우리 바다를 풍요롭게 가꾸는 한국의 갯벌*

홍 재 상
(인하대학교 교수)

생태계의 기능에 대한 과학적 지식이 없었던 시대에 대부분의 사람들은 갯벌을 황무지로 여겼다. 그러나 갯벌은 주인 없이 버려져 있는 쓸모 없는 땅이 아니라 오랜 세월 동안 우리 바다를 풍요롭게 가꾸어 온 우리의 산하요, 우리 강토의 한 부분이다. 바로 조상으로부터 물려받은 우리의 귀중한 자연 유산이다.

1. 갯벌의 자연 환경

갯벌이란 말 그대로 '갯가의 넓고 평평하게 생긴 땅'이다. 그러나 일반적으로는 조류(潮流)에 의해 운반되는 미사(silt)나 점토(clay) 등의 미세 입자가 파랑(波浪)의 작용을 적게 받는, 즉 파도가 잔잔한 해안에 오랫동안 쌓여 생기는 평탄한 지형을 말한다. 이러한 지역은 만조 때에는 물 속에 잠기나 간조 때에는 공기 중에 노출되는 것이 특징이며 퇴적 물질이 운반되어 점점 위로 쌓이게 된다. 따라서 오랜 시간이 경과하면서 그 지면도 높아진다. 오래 전에는 밀물 때가 되면 물 속에 잠기던 곳이었으나 점점 시간이 흐르면서 지면이 높아져 만조 때에만 잠기게 된다. 또 갯벌이 공기 중에 노출되는 시간이 길어지는 상부 쪽에는 염생식물(鹽生植物)이 정착하기 시작한다. 결국에는 염습지(鹽濕地) 식생의 시기를 거쳐 육상의 해안림으로 바뀌는 생태학적인 천이(遷移) 과정을 거치게 된다.

갯벌이 형성되려면 후미나 내만(內灣)으로 어느 정도 폐쇄되어 해안을 침식하는 파랑의 작용이 약해야 하고 유입 하천에 의한 토사의 퇴적 작용이 있어야 한다. 또 간조 때 노출되는 평평한 부분이 넓게 펼쳐지려면 조차가 커야 하며 모래나 펄이 쌓이기 위한 오랜 시간이 필요하다. 우리나라 동해안에서는 대조 때도 만조와 간조의 조차가 30cm에 불과하고 남해안도 1~2m 정도이다. 그래서 동해안은 남해안이나 서해안에 비해 갯벌이 잘 발달되지 않았지만 서해안은 3~7m의 전 세계에서 매우 큰 조차를 가지는 대조차 환경이다.

조수가 오르내릴 때는 바닷물의 수평 운동인 조류가 발생한다. 좁은 만이나 해협에서

* 이 글은 필자가 쓴 "한국의 갯벌"(대원사, 1998)에서 일부 내용을 발췌하여 재작성한 것임을 밝힌다.

는 왕복성 조류가 흐르는데 들어오는 것을 밀물 또는 창조류(漲潮流)라 하고 나가는 것을 썰물 또는 낙조류(落潮流)라고 한다. 이러한 조류는 조차가 클수록 빨리 흐르며 좁은 해협이나 수로를 통과할 때는 유속이 매우 빨라진다. 조류는 토사를 운반하여 퇴적시킬 뿐만 아니라 침식하기도 하여 해안 지형의 발달이나 변화에 큰 영향을 미친다.

강과 바다가 만나는 곳에서는 규모의 크고 작음은 있어도 반드시 갯벌이 나타나는 것으로 보아 하천은 갯벌이 형성되기 위한 중요한 조건이다. 유입 하천은 토사를 운반할 뿐만 아니라 풍부한 영양염류나 기타 해산동물(海産動物)의 먹이가 되는 유기 쇄설물(有機碎屑物)을 육상으로부터 갯벌에 공급한다는 측면에서 매우 중요한 생태학적 기능을 수행한다. 따라서 갯벌은 흔히 큰 강과 연결되는 중조차 또는 대조차 해안의 하구역이나 내만, 석호(潟湖) 등의 반폐쇄적인 환경에 잘 발달한다.

이러한 조간대 환경인 갯벌에서 생활하고 있는 생물은 생각보다는 매우 다양하다. 겉으로는 아무런 색다른 것이 없어 보이는 넓고 평탄한 갯벌은, 그 위에 또는 개펄 속에 각종의 생물들이 교묘한 생활 방법으로 나름대로의 생존전략을 가지고 엄청난 밀도의 생물체를 부양해 나가고 있다. 갯벌 퇴적물의 성질, 특히 모래나 개펄을 구성하는 각각의 알갱이의 크기가 다르면 거기에 정착하는 생물의 종류도 달라진다.

조석에 의한 노출은 갯벌 생물의 분포에 결정적인 영향을 미친다. 강 어귀의 갯벌에 주로 서식하는 우리나라의 대표적인 게 종류에는 방게나 넓적콩게가 있다. 이들은 조수가 빠진 간조 때에 먹이 섭취 활동을 하지만 엽낭게나 칠게는 썰물의 정선(汀線) 경계에서만 활발하게 활동한다. 이들을 실험실로 가져와 조석이 없는 수조에 넣어 놓아도 채집한 장소의 조석 리듬에 맞추어서 변함없이 먹이 섭취 활동이나 구멍파기를 할 정도이다.

갯벌 환경에서는 고조선에 가까울수록 조수가 빠져 공기 중에 노출되는 시간이 길기 때문에 바다 생물에게는 대단히 냉엄한 생활의 장으로 바뀌며 건조나 강우, 여름철 고온과 겨울철 저온에 견딜 수 있는 생물만이 정착할 수 있다. 고조선부터 저조선에 이르기까지 노출 시간이 차츰 변하기 때문에 조간대 생물들은 그에 대한 내성에 따라 단계적으로 분포하여 이른바 띠 모양 분포 [帶狀構造] 를 만들게 된다.

경사가 급한 암초 해안에서는 수직 암반의 표면에 특정 생물이 띠 모양으로 분포하는 것을 보다 분명하게 볼 수 있다. 그러나 갯벌에서는 밑바닥이 매우 평탄하여 암반 해안에서처럼 명료하게 알아보기는 쉽지 않다. 일직선으로 정선을 정하여 고조선 상부의 갈대밭 부근에서 앞바다의 저조선을 향하여 걸어가면서 생물들을 관찰하여 보면 생물상이 조금씩 달라지는 것을 알 수 있다. 고조선 상부와 저조선 부근의 생물상만을 비교하여 보면 차이가 더욱 명료하게 드러난다.

2. 갯벌 주변의 해안 지형

갯벌과 연결되어 있는 해안 지형에는 염습지 식생, 석호, 하도가 있다. 염습지 식생은 만조 때 해면과 육지와의 경계선인 고조선보다 다소 위쪽에 위치하나 조석(潮汐)에 따라 해수의 출입이 있을 수 있는 장소이다. 특히 해안에서는 염분을 포함한 염습지 식생을 형성하여 독특한 동물과 식물 군집이 분포한다. 염습지의 주변에는 갈대밭이 벌판을 이룰 정도로 잘 발달하고 그 사이의 밑바닥은 펄로 되어 있는데 이런 곳을 감조니질지(感潮泥質地)라고 한다.

우리나라에서는 염습지 식생의 대부분이 매립과 간척으로 거의 파괴되어 사라지고 있으나 미국의 염습지 식생은 대단히 광대하며 이에 대한 조사와 연구도 잘 되어 있다. 대표적으로 북캐롤라이나의 케이프 하테라스(Cape Hatteras)에서 플로리다 반도를 거쳐 루이지애나에 이르기까지 엄청난 규모의 초원을 형성하면서 발달한 스파르티나(*Spartina*) 염습지 식생이 유명하다.

그 다음으로 특징적인 갯벌 주변의 지형에는 석호(潟湖, lagoon)가 있다. 석호는 해안선이나 하구에서는 분리되어 있지만 만조 때가 되면 해수가 유입되고 간조 때에는 해수가 잔류함으로써 항상 염분을 포함하고 있는 호수이다. 우리나라에서는 강릉의 경포호, 속초의 청초호와 영랑호 등이 대표적이며 주로 동해안에 많다. 이들은 후빙기에 해면이 상승하여 해안이 침수됨에 따라 하곡(河谷)을 중심으로 낮은 곳이 만입(灣入)되고 그 입구가 사취(砂嘴)나 사주(砂洲)로 가로막혀 발달하게 된다. 동해안의 석호는 일반적으로 매우 작은 하천의 하류에 나타나며 대부분 사주에 의해 바다로부터 거의 격리된 담수호에 가깝다. 작은 하천은 토사의 운반량이 적기 때문에 석호가 빨리 메워지지 않고 오랫동안 유지되는 반면 큰 하천의 하류에는 토사 공급이 많아 석호가 생길 수 없다.

또한 갯벌에 나가 보면 유역 분지의 지표수가 바다로 흘러내리는 하도(河道)가 있는데 조석에 의해 바닷물이 드나드는 갯골의 형태로 나타난다. 갯골은 다시 조류로(tidal channel)와 조류세곡(tidal creek)으로 나뉘는데 그 규모가 배의 통로로 이용되는 큰 것에서부터 해수가 흐르기만 하는 작은 것까지 여러 가지가 있다. 이 조수로는 조석에 따라 이동하는 어류나 새우류 등의 통로가 되기도 한다.

