

서식지적합지수를 활용한 서해안 보령 갯벌어장의 바지락 서식지 평가

전승렬¹, 홍석진¹, 응신정¹, 전준협¹, 강정하¹, 박광재², 정희도¹

¹국립수산과학원 서해수산연구소 갯벌연구센터, ²국립수산과학원 서해수산연구소

Habitat Assessment using Habitat Suitability Index for Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) in the Boryeong Tidal Flat on the West Coast of Korea

Seung Ryul Jeon¹, SokJin Hong¹, Sin Jung Ong¹, Jun-Hyeop Jeon¹, Jung-Ha Kang¹, Kwang-Jae Park² and Hee-Do Jeung¹

¹Tidal Flat Research Center, West Sea Fisheries Research Institute, National Institute of Fisheries Science(NIFS), Gunsan 54001, Korea

²West Sea Fisheries Research Institute, NIFS, Incheon 22383, Korea

ABSTRACT

The habitat of the Manila clam (*Ruditapes philippinarum*) was assessed using habitat suitability index (HSI) factors considering growth (Chlorophyll *a*, Hydrodynamics), survival (Sediment-sand, Exposure time) and water-environment (Dissolved oxygen, Salinity). As a result, data layer assessed Manila clam habitat, it was possible to calculate the preferred area. Consequently, it was found that areas which seemed to prefer for Manila clams (HSI > 0.5) covers 1.23 km² (Weight) out of 5.32 km² and (HSI < 0.5) covers 4.09 km² (Weight) out of 5.32 km². Based on these results, it is estimated that Manila clams preferred habitat can be distinguished in areas other than the Boryeong tidal flat. Additionally, continuous environmental monitoring will have to be carried out for habitat management of tidal flats, and it is expected that these studies will develop habitat-based evaluation methods.

Key words: Tidal flat, Habitat suitability index, Habitat assessment, Manila clam, *Ruditapes philippinarum*

서론

우리나라 서해안의 갯벌 조간대는 조수간만의 차이로 인한 해수의 유입과 유출이 지속적으로 이루어진다. 갯벌 생태계에 속해 있는 생물 중 부유물여과식자 (Suspension filter-feeder) 인 패류와 같은 종들은 (Species) 하구역과 가까운 조간대에 주로 분포하며, 보통 높은 서식밀도를 갖는다 (Dame *et al.*, 2001; Asmus and Asmus, 2005). 바지락 (*Ruditapes*

philippinarum) 은 환경 내성이 강한 종으로 (Bourne *et al.*, 1982) 우리나라 갯벌 패류 양식산업의 주요 종으로 자리 매김하였다. 그러나 2000년대 들어서면서 갑각류에 속하는 쪽 (*Upogebia major*) 의 출현 및 이상증식으로 인해 바지락의 서식공간의 변화를 야기하게 되었다 (Hong, 2013). 쪽은 바지락과 마찬가지로 부유물여과식자로서, 퇴적물 내 연탄구멍 모양과 같은 작은 굴을 내어 서식하며 주변 서식공간의 생물교란 작용을 일으키는 것으로 알려져 있다 (Tamaki *et al.*, 2008). 현재 보령 갯벌은 같은 공간 내 쪽의 증식으로 인한 공간경쟁으로 인해 바지락의 서식공간은 감소되었고, 충청남도를 기준으로 바지락 서식지의 쪽 발생면적은 약 76.7%로 집계되었다 (NIFS, 2016).

이러한 바지락 서식지 감소는 바지락의 생산성과 직결되기 때문에 서식지 면적의 정량적인 파악이 필요하다. 서식지적합지수 (Habitat Suitability Index, 이하 HSI) 는 서식지 기반의 평가방법으로써 한 종이 이용가능한 서식지를 정량적, 정성적으로 파악이 가능하며, 종 풍부도에 대한 예측이 가능하다

Received: September 22, 2020; Revised: September 26, 2020; Accepted: September 30, 2020

Corresponding author: Hee-Do Jeung

Tel: +82 (63) 472-8604, e-mail: hdjeung83@korea.kr
1225-3480/24768

This is an Open Access Article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License with permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproducibility in any medium, provided the original work is properly cited.

(USFWS, 1980). HSI와 관련된 서식지의 평가 사례를 살펴 보면, 중국의 새꼬막 (*Scapharca subcrenata*) 의 복원 가능 서식지를 식별하는데 HSI를 활용하여, 총 7가지의 서식지 변수를 설정하고 평가한 결과, 지역 주변의 대부분이 연중 HSI 값이 0.6이상으로 높게 나타났으며, 이는 곧 새꼬막의 서식지 복원 가능성이 높다는 것을 시사하였다 (Zhou *et al.*, 2016). 또한, 해삼 (*Apostichopus japonicus*) 의 적지선정을 위해 중국 산둥반도 주변 연안 네 지역을 대상으로 잠재적인 해삼의 서식지를 선정하기 위하여 6가지 변수 중 2가지 변수를 미성숙 (immature) 과 성숙 (mature) 개체로 구분하여 평가한 결과, 퇴적물 정상 및 수온의 계절적 차이가 중요한 조건으로 밝혀졌다 (Zhang *et al.*, 2017). 이처럼, 유용생물에 대한 서식지 평가는 변수 설정의 유연함을 갖춘 동시에 어떠한 변수가 한 종의 생활사에 가장 큰 영향을 주는지 식별이 가능하다.

