

자연방파제 해안사구
Coastal Dunes as a natural barrier

자연방파제 해안사구

COASTAL DUNES AS A NATURAL BARRIER

글·사진 최광희·김윤미·정필모·서민환

자연방파제 해안사구

COASTAL DUNES AS A NATURAL BARRIER

발행일 | 2011년 12월

발행처 | 국립환경과학원

저자 | 최광희·김윤미·정필모·서민환

기획편집 | 자연과생태

© 국립환경과학원 2011

정부간행물등록번호 11-1480523-000857-01

ISBN 978-89-6558-059-1 93530

인천광역시 서구 난지로 184 (경서동 종합환경연구단지) 우) 404-708

대표전화 | 032) 560-7550

〈자연방파제 해안사구〉를 펴내며

지난 2004년 12월에 발생했던 인도양 연안의 쓰나미는 23만 명을 희생시켜, 전 세계인을 놀라게 했습니다. 인도네시아 수마트라 서해안에서 발생한 진도 9.2에 이르는 강진이 인도네시아, 스리랑카, 인도 등 인도양 일대의 국가들에 쓰나미를 발생시켰으며, 해안 거주민들과 휴일을 즐기던 세계 각지에서 온 관광객들을 희생시켰습니다. 다행히 맹그로브 습지나 해안사구 등 자연방어물이 있던 지역의 피해는 상대적으로 적었습니다. 2011년 3월, 일본에서도 진도 9.0의 지진이 거대한 쓰나미를 발생시켜 2만 명의 목숨을 앗아갔습니다. 침수과정을 분석한 과학자들은 해안사구의 규모가 더 크고 더 높았다면 피해가 크게 줄었을 것이라고 합니다. 이처럼 해안사구는 갑작스럽게 일어나는 해안의 재해를 줄여주는 방파제 역할을 합니다.

해안지역은 육지와 해양의 경계로 높은 파도나, 태풍, 해일, 쓰나미 등과 같은 자연재해의 위험이 항상 도사리고 있습니다. 특히, 최근 지구온난화는 해안지역에 해수면 상승을 비롯한 여러 가지 환경 변화를 야기하고 있어, 재난 발생 가능성이 더 증가하고 있습니다. 우리나라는 상대적으로 쓰나미 피해 가능성이 적다고는 하지만, 1936년과 1968년에 동해안 지역이 거대한 해일에 침수된 적이 있으며, 태풍과 만조가 겹칠 때 발생하는 폭풍해일은 인명과 재산에 막대한 피해를 일으키고 있습니다. 이런 점에서 재해를 줄여주

는 해안사구를 보전하거나 복원하기 위한 정책들은 해안의 재난 위험에 적극적으로 대비하는 전략이 됩니다.

환경부와 국립환경과학원은 지난 2003년부터 전국의 해안사구를 정밀하게 조사해 왔습니다. 하지만 사구들 상당수는 이미 오래 전부터 파괴·훼손되고 있었습니다. 사구의 가치, 특히 재난으로부터 우리 인간을 지켜주는 자연방파제로서의 가치를 이해하지 못한 데서 발생한 안타까운 일입니다. 훼손된 지역에서는 어김없이 해안침식과 침수위험 문제가 불거지고 있다니 더욱 아쉽습니다.

이 책은 사구의 기능과 생태적 가치를 알리는데 초점을 두었습니다. 특히 사구가 국가 차원의 생물다양성을 높이는데도 공헌하지만, 지역민의 안전에도 크게 기여한다는 사실을 강조하고 있습니다. 이 책이 해안사구에 대한 올바른 이해를 돕는 밑거름이 되기를 기대합니다.

2011. 12. 국립환경과학원장 박 석 순

11 바닷가 모래언덕

- 12 사구의 기능과 가치
- 14 사구란?
- 18 사구의 구조

29 유익한 모래언덕

- 30 자연방파제
- 32 사구가 지키는 마을
- 39 담수 저장
- 42 생물 다양성의 증진
- 50 고회경의 기록자
- 54 아름다운 해안경관 형성

59 독특한 생태계

- 60 모래와 바람
- 64 사빈-사구 상호작용
- 66 사구와 식물
- 70 사구와 동물

77 사라져 가는 해안사구

- 78 모래 채취
- 82 옹벽과 해안선 후퇴
- 83 해안도로와 건물
- 90 모래 공급 차단

93 유럽의 사구관리

- 94 네덜란드 텍셀 국립공원(Texel national park)
- 100 네덜란드 남-케네밀런트 국립공원
(Zuid-Kennemerland national park)
- 104 벨기에 베스트후크(De Westhoek)
- 108 프랑스 뻬호케사구(Dunes du Perroquet)
- 112 프랑스 막송사구(Dune Marchand)

115 사구 보호

- 116 사구 퇴적 활성화
- 119 기지포사구의 모래포집 효과
- 120 해안사구 조성
- 124 보호지역의 지정
- 126 천연기념물 신두리사구
- 128 소황사구 생태경관보전지역
- 130 하시동·안인사구 생태경관보전지역
- 134 사구에 대한 교육

136 찾아보기

139 참고문헌



바닷가 모래언덕

해안사구를 연구하다보면, '사구는 사막에 있는 것이 아닌가요? 우리나라에도 사구가 있나요?'라는 질문을 많이 받습니다. 해안사구라는 지형은 어떤 것일까요?



사구의 기능과 가치

최근 지구온난화는 해수면 상승을 비롯해, 태풍 같은 열대저기압의 강도나 빈도 증가, 수온 변화, 해류 변화 등 갖가지 환경 변화를 야기하고 있다. 이로 인해 해안지역에서는 자연재해의 빈도와 강도가 점점 더 증가하고 있으며, 인명과 재산 피해가 늘어나고 있다. 문제는 이런 경향이 앞으로 더 지속될 것이라는 데 있다. 따라서 해안에 인접한 나라들은 해수면 상승에 대비한 여러 가지 방안 마련에 고심하고 있다.

바닷가에 모래가 퇴적되어 만들어진 해안사구는 망그로브습지나 해안림과 더불어 해안의 자연재해 피해를 경감시키는 것으로 알려져 있다. 대규모 폭풍해일이나 쓰나미 같은 심각한 자연재해가 발생했을 때, 일차적으로 이를 저지시켜 대피 시간을 늘려주는 방어선 역할과, 재해의 강도를 줄이는 완충제 역할, 그리고 피해를 예방하는 방파제 역할을 수행하기 때문이다. 또한 사구열은 상승하는 해수면에 맞추어 후퇴하기 때문에, 안정적인 해안경관을 유지하는 데도 기여한다. 이런 이유로, 유엔환경기구 [UNEP, United Nations Environment Program](#)에서도 기후변화와 해수면 상승에 대한 방어 전략으로 해안사구와 습지를 복원하거나 조성해야 하며, 주기적으로 모래를 공급하고 조림할 것을 권하고 있다. 우리나라도 전국의 해안사구 실태를 파악해 목록을 작성하고 연차별 계획에 따라 사구생태계를 정밀하게 조사하고 있다. 사구보전을 위해 지형적 특성과 생태적 가치를 파악하는 것이 목적이다. 이러한 보전 노력에도 해안사구와 사빈의 침식 문제는 여전히 증가하고 있다.

해안사구의 침식 문제가 증가하는 원인은 기후변화와 해수면 상승으로 인해 침식의 강도와 빈도가 증가하는 등의 자연적인 요인도 있지만, 사구의 가치를 인식하지 못한 각종 개발행위와 사구 형성과정을 이해하지 못한 채 수립된 해안관리정책의 부작용 등 인위적인 요인도 있다. 이에 대한 근본적인 원인은 '자연방파제'로서의 사구 가치를 모른 채, '쓸모없는 땅'이나 '모래광산'으로 인식해 온 데서 비롯된다. 실제로 거의 모든 해안사구가 70~80년대에 유리 원료인 규사를 채취하는 과정에서 훼손되었으며, 일부는 개발부지로 전락한 채 사라졌다. 이로 인한 부작용은 해안 침식의 증가, 사빈 모래의 면적 감소, 침수 위험성 증가, 생물다양성 감소 등으로 이어지고 있다. 막대한 예산으로 만들어진 방파제는 사구에 비해 방어능력이 현저히 모자라 침식 문제를 극복하지 못하고 있으며, 해안 거주민의 불안감은 더 증가하고 있다. 침식으로 해안선이 지적경계 안쪽으로 들어온 예도 허다하다. 이에 비해 사구 관리가 잘 된 지역은 육지의 면적이 줄지 않았거나 오히려 증가하기도 했다.

해안사구를 잘 관리한다는 것은 어떻게 하는 것일까? 이 책에서는 해안사구의 기능과 가치를 살펴보고 바람직한 사구관리 방향을 생각해 본다. 그 출발은 사구가 무엇인지부터 알아보는 것이다.

사구란?

사구(砂丘, sand dune)는 모래가 쌓여 있는 언덕(hill)이나 능선(ridge)을 뜻하는 지형으로 사막, 바닷가, 호숫가, 강가 등지에서 볼 수 있으며, 주로 바람의 작용에 의해 만들어진다. 사구는 그것이 위치한 지역의 바람, 모래공급량, 식생조건 등 환경에 따라 크기와 모양이 매우 다양하게 나타난다. 사구가 넓게 나타나는 대표적인 경관은 모래사막이다. 사구가 연속해서 나타나는 사막은 에르그(erg) 또는 모래바다(sand sea)로 불리는데, 규모가 보통 100 km² 이상인 지역을 가리킨다. 이것보다 규모가 작은 지역은 사구지대(dune field)라고 부른다.

모래로 이루어진 바닷가에서는 보통 해안선과 평행하게 늘어선 하나 또는 그 이상의 열이 나타난다. 이렇게 바닷가에 있던 모래가 바람에 의해 날려 사빈(모래사장) 뒤에 쌓여서 만들어진 모래 언덕을 해안사구(海岸砂丘, coastal sand dune)라고 한다. 해안사구지대는 육상시스템과 해안시스템의 경계에 위치하는 생태적 점이지대로, 연안습지나 해안림, 하구역과 비교될 수 있다. 해안사구의 형태나 발달과정은 모래 공급지와 바람의 특성, 운반과 퇴적, 그리고 침식 양상에 따라 달라진다. 해안사구를 이해하는 것은 사막사구 보다 훨씬 어렵고 복잡한데, 그 이유는 해안

1 몽골 남부 남고비 사막에 있는 대형 사막사구. 여행 온 관광객들이 처음 접하는 사구 위를 올라가서 바람그늘사면에 형성된 경사면을 따라 미끄럼을 타고 있다. 사구 주변의 모래 대지에는 건조한 곳에서 자라는 식물들이 듚성듬성 널려 있는데, 지면 위로 돌아난 부분은 작아 보여도 뿌리는 매우 깊은 특징이 있다. 사구의 왼쪽으로 관광객들이 타고 온 차들이 보인다.

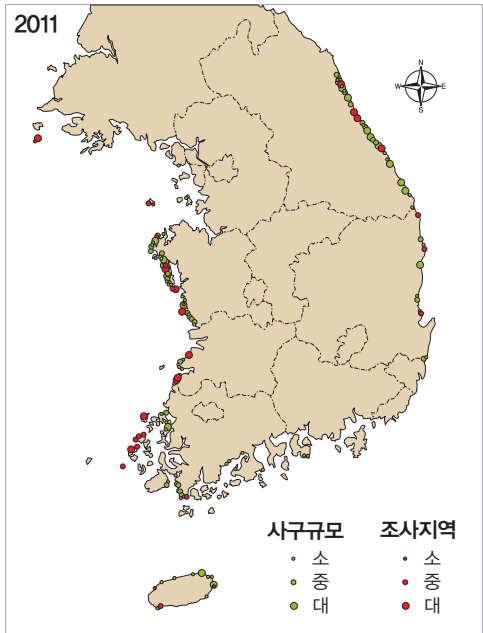
2 고비사막에서 만난 사구는 고운 모래로 구성되어 있으며, 바람이 불면 모습이 달라지며 움직인다. 사진 왼쪽에 사구 능선부(ridge)를 따라

방금 걸어 온 발자국이 남아있지만, 하룻밤만 지나면 사라질 것이다. 능선의 왼쪽이 바람이 불어오는 바람맞이사면, 오른쪽이 바람그늘사면이며, 30° 정도의 경사를 이루고 있다.

3 몽골의 수도 울란바토르에서 약 500 km 남쪽에 있는 남고비 사막지대. 이곳에는 건조한 초원과 사구, 암석사막지대가 펼쳐져 있다.

4 비행기에서 내려다 본 몽고고원의 사구지대. 몇 개의 사구들이 모여 횡사구열이 만들어 지고 있었다.





우리나라의 해안사구분포도

사구가 바람의 작용뿐만 아니라, 파랑의 작용과 식생 등 더 많은 과정을 포함하고 있기 때문이다.

해안사구는 극지방에서 적도에 이르기까지 매우 넓은 범위에 분포하며, 특히 모래가 풍부하고 바람이 강한 지역에 잘 발달한다. 환경부²⁰⁰¹는 우리나라에 분포하는 해안사구의 실태를 조사해 목록을 만들었으며, 이에 따르면 남한의 육지부에 분포하는 해안사구는 총 133개소에 이르고, 이 중 32%는 충청남도에, 24%는 강원도에 분포하는 것으로 보고했다. 이 보고서는 당시 사구의 훼손 여부를 정성적으로 평가해 3개 등급으로 분류했으며, 보전상태가 양호한 사구는 19개소, 파괴된 곳은 51개소, 그리고 중간 정도의 보전상태로 분류된 곳은 63개소로 파악했다. 육지부에 분포하는 사구에 도서지역에 분포하는 것까지 합치면 해안사구의 수는 200

1 신안군 자은도 백산리에 있는 해안사구. 대표적인 사구식물인 갯그령과 통보리사초군락이 사구 전면부를 덮고 있다. 해안사구는 백사장 모래가 바람에 날리다가 바닷가에 쌓여 언덕을 이룬 지형이다. 사막에서 보이는 사구는 표면이 모래로 되어 있지만, 해안사구 대부분은 사구식물로 덮인 초원의 모습이다.

통보리사초 앞들이 모래 속에 묻혀 조금씩 드러나 있다. 주민들은 이곳을 '대청도 모래사막'이라고 부른다.

2 인천에서 쾌속선으로 3시간 반거리, 서해 5도 중 하나인 대청도에는 특이한 사구가 있다. 옥죽동 지역에 있는 해안사구 지대로, 해안에 인접해 있지만 식생 성장보다는 모래의 움직임이 활발해서 사막사구처럼 모습을 자주 바꾼다. 사구 표면에 바람이 남긴 물결무늬(연흔)가 보이고

3 사구에 나타나는 물결무늬를 연흔이라고 하는데, 바람의 방향을 알 수 있게 해준다.

4 옥죽동 해안에 있는 초기사구(embryo dune). 사구식물이 바닷바람을 가로막으면 식물체 뒤 쪽으로 모래가 쌓이면서 모래언덕이 형성된다. 이 작은 언덕에 식물이 들어오고 모래가 더 쌓이면 언덕이 더 크게 성장한다. 사진 중앙에서 아래쪽으로 날카롭게 형성된 능선이 이채롭다.

여 곳에 이를 것으로 추산되고 있다.

이러한 사구들은 해안의 자연방파제로 모두 보전해야할 필요성이 있지만, 개발압력에 밀려 그 면적이 점차 줄고 있다. 현재 보호지역으로 지정되어 있거나 속해 있는 사구는 모두 40여 곳에 이른다. 이들은 국립공원, 도립공원, 군립공원 등 자연공원과, 생태·경관보전지역, 수산자원보호구역, 천연기념물 등이다. 환경부와 국립환경과학원에서는 2003년부터 ‘전국해안사구정밀조사’를 통해 해안사구의 특성과 생태계에 대해 파악해 왔으며, 2012년까지 모두 35개 지역을 조사한다.

사구의 구조

해안사구를 이해하기 위해서는 사빈과 사구와 관련된 지형을 알아둘 필요가 있다. 파랑^{wave}에 의해 운반·퇴적된 지형을 해변^{海濱, beach}이라고 하는데, 해변은 퇴적물의 종류에 따라 사빈^{sand beach}과 역빈^{gravel beach}으로 나눌 수 있다. 모래가 쌓여 형성된 사빈은 파랑의 작용이 활발한 곳에 잘 나타나며, 사빈이 잘 발달한 곳이 해안사구 형성에 유리하다. 사빈 배후에 해안선과 나란하게 발달하는 모래언덕을 전사구^{foredune}라고 하며, 전사구의 바로 앞에 이제 막 만들어지고 있는 사구를



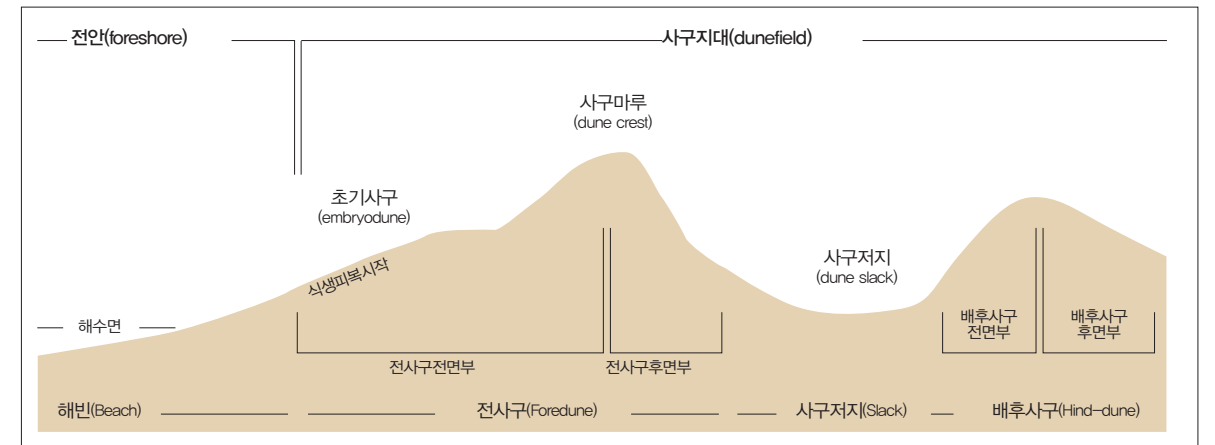
1



2

1 강원도 고성군 송지호 앞에 형성된 모래해안. 파랑에 실려 온 모래가 쌓여서 만들어진 해변을 사빈이라고 부른다. 사빈 뒤에 식물이 자라면서 모래를 붙잡아 작은 초기사구들이 만들어지고 있다. 초기사구 뒤편에는(사진 왼쪽) 방풍림으로 심은 곰솔림이 보이며, 바다와 사빈이 이루는 해안선은 얼핏 직선처럼 보이지만 자세히 보면 울룩불룩한 모양이 규칙적으로 나타난다.

2 덕적도 해안의 역빈(자갈 해변). 인천에서 쾌속선으로 약 50분 걸리는 덕적도에는 모래해안과 간석지, 자갈해안, 암석해안 등이 있다. 역빈은 보통 해안 경사가 급하고 파랑에 너지가 강한 곳에 잘 발달한다. 자갈해안은 이름난 관광지가 많은데, 백령도의 공돌해안, 완도의 구계등, 보길도의 공룡알 해안 등이 대표적이다. 덕적도 주민들은 이곳을 ‘자갈마당’이라고 부른다.



해안사구지대의 횡단면도. 모래 언덕의 꼭대기를 사구마루라고 부르며, 사구마루는 봉우리처럼 솟은 경우도 있지만 여러 개의 봉우리가 연결되어 능선(ridge)을 이루는 경우도 흔하다. 바다에 가장 가깝게 형성된 사구열을 전사구라고 부르며, 전사구 앞쪽에서는 해변과의 모래교환이 자주 일어난다. 사구와 사구 사이의 낮은 부분을 슬랙(slack, 사구저지)이라고 하는데, 물이 고이면 습윤슬랙이나 습지로 발전한다.

초기사구 또는 배사구, embryo dune라 한다. 전사구 전면부는 사빈과 모래를 비롯한 여러가지 물질을 끊임없이 교환한다.

사구의 언덕 꼭대기를 사구마루 dune crest라고 하며, 경우에 따라서는 여러 개의 사구마루가 능선 ridge을 이루기도 한다. 일반적으로 사구마루는 전면부나 후면부에 비해 바람의 세기가 더 강하며, 더 굵은 모래 입자가 퇴적되는 경향이 있다. 전사구 뒤쪽에 있는 사구를 배후사구 hind dune라고 하며, 전사구가 사빈과의 모래 교환을 활발히 하는데 비해 배후사구는 그렇지 않은 경향이 있다. 전사구 후면부나 배후사구 후면부에는 사구를 형성하는 탁월풍이 거의 불지 않는 바람그늘이 형성된다. 해안사구지대에는 일반적으로 여러 개의 마루나 열이 있으며, 이들 사이에는 낮은 골짜기가 형성되는데, 사구와 사구 사이의 느슨한 부분을 슬랙 또는 사구저지, slack이라고 부른다. 슬랙은 다시 습한 정도에 따라 건조슬랙 dry slack과 습윤슬랙 wet slack으로 나뉘며, 습윤슬랙은 사구습지로 발달하기도 한다.

1 바람이 부는 방향에 따라 이리 저리 움직이는 사막처럼 펼쳐진 대청도 해안의 활동사구. 식생피복이 적은 활동사구는 계절에 따라 형태가 달라진다. 사구지대 뒤편으로 모래바람을 막기 위해 심어 놓은 곰솔림과, 곰솔림 뒤에 자리한 마을이 보인다. 곰솔림은 바람의 세기를 약화시켜 모래가 날리는 것을 막는 긍정적인 측면도 있지만, 활동사구를 고정시켜 경관의 다양성을 떨어뜨리고 새로운 모래공급을 차단해 사구면적을 감소시키는 부작용도 있다.

2 태안군 신두리사구지대에 있었던 활동사구. 겨울철 강한 바람에 의해 사구지대를 옮겨 다니던 활동사구가 있었지만, 현재는 식생이 뺏뺏하게 들어서 거의 찾아보기 어렵다. 사진은 2005년에 촬영한 것이다.

3 갯그렁, 통보리사초, 갯쇠보리 등 사구 식생으로 덮여 있는 충남 보령지역의 소항사구. 식생은 사구지대의 성장을 돕기도 하지만 사구지대를 고정시키기도 한다. 소항사구는 바람이 약해지고 식물이 생장하는 여름철에는 지형변화가 거의 나타나지 않는다.



해안사구는 모래의 공급과 식생의 성장 관계에 따라 그 형태가 변화한다. 식생으로 덮이지 않은 사구는 보통 바람의 활동에 따라 이동하기 때문에 활동사구(active dune)라고 불린다. 이때 활동사구 전면부에서는 모래가 사구사면을 타고 거슬러 올라가 완경사면을 이루고, 사구마루를 지나서는 중력에 의해 미끌어지면서 32~34°의 급경사를 이룬다. 이를 사면안정각이라고 부른다. 활동사구와는 반대로 식생으로 덮여서 움직이지 않게된 사구를 고정사구(inactive dune) 또는 피복사구(vegetated dune)라고 한다. 모래의 공급량이 적거나 퇴적량에 비해 식생의 성장이 더 활발한 경우에 잘 나타난다. 한편, 해안선을 따라 여러 개의 전사구가 열을 이루는 경우를 가리켜 전사구열(foredune ridge)이라 부르는데, 일반적으로 해안에서 가장 멀리 있는 사구열이 가장 먼저 형성된 것이다. 해변열 또는 빈제, beach ridge이란 이와 비슷하지만 바람에 의해 만들어지지 않고 파랑에 의해 여러 개의 열이 형성된 경우를 가리킨다. 해변열도 해안에서 가장 멀리 있는 열이 가장 오래된 것이다. 해변열이나 사구열은 해안지역의 전진과정을 잘 보여주는 지형들이다.

사구식물과 곰솔림으로 덮인 충남 서천군 신탐리에 있는 해안사구. 이 사구지대에는 해안선을 따라 약 2,000 m에 걸친 긴 사구열이 있지만, 경관 대부분이 사진과 같은 모습이다.



사구 관련 용어

사구저지(砂丘底止), 사구습지(砂丘濕地)

사구와 사구 사이의 움푹 패인, 낮은 부분. 물이 고여 있는 곳은 사구습지(砂丘濕地)라고 함. 이들은 사구성 동식물의 생존에 필요한 수분을 공급하는 중요한 생태적 기능을 하며, 습지가 상당 기간 동안 유지될 경우 분해되지 않은 식물체의 퇴적물인 이탄(泥炭, peat)이 형성되기도 함.



사구저지(신두리사구)



사구습지(네덜란드 케네밀런트 국립공원)

석호(潟湖, lagoon)

연안류의 작용으로 형성되는 사주(沙洲) 모래톱, 사취 등이 만의 입구를 막아 바다와 분리되어 형성된 호수. 보통 후빙기의 해수면 상승과 관련 있는 것으로 알려져 있으며, 염도는 민물과 바닷물이 혼합된 '기수(brackish water)'의 특성을 나타냄. 동해안 석호의 사주에서는 사주가 막혔다가 열리는 갯티짐 현상이 잘 발생. 예) 경포호, 송지호



석호(양양군). 김포에서 양양공항으로 가는 항공기에서 내려다 본 매호. 사주가 바다와 석호를 분리하고 있으며, 막혀 있는 출구가 잘 드러나 있다. 과거에 호수였던 석호 안쪽(사진 아래)은 농경지로 바뀌었고 사주에는 도로가 놓여 지형이 고정되어 버렸다.



묘안호(울진군). 해변열이나 전사구열이 바다 쪽으로 전진해 가는 과정에서 길쭉한 형태로 호수가 만들어 졌다. 이 사구지대에는 3개의 열이 확인되는데, 사진 왼쪽이 바닷가에 붙어 있는 첫 번째 사구열이며, 오른쪽이 두 번째 사구열이다. 이 습지는 기수(brackish water)로 이루어져 있으며, 출구는 평해남대천 하구와 연결되어 있다.

묘안호(cat's eye lake)

사구나 사취가 발달하는 과정에서 사주와 사주 사이의 낮은 부분에 '고양이의 눈'처럼 좁고 긴 형태로 발달하는 석호성 습지. 해변열이나 전사구열 같은 사구지대에서 발견됨.

산태

모래가 바람에 의해 배후산지(背後山地)의 사면을 타고 올라가면서 퇴적된 사구지형. 신안군 우이도 주민들이 이러한 지형을 가리켜 '산태'라고 부름. 영어로는 이런 유형의 모래 퇴적지형을 'climbing dune'이라고 하며, 일반적인 해안 사구와는 달리 배후산지의 형태가 사구의 모습에 크게 반영된 특징이 있음.



