

해삼 씨뿌림양식어장 신규개발을 위한 희망해역 적지조사 결과보고서

이선식, 김명일, 변정훈, 김윤기, 최승준

I. 목적 및 필요성

인천광역시 관내 어장은 유류·원자재 가격 상승에 따라 어선어업의 채산성이 악화되고, 잡는 어업의 높은 의존도에 따라 마을어장의 생산성이 저하되어 유희화가 가속되고 있다. 특히 백령, 대청, 소청도는 서해 북방한계선의 위험 상존에 따른 조업이 부실하여 어촌경제가 더욱 어려워질 가능성이 높아지고 있다.

이와 같은 어촌 경제의 어려움을 해소하기 위해서는 불안정한 어선 어업으로부터 탈피하여 경제 개념의 고부가가치 지역 특성 증양식 품종 개발 등 새로운 지역 특화 어업 소득원을 발굴 육성하고, 자원 회복을 위한 유용 품종의 방류 확대와 어장의 재개발 이용, 어촌계 단위의 자립형 클러스터 육성을 통한 어촌사회의 안정된 대체 소득원의 확보가 필요하다.

여러 가지 고부가가치 지역특성 증양식 품종 중 해삼은 “바다의 인삼”으로 불리거나 최고의 스테미너 식품으로 그 인기가 날로 높아지고 있으며, 우리나라를 비롯한 중국과 일본 등 동양권에서는 매우 중요한 보양 수산물인데, 최근 건강 강장 식품으로 알려지면서 소비가 크게 증가하고 있다. 또한, 해삼은 유기물 식성으로 펄 속의 유기물을 주로 섭취하기 때문에 인공적인 먹이를 공급하지 않는 환경친화적 양식이 가능한 품종이다. 그러나 자연에서의 생산량이 매년 감소되고 있으며, 수입량도 꾸준히 증가하고 있어 소비 수요에 대응하기 위해서는 양식생산에 의한 수요 충족이 시급하다.

따라서, 금번 조사는 백령, 대청, 소청도 해역에 대한 환경 조사, 수중 탐사를 통해 해삼 방류적지를 발굴하여 해삼 씨뿌림 방류 효과를 극대화함으로써 어업인 소득 증대에 기여하고자 한다.

II. 조사 개요

1. 조사기간 및 지역

2012년 5월 7일에 웅진군 해양수산과에서 추천받은 해삼종묘 방류희망 해역, 백령면 7개(진촌 2, 연지 3, 남3리 2), 대청면 6개(옥죽 2, 선진 2, 소청 2) 정점에 대해 2012년 6월 25~27일에 물리적 환경(수온, 용존산소, pH, 염분) 측정과 채수를 완료하였으며, 잠수를 통해 수중촬영 및 퇴적물 채취를 완료하였다(표 1, 그림 1).

표 1. 해삼 씨뿌림양식어장 신규개발을 위한 적지조사 정점 좌표

정점	어촌계	WGS 좌표					
		위도(DMS)			경도(DMS)		
진촌-1	진촌	37°	58'	44.13"	124°	43'	50.64"
진촌-2		37°	59'	07.00"	124°	41'	01.82"
연지-1	연지	37°	58'	13.68"	124°	38'	34.34"
연지-2		37°	58'	43.73"	124°	37'	16.26"
연지-3		37°	56'	27.88"	124°	37'	35.24"
남3리-1	남3리	37°	55'	15.71"	124°	39'	43.29"
남3리-1		37°	54'	56.29"	124°	41'	35.32"
옥죽-1	옥죽	37°	50'	46.73"	124°	42'	40.33"
옥죽-2		37°	50'	29.51"	124°	41'	58.79"
선진-1	선진	37°	50'	53.93"	124°	42'	56.24"
선진-2		37°	48'	06.47"	124°	41'	10.76"
소청-1	소청	37°	46'	37.33"	124°	44'	55.34"
소청-2		37°	45'	49.90"	124°	44'	24.46"

2. 조사항목

수질 환경은 수온, 용존산소(DO), 수소이온농도(pH), 염분, 부유물질, 영양염류(NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , HPO_4^{2-} , Si(OH)_4), 화학적산소요구량(COD), 총인·총질소를 측정하였다. 퇴적물 환경은 입도, 함수율, 강열감량, 화학적산소요구량(COD)을 측정하였다. 또한, 잠수를 통한 수중촬영이 가능한 캠코더에 해저 지형을 녹화하여 연구소에서 암반, 해조류, 해삼 존재 유무에 대해 관찰하였다.

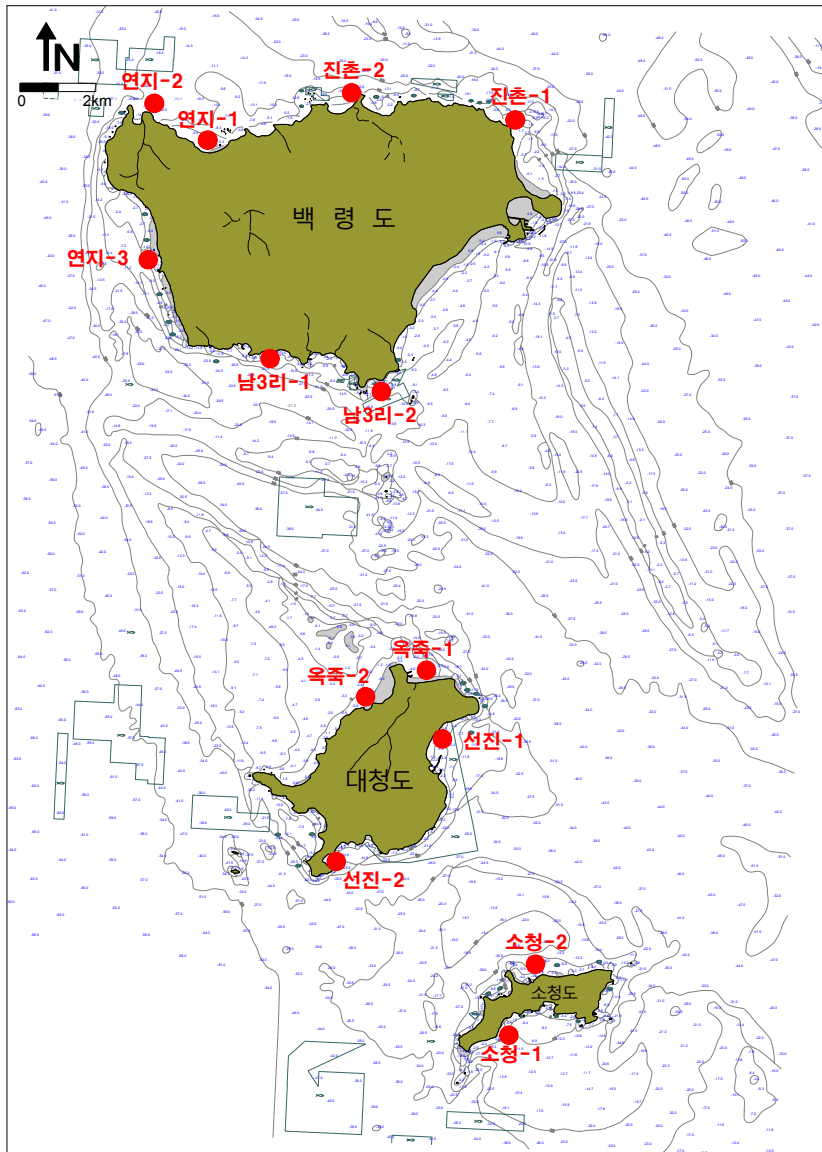


그림 1. 해삼 씨뿌림양식적지 신규개발을 위한 적지조사 정점 위치도

3. 조사 및 분석방법

해양 수질 및 표층 퇴적물은 해양환경공정시험법(해양수산부, 2006)에 따라 분석을 실시하였으며, 항목별 분석방법은 아래와 같다.

(1) 수질환경 특성 조사

가. 수온, 용존산소, 수소이온농도(pH), 염분

현장에서 다항목수질측정기(YSI-556MPS, 미국)를 이용하여 측정하였다.