또한, 생태계 변화가 가능하다는 관점에서 현재 수준을 서식지 기반의 과학적인 접근법으로 평가해 볼 필요성이 있다. 보령 갯벌의 서식지 기반의 평가 사례는 이전에 보고된 바 없으며, 바지락의 성장과 생존과 관련된 서식지 변수들은 곧 바지락의 생산성과 직결되기 때문에 갯벌 바지락 어장과 주변 서식지에 대한 비교와 정량적인 분포를 파악해야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서는 보령 갯벌 바지락 서식지의 특성을 파악하고 평가하고자 하였다. 또한, 한 종의 분포를 정량적으로 구명하여, 생물과 환경 간의 이해를 도모하고자 한다. 이전에 연구된 바지락의 서식지적합지수를 활용한 서식지 평가와 맞물려 서식지 기반의 관리전략을 수립하는데 도움이 될 것으로 판단되며, 보령 갯벌어장의 지속적인 생물이용과 관리를 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사지역

조사지역은 서해안에 위치한 충남의 보령 주요면에 소재해 있는 갯벌로 상부-하부 조간대까지 구획별로 총 15정점을 선정하였다 (Fig. 1). 보령 갯벌의 형태는 개방형으로 조석형태는 반일주조가 우세한 조석이며, 대조차 637.0 cm, 평균조차 458.8 cm, 소조차는 280.6 cm이다 (KOHA, 2020). 남쪽에는 대천항, 갯벌 인근에는 송학항이 위치해 있으며, 동남쪽으로는 대천천의 하구와 인접해 있다. 주요 서식종은 바지락과 쪽이며, 본 연구에서 수행된 보령 갯벌에 대한 환경 모니터링은 2019년 2월에서 2019년 10월까지 동계(2월), 춘계(4월), 하계(8월), 추계(10월)로 분기별 총 4번 조사하였다.

2. 현장조사 및 자료수집

각 정점 현장조사 시 다항목 수질측정기 (YSI-556 MPS,

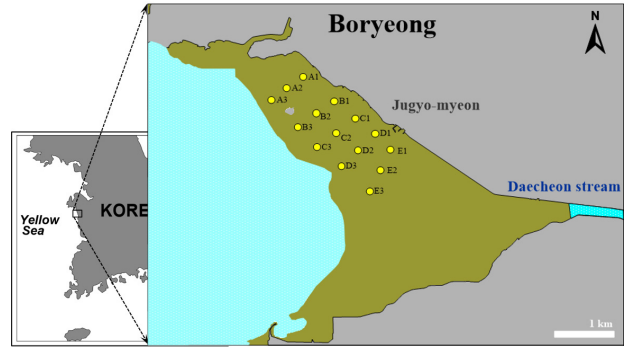


Fig. 1. The map showing the study area in Boryeong off the west coast of Korea. Environmental (water and sediment) samples were collected from each sampling sites (A1-E3).

Yellow Springs, USA) 를 사용하여 조사지역의 연간 해수 정보 (Standing water)인 수온 (Temperature), 염분 (Salinity), 용존산소 (Dissolved oxygen), 수소이온농도 (pH) 를 현장 측정하였다.

보령 갯벌의 각 정점별 퇴적물 시료를 채취하여 강열감량 (Ignition loss, IL), 함수율 (Water content) 을 해양환경공정시험기준에 준하여 분석하였다 (MOF, 2013). 퇴적물 입도는 전처리 과정을 거쳐, 세립질과 조립질로 나누어 각각 퇴적물 자동입도분석장치 (SediGraph III 5120, Micromeritics Inc. Co., USA) 와 전자식 체진동기 (Analysette 3 Pro, Fritsch Co., Germany) 를 사용하여 분석하였다 (Folk, 1980). 표층퇴적물의 일부는 동결건조 후 전처리 과정을 거쳐 HPLC (High-Performance Liquid Chromatography) 로 클로로필 a를 정량하였다. 정점별 유속은 KOHA (2019)에서 배포하는 수치조류도를 활용하여, 격자 데이터를 1시간 간격으로 추출하여 분석하였다. 보령 갯벌의 정점별 노출시간은 조화상수를 이용한 조간대 노출시간 추정 공식을 활용하였으며 (Jeong *et al.*, 2012), 보령항의 조위관측소 관측자료 (KOHA, 2020) 와 전자해도를 이용하여 산출하였다.

3. 바지락의 서식지 평가

서식지적합지수는 한 종이 이용가능한 서식지의 정량적, 정성적 특성을 규명하는 방법으로써 특정 종과 서식지 환경의 상호작용에 대한 기초 연구를 통해 개발되었다 (USFWS, 1980). 종에 의한 서식지 이용이 환경용량 (Carrying capacity) 과 선형적으로 부합되며, 한 종의 생리생태와 서식지 환경은 밀접하게 연관되어 있음을 가정한다. 0에 근접할수록 부적합한 서식지, 1에 근접할수록 적합한 서식지를 의미한다.

