

Research Paper

## 국내 연안개발에 따른 조하대 유기물 오염지표종 분포 연구

한형섭\* · 이승현\* · 김종춘\* · 손대선\*\* · 마채우\*\*

한국환경공단\*, 순천향대학교\*\*

### Distribution Patterns of the Organic Pollution Indicators at Subtidal on Coast Developments in Korea

Hyoung-Sum Han\* · Seung-Hyun Lee\* · Jong-Chun Kim\* · Dae-Sun Son\*\* · Chae-Woo Ma\*\*

Korea Environment Corporation\*

Soonchunhyang University\*\*

**요약:** 연안개발에 따른 유기물 오염은 유기물 오염지표종의 분포를 증가시키고, 증가된 유기물 오염지표종이 대상해역에 장기간 우점하여 저서생태계를 교란시킨다. 하지만 아직까지 우리나라 전 해역을 대상으로 조하대 저서생태계 유기물 오염정도를 확인한 연구가 미미한 실정이다. 이에 본 연구는 연안개발 환경영향평가 대상사업의 조하대 저서동물 조사결과를 분석하여 유기물 오염지표종의 분포를 확인하고, 우리나라 전 해역 조하대 유기물 오염정도를 간접적으로 확인하였다. 유기물 오염지표종별 분포 현황을 이미지 프로그램을 통해 지도로 작성하고, 전체 출현분포 현황을 통해 전 연안의 저서건강도지수(BHI, Benthic Health Index)를 도식화하였다. 유기물 오염정도는 사업구분 및 유기물 오염지표종별 분포가 다양하였으며, 유기물 오염지표종 중 *Lumbrineris* sp.가 전 해역에 가장 우점한 것으로 확인되었고, 전체 조하대 유기물 오염정도와 상관관계가 있는 것으로 확인되었다. 앞으로의 조하대 저서생태계 유기물 오염정도는 유기물 오염지표종 분포를 통해 확인하고, 향후 연안개발 계획 수립 시 참고자료로 활용할 수 있을 것으로 기대한다. 또한, 유기물 오염지표종 중 *Lumbrineris* sp.의 분포는 간접적으로 개발 대상지의 유기물 오염정도를 평가할 수 있는 지표로 사용 가능할 것으로 판단된다.

**주요어:** 연안개발, 유기물 오염지표종, 조하대, 저서생태계, 저서건강도지수

**Abstract:** Organic pollution due to coastal development increases the distribution of organic pollution indicators (OPI) and disturbs benthic ecosystems by increasing the number of organic pollution indicators dominant in the target area. However, there is a little researches on the organic pollution levels of benthic ecosystems in subtidal target coast of all over Korea. Therefore, this study analyzed the distribution of macrobenthos in subtidal around the coast development sites of EIA,

First Author: Hyoung-Sum Han, Tel: +82-32-590-3379, E-mail: hanhs82@keco.or.kr, ORCID: 0000-0002-6179-791X

Corresponding Author: Chae-Woo Ma, Tel: +82-41-530-1283, E-mail: cwooma@sch.ac.kr, ORCID: 0000-0002-5578-8881

Co-Authors: Seung-Hyun Lee, Tel: +82-32-590-3378, E-mail: joell23@keco.or.kr, ORCID: 0000-0001-9687-464X

Jong-Chun Kim, Tel: +82-32-590-3377, E-mail: jckim@keco.or.kr, ORCID: 0000-0002-4732-2524

Dae-Sun Son, Tel: +82-41-530-1283, E-mail: dsson@sch.ac.kr, ORCID: 0000-0002-1864-8871

Received: 10 February, 2020. Revised: 12 March, 2020. Accepted: 15 March, 2020.

confirmed the distribution of OPI, and produced the benthic health index-map (organic pollution level) of all coasts of Korea. The benthic health index of the sites was calculated using the density of each OPI, and the image program was used for the benthic health index-map. Organic pollution levels varied by projects for EIA and OPI. *Lumbrineris* sp. was found to be dominant throughout the coast and correlated with the benthic health index in Korea. Through this study, we will be able to confirm the future organic pollution level in the subtidal ecosystems of the project for EIA through the results of research to macrobenthos in subtidal for EIA. In addition, the distribution of *Lumbrineris* sp. OPI can be used as an indicator to indirectly evaluate the organic pollution level of the development site.