산태 (신안군). 우이도에는 해안선 길이가 1 km에 달하는 사빈이 3개 있고, 그 후면에 해안사구가 있다. 돈목 해안과 성촌 해안 사이의 능선부를 가로지르는 높이 100여 미터의 산태는 매우 독특한 경관을 자아낸다.

횡사구(橫砂丘, transverse dune)

주로 탁월풍 방향에 대해 수직으로 발달한 사구를 일컫는 말로, 모래의 공급이 많을 때 초승달 모양의 사구가 횡으로 연결되어 형성됨.

종사구(縱砂丘, longitudinal dune, linear dune)

탁월풍 방향에 대해 사구능선이 수직으로 발달한 횡사구(橫砂丘)에 대비해, 능선이 바람 방향과 평행하게 발달한 사구를 일컫는 말.

사구포집(砂丘捕執)

인위적인 구조물(모래포집기, sand trap 또는 sand fence)을 설치해 바람에 실려 오는 모래를 퇴적시키는 방법.



모래퇴적을 유도하기 위해 설치해 놓은 울타리. 모래포집기는 해안사구의 형성과정을 본떠 만든 것으로, 도약운동(saltation)을 하는 모래를 붙잡기 위한 것이다. 사진은 신안 비금도 해안사구지대에서 2008년에 촬영한 것으로 지그재그 형태의 울타리 뒤로 고운 모래가 쌓여 있는 것이 보인다.



모래 공급과 바람의 활동이 왕성한 곳에서는 포집기를 설치하면 금방 효과가 나타난다. 퇴적된 모래에 의해 울타리가 묻힌 장면이 포착되었다.

취식와지(blow out)

바람에 의해 사구지대가 침식되어 만들어진 것으로, 화분받침, 겹, 사발, 흙통 등의 형태를 띠는 와지 지형. 취식와지가 형성되면 바람과 식생 조건에 따라 지형이 빠르게 변화되며, 배후지역으로 모래를 더 멀리 공급해 사구생태계에 긍정적인 영향을 줌.



취식와지 (비금도 명사십리). 바람에 의해 사구지대가 움푹 패어 형성된 지형으로, 바람의 활동과 모래의 재공급, 식생의 정착 등에 의해 확대되거나 줄어든다. 취식와지에서 침식된 모래는 배후지역에 공급되어 사구의 성장을 돕는 긍정적인 측면이 있다.

포물선사구(parabolic dune)

사구능선이 바람이 불어가는 방향으로 움직이면서 낙하산이나 포물선 형태로 발달한 사구. 그 형태로 인해 U자형 사구(U-shaped dune), 머리핀(hair pin)사구라고도 불림.

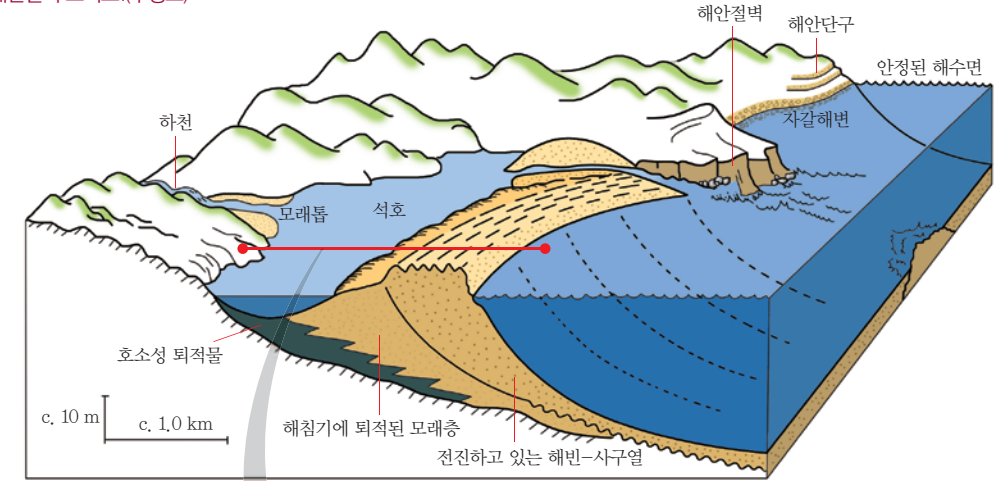
해빈열(beach ridge)과 전사구열(foredune ridge)

사빈과 평행하게 발달한 다수의 열을 가리키는 용어로 파랑에 의해 만들어진 경우 해빈열, 바람에 의해 만들어진 경우 전사구열이라고 부름. 이들은 모두 모래 공급이 많은 사빈 해안에 잘 형성되는 것으로 알려져 있으며, 이러한 지형을 연구하면 과거의 파랑이나 바람의 상태, 퇴적물의 공급 기원, 기후 조건, 해수면 변동 등을 파악할 수 있음. 해빈열 위에 풍성사구사가 쌓인 경우 해빈-전사구열(beach-foredune ridge)이라고 함.

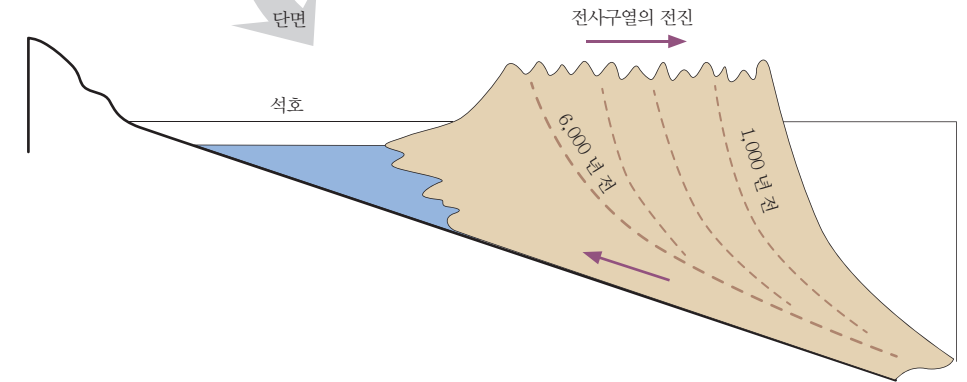
해빈열에 의해 형성된 사구지대 (강원 고성군). 수심이 깊고 파랑의 활동이 강해 사빈 전면부의 경사가 급하고 굽은 모래로 이루어져 있다. 사진의 오른쪽이 사빈, 왼쪽이 사구다. 사빈에 사구식물이 퍼져나가 있고 사빈 전면부에 여러 단의 범(berm)이 형성된 것이 보인다. 그리고 사빈 뒤에 나타나는 열을 따라 골슬림이 있으며, 그 뒤로 농경지와 마을이 발달해 있다. 해빈열의 전진과정을 통해, 해안평야지대가 형성되며, 고성 동호사구지대는 최소한 600년 이전에 형성된 것으로 나타났다.



해빈열의 모식도1(투영도)



해빈열의 모식도2(단면도)



참고자료: Roy et al., 1994의 그림을 수정

유익한 모래언덕

사구는 자연재해를 줄여주는 자연방파제로서 아름다운 경관을 형성하고 스스로 유지합니다. 해안가에서 담수를 얻을 수 있는 곳으로 사람과 생물의 서식을 가능하게 해줍니다. 사구의 모래층과 습지층은 과거의 환경을 기록하고 있어 기후와 환경의 변화를 연구하는데 중요한 자료가 됩니다.

자연방파제

해안사구는 바다로부터 밀려오는 폭풍해일이나 쓰나미, 태풍 등의 자연재해에 대한 일차적인 저지선이며, 피해를 완화시켜주는 기능을 한다. 해안에 대한 방어력은 딱딱한 경성호안(hard defense)보다 물렁물렁한 연성호안(soft defense)이 훨씬 우수한 것으로 알려져 있다. 그 중에서도 모래로 이루어진 해안사구는 오늘날 가장 효율이 좋은 연성호안이다.

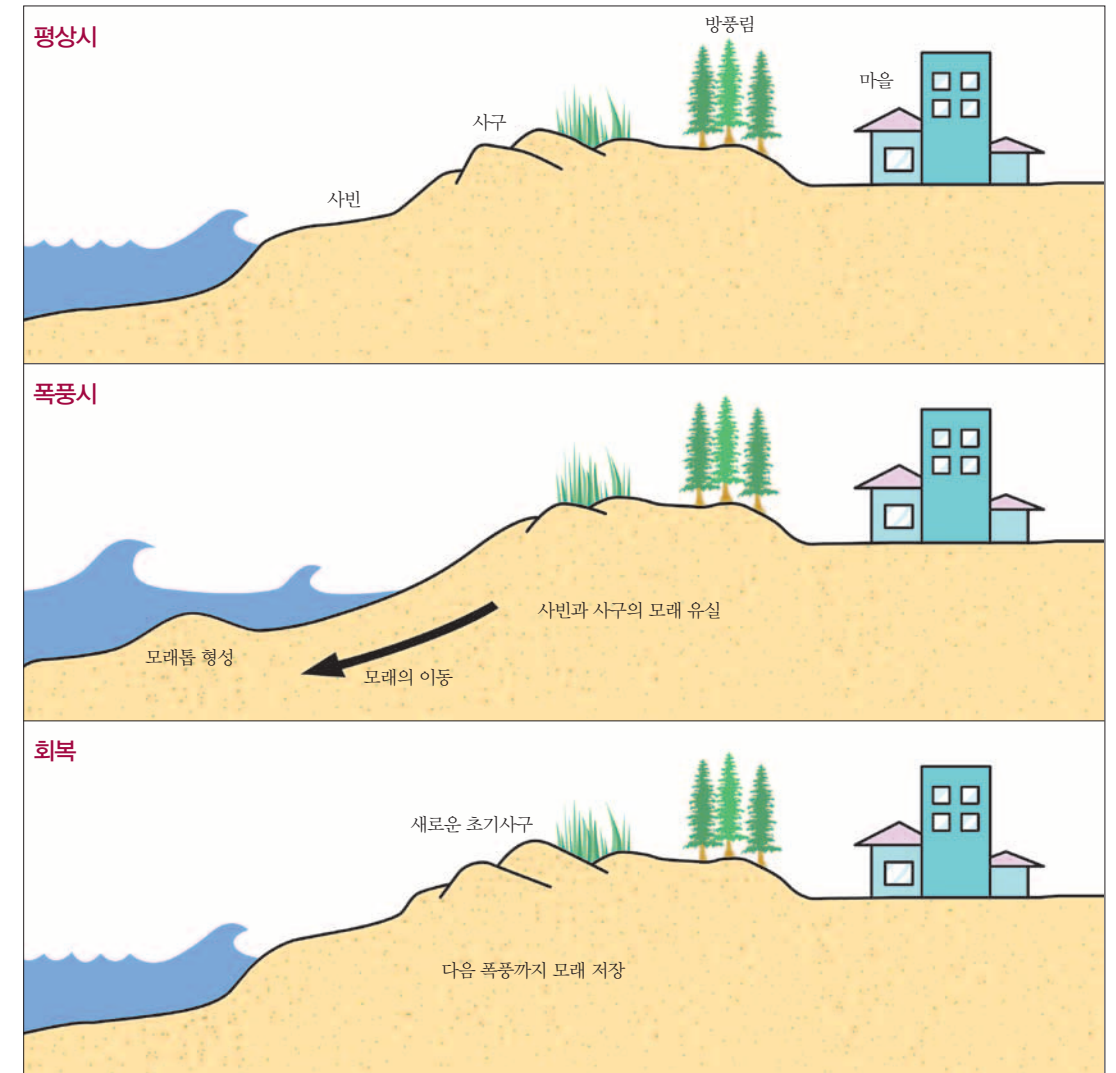
콘크리트 같은 딱딱한 재료로 만들어진 방파제는 에너지를 흡수하지 못하고 반사하기 때문에 방파제 주변에 침식을 발생시킨다. 이러한 침식은 주로 방파제를 받치고 있는 하부에 집중되어 시간이 지나면 모래층이 파헤쳐진다. 이런 과정을 지속적으로 겪게 되면 방파제가 무너지며, 결국 아름다운 해안은 방파제의 잔해로 뒤덮이고 배후지역은 침수피해를 입게 된다. 방파제가 무너진 지역에서는 보통 더 크고 강한 방파제를 설치하기 마련이지만 효과적이지 못해 경제적 손실은 점점 더 늘어나는 악순환을 겪게 된다.

사구로 이루어진 해안은 사구가 파랑에너지를 분산시키고 충격을 흡수하는 역할을 한다. 때때로 강한 태풍이나 폭풍에 의해 해일이 발생하고 전사구 전면부에 침식이 발생하는 경우도 있지만, 시간이 지나면 다

1 무너진 인공방파제. 사람들은 해안 보호를 위해 옹벽이나 석축을 만들지만 자연의 힘은 이를 금방 무너뜨린다. 여기서 떨어져 나간 방파제의 잔해들은 해안경관의 질을 떨어뜨리고 생태계를 교란시킨다.

2 무너진 해안사구. 폭풍해일에 의해 사구 전면부도 침식된다. 하지만 떨어져나간 모래는 사빈에 저장되었다가 시간이 지나면 침식된 자리에 되돌아와 원래의 모습으로 회복해 나간다.

자연재해로부터 마을을 보호하는 해안사구



해안사구는 사빈과의 모래 교환을 통해 해안을 보호한다. 평상시 사빈 모래가 바람에 의해 사구에 저장되었다가 폭풍해일에 의해 사빈의 모래가 쓸려 가면 사구에 있던 모래가 사빈으로 이동해 경관을 안정시킨다. 시간이 지나면 사빈이 다시 형성되고 모래가 쌓여 다음 폭풍까지 모래를 저장한다.



시 원래의 지형을 회복하는 뛰어난 복원력도 있다. 유동성이 강한 사구 일수록 더 효율이 높다. 침식피해를 겪더라도 새로운 해변단면이 형성되어 자연스러운 경관이 형성된다. 해안지역의 재해 위험성을 줄이기 위해서는 해안사구의 복원과 조성에 노력해야 한다. 특히 기후변화에 따른 해수면 상승에 대비하기 위해서는 사구와 같은 자연방파제의 유지가 매우 필요하다.

쓰나미 tsunami 발생이 적은 우리나라는 일본에 비해 상대적으로 안전한 것이 사실이다. 하지만 우리나라 역시 수십 년에 한 번씩은 꽤 큰 규모의 해일을 경험해 왔다. 특히 동해안에는 ‘68해일^{1968년}’과 ‘병자년 포락^{1936년}’을 기억하는 사람들이 많다. 거대한 파도가 육지를 덮쳐 마을이 침수되었고 수많은 사람들이 희생되었다. 해안지역 곳곳에 설치된 ‘지진 해일 대피 안내도’가 동해안의 해안재해를 경고하고 있다. 서해안의 경우에는 폭풍해일에 대비해야 한다. 한반도를 서쪽에서 동쪽으로 관통하는 태풍이 만조 시기와 겹치게 되면 엄청난 폭풍해일이 발생할 수 있다. 해안사구는 이런 해일의 강도를 줄이고 대피 시간을 벌게 하는 일차 저지선으로 작용한다.

사구가 지키는 마을

해안에서 일어나는 갑작스런 재해의 피해를 덜어주는 지형에는 해변, 사주섬, 해변열, 해안사구, 거력벽, 연안습지, 해안림 등이 있지만, 그중에서도 대표적인 자연방파제가 해안사구다. 콘크리트 같은 고정시설물보다도 효율성이 훨씬 높아 폭풍이나 해일과 같은 자연재해 발생 시 그 피해를 완화시키는 역할을 한다. 또한 비고가 높은 사구의 후면은 바람과 염분이 적게 날아들며 깨끗한 지하수를 얻기도 쉽다. 이런 이유로 사구가 잘 발달한 지역의 배후에는 마을이 들어서기에 적당하다. 덕적도의 서포리사구와 대청도의 사탄동사구, 그리고 제주도의 신양리사구는 해안사구의 자연방파제 역할을 잘 보여준다.



고성 동호사구는 강한 파랑으로부터 마을과 농경지를 지켜주는 역할을 한다. 이 지역은 수심이 깊고 개방되어 있어 파랑에너지가 다른 지역보다 더 강하다. 특히, 1968년과 1936년 해일에 마을과 농경지의 상당수가 침수된 적이 있어, 사구지대의 관리가 매우 중요한 곳이다.

인천광역시 옹진군 덕적도에 있는 서포리사구는 약 10 m 높이의, 2개 또는 3개 열로 이루어진 사구지대로 제법 규모가 크고 보존 상태도 양호하다. 전사구지대와 해변 사이에는 인공구조물이 없어서 상호작용이 활발하고, 내륙에 있는 사구열에는 수령이 약 100년에 이르는 소나무들이

있어 ‘산림유전자원보호림’으로 지정되어 있다. 사구열과 소나무 숲은 산지로 둘러싸여 있는 서포리마을의 입구를 방어하고 있다.

웅진군 대청도 남쪽에 있는 사탄동마을을 지키는 해안사구는 그 규모에 비해 비고가 매우 높은 것이 특징이다. 해안선의 길이가 약 700 m, 사구의 너비가 약 200 m로 규모는 작은 편이다. 사구의 고도는 무려 30 m에 이른다. 전체적으로 하나의 능선으로 이루어져 있고, 서포리사구

비조봉에서 본 덕적도 밧지름사구(인천 웅진군). 해안선을 따라 하나 또는 두 개의 열로 이루어진 사구로 사구열 뒤에 배후습지가 있고 집이 몇 채 들어선 마을이 있다. 사진 왼쪽에는 오래 된 소나무림, 오른쪽에는 최근에 조림된 곰솔림이 있는데, 자세히 보면 나무의 형태와 밀도, 색채가 대조적으로 나타난다.

비조봉에서 바라본 덕적도 서포리사구(인천 웅진군). 높이 10 m에 이르는, 여러 개의 열로 이루어진 해안사구지대가 배후에 위치한 마을을 자연재해로부터 보호해 주고 있다. 이 사구지대는 해안의 길이가 1 km를 조금 넘지만, 내륙으로 400 m까지 사구지대가 펼쳐져 있다. 첫 번째 열의 사구 마루에는 곰솔이 식재되어 있으며, 두 번째 열 앞에 도로가 놓여 있다. 두 번째 열과 세 번째 열에는 소나무(적송)가 있으며, 나무 나이가 100년에 이른다.

처럼 수령이 오래된 소나무가 있으며, ‘산림유전자원보호림’으로 보호되고 있다. 이 사구는 마을의 방파제 역할을 해 왔지만, 계속되는 침식으로 전면부의 경사가 매우 급해진 상태다. 침식방지를 위해 설치한 옹벽은 오히려 사구 전면부와 사빈의 침식을 가속화시키고 있다. 한편 오래된 소나무가 있는 사구마루와는 달리 사구전면부에는 어린 곰솔이 식재되어 있는데, 사구 전면부의 보호를 위해서라고 한다. 하지만 옹벽이나 곰솔 식재가 사구의 보호에 도움이 될 지는 의문스럽다.





1

1 대청도 남쪽에 있는 사탄동사구(인천 웅진군). 약 700 m의 해안선을 따라, 높이 30 m에 이르는 사구마루에 10 m 이상의 소나무들이 있어 전체적으로 높은 방벽을 이룬다. 사구 뒤쪽에는 사탄동 마을이 자리 잡고 있으며, 사진에 적색과 청색 지붕들이 보이는 곳이다.

2 사탄동사구는 규모에 비해 사구마루의 비고가 상대적으로 높은 것이 특징이며, 오래된 소나무들이 마루를 따라 식재되어 있다. 사진 중앙에 해안 보호를 위해 사빈과 사구 사이에 석축을 쌓고 어린 곰솔을 식재한 것이 보인다. 하지만 이러한 인공구조물은 결과적으로 사구와 사빈 모두에 부정적인 영향을 끼친다.



2

제주도 신양리사구. 이 사구는 성산일출봉과 섭지코지 사이의 약 2.5 km의 해안에 형성되어 있는데, 다른 지역과는 달리 사구마루에 교목을 식재하지 않아 자연상태의 해안사구에 가까운 곳이다. 사진 오른쪽에 보이는 여러 채의 집은 사구 뒤에 형성된 마을의 일부이다. 주목할 점은 이들이 2층 이상의 집이라는 것으로 사구의 높이가 상당하다는 것을 알 수 있다.

제주도 성산읍의 성산일출봉과 섭지코지 사이에 있는 신양리해안에도 둥그런 모래언덕이 있다. 이 사구 뒤에는 약 2층 높이의 건물이 들어선 마을이 있어 사구의 방파제기능을 잘 보여준다. 사구열은 2개로 구성되어 있는데, 흥미로운 것은 전사구 마루와 전면에 교목이 없다는 것이다. 교목은 사구 후면부에서나 관찰되며 사철나무, 돈나무, 보리밥나무와 같은 상록활엽수와 곰솔이 식재되어 있다. 전사구의 전면부는 거의 초지로 구성되어 있으며, 통보리사초, 갯금불초, 순비기나무 등 사구성 식물이 쉽게 관찰된다. 이러한 신양리사구의 경관은 곰솔이 식재된 다른 지역의 사구들과는 상당히 대조적인 모습으로 외국의 사구와 비슷하다.



서포리마을, 사탄동마을, 신양리마을처럼 자연방파제가 지키는 마을은 사실상 거의 모든 사구해안에서 찾아볼 수 있다. 강원도 고성군의 동호리와 송죽리, 양양군의 여운포리와 동호리, 강릉의 하시동과 안인리 등은 크고 작은 해일을 견뎌 온 마을들이다. 파랑과 바람의 작용으로 만들어진 해변-사구열이 이런 마을 앞에서 방파제 역할을 해내고 있다. 또한 신안군 임자도의 대기리, 광산리, 도찬리는 대광사구 뒤에 형성된 마을이며, 자은도의 외기리, 내치리, 둔장리 역시 사구지대에 위치한다.



1 임자도 어머니사구(전남 신안군). 임자도 남쪽 해안에 위치한 어머니의 해안사구는 규모는 작지만 마을과 농경지를 보호해주는 역할을 한다. 또한, 북서해안에 위치한 대광사구는 길이 6 km, 너비 600 m의 큰 사구로 대기리와 도찬리 일대를 보호하고 있다.



2 남해 상주사구(경남 남해군). 남해안에는 규모가 큰 사구가 많지 않다. 이 사구의 비고는 2~3 m밖에 안되지만 해안침략을 보호하는 역할을 하고 있다. 이 지역은 사구와 더불어 사빈과 사질간석지가 넓게 펼쳐져 있으며, 남해안에서는 비교적 보기 드문 모래해안 경관에 속해 여름철에는 많은 사람이 찾아온다.

담수 저장

해안사구는 바다에 접한 육지의 울타리와 같다. 모래언덕의 높이만큼 높아진 육지는 지하수위를 끌어 올린다. 이 때문에 해안사구는 본질적으로 많은 양의 담수를 함유하고 있다. 이렇게 저장된 지하수는 모래 틈새로 걸러져서 해안지역에 거주하는 사람과 서식하는 생물에게 필요한 물을 공급한다. 특히 사구 언덕 사이의 낮은 땅(슬랙 또는 스웨일)에는 종종 물이 모여 습지가 형성되며, 이렇게 만들어진 사구습지는 매우 중요한 생물 서식지가 된다.

사구지대에 형성된 습지나 습윤슬랙은 해안지역에서 담수를 구할 수 있는 곳으로 다양한 생물에게 물을 공급하는 원천이다. 사진은 네덜란드의 한 사구지대에 형성된 습윤슬랙이다.





1



2

1 사구습지는 때때로 큰 호수를 이루기도 한다. 사진은 네덜란드 남-케네밀런트 국립공원에 있는 사구호로 물새들의 보금자리가 있는 곳이다. 이 지역에서는 한때 담수를 얻기 위해 지하수 채취를 한 적이 있었는데, 그 결과 사구지대가 건조화 되면서 생태계가 교란되었다. 이후 담수 채취를 금지하면서 지금과 같은 사구경관을 회복했다고 한다.

2 농업용수 공급을 목적으로 만든 사구지대의 웅덩이(임자도). 사구지대는 담수를 저장하고 있어 물을 찾기 쉽다.

3 스프링쿨러로 지하수를 대파 밭에 공급하는 장면. 임자도와 자은도 등 사구지대가 넓은 신안군 일대의 섬 지역은 대파 농사를 많이 짓는다. 사구지대가 품고 있는 지하수는 대파 농사에 매우 중요한 자원이 된다.

4 물웅덩이(신두리사구). 사구저지는 물이 잘 고이는 곳으로 조금만 파도 담수를 얻을 수 있다. 사진은 신두리사구에서 촬영한 물웅덩이로 소를 방목할 때 이용한 것이라고 한다.



3



4

해안사구를 통해 모이고 걸러진 깨끗한 물은 지역주민에게도 매우 유용하다. 신안군 일대 사구지대에서 흔히 볼 수 있는 대파 재배는 사구에 모인 물을 이용하는 것이다. 하지만 사구지역의 지하수개발이 지나치면 담수층을 축소시켜 지하수가 해수로 오염되는 피해를 입을 수도 있다. 사구에 모인 담수층이 밀도가 큰 해수층의 위쪽에 위치해 해수의 침입을 막고 있기 때문이다. 태안군의 꽃지해안이나 장곡리해안의 경우, 해안개발 과정에서 사구가 파괴되어 바닷물이 올라오는 일이 있었다. 유럽에서도 비슷한 사례가 있다. 사구지대가 넓은 네덜란드에서는 수자원 회사가 깨끗하고 안전한 물을 공급하기 위해 사구에서 담수를 채취한 적이 있다. 하지만 이런 행위는 사구초지를 말리고 습윤슬랙을 사라지게 하는 결과를 낳았다. 그 후 자연방파제인 사구와 사구생태계를 지키기 위해 지하수개발은 금지되었고 수자원회사는 현재 사구 관리와 보전을 위해 노력하고 있다.

