

서식지 적합지수를 이용한 근소만 갯벌 바지락(*Ruditapes philippinarum*)의 어장적지평가

최용현 · 홍석진* · 전승렬 · 조윤식¹

국립수산과학원 갯벌연구센터, ²국립수산과학원 해역이용영향평가센터

Site Assessment Using Habitat Suitability Index for Manila Clam *Ruditapes philippinarum* in Geunso Bay Tidal Flats

Yong-Hyeon Choi, SokJin Hong*, Seung-Ryul Jeon and Yoon-Sik Cho¹

Tidal Flat Research Center, National Institute of Fisheries science, Gunsan 54014, Korea

¹Marine and Fisheries Environment Impact Assessment Center, National Institute of Fisheries science, Busan 46083, Korea

Evaluating the habitat suitability of potential aquaculture sites for cultured species is critical to the sustainable use of tidal flats. This study evaluated the habitat suitability index (HSI) of 12 sites in a tidal flat aquaculture farm at Geunso Bay, Taean, in June 2016. The parameters used to model the suitability index were Growth (water temperature, chlorophyll α , hydrodynamics), Survival (sediment-sand, mean size, air exposure), and Environment (DO, salinity). The HSI was calculated using weighted and No weighted geometric means. The results showed high habitat suitability at the bay's entrance (HIS; No weighted, 0.60-0.70; weighted, 0.60). Hydrodynamics, air exposure, sediment-sand and mean size are thought to have a significant impact on habitat selection by Manila clams *Ruditapes philippinarum*. This study explored the optimum habitat for Manila clams by calculating the HSI, providing basic data for tidal flat management.

Key words: Habitat suitability index, Tidal flat aquaculture, *Ruditapes philippinarum*, Suitable site assessment, Geunso Bay

서론

바지락은 웰빙 식품으로 국민 조개로 불릴 만큼 선호도가 높다(NFRDI, 2014a). 또한 온도 및 염분 변화 내성이 높아(Laing and Child, 1996, Kim et al., 2001), 조수간만으로 급격한 환경 변화가 발생하는 서해 갯벌에서 타 이매패류보다 이용가치가 높다. 하지만 우리나라 갯벌은 1987년(갯벌면적 3,203.5 km²) 이후 연안개발정책으로 인해 무분별한 매립 및 방조제 건설 등으로 2018년(갯벌면적 2,482.0 km²)에는 약 23%의 면적이 감소하였고(MOF, 2018), 허베이스피리트호 유류피해로 충청남도의 갯벌어장 피해가 심각했다. 충청남도 서쪽에 위치한 근소만은 유류피해의 영향을 받은 지역이므로, 건강한 갯벌생태계 보전과 지속가능한 이용을 위해 체계적인 어장환경 모니터링이 필요하다. 또한 모니터링을 통한 진단 및 평가를 활용하여, 바지

락의 생산성 증대 및 고부가가치화를 위해 바지락의 서식적합지 선정이 필요하다. 바지락에 물리적 영향을 미치는 근소만 특성에 대하여 hydro-hypsographic 분석을 이용한 근소만 해수교환 특성 연구(Choi et al., 2011), 갯골분포와 표층퇴적물 성상의 관계에 대한 연구(Eom et al., 2012), 원격탐사 자료를 이용한 갯벌 퇴적환경분석연구(Choi et al., 2010)가 있다. 바지락의 생리·생태에 관한 연구로 바지락의 온도 및 염분 내성(Shin et al., 2000), 온도가 바지락의 질병, 혈림프 등의 변화에 미치는 영향(Paillard et al., 2004), 바지락 치패의 수온내성 및 정착환경에 따른 성장 시험(Min et al., 2004, Tezuka et al., 2013), 용존산소 변화가 바지락 생리적 반응에 미치는 영향(Shin et al., 2001), 노출시간에 따른 바지락의 신진대사특성 및 생존률 조사(Ali and Nakamura, 2000, Numaguchi, 1998, Ali and Nakamura, 1999) 등이 있다.

*Corresponding author: Tel: +82. 63. 472. 8613 Fax: +82. 63. 467. 2675

E-mail address: 71sj@korea.kr



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

<https://doi.org/10.5657/KFAS.2019.0511>

Korean J Fish Aquat Sci 52(5), 511-518, October 2019

Received 30 August 2019; Revised 27 September 2019; Accepted 23 October 2019

저자 직위: 최용현(연구원), 홍석진(연구사), 전승렬(연구원), 조윤식(연구사)

이처럼 바지락 생리·생태에 관한 다양한 연구가 활발히 이루어지고 있고, 이를 활용하여 서식적합지 선정 연구가 진행되어야 한다. Lee et al. (2014)에서는 근소만의 지형, 노출시간, 갯골 및 입도 등 물리, 화학적 인자를 활용하여 바지락 서식적합지를 선정을 하였다. 본 연구에서는 바지락 서식에 영향을 주는 물리, 화학, 생물학적 인자를 성장, 생존, 환경으로 분류하여 서식지 적합지수 기법(habitat suitability index, HSI)을 활용하였다. HSI는 미 어류 및 야생동물 관리국(USFWS, 1980)에서 개발되었으며, HSI 기법을 활용한 적지평가는 생물의 생리·생태 연구를 GIS에 접목하여 나타낼 수 있는 객관적인 연구방법으로 활용될 수 있다(Gibson et al., 2004).

따라서 본 연구에서는 바지락 양식이 활발한 근소만 갯벌에 대하여 어장환경조사를 통한 만의 이화학적 환경 특성을 파악하고, 바지락의 생리·생태 연구자료를 활용한 적정 HSI를 가점하고자 한다. 산정된 HSI가점 결과는 근소만 갯벌 바지락의 효율적인 생산성 증대를 위해 양식장의 과학적인 적지선정 자료로 활용될 수 있다.

