 평가하여 공표하도록 한다.

셋째, 주기적 평가 결과와 공표는, 해양환경 분야 ESG 경영이 미흡한 기업을 부각하는 것이 아니라 모범적 사례를 널리 알리고 미흡한 점을 보완할 수 있도록 돕는 형성적 평가(formative evaluation) 형태로 진행해야 한다. 그래야 기업이 자발적으로 참여할 수 있고, 결과적으로 산업체의 해양환경과 생태계 보호에 관한 공동체 구성원으로서 책무를 지속시킬 수 있다.

3) 해양환경-사회경제 연계 통합평가체계 운영

우리나라 해양환경 및 생태계 보호와 관련한 평가체제로 해양수질환경을 평가하는 '수질평가지수(Water Quality Index)', 해양생태계 상태를 평가하는 해양생태등급이 있다. 수질평가지수는 「해양환경관리법」 제8조에 따른 해양환경기준에 따라 평가하는 것으로 해역의 수질환경상태를 5개로 구분한다(표 7.3). 수질평가를 위해 활용하는 지표는 저층산소포화도, 식물플랑크톤 농도(Chl-a), 투명도, 용존무기질소 농도(DIN), 용존무기인 농도 5개이다. 「해양생태계 보전 및 관리에 관한 법률」 제12조에 따라 해양생태계종합조사 결과를 토대로 작성한 해양생태도는 해역을 생태계 현황과 특성을 고려하여 3개 등급으로 구분한 도면이다.

표 7.3 「해양환경관리법」 제8조에 따른 해양환경기준

등급	수질평가 지수값(Water Quality Index)
I (매우 좋음)	23 이하
II (좋음)	24 ~ 33
III (보통)	34 ~ 46
IV (나쁨)	47 ~ 59
V (아주 나쁨)	60 이상

해양수질지수와 해양생태등급은 해양수질환경과 해양생태계의 현 상태를 평가하고 진단하는 데 유용하다. 오염 심각 정도나 생물다양성에 관한 평가 결과는 해양환경정책, 해양생태계 보호 정책을 수립하고 시행하는 데 활용된다. 해양환경이나 해양생태계 보호의 관점에서 해양수질지수와 해양생태 등급은 유용한 의사결정 지원수단이다. 그러나 해양공간을 종합적으로 보전, 이용·개발하는 관점에서



다양한 사회경제적 수요를 조화롭게 충족시키는 데 한계가 있다. 유엔 지속가능발전목표(SDGs)의 14번 해양환경보전 분야에서 지표로 사용하는 해양공간에서 보호구역 지정면적 비율도 지표로서 유용하지만 여전히 지속가능발전의 한 축인 경제(economy)를 포괄하는 것은 한계가 있다.

이들 지표는 환경상태를 중심으로 해양을 평가할 수 있는 장점이 있는 반면, 사회적 특성을 반영하지 못하는 한계가 있다. 기후위기 시대에 기후변화에 대응하기 위한 정책지표로 활용하는 것도 쉽지 않다. 이에 따라 해양환경과 생태계 보호 정책이 사회경제적 수요 및 여건과 조화와 균형을 이루면서 실효성을 확보하려면 사회경제 특성을 연계할 수 있는 아래와 같은 지표를 개발하고 활용해야 한다.

가) 해양건강성 지수(해양발전잠재력 지수)

해양건강성지수는 2014년 SDG 개발과정에서 지표로서 채택을 적극적으로 검토했던 지수이다. 환경상태만을 표시하는 기존의 지수, 지표체계와 달리 사회경제적 속성을 지수체계에 반영함으로써 해양환경과 사회경제를 연계하였다(그림 7.7). 명칭을 해양건강성 지수라고 했던 것은, 초기 개발단계에서 해양환경과 생태계의 건강성(healthiness)을 우선 평가할 목적이었기 때문이다. 개발과정에서 사회경제적 속성의 중요성을 인지하여 이를 포함시켰음에도 초기 개발단계의 명칭을 유지했다. 따라서 엄밀히 정의하면 지속가능발전에 관한 환경성, 사회경제적 속성을 포함하고 있고, 이는 장래 해양이 인류에 기여하는 정도를 예측한 결과를 포함하고 있어 개념적으로는 해양발전잠재력이 적합한 명칭이라고 판단한다.

그림 7.7 해양건강성지수 체계



우리나라는 「해양환경 보전 및 활용에 관한 법률」 제2조에 해양건강성의 개념²⁾을 정의하고 제5조에 따라 해양건강성을 평가하도록 규정하고 있다. 또한 해양수산부 장관은 해양건강성평가체계를 구축하고 평가 결과를 이 법의 제10조에 따른 해양환경종합계획에 반영하도록 규정하고 있다. 우리나라 해양환경법률은 해양건강성(해양발전잠재력)을 평가하도록 규정하고 있지만 현재까지 이 법률의 관련 규정은 시행된 적이 없다. 해외에서 개발한 해양건강성평가체계를 그대로 사용하지 않고 우리나라의 특수한 해양 여건을 반영해야 하는 작업이 필요하지만, 2017년 3월 이 법률의 제정 이후로 한 번도 평가를 수행하지 않았다는 점은 아쉬움이 많다.

이 지수를 활용하면 지방자치단체별로 해양건강성을 평가하여, 지역별 특성을 반영한 정책우선순위, 정책 방향을 도출하는 것이 가능하다. 중앙부처 정책을 일률적 적용이 아닌 지역별 맞춤형 정책이 가능하고, 지방자치단체별로 독립적인 해양환경보호 정책을 시행하는 것도 가능하다. 2022년이면 이 법률의 시행 5년이 경과하는 시점이다. 해양환경보호 정책의 체계화와 다양한 수요를 균형 있게 충족시키기 위해서도 사회경제를 연계한 해양환경평가체계인 해양건강성평가체계의 도입을 서둘러야 한다.

나) 해양생태계서비스 평가

생태계서비스에 대한 국제사회의 관심은 MA(2003)가 생태계서비스를 “인간이 생태계로부터 얻는 편익(the benefits people obtain from ecosystems)”으로 정의하면서 확대되었다고 할 수 있다. 이후 UNEP(유엔환경계획), CBD(생물다양성협약) 등 국제기구가 생태계서비스를 평가하고 정책에 활용하기 위해 보고서를 발간하고, 2012년 유엔기구로 생물다양성과과학기구(Intergovernmental Science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES)를 설립하면서 국제사회 정책 아젠다로 자리 잡았다.

생태계서비스는 아래와 같이 4개의 유형으로 구분한다(그림 7.8).

- 재화와 물질을 제공하는 공급서비스
- 기후변화, 오염물질 정화, 자연재해 저감, 물 순환, 영양염 순환을 담당하는 조절서비스
- 심미적 안정과 신체활동, 창의력 향상, 여가관광과 관련이 있는 문화서비스
- 공급서비스, 조절서비스, 문화서비스는 생태계의 건강성과 안정성, 생산성과 관련이 있는바, 3개 생태계서비스 제공이 원활하게 이루어지는 토대가 되는 지원(지지)서비스

2) 제2조 제5호는 해양건강성을 ‘수산물 생산, 해양관광, 일자리 창출, 오염 정화, 이상기후·기후변화 대응, 해안 보호 등 현재 및 미래 세대의 복지와 국민경제에 기여하는 해양환경의 상태와 그 상태의 지속가능성’으로 정의하고 있다.



그림 7.8 해양생태계서비스 구조(해양수산과학기술진흥원, 2019)



생태계서비스가 인간이 얻는 '편익'의 관점에서 생태계의 효용을 규정하고 있고, 서비스 구성 요소에 경제적인 혜택을 포괄하고 있는바, 생태계서비스는 사회경제와 연계하여 해양환경과 생태계 상태를 평가할 수 있는 지표 및 지수체계로 기능할 수 있다.

현재 우리나라는 2017년부터 '생태계기반 해양공간 분석 및 활용 기술연구개발' 사업을 수행하고 있다(그림 7.9). 방법론을 개발하여 전 해역의 생태계를 대상으로 인간이 얻는 편익을 계량화함으로써 해역별로 어떤 공간이 인간에게 더 많은 혜택을 제공하는지 파악할 수 있도록 설계되어 있다. 이를 통해 인간에게 더 많은 편익을 제공하는 생태계 공간을 확인하고, 이 공간에 대한 외부의 위협 요소가 무엇인지를 파악하여 가장 효과적인 정책수단을 도출하는 데 활용할 수 있다. 예를 들어 인간의 활동 밀도가 높지 않지만 혜택을 많이 제공하는 공간은 해양보호구역으로 지정하는 것을 우선 검토해야 한다. 반면, 인간 활동 밀도도 높고, 혜택이 높은 공간은 이용과 보전을 조화시키고, 수요 간 갈등과 상충을 최소화하는 정책에 초점을 맞춰야 한다.

그림 7.9 관할해역 해양생태계서비스 현황(해양수산과학기술진흥원, 2020)



우리나라 해양생태계서비스 평가는 이제 시작 단계이다. 초기 5년간 연구개발사업을 통해 얻은 성과를 해양환경보호 정책에 활용하고, 그 과정에서 보완점을 파악하고 개선하는 과정을 거쳐야 한다. 해양생태계서비스 지표체계를 구축하여 주기적으로 변화양상을 평가하고 이를 정책에 반영할 수 있도록 해야 한다.

다) 연안레질리언스 지수, 해양공간갈등지수

해양환경과 생태계 보호는 사회경제활동과 불가분의 관계에 있다. 특히 기후위기 시대에 연안공동체는 해양환경과 생태계의 건강성을 유지해야 할 책무도 있지만 연안 생태계와 주거지가 기후변화의 영향으로부터 안전하게 보호받을 수 있도록 관리해야 한다. 자연재해는 피할 수 없지만, 우리 인간의 노력에 따라 피해를 최소화할 수 있고, 피해복구 속도도 달라진다. 피해를 최소화하는 것보다 피해복구 과정에서 자연환경과 생태계 훼손을 최소화하는 것이 더 중요할 수 있다. 해수면 상승, 수온 상승, 태풍과 같은 재해에 대응하는 종합적 역량을 평가할 수 있는 레질리언스 체계를 개발하고,



지역별로 평가 결과와 환경특성을 고려하여 맞춤형 대응방안을 수립하는 것이 필요한 이유이다. 해양환경을 인간의 거주환경을 포함한 포괄적 개념으로 정의할 경우 정주환경의 안정성이 해양환경보호에 긍정적 효과를 주기 때문에 기후변화 요소를 반영한 연안지역 레질리언스 평가체계는 유용한 정책지원 수단이 될 것이다.

한편, 해양공간은 다양한 사회경제적 수요(보전, 이용과 개발)가 공존하기도 하고 상충하는 곳이다 (그림 7.10). 갈등이 심각한 지역과 그렇지 않은 지역을 파악할 경우 갈등을 발생 전에 관리할 수 있다. 대체로 지금까지 바다를 둘러싼 갈등은 보전과 이용·개발 간의 갈등이 주를 이루었다. 이용 간 갈등도 점차 증가하는 추세이지만 대체로 보전과 개발, 보전과 이용 간 갈등이 여전히 큰 비중을 차지하고 있다. 현재의 환경보전 수요와 이용·개발 수요 간 갈등뿐만 아니라 미래 사회전망에 따른 예측에 기반하여 잠재적 상충(갈등)을 분석할 경우 보전가치가 높은 해양환경과 생태계 보호를 위한 정책을 미리 준비할 수 있다.

그림 7.10 관할해역 잠재적 해양공간상충 현황(해양수산과학기술진흥원, 2020)



4) 하천-하구-연안 통합환경관리 : 「하구환경관리법」(가칭) 제정

해양환경보호를 위해 전문가그룹(GESAMP, 1990)이 해양환경에 영향을 미치는 오염물질의 77%가 육상에서 기인한다는 보고서를 발간한 이후 해양환경에 대한 외부 압력 요인인 육상활동 관리의 중요성이 커졌다. 우리나라는 1999년 「해양오염방지법」을 개정하여 오염이 심각한 해역의 환경 개선을 위해 육상활동 통제와 관리의 필요성을 인지하여 육상의 유역을 관리범위에 포함시켰다. 전 연안이 아닌 5개의 특별관리해역과 4개의 환경보전해역에 한정하였다. 특별관리해역과 환경보전해역

이외의 연안에 대해서는 「연안관리법」에 따른 연안의 범위에 해안선으로부터 최대 1km의 육지부를 포함할 수 있으나 「하천법」에 따른 하천구역이 제외되어 육상기인오염원의 효과적인 관리에 한계가 있었다.

이후 2001년부터 하구, 석호와 같이 담수와 해수가 만나 형성하는 독특한 기수역을 관리하기 위해 통합적 환경관리의 필요성이 제기되었으나, 해양수산부와 환경부 간 부처 간 영역갈등으로 통합관리를 위한 토대도 마련하지 못했다. 해양과 육상으로 이원화된 환경관리체계를 유지하는 특이한 거버넌스 구조 때문에 하구통합관리 부재는 행정 비효율성의 대표적인 사례로 꼽히기도 한다. 2005년 하구 통합관리가 국정과제로 채택되었지만, 해양수산부와 환경부간 주도권 확보 경쟁 때문에 국정과제는 이행되지 못하였다. 2010년대에도 하구환경과 자원의 효율적 관리를 위해 통합관리의 필요성이 꾸준히 제기되었지만 여전히 이원화된 관리체제를 유지하고 있고, 관련 정부정책도 부재한 상황이다. 그러나 환경정책 일원화는 아니지만 국가물관리 일원화정책은 조금씩 추진되고 있다. 물관리 일원화를 실현하기 위해 수자원공사를 환경부로 소속을 변경하였고, 대통령 직속기관으로 ‘국가물관리위원회’를 설치하였다. 2021년 6월 「물관리기본법」에 근거하여 수립한 제1차 국가물관리기본계획에 ‘하천과 하구·연안의 통합관리’는 향후 10년간 추진해야 할 3대 핵심정책의 하나로 반영되었다(관계부처 합동, 2021). 물환경관리와 관련한 최상위 국가계획에 하천-하구연안통합환경관리를 명시하였지만 실제 통합환경관리를 실현하는 과정은 매우 어렵고 복잡할 것으로 예상된다. 지난 20년간 하구환경통합관리를 위한 여러 번의 시도가 무산된 경험은 앞으로 전망이 그리 밝지 않다는 것을 시사한다. 그럼에도 하천-하구-연안 통합환경관리는 해양환경과 해양생태계 보호에서 핵심 정책이 되어야 한다. 집중적으로 개발이 이루어지고 있어 사회경제적 효용이 크지만, 환경생태계 상태를 개선하고 보전과 이용·개발 간 균형과 조화를 실현할 경우 지속가능한 발전 잠재력이 크기 때문이다.

국가물관리위원회가 중심이 되어 해양수산부, 환경부, 농림부, 국토교통부 등 관련 부처가 협의하고, 하구를 끼고 있는 지방자치단체, 지역주민의 의견을 반영하여 「하구환경관리법」(가칭)을 제정하는 것이 첫걸음이 되어야 한다. 이 법률에는 유기물, 무기물, 중금속, 유해화학물질, 폐기물과 같은 오염물질관리뿐만 아니라 수산자원, 생물, 서식지 등 생태계 보호, 연안공간의 지속가능한 이용도 포함해야 한다.

