

장봉도 바지락 폐사 원인규명조사 결과보고

“체험어장 자원조성사업”의 일환으로 바지락 방류를 실시한 인천광역시 옹진군 북도면 장봉리 해역에 발생한 폐사와 관련하여 원인 파악을 위해 실시한 바지락 자원량 조사 및 퇴적물 입도분석 결과임

I 조사 개요

1. 조사일시 : 2018. 7. 12(목)
2. 조사장소 : 인천시 옹진군 북도면 장봉도해역
(진촌, 한들, 옹암해변)
3. 조사인원 : 3명(수산자원연구소 1, 옹진군 1, 북도면 1)
4. 조사내용
 - 바지락 폐사 정도 파악을 위한 자원량 조사
 - 퇴적물 입도분석을 위한 퇴적물 채취(진촌 2, 한들 1, 옹암 1)



〈참고사항〉

※ 2018년 연안체험어장 자원조성 사업 개요

- 계약금액 : 102,500천원(군비-수산자원조성사업특별회계)
- 계 약 량 : 36,168kg(실제 방류량 : 36,421kg)
- 계약업체 : 세현글로벌(대표 장순옥)
- 방류해역
 - 북도면 신시· 장봉
 - 덕적면 덕적· 소야· 문갑
 - 자월면 자월· 이작· 소이작· 승봉
 - 영흥면 내리· 선재· 용담· 영암체험어장 해역 일원
- 방류현황(장봉)

구 분	검수 및 방류 내역								
	채취장소	채취일	방 류 해 역		방류량 (kg)	방류일	건 상 강 태	크기 (cm)	비 고
			면	해 역					
계	2개소			3개소	6,996				
1	고창 하전 태안 창기	6.26	북도	장봉	진 촌	6.27	양 호	각장 3~4cm 내외	7.10경 폐사 발생
					한 들				
					웅 암				



바지락 자원량조사



폐사된 바지락 치패

II

그간 추진사항

1. 공문 접수

2018. 7. 11

- 연안체험어장 자원조성사업 관련 바지락 일부폐사 원인조사 요청
(웅진군 수산과-4430)

2. 현지 조사

2018. 7. 12

- 인원 : 3명(수산자원연구소 1, 웅진군 1, 북도면 1)
- 내용 : 바지락 자원량 조사, 폐사 정도 확인, 퇴적물 채취(4)

3. 퇴적물 입도분석

2018. 7. 16 ~ 8. 24

- 퇴적물 전처리 : 유기물 제거(30% H_2O_2), 탄산염 제거(10% HCl), 물갈이
- 습식체질(Wet sieving)
- 건식체질(Dry sieving)
- Sedigraph 분석
- 입도분석지 작성

4. 결과보고서 작성

2018. 8. 27 ~ 28

III

분석 방법

1. 측정원리

- 입자의 크기는 길이로 표시되는 척도이다. 일반적으로 입자크기는 입자가 통과할 수 있는 가장 작은 체의 눈금으로 표시하거나, 입자의 침강속도와 같은 침강속도를 가지는 구의 지름, 혹은 입자의 장축으로 나타냄
- 그러므로 입자의 크기를 직접 측정할 수 없는 세립한 입자의 경우, 입자들을 일정한 크기별로 분리하여 질량을 측정한 다음 각 크기별 퇴적물 입자의 분포 비율을 이용하여 입자의 크기를 구하는 방법이 해저퇴적물 입자 크기를 구하는 기본적인 방법임
- 입자크기를 측정하는 원리는 입자의 크기에 따라 다르다. 입자의 크기는 자갈과 모래, 크기로 펄로 크게 나눌 수 있다.

