수생생물
Aquatic Nature 2021 June, 1(1): 47-56

pISSN 2765-7876 eISSN 2799-3000
https://doi.org/10.23135/an.2021.1.1.5

Original Articles

OPEN ACCESS

해조류 포자 확산을 고려한 바다숲 조성용 해중림초 적정 배치

오태건[1]*, 이재용[2]

[1]한국수산자원공단 자원사업본부 자원조성팀, [2]한국수산자원공단 서남해생명자원센터

Arrangement Method of Artificial Reefs for Seaweed Considering Algal Spore Movement Estimation

Tae-Geon Oh[1]* and Jae-Yong Lee[2]

[1]Resources Enhancement Division, Korea Fisheries Resources Agency (FIRA)
[2]Aquatic Living Resources Center of South and West Sea (FIRA)

***Corresponding author:** dharta@fira.or.kr Tel: +82-51-718-2410

Received 10 May 2021 | **Revised** 2 June 2021 | **Accepted** 6 June 2021

초록

바다숲 조성용 해중림초의 적정 배치를 결정하기 위하여 연구해역의 해수유동과 해조류 포자 이동과의 상관관계를 밝혔다. 연구해역은 파랑의 영향으로 해빈류가 발달하는 동해 강릉 해역이며, 해조류 포자는 해빈류의 영향을 강하게 받을 것으로 판단되었다. 연구해역의 해수흐름을 파악하기 위하여 DGPS가 부착된 표류부이 실험을 하였으며, SWAN 및 EFDC 수치모델을 이용하여 해빈류의 양상을 분석하였다. 수치 실험 결과 연구해역의 해수유동은 해안선을 따라 남북방향으로 이동하고 있었으며, 이는 현장 조사와도 잘 일치하였다. 수치 실험 계산값을 바탕으로 해조류 포자의 이동경로를 분석한 결과, 포자 역시 해빈류의 이동경로를 따라 남동-북서 방향으로 이동하였다. 해조류 포자의 이동 범위는 방출 높이가 가장 높은 CASE 3 (포자 방출 높이: 4.5 m, 이동거리: 1,026.0 m)으로 나타나 높은 방출 높이가 바다숲의 확산에 유리한 것으로 판단되었다. 더불어 해조류 포자의 생존시간과 포자 착생 범위를 종합적으로 판단하였을 때, 연구해역의 바다숲 조성범위는 800 m 이내이며, 해중림초 배치는 2열로 하여 간격 20 m일 때 가장 적당함을 밝혔다.

주요어: 바다숲, 배치모델, 수치모형, 포자이동, 해빈류, 해조류 포자, 해중림초

ABSTRACT

To determine artificial reefs arrangement in marine forest, the relationship between ocean current and algal spore movement could be clarified at the study area. Ocean current of the study area has been dominated by wave-induced current due to wave actions, and algal spore movement would be affected by wave-induced current. To analyze wave-induced current at study area, field survey with floating buoy attached DGPS and numerical model (SWAN and EFDC) experiments carried out at the same time. The ocean current has formed a south and north direction along the coastal line and this was in well agreement with floating buoy movement. algal spore had moved in a SE-NW direction with wave-induced current and spores at the case 3 with the highest releasing point had shown the longest travel distance among the 4 experiment cases (releasing height is 4.5 m and travelling distance is 1,026.0 m). Therefore, the higher spore releasing point, the wider marine

Copyright © 2021 The Korean Society of Phycology 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.

forest can be enhanced. And according to the survival time and attached range of algae spore, it was suited that the total marine forest length and distance between artificial reefs were within 800 m and 20 m (with 2 rows arrangement), respectively.

Key Words: Algal spore, Arrangement model, Artificial reefs for seaweed, Marine forest, Numerical models, Spore movement, Wave-induced Current

1. 서론

바다숲은 연안 생태계의 중요한 일차생산자로서 물질 순환의 중심을 이루고 있으며, 어류를 비롯한 많은 수생 생물의 서식 공간으로서 군집의 2차 생산력을 높여 연안 생태계의 회복에 매우 중요한 역할을 담당하고 있다(FIRA 2019). 뿐 만 아니라 국민 소득 증대에도 탁월한 기여를 하고 있는데, 바다숲 조성 사업의 경제적 가치는 연간 12조 7천억원에 달하며, 이는 국내 어업 총생산액(2016년 기준 6.5조원)의 1.95배, 국민 1인당 25만원의 편익에 해당한다(Kang 2018).

그러나 1980년대 남해안에서 시작된 것으로 보고되고 있는 갯녹음 현상이 전 연안에 걸쳐 매년 여의도 면적의 4배인 1,200 ha씩 발생하여 수생동물의 먹이원 감소, 서식장 및 산란장의 축소를 유발하여 기존 생태계의 균형이 무너지고 있다(NFRDI 2010). 이러한 갯녹음 현상을 방지하고 연안생태계의 회복을 위하여 한국수산자원공단에서는 매년 약 300억원의 국비를 지원받아 바다숲 조성·관리사업을 지속한 결과 전국 연안의 갯녹음이 12.6% 해소되는 결과를 도출하였다(FIRA 2019).