바지락의 성장, 생존에 관련된 서식지 변수 항목을 클로로필 a, 해수유동, 사질함량, 노출시간, 용존산소, 염분 총 6가지를 채

Table 1. The values of six variables for Manila clams inhabitation and equations for calculation of HSI

Life requisite	Index (value ω)	Condition	Equation
Growth	V ₁ : Chlorophyll <i>a</i> (1.0)	No weight	$HS = \left(\prod_{i=1}^6 V_i \right)^{\frac{1}{6}}$
	V ₂ : Hydrodynamics (10.0)		
	V ₃ : Sediment-sand (5.0)		
Survival	V ₄ : Exposure time (2.0)	Weight	$HS = \left(\prod_{i=1}^6 V_i^{\omega_i} \right)^{1/\sum_{i=1, \dots, 6} \omega_i}$
	V ₅ : Dissolved oxygen (1.0)		
Water-environment	V ₆ : Salinity (1.0)		

Table 2. Annual range of sea water and sediment characteristics in Boryeong tidal flat

Surveying site	Sea water				Sediment			
	Temperature (°C)	Salinity	DO (%)	pH	Chl <i>a</i> (ug/L)	IL (%)	Sand (%)	
Boryeong tidal flat	A1	6.01-33.86	30.07-32.03	58.3-71.3	7.51-7.98	3.4-6.9	1.4-1.9	18.3-51.4
	A2	6.47-32.88	30.69-31.34	52.7-87.1	7.75-7.99	0.7-2.7	1.7-2.2	18.1-27.6
	A3	6.60-29.62	24.81-31.07	48.7-89.8	7.71-7.96	0.5-3.4	1.6-2.1	18.5-26.3
	B1	6.06-34.05	26.41-31.57	68.0-99.5	7.70-7.94	4.2-7.2	1.3-1.5	27.7-66.9
	B2	6.05-29.08	30.84-31.23	82.1-93.4	7.74-8.13	0.6-1.8	2.0-2.3	12.7-33.3
	B3	7.48-31.22	28.42-32.27	75.3-116.3	7.66-8.41	0.8-1.4	0.8-2.0	43.2-96.7
	C1	8.65-34.06	26.30-31.80	81.2-102.3	7.78-8.11	5.7-7.9	1.9-3.5	16.0-38.5
	C2	6.76-31.48	30.82-31.63	84.4-140.3	7.95-8.25	1.5-3.4	1.8-3.7	10.9-44.9
	C3	9.06-30.45	27.93-31.48	54.0-134.7	7.97-8.32	7.4-8.7	1.2-2.0	17.2-70.7
	D1	7.87-33.28	19.09-31.10	70.5-105.2	7.70-8.06	6.1-10.8	1.3-3.1	18.4-43.9
	D2	6.87-31.48	30.88-32.04	86.2-159.9	7.91-8.23	1.0-2.1	1.1-2.1	23.0-50.6
	D3	10.50-32.09	16.32-31.42	85.0-120.1	7.99-8.17	1.3-9.6	1.4-2.5	21.3-70.0
	E1	9.72-34.07	16.82-31.89	66.4-127.5	7.80-8.10	6.9-8.8	1.7-3.5	6.7-32.7
	E2	8.01-33.91	30.44-32.63	93.9-111.2	7.99-8.24	2.3-3.9	1.7-2.5	15.4-56.9
	E3	10.02-30.65	11.00-31.43	51.5-117.3	8.02-8.16	0.5-9.6	1.3-2.9	23.9-63.8

택하였다 (Vincenzi *et al.*, 2006; Choi *et al.*, 2019). 각 변수의 가중치 설정은 Vincenzi *et al.*, (2006) 을 따랐다 (Table 1). 바지락의 서식 깊이는 지역에 따라 그 범위가 다르며, 바지락 서식지는 광범위하기 때문에 (Jeon *et al.*, 2015) 수심을 노출시간으로 대체하고 수심의 가중치 점수인 2점을 그대로 부여하였다. 최근 근소만에서 바지락의 적지선정에 중요한 인자가 노출시간으로 보고되었고 (Choi *et al.*, 2019), 갯벌 조간대에서 수심에 따라 노출시간이 변화하기 때문에 대체해도 무리가 없을 것으로 판단된다. 바지락 서식지 평가를 위한 SI (Suitability index) 그래프는 Fig. 2에 나열하였다.

바지락에 대한 서식지 평가는 전문가에 의한 가중치 적용시 오류의 가능성도 내포할 수 있기 때문에 있기 때문에 가중치 적용 (Weight) 과 가중치 미적용 (No weight) 두 가지 방법을 모두 산정하여 비교하였다 (Jeon *et al.*, 2015).

4. 바지락의 생물량

HSI의 결과값은 서식지 내 특정 종의 생산량 또는 서식밀도와 같은 자료를 통해 반드시 검증되어야 한다 (USFWS, 1980). 바지락의 서식분포를 파악하기 위해 각 지역의 주상 퇴적물 시료를 시추형 주상체니기 (Can corer) 를 사용하여 0.2