입자구분(Size class)			입자직경	메쉬	파이(Φ)
자갈 (Gravel)	거력(Boulder)		256mm 이상		-8
	왕자갈(Cobble)		64mm 이상		-6
	자갈(Pebble)		4mm 이상	5	-2
	왕모래(Granule)		2mm 이상	10	-1
모래 (Sand)	극조립사(Very coarse sand)		1mm 이상	18	0
	조립사(Coarse sand)		0.5mm 이상	35	1
	중립사(Medium sand)		0.25mm 이상	60	2
	세립사(Fine sand)		0.125mm 이상	120	3
	극세립사(Very fine sand)		0.063mm 이상	230	4
펄 (Mud)	실트 (Silt)	극조립실트(Very coarse silt)	0.031mm 이상		5
		조립실트(Coarse silt)	0.016mm 이상		6
		중립실트(Medium silt)	0.008mm 이상		7
		세립실트(Fine silt)	0.004mm 이상		8
	점토 (Clay)	극세립실트(Very fine silt)	0.002mm 이상		9
		점토(Clay)	0.002mm 이하		9이하

※ 파이(Φ)는 " $-\log_2(\text{입자직경})$ "과 같이 구한다. 메쉬는 길이 1인치에 들어가는 눈의 수를 말한다.

2. 기구 및 기기

- 초자기구(1000mL 매스실린더, 50 · 100 · 500mL 비이커, 50mL 흡피펫), 가열판, 표준체세트(-2~4Φ), 깔때기(지름 25.4cm, PVC재질), 건조기(60~150℃ 범위 온도조절 가능), 전자저울(소수점 3째자리 측정가능), 진탕기

3. 시 약

- 과산화수소(H_2O_2), 염산(HCl)
- 2% 칼콘용액 : $(NaPO_3)_6$ 20g + 1,000mL 증류수

4. 실험방법

(1) 시료처리 방법

- 채취한 시료를 젖은 상태 그대로 약 20~30g을 취하여 500mL 비이커에 담는다.
- 시료를 담은 후 유기물을 분해하여 입자가 분산되도록 과산화수소 약간을 가한다. 이때 과산화수소수를 가하면 유기물이 분해되며 흰 연기와 거품이 난다. 유기물이 많을수록 거품이 많이 나는데, 이 때 거품이 비이커를 넘지 않도록 과산화수소를 천천히 그리고 조금씩 넣어준다.
- 유기물 분해 반응이 완전히 끝나 더 이상 시료에서 거품이 올라오지 않을 때까지 반응을 시킨다. 실온에서 유기물 분해 반응이 완전히 끝나면 과산화수소를 가해도 더 이상 반응이 일어나지 않는다.
- 실온에서의 반응이 끝나면 가열판 위에서 시료가 끓지 않을 정도인 90℃로 가열한다. 이 때 반응이 더 이상 일어나지 않을 때까지 가열한다. 이 때 거품이 가열판을 넘지 않도록 해야하며, 시료가 가열되어 마르지 않도록 주의해야 한다.
- 반응이 끝나면 가열판에서 내려놓고 방냉한다. 실온으로 식은 후 상등액을 주의해서 따라버리고 증류수로 다시 채운다. 이 때 상등액을 따라낼 때 퇴적물이 부유되어 흘러나가지 않도록 조심해야 한다.
- 증류수로 채워 시료를 가라앉힌 후 상등액을 따라내는 과정을 3회 반복한다. 이 때 상등액을 따라낼 때 퇴적물이 부유되어 흘러 나가지 않도록 조심해야 한다.

(2) 습식체질법

- 표준체를 깔때기 위에 끼우고 이를 매스실린더 위에 걸쳐 놓는다.

