

적조 방제용 황토살포가 연안 저서생태계에 미치는 영향

박 치 현 · 이 병 호
울산대학교 건설환경공학부
(2006년 5월 4일 접수; 2006년 10월 24일 채택)

Effects of Loess Application in Coastal Benthic Ecosystem

Chi-Hyun Park and Byoung-Ho Lee

Civil & Environmental Engineering, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea
(Manuscript received 4 May, 2006; accepted 24 October, 2006)

Large scale of fish kills by red tides has been occurred every year in coastal water fisheries of Korea. To suppress red tide spreading out over the south coastal water of the Korean Peninsula large amount of loess has been applied every year because loess is known to be effective in removing red tide organisms. Effects of loess application in ecosystem of underwater near sea shore were investigated with some physical characteristics of loess. Loess used for the red tide reduction consisted of very fine particles, of which size was mostly less than 0.1mm. Particles of loess blocked light penetration, which is essential for the underwater ecosystem. Loess also pushed pH down by the hydrolysis activities of aluminium and iron. It was found that underwater ecosystems where loess was applied near sea shore were devastated. Sea plants such as sea weeds were gone leaving only their roots. Clams and snails were dead under the loess dust blanket. And fishes were not found at all where loess has been sprayed for long time. It was found that even if loess has some capacity to reduce red tide temporarily, loess application should be stopped to protect underwater ecosystems.

Key Words : Loess, Coastal Ecosystem, Red Tide, Fish Kill

1. 서 론

우리나라 유해성 적조는 최초로 진해만에서 발생하였으며 그 후 1994년까지는 연간 10건 이하로서 진해만과 인접 수역에서 국지적으로 내만에서 단기간에 걸쳐 발생하였다. 그러나 1995년에 남해안과 동해안에서도 적조가 발생하였으며 적조 발생건수는 최고 26건에 달하였다. 그 후부터는 매년 15건 이상의 유해성 적조 *C. polykrikoides* 적조가 발생하여 왔으며 비교적 광범위한 해역에 걸쳐 장기간 유해성 적조가 발생하였다^{1,2,3)}.

이러한 적조를 방제하기 위하여 국립수산물학원은 황토 살포가 2차 오염을 일으키지 않고 적조생물을 효과적이고 경제적으로 구제한다고 판단하고 어민들로 하여금 1996년부터 적조생물 발생해역에

황토를 대량으로 살포 하고 있다. Table 1에서 보는 것처럼 황토 살포 초기인 1996년과 1997년에는 국립수산물학원도 황토 살포량을 정확하게 파악하지 못하고 있으며 1998년에는 7만 톤을 살포했다. 그리고 다음해인 1999년에는 황토 13만톤을 남해안과 동해안에 집중 살포했으나 수산물 피해액은 전년(前年)보다 오히려 2배나 늘어났다. 2000년에 국립수산물학원은 황토 살포량을 7만3천 톤으로 줄였다가 다시 2001년부터 2002년까지는 14만~15만 톤으로 살포량을 늘렸다.

최근 들어 적조의 발생 빈도가 늘어나면서 적조의 발생 해역도 광범위해지고 있다. 그러나 황토가 살포되는 지역은 어민들이 직접적인 피해를 볼 수 있는 가두리 양식장이 있는 바다에 국한되어 황토가 매년 같은 곳에 반복적으로 살포되고 가두리 양식장이 없는 곳은 적조가 발생해도 황토가 살포되지 않고 피해규모도 통계에 잡히지 않고 있다.

Table 1에서 볼 수 있는 것과 같이 많은 양의 살포에도 불구하고, 적조로 인한 양식장의 피해액

Corresponding Author : Byoung-Ho Lee, Civil & Environmental Engineering, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea
Phone: +82-52-259-2279
E-mail: bhlee@mail.ulsan.ac.kr

Table 1. Number of occurrences of red tides, economic losses by the red tides, and amount of loess applied on the South Shore of the Korean Peninsular (Data: from National Fisheries and Development Institute)

Year	occurrences	damages (100million)	Loess disposal (10 thousands, t)
96	61	21	-
97	62	15	-
98	122	1.6	7
99	83	3.2	13
00	69	2.6	7.3
01	56	84	14
02	59	49	14
03	45	215	15

은 기하급수적으로 증가한 것을 볼 수 있다. 일부의 응집효과에 의한 적조의 방제에 효과가 있는 것으로 밝혀진 황토가 실제로 피해를 줄이는 데 크게 기여하지 못한 것으로 보인다.

그러나 배 등은 적조구제를 위한 황토 살포에 의해 나타날 수 있는 영향을 저서동물, 어류, 패류 및 양식생물에 대한 연구를 수행하였으며 황토에 의한 유해성이 거의 없다고 했다¹¹⁾. 배 등은 또한 황토에 의한 바닷물의 pH 변화에 대한 연구를 현장에서 수행하였으나 황토에 의한 pH의 변화는 없었다고 발표했다¹¹⁾. 배 등은 또한 황토에 의한 어류의 혈액에 미치는 영향에 대한 연구와 다양한 패류에 대한 연구를 수행하였으며, 황토에 의한 영향은 없는 것으로 결론지었다¹²⁾.