5) 자연기반해법의 활용: 그린인프라 구축

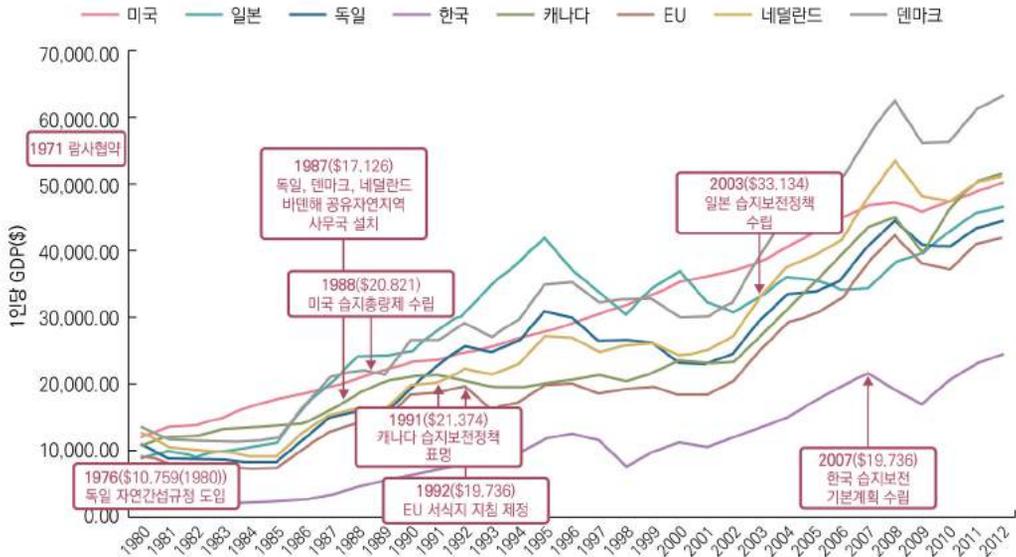
전 지구적 기후변화와 생물다양성 감소 위기에 대응하기 위한 해법으로 자연기반해법(Nature-based Solution, NbS)이 주목을 받고 있다. 자연기반해법의 대표적인 사업으로 생태계 복원을 포함한 그린인프라(green infrastructure)를 구축하는 사업이 있다. 기후변화에 따른 연안재해 예방을 위해 기존의 경성공법 중심의 재해대응시설 설치가 아닌 자연자원과 생태계를 최대한 활용하는 연성공법은



NBS의 사례가 될 수 있다. 생물들에게는 안락한 서식처를 제공하고, 인간에게는 여가와 휴양, 관광, 어업 등 사회경제적 혜택을 제공한다. 그린인프라를 구축하는 과정에서 일자리를 창출하고 환경생태산업의 기반을 닦을 수 있다.

국민소득 수준과 생태계 복원 사업은 상당한 상관성이 있다. 환경생태산업의 하나인 갯벌 등 해양생태계 복원사업의 경우 선진국의 사례를 보면 일인당 국민소득이 2만 3천 달러일 때 정책을 도입하고 시행한 것으로 나타났다(국토해양부, 2012). 2020년 기준 우리나라의 일인당 국민소득이 3만 2천 달러에 근접하고 있어, 해양생태계 복원을 위한 사회적, 경제적 여건은 충분히 마련된 것으로 평가할 수 있다(그림 7.11).

그림 7.11 일인당 국민소득과 습지복원정책(국토해양부, 2012)



생태계 복원과 연안공간의 친생태적 관리를 통해 확보하게 될 연안지역 그린인프라는 자연재해 예방, 생태·경관 보전, 연안 의존형 경제활동 증가와 소득증가, 친수기능 강화 등의 효과가 있다. 예를 들어 그린인프라를 구축할 경우 파고(wave height)를 35~71% 감소시키고, 비식생지역과 비교할 때 30%의 침식 저감 효과가 있는 것으로 알려졌다(Bryant et al., 2017). 특히 갯벌생태계를 복원할 경우 경제적, 정책적 이익은 더 크다. 블루카본을 확보함으로써 탄소중립에 효과적으로 대응할 수 있는 정책수단으로 활용할 수 있다. 복원된 생태계에 더 많은 생물이 서식하여 어업자원이 가득한 효과도 있고, 연안친수공간은 지역사회에 새로운 소득원으로 기능할 수 있다(그림 7.12).

그림 7.12 그린인프라 개념도(NOAA, 2017)



라. 맺음 글

일리아드와 오딧세이를 집필한 그리스의 대서사시인 호메로스는 ‘바다는 모든 것의 근원이다’라고 설파했다. 바다를 통해 대규모 무역을 하고, 필요한 물자를 얻기 위해 때로는 군대를 이동시켜 그리스의 문명을 유지하는 데 기여했기 때문일 것이다. 육상의 산업과 교통이 발달하면서 해양의 중요성은 덜해졌지만, 1950년대 해양법에 관한 제네바협약 체결 이후 바다의 경제적, 정치적 중요성은 다시 부각되었다. 그러나 기후위기와 생태위기를 겪고 있는 현대사회에서 바다는 특정 국가나 집단의 전유물이라기보다 이 위기를 극복할 수 있는 대안이자 공유재로서 기능하게 될 것이다. 우리가 거주하고 있고 대부분의 사회경제활동이 이루어지고 있는 육상환경에 비해 해양환경에 대한 관심이 낮은 것은 현실이다. 따라서 바다가 인류에게 제공하는 다양한 혜택과 공동체를 유지하는데 기여하는 정도와 그 가치를 고려한다면 해양환경과 생태계 보호는 인류의 지속가능성과 밀접한 관련이 있다는 것을 인식시켜야 한다. 아직은 해양환경, 생태계와 인류의 지속가능성 간 상호의존성과 상관성이 커 보이지 않아 연계성을 입증하기 위한 연구와 정책을 통한 실증이 필요할 때이다. 상호의존성과 상관성을 증명하기 위한 과정이 쉽지 않기 때문에 대규모 사업이 아닌 지역의 작은 사업부터 발걸음을 떼는 것이 필요하다. 생태계기반관리체제는 단지 생태계를 관리의 중심에서 두는 것만을 의미하지 않는다. 생태계의 특징인 연결성을 생태계와 환경보호에 적용하는 원리로서 이해해야 한다. 참여와 협력, 권한의 분배, 거버넌스, 환경과 사회경제의 연계가 해양환경과 생태계 보호를 위한 핵심 원칙이 되어야 하는 이유이다.

- 관계부처 합동(2021). 제1차 국가물관리기본계획(2021-2030), p.212.
- 국립수산과학원(2009a). 한국 연안의 빈산소 수괴, p.157.
- _____ (2009b). 해양환경정보총람(개정판), p.438.
- _____ (2019). 수산분야 기후변화 평가 백서, p.103.
- 국립해양조사원(2020). 우리바다 해양정보도 개정4판, p.186.
- 국토해양부(2011). 제2차 연안통합관리계획(2011~2021), p.348. (<https://www.mof.go.kr/article/view.do?menuKey=851&boardKey=22&articleKey=4631>)
- _____ (2012). 해양생태산업의 발전방안 연구, p. 313.
- 김수암·강수경·이화현(2018). “21세기 초반의 대한민국의 수산물 수급현황과 식량안보 전략”, 수산해양교육연구 제30권 제2호, 한국수산해양교육학회, pp.532~541.
- 김수암·이재철·신형철·이용우·강수경·이충일·정석근(2011). 수산해양학(수산과학총서 5권), 부경대학교 출판부, p.263.
- 김수암·장찬주·윤상선·정석근·이충일·심정희·강수경·김도훈·신형철(2014). 해양생물자원과 기후변화(수산과학총서 9권), 부경대학교 출판부, p.413.
- 김용서·김태욱·남정호·이용희·이운호·이종명·정석근(2019). 우리의 지속가능한 해양, 유네스코한국위원회, p.115.
- 남정호·이윤정(2010). “연안 공공이익의 침해 방지를 위한 공유수면 관리체제 개선 방안”, 연구보고서 기본연구 10-02, 한국해양수산개발원, p.270.
- 신춘희(2021). IAP 성명서 발표 기념 해양환경 보호 심포지엄 발표집.
- 윤석민(2021). IAP 성명서 발표 기념 해양환경 보호 심포지엄 발표집.
- 이상룡·강효진·김대철·이동섭·이재철·정익교·허성희(2013). 해양학(번역본), Original edition: 2010 Brooks/Cole, Oceanography 7th Edition by Tom Garrison, p.606.
- 한국해양수산개발원(2021). 2021 해양수산 주요지표 전망, p.204.
- 한국해양환경·에너지학회(2018). 해양환경공학(Chapter 7 해양환경보전 법제도), 동화기술, p.619.
- 한용용·김주일(2021). 2021년도 정부연구개발예산 현황분석, 한국과학기술기획평가원, p.317.
- 해양수산과학기술진흥원(2018). 새만금 주변해역 해양환경 및 생태계관리 연구개발 보고서, 연구기관: 한국해양수산개발원 외.



- _____ (2020). 생태계기반 해양공간분석 및 활용기술 개발 보고서, 연구기관: 한국해양수산개발원 외.
- 해양수산부(2019a). 2018년 해양환경조사연보 제23권, p.458.
- _____ (2019b). 제3차 해양 쓰레기 관리 기본계획(2019~2023년), p.98.
- 환경부(2021). 잔류성유기오염물질 환경 모니터링 백서, p.172.
- 柳哲雄(1989). “ソホソウム「貧酸素水塊」のまとめ”, 沿岸海洋研究 /へト, Vol.26, no.2, pp.141~145.
- Agnew, D. J., Pearce, J., Pramod, G., Peatman, T., Watson, R., Beddington, J. R. & Pitcher, T. J.(2009). “Estimating the worldwide extent of illegal fishing” PLoS ONE, 4(2):e4570.
- Ansari, T. M., Marr, I. L. & Tariq, N.(2004). “Heavy Metals in Marine Pollution Perspective-A Mini Review”, Journal of Applied Sciences, 4(1), pp.1~20.
- Aurora Expeditions(2021). A comparison: Arctic vs Antarctica.
(<https://www.auroraexpeditions.com.au/blog/arctic-vs-antarctica/>)
- Belkin, I. M.(2009). “Rapid warming of Large Marine Ecosystems”, Progress in Oceanography, 81(1-4), pp.207~213.
- Breitbart, D., Levin, L. A., Oschlies, A., Grégoire, M., Chavez, F. P., Conley, D. J., Garçon, V., Gilbert, D., Gutiérrez, D., Isensee, K., Jacinto, G. S., Limburg, K. E., Montes, I., Naqvi, S. W. A., Pitcher, G. C., Rabalais, N. N., Roman, M. R., Rose, K. A., Seibel, B. A., Telszewski, M., Yasuhara, M. & Zhang, J.(2018). “Declining oxygen in the global ocean and coastal waters”, Science, 359(6371):p.eaam7240.
- Brooks, C. M., Chown, S. L., Douglass, L. L., Raymond, B. P., Shaw, J. D., Sylvester, Z. T. & Torrens, C. L.(2020). “Progress towards a representative network of Southern Ocean protected areas”, PLoS One, 15(4):e0231361.
- Bryant, D., Byrant, M. & Grzegorzewski, A.(2017). “Erosion of Coastal Foredunes:A Review on the Effect of Dune Vegetation”. ERDC/CHL CHETN-I-94.
- Chang, K-I., Kim, S., Suk, S., Kim, C.-H. & Yoo, S.(1998). “Overview of KORDI's physical and biological research activities in the East/Japan Sea”, Marine Technology Society Journal, 32(4), pp.24~33.
- Chang, W. K., Ryu, J., Yi, Y., Lee, W.-C., Lee, C.-W., Kang, D., Lee, C.-H., Hong,

- S., Nam, J. & Khim, J. S.(2012). "Improved water quality in response to pollution control measures at Masan Bay, Korea", *Marine Pollution Bulletin*, 64(2), pp.427~435.
- Chen, J. L., Wilson, C. R. & Tapley, B. D.(2013). "Contribution of ice sheet and mountain glacier melt to recent sea level rise", *Nature Geoscience*, 6(7), pp.549~552.
- Clark, R. B.(2001). *Marine Pollution*. Oxford University Press. New York, p.249.
- Cosme, N., Jones M. C., Cheung, W. & Larsen, H. F.(2017). "Spatial differentiation of marine eutrophication damage indicators based on species density", *Ecological Indicators*, 73, pp.676~685.
- Costello, M. J., Coll, M., Danovaro, R., Halpin, P., Ojaveer, H. & Miloslavich, P.(2010). "A Census of Marine Biodiversity Knowledge, Resources, and Future Challenges", *PLoS One*, 5(8):e12110.
- Crosman, K.(2013) "The Roles of Non-Governmental Organizations in Marine Conservation", University of Michigan. Doctoral dissertation.
- Diaz, R. J. & Rosenberg, R.(2008). "Spreading dead Zones and Consequences for Marine Ecosystems", *Science*, 321(5891), pp.926~929.
- Domingo, J.L. & Bocio, A.(2007). "Levels of PCDD/PCDFs and PCBs in edible marine species and human intake: a literature review", *Environment International*, 33(3), pp.397~405.
- ELC. & Bernstein, B.(2016). "California Initiative To Define "Ocean Health"", Workshop Report: September 17, 2015, Oakland, CA, pp.4~5.
- Erzini, K., Monteiro, C. C., Ribeiro, J., Santos, M. N., Gaspar, M., Monteiro, P. & Borges, T. C.(1997). "An experimental study of gill net and trammel net 'ghost fishing' off the Algarve (southern Portugal)", *Marine Ecology Progress Series*, 158, pp.257~265.
- FAO(2018). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals*, Rome, Italy, p.227.
(<https://www.fao.org/documents/card/en/c/I9540EN/>)
- _____(2020). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020 - Sustainability in*



- action, Rome, Italy, p.244. (<https://doi.org/10.4060/ca9229en>)
- Fishbase(2021). Fishbase – A Global information system on fishes.
(<https://fishbase.se/home.htm>)
- Foy, L.(2001). “Radioactive Wastes”, In: Steele, J. H., Turekian, K. K. & Thorpe, S. A.(eds.), Encyclopedia of Ocean Sciences, Academic Press, pp.629~636.
- Frölicher, T. L. & Laufkötter, C.(2018). “Emerging risks from marine heat waves”, Nature Communications, 9(1):650.
- Garret Hardin(1968). “The Tragedy of the Commons”, Science, 162(3859), pp.1243~1248.
- GESAMP(IMO/FAO/UNESCO-IOC/WMO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Pollution)(1990). Report of the 20th Session of GESAMP, 1990, Geneva, 7-11 May, 1990. Reports and Studies. #41, p.42.
- Haken, J.(2011). “Transnational crime in the developing world”, Global financial integrity, 32(2), pp.11~30.
- Halpern, B. S., Frazier, M., Afflerbach, J., O’Hara, C., Katona, S., Lowndes, J. S. S., Jiang, N., Pacheco, E., Scarborough, C. & Polsenberg, J.(2017). “Drivers and implications of change in global ocean health over the past five years”, PLoS One, 12(7):e0178267.
- Halpern, B. S., Frazier, M., Potapenko, J., Casey, K. S., Koenig, K., Longo, C., Lowndes, J. S., Rockwood, R. C., Selig, E. R., Selkoe, K. A. & Walbridge, S.(2015). “Spatial and temporal changes in cumulative human impacts on the world’s ocean”, Nature communications, 6:7615, pp.1~7.
- Halpern, B. S., Longo, C., Hardy, D., McLeod, K. L., Samhouri, J. F., Katona S. K., Kleisner, K., Lester, S. E., O’Leary, J., Ranelletti, M., Rosenberg, A. A., Scarborough, C., Selig, E. R., Best, B. D., Brumbaugh, D. R., Chapin F. S., Crowder, L. B., Daly, K. L., Doney, S. C., Elfes, C., Fogarty, M. J., Gaines, S. D., Jacobsen, K. I., Karrer, L. B., Leslie, H. M., Neeley, E., Pauly, D., Polasky, S., Ris, B., Martin, K. S., Stone, G. S., Sumaila, U. R. & Zeller, D.(2012). “An index to assess the health and benefits of the global ocean”, Nature,