3. 퇴적환경에 따른 갯벌의 유형과 생물상

갯벌뿐만 아니라 수심이 깊은 심해를 포함하여 해저에서 생활하는 모든 생물들을 통틀어 저서생물(底棲生物)이라 한다. 조수가 빠져 나간 갯벌의 생물상은 주로 이 저서생물로 구성되며 그 생활 형태나 분포는 밑바닥을 구성하는 모래나 펄의 성질에 지배를

받는다. 갯벌 생태계를 포함하여 조간대 생태계에서 조위(潮位)가 생물의 분포 유형을 정한다고 하면 밑바닥의 성질과 상태는 갯벌 생물의 분포를 결정짓는 데 있어서 2차적으로 중요한 요인이다.

갯벌에서 밑바닥〔基底〕의 성질을 나타내는 가장 중요한 것은 무기물질인 모래나 펄을 구성하는 입자의 크기 곧 입도(粒度)와 그것의 조성이다. 갯벌의 밑바닥을 구성하는 퇴적물 입자의 크기는 자갈처럼 큰 것에서 점토처럼 작은 것에 이르기까지 여러 단계로 나뉜다. 크기별로 다시 나누면 지름이 2mm 이상인 왕모래, 2~0.0625mm인 모래, 0.0625~0.0039mm인 실트(微砂, silt), 0.0039mm 이하인 점토 등으로 구분할 수 있다.

입자의 크기는 퇴적물 속에 매몰하여 생활하는 동물들에게 필요한 산소의 공급량을 지배하는 요인이다. 입자가 미세하면 미세할수록 간극이 좁아 물의 소통이 나빠져서 산소가 풍부한 만조 때 저층의 물이 속까지 미치지 못하기 때문이다. 따라서 점토처럼 퇴적물 알갱이의 크기가 가장 작은 입자들로만 구성된 곳은 생물이 살아가는 데 불리한 조건이 된다. 그러나 작은 입자는 상대적으로 표면적이 크기 때문에 박테리아와 같은 미생물이 착생할 수 있는 면적을 증대시켜 모래나 펄 속에 사는 동물들에게 풍부한 먹이를 공급하기도 한다. 비록 바닷물의 수직 투과율은 나쁘지만 갯벌의 많은 동물들이 진흙 속으로 땅굴을 파기 때문에 그것을 통해 해수가 침투하여 퇴적물 속 깊은 곳으로 산소를 공급한다. 이것이 바로 저서동물에 의한 생물교반(生物攪拌) 작용의 가장 중요한 생태학적인 의의이다.

갯벌은 파랑 에너지의 세기에 의해 바닥이 모래나 펄로 구성되기 때문에 퇴적상(堆積相)에 따라 모래갯벌, 펄갯벌, 모래와 펄이 다양한 비율로 섞인 혼합갯벌인 모래펄갯벌 또는 펄모래갯벌 등으로 나뉜다. 또 이 가운데 어느 유형에도 속하지 않는 갯벌이 있고 그 중간 형태인 곳도 많다. 그 밖에 지형적 특징에 따라 하구역의 갯벌을 따로 생각할 수도 있다.

퇴적상에 따라 나타나는 다양한 갯벌의 유형은 우리 나라의 전 연안에서 흔하게 볼 수 있다. 대체로 모래갯벌은 흔히 우리가 여름철에 즐겨 찾는 모래사장이 대부분 여기에 속한다. 동해안의 모래갯벌은 그 폭이 서해안의 것에 비하여 좁으나 남북으로 광범하게 잘 발달하고 있으며, 서해안에서도 외해에 위치한 백령도와 대청도 등지의 모래사장이나 인천 용유도 을왕리 해수욕장의 중상부 정도에서 모래갯벌을 볼 수 있다. 반대로 조차가 크고 주변에 큰 강의 하구가 많은 서해안에는 펄갯벌이 광활하게 잘 발달하는데 강화도 주변 갯벌이 대표적이고 혼성갯벌인 모래펄갯벌은 인천의 송도 갯벌 중하부 지역이나 남해안의 여러 곳에서도 흔히 볼 수 있다.

하구역의 갯벌은 지형적인 특징에 따라 구별되는 갯벌로 우리 나라에서 유입 하천이 있는 곳이면 볼 수 있다. 하구역은 육지로부터 공급되는 담수와 바다로부터 유입되는 해수가 혼합되는 반폐쇄 지역으로 상당한 양의 물질이 이곳에 모여 쌓였다가 유출되며 육

지와 해양 사이의 여과 장치로 작용하는 수계(水界) 생태계이다. 따라서 갯벌에 쌓인 모래와 펄도 결국 육상으로부터 강의 하구를 통해 바다로 옮겨진 것이기 때문에 하구역에 하구언 등의 인공 구조물을 건설하는 일은 연어나 뱀장어 등의 산란 또는 생육회유의 이동 통로를 인위적으로 차단한다는 생태학적 문제 이외에도, 하구나 연안 퇴적물의 육상으로부터의 자연적 물질순환을 차단하는 것이 되어 갯벌을 포함하는 하구역 및 연안 생태계의 정상적인 작동을 파괴하므로 문제가 심각하다.

결국 육상 생태계는 하천 생태계 → 하구 생태계 → 염습지 식생 생태계 → 갯벌 생태계 → 연근해 생태계로 서로 연결된다. 이들은 각기 고유한 생물 군집의 구조와 기능을 가지며 이웃 생태계와 상호 작용을 하면서 평형을 유지한다. 특히 서해안으로 향하는 강의 하구역에 발달한 한강의 강화도-영종도 갯벌, 금강-만경강-동진강 하구의 군산-김제-부안 갯벌 등은 육상에서 공급된 퇴적물이 완만한 흐름의 하구 주변에 퇴적되어 대규모의 갯벌을 형성한 것이다. 이곳에서는 하구의 제방을 따라 갈대밭이 광활하게 펼쳐지며 바다를 향하여 모래나 개펄로 된 감조저습지가 발달한다. 우리나라 서남해안의 강 하구에 위치하는 갈대밭의 갯벌은 거의 개펄로 구성되어 있으나 일부 지역에 따라 모래갯벌도 볼 수 있다. 동해안으로 향한 비교적 규모가 작은 강들이나 낙동강 하구에서는 대체로 전형적인 모래갯벌이 우세하다.

하구역 갯벌은 강물이 하구를 거쳐 바다에 이르는 과정에서 바닷물과 섞여 일정한 염분 구배를 나타내는 독특한 환경 구조를 보이며 이에 따라 고유한 생태학적 특성을 나타낸다. 특히 여름철 홍수기에는 많은 양의 담수가 일시적으로 바다로 유입되기 때문에 홍수기를 전후하여 하구역의 퇴적 환경에 극적인 변화가 일어난다. 따라서 그곳에 서식하는 생물상도 광염성(廣鹽性)과 광온성(廣溫性) 종류들이 주류를 이룬다. 그러나 하구역은 이러한 환경 조건의 불안정성으로 인해 다른 생태계에 비해 생물의 생산성은 높으나 다양성이 낮다.

4. 생태계로서의 갯벌

갯벌 생물은 암반 해안의 생물에 비해 그 종류가 훨씬 단순하지만 조석에 의한 환경 변동이 큰 갯벌에 일단 적응한 생물들은 풍부한 먹이와 공간 경쟁이 적다는 유리한 조건에 힘입어 크게 번성한다.

4.1 유기 쇄설물과 생산자

갯벌의 먹이 연쇄에서 가장 중요한 역할을 담당하는 것은 데트리터스라는 입상(粒狀)

의 유기 쇄설물(organic detritus)이다. 데트리터스란 미생물이 분해하는 도중에 있는 생물체 파편의 모든 형태를 말하며 이들은 소비자의 에너지원으로 매우 중요한 역할을 한다. 보통 생물체의 파편이나 배설물 등 분해 산물 일반을 가리킨다. 그러나 실제로는 그것에 미생물 등이 부착하여 서로 섞여 그들의 분리가 쉽지 않거나, 분리 취급하는 것 자체에 문제가 있어 무기물까지 포함시킨 전체를 가리키는 경우가 많다. 데트리터스는 수중이나 퇴적물의 표면에 널리 존재하며 박테리아 등 미생물의 활발한 활동 장소가 되기 때문에 갯벌 생태계나 하구역 생태계에서 매우 중요한 위치를 차지한다.

그러나 1차 소비자 동물들의 먹이인 식물 플랑크톤이나 저서성 미소 조류, 입자상 유기 쇄설물은 서로 뒤엉켜 있기 때문에 각각의 정확한 기원을 고려하지 않고 그냥 '입상 유기물(粒狀有機物, particulate organic matter, POM)'이라 부른다. 해수 중에는 여러 가지 입상의 부유 물질이 포함되어 있는데 그 중에서 중요한 것은 식물 플랑크톤이다. 연안 해역에서는 이른봄이 되면 겨울에 보급된 영양염류와 풍부한 일사량에 힘입어 식물 플랑크톤인 규조류가 크게 번식한다. 이렇게 제한된 시기에는 해수 중에 현미경적 크기를 가지는 부유성 규조류(planktonic diatoms)가 매우 많지만 일년을 통해 보면 플랑크톤 이외에 입상 유기물이 50% 이상을 차지하며 이들이 각종 동물들의 먹이로서 매우 중요한 역할을 수행한다.

데트리터스는 동식물의 사체가 분해되어 생기거나 동물들의 배설물인 분괴(糞塊)에서 유래하는 것으로 생각되고 있다. 지구상의 모든 동식물은 수명을 다하거나 번식기가 지나면 사망하거나 고사한다. 갯벌과 같이 생물이 풍부한 장소에서는 이들의 사체나 분괴 등의 분해물이 양적으로 매우 많다. 그러나 갯벌 생태계에서는 거기에 서식하는 동식물에서 유래하는 데트리터스의 양보다 인근의 유입 하천이나 육지로부터 공급되는 양이 오히려 더 많다.

