

## 여자만 해양환경의 특징 – 선행연구를 중심으로 –

이문옥<sup>1</sup> · 김종규<sup>2,†</sup> · 김병국<sup>3</sup>

<sup>1</sup>전남대학교 조선해양공학과 명예교수

<sup>2</sup>전남대학교 조선해양공학과 교수

<sup>3</sup>한국가스공사 통영기지본부 안전환경부 대리

## Marine Environmental Characteristics of Yeoja Bay, Korea – A Review on a Basis of Previous Studies –

Moon Ock Lee<sup>1</sup>, Jong Kyu Kim<sup>2,†</sup>, and Byeong Kuk Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup>*Emeritus Professor, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea*

<sup>2</sup>*Professor, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Chonnam National University, Yeosu 59626, Korea*

<sup>3</sup>*Deputy Manager, Tongyeong Terminal Division, Korea Gas Corporation, Tongyeong 53007, Korea*

### 요 약

본 연구에서는 여자만의 해양환경연구와 관련하여 1983년부터 2020년까지 발표된 80여편의 학술논문과 기타 학위논문, 연구기관에서 발행된 조사 자료 등을 바탕으로 여자만 해양환경의 특성을 분석하였다. 그 결과, 여자만은 순천만은 물론 진해만이나 가막만 등 타 해역에 비해 연구 분야의 다양성이나 양적인 면에서 현저히 적었다. 또한 진해만이나 가막만 등과 서로 유사한 물리 환경적 조건임에도 불구하고, 적조는 물론, 빈산소수괴의 발생, 양식장에서의 패류 독성 등 특별한 환경문제가 거의 발생하지 않은 것으로 나타났다. 그것은 여자만의 북부에 위치한 순천만의 염습지와 서식생물이 여자만의 수질과 저질을 정확히 주는 완충장치와 같은 역할을 하고 있기 때문으로 판단되었다. 다시 말해, 여자만의 해양환경 문제는 바로 순천만을 얼마만큼 지속적으로 잘 관리하느냐에 달려 있다고 생각된다. 따라서 지금까지 여자만과 순천만 연구는 각각 서로 다른 관점에서 독자적으로 수행되어 왔으나, 앞으로는 여자만의 연구는 순천만과 연계하여 수행될 필요가 있다고 생각된다. 이를 통해 순천만의 염습지나 서식생물이 여자만의 해양환경에 기여하는 기작의 해명은 물론 여자만의 해양환경적 특성도 보다 더 명확히 될 것으로 판단된다.

**Abstract** – We analyzed the marine environmental characteristics of Yeoja Bay, Korea, with comprehensive data of more than 80 articles and publications issued from 1983 to 2020 in relation to Suncheon and Yeoja bays. As a result, Studies of Yeoja Bay appeared to have been poorly conducted, compared to those of Jinhae and Gamak bays, and even Suncheon Bay. In addition, Yeoja Bay has not nearly experienced harmful algal blooms, oxygen-deficient water masses, and shellfish toxicities, although it is similar to Jinhae and Gamak bays in aspects of their physical environment. That was deduced because Suncheon bay plays a role as a buffer for purification of water quality as well as sediments. In a word, we can say marine environments of Yeoja Bay is dependent on how to well manage Suncheon Bay in a sustainable way. Therefore, we need to study Yeoja Bay in connection with Suncheon Bay in the future, although most of the previous studies have been independently conducted. With this, it is judged that we can elucidate a mechanism of Suncheon Bay not only to contribute to the marine environment of Yeoja Bay, in terms of salt marsh and inhabitants, but also to more explain the marine environmental characteristics of Yeoja Bay.

**Keywords:** Yeoja Bay(여자만), Suncheon Bay(순천만), Marine environment(해양환경), Salt marsh(염습지), Buffer(완충장치)

<sup>†</sup>Corresponding author: kimjk@jnu.ac.kr

### 1. 서 론

여자만은 Fig. 1에서 보는 바와 같이 동쪽의 고흥반도와 서쪽의 고흥산반도로 둘러싸여 있는 만구가 좁은 반폐쇄적 내만이다. 해역의 총면적은 320 km<sup>2</sup>, 만의 크기는 남북방향으로 30 km, 동서방향으로 7.2-21.6 km이며, 수심은 5-8 m(평균 5.4 m) 정도인 천해역이다(Park *et al.*[2011]). 해수의 유출입은 만 남쪽의 낭도 좌우에 위치한 폭 1 km, 수심 20 m 정도인 두 개의 협수로 서수도와 조발수도를 통해 이루어지고 있으며 만내에서의 조류의 흐름은 비교적 미약하다(Lee[1983], Lim *et al.*[1991]). 만의 북단은 순천시를 중심으로 순천만으로 불리며, 이곳으로는 별교천과 동천, 그리고 이사천 등 하천으로부터의 담수와 더불어 하수종말처리장의 처리수가 유입되고 있다. 이들 3개 하천을 통한 담수 유입량은  $1.6 \times 10^5 \text{ m}^3 \cdot \text{day}^{-1}$  정도로 알려져 있다(Shin *et al.*[2010]). 특히, 여자만은 남쪽의 만구를 제외한 북부와 동, 서부 연안에는 약 2,670 ha에 이르는 염습지(salt marsh)(Fig. 1의 암영 부분)가 넓게 발달하여 갈대 군락을 비롯하여 다양한 생물들의 서식처와 피난처를 제공하고 있다. Choi

*et al.*[2013]의 조사결과에 따르면, 이곳의 퇴적물의 성분은 사질 0.5%, 실트 30-40%, 니질 ~65% 등으로, 평균 입경이 9-9.5 $\phi$  정도이다. 또한 이곳에서는 피조개, 고막, 새고막 등의 패류 살포식 양식이 성행하고 있으며, 2012년 현재 여자만에 허가된 양식면허는 465건, 7,056 ha에 이른다. 한편, Fig. 2는 1981년 이래 최근까지

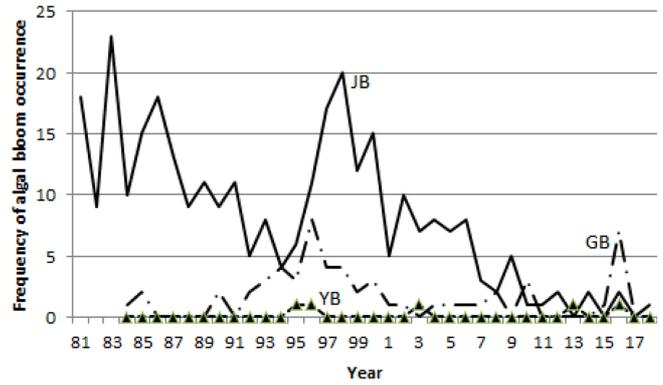


Fig. 2. Frequency of algal blooms occurrence in Jinhae, Gamak, and Yeoja bays.

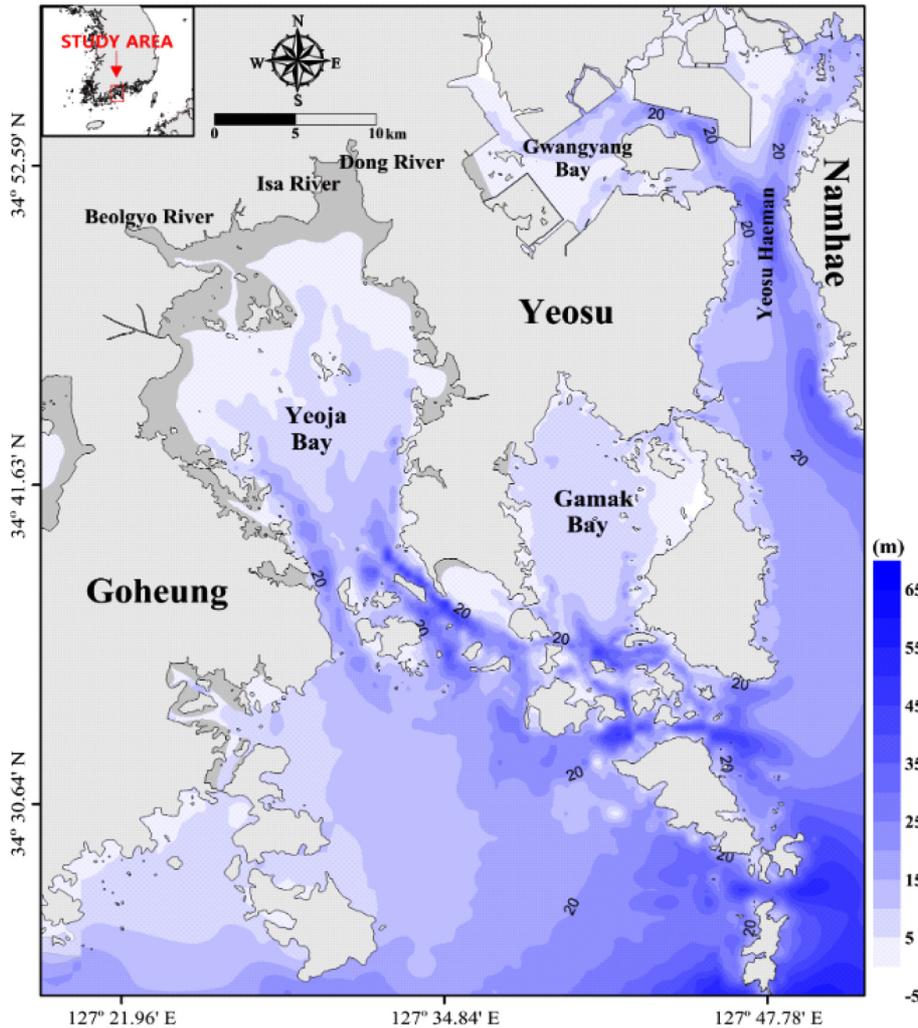


Fig. 1. Yeoja Bay and its neighboring seas.