생물 다양성의 증진

해안사구에는 사빈과 사구의 물질교환 과정에 잘 적응한 생물들이 서식한다. 갯그렁, 통보리사초, 해당화를 비롯한 사구 식물과, 모래거저리, 왕명주잠자리, 참뜰길앞잡이 등 사구성 곤충은 해안사구를 터전으로 살아간다. 멸종위기종Ⅱ급인 표범장지뱀은 서해안 해안사구에 주로 분포하며 흰물떼새는 해안사구의 모래땅에 둥지를 만든다. 이러한 생물들은 사구에 맞는 독특한 생존전략을 갖고 있으며, 내륙에서는 흔히 찾아보기 어려운 종들로 국가 전체의 생물다양성을 높이는 데 기여한다. 하지만 해안지역에 개발이 집중되면서 희귀한 동·식물들이 점점 사라져가고 있다. 북미에서는 사구에 사는 흰물떼새와 비슷한 새 *Snowy Plover*를 보호종으로 지정했으며, 유럽에서는 우리나라의 표범장지뱀과 유사한 모래에서 사는 도마뱀 *Sand Lizard*을 보호하고 있다. 이와 같이 해안사구에는 척박한 땅에 적응한 독특한 종들이 서식해 내륙이나 해양과는 다른 생태계를 이룬다.



1~2 갯그렁(*Elymus mollis*)은 벼과에 속하는 전형적인 사구 식물로 뿌리줄기를 땅속으로 길게 뻗으며, 높이는 50~100 cm다. 잎은 분록색이고, 꽃은 7월에 흰색으로 피는데, 꽃줄기 끝에 원기둥 모양으로 피어 멀리서도 눈에 잘 띈다. 염분에 내성이 있고, 잎이 모래에 덮여도 잘 살아나는 특징이 있어 열악한 환경인 사구에서도 잘 자라 해안사구의 개척종(pioneer species)으로 알려져 있다. 바닷물의 직접적인 영향을 받는 만조선부터 그렇지 않은 전사구 부분까지 분포 범위가 매우 넓다.

하거나 둥글며 광택이 나고, 길이 2~3 cm, 너비 3~5 cm로 줄기에서 엇갈려 난다. 꽃은 갈대기 모양으로 5~6월에 연분홍색으로 피며, 꽃 안쪽에 흰색 줄이 있다. 종자는 검은색으로 8~9월에 달린다. 사구의 개척종이며, 아시아, 유럽 온대에서 열대에 이르는 태평양 연안에도 분포한다.

3 갯메꽃(*Calystegia soldanella*)은 메꽃과의 식물로, 굵은 뿌리줄기가 옆으로 길게 뻗고, 줄기는 갈라져서 지상으로 뻗거나 다른 물체를 기어 올라간다. 잎은 하트모양으로 끝이 오목

4 갯완두(*Lathyrus japonicus*)는 콩과의 다년생 식물로, 뿌리줄기가 길게 뻗으며, 원줄기는 비스듬히 자라고 길이 20~60 cm다. 잎은 길이 15~30 mm, 너비 10~20 mm 되는 타원형의 작은잎 3~6쌍으로 구성되어 있다. 꽃차례는 잎겨드랑이에서 나와 5~6월에 보라색 꽃이 핀다. 꼬투리는 길이 5 cm, 너비 1 cm로 종자가 5개 들어 있다. 모래땅에 질소를 고정해 다른 식물에 영양분을 제공한다.





1~2 갯방풍(*Glehnia littoralis*)은 산형과의 다년생 초본으로 앞은 길이 10~20 cm로서 3개씩 1~2회 갈라지며 작은잎은 다시 세 갈래로 갈라진다. 뿌리에서 나는 잎과 밑 부분의 잎은 잎자루가 길고 지면을 따라 퍼져 높이 성장하지 못하며 두껍고 광택이 있다. 뿌리는 땅속줄기로 깊숙이 들어가며 식물체 전체에 흰 털이 많다. 꽃차례에 1~3개에서 흰 꽃 20~40개가 뿔뿔하게 우산모양으로 달린다. 종자는 둥글며 껍질에 주름이 있다. 뿌리와 뿌리줄기는 발한, 해열, 진통 등에 사용되며 나물로 먹기도 한다.

3~4 순비기나무(*Vitex rotundifolia*)는 마편초과의 낙엽관목으로 높이는 20~80 cm다. 가지는 비스듬히 옆으로 뻗고 각 마디에서 부정근(不定根)이 나온다. 앞은 계란형으로 마주 나며 길이 2~5 cm, 너비 1.5~3 cm다. 꽃은 자주색으로 7~9월에 가지 끝에 달리고, 열매는 지름 5~7 mm인 원형으로 9~10월에 흑자색으로 익는다. 열매는 향이 좋으며, 한방에서는 만형자라 부르고 진통, 진정, 소염작용 등이 있으며 두통에도 좋아 베개 속으로 사용하기도 한다. 주로 전사구의 바닷물이 직접 닿지 않는 부분에 분포하나, 사구 침식이 일어나 만조선 가까이에 분포해도 잘 산다.

5~6 통보리사초(*Carex kobomugi*)는 사초과의 다년생 식물로 모래땅에 사는 대표적인 식물이다. 모래 속에 오랫동안 뿌리줄기를 뻗어가며 지상부에 줄기를 낸다. 앞은 뿌리

에서 바로 나오며 두껍고 질기며 가장자리에 뾰족한 돌기가 나 거칠다. 암수 다른 몸이고, 잎과 꽃대도 따로 난다. 꽃자루는 높이 20 cm 정도로 딱딱하고 굵으며 끝 부분이 곧봉 모양으로 생겼고, 이 안에 수많은 종자가 들어 있다. 갯그렁과 같은 사구의 개척종으로 갯그렁 다음으로 만조선 가까이에 서 나타나는 식물이다.

7 좀보리사초(*Carex pumila*)는 사초과의 식물로 높이는 10~20 cm이고, 굵은 뿌리줄기가 땅속으로 뻗어 확장된다. 앞은 폭 2~4 mm로 광택이 나며 질기고 때로는 말리기도 한다. 꽃자루 윗부분 이상 2~3개는 수꽃, 아래로 약간 떨어져 붙어 있는 1~2개는 암꽃으로 모두 자갈색이다. 열매는 3 mm 정도로 팽팽하며, 밑 부분이 약간 굵고 끝이 3개로 갈라진다.

8 해당화(*Rosa rugosa*)는 장미과의 낙엽관목으로, 높이는 1.5 m에 달하고 줄기에 가시 같은 털이 있다. 작은잎 7~9개가 모여 하나의 잎을 이루며, 작은잎은 두껍고 광택이 있고 맥이 선명하게 보인다. 5~7월에 붉은색 꽃을 피우는데 드물게 흰 꽃도 있다. 열매는 지름 2~2.4 cm로 약간 납작한 원형이며 8~10월에 붉은색으로 익는다. 주로 해안의 모래땅에 자생하지만 식재된 것도 많다. 모래의 이동이 적은 곳에 분포한다. 열매는 단맛과 신맛이 있고, 비타민C가 풍부해 건강식품으로 판매된다.



1 모래지치(*Argusia sibirica*)는 지치과의 식물로, 높이 25~35 cm이고 뿌리줄기가 옆으로 길게 뻗으며 누운 털이 뽁뽁하고, 가지가 많이 갈라진다. 앞은 길이 4~10 cm, 너비 7~30 mm로 어긋나며 주걱 모양이고 줄기에 가깝게 붙는다. 꽃은 8월에 흰색으로 가지 끝에 뭉쳐나며 꽃 안쪽에 노란빛이 난다. 열매는 원형으로 능선이 4개 있다.

2 갯쌔바귀(*Ixeris repens*)는 국화과의 다년생 초본으로 모래땅에 뿌리줄기를 뻗어 옆으로 길게 자라면서 잎이 달린다. 잎은 마주나며 길이와 너비가 각각 3~5 cm이며 손바닥 모양으로 3~5개씩 깊게 갈라지고 가장자리에 희미한 톱니가 있다. 6~7월에 높이 3~15 cm

의 꽃줄기가 뿌리잎 잎겨드랑이에서 나오고 이것이 다시 갈라져 꽃이 2~5개 달린다. 열매는 길이 5 mm로 끝에 5~6 mm의 흰 털이 나 있다. 자르면 흰 즙이 나온다. 아시아 동북부 해안에 널리 분포한다.

3 갯쇠보리(*Ischaemum antheophoroides*)는 벼과의 다년생 식물로 모여 나며(群生), 높이 30~80 cm다. 밑 부분의 마디에서 굵고 딱딱한 수염뿌리를 내리며 가지가 많이 갈라지고 비스듬히 자란다. 잎은 길이 15~30 cm, 너비 8~12 mm로 양면에 털이 있다. 꽃은 길이 6~12 cm로 원기둥 모양이며, 붉은빛을 띠고, 긴 털이 있다. 바닷물의 영향을 받지 않고, 비교적 모래의 이동이 적은 곳에 군생하며 주로 전사구 마루 근처에 분포한다.

4 흰물떼새(*Charadrius alexandrinus*, 물떼새과) 한 쌍. 몸길이 17 cm 내외이며 1~12월에 전국의 해안가 및 습지에 도래하는 통과철새이자 흔치 않은 텃새다. 수컷 머리 윗부분은 적갈색이며 이마와 가슴에는 흑색 무늬가 있다. 암컷은 머리 윗부분이 갈색이며, 머리와 가슴의 흑색 무늬가 수컷에 비해 희미하다. 어린새는 암컷과 비슷하지만 몸 윗면의 깃 가장자리가 밝은 갈색으로 비늘무늬처럼 보인다.

5 모래거저리(*Gonocephalum pubens*, 거저리과)는 몸길이 9~11 mm이며 전체가 흑색이다. 딱지날개에는 세로줄이 있고 가운데는 약간 높다. 더듬이는 염주 알을 엮어놓은 듯한

모양이다. 식물을 먹고 사는 초식성 곤충이다. 우리나라 동·서·남해안의 식물이 있는 모래땅에서 모두 나타난다. 갯메꽃 근처에서 많이 발견되며, 무리지어 생활하고 주로 밤에 활동한다.

6 참뚝길앞잡이(*Cicindela transbaicalica hamifasciata*, 길앞잡이과)는 몸길이 8~13 mm, 몸색은 적갈색이나 적록색이며, 딱지날개에 구불구불한 황색 무늬가 3개 있다. 가슴의 가장자리와 다리의 첫째마디 부분에 황색 털이 있다. 다른 곤충을 잡아먹는 포식성 곤충이다. 봄철 햇볕이 따뜻할 때 전사구에서 많이 관찰되며, 모래에 굴을 파고 생활한다.





1 표범장지뱀. 주로 바닷가나 강가의 모래땅에 구멍을 파고 서식하며, 보전된 해안사구에서 잘 발견된다. 매우 빠르게 움직이며, 알은 7~8월경에 모래 속에 낳는다. 길이는 12~16 cm이고, 몸에 표범 무늬가 있으며, 멸종위기 II급으로 지정된 보호종이다.

2 샌드리저드(*Lacerta agilis*). 유럽 대부분과 몽골 동부에 걸쳐 분포하는 장지뱀의 일종으로 약 25 cm까지 자란다. 주로 초지나 사구지대에서 서식하는데, 수가 급격히 줄고 있어 영국에서는 보호종으로 지정되었다.

3 해안사구 앞 사빈에서 만난 달랑게. 우리나라 전 해역에 분포하며 바닷가 모래밭에 구멍을 파고 서식하는 것으로 알려져 있다. 모래와 흡사한 보호색을 하고 있어 쉽게 알아보기 어려우며, 사빈지대를 무척 빠르게 다닌다.

4 유럽들소(wisent). 유럽의 숲에 사는 들소로 기르는 소에 비해 체격이 더 날씬하고, 등이 높으며, 털은 여름에는 짧지만 겨울이 되면 매우 길어지는 특징이 있다. 다자란 숫소는 키가 2 m에 이르고 몸무게는 1,100 kg까지 나가며, 암소는 키가 약 1.7 m, 몸무게는 350~600 kg에 이른다.



5 큰조롱박먼지벌레(*Scarites sulcatus*)

6 소똥구리붙이(*Aegialia comis*)



7 모래붙이거저리(*Caedius marinus*)

8 바닷가거저리(*Idisia ornata*)



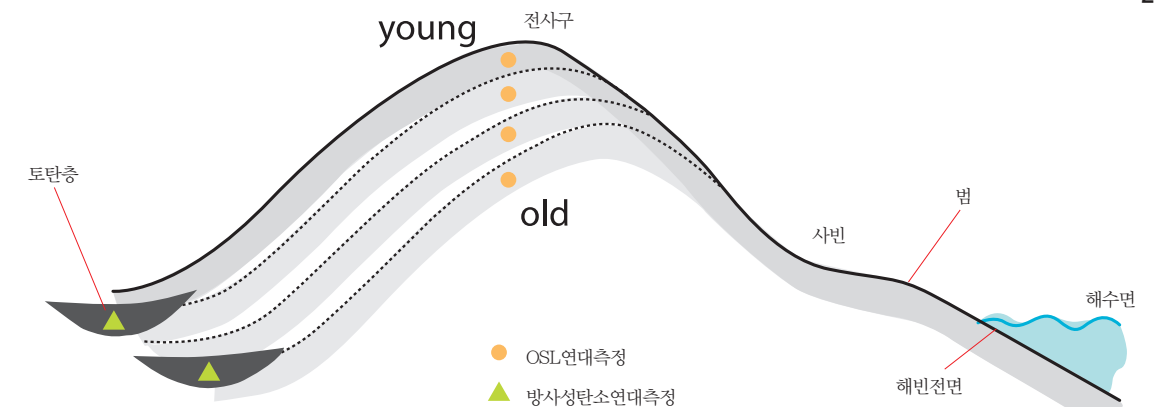
고환경의 기록자

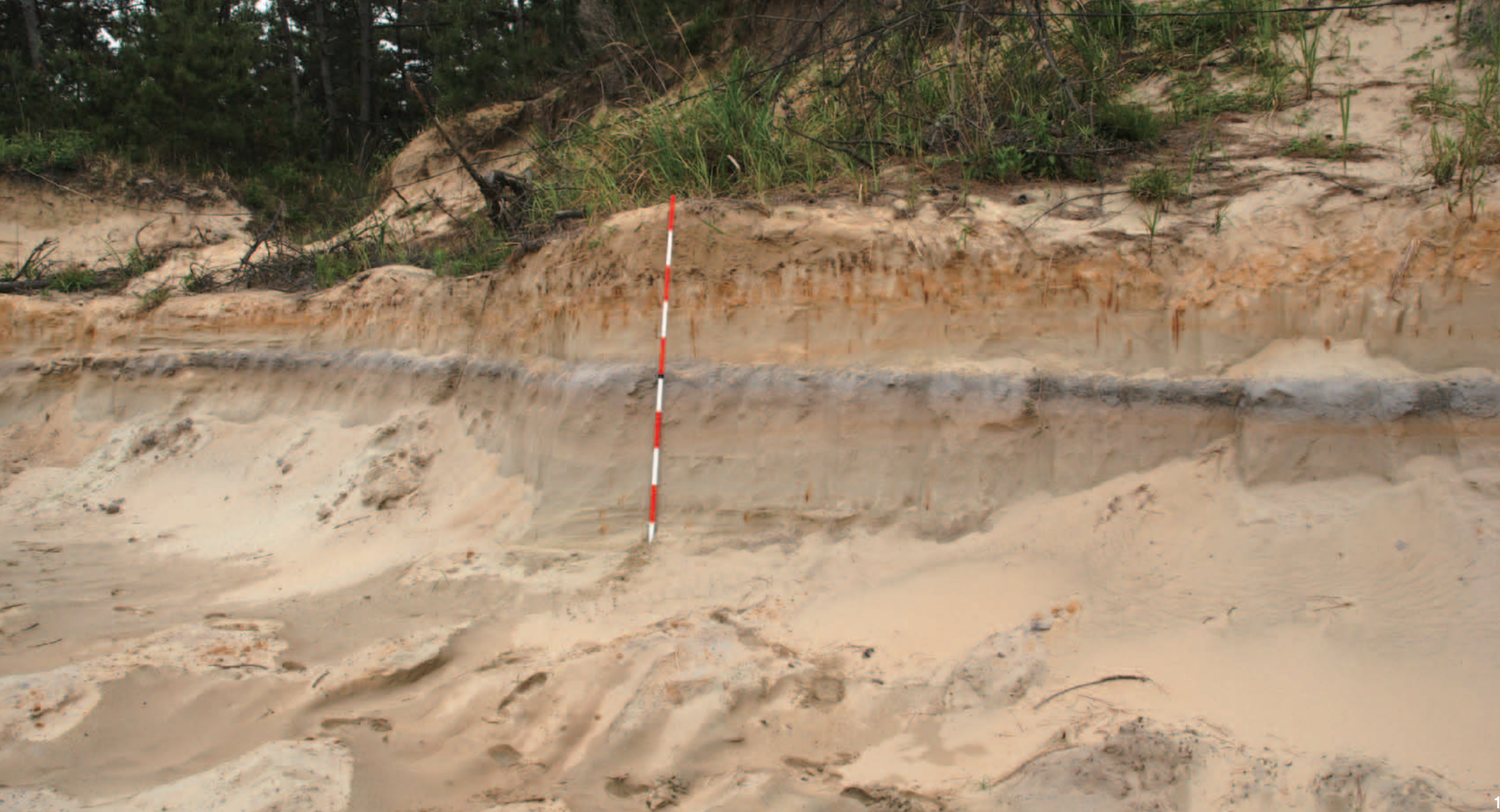
사구는 특정 기간 동안 모래가 쌓여서 만들어진 지형으로 퇴적층 내에 다양한 환경기록을 저장한다. 바람이 강할수록 더 많은 모래가 이동하며, 더 굵은 모래가 퇴적된다. 따라서 모래 입자의 크기로 바람의 세기를 알아낼 수 있다. 또한 사구지대에서 발견되는 습지 퇴적층에는 많은 유기물이 포함되어 당시의 기후와 생물상을 추적하기에 적합하다. 식물체가 집중적으로 쌓여 형성되는 검은색 부식층도 과거 환경을 알려주며, 모래를 구성하는 물질을 분석하면 그 기원을 추적할 수 있다. 이렇듯 해안사구에 포함된 퇴적층은 연구·분석을 통해 과거의 환경 변화를 복원할 수 있는 중요한 사료^{史料}가 된다.

우리나라 해안사구의 형성 연대는 지난 7천 년 전까지 거슬러 올라가는 것이 많다. 이 시기는 빙하기 이후 해수면이 급격히 상승하다 오늘날의 해수면 수준에 도달한 시기다. 드물기는 하지만 이보다 오래된 사구층이 발견되기도 한다. 과학자들은 그동안 심해퇴적물이나 그린란드와 남극의 빙하층에서 기후변화의 기록을 찾아냈으며 산호초 섬을 비롯한 각종 지형적 증거들을 통해 해수면 변동사를 추적했다. 이와 유사하게 사구에 형성되는 퇴적층을 연구하면 과거에 살았던 생물에 대한 기록과 기후의 변천사, 해수면 변화 등 다양한 고환경 정보를 얻을 수 있다.

1 자은도에서 발견한 매몰된 사구습지층. 이 층은 유기물의 함량이 30%를 넘어 이탄층(=토탄층)으로 분류되었으며, 연대 측정 결과, 지난 1,800년 전부터 700년 전까지 있었던 사구습지로 분석되었다. 이 습지는 형성 당시의 지하수면을 반영하고 고식생(古植生)이 포함되어 있어, 과거 해수면 변화나 해안선 변화, 그리고 기후변화 연구 등에 있어서 매우 중요한 자료로 평가된다.

2 사구지대의 연대 측정 원리. 해안사구의 형성 시기는 보통 광여기루미네선스연대 측정법(OSL dating)과 방사성탄소연대 측정법(radiocarbon dating)을 이용한다. 광여기루미네선스연대 측정법은 모래가 사구에 퇴적된 후에 축적된 자연방사선량을 이용하는 것으로 모래가 쌓인 시기를 직접적으로 구할 수 있다. 유기물에 포함된 방사성탄소(¹⁴C)의 반감기를 이용하는 방사성탄소연대 측정법은 사구습지의 형성 시기를 측정하는 데 적합하다.





1 임자도에서 발견된 오래된 사구층. 검은 사질부 식층이 수평층 형태로 드러났다.

2 자은도에서 발견된 적황색층. 사구가 형성된 후 시간이 지나면, 토양생성작용과 지하수위 변동, 기후변화 등의 환경 변화를 통해 사구층의 구조나 토양색이 변화된다. 이를 이용하면 과거 특정 시기의 환경 변화를 복원할 수 있다.

3 사구퇴적층 사이를 곡류하는 하천에 의해 단면이 드러난 모습. 사구의 퇴적구조를 관찰하기에 유리하다.

4 사구퇴적구조를 관찰하기 위해 절개한 사구단면. 25~30° 기울어진 사층리 위로 수평층리가 부정합의 관계를 이루고 퇴적되어 있다. 이러한 퇴적상을 이용하면, 모래가 퇴적될 당시의 환경을 파악할 수 있다.



아름다운 해안경관 형성

해안사구가 있는 모래해안은 대체로 훌륭한 자연경관을 이룬다. 해수면이 안정적일 때 적절한 바람과 모래 공급, 식생 성장 등의 사구 형성 조건이 잘 갖추어지면 사구열이 발달하면서 사구지대의 면적이 증가하는 경향이 있다. 이렇게 대규모로 형성된 해안사구지대에는 모래사막과 같은 풍경부터 초원과 호수에 이르기까지 다양한 지형경관이 발달해 내륙과는 다른 풍경을 만들고는 한다. 이런 지역은 휴식과 여가 장소로 가치가 높아 관광객의 발길을 머물게 한다.

사구가 있는 해안경관이 아름답다는 것은 한편으로는 사구에 해를 입히는 측면도 있다. 관광시설이 집중되기 때문이다. 관광산업은 가장 빠르게 성장하는 산업으로 해안지역에 막대한 영향을 끼치고 있다. 각종 숙박업소와 캠핑장, 수도시설, 쓰레기처리장, 주차시설, 도로, 골프장 등으로 사구지대가 이용되면서 사구의 면적이 점점 줄어들고 있다. 또한 통제되지 않은 사구 관광은 사구 훼손, 생태계 교란, 쓰레기 투기 등의 부작용을 가져올 수도 있다. 해안사구가 만든 아름다운 해안경관을 감상하기 위해서는 잘 계획된 이용정책이 필요하다.



1 양양군 동호사구지대는 동호리, 여운포리, 하광정리에 걸쳐 약 6 km의 해안선을 따라 형성되어 있으며, 북쪽의 동호 해변과 남쪽의 하조대 해변은 해수욕장으로 유명하다. 사구해안은 배후에 있는 마을과 농경지를 보호하는 동시에 멋진 경관을 형성해 사람들에게 좋은 휴식공간을 제공한다.

2 이국적인 경관을 지닌 대청도 옥죽동사구. 식생 피복이 없는 이 사구지대는 방문자들에게 사막에 온 듯

한 착각을 불러일으킨다. 바람이 많이 부는 겨울철에는 사구의 능선부가 더 날카워지고 여름철에는 완만해진다. 사구 표면에 남은 바람의 자취는 사구가 계속 움직이고 있다는 것을 말해준다.

3 신지도의 명사십리해안(전남 완도군). 사구 표면을 덮은 순비기나무들이 새로운 줄기를 사빈으로 뻗고 있다. 사빈에는 이국적인 파라솔이 설치되어 잠깐 쉬어 가고픈 생각을 불러일으킨다.





1 사구해안에서 여가를 즐기는 사람들(네덜란드 남-케네밀런트 국립공원). 넓게 펼쳐진 사구해안의 해변에서 여러 나라에서 온 방문객들을 만났다. 이 사람들은 모두 사빈에 도착하기까지 넓은 해안사구지대를 가로질러 왔을 것이다. 네덜란드의 사구지대들은 사빈을 이용하면서도 사구를 보호할 수 있다는 것을 보여준다. 사구 보호를 위해 철조망을 둘러도 부자연스럽지 않다.

2 기지포사구를 탐방하는 사람들(충남 태안군). 사구 보호를 위해 설치한 데크로 어른과 아이가 해안쪽으로 걸어가고 있다. 잘 보호된 해안사구는 방문자들에게 자연을 즐기는 요령과 함께 가족의 소박한 이야깃거리를 만들어 주는 편안한 휴식처가 된다.

3 사구를 공부하는 학생들(기지포사구). 탐방로를 따라 걷던 학생들이 무언가를 발견했는지 걸음을 멈추었다. 해안사구는 생태교육의 장으로서도 가치가 크다.





독특한 생태계

해안사구는 해안생태계와 육상생태계의 가운데 위치한 생태적 점이지대로서 독특한 생태계를 이룹니다. 이 생태계의 핵심은 사구가 사빈과 모래를 비롯한 여러 가지 물질을 교환하는 '상호작용'에서 비롯됩니다. 여기에서 사는 동물과 식물은 독특한 환경과 사구 지형에 완벽히 적응한 종들이며, 그들의 생존전략은 거꾸로 사구지형 발달과정에 영향을 주기도 합니다.

모래와 바람

퇴적학-sedimentology 관점에서 ‘모래 sand’란 0.63~2 mm 인 광물 알갱이를 말한다. 모래보다 작은 입자로는 실트 silt 와 점토 clay 가 있으며, 모래보다 큰 입자로는 자갈 gravel 과 거력 boulder 이 있다. 해안 사구를 구성하는 모래는 200 μm 내외인데, 모래를 크기별로 분류할 때 가는모래 fine sand 에 해당한다. 이 크기의 모래들은 바람에 의해 쉽게 이동하는 특성이 있다. 우리나라 서해안에 발달한 해안사구들은 대체로 200~300 μm 의 모래로 구성되어 있어 전형적인 풍성사구에 해당한다. 해빈열의 모래는 바람에 의해 형성된 사구 모래에 비해 입자가 굵은 것이 보통이다. 해빈열의 발달이 두드러진 동해안사구의 모래는 서해안 것에 비해 대체로 굵다.

사구 모래의 또 다른 특징은 입자가 매우 균일¹하고 원마도²가 높다는 것이다. 손바닥 위에 무게가 서로 다른 입자들이 있다고 가정해 보자. 여기에 입으로 바람을 ‘훅’하고 불면, 가벼운 입자일수록 멀리 날아갈 것이다. 이를 계속 반복하면 일정한 지점에 쌓이는 입자들은 계속 균일해질 것이다. 사구 모래는 일정한 세기의 바람에 날려 일정한 거리를 이동한 모래들로 구성되기 때문에, 입자의 크기가 매우 균일한 특성이 있다. 한편, 입자가 바람에 의해 날리는 과정을 겪으면 마찰에 의해 표면이 매끄러워진다. 먼 거리를 이동한 모래일수록 원마도가 증가하는 것이다.

