Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety
Research Paper
Vol. 29, No. 5, pp. 427-434, August 31, 2023, ISSN 1229-3431(Print) / ISSN 2287-3341(Online) https://doi.org/10.7837/kosomes.2023.29.5.427

서식지 적합 지수를 이용한 자란만 굴(*Crassostrea gigas*)의 어장적지평가

최용현* · 홍석진** · 이대인*** · 이원찬**** · 전승렬***** · 조윤식**†

* 국립수산과학원 해양환경연구과 연구원, ** 국립수산과학원 해양환경연구과 연구사,
*** 국립수산과학원 해양환경연구과 연구관, **** 국립수산과학원 해양환경연구과 과장,
***** 국립수산과학원 갯벌연구센터 연구원

Site Suitability Assessment Using the Habitat Suitability Index for Oyster (*Crassostrea gigas*) in Jaran Bay, Korea

Yong-Hyeon Choi* · Sok Jin Hong** · Dae In Lee*** · Won Chan Lee**** · Seung Ryul Zeon***** · Yoon-Sik Cho**†

* Scientific Researcher, Marine Environment Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea
** Scientific Officer, Marine Environment Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea
*** Senior Scientific Officer, Marine Environment Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea
**** Director, Marine Environment Research Division, National Institute of Fisheries Science, Busan 46083, Korea
***** Scientific Researcher, Tidal Flat Research Center, National Institute of Fisheries Science, Gunsan 54001, Korea

요 약 : 굴은 패류 양식생산량 중 가장 큰 비율(평균 76%)을 차지하는 중요한 양식생물이다. 본 연구에서는 자란만의 굴 양식장에 대해, 수온, 염분, 해수 유동, DO, SS, Chl.*a*를 어장적지평가 인자로 활용한 서식지 적합 지수(Habitat Suitability Index, HSI)를 산정하여 최적 서식지를 탐색하였다. 조사결과 만 입구가 넓고 해수 유속이 빠르게 나타난 대상해역 남동쪽에서 만 내측으로 갈수록 적합한 서식지로 나타났고, 굴의 생산량과 본 연구의 HSI는 0.710($p<0.05$)의 유의한 상관성을 보였다. 만 내의 원활한 해수 교환으로 먹이공급 등 양식생물 성장에 도움을 주는 해수 유동은 굴 생산량과 높은 상관성(0.709, $p<0.05$)을 보여 Chl.*a*보다 서식 적합도에 더 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. 본 연구 결과는 양식장 재배치 등 효율적인 연안어장 보전, 이용과 관리에 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 서식지 적합지수, 굴, 서식지평가, 어장관리, 자란만

Abstract : *Oysters are an important organism, accounting for an average of 76% of shellfish aquaculture production. In this study, optimal habitat was searched for by calculating the Habitat Suitability Index (HSI) using water temperature, salinity, hydrodynamics, DO, SS and Chl.a in Jaran Bay. As a result, the inside of Jaran Bay was found to be a more suitable habitat than the outside with a wide entrance and rapid hydrodynamics. Oyster production and HSI showed a significant correlation (0.710, $p<0.05$). Hydrodynamics helps the growth of aquaculture organisms, such as food supply through seawater exchange in the bay, which showed a high correlation (0.709, $p<0.05$) with oyster production. It was found to have a greater effect on habitat suitability than Chl.a. The results of this study are expected to be helpful for the efficient conservation, use and management of coastal fisheries.*

Key Words : *Habitat Suitability Index, Crassostrea gigas, Haitat Assessment, Aquaculture management, Jaran Bay*

* First Author : cyh6414@korea.kr, 051-720-2528
† Corresponding Author : yscho2@gmail.com, 051-720-2531

1. 서 론

해양 양식기술이 발전함에 따라 총 양식생산량은 2008년 1,381천 톤에서 2018년 2,250천 톤까지 지속적으로 증가하고 있다. 패류 양식업의 생산량은 같은 기간 340천 톤에서 410천 톤까지 약 17 % 증가하였지만, 총 양식생산량 증가율(약 39 %)보다 상대적으로 적은 증가율을 보였다. 우리나라 패류 양식 품종 중 매우 중요한 위치를 차지하고 있는 굴은 우량 품종 생산, 병충해 방지, 인공종묘 생산, 양식 방법 개량기술, 환경용량 산정 등 지속적인 연구가 수행되어 패류 양식생산량 중 높은 비율(평균 76 %)을 보이고 있다(Park et al., 2002; Jeong et al., 2005; NFRDI, 2012; Hur et al., 2014; KOSIS, 2023).

현재 연안 어장의 효율적인 보전, 이용과 관리를 위해 어장환경을 고려한 '제 4차 어장관리 기본계획('22~'26)'이 수립되어 시행되고 있다. 국내의 양식 굴 생산량은 2008년 250천 ton에서 2018년 303천 ton으로 증가하였고, 전라남도(10 %)와 경상남도(88 %)에서 전체 양식 굴 생산량의 대부분인 98 %를 생산하고 있다. 같은 기간동안 전라남도는 21천 톤에서 47천 톤으로 생산량이 2배 이상 증가한 반면 경상남도는 223천 톤에서 244천 톤으로 소폭 증가하였다(KOSIS, 2023). 양식장의 밀집으로 인한 유기물 축적은 환경교란을 유발하여 양식생물에 부정적인 영향을 미칠 수 있는데(Pearson and Black, 2001), 이러한 생산량 증가율의 차이는 장기간 동일한 위치의 해수면을 이용하고 좁은 해안에 밀집된 형태를 보이는 우리나라 연안 양식장의 특성에 의한 영향이 있을 것으로 보인다. 따라서 어장관리 기본계획의 목적에 부합하기 위해서는 과학적인 서식지 적합도 평가를 통해 체계적이고 효율적인 어장관리가 이루어져야 한다.