재료 및 방법

연구지역

충남 태안군 서쪽에 위치한 근소만은 약 2 km 정도의 만 입구를 통해 외해와 해수교환이 이루어지고 있는 반폐쇄성만이며, 만 주위에 하천이 없어 육상에서 유입되는 영양염과 유기물 등의 오염물질 유입이 제한적인 특징을 가지고 있다. 조간대 퇴적물은 대부분 사질실트(sandy silt)로 구성되어 있으며, 해면 평균 높이는 약 3.55 m이고, 평균 조차는 6 m이다. 간조시 근소만 전체 면적의 약 70-90%가 노출되고, 만조시 2-4 m의 수심을 유지한다(Kim and Kim, 2008).

근소만의 갯벌 어장은 자연발생하는 바지락으로 양식이 이루어지고 있으며, 해수 유동은 만의 모양에 따라 부채꼴 형상으로 이동한다(NFRDI, 2014b). 조사 정점은 바지락 어장이 이루어져 있는 파도(st. 3)와 법산(st. 5)을 포함하여 선정하였고, 각 정점의 위치는 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다.

환경조사

바지락은 7-8월에 산란을 위하여 6월에 체내에 에너지를 최대한 비축하여, 성장이 왕성하다(NFRDI, 2014a). 따라서 본 연구의 갯벌어장 현장 조사는 2016년 6월 해수와 퇴적물을 채취하였다. 각 정점별 해수는 수온, 염분, 용존산소, pH, 클로로필 α 를 측정 및 분석하였다. 수온, 염분, 용존산소, pH는 YSI 556 Multiprobe System (YSI, yellow spring, Ohio, USA)으로 현장에서 측정하였으며, 클로로필 α 는 정점별 시수를 여과하고 90% 아세톤용액으로 색소를 추출하여, 자외-가시선 분광광도기(Cary 100, Varian, Burton, Michigan, USA)로 750, 665, 645, 630 nm 흡광도에서 측정 후 계산하였다(MOF, 2013). 정

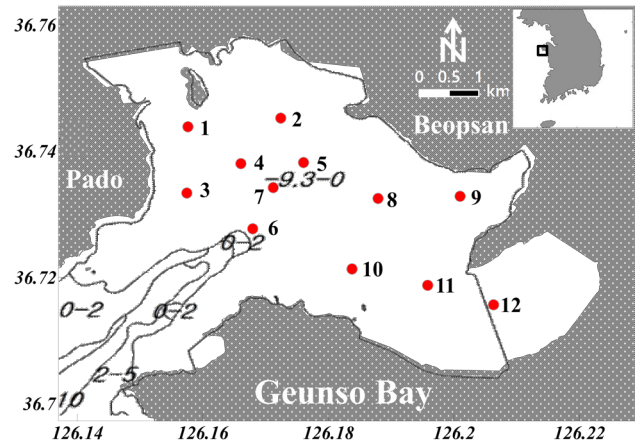


Fig. 1. Study area and survey sites in Geunso Bay tidal flat, Korea.

점별 퇴적물 시료는 과산화수소를 이용하여 전처리를 하였고, 4 Φ 표준체(0.0625 mm)로 조립질과 세립질로 분류하였다. 4 Φ 이하의 퇴적물은 전자식 체진동기(Analysette 3 Pro, FRIT-SCH Co., Idar oberstein, Germany)를 이용하여 건식체질법으로, 4 Φ 초과하는 퇴적물은 입도 분석기(SediGraph III 5120, Micromeritics Instrument Co., norcross, Jorgia, USA)를 이용하여 분석하였다. 기기에 의해 분석된 자료는 Folk (1954)의 방법을 따라 계산하였다. 정점별 해수유동은 국립해양조사원(KHOA, 2018)에서 제공하는 해수 유동 시뮬레이션을 이용하여, 2016년 6월 1일부터 6월 30일까지 분석하였다. 해수 유동 시뮬레이션을 이용한 정점별 해수유동과 환경 조사 결과를 근소만 바지락 서식 적지선정 항목에 적용하여 평가하였다.

HSI 평가

Vincenzi et al. (2006)는 바지락 서식지 적합지수의 변수 항목을 용존산소, 염분, 해수유동, 사질함량, 수심, 클로로필 α 로 선

Table 1. Survey sites in Guenso Bay, Korea

Station	Latitude	Longitude
st. 1	36° 44' 44.15"	126° 9' 29.45"
st. 2	36° 44' 44.98"	126° 10' 25.67"
st. 3	36° 44' 0.56"	126° 9' 30.22"
st. 4	36° 44' 14.82"	126° 10' 9.50"
st. 5	36° 44' 15.02"	126° 10' 44.92"
st. 6	36° 43' 38.86"	126° 10' 10.52"
st. 7	36° 43' 59.94"	126° 10' 29.00"
st. 8	36° 43' 57.46"	126° 11' 19.57"
st. 9	36° 44' 0.97"	126° 12' 4.24"
st. 10	36° 43' 21.51"	126° 11' 3.14"
st. 11	36° 43' 9.32"	126° 11' 42.42"
st. 12	36° 42' 51.34"	126° 12' 25.29"