- 시료 전처리가 끝난 시료를 500mL 비이커로부터 표준체 위로 조심해서 붓는다. 이 때 비이커의 벽면에 붙어 있는 입자를 증류수와 붓으로 모두 씻어 내어 표준체 위로 부어야 한다.
- 붓과 증류수를 이용하여 체에 손상이 가지 않도록 조심하며 체질한다. 체질할 때는 증류수를 증류수병으로 살살 뿌리면서 붓을 대각선 방향으로 움직이며 부드럽게 표준체 표면에 문지른다. 체질하면서 큰 입자나 패각에 의해 표준체가 찢어지는 일이 없도록 한다.
- 체질을 하면서 깔때기 밑에서 나오는 용액의 혼탁도를 관찰하여 더 이상 혼탁액이 나오지 않을 정도까지 체질한다. 체질하고 난 후의 부피가 950mL을 넘지 않도록 해야 한다.
- 체질이 끝나면 표준체와 깔때기를 분리하고 깔때기에 묻은 입자를 실린더로 씻어내린다.
- 표준체에 남아있는 4Φ보다 큰 입자는 표준체를 500mL 유리비이커에 대고 증류수병으로 위에서 아래로 씻어 내리면서 옮겨 담는다. 이 때 비이커 밖으로 시료가 나가지 않도록 한다.
- 500mL 비이커에 담긴 4Φ보다 큰 입자(모래)는 아래 (3)항의 분석방법을 따른다.
- 1000mL 매스실린더에 담긴 시료는 (4)항의 분석방법을 따른다.

(3) 건식체질법

- 우선 500mL 비이커에 넣어 건조기에 넣고 잘 말려 아래와 같이 체질한다.
- 체의 간격은 1Φ로 -2~4Φ까지 모두 7r이다. 체를 끼울 때에는 위에서부터 아래로 표준체의 눈금간격이 작아지도록 차례로 끼운다. 다음 진탕기에 체를 끼운 다음 10분간 체질한다.
- 체질이 끝나면 표준체를 각각 분리한다. 체를 분리할 때 체 위에 걸린 시료가 체 밖으로 나가지 않도록 주의한다.
- 표준체에 담긴 시료는 표준체보다 넓은 정사각형의 종이를 깔고 그 위에 체를 비운다. 체를 잘 비우기 위해 체의 가장자리를 손바닥으로 두들기거나 솔로 체 눈에 솔질을 한다. 체를 비운 후 종이에 체의 눈금 크기를 표시한다.
- 각 종이에 모은 시료의 무게를 0.01g까지 잰다.
- 시료의 무게는 체 눈금 크기별로 입도분석지에 잘 기록한다.

(4) 피펫팅 방법

- ☐ 우선 담긴 시료의 부피를 증류수로 950mL까지 정확히 맞춘다.
- ☐ 2% 칼콘 용액을 1000mL 매스실린더에 조심스럽게 부어 1000mL에 맞춘다.
- ☐ 실린더 안의 시료를 잘 저어준다. 이 때 젓개를 사용하여 위 아래로 잘 섞어야 한다. 이 때 너무 세게 저어 시료가 밖으로 튀어나가지 않도록 한다.
- ☐ 저은 후 24시간 실온에서 방치한다.
- ☐ 50mL 흡피펫을 준비한다. 아울러 한 시료당 7개의 100mL 비이커를 준비해 미리 무게를 측정해 놓는다. 비이커 무게를 0.001g까지 측정한다.
- ☐ 실린더 내 시료의 응결이나 침전이 없음을 확인한 다음 젓개를 사용하여 1분간 잘 젓고 50mL 흡피펫을 사용하여 다음에서 제시된 시간과 깊이에서 50mL씩 빨아올린 다음 미리 무게를 측정한 100mL 유리비이커에 담는다.

구분 \ 횟수	1	2	3	4	5	6	7
Pipetting time	0 _{sec}	2 _{min}	8 _{min}	32 _{min}	2 _{hr} 8 _{min}	5 _{hr} 58 _{min}	24 _{hr}
Grain size (ϕ)	4□5	5□6	6□7	7□8	8□9	9□10	10□11
Hole-pipette depth (cm)	25	10	10	10	10	7	7

- ☐ 피펫팅이 모두 끝나면 비이커를 건조기에 넣고 잘 말린다.
- ☐ 잘 말린 후 무게를 측정한다. 이 때 무게는 0.001g까지 측정한다. 이 때 한 실린더 당 7개의 비이커를 피펫팅한 순서에 따라 비이커 무게를 측정하여 잘 기록해야 한다.
- ☐ 측정한 무게는 입도분석지에 잘 기록한다.