해외의 경우 굴 복원을 위한 서식지 적합성 지수 검증 연구, 멕시코 걸프만 북쪽의 굴 서식 적합도 평가, 미시시피강에 의한 염분 변화가 굴 서식지에 미치는 영향, 조간대에 서식하는 굴에 대한 서식 적합성 모델 검증 등 서식지 적합지수(Habitat suitability index, 이하 HSI)를 활용한 다양한 연구가 진행되었다(Soniat et al., 2013; Theuerkauf and Lipcius, 2016; Linhoss et al., 2016; Chowdhury et al., 2019).

국내의 경우 HSI를 활용한 진동만 미더덕의 어장적지평가, 거제-한산만 굴의 어장적지평가, 고창 하전 갯벌과 태안 근소만 바지락의 갯벌 어장적지평가, 가로림만과 천수만 꼬막의 갯벌 어장적지평가 등 주로 피낭류와 패류에 대한 연구가 이루어졌다(Cho et al., 2012; Cho et al., 2013; Jeon et al., 2015; Jeon et al., 2018; Choi et al., 2019). 이처럼 국내·외에는 HSI를 활용한 다양한 연구들이 진행되고 있지만, 연안 어장의 효율적인 이용, 보전 및 관리를 위해서는 품종별 연안 어장에 대한 서식지 적합도 평가 연구가 필요하다.

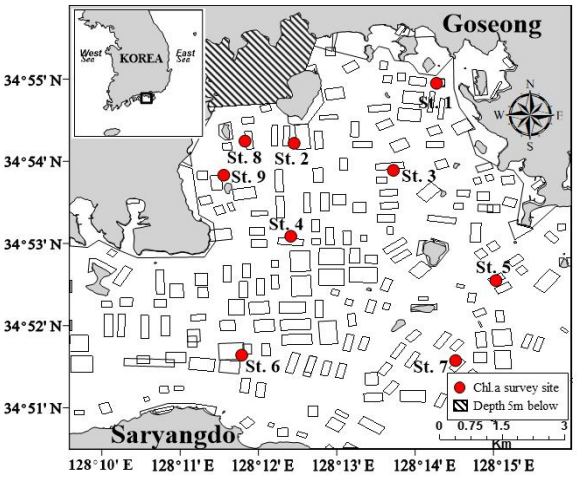

Fig. 1. Study area and survey sites in Jaran Bay, Korea.

따라서 본 연구에서는 자란만 굴 양식장의 서식 환경을 파악하고, 서식지 적합 지수를 활용한 어장적지평가 및 검증을 통해 효율적이고 체계적인 관리 방안을 제시하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 연구지역 및 방법

자란만은 고성 남서쪽에 위치하며, 개방형만의 특성을 지닌 곳이다(Fig. 1). 자란만 내 수하식 양식어업권은 총 121건으로 전체 면적은 588.44 ha이다. 그중 굴 양식어업권 면허수 51건, 면적 325.26 ha이고 굴과 가리비를 병행한 양식어장은 57건, 면적 119.29 ha이다.

굴을 양성하는 기간인 2018년 5월부터 2019년 1월까지 매월 1회 조사하였고, 해수 수온, 염분, DO는 YSI(YSI-EXO, USA)를 이용하여 현장에서 측정하였다. 채취된 해수는 해양환경공정시험법에 따라 유리섬유여과지 (GF/F, 0.7 μm)에 여과한 후 110℃에서 항량으로 건조하여 여과지의 증가된 무게를 측정하여 SS를 분석하였다(MOF, 2013). Chl.*a*는 현장에서 해수 시료를 GF/F 필터지에 여과한 후 드라이아이스에 냉동 보관하여 실험실로 운반하였고, 아세톤으로 추출한 후 10-AU fluorometer를 이용하여 흡광도 측정을 통해 계산하였다. Chl.*a*는 농도 및 크기별(0.7~2 μm, 2~20 μm, 20 μm 이상)로 구분하여 측정하였다(NIFS, 2019).

정점별 해수 유동은 국립해양조사원에서 제공하는 수치조류도를 이용하였고, 2018년 5월 1일부터 2019년 1월 31일까지 분석된 자료를 활용하였다(KOHA, 2023).

굴 생산량 현황 조사의 경우 대상해역의 어업권은 고성군으로부터 제공받은 어업권 현황을 기준으로 정리하였으며, 전수조사를 통해 어업권 현황과 실제 어장을 파악하였다(NIFS, 2019).

Table 1. Life Requisite Suitability Index (LRSI) and Habitat Suitability Index (HSI) equations (adapted from Cho et al., 2012)

Model	Equation	Condition
LRSI-Growth	$(V_1 \times V_2)^{0.5}$	For long-line culture
LRSI-Survival	$(V_3 \times V_4)^{0.5}$	No fouling, disease, predator
LRSI-Water Chemistry	$(V_5 \times V_6)^{0.5}$	
HSI	$\{(\text{LRSI-Growth}) \times (\text{LRSI-Survival})\}^{0.5}$	if(LRSI-Water Chemistry)≧0.70
	$[\{(\text{LRSI-Growth}) \times (\text{LRSI-Water Chemistry})\}^{0.5} \times (\text{LRSI-Survival})\}]^{0.5}$	if(LRSI-Water Chemistry)<0.70

V_1 : Water temperature, V_2 : Chlorophyll *a*
V_3 : Suspended pariculate matter, V_4 : Hydrodynamics
V_5 : Salinity, V_6 : Dissolved oxygen

2.2 HSI 평가

HSI는 종의 성장, 생존, 환경을 지수로 산정 및 등급화하여 평가하는 기법으로, 지수의 범위는 0.0~1.0이다. 지수가 낮을수록 부적합 서식지, 높을수록 최적 서식지를 나타낸다.