한편 염습지 식생을 구성하는 갈대, 나문재, 칠면초 등의 염생식물이나 김, 갈파래, 파래처럼 갯벌에서 흔히 볼 수 있는 해조류 등을 직접 먹이로 이용하는 동물은 그리 많지 않다. 그러나 이 식물체들은 효소에 의해 자기 분해되거나 박테리아의 공격으로 분해되고, 다시 파랑의 힘으로 잘게 부서진 뒤 다른 동물들에게 씹혀 결국 데트리터스가 된다. 그리고는 비로소 동물에게 이용되는 과정을 거친다. 이렇듯 데트리터스가 갯벌의 먹이연쇄에서 중요한 역할을 담당하며 생태계의 생산 구조를 특징짓고 있다고 해서 갯벌을 식물 플랑크톤 기반의 생태계와는 달리 데트리터스를 기반으로 하는 생태계라 일컫기도 한다.

특히 흥미로운 사실은 데트리터스가 먹이로서의 가치가 매우 높다는 것이다. 미국 조지아 대학의 오덤 박사 연구팀에 따르면 염생식물인 스파르티나가 분해하여 데트리터스로 되는 과정에서 탄수화물의 양은 전적으로 감소하지만 단백질 양은 증가한다. 이는 파편화되어 입상으로 됨에 따라 그것에 부착하는 박테리아의 양이 증가하기 때문이며 저

서동물의 먹이로서의 가치가 더 커져 간다는 사실을 의미한다.

갯벌의 먹이 연쇄 중에서 식물 플랑크톤이 수행하는 역할은 외해역에 비해 상대적으로 낮다. 경기만을 비롯하여 우리나라 서남해안의 내만에는 스켈레토네마 코스타튬(*Skeletonema costatum*)이라는 식물 플랑크톤이 가장 많은데 플랑크톤이지만 개펄 표면에 퇴적되어 있는 것을 흔히 볼 수 있다. 부유하고 있는 스켈레토네마 코스타튬을 먹이로 이용하는 동물 플랑크톤은 많지 않으며 주로 부유물을 섭취하는 이매패류도 직접 이용하는 경우는 적다고 한다. 아마도 이용되지 않고 그대로 가라앉아 분해된 뒤 데트리터스의 형태가 되어 먹이 연쇄 내에 들어가는 경우가 많을지도 모른다. 해조류 역시 칼로리 값이 낮고 조직이 딱딱하기 때문에 직접 동물들에게 이용되는 경우는 적을 것이다.

갯벌에서 데트리터스에 이어 동물들의 먹이로 많이 이용되는 것은 개펄 표면에 사는 미소한 저서 규조류이다. 특히 식물 플랑크톤과 비슷한 생산 속도를 보이는 나비쿨라(*Navicula*)라는 우상 규조류가 우점하는데 주로 개펄의 표면에서 2mm 내지 1cm 깊이 이내에 매몰하여 생활한다. 이 미소한 저서 규조류는 표층 퇴적물 중의 다른 데트리터스처럼 먹이로서 상당히 많이 이용되며 $1m^2$당 10~100만에 이르는 많은 양이 존재한다.

4.2 소비자

데트리터스는 수중에 떠 있는 경우와 이들이 가라앉거나 밑바닥에 사는 저서동물의 배설물이 개펄 표면에 퇴적되어 있는 두 가지 상태로 구분할 수 있다. 따라서 갯벌 생태계에서 데트리터스를 이용하는 대표적인 동물 그룹도 2개의 부류로 나누어 연구한다. 그 가운데 한 부류는 부유성 데트리터스를 이용하는 부유물식자(浮游物食者, 또는 懸濁物食者)이다. 이 무리는 해수 중의 플랑크톤을 포함하는 데트리터스를 여과하여 먹으므로 여과식자(濾過食者)라고도 한다. 두 번째 부류는 갯벌의 바닥에 가라앉아 모래나 펄에 퇴적된 데트리터스를 먹는 퇴적물식자(堆積物食者)이다.

이렇듯 저서동물이 먹이를 섭취하는 양식의 차이는 저서동물의 생태 특히 분포에 있어서 환경과의 대응이나 퇴적물의 생물교반(生物攪拌, bioturbation)과 연관되어 매우 중요하다. 입자의 크기가 서로 다른 다양한 퇴적 환경에 서식하는 저서생물 군집을 먹이를 섭취하는 유형별로 정리하면 퇴적상에 따라 서로 다른 섭식형의 동물군이 존재한다.

대체로 모래 바닥에서는 부유물식자가 우점하고 펄 바닥에서는 퇴적물식자가 우점한다. 곧 해수 유동에 따른 에너지의 크기는 저질 입자의 크기를 결정하고 이것은 다시 퇴적물의 여러 가지 물리 화학적 환경 요인을 형성한다. 모래질 바닥에 현탁물식자가 탁월한 이유는 물의 흐름이 커서 유기 현탁물 입자가 모두 가라앉지 못하고 밑바닥 바로 위에서 수평으로 운반되기 때문이며, 펄 바닥에서 퇴적물식자가 탁월한 것은 물의 유동이

작아서 먹이가 되는 유기물 입자가 쉽게 가라앉기 때문이다. 따라서 저질의 입도 조성과 저서동물이 이용 가능한 유기물의 존재 양식 및 존재층을 지배하는 요인은 저층의 수력학적인 조건으로 설명될 수 있다.

4.2.1 바닷물을 여과하는 자연 정수기, 부유물식자

부유물식자는 수중에 떠다니는 부유 물질을 섬모가 있는 촉수나 점액질의 호흡 기관을 이용하여 능동적 또는 수동적으로 포획한다. 이들이 먹이로 취하는 부유 물질은 규조류나 편모조류를 포함하는 식물 플랑크톤과 수중에서 자유 생활을 하는 박테리아, 유·무기 입자에 붙어 있는 박테리아 등으로 구성된다. 부유 입자들은 크기에 따라 분급되며 입으로 들어가 소화관을 통과하여 입자가 더욱 큰 분립, 곧 분(糞)이나 위분(僞糞, 擬糞)의 형태로 배설되고 침강하여 해저 퇴적물로 편입된다. 배설물은 노끈이나 펠릿(pellet), 막대기, 염주 모양 등 특이한 형태를 가지며 크기도 1mm도 안 되는 것에서 5mm가 넘는 것까지 다양하다. 이 중에서 채 분해되지 않은 유기물은 다시 해저에서 분해 과정을 거친다. 이렇게 해저로 침강되어 쌓이는 분과 위분을 생물원퇴적물(生物源堆積物)이라 한다. 그리고 '부유 물질의 여과 → 유기물의 섭취 후 동물체 내에서 결집 작용 → 배설물로 배출 → 해저에 퇴적'되는 과정을 생물원퇴적 또는 생물퇴적이라 한다.

갯벌의 주요 부유물식자에는 해면동물, 갑각류의 따개비류, 꽃갯지렁이와 석회관갯지렁이를 포함하는 관서다모류, 이매패류의 홍합류나 굴류, 척색동물의 멍게류 등 딱딱한 기질에 고착하는 생물군과 모래나 펄에 서식하는 이동성 생물군인 조개류가 있다. 바지락이나 대합(백합) 등의 이매패류는 아가미의 표면에 있는 섬모를 움직여 수류를 일으켜 입수관으로 해수를 취하는데 이때 해수와 함께 들어온 먹이를 아가미의 점액으로 감싼 뒤 입 주위에 있는 순판을 움직여 입으로 가져 간다. 입수관을 통해 체내로 들어오는 바닷물의 양은 홍합의 경우 한 개체가 하루에 약 50ℓ, 굴은 한 시간에 1ℓ 정도라는 연구 결과가 있다. 물이 빠지는 간조 때에는 바닷물이 없는 상태이므로 물의 여과는 중단되겠지만 그래도 갯벌에 사는 이매패류가 만조시 적어도 하루에 5~10ℓ의 해수를 여과한다는 계산이 된다.

한편 부유물식자의 먹이에는 재부유에 의해 현탁된 상태로 있는 저서성 미소조류나 편모조류도 있다. 특히 수심이 얕은 곳에서 해수의 표층을 플랑크톤 네트로 끌었을 때 개펄 표면의 부착성 규조류가 식물 플랑크톤에 섞여 나타나는 것은 잘 알려진 현상이다. 또 밀물 때 조석에 의한 물의 이동이 센 장소에서는 저서성 미소 조류가 부유되기 쉽다. 우리나라 서해안에 있는 대표적인 종류로는 파랄리아 설카타(*Paralia sulcata*)를 들 수 있다.

4.2.2 개펄의 청소부, 퇴적물식자

해저의 표면이나 모래, 펄 속에 있는 유기물을 영양원으로 하는 퇴적물식자는 입자의

구성 성분이나 크기를 선택적으로 또는 비선택적으로 섭취한다. 갯벌을 구성하는 펄이나 모래를 떠다가 고배율의 현미경으로 관찰하면 박테리아 피막이 입혀진 무기물인 모래 알갱이와 유기 쇄설물이라 부르는 입자 상태의 유기 물질 등으로 구성되어 있는 것을 볼 수 있다.

