

득량만 해양환경의 특징

이문옥¹ · 김종규^{2,†} · 김병국³

¹전남대학교 조선해양공학과 명예교수

²전남대학교 조선해양공학과 교수

³한국가스공사 통영기지본부 안전환경부 과장

Marine Environmental Characteristics of Deukryang Bay, Korea

Moon Ock Lee¹, Jong Kyu Kim^{2,†}, and Byeong Kuk Kim³

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

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

³*Manager, Tongyeong Terminal Division, Korea Gas Corporation, Tongyeong, 53007, Korea*

요 약

본 연구에서는 1974년부터 2021년까지 득량만 연구와 관련하여 한국학술지인용색인과 과학인용지수, 그리고 학위는 문에 게재된 52편의 논문을 분석하여 득량만의 해양환경의 특징을 규명하였다. 득량만의 조류는 만내 중앙에 위치하는 득량도를 중심으로 우측 유속이 좌측 유속에 비해 더 빠르고, 조차는 만의 입구에서 안쪽으로 갈수록 증가하였다. 또한 득량만에서의 투명도는 대조기(또는 태풍시)와 소조기의 성층의 파괴 또는 형성에 따라 증가하거나 감소하였다. 한편 득량만의 수온은 대기와 해면과의 열교환에 의해 계절적으로 변동하며, 열은 동계에는 외해에서 득량만으로, 그 외의 계절에는 득량만에서 외해로 유출되는 것으로 나타났다. 또한 득량만에서의 DIN은 하계에 만의 전역에서 생물생산의 제한인자로 작용하고 있으나 다른 계절에는 만 안쪽에서만 제한인자로 작용하고 있는 것으로 추론되었다. 반면, 인산염과 규산염은 하계에는 주로 담수에 의해 만내로 공급되며, 다른 계절에는 외해수의 유입에 의해 공급되고 있는 것으로 판단되었다. 한편 득량만은 해수 중의 중금속 농도가 현저히 낮고 양식생물에서의 마비성 패독도 전혀 검출되지 않아 해양생물의 서식과 양식에 좋은 수질과 저질을 유지하고 있는 것으로 판단되었다. 그러나, 저서동물과 저서다모류는 과거에 비해 그 종수와 서식밀도가 감소하였고, 특히 최근에는 패류와 종자 등의 생산 감소가 해결해야 할 주요 과제로 드러났다. 또한 저니오염도 만 안쪽으로 갈수록 증가하고 있으며, 잠재적인 유기물 오염 지시종이 새로이 우점종으로 출현하여 앞으로 수질과 저질 환경에 대한 지속적이고도 면밀한 모니터링이 필요할 것으로 사료되었다. 한편 해양생물의 사망 등을 유발시키는 오염원의 하나로 인식되고 있는 미세플라스틱이 타 해역에 비해 상대적으로 청정해역으로 알려진 득량만에서도 발견되어 향후 해양쓰레기 유입에 따른 대책이 필요할 것으로 판단되었다.

Abstract – We diagnosed and evaluated marine environments of Deukryang Bay, which is located at the west part of southern coastal waters of Korea, with comprehensive reviews of 52 academic journals issued during the last forty seven years. Tidal currents of Deukryang Bay appeared to be faster on the right side of Deukryangdo than those on the left side while tidal ranges tended to increase towards inside of the bay from the mouth. In addition, transparency of the bay increased or decreased depending on the destruction or development of stratification with spring and neap tides. On the other hand, water temperatures indicated a seasonal variation with heat budgets between the air and sea surface so that heat came in from outside of the bay in winter whereas it went out from inside of the bay in other seasons. Moreover, it was deduced that DIN works as a limiting factor of biological production throughout the bay in summer whereas it works as a limiting factor only inside of the bay in other seasons. On the contrary, it was judged that phosphate and silicate are being supplied by mainly freshwater in summer whereas they are being supplied by inflows of the outer seawater in other seasons. On the other hand, Deukryang Bay appeared to maintain good water quality as well as sedimentary environments for inhabitation and aquacul-

[†]Corresponding author: kimjk@jnu.ac.kr

ture of marine organisms since it showed a remarkably low concentration of heavy metals and also paralytic shellfish toxin was not detected at all. However, it gave us lessons to have to solve because the number of benthic animals and polychaeta decreased in their species and densities, and in particular recently the production of shellfish and its seedlings fairly decreased. Furthermore, it was thought that a persistent and minute monitoring needs for water quality and sedimentary environment, as sediment contamination had a tendency to increase towards inside of the bay and new pollution-indicator appeared as a major species. On the other hand, microplastics, which are recognized as one of pollutants to cause a mortality of marine organisms, were found even in Deukryang Bay well-known as relatively clean area. Therefore, it was judged that we will have to take some measures to the inflows of microplastics (or marine litter) in order to protect Deukryang Bay's marine ecosystems.

Keywords: Deukryang Bay(득량만), Marine environments(해양환경), Shellfish mortality(패류의 폐사), Heat budget(열수지), Microplastics(미세플라스틱)

1. 서론

득량만은 한국 남해안의 서부에 위치하며 만의 남쪽의 금당도, 거금도, 소록도 등의 섬이 만드는데 폭 2-5 km의 세 개의 수로를 통해 외해와 연결되어 있는 반폐쇄성 만이다(Fig. 1). 만의 표면적은 약 374 km², 체적은 28.2×10⁸·m³이며, 동북-남서 방향의 장축의 길이는 약 50 km, 폭은 4.6-11 km에 이른다(Jung[1993], Jeon *et al.* [2012]). 만의 수심은 평균 7.5 m 이지만, 만의 중앙에 위치한 득량도를 중심으로 서쪽은 해저경사가 대단히 완만하고 수심이 얇은 반

면 동쪽은 최고 수심 40 m에 달하는 골이 형성되어 있다(Kong and Lee[1994]; Kim *et al.*[1995]). 이 해저 협곡은 만의 조류 또는 저층류의 주 통로로 추정되며, 또한 유속이 빠른 소록도-녹동간의 수로와 금당도 동측에는 암반으로 된 저층이 나타나기도 한다(Kong and Lee[1994]). 득량만의 퇴적물은 개흙질이 61.9%, 모래가 섞인 점토질이 32.9%, 사질이 5.1%로 구성되어 있으며, 조간대가 만입된 해안을 따라 발달해 있다(Ryu *et al.*[2006]; Seon[2008]). 득량만으로 유입되는 하천들은 10 km내외로 짧으며 그 유역면적도 약 590 km²로, 유입되는 육수의 양도 많지 않다. 득량만은 반일주조가

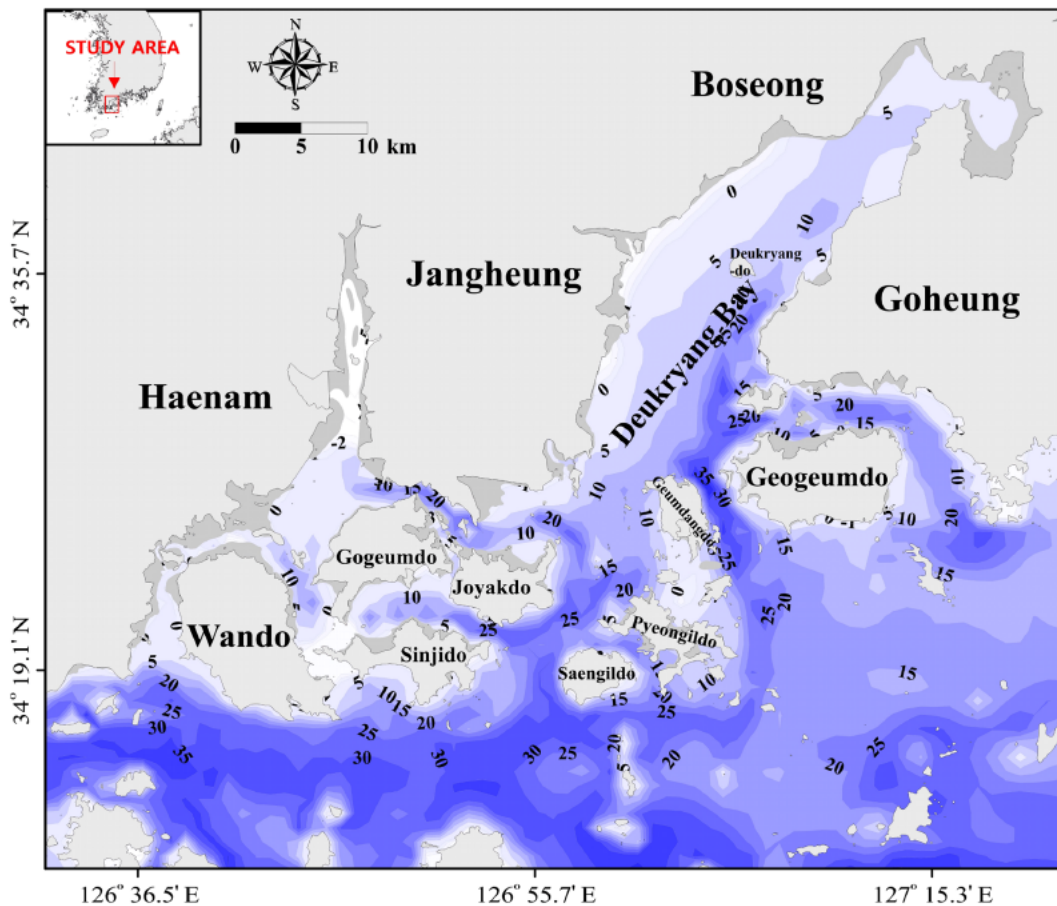


Fig. 1. Deukryang Bay for study area.

우세한 혼합형으로 1일 2회의 창, 낙조류가 발생하는 왕복성 조류가 탁월한 해역이다(Seon[2008]). 이 해역의 조차는 대조시 346.1 cm, 소조시 134.1 cm, 평균조차는 240.1 cm이며(<https://www.ngii.go.kr>), 조류의 유속은 만 입구의 소록도와 녹동항 사이에서의 가장 빠른 유속 1.0-1.5 m·sec⁻¹를 제외하고는 대략 0.3-0.5 m·sec⁻¹의 범위이다(Kim[1998]).

한편 득량만은 전반적으로 만내에서의 해수의 소통이 원활하고 충분한 영양염 공급에 의해 양호한 환경을 유지하고 있어서 넓은 잘피 자생지가 발달한 곳이다(Ward *et al.*[1984]). 또한 산업폐수 유입이 적고 비교적 양호한 수질을 유지하고 있어서 수산자원생물의 산란, 성육장으로서 이용되고 있어서 수산자원의 보호, 관리적 측면에서 매우 중요한 해역이라고 할 수 있으며, 특히, 1982년 건설부(지금의 해양수산부)에 의해 수산자원보전지역으로 지정된 중요한 어장이기도 하다(<https://www.mof.go.kr>). Fig. 2는 득량만과 그 주변해역에 산재한 어장(마을어업, 양식장, 정치망 어업 등)을 나타내고 있는데, 만내 어장은 대부분 만 중앙에 위치한 득량도의 서쪽에 치우쳐 분포하고 있음을 알 수 있다. 이것은 만의 서쪽이 동쪽에 비해 비교적 수심이 얇고 해저 경사가 완만하여 양식어장으

로서 더 적합한 환경을 가지고 있기 때문으로 생각된다.

만입구의 수심이 깊은 고흥반도 연안에서는 김양식을 하고 있는데 반해, 수심이 얇고 섬들이 산재하고 있는 만내외 해역에서는 미역, 다시마, 김 등 해초류 양식을 하고 있다. 또한 내만과 북서 천해역에서는 피조개, 키조개, 꼬막 등 패류 양식을 하고 있어서 만의 대부분의 수역이 수산 생물 생산의 장으로서 이용되고 있다. 그 결과, 득량만은 연간 우리나라 총 양식 생산량의 6.4%, 패류 생산량의 4.6%를 차지하고 있다. 그러나 최근 이 지역의 환경변화로 인해 특히 이 지역에서 많이 생산되는 피조개의 대량 폐사는 물론 키조개 양식도 심한 기복을 겪은 바 있다(Eum *et al.*[1996]). 뿐만 아니라 대규모 간척, 매립에 의해 생태계가 단절되고 해양생물의 산란, 서식지인 갯벌과 잘피 자생지가 사라짐에 따라 득량만의 해양생물 생산성도 감소하고 있다(MOMAF[2007]). 한 예로서, Seon[2008]이 조사한 득량만의 연도별 유용 패류 3종(꼬막, 바지락, 키조개)의 총 생산량을 보면, 2001년에 약 20,000 톤이었던 것이 2002년에 약 8,000 톤, 2003년에 약 9,500 톤, 2006년에 약 6,200 톤으로 감소한 것으로 나타났다. 따라서, 득량만의 해양환경을 더 이상 훼손하지 않고 보전하고 생물 생산성을 향상시킬 수 있는 종합적인 계획을