양식생물의 서식에는 물리적, 생지화학적 등의 다양한 인자들이 복합적으로 영향을 미치고 있다. HSI에 적용할 수 있는 변수 선택을 위해 준수되어야 할 사항으로는 종의 성장, 생존, 환경 등에 관련되고, 변수와 서식지에 대한 이해가 충분히 필요하며, 정확하게 조사된 자료를 이용하여야 한다. Brown(1986)은 양식생물의 성장과 생존에 영향을 미치는 총 12가지 인자를 기반으로 HSI를 산정하였고, Cho et al.(2012)는 실험 분석과 문헌 조사를 통해 일조시간, 영양염 부하량, 입식밀도 등을 제외하고, 굴의 성장 및 생존에 가장 많은 영향을 미치는 인자들로 수온, 염분, SS, DO, Chl.*a*, 해수 유동을 선정하였다. 본 연구에서는 Cho et al.(2012)의 6가지 인자를 활용한 LRSI (Life Requisite Suitability Index)식으로 복합인자의 상호작용을 설명하였다(Table 1).

LRSI-Growth는 양식생물의 성장과 관련된 인자로, 수온(V_1)과 먹이원으로 작용하는 Chl.*a* (V_2)를 선정하였다. LRSI-Survival은 양식생물의 생존에 영향을 미치는 인자들 중 부착 유기물, 질병, 포식자는 없는 것으로 가정하고, 부유물질(V_3)과 해수 유동(V_4)을 선정하였다. LRSI-Water Chemistry는 수질 환경 인자 중 염분(V_5)과 DO (V_6)를 선정하였고, 최적 범위 내에 포함될 경우 양식생물의 성장 및 생존에 영향을 주지 않는다. 따라서 LRSI-Water Chemistry가 0.7 이상일 경우 양식생물의 성장 및 생존에 영향을 미치지 않는 것으로 간주하고, LRSI-Growth와 LRSI-Survival의 기하평균을 이용하여 HSI를 산정하였다. LRSI식을 활용하여 산정된 HSI는 굴의 실제 생산량 자료와 비교하여 검증과정을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 자란만 환경 특성

2018년 자란만 표층 해양환경 특성은 Table 2에 나타내었다. 수온은 3.29~30.75℃(평균 17.66℃)로 계절에 따른 변화를 보였고, 염분은 32.29~34.20(평균 33.19)로 근소한 차이를 보였다. DO는 6.24~10.64 mg/L(평균 8.33 mg/L)로 하계에 가장 낮게 나타났지만, 85% 이상의 DO 포화도를 보여 굴 서식에 미치는 영향은 적은 것으로 판단된다. SS는 2.00~10.80 mg/L (평균 4.92 mg/L)로, 가장 높게 나타난 10월을 제외하면 큰 변화를 보이지 않았다. 따라서 전반적인 자란만의 수역은 Fig. 4

Table 2. Environmental characteristics of surface layer in Jaran Bay

Survey site	Growth		Survival		Water Chemistry	
	Temperature (℃)	Chl.*a* (μg/L)	SS (mg/L)	Hydrodynamics (cm/s)	Salinity	DO (mg/L)
St.1	17.75	2.97	4.60	2.00	32.97	8.39
St.2	17.75	2.71	4.27	0.78	33.19	8.46
St.3	17.75	2.43	4.43	2.95	33.08	8.43
St.4	17.58	3.08	5.63	1.89	33.28	8.10
St.5	17.56	3.19	5.40	7.67	33.30	8.23
St.6	17.55	2.48	5.28	2.92	33.32	8.30
St.7	17.55	2.62	5.17	10.66	33.33	8.37
St.8	17.66	2.57	4.95	0.83	33.23	8.28
St.9	17.71	2.76	4.61	1.52	33.21	8.37

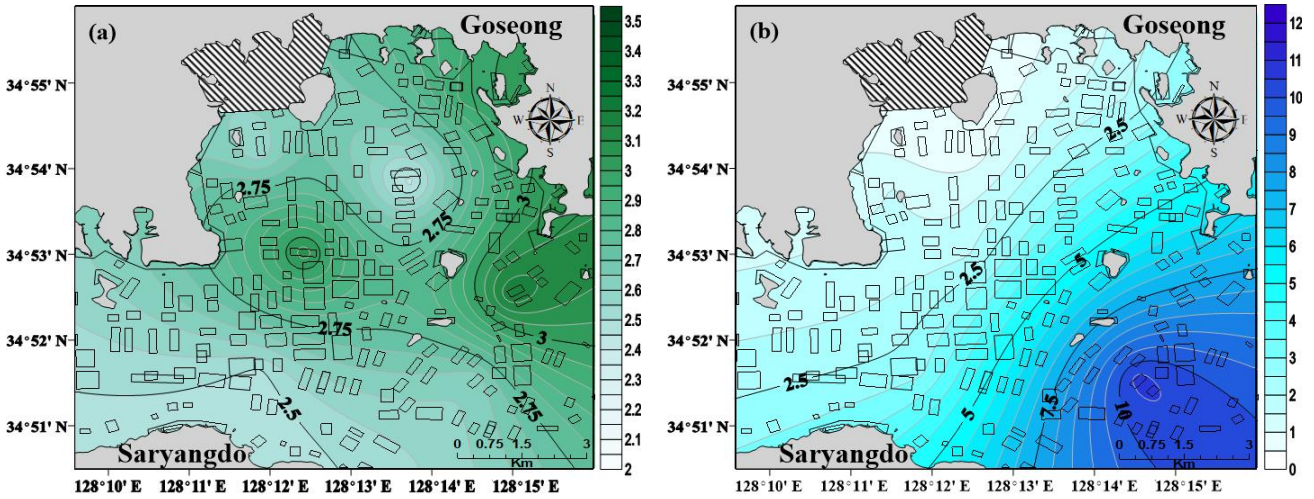

Fig. 2. Contours of Survey site in Jaran Bay. (a) chlorophyll *a*, (b) hydrodynamics.