**Table 1.** Situations of the outbreak of algal blooms

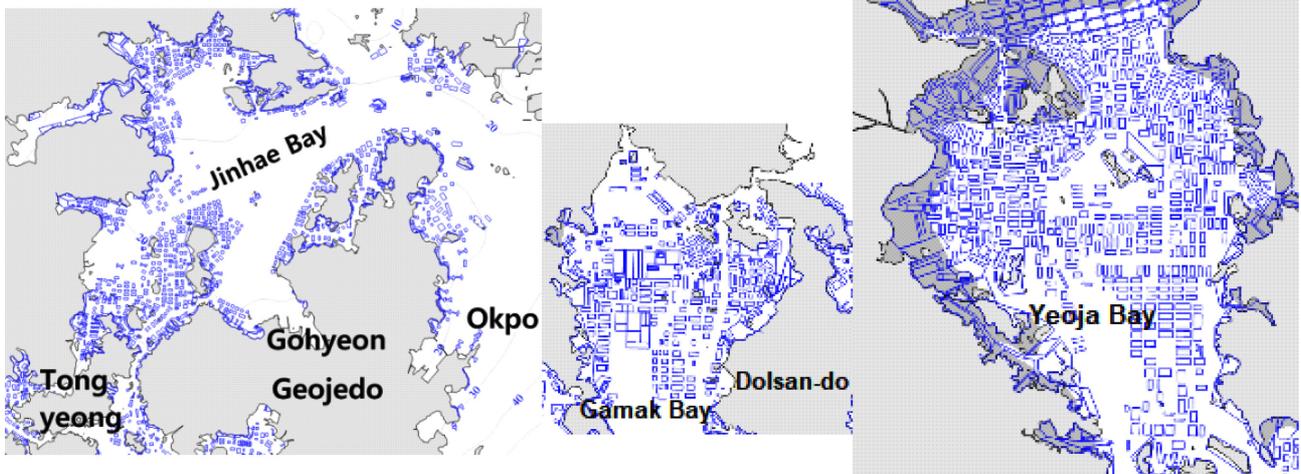
Date	Causative species	Cell density (individual·mL <sup>-1</sup> )	Water temperature (°C)	Precipitation (mm)
August 31, 1995	<i>Cochlodinium polykrikoides</i>	140-400	No data	8.5-11.0 (Aug. 30-31)
July 9, 1996	<i>Heterosigma akashiwo</i>	35,410	No data	No rain
July 8, 2003	"	10,000-20,000	22	11.5-8.5 (July 7-8)
July 29, 2013	<i>C. polykrikoides</i>	83-1,590	18.8-21.2	No data
August 2, 2016	<i>Karenia mikimotoi</i>	980-2,200	28.2-29.6	No data

진해만, 가막만, 여자만에서 발생한 적조의 발생건수를 보여주는데, 이 결과에 따르면, 진해만이나 가막만과는 달리 여자만에서는 지금까지 단 5회(1995년, 1996년, 2003년, 2013년, 2016년) 적조가 발생하였다(Table 1 참조). 그중에서도 외편모조류인 *Cochlodinium polykrikoides*(이하에서는 *C. polykrikoides*로 정의함) 또는 *Karenia mikimotoi*에 의한 유독성 적조는 단 3회 발생하였다. 이들 3개 해역은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 굴을 비롯하여, 진주담치, 피조개, 고막 등의 패류 양식을 비롯한 다양한 어로행위를 위해 만내 수역을 매우 밀도 높게 이용하고 있다는 점과 또한 주요 육상오염원이 북부에 위치하고 있다는 점의 공통점을 가지고 있다. 그 결과, 이들 해역은 양식생물에 의한 자가오염은 물론 부영양화 또한 심각할 것으로 판단된다. 그럼에도 불구하고 여자만에서의 적조발생이 월등히 적었다는 사실은 여자만이 타 해역과는 다른 해양환경적 특성을 가지고 있음을 시사한다. 한편, 여자만에서는 1995년 *C. polykrikoides*에 의한 유독성 적조가 광범위하게 최초로 발생하여 6,000만 달러에 상당하는 수산업피해를 준 것으로 나타났다(Kim[1998]). Kim *et al.*[1999]은 이때 여자만에서 발생한 *C. polykrikoides* 적조는 여자만 바깥을 통과하는 쓰시마난류수의 만내 침입과 관련이 있다고 주장하였다.

반면 Kim *et al.*[2003]은 *C. polykrikoides*의 성장률은 낮은 염분에서는 감소한다고 하였고, Lee[2006]는 고밀도의 *C. polykrikoides* 적조는 염분 27이상인 해역에서만 발생한다고 하였다. 또한 Shin *et al.*[2010]은 여자만 북쪽의 하천수 유입으로 인한 낮은 염분이 *C. polykrikoides*와 같은 외편모조류의 발생과 분포에 영향을 미치는 주요한 환경요인이라고 하였다. 따라서 본 연구에서는 지금까지 여자만에서 수행된 선행 연구 자료와 타 해역의 해양환경자료를 비교·검토하여 여자만의 해양환경적 특성을 파악하였다.

## 2. 자료 및 방법

본 연구에서는 1983년부터 2020년까지 순천만 및 여자만 연구와 관련하여 한국학술지인용색인(Korea Citation Index; KCI) 및 과학인용지수(Science Citation Index; SCI)에 게재된 80여편의 논문과 기타 학술연구기관에서 발행된 학위논문과 연구보고서 등을 분석 자료로 사용하였다. 또한 국립수산과학원(<http://www.nifs.go.kr>)의 적조(유해성조류 대번식을 포함)발생정보와 어장환경모니터링 통계자료, 한국해양자료센터(Korea Oceanographic Data Center; KODC)의 연안정지관측자료, 해양환경정보포털(<http://www.meis.go.kr>)



**Fig. 3.** Distribution of fishing grounds (village fishing, shellfish farms, and fixed shore net) around Jinhae, Gamak, and Yeoja bays (<http://www.khoa.go.kr/oceammap/main.do>).

의 해양환경측정망(CTD)자료, 국립해양조사원의 개방해(<http://www.khoa.go.kr/oceanmap/main.do>)의 어장정보자료, 기상청(<https://www.weather.go.kr>)의 강수량 및 태풍정보 자료 등을 참고하였다. 이들 자료로부터 먼저 지금까지 수행된 여자만 연구의 특징을 살펴보고 다음으로 타 해역과의 비교를 통해 여자만 해양환경의 특성을 검토하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 지금까지 수행된 여자만 연구의 특징

여자만 해역은 넓은 의미에서는 북부의 순천시를 중심으로 한 순천만과 그 이남 해역인 여자만을 모두 포함하지만, 일반적으로는 북부의 순천만을 제외한 그 이남 해역을 여자만으로 지칭하는 경우가 많다. 따라서 본 연구에서도 북부의 순천만을 제외한 남부 해역을 여자만으로 정의하였다. 이들 두 해역에서는 Table 2에 나타난 바와 같이 지난 1980년대 이래 다양한 연구가 수행되어 왔다. 먼저, 순천만 관련 연구들을 주제별로 살펴보면, 염습지의 생태계 환경, 즉 염생식물의 분포나 퇴적환경의 특성 등에 관한 연구가 18건으로 가장 많았고(Yeo and Jang[2007], Kim and Chang[2010], Kim et al.[2011], Seo et al.[2012], Jang et al.[2013], Kong et al.[2014], Kim and Myeong[2014], You et al.[2015]), Koh et al.[2016a], Kong et al.[2016b], Koh et al.[2016b], Koh et al.[2018], Kong et al.[2018], Kong et al.[2019], Lee et al.[2019], Cha et al.[2019], Kim et al.[2020], Kim et al.[2020]), 다음으로 순천만 국가정원의 경관 또는 경제적·심미적 가치 등에 관한 연구가 12건(Song and Lee[2010], Lee and Kim[2010], Kim et al.[2013], Lee and Kim[2013], Park et al.[2014], Kim and Song[2014], Jeong[2017], Jang and Lee[2018], Cha et al.[2018], Choi et al.[2019], Do[2019], Do and Kim[2020]), 서식생물(어류, 이매패류, 게류 등)에 관한 연구가 8건(Han et al.[2001],

Lim and Hur[2010], Ye et al.[2014], Jeong et al.[2015], Park et al.[2015], Park et al.[2016], Park et al.[2017], Park et al.[2019]), 수문·지형·수질환경에 관한 연구가 8건(Kim et al.[2000]), Jeong and Lee[2004], Yong et al.[2013], Park et al.[2013], Kong et al.[2016a]), Kong et al.[2017], Kong et al.[2017], Shin et al.[2019]), 관리방안과 관련한 인문·사회적인 연구가 4건(Nam et al.[2010], Kim[2011], Lee and Kim[2015], Lee[2016]), 야생갈대나 해조류를 이용한 바이오연료 개발에 관한 연구가 2건(Park et al.[2012], Seo et al.[2014]) 등으로 지금까지 50여건의 연구가 이루어졌다. 반면, 여자만의 해양환경과 관련한 연구를 주제별로 살펴보면, 퇴적물에 관한 연구가 7건으로 가장 많았고(Choi et al.[2005], Jang et al.[2009], Choi et al.[2013a], Choi et al.[2013b], Song et al.[2014], Choi et al.[2015], Song and Choi[2017], 다음으로 어류 및 양식생물이 각각 3건(Kwon and Cho[1986], Yoo et al.[1988], Kim et al.[2007], Lee et al.[2011], Park et al.[2011], Kim et al.[2015]), 수질 및 해수유동에 관한 주제가 각각 2건(Hwang et al.[2005], Lee et al.[2008], Lee[1983], Choo[2019]), 적조생물 및 저서동물에 관한 주제가 각각 1건(Shin et al.[2010], Kim et al.[2005])으로 지금까지 19건의 연구가 이루어졌다. 따라서 여자만 전체의 해양환경과 관련한 연구에 비해 순천만의 습지 생태계와 관련한 연구가 현저히 많은 것을 알 수 있다. 이것은 Table 2에서도 알 수 있는 바와 같이, 특히 2000년대 후반에 들어서부터 순천만의 습지(wetland)가 가진 생물다양성과 생태적 가치가 그만큼 정치·사회적, 또는 환경적 측면에서 더 큰 이슈로 부상하였기 때문으로 생각된다. 그 결과, 순천만 연구의 경우, 습지의 생태계와 경관적 가치에 대한 연구가 60% 가까이를 차지하고 있는 반면, 해양환경과 관련 연구는 매우 부족하다. 뿐만 아니라 지금까지의 연구에서는 순천만과 여자만을 서로 연계한 해양환경적 연구는 더더욱 찾아보기 어렵다.