퇴적물식자는 이렇게 복합적인 혼합물을 먹이로 취하는데 모래 알갱이의 표면이나 입자들 사이의 간극수 내에 존재하는 미생물 또는 중형 저서동물 등을 용존되어 있는 유기물과 함께 흡수할 수도 있다. 또 봄철에는 식물 플랑크톤인 규조류나 편모조류가 대량 번식하며 그 후 이들의 사체와 동물 플랑크톤인 요각류의 분괴 등이 밑바닥에 퇴적되어 입자성 유기 물질의 공급원으로 작용하기도 한다.

입상(粒狀)의 유기 물질은 밑바닥에 사는 퇴적물식자의 창자를 통과하여 분괴라는 입자의 결집 형태로 몸 밖으로 배출된다. 퇴적물식자인 저서성 갯지렁이류는 수직의 서관을 만들어 밀집 개체군을 형성하는 종류도 있는데 만약 이들이 서관의 아래쪽 끝에서 퇴적물을 섭취한다면 퇴적물의 많은 양이 표층으로 수송된다. 또 밀집된 서관은 모래나 펄을 물리적으로 묶어 두어 매트를 만들고 저질을 단단하게 하여 결국 밑바닥을 안정시키는 결과를 가져온다. 따라서 저서성 갯지렁이류는 퇴적물 안정자의 역할을 하기도 한다.

퇴적물식자들 중에서 이매패류인 접시조개류, 해저의 표면을 기어다니는 소형 고등류, 갑각류의 일부와 유령갯지렁이류, 실타래갯지렁이류 등은 신생 퇴적물이나 살아 있는 미생물이 풍부한 저표 퇴적물을 먹는 데 적합한 섭식을 하기 때문에 선택적 퇴적물식 또는 저표 퇴적물식을 한다고 불린다. 이와는 반대로 이매패류 중에서도 아기호두조개류와 맵시조개류, 다모류에서는 대나무갯지렁이류와 빗갯지렁이류, 반색동물에서 별벌레아재비류, 해삼류에서 고구마해삼류와 닻해삼류 등은 저표 아래의 사니질 퇴적물을 무차별로 삼켜서 그 속에 포함된 유기물을 소화 흡수하고 많은 양의 모래펄을 분으로 배설하므로 비선택적 퇴적물식 또는 표면하 퇴적물식을 한다고 불린다.

대표적인 저표 퇴적물식자인 갯고둥이나 민칭이와 모래갯벌의 고조선 부근에 수직으로 구멍을 파고 사는 게류인 엽낭게와 달랑게, 펄갯벌의 상부 조간대에 구멍을 파고 집단으로 서식하는 칠게와 넓적콩게 등은 모두가 갯벌에 집단으로 서식하는 동물들이다. 엽낭게는 양쪽 집게다리로 번갈아 모래를 떠서 입으로 가져가며 턱다리 [顎脚] 로 규조류나 데트리터스를 모래로부터 골라내는데 그 효율이 매우 높다고 한다. 먹이를 골라내고 남은 모래는 덩이로 내다버리기 때문에 바닷물이 나간 지 몇 시간이 지나면 게 구멍 주위에 작은 모래덩이들이 많이 깔려 있는 것이 큰 특징이다.

4.2.3 잡식자와 부식자

갯벌에는 순수한 초식성 1차 소비자들 이외에도 먹이 선택의 폭이 넓은 동물들이 생

활하고 있다. 방게나 도둑게 등은 완전한 잡식성이며 동물이나 식물을 생사에 관계없이 잡아먹는다. 또한 갯벌에서는 왕좁쌀무늬고둥을 비롯한 좁쌀무늬고둥이 조개류나 게 등의 죽은 시체에 몰려 있는 것을 흔히 볼 수 있다. 이들은 부패된 동물 주위에 모여 먹어 치우기 때문에 부식자(腐食者)라고 불리며 갯벌의 사해식자(死骸食者)로 잘 알려져 있다.

하구역 갯벌의 대표적인 표층 퇴적물식자인 참갯지렁이도 매우 넓은 범위의 먹이를 취하는데, 그것의 위 내용물을 조사하면 규조류, 선충류, 요각류 또는 그 알이나 식물의 작은 파편에서 데트리터스에 이르기까지 매우 다양하다.

4.2.4 포식자

복족류 중에는 갯고둥이나 왕좁쌀무늬고둥처럼 먹이 선택의 폭이 넓은 종류뿐만 아니라 큰구슬우렁이나 흰민칭이처럼 완전히 육식성인 종류도 있다. 이러한 육식자들의 먹이 생물은 주로 이매패류가 된다. 미국산 고둥류인 우로살핑크스(*Urosalpinx cinerea*)는 우리나라에서는 대수리에 가까운 종류로 굴이나 홍합의 조가비에 구멍을 뚫고 내부의 살을 빼먹는다.

캐리커(Carriker) 등의 연구 결과에 따르면 이러한 육식자들은 발의 앞쪽 끝에 있는 보조 천공 기관(accessory boring organ, ABO)에서 산성의 액즙을 분비하여 조가비를 녹여 연하게 한 다음 치설(齒舌, radula)의 도움으로 구멍을 뚫고 입주머니를 집어 넣어 먹이의 내장 기관이나 살을 먹는다. 그렇다면 이들은 하루에 몇 개체의 먹이를 필요로 할까? 아직까지 분명하지는 않지만 실험실 수조에서 관찰한 바에 따르면 우리가 흔히 포장마차에서 볼 수 있는 큰구슬우렁이는 중간 크기의 바지락 다섯 개체를 하루에 소비하였다.

갯벌에서 가장 높은 영양 단계에 있는 동물에는 만조 때 상향 포식(bottom-up predation)을 하는 어류와 대형의 게, 새우류를 비롯하여 도요새류나 물떼새류처럼 간조 때 하향 포식(top-down predation)을 하는 철새 등이 있다. 갯벌을 생활 기반으로 하는 대표적인 어류에는 문절망둑이 있는데 참갯지렁이 등의 다모류나 기타 소형의 갑각류 등을 먹이로 한다. 가자미나 넙치류 등 많은 어류들이 특히 알에서 깬 지 얼마 안 되는 치어(稚魚) 때에 갯벌에 많이 의존하여 생활하며 봄에서 초여름에 걸쳐 갯벌의 조수 웅덩이에서 떼를 지어 소형의 갑각류나 갯지렁이류를 잡아먹는다. 조류 중에는 도요새류와 물떼새류를 비롯하여 오리류, 갈매기류 등이 갯벌 생물을 먹이로 한다. 민물도요는 엽낭게나 참갯지렁이를 잡아먹고 꼬까도요는 따개비나 옆새우류를 잘 먹는다. 알락꼬리마도요, 마도요 등 부리가 크고 긴 종류는 칠게처럼 중간 크기의 게들을 잘 잡아먹는다. 따라서 어류를 포함하여 갯벌의 거의 모든 동물들이 철새들의 먹이가 된다. 갯벌에서 먹이를 구하는 도요새류나 물떼새류의 먹이 내용물에 대하여는 비교적 많은 연구가 되어 있

는데 같은 종 내에서도 계절이나 장소에 따라 다르며 매우 다양하다. 결국 먹이 내용물은 그 종이 가지는 먹이 선호성보다는 주로 미채식 장소(微採食場所)의 선호성에 따라 결정되는 것으로 보인다. 또 채식하는 방법이나 먹이 생물의 공간적 배치 등의 생물적 요인도 관련된다.

5. 다양한 갯벌의 기능

갯벌과 염습지 식생을 포함하는 연안 습지 생태계는 왜 보존하여야만 하는가? 이 문제에 답하려면 갯벌과 염습지 식생을 포함하는 연안 습지생태계의 기능과 가치를 구체적으로 살펴보아야 한다.

연안 습지 생태계는 자연 정화조로서의 기능을 수행할 뿐만 아니라 자연 재해와 기후를 조절하고, 연안 생태계를 지탱하는 생태적 기능을 수행할 뿐만 아니라 양식업 등에 이용되어 동물성 단백질의 공급원으로써 경제적 가치를 발휘한다. 최근에는 관광이나 휴식을 위한 장소로 각광을 받고 있으며 더불어 자연 탐구 학습을 위한 교육의 장소가 되고 있다.

5.1 자연 정화조로서의 기능

습지는 더욱 높은 육상부에서 흘러내려 온 빗물이 모여 더 큰 강에 도달하기 전이나 강의 중상류로부터 흘러내려 온 하천수가 바닷물과 만나기 전에 차단하는 중요한 여과 능력을 가진다. 이렇게 빗물이 바다로 흘러내려 가는 과정을 통해 염습지 식생이나 갯벌은 과잉의 영양염류나 오염 물질을 흡수할 뿐만 아니라 수로를 막고, 어류나 기타 해양생물의 난(卵) 발생에 영향을 미치는 부유 퇴적물을 감소시키는 역할을 한다.

부유 물질의 농도가 높은 물이 강을 통해 습지로 유입될 때 습지의 가장자리에 밀생하는 식생이 유속을 떨어뜨려 여러 가지 부유 물질을 퇴적시킨다. 갈대나 부들과 같은 식생으로 덮인 온대 지역에서는 최대 95% 정도의 수중 부유 물질이 제거된다. 생화학적으로는 탈질 작용처럼 혐기성 또는 호기성 미생물의 작용과 기타 화학적 침전 작용이 있어 특정 화학 물질을 물에서 제거하기도 한다.