의 굴 서식 기준에 따라 수온, 염분, DO, SS의 경우 굴 서식 환경에 적합한 것으로 판단되고, 서식 적지 평가에 Chl.*a*와 해수 유동이 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

St.1~St.9까지 표층 Chl.*a*와 해수 유동은 수심이 5 m 이내로 수하식 양식이 어려운 자란도 내측을 제외하고 Table 2와 Fig. 2에 나타내었다. Chl.*a*는 2.43~3.19 μg/L(평균 2.76 μg/L)의 범위를 보였고, 해수 유동의 경우 0.78~10.66 cm/s(평균 3.47 cm/s)의 범위로 나타났다. 해수 유동의 분포는 상대적으로 입구가 넓은 자란만의 남동쪽에서 빠르고, 내측 방향으로 갈수록 점진적으로 느려지는 경향을 보였는데, Chl.*a*의 분포도 해수 유동의 방향과 유사하게 나타났다. 해수의 유속은 Chl.*a*와 부유물질 등의 이동 및 분산, 용존산소 및 영양염 공급에 영향을 미친다(Malouf and Breese, 1977; Vincenzi et al., 2006). 하지만 서식 생물의 적정 해수 유동보다 너무 느리거나 빠를 경우 수하식 양식생물에 부정적인 영향을 미칠 수 있다(Quayle, 1969).

자란만의 Chl.*a*의 크기별 농도 및 비율을 Fig. 3에 나타내었다. Chl.*a*의 크기별 농도는 20 μm 이상이 0.6~5.57 μg/L(평균 1.82 μg/L), 2~20 μm 범위는 0.16~0.78 μg/L(평균 0.52 μg/L), 0.7~2 μm 범위는 0.08~0.68 μg/L(평균 0.42 μg/L)로 나타났다. 우리나라에서 주요 수하식 양식 품종인 굴(*Crassostrea gigas*)은 크기별 분류를 통해 일정한 크기인 세립 입자 유기물질(<20 μm)의 부유물질을 선택하고, 그중 여과섭식을 통해 식물플랑크톤을 섭취하며, 3~5 μm일 때 섭취율이 좋고, 2.5 μm 이하 또는 5 μm 이상일 때 섭취율이 감소한다(Sornin et al., 1988; Lefebvre et al., 2000; Kang et al., 2009). 대서양 굴(*Crassostrea virginica*)의 경우 5~6 μm, 유럽의 납작굴(*Ostrea edulis*)은 2~8 μm를 섭취하여 종에 따른 먹이원 크기의 차이는 있지만, 주요 섭식 먹이원은 미소플랑크톤(nanoplankton, 2~20 μm)으로 판단된다(Riisgard, 1988; Klaveness, 1990). 조사기간 평균 21 %의 비율을 보이는 2~20 μm 크기의 Chl.*a*는 다른 범위의 크기보다 상대적으로 계절변화에 따른 변동이 작

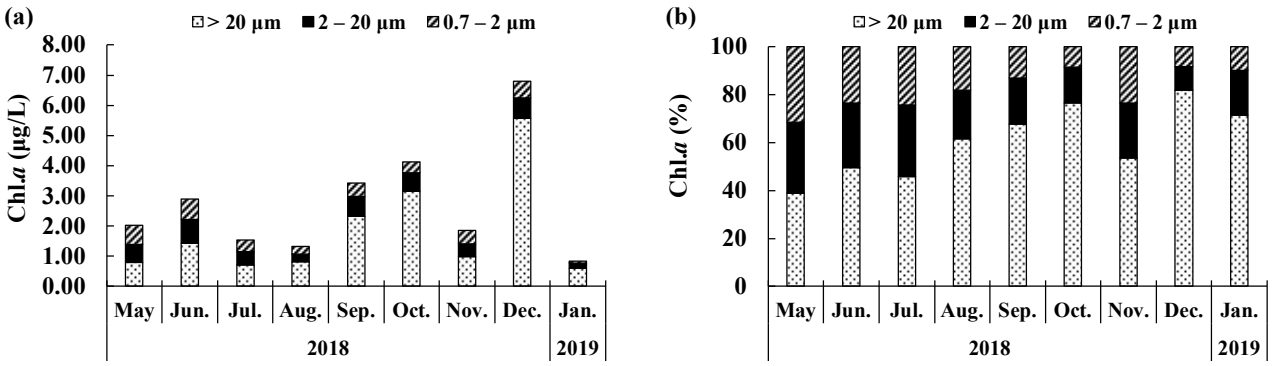

Fig. 3. Concentration and size ratio of chlorophyll *a* in Jaran Bay.

