



우리나라 갯녹음 관리 현황과 생태적·정책적 제언

박성욱¹ · 이주아^{2*}¹한국해양과학기술원 해양법·정책연구소 해양법연구부
(49111) 부산광역시 영도구 해양로 385²한국해양과학기술원 대외협력부 지자체소통협력실
(49111) 부산광역시 영도구 해양로 385

Current Status and Ecological, Policy Proposals on Barren Ground Management in Korea

Seongwook Park¹ and Joah Lee^{2*}¹*Ocean Law Research Department, Ocean Law and Policy Institute, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Busan 49111, Korea*²*Local Government Communication and Cooperation Section, Korea Institute of Ocean Science & Technology, Busan 49111, Korea*

Abstract : The barren ground phenomenon in Korea began to occur and spread in the southern coast region and in Jeju Island in the 1980s, and since the 1990s, the damage has become serious in the east coast region as well. Korea has enacted the fisheries resource management act to manage such barren ground through the installation of sea forests among projects for the creation of fishery resources. Until now, projects related to the identification of the cause of barren ground have focused on the density of crustose coralline algae, sea urchins and seaweed, so the original cause of barren ground has not yet been identified. In order to manage barren ground, it is necessary to identify the cause of barren ground. To identify these causes, it is necessary to comprehensively consider i) studies on spatial characteristics such as rock mass distribution, slope and water depth, ii) studies on ecological and oceanographic characteristics such as water temperature, salinity, El Niño, and typhoons etc, iii) studies on organisms such as crustose coralline algae, macroalgae, and sea urchins, and iv) studies on coastal use such as living and industrial sewage inflow. Next, as with regard to legislative policy proposals, it is necessary to prepare self-management measures by the government, local governments, and fishermen as well as address management problems related to the use of sea forests by fishermen after their creation. In addition, when creating a sea forest, a management model for each resource management plan is required, and evaluation indicators and indexes that can diagnose the cause of barren ground and guidelines for barren ground measures should be developed.

Key words : barren ground, crustose coralline algae, marine forests, Index, indicator and guidelines

1. 서론

지구는 인간의 모든 산업 활동이나 산림훼손으로 발생되는 이산화탄소와 같은 온실가스 농도증가 등 인위적 요인과 태양 복사에너지의 변화나 화산폭발 등 자연적 요인에 의한 기후변화로 몸살을 앓고 있다(The Science Times 2022). 기후변화의 심각성에 대해 MIT 연구진이 3~7°C까지 지구 온도상승을 예측하면서, 기후변화에 대응하기 위해 국제사회는 탄소중립이라는 대명제를 세우고 이를 위한 구체적인 대응방안을 마련하고 있다(한 2022). 탄소중립은 EC가 ‘EU Green Deal’ 프로젝트를 통해 항만-해운 부문 탄소중립 목표를 설정하였고, 미국 바이든 정부는 2021년 4월에 2030년까지 온실가스 배출량을 2005년 수준보다 50% 감축하는 목표를 수립하였다(DOS 2021). 영국은 2020년에 2030년까지 온실가스 배출량을 1990년 수준의 68%로 감축목표를 세웠으며, 중국은 ‘2060년까지 탄소중립을 달성하겠다’는 목표를 세웠다. 일본은 2020년 10월에 ‘탈탄소사회 실현’ 표명으로 2050년 연간 190조엔의 경제효과를 창출하겠다고 하였다(해양수산부 2021). 이와 같이 탄소중립은 비단 우리나라만의 문제가 아니라 국제사회의 생존을 위한 목표가 되고 있다는 점에 주목하여야 할 것이다.

우리나라는 2021년 11월 탄소중립 목표를 UN에 제출하였는데 2030년 감축목표를 2018년 대비 40% 이상 감축하겠다는 목표를 세우고 정부에서도 전 지구적으로 이행되고 있는 녹색경제로의 전환을 위해 과학적인 탄소중립 이행방안을 마련한 바 있다. 국정과제의 해양영토 수호 및 지속가능한 해양관리(과제41) 파트에서 해양수산부는 청정 해양환경 조성을 위해 갯벌·바다숲 등 탄소흡수원(블루카본)을 확대한다고 하였다. 탄소중립은 국가가 당면한 문제이기 때문에 이를 해결하기 위해 산업통상자원부에서는 에너지 안보와 신산업 및 신시장 창출을 위해 탄소중립을 목표로 하고 있으며, 과학기술정보통신부는 과학기술의 역량 강화를 주문하고 있다. 환경부는 글로벌 탈탄소 전환에 대응하기 위한 적극적인 탄소중립 정책을 추진하고 있으며, 외교부에서도 국제사회의 기후변화 대응 및 저탄소 녹색경제 논의에 적극 참여하여 우리나라의 외교 저변을 확대한다고 하였다(대한민국 대통령실 2022). 정부의 각 부처에서 탄소중립을 실현할 수 있는 방안 제시와 함께 해

양에서의 기여방안으로 갯벌·바다숲 등을 활용하여 탄소흡수원을 확대한다고 하는 전략도 매우 적절하다고 판단된다.

해양수산부는 국정과제 제시 이전인 2021년에 「해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵」을 수립하여 탄소중립을 위한 해양수산분야의 장기계획을 마련한 바 있다. 이 로드맵에서는 인간 활동으로 인해 산업화 이전 대비 약 1.0°C의 기온상승이 유발되었으며, 추세에 따르면 늦어도 2040년에 1.5°C 상승할 것이라고 하였다. 이는 기후변화에 관한 정부간 협의체(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)의 전망과 한반도 연평균기온이 1980년대 12.2°C에서 2010년대 13.0°C까지 꾸준히 높아지고 있는 위기감을 반영한 것으로 밝히고 있다(해양수산부 2021). 특히 이 로드맵에서 해양수산부는 2050년 블루카본 목표 흡수량을 136.2만톤으로 제시하면서 이를 실현하기 위한 정책수단으로 바다숲 조성 최적 식생·공법을 개발하여 조성효과를 높이고, 갯녹음에 선제적으로 대응하기 위해 천연 바다숲을 보존·복원하겠다고 하였다. 이러한 시점에서 해양수산부가 탄소중립을 위한 장기 로드맵을 마련하였다는 점은 매우 시의적절하다고 하겠다.

바다숲은 이산화탄소 흡수원으로서 온실가스 저감을 통한 저탄소 녹색성장이 가능하다. 바다숲은 광합성을 하는 해양식물로 구성된 군락으로 이산화탄소 흡수능력이 우수하므로 이산화탄소 저감에 크게 이바지할 수 있다. 「기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장기본법」 제33조 제1항에 따르면 정부는 바다숲 조성 등을 통하여 탄소흡수원을 확충하도록 의무화하고 있다.

해양식물의 이산화탄소 흡수력은 Table 1에서 보는 바와 같이 모자반이나 다시마 같은 해조류의 경우 열대우림 대비 약 2-3배 높은 흡수력을 가지고 있는 것으로 조사되었다(조 2018). 또한, 포항공대에서 2019년 실시한 ‘바다숲 탄소흡수력 조사’에 따르면 해조류는 광합성을 할 때 같은 면적의 열대숲이 저장하는 탄소량에 비해 1-2배 가량 높게 저장할 수 있다고 한다. 동해 연근해의 바다숲을 대상으로 실시한 조사에서 바다숲 1 ha가 연간 3.37톤 이산화탄소를 흡수하는 것으로 나타나 5만4000 ha의 바다숲을 조성할 경우 연간 18만톤 상당의 이산화탄소를 흡수할 수 있는 것으로 추산하였다(농수축산신문 2021).