나. 부유물질(Suspended sediment, SS)

건조기로 건조시켜 무게를 측정한 GFF 여과지에 해수 시료 300mL를 여과한 후 Dry oven에서 110℃로 2시간동안 건조시킨 후 데시케이터에 넣어 실온에서 방냉하고 측정된 무게로부터 여과지 무게를 뺀 값으로 계산하였다.

다. 화학적산소요구량(Chemical oxygen demand, COD)

시료를 알칼리성으로 하여 과망간산칼륨(KMnO₄)을 과잉으로 넣고 90℃ 수욕 상에서 60분간 가열 반응시킨 후 요오드화칼륨(KI) 및 황산(H₂SO₄)을 넣어 소비되고 남은 과망간산칼륨에 의하여 유리된 요오드의 양으로부터 산소의 양을 측정하였다. 동계, 춘계를 제외한 나머지 자료는 기존 조사·분석 자료(2005년 하계, 추계)를 인용하였다(인천광역시, 2006).

라. 영양염류(Nutrient)

용존 암모니아성 질소(Ammonia, NH₄⁺), 아질산성 질소(Nitrite, NO₂⁻), 질산성 질소(Nitrate, NO₃⁻), 인산염인(Phosphate, HPO₄²⁻), 규산규소(Silicate, Si(OH)₄)는 Grasshoff et al.(1999)의 방법에 따라 자동분석기 QUAATRO (Bran+Luebbe auto analyzer)를 사용하여 측정하였으며, 분석 방법은 다음과 같다. 동계, 춘계를 제외한 나머지 자료는 기존 조사·분석 자료(2005년 하계, 추계)를 인용하였다(인천광역시, 2006).

① 암모니아성 질소(Ammonia, NH₄⁺)

시료에 EDTA (C₁₀H₁₄N₂Na₂O₈·2H₂O)와 sodium nitroprusside (Na₂Fe(CN)₅NO·2H₂O)의 혼합 용액 및 alkaline phenol (C₆H₅OH)과 dichloroisocyanic acid (C₃Cl₂N₃NaO₃·2H₂O) 용액을 가하여 발색시켜 파장 630 nm로 측정하였다.

② 아질산성 질소(Nitrite, NO₂⁻)

시료에 sulfanilamide (C₆H₈O₂·N₂S)와 naphthylethylenediamine (C₁₂H₁₄N₂·2HCl) 용액을 가하여 발색시킨 후 파장 550 nm로 측정하였다.

③ 질산성 질소(Nitrate, NO₃⁻)

시료를 Cu-Cd column에 통과시켜서 아질산성 질소로 환원시킨 후 아질산성 질소 측정방법과 동일하게 측정하였으며, column의 환원율을 구하여 보정한 후 아질산성 질소의 농도를 감하여 질산성 질소의 농도를 계산하였다.

④ 인산염(Phosphate, HPO₄²⁻)

시료에 sodium molybdate, sulfuric acid, antimony potassium tartrate 혼합시약을 가하고, ascorbic acid로 환원시켜 발색시킨 후 파장 880 nm로 측정하였다.

⑤ 규산염(Silicate, Si(OH)₄)

시료에 sodium molybdate를 가하여 silicomolybdate complex를 만든 후, oxalic acid와 ascorbic acid를 가하여 발색시킨 후 파장 660 nm에서 측정하였다.

마. 총인, 총질소

동계, 춘계를 제외한 나머지 자료는 기존 조사·분석 자료(2005년 하계, 추계)를 인용하였다(인천광역시, 2006).

① 총인(Total phosphate, TP)

여과하지 않은 시료에 과황산칼륨(K₂S₂O₈)를 가하여 시료 중의 무기, 유기형태 등 모든 인 화합물을 산화 분해하여 무기 인산 인 형태로 변화시킨 다음, ascorbic acid로 환원시켜, 자동분석기 Quattro (Bran+Luebbe Auto Analyzer)를 이용하여 측정하였다.

② 총질소(Total nitrogen, TN)

여과하지 않은 시료에 과황산칼륨(K₂S₂O₈)를 가하여, 시료 중의 암모니아 질소, 아질산 질소, 질산 질소, 유기 질소 등을 분해하여 질산 질소로 산화시킨 후, Cu-Cd column에 통과시켜서 아질산 질소로 환원시키고, 자동분석기인 Quattro (Bran+Luebbe Auto Analyzer)를 이용하여 측정하였다.

(2) 퇴적물 환경 특성 조사

가. 입도(Grain size)

염산과 과산화수소를 이용하여 탄산염과 유기물을 제거한 후 4φ 체를 이용하여 습식체질을 통해 모래와 펄을 구분하고 건식체질과 피펫팅 방법을 통하여 각 입자크기별 무게를 측정하여 입도분석지에 기입하고 아래 식을 통해 평균입도(Mean, MZ), 분급도(Sorting, S₀), 왜도(Skewness, S_k), 첨도(Kurtosis, K_G)를 계산하고, 삼각다이어그램을 통해 정점별 퇴적형태를 규명하였다(그림 2).

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

$$\bullet \text{ 분급도 } (S_0) = \frac{(\Phi_{84} - \Phi_{16})}{4} + \frac{(\Phi_{95} - \Phi_5)}{6.6}$$

- | | |
|--------------------------------------|----------------------------------|
| - 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 | |

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

- | | |
|------------------------------------|-----------------------------|
| - 0.3 이상 : Strongly fine-skewed | - 0.3~0.1 : Fine-skewed |
| - 1.0~0.1 : Near-symmetrical | - -0.1~-3.0 : Coarse-skewed |
| - -3.0 이하 : Strongly coarse-skewed | |

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

- | | |
|--------------------------------|-----------------------------------|
| - 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 |

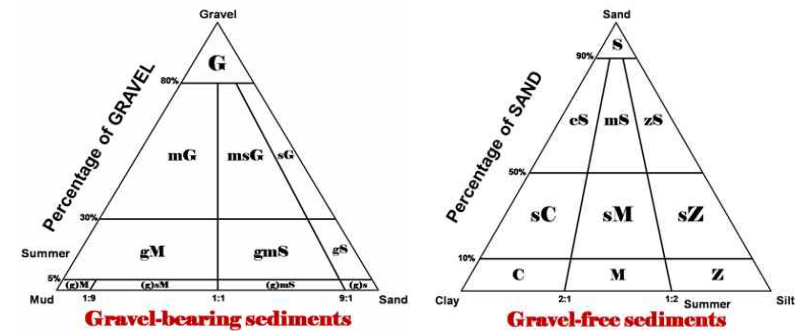


그림 2. 퇴적물 입도 삼각다이어그램(Triangular diagram)

나. 강열감량(Ignition Loss, IL)

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

다. 화학적산소요구량(Chemical oxygen demand, 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 유리섬유여과지(GF/F)를 사용하여 여과한 후 황산을 넣어 소비되고 남은 과망간산칼륨에 의하여 유리된 요오드의 양으로부터 산소의 양을 측정하였다.

Ⅲ. 조사결과

1. 해양 수질

(1) 수 온

조사 당시 수온은 15.16~15.84℃였으며, 국립수산과학원 한국해양자료센터 자료에 의하면 2007년 소청도 연중 수온은 5.8~24.1℃이며, 2008년 용유도 연중 수온은 1.9~24.5℃였다(그림 3).

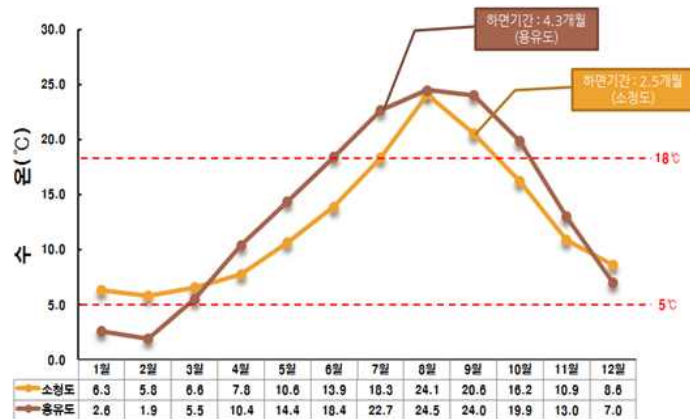


그림 3. 조사정점별 해수 수온의 차이

소청도와 용유도(인천 연안)의 경우 최고 수온은 비슷하나, 하면이 시작되는 18℃ 이상이 유지되는 기간이 인천 연안의 경우 4.3개월이지만, 소청도의 경우 18℃ 이상이 유지되는 기간이 2.5개월로 매우 짧다.