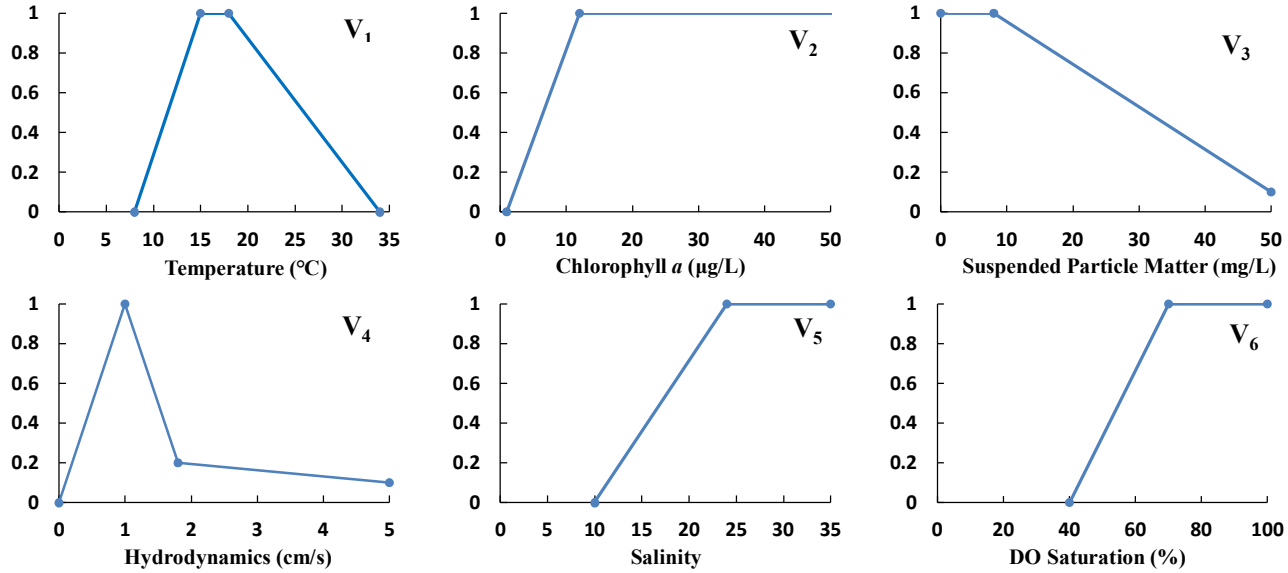

Fig. 4. Suitability index graphs for habitat variables of Oyster.

았기 때문에, 안정적인 굴의 섭식이 가능한 것으로 사료된다. 따라서 먹이원 크기를 고려한 Chl.*a*의 조사를 통해 굴 성장과 Chl.*a*의 상관성을 구명하고, 적정섭취 농도 범위를 서식지 적합 지수 산정에 활용하는 것이 필요하다.

3.2 서식지 적합지수 변수 설정

자란만 굴에 대한 HSI 변수의 범위는 Brown(1986)의 굴의 생리·생태 실험 결과 및 다변량 통계분석에 기초한 분석으로 설정된 범위와 Cho et al.(2012)의 거제-한산만 굴양식장에 적용한 설정범위를 기반으로 하였다. 서식지의 생태학적 환경용량과 상관성이 있고, 양식생물의 생리·생태와 환경인자 간에 직·간접적인 관계가 있음을 가정하는 HSI는 서식 적합 인자를 성장, 생존, 환경으로 분류하여 각각 수온과 Chl.*a*, 부유물질과 해수 유동, 염분과 용존산소로 설정하였다(Fig. 4).

굴성장은 수온, 염분, 식물플랑크톤 생체량에 밀접한 상관성을 가진다(Brown, 1988). 수온은 너무 낮거나 높을 경우 폐사 등의 문제가 발생할 수 있어 8℃ 이하 또는 34℃이상일 경우 0.0, 가장 적정 범위인 15~18℃일 때 1.0으로 하였다. 수온과 염분이 적합 범위일 때 먹이원이 풍부한 곳에서 굴의 성장 또는 비만이 양호하므로(Brown and Hartwick, 1988), Chl.*a*는 1 μg/L 이하일 때 0.0, 12 μg/L 이상일 때 1.0으로 설정하였다. 부유물질의 양과 유형의 변화에 민감한 굴의 부유물질 적합 범위는 Bernard(1983)의 연구결과를 참고하여 0~8 mg/L일 경우 1.0으로 설정하였다. 해수 유동은 너무 빠르거나 느릴 경우 굴의 먹이 흡입속도 차이로 인해 부정적인 영향을 줄 수 있어, 먹이 흡입속도에 미치는 영향을 단순 평균유속보다 효과적으로 설명할 수 있는 단방향 평균 유속을 기준으로 1 cm/s일 경우 1.0으로 설정하였다(Grizzle, 1992; Longdill et al., 2008). 염분의 급격한 변화는 환경인자에 대한 이매패류의 내성에 부정적 영향을 미칠 수 있고(Bernard, 1983), 염분 변화폭이 적을수록 성장에 유리하므로 24~35일 때 1.0으로 하였다. DO는 3 mg/L 이하일 경우 폐사를 유발하는 산소부족 물덩어리가 발생할 수 있지만(MOF, 2017), 높은 농도에서는 제한이 없으므로(Davis, 1975), 70 % 이상일 때 1.0으로 설정하였다.

3.3 굴 양식어장 적지평가 및 검증

자란만의 환경 모니터링 자료를 활용하여, 각 정점별 조사 항목의 서식지 적합 지수를 산정하였다. 계산된 서식지 적합 지수는 국립해양조사원에서 제공하는 2019년 어장정보도를 표시한 GIS 기반의 base map과 Surfer 프로그램(ver. 13.0)을 이용하여 contour로 나타내었다(Fig. 5). HSI 산정 지수 중 성장은 0.47~0.54(평균 0.50)이었고, 생존은 0.03~0.96(평균 0.47)로 나타났다. Table 1의 LRSI 산정식에 따라 모든 정점에서 1.00으로 나타난 환경을 제외하고, 성장 및 생존 지수를 활용하여 HSI를 산정하였다. 적지평가 결과 HSI는 0.12~0.69(평균 0.45)로 나타나, 0.0~0.7의 범위를 보이는 거제-한산만의 굴 HSI와 유사한 범위를 보였다(Cho et al., 2012). 서쪽에 비해 입구가 넓어 해수 유속이 빠른 자란만 남동쪽의 St.7에서 서식지 적합 지수가 0.12로 가장 낮게 나타났고, 자란만 안쪽의 자란도에 근접한 St. 2와 St. 8에서 각각 0.69, 0.68로 높은 서식지 적합 지수를 보였다.