한편, Table 3에서는 여자만 해양환경의 선행연구결과를 해역 이

**Table 2.** Variation of research theme with period

Region	Yeoja Bay								Suncheon Bay				Total
	1981-1985	1986-1990	1991-1995	1996-2000	2001-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2020	2000-2005	2006-2010	2011-2015	2016-2020	
Ecosystem of salt marsh									2	6	10	18	
Landscape, economic, and aesthetic value of Suncheonman National Park									2	4	6	12	
Inhabitant (fish/shellfish/crab)									1	1	3	3	8
Hydrology/topography/water quality									2		2	4	8
Human-social studies on management of wetlands										1	2	1	4
Bio-fuel development using wild reeds or alga											2		2
Sedimentary environment					2		3	1					6
Fish						1	2						3
Farming organisms		2					1						3
Water quality				1	1								2
Seawater behavior	1							1					2
Algal bloom(including HABs) organisms						1							1
Benthos					1								1
Total	1	2		4	3	6	2	3	6	19	24	70	

**Table 3.** Research theme with region

Region	Jinhae Bay					Gamak Bay					Yeoja Bay				Total
	1971 -1980	1981 -1990	1991 -2000	2001 -2010	2011 -2020	1971 -1980	1981 -1990	1991 -2000	2001 -2010	2011 -2020	1981 -1990	1991 -2000	2001 -2010	2011 -2020	
Water quality	1	3	3	4	4				6	4			2		27
Sedimentary environment		3	5	3	7			1		5			2	4	30
Oxygen-deficient water mass			2		1										3
Seawater behavior			7	2		1	2	1	3	1				1	18
Marine ecosystem			1	1				3	8						13
Phytoplankton		1	1	2	1					4	1				10
Zooplankton			2	2	1				3						8
Algal blooms (including HABs)	3	1	2	8	6			1	6	4			1		32
Fish				1	5				1	1	2				10
Benthos			4	2	2			2	2	3			1		16
Shellfish (including shellfish toxicity)			1			1	2	3	4	2				1	14
Marine and fishing ground environment seaweeds/algae		2	1		3	2	4	5	1						18
Marine bacteria		1			1				1						3
Total	4	11	29	25	31	4	15	38	29	6	6	6	6	204	

용면에서나 육상 오염원의 지리적 위치면에서 서로 유사한 공통점을 가진 진해만 및 가막만의 해양환경 선행연구결과(Lee *et al.*[2020a], Lee *et al.*[2020b])와 비교하였다. 이 결과에 따르면, 3개 해역에서 가장 많이 다루어진 연구 주제는 적조, 퇴적환경, 수질 등으로 나타났다. 그러나 여자만의 경우, 적조와 수질은 물론 퇴적환경도 진해만이나 가막만에 비해 상대적으로 연구 횟수가 매우 적음을 알 수 있다. 또한 진해만과 가막만에서는 1990년대 이후 2010년대에 이르기까지 다양한 주제의 연구가 꾸준히 이루어진 데 반해 여자만에서는 1980년대, 2000년대, 2010년대에 주로 수질, 퇴적환경, 그리고 어패류에 관한 연구가 일부 이루어진 것을 알 수 있다. 이와 같이 여자만이 다른 두 해역에 비해 연구의 질적인 면이나 양적인 면에서 큰 차이를 보이는 것은 지금까지 여자만이 별다른 환경적 문제를 일으키지 않았음을 반증하고 있는 것으로 생각된다. 즉, 여자만의 해양환경은 진해만과 가막만에 비해 여전히 상대적으로 양호한 상태를 유지하고 있음을 암시한다.

**3.2 여자만 해양환경의 특성 - 선행연구를 중심으로 -**

먼저 이하에서는 지금까지 수행된 선행 연구를 바탕으로 여자만의 해양 환경적 특성을 파악하였다.

**3.2.1 수질 및 물리환경**

Hwang *et al.*[2005]은 submarine groundwater discharge (SGD)와 이와 관련한 영양염류 플럭스를 추정하기 위하여 여자만에서 연안 지하수와 표층수의 라듐 동위원소(<sup>223</sup>Ra, <sup>224</sup>Ra, <sup>226</sup>Ra)와 영양염류의 농도를 측정하였다. 또한 그들은 규소(Si)의 질량평형방정식을 사용하여 만에 있어서의 SGD와 물의 체류시간을 결정하였다. 그 결과, 여자만 만내수의 평균체류시간은 약 7일로 나타났다. 표층(0-3 m)에 대한 해저지하수의 유입 플럭스는 약 2.6×10<sup>7</sup>·m<sup>3</sup>·day<sup>-1</sup>이었

고, SGD에 의한 영양염류 플럭스는 용존무기질소(DIN), 용존무기인(DIP), 용존무기규소에 대하여 각각 26m·mol·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup>, 0.11m·mol·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup>, 26m·mol·m<sup>-2</sup>·day<sup>-1</sup>이었다. 이러한 SGD를 통한 영양염류 플럭스는 이 만의 저층 퇴적물로부터의 확산이나 또는 하천수를 통해 유입되는 영양염류 플럭스보다 훨씬 높았다. 그들은 이와 같은 연안의 지하수로부터의 과잉 영양염류의 유입은 만밖의 외양에서 발생하고 있는 유해성 적조의 가장 그럴듯한 원인으로 추론하였다. Lee *et al.*[2008]은 생태수리역학적 수치모형을 사용하여 여자만에서의 오염물질 부하의 환경용량과 환경변화에 대한 수질의 반응을 추정하였고, 또한 에너지계 수치모형을 사용하여 습지 경계에 있어서의 영양염류와 유기물의 변동을 모의하였다. 그 결과, 대부분의 수질요인은 파의 형태로 반응하였고, 해수의 영양염류와 유기물의 농도는 담수유출로 인한 영양염류의 유입부하가 증가하는 것으로 나타났다. 특히, 만의 북부에 있는 잘 발달된 조간대와 습지는 영양염류의 유입부하에 매우 민감하였다. 한편, 만내에서의 물의 체류시간, 화학적산소요구량(COD), 용존무기질소(DIN)는 각각 16일, 43.2일, 50.2일로 추정되었다. 또한 여자만의 목표수질기준을 만족하기 위해서는 현재의 COD와 용존무기인(DIP)의 농도를 20-30%, DIN을 50%로 줄이기 위한 계획이 필요하며, 갈대를 이용한 습지에서의 영양염류의 자연제거율은 대략 10%로 평가되었다. Lee[1983]는 1982년 10월 30일부터 11월 6일까지 여자만의 입구에서 실시한 측류관 추적실험 및 유속계에 의한 측류자료를 사용하여 해수교환 및 교류량을 추정하였다. 그 결과, 여자만의 평균 용적(1.96 km<sup>3</sup>)에 대한 해수의 유입량은 43%(조차 320 cm), 유출량은 42%(조차 304cm)이며, 해수의 평균 교환량은 썰물 때 6.3%, 밀물 때 5.0%로 나타났다. Choo[2019]는 수심적분한 2차원 조류수치모형(DIVAST, Falconer[1986])을 이용하여 여자만의 서수도 주변내역의 조류분포특성을 밝혔다. 이상의 결과로부터, 여자만 수질은 저층 퇴적물로부터의 확산이

나 육수유입에 의한 영향보다 SGD를 통한 영양염류 플럭스에 의해 더 크게 지배되고 있는 것으로 나타났으며, 이것이 만밖의 외양에서 발생하는 유해성 적조의 한 원인으로 지목되었다. 또한 북부 해역의 조간대와 습지는 만내로 유입하는 영양염류의 제거에 다소 기여를 하고 있는 것으로 평가되었다. 한편, Lee *et al.*[2008]의 수치모형 실험결과에 의하면, 여자만내 해수의 체류시간은 16일로, 이는 전술한 Lee[1983]의 측류관 추적실험에 의한 썰물시 여자만의 해수의 평균교류량 6.3%와 물리적으로는 서로 동일한 의미를 갖는 것으로 판단된다. 그러나 이러한 여자만내 해수의 평균 교류량은 Lee and Chang[1982]이 가막만의 측류관 추적실험결과에서 얻은 낙조시의 해수 교류량 88%에 비해 매우 작아, 여자만내 해수의 느린 유동을 반영하고 있다. 또한 이들 여자만내 해수는 Choo[2019]의 수치모형 실험결과에 따르면, 낙조시 동수도와 서수도로 분리되어 남하하면서 협수로 주변에서 복잡한 지형성 와류를 형성하는 것으로 나타났다.

### 3.2.2 퇴적환경

Choi *et al.*[2005]은 2001년 8월부터 2002년 7월까지 1개월 간격으로 여자만 조간대 5개 측선상에서 표층퇴적물을 100 m 간격으로 반복적으로 채취하여, 퇴적물의 입도조성, 함수율, 유기물 및 전단응력을 조사하였다. 그 결과, 측선상의 월별 입도조성 변화는 뚜렷하게 나타나지 않았으며, 점토함량이 약 40~70%로 두드러졌다. 또한 점토함량은 만의 북쪽에서 가장 높았고, 서쪽에서 가장 낮았으며, 점토의 함량변화에 따른 함수율과 유기물 함량도 상대적으로 높은 경향을 보였다. 한편, 조간대에서의 점토함량은 겨울과 봄에는 높고 여름과 가을에는 낮았으며, 겨울과 봄에 퇴적경향을 나타내었다. 또한 조간대별 평균 집적율은  $-14.62-38.57 \text{ mm}\cdot\text{yr}^{-1}$ 로서 북측이  $32.13 \text{ mm}\cdot\text{yr}^{-1}$ , 서측이  $-14.62 \text{ mm}\cdot\text{yr}^{-1}$ , 동측이  $6.46 \text{ mm}\cdot\text{yr}^{-1}$ 으로 나타났다. 연구기간 중 퇴적물의 퇴적은 북측 조간대에서 일어났으며, 서측 조간대에서는 침식이 일어났다. 반면, 계절별로는 건기(겨울과 봄)에 퇴적하고, 우기(여름과 가을)에 침식되는 것으로 나타났다. Jang *et al.*[2009]은 여자만에서 홀로세(Holocene) 후기 해수면 변화에 상응하는 저서성 유공충 변화를 알아보기 위하여 4개의 주상시료를 채취하여 입도분석, 유공충 종분류 및 군집 설정, 통계분석 등을 실시하였다. 그 결과, 주상퇴적물은 주로 세립질의 실트와 점토로 구성되어 있었으며, 저서성 유공충은 16-29속, 27-52종이 분류되었다. 또한 유공충의 집적분석결과 이들 유공충들은 만 상부의 퇴적환경(대표군집 *Ammonia beccarii*) 및 외해수의 영향을 상대적으로 많이 받는 하부 내만 환경(대표군집 *Elphidium clavatum-Ammonia beccarii*)하에서 퇴적된 것으로 나타났다. 그들은 이러한 저서성 유공충과 부유성 유공충에 대한 코어시료에서의 구성비 변화로부터, 여자만에서는 홀로세 후기 해수면이 상승한 것으로 판단하였다. Choi *et al.*[2013a]은 2012년 5월과 9월에 29개 정점에서 패류양식의 시간적 변화와 오염상태를 평가하기 위하여 여자만에서 채취한 표층퇴적물의 유기오염 상태를 조사하였다. 그 결과, 유기물 함량은 5월, 7월보다 9월에 현저히 높았고, 대조구에 비해 패

