

# 염습지와 갯벌: 복원, 조성, 관리

근거 기반 안내 모음집



편집: 바네사 커츠 | Vanessa Cutts, 폴 얼프티마저 | Paul L.A. Erftemeijer, 로렌조 가피 | Lorenzo Gaffi,  
와드 헤지마이어 | Ward Hagemeijer, 레베카 스미스 | Rebecca K. Smith, 나이젤 테일러 | Nigel G.  
Taylor, 윌리엄 서덜랜드 | William J. Sutherland

한국어로 번역: Korea Marine Environment Management Corporation and MOF Ministry of  
Oceans and Fisheries.

## 편집자 소개

Vanessa Cutts<sup>1</sup>, Paul L.A. Erftemeijer<sup>2</sup>, Lorenzo Gaffi<sup>3</sup>, Ward Hagemeijer<sup>3</sup>, Rebecca K. Smith<sup>1</sup>, Nigel G. Taylor<sup>1</sup>, William J. Sutherland<sup>1</sup>

1 케임브리지 대학교 동물학과 보전과학그룹 | Conservation Science Group, Department of Zoology, University of Cambridge

2 웨스턴 오스트레일리아 대학교 생물과학대학 /UWA 해양연구소 | School of Biological Sciences and Oceans Institute, University of Western Australia

3 네덜란드 국제습지협회 | Wetlands International, The Netherlands

**한국어로 번역:** Korea Marine Environment Management Corporation and Ministry of Oceans and Fisheries.

**인용 표기:** Cutts V., Erftemeijer P.L.A., Gaffi L., Hagemeijer W., Smith R.K, Taylor N.G. & Sutherland W.J. (eds.) (2024) *염습지와 갯벌: 복원, 조성, 관리 근거 기반 안내 모음집 (한국어 버전)*. 보존 증거 보고서, 국제 습지 및 세계 해안 포럼. <https://doi.org/10.52201/CGSKOR/LHVN1779>

## 표지 사진

전면: 네덜란드 사핑어 스피لمان가트(수로). 제공: 에드윈 파리 | Edwin Paree

제 1 절: 네덜란드 마르커르 바덴 자연보호구역. 제공: 폴 얼프티마저 | Paul Erftemeijer

제 2 절: 제공: 에드윈 파리 | Edwin Paree

제 3 절: 방글라데시 메그나 염하구. 제공: 사얌 차우더리 | Sayam Chowdhury.

제 4 절: 방글라데시 콕스 바자르 소나디아섬 섬금류. 제공: 사얌 차우더리 | Sayam Chowdhury.

후면: 방글라데시. 제공: 사얌 차우더리 | Sayam Chowdhury

# 목차

<b>제 1 절. 서문</b> .....	<b>6</b>
편람의 범위 .....	7
대상 .....	8
편람 구성 .....	9
연습지·조간대 설명 .....	10
연습지·조간대 위협 요인 및 위협 방법 .....	12
연습지·조간대 복원의 중요성 .....	13
섭금류의 먹이활동지, 휴식지 및 보금자리 .....	15
<b>제 2 절. 기획</b> .....	<b>26</b>
보전 관리를 위한 근거 기반 의사 결정 방법에 관한 안내 .....	27
연안 복원 기획 및 세부목표 설정 안내 .....	34
<b>제 3 절. 복원 접근 방식</b> .....	<b>46</b>
연습지·조간대 복원/조성을 위한 조석(해수 교환) 활성화 안내 .....	47
연습지·조간대 복원/조성을 위한 퇴적물 사용 안내 .....	58
연습지·조간대 재정비 안내 .....	70
연습지 식생 복원 또는 조성 안내 .....	76
조간대 식생 관리 안내 .....	83
<i>Spartina</i> 속의 화학적 조절 안내 .....	90
<i>Spartina</i> 속의 물리적 조절 안내 .....	98
<i>Spartina</i> 속의 통합 조절 안내 .....	105
<b>제 4 절. 섭금류 관리 접근 방식</b> .....	<b>112</b>
섭금류용 인공못 관리 안내 .....	113
섭금류를 위한 도서 조성 안내 .....	121
섭금류를 위한 식생 관리/정리 안내 .....	130
섭금류 대상 방해 감소 안내 .....	135

# 자문단

편람 검토 작업에 참여한 연습지·갯벌 복원 분야 전문가 여러분께 사의를 표한다. 편람 구성과 내용에 대한 의견과 더불어 경험에서 우러나온 조언과 정보도 소중히 추가하였다. 내용에 오류나 누락이 있다면 전적으로 저자의 책임이다.

자문해 주신 모든 분께 감사드린다.

**맬컴 오스덴(Malcolm Ausden)** | 영국 왕립조류보호협회(RSPB)

**최현아** | 한스 자이델 재단 한국사무소

**지미 최(Chi-Yeung Choi)** | 중국 듀크쿤산대학교

**마크 딕슨(Mark Dixon)** | 영국 왕립조류보호협회(RSPB)

**미샤 잭슨(Micha V. Jackson)** | 호주 연방과학산업연구기구(CSIRO)

**자 이페이(Yifei Jia)** | 중국 베이징임업대학교

**허 창(Qiang He)** | 중국 푸단대학교

**루 원하이(Wenhai Lu)** | 중국 국가해양데이터정보서비스(NMDIS)

**데이비드 멜빌(David Melville)** | 뉴질랜드 국제철새이동경로네트워크(GFN)

**스파이크 밀링턴(Spike Millington)** | 미국 국제두루미재단(ICF)

**타이 문드커(Taej Mundkur)** | 네덜란드 국제습지협회, 세계연안포럼 퍼실리테이터 그룹

**한 윈터웰프(Han Winterwerp)** | 네덜란드 델프트공과대학교

**토마스 워딩턴(Thomas Worthington)** | 영국 케임브리지대학교

**포코 반 데르 구트(Fokko van der Goot)** | 네덜란드 에코셰이프(EcoShape) 보스칼리스(Boskalis)

**양 흥옌(Hongyan Yang)** | 중국 베이징임업대학교



# 감사의 글

본 편람의 출간에 기여한 모든 분의 헌신과 노고에 깊이 감사드린다. 헤안으로 빛났던 토론, 건설적인 피드백, 실질적인 지원을 거쳐 하나하나 모은 소중한 고견을 한 권으로 엮었다.

특별히 감사드릴 분은 다음과 같다.

중국 국가임업초원국 조사계획설계원 위안 쥘 박사 및 첸 캉쥘안 교수

중국 베이징임업대학교 장 밍샹 교수

홍콩 세계야생생물재단(WWF) 웬 셴지 박사

중국 판진시임업습지관리국 허우 쥘 박사

중국 루둥시자연자원규획국 선 서우타오

네덜란드 국제습지협회 피터르 반 에이크

중국과 세계연안포럼에서 개최했던 워크숍에 참석하여 새로운 시각을 더해주시는 여러분께도 고마움을 전한다.

구성과 디자인을 도와준 보전근거(Conservation Evidence, CE)의 코어팀(Core Team)과 보전근거 데이터베이스에 힘을 보태준 모든 분께 감사드린다(<https://www.conservationevidence.com/content/page/82>). 편람 작업을 위해 A.G 레벤티스 재단(A.G Leventis Foundation), 까르띠에 포 네이처(Cartier Fund for Nature), 환경·농업과학·공간계획연구협의회(Formas), 모란 남작 부부(Lord and Lady Moran), 자연환경연구위원회(Natural Environment Research Council)를 비롯하여 다양한 곳에서 보전근거(CE)에 자금을 제공하였다(<https://www.conservationevidence.com/content/page/24#support-received>).

마지막으로 본 편람이 세상에 나올 수 있도록 재정적 지원을 아끼지 않은 리스베트 라우징(Lisbet Rausing)과 피터 볼드윈(Peter Baldwin)의 자선기금인 아르카디아 펀드(Arcadia Fund)에 깊은 사의를 표한다.

# 제 1 절. 서문

편람의 범위

편람 작성 대상

편람 구성

염습지·조간대 설명

염습지·조간대 위험 요인 및 위험 방법

염습지·조간대 복원의 중요성

섭금류의 먹이활동지, 휴식지 및 보금자리

그 외 유용한 자료

참고자료



염습지와 갯벌은 생물다양성을 지키는 중요한 서식지로 대단히 귀한 생태계 서비스를 폭넓게 제공한다. 다만, 수천 년을 지나며 상당 부분 손실되고 변화를 겪었으며 그 영향은 최근 수십 년간 더욱 커지고 있다. 염습지와 갯벌이 파괴되자 이동성 섭금류 및 그 외 물새 등 보전 가치가 높은 생물종은 물론이고 인간이 누리는 생태계 기능과 서비스는 이보다 더 큰 영향을 받았다. 이제는 염습지-생태계라는 체계의 중요성을 알고 손실로 인한 영향을 인정하고 걱정하며 관리와 복원에 한층 더 노력하는 추세이다.

이러한 조간대 영역은 특히 폭풍 해일이 상륙하면 연안을 보호하며 거주와 산업을 위해 조성된 구역과 농업처럼 인간이 토지를 이용하는 구역을 보호하는 천연 범람 방어막이다. 즉, 경성공법(hard engineering) 기반으로 연안을 보호하는 비용을 절감할 수 있으며, 기후 변화로 해수면이 상승하면 더욱 중요한 역할을 맡게 된다.

## 편람의 범위

본 편람은 상당한 위협에 처해 있어 보전에 폭넓은 관심을 기울여야 하는 섭금류를 중심으로 염습지와 갯벌을 복원하기 위해 현장을 관리하고 의사 결정을 내릴 때 따를 만한 근거 기반 안내문을 정리하였다. 여기서 말하는 섭금류는 도요목에 속하는 종을 모두 포함하여 다소 일반적인 의미로 썼다. 조간대를 이용하거나 크게 의지하는 섭금류에는 일반적인 섭금류(예: 물떼새, 장다리물떼새류, 검은머리물떼새류, 각종 도요새류(sandpiper))와 갈매기, 제비갈매기가 있다.

이 편람은 보전 활동별로 필요한 부분만 떼어 쓸 수 있도록 작성한 다음 서로 엮은 것이다. 따라서 사용자에게 필요한 부분만 단독으로 사용하거나 전체를 모두 활용할 수도 있다.

본 편람은 황해지역 염습지와 갯벌 중에서도 특히 조류 서식지에 대한 걱정으로 기획하였다. 황해는 갯벌과 염습지가 사라지고 망가지면서 고생하고 있는 이동성 섭금류와 그 외 물새가 반드시 지나가야 하는 통로이다(글상자 1 참조). 따라서 본 편람은 주로 황해지역 염습지와 갯벌 복원 및 서식하는 조류 보전에 관련된 조치를 선별하였다. 하지만 그렇다고 하여도 안내하는 내용은 전 지구적인 성격을 띤다.

본 편람에 실린 내용은 반드시 준수해야 하는 엄격한 실시 요강이라든가 개입하는 방법이나 특정 기술(예: 배수구 설치법, 퇴적물 운반법, 필수 허가와 신청 과정)의 실무를 자세히 풀어 놓은 지침은 아니다. 오히려 이러저러한 상황이라면 효과가 있다고 증명된 개입 방식과 복원 기법을 강조해 놓은 것에 가깝다. 이러한 기법을 적용하고 실시하려면 자연계를 구성하는 생물과 비생물을 모두 철저히 이해해야 한다. 지역마다 현장 조건이나 실행 방법이 다르기 때문에 여기서는 성공을 거둔 개입 방식이라도 다른 곳에서는 실패할 수 있다.

편람의 내용에 대한 근거는 일차적으로 문헌에서 수집하였다. 생물다양성에 대한 개입의 효과(섭금류, 저서성 무척추동물, 식생 중심)에 대한 근거는 가능한 경우 보전근거

종합보고서(Sutherland *et al.*, 2019), 즉 조류 보전 일람(Bird Conservation Synopsis, Williams *et al.*, 2013)과 습지와 늪 보전 일람(Marsh and Swamp Conservation Synopsis, Taylor *et al.*, 2021)에서 가져왔다. 이러한 종합 자료는 보전 활동의 효과성을 시험하는 연구를 체계적으로 문헌 검색한 결과물이다([www.conservationalevidence.com](http://www.conservationalevidence.com) 참조). 여기에 무척추동물을 중심으로 추가 문헌을 특별히 검색하여 보완하였다. 문헌에서 얻은 근거 외에도 전문가와 실무자에게 연락하여 염습지와 갯벌 복원 노력의 효과에 대한 경험과 실행에 관한 실질적인 정보를 기록하였다. 새로운 근거는 계속해서 나오고 있으며, 독자들은 본 편람의 근거는 2023 년까지 수집하였다는 점을 기억해야 한다.

## 대상

본 편람은 조간대 서식지 관리를 담당하는 실무자 중에서도 특히 갯벌 및/또는 염습지 복원 사업의 감독/관리를 담당하는 실무자와 정책 기획자를 대상으로 하며, 실무에 대한 조언을 찾는 사람을 위해 작성하였다. 생태계 중에서도 섭금류 서식지 관리가 중심인 정보이기는 하지만 일반적인 서식지 보전 관리에도 유용할 것이다.

이 편람의 목표는 실무자들이 향후 관리와 복원을 결정할 때 현장의 상황과 관련된 실질적인 의미를 고려하기에 앞서 기존의 근거와 실행을 거치며 쌓은 지식을 손쉽게 살펴보고 평가해 보도록 하는 데 있다.

## 편람 구성

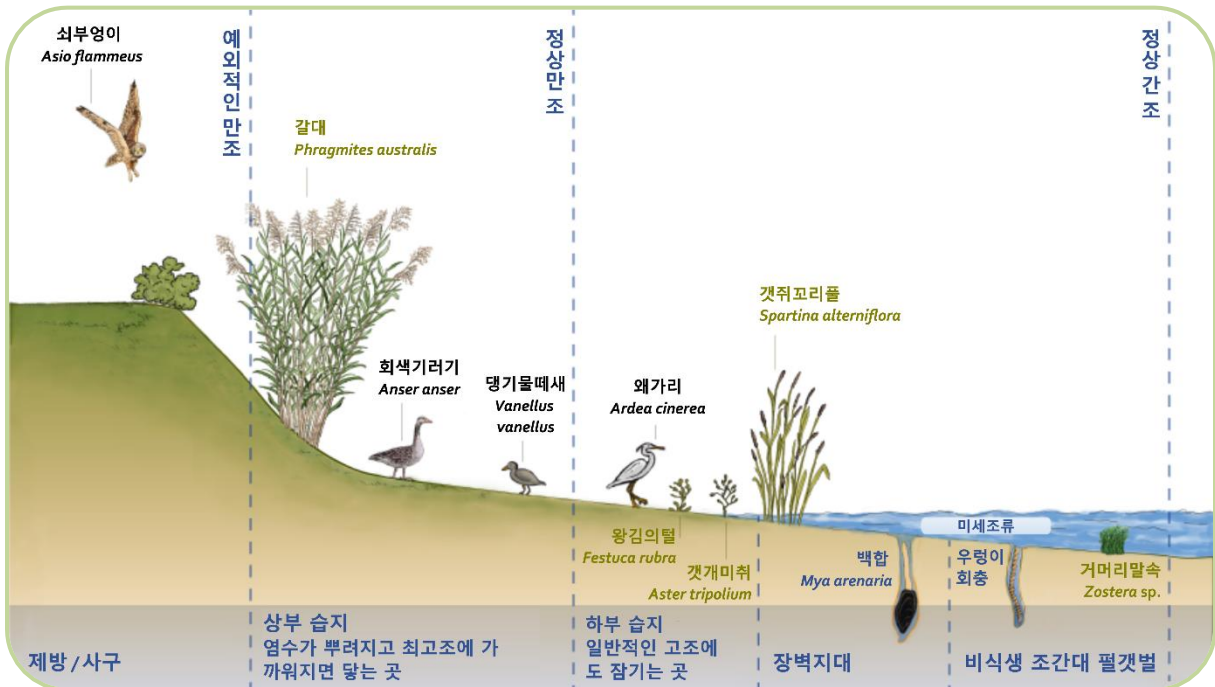
제 3 절과 제 4 절은 다음과 같이 정해진 구성에 따라 작성하였다.

- **과업목표:** 개입으로 이루고자 하는 바람직한 결과에 대한 간결한 설명
- **정의:** 내용에 등장하는 주요 기술 용어 정의
- **설명:** 개입의 정의와 개입에 포함되는 내용, 개입의 배경 논리 설명, 개입이 필요한 이유 설명
- **생물다양성에 미치는 영향에 대한 근거:** 개입이 생물다양성에 미치는 영향과 그러한 영향이 발생할 수 있는 기간에 대해 과학 문헌에서 주로 도출한 근거. 연안 생태계의 상태와 기능을 나타내는 주요 지표인 세 가지 집단(조류, 무척추동물, 식생)과 정량적 근거(가능한 경우)에 집중하였다.
- **결과에 영향을 미칠 수 있는 요인:** 개입의 결과물에 영향을 미치는 주요 요소를 몇 가지 나열한 목록으로 대개 (a) 현지 사정 (b) 개입이 이루어진 방식과 관련된다.
- **이행:** 전체 과업목표를 달성하기 위해 실천할 수 있는 사용할 수 있는 구체적인 기법 등과 개입 시기를 고려할 때 실질적으로 고려해야 하는 사안에 관한 기록 출간된 보고서, 실무자의 경험, 과학 문헌을 기반으로 한다.
- **사례 연구:** 개입을 이행하고 그에 따라 관찰된 효과를 구체적으로 설명하는 예시.
- **그 외 유용한 자료:** 편람 내 정보를 한층 자세히 설명하거나 보완하는 자료.
- **참고자료:** 선행하는 본문에서 언급된 출간 자료.



## 염습지·조간대 설명

염습지와 갯벌은 최고조와 최저조 사이 영역인 조간대에 있으며 그 정도는 달라도 해수가 범람하는 범위 내에 있다. 조간대 내 염습지와 갯벌은 다양한 비율(Atkinson *et al.*, 2001)로 함께 어우러져 저서성 무척추동물, 어류, 조류 같은 야생 동물이 살 수 있는 각종 서식지가 된다. 그뿐만 아니라 연안을 보호하고 물을 정화하며 탄소를 격리하고 식량을 생산하며 휴양지가 되는 등 인간에게도 중요한 생태계 서비스를 제공한다(Barbier *et al.*, 2011).



조석 범위에 따른 서식지와 종의 변화를 나타내는 연안계 모식도 [제공: Petra Dankers. 출처: EcoShape]

갯벌은 때에 따라 드러나는 부드러운 지반(모래 또는 펄)이 넓게 펼쳐진 곳으로, 주로 염하구의 가장자리, 연안의 보호 구역 내 퇴적물이 쌓이는 자리에 형성된다. 갯벌의 주요 특징으로는  $\Delta$  주기적으로 물에 잠겨 있고(Healy *et al.*, 2002)  $\Delta$  퇴적물을 뭉칠 수 있을 만큼 펄 함량이 높으며(Dyer *et al.*, 2000)  $\Delta$  듅성듅성 난 찰피를 제외하면 표면을 덮는 식생이 없다. 세계자연보전연맹(International Union for Conservation of Nature, IUCN)은 갯벌을 해양-육상 생물군계 내 연안선계(shoreline system)로 분류한다(MT1.2; Bishop *et al.*, 2020).

염습지(감조 습지)는 대개 조간대 상부에 있는 식생 영역으로 갯벌보다 침수 빈도가 낮다. 염습지는 전 세계에 자연 발생하지만 주로 온대와 북부 지역에서 연구가 활발하다. 염습지의 주요 특징은 "식생의 구역화"로, 염수에 잠겨 얼마나 잘 버티냐에 따라 다양한 식물 군락이 등심선을 그리며 띠 모양으로 형성된다(Davy, 2000). 식생은 주로 찰피를 제외한 갈대속(*Phragmites* spp.), 나문재속(*Sueda* spp.) 등의 내염성 광엽초본, 협엽초본, 관목으로 구성된다(Keith *et al.*, 2020a). IUCN은 염습지를 해양-담수-육상 생물군계 내 기수성 조석계(brackish tidal system)로 분류한다(MFT1.3; Keith *et al.*, 2020b).

염습지와 갯벌은 섭금류가 먹이활동, 휴식, 번식을 위해 찾아오는 곳이다. 식생이 표면을 덮은 정도가 다양하고 수심이 오르내리며 퇴적물 구성도 다채로워 먹이활동지, 휴식지, 번식지가 각양각색인 섭금류와 그 외 물새 종을 품을 수 있다. 갯골(갯벌 위를 서로 얹혀 흐르는 물길)은 어류와 무척추동물의 먹이활동지가 된다(Olmstead & Fell, 1974; West & Zedler, 2000). 만조가 되면 갯골을 타고 염습지에 들어가 먹이를 구하다가 몸집이 더 큰 물고기나 새의 먹이가 되기도 한다(Olmstead & Fell, 1974). 따라서 갯벌은 다모류, 연체동물, 갑각류 등 섭금류의 먹이가 풍부하기 때문에 "바다의 슈퍼마켓"이라고 부른다. 섭금류 중 철새는 긴 이동을 준비하거나 이동하는 사이 및 비번식기에 조간대에 머무르며 양분을 비축하여 다시 떠날 발판으로 삼는다. 섭금류 중 텃새와 그 외 물새는 일 년 내내 갯벌에서 먹이를 구한다.



갯벌과 염습지는 전 세계 염하구계에 존재하며 생태적으로도 경제적으로도 가치가 있다. 다만, 다양한 위협에 취약하기 때문에 전반적으로 그 범위가 크게 줄어들고 있다. 위: 네덜란드 사핑어 스피elman가트 염습지 [제공: Edwin Paree] 좌: 대한민국 서해안 갯벌에서 먹이를 찾는 섭금류 [제공: Peter Prokosch, [www.grida.no/resources/4394](http://www.grida.no/resources/4394)]

## 염습지·조간대 위협 요인 및 위협 방법

염습지와 갯벌은 다양하게 위협받고 있다(Melville *et al.*, 2016). 1984 년~2016 년 전 세계 갯벌의 16%가 손실된 것으로 추정되며(Murray *et al.*, 2019), 염습지는 매년 0.3%의 비율로 사라진다(Campbell *et al.*, 2022).

주요 위협 요인은 다음과 같다.

**연안 개발(개간 포함):** 연안선 인구가 증가하면서 지역 내 인프라와 주택 개발 압력이 증가한다(Charlier *et al.*, 2005; Lai *et al.*, 2015; Murray *et al.*, 2019).

**퇴적물 공급 감소:** 하천 댐 건설 등 상류 활동으로 하구에 도달하는 퇴적물 양이 줄어들자, 퇴적물이 침식되는 속도를 보충되는 속도가 따라가지 못한다(Syvitski *et al.*, 2005; Dethier *et al.*, 2022). 마찬가지로, 창장강과 황허강(Yang *et al.*, 2006; Yi *et al.*, 2022) 등 강에서 모래를 제거하여 연안에 다다른 퇴적물의 양이 줄어드는 것은 전 지구적으로 주요한 환경 문제이다(Rentier & Cammeraat 2022).

**해수면 상승:** 연안 지역은 해수면 상승에 취약하여 연안선 침식과 범람 위험이 증가한다(Fujii, 2012; Passeri *et al.*, 2015). 연안 개발과 해수면 상승이 맞물려 염습지와 갯벌이 육지 쪽으로 넓어질 수 없으면 서식지가 될 만한 공간이 줄어든다. 이런 식으로 조간대 서식지를 잃게 되는 것을 연안 압착(coastal squeeze)이라고 한다(Pontee, 2013).

**하천 삼각주 침강:** 퇴적물 압축과 공급 감소로 전 세계 삼각주의 85%가 침강을 겪은 것으로 추정된다(Syvitski *et al.*, 2009). 그 결과 파도에 더욱 노출되고 조류 범람의 성격이 바뀌며 침식이 증가하여 염습지와 갯벌에 영향을 미친다.

**서식지 파괴:** 저서성 동물군에 영향을 미치는 저층 어로 행위와 땅을 파내고 준설하는 인간 활동은 조간대 서식지의 질을 떨어뜨린다(Dieter & McConnaughey, 2003). 농업, 양식업, 생활 폐기물로 인해 중금속, 살충제, 플라스틱, 과도한 영양분 등 많은 오염 물질이 하구로 유입된다(Islam & Tanaka, 2004; Bessa *et al.*, 2018).

**침입종:** 침입종은 다양한 경로를 타고 연안선에 침투하여 토착종과 경쟁하며 널리 퍼진다(Reise *et al.*, 2023). 교란성이 강한 갯줄풀(*Spartina alterniflora*)은 다수의 중국(Zuo *et al.*, 2012; Stokstad, 2023)과 대한민국(Kim *et al.*, 2015, 2023) 연안에 위치한 갯벌과 염습지를 상당히 위협하고 있다. 상업 목적으로 연체동물 같은 토착종을 일부러 도입하는 것은 원래 있던 종의 생태적 역할을 대신하게 하여 위협이 될 수 있다(Peng *et al.*, 2021).



## 염습지·조간대 복원의 중요성

염습지와 갯벌이 가치 있다는 인식이 높아지면서 복원 노력이 시작되었다(Casagrande, 1997; Barbier *et al.*, 2011). 염습지와 갯벌을 보호하고 복원하면 서식지를 보전하고 원복하여 생물다양성을 제고하는 동시에 인간에게 필요한 중요 기능도 유지할 수 있다. 전 세계 인구의 약 27%가 연안 근처에 살면서(Kummu *et al.*, 2016) 연안 생태계가 제공하는 다양한 서비스를 이용한다. 기록되어 있는 연안 복원 프로젝트는 대부분 미국, 유럽, 호주에서 진행된 것으로 되어 있지만 이는 해당 데이터를 손에 넣기 쉬워서 그렇게 보이는 것일 수도 있으며, 복원 프로젝트의 성공과 실패 사례를 시급히 확보해야 한다(Bayraktarov *et al.*, 2016). 서식지 복원은 비용 효율적으로 생물 다양성 손실과 기후 변화에 대처하는 자연 기반 해법일 수 있다.

이러한 서식지가 담당하는 중요한 기능과 서비스는 다음과 같다.

**연안 방어:** 염습지와 갯벌은 조수 유입을 늦추고 파도 에너지를 흩어놓아 연안 침식을 줄이고 취약한 인간 거주지가 범람을 격지 않게 하는 식으로 연안을 방어한다(Arkema *et al.*, 2013; Pontee *et al.*, 2016; Reed *et al.*, 2018). 방조제, 제방처럼 건축된 환경 구조물과 천연 복원을 혼합하는 방식인 "녹색-회색" 인프라의 일부가 된다(Green-Gray Community of Practice, 2020).

**탄소 저장:** 염습지와 갯벌은 특히 토양과 퇴적물에 탄소를 저장하는 능력을 발휘하여 해양 환경에 격리되는 탄소량을 크게 담당한다(Duarte *et al.*, 2005; Chen 및 Lee, 2022; Maxwell *et al.*, 2023). 따라서 중요한 블루카본 생태계로 확인되었다(Macreadie *et al.*, 2021).



방글라데시 순다르반스의 중부리도요(*Numenius phaeopus*)처럼 다양한 철새는 중간중간 연안 서식지에 전적으로 의지하다시피 하며 이동한다.  
[제공: Sayam Chowdhury]

**생물다양성:** 육지와 해양이 만나는 곳에 자리 잡은 염습지와 갯벌에는 다양한 야생이 살아 숨쉬면서 대규모 생태 복합체를 이루어 함께 기능한다(Daiber, 1986; Boorman, 2003). 퇴적물에 서식하는 내염성 식물과 저서성 미세조류가 주로 생산을 담당하며(Cloern *et al.*, 2014), 달리 말하면 먹이 사슬의 근간을 이룬다. 이들은 물고기, 펄에 사는 무척추동물 같은 영양 단계가 높은 유기체를 부양하고 이어서 이 유기체들이 섭금류와 인간의 먹잇감이 된다. 염습지와 갯벌은 이동형 섭금류에게 소중한 중간 기착지로 고위도에 있는 번식지와 저위도에 있는 비번식지를

이어준다. 조간대 서식지를 잃게 되면서 섭금류 개체수가 감소한 것도(Piersma *et al.*, 2016; Studds *et al.*, 2017) 복원에 신경써야 하는 주요한 이유이다.

**질소 오염 거름망:** 염습지는 농경지에 뿌린 비료에서 유출되는 질소 오염의 완충 역할을 할 수 있다. 염습지 식물이 질소를 흡수하면 양분량은 증가하면서 해양으로 유입되는 질소량은 줄일 수 있다(Nelson & Zavaleta, 2012). 갯벌에 여과식자(filter feeder)가 있으면 수층의 영양분과 오염 부하량을 크게 줄일 수 있다 (Officer *et al.*, 1982).

**인간 생계 활동 지원:** 연안에 거주하기 때문에 할 수 있는 경제 활동과 무역의 기회가 있다(Kummu *et al.*, 2016). 상당수의 대도시가 연안에 가깝다는 사실을 보면 알 수 있다. 연안 생태계에서 먹을 것을 얻는 지역사회도 많다. 예를 들어, 생계형 어업으로 단백질이 풍부한 먹거리와 수입을 얻는 국가가 많고(Bell *et al.*, 2009), 조간대에서 해양 생물을 손으로 거두는 채집 활동은 갯벌이 건강하다는 것을 전제로 하는 경제 활동이다(Grantham *et al.*, 2021). 관광과 여가 활동도 가능하지만 이 경우 민감한 연안 환경에 부정적인 영향을 미칠 수 있다(Gormsen *et al.*, 1997).



조간대 무척추동물은 지구 어디에서나 중요한 식량 공급원이며, 다수의 지역사회가 연안계에 의지해 생계를 이어 나간다. 왼쪽은 방글라데시 콕스바자르의 소나디아 섬 갯벌에서 게잡이꾼이 큰톱날꽃게(mud crab)를 잡는 모습이다. [제공: Sayam Chowdhury] 아래는 대한민국 새만금 갯벌에서 전통 방식으로 조개를 채취하는 광경이다. 새만금 방조제가 들어서며 갯벌과 조개밭은 사라졌다. [제공: 주용기 [www.grida.no/resources/4418](http://www.grida.no/resources/4418)]





## 섭금류의 먹이활동지, 휴식지 및 보금자리

연안 서식지가 먹이활동, 휴식, 번식에 적당한지는 섭금류에 중요한 문제이다. 다수의 이동성 섭금류는 이동 도중 연안 서식지에 머물며 기력을 보충한다. 며칠에서 몇 주 동안 중간 기착지처럼 머무르며 먹이를 먹고 재충전하다 다시 먼 길을 떠난다(Warnock, 2010). 섭금류는 주로 썰물 때 조류를 따라 갯벌을 가로질러 이동하며 먹이를 찾는다. 밀물이 들어오면 먹이를 잡던 조간대에서 나온다. 밀물과 포식의 위협에서 벗어나 안전한 곳으로 이동한 후 주로 휴식을 취하지만 먹이활동을 계속하기도 한다. 노출된 땅이나 얇은 물에 있는, 이른바 만조 휴식지(high-tide roost) (Rogers, 2003)에서 쉰다. 조류가 번성하려면 만조 휴식지와 먹이활동지가 한 곳에 있어야 한다(Rogers *et al.*, 2006).

섭금류 중에는 먹이를 찾는 갯벌의 상부로 해수면보다 높은 곳에서 쉬는 것을 선호하는 종도 있지만, 양식장(물고기, 게 등)(Li *et al.*, 2013)이나 염전(Sripanomyom *et al.*, 2011) 같은 조간대 습지 내 인공지물에서도 휴식을 취하고 먹이를 찾는다(Rosa *et al.*, 2006; Fidorra *et al.*, 2015; Scarton & Montanari, 2015). 실제로 이러한 인공 서식지를 선호하는 종도 있다(Green *et al.*, 2015). 인공 서식지는 천연 서식지를 이용할 수 없을 때 섭금류가 선택할 수 있는 완충지대가 되거나 보조적인 역할을 하거나 상보적인 서식지가 될 수 있음을 시사한다(Li *et al.*, 2013; Rocha *et al.*, 2017; Jackson *et al.*, 2019). 섭금류가 연안 내 인공 습지에 의지하는 것을 걱정하기도 한다(Jackson *et al.*, 2020). 예를 들어, 양식장이나 염전이 버려지거나 해당 지역이 다른 용도로 바뀌면 섭금류가 위기에 빠질 수 있다. 따라서 인공 서식지 관리는 천연 서식지 조성·복원과 함께 고려해야 한다.

연안은 철새의 소중한 기착지가 되는 것 외에도 새들의 번식지로도 활용된다. 휴식이나 번식할 때는 위협에 취약해지기 마련이므로 섭금류는 사람이나 포식자로부터 안전한 장소를 선호한다(Rogers *et al.*, 2006; Rosa *et al.*, 2006). 그러나 연안 서식지가 끊임없이 사라지면서 안전하게 쉬고 번식할 수 있는 장소도 점점 줄어든다(Studds *et al.*, 2017). 이렇게 되면 새들은 먹이활동지와 휴식지 사이를 계속 날아다닐 수밖에 없으며 이동이나 번식에 필요한 소중한 에너지를 다 써버리게 된다.



섭금류는 안전하게 쉴 곳이 있어야 생존할 수 있다. 호주 퀸즐랜드 모튼만 갯벌에 밀물이 들자 중부리도요(*Numenius phaeopus*) 무리가 바닷물을 피해 갯벌 상부에서 쉬고 있다.  
[제공: Micha V. Jackson].



토지 개간으로 철새들의 비번식용 중간기착지가 사라지면서 위기 등급의 붉은어깨도요(*Calidris tenuirostris*, 상단 사진) 같은 섭금류의 개체 수도 감소한다. 매립 전 대한민국 새만금 갯벌에서 먹이를 찾던 모습. 대한민국에 들리던 비번식기 철새 개체수는 연안 습지 개발로 감소하였다. [제공: 주용기, [www.grida.no/resources/4409](http://www.grida.no/resources/4409)]



연안 조류가 살 수 있는 서식지란, 전 지구적으로 위기 등급인 인도물갈매기(*Indian Skimmers, Rynchops albicollis*, 상단 사진) 같은 경우 수층 내 먹이가 있는 곳이고, 위기 등급인 넓적부리도요(*Calidris pygmaea*, 우측 사진, 방글라데시 콕스바자르 소나디아 섬) 같은 경우는 조수가 물러간 후 먹이를 잡을 수 있는 환경을 갖춘 곳이다.





## 글상자 1: 황해생태지역

황해는 중국 동부, 조선민주주의인민공화국(북한), 대한민국(남한)의 국경과 접한 바다이다. 염습지와 갯벌은 이 지역에서 주요한 연안 생태계지만(Murray *et al.*, 2015), 1950 년대와 1980 년대 이후 각각 갯벌의 거의 65%와 염습지의 거의 60%가 사라지고 말았다(Murray *et al.* 2014; Gu *et al.*, 2018). 황해 갯벌은  $\Delta$  범위 감소  $\Delta$  심각한 황폐화  $\Delta$  생물 교란으로 현재 IUCN 적색목록 평가 기준에 따라 "위기" 등급의 생태계로 본다(Murray *et al.*, 2015).

이 지역 조간대 서식지 손실의 주요 원인은 토지 개간이지만 그나마 남아 있는 조간대 서식지도 황폐화를 겪고 있다(Melville *et al.*, 2016; Gu *et al.*, 2018). 대한민국의 경우 1970 년대 이후 갯벌의 약 절반이 제방으로 막혔고(Koh & de Jonge, 2014), 중국은 연안을 따라 13,830km 에 달하는 방조제를 건설하였다(Luo *et al.*, 2015). 남북한의 전형적인 염습지 군락은 갈대류(*Phragmites communis*)와 칠면초(*Suaeda japonica*)이며 (Kolbek *et al.*, 1989; Ihm *et al.*, 2001; Chung *et al.*, 2021), 중국에서 가장 광범위한 종은 좁은해홍나물(*Suaeda salsa*), 갈대류(*Phragmites australis*), *Aeluropus littoralis*, 왕잔디(*Zoysia maerostachys*), 띠(*Imperata cylindrica*)가 있다(Yang & Chen, 1995). 그러나 개간과 제방 쌓기로 염분 구배가 달라져 식생 분포가 띠 모양에서 모자이크 모양으로 달라지게 할 수 있다는 증거가 있다(Feng *et al.*, 2018). 이제 황해 일부에서는 갯벌이 남아 있어도 염습지는 없다시피 한다(Melville *et al.*, 2016).



대한민국 서남 연안의 새만금방조제는 옛 새만금 하구와 황해를 분리한다. 방조제 건설 과정에서 시민과 환경 단체의 반대와 논란이 발생하였다. [제공: 주용기, [www.grida.no/resources/4415](http://www.grida.no/resources/4415)]

창장강과 황허강은 모두 댐이 지어져 연안으로 공급되는 퇴적물이 급격하게 감소하였다(Yang *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2012). 황허강 상류의 물을 관개에 쓰거나 인간이 사용하면서 삼각주로 흘러갈 담수도 상당량 감소하였다(Yang *et al.*, 2020). 연안 지하수 추출은 연간 최대 25cm 에 달하는 침하와 관련된다(Higgins *et al.*, 2013). 중국에서는 하수 처리와 화학 산업이 연안으로 이동하면서 화학 오염의 위험이 증가한다(Melville 2018). 또한 중국과 한국에서의 대규모 거대조류(예: 가시파래) 발생은 기후 변화, 해수 온도 상승, 질소 오염 증가에 따른 부영양화 등 여러 요인의 결과로 추정된다(Zhang *et al.*, 2019).

황해 연안은 대서양, 유럽, 아프리카 연안에서 온 침입종인 *Spartina* 속 끈풀(cordgrass)이 위협하고 있다. *Spartina* 종은 전 세계 다양한 연안에 일부러 또는 의도치 않게 유입되었다. *Spartina* 속은 탁 트인 갯벌을 널리 차지하고 퇴적물이 빨리 쌓이게 한다(Crooks, 2002; Cívile *et al.*, 2005). *Spartina* 속은 섭금류가 갯벌과 염습지에 들어오지 못하게 하고(Gan *et al.*, 2009; Jackson *et al.*, 2021; Lyu *et al.*, 2023) 다양한 저서성 대형무척추동물이 살지 못하게 하는 방식으로 해를 끼친다. 바덴해와 호주에서 연구한 바에 따르면 절지동물과 대형무척추동물은 *Spartina* 속이 침입한 습지가 아니라 탁 트인 갯벌과 토착 염습지에서 훨씬 다양하게 서식한다(Tang & Kristensen, 2010; Cutajar *et al.*, 2012). *Spartina* 속은 거머리말속(*Zostera*)(Madden *et al.*, 1993), 나문재속(*Suaeda*)(An *et al.*, 2007), 갈대(*Phragmites australis*), 및 *Scirpus mariqueter*(Li *et al.*, 2022) 같은 토착 식물과 경쟁하여 조류의 식량 자원과 보금자리로 삼을 서식지가 줄어들 수 있다. 조개류와 같은 조간대 저서 동물군의 손실은 인간의 생계에도 부정적인 영향을 미칠 수 있다(Gan *et al.*, 2010; Goss-Custard & Moser, 1988; Jackson *et al.*, 2021). *Spartina* 속은 침입종으로 잘 알려져 표적이 되어 있지만, 그 외에도 침입종이 있다. 예를 들어, 적어도 황해 삼각주와 총명동탄(崇明东滩)이라는 두 곳의 연안 국가 자연 보호 구역에서는 검은고니의 개체수가 증가하고 있다(David Melville, pers. comm.).

황해 연안선은 철새에 중요한 지역이며, 이곳을 중간 기착지로 활용해야 하기 때문에 철새 수가 감소하고 있다(Studds *et al.*, 2017). 동아시아-호주 철새이동경로(EAAF)는 러시아, 중국, 알래스카에서 동남아시아, 호주, 뉴질랜드로 이동하는 조류의 주요 경로이다. EAAF 를 타고 이동하는 철새의 약 40%가 황해를 중간 기착지로 삼으며, 매년 약 300 만 마리의 조류가 쉬어 간다(Studds *et al.*, 2017). 장거리 이동 비행의 다음 단계를 준비하며 먹이를 먹고 에너지를 비축하는 중요한 휴게소이다. 인구가 증가하면서 다수의 연안 지역이 식량 생산을 위한 양식장으로 전환되었고(Sun *et al.*, 2015) 특히 중국의 양식장은 세계적인 규모이다(FAO, 2020). 양식장은 인위적으로 조성된 것이기는 하지만 어떻게 관리하느냐에 따라 섭금류도 쉬면서 먹이활동을 할 수 있다(예: 중국 보하이만, Lei *et al.* 2018). 따라서 물새 보호와 경제 생산성의 통합을 고려해보아야 한다(Ma *et al.*, 2010). 조간대를 건강하게 유지하면 조류에게도 상업적으로 중요한 저생 생물에도 이득이 된다.

종합적으로 보면, 황해생태지역 내 연안 생태계와 그 안에 서식하는 생물종에 인간이 엄청난 압력을 가하고 있다. 2018 년 중국은 엄격한 토지 개간 규정을 도입하여 일반 토지 개간 사업은 더 이상 승인되지 않는다(Miao & Xue 2021). 한국의 경우 환경단체가 새만금간척사업에 대해 개발 시 환경을 고려하라고 촉구하는 소송을 제기하는 등 시민들의 반대가 어느 정도 성공을 거두었다(Koh & de Jonge 2014; Song *et al.*, 2014). IUCN 에 따르면(2023) 황해, 특히 조간대 서식지 보호를 강화하려는 노력에도 불구하고 대부분의 종은 감소 추세가 지속되고 있다(IUCN, 2023).

## 그 외 유용한 자료

### 문서

연안 서식지 복원 기법: Ausden M. (2007) *Habitat Management for Conservation: A Handbook of Techniques*. Oxford University Press, New York.

### 비디오

염습지와 갯벌이 주는 폭 넓은 편익의 예시: Cowden B. (2022, November 08) *Rewilding the Essex coast* [video]. Vimeo. [www.vimeo.com/768722918](https://www.vimeo.com/768722918)

### 참고자료

An S.Q., Gu B.H., Zhou C.F., Wang Z.S., Deng, Z.F., et al. (2007) *Spartina* invasion in China: Implications for invasive species management and future research. *Weed Research*, **47**, 183–191. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.2007.00559.x>

Arkema K.K., Guannel G., Verutes G., Wood S.A., Guerry A., et al. (2013) Coastal habitats shield people and property from sea-level rise and storms. *Nature Climate Change*, **3**, 913–918. <https://doi.org/10.1038/nclimate1944>

Atkinson P.W., Crooks S., Grant A. & Rehfisch M.M. (2001) *The Success of Creation and Restoration Schemes in Producing Intertidal Habitat Suitable for Waterbirds (ENRR425)*. English Nature Research Reports, no. 425. Natural England (English Nature): Peterborough. Available at: <https://publications.naturalengland.org.uk/publication/63026>

Barbier E.B., Hacker S.D., Kennedy C., Koch E.W., Stier A.C. & Silliman B.R. (2011) The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, **81**, 169–193. <https://doi.org/10.1890/10-1510.1>

Bayraktarov E., Saunders M.I., Abdullah S., Mills M., Beher J., et al. (2016) The cost and feasibility of marine coastal restoration. *Ecological Applications*, **26**, 1055–1074. <https://doi.org/10.1890/15-1077>

Bell J.D., Kronen M., Vunisea A., Nash W.J., Keeble G., et al. (2009) Planning the use of fish for food security in the Pacific. *Marine Policy*, **33**, 64–76. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2008.04.002>

Bessa F., Barría P., Neto J.M., Frias J.P.G.L., Otero V., et al. (2018) Occurrence of microplastics in commercial fish from a natural estuarine environment. *Marine Pollution Bulletin*, **128**, 575–584. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.01.044>

Bishop M.J., Murray S., Swearer S.E. & Keith D.A. (2020) MT1.2 Muddy shorelines. In: *The IUCN Global Ecosystem Typology 2.0: Descriptive profiles for biomes and ecosystem functional groups* (ed. by D.A. Keith, J.R. Ferrer-Paris, E. Nicholson, & R.T. Kingsford). IUCN, International Union for Conservation of Nature. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.13.en>

Boorman L. (2003) *Saltmarsh Review: An Overview of Coastal Saltmarshes, Their Dynamic and Sensitivity Characteristics for Conservation and Management (JNCC Report 334)*. JNCC: Peterborough. Available at: <https://data.jncc.gov.uk/data/4c1a28e7-de13-4ff5-b7c8-088e879e5a1a/JNCC-Report-334-FINAL-WEB.pdf>

Campbell A.D., Fatoyinbo L., Goldberg L. & Lagomasino D. (2022) Global hotspots of salt marsh change and carbon emissions. *Nature*, **612**, 701–706. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05355-z>

Casagrande D.G. (1997) *The full circle: A historical context for urban salt marsh restoration*. *Restoration of an Urban Salt Marsh: An Interdisciplinary Approach* (ed. by D.G. Casagrande), pp. 13–40. Yale School of Forestry & Environmental Studies. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/322298069> The full circle A historical context for urban salt marsh restoration



- Charlier R.H., Chaineux M.C.P. & Morcos S. (2005) Panorama of the history of coastal protection. *Journal of Coastal Research*, **2005**, 79–111. <https://doi.org/10.2112/03561.1>
- Chen Z.L. & Lee S.Y. (2022) Tidal flats as a significant carbon reservoir in global coastal ecosystems. *Frontiers in Marine Science*, **9**, 900896. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.900896>
- Chung J., Kim J.H. & Lee E.J. (2021) Spatial distribution of halophytes and environment factors in salt marshes along the eastern Yellow Sea. *Journal of Ecology and Environment*, **45**, 28. <https://doi.org/10.1186/s41610-021-00202-0>
- Civille J.C., Sayce K., Smith S.D. & Strong D.R. (2005) Reconstructing a century of *Spartina alterniflora* invasion with historical records and contemporary remote sensing. *Écoscience*, **12**, 330–338. <https://doi.org/10.2980/i1195-6860-12-3-330.1>
- Cloern J.E., Foster S.Q. & Kleckner A.E. (2014) Phytoplankton primary production in the world's estuarine-coastal ecosystems. *Biogeosciences*, **11**, 2477–2501. <https://doi.org/10.5194/bg-11-2477-2014>
- Conway W.C., Smith L.M. & Ray J.D. (2005) Shorebird habitat use and nest-site selection in the Playa Lakes Region. *Journal of Wildlife Management*, **69**, 174–184. [https://doi.org/10.2193/0022-541X\(2005\)069%3C0174:SHUANS%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0022-541X(2005)069%3C0174:SHUANS%3E2.0.CO;2)
- Crooks J.A. (2002) Characterizing ecosystem-level consequences of biological invasions: the role of ecosystem engineers. *Oikos*, **97**, 153–166. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0706.2002.970201.x>
- Cutajar J., Shimeta J. & Nugegoda D. (2012) Impacts of the invasive grass *Spartina anglica* on benthic macrofaunal assemblages in a temperate Australian saltmarsh. *Marine Ecology Progress Series*, **464**, 107–120. <https://doi.org/10.3354/meps09826>
- Daiber F. (1986) *Conservation of Tidal Marshes*. Van Nostrand Reinhold: New York, NY.
- Davy A.J. (2000) Development and structure of salt marshes: Community patterns in time and space. In: *Concepts and Controversies in Tidal Marsh Ecology* (ed. by M.P. Weinstein & D.A. Kreeger), pp. 137–156. Springer Netherlands: Dordrecht. [https://doi.org/10.1007/0-306-47534-0\\_8](https://doi.org/10.1007/0-306-47534-0_8)
- Dethier E.N., Renshaw C.E. & Magilligan F.J. (2022) Rapid changes to global river suspended sediment flux by humans. *Science*, **376**, 1447–1452. <https://doi.org/10.1126/science.abn7980>
- Dieter B.E. & McConnaughey R.A. (2003) *Mobile Fishing Gear Effects on Benthic Habitats: A Bibliography (Second Edition)*, U.S. Dep. Commer., NOAA Tech. Memo. NMFS-AFSC-135. Available at: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=7521669f24fdbcb63b1b35d6f15f9ee521a89b26d>
- Duarte C.M., Middelburg J.J. & Caraco N. (2005) Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. *Biogeosciences*, **2**, 1–8. <https://doi.org/10.5194/bg-2-1-2005>
- Dyer K.R., Christie M.C. & Wright E.W. (2000) The classification of intertidal mudflats. *Continental Shelf Research*, **20**, 1039–1060. [https://doi.org/10.1016/S0278-4343\(00\)00011-X](https://doi.org/10.1016/S0278-4343(00)00011-X)
- FAO (2020) *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020: Sustainability in Action*, FAO, Rome, Italy. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- Feng Y., Sun T., Zhu M.S., Qi M., Yang W., *et al.* (2018) Salt marsh vegetation distribution patterns along groundwater table and salinity gradients in yellow river estuary under the influence of land reclamation. *Ecological Indicators*, **92**, 82–90. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.09.027>
- Fidorra J.C., Frederick P.C., Evers D.C. & Meyer K.D. (2015) Selection of human-influenced and natural wetlands by great egrets at multiple scales in the southeastern USA. *The Condor*, **118**, 46–56. <https://doi.org/10.1650/CONDOR-14-117.1>
- Fujii T. (2012) Climate change, sea-level rise and implications for coastal and estuarine shoreline management with particular reference to the ecology of intertidal benthic macrofauna in NW Europe. *Biology*, **1**, 597–616. <https://doi.org/10.3390/biology1030597>

Gan X., Cai Y., Choi C., Ma Z., Chen J., *et al.* (2009) Potential impacts of invasive *Spartina alterniflora* on spring bird communities at Chongming Dongtan, a Chinese wetland of international importance. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **83**, 211–218. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2009.03.026>

Gan X., Choi C., Wang Y., Ma Z., Chen J., *et al.* (2010) Alteration of habitat structure and food resources by invasive smooth cordgrass affects habitat use by wintering saltmarsh birds at Chongming Dongtan, East China. *The Auk*, **127**, 317–327. <https://doi.org/10.1525/auk.2009.09147>

Gormsen E. (1997) The impact of tourism on coastal areas. *GeoJournal*, **42**, 39–54. <https://doi.org/10.1023/A:1006840622450>

Goss-Custard J.D. & Moser M.E. (1988) Rates of change in the numbers of dunlin, *Calidris alpina*, wintering in British estuaries in relation to the spread of *Spartina anglica*. *Journal of Applied Ecology*, **25**, 95–109. <https://doi.org/10.2307/2403612>

Grantham R., Álvarez-Romero J.G., Mills D.J., Rojas C. & Cumming G.S. (2021) Spatiotemporal determinants of seasonal gleaning. *People and Nature*, **3**, 376–390. <https://doi.org/10.1002/pan3.10179>

Green J.M.H., Sripanomyom S., Giam X. & Wilcove D.S. (2015) The ecology and economics of shorebird conservation in a tropical human-modified landscape. *Journal of Applied Ecology*, **52**, 1483–1491. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12508>

Green-Gray Community of Practice (2020) *Practical guide to implementing green-gray infrastructure*. <https://www.conservation.org/projects/global-green-gray-community-of-practice>

Gu J., Luo M., Zhang X., Christakos G., Agusti S., *et al.* (2018) Losses of salt marsh in China: Trends, threats and management. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **214**, 98–109. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.09.015>

Healy T., Wang Y. & Healy J. (eds). (2002) *Muddy Coasts of the World: Processes, Deposits and Functions*. Elsevier Science: Amsterdam.

Higgins S., Overeem I., Tanaka A. & Syvitski J.P.M. (2013) Land subsidence at aquaculture facilities in the Yellow River delta, China. *Geophysical Research Letters*, **40**, 3898–3902. <https://doi.org/10.1002/grl.50758>

Ihm B.-S., Lee J.-S. & Kim J.-W. (2001) Coastal vegetation on the Western, Southern, and Eastern coasts of South Korea. *Journal of Plant Biology*, **44**, 163–167. <https://doi.org/10.1007/BF03030234>

Islam S. & Tanaka M. (2004) Impacts of pollution on coastal and marine ecosystems including coastal and marine fisheries and approach for management: A review and synthesis. *Marine Pollution Bulletin*, **48**, 624–649. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2003.12.004>

IUCN (2023) *The 2023 IUCN Situation Analysis on Ecosystems of the Yellow Sea with Particular Reference to Intertidal and Associated Coastal Habitats*. IUCN: Bangkok, Thailand. Available at: [https://www.iucn.org/sites/default/files/2023-04/iucn-ys-situation-analysis-2023-final\\_0.pdf](https://www.iucn.org/sites/default/files/2023-04/iucn-ys-situation-analysis-2023-final_0.pdf)

Jackson M.V., Carrasco L.R., Choi C.-Y., Li J., Ma Z., *et al.* (2019) Multiple habitat use by declining migratory birds necessitates joined-up conservation. *Ecology and Evolution*, **9**, 2505–2515. <https://doi.org/10.1002/ece3.4895>

Jackson M.V., Choi C.-Y., Amano T., Estrella S.M., Lei W., *et al.* (2020) Navigating coasts of concrete: Pervasive use of artificial habitats by shorebirds in the Asia-Pacific. *Biological Conservation*, **247**, 108591. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108591>

Jackson M.V., Fuller R.A., Gan X., Li J., Mao D., *et al.* (2021) Dual threat of tidal flat loss and invasive *Spartina alterniflora* endanger important shorebird habitat in coastal mainland China. *Journal of Environmental Management*, **278**, 111549. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111549>

Keith D.A., Ferrer-Paris J.R., Nicholson E. & Kingsford R.T. (eds.) (2020a) *The IUCN Global Ecosystem Typology 2.0: Descriptive profiles for biomes and ecosystem functional groups*. International Union for Conservation of Nature: Gland, Switzerland. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.13.en>

Keith D.A., Altieri A., Loidi J. & Bishop M.J. (2020b) MFT1.3 Coastal saltmarshes and reedbeds. In: *The IUCN Global Ecosystem Typology 2.0: Descriptive profiles for biomes and ecosystem functional groups* (ed. by D.A.

