한국마린엔지니어링학회지 제34권 제1호, pp. 183~194, 2010. 1 (ISSN 1226-9549)
Journal of the Korean Society of Marine Engineering

바다숲 조성해역의 물리적 환경을 고려한 최적 적지선정

오태건[1] · 김대권[1] · 김창길[2] · 이문옥[3] · 조재권†

(원고접수일 : 2009년 9월 25일, 원고수정일 : 2009년 11월 13일, 심사완료일 : 2009년 12월 4일)

A Suitability Selection for Marine Afforestation with Physical Environments

Tae-Geon Oh[1] · Dae-Kweon Kim[1] · Chang-Gil Kim[2] · Moon-Ock Lee[3] · Jae-Kweon Cho†

요 약 : 바다숲을 조성하기위하여 경사도, 퇴적물, 보상심도, 유속 및 파랑 등의 해양물리항목에 대하여 최적적지를 도출하였다. 지형자료 및 물리항목에 대한 공간분포도(GSDM, Gridded Spatial Distribution Map)를 작성하기위하여 Kriging 보간법을 이용, 래스팅화하였다. 각 항목들은 적지에 부합되는 정도에 따라 적지지수를 부여하였으며, 최적지는 100, 적지후보지는 50, 나머지는 부적지로 처리하여 적지지수(SI, Suitability Index)를 근거로 최적적지를 도출하였다. 각 항목들에 대하여 중첩분석한 결과 제 1적지는 적지지수 500으로써, 적지면적은 0.25ha였으며, 제 2 및 제 3적지는 400~450의 적지지수를 지닌 곳으로 적지면적은 각각 2.36ha, 1.8ha로 나타났다. 적지분석결과, 제 2 및 3적지에는 보상광량이 낮아도 광합성을 할 수 있는 해조품종과 더불어 사면마찰 안정성이 좋은 시설물을 투여한다면 최적지와 동일한 조성효과를 거둘 수 있을 것으로 사료된다.
주제어 : 바다숲, 적지선정, 해양물리환경, 공간보간, 적지지수

Abstract: A suitability analysis for marine afforestation was carried out on physical items based on slop rate, bottom sediment, light intensity, velocity, and wave at north Geomoon waters in Korea. The data from each physical item were changed to a GSDM (Gridded Spatial Distribution Map) using Kriging interpolation. A GSDM grid includes information, and each grid was given a SI (suitability index) of 3 grades(SI of first suitability was 100, SI of second suitability was 50, and non-suitability had no SI). According to the analysis results of all overlaid GSDM, first suitability had 500 SI, and suitability area was 0.25ha. Second and third suitability had 400~450 SI, and suitability area was 2.36ha, 1.80ha, respectively. Therefore, the results suggest that reefs installed for marine afforestation should be anti-slip types against steep slope, and the target species need to include algae with low compensation light intensity in second and third suitability.
Key words: Marine afforestation, Suitability selection, Ocean physical environment, Spatial interpolation, Suitability index

1. 서 론

감태와 곰피 같은 다년생 대형갈조군락이 높은 밀도로 서식하고 있는 해역을 바다숲해역이라고 하며, 이러한 해조군락은 연안에 서식하는 무척추 동

† 교신저자(국립수산과학원 남해수산연구소, E-mail: jkcho@nfrdi.go.kr, Tel: 061-690-8981)
1 국립수산과학원 남해수산연구소
2 국립수산과학원 서해수산연구소
3 전남대학교 해양기술학부

물 및 어류들의 산란장 및 생육장으로 중요한 역할을 하고 있다[1]. 최근 우리나라에서는 해조군락이 소멸되고 무절석회조류가 번무하는 갯녹음현상이 확산되고 있으며, 갯녹음현상의 확산은 수생동물의 먹이원의 감소, 서식장 및 산란장의 소멸에 의해 기존 생태계의 균형을 유지 할 수 없게 한다[2]. 따라서, 대형 해조군락의 복원 및 수산자원증강을 위하여 바다숲의 보전과 회복에 관심이 집중되고 있으며, 소멸된 해조군락 회복의 일환으로서 해조류 서식적지를 선정하고 제공하는 바다숲조성사업이 활발히 전개되고 있다[3-4].

그러나, 현재 바다숲을 조성할 목적으로 투하된 패 · 조류용 어초의 경우 암반에 인접해 시설하게 되므로, 파랑의 천수변형으로 인해 직접적으로 유체력의 영향을 받을 가능성이 크고, 지반력이 약한 곳에 시설하게 되면 침하가 발생될 우려가 있다. 실례로 전남 고흥군에 시설된 반구형어초의 경우, 7.1%가 전도되었으며, 전남 무안의 경우, 시설된 반구형어초의 50%가 매몰되었다고 보고되고 있다[5-6]. 또한, 바다숲 조성을 목적으로 시설되는 부착기질에 대해서는 시설안정성에 대한 부분이 고려되어야 하며, 대상해조류의 생육조건에 부합되는 보상심도, 수심, 해수흐름 등의 물리적인 환경에 대한 적지선정이 반드시 필요하다[7].

현재까지 바다숲조성 사업의 적지선정에 관한 연구는 그 중요성에 비하여 극히 미미한 수준이다. 유사한 분야로서 인공어초시설을 위한 적지분석의 사례는[8]이 지리정보체계를 이용하여 인공어초의 적지에 대한 종합적인 판정기법을 제시하였으며[8], 국내에서는 [9]가 위성탐사자료와 GIS를 이용하여 인공어초의 시설적지를 분석한 예가 있다[9]. 해중림 및 해조장 적지선정에 관한 연구로는 [7]이 현재까지 유일하나, 분석대상지의 단계별 적지후보대상선정에 있어 정량적 방법이 제시되어 있지가 않아, 후보적지를 선정하기에는 모호한 점이 있으며, 일본이라는 해역적 특성이 우리나라와는 부합되지 않는다. 따라서 본 연구의 목적은 한국의 바다숲 조성사업에 있어 지형, 광량, 저질, 파고 및 유속 등의 물리적 환경을 고려한 최적의 장소를 정량적으로 도출하여 시설물이 최적의 효과를 낼 수 있도록 설계함에 있다.

