

산 휘발성 황화물(AVS)과 저서다모류 군집 간의 상관관계 연구

이 정 호*

*안양대학교(교수)

A Study on the Correlation Between Acid Volatile Sulfide and Benthic Polychaete Communities

Jung-Ho LEE*

*Anyang University(professor)

Abstract

The purpose of this study was to investigate the distribution characteristics of benthic polychaete communities in Gwangyang Bay and to examine their relationship with sediment Acid Volatile Sulfide (AVS) concentrations. To analyze AVS and benthic polychaetes in the subtidal of Gwangyang Bay, a total of 12 seasonal field surveys were conducted at 7 stations from April 2010 to October 2013. The mean AVS concentration during the study period was 0.24 ± 0.08 mgS/g-dry. Total species number of benthic polychaetes was 83 species, and the mean density was 381 ± 99 ind./m². *Heteromastus filiformis* was the most dominant species, with a mean density of 83.8 ind./m², followed by *Sternaspis scutata* (57.7 ind./m²), *Prionospio* spp. (50.2 ind./m²), *Lumbrineris longifolia* (38.7 ind./m²), *Magelona japonica* (17.4 ind./m²). Spearman rank correlation analysis revealed that both density ($r = -0.322$, $p < 0.01$) and species number ($r = -0.568$, $p < 0.01$) of benthic polychaetes showed significant negative correlations with AVS concentrations. These results indicate that AVS concentration is closely associated with variations in the density and species composition of benthic polychaete communities and can be regarded as an important environmental factor reflecting structural changes in benthic ecosystems in Gwangyang Bay.

Key words : Gwangyang bay, Acid volatile sulfide, Correlation analysis, Benthic polychaeta

I. 서론

해저퇴적물 내 황은 공극수 중의 황산염, 황화수소, 황화물, 황산염 광물 및 유기황화물 등 아주 다양한 형태로 존재하고 있다(NIFS, 2023). 퇴적물의 환원 환경에서는 황산염 환원 등의 과정으로 생성된 황화물(Sulfide)이 중금속과의 결합을 통해 퇴적물 내 금속의 거동과 생물학적 이용 가능성을 조절하는 중요한 역할을 하며, 특히 산 휘발성 황화물(Acid Volatile Sulfide, AVS)는 화학

적 추출을 통해 정량화가 가능하다(Park et al., 2009). 산 휘발성 황화물은 퇴적물에서 중금속의 화학적 형태와 환경적 위해성을 조절하는 주요 화학 성분 중 하나이다(Zhuang and Gao, 2013). 또한 퇴적물 내에 유기물이 집적될 경우, 미생물에 의한 분해 과정에서 용존 산소가 소비되어 저산소 또는 혐기성 환경이 형성된다. 이러한 조건 하에서는 황산염 환원균(sulfate-reducing bacteria)의 활성이 증가하며, 그 결과 황화물 생성이 촉진되어 산 휘발성 황화물이 퇴적물 내에 축적된

* Corresponding author : 032-930-6035, leejh@anyang.ac.kr

다(Stanton, 2000; Hwang. et al., 2006; Park et al., 2009). 표층 퇴적물에서 산 휘발성 황화물의 농도 증가는 저서생물의 분포나 어장환경의 생태적 건강성에 큰 영향을 주는 중요한 화학적 지시자이다(Yokoyama, 2000; Hwang et al., 2006).

대형저서동물은 대부분 정착성이 강하고 이동 능력과 행동 반경이 제한적이어서 환경 변화에 능동적으로 대응하기 어려운 생물군이며, 퇴적환경 변화나 오염이 발생할 경우 그 영향이 군집 구조에 직접적으로 반영된다(Snelgrove and Butman, 1994; Yun et al., 2018; Ko et al., 2021; Lee et al., 2022). 특히 연성 퇴적물에 서식하는 대형저서동물은 섭식 및 굴착 활동을 통해 퇴적물 내 지화학적 특성을 변화시키며, 저질의 입도와 유기물 함량 등 환경 조건에 따라 독특한 군집을 형성함으로써 저서생태계의 구조와 기능에 중요한 역할을 수행한다(Fauchald, 1974; Conway, 1979). 이러한 생태적 특성으로 인해 대형저서동물 군집의 종조성과 구조 변화는 해양환경의 지속적 또는 급격한 변화 양상을 효과적으로 반영하고 있으며, 저서생태계의 변화와 건강도를 평가하는 핵심적인 생물학적 지시자로 활용되고 있다(Pearson and Rosenberg, 1978; Bilyard, 1987; Rakocinski et al., 2000; Wildsmith et al., 2011; Lee et al., 2022). 다모류(Polychaeta)는 다른 분류군에 비해 개체수와 종수가 풍부하며, 환경 교란에 빠르게 반응하고 폭넓은 영양단계를 이용하는 생태적 특성으로 연성기질 환경 변화를 잘 나타내는 분류군이다(Fauchald and Jumars, 1979; Tomassetti and Porrello, 2005; Sutherland et al., 2007; Belan, 2004; Yang and Shin, 2020).