Keith, J.R. Ferrer-Paris, E. Nicholson, & R.T. Kingsford). International Union for Conservation of Nature: Gland, Switzerland. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2020.13.en>

Kim E.-K., Kil J., Joo Y.-K. & Jung Y.-S. (2015) Distribution and botanical characteristics of unrecorded alien weed *Spartina anglica* in Korea. *Weed & Turfgrass Science*, **4**, 65–70. <https://doi.org/10.5660/WTS.2015.4.1.65>

Kim S., Yu C.H., Ruesink J.L. & Hong J.-S. (2023) Vertical distribution of the salt marsh invader *Spartina alterniflora* and native halophytes on the west coast of Korea in relation to tidal regimes. *Aquatic Invasions*, **18**, 331–349. <https://doi.org/10.3391/ai.2023.18.3.104556>

Koh C.-H. & de Jonge V.N. (2014) Stopping the disastrous embankments of coastal wetlands by implementing effective management principles: Yellow Sea and Korea compared to the European Wadden Sea. *Ocean & Coastal Management*, **102**, 604–621. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.11.001>

Kolbek J., Dostálek J., Jarolímek I., Ostrý I. & Sek-Ha L. (1989) On salt marsh vegetation in North Korea. *Folia geobotanica & phytotaxonomica*, **24**, 225–251. <https://doi.org/10.1007/BF02854541>

Kummu M., de Moel H., Salvucci G., Viviroli D., Ward P.J., *et al.* (2016) Over the hills and further away from coast: global geospatial patterns of human and environment over the 20th–21st centuries. *Environmental Research Letters*, **11**, 034010. <http://doi.org/10.1088/1748-9326/11/3/034010>

Lai S., Loke L.H.L., Hilton M.J., Bouma T.J. & Todd P.A. (2015) The effects of urbanisation on coastal habitats and the potential for ecological engineering: A Singapore case study. *Ocean & Coastal Management*, **103**, 78–85. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.11.006>

Lei, W., Masero, J.A., Piersma, T., Zhu, B., Yang, H.-Y. & Zhang, Z. (2018) Alternative habitat: the importance of the Nanpu Saltpans for migratory waterbirds in the Chinese Yellow Sea. *Bird Conservation International*, **28**, 549–566. <https://doi.org/10.1017/S0959270917000508>

Li D., Chen S., Lloyd H., Zhu S., Shan K. *et al.* (2013) The importance of artificial habitats to migratory waterbirds within a natural/artificial wetland mosaic, Yellow River Delta, China. *Bird Conservation International*, **23**, 184–198. <https://doi.org/10.1017/S0959270913000099>

Li S.-H., Ge Z.-M., Tan L.-S., Zhou K. & Hu Z.-J. (2021) Coupling *Scirpus* recruitment with *Spartina* control guarantees recolonization of native sedges in coastal wetlands. *Ecological Engineering*, **166**, 106246. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106246>

Luo S., Cai F., Liu H., Lei G., Qi H. *et al.* (2015) Adaptive measures adopted for risk reduction of coastal erosion in the People's Republic of China. *Ocean & Coastal Management*, **103**, 134–145. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.08.008>

Lyu C., Zhang S., Ren X., Liu M., Leung K.-S.K. *et al.* (2023) The effect of *Spartina alterniflora* eradication on waterbirds and benthic organisms. *Restoration Ecology*, **31**, e14023. <https://doi.org/10.1111/rec.14023>

Ma Z., Cai Y., Li B. & Chen J. (2010) Managing wetland habitats for waterbirds: An international perspective. *Wetlands*, **30**, 15–27. <https://doi.org/10.1007/s13157-009-0001-6>

Macreadie P.I., Costa M.D.P., Atwood T.B., Friess D.A., Kelleway J.J. *et al.* (2021) Blue carbon as a natural climate solution. *Nature Reviews Earth & Environment*, **2**, 826–839. <https://doi.org/10.1038/s43017-021-00224-1>

Madden B., Jennings E. & Jeffrey D.W. (1993) Distribution and ecology of *Zostera* in Co. Dublin. *The Irish Naturalists' Journal*, **24**, 303–310.

Maxwell T.L., Rovai A.S., Adame M.F., Adams J.B., Álvarez-Rogel J. *et al.* (2023) Global dataset of soil organic carbon in tidal marshes. *Scientific Data*, **10**, 797. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02633-x>

Melville D. (2018) China's coasts – a time for cautious optimism? *Wader Study*, **125**, 1-3. <https://doi.org/10.18194/ws.00103>

Melville D.S., Chen Y. & Ma Z. (2016). Shorebirds along the Yellow Sea coast of China face an uncertain future - A review of threats. *Emu*, **116**, 100-110. <https://doi.org/10.1071/MU15045>

Miao D. & Xue Z. (2021) The current developments and impact of land reclamation control in China. *Marine Policy*, **134**, 104782. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104782>

Murray N.J., Clemens R.S., Phinn S.R., Possingham H.P. & Fuller R.A. (2014) Tracking the rapid loss of tidal wetlands in the Yellow Sea. *Frontiers in Ecology and the Environment*, **12**, 267–272. <https://doi.org/10.1890/130260>

Murray N.J., Ma Z. & Fuller R.A. (2015) Tidal flats of the Yellow Sea: A review of ecosystem status and anthropogenic threats. *Austral Ecology*, **40**, 472–481. <https://doi.org/10.1111/aec.12211>

Nelson J.L. & Zavaleta E.S. (2012) Salt marsh as a coastal filter for the oceans: Changes in function with experimental increases in nitrogen loading and sea-level rise. *PLOS ONE*, **7**, e38558. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038558>

Officer C., Smayda T. & Mann R. (1982) Benthic filter feeding: A natural eutrophication control. *Marine Ecology Progress Series*, **9**, 203–210. <https://doi.org/10.3354/meps009203>

Olmstead N.C. & Fell P.E. (1974) Bulletin No. 20: Tidal marsh invertebrates of Connecticut. *Bulletins*, Paper 19. Available at: <http://digitalcommons.conncoll.edu/arbbulletins/19>

Passeri D.L., Hagen S.C., Medeiros S.C., Bilskie M.V., Alizad K., *et al.* (2015) The dynamic effects of sea level rise on low-gradient coastal landscapes: A review. *Earth's Future*, **3**, 159–181. <https://doi.org/10.1002/2015ef000298>

Peng H.-B., Chan Y.-C., Compton T.J., Cheng X.-F., Melville D.S., *et al.* (2021) Mollusc aquaculture homogenizes intertidal soft-sediment communities along the 18,400 km long coastline of China. *Diversity and Distributions*, **27**, 1553–1567. <https://doi.org/10.1111/ddi.13302>

Pontee N. (2013) Defining coastal squeeze: A discussion. *Ocean & Coastal Management*, **84**, 204–207. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.07.010>

Pontee N., Narayan S., Beck M.W. & Hosking A.H. (2016) Nature-based solutions: Lessons from around the world. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Maritime Engineering*, **169**, 29–36. <https://doi.org/10.1680/jmaen.15.00027>

Reed D., Van Wesenbeeck B., Herman P.M.J. & Meselhe E. (2018) Tidal flat-wetland systems as flood defences: Understanding biogeomorphic controls. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **213**, 269–282. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.08.017>

Reise K., Buschbaum C., Lackschewitz D., Thielges D.W., Waser A.M., *et al.* (2023) Introduced species in a tidal ecosystem of mud and sand: Curse or blessing? *Marine Biodiversity*, **53**, 5. <https://doi.org/10.1007/s12526-022-01302-3>

Rentier E.S. & Cammeraat L.H. (2022) The environmental impacts of river sand mining. *Science of The Total Environment*, **838**, 155877. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155877>

Rocha A.R., Ramos J.A., Paredes T. & Masero J.A. (2017) Coastal salt pans as foraging grounds for migrating shorebirds: An experimentally drained fish pond in Portugal. *Hydrobiologia*, **790**, 141–155. <https://doi.org/10.1007/s10750-016-3025-y>

Rogers D.I. (2003) High-tide roost choice by coastal waders. *Wader Study Group Bulletin*, **100**, 73–79.

Rogers D.I., Piersma T. & Hassell C.J. (2006) Roost availability may constrain shorebird distribution: Exploring the energetic costs of roosting and disturbance around a tropical bay. *Biological Conservation*, **133**, 225–235. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.06.007>

Rosa S., Encarnação A.L., Granadeiro J.P. & Palmeirim J.M. (2006) High water roost selection by waders: Maximizing feeding opportunities or avoiding predation? *Ibis*, **148**, 88–97. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919x.2006.00497.x>

Scarton F. & Montanari M. (2015) Use of artificial intertidal sites by birds in a Mediterranean lagoon and their importance for wintering and migrating waders. *Journal of Coastal Conservation*, **19**, 321–334. <https://doi.org/10.1007/s11852-015-0394-8>

- Song T.-S., Yang M.-S. & Kim C.S. (2014) The Saemangeum Reclamation Project and politics of regionalism in South Korea. *Ocean & Coastal Management*, **102**, 594–603. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.08.017>
- Sripanomyom S., Round P.D., Savini T., Trisurat Y. & Gale G.A. (2011) Traditional salt-pans hold major concentrations of overwintering shorebirds in Southeast Asia. *Biological Conservation*, **144**, 526–537. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.10.008>
- Stokstad E. (2023) China battles alien marsh grass at unprecedented scale. *Science*, **379**, 972. <https://doi.org/10.1126/science.adh5139>
- Studds C.E., Kendall B.E., Murray N.J., Wilson H.B., Rogers D.I., *et al.* (2017) Rapid population decline in migratory shorebirds relying on Yellow Sea tidal mudflats as stopover sites. *Nature Communications*, **8**, 14895. <https://doi.org/10.1038/ncomms14895>
- Sun Z., Sun W., Tong C., Zeng C., Yu X., *et al.* (2015) China's coastal wetlands: Conservation history, implementation efforts, existing issues and strategies for future improvement. *Environment International*, **79**, 25–41. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.02.017>
- Sutherland W.J., Taylor N.G., MacFarlane D., Amano T., Christie A.P., *et al.* (2019) Building a tool to overcome barriers in research-implementation spaces: The Conservation Evidence database. *Biological Conservation*, **238**, 108199. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108199>
- Syvitski J.P.M., Kettner A.J., Overeem I., Hutton E.W.H., Hannon M.T., *et al.* (2009) Sinking deltas due to human activities. *Nature Geoscience*, **2**, 681–686. <https://doi.org/10.1038/ngeo629>
- Syvitski J.P.M., Vörösmarty C.J., Kettner A.J. & Green P. (2005) Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. *Science*, **308**, 376–380. <https://doi.org/10.1126/science.1109454>
- Tang M. & Kristensen E. (2010) Associations between macrobenthos and invasive cordgrass, *Spartina anglica*, in the Danish Wadden Sea. *Helgoland Marine Research*, **64**, 321–329. <https://doi.org/10.1007/s10152-009-0187-2>
- Taylor N.G., Grillas P., Smith R.K. & Sutherland W.J. (2021) *Marsh and Swamp Conservation: Global Evidence for the Effects of Interventions to Conserve Marsh and Swamp Vegetation*. University of Cambridge: Cambridge, UK. Available at: <https://www.conservationevidence.com/synopsis/pdf/19>
- Wang Y.P., Gao S., Jia J., Thompson C.E.L., Gao J., *et al.* (2012) Sediment transport over an accretional intertidal flat with influences of reclamation, Jiangsu coast, China. *Marine Geology*, **291–294**, 147–161. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2011.01.004>
- Warnock N. (2010) Stopping vs. staging: The difference between a hop and a jump. *Journal of Avian Biology*, **41**, 621–626. <https://doi.org/10.1111/j.1600-048x.2010.05155.x>
- West J.M. & Zedler J.B. (2000) Marsh-creek connectivity: Fish use of a tidal salt marsh in Southern California. *Estuaries*, **23**, 699–710. <https://doi.org/10.2307/1352896>
- Williams D.R., Pople R.G., Showler D.A., Dicks L.V., Child M.F., *et al.* (2013) *Bird Conservation: Global Evidence for the Effects of Interventions*. Pelagic Publishing: Exeter. Available at: <https://www.conservationevidence.com/synopsis/pdf/2>
- Yang S. & Chen J. (1995) Coastal salt marshes and mangrove swamps in China. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, **13**, 318–324. <https://doi.org/10.1007/BF02889465>
- Yang S.L., Li M., Dai S.B., Liu Z., Zhang J., *et al.* (2006) Drastic decrease in sediment supply from the Yangtze River and its challenge to coastal wetland management. *Geophysical Research Letters*, **33**, L06408. <https://doi.org/10.1029/2005gl025507>
- Yi Y., Gao Y. & Zhang S. (2022) The impact of dams on the river connectivity of the two largest river basins in China. *River Research and Applications*, **38**, 185–193. <https://doi.org/10.1002/rra.3892>
- Zhang Y., He P., Li H., Li G., Liu J., *et al.* (2019) *Ulva prolifera* green-tide outbreaks and their environmental impact in the Yellow Sea, China. *National Science Review*, **6**, 825–838. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwz026>



Zuo P., Zhao S., Liu C., Wang C. & Liang Y. (2012) Distribution of *Spartina* spp. along China's coast. *Ecological Engineering*, **40**, 160–166. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.12.014>

# 제 2 절. 기획

*보전 안내 시리즈*

보전 관리를 위한 근거 기반 의사 결정

연안 복원 기획 및 세부목표 설정





# 보전 관리를 위한 근거 기반 의사 결정 방법에 관한 안내

Rebecca K. Smith<sup>1</sup>, Vanessa Cutts<sup>1</sup> & William J. Sutherland<sup>1</sup>

1 케임브리지 대학교 동물학과 보전과학그룹 | Conservation Science Group, Department of Zoology, University of Cambridge



완료일: 2024년 5월 4일



인용 표기: Smith R.K., Cutts V. & Sutherland W.J. (2024) 보전 관리를 위한 증거 기반 의사 결정 가이드입니다. 보전 안내 시리즈 제 1 호 v1.0 (국문). <https://doi.org/10.52201/CGSKOR/BLPS7182>.

## 정의

- **근거:** 가정을 평가할 때 사용하는 관련 데이터, 정보, 지식, 지혜(Salafsky *et al.*, 2019).
- **근거 기반 행위:** 의사 결정 과정에서 근거를 고려함.
- **근거 기반 안내:** 의사 결정에 도움이 되는 최적 가용한 최신 근거에 기반한 신뢰할 수 있는 정보와 권장 사항의 출처(Downey *et al.*, 2022).

이 절에서는 근거가 의사 결정에 어떻게 도움이 되는지 세 부분으로 나누어 간략하게 설명한다. 첫째, 안내를 할 때 근거에 기반해야 하는 중요성과 근거 기반 안내문을 작성하는 원칙을 설명한다. 둘째, 근거의 출처를 할 수 있는 한 다양하게 나열한다. 셋째, 근거 기반 의사 결정의 원칙을 간략하게 설명한다.

## 근거 기반 안내문 작성하기

다우니 외(2022)는 신뢰할 수 있는 안내문을 작성하기 위해 일련의 "근거 기반 안내 작성 원칙"을 제시하였다(아래 글상자 1 참조). 핵심은 최신 유관 근거에 기반하여 작성하고 전문가와 실무자의 지식과 경험을 통합하는 것이다. 해당 주장과 가정에 이르게 된 근거가 포함되도록 포괄적인 노력을 기울여 안내의 출처를 투명하게 밝혀야 한다. 이렇게 하면 독자가 각각 주장의 근거가 된 원본 출처(필요한 경우)를 찾을 수 있어 투명성을 확보할 수 있다. 이러한 방식으로 근거를 사용하여 안내문을 작성하면 현재의 가용 정보를 바탕으로 효과적인 결정을 내릴 수 있다.

근거를 사용하면 행동이 (비)효과적인지 알 수 있는 것 외에도 지식 격차도 파악할 수 있다. 이러한 지식 격차는 예를 들어 특정 생물종, 국가 또는 활동에 관해 문서화된 정보가 없거나 매우 적을 때 드러난다. 이러한 격차를 메우려면 컨설팅 전문가의 도움은 물론 실무 지식도 참고해야 한다. 가지고 있는 지식의 어디에서 격차가 발생하는지 이해하면 향후 연구의 우선순위를 정할 수 있다(Christie *et al.*, 2021).

보전 관련 안내문을 살펴보면 근거에 기반한 것이 별로 없다. 참조 목록이 포함된 안내문은 거의 없고 권장 조치를 정당화하는 출처를 제공하는 경우는 이보다 더 적다(Downey *et al.*, 2022). 안내문에 기반하여 의사를 결정하는 경우, 특히 그 결정에 따라 효과에 대한 근거가 없는 행동에 많은 시간, 돈, 인력을 투자한다면 문제가 발생한다.

## 글상자 1 근거 기반 안내문 작성 원칙

(발취: Downey *et al.*, 2022)

### 근거 수집

#### 1. 과학적 근거를 검토하고 가능하다면 권고안을 수립할 때 반영한다.

동료 검토 연구, 데이터베이스, 회색 문헌, 전문가 자문 등 보전 조치에 관해 가용한 과학적 근거를 검토하고 핵심 메시지를 추출하여 권고안을 개발할 때 반영한다. 현재 conservationevidence.com, environmentalevidence.org 등 관련 근거를 종합하는 데이터베이스, Applied Ecology Resources 같은 회색 문헌을 수집하는 데이터베이스가 다수 존재한다. 이런 데이터베이스를 활용하면 검색, 읽기, 해석에 드는 시간이 크게 줄어들 뿐만 아니라 접근 장벽도 극복할 수 있다. 이해관계자라면 근거의 강도와 관련성을 살펴보아야 하며(Salafsky *et al.*, 2019), 관련 전문가가 포함된 이해관계자 집단의 경험 및 지식과 연계하여 평가해야 한다. 근거 검색 날짜, 검색어, 사용된 데이터베이스를 명시한다(Haddaway *et al.*, 2015). 편향되지 않도록 영어가 아닌 언어로 작성된 논문도 고려한다(Konno *et al.*, 2020).

#### 2. 정기적으로 문헌 검색을 반복하고 필요하다면 새로운 연구를 반영하여 안내문을 갱신한다.

안내문이 최신 정보에 기반할 수 있도록 근거를 검색한 시기를 명시하고 검토 날짜를 정해야 한다. 검토 주기는 5 년을 추천한다. 중요한 정보가 새로 입수되면 안내문을 갱신해야 한다. 갱신 전 지침은 갱신 후 보관해야 하며 갱신된 버전으로 연결되는 링크를 명시해야 한다. 원래의 근거를 종합할 때 사용한 참고 문헌과 근거가 명시되어 있으면 안내문을 쉽고 빠르게 갱신할 수 있다.

#### 3. 근거는 독립적으로 제시하고 해석해야 한다.

정보를 제시할 때는 사실적이고 객관적이어야 하며, 근거 수집과 종합에 관여하는 자는 독립적인 중개자 역할을 수행해야 한다. 안내문 제작에 관여하는 저자나 기관이 옹호를 목적으로 하거나 관련 근거 제작에 관여한 경우 중립을 지키기 어려울 수 있다. 따라서 안내문을 작성할 때 동료 검토 과정을 거치거나 실무 커뮤니티에서 공동으로 제작하면 근거가 어느 한 쪽으로 쏠리는 것을 어느 정도 막을 수 있다. 단체에 따라서는 특정 의제를 옹호하는 내용을 완전히 제거하기 어려운 경우가 있다. 이렇게 이해가 상충하는 부분이 있다면 그렇다고 명시해야 한다.

#### 4. 검토한 문헌의 편향과 한계를 분명히 언급한다.

연구나 종합 과정에 내재된 문제(출판 편향 등)와 불확실성이 있다면 명시한다. 근거 검색과 대조 전략에서 편향될 가능성이나 한계가 있어도 밝혀야 한다(Dicks *et al.*, 2017).



5. 가능하다면 개입이 발생할 경우 그 비용(재정 및 기타), 비용 효과성, 부작용을 평가하고 보고한다.

생물다양성 이외의 요인에 대한 비용과 결과에 대한 정보도 가능하면 수집한다. 생물다양성이나 사회경제적 우선순위가 다를 경우 상충할 수 있는 영역이 있다면 포함한다. 권고사항을 작성할 때 유용한 정보가 될 수 있다.

### 권고사항 작성하기

6. 권고사항 작성에 사용한 근거의 유형과 출처를 명시한다.

어떤 근거가 사용되었는지 명확하게 밝힌다. 검토 과정과 출처(예: 과학 논문, 회색 문헌, 전문가 의견, 현지 지식)를 문서화한다. 근거를 판별하고 추출한 방법의 자세한 설명은 안내문에 실거나 출처를 링크(예: 웹 주소 링크 또는 QR 코드)하여 제공해야 한다. 추가 연구를 진행하는 경우 이러한 세부 정보를 이용할 수 있다.

7. 권고 사항의 근거는 투명하게 공개해야 한다.

근거가 불확실하거나 상충하는 경우, 근거를 명백하게 설명하거나 적절한 용어(강력한 근거, 일부 근거, 약한 근거, 주로 뒷받침하는 연구 등)를 사용하여 뚜렷하게 밝힌다. 또한 근거가 조건의 하위 집합에 기반한다거나 맥락(예: 생물종, 위치)에 따라 달라진다고 하는 경우라면 추론의 범위가 어디까지인지도 명확해야 한다.

8. 효과에 관한 정보가 없는 상태에서 진술한 경우 그렇다고 명시적으로 밝힌다.

근거가 존재하지 않고 제 1 원칙, 이론 또는 상식을 기반으로 권고하는 경우 명시적으로 그렇다고 설명한다. 예를 들어, 과학적 근거 없이 실무자의 지식과 경험에 기반한다고 해서 합의된 권고사항의 가치가 떨어지는 것은 아니다. 해당 사안을 구별할 수 있도록 표시를 달아두면 향후 연구할 때 이 부분의 공백을 채우면 된다는 것을 알려준다.

9. 효과가 있다는 근거 외의 요인에 기반한 권고사항이 있다면 명시한다.

일부 권고사항은 재정적 비용, 이해관계자별 결과와 부작용 수용력 등 가용한 근거 기반 이외의 다양한 요인에서 도출된다. 해당 논리와 핵심 요인은 안내문에 분명하게 기술한다. 예를 들어, 어떤 조치가 효과적이라는 근거가 충분하다 해도 비용이 너무 많이 들거나 사회적으로 받아들일 수 없다면 권고하지 않을 수 있다.

## 근거 기반 결정 내리기

안내문의 내용을 수동적으로 따를 필요는 없다. 그보다는 가용한 과학적 근거(안내문을 활용하는 경우 최신 자료로 갱신한다)를 가치관뿐만 아니라 경험 및 현지 지식과 결합해 보기를 권장하며, 해당 과정은 그림 1 을 참조한다.

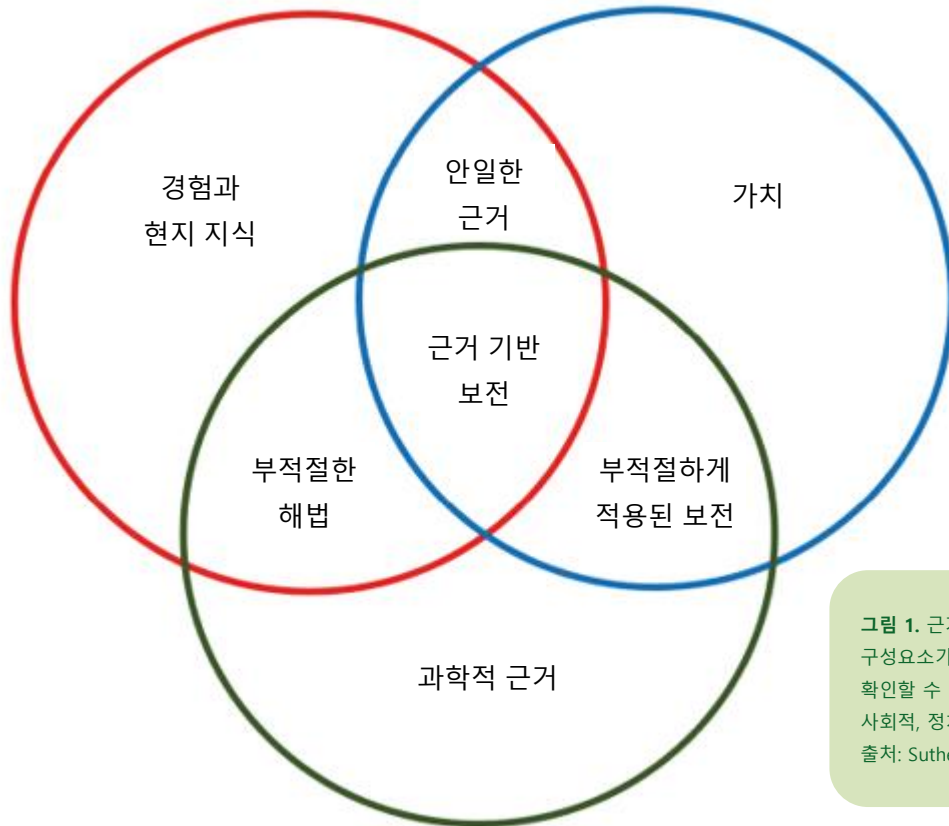


그림 1. 근거 기반 보전에서 근거의 역할. 구성요소가 어떻게 상호작용을 하는지 확인할 수 있다. 가치에는 윤리적, 사회적, 정치적, 경제적 문제가 포함된다. 출처: Sutherland (2022)

의사 결정의 핵심 8 단계는 모범 사례에 대한 설명과 더불어 아래에 나열하였다(Sutherland, 작성 중) 각 단계를 엄격하게 밟아나가기 위해 따라야 하는 접근 방식을 자세히 알고 싶으면 Sutherland(2022)를 참조한다.

**난제 파악 및 구조화:** 결정해야 할 문제나 기회가 있는 경우, 사안(한 가지 또는 다수)을 공식화한다. 결정 과정에 있는 것을 중심으로 사안을 구조화하되 결정 과정에서 제외되는 것과 추구하는 최종 목표도 포함한다.

**상당역 파악:** 의사 결정, 의사 결정 감독, 고문 또는 정보 제공에 누가 참여할지 살펴본다. 이해관계자 분석을 출발점으로 삼는다.

**문제 연구:** 문제의 원인과 결과를 연구한다. 연구 결과에 따라 구체화 등을 통해 문제를 수정할 수 있다.

**선택지 파악:** 한 연구에 따르면 어떤 한 가지 주제에 대한 선택지가 100 가지라면 실무자들은 그중 57 가지만 알고 있다고 한다(Walsh *et al.*, 2015). 문헌과 실무자로부터 선택지를 추출한 후 폭넓은

협의를 거쳐 추가한 선택지를 취합하는 해법 스캔하기(solution scanning)로 합리적이고 포괄적인 선택지 목록을 확보할 수 있다.

**유관 근거 가려내기:** 근거를 이미 추출했다면 관련 연구를 확인하고 아직 추출하지 않았다면 문헌을 검색한다. 근거의 출처는 아래에 제시하였다.

**근거 평가하기:** 근거별로 신뢰성과 관련성을 기준으로 평가한다. 평가된 근거는 종합하여 결론을 간추린다. 조치를 평가할 때는 효과의 강도와 결과에 대한 확신을 기준으로 삼는다.

**적절한 전문가 활용:** 전문가의 역할은 결정을 내리는 것(이때 의사결정자는 자신과 다른 가치도 받아들여야 한다)이 아니라 의견을 내고 평가하는 것이다. 문헌을 살펴보면 전문가의 정확성을 심각하게 저해하는 편향의 원천은 셀 수 없이 많음을 알 수 있다. 이러한 편향을 줄이기 위하여 다양한 기법을 사용할 수 있으며, 델파이 기법, IDEA 프로토콜 같은 도구가 대표적이다. 무엇보다 채점은 익명으로 해야 한다.

**구조화된 의사 결정 과정 사용:** 구조화된 접근 방식은 사안에 따라 다르기는 하지만 다중 기준 분석(MCA), 논증지도(argument map), 변화 분석(TOC), 비용 편익 분석 등이 있다.

## 근거의 출처

다음은 여러 환경 보호 프로젝트에 적용되는 근거의 출처이다.

- [Conservation Evidence database](#): 보전 활동의 효과에 대한 문서화된 근거를 수집하고 요약하는 데이터베이스이다(Sutherland *et al.*, 2019). 주제별로 관련된 활동을 모두 모아 하나의 주제 "시놉시스"로 분류한다. 2024년 2월 기준, 24 가지 분류군(taxa) 또는 서식지에 관한 근거를 수집하였다.
- [What Works in Conservation](#): 보전증거(CE) 데이터베이스에 있는 활동의 효과에 관한 정보를 매년 갱신하여 한 권의 "What Works in Conservation(효과적인 보전 활동)"(Sutherland *et al.*, 2021)으로 펴낸다. 갱신할 때마다 그 속에 담겨 있는 모든 정보도 검색 기능이 있는 데이터베이스로 제공된다.
- [CEEDER](#) (The Collaboration of Environmental Evidence Database of Evidence Reviews): 환경 분야를 모두 아우르는 1,920 가지 리뷰와 체계적인 지도 목록
- [PANORAMA](#): 실무자가 프로젝트를 진행하며 배운 바를 설명하는 방식으로 경험을 공유하고 되새길 수 있다.
- [RESTOR](#): 자연 보전·복원 프로젝트에서 얻은 지혜를 공유하는 데이터베이스
- [Metadataset](#): 과학 출판물의 오픈 데이터 모음. 주로 침입종 관리와 관련된 15,000 개 이상의 효과크기(effect size)를 제공한다.

- 특정 사안과 관련된 구체적인 논문, 서적, 보고서 및 그 외 문건이 있다.

## 참고자료

Ausden M. (2007) *Habitat Management for Conservation: A Handbook of Techniques*. Oxford University Press: New York.

Christie A.P., Amano T., Martin P.A., Petrovan S.O., Shackelford G.E., *et al.* (2021) The challenge of biased evidence in conservation. *Conservation Biology*, **35**, 249–262. <https://doi.org/10.1111/cobi.13577>

Downey H., Bretagnolle V., Brick C., Bulman C.R., Cooke S.J., *et al.* (2022) Principles for the production of evidence-based guidance for conservation actions. *Conservation Science and Practice*, **4**, e12663. <https://doi.org/10.1111/csp2.12663>

Salafsky N., Boshoven J., Burivalova Z., Dubois N.S., Gomez A. *et al.* (2019). Defining and using evidence in conservation practice. *Conservation Science and Practice*, **1**, e27. <https://doi.org/10.1111/csp2.27>

Sutherland W.J., Dicks L.V., Petrovan S.O. & Smith R.K. (eds). (2021) *What Works in Conservation 2021*. Open Book Publishers: Cambridge, UK. <https://doi.org/10.11647/OBP.0267>

Sutherland W.J. (2022) *Transforming Conservation: A Practical Guide to Evidence and Decision Making*. Open Book Publishers: Cambridge, UK. <https://doi.org/10.11647/OBP.0321>

Sutherland W.J., Taylor N.G., MacFarlane D., Amano T., Christie A.P., *et al.* (2019) Building a tool to overcome barriers in research-implementation spaces: The Conservation Evidence database. *Biological Conservation*, **238**, 108199. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.108199>

Walsh J.C., Dicks L.V. & Sutherland W.J. (2015) The effect of scientific evidence on conservation practitioners' management decisions. *Conservation Biology*, **29**, 88–98. <https://doi.org/10.1111/cobi.12370>

## 연안 복원 기획 및 세부목표 설정 안내

Lorenzo Gaffi<sup>1</sup>, Vanessa Cutts<sup>2</sup>, Ward Hagemeijer<sup>1</sup> & William J. Sutherland<sup>2</sup>

1 네덜란드 국제습지협회

2 영국 케임브리지 대학교 동물학과 보전과학그룹 | Conservation Science Group, Department of Zoology, University of Cambridge, UK



복구 계획을 수립하기 전 현장을 철저히 평가하고 이해해야 한다. [출처: Edwin Paree]

완료일: 2024 년 5 월 4 일



**Cite as:** Gaffi L., Cutts V., Hagemeijer W. & Sutherland W.J. (2024) 연안 복원 기획 및 세부목표 설정 안내. 보전 안내 시리즈 제 2 호 v1.0 (국문). <https://doi.org/10.52201/CGSKOR/VARP9202>

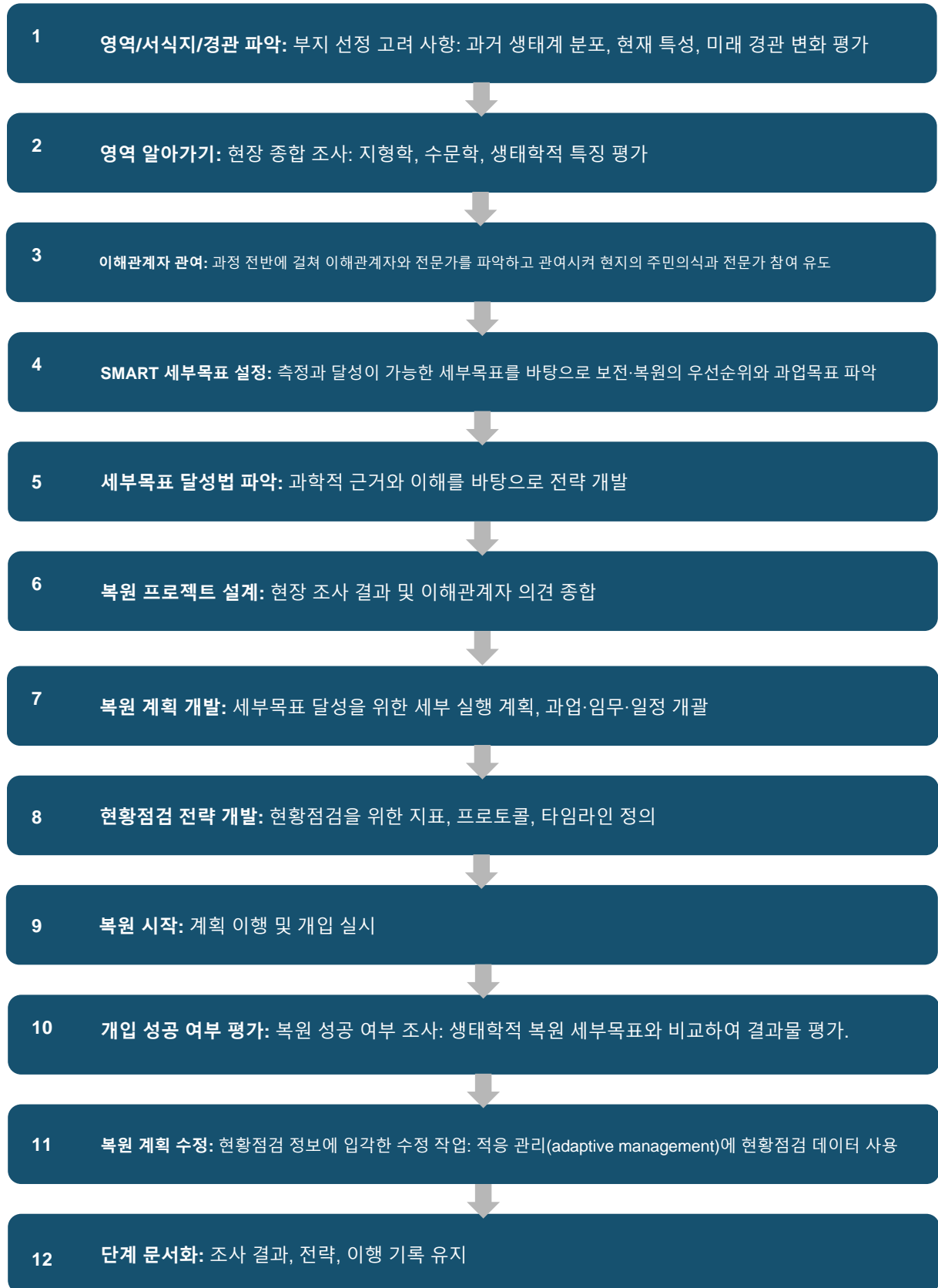


연안 서식지 복원 프로젝트에 성공하려면 인간 활동이나 자연 현상으로 손실·훼손된 생태적 가치를 효과적으로 복원하고 그 상태를 계속 유지해야 한다. 세부목표를 선명하게 세우면 생태, 보전, 지역사회 관련 최종목표를 달성하기 위한 기준점을 제공하는 성공적인 복원 계획이 초석이 된다. 섭금류 보전의 맥락에서 복원의 성공 여부는 섭금류에 필요한 구체적인 생태 기능을 갖춘 중요한 서식지를 재창조할 수 있는 능력에 달려 있다. 예를 들어 섭금류의 먹이 공급에 중요한 갯벌 복원이 목표라면, 복원 과정에서 복원된 갯벌이 이러한 목적을 효과적으로 달성할 수 있도록 해야 한다. 여기에는 천연 갯벌의 형태적 특징을 존중하고, 식생의 성장을 방지하며, 저서성 동물군이 돌아오게 하고, 새들이 적절하고 충분한 먹이활동을 할 수 있게 하는 것이 포함된다. 세부목표 설정 외에도 공통의 공유된 비전을 수립하면 주요 이해관계자 그룹의 주인의식을 고취하고 참여율을 높일 수 있다.

천연 서식지 파괴의 원인이 된 위협을 파악한 후 해결하고 제거해야 한다. 위협이 여전한 상태에서 자연 생태계를 복원하면 실패할 수밖에 없다. 예를 들어, 맹그로브 복원은 불법 벌목과 맹그로브 개간을 중단한 후에 시작해야 하며, 이것이 불가능하다면 지금의 자연 생태계를 그대로 보전하는 것이 훨씬 더 유익하고 비용 효율적이다.

이 편람은 연안 서식지 복원은 단계적으로 접근해야 한다는 입장이며, 그 핵심은 바로 세부목표 설정이다. 이러한 접근 방식은 구조화된 체계적인 방법론을 마련하여 충분한 정보에 입각한 의사 결정과 적응 관리(adaptive management)를 실천하여 생태적으로 지속가능한 결과를 낳는다.

## 연안 서식지를 복원하는 단계적 접근 방법:



## 1. 영역/서식지/경관 파악

복원 장소를 선정할 때는 복원 성공을 촉진할 수도, 방해할 수도 있는 자연의 과정이 발생하는지 파악해야 한다. 복원에 최적인 장소란 공학적 개입과 그 외 인간의 복원 활동을 뒷받침하고 보완하는 자연의 과정이 존재하는 곳이다. 자연과 조화를 이루며 작업하면 "자연동화기법(Building with Nature, BwN)"의 원칙에 부합하며, 복원 작업이 본디 자연의 역동성과 현지 이해관계자의 이익을 보완하게 한다.

### 자연동화기법(Building with Nature, BwN) 원칙:

"자연동화기법"은 연안, 강, 삼각주, 도시를 위한 물 관련 인프라 설계의 기본 요소로 자연 기반 해법을 통합하는 접근 방식이다. 자연의 힘을 활용하여 생물 다양성 회복, 경제, 사회 전체에 혜택이 된다. 복원 노력을 할 때는 자연동화기법(Building with Nature, BwN) 원칙을 충실하게 지키며 선정된 장소에 내재된 역동성을 거스르는 것이 아니라 전략적으로 활용해야 한다.

이러한 접근 방식의 실제 예시는 연안 복원에서 찾아볼 수 있다. 침식된 연안을 복원하는 실행 가능한 방법을 이러한 맥락에서 설명하자면 퇴적물을 한 곳에 쌓은 다음 바람, 파도, 해류가 점진적으로 자연스럽게 재분배하게 하는 것이다. 이러한 전략으로 현지 생태계 교란을 최소화하는 동시에 자연과 휴양에 좋은 장소를 새로이 조성할 수 있다(De Vriend *et al.*, 2014; Ecoshape, 2020).

또 다른 예시는 인도네시아 드막(Demak)에서 BwN 프로젝트에서 사용한 접근 방식에서 찾을 수 있다. 한때 맹그로브 숲이었지만 이제는 침식이 진행되는 연안선에 홍수가 발생할 위험을 해결하고자 덩불로 이루어진 투과형사방댐(permeable dam)을 건설하였다. 이 댐으로 퇴적물을 포집하고 건강하게 균형을 이룰 수 있다. 근해의 하상이 충분히 상승하면 맹그로브는 자연스럽게 재생되기 시작하여 홍수와 추가 침식을 막을 수 있는 천연의 물 방어막을 형성한다(국제습지협회 및 에코셰이프, 2022).

복원 장소를 선정할 때는 과거 생태계 분포, 현재의 지형학적/생태학적 특성, 근미래의 경관 변화 예측 등을 고려해야 한다. 예를 들어, 관찰 결과를 살펴보면 퇴적물이 쌓이는 장소가 해안선 조정(managed realignment) 조치에 더 적합한 경향이 있지만(Atkinson, 2001), 침식이 발생하는 장소도 해안 방어막의 유지 관리 비용이 더 많이 들기 때문에 재정적인 이유로 해안선 위치 조정이 매력적인 해법이 될 수 있다. 나아가 한 가지 조치를 취한 후 지속적인 유지 관리가 필요할 수도 있다(예: 침하 및 상대적인 해수면 변화로 연안선의 육지 방향 이동이 예상될 때). 따라서, 현장 적합성과 더불어 비용-편익의 균형을 고려해야 한다. 이런 식으로 실무에서 얻은 지식을 바탕으로 현장별 특징을 고려하며 생태계 고유의 특성에 기반한 복원 접근 방식을 이끌어갈 수 있다.

물론 서식지의 현재 상태와 기능을 보는 것도 중요하다. 서식지가 훼손되었고 대상 생물종에 차선이라면 서식지 조성은 생태적으로 이로울 수 있다. 기존 서식지가 잘 작동하고 있다면 갯벌이나 염습지를 추가 조성하는 것이 불필요하거나 자원 이용의 측면에서 비효율적일 수 있다(Yozzo *et al.*, 2004). 늘어나는 새의 개체수를 감당할 수 있는 쉼터가 충분히 있는지에 따라 달라질 수도 있다.

## 2. 영역 알아보기: 자연·사회경제적 조건 세부 조사

지형학적, 수문학적, 생태학적 특성을 고려하여 선정된 후보 지역에 대한 종합 조사를 실시한다. 해당 지역 본연의 역동성을 이해하면 이어지는 복원 결정에 도움이 된다. 주로 조사해야 하는 부분은 선택한 장소의 조석 범위와 위치, 퇴적물 특성, 파도에 노출되는 수준, 침식 및 퇴적물 퇴적량, 지형적 특징(예: 갯골의 분포), 식생 구성, 갯벌 지역의 저서 구조, 과거와 현재의 야생생물 출현, 예상되는 상대적 해수면 변화 등이 있다. 이러한 요소는 후보 지역의 생태적 복잡성을 이해하고, 복원 개입에 대한 반응을 예측하며 이해관계자와 소통하는데 중요한 역할을 한다.

후보 지역이 속한 주변 경관도 고려하며 조사한다. 퇴적물의 양과 흐름의 패턴, 현지 해류에 영향을 미칠 수 있는 인근 조간대 지역의 항만, 방파제 또는 그 외 건설 같은 대규모 경관 개발 계획과 연안으로의 퇴적물 흐름에 영향을 미칠 수 있는 상류 보 건설을 통해 후보 지역으로의 강물 흐름 변화에 대해 파악해야 한다.

## 3. 과정 전반에서 이해관계자와 전문가 파악 및 관여 유도

효과 유무를 파악하려면 사회경제적 환경을 이해하고 이에 대응해야 한다. 따라서 복원 프로젝트 성공의 지속가능성을 보장하려면 이해관계자의 참여가 필수이다. 이해관계자의 인식, 오해, 관심 분야를 이해하면 기획에 반영할 수 있다.

이해관계자 집단은 산업, 기능, 사회경제적 요인, 복원 사업에 보이는 입장을 기준으로 분류하는 이해관계자 분석([stakeholder analysis](#), Golder & Gawler, 2005)으로 파악해야 한다. 이렇게 분류하면 나타날 수 있는 장애물에 대비하고 효과적인 계획을 수립할 수 있다.

다양한 분야에서 전문인을 다학제적 방식으로 관여하게 하여 다양한 관점과 전문 지식을 바탕으로 복원 계획을 강화한다. 또한, 역량 강화에 힘써 의미 있는 참여를 촉진하여 현지 이해관계자와 과소대표된 집단이 적극적으로 기여할 수 있는 지식과 기술을 갖추어 줄 수 있도록 해야 한다. 역량 개발은 복원 사업의 여러 측면에서 모든 현지 지역사회와 당국 간의 합의를 확보하려면 필요할 수 있다(FAO *et al.*, 2023).

"4 가지 수익 프레임워크(4 Returns Framework)"를 활용하면 경관 차원의 파트너십과 공동 기획 노력을 촉진하여 이해관계자가 관여하도록 유도할 수 있다. 이러한 접근 방식을 수용하면 복원 사업은 단순한 생태적 노력을 넘어 사회적, 경제적, 정신적 수익을 일으키는 촉매제가 될 수 있다. 이해관계자들은 경관의 난제와 기회에 대한 이해를 공유하여 복원을 위한 비전을



함께 수립함으로써 복원 사업이 좀 더 광범위한 경관 목표와 부합하게 한다. 또한, 현황점검과 학습에 중점을 둔 프레임워크는 적응 관리(adaptive management)를 가능하게 하여 변화하는 조건과 이해관계자의 피드백에 따라 복원 계획을 발전시킬 수 있다. 이 반복되는 과정은 복원 노력에 대한 이해관계자의 지지를 넓히고 장기적인 헌신을 촉진하여 궁극적으로 복원 사업의 지속가능성과 성공을 제고한다(Sterling *et al.*, 2017; Dudley *et al.*, 2021).

**4 가지 수익 프레임워크 | 4 Returns Framework**

"4 가지 수익 프레임워크"는 대규모(예: 100,000 헥타르 이상) 경관에서 복원 타당성을 평가하고, 규모가 작은 프로젝트라면 경관이 넓어질 경우 어떻게 부합하고 도움이 되는지 조사하는 접근 방식이다. 이 개념적이고 실용적인 프레임워크로 이해관계자는 사회적 수익, 자연적 수익, 재정적 수익, 정신적 수익이라는 네 가지 영역에서 수익을 달성할 수 있다. 이 프레임워크의 과정에는 5 가지 요소가 있다.

1. 경관 파트너십
2. 공유된 시스템 이해
3. 경관 비전 및 협업 기획
4. 행동하기
5. 현황점검 및 학습

이러한 요소는 현실적인 기간(최소 20 년)에 다기능 경관(자연 구역, 경제 구역, 복합 구역 포함)에서 구현된다. 여러 생태계 유형에 걸친 복수의 복원 사업은 조정 및 기획 과정(최대 2 년 소요)을 거쳐야 한다.

**4. SMART 세부목표 설정: 구체적이고 측정 가능하며 달성 가능하고 현실적이며 시간 제한적인 목표치 설정**

서식지 복원 세부목표를 설정할 때는 개별 속성(Atkinson *et al.*, 2001)이나 조치에 집중하기보다는 생태적 기능 회복에 초점을 둔 접근 방식을 택해야 한다. 복원 생태학에서는 (실질적인) 생태학적 세부목표와 관리 조치가 반드시 구분되어야 한다. 전자인 생태학적 세부목표란 황폐화된 갯벌을 물새가 풍요롭게 먹이활동을 할 수 있는 서식지로 바꾸는 등 생태적 기능을 회복하는 전체적인 최종목표와 관련된다. 반면, 후자인 관리 조치는 침입종인 *Spartina* 속 끈풀(cordgrass) 제거, 토착 식생 관리, 퇴적물 재배치 등과 같은 구체적인 관리 조치가 포함되며, 이는 그 자체가 목표가 되는 것이 아니라 생태적 세부목표를 달성하기 위한 수단으로 보아야 한다(Bakker *et al.*, 2000).

어떤 장소에서 복원 또는 전환 개입하여 한 가지 생태 기능을 회복하면 다른 생태 기능이 감소하거나 중단될 수도 있다. 이런 식의 상충(trade-off)이 발생하는지 명확히 파악하고 신중하게 살펴보아야 한다. 예를 들어 개방된 갯벌에 물고기 산란장과 파도 감쇠 기능을 갖춘 맹그로브 숲을 조성하면 섭금류의 먹이활동지라는 갯벌의 기능이 상충하거나 감소할 수 있다.

이런 식의 상충이 발생하는 상황이라면 대상 기능의 희소성과 바람직함 다음으로 해당 후보 지역이 과거 어떤 기능을 하였는지 살펴보면 결정에 도움이 될 수 있다.

세부목표를 명확하고 구체적으로 세우면 바람직한 생태 기능을 복원할 수 있는 적절한 복원 조치를 선택할 수 있다.

#### SMART 기준

복원 노력의 효과를 높이려면 세부목표를 설정할 때 구체적(Specific), 측정 가능(Measurable), 달성 가능(Achievable), 현실적(Realistic), 시간 제한적(Time-bound)이라는 5 가지 기준(SMART)을 준수해야 한다. 이에 따라 잘 수립된 세부목표의 예는 다음과 같다.

1. 향후 5년 이내에 갯벌의 50%를 복원하여 물새의 먹이활동 및 휴식을 위한 서식지를 뒷받침한다.
2. 염습지 면적을 50% 확장하여 5년 이내에 위기에 처한 섭금류 1종에 보금자리를 제공한다.
3. 퇴적물 구성을 개선하여 저서 동물군이 대상 지역에 돌아오고, 섭금류가 먹이로 삼기에 적합한 종으로 군집이 구성되게 한다.
4. 양식장을 밀물 때 물새가 쉴 수 있는 얇은 수역으로 전환하는 방식으로 1년 이내에 효과적인 만조 휴식지 두 곳을 복원한다.

#### 5. 세부목표 달성 방법 파악: 과학적 이해를 바탕으로 전략 개발

설정된 세부목표 달성에 필요한 구체적인 조치를 개괄하는 전략을 수립한다. 근거를 바탕으로 세부목표를 향해 밟아가는 단계로서 필요한 결과를 가져올 수 있는 조치를 알아낸다. 해당 조치와 관련된 모든 가정과 위험을 파악한다. 이때 하나의 전략을 구성하는 복수의 조치로는 경관 변경, 식생 관리 및 그 외 생태계에서 확인된 필요에 맞추기 위한 개입 등이 있다.

몇 가지 복원 조치를 아래에 설명하였다. 이러한 개별 조치는 그 자체가 하나의 세부목표가 되는 것이 아니라 하나 이상의 조치가 모여 한 가지의 생태 복원 세부목표가 달성되는 것이다.

## 6. 복원 프로젝트 설계

효과적인 복원 계획을 세우려면 먼저 사업을 설계해야 한다. 설계는 현장 조사와 이해관계자 협의 과정의 결과를 통합한다. 이때 과학적 이해와 이해관계자의 의견을 종합하여 복원 노력을 위한 종합적인 프레임워크를 개발한다. 복원 장소의 생태적 복잡성을 해결할 수 있도록 개입 활동을 조정하고 현지의 이해관계와 우선순위에 부합하게 하여 복원 활동이 효과적으로 목표를 달성할 수 있게 설계한다. 또한, 잠재적인 난제와 기회를 파악하여 복원 계획의 지속 및 성공 가능성을 높일 수 있는 사전 계획도 수립할 수 있다.

설계에 적응 관리형 접근 방식을 도입하여 현황점검 결과의 평가에 따라 수정할 수 있는 여지를 주는 것도 잊지 말아야 한다. 즉, 기본적으로 변화하는 상황을 수용하고 복원 결과를 최적화할 수 있도록 적응 관리가 용이해지는 방향으로 설계해야 한다.

## 7. 복원 계획 개발: 세부목표 달성을 위한 세부 실행 계획

사업 설계 과정에서 파악한 전략을 바탕으로 이제는 종합적인 복원 계획을 수립해야 한다. 종합 계획은 세부 작업을 설명하고, 책임을 할당하며, 파악한 전략을 각각 실행하기 위한 일정을 짜는 등 구체적인 내용을 담아야 한다. 가능하다면 인력, 장비, 자재 같은 부분도 포함하여 어떤 자원이 필요한지 결정한다. 종합 계획을 수립할 때는 실행 중에 발생할 수도 있는 문제도 고려하여 예상치 못한 상황에 대처할 수 있는 사전 예방적 접근 방식도 마련해야 한다.

복원 계획은 타당성 단계에서 파악한 이해관계자 및 동반자와 함께 노력하여 개발해야 한다. 참여형 접근 방식으로 다양한 관점을 고려하고 사업을 포괄적으로 이해하면 계획이 풍부해진다. 복원 계획은 사업에 참여하는 누구나 종합적인 가이드로 활용하는 중요한 문서이다. 따라서 계획이 명확해야 참여자 전원이 사업의 목표를 파악하고, 필요한 조치를 이해하며, 의사 결정이 필요한 지점을 파악하고, 사업 성공에 필수적인 재정 요건을 가늠해 볼 수 있다(Beeston *et al.*, 2023).

## 8. 현황점검 전략 개발

복원 계획이 성공적으로 잘 진행되고 있는지 확인하려면 현황을 점검할 수 있는 종합적인 전략을 짜야 한다. 전략을 짤 때는 주요 지표, 측정 지침, 일정을 정의해야 한다.

세부목표를 정의하고 생태 복원 현황을 점검하는 일은 서로 밀접하게 연결되어 있다. 현황을 점검해야 세부목표가 구체적인 일정을 지키며 잘 이루어졌는지 평가할 수 있다. 이때 사용하는 방법은 사업의 최종목표에 부합해야 하고, 평이한지, 비용은 적절한지, 진행 과정에 참여가 보장되는지 유의한다.

현황점검 지표는 사업의 과업목표, 복원 중인 해당 생태계, 현장의 고유한 조건에 맞게 조정하면서 선택한다. 현황점검은 개입 전후로 진행한다. 또한, 점검 시 지표는 복원 활동이

이루어지는 곳과 그렇지 않은 곳에서 개입 현장과 대조 현장을 비교해야 한다. 이렇게 비교 분석하여 복원 사업이 목표로 하는 생태 상태 달성에 기여한 양의 순 차이를 측정한다.

데이터 수집은 식생 조사, 저서생물 조사, (쉬어가는) 조류 수 및 (먹이) 밀도 평가, 서식지 이용 모니터링 등 과학적이고 표준을 따르는 접근 방식을 이용한다. 복원된 지역에 상업적으로 중요한 생물종을 채취할 수 있는 영역이 포함되어 있다면, 인간이 사용해도 되는지 생각해 볼 수도 있다.

가능하다면, 표준화된 통합 지침에 따라 생물종과 서식지의 현황을 점검해야 한다. 이와 관련하여, 동아시아-대양주 철새 이동경로 파트너십(East Asian-Australasian Flyway Partnership)은 EAAF 국가용 통합 물새 현황점검 및 보고 지침의 개발을 권장한다.