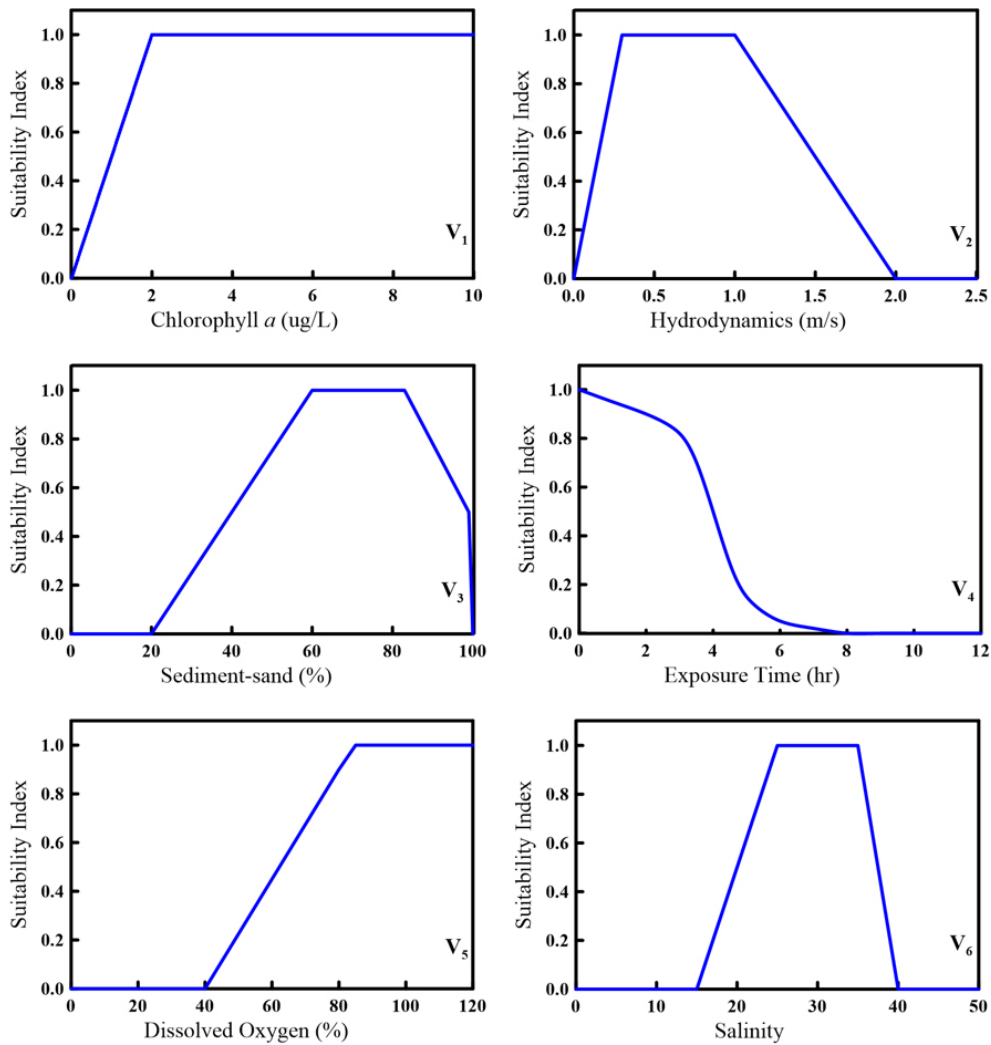


Fig. 2. Suitability index of each environmental factors for Manila clam (*R. philippinarum*). V₁, V₂, V₃, V₅ and V₆ were according to Vincenzi *et al.* (2006). V₄ was according to Choi *et al.* (2019).

m² 채집하였으며 직경 1.0 mm의 망목으로 습식체질한 후 10% 중성포르말린으로 즉시 고정시켰다. 고정된 시료를 실험실로 옮겨 동정 후 바지락 서식밀도를 분석하고, 바지락 서식지 평가의 결과값과 비교하였다.

결 과

1. 해수 및 퇴적물 환경

보령 갯벌의 연간 해수 (Standing water) 의 수온 분포는 6.01-34.07℃로 계절적인 변화를 보였으며, pH는 7.51-8.41의 분포로 정상적인 범위인 것으로 조사되었다. 조사정점 중 조사지역의 동쪽 상부 조간대에 인접한 대천천의 담수의 영향으로 인해 D라인은 16.32-32.04, E라인은 11.00-31.43의 분포를 보였다. 용존산소의 경우 48.7-159.9%의 범위로 나타나

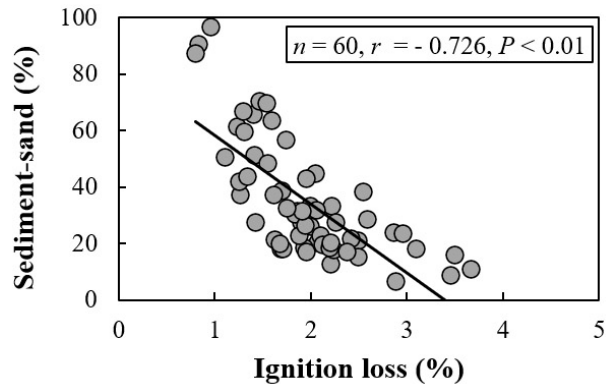


Fig. 3. Relationships between sediment-clay and organic content (IL). *r* is the correlation, *n* is the number of samples, and *P* is the statistical *P* value.