본 논문은 황토살포가 생태계에 미치는 영향이 없다는 연구결과에도 불구하고, 다량 살포된 황토가 해저 생태계에 미치는 영향이 클 수 있다고 판단하고, 구체적으로 어떠한 영향을 줄 수 있는지를 연구하기 위하여 황토의 기본적인 특성을 조사하였으며, 실험실에서 바다의 환경을 모사하는데 한계가 있기 때문에 황토가 수년간에 걸쳐 살포된 지역에 대한 수중 탐사를 통하여 연구를 진행하였다. 그러나 임의의 해저에 대한 탐사 형태로 진행되어 해저생태계에 미치는 영향을 정량적인 수치로 증명하는 데는 큰 어려움이 있기 때문에 정성적인 연구와 정량적인 연구를 병행하였다.

2. 실험 방법

2.1. 황토의 특성 실험

2.1.1. 황토의 시료

우리나라 연안에 살포되고 있는 적조 방제용 황토의 특성과 성분을 알아보기 위하여 울산시가 울

주군 온양읍 야산에서 채취해 야적해 놓은 적조 방제용 황토를 조사하였으며, 일본 히로시마 수산연구소가 적조 방제 실험용으로 사용하고 있는 점토를 대조군으로 정해 우리나라 황토와 어떤 차이가 나는지를 비교분석하였다.

2.1.2. 시료의 분석 및 특성실험

우리나라의 적조 방제용 황토와 일본 히로시마 연안에서 적조방제 실험용으로 사용 중인 점토의 특성이 다른지를 파악하기 위하여 두 시료의 입도와 구성성분에 대해서 실험하였다. 입도의 분석은 KS F 2302와 ASTM D 422-63(98)의 시험방법에 따라 수행하였다.

시료의 성분분석은 황토를 햇빛에서 일주일간 건조시켜 입도 0.002~0.005mm로 분쇄한 후 12개 항목에 대한 정밀분석을 실시하였다. 시료분석 방법은 원자흡광분석법과 유도결합플라즈마분석법을 병행하여 실시하였으며 정확성을 위해 3차례 반복해 평균치를 사용하였다.

2.1.3. 황토에 의한 빛의 차단효과 실험

바다에 살포된 황토가 저서생물이 생존하는데 필요한 빛을 차단하는 정도를 판단하기 위하여 빛의 차단 효과에 대한 간단한 실험을 수행하였다. 실험장치는 가로 1m, 세로 1m, 깊이 1m의 유리 수조를 만들어 울산 정자앞바다에서 채취한 해수를 채운 뒤 한 수조는 황토를 넣지 않고 다른 두 수조에는 한국 황토와 대조군인 일본 점토를 각각 1,000mg/ℓ로 맞춰 희석했고 수조바닥에는 76mm X 26mm 두께 15mm의 슬라이드 글라스 들을 여러 개 깔았다. 그리고 20시간을 정치하여 황토를 완전히 침전시킨 다음 한국 황토와 일본 점토가 달라붙은 수조바닥의 슬라이드 글라스를 끄집어내어 완전 건조시킨 뒤 암실에서 조도계와 형광등을 이용해 빛의 투과율을 측정했다.

2.1.4. 황토에 의한 해수의 pH 변화실험

황토살포에 의한 해수의 pH 변화를 관찰하기 위한 실험을 실시하였다. 자연 상태의 pH가 8.01 인 울산 강동 앞바다의 해수를 실험 시료로 정하고 적조 방제용 황토를 #200체로 걸러서 통과한 시료를 1kg 취하여 가로 1m, 세로 1m, 깊이 1m의 유리조에 넣어 1,000mg/ℓ로 희석 시킨 뒤 시간대 별로 pH의 변화를 관찰하였다. pH meter는 측정전 보정하여 사용하였다.

2.2. 수중탐사에 의한 황토살포지역의 생태계 조사

적조가 발생할 때 황토를 집중적으로 살포한 남해안과 동해안 3개 해역을 조사지점으로 선정하고, 수중 잠수부를 동원하여 해양 생태계를 직접 탐사하였다. 장기간에 걸친 황토 살포의 영향을 알아보

기 위하여 해수의 표층부터 해저 수심 30m까지 층별로 조사를 수행하였다. 황토의 빛에 대한 차단효과나 입도 또는 pH변화 등에 의한 생태계의 역효과를 충분히 밝히는 것이 어렵기 때문에 황토가 살포된 지역과 살포되지 않은 지역에 대하여 직접적인 수중탐사 방법을 택했다.

2.2.1. 해저 식물에 대한 영향조사

황토살포가 저서식물에 미치는 영향을 알아보기 위해 1995년부터 2003년까지 적조 방제용 황토를 25만톤 살포한 경남 통영시 학남리 앞바다와 그곳에서 4km 떨어진 황토 미살포 해역을 대조군으로 선정하고 수중탐사를 실시했다. 조사기간은 2003년 9월부터 11월까지 동일 지역을 대상으로 3회 실시했다. 정량적인 수치비교가 어렵기 때문에 황토살포지역과 살포되지 않은 주변해역의 사진을 비교하여 정성적인 분석을 수행하였다.

2.2.2. 해저 패류에 대한 영향조사

황토살포가 패류에 미치는 영향을 알아보기 위해 황토살포 지역인 전남 여수시 월호리 앞바다를 수중탐사 해역으로 선정해 2003년 10월부터 11월까지 3회 실시했다. 다년간 황토가 살포된 지역엔 살아있는 패류가 전혀 발견되지 않았기 때문에 정성적인 분석만 수행하였다.