현황점검 활동을 위한 전용 자금 흐름을 조성하거나 예산 확보도 필요하다. 복원 과업목표 달성에서 현황점검의 중요성을 강조하려면 관련 정부 부처, 정책 입안자, 이해관계자와 협력해야 한다. 거버넌스 계획에서 현황점검이 차지하는 역할과 책임을 분명히 밝혀 자원을 효율적으로 할당하고 거버넌스를 조정하면 사업의 효과와 장기 지속가능성을 높일 수 있다.

다음은 연안 습지 생태계 복원 사업 지표의 예시이다. 해당 지표는 복원 현장을 복원 전 기준선 및/또는 대조 지역과 비교할 때 가장 유용한 정보를 제공한다. Cadier *et al.*, (2020) 및 Atkinson (2001)에서 가져온 자료를 적절히 수정하였다.

속성 범주	지표
생물학적 조건	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 생물 종류 및 다양성</li> <li>• 생물종 개체수, 면적 비율, 생물량</li> <li>• 위협받는 생물종의 존재</li> </ul>
물리적 조건	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 토양과 퇴적물의 물리화학적 조건</li> <li>• 물의 생리화학적 변수</li> <li>• 수심 측정</li> <li>• 조류의 세기</li> </ul>
위협의 부재	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 복원 지역에 생물학적 위협(예: 침입종) 부재</li> <li>• 인간에 의한 자원 추출의 지속가능성</li> <li>• 오염 수준</li> </ul>



## 9. 복원 계획 이행 시작: 계획 실행

복원 계획을 실행에 옮긴다. 이때 서식지에서 생태적으로 민감한 부분에 유의하면서 개략적인 개입 활동을 신중하게 실시한다.

## 10. 개입 성공 여부 평가: 설정했던 세부목표와 결과물 비교

복원에 성공하려면 복원 결과물을 미리 정한 세부목표와 비교하여 일관성 있게 평가해야 한다. 복원 노력의 효과성은 정해진 세부목표와 복잡하게 연결되어 있다. 중앙선에 맞추는 것이 아니라 목표한 수준에 맞춰 결과물을 조사해야 한다. 예를 들어, *Spartina*속 제거의 성공 여부를 점검하는 것은 *Spartina*속의 존재 여부만을 알려줄 뿐, 섭금류의 먹이활동지가 되고 토착 염습지 군락이 재건되는 등 넓은 의미에서 개벌이 건강하게 회복되었는지는 알 수 없다.

"기능적 성공"은 해당 생태계의 생태적 기능이 회복되었는지 평가하는 중요한 개념이다(Atkinson, 2001). 예를 들어, 조간대 서식지의 먹이 사슬 지원, 파도 작용 감소, 수질 개선 등의 기능이 회복되면 기능적 성공이라고 할 수 있다. 현황점검 노력은 즉각적인 요인을 넘어서 광범위한 생태 지표를 포괄해야 한다. *Spartina*속을 제거하여 갯벌을 복원하는 사업이라면, 침입종의 유무 또는 재도입을 추적하는 동시에 복원된 갯벌의 저서생물 구성과 먹이활동을 하는 조류 개체군의 복귀를 점검해야 한다. 초기 성공도 중요하지만 그 성공이 얼마나 지속되느냐도 중요하다. 이런 식으로 포괄적으로 접근해야 총체적인 평가로 이어져 복원 사업을 관통하는 최종목표에 부합하고 장기적으로 성공하는 개입 활동이 가능하다.

국제생태복원학회(Society for Ecological Restoration, SER)가 개발하여 전 세계에서 복원 사업의 성공 여부 평가에 사용하는 5 단계 복원 방식([5-star Recovery System](#))에는 복원 작업을 평가할 수 있는 실용적인 도구가 있다. 생태계 복원을 위한 현장 진행 상황을 평가하고 순위를 매길 수 있는 구조화된 접근 방식이다. 복원된 생태계와 기준 생태계의 유사성을 평가하고 5 점 만점을 기준으로 점수를 부여하여 복원 작업을 포괄적으로 이해할 수 있다. 전체 평가는 물론 구체적인 생태계 속성의 개별 평가도 가능하여 지속적인 개선을 도모할 수 있는 방식이다. 목표는 완전한 생태계 복원이지만, 특정한 기능 속성에만 집중하는 사업에도 적용할 수 있다. 다만, 현황점검 데이터를 탄탄하게 수집하였을 때만 신뢰할 수 있으므로 개별 현장에 맞춘 종합적인 현황점검 계획을 마련해야 한다(McDonald T. *et al.*, 2016).

## 11. 복원 계획 수정: 융통성 및 적응 관리

현황점검 데이터를 이용하여 적응 관리를 실시한다. 결과물이 예상과 다른 경우 복원 계획을 조정하여 역동적으로 반응하는 접근 방식을 보장한다. 이해관계자와 교섭 회의(예: 연례 검토)를 열어 진행 상황을 조사하고, 전반적인 과업목표는 유지하면서 복원 계획을 조정하는 선택지를 포함할 수도 있다. 사전에 정의한 목표를 달성하지 못한 경우, 결과물과 목표치의 불일치가 발생한 이유가 부적절한 복구 조치, 불충분한 이행, 비현실적인 목표, 예기치 못한 외부 요인(정부 정책의 변화나 재난 상황) 중 어느 것인지 파악하기 위해 추가 조사가 필요하다.

## 12. 단계 문서화: 향후 참조를 위한 철저한 문서화

과정을 밟아가는 내내 자세하게 문서 작업을 진행한다. 이때 조사 작업, 세부목표 설정, 전략, 이행 절차, 필요한 자원 및 조정 사항을 기록해야 한다. 현황점검 작업을 기록하고 개입활동의 성공과 실패도 모두 보고한다. 복원 사업의 결과는 실무자나 정책 입안자 등 의사결정권자의 활용이 용이하도록 평이하게 요약하고 번역해야 한다. 문서로 만들면 향후 참조할 수 있는 귀중한 자료가 되고 후속 복원 작업 시 모범 사례를 찾아볼 수 있다. 데이터를 개방하거나 결과물을 국내외 데이터베이스를 포함하는 개방된 저장소(리퍼지토리)에 추가할 수도 있다.

## 그 외 유용한 자료

**대중의 연안 복원에 관한 인식:** Yamashita H. (ed.) (2021) *Coastal Wetlands Restoration: Public Perception and Community Development*. Routledge: London. <https://doi.org/10.4324/9780367863098>

**OMReg: 연안 서식지 재조성 계획 데이터베이스.** Available at: [www.omreg.net/](http://www.omreg.net/)

**녹색-회색 인프라 이행 안내:** Green-Gray Community of Practice (2020) *Practical guide to implementing green-gray infrastructure*. Available at: [www.conservation.org/projects/global-green-gray-community-of-practice](http://www.conservation.org/projects/global-green-gray-community-of-practice)

## 참고자료

Atkinson P.W., Crooks S., Grant A. & Rehfisch M.M. (2001) *The Success of Creation and Restoration Schemes in Producing Intertidal Habitat Suitable for Waterbirds (ENRR425)*. English Nature Research Reports, no. 425. Natural England (English Nature): Peterborough. Available at: <https://publications.naturalengland.org.uk/publication/63026>

Bakker J.P., Grootjans A.P., Hermy M. & Poschlod P. (2000) How to define targets for ecological restoration? Introduction. *Applied Vegetation Science*, **3**, 3–6. <https://doi.org/10.1111/j.1654-109x.2000.tb00033.x>

Beeston M., Cameron C., Hagger V., Howard J., Lovelock C., et al. (eds.) (2023) *Best Practice Guidelines for Mangrove Restoration*. Global Mangrove Alliance: Washington DC. Available at: <https://www.mangrovealliance.org/wp-content/uploads/2023/10/Best-Practice-for-Mangrove-Restoration-Guidelines-v2.pdf>

Cadier C., Bayraktarov E., Piccolo R. & Adame M.F. (2020) Indicators of coastal wetlands restoration success: A systematic review. *Frontiers in Marine Science*, **7**, 600220. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.600220>

Dudley N., Baker C., Chatterton P., Ferwerda W.H., Gutierrez V., et al. (2021). *The 4 Returns Framework for Landscape Restoration*. UN Decade on Ecosystem Restoration Report. Commonland, Wetlands International, Landscape Finance Lab and IUCN Commission on Ecosystem Management. Available at: <https://www.commonland.com/wp-content/uploads/2021/06/4>Returns-for-Landscape-Restoration-June-2021-UN-Decade-on-Ecosystem-Restoration.pdf>

van Eekelen E. & Bouw M. (2020) *Building with Nature, Creating, Implementing and Upscaling Nature-Based Solutions*. nai010 Publishers: Netherlands.

FAO, SER, & IUCN/CEM (2023) *Standards of Practice to Guide Ecosystem Restoration: A Contribution to the United Nations Decade on Ecosystem Restoration: Summary report*, FAO, Rome, Italy. <https://doi.org/10.4060/cc5223en>

Golder B. & Gawler M. (2005) *Cross-Cutting Tool Stakeholder Analysis. Resources for Implementing the WWF Standards*. WWF. Available at: [https://awsassets.panda.org/downloads/1\\_1\\_stakeholder\\_analysis\\_11\\_01\\_05.pdf](https://awsassets.panda.org/downloads/1_1_stakeholder_analysis_11_01_05.pdf)

Sterling E.J., Betley E., Sigouin A., Gomez A., Toomey A., *et al.* (2017). Assessing the evidence for stakeholder engagement in biodiversity conservation. *Biological conservation*, **209**, 159–171. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.02.008>

McDonald T., Gann G.D., Jonson J., & Dixon K.W. (2016) International Standards for the Practice of Ecological Restoration – Including Principles and Key Concepts. Society for Ecological Restoration: Washington, D.C. [https://cdn.ymaws.com/sites/www.ser.org/resource/resmgr/docs/SER\\_International\\_Standards.pdf](https://cdn.ymaws.com/sites/www.ser.org/resource/resmgr/docs/SER_International_Standards.pdf)

de Vriend H., van Koningsveld M. & Aarninkhof S. (2014). 'Building with nature': The new Dutch approach to coastal and river works. *ICE Proceedings - Civil Engineering*, **167**, 18–24. <https://doi.org/10.1680/cien.13.00003>

Yozzo D.J., Wilber P. & Will R.J. (2004) Beneficial use of dredged material for habitat creation, enhancement, and restoration in New York–New Jersey Harbor. *Journal of Environmental Management*, **73**, 39–52. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.05.008>

**자문단:** Malcom Ausden, (RSPB, UK), Hyun-Ah Choi, (Hanns Seidel Foundation, South Korea), Chi-Yeung Choi, (Duke Kunshan University, China), Mark Dixon, (RSPB, UK), Qiang He (Fudan University, China), Micha V. Jackson, (CSIRO, Australia), Yifei Jia (Beijing Forest University, China), Wenhai Lu (National Marine Data and Information Service, China), David Melville (Global Flyway Network, New Zealand), Spike Millington (International Crane Foundation, USA), Taej Mundkur (Wetlands International, The Netherlands), Han Winterwerp (Delft University of Technology, The Netherlands), Fokko van der Goot, (Boskalis and EcoShape, The Netherlands), Hongyan Yang (Beijing Forest University, China)

이 편람은 국내외 다양한 자료를 문헌검토하고 전문가의 고견을 바탕으로 철저한 평가를 거쳐 작성하였습니다. 이 편람의 목적은 전 세계 연안 서식지 복원 노력에 참고할 수 있는 실용적인 정보와 권고 사항을 제공하는 것입니다. 이 편람을 활용하는 전문가와 실무자는 자신의 전문 지식과 판단을 바탕으로 상황별 특징과 요건에 맞게 적절하게 수정하여 사용하기 바랍니다. 이 편람을 참고하여 발생하는 결과에 대한 책임은 전적으로 사용자에게 있습니다.

# 제 3 절. 복원 접근 방식

*보전 안내 시리즈*

염습지.조간대 복원/조성을 위한 조석(해수 교환) 활성화

염습지.조간대 복원/조성을 위한 퇴적물 사용

염습지.조간대 재정비

염습지 식생 복원.구성

조간대 식생 관리

*Spartina* 속의 화학적 조절

*Spartina* 속의 물리적 조절

*Spartina* 속의 통합 조절





## 염습지·조간대 복원/조성을 위한 조석(해수 교환) 활성화 안내

Vanessa Cutts<sup>1</sup>, Paul L.A. Erfteimeijer<sup>2</sup>, Nigel G. Taylor<sup>1</sup>, Lorenzo Gaffi<sup>3</sup>, Ward Hagemeyer<sup>3</sup> & William J. Sutherland<sup>1</sup>

1 영국 케임브리지 대학교 동물학과 보전과학그룹 | Conservation Science Group, Department of Zoology, University of Cambridge, UK

2 웨스턴 오스트레일리아 대학교 생물과학대학 /UWA 해양연구소 | School of Biological Sciences and Oceans Institute, University of Western Australia

3 네덜란드 국제습지협회 | Wetlands International, The Netherlands



네덜란드 베스터스헬더의 조정된  
해안선 (제공: Edwin Paree)

완료일: 2024 년 5 월 4 일



인용 표기: Cutts V., Erfteimeijer P.L.A., Taylor N.G., Gaffi L., Hagemeyer W. & Sutherland W.J. (2024) *염습지·조간대 복원/조성을 위한 조석(해수 교환) 활성화 안내*. 보전 안내 시리즈 제 3 호 v1.0 (국문). <https://doi.org/10.52201/CGSKOR/MYQN5391>





## 과업목표: 조석 특성(tidal regime) 회복/관리로 연안 서식지 조성 또는 복원

### 정의

- **저서성 무척추동물:** 수층 바닥에 사는 무척추동물  
(대형: >1 mm, 중형: < 1 mm, 소형: < 0.1 mm).
- **낙조** = 만조에서 간조까지, 즉 물이 빠지는 때
- **조간대:** 만조와 간조 사이 영역
- **해안선 조정(Managed realignment):** 조석(해수 교환)을 회복하기 위해 연안 방어시설(예: 방조제)에 틈을 내거나 제거하여 이전에 보호되었던 지역이 침수될 수 있도록 하는 기법. 해안선 후퇴(managed retreat)라고도 한다.
- **조석(해수 교환) 조절:** 기존 연안 방어시설로 조수의 흐름을 조절하는 것. 조수량 조절(controlled reduced tide, CRT)라고도 한다.
- **대조(사리):** 태양, 달, 지구가 일직선이 되어 중력이 강하게 작용할 때 밀물이 가장 높은 해면까지 꼭 차게 들어오는 현상. 정기적으로 발생하는 최대 만조와 최대 간조. 대조는 15일마다 발생한다.

### 1. 설명

조석(해수 교환)으로 인해 갯벌과 염습지를 규정하는 특징인 주기적인 해수 범람이 발생한다. 조석(해수 교환)을 활성화하려면 해안선 조정 형인 경우 기존 연안 방어시설에 틈을 내거나 제거하고, 조석(해수 교환) 조절형인 경우 기존 연안 방어시설을 이용하여 조수의 흐름을 조절하면 된다(Ausden, 2007; Scott *et al.*, 2012). 그 목적은 도로나 교량이 조수 흐름을 제한하는 사방이 막힌 염습지에서의 조석(해수 교환) 복원인 경우가 많다(Ausden, 2007). 연안 방어시설을 새로 지을 때는 사회 기반 시설과 농지를 보호하기 위해 주로 내륙 쪽에 택하게 된다.

이런 식의 개입은 영국, 독일, 네덜란드 같은 유럽에서 광범위하게 도입되었다(Wolters *et al.*, 2005; Rupp-Armstrong & Nicholls, 2007; Scott *et al.*, 2012). 방조제 같은 단단한 연안 방어 시설을 염습지와 갯벌로 대체하면 유지 관리 비용을 줄이면서도 침수를 막을 수 있다. 즉, 개입으로 인한 경제적 이익이 비용을 초과할 수 있으므로 자금 지원 결정을 내릴 수 있다.

### 2. 생물다양성에 미치는 영향에 대한 근거

**새에 미치는 영향:** 조석(해수 교환)이 복원된 지역은 1년~3년 내에 섭금류 개체수가 증가하기 시작한다(Slavin & Shisler, 1983; Brawley *et al.*, 1998; Atkinson *et al.*, 2004; Natuhara *et al.*, 2005; Badley & Allcorn, 2006; Armitage *et al.* 2007; Mander *et al.*, 2007; Elliot, 2015). 조석(해수 교환)이 활성화되면 군집/군락은 그전과 비교하여 변할 수 있다. 예를 들어, 일본 오사카항에서는 간척지에 조석이 시작되자 섭금류의 수가 5배 증가하였고(Natuhara *et al.*, 2005), 오리(예: 흰죽지 | *Aythya ferina*)는 물떼새(물떼새과 | Charadriidae)와 각종 도요새류(도요과 | Scolopacidae)로 대체되었다.

서식지 선호는 종마다 다를 수 있다. 예를 들어, 미국 캘리포니아의 한 복원지에서 willet(*Catoptrophorus semipalmatus*)과 dowitcher(긴부리도요속)는 너른 갯벌을 선호하지만, godwit(*Limosa* 속)와 도요새류(*sandpiper* | *Calidris* 속)는 물과 갯벌이 섞인 서식지를 선호했다(Armitage *et al.*, 2007). 조류 서식지를 조성할 때는 번식지와 먹이활동지가 상충(trade-off)할 수도 있다는 점에 유의한다.

**무척추동물에 미치는 영향:** 저서성 대형무척추동물은 빠르게 군집을 형성하여 2년~5년 이내에 "천연" 갯벌의 비슷한 지역과 비교하여 비슷한 생물 밀도 수준에 도달할 수 있지만(Mazik *et al.*, 2010; Malcom Ausden, pers. comm.), 군집 구조가 완전히 발달하려면 수십 년이 걸릴 수도 있다(Craft & Sacco, 2003; Reading *et al.*, 2008). 일본 오사카의 복원된 갯벌에서는 조수 흐름이 회복된 후 깔따구가 다모류와 옆새우과로 대체되었고, 일본의 천연 갯벌에 비해 단미류와 연체동물의 수가 줄었다(Natuhara *et al.*, 2005). 무척추동물이 자연 수준에 도달하기까지 걸리는 시간은 종의 특성과 요구 사항에 따라 다르다. 예를 들어, 미국 노스캐롤라이나의 인공 습지에서 유충 단계에서 퍼져나갈 수 있는 종은 3년 이내에 자연 수준에 도달한 반면 지렁이(빈모류)는 자연 습지와 비슷한 밀도까지 25년이 걸렸다(Craft & Sacco, 2003).

**식생에 미치는 영향:** 조석(해수 교환)이 활성화되고 해당 지역의 높이가 적절하다면 대다수의 경우 1년~2년 내에 염습지 특유의 식생이 발달한다(Barrett & Niering, 1993; Dagley, 1995; Brockmeyer *et al.*, 1996; Burdick *et al.*, 1996; Roman *et al.*, 2002; Thom *et al.*, 2002; Williams & Orr, 2002; Badley & Allcorn, 2006; Garbutt & Wolters, 2008; Wolters *et al.*, 2008; Hughes *et al.*, 2009; Howe *et al.*, 2010; Mossman *et al.*, 2012; Rochlin *et al.*, 2012; Elliot, 2015; Chang *et al.*, 2016; Flitcroft *et al.*, 2016; Clifton *et al.*, 2018). 그러나 복원된 지역의 식생 군락은 30년과 50년 넘게 지나도 여전히 천연 염습지와 다른 모습일 수 있다(Elphick *et al.*, 2015; Flitcroft *et al.*, 2016). 조석(해수 교환)이 활성화된 후 최대 4년 동안 식생의 양이 거의 변하지 않거나 아예 변하지 않는 경우도 있다(Buchsbaum *et al.*, 2006; Konisky *et al.*, 2006; Kadiri *et al.*, 2011).

### 3. 결과에 영향을 미칠 수 있는 요인

**복원지 면적:** 조석(해수 교환)을 활성화하기 전 조간대 서식지에서 사용할 수 있는 공간이 어느 정도인지 고려해야 한다. 기반시설이 연안과 너무 가까우면 새로운 조간대 서식지 및 그와 연관된 야생생물은 틈이 난 방어시설 뒤에서 발달할 수 있는 공간이 제한된다(Howe *et al.*, 2010; Morris, 2013). 복원지의 면적(및 고립도)도 그곳에 서식하는 생물종에 영향을 미칠 수 있다. 소규모 복원지라면 대규모 천연 지역에서의와 같은 수준의 다양성은 이를 수 없을지도 모른다(Atkinson *et al.*, 2004; Wolters *et al.*, 2005). 면적이 100헥타르 이상일 때 종 다양성이 가장 높다는 연구도 있다(Wolters *et al.*, 2005). 일본의 한 복원지에서는 대형 도요새류(도웃과 | *Scolopacidae*)의 개체수가 갯벌을 확장한 후에도 감소하였는데, 이는 해당 면적(2.6헥타르)이 해당 조류종이 이용하기에 너무 좁았기 때문으로 추정된다(Natuhara *et al.*, 2005).

**높이:** 높이는 해당 지역의 범람 정도에 영향을 미치므로 형성되는 서식지는 그 땅의 원래 높이에 크게 영향을 받는다. 장소에 따른 종 다양성은 높은 곳이 많은 염습지에서 가장 높다는 연구도 있다(Wolters et al., 2005). 방조제에 틈을 낸 잉글랜드의 어느 복원 장소는 동절기 물새가 살 수는 있었지만 장소 자체의 높이가 너무 낮아 봄철 조수에 영역 전체가 침수되어 일반적인 섭금류의 번식에는 적절하지 않았다(Badley & Alcorn, 2006). 퇴적물 공급을 유지할 수 있다면 원하는 높이를 유지하는 것도 가능하다. 틈의 크기와 수는 유입되는 퇴적물의 양에 영향을 줄 수 있기에 서식지 발달에도 영향을 준다. 틈을 크게 내거나 촘촘하게 내면 유입되는 퇴적물 양이 늘어나 갯벌보다는 염습지 발달에 유리하다(Morris, 2013). 추가로 성토재를 더할 수도 있지만(보전 안내 시리즈 제 4호 염습지·조간대 복원/조성을 위한 퇴적물 사용 참조), 일반적으로 합리적이라고 생각되는 목표치는 해당 장소의 기존 높이/지형에 따라 결정된다(Mark Dixon, pers. comm.).

**배수:** 배수가 잘되는 염습지는 침식에 강해지고 (Atkinson et al., 2001) 부양할 수 있는 종도 많아진다(Wolters et al., 2005). 배수가 잘되지 않으면 식물종에 영향을 미쳐 습기와 혐기성 조건을 잘 견디는 종이 선호하는 환경이 될 수 있다(Atkinson et al., 2001). 조간대 서식지를 복원할 때는 항상 침수되어있는 곳은 피한다.

**퇴적물:** 갯벌·염습지 서식지의 발달은 퇴적물의 이동 경로, 틈새를 타고 이동할 수 있는 파도 에너지 양 등 전반적인 유체역학적 힘에 대해 지반이 얼마나 안정성을 유지하는가에 달려 있다(Williams & Orr, 2002; Morris, 2013). 퇴적물의 입자 크기 구성, 수분 보유력 및 다져진 정도도 고려해야 한다. 부유 퇴적물이 많은 염하구의 해안선이 조정된 장소 내에 격리된 조건이라면 퇴적물의 축적률이 높아져 펄갯벌이 희생되는 대신 염습지가 빠르게 발달할 수 있다(Mazik et al., 2010). 파도 활동은 가라앉은 퇴적물이 다시 떠오르게 해 퇴적 과정이 느려질 수 있다(Morris, 2013).

**천연 서식지와와의 거리:** 조석(해수 교환)이 복원된 장소를 자연 과정에 맡길 경우, 식생의 출현은 대상 종이 원래 있었던 곳(발원지)과의 거리에 달려 있고 군락을 이루는 것도 이에 따라 달라진다(Bakker et al., 1996; Elsey-Quirk et al., 2009). 염습지 식물의 씨앗은 조수를 타고 도착한다(Malcom Ausden, pers. comm.). 실험해 본 결과 이매패류는 수층을 통해 군집을 이루지만, 다모류는 울타리가 쳐져 있으면 군집을 이루기 어려워 측면 이동이 중요한 것으로 보인다(Negrello Filho et al., 2006). 여기서 거리는 수학적 거리가 아니라 발원지 개체군과의 기능적 거리이다. 복원 지역의 상류 1km 에 있는 발원지가 하류 1km 에 있는 발원지보다 기능적으로 더 가깝다. 종자 분산기 이전에 이 조치를 시행하면 식생이 더 빠르게 군락을 이룰 수 있다(Wolters et al., 2005). 중국에 접한 황해의 많은 지역에서 상부 습지 영역이 개간되어 식생이 군락을 이루는 속도가 느려졌다(David Melville, pers. comm.). 바람직한 식생이 군락을 이루는 속도가 느려지면 그 틈을 타 갯줄풀 같은 침입종이 군락을 이룰 수도 있다.

**무척추동물:** 무척추동물이 다양하게 존재하는 장소는 새들이 이용할 가능성이 높다. 예를 들어, 영국에서는 대형 이매패류가 없는 곳에는 검은머리물떼새(Eurasian Oystercatcher | *Haematopus*

ostralegus)가 나타나지 않았지만, 4년 후 동일한 장소에 염생 이매패류인 *Macoma balthica*가 등장하자 공교롭게도 붉은가슴도요(Red Knot | *Calidris canutus*)가 나타났다(Atkinson *et al.*, 2004).

**식생:** 초기에 지표수의 양이 증가하면 어떤 특수한 새가 번식할 수 있는 장소는 사라질 수도 있지만, 염습지 식생이 회복되면 이상적인 번식 조건을 재조성할 수 있다(Brawley *et al.*, 1998).

**인공 구조물과의 근접성:** 인공 구조물은 포식자의 시야를 가리기 때문에 새들이 피해 가기도 한다(Erftemeijer, 2023). 한 연구에 따르면 복원된 지역 내 섭금류의 종 다양성은 인공 구조물이 가까울수록 낮다(Armitage *et al.*, 2007).

#### 4. 이행

**연안 방어시설 틈새 내기:** 틈 하나의 너비는 20m~150m로 다양하지만(Thom *et al.*, 2002; Mazik *et al.*, 2010; Elliot, 2015), 틈을 여러 개 내는 경우도 있다(Hughes *et al.*, 2009). 필요한 틈새 개수는 조석 범위와 침수 대상 지역의 수심에 따라 다르다(Hand Winterwerp, pers. comm.). 원래 수문이 있는 곳에 틈을 낼 수도 있다(Mark Dixon, pers. comm.). 소조(조금)기에 작업을 시작하고, 최종적으로 뚫는 작업은 대조기가 한 번으로 다 끝내야 한다(Mark Dixon, pers. comm.). 일단 틈을 내버리면 돌이킬 수 없으므로 파낸 물질은 바로바로 실어 날라야 하고, 밀물이 들어왔을 때 기계류가 빠져나갈 통로도 미리 확보해야 한다(Mark Dixon, pers. comm.).

틈이 너무 좁으면 조석(해수 교환)이 제한되어 복원지로 유입되는 퇴적물의 양이 한정적일 수 있고(Williams & Orr, 2002), 틈이 넓으면 비용이 많이 든다. 틈의 크기와 개수는 침수되는 빈도와 깊이, 복원지에 유입되는 퇴적물의 양에 영향을 준다. 물의 흐름이 빠르면 틈새 아랫부분에 세굴공(scour hole)이 생길 수도 있다(Whitehouse, 2006). 기후 변화로 야기된 극심한 기상 이변도 중국에서 태풍이 증가하는 등으로 영향을 줄 수 있다(Huang *et al.*, 2022; David Melville, pers. comm.)

**암거 또는 그 외 개구부 변경:** 물은 암거를 통해 도로 같은 장벽이나 장애물을 통과하거나 그 아래로 흐를 수 있다. 암거를 제거하거나 직경을 늘리면 조석(해수 교환)이 활성화될 수 있다(Streever & Genders, 1997). 조수가 충분히 흐르려면 암거의 직경은 0.75m~2.10m 여야 한다(Barrett & Niering, 1993; Burdick *et al.*, 1996; Brawley *et al.*, 1998; Roman *et al.*, 2002; Buchsbaum *et al.*, 2006; Wolters *et al.*, 2008). 암거 또는 그외 개구부에 조수갑문을 설치하여 조석(해수 교환)을 조절할 수도 있다(Ausden, 2007). 조수갑문은 바다 방향으로 열리는 경첩식 문으로, 밀물이 밀려오는 힘으로 문이 닫히는 방식으로 흐름이 조절될 수 있다. 수위 변화에 따라 문이 열고 닫힐 수 있도록 부자를 이용할 수도 있다(예: Ridgway & Williams, 2021). 전자식으로 작동하는 수문도 사용할 수 있다(Ausden, 2007).

**배수:** 수로를 건설하여 배수를 개선하고 물고기와 무척추동물의 먹이활동지를 조성할 수도 있다(Olmstead & Fell, 1974; West & Zedler, 2000). 또는 쟁기질을 깊게 하여 땅에 있는 기존 배수구에 균열을 내는 방식으로 천연 배수 체계를 만들 수도 있다(Mark Dixon, pers. comm.).



**식생:** 틈새 내기 후 급격한 고사를 방지하기 위하여 침수되기 전에 기존 육지 식생을 잘라내거나 제거할 수도 있는데, 이로 인해 인접한 조석계가 오염될 수 있다(Mark Dixon, pers. comm.). 나아가, 식생에 화학물질을 살포한다면 침수 6 개월 전에 중단하여 조수 내 화학물질 용도가 갑자기 요동치는 것을 막는다(Mark Dixon, pers. comm.).

**담수 확보:** 낮은 독을 쌓거나 석호를 파서 복원지에 들어오는 담수를 침수 전에 확보하면 마실 물이 생기므로 새들에게 복원지의 가치가 올라간다(Mark Dixon, pers. comm.).

**건축벽체(counter wall):** 방어시설이나 "건축벽체"를 새로 지어 조석으로 침수되는 영역을 대상 지역으로 제한할 수 있다(예: Reading *et al.*, 2008). 파도 에너지를 반사하려면 벽면이 곡선을 그리게 한다(Mark Dixon, pers. comm.). 길이 나 있는 경우 건축벽체 위로 우회하게 한다(Mark Dixon, pers. comm.). 원래 조수가 높은 곳까지 닿는 부분에는 건축벽체를 지을 필요가 없다(예: Leeds, 2016). 건축벽체는 건설·유지에 비용이 많이 들기 때문에 조수가 높은 곳까지 닿을 수 있다면 그만큼 비용을 줄일 수 있다(Mark Dixon, pers. comm.).

#### 사례 연구: 스코틀랜드 니그만 보호구역 메닷 습지

니그만 RSPB 보호구역 내 메닷 습지는 해안선 조정으로 스코틀랜드에 처음으로 조성된 염습지이다. 1946 년~1977 년 니그만의 1/3 이상이 사라졌다. 1950 년대 건설한 방조제는 그 앞에 염습지가 없어 파도로 인한 침식이 계속되자 유지관리 비용이 많이 들었다.

RSPB 는 지역 토지 소유주로부터 메닷 습지를 매입하여 재정비 장소로 사용하였다. 2003 년 기존 방조제에 틈을 내었다. 기계 굴착기로 예전 수로가 있던 곳에 20 미터 너비의 틈을 두 개 내어 밀물은 빠르게 들어오고 썰물은 천천히 나가게 하였다. 인근 토지가 침수되지 않도록 2 차 방어시설도 건설하였다.

**틈새 설계의 근거:** 두 개의 틈을 내면 충분히 침수되는 상태에서 식생이 성장하고 갯골이 발달할 수 있는 격리 조건을 유지할 수 있다. 방조제 전체를 철거하면 비용이 너무 많이 들고 쉽터도 사라지게 된다. 방조제에 자연스럽게 틈이 생기기 기다릴 수도 있지만, 전략적으로 위치를 정해 그 부분에 틈을 내는 쪽을 선택하였다.

해당 현장은 방조제에 틈을 내기 전후에 반복적으로 점검하였다. 6 개월이 지나기 전에 염습지 식물이 군락을 이루기 시작하였다. 10 년도 되지 않아 염습지 식생이 우점하여 복원지의 대부분을 덮었고 새의 먹이가 되는 풀에 사는 무척추동물이 보고되었으며 25 종의 섭금류가 최대 2,000 마리까지 기록되었고 퇴적물이 20cm~30cm 높이로 쌓였다. 이를 통해 전체적으로 20 헥타르의 염습지와 5 헥타르의 선구 염습지·갯벌 서식지가 조성되어 니그만 보호구역 내 서식지는 23% 증가하였다. 이 기간에는 방조제 유지보수가 필요 없다.

**출처:** Elliot (2015). 비디오: Restoring salt marsh ([youtube.com/watch?v=aiOI8bjctAw](https://youtube.com/watch?v=aiOI8bjctAw))

## 5. 그 외 정보 출처

**영국 프로젝트 리뷰:** Atkinson P.W., Crooks S., Grant A. & Rehfisch M.M. (2001) *The Success of Creation and Restoration Schemes in Producing Intertidal Habitat Suitable for Waterbirds (ENRR425)*. English Nature Research Reports, No. 425. Natural England (English Nature): Peterborough. Available at: <https://publications.naturalengland.org.uk/publication/63026>

Scott C., Armstrong S., Townend I., Dixon M. & Everard M. (2012) Lessons learned from 20 years of managed realignment and regulated tidal exchange in the UK. In: *Innovative Coastal Zone Management: Sustainable Engineering for a Dynamic Coast*, pp. 365–374. ICE Publishing. <https://doi.org/10.1680/iczm.57494>

**해안선 조정 프로젝트 글로벌 데이터베이스:** ABPmer (ABP Marine Environmental Research Ltd) (2015) <http://www.abpmer.net/omreg>

**뜸새 설계:** Hudson R., Kenworthy J. & Best M. (eds.) (2022) *Saltmarsh Restoration Handbook*. Environment Agency: Bristol, UK. Available at: [https://catchmentbasedapproach.org/wp-content/uploads/2021/10/Saltmarsh\\_Restoration\\_Handbook\\_FINAL\\_20210311.pdf](https://catchmentbasedapproach.org/wp-content/uploads/2021/10/Saltmarsh_Restoration_Handbook_FINAL_20210311.pdf)

**조석 제한:** U.S. Environmental Protection Agency (2020) *Tidal Restriction Synthesis Review: An Analysis of U.S. Tidal Restrictions and Opportunities for their Avoidance and Removal*. Document No. EPA-842-R-20001. Washington, D.C. Available at: [https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-12/documents/tidal\\_restrictions\\_synthesis\\_review\\_final\\_12.01.20.pdf](https://www.epa.gov/sites/default/files/2020-12/documents/tidal_restrictions_synthesis_review_final_12.01.20.pdf)

**염습지 관리:** Adnitt H., Brewer D. Cottle R., Hardwick M., John S. *et al.* (2007) *Saltmarsh Management Manual*. R&D Technical Report SC030220. Environment Agency: Bristol, UK. Available at: [https://assets.publishing.service.gov.uk/media/602bf8d8e90e070556671435/Saltmarsh\\_management\\_manual\\_Technical\\_report.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/media/602bf8d8e90e070556671435/Saltmarsh_management_manual_Technical_report.pdf)

**연안 서식지 보전 관리:** Ausden M. (2007) *Habitat Management for Conservation: A Handbook of Techniques*. Oxford University Press: New York.

## 참고자료

Armitage A.R., Jensen S.M., Yoon J.E. & Ambrose R.F. (2007) Wintering shorebird assemblages and behavior in restored tidal wetlands in Southern California. *Restoration Ecology*, **15**, 139–148. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2006.00198.x>

Atkinson P.W., Crooks S., Drewitt A., Grant A., Rehfisch M.M. *et al.* (2004) Managed realignment in the UK – the first 5 years of colonization by birds. *Ibis*, **146**, 101–110. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2004.00334.x>

Atkinson P.W., Crooks S., Grant A. & Rehfisch M.M. (2001) *The Success of Creation and Restoration Schemes in Producing Intertidal Habitat Suitable for Waterbirds (ENRR425)*. English Nature Research Reports, no. 425. Natural England (English Nature): Peterborough. Available at: <https://publications.naturalengland.org.uk/publication/63026>

Badley R. & Allcorn R.I. (2006) Changes in bird use following the managed realignment at Freiston Shore RSPB Reserve, Lincolnshire, England. *Conservation Evidence*, **3**, 102–105. Available at: <https://conservationevidencejournal.com/reference/pdf/2238>

Bakker J.P., Poschlod P., Strykstra R.J., Bekker R.M. & Thompson K. (1996) Seed banks and seed dispersal: important topics in restoration ecology. *Acta Botanica Neerlandica*, **45**, 461–490. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.1996.tb00806.x>

- Barrett N.E. & Niering W.A. (1993) Tidal marsh restoration: Trends in vegetation change using a geographical information system (GIS). *Restoration Ecology*, **1**, 18–28. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100x.1993.tb00005.x>
- Brawley A.H., Warren R.S. & Askins R.A. (1998) Bird use of restoration and reference marshes within the Barn Island Wildlife Management Area, Stonington, Connecticut, USA. *Environmental Management*, **22**, 625–633. <https://doi.org/10.1007/s002679900134>
- Brockmeyer R.E., Rey J.R., Virnstein R.W., Gilmore R.G. & Earnest L. (1996) Rehabilitation of impounded estuarine wetlands by hydrologic reconnection to the Indian River Lagoon, Florida (USA). *Wetlands Ecology and Management*, **4**, 93–109. <https://doi.org/10.1007/bf01876231>
- Buchsbaum R.N., Catena J., Hutchins E. & James-Pirri M.-J. (2006) Changes in salt marsh vegetation, *Phragmites australis*, and nekton in response to increased tidal flushing in a New England salt marsh. *Wetlands*, **26**, 544–557. [https://doi.org/10.1672/0277-5212\(2006\)26\[544:cismvp\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1672/0277-5212(2006)26[544:cismvp]2.0.co;2)
- Burdick D.M., Dionne M., Boumans R.M. & Short F.T. (1996) Ecological responses to tidal restorations of two northern New England salt marshes. *Wetlands Ecology and Management*, **4**, 129–144. <https://doi.org/10.1007/bf01876233>
- Chang E.R., Veeneklaas R.M., Bakker J.P., Daniels P. & Esselink P. (2016) What factors determined restoration success of a salt marsh ten years after de-embankment? *Applied Vegetation Science*, **19**, 66–77. <https://doi.org/10.1111/avsc.12195>
- Clifton B.C., Hood W.G. & Hinton S.R. (2018) Floristic development in three oligohaline tidal wetlands after dike removal. *Ecological Restoration*, **36**, 238–251. <https://doi.org/10.3368/er.36.3.238>
- Craft C. & Sacco J. (2003) Long-term succession of benthic infauna communities on constructed *Spartina alterniflora* marshes. *Marine Ecology Progress Series*, **257**, 45–58. <https://doi.org/10.3354/meps257045>
- Dagley J.M. (1995) *Northey Island. Managed Retreat Scheme. Results of Botanical Monitoring 1991–1994 (ENRR128)*. English Nature Research Reports no.128. Natural England (English Nature): Peterborough. Available at: <https://publications.naturalengland.org.uk/publication/61063>
- Elliot S. (2015) *Coastal Realignment at RSPB Nigg Bay Nature Reserve*. RSPB: Inverness, Scotland. Available at: <https://panorama.solutions/en/solution/nigg-bay-coastal-realignment>
- Elphick C.S., Meiman S. & Rubega M.A. (2015) Tidal-flow restoration provides little nesting habitat for a globally vulnerable saltmarsh bird. *Restoration Ecology*, **23**, 439–446. <https://doi.org/10.1111/rec.12194>
- Elsley-Quirk T., Middleton B.A. & Proffitt C.E. (2009) Seed dispersal and seedling emergence in a created and a natural salt marsh on the Gulf of Mexico Coast in Southwest Louisiana, U.S.A. *Restoration Ecology*, **17**, 422–432. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100x.2008.00398.x>
- Erttemeijer P.L.A. (2023) *Manila Bay Airport Offset Project - Shorebird Habitat Requirements: Relating Mudflat Characteristics to Invertebrate Fauna and Shorebird Densities*. Technical Report for SMAI. DAMCO Consulting, April 2023, 31 pp.
- Flitcroft R.L., Bottom D.L., Haberman K.L., Bierly K.F., Jones K.K., *et al.* (2016) Expect the unexpected: Place-based protections can lead to unforeseen benefits. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, **26**, 39–59. <https://doi.org/10.1002/aqc.2660>
- Garbutt A. & Wolters M. (2008) The natural regeneration of salt marsh on formerly reclaimed land. *Applied Vegetation Science*, **11**, 335–344. <https://doi.org/10.3170/2008-7-18451>
- Garwood J.A., Allen D.M., Kimball M.E. & Boswell K.M. (2019) Site fidelity and habitat use by young-of-the-year transient fishes in salt marsh intertidal creeks. *Estuaries and Coasts*, **42**, 1387–1396. <https://doi.org/10.1007/s12237-019-00576-4>
- Howe A.J., Rodriguez J.F., Spencer J., MacFarlane G.R. & Saintilan N. (2010) Response of estuarine wetlands to reinstatement of tidal flows. *Marine and Freshwater Research*, **61**, 702–713. <https://doi.org/10.1071/mf09171>
- Hudson R., Kenworthy J. & Best M. (eds.) (2022) *Saltmarsh Restoration Handbook*. Environment Agency, Bristol: UK. Available at: [https://catchmentbasedapproach.org/wp-content/uploads/2021/10/Saltmarsh Restoration Handbook FINAL 20210311.pdf](https://catchmentbasedapproach.org/wp-content/uploads/2021/10/Saltmarsh%20Restoration%20Handbook%20FINAL%2020210311.pdf)

- Hughes R.G., Fletcher P.W. & Hardy M.J. (2009) Successional development of saltmarsh in two managed realignment areas in SE England, and prospects for saltmarsh restoration. *Marine Ecology Progress Series*, **384**, 13–22. <https://doi.org/10.3354/meps08027>
- Kadiri M., Spencer K.L., Heppell C.M. & Fletcher P. (2011) Sediment characteristics of a restored saltmarsh and mudflat in a managed realignment scheme in Southeast England. *Hydrobiologia*, **672**, 79–89. <https://doi.org/10.1007/s10750-011-0755-8>
- Konisky R.A., Burdick D.M., Dionne M. & Neckles H.A. (2006) A regional assessment of salt marsh restoration and monitoring in the Gulf of Maine. *Restoration Ecology*, **14**, 516–525. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100x.2006.00163.x>
- Leeds M. (2016) *Case study 52. Fingringhoe Managed Realignment*, Environment Agency. Available at: <https://www.therrc.co.uk/projects/fingringhoe-managed-realignment>
- Mander L., Cutts N.D., Allen J. & Mazik K. (2007) Assessing the development of newly created habitat for wintering estuarine birds. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **75**, 163–174. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.04.028>
- Mazik K., Musk W., Dawes O., Solyanko K., Brown S., *et al.* (2010) Managed realignment as compensation for the loss of intertidal mudflat: A short term solution to a long term problem? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **90**, 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2010.07.009>
- Morris R.K.A. (2013) Managed realignment as a tool for compensatory habitat creation – A re-appraisal. *Ocean & Coastal Management*, **73**, 82–91. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.12.013>
- Mossman H.L., Davy A.J. & Grant A. (2012) Does managed coastal realignment create saltmarshes with 'equivalent biological characteristics' to natural reference sites? *Journal of Applied Ecology*, **49**, 1446–1456. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2012.02198.x>
- Natuhara Y., Kitano M., Goto K., Tsuchinaga T., Imai C., *et al.* (2005) *Mitigation and Habitat Creation on Reclaimed Land in Osaka Port. Proceedings 4th International Urban Wildlife Symposium*, pp. 283–290. Tuscon, Arizona. Available at: <https://cales.arizona.edu/pubs/adjunct/snr0704/>
- Negrello Filho O.A., Underwood A.J. & Chapman M.G. (2006) Recolonization of infauna on a tidal flat: An experimental analysis of modes of dispersal. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **328**, 240–250. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2005.07.008>
- Olmstead N.C. & Fell P.E. (1974) Bulletin No. 20: Tidal marsh invertebrates of Connecticut. *Bulletins*, Paper 19. Available at: <http://digitalcommons.conncoll.edu/arbbulletins/19>
- Reading C., Garbutt R.A., Watts C.W., Rothery P., Turk A., *et al.* (2008) *Managed Realignment at Tollesbury*. R&D Technical Report FD1922/TR. DEFRA: London. Available at: [https://assets.publishing.service.gov.uk/media/602e57688fa8f54334a5a622/Managed\\_realignment\\_at\\_Tollesbury\\_-\\_Technical\\_Report\\_.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/media/602e57688fa8f54334a5a622/Managed_realignment_at_Tollesbury_-_Technical_Report_.pdf)
- Rochlin I., James-Pirri M.-J., Adamowicz S.C., Wolfe R.J., Capotosto P., *et al.* (2012) Integrated marsh management (IMM): A new perspective on mosquito control and best management practices for salt marsh restoration. *Wetlands Ecology and Management*, **20**, 219–232. <https://doi.org/10.1007/s11273-012-9251-9>
- Roman C.T., Raposa K.B., Adamowicz S.C., James-Pirri M.-J. & Catena J.G. (2002) Quantifying vegetation and nekton response to tidal restoration of a New England salt marsh. *Restoration Ecology*, **10**, 450–460. <https://doi.org/10.1046/j.1526-100x.2002.01036.x>
- Rupp-Armstrong S. & Nicholls R.J. (2007) Coastal and estuarine retreat: A comparison of the application of managed realignment in England and Germany. *Journal of Coastal Research*, **236**, 1418–1430. <https://doi.org/10.2112/04-0426.1>
- Slavin P. & Shisler J.K. (1983) Avian utilisation of a tidally restored salt hay farm. *Biological Conservation*, **26**, 271–285. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(83\)90078-2](https://doi.org/10.1016/0006-3207(83)90078-2)
- Streever W.J. & Genders A.J. (1997) Effect of improved tidal flushing and competitive interactions at the boundary between salt marsh and pasture. *Estuaries*, **20**, 807–818. <https://doi.org/10.2307/1352253>
- Thom R.M., Zeigler R. & Borde A.B. (2002) Floristic development patterns in a restored elk river estuarine marsh, Grays Harbor, Washington. *Restoration Ecology*, **10**, 487–496. <https://doi.org/10.1046/j.1526-100x.2002.01038.x>

West J.M. & Zedler J.B. (2000) Marsh-creek connectivity: Fish use of a tidal salt marsh in Southern California. *Estuaries*, **23**, 699–710. <https://doi.org/10.2307/1352896>

Williams P.B. & Orr M.K. (2002) Physical evolution of restored breached levee salt marshes in the San Francisco Bay estuary. *Restoration Ecology*, **10**, 527–542. <https://doi.org/10.1046/j.1526-100x.2002.02031.x>

Wolters M., Garbutt A. & Bakker J.P. (2005) Salt-marsh restoration: Evaluating the success of de-embankments in North-West Europe. *Biological Conservation*, **123**, 249–268. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.11.013>

Wolters M., Garbutt A., Bekker R.M., Bakker J.P. & Carey P.D. (2008) Restoration of salt-marsh vegetation in relation to site suitability, species pool and dispersal traits. *Journal of Applied Ecology*, **45**, 904–912. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01453.x>

Wu Y., Liu J., Yan G., Zhai J., Cong L., et al. (2020) The size and distribution of tidal creeks affects salt marsh restoration. *Journal of Environmental Management*, **259**, 110070. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110070>

**자문단:** Malcom Ausden, (RSPB, UK), Hyun-Ah Choi, (Hanns Seidel Foundation, South Korea), Chi-Yeung Choi, (Duke Kunshan University, China), Mark Dixon, (RSPB, UK), Qiang He (Fudan University, China), Micha V. Jackson, (CSIRO, Australia), Yifei Jia (Beijing Forest University, China), Wenhai Lu (National Marine Data and Information Service, China), David Melville (Global Flyway Network, New Zealand), Spike Millington (International Crane Foundation, USA), Taej Mundkur (Wetlands International, The Netherlands), Han Winterwerp (Delft University of Technology, The Netherlands), Fokko van der Goot, (Boskalis and EcoShape, The Netherlands), Hongyan Yang (Beijing Forest University, China)

이 편람은 국내외 다양한 자료를 문헌검토하고 전문가의 고견을 바탕으로 철저한 평가를 거쳐 작성하였습니다. 이 편람의 목적은 전 세계 연안 서식지 복원 노력에 참고할 수 있는 실용적인 정보와 권고 사항을 제공하는 것입니다. 이 편람을 활용하는 전문가와 실무자는 자신의 전문 지식과 판단을 바탕으로 상황별 특징과 요건에 맞게 적절하게 수정하여 사용하기 바랍니다. 이 편람을 참고하여 발생하는 결과에 대한 책임은 전적으로 사용자에게 있습니다.



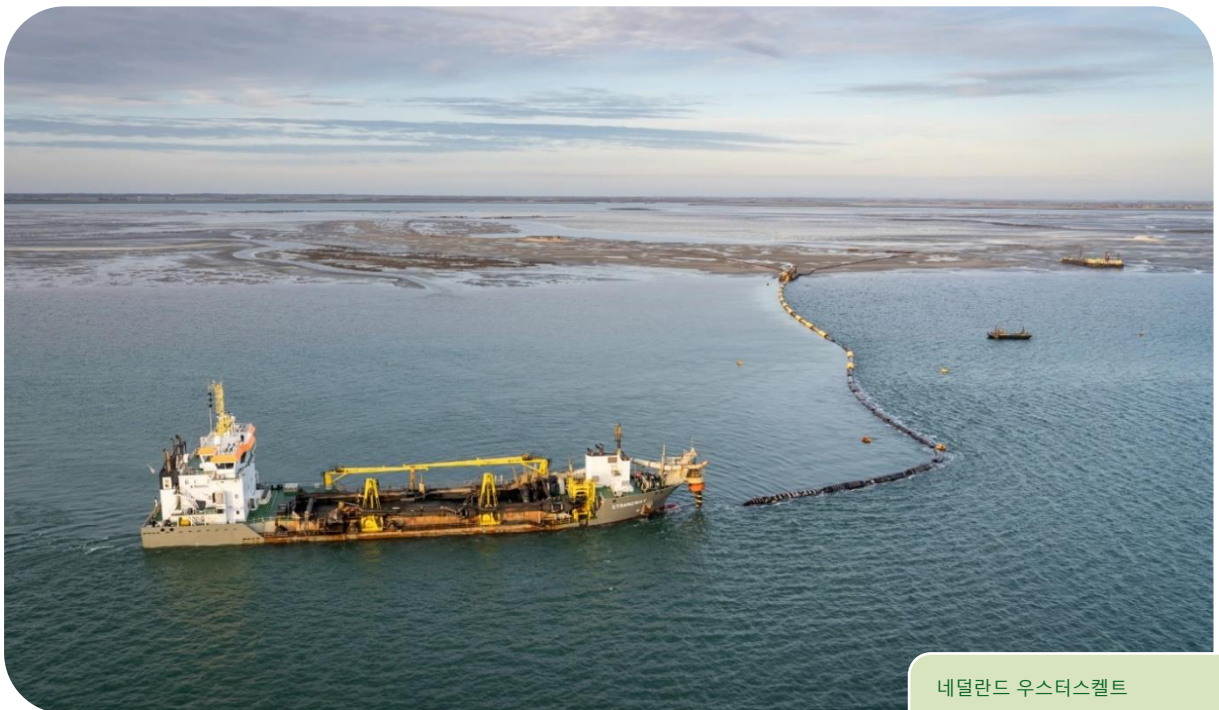
## 염습지·조간대 복원/조성을 위한 퇴적물 사용 안내

**Vanessa Cutts<sup>1</sup>, Paul L.A. Erfteimeijer<sup>2</sup>, Nigel G. Taylor<sup>1</sup>, Lorenzo Gaffi<sup>3</sup>, Ward Hagemeyer<sup>3</sup> & William J. Sutherland<sup>1</sup>**

1 케임브리지 대학교 동물학과 보전과학그룹 | Conservation Science Group, Department of Zoology, University of Cambridge, UK

2 웨스턴 오스트레일리아 대학교 생물과학대학 /UWA 해양연구소 | School of Biological Sciences and Oceans Institute, University of Western Australia

3 네덜란드 국제습지협회 | Wetlands International, The Netherlands



네덜란드 우스터스켈트  
로흐헌플랏섬 갯벌 퇴적물 양빈  
[제공: Edwin Paree]

완료일: 2024 년 5 월 4 일



인용표기: Cutts V., Erfteimeijer P.L.A., Taylor N.G., Gaffi L., Hagemeyer W. & Sutherland W.J. (2024) 습지·조간대 복원/조성을 위한 퇴적물 사용 안내. 보전 안내 시리즈 제 4 호 v1.0 (국문). <https://doi.org/10.52201/CGSKOR/CQRL8734>

## 과업목표: 조간대 서식지 조성 또는 복원

### 정의

- **저서성 무척추동물:** 수층 바닥에 사는 무척추동물  
(대형: >1 mm, 중형: < 1 mm).
- **생물막:** 미생물이 대개 표면에 서로 달라붙어 있는 군집
- **준설 퇴적물:** 항구, 호수, 강, 바다 같은 수역의 바닥에서 제거된 퇴적물/토석
- **준설물 인공섬:** 준설 퇴적물을 조절하는 방식으로 처리하여 조성한 인공 섬
- **조간대 재충전:** 준설된 퇴적물로 연안 서식지를 복원하는 것
- **조간대:** 만조와 간조 사이 영역

### 1. 설명

퇴적물을 이용하여 갯벌과 염습지를 복원하는 방법이 있다. 대량의 퇴적물을 쌓아 물리적 구조물을 만드는 것이다. 침식, 해수면 상승, 지반 침하, 강·바다의 퇴적물 배출 감소 같은 위험이 발생하면 퇴적물을 더하여 완화할 수 있다. 댐 철거 등 하천 상류의 퇴적물 흐름을 조종하는 방식은 다루지 않았다.

제대로 기능하는 갯벌·염습지 생태계를 조성하려면 해당 지역에서 우세한 유체역학적 힘, 조수 및 그 외 환경 조건을 고려하여 천연 갯벌·염습지의 형태와 구성을 최대한 모방하는 것을 목표로 삼는다. 그렇지 않으면 해당 서식지의 장기적(동적) 안정성을 보장하기 어렵다. 과거의 지형도와 위성 이미지를 연구하는 것도 갯벌·염습지였던 지역의 재구성에 유용하다.