- 488(7413), pp.615~620.
- Heisler, J., Glibert, P., Burkholder, J., Anderson, D., Cochlan, W., Dennison, W., Gobler, C., Dortch, Q., Heil, C., Humphries, E., Lewitus, A., Magnostien, R., Marshall, H., Sellner, K., Stockwell, D., Stoecker, D. & Suddleson, M.(2008). "Eutrophication and Harmful Algal Blooms: A Scientific Consensus", *Harmful Algae*, 8(1), pp.3~13.
- Humborstad, O-B., Løkkeborg, S., Hareide, N-R. & Furevik, D. M.(2003). "Catches of Greenland halibut (*Reinhardtius hippoglossoides*) in deepwater ghost-fishing gillnets on the Norwegian continental slope", *Fisheries Research*, 64(2-3), pp.163-70.
- Huntington, H. P., Zagorsky, A., Kaltenborn, B. P., Shin, H. C., Dawson, J., Lukin, M., Dahl, P. E., Guo, P. & Thomas, D. N.(2021). "Societal implications of a changing Arctic Ocean", *Ambio*, pp.1~9.
- IAP(2021). IAP Statement on Protection of Marine Environments. InterAcademy Partnership
- IOC-UNESCO(2017). Global Ocean Science Report 2017 - The Current Status of Ocean Science around the World, L. Valdes et al. (eds), Paris, UNESCO Publishing, p.277. (<https://en.unesco.org/gosr2017>)
- _____ (2020). Global Ocean Science Report 2020 - Charting Capacity for Ocean Sustainability. K. Isensee (ed.), Paris, UNESCO Publishing, p.249. (<https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375147>)
- IPCC(2014). The Fifth Assessment Report: Climate Change 2014: Synthesis Report, Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds)], IPCC, Geneva, Switzerland, p.151.
- ISA(2020). Recommendations for the guidance of contractors for the assessment of the possible environmental impacts arising from exploration for marine minerals in the Area. Twenty-fifth session, Legal and Technical Commission session part I, ISBA/25/LTC/6/Rev.1, p.40.
- IUCN(2011). "International Earth system expert workshop on ocean stresses and



- impacts”, IPSO workshop-summary report, pp.4~14.
- _____(2019). Ocean Deoxygenation : Everyone’s Problem - Causes, Impacts, Consequences and Solutions, Laffoley, D. & Baxter, J.M.(eds.), p.580.
- Jambeck, J. R., Geyer, R., Wilcox, C., Siegler, T. R., Perryman, M., Andrady, A., Narayan R. & Law, K. L.(2015). “Plastic waste inputs from land into the ocean”, *Science*, 347(6223), pp.768~771.
- Kasler, M. J., Bullimore, B., Newman, P., Lock, K. & Gilbert, S.(1996). “Catches in ‘ghost fishing’ set nets”, *Marine Ecology Progress Series*, 145(1-3), pp.11-16.
- Khim, J. S., Hong, S., Yoon, S. J., Nam, J., Ryu, J. & Kang, S.-G.(2018). “A comparative review and analysis of tentative ecological quality objectives (EcoQOs) for protection of marine environments in Korea and China”, *Environmental Pollution*, 242, pp.2027~2039.
- Khim, J. S., Lee, C., Song, S. J., Bae, H., Noh, J., Lee, J., Kim, H.-G. & Choi, J.-W.(2021). “Marine Biodiversity in Korea: A Review Of Macrozoobenthic Assemblages, Distributions, And Human Impacts On Long-Term Community Changes”, *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 59, pp.487~536.
- Kim, B.-M., Son, S.-W., Min, S.-K., Jeong, J.-H., Kim, S.-J., Zhang, X., Shim, T. & Yoon, J.-H. (2014). “Weakening of the stratospheric polar vortex by Arctic sea-ice loss”, *Nature communications*, 5:4646, pp.1~8.
- Kim, S.(2010). “Fisheries development in northeastern Asia in conjunction with changes in climate and social systems”, *Marine Policy*, 34, pp.803~809.
- Kim, S. & Khang, S. H.(2000). “The Yellow Sea”, In: C. Sheppard (ed.), *Seas at the Millennium: An Environmental Evaluation, Volume II*, Elsevier Science, Pergamon, pp.487~498.
- Kim, S.-K., Lee, H.-J., Kim, J.-S., Kang, S.-H., Yang, E.-J., Cho, K.-H., Tian, Z. & Andrady, A.(2021). “Importance of seasonal sea ice in the western Arctic ocean to the Arctic and global microplastic budgets”, *Journal of Hazardous Materials*, 418:125971.

- Koh, C.-H. & Khim, J. S.(2014). "The Korean tidal flat of the Yellow Sea: Physical setting, ecosystem and management", *Ocean & Coastal Management*, 102(Part B), pp.398~414.
- Kug, J.-S., Jeong, J.-H., Jang, Y.-S., Kim, B.-M., Folland, C. K., Min, S.-K. & Son, S.-W.(2015). "Two distinct influences of Arctic warming on cold winters over North America and East Asia", *Nature Geoscience*, 8(10), pp.759~762.
- Lancaster, M. L., Winsor, P. & Dumbrielle, A.(2021). *Underwater Noise from Shipping: A Special Case for the Arctic, Sustainability in the Maritime Domain*, Springer International Publishing, Cham, pp.271~289.
- Lee, S. Y. & Khim, J. S.(2017). "Hard science is essential to restoring soft-sediment intertidal habitats", *Chemosphere*, 168, pp.765~776.
- Lebreton, L., Slat, B, Ferrari, F., Sainte-Rose, B., Aitken, J., Marthouse, R., Hajbane, S., Cunsolo, S., Schwarz, A., Levivier, A., Noble, K., Debeljak, P., Maral, H., Schoeneich-Argent, R., Brambini, R. & Reisser, J.(2018). "Evidence that the Great Pacific Garbage Patch is rapidly accumulating plastic", *Scientific Reports*, 8(1):4666.
- Leon, M. R.-D., Hughes, K. A., Morelli, E. & Convey, P.(2021). "International Response under the Antarctic Treaty System to the Establishment of A Non-native Fly in Antarctica", *Environmental Management*, 67(6), pp.1043~1059.
- Leverly, S.(2015). *NGOs, the UN and APA*, American Psychological Association. (<https://www.apa.org/international/united-nations/publications>)
- Liu, H., Jin, X., Wu, W. & Shen, C.(2019). "Evaluation and Research Analysis of Marine Ecological Suitability", *Journal of Marine Science*, 1(2), pp.39~43.
- MA(Millennium Ecosystem Assessment)(2003). *Ecosystems and Human Well-Being: a framework for assessment*, Island Press. Washington, DC. p.266.
- MIFAFF(2012). *The report of investigation on seabed litters and management plan in the Coastal and Offshore in Korea*, p.302.
- MRAG(2009). *Illegal, Unreported and Unregulated fishing. Marine Resources Assessment Group Ltd. And DFID, London.*



- (<https://mrag.co.uk/services/illegal-unreported-and-unregulated-fishing>)
- NASA(2019). Arctic and Antarctic Sea Ice: How Are They Different?
(<https://climate.nasa.gov/blog/2861/arctic-and-antarctic-sea-ice-how-are-they-different>)
- NOAA(2017). Quick reference: Put Green Infrastructure between Your Community and the Next Coastal Storm.
(<https://coast.noaa.gov/data/digitalcoast/pdf/gi-benefits.pdf>)
- Ocean Literacy(2010). Ocean Literacy Scope and Sequence for Grades K-12
(http://oceanliteracy.wp2.coexploration.org/?page_id=756)
- Ocean Literacy Campaign(2013). Ocean Literacy: The Essential Principles and Fundamental Concepts of Ocean Sciences for Learners of All Ages(version 2, March 2013).
(<https://www.coexploration.org/oceanliteracy/documents/OceanLitChart.pdf>)
- Paerl, H. W., Otten, T. G. & Kudela, R.(2018). “Mitigating the Expansion of Harmful Algal Blooms across the Freshwater-to-Marine Continuum”, *Environmental Science and Technology*, 52(10), pp.5519~5529.
- Pearson, T. & Rosenberg, R.(1978). “Macrobenthic Succession in Relation to Organic Enrichment and Pollution of the Marine Environment”, *Oceanography and Marine Biology-An Annual Review*, 16, pp.229~311.
- Peeken, I., Primpke, S., Beyer, B., Gütermann, J., Katlein, C., Krumpen, T., Bergmann, M., Hehemann, L. & Gerdt, G.(2018). “Arctic sea ice is an important temporal sink and means of transport for microplastic”, *Nature Communications*, 9(1), pp.1~12.
- Revill, A. S. & Dunlin, G.(2003). “The fishing capacity of gillnets lost on wrecks and on open ground in UK coastal waters”, *Fisheries Research*, 64(2-3), pp.107~113.
- Santoro, F., Santin, S., Scowcroft, G., Fauville, G. & Tuddenham, P. (eds).(2017) *Ocean Literacy for All - A toolkit*, IOC/UNESCO & UNESCO venice office, Paris (IOC Manuals and Guides, 80 revised in 2018).

- Scrimgeour, G.J. & Wicklum, D.(1996). “Aquatic Ecosystem Health and Integrity: Problems and Potential Solutions”, *Journal of the North American Benthological Society*, 15(2), pp.254~261.
- Shakhova, N., Semiletov, I., Leifer, I., Sergienko, V., Salyuk, A., Kosmach, D., Chernykh, D., Stubbs, C., Nicolsky, D., Tums koy, V. & Gustafsson, Ö.(2014). “Ebullition and storm-induced methane release from the East Siberian Arctic Shelf”, *Nature Geoscience*, 7(1), pp.64~70.
- Shim, W. J., Hong, S. H. & Eo, S.(2018). *Marine Microplastics : Abundance, Distribution and Composition in: Microplastic Contamination in Aquatic Environments*, Elsevier, pp.1~26.
- Song, S. H., Lee, H. W., Kim, J. N., Jeong, J. M., Ji, H. S., Jo, H.-S., Kim, D. H. & Park, C.(2021). “First observation and effect of fishery of seabed litter on sea bed by trawl survey Korea waters”, *Marine Pollution Bulletin*, 170:112228.
- UN(1992). *Report of the United Nations Conference on Environment And Development : Rio de Janeiro*, 2, pp.3~14.
(<https://digitallibrary.un.org/record/168679?ln=en>)
- ___(2017). *The First Global Integrated Marine Assessment: World Ocean Assessment I*, Cambridge University Press, p.1752.
(<https://www.unep.org/resources/report/first-global-integrated-marine-assessment-world-ocean-assessment-i>)
- ___(2021). *The Second World Ocean Assessment II*, United Nations, New York, 1, p.570; 2, p.520. (<https://www.un.org/regularprocess/woa2launch>)
- UNEP(2013). *Global Mercury Assessment 2013: Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport*. UNEP Chemicals Branch, Geneva, Switzerland, p.44.
- UNESCO(2020). *Ocean Literacy Portal*. (<https://oceanliteracy.unesco.org>)
- UNESCO-IOC(2021). *United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021~2030), Implementation Plan*. UNESCO, Paris (IOC Ocean Decade Series, 20.). (<https://en.unesco.org/ocean-decade>)



- UNGA(2017). International legally binding instrument under the United Nations Convention on the Law of the Sea on the conservation and sustainable use of marine biological diversity of areas beyond national jurisdiction, (General Assembly resolution 72/249) A/RES/72/249, p.4.
(<https://undocs.org/en/a/res/72/249>)
- USGS(2004). Linking Selenium Sources to Ecosystems: San Francisco Bay-Delta Model, U.S. Department of the Interior, U.S. Geological Survey, Fact Sheet 2004-3091, p.4. (<http://purl.access.gpo.gov/GPO/LPS99259>)
- _____(2019). How much water is there on Earth?. (<https://www.usgs.gov/media/images/all-earths-water-a-single-sphere>)
- WEF(World Economic Forum)(2021). Global Risks Report 2021, 16th Edition, published by the World Economic Forum, Geneva, Switzerland, p.97.
(<http://wef.ch/risks2021>)
- Whiteman, G., Hope, C. & Wadhams, P.(2013). "Vast costs of Arctic change". *Nature*, 499(7459), pp.401~403.
- Yim, J., Kwon, B.-O., Nam, J., Hwang, J. H., Choi, K. & Khim J. S.(2018), "Analysis of forty years long changes in coastal land use and land cover of the Yellow Sea: The gains or losses in ecosystem services", *Environmental Pollution*, 241, pp.74~84.
- Yim, U. H., Hong, S., Lee, C., Kim, M., Jung, J.-H., Ha, S. Y., An, J. G., Kwon, B.-O., Kim, T., Lee, C.-H., Yu, O. H., Choi, H. W., Ryu, J., Khim, J. S. & Shim, W. J.(2020). "Rapid recovery of coastal environment and ecosystem to the Hebei Spirit oil spill's impact", *Environment International*, 136:105438.

KAST Research Report 2021

한림연구보고서 141

해양환경보호활동에 대한 국내외 현황과 정책 방향

Current status and future policy direction on
"Protection of Marine Environments" activity

부 록



부록 1 국제한림원연합회(IAP)의 해양환경보호 성명서

(1) IAP 성명서란?

국제한림원연합회는 인류의 삶과 번영에 중요한 과학, 의학, 정책 사안에 대하여 매년 성명서를 발표함으로써, 인류가 현재 당면하고 있는 기후, 질병, 식량, 교육, 인구 문제 등의 위기의식에 대하여 진지하게 고민을 하고, 이 난제를 극복하기 위한 새로운 방향을 제시함.

* 1994년에 최초의 성명서가 만들어진 이후, 총 28차례에 걸쳐 성명서가 만들어졌음.

* 해양관련성명서는 2009년 해양산성화 이래 두 번째임.

(2) 한국과학기술한림원(KAST)의 IAP 성명서 추진 배경과 경과

■ 추진 배경:

- G20 회의에서는 각국 정상들이 여러 국제적 현안 주제에 대하여 다른 정상들과 토의를 하는데, 과학 주제는 각국 한림원이 대표가 되는 S20에 위임하며, 통상 G20 회의 개최국 한림원이 토의 주제를 선정함.
- 2019년 G20 회의는 일본에서 개최되었고, 당시 일본학술회의에서는 해양환경 이슈를 부각시켜, 그해의 과학 주제로 선정하였음. 주제: 해양생태계에 대한 위협 및 해양환경보호 - 기후변화 및 해양 플라스틱 폐기물에 주목하여(Threats to coastal and marine ecosystems, and conservation of the ocean environment - with special attention to climate change and marine plastic waste)
- 한국과학기술한림원(KAST)도 S20에 참석하여, 2019년 12월 북서태평양의 해양식량 및 환경의 심각성을 알리고, 북서태평양 해역의 가치를 알리는 국제 심포지엄을 개최하였음. 주제: 북서태평양지역 해양식량안보에 대한 기회와 과제(Opportunities and challenges on marine food security in the northwestern Pacific Ocean)
- 국제 심포지엄을 성공적으로 치른 한국과학기술한림원은 해양환경보호활동을 사회에 부각시키는 것이 좋을 것으로 판단하여, 2020년에 해양환경보호에 관한 성명서 제안서를 국제한림원연합회에 제출함.