해삼은 여름잠(夏眠)을 잔다. 초여름부터 장마기에 걸쳐 수온이 18℃ 이상이 되면 운동이 활발하지 못하고 식욕이 감퇴하여 소화관이 위축되기도 하는데, 이때가 하면전기(夏眠前期)로 여름잠에 돌입하는 시기이다. 이후 수온이 25℃ 이상이 되면 단식 상태에 들어가 소화관은 퇴축하고 운동을 전혀 하지 않게 되는데, 이때가 완전히 여름잠에 빠지는 하면성기(夏眠盛期)이다.

따라서, 백령, 대청, 소청도 해역이 다른 해역보다 하면(夏眠) 기간이 짧아 해삼 성장에 유리하다고 할 수 있다.

(2) 용존산소

조사 당시 용존산소는 8.36~8.48 mg/L였다(그림 4). 해수 중의 용존산소는 대기 중 산소의 용해, 조류나 수생 동물의 광합성 그리고 용존산소가 풍부한 외해수로부터의 공급에 의해 증가하고 동·식물의 호흡작용, 미생물에 의한 유기물 분해작용 등에 의해 감소하는데, 해수나 퇴적물 중에 유기물질이 과다하게 축적되면, 미생물에 의해 분해되는 과정에서 많은 양의 용존산소를 소모하므로 수중의 용존산소 부족으로 생리적인 장애를 받게 된다. 따라서, 해수 중의 용존산소를 측정하면 오염정도를 간접적으로 알 수 있고, 해양생물에 미치는 영향을 추측할 수 있다(중구, 2008). 환경정책기본법 해역별 수질기준(2003. 7. 1 개정)에 따르면 간조시 해저 바닥이 노출되는 옥죽-2 정점을 제외한 나머지 12개 정점 모두 1등급에 해당하며, 국립수산과학원 서해수산연구소에 제시한 해삼양식 적지조건 4.3 ppm 이상의 조건도 충족하므로 6개 정점 모두 적정 범위에 속한다.

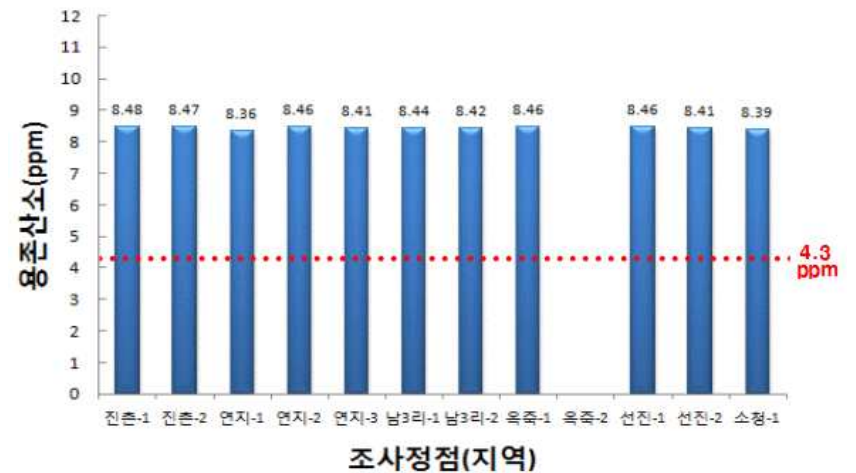


그림 4. 조사정점별 해수 용존산소의 차이

(3) 수소이온농도(pH)

조사 당시 수소이온농도(pH)는 8.02~8.14 mg/L였다(그림 5). 환경정책기본법 해역별 수질기준(2003. 7. 1 개정)에 따르면 6개 정점 모두 I 등급에 해당하며, 국립수산물학원 서해수산업연구소에 제시한 해삼양식 적지조건 중 용존산소는 7.8~8.3이면 조건을 충족시킨다고 했는데 간조시 해저 바닥이 노출되는 옥죽-2 정점을 제외한 나머지 12개 정점 모두 적정 범위에 속한다.

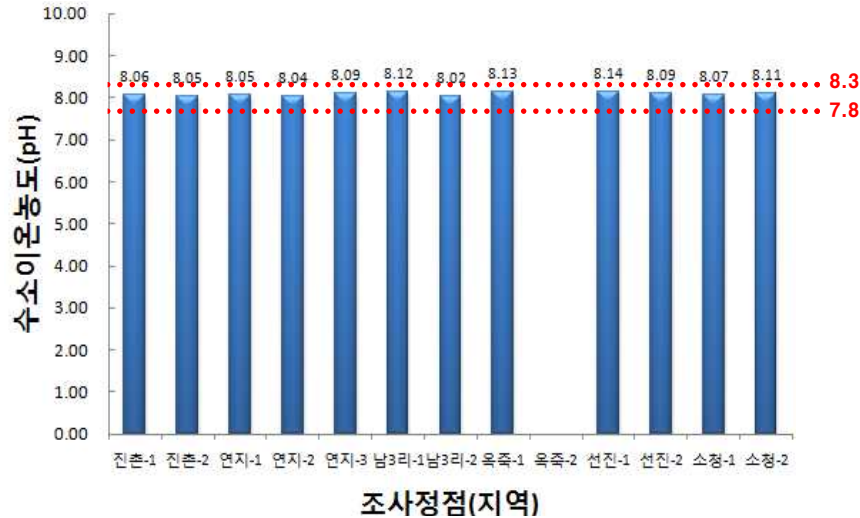


그림 5. 조사정점별 해수 수소이온농도의 차이

(4) 염 분

조사 당시 수소이온농도(pH)는 31.48~32.51 ppt였다(그림 6). 해삼의 특성상 빠른 이동과 도피력이 부족하며, 체표면에는 어류나 갑각류와 같이 비늘이나 갑각이 없어 저염분에 대한 저항력이 매우 약하다. 해삼의 적정 염분범위는 25~34 ppt로 집중 강우로 인하여 염분이 22 ppt 이하로 낮아지면 햇마의 생존에는 악영향을 미치게 된다(중구, 2008). 조사 해역은 32 ppt 내외의 염분을 보였으며, 담수 유입이 많은 인천 연안과 달이 담수 유입이 없어 해삼이 서식하기에 적합한 염분 범위를 보였다.

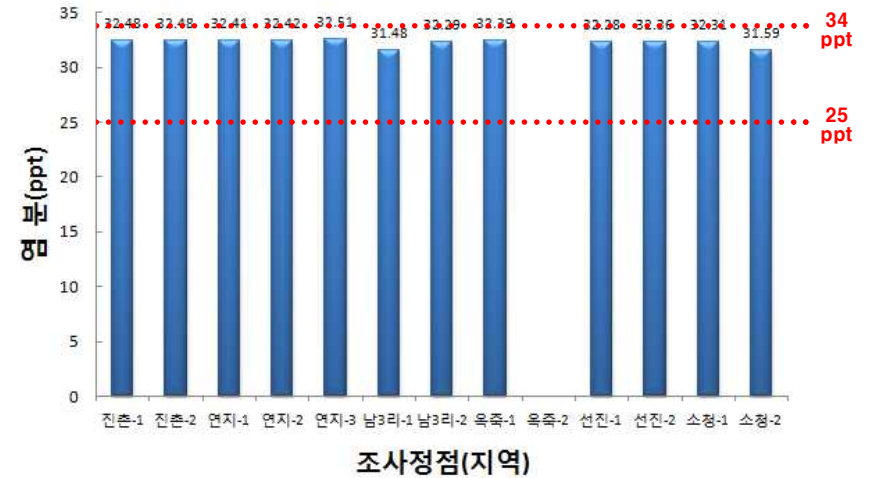


그림 6. 조사정점별 해수 염분의 차이

(5) 부유물질

조사 당시 부유물질 농도는 9.67~29.00 mg/L였다(그림 7). 계절적인 영향으로 동계보다 낮은 부유물질 농도를 보였으며, 옥죽-1 정점에서 가장 높은 값을 보였고, 소청-2 정점에서 가장 낮은 값을 보였는데, 이러한 차이는 지형적인 특성으로 인해 발생하는 것으로 사료된다.