### 2. 생물다양성에 미치는 영향에 대한 근거

**새:** 섭금류가 준설토를 서식지로 사용하는 것은 문서로 잘 정리되어 있다(Golder *et al.*, 2008; Yoon *et al.*, 2018; ABPmer, 2020). 천연 갯벌과 인공 갯벌 모두 섭금류의 서식지가 될 수 있지만, 형성되는 조류 군집이 동일한지는 아직 완전히 밝혀지지 않았다(Atkinson, 2003). 섭금류가 인공 갯벌·섬을 얼마나 빨리 이용할지 여부는 해당 갯벌·섬이 어떤 기능을 하도록 설계되었느냐에 달려 있다. 휴식지로 조성된 개방되고 마른/얕은 물이 있는 곳은 섭금류 개체군이 이미 이용하고 있는 충분한 먹이활동지가 근처에 있다면 즉시 이용된다. 먹이활동지와 거리, 번식지로서의 적합성(포식자 접근 차단, 방해 최소화)도 중요한 결정 요인이다. 마른 번식지의 경우, 식생으로 덮인 면적이 필요한 만큼 조성되면(대상 종에 따라 아예 필요 없을 수도 있고 상당한 면적일 수도 있음) 이후 번식기에 이미 이용하고 있는 새들의 모습을 볼 수 있다(보전 안내 시리즈 제 13 호 "섭금류를 위한 식생 관리/정리" 참조). 먹이활동지의 경우, 조성된 갯벌은 무척추동물의 개체군이 형성되어 있어야 비로소 기능할 수 있기 때문에 무척추동물이 군집을 형성할 시간이 필요하다(Evans *et al.*, 1999).

**무척추동물:** 저서성 대형무척추동물은 조성된 갯벌로 이주할 수 있으며, 개체수는 천연 갯벌과 비슷한 수준까지 증가할 수 있다. 예를 들어, 일본 아고만에서 진행된 한 연구에서는 20 개월 동안

인근 천연 갯벌과 비교하자 대형 저서동물군의 생물량은 비슷하거나 오히려 더 풍부했다. 일본 모우네만에서는 지진과 쓰나미 발생 후 복원된 갯벌에는 14 개월이 지나자 주로 어린 조개로 이루어진 다양하고 풍부한 저서 동물군이 서식하는 것으로 밝혀졌다(Chiba *et al.*, 2015). 다만, 군집 구조가 완전히 발달하여 천연의 상태처럼 되려면 수십 년이 걸릴 수도 있다(Craft & Sacco, 2003; Bolam *et al.*, 2006; Reading *et al.*, 2008).

다모류는 가장 먼저 군집을 형성하는 선구종으로 서식지를 가리지 않지만(Diaz-Castañeda & Reish, 2009) 그 이후 후손들은 방해 정도에 따라 달라질 수 있으며(Zajac & Whitlatch, 1982) 기존 퇴적물과 추가된 준설 퇴적물의 차이에 반응하여 다양한 모습을 보일 수도 있다(Imai *et al.*, 2008; Ishii *et al.*, 2008; Nasser *et al.*, 2019). 무척추동물이 군집이 늦게 형성되는 것에 주목한 영국의 한 연구에 따르면 중장비로 땅이 과도하게 눌린 것이 원인이었다(Evans *et al.*, 1999). 종의 분산력도 새로운 장소에 군집을 형성하기까지 걸리는 시간에 영향을 준다(Craft & Sacco, 2003).

**식생:** 염습지 식생은 준설 퇴적물 위에서 저절로 자랄 수도 있지만 걸리는 시간은 지역마다 다르다. 예를 들어, 미국 루이지애나의 경우 준설 퇴적물을 바다로 밀어내어 염습지를 조성하였다(Edwards & Proffitt, 2003). 이렇게 조성된 습지에는 인근 천연 습지에서 유래한 군집이 자리를 잡았지만 해당 군집이 천연 습지와 비슷해지기까지는 4 년~17 년이 걸렸다. LaSalle 외(1991)에 따르면 미국 사우스캐롤라이나주에서는 퇴적물 조성지의 식생 생물량은 4 년 내에 천연 습지와 비슷한 수준에 도달하였다. 추가 연구에 따르면 퇴적물 조성지에서 단일 식생 발달은 6 년~17 년, 혼합 군락은 최소 13 년이 걸렸다(Alphin & Posey, 2000). 퇴적물 조성지에서 발달하는 식생 군집은 천연 습지와 다를 수 있다. 예를 들어 Edwards & Proffitt (2003)은 조성 후 8 년이 지나서야 현장 한 곳의 식물 군집이 다르다는 것을 발견하였다.

### 3. 결과에 영향을 미칠 수 있는 요인

**퇴적물 특성:** 퇴적물 구성 차이(예: 입자 크기, 유기:무기 비율)는 생물 다양성의 발달과 발현 방식에 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어, 입자가 거칠거나 압축된 퇴적물을 사용하면 저서성 무척추동물에 대한 적합성이 떨어질 수 있으며(Evans *et al.*, 1999; Peterson *et al.*, 2006), 최종 목표가 염습지 조성인 경우 식생 형성이 어려울 수 있다(Haltiner *et al.*, 1996). 일본의 한 갯벌 모의시험장치에서 중간 규모(3.6m<sup>2</sup>)의 인공 갯벌 두 곳을 조성한 시범 연구에 따르면 미사와 점토의 비율을 높이면 대형 무척추동물의 출현 수가 증가하였다(Ishii *et al.*, 2008). 영국의 한 실험에서는 유기물 함량이 높을수록 복원 속도가 느려졌다(Bolam *et al.*, 2004). 갯벌·염습지 내 퇴적물의 특성은 전 세계적으로 다양하다. 예를 들어, 미국의 연안 토양은 영국에 비해 퇴적물보다 이탄에 기반하는 경우가 많다(Atkinson, 2003).

**연안선 파도 작용/격리:** 복원지의 노출 정도와 파도의 강도는 퇴적물의 침식 속도에 영향을 준다. 침식 속도가 빠른 곳은 정기적으로 퇴적물을 추가해야 할 수도 있다. 또는 고운 퇴적물로 구성된 곳이라면 굵은 입자로 바꾸거나 보호하면 침식을 줄이거나 방지할 수 있다(다만, 입자 크기 변화가 퇴적물의 특성 및 생물다양성에 미치는 영향을 고려한다. 상기 참조). 노출된 곳이라면 영구/임시

방파제를 설치하면 에너지를 분산하거나 퇴적물을 가두어 침식을 제어할 수 있다(Zhang *et al.*, 2010; Pontee *et al.*, 2022). 갯벌을 격리하면 염습지 식생이 바다 쪽을 확장되게 할 수 있다(Chowdhury *et al.*, 2019). 해류는 조간대 무척추동물의 이동에 영향을 줄 수 있다(예: 네덜란드 델플란트 연안의 "대형 양빈 사업" 참조. Luijendijk & van Oudenhoven, 2019)

**높이:** 퇴적물을 쌓는 높이에 따라 침수 기간과 빈도, 갯벌의 노출 부위가 결정된다. 복원지는 대부분 평균 간조와 평균 만조 사이에 있어야 하지만, 다양한 종을 지원하려면 약간의 차이를 두어야 한다(보전 안내 시리즈 제 5 호 염습지·조간대 재정비 참조).

**경사:** 경사를 낮추면 조성되는 조간대의 넓이가 넓어진다. 지금까지의 결과로 보면 일반적인 경사는 0.04 또는 1:1000 미만이 바람직하다(WAVE, 2001).

**배수:** 배수가 잘되는 습지는 침식에 강하고(Atkinson *et al.*, 2001), 생물종도 더 다양하게 부양할 수 있다(Wolters *et al.*, 2005). 배수가 잘되지 않으면 식물종에 영향을 미쳐 습기와 혐기성 조건을 잘 견디는 종이 선호하는 환경이 될 수 있다(Atkinson *et al.*, 2001).

**오염:** 오염물질은 복원지/신규 조성지의 생물다양성에 부정적인 영향을 미친다. 양식장 폐수, 하수, 기름 같은 화학 오염물질부터 어망 같은 대형 고체 폐기물 등 오염물질의 종류도 다양하다(예: Melville, 2018). 인도네시아 갯벌을 연구해 보니 쓰레기가 있으면 십각 갑각류, 빈모류가 대형동물군집의 상당 부분을 차지하는 반면, 쓰레기가 없는 지역은 다모류가 우세하였다(Uneputtu & Evans, 1997). 오염물질이 존재하거나 존재할 가능성이 있다면 갯벌 및/또는 오염원에서 관리할 수 있는지 고려한다.

**온도:** 수온이 높은 열대 지역에서는 소형 저서성 무척추동물이 다시 군집을 이루는 속도가 다른 지역보다 빨랐다(Dittman, 2002).

#### 4. 이행

**퇴적물 확보:** 항구, 수로 같은 인프라와 운송 통로를 항해에 계속 이용하려면 준설 작업을 하게 마련이며(Sheehan & Harrington, 2012), 작업 결과물인 준설 퇴적물을 처리하려면 상당한 비용이 든다(Svensson *et al.*, 2022). 따라서 이러한 준설 퇴적물은 무료나 다름없이 받아들일 수 있지만 운송 비용이 발생하게 된다. 인근 지역에서 퇴적물을 조달하는 것이 운송 측면에서 가장 비용 효율적일 수 있으며, 퇴적물 자체도 복원예정지의 천연 퇴적물과 유사할 가능성이 높다(Erftemeijer, 2019). 항구, 석호, 후미 등이 포함된다. 네덜란드 더 잔트모터(De Zandemotor) 같은 대규모 퇴적물 조성지의 경우 재료를 멀리 떨어진 연안에서 조달해야 한다면 비용이 많이 들 수 있다(Stive *et al.*, 2013). 준설 퇴적물은 대개 미사, 모래, 점토이다(Costa-Pierce & Weinstein, 2002). 퇴적물을 보충할 지역이 재료를 운반할 선박이 접근할 수 있는 곳, 즉 준설선이 화물을 적재한 상태로 작업할 수 있는 수심인지 파악해야 한다(Baptist *et al.*, 2019).



**퇴적물의 양/높이:** 갯벌, 염습지 등 대상 서식지에 따라 다르지만 일반적으로 퇴적물은 만조 시 바다에 덮여 있고 간조 시 드러나는 정도로 쌓아야 한다. 다만 과업목표가 섭금류 번식지 조성이라면 만조선보다 높이 쌓아야 한다. 영국의 12 가지 조간대 퇴적물 재충전 사업에서 일회성 퇴적물 배치량은 800m<sup>3</sup>~ 550,000m<sup>3</sup>, 연간 배치량은 600m<sup>3</sup>~ 107,750m<sup>3</sup>으로 다양했다(Scott et al., 2017).

**퇴적물 이동 및 배치:** 대량의 퇴적물을 옮기려면 중장비와 숙련된 노동력이 필요하다. 퇴적물은 필요한 곳에 정확하게 쌓거나 해류와 파도를 타고 퍼지게 할 수도 있다. 후자의 경우 퇴적물을 동적인 위치에 쌓으면 더 쉽게 퍼질 수 있다(Borsje et al., 2012). 퇴적물로 다양한 지형을 조성하여 생물다양성을 확보하는 방법은 여러 가지이다. 예를 들어 준설물 현탁액을 운반하는 파이프라인에 배출점을 여러 곳 만들어 목표 지점으로 배출하게 하거나 배출점(파이프라인 말단)을 주기적으로 옮겨 다양한 입자로 여러 각도를 만들고 갯벌 전체에 표면 고도가 다른 다양한 공간(미세 지형)을 조성할 수 있다(Erftemeijer, 2024). 준설 퇴적물의 이동과 배치는 퇴적물이 다시 떠오르게 하므로 조류의 번식기간과 무척추동물의 분산 기간을 고려해야 한다(Golder et al., 2008; Van Der Werf et al., 2015). 나아가 중장비로 퇴적물을 퍼뜨릴 경우 땅이 과도하게 다져져 무척추동물의 서식지를 파괴할 수 있으므로 주의해야 한다(Evans et al., 1999).

**배수:** 수로를 건설하여 배수를 개선하고 물고기와 무척추동물의 먹이활동지를 조성할 수도 있다(Olmstead & Fell, 1974; West & Zedler, 2000). 또는 쟁기질을 깊게 하여 땅에 있는 기존 배수구에 균열을 내는 방식으로 천연 배수 체계를 만들 수도 있다(Mark Dixon, pers. comm.).

**오염된 준설물:** 준설물 자체가 중금속으로 오염되어 식생과 그 외 야생생물이 빨아들일 수 있으므로 주의한다. 오염된 퇴적물은 피해야 하지만 불가피한 경우 깨끗한 지반으로 덮되 최소 60cm 이상 덮는 것이 이상적이다(Yozzo et al., 2004).

**식생 관리:** 최종 목표가 갯벌 조성인 경우 식생이 군집을 이루지 못하도록 막거나 제거해야 할 수도 있다(예: 수작업, 화학 제초제 사용, 화염·침수·염도 조정으로 제어). 풀갯벌이 침수되는 기간은 맹그로브가 건널 수 있는 기간보다 길기 때문에(식재 작업의 실패로 이어짐) 갯벌에 맹그로브를 심어서는 안 된다. 설령 성공하더라도 이 작업은 한 서식지를 다른 서식지로 대체하는 것이므로 갯벌이 제공하는 고유의 가치를 잃게 된다(Erftemeijer & Lewis, 2000). 기회성 조류(藻類)인 홍조류(Agarophyton)(Besterman et al., 2020), 갈파래속(Ulva)(Zhang et al., 2019), 남조류(Lyngby)(Estrella et al., 2011)의 대량 발달 등 다른 식생의 잠식도 피해야 한다(보전 안내 시리즈 제 7 호 "조간대 식생 관리" 참조).

**물:** 정기적으로 해수가 들어왔다 나가면 유생 공급이 늘어나 대형 저서생물 개체군을 보충하고 식생이 갯벌을 잠식하지 못하게 막을 수 있다(Jackson et al., 2021). 담수를 일부 유입하면 영양분 공급과 유기물 유입을 촉진할 수 있지만(생물막 형성에 유리하고 저서생물량이 늘어남), 폐수 배출과 하수 유출은 갯벌의 해조류 번식을 촉진하여 갯벌의 다양성이 감소하고 섭금류의 흥미를 떨어뜨릴 수 있으므로 피한다(Estrella et al., 2011; Besterman et al., 2020 참조). 갯벌에서 젖은 땅은 대형 무척추동물의 서식지가 되어 섭금류가 먹이활동을 할 수 있고, 식생이 일부 있는 마른

땅은 새들의 번식지가 되며, 개방된 마른 땅은 새들의 휴식지가 될 수 있다. 다만, 종마다 요건이 다르다. 예를 들어, 넓적부리도요(*Calidris pygmaea*)는 얇은 웅덩이가 있고 모래가 많은 지반을 선호한다(Spike Millington, pers. comm.).



대량의 퇴적물을 옮기려면 중장비와 숙련된 노동력이 필요하다. 여기서 퇴적물은 배로 운반되어 파이프라인을 타고 목표 지점으로 이동한다. 위치: 네덜란드 우스터스켈트 로르헨플랏 [제공: Edwin Paree]



물에서도 물에서도 파이프를 이용하여 침전물을 필요한 곳으로 운반할 수 있다. 네덜란드 우스터스켈트. 작업 결과는 다음 페이지 사진을 참조한다. [제공: Edwin Paree]



네덜란드 우스터스켈트 로흐헌플랏섬에 준설 퇴적물로 조성한 갯벌(앞 페이지 사진 두 장을 참조한다) [제공: Edwin Paree]

### 사례 연구: 네덜란드 할허플랏(Galgeplaat)

할허플랏 갯벌은 염하구였던 네덜란드 스킨트 동부에 있다. 섭금류 같은 조류의 중요한 먹이활동지이지만 침식이 진행되고 있다. 할허플랏은 침식 완화의 효과를 조사하기 위해 시작된 여러 시범 사업 중 하나였다.

2008년에는 150,000m<sup>2</sup>~200,000m<sup>2</sup>의 면적에 130,000m<sup>3</sup>의 퇴적물이 추가되었다. 퇴적물은 두 곳의 갯벌 수로(Brabantsche Vaarwater, Witte Tonnen Vlije)를 유지·보수하기 위한 준설 작업 과정에서 얻었다. 퇴적물의 펄 함량은 7% 미만이었고 주변에 그대로 있던 퇴적물보다 입자가 거칠었다. 퇴적물 배치 후 해당 지역 영양층의 높이는 평균 0.65m였다.

초기 계획은 퇴적물을 배치하여 주변 지역에 모래를 공급하는 것이었다. 그러나 처음 2년 동안 모래가 많이 퍼지지 않았다. 지형이 다양하고 동적인 위치에 퇴적물을 배치하면 모래 확산이 활성화될 것으로 추측하였다(Borsje *et al.*, 2012). 4년 후 퇴적물의 양은 10% 감소하여 주변 환경보다 침식 속도가 빨랐다.



퇴적물로 인해 이 지역 내 많은 저서성 대형 동물이 파묻혀 죽었고 그 결과 새들이 먹이활동을 위해 머무르는 시간도 줄었다. 그러나 생물은 바로 회복하기 시작하였다. 조석 주기가 길어지는 동안 젖어 있던 지역에서 무척추동물의 회복률이 가장 높았다. 퇴적물을 공급하고 2년 후 할허플랏의 전체 평균 무척추동물 생물량은 기준지역과 비슷한 수치에 도달하였고, 새들의 먹이활동 시간은 퇴적물을 공급하기 전 수준으로 증가하였다. 마도요(*Numenius arquata*)와 검은머리물떼새(*Haematopus ostralegus*)는 다시 돌아왔지만, 붉은가슴도요(*Calidris canutus*), 큰뒷부리도요(*Limosa lapponica*), 개평(*Pluvialis squatarola*), 민물도요(*Calidris alpina*) 같은 섭금류는 먹이가 풍부해도 돌아오지 않았다.

**출처:** Borsje *et al.* (2012); van der Werf *et al.* (2015)

## 5. 그 외 유용한 자료

### 문서

**조류를 위해 준설물로 조성한 미국 내 섬 관리:** Golder W., Allen D., Cameron S. & Wilder T. (2008) *Dredged Material as a Tool for Management of Tern and Skimmer Nesting Habitats*. Technical note: ERDC TN-DOER-E24. U.S. Army Engineer Research and Development Center: Vicksburg, USA. <http://hdl.handle.net/11681/8757>

**연안 환경에서 준설물 이용 작업 안내:** Manning W., Scott C. & Leegwater E. (2021) *Restoring Estuarine and Coastal Habitats with Dredged Sediments: A Handbook*. Environment Agency: Bristol, UK. Available at: <https://catchmentbasedapproach.org/learn/restoring-estuarine-and-coastal-habitats-with-dredged-sediment/>

**연안 관리 및 갯벌 조성:** WAVE (2001) *Technologies for the Conservation and Creation of Tidal Flats. Guideline for the Conservation and Creation of Ecosystems in relation to Coastal Development*, Volume 2. Technical Report, March 2001. Waterfront Vitalization and Environment Research Center (WAVE): Tokyo (Japan). 113 pp. Available at: [https://www.wave.or.jp/eng/activities/handbook\\_cr\\_2.html](https://www.wave.or.jp/eng/activities/handbook_cr_2.html)

**사례 연구 모음 및 조석 복원지 관리 안내 원칙:** Zedler J.B. (2001) *Handbook for Restoring Intertidal Wetlands*. CRC Press: Florida. <https://doi.org/10.1201/9781420036619>

**연안 서식지 보전 관리:** Ausden M. (2007) *Habitat Management for Conservation: A Handbook of Techniques*. Oxford University Press: New York.

### 비디오

**영국에서 준설물을 살포하는 드론 촬영 영상:** Pullen J. (2021, November 05) *MHPT, Harwich HA, Environment Agency, RSPB* [video]. YouTube. [www.youtube.com/watch?v=tb1ko3yesOM](https://www.youtube.com/watch?v=tb1ko3yesOM)

영국에서 플로팅 파이프라인으로 모래를 배치하는 드론 영상: Pullen J. (2021, November 17) Cob marsh sand placement [video]. YouTube. [www.youtube.com/watch?v=nFIAbRI-IQ0](https://www.youtube.com/watch?v=nFIAbRI-IQ0)

아시아 최대 흡입 커터 준설선: China Daily (2016, November 16) *China unveiled Asia's largest cutter-suction dredger "Tian Kun Hao"* [video]. YouTube. [www.youtube.com/watch?v=voAaX0v6Pk0](https://www.youtube.com/watch?v=voAaX0v6Pk0)

수륙양용 차량으로 준설 퇴적물 구역 조성: Solent Seascape Project (2023, July 26) Saltmarsh restoration - the BUDs trial [video]. YouTube. [www.youtube.com/watch?v=OIPMepSmdc0](https://www.youtube.com/watch?v=OIPMepSmdc0)

## 참고자료

AbBPmer (2020) *Beneficial Use of Dredge Sediment in the Solent (BUDS) Phase 2, Feasibility Review for Sediment Recharge Project(s) on the West Solent Saltmarshes*, ABPmer Report No. R.3155. A report produced by ABPmer for Solent Forum, February 2020. Available at: [http://www.solentforum.org/services/Current Projects/buds/BUDS2Report\\_ABPmer.pdf](http://www.solentforum.org/services/Current%20Projects/buds/BUDS2Report_ABPmer.pdf)

Alphin T.D. & Posey M.H. (2000) Long-term trends in vegetation dominance and infaunal community composition in created marshes. *Wetlands Ecology and Management*, **8**, 317–325. <https://doi.org/10.1023/A:1008435319922>

Atkinson P.W., Crooks S., Grant A. & Rehfisch M.M. (2001) *The Success of Creation and Restoration Schemes in Producing Intertidal Habitat Suitable for Waterbirds (ENRR425)*. English Nature Research Reports, no. 425. Natural England (English Nature): Peterborough. Available at: <https://publications.naturalengland.org.uk/publication/63026>

Atkinson W. (2003) Can we recreate or restore intertidal habitats for shorebirds? *Wader Study Group Bulletin*, **100**, 67–72. Available at: [https://www.bto.org/sites/default/files/publications/atkinson\\_2003\\_wader\\_bulletin.pdf](https://www.bto.org/sites/default/files/publications/atkinson_2003_wader_bulletin.pdf)

Baptist M.J., Gerkema T., van Prooijen B.C., van Maren D.S., van Regteren M., *et al.* (2019) Beneficial use of dredged sediment to enhance salt marsh development by applying a 'Mud Motor.' *Ecological Engineering*, **127**, 312–323. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.11.019>

Besterman A.F., Karpanty S.M. & Pace M.L. (2020) Impact of exotic macroalga on shorebirds varies with foraging specialization and spatial scale. *PLoS ONE*, **15**, e0231337. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231337>

Bolam S.G., Schratzberger M. & Whomersley P. (2006) Macro- and meiofaunal recolonisation of dredged material used for habitat enhancement: Temporal patterns in community development. *Marine Pollution Bulletin*, **52**, 1746–1755. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.07.010>

Bolam S.G., Whomersley P. & Schratzberger M. (2004) Macrofaunal recolonization on intertidal mudflats: Effect of sediment organic and sand content. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **306**, 157–180. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2004.01.007>

Borsje B.W., Cronin K., Holzhauser H., Mesel I.D., Ysebaert T., *et al.* (2012) Biogeomorphological interactions on a nourished tidal flat: Lessons learnt on building with nature. *Terra et Aqua*, **126**, 3–12. Available at: <https://www.iadc-dredging.com/article/biogeomorphological-building-nature/>

Chiba S., Sonoda T., Hatakeyama M. & Yokoyama K. (2015) Contributing to restoration of tidal flats in Miyagi Prefecture's Moun Bay following the great east Japan earthquake and tsunami. In: *Agricultural and Forestry Reconstruction After the Great East Japan Earthquake* (ed. by T. Monma, I. Goto, T. Hayashi, H. Tachiya & K. Ohsawa), pp. 113–119. Springer Japan: Tokyo. [https://doi.org/10.1007/978-4-431-55558-2\\_7](https://doi.org/10.1007/978-4-431-55558-2_7)

Chowdhury M.S.N., Wallis B., Sharifuzzaman S.M., Shahadat Hossain M., Ysebaert T., *et al.* (2019) Oyster breakwater reefs promote adjacent mudflat stability and salt marsh growth in a monsoon dominated subtropical coast. *Scientific Reports*, **9**, 8549. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-44925-6>

Costa-Pierce B.A. & Weinstein M.P. (2002) Use of dredge materials for coastal restoration. *Ecological Engineering*, **19**, 181–186. [https://doi.org/10.1016/S0925-8574\(02\)00076-9](https://doi.org/10.1016/S0925-8574(02)00076-9)



- Craft C. & Sacco J. (2003) Long-term succession of benthic infauna communities on constructed *Spartina alterniflora* marshes. *Marine Ecology Progress Series*, **257**, 45–58. <https://www.int-res.com/abstracts/meps/v257/p45-58/>
- Diaz-Castañeda V. & Reish D. (2009) Polychaetes in environmental studies. In: *Annelids in Modern Biology*. (ed. by D. Shain), pp. 203–227. *Wiley-Blackwell*. <https://doi.org/10.1002/9780470455203.ch11>
- Dittmann S. (2002) Benthic fauna in tropical tidal flats – a comparative perspective. *Wetlands Ecology and Management*, **10**, 189–195. <https://doi.org/10.1023/A:1020119512225>
- Edwards, K.R. & Proffitt, C.E. (2003) Comparison of wetland structural characteristics between created and natural salt marshes in southwest Louisiana, USA. *Wetlands*, **23**, 344–356. <https://doi.org/10.1672/10-20>
- Ertfemeijer P.L.A. (2024) Design considerations for the creation and restoration of tidal flat habitat for shorebirds. Manila Bay Airport Offset Project, DAMCO Consulting Pty Ltd, Technical Report for and San Miguel Aerocity Inc (SMAI), January 2024.
- Ertfemeijer P. & Lewis R.R.I. (2000) Planting mangroves on intertidal mudflats: Habitat restoration or habitat conversion? In: *Enhancing Coastal Ecosystem Restoration for the 21st Century*. Proceedings of a Regional Seminar for East and Southeast Asian Countries: ECOTONE VIII, Ranong & Phuket, 23-28 May 1999. (ed. by V. Sumantakul), pp. 156–165. UNESCO: Bangkok, Thailand. January 2000.
- Ertfemeijer P.L.A., (2019) *Beneficial Reuse of Dredged Material for Habitat Restoration & Development: Review of Case Studies*. DAMCO Consulting Pty Ltd, Technical Report for North Queensland Bulk Ports Corporation (NQBP), February 2019, 38 pp.
- Estrella S.M., Storey A.W., Pearson G. & Piersma T. (2011) Potential effects of *Lyngbya majuscula* blooms on benthic invertebrate diversity and shorebird foraging ecology at Roebuck Bay, Western Australia: Preliminary results. *Journal of the Royal Society of Western Australia*, **94**, 171–179. Available at: [https://www.rswa.org.au/wp-content/uploads/2023/10/Estrellaetal.pp\\_.171-179.pdf](https://www.rswa.org.au/wp-content/uploads/2023/10/Estrellaetal.pp_.171-179.pdf)
- Evans P.R., Ward R.M., Bone M. & Leakey M. (1999) Creation of temperate-climate intertidal mudflats: factors affecting colonization and use by benthic invertebrates and their bird predators. *Marine Pollution Bulletin*, **37**, 535–545. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(98\)00140-4](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(98)00140-4)
- Golder W., Allen D., Cameron S. & Wilder T. (2008) *Dredged Material as a Tool for Management of Tern and Skimmer Nesting Habitats*. Technical note: ERDC TN-DOER-E24. U.S. Army Engineer Research and Development Center: Vicksburg, USA. <http://hdl.handle.net/11681/8757>
- Haltiner J., Zedler J.B., Boyer K.E., Williams G.D. & Callaway J.C. (1996) Influence of physical processes on the design, functioning and evolution of restored tidal wetlands in California (USA). *Wetlands Ecology and Management*, **4**, 73–91. <https://doi.org/10.1007/bf01876230>
- Imai D., Kaneco S., Dabwan A.H.A., Katsumata H. & Suzuki T., *et al* (2008) Construction of biologically productive artificial tidal flats with solidified sea bottom sediments. *International Journal of Soil, Sediment and Water*, **1**, 5. Available at: <https://scholarworks.umass.edu/intljssw/vol1/iss2/5/>
- Ishii R., Nakano Y., Nakai S., Nishijima W. & Okada M. (2008) Benthic ecosystem development in an artificial tidal flat constructed from dredged spoil. *Marine Pollution Bulletin*, **56**, 2059–2066. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2008.07.022>
- Jackson M.V. & Straw, P. (eds.) (2021) *Coastal Hightide Shorebird Habitat Management Guidelines*. Figshare. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.16628560.v1>
- LaSalle M.W., Landin M.C. & Sims J.G. (1991) Evaluation of the flora and fauna of a *Spartina alterniflora* marsh established on dredged material in Winyah Bay, South Carolina. *Wetlands*, **11**, 191–208. <https://doi.org/10.1007/bf03160849>
- Luijendijk A. & van Oudenhoven A. (2019) *The Sand Motor: A nature-based response to climate change findings and reflections of the interdisciplinary research program NatureCoast*, Delft University Publishers: Netherlands. Available at: [https://pure.tudelft.nl/ws/portalfiles/portal/53666598/2019\\_Luijendijk\\_van\\_OUdenhoven\\_eds\\_The\\_Sand\\_Motor\\_A\\_Nature\\_Based\\_Response\\_to\\_Climate\\_Change\\_NATURECOAST.pdf](https://pure.tudelft.nl/ws/portalfiles/portal/53666598/2019_Luijendijk_van_OUdenhoven_eds_The_Sand_Motor_A_Nature_Based_Response_to_Climate_Change_NATURECOAST.pdf)

- Melville D. (2018) China's coasts – A time for cautious optimism? *Wader Study*, **125**, 1–3. <https://doi.org/10.18194/ws.00103>
- Nasser N., Cullen J., Patterson C., Patterson R., Roe H., *et al.* (2019) Inter-annual Arcellinida (testate lobose amoebae) assemblage dynamics within lacustrine environments. *Limnologia*, **76**, 60–71. <https://doi.org/10.1016/j.limno.2019.03.006>
- Olmstead N.C. & Fell P.E. (1974) Bulletin No. 20: Tidal marsh invertebrates of Connecticut. *Bulletins*, Paper 19. Available at: <http://digitalcommons.conncoll.edu/arbbulletins/19>
- Peterson C.H., Bishop M.J., Johnson G.A., D'Anna L.M. & Manning L.M. (2006) Exploiting beach filling as an unaffordable experiment: Benthic intertidal impacts propagating upwards to shorebirds. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, **338**, 205–221. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2006.06.021>
- Pontee N., Tempest J., Pye K. & Blott S. (2022) Defining habitat losses due to coastal squeeze. In: *Challenges in Estuarine and Coastal Science* (ed. by J. Humphrey and S. Little). Pelagic Publishing: Exeter. <https://doi.org/10.53061/BQPM4918>
- Reading C., Garbutt R.A., Watts C.W., Rothery P., Turk A. *et al.* (2008) *Managed Realignment at Tollesbury*. R&D Technical Report FD1922/TR, DEFRA: London. Available at: [https://assets.publishing.service.gov.uk/media/602e57688fa8f54334a5a622/Managed\\_realignment\\_at\\_Tollesbury\\_-\\_Technical\\_Report\\_.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/media/602e57688fa8f54334a5a622/Managed_realignment_at_Tollesbury_-_Technical_Report_.pdf)
- Scott D., Harris S., Hebert A. & van Poorten B. (2017) Nutrient dynamics in a highly managed reservoir system: Considering anadromous sockeye salmon (*Oncorhynchus nerka*) and nutrient restoration. *Lake and Reservoir Management*, **33**, 14–22. <https://doi.org/10.1080/10402381.2016.1247391>
- Sheehan C. & Harrington J. (2012) Management of dredge material in the Republic of Ireland – A review. *Waste Management*, **32**, 1031–1044. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.11.014>
- Stive M.J.F., de Schipper M.A., Luijendijk A.P., Aarninkhof S.G.J., Gelder-Maas C., *et al.* (2013) A new alternative to saving our beaches from sea-level rise: The sand engine. *Journal of Coastal Research*, **29**, 1001–1008. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-13-00070.1>
- Svensson N., Norén A., Modin O., Karlfeldt Fedje K., Rauch S., *et al.* (2022) Integrated cost and environmental impact assessment of management options for dredged sediment. *Waste Management*, **138**, 30–40. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.11.031>
- Uneputtu P. & Evans S.M. (1997) The impact of plastic debris on the biota of tidal flats in Ambon Bay (eastern Indonesia). *Marine Environmental Research*, **44**, 233–242. [https://doi.org/10.1016/S0141-1136\(97\)00002-0](https://doi.org/10.1016/S0141-1136(97)00002-0)
- Van Der Werf J., Reinders J., Van Rooijen A., Holzhauer H. & Ysebaert T. (2015) Evaluation of a tidal flat sediment nourishment as estuarine management measure. *Ocean & Coastal Management*, **114**, 77–87. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.06.006>
- WAVE (2001) *Technologies for the Conservation and Creation of Tidal Flats. Guidelines for the Conservation and Creation of Ecosystems in relation to Coastal Development*, Volume 2. Waterfront Vitalization and Environment Research Center (WAVE), Tokyo (Japan), Technical Report, March 2001, 113 pp. Available at: [https://www.wave.or.jp/eng/activities/handbook\\_cr\\_2.html](https://www.wave.or.jp/eng/activities/handbook_cr_2.html)
- West J.M. & Zedler J.B. (2000) Marsh-creek connectivity: Fish use of a tidal salt marsh in Southern California. *Estuaries*, **23**, 699–710. <https://doi.org/10.2307/1352896>
- Wolters M., Garbutt A. & Bakker J.P. (2005) Salt-marsh restoration: Evaluating the success of de-embankments in north-west Europe. *Biological Conservation*, **123**, 249–268. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.11.013>
- Xue J., Yang J., Wang Q., Aronson R.B. & Wu H. (2019) Community structure of benthic macroinvertebrates in reclaimed and natural tidal flats of the Yangtze River estuary. *Aquaculture and Fisheries*, **4**, 205–213. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2019.04.001>
- Yoon H.-J., Joo E.-J., Ha D.-S., Nam H.-K. & Yoon J. (2018) Does nest predation influence colony movements of Saunders's Gulls (*Saundersilarus saundersi*) in a reclaimed land area? *Zoological Science*, **35**, 389–395. <https://doi.org/10.2108/zs170193>

Yozzo D.J., Wilber P. & Will R.J. (2004) Beneficial use of dredged material for habitat creation, enhancement, and restoration in New York–New Jersey Harbor. *Journal of Environmental Management*, **73**, 39–52. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.05.008>

Zajac R.N. & Whitlatch R.B. (1982) Responses of estuarine infauna to disturbance. II. Spatial and temporal variation of succession. *Marine Ecology Progress Series*, **10**, 15–27. <https://doi.org/10.3354/meps010015>

Zhang Y., He P., Li H., Li G., Liu J., *et al.* (2019) *Ulva prolifera* green-tide outbreaks and their environmental impact in the Yellow Sea, China. *National Science Review*, **6**, 825–838. <https://doi.org/10.1093/nsr/nwz026>

Zhang Y., Kuang C., He L., Pan Y., Yang Y., *et al.* (2010) Comparison of tidal currents under different nourishment schemes on west beach of Beidaihe, China. *Coastal Engineering Proceedings*, **1(32)**. <https://doi.org/10.9753/icce.v32.currents.32>

**자문단:** Malcom Ausden, (RSPB, UK), Hyun-Ah Choi, (Hanns Seidel Foundation, South Korea), Chi-Yeung Choi, (Duke Kunshan University, China), Mark Dixon, (RSPB, UK), Qiang He (Fudan University, China), Micha V. Jackson, (CSIRO, Australia), Yifei Jia (Beijing Forest University, China), Wenhai Lu (National Marine Data and Information Service, China), David Melville (Global Flyway Network, New Zealand), Spike Millington (International Crane Foundation, USA), Taej Mundkur (Wetlands International, The Netherlands), Han Winterwerp (Delft University of Technology, The Netherlands), Fokko van der Goot, (Boskalis and EcoShape, The Netherlands), Hongyan Yang (Beijing Forest University, China)

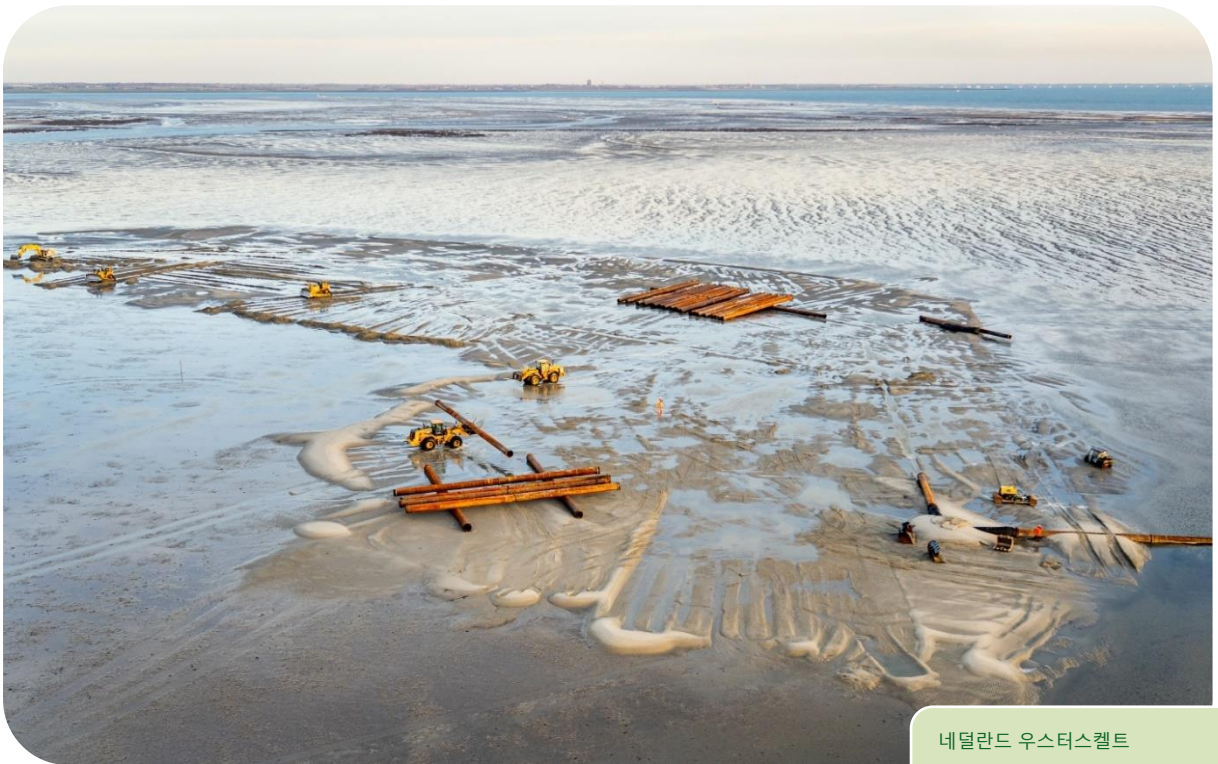
이 편람은 국내외 다양한 자료를 문헌검토하고 전문가의 고견을 바탕으로 철저한 평가를 거쳐 작성하였습니다. 이 편람의 목적은 전 세계 연안 서식지 복원 노력에 참고할 수 있는 실용적인 정보와 권고 사항을 제공하는 것입니다. 이 편람을 활용하는 전문가와 실무자는 자신의 전문 지식과 판단을 바탕으로 상황별 특징과 요건에 맞게 적절하게 수정하여 사용하기 바랍니다. 이 편람을 참고하여 발생하는 결과에 대한 책임은 전적으로 사용자에게 있습니다.

## 염습지·조간대 재정비 안내

**Vanessa Cutts<sup>1</sup>, Nigel G. Taylor<sup>1</sup>, Lorenzo Gaffi<sup>2</sup>, Ward Hagemeyer<sup>2</sup> & William J. Sutherland<sup>1</sup>**

1. 영국 케임브리지 대학교 동물학과 보전과학그룹 | Conservation Science Group, Department of Zoology, University of Cambridge, UK

2. 네덜란드 국제습지협회 | Wetlands International, The Netherlands



네덜란드 우스터스켈트  
로흐헌플라트섬에 쌓인 퇴적물  
재정비 [제공: Edwin Paree]

완료일: 2024 년 5 월 4 일

 Conservation  
Evidence

 Wetlands  
INTERNATIONAL

인용 표기: Cutts V., Taylor N.G., Gaffi L., Hagemeyer W. & Sutherland W.J. (2024). *염습지·조간대 재정비 안내*. 보전 안내 시리즈 제 5 호 v1.0 (국문). <https://doi.org/10.52201/CGSKOR/UEQP5963>

## 과업목표: 서식지 이질성 조성 및/또는 수문학 복원

### 정의

- 조건대: 만조와 간조 사이 영역
- 재정비: 지형 또는 경관의 이질성 변경 작업

## 1. 설명

조건대 서식지 재정비란 토양이나 퇴적물을 옮겨 염습지·갯벌의 구조에 변화를 주는 것이다. 함몰지/웅덩이 파기, 둔덕/굴곡 조성, 경사면 조정 등이 있다. 퇴적물을 옮겨 지형의 생김새를 바꾸는 것은 천연 수문학과 지형의 다양성을 복원하는 방법으로, 하위서식지와 미소서식지로 이루어진 모자이크를 조성하여 주요 생물종을 부양하는 습지 기능을 복원한다. 함몰지는 군락 식물의 은신처가 되고, 웅덩이와 섬은 새들이 먹이활동, 휴식, 번식에 사용할 수 있다. 비생물학적 조건(예: 높이, 퇴적물 입자 크기)에 변화를 주면 무척추동물이 다양해져 조류의 종류도 다양해지는 결과를 유도한다(Cai *et al.*, 2023).

## 2. 생물다양성에 미치는 영향에 대한 근거

**새:** 내륙 습지에서 가져온 근거에 따르면 못이나 웅덩이 같은 습한 지형을 만들어 원래 서식지를 복원하면 개체수가 증가할 수 있지만(Provost, 1948; Hoffman, 1970; Holton & Allcorn, 2006; Squires & Allcorn, 2006), 일부 종은 새로 만든 못보다 오래된 못을 선호할 수도 있다(Provost, 1948). 미국 남동부 연안 습지에서 중대백로(*Ardea alba*)는 인공못을 사용하기는 했지만, 전체적으로는 천연 습지를 찾는 경향이 있었다(Fidorra *et al.*, 2015). 이탈리아 연구의 경우 새들은 조건대 못을 가장 많이 이용하였고, 제방과 식생이 자란 둔덕이 그 뒤를 이었다(Scarton & Montanari, 2015).

**무척추동물:** 저서성 무척추동물은 미세 지형 구조를 사용하기도 하고 만들기도 한다(Erftemeijer, 2023). 이렇게 굴을 파는 등의 방식으로 지반을 바꾸어놓기 때문에 "생태계 엔지니어"라고도 부른다(Jones *et al.*, 1994). 미세지형이 다양하다는 것은 그 지역의 유기물, 퇴적물, 물이 다양하다는 뜻이며, 다양한 종이 선택할 수 있는 서식지 조건도 늘어난다(Desjardins *et al.*, 2012).

**식생:** 높이를 바꾸거나 침하에 대응하기 위하여 퇴적물을 추가한 후 그 효과를 시험한 결과 황폐한 장소와 비교하여 식생의 개체수가 증가하였다(DeLaune *et al.*, 1990; Pezeshki *et al.*, 1992; Ford *et al.*, 1999; Schrifft *et al.*, 2008; Stagg & Mendelssohn, 2012). 경사가 완만하면 영역마다 침수량이 다양해져 염습지가 자연스럽게 발달할 수 있다(Pitre & Anthamatten, 1981; Langis *et al.*, 1991; Pétilion *et al.*, 2010). 벨기에의 복원지에서는 건물과 성토재를 제거하고 남은 퇴적물로 조건대 경사면을 재정비한 결과 1년 만에 염습지 식생이 발달하였지만 군락 형성은 27년간 계속되었고 결국 전형적인 염습지 식물 군락이 있는 구역이 형성되었다(Pétilion *et al.*, 2010). 중국 황허 삼각주에서는 조건대 갯골 근처에 나문재(*Suaeda glauca*)의 적극적인 회복과 성장이 관찰된 반면,



갈대류(*Phragmites communis*)는 조간대 갯골에서 멀리 떨어져 있어야 회복이 빨랐다(Wu *et al.*, 2020).

### 3. 결과에 영향을 미칠 수 있는 요인

**고도/경사:** 복원지의 기존 높이와 경사에 따라 작업의 실행 가능성과 식생이 결정된다(Han Winterwerp, pers. comm.). 경사가 완만하면 더 넓은 조간대를 조성할 수 있다. 경험상 적절한 경사도는 0.04 또는 1:1000 미만이다(WAVE, 2001).

**지형:** 지형이 다양하면 수심과 식생 범위가 달라진다(Ma *et al.*, 2010). 담수 환경에서 실험한 근거에 따르면 다수의 종이 주변보다 조금 들어가거나 튀어나온 장소를 선호하므로 다양한 미세지형(지상/지하에서 높이 변화 최대 3cm)은 식물 종류를 늘리고 다양성을 높일 수 있다(Vivian-Smith, 1997). 함몰지가 깊으면 얇은 곳보다 저장하는 씨앗량이 많고 식생이 형성되는 면적도 넓다(Wang *et al.*, 2018).

**수심:** 수심은 새의 부리와 다리 길이에 따라 먹이활동을 하는 새의 웅덩이 접근도를 결정한다(Ma *et al.*, 2010). 섭금류의 다양성을 극대화하려면 비교적 너른 지역에서 평균 수심 0.5cm~15cm 를 권장한다(Rogers *et al.*, 2015). 침수량은 식생의 활착 속도에 영향을 줄 수 있으며, 매일 침수되면 성공도가 가장 높다는 연구가 있다(Pitre & Anthamatten, 1981).

### 4. 이행

**함몰지/분지 조성:** 분지는 손으로 파낼 수도 있지만 크기에 따라 중장비를 사용할 수도 있다. 중국의 한 연구에 따르면 크고 깊은 분지(깊이: 15cm, 너비: 100cm~150cm)가 작고 얇은 분지(깊이: 5cm, 너비: 20cm)보다 가두는 종자량이 많고 형성되는 식생 면적도 넓다(Wang *et al.*, 2018).

**복원지 높이/경사 변경:** 다른 변경 사항(예: 댐/암거 설치)이 없다고 가정할 때, 복원지의 원래 높이를 회복하면 천연 수문 체계를 회복할 수 있다. 복원지 전체의 높이를 올리거나 낮추면 침수 빈도와 지속 시간이 줄어들거나 늘어난다. 경사를 바꾸면 복원지 전체의 상대적인 침수에 영향을 미친다. 대상분포(zonation)로 염습지 식물 군락을 성공적으로 조성한 벨기에 아이저(IJzer) 염습지 복원지는 침수 빈도가 연간 0.01%~70% 범위가 되게 경사를 조절하였다(Pétillon *et al.*, 2010).

**중장비 사용:** 습하고 부드러운 조간대 퇴적물 위에서 중장비 작업은 까다롭다. 차량 때문에 식생이 이동하거나 압축될 수 있다. 개조된 차량(예: 바퀴 추가, 무한궤도 밧/또는 타이어 공기압 감소)을 사용하거나 운반 중량을 줄이고 습지·갯벌 전체를 가로지르는 대신 지정된 경로로만 접근하거나 습지 표면에 실제로 닿지 않는 차량/장비(예: 호버크라프트, 헬리콥터, 드론)를 사용하면 접근도 용이하고 미치는 영향도 줄일 수 있다(Wolters *et al.*, 2017; Sholtzberger, 2021).

### 참고자료

Cai S., Mu T., Peng H.-B., Ma Z. & Wilcove D.S. (2024) Importance of habitat heterogeneity in tidal flats to the conservation of migratory shorebirds. *Conservation Biology*, 38, e14153. <https://doi.org/10.1111/cobi.14153>

- DeLaune R.D., Pezeshki S.R., Pardue J.H., Whitcomb J.H. & Patrick W.H. Jr. (1990) Some influences of sediment addition to a deteriorating salt marsh in the Mississippi River deltaic plain: a pilot study. *Journal of Coastal Research*, **6**, 181–188. Available at: <https://journals.flvc.org/jcr/article/view/78015/75443>
- Desjardins P.R., Buatois L.A. & Mángano M.G. (2012) *Chapter 18 - Tidal Flats and Subtidal Sand Bodies. Developments in Sedimentology* Trace Fossils as Indicators of Sedimentary Environments. (ed. by D. Knaust) and R.G. Bromley), pp. 529–561. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53813-0.00018-6>
- Erftemeijer P.L.A. (2023) Shorebird habitat requirements: Relating mudflat characteristics to invertebrate fauna and shorebird densities. Manila Bay Airport Offset Project, DAMCO Consulting Pty Ltd, Technical Report for San Miguel Aerocity Inc (SMAI), April 2023, 32 pp.
- Fidorra J.C., Frederick P.C., Evers D.C. & Meyer K.D. (2015) Selection of human-influenced and natural wetlands by Great Egrets at multiple scales in the southeastern USA. *Condor*, **118**, 46–56. <https://doi.org/10.1650/condor-14-117.1>
- Ford M.A., Cahoon D.R. & Lynch J.C. (1999) Restoring marsh elevation in a rapidly subsiding salt marsh by thin-layer deposition of dredged material. *Ecological Engineering*, **12**, 189–205. [https://doi.org/10.1016/s0925-8574\(98\)00061-5](https://doi.org/10.1016/s0925-8574(98)00061-5)
- Hoffman R.H. (1970) Waterfowl utilization of ponds blasted at Delta, Manitoba. *The Journal of Wildlife Management*, **34**, 586–593. <https://doi.org/10.2307/3798867>
- Holton N. & Allcorn R.I. (2006) The effectiveness of opening up rush patches on encouraging breeding Common Snipe *Gallinago gallinago* at Rogersceugh Farm, Campfield Marsh RSPB reserve, Cumbria, England. *Conservation Evidence*, **3**, 79–80. Available at: <https://conservationevidencejournal.com/reference/pdf/2230>
- Jones C.G., Lawton J.H. & Shachak M. (1994) Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, **69**, 373–386. [https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4018-1\\_14](https://doi.org/10.1007/978-1-4612-4018-1_14)
- Langis R., Zalejko M. & Zedler J.B. (1991) Nitrogen assessments in a constructed and a natural salt marsh of San Diego Bay. *Ecological Applications*, **1**, 40–51. <https://doi.org/10.2307/1941846>
- Ma Z., Cai Y., Li B. & Chen J. (2010) Managing wetland habitats for waterbirds: An international perspective. *Wetlands*, **30**, 15–27. <https://doi.org/10.1007/s13157-009-0001-6>
- Pétillon J., Erfanzadeh R., Garbutt A., Maelfait J.-P. & Hoffmann M. (2010) Inundation frequency determines the post-pioneer successional pathway in a newly created salt marsh. *Wetlands*, **30**, 1097–1105. <https://doi.org/10.1007/s13157-010-0115-x>
- Pezeshki S.R., DeLaune R.D. & Pardue J.H. (1992) Sediment addition enhances transpiration and growth of *Spartina alterniflora* in deteriorating Louisiana Gulf Coast salt marshes. *Wetlands Ecology and Management*, **1**, 185–189. <https://doi.org/10.1007/bf00244923>
- Pitre R.L. & Anthamatten F. (1981) Successful restoration of filled wetlands at four locations along the Texas Gulf Coast. *Wetlands*, **1**, 171–178. <https://doi.org/10.1007/bf03160462>
- Provost M.W. (1948) Marsh-blasting as a wildlife management technique. *The Journal of Wildlife Management*, **12**, 350–387. <https://doi.org/10.2307/3795926>
- Rogers D., Stamation K., Loyn R. & Menkhorst P. (2015) *Literature Review: Management of Non-tidal Ponds for Shorebirds*, Arthur Rylah Institute for Environmental Research Technical Report Series No. 264. Department of Environment, Land, Water and Planning: Heidelberg, Victoria. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.3954.3760>
- Scarton F. & Montanari M. (2015) Use of artificial intertidal sites by birds in a Mediterranean lagoon and their importance for wintering and migrating waders. *Journal of Coastal Conservation*, **19**, 321–334. <https://doi.org/10.1007/s11852-015-0394-8>
- Schrift A.M., Mendelsohn I.A. & Materne M.D. (2008) Salt marsh restoration with sediment-slurry amendments following a drought-induced large-scale disturbance. *Wetlands*, **28**, 1071–1085. <https://doi.org/10.1672/07-78.1>
- Shotzberger S. (2021) *Marsh Equipment for Access and Construction*. June 4 2021. Available at: [https://www.linkedin.com/pulse/marsh-equipment-access-construction-shawn-shotzberger?trk=public\\_profile\\_article\\_view](https://www.linkedin.com/pulse/marsh-equipment-access-construction-shawn-shotzberger?trk=public_profile_article_view)

- Squires R. & Allcorn R.I. (2006) The effect of chisel ploughing to create nesting habitat for breeding Lapwings *Vanellus vanellus* at Ynys-Hir RSPB reserve, Powys, Wales. *Conservation Evidence*, **3**, 77–78. <https://conservationevidencejournal.com/reference/pdf/2229>
- Stagg C.L. & Mendelssohn I.A. (2012) *Littoraria irrorata* growth and survival in a sediment-restored salt marsh. *Wetlands*, **32**, 643–652. <https://doi.org/10.1007/s13157-012-0297-5>
- Vivian-Smith G. (1997) Microtopographic heterogeneity and floristic diversity in experimental wetland communities. *Journal of Ecology*, **85**, 71–82. <https://doi.org/10.2307/2960628>
- Wang Q., Cui B. & Luo M. (2018) Effectiveness of microtopographic structure in species recovery in degraded salt marshes. *Marine Pollution Bulletin*, **133**, 173–181. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.037>
- WAVE (2001) *Technologies for the Conservation and Creation of Tidal Flats. Guidelines for the Conservation and Creation of Ecosystems in Relation to Coastal Development*, Volume 2. Waterfront Vitalization and Environment Research Center (WAVE), Tokyo (Japan), Technical Report, March 2001, 113 pp. Available at: [https://www.wave.or.jp/eng/activities/handbook\\_cr\\_2.html](https://www.wave.or.jp/eng/activities/handbook_cr_2.html)
- Wolters M., de Vries S., Ozinga W.A. & Bakker J.P. (2017) Restoration of inland brackish vegetation by large-scale transfer of coastal driftline material. *Applied Vegetation Science*, **20**, 641–650. <https://doi.org/10.1111/avsc.12323>
- Wu Y., Liu J., Yan G., Zhai J., Cong L. *et al.* (2020) The size and distribution of tidal creeks affects salt marsh restoration. *Journal of Environmental Management*, **259**, 110070. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110070>

**Advisory Group:** Malcom Ausden, (RSPB, UK), Hyun-Ah Choi, (Hanns Seidel Foundation, South Korea), Chi-Yeung Choi, (Duke Kunshan University, China), Mark Dixon, (RSPB, UK), Qiang He (Fudan University, China), Micha V. Jackson, (CSIRO, Australia), Yifei Jia (Beijing Forest University, China), Wenhai Lu (National Marine Data and Information Service, China), David Melville (Global Flyway Network, New Zealand), Spike Millington (International Crane Foundation, USA), Taej Mundkur (Wetlands International, The Netherlands), Han Winterwerp (Delft University of Technology, The Netherlands), Fokko van der Goot, (Boskalis and EcoShape, The Netherlands), Hongyan Yang (Beijing Forest University, China)

이 편람은 국내외 다양한 자료를 문헌검토하고 전문가의 고견을 바탕으로 철저한 평가를 거쳐 작성하였습니다. 이 편람의 목적은 전 세계 연안 서식지 복원 노력에 참고할 수 있는 실용적인 정보와 권고 사항을 제공하는 것입니다. 이 편람을 활용하는 전문가와 실무자는 자신의 전문 지식과 판단을 바탕으로 상황별 특징과 요건에 맞게 적절하게 수정하여 사용하기 바랍니다. 이 편람을 참고하여 발생하는 결과에 대한 책임은 전적으로 사용자에게 있습니다.