바다숲 조성은 해조류를 대상으로 하는 사업으로서 해조류의 부착기질을 확보하는 것이 매우 중요한데, 해조류 부착기질 제공을 위해 바다숲 조성용 인공어초(해중림초), 수중저연승 및 종묘부착판 등 여러 가지 기법들이 적용되고 있다. 그 중에서도 해중림초는 바다숲 조성지 내 핵심 해조장의 기능을 수행함으로서 인근 자연 암반으로 자연적 확장을 유도하며, 해조류 이식과 보식이 다른 기법에 비해 용이하여 2020년 기준으로 전체 바다숲 조성 예산의 41.9%를 차지할 정도로 폭 넓게 이용되고 있다(FIRA 2020).

하지만 바다숲 조성시 해중림초 등을 시설할 경우, 인공어초 집행지침(MOF 2020)을 준용하여 해중림초의 접지면적 500 m^2의 기준 만을 충족하면 1단지가 조성이 된 것으로 간주하고 있으며, 구체적인 배치 간격이나 배치 모형에 대해서는 언급하고 있지 않다. 따라서 실제 해중림초 배치시에는 사업수행자의 직관에 의존하는 경우가 많다. 그러나 바다숲 조성의 효율성을 제고하기 위해서는 해중림초의 간격 배치가 매우 중요하다. 경제적이면서 효과적인 바다숲 조성을 위해 물량이 과다 또는 과소 투입되지 않아야 하며, 해조류 종류에 따른 포자의 이동거리를 적절히 고려하여 시설해야 한다. 특히, 해조류는 그 종류에 따라 포자의 이동거리가 다르고, 또 조석류 등 해양 물리조건에 따라 포자의 확산 거리는 달라지기 때문에 일률적으로 간격을 결정할 수 없다. 따라서 본 연구에서는 해조류 포자 비중과 바다숲 조성 해역의 물리적인 상황을 고려한 해중림초 배치 기법에 대한 방법론을 제시하여 바다숲 사업 효과 극대화를 도모하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 연구 해역

연구해역은 강원도 강릉시 주문진 해역으로 선정하였다. 강릉 해역은 바다숲 사업 뿐 만 아니라, 연안바다목장 등 다양한 수산자원조성사업이 활발히 추진되고 있으며, 전복 등 해조류를 먹이원으로 하는 종자품종을 폭 넓게 방류하고 있어 향후에도 바다숲 사업이 지속적으로 추진될 잠재성이 높은 곳이므로 연구해역으로 선정하였다(Fig. 1).

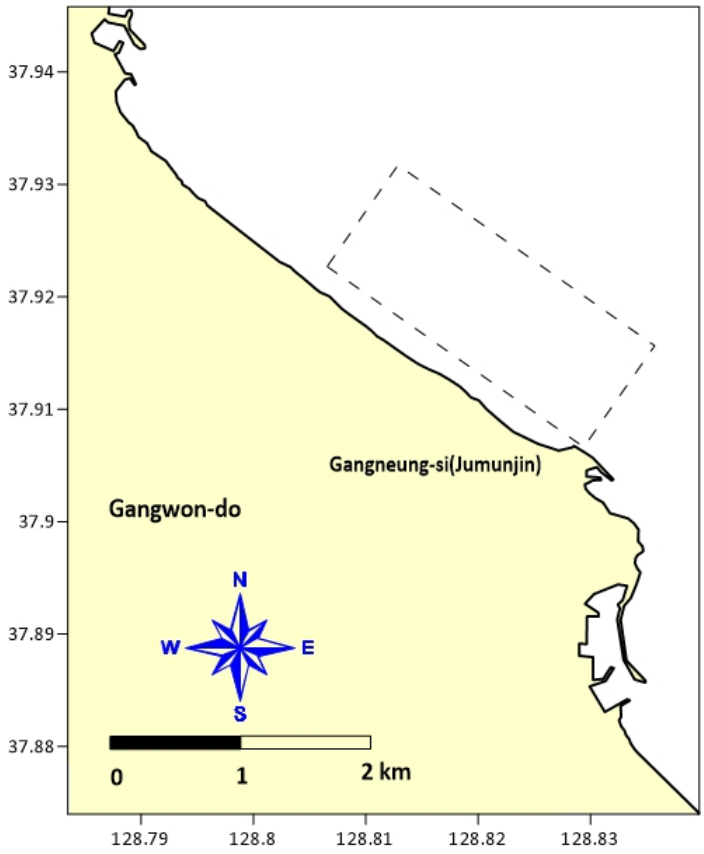

Fig. 1. Map showing the study area (Jumumjin, Gangneung-si, Gangwon-do in Korea).