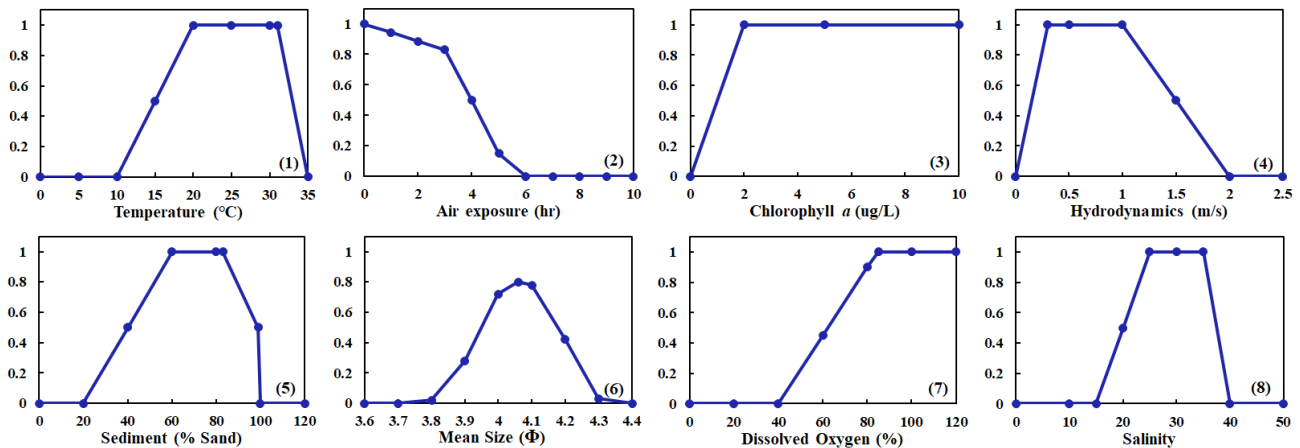


Fig. 2. Suitability index graphs for habitat variables of Manila clam *Ruditapes philippinarum*. (1) is adapted from mulholland, R. 1984. (3), (4), (5), (7) and (8) are adapted from Vincenzi et al., 2006. (6) is adapted from Yoo et al., 2007.

정하였으며, 항목별 기준을 설정하여 가점하였다. 가점의 범위는 0.0-1.0로 설정하여 0.0에 근접하면 부적합, 1.0에 근접하면 최적서식지로 평가하였다.

바지락은 퇴적물 표층 5 cm 이내에 서식하며, 적절한 퇴적물 평균입경에서 잠입이 유리하다. 또한 바지락은 노출시간이 적을수록 생존에 유리하다(Lee et al., 2014). 따라서 본 연구에서는 근소만 갯벌 바지락 어장의 서식지 적합지수 변수로 바지락의 착저와 생존에 영향을 미치는 Yoo et al. (2007)가 설정한 평균 입도를 선정하였다. 또한 간조시 급격한 온도변화를 유발하여 성장에 영향을 미치는 노출시간을 선정하였다.

이 외에 수온, 용존산소, 염분, 해수유동, 사질함량, 클로로필 α 를 선정하였고, 수심은 서해안 갯벌의 특성상 조석의 차가 크고 조간대의 70%가 대기에 노출되는 근소만 특성을 고려할 때 적합하지 않은 것으로 판단하여 제외하였다. 선정된 인자들은 서식 적합도(habitat suitability, HS)식을 이용하여 가중기하평균(Vincenzi et al., 2006), 단순기하평균으로 계산하였고(Cho et al., 2012), 계산식은 각각 식(1), 식(2)와 같다.

$$HS = \left(\prod_{i=1}^n V_i^{W_i} \right)^{\frac{1}{\sum_{i=1}^n W_i}} \dots\dots\dots (1)$$

$$HS = \left(\prod_{i=1}^n V_i \right)^{\frac{1}{n}} \dots\dots\dots (2)$$

HS, 서식지 적합도; V_i , 변수; n , 변수의 수; W_i , 변수의 가중치

결과 및 고찰

근소만 갯벌 환경특성

2016년 6월 근소만 St. 1-St. 12까지 어장환경 및 퇴적물 특

성은 Fig. 3과 Table 2에 나타내었다. 수온은 25.4-27.4°C (평균 26.1°C)로 나타났다. 6월에 근소만과 가장 가까운 서산에서 일 최고기온 20.6-30.4°C (평균 27.0°C)였고, 일 평균 지면온도는 20.7-29.1°C (평균 25.7°C)로 나타났다(KMA, 2019). 온도는 생물의 신진대사 등과 밀접한 관계가 있어 중요한 역할을 한다. 일 최고기온과 일 평균 지면온도가 유사한 값을 보이는 것은 최고 지면온도는 더 높은 값을 나타내는 것을 의미한다. 갯벌에 잠입하여 서식하는 패류의 특성을 고려할 때 노출시 급격한 온도 변화를 보이는 지온측정에 관련된 연구가 필요할 것으로 생각된다. 클로로필 α 는 0.045-1.956 $\mu\text{g/L}$ (평균 0.653 $\mu\text{g/L}$)의 범위를 보였다. 만 입구와 가까운 st. 3에서 가장 높은 농도를 보였으나, 전체적으로 클로로필 α 의 최적 HSI 가점 범위인 2 $\mu\text{g/L}$ 에 미치지 못했다. 해수유동(6월 조류의 평균 유속)은 0.87-14.50 cm/s (평균 6.55 cm/s)로 근소만 지형적 특성인 병목형상에 따라 입구부근에서 가장 높은 유속을 보였다. 사질함량은 27.0-80.1% (평균 52.8%)로 나타났고, 평균입도는 2.5-5.8 Φ (평균 4.2 Φ)로 나타났다. 용존산소는 5.3-6.1 mg/L (평균 5.8 mg/L), 염분은 31.9-32.9 (평균 32.4)로 나타났다. 용존산소와 염분도 바지락 서식에 중요한 역할을 하지만 본 연구결과에서는 바지락 서식에 적합한 조건으로 나타났고, 전체적으로 태안 연안의 일반적인 해수 염분 분포와 유사한 값(31.43-31.92)을 보였다(NIFS, 2019). 근소만의 지형적 특성으로 내부에 유입되는 담수의 영향이 거의 없어 염분이 바지락에 미치는 영향은 적을 것으로 판단된다.

