

동쪽 폐사 원인규명을 위한 조사 결과 보고 [업벌, 외리어촌계]



인천광역시
수산자원연구소
<http://fish.incheon.go.kr>

동죽 폐사 원인규명을 위한 조사 결과 보고

I 조사개요

본 조사는 인천시 옹진군 영흥면 외리, 업벌어촌계 해역에 동죽 대량 폐사가 발생하여 2016년 9월 27일에 옹진군으로부터 이에 대한 원인 규명 조사를 의뢰받아 실시하였다(그림 1).

이 해역은 북쪽으로는 영흥화력발전소 1~4호기 온배수 배출구 근처에 위치하고 있으며, 동쪽에서는 발전소 회처리장 유출수 배출구가 위치하고 있는 특성이 있으며, 3년전 여름철 동죽, 서해비단고둥의 대량 폐사가 발생하여 이에 대한 후속조치로 경운 작업을 실시한 바 있다.



그림 1. 동죽폐사발생 해역과 조사정점

본 조사는 총 31개 조사정점에 대해 입도·강열감량·화학적산소요구량 측정을 위한 퇴적물 시료와 산취발성황화물 측정을 위한 퇴적물 시료를 따로 채취하여 연구실까지 운반하였다.

II 재료 및 방법

1. 입도

염산과 과산화수소를 이용하여 탄산염과 유기물을 제거한 후 4 Φ 체를 이용하여 습식체질을 통해 모래와 펄을 구분하고 건식체질과 퇴적물분석기 (sedigraphIII 5120, Micromeritics, USA)를 통하여 각 입자크기별 무게를 측정하여 입도분석지에 기입하고 아래 식을 통해 평균입도 (Mean, M_z), 분급도 (Sorting, S_o), 왜도 (Skewness, S_k), 첨도 (Kurtosis, K_G)를 계산하고, 삼각다이어그램을 통해 정점별 퇴적형태를 규명하였다

- 평균입도 (M_z) =
$$\frac{(\Phi_{16} + \Phi_{50} + \Phi_{84})}{3}$$
- 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
- 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 이상 : Strongly fine-skewed
 - 0.3~0.1 Fine-skewed
 - 0.1~0.1 : Near-symmetrical
 - -0.1~-0.3 : Coarse-skewed
 - -0.3 이하 : Strongly coarse-skewed
- 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

2. 강열감량 (IL)

건조된 퇴적물 1 g을 도가니에 담아 muffle furnace에서 550℃로 2시간 가열하여 가열 전후의 무게 차이로 계산하였다.

3. 화학적산소요구량 (COD)

건조된 약 1 g의 무게를 취하여 과망간산칼륨과 수산화나트륨 용액을 넣고 100℃ 수욕상에서 60분간 중탕시킨 후 요오드화칼륨을 넣었다. 증류수를 가해 500 ml로 만들고 잘 흔들어 유리섬유여과지를 사용하여 여과한 후 황산을 넣어 소비되고 남은 과망간산칼륨에 의하여 유리된 요오드의 양으로부터 산소의 양을 측정하였다.

4. 산취발성황화물 (AVS)

밀봉된 시료를 glove box 내에서 2 g을 정확히 측정하여 기체발생관에 넣고 황산용액을 가하여 펌프를 작동시켜 발생하는 황화수소가 검지관에 흡수되도록 하고 아래 식으로 계산하였다.

$$\text{황화물량 (mg S/g.dry)} = \frac{\text{검지관 눈금}}{\text{시료의 무게 (g)} \times \frac{100 - \text{함수율 (\%)}}{100}}$$

5. 부영양화관련 평가항목, 기준농도 및 평가점수

표 1. 해양오염퇴적물 조사 및 정화·복원 범위 등에 관한 규정 (해양수산부 고시 제2013-206호, 2013.08.30)

항 목	단위	기준농도	평가점수
강열감량 (IL)	% (건중량)	5 미만	0
		15 미만	3
		15 이상	6
화학적산소요구량 (COD)	mg/g (건중량)	13 미만	0
		20 미만	1
		30 미만	2
		40 미만	4
		40 이상	6
산취발성황화물 (AVS)	mg/g (건중량)	0.6 미만	0
		1 미만	1
		5 미만	2
		10 미만	4
		10 이상	6

III 결 과

1. 입도

정점별 표층 퇴적물 조성비율, 조직변수 그리고 퇴적상의 차이는 표 2, 그림 2~6에 나타내었다.

입도별 함량을 살펴보면, 자갈은 0.0~12.8 % (평균 0.7%), 모래는 34.5~99.1% (평균 83.9%), 펄은 0.9~65.4% (평균 15.4%)의 범위를 보였다. 자갈의 경우 12번 정점에서 28.6%로 가장 높은 함량을 보였는데, 이는 갯벌 형성의 중요한 역할을 하는 모래턱이 있기 때문이다. 모래의 경우 조사해역에 매우 우세하게 나타났으며, 펄의 경우 발전소 해안도로와 회처리장 배출구 주변인 1~3번, 14~16번 정점에서 우세하게 나타났는데, 이는 해안도로 건설시 설치된 방조제와 만형태의 지형적 특성에 의해 유속이 약해지면서 세립한 펄이 퇴적된 것으로 사료된다.

평균입도는 0.40~5.70 ϕ (평균 3.17 ϕ)였으며, 분급도(sorting)는 0.36~3.29 (평균 1.12), 왜도(skewness)는 -0.42~0.80 (평균 0.22), 첨도(kurtosis)는 0.53~2.16 (평균 1.11)의 범위를 보였다.