사구를 구성하는 모래의 특성을 모른 채, 때때로 사구를 복원하겠다고 해빈의 모래를 덤프트럭으로 붓는 경우가 있는데 이는 매우 어리석은 일이다. 크고 작은 입자들이 뒤섞여 있는 사질간석지의 모래를 인위적으로 쌓더라도 자연이 만든 사구를 흉내 낼 수 없기 때문이다. 이런 행위는 오히려 사구경관을 해칠 수 있다. 해안사구를 복원하고자 할 때는

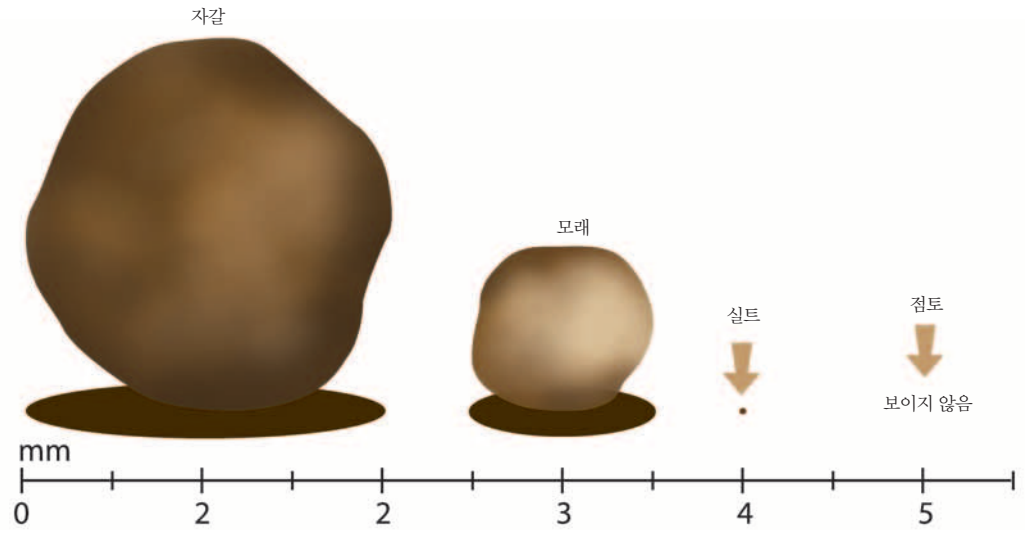
1) 이것을 다른 말로 ‘분급(sorting)’이 양호하다’고 표현한다.
2) 원마도(roundness)란 마모되어 둥글게 된 정도를 뜻하는 말이다.

모래 입자 크기(sand grain size)

밀리미터(mm)	마이크로미터(μm)	파이(φ)	입자의 등급	
4096		-12.0	거력	거력
256		-8.0	왕자갈	자갈
64		-6.0	잔자갈	
4		-2.0	왕모래	
2.00		-1.0	매우 굵은 모래	모래
1.00	1,000	0.0	굵은 모래	
0.50	500	1.0	중간 모래	
0.25	250	2.0	가는 모래	
0.125	125	3.0	매우 가는 모래	
0.063	63	4.0	매우 굵은 실트	실트
0.032	32	5.0	굵은 실트	
0.016	16	6.0	중간 실트	
0.008	8	7.0	가는 실트	
0.004	4	8.0	매우 가는 실트	
0.002	2	9.0	점토	점토

Udden-Wentworth grain-size classification. (source: wentworth, 1922)

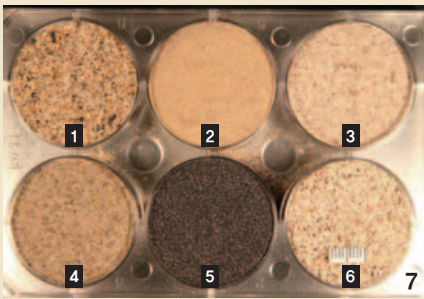
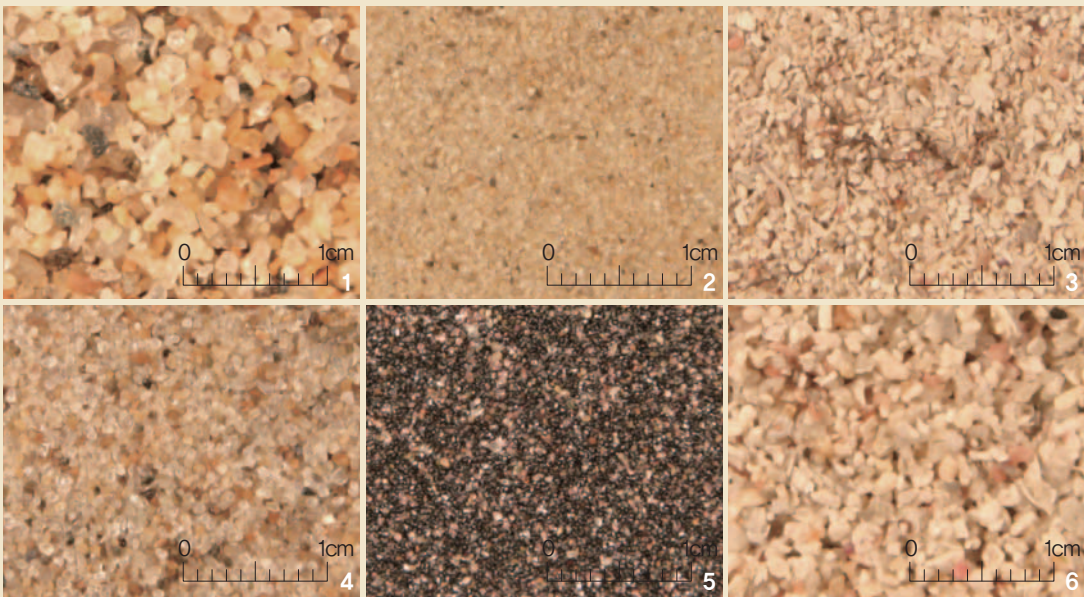
모래 입자 크기 비교



사구의 모래는 바람이라는 체에 걸려져 매우 고운 모래로만 구성된다는 것을 상기해야 한다.

사구 모래의 구성 성분은 보통 이산화규소 SiO_2 로 이루어진 광물인 석영quartz이 90% 이상을 차지한다. 다른 광물들은 사구까지 오기 전에 더 작은 알갱이들로 쪼개져 버리거나 화학적 풍화를 거치면서 변형되지만, 침식과 풍화에 강한 석영은 남아서 사구에 저장된다. 결과적으로 사구에는 석영광물이 매우 풍부하다. 이러한 특성은 사구를 ‘석영광산’으로 여

모래 입자 비교



- 1 약 1,000 μm (=1 mm) 크기의 하시동·안인사구(강원도 강릉시)
- 2 장곡리 해안의 약 180 μm 크기의 사구 모래(충남 태안군)
- 3 협재 해안의 패사해빈(제주도 제주시)
- 4 사탄동사빈(인천광역시 옹진군 대청도)
- 5 옥죽동 검은모래해빈(인천광역시 옹진군 대청도)
- 6 김녕사구(제주도 제주시)
- 7 모래 입자 비교

기게 만든다. 석영모래quartz sand, 珪砂는 유리의 원료로 사용되기 때문에 그 동안 많은 해안사구가 구사 채취를 이유로 파괴되어 왔다. 한편 기반암이 화산암인 제주도의 해안사구는 석영모래 대신에 패사貝砂가 주 성분을 이룬다. 모래 공급처인 사빈이 석영 대신에 주로 산호나 조개껍데기로 이루어져 있기 때문이다.

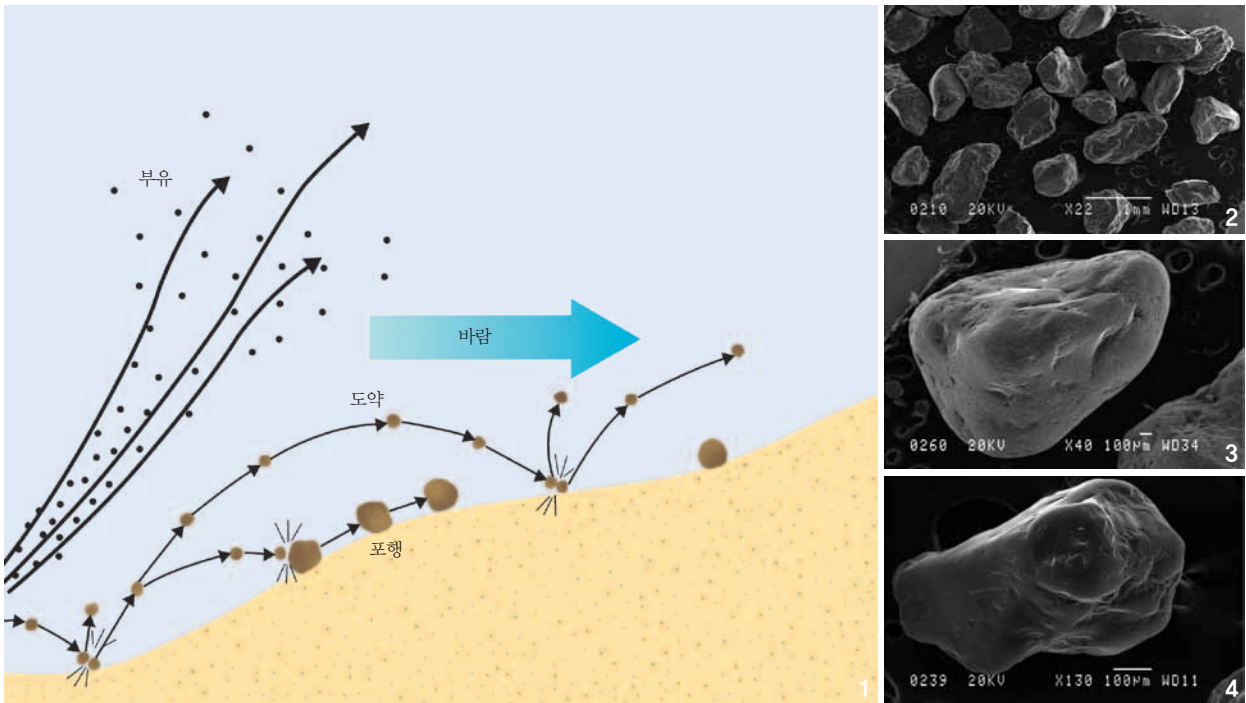
바람은 사구의 모래 공급과 사구의 형태를 만드는 데 기여한다. 특히 활동사구는 바람이 사구의 형태를 결정하는 중요한 요소로 작용한다. 바람이 한 방향에서 계속 불면 횡사구가 발달하지만, 북풍과 서풍처럼 두 방향의 바람이 반복해서 불면 종사구가 발달한다. 세 가지 이상의 탁월풍이 부는 지역에서는 여러 갈래로 뻗은 별 모양 사구star dune가 발달하게 된다.

1 바람이 불면 모래 입자는 크기에 따라 포행(creep), 도약(saltation), 부유(suspension) 세 가지 방식으로 이동한다.

2~4 석영모래의 주사전자현미경(SEM) 사진

3 표면이 마모되어 둥글어진 모래알. 바람에 날려 이동해 온 사구의 모래는 이동거리가 길어질수록 더 매끈하고 둥글어진다.

4 길쭉하지만 표면은 부드러운 모래알. 현미경으로 본 모래 알갱이 표면에는 부딪히고 깨진 흔적과 갈린 흔적 등 사구에서 제자리를 찾을 때까지의 구구절절한 사연이 남아 있다.



모래는 바람에 의해 ‘도약(saltation)’, ‘부유(suspension)’, ‘포행(creep)’ 세 가지 방식으로 이동한다. 적당한 세기의 바람이 불면 사구 모래는 일정한 높이까지 바람에 날리다가 떨어지기를 반복하며 이동하는데, 이와 같은 이동방식을 ‘도약’이라고 한다. 이 보다 더 작은 입자는 떨어지지 않고 매우 먼 거리까지 날아가 버리며, 굵은 입자는 지면에 거의 붙어서 끌리며 이동한다. 해안사구를 형성하는 모래의 가장 보편적인 이동과정은 ‘도약’이다. 사구 모래의 도약 높이는 바람이 강할수록, 그리고 지면이 단단할수록 높아지며 대체로 20 cm 정도로 도약한다.

사빈-사구 상호작용

해안사구는 바닷가의 모래가 저장되는 곳이다. 사빈이나 사질간석지가 공기 중에 노출되어 건조되면 모래가 바람에 의해 사구지역으로 이동된다. 이렇게 저장된 모래는 사빈과 사구로 이루어진 해안을 안정화시키는 역할을 한다. 폭풍으로 사빈의 모래가 깎여나가면 사구의 모래가 사빈지역으로 옮겨져 자연스럽게 경관이 회복되기 때문이다. 이렇게 사빈과 사구가 침식과 퇴적을 통해 모래를 주고받는 과정을 사빈-사구 상호작용-beach-dune interaction이라고 하며, 이를 통해 자연스러운 경관이 유지된다. 또한 육지와 바다의 모래가 교환되는 과정에는 영양소를 포함한 물질의 교환도 함께 발생한다.

1 모래가 퇴적된 전사구. 태풍이 불 때 파도에 사구의 전면부가 깎여 나갔지만 시간이 지나면서 모래가 다시 쌓였다. 사구와 사빈이 이루는 해안경관은 이런 과정이 계속 되풀이 된다.

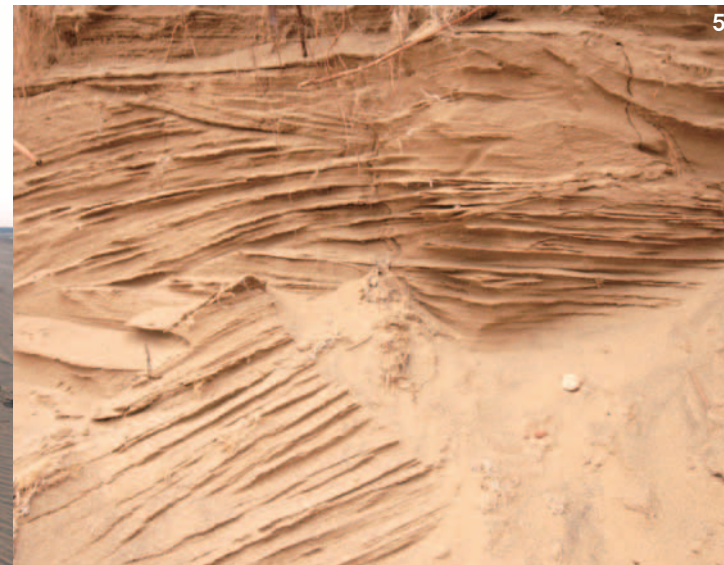
2 모래가 퇴적된 전사구. 깎였던 사구의 전면부에 바람이 모래를 가져다 놓았다.

3 사구의 침식. 태풍으로 만들어진 폭풍해일이 밀물과 결합하면 파랑의 침식에너지가 크게 증가한다. 이것이 사구에 부딪히면 전면부에 있던 모래가 쓸려나간다. 이런 과정을 통해 침식에너지는 더 이상 육지에 전달되지 못하고 흡수된다. 사진 중앙에 있는 금속성 물체는 소항사구에 설치했던 표시막대다. 태풍의 위력이 얼마나 강했는지, 스테인레스강으로 만든 막대가 부러져 버렸다.

4 바닷가에 떠내려 온 유기물. 나무 조각과 동·식물의 사체, 조개껍데기 등은 겉으로는 지저분해 보이지만 물질 순환과정의 하나다.

5 바람에 의해 쌓인 모래층. 계절과 바람의 변화에 따라 층리가 만들어진다.

6 사질간석지의 연흔. 사질간석지는 밀물 때는 물에 잠기지만 썰물 때는 공기 중에 노출된다. 시간이 지나 물기가 마르면 바람을 타고 사빈의 후면과 사구로 이동한다. 평상시에는 이런 과정을 통해 모래가 사구 쪽으로 이동하고 폭풍이 발생해서 해면의 높이가 높아지면 사구가 침식된다. 사질간석지가 넓은 곳은 사구지대의 발달에 유리하다.



사구와 식물

해안사구에는 독특한 환경에 적응한 식물들이 서식한다. 어떤 식물이 어느 곳에 어떤 형태로 분포하는가는 그 식물이 처한 환경을 그대로 반영한다. 사구에 사는 식물군집은 주로 해안선과 나란한 띠 형태로 분포하는 대상분포 帶狀分布, zonation가 나타난다. 환경의 영향과 다른 종과의 상호작용으로 정해지는 각 종의 분포범위를 생태적지위 ecological niche라고 하며, 사구에서의 이러한 대상분포는 해안사구의 생태환경을 반영하는 것으로 각 종이 지닌 생태적지위가 서로 차이를 나타낸다. 사구는 해안에서부터 내륙 방향으로 풍속, 염분, 수분 등 환경인자의 구배 gradient가 발생한다. 이에 따라 해안에 가까운 해변 근처, 전사구의 바람받이사면, 사구마루, 바람그늘사면, 사구저지, 배후사구에 서식하는 생물의 종과 형태가 달라진다.

해안사구를 형성하는 파랑, 바람, 모래 공급량, 기후 등의 요인에 의해 사구는 시시각각 변화하는 동적인 생태계다. 사구는 계절별로, 연별로 모양과 높이 등이 달라지며 이에 정착하고 살아가는 식물은 사구의 동적인 환경에 적응해왔다. 사구식물은 대부분 다년생이며 뿌리줄기나 기는줄기의 생장이 탁월하다. 사구의 지형 변화에 따라 줄기를 뺏어 서식지를 확장해 나가며, 뿌리줄기를 수평 방향으로 뺏고 여기에서 새로운 개체를 발생시키는 영양생식을 전략으로 삼는 사구식물들이 많다. 또한 사구식물은 대부분 잎이 넓거나 두꺼우며 종자의 껍질이 단단한 경우가 많다. 이러한 생존전략은 모두 사구의 혹독한 환경과 관련 있다.



1



2

1~2 기는줄기를 지닌 순비기나무

3 땅속줄기로 번식하는 갯그렁

4 갯그렁의 땅속줄기. 땅속줄기 하나에서 줄기 여러 개와 부정근이 나와 있다.



3



4

사구 토양은 수분과 양분이 부족하고 염분이 많아 식물이 살기에 호락호락한 환경이 아니다. 사구식물은 이에 적응해 수분과 양분을 흡수하는 뿌리에 많이 투자한다. 뿌리줄기에 잔뿌리를 많이 내어 수분과 양분을 흡수 할 수 있도록 한다. 옅은 가늘거나 두껍게 해 증발을 억제하는 방향으로 진화해 왔다. 또한 사구 토양에는 질소가 부족한데 이는 사구 식물의 생장에 제한 요소로서 작용한다. 질소가 부족한 환경에서 갯완두와 같은 식물의 뿌리는 공기 중의 질소를 토양으로 고정할 수 있어 사구식물의 성장을 촉진시킨다.

사구식물은 변화하는 지형에 적응할 뿐 아니라 사구의 형성과정에도 기여한다. 바닷가에서 공급되는 모래는 모래의 크기와 바람의 강도에 따라 이동량과 거리가 달라진다. 바람에 의해 운반되던 모래는 풍속이 감소하는 지점에서 쌓이게 되는데, 이때 사구식물은 풍속을 감소시키는 중요한 인자로 작용한다. 이렇게 형성된 둔덕에 새로운 식물 개체가 형성되고 다시 이러한 식물체 주변에 모래가 쌓이면서 사구가 성장하게 된다. 사구식물은 모래에 매몰되더라도 잘 자라는 특성이 있다. 갯그렁은 한번에 20 cm 두께의 모래가 쌓여도 자랄 수 있다. 따라서 모래공급이 활발하고 사구식물이 잘 정착하는 지역에서는 사구의 높이가 빠르게 증가한다.

해안사구가 침식된 곳을 복원하기 위해 설치하는 모래포집기는 사구의 형성과정에 착안해 고안된 것이다. 바람에 의해 도약한 모래는 모래포집기를 만나면서 풍속의 감소와 함께 포집기 앞뒤에 쌓이게 된다. 이런 과정이 반복되면 모래는 포집기의 높이만큼 퇴적되어 사구를 이룬다. 모래포집을 계속하려면 사구 높이에 맞추어 포집기를 계속해서 설치해야 한다. 사구식물은 모래가 쌓인 만큼 뿌리줄기나 기는줄기를 올려 자라지만 인위적인 포집기는 그렇지 않기 때문이다.



1 갯완두

2 갯완두 꼬투리

3 식물에 의해 퇴적되는 모래

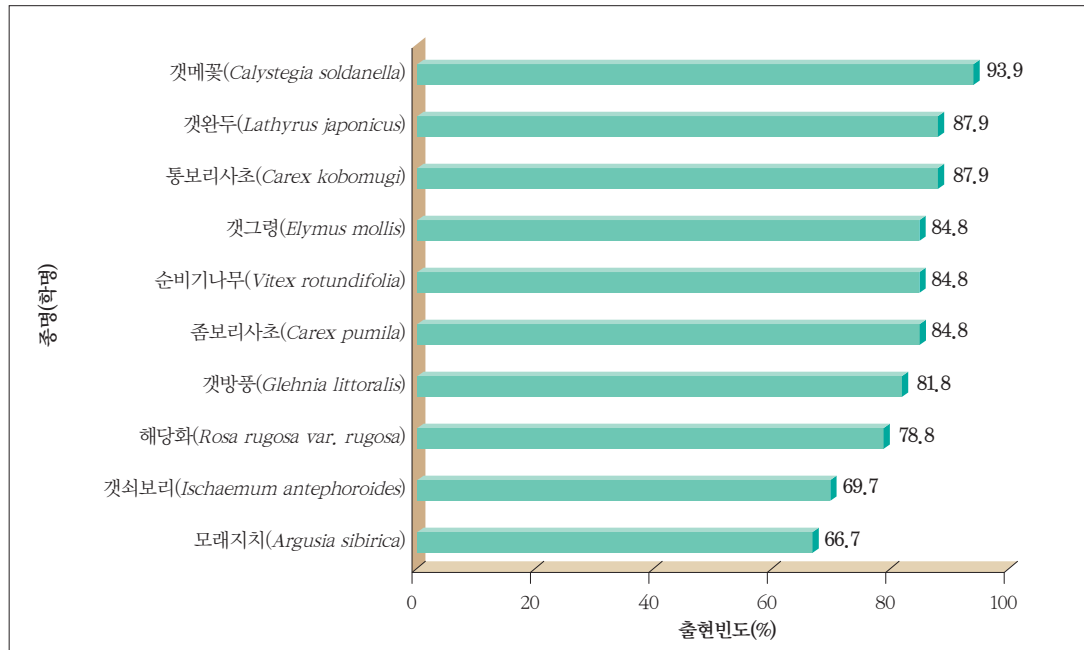
4 모래 퇴적에 의해 묻힌 통보리사초

5 모래 퇴적에 의해 묻힌 갯그렁

6 퇴적에 의해 흔적만 남은 모래포집기

7 식물이 성장하면 그 주위로 모래가 집중적으로 퇴적되므로 사구식물은 자연적인 모래포집기라고 할 수 있다.





대표적인 사구식물. 우리나라 해안에 분포하는 사구 중 비교적 보전상태가 양호한 33개소를 조사한 결과, 갯메꽃은 거의 모든 사구에 나타났고 갯완두, 통보리사초, 갯그령, 순비기나무 등도 흔하게 분포했다.

한편, 사구식물의 뿌리와 뿌리줄기는 사구 모래의 유실을 방지하며, 지상부에 있는 줄기와 잎은 풍속을 줄여 바람의 침식력을 저하시켜 사구의 안정을 유도한다. 그러나 사구식물이 너무 밀생하면 모래 공급이 차단되어 사구의 성장이 멈추거나 퇴보할 수도 있다. 또한 적절하지 않은 식재는 오히려 사구 형성과정을 방해해 침식을 일으킬 수도 있다.

사구와 동물

해안사구의 생물상은 매우 독특하다. 넓게 펼쳐진 해안 사구지대는 사빈, 전사구, 슬랙, 취식와지, 사구습지, 배후사구 등 다양한 지형으로 이루어져 있다. 각 지형은 풍속, 염분, 수분의 분포가 다르

며, 정착하는 식물의 종류를 다르게 만든다. 모래 공급량이 식물 성장보다 많아 나지로 드러나는 곳에서는 피복된 사구와는 또 다른 독특한 생태계가 형성된다. 이러한 여러 가지 요인들이 복잡하게 결합되면서 사구의 경관적 다양성이 증가한다.

사구의 경관적 다양성은 사구에 사는 동물의 종다양성에 영향을 준다. 해안사구에는 소똥구리붙이와 같은 작은 사구성 곤충부터 매와 같은 커다란 포식자에 이르기까지 다양한 동물들이 살아간다. 해안사구에서 곤충은 바다로부터 공급되는 유기물에 의존해 살아가기도 하고 사구 초지에 적응해 살아가기도 한다. 길앞잡이는 다른 작은 곤충들을 포식한다. 명주잠자리 유충은 개미지옥이라는 깔때기 형태의 모래 함정을 만들어 지나가는 곤충들을 잡아먹는다. 더 큰 포식자인 표범장지뱀은 이런 곤충들을 먹이로 삼으며, 사구 표면의 온도가 올라가면 모래를 파고 속으로 들어간다. 습윤슬랙이나 사구습지는 개구리나 맹꽁이와 같은 양서류가 번식장소로 이용한다. 흰물떼새나 쇠제비갈매기 등은 사구지대에 둥지를 만들고 각종 물새들도 사구 주변의 습지나 바닷가에서 먹이활동을 한다. 매, 황조롱이, 말뚝가리 등의 맹금류는 사구지대를 사냥터로 여긴다. 들쥐, 청설모, 토끼 등의 작은 포유류가 서식하고 고라니와 삶도 종종 나타난다. 예전에는 사구지대에서 소나 토끼를 키우기도 했다.

가축의 방목이 사구를 해친다고 오해한 적도 있다. 하지만 최근에는 동물들의 풀 뜯기가 해안사구의 식물 구조를 유지해 궁극적으로 사구 발달에 도움을 준다는 견해가 일반적이다. 특히, 사구에 사는 토끼들은 교목이나 관목의 어린 싹을 먹어치워 식생이 짧게 유지되도록 한다. 이것은 교목에 비해 풍속 감소 효과가 덜하기 때문에 모래가 멀리 이동할 수 있도록 해준다. 또한 토끼들은 지하에 둥지를 틀거나 통로를 만들기 위해 땅을 판다. 이렇게 굴이 많이 만들어진 곳에서는 취식와지가 쉽게 형성되어 새로운 사구지형이 만들어 진다.