근소만 갯벌 서식지 적합지수 변수 선정

HS식은 서식지의 생태학적 환경용량과 상관성을 가지며, 서식생물의 생리·생태와 환경 사이에 직·간접적인 관계가 있음을 가정한다. 따라서 선정된 바지락 서식 적합도 변수를 성장, 생존, 환경으로 분류할 수 있으며(Cho et al., 2012), 성장에 해당

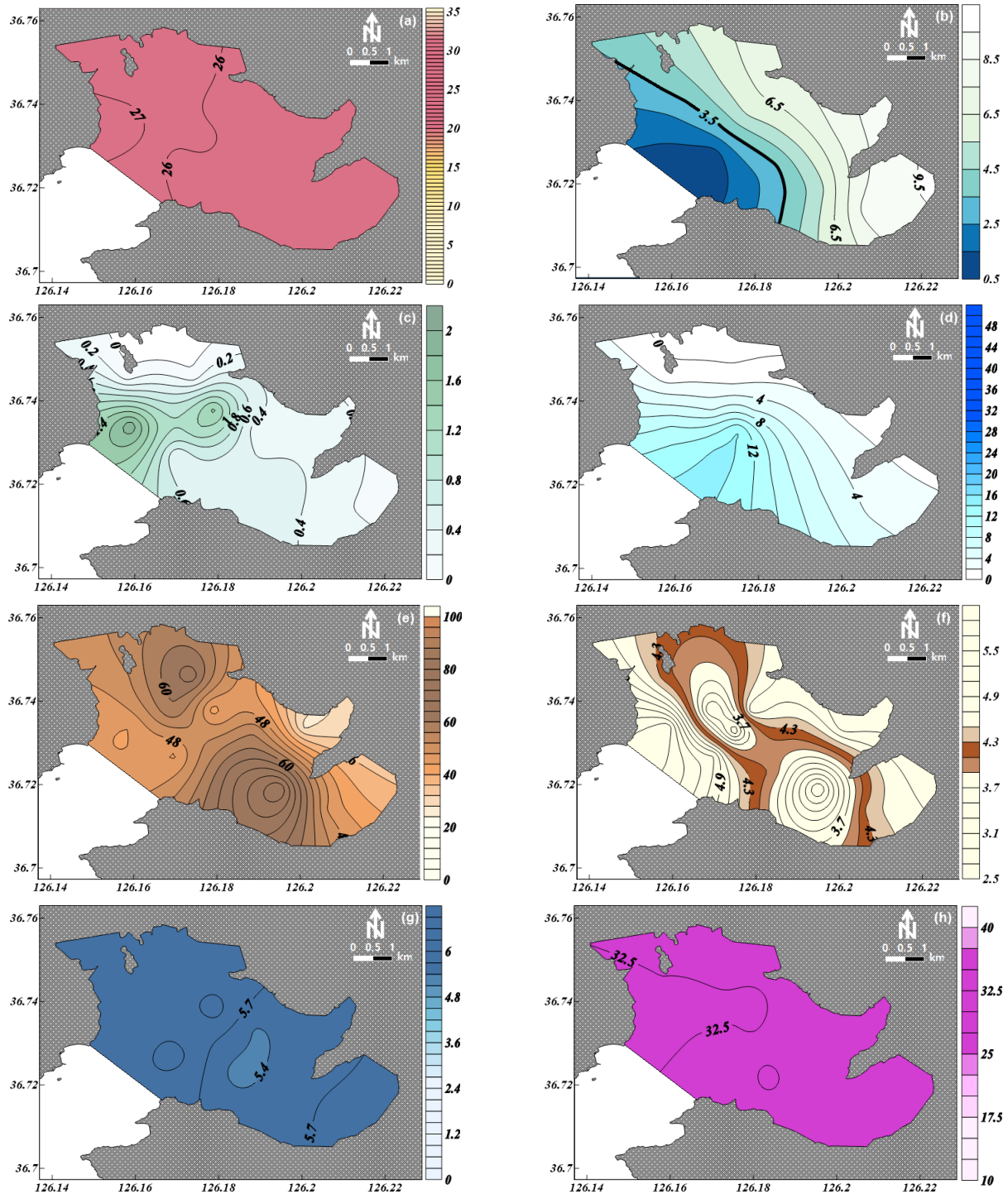


Fig. 3. Contours of survey site in Geunso Bay. a, water temperature ($^{\circ}\text{C}$); b, air exposure (hr); c, chlorophyll *a* ($\mu\text{g/L}$); d, hydrodynamics (cm/s); e, sand (%); f, mean size (Φ); g, DO (dissolved oxygen, mg/L); h, salinity.