Table 1. Comparison of CO₂ absorption capacity of seaweed

Division	Rainforest	Temperate deciduous trees	Macroalgae			Marine phytoplankton
			Sargassum	Kelp	Rhubarb	
CO ₂ absorption capacity (gC/m ² -yr)	1,500-2,000	1,200	4,100	4,800	2,000-3,000	2,000

Source: FIRA (2019)

현재 과학계에서 갯녹음 현상 발생에 대한 진단기준은 제시(한국수산자원공단 2016; 조 2018)되었으나 갯녹음 발생 원인에 대해서는 규명하지 못하고 있다. 이에 현재까지 이루어진 갯녹음 현상의 대응사업을 보면 갯녹음 발생 해역에 바다숲을 조성하거나 갯녹음을 유발하는 성게 및 고등류와 같은 조식동물을 제거하여 해조류를 복원하는 사업과 같이 사후대응 방식에 집중하고 있다.

본 연구에서는 갯녹음의 개념을 정리하고 현재까지 갯녹음의 발생 원인으로 논의되고 있는 사항을 살펴본다. 갯녹음 관리와 관련해서 미국과 일본을 중심으로 한 국외 사례와 함께 현재 우리나라의 관리현황을 살펴본다. 마지막으로 우리나라에서 진행된 기존 바다숲 조성이나 조식동물의 제거와 같은 사후 복원방식 외에 갯녹음 발생 원인에 따른 근본적인 대응방안으로 생태학 및 정책적으로 관리방안을 제시하고자 한다.

2. 갯녹음 개념과 발생 원인

갯녹음 개념

갯녹음에 대한 정의는 현재 법적으로 명확하게 규정되어 있지 않다. 다만, 수산자원관리법 제2조제1항제6호에 바다숲에 대한 정의를 “갯녹음(백화현상) 등으로 해조류가 사라졌거나 사라질 우려가 있는 해역에 연안생태계 복원 및 어업생산성 향상을 위하여 해조류 등 수산종자를 이식하여 복원 및 관리하는 장소”로 정의하고 있으나 갯녹음이 무엇인지는 정의하지 않고 있다. 그러나 앞에서 설명한 바와 같이 해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵에서는 “갯녹음(바다사막화)의 개념을 연안 암반지역에서 해조류가 사라지고 암반이 흰색으로 변하는 현상”으로 정의하고 있다(해양수산부 2021).

한국수산자원공단에서는 갯녹음을 “기후변화 등으로 연안 암반지역의 대형 해조류가 사라지고 무절석회조류로 대체되어 수산자원이 동반 감소하는 바다사막화 현상”으로 정의하고 있다(한국수산자원공단 2023). 특히, 한국수산자원공단의 2020년 연구에서는 “갯녹음이란 다양한 원인에 의해 해조류가 탈락, 소멸하고 오랜 기간 동안 자연적으로 해조류가 발생과 서식을 하지 못하고, 대형 갈조

류가 우점적으로 서식하던 공간과 기질에 탄산칼슘 성분의 홍조류인 무절석회조류가 피복, 점유하는 현상으로 무절석회조류는 살아있는 상태에서는 분홍색을 띄지만 사멸 후에는 흰색으로 보이므로 갯녹음을 다른 표현으로는 백화현상”(한국수산자원공단 2020)이라고 정의하면서 갯녹음의 정의를 좀 더 구체화하고 있다.

한편, 일본에서는 갯녹음이란 “수심이 얇은 해역의 암초지역 등에서 해조류 군락(해조류 서식장)이 계절에 따른 소멸·변성이나 다소의 연간 변화의 범위를 벗어나 현저하게 쇠퇴 또는 소실되어 빈약한 식생 상태가 되는 현상”을 말한다고 한다(일본수산청 2021).

이러한 점에서 본다면 갯녹음에 대한 정의는 아직까지 통일되어 있지 않다고 보아야 할 것이다. 다만 해양수산부, 한국수산자원공단, 일본에서의 갯녹음 정의를 종합해 보면 “갯녹음이라 함은 기후변화 등 다양한 원인으로 인하여 연안 암초지대 해조군락이 소멸되고 무절석회조류가 번성하여 바위표면이 홍색 또는 백색으로 변하는 현상”이라고 정의할 수 있다.

발생 원인

갯녹음 발생 원인은 각 해역의 지형, 해양학적 특성, 생물 종 조성, 연안 이용 정도 등에 따라 다르겠지만, 후지마 아이스케(2005)는 엘리뇨의 발생이나 쿠로시오 해류에 따른 고수온·빈영양, 태풍에 의한 영향, 성게·어류 등 조식동물의 조식 활동, 생활·산업 하수 유입에 따른 오타·부영양화, 하천 개수나 호안·항만정비에 따른 해수의 정체·현탁물질·퇴적 부니의 증가, 포유류·어패류(성게 등 조식동물의 포식자)의 남획, 화산재의 퇴적 등으로 정리하였다. 한편 우리나라 “갯녹음 현상의 원인 규명 및 대책 연구”에서는 갯녹음 발생 원인을 바다생태계의 변화와 바다숲의 감소, 무절산호조류의 환경적응과 조식동물에 의한 초식압 등으로 정리하였다(해양수산부 2002).

권 등(2007)은 Table 2에서 보는 바와 같이 생태학적 원인과 인위적인 원인으로 분류하고 있다. 이 논문에서는 1980년 이후 증가하는 수온의 영향과 1997-1998년에 갯녹음에 의한 어업 피해가 커지는 때가 일치함으로 갯녹음에 의한 피해가 수온의 변화와 연관성이 매우 높게 나타

Table 2. Reason of Barren ground

Ecological reasons	Artificial reasons
<ul style="list-style-type: none"> • Changes of non-living environment <ul style="list-style-type: none"> - physical conditions (Temperature, Salinity, wave etc.) - Temporary changes of environment (Tsunami, volcanic eruption, fresh water shock from flood) • Biological effect <ul style="list-style-type: none"> - Effect of grazing by herbivores 	<ul style="list-style-type: none"> • Over harvest • Turbidity increase by seawater pollution • Effect of suspended solid • Pollutants from land

나고 있다고 했다.

한국수산자원공단에 따르면 갯녹음의 요인을 물리적 요인, 화학적 요인, 생물학적 요인으로 구분하고 있다. 물리적 요인으로는 지구온난화에 따른 해수온 상승, 태풍폭풍에 의한 유실 등과 산업화에 따른 서식지 파괴, 매립이나 간척 또는 대규모 항만공사로 인한 부유물 발생 등을 들고 있다. 화학적 요인으로는 해수의 저염분 및 고염분, 연안 환경 오염량 증가, 영양염 부족 등이며, 생물학적 요인으로는 해조류를 먹이로 하는 조식동물 증가에 따른 해조 섭식압 증가, 무절석회조류에 의한 다른 해조류의 착생저해, 무분별한 해조류 자원 남획 등을 원인으로 들고 있다(한국수산자원공단 2020).