류양식장에서 훨씬 높았다. 또한 공극수 중의 암모니아 농도는 질산염 농도보다 100배 가량 더 높았는데, 이것은 여자만이 질소를 감소시키는 환경임을 암시한다고 그들은 평가하였다. Choi *et al.*[2013b]은 하수 기원 분변계(fecal sterols) 오염을 평가하기 위하여 여자만과 강진만의 패류양식장으로부터 표층퇴적물을 채취하여 8가지의 분변계 스테롤을 분석하였다. 그 결과, 여자만의 경우, 하수기원 유기오염의 지시자중의 하나인 coprostanol의 농도는  $10-530 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{dry}$ 로 나타났으며, 또한 coprostanol의 농도는 외만에서보다 내만에서 현저히 높았다. 한편, 다른 sterol의 비의 다변량 해석결과는 스테롤이 하수, 플랑크톤, 저서생물로부터 유래한 것으로 판단되어 그들은 여자만의 수질관리에 있어서 하수처리장 뿐만 아니라 하천기원의 유입 관리의 중요성을 역설하였다. Song *et al.*[2014]은 한국 남해안과 같은 지형과 복잡한 해안선을 가진 지역에 적용할 수 있는 BCs(background concentrations)를 확립할 수 있는 방법을 제시하였다. 이를 위해 그들은 연안퇴적물의 금속 농도에 대한 수착(水着, 흡착) 가설에 기초하여 33개 코어와 187 표층퇴적물을 사용하였다. 여기서 그들은 Cs(세슘)를 표층퇴적물의 입자 크기 효과를 보정하는 데 있어서 가장 적절한 지화학적 물질로 선택하였다. 그 결과, 그들은 한국 남해안의 해안퇴적물에 적용할 수 있는 금속농도와 BCs농도 사이의 선형적 회귀관계식을 다음과 같이 제시하였다:  $8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 의 Cs(393 퇴적물의 평균 농도)일 때,  $70(\text{Cr}), 13(\text{Co}), 30(\text{Ni}), 13(\text{Cu}), 87(\text{Zn}), 23(\text{Pb}) \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Choi *et al.*[2015]은 패류양식장을 포함한 여자만내 29개 정점에서 표층퇴적물을 채취하여 미량금속(As, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Pb, Zn)을 분석하였다. 그 결과, 여자만의 평균 미량금속농도는 표층퇴적물에서  $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Zn} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{As} > \text{Cd} > \text{Hg}$ 의 순으로 높은 것으로 나타났으며, 패류양식장이 아닌 대조구(reference site)의 미량금속 농도의 차이는 없는 것으로 조사되었다. 또한 다변량 분석결과 퇴적물내의 Fe, Mn, Zn, Pb, Cr 농도는 서로 강한 상관을 보여주었는데, 이것은 미량금속의 퇴적물내의 농도가 주로 지각성분과 속성작용(diagenesis)에 의존하고 있음을 의미하였다. 한편, 지구퇴적지수(geoaccumulation index)와 해양저질 가이드라인(Sediment Quality Guidelines)에 의하면, 여자만은 미량금속에 의해 오염되어 있지 않은 것으로 판단되었다. Song and Choi[2017]는 한국 전 연안을 따라 총 79개의 코어퇴적물과 293개의 표층퇴적물을 채취하여 한국 전 연안 퇴적물의 금속농도(배경농도)와 오염정도를 평가하였다. 이를 위해 그들은 Cs(세슘)농도에 대한 금속 배경농도의 1차 선형회귀를 사용하여 코어내의 비오염퇴적물을 확인하였다. 그 결과, 전체 퇴적물 중 14개 퇴적물이 임계치(threshold)를 초과한 것으로 나타났다. 또한 대부분의 퇴적물은 Cr, Co, Ni에 의한 오염은 없는 반면, 표층퇴적물 중에는 Zn 31%, Cu 34%, Pb 43%의 비율로 다른 금속에 의해 오염되어 있었다. 한편, 전체 퇴적물 중 14%가 Cu에 의해 오염되어 있었고, 수질등급 2등급을 넘는 이들 퇴적물은 주로 산업과 조선소시설부근에서 집중하고 있었다.

이상의 결과로부터, 여자만의 저질은 세립의 실트와 점토함량이 상대적으로 높으며, 건기(겨울과 봄)에는 퇴적하고, 우기(여름과 가

을)에는 침식이 일어나는 것으로 나타났다. 또한 만의 북부와 남부는 서로 퇴적환경이 상이하며, 특히 만의 북부는 육상 기원의 유기오염이 문제가 되고 있음을 알 수 있다. 게다가, 패류양식장의 퇴적물 중의 유기물 함량이 대조구(reference site)에 비해 상대적으로 높고, 특히 산업시설 주변 해역의 저질은 중금속 오염이 문제가 되고 있는 것으로 드러났다.

### 3.2.3 어류 및 양식생물

Kwon and Cho[1986]는 1982년 3월에 여자만의 바닥에 피조개(*Anadara broughtonii*)의 종패를 살포하여 익년 12월 수확할 때까지 약 6개월간 피조개의 성장과정과 폐사를 조사하였다. 그 결과, 폐각과 각부 중량의 증가는 고수온기에 빨랐으며 폐각의 한쪽 형태는 타원형에서 원형으로 변하며 육질 중량의 증가는 폐각 성장의 증가속도보다 빠르다는 사실을 확인하였다. 반면, 피조개의 성장은 순조로와 여자만이 피조개 양성장으로는 적합하지만, 폐사가 많았으며, 종패 살포후 1개월에 약 30%가 폐사하여 수확시의 생산율은 약 10%에 지나지 않은 것으로 나타났다. 이때 그들은 피조개 폐사의 주원인으로서 불가사리를 지목하였다. Yoo et al.[1988]은 키조개(*Atrina (Serbatrina) pectinata*)의 효율적인 종묘생산기술개발을 목적으로, 1987년 7월 9일부터 1988년 2월 15일까지 여자만에서 수직식 및 수평식 채묘기를 설치하여 부유유생의 출현시기와 각 유생단계별 생존율을 조사하였다. 그 결과, D형유생(Yoshida and Inoue[1954]에 따르면, 키조개의 부유유생을 크기에 따라, D형, umbo형, 성숙유생 등의 3단계로 구분함)인 135 × 144 μm인 유생은 8월 1일, 12일, 25일에 각각 출현 peak가 있었고, 300 × 317 μm인 umbo형 유생은 8월 9일, 22일, 9월 4일에, 468 × 450 μm인 성숙유생은 8월 22일, 9월 3일, 16일에 각각 peak가 있었다. 또한 D형 유생에서 umbo형 유생으로 되는 데는 약 9-10일이 걸렸고, 순간생존율(survival rate·day<sup>-1</sup>)은 0.94, 전생존율은 54%이었다. umbo형 유생에서 성숙유생으로 되는 데는 약 12-14일이 걸렸으며, 순간생존율은 0.08%, 전생존율은 약 19%였다. D형 유생의 발생에서 채묘의 대상이 되는 성숙유생으로 되는 데는 약 22-23일이 걸렸으며, 이 기간 중 전생존율은 약 10%였다. 채묘의 부착밀도는 여자만 수평식 채묘기에서 0.48개체·m<sup>2</sup>이었다. 또한 그들은, 키조개 각장(SL)에 대한 각고(SH)의 관계식, 각장에 대한 전중량(TW)의 관계식, 전중량에 대한 육중량(MW)의 관계식 등을 얻었다. Kim et al.[2007]은 2005년 3, 6, 9, 12월에 여자만의 5개 정점에서 저층트롤을 이용하여 총 20회 어획조사를 행하였다. 그 결과, 어획된 어종은 어류 70종, 갑각류 30종, 두족류 8종, 기타 7종을 포함하여 총 115종이었고 어획중량은 1,187.9 kg이었다. 이들 중 단일종으로 가장 많이 어획된 생물인 아무르불가사리는 6,622개체, 450.3 kg으로 1,972 개체·km<sup>2</sup>, 1,341.6 kg·km<sup>2</sup>이 분포하고 있는 것으로 나타났다. 그들은 아무르불가사리가 새고막, 고막, 피조개 등 여자만내 면허어업 중 86%를 차지하고 있는 패류양식어업과 여자만 생태계에 미치는 영향이 크기 때문에 이들에 대한 신속한 구제를 촉구하였다. 한편, 어획량은 여자만 입구에서 많았고, 만의 중앙 해역에서 낮았

으며, 또한 하계와 추계에 높았는데, 그들은 이것이 수온상승에 따른 어군의 만내 유입에 의한 결과로 판단하였다. 또한 그들은 어류 중 우점종인 갯장어와 보구치는 대부분 성숙체장 이하의 소형개체가 어획되어 여자만이 갯장어와 보구치의 성육장으로 추론하였다. 따라서 수산생물의 산란장 및 서식지 보호를 위해서는 여자만의 수산자원보호구역내에서의 지속적인 모니터링과 생태계 회복을 위한 자원관리의 필요성을 역설하였다. Lee et al.[2011]은 여자만에서의 어류의 연변화와 계절변화를 조사하기 위하여 2006-2009년까지 빔트롤을 이용하여 어류조사를 실시하였다. 그 결과, 그들은 총 44종의 어류를 채집하였고, 주요 탁월종은 *Pennahia argentatus*, *Thryssa adalae*, *Thryssa kammalensis*, *Cynoglossus joyneri*로 나타났다(전 개체의 63%, 습중량의 50 %를 차지하였음). 또한 다양도지수는 평균 1.62(1.46-1.77)로, 계절에 따른 유사도는 2그룹(3월과 12월, 6월과 9월)으로 나누어졌다. 한편, 분산분석(ANOVA) 결과, 개체와 어획량의 연변화와 계절변화는 크지 않았다. Park et al.[2011]은 자연서식처로부터 종자채집의 최적 시간을 결정하기 위해, 여자만에서 저층 양식종인 피조개(새고막)의 연주기, 배세포생성의 활동(활성), 생화학적인 조성 등을 16개월간 조사하였다. 이를 위한 피조개의 표본은 2009년 8월부터 2010년 11월 사이에 일정 간격으로 수집되었다. 그 결과, 표준 피조개(각장 31.4 mm)의 건 조직 중량과 조건은 4-5월에 최고치를 보였고, 늦어름에서 가을 사이에 최소에 달하였다. 또한 생식샘 조직의 조직학적 해석에서는 1년 중 한 개의 산란 최고치(6-8월)를 갖는 단봉의 배우자형성주기를 보여주었다. 한편, 피조개(새고막)의 배우자형성주기는 비축물질(글리코겐(당원), 단백질, 지질)의 축적과 함께 겨울부터 늦은 봄까지 동시에 시작되었으며, 이것은 최근에 소화된 먹이 에너지가 생식세포 생산에 연료로 사용되고 있음을 의미하였다. 전 해를 통해 수주와 표층퇴적물에 있어서의 클로로필\_a (Chl\_a) 농도는 높았으며 이는 현지의 높은 식물플랑크톤의 생산을 의미하였다. 본 연구 결과, 피조개(새고막)의 배우자형성 발달은 가속화하였고 산란은 지난 10년 동안 적어도 1개월 정도 빨라진 것으로 나타났다. 이러한 변화는 아마도 겨울과 이른 봄사이의 증가된 수온을 반영한 것으로 판단되며, 따라서 피조개의 종자 뿌리기(모뎀 살포)의 시기는 늦은 6-8월에서 봄으로 전환하는 것이 피조개 양식의 성공을 위해 필요하다는 것을 암시하였다. Kim et al.[2015]은 여자만내 인접한 두 잘피밭에 있어서의 어린 농어의 성장과 환경변수와의 관계를 파악하기 위해 2006년 2월부터 2007년 2월까지 매월 1회 잘피밭 2개 지역(여자만 백일도 및 가막만 원포리)에서 후릿그물을 이용하여 농어 유어를 채집하였다. 그 결과, 여자만에서는 조사기간 중 196개체의 농어의 유어를 채집하였다. 또한 가막만과의 비교 결과, 여자만의 농어 유어의 성장패턴과 발생기간은 물론 환경인자에 있어서도 가막만과는 현저한 차이를 보였다. 즉, 농어 유어의 발생기간이 가막만에서는 4-12월인 반면, 여자만에서는 4-7월이었다. 그들은 이러한 차이가 두 만간에 있어서의 잘피의 밀도, 잎의 폭, 동물플랑크톤의 밀도 등의 차이와 관련이 있는 것으로 추론하였다.