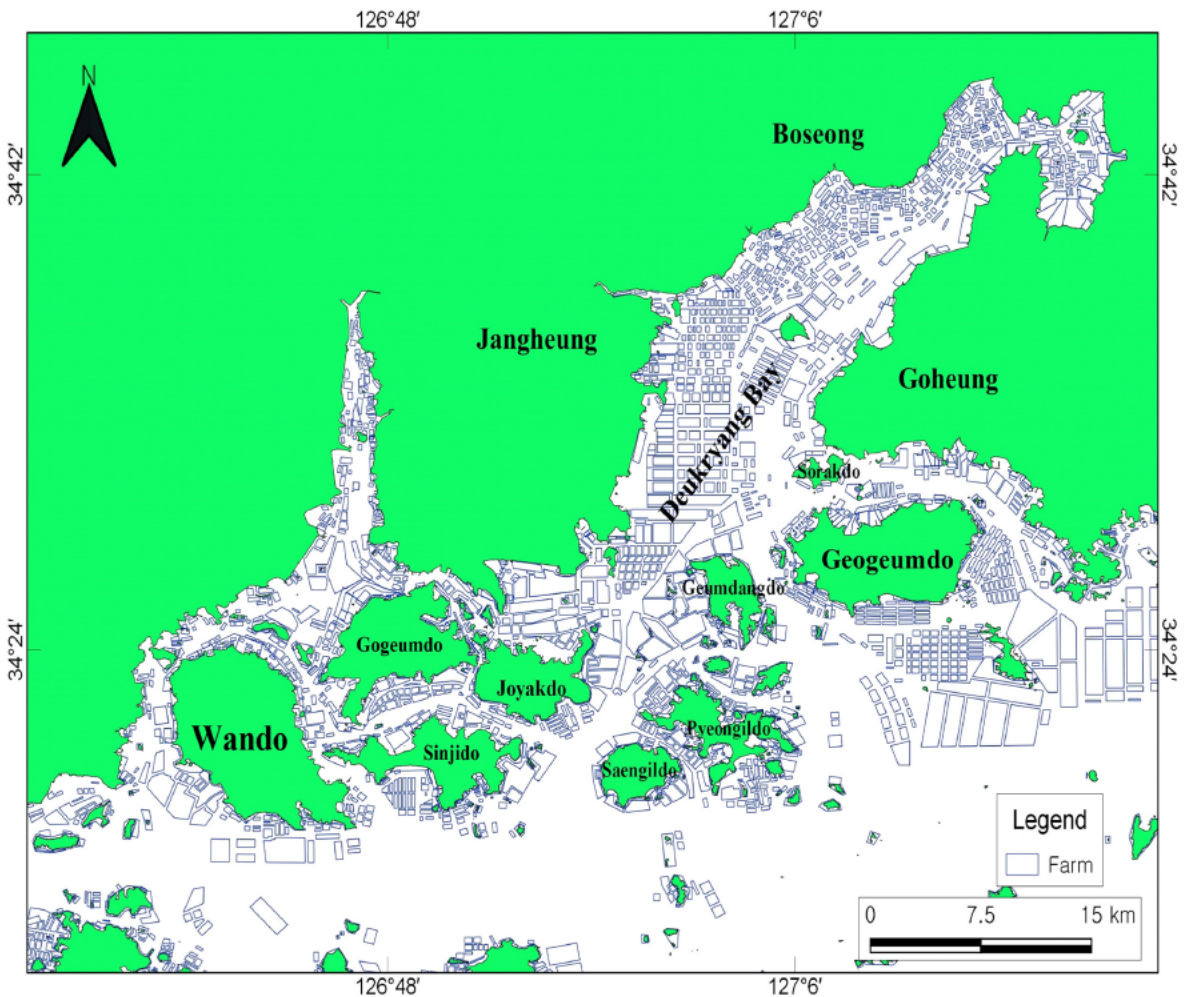


Fig. 2. Distribution of maricultural farms in the neighborhood of Deukryang Bay (<https://www.mof.go.kr>).

수립해야 하며, 이를 위해서는 지금까지 연구조사된 기존의 자료를 바탕으로 득량만이 안고 있는 환경문제가 무엇인가를 진단, 분석할 필요가 있다고 판단된다. 이에 본 연구에서는 지난 40여년 이상 수행된 득량만 연구를 통해 만의 해양환경적 특징을 파악하고, 보다 나은 환경 개선을 위해 해야 할 과제에 관하여 검토하였다.

2. 자료 및 방법

본 연구에서는 1974년부터 2021년까지 득량만 연구와 관련하여 한국학술지인용색인(Korea Citation Index; KCI) 논문 38편, 과학인용지수(Science Citation Index; SCI) 논문 5편, 학위논문 9편 등, 총 52편의 논문을 분석하였다. 또한 해양조사원 개방해(<http://www.khoa.go.kr/oceansmap/main.do>)에 공개된 어장정보를 참고하였다. 이들 자료로부터 누가 언제 어떤 주제로 득량만의 연구를 수행하였는지 조사하고, 득량만의 해양환경의 특징을 진단, 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 지금까지 수행된 득량만 연구의 개요

Table 1은 1974년 이래 득량만의 해양환경과 관련하여 수행된 연구 주제와 각 연대별 논문의 발표건수를 나타낸다. 이 결과에 따르면, 득량만 연구는 전체의 약 70%가 1990년대에 집중적으로 이루어졌으며, 또한 물리적, 생물적 환경과 관련한 연구 주제가 전체의 약 2/3를 차지하고 있는 것을 알 수 있다. 다음으로 퇴적환경에 관한 연구가 전체의 약 20%를 차지하고 있으며, 그 밖에도 수질환경, 미세플라스틱, 간척사업에 따른 취락배치계획과 관련한 연구가 이루어진 것으로 나타났다. 이들 연구 중 특히 주목되는 것은 득량만에서는 남해안의 진해만이나 가막만, 여자만, 득량만 등과는 달리 물리환경 중의 열수지와 기상요인, 또는 미세플라스틱이나 간척사업에 따른 취락배치계획 등이 연구 주제로 다루어지고 있다는 점이다. 반면, 남해안의 다른 만에서 빈번히 환경문제가 되고 있는 적조나 빈산소수괴 등에 관한 연구는 전혀 다루어지지 않았다는 점이다(Lee *et al.*[2020a]; Lee *et al.*[2020b]; Lee *et al.*[2020c]; Lee

Table 1. Themes of the research related to Deukryang Bay

Theme	Year	1971	1976	1981	1986	1991	1996	2001	2006	2011	2016	2021	Total	
		-1975	-1980	-1985	-1990	-1995	-2000	-2005	-2010	-2015	-2020	-2025		
Physical environment	Numerical modeling					3	1							
	Field observation	Seawater behavior					2*							
		Stratification					3	2						
		Transparency						1						
		Heat budget					1	3						15(3*)
	Meteorological factor					1								
	Others						1(1*)							
References: Kim <i>et al.</i> [1992]; Kim[1993]*; Jung[1994]*; Jung <i>et al.</i> [1994]; Lee[1994]; Choi <i>et al.</i> [1995]; Kim <i>et al.</i> [1995]; Lee and Cho[1995]; Lee <i>et al.</i> [1995a]; Lee <i>et al.</i> [1995b]; Em <i>et al.</i> [1996]; Lee <i>et al.</i> [1996]; Hong and Choi[1997]; Choi and Hong[1997]; Joo[1997]*; Kim <i>et al.</i> [1997]; Cho <i>et al.</i> [1998]; Joo and Cho[1998]; Lee and Cho[1998]														
Water quality	General information/pollution					1	2		1*	1			3(2*)	
References : Yang <i>et al.</i> [1995]; Lee <i>et al.</i> [1996]; Hong <i>et al.</i> [1998]; Seon[2008]*; Cho <i>et al.</i> [2011]														
Sedimentary environment	General information/contamination			1		1	1(1*)		2	2		1	8(1*)	
References : Cho and Park[1982]; Kong and Lee[1994]; You[1996]*; Kim and Park[1998]; Ryu <i>et al.</i> [2006]; Yim <i>et al.</i> [2007]; Jeon <i>et al.</i> [2012]; Song <i>et al.</i> [2014]; Lee <i>et al.</i> [2021]														
Biological environment	Phytoplankton						2	1						
	Zooplankton					1								
	Benthos					2	1*	1						
	Aquacultured organisms (Shellfish)	1		1			1(1*)	1						
	Arenicola marina						1						13(3*)	
	Seaweed								1					
Marine ecosystem					1*									
References : Choi[1974]; Yoo <i>et al.</i> [1977]; Yoo <i>et al.</i> [1991]; Cho[1995]*; Ma <i>et al.</i> [1995]; Han <i>et al.</i> [1995]; Chang <i>et al.</i> [1998]; Kim[1998]*; Kim[1999]*; Lee and Lee[1999]; Yoon[1999]; Oh <i>et al.</i> [2002]; Shin and Kim[2002]; Yoon and Kim[2003]; Kim <i>et al.</i> [2009]														
Microplastic										1	1		2	
References: Shim <i>et al.</i> [2016]; Oh <i>et al.</i> [2020]														
Community arrangement plan						1*							1*	
References : Han[1994]*														
Total		1	0	2	0	14(4*)	15(4*)	3	3(1*)	3	1	2	43(9*)	

1. The symbol “*” in the column and references denote Ms. or Dr. dissertations.

et al.[2021]). 이것은 이들 만의 환경적 특성이 서로 다를 뿐만 아니라 특히 특량만은 다른 만에 비해 수질이나 저질 환경이 그만큼 상대적으로 양호하다는 것을 의미한다고 생각된다.

이하에서는 Table 1에 나타난 지금까지의 연구결과에 기초하여 특량만의 물리환경, 수질 및 저질환경, 생물환경 및 기타환경에 관하여 고찰하였다. 단, 이 경우 두 가지 이상의 연구가 복합적으로 이루어진 경우나 연구 내용상 범주의 경계가 불명한 경우에는 연구자가 임의로 분류하였다.

3.2 물리환경

Hong and Choi[1997]는 M_2 분조만을 고려한 수치모형 POM (Princeton Ocean Model)을 사용하여 특량만의 수온장(관측자료는 1994년 하계의 대, 소조기)과 유동장에 미치는 조석 효과를 검토하였으며 그 결과, 수평방향의 수온장과 유동장은 해저지형의 효과를 크게 받는 것으로 나타났다. 그러나 그들은 수치모형에 의해 밀도 성층구조를 재현하는 데는 실패하였으며, 이를 재현하기 위해서는 M_2 분조 이외에 S_2 , O_2 , K_2 와 같은 부가적인 분조의 영향을 고려하여야 한다고 결론지었다. 또한 Lee and Cho[1998]는 현장관측자료와 해석적 방법을 사용하여 특량만에서의 성층의 특징을 조사한 결과, 성층의 강도는 대조-소조기의 조석 주기 동안 밀도류 효과와 수심 변화에 의해 변화할 수 있음을 언급하였다. 그들은 밀도류, 조류, 표층 가열, 바람에 의한 교란을 포함한 변형된 해석모형을 사용하여 만내 전 영역에 걸쳐 관측결과와 유사하게 모형에 의한 재현성을 보여주었고, 밀도류를 고려하지 않았던 결과에 비해 조석 혼합효율(효능)의 값(ϵ)이 0.006-0.007까지 증가하는 것을 확인하였다. 그들은 이것이 성층의 공간적인 분포를 결정함에 있어서 밀도류 효과가 중요한 요인임을 의미한다고 주장하였다. 한편 Jung et al.[1994]은 M_2 분조만을 고려한 2차원 수치모형을 사용하여 특량만의 해수유동을 재현한 결과, 만구와 만의 동쪽에서 각각 $60 \text{ cm}\cdot\text{sec}^{-1}$ 와 $50 \text{ cm}\cdot\text{sec}^{-1}$ 의 강한 흐름과 외류 형태의 조석잔차류의 존재, 그리고 이러한 외류의 형성에는 관성과 지형이 중요한 역할을 하고 있음을 확인하였다. Jung[1994]은 또한 M_2 분조만을 고려한 수치모형을 써서 특량만의 해수유동(조류)에 대한 수치실험을 한 결과, 만 입구에서의 유속이 만내 유속에 비해 $10 \text{ cm}\cdot\text{sec}^{-1}$ 정도 더 빠르고, 또한 특량도의 우측 유속이 좌측 유속에 비해 더 빠른 것으로 나타났다. 이와 같이 특량도 우측의 유속이 좌측 유속에 비해 더 빠른 것은 특량도 우측의 수심이 좌측에 비해 더 깊기 때문으로 생각된다(Kong and Lee[1994]; Kim et al.[1995]). 한편 조치는 만 입구에 약 105 cm였으나, 만의 가장 안쪽에서 약 135 cm로, 만의 안쪽으로 갈수록 조차가 증가하는 경향을 보였다. 또한 조석잔차류는 특량도를 중심으로 미약하지만, 시계방향과 반시계방향의 외류가 형성되었다. 즉, 특량도 부근에서 발생하는 4개의 잔차류적 외류 중 특량도의 좌측에서는 경계의 기하학적인 구조(geometry)로 인해 발생하는 데 반해, 우측에서는 섬이라는 경계의 기하학적 구조와 해저 지형 효과가 함께 작용하여 발생하는 것으로 추론하였다. 이러한 결과는 전술한 Jung et al.[1994]의 결과와 정성적으로 일치한다. 한