2.2.3. 저서동물군집에 미치는 영향

저서동물은 활동범위가 작기 때문에 주변 환경을 잘 대변한다. 때문에 본 연구에서는 저서 동물군에 대한 정량적인 조사를 수행하였다. 본 연구 대상지역은 매년 황토가 대량 살포되는 울산 진해 앞 바다를 선정하였으며, 연안에서 800m, 1,000m, 1,200m 지역의 황토 살포지역과 1,800m 떨어진 황토 미살포 지역을 대상으로 하였다. 샘플채취도구는 van Veen Grab의 저서 생물 채집기를 사용하였으며, 수심 10~30m의 저질로부터 채취하여 1mm의 체로 거른 후 저서 동물군을 선별하였다.

2.2.4. 어류에 대한 영향 조사

황토 집중 살포지역인 경남 통영시 학남리 앞 바다에서 2003년 8월부터 11월 까지 3회에 걸쳐 조사하였다. 다년간 황토가 살포된 지역엔 가끔 소형의 어류가 한 마리씩 발견되었으나 움직임이 큰 어류를 정량적 수치로 측정하기 어렵기 때문에 정성적인 분석만 수행하였다.

3. 결과 및 토론

3.1. 황토의 특성

3.1.1. 황토의 성분분석

우리나라의 황토에 포함된 점토광물은 버미큘라

이트, 카오린 광물, 일라이트 등이며 황토는 미립성, 가소성, 이온교환성, 흡착성, 촉매성, 현탁성 등 물리화학적 특성을 갖는 것으로 알려져 있다⁴⁾.

우리나라의 적조 방제용으로 살포되는 황토의 성분을 알아보기 위해 2003년 11월 울산시 울주군 온양읍 야산의 황토를 채취해 일본 히로시마시 점토를 대조군으로 정하고 비교분석했다. Table 2에서 보는 바와 같이 SiO₂는 한국 황토가 일본 점토보다 10% 정도 적게 함유되어 있었으며 Al₂O₃, Na₂O₃, K₂O는 비슷한 수준을 보였으며 Fe₂O₃와 Pb는 한국 황토가 일본 점토보다 각각 5배와 2배 정도 많이 포함되어 있는 것으로 분석되었다.

Table 2에서 주성분 중 Al₂O₃와 Fe₂O₃가 수화작용이 일어날 때 Al(OH)₃와 Fe(OH)₃로 응집 석출된다. 이때 적조 생물들이 함께 응집 침전되어 방제가 된다. 그리고 이 과정에서 OH⁻의 소모로 인하여 수소이온 농도가 높아져 pH가 낮아진다⁹⁾. pH 변화기간은 바다 환경이나 수온 등에 따라 다르지만 5일에서 7일간은 지속되는 것으로 조사되었다⁹⁾.

3.1.2. 황토의 입도분석

우리나라의 적조 방제용 황토와 일본 히로시마 연안에서 적조 방제 실험용으로 사용 중인 점토를 대상으로 입도분석 실험을 실시했다.

Fig. 1에서 보는 것과 같이 우리나라 황토에서 0.1mm 이하의 입자가 70% 이상을 차지하고 있어 매우 미세한 분말 형태로 존재하는 것으로 나타났다. 일본의 점토는 0.1mm 이하의 입자가 95% 이상으로 더욱 미세하였다.

Table 2. Comparison of loess sampled in Korea and Japan(%)

contents	Korean loess (Ulsan Onyang)	Japanese loess (Hiroshima)
SiO ₂	49.32	59.41
Al ₂ O ₃	22.42	21.58
Na ₂ O	0.30	0.35
K ₂ O	1.51	1.58
CaO	0.84	0.30
Fe ₂ O ₃	10.8	2.19
MgO	1.19	0.40
TiO ₂	1.27	0.68
MnO	0.15	0.02
P ₂ O ₃	0.05	0.04
Pb	0.03	0.02
Cu	0.01	0.01
Others	12.11	13.42
Total(%)	100	100

Table 3. Observed species found in Ulsan off shores (Sampling site 1,2,3: loess applied area, and sampling site 4: loess not applied area)(unit : ea/0.025m²)

Taxa/St.	Sampling Sites (3 times/site)				SUM	%
	1	2	3	4		
Phylum Cnidaria						
<i>Anthozoa unid.</i>	1				1	1.3
Phylum Nemertea						0.0
<i>Baseodiscus hemprichii</i>				1	1	1.3
Phylum Mollusca						0.0
Class Bivalvia						0.0
<i>Theora fragilis</i>		1	1		2	2.6
Class Gastropoda						0.0
<i>Zeuxis castus</i>				14	14	18.2
Phylum Annelida						
Class Polychaeta						0.0
<i>Aricidea assimilis</i>	1				1	1.3
<i>Aricidea pacifica</i>	1				1	1.3
<i>Chaetozone setosa</i>	5				5	6.5
<i>Glycera chirori</i>			2		2	2.6
<i>Heteromastus filiformis</i>		2			2	2.6
<i>Magelona japonica</i>	5	2	14	3	24	31.2
<i>Nereis longior</i>		1			1	1.3
<i>Ophelina acuminata</i>			1		1	1.3
<i>Pilargiidae unid.</i>				1	1	1.3
<i>Prionospio cirrifera</i>		17			17	22.1
<i>Scalibregma inflatum</i>	1				1	1.3
<i>Sigambra tentaculata</i>			1		1	1.3
Phylum Arthropoda						
Class Crustacea						0.0
<i>Amphipoda unid.</i>				1	1	1.3
<i>Crangon affinis</i>				1	1	1.3
spp.	6	5	5	6	18	
ind.	14	23	19	21	77	100.0
density (ind./m ²)	560	920	380	280	535	
biomass (g/m ²)	48.4	13.2	13.4	214.7	72.42	

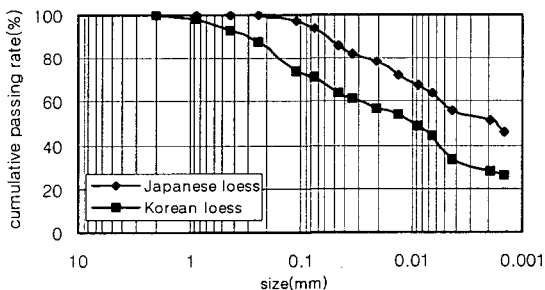


Fig. 1. Size distribution curves of loess sampled in Korea and Japan.