(6) 화학적산소요구량(COD)

본 조사에서 표층 해수의 화학적산소요구량(COD)은 0.88~1.71 mg/L (평균 1.19 mg/L) 범위를 보였다(그림 8). 옥죽-2는 간조시 해저 바닥이 노출되는 지역으로 해수 시료를 채취하지 않았으며, 진촌-1, 연지-1, 연지-2 정점에서 수질 I 등급, 나머지 정점은 수질 II등급을 나타냈다.

국립수산물학원 서해수산업연구소에 제시한 해삼양식 적지조건 중 화학적 산소요구량(COD)은 2 ppm 이하이면 조건을 충족시킨다고 했는데, 옥죽-2 정점을 제외한 나머지 12개 정점 모두 해삼 양식 적정 범위에 속한다(웅진군, 2008).

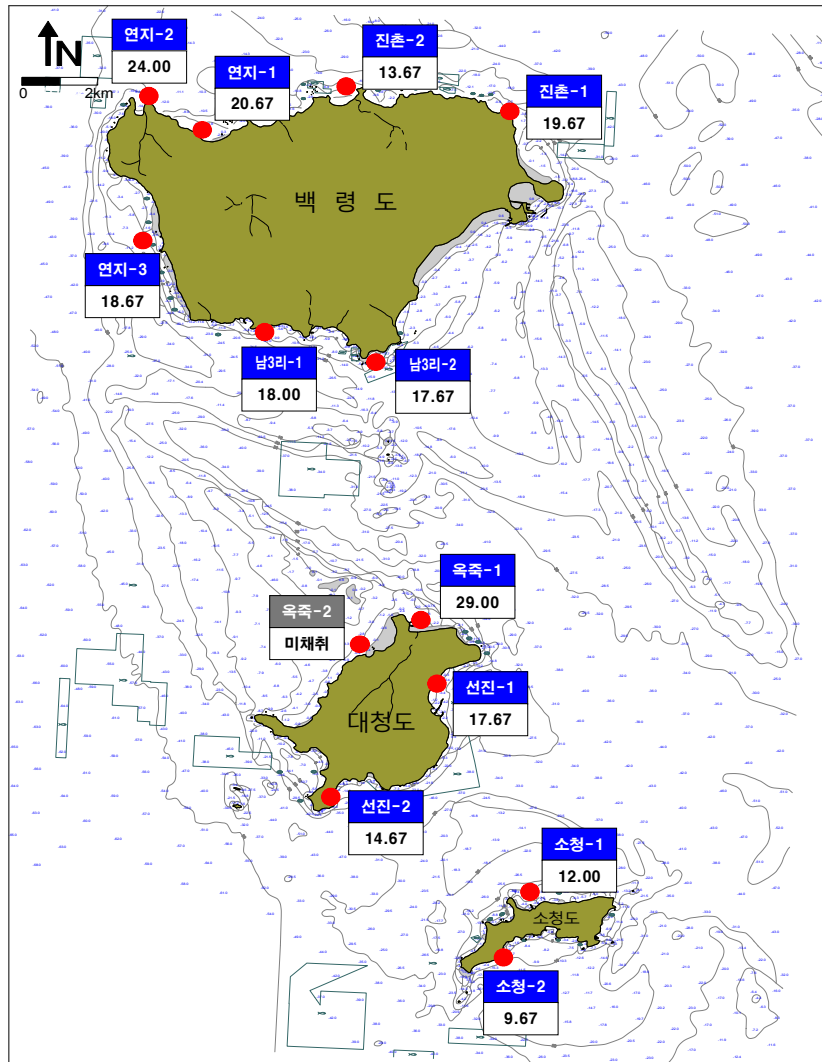


그림 7. 조사정점별 해수 부유물질 농도의 차이

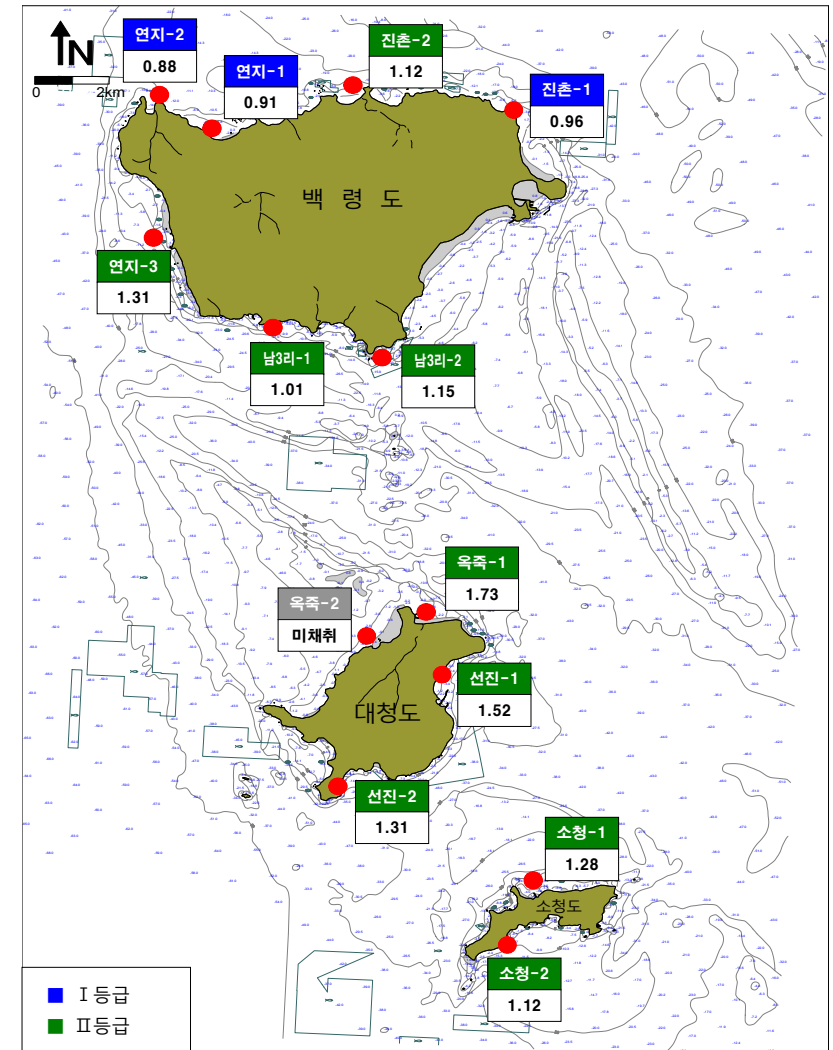


그림 8. 조사정점별 해수 화학적산소요구량(COD)의 차이

(7) 영양염류

조사정점별 영양염류 각 항목에 대한 분석값은 표 2에 나타내었다.

암모니아(NH_4^+)는 0.052 ~ 0.092 mg/L (평균 0.077 mg/L)의 범위를 보였으며, 동계 평균값인 0.011 mg/L보다 다소 증가한 경향을 보였다.

아질산염(NO_2^-)은 0.003 ~ 0.006 mg/L (평균 0.004 mg/L)의 범위를 보였는데, 암모니아처럼 동계 평균값인 0.002 mg/L보다 다소 증가한 경향을 보였다.

질산염(NO_3^-)은 0.025 ~ 0.042 mg/L (평균 0.033 mg/L)의 범위를 보였고, 동계 평균값인 0.121 mg/L보다 많이 감소한 경향을 보였다.