2. 재료 및 방법

2.1 연구해역

연구대상이 되는 거문도 북부 해역은 대조차가 3m내외의 반일주조가 우세한 해역이며 평균 유속은 대조기시에 창·낙조 공히 0.45~1.0m/s정도로 비교적 완만한 유속을 지니고 조류보다 해류의 영향을 비교적 많이 받는 곳이다[10]. 또한 파랑의 영향을 최소화 하기 위하여, 거문도 해역의 남쪽은 태풍의 영향을 직접적으로 받을 것으로 판단되어 파랑으로부터 시설물의 안정성을 최대한 확보할 수 있는 거문도 북부해역의 내만을 대상해역으로 선정하였다.

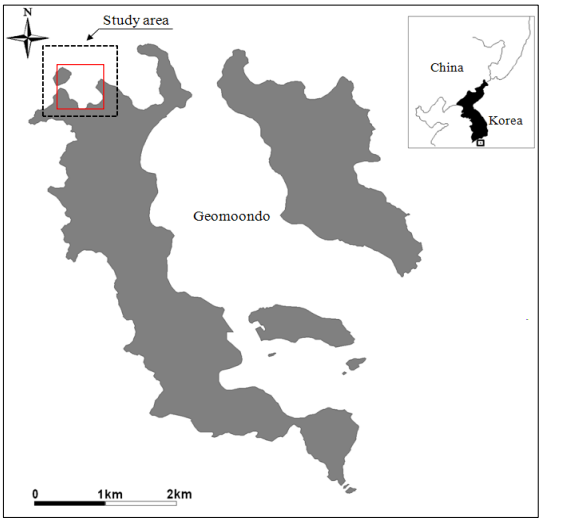

Figure 1: Map showing the study area

2.2 보간기법의 선정

본 연구에서는 국지적 공간 인터폴레이션으로서 일반적으로 사용되고 있는 Kriging 방법을 사용하였다. 이 방법은 한 점에서 다른 모든 점들 간의 거리와 속성의 차를 구한 뒤, 이들 두 변수를 축으로 하여 배리오그램(분산도)을 획득 할 수 있으며, 일반적으로 점들 간의 거리가 가까울수록 속성 값의 변이는 작지만, 거리가 증가할수록 속성 변이는 증가하게 된다는 원리를 배리오그램(분산도)을 사

용하여 계산한다[11]. 본 연구에서는 격자 간격 12m의 Ordinary Kriging을 사용하였으며, 분산도는 slope=1을 지니는 선형방법을 사용하였다.

2.3 공간분포도(GSDM, gridded Spatial Distribution Map)의 작성

실제의 지형 및 수심자료가 바다숲 적지선정분석에 이용되기 위해서는 지형 및 수심자료를 수치화시킬 필요가 있다. 공간상에 나타나는 지형의 기복을 수치적으로 표현한 자료를 DEM이라고 하며, 수치지형모델(DTM ; Digital Terrain Model)이라고도 한다. 그러나 DTM에서는 지형의 기복뿐만이 아니라 지표의 다른 속성도 포함시킬 수 있기 때문에 더 포괄적인 의미를 지닌다고 할 수 있다[12]. 본 연구에서는 DTM 을 바탕으로 하여 바다숲이 조성될 해역의 수심, 광량, 저질, 파고, 유속의 물리환경적인 요소를 Kriging 방법으로 보간 및 레스팅화한 후 격자화된 공간분포도(GSDM)로 작성을 하여 적지 선정시에 각 격자를 중첩시킴으로써 최적 적지를 산출하였다.

2.3.1 수심에 따른 경사도 산정

보간된 수심자료를 이용하여 경사도를 산정하였다. 경사도는 가장 급격한 경사를 지니는 곳의 방향을 기준으로 하였으며 [13]의 식(1)로 산정되었다[13].

$$S_T \approx \frac{360}{2\pi} \cdot \arctan\left[\sqrt{\left(\frac{Z_E - Z_W}{2\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{Z_N - Z_S}{2\Delta y}\right)^2}\right] \quad (1)$$

여기서, S_T는 경사각이며, Z_E, Z_W, Z_N, Z_S는 각각의 동서남북방향에 있어서의 표고(수심)값, Δx, Δy는 래스팅화 하였을 때의 각각의 수평 격자간격이다.

2.3.2 보상심도의 산정

수주내에서 광합성이 일어날 수 있는 수심을 알아보기 위해 보상심도를 이용하였으며 표면조도를 파악하기 위하여 광도계를 이용하여 2009년 4월 1일부터 4월 30일까지 측정하였다. 보상심도는 투명도판을 이용하여 [14]의 경험식을 사용하여 소광계수를 계산하였고 식 (2), 소광계수는 식 (3)을 이용하여 보상심도를 산정하였다[14].

$$E = 1.7/D_t \quad (2)$$

여기서, D_t는 투명도를 나타낸다.

$$I_z = I_0 e^{(-EZ)} \quad (3)$$

여기서, I_0는 해수표면에서의 광량, I_z는 수심 Z에서의 광량, E는 수직 소광계수이다.

2.3.3 퇴적물분포

바다숲 조성해역에서의 퇴적물조사를 위해서 100 ~ 150m의 간격으로 선상에서 피스톤 코어를 이용하여 퇴적물을 채취하였으며, 피스톤 코어로 채취할 수 없는 정점은 다이버를 투입하여 시료를 채취하였다. 채취된 시료는 2, 1, 0.5, 0.25, 0.0125, 0.063mm 크기의 체를 이용하여 입도분석을 실시하였다. 분석된 입도는 [15]의 통일분류법(USCS)으로 분류하였다[15].