2.2 현장 조사

연구 해역의 해수 유동 등 물리현황 파악을 위해 현장 조사를 실시하였다. 현장조사는 부표를 이용한 유향·유속 측정을 수행하였고, 동일정점에서 대조기시의 창조류와 낙조류시에 DGPS가 부착된 부표(Fig. 2)를 투하하여 추적 조사를 실시하였다(Table 1).

Fig. 2. Floating buoy attached with DGPS.

Table 1. Experiment conditions of a DGPS floating buoy at the study area.

Date	2012-09-14 13:10~18:10 (Ebb current)	
	2012-09-15 08:13~14:00 (Flood current)	
Stations	2012-09-14 13:10 (IN)	37°54′33.7″N 128°49′42.7″E
	2012-09-14 18:10 (OUT)	37°55′28.9″N 128°48′33.3″E
	2012-09-15 08:13 (IN)	37°54′34.0″N 128°49′42.8″E
	2012-09-15 12:31 (IN)	37°54′19.5″N 128°49′55.9″E
	2012-09-15 14:00 (OUT)	37°54′19.1″N 128°49′54.7″E
Method	Tracking a floating Buoy with DGPS using a ship	

2.3 수치 모형 실험

2.3.1 해빈류 수치모형

연구해역은 조차가 30 cm 내외로 조석의 영향이 미미하고 너울과 바람에 의해 발생되는 파랑의 영향이 강한 곳이므로 해조류 포자는 파랑에 의해 발생되는 해빈류의 지배를 받는 것으로 가정하였다. 해조류 포자의 거동에 영향을 미치는 파랑이 연중 대부분의 일수를 차지하는 평상파임을 감안하여 실험을 수행하였으며, 감태(*Ecklonia cava*)의 포자가 방출되는 10~11월의 최대파고 및 파향을 고려하여 연중 최고 점유 일수(97.5%)의 제원을 입력값으로 사용하였다(Table 2). 수치모형은 전 세계적으로 충분히 검증된 wave action balance 방정식을 사용하는 범용 파랑 계산 모델인 SWAN (Simulating Waves Nearshore model)을 사용하였다(Richard et al. 2002).

SWAN 모델의 결과로부터 도출된 파랑 계산 값을 기초로 미국 환경국 공인 모델인 EFDC (Environmental Fluid Dynamic Code) 모델을 사용하여 해빈류 재현을 실시하였다. EFDC모델 내에는 STWAVE (STeady state spectral WAVE model) 모델을 이용하여 해빈류를 계산한다. 계산된 해빈류 값은 포자확산 실험의 입력값으로 활용하였다(EPA 2007).

Table 2. Input conditions of SWAN (for wave action calculation) and EFDC (for wave-induced current calculation) model.

Specification	Direction	Probability (%)	Wave height (m)	Frequency (sec)	Wind speed (m/s)
Wave	NE	97.5	2.93	9.0	-
	ENE	97.5	2.93	9.0	-
Wind	NE	97.5	-	-	7.91
	ENE	97.5	-	-	7.91

2.3.2 해조류 포자확산 실험

해조류 포자가 해저면에 도달할 때까지의 경로를 모의하기 위하여 해빈류 계산 결과를 바탕으로 입자추적 난보모델(Random Walk Model)을 사용하여 예측하였다. 연구해역에서 방출된 포자의 이동경로는 시간 경과에 따라 추적하게 되며, 포자가 해저면에 안착하였을 때는 더 이상 이동하지 않는 것으로 간주하여 실험을 수행하였다(EPA 2007).

포자의 침강 속도는 0.1 cm/s로 상정하였는데, 이는 서해 태안 바다숲 조성사업 모의실험에서 적용된 값으로서 감태 포자의 침강속도를 수리모형 실험을 통해 측정한 값이다(FIRA 2012; Kim et al. 2019). 포자의 방출시간은 매 10분 간격으로 총 10,000개를 투입하는 것으로 하였다(Table 3).

Table 3. Experimental conditions for algal spore movement.

Release conditions of algal spore			Sink speed of spore	Experiment No.
Height of artificial reef	Algal species	Release point of spore		
0.5 m	*Ecklonia cava* 1	2.5 m	0.1 cm/s	CASE_WC_1
	Ecklonia cava 2	1.5 m	0.1 cm/s	CASE_WC_2
2.5 m	*Ecklonia cava* 1	4.5 m	0.1 cm/s	CASE_WC_3
	Ecklonia cava 2	3.5 m	0.1 cm/s	CASE_WC_4

3. 결과

3.1 부표 추적 흐름 조사

부표 추적 조사는 라그랑지 방법에 의해 연구해역의 표층 해수유동 특성을 파악하기 위하여 수행되었다. 이는 흐름에 따라 이동하는 부이의 위치 변화를 기술하는 것으로서 후술되는 해빈류에 따른 포자이동의 양상을 검증하기 위해 실시하였다.