해수 중에 질소(N)의 존재 형태는 동물의 배설물로 암모니아가 배출되면 아질산염을 거쳐 질산염으로 산화되는 과정을 거치게 된다. 따라서, 환원 환경에서는 암모니아가 많이 존재하고, 산화환경에서는 질산염이 많이 존재하는 경향을 보인다. 동계에 비해 암모니아와 아질산염은 증가하고 질산염은 감소하는 경향을 보인 이유는 동계의 경우 낮은 수온과 풍랑 등의 영향으로 용존 산소량이 높아 산화환경이었으나, 춘계에는 점차 수온이 올라감에 따라 용존 산소량이 낮아지기 때문인 것으로 사료된다.

인산염(HPO_4^{2-})은 0.004 ~ 0.011 mg/L (평균 0.006 mg/L)이 범위를 보였으며, 동계 평균값인 0.018 mg/L보다 감소하였는데, 식물플랑크톤 증식에 이용되기 때문인 것으로 사료된다.

규산염(Si(OH)_4)은 0.141 ~ 0.225 mg/L (평균 0.166 mg/L)의 범위를 보였으며, 동계 평균값인 0.534 mg/L보다 많이 감소하였는데, 인산염과 마찬가지로 식물플랑크톤(규조류)에 의해 이용되기 때문인 것으로 사료된다.

(8) 총인, 총질소

가. 총인(Total phosphate, TP)

본 조사에서 표층 해수의 총인(TP)은 0.025 ~ 0.038 mg/L (평균 0.029 mg/L) 범위였다(그림 9). II등급 수질을 보인 진촌1, 진촌2, 선진2 정점을 제외한 나머지 9개 정점은 모두 I등급 수질을 보였으며, 국립수산물학원 서해수산연구소에 제시한 해삼양식 적지조건 중 총인은 0.010 ~ 0.048 mg/L 조건을 충족시킨다고 했는데, 옥죽-2를 제외한 나머지 12개 정점 모두 해삼 양식 적정 범위에 속한다(웅진군, 2008).

표 2. 조사정점별 해수 영양염류의 차이

(단위 : mg/L)

조사정점	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	HPO_4^{2-}	Si(OH)_4
진촌-1	0.083	0.004	0.029	0.007	0.149
진촌-2	0.079	0.004	0.025	0.008	0.144
연지-1	0.073	0.003	0.030	0.005	0.141
연지-2	0.052	0.004	0.028	0.008	0.149
연지-3	0.074	0.004	0.030	0.004	0.149
남3리-1	0.088	0.004	0.029	0.005	0.152
남3리-2	0.071	0.004	0.030	0.005	0.152
옥죽-1	0.074	0.005	0.035	0.011	0.192
옥죽-2	간조시 해저바닥이 노출되어 해수 시료 미채취				
선진-1	0.062	0.004	0.035	0.009	0.156
선진-2	0.092	0.005	0.037	0.005	0.181
소청-1	0.086	0.005	0.042	0.005	0.225
소청-2	0.090	0.006	0.040	0.004	0.200
최소값	0.052	0.003	0.025	0.004	0.141
최대값	0.092	0.006	0.042	0.011	0.225
평균값	0.077	0.004	0.033	0.006	0.166

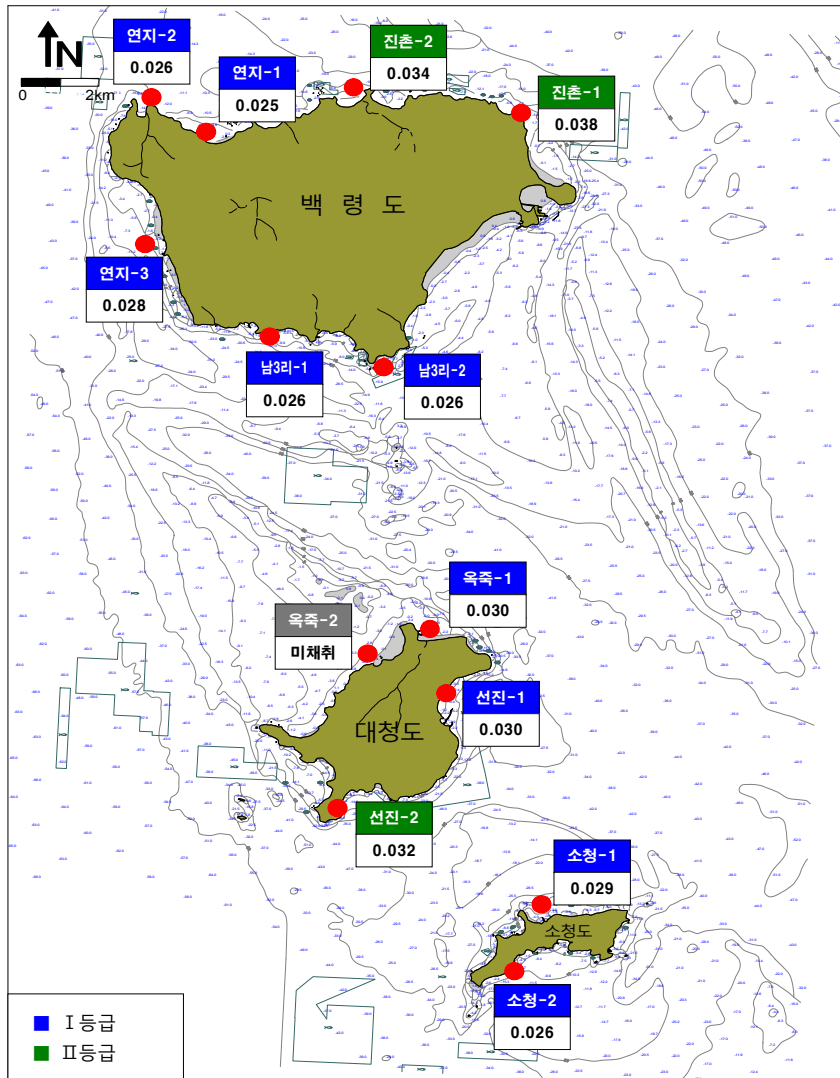


그림 9. 조사정점별 해수 총인 농도의 차이

나. 총질소(Total nitrogen, TN)

본 조사에서 표층 해수의 총질소(TN)는 0.215~0.321 mg/L (평균 0.256 mg/L) 범위였다(그림 10). 시료를 채취하지 못한 옥죽-2 정점을 제외한 12개 정점의 총질소(TN) 농도 차이를 살펴보면, 진촌-1 정점을 제외한 모든 정점에서 해역 수질 I 등급을 보이며, 국립수산물학원 서해수산연구소에서 제시한 해삼양식 적지조건 중 총질소 농도는 0.223~0.440 mg/L 조건을 충족시킨다고 했는데, 옥죽-2 정점을 제외한 나머지 12개 정점 모두 해삼 양식 적정 범위에 속한다(웅진군, 2008).