저서다모류 군집 구조는 해양환경요인의 영향을 받아 변화하며, 수심, 수온, 염분농도, 용존산소, 유기물 함량 등 다양한 요인에 의해 군집의 분포와 조성이 달라지는 것으로 여러 연구에서 보고 되었다(Weston, 1990; Je et al., 2000; Yang and Shin, 2020; Park and Shin, 2022; Kim et al., 2024; Choi and Koh, 1990). 그러나 저서다모류의

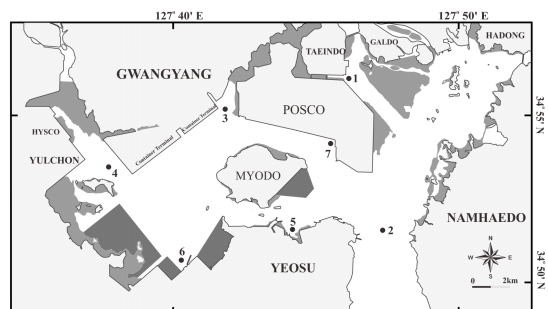
분포에 중요한 영향을 미치는 해양환경요인인 산 휘발성 황화물과의 관계를 다룬 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 광양만 해역에서 저서다모류의 분포 특성을 알아보고, 산 휘발성 황화물 농도와 저서다모류 군집간의 상관관계를 파악하고자 한다. 또한 산업시설이 밀집된 해역에서 산 휘발성 황화물이 퇴적물에 축적될 경우 저서다모류 군집에 미치는 영향을 이해하기 위한 기초 자료를 제공하고자 한다.

II. 연구 방법

우리나라 남해 중부해역에 위치한 광양만 조하대에서 AVS와 대형저서동물을 파악하기 위해 2010년 4월부터 2013년 2월까지 계절별로 총 12회 현장 조사를 수행하였다(<Table 1>). 조사 정점은 다양한 하천이 유입되는 해역, 여수산단과 광양제철이 밀집된 해역으로 총 7개 정점을 선정하였다([Fig. 1]).

<Table 1> Sampling schedule of benthic surveys in Gwangyang Bay.

Year	Month
2010	April, July, October
2011	February, April, July, October
2012	February, April, July, October
2013	February



[Fig. 1] Map showing the study area and sampling sites in Gwangyang Bay.

각 조사 정점에서 저서다모류는 표면적 0.1m^2 의 van Veen grab sampler를 이용하여 총 2회씩 반복하여 퇴적물을 채취한 후 선상에서 망목 1.0mm 체를 이용하여 해수로 퇴적물을 씻어 내었다. 남은 잔존물은 10% 중성 포르말린으로 고정하여 실험실로 운반하였다. 남은 잔존물은 실험실에서 저서다모류만을 선별하였으며, 이후 실험체현미경과 해부현미경을 이용하여 종 수준까지 동정한 뒤 종별로 계수하였다.

산 휘발성 황화물은 정점별로 선상에서 van Veen grab sampler를 이용하여 퇴적물을 채취하였다. 채취한 퇴적물은 실험실로 운반한 즉시 실험을 진행하였으며, 약 2 g의 시료를 정밀 저울로 계량하여 황화수소(H_2S) 발생관에 투입하였다. 이후 황산 2 mL를 주입한 뒤 기체가 외부로 유출되지 않도록 발생관의 뚜껑을 밀폐하였다. 그 후 펌프를 이용해 발생하는 황화수소를 검지관으로 흡수시키고, 검지관의 변색 정도를 통해 황화수소 농도를 측정하였다.

저서다모류 군집의 다양성을 분석하기 위해 종 다양성 지수 H' (Shannon-Wiener diversity index)를 구하였으며, 분석시 사용한 프로그램 Primer 5 software 이었다.

저서다모류 군집과 산 휘발성 황화물(AVS)간의 상관관계를 알아보기 위하여 Spearman 서열상관계수(Spearman rank correlation analysis)를 분석하였다. 논문에서 자료 분석시 활용한 프로그램은 SPSS ver. 30.0(IBM, USA) 이었다.