편 Cho et al.[1998]은 1996년 5월에서 10월에 걸쳐 특량만의 3개 만구에서 측류한 관측자료를 바탕으로 체적수송과 체류시간(flushing time)을 계산하였다. 그 결과, 5월과 10월에 이들 3개 만구를 통한 전 해수의 체적수송량은 $3.9 \times 10^6 \text{ Sv}$ 와 $3.4 \times 10^6 \text{ Sv}$ ($1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), 체류시간은 0.97일과 1.12일로 각각 나타났다. 또한 이들 체적수송량의 2-4%는 잔차류에 의한 수송이며, 조석프리즘(tidal prism)에 의한 담수의 체류시간(flushing time)은 0.97일로 추정되었다. Kim et al.[1995]은 하계인 1992년의 대조기(7월 1-2일)와 소조기(7월 23일, 9월 19일), 1993년의 대조기(7월 4일)와 소조기(7월 23일, 8월 13일)에 특량만내 38개 정점에서 수온과 염분관측을 실시하였다. 그 결과, 강수량이 적고 맑은 날이 많았던 1992년에는 만의 서부와 북동부의 천해역은 고온저염수가 분포하였고, 만구로부터 만의 안쪽으로 갈수록 수온은 증가하고 염분은 감소하였다. 반면, 상대적으로 강수량이 많고 이상저온현상이 심했던 1993년에는 만의 남북 방향의 조류와 향류(또는 잔차류)의 영향이 상대적으로 증가하였다. 또한 조류가 강한 대조기에는 성층이 파괴되고 소조기에는 성층이 발달하는 현상을 보여주었다. Lee et al.[1995]은 1992년 7월 1-2일(대조기)과 7월 23일(소조기)에 특량만의 동서 방향 단면상의 5개 정점에서 관측한 CTD 자료를 포함하여 1992년 7월의 고히기상대의 바람 및 광주기상대의 일사량 자료, 1992년 7월에 1개월간 특량도 부근에서 관측한 측류자료 등을 바탕으로 특량만의 수괴 구조를 검토하였다. 그 결과, 관측기간 중의 태양열 에너지와 조류에너지는 풍에너지에 비해 약 10배 정도 컸고, 태양에너지는 큰 변동이 없었으나 조류에너지는 대조기 때가 소조기 때에 비해 약 10배 가 더 큰 것으로 나타났다. 따라서 그들은 하계 특량만의 수괴의 연직구조가 대-소조기 때의 조류의 세기에 의해 결정되는 것으로 판단하였다. 또한 그들은 태풍수치모형에 의한 태풍 에너지가 대조기 때의 조류에너지의 크기와 매우 유사한 것으로 보아 특량만에서의 수괴의 연직혼합에 필요한 에너지는 태풍에너지와 거의 비슷할 것으로 추론하였다. 따라서 전술한 Kim et al.[1995]과 Lee et al.[1995]이 결과에 따르면, 특량만에서는 하계, 특히 소조기 때 만내에 형성되는 성층은 대조기 때는 물론 태풍에 의해서도 파괴가 일어난다는 것을 설명해 준다. 한편 Lee et al.[1996]은 1995년 4월 27일(대조기), 5월 5일(소조기), 7월 28일(대조기), 8월 5일(소조기), 1996년 1월 27일(대조기), 11월 3일(소조기), 1996년 1월 27일(소조기), 2월 3일(대조기)에 특량만의 투명도를 관측하였다. 또한 그들은 녹동에서 관측한 수로국의 조석표(1995년, 1996년)자료와 대조기 때 만구 부근에서 관측한 CTD(수온, 염분, 밀도)자료 등에 기초하여 계절에 따른 투명도의 변화를 조사하였다. 그 결과, 투명도는 대조기가 소조기에 비해 낮았고, 또한 투명도는 여름이 가장 높고 겨울이 가장 낮았다. 그들은 이러한 투명도의 차이(또는 변화)는 조류에 의한 저면의 전단응력과 성층 강도의 차이에서 기인한다고 판단하였다. 즉, 대조기는 소조기에 비해 상대적으로 저면에 작용하는 전단응력이 더 크고, 그리고 동계는 하계에 비해 성층 강도가 약하기 때문에 조류 또는 바람 응력에 의한 저면의 전단응력이 퇴적물을 수중으로 부상시킴으로써 투명도가 낮아진다고 주장하였다. Lee et al.[1995]

은 1992년 7월 1일부터 8월 7일까지 득량만의 수문리와 득량도 사이의 수심 5 m의 천해역에 설치한 자기기록식 유속계(Aanderaa RCM-7)의 측류자료를 분석하여 유속 $0.8 \text{ cm}\cdot\text{sec}^{-1}$ 의 남남동 방향의 항류(또는 잔차류)를 발견하였다. 이 흐름은 득량도 동쪽 수로에서 북항류의 존재 가능성을 암시하며, 따라서 득량만내에서는 반시계방향의 느린 순환이 일어나고 있을 것으로 그들은 추론하였다. 이러한 그들의 추론은 전술한 Jung *et al.*[1994]이 수치모형실험에 의해 득량도를 중심으로 반시계방향의 와류 형성을 확인한 사실과 정성적으로 일치한다. 한편 주요 성분의 스펙트럼 분석결과, 이 유속의 역학적 에너지의 91.2%는 반일주조 성분이며, 일주조 이상의 장주기 성분은 2.5%, 천해조 성분은 6.3%를 각각 점하는 것으로 나타났다. Choi *et al.*[1995]은 1994년 7월 12일(대조기)과 19일(소조기)에 득량만의 해협부 및 만을 가로지르는 정선상의 30개 정점에서의 측류(유속계 ECM-12를 사용)와 전 수층에서의 수온, 염분, 밀도 및 투명도 관측을 행하였다. 그 결과, 득량만은 관측기간 중 대조기와 소조기에 따른 빛의 연직방향의 감쇠계수(k)가 0.6인 곳을 경계로 하여 3개의 해역으로 구분이 가능하였다. 또한 k 가 0.6인 등치선은 조석주기에 따라 대조기에는 수심 10 m의 등수심선, 소조기에는 5 m인 등수심선과 유사한 분포를 보여, 수심 5-10 m인 해역은 조석 주기에 따라 수형(water mass)이 뚜렷하게 바뀌는 수역으로 판단되었다. 즉, 수심 약 5-10 m인 만 중앙부는 T-S Diagram에서 대조기 때는 수심이 얇은 해역의 수형군에 가까이 분포하고 소조기 때는 수심이 깊은 수형군에 가까이 분포하였다. Kim[1993]은 1992년 7월-1993년 4월까지 득량만내 총 38개 정점에서 대조기와 소조기 때 수온 및 염분 관측과 측류(Aanderaa RCM-7을 사용)를 행하였다. 그 결과, 득량도를 중심으로 수심이 얇은 서쪽은 저열량이 적어서 하계에는 고온, 동계에는 저온을 나타낸 반면, 동쪽은 저열량이 커서 하계에는 저온, 동계에는 고온을 나타내었다. 한편, 염분의 경우는 득량도의 서쪽이 동쪽에 비해 저염이었으며, 만 입구쪽이 만안쪽보다 고염이었다. 또한 차고 건조한 북풍계 바람이 탁월한 동계에는 하계보다 고염이기 때문에 득량도 남쪽에 동서방향의 염분 및 수온전선이 같은 장소에 나타났다. 조류는 동서보다 남북성분이 탁월하며, 만의 장축 방향의 1일 2회조의 왕복성 조류인 반일주조가 탁월하게 나타났으며, 대조기 때 최고 유속은 약 $60 \text{ cm}\cdot\text{sec}^{-1}$ 이었다. Choi and Hong[1997]은 득량만의 성층과 열플럭스(heat flux)와의 관계를 보기 위해 1994년 7월 12일 득량만의 30여개 정점에서 전자유속계(electromagnetic current meter-12)로 관측한 수온, 염분, 밀도자료와 고히 및 광주의 기상자료(1992년 6월 21-7월 31일, 1994년 6월 21-7월 31일)를 분석하였다. 그 결과, 해면을 통해 흡수된 열플럭스는 대략 $0\sim 400 \text{ ly}\cdot\text{day}^{-1}$ 이며, 부력 플럭스(bouyancy flux)와 관련한 무차원 혼합변수는 $5\sim 150\times 10^{-5}$, 성층파괴에 대한 조석혼합의 효능은 0.4-0.6%로 각각 추정되었다. 또한 Joo[1997]는 1992년 7월 1일부터 1993년 9월 12일까지 12회에 걸쳐 관측한 부경대학교 해양관측자료와 동일한 시기의 장흥 및 목포의 기상관측자료를 이용하여 득량만의 열수지를 분석하였다. 그 결과, 해양과 대기간의 에너지 교환의 수지를 나타

내는 순열속(net heat flux)은 춘계와 하계에 각각 $111 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 와 $121 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 로 양(+)의 값을 나타낸 반면, 추계와 동계에는 각각 $-15 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 와 $-31 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 로 음(-)의 값을 나타내었다. 이는 중위도 지역의 해양이 갖는 열적 특성, 즉 춘분에서 추분까지는 대기로부터 해양이 가열되고 추분에서 춘분까지는 해양이 대기로부터 열을 방출하는 사실과 잘 일치하였다. 또한 동계에는 외해에서 득량만으로 약 $16 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 의 열이 유입되고, 그 외의 계절에는 득량만에서 외해로 열이 유출되고 있는 것으로 나타났다. 한편 해양의 열저장율은 춘계와 하계에는 각각 $63 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 와 $20 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 로 양(+)의 값을, 추계와 동계에는 각각 $-75 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 와 $-15 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 로 음(-)의 값을 나타내어, 득량만의 열저장율의 변동이 해양의 열온반량 및 순열속과 동일한 위상 변화를 보였다. 따라서 득량만의 계절별 수온변동은 대기와 해면과의 열교환에 의해 지배되고 있음을 알 수 있었다. 반면, Joo and Cho[1998]는 전술한 Joo[1997]의 경우와 동일한 자료를 이용하여 득량만 표층의 열수지를 논의하였다. 그들은 대기역학적인 집단방법(bulk method)과 경험식을 적용하여 해면에서의 각 플럭스 요소를 유도하였다. 그 결과, 유효역복사(effective back radiation), 현열(sensible heat), 잠열(latent heat)은 추계와 동계에 최대, 하계에 최저를 보였고, 순 열플럭스(net heat flux), 열저장율은 춘계와 하계에는 양(+), 추계와 동계에는 음(-)으로 나타났다. 이들 중 득량만의 열저장율에 관해서는 이미 전술한 Joo[1997]의 경우와 정성적으로 일치한다. 한편 Kim *et al.*[1997]은 지구 경계층내의 기상학적 변수의 변화를 시뮬레이션하기 위해 1차원 열역학적 혼합층 모형을 개발하였다. 이 모형은 두 개의 예후방정식으로 구성되어 있으며, potential 온도, 혼합율, 다양한 진단 방정식의 변화를 예측할 수 있는 것으로 알려져 있다. 이 모형을 사용하여 그들은 1992년 7월 23일의 관측자료와 비교하여 혼합층의 높이와 혼합층내의 온도 및 혼합율의 변화에 있어서 관측결과에 비교할 만한 결과를 얻었다. 또한 Lee and Cho[1995]는 풍속, 해면을 통한 열플럭스, 조류진폭 등의 자료에 기초하여 득량만의 성층화 또는 비성층화의 정량적인 추정을 시도하였다. 그들은 비성층화(Destratification; SD)를 일으키는 주요인을 찾기 위하여 Simpson and Hunter[1974]가 제안한 해면 열플럭스, 조석과 바람에 의한 교란(攪亂, stirring)의 에너지 평형율을 도입하였다. 그들은 이들 3개 항의 potential 에너지의 계산치를 비교한 결과, 바람에 의한 교란 에너지가 열플럭스와 조석에 의한 교란 에너지에 비해 one order 작았다. 그들은 이 결과를 사용하여 0.001 간격으로 다양한 ϵ 값(0.01-0.014)과 풍속 값(육지에서의 관측치보다 1.5-2.0배 더 큰 값)을 사용하여 potential 에너지의 시간적분을 보완하였다. 그 결과, 득량만에 있어서의 SD 현상의 변화는 태풍과 같이 이례적으로 강한 바람이 없다면 하계의 해면 가열과 조석에 의한 교란에 주로 의존한다는 것을 보여주었다. 한편 Kim *et al.*[1992]은 득량만 일대의 기상환경의 특성을 파악하기 위해 고히지방의 기상자료(1973-1990)와 광주의 고히기상자료(1986-1990)를 분석하였다. 그 결과, 가장 따뜻한 달(8월)과 가장 추운 달(1월)의 일교차는 남부지방의 평균치($24\sim 25^\circ\text{C}$)와 거의 동일하였고, 지상풍의 평균풍속은 해풍의 영향으로 여름이 타 계절보다 컸다. 또한 상대습도는 연평균

74%로 하계가 동계에 비해 약 10% 더 습윤하였으며, 수증기의 수송은 전 구간에서 하계가 가장 많고 동계에 작았다. Eum *et al.*[1996]은 특량만의 양식시스템에 EMERGY(서비스 또는 제품을 만들기 위해 직접 또는 간접적인 변형에 소모된 에너지의 양) 분석을 적용하여 태양에너지로 환산한 환경 에너지, 연료, 상품과 서비스를 평가하였다. 그들은 1994년을 기준으로 조사한 자료를 이용하여 EMERGY 분석표를 작성하여 실제 에너지를 계산하였다. 그 결과, 연안해역에 대한 영속성 에너지원의 EMERGY 유입은 $54.60 \times 10^{18} \text{ sej} \cdot \text{year}^{-1}$ (여기서 sej는 solar emjuelus의 약자), 비영속성 에너지원의 화석연료의 유입은 $1.50 \times 10^{18} \text{ sej} \cdot \text{year}^{-1}$, 재화와 용역에 의한 유입은 $13.55 \times 10^{18} \text{ sej} \cdot \text{year}^{-1}$ 이고, 자연환경으로부터의 유입이 전체 에너지원의 78%를 차지하고 있어서 환경자원에 대한 의존도가 높은 1차 산업의 구조적 특징을 나타내었다. 또한 Net EMERGY yield ratio(생산된 EMERGY량을 경제활동으로부터 양식에 투입된 EMERGY량으로 나눈 비를 나타내며 자원으로서의 가치를 평가하는 지표)는 4.63으로 자원으로서의 가치가 높은 것을 나타내며, EMERGY investment ratio(경제활동으로부터 투입된 EMERGY량을 이용한 환경자원의 EMERGY량으로 나눈 비를 나타내며 생산활동의 경제적인 경쟁력과 자연환경에 의한 개발의 정도를 알 수 있음)는 0.28로서, 주 경제로부터 유입된 에너지원의 약 3.6배에 해당하는 에너지를 자연환경으로부터 얻고 있음을 보여주었다. 따라서 1994년 특량만의 환경용량은 영속성 에너지원에 근거하여 유입된 EMERGY량이 모두 현재의 EMERGY 생산비대로 생산이 이루어진다면 특량만 전체에서는 매년 어류 1,140 톤, 갑각류 110 톤, 패류 1,553 톤, 해조류 9,074 톤이 생산되며, 1994년 생산량은 환경용량의 80%, 92%, 80%, 84%가 생산되고 있음을 알 수 있었다. 또한 면적이 6,617 ha(전체 면적의 17.67%)인 양식장만을 고려하여 유입된 EMERGY가 전부 패류 생산에 이용될 경우 패류양식장의 생산 용량은 매년 1,195 톤으로 산출되었다.

