

하계 무안만 조하대 저서동물군집 특성 및 AZTI의 해양생물지수(AMBI)와 수질평가지수(WQI)를 이용한 건강성 평가

오준호¹ · 이경선^{2*}

¹목포해양대학교 대학원 해양시스템공학과

²목포해양대학교 환경·생명공학과

Characteristics of Macro Benthic Community in the Subtidal Zone of Muan Bay on Summer and Health Assessment by using AZTI Marine Biotic Index (AMBI) and Water Quality Index (WQI)

Jun Ho Oh¹, Kyoung Seon Lee^{2*}

¹Department of Ocean System Engineering, Graduate School, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

²Department of Environmental Engineering & Biotechnology, Mokpo National Maritime University, Mokpo 58628, Korea

Corresponding Author

Kyoung Seon Lee

Department of Environmental Engineering
& Biotechnology, Mokpo National Maritime
University, Mokpo 58628, Korea

E-mail : kslee@mmu.ac.kr

Received : April 25, 2022

Revised : April 26, 2022

Accepted : May 26, 2022

저서동물은 저서환경특성을 나타내는 중요한 지시자로 알려져 있다. 본 연구에서는 무안만 조하대의 환경 및 저서동물의 분포특성을 조사하였으며, 수질평가지수(WQI)와 저서생물지수(AMBI)를 이용하여 저서생태계 건강성을 평가하였다. 현장채집은 2019년 하계 무안만 조하대의 10개 정점에서 이루어졌다. 무안만 조하대는 상부지역이 하부지역에 비해 세립한 입도특성을 나타내고 있었으며, 높은 유기물 함량을 보였다. 일부 정점에서 오염지표종인 *Musculista senhousia*, *Theora fragilis* and *Lumbrineris longifolia*과 같은 종들도 우점을 나타내고 있었다. 군집분석결과 무안만 조하대는 상부, 중부, 하부 그룹으로 구분되었으며, 유기물 함량과 저서건강성 평가지수(WQI 및 AMBI)와의 상관결과와 일치하였다. 본 연구결과, 무안만 조하대의 저서생태계는 양호한 것으로 평가되었다. 하지만 저서동물이 균등하게 분포하지 않고, 기회종이 출현하고 있어 조하대의 유기물 부하량이 증가하고 있는 것으로 보인다.

Benthic animals are important indicators in benthic environmental quality assessment. This study investigated the environmental characteristics and the distribution pattern of benthic animals, and assessed the benthic ecosystem using AMBI (AZTI's marine biotic index) and WQI (water quality index) in the subtidal zone of Muan bay. Samplings were collected from 10 stations in the subtidal zone of Muan bay on summer. In the upper area of Muan bay, grain size was finer and organic content was higher than those of in the lower area. The pollution indicator organism such as *Musculista senhousia*, *Theora fragilis* and *Lumbrineris longifolia* were dominant at some stations. The benthic community was distinguished into three groups of upper, center and lower area of Muan bay, and which were coincided with the results by correlation analysis between organic matter content and benthic health assessment (WQI and AMBI). As a result of this study, the health condition of the subtidal zone in Muan bay were good. However, from the results that benthic animals were not evenly distributed, and also the opportunistic species appeared, the load of organic matter in Muan bay seems to be increasing.

Keywords: Muan Bay(무안만), Health assessment(건강성 평가), AMBI(AZTI 해양생물지수), WQI(수질평가지수), Benthic animals(저서동물), Organic matter(유기물)

서론

무안만은 무안반도와 압해도로 둘러싸인 좁고 규모가 작은 수로 형태의 반 폐쇄된 내만이다. 만의 서측과 남측에서 압해도와 육지 사이에 최대폭 약 8 km, 길이 약 21 km로 남북 방향으로 발달되어 있으며 서측 만입구는 탄도만과 남측만 입구는 목포구와 연결되어 있다. 무안만의 수심은 20 m 내외인 전형적인 천해역으로 김 양식, 패류 양식, 낙지 연승어업이 활발하게 이루어 지고 있는 생물생산력이 높은 해역이지만, 1970년대 이후부터 시작된 대규모 영산강 유역 농업종합개발에 따라 영산강 하구둑 조성크고 작은 방조제가 건설되면서 갯벌 면적의 감소와 함께 해양환경이 지속적으로 변화하고 있다(Ryu et al., 2000). 또한 만의 남측 입구에서는 압해대교를 중심으로 매립과 간척이 이루어지고, 조선소와 하수처리장 및 산업단지 조성으로 인하여 공장의 입주와 인구의 증가로 인한 산업폐수 및 생활하수의 유입이 증가하고 있어 유기물 오염에 대한 우려가 높아지고 있다.