Ⅲ. 연구 결과

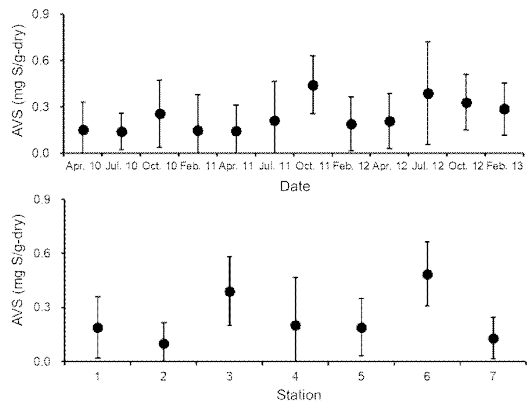
1. 산 휘발성 황화물(AVS)

광양만 해역에서 산 휘발성 황화물(AVS) 농도는 전 조사시기 동안 평균 0.24 ± 0.08 mgS/g-dry로 나타났다(<Table 2>). 조사시기별로 살펴보면, 2011년 10월에 산 휘발성 황화물(AVS) 농도가 평균 0.44 ± 0.14 mgS/g-dry로 가장 높게 나타났으

<Table 2> Acid Volatile Sulfide(AVS) in sediments and ecological characteristics of benthic polychaetes during the study period in Gwangyang Bay.

Environment/Ecological Parameters	Mean $\pm$ S.D.
Acid Volatile Sulfide (mgS/g-dry)	0.24 ± 0.08
Total Species Number	83
Mean Species Number(spp./ 0.2m^2)	14 ± 2
Mean Density(ind./ m^2)	381 ± 99

며, 가장 낮은 농도는 2010년 7월에 0.14 ± 0.09 mgS/g-dry이었다. 조사 정점별로 살펴보면, 여수 산단이 밀집해 있는 정점 6번에서 평균 0.48 ± 0.18 mgS/g-dry로 가장 높게 나타났으며, 주수로 해역에 위치한 정점 2번에서 평균 0.10 ± 0.11 mgS/g-dry로 가장 낮은 농도를 보였다([Fig. 2]).



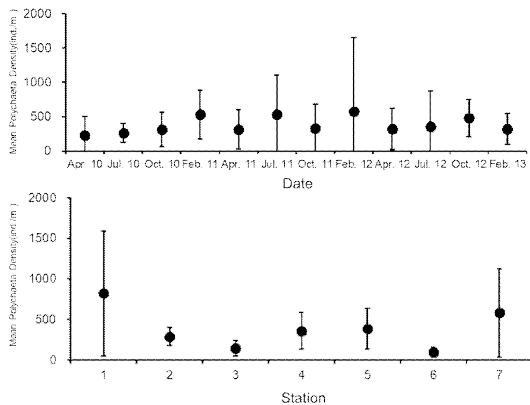
[Fig. 2] Temporal and spatial variations of AVS concentrations during the study period in Gwangyang Bay.

본 연구 지역 인근 해역인 가막만, 여자만과 득량만에서 보고된 산 휘발성 황화물(AVS) 농도는 각각 0.113 ± 0.177 mgS/g-dry, 0.070 ± 0.068 mgS/g-dry, 0.175 ± 0.168 mgS/g-dry로 나타났으며, AVS 농도가 상대적으로 높은 정점은 모두 만 내

부에 위치한 정점으로 보고되었다(Koo et al., 2019). 본 연구지역의 AVS 농도는 다른 내만 해역에 비해 전반적으로 높은 수준을 보이는 것으로 나타났다.

2. 저서다모류 분포

본 연구지역인 광양만에서 조사기간동안 출현한 저서다모류의 출현종수는 총 83종/16.8m² 이며, 평균 서식밀도는 381±99 개체/m² 이었다(<Table 1>). 조사시기별로 살펴보면, 2012년 2월에 평균 576±1,080 개체/m²로 다른 조사시기에 비해 가장 높은 값을 보였으며, 2010년 4월에는 평균 228±272 개체/m²로 가장 낮은 값이 나타났다. 조사시기별로 평균 서식밀도의 변동 폭은 크지 않은 것으로 보인다. 조사 정점별로 살펴보면, 광양 태인도에 시멘트공장이 밀집해 있는 정점 1번에서 평균 820±770 개체/m²로 다른 조사 정점에 비해 가장 높은 값을 보였으며, 광양 컨테이너 부두에 위치한 정점 3번에서 평균 142±85 개체/m²로 가장 낮은 값이 나타났다([Fig. 3]).