■ 경과:

2020년 2~3월 성명서 제안서 제출 및 선정

2020년 4월 IAP 성명서 추진절차 안내 회의 개최 (IAP-KAST 화상회의)

2020년 5월	성명서 초안작성위원회(Zero Drafting Committee) 구성 및 개최 (강수경, 김중성, 김수암, 심원준, 이운호, Chris Brown 교수) (5~11월 기간에 총 8회 회의)
2020년 7월	IAP 성명서 워킹 그룹(Statement Working Group) 결성 및 초안에 대한 검토 의견 접수(15개국, 18명 전문가, 총 3회 리뷰)
2020년 11월	IAP 성명서 최고위급위원회(Statement Governance Committee) 승인 및 회원국 아카데미 승인 요청
2021년 1월	IAP 한림원 과반수 승인 완료
2021년 2~4월	국문 성명서 작성
2021년 6월	공표(한국 바다의 날/IOC DOS 공표) → 성명서 공표 심포지엄 개최

(3) 해양환경보호 성명서의 주제와 의의

■ 주제:

본 성명서에서는 건강한 바다, 서식지 파괴, 환경오염물질, 기후변화, 수산자원 남획의 5가지 주제를 선택하여, 각 주제별 중요성과 세계적 현황을 소개하였으며, 뒷부분에 각국 정부와 한림원, 시민단체에 보내는 권고사항을 채택하였음.

■ 의의:

무분별한 인간 활동과 극심해진 기후변화로 인하여 해양은 심각하게 병들어가고 있는데, 해양환경과 해양수산자원이 더 이상 파괴되거나 훼손되지 않게 하여 바다의 기능을 되찾고 인류의 삶을 풍요롭게 하자는 것.

해양 문제는 해양만의 문제가 아니라 전 지구적 문제, 인류 모두에게 공통적으로 해당되는 문제라는 것을 국제한림원연합회에서도 공감을 한 것.

인류 사회에 중요한 과학 의제에 대하여 우리나라가 제안하고, 직접 작성한 성명서를 전 세계에 공표함으로써 국제과학계에 대한민국의 위상을 높임.



부록 2 해양환경보호 성명서 기념 심포지엄 프로그램과 전문가 토의

Youtube 국제한림원연합회 해양환경보호 성명서 공표 심포지엄

<https://youtu.be/aZwUcEZJh8I>

일시: 2021년 6월 4일

장소: 경남 소노캠 거제

심포지엄 프로그램:

행 사 명 국제한림원연합회 해양환경보호 성명서 공표 심포지엄

주 제 Protection of Marine Environments

일 시 6월 4일(금), 14:00 ~ 18:30

장 소 온라인 생중계(한국과학기술한림원 유튜브채널)

주 최 한국과학기술한림원, 한국해양과학기술원

시간	구성
13:30~14:00	등록
개회식	사회_김부근 부산대학교 교수
14:00~14:10	개회사 한민구 한국과학기술한림원 원장 축 사 Richard Catlow 국제한림원연합회 회장
14:25~14:40	성명서 소개(Protection of Marine Environments) 김수암 한국과학기술한림원 정회원
세션1_해양환경보호에 대한 세부주제 발표 좌장_장창익 한국과학기술원한림원 정회원	
14:25~14:40	해양건강성 악화와 생물다양성 김종성 서울대학교 교수
14:40~14:55	해양 서식지 파괴에 의한 연안 생태계 변화 권봉오 군산대학교 교수
14:55~15:10	환경오염물질 김성길 해양환경공단 해양수질팀장
15:10~15:25	기후변화와 해양환경변화 국종성 POSTECH 교수

15:25~15:40	우리나라 연근해 수산자원 현황과 관리방안 강수경 국립수산과학원 해양수산연구원
15:40~15:55	남극과 북극의 바다, 멀고도 가까운 지구환경 건강 지킴이 신형철 극지연구소 부소장
15:55~16:10	플라스틱 감축 이니셔티브 홍윤희 세계자연기금 사무총장
16:10~16:25	휴식
세션2_질의응답 및 토의 좌장_이윤호 한국해양과학기술원 부원장	
16:30~17:00	토론
	정 책_ 남정호 한국해양수산개발원 해양연구 본부장
	교 육_ 신춘희 한국해양교육연구회 회장
	언 론_ 김진두 YTN 보도국 문화생활과학부 부장
	산 업_ 윤석민 포항산업과학연구원 환경에너지연구그룹장
	시민단체_ 홍선욱 동아시아바다공동체 대표
	국제협력_ 이윤호 한국해양과학기술원 부원장
17:00~17:30	질의응답
17:30~18:15	자유토론
제 언 사회_김부근 부산대학교 교수	
18:15~18:30	박병권 한국과학기술한림원 종신회원
	김태욱 고려대학교 교수 김용서 한국해양과학기술원 원장
18:30	폐 회

토론 참여자: 이윤호, 한국해양과학기술원 (사회)

- | | |
|---------------------|----------------|
| 강수경, 국립수산과학원 | 국종성, 포항공대 |
| 권봉오, 군산대학교 | 김성길, 해양환경공단 |
| 김수암, 부경대학교 | 김종성, 서울대학교 |
| 김진두, YTN | 남정호, 한국해양수산개발원 |
| 신형철, 극지연구소 | 신춘희, 한국해양교육연구회 |
| 윤석민, POSCO 환경에너지연구소 | 홍선욱, 동아시아바다공동체 |
| 홍윤희, WWF | |



좌장(이윤호): 해양환경보호 심포지엄에 참여하신 발표자와 토론 패널에게 질문을 드리고 답을 듣는 시간을 가지도록 하겠습니다. 많은 질문이 인터넷을 통하여, 그리고 오늘 현장에서 접수되었는데, 질문을 주제별로 정리하였습니다.

1. 해양 플라스틱

Q: 해양 미세플라스틱 문제를 해결하기 위하여 개개인이 명심해야 할 기본 원칙은 무엇인가?

A: (홍윤희) 해양 플라스틱 쓰레기 문제를 해결하는 시작은 개인 차원의 현명한 소비와 선택, 의사결정이다. 올바른 소비와 현명한 의사결정을 할 수 있는 개인은 기업이 생산한 제품을 구매하는 주체이기 때문에 기업을 상대로 재활용할 수 있는 소재를 사용하여 제품을 생산하거나 재활용이 쉬운 소재를 사용하도록 요청 혹은 압력을 행사할 수 있다. 이러한 개인들의 노력은 정책 결정자들과 정부에 지지를 보내거나 정책설정 단계에서 시민들의 요구를 관철할 수도 있다. 현명한 소비를 실천하는 개인은 쓰레기 문제에 관심을 가지는 단계에서 시작한다. 그러므로 과학자와 전문가들은 플라스틱 쓰레기 문제를 일반 대중에게 지속해서 널리 알리려고 노력해야 하고, 어떠한 방법으로 알리는 것이 가장 효과적인가에 대한 고민이 필요하다.

Q: 우리나라 바다의 미세플라스틱의 오염도가 세계 최고 수준이라 하는데 이에 대한 해결책은 있는가?

A: (홍윤희) 한국 바다의 심각한 미세플라스틱 오염 상황은 이미 알려져 있다. 현재 미세플라스틱 농도는 여러 국가가 함께 조사 중이다. 아쉽게도 미세플라스틱 쓰레기의 발생 이유와 원인 국가에 대한 연구는 많지 않아서 어느 국가에서의 책임이 더 큰지는 알 수 없다. 이에, 해양 쓰레기와 미세플라스틱을 과학적으로 연구하기 위한 투자가 필요하고, 그 연구결과를 이용하여 정책을 만들어야 하며, 국제적으로 미세플라스틱 감소를 위한 협동 연구를 펼쳐나가야 할 것이다.

2. 해안 쓰레기

Q: 해양 연안 정화활동을 하면 쓰레기의 대부분이 육지에서 흘러온 것이고 바다에서 기인한 쓰레기도 많다. 해양 쓰레기 방지방안, 쓰레기 없는 바다를 위한 근본 대처 방안은 무엇인가?

A: (홍선욱) 바닷가에서 발견되는 쓰레기를 오랜 기간 살펴본 결과 절반 정도는 육지에서 발생한 일반 생활 쓰레기이고, 나머지 절반 정도는 어업과 양식업에서 발생하는 쓰레기이다. 해안에서 발견되는 전체 쓰레기의 절반에 해당 되는 육지 유래 쓰레기를 발생시키는 비 어민의 숫자는 5,000만 명이고, 나머지 절반의 쓰레기를 발생시키는 어민의 숫자는 25만 명 미만이다. 이는 전 국민에 의한

쓰레기 감소 배출 노력도 중요하지만, 어민들에 의한 쓰레기 감축 노력만으로도 획기적인 해양 쓰레기의 감소 효과가 나타날 수 있음을 의미한다. 해안 오염원의 절반을 차지하는 폐어구를 줄이기 위해 우선 불법 어구 사용, 허가되지 않은 장소에서의 어업, 규격에 맞지 않는 어구 설치 및 어로행위 같은 불법적인 어업을 막아야 한다. 어구관리법이 불법어업을 줄일 수 있는 좋은 관리 방안으로 생각되었으나, 최근 3년 동안 국회 계류되다가 폐기되었다. 이에 어장관리법의 시행령을 바꾸어 스티로폼 어구를 대체하였듯, 현재 시행되는 법률을 정비·보강하여 어구쓰레기 발생을 줄이는 방법을 모색해야 할 것이다.

3. 해양오염물질

Q: 해양오염물질을 없애기 위해 일반 시민들은 어떤 노력을 할 수 있나?

A: (김성길) 시민들이 일상생활 속에서 해양오염물질을 줄이기 위해 실천할 수 있는 것들은 음식물 쓰레기 줄이기, 재활용 증가, 건전지와 같은 오염증금속에서 나오는 것들은 제대로 분류하는 것 등이 있다. 앞서 언급되었던 미세플라스틱 발생 원인 중 첫 번째는 합성섬유 의류 조각이고 두 번째는 타이어에 의한 플라스틱 조각이라는 연구결과가 제시되었다. 이 결과로 미루어보면 미세플라스틱을 줄이기 위해 시민들은 각 가정에서 세탁 횟수 감소, 대중교통 이용으로 미세플라스틱 감소를 유도할 수 있을 것으로 생각된다.

Q: 유조선 사고와 같이 대량의 기름 방출과 같은 전량 수거를 위한 방제기술개발 방안이 있는가?

A: (김성길) 국제적으로는 해양유류 방제를 위하여 시간당 100톤의 유출된 유류를 수거할 수 있는 유해수기가 개발되어 있다. 현재 국내에서 사용되는 해양 방제 유해수기는 시간당 30~50톤의 유류를 제거 할 수 있고, 최근 KOEM에서 시간당 65톤을 수거 할 수 있는 기계가 개발되었다. 허베이스피리트 유류유출사고 이전에는 모든 해양 유류오염 수거 장치가 외국산이었으나 그 이후 국내 특성에 맞는 여러 종류의 장비가 개발되었다. 아직 국제적으로 최고 수준의 방제기술을 보유하지는 못했지만, 국내에서도 지속해서 해양유류오염에 의한 방제기술과 기기를 개발하고 있다.

4. 해양환경보호

Q: 해양 드론을 활용한 해양환경보호계획이나 RnD 사업이 있는가?

A: (김종성) 해양 수중 드론을 이용한 연구는 다양한 방면에서 진행되고 있다. 예를 들면 감시와 모니터링의 방법으로 드론을 사용하고, 쓰레기 문제를 해결하기 위해 불법 어구 단속 등에 사용할



가능성도 있으며, 수중 쓰레기의 종류와 규모를 확인하기 위한 방법으로 사용할 수 있다. 유럽에서는 수중 쓰레기 수거에 기계를 사용하기도 한다. 수중 드론은 4차 산업의 인공지능 분야와 함께 개발되고 있고, 국가에서는 드론을 이용한 해양수산 3대 전략 등을 발표하였다. 향후 RnD 분야에서도 연구와 지원이 있을 것으로 예상된다.

Q: 우리나라 주변 바다뿐만 아니라 대양심해 탐사 결과를 해양환경보호와 연계할 수 있을까?

A: (김종성) 바다는 육지와 대기와 함께 연결되어 있는데 우리나라의 해양연구는 단절되어 있다. 환경부와 해수부의 관할권에 의해 바다를 조사할 때 땅과 하천, 하구 등이 함께 연구되지 않는 경우가 있다. 조사뿐만 아니라 관리의 차원에서(국가 수준에서) 조금 더 전체적이고 넓은 시야를 가진 연구지원 체계가 필요하다. 앞서 1부에서 신형철 박사님의 남북극 해역의 중요성과 해양환경보호를 함께 포괄적으로 연구해야 한다는 발표 내용처럼 대양과 연안의 연구가 멀리 떨어져 있는 것이 아니므로 연구의 연계와 연구결과의 상호 적용이 가능하게 되기를 기대한다.

5. 기후변화

Q: 기후변화와 관련해 우리나라 해양생태계에 직면한 문제는 무엇이며, 우리가 특히 관심을 가져야 할 분야는? 또한, 요즘 탄소중립이 화두인데, 해양산성화 부분이 많이 알려지지 않아서 이 부분에 대한 설명을 보완해 주시기 바랍니다.

A: (국종성) 지구 온도의 상승과 환경이 바뀌어 사막화 진행, 육상 생태계의 병충해 창궐, 건조로 인한 산불 증가 등 여러 현상이 유도된다. 해양 역시 해면수온 상승, 해양산성화, 해양열파가 해양생태계에 미치는 영향 변화 등 여러 문제가 발생한다. 여러 문제 중 해양산성화가 중요한 이유는 이 현상이 단순히 산호와 갑각류의 성장과 생존에 영향을 주는 것뿐만 아니라 생태계의 균형이 흐트러지는 결과가 나타나게 될 것이기 때문이다. 생태계 내부 균형이 흐트러지는 것은 곧 전체 생태계를 무너트리는 결과가 도출될 수 있으므로 해양산성화 현상에 대한 현재 상황과 연구결과에 시민, 전문가, 정책입안자들 모두가 관심을 기울여 주기 바란다.

6. 해양생태계, 서식지 관리

Q: 해양생태계의 지속가능한 관리와 보호를 위해 우리가 할 수 있는 최선의 조치는 어떤 것들이 있으며, 현재 우리나라에서 가장 취약하고 우선하여 보호되어야 할 곳은 어디인가?

A: (권봉오) 우리나라 연안에서 우리가 먼저 해야 하는 일은 보호구역 지정이다. 우선 보호구역으로 지정해두는 이유는 아직 알지 못하는 해양의 가치를 보호하는 것이고 보호구역 지정 이후에는

훼손되기 이전 해양생태계로 돌리는 복원사업이 지속해서 진행되어야 한다. 우리나라 해양생태계에서 가장 먼저 보호되어야 하는 장소는 갯벌이라 생각된다. 첫 번째 이유는 갯벌은 육상과 해양의 연결고리로 아주 중요한 해양생태계의 씨앗이라 볼 수 있다. 어떤 연구에 의하면 연안의 플랑크톤 1차 생산의 50% 가 갯벌에서 시작된다는 결과가 있다. 두 번째 이유는 이미 갯벌은 과도하게 이용되고 있다는 측면에서 보호구역으로 지정되어야 한다. 조금만 관심을 더 기울이면 우리나라 연안은 어장, 해로(수로) 등 여러 가지 용도로 과도하게 이용되고 있는데 일부라도 보호구역이 되어야 한다.

Q: 공해상의 30%를 2030년까지 해양보호구역으로 지정하는 움직임에 관한 소개 부탁.

A: (권봉오) 세계해양연합(Global Ocean Alliance)은 2030년까지 공해 일부(30%)를 해양보호구역으로 지정하는 계획을 발표하였고, 한국 정부는 2021년 P4G 정상회의 이후 공해 30% 이상을 해양보호구역으로 지정하는데 찬성하는 입장을 공식 발표하였다.

7. 해양환경보호 정책 인식 증진

Q: 해양환경보호 정책에 대한 전 세계인의 관심과 참여를 확대하기 위한 방안 무엇인가?