국립해양조사원의 조석표로부터 속초 조위관측소의 대조기 고·저조 시점에 맞추어 부이를 투입하였고 창·낙조시 주변 해수의 표층 유동 현황을 연속적으로 파악하였으며, 이동 경로는 Fig. 3과 같다.

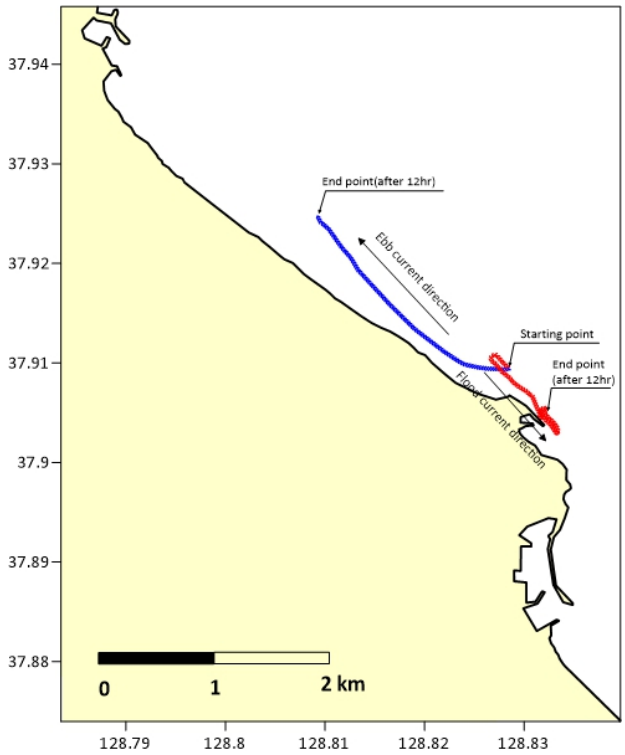

Fig. 3. The result by tracking experiment with floating buoy (blue line is ebb current and red line is flood current).

조사 결과, 낙조시의 흐름이 강하게 나타나 부표는 시작 지점으로부터 약 2.5 km 북서쪽으로 진행하였고, 창조시에는 남동쪽 방향으로 하행하였다. 연구해역은 창조류 보다 낙조류가 우세함을 알 수 있으며, 이는 조류의 영향 이외에도 해빈류가 강하

게 작용된 것으로 판단된다.

3.2 해빈류 수치 실험 결과

Table 2에 나타낸 모델 입력값을 바탕으로 하여 Table 4와 같이 수치 실험을 수행하였으며, 실험은 추계에 가장 큰 영향을 미치는 NE 및 ENE 파향에 대하여 대광역, 광역, 상세역으로 나누어 실험을 실시하였다.

Table 4. Experiment conditions of wave action at the study area.

Numerical model / Calculation condition	Lage-scale area	Middle-scale area	Small-scale area
	Irregular wave	Irregular wave	Irregular wave
	SWAN model	SWAN model	SWAN model
Area (km)	65.0 × 60.0	18.0 × 16.0	9.0 × 8.0
Distance of grid (m)	100	50	10
Number of grid	651 × 601	361 × 321	901 × 801

심해파랑과 해상풍 추산자료로부터 산출된 평상파 및 바람자료를 입사파 제원으로 사용하여 수치실험을 수행하였으며, 수치모형의 실험결과는 Figs 4~5와 같다. 연구해역은 수심이 깊고 섬 등의 장애물이 없어 외해로부터 유입되는 파랑이 천해까지 직접적인 영향을 미치는 것으로 나타났다. NE 방향과 ENE 방향의 파고는 큰 변화 없이 천해까지 진행되는 것으로 나타났으며, 파랑이 수심을 감지하는 얕은 수심에서는 암초 및 수심의 변화로 인해 파랑의 굴절이 나타나는 것으로 나타났다. 바다숲 조성 대상지인 수심 15 m 부근에서는 NE 방향은 2.5 m 이상의 파고가 나타났으며(Fig. 4), ENE방향에서는 2.4 m 내외의 파고 분포로 분석되었다(Fig. 5).

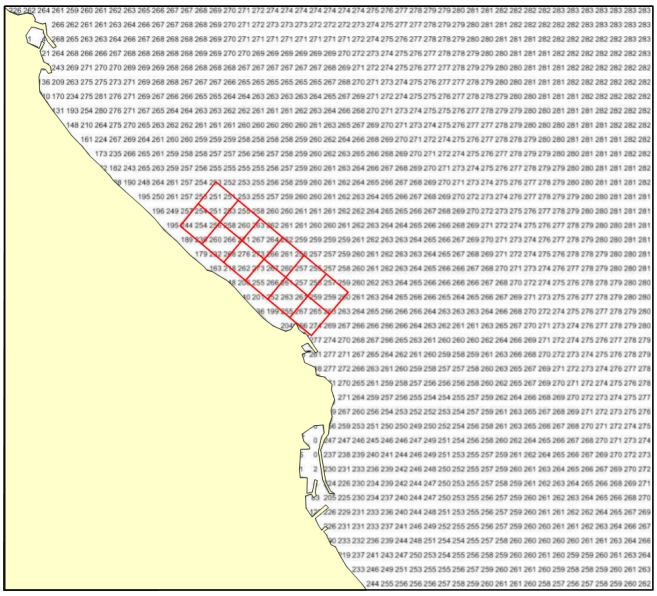

Fig. 4. Distributions of wave height at the study area of a NE direction.