3.3 수질환경

Yang *et al.*[1995]은 1992년 7월부터 1993년 3월까지 계절별로 4회에 걸쳐 특량만내 총 26(또는 37)개 정점에서 해수의 염분과 영양염류의 농도를 측정하고, 염분농도는 추계에 가장 낮고 춘계에 가장 높았으며, 용존무기질소(DIN) 농도는 동계에 가장 높고 하계에 가장 낮았다. 또한 인산염과 규산염은 하계에 가장 높고 추계 또는 동계에 가장 낮았다. 한편 염분은 만입구에서 북쪽으로 갈수록 점차 낮아지는 경향을 보였고(이는 전술한 Kim *et al.*[1995]의 결과와 일치함), 특량도 서쪽이 동쪽보다 다소 낮았다. 또한 DIN은 하계에 만의 전역에서 생물생산의 제한인자로 작용하고 있었으나 다른 계절에는 만 안쪽에서만 제한인자로 작용하고 있는 것으로 추정되었다. 반면, 인산염은 추계와 동계에 만의 전역에서 생물생산을 제한하고 있었으나 춘계에는 만 안쪽에서만 제한인자로 작용하고 있는 것으로 추정되었다. 또한 인산염과 규산염은 하계에 염분과 음(-)의 상관관계를 나타내는 것으로 보아 주로 담수에 의해 만내로 공급되는 것으로 생각되며, 다른 계절에는 DIN과 규산염이 염분과

양(+)의 상관관계를 나타내는 것으로 보아 이들보다 농도가 높은 외해수가 만내로 유입하고 있는 것으로 판단되었다. 한편 Hong *et al.*[1998]은 1980년부터 1981년에 걸쳐 특량만의 용존성 영양염류와 미량금속(구리, 니켈)의 분포를 조사한 결과, 이들 농도가 추계와 동계에는 상대적으로 높고 춘계와 하계에는 낮았으며, 부유퇴적물과 입자성의 구리 및 니켈의 농도는 동계에 가장 높았다. 이와 같이 영양염류는 물론 부유퇴적물과 입자성의 미량금속의 농도가 동계에 높고 하계에 낮은 것은 하계의 성층 현상, 그리고 동계의 강풍에 의한 연직혼합의 결과로 생각된다. 또한 식물플랑크톤의 농도는 하계에 육수유입에 의한 영양염류의 공급으로 증가하기 시작하여 동계에 최고에 달하는 것으로 나타났다. 또한 Lee *et al.*[1996]은 1992년 7월 1일부터 23일까지 특량만의 30개 이상의 정점에서 부유물질 농도의 경시변화를 조사하였다. 그 결과, 만내 부유물질의 평균 농도는 대조기가 소조기의 약 두 배로 나타났으며, 그들은 이것이 대조기의 강한 조류가 저층을 교란시킨 결과라고 주장하였다. 즉 그들은 수괴의 성층 강도가 만내 부유물질의 농도를 결정짓는 중요한 요소로 판단하였다. 한편 Lee and Chung[2003]은 1991년부터 2000년에 걸쳐 특량만을 포함한 남해 연안수역 15개 지점에서 조사한 수온, 염분 등 8개 항목의 수질자료를 분석하였다. 그 결과, 남해안 해역은 동쪽과 서쪽의 2개 그룹으로 대별되었고, 조류의 영향 때문에 동서로 인접한 경우보다 남북으로 인접한 경우가 같은 그룹으로 분류되는 경향을 보였다. 또한 이들 8개 항목의 수질을 분석한 결과, 특량만과 고흥은 같은 그룹이며 또한 화학적 산소요구량(COD) 농도면에서 볼 때, 특량만에서 거제의 동부까지는 같은 그룹에 속하는 것으로 나타났다. 반면, Seon[2008]은 2006년 1월부터 12월까지 특량만내 20개 정점에서 채취한 꼬막, 바지락, 키조개의 성장상태와 이들 패류의 대장균수, 중금속 및 마비성 패독에 의한 오염정도, 즉 해수 및 패류의 세균학적 위생상태를 조사하였다. 그 결과, 수은, 납, 카드뮴 농도는 각각 패류의 식용부분에서 FDA기준치(수은 $0.5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 납과 카드뮴 $2.0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 이하)보다 훨씬 낮았으며, 마비성 패독은 바지락, 키조개, 꼬막 등 모든 표본에서 검출되지 않았다. 또한 세균학적 분석결과, 모든 시료는 FDA 기준에 적합한 수치를 나타내었다. 한편, 20개 정점의 수온의 평균값은 $16.7 \pm 8.2^\circ\text{C}$, 염분 30.94 ± 1.46 , 용존산소(DO) 농도는 $7.79 - 0.09 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, pH는 8.04 ± 0.13 , COD 농도는 $1.25 \pm 0.61 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, Chlorophyll_a(Chl_a) 농도는 $0.61 \pm 0.31 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 로 각각 나타났다. 그는 이러한 분석결과를 근거로 특량만은 해양생물의 서식과 양식에 좋은 수질과 저질을 유지하고 있으며 패류 또한 오염정도가 매우 낮아 식용으로 매우 안전한 것으로 판단하였다. Cho *et al.*[2011]은 지난 1987년부터 2010년까지 국립수산과학원이 정기관측한 자료를 이용하여 특량만 조개류 생산량과 환경요인과의 관계를 분석하였다. 그 결과, 영양염류의 농도는 높지는 않았으나 식물플랑크톤(대표종으로서 규조류는 *Chaetoceros*, *Cosinodisucs*, *Skeletonema*속, 외편모조류는 *Ceratium*)과 강한 양(+)의 상관관계를 가지고 있는 것으로 나타났으며, 이러한 식물플랑크톤이 패류의 먹이로서 지속적으로 제공·이용되고 있는 것으로 판단하였다. 또한 그들은 최근 특량만

에서의 폐류와 종자의 생산 감소는 하계의 고수온과 관련이 있으며, 여기에 고수온까지 더하여 치자어와 폐류가 극도의 영향을 받고 있는 것으로 추론하였다.

3.4 저질 저서환경

Kong and Lee[1994]는 1991년 12월 10일과 1992년 7월 29일 2회에 걸쳐 득량만내 20개 정점에서 채취한 표층퇴적물과 해수 시료를 분석한 결과, 득량만의 표층퇴적물은 거문도-육지도간의 대륙붕내에 분포하는 필지역의 입도분포와 매우 유사하였으며, 이 퇴적물은 황해에서 동쪽으로 이동하는 세립질의 부유물질이 유입하여 퇴적된 것으로 판단하였다. 또한 그들은 조립질 퇴적물의 함량과 계산에 의한 조류 유속이 서로 유사한 공간적인 분포를 나타내고 있으므로 득량만내의 표층퇴적물은 부유이동 및 침전작용을 거둬들이는 것으로 판단하였다. 한편 표층과 저층간의 부유물질의 평균 농도의 차이는 하계가 동계에 비해 2배 정도 더 컸다. 이것은 하계에는 성층이 형성되어 부유물질의 부상이 방해받는 데 반해, 동계에는 수괴가 균질해져서 부유물질의 부상이 그만큼 용이해지기 때문으로 그들은 해석하였다. 즉, 득량만에서 부유물질의 총량을 좌우하는 요인은 유속 및 성층 변동과 같은 수괴의 물리적인 특성, 수심과 같은 지형적 특성, 그리고 부분적으로 육지로부터의 부유물질의 공급 등으로 판단되었다. 이들의 주장은 Lee et al.[1996]이 성층 강도가 득량만에서의 투명도의 변동을 결정한다고 한 사실과 정성적으로 일치한다. 한편 Kim and Park[1998]은 득량만의 퇴적물로부터 용출되는 DIN과 용존무기인(DIP)의 양을 추정하였다. 이들은 퇴적물의 공극수와 상층수 사이의 농도기울기로부터 용출되는 영양염류를 계산하는 방법과 퇴적물의 코어시료로부터 용출되는 영양염류를 계산하는 방법을 각각 이용하였다. 그 결과, 퇴적물로부터 용출되는 암모니아의 계산치와 측정치는 각각 7월에 $8.93 \mu\text{g-atN}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hr}$ 와 $60.4 \mu\text{g-atN}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hr}$, 10월에 $8.57 \mu\text{g-atN}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hr}$ 와 $32.9 \mu\text{g-atN}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hr}$ 로 추산되었다. 즉, 암모니아는 7월이 10월에 비해 더 많이 용출되었고, 측정치가 계산치에 비해 더 높았다. 반면, 퇴적물로부터 용출되는 계산치와 측정치의 질산염과 아질산염의 합은 10월에 $0.84 \mu\text{g-atN}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hr}$ 와 $282 \mu\text{g-atN}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hr}$ 로, 계산치가 측정치에 비해 낮았는데 이것은 퇴적물 중의 영양염류가 상층수의 그것보다 항상 훨씬 많기 때문이라고 그들은 추론하였다. 또한 퇴적물로부터 용출되는 인의 계산치와 측정치는 7월에 $0.97 \mu\text{g-atN}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hr}$ 와 $-6.50 \mu\text{g-atN}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hr}$ 이었으며, 10월에는 $0.18 \mu\text{g-atN}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hr}$ 와 $24.6 \mu\text{g-atN}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{hr}$ 로 추산되었다. 반면, Lee et al.[2021]은 2018년에서 2019년에 걸쳐 7개 지역(경기, 충남, 전북, 전남, 경남, 경북, 강원)의 21개 정점에서 코어퇴적물을 채취하여, 한국 전 연안역에서 현재 퇴적물의 유기 탄소량과 격리율(속도)의 시공간적인 변화에 얼마나 다양한 변수가 관여하는지를 조사하였다. 그 결과, 필 함유량은 퇴적물의 유기탄소량을 제어하는 중요한 요인으로서, 전체 유기탄소와 양(+)의 상관이 있는 것으로 나타났다. 또한 염습지(상부 조건대)에서 측정된 유기탄소량은 1차생산을 통한 염생식물의 높은 탄소고정능력을 반영하였다. 한편 그들은 현장조사 및 원격탐

사의 결과를 사용하여 남해 조건대에서의 전 유기탄소량과 격리율을 각각 $13,142,149 \text{ MgC}$ 와 $71,383 \text{ MgC}\cdot\text{year}^{-1}$ 로 추정하였다. 그들의 연구는 한국 조건대에 있어서의 블루카본 잠재력(blue carbon potential)에 대한 최초의 보고로서, 한국뿐만 아니라 다른 해역의 조건대 퇴적물의 탄소 역학에 관한 기본정보를 제공하고 있다고 역설하였다. 한편 Song et al.[2014]은 한국 남해와 같이 복잡한 해안선과 지질 및 지형을 가진 연안역에 적용할 수 있는 금속의 배경농도(Background Concentration; BC)를 설정하기 위한 방법을 제안하였다. 배경농도는 오염지수와 더불어 오염관리정책을 수립함에 있어서 오염의 정도(또는 범위)를 결정하기 위한 기초자료의 하나로서 많이 이용되고 있다(Fukue et al.[1999]). 그들은 해안퇴적물의 중금속 농축에 대한 수착(sorption; 흡수와 흡착이 동시에 일어나는 현상) 가설에 근거하여, 득량만을 포함한 남해안에서 채취한 33개 core와 187개 표층 퇴적물로부터 주요 중금속의 농도, 입자의 크기, 유기탄소의 퇴적률을 결정하였다. 여기서 그들은 입자 크기 효과를 보정하기 위하여 Cs(Cesium)를 가장 적절한 지화학적 정규화군(normalizer)으로 선택하였고, 또한 core 퇴적물로부터 오염되지 않은 표본의 퇴적률, 금속 농도, 금속과 Cs와의 비, 과거 퇴적물에 있어서의 변동성에 기초한 32개 형태의 패턴을 선택하였다. 그 결과, 선택한 오염되지 않은 표본은 물론 가장 낮은 금속농도를 가진 표층퇴적물에 있어서도 Cs와는 좋은 상관성을 보여주었다. 따라서 그들은 모든 core 표본을 종합하여 해안퇴적물에 대한 중금속의 지역적 BC를 설정하는 데 이 수착 가설을 사용하였다. 이에 따라 한국 남해안의 해안퇴적물에 있어서 금속과 Cs농도간에는 다음과 같이 선형적 회귀방정식에 의한 금속의 BC가 제공되었다: Cs가 $8 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (393개 퇴적물의 평균 농도)일 때, $70(\text{Cr})$, $13(\text{Co})$, $30(\text{Ni})$, $13(\text{Cu})$, $87(\text{Zn})$, $23(\text{Pb}) \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ 이었다. 또한 Yim et al.[2007]은 다환방향족탄화수소(Polycyclic Aromatic Hydrocarbons; PAHs)에 의한 해양환경의 오염을 평가하기 위하여 2000년부터 2001년까지 득량만을 포함한 한국의 7개 만과 2개 인공호수에서 117개 퇴적물 표본을 채취·분석하였다(복합한 화합물로 이루어진 PAHs는 수백여 종의 개별물질이 불완전연소, 또는 유기물의 열분해로 생성되며, McElroy et al.[1989]; Meadow et al.[1995]에 따르면, PAHs에 오염된 퇴적물은 생물상에 불리하게 영향을 미치거나 토종생물의 조직에 높은 농도로 축적하게 됨). 이들의 조사 결과, 16PAHs 농도의 합은 $8.80\text{-}18,500 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{dry weight}$ 의 범위에 있었으며, 산업화·도시화된 지역에서의 PAHs 농도가 상대적으로 더 높았다. 이를 미국과 영국의 모니터링 결과와 비교하면, 전체 PAHs 농도는 영국>미국>한국의 순이었다. 한편 진단인자와 통계방법으로부터 추론되는 PAHs의 주요 오염원은 화성(progenic) 기원, 암석(petrogenic) 기원 두 가지로 나타났다. 또한 한국의 연안과 외양 퇴적물에서는 7.6%의 지역이 평균 PAH ERL(effects range level low) 지수가 >1.0 이었으며, 이것은 민감한 생물 종에 있어서는 역효과를 일으킬 가능성(잠재력)을 시사하였다. 한편 득량만의 배경 오염 수준은 전체 PAHs 농도 $<<100 \text{ ng}\cdot\text{g}^{-1}$ 로 나타났다. Ryu et al.[2006]은 2005년 6월 득량만내 총 71개 정점에서 채취한 표층퇴