[Fig. 3] Temporal and spatial variations of Mean Polychaeta Density during the study period in Gwangyang Bay.

인근 해역에서 보고된 출현종수는 가막만 84종(Shin, 1995), 여자만 122종(Lim, 2015), 득량만 100종(Shin and Kim, 2002)이다. 본 연구결과와

비교해 보면 가막만과는 비슷한 종수를 보였으나 여자만과 득량만에 비해서는 상대적으로 낮은 출현종수가 나타났다. 이러한 차이는 저서다모류의 출현종수가 정점당 채집 횟수, 정점 수, 조사시기 및 조사 횟수등 조사 조건의 차이로 보인다.

저서다모류의 서식밀도는 가막만 253 개체/m²(Shin, 1995), 여자만 1,543 개체/m²(Lim, 2015), 득량만 138 개체/m²(Shin and Kim, 2002)로 보고되었다. 본 연구 결과와 비교해 보면 여자만을 제외하고 가막만과 득량만에 비해 상대적으로 높은 서식밀도를 보였다. 여자만은 별교천 기수역까지 현장조사가 이루어져 기수종이 포함되어 서식밀도가 높게 나타난 것으로 판단된다. 가막만은 여름철에 발생하는 빈산소 수괴의 영향으로 서식밀도가 제한되었으며, 득량만은 출현종수가 상대적으로 많아 특정 우점종의 밀도가 낮게 나타난 것으로 판단된다.

3. 저서다모류의 우점종

본 조사해역인 광양만에서 채집된 저서다모류 중 전체 개체수의 2% 이상을 차지한 우점종은 총 9종이었으며, 이들 종이 전체 저서다모류 개체수의 76.0%를 차지하는 것으로 나타났다. 최우점종인 다모류는 고리버들갯지렁이(*Heteromastus filiformis*)이며, 서식밀도는 83.8 개체/m²이었다. 출현빈도는 모든 시기와 정점에 출현하는 양상을 보였다. 다음 우점종으로는 오뚜기갯지렁이(*Sternaspis scutata*) 57.7 개체/m², 얼굴갯지렁이류(*Prionospio* spp.) 50.2 개체/m², 송곳갯지렁이류(*Lumbrineris longifolia*) 38.7 개체/m², 양손갯지렁이류(*Magelona japonica*) 17.4개체/m² 순으로 나타났다(<Table 3>). 본 연구에서 출현한 상위 우점종은 우리나라의 내만 해역에서 지속적으로 높은 밀도로 출현하는 종이며, 잠재적 유기물 오염지시종으로 보고되었다(Lim et al., 1992; Kim et al., 2005; Lim, 2015). 또한 1983년 하계와 1984년 동계에 광양 제철소 건설 진행 중이던 해역에서 저

저서다모류 군집을 조사한 연구 결과에서도 *H. filiformis*, *S. scutata*, *L. longifolia*, *S. tentaculata*, *Glycinde* sp.가 상위 우점종으로 출현한 것으로 보고되었다(Jung et al., 1997).

<Table 3> Mean Density, Percentage and frequency of dominant benthic polychaetes species during the study period in Gwangyang Bay.

Species	Mean Density (ind./m ²)	%	Freq.
<i>Heteromastus filiformis</i>	83.8	22.0	78
<i>Sternaspis scutata</i>	57.7	15.1	53
<i>Prionospio</i> spp.	50.2	13.1	59
<i>Lumbrineris longifolia</i>	38.7	10.1	53
<i>Magelona japonica</i>	17.4	4.6	54
<i>Sigambra tentaculata</i>	13.9	3.6	65
<i>Glycera chirori</i>	11.2	2.9	59
<i>Glycinde</i> sp.	8.8	2.3	40
<i>Aricidea</i> spp.	8.3	2.2	47

이러한 결과를 종합해 보면 광양만의 저서다모류 우점종은 과거 조사결과와 비교하여 큰 변화가 없는 것으로 판단되며, 향후 광양만 저서생태계의 장기적 변동을 파악하는데 중요한 기초자료로 제공될 것으로 보인다.

4. 상관분석

퇴적물 내 산 휘발성 황화물(AVS)과 대형저서다모류 군집간의 상관분석을 파악하기 위하여 Spearman rank correlation coefficient로 알아보았다(<Table 4>). AVS농도와 저서다모류 군집간의 상관관계를 분석한 결과, 서식밀도($r=-0.322$, $P<0.01$)와 출현종수($r=-0.568$, $P<0.01$)는 AVS 농도와 유의한 음의 상관관계가 나타났다. 이는 퇴적물 내 황화물 농도가 증가할수록 저서다모류의

서식밀도와 출현종수가 감소하는 경향이 뚜렷하다는 것을 의미한다.