일본의 갯녹음 대책 가이드라인에서는 갯녹음 발생 원인을 해조류 감소, 조식동물에 의한 섭식 피해, 남획, 현탁물질과 퇴적물의 증가, 높은 해수온도와 저염분 등으로 제시하고 있다. 이 가이드라인에서는 해조류가 감소하는 원인을 조식동물의 섭식, 고사(말라버림), 발아하지 못하거나 유실 등의 원인 중 하나 또는 이것들의 조합에 의해 감소하기도 하는데 건강한 해조류 서식장에서도 어느 정도 섭식당하고, 말라버리거나 발아 정도에 차이가 있으며, 파도가 높아지면 기질에서 탈락하기도 한다. 따라서 이러한 작용들이 어느 수준을 넘거나, 지속되어 회복을 방해하는 요인이 있을 때 갯녹음이 된다고 하였다(일본수산청 2021).

이러한 연구를 통해 현재까지 거론되고 있는 갯녹음 발생원인은 기후변화, 해수온도 상승, 해양 산성화, 이산화탄소, 지하수, 조식동물, 해양오염 등 복합적인 요인으로 추정하고 있으나 현재까지는 정확한 원인을 규명하지 못하고 있다. 이러한 갯녹음 현상이 발생하면 수산생물의 서식지가 황폐화되고 해양 탄소고정 능력 약화를 초래하며, 해양생태계 순기능이 상실되는 것으로 알려지고 있어 이에 대한 대안 마련이 시급하다.

3. 국외 주요 관리현황

미국

미국 캘리포니아주 전역에 걸쳐 1,500 km 정도의 연안에서 대형 다시마의 일종인 켈프의 해조숲이 쇠퇴하고 있고, 미국 메인주에서 캐나다 센트로렌즈만을 거쳐 뉴펀들랜드에 이르는 2,000 km의 광대한 연안에서 갯녹음이 발생되고 있다고 보고되고 있다(강과 신 2015). 캘리포니아 대학의 연안 및 해양과학연구소는 2019년 켈프 해조숲의 쇠퇴 원인에 대한 연구결과를 발표하였다. 연구소는 2011년 유해조류 발생(harmful algal bloom), 2013년 불가사리 질병(Sea star wasting disease) 발병, 2014년부터 2015년까지 지속된 해양 열파(marine heat wave) 및 2014년부터 시작된 보라색 성게(purple urchin)의 증식이 중요한 원인

으로 작용했다고 했다. 보라색 성게의 개체수는 60배 증가하였고, 해조류는 86-97%로 급격하게 감소하여 갯녹음의 원인중의 하나로 성게의 개체수에 대한 관심이 증가한 계기가 되었다. 미국은 켈프 해조숲을 복원하기 위해 정부, 어민, 비영리 기관 및 시민단체들이 성게를 수확하기 위해 노력하고 있다(UCDAVIS 2023).

미국 갯녹음 관리의 특징은 해양대기청(NOAA)과 연방 어류야생생물국(FWS), 환경청(EPA) 등 연방정부가 바다숲 조성 및 관리 업무를 맡고 있으나 민간단체의 참여가 활발하다는 점이다. 예를들면, 1993년 설립된 비영리 시민단체인 TBW (Tampa Bay Watch)는 팀파만의 생태계 복원에 힘쓰고 있어, 각종 교육프로그램 운영과 현장 체험학습, 에코투어를 통해 바다숲 조성의 중요성을 알리고 자원봉사자들과 바다숲 복원 사업을 펼치고 있다(연합뉴스 2017).

미국의 갯녹음 관리는 서식지의 생태적 기능 및 역할을 인식하여 순손실방지정책(no-net-loss policy)을 통해 이루어지고 있는 것 또한 눈여겨 볼만하다. 순손실방지정책이란 거머리말 서식지 총량제의 기본 전제로 불가피하게 개발사업이 진행되면 서식지 훼손을 최소화하고 훼손된 서식지만큼 대체 서식지(면적 및 기능 고려)를 조성하는 전략이다. 우리나라는 갯녹음이 발생한 해역에 대해 바다숲을 조성하여 갯녹음을 관리하고 있다. 바다숲 조성사업은 「수산자원관리법」에 기초하여 국가가 주체가 되어 국비로 바다숲을 조성하고 있으나 미국의 경우 연방 「수질오염방지법(Clean Water Act)」 404항 (b) (1)에 기초하여 순손실방지정책(no-net-loss policy)에 따라 개발사업자에게 서식지 훼손에 대한 책임을 부과하고 있다는 점이 가장 큰 차이점이라고 볼 수 있다(한국수산자원공단 2019).

미국의 순손실방지정책을 우리나라에 바로 도입할 수 없는 이유는 갯녹음을 유발하는 원인을 아직까지 규명하지 못하고 있다는 점이다. 즉, 미국의 경우 개발사업이 진행되면 개발사업자에게 서식지 훼손을 최소화하도록 서식지 조성이나 복원, 완화크레딧(mitigation bank credit)(박 등 2003)을 구매하는 등의 의무를 부과하고 있으나 우리나라의 경우 누구에게 어느 정도의 복원의무를 부과할 것인가를 특정하는 것이 쉽지 않다는 것이다. 이러한 점에서 갯녹음을 유발하는 원인규명이 매우 긴급하기 때문에 갯녹음에 대한 사후대책과 함께 원인규명에 대한 연구도 매우 중요하다.

일본

일본에서 갯녹음이 학계에 소개된 것은 1885년 시즈오카현 권업과(勸業課, 산업을 권장하는 부서)가 일본수산회에 「갯(해변)이 녹음」으로 「석화채(우뭇가사리) 고사의 원인과 예방법에 관한 질문」을 한 것이 시작이었다. 이후 갯녹음에 관한 최초의 보고서인 「해조류 갯녹음 조사 보고」(1903)에서 갯녹음의 원인을 산림벌목에 기인하는 담수유

입으로 생각했다(일본수산청 2021). 갯녹음은 1930년대 중반 이후 급속히 진행되어 1990년대에는 일본 26개 지역에서 발생하였고 북해도 해역의 69%가 갯녹음 현상이 진행된 것으로 나타나면서 갯녹음의 심각성을 인식하게 되었다. 2004년 조사결과 전체 바다숲의 70%가 훼손 및 소실된 것으로 진단하고 있으며 기존 사업성과에 대한 피드백으로 정책 및 사업 고도화를 추진하고 있어, 2010년 기준으로 중점 추진분야 4개 사업, 사업지원분야 4개 사업을 적극적으로 시행 및 지원 중이다(해양수산과학기술진흥원 2020).

일본은 2005년 수산청 조사 결과 70%의 연안에서 해조류가 현저하게 감소하는 것으로 드러나자 바다숲 조성사업을 전면 개편했다. 일본 수산청은 수산업에 막대한 영향을 미치는 갯녹음에 대해 어업관계자를 비롯한 지역 주민들을 대상으로 갯녹음 대책이 널리 실시될 수 있도록 2007년에 「갯녹음 대책 가이드라인」, 2015년 「개정판 갯녹음 대책 가이드라인」을 발간한 이후 2021년 3월 「제3판 갯녹음 대책 가이드라인」을 발간하였다. 일본의 바다숲 조성사업은 어업인과 지역 주민의 자발적인 참여로 이뤄진다. 정부와 지자체는 필요한 사업비 제공, 민·관·학을 연계한 자문 조직 구성 등 기술 정보 제공과 홍보를 통해 자연스럽게 주민들의 참여를 유도하고 있다(연합뉴스 2017).