## 염습지 식생 복원 또는 조성 안내

**Vanessa Cutts<sup>1</sup>, Nigel G. Taylor<sup>1</sup>, Lorenzo Gaffi<sup>2</sup>, Ward Hagemeijer<sup>2</sup> & William J. Sutherland<sup>1</sup>**

1. 영국 케임브리지 대학교 동물학과 보전과학그룹 | Conservation Science Group, Department of Zoology, University of Cambridge, UK

2. 네덜란드 국제습지협회 | Wetlands International, The Netherlands



미국 사우스캐롤라이나에서 아메리카갯줄풀 (marsh grass)을 심고 있는 자원봉사자[제공: South Carolina Department of Natural Resources].

완료일: 2024 년 5 월 4 일

 Conservation Evidence

 Wetlands INTERNATIONAL

인용 표기: Cutts V., Taylor N.G., Gaffi L., Hagemeijer W. & Sutherland W.J. (2024) 염습지 식생 복원 또는 조성 안내. 보전 안내 시리즈 제 6 호 v1.0 (국문). <https://doi.org/10.52201/CGSKOR/TDWZ8007>



## 과업목표: 목표 식생으로 연습지 (재)식생

### 정의

- **구경(알줄기):** 비늘 모양 잎으로 덮인 둥근 모양의 땅속 줄기로 조건이 적절하면 뿌리가 나며 성장할 수 있다.
- **씨앗 저장층:** 토양이나 퇴적물 내 천연 씨앗 저장소로 주로 휴면 상태의 씨앗을 저장한다.

### 1. 설명

새로 조성되거나 복원된 연습지는 식생이 저절로 자라지 않거나 속도가 느린 경우 "도움의 손길"이 필요할 수 있다. 목표 식생은 본체, 씨앗 또는 식물의 일부를 직접 심거나 목표 종이 포함된 식물 재료(plant material)를 배치하는 방식으로 들여올 수 있다. 적극적인 식생복원이 유용한 곳으로는 대상 종의 씨앗 저장층이 고갈된 곳(예: 과거 농경지 또는 준설토를 쌓아 만든 곳), 식생 균락을 이를 준비가 되어 있지 않은 곳(예: 기존 연습지에서 멀리 떨어져 있거나 상류에 위치), 외래종 침입에 취약한 곳(토착 식생으로 덮인 부분 없이 퇴적물이 그대로 드러나 즉시 균락을 이를 수 있는 곳. Tarsa *et al.*, 2022) 등이 있다. 식생은 연습지가 해수면 상승에 보조를 맞추는 데도 도움이 될 수 있다(Davis *et al.*, 2017).

연습지 식생을 직접 도입하지 않고도 식생 성장을 촉진할 수 있는 선택지도 있지만 여기서 다룰 범위가 아니다. 비료 추가, 뿌리덮개(멀칭) 추가, 양육촉진식물(nurse plant) 식재(Taylor *et al.*, 2021 참조), 재정비(보전 안내 시리즈 제 5호 "연습지·조간대 재정비" 참조) 등이 있다. 휴양 활동, 가축 방목, 오염 등 식생 손실을 유발하는 모든 원인을 관리하는 것도 도움이 된다(Taylor *et al.*, 2021).

대부분의 연안 서식지는 본래 식생이 거의 또는 아예 없으며 그 상태로 섭금류 및 그 외 야생생물에 중요한 자원을 제공한다. 관리자라면 이러한 서식지에 식물이 다시 자라게 하고 싶은 마음이 들겠지만 억눌러야 한다. 예를 들어, 중국 황해 연안의 일부 상부 갯벌에서는 식생이 뻗뻗하거나 전혀 없는 지역보다는 식생(대부분 좁은해홍나물 | *Suaeda salsa*)이 드문 알칼리성 갯벌이 검은머리갈매기(*Saundersilarus saundersi*) 같은 섭금류의 번식처가 된다.

### 2. 생물다양성에 미치는 영향에 대한 근거

**식생:** 식물의 씨앗이나 본체를 심으면 연습지 재식생에 성공할 수 있다(Taylor *et al.*, 2021). 연습지 복원 연구를 전 세계적으로 검토한 결과 64 건의 사례에서 비목본식물을 식재/파종한 경우 평균 생존율 65%(0%~95% 범위)로 보고되었다(Bayraktarov *et al.*, 2016). 네덜란드의 복원지에서는 연습지 종의 씨앗과 식물 조각이 포함된 물질을 만조선을 따라 한 층 추가하자 이후 4년간 목표 생물종의 숫자가 늘었다. 그러나 6년이 지나자 종의 숫자는 아무것도 추가하지 않은 대조 지역과 비슷하였다(Wolters *et al.*, 2017).

식재를 할 때는 다시마 퇴비(O'Brien & Zedler, 2006), 갈대 부스러기(Guan *et al.*, 2011) 같은 비료와 함께 심으면 효과를 볼 수 있다(Taylor *et al.*, 2021). 인광석을 추가하자 염습지 전체의 식생 피복이 증가했지만, 식생 도입기에만 효과적이었다는 연구도 있다(Emond *et al.*, 2016). 중국에서는 요소를 추가하자 좁은해홍나물(*Suaeda salsa*)의 생물량이 증가하였다(Guan *et al.*, 2011).

### 3. 결과에 영향을 미칠 수 있는 요인

**수위:** 식물마다 범람/침수에 내성이 다르며, 복원지의 높이가 영향을 준다. 성체일수록 어린 개체보다 침수를 잘 견딘다(Cao *et al.*, 2022). 따라서 적절한 높이에 식물종/개체를 심어야 한다. 식재 전 (미세)지형을 보정해도 생존율을 높일 수 있다(보전 안내 시리즈 제 5 호 "염습지·조간대 재정비" 참조). 염습지 선구 식물의 씨앗은 함몰지에 많이 저장되어 있다는 근거가 있다(Wang *et al.*, 2018).

**염분:** 연안 식생은 염분에 내성이 있지만, 내성이 아무리 강해도 염분이 너무 높은 곳은 견디기 어렵다(Zedler, 2003). 반대로 빗물 유입이나 도시 지역의 유출수로 염분이 낮은 상태가 장기간 지속되면 염습지 식생에 적합하지 않으며, 북미의 경우 미국애기부들(*Typha domingensis*, Beare & Zedler 1987), 큰키다닥냉이(*Lepidium latifolium*, Wiggington *et al.*, 2020) 같은 바람직하지 않은 종의 침입을 촉진할 수 있다.

**노출:** 파도와 해류로 인한 물리적 교란은 초목의 초기 활착과 장기 지속성을 제한할 수 있다. 에너지가 높은 곳에 식생을 활착하려는 시도는 실패로 끝나기 마련이다. 방파제 같은 장벽을 이용하여 적절한 에너지 수준으로 조절할 수 있다. 현지 에너지 수준에 적절한 생물종과 성장 단계를 선택해야 한다.

**동물:** 염습지에 자리 잡으려는 식물은 포유류(Wasson *et al.*, 2021), 새(Zedler, 1993), 게(Liu *et al.*, 2020) 같은 동물이 먹거나 짓밟을 수 있다. 동물 밀도가 높으면 활착을 방해할 수 있다. 우리/울막이를 설치하여 어린 식물을 보호할 수 있다(Taylor *et al.*, 2021; Wasson *et al.*, 2021). 동물도 긍정적인 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어, 톱날꽃게(*Scylla serrata*) 굴에 가까운 곳에 식재된 *Scirpus mariqueter*는 포식자를 톱날꽃게가 잡아먹기 때문에 뜯어 먹히는 정도가 덜해 밀도가 높아졌다(Wu & He, 2023).

### 4. 이행

**식재:** 유묘나 성체를 근처 습지에서 옮겨 심거나 묘목장에서 기를 수 있다. 식물은 토양에서 5cm~10cm 깊이로 움푹 들어간 곳에 심지만, 최적 깊이는 종에 따라 다르다(Varty & Zedler, 2008; Guan *et al.*, 2011; Hu *et al.*, 2016). 식재에 성공한 경우를 연구한 결과 주로 45cm~100cm 간격으로 봄~초여름에 식재하였다(Taylor *et al.*, 2021). 입자가 고운 준설 퇴적물에 식재를 하거나 기존 식생을 제거한 경우도 있었다. 중국 창장강 하구에서 Zhang 및 Li(2023)가 여러 방법으로 *Scirpus mariqueter*(하구 내 염습지 우점종)를 심어 본 결과, 구경 묘종을 퇴적물 없이 듬성듬성 이식하면

헥타르당 10,100 위안(미화 약 1,400 달러, 2024 년 2 월 환율 기준)의 비용이 소요되어 경제적으로 가장 효율적이었다.

종자는 천연 습지 또는 묘목장에서 채취하였으며 1.5cm~5.0cm 깊이로 파종하였지만 최적의 깊이는 종마다 다르다(Groenendijk, 1986; Hu *et al.*, 2016). 종자는 성체보다 다루기 쉽지만 쓸려 가버릴 위험이 높다. 파종한 씨앗의 개수는 식물종과 복원지 크기에 따라 다르다. 연구에 따르면 80 개/m<sup>2</sup>~4,000 개/m<sup>2</sup> 였다(Groenendijk, 1986; Varty & Zedler, 2008; Guan *et al.*, 2011; Hu *et al.*, 2016). 신규 식물의 생존율은 현지 조건에 따라 다르다. 예를 들어, 캘리포니아에서는 2 만 1,000 개 이상 파종하였지만 17 개만 싹을 틔웠다(Zedler, 1993). 높은 염분, 식물을 심은 퇴적물 배치, 미국물닭(*Fulica americana*) 같은 새에 의해 단단히 다져진 조류(藻類)가 원인이었다.

염습지 식생을 뗏장 형식으로 복원지/조성지로 옮기는 것도 성공적이었다(Green *et al.*, 2009; Sparks *et al.*, 2013). 식생 복원이 빨라지고 심미적으로 아름다우며 식재나 파종보다 침식에 강하지만 대개 비용이 많이 든다(Sparks *et al.*, 2013). 미국 미시시피주에서 실시한 연구에 따르면 복원지/조성지를 뗏장으로 완전히 덮을 필요는 없었다. 100% 덮는 것보다 50% 덮는 것이 비용 효율적이며 뗏장을 가져온 기증지(donor site)에서도 적은 양만 떼어낼 수 있었다(Sparks *et al.*, 2013).

식물 재료(plant material)는 목표 식물종이 있는 인근 지역에서 수집하여 복원지/조성지에 뿌릴 수 있다(Emond *et al.*, 2016; Wolters *et al.*, 2017). 예를 들어, 네덜란드의 기수 습지를 복원하기 위하여 인근 방조제 기슭에서 농기계로 식물 재료를 채취하였다. 10cm<sup>3</sup>로 잘라 퇴비 살포기에 넣고 200m<sup>3</sup>를 현장의 2/3 에 5cm 층으로 뿌렸다(Wolters *et al.*, 2017).

기존 염습지 식생을 사용하는 경우 식생의 일부만 가져가고 조류 번식기에는 식생 채취를 피하는 등 기증지에 미치는 영향을 최소화하도록 고려해야 한다. 허가가 필요하다면 채취가 시작되기 전에 확보한다.

**식재된 식생 보조 조치:** 식물 도입 전후로 다양한 조치를 해 생존율 및/또는 성장률을 높일 수 있다. 재정비(둔덕 및/또는 함몰지 조성), 오염되거나 마르고 단단한 표면 퇴적물 제거, 양육촉진식물(nurse plant) 도입, 울타리·장벽 설치로 어린 식물에 피해를 주는 동물 차단, 석회 첨가, 비료 추가 등이 있다(Taylor *et al.*, 2021).

석회, 비료 같은 재료를 추가할 필요가 있다면, 일반적으로 복원지가 침수되지 않은 상태에서 추가하여 물에 녹거나 씻겨 내려갈 위험을 줄인다. 식재 전 퇴적물에 첨가제를 혼합할 수도 있다. 한 연구는 다시마 퇴비를 사용하여 40L/1.5m<sup>2</sup>의 퇴비(흙 2/3, 다시마 1/3)를 토양 상단 30cm 에 혼합하여 성공했으며(O'Brien & Zedler, 2006), 다른 연구에서는 땅을 갈아 갈대 잔해 2kg/m<sup>2</sup>를 20cm 깊이로 넣어 성공하였다(Guan *et al.*, 2011). 식재 시 비료를 추가하면 퇴적물에서 가져올 수 있는 영양분의 균형을 맞춰 새로 심은 식물의 성장을 가속할 수 있다. 모든 첨가물이 성공하지는 않았다. 질소와 같은 비료를 너무 많이 첨가하면 전 세계 연안계에 큰 위협이 되는 부영양화를 유발하여 득보다 실이 더 많을 수 있다(Albornoz, 2016; Malone & Newton, 2020).

## 사례 연구: 네덜란드 엠스 염하구 마르코니 염습지

마르코니 바우텐다이크스(Marconi Buitendijks) 프로젝트는 네덜란드 엠스 염하구에서 악화되는 생태계 조건 문제를 해결하기 위한 사업이었다. 델프트제일 연안의 방조제를 이전 및 보강하고 준설 모래로 해저면을 평균 만조선까지 끌어올려 두 곳의 염습지를 조성하였다. 염습지 한 곳은 일반에 개방하고 다른 곳은 연구자에게만 개방된 선구 염습지이다. 이 선구 염습지(15 헥타르)로 염습지 발달을 이해하기 위한 실험을 시범 진행한다.

연구자들은 펄로 염습지를 풍부하게 하는 효과와 식물을 심었을 때의 효과를 자연스러운 식생의 군집화 과정과 비교하여 테스트하고 있다. 시범 습지는 펄, 모래, 미세 퇴적물의 비율이 각각 다른 1 헥타르 면적 6 곳으로 구성되어 있으며, 일부는 씨앗을 뿌리고 일부는 저질로 식생이 자리 잡게 하였다. 중장비로 모래 바닥 상단 1 미터에 펄을 섞었다(이로 인해 기계가 가라앉았음에 유의한다). 염습지는 2018년 11월~2020년 9월 약 70회 침수되었다.

2019년 5월, 연구팀은 통통마디속(long-spiked glasswort | *Salicornia procumbens*)을 수작업으로 파종하였다. 파종 전 식물을 말린 다음 조각내어 나흘간 담수에 담가 발아를 유도하였다. 파종 후 1년 6개월이 지나자(7월) 싹이 텄다.

### 프로젝트로 배운 점

- 파종 효과는 일시적이었다. 파종한 영역의 피복 면적이 비파종 영역보다 넓었지만, 첫 해에만 지속되었다.
- 퇴적물의 최상층에 펄의 비율이 높을수록(25%~48%) 식생으로 덮인 면적이 넓은 반면, 펄의 비율이 낮으면(7%~9%) 식생으로 덮인 면적도 현저히 작았다.
- 펄 함량이 높으면 생물 종류가 늘어난다.
- 침식 속도가 빠른(월 2.5mm 초과) 구획에서는 식생이 발견되지 않았다.
- 식생은 관목으로 조성한 제방이 둘러싼 지역에서만 발달하였다.
- 전체적으로 봤을 때, 연구진은 모랫바닥의 최상층에 펄을 25%까지 혼합하면 식생으로 덮인 면적과 생물 종류를 늘릴 수 있고 실제로 실행도 가능하다고 결론지었다.

출처: Baptiste *et al.* (2021); de Vries *et al.* (2021); Video: Research on the pioneer salt marsh Marconi Delfzijl ([youtube.com/watch?v=V8zCrhG-jtY](https://www.youtube.com/watch?v=V8zCrhG-jtY))

## 5. 그 외 유용한 자료

염습지 조성 모범사례 문헌 검토: de Groot A.V. & van Duin W.E. (2013) *Best Practices for Creating New Salt Marshes in an Estuarine Setting: A Literature Study*. Report no. IMARES C145/12. EcoShape – Building with Nature: The Netherlands. Available at: <https://edepot.wur.nl/248715>

## 참고자료

- Albornoz F. (2016) Crop responses to nitrogen overfertilization: A review. *Scientia Horticulturae*, **205**, 79–83. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.04.026>
- Baptist M.J., Dankers P., Cleveringa J., Sittoni L., Willemsen P.W.J.M., *et al.* (2021) Salt marsh construction as a nature-based solution in an estuarine social-ecological system. *Nature-Based Solutions*, **1**, 100005. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2021.100005>
- Bayraktarov E., Saunders M.I., Abdullah S., Mills M., Beher J., *et al.* (2016) The cost and feasibility of marine coastal restoration. *Ecological Applications*, **26**, 1055–1074. <https://doi.org/10.1890/15-1077>
- Beare P.A. & Zedler J.B. (1987) Cattail invasion and persistence in a coastal salt marsh: The role of salinity reduction. *Estuaries*, **10**, 165–170. <https://doi.org/10.2307/1352181>
- Cao H., Zhu Z., van Belzen J., Gourgue O., van de Koppel J., *et al.* (2021) Salt marsh establishment in poorly consolidated muddy systems: effects of surface drainage, elevation, and plant age. *Ecosphere*, **12**, e03755. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3755>
- Davis J., Currin C. & Morris J.T. (2017) Impacts of fertilization and tidal inundation on elevation change in microtidal, low relief salt marshes. *Estuaries and Coasts*, **40**, 1677–1687. <https://doi.org/10.1007/s12237-017-0251-0>
- Emond C., Lapointe L., Hugron S. & Rochefort L. (2016) Reintroduction of salt marsh vegetation and phosphorus fertilisation improve plant colonisation on seawater-contaminated cutover bogs. *Mires and Peat*, **18**, Article 17. <https://doi.org/10.19189/MaP.2015.OMB.209>
- Green J., Reichelt-Brushett A. & Jacobs S.W.L. (2009) Re-establishing a saltmarsh vegetation structure in a changing climate. *Ecological Management and Restoration*, **10**, 20–30. <https://doi.org/10.1111/j.1442-8903.2009.00438.x>
- Groenendijk A.M. (1986) Establishment of a *Spartina anglica* population on a tidal mudflat - a field experiment. *Journal of Environmental Management*, **22**, 1–12.
- Guan B., Yu J., Lu Z., Xie W., Chen X. *et al.* (2011) The ecological effects of *Suaeda salsa* on repairing heavily degraded coastal saline alkaline wetlands in the Yellow River Delta. *Acta Ecologica Sinica*, **31**, 4835–4840. Available at: <https://www.ecologica.cn/stxb/article/abstract/stxb201007010974>
- Hu Z., Ma Q., Cao H., Zhang Z., Tang C., *et al.* (2016) A trial study on revegetation of the native *Scirpus mariqueter* population in the coastal wetland of the Yangtze Estuary. *Ecological Science*, **35**, 1–7.
- Liu Z., Fagherazzi S., Ma X., Xie C., Li J., *et al.* (2020) Consumer control and abiotic stresses constrain coastal saltmarsh restoration. *Journal of Environmental Management*, **274**, 111110. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111110>
- Malone T.C. & Newton A. (2020) The globalization of cultural eutrophication in the coastal ocean: Causes and consequences. *Frontiers in Marine Science*, **7**. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00670>
- O'Brien E.L. & Zedler J.B. (2006) Accelerating the restoration of vegetation in a southern California salt marsh. *Wetlands Ecology and Management*, **14**, 269–286. <https://doi.org/10.1007/s11273-005-1480-8>
- Sparks E.L., Cebrian J., Biber P.D., Sheehan K.L. & Tobias C.R. (2013) Cost-effectiveness of two small-scale salt marsh restoration designs. *Ecological Engineering*, **53**, 250–256. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2012.12.053>
- Taylor N.G., Grillas P., Smith R.K. & Sutherland W.J. (2021) *Marsh and Swamp Conservation: Global Evidence for the Effects of Interventions to Conserve Marsh and Swamp Vegetation*. University of Cambridge: Cambridge, UK. Available at: <https://www.conservationevidence.com/synopsis/pdf/19>
- Varty A.K. & Zedler J.B. (2008) How waterlogged microsites help an annual plant persist among salt marsh perennials. *Estuaries and Coasts*, **31**, 300–312. <https://doi.org/10.1007/s12237-007-9019-2>
- de Vries B., Willemsen P., van Puijenbroek M., Coumou L., Baptist M.J., *et al.* (2021) *Salt Marsh Pilot Marconi: Monitoring results*. EcoShape: Delfzijl, The Netherlands. Available at: <https://www.ecoshape.org/en/pilots/saltmarsh-development-marconi-delfzijl-9/>



Wang Q., Cui B. & Luo M. (2018) Effectiveness of microtopographic structure in species recovery in degraded salt marshes. *Marine Pollution Bulletin*, **133**, 173–181. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.05.037>

Wasson K., Tanner K.E., Woolfolk A., McCain S. & Suraci J.P. (2021) Top-down and sideways: Herbivory and cross-ecosystem connectivity shape restoration success at the salt marsh-upland ecotone. *PLOS ONE*, **16**, e0247374. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0247374>

Wigginton R.D., Kelso M.A. & Grosholz E.D. (2020) Time-lagged impacts of extreme, multi-year drought on tidal salt marsh plant invasion. *Ecosphere*, **11**, e03155. <https://doi.org/10.1002/ecs2.3155>

Wolters M., de Vries S., Ozinga W.A. & Bakker J.P. (2017) Restoration of inland brackish vegetation by large-scale transfer of coastal driftline material. *Applied Vegetation Science*, **20**, 641–650. <https://doi.org/10.1111/avsc.12323>

Wu C. & He Q. (2024) Co-restoring keystone predators and foundation species to recover a coastal wetland. *Journal of Applied Ecology*, **61**, 379–389. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14569>

Zedler J.B. (1993) Canopy architecture of natural and planted cordgrass marshes: Selecting habitat evaluation criteria. *Ecological Applications*, **3**, 123–138. <https://doi.org/10.2307/1941796>

Zedler J.B., Morzaria-Luna H. & Ward K. (2003) The challenge of restoring vegetation on tidal, hypersaline substrates. *Plant and Soil*, **253**, 259–273. <https://doi.org/10.1023/a:1024599203741>

Zhang Q. & Li B. (2023) Field practice of *Scirpus mariqueter* restoration in the bird habitats of Chongming Dongtan Wetland, China. *Yingyong Shengtai Xuebao*, **34**, 2663. <https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.202310.029>

**자문단:** Malcom Ausden, (RSPB, UK), Hyun-Ah Choi, (Hanns Seidel Foundation, South Korea), Chi-Yeung Choi, (Duke Kunshan University, China), Mark Dixon, (RSPB, UK), Qiang He (Fudan University, China), Micha V. Jackson, (CSIRO, Australia), Yifei Jia (Beijing Forest University, China), Wenhai Lu (National Marine Data and Information Service, China), David Melville (Global Flyway Network, New Zealand), Spike Millington (International Crane Foundation, USA), Taej Mundkur (Wetlands International, The Netherlands), Han Winterwerp (Delft University of Technology, The Netherlands), Fokko van der Goot, (Boskalis and EcoShape, The Netherlands), Hongyan Yang (Beijing Forest University, China)

이 편람은 국내외 다양한 자료를 문헌검토하고 전문가의 고견을 바탕으로 철저한 평가를 거쳐 작성하였습니다. 이 편람의 목적은 전 세계 연안 서식지 복원 노력에 참고할 수 있는 실용적인 정보와 권고 사항을 제공하는 것입니다. 이 편람을 활용하는 전문가와 실무자는 자신의 전문 지식과 판단을 바탕으로 상황별 특징과 요건에 맞게 적절하게 수정하여 사용하기 바랍니다. 이 편람을 참고하여 발생하는 결과에 대한 책임은 전적으로 사용자에게 있습니다.

## 조간대 식생 관리 안내

**Vanessa Cutts<sup>1</sup>, Nigel G. Taylor<sup>1</sup>, Paul L.A. Erfemeijer<sup>2</sup>, Lorenzo Gaffi<sup>3</sup>, Ward Hagemeyer<sup>3</sup> & William J. Sutherland<sup>1</sup>**

1 영국 케임브리지 대학교 동물학과 보전과학그룹 | Conservation Science Group, Department of Zoology, University of Cambridge, UK

2 웨스턴 오스트레일리아 대학교 생물과학대학 /UWA 해양연구소 | School of Biological Sciences and Oceans Institute, University of Western Australia

3 네덜란드 국제습지협회 | Wetlands International, The Netherlands



영국 험버 염습지 [제공: Mat Fascione]

완료일: 2024 년 5 월 4 일



인용 표기: Cutts V., Taylor N.G., Erfemeijer P.L.A., Gaffi L., Hagemeyer W. & Sutherland W.J. (2024) *조간대 식생 관리 안내*.

보전 안내 시리즈 제 7 호 v1.0 (국문). <https://doi.org/10.52201/CGSKOR/OAIL8466>

## 과업목표: 식생을 제거하거나 억제하여 개방된 조간대 유지·관리

### 정의

- **조간대:** 만조와 간조 사이 영역

### 1. 설명

대부분의 이동성 섭금류는 먹이를 구할 수 있고 포식자를 주기에 발견할 수 있도록 시야를 방해하지 않는 개방형 갯벌 서식지가 필요하다(Erftemeijer, 2023). 해수면 상승과 퇴적물 증가로 맹그로브와 염습지 식생이 섭금류 먹이활동지로 확장하여 홍콩, 대만, 뉴질랜드, 호주 동부 같은 하구에서 문제를 일으키고 있다(Straw and Saintilian, 2006; Jackson *et al.*, 2021; Choi *et al.*, 2022). 맹그로브가 없던 갯벌에 맹그로브를 심으면 일반적으로 한 서식지가 다른 서식지로 대체되는 효과를 낳아 갯벌이 제공하는 고유의 가치를 잃게 되므로 피해야 한다(Erftemeijer & Lewis, 2000; Choi *et al.*, 2022; Beeston *et al.*, 2023).

갯벌에 자연적으로 존재하는 조류(藻類)도 있기는 하지만, 부영양화로 인해 기회성 조류(藻類)인 홍조류(Agarophyton)(Besterman *et al.*, 2020), 갈파래속(Ulva)(Zhang *et al.*, 2019), 남조류(Lyngby)(Estrella *et al.*, 2011)가 대량 발달하면 갯벌의 저서 다양성이 떨어지고 일부 섭금류에 매력적이던 요소도 사라지게 된다(Estrella *et al.*, 2011; Besterman *et al.*, 2020). 침입성 해초인 *Zostera japonica*의 식민지화에도 동일하게 적용됩니다(Mach *et al.*, 2014).

식생의 제거가 바람직한 경우는 (a)갯벌이 섭금류 같은 그 외 생물종에 특히 중요한 서식지이거나 (b)식생이 토착종이 아닌 경우이다. 침입종인 *Spartina*속 끈풀(cordgrass) 제거에 관한 안내서는 별도로 마련되어 있다(보전 안내 시리즈 제 8 호~제 10 호).

### 2. 생물다양성에 미치는 영향에 대한 근거

**새:** 대만 단수이강(淡水河) 염하구에는 맹그로브를 제거하여 조성한 개방형 펄갯벌에 겨울철 섭금류가 쉬었다 간다. 염하구 펄갯벌 서식지를 확장하자 겨울철 섭금류의 종류가 늘었다(Huang *et al.*, 2012). 하와이의 경우, 식생을 관리하여 황폐한 빨발을 복원하자 하와이 토종 장다리물떼새류(Hawaiian Stilt | *Himantopus mexicanus knudseni*)의 개체 수가 증가하였다(Rauzon & Drigot, 2002). 침입성 피클풀(pickleweed | *Batis maritima*)은 갈아엎었고 맹그로브는 물리적으로 제거하였다.

**무척추동물:** 뉴질랜드 와이카레아오(Waikareao) 염하구에서 맹그로브를 기계로 제거해도 근처 패류층은 제거 전 우려가 무색하게 영향을 받지 않았다(Lundquist *et al.*, 2012). 뉴질랜드 망아파이(Mangawhai) 항구 연구(Alfaro, 2010)와 대만 상산 습지(香山溼地) 연구(Chen *et al.*,

2018)에 따르면 맹그로브 제거 후 대형 저서무척추동물의 개체수, 종류 및/또는 다양성이 증가하였다. 해당하는 무척추동물로는 게, 달팽이, 이매패류가 있다.

**문제성 식생:** 갯벌 식생 조절이 식생 자체에 미치는 효과성을 정량화한 연구는 찾기 어려웠다(곤풀류 제외. 보전 안내 시리즈 제 8 호~제 10 호 참조). Truman(1961)은 제초제를 충분히 살포했을 때(4% 2,4-D 또는 2,4,5-T) 회색 맹그로브(*Avicennia marina* var. *australasica*)가 완전히 고사하였다고 보고했지만, 이러한 제초제(특히 후자)는 다수의 국가에서 사용이 금지되거나 제한되어 있다는 점에 유의한다.

뉴질랜드 망아파이(Mangawhai) 항구에서 맹그로브 제거(구체적 방법 불명)는 이후 2 년 동안 공중뿌리(호흡근)의 밀도 증가와 관련이 있었다. 제거된 장소에 맹그로브 묘목도 점점 균락을 이루었다(Alfaro, 2010). 뉴질랜드 와이카레아오 염하구에서는 맹그로브의 뿌리덮개(말칭) 작업을 기계로 진행한 후 혐기성 퇴적물과 영양분 방출로 인해 조류(藻類) 대번식이 관찰되었다(Lundquist *et al.*, 2012).

Schlosser 외(2010)에 따르면 갯벌의 애기거머리말(*Zostera japonica*)은 파내어 제거할 수 있고 삼베천 같은 불투명한 재료로 덮어 고사시킬 수 있지만 화염 열처리 는 효과적인 조절법이 아니다.

### 3. 결과에 영향을 미칠 수 있는 요인

**인접 서식지:** 하천 또는 바다의 상류에 있는 서식지는 정리된 갯벌에 군집/균락을 조성하려는 생물체의 원천 역할을 할 수 있다. 이러한 군집/균락화는 갯벌의 특색을 나타내는 생물(예: 저서성 무척추동물)에게 바람직할 수도 있다. 그러나 바람직하지 않은 식생과 연결된 부분은 초점 지역에서 식생 관리의 성공과 지속성을 저해할 수 있다(Rauzon & Drigot, 2002; Wolters *et al.*, 2008). 초점 지역의 식생 관리 결정은 인근 갯벌의 존재에 영향을 받을 수도 있다. 예를 들어, 새로운 갯벌 조성의 가치를 낮추거나 기존 갯벌의 균락화를 막기 위한 식생 조절을 정당화할 수 있다.

**물리적 조건:** 현지 조수 양상, 해류, 파도, 퇴적물의 특성은 식생 제거의 물리적 결과에 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어, 펄 퇴적물의 침식은 격리된 펄 지대보다 노출된 모래 지대에서 발생할 가능성이 높다(Lundquist *et al.*, 2017). 식생을 제거하면 갯벌 습지가 심각하게 침식되고 불안정해질 수 있는 지역이라면 식생 유지가 현명할 수 있다(Qiang He, pers. comm.).

### 4. 이행

**예방:** 문제성 식생이 잠식하는 궁극적인 원인을 관리하는 것이 장기적으로 보았을 때 성공이자 비용 효율적일 수 있다. 예를 들어, 조류(藻類) 대번식이 폐수/하수가 갯벌에 직접 방류되어 부영양화를 일으켰기 때문이라면 이러한 방류를 관리해야 한다. 과거 동남아시아 전역에서 널리 행해졌던 맹그로브 번식체나 묘목을 갯벌에 적극적으로 심는 것은 낮은 생존율(부적절한 부지

선정)과 갯벌 생태계에 미치는 악영향(특히 섭금류 먹이활동지라는 역할에 미치는 영향) 때문에 현재는 크게 권장되지 않는다(Erftemeijer & Lewis, 2000; Choi *et al.*, 2022; Beeston *et al.*, 2023).

**조절:** 관리 개입 방법으로는 주로 섭금류 먹이활동지에서 자라는 묘목과 치수를 조절하는 방식으로 제거하기를 선택할 수 있다(참조: 하기 마이포(Mai Po) 습지 사례 연구). 침입성 *Spartina*속을 조절하기 위해 베어내기와 더불어 제초제를 사용하는 등 간섭이 강화된 조절 방법을 채택하기도 한다(Jackson *et al.*, 2021). 해수로 주기적으로 침수시키기, 베어내기, 제초제는 호주에서 섭금류가 사용하는 못과 그 외 인공 서식지에서 원치않는 식물의 균락화와 확장을 조절하기 위해 사용하는 방법이다(Erftemeijer, 2019). 새의 이동이나 번식기를 피하는 등 비목표종에 미치는 영향을 피하거나 최소화할 수 있도록 관리 시기를 정해야 한다. 마찬가지로 제거 지역으로 접근할 때 인접 서식지를 짓밟지 않거나 피해를 최소화하는 진입 지점을 선택해야 한다(Lundquist *et al.*, 2017).

뉴질랜드에서는 다양한 방법으로 맹그로브 제거에 성공하였다(Lundquist *et al.*, 2017 리뷰 참고). 작은 묘목은 직접 당겨서 뽑고 지상부는 전기톱과 도끼로 제거하며 기계로 제거하기도 하였다. 묘목을 수작업으로 제거하는 것이 가장 저렴하고 현지 확산을 효과적으로 억제하며 환경에 미치는 악영향도 가장 적지만, 재확산을 방지하려면 정기적으로 작업해야 한다. 트랙터와 굴착기로 갯벌에서 식생과 지하 뿌리 물질의 일부를 제거하는 기계 작업은 비용이 많이 들고 갯벌이 다시 회복하는 경우가 드물며 현지 생태계와 생태계 서비스(시각 및 후각적 즐거움)에 유해하다. 고고학적으로 의미 있는 장소라면 중장비를 사용하기보다는 손이나 가벼운 장비로 제거(당겨 뽑기, 삽, 전기톱)하는 것이 바람직하다(Rauzon & Drigot 2002).

드론을 이용한 제초제 살포(중국에서 *Spartina*속 조절에 사용됨)는 적절한 제초제만 찾을 수 있다면 펼갯벌에서 맹그로브 확산을 제어하기 위해 시도해 볼 수 있다(David Melville, pers. comm.). 일부 제초제는 맹그로브가 고사하게 만드는 치명적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있으므로(Duke *et al.*, 2005 참조) 주의한다

다른 식생(예: 저성장 초본식물, 관목, 조류)은 퇴적물로 덮여 일시적으로라도 조절할 수 있다. 이렇게 하면 천이를 되돌릴 수 있다. 미국에서는 섭금류에 중요한 지역에서 두터운 식생을 조절하기 위해 조개껍질과 자갈 파편을 배치하기도 하였다(Plauny, 2000). 쟁기질로 식생 회복을 일시적으로 줄일 수도 있다. 도쿄항 야생조류공원에서는 섭금류철을 전후로 갯벌을 갈아엎는다(SSS 2023). 하와이에서는 펼갯벌에 자라는 침입성 피클풀(pickleweed, *Batis maritima*)을 조절하기 위해 상륙돌격장갑차(AAV)를 사용하였다(Rauzon & Drigot, 2002). 갈아엎은 니질 퇴적물로 군데군데 식생이 섬처럼 존재하는 바둑판무늬 또는 도넛 모양을 만들었는데, 저자들에 따르면 이 모양은 하와이 토종 장다리물떼새류(Hawaiian Stilt | *Himantopus mexicanus knudseni*)에게 매력적이라고 한다.

식생 제거는 물리적 과정에 영향을 주기 때문에 현지 생물다양성에도 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어, 맹그로브를 제거해버리면 경관 내에서 발생하는 생물적 과정과 물리적 과정이 서로 주고받는 관계를 변화시켜 염하구로 유입되는 물질의 양이 늘어나고 퇴적 양상이 바뀌면서 염하구 전체에



퇴적물이 갇히게 된다(Xie *et al.*, 2023). 뉴질랜드 와이카레아오 연하구에서는 맹그로브 완충지대를 기계로 제거한 후 염습지가 바다 쪽으로 점점 침식되는 것이 관찰되었다(Lundquist *et al.*, 2017).

**상쇄:** 특정한 장소에서 문제성 식생을 관리하기 너무 어렵거나 비용이 많이 든다면, 다른 곳(이상적으로는 인근)에 갯벌이나 염습지를 복원하거나 조성할 수도 있다. 복원지/조성지가 문제성 식생이 있는 장소 근처에 있다면 새로운 곳이 침입당하지 않도록 막거나 관리할 방법을 생각해 본다.

### 사례 연구: 마이포 습지 조간대 맹그로브 묘목 제거

마이포 자연보호구(홍콩) 갯벌에서 맹그로브 묘목 및 풀·사초밭을 제거하는 작업은 홍콩 세계자연기금(WWF)에서 매년 가을 실시한다. 목표는 물새가 휴식과 먹이활동을 할 수 있도록 묘목이 없는 개방형 갯벌을 유지하고 조류를 관찰할 수 있도록 시야를 확보하는 것이다. 이러한 방식으로 관리하는 면적은 2001년 5헥타르 이상을 정리한 이래 수년에 걸쳐 증가하여 현재 약 43헥타르에 이르렀다. 마이포 자연보호구 물새 은신처 앞 갯벌의 맹그로브는 1986년부터 이런 식으로 관리한다.

매년 8월~10월 위안랑구(元朗區) 토지청으로부터 사전 합의한 수의 맹그로브 묘목을 일정 면적의 갯벌에서 제거할 수 있는 허가를 받는다(WWF Hong Kong, 2006). 맹그로브 묘목은 펄속으로 밀어 넣어 고사시키는 방식으로 제거한다. 2007년에는 6명으로 구성된 팀이 총 65일 동안 43헥타르의 갯벌에서 약 3만 1,000그루의 맹그로브 묘목을 제거하였다. 제거된 묘목은 주로 암홍수(*Kandelia obovata*, 75%)와 *Aegiceras comiculatum* (22%)이었으며, 나머지(3%)는 *Acanthus ilicifolius*와 *Sonneratia*속(외래종)이었다.

출처: WWF Hong Kong (2021)

## 5. 그 외 유용한 자료

**맹그로브 확장 관리 안내:** Lundquist C., Carter K., Hailes S. & Bulmer R. (2017) *Guidelines for Managing Mangroves (Mānawa) Expansion in New Zealand*. NIWA Information Series No. 85. National Institute of Water & Atmospheric Research Ltd.: New Zealand. Available at: <http://www.niwa.co.nz/managingmangroveguide>

### 참고자료

Beeston M., Cameron C., Hagger V., Howard J., Lovelock C., *et al.* (eds.) (2023) *Best Practice Guidelines for Mangrove Restoration*. Global Mangrove Alliance: Washington DC. Available at: <https://www.mangrovealliance.org/wp-content/uploads/2023/10/Best-Practice-for-Mangrove-Restoration-Guidelines-v2.pdf>

Besterman A.F., Karpanty S.M. & Pace M.L. (2020) Impact of exotic macroalga on shorebirds varies with foraging specialization and spatial scale. *PLoS ONE*, 15, e0231337. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0231337>

- Choi C., Xiao H., Jia M., Jackson M.V., Lai Y., *et al.* (2022) An emerging coastal wetland management dilemma between mangrove expansion and shorebird conservation. *Conservation Biology*, **36**, e13905. <https://doi.org/10.1111/cobi.13905>
- Duke N.C., Bell A.M., Pederson D.K., Roelfsema C.M. & Bengtson Nash S. (2005) Herbicides implicated as the cause of severe mangrove dieback in the Mackay region, NE Australia: consequences for marine plant habitats of the GBR World Heritage Area. *Marine Pollution Bulletin*, **51**, 308–324. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.10.040>
- Ertfemeijer P. & Lewis R.R.I. (2000) Planting mangroves on intertidal mudflats: habitat restoration or habitat conversion? In: *Enhancing Coastal Ecosystem Restoration for the 21st Century*. Proceedings of a Regional Seminar for East and Southeast Asian Countries: ECOTONE VIH, Ranong & Phuket, 23-28 May 1999. (ed. by V. Sumantakul), pp. 156–165. UNESCO, Bangkok, Thailand, January 2000.
- Ertfemeijer P.L.A. (2019) *Beneficial Reuse of Dredged Material for Habitat Restoration & Development: Review of Case Studies*. Technical Report produced for North Queensland Bulk Ports Corporation (NQBP). DAMCO Consulting, February 2019, 38 pp.
- Ertfemeijer P.L.A. (2023) *Manila Bay Airport Offset Project - Shorebird Habitat Requirements: Relating Mudflat Characteristics to Invertebrate Fauna and Shorebird Densities*. Technical Report for SMAI. DAMCO Consulting, April 2023, 31 pp.
- Estrella S.M., Storey A.W., Pearson G. & Piersma T. (2011) Potential effects of *Lyngbya majuscula* blooms on benthic invertebrate diversity and shorebird foraging ecology at Roebuck Bay, Western Australia: Preliminary results. *Journal of the Royal Society of Western Australia*, **94**, 171–179. Available at: [https://www.rswa.org.au/wp-content/uploads/2023/10/Estrellaetal.pp\\_.171-179.pdf](https://www.rswa.org.au/wp-content/uploads/2023/10/Estrellaetal.pp_.171-179.pdf)
- Huang S.-C., Shih S.-S., Ho Y.-S., Chen C.-P. & Hsieh H.-L. (2012) Restoration of shorebird-roosting mudflats by partial removal of estuarine mangroves in northern Taiwan. *Restoration Ecology*, **20**, 76–84. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2010.00744.x>
- Lundquist C., Hailes S., Cartner K., Carter K. & Gibbs M. (2012) *Physical and Ecological Impacts Associated with Mangrove Removals Using In Situ Mechanical Mulching in Tauranga Harbour*. NIWA Technical Report No. 137: 106 pp. Available at: <https://docs.niwa.co.nz/library/public/NIWATr137.pdf>
- Lundquist C., Carter K., Hailes S. & Bulmer R. (2017) *Guidelines for Managing Mangroves (Mānawa) Expansion in New Zealand*. NIWA Information Series No. 85. National Institute of Water & Atmospheric Research Ltd.: New Zealand. Available at: <http://www.niwa.co.nz/managingmangroveguide>
- Mach M.E., Wyllie-Echeverria S. & Chan K.M.A. (2014) Ecological effect of a nonnative seagrass spreading in the Northeast Pacific: A review of *Zostera japonica*. *Ocean & Coastal Management*, **102**, 375–382. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.10.002>
- Plauny H.L. (2000) *Shorebirds*. NRCS Wildlife Habitat Management Institute, US Department of Agriculture, Fish and Wildlife Habitat Management - Leaflet Number 17, July 2000, 14 pp. Available at: <https://www.yumpu.com/en/document/read/47808529/shorebirds-wildlife-habitat-council>
- Rauzon M.J. & Drigot D.C. (2002) Red mangrove eradication and pickleweed control in a Hawaiian wetland, waterbird responses, and lessons learned. In: *Turning the Tide: The Eradication of Invasive Species* (ed. by E.C.R. Veitch and M.N. Clout), pp. 240–248. International Union for the Conservation of Nature: Gland, Switzerland. Available at: <https://portals.iucn.org/library/efiles/documents/SSC-OP-028.pdf>
- Schlosser S., Ramey K. & Manning S. (2011) *Zostera japonica Eradication Project: Annual Report 2010*. California, USA. Available at: <https://escholarship.org/uc/item/1fh8t6vv>
- SSS (2023) ショアバーズ ステッピング ストーンズ: とうきょうこうやちょうこうえん (Shorebird Stepping Stones: Tokyo Port Wild Bird Park). Available at: [http://www.bird-research.jp/1\\_katsudo/waterbirds/shigitodori/shigite-site/src/site/130400.html](http://www.bird-research.jp/1_katsudo/waterbirds/shigitodori/shigite-site/src/site/130400.html)
- Straw P. & Saintilan N. (2006) Loss of shorebird habitat as a result of mangrove incursion due to sea-level rise and urbanization. In: *Waterbirds Around the World* (ed. by G.C. Boere, C.A. Galbraith & D.A. Stroud). The Stationery Office: Edinburgh, UK. pp. 717-720. Available at: <https://data.jncc.gov.uk/data/08cfb4da-4c5a-4bef-b45d-8f2f87dc8070/waterbirds-around-the-world.pdf>
- Truman R. (1961) The eradication of mangroves. *Australian Journal of Science*, **24**, 189–199. Available at: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19622301082>

Wolters M., Garbutt A., Bekker R.M., Bakker J.P. & Carey P.D. (2008) Restoration of salt-marsh vegetation in relation to site suitability, species pool and dispersal traits. *Journal of Applied Ecology*, **45**, 904–912. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2008.01453.x>

WWF Hong Kong (2021) *Mai Po Nature Reserve Management Plan: 2019–2024*. June 2021. WWF-Hong Kong: Hong Kong. Available at: [https://wwfhk.awsassets.panda.org/downloads/mpnr\\_management\\_plan\\_updated\\_version\\_june2021.pdf](https://wwfhk.awsassets.panda.org/downloads/mpnr_management_plan_updated_version_june2021.pdf)

Xie D., Schwarz C., Kleinhans M.G., Bryan K.R., Coco G., *et al.* (2023) Mangrove removal exacerbates estuarine infilling through landscape-scale bio-morphodynamic feedbacks. *Nature Communications*, **14**, 7310. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-42733-1>

**Advisory Group:** Malcom Ausden, (RSPB, UK), Hyun-Ah Choi, (Hanns Seidel Foundation, South Korea), Chi-Yeung Choi, (Duke Kunshan University, China), Mark Dixon, (RSPB, UK), Qiang He (Fudan University, China), Micha V. Jackson, (CSIRO, Australia), Yifei Jia (Beijing Forest University, China), Wenhai Lu (National Marine Data and Information Service, China), David Melville (Global Flyway Network, New Zealand), Spike Millington (International Crane Foundation, USA), Taej Mundkur (Wetlands International, The Netherlands), Han Winterwerp (Delft University of Technology, The Netherlands), Fokko van der Goot, (Boskalis and EcoShape, The Netherlands), Hongyan Yang (Beijing Forest University, China)

이 편람은 국내외 다양한 자료를 문헌검토하고 전문가의 고견을 바탕으로 철저한 평가를 거쳐 작성하였습니다. 이 편람의 목적은 전 세계 연안 서식지 복원 노력에 참고할 수 있는 실용적인 정보와 권고 사항을 제공하는 것입니다. 이 편람을 활용하는 전문가와 실무자는 자신의 전문 지식과 판단을 바탕으로 상황별 특징과 요건에 맞게 적절하게 수정하여 사용하기 바랍니다. 이 편람을 참고하여 발생하는 결과에 대한 책임은 전적으로 사용자에게 있습니다.

## Spartina 속의 화학적 조절 안내

Vanessa Cutts<sup>1</sup>, David S. Melville<sup>2</sup>, Lorenzo Gaffi<sup>3</sup>, Ward Hagemeyer<sup>3</sup> & William J. Sutherland<sup>1</sup>

1 영국 케임브리지 대학교 동물학과 보전과학그룹 | Conservation Science Group, Department of Zoology, University of Cambridge, UK

2 뉴질랜드 넬슨 국제철새이동경로네트워크 | Global Flyway Network, Nelson, New Zealand

3 네덜란드 국제습지협회 | Wetlands International, The Netherlands



캐나다 브리티시컬럼비아주에서  
*Spartina* 속에 제초제를 살포하는 환경  
보전 활동가의 모습(제공: DUCI)

완료일: 2024 년 5 월 4 일



인용 표기: Cutts V., Melville D.S., Gaffi L., Hagemeyer W. & Sutherland W.J. (2024) *Spartina* 속의 화학적 조절 안내. 보전 안내 시리즈 제 8 호 v1.0 (국문). <https://doi.org/10.52201/CGSKOR/FRCY6725>

## 과업목표: 조간대 서식지에 이미 존재하는 *Spartina* 종의 개체수 감소

### 정의

- **제초제:** 식물을 죽이거나 성장을 억제하는 화학 물질
- **조간대:** 만조와 간조 사이 영역
- **소조(조금):** 태양과 달의 위치 때문에 조수 간만의 차가 큰 기간으로, 대조에 비해 만조는 훨씬 낮고 간조는 훨씬 높다.

### 1. 설명

화학물질로 *Spartina* 속을 조절하려면 *Spartina* 속이 침입한 지역에 제초제를 살포하여 해당 종을 관리 및/또는 퇴치하여야 한다. 침입 식물종 퇴치에 제초제를 사용하는 것은 검증된 조절 방법이며 갯벌과 염습지를 휴식지와 먹이활동지로 삼는 섭금류에게 적절한 서식 환경을 조성하지만, 토착 야생생물에 어떤 영향을 주는지도 반드시 살펴야 한다.

### 2. 생물다양성에 미치는 영향에 대한 근거

**새:** 제초제로 침입 식물을 제거하면 서식지 가용성을 높여 새들이 잘 이용할 수 있다. 미국 윌리파만 갯벌에서 연구한 결과 글리포사이트(glyphosate)와 이마자피르(imazapyr)를 사용하여 *Spartina* 속을 조절하자 도요새류(sandpiper | *Calidris* 속) 등 이 곳을 찾는 섭금류는 0 마리/ha 에서 제초제 살포 후 800 마리/ha 로 증가하였다(Patten & O'Casey, 2007; Patten *et al.*, 2017). 영국의 한 복원지에서는 *Spartina* 속을 3 년~4 년 전 정리한 곳보다 최근 정리한 곳에서 특히 붉은발도요(*Tringa totanus*) 같은 섭금류 개체가 더 많이 먹이활동을 하였다(Evans, 1986). 이는 최근 정리된 습하고 개방된 서식지에서 무척추동물이 더 잘 보이기 때문인 듯하다. 제초제가 야생의 새에 미치는 장기적인 영향에 대해서는 아직 알려진 바가 거의 없다. 메추라기(*Coturnix japonica*) 대상 실험 연구 결과 글리포세이트에 노출되면 누적 효과가 있을 수 있다(Ruuskanen *et al.*, 2020a,b). 글리포세이트에 오염된 종자를 10 주~52 주간 먹인 쥐는 대조군에 비해 장내 미생물군이 다르고 테스토스테론 수치가 감소하였으며 배아 발달률이 약간 낮았지만 고환 크기와 난자 생산 측면에서 생식에는 뚜렷한 영향이 보이지 않았다. 이 종에서 채취한 알에는 글리포사이트 잔류물이 들어 있었지만 알의 품질에는 영향을 미치지 않았다.

**무척추동물:** 호주의 한 연구에서는 *Spartina* 속을 제거하기 위해 Fusilade Forte® (Fluazifop-p-butyl)를 사용해도 연체동물, 환형동물, 갑각류에 해로운 영향이 없는 것으로 나타났다. 실제로 제초제 처리를 한 지역에서 6 개월 후 종 다양성이 증가하고 갑각류(주로 단각류 *Allorchestes compressa*)가 늘어났다(Kleinhenz *et al.*, 2016). 또 다른 연구에서는 Fusilade Forte®를 살포하면 초기에는 저서성 무척추동물에 독성을 보였지만 군집은 회복하였고 12 년이 지나자 갑각류가 줄고 연체동물 중에서도 특히 복족류가 늘어나는 등 천연 갯벌과 비슷한 모습이 되었다(Shepherd,



2013). 중국 총밍섬에서 한 달간 할록시포프(haloxypop)를 분무한 결과 중형동물군집에 대한 부작용은 없었다(Zhao *et al.*, 2020).

**토착 식생:** 제초제로 기수/염수 습지에서 침입종을 박멸하는 것에 대한 전 지구적인 근거를 통해 제초제가 토착 식생에 중립적이거나 긍정적인 영향을 준다는 점을 알 수 있다(Taylor *et al.*, 2021). 그러나 표적이 되는 침입종뿐만 아니라 토착 비표적 식생의 피복도 감소했다는 연구도 있다(Whitcraft & Grewell, 2012; Tobias *et al.*, 2016). 최근 중국 라이저우만(萊州灣)에서 진행된 연구에 따르면 *Spartina* 속에 할록시포프-R-메틸(화본식물 전용 제초제)을 10 개월간 살포한 후 토착 초본식물인 통통마디(*Salicornia*)와 나문재속(*Suaeda*)의 밀도가 증가하였다(Wei *et al.*, 2023).

### 3. 결과에 영향을 미칠 수 있는 요인

**조수 흐름:** 조수간만의 차가 크면 해수가 교환되는 과정에서 식물에 묻은 제초제를 씻어낼 수 있는 조석 플러싱(tidal flushing)이 일어난다. *Spartina* 속이 물에 완전히 잠기면 제초제의 흡수율이 떨어질 수 있다. 예를 들어, 중국 창장강 하구는 조수간만의 차가 커서 갯줄풀(*S. alterniflora*)이 상대적으로 오래 물에 잠겨있게 되므로 제초제를 흡수할 시간이 짧다(Zhao *et al.*, 2020). 따라서 식물이 물에 잠기는 시간이 짧은 소조기에 제초제를 살포하면 제초제 흡수량이 늘어난다(Peng *et al.*, 2022).