Table 3. Habitat Suitability Index (HSI) score and density of survey site in Jaran Bay

Survey site	Growth	Survival	HSI	Production (ton/ha)
St.1	0.52	0.44	0.48	10.95
St.2	0.50	0.96	**0.69**	**10.62**
St.3	0.47	0.40	0.44	8.50
St.4	0.53	0.44	0.48	9.78
St.5	0.54	0.13	0.26	5.16
St.6	0.48	0.41	0.44	6.46
St.7	0.49	0.03	0.12	7.98
St.8	0.48	0.96	**0.68**	**12.00**
St.9	0.50	0.46	0.48	8.69

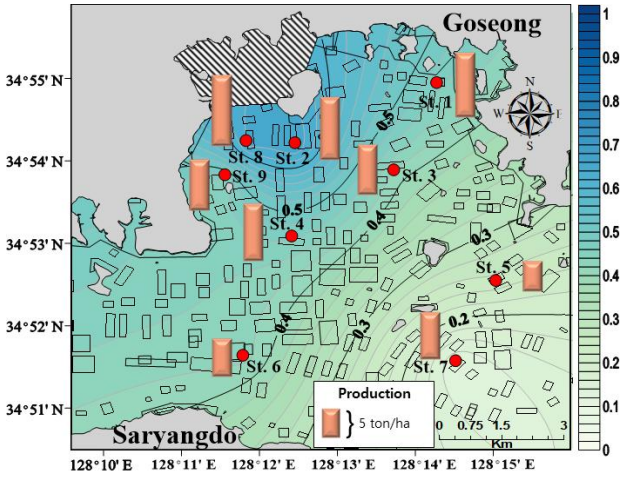

Fig. 5. Habitat Suitability Index (HSI) values and density of oyster farms in Jaran Bay.

서식지 적합 지수 산정 결과는 굴 생산과 환경인자 관계에 대한 가설로 간주 될 수 있기 때문에, 실제 현장자료와의 비교 검증과정이 필수적이다. 서식지 적합 지수 산정 결과의 검증을 위해 전수조사를 통해 파악된 굴 생산량과 비교한 결과 굴의 생산량은 서식지 적합 지수가 높은 St. 2와 St. 8에서 각각 10.62, 12.00 ton/ha로 높게 나타났다. 서식지 적합 지수와 생산량의 상관성은 0.710($p<0.05$)로 높은 값을 보여, 적합 지수가 낮을수록 생산량도 대체로 감소하는 경향을 보였다(Table 3, Fig. 6). St.5~7의 경우 서식지 적합 지수는 굴의 먹이원인 Chl.*a*의 분포보다 해수 유속의 분포와 유사한 경향을 보였다. Chl.*a*는 HSI와 유의한 값을 보이지 않았지만, 해수 유동은 0.709($p<0.05$)의 상관성이 나타났다. 따라서 패류 양식장에 영향을 미치는 인자들 중 식물플랑크톤보다 해수 유동이 큰 영향을 미친다는 연구 결과와 유사하게 본 연구에서도 해수 유동이 서식지 적합도에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다(Vincenzi et al., 2006; Longdill et al., 2008;

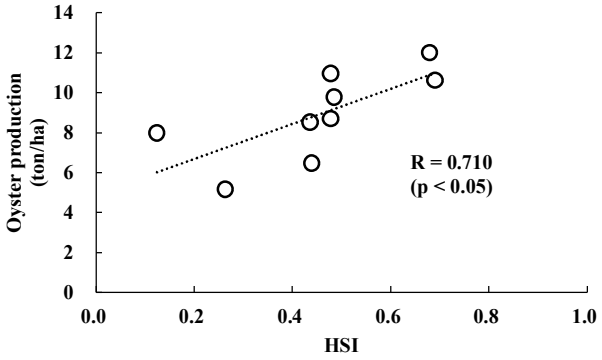

Fig. 6. Correlation coefficient of Habitat Suitability Index (HSI) and oyster production.

Comeau, 2013). 적정한 해수 유속은 원활한 해수 교환을 공급하여 양식생물에게 효과적인 먹이 공급과 배설물 분산에 기여하고, 건강한 생태계 조성뿐만 아니라 양식생물의 성장에 도움을 줄 수 있다(Choi et al., 2011; Kim et al., 2019). 자란만의 굴 양식은 주로 연승 수하식으로 이루어지고 있는데, 이러한 유형의 양식 시스템은 해수 유동에 영향을 미치고, 양식시설로 인해 약 50~65 %의 유속이 감소될 수 있다(Stevens et al., 2008; Jung et al., 2020). 추후 양식 어장 내 실측 유속조사 및 굴 섭식 Chl.*a* 크기를 고려한 변수의 적합범위를 설정하고, 지속적인 모니터링 자료를 활용한 적지선정 연구가 필요할 것으로 생각된다.