이상의 결과로부터, 여자만내에는 고막, 새고막, 피조개, 키조개 등

다양한 수산어족자원이 서식하고 있음을 알 수 있다. 또한 이들 중 피조개의 수확시 생존율은 약 10%이며(Kwon and Cho[1986]), 특히 여자만의 우점종인 아무르불가사리는 피조개뿐만 아니라 새고막, 고막 등 여자만내 다른 패류양식어업과 여자만 생태계에 큰 해를 끼치고 있는 것으로 나타났다(Kim et al.[2007]). 반면, 피조개 양식의 성공을 위해서는 현재의 늦은 6-8월에서 피조개 종자 뿌리기(모립 살포) 시기를 봄으로 앞당길 필요가 있음을 암시하였다(Park et al.[2011]). 한편, 여자만은 갯장어와 보구치는 여자만이 성육장으로서, 이들 수산생물의 서식지 보호를 위한 자원관리가 필요한 것으로 나타났다. 또한 여자만에서의 농어의 유어는 그 성장패턴과 발생기간이 가막만과는 현저한 차이를 보였으며, 이것은 잘피의 밀도나 잎의 폭, 동물플랑크톤의 밀도 등에서의 차이 때문으로 판단되었다(Kim et al.[2015]).

### 3.2.4 적조생물 및 저서동물

Shin et al.[2010]은 한국 연안역에 있어서 외편모조류인 타원형 *Alexandrium* 휴면포자의 역사적 출현을 확인하기 위하여 여자만에서 채취한 주상퇴적물을 조사하였다. 그 결과, 외편모조류의 휴면포자군집은 2개의 주요한 시간간격, 즉, 1990년대 중반부터 2006년까지(영역1), 1900년대 초기부터 1990년대 초기까지(영역2)의 시간간격을 보여주었다. 다시 말해서, 전체 휴면포자 농도는 영역1에 비해 영역2에서는 거의 5배로 급격히 증가하였다. 또한 그들은 여자만에서의 염분이 1995년후 28psu에서 31psu로 증가한 것은 쓰시마난류의 강한 침입에 의한 것으로 추론하였다. 이러한 염분 증가시 그들은 *Brigantedinium* spp., *Selenopemphix nephroides*의 풍도도 함께 증가한 것을 확인하였다. 특히, 타원형의 *Alexandrium* 휴면포자는 1980년대이후 발생하여 1990년대 중반이후 그 풍도가 증가한 것으로 나타났다. 또한 이때 마비성 패독이 발생하였고 타원형의 *Alexandrium* 휴면포자의 증가가 한국 연안은 물론 일본의 여러 연안에서도 보고되었다. 따라서 *Alexandrium* 휴면포자가 해류(예를들면 쓰시마 난류)를 타고 여자만을 포함한 한국연안으로 운반되었으며, 그들은 해류가 *Alexandrium* 휴면포자의 성장에 영향을 미친다고 판단하였다. Kim et al.[2005]은 1997년 하계부터 익년 추계에 걸쳐 여자만내 총 87개 정점에서 다모류 등 저서동물을 채집하였다. 그들은 이들 자료로부터 종다양성 지수, 종풍부도 지수, 종균등도 지수, 우점도 지수 등을 정점별로 계산하였고, 유사도 지수를 사용하여 집괴분석을 실시하였다. 그 결과, 전체 저서동물 군집밀도는 387개체·m<sup>2</sup>로, 만입구나 내만에서보다 만의 중앙에서 더 높게 나타났다. 또한 *Scapharaca subcrenata*(이매패)와 *ampipods*(갑각류 crustacea)가 내만과 만중앙에서 중요종으로 출현하였고, 저서갯지렁이류는 72종으로 평균밀도가 149개체·m<sup>2</sup>로 나타났다. 이들 분포는 만 중앙에서 높았고 가장 탁월종은 *Sternaspis scutata*(13.6%)이었다. 집괴분석(cluster analysis)결과, 저서동물의 군집은 3개의 영역, 즉 내만역, 만중앙부, 만입구역 등으로 구분되었으며, 그들은 이들 결과로부터 여자만은 다른 만에 비해 여전히 거의 오염되지 않은 해역을 유지하고 있다고 판단하였다.

이상의 결과로부터, 타원형의 *Alexandrium* 휴면포자는 1980년대 이후 발생하여 1990년대 중반이후 그 풍도가 증가하였는데 이는 *Alexandrium* 휴면포자가 해류, 즉 쓰시마 난류를 타고 여자만으로 운반되었기 때문이며, 따라서 *Alexandrium* 휴면포자의 성장에 해류가 영향을 미치는 것으로 판단되었다. 한편, 여자만내 저서동물 군집은 3개의 영역, 즉 내만역, 만중앙부, 만입구역 등으로 구분되었으며, 집괴분석결과 여자만은 타 해역에 비해 여전히 거의 오염되지 않은 해역을 유지하고 있는 것으로 나타났다(Kim et al.[2005]).

### 3.3 여자만 해양환경의 특성 - 타 해역과의 비교를 중심으로 -

전술한 바와 같이, 진해만, 가막만, 여자만은 진주담치, 피조개, 굴, 고막 등의 패류 양식을 위해 만내 수역을 매우 밀도 높게 이용하고 있다는 점과 또한 주요 육상오염원이 북부에 위치하고 있다는 점의 공통점을 가지고 있다. 따라서 이들 3개 해역은 양식생물에 의한 내부오염과 만 주변의 산업폐수나 생활하수로부터 기인하는 외부오염이 해양환경에 영향을 미칠 것으로 판단된다. 그러나 전술한 바와 같이 지금까지 여자만에서의 적조발생이 진해만이나 가막만에 비해 현저히 적었다. 따라서 먼저 이들 3개 해역의 수질 인자를 비교를 통해 여자만의 환경적 특성을 검토하였다. 이를 위해 지난 11년간(2009-2019년) 8월에 표층에서 관측된 국립수산과학원의 어장환경모니터링 통계자료(<http://www.nifs.go.kr>)에 의한 비교 결과를 Fig.4(a)-(g)에 나타내었다.

먼저, 진해만(JB), 가막만(GB), 여자만(YB)의 평균 수온은 각각 16.7°C(15.6-19.1°C), 17.1°C(15.6-19.8°C), 16.8°C(15.3-19.8°C)로, 3개 해역 모두 연변화가 거의 유사한 형태를 보여준다(Fig. 4(a)). 반면, 진해만, 가막만, 여자만의 평균 염분은 각각 30.5(24.74-33.70), 31.87(29.98-32.54), 30.15(23.86-32.54)로, 가막만은 연변화가 비교적 작은 데 비해, 여자만은 연변화가 상대적으로 큰 것을 알 수 있다(Fig. 4(b)). 진해만의 경우도 2012년 이전에는 연변화가 다소 심하였으나 그 이후에는 연변화가 비교적 크지 않다. 한편, Kim et al.[1999]은 1995년 여자만에서 발생한 *C. polykrikoides* 적조가 쓰시마난류수의 만내 침입과 관련이 있다고 주장한 바 있다. Lee et al.[2010]에 따르면, 쓰시마 난류는 하계에 수온 26.0°C 이상, 염분 31.5 이하이며 또한 *C. polykrikoides* 적조는 수온이 약 25-26°C, 염분이 약 31.00 일 때 발생하는 광온(eurythermal), 광염성(euryhaline)으로 알려져 있다. 이에 반해, Kim et al.[2003]은 *C. polykrikoides*의 성장률은 낮은 염분에서는 감소한다고 하였고, Shin et al.[2010]은 여자만내로의 하천수 유입으로 인한 낮은 염분이 *C. polykrikoides* 적조 발생과 분포에 영향을 미치는 환경요인이라고 하였다. 그러나 전술한 Table 1에 따르면, 여자만에서는 2013년 하계에 *C. polykrikoides* 적조가 발생하였고, 이때 표층 염분은 Fig. 4(b)에 의하면 대략 30 이상일 것으로 추측된다. 또한 Kim et al.[1999]은 1995년 여자만에서 발생한 *C. polykrikoides* 적조가 쓰시마난류수(하계 표층 염분은 대략 36이상임)의 만내 침입과 관련이 있다고 주장하였다. 따라서 이러한 결과에 비추어 볼 때, 여자만에서의 *C. polykrikoides* 적조 발생이 낮은 염분에 의한 지배를 받고 있다는 Kim[2003], Shin et