(5) 자료분석 방법

- ☐ 건식체질한 자료와 피펫팅한 자료로 입도분석지를 작성한다.
- ☐ 입도분석 그래프에 가로축은 각 입자의 크기, 시로축은 입도분석지에서 계산된 누적비율로 점을 찍고, 각 점을 부드러운 곡선으로 연결한다. 이 때 10 ϕ 보다 작은 입자크기는 14 ϕ 까지 직선으로 연장하여 직선을 그린다.
- ☐ 곡선을 완성한 후 각각 5, 16, 25, 50, 75, 84, 95%에 해당하는 입자의 크기를 그래프에서 읽어 기록한다. 각 %에 해당하는 입자의 크기를 이용하여 평균입도(Mean, M_z), 분급도(Sorting, S_o), 왜도(Skewness, S_k), 첨도(Kurtosis, K_G)를 다음과 같이 구한다(Folk and Ward, 1957).

$$\text{평균입도}(M_Z) = \frac{(\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84})}{3}$$

$$\text{분급도}(S_O) = \frac{(\Phi_{84} - \Phi_{16})}{4} + \frac{(\Phi_{95} - \Phi_5)}{6.6}$$

- 0.35 이하 : Very well sorted
- 0.35~0.50 : Well sorted
- 0.50~0.71 : Moderately well sorted
- 0.71~1.00 : Moderately sorted
- 1.00~2.00 : Poorly sorted
- 2.00~4.00 : Very poorly sorted
- 4.00 이상 : Extremely poorly sorted

$$\text{왜도}(S_K) = \frac{\Phi_{84} + \Phi_{16} - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{84} - \Phi_{16})} + \frac{\Phi_{95} + \Phi_5 - 2\Phi_{50}}{2(\Phi_{95} - \Phi_5)}$$

- -0.3 이하 : Strongly coarse-skewed
- -0.3~-0.1 : Coarse-skewed
- -0.1~0.1 : Near-symmetrical
- 0.1~0.3 Fine-skewed
- 0.3 이상 : Strongly fine-skewed

$$\text{첨도}(K_G) = \frac{\Phi_{95} - \Phi_5}{2.44(\Phi_{75} - \Phi_{25})}$$

- 0.67 이하 : Very platykurtic
- 0.67~0.90 : Platykurtic
- 0.90~1.11 : Mesokurtic
- 1.11~1.50 : Leptokurtic
- 1.50~3.00 : Very leptokurtic
- 3.00 이상 : Extremely leptokurtic

IV

입도분석 결과

1. 진촌해역(정점 1)

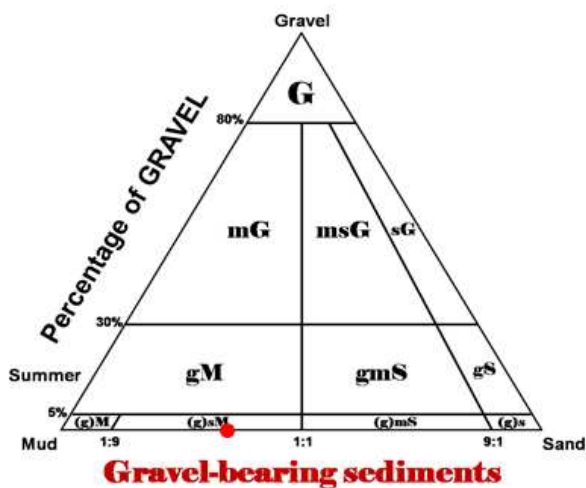
조성 (composition)				조직변수 (parameter)				
자갈 (Gravel)	모래 (sand)	빔 (mud)	분류 (type)	중앙값 (Median)	평균값 (Mean)	분급도 (Sorting)	왜도 (Skewness)	첨도 (Kurtosis)
0.0	29.2	70.8	sM 니사질	8.2	6.33	2.79 Very poorly sorted	-0.83 Near-symmetrical	0.52 Very platykurtic