실제로 1990년에 조사된 연구 결과를 보면 미국 남캐롤라이나의 콩가리 저습 지대(Congaree Bottomland Hardwood)의 늪지가 없었다면 그 지역은 적어도 500만 달러 정도의 폐수 처리장이 필요하였을 것으로 조사되었다. 1997년 코스탄자(Costanza) 등이 과학저널 『Nature』에 기고한 연구에서도 염습지의 정화 기능이 전체 경제적 가치의 67%를 차지한다고 계산하였다. 갯벌의 자연 정화조로서의 일반적 수질정화기능은 뒤에서 보다 상세히 설명하기로 하였다.

5.2 자연 재해와 기후 조절의 기능

습지는 마치 '자연의 스펀지' 처럼 홍수나 빗물 등 표면수의 급류를 일차적으로 차단하여 흡수한 뒤 천천히 방류시키는 동시에 많은 양의 물을 저장할 수 있기 때문에 순간적으로 일어날 수 있는 높은 수위를 일단 낮출 수 있다. 따라서 하안(河岸)이나 해안의 침식을 막고 홍수의 피해도 최소화하는 완충지의 역할을 한다. 특히 도시 하천수 주변의 습지는 빌딩이나 포장도로 위에서 흘러내리는 표면수의 급작스런 증가로 일어나는 범람의 피해를 완화시켜 주는 역할을 한다. 이렇듯 습지가 해안 침식을 막고 조절하는 능력이 매우 중요하기 때문에 미국의 일부 주정부에서는 태풍이나 허리케인 등으로 일어나는 거센 파도를 완화시키기 위하여 습지를 복원하고 있다.

습지를 구성하는 식물의 뿌리는 토사를 붙잡아 고정하고, 줄기나 잎은 파랑 에너지를 흡수하며 강한 유속을 약화시킨다. 특히 해안 습지가 토사를 고정시키면 자연히 지반이 상승되기 때문에 최근에는 지구 온난화에 따라 해수면이 상승함으로써 일어나는 피해에 대한 효과적인 대비책으로도 알려지고 있다.

또한 갯벌이나 염습지 식생, 기타 내륙 습지는 기후를 조절하는 기능을 가지는데 지역에 따라 그 면적이 방대하면 국지적으로 대기의 온도와 습도를 조절한다.

5.3. 생태적 기능

미국에서는 현재 멸종 위기에 처하거나 위협을 받고 있는 생물 종의 약 3분의 1 이상이 습지 생태계에서만 발견된다는 보고가 있다. 또한 미국의 전체 생물다양성의 거의 절반이 습지 생태계에 의존하고 있다고 한다. 최근에는 염습지 식생과 갯벌로 구성되는 해안 습지가 전체 해양 생물의 다양성을 부양하는 데 있어서 가장 중요한 역할을 담당하는 해양 생태계라는 것이 과학적으로 입증되었다.

해양 생태계 중에서 1차 생산력의 연평균 생산율을 살펴보면 하구역이나 해조숲-산호초 생태계의 생산력이 대륙붕이나 용승 해역보다 4배 정도 더 높고 외해역 보다는 거의 10배 이상 차이가 난다. 그런데 습지 생태계의 생산력은 대륙붕보다는 10배, 외해역보다는 거의 30배 이상 높아 지구상에서 가장 높은 생산력을 보인다. 다만 외해역은 생산력이 낮다 할지라도 그 면적이 전세계 해역의 90% 이상이기 때문에 지구 해양 생산력의 60% 이상을 차지한다.

한편, 갯벌은 회유하는 철새들의 중간 기착지로서 에너지를 재충전하기 위한 급식이나 휴식 또는 번식 장소로도 이용된다. 어떤 종류의 철새들은 특정 습지를 통과하여야만 하기 때문에 세계적으로 중요한 습지들을 보존하기 위하여 람사협약이 제정되었다.

우리나라 서해안의 갯벌은 그 규모에 걸맞게 생물 다양성이 매우 높다. 필자의 연구실에서는 지난 4년여 동안 서해 5도인 백령도와 대청도를 비롯하여 강화도, 용유도의 을왕리와 덕교리, 인천의 송도, 경기도의 대부도 갯벌 등에서 저서성 대형 무척추동물을 조사하였는데 그 결과 갯지렁이류, 갑각류, 연체동물 등 총 260여종이 발견되었다. 이 중에는 우리나라에서 맨 처음으로 세계 학계에 신종으로 보고된 것만도 단각류 11종과 갯지렁이류 2종, 올챙이새우류 2종이 있다. 특히 미소 갑각류에 속하는 단각류 5종은 가까운 용유도 모래갯벌에서, 제물포백금갯지렁이는 인천 주변 조간대 상부의 펄갯벌에서 집단 서식하는 것으로 밝혀져 앞으로 이들 서식처의 보호 대책이 요구된다.

5.4. 경제적 가치

대부분의 상업성 어류나 게, 새우류 등은 하구역이나 주변 연안의 염습지 식생 또는 갯벌에서 알을 낳거나 어린 시기를 보낸다. 우리 식탁에 오르내리는 해산물의 3분의 2 이상이 바로 갯벌이나 염습지 식생에서 생의 일부를 보내는 종들이다. 저 먼 동중국해나 황해의 중앙부에서 어획하여 수협이나 어판장에서 판매하는 각종 어종들도 얼핏 보면 원양에서만 서식하는 종처럼 보이지만 그들 대부분이 하구역이나 갯벌, 염습지 식생 등 연안 생태계에 의존하는 것들이다.

해양 생물학자들은 어시장에 나오는 전세계 수산물의 80~90%가 연안의 천해(淺海) 수역에 직간접으로 의존하는 것으로 본다. 이는 결국 연안 해역의 높은 생산성에 기인하는데 특히 염습지 식생과 갯벌을 포함하는 연안 습지 생태계의 중요성이 가장 높다.

갯벌은 또한 자연 생산물의 공급처로서의 가치도 중요하다. 외국에서는 연안 습지에서 나는 과일이나 목재 등을 개발하여 이용하기도 한다. 우리나라에서는 연안 습지나 갯벌 그 자체의 이용이나 효용성이 아직 잘 알려지지 않았지만 앞으로는 이곳의 생물들로부터 귀중한 의약품이나 신물질 등이 추출될 수도 있다. 그러므로 다시 한 번 염습지 식생이나 갯벌에서의 생물 다양성 보존을 심각하게 고려하여야 한다.

최근에는 우리 나라에서도 머드팩 같은 서해안의 개펄을 이용하는 상품을 개발하였고, 개펄 마사지가 피부 미용에 좋다고 하여 펄갯벌에서 얼굴에 온통 펄칠을 하고 다니는 아가씨들을 가끔씩 볼 수도 있다. 이처럼 갯벌은 새로운 관광 상품으로 떠오르고 있으며 극기 훈련의 장으로도 이용되고 있다. 또 염습지 식생을 구성하는 해홍나물이나 칠면초, 나문재 등의 어린순을 식용으로 이용하는 어촌도 많다.

5.5 문화적 기능

최근 들어 습지는 낚시나 해수욕, 휴식, 관광 등을 제공하는 레저 공간으로도 이용되

고 있다. 더불어 사진가나 화가, 작가들에게는 아름다운 바다 풍경이나 바다 소리 등으로 작품의 소재를 제공하는 공간이 되어 그 문화적 가치가 더욱 중요시되고 있다. 아스팔트와 콘크리트로 뒤덮인 시가지나 공업 단지에 묻혀 지내다가도 일단 갯벌을 찾아가면 넘실대는 푸른 파도와 눈이 부시게 하얀 모래사장, 광활한 갈대숲, 그리고 그 위를 유유히 나는 갈매기떼 등 우리가 그려오던 자연 그대로의 모습을 만날 수 있다. 따라서 각박한 도시 생활에 시달리는 우리의 마음을 포근하고 풍요롭게 만들어 주는 갯벌을 더 이상 파괴해서는 안 될 것이다.

5.6 자연 탐구를 위한 교육 장소로서의 기능

우리나라 서해안의 갯벌은 그 면적으로 보아 캐나다의 동부 해안, 미국의 동부 해안과 북해 연안, 아마존강 유역과 더불어 세계의 5대 갯벌로 꼽힌다. 최근에는 갯벌이 한반도의 가장 중요한 생태계로 인식되어 자연 관찰과 탐조(探鳥) 등을 위한 자연 학습장과 학술 연구의 장으로 이용되고 있다. 특히 천수만 일대와 낙동강 하구의 을숙도에 형성된 갈대숲의 연안 습지는 철새들의 중요한 서식지이자 좋은 자연 학습장이 되고 있다.

이렇듯 갯벌의 기능과 가치는 매우 다양하다. 그 가운데 우리의 생명을 지켜 주는 가장 중요한 것이 바로 자연 정화의 기능이다. 최근 일본에서는 갯벌의 자연 정화 기능과 하수 처리 시설의 정화 기능을 수치화하여 비교하는 연구를 발표하여 많은 이들의 관심을 불러일으켰다. 그래서 우리의 갯벌 생물상과 가장 비슷한 이웃 일본의 예를 통해 갯벌의 수질정화 작용에 대해 좀더 자세히 살펴보고자 한다.

6. 갯벌의 수질정화 작용

6.1 갯벌의 수질정화 작용의 이해

갯벌의 정화 작용은 크게 물리적인 측면과 생물적인 측면 두 가지로 생각할 수 있다. 물리적 측면이란 수질정화 작용 그 자체가 아니라 정화를 촉진시키는 조건을 제공하는 것으로 여기에는 조석과 파랑의 역할이 크다. 조석이나 파랑으로 해수가 충분히 교란되어 공기 중의 산소가 물에 용해되며 이렇게 용해된 해수 중의 산소는 유기물의 호기적 분해에 필수 조건이 된다.