일본의 갯녹음 대책에서 시사하는 바는 어업인과 지역 주민의 참여를 통한 현장중심 정책을 수립하고 지원한다는 것이다. 갯녹음에 대한 이해관계자들의 인식확대를 위해 갯녹음 대책 가이드라인을 발간하여 갯녹음에 대한 지식과 이해를 증진시키는데 노력하고 있다.

4. 우리나라 갯녹음 발생 및 관리 현황

갯녹음 발생 현황

우리나라 갯녹음 현상은 1980년대부터 남해안과 제주도 일대에서 발생·확산되기 시작하여 1990년대 이후에는 동해안 일대에서도 피해가 심각하게 나타나고 있다(뉴스핑크 2022). 2019년 한국수산자원공단이 제출한 자료에 의하면 조사대상 면적 총 3만7921.4 ha 중 33.6%인 1만 2728.5 ha의 암반에서 바다사막화가 진행되었다(Table 3) (<http://www.snakorea.com>). 이 자료를 보면 동해에서 갯녹음 현상이 제일 심한 상태이며 그 다음으로 제주 해역

과 남해안 순으로 갯녹음이 심각한 상태를 보여주고 있다. 그러나 바다숲 조성으로 연안의 갯녹음 면적이 감소하고 있는데 2015년 15,035.7 ha, 2018년 13,829.6 ha, 2019년 12,728.5 ha로 2015년 대비 2019년 갯녹음 면적은 2,307 ha 감소하였다. 갯녹음 감소율은 동해 7.8%, 남해 6.7%, 제주 13.3%로 제주해역의 감소율이 제일 높은 것으로 나타났다(한국수산자원공단 2019).

갯녹음 관리사업 추진 주체 및 절차

우리나라 갯녹음 관리사업은 「수산자원관리법」에 따라 시행되고 있다. 「수산자원관리법」 제41조는 수산자원 조성을 위한 사업 중의 하나로 “바다숲 설치사업”을 추진하도록 하고 있다. 여기서 말하는 수산자원조성사업이라 함은 i)인공어초 설치사업, ii)바다목장 설치사업, iii)바다숲 설치사업, iv)수산종자 방류사업, v)해양환경 개선사업, vi)친환경 수산생물 산란장 조성사업, vii)그 밖에 수산자원 조성을 위하여 필요한 사업으로서 해양수산부장관이 정하는 사업을 말한다(수산자원관리법 제41조 제1항).

바다숲 설치사업은 해양수산부, 한국수산자원공단(이하, ‘공단’이라 한다), 지방자치단체(이하, ‘지자체’라 한다)에 의해 수행된다. 해양수산부는 기본계획을 수립하여 공단, 지자체에 시달하고 사업 추진상황을 점검하고 사업 관련 각종 협의회를 개최한다. 공단은 기본계획에 따라 세부시행계획을 수립하고 신규 바다숲을 조성하여 그 효과를 조사하며 지자체에 사후관리를 지원한다. 그리고 지자체는 어업인 동의를 첨부하여 후보지를 추천하며, 세부 계획 수립 및 시행단계에서 바다숲 담당 직원을 지정하여 사업추진 단계마다 적극 협조하고 어촌계 등과 유기적인 협조체제를 구축하여 바다숲 조성관리에 공동으로 참여한다. 지자체는 바다숲 조성관리 3차년도 부터 조식동물 구제, 해조류 보식 및 모니터링 등 조성관리 사업을 주도적으로 시행하도록 하고 있다(한국수산자원공단 2015).

갯녹음 관리사업 추진현황

우리나라는 갯녹음 관리를 위해 갯녹음 원인규명과 관련한 사업과 갯녹음 대응과 관련한 사업으로 나누어 추진해오고 있다. 우선 갯녹음 원인규명과 관련하여 해양수산부는 갯녹음 현상의 원인규명 및 대책을 마련하기 위한

Table 3. Status of barren ground by sea area (2019)

Status	East Sea	South Sea	Jeju	West Sea (2010)	Sum
Area of investigated rock mass (ha)	13,425.1	8,814.5	15,323.8	358.0	37,921.4
Normal area (ha)	6,942.3	7,704.7	10,220.9	325.0	25,192.9
Barren ground area (ha)	6,482.8	1,109.8	5,102.9	33.0	12,728.5
ratio (%)	48.3	12.6	33.3	9.2	33.6

방안을 제시한 바 있다. 이 사업은 무절석회조류에 초점이 맞추어져 있으며 동해, 남해, 제주해역에서의 해역별 특성을 분석하였는데 이 경우에도 성계의 밀도 및 해조류에 초점을 맞추었다(해양수산부 2022).

해양수산부는 갯녹음 관리를 위해 2009년 100억 원을 투입, 7개소에 121 ha의 바다숲을 조성한 것을 시작으로 13년간 3,443억 원을 투입, 211개소에 2만6,644 ha의 바다숲을 조성하였다(Table 4)(<https://www.afnews.co.kr>).

Table 4. Results and plans of the marine forest creation project (Unit: ha, KRW 1 billion)

Division	Formation performance														Plan
	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	Total	2022
Number of points	7	10	11	10	9	19	21	24	18	20	24	21	17	211	17
Area (ha)	121	250	715	860	1,388	2,575	3,236	3,064	3,043	3,108	3,130	2,768	2,386	26,644	2,536
Business expenses (billion won)	10.0	15.0	13.0	15.9	18.3	32.7	35.7	34.7	35.2	35.2	35.2	33.4	30.0	344.3	31.2

Source: Agricultural and Livestock Newspaper (<http://www.afnews.co.kr>)

Table 5. Establishment of marine forests by East, West, South and Jeju sea areas (2009–2019)

		East Sea	West Sea	South Sea	Jeju	Total
2009	Region (Location)	2	2	2	1	7
	Area (ha)	75	1	25	20	121
2010	Region (Location)	2	2	4	2	10
	Area (ha)	60	10.2	130	50	250.2
2011	Region (Location)	4	3	2	2	11
	Area (ha)	282	15	106	312	715
2012	Region (Location)	4	2	2	2	10
	Area (ha)	416	70	112	262	860
2013	Region (Location)	4	1	2	2	9
	Area (ha)	491	101	300	496	1,388
2014	Region (Location)	7	2	5	5	19
	Area (ha)	725	200	529	1,120.6	2,574.6
2015	Region (Location)	8	4	5	4	21
	Area (ha)	1,126	350	672	1,086	3,236
2016	Region (Location)	15	1	3	5	24
	Area (ha)	1,634	50	294	1,086	3,064
2017	Region (Location)	7	2	4	5	18
	Area (ha)	1,050	165	640	1,188.2	3,043.2
2018	Region (Location)	9	1	4	6	20
	Area (ha)	1,360	10	640	1,097.6	3,107.6
2019	Region (Location)	7	8	3	6	24
	Area (ha)	1,081.91	599.15	480	969.07	3,130.13
Total	Region (Location)	69	28	36	40	173
	Area (ha)	8,300.91	1,571.35	3,928	7,689.47	21,489.73