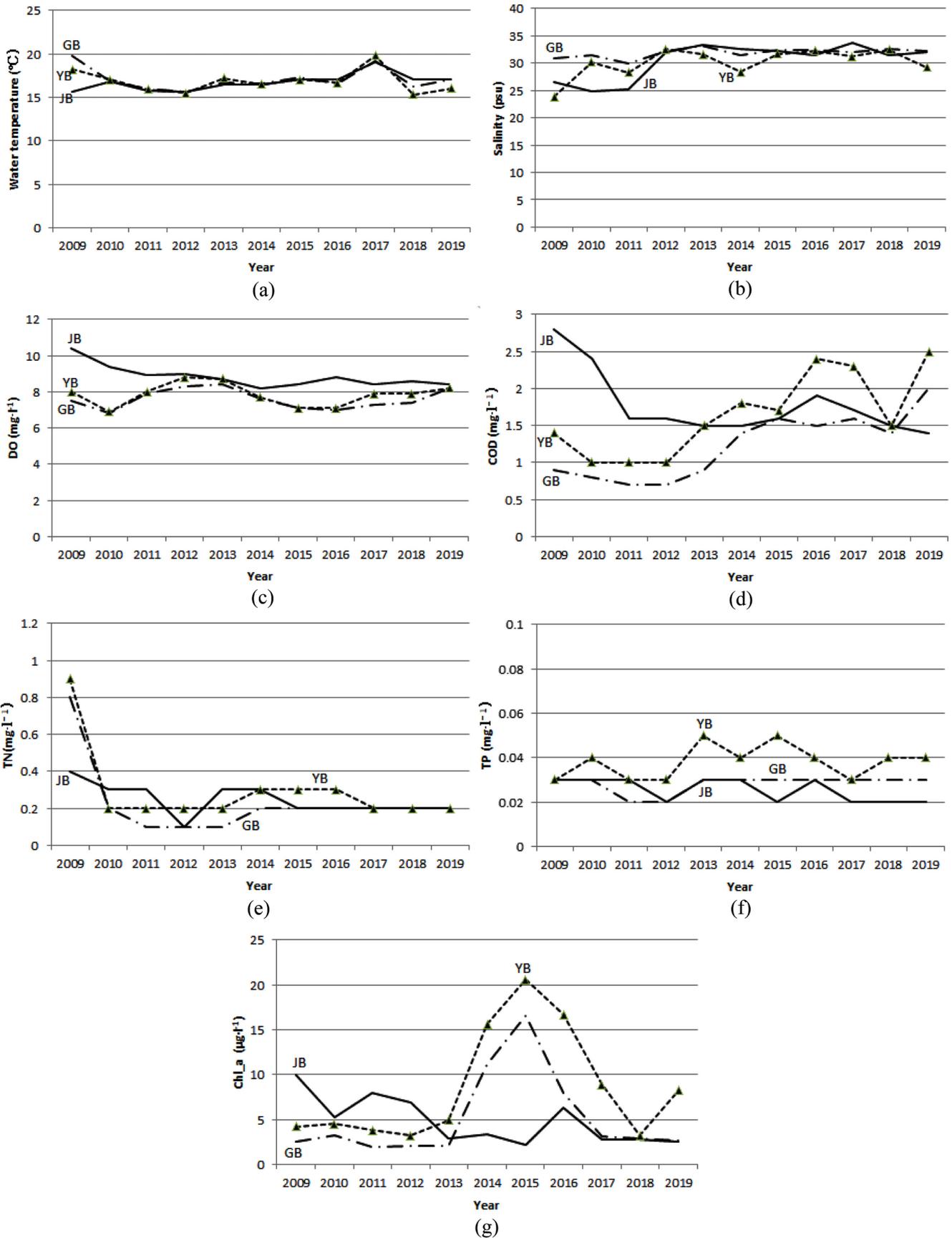


Fig. 4. Variation of water quality factors at the surface layer in every August for Jinhae (JB), Gamak (GB), and Yeoja (YB) Bays.

al.[2010] 등의 주장은 받아들이기 힘들다고 생각된다.

한편, 용존산소(DO) 농도는 진해만, 가막만, 여자만에서 각각  $8.8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $8.2\text{-}10.4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ),  $7.6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $6.8\text{-}8.4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ),  $7.8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $6.9\text{-}8.8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )로서, 진해만이 상대적으로 다소 높은 반면, 여자만은 가막만과 유사한 변화를 보여준다(Fig. 4(c)). 또한 COD 농도는 진해만, 가막만, 여자만에서 각각  $1.8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $1.4\text{-}2.8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ),  $1.2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $0.7\text{-}1.6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ),  $1.6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $1.0\text{-}2.5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )로서, 진해만이 상대적으로 다소 높으나 2011년 이후 COD 농도가 급격히 하강하여 안정한 반면, 가막만과 여자만은 2012년 이후 오히려 COD 농도가 함께 상승하는 경향을 보인다(Fig. 4(d)). 한편, 총질소(TN) 농도는 진해만, 가막만, 여자만에서 각각  $0.25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $0.1\text{-}0.4 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ),  $0.23 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $0.1\text{-}0.8 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ),  $0.27 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $0.2\text{-}0.9 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )이며, 또한 총인(TP) 농도는 진해만, 가막만, 여자만에서 각각  $0.03 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $0.02\text{-}0.03 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ),  $0.03 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $0.02\text{-}0.03 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ),  $0.04 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $0.03\text{-}0.05 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )로서, TN, TP 농도는 2010년 이후에는 3개 해역 모두 큰 연변화는 없으나, 여자만이 진해만과 가막만에 비해 다소 높고 특히 TP 농도의 경우 기복도 심하다(Fig. 4(e)-(f)). (단, 여기서는 진해만, 가막만, 여자만의 DIN 농도는 각각  $0.05 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $0.04\text{-}0.09 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ),  $0.27 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $0.03\text{-}2.46 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ),  $0.24$ ( $0.03\text{-}2.0 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), DIP 농도는 각각  $0.01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $0.0\text{-}0.01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ),  $0.01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $0.01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ),  $0.01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $0.01 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )로 나타났으나, 해역간에 유의한 차이를 발견하지 못하여 언급하지 않았음). 반면, Chl\_a 농도는 진해만, 가막만, 여자만에서 각각  $4.81 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $2.2\text{-}10.1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ),  $5.09 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $1.9\text{-}16.6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ),  $8.53 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  ( $3.2\text{-}20.6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ )로서, 진해만이 가장 낮고 여자만이 가장 높는데, 특히 2015년도에 여자만은 가막만과 더불어 Chl\_a 농도가 급격히 상승하였다. 이것은 아마도 2015년 8월에 우리나라 남해안에 영향을 준 태풍 Goni(2015. 8. 15 발생하여 8.26 소멸하였고, 이 기간 중 순천지방의 누적 강수량은 105.2 mm임)으로 인하여 다량의 영양염류가 만내로 유입하여 식물플랑크톤의 일시적 증식에 기여하였을 것으로 추정된다. 마찬가지로 2014년(8월의 누적 강수량 666.9 mm)과 2016년(8월의 누적 강수량 71.9 mm)의 경우도 Chl\_a 농도의 일시적 증가가 있으나, 그 원인에 대해서는 불명하다.

이상의 결과로부터, 하계에 있어서의 여자만의 수온이나 염분은 진해만이나 가막만과 유사하지만, 염분의 경우는 다른 두 해역에 비해 상대적으로 연변화의 기복이 다소 심한 것으로 나타났다. 또한 DO 농도는 진해만에 비해서는 다소 낮으나 가막만과 유사하였고, COD 농도는 가막만과 함께 2012년 이후 상승하는 경향을 보였다. 한편, TN 및 TP 농도는 여자만이 진해만과 가막만에 비해 다소 높았고, Chl\_a 농도는 여자만이 다른 두 해역에 비해 상대적으로 높았고, 특히 2015년도에는 가막만과 함께 농도가 급격히 상승하였는데, 이것은 아마도 태풍의 영향일 가능성이 크다고 판단되었다. 결론적으로 말해, 여자만은 진해만이나 가막만에 비해 해양환경적인 측면에서 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다.

## 4. 결 론

전술한 바와 같이 본 연구에서는 1983년 이래 2020년까지 발행된 순천만 및 여자만 연구 관련 문헌과 기타 기관에서 발행된 자료를 바탕으로 여자만의 해양환경 특성을 검토하였다. 그 결과, 여자만은 진해만이나 가막만과 마찬가지로 폐쇄적인 지형과 패류 양식 등 해역이용면에서는 서로 유사한 물리 환경적 조건임에도 불구하고, 이들 해역과는 달리 적조는 물론, 빈산소수괴의 발생, 양식장에서 패류 독성 등 특별한 환경문제가 거의 발생하지 않았음을 알 수 있었다. 또한 진해만이나 가막만의 해양환경 항목과 비교하여 유의한 차이는 없었다고 판단된다. 그러나 만의 북부에 순천만이라는 완충 장치(buffer), 즉 인간의 체내로 침입하는 세균을 방지하는 피부와 같은 역할을 하고 있다는 점이 여자만이 가진 해양환경적 특성이라고 생각된다. 순천만에는 여자만 전체 수면적의 약 8%에 해당하는 염습지(salt marsh)가 발달되어 있고 여기에 더하여 칠게(mud crab)를 비롯한 고막, 피조개 등의 이패매류가 수질-저질의 정화기능을 담당하고 있다. 한 예로서, 전술한 Lee *et al.*[2008]의 결과에서는 갈대를 이용한 습지에서의 영양염류의 자연제거율은 대략 10%로 평가한 바 있다. 따라서 여자만의 해양환경 문제는 바로 순천만을 얼마만큼 지속적으로 잘 관리하느냐에 달려 있다고 생각된다. Lee[2017]에 따르면, 연안해역의 해저 퇴적물 위에는 간석지에서 조하대에 이르기까지 넓은 범위에 걸쳐 분포하는 저서미세조류가 기초생산자로서 큰 역할을 하고 있는 것으로 알려져 있다. 또한 이패매류나 다모류, 단각류 등의 퇴적물 식자의 다수는 이 저서미세조류 유래의 유기물을 선택적으로 섭이하며 현탁물 식성 저서동물의 경우도 먹이원으로서 저서미세조류를 이용하고 있다는 사실이 밝혀져 있다. 그것은 저서미세조류가 파랑이나 조석의 영향을 받아 퇴적물과 함께 수주에 용이하게 재현탁되어 현탁물 식성 저서동물의 먹이원도 될 수 있기 때문이다.

이상에서 살펴본 바와 같이 지금까지의 연구는 여자만과 순천만을 각각 서로 다른 관점에서 독자적인 연구가 수행되어 왔으나, 앞으로 여자만의 연구는 순천만과 연계하여 수행될 필요가 있다고 생각된다. 이를 통해 순천만의 염습지나 서식생물이 여자만의 해양환경에 기여하는 기작이 해명되고 또한 여자만의 해양환경적 특성도 보다 더 명확해 질 것으로 사료된다.