A: (김진두) 해양환경이 나와 관련되어 있다는 인식을 사람들의 머릿속에 심어주는 것이 중요하다. 예를 들면 미세먼지에 노출되면 건강을 해칠 수 있고, 수명이 줄어든다는 연구결과가 나의 건강과 연관성이 생기면서 사람들의 관심이 집중되었다. 해양 쓰레기와 미세플라스틱이 생물의 건강과 수명에 부정적인 영향을 준다는 연구결과가 널리 알려져서 [이 문제는 나의 문제다]라는 인식을 확실하게 만들면 대처가 빨라질 수 있다. 특히 미세플라스틱과 플라스틱의 생태계 농축, 인간의 식품으로 사용 되는 현상에 대한 연구가 많이 진행되어 건강에 미치는 악영향에 대한 연구결과를 언론에서 대중들에게 더욱 적극적으로 알린다면 바다쓰레기 문제는 우리가 직접 조절할 수 있으므로 미세먼지 문제보다 훨씬 빠르게 해결할 수 있을 것으로 예상된다.

A: (신춘희) 언론과 매스컴에서 진행하는 캠페인, 관련 기사를 많이 다루어주는 것과 학교에서의 교육이 중요하다. 하지만 현재 학교 교육을 담당하는 선생님들이 교육과정 운영에 바빠서 학생들이게 이런 문제를 전달하는 기회를 찾지 못하는 경우가 많다. 해양환경, 해양 쓰레기 문제가 중요하다는 것을 교육청의 교사 연수에 포함하여 교사의 인식을 강화하고자 노력하고 있다. 예전에 환경교육이 중요하다고 80-90년대 교원 연구의 교양과목으로 환경교육연구가 생겼던 것과 같이 현재는 기후 문제, 해양환경보호 문제가 중요하므로 교사들의 연수과정에 포함될 수 있도록 교육청 관계자들을 설득하고 있다.



8. 해양환경보호와 당사자 이해충돌

Q: 해양환경보호를 추진할 때 예상되는 이해충돌 문제, 법적 다툼에 대한 대응 계획이 있는지?

A: (남정호) 해양 분쟁 관련 법안을 2000년대 중반에 만들려고 하였으나 아직 국회를 통과한 법안은 없다. 현재는 각 부처에서 갈등조정관리에 관한 지침을 이용하여 해양에서 발생하는 분쟁을 조절한다. 해양 분야에서 발생하는 환경 관련 갈등 조정에 관한 내용은 해양 거버넌스 측면에서는 없으나 갈등관리와 갈등 해결을 위한 방향 제시와 지침 형태는 있다고 알고 있으나 제대로 지침이 작동되지는 않고 있다. 특정한 해역에서는 과거에 생겼던 해양과 육지 사이의 오염물질 투기 문제가 아주 잘 해결된 결과는 있었다.

Q: 이해충돌 문제에 대한 향후 계획은 무엇인가?

A: (남정호) 해양환경은 공간, 자원, 다양한 부분으로 나누어 볼 수 있는데, 분쟁이란 공간, 자원, 이외의 다양한 부분에서 이익이 상충하는 문제를 해결해야 하는 일이다. 공유지는 한계가 있고, 한쪽이 많이 가지면 다른 한쪽이 적게 가지게 되는 것이 당연하다. 이를 합리적으로 조정하기 위한 절차는 1. 과학적 사실, 2. 각각의 의사결정권, 이해당사자의 충분한 참여 권리 보장이라 생각되고, 이 두 가지가 뒷받침된다면 분쟁에 대한 중재는 충분히 가능하리라 생각된다.

9. 수산자원

Q: 해양생태계의 변화로 생물종의 서식에 큰 어려움이 닥치고 있으나 실행에 옮겨야 할 어업인들은 아무 대책을 세우지 못하고 있다. 이런 상황에 대응하여 실천할 수 있는 구체적인 대책이 있는가?

A: (강수경) 실제 해양생태계의 변화가 감지되었고 바다에 나타나는 어종의 변화도 나타났다. 현장에서 어업종사자들은 이와 같은 변화를 가장 빨리 느끼고 정부에 변화된 상황을 알리며 지속가능한 어업을 위해 조치를 요구하고 있다. 예를 들면 금어기 기간 변화, 어획금지체장 변화를 요청 등이 있고, 현재 사용하는 어구 어법의 개선과 새로운 어종에 대한 어법과 어구의 승인을 요청하는 경우도 많다. 일부 목소리를 내지 못하는 어업인들의 경우는 변화하는 환경과 어업 사이에 간극이 생기는 경우도 있다.

Q: 연근해 수산자원을 회복하고 자원을 증대 할 수 있는 방안이 있는가?

A: (강수경) 이미 감소한 수산자원을 급격하게 증가시킬 방안은 없다. 이제는 어업인을 비롯한 모든 소비자는 수산자원의 양적 성장보다는 질적 성장에 더 많은 관심을 보인다. 같은 양을 어획해도 어린 물고기보다는 큰 물고기를 어획하는 것이 어민에게 더 좋은 결과를 안겨줄 수 있다. 수산물의

질적 증가를 위해서는 소비자의 인식변화도 중요하다. 수산자원의 질적 향상을 위하여 작고 어린 물고기와 산란기 알배기 물고기를 소비자가 외면하고 소비하지 않으면 어민들 역시 어획하지 않을 것이다. 이런 방법으로 수산자원의 증대를 꾀할 수 있다.

10. 극지

Q: 극지해역을 오염시키는 장거리 이동에 의한 오염물질의 실상은 어떠한가?

A: (신형철) 문명 세계에서 문제가 되는 오염물질과 극지역에서 걱정하는 오염물질의 종류가 같다. 쉽게 분해되지 않는 유염물질, 미세먼지, 미세플라스틱 모두 같은 문제가 발생한다. 양으로 따지면 극지해역에 나타나는 오염의 정도가 심각하진 않지만 그렇다고 전혀 없지도 않다. 문제가 되는 물질들의 가장 큰 특징은 생체농축이므로 극지해역 거주민들의 건강을 위협할 수 있는 수준의 문제를 만들고 있다. 극지로 오염물질이 유입되는 경우는 바람과 물길과 자체 생산된 오염물질인데, 문명사회의 책임을 상대적 비율을 밝혀내는 것만으로도 충분한 문제의 해결이 가능할 것으로 생각된다.

자유 토론

좌장(이윤호): 향후 해양환경보호를 위한 방향을 제안하는 자유토론 시간입니다. 다음의 질문에 대하여 의견을 주시기 바랍니다.

Q. 1. 해양환경보호를 위해 시급히 추진해야 할 과학적 연구와 국가정책은 무엇이며, 어떻게 과학과 국가정책을 연계하여 시행해야 할까요? 해양환경보호를 위한 국가의 거버넌스 구조는 어떻게 구축하여 운영할 것인가?

A: (김진두) 해양환경보호를 위한 연구개발이 활발하게 이루어지지 않는 것 같다. 해양환경보호를 위한 연구개발은 구체적으로 국민들이 우려할만한 안전에 대하여 연구가 되어야 하고, 그 결과가 제대로 국민들에게 알려져야 한다. 정확한 연구결과가 알려지면 자연스럽게 시민문화로 연결될 가능성이 높고, 문화가 바뀌면 더 많은 시민들의 행동으로 이어지게 될 것이다. 정부 차원의 거버넌스를 언급하기 이전에 제대로 된 연구개발에 의해 얼마나 현재 상황이 심각하고 어떤 점이 인간에게 위협이 되는지 밝히는 노력이 선행되어야 할 것이다.

A: (김수암) 일 년 전 코로나바이러스 팬데믹이 시작될 때 모든 사람이 마스크를 쓰지는 않았으나,



이제는 마스크를 착용하는 것이 기본 소양이 되었다. 이것과 마찬가지로, 플라스틱 소비량을 줄이고, 산업과 소비에서 플라스틱 재료를 아끼려는 인식이 건전한 시민의식으로 자리를 잡아 지구환경과 해양환경을 보존하는 개인의 행동이 일상화되기 바란다. 거버넌스 이슈를 본다면, 우리나라 시민활동가들의 활동이 많아졌고, 연구자들의 노력도 증가하였다. 사업체는 ESC 사업으로 환경에 관심을 기울이고, 정부는 10년 전보다 훨씬 해양환경 문제에 관심을 많이 기울이고 있으며, 정부의 시각도 해양환경보호 방향으로 많이 바뀌었다. 각자 자기 자리에서 열심히 노력하고 있지만 각각의 노력이 서로 연결되는 체계가 원활하게 구축되지 않은 것으로 보인다. 모든 사람이 가진 역량과 노력의 효과가 배가될 수 있고, 지속적으로 진행될 수 있는 플랫폼을 정부에서 구축해 주기를 바란다. 모든 활동은 정부의 집중적인 지원이 있어야 한다. 거버넌스 문제는 정부의 관심이 필요하다.

A: (김성길) 해양환경보호 성명서에서 지적된 다섯 가지 사례 중 보호를 위한 부분과 관련하여 해양수산부의 제5차 해양환경종합계획을 수립하면서 6대 전략을 수립하였다. 6대 전략 안에 해양환경보호 성명서의 사례들이 모두 포함되어 있다. 해양을 조사·평가·관리하는 체계를 통하여 궁극적으로 녹색의 바다를 만들겠다는 것이 목표이다. 세부 실행계획들에 현재 존재하는 여러 문제를 해결하기 위한 방안을 제시하는 RnD, 국가 정책, 시민사회 교육, 정책의 흐름을 일원화시키는 방향으로 계획하고 진행되고 있다. 질문하신 부분들에 대해서는 국민께서는 정부를 믿고 지지해 주시기를 바란다.

A: (김종성) 앞서 발표한 내용에서 해양건강성지수 10개 항목 중 연안재해(침식) 분야와 탄소저장분야 항목은 자료가 없어서 점수를 받지 못하였다. 국가적으로 탄소중립 관련 탄소저장 및 감축 비율 분야는 어느 정도 준비가 되었다고 보이지만, 전체 지구적인 관점에서 보자면 아직 제대로 평가받지 못한 상황이다. 김진두 기자의 말씀처럼 해양환경보호는 특별한 이슈가 되지 않아서 대중의 관심이 집중되지 않는 상황인 것도 문제이지만, 연구자들과 과학자들이 정책을 하시는 분들과 일반인들에게 알리려는 노력을 열심히 하지 않았다는 사실을 깨닫고 반성하게 된다. 한림원 연합회의 성명서는 학자들이 해양에서 알아낸 결과를 국민들과 전 세계가 함께 행동할 수 있는 마중물 역할을 한다는 점에서 의미가 크다. 과학과 정책의 융합은 쉽지 않고, 일반 대중에게 과학적 성과를 알리는 일도 쉽지 않다. 서로 무엇을 어떻게 하는지 모르고, 서로 관심도 없었기 때문에 서로의 생각이 융합되지 못한 것으로 생각된다. 미국의 학회는 일반인들도 참여할 수 있는 기회가 있는데 국내 학회 중 일반인들에게 참여를 유도하는 학회는 없을 것이다. 이제 시각을 바꾸어서 과학은 과학자만 하는 것이 아니라는 것을 학자들이 깨닫고 일반인들의 지식과 생각을 공유하여 연구역량을 높이고 서로 소통하는 연구를 진행해야 할 것으로 보인다.

Q. 2. 일반인과 기업을 중심으로 일반인과 기업이 해양환경보호 필요성에 대한 인식을 증진하고, 실천력을 높일 수 있는 방안은 무엇인가?

A: (신춘희) 몇 년 동안 해양환경 교육을 위해 학교에서 해양환경 동아리를 운영하였다. 동아리 구성원에 학생, 학부모, 교원이 모두 포함되도록 하여 학교가 해당 지역 사회의 해양환경운동의 중심점이 되도록 노력해왔다. 학교가 지역의 해양환경보호를 주도하는 중심적인 역할을 해주면 좋겠다.

A: (윤석민) 기업을 대표할 수는 없으나, 포스코를 통하여 해양보호 연구를 수행한 사례가 있다. 15년 전부터 제철 공정 부산물인 슬래그(철 20%가량 함유)를 활용하여 해조류가 서식하도록 설계한 인공어초 3종을 개발하였다. 오랜 기간 안전성 검증을 거쳐 2014년에 해양수산부로부터 일반 어초 허가과 등록을 받았고, 이를 갯녹음이 발생하여 사막화된 해안에 투입하여 바다숲 형성 연구를 진행하고 있다. 최근에는 울릉도 앞바다의 사막화 현상을 개선하기 위하여 인공어초 설치 후 해조류 증식을 모니터링 하고 있다. 이 사업은 해조류에 의한 CO₂ 저감에도 효과가 있을 것으로 예상하여 포스텍과 협력하여 블루카본양 측정을 수행할 예정이다. 포항과 울진 인근에 추가 인공어초 설치 요청이 들어올 정도로 나름 성공적인 사업을 진행하고 있다. 앞서 수행된 여러 연구가 해양환경의 복원과 유지에 도움이 되는 것이 증명되면 그 결과가 널리 알려지고 사용되어 해양환경에 도움이 될 수 있을 것으로 생각된다.

A: (김진두) 해양환경보호와 관련하여 가장 놀라운 점은 미국 시민사회에서 제기된 해양 플라스틱 쓰레기 이슈가 국내 시민들에게 전파되자 국내기업들이 빠르게 대응한 것이다. 예를 들면 미국 스타벅스의 플라스틱 빨대 사용금지와 매장 내부 다회용 컵 사용 규칙이 결정되자 국내 스타벅스도 이를 받아들여 적용하였다. 기업들은 일반 시민들이 관심을 기울이는 환경 이슈에는 아주 빠르게 반응하고 스스로 변화하고자 노력하는데 이때 정책적인 부분이 조금만 뒷받침 되어 준다면 시민들은 당장은 불편하겠지만 환경을 보호할 수 있는 방향으로 자연스럽게 바뀌어 갈 것이다. 또한 기업 주도 ESC 경영을 확대하여 모든 기업이 환경보호 활동을 시작하고자 할 확률이 높아진다. 기업의 ESC 경영에 사회-경제-학계(한림원)가 포함되고 정책이 뒷받침된다면 플라스틱 빨대의 변화가 빠르게 일어났듯 해양환경보호에 관한 여러 가지 이슈들이 아주 빠르게 개선될 수 있을 것으로 예상된다.

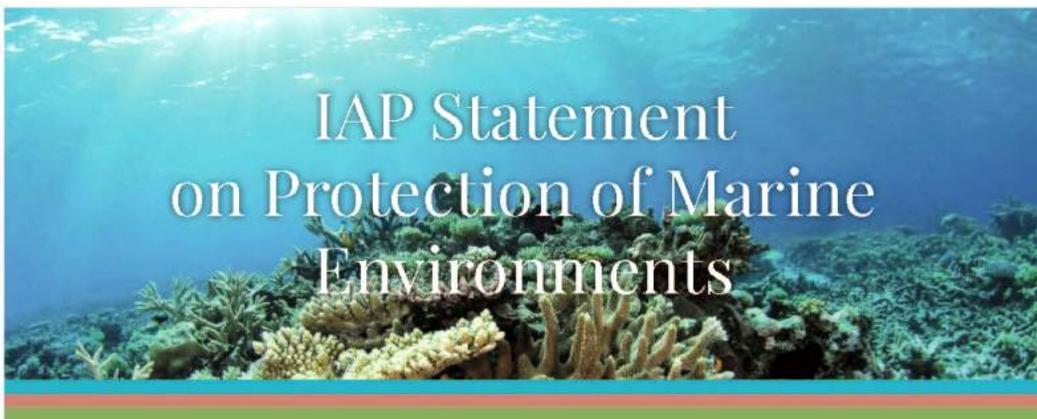
A: (홍선욱) 최근 언론에서 자주 플라스틱 이슈를 다루면서 일반인들의 해양 쓰레기에 대한 인식이



높아졌다. 개인들의 자발적 활동이 증가하였는데, 이는 정부의 정책 속도보다 빠른 것으로 보인다. 일회용품 사용을 줄이고 친환경 생활로 변화해 가는 문화가 생각보다 빠르게 진행되고 있다. 바닷가에서 발견되는 쓰레기 중 시민들의 노력으로 감소시킬 수 있는 쓰레기 종류는 네 가지이다. 1. 플라스틱 물병, 2. 비닐봉지, 3. 필름류의 포장, 4. 스티로폼 용기를 줄이는 노력과 재활용 비율의 증가는 우리 바다의 쓰레기의 20%를 감소시킬 수 있다.

