

ORIGINAL ARTICLE

태안해안국립공원 연안으로 유입되는 하계-추계 육상오염원의 오염도 평가(2017~2018)

황다혜 · 김진현 · 장성건 · 정원옥 · 정병관*

국립공원연구원 해양연구센터

Evaluation of the contamination Level of Inland Pollution Sources Flowing into Taeanhaean National Park in Summer and Fall (2017-2018)

Da Hye Hwang, Jin Hyun Kim, Seong Geon Jang, Won ok Jeong, Byungkwan Jeong*

Ocean Research Center, National Park Research Institute, Yeosu 59723, Korea

Abstract

This study evaluated the contamination levels of inland pollution sources flowing into Taeanhaean National Park. The nutritional status of influents was assessed by analyzing water quality and trophic status index (TRIX) at 52 stations, and the contamination levels of sediments were evaluated by analyzing eutrophication cleanup index (CIET) and heavy metals at 36 stations. The results of the TRIX analysis showed that 26 of the 52 stations had influents with a TRIX value of 6-10 (poor water quality/very high trophic level), indicating atrocious water quality and high eutrophication levels. The results of the CIET analysis showed that 4 out of the 36 stations were highly contaminated with organic matter. Analysis of heavy metals showed that the copper (Cu) and zinc (Zn) levels exceeded the threshold effects level (TEL) and probable effects levels (PEL) at several stations. In addition, the arsenic (As) level exceeded the threshold effects level at one station, and the levels of the other heavy metals (Cd, Cr⁶⁺, Ni, Pb, and Hg) were lower. Most inland pollution sources have been identified as small-scale, but long-term and continuous exposure can negatively affect the marine ecosystem; therefore, it necessary to prepare inland pollution source management standards and measures suitable for the characteristics of the coastal area.

Key words : Taeanhaean National Park, Inland pollution sources, TRIX, CIET, Heavy metals

1. 서론

산업발달과 더불어 인간의 활동이 증가함에 따라 연안 이용률이 높아지면서 오염물질의 발생빈도와 해양의 오염 부하량은 점진적으로 증가하고 있는 실정이다. 해양오염의 발생원은 육상기인, 해상기인으로 분류할 수

있고, 육상기인 오염물질은 해상으로 유입되는 전체 유입량의 75~85% 차지하고 있다(Yu et al., 2002). 다양한 경로를 통해 유입되는 각종 오염물질은 연안 및 해양 생태계 전반에 직·간접적인 영향을 미친다(Ha et al., 2011). 연안에 건설된 인공 구조물(항구, 방조제, 수문 등)들은 퇴적물의 조성을 변화시켜 퇴적층에 서식하는

Received 13 April, 2022; Revised 20 June, 2022;

Accepted 21 June, 2022

*Corresponding author: Byungkwan Jeong, Ocean Research Center, National Park Research Institute, Yeosu 59723, Korea
Phone: +82-41-675-9670
E-mail: bkjeong@knps.or.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

대형저서동물 군집구조에 큰 영향을 미치며(Dauvin et al., 2006; Paik et al., 2008; Dauvin et al., 2010; Yu et al., 2011), 다량의 유기물과 영양염류의 유입은 빈산소층의 형성을 초래하고 유해 조류(Harmful algae)의 대증식을 유발하여 수질악화 및 어류의 대량 폐사 원인이 될 수 있다(Landsberg, 2002; Rabalais et al., 2002; Harrison et al., 2017). 또한, 연안에 서식하는 패류는 가축 사육시설 또는 야생동물 서식지 등 육상에서 배출되는 분변에 오염되기 쉽고(Hunter et al., 1999; Mallin et al., 2001), 오염물질을 체내에 농축시키므로 이들을 식용할 경우 위장병과 같은 질병을 유발시키기도 한다(Heller et al., 1986). 따라서 건강한 해양 생태계를 유지·관리하기 위해서는 해양으로 유입되는 오염원에 대한 정보를 파악하고, 그에 따른 적절한 규제와 정책 마련이 우선시 되어야 한다. 특히 우리나라에는 5개의 해상·해안 국립공원이 존재하고 있으며, 해상국립공원을 관리하기 위한 다양한 연구를 진행하고 있으나 연안관리에 중요한 육상오염원에 대한 정보와 연구는 미비한 실정이다. 태안해안국립공원은 유일한 해안형 국립공원으로 육지와 바다가 접하는 지리적 특성으로 인해 육상오염원들이 직접 바다로 유입되는 취약성을 가지고 있다. 따라서 본 연구는 태안해안국립공원으로 유입되는 육상오염원의 현황을 파악하고, 평가지표를 이용하여 유입수 및 퇴적물의 오염도를 평가하여 육상오염원에 대한 관리계획 수립에 필요한 과학적인 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사지역 및 시료채집

본 조사는 항공 및 위성사진을 이용하여 태안해안국립공원으로 유입되는 유입구 현황을 파악한 후, 도보 이동을 통해 항시 흐름이 존재하는 52개 정점(항만 포함)을 선정하였다. 조사는 2017년(8~9월), 2018년 1차(8~9월), 2018년 2차(10~11월) 조사로 총 3회 실시하였다. 시료는 유입수의 경우 52개의 모든 정점에서 채집하였고, 퇴적물의 경우 퇴적물 채집이 불가능한 정점을 제외한 36개 정점에서 시료를 채집하여 분석하였다(Fig. 1).