하는 인자로 수온, 클로로필 α , 해수유동을 선택하였다. 바지락은 식물플랑크톤과 수중의 부유물질을 먹는 여과섭식(filter-feeder)성 생물이므로 클로로필 α 는 먹이원으로서 간접적인 지

표를 나타낸다(Baek, 2008). 해수유동은 해수 교환을 통해 만의 건강한 생태계를 조성하며(Choi et al., 2011), 퇴적물 분포에도 영향을 미치는 중요한 인자이다(Jeon et al., 2015). 생존에 해당

하는 인자는 갯벌 패류의 서식공간으로 바지락에 직접적인 영향을 미치는 사질함량과 평균입도, 노출시간을 선택하였고, 환경에는 용존산소와 염분을 채택하였다. 바지락에 대한 HSI 변수의 범위는 Vincenzi (2006)의 연구결과를 토대로 클로로필 α 가 2 $\mu\text{g/L}$ 이상, 해수유동은 0.3-1 m/s, 용존산소 포화도는 80% 이상, 염분은 25-35일 때 1.0으로 최고점을 주었다. 수온은 20-31°C일 때 1.0을 주었다(Mulholland, 1984). 퇴적물의 경우 사질함량은 60-83% (Vincenzi et al., 2006), 평균입도는 4.06 Φ 일 때 가장 적합하다(Yoo et al., 2007) (Fig. 2). 사질함량과 평균입도는 모두 퇴적물 성상을 나타내는 인자이므로 각 0.5점씩 가점하여 최고점을 1.0으로 하였다. 가중치는 Vincenzi (2006)가 현장 조사 및 실험과 전문가의 설문을 통하여 설정한 값을 활용하였다. 각 항목의 적합지수(suitable index, SI) 가중치 중 해수유동은 영양염 순환 및 용존산소를 공급하고(Vincenzi et al., 2006), 여과섭식을 하는 패류의 섭식속도에 관여하므로 패류의 성장에 큰 영향을 미칠 수 있다(Grizzle, 1992). 또한 Longdill (2008)의 홍합양식장 적지선정 연구에 의하면 환경인자들 중 해수유동이 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 따라서 해수유동에 가장 높은 10.0을 주었고, 용존산소, 염분, 클로로필 α 는 1.0으로 설정하였다(Vincenzi et al., 2006). 갯벌에 서식하는 생물에 있어 사질함량은 서식공간으로서 역할 및 바지락 치패의 착저에 영향을 미친다(Min et al., 2004). 퇴적물 입도는 세립할수록 카드집(cardhouse) 및 벌집구조(honeycomb structure)의 독특한 형태를 지녀(Hamilton and Bachman, 1982), 조립질보다 더 넓은 공극률과 함수율을 포함한다. 이러한 특성은 조건

대가 대기에 노출되었을 때 열전도도에 영향을 미치므로(Cha et al., 2008), 사질함량과 평균입도는 바지락 서식에 중요한 인자이다. Vincenzi et al. (2006)에서 사질함량을 5로 가점하였는데, 본 연구에서는 사질함량 + 평균입도를 5.0으로 적용하였다. 노출시간은 해수유동과 직접적인 관련이 있고, 급격한 온도변화에 영향을 미치므로 10.0을 적용하였다.

근소만 갯벌 노출시간에 따른 서식적합지수 설정

갯벌은 조수간만의 차에 의해 하루 2번 조간대의 일부가 대기 중에 드러나는 특성을 지니는데, 갯벌에 서식하는 저서동물(이매패류, 갑각류 등)은 간조시 온도 및 습도가 급격하게 변화하는 열악한 환경에 노출된다.

바지락의 서식환경에는 다양한 중요인자들이 있지만, 온도변화는 신진대사에 직접적인 영향을 미쳐 수온이 높을수록 산소 소비율을 증가시키고(Chung et al., 1999), 수온 상승 온도차가 증가할수록 폐사율이 증가하여(Min et al., 2004), 여름철 높은 온도로 인한 폐사율에도 큰 영향을 미친다. 따라서 온도 상승과 직접적인 영향을 받는 노출시간과 바지락의 폐사율의 관계를 분석하고, 서식적합지수를 설정하였다.

Numaguchi (1998)에 따르면 노출시간 변동 실험 결과로 20°C기준에서 1-3시간 노출과 5시간 노출 후 72시간이 지나면 폐사율이 각각 16-17%, 63%로 나타났다. 온도차이의 실험 결과로는 30°C에서 72시간이 지나면 70%, 35°C에서 24시간 경과 후 47%의 폐사율을 보였다. Kurasige (1942)는 포화대기습도에서 37.5, 40, 42°C에 노출시 5.7, 2.0, 0.5시간 생존한다고 보

Table 2. Environmental characteristics according to survey at Guenso Bay

Station	Growth			Survival			Environment	
	Water Temperature (°C)	Chlorophyll α ($\mu\text{g/L}$)	Hydrodynamics (cm/s)	Air exposure* (hr)	Sand (%)	Mean Size (Φ)	DO (mg/L)	Salinity (psu)
1	26.7	0.068	0.87	4	51.2	4.2	6.0	32.5
2	26.3	0.045	0.87	6	66.3	3.9	5.8	32.3
3	27.4	1.956	10.13	2	44.1	5.8	5.9	32.7
4	26.4	0.901	5.80	4	59.6	3.1	5.9	32.7
5	25.7	1.463	5.75	6	42.2	4.9	6.1	32.9
6	25.7	1.709	14.50	1	43.4	5.1	6.1	32.2
7	26.5	1.165	14.12	4	51.7	2.9	5.8	32.4
8	25.9	0.289	5.40	6	55.1	4.2	5.4	32.0
9	25.4	0.345	2.20	8	27.0	5.1	5.6	32.0
10	25.7	0.401	9.42	3	66.1	4.1	5.3	32.6
11	26.0	0.580	5.91	5	80.1	2.5	5.6	32.4
12	25.8	0.216	3.62	9	47.0	4.4	5.8	31.9
MIN	25.4	0.045	0.87	1	27.0	2.5	5.3	31.9
MAX	27.4	1.956	14.50	9	80.1	5.8	6.1	32.9
AVERAGE	26.1	0.761	6.55	5	52.8	4.2	5.8	32.4

*Reference, NIFS (2014b). DO, dissolved oxygen.