○ 퇴적물 조성

- 자갈은 없었으며 모래 29.2%, 빔 70.8%로 빔이 매우 우세하여 사니질(sandy Mud, sM)으로 분류됨

○ 퇴적물 매개변수

- 중앙값과 평균값은 각각 8.2 ϕ 와 6.33 ϕ 로 상당히 세립한 경향을 보임
- 분급도는 2.79로 매우 불량(very poorly sorted)하여 매우 여러 가지 크기의 입자들이 다양하게 섞여 있음을 의미함
- 왜도는 -0.83으로 Near-symmetrical하여 세립질과 조립질의 분포가 거의 동등한 경향을 보임
- 첨도는 0.52로 very platykurtic하며 특정 입자크기에 편중되지 않고 골고루 퍼져 있는 경향을 보임



2. 진촌해역(정점 2)

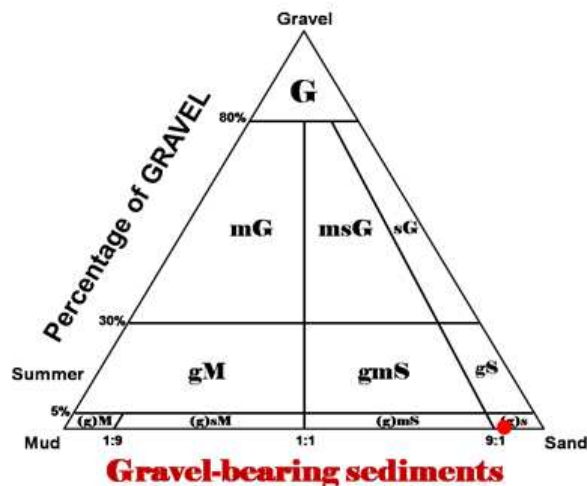
조성 (composition)				조직변수 (parameter)				
자갈 (Gravel)	모래 (sand)	펄 (mud)	분류 (type)	중앙값 (Median)	평균값 (Mean)	분급도 (Sorting)	왜도 (Skewness)	첨도 (Kurtosis)
0.9	92.7	7.3	(g)S 약역사질	1.3	1.20	1.27 Poorly sorted	0.15 Fine- skewed	2.42 Extremely leptokurtic

○ 퇴적물 조성

- 자갈은 0.9%였으며, 모래 92.7%, 펄 7.3%로 모래가 매우 우세하여 약역사질 (slightly sand, (g)S)으로 분류됨

○ 퇴적물 매개변수

- 중앙값과 평균값은 각각 1.3ϕ 와 1.20ϕ 로 상당히 조립한 경향을 보임
- 분급도는 1.27로 불량(poorly sorted)하여 여러 가지 크기의 입자들이 다양하게 섞여 있음을 의미함
- 왜도는 0.15으로 fine-skewed하여 조립한 입자가 많음
- 첨도는 2.42로 extremely leptokurtic하며 특정 입자크기(2ϕ , 중립사)에 편중하는 경향을 보임



3. 한들해역(정점 3)