2.2. 수질 및 퇴적물 분석

환경인자(수온, 염분, pH, 탁도, 용존산소) 측정은 다항목수질측정기(YSI-6600EDS v2)를 사용하여 현장에

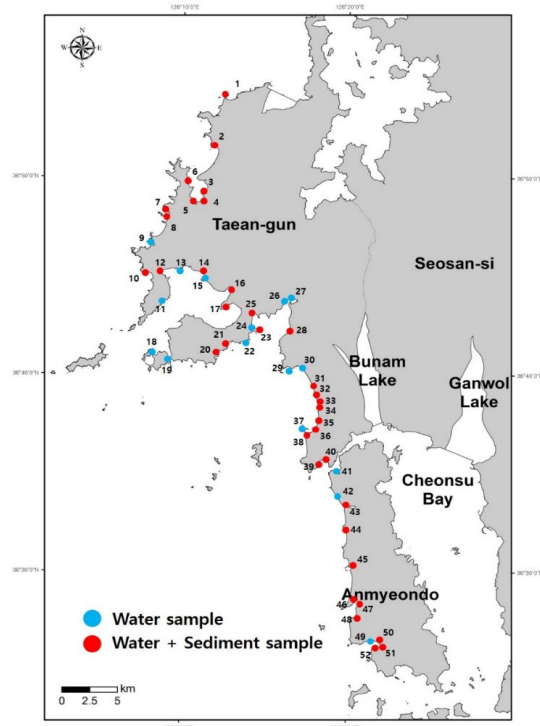


Fig. 1. Sampling map for investigation to understand the situation of inland pollution sources. Water samples were collected from all stations and sediment samples were collected from 36 stations marked in red.

서 직접 측정하였다. 염록소 *a*는 채집된 시료 180 mL를 유리섬유여과지(GF/F, Ø 25 mm, pore size 0.7 µm, Whatman®)로 여과한 후, 여과된 여과지를 90% 아세톤이 담긴 차광시험관에 넣어 12~24시간 냉장소에서 염록소를 추출하였다. 추출 완료된 시료는 형광광도계(10-AU fluorometer, Turner Designs®)를 사용하여 농도를 측정하였다. 용존무기질소(Dissolved Inorganic Nitrogen, DIN)는 채집된 시료를 현장에서 주사기(50 mL, KOVAX®)와 유리섬유여과지(GF/F, Ø 25 mm, pore size 0.7 µm, Whatman®)를 이용하여 여과한 후 분석전까지 냉동보관(-70°C) 하였고, 자동분석기(QuAatro, SEAL Analytical®)를 이용하여 분석하였으며, 총인(Total Phosphorus, TP)은 채집된 시료를 50 mL conical tube에 분주하여 분석전까지 냉동보관(-70°C) 하였고, 자동분석기(AACS-V, BLTEC K.K Co.)를

Table 1. Grades and ranges of indices for TRIX (trophic status index) and CIET (Eutrophication Cleanup Index)

TRIX			CIET		
Grade (Range)	Water quality	Trophic level	Parameters	Base concentration	Score
1 (0~4)	high	low	IL (%)	<5	0
				<15	3
				≥15	6
2 (4~5)	good	medium	COD (mgO ₂ /g-dry)	<13	0
				<20	1
				<30	2
				<40	4
				≥40	6
3 (5~6)	bad	high	AVS (mgS/g-dry)	<0.6	0
				<1	1
				<5	2
4 (6~10)	poor	very high		<10	4
				≥10	6

이용하였다. 퇴적물의 강열감량(Ignition Loss, IL)은 채취한 시료 일정량을 건조시킨 후 막자사발에서 23메쉬(0.063 mm) 크기의 체를 통과하게 곱게 분마하여 전기로(Furnace)를 이용해 550℃에 2시간 강열한 후 전후의 무게 차이를 계산하였다. 화학적 산소요구량(Chemical Oxygen Demand, COD)은 퇴적물 시료의 무게를 정확히 취해 강산화제인 0.1 N 과망간산칼륨으로 알칼리성으로 치환하여 수용상에서 60분간 가열 반응시킨 후, 10% 요오드화칼륨과 4% 아지드화나트륨을 넣고, 여기에 증류수를 넣어 여과한 후 30% 황산을 넣어 남아있는 과망간산칼륨에 의하여 유리된 요오드의 양으로부터 산소의 양을 측정하였다. 산휘발성황화물(Acid Volatile Sulfide, AVS)은 황검지관(Gas detector tube, Sulphides 201H & 201L, GASTEC)을 사용하여 퇴적물에서 검지관으로 흡수되는 황의 양을 측정하였다. 퇴적물 내 중금속(Cd, Cr⁶⁺, Cu, Ni, Pb, Zn, Hg, As)은 유도결합 플라즈마 질량분석기(ICP-MS: iCAP RQ, Thermo Fisher Scientific[®])를 이용하여 분석하였고, 중금속 분석의 경우 2018년 1차 조사만 실시하였다. 모든 실험은 해양환경공정시험기준(NIFS, 2021)에 명시되어 있는 분석방법에 준하여 실시하였다.

2.3. 수질 및 퇴적환경 평가

유입수의 수질과 부영양화 정도를 평가를 위해 Vollenweider et al.(1998)가 개발한 영양상태지수를 사

용하였다. TRIX (Trophic Status Index)는 식물플랑크톤 생체량, 용존산소 포화도, 용존무기질소, 총인의 결과 값을 이용하여 산출하였으며, TRIX scale에 따라 수질과 부영양상태를 평가하였다(Table 1, Eq. 1).

$$TRIX = [Log10(Chl a \times a\%DO \times N \times P) + 1.5] / 1.2 \quad (1)$$

Where, *Chl a* = Chlorophyll a concentration
a%DO = Absolute percentage deviation of oxygen saturation from 100%
N, P = Concentration of DIN and TP

퇴적물의 부영양화 정도는 해양오염퇴적물 조사 및 정화 범위 등에 관한 규정(MOF, 2018)에 제시된 방법을 이용하였다. 퇴적물 시료의 강열감량, 화학적 산소요구량, 산휘발성황화물의 분석결과를 기준농도와 비교하여 부영양화 정화지수(Eutrophication cleanup index, CIET)를 산출하였다(Table 1). 각 항목의 평가점수 합계가 6이상인 구역은 정화·복원 대상 지역으로 퇴적물의 유기물 오염도가 높음을 의미한다.