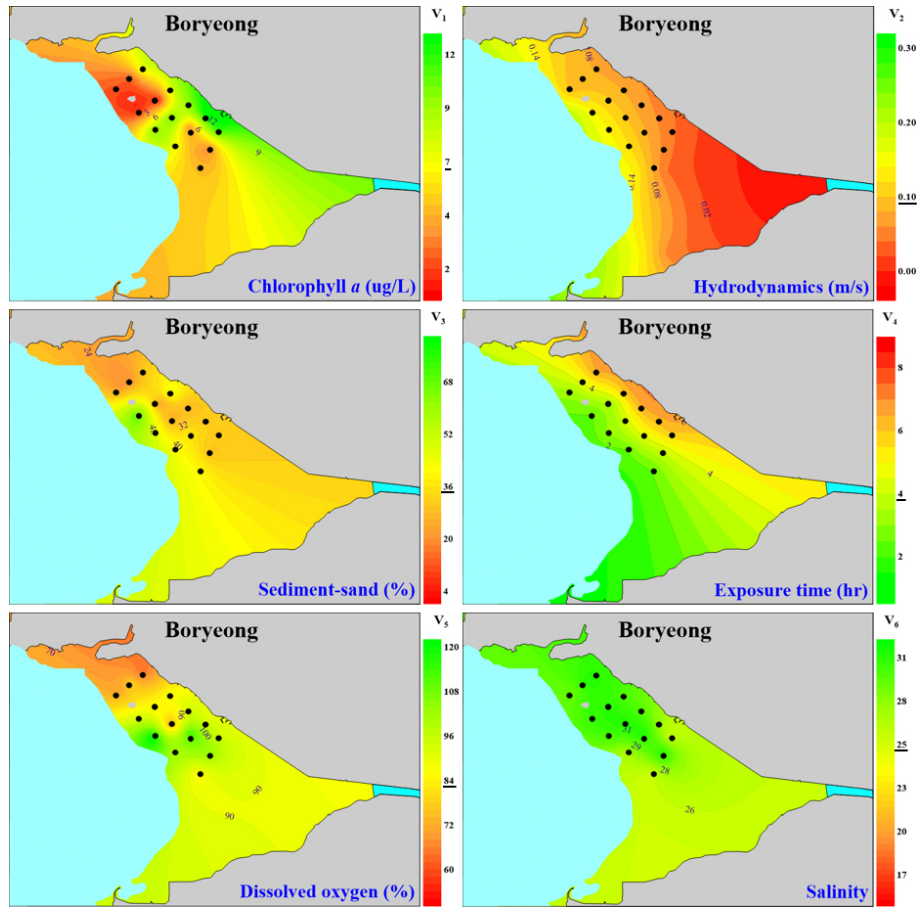


Fig. 4. The figure shows that the levels of each environmental factors for suitability index were differently distributed in Boryeong tidal flat.

수생물에게 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단된다 (Table 2).

표층퇴적물 IL의 분포는 0.8-3.1%의 범위로 나타나 오염기준을 초과하지 않는 정상적인 범위였으며, 퇴적물 입도 분석 결과와 비교해 보았을 때 Sediment-sand의 함량과 음의 상관관계를 ($n = 60, r = -0.726, P < 0.01$) 보이는 것으로 나타났다 (PASW statistics 18, SPSS Inc., USA) (Fig. 3). 이는 상대적으로 세립한 퇴적물이 유기물함량과 양의 상관관계를 갖는다는 보고와 (Kim and Ha, 2001; Jeon *et al.*, 2019) 전반적으로 유사한 경향을 갖는 것으로 파악되었으며, 이는 곧 조립한 퇴적물일수록 유기물함량이 낮다는 것을 의미한다.

2. 보령 갯벌 바지락의 서식지 변수 분포

바지락의 성장과 생존에 관련된 클로로필 a, 해수유동, 사질함량, 노출시간, 용존산소, 염분의 중요한 변수 인자 분포를 분석한 결과, 클로로필 a 의 경우 C라인을 제외한 나머지 A, B, D, E라인에서 모두 상부 조간대가 높은 것으로 파악되었다

(Fig. 4). 특히, D1과 E1정점이 각각 연평균 12.82 ug/L, 11.30 ug/L로 가장 높았으며, 대천천 하구역과 가장 인접해 있었다. 해수유동은 모든 라인이 하부 조간대에서 상부 조간대로 갈수록 유속이 느려지는 경향을 보였고, 상부 조간대 정점 (A1, B1, C1, D1, E1)의 유속 평균은 0.07 m/s, 하부 조간대 정점 (A3, B3, C3, D3, E3)의 유속 평균은 0.12 m/s로 나타났다 (Fig. 4). 보령 갯벌은 해안선에서 간조 시 노출선까지의 거리가 약 1.4 km으로 다른 반폐쇄성만 또는 면적이 넓은 만에 비해 거리가 짧았으며, 개방형 해안 갯벌로 경사가 비교적 완만하여 조사정점 간의 유속차이가 심하지 않았다.

노출시간 또한 해수유동과 유사한 경향을 보여 하부 조간대가 노출시간이 짧고, 상부 조간대가 상대적으로 긴 노출시간을 갖는 것으로 파악되었다. 특히, 정점 A3와 B3사이에 대섬의 모래언덕이 형성되어 있어 다른 하부 조간대 정점 (2시간) 에 비해 A라인의 하부 조간대 부근의 A3정점 (3시간) 노출시간이 더 긴 것으로 나타났다 (Fig. 4). 퇴적물의 사질함량은 B3정점이 연평균 69.1%로 가장 높았으며, 이 역시 상부 조간대에 비

Table 3. The results of HSI of each surveying sites and its clam densities. N.D. : No data

Surveying site	HSI	HSI	Density	
	No weight	Weight	(Ind./m ²)	
Boryeong tidal flat	A1	0.28	0	
	A2	0.41	0	
	A3	0.46	0	
	B1	0.49	0.36	N.D.
	B2	0.51	0.31	N.D.
	B3	0.78	0.66	N.D.
	C1	0.28	0.20	40
	C2	0.57	0.36	0
	C3	0.82	0.63	300
	D1	0.29	0.21	N.D.
	D2	0.58	0.38	N.D.
	D3	0.78	0.56	N.D.
	E1	0.40	0.22	0
	E2	0.57	0.30	100
	E3	0.71	0.44	160

해 하부 조간대가 사질함량이 높은 경향을 보였다 (Fig. 4). 예외적으로 A라인의 상부 조간대인 A1정점 (30.4%) 보다 중부 조간대인 A2정점 (21.1%), 하부 조간대인 A3정점 (21.5%)이 더 낮았다. 바지락의 바닥 기질 중 사질은 니질에 비해 퇴적물 내 유기물의 양이 상대적으로 낮고, 더 높은 산소교환으로 인해 황화수소의 영향이 덜하며, 성장에도 긍정적인 영향을 미치는 것으로 알려져 있다 (Keck *et al.*, 1974). 따라서, 보령 갯벌의 하부 조간대에 분포되어 있는 정점들의 바닥 기질이 더 적합한 것으로 판단된다.