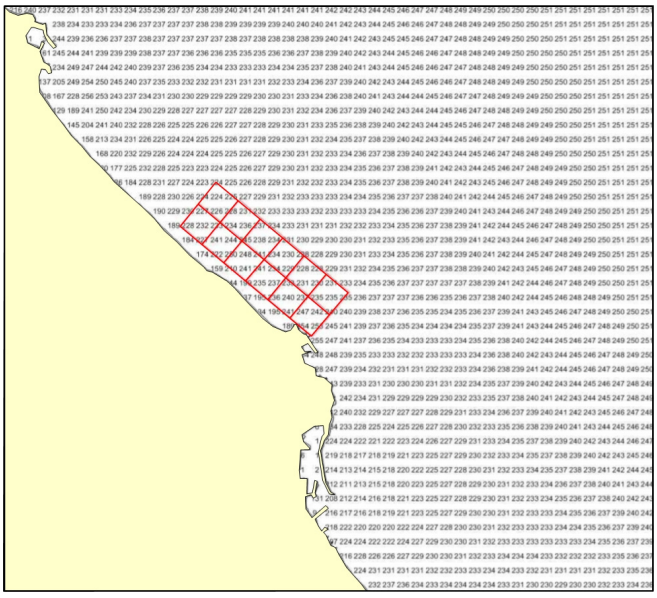

Fig. 5. Distributions of wave height at the study area of a ENE direction.

해빈류의 경우 대부분의 해빈역에서 연안 방향을 따라 70 cm/s 이상의 강한 해빈류가 나타났다. 특히 수심 15 m 이내의 얕은 구간에서는 암반 지형을 중심으로 와류가 발생하면서 해안과 수평한 방향으로 흐르는 것을 관찰 할 수 있었다. 와류의 중심 구역은 유속이 10 cm/s 미만으로 약한 유속 분포를 보였으나, 바깥부분은 원심력에 의해 40 cm/s 이상의 유속을 나타내고 있다. 일반적으로 와류는 3차원적인 구조로서 표층에서는 외해 쪽으로 흐름이 발생하고 저층에서는 와류의 중심으로 흐르는 소용돌이 현상을 보이는데, 저층에서 발생되는 해조류 포자는 저층 와류, 즉 와류의 중심으로 이동할 것으로 예측되며, 해안선을 따라 길게 늘어진 분포 양상을 보일 것으로 판단된다(Fig. 6).

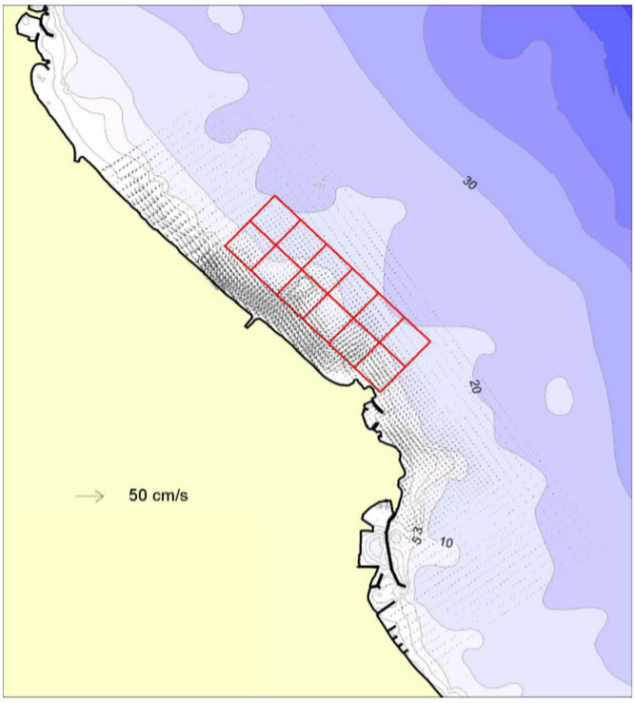

Fig. 6. Distributions of wave-induced cureent at the study area by depth.

3.3 해조류 포자 이동 실험 결과

Table 3과 같이 0.5 m와 2.5 m의 해중림초에 대해 감태 전장 각각 1.0 m와 1.5 m를 상정하여 포자 확산 실험을 실시하였으며 (포자 침강 속도 0.1 cm/s), 포자입자가 방출되어 이동하다 해저면에 도달할 때 까지 소요된 시간과 거리를 추적하여 최대, 최소 및 평균값을 상호 비교하였다(Table 5).