연안으로 유입되는 각종 유기물은 수환경을 악화시키고 해양 생물군집의 구조를 변화시켜 궁극적으로 해양생태계의 구조와 기능에 영향을 미치게 된다. 특히 저층으로 퇴적된 유기물은 저서동물에게 있어서는 중요한 먹이원이 되기도 하지만, 유기물 함량이 많은 퇴적물은 산소 농도가 감소하며, 저서환경이 악화되면서 저서동물의 서식 및 생존에도 영향을 미치게 되는 등 해양생태계의 건강성과 밀접하게 연관되어 있다.

연안의 환경유지 및 효율적인 관리를 위하여 많은 국가에서는 다양한 해양생태계 건강성 평가방법들을 개발하여 사용하고 있다. 수질평가지수(WQI)는 Horton에 의해 1965년 처음 제안된 이후 연안에서 발생하는 수환경의 변화요인을 파악하는데 유용한 평가지수로 알려져 있다(Nguyen and Sevando, 2019). 우리나라에서는 오염상태가 심각한 5개 연안해역(시화호, 인천연안, 광양만, 마산만, 부산연안, 울산연안)의 해수 수질을 평가하기 위해 생태기반 WQI를 설정하였다(Ra et al., 2013). 저서동물은 저서환경 변화에 매우 민감하여 이들의 군집특성은 해양환경 변화에 대한 많은 정량적인 정보를 제공하므로 저서생태계 건강성 평가에 효율적으로 이용할 수 있다(Bilyard, 1987; Duineveld et al., 1991). 저서생물군집의 다양한 기능에 근거하여 도출한 다변수를 이용하여 산출되는 평가지수인 저서오염지수(Benthic Pollution Index, BPI), AZTI 해양생물지수(AZTI's marine Biotic Index, AMBI), 저서생물통합지수(Benthic Integrity of Biological Index, BIBI) 등이 저서생태계의 건강성을 평가하기 위한 방법으로 사용되고 있다(Borja et al., 2000). 국내에서는 Choi and Seo (2007)에 의하여 마산만 연안해역에서 BPI, AMBI 및 BIBI를 비교하여 저서생태계를 평가한 예를 찾아볼 수 있으며, 그 외에 울산 연안해역(Jeong and Shin, 2018), 진해만(Lim et al., 2007) 등의 연안해역에서 저서동물군집의 건강성 평가가 이루어졌다. 저서생태계 건강성 평가지수 중 AMBI는 Borja et al. (2000)에 의해 처음 제안되었고, 지역이 달라도 잘 적용할 수

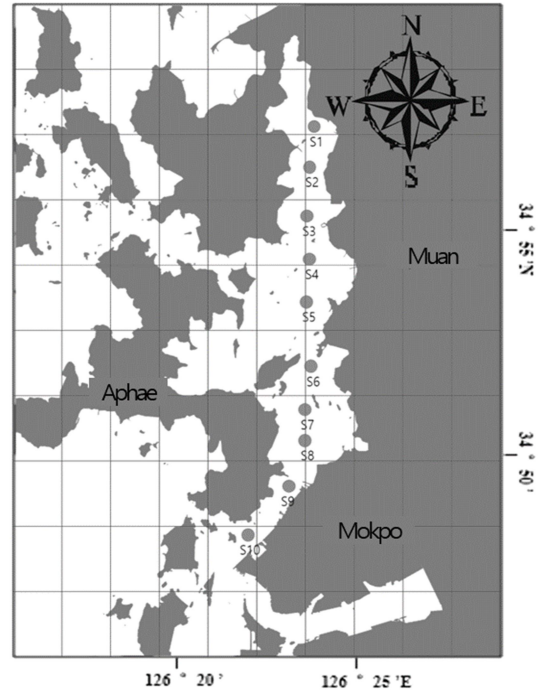


Fig. 1. Study area and sampling sites in Muan bay, southwestern coast of Korea.

있다는 장점이 있으며 소규모 내만이나 연안역에 적합한 평가방법의 하나로 제안되고 있으나 국내에서는 적용한 사례가 많지 않다.

따라서 본 연구에서는 하계 무안만 조하대에 서식하는 저서동물군집특성 및 환경적 요인을 파악하여 WQI와 AMBI에 의한 무안만 조하대의 건강성을 평가해 보고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사정점 및 시료채취

조사지역의 수질 및 표층 퇴적물의 환경특성과 저서동물 분포 특성을 파악하기 위하여 2019년 8월에 무안만 조하대 지역에서 대표되는 10개의 정점을 선정하여 현장조사를 실시하였다(Fig. 1). 각 정점 별 수질의 경우 현장에서 채수된 해수를 플라스틱 용기에 담아 실험실로 옮겨와 냉장고에 보관 후 분석에 사용하였다.