<Table 4> Spearman rank correlation coefficients between Acid Volatile Sulfide(AVS) and ecological characteristics of benthic polychaetes in Gwangyang bay.

	AVS
Polychaeta density	-0.322**
Polychaeta Species No.	-0.568**
Dominant polychaete species	
<i>Heteromastus filiformis</i>	-0.077
<i>Sternaspis scutata</i>	-0.172
<i>Prionospio</i> sp.	0.019
<i>Lumbrineris longifolia</i>	-0.244*
<i>Magelona japonica</i>	-0.213
<i>Sigambra tentaculata</i>	-0.128
<i>Glycera chirori</i>	-0.205
<i>Glycinde</i> sp.	-0.273*
<i>Aricidea</i> spp.	-0.268*

** $P<0.01$, * $P<0.05$

AVS농도와 저서다모류 우점종 간의 상관관계를 보면 *L. longifolia*($r=-0.244$, $P<0.05$), *Glycinde* sp.($r=-0.273$, $P<0.05$), *Aricidea* spp.($r=-0.268$, $P<0.05$)는 AVS 농도와 유의한 음의 상관관계를 보였다. 반면 상위 우점종인 *H. filiformis*, *S. scutata*, *Prionospio* spp.는 AVS 농도와의 상관관계가 통계적으로 유의하지 않았다. 이러한 결과는 저서다모류 우점종 간에도 퇴적물 내 산 휘발성 황화물 농도 변화에 대한 반응이 다르다는 것을 보여주었다. 일부 우점종은 AVS 농도의 증가에 따라 서식밀도가 감소하는 경향을 보였으며, 이는 산 휘발성 황화물 축적에 비교적 민감하게 반응하는 종이라고 사료된다. 반면, *H. filiformis*, *S. scutata*, *Prionospio* spp.와 같은 상위 우점종들은 AVS 농도 변화와 통계적으로 유의한 상관관계를 나타내지 않았으며, 이는 산 휘발성 황화물

농도 변화에 대해 비교적 높은 내성을 지닌 것으로 판단된다. 이러한 중별 반응 차이는 저서다모류 군집 구조가 단일 환경요인에 의해 결정되어 변화하기보다는 각 종의 생리적 특성 및 서식 전략에 따라 다르게 반응하고 있다고 판단된다.

광양만 저서다모류 군집의 종 다양도지수는 조사 시기별로 큰 변동 없이 비교적 제한된 범위 내에서 나타났다. 조사 기간 중 가장 낮은 값은 2012년 10월에 1.38로 나타났으며, 가장 높은 값은 2010년 7월에 2.17로 나타났다. 정점별 보면 광양만 안쪽에 위치한 정점 3번에서 가장 낮은 값인 1.29가 나타났으며, 외해에 위치한 정점 2번에서 가장 높은 값인 2.48이 확인되었다.

유럽연합의 WFD(Water Framework Directive)에서 제시한 종 다양도지수(H')의 기준을 활용하여 생태등급을 구분하였으며, 이는 다음과 같다. $H' > 4$ 는 1등급(High), $H' \leq 4$ 는 2등급(Good), $H' \leq 3$ 는 3등급(Moderate), $H' \leq 2$ 는 4등급(Poor), $H' \leq 1$ 는 5등급(Bad)으로 평가한다(Blanchet et al., 2008; Han, 2018). 본 연구에서 광양만의 다양도지수는 전 조사 시기 및 모든 정점에서 1.29~2.48 범위로 나타나 3-4등급(Moderate-Poor)에 해당하였다. 이는 본 해역의 저서다모류 군집이 생태적으로 양호한 상태라기보다는 일정 수준의 교란 상태라고 판단된다.

기존에 보고된 연구 결과를 살펴보면, 저서다모류의 출현종수와 서식밀도는 AVS 농도와 상 상관관계가 산업단지 밀집도가 낮고 해수 유입이 원활한 해역에서는 뚜렷하게 나타나지 않는 반면, 산업단지 밀집도가 높고 해수 유입이 제한된 해역에서는 음의 상관관계를 보이는 경향이 확인된다(Kim, 2017; Jeong, 2018; Kim, 2018; Kim, 2019). 이러한 경향은 본 연구에서 분석된 자료에서도 유사하게 나타났으며, 이는 퇴적물 내 AVS 농도의 지속적인 증가는 저서다모류 군집 구조에 영향을 미치는 중요한 환경 요인으로 작용하는 것으로 판단된다.