1 흰물떼새 암컷이 포란하고 있다.

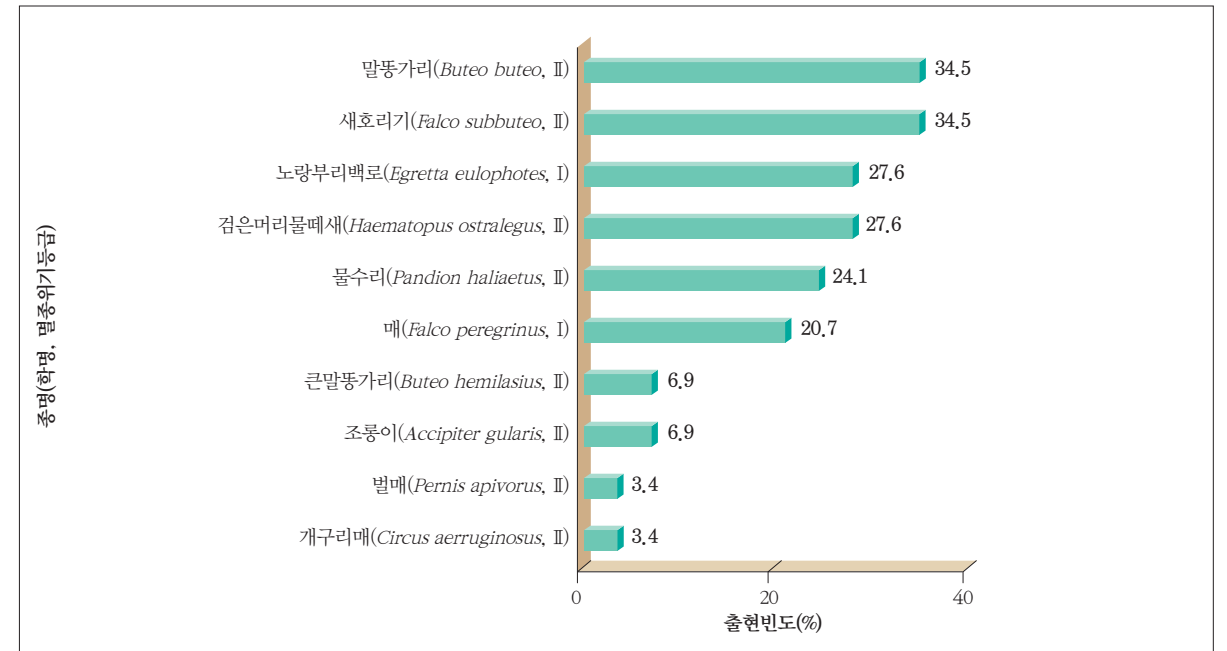
2 흰물떼새 알

3 개미지옥(명주잠자리 유충)

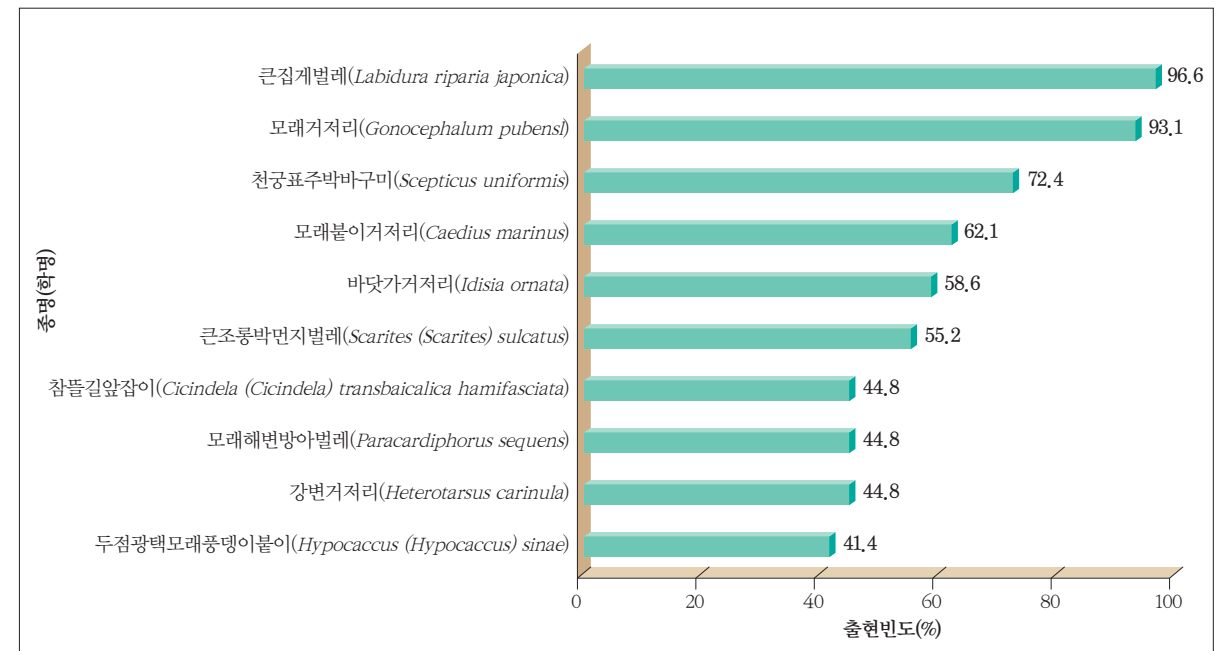
4 쇠제비갈매기가 포란하고 있다.

5 신두리사구에서 소를 방목한 적이 있다.

6 전사구지대에서 만난 청설모



사구에서 볼 수 있는 멸종위기조류. 운이 좋으면 해변가에서 노랑부리백로와 검은머리물떼새를 볼 수 있고, 말뚥가리, 새호리기, 물수리, 매 등 맹금류가 해안사구지대에서 사냥하는 것도 관찰할 수 있다. 도표는 우리나라 해안사구 30개소를 분석한 멸종위기조류목록이다.



대표적인 사구성 곤충. 정밀조사된 해안사구 30개소를 분석한 결과, 큰집게벌레와 모래거저리는 대부분의 해안사구에서 나타났고, 천궁표주박바구미, 모래불이거저리, 바닷가거저리 등도 비교적 흔하게 출현했다.



4 아메리카흰물떼새의 번식지를 알리는 표지판. 태평양 동부 해안에 분포하는 아메리카흰물떼새(Western Snowy Plover)는 우리나라의 흰물떼새와 유사한 생태적 지위를 갖는다. 풀이 없는 사빈이나 사구에 동지를 만들고 알을 낳는 습성이 있으나 해안 개발과 무분별한 이용으로 서식지가 점차 사라지고 있어 사진과 같은 보호노력을 펼치고 있다. 한편 보호 표지판 왼쪽에는 이안류(rip currents)를 경고하는 그림이 붙어 있어 이 해안에서 이안류가 자주 일어난다는 것을 알 수 있다.

5 흰물떼새의 번식지를 보호하기 위해 둘러놓은 철조망



1 배후습지에서 먹이를 찾던 저어새

2 노랑부리백로

3 황로



2



3



5

사라져 가는 해안사구

안타깝게도 우리를 지켜주는 해안사구는 점점 사라져
가고 있습니다. 모래 채취를 통해 훼손되기도 하지만,
사빈과 사구 사이에 놓이는 옹벽, 도로, 건물로 인해
모래의 이동이 제한되는 것도 사구의 건강을 악화시
키는 요인입니다.

모래 채취

석영 함량이 90% 이상을 차지하는 사구 모래는 유리 원료를 필요로 하는 사람들에게는 더 없이 좋은 자원이 된다. 또한 모래는 건물이나 시설의 골재로도 사용된다. 사구는 육지에 있으며 암석처럼 단단하지도 않기 때문에 채굴하기도 쉽다. 이런 이유로 많은 해안사구가 파괴되어 왔다. 해안에 거주하는 주민들은 1970년대부터 1980년대 초까지 모래 채취가 집중적으로 이루어졌다고 증언한다. 모래를 채취해 황량하게 드러난 땅에는 곰솔을 심었다. 하지만 곰솔림은 해안사구와는 그 기능이 크게 다르다. 곰솔림은 바람은 막지만 해일과 같은 자연재해를 견디지는 못한다. 뿌리가 바닷물에 닿는 순간 초록색 잎이 붉게 변하며 죽어간다. 그리고 사구처럼 모래를 저장하지 못한다. 오히려 크게 자란 곰솔들은 바람을 감소시켜 모래 이동을 억제해 사구 성장을 방해한다. 큰 바람에 쓰러지면 뿌리가 들리면서 모래를 잃어버린다. 사구식물이 자라지 못하게도 한다. 모래 채굴로 약해진 자연방파제는 큰 폭풍해일을 견디지 못하고 붕괴되면서 해안선 후퇴를 초래한다. 태안군의 장곡리 해안은 이런 과정을 잘 보여주는 대표적인 사례다.

안면도의 남서쪽 끝에 위치한 장곡리사구는 운여해수욕장 배후에 있다. 전형적인 사빈-사구 경관을 이루었던 지역으로, 사구는 북동쪽으로 발달한 약 1 km의 사취 spit를 따라 발달했다. 태안반도와 안면도에 분포하는 대부분의 사구가 그렇듯 이 지역도 북서 계절풍에 대해 직각 방향으로 해안선이 발달해 사구 형성에 유리한 조건을 갖추고 있다. 원래 북동-남서 방향으로 평행한 사구열 2개가 발달했는데, 모래의 채굴로 심하게 파괴되어 사구열의 형태를 찾아보기 어렵게 되었다. 이 사구가 유명해진 것은 배후사구지대에 이른 바 적황색층이 분포하기 때문인데, 이 층은 홀로세 중기(5,000~7,000년 전)에 퇴적된 것으로 밝혀졌다.

파괴된 장곡리사구는 사구가 해안방어에 얼마나 효과적인지를 역설적으로 보여준다. 현재 이 지역의 사구는 규사 채취로 그 원형을 거의 알

규사 채취는 해안사구에 대한 직접적인 훼손이다. 사구를 모래광산으로 여기던 시절에 석영모래 채취로 많은 해안사구가 파괴되었다. 이로 인해 모래언덕의 높이가 낮아지고 모래땅의 생태계도 사라졌다.

아보기 어려운 상황이다. 사취 위에 형성되었던 사구 대부분이 사라졌으며, 특히 해안으로부터 두 번째 열은 대부분 파괴된 채, 곰솔이 식재되었다. 조금 남겨진 전사구에는 여러 종류의 석축 잔해물들이 발견되는데, 사구 채굴 후 방파제를 6~7번이나 다시 쌓아야 했기 때문이다. 특히 2007년 전후에 발생한 침식사건은 방파제를 파괴시키고 조성된 전사구에 구멍을 내었는데, 이로 인해 사구 배후지역이 침수되고 식재된 곰솔 상당수가 피해를 입었다. 또한 사구와 상호작용관계에 있던 사빈 모래마저 대부분 유실되면서 사실상 해수욕장의 가치를 상실했다. 대신 방파제 축조에 사용되었던 여러 종류의 암편들이 사빈이 있던 자리에 놓여 해안 개발의 심각성을 깨우쳐 주었다. 우리가 여기서 주목해야 할 것은 해안의 자연환경이 크게 훼손되고 여러 가지 피해를 겪고 있는 해안의 수난은 모래 채굴이 그 시작이었다는 것이다.





1



2



3

1 모래 채취 흔적. 일부 지역에서는 아직도 골재 채취로 인해 사구가 훼손되고 있다. 굴삭기로 파낸 흔적이 남아 있다.

2 모래 채굴 후 드러난 기반암과 식재된 어린 곰솔. 높이 솟아 있던 사구가 모래 채취로 사라져 예전의 모습이 보이지 않는다. 사라진 사구와 함께 갯그렁, 해당화, 표범장지뻬도 사라졌다. 마을 주민들의 기억과 학자들의 기록만이 이곳에 사구가 있었다는 사실을 확인해 준다. 드러난 기반암 위에 뽕뽕하게 곰솔을 심었다. 하지만 곰솔림은 결코 해안사구를 대신하지 못한다.

3 사구를 파낸 자리에 곰솔을 심었지만, 바닷물에 침수된 어린 곰솔들이 붉게 물들어 죽었다.

4 모래 채취로 약해진 해안사구를 대신해 콘크리트와 거력으로 방파제를 쌓았지만 인공방파제는 쉽게 무너져 버렸다. 석축의 재료가 여럿이라는 것은 이곳이 여러 번 무너졌다는 사실을 말해준다.

5 과도한 모래 채취로 사구지대가 대부분 사라진 후 폭풍에 방파제가 터졌다. 사구가 있던 자리에는 커다란 호수가 생겼다. 그리고 이렇게 들어온 바닷물에 의해 심었던 나무들이 죽었다. 바닷물이 더 이상 들어오는 걸 막으려고 긴급하게 쌓았을 모래자루들이 호수 주변을 둘러싸고 있다.

6 장곡리 해안에 현재 설치되어 있는 경사형 호안시설. 사구를 파괴한 후 설치한 인공방파제는 금방 무너져 내렸다. 다시 설치한 방파제도 오래가지 못했다. 모래자루, 석축, 시멘트, 콘크리트 등 호안시설의 종류도 다양했지만 결국 무너졌다. 여러 번 쌓고 무너지는 과정이 있은 후, 현재 사진과 같이 경사형 호안이 설치되었다. 얼마나 많은 비용이 들었을까? 사구에서 채취한 규사의 가치가 방파제 건설비용과 생태계 손실, 경관 훼손, 그리고 주민 안전에 대한 피해 비용을 상쇄할 수 있을지 의문이다.



4



5



6

옹벽과 해안선 후퇴

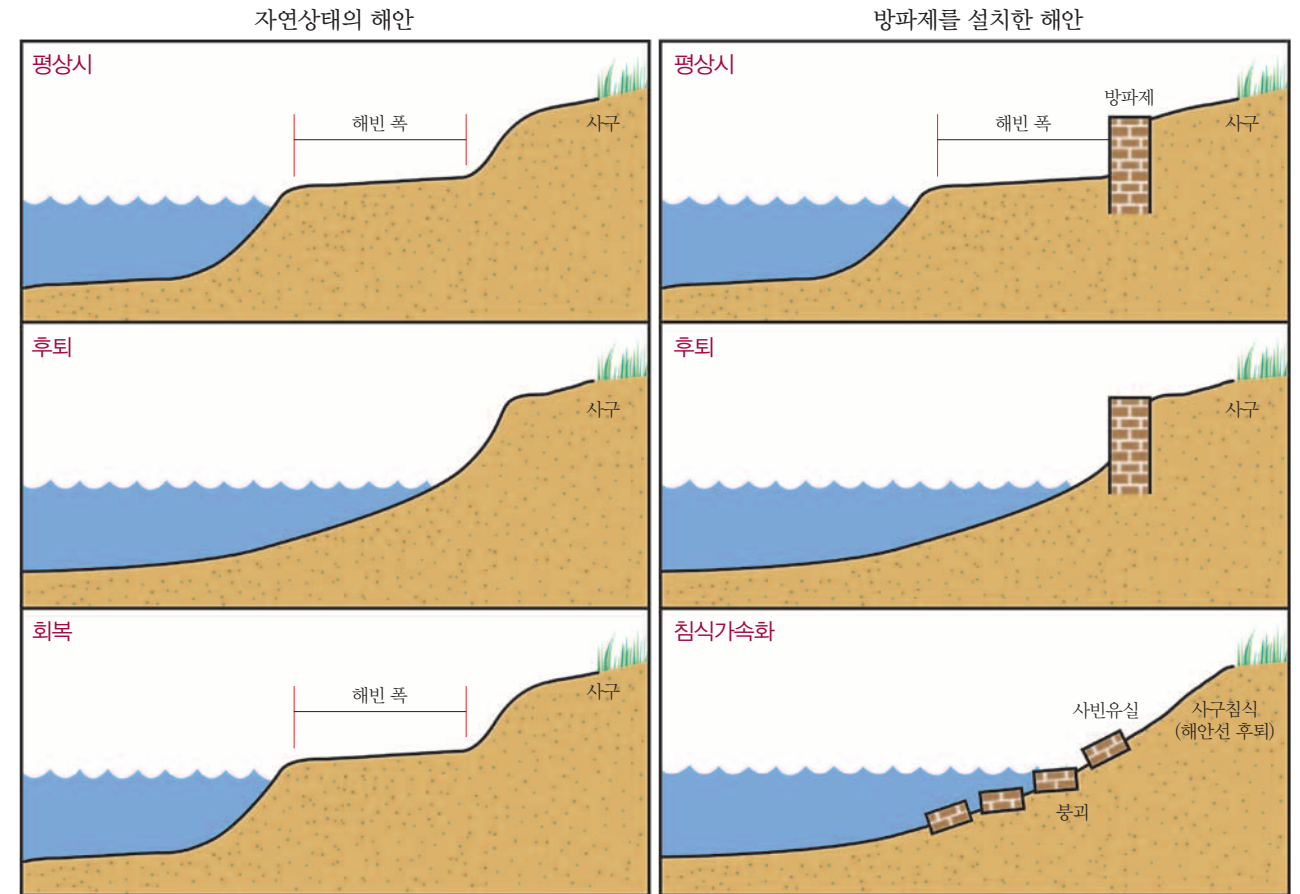
바닷가에 설치하는 방파제는 사빈침식과 사구 훼손의 주범이다. 옹벽 설치의 목적은 파랑에너지가 육지로 접근하지 못하게 차단해 육지의 침식을 막기 위한 것인데, 실제로는 파랑의 반사로 사구나 사빈의 모래 유실이 더 가속화되는 경우가 흔하다. 나아가 옹벽 하단부가 침식되면서 옹벽이 무너져 버리고 사빈이 옹벽 잔해로 덮이는 경우도 많다. 이런 일이 반복되면 해안선은 내륙으로 깊이 후퇴하고 사빈은 고운 모래 대신 시멘트 덩어리로 가득 찬다.

천리포수목원 남쪽에 위치한 천리포해안은 옹벽 설치로 인한 해안 침식과 해안선 후퇴를 잘 보여준다. 무리한 개발로 사구지대가 파괴되어, 사구 실태를 조사했던 환경부²⁰⁰¹의 보고서를 통해서만 이곳이 사구였다는 것을 알 수 있다. 여러 번에 걸쳐 무너진 옹벽으로 해안선은 최소 7m 이상 후퇴했으며, 야영장 시설도 함께 파괴되었다. 새롭게 설치된 경사호안시설도 태풍 곤파스^{2010년} 내습 이후 붕괴 직전에 이르렀다. 콘크리트 호안블럭의 하부에 있던 모래들이 유실되면서 주저앉았기 때문이다. 옹벽 설치로 인해 후퇴한 해안선은 비단 천리포뿐만이 아니다. 충남 보령의 독산리 해안과 전남 신안 임자도의 광산리 해안 및 자은도의 면전리 해안도 수십 미터를 후퇴했다고 한다.

해안도로와 건물

해안가에 편리하게 접근하고자 하는 욕망은 해안선과 나란히 달리는 해안도로를 건설하게 한다. 또한 아름다운 해안을 조망하고자 하는 욕구는 높은 건물을 축조하게 한다. 그러나 이런 도로와 건물은 해안경관 관리에 큰 부작용을 낳는다. 특히 사빈과 사구 사이에 놓인 해안도로는 사빈-사구의 상호작용을 저해하는 요인이 된다. 도로로 인해 사빈의 모래는 사구로 넘어가지 못하고 사빈 침식 시 사구 모래에 의한 사빈의 안정화도 어렵다. 지속적인 사빈침식은 머지않아 도

해안선 고정과 사빈의 유실



옹벽 설치로 인한 해안선 후퇴과정을 나타내 주는 그림으로 파랑에너지가 흡수하는 역할과 사구의 원형을 유지하려는 복원력을 통해 자연적인 방파제로서의 사구의 역할을 강조한다. 인공적인 방파제는 파랑에너지를 반사시키고 모래의 공급을 차단하는 역할을 하기 때문에 해안의 침식을 가속시킨다.



1 해안 보호를 위해 설치된 옹벽은 폭풍해일에 쉽게 붕괴된다. 사진은 태풍 곤파스(2010년 9월) 내습으로 큰 피해를 본 천리포해안으로 폭격 맞은 것처럼 시설물의 잔해가 널려 있다. 붕괴된 시멘트 잔해 속에 드러난 모래층이 원래 이 지역이 해안사구였다는 것을 말해준다.

2 위태롭게 쓰러지고 있는 옹벽

3 무너지고 있는 옹벽. 옹벽은 파랑에너지를 흡수하지 못하고 반사해 사빈에 침식을 발생시킨다. 옹벽을 받치고 있던 모래가 유실되면 지지할 곳이 없는 옹벽은 사진처럼 무너져 내리고 만다.

4 사빈 침식으로 드러난 자갈. 해안 보호를 위해 설치한 옹벽은 사빈의 침식을 가속화시키고, 사빈-사구의 상호작용을 방해해 사구의 쇠퇴를 초래한다. 사빈에 있는 모래들이 유실되면 해수는 더

내륙으로 침투한다. 이런 과정을 통해 해안선이 후퇴한다.

5 파랑에너지를 안정적으로 흡수하지 못하는 석축은 그 힘을 반사시켜 오히려 더 큰 침식을 유발한다. 사진은 만조 때로 반사된 에너지와 함께 모래가 유실되는 장면이 포착되었다.

6 무너진 옹벽의 잔해들. 사구는 파랑에 의한 침식과정을 통해 사빈에 모래를 공급하지만, 인공방파제는 침식사건에 무너지면 그 잔해들을 사빈에 흩어 놓는다. 이런 잔해들은 사빈의 생태를 교란하기도 하지만 미관상으로도 좋지 않다.

7 파도의 영향을 직접 받는 옹벽 하부는 모래 같은 구성 물질이 유실되면서 점차 무너져 내린다.

8 강한 파랑에너지로 인해 무너진 옹벽

로를 위협하게 되고 이에 대한 방지책은 보통 도로 보호를 위한 옹벽 설치로 이어진다. 옹벽 설치의 결국 사빈 침식을 가속화시켜 해안선의 후퇴를 야기한다.

사빈이 침식되는 사이, 사빈과 단절된 사구도 점차 쇠퇴한다. 도로와 건물은 해안경관의 유동성을 떨어뜨리고 해풍을 차단해 모래의 순환을 억제한다. 이렇게 단절된 사구는 사빈으로부터 새로운 모래를 공급받지 못해 그 성장 동력을 잃게 되고 점차 산성화되면서 육상식물의 침입을 허용하게 된다. 이런 과정을 통해 오랫동안 역동성을 유지해 오던 해안 사구지대는 사구의 특성을 잃어버린 채 고정된다. 그리고 더 이상 해안 경관을 안정화시키는 자연방파제의 구실을 못하게 된다.

해안도로나 건물이 들어서면서 사구지대가 파괴된 예는 수없이 많다. 충남 서천의 죽산리, 전북 고창의 명사십리와 광승리, 구시포, 전남 신안 임자도의 대기리와 광산리, 강원도 고성 의거진리 해안, 강릉의 주문진 해안, 삼척의 맹방 해안 등에서 과도하게 전진된 해안도로를 만날 수 있다. 그리고 이들 지역은 대체로 해안 침식 피해를 겪고 있다.



1 사구열을 따라 놓인 해안도로. 사구 위에 놓인 해안도로는 배후지역에 모래 공급을 차단해 사구의 특성을 약화시키고 면적을 감소시킨다. 반대로 사빈에 침식사건이 발생하는 경우에도 모래 이동이 차단되어 사빈을 보충해주지 못한다.

2 파랑의 침식에 의해 무너진 해안도로. 사빈과 사구의 경계에 건설된 도로는 침식으로 인해 붕괴의 가능성이 크다. 이런 침식을 막기 위해 보통 옹벽이 설치되고, 설치된 옹벽은 사빈과 사구의

통로를 막아 더 큰 피해를 야기한다.

3 해안에 인접한 아파트, 사구가 있어야 할 자리에 건설된 건물들은 쓰나미, 폭풍해일, 너울 등의 자연재해에 몹시 취약하다. 이런 지역에서는 강풍과 염분에 의한 물리·화학적 풍화도 잘 발생하기 때문에 사진과 같은 건물은 오래 버티기 어렵다. 또한 높은 건물은 배후지역으로 이동하는 바람을 차단하고 모래의 이동을 방해해 사구의 성장도 저해한다.





1
2



3

1 아파트 전면의 지반이 너울에 유실된 장면

2 건물을 지을 당시에는 사빈이 넓었지만, 몇 년간 침식이 계속되면서 붕괴를 걱정할 만큼 위태롭게 변했다. 침식과 퇴적이 끊임없이 반복되는 전사구가 있어야 할 자리에 건물을 지었기 때문이다.

3 사구 전면부에 설치된 도로와 옹벽. 해안을 이용하기 위

해 만든 석축과 도로는 사빈-사구의 상호작용을 방해해 머지않은 장래에 해안경관의 질을 떨어뜨리고 생태계를 교란시키며 지속적인 복구비용을 지출하게 하는 등의 손실을 야기할 것이다.

4 하부가 침식되어 위험해진 해안초소. 바닷가에 만든 인공 시설물들은 해안침식으로 하부가 침식되면 그 존재 여부가 위태롭게 된다.



4

모래 공급 차단

옹벽이나 해안도로와 건물 등 고정시설물은 사구의 쇠퇴를 초래한다. 하지만 이러한 시설물이 설치되지 않은 지역에서도 해안사구의 쇠퇴가 진행되고 있다. 근본적인 원인은 사빈의 모래 공급이 크게 감소했기 때문이다. 이에 대한 원인은 하천의 토사 공급 차단과 해사 채취로 인한 사빈지역의 모래량 부족, 항만시설이나 돌제, 도류제, 잠제 등의 해안 구조물 설치로 인한 모래 이동의 방해, 과도한 방풍 시설이나 해안림 조성에 따른 풍속 감소 등 매우 다양한 요인들이 복잡하게 얽혀 있다.

사구의 규모가 축소되거나 사라지면서 해안지역에는 침식 문제가 크게 대두되고 있다. 특히 지구온난화에 결부된 해수면 상승은 자연재해의 위험성을 더 심각하게 만들고 있다. 해수면이 상승하면 사구지대는 육지로 후퇴하면서 함께 상승한다. 하지만 후퇴할 사구도, 사구가 후퇴할 만한 공간도 남아 있지 않다. 수백~수천 년 동안 형성되어 온 해안사구지대를 해안개발과 함께 단 수십 년 만에 파괴해 버린 것은 우리가 얼마나 근시안적인지를 보여준다. 그리고 개발과 이용에 앞서 반드시 자연경관 유지를 전제해야 한다는 사실을 새삼 깨닫게 해준다. 해안의 프로세스는 우리가 단시간 동안 계산할 수 없을 만큼 복잡하며, 작은 환경 변화에도 매우 민감하게 반응하기 때문이다.