저서동물을 채취하기 위하여 조하대 정점에서 van Veen grab (0.1 m²)을 사용하여 각 정점 별 2회씩 퇴적물을 채취하였다. 채취된 퇴적물은 1 mm 채로 채질하여 체를 통과하지 못하는 저서동물과 퇴적물을 분리한 다음 10% 중성 포르말린으로 고정시킨 후 동정에 사용하였다.

2. 분석방법

수질항목으로 현장에서 CTD (YSI, pro-dss, USA)을 이용하여 저층 용존산소포화도(DO)를 측정하였으며, 세키디스크를 사용하여 투명도(SD)를 측정하였다. 용존무기질소(DIN), 용존무기인(DIP), 식물플랑크톤 농도(Chl-a)는 현장에서 채수하여 시료병에 담아 아이스박스에 넣어 실험실로 운반 후 해양환경공정시험기준(2018)에 따라 분석하였다.

채취된 퇴적물은 입도 및 총 유기탄소(TOC)를 분석하였다. 입도는 입도분석기로 분류한 후 Folk and Ward (1957)의 계산식에 의하여 퇴적물의 특성을 나타내는 평균입도를 구하여 퇴적상을 분류하였다. TOC는 퇴적물 시료를 100°C에서 건조시킨 후 분말화하여 염산 0.1 N로 무기탄소(Inorganic carbon)를 제거한 후 TOC 분석기(TOC-Vcph, Shimadzu, Japan)를 사용하여 분석하였다.

저서동물 분포특성 및 군집구조는 생물 동정을 실시한 후 개체 수 및 종밀도를 활용하여 분석하였다. 정점 별 유사도를 측정하기 위해 Bray-Curtis 유사도를 이용한 집괴분석(cluster analysis)을 실시하였다.

생태기반 수질평가지수(Water Quality Index, WQI)는 저층 DO, Chl-a, SD, DIP 및 DIN의 항목을 사용하며, 해역 별 기준값을 적용하여 종합적인 수질평가지수로 계산한다(식 1). 본 연구에서는 서남해역의 기준값인 Chl-a (3.7 µg/l), 저층 DO (90%), 표층 DIN (230 µg/l), 표층 DIP (25 µg/l) 및 SD (0.5 m)를 기준으로 적용하였다. 수질평가지수는 총 5개의 등급으로 구분된다(Table 1).

$$\text{수질평가지수(WQI)} = 10 \times \frac{[\text{저층 용존산소포화도(DO)}] + 6 \times [(\text{식물플랑크톤 농도(Chl-a)} + \text{투명도(SD)})/2] + 4 \times [(\text{용존무기질소 농도(DIN)} + \text{용존무기인 농도(DIP)})/2]}{\text{식 1}}$$

Table 1. Water Quality Index (WQI) values in Korea (MOF 2018-10)

Classification	Water Quality Index
I (Very good)	≤ 23
II (Good)	24~33
III (Moderate)	34~46
IV (Bad)	47~59
V (Very bad)	60 ≤

군집의 건강도 분석을 위해 AMBI (AZTI Marine Biotic Index; Borja et al., 2000)를 이용하여 산출하였다(식 2).

$$\text{AZTI의 해양생물지수(AMBI)} = \frac{[(0 \times \% \text{ GI}) + (1.5 \times \% \text{ GII}) + (3 \times \% \text{ GIII}) + (4.5 \times \% \text{ GIV}) + (6 \times \% \text{ GV})]/100}{\text{식 2}}$$

$$\text{AMBI} = \frac{[(0 \times \% \text{ GI}) + (1.5 \times \% \text{ GII}) + (3 \times \% \text{ GIII}) + (4.5 \times \% \text{ GIV}) + (6 \times \% \text{ GV})]/100}{\text{식 2}}$$

AMBI 분석에서는 생물군을 다섯 군으로 분류한다. 여기서 제1군(G1)은 특정 포식자와 퇴적물 섭이를 하는 관서형 갯지렁이를 포함하는 유기물 오염에 매우 민감한 종들, 2군(G2)에는 여과식자와 비선택적 포식자, 사해식자들을 포함하는 오염에 민감하지 않으며 항상 낮은 밀도로 존재하며 시간에 따라 특이한 변화를 보이지 않는 종들, 3군(G3)에는 표면 퇴적물 식자를 포함하는 유기물 오염에 관용성을 갖는 종들, 4군(G4)에는 표층 퇴적물 식이를 하는 소형 갯지렁이를 포함하는 2차 기회종들, 5군(G5)에는 1차 기회종들로 유기물 오염이 진행된 지역에서 증식하는 퇴적물 식자가 포함된다. 이를 기초로 다음과 같은 수식을 적용하여 AMBI를 산출하였다. 지수 별 분석값에 따라(Table 2)와 같이 저서생태계의 건강도 지수를 5개의 등급으로 구분한다(Borja et al., 2000).