Table 5. The results of algal spore movement by each experimental condition.

Experimental conditions	Movement time (hr)			Movement distance (m)		
	Max.	Average	Min.	Max.	Average	Min.
CASE_WC_1	2.233	1.444	0.983	982.7	818.4	656.4
CASE_WC_2	2.000	1.387	0.967	946.7	797.3	596.1
CASE_WC_3	3.200	1.935	1.083	1626.1	1026.0	741.1
CASE_WC_4	2.067	1.346	1.083	998.9	750.1	699.3

12시간 후의 포자 이동경로를 분석한 결과, 방출위치가 낮은 CASE 1과 2는 각각 평균 818.4 m 및 793.3 m를 이동하여 비슷한 이동 거리를 나타냈으며, 저면에 포자가 도달하는 시간은 각각 평균 1.44 및 1.39시간을 나타내었다. 방출위치가 높은 CASE 3과 4는 각각 평균 1,026.0 m 및 750.1 m를 이동하였으며, 이 때의 해조류 포자의 저면 도달 시간은 각각 평균 1.96 및 1.35시간으로 분석되어 해중림초 및 해조류 엽체의 높이에 대해 이동거리 및 저면 도달 시간에 차이가 있음이 나타났다.

그러나 모든 조건이 남동쪽에서 북서방향으로 연안을 따라 수평한 형태로 이동하는 형태를 보였으며, 해빈류에 의한 와류로 반원 모양으로 북진하는 패턴을 나타내었다(Fig. 7).

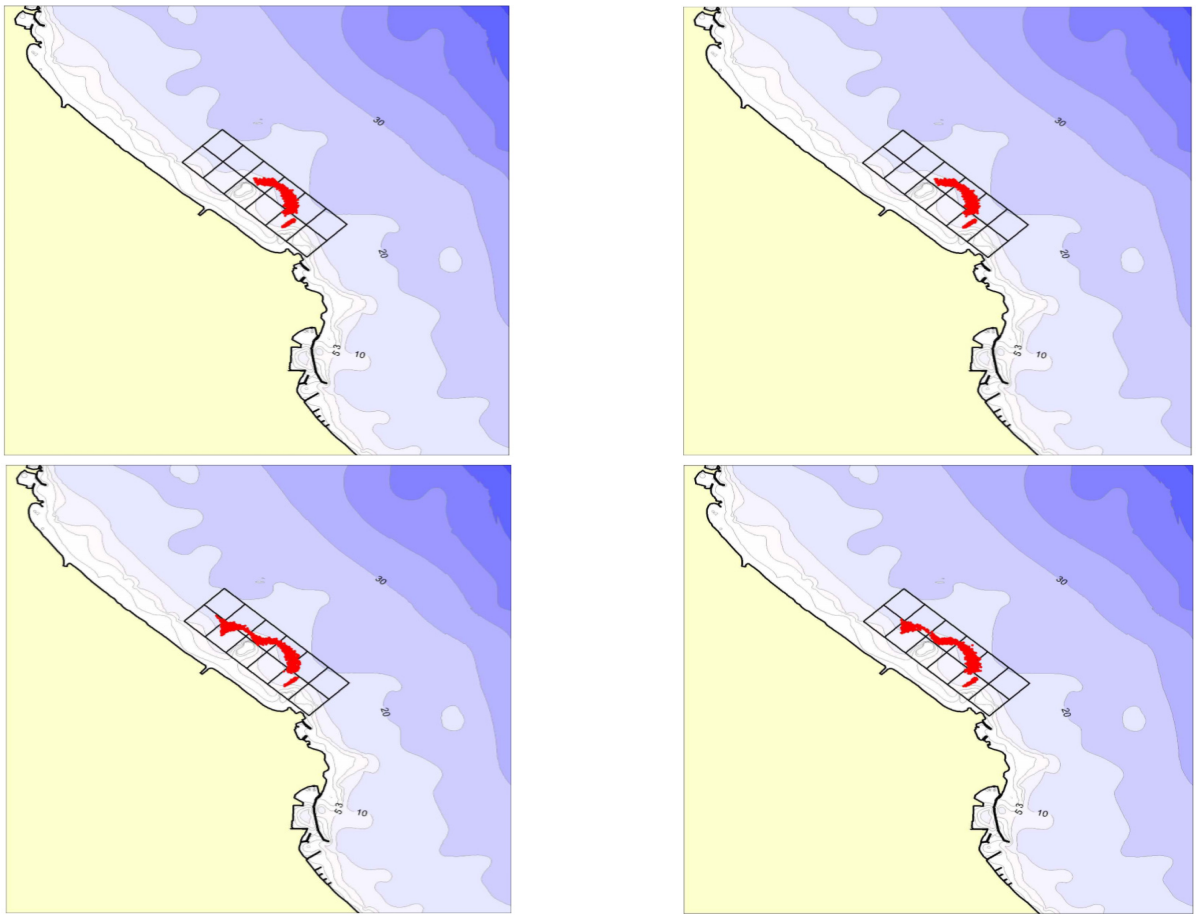

Fig. 7. Distributions of algal spore movement (UL: case 1, UR: case 2, LL: case 3 and LR: case 4, respectively).