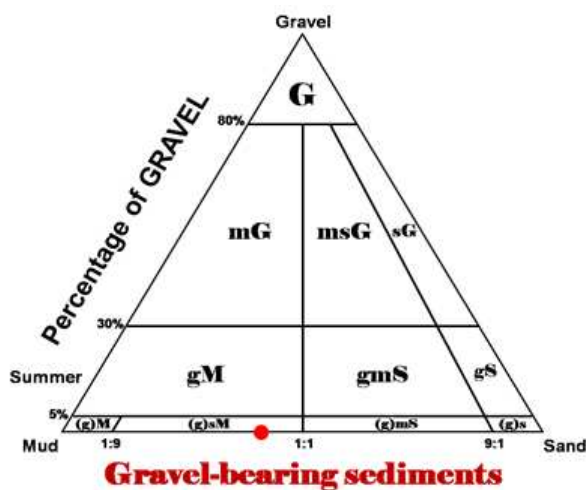
조성 (composition)				조직변수 (parameter)				
자갈 (Gravel)	모래 (sand)	펄 (mud)	분류 (type)	중앙값 (Median)	평균값 (Mean)	분급도 (Sorting)	왜도 (Skewness)	첨도 (Kurtosis)
0.0	35.0	65.0	sM 사니질	4.8	4.93	1.51 Poorly sorted	0.25 Fine- skewed	1.02 Mesokurtic

○ 퇴적물 조성

- 자갈은 없었으며, 모래 35.0%, 펄 65.0%로 펄이 더 우세하여 사니질(sandy mud, sM)으로 분류됨

○ 퇴적물 매개변수

- 중앙값과 평균값은 각각 4.8ϕ 와 4.93ϕ 로 상당히 조립한 경향을 보임
- 분급도는 1.51로 불량(poorly sorted)하여 여러 가지 크기의 입자들이 다양하게 섞여 있음을 의미함
- 왜도는 0.25으로 fine-skewed하여 조립한 입자가 많음
- 첨도는 1.02로 Mesokurtic하며 leptokurtic과 mesokurtic의 중간값을 보임



4. 용암해역(정점 4)

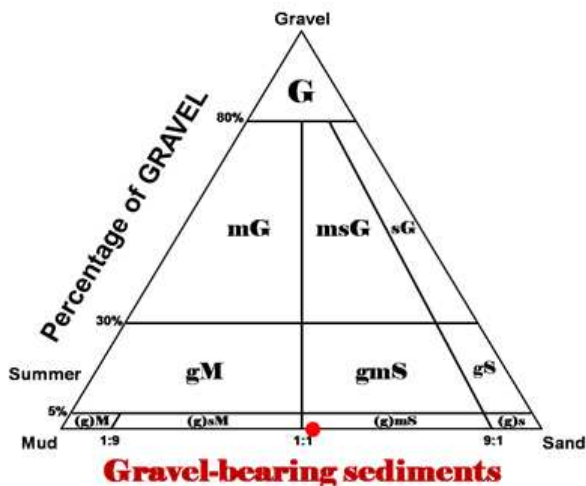
조성 (composition)				조직변수 (parameter)				
자갈 (Gravel)	모래 (sand)	펄 (mud)	분류 (type)	중앙값 (Median)	평균값 (Mean)	분급도 (Sorting)	왜도 (Skewness)	첨도 (Kurtosis)
0.0	53.3	46.7	mS 니사질	3.9	4.40	1.51 Poorly sorted	0.51 Strongly Fine-skewed	1.12 Leptokurtic

○ 퇴적물 조성

- 자갈은 없었으며, 모래 53.3%, 펄 46.7%로 모래가 약간 우세하여 니사(muddy sand, mS)으로 분류됨

○ 퇴적물 매개변수

- 중앙값과 평균값은 각각 3.9ϕ 와 4.40ϕ 로 상당히 조립한 경향을 보임
- 분급도는 1.51로 불량(poorly sorted)하여 여러 가지 크기의 입자들이 다양하게 섞여 있음을 의미함
- 왜도는 0.51으로 strongly fine-skewed하여 조립한 입자가 매우 많음
- 첨도는 1.02로 leptokurtic하며 특정 입자크기(4ϕ , 극세립사)에 편중하는 경향을 보임