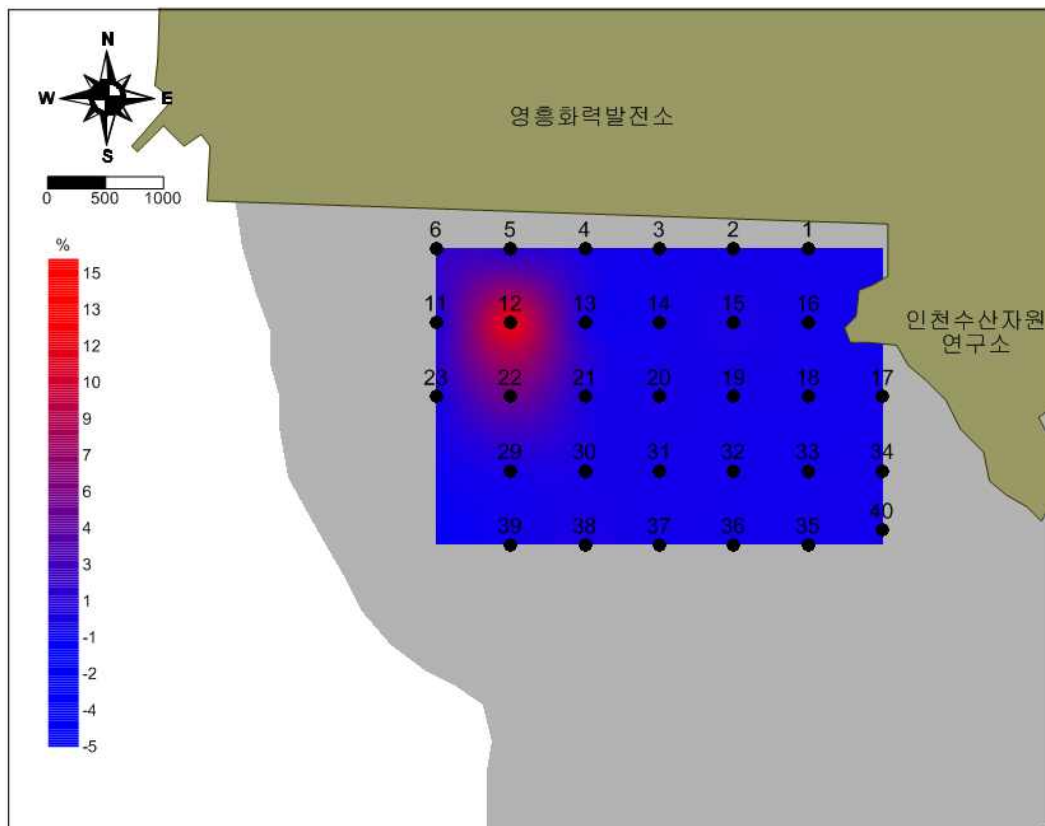


그림 2. 정점별 자갈(gravel) 비율의 차이

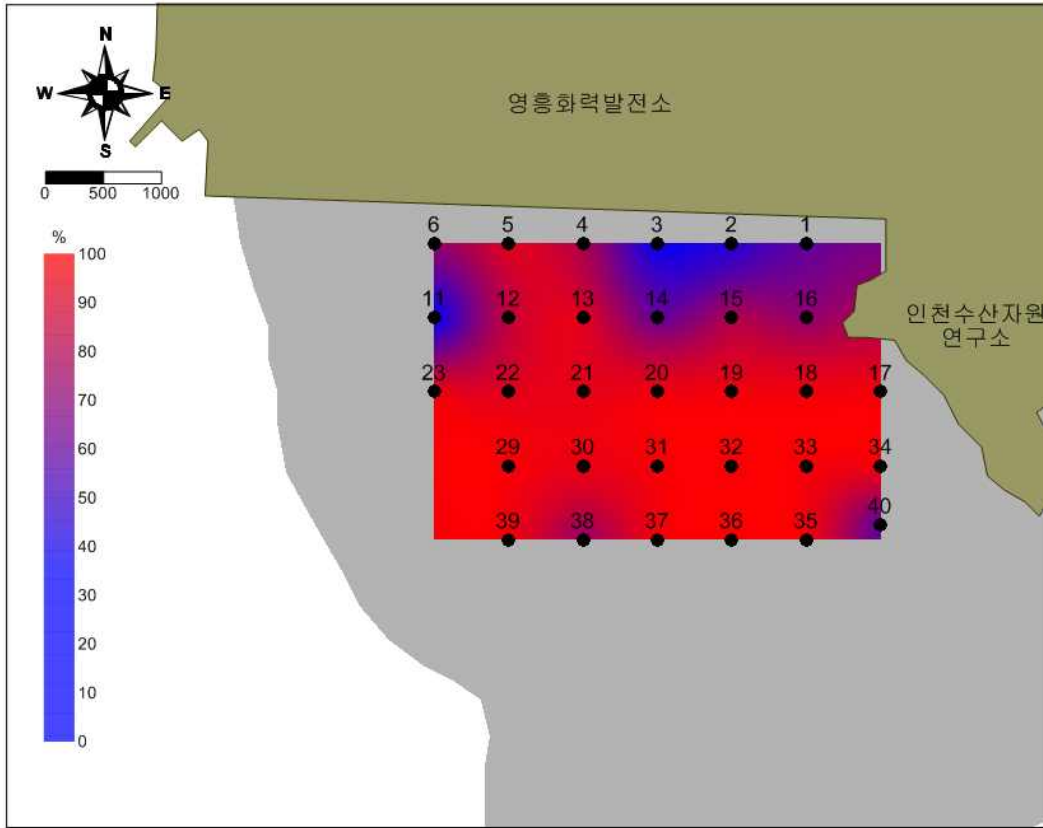


그림 3. 정점별 모래(sand) 비율의 차이

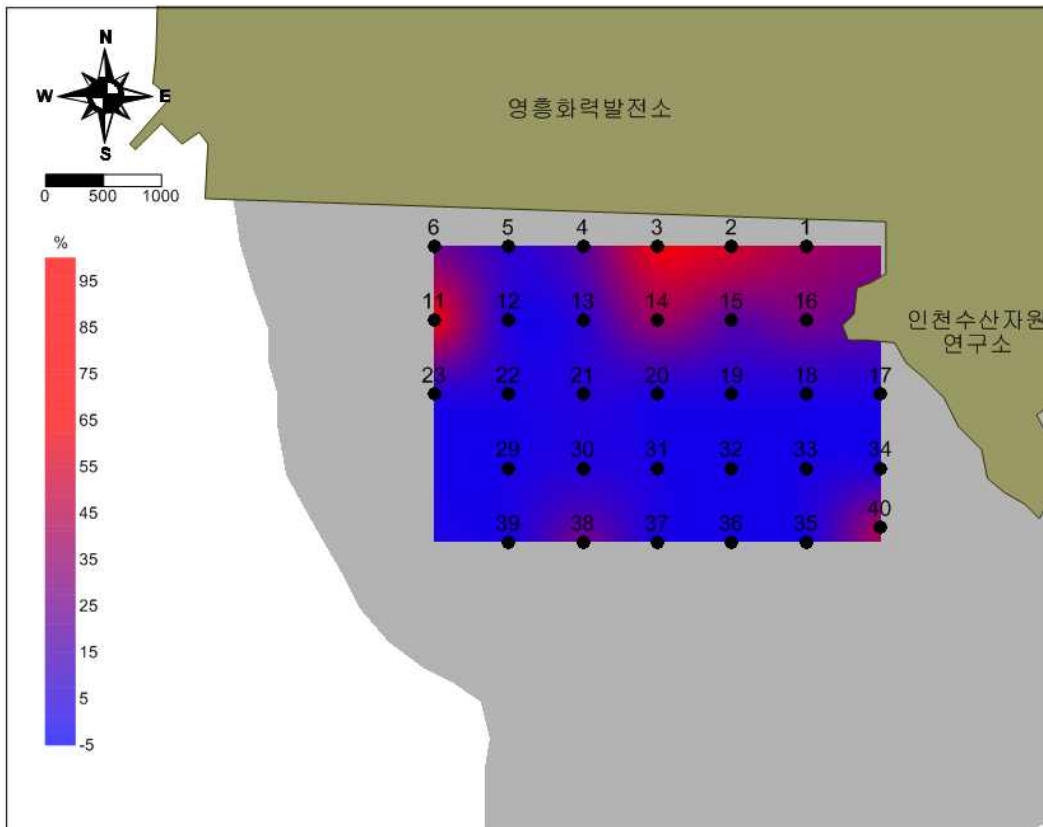


그림 4. 정점별 펄(mud) 비율의 차이

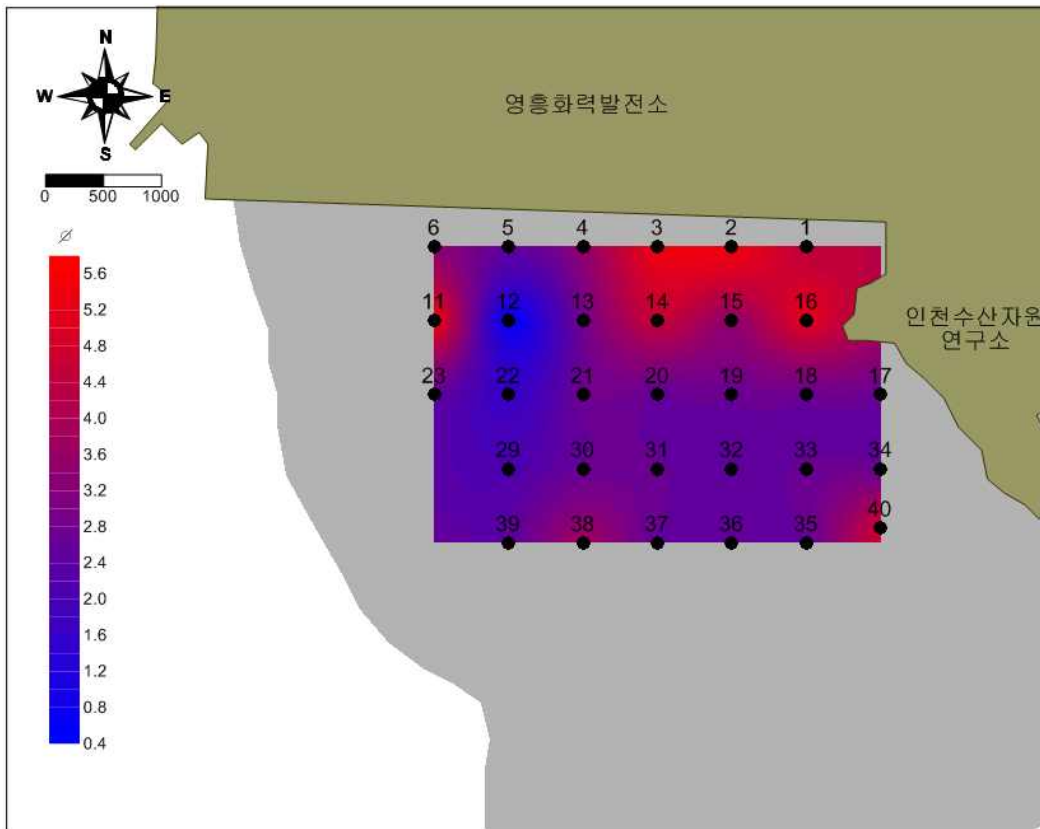


그림 5. 정점별 퇴적물 평균입도의 차이

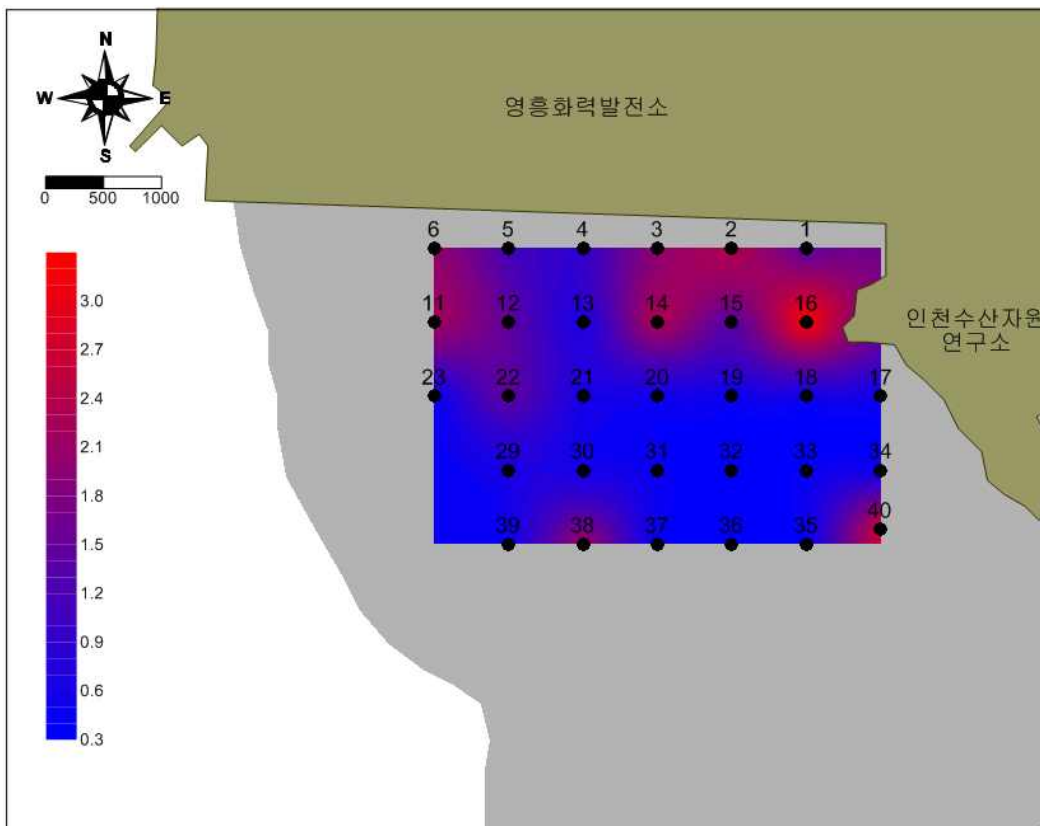


그림 6. 정점별 퇴적물 분급도(sorting)의 차이

표 2. 정점별 표층 퇴적물 조성비율 및 조직변수의 차이

정점	조성비율 (%) Textural parameters			조 직 변 수 Statistical parameters				퇴적상 Sediment type
	자갈 (Gravel)	모래 (Sand)	펄 (Mud)	평균입도 (Mean)	분급도 (Sorting)	왜도 (Skewness)	첨도 (Kurtosis)	
1	0.0	60.3	39.7	4.33	1.35	0.63	1.18	mS
2	0.0	44.3	55.7	5.53	2.38	0.60	0.57	sM