**Keywords :** coast development, organic pollution indicators (OPI), subtidal, benthic ecosystems, benthic health index

## I. 서론

우리나라는 급속도로 경제성장을 이루어 왔고, 이러한 경제성장을 위해 국토 전역에 다수의 개발사업을 추진해 왔다. 이러한 개발사업으로 인해 생태계 교란 및 환경오염 피해를 동반하였다(Kim et al. 2006). 환경오염 피해는 연안개발사업에 따른 해양 환경오염을 포함하고 있으며, 육상기원 유기물 오염, 해양수질 악화, 해저지형 변화, 생태계 파괴 등 다양한 환경요인에 영향을 주었다(Hong et al. 1997). 연안개발사업과 인접한 저서생태계는 환경오염에 따른 회복속도가 더디고, 수용체인 저서생물이 환경오염에 능동적으로 대처하지 못해 종 분포와 생물다양성 감소를 동반한다(Han et al. 2015). 반면, 해양환경 오염에 적응하고, 오염물질을 섭식하는 종의 경우, 환경오염을 기회로 분포와 개체수를 급속도로 증가시켜 해당 지역의 생태학적 지위를 우점한다(Pearson & Rosenberg 1978; Park & Yi 2002).

개발사업의 인위적인 해양오염 정도를 확인하기 위해서는 해양수질 및 퇴적물 내 오염물질 농도를 측정하는 직접적인 방법과 지시종(indicator species)의 출현분포 및 종 조성 특성을 통해 간접적으로 평가하는 방법이 있다(Lim & Hong 1994; Park & Yi 2002). 생물을 통한 환경오염 정도를 간접적으로 평가하는 방법은 대상 종의 생물학 및 생태학적인 특징에 대한 기초연구가 수반되어야 하고, 같은 공간에서 서식하는 중간 생태적 지위에 대한 정보 획득이 중요

하다(Lim & Hong 1994; Park & Yi 2002; Smith & Shackley 2006).

우리나라에서 저서 생태계에 서식하는 종에 대한 생물학 및 생태학적 연구는 1990년대부터 현재까지 많은 연구자들에 의해 연구되어 왔으며, 이러한 연구 결과를 통해 우리나라 연안 해양오염을 생물 출현양상을 통해 간접적으로 평가할 수 있는 기반이 만들어졌다(Pearson & Rogenberg 1978; Jeong et al. 2019; Yoon et al. 2009; Park & Yi 2002; Lim et al. 2007; Han et al. 2015). 또한, 국가적으로 관리가 필요한 어장 및 연안환경에 대해 세부적인 환경오염 기준 및 생물 출현양상을 통한 유지관리 방안 마련을 위한 선행연구들이 있다.

그러나, 아직까지 유기물 오염지표종의 출현양상을 통해 개발사업에 따른 우리나라 전 연안에 대한 해양오염을 평가한 연구가 전무하며, 향후 개발사업 계획 수립 및 환경영향평가 단계에서 활용할 수 있는 기초연구 자료가 미흡한 실정이다.

따라서, 본 연구자는 과거 개발사업 환경영향평가서 등의 유기물 오염지표종의 출현 분포를 분석하여, 우리나라 전 연안의 유기물 오염지표 수준을 확인하고, 조하대 유기물 오염지도를 작성하여, 향후 개발사업 입지타당성 평가 과정에서 활용할 수 있는 기초연구자료를 제공하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 유기물 오염지표종(Organic Pollution Indicators, OPI) 분석

개발사업에 따른 우리나라 연안 유기물 오염정도를 확인하고자, 동·서·남해 해역별 25개, chd 75개 환경영향평가 대상사업을 선정하였고, 해당 개발사업의 환경영향평가서 등을 조사하여 보고된 조하대 저서동물 조사결과와 단위면적에 따른 출현밀도(inds./m<sup>2</sup>)를 기초로 하였다(Figure 1).

유기물 오염지표종은 「어장환경평가의 방법 및 절차 등에 관한 규정」(국립수산과학원, 2017) “[별지3]

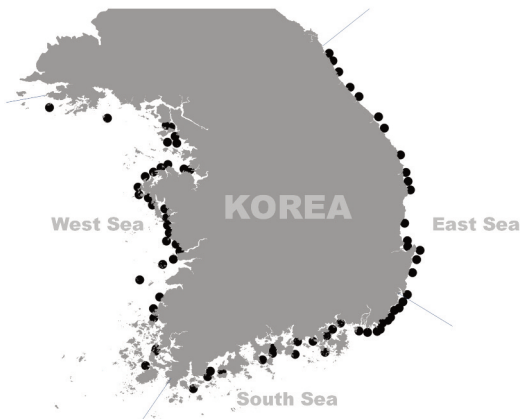


Figure 1. Location of study sites in Korea (75 sites).

저서건강도지수 산출 방법”에서 규정한, 다모류 그룹별 종 목록 중 그룹3 및 그룹4의 22개 종(species)을 15개 속(genus)으로 구분하여 사용하였다(Table 1).

유기물 오염정도는 대상 종 출현밀도를 통해 “저서건강도지수(BHI, Benthic Health Index)”을 산출하였고, 저서건강도 지수(BHI) 높고 낮음을 유기물 오염의 수준에 정비례하여 평가하였다. 저서건강도지수(BHI)의 산출방법은 같은 규정의 “저서동물 산출” 방법을 적용하였으며, 전 해역 조하대 저서생태계 유기물 오염정도를 상대적으로 비교하는 것이므로, 유기물 농도와 상관없이 출현하는 그룹1 및 그룹2의 종 목록은 본 연구에서 제외하였다.