3.1.3. 황토살포에 의한 빛의 차단효과

수조의 시편에는 1,000mg/l의 농도에 의한 황토가 젖은 상태로 1~2mm전후의 두께로 얇게 쌓였다. Fig. 2에서 보는 것처럼 한국 황토가 살포된 수조 바닥의 빛 투과율은 15.9%만 투과되고 84.1%의 빛은 차단되어 황토 살포해역의 수조는 광합성 작용에 많은 영향을 받는 것으로 나타났으며 해양생물의 종에 따라 큰 피해를 줄 수 있는 수준으로 조사되었다. 황토의 미세한 입자가 수조(황토살포해역의 경우 해저)에 가라앉아 차단막 역할을 함으로써 햇빛 투과를 방해하였다. 한국 황토가 일본 점토보

적조 방제용 황토살포가 연안 저서생태계에 미치는 영향

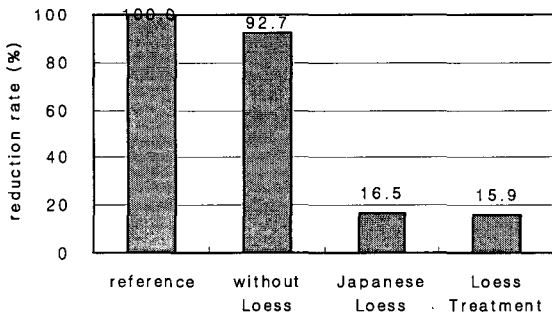


Fig. 2. Light penetration reduction rate by loess particles.

다 같은 조건에서도 햇빛 차단율이 높은 것으로 나타났다.

매년 반복적으로 황토가 살포된 지역의 수중 탐사 결과 조사지점 3곳의 해저에 1-3cm의 황토가 쌓여 있는 것이 확인되어 빛은 실험에서 수행한 결과보다 훨씬 차단율이 높을 것으로 판단된다. 특히 적조발생 해역에 대한 우리나라의 황토살포 방법은 일정한 농도를 유지하지 않고 황토를 배에 싣고 나가 쏟아 붓기 때문에 실제로는 수만~수십 만 mg/l가 살포될 수 있어 사실상 대부분의 빛이 차단될 수 있다.

3.1.4. 황토 살포에 의한 pH의 변화

울산시 동해의 강동 앞바다 물을 채취하여 울산시 울주군 온양에서 채취한 황토를 미리 만들어 놓은 가로 1m, 세로 1m, 높이 1m의 유리 수조에 넣어 1,000mg/l로 만들어 격렬하게 흔들어 섞은 뒤 정지하여 pH를 관찰하였다. 시료의 초기 pH는 8.01이었다.

Fig. 3에서 보는 것처럼 2시간 후 pH가 7.97로 떨어졌고 16시간 후에는 7.89로 떨어져 자연 상태의 알칼리성 해수가 황토 살포로 미세한 pH 변화가 일어난 것으로 나타났다. 황토에 의한 pH는 표층이나 중, 저층은 별 차이가 없는 것으로 조사되었다. 황토해양 생물의 정상 성장이 가능한 pH 범위는 7.60

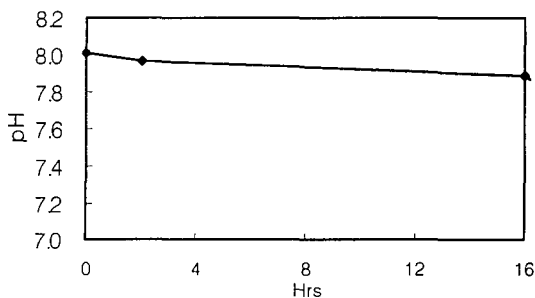


Fig. 3. pH variation by 1,000mg/l of loess with time.

에서 8.50이고 생존이 가능한 pH 범위는 7.00~9.00 사이인 점을 감안하면 적조 방제용 황토 살포로 인한 pH 변화가 해양 생물의 정상 성장을 방해할 수준은 아닌 것으로 추정된다^{5,6)}.