조석으로 물이 수직 혼합되면 만조 때 갯벌에 용존하는 산소량은 증가하는 반면 조하대에서의 용존 산소량은 두드러지게 감소한다. 그래서 어떤 해역의 오염 상태를 파악하려면 무엇보다도 해수의 유동 상태를 이해하는 것이 중요하다. 만약 반폐쇄성 해역인 황

해에서 해수의 유동을 유발시켜 산소를 공급하는 조석이라는 커다란 물리적 에너지가 없었다면 황해는 아마도 오염으로 사해(死海)가 되었을지도 모른다.

갯벌에서는 간조 때에 바닥이 공기 중에 직접 노출되기 때문에 산소가 골고루 미치지 않는 모래 알갱이 틈새의 간극수에도 산소가 용해된다. 이 과정을 통해 정화 작용에 필요한 산소가 갯벌의 물리적 조건에 따라 더욱 효과적으로 공급된다. 산소의 공급은 단지 물리적 교란이나 노출에 따라 이루어지는 것만은 아니며 갯벌 바닥의 부착성 미소 조류와 식물 플랑크톤처럼 1차 생산자들의 광합성 결과에서 유래하는 양도 많다.

물리적 측면의 또 하나의 중요성은 파랑에 의한 동식물의 유해나 분괴의 세편화(細片化)이다. 동물이나 식물을 막론하고 모든 생물은 사망하면 자신의 산소에 의해 스스로 분해되고 부패 박테리아의 활동으로 사체가 부드러워진다. 그리고 파랑이나 정선 부근에서 모래 알갱이의 상하, 수평 운동은 연해진 동식물의 사체를 더욱 잘게 부수어 준다. 이렇게 잘게 부서진 유기물의 파편들인 데트리터스는 이것을 다시 분해하는 박테리아의 착생 면적을 증대시킬 뿐만 아니라 번식을 쉽게 한다.

정화 작용의 생물학적 측면은 더욱 중요하며 갯벌의 높은 생산력이 그것을 지지한다. 이때 정화 작용이란 유기물의 무기화이기 때문에 이것을 담당하는 박테리아의 작용이 중요하다. 데트리터스의 표면에는 수많은 박테리아가 부착하여 있는데, 박테리아는 단백질을 암모니아로 그리고 다시 질산염으로 분해하고 산화시키며 최종적으로 탄수화물을 무해한 물과 탄산가스로 분해한다.

한편 갯벌에서 비교적 많은 양이 존재하는 조개류도 정화 작용에 대단히 중요한 역할을 한다. 조개류와 같은 여과식자는 부유 물질의 여과 섭식을 통해 수중에 떠다니는 유기물을 제거하는데 조간대의 이매패류가 여과하는 해수의 양은 그 종류와 여과 활동의 시간에 영향을 미치는 조위 등에 따라 다르다. 최근 일본에서 발표한 연구 결과를 보면 갯벌에서 많이 나는 바지락의 경우 3cm 정도 되는 한 개체가 한 시간에 평균 약 1ℓ의 해수를 여과한다고 한다. 갯벌에는 간조와 만조가 있고 바지락이 하루에 최소한 2시간 정도는 활동을 한다고 계산하더라도 하루에 2ℓ 정도의 해수를 여과한다고 볼 수 있다. 해수 중의 입상 유기물의 양을 1ℓ당 5mg이라 하고 바지락의 여과 효율을 50%로 친다면 한 개체가 일년 동안에 갯벌의 해수 중에서 제거하는 데트리터스의 양은 2g 정도가 된다. 만약 $100m^2$의 갯벌에 1천 개체의 바지락이 서식한다면 이들이 일년 동안에 제거하는 데트리터스의 양은 2kg에 이르며 여과하는 해수의 양은 400톤에 달한다.

실제로 우리나라 서해안의 갯벌 면적은 이보다 훨씬 크고 이들의 서식 밀도도 훨씬 높다. 여과식자 뿐만 아니라 개펄 속의 유기물을 섭취하는 퇴적물식자까지 포함하여 생각하면 대형 저서동물에 의한 갯벌의 유기물 제거량은 훨씬 더 커질 것이다. 또한 갯벌 생태계에서는 부패물 청소부로 알려진 왕좁쌀무늬고둥 등의 고둥류나 일부 게들이 갯벌

동물의 사체를 먹고 소화, 분해하듯이 먹이 연쇄를 통해 유기물의 무기화가 효율적으로 이루어지고 있다. 갯벌에서 유기물의 분해가 박테리아의 작용에만 의존한다면 그 분해 속도는 매우 느릴 것이다. 하지만 이매패류나 고둥류, 갑각류 등의 현존량이 많은 것은 갯벌의 먹이 연쇄 중에서 소화를 통한 분해와 정화가 더욱 중요한 역할을 담당하고 있다는 것을 보여 준다. 그러므로 우리나라 갯벌 생물 군집의 구조와 종의 조성, 각각의 생물량을 파악하고 각 종들의 먹이 섭취 생태를 알아야 갯벌의 수질 정화 능력을 더욱 정확하게 계산할 수가 있다.

6.2 정화 능력과 하수 처리 시설의 비교

최근 우리와 갯벌 생물상이 비슷한 일본의 미카와만 이시키 갯벌($10km^2$)에서 조사한 연구 결과를 보면 만조 때 외해수로부터 갯벌 위로 수송된 식물 플랑크톤을 중심으로 하는 현탁 유기물은 여과식성 이매패류를 중심으로 한 저서동물들의 활발한 섭식에 따라 대부분 해수로부터 빠른 속도로 제거된다는 것이 정량적으로 밝혀졌다.

이 지역 갯벌에서 현탁물을 제거하는 능력을 여과율로 보면 시간마다 약 8%의 비율로 감소하는 것으로 나타났고, 이것을 한 조석(12시간) 주기로 계산하면 전체 해수의 96%를 여과하는 셈이다. 동시에 24시간 동안에 166.6kg의 질소가 소실되었다는 계산이다. 이것을 같은 현탁물의 제거 기능을 갖는 하수 처리 시설과 비교하면 하루에 4,801kg의 COD(화학적 산소 요구량)를 제거하는 것이다. 이는 계획 처리 인구가 10만 명이고 처리 대상 면적이 $25.3km^2$ 정도되는 하수 처리 시설에 상당한다. 이로부터 최종 하수 처리장 건설비를 견적하여 보면 우리 돈으로 약 1,221억원이고 일년 동안의 유지 관리비가 57억원이다. 그러나 이것만 가지고는 하수도 시설로서의 기능을 하지 못하므로 여기에 필요한 시설 용지비, 펌프비, 펌프 시설 유지와 관리비를 더하면 대략 하수도 시설의 전체 건설비 총액은 약 8,782억원으로 계산된다.

그런데, 하수 처리장 시설은 유지를 위하여 관리비가 필요하지만 갯벌에서는 바지락 등을 수확하여 오히려 수익을 거둘 수 있다. 어획은 바다로부터 영양 물질을 제거하는 것이며 이는 하수 처리장에서 말하는 3차 처리 기능(용존태 질소와 인의 제거)에 해당한다. 이런 관점에서 보면 갯벌에서는 어업으로 수익을 얻는 동시에 자연 환경 정화 사업도 할 수 있다.

결론적으로 갯벌이 존재하지 않는 부영양화 해역에서는 육상으로부터 영양염이 유입되고 바다 그 자체에서 생산된 현탁 유기물이 해저에 쌓이며, 그것을 분해하는 과정에서 산소를 소비하여 심각한 빈산소 수괴를 형성하게 된다. 그러나 갯벌의 존재로 그 현탁 유기물은 대형 저서동물을 중심으로 하는 생물체로 전환되고 갯벌에 저장된다. 이러한 과정을 통해 수산업에 유용한 종은 어획에 의해 육상으로 운반되고 빈산소 수괴나 적조

발생의 악순환은 억제된다. 이때 갯벌의 정화 기능은 여과성 저서동물의 현존량이 많을수록 잘 발휘된다. 따라서 높은 정화 기능을 가지는 갯벌은 곧 생산성이 높은 이매패류 어장이기 때문에 연안 어업의 진흥이 가장 효율적이면서 경제적인 해역 정화의 한 방법이라고 할 수 있다. 그러므로 매립과 간척 등에 의한 우리나라 연안의 개발은 갯벌의 정화 기능과 능력을 반드시 고려하여야 하며 되도록 갯벌이나 잘피밭 등의 해조숲을 파괴하는 일은 피할수록 좋다. 또 인공 갯벌의 조성이나 이매패류 어장의 조성 사업은 어획에 따른 어업 생산액만으로 투자 효과를 계산하여서는 안 되며, 어장이 갖는 정화 기능을 기대 효과에 포함시켜 정책을 입안하여야 한다.

7. 갯벌의 오염과 매립, 간척

1998년 현재 우리나라 남한의 서남해안에는 2,393km^{2}의 갯벌이 분포하며, 이는 국토 면적의 2.4%에 해당된다. 그 가운데 전체 갯벌 면적의 약 83%인 1,980km^{2}가 서해안 지역에 분포하며 나머지는 남해안에 산재되어 있다. 지역별로는 전남이 44%, 인천을 포함하는 경기도가 35%, 충남이 13%, 전북이 5%, 부산을 포함한 경남이 3%이다. 따라서 경기와 전남 지역이 우리나라 갯벌의 대부분인 80% 정도를 차지하는 셈이다(해양수산부, 1998).