광양만에서 측정된 AVS 농도의 증감은 여러

하천으로부터 유입되는 담수의 영향을 받아 형성되는 영양단계 변화와 밀접한 관련을 보인다. 특히 섬진강 유입수의 영향으로 광양만은 계절적으로 부영양화 상태를 반복하는 해역이며, 여름철에는 DIN과 클로로필-a 농도의 증가와 함께 수질 악화가 뚜렷하게 나타난다(Lee et al., 2004; Kim et al., 2014). 이러한 영양단계의 상승은 수층에서의 1차 생산력 증가를 유도하고, 생성된 유기물의 침강을 통해 저층 환경에 영향을 미친다. 이러한 영향으로 인하여 저층에서는 용존산소 농도의 감소와 함께 환원성 물질의 축적 가능성이 증가하며, 이는 저서생태계에 잠재적인 저산소 스트레스 요인으로 작용할 수 있다. 따라서 광양만의 저서생태계 구조는 수층 영양단계 변화와 밀접하게 연관되어 있으며, 영양단계의 증가는 유기물 침강과 저층 환경 악화(AVS 증가 및 DO 감소)를 통해 저서동물 군집의 구조와 기능군 조성에 영향을 미치는 주요 요인 중 하나로 해석된다.

IV. 결론

본 연구는 여수산업단지 가동, 항만 개발 및 지속적인 준설 활동이 집중적으로 이루어지고 있는 광양만 해역을 대상으로 저서다모류 군집을 활용한 생태등급을 평가하였다. 연구결과, 본 해역은 3-4등급에 해당하는 것으로 나타나 저서환경이 인위적 교란의 영향을 받고 있는 상태임을 알 수 있었다.

또한 퇴적물 내 산 휘발성 황화물(AVS) 농도와 저서다모류 군집 구조 간의 상관관계를 분석한 결과, AVS가 저서다모류 군집에 영향을 주는 환경 요인임을 확인하였다. 특히 저서다모류의 서식밀도와 출현종수는 AVS 농도 증가에 따라 유의하게 감소하는 경향을 보였으며, 일부 우점종에서는 AVS 농도 변화에 대한 중별 반응 차이가 나타났다. 이는 저서다모류 군집 구조가 단일 환경요인에 의해 일률적으로 변화하기보다는 각

종의 생리적 특성과 서식 전략에 따라 차별적으로 반응함을 의미한다.

한편, 본 연구에 사용된 자료는 2010~2013년 동안 수집된 자료로서, 최근 환경 변화를 직접적으로 반영하지 못하는 시간적 한계를 지닌다. 따라서 본 연구 결과는 현재 시점의 광양만 환경 상태를 평가하는 데 직접 적용되기보다는 AVS 농도 증가에 따른 저서다모류 군집 변화의 일반적인 경향과 생태학적 반응 메커니즘을 설명하고자 한다. 향후 동일 해역 또는 내만 해역에서 수행될 최신 자료 기반 연구 및 장기 모니터링 결과와의 비교를 위한 기초 자료로 활용되는 데 의의가 있다.