건강성 요인(TOC, WQI, AMBI)의 상관관계를 파악하기 위해 SPSS (v. 12.0)를 사용하여 Pearson's correlation analysis를 구하였다.

Table 2. AZTI's Marine Biotic Index (AMBI) values by Borja et al. (2000)

Classification	Value
Normal	0.0 < AMBI ≤ 1.2
Slightly polluted	1.2 < AMBI ≤ 3.3
Moderately polluted	3.3 < AMBI ≤ 4.3
Highly polluted	4.3 < AMBI ≤ 5.5
Very highly polluted	5.5 < AMBI ≤ 7.0

결 과

1. 환경특성

하계 무안만 조하대에 있어서의 수질 및 저질 특성을 Table 3에 나타내었다. DO는 평균 6.39±0.68 mg/l로 빈 산소 수괴를 보이는 정점은 없었다. 무안만 조하대의 수심은 평균 7.71 m로, S9 정점이 2 m로 가장 낮은 수심을 보인 반면 S6 정점이 16 m로 가장 깊은 수심을 보였다. 투명도는 상부지역보다 하부지역이 약간 높게 나타났으며, DIN, DIP, Chl-a와 같은 특성은 정점 별 큰 차이를 보이지 않았다. 무안만 조하대의 입도는 무안만 상부지역인 S1 정점에서 평균입도가 8.05로 가장 세립하고, 니질의 퇴적상으로 조사되었다. 반면에 무안만 하부지역인 S7 정점에서는 평균입도가 1.35로 가장 조립하였으며 역니질사의 퇴적상을 보였다. 유기물 함량에 있어 상부지역인 S2 정점에서는 가장 높은 TOC 값

Table 3. Water and sediment quality for each studied station in Muan bay

Stations		Water						Sediment		
		DO (mg/l)	WD (m)	SD (m)	DIN (mg/l)	DIP (mg/l)	Chl-a (µg/l)	Textual (Ø)	Type ^a	TOC (%)
S1	Sur	5.61	4.6	0.8	0.322	0.016	2.15	8.05	M	1.23
	Bot	5.50								
S2	Sur	5.95	4.9	0.9	0.318	0.015	2.31	7.66	M	1.38
	Bot	5.97								
S3	Sur	6.11	10.0	0.8	0.304	0.015	2.62	4.82	Z	1.20
	Bot	6.16								
S4	Sur	6.21	5.6	1.2	0.304	0.015	3.20	7.13	M	1.20
	Bot	6.1								
S5	Sur	6.45	11.0	1.1	0.298	0.014	3.21	7.15	M	1.30
	Bot	6.36								
S6	Sur	6.56	16.0	0.8	0.297	0.014	2.12	6.63	g(M)	1.13
	Bot	6.57								
S7	Sur	6.72	8.5	1.1	0.312	0.016	3.14	1.35	(g)mS	0.93
	Bot	6.88								
S8	Sur	6.81	2.5	0.9	0.315	0.016	3.42	6.55	M	0.91
	Bot	6.82								
S9	Sur	6.54	2.0	1.2	0.312	0.016	3.51	5.89	g(M)	1.02
	Bot	6.57								
S10	Sur	6.96	12.0	1.2	0.318	0.016	3.54	6.85	g(M)	0.89
	Bot	6.92								

1. DO: dissolved oxygen concentration, WD: water depth, gmS: gravely muddy sand, (g)M: slightly gravely mud, M: mud, Z: silt

2. *: sediment type divided by Folk and Ward (1957)

을, 하부지역인 S10에서 가장 낮은 TOC 값을 보였으며, 유기물 오염 기준인 2% 기준을 넘은 정점은 나타나지 않았다.

2. 저서동물분포

조사지역에서 출현한 저서동물의 출현 종수는 총 25종이 조사되었으며, 무안만 중부지역인 S6 정점에서 17종으로 가장 많은 종이 출현하였고, 무안만 상부지역인 S3 정점에서 11종으로 가장 적은 종이 출현하였다.

서식 밀도는 무안만 하부지역인 S7 정점에서 114 ind./m²로 가장 높은 서식 밀도를 보였으며, 중부지역인 S5 정점에서 60 ind./m² 가장 낮은 밀도로 나타났다(Fig. 2).

정점 별 주요 우점종은 *M. senhousia*(종뱀), *T. fragilis*(아기반투명조개), *A. ramond*(갈래손참옆새우), *G. philippinarum*(극동육질꼬리옆새우) 등이 차지하고 있었다(Table 4). 특히 무안만 하부지역인 S7 정점에서는 사니질 함량이 높아 다른 정점과 달리 옆새우류가 많이 출현하였다. 무안만 상부지역에서는 니질이나 사질 특성으로 이매패류가 주로 우점하여 출현하였다.