총 75개 환경영향평가 등 대상사업장에 출현하는 유기물 오염지표종의 출현밀도를 통해 저서건강도지수(BHI)를 산출하였고, 산출한 저서건강도지수(BHI)를 개발사업별로 적용하여, 저서 생태계 유기물의 오염정도를 작성하였다.

### 2. 우리나라 연안 저서생태계 유기물 오염지도 작성

환경영향평가 등 대상사업장의 조사지점별 위치정보(GPS정보)를 이미지분석 프로그램인 Surfer ver. 14를 이용하여 작성하였고, 각 조사지점의 저서건강도지수(BHI)를 입력하여 각 종별 및 우리나라 전체의 조하대 유기물 오염지도를 작성하였다. 우리나라 전

Table 1. List of organic pollution indicators (OPI) of the fisheries environmental assessment in Korea

Group	Order name	Species name
3	Sabellidae	<i>Euchone alicaudata</i>
	Cirratulidae	<i>Aphelochaeta monilaris</i> , <i>Chaetozone setosa</i> , Cirratulidae sp., <i>Cirratulus cirratus</i> , <i>Cirriformia tentaculata</i>
	Lumbrineridae	<i>Lumbrineris longifolia</i>
	Nereidae	<i>Neanthes caudata</i> , <i>Neanthes succinea</i>
	Opheliidae	<i>Armandia lanceolata</i>
	Paraonidae	<i>Aricidea neosuecica nipponica</i>
	Pilargiidae	<i>Sigambra tentaculata</i>
	Spionidae	<i>Aquilaspio krusadensis</i> , <i>Minuspio multibranchiata</i> , <i>Paraprionospio coora</i>
	Terebellidae	<i>Amphitrite oculata</i> , <i>Thelepus toyamaensis</i>
4	Capitellidae	<i>Capitella capitata</i>
	Chaetopteridae	<i>Spiochaetopterus koreana</i>
	Dorvilleidae	<i>Dorvillea rudolphi</i>
	Spionidae	<i>Minuspio pulchra</i> , <i>Paraprionospio patiens</i>

해역의 조하대 유기물 오염지도를 통해 상대적인 유기물오염 수준을 확인하기 위해 저서건강도지수(BHI)를 백분율(%)로 환산하여 적용하였다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 해역 및 사업구분별 저서건강도지수(BHI, benthic health index)

유기물 오염지표종 출현 양상을 통해 해역별 저서 건강도지수를 분석한 결과, 서해역  $22.4 \pm 9.4$  BHI, 남해역  $27.4 \pm 4.7$  BHI 그리고 동해역  $22.2 \pm 8.3$  BHI로, 서해역과 동해역 조하대 유기물 오염수준이 비슷하고, 남해역에서 상대적으로 조하대 유기물 오염수준이 높은 것으로 확인되었으나, 해역별 조하대 유기물 오염수준의 차이가 통계학적으로 유의하지 않았다(Figure 2, P-value>0.5).

해역별 유기물 오염정도를 저서건강도지수(BHI)로 비교한 결과, Figure 2와 같이, 서해안과 동해안에 비해 상대적으로 남해안에서 유기물 오염지표종의 출현밀도가 높고, 서·동해안에서 유기물 오염지표종 출현밀도가 낮은 것으로 확인되었다. 본 연구결과와 같이, 유기물 오염정도가 남해안이 상대적으로 높은 이유는 Como et al.(2007), Kim et al.(2006), Choi et al.(2007), Jeong et al.(2019), Lim & Hong (1994), Park & Yi(2002), Munari et al.(2003), Pereira et al.(2004) 그리고 Lim et al.(2007) 등 국내외 다수의 연구결과와 동일하게 우리나라 남해안 연안이 반 폐쇄성 내만으로 이루어져 해저지형이 복잡하며, 이러한 복잡한 지형이 해수유통을 방해하고,

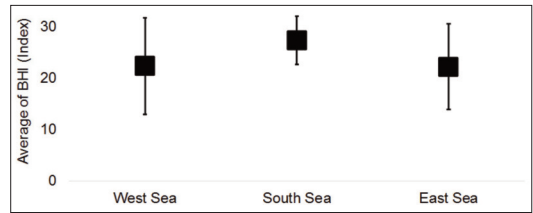


Figure 2. Comparison of benthic health index(BHI) by coast in Korea.

유기물 오염물질 정체가 시간이 장기화되는 것이 원인으로 판단된다. 반면, 남해안에 위치한 광양만 및 진해만의 경우, 산업단지의 확장과 물동량 증가에 따른 신규항만시설 조성을 위해 호안조성과 매립으로 해안선이 직선화되어 해수유통량이 증가하였으나, 해당 내만 해수유통 수로가 1개만 존재하는 것이 원인으로 작용하여 해당 연안의 해수유통이 정체되어 전체 유기물 오염정도가 지속적으로 증가하는 것이 원인으로 판단된다(Lim & Hong 1994).