현재의 갯벌은 불과 10여년 전인 1987년보다 전체적으로 약 15%가 줄어들어 422.4km^{2}가 상실되었는데 그 주된 원인은 간척과 매립이다. 그러나 조사 방법이나 분석 방법 등의 차이가 있어 실제로는 30~40% 정도 상실되었을 것으로 추정된다. 왜냐하면 시화 지구나 새만금 지구 등지에서 간척과 매립 사업으로 상실된 갯벌의 면적이 810.5km^{2}로 조사되었는데 이 수치만으로도 29% 정도의 갯벌이 상실된 것이기 때문이다. 갯벌이 이렇게 빨리 사라지는 것은 환경을 외면한 개발, 특히 대규모의 간척 사업 때문이며 지금까지와 같은 속도로 매립과 간척이 계속 이루어진다면, 우리나라의 갯벌은 2006년경에는 1960년도의 거의 절반에 해당하는 2천 제곱킬로미터 정도만이 남는다는 계산이 된다. 그리고 2020년에는 1,500제곱킬로미터 이하로 줄어들게 된다. 이런 추세로 나간다면 세계 5대 갯벌의 하나인 우리 서해안 갯벌이 아예 자취를 감출 날도 그리 멀지 않은 것이다.

이렇게 생태적 보고이자 정화의 장인 갯벌은 이제 연안 개발과 국토 확장이라는 미명 아래 이루어지는 대규모의 매립과 간척으로 공업 단지나 농업 및 도시 용지로 탈바꿈하였을 뿐만 아니라 각종 오염 물질의 야적장이 되어 버렸다. 또한 아직 남아 있는 갯벌에 대해서도 엄청난 개발 계획이 연일 발표되고 있다. 그러나, 최근 들어 갯벌의 가치를 재인식하면서 개발보다는 보존이 더 중요하다는 시각이 차츰 확산되고 있으며 민간 환경단체를 중심으로 갯벌 보존 운동이 활발하게 이루어지고 있다. 갯벌은 그 지형적인 특

성상 평탄하고 드넓게 펼쳐져 있고 강의 하구에 위치하면서도 도시에 인접하여 매립과 간척으로 계속해서 소실되었다. 한강의 하구역에 위치하는 예전의 강화도가 그렇고, 인천의 송도 갯벌과 시화 지구 등은 과거에는 광대한 갯벌이 발달하였으나 현재는 대부분 콘크리트 호안으로 대치되었다. 또 펄갯벌로는 최대 규모였던 충남의 현대 간척지 서산 A, B 지구와 인천 경서동의 이른바 동아 매립지는 농업 용지로 간척되었으나 언제, 어느 때 다른 용도로 바뀔지 모르는 곳이다.

7.1. 매립과 준설은 서식처 파괴의 전형

갯벌을 매립하면 매립한 면적만큼 갯벌 생물의 서식처는 파괴된다. 그렇게 되면 갯벌 생태계에 서식하는 각종 해양 생물들이 사라지고 수산 생물의 산란장, 보육장, 어획의 장으로서 기능과 부영양화와 유기물 오염 방지의 기능이 상실되며 기타 심미적 관점에서 인간에게 주는 이익 등 수많은 갯벌의 기능이 사라진다. 뿐만 아니라 이곳의 구성원들과 직간접으로 관계를 가지고 있던 주변 생태계는 물론 인간도 그 영향을 받게 된다.

특히 최근에 시행되는 대부분의 매립과 간척은 선박의 항로를 만든다는 명분으로 주변 조하대의 개펄을 준설(浚渫)하고 그 준설토를 다시 매립토로 이용하고 있어 인근의 연안 조하대 생태계마저 파괴하고 있다. 준설한 지역에서는 매립과 똑같이 그만큼의 서식처 면적이 파괴되기 때문에 준설 지역의 생물 군집이나 개체군이 다시 회복되려면 많은 시간이 필요하다. 준설에 의한 서식처의 파괴는 주변 육상부의 산을 깎아 매립토로 사용하는 경우보다 잃는 것이 더 많다. 왜냐하면 조하대의 연안 생태계는 먼바다 생태계가 정상적 기능을 유지하기 위한 기본적인 역할 외에도 우리에게 수산물을 공급하고, 가까운 갯벌 생태계 고유의 기능을 위한 생태학적 고리 역할을 수행하기 때문이다. 연근해 생태계의 보리새우나 대하, 꽃게 외에도 우리들 식탁에 오르내리는 수많은 물고기들 가운데 생활사의 어느 단계에서 갯벌에 잠시 머물다 오는 통과객이 많다는 것은 잘 알려진 사실이다. 따라서 이들의 서식처가 파괴되면 그 종족을 유지할 수 없으며 결국 어획은 감소하고 그 종은 멸종하게 된다. 준설은 또 준설 당시 물의 탁도(濁度)를 수반한다. 탁한 물은 일차적으로 태양광의 투과를 저해하여 1차 생산력을 저하시킬 뿐만 아니라 해저에 사는 부유물식자의 여과 기관을 막아 질식케 하여 해저 생물의 대량 폐사를 유발하기도 한다.

7.2 생태계의 단편화를 초래하는 연안 매립

서해안에서는 거대한 규모의 연속된 서식처인 갯벌 생태계가 매립과 간척으로 여러 개의 작고 고립된 조각으로 나누어져 단편화(斷片化)되고 있다. 고려시대 이후 오늘에

발생의 악순환은 억제된다. 이때 갯벌의 정화 기능은 여과성 저서동물의 현존량이 많을수록 잘 발휘된다. 따라서 높은 정화 기능을 가지는 갯벌은 곧 생산성이 높은 이매패류 어장이기 때문에 연안 어업의 진흥이 가장 효율적이면서 경제적인 해역 정화의 한 방법이라고 할 수 있다. 그러므로 매립과 간척 등에 의한 우리나라 연안의 개발은 갯벌의 정화 기능과 능력을 반드시 고려하여야 하며 되도록 갯벌이나 잘피밭 등의 해조숲을 파괴하는 일은 피할수록 좋다. 또 인공 갯벌의 조성이나 이매패류 어장의 조성 사업은 어획에 따른 어업 생산액만으로 투자 효과를 계산하여서는 안 되며, 어장이 갖는 정화 기능을 기대 효과에 포함시켜 정책을 입안하여야 한다.

7. 갯벌의 오염과 매립, 간척

1998년 현재 우리나라 남한의 서남해안에는 2,393km^{2}의 갯벌이 분포하며, 이는 국토 면적의 2.4%에 해당된다. 그 가운데 전체 갯벌 면적의 약 83%인 1,980km^{2}가 서해안 지역에 분포하며 나머지는 남해안에 산재되어 있다. 지역별로는 전남이 44%, 인천을 포함하는 경기도가 35%, 충남이 13%, 전북이 5%, 부산을 포함한 경남이 3%이다. 따라서 경기와 전남 지역이 우리나라 갯벌의 대부분인 80% 정도를 차지하는 셈이다(해양수산부, 1998).

현재의 갯벌은 불과 10여년 전인 1987년보다 전체적으로 약 15%가 줄어들어 422.4km^{2}가 상실되었는데 그 주된 원인은 간척과 매립이다. 그러나 조사 방법이나 분석 방법 등의 차이가 있어 실제로는 30~40% 정도 상실되었을 것으로 추정된다. 왜냐하면 시화 지구나 새만금 지구 등지에서 간척과 매립 사업으로 상실된 갯벌의 면적이 810.5km^{2}로 조사되었는데 이 수치만으로도 29% 정도의 갯벌이 상실된 것이기 때문이다. 갯벌이 이렇게 빨리 사라지는 것은 환경을 외면한 개발, 특히 대규모의 간척 사업 때문이며 지금까지와 같은 속도로 매립과 간척이 계속 이루어진다면, 우리나라의 갯벌은 2006년경에는 1960년도의 거의 절반에 해당하는 2천 제곱킬로미터 정도만이 남는다는 계산이 된다. 그리고 2020년에는 1,500제곱킬로미터 이하로 줄어들게 된다. 이런 추세로 나간다면 세계 5대 갯벌의 하나인 우리 서해안 갯벌이 아예 자취를 감출 날도 그리 멀지 않은 것이다.

이렇게 생태적 보고이자 정화의 장인 갯벌은 이제 연안 개발과 국토 확장이라는 미명 아래 이루어지는 대규모의 매립과 간척으로 공업 단지나 농업 및 도시 용지로 탈바꿈하였을 뿐만 아니라 각종 오염 물질의 야적장이 되어 버렸다. 또한 아직 남아 있는 갯벌에 대해서도 엄청난 개발 계획이 연일 발표되고 있다. 그러나, 최근 들어 갯벌의 가치를 재인식하면서 개발보다는 보존이 더 중요하다는 시각이 차츰 확산되고 있으며 민간 환경단체를 중심으로 갯벌 보존 운동이 활발하게 이루어지고 있다. 갯벌은 그 지형적인 특

성상 평탄하고 드넓게 펼쳐져 있고 강의 하구에 위치하면서도 도시에 인접하여 매립과 간척으로 계속해서 소실되었다. 한강의 하구역에 위치하는 예전의 강화도가 그렇고, 인천의 송도 갯벌과 시화 지구 등은 과거에는 광대한 갯벌이 발달하였으나 현재는 대부분 콘크리트 호안으로 대치되었다. 또 펄갯벌로는 최대 규모였던 충남의 현대 간척지 서산 A, B 지구와 인천 경서동의 이른바 동아 매립지는 농업 용지로 간척되었으나 언제, 어느 때 다른 용도로 바뀔지 모르는 곳이다.