하계 무안만 조하대 군집의 유사도 분석결과 60% 이상 수준 ($p < 0.05$)으로 S1, 2, 3, 4 정점 A그룹, S5, 6 정점 B그룹, S7, 8, 9, 10 정점 C그룹의 3개의 군집으로 구분되었다(Fig. 3).

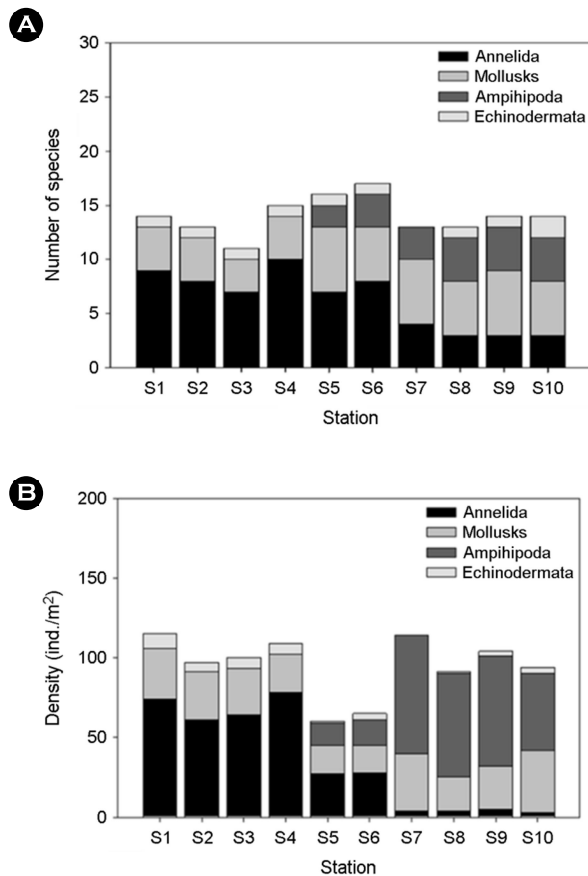


Fig. 2. Number of species (A) and mean density (B) of macro benthic animals in Muan bay.

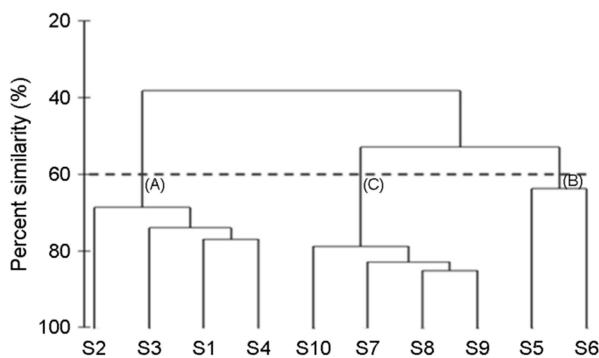


Fig. 3. Similarity dendrogram determined by combined cluster analysis.

3. 건강성 평가

하계 무안만 조하대 수질평가지수(WQI)는 지수로 평균 25로 좋음(2등급)으로 판단되며, 무안만 상부지역인 S1 및 S2 정점에서

Table 4. Dominant species of macro benthic animals at each studied station in Muan bay

Station	Dominant species	Composition ratio (%)
S1	<i>Musculista senhousia</i>	13.91
	<i>Theora fragilis</i>	10.43
S2	<i>Musculista senhousia</i>	15.46
	<i>Lumbrineris longifolia</i>	15.46
S3	<i>Theora fragilis</i>	15.31
	<i>Musculista senhousia</i>	13.27
S4	<i>Musculista senhousia</i>	11.82
	<i>Lumbrineris longifolia</i>	10.91
S5	<i>Gammaropsis japonicus</i>	13.33
	<i>Ampithoe ramondi</i>	10.00
S6	<i>Ampithoe ramondi</i>	12.31
	<i>Gammaropsis japonicus</i>	10.77
S7	<i>Ampithoe ramondi</i>	42.11
	<i>Gammaropsis japonicus</i>	21.93
S8	<i>Ampithoe ramondi</i>	45.05
	<i>Gammaropsis japonicus</i>	23.08
S9	<i>Ampithoe ramondi</i>	44.23
	<i>Gammaropsis japonicus</i>	20.19
S10	<i>Ampithoe ramondi</i>	38.30
	<i>Ruditapes philippinarum</i>	13.83