용존산소와 염분의 분포는 모두 생물에게 큰 영향을 주지 않는 정상 분포인 것으로 나타났으며, 서식지적합지수 가점화에 크게 영향을 미치지 않았다. 용존산소와 염분은 바지락의 전 생활사에 필수적이고, 이러한 외부환경요인은 생물의 에너지 활용 및 대사활동, 그리고 생산성과 연관된 바지락의 성장과 생존에 밀접하게 연관되어 있다 (Mills, 2000; Navarro *et al.*, 2000).

3. 바지락의 서식지적합지수 평가와 검증

바지락의 서식지적합지수를 활용한 보령 갯벌 정점들의 서식지 평가는 No weight 일 때 0.28-0.82, Weight 일 때 0.21-0.66의 범위로 가중치를 적용하지 않았을 때 변동폭이 컸다. No weight일 때 C3정점이 0.82로 가장 적합하였고, Weight일 때 B3정점이 0.66으로 가장 적합하였다. 두 조건 모두 0.5이상인 정점은 하부 조간대의 B3, C3, D3로 파악되어 조사지역 중 바지락 서식에 가장 적합한 것으로 판명되었다 (Table 3).

본 연구에서 조사된 A-E라인 중 B와 D라인 (No data) 을 제외한 A, C, E라인의 바지락 서식밀도 자료를 참고하였으며,

그 중 성패 (각장 > 10 mm) 에 한해서 검증하였다 (Table 3). 그 결과, 높은 수치를 보인 C3정점 (No weight: 0.82, weight: 0.63) 의 서식밀도가 300 ind./m²로 일치하는 것으로 확인되었으며, 낮은 수치를 보인 A라인 (No weight: 0.28-0.46, weight: 0.23-0.26) 은 바지락이 출현하지 않았다. E라인 또한 상부 조간대에서 하부 조간대로 갈 수록 HSI 수치가 높아지는 경향 (HSI score: 0.22-0.44) 을 보여 서식밀도 (0-160 ind./m²) 와 일치하는 것으로 확인되었다.

고 찰

1. 바지락 서식지 공간 특성

본 연구에서 수행된 HSI 기법을 활용한 보령 갯벌의 바지락 서식지에 대한 정량적인 평가에 따라, 바지락의 적합한 서식지는 하부 조간대에 분포하는 정점들이 대부분인 것으로 파악되었다 (Fig. 5). 이러한 결과는 바지락의 서식지 변수 중 생존에 관련된 퇴적물의 사질함량과 노출시간에 영향이 높은 것으로 판단된다. 가중치를 적용하지 않았을 때와 적용했을 때의 바지락 서식에 적합한 정점은 각각 C3, B3정점으로 파악되었는데, 이 두 정점 모두 연평균 사질함량이 49.06-69.14%로 다른 정점들에 비해 (평균: 31.33%) 높았으며, 노출시간은 3시간 이내인 것으로 나타났다. 조사지역의 정점 A3와 B3 사이에 대섭이 위치하고 있어, 모래언덕으로 인해 A3와 B3정점 간의 노출시간이 약 1시간 정도 차이가 있었다. 노출시간이 상대적으로 긴 A3정점 (No weight: 0.46, Weight: 0.26) 은 해안선과의 거리가 비슷함에도 불구하고, B3정점 (No weight: 0.78, Weight: 0.66) 에 비해 HSI 점수가 낮았다. Choi *et al.*, (2019) 에 따르면 근소만의 만 입구 주변의 서식지가 만 안쪽

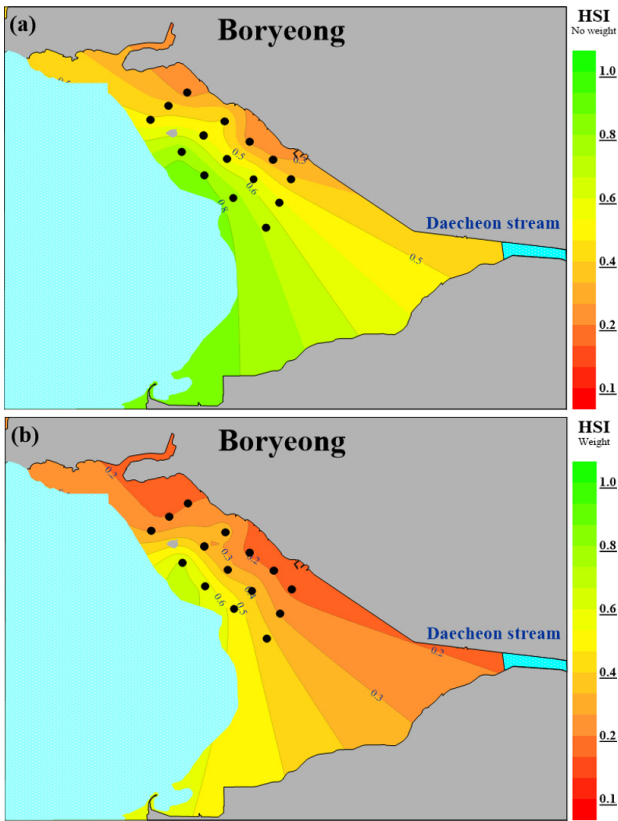


Fig. 5. The result of data layers using HSI was established that shows where is a suitable location for the Manila clam inhabitation. (a) No weight, (b) Weight.