적물과 또한 3개 측선상의 총 16개 정점에서 2004년 9월부터 2005년 8월까지 총 6회에 걸쳐 채취한 표층퇴적물의 공간적인 분포와 특성을 조사하였다. 그 결과, 만입된 해안(득량만내의 득량도 북서쪽 수문리에 위치한)의 중앙 해빈은 여름에 평탄해지고 그 밖의 계절에는 파봉과 유흔이 발달하는 등 뚜렷한 계절변화를 나타내었으며, 이것은 이 지역 해빈의 퇴적작용은 주로 조석에 의해 지배되지만 파랑의 영향도 강하게 받고 있음을 의미하였다. 즉 겨울에는 강한 파랑의 영향으로 침식이 우세한 반면 그 밖의 계절에는 퇴적이 우세하였다. 그러나 해빈 중앙은 여름에도 뚜렷하게 침식되는 경향을 보였으며, 이는 여름에 간헐적으로 발생하는 남풍 계열의 강풍으로 인한 파랑이 해빈에 영향을 미쳤기 때문으로 판단되었다. 한편 해빈 퇴적물은 만입된 해빈의 중앙에서는 $-89.2 \text{ mm}\cdot\text{yr}^{-1}$ 의 속도로 침식된 반면, 양쪽 측면에서는 각각 $60.5 \text{ mm}\cdot\text{yr}^{-1}$ 와 $38.2 \text{ mm}\cdot\text{yr}^{-1}$ 의 속도로 퇴적되는 경향을 보였다. 이와 같은 현상은 해빈의 중앙에 분포하는 퇴적물이 강한 파랑에 침식되어 양쪽 측면으로 이동하기 때문이며, 따라서 해수욕장으로 이용되는 수문 해빈의 중앙은 방파제 건설로 인해 조립질 퇴적물의 공급이 제한(방파제 바로 남쪽에 수문천이 위치하고 있음)되어 지속적인 침식이 발생할 것으로 판단되었다. Jeon *et al.*[2012]은 2009년 10월 득량만의 조건대 7개 정점과 2010년 4월 조하대 12개 정점에서 채취한 표층퇴적물에 대한 유기물 함량과 화학적 특성을 분석하였다. 그 결과, 이들 퇴적물의 평균 입도는 6.09F로서, 주로 실트와 니질로 이루어져 있었으며, 또한 화학적산소요구량(COD), 산화발생 황화물(AVS), 강열감량(IL) 등의 농도(즉 유기물의 함량)는 비교적 낮은 것으로 나타났다. 한편 비소(As) 농도는 만의 동쪽보다 서쪽에서 높았고, 만의 상부와 하부에 비해 중앙부에서 더 높았다. 또한 나트륨(Na)과 마그네슘(Mg) 농도는 득량도를 중심으로 동쪽에서 낮은 반면, 칼륨(K), 스트론튬(Sr), 바륨(Ba) 농도는 동쪽에서 높았다. 한편 As는 부화지수(enrichment factor)가 최고 1.72이며, 농집지수(geoaccumulation index)는 1.0 또는 2.0에 집중이 되지만 오염은 없는 것으로 그들은 판단하였다. 결론적으로 득량만의 표층퇴적물의 유기물과 화학성분의 농도는 기준농도(지각평균농도)보다 낮거나 유사하여 득량만은 청정해역인 것으로 판단되었다. Cho *et al.*[1982]은 1981년 하계 득량만과 가막만에서 Chlorophyll_a (Chl_a), 저니 중의 COD, IL, 페오파이틴, 황화물 등의 양을 측정하였다. 그 결과, 득량만 해수 중 Chl_a 농도는 평균 $2.5 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 이었고, 저니 중의 COD 농도는 두 만 모두 $5.0\text{-}10.0 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$, IL은 $5.0\text{-}9.0 \%$, 페오파이틴 양은 $2.0\text{-}5.0 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ (dry weight), 황화물은 $0.1\text{-}0.3 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ (dry weight)로 각각 나타났다. 또한 득량만의 유기물과 황화물 양은 모두 만의 입구에서 안쪽으로 갈수록 증가하였으며, 이들 값은 한산만이나 거제만의 경우와 비슷하거나 약간 적었다. 한편 Chl_a 농도에 의한 해수의 부영양화는 한산만이나 거제만과 같이 중간 수준인 데 비하여 저니의 부영양화는 초기단계로 나타났다. 또한 저니 중의 COD 농도와 페오파이틴 양으로부터 산출된 저니오염도는 6-11로서, 한산만이나 거제만의 7-18, 진해만의 11-30보다 낮았다. You[1996]는 퇴적물의 입도, 부유물질의 분포, 표층퇴적물내에 함유되어 있는 유공

충을 주로 한 미생물 유해의 미고생물학적 연구를 통해 득량만의 퇴적환경을 연구하였다. 그 결과, 득량만의 표층퇴적물은 서해쪽에서 동쪽으로 이동하는 세립질의 부유성 퇴적물이 만으로 유입하여 퇴적된 것으로 추정되었다. 즉, 퇴적물과 유속이 서로 유사한 공간적 분포를 나타내는 것으로 보아 득량만내의 표층퇴적물은 강한 조류와 얇은 수심으로 인해 부유이동 및 침전작용을 거듭한 결과 특징적인 비대칭 단일모드의 입도분포를 가지게 된 것으로 추정되었다. 이것은 전술한 Kong and Lee[1994]의 결과와 정성적으로 일치한다. 한편 미생물 유해(debris)의 군집분석결과, 유공충은 총 34속 84종, 규편모조류는 2속 5종, 초기화석은 7속 7종이 동정되었다. 또한 난수종(warm water species)이 한수종(cold water species)에 비해 다산(fecundity)된 군집 양상은 퇴적기간 동안 한랭수괴(cold water mass)보다 온난수괴(warm water mass)의 영향을 더 강하게 받은 것으로 그는 추론하였다.

3.5 생물 생태환경

Kim[1999]은 저서다모류 군집분포에 대하여 1996년과 1997년 춘계에 득량만의 98개 정점에서 조사한 결과를 1997년 하계와 1998년 추계에 여자만의 87개 정점에서 조사한 결과를 서로 비교하였다. 그 결과, 득량만에서의 전체 저서동물의 평균 서식밀도는 $871 \text{ indiv}\cdot\text{m}^{-2}$ 로, 만 중앙에서 상대적으로 높았으며, 특히 종뿔(*Arcuatula senhousia*)과 Cumacea가 만 중앙에서 극우점하였다. 또한 저서다모류의 출현종수는 100종, 서식밀도는 $138 \text{ indiv}\cdot\text{m}^{-2}$ 로, 만의 북단과 만중앙부, 그리고 만입구에서 높았다. 한편 1% 이상 우점한 종은 총 21종으로 전체 다모류 중 78.3%를 차지하였으며, 이들 중 *Lumbrineris longifolia*가 가장 우점하였고, 다음으로 *Eteone longa*, *Heteromastus filiformis*, *Sternaspis scutata*이 우점하였다. 또한 이들에 대한 집괴분석결과, 크게 3개의 정점군, 즉 내만역, 만 중앙부 및 만구역으로 구분되었다. 한편 득량만의 과거 조사에서는 *Sternaspis scutata*, *Eteone longa* 등이 우점종이었으나 지금은 이들 종의 서식밀도가 감소한 반면, 지금은 잠재적인 유기오염 지시종인 *Lumbrineris longifolia*, *Heteromastus filiformis* 등이 비록 서식밀도는 낮지만 우점종으로 대두한 것으로 확인되었다. 반면, 여자만에서의 전체 저서동물의 평균 서식밀도는 $387 \text{ indiv}\cdot\text{m}^{-2}$ 로, 만의 북단과 만 중앙부, 그리고 만입구에서 상대적으로 높았다. 특히 새꼬막(*Anadara kagoshimensis*)과 Amphipoda가 만의 북단과 만 중앙부에서 높은 밀도로 출현하였다. 저서다모류 출현종수는 72종, 서식밀도는 $149 \text{ indiv}\cdot\text{m}^{-2}$ 로, 내만에 비해 만입구에서 높았다. 또한 1.0% 이상 우점한 종은 총 20종으로 전체 다모류 중 84.6%를 차지하였으며, 가장 우점종은 *Sternaspis scutata*, 다음으로 *Heteromastus filiformis*, Polynoidae indet., *Ancistrosyllis hanaokai*가 우점하였다. 이들 우점종은 집괴분석결과, 3개의 정점군, 즉 만의 북단역, 만 중앙부, 만입구 등으로 구분되었다. 여자만의 과거조사에서는 *Sternaspis scutata*과 *Mediomastus* sp.이 우점종이었으나 지금은 이들 종의 서식밀도가 감소하거나 전혀 채집되지 않은 반면, 잠재적인 유기오염지시종인 *Heteromastus filiformis*와 *Tharyx* sp.가 우점종으로 출

현하였다. 이상의 결과를 바탕으로, 그는 득량만과 여사만은 다른 만들과는 달리 아직까지 오염이 덜한 해역으로 판단하였다. Shin and Kim[2002]은 1996년부터 1997년에 걸쳐 득량만의 총 98개 정점에서 저서다모류 군집본포를 파악하여 과거 자료와의 비교를 통해 그 변화과정을 조사한 결과, 전체 저서동물의 평균서식밀도는 871 indiv.·m²였으나, 중밋(*Arcuatula senhousia*)과 쿠마류가 몇몇 정점에서 극우점하여 만 중앙에서의 서식밀도가 가장 높았다. 또한 저서다모류는 100종이 출현하여 그 서식밀도는 138 indiv.·m²였으며, 만의 북단과 중앙의 일부 정점, 그리고 만구에서 서식밀도는 높았으나, 전체적으로 군집은 빈약하였다. 한편 1.0% 이상 우점한 종은 총 21종으로 전체 다모류 중 78.3%를 차지하였고, 이 중에 *Lumbrineris longifolia*는 9.3%, *Eteone longa*는 7.3%, *Heteromastus filiformis*는 7.1%, *Sternaspis scutata*는 6.1%의 순으로 나타났다. 또한 우점종에 의한 집괴분석결과, 크게 3개의 정점군으로 대별되었다. 즉, 내만역과 천해 연안역을 포함한 정점군 I은 만의 북단역과 천해지역으로서 *Heteromastus filiformis*가 가장 우점하였고, 정점군 II는 만구역과 몇몇 수로지역으로서 *Lumbrineris longifolia*와 *Eteone longa*가 가장 우점하였으며, 정점군 III은 내만역과 수로지역이 맞는 지역으로서 *Sternaspis scutata*가 가장 우점하였다. 이들 결과를 과거 자료와 비교해 보면, 저서다모류군집은 출현종수, 서식밀도에서 볼 때 이 종들의 서식밀도는 감소한 것으로 나타났다. 반면, 잠재적인 유기물 오염 지시종으로 알려진 *Lumbrineris longifolia*와 *Heteromastus filiformis*는 서식밀도는 낮지만 새로이 우점종으로 대두한 것으로 확인되었다. 그들은 이러한 사실에 근거하여, 득량만은 한국의 다른 만들과는 달리 아직까지 덜 오염된 해역이지만, 앞으로 환경관리에 주의가 필요할 것으로 판단하였다. 이들의 결과는 전술한 Kim[1999]의 결과와 정성적으로 일치한다. Yoo et al.[1977]은 피조개(*Anadara broughtonii*, SCHRENCK) 유생의 분포와 수온 및 해수유동과의 관계를 파악하기 위해 울산만, 한산만, 진해만 및 득량만 등 15개 정점에서 1973년부터 1977년까지 피조개의 산란기인 여름철에 부유유생을 채집·조사하였다. 그 결과, 피조개의 주 산란기인 8월 표층의 평균 수온은 1973년과 1975년에 비교적 높았고, 1974년, 1976년 및 1977년에 비교적 낮았다. 또한 유생은 하계에 수온이 가장 높을 때(27°C 이상인 8월) 최대로 발생하였으며, 1975년 8월 유생의 밀도가 가장 높았다. 한편 유생은 매년 늦은 7월부터 출현하여 8월 중순부터는 그 풍도가 떨어지기 시작하며, 유생의 연직분포는 수심뿐만 아니라 유속과도 관련이 있어서 천해에서는 유생이 저층에 집적하는 반면, 심해에서는 어느 정도의 수심까지 확산하는 경향을 보였다. 이에 따라 전체 유생의 약 75%가 수심 8 m인 천해의 4 m 수층에서 관측되었고 수심 16 m인 심해에서는 전체 유생의 약 45%가 4 m 수층에서 관측되었다. Ma et al.[1995]은 1991년 11월과 1992년 1월 총 2회에 걸쳐 득량만의 입구에서 만의 안쪽까지 총 20개 정점에서 저서동물을 조사한 결과, 118종 20,767 개체의 대형저서동물 군집을 발견하였으며, 이들 그룹의 종수와 출현 빈도는 다음과 같았다: 다모류 52종(44.1%), 갑각류 45종(38.1%), 연체동물 14종(11.9%), 기타 그룹 7종(5.9%).