1. 폐사원인 분석

(1) 방류해역과 바지락 서식적지 일치 여부

- 웅진군에서 실시하고 있는 매입방류사업의 경우 대상생물의 적지로 선정된 마을·패류양식 어업면허어장에 방류하기 때문에 집단 폐사같은 문제가 거의 발생하지 않음
- 웅진군에서 실시하는 연안체험어장 자원조성사업은 웅진군을 방문하는 관광객들에게 바지락, 동죽 같은 조개들을 잡는 즐거움을 주고자 종패를 매입하여 방류하고 있는 사업이므로 관광객들이 많이 방문하는 해수욕장을 중심으로 사업이 수행되고 있음
- 금번 조사 후 실시한 퇴적물 입도분석 결과 폐사가 발생한 3개 해역은 사질에 비해서 니질이 많거나 분급도가 불량하지 않아 바지락이 서식하기에 좋은 조건은 아닌 것으로 추정됨
- 따라서, 방류했던 해역에서 집단폐사가 발생하거나 바지락이 서식하기 좋은 환경으로 이동하는 것으로 추정됨

※ 바지락 서식적지 문헌조사

- 태안군 근소만의 정산포와 포도리 바지락양식장은 니사질로 자갈 0~10%, 모래 63~82%, 펄 18~30%
- 이 등(1999)은 지역에 따라 차이가 있으나 바지락의 서식에 적합한 퇴적물은 사질니토나 역사질니토이며 분급(sorting)이 매우 불량한 퇴적물이라고 함
- Loosanoff(1961), Bardach et al(1972)는 단단한 자갈층과 경토층은 바지락이 파고 들어가기 어렵고, 고운 펄 기질에서는 위치는 고정하기 힘들 뿐만 아니라 아가미를 깨끗하게 유지하기 어려우므로 적지라고 하기 어려움

(2) 바지락 방류방법

- 많은 양의 바지락을 방류하기 위하여 납품업체는 선상에서 바지락망을 뜯고 그대로 쏟아 붓는 방식으로 방류를 실시하고 있음
- 이러한 방법으로 방류할 경우 바지락은 산처럼 쌓이게 되고 장시간 이동으로 스트레스를 받아 체력이 바닥난 바지락은 뿔바닥으로 들어가지 못하게 되고 폐사하는 개체가 늘어나기도 하며, 좁은 면적에 많은 바지락들이 밀집하여 서식하게 되므로 공간 경쟁에서 오는 스트레스로 인해 폐사하거나 성장률이 저해되는 악영향이 예상됨
- 또한, 선상 방류시 방류 지역의 바닥 상태를 확인할 수 없기 때문에 바지락 서식적지가 아닌 곳에 방류하는 경우도 발생 가능



2. 개선방안

(1) 방류해역과 바지락 서식적지 일치 여부

- 연안체험어장 자원조성사업을 계속 실시하고자 할 경우, 방류예정지에 기존 서식생물을 알아보거나 퇴적물 입도분석 등 적지조사를 통해 방류대상품종을 결정하는 것이 좋을 것으로 사료됨



(2) 바지락 방류방법

- 시간과 인력이 많이 소요되지만, 방류예정지의 바닥상태를 확인할 수 있으며 골고루 살포 가능한 육상 살포를 방류방법 변경 요망
- 전남, 충남 등 원거리 이동에 따른 방류 품종들의 스트레스 저감, 체력 회복을 위하여 1~2일 정도 해수에서 안정시킨 후 방류하는 방식으로 전환이 필요하며 이를 위하여 어촌계 양식장 인근에 바지락 저장용 수조 또는 웅덩이 설치 필요



VI

향후 계획

- | | |
|-------------------------|-------------|
| 1. 조사결과보고서 발송(웅진군 수산과) | 2018. 8. 28 |
| 2. 군구에 패류 방류방법 개선(안) 권고 | 2018. 8. 29 |