3	0.0	36.2	63.8	5.43	1.96	0.30	0.66	sM
4	0.0	80.3	19.7	3.47	0.89	0.11	1.55	mS
5	0.6	93.5	5.9	2.50	1.12	-0.15	0.92	(g)S
6	1.6	72.8	25.6	3.33	2.02	0.06	1.74	(g)mS
11	0.1	34.5	65.4	5.70	2.27	0.07	0.61	(g)sM
12	12.8	85.3	1.9	0.40	1.47	0.25	1.23	gS
13	0.1	93.8	6.1	2.87	0.60	0.23	1.02	(g)S
14	0.0	60.1	39.9	4.67	2.43	0.59	0.63	(g)mS
15	0.5	80.9	18.6	3.37	1.30	0.26	2.16	(g)mS
16	0.0	71.7	28.3	5.27	3.29	0.80	0.53	mS
17	0.0	97.8	2.2	2.63	0.47	0.24	1.09	S
18	0.0	97.3	2.7	2.63	0.48	0.26	1.16	S
19	0.0	97.8	2.2	2.63	0.45	0.22	1.23	S
20	0.3	97.8	1.9	2.53	0.50	0.11	1.48	(g)S
21	0.4	94.0	5.6	2.83	0.60	0.32	1.37	(g)S