본 연구에서 적용한 환경영향평가 개발사업은 7개 사업구분으로 나뉘지고, 항만의 건설사업이 40개로 가장 많았다(Table 2). 환경영향평가 사업구분별 저서건강도지수를 분석한 결과, 대부분의 개발공사가 육상부에서 이루어지는 폐기물 처리시설의 설치사업(Waste disposal facility)과 산업입지 및 산업단지의 조성사업에서 조하대 유기물 오염수준이 가장 높은 것으로 확인되었고, 대부분 해양부에서 공사가 이루어지는 개간 및 공유수면의 매립(Reclamation of public waters) 및 항만 건설사업(Harbor)의 조하대 유기물 오염수준이 높은 양상이었으나, 사업구분별 분석대상 표본수의 차이로 인해 통계학적으로 유의하지 않은 것으로 확인되었다(Table 2, P-value>0.5).

Table 2. Comparison of benthic health index (BHI) at each project for environmental impact assessment (EIA) in Korea

Projects for EIA	Number of cases	Average of BHI	Standard deviation
Tourism complex	5	8.0	3.3
Harbor	40	18.9	7.6
Industrial site	12	25.4	12.2
Energy sources	8	13.6	3.0
Waste disposal facility	2	28.1	14.2
Urban development	3	7.2	1.9
Reclamation of public waters	5	19.7	4.5

반면, 상대적으로 인위적인 교란이 적은 곳을 개발대상으로 하는 관광단지 개발사업(Tourism complex)과 에너지 개발사업(Energy source)의 조하대 유기물 오염수준이 상대적으로 낮았다(Table 2).

산업단지 내 폐수종말처리장 및 폐기물 매립시설 개발사업에서 유입된 유기물의 경우, Smith & Shackley(2006)의 연구보고와 같이, 다른 개발사업 유형에서 기인한 유기물에 비해 유기물 분해 기작이 복잡하고, 완전분해까지 걸리는 시간이 상대적으로 장기간이므로, 대상 해양퇴적물 내 유기물이 분해되지 못하고 점진적으로 축적된 것이 원인으로 판단된다. 또한, Choi et al.(2007)와 Lim et al.(2007)의 연구결과와 같이, 산업입지 및 산업단지의 개발사업은 부지조성 단계에서 다른 사업유형에 비해 상대적으로 나지형태의 넓은 부지가 조성되고, 입주업체가 100% 입주되기 이전까지 장기적으로 사업부지를 나지상태로 존치해야 하기 때문에 해당기간 동안 강우에 의해 지속적으로 해양에 토사가 유입되는 것이 원인으로 판단된다.

에너지 개발사업의 경우, Kailasam & Sivakami(2004)와 Bamber & Spencer(1984)가 연안에 온배수 방류로 인해 인근 식물 플랑크톤과 동물 플랑크톤의 분포가 증가하고, 증가된 플랑크톤의 사망함에 따라 해양퇴적물 내 유기물 함량이 증가하는 것을 원인으로 보고되었으나, 본 연구 대상해역 중 동해안의 경우, 선행연구 결과와 차이가 있는 것으로 확인되었다.

이러한 원인은 Kwon et al.(2017)의 연구결과와 동일하게 우리나라 동해안에 위치한 에너지 개발사업은 발전소가 위치한 해역이 개방형 해역으로 되어 있으며, 단조로운 수심구배로 용존산소량이 풍부한 것이 원인으로 작용하여 다른 사업구분에 비해 유기물 오염정도가 낮은 것으로 판단된다. 또한, 현재 대부분 발전소 배수구의 위치가 표층이 아니라, 저층에서 확산되는 심층배수로 설계되어 있어, 표층에 대부분 분포하는 플랑크톤 증감에 미치는 영향이 과거에 비해 감소한 것이 추가적으로 작용한 것으로 판단된다.

반면, 폐기물 처리시설의 설치사업과 도시의 개발사업의 경우, 해당 개발사업의 목적에 맞게 교통 인

프라 및 상업시설이 있는 내륙에 집중화되어 있어, 연안 개발사업을 중점으로 하는 본 연구에서 대상사업의 표본을 충분히 확보하지 못하였다. 따라서, 국내 연안에 위치한 폐기물 처리시설 설치사업장과 도시 개발사업장에 따른 조하대 유기물 오염지표종의 분포를 확인하기 위해서는 과거 사업구분별 충분한 선행조사 결과를 대상으로 조하대 유기물 오염지표종의 분포를 밝히는 연구가 추가적으로 수행되어야 할 것이다.