한편 이들 저서동물군집의 평균 밀도는 1432 indiv.·m²였으나, 이 중에 연체동물이 920 indiv.·m², 다모류가 220 indiv.·m², 갑각류가 220 indiv.·m²이었다. 또한 탁월종은 *Musculista senhousia* (Bivalvia), *Eteone longa* (Polychaeta), *Nippopisella nagatai* (Amphipoda)로, 이들의 서식밀도는 각각 633 indiv.·m², 38 indiv.·m², 36 indiv.·m²이었다. 따라서 이들의 조사결과에 따르면, 전술한 Shin and Kim[2002]의 결과에 비해 저서동물 및 다모류의 평균서식밀도 모두 높았다. 이것은 득량만의 저서생물환경이 과거에 비해 나빠졌을 가능성을 시사한다고 생각된다. 한편 이 지역은 군집의 종조성에 기초하여 4개 해역으로 구분되었다. Oh et al.[2002]은 1996년 9월 16일 중국산 해만가리비(*Argopecten irradians*)를 득량만에 이식한 후 1997년 8월까지 연승수하식으로 양성하여 그 생식주기를 조사하였다. 그 결과, 가리비의 연체부 및 폐각근의 중량지수는 10월부터 증가하기 시작하여 11월에 각각 연중 최고치(48.6, 36.2)를 보였으나 이후 12월부터 8월까지 이들의 중량지수는 다시 점차 감소하였다. 반면, 생식소의 중량지수는 3월에 증가하기 시작하여 4월에 최대(20.3)에 이른 후 5월부터 12월까지 점차 감소하였다. 이 결과, 한국 남해안에 이식한 가리비의 생식주기는 초기활성기(10월-2월), 후기활성기(11월-5월), 완숙기(2-5월), 산란기(5-6월), 퇴화 및 비활성기(6-8월) 등 5단계로 구분할 수 있었으며, 산란성기는 수온 18°C 내외인 5월로 나타났다. 따라서 가리비의 산란기인 5-6월은 전술한 Yoo et al.[1977]의 피조개의 주산란기인 8월과는 다소 차이를 보였다. Yoo et al.[1991]은 한국산 *Acartia* 속 요각류의 분류체계를 정립하기 위하여, 1981년 9월부터 12월까지 한국 근해의 10개 지점(가로림만, 득량만, 진해만, 고리, 월성, 제주, 경기만, 득량만, 영광, 울진) 및 마산만 일대의 6개 정점에서 1986년 4월부터 1987년 9월까지 시료를 채집하였다. 그 결과, 한국산 *Acartia* 속 요각류는 다음의 10종이 동정 분류되었다: *A. biflosa*, *A. danae*, *A. erythraea*, *A. hudsonica*, *A. negligens*, *A. omorii*, *A. pacifica*, *A. sinjiensis*, *A. spinicauda*, *A. steueri*. 이들은 *Acartia* 속에 대한 종의 검색표를 작성하고 한국 미기록종인 *A. sinjiensis*의 도판을 작성하였다. Yoon[1999]은 1992년 6월-1993년 4월까지 득량만내 38개 정점에서 월별조사를 통해 식물플랑크톤 군집의 시공간적 분포특성을 파악한 결과, 식물성 편모조류 33종을 포함한 50속 75종을 동정하였으며, 이들 종은 춘계와 동계에 비해 하계와 추계에 더 다양하게 출현하였다. 또한 연중 우점종은 규조류로서 하계에는 *P. alata*, *G. flaccida*, *S. costatum*, *L. danicus*, *Pn. longissima*, 추계에는 *St. palmeriana*, *Ch. curvisetus*와 *B. paxillifera*, 동계에는 *S. costatum*, *Ch. curvisetus*, *E. zodiacus*와 *Pn. pungens*, 그리고 춘계에는 *As. glacialis*, *As. kariana*, *N. pelagica*, *Th. nitzschiodes*와 *S. costatum*로서, 우점종의 계절적인 천이를 보였다. 한편 식물플랑크톤의 현존량은 2.6×10³ cells·L⁻¹ - 1.0×10⁶ cells·L⁻¹의 범위로, 저수온기에 높았고 고수온기에 낮았으며, 가장 높은 현존량을 보인 종은 *S. costatum*의 1개 종이였다. 또한 Chl_a 농도는 0.19 µg·L⁻¹-12.31 µg·L⁻¹의 범위로, 8월, 9월, 3월에 높았고, 7월에 낮았다. 따라서 식물플랑크톤의 현존량과 Chl_a 농도는 대체로 고수온기에는 낮은 것으로 나타났는데 이것이 영양

염류의 농도와 직접적인 관련이 있는지는 불명하다. 왜냐하면 전술한 Yang *et al.*[1995]의 결과에 따르면, 하계에 DIN 농도는 낮은 반면 인산염과 규산염은 오히려 높은 것으로 나타났기 때문이다. 한편 생물량은 만의 북서쪽에서 높은 반면, 상대적으로 수심이 깊은 수로부나 만의 동남부에서는 낮았으며 전체적으로 득량만은 식물플랑크톤에 의한 높은 생물생산이 연중 유지되고 있는 해역으로 판단되었다. Yoon and Kim[2003]은 1997년 7월 18일(하계), 1997년 10월 18일(추계), 1998년 1월 14일(동계) 등 3회에 걸쳐 25개 정점에서의 채수를 통해 식물플랑크톤의 종조성과 군집구조 및 해양학적 특성을 조사하였다. 그 결과, 득량만 남서쪽의 식물플랑크톤 군집은 남해 서부해역의 내만과 유사한 특성을 나타내었으나 세포밀도는 낮았다. 또한 세포밀도는 추계에 높고 하계에 낮았으며, 다음과 같은 규조류가 연중 지배적으로 출현하였다: 하계에는 *Eucampia zodiacus*, *Chaetoceros* spp., 추계에는 *Nitzschia longissima*, *Chaetoceros curvisetus*, *Bacillaria paxillifera*, 동계에는 *Skeletonema costatum*, *B. paxillifera*가 탁월하였다. 한편 식물플랑크톤의 현존량(*Nitzschia longissima*의 경우)은 $8.0 \times 10^3 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$ - $6.9 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$ (연평균 $1.2 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$)범위였으며, 수온이 낮을 때 높고, 수온이 높을 때 낮았다. 이러한 경향은 전술한 식물플랑크톤의 세포밀도가 추계에 높고 하계에 낮았던 Yoon[1999]의 결과와 정성적으로 일치한다. Lee and Lee[1999]는 1998년 7월부터 9월까지 득량만내 19개 정점에서의 채수를 통해 수질, 식물플랑크톤 군집구조와 동태, 적조의 특징을 규명하였다. 그 결과, 조사기간 중 표층의 수온은 24.0-28.6°C, 염분은 25.0-28.6psu, Chl a 농도는 7월과 8월 사이에는 $11.59 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ - $7.52 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 이었으나, 9월은 부영양화 단계에 있는 것으로 판단되었다. 또한 조사기간 중 출현한 식물플랑크톤의 현존량은 $1.3 \times 10^4 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$ - $3.8 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$ 의 범위를 보였다. 특히, 7월에는 거의 전 해역에서 황갈색의 적조가 발생하였으며, 이때 식물플랑크톤의 평균 현존량은 $1.8 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{L}^{-1}$ 으로서 원인종은 *Prorocentrum minimum*, *Chaetoceros curvisetus*, *Ceratium furca*, *Thalassiosira* sp.로 확인되었다. 또한 적조발생시의 수온은 23.8-29.7°C, 염분은 23.1-27.0 psu이었다. Han *et al.*[1995]은 1992년 7월과 9월, 1993년 1월과 3월에 득량만내 15개 정점에서 동물플랑크톤을 채집·조사한 결과, 동물플랑크톤의 현존량은 3월에 가장 높고 7월에 가장 낮았으나 출현 개체수는 9월에 가장 많았고 3월에 가장 적었다. 또한 동물플랑크톤의 현존량은 *Sagitta crassa*의 체장 변화에 의해 좌우되었다. 즉, 3월에는 체장이 큰 *S. crassa*가 다량 출현하였고 현존량도 높았으나 9월에는 체장이 작은 *Noctiluca scintillans*가 다량 출현하였고 현존량은 그다지 높지 않았다. 한편 동물플랑크톤의 종조성 및 출현 개체수는 수온의 계절변화에 따른 영향을 받아 7월에는 십각류 유생, 9월과 1월에는 요각류, 3월에는 *Coelenterates*가 각각 출현하였다. 또한 요각류 중 7월과 3월에는 *Paracalanus indicus*, 9월에는 *Acartia pacifica*, 1월에는 *Pseudodiaptomus marinus*가 주요종으로 출현하였다.

한편, 상기한 결과를 살펴보면, *Heteromastus filiformis*, *Sternaspis scutata* 등의 저서다모류는 득량만과 여자만 두 해역에서 우점종의

하나로 출현하고 있는데, 이는 이들 두 해역이 모두 점토질 실트(clayey silt)이 우세한 유사한 저질환경을 가지고 있기 때문이 아닌가 생각된다. 그러나 이들 두 해역에서의 저서동물과 저서다모류의 서식밀도(예를 들면, 득량만의 저서동물 및 저서다모류의 서식밀도는 각각 $871 \text{ indiv} \cdot \text{m}^{-2}$ 와 $138 \text{ indiv} \cdot \text{m}^{-2}$; 여자만의 저서동물 및 저서다모류의 서식밀도는 각각 $387 \text{ indiv} \cdot \text{m}^{-2}$ 와 $149 \text{ indiv} \cdot \text{m}^{-2}$)나 출현종수(예를 들면, 득량만과 여자만에서의 저서다모류의 출현종수는 각각 100종과 72종)는 득량만이 여자만에 비해 상대적으로 더 높고 많은 것을 알 수 있다. 이것은 비록 두 해역의 조사시점에 다소 차이가 있는 것을 감안하더라도 득량만이 여자만에 비해 상대적으로 생물생산성이 더 뛰어나거나 오염이 그만큼 덜 된 해역으로 생각된다. 또한 Choi[1974]는 1974년 1월 10일부터 17일까지 득량만 앞바다(보성군 회천면 서당리) 어장에서 피조개 자원량 추정을 위한 예비조사를 통해 조사대상 전 수역(112ha)에서의 피조개 현존량은 약 3.4-8.3톤, 개체수는 약 11,000-37,000개인 것으로 판단하였다. 또한 그가 어획한 피조개는 3년생 이상이 약 93%를 차지하고 있었다. 한편 Kim[1998]이 1995년 5월, 8월, 11월, 1996년 2월 등 4회에 걸쳐 득량만내 29개 정점에서 조개류 자원을 채집·조사한 결과에 따르면, 출현종은 모두 10종이었고, 단위면적(m^2)당의 개체수는 3.7개체로, 5월에 가장 많았고, 중량은 11월에 378.7 g 으로 가장 높았다. 이들 중 우점종은 키조개로서, 단위면적당 출현 개체수는 5월에 2.5개체, 중량은 11월에 330.0 g 으로 밀도가 가장 높았다. 한편 모든 정점에서 4회 채집한 조개류의 단위면적당 평균 개체수와 총 중량은 만 안쪽에서 12.7개체, $1,682.5 \text{ g}$ 으로 가장 많았고, 만 입구에서 0.1개체, 58.5 g 으로 가장 출현이 적었다. Kim *et al.*[2009]은 득량만의 해초장 분포를 조사하기 위하여 SCUBA 장비를 사용하여 득량만 전역(거금도, 금당도 제외)에서 2007년 4월에 잘피의 자생유무를 조사하였고, 또한 2007년 5월에 잘피 자생 지역의 분포 면적과 종조성을 각각 관찰하였다. 그 결과, 득량만에서 해초로 피복된 전체 면적은 5.1 km^2 로서, 이 중 *Zostera marina*에 의한 피복 면적이 4.8 km^2 , *Z. caulescence*에 의한 피복 면적이 0.3 km^2 , *Z. japonica*에 의한 피복 면적이 0.01 km^2 로 나타났다. 또한 *Z. japonica*는 조간대에서 발견되었고, *Z. marina*는 조간대로부터 하부조간대(수심 2 m의 평균해면)까지 발견되었으며, *Z. caulescence*는 평균 해면 2.5-5 m의 하부조간대에서 각각 발견되었다. Chang *et al.*[1998]은 1995년 5월부터 1996년 11월까지 득량만 일대 26개 정점에서 채수하여 해수에 대한 세균학적 실험을 (4개 소해역으로 구분하여) 실시한 결과, 득량만 해수의 세균학적 수질은 만 안쪽의 일부 해역을 제외하고는 수출용 패류의 생산해역의 수질기준에 합당한 것으로 나타났다. 또한 대장균수는 해수 100 ml 당 3.0-4,600개체, 분변계 대장균수는 3.0-1,100개체의 범위를 보였다. 한편 강우시는 비강우시에 비해 세균오염도가 높았으며, 대장균군의 분류결과 *Escherichia coli*가 약 54%로, 주 오염원은 분변에 의한 것으로 나타났다. 반면, 살모넬라, 시겔라, 콜레라균 등 수인성 병원세균은 검출되지 않았으며, 병원성 비브리오균은 여름철인 6월부터 8월 사이에는 시료의 15-20%에서 양성을 보였다.