3. 결과 및 고찰

52개 정점에서 태안해안국립공원 해역으로 유입되는 유입수의 용존산소 포화도(%)는 2017년 11.8~169.5% (평균 81.5%), 2018년(1차) 13.1~194.5%(평균 92.3%),

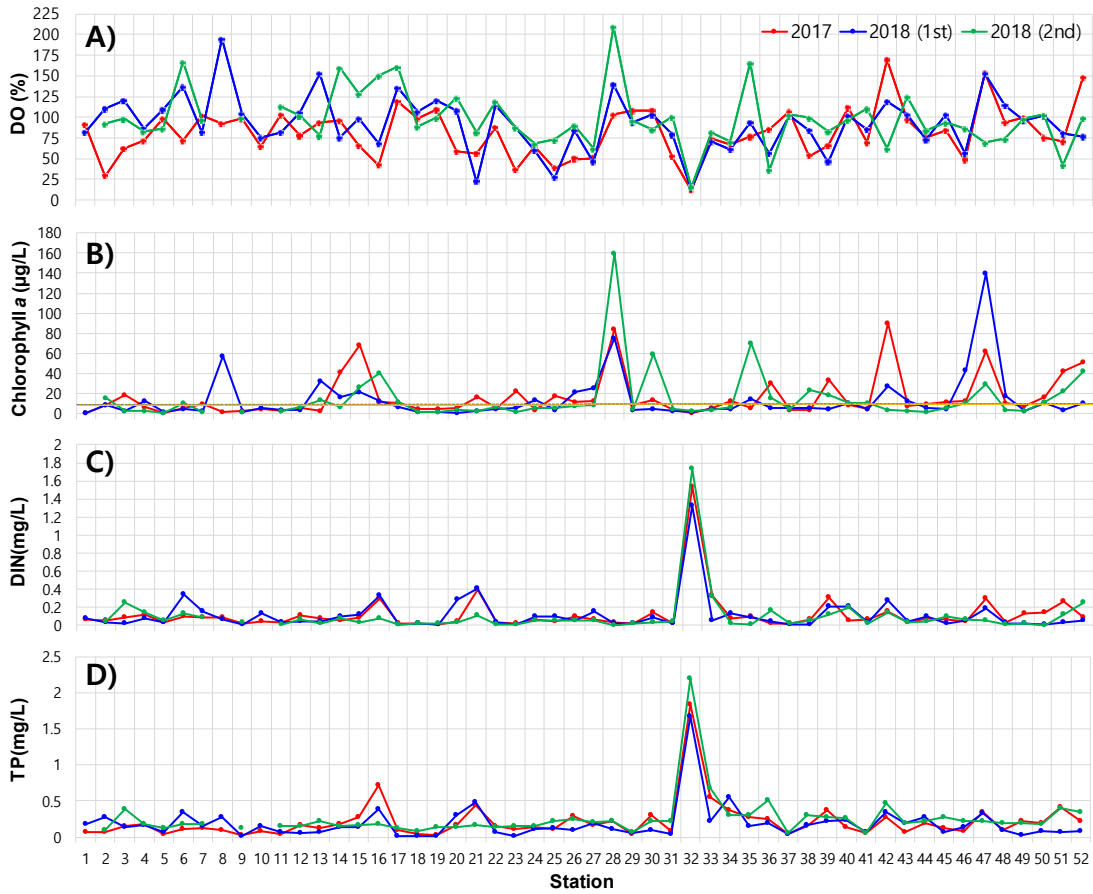


Fig. 2. Dissolved oxygen saturation (A), chlorophyll a (B), dissolved inorganic nitrogen (C) and total phosphorus (D) during survey period.

2018년(2차) 15.6~209.4%(평균 98.2%)의 분포를 보였다(Fig. 2A). 일반적으로 유입수와 함께 공급되는 유기물(오염물질)은 수계 저층에 퇴적되고 미생물 분해 기작에 의하여 용존산소를 고갈시키고 혐기성 상태로 전환되어 악취를 유발한다(Rosenberg and Loo, 1988; Yang and Hong, 1988; Yoo et al., 2017). 본 연구에서도 4 mg/L 이하의 저산소 상태를 보인 정점에서는 대다수 악취가 발생하였다. 특히 청포대의 마을 하수가 유입되는 32번 정점의 용존산소 포화도는 11.8~15.6%(평균 13.5%)였으며, 3회 조사동안 용존산소는 0.98, 1.08, 1.43 mg/L로 모두 빈산소 상태를 나타냈고, 심각한 악취가 발생과 함께 배출수가 흘러나가는 해변의 모래는 검정색으로 변색되어 있었다(Fig. 3A). 생활하수에는 다량

의 유기물이 포함되어있고, 미생물의 분해과정을 통해 다량의 산소가 소비됨으로서 빈산소 상태로 전환되고, 이후 혐기성 분해과정을 통해 악취가 발생한 것으로 판단된다. 실제로도 세계 각국의 다양한 수계에서 생활하수의 유입에 의해 저산소 현상이 발생되었고, 이에 따라 영양염 재순환에 의한 수화현상 및 악취발생, 수질악화 등 다양한 환경 문제들이 보고되었다(Aguiar et al., 2011; He et al., 2014; Ram et al., 2014; Zhang et al., 2015). 녹조가 발생된 소하천 또는 농경수로의 담수가 유입되는 정점(8, 28, 35, 42, 47)에서는 일반적으로 높은 용존산소를 보였다. 엽록소 *a*는 3번의 조사에서 0.55~106.14 µg/L(평균 14.81 µg/L)분포를 보였으며, 2017년 23개 정점, 2018년(1차) 19개 정점, 2018년(2차)