2009년에서 2019년까지 동·서·남·제주 해역별 바다숲 조성실적을 보면 동해가 8,300 ha로 가장 많았고, 제주 7,689 ha, 남해 3,928 ha, 서해 1,571 ha의 바다숲이 각각 조성되었다. 갯녹음면적 대비(Table 3) 바다숲 조성실적(Table 5)을 보면 2014년부터 바다숲 조성면적과 예산이 많이 늘었다는 것을 알 수 있다. 눈에 띄는 점은 동해해역과 제주해역에서 갯녹음 발생비율(동해(48%), 제주(33%))이 차이가 있음에도 불구하고 바다숲 조성(동해(8,300 ha), 제주(7,700 ha))은 제주해역에서 좀더 많은 비율로 추진한 것으로 나타났다. 그 이유는 2014년도에 제주해역에서 동해해역보다 더 많은 바다숲을 조성한 것이 원인인데 2010년 이후 제주해역에서 태풍과 풍랑의 영향으로 해조류가 사라지는 늦가을부터 겨울철 초기 성장시기 때 풍랑에 못 견디고 훼손된 영향에 의해 바다숲을 더욱 많이 조성한 것이라고 판단된다(녹색연합 2022).

한국수산자원공단은 바다숲 조성으로 인한 생태계 건강성 지수를 평가하고 있다. 연안생태계의 건강성 지수는 2016년 2.712에서 2017년 2.729, 2018년 2.757, 2019년 2.812, 2020년 2.922 등 상승세를 보이고 있다. 생태계의 건강성 지수는 해조류와 저서동물의 생물종 다양성 지수, 종 균등도 지수의 합을 의미한다. 또한 바다숲 조성으로 갯녹음 해소율도 높아졌다. 갯녹음 해소율은 2016년 9.828%에서 2017년 10.406%, 2018년 11.355%, 2019년 15.146%, 2020년 19.616% 등 매년 개선되고 있다. 더불어 바다숲 조성을 위해 2009–2019년 간 사업비 2,809억 원을 투입, 지역과 국가 전체적으로 5,005억 원 가량의 생산유발금액을 기록했으며 2,258억 원의 부가가치 창출, 5,224명의 일자리를 창출했다는 것이 한국수산자원공단 측의 설명이다(해양수산부 2022).

그러나 공단이 제시하는 것과 달리 2019년 감사원의 감사 보고서에 따르면 일부 해역에서는 바다숲 조성 전보다 해조류가 감소하는 현상이 나타났다. 지자체로 이관한 바다숲 조성지를 2019년 3–4월에 조사한 결과, 부산시 A해역에서 해조류는 다소 증가했지만 해양동물은 오히려 감소했다. 안산시와 제주해역에서도 바다숲을 조성하기 전보다 해조류·해양동물의 생체량이 모두 감소하였는데 그 이유는 “효과적인 자연암반을 이용하는 대신 인공어초 방식 위주로 바다숲을 조성했고, 사후관리를 하지 않은 지자체에 바다숲을 추가로 조성해 조성 전보다 해조류가 감소했다”고 지적했다.

이에 대해 전문가들은 바다숲 조성사업이 해조류 서식 환경보다 깊은 곳에 인공어초를 투하하거나, 해조류의 생식주기를 고려하지 않고 예산 집행 시기에 맞춰 해조류 포자를 심는 등의 방식으로 진행되고 있다는 지적도 하고 있다(서울뉴스통신 2020). 그리고 동·서·남해와 제주해역에서 서식하는 해조류는 그 종류도 다르고 사라진 원인과 환경도 다를 수 있는데 수천억 원 예산을 들여 전국 바다에 갯

태를 이식한 인공어초를 일괄적으로 설치하여 바다숲 조성사업이 실패로 끝났다고 보는 시각도 있다(정 2022).

이러한 사례로 보았을 때 갯녹음을 관리하기 위해서는 바다숲 조성이나 인공어초 설치, 종묘의 대량생산 및 이식과 같은 사후대책 보다는 갯녹음을 유발하는 원인에 대해 철저히 규명하고 이에 따른 종합적인 대책이 필요하다는 것을 알 수 있다.

5. 갯녹음 관리방안 제언

생태학적 측면

갯녹음 발생 요인은 앞서서도 기후변화, 해수온도 상승, 해양 산성화, 이산화탄소, 지하수, 조식동물, 해양오염 등 복합적 요인으로 추정하고 다양하게 제시되고 있지만 모두 단편적인 연구의 한계로 아직까지 갯녹음 발생의 원인을 규명하지 못하고 있다. 이러한 문제점을 인식하고 우리나라 연안에서의 갯녹음 발생 원인을 규명하기 위해서는 i)갯녹음 유발요인 도출 및 검증 시스템 구축, 단일/다중요인 검증 실험 수행 및 검증결과 제시, ii)갯녹음 유발요인 검증을 위한 인공생태계 실험 시스템 구축, iii)갯녹음 및 바다숲 분포 모니터링 기술 및 분포 맵핑 기술 및 ICT 기반 갯녹음 모니터링 기술 제시, iv)갯녹음 실험역 검증 실험 및 유형 분류기준 제시, v)갯녹음 진단/평가 지표 분석 및 진단/평가 지표를 마련하여야 한다.

특히, 갯녹음 발생원인 규명을 위한 과학적 연구를 위해서는 우리나라 동서남해 및 제주연안의 해역별 특성을 반영할 수 있는 연구사이트 선정이 반드시 필요하다. 지금까지 한국수산자원공단은 갯녹음 발생원인 규명보다는 바다숲 조성이라는 갯녹음 발생 이후 이를 치유하거나 갯녹음 발생 이전의 상태로 되돌리는 방안에 많은 사업비를 투자한 바 있다. 그러나 갯녹음이 왜 발생하는지에 대한 근본적인 원인을 파악하지 않고서는 바다숲을 조성하더라도 바다숲이 지속적으로 유지될 수 없을 것이다.

갯녹음을 관리하는 방안으로 바다숲을 조성하는 것이 가장 일반적으로 이용되고 있는 방법이다. 바다숲 기능은 6가지 정도로 대별될 수 있는데 i)수산생물의 서식처 제공, ii)이산화탄소 등 온실가스를 흡수하고 용존산소를 공급, iii)바이오에탄올 등 해조류바이오매스를 공급하는 청정바이오에너지원, iv)질소, 인 등 중금속을 제거하는 오염물질 정화, v)비타민, 미네랄 등 인체 유용성분을 다량 함유하고 있는 웰빙식품의 원료원, vi)의약품, 식용, 산업용 등 기능성 물질의 추출원으로서 유용기능성 물질을 공급하는 기능을 가지고 있다(한국수산자원공단 2023).

바다숲 조성방안은 수중 갯담기, 인공어초 설치, 해조류 종묘 개발을 위한 사업을 들 수 있다(<https://www.mof.go.kr>). 바다숲 조성이란 기후와 환경변화로 인한 갯녹음

등으로 바다사막화가 진행된 해역에 해조류를 번성시켜 연안 생태계를 복원하는 사업이다.

바다숲 조성 시에 유의할 점은 인공어초 방식에서 탈피하여 자연암반을 이용한 자연친화적인 조성방안을 마련해야 하고 해역별 적합한 해조류의 선정과 생식주기를 고려한 이식이 필요하다. 해조류 선정 시에도 해조류의 생태에 관한 지식뿐만 아니라 다양한 생태계 구성원 간의 상호관계를 이해해야 하며, 바다숲 조성 이후 철저한 사후관리를 통해 해조류의 지속적인 성장과 관리도 이루어져야 할 것이다.