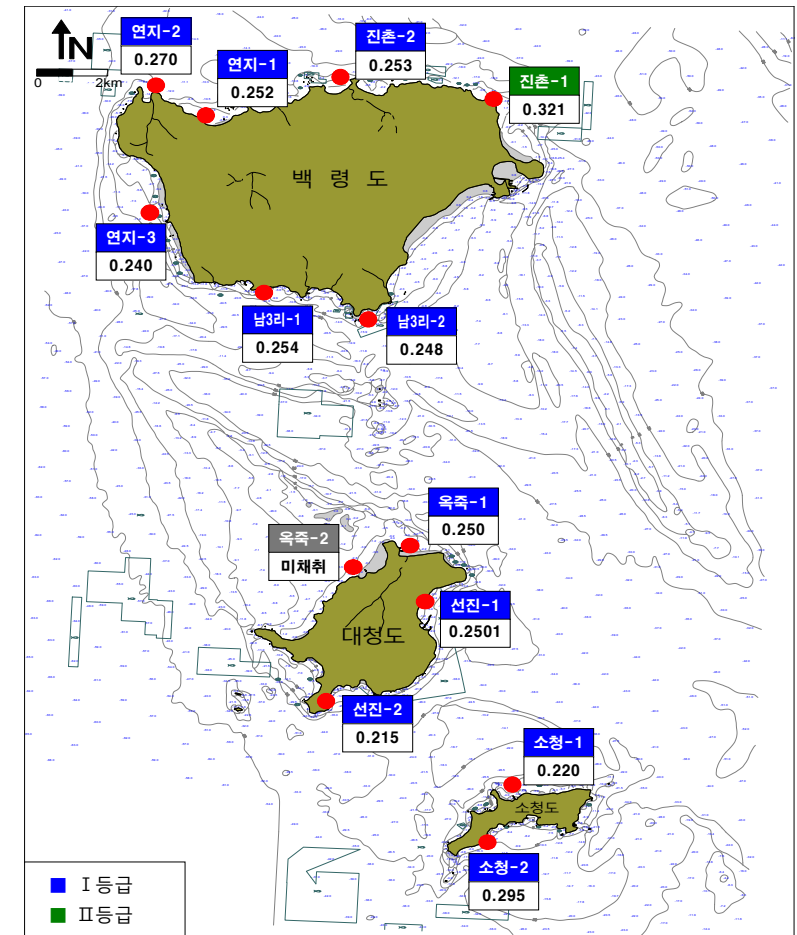


그림 10. 조사정점별 해수 총질소 농도의 차이

2. 표층 퇴적물

(1) 입자 조성

정점별 표층 퇴적물의 입도분석 결과는 표 3, 그림 11에 나타내었다. 조사지역의 퇴적물 입자 조성 비율을 살펴보면, 진촌-2는 자갈의 비율이 높게 나타나 gmS(역니사질)의 퇴적상을 보였으며, 다른 정점은 자갈을 거의 포함하지 않거나 아예 포함하지 않았다. 또한, 남3리-1, 옥죽-1, 선진-2 정점은 모래의 비율이 높게 나타나 zS(니사질)의 퇴적상을 보였다. 나머지 정점들은 니질의 비율이 높게 나타나 sZ(사니질)의 퇴적상을 보였다.

평균입도(Mean grain size)는 2.20~6.10 ϕ (평균 4.64 ϕ)의 범위를 보였는데, 진촌-2 정점이 가장 낮고 연지-2 정점이 가장 높은 값을 보였다. 퇴적물의 균일성을 나타내는 분급도(sorting)는 0.64~3.21 (평균 1.91)의 범위를 나타냈는데, 옥죽-1, 선진-2 정점만 중간정도의 분급도를 보였고, 나머지 정점들은 좋지 않은 분급도를 보였다. 입도 분포곡선의 치우침 정도를 나타내는 왜도(Skewness)는 -0.04~0.47 (평균 0.21)의 범위를 보였다. 같은 모수를 가진 정규분포보다 급한 또는 완만한 경사를 갖는지를 측정한 첨도(Kurtosis)는 0.77~1.64 (평균 1.10)의 범위를 보였다 (표 3).

표 3. 계속

조사 정점	조성비율(%)			조 직 변 수			
	자갈 (Gravel)	모래 (Sand)	펄 (Mud)	평균입도 (Mean)	분급도 (Sorting)	왜도 (Skewness)	첨도 (Kurtosis)
옥죽-1	0.0	89.3	10.7	3.07	0.92 Moderately sorted	0.16 Fine-skewed	1.48 Leptokurtic
옥죽-2	간조시 해저바닥이 노출되어 퇴적물 시료 미채취						
선진-1	0.0	33.7	75.8	5.50	2.26 Very poorly sorted	0.27 Fine-skewed	0.84 Platykurtic
선진-2	1.1	93.9	5.0	2.97	0.64 Moderately well sorted	0.15 Fine-skewed	0.78 Platykurtic
소청-1	0.0	39.0	61.0	5.07	1.87 Poorly sorted	0.44 Strongly fine-skewed	1.04 Mesokurtic
소청-2	0.0	40.1	59.9	4.87	1.84 Poorly sorted	0.40 Strongly fine-skewed	1.15 Leptokurtic

표 3. 정점별 퇴적물 조성비율, 조직변수 및 퇴적상의 차이

조사 정점	조성비율(%)			조 직 변 수			
	자갈 (Gravel)	모래 (Sand)	펄 (Mud)	평균입도 (Mean)	분급도 (Sorting)	왜도 (Skewness)	첨도 (Kurtosis)
진촌-1	1.6	21.0	77.4	5.57	2.31 Very poorly sorted	0.10 Fine-skewed	1.21 Leptokurtic
진촌-2	23.9	47.1	29.0	2.20	3.21 Very poorly sorted	0.00 Near- symmetrical	0.77 Platykurtic
연지-1	0.0	21.1	78.9	5.93	2.85 Very poorly sorted	-0.04 Near- symmetrical	1.20 Leptokurtic
연지-2	0.0	12.1	87.9	6.10	2.00 Poorly sorted	0.29 Fine- skewed	0.89 Platykurtic
연지-3	0.0	35.9	64.1	5.17	2.13 Very poorly sorted	0.34 Near- symmetrical	1.00 Mesokurtic
남3리-1	0.0	53.6	46.4	4.17	1.34 poorly sorted	0.47 Strongly fine-skewed	1.64 Very Leptokurtic
남3리-2	0.3	26.3	73.5	5.07	1.51 Poorly sorted	-0.01 Near- symmetrical	1.19 Leptokurtic

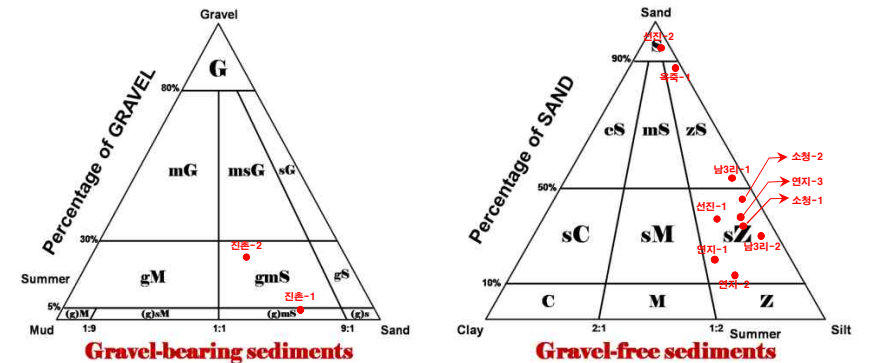


그림 11. 조사정점별 퇴적물의 퇴적상 차이

퇴적물 입자크기별 조성비율은 표 4에 나타내었다. 중국 황해수산연구소 자료에 의하면 해삼이 선호하는 퇴적물 입도는 0.008~0.180 mm (2~7 ϕ)인데, 모든 정점이 50% 내외로 분포하고 있어서 해삼이 서식하기에 적합한 환경임을 알 수 있다(중구, 2008).

표 4. 정점별 퇴적물 입자크기에 따른 비율의 차이

퇴적물 형태	입자크기 (mm)	Phi scale (ϕ)	진촌-1	진촌-2	연지-1	연지-2	연지-3	남3리-1	남3리-2	옥죽-1	옥죽-2	선진-1	선진-2	소청-1	소청-2
자갈	4	-2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	간 조 시	0.00	0.96	0.00	0.00
	2	-1	1.58	23.89	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00		0.00	0.09	0.00	0.00
모래	1	0	0.27	9.96	0.81	0.00	0.00	0.07	0.08	0.00	해 저 바 닥 이	0.06	0.06	0.00	0.47
	0.5	1	1.30	6.77	6.69	0.09	0.07	0.24	0.10	0.01		0.05	0.08	0.00	1.26
	0.25	2	4.66	4.87	7.30	0.18	0.29	0.33	0.07	3.39		0.25	0.40	0.02	0.58
	0.125	3	3.03	10.59	1.07	0.31	11.20	7.15	0.56	43.33		9.49	49.55	2.54	7.91
	0.063	4	11.75	14.93	5.23	11.53	24.36	45.83	25.45	42.57		23.85	43.82	36.40	29.91
펄	0.031	5	22.49	9.75	6.39	21.58	20.28	25.85	13.63	1.98	드 러 나	15.37	0.89	16.87	22.67
	0.016	6	19.72	6.87	23.53	21.21	15.52	8.50	39.60	5.77		16.67	1.44	19.02	15.13
	0.008	7	11.33	3.92	11.98	13.77	8.41	3.58	10.54	1.53		9.63	0.80	8.34	7.11
	0.004	8	9.13	3.28	12.16	11.11	6.90	3.48	2.94	0.43		8.62	0.64	5.80	5.83
	0.002	9	7.41	2.51	10.67	9.46	6.35	2.66	2.41	0.35	시 료 미 채 취	7.61	0.59	5.21	4.86
	0.00098	10	5.21	1.81	8.31	6.70	4.76	2.13	2.03	0.30		5.68	0.40	3.91	3.53
	0.00049	11	2.12	0.86	5.86	4.04	1.86	0.19	2.33	0.34		2.73	0.27	1.89	0.73
	0.008 ~ 0.180mm(2 ~ 7 ϕ) 합계		72.98	50.93	55.50	68.58	80.06	91.24	89.85	98.57		75.26	96.90	83.19	83.31