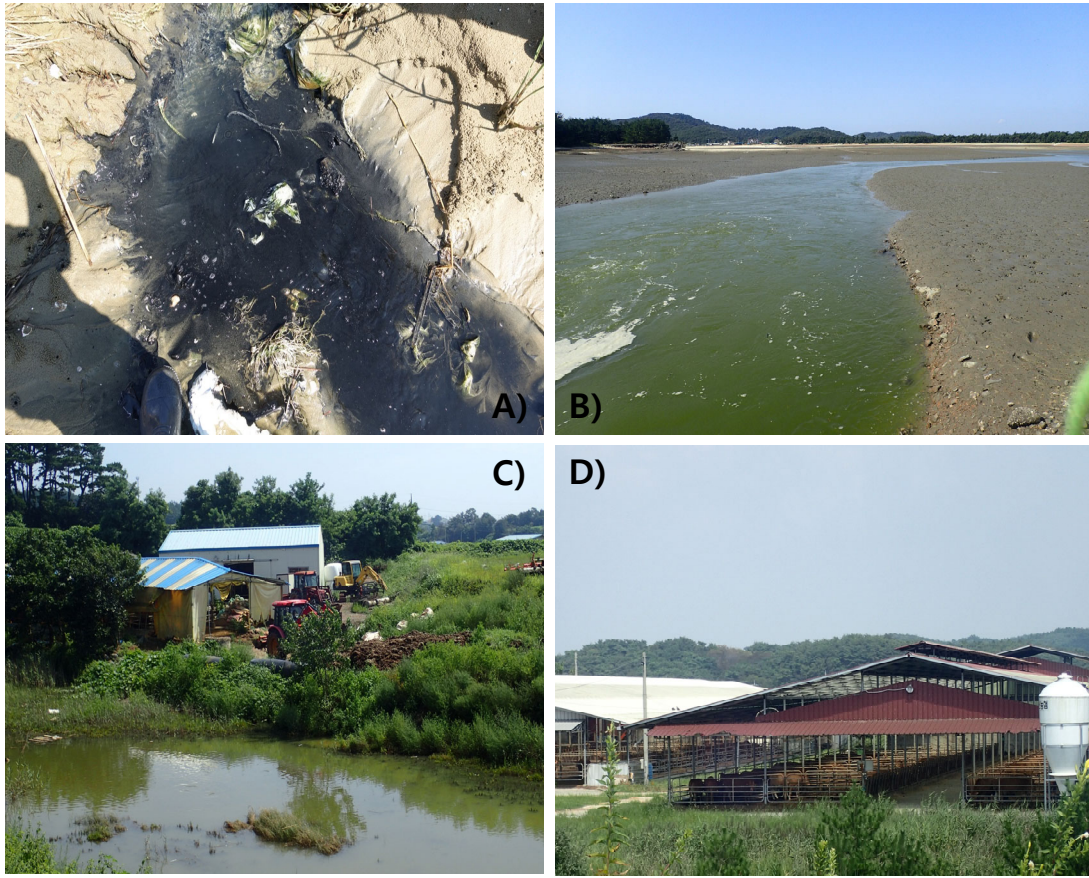


Fig. 3. Sediments discolored due to inflow of village sewage (A), fresh water(green algal blooms) inflow from agricultural channels or small rivers into the coast (B), livestock excretions piled up near a small river (C), Large-scale livestock breeding facilities near the survey site (D).

19개 정점에서 엽록소 *a* 농도가 10 µg/L 이상으로 녹조 현상이 관측되었다(Fig. 3B). 일반적으로 식물플랑크톤이 대량 발생시 광합성이 증가하여 수중의 용존산소를 증가시키게 되는데, 엽록소 *a*와 용존산소의 포화도를 상관분석한 결과, 서로 유의한 양의 상관관계(0.432, $p < 0.01$)를 보임으로서 식물플랑크톤과 용존산소와의 연관성을 뒷받침하였다(Fig. 2A, B). 녹조 현상이 관측된 지역들은 하수관거와 농경수로, 대규모의 축산시설 및 양식장이 존재하였는데(Fig. 3C, D), Park(2014)은 농업배수와 축산폐수 등이 수체로 유입되면 부영양화를 유발하고, 조류가 대량증식하여 녹조 현상이 발생할 가능성에 대해 보고했다. 앞서 언급된 조류(Algae) 대발생은

수중생물들에게 먹이와 용존산소의 공급이라는 긍정적 측면이 존재하지만, 대량 증식된 조류는 수중의 유기물 증가와 더불어 수질을 악화시킬 수 있는 부정적 요인으로도 작용하기 때문에(Sundbäck et al., 1990; Caron, 1991; Jonas, 1997) 조류 증식에 관여하는 영양염의 유입경로와 농도에 대한 정보를 파악하는 것은 매우 중요하다. 조사기간 중 측정된 DIN과 TP의 농도 범위는 각각 0.024~11.943 mg/L(평균 2.293 mg/L), 0.016~2.204 mg/L(평균 0.221 mg/L)였고, 공간적으로 북부지역보다 남부지역에서 높은 농도를 유지하였다. 청포대의 마을하수가 유입되는 32번 정점의 3회 조사 평균 농도는 DIN 1.835 mg/L, TP 1.906 mg/L로, 2008~2018년까지

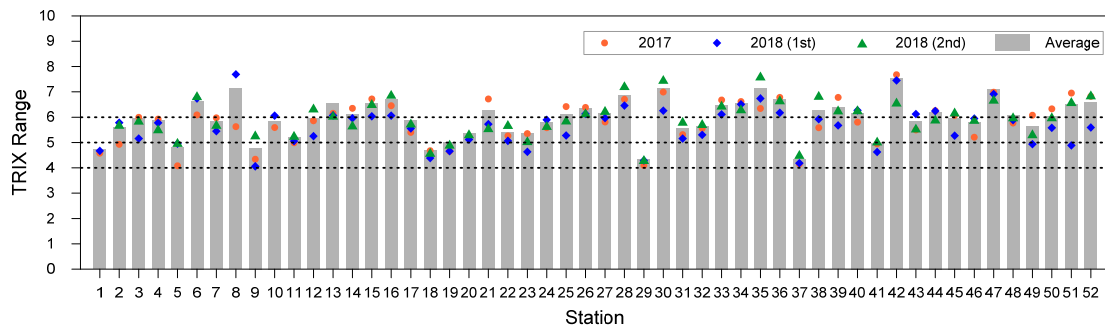


Fig. 4. Results of TRIx analysis of inflow water at each survey and average by stations.