Cho[1995]는 1992년 10월부터 1993년 8월까지(득량만은 1993년 2월부터 8월까지) 득량만, 광양만, 영광 주변해역에서 환경오염특성에 따른 연안 기초생태계의 변화를 조사하였다. 그 결과, 득량만은 폐쇄성 만이지만 금당수도와 거금수도를 통한 해수 교환이 광양만에 비해 활발히 이루어지고 있었다. 또한 기초생산자인 식물플랑크톤의 종조성 및 현존량에서는 동계에 소수종의 편모조류의 발생이 두드러져 쿠로시오 난류에 의한 영향이 예상되었다. 특히 여기서 득량만이 쿠로시오와 같은 외해수 유입의 영향을 받았을 가능성을 제기한 이들의 주장은 고농도의 영양염류(DIN, 규산염) 유입의 가능성을 제기한 Yang *et al.*[1995]이나 외해로부터 온난수괴의 유입 가능성을 제기한 You[1996] 등의 주장과 정성적으로 일치한다.

3.6 기타 환경

Shim *et al.*[2016]은 11개 합성 고분자 미세플라스틱의 식별에 대한 Nile Red(NR; 형광성 염료의 일종)의 적용성을 조사하고 최적의 착색(staining) 조건을 결정하였다. 그 결과, n-헥산에서 5 mg·L⁻¹의 NR 용액은 플라스틱을 효과적으로 착색하여, 녹색 형광에서 용이하게 식별할 수 있게 해 주었다. 또한 사전 처리된 자연 모래에 박혀 있는 폴리에틸렌(입자 크기 100-300 μm)의 회수율은 NR 착색 방법에서 98 %로 나타났으며, 이것은 Fourier Transform InfraRed(FT-IR)에 의한 식별 방법과 현저한 차이는 없었다. 한 예로서, 그들은 득량만을 포함한 한국 남해안의 3개 해역(득량만, 광양만, 부산에서 채집한 세 개의 Neuston net 표본을 정량적으로 해석하고 이들을 FT-IR 분광과 NR 착색방법을 사용하여 비교하였다. 그 결과, 세 표본, 즉 득량만, 광양만, 부산의 여과지 당 전체 미세플라스틱의 개수는 FT-IR 분광에서는 각각 13, 3, 71인 반면, NR에서는 각각 14, 3, 97로 나타났다. 즉 미세플라스틱의 개수는 득량만과 광양만에서 채집한 표본에서는 두 방법 모두 서로 유사한 반면, 부산에서 채집한 표본에서는 FT-IR에 비해 NR 방법이 약 1.4 배 이상 더 많은 것으로 나타났다. NR 착색 입자의 관찰과 집계 후, 착색된 일부 입자가 분광에 의해 확인되었다. 3개 해역의 현장 표본에서 Polyethylene(PE), Polypropylene(PP), Expanded Polystyrene(EPS), Polyester(PES), Polyurethane(PU) 입자들은 NR로 효과적으로 착색되지만, 강한 녹색 형광을 가진 일부 입자는 합성 고분자로서 확인되지 않았다. 한편 NR 착색 방법은 실험실에서 내후도 검사(weathering test) 표본에서 많은 모래 입자로부터 조각난 폴리프로필렌 입자를 빠르고 간편하게 식별하는 데 적절한 것으로 나타났다. 그러나 그들은 향후 유기물 쓰레기를 가진 현장 표본에 NR 착색을 적용하기 위한 연구의 필요성을 제기하였다. Kwon *et al.*[2020]은 Manta trawl을 사용하여 2015년 7월부터 2017년까지 한국의 5개 도시지역(인천 연안역, 광양만, 부산 연안역, 울산만, 영일만)과 3개 시골지역(천수만, 함평만, 득량만)에서 표층의 미세플라스틱(입자 크기 0.33-5mm)의 공간분포와 지역적 특징을 검토하였다. 그 결과, 이들 지역에서의 미세 플라스틱의 평균 풍도는 1.12-4.74 particles·m⁻³의 범위를 보였고, 이들은 대개 EPS, 페인트 입자, 파

편, 섬유 등으로 이루어져 있었다. 또한 도시지역의 미세플라스틱의 평균 풍도 (2.85 particles·m⁻³)는 지방지역(1.86 particles·m⁻³)의 약 1.5배로 나타났다. EPS는 지방에서 우세한 반면 파편, 페인트 입자, 섬유는 상대적으로 도시지역에서 우세하였다. 한편 비록 섬유류가 연구지역에 두루 분포하고는 있으나 이들의 형태와 양이 서로 다른 것은 지역 특유의 미세플라스틱 발생이 도시와 지방간 인간활동의 차이와 관련이 있는 것으로 판단되었다.

한편, Shim[2015]은 한국 연안 18개 해역(득량만은 조사대상해역에서 제외되었음)에서 미세플라스틱을 조사한 결과, 조사 해역 모두에서 미세플라스틱이 검출되었으나, 스티로폼의 난연제성분인 HBCD의 농도는 아직 EU에서 정한 수질, 퇴적물, 인체건강보호를 위한 수산물잔류 기준에 비해서는 현저히 낮은 것으로 보고하였다. 또한 Song *et al.*[2018]은 한국 6개 반폐쇄적 만과 두 개의 연안역을 대상으로 해수 중의 연직방향의 미세플라스틱(20 μm 이하의 크기)의 분포와 조성을 조사하였다. 그 결과, 조사한 41개 정점에서 미세플라스틱의 평균 풍도는 871 particles·m⁻³이었으며, 해수 중의 중층(423 particles·m⁻³)과 저층(394 particles·m⁻³)에서의 미세플라스틱의 평균 풍도는 표층에서의 풍도(1,736 particles·m⁻³)보다 약 4 배로 나타났다. 또한 섬유질 형태의 미세플라스틱과 파편의 평균 크기는 각각 752 μm과 197 μm로서, 중합체(polymer) 조성은 입자 크기와 밀도에 의존하여 수심에 따라 달랐으며, 폴리프로필렌과 폴리에틸렌이 이들의 밀도와 입자 크기와 상관없이 전 수층을 통해 탁월하였다. 한편 Jung *et al.*[2021]은 한국 연안을 포함한 대륙붕, 심해의 표층과 아표층의 미세플라스틱(단, 대상으로 한 미세플라스틱은 크기가 20-300 μm인 비구형입)이 생태계에 미치는 위해성을 평가한 결과, 해수 중의 미세플라스틱 농도는 무영향에측농도(PNEC)를 초과하지 않으며, 해양생물에 미치는 영향 또한 수준 이하인 것으로 나타났다.

반면, Han[1994]은 장래의 바람직한 간척지의 취락배치계획을 제안할 목적으로, 득량만 간척지 농촌취락의 조성경위와 그 변천과정, Housing, Empliment, Service(HES)의 실태, 취락의 공간배치, 농지 소유현황과 분포상황 등을 정밀분석하였다. 그 결과, 득량만은 기존의 해안농촌마을에 대상(帶狀)으로 연결한 간척농지가 분포하고 있어서 간척지 내부취락에 대한 전면적인 구조의 개편은 물론, 간척지 주변지역으로의 취락이전도 적극적으로 검토해야 할 것으로 판단되었다.

4. 결 론

본 연구에서는 1974년부터 2021년까지 득량만 연구와 관련하여 한국학술지인용색인과 과학인용지수 및 학위논문에 게재된 52편의 논문을 분석하였다. 그 결과, 밝혀진 득량만 해양환경의 주요 특징과 앞으로의 과제는 다음과 같다:

- (1) 득량만은 만내 중앙에 위치하는 득량도를 중심으로 우측 유속이 좌측 유속에 비해 더 빠른데, 이것은 우측 수심이 좌측에 비해 상대적으로 수심이 더 깊기 때문이다. 또한 조차는 만 입구에서

만의 안쪽으로 갈수록 증가하며 득량도를 중심으로 한 시계방향과 반시계방향의 외류가 존재하였다. 또한 득량만은 조류가 강한 대조기(또는 태풍시)에는 성층이 파괴되어 투명도가 증가한 반면, 소조기에는 성층이 발달하고 투명도가 감소하였다. 한편 득량도를 중심으로 수심이 얇은 서쪽은 저열량이 적어서 하계에는 고온, 동계에는 저온을 나타낸 반면, 동쪽은 저열량이 커서 하계에는 저온, 동계에는 고온을 나타내었다. 그러나 염분은 득량도의 서쪽이 동쪽에 비해 저염이었고, 만 입구쪽이 만안쪽보다 고염이었다.

(2) 득량만은 대기와 해면과의 열교환에 의한 지배를 받아 수온이 계절 변동을 하고 있으며, 열은 동계에는 외해에서 득량만으로, 그 외의 계절에는 득량만에서 외해로 유출되는 것으로 나타났다. 한편 Energy량 분석결과에 따르면, 득량만은 환경자원에 대한 의존도가 높은 1차 산업의 구조적 특징을 가지고 있으며, 환경용량의 80-90%까지를 활용한 어업생산이 이루어지고 있었다. 따라서 향후 합리적인 어장 관리를 통해 어업생산량을 더 늘릴 수 있을 것으로 기대된다.

(3) 득량만에서의 DIN은 하계에 만의 전역에서 생물생산의 제한인자로 작용하고 있으나 다른 계절에는 만 안쪽에서만 제한인자로 작용하고 있는 것으로 추정되었다. 한편 인산염과 규산염은 하계에는 주로 담수에 의해 만내로 공급되며, 다른 계절에는 외해수의 유입에 의해 공급되고 있는 것으로 판단되었다. 이것은 쿠로시오와 같은 난류가 득량만에 영향을 미치고 있음을 시사하였다(Yang *et al.*[1995], Yoo[1996]).

(4) 득량만 해수 중의 중금속 농도는 FDA기준보다 훨씬 낮았고, 또한 양식생물에서의 마비성 패독도 전혀 검출되지 않았다. 따라서 득량만은 해양생물의 서식과 양식에 좋은 수질과 저질을 유지하고 있는 것으로 판단되었다. 그러나 최근 득량만에서의 패류와 종자 등의 생산 감소는 하계의 고수온은 물론, 득량만의 지형적인 특징, 즉 좁은 만구와 긴 수로의 영향 때문으로 추론하였다(Cho *et al.*[2011]). 따라서 득량만의 지형적 여건상 생물 다양성의 부족은 피할 수 없다 하더라도 하계의 고수온에 의한 패류의 폐사(예를 들면 전복의 역치(threshold)는 26±1.0°C 이상임, <https://breaknews.com>)는 수온 내성이 있는 종자를 개발함으로써 이에 대처할 수 있을 것으로 생각된다.

(5) 득량만의 표층퇴적물은 황해에서 동쪽으로 이동하는 세립질의 부유물질이 유입하여 퇴적된 것으로서 부유이동 및 침전작용을 거듭하고 있는 것으로 나타났다. 한편 이들 퇴적물 중의 유기물을 비롯한 중금속, 황화물의 함량은 물론, 저니오염도 타 해역에 비해 낮았다. 그러나 이들의 농도가 만구에서 만 안쪽으로 갈수록 증가하고 있다는 점에서 볼 때 앞으로 내만에서의 오염이 향후 더욱 가중될 우려가 있다고 보여진다. 따라서 저질 오염을 예방하기 위해 육지로부터 만내로의 오염 부하를 줄이거나 양식장의 정화사업과 같은 대책이 필요할 것으로 판단된다.

(6) 득량만에 출현하는 저서동물과 저서다모류는 과거에 비해 종수와 서식밀도가 각각 감소하였고, 잠재적인 유기물 오염 지시종인 *Lumbrineris longifolia*와 *Heteromastus filiformis*가 새로이 우점종

으로 대두한 것으로 나타났다(Ma *et al.*[1995]; Shin and Kim [2002]). 따라서 득량만이 다른 만(예를 들면 광양만이나 진해만)에 비해 여전히 오염이 덜 된 해역이지만 앞으로 수질과 저질 환경에 대한 지속적이고도 면밀한 모니터링이 필요할 것으로 사료된다.

(7) 한편 전 세계적으로 매년 약 800 만톤의 쓰레기가 육지로부터 해양으로 유입되고 있으며 그 중에 약 70%는 플라스틱으로 알려져 있다(http://www.env.go.jp/water/marine_litter/index.html, <http://plastic.smart.go.jp>). 이들 미세플라스틱을 비롯한 해양쓰레기는 어획량의 감소, 선박사고 발생률의 증가, 해양생물의 사망 등을 유발시키는 오염원의 하나로 인식되고 있다(Shim[2015]; Jung *et al.*[2021]). 따라서 비록 현재는 미세플라스틱으로 인한 해양환경에의 악영향을 말하기는 어려우나 장기적인 관점에서 볼 때 득량만의 해양생태계를 보호하기 위한 대책이 필요할 것으로 생각된다(Song *et al.*[2018]).