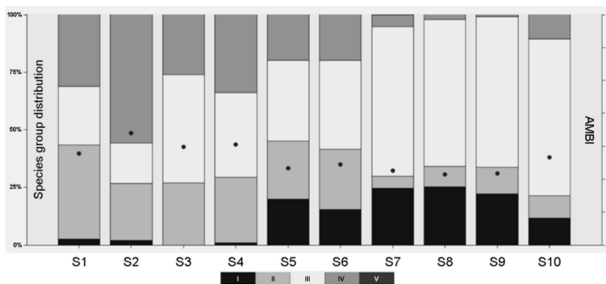
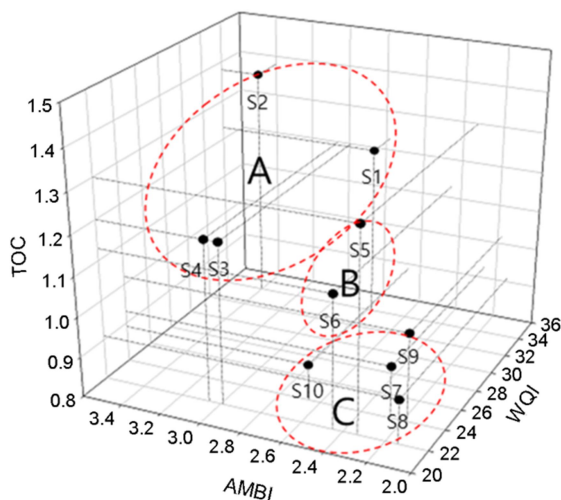
37로 보통(3등급)이며, 무안만 하부지역인 S10 정점에서 24로 좋음(2등급) 등급으로 나타났다(Table 5).

무안만의 AMBI는 2.14~3.40의 범위를 나타내고 있다(Fig. 4). 무안만 상부지역인 S2 정점에서 3.40으로 가장 높았고 무안만 하부지역인 S8 정점에서 2.14로 가장 낮았으며, AMBI 분석 기준에 따라서, 1.2 이상부터 3.3 미만의 지수를 가지는 해역은 '좋음'으로 분류됨에 따라, 2019년 8월 실시한 9개 정점이 2등급인 '좋음'으로 나타났으며, S2 정점이 3등급인 '보통'으로 나타났다.

퇴적물 내 유기물 오염의 지표인 TOC와 해역을 평가하는 수질평가지수인 WQI, 군집의 오염도를 평가하는 저서생물지수인 AMBI와 같은 건강성 요인들과의 상관관계를 분석한 결과, TOC와 AMBI가 유의한 양의 상관을 보였으며($p < 0.05$), 무안만 상부지역인 A그룹이 다른 그룹에 비해 TOC도 높고 WQI 및 AMBI도 높게 나타났다(Fig. 5).

Table 5. WQI at each studied station in Muan bay

Station	WQI Index	WQI Grade
S1	37	3 (Moderate)
S2	37	3 (Moderate)
S3	22	1 (Very good)
S4	22	1 (Very good)
S5	22	1 (Very good)
S6	22	1 (Very good)
S7	22	1 (Very good)
S8	24	2 (Good)
S9	22	1 (Very good)
S10	24	2 (Good)