(2) 강열감량

해상은 퇴적물을 섭식하면서 그 속에 들어있는 유기물을 먹이로 이용하므로 퇴적물 내의 유기물량은 해삼양식적지를 판정하는데 중요한 역할을 한다. “해양 오염퇴적물 조사 및 정화·복원 범위 등에 관한 규정”(국토해양부 고시 제 2011-700호, 2011. 11)에서 강열감량 평가점수가 6점인 오염기준이 15%이며, 이를 넘지 않는 범위 내에서 높은 값을 갖는 지역이 해삼이 서식하기에 좋은 조건이라고 할 수 있겠다.

강열감량 실험을 실시한 결과, 13개 정점 중 간조시 해저 바닥이 노출되는 옥죽-2 정점을 제외한 12개 정점에서 2.2~10.8%의 범위를 보였는데, 연지-2 정점에서 10.8%로 가장 높은 값을 보였다(그림 12).

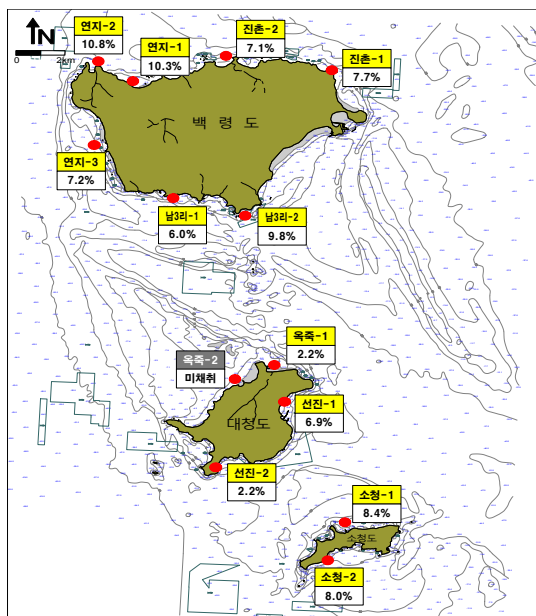


그림 12. 조사정점별 퇴적물 강열감량의 차이

(3) 퇴적물 화학적산소요구량(COD)

퇴적물 오염 여부를 평가하는 기준으로 사용하는 화학적산소요구량은 선진-1 정점에서 1.45 mg/kg으로 가장 낮은 값을 보였으며, 연지-2 정점이 20.19 mg/kg으로 가장 높은 값을 보였다(그림 13). “해양오염퇴적물 조사 및 정화·복원 범위 등에 관한 규정”(국토해양부 고시 제2011-700호, 2011. 11)에서 평가점수 0점(13 mg/g미만)은 남3리-1, 옥죽-1 정점이며, 2점(30 mg/g 미만)은 연지-2 정점이며, 나머지 정점은 평가점수 1점(20 mg/g 미만)에 해당된다.

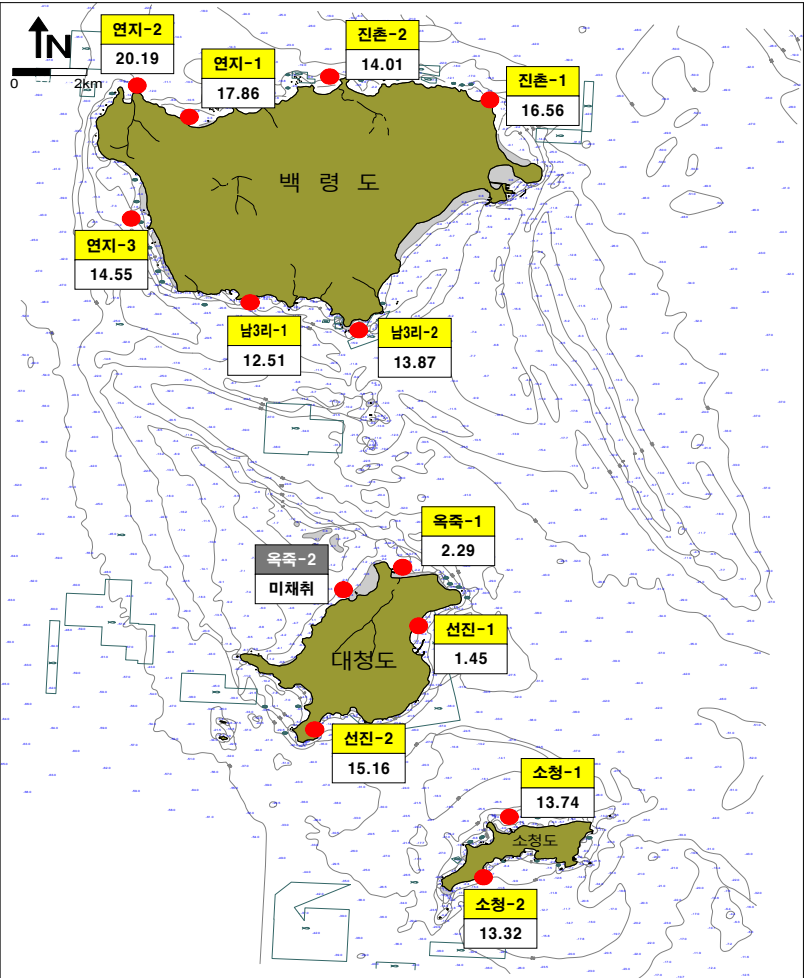


그림 13. 조사정점별 퇴적물 화학적산소요구량(COD)의 차이

3. 수중촬영

해삼은 해저면에 서식하므로 어류 등의 포식자에게 노출되기 쉬우며, 특히 여름철 고수온기 하면기간에는 포식자에게 노출되지 않기 위한 은신처인 암반이 필수적으로 필요하다고 하겠다.

또한, 해삼의 먹이로 이용되는 퇴적물 내 유기물은 생물의 배설물 또는 파쇄된 해조류 등에서 공급받으므로 다시마, 갈피 등의 해조류가 존재하는 것이 해삼이 서식하기에 좋은 환경이라고 할 수 있다.

수중탐사를 통한 해저지형 탐사에서 해삼의 은신처로 사용되는 암반은 옥죽-1, 선진-1 정점에서는 발견되지 않았으며, 소청-1 정점은 해조류가 관찰되지 않았다. 또한, 자연 서식하는 해삼은 옥죽-1과 선진-1 정점에서 관찰되지 않았다(표 5, 그림 14).

표 5. 조사정점별 해저지형, 해조류, 해삼 유무의 차이

조사정점	해저지형 (암반 유무)	해조류 유무	해삼 유무
진촌-1	○	○	○
진촌-2	○	△	○
연지-1	○	○	○
연지-2	△	○	△
연지-3	○	○	△
남3리-1	○	○	△
남3리-2	○	△	△
옥죽-1	×	△	×
옥죽-2	×	×	×
선진-1	×	△	×
선진-2	○	△	○
소청-1	○	×	○
소청-2	○	△	○

IV. 종합결론(적지판정)

상기 결과에서 기술한 웅진군 백령면 진촌, 연지, 남3리 어촌계와 대청면 선진, 옥죽, 소청어촌계의 해삼 씨뿌림양식 신규개발 희망해역에 대한 해수 물리적 환경(수온, 용존산소, 수소이온농도, 염분), 화학적산소요구량(COD), 영양염류, 총인·총질소 농도와 퇴적물 입자크기, 유기물량, 화학적산소요구량(COD) 그리고 해저지형, 해조류, 해적생물 관찰 결과를 토대로 해삼 씨뿌림양식 신규개발을 위한 적지를 판정하였다.