References

- Belan TA(2004). Marine environmental quality assessment using polychaete taxocene characteristics in Vancouver Harbour. *Mar. Environ. Res.*, 57, 89~101.
[http://dx.doi.org/10.1016/S0141-1136\(03\)00062-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0141-1136(03)00062-X)
- Bilyard GR(1987). The value of benthic infauna in marine pollution monitoring studies. *Mar. Poll. Bull.*, 18(11), 581~585.
[https://doi.org/10.1016/0025-326X\(87\)90277-3](https://doi.org/10.1016/0025-326X(87)90277-3)
- Blanche H, Lavesque N, Ruellet T, Dauvin JC, Sauriau PG, Desroy N, Desclaux C, Leconte M, Bachelet G, Janson AL, Bessineton C, Duhamel S, Jourde J, Mayot S, Simon S and Montaudouin X(2008). Use of biotic indices in semi-enclosed coastal ecosystems and transitional waters habitats -implications for the implementation of the European Water Framework Directive, *Ecol. Indic.*, 8(4), 360~372.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2007.04.003>
- Choi JW and Koh CH(1990). Distribution Pattern of Polychaete Worms on the Continental Shelf and Slope of the East Sea(southwestern Sea of Japan), Korea. *J. Oceanol. Soc. Korea*, 25(1), 36~48.
- Conway MS(1979). Middle Cambrian polychaetes from the Burgess Shale of British Columbia. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 285(1,007), 227~274.
- <https://doi.org/10.1098/rstb.1979.0006>
- Fauchald K(1974). Polychaete phylogeny: A problem in protostome evolution. *Systematic Zoology*, 23(4), 493~506.
<https://doi.org/10.2307/2412467>
- Fauchald K and Jumars PA(1979). The diet of worms: A study of polychaete feeding guilds. *Oceanogr. Mar. Biol.*, 17, 193~284.
- Han AR(2018). Comparison of ecological indices performance for benthic ecological health assessment in Korean coasts. Anyang University, M.S. thesis, 91.
- Hwang DW, Jin HG, Kim SS, Kim JD, Park JS and Kim SG(2006). Distribution of organic matters and metallic elements in the surface sediments of Masan Harbor, Korea. *Journal of the Korean Fisheries Society*, 39(2), 106~117.
<https://doi.org/10.5657/kfas.2006.39.2.106>
- Je JG, Lee JH, Lim HS and Choi JW(2000). Distributional Pattern of Macrobenthic Invertebrates on the Shallow Subtidal Sandy Bottoms near Kangrung, East Coast of Korea. 'The Sea,' The Journal of the Korean Society of Oceanography, 5(4), 346~356.
- Jeong BG(2018). Spatio-temporal variations of benthic polychaetous community on the coastal of Ulsan. Chonnam National University, M.S. thesis, 94.
- Jung RH, Hong JS and Lee JH(1998). Spatial and seasonal patterns of polychaete community during the reclamation and dredging activities for the construction of the Pohang Steel Mill Company in Kwangyang Bay, Korea. *J. Korean Fish. Soc.*, 30(5), 730~743.
- Kim DK, Baek SH, Yoon DY, Kim KH, Jeong JH, Jang PG and Kim YO(2014). Water Quality Assessment at Jinhae Bay and Gwangyang Bay, South Korea. *Ocean Sci. J.*, 49(3), 251~264.
<https://doi.org/10.1007/s12601-014-0026-5>
- Kim JG, Kim HS, Yang DW and Lee JH(2024). Community Structure and Health Assessment of Macrobenthos in the Geum River Estuary, Korea. *Journal of fisheries and marine sciences education*, 36(2), 437~448.
<https://doi.org/10.13000/JFMSE.2024.4.36.2.437>
- Kim YH, Shin HC and Lim KH(2005). Distribution of Benthic Polychaeta Community in Yoja Bay,