## References

- [1] Cha, J.Y. and Lee, H.C., 2018, "The effects of selection attributes of Suncheon wetland reserve on visiting demand, Tourism Manage. Res. Org., 22(7), 1-18.
- [2] Cha, S.S., Koh, Y.K., Choi, J.M., Lee, Y.G., Kim, H.G. and Oh, K.H., 2019, "Sedimentary environments and geochemical characteristics of Suncheon Bay before the restoration of tidal flat—Focused on Jangsan District—", J. Korean Island, 31(1), 149-167.
- [3] Choi, J.H., Kim, H.J., Jung, S.C. and Jang, K.M., 2019, "A study on the evaluation of carbon absorption potential and eco-

- conomic analysis in Suncheonman National Garden”, Korean J. LCA, 30(1), 21-26.
- [4] Choi, J.M., Lee, Y.G. and Woo, H.J., 2005, “Seasonal and spatial variations of tidal flat sediments in Yeoja Bay, south coast of Korea”, J. Korean Earth Sci. Soc., 26, 253-267.
- [5] Choi, M.K., Kim, H.C., Hwang, D.W., Lee, I.S., Kim, Y.S., Kim, Y.J. and Choi, H.G., 2013a, “Organic enrichment and pollution in surface sediments from shellfish farming in Yeoja Bay and Gangjin Bay, Korea”, Korean J. Fish. Aquat. Sci., 46(4), 424-436.
- [6] Choi, M.K., Lee, I.S., Hwang, D.W., Kim, H.C., Kim, Y.J. and Kim, S.Y., 2013b, “Sterols as indicators of fecal pollution in sediments from shellfish farming areas (Yeoja Bay and Gangjin Bay) of Korea”, Korean J. Aquat. Sci., 46(4), 437-444.
- [7] Choi, M.K., Lee, I.S., Kim, H.C. and Hwang, D.W., 2015, “Distribution and contamination status of trace metals in surface sediments of shellfish farming areas in Yeoja and Gangjin Bays, Korea”, Korean J. Aquat. Sci., 48(5), 789-797.
- [8] Choo, H.S., 2019, “Characteristics of tidal current and mean flow at the west channel of Yeoja Bay in the south sea of Korea”, J. Korean Soc. Fish Ocean Technol., 55(3), 252-263.
- [9] Do, Y.N., 2019, “Valuation aesthetic benefits of cultural ecosystem services using conservation cultromics, Ecosystem Services, 36, 1-5.
- [10] Do, Y.N. and Kim, J.Y., 2020, “An assessment of the aesthetic value of protected wetlands based an s photo content and its meta-data”, Ecol. Eng., 150, 1-5.
- [11] Falconer, R.A. 1986, “A two-dimensional mathematical model study of the nitrate levels in an inland natural basin”, Int. conf. water quality modeling in the inland natural environment, Bournemouth, England, June, 10-13, 325-344.
- [12] Han, K.H., Kim, D.Y., Jin, D.S., Shin, S.S., Baik, S.R. and Oh, S.H., 2001, “Seasonal variastion and species composition of ichthyoplankton in Sunchon Bay, Korea”, Korean J. Ichthyol., 13(2), 136-142.
- [13] Hwang, D.W., Kim, G.B., Lee, Y.W. and Yang, H.S., 2005, “Estimating submarine inputs of groundwater and nutrients to a coastal bay using radium isotopes”, Mar. Chemistry, 96, 61-71.
- [14] Jang, H.G., Gong, J.T., Kong, B.W., Han, S.H., Ra, D.G. and Cheng, C.J., 2013, “Distribution pattern of halophytes and its soil environment of the salt marsh in the Suncheon Bay”, J. Korean Soc. Environ. Tech., 14(6), 399-410.
- [15] Jang, M.H. and Lee, J.K., 2018, “Visitor’s behaviors and economic impacts of the Mulbit Fesitival at Suncheon Bay National Garden, Korea”, Economic Geographical Soc. Korea, 21(3), 219-230.
- [16] Jang, S.H., Jeong, D.W. and Lee, Y.G., 2009, “Vertical variations of benthic foraminiferal assemblages in core sediments on Yeoja Bay, southern coast of Korea: Implications for late Holocene sea-level change”, J. Korean Earth Sci. Soc., 30(4), 409-426.
- [17] Jeong, S.M. and Lee, M.B., 2004, “Change of estuary landscape in Suncheon Bay, south coast of Korea”, J. Korean Geomorphological Assoc., 11(2), 127-139.
- [18] Jeong, J.M., Kim, H.J., Ye, S.J., Yeom, S.D., Park, J.H. and Baeck, G.W., 2015, “Feeding habits of juvenile sea perch, *Lateolabrax japonicus* in tidal creek at Sangnae-ri, Suncheon, Korea”, J. Korean Soc. Fish. Technol., 51(2), 221-226.
- [19] Jeong, B.D., 2017, “The effects of service quality of the Suncheon Bay reeds festival on festival satisfaction and revisit intention”, J. Korean Island, 29(4), 67-82.
- [20] Kim, B.M. and Song, K.H., 2014, “The analysis on satisfaction and revisiting factors in Suncheon Bay Garden EXPO”, Northeast Asia Turism Res., 10(1), 77-93.
- [21] Kim, D.G., 2011, “The development of ecological planting model for the make up of coastal windbreak forest on Suncheon Bay in Suncheon-si, Korea”, J. Korean Environ. Restoration Tech., 14(1), 89-104.
- [22] Kim, H.G., 1998, “*Cochlodinium polykrikoides* blooms in Korean coastal waters and their mitigation”, Harmful Algae, Xunta de Galicia and intergovernmental oceanographic commission of UNESCO, 227-228.
- [23] Kim, H.G., Choi, W.J., Jung, Y.G., Jung, C.S., Park, J.S., An, K.H. and Baek, C.I., 1999, “Initiation of *Cochlodinium polykrikoides* blooms and its environmental characteristics around the Narodo Island in the western part of south sea of Korea”, National Fisheries Research & Development Institute, 119-129.
- [24] Kim, H.S. and Chang, J.H., 2010, “Soil environment of halophyte habitat, Suncheon Bay”, J. Korean Island, 22(2), 131-141.
- [25] Kim, H.S. and Myeong, H.H., 2014, “Changes in the environmental factors of halophyte habitat in Suncheon Bay”, J. Korean Island, 26(4), 195-211.
- [26] Kim, H.S., Park, J.W. and Kim, J.S., 2011, “The soil properties of the halophytes in the salt marsh of Suncheon Bay, J. Korean Island, 23(2), 135-152.
- [27] Kim, J.H., Chaudhary, D.R. and Kang, H.J., 2020, “Nitroge addition differently alters GHGs production and soil microbial community of tidal salt marsh soil depending on the types of halophyte”, Applied Soil Ecol., 150, 1-6.
- [28] Kim, J.H., Chaudhary, D.R., Lee, J.H., Byun, C.H., Ding, W.X., Kwon, B.H., Khim, J.S. and Kang, H.J., 2020, “Microbial mechanism for enhanced methane emission in deep soil layer of Phragmites-introduced tidal marsh”, Environ. Intn., 134, 1-8.
- [29] Kim, J.I., Seo, Y.I., Lee, S.K., Kim, S.T., Joo, H., Jang, S.I. and Oh, T.Y., 2007, “Fishing investigation and species composition of the catch caught by a bottom trawl in the Yeoja bay, Korea”, J. Korean Soc. Fish. Tech., 43(4), 241-250.
- [30] Kim, J.K., Ryu, J.H., Kim, J.B., Lee, W.C., Kim, H.C., Moon, S.Y. and Kim, H.Y., 2015, “Growth of young sea bass *Lateolabrax japonicus* in the eelgrass beds of Gamak and Yeoja Bays in relation to environmental variables”, Korea J. Aquat. Sci., 48(6), 920-928.
- [31] Kim, K.S., Jung, J.S. and Chon, I.K., 2000, “Examination of

- hydrological safety of Dong Stream in Suncheon”, Korean Soc. Environ. Tech., 1(3), 283-288.
- [32] Kim, K.W., Lee, K.J. and Han, B.H., 2013, “Environmental ecological status of Suncheon Bay and its application to the criteria of UNESCO World Nature Heritage”, Korean J. Environ., Ecol., 27(5), 625-641.
- [33] Kim, S.M., Moon, C.H. and Cho, H.J., 2003, “Vertical distribution of dinoflagellate cysts in sediments from Gwangyang Bay, Korea”, J. Korean Soc. Oceanogr., 36, 290-297.
- [34] Kim, Y.H., Shin, H.C. and Lim, K.H., 2005, “Distribution of benthic polychaeta community in Yejoa Bay, Korea”, J. Korean Fish. Soc., 38(6), 399-412.
- [35] Koh, Y.K. and Oh, K.H., 2018, “Sponge spicules and silicoflagellates from the surface sediments of coastal area in Suncheon Bay”, J. Korean Island, 30(2), 1813-128.
- [36] Koh, Y.K., Oh, K.H., Youn, S.T., Park, S.N. and Cha, S.S., 2016a, “Sedimentary environments and accumulation rates in Suncheon Bay and Boseong-Beolgyo coastal wetland, J. Korean Island, 28(1), 189-202.
- [37] Koh, Y.K., Oh, K.H., Youn, S.T., Park, S.N., Cha, S.S. and Kim, H.G., 2016b, “The geochemical characteristics of surface sediments in Suncheon Bay and Boseong-Beolgyo coastal wetland”, J. Korean Island, 28(3), 145-161.
- [38] Kong, B.W., Goh, H.J., Ryu, Y.S., Seo, H.N., Lee, W.J., Ra, D.G. and Cheong, C.J., 2017, “Removal of nitrate and phosphate using the shell taken from Suncheon Bay”, J. Korean Soc. Environ. Tech., 18(4), 293-301.
- [39] Kong, B.W., Lee, W.J., Park, M.H., Lee, W.J., Seo, H.N., Ra, D.G. and Cheong, C.J., 2019, “Distribution characteristics of halophyte according to soil environment in coastal wetland of the Suncheon Bay”, J. Korean Soc. Environ. Tech., 20(1), 16-22.
- [40] Kong, B.W., Lee, W.J., Ra, D.G. and Cheong, C.J., 2016a, “Analysis of temporal-spatial characteristics of water quality using water quality index in the Suncheon Bay”, J. Korean Soc. Environ. Tech., 17(2), 96-104.
- [41] Kong, B.W., Lee, W.J., Ra, D.G. and Cheong, C.J., 2016b, “Grain size distribution and physicochemical characteristics of the tidal flat sediments in natural environment conservation area of the Suncheon Bay”, J. Korean Soc. Environ. Tech., 17(5), 393-402.
- [42] Kong, B.W., Lee, W.J., Ra, D.G. and Cheong, C.J., 2017, “Evaluation of water quality using statistic analysis for the stream flowing into the Suncheon Bay”, J. Korean Soc. Environ. Tech., 18(2), 149-158.
- [43] Kong, B.W., Park, D.C., Son, H.S., Lee, W.J., Seo, H.N., Ra, D.G. and Cheong, C.J., 2018, “Characteristics of soil pore water of halophytes habitats in the Suncheon Bay”, J. Korean Soc. Environ. Tech., 19(3), 199-207.
- [44] Kong, B.W., Ra, D.G. and Cheong, C.J., 2014, “Distribution of halophytes at coastal wetland in Suncheon Bay”, J. Korean Soc. Environ. Tech., 15(2), 130-139.
- [45] Korea Hydrographic and Oceanographic Agency (KHOA), Open sea, <http://www.khoa.go.kr/oceanmap/main.do>, 2020 (accessed 2020. 5. 13).
- [46] Korea Meteorological Agency (KMA), Weather information, <https://www.weather.go.kr>, 2020 (accessed 2020. 6. 26).
- [47] Kwon, W.S., Cho, C.H., 1986, “Culture of the ark shell, *Anadara broughtonii* in Yejoa Bay”, Bull. Korean Fish. Soc., 19(4), 375-379.
- [48] Lee, D.I., Choi, J.M., Lee, Y.G., Lee, M.O., Lee, W.C. and Kim, J.K., 2008, “Coastal environmental assessment and management by ecological simulation in Yejoa Bay, Korea”, Estuarine, Coastal and Shelf Sci., 80, 495-508.
- [49] Lee, D.K. and Kim, B.M., 2010, “Important-satisfaction analysis as a management strategy of Suncheon Bay ecological park”, J. Korean Institute Landscape Architecture, 37(6), 39-47.
- [50] Lee, G.H. and Chang, S.D., 1982, “Tidal exchange of seawater exchange in Gamag Bay”, J. Oceanogr. 17(1), 12-18.
- [51] Lee, K.C. and Kim, N.J., 2013, “An visiting environmental assessment and countermeasures for ecological park of Suncheon Bay –Focuesd ona universal design principle–”, Korean J. Environ. Ecol., 27(6), 777-793.
- [52] Lee, E. and Kim, Y.H., 2015, “Spatio-temporal suitability analysis of hooded-crane(*Grus monacha*) in the Suncheon Bay”, Korean Assoc. Professional Geographers, 49(4), 465-478.
- [53] Lee, J.R., 2016, “Process, governance, and performance of creative-city related politics of Suncheon city, Korea”, Economic Geographical Soc. Korea, 19(4), 660-676.
- [54] Lee, J.M., Kwon, B.O., Kim, B.G., Noh, J.S., Hwang, K.W., Ryu, J.S., Park, J.S., Hong, S.J. and Khim, J.S., 2019, “National and anthrogenic signatures on sedimentary organic matters across varying intertidal habitats in the Korean waters”, Environ. Intn., 133, 1-10.
- [55] Lee, K.H. and Kim, D.S., 1984, “Distributions of temperature and salinity in summer on Yejoa Bay”, Bull. Yeosu National Univ., 5, 19-23.
- [56] Lee, M.C., 1983, “The exchange of seawater in Yejoa Bay”, Bull. Korean Fish. Tech. Soc., 19(1), 3-39.
- [57] Lee, M.O., 2017, A new oceanography, Chonnam National University Press, Gwangju.
- [58] Lee, M.O., Choi, J.H. and Park, I.H., 2010, “Outbreak conditions for *Cochlodinium polykrikoides* blooms in the southern coastal waters of Korea”, Mar. Environ. Res., 70, 227-238.
- [59] Lee, M.O., Kim, J.K. and Kim, B.K., 2020b, “Past, present, and future for the study of Gamak Bay, Korea”, J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy, 23(3), 1-17.
- [60] Lee, M.O., Kim, J.K., Kim, B.K. and Kim, M.W., 2020a, “Past, present, and future directions in the study of Jinhae Bay, Korea”, J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy, 23(2), 57-69.
- [61] Lee, S.K., Seo, Y.I., Kim, J.I., Kim, H.Y. and Choi, M.S., 2011, “Seasonal species composition and fluctuation of fishes by beam trawl in Yejoa Bay”, Korean J. Ichthyology, 23(3), 206-216.
- [62] Lee, Y.S., 2006, “Factors affecting outbreaks of high density