2.3.4 설계파고 및 주기

해중림초를 시설하기 위하여 설계파고를 산정하였다. 설계파고는 50년빈도의 설계파고 및 주기를 이용하였으며, 파고와 주기로 인한 수립자 속도는 미소진폭파 이론(식 (4)와 (5))으로 계산하였으며 [16], 천수변형으로 인한 파고의 변화는 식 (6)을 이용하여 산정하였다[17]. 쇄파대는 시설물을 설치할 수가 없는 곳으로서 Yamada(1968)의 쇄파공식 식 (7)을 이용하여 쇄파가 일어나는 수심대를 계산하였다[18].

$$L = \frac{gT^2}{2\pi} tanh \frac{2\pi h}{L} \quad (4)$$

여기서, L은 심해파의 파장(m), g는 중력가속도(m/s^2), T는 주기(s)이며 h는 수심(m)이다.

$$V_w = \frac{\pi H}{T} \quad (5)$$

여기서, V_w 는 수립자 속도이다.

$$H = H_0 \cdot K_S \cdot K_r \quad (6)$$

여기서, H는 설치수심에서의 파고(m), H_0는 입사파고(m), K_s는 천수계수, K_r는 굴절계수

$$H_b = 0.83 h_b \quad (7)$$

여기서, H_b는 쇄파파고이며, h_b는 쇄파가 발생하는 지점의 수심이다.

2.3.5 유속분포

유속의 분포는 인근해역에서 측정된 국립해양조사원의 대조의 최강 창 · 낙조류의 유속을 바탕으로 수치모형을 통하여 바다숲이 조성될 지역의 유속분포를 표층과 저층으로 격자를 조밀하게 주어 자세하게 나타내었다. 계산조건은 Table 1과 같으며, 인공어초의 적지조사 지침에 따르면 적지가 되기 위한 유속의 강도는 2m/s를 넘지 않도록 규정하고 있으므로 대상 바다숲조성지의 유속분포가 2m/s를 넘지 않는지에 대한 조사를 실시하였다.

Table 1: The condition of numerical experiments to yield tidal currents in the study area

Items	Calculation conditions
Area	Waters in northern Geomoondo
Used numerical model	EFDC (Environmental Fluids Dynamics Code)
The number of grid and Layer	195 × 160 (The number of grid : 28,405, and 5 layer vertically)
Map of depth distribution	Referred from chart(No. 214 and No. 214) of NORI(National Oceanographic Research Institute)
Time step	1.0 sec
Calculation period	15 days
Boundary conditions	4 major constituents (M_2, S_2, K_1, O_1)
Initial condition	Cold start

2.4 중첩에 의한 적지분석

바다숲이 조성될 해역의 적지분석은 보간기법을 이용, 래스팅화된 물리환경적인 요소들을 중첩시키는 방법으로 수행하였다. 분석된 물리환경 요소의 GSDM에 각각의 SI(Suitability Index : 적지지수)를 부여하였다. 각각의 물리환경항목에 대하여 바다숲조성에 있어 가장 안정한 환경을 제공할 것으로 판단되는 영역은 최적의 적지(제 1적지)로써 SI 100을 부여하였으며, 물리환경적으로는 불안정한 면이 있으나, 기술적으로 해결 할 수 있는 영역에 대해서는 적지후보지(제 2적지)로 판단하여 SI 50을 부여하였다. 그리고 부적지는 SI를 0으로 처리하여, 각각의 GSDM에 대한 SI분포의 중첩을 통해 제 1적지, 제 2적지, 제 3적지, 부적지의 총 4단계로 분류하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 바다숲시설의 적지 판정요건

바다숲시설의 적지선정에 있어 각각의 물리적 요소들에 대한 적지판정 기준을 Table 2에 나타내었으며, 인공어초의 적지조사에 관한 지침을 참고로 하였다[19].

Table 2: Survey items and evaluation criteria for suitability of artificial reefs (Ministry for Food, Agriculture, and Fisheries, 2008)[19]

Items	Survey equipments	Evaluation criterions
Depth	Echo sounder, Multi-beam	Depth should be less than 70m.
Current	Current meter	Maximum current should be under 2m/s.
Sea bottom	Side scan sornar, Multi-beam	Slope rate should be under 5/100.
Sediments	Piston-core, Grab	Mud content should be less than 70%, if mud content is over 70%, the stability against settlemen should be calculated by earth pressure and bearing capacity.
Light intensity	Light intensity meter	Photosynthesis characteristics of a target algae should be considered for the specified depth.

3.2 수심에 따른 경사도 산정

Figure 2는 바다숲 조성해역의 해저지형과 수심의 분포를 GSDM화 하여 나타내었다. 해저지형, 수심 및 경사도에 관한 GSDM은 식 (2) 및 (3)을 이용하여 Kriging으로 보간하였으며 Variogram으로써는 Linear모델을 사용하여 작성하였다. Figure 4는 GSDM화된 지형을 바탕으로 각 격자간의 경사도를 산정한 것이다. 본 연구해역은 x방향으로 100, y방향으로 75개의 격자를 생성케 하였으며, 격자간의 거리는 x방향으로 12.12m, y방향으로는 12.08m가 되게끔 하였다. Table 2에 의하면 급격한 경사로 인해 해중구조물의 불안정성을 야기하는 급경사를 피하기 위해 경사도 0.05미만의 평탄한 해역을 적지로 선정할 것을 권장하고 있다. Figure 3은 경사도산정결과를 GSDM화 한 것이다. 경사도 산정결과 0.05미만의 평탄한 해역은 만의 가장 안쪽 부분과 만의 중앙에서 만입구의 북동쪽에 걸친 해역으로서 2.9°이하의 평탄한 해저지형을 지니고 있는 것으로 나타났으며, 해안선에 연한 곳은 대부분 20°이상의 급경사를 지니고 있어 해안선에 너무 근접할 경우 구조물의 착저에 불안정성이 야기 될 것으로 사료된다. 따라서 경사도가 2.9°미만의 평탄한 해역은 제 1적지로써 SI를 100으로 하였으며, 경사도가 비교적 평탄한 해역인 5.7°까지를 제 2적지로써 SI 50을 부여하였다. 그 이외의 영역은 해중구조물의 착저에 불안정을 야기 할 것으로 판단하여 모두 부적지로 판정하였다.