태안해안국립공원 해역을 대상으로 수행된 장기모니터링의 평균농도(DIN 0.108 mg/L, TP 0.032 mg/L; in house data)와 비교하여 DIN은 약 17배, TP는 약 60배에 달하는 높은 농도의 유입수가 지속적으로 유입되고 있었다(Fig. 2C, D). 영양염은 식물플랑크톤의 생산력을 조절하는 주요인자 중 하나로 과잉공급 시 식물플랑크톤 대증식을 야기할 수 있다고 보고되었다(Mallin et al., 1999; Wu and Chou, 2003). 하지만 32번 정점의 경우, 높은 농도의 영양염이 유입됨에도 불구하고 엽록소 *a* 농도는 0.88~2.68 $\mu\text{g/L}$ (평균 1.68 $\mu\text{g/L}$)로 낮은 농도를 유지하였다. 이는 짧은 체류시간, 염분의 급변화(조석)와 같은 요인으로 공급된 영양염이 식물플랑크톤의 성장으로 이어지지 않은 것으로 판단된다(Murrell et al., 2007; Lehrter, 2008; Aizdaicher and Markina, 2010; Yang et al., 2014). 유입수의 수질과 부영영화 정도를 파악하기 위해 실시한 TRIx 분석 결과, 다소 수치의 차이는 있었으나 조사시기별로 유사한 경향을 보였다(Fig. 4A). 각 조사시기의 결과를 평균한 각 정점별 등급은 52개 정점 중 7개 정점이 2등급, 19개 정점이 3등급, 26개 정점이 4등급을 나타냄으로서 연안으로 들어오는 대다수 유입수의 수질이 좋지 않은 것으로 확인되었다(Table 1, Fig. 4). 조사 정점들의 지형적 특징을 비교해 본 결과, 만(Bay) 안쪽 또는 흠통의 형태를 유지하고 있는 지역에 위치한 정점들은 등급이 낮고, 곶(Cape)과 같이 해수소통과 혼합이 원활한 지역에 위치한 정점들에서는 등급이 높은 결과를 보였다. 이는 영산강 하구를 대상으로 진행된 Lee et al.(2017)의 연구와도 유사한 결과였다. CIET 지수를 이용하여 조사지역에서 채집된 퇴적물의 부영양

화 정도를 평가한 결과, IL 농도가 6점(기준농도 15% 이상)에 해당하는 지점은 2017년 35번, 2018년(1차) 25번 정점으로 인근에 대규모의 농경수로가 존재하고 있었다. COD의 경우 2017년 5개 정점, 2018년(1차) 1개 정점, 2018년(2차) 1개 정점에서 6점(기준농도 40 $\text{mgO}_2/\text{g-dry}$ 이상)에 해당되는 농도가 관측되었는데, 이 정점들은 소화천의 담수가 개방되어 있는 소규모 수문을 통해 지속적으로 연안으로 유입되고 있었으며, 일부 정점 인근에는 축산 시설이 존재 하였다. AVS의 경우는 조사기간 중 최대 농도가 3.777 mgS/g-dry 로 기준농도인 5 mgS/g-dry 이하를 보여 1점을 초과하는 경우는 없었으며, 대부분의 정점에서 기준농도 0.6 mgS/g-dry 이하를 나타냈다(Fig. 5). 각 항목의 농도들을 기준농도 점수로 환산하여 산출된 CIET 결과를 보면, 2017년에는 6개 정점(3, 4, 16, 31, 35, 50), 2018(1차)에는 5개 정점(3, 17, 25, 31, 46), 2018(2차)에는 4개 정점(5, 20, 21, 31)에서 6이상을 보였으며, 특히 31 정점은 3번의 모든 조사에서 기준을 초과하였다(Fig. 6). 이 지역은 태안 달산포 해수욕장 인근에 위치한 곳으로 수문을 통해 농경수로의 담수가 배출되지만 지형의 특성상 사리시기에만 해수와의 혼합이 일어나며 평상시에는 수문 전면이 고여 있는 형태를 나타낸다. 이와 같이 정체되어 있는 구조에서 높은 농도의 영양염 또는 유기물의 유입과 누적이 지속적으로 반복됨으로서 퇴적물의 유기물 오염도 또한 증가했을 것이라 판단된다. 3회 조사의 평균 CIET 분석 결과, 총 4개 정점(3, 17, 20, 31)에서 퇴적물의 유기물 오염도가 심각한 것으로 확인되었으며, 정화 또는 복원을 위한 조치가 필요할 것으로 생각된다(Fig. 6). 중금속은 토양을 오염

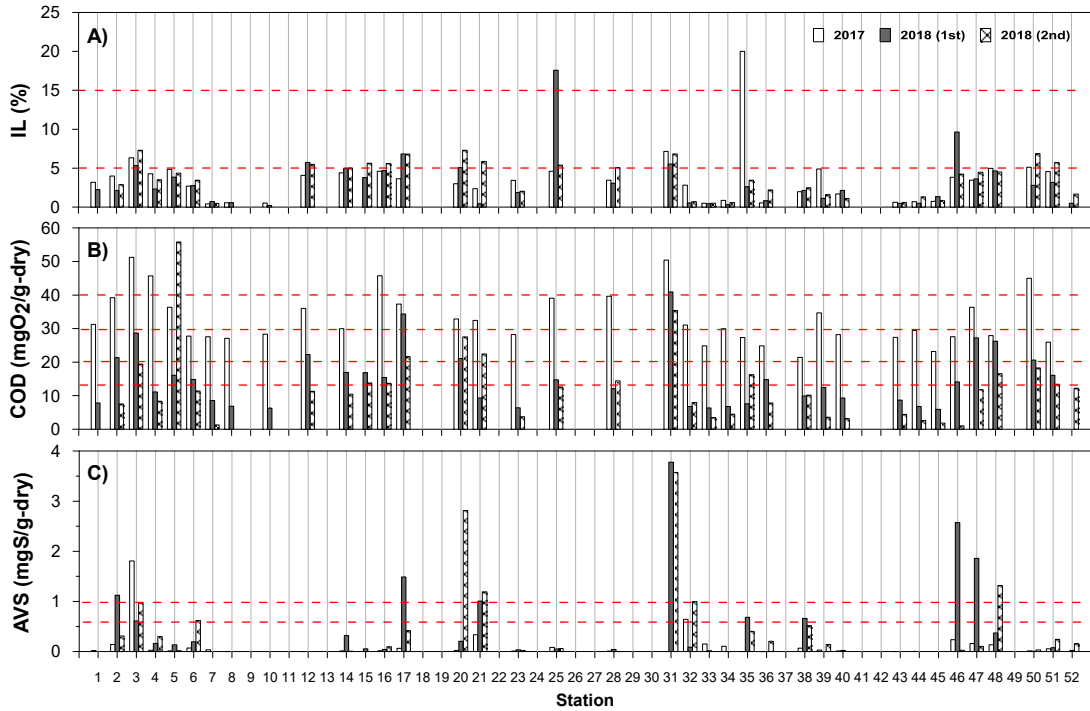


Fig. 5. Concentration of IL (ignition loss), COD (Chemical oxygen demand), and AVS (Acid volatile sulfide) in sediments during survey period.