A: (홍윤희) 과학자들은 해양 쓰레기와 해양의 오염된 상황이 인간의 건강에 얼마나 안 좋은 영향을 주는지, 신체의 어느 부분에 악영향을 미치는지, 쓰레기의 근원이 어디인가에 대한 정보를 제공해야 한다는 점에서 과학적 연구결과 바탕이라는 것이 아주 중요함을 다시 한번 느끼게 된다. 과학적 연구결과와 소비자들의 요구, NGO의 지원으로 기업에 여러 요구를 정확하게 할 수 있으며 정책적으로도 빠르게 지원해주는 것이 중요하다. 교육을 통한 해양환경보호인식 강화와 시민들의 의식 증진, 직접 참여의 증가가 바람직하다. 제도적으로 연결이 된다면 우리나라가 해양환경보호에 관하여 모범적인 국가가 될 수 있을 것이고, 나아가 기업의 경쟁력 강화에도 도움이 될 거라 생각한다. 인류의 삶, 일상생활, 플라스틱 쓰레기, 해양환경보호에 대한 인식이 점차 높아진다면 우리는 지금보다 나은 환경을 기대해볼 수 있을 것이라 생각한다.

부록 3 IAP Statement on Protection of Marine Environments (English)



IAP Statement on Protection of Marine Environments

The ocean, connected over approximately 71% of the Earth's surface, supports humankind. Human well-being and our economy have benefited from the ocean for oxygen to breathe, fish and seafood to eat, leisure and healing places to visit, seaways for transportation, and the many jobs associated with ocean activities. However, unregulated and excessive human activities and recent climate change are causing the deterioration of the marine environment, reducing biodiversity and threatening its ecosystem services. Key areas of concern include:

- A healthy ocean is indispensable to human well-being and vitality and to the homeostasis of life on Earth. Ocean health is threatened by excessive human activities and has already been compromised on many levels. Facilitation of holistic ocean sciences and cooperation of diverse stakeholders are needed to understand complex processes in the marine environment and to implement solutions to protect and restore ocean health.
- The world's oceans are experiencing extensive **habitat destruction** due

to both direct impacts (e.g. coastal development) and indirect impacts (e.g. climate change, invasive species, pollution). In particular, coastal areas, including coral reefs, kelp forests, mangroves, seagrass beds and intertidal mudflats, have suffered from massive habitat degradation and loss. This destruction increasingly extends to the deep sea. Multiple anthropogenic stressors damage ecosystem structure and function, as well as the capacity for marine habitats to provide ecosystem services. Most of these sensitive habitats

are in need of immediate measures for protection, conservation and rehabilitation.

- Anthropogenic **environmental contaminants** continue to disrupt marine ecosystems. Accumulation of excessive nutrients, toxic chemicals, heavy metals, and marine debris including macro-, micro- and nano-plastics, destabilizes ecological processes, degrades natural resources and inflicts major economic losses. Strict controls for the management of environmental contaminants should be implemented immediately.



- The ocean regulates the Earth's climate and provides a buffer to **climate change**. In return, the marine environment is subject to adverse effects of climate change. Ocean warming causes sea level rise, loss of dissolved oxygen, redistribution and alteration of marine life, and intensification of heatwaves and tropical cyclones. Excessive carbon dioxide emissions also cause ocean acidification. Interdisciplinary research on the ocean and the atmosphere and development of new management strategies will help mitigate and adapt to climate change.
- Marine fisheries are important contributors to human food and nutritional security. **Over-exploitation** of world fisheries is causing a rapid decline of fisheries resources. To meet current and future food requirements of the growing human population the recovery of depleted fish stocks through the implementation of extensive no take zones together with sustainable aquaculture production are needed.

1. Ocean health

Exploitative approaches to marine resources have led to declining ocean integrity. Consequently, a shared appreciation of ocean conservation is highly recommended. We have little time to nurture the ocean's resilience, remove threats and eliminate disruptions, especially because climate change has an increasing impact on ocean health. The recovery and protection of the ocean is contingent on the development of inclusive and integrated marine sciences, with public access to scientific data, information and knowledge. A holistic approach to the ocean requires universal recognition of our common interest in and dependence on the status of the ocean. Marine interventions can have substantial ecological benefits. For example, Marine Protected Areas are accepted worldwide as an economically viable means of enhancing biodiversity,

■ © Korea Institute of Ocean Science and Technology (KIOST)

and maintaining and replenishing fish and shellfish stocks.

The UNESCO philosophy of Ocean Literacy for All seeks appreciation of the ocean at all levels throughout all cultures (UNESCO, 2020a). The objective is a large-scale behavioural transformation toward a global constituency that fully grasps the completeness of our reliance on the ocean and subscribes to the sustainable management and use of marine resources. Dynamic cooperation among interdisciplinary ocean-related sciences is essential.

2. Habitat destruction

Coastal areas have long been threatened by habitat destruction due



■ Photo: Unhyuk Yim

to development (e.g. land reclamation, intensified agriculture and urban expansion) and human population growth. In addition to direct habitat loss, many sensitive ecosystems have been damaged by pollution, invasive species and climate change. Accordingly, critically important coastal habitats such as estuaries, seagrass beds, coral reefs, oyster reefs, tidal wetlands, and kelp and mangrove forests, have suffered ecologically with associated socioeconomic consequences. These impacts also threaten pelagic and deep-sea habitats. Coastal habitats contribute

substantially to the maintenance of biodiversity and to the succession of generations of marine organisms (IPBES, 2019). Nursery areas in particular are substantial determinants of ocean health and biodiversity. Environmental integrity in these marine habitats must be protected and, in many cases, rehabilitated.

3. Environmental contaminants

Excess loading of nutrients and organic matters from terrestrial human activities and coastal aquaculture (eutrophication) causes algal blooms leading to the expansion of dead-zones, with mass mortality of fish and other marine life. Some algal species also produce toxins that may even lead to human casualties.

Biomagnification of toxic substances in mid- to higher trophic levels can suppress the growth of marine organisms and inhibit their reproduction. Persistence and long-range transportation of chemical contaminants is problematic globally. Furthermore, bioaccumulation of persistent and toxic substances, including toxic metals, in commercial seafood threatens human health and causes economic loss in fisheries.

Poor solid waste management results in the accumulation of marine debris, including over 8 million tonnes of plastics in the ocean annually. Plastics, which account for up to 80% of marine debris, cause ecological impacts by

entanglement and ingestion by marine organisms, dispersion of pathogens and non-Indigenous species, and compromised benthic habitats. In addition, marine plastic debris can result in economic losses due to decline of tourism, damage to fishing gear and boats, and obstruction of nautical propellers and cooling systems. Micro-



■ © National Institute of Fisheries Science, Korea/
Photo: Hyun Woo Kim

and nano-plastics are everywhere in the marine environment, including marine food webs, and even in the human diet.

4. Climate change

The continuous increase in atmospheric greenhouse gases is recognized as a global threat that needs ambitious goals and international collaboration to combat the resulting climate change. The ocean has absorbed 30% of total anthropogenic CO₂ emissions since the 1980s with enormous global impacts (IPCC, 2019). Climate change alters ocean circulation and mixing, biogeochemistry and ecosystems. These changes could interfere with the ocean's capacity for



ecosystem services such as food supply, carbon storage, oxygen generation and climate stability. Global warming leads to melting of glaciers and polar ice caps as well as thermal seawater expansion. In turn, these processes lead to worldwide sea level rise that is threatening for the many people living in coastal areas. Ocean acidification threatens carbonate shell synthesis, respiration, reproduction, early development, and the growth and survival of innumerable marine animals. Expanding oxygen-depleted dead-zones are uninhabitable by aerobic organisms. The IPCC Special Report (2019) highlights the extreme urgency of prioritizing timely, ambitious and coordinated action to address unprecedented and enduring changes in the ocean. One obvious priority measure is the protection of seagrass beds, salt marshes and kelp and mangrove forests, which utilize excess nutrients, generate oxygen, and sequester carbon in the form of organic matter through photosynthesis, thereby moderating global warming.

5. Overexploitation

Most fisheries stocks are fully exploited; more than 90% of marine stocks are either overfished (34.2%) or fished at maximum sustainable levels (59.6%; FAO, 2020). Additional disruptions result from illegal, unreported and unregulated (IUU) fishing, habitat degradation, pollution and gear abandonment.

Capture fisheries yields plateaued in the late 1980s and are unlikely to increase. Maintaining even current yields (84.4 million tonnes in 2018) will require rethinking our husbandry of

ocean ecosystems. The focused removal of organisms at one trophic level can destabilize marine ecosystems. For example, harvests of higher-value predatory species cause the loss of biodiversity and disruptive imbalances in marine communities. In addition, heavy harvests of young and otherwise unmarketable fish for agricultural and aquaculture feeds exert additional pressure on already-distressed marine ecosystems. IUU fishing is thought to be responsible for annual catches of up to 25.9 million tonnes (FAO, 2016) and has undermined sustainable fisheries management, threatening 4.3 billion people who depend on fisheries for nutrition (FAO, 2020).

Aquaculture production in aquatic environments (including fish, invertebrates and aquatic plants) reached 114.5 million tonnes in 2018, expanding at 5-6% annually (FAO, 2020). Aquaculture is already delivering 50% of the seafood we consume, and is expected to meet an increasing proportion of humanity's nutritional requirements. Refinement of culture

■ © National Institute of Fisheries Science, Korea/
Photo: Chaol Beom Kim



■ © ICOSY/Photo: Jaon-Yeon Chung

marine environments and biodiversity, while Sustainable Development Goal (SDG) #14 of the UN 2030 Agenda refers to 'Life Below Water' with seven specific targets.

Through this Statement, the InterAcademy Partnership calls on governments, NGOs and IAP member academies to:

- Share scientific information and data, build comprehensive understanding of the ocean, and develop an international ocean knowledge database that is equitably accessible, for devising solutions and making policies and decisions.
- Coordinate actions to protect and restore ocean health with expansion of research capacity development, ocean literacy and mechanisms to promote the exchange of information at the science-policy interface.
- Implement inclusive protection measures for coastal and other sensitive marine habitats.
- Assess sources of environmental contaminants, address their distributions, fates and impacts on ocean health, and develop means to eliminate entry of land-based contaminants into the ocean and to reduce their marine impacts.
- Mitigate and adapt to the impacts of greenhouse gases and climate change on the ocean ecosystem in acidification, deoxygenation and redistribution and change of marine life, thereby avoiding failure in the livelihoods of people who depend on the ocean.
- Ensure improved scientific management of capture fisheries, strengthen enforcement against IUU fisheries, and promote environmentally sensitive marine aquaculture.
- Increase ocean literacy, encouraging the global society to understand its intricate connection to the oceans and to respect the role of the oceans in maintaining Earth's biodiversity and habitability.

practices toward sustainability and conservation-sensitivity is necessary to relieve pressure on wild, overexploited marine stocks.

6. Conclusions and Recommendations

Excessive exploitation of marine resources and products, the cumulative impacts of multiple stressors, and chronic disregard for marine ecosystems have left our oceans more in need of consideration than ever before. The ocean is subject to complex, poorly-understood problems, many of which

interact with one-another, collectively threatening the integrity and continuity of life on Earth. Earlier misconceptions of the ocean as an immense realm with unlimited resilience are no longer valid. The fundamental challenge that policy-makers must address is how to achieve a sustainable use of the oceans (EASAC, 2016). This situation urgently calls for a comprehensive and pervasive new approach, and fresh commitments of current and future generations and nationalities to the health of the ocean.

The United Nations has urged cooperation among global communities to solve threats to the ocean by proclaiming the UN Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021-2030; UNESCO, 2020b). Advancement of 'ocean literacy' will raise consciousness about the vital importance of the ocean to humanity and the essential contributions of the ocean's ecosystem services.

Other international initiatives such as the Convention on Biological Diversity (CBD), the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), and Biodiversity Beyond National Jurisdiction (BBNJ) also seek the conservation of

■ Photo: Deokbae Park





References:

EASAC, 2016. Marine Sustainability in an Age of Changing Oceans and Seas. Reports and Statements, European Academies' Science Advisory Council (EASAC). Available online, retrieved 24 May 2020. <https://easac.eu/publications/details/marine-sustainability-in-an-age-of-changing-oceans-and-seas/>

FAO, 2016. The FAO Agreement on Port State Measures (PSMA) to Prevent, Deter and Eliminate Illegal, Unreported and Unregulated Fishing. Available online, retrieved 24 May 2020. Rome: FAO. <http://www.fao.org/port-state-measures/en>

FAO, 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome. Available online, retrieved 9 June 2020: <https://doi.org/10.2466/10.2020/229en>

IPBES, 2019. Summary for Policymakers of the Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. S. Diaz, J. Settele, E. S. Brondizio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneft, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K.M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razaque, B. Reyers,

■ Photo: Wonjaon Shim

R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, J. J. Mosken-Hamakers, R. J. Willis, and C. N. Zayas (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 56 pages



IPCC, 2019. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate (H.O. Portner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.W. Weyer (eds.)).