본 연구 결과는 서식지 환경을 평가하여 오염이 심할 경우 어장 휴식 또는 재배치를 위한 체계적인 어장관리 정책에 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 적지선정 연구 뿐만 아니라 양식생물의 먹이원이 되는 기초생산력과 입식밀도를 고려한 어장환경 수용력 연구를 통해 공간 재배치 등 효율성을 향상시킬 수 있으며, 추가적인 어장관리 방안 연구를 수행함으로써 적지선정 연구 효과를 극대화 할 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 HSI를 활용하여 자란만에 위치한 굴 양식장의 최적 서식지 평가를 시도하였다. 자란만의 HSI 산정을 위해 수온, 염분, DO, SS, 해수 유동, Chl.*a* 총 6가지 인자를 활용하였고, 굴 생산량 자료를 활용하여 검증하였다. HSI 산정 결과 자란만 내측의 St. 2와 St. 8에서 각각 0.69, 0.68로 적합한 서식지로 나타났다. 만 외측으로 갈수록, 특히 만으로 유입되는 입구가 넓고 해수 유속이 빠르게 나타난 남동쪽으로 갈수록 부적합한 서식지로 나타났다. 굴의 생산량과 본 연구의 HSI를 비교·검증한 결과 0.710($p<0.05$)의 유의한 상관

성을 보였다. Chl.*a*는 여과섭식을 하는 굴의 먹이원으로 중요한 역할을 하지만 생산량과 유의성을 보이지 않았고, 만 내의 원활한 해수 교환으로 먹이공급 및 배설물 분산 등 양식생물 성장에 도움을 주는 해수 유동이 생산량과 0.709($p<0.05$)의 상관성을 보여 Chl.*a*보다 서식 적합도에 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 과학적인 어장적지평가를 도출한 본 연구 결과는 '제 4차 어장관리 기본계획'의 목적인 연안 어장의 효율적인 이용, 보전 및 관리에 도움이 될 수 있을 것으로 판단된다.

사 사

이 연구는 2023년도 국립수산과학원 수산과학연구사업(R2023015)의 일환으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사드립니다.

References

[1] Bernard, R. F.(1983), Physiology and the Mariculture of Some Northeastern Pacific Bivalve Molluscs, Can. Spec. Publ. fish. Aquat, Sci., Vol. 63, pp. 1-24.

[2] Brown, J. R.(1986), The Influence of Environmental Factors upon the Growth and Survival of the Pacific Oyster, *Crassostrea gigas,* Simon Fraser Univ. Master Degree, p. 188.

[3] Brown, J. R.(1988), Multivriate Analyses of the Role of Environmental Factors in Seasonal and Site-related Growth Variation in the Pacific Oyster, *Crassostrea gigas*, Mar. Ecol. Prog. Ser. Vol. 45, pp. 225-236.

[4] Brown, J. R. and E. B. Hartwick(1988), Influences of Temperature, slinity and available food upon suspended culture of the pacific oyster, *Crassostrea gigas*; Ⅱ. Condition index and survival, Aquaculture, Vol. 70, No. 3, pp. 253-267.

[5] Choi, J. K., J. H. Ryu, H. J. Woo, and J. A. Eom(2011), A Study on the Flushing Characteristics in Geunso Bay using Hydro-hypsographic Analysis, Journal of Korean Wetlands Society, Vol. 13, No. 1, pp. 45-52.

[6] Cho, Y. S., W. C. Lee, S. J. Hong, H. C. Kim, and J. B. Kim(2012), GIS-based Suitable Site Selection using Habitat Suitability Index for Oyster Farms in Geoje-Hansan Bay, Korea, Ocean and Coastal Management, Vol. 56 pp. 10-16.

[7] Cho, Y. S., S. J. Hong, W. C. Lee, H. C. Kim, and J. B. Kim(2013), Suitable Site Assessment using Habitat Suitability Index for *Styela Clava* and *Styela Plicata* in Jindong Bay, Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety, Vol. 19, No. 6, pp. 597-605.

[8] Choi, Y. H., S. J. Hong, S. R. Jeon, and Y. S. Cho(2019), Site Assessment Using Habitat Suitability Index for Manila Clam *Ruditapes philippinarum* in Geunso Bay Tidal Flats, The Korean Society of Fisheries and Aquatic Science, Vol. 52, No. 5, pp. 511-518.

[9] Chowdhury, M. S. N., J. W. M. Wisman, M. S. Hossain, T. Ysebaert and A. C. Smaal(2019), A Verified Habitat Suitability Model for the Intertidal Rock Oyster, *Saccostrea Cucullata*, PLoS ONE, Vol. 14, No. 6, e0217688.

[10] Comeau, L. A.(2013), Suspended Versus Bottom Oyster Culture in Eastern Cananda: Comparing Stocking Densities and Clearance rates, Aquaculture, Vol. 410, pp. 57-65.

[11] Davis, J. C.(1975), Minimal dissolved oxygen requirements of aquatic life with emphasis on Canadian species: a review, J. Fish. Res. Bd. Can., Vol. 32, pp. 2295-2332.

[12] Grizzle, R. E.(1992), Growth Responses of Suspension-Feeding Bivalve Molluscs to Changes in Water Flow: Differences between Siphonate and non Siphonate Taxa, J. Exp. Mar. Biol. Ecol., Vol. 162, pp. 213-228.

[13] Hur, Y. B., Q. Jo, S. G. Byun, and T. S. Mun(2014), The Effect of Neuroactive Compounds on Settlement of Pacific Oyster, *Crassostrea gigas* Pediveliger Larvae, Korean J. Malacol., Vol. 30, No. 4, pp. 343-351.

[14] Jeong, W. G., J. H. Seo, S. M. Cho, and C. I. Park(2005), Influence of Environmental Factors on the Prevalence of the Ovarian Parasite, Marteilioides chungmuensis, in *Crassostrea gigas* Cultured in Pukman Bay, Tongyeong, Korean Journal of Malacology, Vol. 21, No. 1, pp. 33-40.

[15] Jeon, S. R., Y. S. Choi, Y. S. Cho, Y. T. Kim, and Y. H. Choi(2015), Suitable Site Assessment using Habitat Suitability Index for *Ruditapes philippinarum* in Gochang(Hajun), Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety, Vol. 21, No. 5, pp. 484-491.

[16] Jeon, S. R., S. Heo, Y. S. Cho, Y. H. Choi, and G. R. Oh(2018), A Study on Suitable Site Selection of Blood Clams(*Tegillarca granosa*) using Habitat Suitability Factors in Tidal Flat, Cheonsu and Garolim Bays, Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety, Vol. 24, No. 6, pp. 764-772.