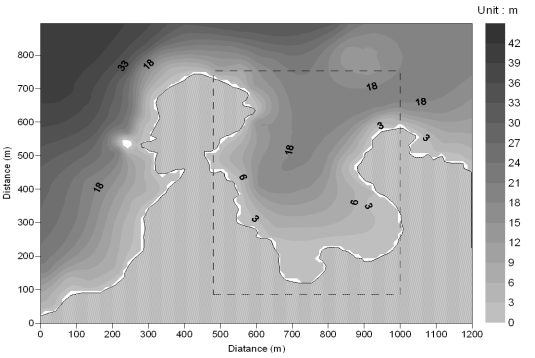

Figure 2: Depth distribution of the study area.

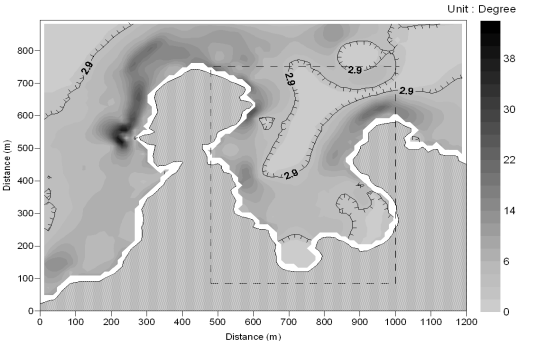

Figure 3: GSDM showing the slope in the study area.

3.3 보상심도의 산정

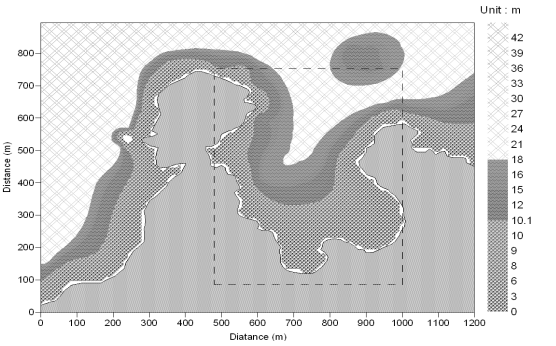

Figure 4: GSDM showing the compensation depth in the study area.

대상해역에 대한 국립수산과학원의 정선해양관측자료를 이용하여 바다숲 조성해역의 주요 대상종인 갈조류의 성장기인 동계~춘계에 걸친 투명도를 바탕으로 보상심도를 식 (2)와 식 (3)을 이용, 산출하였다. 2003년~2008년에 걸친 거문도 해역의 동계~춘계의 투명도는 평균 6m로 나타나났다. 또한, 2009년 4월에 거문도에서 측정된 광량자료에 의하면 월평균 해수표면 광량은 921.63 lx를 나타내었다. 주요 갈조류의 보상광도는 미역 0.15~0.49, 곰피 1.48~23.86, 외톨개모자반 11.22~42.06, 괭생이모자반 2.28~9.28lx 등, 평균적으로 대형 갈조류는 약 10lx의 광도가 요구되고 있다(한국해양연구원, 2005)[20]. 따라서 투명도 및 거문도의 표면광량을 기초로 식 (2) 및 (3)을 이용하여 보상광도가 10lx가 되는 수심을 계산한 결과, 거문도 해역에서는 16m까지 대형갈

조류가 광합성을 할 수 있는 평균적인 수심인 것으로 판단된다. Figure 4는 수심에 따른 보상광도를 나타낸 GSDM이며, 수심이 16m 이상인 곳은 부적지로 판정하며, 16~10m는 제 2적지로써 SI 50을, 10m이하는 제 1적지로써 SI 100을 부여하였다.

3.4 퇴적물분포

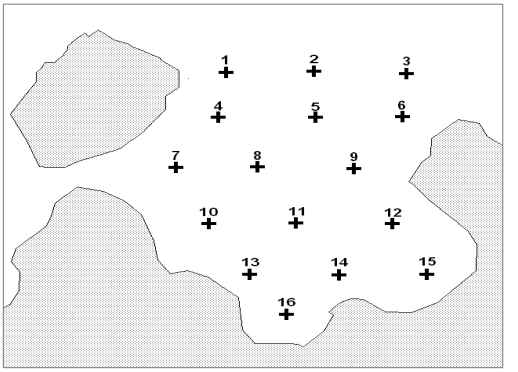

Figure 5: Stations on sediment samples

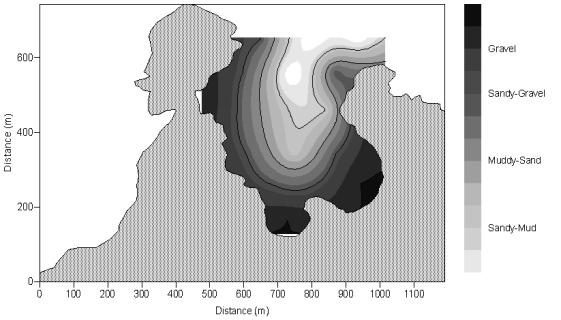

Figure 6: GSDM on sediment distribution in the study area.

바다숲 조성지에 대하여 15개의 정점(Figure 5)에 걸쳐 퇴적물을 채취하였으며, 바다숲 조성해역의 퇴적물 양상에 대한 GSDM을 작성하였다(Figure 6). 대상해역은 해안선에 연해 사력질이 우세하며, 가장 안쪽 내만은 자갈로만 구성이 되어 있다. 해안에서 멀어질수록 사질 및 니질 함유량이 높아져 내만의 가장 중심지에서는 니사질의 분포를 보이며, 만 입구에서는 사니질의 분포를 보이고 있다.