***Spartina* 속의 밀도와 비표적 식물 개체군 비교:** *Spartina* 속이 분포하는 방식 및 토종과의 유사성은 사용되는 제초제에 영향을 줄 수 있다. *Spartina* 속이 토종과 섞여 있는 경우 토종을 보호하기 위해 할록시포프 같은 화본식물 전용 제초제를 사용하는 것이 적절하다. *Spartina* 속의 대규모 단일 군락인 경우 이마자피르처럼 유효 범위가 넓은 제초제를 사용할 수 있다(David Melville, pers. obs.).

**현장 접근성:** 제초제 살포 방법은 사람과 차량의 접근성에 따라 다르다. 예를 들어, 부드러운 펄 때문에 인간이 접근할 수가 없으면(Hassell *et al.*, 2014) 정교하게 처리하기 더욱 어려워진다. 뉴질랜드에서는 헬리콥터로 살포하여 접근성 문제를 해결하였다(David Melville, pers. obs.).

**살포 시기:** 동일한 제초제라도 적용 시기에 따라 조절 효과가 다를 수 있다. 예를 들어, Zhao 외(2020)에 따르면 갯줄풀(*S. alterniflora*)에 제초제를 7 월~8 월에 살포하면 100% 고사하는 반면, 5 월에 살포하면 빠르게 회복한다.

**중장비 사용:** 살포용 중장비(예: 붐 분무기) 사용은 습하고 부드러운 조간대 퇴적물에서는 어려울 수 있다. 또한 탈것을 이용하면 식물을 다른 곳으로 옮기거나 바닥에 눌러버릴 수 있으며 퇴적물 내 저서성 무척추동물에 악영향을 미칠 수도 있다(Evans *et al.*, 1999; David Melville, pers. obs.).

### 4. 이행

**사용할 화학물질:** 현재 전 세계적으로 가장 효과적인 제초제는 할록시포프와 이마자피르이며, 뉴질랜드, 미국, 중국에서 고사율이 높다(Brown & Raal, 2013; Strong & Ayres, 2016; Patten *et al.*, 2017; David Melville, pers. obs.). 뉴질랜드 뉴강 염하구에서 할록시포프(상품명: Gallant)는 첫 살포

시 95%의 고사율을 보이며 *Spartina* 속의 면적을 800 헥타르에서 1 헥타르 미만으로 떨어뜨렸다(Miller & Croyhers, 2004). 미국 윌라파만에서 이마자피르를 사용한 결과, 11 년 동안 *Spartina* 속의 면적은 3,440 헥타르에서 0.36 헥타르로 감소하였다(Patten *et al.*, 2017). 최근 26 개 연구를 메타분석한 결과 *Spartina* 속에 부정적인 영향을 미치는 기타 화학물질로는 이마자메스, 글리포세이트, 2,2-디클로로프로피온산(상품명: Dalapon), 사이할로호프 부틸이 있다(Reynolds *et al.*, 2023).

일부 제초제의 개별 효과를 조사한 연구 수가 적기 때문에 *Spartina* 속의 대규모 조절 가능성에 대한 결론을 내릴 때는 신중히 처리해야 한다.

**화학물질 살포:** 제초제는 드론, 사륜 자전거, 항공기, 배낭형 분무기를 사용하여 살포할 수 있다. 이후 좁은 표적지에는 손으로 분무하여 토착 식생에 미치는 영향을 줄일 수 있다. 예를 들어, 남아프리카 그레이트 브락(Great Brak) 염하구에서는 글리포세이트를 살포할 때 처음에는 배낭형 분무기를 이용했지만 *Spartina* 속의 피복 면적이 줄어들면서 병 분무기로 바꿨다(Riddin *et al.*, 2016). 마찬가지로 미국 워싱턴주 윌라파만에서는 먼저 봄 분무기로 이마자피르를 살포하고 이어서 배낭형 분무기를 이용하여 *Spartina* 속을 제거하였다. 이때 최소 1 년 2 회 이상 여러 수색대원이 230km 연안을 따라 4m~20m 간격을 두고 도보로, 집중 수색하는 방식이었다(Patten *et al.*, 2017). 빠진 곳이 없도록 사전 프로그래밍된 GPS 로 작동하고 20 리터~30 리터 탱크를 운반하는 드론을 사용하기도 하였다(David Melville, pers. obs.). 지반이 단단하면 분무대가 달린 무한궤도형 트랙터(crawler tractor)를 이용하면 가장 효과적으로 제초제를 살포할 수 있다(David Melville, pers. obs.).



드론으로 제초제를 공중에서 살포할 수 있다. 사진은 중국에서 *Spartina* 속 제거 작업에 사용한 드론이다. [제공: David Melville].

**용량:** Wang 외(2023)는 네 가지 제초제를 비교하였으며, 그중 세 가지인 글리포세이트(glyphosate, 8.0 kg/ha), 싸이할로호프 부틸(cyhalofop-butyl, 0.8 kg/ha), 이마자메스(imazameth, 0.4 kg/ha)를 최고 용량으로 테스트한 결과 *Spartina* 속의 25%~35%만 제거되었다. 할록시포프(haloxypop)는 0.3~0.45kg/ha 용량으로 첫해에 95%를 제거하는 가장 효과적인 제초제였다. 중국 충밍동탄(崇明东滩)에서 실시한 한 연구에 따르면 할록시포프를 최대 용량인 2.70g/m<sup>2</sup> 로 시험했을 때 가장 효과적이어서 하나씩 떨어진 작은 구획에서는 100%, 이어지는 군락지에서는 92%의 제거율을 보였고, 용량을 낮추자(0.45g/m<sup>2</sup>~1.35g/m<sup>2</sup>) 40% 미만으로 떨어졌다(Zhao *et al.*, 2020).

**제초제 내 계면활성제:** 계면활성제는 제초제가 물속에서 잘 퍼지게 하는 화학 물질이다. 글리포세이트 기반 제초제는 양서류, 물벼룩, 어류 등 수생 생물에 독성이 있을 수 있으며 이러한 독성은 제초제의 계면활성제 농도와 관련이 있다는 근거가 있다(Pless, 2005; Mikó & Hettyey, 2023).

### 사례 연구: 미국 샌프란시스코만

갯줄풀(*Spartina alterniflora*)은 1970 년대에 샌프란시스코만에 들어왔다. 이후 토착종인 호산장구채(*S. foliosa*)와 교잡하여 무성하게 자라나는 여러 잡종이 탄생하였다. *Spartina* 속 잡종은 침수와 염분에 내성이 높아 토착종을 물리치고 범위를 확장하였다. 연안선을 구성하는 중요 토착 식물인 호산장구채(*S. foliosa*)때문에 갯줄풀(*S. alterniflora*)로 인한 교란을 통제하기 어렵다. 갯줄풀(*S. alterniflora*)의 확산으로 조류의 먹이활동지의 27%~80%가 손실된 것으로 추정한다.

*Spartina* 속 박멸을 위한 연방 주정부 프로그램을 2003 년 수립하고 2005 년부터 제초제를 살포하였다. 사용된 제초제는 캘리포니아 염하구 내 사용 허가를 받은 단 두 종의 제초제 중 하나인 이마자피르이다.

헬리콥터, 전 지형 만능차(ATV), 보트를 이용하거나 배낭형 분무기로 지상에 살포하였다. 2005 년에는 갯줄풀(*S. alterniflora*)과 *Spartina* 속 잡종이 뒤덮은 만의 면적은 327 헥타르였다. 2019 년이 되자 11.4 헥타르로 줄었다. 96%가 감소한 수치이다.

2000 년~2001 년 스파르티나 침입 대항 프로젝트(Invasive *Spartina* Project)로 총 미화 2,100 만 달러가 들었다.

#### 교훈

- 2000년 프로그램을 수립하고 2005년 시행에 이르는 사이 갯줄풀(*S. alterniflora*)은 널리 퍼졌다. 따라서 처치를 미룰수록 *Spartina* 제거는 어려워질 뿐이었다.
- 제초제 적용 전 갯줄풀 발생 상황을 지도화하면 작업자들이 분무 장소를 결정할 필요가 없어 시간을 절약할 수 있다.
- 제초제는 마를 때까지 6 시간(날씨에 따라 다름) 두어야 하기 때문에 날씨와 조석에 따라 언제 살포할지 신중히 결정해야 한다. 생육기에 씨앗을 맺기 전에도 살포해야 한다.

출처: Strong & Ayres (2013, 2016)

## 5. 그 외 유용한 자료

***Spartina* 속의 조절을 위한 다양한 관리 조치 평가:** Reynolds S., Aldridge D., Christie A., Choi C.-Y., Jackson M.V., et al. (2023) *Spartina* invasive management - A review of the evidence. OSF. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/3BWZX>

**Spartina** 속의 조절을 위한 다양한 관리 조치 평가: Wang S., Martin P.A., Hao Y., Sutherland W.J., Shackelford G.E., *et al.* (2023) A global synthesis of the effectiveness and ecological impacts of management interventions for *Spartina* species. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, **17**, 141. <https://doi.org/10.1007/s11783-023-1741-x>

**제초제 할록시포프-R-메틸**: Wei H., Jiang X., Liu L., Ma Y., He J., *et al.* (2023) Efficiency and ecological safety of herbicide haloxyfop-R-methyl on removal of coastal invasive plant *Spartina alterniflora*. *Marine Pollution Bulletin*, **197**, 11566. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115662>

**제초제 이마자피르**: Peng H.-B., Shi J., Gan X., Zhang J., Ma C., *et al.* (2022) Efficient removal of *Spartina alterniflora* with low negative environmental impacts using imazapyr. *Frontiers in Marine Science*, **9**, 1054402. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1054402>

**수중 환경에서 제초제의 효과**: Environmental Protection Authority (2012) *Application for the Modified Reassessment of Aquatic Herbicides (APP201365)*. New Zealand Government. Available at: <https://www.epa.govt.nz/assets/FileAPI/hsno-ar/APP201365/d75a14b69a/APP201365-APP201365-EnR-report.pdf>

**뉴질랜드 남섬의 Spartina 속 박멸 프로그램 리뷰 요약**: Brown K. & Raal P. (2013) *Is Eradication of Spartina from the South Island Feasible?* DOC Research and Development Series 339. Department of Conservation: Wellington, New Zealand. Available at: <https://www.doc.govt.nz/globalassets/documents/science-and-technical/drds339entire.pdf>

## 참고자료

Brown K. & Raal P. (2013) *Is Eradication of Spartina from the South Island Feasible?* DOC Research and Development Series 339. Department of Conservation: Wellington, New Zealand. Available at: <https://www.doc.govt.nz/globalassets/documents/science-and-technical/drds339entire.pdf>

Evans P.R., Ward R.M., Bone M. & Leakey M. (1999) Creation of temperate-climate intertidal mudflats: factors affecting colonization and use by benthic invertebrates and their bird predators. *Marine Pollution Bulletin*, **37**, 535–545. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(98\)00140-4](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(98)00140-4)

Evans P.R. (1986) Use of the herbicide “Dalapon” for control of *Spartina* encroaching on intertidal mudflats: Beneficial effects on shorebirds. *Colonial Waterbirds*, **9**, 171–175. <https://doi.org/10.2307/1521210>

Hassell C.J., Boyle A.N., Slaymaker M., Chan Y.C. & Piersma T. (2014) *Red Knot Northward Migration Through Bohai Bay, China: Field Trip Report April-June 2014*, Global Flyway Network. 2014. Available at: [https://pure.rug.nl/ws/portalfiles/portal/28439250/GFN\\_Bohai\\_Report\\_2014\\_Online\\_version.pdf](https://pure.rug.nl/ws/portalfiles/portal/28439250/GFN_Bohai_Report_2014_Online_version.pdf)

Hedge P., Kriwoken L.K. & Patten K. (2003) A review of *Spartina* management in Washington State, US. *Journal of Aquatic Plant Management*, **41**, 82–90. Available at: <https://apms.org/wp-content/uploads/japm-41-02-082.pdf>

Kleinhenz L.S., Nugegoda D., Verspaandonk E.R., Coombes D.C., Howe, S., *et al.* (2016) Toxicity of an herbicide and adjuvant to saltmarsh invertebrates in the management of invasive grass: Comparative laboratory and field tests. *Marine Pollution Bulletin*, **109**, 334–343. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.05.061>

Mikó Z. & Hettyey A. (2023) Toxicity of POEA-containing glyphosate-based herbicides to amphibians is mainly due to the surfactant, not to the active ingredient. *Ecotoxicology*, **32**, 150–159. <https://doi.org/10.1007/s10646-023-02626-x>

Miller G. & Croyhers K. (2004) Controlling invasive *Spartina* spp.: the New Zealand success story. Proceedings of the Third International Conference on Invasive *Spartina* (2004), pp. 247–248. San Francisco, USA.

- Patten K. & O'Casey C. (2007) Use of Willapa Bay, Washington, by shorebirds and waterfowl after *Spartina* control efforts. *Journal of Field Ornithology*, **78**, 395–400. <https://doi.org/10.1111/j.1557-9263.2007.00128.x>
- Patten K., O'Casey C. & Metzger C. (2017) Large-scale chemical control of smooth cordgrass (*Spartina alterniflora*) in Willapa Bay, WA: Towards eradication and ecological restoration. *Invasive Plant Science and Management*, **10**, 284–292. <https://doi.org/10.1017/inp.2017.25>
- Peng H.-B., Shi J., Gan X., Zhang J., Ma C., *et al.* (2022) Efficient removal of *Spartina alterniflora* with low negative environmental impacts using imazapyr. *Frontiers in Marine Science*, **9**, 1054402. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.1054402>
- Pless P. (2005) *Use of Imazapyr Herbicide to Control Invasive Cordgrass (Spartina spp.) in the San Francisco Estuary*. Leson & Associates: Berkeley, CA, USA. Available at: <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=fec3aaf65c8e088cde51e043be14ab7ad5f839be>
- Reynolds S., Aldridge D., Christie A., Choi C.-Y., Jackson M.V., *et al.* (2023) *Spartina* invasive management - A review of the evidence. OSF. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/3BWZX>
- Riddin T., van Wyk E. & Adams J. (2016) The rise and fall of an invasive estuarine grass. *South African Journal of Botany*, **107**, 74–79. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.07.008>
- Ruuskanen, S., Rainio, M.J., Gómez-Gallego, C., Selenius, O., Salminen, S., *et al.* (2020a) Glyphosate-based herbicides influence antioxidants, reproductive hormones and gut microbiome but not reproduction: A long-term experiment in an avian model. *Environmental Pollution*, **266**, 115108. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115108>
- Ruuskanen S., Rainio M.J., Uusitalo M., Saikkonen K. & Helander M. (2020b) Effects of parental exposure to glyphosate-based herbicides on embryonic development and oxidative status: A long-term experiment in a bird model. *Scientific Reports*, **10**, 6349. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63365-1>
- Shepherd C.J. (2013) Impact of rice grass *Spartina anglica*, and the effect of treating rice grass with the herbicide Fusilade forte on benthic macro-invertebrate communities in a northern Tasmanian estuary. University Of Tasmania. Thesis. <https://doi.org/10.25959/23205629.v1>
- Strong D.R. & Ayres D.A. (2016) Control and consequences of *Spartina* spp. invasions with focus upon San Francisco Bay. *Biological Invasions*, **18**, 2237–2246. <https://doi.org/10.1007/s10530-015-0980-6>
- Strong D.R. & Ayres D.R. (2013) Ecological and evolutionary misadventures of *Spartina*. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, **44**, 389–410. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110512-135803>
- Taylor N.G., Grillas P., Smith R.K. & Sutherland W.J. (2021) *Marsh and Swamp Conservation: Global Evidence for the Effects of Interventions to Conserve Marsh and Swamp Vegetation*. University of Cambridge: Cambridge, UK. Available at: <https://www.conservationevidence.com/synopsis/pdf/19>
- Tobias V., Block G. & Laca E. (2016) Controlling perennial pepperweed (*Lepidium latifolium*) in a brackish tidal marsh. *Wetlands Ecology and Management*, **24**, 411–418. <https://doi.org/10.1007/s11273-015-9464-9>
- Wang Y., He Y., Qiao P., Mei B., Wang X., *et al.* (2023) Control effects of different herbicides on *Spartina alterniflora*. *Ecological Indicators*, **154**, 110824. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110824>
- Wei H., Jiang X., Liu L., Ma Y., He J., *et al.* (2023) Efficiency and ecological safety of herbicide haloxyfop-R-methyl on removal of coastal invasive plant *Spartina alterniflora*. *Marine Pollution Bulletin*, **197**, 115662. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115662>
- Whitcraft C.R. & Grewell B.J. (2012) Evaluation of perennial pepperweed (*Lepidium latifolium*) management in a seasonal wetland in the San Francisco Estuary prior to restoration of tidal hydrology. *Wetlands Ecology and Management*, **20**, 35–45. <https://doi.org/10.1007/s11273-011-9239-x>
- Williams D.R., Child M.F., Dicks L.V., Ockendon N., Pople R.G., *et al.* (2020) Bird conservation. In: *What Works in Conservation 2020* (ed. by W.J. Sutherland, L.V. Dicks, S.O. Petrovan & R.K. Smith), pp. 137–281. Open Book Publishers: Cambridge, UK. <https://doi.org/10.11647/OBP.0267>
- Zhao Z., Xu Y., Yuan L., Li W., Zhu X., *et al.* (2020) Emergency control of *Spartina alterniflora* re-invasion with a chemical method in Chongming Dongtan, China. *Water Science and Engineering*, **13**, 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2020.03.001>



**자문단:** Malcom Ausden, (RSPB, UK), Hyun-Ah Choi, (Hanns Seidel Foundation, South Korea), Chi-Yeung Choi, (Duke Kunshan University, China), Mark Dixon, (RSPB, UK), Qiang He (Fudan University, China), Micha V. Jackson, (CSIRO, Australia), Yifei Jia (Beijing Forest University, China), Wenhai Lu (National Marine Data and Information Service, China), Spike Millington (International Crane Foundation, USA), Taej Mundkur (Wetlands International, The Netherlands), Han Winterwerp (Delft University of Technology, The Netherlands), Fokko van der Goot, (Boskalis and EcoShape, The Netherlands), Hongyan Yang (Beijing Forest University, China)

이 편람은 국내외 다양한 자료를 문헌검토하고 전문가의 고견을 바탕으로 철저한 평가를 거쳐 작성하였습니다. 이 편람의 목적은 전 세계 연안 서식지 복원 노력에 참고할 수 있는 실용적인 정보와 권고 사항을 제공하는 것입니다. 이 편람을 활용하는 전문가와 실무자는 자신의 전문 지식과 판단을 바탕으로 상황별 특징과 요건에 맞게 적절하게 수정하여 사용하기 바랍니다. 이 편람을 참고하여 발생하는 결과에 대한 책임은 전적으로 사용자에게 있습니다.

## Spartina 속의 물리적 조절 안내

Vanessa Cutts<sup>1</sup>, David S. Melville<sup>2</sup>, Lorenzo Gaffi<sup>3</sup>, Ward Hagemeyer<sup>3</sup> & William J. Sutherland<sup>1</sup>

1 영국 케임브리지 대학교 동물학과 보전과학그룹 | Conservation Science Group, Department of Zoology, University of Cambridge, UK

2 뉴질랜드 넬슨 국제철새이동경로네트워크 | Global Flyway Network, Nelson, New Zealand

3 네덜란드 국제습지협회 | Wetlands International, The Netherlands



중국 충밍 동탄에서 부유식 회전 경운기로 갯줄풀(*Spartina alterniflora*)을 잘라내는 모습. [제공: David Melville].

완료일: 2024 년 5 월 4 일

Conservation  
Evidence

Wetlands  
INTERNATIONAL

인용 표기: Cutts V., Melville D.S., Gaffi L., Hagemeyer W. & Sutherland W.J. (2024) *Spartina* 속의 물리적 조절 안내. 보전 안내 시리즈 제 9 호 v1.0 (국문). <https://doi.org/10.52201/CGSKOR/YXGT4871>

## 과업목표: 조간대 서식지에 이미 존재하는 *Spartina* 종의 개체수 감소

### 정의

- **조간대:** 만조와 간조 사이 영역
- **뿌리줄기:** 수평으로 자라는 지하 식물 줄기로 뿌리와 싹이 난다. 뿌리줄기는 혹독한 계절에도 식물이 지하에서 생존할 수 있게 한다.

## 1. 설명

물리적 조절법은 침입 식물종 조절에 확립된 방법이다. 물리적 조절법으로는 뿌리 뽑기, 잘라내기/베어내기로 종자 생산 줄이기, 천이나 흙으로 덮어 광합성 막기, 태우기, 제방 쌓기 등이 있다.

물리적 대책은 *Spartina* 속 조절에 효과적일 수 있지만(Reynolds *et al.*, 2023) 토착 야생생물에 미치는 영향 또한 고려해야 한다. Wang 외(2023)의 검토에 따르면, 물리적으로 개입하자 *Spartina* 속의 성장과 더불어 개체수도 현저히 감소(25.5%)하였지만, 시간이 지나자 개입 효과는 줄어들었다.

## 2. 생물다양성에 미치는 영향에 대한 근거

**새:** 새는 *Spartina* 속이 침입한 지역에는 접근하지 않는 경향이 있지만, 일단 *Spartina* 속을 제거하면 침입이 없었던 지역과 비슷한 수준으로 제거된 지역을 이용한다(Lyu *et al.*, 2023).

**토착 식생:** 전 세계적인 근거에 따르면 잘라내기와 소각 모두 토착 식물의 다양성을 크게 높이지만, 잘라내기는 토착 식물의 개체수에는 영향을 미치지 않을 가능성이 높다. 물리적 개입 활동은 토착 식물의 다양성을 평균 72% 향상시켰다(Wang *et al.*, 2023).

**무척추동물:** 영국의 한 연구에 따르면 갯벌에서 무한궤도가 달린 탈것을 사용하여 *Spartina* 속을 물리적으로 방해하면 저서성 무척추동물에 부정적인 영향을 미치지 않았다(Frid *et al.*, 1999). 그러나 중장비를 사용하면 토양이 다져져서 저서성 무척추동물에 부정적인 영향을 줄 수 있다(David Melville, pers. obs.). 중국 창장강 하구에서 *Spartina* 속을 조절하기 위해 사방을 둘러싸는 시멘트 제방을 건설한 결과, 제방 건설 후 저서성 무척추동물의 종류가 50% 감소하는 등 부정적인 영향을 미쳤다. 그러나 사방을 막지 않는 퇴적물 제방은 긍정적인 영향을 미쳐 생물 종류와 밀도가 증가하였다(Wang *et al.*, 2021).

## 3. 결과에 영향을 미칠 수 있는 요인

**현장 접근성:** 장소 내 모든 영역에 얼마나 쉽게 접근할 수 있는지에 따라 실제로 사용할 수 있는 기술이 결정된다. 예를 들어 부드러운 펄 때문에 접근이 불가능할 수 있다(Hassell *et al.*, 2014).

대형 기계류를 가지고 갈 수 없다면 인간이 수작업을 진행해야 할 수도 있다. 그러나 인간이 걸어서 접근하기도 어렵거나 안전하지 않은 곳도 있다.

**현장 규모:** *Spartina* 속을 제거해야 하는 장소의 크기도 이행 방법에 영향을 준다. 예를 들어 면적이 아주 작다면 식물을 손으로 제거하는 방식으로 관리할 수 있다. 다만 작업 속도가 매우 느리기 때문에 넓은 곳에서는 비실용적이다(Hedge *et al.*, 2003).

**처리 시기:** 조절 작업 1년 중 언제 실시하느냐에 따라 효과도 달라진다. 중국에서 나온 근거에 따르면 잘라내기 작업의 최적기는 6월 초~7월 초로 식물의 성장기가 끝나고 개화 단계에 이르는 시기이다(Xie *et al.*, 2019).

**중장비 사용:** 습하고 부드러운 조간대 퇴적물에서 중장비는 사용하기 어렵다. 또한 탈것을 이용하면 식물을 다른 곳으로 옮기거나 바닥에 눌러버릴 수 있으며 퇴적물 내 저서성 무척추동물에 악영향을 미칠 수도 있다(Evans *et al.*, 1999; David Melville, pers. obs.).

#### 4. 이행

*Spartina* 속은 물리적 스트레스를 잘 견디기 때문에 물리적 방제 후에도 빠르게 회복할 수 있다(Wang *et al.*, 2023). 따라서 재침입의 위험을 정량화하기 위해 지속적으로 제거 작업을 하고 후속 현황점검을 계획해야 한다.

**잘라내기/베어내기:** 잘라내기/베어내기로 제초제보다 더 빠르게 개방지를 조성할 수 있다(David Melville, pers. obs.). 잘라내기/베어내기는 수동 장비나 수륙양용 기계(보트)로 진행한다. 다만, Hedge 외(2003)의 보고에 따르면 예초기는 염하구 환경에서 사용하기에는 지나치게 약하다. 잘라내는 시기는 신중하게 결정해야 한다(상기 참조). 반복 작업이 필요할 수도 있지만, Sheng 외(2014)에 따르면 *Spartina* 속을 반복하여 잘라내도 줄기 높이만 줄어든 뿐 완전히 제거할 수 없다. 잘라내기를 실시하면 그 즉시 개체수가 100% 감소할 수 있지만 그 효과가 지속되지 않을 수 있다(David Melville, pers. obs.).



*Spartina* 속을 자르는 기계는 다양하다. 사진은 미니 수확기/절단기이다. [제공: David Melville].

**뿌리뽑기:** *Spartina* 속의 뿌리를 뽑아 수작업으로 제거하면 자원이 필요하지는 않지만 노동 집약적이다. 지하 뿌리줄기 전체를 제거해야 재성장을 막을 수 있지만 퇴적물에 깊이 1m 이상 뻗어있을 수 있다(Hedge *et al.*, 2003). 뿌리뽑기는 쟁기로도 가능하다. 쟁기질로 퇴적물을 갈고 섞으면 *Spartina* 속의 뿌리줄기를 상하게 할 수 있다. 중국의 연구에 따르면 성장기가 끝날 때 쟁기질을 하면 *Spartina* 속의 번식을 막을 수 있다(Xie *et al.*, 2019). 효과가 있다는 근거가



있지만(Reynolds *et al.*, 2023), 쟁기질로 서식지를 방해할 수 있으며 생존 가능한 식물 물질이 완전히 제거되지 않으면 *Spartina* 속의 재성장이 가능해 다시 확산될 수 있다는 점에 유의해야 한다는 실무자들도 있다(Bo Li, pers. comm). 나아가 중장비로 퇴적물이 다져져서 저서성 무척추동물에 부정적인 영향을 줄 수 있다(David Melville, pers. obs.).

**덮기:** *Spartina* 속을 일시적으로 천으로 덮어버리면 광합성을 막아 식물 성장을 억제할 수 있다. 천이 썩어 내려가지 않도록 주의해야 한다(Lyu *et al.*, 2023). 천을 대체하여 조간대/조하대 흙으로 덮어버릴 수도 있지만, 그 결과 처리된 지역의 높이가 높아질 수 있다. 결국 식생 피복 면적이 증가할 수 있다. 조간대 상부 지역에서 이 작업을 수행하면 이동형 섭금류의 먹이활동에 대단히 중요한 개방형 갯벌의 폭이 줄어들 위험이 있다(Mu & Wilcove, 2020).

**태우기:** 일부러 불을 내는 방식으로 *Spartina* 속 같은 침입 식물을 처리할 수도 있다. 염습지 식물(*Spartina* 속 포함)을 태워서 제거하는 데 성공한 연구에서는 맞불을 놓아 불이 바람을 거슬러 올라가게 하였다(de Szalay & Resh, 1997; Gabrey *et al.*, 1999). 이렇게 하면 식물은 더 높은 온도에 더 오래 노출된다(DiTomaso & Johnson, 2006). 씨앗이 아직 식물에 붙어 있는 상태에서 태우면 씨앗도 죽을 확률이 올라가지만(DiTomaso & Johnson, 2006), 씨앗이 나오는 시기는 매우 다양하여 영국에서는 7 월~8 월에 피는 꽃은 11 월에 씨앗을 맺지만 9 월에 피는 꽃은 씨앗을 맺지 않을 수도 있음이 밝혀졌다(Mullins & Marks, 1987).



중국은 갯줄풀(*S. alterniflora*)의 침입을 조절하기 위해 끊임없이 노력하고 있다. 좌측 사진은 2022년 7월 상하이 푸둥신취(浦东新区) 난회이신청(南汇新城)에서 *Spartina* 속이 자란 모습이다. 우측 사진은 2022년 9월 같은 장소에서 *Spartina* 속을 잘라낸 후 20cm의 그루터기만 남긴 모습이다. 잘라낸 후 흙을 꼼꼼하게 뒤집었다. [촬영: 화동사범대학 박사과정 리텐여우]



## 사례 연구: 중국 남부 광둥 잔장 맹그로브 국립보호구(ZMNNR)

2006 년, 광둥성 잔장 맹그로브 국립보호구(ZMNNR)에서 18 헥타르가 넘는 갯줄풀(*S. alterniflora*)이 발견되었다. 갯줄풀을 조절하기 위한 노력은 2019 년 11 월 시작되었다.

표층(뿌리줄기층 포함)을 파낸 다음 1.5m 깊이로 묻었다. 이 작업은 퇴적물이 다져지지 않도록 굴착기를 사용하여 역방향으로 작업하였다. 2020 년 5 월~7 월, 갯줄풀의 줄기를 자르고 굴삭기로 뿌리를 부러뜨린 다음 검은색 비닐 막 두 겹으로 덮는 추가 작업을 진행하였다. 갯줄풀이 발생한 곳의 가장자리에서 30cm 너머까지 천으로 덮었다가 뿌리줄기에서 유묘가 재성장하는 비율이 5% 미만이면 이듬해 제거하였다. 갯줄풀이 맹그로브 아래에서 자란 경우 표면의 뿌리줄기를 손으로 파서 제거하였다.

### *Spartina* 속에 미친 영향

맨 처음 파내고 묻는 작업으로 14 헥타르를 제거하였다. 추가 작업인 잘라내기와 덮기로 4 헥타르를 더 제거하였다. 아직 2.7 헥타르가 남아 있다.

### 토착 생물종에 미친 영향

갯줄풀이 제거된 지역과 갯벌이 드러난 지역에서 섭금류와 저서성 무척추동물을 조사하였다. 섭금류의 표본을 추출한 결과, 갯줄풀 제거 후 1 년이 흐르자 제거된 곳과 제거되지 않은 곳에서 섭금류의 종류와 발생 빈도 가 비슷하였다. 섭금류 개체를 추적한 결과, 추적된 14 마리 중 9 마리가 갯줄풀이 근절된 곳을 이용했으며, 특히 붉은발도요(*Tringa totanus*)가 많았다. 저서성 무척추동물은 퇴적물 표면 5cm~20cm 아래에서 조사되었다. 저서성 무척추동물의 밀도와 생물량은 비식생 갯벌과 비교하여 갯줄풀이 제거된 곳에서 더 낮았다. 즉 섭금류가 존재하더라도 먹이 자원 회복에 1 년 이상 걸릴 수 있음을 시사한다.

출처: Lyu *et al.* (2023)

## 5. 그 외 유용한 자료

미국 워싱턴주의 *Spartina* 속 관리: Hedge P., Kriwoken L.K & Patten K. (2003) A review of *Spartina* management in Washington State, US. *Journal of Aquatic Plant Management*, **41**, 82–90. Available at: <https://apms.org/wp-content/uploads/japm-41-02-082.pdf>

*Spartina* 속의 조절을 위한 다양한 관리 조치 평가: Reynolds S., Aldridge D., Christie A., Choi C.-Y., Jackson M.V., *et al.* (2023) *Spartina* invasive management - A review of the evidence. OSF. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/3BWZX>

*Spartina* 속의 조절을 위한 다양한 관리 조치 평가: Wang S., Martin P.A., Hao Y., Sutherland W.J., Shackelford G.E., *et al.* (2023) A global synthesis of the effectiveness and ecological impacts of

management interventions for *Spartina* species. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, **17**, 141. <https://doi.org/10.1007/s11783-023-1741-x>

뉴질랜드 남섬의 *Spartina* 속 박멸 프로그램 리뷰 요약: Brown K. & Raal P. (2013) *Is Eradication of Spartina from the South Island Feasible?* DOC Research and Development Series 339. Department of Conservation: Wellington, New Zealand. Available at: <https://www.doc.govt.nz/globalassets/documents/science-and-technical/drds339entire.pdf>

## 참고자료

Di Tomaso J.M. & Johnson D.W. (2006) *The Use of Fire as a Tool for Controlling Invasive Plants*. California Invasive Plant Council: Berkeley, CA. Available at: <https://www.cal-ipc.org/docs/ip/management/UseofFire.pdf>

Evans P.R., Ward R.M., Bone M. & Leakey M. (1999) Creation of temperate-climate intertidal mudflats: factors affecting colonization and use by benthic invertebrates and their bird predators. *Marine Pollution Bulletin*, **37**, 535–545. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(98\)00140-4](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(98)00140-4)

Fan J., Wang X., Wu W., Chen W., Ma Q., et al. (2021) Function of restored wetlands for waterbird conservation in the Yellow Sea coast. *Science of The Total Environment*, **756**, 144061. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144061>

Frid, C.L.J., Chandrasekara, W.U. & Davey, P. (1999) The restoration of mud flats invaded by common cord-grass (*Spartina anglica*, CE Hubbard) using mechanical disturbance and its effects on the macrobenthic fauna. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, **9**, 47–61. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-0755\(199901/02\)9:1%3C47::AID-AQC326%3E3.0.CO;2-T](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-0755(199901/02)9:1%3C47::AID-AQC326%3E3.0.CO;2-T)

Gabrey S.W., Afton A.D. & Wilson B.C. (1999) Effects of winter burning and structural marsh management on vegetation and winter bird abundance in the Gulf Coast Chenier Plain, USA. *Wetlands*, **19**, 594–606. <https://doi.org/10.1007/BF03161697>

Hassell C.J., Boyle A.N., Slaymaker M., Chan Y.C. & Piersma T. (2014) *Red Knot Northward Migration Through Bohai Bay, China: Field Trip Report April-June 2014*, Global Flyway Network. 2014. Available at: [https://pure.rug.nl/ws/portalfiles/portal/28439250/GFN\\_Bohai\\_Report\\_2014\\_Online\\_version.pdf](https://pure.rug.nl/ws/portalfiles/portal/28439250/GFN_Bohai_Report_2014_Online_version.pdf)

Hedge P., Kriwoken L.K. & Patten K. (2003) A review of *Spartina* management in Washington State, US. *Journal of Aquatic Plant Management*, **41**, 82–90. Available at: <https://apms.org/wp-content/uploads/japm-41-02-082.pdf>

Lyu C., Zhang S., Ren X., Liu M., Leung K.-S.K., et al. (2023) The effect of *Spartina alterniflora* eradication on waterbirds and benthic organisms. *Restoration Ecology*, **31**, e14023. <https://doi.org/10.1111/rec.14023>

Mu T. & Wilcove D.S. (2020) Upper tidal flats are disproportionately important for the conservation of migratory shorebirds. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **287**, 20200278. <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.0278>

Mullins P.H. & Marks T.C. (1987) Flowering phenology and seed production of *Spartina anglica*. *Journal of Ecology*, **75**, 1037–1048. <https://doi.org/10.2307/2260312>

Reynolds S., Aldridge D., Christie A., Choi C.-Y., Jackson M.V., et al. (2023) *Spartina* invasive management - A review of the evidence. OSF. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/3BWZX>

Sheng Q., Huang M.-Y., Tang C.-D., Dong-Liang N.I.U., Qiang M.A. et al. (2014) Effects of different eradication measures for controlling *Spartina alterniflora* on plants and macrobenthic invertebrates. *Acta Hydrobiologica Sinica*, **38**, 279–290. <https://doi.org/10.7541/2014.41>

de Szalay F.A. & Resh V.H. (1997) Responses of wetland invertebrates and plants important in waterfowl diets to burning and mowing of emergent vegetation. *Wetlands*, **17**, 149–156. <https://doi.org/10.1007/BF03160726>

Wang S., Martin P.A., Hao Y., Sutherland W.J., Shackelford G.E., et al. (2023) A global synthesis of the effectiveness and ecological impacts of management interventions for *Spartina* species. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, **17**, 141. <https://doi.org/10.1007/s11783-023-1741-x>

Xie B., Han G., Qiao P., Mei B., Wang Q., *et al.* (2019) Effects of mechanical and chemical control on invasive *Spartina alterniflora* in the Yellow River Delta, China. *PeerJ*, 7, e7655. <https://doi.org/10.7717/peerj.7655>

**자문단:** Malcom Ausden, (RSPB, UK), Hyun-Ah Choi, (Hanns Seidel Foundation, South Korea), Chi-Yeung Choi, (Duke Kunshan University, China), Mark Dixon, (RSPB, UK), Qiang He (Fudan University, China), Micha V. Jackson, (CSIRO, Australia), Yifei Jia (Beijing Forest University, China), Wenhai Lu (National Marine Data and Information Service, China), Spike Millington (International Crane Foundation, USA), Taej Mundkur (Wetlands International, The Netherlands), Han Winterwerp (Delft University of Technology, The Netherlands), Fokko van der Goot, (Boskalis and EcoShape, The Netherlands), Hongyan Yang (Beijing Forest University, China)

이 편람은 국내외 다양한 자료를 문헌검토하고 전문가의 고견을 바탕으로 철저한 평가를 거쳐 작성하였습니다. 이 편람의 목적은 전 세계 연안 서식지 복원 노력에 참고할 수 있는 실용적인 정보와 권고 사항을 제공하는 것입니다. 이 편람을 활용하는 전문가와 실무자는 자신의 전문 지식과 판단을 바탕으로 상황별 특징과 요건에 맞게 적절하게 수정하여 사용하기 바랍니다. 이 편람을 참고하여 발생하는 결과에 대한 책임은 전적으로 사용자에게 있습니다.

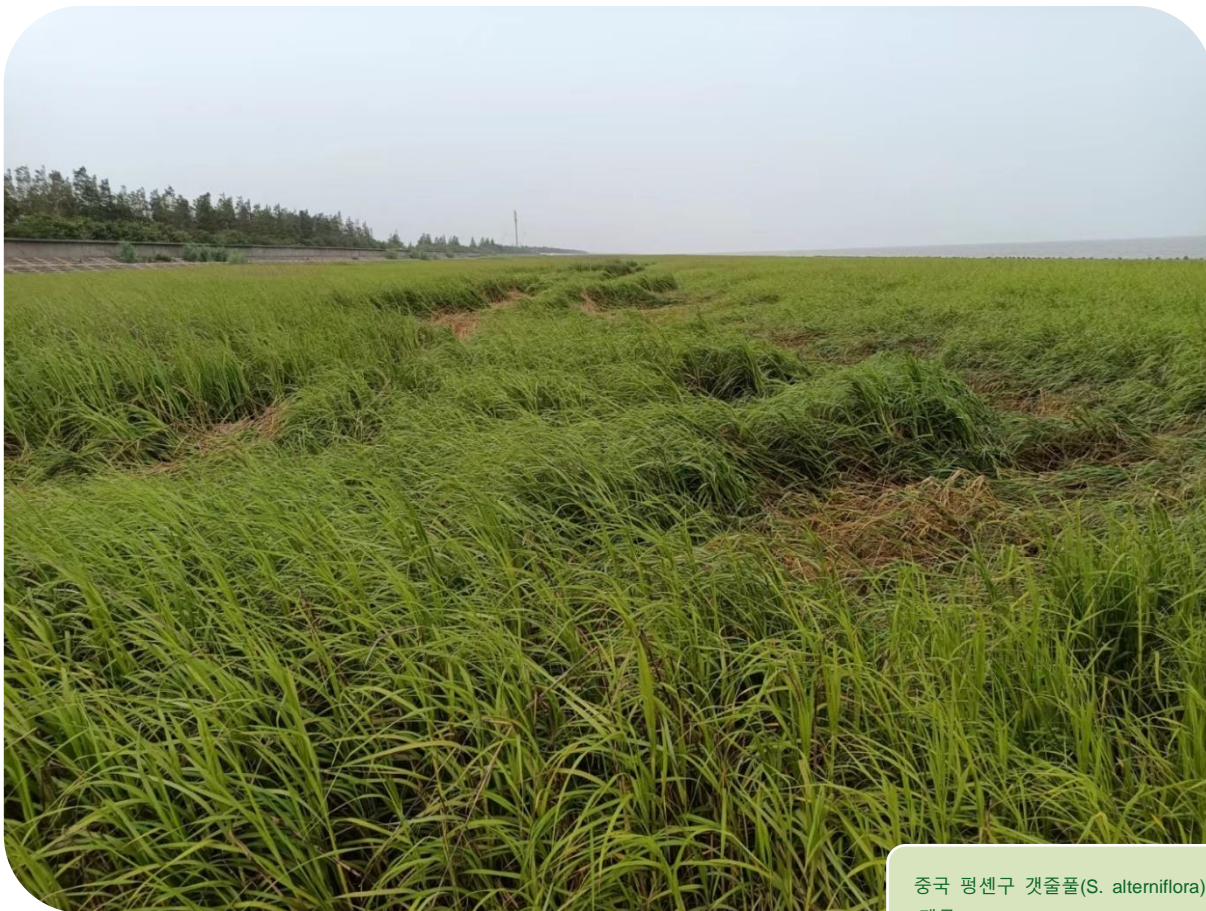
## Spartina 속의 통합 조절 안내

**Vanessa Cutts<sup>1</sup>, David S. Melville<sup>2</sup>, Lorenzo Gaffi<sup>3</sup>, Ward Hagemeijer<sup>3</sup> & William J. Sutherland<sup>1</sup>**

1 영국 케임브리지 대학교 동물학과 보전과학그룹 | Conservation Science Group, Department of Zoology, University of Cambridge, UK

2 뉴질랜드 넬슨 국제철새이동경로네트워크 | Global Flyway Network, Nelson, New Zealand

3 네덜란드 국제습지협회 | Wetlands International, The Netherlands



중국 평센구 갯줄풀(*S. alterniflora*)  
[제공: Tianyos Li]

완료일: 2024 년 5 월 4 일



인용 표기: Cutts V., Melville D.S., Gaffi L., Hagemeijer W. & Sutherland W.J. (2024) *Spartina* 속의 통합 조절 안내. 보전 안내 시리즈 제 10 호 v1.0 (국문). <https://doi.org/10.52201/CGSKOR/MDSC2821>

## 과업목표: 조간대 서식지에 이미 존재하는 *Spartina* 종의 개체수 감소

### 정의

- **조간대:** 만조와 간조 사이 영역
- **제초제:** 식물을 죽이거나 성장을 억제하는 화학 물질

## 1. 설명

통합 조절은 여러 조절 방법을 사용한다는 뜻으로 일반적으로는 잘라내기 후 두 번째 방법을 적용한다. 통합 대책으로 *Spartina* 속의 개체수는 평균 91%, 성장률은 평균 57% 감소한 것으로 나타났다(Wang *et al.*, 2023). 통합 대책은 *Spartina* 속을 줄일 수는 있지만 토종 야생생물에 미치는 영향도 고려해야 한다.

## 2. 생물다양성에 미치는 영향에 대한 근거

**새:** 새는 *Spartina* 속이 침입한 지역에는 접근하지 않는 경향이 있지만, 일단 *Spartina* 속을 제거하면 침입이 없었던 지역과 비슷한 수준으로 제거된 지역을 이용한다(Lyu *et al.*, 2023). 침수시키기와 베어내기로 *Spartina* 속을 조절하면 복원된 장소의 생물 종류는 천연 습지와 비슷해질 수 있다(Fan *et al.*, 2021).

**무척추동물:** 중장비로 토양이 다져진 경우 잘라내기/베어내기 기계가 저서성 무척추동물에 부정적인 영향을 미칠 수 있다(David Melville, pers. obs.). 중국의 한 연구에 따르면 침수시키기와 베어내기는 장기적으로 대형 저서생물 군집에 부정적인 영향을 미친다(Sheng *et al.*, 2014).

**토착 식생:** Wang 외(2023)가 검토한 바에 따르면 통합 대책 이후 염습지의 토착 식물종 다양성이 210% 향상되었다. 다만, Sheng 외(2014)는 침수시키기와 베어내기의 조합이 토종 갈대인 *Phragmites* 속에 부정적인 영향을 미친다는 사실을 알아냈다.

## 3. 결과에 영향을 미칠 수 있는 요인

**현장 접근성:** 장소 내 모든 영역에 얼마나 쉽게 접근할 수 있는지에 따라 실제로 사용할 수 있는 기술이 결정된다. 예를 들어 부드러운 펄 때문에 접근이 불가능할 수 있다(Hassell *et al.*, 2014). 대형 기계를 가지고 갈 수 없다면 인간이 수작업을 진행해야 할 수도 있다. 그러나 인간이 걸어서 접근하기도 어렵거나 안전하지 않은 곳도 있다.

**현장 규모:** *Spartina* 속을 제거해야 하는 장소의 크기도 이행 방법에 영향을 준다. 예를 들어 면적이 아주 작다면 식물을 손으로 제거하는 방식으로 관리할 수 있다. 다만 작업 속도가 매우 느리기 때문에 넓은 곳에서는 비실용적이다(Hedge *et al.*, 2003).



처리 시기: 조절 작업 1 년 중 언제 실시하느냐에 따라 효과도 달라진다. 중국에서 나온 근거에 따르면 잘라내기 작업의 최적기는 6 월 초~7 월 초로 식물의 성장기가 끝나고 개화 단계에 이르는 시기이다(Xie *et al.*, 2019).

**중장비 사용:** 습하고 부드러운 조간대 퇴적물 위에서 중장비 작업은 까다롭다. 또한 탈것을 이용하면 식물을 다른 곳으로 옮기거나 바닥에 눌러버릴 수 있으며 퇴적물 내 저서성 무척추동물에 악영향을 미칠 수도 있다(Evans *et al.*, 1999; David Melville, pers. obs.).

#### 4. 이행

**잘라내기/베어내기:** 잘라내기/베어내기로 제초제보다 더 빠르게 개방지를 조성할 수 있다(David Melville, pers. obs.). 잘라내기/베어내기는 수동 장비나 수륙양용 예초기(보트)로 진행한다. 그러나 Hedge 외(2003)는 염하구 환경에서 사용하기에는 예초기가 너무 약하다고 보고하였다. 잘라내는 시기는 신중하게 결정해야 한다. Sheng 외(2014)에 따르면 *Spartina* 속을 잘라내도 줄기 높이만 줄어든 뿐 완전히 제거할 수 없다.

**제초제:** 현재 전 세계적으로 가장 효과적인 제초제는 할록시포프와 이마자피르이며, 뉴질랜드, 미국, 중국에서 고사율이 높다(Brown & Raal, 2013; Strong & Ayres, 2016; Patten *et al.*, 2017; David Melville, pers. obs.). *Spartina* 속 개체수에 부정적인 영향을 미치는 그 외 제초제로는 이마자메스, 글리포세이트, 2,2-디클로로프로피온산(상품명: Dalapon), 사이할로호프 부틸이 있다(Reynolds *et al.*, 2023). 일부 제초제의 개별 효과를 조사한 연구 수가 적기 때문에 *Spartina* 속의 대규모 조절 가능성에 대한 결론을 내릴 때는 신중히 처리해야 한다.

**침수:** *Spartina* 속이 자라는 지역에 침수가 발생하면 산소 공급이 감소하여 뿌리가 고사할 수 있다. 중국의 한 연구에 따르면 최소 30cm~40cm 깊이로 침수시키는 것이 *Spartina* 속 제거에 가장 효과적이다(Xie *et al.*, 2019). 6 월 또는 8 월에 잘라내기와 함께 실시하면 효과적이었다. 이 작업은 장기간에 걸쳐 수위를 조절할 수 있는 지역에서만 가능하므로 개방된 갯벌에서는 불가능하다. Sheng 외(2014)에 따르면 침수시키고 베어내기의 조합은 *Spartina* 속을 줄이는 데 가장 효과적이다.

**덮기:** *Spartina* 속의 광합성을 방지하고 식물 성장을 억제하기 위해 천으로 일시적으로 덮어버릴 수 있다. 또는 조간대/조하대 토양으로 덮어버릴 수도 있지만 처리된 부분의 높이가 높아질 수 있다. 조간대 상부 지역에서 이 작업을 수행하면 이동형 섭금류의 먹이활동에 대단히 중요한 개방형 갯벌의 폭이 줄어들 위험이 있다(Mu & Wilcove, 2020). 중국 장쑤성 샤오양커우에 있는 복원지는 실제로 퇴적물을 배치하여 섭금류의 휴식지를 제공하기도 하였다. 그러나 배치했던 퇴적물을 통해 *Spartina* 이 자라면서 완전히 사라졌다(David Melville, pers. obs.).

## 사례 연구: 중국 총밍동탄(崇明东滩) 국립 자연 보호구

총밍동탄 국립자연보호구는 중국 상하이 총밍섬 동쪽 끝에 위치한 람사르 습지이다. 동아시아-대양주 철새 이동 경로상에 존재한다. 외래종인 갯줄풀(*S. alterniflora*)은 1995 년 도입되어 2012 년까지 보호구 내 2,000 헥타르가 넘는 염습지를 덮었다. 그 결과 갯벌 전체에 광범위한 생태학적 변화가 일어나 섭금류의 먹이활동지와 휴식지로서의 적합성을 잃게 되었다.

총밍 동탄(崇明东滩)에서는 갯줄풀(*S. alterniflora*)을 조절하려 다양한 방법을 시험하고 평가하였다. 예를 들어, 2007 년 Yuan 외(2011)는 갯줄풀(*S. alterniflora*) 조절에 침수와 잘라내기의 효과를 시험하였다. 연구진은 침수를 이용하여 관리하면 처음에는 갯줄풀(*S. alterniflora*)의 생물량과 종자 생산이 감소하지만, 이후 장기적인 침수 스트레스에 빠르게 적응한다는 사실을 알아냈다. 그러나 개화기(7 월)에 3 개월 동안 침수를 관리한 후 갯줄풀(*S. alterniflora*)의 지상부를 잘라낸 결과 성공적으로 퇴치할 수 있었다. 그 후 갯줄풀(*S. alterniflora*)은 수 년 간 자취를 감췄다가 이 지역의 유수역학 체제가 복원되자 인근 지역에서 다시 들어왔다.

2013 년 총밍동탄 국립자연보호구에서 2,400 헥타르에 달하는 대규모 복원 사업이 시작되었다. 이 사업에는 13 억 위안(2024 년 2 월 기준 미화 1 억 8,600 만 달러)이 소요되며, 주된 최종 목표는 갯줄풀(*S. alterniflora*) 퇴치이다.

사업지는 크게 두 곳으로 나뉘어 한 곳은 시멘트 제방으로 사방이 둘러싸여 있고 다른 한 곳은 퇴적물 제방이 일부를 가리고 있다. 이 제방은 갯줄풀(*S. alterniflora*) 퇴치를 목적으로 건설되었다. 사방이 막힌 공간에서는 식물 본체를 잘라내고 습지에 물을 채우는 방식으로 갯줄풀(*S. alterniflora*)을 조절하였다. 설치된 제방이 저절로 약해지거나 일부러 틈이 생기게 하여 해당 지역에 다시 조수가 들어오게 하는 계획이었다(Mark Dixon, pers. Comm.). 토목공사 영역 밖의 장벽 울타리는 퇴적물 축적을 촉진하여 해발 2m 미만의 펼갯벌이 형성되었다. 갯벌은 이 지역의 흔한 토종 식물인 세모고랭이(*Scripus mariqueter*)의 재식생에 사용되었다.

### *Spartina* 속에 미친 영향

2012 년~2016 년 갯줄풀(*S. alterniflora*)의 면적은 2,000ha 에서 729ha 로 많이 감소하였다. 그러나 총밍섬(崇明島)의 보호구역 밖에는 여전히 갯줄풀(*S. alterniflora*)이 넓은 면적(2018 년 1,315ha 이상)을 차지한다(Zhang *et al.*, 2020). 이는 갯줄풀이 재침입하는 원인이 되어 총밍에서의 복원 노력을 위협한다.

2016 년~2017 년, 현장 실험에서 제초제(상품명: Gallant, Haloxyfop-R-methyl)를 사용하여 갯줄풀(*S. alterniflora*) 재침입에 대응한 긴급 조절 작업을 실시하였다(Zhao *et al.*, 2020). 연구진이 시험한 결과 최고 용량인 2.70g/m<sup>2</sup> 가 가장 효과적이며, 하나씩 떨어진 작은 구역에서는 100%, 이어지는 군락지에서는 92%의 제거율을 보였다. 용량을

줄이면(0.45g/m<sup>2</sup>~1.35g/m<sup>2</sup>)제거율은 40% 미만으로 떨어졌다. 연구진은 7 월~8 월에 제초제를 살포하면 갯줄풀(*S. alterniflora*)이 100% 고사하는 반면 5 월에 살포하면 빠르게 회복할 수 있다는 사실도 알아냈다.

### 토중에 미치는 영향

사방이 막힌 공간에서는 갯줄풀(*S. alterniflora*) 조절 전후로 저서성 대형무척추동물의 종류와 밀도가 감소하였다. 사라진 종으로는 섭금류의 중요한 먹이원인 달팽이, 이매패류, 갑각류, 다모류가 있다. 고리버들갯지렁이(*Heteromastus filiformis*)와 갈색새알조개(*Glaucanome chinensis*)는 조절 대책 전후로 남은 유이한 종였다. 부분적으로 막힌 공간에서는 저서성 대형무척추동물의 종류가 늘어났으며, 조수의 흐름으로 복족류 등의 종이 추가 유입된 것으로 추정된다.

총칭 동탄의 섭금류 종 수와 개체 밀도는 자연 습지와 비슷하고 인공 습지(양어장, 농경지)보다 높다(Fan *et al.*, 2021).

출처: Wang *et al.* (2021); Zhao *et al.*, (2020); Zhang *et al.*, (2020); Hu *et al.*, (2015); Mark Dixon (pers. comm.)