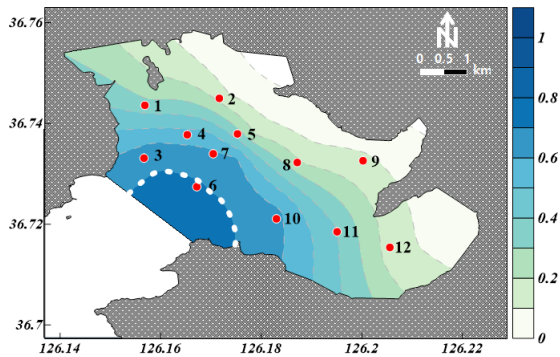


Fig. 4. Survey site no weight HSI. HSI, habitat suitability index.

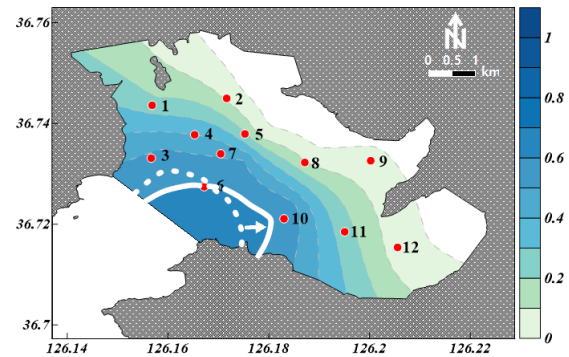


Fig. 5. Survey site weight HSI. HSI, habitat suitability index.

고한바 있으며, Ali and Nakamura (1999)는 습도 21-28%, 수온 25°C기준에서 대기 중 노출시켜 기온 25, 20, 15°C로 감소시켰을 때 생존률을 조사하였다. 수온이 낮을수록 생존률이 지속되는 시간이 길게 나타났고, 수온 25°C에서 기온 25°C에 노출시켰을 때 12시간 이후부터 생존률이 감소하기 시작했다. 태안 안면도 조간대에서 4-8월까지 월 평균 노출시간이 0.2, 3.6, 10.7시간인 정점(L, LM, M)에서 바지락 서식밀도를 조사한 결과 제 0세군 치패 기준으로 각각 441, 88, 18 ind./m²으로 나타났다. 수온 변화와 노출시간의 차이에 의해 L과 LM정점은 약 5배, L과 M정점은 약 25배로 노출시간에 따라 급격한 서식밀도 차이를 나타내었다(Han et al., 2012).

본 연구에서는 대기 중 노출이 0시간 일 때를 1점으로 설정하였다. 1-3시간까지는 Numaguchi (1998)의 폐사율을 참고하여, 최저 0.83점으로 설정하였고, 4-5시간은 Numaguchi (1998)와 Min et al. (2004)를 참고하여, 각각 0.3, 0.15점으로 가점하였다. 문헌조사를 통해 노출시간에 따른 서식적합지수 설정을 실시하여 체계적인 실험을 통한 노출시간 변화에 따른 서식적합지수 설정을 하지 않은 한계점이 있으므로, 노출시간에 따른 서식적합지수의 정확한 산정을 위해서는 퇴적물 함수율과 기온, 습도에 따른 열전달률 파악 및 지온변화와 온도 상승에 따른 바지락 생존률을 고려해야 할 것으로 사료된다.

근소만 바지락 갯벌어장 적지평가

근소만 갯벌어장 환경모니터링을 통해 조사된 자료를 이용하여, 각 정점별 조사 항목의 적합지수(suitable index)를 계산하였다. 계산된 적합지수는 단순기하평균과 가중기하평균의 HS식을 이용해 각 정점별 가점화하여 평가하고, 결과를 근소만 정점도에 GIS (Surfer 13.0)를 이용하여 contour로 표시하였다(Fig. 4, Fig. 5). 가중기하평균으로 산정한 결과 값은 연구자가 중요하다고 생각되는 인자의 영향을 조절할 수 있는 주관적 판단을 포함하므로, 연구자의 의도를 효율적으로 나타낼 수 있지만, 오류의 가능성 또한 내포하기 때문에 단순기하평균값을 함께 비교하여 판단하였다. 두 가지 HS식을 이용하여 계산

한 결과 값은 정점에 따라 차이를 보였지만, 전체적인 경향은 유사하게 나타났다. 단순기하평균 결과는 0.09-0.70 (평균 0.37)로 나타났다. 만 입구에 가까이 위치한 St. 3, 6, 7과 St. 10에서 0.60-0.70로 나타났다. St. 2와 St. 11은 사질함량이 66.3, 80.1%로 나타났다지만, HSI가 낮게 산정되었다. 만 내측에 위치해 0.87 cm/s로 매우 낮은 해수 유동과 5-6시간의 노출시간을 보이고 (NFRDI, 2014b), 육상으로부터 담수유입이 없어 영양염 공급이 원활하지 않는 등 복합적인 영향으로 클로로필 a가 낮게 나타났다기 때문에 판단된다. 가중기하평균 결과는 0.02-0.60 (평균 0.26)으로 나타났다. 단순기하평균보다 가중기하평균이 평균 0.10 낮게 나타났으며, 가중기하평균 산정 결과 만 입구에 가까운 St. 6이 0.60로 가장 적합하고, St. 10, St. 3 순으로 적합하게 나타났다. 단순기하평균과 가중기하평균결과 만 입구부근

Table 3. HSI score, density and biomass of survey site in Guenso Bay

Station	No weight	Weight	Macrobenthos	
			Density (ind./m ²)	Biomass (gWWt/m ²)
St.1	0.26	0.18	-	-
St.2	0.09	0.02	520	17.61
St.3	0.67	0.53	2,440	1,635.84
St.4	0.53	0.37	900	16.20
St.5	0.18	0.04	-	-
St.6	0.70	0.60	3,080	112.18
St.7	0.62	0.50	-	-
St.8	0.16	0.04	1,010	21.38
St.9	0.10	0.02	-	-
St.10	0.60	0.57	2,570	16.49
St.11	0.40	0.24	820	21.57
St.12	0.13	0.03	320	9.59

HSI, habitat suitability index. Density and Biomass Reference, MLTMA (2012).