Table 4: Classification of sediment samples by station in the study area

St.	Gravel (%)	Sand (%)	Clay (%)	PI(%)	USCS
1	82.4	12.3	5.3	-	GC
2	0.0	36.8	63.2	25.32	CL
3	0.0	30.5	69.5	27.83	CL
4	79.3	14.5	6.2	-	GC
5	0.0	29.5	70.5	21.46	CL
6	82.6	10.1	7.3	-	GC
7	82.0	12.1	5.9	-	GC
8	15.4	62.1	22.5	-	SC
9	19.0	65.7	15.3	-	SC
10	81.9	9.8	8.3	-	GC
11	30.3	59.3	10.4	-	SC
12	84.0	11.5	4.5	-	GC
13	81.1	13.7	5.2	-	GC
14	81.2	12.5	6.3	-	GC
15	77.5	22.5	0.0	-	GW
16	81.7	18.3	0.0	-	GW

* GC: Clayey gravel, CL: Sandy lean clay, SC: Clayey sand with gravel, GW: Well graded gravel, PI: Plasticity index

Table 3은 정점에 따른 조성해역의 퇴적물을 통일분류법에 의해 분류한 것이다. GW는 입도가 양호한 자갈로써 본 연구해역에서는 정점 15 및 16에 해당한다. 정점 15 및 16은 입도가 양호한 자갈이나 모래질이 15%이상 씩 섞여있는 해역으로 분석되었다. GC는 통일분류법에 의하면 점토 및 모래가 섞인 자갈로써 정의되는데 본 연구해역은 모래가 15%미만인 점토가 섞인 자갈의 퇴적물 양상을 보이고 있다. 정점 1, 4, 6, 10, 12, 13, 14에 해당하며 연구해역의 해안선에 연한 곳은 대부분 GC의 분포를 보이고 있다. SC는 점토 및 자갈이 섞인 모래로써 본 해역에서는 점토 및 자갈이 고루 섞여있는 것으로 나타났다. 정점 8, 9, 11에 해당하며 GW해역에 인접하여 분포하고 있었다. CL은 무기질 세립토로 분류되며 조립토에 비해 지반력이 상대적으로 약한 것으로 알려져 있다. 따라서 무기질 세립토로 구성된 퇴적물 상에 구조물을 설치할 경우 침하의 우려가 있으며 세심한 주의가 필요할 것으로 사료된다. Table 2에 따르면 니질 함량이 70%를 넘을 경우 지내력을 계산하게 되어 있으나, 본 연구 해역에서는 정점 5만 니질 함량이 70.5%

이고 다른 정점은 니질함량이 모두 70%이하인 것으로 나타났다. 따라서 전 해역을 적지로 선정하되, 역질, 사력질 및 니사질은 제 1 적지로써 SI 100을, 사니질 영역은 제 2 적지로써 SI 50을 부여하였다.

3.5 설계유의파고에 대한 파랑분포

Figure 7은 거문도 주변해역의 50년주기 설계유의파에 관한 파랑분포도이다[21]. 결과를 살펴보면, 거문도 해역에서는 ESE방향으로 파고가 12m로서 가장 높다는 사실을 알 수 있으며 이는 태풍의 경로가 대체적으로 남동쪽인 것에 기인하는 것으로 판단된다. 따라서 남쪽해역은 설계파고가 높아 바다숲 시설물을 조성하기에 파랑으로 인한 수심의 제약을 많이 받을 것으로 사료된다. 반면에 거문도 북쪽해역의 설계파고는 대체적으로 3m내외로서 남쪽방향에 비해 매우 약한 파고분포를 지니고 있으므로 거문도 북쪽의 내만성해역에 시설하는 것이 적절할 것으로 판단된다.

시설해역의 수심에 따른 파고분포를 파악하기위해, 식 (4)와 (6)을 이용하였으며, 파고분포에 따른 수립자 속도는 식 (5)을 이용하여 구하였다. 또한, 각 수심대에서의 쇄파파고를 알아보기 위하여 식 (7)를 이용하여 쇄파가 일어날 수 있는 수심대를 산정하였다. 설계파의 조건으로 파고 3m에 주기는 8.1초로 설정하여 계산하였다. 계산결과는 Table 4와 같다.

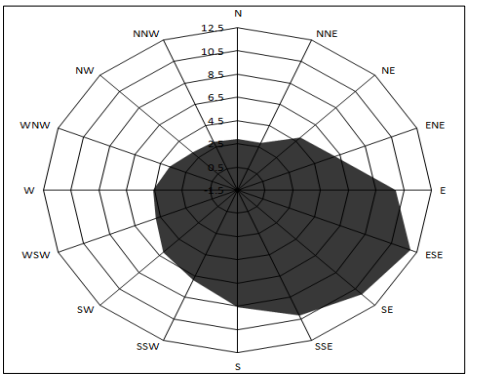

Figure 7: Distribution diagram showing design wave height and direction of 50 years return period in study area.

Table 5: Estimated wave height and water particle velocity by depth in the study area

Dep. (m)	Per. (s)	W.H. (m)	W. P. V. (m/s)	B.W.H. (m)	B.W.
20	8.1	2.61	1.01	16.6	×
15	8.1	2.54	0.99	12.5	×
10	8.1	2.53	0.98	8.30	×
5	8.1	2.76	1.04	4.15	×
3.3	8.1	2.81	1.09	2.74	○

* Per.: Period, W.H.: Wave Height, W.P.V: Water Particle Velocity, B.W.H.: Breaking Wave Height B.W.: Breaking Wave

Table 4는 쇄파가 일어나는 수심대 및 파고를 나타내고 있다. 각각의 수심에 따라서 쇄파가 일어날 수 있는 파고는 수심 20m에서는 파고가 16.6m이상은 되어야 쇄파가 발생하며, 수심 3.3m에서는 파고가 2.74m가 되어야 쇄파가 발생하게 된다. 식 (6)과 (7)을 이용하여 각 수심대에서의 파장과 파고를 산정한 결과 수심 3.3m에서 천해파고가 3.3m의 수심에서 발생하는 쇄파파고보다 높았다. 따라서 3m의 파고에 8.1초의 주기인 설계파가 내습하였을 때, 수심 3.3m부터 쇄파가 될 것으로 추정된다. 그러므로 쇄파가 일어나는 수심 3.3m이천은 바다숲이 조성되기에는 부적합할 것으로 판단되어 적지에서 제외하였으며, 나머지 영역에 대해서는 제 1적지로 판단하였다. 또한, 파랑으로 인한 수립자 속도도 해중시설물의 설계에 있어 중요한 인자라고 할 수 있다. Table 2에 의하면 유속이 2.0m/s이상인 곳은 부적지로 명시해 놓고 있다. 따라서 파랑으로 인한 궤도유속의 분포를 파악하였다. 파고는 수심이 얕아짐에 따라 파장의 감소와 더불어 약간씩 증가하는 경향을 보이며, 수립자 속도는 수심 5m대 이심부터 수립자속도의 증가양상이 나타난다. 설계파고에 의해 쇄파가 일어나는 3.3m까지 수립자 속도는 1.09m/s로 계산되었으며, 2.0m/s를 넘지 않고 있으므로 수심 3.3m이심은 제 1적지로써 SI 100을 부여하였다.