1 연안류의 이동을 차단해 퇴적 불균형을 유발하는 도류제. 도류제 왼쪽에 쌓인 모래의 양이 오른쪽에 비해 훨씬 많다. 이곳 퇴적물은 사진 왼쪽에서 오른쪽으로 이동하는데, 이 시설에 의해 방해받고 있다. 도류제나 돌제 등 해안선에 수직으로 뻗은 인공시설물들은 퇴적물의 정상적인 이동을 방해해 퇴적과 침식에 불균형을 초래한다.

2 항만시설도 모래의 이동을 차단한다. 사진 왼쪽에 모래가 쌓인 것이 잘 나타나 있다.



3

3 잘못된 식재. 사구식물은 염분에 내성이 있고 모래의 매물에도 잘 살아나며, 풍속을 감소시켜 사구의 성장을 돕는다. 이들의 키는 1m를 넘지 않는다. 하지만 곰솔림 같은 교목림은 바람을 차단해 모래가 사빈에서 사구로 이동하지 못하게 한다. 또한 태풍과 같은 바람에 잘 넘어지기도 한다. 염해에도 약해 바닷물의 침입 시 잘 죽는다. 해안사구에서 식물의 식재는 사구 고유종을 지형에 맞게 심어야 한다. 사진은 사구전면부까지 식재된 어린 곰솔들로 염해에 의해 잎이 붉게 변했다는 것을 알 수 있다.

4 해안에 뻗뻗하게 심은 곰솔림. 곰솔림은 바람과 모래와 염분을 차단해 해안지역 거주민의 편의를 도울 수 있지만, 해안으로 과도하게 전진하면 해안선의 후퇴와 사구지대의 쇠퇴 등 부작용을 일으킬 수 있다.

5 양빈으로 겨우 유지되고 있는 사빈 해안. 사빈이 넓어 해수욕장으로 이용하던 지역이 해안 구조물이 설치되면서 침식 받아 모래가 유실되고 있다. 사빈을 유지하기 위해 사진과 같이 정기적으로 양빈한다.



유럽의 사구관리

서유럽의 여러 나라들은 사구 관리에 있어서 우리가 본받을 만한 선진국입니다. 특히 네덜란드는 사구 관리 역사가 매우 오래된 나라로 사구를 관리하거나 연구하는 사람이라면 꼭 한번 가볼 만한 곳입니다.



네덜란드는 육지의 대부분이 해수면보다 낮아 해안지역의 보호에 많은 투자를 기울여온 나라다. 특히, 해안사구에 대한 보전의식과 관리 역사가 오래되어 본받을 점이 많다. 네덜란드 북부 프리지아제도 Frisian island에 속한 텍셀의 서쪽 해안에는 4,657 ha에 이르는 해안사구가 있다.

이곳은 2002년에 IUCN 보호지역 카테고리 II¹로 지정되었다. 관람객을 위한 시설로는 에코메어 Ecomare라는 방문자센터와 탐방로, 캠핑장 등이 있는데, 방문자센터의 지붕은 풀로 덮여 있어서 쉽게 눈에 띄지 않는다. 탐방로를 따라 사구를 관람할 수 있는데, 사구 내부로 들어갈 수 없도록 철조망을 쳐 놓았다. 또한 야생동물의 서식공간 보호를 위해, 자연 재료인 잔디를 층으로 쌓아 흑벽을 만든 것도 인상적이다.

식생은 비치그래스 beach grass, *Ammophila arenaria* 등 초본이 대부분이고, 부분적으로 이끼로 덮인 지역도 있다. 목본은 전사구 후면부터 나타나는데 초본보다 면적이 적으며, 사철나무 *Euonymus sp.*, 버드나무 *Salix sp.*, 비타민나무 sea-buckthorn, *Hippophae rhamnoides* 등이 분포한다². 사구와 사구 주변에서는 토끼나 꿩, 오리류, 갈매기류, 검은머리물떼새 등을 쉽게 관찰할 수 있으며, 우리나라 사구에서도 흔히 나타나는 곤충인 길앞잡이도 보인다.

- 1) 국립공원에 해당하며, 국가적이나 국제적으로 볼 때, 과학이나 교육적 측면의 중요성이 있는 지역을 보호하고, 종, 유전자원, 생물군집, 자연지형의 대표적 사례 등을 자연상태로 영구히 보전하는 것이 목적이다. 국가의 최고기관이나 지방정부 등에 의해 관리된다.
- 2) 이 책에서는 독자의 이해를 돕기 위해 속명을 이용해 국명을 표기했다. *Euonymus*는 사철나무, *Salix*는 버드나무의 속명이다. 현재 남-케네밀리트 국립공원에서는 사구 지대의 사철나무가 소에 의한 줄기피해로 쇠퇴하고 있어 이에 대한 연구를 하고 있다. 우리나라에서는 사철나무, 줄사철나무가 배후사구에 분포한다.

이 사구는 교통이 편리하고 탐방로가 잘 갖춰져 탐방객이 접근하기 쉽다. 탐방로는 황, 청, 적, 녹색 등 네 가지 색으로 이루어진 표시가 있으며, 황색은 해변으로 가는 길을, 청색은 사구를 한바퀴 도는 순환로를, 적색은 자연통로를, 녹색은 조류 번식기에는 개방되지 않는 길을 의미한다. 녹색 탐방로는 보통 3월 1일부터 8월 16일까지(또는 9월 1일까지) 통제된다. 방문자센터에서 전문가를 초청해 일반인에게 사구에 대한 교육을 지속적으로 하고 있는 것은 아직까지 제대로 된 사구방문자센터가 없는 우리나라에 좋은 선례가 될 것이다. 하지만 사구 내부를 볼 수 있도록 사구 마루를 따라 보도블럭을 설치한 것은 사구의 성장을 저해하는 요인이 될 것이며, 관광객을 확보하기 위해 전사구 후면의 일부를 오토캠핑장으로 사용하는 것 역시 타산지석으로 삼아야 될 부분이다. 하지만 같은 상황이라면 우리나라에서는 전사구 전면에 오토캠핑장을 설치할 거라고 생각하니 그나마 다행이라는 생각이 든다.



1 사구 관리 사례조사 지점

2 녹색 선은 텍셀 국립공원의 경계를 나타낸다. 이 경계 안에는 사구, 사주, 숲, 염습지 등 다양한 경관을 볼 수 있다. 슬러프터(Slufte), 무이(Muy), 덴호른(Den Hoom), 드 쿡(De Koog) 등으로 구성되어 있다 (그림 출처: www.npduinenvantexel.nl).





1 텍셀 국립공원 내에 위치하는 에코메어(Ecomare)는 바덴 해(Wadden sea), 북해(North sea)와 관련된 자연을 보전 및 복원하기 위해 만들어진 곳으로, 자연사 박물관, 수족관, 방문자센터가 포함되어 있다. 방문자들을 위해 매일 다양한 가이드 투어가 이루어진다.

2 사람들의 출입을 통제하는 철조망. 정해진 탐방로 이외의 지역은 사진과 같은 철조망으로 둘러싸여 일반인의 출입이 통제된다.

3 사빈과 사구 사이에 고정시설물이 없어 상호작용이 활발하고 자연스러운 해안선을 간직하고 있다. 사진 가운데 부

분에 식물 잔가지를 이용한 포집기가 전사구 전면에 노출되어 있다.

4 텍셀 국립공원에서 만난 길앞잡이. 길앞잡이는 우리나라 사구에서도 흔하게 나타나는 종이다.

5 정해진 탐방로를 통해서 사구를 관람할 수 있다.

6 전사구 마루에 보도블럭으로 만든 탐방로. 일부 구간에는 사진과 같은 분홍색 보도블럭이 깔려 있는데, 답압을 방지할 목적으로 설치한 것 같다. 하지만 이런 시설은 모래의 움직임을 방해할 수 있다.



1



6



7



2



3



4



5

1 사구 배후지대에 형성된 오토캠핑장. 전사구와 배후사구의 사이에 형성된 슬랙지대에 주차장과 오토캠핑장이 보인다. 대부분의 사구지대가 잘 보전되어 있고 일부 지역에는 사진과 같은 탐방 편의시설이 설치되어 있다.

2~3 비치그래스는 벼과에 속하는 다년생식물로, 약 1.2 m 이며, 줄기는 곧게 뻗는다. 잎은 두껍고 흰색 왁스로 덮여 있어 염분에 잘 견딘다. 유럽과 북아프리카의 해안에 전형적으로 분포하는데 해안사구의 우점종으로 모래를 잡아 사구를 성장시키는 역할을 한다. 지하경으로 번식하는데 하나의 모듬(clump)은 연간 100개의 싹(shoot)을 낼 수 있다. 안정된 사구뿐만 아니라 이동하거나 성장하는 사구에도 적응했다.

4 슬랙지대의 버드나무(*Salix* sp.). 버드나무는 냇가나 호수, 습지 등 물이 있는 곳에 주로 산다. 우리나라에는 갯버들, 선버들, 분버들 등이 있으며, 신두리사구의 사구저지에는 키버들과 갯버들이 살고 있다.

5 비타민나무는 보리수나무과에 속하는 낙엽 관목으로, 6 m 정도로 자라며, 덩굴을 형성한다. 잎은 은빛이 나는 녹색이며, 길이 3~8 cm, 너비 7 mm 미만이다. 가지에 가시가 있으며, 암수 그루가 다르다. 열매는 둥글고 밝은 주황색이다. 유럽과 중앙아시아의 넓은 지역에 자생하며, 해안 절벽과 모래의 이동이 적은 고정된 사구에 분포한다. 척박한 토양에서도 생육이 가능하고 질소고정능력이 있어 토양 유실 방지와 토양 개간 목적으로도 활용되고 있다. 햇빛이 잘 비치는 곳을 좋아해 큰 나무 근처의 그늘에서는 자라지 않는다.

6 텍셀에서 만난 토끼. 한때는 토끼나 가축이 풀을 뜯는 것이 사구에 좋지 않다고 생각한 적도 있었다. 하지만 최근에는 동물들의 풀 뜯기가 해안사구의 식물 구조를 유지해 사구 발달에 도움을 준다는 연구결과들이 많다. 토끼들은 교목이나 관목의 발아를 억제해 사구 식생의 높이가 낮게 유지되도록 한다. 또한 이들이 만든 땅굴은 취식와지의 형성을 촉진시키는 역할을 한다.

7 텍셀에서 만난 꿩. 이곳의 꿩도 '꿩, 꿩'하고 운다.

네덜란드 남-케네밀런트 국립공원 Zuid-Kennemerland national park

네덜란드 중부해안에 위치한 이유무이텐 Ijmuiden과 잔트보르트 Zandvoort 사이에 걸쳐 있는 3,800 ha의 사구지대로 1995년에 국립공원이 되었다. 이곳은 네덜란드 자연보전협회, 지방정부, 수자원공사가 공동으로 관리하며, 일부는 지자체와 개인이 소유하고 있다. 방문자센터는 2층 건물에 각종 안내 책자와 디오라마 등을 갖추고 있다. 넓은 사구지대를 다양하게 관람할 수 있도록 탐방코스 네 개를 설치해 놓았으며 자전거, 말, 도보로 사구를 탐방할 수 있다. 이들 코스는 대부분 곡선이지만 소요시간이 서로 달랐는데, 탐방로에 청색, 녹색, 황색, 적색으로 표시해 쉽게 인지할 수 있다. 이 사구지대는 전사구, 습윤슬랙, 건조슬랙, 관목지대, 소나무 숲, 사구호 등 다양한 경관이 어우러져 있으며 전사구지대는 철조망을 쳐 출입을 금지한다. 그러나 배후사구지대의 출입은 상당히 자유로우며, 해빈과 사구호 주변에서는 일광욕을 즐기는 많은 관광객을 볼 수 있다.

식생은 비치그래스, 둥근인가목 *burnet rose, Rosa pimpinellifolia*, 사철나무 *Euonymus sp.*, 팍총나무 *elderberry*, 산딸기 *Rubus sp.* 등이 분포하며, 이끼로 덮인 곳도 있다. 곳곳에 형성된 습지와 사구호에는 다양한 새들이 서식하며, 이런 곳에는 탐조대가 설치되어 새들을 방해하지 않게 한다. 여기 저기에서 풀 뜯는 들소들도 쉽게 볼 수 있다. 이렇게 생물종이 다양하게 나타나는 것은 슬랙이 습윤해진 탓인데, 2003년을 끝으로 더 이상 지하수를 채취하지 않기 때문이다.

사구지대의 복원 노력은 이에 그치지 않는다. 이 사구지대의 관리 주체들은 전사구 마루의 일부를 터서 취식와지를 만들고 이를 통해 사구 후면부에 모래를 공급하려는 시도도 했다. 이는 사구 고정화를 막고 유동성을 증진시켜 사구의 전형적인 경관을 유지하려는 목적이다. 모래의 이동은 표층에 석회 성분을 증가시켜 초기사구의 성장을 도와 사구성 동식물의 정착을 유도한다. 그러나 식물체에 의해 두껍게 피복된 사구는

1 **녹색** 신은 남-케네릴란트 국립공원의 경계를 나타낸다. 사구지대를 색으로 표현한 그림에서 흰색은 모래, 녹색은 숲, 하늘색은 물이 있는 곳을 나타내며, 빨간색은 자전거도로다. 자전거와 도보로 사구의 여러 경관을 모두 둘러볼 수 있다(그림 출처 www.np.zuidkennemerland.nl).

2 방문자센터(De Zandwaaijer)는 오버빈(Overveen)에 위치한다. 사구와 관련된 각종 서적과 기념품 등을 팔며, 방문자를 대상으로 교육도 한다.

3 방문자센터 지하에 있는 디오라마. 사구
내의 습지, 해변 등 다양한 지형의 디오라
마를 전시해 놓았다.



점점 산성화되는 한편, 내륙의 식물들이 사구성 식물을 대체하므로 결국 사구 특성을 잃어버리게 된다. 또한, 사구에 어울리지 않는 식물에 대한 관리도 병행하고 있다. 생장이 빠른 교목이 침입하지 못하게 하고, 소나무류 Corsican pine과 Austrian pine가 퍼져 나가지 못하도록 관리한다. 소나무류는 주로 20세기 초에 식재된 것들인데, 이들에 의해 사구성식물의 발아가 제한되어 관리대상이 되었다. 오래된 소나무림은 보호하지만, 여기서 퍼져나간 어린나무들은 인위적으로 제거한다. 초본식물 식재도 1970년대는 활발했으나 지금은 식생과밀화로 폐기된 정책이다.

해빈과 전사구의 상호작용을 유지하기 위한 노력도 대단하다. 해빈에는 관광객의 발길을 허용하지만 전사구 출입은 철조망을 두를 정도로 통제한다. 해빈 지역은 관광 시즌 중 목재 가건물이 허가되지만, 석재 반입은 법으로 금지되어 석축을 쌓는 일이 불가능하다. 이에 따라 상인들은 해마다 임시방편으로 나뭇가지나 풀도 모래 퇴적을 유도하는 울타리를 만든다.



1 사구지대에 난 길을 걷고 있는 탐방객들. 사구와 슬랙이 반복되는 탐방로에서는 다양한 사구경관을 감상할 수 있다. 언덕 위를 초록색으로 덮고 있는 교목은 소나무의 일종이다.

2 탐방로 표지판. 탐방로별로 거리와 볼거리가 다르게 펼쳐진다. 사람, 자전거, 말이 다닐 수 있는 길이 구분되어 있다.

3 녹색, 황색, 청색 탐방로가 모두 지나가는 곳이다.

4 넓게 펼쳐진 슬랙지대. 곳곳에 물이 고여 있는 부분이 보인다.

5 케네밀리트 사구지대의 사구호. 넓게 펼쳐진 사구호는 동식물뿐만 아니라 인간에게도 여유로운 휴식처를 제공한다. 경관을 감상하는 사람들, 모래놀이를 하는 아이들, 일광욕을 즐기는 사람들이 보인다.

6 인위적으로 블로우아웃(Blow-out)을 유도한 지역. 사구의 생태적 건전성과 경관의 다양성을 유지하기 위해서는 사빈의 모래가 내륙으로 이동해야 한다. 하지만 이 지역은 높이 성장한 사구와 뾰족한 식생에 의해 풍속이 감소해 예전에 비해 모래 이동이 둔화되었다고 한다. 바람길을 터주기 위해 전사구열에 인공적인 취식와지를 만들었다.

7 전사구 앞에 침식-퇴적을 측정하는 기준목을 세워 지형의 변화를 관찰하고 있다. 네덜란드는 전 해안에 이런 기준목이 있으며, 관측을 시작한 지 벌써 45년이 넘었다.

8 해수욕 시즌에 임시로 만든 침식 방지 시설. 해변에 석재를 사용하는 것이 금지되어 있어 해마다 상인들은 마른 식물로 사진과 같이 모래를 고정시킨다고 한다. 뿌리가 없는 식물체들이지만 마치 사구식물을 식재하듯 정성을 들였다.



벨기에 베스트후크 De Westhoek

베스트후크 사구지대는 프랑스의 퉁케르크 Dunkerque와 벨기에 니우포르트 Nieuwpoort 사이에 분포하는 사구 중에 하나로, 벨기에 드판느 De panne에 위치하며, 면적은 340 ha에 달한다. 이곳은 1935년부터 보호되기 시작해 1957년에 국가에서 지정한 자연보호구역 state nature reserve이 되었으며, 현재 유럽보호지역 네트워크 NATURA 2000의 자연보호구역에 등재되어 있다. 하지만 1970년대 이후 사구지대에서 식수를 채취하면서 가물기 시작했으며, 이로 인해 희귀 동식물 일부가 현재 심각한 위협을 받고 있다. 그 후로 초지와 습윤슬랙에 관리의 초점이 맞추어졌다. 또한 사구 방문자들에게 동식물 보호를 위한 규정을 안내하고 있다.

베스트후크사구는 전사구, 슬랙, 활동성사구, 배후사구로 구성되어 있으며, 대부분 지역이 슬랙에 해당한다. 슬랙은 북슬랙 Northern dune slack과 남슬랙 Southern dune slack이 있고, 이 두 슬랙 사이에 활동성사구 Roman plain가 위치한다. 이 활동성사구는 1년에 5~10 m 후면으로 이동하고, 최대 23 m까지 성장한다고 한다.

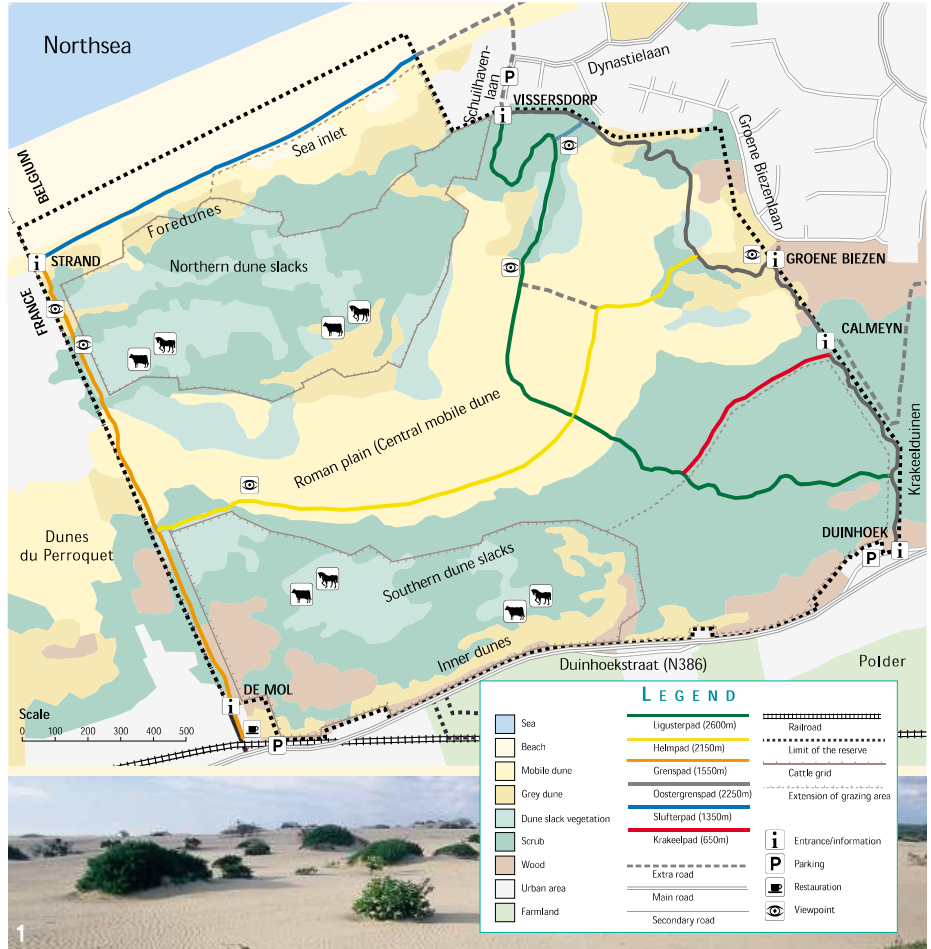
활동성사구에는 비치그래스, 슬랙에는 관목이 분포하며, 방풍림은 없는 것이 특징이다. 동물은 토끼, 여우 등 포유류와 다양한 곤충이 서식하며, 토끼는 관목과 목본의 발달을 조절하는 역할을 한다.

전사구에는 사구 내부로 접근하는 것을 막기 위해 자연적인 펜스가 설치되어 있고, 모래의 침식을 막기 위해 콘크리트 인공구조물도 설치했다. 유럽지역의 해안보전계획 CCI-Life nature project에 의해 관리되고 있으며, 사구 내부 진입을 금하고 식물을 재료로 해 포집기를 가로, 세로로 설치한 것은 우리나라에서도 참고할 수 있을 것으로 생각된다. 하지만 사구 바로 뒤쪽에 주거지가 위치한 곳도 있고 위락시설이 들어서면서 개발된 지역도 있어, 침식 문제가 증가하고 있다.

1 베스트후크사구의 안내도. 검은색 점선으로 둘러싸인 지역이 보호지역이다. 사구지대는 활동사구, 고정사구, 슬랙 등으로 구분된다. 슬랙지대에는 말과 소가 살고 있다. 눈 모양 표시는 광활한 사구지대를 감상할 수 있는 조망점이다. 탐방객은 녹색, 황색, 주황색, 회색, 청색, 적색으로 표시된 탐방로를 따라 사구를 둘러볼 수 있다 (그림출처: www.vbncdenachtegaal.be)

2 사구 보호를 위해 설치한 철조망. 사빈을 따라 걷는 것은 허용되지만 사구지대의 출입은 엄격히 제한된다.

3 '비치그래스를 밟는 것을 금지한다.'는 표지판. 영어를 포함한 4개 국어로 관광객들에게 사구 위를 오르지 못하도록 안내하고 있다.





1
2



3

1 관목 울타리를 이용한 모래포집. 전사구 전면 부에 관목가지를 격자 형태로 배열해 모래 퇴적을 유도하고 있다. 울타리 주변에 모래가 쌓였지만, 사람들이 이리저리 밟고 지나간 흔적이 보여 아쉽다.

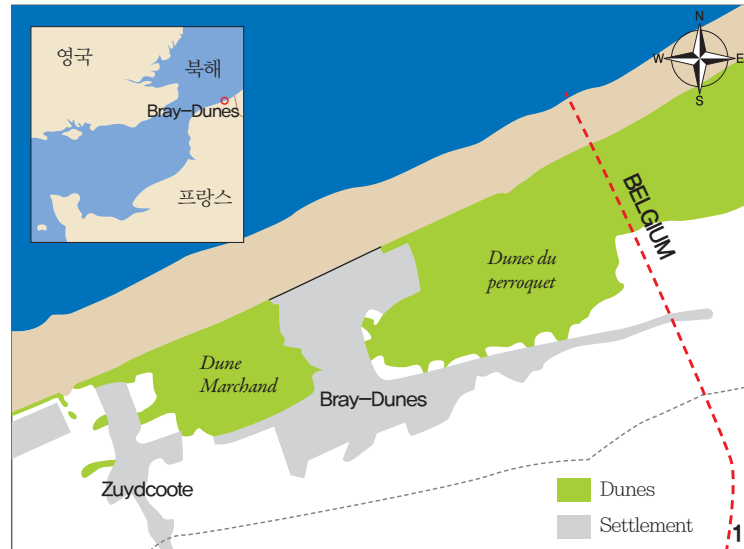
2 건물과 도로건설 등 해안가 개발로 사구지대가 줄어들고 있다.

3 전사구 뒤로 고층건물이 들어서 있는 광경. 해안을 끼고 개발된 도시인 드판느(De Panne)는 이 지역의 인구밀집지역이며, 휴양도시다. 일부 해안은 지나친 개발로 사구대신 인공방파제를 설치했으나, 사구 육성에도 노력하고 있다. 자연방파제로서의 사구 기능을 잘 알고 있기 때문에 사구 출입을 통제하고 퇴적을 유도하고 있다.



프랑스 삐호케사구 Dunes du Perroquet

프랑스 해안에도 네덜란드, 벨기에와 비슷한 형태의 해안사구지대가 발달해 있다. 프랑스와 벨기에의 접경지역에 위치한 도시인 브헤둔느 Bray-dunes에는 삐호케사구지대가 보호지역으로 지정되어 있다. 삐호케 Perroquet 라는 말은 사구지대가 앵무새를 닮았다는 데서 유래했다고 한다. 이 사구의 면적은 174 ha에 이르



1 삐호케사구와 막송사구의 위치도, 녹색이 사구지대, 회색은 도시를 나타낸다. 검은선은 제방을 의미하며 삐호케사구에서 브헤둔느까지 약 1 km 이상 설치되어 있다.

2 자연보호구역을 알리는 표지판. 사진 왼쪽에 말을 타고 출입할 수 없다는 표지도 있다.

3 넓게 드러난 사빈과 전사구가 이루는 풍경이 여유롭다. 전사구의 전면부와 마루 부분에는 비치그래스와 모래만이 펼쳐져 있다.

며, 북동쪽으로 가면 벨기에 드판느의 베스트후크사구지대와 연결된다. 이곳은 인근의 막송 Marchand 사구와 함께 IUCN의 자연보호지역 카테고리 IV³으로 지정·관리되고 있다. 사구지대 뒤쪽에 위치한 마을에 방문자센터가 있으며, 곳곳에 자연보호구역을 알리는 표지판이 설치되어 있다.