22	5.2	92.3	2.5	1.57	1.50	-0.42	0.90	gS
23	0.0	97.2	2.8	2.50	0.40	-0.04	1.07	S
29	0.1	99.0	0.9	2.07	0.61	-0.06	0.87	(g)S
30	0.2	95.6	4.2	2.63	0.51	0.24	1.30	(g)S
31	0.1	98.3	1.6	2.63	0.45	0.22	1.02	(g)S
32	0.0	98.4	1.6	2.60	0.43	0.17	1.23	S
33	0.0	98.2	1.8	2.67	0.44	0.31	1.31	S
34	0.0	98.2	1.8	2.63	0.47	0.18	1.31	S
35	0.0	99.1	0.9	2.57	0.36	0.01	0.98	S
36	0.0	98.8	1.2	2.53	0.36	0.15	0.98	S
37	0.0	98.5	1.5	2.53	0.37	0.19	1.07	S
38	0.5	72.6	26.9	3.87	2.13	0.70	1.55	(g)mS
39	0.0	98.2	1.8	2.43	0.43	-0.29	1.23	S
40	0.0	57.7	42.3	4.80	2.74	0.56	0.60	mS

2. 강열감량(Ignition loss)

정점별 표층 퇴적물 강열감량 측정치와 부영양화 관련 평가점수와 오염 관정은 표 3, 그림 7에 나타내었다.