UNESCO, 2020a. Ocean Literacy Portal. Available online, retrieved 16 May 2020: <https://oceanliteracy.unesco.org>

UNESCO, 2020b. United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021-2030). Available online, accessed 24 May 2020: <https://en.unesco.org/ocean-decade>

■ Photos: IAP/Peter McGrath



IAP STATEMENT ON PROTECTION OF MARINE ENVIRONMENTS

IAP Statements 2021



Academies that have endorsed the IAP Statement on Protection of Marine Environments

Albanian Academy of Sciences
 Algerian Academy of Sciences and Technology
Academia Nacional de Ciencias Exactas, Fisicas y Naturales de la Republica Argentina
Academia Nacional de Medicina de Buenos Aires, Argentina
 National Academy of Sciences of Cordoba, Argentina
 Australian Academy of Science
 Bangladesh Academy of Sciences
Academie Nationale de Sciences, Arts et Lettres du Benin
 Academy of Sciences and Arts of Bosnia and Herzegovina
 Brazilian Academy of Sciences
Academia Nacional de Medicina, Brazil
 Bulgarian Academy of Sciences
 Bulgarian Academy of Sciences and Arts
 Cameroon Academy of Sciences
 Royal Society of Canada
 Chilean Academy of Exact, Physical & Natural Sciences
Academia Nacional de Medicina de Colombia
 Croatian Academy of Arts and Sciences
 Cuban Academy of Sciences
 Czech Academy of Sciences
 Royal Danish Academy of Sciences and Letters
 Academia de Ciencias de la Republica Dominicana
 Academy of Scientific Research and Technology, Egypt
 Ethiopian Academy of Sciences
 Council of Finnish Academies
Academie des Sciences, France
Academie Nationale de Medecine, France
 Union of German Academies of Sciences and Humanities
 German National Academy of Sciences, Leopoldina
 Ghana Academy of Arts and Sciences
Academia de Ciencias Medicas, Fisicas y Naturales de Guatemala
 Hungarian Academy of Sciences
 Academy of Sciences of the Islamic Republic of Iran
 Royal Irish Academy
 Israel Academy of Sciences and Humanities
Accademia Nazionale dei Lincei, Italy
 Science Council of Japan
 Kenya National Academy of Sciences
 National Academy of Sciences, Republic of Korea
 Korean Academy of Science and Technology
 Lebanese Academy of Sciences
 Lithuanian Academy of Sciences

Akademi Sains Malaysia
 Mauritius Academy of Science and Technology
 Mexican Academy of Sciences
 Mongolian Academy of Sciences
 Royal Netherlands Academy of Arts and Sciences
 Nicaraguan Academy of Sciences
 Pakistan Academy of Sciences
 Palestine Academy for Science and Technology
 National Academy of Science and Technology, Philippines
 Polish Academy of Sciences
 Macedonian Academy of Sciences and Arts
 Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
 Rwanda Academy of Sciences
 Serbian Academy of Sciences and Arts
 Academy of Science of South Africa
 National Academy of Sciences, Sri Lanka
 Sudanese National Academy of Sciences
 Royal Swedish Academy of Sciences
 Tunisian Academy of Sciences, Letters and Arts *Beit al Hikma*
 Turkish Academy of Sciences
 Uganda National Academy of Sciences
 Royal Society, UK
 National Academy of Sciences of Uruguay
 US National Academies
 Caribbean Academy of Sciences
 Islamic World Academy of Sciences
 Global Young Academy
 The World Academy of Sciences (TWAS)
 World Academy of Art and Science

Working Group

Suam Kim (Republic of Korea, chair)
 Leif Anderson (Sweden)
 Antje Boetius (Germany)
 Jaime Ricardo Cantera Kintz (Colombia)
 Luiz Drude de Lacerda (Brazil)
 Alaa Eldin Abdel-Mouty Mohamed Eissa (Egypt)
 Judith Gobin (Trinidad & Tobago)
 Sung Yun Hong (Republic of Korea)
 Jeffrey A. Hutchings (Canada)
 Lekella Jenkins (USA)
 Monika Kedra (Poland)
 Youn-Ho Lee (Republic of Korea)
 Syed Wajih Ahmad Naqvi (India)
 Japhet Micheni Ntiba (Kenya)
 Hugh Possingham (Australia)
 Yoshihisa Shirayama (Japan)
 Richard Thompson (UK)
 Jaehyoung Lee (Republic of Korea, KAST project manager)

IAP appreciates the initial contribution of the Zero Draft Committee members (C. Brown, S. Kang, J.S. Khim, S. Kim, Y-H. Lee and W. Shim) assigned by KAST



June 2021

The InterAcademy Partnership

Under the umbrella of the InterAcademy Partnership (IAP), more than 140 national, regional and global member academies work together to support the vital role of science in seeking evidence-based solutions to the world's most challenging problems. In particular, IAP harnesses the expertise of the world's scientific, medical and engineering leaders to advance sound policies, improve public health, promote excellence in science education, and achieve other critical development goals. Statements such as this one are prepared by a working group comprising experts nominated by member academies, and are released once they have been endorsed by more than half the member academies of the network.

This work is © the InterAcademy Partnership and is licensed under Creative Commons Attribution 4.0 International

Additional copies of this statement can be downloaded from:
www.interacademies.org/statement/protection-marine-environments

Contacts

lap@twas.org

@IAPPartnership
www.linkedin.com/company/interacademypartnership
<https://tinyurl.com/IAPyoutube>

www.interacademies.org

부록 4 해양환경보호에 관한 IAP 성명서 (국문)

iap SCIENCE
HEALTH
POLICY
the interacademy partnership



국제한림원연합회 해양환경보호 성명서

지구 표면의 약 71%를 차지하는 바다는 인류의 생존과 번영에 없어서는 안 될 필수적인 공간입니다. 거대한 산소 발생지인 바다는 우리 인간을 숨 쉬게 하고, 각종 해조류부터 물고기까지 제공하는 커다란 식량 창고로서 우리를 살찌우고, 우리의 지진 일상을 위로하고 치유하는 장소이기도 합니다. 또한, 바다는 세계 어디라도 연결해 주는 물류의 통로이자, 수많은 사람들에게 일자리를 제공해 주는 거대한 일터이기도 합니다. 하지만 지금의 바다는 심각하게 병들어가고 있습니다. 규제 받지 않고 무분별하게 자행된 과도한 인간활동, 최근 한층 더 심해진 기후변화는 조화와 균형을 이루던 해양환경을 해치고 바다의 생물다양성⁽¹⁾을 감소시키면서, 생태계가 제공하던 다양한 혜택을 사라지게 하고 있습니다. 바다의 온전성을 되찾아 인류의 삶을 풍요롭게 하기 위하여 우리는 다음의 과제들에 주목하고자 합니다.

• 첫째, 건강한 바다는 인간의 복리와 생존은 물론, 지구생명체가 안정적으로 살아가는데 필수적인 요소입니다. 최근의 과도한 인간활동은 바다를 위협하게 만들었고 이제 한계에 도달했습니다. 바다의 건강을 회복하려면 바다 환경의 복잡한 변화과정을 이해하고, 해양과학을 총체적으로 발전시키며, 다양한 이해당사자 간의 협력을 촉진시켜야 합니다.

• 둘째, 전 세계 바다에서 해양생물의 서식지 파괴가 광범위하게 목격되고 있습니다. 인간개발과 같은 직접적인 요인과 더불어 기후변화, 외래종 침입, 오염 등의 간접적인 영향이 산호초, 맹그로브숲, 해초지, 조간대, 갯벌 지역의 황폐화를 가속하고 있으며,

이 현상은 점점 깊은 바다까지 확장되고 있습니다. 인간활동이 해양을 위협하는 복합적 스트레스가 되어 생태계 구조와 기능은 물론 생태계서비스⁽²⁾를 제공하는 서식지의 역량까지 손상시킵니다. 따라서 민감하게 영향을 받는 서식지에 대하여 우리는 즉각적인 보호, 보전 및 복원 조치를 취해야 합니다.

• 셋째, 인간이 만들어내는 환경오염물질이 끊임없이 해양생태계를 파괴하고 있습니다. 과도한 영양염⁽³⁾, 독성 화학물질, 중금속, 미세플라스틱을 포함한 해양쓰레기가 바다로 흘러 들어 축적되면서 생태계 기능은 불안정해지고, 자연자원이 훼손함으로써 경제적 손실도 크게 늘고 있습니다. 환경오염물질에 대한 엄격한 통제가 즉시 실행되어야 합니다.

• 넷째, 바다는 지구의 기후를 조절하고 급격한 기후변화를 완화시킵니다. 이러한 조절과 완화 과정에서 바다 환경은 기후변화의 악영향에 직면하게 됩니다. 해양온난화로 해수면이 상승하고, 바닷물에 녹아 있는 산소가 결핍되며, 해양생물의 분포가 바뀌고, 열파와 열대저기압이 강화 됩니다. 또한, 인간활동으로 과도하게 배출된 이산화탄소는 바다를 점점 산성화시킵니다. 전 지구촌의 전문가들은 해양과 대기에 관한 다학제적 연구를 진행하고, 각국 정부는 새로운 관리전략을 개발하여 기후변화를 완화시키는 동시에 변화된 기후환경에 인류가 적응할 수 있도록 협력해야 합니다.



다섯째, 어업은 인류의 식량과 영양안보의 측면에서 매우 중요한 역할을 합니다. 세계 곳곳의 바다에서 수산물에 대한 남획으로 수산자원이 급격히 줄어들고 있습니다. 현재, 그리고 미래에 늘어나는 인류의 식량 수요를 충족시키고 수산자원을 보호하기 위해 '어획 금지구역'을 광범위하게 설정해야 합니다. 또한, 불법어업을 근절하여 고갈된 어류자원을 회복시키고, 환경친화적 양식을 병행하여 수산물 생산이 지속가능할 수 있도록 해야 합니다.

1. 해양 건강성 약화

그동안 해양자원을 대하는 우리의 태도는 착취에 가까웠습니다. 그로 인해 해양이 원래 가지고 있던 온전성은 저하되었고, 필연적으로 해양보전에 대한 인식이 더욱 절실해졌습니다. 특히 기후변화가 해양의 건강성에 큰 영향을 미치고 있는 현재, 우리가 기후위기 요인을 제거하고 건강한 바다를 되찾을 수 있는 시간은 그다지 많이 남아 있지 않습니다. 해양을 성공적으로 복원하고 보호하는 일은 과학자료를 지식은 일반 대중과 공유하며, 해양과학을 얼마나 포괄적이고 통합적으로 발전시키느냐에 달려 있습니다. 총체적 시각으로 해양을 살펴보면 인류 전체가 해양의 상태에 관심을 가져야 하고, 우리 각자의 삶이 얼마나 해양에 의존하고 있는지 깨우칠 필요가 있습니다. 우리는 바다를 구하기 위한 조치를 통해 생태적 혜택을 크게 증진시킬 수 있습니다. 예를 들어, '해양보호구역'¹⁴⁾을 설정하는 방법은 생물다양성을 증진시키고 어패류 자원을 유지·보존하게 하는 효율적인 수단입니다.

유네스코는 인류 모두가 해양교양¹⁵⁾을 갖추기를 권고한 바 있습니다. '모두를 위한 해양교양'이라는 유네스코의 달문은 전 인류가 바다를 깊이 이해하고 사랑하면 해양보전을 위한 행동에도 적극 나서게 될 것이라는 관점에서 해양에 대한 교육을 강조합니다(UNESCO, 2020a). 이를 통해 해양환경을 보호하는 정책이 인류생존에 필수적이라는 인식을 갖게 하고, 해양자원의 이용과 관리가 지속가능하도록 하는 법규가적 차원의 대규모 행동 변화를 이끌어내야 합니다. 또한, 넓고 깊은 바다에 대한 이해를 증진하기 위해 국제적 공조와 더불어 다학제적 특성을 지닌 해양과학계의 적극적인 협력이 필수적입니다.

© Korea Institute of Ocean Science and Technology (KIOST)

2. 서식지 파괴

연안지역에서는 인구가 꾸준히 증가하였으며 토지 간척과 담수 개발 등의 사회간접자본시설의 구축 요구가 집중되었습니다. 이에 따라 생물 서식지는 파괴되었고, 생물들은 지속적으로 생존의 위협을 받아 왔습니다.

서식지의 직접적인 손실 외에도 오염, 외래종 침입, 기후변화 등으로 인해 환경변화에 민감한 생태계가 크게 훼손되었습니다. 하구, 해초지, 산호초, 굴밭, 염습지, 대형해조숲, 맹그로브숲 같은 주요 연안서식지 생물들은 오랫동안 고통을 받아 왔으며, 이 생태계와 연계되어 생계를 유지하던 사람들도 상당한 사회경제적 어려움을 겪고 있습니다. 연안서식지는 생물다양성과 해양생물의 세대 연속성을 유지하는데 매우 중요합니다.

축적되고, 그 생물을 사람이 섭취할 경우에는 인명 피해가 생기기도 합니다. 그 뿐 아니라, 조류의 사체가 부패되는 과정에서 해수에 녹아 있는 산소가 소모되어 빈산소 해역이 만들어지기도 합니다. 산소가 부족해지면 어류를 비롯한 각종 해양생물의 집단 폐사까지 발생합니다.

해양으로 유입된 유해물질은 생물 체내에 잔류됩니다. 먹이망¹⁶⁾ 내에서 높은 영양단계의 생물일수록 유해물질을 더 많이 축적하게 되어 결국 이들의 성장과 생식에 지장을 줍니다. 일부 화학오염물질은 오래 그리고 더 멀리 이동하기 때문에 전 지구적 차원의 문제를 일으킵니다. 또한, 중금속을 포함한 잔류성 유해물질은 수산물에 축적되어 인체의 건강을 위협할 뿐 아니라 수산업에도 적지 않은 경제적 손실을 초래합니다.



Photo: Unhyuk Yim

특히 먹이가 풍부하여 어린 물고기가 살아 기기에 적합한 연안 성육장은 그 자체로 해양을 건강하게 만들고 생물다양성을 높이는 데 큰 역할을 합니다(IPBES, 2019). 서식지 훼손 문제는 연안에만 한정되지 않고 먼 바다, 심지어 심해에서도 나타납니다. 해양서식지 환경은 미량히 보호되어야 하고, 현재 손상된 서식지는 온전히 그리고 신속하게 복원시켜야 합니다.

3. 환경오염물질

내륙에서 행해지는 인간활동과 연안에서의 양식활동으로 영양염과 유기물이 적정수준 이상으로 해양에 유입되면, 조류라고 불리는 플랑크톤이 이들을 이용하여 비정상적으로 증식을 합니다. 일부 조류에서 생산된 독성물질은 그 조류를 먹이로 하는 해양동물에

부실하게 관리된 육지의 플라스틱 폐기물이 바다로 흘러 드는 양은 연간 약 800만 톤에 달합니다. 전체 해양쓰레기의 80%를 차지하는 플라스틱은 해양생물에 큰 영향을 미치고 있습니다. 해양생물은 몸체에 걸린 플라스틱 때문에 숨지기도 하고, 플라스틱을 먹이로 오인하여 해를 입기도 합니다. 해양 플라스틱을 매개체로 각종 병원균과 비토착생물종이 확산할 수도 있고, 생물의 서식지가 훼손되는 일도 있습니다. 아울러 선박과 어구를 파손하여 경제적인 손실을 주기도 하고, 선박의 프로펠러에 얽혀 가동을 멈추게 하거나 냉각 시스템을 오작동시키는 등 안전운항에도 큰 위협이 됩니다. 또한, 바다의 아름다운 경관을 해쳐 관광업을 위축시키기도 합니다.

특히 미세플라스틱의 경우는, 플랑크톤처럼 작은 생물부터 고래처럼 큰 대형 생물에 이르기까지 해양 먹이망의 모든 단계마다 발견되고, 심지어 우리의 먹거리인 수산물에 까지 포함되어 있기도 합니다.

© National Institute of Fisheries Science, Korea/
Photo: Hyun Woo Kim



4. 기후변화

대기 중 온실가스는 지속적으로 증가하여 기후변화를 유발함으로써 전 지구적 위협이 되고 있습니다. 기후변화에 대처하기 위하여 우리는 어느 때보다 야심 찬 목표를 세워야 하고, 이를 달성하기 위한 국제협력에 긴밀히 수행할 필요가 있습니다. 그 중에서도 바다의 역할에 대해 주목해야 합니다. 1980년대 이래 인류가 배출한 이산화탄소의 약 30%가 해양으로 흡수되어 기후변화를 완화시키기도 했지만, 해양의 생지화학과정⁹⁾에도 영향을 미쳐 생태계까지 변화시키고 있습니다(IPCC, 2019). 이와 더불어, 기후변화로 해류 흐름과 혼합 특성이 바뀌어 바다가 인류에게 주는 갖가지 유익한 점, 말하자면 식량 공급, 탄소저장, 산소 생산, 기후 안정화와 같은 순기능이 위축될 수도 있습니다. 지구온난화로 인해 발생하는 해수의 열팽창 현상은 극지방의



빙하와 만년설이 녹는 과정에서 나온 물과 합쳐져 해수면을 상승시키는데, 그 결과는 인구밀도가 높은 연안지역의 수물 위험을 초래합니다.