에 비해 짧은 노출시간으로 바지락이 서식하기 적합한 것으로 보고되었다. 곰소만의 경우에는 상부 조간대에 비해 하부 조간대가 해수유동이 빠르며, 이에 따라 해수유동에 의한 영향이 바지락 어장에 큰 영향을 미치는 것으로 보고되었다 (Jeon *et al.*, 2015). 보령 갯벌은 곰소만에 비해 해수유동이 정점간 큰 차이를 보이지 않았으며, 조사간격이 상대적으로 짧는데 비해 느린 해수유동으로 인한 정점 간의 노출시간의 차이가 나타났다. 또한, 정점 E2와 E3는 가중치를 적용하였을 때 HSI score가 각각 0.57, 0.71였지만, 가중치를 적용하면 0.30,

0.44로 파악되었는데, 이러한 정점들은 꾸준한 어장관리가 필요할 것으로 판단된다. 본 연구에서는 바지락의 서식밀도 자료가 충분하지 않아 모든 정점을 비교하지 못했다는 한계점이 있었다. HSI의 결과값은 서식지 내 종의 생산량 또는 서식밀도와 같은 생물량 데이터와의 검증이 꼭 이루어져야 하기 때문에 앞으로 생물 데이터가 누락되지 않는 범위 내에서 조사가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

2. 바지락의 서식지 면적

서식지 기반의 연구를 진행하기 위한 가장 기본 요소는 종과 서식지 간의 상호관계와 종의 생활사에 대한 정보에 있으며, 이를 표현하기 위한 변수를 서식지의 특징으로 식별할 수 있다 (Vincenzi *et al.*, 2006). 서식지 기반의 평가에는 두가지 방법에 기초하여 서식지의 정량화를 제공하는데, 하나는 HSI이며, 다른 하나는 한 종이 이용할 수 있는 서식지의 총 면적이다 (USFWS, 1980). 정량화된 서식지의 면적을 산출하는 것 역시 중요한 절차이며, 서식지 평가는 미래에 예측 가능하도록 설계되어야 한다 (USFWS, 1981).

앞서 평가된 기법을 통해 바지락을 대상으로 서식지의 정량화를 이루었다. 보령 갯벌 내 평가된 바지락의 HSI를 활용하여 이에 따라 할당된 면적을 산출한 결과, 바지락의 HSI가 0.5 이상인 적합한 면적이 각각 3.09 km² (No weight), 1.23 km² (Weight) 로 나타났으며, 바지락의 HSI가 0.5 이하인 부적합한 면적은 각각 2.23 km² (No weight), 4.09 km² (Weight)로 파악되었다 (Table 4). 이 중 HSI score가 0.4-0.5의 범위에 들어오는 면적이 각각 0.87 km² (No weight), 0.71 km² (Weight) 로 나타났으며, 중부 조간대에 가까이 위치한 정점들이 대부분 이었다. 이러한 정점들은 바지락 서식지로서 잠재력이 충분하기 때문에 서식지 관리를 통해 적합한 서식지로 바꾸기 위한 지속적인 노력이 필요할 것으로 판단된다. 바지락의 HSI 가중치 적용의 두가지 측면을 동시에 비교함으로써 더 구체적인 서식지의 분포를 파악할 수 있었던 것으로 판단되며, 이러한 과정들이 미래에 지속적으로 이행되어야 할 것으로 생각된다.

Table 4. Suitable areas (Km²) for Manila clam (*R. philippinarum*) inhabitation calculated by HSI assessment in this study

HSI	Manila clam habitat area (km ²)	
	No weight	Weight
> 0.6	2.41	0.58
0.5-0.6	0.68	0.65
0.4-0.5	0.87	0.71
0.3-0.4	0.81	0.90
< 0.3	0.55	2.48
Total	5.32	5.32

요 약

본 연구에서는 서해안에 위치한 보령 갯벌 서식지 특성을 파악하기 위해 분기별 환경모니터링을 실시하였다. 바지락의 서식지 평가는 클로로필 a, 해수유동, 사질함량, 노출시간, 용존 산소, 염분 총 6가지 서식지 변수 항목들을 단순기하평균과 가중기하평균으로 산정하여 비교하고, 생물량 데이터로 검증하였다. 결과적으로, 바지락이 선호하는 서식공간은 하부 조간대인 것으로 판명되었다. 바지락의 적합한 서식지 (HSI > 0.5) 는 보령 갯벌의 조사된 총 면적 5.32 km² 중 1.23 km² (Weight) 로 산정되었으며, 바지락의 부적합한 서식지 (HSI < 0.5) 는 4.09 km² (Weight) 로 산정되었다. 이에 따라, 보령 갯벌 내 바지락 서식지의 분포 특성을 객관적으로 파악할 수 있었다. 앞으로 본 연구에 기초하여 더 다양한 사례에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이며, 생물의 지속적인 이용과 갯벌 생태계 보존을 위해 전략적인 방안 수립이 가능할 것으로 생각된다.