퇴적물 중 유기물량을 측정하는데 이용하는 강열감량은 0.95~5.92% (평균 2.13%)였으며, 강열감량 값이 높은 지역은 외부 오염원 유입으로 인한 유기물 부영양화가 아닌 퇴적물 입도조성이 펄(mud) 함량이 높은 것이 원인이라고 사료된다.

“해양오염 퇴적물 조사 및 정화·복원 범위 등에 관한 규정” (해양수산부 고시 제2013-206호, 2013.08.30)에 의거 16번 정점이 평가점수 3점이며, 나머지 정점은 0점을 나타냈다.

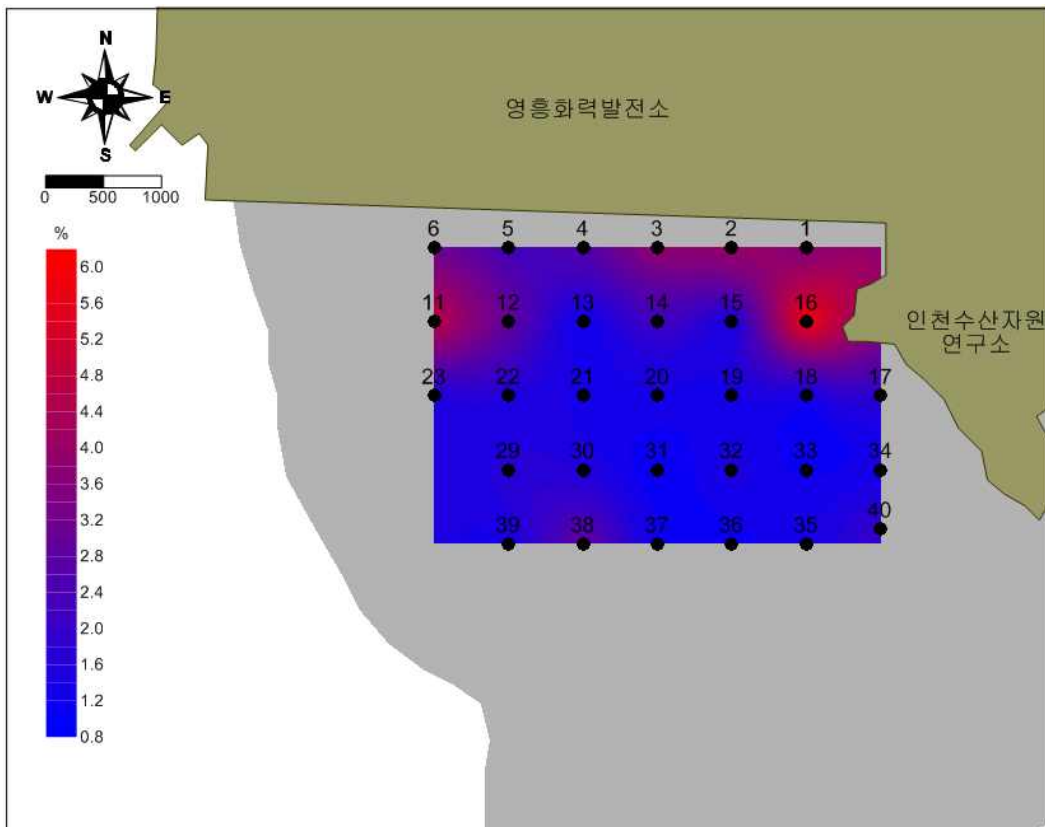


그림 7. 정점별 퇴적물 강열감량의 차이

3. 화학적산소요구량(COD)

정점별 표층퇴적물 화학적산소요구량(COD) 측정치와 부영양화 관련 평가점수와 오염판정은 표 3, 그림 8에 나타내었다.

강열감량과 마찬가지로 퇴적물 중 유기물량을 측정하는데 이용하는 화학적산소요구량은 0.73~10.75 mg/g (평균 2.76 mg/g)였으며, 강열감량과 유사한 경향을 보였다.

“해양오염 퇴적물 조사 및 정화·복원 범위 등에 관한 규정” (해양수산부 고시 제2013-206호, 2013.08.30)에 의거 모든 정점에서 0점을 나타냈다.