References

- [1] BreakNews, <https://breaknews.com> (accessed 2020. 10. 4.)
- [2] Chang, D.S., Jeong, E.T., Yu, H.S., Lee, E.W., Lim, S.M., 1998, "Bacteriological quality of sea water in Deukryang Bay, Korea", J. Korean Fish. Soc., 31(1), 77-81.
- [3] Cho, C.H., Park, K.Y., 1982, "Eutrophication of shellfish farms in Deukryang and Kamagyang Bays", Bull. Korean Fish. Soc., 15(3), 233-240.
- [4] Cho, E.S., Lim, W.A., Hwang, J.D., Suh, Y.S., 2011, Effects of environmental characteristics on the production of shellfish in Deukryang Bay, Korea, J. Korean Environ. Sci. 20(10), 1243-1263.
- [5] Cho, K.A., 1995, "The variation of coastal basic ecosystem according to environmental pollution character", Doctoral dissertation, Chonnam National University, 1-234.
- [6] Cho, K.D., Lee, C.I., Lee, B.G., Cho, K.W., Kim, D.S., 1998, Study on the water and material exchange in Deukryang Bay 1. Volume transport and turnover time of seawater, J. Korean Environ. Sci. 7(3), 311-320.
- [7] Choi, K.J., 1974, "The resources of the ark-shell *Anadara Broughtonii* in Deukryang Bay", Bull. Korean Fish. Soc., 7(4), 204-208.
- [8] Choi, Y.K., Cho, K.D., Lee, B.G., Hong, C.H., 1995, "Environmental characteristics according to the depth in Deukryang Bay, culturing ground of pen shell (*Atrina pectinata*)", Bull. Korean Soc. Fish. Tech., 31(2), 127-141.
- [9] Choi, Y.K., Hong, S.K., 1997, Stratification related to heat flux in Deukryang Bay during summer, J. Korean Environ. Sci., 6(6), 579-588.
- [10] Eum, K.H., Son, J.H., Cho, E.I., Lee, S.M., Park, C.K., 1996, "The estimation of carrying capacity in Deukryang Bay by EMERGY analysis", J. Korean Fish. Soc., 29(5), 629-636.
- [11] Fukue, M., Nakamura, T., Kato, Y., Yamasaki, S., 1999, "Degree

- of pollution for marine sediments”, *Eng. Geology*, 53, 131-137.
- [12] Han, D.H., Hong, S.Y., Ma, C.W., 1995, “Distribution of zooplankton in Deukryang Bay, Korea”, *J. Korean Fish. Soc.*, 28(5), 517-532.
- [13] Han, K.S., 1994, “A fundamental study on village planning in the reclaimed area”, Master dissertation, Chonnam National University, 1-84.
- [14] Hong, C.H., Choi, Y.K., 1997, “The response of temperature and velocity fields to M_2 tide in Deukryang Bay in the southern sea of Korea”, *J. Korean Fish. Soc.*, 30(4), 667-678.
- [15] Hong, G.H., Yang, D.B., Lee, K.W., 1998, Nutrients and trace metals in permanently well-mixed coastal waters of Korea, *J. Korean Soc. Oceanogr.* 23(4), 159-168.
- [16] Jeon, S.B., Kim, P.J., Kim, S.S., Ju, J.S., Lee, Y.H., Chang, D.S., Lee, J.U., Park, S.Y., 2012, “Characteristics of spatial distribution of geochemical components in the surface sediments of the Deukryang Bay”, *J. Korean Soc. Environ. Analysis*, 15(3), 203-214.
- [17] Joo, Y.H., 1997, “The seasonal variation of the heat budget in Deukryang Bay”, Master dissertation, Pukyong National University, 1-47.
- [18] Joo, Y.H., Cho, K.D., 1998, The seasonal variation of the heat budget in Deukryang Bay, *J. Korean Environ. Sci.* 7(1), 67-73.
- [19] Jung, E.J., 1993, “A numerical model on tidal current in Deukryang Bay”, Master dissertation, National Fisheries University of Pusan, 1-39.
- [20] Jung, E.J., Hong, C.H., Lee, B.G., Cho, K.D., 1994, “A numerical study on the circulation in Deukryang Bay I. tidal circulation forced by M_2 tide”, *Bull. Korean Fish. Soc.*, 27(4), 397-403.
- [21] Jung, J.W., Park, J.W., Eo, S., Choi, J., Song, Y.K., Cho, Y., Hong, S.H., Shim, W.J., 2021, “Ecological risk assessment of microplastics in coastal, shelf, and deep sea waters with a consideration of environmentally relevant size and shape”, *Environ. Pollut.*, 270, 116217.
- [22] Kim, C.W., 1998, “Stock density, larvae distribution and natural seeding collection of bivalve resources in Deukryang Bay”, Pukyong National University, 1-136.
- [23] Kim, D.H., Park, C.K., 1998, Estimation of nutrients released from sediments of Deukryang Bay, *J. Korean Environ. Sci.* 7(4), 425-432.
- [24] Kim, J.B., Park, J.I., Lee, K.S., 2009, “Seagrass distribution in Deukryang Bay”, *Korean J. Fish. Aquat. Sci.*, 42(5), 509-517.
- [25] Kim, S.W., 1993, “The oceanographic condition of Deukryang Bay in 1992-1993”, Master dissertation, National Fisheries University of Pusan, 1-47.
- [26] Kim, S.W., Cho, K.D., Rho, H.K., Lee, J.C., Kim, S.H., Shin, S.I., 1995, “Temperature and salinity distribution in Deukryang Bay in summer of 1992-93”, *Bull. Korean Fish. Soc.*, 28(1), 7-14.
- [27] Kim, Y.H., 1999, “Benthic polychaetous communities in Deukryang Bay and Yeolja Bay, southern coast of Korea”, Master dissertation, Yeosu National University, 1-105.
- [28] Kim, Y.K., Jeon, B.I., Lee, Y.S., Ahn, Y.H., 1992, “A study on the local climate in the vicinity of Duckyang Bay, Korea”, *Bull. Korean Fish. Tech. Soc.*, 28(4), 398-411.
- [29] Kim, Y.K., Moon, S.E., Ahn, J.B., 1997, One-dimensional model for simulations of atmospheric mixed-layer: Application to Deukryang Bay area, *J. Korean Environ. Sci.* 6(5), 425-436.
- [30] Kong, Y.S., Lee, B.G., 1994, “Surface sediment and suspended material in Deukryang Bay”, *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 29(3), 267-277.
- [31] Korea Hydrographic and Oceanographic Administration (KHOA), <http://www.khoa.go.kr/oceanmap/main.do> (accessed: 2021. 11. 23.)
- [32] Kwon, O.Y., Kang, J.H., Hong, S.H., Shim, W.J., 2020, “Spatial distribution of microplastic in the surface waters along the coast of Korea”, *Mar. Pollut. Bull.*, 155, 110729.
- [33] Lee, B.G., 1994, “A study of physical oceanographic characteristics of Deukryang Bay using numerical and analytical models in summer”, Doctoral Thesis, Nat. Fish. Univ. Pusan, 1-145.
- [34] Lee, B.G., Cho, K.D., 1995, Temporal variations of stratification-destratification in the Deukryang Bay, Korea, *J. Korean Environ. Sci.* 4(2), 35-46.
- [35] Lee, B.G., Cho, K.D., Choi, Y.K., 1996a, “The transparency variation according to tidal and seasonal variation in Deukryang Bay, 1995 and 1996”, *Bull. Korean Soc. Fish. Tech.*, 32(4), 386-394.
- [36] Lee, B.G., Cho, K.D., 1998, The spatial characteristics of stratification in Deukryang Bay, Korea, *J. Korean Environ. Sci.* 7(2), 223-232.
- [37] Lee, B.G., Cho, K.D., Hong, C.H., 1995, “The effect of wind (Typhoon), tide and solar radiation for the water stratification at Deukryang Bay in summer, 1992”, *Bull. Korean Soc. Fish. Tech.*, 31(3), 256-263.
- [38] Lee, B.G., Kong, Y.S., Cho, K.D., 1996b, The variations of SMC during tidal cycle in Deukryang Bay, Korea, *J. Korean Environ. Sci.* 5(4), 473-480.
- [39] Lee, J.C., Rho, H.K., Cho, K.D., Shin, S.I., Kim, S.W., Kim, S.H., 1995, “Tidal current in the western part of Deukryang Bay in summer 1992”, *Bull. Korean Fish. Soc.*, 28(1), 1-6.
- [40] Lee, J.H., Lee, E.H., 1999, “Water quality and phytoplankton red tide in Deukryang Bay of Korea”, *Korean J. Environ. Biol.*, 17(3), 271-278.
- [41] Lee, J.M., Kim, B.G., Noh, J.S., Lee, C.K., Kwon, I.H., Kwon, B.O., Ryu, J.S., Park, J.S., Hong, S.J., Lee, S.H., Kim, S.G., Son, S.J., Yoon, H.J., Yim, J.S., Nam, J.H., Choi, K.S., Khim, J.S., 2021, “The first national scale evaluation of organic carbon stocks and sequestration rates of coastal sediments along the west sea, south sea, and east sea of south Korea”, *Sci. Total Environ.*, 793, 148568.
- [42] Lee, M.O., Kim, J.K., Kim, B.K., 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.

- [43] Lee, M.O., Kim, J.K., Kim, B.K., 2020b, "Past, present, and future for the study of Gamak Bay, Korea", *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy*, 23(3), 148-164.
- [44] Lee, M.O., Kim, J.K., Kim, B.K., 2020c, "Marine environmental characteristics of Yeoja Bay, Korea", *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy*, 23(4), 233-245.
- [45] Lee, M.O., Kim, J.K., Kim, B.K., 2021, "Marine environmental studies in Gwangyang Bay, Korea: Past, present and future direction", *J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy*, 24(4), 1-18.
- [46] Lee, Y.H., Chung, Y.T., 2003, Characteristics of the water quality variation in south coastal area(2), *J. Korea Soc. Environ. Admin.*, 9(1), 23-31.
- [47] Ma, C.W., Hong, S.Y., Lim, H.S., 1995, "Macrobenthic fauna of Deukryang Bay, Korea", *J. Korean Fish. Soc.*, 28(5), 503-516.
- [48] McElroy, A.E., Farrington, J.W., Teal, J.M., 1989, "Biodiversity of polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment", In: Varanasi, U.(Ed.), *Metabolism of polycyclic aromatic hydrocarbons in the aquatic environment*, CRC Press Inc., FL, pp. 1-39.
- [49] Meadow, J.P., Stein, J.E., Reichert, W.L., Varinasi, U., 1995, "Bioaccumulation of polycyclic aromatic hydrocarbons by marine organisms", *Rev. Environ. Contam. Toxicol.*, 143, 79-165.
- [50] Ministry of Maritime Affairs and Fisheries (MOMAF), 2007, "Study on environmental management of environment project area in Deukryang Bay", 1-171.
- [51] Ministry of Oceans and Fisheries, <https://www.mof.go.kr>, (accessed: 2021. 11. 18.)
- [52] Ministry of the Environment, Government of Japan, <http://www.env.go.jp>; <http://plastic.smart.env.go.jp> (accessed 2021. 12. 22.)
- [53] National Geographic Information Institute (NGII), <https://www.ngii.go.kr>, (accessed: 2021. 11. 18.)
- [54] Oh, B.S., Jung, C.G., Kim, S.Y., Kim, S.Y., Chung, E.Y., 2002, "Reproductive cycle of the bay scallop, *Argopecten irradians* transplanted from China", *J. Korean Fish. Soc.*, 35(3), 201-206.
- [55] Ryu, S.O., Kim, J.Y., Chang, J.H., Cho, Y.G., Shin, S.E., Eun, G.Y., 2006, "A study on the transport mechanism of tidal beach sediments I. Deukryang Bay, south coast of Korea", *J. Korean Earth Sci. Soc.*, 27(2), 221-235.
- [56] Seon, S.C., 2008, "Habitat environmental and sanitary characteristics of commercial shellfishes in Deukryang Bay", Doctoral dissertation, Chonnam National University, 1-144.
- [57] Shim, W.J., 2015, "A Study on Microplastic Pollution in the Coastal Environments", Technical Report, Korea Institute of Ocean Science & Technology, 1-219.
- [58] Shim, W.J., Song, Y.K., Hong, S.H., Jiang, M., 2016, "Identification and quantification of microplastics using Nile Red staining", *Mar. Pollut. Bull.*, 113, 469-476.
- [59] Shin, H.C., Kim, Y.H., 2002, Spatial distribution of benthic polychaetous communities in Deukryang Bay, southern coast of Korea, *J. Korean Soc. Oceanogr.*, 7(1), 20-31.
- [60] Simpson, J.H., Hunter, J.R., 1974, "Fronts in Irish Sea", *Nature*, 250, 404-406.
- [61] Song, Y.H., Choi, M.S., Lee, J.Y., 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.
- [62] Song, Y.K., Hong, S.H., Eo, S., Jang, M., Han, G.M., Isobe, A., Shim, W.J., 2018, "Horizontal and vertical distribution of microplastics in Korean coastal waters", *Environ. Sci. Technol.*, 52(21), 12188-12197.
- [63] Ward L.G., Kemp, W.M., Boynton, W.R., 1984, "The influence of waves and seagrass communities on suspended particulates in an estuarine embayment", *Mar. Geol.*, 59, 85-103.
- [64] Yang, H.S., Kim, S.S., Kim, G.B., 1995, "Spatio-temporal distribution of nutrients in the surface waters of Deukryang Bay, 1. seasonal variation of nutrients and limiting factors for primary production", *J. Korean Fish. Soc.*, 28(4), 475-488.
- [65] Yim, U.H., Hong, S.H., Shim, W.J., 2007, "Distribution and characteristics of PAHs in sediments from the marine environment of Korea", *Chemosphere*, 68, 85-92.
- [66] Yoo, K.I., Hue, H.K., Lee, W.C., 1991, "Taxonomical revision on the Genus *Acartia* (Copepoda: Calanoida) in the Korean Waters", *Bull. Korean Fish. Soc.*, 24(4), 255-265.
- [67] Yoo, S.K., Park, K.Y., Yoo, M.S., 1977, "Biological studies on arkshell culture -1. Distribution of drifting larvae of the Arkshell, *Anadara Broughtanii* Scherenck-", *J. Korean Soc. Oceanogr.* 12(2), 75-81.
- [68] Yoon, Y.H., 1999, "The characteristics on the spatio-temporal distributions of phytoplankton communities in Deukryang Bay, southwestern Korea", *Korean J. Environ. Biol.*, 17(4), 481-492.
- [69] Yoon, Y.H., Kim, D.G., 2003, "On the spatio-temporal distribution of phytoplankton community in the southwestern parts of Deukryang Bay, South Korea", *Korean J. Environ. Biol.*, 21(1), 8-17.
- [70] You, G.A., 1996, "A study on the sedimentary environments and micropaleontology of surface sediments, Deukryang Bay", Doctoral dissertation, Chonnam National University, 1-84.

Received 5 January 2022

Revised 3 February 2022

Accepted 9 February 2022