7.1. 매립과 준설은 서식처 파괴의 전형

갯벌을 매립하면 매립한 면적만큼 갯벌 생물의 서식처는 파괴된다. 그렇게 되면 갯벌 생태계에 서식하는 각종 해양 생물들이 사라지고 수산 생물의 산란장, 보육장, 어획의 장으로서 기능과 부영양화와 유기물 오염 방지의 기능이 상실되며 기타 심미적 관점에서 인간에게 주는 이익 등 수많은 갯벌의 기능이 사라진다. 뿐만 아니라 이곳의 구성원들과 직간접으로 관계를 가지고 있던 주변 생태계는 물론 인간도 그 영향을 받게 된다.

특히 최근에 시행되는 대부분의 매립과 간척은 선박의 항로를 만든다는 명분으로 주변 조하대의 개펄을 준설(浚渫)하고 그 준설토를 다시 매립토로 이용하고 있어 인근의 연안 조하대 생태계마저 파괴하고 있다. 준설한 지역에서는 매립과 똑같이 그만큼의 서식처 면적이 파괴되기 때문에 준설 지역의 생물 군집이나 개체군이 다시 회복되려면 많은 시간이 필요하다. 준설에 의한 서식처의 파괴는 주변 육상부의 산을 깎아 매립토로 사용하는 경우보다 잃는 것이 더 많다. 왜냐하면 조하대의 연안 생태계는 먼바다 생태계가 정상적 기능을 유지하기 위한 기본적인 역할 외에도 우리에게 수산물을 공급하고, 가까운 갯벌 생태계 고유의 기능을 위한 생태학적 고리 역할을 수행하기 때문이다. 연근해 생태계의 보리새우나 대하, 꽃게 외에도 우리들 식탁에 오르내리는 수많은 물고기들 가운데 생활사의 어느 단계에서 갯벌에 잠시 머물다 오는 통과객이 많다는 것은 잘 알려진 사실이다. 따라서 이들의 서식처가 파괴되면 그 종족을 유지할 수 없으며 결국 어획은 감소하고 그 종은 멸종하게 된다. 준설은 또 준설 당시 물의 탁도(濁度)를 수반한다. 탁한 물은 일차적으로 태양광의 투과를 저해하여 1차 생산력을 저하시킬 뿐만 아니라 해저에 사는 부유물식자의 여과 기관을 막아 질식케 하여 해저 생물의 대량 폐사를 유발하기도 한다.

7.2 생태계의 단편화를 초래하는 연안 매립

서해안에서는 거대한 규모의 연속된 서식처인 갯벌 생태계가 매립과 간척으로 여러 개의 작고 고립된 조각으로 나누어져 단편화(斷片化)되고 있다. 고려시대 이후 오늘에

이르기까지 국토를 확장하여 산업화와 도시화에 따른 토지 수요를 창출한다는 미명 아래 엄청난 규모의 갯벌이 파괴되었으며 이제는 그 본래의 모습을 찾아볼 수 있는 곳이 매우 드물게 되었다.

매립과 간척으로 조각난 서식처는 격리되어 종의 이입 속도가 줄어들고 결국 종수는 감소하여 생물학적 다양성이 감소하게 된다. 단편화된 갯벌 생태계는 주위가 본래와는 다른 이질적인 생태계로 둘러싸여 이웃하던 생태계의 구성원과 장구한 시간을 두고 이루어 왔던 먹이 사슬이나 생물학적 상호 관계가 균형을 잃고 결국 멸종한다. 종의 이동이나 행동권의 규모와 정도는 종의 생활사적 특성에 따라 달라지므로 현재로서는 갯벌 생물의 종 조성과 서식 종의 생태적인 특성을 파악하는 일이 무엇보다 중요하다. 이를 바탕으로 종별 또는 군집별 생태 특성을 고려하여 서식처로서의 갯벌을 국가적인 차원에서 보존하고 관리하는 일이 시급하다.

8. 갯벌의 보존을 위하여

생태계의 기능에 대한 과학적 지식이 없었던 시대에 대부분의 사람들은 갯벌을 황무지로 여겼다. 이러한 생각은 최근까지도 이어져 갯벌을 당장의 개발만을 위하여 매립, 준설 등을 통해 다른 용지로 바꿔도 되는 곳으로 여기거나 도시 오염 물질의 야적장으로 여기는 사람들이 아직도 많이 있다.

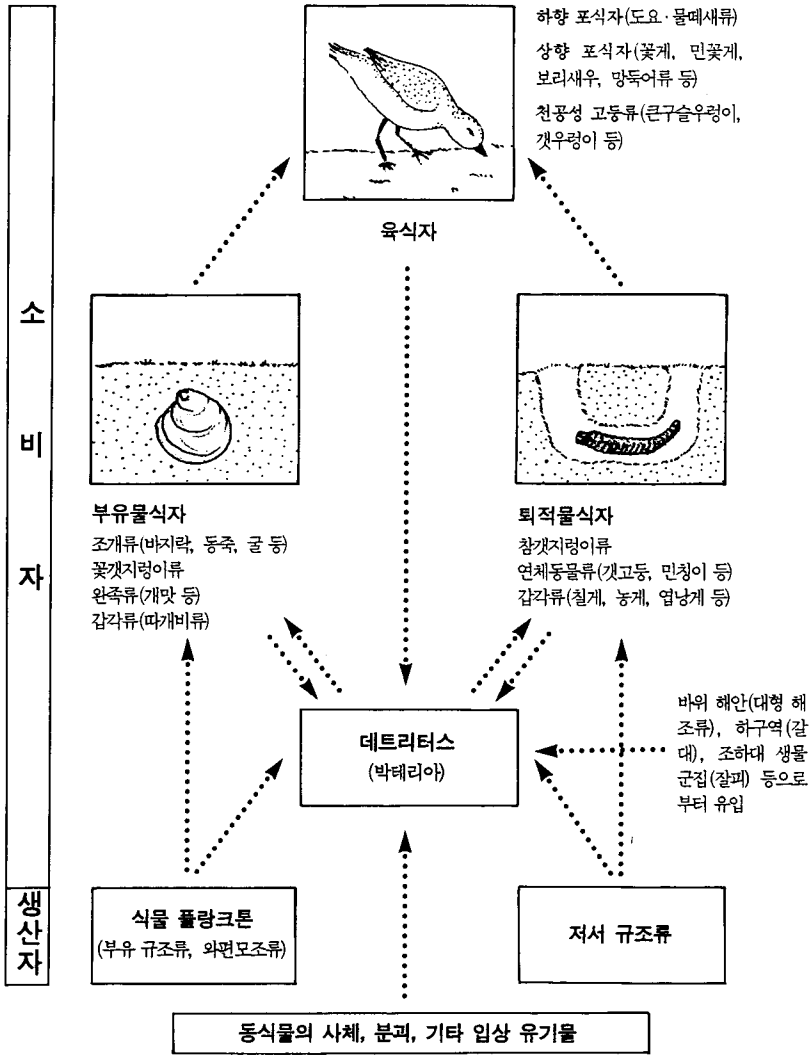
최근 외국에서는 수산 자원과 환경 보존 그리고 기타 문화적 가치 등을 고려하여 갯벌의 경제적 가치를 계산하였다. 그 결과 갯벌의 경제적 가치는 농경지에 비해 100배, 외해역에 비해 거의 40배나 된다고 한다. 이는 지금까지 국토 확장을 위하여 갯벌을 흙으로 메우기에 급급하였던 우리에게 경종을 울리는 사실이다.

이처럼 갯벌 생태계는 중요한 역할을 수행하지만 아직까지도 갯벌의 생물 다양성은 물론 생물 군집의 구조, 생태계의 기능, 부영양화와 적조로 이어지는 오염 문제에 이르기까지 체계적이고도 구체적인 연구가 거의 전무한 실정이다. 그러나 이제는 갯벌 생태계의 보존을 위한 연구와 대책 마련을 더 이상 미루어서는 안 된다.

오염된 호수만 남은 시화 지구 개발에서 보았듯이 대규모 간척은 당초의 목적을 달성하지도 못한 채 생태계 파괴만을 초래하였다. 33km의 방조제를 쌓아 여의도의 140배나 되는 1억2천만 평의 토지를 확보하고 담수호와 첨단 영농 단지를 조성하기 위하여 진행중인 새만금 간척 사업도 그 규모에 걸맞게 시화호보다 훨씬 심각한 환경 재앙을 초래할 것이라는 우려가 제기되고 있다.

이러한 시점에서 무엇보다 시급한 일은 우리나라 모든 연안의 갯벌에 대해 전문 학자들이 생태학적 연구를 수행하고 그 결과를 바탕으로 그나마 잘 보존되고 있는 일부 갯

벌을 보존 위주의 국립공원이나 자연 생태계 보존 지역으로 또는 람사협약 등록 습지로 지정하는 등의 조치를 취하는 것이다.

이러한 갯벌의 보존 운동은 단순히 갯벌의 특정 생물을 보호하는 차원의 자연보호 운동이 아니라 자연과 인간이 조화를 이루는 속에서 우리의 생명을 지켜 나가기 위한 '생태 운동'으로 발전하여야 한다. 더불어 우리 후손에게 길이 물려줄 자연 유산인 갯벌에 매립과 준설을 계속하고 공장 폐수와 생활 하수 등을 쉽게 버려도 되는 장소로 생각하는 일부 몰지각한 공장주나 일반인들의 사고 방식도 바뀌어야 한다. 환경을 보존하고 지키는 일은 결국 우리 국민 모두의 몫이기 때문이다.

갯벌 먹이 사슬의 개념도