정책적 측면

바다숲 조성사업의 개선방안으로 단계별·체계적 추진, 사업주체간의 명확한 역할 분담과 협력, 바다숲 조성사업 R&D 강화, 바다숲 조성해역의 자율 규제 및 수산자원보호구역 설정, 바다숲 조성해역에서의 철저한 조업 규제, 자율관리공동체 평가에 바다숲 관리 포함, 모델별 효율적인 이용관리 강구 등 7가지 방안이 제시된 바 있다(이 등 2014). R&D강화와 관련해서는 바다숲 조성 시 갯녹음을 유발하는 원인을 규명하는데 초점이 맞추어진 연구개발이 필요하며, 여기서 규명된 원인에 따라 바다숲 조성에 필요한 요소기술의 확립이 이루어져야 할 것이다. 이와 관련하여 어업인과 낚시객 등의 이용과 관련된 관리문제나 불법어업 등의 근절책 마련을 위해 정부와 지자체, 어업인들이 참여하는 자율관리방안 마련도 중요하다.

한국수산자원공단의 바다숲 조성사업에서는 생태계서비스, 수산자원제공, 레크레이션 서비스 가치 등 시나리오별 분석을 통한 대상지 우선순위(동해, 제주)를 도출하여 바다

숲 관리방안을 도출한다고 한다(한국수산자원공단 2020). 그러나 바다숲 조성 시행지침(별지 제2호 서식)의 「바다숲 사업후보지 조사평가 결과」에서 바다숲 조성 후 활용성을 평가할 때 생태회복형, 자원보전형, 산란유도형, 수중관광형, 체험학습형, 기타 등의 항목에 대해 평가하도록 하고 있다. 한편, 이 등(2014)은 바다숲을 해양환경 회복형, 해양관광레저형, 탄소배출 저감형, 바이오에너지원 이용형 등 4개의 모델로 구분하고 이용관리 방안을 강구하여야 한다고 한다. 탄소중립이 국제적 이슈임을 감안하면 바다숲 조성 후 활용성에 대해 「탄소중립형」의 고려도 필요해 보인다.

한편, 한국수산자원공단은 갯녹음 진단 및 판정기준을 Table 6과 같이 제시하고 있다. 갯녹음 발생원인 생물 파악은 서식 해조류를 주요 분류군(무절석회조류, 유절석회조류, 일반해조류)으로 구분하고 피도와 상대피도(%)를 조사하여 구분한 것으로 보인다. 그러나 이러한 기준의 획일적 적용보다 갯녹음 발생은 원인과 연계되어야 하므로 우리나라 동·서·남해 및 제주해역을 독립변수로 구분하고 이들 해역별 원인생물뿐만 아니라 수온, 영양염, 해류와 같은 다양한 요인을 고려할 수 있는 기준 마련이 더 유용할 것으로 판단된다.

갯녹음에 대한 보다 종합적 관리체계를 위해 일본과 같은 갯녹음 대책 가이드라인 개발도 고려될 수 있으며, 이를 위해서는 「물환경보전법」에서 정하고 있는 “수생태계 현황 조사 및 건강성 평가”와 같이 「수산자원관리법」상의 수산자원의 조사평가(법 제10조)에서 규정하고 있는 “수산자원의 조사평가”내용을 좀 더 구체화하는 것이 가장 현실적인 대안이라고 판단된다. 「수산자원관리법」 제10

Table 6. Barren ground diagnosis and criterion

Status	Criteria	Deepening/sustaining factors
1st period (early)	<ul style="list-style-type: none"> • 40-60% coverage of uncut lime algae • Seaweed coverage 60-80% 	<ul style="list-style-type: none"> • Seaweed intake of foraging animals: 30 g/m²/day • Amount of animals for breakfast (sea urchin): 5-12 animals/m² • Seaweed <ul style="list-style-type: none"> - Reduction of large brown algae and perennial seaweed - Increase in small red algae
2nd period (ongoing)	<ul style="list-style-type: none"> • 60-80% coverage of uncut lime algae • Algae coverage 20-40% 	<ul style="list-style-type: none"> • Seaweed intake of forage animals: 40-60 g/m²/day • mount of animals for breakfast (sea urchin): 10-20 animals/m² • Seaweed <ul style="list-style-type: none"> - Signs of disappearance of large brown algae - Small perennial red algae habitat
3rd period (intensification)	<ul style="list-style-type: none"> • More than 80% of uncut lime algae coverage • Less than 20% algae coverage 	<ul style="list-style-type: none"> • Seaweed intake of forage animals: 70 g/m²/day • Amount of animals for breakfast (sea urchin): 20 animals/m² • Seaweed <ul style="list-style-type: none"> - Loss of large brown algae - Small perennial red algae habitat <p>※ Excluding commercial resource use factor</p>

Source: FIRA (2016); Investigation of causes of whitening and establishment of countermeasures

조는 수산자원의 조사평가에 대해 규정하고 있고 수산자원의 조사평가 내용, 그 밖에 필요한 사항은 대통령령으로 정한다고 규정하고 있다. 이와 같이 법률에서 정하고 있는 수산자원 조사평가에 대한 사항을 일차적으로 갯녹음 대책 가이드라인 개발을 위한 근거규정으로 활용할 수 있을 것이다. 이외에도 수산자원관리법 시행령을 활용하는 방안도 생각할 수 있다. 수산자원관리법 시행령은 수산자원의 조사평가의 내용 등(영 제4조)을 규정하면서 수산자원 조사평가계획에는 수산자원 조사계획에 포함되어야 할 사항과 수산자원의 평가계획에 포함될 사항을 정하고 있다. 이 중에서 수산자원의 평가계획에 포함될 사항으로 3가지 사항을 정하고 있는데 다호의 “그 밖에 해양수산부장관 또는 시도지사가 기본계획과 시행계획의 수립을 위하여 평가할 필요가 있다고 인정하는 사항”을 근거로 가칭 「갯녹음 대책 가이드라인」을 개발할 수 있다고 판단된다. 다만, 「물환경보전법」에서와 같이 법률과 시행규칙에서 정하고 있는 평가방법에 대한 세부사항의 추진주체를 명시하는 것과 같이 가칭 “갯녹음 현황 조사 및 갯녹음 판단을 위한 평가방법 등에 관한 지침”과 같은 좀더 세부적인 규정을 만들어 갯녹음의 효율적인 관리를 추진하는 것이 필요하다.

6. 결 론

국제사회는 기후변화를 인류의 생존을 위협하는 가장 중요한 요소 중 하나로 인식하고 있다. 기후변화에 대응하기 위해 탄소중립이라는 대명제를 설정하고 EC, 미국, 영국, 중국, 일본 등과 함께 우리나라도 탄소중립 이행방안을 준비하고 있음을 살펴보았다. 정부에서는 국정과제로 각 부처별 탄소중립 이행방안을 마련하고 있는데 해양수산부는 갯벌·바다숲 등 탄소흡수원(블루카본)을 확대한다는 정책을 밝히고 있다. 바다숲 조성으로 탄소흡수원을 확대한다는 정책의 이면에는 바다사막화로 불리는 갯녹음 현상에 어떻게 대응하는가 하는 것이 중요한 포인트라고 하겠다.