3.2. 황토의 살포에 의한 해양 생태계의 변화

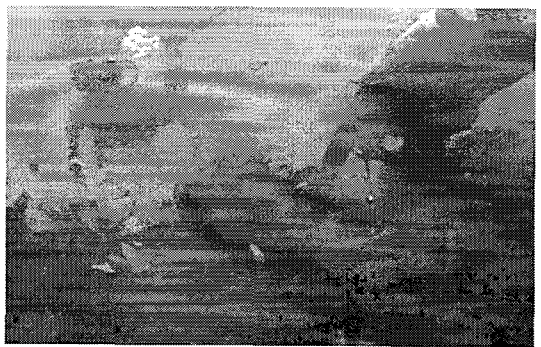
3.2.1. 황토살포가 저서식물에 미치는 영향

황토살포가 저서식물에 미치는 영향을 알아보기 위해 1995년부터 2003년까지 적조 방제용 황토를 25만톤 살포한 경남 통영시 학남리 앞바다와 그곳에서 4km 떨어진 황토 미살포 해역을 대조군으로 선정하고 수중탐사를 실시했다. 조사기간은 2003년 10월부터 11월까지 두 달 동안 3차례에 걸쳐 실시했다. Fig. 4 (a)에서 보는 것처럼 황토살포 해역의 미역과 다시마는 황토에 뒤덮혀 폐사하여 상품가치를 완전히 잃었고 다른 수초는 흔적도 찾아볼 수 없었다. 반면에 Fig. 4. (b)의 황토가 살포되지 않은 지역은 같은 인근의 해역인데도 건강한 해양 생태계를 유지하고 있었다.

이는 적조 방제용 황토가 해저에 가라앉아 햇빛을 차단해서 광합성작용을 방해하고 있기 때문으로 추정된다. 또한 해초류가 살아갈 장소에 황토가



(a)



(b)

Fig. 4. Comparison of coastal plants (seaweeds) between loess applied area and clean area. (a) Loess applied area, (b) Clean area.

쌓여 해조류의 부착을 방해하는 것도 한 원인으로 추측된다.

3.2.2. 황토 살포가 패류에 미치는 영향

국립수산과학원은 황토살포에 따른 패류의 유해성 실험에서 피조개와 굴은 모든 실험구에서 95% 이상의 생존율을 보였고 전복치패의 황토 농도별 양항 실험에서도 전 실험구에서 100%의 생존율을 보여 황토살포가 패류에 아무런 영향을 주지 않는다고 밝히고 있다.

실제로 해저의 패류에 영향이 없는 가를 조사하기 위하여 잠수부를 동원하여 황토가 장기간 살포된 지역인 전남 여수시 월호리 앞바다를 수중탐사해역으로 선정해 2003년 10월부터 11월까지 두 달 동안 3차례에 걸쳐 실시했다. 이곳은 우리나라의 대표적인 새조개 생산지였으나 Fig. 5 (a)에서 보는 것처럼 봄철에 뿌린 새조개 치패가 집단 폐사하였다. 새조개의 치패는 2년이 지나야 직경 6cm 이상의 성패가 되어 상품 가치를 인정받는데 황토가 살포된 해역에서는 직경 3cm 정도 자라다가 여름철 고 수온기에는 산소부족으로 90% 이상이 죽어 있는 것으로 나타났다. 현지 양식업을 하고 있는 어부에 직접 설문 조사한 결과 매년 유해성 적조가 밀려오는 8월부터 황토를 집중 살포되면서 새조개

의 집단폐사는 연중행사처럼 반복되고 있는 것으로 조사되었다. 새조개를 제외한 다른 조개류도 적조 방제용 황토가 살포되면서 집단 폐사해 해저를 뒤덮고 있어 황토 살포의 후유증이 심각했다. Fig. 5 (b)와 같이 황토살포지역에서 3킬로미터 떨어진 미 살포해역은 패류들이 왕성하게 살아 있는 것으로 나타나 대조를 보였다. 바다 속에서 황토가 무작위로 살포된 지역과 과학적으로 증명할 수 있는 대조지역을 구분하여 패류의 개체수를 비교하는 것이 쉽지 않았기 때문에 정성적인 분석에 도움이 될 수 있는 자료를 제시하였다.

이와 같이 패류가 집단으로 폐사한 것은 황토가 저질 바닥에 쌓여 빛을 차단하고 산소부족을 가져온 것으로 추정되며, 특히 패류의 먹이가 되는 해저표면의 식물들이 폐사해 먹이가 없어진 것도 큰 원인으로 분석되었다. 장기적으로는 폐사한 식물과 미세한 황토가 패류의 생존환경이나 신진대사를 방해한 것으로 분석되지만 지금까지 황토의 부작용을 밝힌 연구 결과가 전무해 지속적인 연구가 필요한 것으로 사료된다.

3.2.3. 황토살포가 저서동물 군집에 미치는 영향

조사시간은 2003년 10월 한 달 동안 2차례에 걸쳐 실시했다. 울산연안의 4개 정점에서 조사된 대형저서동물은 5개 동물문에 속하는 18종 77개체가 채집되었다. 가장 많은 개체수를 보인 종은 양손갯지렁이 (*Magelona japonica*)였고, 얼굴갯지렁이(*Prionosipio cirrifera*), 고둥류의 *Zeuxis castus* 등이 우점종으로 나타났다(Table 3). 정점 당 평균서식밀도는 정점2에서 920개체/m²로 가장 높았고, 정점4에서 280개체/m²로 가장 낮았다.

본 조사결과에서 추측해 볼 수 있는 사실은 원래 모래로 된 퇴적물에 살고 있던 대형저서동물이 적조발생 때 황토를 살포하여 그 황토가 바닥에 쌓여 대부분 소멸되고 황토가 포함된, 보다 더 가는 입자에 잘 적응하는 저서동물들로 교체된 것을 보여 준다. 그리고, 이렇게 해양저서환경이 교란될 때 빈 서식지에 우선해서 차지하는 기회종(opportunistic species) 또는 개척종(pioneer species)이 우점하는 것을 볼 때 황토에 의해서 기존의 서식지가 교란을 받았음을 반증한다. 특히 교란에 민감한 갑각류의 출현이 적은 것도 이러한 교란사실을 시사한다. 출현종류의 수에는 정점간 서로 유사하지만 서식밀도에서는 기회종이 많이 살고 있는 정점에서 더 높게 나타나고, 반대로 이들은 생물량이 적은 소형 개체를 가지고 있기 때문에 생물량에 있어서는 기회종이 적고 균형종(equilibrium species)이 많이 서식하는 정점에서 더 많은 생물량을 보인다.