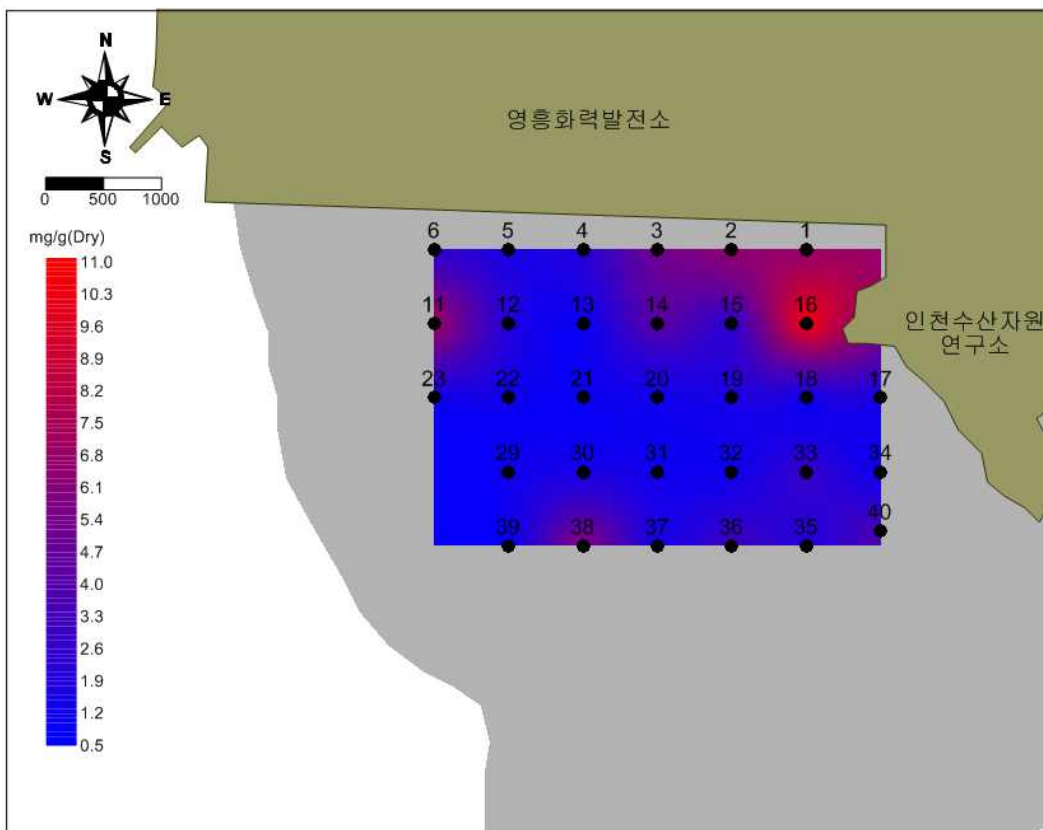


그림 8. 정점별 퇴적물 화학적산소요구량의 차이

4. 산취발성황화물(AVS)

정점별 표층퇴적물 산취발성황화물 측정치와 부영양화 관련 평가점수와 오염판정은 표 3, 그림 9에 나타내었다.

해저 퇴적물 내 산고의 고갈 및 결핍으로 인해 발생하는 산취발성황화물은 저층 수질 및 저서 생태계에 나쁜 영향을 줄 수 있는데, 조사지역은 0.000~0.308 mg/g (평균 0.027 mg/g)의 범위를 보였으며, 전반적으로 값이 매우 낮아 건강한 상태임을 보여주었다.

“해양오염 퇴적물 조사 및 정화·복원 범위 등에 관한 규정” (해양수산부 고시 제2013-206호, 2013.08.30)에 의거 모든 정점에서 0점을 나타냈다.