## 2. 유기물 오염지표종별 분포

75개 환경영향평가 대상사업 인근 해역에 출현한 유기물 오염지표종은 Table 1의 관련 법령에서 지시한 15개 속(genus)이 출현하는 것으로 확인되었고, 15개 속별 출현분포와 특성을 분석하여 지도로 작성하였다(Figure 3). 종별 출현분포를 통해 대부분의 유기물 오염지표종이 서해안의 당진, 태안 그리고 보령, 남해안의 여수 및 광양에서 우점하는 것으로 확인되었고, 동해안의 울산에서 우점하는 것으로 확인되었다(Figure 3). 유기물 오염지표종 중 *Lumbrineris* sp.의 경우, 전국 연안에서 우점하는 것으로 확인되었고, 출현밀도가 다른 유기물 오염지표종에 비해 상대적으로 높았다. 또한, 특정 해역에서만 출현하는 종으로 서해안에 *Aphelocheata* sp., *Neanthes* sp.이 확인되었고, 동해안에 *Aquilaspio* sp.이 확인되었다. 반면, 남해안은 해당 해역에만 서식하는 유기물 오염지표종이 없는 것으로 확인되었다(Figure 3).

## 3. 우리나라 연안 유기물 오염분포도

75개 환경영향평가 대상사업 인근 해역에 출현한 유기물 오염지표종의 밀도를 사용하여 우리나라 전체 저서건강도지수(BHI)를 산출하고, 우리나라 조하대 유기물 오염지도를 Figure 4와 같이 작성하였다. 조하대 유기물 오염정도는 주요 유역의 기수역이 위치한 서해안 중부해역의 태안, 당진, 서천 그리고 군산 지역에서 상대적으로 높았고, 남해안은 대규모 산업단지가 위치하는 반폐쇄성 내만으로 이루어진 여수와 광양 지역에서 상대적으로 높았다. 동해안 지역에서