- Cochlodinium polykrikoides* red tides in the coastal seawaters around Yeosu and Tongyeong, Korea”, *Mar. Pollut. Bull.*, 52, 1249-1259.
- [63] Lim, H.S., Je, J.G., Choi, J.W. and Lee, J.K., 1991, “Distribution pattern of the macrozoobenthos at Yoja Bay in summer”, *Bull. Ocean and Polar Res.*, 13(2), 31-46.
- [64] Lim, J.Y. and Hur, S.B., 2010, “Comparison of seed collection and growth of *Andara subcrenata* in Suncheon and Boseong Bays”, *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 43(3), 223-230.
- [65] Ministry of Oceans and Fisheries (MOF), 2001, “Studies in inventories and a sustainable use of tidal flats in Korea”, 90-91.
- [66] Naam, J.H., Ryu, J.S., Fluharty, D., Koh, C.H., Dyson, K., Chang, W.K., Choi, H.J., Kang, D.S., Khim, J.S. and Lee, C.H., 2010, “Designation processes for marine protected areas in the coastal wetlands of South Korea”, *Ocean & Coastal Management*, 53, 703-710.
- [67] National Institute of Fisheries Science (NIFS), Red tide occurrence information, <https://www.nifs.go.kr/red/news2.red>, 2020 (accessed 2020. 5. 21).
- [68] Ministry of Oceans and Fisheries (MOF), Marine environment information portal, <https://www.meis.go.kr/prortal/main.do>, 2020 (accessed 2020. 5. 14).
- [69] Park, Y.K., Yoo, M.L., Heo, H.S., Lee, H.W., Park, S.H., Jung, S.C., Park, S.S. and Seo, S.G., 2012, “Wild reed of Suncheon Bay: potential bio-energy source”, *Renewable Energy*, 42, 168-172.
- [70] Park, S.J., Kong, B.W., Ra, D.G. and Cheong, C.J., 2013, “Assessment of pollutant loading rate in streams flowing into Suncheon Bay”, *J. Korean Soc. Environ. Tech.*, 14(3), 160-167.
- [71] Park, E.B., Kim, H. and Choi, H.S., 2014, “The study on the effect of eco-tourist’s attitude, behavior and satisfaction on tour expenses at Suncheon Bay”, *J. Korean Institute of Landscape Architecture*, 42(1), 50-63.
- [72] Park, H.J., Lee, W.C., Choy, E.J., Choi, K.S. and Kang, C.K., 2011, “Reproductive cycle and gross biochemical composition of the ark shell *Scapharca subcrenata* (Lischke, 1869) reared on subtidal mudflats in a temperate bay of Korea”, *Aquaculture*, 322-323, 149-157.
- [73] Park, J.H., Jeong, J.M., Kim, H.J., Ye, S.J. and Baeck, G.W., 2015, “Feeding habits of Javelin Goby *Synechogobius hasta* on tide flat in Sangnae-ri Suncheon, Korea”, *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 48(6), 982-987.
- [74] Park, K.Y., Nikapitiya, C., Kim, W.S., Kwak, T.S. and Kwak, I.S., 2016, “Changes of exoskeleton surface roughness and expression of crucial participation genes for chitin formation and digestion in the mud crab (*Macrophthalmus japonicus*) following the antifouling biocide irgarol”, *Ecotoxicology and Environ. Safety*, 132, 186-195.
- [75] Park, H.J., Kang, H.Y., Park, T.H. and Kang, C.K., 2017, “Comparative trophic structures of macrobenthic food web in two macrotidal wetlands with and without a dike on the temperate coast of Korea as revealed by stable isotopes”, *Mar. Environ. Res.*, 131, 134-145.
- [76] Park, K.Y., Kim, W.S. and Kwak, I.S., 2019, “Endocrine-disrupting chemicals impair the innate immune prophenoloxidase system in the intertidal mud crab, *Macrophthalmus japonicus*”, *Fish and Shellfish Immunology*, 87, 322-332.
- [77] Seo, Y.G., Kim, M.A., You, Y.H., Yoon, H.J., Woo, J.R., Lee, G.M. and Kim, J.G., 2012, “Genetic diversity of endophytic fungi isolated from the roots of halophytes naturally growing in Suncheon Bay, Korea”, *J. Mycology*, 40(1), 7-10.
- [78] Seo, Y.H., Han, S. and Han, J.I., 2014, “Economic bio-diesel production using algal residue as substrate of lipid producing yeast *Cryptococcus curvatus*”, *Renewable Energy*, 69, 473-478.
- [79] Shin, H.H., Matsuoka, K., Yoon, Y.H. and Kim, Y.O., 2010, “Response of dinoflagellate cyst assemblages to salinity changes in Yejoa Bay, Korea”, *Mar. Micropaleontology*, 77, 15-24.
- [80] Shin, S.E., Yoo, H.B., Cha, S.S., Choi, J.M., Oh, K.H. and Koh, Y.K., 2019, “Water quality environment of Suncheon Bay before the restoration of tidal flat”, *J. Korean Island*, 31(1), 133-148.
- [81] Song, K.H. and Lee, S.H., 2010, “A preference analysis on the International Garden Exposition Suncheon Bay, Korea 2013”, *Northeast Asia Tourism Res.*, 6(1), 57-75.
- [82] Song, Y.H. and Choi, M.S., 2017, “Assessment of heavy metal contamination in sediments along the coast of South Korea using Cs-normalized background concentrations”, *Mar. Pollut. Bull.*, 117, 532-537.
- [83] Song, Y.H., Choi, M.S., Lee, J.Y. and Jang, D.J., 2014, “Regional background concentrations of heavy metals (Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb) in coastal sediments of the south sea of Korea”, *Sci. Total Environ.*, 482-483, 80-91.
- [84] Yang, J.H., Kee, K.D. and Kim, Y.R., 2013, “Morpho-climatic milieu and morphogenetic succession of coastal terrace in Suncheon Bay”, *J. Korean Geomorphological Assoc.*, 20(1), 57-74.
- [85] Ye, S.J., Jeong, J.M., Kim, H.J., Park, J.M., Huh, S.H. and Baeck, G.W., 2014, “Fish assemblage in the tidal creek of snagnae-ri Suncheon, Korea”, *Korean J. Ichthyology*, 26(1), 74-80.
- [86] Yeo, J.H. and Jang, W.W., 2007, “Estimation of the biodiversity conservation value about the Heory stock in Suncheon”, *J. Korean Forest Soc.*, 96(4), 483-493.
- [87] Yoo, S.K., Lim, H.S., Ryu, Y.H. and Kang, K.H., 1988, “Improvement of the seed production method of the pen shell – The occurrence of larvae and the early growth of the spat –”, *Bull. Korean Fish. Soc.*, 21(4), 206-216.
- [88] Yoshida, Y. and Inoue, T., 1954, “Biological study on fan mussels (summarized report)”, *Inland Sea Fisheries Experiment Station of Yamaguchi Prefecture*, 6(1), 31-36.
- [89] You, Y.H., Park, J.M., Lee, M.C. and Kim, J.G., 2015, “Phylogenetic analysis and diversity of marine bacteria isolated from rhizosphere soil of halophyte in Suncheon Bay”, *Microbiology and Biotechnology Letters*, 43(1), 65-78.

---

Received 29 July 2020

Revised 25 September 2020

Accepted 7 October 2020