[17] Jung, W. S., S. P. Yoon, W. C. Lee, D. M. Kim, and D. I. Lee(2020), Numerical Modeling for Assessment of the Hydrodynamic Field and Pollutant Impact Range in Marine Fish Cage Farm, The Korean Society for Marine Environment

and Energy, Vol. 23, No. 4, pp. 221-232.

[18] Klaveness, D.(1990), Size Structure and Potential FoodValue of the Plankton Community to *Ostrea edulis* L. in a Traditional Norwegian “Osterspoll”, Aquaculture, Vol. 86, pp. 231-247.

[19] Kang, C. K., E. J. Choy, Y. B. Hur, and J. I. Myeong(2009), Isotopic Evidence of Particle Size-Dependent Food Partitioning in Cocultured Sea squirt *Halocynthia roretzi* and Pacific Oyster *Crassostrea gigas*, Aquatic Biology, Vol. 6, pp. 289-302.

[20] Kim, J. H., S. J. Hong, W. C. Lee, H. C. Kim, K. H. Eom, W. S. Jung, and D. M. Kim(2019), Estimation of the Effect of Fluching Time on Oyster Aquaculture Potential in Jaran Bay, Ocean Science Journal, Vol. 54, No. 4, pp. 559-571.

[21] KOHA(2023), Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, [online] www.khoa.go.kr/oceangrid/gis/category/observe/observeSearch.do?type=EYS#none, (accessed 04.25.23).

[22] KOSIS(2023), Korean Statistical Infromation Service, [online] https://kosis.kr/statHtml/statHtml.do?orgId=101&tblId=DT_1EW0004&conn_path=I3, (accessed 04.25.23).

[23] Lefebvre, S., L. Barille, and M. Clerc(2000), Pacific Oyster (*Crassostrea gigas*) Feeding Responses to a Fish-farm Effluent, Aquaculture, Vol. 187, pp. 185-198.

[24] Longdill, P. C., T. R. Healy, and K. P. Black(2008), An Integrated GIS Approach for Sustainable Aquaculture Management Area Site Selection, Ocean Coast Manage, Vol. 51, pp. 612-624.

[25] Linhoss, A. C., R. Camacho, and S. Ashby(2016), Oyster Habitat Suitability in the Northern Gulf of Mexico, Journal of Sehllfish Research, Vol. 35, No. 4, pp. 841-849.

[26] Malouf, R. E. and W. P. Breese(1977), Seasonal Changes in the Effects of Temperature and Water Flow Rate on the Growth of Juvenile Pacific Oysters, *Crassostrea gigas* Thunberg, Aquaculture, Vol. 12, pp. 1-13.

[27] MOF(2013), Marine Environment Standard Methods, Ministry of Oceans and Fisheries, p. 516.

[28] MOF(2017), Quality Guidelines for Habitat Environment of Marine Biota in Korea, Ministry of Oceans and Fisheries, Notification No. 2017-109, p. 1.

[29] NFRDI(2012), Standard Manual of Pacific Oyster Hanging Culture, p. 205.

[30] NIFS(2019), Modelling parameter survey for carrying capacity in Jaran bay, p. 213.

[31] Park, J. S., H. C. Kim, W. J. Choi, W. C. Lee, D. M. Kim, J. H. Koo, and C. K. Park(2002), Estimating the Carrying Capacity of a Coastal Bay for Oyster Culure, Journal of Korean Fishery Society, Vol. 35, No. 4, pp. 408-416.

[32] Pearson, T. H. and K. D. Black(2001), The Environmental Impact of Marine Fish Cage Culture, Environmental Impacts of Aquaculture, Sheffield Academic Press, pp. 1-31.

[33] Quayle, D. B.(1969), Pacific Oyster Culture in B.C. Fish. Res. Bd. of Can. Bull., pp. 169-192.

[34] Riisgard, H. U.(1988), Efficiency of Particle Retention and Filtration Rate in 6 Species of Northeast American Bivalve, Marine Ecology - Progress Series, Vol. 45, pp. 217-223.

[35] Sornin, J. M., J. M. Deslous-Paoli, and O. Hesse(1988), Experimental Study of the Filteration of Clays by the Oyster *Crassostrea gigas* (Thunberg): Adjustment of Particle Size for Best Retention, Aquaculture, Vol. 69, pp. 355-366.

[36] Soniat, T. M., C. P. Conzelmann, J. D. Byrd, D. P. Roszell, J. L. Bridevaux, K. J. Suir, and S. B. Colley(2013), Predicting the Effects of Proposed Mississippi River Diversions on Oyster Habitat Quality; Application of an Oyster Habitat Suitability Index Model, Journal of Shellfish Research, Vol. 32, No. 3, pp. 629-638.

[37] Stevens, C., D. Plew, N. Hartstein, and D. Fredriksson(2008), The Physics of Open-water Shellfish Aquaculture, Aquaculture Engineering, Vol. 38, No. 3, pp. 145-160.

[38] Theuerkauf, S. J. and R. N. Lipcius(2016), Quantitative Validation of a Habitat Suitability Index for Oyster Restoration, Frontiers in Marine Science, Vol. 3, p. 64.

[39] Vincenzi, S., G. Caramori, R. Rossi, and G. A. De Leo(2006), A GIS based Habitat Suitability Model for Commercial Yield Estimation of *Tapes Philippinarum* in a Mediterranean Coastal Lagoon (Sacca diGoro, Italy), Ecological Modelling, Vol. 193, pp. 90-104.

Received : 2023. 07. 05.
Revised : 2023. 08. 04. (1st)
: 2023. 08. 25. (2nd)
Accepted : 2023. 08. 29.