우리나라의 갯녹음 현상은 1980년대부터 남해안과 제주도 일대에서 발생·확산되기 시작하여 1990년대 이후에는 동해안 일대에서도 피해가 심각하게 나타나고 있다. 우리나라는 「수산자원관리법」을 제정하여 수산자원 조성을 위한 사업 중 바다숲 설치사업을 통해 갯녹음을 관리하고 있다. 특히 갯녹음 관리를 위해 갯녹음 원인규명과 관련한 사업과 갯녹음 대응과 관련한 사업을 추진해 오고 있다. 그러나 갯녹음 원인규명과 관련한 사업에서는 무절석회조류에 초점을 맞추고 동해, 남해, 제주해역에서 해역별 특성을 분석하였다. 이 경우에도 성계의 밀도 및 해조류에 초점을 맞추다보니 갯녹음을 유발하는 원천적인 원인이 무엇인지 아직까지 밝히지 못하고 있다.

갯녹음 관리를 위해서는 갯녹음 발생 원인을 규명하고 바다숲을 조성하는 생태학적 관리방안을 생각할 수 있다. 다음으로는 정책적 방안으로 정부, 지자체, 어업인들이 참여하는 자율관리방안 마련, 바다숲 조성 모델 구분에 따른 이용관리 방안 마련, 갯녹음 원인과 진단을 할 수 있는 평가지표 및 지수와 갯녹음 대책 가이드라인을 개발하여야 할 것이다.

현재 우리나라는 갯녹음 대응을 위해 한국수산자원공단을 설립하여 바다숲을 조성하도록 하고 있다. 갯녹음 대응을 위해 2009년부터 2015년까지 전국 연안 87개소에 1,406억원을 투입하여 약 9,000 ha의 바다숲을 조성하였고 정부는 2030년까지 3,110억원을 투입하여 54,000 ha를 조성할 계획이다. 한국수산자원공단의 발표에 의하면 바다숲 조성으로 연안생태 환경개선과 갯녹음 해소뿐만 아니라 지역과 국가의 부가가치와 일자리를 창출하였으며 연안생태계 건강지수도 상승하여 갯녹음 해소율도 높아졌다고 한다. 그러나 2019년 감사원의 감사보고서에 따르면 일부 해역에서는 바다숲 조성 전보다 해조류가 감소하는 현상이 발생하였다. 이러한 이유로는 자연암반을 이용하는 대신 인공어초 방식 위주로 바다숲을 조성했고 사후 관리에 문제점을 보여왔다.

갯녹음 관리를 위해서는 바다숲 조성이 필요한 사업이라는 점은 누구나가 동의할 것이다. 그러나 바다숲 조성사업이 2009년부터 시행되어 왔음에도 불구하고 아직까지 바다숲을 조성해야 하는 이유 중의 하나인 갯녹음이 왜 발생하는지에 대해서는 명확하게 설명하지 못하고 있다. 갯녹음 발생원인 규명이 어려운 것은 바다가 육지와는 달리 하나의 움직임은 다이내믹한 생태환경을 가지고 있기 때문이다. 즉, 갯녹음 발생지역의 암반분포나 경사도, 수심 등의 지형학적 특성과 함께 하천에서의 담수유입이나, 호안·항만, 방파제 등과 같은 공간적 특성을 파악해야 한다. 그리고 엘니뇨, 태풍이나 쿠로시오 해류와 같은 해수 흐름과 함께 수온, 염분, 용존산소나 부유물질 등 해양학적 특성을 파악해야 한다. 그리고 무절석회조류나 해조류, 성계 등의 출현량을 파악해야 하며 연안이용에 따른 오염행위와 오염도와의 상관관계를 파악해야만 가능하다.

우리나라의 갯녹음 관리는 입법정책적으로 갯녹음 원인 규명 및 관리방안을 마련하여야 하며 이를 위해 갯녹음 대책 가이드라인 등과 같은 세부적인 규정을 만들 것을 제안한다. 왜냐하면 갯녹음 발생요인의 원인규명에 대한 해양과학적 연구가 선행되어야 하며 이러한 연구결과를 바탕으로 해역별 바다숲 조성 등 해역 특성에 맞는 사업을 추진하여야 사업의 효과성을 높일 수 있기 때문이다.

사 사

이 논문은 한국해양과학기술원 주요과제 “기후변화에 따른 동해 연안 갯녹음 유발요인 검증 원천기술 개발 (PEA0116)”의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고문헌

- 강진영, 신우석 (2015) 제주도 연안 갯녹음 현상 및 대책 방안 모색, 제주발전포럼 **54-55**:70-81
- 권혜옥, 김진만, 이석모 (2007) 갯녹음 해역의 해조장 복원 모듈. In: 2007년도 한국해양환경공학회 추계학술대회 논문집, 해양경찰청, 인천, 2007년 11월 1일, pp 71-76
- 녹색연합 (2022) 제주 연안 조간대 43곳 갯녹음 조사 결과, 제주 남부 서귀포시 권역 해조류 회복력 상실해. <https://www.greenkorea.org> Accessed 11 Dec 2022
- 농수축산신문 (2021) 바다숲 조성사업, 성과와 과제는. <https://www.afnews.co.kr> Accessed 5 May 2023
- 뉴스펍귄 (2022) 수천억 들인 ‘바다숲 조성’ 효과는 검증 안 돼). <http://www.newspenguin.com/news/articleView.html?idxno=11389> Accessed 5 May 2023
- 대한민국 대통령실 (2022) 과학적인 탄소중립 이행방안 마련으로 녹색경제 전환. <https://www.president.go.kr> Accessed 5 May 2023
- 박성욱, 권문상, 이용희, 이미진 (2003) 연안습지의 효율적 관리를 위한 Mitigation 개념의 한국적 적용방안에 관한 연구. *Ocean Polar Res* **25**(3):545-555
- 서울뉴스통신 (2020) [2020국감] 동해 바다 절반이 ‘바닥 사막화’로 신음. <http://www.snakorea.com/news/articleView.html?idxno=449427> Accessed 5 May 2023
- 연합뉴스 (2017) [바다 사막화] ② 2030년까지 ‘바다 숲’ 5만 4천 ha 조성한다지만. <https://www.yna.co.kr/view/AKR20170714035800054?section=search> Accessed 5 May 2023
- 이광남, 김재성, 김진영, 이재호 (2014) 수산자원조성사업의 환경개선 및 경제적 효과 분석과 개선방안에 관한 연구. 국회예산정책처 연구용역사업, pp 140-148
- 일본수산청 (2021) 일본의 갯녹음 대책 가이드라인. <https://www.jfa.maff.go.jp> Accessed 5 May 2023
- 정석근 (2022) 행정직이 만든 정책에 갇힌 연구직... 명태 부활 실험도 실패. <http://www.kookje.co.kr> Accessed 14 Sep 2022
- 조순제 (2018) 바다숲 조성사업의 운영성과 평가에 관한 연구. 박사 학위논문, 부경대학교, 96 p
- 한국수산자원공단 (2015) 바다숲 조성사업 시행지침. <https://fira.or.kr> Accessed 5 May 2023
- 한국수산자원공단 (2016) 갯녹음 원인규명 및 대책수립: 해역별 갯녹음 복원 고도화 사업. <https://fira.or.kr> Accessed 5 May 2023
- 한국수산자원공단 (2019) 바다숲 사업 백서. <https://fira.or.kr>