3.6 유속분포

Figure 8 및 9는 해중림 시설지의 대조기에 대한 창조시의 유속 벡터도이다. 창조시의 표층 해수

흐름은 대상지의 북서쪽에서 흐름이 유입하여 만내인 대상지로는 거의 유입이 되지 않고 바로 동측으로 빠져나가는 흐름의 양상을 보이고 있다. 이때의 유속 강도는 가장 빠른 곳이 0.12m/s였으며, 흐름이 북쪽으로 편중되어 있어 만내에서는 주류의 이류효과로 인한 와류가 형성되고 있음을 알 수 있다. 만내의 평균유속은 0.02m/s 이하로써 주류 유속에 비해 매우 미약하였다. 저층은 표층과 거의 유사한 해수흐름을 보였으며, 유속에서도 큰 차이점은 발견되지 않았다.

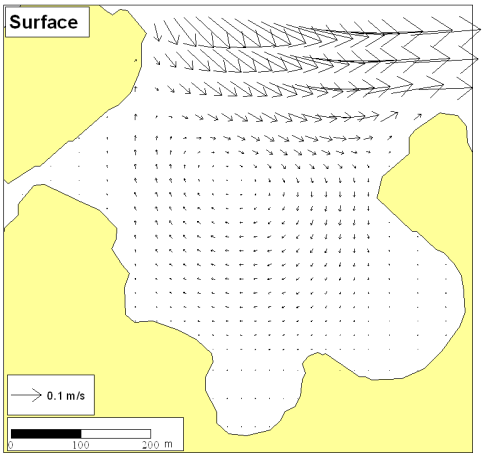

Figure 8: Vector diagram of flood currents during spring tides in the study area(Surface layer).

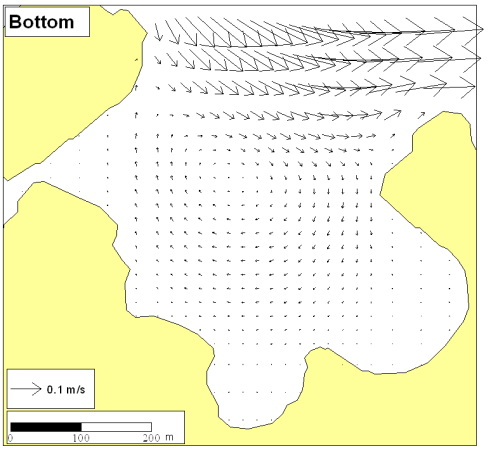

Figure 9: Vector diagram of flood currents during spring tides in the study area(Bottom layer)

Figure 10 및 11은 바다숲 조성지의 대조기에 대한 낙조시의 유속벡터도이다. 낙조시의 표층해수흐름은 동측에서 유입되어 온 흐름이 서측으로 향하다 지형적 특성으로 인해 북쪽으로 빠져나가 는 해수흐름의 양상을 보이고 있다.

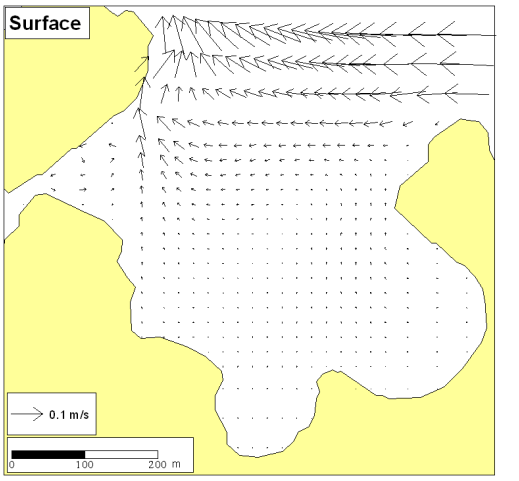

Figure 10: Vector diagram of ebb currents during spring tides in the study area(Surface layer)

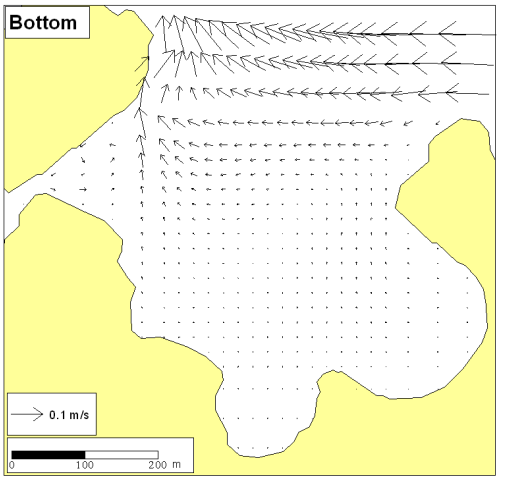

Figure 11: Vector diagram on ebb currents during spring tides in the study area(Bottom layer).

낙조시는 창조시와 마찬가지로 만내로는 흐름의 유입이 거의 없으며, 창조시에 보였던 주류유속으로 인한 와류현상은 관찰되지 않았다. 이는 바다숲 대상해역의 북서쪽이 지형적으로 막혀있어 주류흐

름이 일방향으로 흐르지 못하고 굴절됨으로 인해 만내에서는 창조류와 같은 와류는 생성되지 않는 것으로 판단된다. 낙조류도 창조류와 마찬가지로 유속이 0.02m/s 이하로 주류유속에 비해 매우 미약하였다. 낙조류시의 저층 유속은 표층과 거의 유사한 분포를 보였으며, 유속강도에서도 큰 차이점은 없었다.