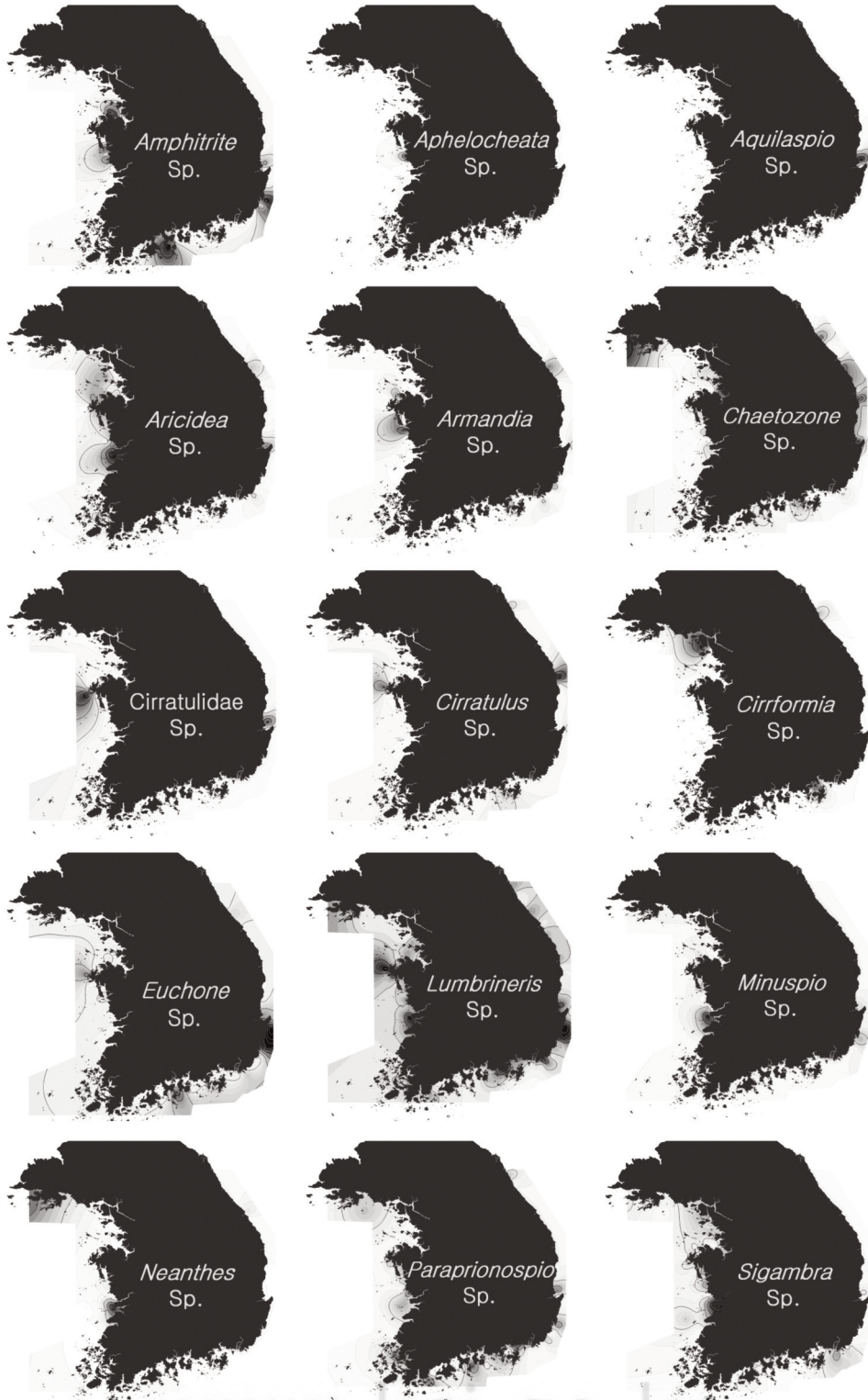


Figure 3. Distributions of organic pollution indicators by benthic health index (BHI) for species in Korea.

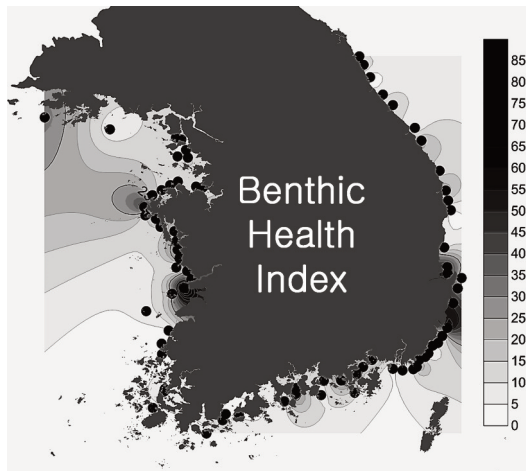


Figure 4. Benthic health index (BHI)-map of organic pollution levels in Korea.

대규모 산업단지과 발전소가 위치한 울산 및 포항 지역에서 상대적으로 높았다(Figure 4).

우리나라 연안 개발사업의 종류와 사업장에서 기원하는 오염물질이 다양하기 때문에 해양환경 사후환경영향조사 항목이 다양하다. 다양한 선행연구를 통해 이러한 다양한 조사 항목 중 연안 해양퇴적물 내 유기물 오염정도와 상관관계가 확인된 항목이 보고되었고, 해당 항목을 통해 유기물 오염지표종을 통한 해양 퇴적물 내 유기물 오염평가를 대신할 수 있을 것으로 판단된다(Han et al, 2015). 이러한 연안 해양퇴적물 내 유기물 오염정도를 간접적으로 확인할 수 있는 항목은 해양퇴적물 조성 중 실트질의 함량(Choi

et al, 2007), 산취발성 황화물(Como et al, 2007) 그리고 암모니아성 질소(Choi et al, 2013)인 환경질 요인과 식물플랑크톤 현존량(Jeong et al, 2019), 종 다양도(Han et al, 2015) 그리고 우점종 조성과 종 다양도 분석을 통해 확인 하는 ABC-method (Lim & Hong 1994)방법이 효과적인 것으로 보고되었다. 하지만, 사후환경영향조사 단계에서 앞의 조사항목을 모두 조사하는 것은 조사에 투입되는 인력과 비용이 한정되어 있기 때문에 앞으로의 모든 사후환경영향조사에 적용하는 것은 어려움이 있다.

따라서, 향후 개발계획을 수립한 사업자는 본 연구에서 제시한 우리나라 조하대 유기물 오염지도를 사용하여 향후 개발계획 대상 연안의 조하대 유기물 오염정도를 파악하고, 개발단계 이전부터 지속적으로 조하대 저서동물의 분포를 통해 저서건강도지수 (BHI)를 모니터링한다면, 다른 환경요인 모니터링에 비해 효과적으로 개발사업에 따른 연안 환경영향을 확인할 수 있을 것으로 판단된다.

우리나라 조하대 유기물 오염지도는 유기물 오염지표 중 중 *Lumbrineris* sp. 조하대 유기물 오염지도와 유사하고, 통계학적 유의수준에서 상관관계가 높은 (Strong) 것으로 확인되었다(Table 3, Spearman correlation,  $R_s > 0.6$ ,  $P\text{-value} < 0.01$ ). 이밖에 *Aricidea* sp.와 *Euchone* sp.가 유기물 오염지도와 연계성이 있는 것을 확인되나, 상관관계 정도가 무난한 (moderate) 단계로 상관관계 정도가 *Lumbrineris*

Table 3. Results of correlation analysis between the distribution of organic pollution indicators (OPI) and benthic health index (BHI) in Korea