**Fig. 4.** AMBI by macro benthic community of the Muan bay.**Fig. 5.** Spatial distribution of TOC, WQI, and AMBI.

고 찰

본 연구에서 무안만 조하대는 크게 만의 상부, 중부, 하부지역의 3그룹으로 나누어졌는데, 퇴적물의 입도조성에 따라 유기물 함량에서 차이를 보이고 저서생물의 분포양상도 달라지는 것으로 나타났다. 상부지역과 중부지역은 니질 함량이 높고 세립한 퇴적상을 보였으며 유기물 함량도 상대적으로 높게 나타났다. 이러한 환경특성으로 종돔(*M. senhousia*)이나 아기반투명조개(*T. fragilis*) 및 퇴적물식성의 환형동물의 출현이 우세하였으며, 반면에 무안만 하부지역은 입도가 조립하고 사질 함량이 상대적으로 높고 유기물 함량도 낮았으며, 부유물식성의 옆새우류 출현이 우세하였고, 바지락(*R. philippinarum*)도 우점 출현하는 특성을 보였다. 특히 무안만 하부지역은 무안만 남측 입구지역으로 간척으로 직선화가 이루어지고 주변 도시지역으로부터 생활하수, 사업폐수 등의 오염물 유입이 이루어지고 있지만, 조립화된 입도특성 및 인공구조물 건설에 따른 수류의 변형(Ryu et al., 2009)과 같은 수리학적 특성에 기인하여 상대적으로 TOC가 낮게 나타난 것으로 여겨진다. 저서동물의 종 분포에는 퇴적물의 입도조성과 유기물 함량이 중요하게 영향을 미치며, 수괴의 퇴적상과도 밀접한 관계가 있음이 알려져 있다(Je et al., 1991). 일반적으로 니질 함량이 높은 세립한 퇴적상에서는 퇴적물식성의 저서동물의 출현이 우세하며, 상대적으로 사질 함량이 높은 조립한 퇴적상에서는 부유물식자가 우세하게 출현하는데, 조류의 흐름이 잘되는 사질 퇴적상에는 상대적으로 낮은 유기물 함량으로 인해 부유물식성의 이매패류와 갑각류 또는 육식자의 출현율이 높은 것으로 알려져 있다(Frouin, 2000; Paik et al., 2007). 본 연구에서는 무안만 조하대의 상부지역에서 *M. senhousia*이나 *T. fragilis*, *L. longifolia*가 우세하게 출현하였는데, 이러한 종들은 유기물에 의해 오염이 된 내만에서 높은 밀도로 출현하는 대표적인 기회종으로 알려져 있다(Hong et al., 1997; Kodama and Hiroguchi, 2011; Seo et al., 2013). 과거 무안만 남측만입구에 근접해 있는 목포항 인근 조하대에서 *T. fragilis*와 같은 종이 높은 밀도로 서식하고 있었으며, 본 조사지역의 하부에 해당되는 조하대에서 *L. longifolia*와 같은 기회종의 출현이 보고된 바 있다(Park et al., 2000). 또한 Choi and Lee (2017)은 무안만 하부지역에 위치하는 조간대에서 *M. senhousia*, *T. fragilis* 및 *C. tentaculata*와 같은 오염지표종의 출현을 보고하였는데, 이러한 결과로부터 무안만 하부 조하대는 주변 지역으로 유입되는 유기물에 의한 영향으로 환경변화가 점차 진행되고 있는 것으로 여겨진다.

본 연구에서는 무안만 조하대의 건강성 평가지수로 수질평가지수(WQI)와 저서생물지수(AMBI)를 분석하였다. WQI는 수질등급에 영향을 끼치는 평가항목을 분석할 수 있다는 장점이 있는데(Rho et al., 2012), 하계 무안만의 WQI는 상부지역인 S1, S2 정점에서 3등급을 나타내고 그 외 다른 정점에서는 대부분 1등급을 보인데, 저층 용존산소포화도가 큰 영향을 미친 것으로 판단된다. 무

안만 상부지역에는 무안만으로 연결되는 지천이 위치해 있으며, 우기에 지천으로부터의 영양염류 유입으로 유기물 분해가 높아진 결과 저층 용존산소가 낮아지고, 그 영향을 받아 수질등급이 낮아진 것으로 보인다. 특히 과거 무안만 조하대는 저층의 무산소 및 빈산소 수괴가 이루어지는 환경변화의 문제점이 제기된 바 있다 (Park et al., 2000). 우리나라의 대표적인 연안습지로 알려진 순천만의 경우에는 WQI에 의해 하계수질을 평가한 결과 대부분 지역에서 4~5등급을 보였는데 순천만에 인접해 있는 공공하수처리시설의 방류수와 인근 하천으로부터의 영양염류 유입에 의해 나타난 결과로 보고된 바 있다(Kong et al., 2016). 순천만과 비교하여 대부분 1등급을 나타내는 무안만은 수환경이 양호하게 유지되고 있는 것으로 판단된다.

전 세계적으로 현재 가장 많이 사용되고 있는 군집의 오염도를 평가하는 저서생물지수인 AMBI는 무산소, 빈산소, 부영양화, 준설 및 유류오염, 생활 및 산업 오·폐수 유출해역 등과 같이 인위적인 교란을 받는 환경에 대한 감지와 평가능력이 높은 것으로 입증되고 있다(Borja et al., 2000). 본 조사에서 하계 무안만의 AMBI 값은 평균 2.63 ± 0.63 로 과거 마산만지역의 3.2~5.8 (Choi and Seo, 2007)보다는 낮지만 울산해역의 2.1 ± 0.4 (Jeong and Shin, 2018)에 비해서는 높게 나타났다.

TOC와 건강성 요인들과의 상관관계 분석결과 하계 무안만 조하대는 TOC 함량에 따라서 AMBI가 영향을 받는 것으로 분석되었으며, 특히 무안만 상부지역은 유기물 함량이 높은 세립한 퇴적상으로 오염지표종이 우세하게 출현하여 AMBI가 높은 것으로 여겨진다.