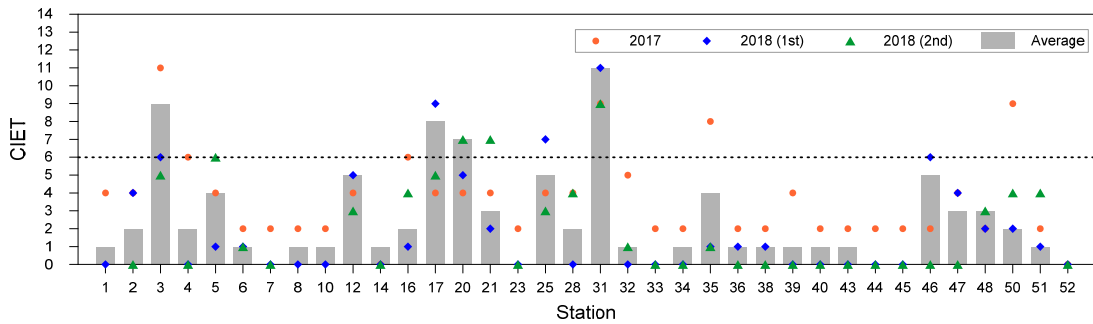


Fig. 6. Results of CIET analysis of sediments at each survey and average by stations.

시키는 대표적인 물질로 도시하수 또는 산업폐수 등 여러 요인에 의해 발생하게 되며, 관리에 대한 명확한 기준이 제시되어 있기에 오염도를 파악하는데 중요한 인자로 활용되고 있다. 본 연구에서는 진행된 퇴적물의 중금속 분석 결과는 카드뮴(Cd), 크롬(Cr^{6+}), 니켈(Ni), 납(Pb), 수은(Hg)은 국내 기준 이하였으나, 구리(Cu), 아연(Zn),

비소(As)는 기준을 초과하는 정점들이 확인되었다. 구리의 경우 7개 정점에서 국내 주의기준(Threshold effects level, TEL)인 20.6 mg/kg을 초과하였으며 22.3~31.9 mg/kg의 범위로 분포하였고, 관리기준(Probable effects level, PEL)인 64.4 mg/kg을 초과한 정점은 1곳으로 농도는 80.8 mg/kg이었다. 아연(Zn)은 총 12곳에서 주의

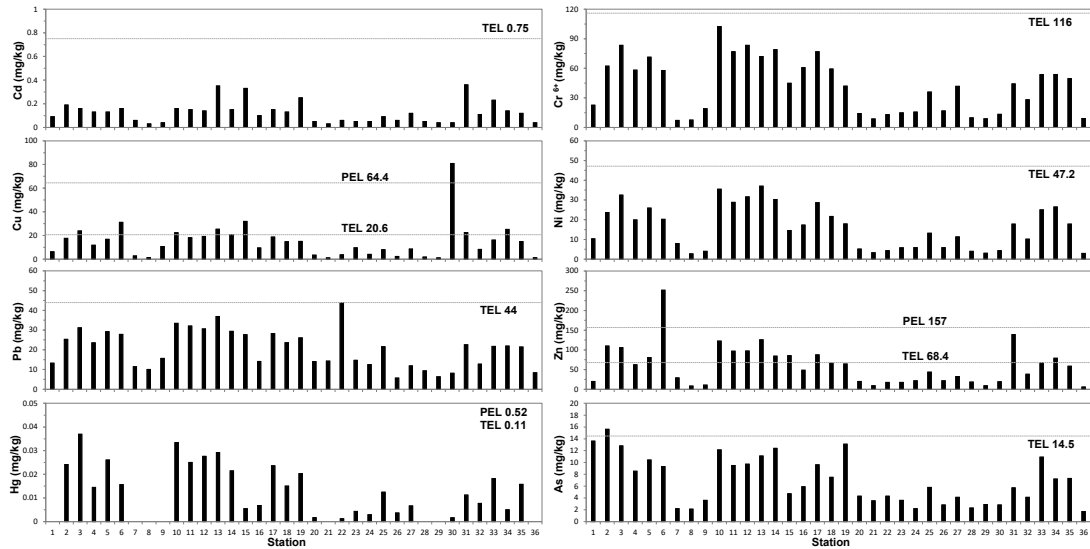


Fig. 7. Results of heavy metals in sediments at 2018(1st).

기준인 68.4 mg/kg을 초과하였으며, 농도는 78.5~138.8 mg/kg 범위로 분포하였고, 관리기준인 157 mg/kg을 초과한 정점은 1곳으로 251.3 mg/kg의 농도를 나타냈다. 비소는 1개 정점에서만 주의기준(14.5 mg/kg)을 초과하였으며 농도는 15.6 mg/kg이었다(Fig. 7). 일반적으로 퇴적물 내 중금속은 입도 또는 유기물의 함량에 의해 달라지며 세립질 유기물이 우세한 퇴적물일수록 높은 중금속 농도를 보인다고 보고되었다(Hyun et al., 2003; Kim et al., 2012). 본 연구에서는 입도 분석이 진행되지 않아 퇴적물 조성비와 중금속간의 상관성을 직접적으로 비교할 수 없었지만 구리와 아연의 기준치를 초과한 정점의 퇴적물들은 육안상으로 확인했을 때 세립한 형태를 보이고 있었다. 또한 이 곳들은 대부분 농경수로, 저수지, 마을 하수들이 유입되는 지역으로 높은 농도의 유기물이 유입되는 특징을 보였고, 이는 TRIx와 CIET 지수와도 상당히 일치하는 결과였다. 상관분석 결과, 구리는 특별한 상관성을 보이지 않았으나 아연의 경우 IL, COD와 각각 0.487, 0.476 ($p < 0.01$)으로 유의한 양의 관계를 보임으로서 유기물과의 상관성을 어느정도 확인하였다. 한반도 전국 연안과 남해동부연안을 대상으로 진행된 중금속 농도 또는 오염도 평가 연구에서 항구 지역 또는 항구와 가까워 질수록 중금속의 농도가 증가한다고 보고되었