- Korea. J. Kor. Fish. Soc., 38(6), 399~412.
<https://doi.org/10.5657/kfas.2005.38.6.399>
- Kim SH(2018). Spatio-temporal variations of benthic polychaetous community on the coastal Gochang. Chonnam National University, M.S. thesis, 98.
- Kim YJ(2019). Spatio-temporal variations of benthic polychaetous community on the coastal of Yeonggwang. Chonnam National University, M.S. thesis, 81.
- Kim YJ(2017). Fluctuation of Benthic Environment and Benthic Polychaete Community in Hypoxia Waters of Jinhae Bay. Chonnam National University, M.S. thesis, 149.
- Ko J, Lee S and Lee MJ(2021). Response of Macrozoobenthos Community to the Benthic Environmental Changes in Saemangeum Intertidal Area, South Korea. The Korean Society for Fisheries and Marine Sciences Education, 33(1), 234~249.
<https://doi.org/10.13000/jfmse.2021.2.33.1.234>
- Koo JH, Lee G, Hwang H, Kim JB, Kim SS and Hwang DW(2019). Distribution of organic matter and heavy metals in the surface sediments from fishery resources protection areas in the southwestern coast of Korea. Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, 25(6), 666~677.
<https://doi.org/10.7837/kosomes.2019.25.6.666>
- Lee YS, Yu J, Kwon KY, Choi YK and Cho ES(2004). Spatial Variations of Limiting Nutrient on Phytoplankton Growth in the Gwangyang Bay, Korea. Journal of Korean Society of Environmental Engineers, 26(8), 890~895.
- Lee JH, Lim HS, Shin HC and Ryu J(2022). Spatial Distribution of Macrozoobenthic Organisms along the Korean Coasts in Summer Season. J. Korean Soc. Oceanogr., 27(2), 87~102.
<https://doi.org/10.7850/jkso.2022.27.2.087>
- Lim HS(2015). Spatial Distribution of Soft Bottom Macrozoobenthos of Yeosu Bay in Summer Season, South Coast of Korea. 「The Sea」 Journal of the Korean Society of Oceanography, 20(2), 78~91.
<http://dx.doi.org/10.7850/jkso.2015.20.2.78>
- Lim HS, Choi JW, Je JG and Lee JH(1992). Distribution pattern of macrozoobenthos at the farming ground in the western part of Chinhae Bay, Korea. J. Korean Fish. Soc., 25(2), 115~132.
- National Institute of Fisheries Science(NIFS), Ministry of Oceans and Fisheries (MOF). (2023). Standard methods for marine sediment (Appendix 2). 33~41.
- Park SW and Shin HC(2022). Community Structure of Macrobenthic Polychaetes and Its Health Assessment in Ulsan Coastal Area of Korea During 2010s. J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy. 25(1), 41~52.
<https://doi.org/10.7846/jkosmee.2022.25.1.41>
- Park SY, Hwang KY, Lee NJ, Yoon YS, Lee SH, Kim IK, Yu KK and Hwang I(2009). Characteristics of Sulfides Distribution and Formation in the Sediments of Seonakdong River. Journal of Korean Society of Water and Wastewater, 23(6), 843~853.
- Pearson TH and Rosenberg R(1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. Oceanogr Mar Biol Ann Review, 16, 229~311.
- Rakocinski CF, Brown SS, Gaston GR, Heard RW, Walker WW and Summers JK(2000). Species-abundance-biomass responses by estuarine macrobenthos to sediment chemical contamination. Journal of Aquatic Ecosystem Stress and Recovery, 7, 201~214.
<http://dx.doi.org/10.1023/A:1009931721009>
- Shin HC(1995). Benthic Polychaetous Community in Kamak Bay, Southern Coast of Korea. The Journal of the Korean Society of Oceanography, 30(4), 250~261.
- Shin HC and Kim YH(2002). Spatial distribution of Benthic Polychaetous Communities in Deugryang Bay, Southern Coast of Korea. 「The Sea」 Journal of the Korean Society of Oceanography, 7(1), 20~31.
- Snelgrove PRV and Butman CA(1994). Animal-sediment relationships revisited: cause versus effect. Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev., 32, 111~177.
- Stanton MR(2000). Trace metal and acid-volatile sulfide concentrations in sediments from the Forest Queen wetland near Silverton, Colorado: Implications for the removal of metals from acid drainage waters. U.S. Geological Survey Open-File Report, 115.
- Sutherland TF, Levings CD, Petersen SA, Poon P and Piercey B(2007). The use of meiofauna as an indicator of benthic organic enrichment associated with salmonid aquaculture. Mar. Pollut. Bull.,

- 54(8), 1249~1261.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.03.024>
- Tomassetti P and Porrello S(2005). Polychaetes and indicator of marine fish farm organic enrichment. *Aquaculture International*, 13, 109~128.
<https://doi.org/10.1007/s10499-004-9026-2>
- Weston DP(1990). Quantitative Examination of Macrobenthic Community Changes along an Organic Enrichment Gradient. *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 61, 223~244.
<https://doi.org/10.3354/meps061233>
- Wildsmith MD, Rose TH, Potter IC, Warwick RM and Clarke KR(2011). Benthic macroinvertebrates as indicators of environmental deterioration in a large microtidal estuary. *Mar. Pollut. Bull.*, 62(3), 525~538.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2010.11.031>
- Yang JK and Shin HC(2020). The Influence of the Dissolved Oxygen of Bottom Water on the Temporal Variation of the Benthic Polychaetous Community Structure in Dangdong Bay. *Ocean and Polar Research*. 42(3), 233~247.
<https://doi.org/10.4217/OPR.2020.42.3.233>
- Yokoyama H(2000). Environmental quality criteria for aquaculture farms in Japanese coastal areaa new policy and its potential problems. *Bull. Natl. Res. Inst. Aquacult.*, 29, 123~134.
- Yun JS, Choi BM, Na JH, Lee JW, Lee SJ and Seo IS(2018). A comparative study of macrobenthic community structure in the farming grounds, Tongyeong, southern coast of Korea: Focusing on biological and geomorphological conditions. *The Korean Society for Fisheries and Marine Sciences Education*, 30(5), 1565~1577.
<http://dx.doi.org/10.13000/JFMSE.2018.10.30.5.1565>
- Zhuang W and Gao X(2013). Acid-volatile sulfide and simultaneously extracted metals in surface sediments of the southwestern coastal Laizhou Bay, Bohai Sea: Concentrations, spatial distributions and the indication of heavy metal pollution status. *Marine Pollution Bulletin*, 76(1-2), 128~138.
<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2013.09.016>

-
- Received : 08 January, 2026
 - Revised : 19 February, 2026
 - Accepted : 25 February, 2026