(a)



(b)

Fig. 5. Photos of (a) dead clam shells in loess applied area and (b) other healthy shellfishes in clean area.

정점1과 2에서 우점한 갯지렁이인 얼굴갯지렁이 (*Prionospio cirrifera*)는 유기물 유입이 많은 곳이나, 퇴적물의 교란이 심한 곳에서 대량으로 출현하는 기회종(opportunistic species)이다. 정점1과 3에서 우점한 양손갯지렁이(*Magelona japonica*)도 유기물 유입이 많은 곳에서 우점할 수 있는 종이다. 이 두 종들은 퇴적물의 표층에 새롭게 쌓이는 유기물을 먹이로 취하는 표층퇴적물식자(surface deposit feeders)이다. 정점4의 우점종인 *Zeuxis castus*은 소형 고동류로서 모래퇴적물의 청소부 역할을 하는 잡식자이다.

군집의 종류의 대소와 각 종간 균등한 정도를 종합적으로 나타내는 군집지수로서 많이 사용되는 Shannon의 종다양성지수(H')를 나타낸 그림에서는 조사정점 1에서 가장 많은 종류와 균등한 출현이 있었음을 나타내며, 그 다음으로 정점4에서 그러함을 보여준다 (Fig. 6). 조사정점2와 3에서는 종다양성지수가 가장 낮은 값을 보였다. 일반적으로 저서동물군집에 환경교란이 생겨서 기존의 종들이 소멸되거나 기회종이 유입되면 개체수의 갑작스런 증가로 종다양성(H')이 감소하게 된다. 이러한 관점에서 볼 때 정점1은 비록 황토살포에 의해 교란이 일어났지만 새로운 군집으로 안정을 찾아가는 과정에 있는 것으로 보이며, 정점2와 3에서는 아직 회복이 안되었음을 시사한다.

집괴분석에서 나타난 수지도는 각 조사정점에서 출현한 대형저서동물이 서로 유사한 조성을 가지면 유사도 지수값이 높게 나타나고, 살고 있는 저서동물의 종류가 다를수록 유사도 지수값은 낮아진다 (Fig. 7). Fig. 7에서는 조사정점 2와 3이 4개 정점 중에서 가장 유사한 출현종을 가진 것으로 나타났고 (그렇다 하여도 두 정점간 유사도값은 낮아서 30% 정도에 불과함), 이들과 조사정점1이 다음

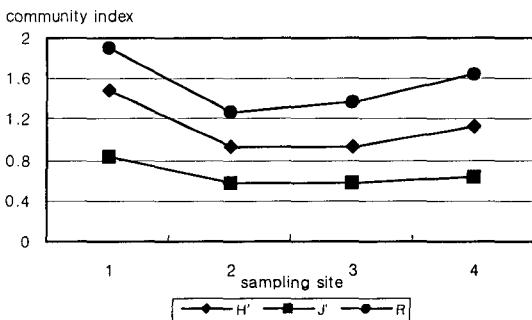


Fig. 6. Community index obtained by the numbers occurred at the sampling sites (H' =species diversity index, J' = species evenness index, R =species richness index).

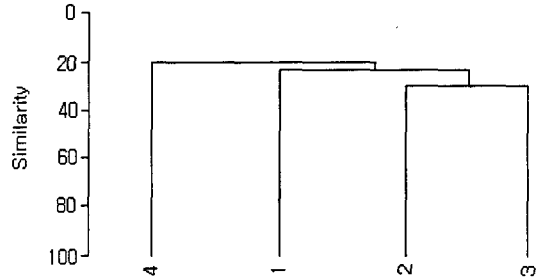


Fig. 7. Dendrogram of the macro zoo benthos species similarity index at sampling sites.

으로 가까운 것을 보였으며, 정점 4는 가장 유사도가 낮아 출현종의 조성이 다른 3개 정점과 차이를 보임을 나타낸다. 즉, 황토살포해역의 조사정점들 (정점 1, 2, 3)과 비살포정점 간에는 집괴분석 결과에 의해서도 저서동물군집 조성이 서로 다름을 보였다.

황토 미살포지역의 다양한 저서 동물군에 비해서 황토살포지역에서 발견되는 동물들은 종이 매우 단순하고 개체수도 적었다. 황토살포지역에서 관찰되는 종에 대한 대표적인 동물들을 Fig. 8 ~ Fig. 11에 나타내었다. 이와 같이 종다양성이 극도로 줄어들고 한 개 종의 개체수도 적은 것은 황토에 의해 생태계가 거의 파괴되었다는 것을 보여주고 있다.

3.2.4. 황토가 살포되지 않은 울산만과 온산만 저서동물군집과의 비교 분석

신 등은 1997년 11월에 울산만과 온산만의 저서 생물군집을 파악하기 위한 연구를 실시하였다. 저서동물군집의 평균서식밀도는 535개체/ m^2 이었으며 출현종수는 117종으로 조사되었다¹⁰⁾.