Spearman's correlation analysis to OPI with BHI			
Species	Correlation index (Rs)	Species	Correlation index (Rs)
<i>Amphitrite</i> sp.	0.156	<i>Cirriiformia</i> sp.	-0.088
<i>Aphelochaeta</i> sp.	0.166	<i>Euchone</i> sp.	0.428**
<i>Aquilaspio</i> sp.	0.183	<b><i>Lumbrineris</i> sp.</b>	<b>0.728**</b>
<i>Aricidea</i> sp.	0.416**	<i>Minuspio</i> sp.	0.345**
<i>Armandia</i> sp.	0.100	<i>Neanthes</i> sp.	0.203
<i>Chaetozone</i> sp.	0.281*	<i>Paraprionospio</i> sp.	0.367**
<i>Cirratulidae</i> sp.	0.082	<i>Sigambra</i> sp.	0.242*
<i>Cirratulus</i> sp.	0.211	<i>Thelepus</i> sp.	0.294*

\* : P-value<0.05; \*\* : P-value<0.01

sp.에 비해 상대적으로 낮은 것으로 확인되었다 (Table 3, Spearman correlation,  $R_s < 0.5$ ,  $P$ -value  $< 0.01$ ).

많은 선행연구에서 *Lumbrineris* sp.는 생활사가 단주기적이고, 크기가 소형이므로, 오염지표 종으로 사용하는 것이 유용하고, 악화된 환경을 개선할 때에 즉각적인 반응을 일으키므로, 환경개선 정도를 간접적으로 확인하는 지표로서의 가능성을 보고하였다 (Shin et al. 2001; Lim & Hong 1994; Son et al. 2016; Lim & Choi 2001; Yoon et al. 2008).

따라서, 본 연구를 통해 개발사업 연안의 해양 퇴적물 내 유기물 오염정도를 평가하는 것에 널리 이용되는 저서건강도지수(BHI)와 *Lumbrineris* sp. 분포가 통계학적으로 상관성이 높은 것으로 확인되므로, 앞으로의 연안개발 이전에 이루어지는 환경영향평가 단계부터 *Lumbrineris* sp.의 변동량을 통해 대상해역 조하대 유기물 오염정도를 간접적으로 확인할 수 있을 것으로 판단된다. 반면, *Aricidea* sp.와 *Euchone* sp.의 출현분포가 국지적으로 특정지역에서 극우점하는 것으로 확인되어, 대상 종을 통해 조하대 유기물 오염정도를 평가하는 것에 어려움이 있을 것으로 판단된다.

#### IV. 결론

우리나라 연안의 인구 증가 및 산업화로 인한 높은 개발압력에 따라, 유기물 오염물질이 유입·축적된다 (Kim et al. 2006) 연구결과와 동일하게 본 연구결과에서도 개발사업이 집중되지 않은 지역에 비해 상대적으로 개발사업이 집중적으로 이루어진 하구역 및 반 폐쇄성 내만 해역에서 유기물 오염지표종이 높은 밀도로 출현하여 산업화와 연안 유기물 오염의 연계성을 확인할 수 있었다.

연안개발에 따른 연안 조하대 퇴적물 내 유기물오염은 개발사업 이전보다 개발사업 이후에 오염 부하량이 급격하게 증가하므로, 대상해역의 조하대 유기물 오염피해를 확인하기 위해서는 단주기적으로 실시되는 조하대 저서동물 모니터링 조사결과를 활용한 간접적 평가가 가장 효율적일 것으로 판단된다(Hong

et al. 1997; Park & Yi 2002). 더욱이, 연안 퇴적물 내 오염물질 중 사후환경영향조사에 포함된 항목은 대부분 해당 농도를 통해 퇴적물의 오염정도를 평가하는 1차원적인 분석만이 활용되므로, 해양 동·식물상 조사결과와 해양 퇴적물 항목별 조사결과와의 상관관계와 변동량을 확인하는 2차원적인 분석이 필요하다.

환경영향평가 및 사후환경영향조사 단계에서 개발사업 대상연안의 유기물 오염정도를 확인하는 것은 향후 개발사업에 따른 환경영향을 평가하는 것에 매우 중요한 기초자료이다. 따라서, 본 연구결과를 앞으로의 환경영향평가 및 사후환경영향조사 단계에서 기초자료로 활용하여 효과적으로 해양퇴적물 내 유기물 오염평가를 수행하고, 인력, 소요시간 그리고 비용 등 사업자 부담의 감소에 도움이 되기를 기대한다. 나아가, 다양한 분야에서 개발사업에 따른 연안 환경영향을 평가하는 기법에 대한 지속적인 연구가 이루어지길 바라며, 본 연구가 관련 연구계획 추진단계에서 참고자료로 활용되기를 기대한다.