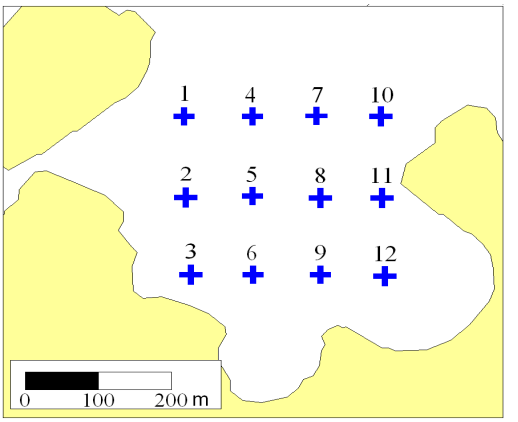

Figure 12: Stations for velocity comparison in the study area

Table 6: Maximum velocity by station (cm/s)

St.	Surface	Bottom	Average
1	7.43	4.35	7.40
2	10.14	9.97	10.10
3	10.41	10.19	10.30
4	12.55	12.27	12.51
5	1.93	1.92	1.90
6	1.68	1.67	1.67
7	1.89	1.88	1.89
8	2.08	2.07	2.08
9	0.94	0.94	0.94
10	1.52	1.51	1.51
11	1.27	1.27	1.27
12	0.87	0.87	0.87

Table 5는 Figure 12에 표시된 각 정점에 대한 최강유속분포를 나타내고 있다. 주류의 유속분포는 0.12m/s내외이며, 만내의 유속분포는 0.02m/s정도의 유속분포를 보이고 있다. 정점 1을 제외하고 모든 정점에서 표층과 저층의 유속이 거의 유사하게 나타나 바다숲 조성지에서의 표·저층 유속차이는 존재하지 않는 것으로 나타났다. 유속의 분포가 매우 빠른 곳은 유체력이 과다하게 발생하여 해중시설물의 착저 및 정위에 불안정성을 초래할 우려가 있으므로 인공어초 적지조사 지침에서는 2.0m/s로 제한을 두고 있다(Table 2). 본 연구해역은 유속이 매우 정온하여 해중시설물에 있어서 유속으로 인한 피해는 없을 것으로 사료된다. 따라서 유속에 대해 대상해역 전역을 제 1적지로 판정하여 SI 100을 부여하였다.

3.7 각 항목의 중첩 및 적지산정

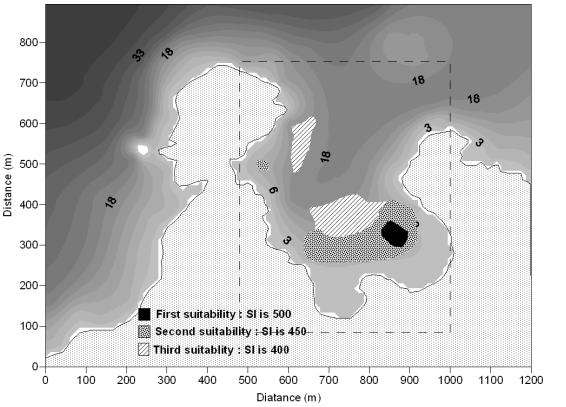

Figure 13: GSDM overlaid by each physical environmental item for suitability evaluation.

바다숲 조성해역의 최적적지를 산출하기 위하여 각각의 항목에 대하여 중첩을 하였다. 각각의 항목은 제 1적지, 제 2적지, 제 3적지, 부적지로 구성되어 있다. Figure 13은 각 항목에 대해 SI(최적지 100, 적지후보지 50, 부적지 0)를 부여하였고, 부여된 SI를 바탕으로 각 항목별로 작성된 GSDM에 적용하여 중첩을 한 것이다. 그 결과, 제1적지는 SI 총합이 500이며, 제 2적지는 450, 제 3적지는 400으로 구분되었다.

제1적지는 경사도가 2.9°미만에 수심 6~8m 대에 분포하며, 파랑 및 유속에 대해 안정하고, 저질이 점토가 약간 혼합된 자갈질로 된 해역이다. 따라서 제1적지는 Table 2에 의거, 경사도, 보상심도, 퇴적물 분포, 파랑 및 유속에 대한 제반조건을

모두 충족하는 곳으로서 바다숲을 시설하기에 물리환경적으로 가장 안정한 장소를 제공할 것으로 판단되며 적지면적은 0.25ha로 분석되었다. 제 2적지는 경사도가 2.9°~6.0°도 사이에 있으며, 수심은 5~10m대에 분포하고 있다. 파랑 및 유속에 대해서 안정하며, 저질은 점토가 약간 섞인 자갈 및 모래지반으로 구성되어있다. 제 1적지에 비해 경사도가 비교적 급한 양상을 보이고 있으며 적지면적은 2.36ha로 분석되었다. 제 3적지는 경사도는 2.9°~6.0°도 사이에 있으며, 수심은 10~16m대에 분포하고 있다. 파랑 및 유속에 대해서 안정하며 저질은 점토가 섞인 모래지반으로 구성되어있다. 제 1적지에 비하여 경사도가 비교적 급하며, 광량이 약한 것으로 분석되었으며, 적지면적은 1.8ha로 분석되었다. 구분된 적지에 대한 각각의 SI 및 총 SI를 참조하기 위하여 Table 6으로 정리하였다.

Table 7: SI by each physical environmental item

Item / Oder	Sl.	C.D	Se.	Wa.	Vel.	Total SI
First suitability	100	100	100	100	100	500
Second suitability	50	100	100	100	100	450
Third suitability	50	50	100	100	100	400

* Sl.: Slop, C.D: Compensation Depth, Se.: Sediment, Wa.: Wave, Vel.: Velocity

4. 결 론

바다숲 조성해역에 구조물을 안정하게 유지 · 보전하기 위하여 경사, 보상심도, 퇴적물, 파랑, 해수흐름의 5가지 물리환경항목에 관하여 적지조사를 수행하였다. 각 항목들을 효율적으로 분석하기 위하여 Kriging 보간법을 사용하여 격자화된 공간분포도를 작성하였고, 적지조사지침기준에 따라 각 항목에 적지지수(SI)를 적용하여 제 1적지, 제 2적지, 제 3적지 및 부적지로 세분화하여 정량적으로 적지를 도출하고자 하였다. 그 결과 최적지는 0.25ha로 나타났으며, 제 2적지와 제 3적지는 2.36ha, 1.8ha로 각각 나타났다. 제 1적지에 비해 제 2적지는 제한요소가 경사도로 분석되었다. 경사도가 급격한 곳은 해저구조물에 활동 및 전도를 야기할 가능성이 높기 때문에 저면마찰력이 강하고 중량이 무거운 구조물로 시설할 필요가 있을 것으로 사료된다. 제 3적지는 제 1적지에 비해 경사도 및 보상심도가 깊다. 그러므로 제 2적지의 보강시설에 덧붙여 대상해조류를 선정할 시에 광량이 약해도 광합성을 할 수 있는 종을 선정하여 시설할 필요가 있다. 따라서 제 2 및 3적지에 상기의 조건을 적용하여 바다숲을 조성한다면, 제 1적지와 동등한 효과를 낼 수 있을 것으로 판단되며, 제 1적지의 16배에 달하는 적지면적을 추가적으로 확보할 수 있을 것으로 사료된다.