이는 황토가 살포된 울주군 서생면 나사리 앞바다의 18종, 77개체와 비교할 때 종수는 6.5배, 개체수는 7배 많은 것으로 나타났다.

다모류를 비롯한 저서동물은 울산만 상단과 온산항에서 가장 서식밀도가 높았으며, 주요 우점종은 *Cirratulus cirratulus*(22.7%), *Tharyx sp.*(16.6%), *Ruditapes philippinarum*(16.1%), *Lumbrineris longifolia*(10.3%) 등으로 조사되었다. 그리고 두 만에서 공통적으로 *C. cirratulus*, *Cirriformia tentaculata*가 우점하였다. 울산북단은 출현종수는 적었으나 서식밀도가 높았으며 *C. cirratulus*, *R. philippinarum*, *Tharyx sp.*가 주요 우점종으로 나타는 등 해역의 특성에 따른 건강한 생태계를 유지하고 있었다¹⁰⁾.

이에 반해 황토가 살포된 울주군 서생면 나사리 앞바다는 해양저서환경이 교란될 때 나타나는

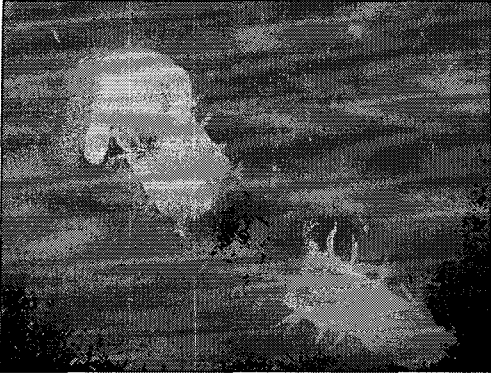


Fig. 8. *Magelona japonica*.
(Class Polychaeta, Family Magelonidae)

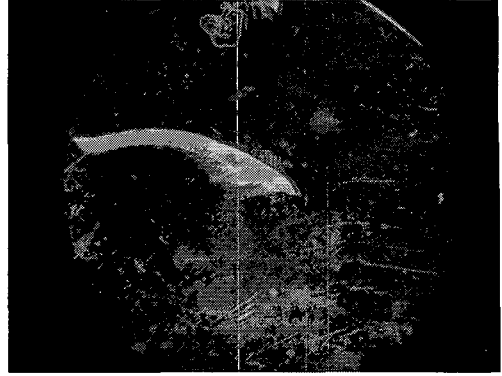


Fig. 9. *Chaetozone setosa*.
(Class Polychaeta, Family Cirratulidae)



Fig. 10. *Prionospio cirrifera*.
(Class Polychaeta, Family Spionidae)

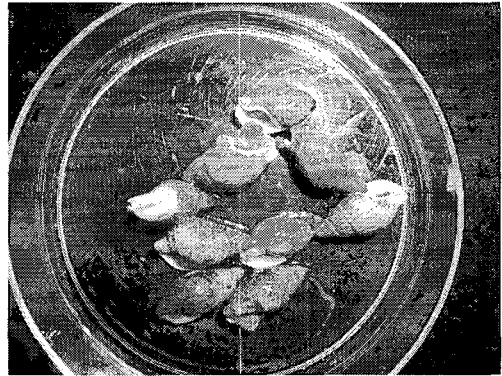


Fig. 11. *Zeuxis castus*.
(Class Gastropoda)

기회종(opportunistic species) 또는 개척종(pioneer species)이 우점하는 등 황토가 저서동물 식생에 많은 영향을 끼치고 있는 것으로 나타났다.

3.2.5. 황토살포가 어류에 미치는 영향 조사

황토살포가 어류에 미치는 영향을 알아보기 위해 2003년 8월부터 9월까지 두 달 동안 황토 집중 살포지역인 경남 통영시 학남리의 해양 생태계를 3차례 수중 탐사했다.

Fig. 12. (a)에서와 같이 해저에는 적조 때 뿌려진 황토가 고스란히 쌓여 수초조차 찾아볼 수 없었고 조사기간 동안 어류는 한 종도 관측되지 않았다. 그러나 해양 환경이 같은 해역의 황토 미 살포 지역은 참돔과 넙치, 쥐치떼가 무리지어 다녀 뚜렷한 대조를 보였다. 어류 무리 중의 한 장면을 Fig. 3 (b)에 나타내었다. 황토가 살포된 해역은 해양 생태계의 심한 교란으로 어류가 모두 사라졌으며, 황토가 어류의 서식처를 파괴한 것으로 분석된다.

기존의 연구에 의하면 황토의 살포가 단기적으로 적조를 응집 침전시켜 제거되는 것으로 알려져 있다. 그러나 본 연구에 의하면 황토에 의한 빛의

차단과 황토의 살포에 의한 국지적인 pH의 변화, 황토의 미세한 분말에 의한 저서 생태환경의 파괴 등으로 장기적으로는 황토가 해양 생태계에 부정적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. 단지 본 연구에서는 대상이 바닷속이라는 어려움이 있어서 구체적이고 정량적인 데이터를 충분히 도출하지 못하여 계속적인 연구가 이루어져야 할 것으로 판단되었다.

4. 결 론

황토는 유해성 적조생물인 *Cochlodinium polykrikoides*를 응집과 흡착 반응을 통하여 침전시켜 죽이는 것으로 알려져 있다. 지금까지 국내에서 연구된 황토의 적조구제실험결과는 황토살포 즉시는 60-65%, 10분이 지나면 70-75%, 20분과 60분이 경과하면 각각 80-81%, 82-85%의 구제효과가 있는 것으로 보고되고 있다⁷⁾.