사구에는 비치그래스를 비롯한 350여 종의 식물이 분포하고, 나이팅게일 Nightingale과 청딱다구리 Green Woodpecker 등 70여 종의 조류가 번식하며, 내터잭 Natterjack이라는 모래에 사는 두꺼비 등 희귀동물이 서식한다. 또한 사구지대 동쪽에는 거대한 포물선사구가 있으며, 서유럽의 3대 활동성사구의 하나라고 한다. 전사구지대의 식생은 비치그래스가 우점하는데, 전면부에 사구식물을 식재하기도 한다. 식재된 지역은 반원형 배열이었으며, 이는 기존에 분포하고 있던 사구식생의 모양을 반영한 것으로 보인다. 이런 방법은 우리나라 사구 복원에 참고가 될 것이다. 해풍이 강한 사구 전면부와는 달리 사구 후면부는 바람이 거의 불지 않는다. 이에 따라 식생이 달라지며, 주로 가시가 많은 관목이 나타난다. 하지만 우리나라의 곰솔림과 같은 교목림은 전사구에서는 나타나지 않는다.

이 사구지대에는 해안을 따라 여기저기에 전쟁 유적이 남아 있다. 프랑스와 독일의 1870년 전쟁 이후에 설치된 해안 진지들과 제2차 세계대전의 잔해들이다. 콘크리트 구조물이 방치된 느낌을 주어 시각적으로는 좋지 않을 수도 있지만, 전쟁에 대한 교훈과 역사라는 의미가 있다. 이에 대한 내용은 안내판에 사진과 함께 묘사되어 있다. 전사구 전면과 사빈은 하이킹과 산책, 일광욕 등을 즐기는 사람들이 이용한다. 삐호케사구는 브헤둔느를 바다로부터 지키면서, 한편으로는 자연과 사람에게 여유로운 휴식처를 제공하고 있다.

3) 종 및 서식지 관리지역(Habitat Species management area). 종이나 개체군의 서식처를 확보·유지하면서 공공교육과 이해를 촉진하려는 목적이 있다. 국가정부나 지방정부 등에 의해 관리된다.



1 이 해안에는 곳곳에 사진과 같은 전쟁 유적이 있다. 사진은 1870년 전쟁 후 만든 방어체계로 사구를 이용해 만든 해안 진지다. 빼호케해 안에는 곳곳에 제2차 세계대전의 잔해들이 남아 있어 과거 불행했던 역사를 떠오르게 한다.

2 식재된 비치그래스. 모래의 퇴적을 유도하기 위해 전사구 하부에 비치그래스를 식재한 곳이 눈길을 끈다. 식재 지역에는 사진과 같이 보호지역을 알리는 안내판을 설치해 출입을 통제한다.

3 해안 보호 포스터



프랑스 막송사구 Dune Marchand

이 사구는 프랑스 브헤둔느와 지퀴트Zuydcoote에 위치하며, 브헤둔느를 경계로 빼호케사구와 나누어져 있다. 규모는 107 ha로 이 중 83 ha가 IUCN 자연보호구역카테고리 IV으로 관리되고 있으며, 또한 유럽이사회에 의해 유전자보호구역biogenetic reserve으로 지정될 정도로 지속적인 관심을 받는 곳이다.

사빈과 전사구 사이에 장애물이 없어 사빈-사구의 상호작용이 활발하다. 또한 식생이 피복되지 않은 취식와지가 곳곳에 있어 배후로 모래를 공급해 주고 바람길을 터 주어 사구를 성장시키는 역할을 한다. 사구에는 내터재크와 영원newt 등 양서류가 서식하고 있으며, 모래의 침식을 막아주는 비치그래스, 덩불을 형성하는 비타민나무 등을 포함해 약 400종의 식물이 분포한다. 사구를 지키기 위해 갯벌과 전사구에 있는 쓰레기를 치우고, 초기사구에 잔가지로 만든 포집기를 설치해 사구의 성장을 돕고 있다. 1950년대 이후로 고정사구에 토끼 개체군이 감소해 비타민나무와 같은 덩불 면적이 증가했는데 이를 제거하고, 말과 양을 방목해 초지로 복원한 사례도 있다. 그러나 사구 근처 해변에 콘크리트 제방을 쌓고 레크리에이션 장소로 활용되고 있는 것으로 보아 사구의 일부는 보호하고 일부는 개발하는 것으로 타협점을 찾은 것 같다.

브헤둔느에 방문자센터가 있어 관광객에게 여러 가지 편의를 제공하며, 사구 안내 책자가 비치되어 있다.



1 프랑스 브헤둔느에 위치한 방문자센터. 관광객에게 여러 가지 편의를 제공하고 있으며, 사구 안내 책자를 비치하고 있다. 네덜란드 텍셀 국립공원의 예코메어나 남-케네밀렌트 국립공원의 방문자센터에 비해 규모가 작다.

2 사구 안내도. 방문자센터에 붙어 있는 안내판으로 왼쪽(28번 구역)이 막송사구, 오른쪽(26번 구역)이 빼호케사구다. 관람시설, 조망점, 탐방로, 캠핑장소 등에 대한 정보가 표시되어 있다.



3 사빈과 전사구. 하얀 모래로 이루어진 넓은 사빈과 비치그래스로 덮인 전사구가 자연스럽게 이어져 있다. 해안선을 따라 산책하는 사람들이 보인다.

4 자연보호구역을 알리는 표지판. 야영, 불사용, 쓰레기투척, 자전거통행, 사냥, 애완동물 출입 등이 금지된다는 것을 알 수 있다.

5 배후사구지대의 전경. 비치그래스로 이루어진 초지와 모래가 드러난 취식와지가 전체적인 경관을 주도하고 있다. 배후사구지대 식생은 초본과 관목만으로 구성되었으며, 멀리 교목림이 이루는 스카이라인이 들어온다.

6 제2차 세계대전에 관한 안내판. 1940년 독일의 침공에 맞서 프랑스, 영국, 벨기에 연합군이 대항했으며, 영국군 198,000명, 프랑스군 123,000명, 벨기에군 16,000명이 희생되었다. 현재도 설날 때가 되면 침몰된 난파선들이 보인다고 한다.



사구 보호

해수면 상승에 대비하고 아름다운 경관과 독특한 생태계를 보전하기 위해서는 적극적으로 해안사구를 보호해야 합니다. 사구보호를 위한 여러 가지 방안들을 소개합니다.

사구 퇴적 활성화

사구의 퇴적을 활성화시키는 기법으로는 모래포집기(sand fence) 설치, 사구식물 식재, 그리고 두 가지를 결합하는 방법이 있다.

모래포집기는 계절에 상관없이 설치할 수 있으며, 일단 설치하면 모래를 퇴적시키는 효과가 즉시 나타나는 것이 장점이다. 다양한 형태의 모래포집기가 있지만, 이들은 모두 울타리 전후에서 바람이 감소하는 원리를 이용하는 공통점이 있다. 이때 모래의 포집량은 울타리의 높이, 공극, 바람이 지나가는 통로의 모양이나 크기, 풍속 등에 따라 달라진다. 특히 모래포집기의 공극이 포집효율을 좌우하며, 36~40%가 가장 높은 효과가 있는 것으로 알려져 있다. 또한 모래포집기를 여러 겹으로 설치하면 퇴적 유도효과가 증가된다. 텍사스주의 경우에는 울타리 높이를 약 60 cm, 울타리에 사용되는 나무길이는 약 2 m, 기둥의 직경은 최소 7.5 cm 이상인 것을 사용하도록 권하고 있다. 포집기의 형태나 배열도 중요하다. 일자형 울타리 보다는 격자^井형태의 배열이 더 효과적이다. 태안해안국립공원에서는 여러 가지 형태를 시험해 본 후, 대나무 재질 울타리를 지그재그형태로 배열하도록 했다.

모래포집기를 설치하기 위해서는 모래를 이동시키는 바람의 방향을 알아야 한다. 보통 포집기는 탁월풍의 방향에 수직으로 설치한다. 하지만 바람의 변화가 심하거나 전사구 능선에 평행하게 바람이 부는 곳에서는 발톱 모양처럼 해안선에 돌출하도록 설치하는 것이 효과적이다. 모래의 공급이 활발한 지역에서는 모래포집기가 설치되면 금방 효과를 나타낸다. 따라서 포집이 진행되면 높이에 맞추어 계속해서 모래포집기를 설치해야 한다. 모래 공급이 활발한 곳이라면 1.2 m 높이의 모래포집기는 대체로 1년 이내에 묻힌다.

사구의 퇴적을 활성화시키는 다른 방법은 사구식물을 식재하는 것



1 기지포사구(충남 태안군). 국립공원에 속한 해안사구로 모래포집기를 설치해 성공한 사례로 꼽힌다. 사진 왼쪽 부분에 탐방로가 묻힌 장면이 보이는데 포집기를 설치해 모래가 쌓였기 때문이다. 탐방객을 위해 안내소, 안내판, 탐방로 등의 시설을 갖추고 있다.

2 퇴적 활성화와 사구 안정을 목적으로 한 식물식재

3 전사구에서 사빈으로 나가도록 설치한 목재 데크가 쌓인 모래에 묻혔다.



이다. 사구식물은 사구의 퇴적을 유도할 뿐만 아니라, 모래의 유실을 방지해 표면을 안정화시키는 효과도 있기 때문이다. 이때 식재되는 사구식물은 그 지역의 고유종이어야 한다. 외래종을 도입할 경우, 자칫 생태계교란 문제를 일으킬 수도 있다. 유럽에서는 일반적으로 전사구지대에서 잘 자라는 벼과 식물인 비치그래스나 시라임 *Sea lyme*을 식재해 왔다. 이들은 염분에 내성이 있으며, 매년 10~30 cm의 모래에 덮여도 자라기 때문이다. 이들 식물에 대응하는 생태적 지위를 갖는 우리나라의 사구식물은 갯그령이다. 식재할 지역과 식재할 종을 선택하고 나면 이식할 식물들을 채취한다. 이때 모래 침식에 견디며 건강한 개체를 밀집된 곳에서 채취하는 것이 좋다. 삽으로 식물체를 파낼 때는 이식에 필요한 작은 싹뿌리들을 손상시키지 않아야 한다. 좁은 지역과 경사진 곳에서는 이식할 지점에 구멍을 뚫어 식물을 식재하고 고정시킨다. 성공적인 식재를 위해서는 비가 내린 후에 이식하거나 수분을 공급한 후에 식재하는 것이 좋으며, 가물 경우에는 계속 물을 공급해야 한다. 또한 바람에 의한 침식을 막고 건조되지 않도록 식재된 식물을 자연재료로 덮어 두는 것도 좋다.

하지만 사구식물의 식재가 항상 좋은 것만은 아니다. 사구라는 지형은 본질적으로 역동적이기 때문에 식물 식재 전에는 항상 지형적인 관점에서 모래의 이동과 사구 발달단계를 적절하게 평가하는 작업이 선행되어야 한다. 해안사구 관리에 있어서 가장 선진국이라 할 수 있는 네덜란드에서는 현재 사구식물을 인위적으로 식재하지 않는다. 식물 피복이 증가하면서 사구 모래가 고정되고 역동성이 떨어지는 부작용이 나타나기 때문이다. 또한 교목 식재는 가급적 피해야 한다. 빛을 차단하는 등 사구식물의 성장을 방해하는 한편, 풍속을 감소시켜 모래의 이동을 억제하기 때문이다. 일본의 경우, 해안 보호를 위해 심은 곰솔림으로 인해 해안 침식이 더 크게 발생했다는 연구가 있으며, 우리나라에서도 같은 사례들이 최근 발견되고 있다.

기지포사구의 모래포집 효과

태안해안국립공원에 속한 기지포사구

는 모래포집기의 설치 효과를 확인하기에 좋은 곳이다. 안면도의 서쪽에 있는 기지포 해안사구는 안면대교에서 남쪽으로 약 4 km 떨어져 있으며, 길이 1 km, 폭 250 m의 규모로 북쪽의 삼봉사구와 인접해 있다. 이 사구에 대한 생태계 정밀조사는 국립환경과학원에 의해 2005년에 삼봉사구와 함께 실시되었다. 조사결과, 멸종위기II급 종인 표범장지뱀과 각종 사구성 동·식물이 관찰되었다.

‘기지機池’라는 이름은 ‘베를 모양의 연못’을 가리키는 것으로 옛날에 삼봉-기지포 해수욕장 후면에 베를 모양의 호수가 있었다는 데서 유래한다. 실제로 1910년대에 발행된 지형도에는 삼봉해수욕장 뒤쪽에 석호 lagoon가 있는 것으로 표시되어 있으며, 일부는 염전으로 사용되었다는 것을 알 수 있다. 국립공원관리공단에서 항공사진과 위성영상을 분석한 자료에 의하면 기지포사구는 1960년대 후반까지는 초본 식생이 있거나 나지로 드러났다가 1970년대부터 대규모 방풍림이 조성되어 현재의 모

1 포집기가 모래에 묻혀, 간신히 윗부분만 드러나 있다. 쌓인 모래 위로 갯그령이 돋아나고 갯메꽃 줄기가 뻗어나가고 있다 (2008년 6월).

2 모래가 계속 쌓여, 포집기가 전혀 보이지 않는다. 새로 형성된 사구 전면부를 따라 갯그령과 모래지치가 경쟁하듯 자리를 잡아 내려가고 있다(2010년 6월).



습으로 경관이 바뀐 것으로 추정된다.

기지포사구는 현재 국립공원관리공단에서 관리하며, 각종 해설 안내판과 목재 데크로 이루어진 해안사구 자연관찰로가 설치되어 있다. 특히 2001년에 설치된 모래포집기에 의해 사구침식 방지 및 복원에 상당히 성공한 곳이다. 모래포집기 설치 효과는 지점에 따라 다르지만, 모니터링 기준목에 대한 조사결과, 약 1년 후 60~80 cm의 모래의 퇴적을 유도한 것으로 나타났다.

모래포집기 설치는 기지포 이외에도 삼봉이나 학ampo에서도 두드러진 효과를 보여준다. 학ampo사구의 경우 계속되는 모래 퇴적으로 목재 데크가 묻혀버렸으며, 삼봉사구의 해안선도 모래포집기 설치 후 상당한 전진을 보인 것으로 나타났다.

해안사구 조성

해안사구는 폭풍해일이 내륙으로 침입하지 못하게 하는 역할을 해 해안지역을 보호한다. 사구 조성은 해안 보호와 자연경관의 심미성 증대라는 두 마리 토끼를 잡을 수 있는 효과적인 경관계획이다. 해안사구 조성 기법은 그 동안 여러 가지 방법이 제시되었지만, 대체로 사구보강과 양빈이라는 두 가지 전략으로 압축된다.

해안사구보강법은 훼손된 지역에 외부 지역의 모래를 반입해 인위적으로 사구를 만드는 방법이다. 이렇게 조성된 모래 언덕에 사구 안정화를 목적으로 사구식물을 식재하고, 여기에 모래포집기를 설치해 바람에 의한 퇴적을 유도해 나간다. 이러한 사구보강법은 자연적인 사구 발달 단계를 생략하기 때문에 매우 빠르게 사구를 조성할 수 있는 장점이 있다. 하지만 자연적으로 형성된 사구에 비해 불안정하고, 식생이 제대로 정착되기 전까지는 작은 폭풍에도 쉽게 침식될 수 있다.

1 모래에 묻힌 안내판(2009년 10월). 기지포사구는 포집기 뒤편에 있던 사구 안내판이 묻혀버릴 정도로 모래의 퇴적이 활발하게 진행되었다.

2 학ampo의 모래포집기(2010년 9월)

3 모래 울타리를 설치한 금일명사십리(완도). 태안해안국립공원의 모래포집기와는 다른 방식의 울타리로 일(一)자형에 가깝다. 모래포집을 위한 것인지 사구지대를 보호하기 위한 것인지 분명하지 않다. 포집기 전후가 다른 지형면에 비해 낮은 것은 와류 때문으로 보인다. 기동 간격이 너무 조밀한 것은 아닌지 살펴 볼 필요가 있다. 모래포집을 위해서는 바람의 특성(방향, 강도, 계절변화 등)과 지형을 고려해서 적절한 형태의 울타리를 설치해야 한다.



사빈이나 수면 아래에 모래를 공급하는 양빈도 사구를 조성하는데 기여한다. 이러한 전략은 자연 상태의 사구 발달단계를 응용한 것으로 모래 공급을 늘리는 전략이라 할 수 있다. 사구는 사빈으로부터 모래를 공급받기 때문에, 사빈에 모래를 인위적으로 두텁게 쌓아 놓으면 사구의 형성이 촉진된다. 그러나 이러한 방법은 사빈을 교란시키는 단점이 있다. 이런 단점을 극복하기 위해 모래를 수면 아래쪽의 전안부^{foreshore}에 공급하기도 한다. 이렇게 하면 모래가 조류와 파랑에 의해 사빈에 공급되어 궁극적으로 해안사구 성장에 기여하게 된다. 하지만 양빈 효과는 단기적이기 때문에 이를 통해 사구를 육성하는 데는 매우 많은 예산이 필요하다. 주기적으로 재양빈을 해야 하기 때문이다.

1 모래 유실 지역의 양빈 장면. 인위적으로 모래를 공급하는 양빈 기법은 사빈 유지를 주목적으로 하지만 사구 조성에도 도움이 된다. 제주도 김녕 해변에서는 해마다 한 차례씩 양빈을 한다. 항만시설을 만들고 해류가 변하면서 겨울철 침식으로 모래가 이동하기 때문이다. 다행히 이동한 모래가 인근 항만시설에 쌓이기 때문에 쉽게 모래를 구할 수 있다고 한다.

2 사진 아래쪽이 모래를 파낸 지역이고 위쪽이 김녕 해변이다. 겨울철에 김녕 해변에서 항구 쪽으로 모래가 쓸려나가서 여름철이 되면 항구에 쌓인 모래를 채취해 김녕 해변에 공급한다.



보호지역의 지정

해안경관을 안정화시키는 가장 좋은 방법은 사빈-사구 상호작용이 활발하게 일어나도록 인위적인 간섭을 억제하는 것이다. 모래 채취, 해안 구조물 건설, 교통로 설치, 잘못된 식재 등 인위적인 간섭은 사구를 훼손시키는 원인이 될 뿐만 아니라 해안지역의 위험성을 높이는 부작용을 지닌다. 따라서 사구해안에서는 이러한 행위들이 금지되어야 한다. 보전지역 지정은 사구의 가치를 증진시키고 훼손행위를 막을 수 있어 사구 보호를 위해 좋은 전략이라 할 수 있다. 또한 사구의 인지도를 높이고 탐방객의 보전의식을 고취시킬 수 있다.

현재 국립공원에 속해 있거나 생태·경관보전지역 등으로 보호받고 있는 해안사구는 약 40곳에 이른다. 사구지대의 면적이 가장 넓은 신두리사구는 문화재보호구역으로 지정되었으며, 기지포사구나 삼봉사구, 우이도사구는 해안형 국립공원으로 보호되고 있다. 소항사구와 하시동·안인사구는 생태적 가치가 우수한 것으로 평가되어 생태·경관보전지역으로 지정되었다. 하지만 사실상 모든 해안사구가 보전되고 보강될 필요성이 있다. 해안지역이 해수면 상승과 해안 침식으로 인해 나날이 그 위험성이 증대되고 있기 때문이다. 특히 해일 위험성이 큰 동해안 지역의 사구는 자연방파제로서 반드시 보전되어야 한다.

1 천연기념물로 지정된 신두리사구(충남 태안군). 해안사구로는 유일한 문화재보호구역으로 2001년에 지정되었으며, 지정면적은 982,953 m²에 이른다. 또한 신두리 해변의 해역은 생태·경관보전지역으로, 사구지대 주변에서 발견된 두응습지는 습지보호지역으로 지정·보호되고 있다.

2 태안해안국립공원의 기지포사구(충남 태안군). 안면도 서쪽에 위치한 해안사구로 잘 관리되는 대표적인 사구다. 모래포집기 설치를 통해 사구 면적이 증가한 곳이기도 하다. 방문자를 위한 안내소와 화장실, 주차장 등의 시설이 있고, 목재로 만든 탐방로를 따라 사구를 둘러볼 수

있으며, 각종 해설판이 탐방객의 이해를 돕는다.

3 다도해해상국립공원의 우이도사구(전남 신안군). 우이도에는 성춘, 돈목, 띠발넘어 3개 지역에 사빈이 형성되어 있으며, 배후에 모두 해안사구가 발달되어 있다. 특히 돈목해안과 성춘해안 사이의 능선에는 높이 100 m에 이르는 산태가 형성되어 경관적 가치가 높다.

4 생태·경관보호지역으로 지정된 소항사구(충남 태안군). 이 사구는 해안사구로는 처음으로 2005년 생태경관보호지역으로 지정되었다. 약 2 km에 이르는 해안선을 따라 5~10 m 높이의 사구열이 발달한 곳이다.



천연기념물 신두리사구

신두리사구는 태안반도 서북부에 위치하며, 해변을 따라 길이 3~4 km, 폭 0.5~1.3 km인 사구지대다. 해안선은 겨울철 북서풍을 받기에 유리한 위치이며, 인접 해역이 모래로 구성되어 간조 시 넓은 사질간석지가 노출되어 사구 형성에 좋은 조건이다.

신두리 해안사구는 문화재청에 의해 2001년 11월에 천연기념물 제431호로 지정되었으며, 해역은 국토해양부에 의해 2002년 10월에 생태·경관보전지역으로 지정되었다. 한편, 해안사구 배후의 ‘두웅습지’는 환경부에 의해 2002년 11월에 습지보호지역으로 지정되었다. 이렇게 여러 가지 보호지역으로 지정된 신두리 사구는 그 동안 언론매체를 통해 많이 알려졌으며, 환경 및 생물·생태, 지리와 관련된 학과 학생들의 필수 답사코스가 되기도 했다. 또한, 다른 지역의 해안사구에 비해 많은 연구가 이루어진 곳이기도 하다.

이 지역은 하나의 경관으로 다루어져야 하는 경관은 함께 관리되어야 한다는 것을 잘 보여준다. 신두리 해안은 두 개의 돌출부 사이에 움푹 들어간 전형적인 포켓비치다. 그러나 보호지역으로 지정된 지역은 북쪽 절반에 그쳤다. 이에 따라 북쪽 지역은 개발이 억제되었지만, 나머지 남쪽 절반은 활발히 개발되었다. 특히 천연기념물이라는 유명세를 얻은 신두리사구를 보러오는 관광객이 늘면서 남쪽 해안가는 더욱 활개를 띠고 개발되었다. 여기서 일어난 개발행위는 숙박시설, 도로 설치, 방파제 건설 등이다. 이들은 두 지역의 경관 격차를 야기했으며, 궁극적으로는 북쪽 지역마저 자연경관 유지를 어렵게 하는 요인이 되고 있다. 다시 말해서, 개발로 인해 남쪽 해안선이 고정됨에 따라 사빈 침식이 유발되고 이는 사빈의 전체적인 면적을 감소시키는 한편 사구면적의 감소에도 영향을 주어, 북쪽의 해안사구지대가 쇠퇴하게 한 것이다.

1 신두리사구는 원래 전 지역에 사구가 분포했으나, 보호지역 지정은 북쪽 절반에 그쳤다. 이에 따라 남쪽에 개발행위가 집중되어 사진과 같은 경관격차를 야기했다. 개발로 인해 남쪽 해안선이 고정됨에 따라 사빈의 침식이 유발되면서 전체 사빈의 면적이 감소해 결과적으로 북쪽의 사구지대도 쇠퇴하고 있다.

2 보호지역으로 지정된 신두리 북쪽에서는 전사구지대, 슬랙, 취식와지, 배후사구지대 등 다양한 경관을 접할 수 있다.

3 보호지역으로 지정되지 않은 신두리 남쪽 해안에 개발이 집중되면서 각종 휴양시설과 숙박업소가 사빈지역까지 전진했다. 호안시설이 설치되어 있지만, 방파제 하부에서 모래가 유실되는 등 침식 문제가 심각해지고 있다.

4 석축을 쌓더라도 침식 문제는 해결되지 않는다.



1



2



3



4

소항사구 생태·경관보전지역

소항사구는 천연기념물로 지정된 신

두리사구 이후에 환경부에서 보전지역으로 지정한 최초의 해안사구라는 점에 큰 의의가 있다. 이 사구는 보령시 웅천읍 독산리와 소항리 해안을 따라 약 2 km에 걸쳐 있으며, 사구 폭은 대략 50~200 m, 언덕의 높이는 5~10 m에 이른다. 생태계 조사 결과, 멸종위기종인 노랑부리백로, 매, 삿, 표범장지뱀이 관찰되었으며, 천연기념물인 황조롱이, 소쩍새 등이 서식하는 것으로 알려졌다. 특히 서해안사구의 대표 동물인 표범장지뱀과 흰물떼새가 흔하게 관찰되었다. 이렇게 보기 드문 생물이 서식할 수 있었던 것은 이 지역이 군시설로 인해 개발이 억제되면서 자연스러운 사구경관이 보전되었기 때문이다. 환경부는 2005년 10월, 소항사구의 보전가치를 인식하고 생태·경관보전지역으로 지정·고시했다.

소항사구 주변의 지형경관은 매우 다채롭다. 사구지대 북쪽에는 해안경관을 바라보기에 적당한 독대섬이 있으며, 모래가 쌓여 형성된 육계사주로 육지와 연결된다. 이 섬 서쪽에는 고만고만한 규모로 섬 두 개가 더 있어 마치 섬 삼형제가 나란히 서 있는 인상을 준다. 독대섬 사이로 지는 석양은 꽃지의 할배·할미 바위에 견줄 만큼 아름답다. 썰물 때 드러나는 갯벌 폭은 수백 미터에 달하며, 갯벌 위로 길쭉한 모래톱이 늘어 서 갈매기와 물떼새를 비롯한 여러 새들의 휴식처가 된다.

소항사구지대의 겨울바람은 매우 강하게 분다. 특히 12월부터 이듬해 3월까지의 평균 풍속은 3 m/s를 넘으며, 사구 전면부는 시시각각 지형이 바뀐다. 이 사구는 연대 측정결과 최소 300년 이전부터 형성되어 온 것으로 나타났다. 사구 앞에 형성된 사질간석지는 썰물 때 대단히 넓은 폭을 드러낸다. 사빈과 해안사구가 모두 잘 보호되고 있기 때문이다. 따라서 큰 파도에 의해 사구가 침식되더라도 다시 바람이 불면 사구에 모래가 쌓여 사구경관이 잘 유지된다. 모래사장과 해안사구가 서로 상호작용하는 것이다.