향후, 적지조사 자료가 최적화된 바다숲 조성사업의의 기초자료로 활용되기 위해서는, 다른 여러 보간기법의 상세한 검증을 통하여 보다 정밀한 적지면적을 도출할 필요가 있으며, 물리환경 뿐만 아니라, 해조류의 생리 및 생태에 대해서도 보다 면밀하게 고려하여 물리와 생물환경을 종합적으로 고찰하여 적지를 도출해야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

[1] 川俣 茂, “キタムラサキウニの優占する磯焼け 地帯に適用可能な搖動式海藻着生裝置の開發”, 水産工學, vol. 44, no. 2, pp. 127-138, 2007.

[2] 국립수산과학원 남해수산연구소, “연안해역 갯녹음 발생해역 조사보고서”, pp. 3~4, 2009.

[3] 寺脇利信, 新井章吾, 川崎保夫 “藻場の分布の制限要因を考慮した造成方法”, 水産工學, vol. 32, no. 2, pp. 145-154, 1995.

[4] T. Terawaki, H. Hasegawa, S. Arai and M. Ohno, “Management-free techniques for restoration of Eisenia and Ecklonia bed along the central Pacific coast of Japan,” Appl. Phycol., 13, pp. 13-17, 2001.

[5] 김대권 외 5인, “남해중부해역에 시설된 인공

어초의 보존상태", 2009 한국마린엔지니어링학회 공동학술대회 논문집, pp. 485-486, 2009.

[6] 김태진 외 4인, "남해서부해역에 시설된 인공어초의 지역별 보존상태", 2009 한국마린엔지니어링학회공동학술대회 논문집, pp. 497-498, 2009.

[7] 中嶋泰, "藻場造成の適地選定手法について", 水産工學, vol. 42 no. 2, pp. 159-163, 2005.

[8] 浜野明, 內田和良, "人工知能技術を用いた綜合漁礁効果判定技術の開發", 沿岸漁場整備開發 調査報告書, pp. 146-162, 1999.

[9] 조명희, 김병석, 서영상, "위성원격탐사자료와 GIS를 이용한 인공어초 시설지 적지선정 공간 분포도 작성 연구, 한국원격탐사학회, vol. 17, no. 1, pp. 99-109, 2001.

[10] 국립해양조사원, 조류도(제주도 동부해역), pp. 1-14, 2003.

[11] 신정엽, 이상일, GIS의 개념과 원리, 다락방, pp. 290-295, 2008.

[12] 김윤영, "인삼정보시스템 구축 및 이를 활용한 재배적지 분석(금산지역)", 고려인삼학회지, vol. 26, no. 1, pp. 24-30, 2002.

[13] Moore, I. D., A. Lewis, and J. C. Gallant, "Terrain Attributes: Estimation methods and scale effects," Modeling change in environmental systems, 1993.

[14] Poole, H. H, and W. R. G. Atkins, "Photo-electric measurement of submarine illumination throughout year," J. Mar. Biol. Ass. U. K. 16, pp. 297-324, 1929.

[15] Casagrand, A., "Classification and identification of soils," Transactions, ASCE, vol. 113, pp. 901-930, 1948.

[16] Airy, G. B., "Tides and waves," Encyclopedia Metropolitana, Art. 192, 1845.

[17] Bretschneider, C. L. and R. o. Reid, "Modification of wave height due to bottom friction, percolation, and refraction," U. S. Army Corps of Engrs., Beach Erosion Board, Tech. Memo., No. 45, 1954.

[18] Yamada, H., G., Kimura, and J. Okabe, "Precise determination of the solitary wave of extreme height on water of a uniform depth," Rept. Res. Inst., Applied Mech., Kyushu Univ., vol. XVI, no. 52, pp. 15-32, 1968.

[19] 농림수산식품부, "인공어초시설사업집행 및 관리규정," pp. 107-121, 2008.

[20] 한국해양연구원, "전남다도해형 바다목장 기반조성사업 연구용역보고서(1단계 2차년도)," pp. 257-287, 2005.

[21] 한국해양연구원, "전해역 심해설계파 추정보고서II," pp. 137-142, 2005.

저 자 소 개

오태건(吳兌建)

여수대학교 해양토목공학과졸업, 여수대학교 해양공학과(공학석사), 2004년~현재 남해수산연구소 증식과, 관심분야: 인공어초어장의 유체역학적 거동

김대권 (金大權)

제주대학교 졸업, 제주대학교 대학원 졸업(이학박사), 1976년~현재 국립수산과학원 남해수산연구소 증식과 재직, 관심분야 : 인공어초에 의한 자원조성

김창길(金昌吉)

동아대학교 대학원 졸업(공학석사), 일본 동북대학교 대학원 졸업(토목공학전공, 공학박사), 1976년~현재 국립수산과학원 서해수산연구소 증식과 재직, 관심분야 : 인공어초에 의한 자원조성.

이문옥 (李文沃)

부산수산대학교 졸업, 오사카대학교 대학원 졸업(공학박사), 1983년~현재 전남대학교 해양기술학부 (교수)재직, 관심분야 : 환경수리학 및 해양생태환경복원기술

조재권 (趙宰滬)

여수대학교 졸업, 여수대학교 대학원 졸업(이학박사), 2000년~현재 국립수산과학원 남해수산연구소 증식과 재직, 관심분야 : 수산자원조성, 양식기술개발