#### References

- Bamber RN, Spencer JF. 1984. The benthos of a coastal power station thermal discharge canal. *Journal of the Marine Biological Association of the UK*, 64: 603-623.
- Choi JM, Woo HJ, Lee YG. 2007. Suspended sediments influx and variation of surface sediments composition in semi-enclosed bay spring season in Yeosu Bay, south coast of Korea. *Journal of the Society for Marine Environmental and Energy*, 10(1): 1-12.
- Choi MK, Kim HC, Hwang DW, Lee IS, Kim YS, Kim YJ, Choi HG. 2013. Organic enrichment and pollution in surface sediments from shellfish farming in Yeosu Bay and Gangjin Bay, Korea. *Journal of*

- the Society of Fisheries and Aquatic Science, 46(4): 424-436.
- Como S, Magni P, Casu D, Floris A, Giordani G, Natale S, Fenzi GA, Signa G, Falco GD. 2007. Sediment characteristics and macrofauna distribution along a human-modified inlet in the Gulf of Oristano. *Journal of Marine Pollution Bulletin*, 54: 733-744.
- Han HS, Ma CW, Choi MS. 2015. Ecological variations of macrobenthos in subtidal at Chonsu Bay in Chungcheongnam-do, Korea. *Korea Journal of Environment and Ecology*, 29(3): 421-430.
- Hong JS, Jung RH, Seo IS, Yoon KT, Choi BM, Yoo JW. 1997. How are the spatio-temporal distribution patterns of benthic macrofaunal communities affected by the construction of Shihwa dike in the west coast of Korea?. *Journal of the Society of Fisheries and Aquatic Science*, 30(5): 882-895.
- Jeong HH, Kang SD, Jung HJ, Jeong DJ, Oh JH, Choi SM, An YK, Choo HS, Choi SD, Kim SS, Kim PJ, Lee WC, Cho HS. 2019. The current status of eutrophication and suggestions of the purification and restoration on surface sediment in the northwestern Gamak Bay, Korea, 2017. *Journal of the Society for Marine Environmental and Energy*, 22(2): 105-113.
- Kailasam M, Sivakami S. 2004. Effect thermal effluent discharge on benthic fauna off Tuticorin Bay, south east coast of India. *Indian Journal of Marine Science*: 33(2), 194-201.
- Kim KT, Kim ES, Hwang KH, Chung KH, Cho SR, Park JK. 2006. Distribution and pollution history of heavy metals in sediments from a semi-enclosed bay of the south sea, Korea. *Journal of the Society for Marine Environmental and Energy*, Autumn Conference 59-66.
- Kwon SH, Yu OH, Lee HG. 2017. Community structure of macrobenthos around the thermal discharge area of Uljin nuclear power plant in the East sea, Korea. *Ocean and Polar Research*, 39(2): 125-148.
- Lim Hs, Choi JW. 2001. Macrobenthic community in the soft bottom around Sorido island, southern coast of Korea. *Journal of the Society of Fisheries and Aquatic Science*, 34: 225-237.
- Lim HS, Hong JS. 1994. An environmental impact assessment based on the benthic macrofauna in Jinhae Bay, Korea. *Journal of the Society of Fisheries and Aquatic Science*, 27(5): 659-672.
- Lim KH, Shin HC, Yoon SM, Koh CH. 2007. Assessment of benthic environment based on macrobenthic community analysis in Jinhae Bay, Korea. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 12(1): 9-23.
- Munari C, Modugno S, Ghion F, Castaldelli G, Fano EA, Rossi R, Mistri M. 2003. Recovery of the macrobenthic community in the valli di Comacchio, northern Adriatic sea, Italy. *Oceanologica Acta*, 26: 67-75.
- Park HS, Yi SK. 2002. Assessment of benthic environment conditions of oyster and mussel farms based on macrobenthos in Jinhae bay. *Journal of the Society for Marine Environmental and Energy*, 5(1): 68-75.
- Pearson TH, Rosenberg. 1978. Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Journal of Oceanography and Marine Biology-An Annual Review*, 16: 229-311.
- Pereira PMF, Black KD, McLusky DS, Nickell TD. 2004. Recovery of sediments after

- cessation of marine fish farm production. *Aquaculture Journal*, 235, 315-330.
- Shin HC, Yoon SM, Koh CH. 2001. Spatial distribution of benthic macrofaunal community in Ulsan bay and Onsan bay, eastern coast of Korea. *Journal of the Sea*, 6: 180-189.
- Smith J, Shackley SE. 2006. Effects of the closure of a major sewage outfall on sublittoral, soft sediment benthic communities. *Journal of Marine Pollution Bulletin*, 52: 645-658.
- Son MH, Jung JY, Kim CJ, Choi KY. 2016. Characteristics of Molluscan community structure and relationship between the structure and environmental variables in abyssal plain of the East sea. *Journal of the Malacological Society of Korea*. 32(4): 289-295.
- Yoon SP, Jung RH, Kim YJ, Kim SG, Choi MK, Lee WC, Oh HT, Hong SJ. 2009. Macrobenthic community structure along the environmental gradients of Ulsan Bay, Korea. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 14(2): 102-117.
- Yoon SP, Kim YJ, Jung RH, Moon CH, Hong SJ, Lee WC, Park JS. 2008. Benthic environments and macrobenthic polychaete community structure in the winter of 2005-2006 in Gamak Bay, Korea. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 13(1): 67-82.