4. 고찰

바다숲 조성은 그 대상 해역에 따라서 해조류의 광합성 등이 제한조건으로 작용하기 때문에 대부분 15 m 이내의 얕은 수심에 시설 된다. 그러므로 파랑, 조류 등 연안의 물리력이 매우 복잡하게 혼재되는 곳에 시설되므로 해조류 포자의 이동 양상을 파악하기 위해서는 다방면의 고찰이 필요하다. 내만에 바다숲이 시설될 경우에는 파랑의 영향이 미미하므로 해조류 포자는 조류의 흐름에 전적으로 의존하게 되나, 본 연구해역과 같이 개방해역이며, 대상지 전면에 섬 등의 장애물이 없고, 조차가 적은 지역은 파랑에 의한 물리력에 포자 확산이 의존될 수 있다고 말할 수 있다.

이는 현장 실험과 수치실험을 통해서도 알 수 있는데, 연구해역의 표층류 부이 실험 결과 흐름이 북서방향으로 흘러감을 알

수 있었다. 이는 해빈류 수치실험에서도 동일하게 나타났는데, 강릉 해역은 조류보다는 해빈류의 지배를 강하게 받는다고 할 수 있다. 이에 따른 포자 이동은 연안과 수평한 형태로 띠모양으로 길게 늘어진 형태를 보이며, 바다숲 조성시 해중림초의 배치 역시 포자 이동 경로에 맞추어 남동향 쪽을 기점으로 하여 북서 방향으로 연안에 수평한 대상(帶狀)형태로 시설하여야 할 것으로 판단된다. 그 반대 방향인 북서 방향에 기점을 두고 남동향 방향으로 시설하게 되면 포자 이동에 의한 바다숲 확장 효과가 반감될 것으로 판단된다.

포자의 이동거리는 해중림초의 높이에 크게 의존하고 있음을 실험 결과로부터 알 수 있었고, 넓은 면적의 바다숲을 시설할 경우에는 높이가 높은 해중림초를 시설하는 것이 사업의 효과측면에서 유리하다. 다만 높이가 높은 해중림초의 경우에는 전도, 이동 등의 파랑에 대한 역학적 안정성을 면밀히 고려할 필요가 있으며, 이는 해중림초의 수중 단위 중량과 파랑의 수립자 속도를 고려한 별도의 계산이 필요하다.

포자 이동의 수치실험 결과에 의하면, 감태 포자는 조체를 포함한 4.5 m의 높이에서 1 km를 이동하였으나, 1 km를 이동하는 동안 모든 포자가 생존해 있는 것은 아니므로 해중림초 배치시 이에 대한 고려가 필요하다. Yanagise et al. (1983)의 현장 실험에 의하면 감태의 유주자 착생수와 시간과의 상관관계를 조사한 결과, 100분 이내에 대부분의 유주자가 착생해야 하며, 200분이 넘을 경우의 착생수는 거의 0%에 가깝다는 사실을 밝혔다. 따라서 100분을 기준으로 본 연구 결과를 적용해 보면 포자가 가장 먼거리를 이동하는 조건인 CASE 3의 경우 시작점으로부터 약 800 m 이내에 바다숲 조성 단지가 결정되어야 하고, 해중림초의 배치 간격은 Kawasaki (1995)의 연구결과를 참고하였을 때 20 m가 가장 적절하다고 판단되어 진다. 따라서 연구해역에 한변 길이 2 m의 해중림초를 시설한다고 가정할 경우, 광량의 확보가 충분한 10~15 m의 수심대를 기준으로 남동 방향 기점으로부터 북서 방향으로 약 72개의 해중림초를 2열 배치 할 수 있을 것으로 판단된다(Fig. 8).