Accessed 5 May 2023

- 한국수산자원공단 (2020) 2020년 바다숲 조성사업. <https://fira.or.kr> Accessed 5 May 2023
- 한국수산자원공단 (2023) 갯녹음의 개념. https://www.fira.or.kr/fira/fira_030301_new.jsp Accessed 5 May 2023
- 한민지 (2022) 기후위기 대응을 위한 탄소중립·녹색성장 기본법에 따른 기후변화영향평가의 의의와 향후과제. *환경법연구* **44**(1):101-137
- 해양수산과학기술진흥원 (2020) 바다숲 복원을 위한 부착기질 개선 및 Seed Bank 조성 기술 개발. 한국해양환경생태연구소, 19 p
- 해양수산부 (2002) 갯녹음(백화) 현상의 원인 규명 및 대책. 서울, 해양수산부, 253 p
- 해양수산부 (2021) 해양수산분야 2050 탄소중립 로드맵. <https://www.mof.go.kr> Accessed 5 May 2023
- 해양수산부 (2022) 풍요로운 바다를 만들기 위한 노력은 계속됩니다. <https://www.mof.go.kr> Accessed 5 May 2023
- 후지마 아이스케 (2005) 갯녹음 현상 대책에 대한 지금까지의 연구 성과. *어항* 봄호:30-33
- The Science Times (2022) 기후변화는 ‘인간’이 유발하는 것일까? <https://www.sciencetimes.co.kr> Accessed 2 Nov 2022
- DOS (2021) The long-term strategy of the United States. U.S. Department of State. <https://www.whitehouse.gov> Accessed 11 Dec 2022
- UCDAVIS (2023) UC Davis is using science to inform the restoration of California’s underwater forests. University of California, Davis. <https://marinescience.ucdavis.edu/sites/g/files/dgvnsk9221/files/media/documents/Kelp%20-%20California%27s%20Coastal%20Forests%20-%20UC%20Davis%20CMSI.pdf> Accessed 4 Sep 2023

국문 참고자료의 영문표기

English translation / Romanization of references originally written in Korean

- Kang JY, Shin WS (2015) Exploring coastal eutrophication phenomenon and countermeasures in Jeju Island. *Jeju Development Forum* **54-55**:70-81
- Kwon HO, Kim JM, Lee SM (2007) Seaweed bed restoration module for Bak-Hwa (Green Tides) area. *Proceedings of the 2007 Fall Conference of the Korean Society of Ocean Environment Engineering*, Korea Coast Guard, Incheon, 1 Nov 2007, pp 71-76
- Green Korea United (2022) As a result of a sea greening survey in 43 intertidal zones off the coast of Jeju, seaweed in the Seogwipo-si area in southern Jeju has lost its resilience. <https://www.greenkorea.org> Accessed 11 Dec 2022

- Nongsoochooksanshinmun (2021) Seaweed forest creation project: achievements and challenges <https://www.aflnews.co.kr> Accessed 5 May 2023
- News Penguin (2022) The effectiveness of investing billions in 'Seaweed forest creation; is not verified. <http://www.newspenguin.com/news/articleView.html?idxno=11389> Accessed 5 May 2023
- Office of the President Republic of KOREA (2022) Transitioning to a green economy through the formulation of scientific carbon neutrality strategies. <https://www.president.go.kr> Accessed 5 May 2023
- Park SW, Kwon MS, Lee YH, Lee MJ (2003) Study on the application of mitigation concept for efficient coastal wetland management in Korea. *Ocean Polar Res* **25**(3):545–555
- Seoul News Communication (2020) [2020 National Audit] Half of the East Sea's seafloor groaning under 'Desertification' according to Wi Seong-gon. <http://www.snakorea.com/news/articleView.html?idxno=449427> Accessed 5 May 2023
- Yonhap News (2017) [Ocean Desertification] ② Plans to Create 54,000 Square Kilometers of 'Seaweed Forest' by 2030, but... <https://www.yna.co.kr/view/AKR20170714035800054?section=search> Accessed 5 May 2023
- Lee GN, Kim JS, Kim JY, Lee JH (2014) A study on environmental improvement and economic effect analysis and improvement plan of fishery resource development project. National Assembly Budget Office Research Service Project, pp 140–148
- JFA (2021) Guidelines for green tide countermeasures in Japan. Japan Fisheries Agency. <https://www.jfa.maff.go.jp> Accessed 5 May 2023
- Jung SG (2022) Research trapped in policies created by administrative staff... Even the experiment to revive pollock failed. <http://www.kookje.co.kr> Accessed 14 Sep 2022
- Cho SJ (2018) A study on the operational performance evaluation of seagrass reforestation project. Ph.D. Thesis, Pukyong National University, 96 p
- FIRA (2015) Guidelines for seagrass reforestation project. Korea Fisheries Resources Agency. <https://fira.or.kr> Accessed 5 May 2023
- FIRA (2016) Identification and countermeasures for green tide (Bak-Hwa) phenomenon: enhanced restoration of Bak-Hwa by region. Korea Fisheries Resources Agency. <https://fira.or.kr> Accessed 5 May 2023
- FIRA (2019) Seagrass project white paper. Korea Fisheries Resources Agency. <https://fira.or.kr> Accessed 5 May 2023
- FIRA (2020) Seagrass reforestation project. Korea Fisheries Resources Agency. <https://fira.or.kr> Accessed 5 May 2023
- FIRA (2023) Marine forest. Korea Fisheries Resources Agency. https://www.fira.or.kr/fira/fira_030301_new.jsp Accessed 5 May 2023
- Han MJ (2022) Significance and future challenges of climate change impact assessment under the carbon neutrality and green growth basic act for climate crisis response. *Environ Law Ecol* **44**(1):101–137
- KIMST (2018) Technology development for improved substrate for seagrass restoration and seed bank establishment. Korean Institute of Marine Environment and Ecology, 19 p
- MOF (2002) Investigation and countermeasures for green tides (Baek-Hwa) phenomenon. Seoul, Ministry of Oceans and Fisheries, 253 p
- MOF (2021) Marine and fisheries sector 2050 carbon neutrality roadmap. Ministry of Oceans and Fisheries. <https://www.mof.go.kr> Accessed 5 May 2023
- MOF Press Release (2022) Efforts to create an abundant sea will continue. Ministry of Oceans and Fisheries. <https://www.mof.go.kr> Accessed 5 May 2023
- Fujima, IK (2005) Research progress on countermeasures for green tide phenomenon. *Aquaculture Spring Issue*:30–33
- The Science Times (2022) Is climate change caused by humans? <https://www.sciencetimes.co.kr> Accessed 2 Nov 2022

Author's Information

Seongwook Park

Principal Research Scientist, Korea Institute of Ocean Science & Technology

Jooah Lee

Principal Research Scientist, Korea Institute of Ocean Science & Technology

Received Jun. 7, 2023

Revised Sep. 5, 2023

Accepted Sep. 5, 2023

Copyright © 2023 Ocean and Polar Research

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted educational and non-commercial use, provided the original work is properly cited.