에서 높은 값을 보여 근소만에서 노출시간과 해수유동이 가장 중요한 인자로 판단된다.

산정된 HSI 검증을 위해 본 연구의 정점별 저서생물 서식밀도 및 생체량을 조사하였다. Choi et al. (2016)에 의하면 2015년 바지락 서식밀도가 St. 3에서 평균 14,378 ind./m², St. 5에서 평균 9,407 ind./m²로 조사되었다. 해양수산부(구, 국토해양부) (MLTMA, 2012)에서는 연안습지 기초조사 결과 대형저서동물 평균 서식밀도가 St. 3, 6, 10에서 2,440-3,090 ind./m²으로 높게 나타났고, 평균 생체량은 바지락이 전체 생체량의 47%의 높은 점유율을 보이며, St. 3 부근에서 1,635.84 gWWt/m²로 나타났다(Table 3). 대형저서동물의 서식밀도 및 생체량과 본 연구의 HSI 산정 결과 값은 일련의 상관성을 보이고 있음을 알 수 있다.

태안군에서 2016-2018년까지 근소만 갯벌 전체의 약 70%면적에 모래살포 사업이 진행되고 있다. 모래살포로 인해 모래의 함량이 높아지면, 바지락 서식 적합지 변화가 일어날 수 있다. 이처럼 인위적인 요인으로 근소만 내의 환경변화 가능성 때문에 정기적인 모니터링을 통한 체계적인 어장적지평가 연구 진행이 필요하다. 또한 체계적인 적지선정을 통하여 바지락의 성장기에 스트레스를 극복할 수 있는 고품종 생산을 위한 연구가 필요할 것으로 생각되며, 추후 계절별 적지평가도 이루어져야 할 것으로 생각된다.

사 사

이 논문은 2019년도 국립수산물과학원 수산과학연구사업(R2019048)의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- Ali F and Nakamura K. 2000. Metabolic characteristics of the Japanese clam *Ruditapes philippinarum* (Adams & Reeve) during aerial exposure. *Aquac Res* 31, 157-165.
- Ali F and Nakamura K. 1999. Effect of temperature and relative humidity on the tolerance of the Japanese clam, *Ruditapes philippinarum* (Adams & Reeve), to air exposure. *Aquacult Res* 30, 629-636.
- Baek SH, Lee JY, Lee HO and Han MS. 2008. Study of the Food Characteristics on Pacific Oyster *Crassostrea gigas* and Manila Clam *Ruditapes philippinarum* in the Intertidal Zone of Taeahn, Korea. *Korean J Environ Biol* 26, 145-152.
- Cha JH, An SJ, Koo MH, Kim HC, Song YH and Suh MS. 2008. Effects of Porosity and Water Content on Thermal Conductivity of Soils. *J Soil Groundwater Environ* 13, 27-36.
- Cho YS, Lee WC, Hong SJ, Kim HC and Kim JB. 2012. GIS-based suitable site selection using habitat suitability index for oyster farms in Geoje-Hansan Bay, Korea. *Ocean Coastal Management* 56, 10-16.
- Choi YH, Choi YS, Cho YS, Kim YT and Jeon SR. 2016. A Study on the Habitat Suitability Considering Survival, Growth, Environment for *Ruditapes philippinarum* in Geunso Bay (Pado and Beopsan). *J Kor Soc Mar Environ Saf* 22, 724-731. <https://doi.org/10.7837/kosomes.2016.22.6.723>.
- Choi JK, No JH, Ryu JH, Eom JA and No SM. 2010. Analysis on the Sedimentary Environment and Microphytobenthos Distribution in the Geunso Bay Tidal Flat Using Remotely Sensed Data. *J Wetl Res* 12, 67-78.
- Choi JK, Ryu JH, Woo HJ and Eom JA. 2011. A Study on the Flushing Characteristics in Geunso Bay using Hydro-hypsographic Analysis. *J Kor Wetl Soc* 13, 45-52. <https://doi.org/10.17663/JWR.2011.13.1.045>.
- Chung EY, Shin YK and Hur SB. 1999. Physiological rhythms in the Oxygen Consumption and Filtration Rates of the Manila Clam, *Ruditapes philippinarum*. *Korean J Malacol* 15, 127-131.
- Eom JA, Choi JK, Ryu JH, Woo HJ, Won JS and Jang S. 2012. Tidal channel distribution in relation to surface sedimentary facies based on remotely sensed data. *Geosciences J* 16, 127-137. <https://doi.org/10.1007/s12303-012-0015-6>.
- Folk RL. 1954. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. *J Geol* 62, 344-359.
- Gibson LA, Wilson BA, Cahill DM and Hill J. 2004. Modeling habitat suitability of the swamp antechinus(*Antechinus minimus maritimus*) in the coastal heathlands of southern Victoria. *Austr Biol Conserv* 117, 143-150. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(03\)00288-X](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(03)00288-X).
- Grizzle RE, Langan R and Howell WH. 1992. Growth responses of suspension-feeding bivalve molluscs to changes in water flow: differences between siphonate and nonsiphonate taxa. *J Exp Biol Ecol* 162, 213-228.
- Hamilton EL and Bachman RT. 1982. Sound velocity and related properties of marine sediments. *J Acoust Soc Am* 72, 1891-1904.
- Han HS, Ma CW and Kim JY. 2012. Growth Patterns of the Manila Clam, *Ruditapes philippinarum* at Each Tidal Level in the Intertidal Zone in Tae-an, West Coast of South Korea. *Korean J Malacol* 28, 29-35. <https://doi.org/10.9710/kjm.2012.28.1.029>.
- Jeon SR, Choi YS, Cho YS, Kim YT and Choi YH. 2015. Suitable Site Assessment using Habitat Suitability Index for *Ruditapes philippinarum* in Gochang(Hajun). *J Kor Soc Mar Environ Saf* 21, 484-491. <https://doi.org/10.7837/kosomes.2015.21.5.484>.
- KHOA (Korea Hydrographic and Oceanographic Agency). 2015. Korea ocean observing and forecasting system. Retrieved from <http://www.khoa.go.kr/tdnet/> on Aug 08, 2018.
- Kim DS and Kim KH. 2008. Tidal and seasonal variations of nutrients in Keunso Bay, the Yellow Sea. *Ocean Polar Res* 30, 1-10. <https://doi.org/10.4217/OPR.2008.30.1.001>.