## 5. 그 외 유용한 자료

***Spartina* 속의 조절을 위한 다양한 관리 조치 평가:** Reynolds S., Aldridge D., Christie A., Choi C.-Y., Jackson M.V., *et al.* (2023) *Spartina* invasive management - A review of the evidence. OSF. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/3BWZX>

***Spartina* 속의 조절을 위한 다양한 관리 조치 평가:** Wang S., Martin P.A., Hao Y., Sutherland W.J., Shackelford G.E., *et al.* (2023) A global synthesis of the effectiveness and ecological impacts of management interventions for *Spartina* species. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, **17**, 141. <https://doi.org/10.1007/s11783-023-1741-x>

**뉴질랜드 남섬의 *Spartina* 속 박멸 프로그램 리뷰 요약:** Brown K. & Raal P. (2013) *Is Eradication of Spartina from the South Island Feasible?* DOC Research and Development Series 339. Department of Conservation: Wellington, New Zealand. Available at: <https://www.doc.govt.nz/globalassets/documents/science-and-technical/drds339entire.pdf>

## 참고자료

Brown K. & Raal P. (2013) *Is eradication of Spartina from the South Island feasible?* New Zealand Department of Conservation. Available at: <https://www.doc.govt.nz/globalassets/documents/science-and-technical/drds339entire.pdf>

Evans P.R., Ward R.M., Bone M. & Leakey M. (1999) Creation of temperate-climate intertidal mudflats: factors affecting colonization and use by benthic invertebrates and their bird predators. *Marine Pollution Bulletin*, **37**, 535–545. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(98\)00140-4](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(98)00140-4)

- Fan J., Wang X., Wu W., Chen W., Ma Q., *et al.* (2021) Function of restored wetlands for waterbird conservation in the Yellow Sea coast. *Science of The Total Environment*, **756**, 144061. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144061>
- Hassell C.J., Boyle A.N., Slaymaker M., Chan Y.C. & Piersma T. (2014) *Red Knot northward migration through Bohai Bay, China: Field Trip Report April-June 2014*, Global Flyway Network. Available at: [https://pure.rug.nl/ws/portalfiles/portal/28439250/GFN\\_Bohai\\_Report\\_2014\\_Online\\_version.pdf](https://pure.rug.nl/ws/portalfiles/portal/28439250/GFN_Bohai_Report_2014_Online_version.pdf)
- Hedge P., Kriwoken L.K. & Patten K. (2003) A review of *Spartina* management in Washington State, US. *Journal of Aquatic Plant Management*, **41**, 82–90. Available at: <https://apms.org/wp-content/uploads/japm-41-02-082.pdf>
- Hu Z.-J., Ge Z.-M., Ma Q., Zhang Z.-T., Tang C.-D., *et al.* (2015) Revegetation of a native species in a newly formed tidal marsh under varying hydrological conditions and planting densities in the Yangtze Estuary. *Ecological Engineering*, **83**, 354–363. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.07.005>
- Lyu C., Zhang S., Ren X., Liu M., Leung K.-S.K., *et al.* (2023) The effect of *Spartina alterniflora* eradication on waterbirds and benthic organisms. *Restoration Ecology*, **31**, e14023. <https://doi.org/10.1111/rec.14023>
- Mu T. & Wilcove D.S. (2020) Upper tidal flats are disproportionately important for the conservation of migratory shorebirds. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, **287**, 20200278. <https://doi.org/10.1098/rspb.2020.0278>
- Patten K., O'Casey C. & Metzger C. (2017) Large-scale chemical control of smooth cordgrass (*Spartina alterniflora*) in Willapa Bay, WA: Towards eradication and ecological restoration. *Invasive Plant Science and Management*, **10**, 284–292. <https://doi.org/10.1017/inp.2017.25>
- Reynolds S., Aldridge D., Christie A., Choi C.-Y., Jackson M.V., *et al.* (2023) *Spartina* invasive management - A review of the evidence. OSF. <https://doi.org/10.17605/OSF.IO/3BWZX>
- Sheng Q., Huang M.-Y., Tang C.-D., Niu D.-L., Ma Q., *et al.* (2014) Effects of different eradication measures for controlling *Spartina alterniflora* on plants and macrobenthic invertebrates. *Acta Hydrobiologica Sinica*, **38**, 279–290. <https://doi.org/10.7541/2014.41>
- Strong D.R. & Ayres D.A. (2016) Control and consequences of *Spartina* spp. invasions with focus upon San Francisco Bay. *Biological Invasions*, **18**, 2237–2246. <https://doi.org/10.1007/s10530-015-0980-6>
- Wang S., Martin P.A., Hao Y., Sutherland W.J., Shackelford G.E., *et al.* (2023) A global synthesis of the effectiveness and ecological impacts of management interventions for *Spartina* species. *Frontiers of Environmental Science & Engineering*, **17**, 141. <https://doi.org/10.1007/s11783-023-1741-x>
- Wang S., Sheng Q., Zhao F., Zhang T. & Zhuang P. (2021) Variable effects on benthic community from diking to eradicate invasive plants in the Yangtze Estuary salt marsh. *Frontiers in Marine Science*, **8**, 706353. <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.706353>
- Xie B., Han G., Qiao P., Mei B., Wang Q., *et al.* (2019) Effects of mechanical and chemical control on invasive *Spartina alterniflora* in the Yellow River Delta, China. *PeerJ*, **7**, e7655. <https://doi.org/10.7717/peerj.7655>
- Yuan L., Zhang L., Xiao D. & Huang H. (2011) The application of cutting plus waterlogging to control *Spartina alterniflora* on saltmarshes in the Yangtze Estuary, China. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **92**, 103–110. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2010.12.019>
- Zhang X., Xiao X., Wang X., Xu X., Chen B. *et al.* (2020) Quantifying expansion and removal of *Spartina alterniflora* on Chongming island, China, using time series Landsat images during 1995–2018. *Remote sensing of environment*, **247**, 111916. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111916>
- Zhao Z., Xu Y., Yuan L., Li W., Zhu X., *et al.* (2020) Emergency control of *Spartina alterniflora* re-invasion with a chemical method in Chongming Dongtan, China. *Water Science and Engineering*, **13**, 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2020.03.001>

**Advisory Group:** Malcom Ausden, (RSPB, UK), Hyun-Ah Choi, (Hanns Seidel Foundation, South Korea), Chi-Yeung Choi, (Duke Kunshan University, China), Mark Dixon, (RSPB, UK), Qiang He (Fudan University, China), Micha V. Jackson, (CSIRO, Australia), Yifei Jia (Beijing Forest University, China), Wenhai Lu (National Marine Data and Information Service, China), Spike Millington (International Crane Foundation, USA), Taej Mundkur (Wetlands International, The Netherlands), Han Winterwerp (Delft University of Technology, The Netherlands), Fokko van der Goot, (Boskalis and EcoShape, The Netherlands), Hongyan Yang (Beijing Forest University, China)

이 편람은 국내외 다양한 자료를 문헌검토하고 전문가의 고견을 바탕으로 철저한 평가를 거쳐 작성하였습니다. 이 편람의 목적은 전 세계 연안 서식지 복원 노력에 참고할 수 있는 실용적인 정보와 권고 사항을 제공하는 것입니다. 이 편람을 활용하는 전문가와 실무자는 자신의 전문 지식과 판단을 바탕으로 상황별 특징과 요건에 맞게 적절하게 수정하여 사용하기 바랍니다. 이 편람을 참고하여 발생하는 결과에 대한 책임은 전적으로 사용자에게 있습니다.



# 제 4 절. 섬금류 관리 접근 방식

*보전 안내 시리즈*

섬금류용 인공못 관리

섬금류를 위한 도서 조성

섬금류를 위한 식생 관리/정리

섬금류 대상 방해 감소



## 섭금류용 인공못 관리 안내

**Vanessa Cutts<sup>1</sup>, Micha V. Jackson<sup>2</sup>, Nigel G. Taylor<sup>1</sup>, Lorenzo Gaffi<sup>3</sup>, Ward Hagemeyer<sup>3</sup> & William J. Sutherland<sup>1</sup>**

1. 영국 케임브리지 대학교 동물학과 보전과학그룹 | Conservation Science Group, Department of Zoology, University of Cambridge, UK

2 호주 캔버라 CSIRO | CSIRO, Canberra, Australia

3 네덜란드 국제습지협회 | Wetlands International, The Netherlands



중국에서 부분적으로 말라버린 양식장을 만조 휴식지로 이용하는 섭금류 [제공: Micha V. Jackson]

완료일: 2024 년 5 월 4 일



인용 표기: Cutts V., Jackson M.V., Taylor N.G., Gaffi L., Hagemeyer W. & Sutherland W.J. (2024) 섭금류용 인공못 관리 안내.

보전 안내 시리즈 제 11 호 v1.0 (국문). <https://doi.org/10.52201/CGSKOR/HGAI8638>



## 과업목표: 인공못을 섭금류용 휴식지 및 먹이활동지로 유지·관리

### 정의

- **조간대:** 만조와 간조 사이 영역
- **번식:** 새가 알을 낳고 새끼를 보호하는 것
- **휴식:** 새의 휴식, 수면, 깃 다듬기 등 에너지를 아끼는 행동
- **섭금류:** 도요목에 속하는 새. 연안 서식지에서 먹이를 찾거나 쉬며 때로는 번식도 하는 일반적인 섭금류, 갈매기, 제비갈매기 등.

### 1. 설명

다수의 섭금류가 양식장처럼 인간이 만든 인공못에서 휴식을 취한다. 인공못은 천연 조간대 서식지를 대체할 수는 없지만 무엇보다 천연 조간대 서식지가 훼손되어 위협을 받거나 천연 조간대 상부 서식지(예: 염습지, 평원염전)가 사라진 경우 섭금류에게 보조적인 휴식지 및 먹이활동지 역할을 하는 것으로 널리 인정된다(Ma *et al.*, 2010; Jackson *et al.*, 2020). 인공못의 수위와 식생 피복 등 인공못의 특징을 관리하면 섭금류에 유용한 공간으로 조성할 수 있다.

인구 증가와 이에 따른 식량 수요 증가로 전 세계 연안 지역이 양식장과 염전으로 전환되고 있다(Sun *et al.*, 2015; FAO, 2020). 이러한 전환에는 제방 쌓기, 식생 제거 및 자연적으로 흐르는 물 대신 독립된 수역을 조성하기로 물관리를 조절하는 것이 포함된다. 이 두 가지 유형의 인공못은 섭금류가 늘 만조 휴식지로 사용하며 때로는 먹이활동지나 번식지로 쓰기도 한다(Sripanomyom *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2013; Green *et al.*, 2015). 따라서 인공못 관리는 천연 서식지 조성/복원과 더불어 고려해야 한다.

섭금류가 연안 내 인공 습지에 의지하는 것을 걱정하기도 한다(Jackson *et al.*, 2020). 예를 들어 양식장이나 염전이 수명을 다하거나 다른 용도로 전환될 경우 섭금류에 위험한 상황이 될 수도 있다(Green *et al.*, 2015; Jackson *et al.*, 2020). 중국의 경우 양식장과 갯벌에 태양광 발전소를 설치하는 것이 대세이다(David Melville & Spike Millington, pers. comm.). 식량 생산과 경제적 편익을 위하여 이러한 장소가 어떻게 관리되는지 고려하며 섭금류 보전 노력과 통합해야 한다(Ma *et al.* 2010) 이러한 서식지로 새가 누릴 수 있는 가치를 고려하여 시공간적 측면의 관리도 생각해 볼 수 있다.

### 2. 생물다양성에 미치는 영향에 대한 근거

**새:** 동아시아-대양주 철새 이동 경로에서 나온 데이터와 전문가 정보를 검토한 결과, 이 지역 전체에서 인공(인간이 조성한) 습지 이용률이 높았다. 한 연구는 토지 용도가 8 가지로 다른 176 개의 인공 습지에 정기적으로 나타나는 이동성 섭금류를 모두 포함하여 섭금류 83 종의 기록을 문서로 작성하였다(Jackson *et al.*, 2020). 호주에 있는 다섯 곳의 중요한 비번식 지역에서, 75 개의

종-지역 조합 중 39 개의 조합에서 지역 개체군의 평균 비율의 50% 이상이 만조 시 인공 서식지를 이용하였다(Jackson *et al.*, 2021).

다른 연구를 보아도 새들은 특정 유형의 인공 서식지를 이용하였다. 예를 들어, 태국 이너걸프(Inner Gulf)에서는 염전만큼은 아니지만 배수된 양식장에서도 새들이 휴식하고 먹이를 찾는다(Green *et al.*, 2015). 최근 배수된 물고기 양식장에는 왜가리(Ardeidae)와 저어새(Platalea minor) 같은 육식성 조류가 다수 찾아올 수 있다. 홍콩과 대만에서 저어새의 먹이 활동은 대부분 배수된 물고기 양식장에서 이루어진다(David Melville, pers. comm.). 중국 황해의 또 다른 연구에서는 양식장의 독이 휴식지로 이용되며 섭금류는 식생 피복이 거의 없는 긴 독을 선호하였다(He *et al.*, 2016).

염전은 섭금류가 태국만(Sripanomyom *et al.*, 2011), 호주(Jackson *et al.*, 2020), 중국(Lei *et al.*, 2018)에서 휴식지와 먹이활동지로 이용한다. 새가 염전을 많이 이용하는 것은 무척추동물의 밀도가 높은 것과 관련이 있다(Masero *et al.*, 2000; Rocha *et al.*, 2017). Rocha 외(2017)는 포르투갈의 염전에서 영세어업을 위해 물을 뺀 결과 먹이활동을 하는 새의 수가 급격히 증가하였으며 이는 다모류의 밀도가 높아졌기 때문으로 추정된다고 밝혔다. 섭금류 중에서도 유독 염전을 더 많이 이용하는 종도 있다. 몸집이 작고 다리가 짧으면 몸집이 큰 새보다 염전에서 휴식하고 먹이활동을 자주 한다(Masero *et al.*, 2000; Green *et al.*, 2015; Lei *et al.*, 2021).

### 3. 결과에 영향을 미칠 수 있는 요인

**먹이활동지까지 거리:** 섭금류는 먹이활동지와 가까운 곳에서 휴식할 가능성이 높다(Zharikov & Milton, 2009). 이동에 에너지를 적게 소비할 수 있기 때문이다. 태국만의 인공못에서 청다리도요사촌(Nordmann's Greenshank)을 연구한 결과 휴식지는 먹이활동지에서 1km 떨어져 있었다(Yu *et al.*, 2019). 인공 휴식지가 섭금류에 중요한 이유를 전 세계적으로 살펴본 문헌 검토에 따르면 12 개 연구에서 섭금류의 휴식지는 종에 따라 1km 미만에서 20km 이상 떨어져 있었다(몸집이 작은 종의 이동 거리가 짧다. Jackson, 2017). 그러나 여러 개체의 평균 거리를 제시한 연구에서는 2km~9km의 거리가 더 일반적이었다(Jackson, 2017, 표 1 참조). 섭금류는 밤에 포식 위험이 증가한다고 인식하기 때문에 야간에는 더 먼 거리를 이동하여 휴식지를 찾아가는 것으로 보인다(Rogers, 2003).

**수심:** 수심이 섭금류의 존재 여부에 가장 큰 영향을 미친다는 증거도 있다(Bancroft *et al.*, 2002; Bolduc & Afton, 2004; Jackson *et al.*, 2019). 인공못이 있는 94 곳을 대상으로 한 연구에 따르면 휴식지의 평균 수심은 6cm 였다(Yu *et al.*, 2019).

**못의 크기:** 못의 크기가 크면 섭금류의 수가 많아진다는 증거도 있다(Sánchez-Zapata *et al.*, 2005; Jackson *et al.*, 2019). 못이 클수록 서식지 이질성이 커져서 다양한 섭금류가 이용할 수 있다. 다양한 크기의 못을 보존하되 규모가 큰 인공못을 우선 조성하면 이용할 수 있는 섭금류 종이 늘어날 것이다(Paracuellos, 2006).

**먹이의 가용성:** 이 지역의 펠에 사는 무척추동물의 개체수와 접근성(Bolduc & Afton, 2004)은 섭금류가 쉼 곳과 보금자리를 선택할 때 영향을 미친다. 부리 길이 같은 새의 생김새도 먹이 선호도에 영향을 준다.

**식생:** 일반적으로 식생은 특히 키가 크거나 밀도가 높은 경우 휴식지를 이용하는 대부분의 섭금류를 방해하는 요소이다(Rogers, 2003; Jackson *et al.*, 2019). 섭금류는 식생 피복이 50%를 초과하는 지역에 정착하는 경우가 드물고, 대부분 자기 키의 절반 미만인 식생을 선호한다(Jackson & Straw, 2021). 섭금류는 못의 가장자리(독이나 벽)에 식생이 있는 경우 이용하지 않는다(Jackson & Straw, 2021). 식생이 없는 휴식지를 선호하는 이유는 휴식지 주변의 시야를 깨끗하게 확보하여 공중 포식자를 피하기 위해서이다. 인공못의 다른 땅에서는 식생이 매우 빨리 퍼지고 자라기도 한다(Chi- Yeung Choi, pers. comm.)

**염분:** 염분은 염전 관리에 중요한 요인이다. 염분은 무척추동물과 수중 식물에 영향을 미쳐 결국 섭금류도 영향을 받게 된다(Ma *et al.*, 2010). 염도가 높으면 섭금류 자체에는 해로울 수 있지만(Hannam *et al.*, 2003) 섭금류가 대단히 좋아하는 아르테미아 같은 먹이 개체수가 상당히 풍부할 수 있다(Micha Jackson, pers. obs.). 연구에 따르면 작은 새는 염도가 높은 염전을, 큰 새는 염도가 낮은 염전을 이용한다(Velasquez, 1992). 섭금류는 미국 샌프란시스코만에서는 중간 염도(81ppt~150ppt)에서(Warnock *et al.*, 2002; Takekawa *et al.*, 2006), 남아프리카 베르그강에서는 염하구에서는 더 넓은 범위의 염도(25ppt~220ppt)에서 먹이를 찾는 것으로 나타났다(Velasquez, 1992).

**방해:** 섭금류는 휴식하고 있을 때 방해에 매우 민감하기 때문에 적절한 휴식지라도 방해를 받으면 날아가 버리거나 그곳을 포기한다. 인간의 여가 활동(예: 개 산책, 오프로드 운전, 조류에 너무 가까이 다가가 관찰 또는 사진 촬영, 연·드론 같은 공중 작동 장치 등)도 방해가 될 수 있다. 양식장 수확, 차량과 기계류, 헬리콥터 같은 인간의 생산 활동도 방해가 된다.

**포식:** 포식자의 존재는 못에서 휴식하는 조류의 수에 큰 영향을 미친다. 살처분 또는 울타리로 차단하는 식의 포식자 관리를 고려할 수 있다(Malcolm Ausden, pers. comm.). 한 연구에 따르면 포식자에 의한 방해는 갯벌보다 염전에서 더 많이 일어났으며, 이로 인해 섭금류는 천연 갯벌을 휴식지로 선호하는 것으로 보인다(Rosa *et al.*, 2006).

#### 4. 이행

**수심:** 양식장과 염전은 수위를 조절하여 섭금류 보전에 이용할 수 있다. 수위를 낮추고(Velasquez, 1992; Rocha *et al.*, 2017; Lei *et al.*, 2021) 펠이 있는 곳이 드러나게 하면(Sripanomyom *et al.*, 2011) 섭금류를 유인하는 경향이 있다. 수위는 수문을 열어 낮출 수 있다(예: Rocha *et al.*, 2017). 수심을 5cm~10cm 로(Velasquez, 1992; Yu *et al.*, 2019) 또는 1cm~2cm 로(Rocha *et al.*, 2017) 낮추면 먹이활동을 하는 새의 밀도가 높아진다. Green 외(2015)는 섭금류가 이용할 수 있도록 양식장을 정기적으로 배수해야 한다고 제안한다.



**염분:** 못의 염도는 증발 같은 요인에 매일 영향을 받기 때문에 염도 조절은 어려울 수 있다. 관리자는 바닷물과 담수를 혼합하여 투입하는 방식으로 섭금류의 먹잇감을 유지하면서 동시에 식생 성장을 막을 수 있는 최적 염도인 80ppt~150ppt 을 유지할 수 있다(Micha Jackson, pers. obs.).

**방해행위 줄이기:** 섭금류가 있는 곳을 피해 가도록 경고하고 장려하는 표지판을 세울 수 있다(Medeiros *et al.*, 2007). 밧줄 울타리와 같은 울타리를 설치하여 구역을 폐쇄하거나(Lafferty *et al.*, 2006), 번식기에는 임시 울타리도 설치할 수 있다(Wilson & Colwell, 2010). 전망대를 설치하면 관광객이 멀리서 새를 볼 수 있다(Burger *et al.*, 2004). 자세한 내용은 보전 안내 시리즈 제 14 호 "섭금류 대상 방해 감소"를 참조한다.

### 사례 연구: 중국 탁오쯔니 습지대 휴식지

탁오쯔니 습지대는 중국 장쑤성의 동아시아-대양주 철새 이동 경로상에 있다. 탁오쯔니는 2019 년 중국 최초로 조간대 습지 세계유산으로 등재된 후 보호구로 지정되어 생태관광용으로 개발 중이다(Liang *et al.*, 2023).

48 헥타르는 양식장이었다가 관리형 습지로 전환되었다. 새들의 만조 휴식지를 조성하기 위한 특별 조치였다. 수위를 관리·유지하고, 식생의 높이를 조절하며, 미세 지형을 복원하여 다양한 종의 필요에 맞는 서식지를 조성하였다. 수위를 조절하고 지형을 변경하여 수심이 다른 구역을 조성하였고, 식생은 일부 지역에 펄을 남겨두는 방식으로 관리하였다. 휴식지는 0.3km~0.9km 이내의 조간대에 위치하여 새들의 먹이활동지와 가깝다(Wu *et al.*, 2022).

2020 년과 2021 년에 이곳은 넓적부리도요(*Calidris pygmaea*) 같은 위기에 처한 취약종을 포함한 새들의 만조 휴식지였다. 그전에는 새들이 이곳을 찾아오지 않았다.

**출처:** Liang *et al.* (2023)

## 5. 그 외 유용한 자료

**섭금류 번식을 위한 서식지 관리 안내:** Jackson M.V. & Straw P. (eds.) (2021) *Coastal Hightide Shorebird Habitat Management Guidelines*. Figshare.  
<https://doi.org/10.6084/m9.figshare.16628560.v1>

**조류의 습지대 이용에 영향을 주는 요인 리뷰:** Ma Z., Cai Y., Li B. & Chen J. (2010) Managing wetland habitats for waterbirds: An international perspective. *Wetlands*, **30**, 15–27.  
<https://doi.org/10.1007/s13157-009-0001-6>

**섭금류용 물웅덩이(못) 관리 리뷰:** Rogers D.I., Stamation K., Loyn R.H. & Menkhorst P. (2015) *Literature Review: Management of Non-Tidal Ponds for Shorebirds*. Arthur Rylah Institute for Environmental Research Technical Report Series No. 264. Department of Environment, Land, Water and Planning: Heidelberg, Victoria. <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.3954.3760>

## 참고자료

- Bancroft G.T., Gawlik D.E. & Rutchey K. (2002) Distribution of wading birds relative to vegetation and water depths in the northern everglades of Florida, USA. *Waterbirds*, **25**, 265–277. [https://doi.org/10.1675/1524-4695\(2002\)025\[0265:dowbrt\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1675/1524-4695(2002)025[0265:dowbrt]2.0.co;2)
- Bolduc F. & Afton A.D. (2004) Relationships between wintering waterbirds and invertebrates, sediments and hydrology of coastal marsh ponds. *Waterbirds*, **27**, 333–341. [https://doi.org/10.1675/1524-4695\(2004\)027\[0333:rbwwai\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1675/1524-4695(2004)027[0333:rbwwai]2.0.co;2)
- Burger J., Jeitner C., Clark K. & Niles L.J. (2004) The effect of human activities on migrant shorebirds: successful adaptive management. *Environmental Conservation*, **31**, 283–288. <https://doi.org/10.1017/s0376892904001626>
- Erwin R.M., Miller J. & Reese J.G. (2007) Poplar Island Environmental Restoration Project: Challenges in waterbird restoration on an island in Chesapeake Bay. *Ecological Restoration*, **25**, 256–262. <https://doi.org/10.3368/er.25.4.256>
- FAO (2020) *The State of World Fisheries and Aquaculture 2020: Sustainability in Action*. FAO: Rome, Italy. <https://doi.org/10.4060/ca9229en>
- Green J.M.H., Sripanomyom S., Giam X. & Wilcove D.S. (2015) The ecology and economics of shorebird conservation in a tropical human-modified landscape. *Journal of Applied Ecology*, **52**, 1483–1491. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12508>
- Hannam K.M., Oring L.W. & Herzog M.P. (2003) Impacts of salinity on growth and behaviour of American avocet chicks. *Waterbirds*, **26**, 119–125. [https://doi.org/10.1675/1524-4695\(2003\)026\[0119:iosoga\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1675/1524-4695(2003)026[0119:iosoga]2.0.co;2)
- He P., Melville D., Peng H.-B., Tan K., Chen Y. *et al.*, (2016) Aquaculture pond banks as high-tide roosts: What physical characteristics are more attractive to shorebirds? *Stilt*, **69**, 62–65. Available at: <https://awsg.org.au/wp-content/uploads/2020/11/Stilt-69-70.pdf>
- Jackson M.V. (2017) *Literature Review: Importance of Artificial Roosts for Migratory Shorebirds*, Report to Charles Darwin University. Available at: [https://www.nespthreatenedspecies.edu.au/media/5svhfoaw/5-1-1-importance-of-artificial-roosts-report\\_2017\\_low-res.pdf](https://www.nespthreatenedspecies.edu.au/media/5svhfoaw/5-1-1-importance-of-artificial-roosts-report_2017_low-res.pdf)
- Jackson M.V., Carrasco L.R., Choi C.-Y., Li J., Ma Z. *et al.*, (2019) Multiple habitat use by declining migratory birds necessitates joined-up conservation. *Ecology and Evolution*, **9**, 2505–2515. <https://doi.org/10.1002/ece3.4895>
- Jackson M.V., Choi C.-Y., Amano T., Estrella S.M., Lei W. *et al.*, (2020) Navigating coasts of concrete: Pervasive use of artificial habitats by shorebirds in the Asia-Pacific. *Biological Conservation*, **247**, 108591. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2020.108591>
- Jackson M.V. & Straw P. (eds.) (2021) *Coastal Hightide Shorebird Habitat Management Guidelines*. Figshare. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.16628560.v1>
- Lafferty K.D., Goodman D. & Sandoval C.P. (2006) Restoration of breeding by snowy plovers following protection from disturbance. *Biodiversity & Conservation*, **15**, 2217–2230. <https://doi.org/10.1007/s10531-004-7180-5>
- Lei W., Masero J.A., Dingle C., Liu Y., Chai Z. *et al.*, (2021) The value of coastal saltpans for migratory shorebirds: conservation insights from a stable isotope approach based on feeding guild and body size. *Animal Conservation*, **24**, 1071–1083. <https://doi.org/10.1111/acv.12717>
- Lei, W., Masero, J.A., Piersma, T., Zhu, B., Yang, H.-Y. & Zhang, Z. (2018) Alternative habitat: the importance of the Nanpu Saltpans for migratory waterbirds in the Chinese Yellow Sea. *Bird Conservation International*, **28**, 549–566. <https://doi.org/10.1017/S0959270917000508>
- Li D., Chen S., Lloyd H., Zhu S., Shan K. *et al.*, (2013) The importance of artificial habitats to migratory waterbirds within a natural/artificial wetland mosaic, Yellow River Delta, China. *Bird Conservation International*, **23**, 184–198. <https://doi.org/10.1017/s0959270913000099>
- Liang J., Tian J., Zuo P., Dai Z., Jiang W. *et al.*, (2023) Wise use of coastal wetlands: 10-year reclamation vs. 3-year eco-governance in the Tiaozini Wetland, Jiangsu, China. *Frontiers in Marine Science*, **10**, 1147106. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1147106>

- Ma Z., Cai Y., Li B. & Chen J. (2010) Managing wetland habitats for waterbirds: An international perspective. *Wetlands*, **30**, 15–27. <https://doi.org/10.1007/s13157-009-0001-6>
- Masero J.A., Perez-Hurtado A., Castro M. & Arroyo G.M. (2000) Complementary use of intertidal mudflats and adjacent salinas by foraging waders. *Ardea*, **88**, 177–191.
- Medeiros R., Ramos J.A., Paiva V.H., Almeida A., Pedro P. *et al.*, (2007) Signage reduces the impact of human disturbance on little tern nesting success in Portugal. *Biological Conservation*, **135**, 99–106. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.10.001>
- Paracuellos M. (2006) How can habitat selection affect the use of a wetland complex by waterbirds? *Biodiversity & Conservation*, **15**, 4569–4582. <https://doi.org/10.1007/s10531-005-5820-z>
- Rocha A.R., Ramos J.A., Paredes T. & Masero J.A. (2017) Coastal salt pans as foraging grounds for migrating shorebirds: An experimentally drained fish pond in Portugal. *Hydrobiologia*, **790**, 141–155. <https://doi.org/10.1007/s10750-016-3025-y>
- Rogers D. (2003) High-tide roost choice by coastal waders. *Wader Study Group Bulletin*, **100**, 73–79. Available at: <https://sora.unm.edu/sites/default/files/journals/iwsgb/v100/p00073-p00079.pdf>
- Rosa S., Encarnação A.L., Granadeiro J.P. & Palmeirim J.M. (2006) High water roost selection by waders: Maximizing feeding opportunities or avoiding predation? *Ibis*, **148**, 88–97. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919x.2006.00497.x>
- Sánchez-Zapata J.A., Anadón J.D., Carrete M., Giménez A., Navarro J. *et al.*, (2005) Breeding waterbirds in relation to artificial pond attributes: implications for the design of irrigation facilities. *Biodiversity & Conservation*, **14**, 1627–1639. <https://doi.org/10.1007/s10531-004-0534-1>
- Sripanomyom S., Round P.D., Savini T., Trisurat Y. & Gale G.A. (2011) Traditional salt-pans hold major concentrations of overwintering shorebirds in Southeast Asia. *Biological Conservation*, **144**, 526–537. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.10.008>
- Sun Z., Sun W., Tong C., Zeng C., Yu X. *et al.*, (2015) China's coastal wetlands: Conservation history, implementation efforts, existing issues and strategies for future improvement. *Environment International*, **79**, 25–41. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.02.017>
- Takekawa J.Y., Miles A.K., Schoellhamer D.H., Athearn N.D., Saiki M.K. *et al.*, (2006) Trophic structure and avian communities across a salinity gradient in evaporation ponds of the San Francisco Bay estuary. *Hydrobiologia*, **567**, 307–327. <https://doi.org/10.1007/s10750-006-0061-z>
- Velasquez C.R. (1992) Managing artificial salt pans as a waterbird habitat: species' responses to water level manipulation. *Colonial Waterbirds*, **15**, 43–55. <https://doi.org/10.2307/1521353>
- Warnock N., Page G.W., Ruhlen T.D., Nur N., Takekawa J.Y. *et al.* (2002) Management and conservation of San Francisco Bay salt ponds: Effects of pond salinity, area, tide, and season on Pacific Flyway waterbirds. *Waterbirds*, **25**, Special publication 2, 79–92. Available at: <https://www.jstor.org/stable/1522454>
- Wilson C.A. & Colwell M.A. (2010) Movements and fledging success of snowy plover (*Charadrius alexandrinus*) chicks. *Waterbirds: The International Journal of Waterbird Biology*, **33**, 331–340. <https://doi.org/10.1675/063.033.0309>
- Wu Y., Chen Y., Li F., Shen T. & Nielsen S. (2022) Abundance- and incidence-based estimation of total number of rare species in under-sampled sites. *Applied Vegetation Science*, **25**, e12649. <https://doi.org/10.1111/avsc.12649>
- Yu C., Ngoprasert D., Round P.D., Pierce A.J., Savini T. *et al.*, (2019) Roost selection of the endangered spotted greenshank (*Tringa guttifer*) in critical habitat in the Inner Gulf of Thailand. *Avian Research*, **10**, Article 9. <https://doi.org/10.1186/s40657-019-0148-7>
- Zharikov Y. & Milton D.A. (2009) Valuing coastal habitats: Predicting high-tide roosts of non-breeding migratory shorebirds from landscape composition. *Emu - Austral Ornithology*, **109**, 107–120. <https://doi.org/10.1071/mu08017>

**Advisory Group:** Malcom Ausden, (RSPB, UK), Hyun-Ah Choi, (Hanns Seidel Foundation, South Korea), Chi-Yeung Choi, (Duke Kunshan University, China), Mark Dixon, (RSPB, UK), Qiang He (Fudan University, China), Yifei Jia (Beijing Forest University, China), Wenhai Lu (National Marine Data and Information Service, China), David Melville (Global Flyway Network, New Zealand), Spike Millington (International Crane Foundation, USA), Taej Mundkur (Wetlands International, The Netherlands), Han Winterwerp (Delft University of Technology, The Netherlands), Fokko van der Goot, (Boskalis and EcoShape, The Netherlands), Hongyan Yang (Beijing Forest University, China)

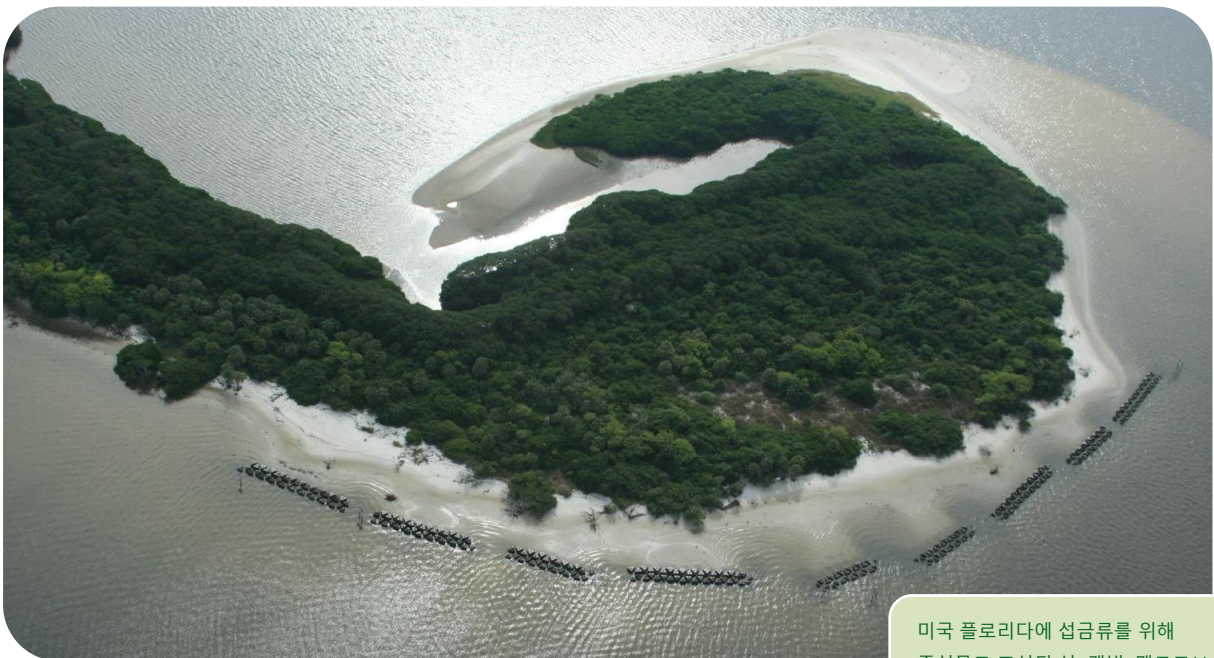
이 편람은 국내외 다양한 자료를 문헌검토하고 전문가의 고견을 바탕으로 철저한 평가를 거쳐 작성하였습니다. 이 편람의 목적은 전 세계 연안 서식지 복원 노력에 참고할 수 있는 실용적인 정보와 권고 사항을 제공하는 것입니다. 이 편람을 활용하는 전문가와 실무자는 자신의 전문 지식과 판단을 바탕으로 상황별 특징과 요건에 맞게 적절하게 수정하여 사용하기 바랍니다. 이 편람을 참고하여 발생하는 결과에 대한 책임은 전적으로 사용자에게 있습니다.

## 섬금류를 위한 도서 조성 안내

**Vanessa Cutts<sup>1</sup>, Nigel G. Taylor<sup>1</sup>, Lorenzo Gaffi<sup>3</sup>, Ward Hagemeijer<sup>2</sup> & William J. Sutherland<sup>1</sup>**

1. 영국 케임브리지 대학교 동물학과 보전과학그룹 | Conservation Science Group, Department of Zoology, University of Cambridge, UK

2. 네덜란드 국제습지협회 | Wetlands International, The Netherlands



미국 플로리다에 섬금류를 위해 준설물로 조성된 섬, 갯벌, 맹그로브 식생 [제공: Robin R. Lewis III].

완료일: 2024 년 5 월 4 일

 Conservation  
Evidence

 Wetlands  
INTERNATIONAL

인용 표기: Cutts V., Taylor N.G., Gaffi L., Hagemeijer W. & Sutherland W.J. (2024) 섬금류를 위한 도서 조성 안내. 보전 안내 시리즈 제 12 호 v1.0 (국문). <https://doi.org/10.52201/CGSKOR/BJMY8419>



## 과업목표: 새들에게 안전한 휴식처와 보금자리 조성

### 정의

- **준설 퇴적물:** 항구, 호수, 강, 바다 같은 수역의 바닥에서 제거된 퇴적물/토석
- **준설물 인공섬:** 준설 퇴적물을 조절하는 방식으로 처리하여 조성한 인공 섬
- **조간대:** 만조와 간조 사이 영역
- **번식:** 새가 알을 낳고 새끼를 보호하는 것
- **휴식:** 새의 휴식, 수면, 깃 다듬기 등 에너지를 아끼는 행동
- **섭금류:** 도요목에 속하는 새. 연안 서식지에서 먹이를 찾거나 휴식을 취하며 때로는 번식도 하는 일반적인 섭금류, 갈매기, 제비갈매기 등

### 1. 설명

한때 준설물로 만든 섬은 퇴적물 처리 과정의 부산물이었지만 이후 섭금류가 휴식, 번식, 먹이활동을 할 수 있는 귀중한 안식처의 역할을 하게 되었다(Buckley & McCaffrey, 1978; Yozzo *et al.*, 2004; Scarton *et al.*, 2013). 예를 들어, 미국에서는 대서양과 걸프만 연하구에 2,000 개 이상의 섬이 조성되어 섭금류가 구석구석 이용하고 있다(Yozzo *et al.*, 2004). 연안에서 멀리 떨어져 있기 때문에 포식자나 인간의 방해로부터 어느 정도 보호된 상태로 번식할 수 있다(Goodship & Furness, 2022).

대상 종에 따라 인공섬의 식생을 관리해야 할 수도 있다(보전 안내 시리즈 제 13 호 "섭금류를 위한 식생 관리/정리" 참조) 섬에 균락을 이룬 교목과 관목은 수관에 등지를 트는 새에게는 유용하지만(Yozzo *et al.*, 2004), 주로 갈매기, 제비갈매기처럼 마른 땅과 개방된 공간을 번식지로 선호하는 섭금류에게 방해가 될 수 있다(Conway *et al.*, 2005; Ausden, 2007).

인공섬을 조성하면 (a)인공섬은 천연 서식지 재충전에 사용될 수 있는 퇴적물을 사용하고 (b)천연 서식지가 손실되어도 쉽게 상쇄할 수 있다는 인식을 심어주어서 (반)천연 서식지의 손실을 촉진할 수 있다는 제안도 있다(Golder *et al.*, 2008). 이러한 가정을 뒷받침할 수 있는 근거는 알고 있는 한없다.

### 2. 생물다양성에 미치는 영향에 대한 근거

**새:** 전 세계적으로 보았을 때, 준설토로 조성한 섬은 섭금류가 쉬어가거나 번식하는 곳으로 활용된다 (Buckley & McCaffrey, 1978; Landin & Soots, 1978; Parnell *et al.*, 1986; Burton *et al.*, 1996; Powell & Collier, 2000; Erwin *et al.*, 2003; Yozzo *et al.*, 2004; Akers & Allcorn, 2006; Aulert *et al.*, 2012; Scarton *et al.*, 2013; Chan *et al.*, 2019). 준설물 섬에서 번식하는 것으로 알려진 섭금류로는 꼬마물떼새(*Charadrius dubius*, Aulert *et al.*, 2012), 흰물떼새(*Charadrius nivosus*, Powell & Collier, 2000), 검은등갈매기(*Larus marinus*, Aulert *et al.*, 2012), 붉은부리큰제비갈매기(*Hydroprogne caspia*, Martin & Randall, 1987; Quinn & Sirdevan, 1998)가

있다. 프랑스의 한 연구(Aulert *et al.*, 2012)에 따르면 섭금류는 건설된 섬과 그 외 건설된 휴식지를 이용했지만, 그렇다고 해도 이러한 구조물이 항만 개발로 상실된 개방형 휴식지를 (섭금류 숫자를 기준으로 했을 때) 완전히 상쇄하지는 못했다.

홍콩 마이포 습지에서는 얇은 석호에 저지대 섬을 건설하여 여름 우기 동안 만조 휴식지를 제공하였다. 그 결과 이 지역에서 여름을 나는 1년령의 뒷부리도요(*Xenus cinereus*) 아성체가 등장하였다. 그전에는 심만(Deep Bay) 주변 양식장이 전부 여름 내내 수심이 깊어 갯벌에서 먹이는 구할 수 있지만 만조 휴식지가 없어 여름을 나고 가는 섭금류가 없었다(David Melville, pers. comm.).

### 3. 결과에 영향을 미칠 수 있는 요인

**면적:** 최적의 섬 크기는 종에 따라 다르다. 섬이 크면 수용할 수 있는 새의 개체수가 늘어나고, 섬이 작으면 단독 생활을 하는 새의 피난처가 될 수 있다. 따라서 다양한 크기의 섬을 여러 개 조성하는 것이 이상적이다. 미국 대서양과 걸프만 연해구에 있는 준설 섬의 크기는 1ha~80ha 이다(Yozzo *et al.*, 2004).

**높이:** 섬이 휴식지가 되려면 조수로 인해 빈번하게 침수되지 않을 정도의 높이여야 한다. 섬이 번식지가 되려면 적어도 번식기에는 조수로 인한 침수가 없는 정도의 높이여야 한다. 향후 해수면 상승과 기후 변화(및 관련 폭풍)의 영향도 고려한다.

**지형 특징:** 경사가 완만하면 갯벌이나 염습지가 조성되거나 발달할 수 있다. 검은머리물떼새류와 도요새류(knots)처럼 크고 뾰족한 무리를 지어 휴식하는 종이라면 개방적이고 평평하며 경사가 완만한 섬이 더 바람직할 수 있다(Burton *et al.*, 1996 권고사항 참조). 경사가 가파른 섬은 붉은발도요(*Tringa totanus*) 같이 작거나 느슨하게 무리를 형성하는 종이 될 수 있는 은신처가 된다(Burton *et al.*, 1996 의 권고사항).

**퇴적물:** 퇴적물의 입자 크기는 섭금류의 섬 이용 여부 및 방법에 영향을 줄 수 있다. 준설토 위에서 번식하는 Least Terns(*Sterna antillarum*), Gull-billed Terns(*Sterna nilotica*), Black Skimmer(*Rhyncops niger*)로부터 가져온 증거에 따르면 지반 내 곱질 재료가 알의 위장 무늬와 식생 조절에 한몫할 수 있다(Mallach & Leberg, 1999). 고운 지반은 잡초가 침입하기 쉽지만 거친 지반은 잘 견디는 편이다(Powell & Collier, 2000).

**식생:** 새들은 식생의 양을 보고 그곳을 어떻게 이용할지 결정하지만 그런 새들이 선호하는 식생의 양은 새의 종류, 장소 이용 목적(휴식 또는 번식)에 따라 다르다. 섬을 번식지로 이용하는 새들을 연구해보니 섭금류는 식생이 울창하기보다는 드문드문한 섬에 둥지를 틀었다(Burgess & Hirons, 1992). 자갈로 섬을 조성한 영국의 한 복원지에서는 번식기 섭금류(갈매기, 제비갈매기)의 이용이 25년에 걸쳐 감소하였는데, 이는 목본 식생이 점점 우점하게 되었기 때문으로 추정된다(Akers & Allcorn, 2006).

**먹이활동지와 떨어진 정도:** 섭금류는 먹이활동지와 가까운 곳에서 휴식할 가능성이 높다(Zharikov & Milton, 2009). 이동에 에너지를 적게 소비할 수 있기 때문이다. 예를 들어, 청다리도요사촌(*Tringa guttifer*)의 경우 인공 연못에 있는 휴식지는 먹이활동지에서 약 1km 떨어져 있었다(Yu *et al.*, 2019). 바덴해에 서식하는 검은머리물떼새(*Haematopus ostralegus*)는 휴식지가 먹이활동지로부터 2km~4km 떨어져 있었다(Bakker *et al.*, 2021).

**접근성:** 육지와 가깝거나 수심이 얇은 섬은 특히 썰물 때 육상 생물이 접근하기 쉽다(Landin & Soots, 1978). 여우, 쥐 같은 야생동물, 집고양이와 개, 사람 등 섭금류를 잡아먹거나 방해할 수 있다.

**경쟁 및 포식:** 표적 섭금류보다 몸집이 큰 섭금류 종은 인공 섬의 가치를 떨어뜨릴 수 있다. 예를 들어 갈매기는 번식 군집을 제비갈매기보다 일찍 조성하여 결국 제비갈매기는 같은 섬을 사용하지 않게 된다(Quinn *et al.*, 1996). 갈매기는 또한 작은 섭금류의 알과 새끼도 먹이로 삼을 수 있다(Quinn *et al.*, 1996). 다양한 활동으로 문제성 조류를 차단하거나 동지를 보호할 수 있다(Williams *et al.*, 2013). 예를 들어, 캐나다에서는 번식기 초기에 섬을 플라스틱 시트로 덮어 갈매기가 동지를 짓지 못하게 하면서 제비갈매기는 서식할 수 있게 하였다(Quinn & Sirdevan 1998). 포유로 포식자도 문제가 될 수 있다. 미국 메릴랜드의 준설 섬에서 여우가 제비갈매기를 포식하는 것을 막고자 덮을 사용하면서 대중의 우려를 해소하기 위한 교육도 실시하였다(Erwin *et al.*, 2007).

**기존 서식지:** 섭금류에 적합한 서식지가 이미 충분한 상태라면 새로운 섬을 조성하여 얻을 수 있는 이득이 별로 없다. 미국 연구자들은 대체할 수 있는 서식지가 없을 때만 준설 섬을 널리 이용해야 한다고 제안하였다(Landin & Soots, 1978).

**유인물 사용:** 섭금류가 신규 조성지 사용을 꺼릴 수도 있다. 유인용 모형이나 소리를 내어 섭금류를 유인할 수 있다(Williams *et al.*, 2013). 예를 들어 미국에서 진행한 한 연구는 유인용 모형을 사용하고 소리도 추가하자 비로소 Forster's Terns(*Sterna forsteri*)가 인공 구조물에서 번식을 시작했다고 밝혔다(Ward *et al.*, 2011).

#### 4. 이행

퇴적물은 항구와 수로 같은 인적 인프라 및 운송 통로 유지를 위한 준설 작업으로 얻을 수 있다(Sheehan & Harrington, 2012). 섬을 조성하려면 준설 퇴적물을 잡석, 나무로 된 틀 같은 것을 사용하여 한 곳에 가두거나 그 주변에 식생을 조성하면 된다(Yozzo *et al.*, 2004; Scarton *et al.*, 2013). 몇 년 안에 퇴적물이 유실되어 버리지 않도록 신중하게 계획해야 한다(Chi-Yeung Choi, pers. comm.). 일반적으로 제방이나 방파제 등의 형태로 섬에서 바람이 부는 쪽을 보호하는 데 투자하는 편이 낫다. 기존 섬의 부재가 빠른 침식을 초래할 수 있는 높은 에너지 수준을 나타내는 지표인지도 살펴본다(Golder *et al.*, 2008). 고운 퇴적물(점토, 미사, 입자가 고운 모래)은 바람에 의한 침식에 더욱 취약하며 거친 퇴적물보다 안정될 때까지 시간이 걸린다(Golder *et al.*, 2008). 고운 퇴적물은 거친 퇴적물을 혼합하거나 그 위에 거친 물질을 쌓아 안정되게 할 수 있다(Landin

& Engler 1986; Golder *et al.*, 2008). 준설 섬의 규모를 유지하려면 3 년~7 년마다 퇴적물을 보충해야 한다(Golder *et al.*, 2008).

먹이활동을 하는 섭금류는 모기 유충이 많은 준설 섬의 고여있는 담수에 이끌리게 마련이다(Parnell *et al.*, 1986). 준설 섬 설계에 모을 추가하면 섭금류에 유리한 환경이 된다.

섭금류가 이용하는 기존 서식지 근처에 섬을 조성하는 경우, 새들이 방해 활동에 특히 민감해지는 번식기를 피해서 작업한다(Golder *et al.*, 2008). 공항, 풍력 터빈 같은 충돌 위험이 있는 인프라가 있다면 섬을 조성할 타당성을 제한할 수 있다(Climate-ADAPT 2023).

준설토는 중금속과 잔류성 유기 오염물질(POP)로 오염되어 식생 및 그 외 야생생물에 흡수될 수도 있으므로 주의한다. 오염된 퇴적물은 깨끗한 지반으로 덮여 최소 60cm 이상 덮는 것이 이상적이다(Yozzo *et al.*, 2004).

대표적인 섬 조성 비용을 살펴보면 2025 년 프랑스 북쪽 해안에 200m x 325m 크기의 단일섬을 조성할 때 800 만 유로(2024 년 2 월 기준 약 800 만 달러)가 들었다(Aulert *et al.*, 2012).

### 사례 연구: 네덜란드 마르커르호의 마르커르 바덴

마르커르 바덴은 네덜란드 마르커르 호에 있는 5 개의 섬으로 이루어진 인공 군도이다. 군도의 면적은 1,300 헥타르(2023 년 건설 중인 두 개 제외)이다. 군도는 휴양용으로 사용되지만 방문객은 엄격한 규칙을 따라야 한다. 방문객 시설로는 돌제, 산책로, 조류 관찰 포인트가 있다.

1976 년 연안 도시인 앵크하위전과 렐리스타트를 잇는 제방을 건설하자 바다와 단절된 부분이 생면서 마르커르호가 조성되었다. 해류의 영향을 받지 않게 되자 호수 바닥에 미사가 쌓이게 되었다. 미사는 바람으로 일어난 물결 때문에 교란되어 물을 혼탁하게 만들어 먹이 그물에 재앙을 초래하였다. 생태계 균형을 회복하기 위하여 준설토로 5 개의 섬을 조성하여 생태계 축소 방지 및 토종 생물다양성 회복을 목표로 삼았다.

#### 섬 조성 방법

공사는 2016 년 5 월 시작되었다. 섬을 조성하기 위해 3,000 만 m<sup>3</sup>의 퇴적물(모래, 미사, 점토)을 준설하였다. 사용된 장비로는 커터 흡입 준설선 Edax, 스프레이 폰툰(spray pontoon), 크레인 선박 3 척, 토공 장비 등이 있다. 우선 모래로 제방을 쌓고 그 안에 준설토를 뿌렸다. 준설토는 섬이 해수면 위로 올라갈 때까지 새로운 층을 추가하고 아래층이 굳어지게 하는 방식으로 층층이 쌓았다. 퇴적물 입자가 크고 모래 함량이 높으면 스프레이 노즐에서 가장 가까운 곳에 떨어져 가라앉았고, 굵고 미사 함량이 높은 퇴적물은 더 멀리 퍼져 호수 바닥을 형성하였다. 퇴적물의 최상층은 마르면서 지각이 되었다. 섬 뒤쪽의 물속에는 모래 언덕을 만들어 육지에서 물로

흘러가도록 부드러운 경사를 조성하였고 맑은 물이 있는 갯골과 늪도 생겼다. 침하(1.7m)는 2.5 년간 계속되었지만 주로 퇴적물 충전 후 3 개월 동안 발생하였다.

군도의 보호된 면에는 미사가 쌓여 이후 유지관리에 사용할 수 있다. 이 군도는 가장자리에 모래가 있어 폭풍우로부터 보호된다. 그러나 일부 측정값을 보면 모래가 측면으로 유실되어 섬이 육지로 이동할 수도 있다.

### 생물학적 발달

갈대류(*Phragmites communis*)는 파종, 뿌리줄기 식재, 깎아낸 풀 뿌리기 등 수작업으로 활착하였다. 갈대는 빠르게 뿌리를 내려 토양을 강화하는 효과가 있다. 선구 식물인 솜방망이속(*marsh ragwort* | *Tephrosia palustris*)과 red goosefoot(*Oxybasis rubra*)은 얇은 갯벌에 즉시 나타났다. 몇 주가 지나자 마른 지각 위로 거위가 걸어 다닐 수 있었다. 수중 수생 식물의 경우 약 1 년이 지나자 가래속(*pondweed*), 차축조(*Chara*), 이삭물수세미(*Myriophyllum spicatum*) 등 다양하게 발달하였다.

공사 후 4 년이 지나 2020 년과 2021 년에는 이 섬에 각각 43 종과 47 종의 번식기 조류가 서식하고 있었다. 가장 먼저 정착한 새는 제비갈매기(*Sterna hirundo*), 뒷부리장다리물떼새(*Recurvirostra avosetta*), 흰물떼새(*Anarhynchus alexandrinus*)(희귀종) 등 맨 모래에서 번식하는 새들이었다. 네덜란드에서 처음으로 번식한 바다펭(*Clangula hyemalis*) 한 쌍을 포함하여 연작류와 오리도 기록되었다. 이 군도는 인근 습지를 잇는 징검다리 역할을 한다.

준설 물질에서 방출된 영양분으로 인해 주변 지역에 비해 사상성 휴향 박테리아(*Thioploca* 속)의 밀도가 높아졌다. 먹이 그물에서 맡은 역할은 불분명하다.

출처: KIMA (2022); Video: Marker Wadden – Positive impetus to the ecology of the Markermeer Lake ([youtube.com/watch?v=3I0IJhZdUOc](https://www.youtube.com/watch?v=3I0IJhZdUOc)).