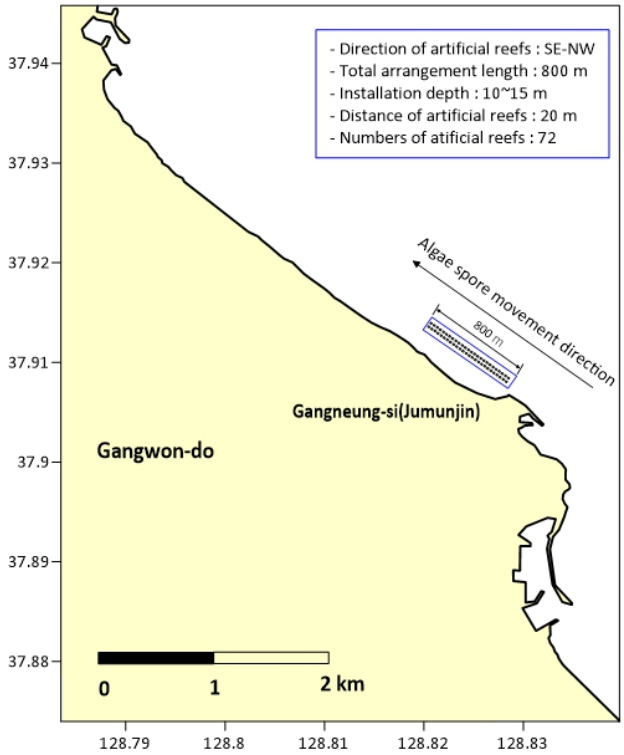

Fig. 8. Arrangement of artificial reefs for seaweed considering algal spore movements estimation.

바다숲을 조성하는 곳은 천해역이며 해양의 물리적 현상이 매우 복잡하게 발생하는 곳이므로 해역마다 다른 흐름 특성을 지니고 있다. 이에 따라 동일한 해조류를 대상으로 동일한 해중림초를 시설하더라도 포자의 이동 양상은 해역마다 다르게 나타날 수 있어 일률적인 시설 방법으로는 사업 효과를 도출하기에는 어려움이 따른다. 따라서 조성 예정지의 해양환경 및 물리적 현상을 면밀하게 분석한 후 바다숲 조성을 추진할 필요가 있다.

본 연구에서는 동해안의 해양물리적 특성 중 하나인 해빈류와 해조류 포자 이동과의 상관관계를 통해 해중림초의 최적 배치를 산정하는 방법을 제시하였다. 동해는 조석차가 30 cm 이하로 미미하여 해조류 포자 이동이 파랑의 영향에 의해 지배받는 것으로 나타났으나, 조석의 영향을 강하게 받는 서해나 남해안, 그리고 내만 해역은 파랑보다는 조석 흐름의 영향이 지배적일 것으로 판단된다. 따라서 이러한 해역은 조석류와 해조류 포자 이동과의 상관관계를 밝혀야 할 것으로 판단되며, 조류와 해빈류가 복합적으로 발생되는 경우도 고려할 필요가 있다.

더불어 본 연구에서는 감태를 기준으로 연구를 수행하였으나, 향후 바다숲 조성사업의 규모화에 따라 감태뿐만 아니라, 모자반류(*Sargassum* spp.), 다시마류(*Saccharina* spp.) 등의 대형 갈조류 이외에도 도박류(*Grateloupia* spp.), 청각류(*Codium* spp.) 등 홍조류 및 녹조류의 조성도 이루어질 것이므로 이들 해조류 종류에 대한 포자의 거동 또한 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

Environmental Protection Agency (EPA) in U.S.A. 2007. The Environmental Fluid dynamic Code Theory and Computation Volume 2 : Sediment and Contaminant Transport and Fate. Tetra Tech, Inc., 96.

Kang SK. 2018. Economic Value of Marine Forests In Korea. The Fishereis Business Administration Society of Korea 49(1), 32-33 (In Korean).

Kawasaki Y. 1995. A Technique on the Marine Forest Enhancement of *Eclonia cava* and *Eisenia Bicycilis* Community. Industrial Technology Association Chapter 4, 23 (In Japanese).

Kim YK, Lee HK, Kang YH, Choi OI and Kim JK. 2019. The Characteristics of Spore Diffusion for *Ecklonia cava* around Jeju Marine Forest Reefs. Journal of Korean Society Marine Environmental Energy 22(1), 8-17. https://doi.org/10.7846/JKKOSMEE.2019.22.1.8.

Korea Fisheries Resources Agency (FIRA). 2012. Algal spore movement simulation on the marine forest project at the East Sea. FIRA Research Report, 218.

Korea Fisheries Resources Agency (FIRA). 2019. White paper on the marine forest project in Korea. FIRA General Report, 3~5 (In Korean).

Korea Fisheries Resources Agency (FIRA). 2020. Business report at the beginning of the year. FIRA Business Report, 5~6 (In Korean).

Ministry of Ocean and Fisheries (MOF). 2020. Management regulation on artificial reefs installation. Instructions by Minister of Ocean and Fisheries, article 20. (In Korean).

National Fisheries Research and Development Institution (NFRDI). 2010. annual report on the marine forest project (2010). NFRDI Business Report, 652 (In Korean).

Richard A and Erick R. 2002. User's Manual for the Simulating Waves Nearshore Model (SWAN). Report of Naval Research Laboratory in U.S.A., 161.

Yanase R, Sasaki T and Aoyama M. 1983. A Study on the Expansion of *Eclonia Cava* Community, Izu branch of Shizuoka Fisheries Examination Station, 23 (In Japanese).