해양생물들은 오랜 기간 안정된 바다 환경에 적응하며 생존해왔습니다. 그러나 기후변화로 인해 바다 환경이 급격히 바뀔에 따라 해양생물들은 호흡, 번식, 초기 발달, 성장 등의 과정에서 큰 변화를 겪고 있으며, 심할 경우 생존을 위협받기도 합니다. 특히, 조개처럼 탄산염 껍데기를 지닌 생물들은 해양산성화로 단단한 패각을 만드는 것이 더더욱 어려워 집니다. 기후변화는 비닷물에 녹아있는 산소에도 영향을 끼치는데, 산소가 거의 사라진 '죽음의 해역'¹⁰⁾이 확장되면 산소호흡을 하는 생물체의 생존이 어렵습니다. '기후변화에 관한 정부간위원회 (IPCC)'는 역사상 전례 없이 악화되는 바다 환경의 회복을 위해, 긴급히 우선순위를 정해 시의적절하고 야심 찬 행동 조출에 나설 것을 강조한 바 있습니다(IPCC, 2019). 한 가지 분명한 우선순위는 바다에 남아도는 영양분을 활용하고, 광합성을 촉진시켜 산소를 생산하며, 탄소를 유기물 형태로 저장해주는 해초지, 대형해조류, 망그로브숲을 보호하는 것입니다. 이러한 조치는 지구온난화를 완화시킬 수 있기 때문입니다.

5. 남획

인간이 수획하는 수산어획물 중 약 34%는 이미 자원이 남획된 상태에서, 그리고 60% 정도는 최대지속가능한 수준에서 어획된 것으로, 바다의 수산자원은 거의 절저하게 이용되고 있습니다. 더욱이 불법-비보고-비규제 (IUU) 어업과 서식지 환경 악화, 오염, 폐어구 등으로 인한 폐사로 수산자원은 갈수록 감소 추세에 직면하고 있습니다.

1980년대 후반 이후, 어획어업 생산량은 거의 정체되어 왔고, 앞으로도 증가할 것 같지 않습니다. 2018년도 기준인 8,440만 톤 정도라도 전 세계 어업생산량을 유지하려면 해양생태계 관리 방식을 철저히 재검토해야 합니다. 고부가가치를 지닌 먹이망 상위영양단계 어류를 무분별하게 포획하면 해양생태계가 불안정해져 생물다양성이 감소되고, 해양생물 군집에 심각한 불균형이 야기됩니다. 또한 축산업과 양식어업에 필요한 사료 공급을 위해 경제성이 없거나 심지어 어린 물고기까지 남획하는 횡포는 이미 고통받고 있는 해양생태계에 대한 압력을 가중시킵니다. 연간 최대 2,590만 톤으로 추정되는 어류가 IUU 어업으로 잡히는데(FAO, 2016), IUU 어업은 수산자원의 지속가능한 이용을 어렵게 하고, 수산업에 의존하는 43억 명 인류의 영양상태를 위협하게 하고 있습니다.

전 세계 양식 생산량 (어류, 무척추동물, 수서식물)은 2018년 기준 1억 1,450만 톤에 달하며, 매년 5~6%씩 증가하고 있습니다(FAO, 2020). 양식업은 이미 우리가 소비하는 수산물의 50%를 공급하고 있고, 앞으로도 그 의존도가 증가할 것으로 예상되기 때문에 양식어업의 지속가능발전을 위한 고민이 절실합니다.

© National Institute of Fisheries Science, Korea/
Photo: Cheol Beom Kim



양식어업에 쓰이는 어린 물고기를 주원료로하는 생사로 사용 비율을 줄이고, 효율적인 배합사료의 개발을 통해 수산자원 남획을 방지하고, 바다 환경과 해양생태계를 보존하려는 실천적 개선의지가 감구되어야 합니다.

6. 결론 및 권고사항

바다가 인류에게 제공하는 각종 생산물과 자원에 대한 과도한 이용, 다양한 오염물질의 축적과 그로 인한 누적 영향, 해양생태계에 대한 무관심은 바다 환경을 날로 악화시킵니다. 바다는 우리 인류에게 그 어느 때보다 더 많은 관심과 배려를 요구합니다.

Photo: Deokbae Park



다양한 환경과 생물이 긴밀하게 연결되어 있는 바다는 복잡하고 이해하기 힘든 문제를 많이 품고 있습니다. 이 문제들은 상호작용을 하면서, 미처 예기치 않은 새로운 문제들을 만들어 지구생명체를 온전하게, 그리고 지속적으로 유지하는데 큰 위협이 됩니다. 한 때, 우리 인류는 바다가 무한한 회복력을 지니고 있는 거대한 영역이라고 여겼습니다. 하지만 현재, 이 생각은 착각이고 오해였음이 밝혀지고 있습니다. 전 지구 생태계를 건강하게 유지하고 인류가 계속해 살기 위해서는 해양환경을 온전하게 보호하고, 바다에 대한 지속가능한 이용 방안을 찾아내는 정책이 필요합니다 (EASAC, 2016). 뿐만 아니라, 나이와 국적을 초월하여 현재와 미래 세대가 건강한 바다를 만드는 일에 누구든 참여할 수 있는 다양한 해양환경 보호운동이 마련되어야 하고, 이를 위해 모두의 노력과 헌신이 그 무엇보다 시급합니다.

'지속가능발전을 위한 해양과학 10개년 계획 (2021-2030)'을 선포한 UN은 전 지구적 자원의 협력을 통해 해양과학 지식을 통합함으로써 해양을 위협하는 문제 해결을 촉구하였습니다(UNESCO, 2020b). 뿐만 아니라 우리 인류가 해양교양을 배양하여 바다의 중요성을 느끼고, 전 지구생물과 환경에 미치는 거대하고 본질적인 해양의 생태계서비스에 대해 자각할 수 있도록 권고하고 있습니다.

Photo: KIOST/Photo: Joon-Yeon Chung

'생물다양성협약 (CBD)', '생물다양성과학기구 (IPBES)', '국가관할권 이원지역의 해양생물다양성 (BBNJ)' 등 여러 국제기구를 또한 해양환경과 생물다양성 보전을 주도적으로 제안하는 만큼 바다를 이해하고 보전하는 행동은 시급한 과제입니다. 이러한 과제를 수행해 나가기 위해

국제한림원연합회 (IAP)는 각국 정부, 시민단체, 그리고 IAP 회원 아카데미에 다음과 같은 사항을 요청합니다.

- 바다에 관한 정책수립과 의사결정을 돕고 적절한 해결책을 모색할 수 있도록 과학 정보와 자료를 공유하고, 해양에 대한 종합적인 이해를 높이며, 누구든 차별 없이 동등하게 접근할 수 있는 국제적 차원의 해양지식데이터베이스를 구축한다.
- 과학자와 정책결정자 간의 정보교환을 촉진하도록 돕는 체계를 수립·확대하고, 연구역량 개발과 해양교양 강좌 등을 지속적으로 추진함으로써 바다를 건강하게 보호하고, 훼손된 환경을 복원시키는 활동을 조직한다.
- 연안과 민감한 해양서식지에 대한 포괄적인 보호대책을 수립·이행한다.
- 환경 오염원을 평가하고, 오염원의 분포, 이동경로 및 오염원이 해양의 건강성에 미치는 영향을 규명한다. 아울러 육지에서 시작된 오염물질이 바다로 흘러 들어오는 것을 억제하고 차단함으로써 바다 환경에 끼치는 악영향을 줄일 수 있는 방안과 수단을 개발한다.
- 온실가스 배출과 기후변화에 대한 대책을 시행함으로써 해수의 산성화, 빈산소화, 해양생물의 이동과 변화 등 해양생태계에 미치는 영향을 완화한다. 이를 통해 해양에 의존해 살아가는 사람들이 기후변화에 적응할 수 있도록 하고, 생계 위협을 사전에 방지할 수 있도록 한다.
- 삼엽어업을 과학적으로 관리하고, IUU 어업을 더욱 엄격히 단속하며, 바다 환경에 악영향을 주지 않는 적정기술이 적용된 해양 양식업을 육성한다.
- 인류 사회가 바다와 밀접하게 연결된 삶을 살고 있다는 것을 깊이 이해하고, 바다가 지구의 생물다양성과 인간 거주를 적당하게 유지해 준다는 중요성을 인식할 수 있도록 해양교양을 높이는 교육을 장려한다.



Photo: Wonjoon Shim

인용문헌

EASAC, 2016. Marine Sustainability in an Age of Changing Oceans and Seas. Reports and Statements, European Academies' Science Advisory Council (EASAC). Available online; retrieved 24 May 2020. <https://easac.eu/publications/details/marine-sustainability-in-an-age-of-changing-oceans-and-seas/>

FAO, 2016. The FAO Agreement on Port State Measures (PSMA) to Prevent, Deter and Eliminate Illegal, Unreported and Unregulated Fishing. Available online; retrieved 24 May 2020. Rome: FAO. <http://www.fao.org/port-state-measures/en>

FAO, 2020. The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. Rome. Available online; retrieved 9 June 2020: <https://doi.org/10.4060/ca9229en>

IPBES, 2019. Summary for Policymakers of the Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízko E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Armeth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razaque, B. Reyers,

R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Vissers-Hamakers, K. J. Willis, and C. N. Zayas (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 56 pages.

IPCC, 2019: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rana, N.W. Weyer (eds.)].

UNESCO, 2020a. Ocean Literacy Portal. Available online; retrieved 16 May 2020: <https://oceanliteracy.unesco.org>

UNESCO, 2020b. United Nations Decade of Ocean Science for Sustainable Development (2021-2030). Available online; accessed 24 May 2020: <https://en.unesco.org/ocean-decade>



용어 설명

- (1) 생물다양성: 생태계 내에 존재하는 생물종의 다양한 정도를 의미하는 것으로서, 최근에는, 여러 유형의 서식지로 구분하는 생태계 다양성, 생물 종류의 구성에 관한 생물종 다양성, 다양한 유전 형질을 나타내는 유전적 다양성 등으로 구분하기도 한다.
- (2) 생태계서비스: 자연 생태계가 사람에게 제공하는 물질적 (공급서비스), 비물질적 (조절서비스, 문화서비스, 지원서비스) 혜택을 통칭한다.

Photos: IAP/Peter McGrath



- (3) **영양염:** 농경지의 비료, 도시의 생활하수 등에 녹아있는 질소, 인, 구소 등의 무기질로서, 강을 통하여 바다로 들어가면 식물플랑크톤이 살아가는데 필요한 영양분이 된다.
- (4) **해양보호구역:** 해양생태계 및 해양경관 등을 특별히 보존할 가치가 있어 국가 또는 지자체가 특정 공유수면에 대해 지정·관리하는 구역이다.
- (5) **해양교양:** 지구 전체와 모든 생물에 영향을 끼치는 바다에 대한 이해를 바탕으로, 바다를 보전하고 지속가능한 관리와 이용을 할 수 있도록 돕는 교육의 형태이다.
- (6) **먹이망:** 생물들이 섭식과정을 통하여 에너지가 전달되는 과정인 먹이연쇄의 조합으로, 먹이망 내에서 광합성을 수행하는 식물과 이들을 섭식하는 초식동물은 하위영양단계에, 작은 동물을 포식하는 커다란 동물은 상위영양단계에 위치한다.

(7) **생지화학 과정:** 지구 생태계에서 영양염 등의 화학물질이 생물권, 수권, 지권을 거치면서 순환되는 과정을 일컫는다.

(8) **죽음의 해역:** 영양분이 과다하게 바다로 공급되어 플랑크톤이 대규모 증식한 이후, 이들이 죽어 사체가 호기성 박테리아에 의하여 분해되는 과정에서 물 속의 산소가 고갈되고, 따라서 산소 호흡을 하는 해양생물들이 살 수 없는 해역이다.

본 '해양환경보호' 국문 성명서는 2021년 6월에 공표되는 IAP Statement on Protection of Marine Environments에 기초하여 만들어졌으며, 대중의 이해를 돕기 위해 약간의 부가적 설명이 추가되었음을 밝힌다.

해양환경보호 영문 성명서 작성 위원 *기타다순
강수경, 국립수산과학원
김수암 (위원장), 부경대학교, 한국과학기술한림원
김중성, 서울대학교
심원준, 한국해양과학기술원
이윤호, 한국해양과학기술원
Christopher Brown, 부경대학교 세계수산대학 Pilot Program

국문 성명서 작성 위원 *기타다순
강수경, 국립수산과학원
김수암 (위원장), 부경대학교, 한국과학기술한림원
김중성, 서울대학교
심원준, 한국해양과학기술원
이윤호, 한국해양과학기술원
이재형, 한국과학기술한림원
이희현, 부경대학교
조정현 (감수), 한국해양과학기술원
최영호 (감수), 한국해양과학기술원

[국제한림원연합회 해양환경보호 성명서 지지기관]

*기타다순

POSTECH	인천항만공사
고려대학교	전남대학교
이과대학 지구환경과학과	제주대학교
국립수산과학원	포항산업과학연구원
국립수산물품질관리원	포항시청 수산진흥과
군산대학교	한국건설기술연구원
국지연구소	한국공학한림원
극지해양미래포럼	한국과학창의재단
기후변화센터	한국기초과학지원연구원
대한민국의학한림원	한국수산과학회
대한민국학술원	한국전기연구원
대한조선학회	한국지질자원연구원
동아시아 바다 공동체 오션	한국천문연구원
부경대학교 세계수산대학원	한국항해항만학회
부산대학교	한국해양과학기술원
부산항만공사	한국해양교육연구회
부산해사고등학교	한국해양수산개발원
서울대학교	한국해양학회
세계자연기금 한국본부	한국해양환경·에너지학회
시민환경연구소	해양수산인재개발원
여수광양항만공사	해양환경공단
월든	한동해지역개발원



본 성명서는 한국과학기술한림원이 제안하고 직접 작성하였으며, 국제한림원연합회를 통해 2021년 6월 1일 전세계에 공표되었습니다.



설립연도 1993년

설립목적

회원국 한림원과 함께 국제 현안에 대해 공공을 대변하고 과학적 견해 및 국제과학기술계의 목소리 전달

회원현황

100여개국 143개 한림원

운영구조

과학(Science), 의학(Health), 정책(Policy) 등 3개의 분야별 조직과 아시아, 유럽, 미주, 아프리카 등 4개의 권역별 네트워크 보유

주요활동

- 주요 현안에 대한 성명서, 보고서 작성 및 발표, 자문 제공

- 총회 및 워크숍 개최 (매년 30회 이상의 회의 지원 및 개최)

- InterAcademy Project 등 글로벌 정책연구 진행

- 과학자, 정책결정자, 대중, 매체 간의 소통 지원

한국과학기술한림원 주요 활동 내역

- IAP for Science 이사회 연임

(1차: 2016-2019, 2차: 2019-2022)

- IAP의 아시아지역 네트워크 담당 자부인

아시아과학한림원연합회 (AASSA,

회장 김유형 (인하대 명예교수)) 사무국 운영

- 2019 IAP 컨퍼런스 및 총회 개최

(인천 송도, 800여개국 1200여명 참석)

- 각종 위원회, 프로젝트 및 보고서 발간에 참여

KAST Research Report 2021
한림연구보고서 141

해양환경보호활동에 대한 국내외 현황과 정책 방향

Current status and future policy direction on
“Protection of Marine Environments” activity

발행일 2021년 12월
발행처 한국과학기술한림원
발행인 한민구
전화 031) 726-7900
팩스 031) 726-7909
홈페이지 <http://www.kast.or.kr>
E-mail kast@kast.or.kr
편집/인쇄 경성문화사 02) 786-2999
I S B N 2799-5135
977-2799513-00-9 41

- 이 책의 저작권은 한국과학기술한림원에 있습니다.
- 한국과학기술한림원의 동의 없이 내용의 일부를 인용하거나 발췌하는 것을 금합니다.



이 사업은 복권기금 및 과학기술진흥기금 지원을 통한 사업으로
우리나라 사회적 가치 증진에 기여하고 있습니다.