다(Lee and Han, 1978; Woo et al., 2019). 본 연구에서도 관리기준을 초과한 45정점(구리)과 6정점(아연) 역시 방포항과 의항항으로 선행 연구결과와 일치하는 결과를 나타냈다. 선박활동, 다양한 어구 및 시설, 인근 상가 및 주거지에서 유입되는 하수 등은 퇴적물의 중금속 농도를 증가시키는 주된 요인으로 작용 했을 것으로 판단된다. 하지만 퇴적물에 존재하는 중금속의 경우, 퇴적기질에 의한 자연기원과 인간활동 의한 인공기원으로 나누어지기 때문에 명확한 중금속 오염을 파악하기 위해서는 보다 세밀한 연구가 필요할 것이다.

4. 결론

태안해안국립공원의 연안을 따라 육상오염원으로 추정되는 52개의 조사지점을 선정하여 유입되는 유입수와 퇴적물의 오염도를 평가하였다. 오염도 평가는 유입수의 경우 TRIx지수를 이용하여 수질과 부영양화 정도를 확인하였고, 퇴적물은 CIET지수와 중금속 분석을 실시하여 유기물 및 중금속 오염도를 측정하였다. 유입수를 분석한 결과, 52개 정점 중 45개 정점(86.5%)이 3~4등급으로 수질이 나쁘고 부영양화가 심한 것으로 확인됐고, 퇴적물은 4개 정점에서 유기물의 오염도가 높은 것으로 평가되었다. 퇴적물 중금속은 다수의 정점들에서 구리,

아연, 비소가 주의기준과 관리기준을 초과하였다. 결과적으로 태안해역(국립공원)으로 흘러들어오는 유입수는 부정적 수질등급을 나타내고 있었고 퇴적물 역시 유기물 오염도가 높은 것으로 확인되었다. 대부분 소규모 농경수로나 작은 수문을 통해 유입되는 오염원(유입수)은 그 양이 적어 단기적으로 연안 생태계에 미치는 영향이 크지 않을 수 있으나 장기적이며 지속적인 노출은 해당 생태계에 부정적 영향을 줄 수도 있다고 판단하였다. 하지만 공원 경계를 기준으로 관리체계가 이원화되어 점오염원에 대한 효율적인 관리가 이루어지지 않고 있다. 따라서 태안해안국립공원의 관리주체인 국립공원공단은 공원지역으로 유입되는 점오염원 관리에 대한 장기 계획을 수립하고 지속적인 모니터링을 실시하여, 신뢰도가 높은 자료를 확보해야 할 것이다. 또한 수집된 자료는 공원 외 지역의 관리주체인 지자체와 공유하고, 협업시스템을 구축함으로써 해역 특성에 맞는 관리 기준과 방안 마련에 대한 시도가 필요할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 국립공원연구원에서 수행한 「태안해안국립공원 해양환경변화 측정망」 사업의 육상오염원 현황조사(2017~2018년)의 결과입니다.

REFERENCES

- Aguiar, V. M. d. C., Neto, J. A. B., Rangel, C. M., 2011, Eutrophication and hypoxia in four streams discharging in Guanabara Bay, RJ, Brazil, a case study, *Mar. Pollut. Bull.*, 62, 1915-1919.
- Aizdaicher, N. A., Markina, Z. V., 2010, The effect of decrease in salinity on the dynamics of abundance and the cell size of *Corethron Hystrix* (Bacillariophyta) in laboratory culture, *Ocean Sci. J.*, 45, 1-5.
- Caron, D. A., 1991, Evolving role of protozoa in aquatic nutrient cycles. In: *Protozoa and their role in marine processes*, Springer, Berlin Heidelberg, 387-415.
- Dauvin, J. C., Alizier, S., Vallet, C., Ruellet, T., 2010, Does the Port 2000 harbour construction have an effect on the Seine estuary suprabenthic community?, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 86, 42-50.
- Dauvin, J. C., Desroy, N., Janson, A. L., Vallet, C., Duhamel, S., 2006, Recent changes in estuarine benthic and suprabenthic communities resulting from the development of harbour infrastructure, *Mar. Pollut. Bull.*, 53, 80-90.
- Ha, K. S., Yoo, H. D., Shim, K. B., Kim, J. H., Lee, T. S., Kim, P. H., Ju, J. Y., Lee, H. J., 2011, Evaluation of the influence of inland pollution sources on shellfish growing areas after rainfall events in Geoje Bay, Korea, *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 44, 612-621.
- Harrison, P. J., Piontkovski, S., Al-Hashmi, K., 2017, Understanding how physical-biological coupling influences harmful algal blooms, low oxygen and fish kills in the Sea of Oman and the Western Arabian Sea, *Mar. Pollut. Bull.*, 114, 25-34.
- He, B., Dai, M., Zhai, W., Guo, X., Wang, L., 2014, Hypoxia in the upper reaches of the Pearl River Estuary and its maintenance mechanisms: A synthesis based on multiple year observations during 2000 - 2008, *Mar. Chem.*, 167, 13-24.
- Heller, D., Gill, O. N., Raynham, E., Kirkland, T., Zadick, P. M., Stanwell-Smith, R., 1986, An Outbreak of gastrointestinal illness associated with consumption of raw depurated oysters, *Br. Med. J.*, 292, 1726.
- Hunter, C., Perkins, J., Tranter, J., Gunn, J., 1999, Agricultural land-use effects on the indicator bacterial quality of an upland stream in the Derbyshire peak district in the U.K., *Water Res.*, 33, 3577-3586.
- Hyun, S., Lee, T., Choi, J. S., Choi, D. L., Woo, H. J., 2003, Geochemical characteristics and heavy metal pollutions in the surface sediments of Gwangyang and Yeosu Bay, south coast of Korea, *The Sea*, 8, 380-391.
- Jonas, R. B., 1997, Bacteria, dissolved organics and oxygen consumption in salinity stratified Chesapeake Bay, an anoxia paradigm, *Am. Zool.*, 37, 612-620.
- Kim, P. J., Shon, S. G., Park, S. Y., Kim, S. S., Jang, S. J., Jeon, S. B., Ju, J. S., 2012, Biogeochemistry of metal and nonmetal elements in the surface sediment of the Gamak Bay, *Korean Soc. Mar. Environ. Saf.*, 18, 67-83.
- Landsberg, J. H., 2002, The effects of harmful algal blooms on aquatic organisms, *Rev. Fish. Sci.*, 10, 113-390.
- Lee, D., Park, G., Lee, C., Shin, Y., 2017, Assessment of ecosystem health during the freshwater discharge in the Youngsan River estuary, *Korean J. Ecol. Environ.*, 50, 46-56.
- Lee, D. S., Han, S. J., 1978, The contents of heavy metals in sediments from the southeastern coastal area of Korea,