본 연구결과, 무안만 조하대 상부지역은 세립화 되어 있고, 하부지역은 조립화 되어 있는 특성을 보이고 유기물 함량에 있어서도 지역적으로 차이를 보였다. 이러한 특성의 차이는 저서생물의 분포에도 영향을 미치고 있는 것으로 나타났다. 무안만 조하대에서 WQI는 대부분의 정점이 'Very good'을 나타내는 1등급으로 분석되었고 AMBI는 'Slightly polluted'을 나타내는 2등급으로 분석되어, 하계 무안만 조하대의 저서생태계는 양호한 건강성을 가지는 것으로 판단된다. 그러나 저서동물이 균등하게 분포하지 못하고 오염지표종이 우세하게 출현하고 있어 조하대의 환경변화가 일어나고 있는 것으로 보인다.

참고문헌

- Bilyard GR. 1987. The value of benthic infauna in marine pollution monitoring studies. *Mar Poll Bull* 18: 581-585.
- Borja A, Franco J, Pérez V. 2000. A Marine Biotic Index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments. *Mar Poll Bull* 40: 1100-1114.
- Choi JW, Seo JY. 2007. Application of Biotic Indices to Assess the Health Condition of Benthic Community in Masan Bay, Korea. *Ocean Polar Res* 29: 339-348.
- Choi BH, Lee KS. 2017. Distribution of macrobenthos at the mudflat in the mouth of Muan bay. *J Mar Life Sci* 2: 75-82.
- Duineveld GCA, Kunitzer A, Niemann U, De Wilde PAWJ, Gray JS. 1991. The macrobenthos of the North Sea. *Netherlands J Sea Res* 28: 53-65.
- Folk RL, Ward WC. 1957. Brazos riverbar: a study in the significance of grain-size parameters. *J Sediment Petrol* 267: 3-26.
- Frouin P. 2000. Effects of anthropogenic disturbances of tropical soft-bottom benthic communities. *Mar Ecol Prog Ser* 194: 39-53.
- 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. *J Kor Fish Soc* 30: 882-895.
- Je JG, Chang M, Park HS. 1991. Distribution of benthic molluscs in soft bottom of the southern sea of Korea. *Korean J Malacol* 7: 103-119.
- Jeong BG, Shin HC. 2018. Spatio-temporal variation and evaluation of benthic healthiness of macrobenthic polychaetous community on the coast of Ulsan. *Ocean Pol Res* 40: 223-235.
- Kodama K, Hiroguchi T. 2011. Effects of hypoxia on benthic organisms in Tokyo Bay, Japan. *Mar Pollut Bull* 63: 215-220.
- Kong BW, Lee WJ, Ra DG, Cheong CJ. 2016. Analysis of temporal-spatial characteristics of water quality using water quality index in the Suncheon bay. *J Kor Soc Environ Tech* 17: 96-104.
- Lim KH, Shin HC, Yoon MY, Koh CH. 2007. Assessment of benthic environment based on microbenthic community analysis in Jinhae bay, Korea. *The Sea* 12: 9-23.
- MOF. 2018. Marine environment standard methods. Ministry of Oceans and Fisheries, p 330.
- Nguyen NT, Sevando M. 2019. Assessing coastal water quality through an overall index. *Pol J Environ Stud* 28: 2321-2320.
- Paik SG, Kang RS, Jeon JO, Lee JH, Yun SG. 2007. Distribution patterns of sandy bottom macrobenthic community on the Hupo coastal area, in the east sea of Korea. *Ocean Polar Res* 29: 123-134.
- Park HS, Lee JH, Choi JW. 2000. Spatio-temporal distribution of macrobenthic community on subtidal area around Mokpo, Korea. *The Sea* 5: 169-176.
- Ra KT, Kim JK, Kim ES, Kim KT, Lee JM, Kim SK, Kim EY, Lee SY, Park EJ. 2013. Evaluation of spatial and temporal variations

- of water quality in lake Shiwa and outer sea by using water quality index in Korea: A case study of influence of tidal power plant operation. *J Kor Soc Mar Environ Energy* 16: 102-114.
- Rho TK, Lee TS, Lee SR, Choi MS, Park C, Lee JH, Lee JY, Kim SS. 2012. Reference values and water quality assessment based on the regional environmental characteristics. *The Sea* 17: 45-58.
- Ryu SO, Kim JY, You HS. 2000. Seasonal variation and transport pattern of suspended matters in semiclosed Muan bay southwestern coast of Korea. *J Kor Earth Sci Soc* 21: 128-136.
- Ryu SO, Chang JH, Lee HJ, Jo YJ, Choi OI. 2009. Spatial and temporal variation of surface sediments by tidal environment changes: Muan bay, west coast of Korea. *The Sea* 14: 10-21.
- Seo JY, Lee JS, Choi JW. 2013. Distribution patterns of opportunistic molluscan species in Korean waters, *Kor J Environ Biol* 31: 1-9.