사 사

본 연구는 국립수산물과학원 수산시험연구 ‘갯벌어장 환경모니터링 (R2020051)’ 사업의 일환으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

REFERENCES

- Asmus, H. and Asmus, R.M. (2005) Significance of suspension-feeder systems on different spatial scales. *In: The Comparative Roles of Suspension-Feeders in Ecosystems* 47. (eds. by Dame, R.F., Olenin, S.), Springer, Dordrecht, pp. 199-219.
- Bourne, N. (1982) Distribution, reproduction, and growth of Manila clam, *Tapes philippinarum* (Adams and Reeves), in British Columbia. *J. Shellfish Res.*, **2**: 47-54.
- Choi, Y.H., Hong, S.J., Jeon, S.R. and Cho, Y.S. (2019) Site Assessment Using Habitat Suitability Index for Manila Clam *Ruditapes philippinarum* in Geunso Bay Tidal Flats. *J. Korean Fish. Soc.*, **52**(5): 511-518. [In Korean]
- Dame, R.F., Bushek, D. and Prins, T.C. (2001) Benthic suspension feeders as determinants of ecosystem structure and function in shallow coastal waters. *In: Ecological Comparisons of Sedimentary Shores: Ecological Studies* 151. (ed. by Reise, K.), Springer, Berlin, pp. 11-37.
- Folk, R.L. (1980) Petrology of Sedimentary Rocks. Hemphill Publishing Company, Austin, Texas, U.S.A., 185.
- Hong, J.S. (2013) Biology of the Mud Shrimp *Upogebia major* (de Haan, 1841), with particular reference to pest management for shrimp control in Manila clam bed in the West Coast of Korea. *Ocean Polar Res.*, **35**(4): 323-349. [In Korean]
- Jeon, S.R., Choi, Y.S., Cho, Y.S., Kim, Y.T. and Choi, Y.H. (2015) Suitable Site Assessment using Habitat Suitability Index for *Ruditapes philippinarum* in Gochang(Hajun). *J. Korean Soc. Mar. Environ. Saf.*, **21**(5): 484-491. [In Korean]
- Jeon, S.R., Hong, S.J., Choi, Y.H., Cho, Y.S., and Song, J.H. (2019) Comparison of Sedimentary Environmental Characteristic of Tidal Flats on the West Coast of Korea Depending on the Habitation of Mud Shrimp *Upogebia major*. *J. Korean Fish. Soc.*, **52**(6), 656-665. [In Korean]
- Jeong, S.T., Cho, H. and Ko, D.H. (2012) Development of the Inter-tidal Exposure Duration Formulae Using Tidal Harmonic Constants, *J. Korean Soc. Coast. Ocean Eng.*, **24**(5): 319-325. [In Korean]
- Kim, S.Y. and Ha, J.S. (2001) Sedimentary facies and environmental changes of the Nakdong River estuary and adjacent coastal area. *J. Korean Fish. Soc.*, **34**(3): 268-278. [In Korean]
- Keck, R., Maurer, D. and Malouf, R. (1974) Factors influencing the setting behavior of larval hard clams, *Mercenaria mercenaria*. *Proc. Natl. Shellfish Ass.*, **64**: 59-67.
- Korea Hydrographic and Oceanographic Agency (KHOA). (2019) Korea Ocean Observing and Forecasting System, [online] <http://www.khoa.go.kr/tdnet/> [in Korean]
- Korea Hydrographic and Oceanographic Agency (KHOA). (2020), Korea Ocean Observing and Forecasting System, [online] <http://www.khoa.go.kr/swtc/main.do> [in Korean]
- Mills, D. (2000) Combined effects of temperature and algal concentration on survival, growth and feeding physiology of *Pinctata maxima* (Jameson) spat. *J. Shellfish Res.*, **19**: 159-166.
- Ministry of Oceans and Fisheries (MOF). (2013) Marine environment standard methods. MOF, Daejeon, Korea, 495. [in Korean]
- Navarro, J.M., Leiva, G.E., Martinez, G. and Aguilera, C. (2000) Interactive effects of diet and temperature on the scope for growth of the scallop *Argopecten purpuratus* during reproductive conditioning. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.*, **247**(1): 67-83.
- National Institute of Fisheries Science (NIFS). (2016) Technical report of National Institute of Fisheries Science (1/2), 725. [in Korean]
- Tamaki, A., Nakaoka, A., Maekawa, H. and Yamada, F. (2008) Spatial partitioning between species of the phytoplankton-feeding guild on an estuarine intertidal sand flat and its implication on habitat carrying capacity. *Estuar. Coast. Shelf Sci.*, **78**: 727-738.
- U.S. Fish and Wildlife Service (USFWS). (1980) U.S. Fish and Wildlife Service, Habitat as a basis for

- environmental assessment. Ecological Services Manual 101. U.S. Department of Interior. Fish and Wildlife Service. Division of Ecological Services, Government Printing Office. Washington, D.C., USA.
- U.S. Fish and Wildlife Service (USFWS). (1981) U.S. Fish and Wildlife Service, Standards for the development of Habitat Suitability Index models. Ecological Services Manual 103. U.S. Department of Interior. Fish and Wildlife Service. Division of Ecological Services, Government Printing Office. Washington, D.C., USA.
- Vincenzi, S., Caramori, G., Rossi, R. and De Leo, G.A. (2006) A GIS-based Habitat suitability model for commercial yield estimation of *Tapes philippinarum* in a Mediterranean coastal lagoon (Sacca di Goro, Italy). *Ecol. Model.*, **193**: 90-104.
- Zhang, Z., Zhou, J., Song, J., Wang, Q., Liu, H. and Tang, X. (2017) Habitat suitability index model of the sea cucumber *Apostichopus japonicus* (Selenka): A case study of Shandong Peninsula, China. *Mar. Pollut. Bull.*, **122**: 65-76.
- Zhou, J., Song, J., Bai, Q., Liu, C., Zhang, Z. and Tang, H. (2016) Habitat suitability of *Scapharca subcrenata* (Lischke) in the shallow water of the Xiaoheishan Island. *Acta Oceanol. Sin.*, **35**(12): 1-7.