그러나 본 연구 결과에 의하면 황토 1,000mg/l의 적은 농도에도 84% 이상의 빛을 차단하는 것으로 나타났으며, 미세한 황토입자는 저서생물의 호

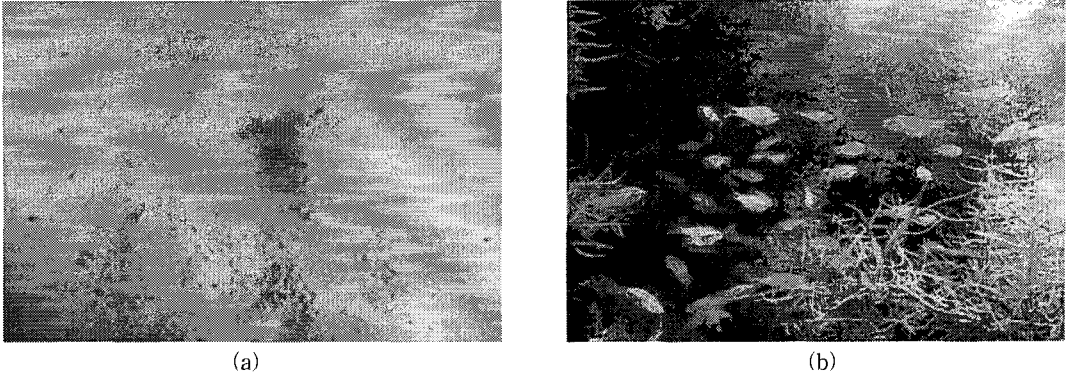


Fig. 12. Photos of loess dust blanket area and clean area with numerous fishes. (a) Loess blanket area (b) Clean area.

흡기나 신진대사를 방해할 수 있고, 다년간 쌓인 황토에 의해 저서생물이 살아갈 수 있는 환경이 파괴되는 것으로 밝혀졌다. 본 연구는 기존에 황토가 생태계에 영향이 없다는 연구결과에 대하여 실제로 현장에서 같은 결론을 얻을 수 있는지 파악하기 위하여 잠수부를 통해서 현장연구를 수행하였다. 현장 탐사연구에 의하면 장기간 황토가 살포된 지역을 조사한 결과 황토가 1~30cm 가량 쌓여 있었으며 물의 작은 교란에도 많은 황토가 주위에 확산되었다. 그리고 남해안에 황토가 살포된 지역엔 수초나 패류가 폐사하여 황무지로 변해 있었으며, 어류는 사라져 거의 발견되지 않았다. 이는 황토가 살포되지 않은 인근 지역에는 건강한 생태계를 이루어 대조를 이루었다. 황토가 살포된 지역에서는 저서 동물들도 수종이 단순화되고 개체수가 줄었으며 황토에 적응할 수 있는 종으로 바뀌어 황토에 의한 저서 생태계가 파괴되었음을 보여 주었다.

따라서 적조를 방제하기 위한 황토가 오히려 바다를 황폐화시킬 수 있기 때문에 건강한 해양 생태계의 복원을 위해서는 황토의 살포는 중지되어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) 김학균, 박주석, 김봉안, 1994, 적조발생기구와 유독성 플라נק톤에 관한 연구, 수진사업보고서, 국립수산진흥원, 117.
- 2) Hak, G., S. G. Kim and K. H. A. Lee, 1997, Recent red tides in Korea coastal waters, National Fish. Res. Dev. Ins.
- 3) Hak, G. and Kim, 1998, Harmful Algal Blooms in Korean Coastal Waters Focused

on Three Fish-Killing Dinoflagellates, Korea-China joint symposium on harmful algal blooms, Edited by the National Fish. Res. Dev. Ins.

- 4) 백우현, 정의덕, 1999, 황토의 물리적 특성 및 수용액 중의 중금속 이온의 흡착성에 관한 연구, 한국환경과학회지, 8(4).
- 5) 日本水産學會, 1980, 赤潮-發生機構と對策, 水産學シリーズ34券, 恒星社厚生閣, pp.12-114.
- 6) 日本石灰工業組合, 1994, 石灰による海水域の環境改善, pp.1-30.
- 7) 이성오, 배현철, 정경훈, 오치성, 신광희, 2002, 적조제거기술에 관한 국제 심포지엄, 125pp.
- 8) 赤潮, 發生機構와 對策, 1980, 日本水産シリーズ 34券, 日本水産學會 發行.
- 9) Vernon, L., D. J. Snoeyink, 1980, Water Chemistry, John Wiley & Sons, Inc., pp.264-271.
- 10) Shin, H. C., S. M. Yoon and C. H. Koh, 2001, Spatial Distribution of Benthic Macrofaunal Community in Ulsan Bay, Eastern Coast of Korea, Journal of the Korean Society of Oceanography, 6(3), pp.180-189.
- 11) 이삼근, 김학균, 배현민, 이창규, 김숙양, 김창숙, 임월애, 2002, 한국의 적조예보 및 방제전략, 적조방제기술에 관한 국제심포지엄, 국립수산과학원, pp.66-74.
- 12) 이삼근, 김학균, 배현민, 강영실, 정창수, 이창규, 김숙양, 김창숙, 임월애, 조은섭, 2002, 한국의 적조연구 편람, 국립수산과학원, pp.119-134.