13개 조사정점 중 대청면 옥죽-2 정점은 간조시 해저 바닥이 드러나 해삼양식에 적합하지 않은 지역으로 판정되었다.

먼저, 수온은 백령, 대청면 해역이 인천 연안과 비교했을 때 최고 수온은 비슷하나, 하면이 시작되는 18℃ 이상이 유지되는 기간이 인천 연안의 경우 4.3개월이지만, 백령·대청면의 경우 18℃ 이상이 유지되는 기간이 2.5개월로 매우 짧아 해삼 하면기간이 짧으므로 해삼 서식에 유리하다고 할 수 있다. 용존산소는 국립수산물확원에서 제시한 해삼양식적지조건 4.3 ppm 이상이므로 12개 정점 모두 적정 범위에 속하고, 수소이온농도도 7.8~8.3 범위에 모두 속하며, 염분 또한 청해삼의 염분적응범위인 22.77~32.34 ppt 범위에 모두 속하여 해수 물리적 환경은 모두 해삼 서식에 적합하다고 할 수 있다.

해수의 오염지표로 사용하는 화학적산소요구량은 2 ppm 이하면 조건을 충족하는데 12개 정점 모두 적정 범위에 속하였다. 또한, 해수 총인, 총질소의 경우 각각 0.010~0.048 mg/L, 0.223~0.440 mg/L 조건을 충족시키면 되는데, 12개 정점 모두 적정 범위에 속하였다.

퇴적물 입자크기는 해삼이 선호하는 입자크기인 0.008~0.180mm (2~7φ) 범위에 모든 정점이 50% 이상을 차지하고 있으며, 해삼의 먹이로 이용되는 퇴적물 내 유기물량은 진촌-2, 옥죽-1, 선진-1 정점이 0.05%보다 낮게 나타났으며, 나머지 9개 정점은 모두 0.05%보다 높은 값을 나타냈다.

또한, 퇴적물 화학적산소요구량(COD)은 모든 정점에서 미국지역환경청의 비오염지역 기준인 40,000 mg/kg 보다 낮아 해삼이 서식하기에 좋은 조건을 갖추었다고 할 수 있다.

수중탐사를 통한 해저지형 탐사에서 해삼의 은신처로 사용되는 암반은 옥죽-1, 선진-1 정점에서는 발견되지 않았으며, 소청-1 정점은 해조류가 관찰되지 않았다. 또한, 자연 서식하는 해삼은 옥죽-1과 선진-1 정점에서 관찰되지 않았다.

따라서, 지금까지 조사한 수질 및 퇴적물 환경, 해저지형 여건, 해적생물 등을 종합적으로 조사 분석한 종합 판정표는 표 6에 나타내었으며, 대청면 옥죽-1, 옥죽-2, 선진-1 정점을 제외한 나머지 10개 정점은 해삼을 양식하기에 적합한 환경이라고 사료된다.

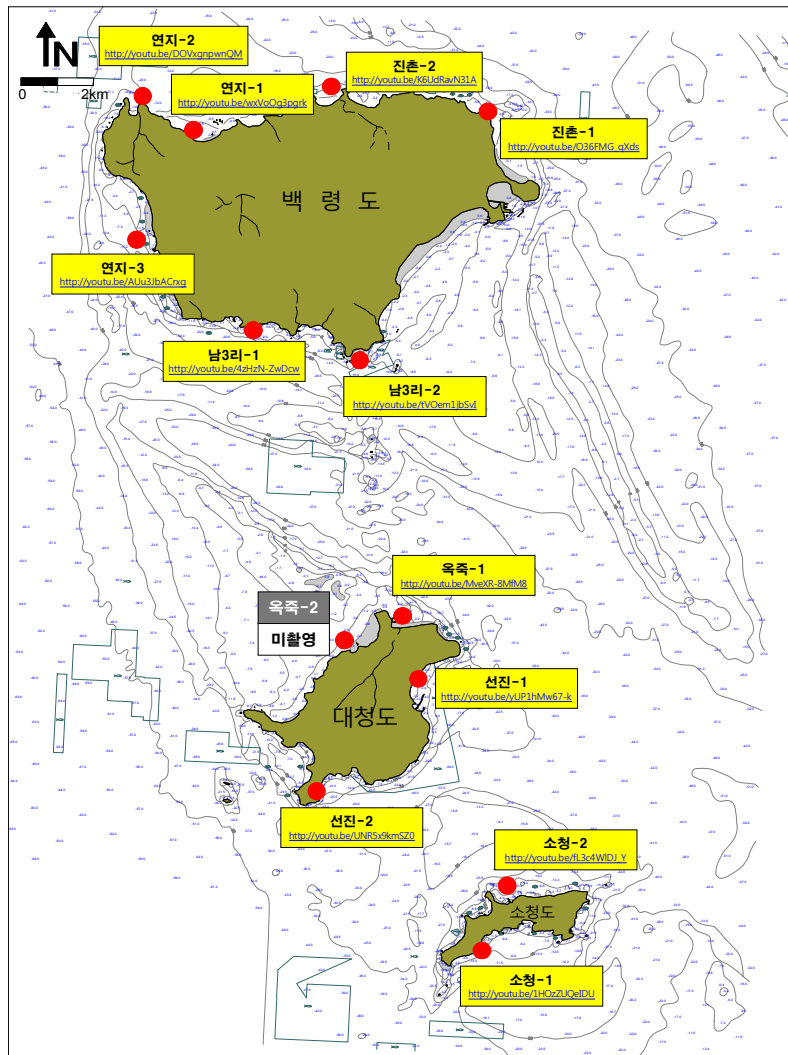


그림 14. 조사정점별 수중촬영 동영상자료

※ 조사정점(노란색 네모)를 클릭하면 수중촬영 동영상 재생

그리고, 각 항목별로 10점씩을 부여하여 종합 판정한 결과를 점수로 환산한 결과 각 어촌계별로 백령면의 경우 진촌어촌계는 진촌-1 정점, 연지어촌계는 연지-1 정점, 남3리어촌계의 경우 남3리-1 정점, 대청면의 경우 선진어촌계는 선진-2 정점, 소청어촌계는 소청-2 정점이 고득점에 해당하여 해삼 양식 최적지라고 할 수 있겠다(표 6).

V. 참고문헌

웅진군, 2008. 웅진군 도서별 양식어장 적지조사 및 바지락 폐사저감 대책. 128 pp.
인천광역시, 2006. 인천광역시 연안어장 실태조사(Ⅰ) 서해 5도 연안.
중구, 2008. 소무의도 마을어장 해삼 씨뿌림 시험양식.
해양수산부, 2006. 해양환경공정시험방법.

표 6. 해삼 씨뿌림양식 신규개발을 위한 적지조사 종합 판정

어촌계	조사 정점	해 수				퇴 적 물			수 중 활 영			점 수	적지 판정
		물리환경	영양염류	COD	총인, 총질소	입도	유기물	COD	암반 존재	해조류 존재	해삼 존재		
진촌	진촌-1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100	적합
	진촌-2	○	○	○	○	○	△	○	○	△	○	90	적합
연지	연지-1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	100	적합
	연지-2	○	○	○	○	○	○	○	△	○	△	90	적합
	연지-3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	95	적합
남3리	남3리-1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	95	적합
	남3리-2	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	90	적합
옥죽	옥죽-1	○	○	○	○	○	△	○	×	△	×	70	부적합
	옥죽-2	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	0	부적합
선진	선진-1	○	○	○	○	○	△	○	×	△	×	70	부적합
	선진-2	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	95	적합
소청	소청-1	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	90	적합
	소청-2	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○	95	적합

※ ○ : 10점, △ : 5점, × : 0점
※ 노란색으로 표시된 조사정점이 어촌계별 고득점 해역