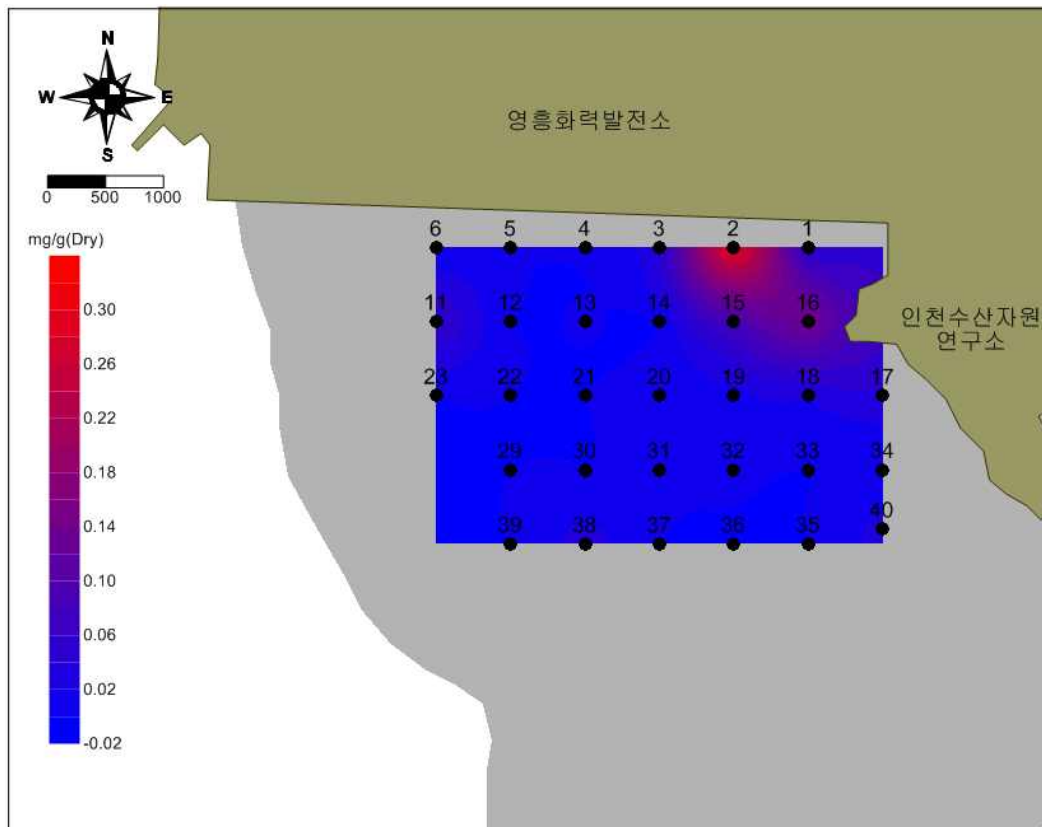


그림 9. 정점별 퇴적물 산취발성황화물의 차이

표 3. 조사정점별 부영양화 관련 평가항목 측정치, 평가점수 및 오염판정

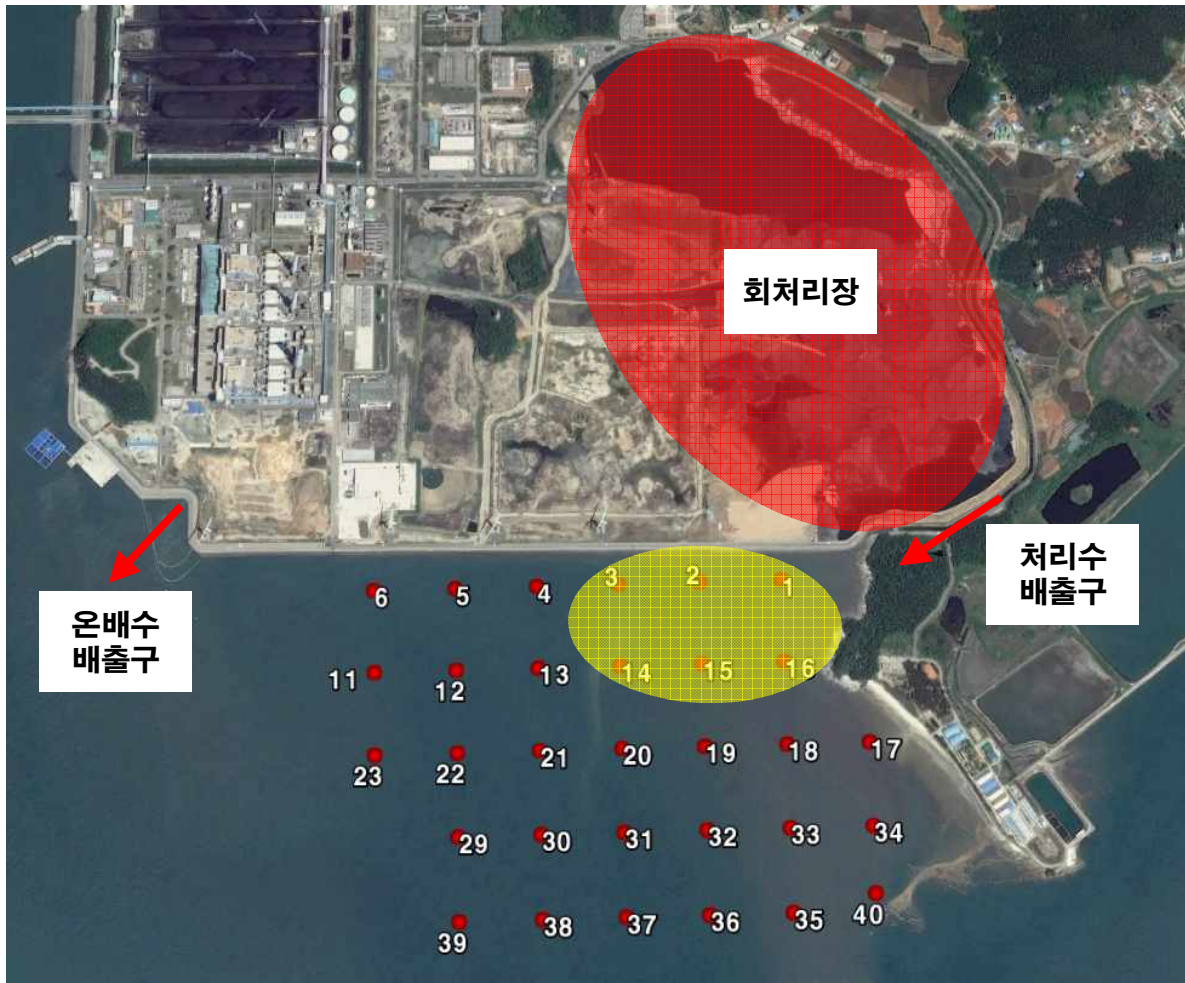
조사정점	강열감량		화학적산소요구량		산취발성황화물		평가점수	오염판정
	%	점수	mg/g	점수	mg/g	점수		
1	3.49	0	6.52	0	0.038	0	0	비오염
2	4.07	0	6.50	0	0.308	0	0	비오염
3	3.91	0	5.29	0	0.036	0	0	비오염
4	2.66	0	2.16	0	0.004	0	0	비오염
5	2.23	0	1.47	0	0.002	0	0	비오염
6	3.04	0	2.24	0	0.002	0	0	비오염
11	4.81	0	7.17	0	0.069	0	0	비오염
12	3.00	0	1.96	0	0.000	0	0	비오염
13	1.12	0	0.88	0	0.004	0	0	비오염
14	2.24	0	4.42	0	0.000	0	0	비오염
15	1.35	0	2.16	0	0.083	0	0	비오염
16	5.92	3	10.75	0	0.141	0	3	비오염
17	1.78	0	1.44	0	0.039	0	0	비오염
18	1.22	0	1.01	0	0.023	0	0	비오염
19	1.38	0	1.66	0	0.012	0	0	비오염
20	1.40	0	1.22	0	0.012	0	0	비오염
21	1.37	0	0.91	0	0.000	0	0	비오염
22	1.52	0	1.14	0	0.000	0	0	비오염
23	1.46	0	1.04	0	0.000	0	0	비오염
29	1.73	0	1.13	0	0.000	0	0	비오염
30	1.56	0	1.38	0	0.000	0	0	비오염
31	0.95	0	1.18	0	0.002	0	0	비오염
32	1.56	0	1.10	0	0.004	0	0	비오염
33	1.15	0	2.85	0	0.000	0	0	비오염
34	1.26	0	1.02	0	0.000	0	0	비오염
35	1.36	0	1.80	0	0.000	0	0	비오염
36	1.13	0	3.28	0	0.000	0	0	비오염
37	1.10	0	1.35	0	0.000	0	0	비오염
38	2.95	0	6.23	0	0.031	0	0	비오염
39	1.35	0	0.77	0	0.000	0	0	비오염
40	2.05	0	3.67	0	0.030	0	0	비오염

V

종합결론

본 조사는 인천광역시 용진군 영흥면 업벌·외리어촌계에서 발생한 동죽 폐사 원인 규명을 위해서 2016년 9월 29~30일에 총 31개 조사정점에서 퇴적물을 채취하여 입도, 강열감량, 화학적산소요구량, 산취발성황화물을 분석하였다.