- Kim WS, Hur HT, Hur SH and Lee TW. 2001. Effects of salinity on endogenous rhythm of the Manila clam *Ruditapes philippinarum* (Bivalvia: Veneridae). Mar Bio 138, 157-162. <https://doi.org/10.1007/s002270000430>.
- KMA (Korea Meteorological Administration). 2019. Korea climate data Portal. Retrieved from <https://www.data.kma.go.kr/> on Aug 08, 2018.
- Kurasige H. 1942. Air temperature and vital force in exposure of *Venerupis philippinarum*. Venus 11, 134-142.
- Lee SR, Choi JK, Park IH, Koo BJ, Ryu JH and Lee YK. 2014. Application of geospatial models to map potential *Ruditapes philippinarum* habitat using remote sensing and GIS. Int J Remote Sens 35, 3875-3891. <https://doi.org/10.1080/01431161.2014.919680>.
- Laing I and Child AR. 1996. Comparative tolerance of small juvenile palourdes (*Tapes decussates* L.) and Manila clams (*Tapes philippinarum* Adams & Reeve) to low temperature. J Exp Mar Biol Ecol 195, 267-285. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(95\)00097-6](https://doi.org/10.1016/0022-0981(95)00097-6).
- Longdill P, Healy TR and Black KP. 2008. An integrated GIS approach for sustainable aquaculture management area site selection. Ocean Coastal Manage 51, 612-624. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2008.06.010>.
- MLTMA (Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs). 2012. National Survey of Coastal Wetlands. MLTMA, Sejong, Korea, 185.
- Min KS, Lee SJ, Kim BH and Park KY. 2004. Tolerance against Water Temperature and Growth of *Ruditapes philippinarum* Spats in Different Substrates. Korean J Malacol 20, 121-124.
- MOF (Ministry of Oceans and Fisheries). 2013. Marine environment standard methods. MOF, Daejeon, Korea, 495.
- MOF (Ministry of Oceans and Fisheries). 2018. Sea and ecology information System. Retrieved from <https://www.ecosea.go.kr/> on Aug 26, 2019.
- Mulholland R. 1984. Habitat suitability index models: Hard clam, Biological Report FWS/OBS-82/10.77, U.S. Fish and Wildlife Service, U.S. Dept. Int, Washington DC, U.S.A., 12.
- NIFS (National Fisheries Research and Development Institute). 2019. Annual report of marine environment monitoring around aquaculture area in Korea. NIFS, Busan, Korea, 164.
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute). 2014a. 100 Items of fishery products (Shellfish). NFRDI, Busan, Korea, 118-136.
- NFRDI (National Fisheries Research and Development Institute). 2014b. 1/2 Technical report of national fisheries research & development institute. NFRDI, Busan, Korea, 145-164.
- Numaguchi K. 1998. Preliminary experiments on the influence of water temperature, salinity and air exposure on the mortality of Manila clam larvae. Aquac Int 6, 77-81. <https://doi.org/10.1023/A:1009225921044>.
- Paillard C, Allam B, and Oubella R. 2004. Effect of temperature on defense parameters in Manila clam *Ruditapes philippinarum* challenged with *Vibrio tapetis*. Diseases of Aquatic Organisms 59, 249-262. <https://doi.org/10.3354/dao059249>.
- Shin YK, Kim Y, Chung EY and Hur SB. 2001. Effects of the Dissolved Oxygen Concentration on the Physiology of the Manila clam, *Ruditapes philippinarum*. J Korean Soc Fish Res 34, 190-193. <https://doi.org/10.5657/kfas.2002.35.5.485>.
- Shin YK, Kim Y, Chung EY and Hur SB. 2000. Temperature and Salinity Tolerance of the Manila Clam, *Ruditapes philippinarum*. J Korean Soc Fish Res 33, 213-218.
- Tezuka N, Kanematsu M, Asami K, Sakiyama K, Hamaguchi M and Usuki H. 2013. Effect of Salinity and Substrate Grain Size on Larval Settlement of the Asari clam (Manila clam, *Ruditapes philippinarum*). J exp Mar Biol Ecol 439, 108-112. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2012.10.020>.
- USFWS (U.S. Fish and Wildlife Service). 1980. Habitat as a basis for environmental assessment, Ecological Services Manual 101. Division of Ecological Services, U.S. Dept. Int., Washington DC, U.S.A., 29.
- Vincenzi S, Caramori G, Rossi R and Leo GAD. 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. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.07.039>.
- Yoo JW, Hwang IS and Hong JS. 2007. Inference Models for Tidal Flat Elevation and Sediment Grain Size: A Preliminary Approach on Tidal Flat Macrobenthic Community. Ocean Sci J 42, 69-79. <https://doi.org/10.1007/BF03020875>.