1 소항사구지대는 바람이 강하고 사질간석지가 넓어 사구 형성에 유리한 조건을 갖추었다. 사진은 썰물 때 드러난 간석지가 밀물에 잠기는 장면이다.

2 사구지대의 앞에 사질간석지가 넓게 펼쳐져 있으며, 공기 중에 드러난 모래가 하얗게 마른 것이 보인다.

3 사구지역의 지형과 식생 변화를 관찰하기 위해 설치해 놓은 고정조사지역

4 고정조사구의 전경과 식생조사 장면



1



2



3



4

하시동·안인사구 생태·경관보전지역

동해안의 해안사구는 모래해안이 잘 발달해 있는 강원도 해안과 경상북도 일부 해안에 나타난다. 그 중 하시동·안인사구는 강릉시 강동면에 위치한 사구지대로 비교적 보전상태가 양호하고 동해안의 사구열 발달과정을 잘 보여주어 2008년에 생태·경관보전지역으로 지정된 곳이다. 이 사구는 낮은 모래언덕 여러 개가 해안선과 나란하게 놓여 있으며, 해변-사구열 **beach-foredune ridge**에 해당한다. 연대 측정 결과 가장 오래된 사구열은 지금으로부터 약 7천 년 전에 형성되었으며, 가장 앞쪽에 있는 사구열도 약 1천 년 전에 형성된 것으로 밝혀졌다. 이를 통해 사구의 형성사와 해안의 변화과정을 알 수 있다.

먼저 빙하기 이후 해수면이 상승하면서 형성된 사주에 의해 하천의 하구가 막히면서 석호가 형성된다. 이것이 사구지대 뒤쪽에 있는 풍호다. 그리고 풍호를 형성시킨 사주 위에 모래가 계속 퇴적되면서 첫 번째 사구가 형성되었으며, 이때가 약 7천 년 전이다. 이후 하천과 해안을 따라 공급된 모래가 계속 퇴적되면서 열 앞에 열이 다시 만들어졌다. 이런 식으로 사구지대가 확장되면서 해안평야로 발달했다. 이러한 발달과정은 동해안 해안평야의 전형적인 발달과정과 일치한다. 따라서 하시동·안인사구는 동해안 해안사구의 형성과정을 설명하는 모델로 평가된다.

이 사구지대에서는 초기철기시대의 유적인 하시동고분과 안인리유적이 발견되었으며, 하부에는 신석기 유적이 확인되었다. 따라서 최소한 수천 년 전부터 선조들이 생활했던 터전이라 볼 수 있다. 사구의 후면은 모래바람을 막기에 좋고 석호는 염분 획득과 고기잡이에 유리했을 것이다. 풍호정이라는 정자를 지을 정도로 경치가 좋았던 경관은 20세기에 들어서 크게 바뀌었다. 화력발전소가 들어서면서 석호를 매립하기 시작한 것이다. 사구지대도 회차리장으로 사용되었다. 강릉 남대천과 군선강 하구에 도류제가 설치되면서 연안류의 이동이 바뀌었고 사구를 가로지

르는 시멘트 도로에 의해 사빈과의 상호작용도 약화되었다. 다행인 것은 생태·경관보전지역으로 지정되면서 훼손이 멈추었고 이 사구의 가치가 재인식되었으며 각종 보호활동이 전개되기 시작한 점이다.

곰솔이 드문드문 심겨진 하시동·안인사구. 사빈의 전진 과정에서 형성되었기 때문에 높낮이가 크지 않다.





1 새목이 단구에서 바라본 사구지대 전경. 초록색곰솔림 지역이 사구지대다.

2 영동화력발전소에서 본 사구지대. 사진 아래쪽이 발전소 시설, 갈색 지역이 매립된 풍호지역, 해안선과 나란한 초록색 띠가 해안사구에 식재된 곰솔림이다.

3 1990년대 초의 안인사구지대(관동대 박물관 제공). 안

인리 유적 발굴 당시의 전경으로 높낮이의 폭이 크지 않은 해빈-사구열의 특징이 잘 나타나 있다.

4 사구지대에서 발굴된 선사시대의 집터. 이 사구지대에서는 초기철기시대의 유적인 하시동고분과 안인리유적이 발견되었으며, 하부에는 신석기 유적이 확인되었다. 따라서 최소한 수천 년 전부터 선조들이 생활했던 터전이라 할 수 있다.



안인리 유적 27호 집자리

사구에 대한 교육

환경을 지키고 자연생태를 보전하고자 노력하는 사람들 중에도 사구에 나무를 심는 사람들이 있다. 모래땅으로 이루어진 사구나 갯그렁으로 덮여 있는 사구가 여러 가지 나무들이 심겨 있는 곳보다 가치가 낮다고 오해한다. 어떤 지자체는 사구를 보전하기 위해 해당화를 가득히 심거나 곰솔림을 조성하기도 한다. 또한 어떤 지역에서는 사구 모래가 쓸려가지 않도록 사구 전면에 방벽을 만들기도 한다. 아직까지 사구를 제대로 이해하지 못하기 때문에 생기는 일이다. 해안 사구에 대한 인식은 사구 모래를 채취하던 시절보다는 나아졌지만 크게 개선되지는 않은 것으로 보인다.

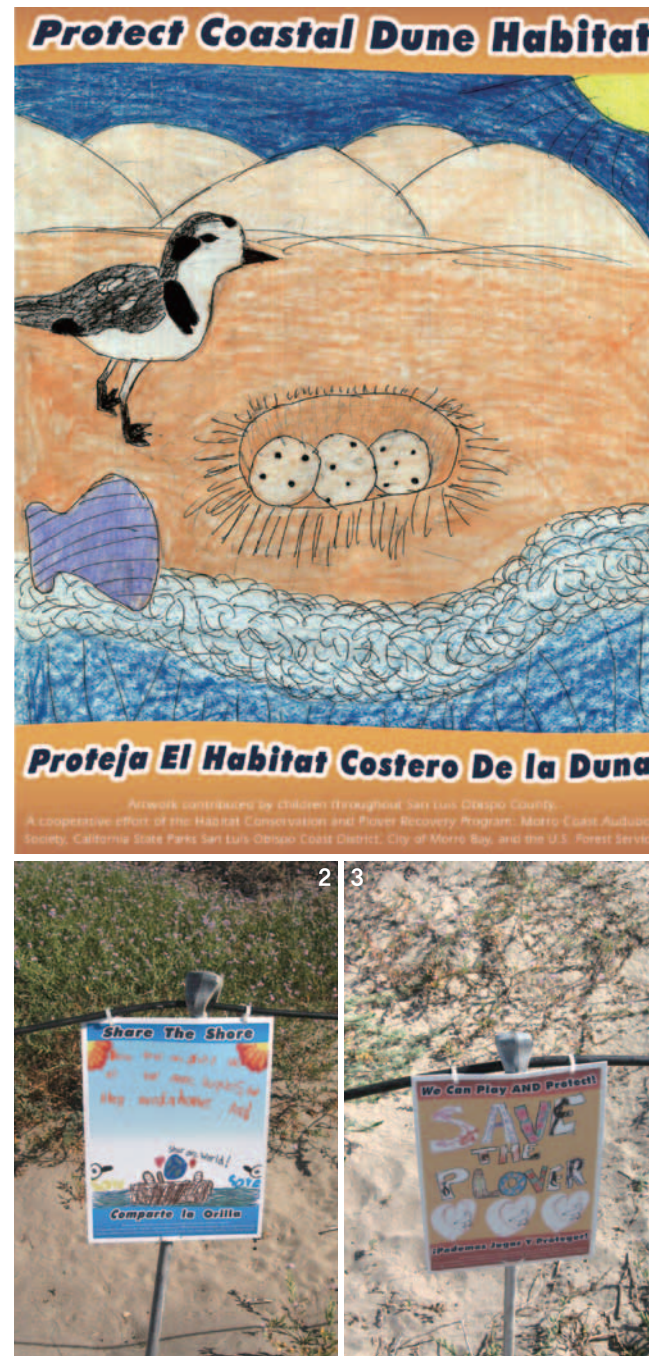
사구의 특성과 가치를 인식한 사람들은 사구를 다시 보게 된다. 사빈의 침식을 사구의 보전과 연관 지을 수 있게 된다. 갯그렁으로 덮여 있는 전사구가 아름답게 보이기도 한다. 풀 사이를 빠르게 누비고 다니는 것이 표범장지뱀일 것이라고 생각하게 된다. 그리고 척박하고 메마른 모래땅에 애써 나무를 심는 것이 좋지 않은 일이라는 것도 깨닫는다. 해안사구가 사실 그렇게 척박하지도 메마르지도 않았다는 것을 알게 된다. 흰물떼새가 번식하는 봄부터 초여름까지는 상부 사빈과 사구 전면을 밟는 것이 그들의 생존을 위협하는 것이라는 것을 느낀다. 사구의 보전 문제가 때로는 생존과 직결되는 문제라는 것을 말하게 된다.

늘 그렇듯 환경이나 생태계 보전 문제는 인식에서 출발하며, 인식의 문제는 교육에 발을 맞춘다. 사구에 대해 학교와 정부기관, 지역사회의 교육활동이 필요하다. 일부 환경단체들이 생태교육을 하지만, 그 수도 부족할뿐더러 수준도 그리 높지 않다. 사구에 어떤 동식물이 있다는 정도에 그치고 있다. 이에 대한 보완이 필요하다. 즉, 해안사구에 대한 교육 기회를 늘리고 질을 높여야 한다. 이는 사구 교육에 대한 교재나 프로그램 개발, 전문 강사 육성, 생태해설가나 관계 공무원에 대한 교육, 교육센터 설립이나 교육기관에 대한 지원, 봉사활동이나 특별활동에 대한

1 사구 보호 포스터. 흰물떼새가 서식하는 사구를 보호하자는 포스터로 교육프로그램에 참여한 어린이의 그림이다. 미국과 캐나다에서 보호하고 있는 아메리카흰물떼새(*Charadrius alexandrinus nivosus*)는 우리나라 해안사구에서 발견되는 흰물떼새(*Charadrius alexandrinus*)와 유사하다. 물이 들지 않는 사빈과 하구의 모래톱, 나지로 드러난 사구 위에 동지를 만드는 특성이 있어 해안 이용과 개발에 의해 그 수가 급격히 줄어들고 있다. 우리나라의 흰물떼새도 사빈과 해안사구에 동지를 트는 습성이 있으며, 그 수가 예전에 비해 크게 줄었다고 한다. 작고 귀여운 흰물떼새들과 시대를 같이 살고자 한다면 멀리 떨어져서 보길 바란다

(사진제공: Westernsnowyplover.org).

2~3 어린이들이 해안사구에 서식하는 흰물떼새에 대한 교육을 받고 보호 포스터를 그렸다. 이를 흰물떼새 서식지 앞에 붙여 놓아 방문자의 주의를 환기시킨다.



지원 등을 통해 이룰 수 있을 것이다.

아직까지 텍셀의 에코메어 Ecomare와 같은 사구교육의 장이 우리에게 없는 것이다. 그러나 기후변화나 해수면 상승, 생태계의 변화, 그리고 침식 문제는 우리에게도 있다. 해안지역의 인구밀도나 개발집약도는 훨씬 높다. 따라서 위험성은 더 크다. 이것이 사구의 기능과 가치에 대한 교육이 절실한 이유다.

ㄱ

가는모래(fine sand) · **60**
개미지옥 · **71**
갯그령(*Elymus mollis*) · **43, 45, 66, 68, 80, 118, 119, 134**
갯메꽃(*Calystegia soldanella*) · **43**
갯방풍(*Glehnia littoralis*) · **45**
갯쇠보리(*Ischaemum antheophoroides*) · **46**
갯씀바귀(*Ixeris repens*) · **46**
갯완두(*Lathyrus japonicus*) · **43, 68**
거력(boulder) · **60**
건조슬랙(dry slack) · **20, 100**
검은모래해빈 · **62**
경성호안(hard defense) · **30**
고정사구(inactive dune) · **22, 104, 112**
광여기루미네선스연대 측정법(OSL dating) · **50**
구배-gradient) · **66**
기지포사구 · **57, 116**
김녕사구 · **62**

ㄴ

나이팅게일(Nightingale) · **109**
남-케네밀런트 국립공원(Zuid-Kennemerland
national park) · **100, 112**
내터잭(Natterjack) · **109, 112**
노랑부리백로 · **74, 128**

ㄷ

대상분포(帶狀分布) · **66**
도약(saltation) · **63, 64, 68**

동호사구 · **26, 32, 54**
두웅습지 · **124, 126**
둥근인가목(*Rosa pimpinellifolia*) · **100**
딱총나무(elderberry) · **100**

ㄴ

막송사구(Dune Marchand) · **109, 112**
명사십리사구 · **54, 86**
모래거저리(*Gonocephalum pubens*) · **42, 47**
모래바다(sand sea) · **14**
모래붙이거저리(*Caedius marinus*) · **49**
모래지치(*Messerschmidia sibirica*) · **46, 119**
모래포집기(sand fence) · **25, 68, 116, 119, 120, 124**
묘안호(cat's eye lake) · **24**

ㄷ

바닷가거저리(*Idisia ornata*) · **49**
बाट지름사구 · **35**
방사성탄소연대 측정법(radiocarbon dating) · **50**
배후사구(hind dune) · **20, 66, 70, 99, 104**
버드나무(*Salix* sp.) · **94**
범(berm) · **26**
베스트후크(De Westhoek) · **104**
별 모양 사구(star dune) · **63**
병자년 포락 · **32**
부유(suspension) · **63, 68**
비치그래스(*Ammophila arenaria*) · **99, 100, 104, 109, 111, 113**
비타민나무(*Hippophae rhamnoides*) · **94, 112**

빼호케사구(Dunes du Perroquet) · **108, 109, 112**

ㅅ

사구(砂丘) · **94, 100, 104, 112**
사구마루(dune crest) · **20, 22, 35, 36**
사구저지(砂丘底止) · **20, 41, 66, 99**
사구습지(砂丘濕地) · **24, 39, 70, 71**
사구지대(dune field) · **14**
사구포집(砂丘捕執) · **25**
사빈(sand beach) · **12, 14, 18, 20, 26**
사빈-사구 상호작용(beach-dune interaction) · **64**
사주(모래톱) · **24, 95, 128**
사철나무(*Euonymus* sp.) · **37, 94, 100**
사탄동해안사구 · **33, 36**
산딸기(*Rubus* sp.) · **100**
산태 · **25, 124**
상주사구 · **38**
생태 · 경관보전지역 · **124, 126, 128, 130**
생태적지위(ecological niche) · **66**
서포리사구 · **34**
석영모래(quartz sand) · **62, 63, 79**
석호(潟湖) · **24, 27, 119, 130**
소풍구리붙이(*Aegialia comis*) · **49**
소황사구 · **65, 124, 128**
쇠제비갈매기 · **71, 73**
순비기나무(*Vitex rotundifolia*) · **37, 45, 54, 66**
슬랙(slack) · **19, 20, 39, 99, 102, 104, 126**
습윤슬랙(wet slack) · **19, 20, 39, 42, 71, 100, 104**
시라임(Sea lyme) · **118**

신두리사구 · **24, 41, 73, 99, 124, 126**
실트(silt) · **60, 61**
쓰나미(tsunami) · **12, 30, 32, 86**

ㅇ

어머리사구 · **38**
에르그(erg) · **14**
에코메어(Ecomare) · **94, 97, 112, 135**
역빈(gravel beach) · **18**
연성호안(soft defense) · **30**
연흔 · **17, 65**
영원(newt) · **112**
옥죽동사구 · **54**
우이도사구 · **124**
유럽들소(wisent) · **49**

ㅈ

자갈(gravel) · **18, 60, 61, 85**
저어새 · **73**
전사구(foredune) · **19**
전사구열(foredune ridge) · **22**
점토(clay) · **60, 61**
좁보리사초(*Carex pumila*) · **45**
종사구(縱砂丘) · **25**

ㅊ

참뿔길앞잡이(*Cicindela transbaicalica hamifasciata*) · **42, 47**
청딱다구리(Green Woodpecker) ·

청설모 · 71, 73
초기사구(embryo dune) · 17, 18, 19, 20, 100, 112
취식와지(blow out) · 26, 99, 102, 113, 126

ㄱ

큰조롱박면지벌레(*Scarites sulcatus*) · 49

ㅅ

텍셀 국립공원(Texel national park) · 94, 95, 97, 112
통보리사초(*Carex kobomugi*) · 17, 20, 37, 42, 45, 68, 139

ㅇ

패사해빈 · 62
포물선사구(parabolic dune) · 26, 109
포행(creep) · 63, 68

표범장지뱀 · 42, 48, 71, 80, 119, 128, 134
피복사구(vegetated dune) · 22

ㅎ

하시동 · 안인사구 · 124, 130
해당화(*Rosa rugosa*) · 42, 45, 80, 134
해빈(海濱) · 51, 62, 83, 100, 126, 132
해빈열(beach ridge) · 23, 24, 26, 32, 60
해빈-전사구열(beach-foredune ridge) · 26
해안사구(海岸砂丘, coastal sand dune) · 11
활동사구(active dune) · 20, 22, 63
황로 · 74
횡사구(橫砂丘) · 14, 25, 63
흰물떼새(*Charadrius alexandrinus*) · 47

● 참고문헌

곽승준, 유승훈, 장정인, 2005. 석호환경의 보존가치 추정: 송지호를 중심으로. Ocean and Polar Research, 27(2). 161-169.

국립환경과학원, 2004~2010. 전국해안사구정밀조사. 환경부 · 국립환경과학원.

권혁재, 1981. 서해안의 해안침식. 사대논집, 18. 고려대학교. 137-155.

권혁재, 1981. 태안반도와 안면도의 해안지형. 사대논집, 6. 고려대학교. 261-287.

금강유역환경청, 2007. 소항사구 생태경관보전지역 관리기본계획 수립방안 연구. 228p.

김성환, 서종철, 박경, 2008. 수문과 지형 특성에 의한 신두리해안사구 습지의 유형 분류. 한국지형학회지, 15. 107-118.

김자애, 조강현, 이효혜미, 2001. 동해안 석호에서 군개 간척습지의 식생 구조. 한국생태학회지, 24(1). 27-34.

민병미, 2004. 통보리사초(*Carex kobomugi* Ohwi)의 생육 특성. 한국생태학회지, 27. 49-55.

박경, 1987. 천리포 사구내의 적황색퇴적층에 관한 연구. 서울대학교 석사학위 논문. 54p.

박경, 손일, 2007. “제주도 김녕 · 월정 사구의 OSL 연대 측정결과와 그 의미”. 한국지형학회지, 14(2). 33-41.

박동원, 유근배, 1979. 우리나라 서해안의 사구지형. 지리학논총, 6. 1-10.

박병권, 김원형, 1981. 동해안 석호퇴적환경에 관한 연구. 지질학회지, 17(4). 241-249.

박승필, 1981. 한반도 후빙기 해면변동에 관한 연구: 황해안을 중심으로. 지리학논총, 8. 11-22.

박용안, 박영후, 2001. 강원도 동해안(송지호) 해안퇴적층의 제4기 후기 층서와 증광물. 한국제4기학회지, 15(2). 111-117.

반용부, 1995. 낙동강 하구 연안사주 지형의 변화. 신라대 논문집, 40(1). 155-195.

서종철, 2002. 원격탐사와 GIS 기법을 이용한 신두리 해안사구지대의 지형변화 분석. 한국지역지리학회지, 8. 98-109.

송호경, 박관수, 박혜림, 서은경, 소순구, 김무열, 2005. 태안군 신두리 해안사구의 식생과 토양특성. 한국환경복원녹화 기술학회지, 8. 59-68.

송홍선, 조우, 2007. 신두리 해안사구의 미지형별 식생의 대상구조와 다양성변화 -천연기념물 지정지를 중심으로. 한국 환경생태학회지, 21. 290-298.

오건환, 1996. 강원도 중부(주문진-양양) 해안평야의 형성과정과 고환경. 한국제4기학회지, 10(1). 53-68.

오현경, 김영하, 변무섭, 박준모, 2005. 신두리 해안사구의 식물상에 관한 연구. 한국산림휴양학회지, 9. 37-48.

유근배(역), 2007. 해안보호. 한울출판사.(French, P.W., 2001, Coastal defences: Processes, problems and Solutions, Routledge).

이우철, 1996. 한국식물명고. 아카데미서적. 서울.

이유성, 2000. 현대식물분류학(2차개정증보판). 우성. 서울. 575p.

이창복, 2003. 원색대한식물도감. 향문사. 서울.

임세권, 1979. 명주군 하시동 해변유적의 성격: 고대 해변주민 묘제의 한 예. 한국사연구, 26. 17-33.

정부희, 2011. 곤충의 유토피아, 상상의숲. 서울. 463p.

최광희, 2009. 홀로세의 해안사구 형성과 해수면 변화: 동해안과 서해안을 중심으로. 서울대학교 박사학위논문. 192p.

최광희, 김종육, 최정현, 변종민, 홍성찬, 신영규, 이석조, 2008. 원산도 해안사구 퇴적층에 대한 OSL 연대측정과 그 의미. 한국지형학회지, 15, 39-51.

한국지리정보연구회, 2004. 자연지리학사전(개정판), 한울아카데미. 855p.

환경부, 2001. 우리나라 사구 실태파악과 보전·관리 방안에 대한 연구.

환경부, 2006. 우리나라 서·남해안 염습지 염생식물 군락의 생태적 현장보존 및 관리기술 개발.

Carter, R.W.G. and Woodroffe, C.D., 1994. Coastal evolution: Late Quaternary shoreline morphodynamics. Cambridge University Press, 514p.

Chague-Goff, C., Goff, J., Nichol, S., McFadgen, B., Horrocks, M., 2009. Coastal dunes: evidence for the effectiveness of natural barriers. In: proceedings of the 7th International Conference on Geomorphology(held in Melbourne, Australia, July 2009).

Choi, K. H., Yoon, K. S., Choi, J. H., Shin, Y. K., Lee, J. C., Suh, M. H., Munyikwa, K., Oh, K.H., 2007. Anthropogenic geomorphological changes during the last century in the Kangneung area along the east coast of Korea. Journal of Coastal Research, Special Issue 50. 1015-1022.

Edgar, P. and Bird, D.R., 2005. Action Plan for the Conservation of the Sand Lizard (*Lacerta agilis*) in Northwest Europe. Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats Standing Committee, 25th meeting, Strasbourg. 18p.

Haslett, S. K., 2000. Coastal Systems, Routledge. 218p.

Karymbalis, E., Gaki-Papanastassiou, K., Seni, A., Zouva, C., 2009. Coastal Vulnerability Assessment of Argolic Gulf(Greece) to Sea-level Rise Using GIS. In: proceedings of the 7th International Conference on Geomorphology(held in Melbourne, Australia, July 2009).

Kato, K., Kanayama, Y., and Ohkawa, W., 2007. Nitrogen fixation in Seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) root nodules and effect of nitrate on nitrogenase activity. J. Japan Soc. Hort. Sci., 76. 185-190.

Kobayashi, S. and Higashi S., 1990. The use of plant indicators for chronological analysis of coastal dune micro-relief. Research Bulletines of the College Experiment Forests Hokkido University, 47(1). 191-213.

Lay, T., Kanamori, H., Ammon, C. J., Nettles, M., Ward, S. N., Aster, R. C., Beck, S. L., Bilek, S. L., Brudzinski, M. R., Butler, R., DeShon, H. R., Ekstrom, G., Satake, K. and Sipkin, S., 2005. The Great Sumatra-Andaman Earthquake of 26 December 2004. Science, 308(5725). 1127-113.

Martínez, M.L. and Psuty, N.P. (Eds.), 2004. Coastal dunes: ecology and conservation, Ecological studies, 171. Springer. 386p.

Munyikwa, K., Choi, K. H.; Choi, J. H.; Park, K., and Kim, J. W., 2005. The sedimentology and luminescence chronology of a coastal dune sequence at Unyo Beach, Taean-Gun. Journal of the Geomorphological Association of Korea, 12(1). 167-178.

Munyikwa, K., Choi, J. H., Choi, K.H., Byun, J.M., Kim, J.W., Park, K., 2008. Coastal dune luminescence chronologies indicating a Mid-Holocene Highstand along the East coast of the Yellow Sea. Journal of Coastal Research, 24(2B). 92-103.

Nordstrom, K., Psuty, N. and Carter, B. (Eds.), 1990. Coastal dunes: form and process. John Wiley & Sons Ltd, 392p.

Pye, K. and Tsoar H., 1990. Aeolian sand and sand dunes. Unwin Hyman Ltd. 396p.

Roy, P. S., Cowell, P. J., Ferland, M. A., Thom, B. G., 1994. Wave dominated coasts. In: Carter, R. W. G., Woodroffe, C. D.(eds.). Coastal Evolution, Late Quaternary Shoreline Morphodynamics. Cambridge University Press. Cambridge. 121-186.

U.S.Fish and Wildlife Service, 2007. Recovery Plan for the Pacific Coast Population of the Western Snowy Plover (*Charadrius alexandrinus nivosus*), in 2 Volumes. Sacramento, California. 751p.

참고할 만한 웹사이트

www.npduinenvantexel.nl (텍셀국립공원)

www.ecomare.nl (텍셀국립공원)

www.texel.net (텍셀국립공원)

www.npduinenvantexel.nl (텍셀국립공원)

www.np.zuidkennemerland.nl (남-케네밀런트국립공원)

www.pwn.nl (남-케네밀런트국립공원)

www.ivn.nl (남-케네밀런트국립공원)

www.np.zuidkennemerland.nl (남-케네밀런트국립공원)

www.depanne.be (베스트후크사구)

www.cg59.fr (막송사구)

www.conservatoire-du-littoral.fr (막송사구, 뻬호케사구)

www.cg59.fr (뻬호케사구)

www.nier.go.kr (국립환경과학원)

www.me.go.kr (환경부)

www.me.go.kr/wonju (원주지방환경청)

www.me.go.kr/gg (금강유역환경청)

www.kordi.re.kr (한국해양연구원)

www.khoa.go.kr (국립해양조사원)

<http://taean.knps.or.kr> (태안해안국립공원)

<http://dadohae.knps.or.kr> (다도해해상국립공원)

<http://research.knps.or.kr> (국립공원연구원)

<http://westernsnowyplover.org> (흰물떼새보호기관)