## 5. 그 외 유용한 자료

### 문서

연안 환경에서 준설물 이용 작업 안내: Manning W., Scott C. & Leegwater E. (2021) *Restoring Estuarine and Coastal Habitats with Dredged Sediments: A Handbook*. Environment Agency: Bristol, UK. Available at: <https://catchmentbasedapproach.org/learn/restoring-estuarine-and-coastal-habitats-with-dredged-sediment/>

섭금류 번식을 위한 서식지 관리 안내: Jackson M.V. & Straw P. (eds.) (2021) *Coastal Hightide Shorebird Habitat Management Guidelines*. Figshare. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.16628560.v1>



조류의 습지대 이용에 영향을 주는 요인 리뷰: Ma Z., Cai Y., Li B. & Chen J. (2010) Managing wetland habitats for waterbirds: an international perspective. *Wetlands*, **30**, 15–27. <https://doi.org/10.1007/s13157-009-0001-6>

## 비디오

영국에서 준설물을 살포하는 드론 촬영 영상: Pullen J. (2021, November 05) *MHPT, Harwich HA, Environment Agency, RSPB* [video]. YouTube. [www.youtube.com/watch?v=tb1ko3yesOM](http://www.youtube.com/watch?v=tb1ko3yesOM)

영국에서 플로팅 파이프라인으로 모래를 배치하는 드론 영상: Pullen J. (2021, November 17) *Cob marsh sand placement* [video]. YouTube. [www.youtube.com/watch?v=nFIAbRI-IQ0](http://www.youtube.com/watch?v=nFIAbRI-IQ0)

## 참고자료

Akers P. & Allcorn R.I. (2006) Re-profiling of islands in a gravel pit to improve nesting conditions for terns *Sterna* and small gulls *Larus* at Dungeness RSPB reserve, Kent, England. *Conservation Evidence*, **3**, 96–98. Available at: <https://conservationevidencejournal.com/reference/pdf/2236>

Aulert C., Provost P., Bessineton C. & Dutilleul C. (2009) Les mesures compensatoires et d'accompagnement Port 2000 : Retour d'expériences. (Experience of mitigation measures and environmental accompanying works at Port 2000). *Sciences Eaux & Territoires*, Spécial Ingénieries-EAT-29, 55–72. Available at: <https://revue-set.fr/article/view/6319>

Ausden M. (2007) *Habitat Management for Conservation: A Handbook of Techniques*. Oxford University Press: New York.

Bakker W., Ens B.J., Dokter A., van der Kolk H.-J., Rappoldt LK. *et al.* (2021) Connecting foraging and roosting areas reveals how food stocks explain shorebird numbers. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **259**, 107548. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2021.107458>

Buckley F.G. & McCaffrey C.A. (1978) *Use of Dredged Material Islands by Colonial Seabirds and Wading Birds in New Jersey*. Final Report: June 1978. U.S. Waterways Experiment Station: Vicksburg, Mississippi. Available at: <https://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metadc957904/>

Burgess N.D. & Hirons G.J.M. (1992) Creation and management of artificial nesting sites for wetland birds. *Journal of Environmental Management*, **34**, 285–295. [https://doi.org/10.1016/S0301-4797\(11\)80004-6](https://doi.org/10.1016/S0301-4797(11)80004-6)

Burton N.H.K., Evans P.R. & Robinson M.A. (1996) Effects on shorebird numbers of disturbance, the loss of a roost site and its replacement by an artificial island at Hartlepool, Cleveland. *Biological Conservation*, **77**, 193–201. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(95\)00143-3](https://doi.org/10.1016/0006-3207(95)00143-3)

Chan Y.-C., Peng H.-B., Han Y.-X., Chung S.S.-W., Li J. *et al.* (2019) Conserving unprotected important coastal habitats in the Yellow Sea: Shorebird occurrence, distribution and food resources at Lianyungang. *Global Ecology and Conservation*, **20**, e00724. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00724>

Climate-ADAPT (2023) Saltmarsh recreation by managed realignment, Hesketh Out Marsh – UK. Available at: <https://climate-adapt.eea.europa.eu/en/metadata/case-studies/saltmarsh-recreation-by-managed-realignment-hesketh-out-marsh-uk/>

Conway W.C., Smith L.M. & Ray J.D. (2005) Shorebird habitat use and nest-site selection in the Playa Lakes Region. *Journal of Wildlife Management*, **69**, 174–184. [https://doi.org/10.2193/0022-541x\(2005\)069%3C0174:shuans%3E2.0.co;2](https://doi.org/10.2193/0022-541x(2005)069%3C0174:shuans%3E2.0.co;2)

Golder W., Allen D., Cameron S. & Wilder T. (2008) *Dredged Material as a Tool for Management of Tern and Skimmer Nesting Habitats*. Technical note: ERDC TN-DOER-E24. U.S. Army Engineer Research And Development Center: Vicksburg, USA. <http://hdl.handle.net/11681/8757>

- Goodship N.M. & Furness R.W. (2022) *Disturbance Distances Review: An Updated Literature Review of Disturbance Distances of Selected Bird Species*. NatureScot Research Report 1283. Available at: <https://www.nature.scot/doc/naturescot-research-report-1283-disturbance-distances-review-updated-literature-review-disturbance>
- KIMA (2022) *Marker Wadden: Results of the First Five Years of Research. English Summary of the Final Report*, EcoShape – Building with Nature. Available at: <https://waterinfo-extra.rws.nl/projecten/lijt-projecten/kennis-marker-wadden/kennis-innovatieprogramma-marker-wadden/final-results/>
- Landin M.C. (1986) *Environmental Effects of Dredging: Building, Developing, and Managing Dredged Material Islands for Bird Habitat*. Technical note EEDP-07-1. Army Engineer Waterways Experiment Station: Vicksburg, Mississippi. Available at: <https://apps.dtic.mil/sti/tr/pdf/ADA292673.pdf>
- Landin M.C. & Soots R.F. (1978) Colonial bird use of dredged material islands: A national perspective. *Proceedings of the Colonial Waterbird Group*, **1**, 62–72. <https://doi.org/10.2307/1520902>
- Mallach T.J. & Leberg P.L. (1999) Use of dredged material substrates by nesting terns and Black Skimmers. *The Journal of Wildlife Management*, **63**, 137–146. <https://doi.org/10.2307/3802494>
- Martin A.P. & Randall R.M. (1987) Numbers of waterbirds at a commercial saltpan, and suggestions for management. *South African Journal of Wildlife Research*, **17**, 74–81. [https://hdl.handle.net/10520/AJA03794369\\_3531](https://hdl.handle.net/10520/AJA03794369_3531)
- Parnell J.F., Needham R.N., Soots R.F., Fussel J.O., Dumond D.M. *et al.* (1986) Use of dredged-material deposition sites by birds in coastal North Carolina, USA. *Colonial Waterbirds*, **9**, 210–217. <https://doi.org/10.2307/1521215>
- Powell A.N. & Collier C.L. (2000) Habitat use and reproductive success of western Snowy Plovers at new nesting areas created for California Least Terns. *The Journal of Wildlife Management*, **64**, 24–33. <https://doi.org/10.2307/3802971>
- Quinn J.S., Morris R.D., Blokpoel H., Weseloh D.V. & Ewins P.J. (1996) Design and management of bird nesting habitat: tactics for conserving colonial waterbird biodiversity on artificial islands in Hamilton Harbour, Ontario. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, **53**, 45–57. <https://doi.org/10.1139/f95-260>
- Quinn J.S. & Sirdevan J. (1998) Experimental measurement of nesting substrate preference in Caspian Terns, *Sterna caspia*, and the successful colonisation of human constructed islands. *Biological Conservation*, **85**, 63–68. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(97\)00142-0](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(97)00142-0)
- Scarton F., Cecconi G. & Valle R. (2013) Use of dredge islands by a declining European shorebird, the Kentish Plover *Charadrius alexandrinus*. *Wetlands Ecology and Management*, **21**, 15–27. <https://doi.org/10.1007/s11273-012-9276-0>
- Sheehan C. & Harrington J. (2012) Management of dredge material in the Republic of Ireland – A review. *Waste Management*, **32**, 1031–1044. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.11.014>
- Ward M.P., Semel B., Jablonski C., Deutsch C., Giammaria V. *et al.* (2011) Consequences of using conspecific attraction in avian conservation: A case study of endangered colonial waterbirds. *Waterbirds*, **34**, 476–480. <https://doi.org/10.1675/063.034.0410>
- Williams D.R., Pople R.G., Showler D.A., Dicks L.V., Child M.F. *et al.* (2013) *Bird Conservation: Global Evidence for the Effects of Interventions*. Pelagic Publishing: Exeter. Available at: <https://www.conservationevidence.com/synopsis/pdf/2>
- Yozzo D.J., Wilber P. & Will R.J. (2004) Beneficial use of dredged material for habitat creation, enhancement, and restoration in New York–New Jersey Harbor. *Journal of Environmental Management*, **73**, 39–52. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.05.008>
- Yu C., Ngoprasert D., Round P.D., Pierce, A.J., Savini, T. & Gale, G.A. (2019) Roost selection of the endangered Spotted Greenshank (*Tringa guttifer*) in critical habitat in the Inner Gulf of Thailand. *Avian Research*, **10**, 9. <https://doi.org/10.1186/s40657-019-0148-7>
- Zharikov Y. & Milton D.A. (2009) Valuing coastal habitats: predicting high-tide roosts of non-breeding migratory shorebirds from landscape composition. *Emu - Austral Ornithology*, **109**, 107–120. <https://doi.org/10.1071/MU08017>

**자문단:** Malcom Ausden, (RSPB, UK), Hyun-Ah Choi, (Hanns Seidel Foundation, South Korea), Chi-Yeung Choi, (Duke Kunshan University, China), Mark Dixon, (RSPB, UK), Qiang He (Fudan University, China), Micha V. Jackson, (CSIRO, Australia), Yifei Jia (Beijing Forest University, China), Wenhai Lu (National Marine Data and Information Service, China), David Melville (Global Flyway Network, New Zealand), Spike Millington (International Crane Foundation, USA), Taej Mundkur (Wetlands International, The Netherlands), Han Winterwerp (Delft University of Technology, The Netherlands), Fokko van der Goot, (Boskalis and EcoShape, The Netherlands), Hongyan Yang (Beijing Forest University, China)

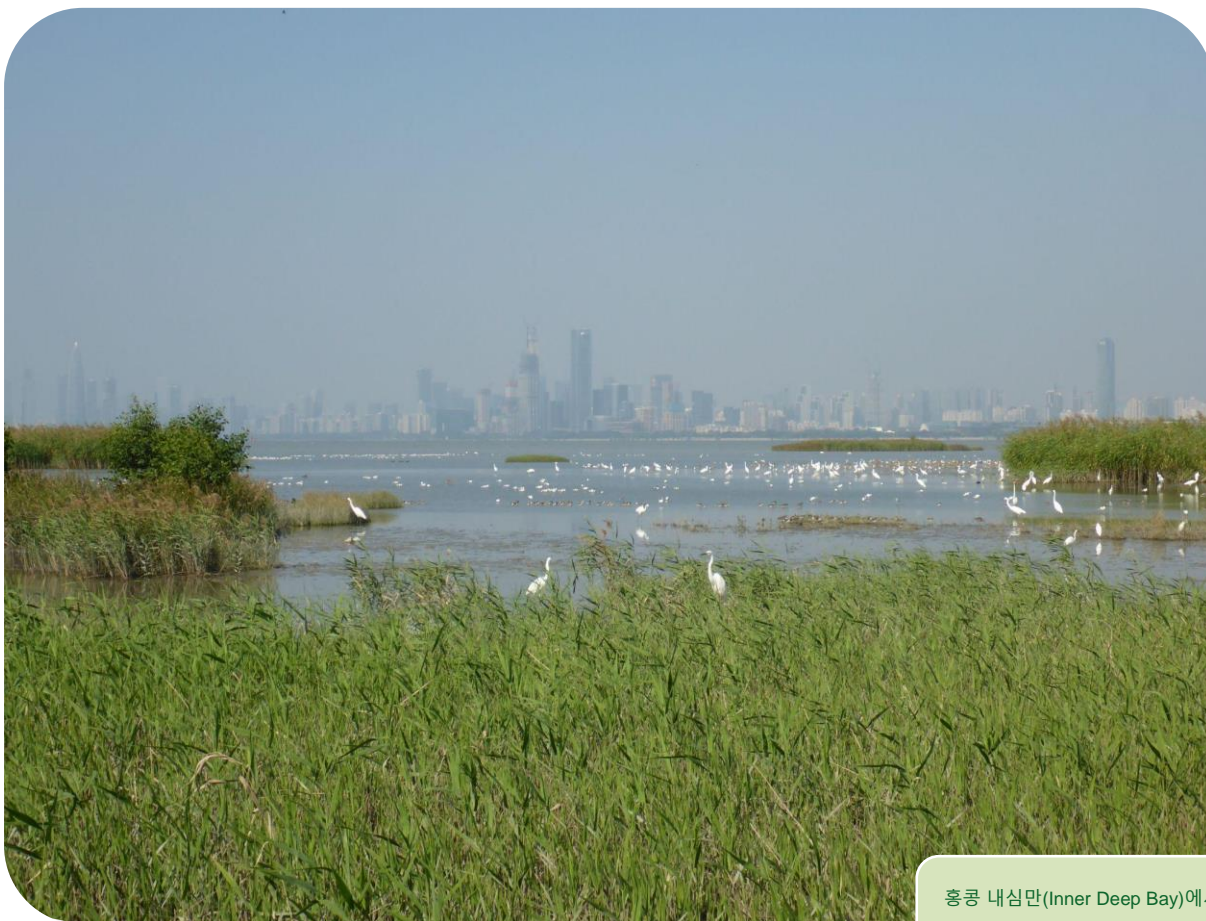
이 편람은 국내외 다양한 자료를 문헌검토하고 전문가의 고견을 바탕으로 철저한 평가를 거쳐 작성하였습니다. 이 편람의 목적은 전 세계 연안 서식지 복원 노력에 참고할 수 있는 실용적인 정보와 권고 사항을 제공하는 것입니다. 이 편람을 활용하는 전문가와 실무자는 자신의 전문 지식과 판단을 바탕으로 상황별 특징과 요건에 맞게 적절하게 수정하여 사용하기 바랍니다. 이 편람을 참고하여 발생하는 결과에 대한 책임은 전적으로 사용자에게 있습니다.

## 섭금류를 위한 식생 관리/정리 안내

**Vanessa Cutts<sup>1</sup>, Lorenzo Gaffi<sup>2</sup>, Ward Hagemeyer<sup>2</sup> & William J. Sutherland<sup>1</sup>**

1. 영국 케임브리지 대학교 동물학과 보전과학그룹 | Conservation Science Group, Department of Zoology, University of Cambridge, UK

2. 네덜란드 국제습지협회 | Wetlands International, The Netherlands



홍콩 내심만 (Inner Deep Bay)에서 식생의 조간대 잠식 [제공: David S. Melville]

완료일: 2024년 5월 4일



인용 표기: Cutts V., Gaffi L., Hagemeyer W. & Sutherland W.J. (2024) 섭금류를 위한 식생 관리/정리 안내. 보전 안내 시리즈 제 13 호 v1.0 (국문). <https://doi.org/10.52201/CGSKOR/QPTE4160>

## 과업목표: 새들을 위한 개방 공간 유지·관리

### 정의

- **번식:** 새가 알을 낳고 새끼를 보호하는 것
- **휴식:** 새의 휴식, 수면, 깃 다듬기 등 에너지를 아끼는 행동
- **요지:** 경사가 완만한 함몰지로 간헐적으로 물이 고인다.
- **섭금류:** 도요목에 속하는 새. 연안 서식지에서 먹이를 찾거나 쉬며 때로는 번식도 하는 일반적인 섭금류, 갈매기, 제비갈매기 등

### 1. 설명

식생은 섭금류 및 그 외 물새가 염습지와 갯벌을 이용하는 방식에 영향을 준다. 섭금류만의 번식지, 휴식지, 먹이활동지에 대한 요건이 있고, 그 요건도 섭금류 종마다 상이하다(Ma *et al.*, 2010). 대안이 없다면 적절한 번식지, 휴식지, 먹이활동지를 조성하기 위해 식생을 관리해야 한다.

수위가 낮으면 식생이 발달하지만 얇은 물(번식용)과 마른 표면(휴식용)이 필요한 섭금류의 요건과 상충할 수 있다. 따라서 목표 종/행동에 따라 개방된 공간을 유지하기 위해 식생을 정기적으로 정리하고 이때 규칙적인 침수와 배수 작업도 병행해야 할 수 있다. 다만 둥지가 쓸려나가지 않도록 번식기를 피한다.

이렇게 조처하기 전에 먼저 고려하고 평가해야 할 중요 사항이 있다. 예를 들어, 염습지 서식지는 대부분 만조 시 물에 잠기기 때문에 적절한 휴식지가 될 수 있는 날은 조석 주기 전체에서 며칠밖에 되지 않는다.

### 2. 생물다양성에 미치는 영향에 대한 근거

**새:** 섭금류는 식생이 적은 곳에서 쉬어가는 것을 선호한다(Jackson *et al.*, 2019). 먹이활동을 할 때는 식생으로 뺨뺨하게 덮여 있으면 먹이로의 접근성이 떨어진다고(Bancroft *et al.*, 2002). 번식의 경우 종마다 요구 사항이 다르다. 섭금류 중에서 특히 갈매기와 제비갈매기 등 몇 종은 연안 지역에서도 식생이 없고 개방되어 있으며 약간 움푹 들어간 요지(凹地)에 둥지를 짓는다(Conway *et al.*, 2005; Ausden, 2007). 북극에서 번식하는 섭금류, 흑꼬리도요(Limosa limosa), 땡기물떼새(Vanellus vanellus), 마도요(Numenius arquata)는 식생으로 가볍게 덮이거나 완전히 덮인 쪽을 선호하기도 한다(Ward Hagemeyer, pers. comm.). 울창한 식생은 피한다. 염습지, 갯벌 같은 연안 서식지에서는 대부분의 종이 번식을 위해 개방형을 선호한다. 미국 텍사스의 한 복원지에서는 붉은부리큰제비갈매기(Sterna caspia) 개체군 전체가 식생이 정리되고 트랙터로 모래를 다듬은 장소로 이주하였다(Roby *et al.*, 2002). 캐나다의 한 연구에 따르면 제비갈매기(Sterna hirundo)는 돌나물속과 유목(流木) 덩어리가 추가된 곳에 둥지를 트는 밀도가 더 높았고 자갈이 깔린 곳이나 맨 땅에는 거의 둥지를 틀지 않았다. 영국의 복원지에서는 465m<sup>2</sup>



면적에서 식생을 제거한 후 흰죽지꼬마물떼새(*Charadrius hiaticula*), 검은머리물떼새류(Oystercatcher | *Haematopus ostralegus*), 땡기물떼새(Lapwing)의 수가 두 배로 증가하였다(Wilson, 2005). 섬을 대상으로 한 연구에 따르면 식생이 제거되거나(Akers & Allcorn, 2006) 드문드문 있는 경우(Burgess & Hiron, 1992) 새의 개체수가 더 많다. 한 연구에 따르면 검은등제비갈매기(*Onychoprion fuscatus*)는 식생이 전부 정리되자 번식하지 않았지만, 식생이 부분적으로 정리되자 둥지를 틀었다(Saliva & Burger, 1989). 중국 랴오닝성 샹타이쩌허커우 국가해양자연보호구(NNR)에서 검은머리갈매기(*Saundersilarus saundersi*)는 이전 생육기때 자란 좁은해홍나물의 키 큰(약 1m) 죽은 줄기를 겨우내 제거한 곳에서는 둥지를 틀었지만 줄기가 남아 있는 곳은 피했다. 동절기 식생 정리는 보호구역에서 20년 이상 계속되었다(David Melville, pers. comm.).



섭금류는 남호주 굴와(Goolwa)의 염습지에서 번식하는 메추라기도요(*Calidris acuminata*)처럼 개방된 공간을 번식지로 선호한다. [제공: Micha V. Jackson].

### 3. 결과에 영향을 미칠 수 있는 요인

**수위:** 수심은 식생의 성장량과 종류에 영향을 미친다. 새의 개체수는 식생보다는 수위와 더 밀접한 관련이 있다는 증거가 있으므로(Bancroft *et al.*, 2002) 식생 관리와 더불어 수위도 고려한다.

### 4. 이행

**수작업 제거:** 식생은 손이나 기계로 정리할 수 있다. 중장비로 식생을 긁어내고 나무 잔해를 제거하며 식생을 정리할 수 있다. 예를 들어 불도저(Roby *et al.*, 2002)나 트랙터(Wilson, 2005)를 사용하면 모래만 남길 수 있다. 그런 다음 기계로 모래 표면을 매끄럽게 다듬어 매력적인 번식지를 조성할 수 있다(Roby *et al.*, 2002).

**범람:** 범람도 식생 활동을 억누르는 요인이다. 침수는 펄에 사는 대형무척추동물에 득이 되며, 달리 말하면 물이 빠지는 순간 바로 섭금류의 먹잇감이 된다(Jackson & Straw, 2021). 그러나 장기간의 침수에도 살아남을 수 있는 식물도 있다. 예를 들어 갈대(*Phragmites australis*)는 결국 죽게 되는 잠수 상태가 아니면 살 수 있다(Malcolm Ausden, pers. comm.) 갯줄풀도 침수된 상태에서

물리적으로 제거해야만 없앨 수 있다(보전 안내 시리즈 제 8 호~제 10 호 "*Spartina* 속 조절"). 갈대는 정기적으로 베어내어 관리할 수 있지만 이때 갈대밭을 이용하는 섭금류를 고려해야 한다(Boulord *et al.*, 2012; Kubacka *et al.*, 2014). 등지가 떠내려 가는 것은 연안 서식지에서 번식에 실패하는 흔한 원인이므로 식생을 줄이기 위해 침수를 이용하는 경우 번식기를 피해야 한다(Ward Hagermeijer, pers. comm.).

**제초제:** 제초제는 문제성 생물종에 대한 선택지가 될 수 있다. 예를 들어, 영국에서는 버드나무(*Salix* 속)가 침입하자 나무를 제거하고 그루터기는 제초제로 처리하였다. 제초제가 야생 조류에 미치는 장기적인 영향에 대해서는 아직 알려진 바가 거의 없다는 점에 유의한다. 메추라기(*Coturnix japonica*) 대상 실험 연구 결과 글리포세이트에 노출되면 누적 효과가 있을 수 있다(Ruuskanen *et al.*, 2020a,b). 글리포세이트에 오염된 종자를 10 주~52 주간 먹인 쥐는 대조군에 비해 장내 미생물군이 다르고 테스토스테론 수치가 감소하였으며 배아 발달률이 약간 낮았지만 고환 크기와 난자 생산 측면에서 생식에는 뚜렷한 영향이 보이지 않았다. 이 종에서 채취한 알에는 글리포사이트 잔류물이 들어 있었지만 알의 품질에는 영향을 미치지 않았다.

**섬의 식생:** 섬의 식생 관리는 본토보다 까다롭고 집중 관리가 필요하다. 섬의 표고를 낮추어 해수면에 가까워지면 식물 성장을 막을 수 있지만(Akers & Allcorn, 2006), (때때로) 수위가 높아지면 등지가 침수될 위험에 유의해야 한다. 섬에서 식생을 제거할 경우 뗏목에 장비를 싣고 건너가야 할 수도 있다 Akers & Allcorn, 2006).

## 5. 그 외 유용한 자료

**섭금류 번식을 위한 서식지 관리 안내:** Jackson M.V. & Straw P. (eds.) (2021) *Coastal Hightide Shorebird Habitat Management Guidelines*. Figshare. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.16628560.v1>

**조류의 습지대 이용에 영향을 주는 요인 리뷰:** Ma Z., Cai Y., Li B. & Chen J. (2010) Managing wetland habitats for waterbirds: an international perspective. *Wetlands*, **30**, 15–27. <https://doi.org/10.1007/s13157-009-0001-6>

## 참고자료

Akers P. & Allcorn R.I. (2006) Re-profiling of islands in a gravel pit to improve nesting conditions for terns *Sterna* and small gulls *Larus* at Dungeness RSPB reserve, Kent, England. *Conservation Evidence*, **3**, 96–98. Available at: <https://conservationevidencejournal.com/reference/pdf/2236>

Ausden M. (2007) *Habitat Management for Conservation: A Handbook of Techniques*, Oxford University Press: New York.

Bancroft G.T., Gawlik D.E. & Rutchey K. (2002) Distribution of wading birds relative to vegetation and water depths in the northern Everglades of Florida, USA. *Waterbirds: The International Journal of Waterbird Biology*, **25**, 265–277. [https://doi.org/10.1675/1524-4695\(2002\)025\[0265:DOWBRT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1675/1524-4695(2002)025[0265:DOWBRT]2.0.CO;2)

Boulord A., Mei Z., Tian-Hou W., Xiao-Ming W. & Jiguet F. (2012) Reproductive success of the threatened Reed Parrotbill *Paradoxornis heudei* in non-harvested and harvested reedbeds in the Yangtze River estuary, China. *Bird Conservation International*, **22**, 339–347. <https://doi.org/10.1017/S0959270911000384>

- Burgess N.D. & Hirons G.J.M. (1992) Creation and management of artificial nesting sites for wetland birds. *Journal of Environmental Management*, **34**, 285–295. [https://doi.org/10.1016/S0301-4797\(11\)80004-6](https://doi.org/10.1016/S0301-4797(11)80004-6)
- Conway W.C., Smith L.M. & Ray J.D. (2005) Shorebird habitat use and nest-site selection in the Playa Lakes Region. *Journal of Wildlife Management*, **69**, 174–184. [https://doi.org/10.2193/0022-541X\(2005\)069<0174:SHUANS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.2193/0022-541X(2005)069<0174:SHUANS>2.0.CO;2)
- Jackson M.V. & Straw P. (eds.) (2021) *Coastal Hightide Shorebird Habitat Management Guidelines*. Figshare. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.16628560.v1>
- Jackson M.V., Carrasco L.R., Choi C.-Y., Li J., Ma Z. *et al.* (2019) Multiple habitat use by declining migratory birds necessitates joined-up conservation. *Ecology and Evolution*, **9**, 2505–2515. <https://doi.org/10.1002/ece3.4895>
- Kubacka J., Opiel S., Dyrz A., Lachmann L., Barros da Costa J.P.D., Kail U. & Zdunek W. (2014) Effect of mowing on productivity in the endangered Aquatic Warbler *Acrocephalus paludicola*. *Bird Conservation International*, **24**, 45–58. <https://doi.org/10.1017/S0959270913000154>
- Ma Z., Cai Y., Li B. & Chen J. (2010) Managing wetland habitats for waterbirds: an international perspective. *Wetlands*, **30**, 15–27. <https://doi.org/10.1007/s13157-009-0001-6>
- Roby D.D., Collis K., Lyons D.E., Craig D.P., Adkins J.Y., *et al.*, (2002) Effects of colony relocation on diet and productivity of Caspian Terns. *The Journal of Wildlife Management*, **66**, 662–673. <https://doi.org/10.2307/3803132>
- Ruuskanen, S., Rainio, M.J., Gómez-Gallego, C., Selenius, O., Salminen, S. *et al.* (2020a) Glyphosate-based herbicides influence antioxidants, reproductive hormones and gut microbiome but not reproduction: A long-term experiment in an avian model. *Environmental Pollution*, **266**, 115108. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115108>
- Ruuskanen S., Rainio M.J., Uusitalo M., Saikkonen K. & Helander M. (2020b) Effects of parental exposure to glyphosate-based herbicides on embryonic development and oxidative status: A long-term experiment in a bird model. *Scientific Reports*, **10**, 6349. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63365-1>
- Saliva J.E. & Burger J. (1989) Effect of experimental manipulation of vegetation density on nest-site selection in Sooty Terns. *The Condor*, **91**, 689–698. <https://doi.org/10.2307/1368121>
- Wilson J. (2005) Removal of grass by scraping to enhance nesting areas for breeding waders at Leighton Moss RSPB Reserve, Lancashire, England. *Conservation Evidence*, **2**, 60–61. Available at: <https://www.conservationevidence.com/reference/pdf/2157>

**자문단:** Malcom Ausden, (RSPB, UK), Hyun-Ah Choi, (Hanns Seidel Foundation, South Korea), Chi-Yeung Choi, (Duke Kunshan University, China), Mark Dixon, (RSPB, UK), Qiang He (Fudan University, China), Micha V. Jackson, (CSIRO, Australia), Yifei Jia (Beijing Forest University, China), Wenhai Lu (National Marine Data and Information Service, China), David Melville (Global Flyway Network, New Zealand), Spike Millington (International Crane Foundation, USA), Taej Mundkur (Wetlands International, The Netherlands), Han Winterwerp (Delft University of Technology, The Netherlands), Fokko van der Goot, (Boskalis and EcoShape, The Netherlands), Hongyan Yang (Beijing Forest University, China)

이 편람은 국내외 다양한 자료를 문헌검토하고 전문가의 고견을 바탕으로 철저한 평가를 거쳐 작성하였습니다. 이 편람의 목적은 전 세계 연안 서식지 복원 노력에 참고할 수 있는 실용적인 정보와 권고 사항을 제공하는 것입니다. 이 편람을 활용하는 전문가와 실무자는 자신의 전문 지식과 판단을 바탕으로 상황별 특징과 요건에 맞게 적절하게 수정하여 사용하기 바랍니다. 이 편람을 참고하여 발생하는 결과에 대한 책임은 전적으로 사용자에게 있습니다.

## 섭금류 대상 방해 감소 안내

**Vanessa Cutts<sup>1</sup>, Micha V. Jackson<sup>2</sup>, Nigel G. Taylor<sup>1</sup>, Lorenzo Gaffi<sup>3</sup>, Ward Hagemeyer<sup>3</sup>  
& William J. Sutherland<sup>1</sup>**

1. 영국 케임브리지 대학교 동물학과 보전과학그룹 | Conservation Science Group, Department of Zoology, University of Cambridge, UK

2. 호주 캔버라 CSIRO | CSIRO, Canberra, Australia

3. 네덜란드 국제습지협회 | Wetlands International, The Netherlands



호주 노던 준주 리 포인트(다윈)에 있는 중요한 만조 휴식지에서 방해를 받자 날아가는 섭금류 [제공: Micha V. Jackson].

완료일: 2024 년 5 월 4 일

 Conservation Evidence

 Wetlands INTERNATIONAL

인용 표기: Cutts V., Jackson M.V., Taylor N.G., Gaffi L., Hagemeyer W. & Sutherland W.J. (2024) 섭금류 대상 방해 감소 안내.

보전 안내 시리즈 제 14 호 v1.0 (국문). <https://doi.org/10.52201/CGSKOR/IRVA5598>



## 과업목표: 섭금류가 휴식, 번식, 먹이활동을 할 수 있는 안전한 환경 조성

### 정의

- **방해:** 섭금류 개체 또는 무리의 정상적인 행동을 변화시켜 추가적인 에너지 소비를 유발하는 활동. 생산성, 생존율도 감소할 수 있다(Mengak & Dayer, 2020).
- **비행 개시 거리:** 새들이 위험을 인지하고 피하고자 날아가기 시작하는 거리
- **번식:** 새가 알을 낳고 새끼를 보호하는 것
- **휴식:** 새의 휴식, 수면, 깃 다듬기 등 에너지를 아끼는 행동
- **섭금류:** 도요목에 속하는 새. 연안 서식지에서 먹이를 찾거나 쉬며 때로는 번식도 하는 일반적인 섭금류, 갈매기, 제비갈매기 등

### 1. 설명

섭금류는 휴식, 번식, 먹이활동을 할 때 취약해지므로 인간이나 포식자가 방해할 수 없는 안전한 곳을 선호한다(Rogers *et al.*, 2006; Rosa *et al.*, 2006). 새들이 휴식, 번식, 먹이활동을 할 때 방해하면 에너지를 쓰게 된다. 번식하는 새가 방해를 받으면 둥지를 지키지 않아 포식자와 온도 변화에 취약한 상태가 된다. 이로 인해 새끼가 조기 부화하거나 갓 부화한 새끼를 위험에 빠질 수 있다(예: 부모가 멀어짐, 물에 빠짐, 포식자의 눈에 띄م). 예방 조치를 해 사람들이 새의 번식·휴식·먹이활동 지역을 피해 가도록 유도할 수 있다.

인간은 자동차, 배, 항공기, 총기, 해산물 채취, 너무 가까이에서 걸어가기 등으로 섭금류를 방해할 수 있다. 중국의 경우 연체동물과 새우를 하루 100kg~150kg 잡는 등 대규모 무척추동물 채취가 보고되었다(Melville 1997). 가축(Sharps *et al.*, 2017), 조류 포식자, 반려견 같은 동물도 방해의 주체가 될 수 있다. 다만 인간의 존재가 포식자를 물리쳐 연안 조류에 유익할 수도 있다. 예를 들어, 스웨덴에서는 코로나 19로 인한 봉쇄 기간 관광객이 찾지 않자 수리가 방해하는 경우가 잦아져 바다오리의 생산성이 감소하는 결과를 낳았다(Hentati-Sundberg *et al.*, 2021).

### 2. 생물다양성에 미치는 영향에 대한 근거

**새:** 연결로와 둘레길을 폐쇄하면 hooded plover (*Thinornis rubricollis*, Dowling & Weston, 1999)와 흰물떼새(snowy plover | *Charadrius nivosus*, Lafferty *et al.*, 2006; Wilson & Colwell, 2010)의 번식 성공률이 높아진다. 섭금류의 번식기임을 알리는 표지판만 세우면 hooded plover의 알이 깨지는 확률이 감소하였다(Weston *et al.*, 2012).

방해 감소를 위해 여러 가지 구체적인 대책을 함께 사용하기도 한다. 미국 북동부에서는 표지판, 접근 제한, 전망대, 순찰, 위반에 대한 처벌을 실시하여 섭금류에 대한 방해 행위를 크게 줄였다(Burger *et al.*, 2004). 포르투갈에서는 방해가 가장 심한 주말에 표지판과 번식지 감시를 동시에 실시하여 쇠제비갈매기(*Sterna albifrons*)의 번식 성공률을 높였다(Medeiros *et al.*, 2007).



미국 뉴저지에서는 표지판을 세우고 교육도 같이 진행하여 붉은발제비갈매기(*Sterna hirundo*)의 번식 성공률이 향상되었다(Burger & Leonard, 2000). 나미비아에서는 안내판, 차단벽, 지정된 경로로 4륜 자전거 제한, 휴양하는 사람들에게 안내문 나눠주기를 실시하여 제비갈매기속(*damara tern* | *Sterna balaenarum*) 군집에서 부화하는 새끼의 숫자가 전체적으로 증가하였다(Braby *et al.*, 2009).

포식자 차단도 번식 성공률을 높이지만(예: Dinsmore *et al.*, 2014), 울타리를 세워 차단하면 사용하면 새들이 동지를 버릴 수도 있다(Vaske *et al.*, 1994).



갯벌에서 해산물 채취는 섭금류의 휴식과 먹이활동을 방해할 수 있다. 방글라데시 콕스 바자르 소나다섬 갯벌에서 무척추동물을 채취하려는 사람들 [제공: Sayam Chowdhury].

### 3. 결과에 영향을 미칠 수 있는 요인

**조류종:** 섭금류의 종에 따라 방해에 대한 내성이 다르다. 예를 들어, 한 연구에 따르면 큰뒷부리도요(*Limosa lapponica*)는 다른 섭금류보다 소음 방해에 더 취약하다(van der Kolk *et al.*, 2020). 종별, 방해별 "비행 개시 거리"로 표지판, 울타리, 전망대 등의 조치를 할 장소를 정할 수 있다(Livezey *et al.*, 2016).

**방해 유형:** 인간의 존재로 섭금류에 대해 발생하는 비용과 편익은 방해의 근접성, 빈도, 강도 같은 요인에 따라 다르다. 방해 관리에 사용되는 구체적인 대책은 방해의 유형에 맞게 조정해야 한다. 예를 들어, 동지 근처에 표지판을 세우면 원격으로 조종하는 드론 조종사의 방해 줄이지 못한다. 표지판은 방해 일으킬 수 있는 주요 집단이 읽을 수 있는 곳에 두어야 하며, 관광객이 자주 찾는 지역의 표지판이라면 여러 언어로 작성해야 한다.

**파괴행위:** 방해 행위를 줄이기 위해 설치한 구조물은 특히 해당 지역을 이용하는 사람들이 보호 조치를 이해하지 못하거나 동의하지 않으면 파괴행위의 대상이 될 수 있다. 아르헨티나 파나고니아에서는 해변에 동지를 뜯는 물떼새 주변에 설치한 밧줄 울타리와 표지판이 도난당했다(Hevia & Bala, 2018). 가능한 해결책으로는 무겁고 고정성이 잘 되는 재료를

사용하고(Hevia & Bala, 2018), 물리적 보호책과 교육 프로그램을 결합하며, 감시인이나 레인저를 배치하는 것 등이 있다.

#### 4. 이행

**표지판 설치:** 표지판을 세워서 취약한 섭금류를 피해달라고 경고하고 장려할 수 있다. 주의해야 하는 장소 근처에 표지판을 설치해야 바라는 행동을 이끌어낼 수 있다(Austin *et al.*, 1993). 따라서 해변 입구보다는 차단할 지역 바로 옆에 표지판을 두는 것이 효과적으로, 예를 들어 조류 번식지 바로 근처에 설치하거나(Medeiros *et al.*, 2007) 염습지 섬 주변 부표에 설치하면 선박으로 인한 방해를 방지할 수 있다(Burger & Leonard, 2000).

사적인 이야기와 인간적인 메시지(예: 특정한 새에 관한 이야기)는 공감하기 좋지만(Rare and The Behavioural Insights Team, 2019), 통계를 내세우는 것은 비환경주의자에게는 효과가 없고 "공감 퇴색"으로 이어질 수 있다(Markowitz *et al.*, 2013). 부정적인 문구("하지 마시오")보다는 긍정적인 문구("도울 수 있습니다")가 친환경적인 행동을 장려한다(Schneider *et al.*, 2017). 문구는 명확하고 모호하지 않아야 하며(예: 야생생물법을 명확하게 설명), 여러 곳에 표지판을 설치할 경우 일관된 메시지를 전달한다(Rare and The Behavioural Insights Team, 2019).

*아일랜드에서는 "새가 알을 품고 있어요. 야생생물법(1976)에 따라 번식기의 새를 방해하는 것은 불법입니다. 가까이 오면 새가 알을 버리거나 새끼가 죽게 됩니다. 한 걸음만 물러나 주세요. 협조에 감사드립니다."*를 표지판에 새겨 동지를 떠나는 북방가넷(*Morus bassanus*)의 수를 줄이는 결과를 낳았다(Allbrook & Quinn, 2020). 반면 표지판이 무시되거나(예: 나미비아 제비갈매기 군집 주변 정보 및 해설 표지판. Braby *et al.*, 2009) 파손된 경우(예: 아르헨티나 물떼새 군집 주변 해변에 설치된 표지판. Hevia & Bala, 2018)도 보고되었다.

**구역 폐쇄:** 밧줄 울타리와 같은 울타리를 설치하여 구역을 폐쇄할 수 있다(Lafferty *et al.*, 2006). 번식기에는 임시 울타리도 설치할 수 있다(Wilson & Colwell, 2010). 호주 빅토리아에서 번식하는 hooded plover(*Charadrius cucullatus*)를 연구한 결과 울타리와 표지판 조합은 표지판만 사용하는 것보다 준수율을 높였다(Maguire, 2008).

**교육 및 인식 제고:** 섭금류의 존재, 활동으로 발생하는 방해에 관한 정보는 워크숍, 비디오, 신문 기사, 소셜 미디어 게시물, 정보지, 표지판 등 다양한 수단으로 공유할 수 있다. 교육 프로그램은 다른 개입 활동과 함께 하면 섭금류 방해 행위를 줄일 수 있다는 증거가 있다(Burger, 2003; Braby *et al.*, 2009). 다만, 인식 제고가 반드시 행동 변화로 이어지는 것은 아니며 오히려 바람직하지 않은 행동을 자극할 수도 있기 때문에 주의해야 한다(Christiano & Niemand, 2007).



표지판으로 인간의 접근을 막거나 취약종에 대한 정보를 제공할 수 있다. 사진 속 표지판은 호주에서 섭금류에 가장 중요한 지역인 퀸즐랜드 모튼 베이에 조성된 휴식지를 가리키며, 만조 시 인간 거주지로 둘러싸인 작은 영역을 이용하는 섭금류를 방해하지 않기 위해 일반인의 출입이 금지되었음을 알려준다. [제공: Micha V. Jackson].

**활동 금지/제한:** 방해할 수 있는 행동을 전면 금지(예: 해변에서 개를 산책시키는 행위)하거나 제한(예: 보트 속도 제한 설정, 드론 비행 고도 제한 설정. Cantu de Leija *et al.*, 2023)할 수 있다. 금지/제한은 번식기나 섭금류가 특히 방해에 민감한 시기에만 필요할 수도 있다. 금지/제한 조치는 교육 프로그램, 표지판, 감시원 등을 통해 관련 사용자 집단에 알려야 한다.

**감시원:** 전문가 또는 자원봉사자가 관리하며 접근을 제한하고 교육을 보조할 수 있다. 미국 플로리다 해변에서는 알아보기 쉬운 "새 관리인"을 두자 보호구역(상징적인 울타리로 둘러싸인 공간)에 들어가는 사람의 수가 관리인이 없을 때보다 약 9 배 감소하였다(Forys, 2011).

**전망대:** 안전한 거리에서 새를 관찰할 수 있는 전망대를 설치할 수 있다(Burger *et al.*, 2004).

**높은 구조물 제거/피하기:** 높은 구조물은 새의 천적이 감시하는 장소로 사용할 수 있어 새가 느끼는 압력이 증가한다(Ward Hagemeyer, pers. comm.). 포식자가 조망할 수 있는 지점 근처에 서식지를 설치하는 것을 피하고 전망대를 새로 세우지 않으며 기존 고가 구조물은 제거도 고려한다(Ward Hagemeyer, pers. comm.).

**동물 포획/도태/접근 제한:** 섭금류를 먹이로 삼거나 방해할 수 있는 동물은 포식자 방지 울타리를 사용하여 차단할 수 있다(Williams *et al.*, 2013). 울타리는 땅을 파고들어 오지 못하도록 땅속 깊이 세우거나 전기가 통하게 할 수도 있다(예: Dinsmore *et al.*, 2014). 직경 30mm의 철망은 중·대형 포유류를 차단한다(Robley *et al.*, 2007). 등지마다 울타리/우리를 설치할 수도 있지만, 새들이 등지를 버릴 수도 있으므로 주의한다(Vaske *et al.*, 1994). 적절한 면허가 있고 윤리적으로 충분히 고려한 상태에서 덫을 놓거나 도태시켜 조절할 수도 있다.

**가축 접근 제한하기:** 가축의 존재가 섭금류를 방해할 수 있다. 섭금류의 번식·휴식·먹이활동지에 가축의 접근을 막거나 가축의 밀도를 줄여서 방해하지 못하게 할 수 있다(Sharps *et al.*, 2017).

**이해관계자 고려하기:** 설계, 기획 및/또는 전달 작업 시 영향력이 있거나 영향을 받을 수 있는 이해관계자 개인/집단도 개입하도록 하면 방해 관리 활동의 성공률을 높일 수 있다(Sterling *et al.*,

2017). 예를 들어, Burger & Niles (2013)은 해변 폐쇄 허가 및 이후 폐쇄 준수가 유의미한 이해관계자 관여 덕분이라고 설명한다.

## 5. 그 외 유용한 자료

**조류 방해 행위와 조류 간 거리 리뷰:** Goodship N.M. & Furness R.W. (2022) *Disturbance Distances Review: An updated literature review of disturbance distances of selected bird species*. NatureScot Research Report 1283. Available at: <https://www.nature.scot/doc/naturescot-research-report-1283-disturbance-distances-review-updated-literature-review-disturbance>

**섬금류 번식을 위한 서식지 관리 안내:** Jackson M.V & Straw P. (eds.) (2021) *Coastal Hightide Shorebird Habitat Management Guidelines*. Figshare. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.16628560.v1>

**조류의 습지대 이용에 영향을 주는 요인 리뷰:** Ma Z., Cai Y., Li B. & Chen J. (2010) Managing wetland habitats for waterbirds: An international perspective. *Wetlands*, **30**, 15–27. <https://doi.org/10.1007/s13157-009-0001-6>

**온라인 툴킷:** Shorebird disturbance reduction toolkit (2022) Available at: <https://sos.atlanticflywayshorebirds.org/shorebirddisturbancereductiontoolkit/>

**습지대에서 물새 방해 행위 관리 안내:** AEWA (2022) *Managing Waterbird Disturbance: A Short Guide for Wetland Managers*. Available at: <https://www.unep-aewa.org/en/document/managing-waterbird-disturbance-short-guide-wetland-managers-draft-2>

**해변에서 번식하는 조류 관리 안내:** Maguire G.S. (2008) *A Practical Guide for Managing Beach-Nesting Birds in Australia*. Birds Australia: Melbourne. Available at: [https://beachvol.birdlife.org.au/public\\_files/39/Birds%20Management%20Manual.pdf](https://beachvol.birdlife.org.au/public_files/39/Birds%20Management%20Manual.pdf)

**인간 행동 과학 툴킷:** Rare and The Behavioural Insights Team (2019) *Behaviour Change for Nature: A Behavioral Science Toolkit for Practitioners*. Rare: Arlington, VA. Available at: <https://www.bi.team/publications/behavior-change-for-nature-a-behavioral-science-toolkit-for-practitioners/>

## 참고자료

Allbrook D.L. & Quinn J.L. (2020) The effectiveness of regulatory signs in controlling human behaviour and Northern Gannet (*Morus bassanus*) disturbance during breeding: an experimental test. *Journal for Nature Conservation*, **58**, 125915. <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2020.125915>

Austin J., Hatfield D.B., Grindle A.C. & Bailey J.S. (1993) Increasing recycling in office environments: The effects of specific, informative cues. *Journal of Applied Behavior Analysis*, **26**, 247–253. <https://doi.org/10.1901/jaba.1993.26-247>

Braby J., Braby R.J., Braby N. & Simmons R.E. (2009) Protecting Damara Terns *Sterna balaenarum* from recreational disturbance in the Namib Desert increases breeding density and overall success. *Ostrich*, **80**, 71–75. <https://doi.org/10.2989/OSTRICH.2009.80.2.1.828>

Burger J., Jeitner C., Clark K. & Niles L.J. (2004) The effect of human activities on migrant shorebirds: Successful adaptive management. *Environmental Conservation*, **31**, 283–288. <https://doi.org/10.1017/S0376892904001626>



- Burger J. & Leonard J. (2000) Conflict resolution in coastal waters: The case of personal watercraft. *Marine Policy*, **24**, 61–67. [https://doi.org/10.1016/S0308-597X\(99\)00013-5](https://doi.org/10.1016/S0308-597X(99)00013-5)
- Burger J. & Niles L. (2013) Shorebirds and stakeholders: Effects of beach closure and human activities on shorebirds at a New Jersey coastal beach. *Urban Ecosystems*, **16**, 657–673. <https://doi.org/10.1007/s11252-012-0269-9>
- Christiano A. & Neimand A. (2017) Stop raising awareness already. *Stanford Social Innovation Review*, **15**, 34–41. <https://doi.org/10.48558/7MA6-J918>
- Dowling B. & Weston M.A. (1999) Managing a breeding population of the Hooded Plover *Thinornis rubricollis* in a high-use recreational environment. *Bird Conservation International*, **9**, 255–270. <https://doi.org/10.1017/S0959270900003440>
- Dinsmore S.J., Lauten D.J., Castelein K.A., Gaines E.P. & Stern M.A. (2014) Predator exclosures, predator removal, and habitat improvement increase nest success of Snowy Plovers in Oregon, USA. *The Condor*, **116**, 619–628. <https://doi.org/10.1650/CONDOR-14-7.1>
- Forys E. (2011) *An Evaluation of Existing Shorebird Management Techniques' Success at Locations in Pinellas County*. Final Report. Eckerd College: St. Petersburg, Florida, USA. Available at: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12627.78887>
- Hentati-Sundberg J., Berglund P.-A., Hejdström A. & Olsson O. (2021) COVID-19 lockdown reveals tourists as seabird guardians. *Biological Conservation*, **254**, 108950. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.108950>
- Hevia V. & Bala L.O. (2018) The role of human compliance for management actions to protect breeding shorebirds in coastal ecosystems. *Wader Study*, **125**, 83–89. <https://doi.org/10.18194/ws.00110>
- Lafferty K.D., Goodman D. & Sandoval C.P. (2006) Restoration of breeding by Snowy Plovers following protection from disturbance. *Biodiversity & Conservation*, **15**, 2217–2230. <https://doi.org/10.1007/s10531-004-7180-5>
- Cantu de Leija A., Mirzadi R.E., Randall J.M., Portmann M.D., Mueller E.J. *et al.* (2023) A meta-analysis of disturbance caused by drones on nesting birds. *Journal of Field Ornithology*, **94**, Article 3. <https://doi.org/10.5751/JFO-00259-940203>
- Livezey K.B., Fernández-Juricic E. & Blumstein D.T. (2016) Database of bird flight initiation distances to assist in estimating effects from human disturbance and delineating buffer areas. *Journal of Fish and Wildlife Management*, **7**, 181–191. <https://doi.org/10.3996/082015-JFWM-078>
- Markowitz E.M., Slovic P., Västfjäll D. & Hodges S.D. (2013) Compassion fade and the challenge of environmental conservation. *Judgment and Decision Making*, **8**, 397–406. <https://doi.org/10.1017/S193029750000526X>
- Medeiros R., Ramos J.A., Paiva V.H., Almeida A., Pedro P. *et al.* (2007) Signage reduces the impact of human disturbance on Little Tern nesting success in Portugal. *Biological Conservation*, **135**, 99–106. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.10.001>
- Melville D.S. (1997) Threats to waders along the East Asian-Australasian Flyway. In: *Shorebird Conservation in the Asia-Pacific Region: Based on papers presented at a symposium held on 16-17 March 1996 in Brisbane, Australia* (ed. by P. Straw), pp. 15–34. Australasian Wader Studies Group, Birds Australia. Available at: [https://awsq.org.au/pdfs/asc-1996-proceedings\(final\).pdf](https://awsq.org.au/pdfs/asc-1996-proceedings(final).pdf)
- Mengak L. & Dayer A.A. (2020) Defining human disturbance to shorebirds using manager and scientist input. *Environmental Management*, **65**, 62–73. <https://doi.org/10.1007/s00267-019-01230-2>
- Rare and The Behavioural Insights Team (2019) *Behaviour Change for Nature: A Behavioral Science Toolkit for Practitioners*. Rare: Arlington, VA. Available at: <https://www.bi.team/publications/behavior-change-for-nature-a-behavioral-science-toolkit-for-practitioners/>
- Robley A., Purdey D., Johnston M., Lindeman M., Busana F. *et al.* (2007) Experimental trials to determine effective fence designs for feral cat and fox exclusion. *Ecological Management & Restoration*, **8**, 193–198. <https://doi.org/10.1111/j.1442-8903.2007.00367.x>



Rogers D.I., Piersma T. & Hassell C.J. (2006) Roost availability may constrain shorebird distribution: Exploring the energetic costs of roosting and disturbance around a tropical bay. *Biological Conservation*, **133**, 225–235. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2006.06.007>

Rosa S., Encarnação A.L., Granadeiro J.P. & Palmeirim J.M. (2006) High water roost selection by waders: maximizing feeding opportunities or avoiding predation? *Ibis*, **148**, 88–97. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2006.00497.x>

Schneider C.R., Zaval L., Weber E.U. & Markowitz E.M. (2017) The influence of anticipated pride and guilt on pro-environmental decision making. *PLoS ONE*, **12**, e0188781. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0188781>

Sharps E., Smart J., Mason L.R., Jones K., Skov M.W. *et al.* (2017) Nest trampling and ground nesting birds: Quantifying temporal and spatial overlap between cattle activity and breeding Redshank. *Ecology and Evolution*, **7**, 6622–6633. <https://doi.org/10.1002/ece3.3271>

Sterling E.J., Betley E., Sigouin A., Gomez A., Toomey A. *et al.* (2017) Assessing the evidence for stakeholder engagement in biodiversity conservation. *Biological Conservation*, **209**, 159–171. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2017.02.008>

van der Kolk H., Krijgsveld K.L., Linssen H., Diertens R., Dolman D. *et al.* (2020) Cumulative energetic costs of military aircraft, recreational and natural disturbance in roosting shorebirds. *Animal Conservation*, **23**, 359–372. <https://doi.org/10.1111/acv.12546>

Vaske J.J., Rimmer D.W. & Deblinger R.D. (1994) The impact of different predator exclosures on Piping Plover nest abandonment. *Journal of Field Ornithology*, **65**, 201–209. Available at: <https://sora.unm.edu/sites/default/files/journals/jfo/v065n02/p0201-p0209.pdf>

Weston M.A., Dodge F., Bunce A., Nimmo D.G. & Miller K.K. (2012) Do temporary beach closures assist in the conservation of breeding shorebirds on recreational beaches? *Pacific Conservation Biology*, **18**, 47–55. <https://doi.org/10.1071/PC120047>

Williams D.R., Pople R.G., Showler D.A., Dicks L.V., Child M.F. *et al.* (2013) *Bird Conservation: Global Evidence for the Effects of Interventions*. Pelagic Publishing: Exeter. Available at: <https://www.conservationalevidence.com/synopsis/pdf/2>

Wilson C.A. & Colwell M.A. (2010) Movements and fledging success of Snowy Plover (*Charadrius alexandrinus*) chicks. *Waterbirds*: **33**, 331–340. <https://doi.org/10.1675/063.033.0309>

**자문단:** Malcom Ausden, (RSPB, UK), Hyun-Ah Choi, (Hanns Seidel Foundation, South Korea), Chi-Yeung Choi, (Duke Kunshan University, China), Mark Dixon, (RSPB, UK), Qiang He (Fudan University, China), Yifei Jia (Beijing Forest University, China), Wenhai Lu (National Marine Data and Information Service, China), David Melville (Global Flyway Network, New Zealand), Spike Millington (International Crane Foundation, USA), Taej Mundkur (Wetlands International, The Netherlands), Han Winterwerp (Delft University of Technology, The Netherlands), Fokko van der Goot, (Boskalis and EcoShape, The Netherlands), Hongyan Yang (Beijing Forest University, China)

이 편람은 국내외 다양한 자료를 문헌검토하고 전문가의 고견을 바탕으로 철저한 평가를 거쳐 작성하였습니다. 이 편람의 목적은 전 세계 연안 서식지 복원 노력에 참고할 수 있는 실용적인 정보와 권고 사항을 제공하는 것입니다. 이 편람을 활용하는 전문가와 실무자는 자신의 전문 지식과 판단을 바탕으로 상황별 특징과 요건에 맞게 적절하게 수정하여 사용하기 바랍니다. 이 편람을 참고하여 발생하는 결과에 대한 책임은 전적으로 사용자에게 있습니다.