- The Sea, 13, 11-16.
- Lehrter, J. C., 2008, Regulation of eutrophication susceptibility in oligohaline regions of a northern Gulf of Mexico estuary, Mobile Bay, Alabama, *Mar. Pollut. Bull.*, 56, 1446-1460.
- Mallin, M. A., Cahoon, L. B., McIver, M. R., Parsons, D. C., Christopher Shank, G., 1999, Alternation of factors limiting phytoplankton production in the Cape Fear River estuary, *Estuaries*, 22, 825-836.
- Mallin, M. A., Ensign, S. H., McIver, M. R., Shank, G. C., Fowler, P. K., 2001, Demographic, landscape, and meteorological factors controlling the microbial pollution of coastal waters, *Hydrobiologia*, 460, 185-193.
- Ministry of Oceans and Fisheries (MOF), 2018, Regulations on the scope of investigation, purification, restoration, etc. of marine pollutant sediment, *Marine environment standard 2018-15*.
- Murrell, M. C., Hagy, J. D., Lores, E. M., Greene, R. M., 2007, Phytoplankton production and nutrient distributions in a subtropical estuary: importance of freshwater flow, *Estuaries Coast.*, 30, 390-402.
- National Institute of Fisheries Science (NIFS), 2021, *Marine Standard Method*, in Korea.
- Paik, S. G., Yun, S. G., Park, H. S., Lee, J. H., Ma, C. W., 2008, Effects of sediment disturbance caused by bridge construction on macrobenthic communities in Asan Bay, Korea, *J. Environ. Biol.*, 29, 559-566.
- Park, H. G., 2014, Causes and reduction measures of algal blooms, *Bull. Korea Environ. Preser. Assoc.*, Serial No. 412, 17-21.
- Rabalais, N. N., Turner, R. E., Wiseman, W. J., 2002, Gulf of Mexico hypoxia, a.k.a. "The dead zone", *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, 33, 235-263.
- Ram, A., Jaiswar, J. R. M., Rokade, M. A., Bharti, S., Vishwasrao, C., Majithiya, D., 2014, Nutrients, hypoxia and Mass Fishkill events in Tapi Estuary, India., *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 148, 48-58.
- Rosenberg, R., Loo, L. O., 1988, Marine eutrophication induced oxygen deficiency: effects on soft bottom fauna, western Sweden, *Ophelia*, 29, 213-225.
- Sundbäck, K., Jönsson, B., Nilsson, P., Lindström, I., 1990, Impact of accumulating drifting macroalgae on a shallow-water sediment system: an experimental study, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 58, 261-274.
- Vollenweider, R. A., Giovanardi, F., Montanari, G., Rinaldi, A., 1998, Characterization of the trophic conditions of marine coastal waters with special reference to the NW Adriatic Sea: proposal for a trophic scale, turbidity and generalized water quality index, *Environmetrics*, 9, 329-357.
- Woo, J., Lee, H., Park, J., Park, K., Cho, D., Jang, D., Park, S., Choi, M., Yoo, J., 2019, Background concentration and contamination assessment of heavy metals in Korean coastal sediments, *The Sea*, 24, 64-78.
- Wu, J. T., Chou, T. L., 2003, Silicate as the limiting nutrient for phytoplankton in a subtropical eutrophic estuary of Taiwan, *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, 58, 155-162.
- Yang, D. B., Hong, J. S., 1988, On the biogeochemical characteristics of surface sediments in Chinhae Bay in September 1983, *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 21, 195-205.
- Yang, E. R., Jeong, B. K., Lee, E. J., Ryu, D. K., Shin, Y. S., 2014, Size and species composition of phytoplankton related to anthropogenic environmental changes in Doam Bay, *J. Environ. Sci. Int.*, 23, 1183-1197.
- Yoo, J., Kim, I. S., Kim, S. H., Ekpeghere, K. I., Chang, J. S., Koh, S. C., 2017, Eco-friendly and efficient in situ restoration of the constructed sea stream by bioaugmentation of a microbial consortium, *Korean J. Microbiol.*, 53, 83-96.
- Yu, J. S., Lee, M. J., Rho, J. H., Yoon, S. H., Kim, M. H., 2002, Tracking experimentation of floating debris drained from Nak-dong River, *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy.*, 5, 3-9.
- Yu, O. H., Lee, H. G., Lee, J. H., 2011, The influence of environmental variables on macrobenthic communities after dike construction in Asan Bay, Korea, *Korean J. Environ. Biol.*, 29, 326-344.
- Zhang, P., Pang, Y., Pan, H., Shi, C., Huang, Y., Wang, J., 2015, Factors Contributing to Hypoxia in the Minjiang River Estuary, Southeast China, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 12, 9357-9374.

-
- Researcher. Da-Hye Hwang
Ocean Research Center, National Park Research Institute
hdh0117@knps.or.kr
 - Researcher. Jin-Hyun Kim
Ocean Research Center, National Park Research Institute
gjh6741@knps.or.kr
 - Researcher. Seong-Geon Jang
Ocean Research Center, National Park Research Institute
sgjang450@knps.or.kr

• Managing Director. Won-Ok Jeong
Ocean Research Center, National Park Research Institute
wonokjung@knps.or.kr

• Senior Researcher. Byung-Kwan Jeong
Ocean Research Center, National Park Research Institute
bkjeong@knps.or.kr