퇴적물 입도의 경우, 조사해역 대부분이 동죽이 서식하기 좋은 니사질이지만, 발전소 해안도로와 회처리장 배출구 지역(●)은 시설물(방조제)과 만형태의 지형적 특징으로 인해 유속이 약해지면서 세립질인 펄이 퇴적된 것으로 사료된다.

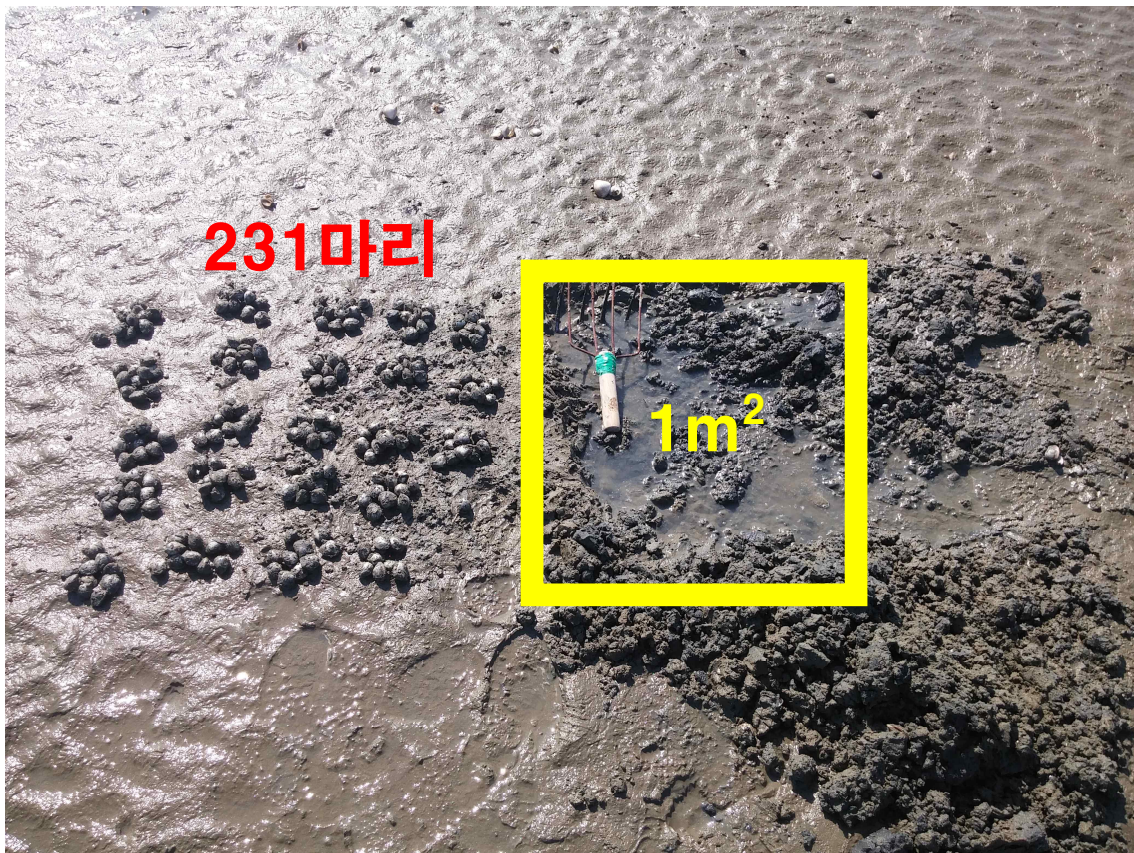


본 해역은 2013년 8월에 동죽과 서해비단고둥의 대량폐사가 발생하여 이에 대한 후속조치로 경운을 실시하였으나, 상기 원인으로 인한 지속적인

펄 퇴적으로 동죽이 서식하기에 좋지 않은 입도 특성을 보이고 있으므로, 추후 경운 작업을 진행한다고 해도 같은 현상이 계속 반복될 것으로 예상되어 경운 효과가 미비할 것으로 사료된다.

부영양화관련 오염도를 평가하기 위하여 강열감량, 화학적산소요구량, 산휘발성황화물을 측정된 결과, 모두 비오염 지역으로 판정되어 퇴적물 오염에 의한 동죽 폐사 원인과는 무관한 것으로 사료된다.

또한, 금번 조사시 봄철에 방류한 동죽 치패들이 집중적으로 매설되어 있는 것이 관찰되었는데(231마리/m²), 하절기 고수온과 밀식 등도 폐사의 한 원인이라고 추정된다. 따라서, 선상에서 무더기로 방류하는 현재의 방류 방법을 탈피하고, 방류 지역을 경운하면서 적절한 밀도의 패류를 살포하는 방법으로 개선할 것을 제안한다.



업별, 외리어촌계에서는 영흥화력발전소에서 배출하는 온배수와 회처리장에서 배출되는 처리수에 의한 폐사라고 주장하지만, 본 연구소는 분석, 처리할 수 있는 장비, 인력이 부족하므로 타 연구기관에 의뢰하여 추가 조사를 진행할 것을 건의한다.