

GOCI-II를 이용한 팽생이모자반 모니터링 시스템 설계 : 황해 해역 중심

Design of Monitoring System for Floating Golden Algae Using GOCI-II : Focusing on the Yellow Sea

박영빈* · 김주은** · 복진광*** · 김정현**** · 이수호***** · 김태호*****

Yeongbin Park · Ju-eun Kim · Jin-kwang Bouk · Jung-hyun Kim · Su-Ho Lee · Tae-Ho Kim

요 약 부유성 해조류, 해양쓰레기 등 부유성 물질은 해양항해안전, 해양환경오염과 같이 우리의 생활과 직접적으로 연관되는 매우 중요한 모니터링 대상이다. 팽생이모자반은 매년 1월~6월 기간동안 주로 우리나라 제주도 및 남서해안으로 유입되어 해상양식시설, 해양경관 훼손 및 선박 기관 고장 등 다양한 문제점을 야기한다. 해양수산부는 국립해양조사원, 해양경찰청, 국립수산물과학원, 지방자치단체 등으로 구성된 비상대응체제를 통해 피해 최소를 위한 임무를 수행하며, 광학 계열의 센서가 탑재된 인공위성 영상을 이용하여 동중국해 및 황해 전역을 대상으로 모니터링을 수행한다. 하지만, 광학 센서의 경우 기상조건에 따라 영상 내 결측 영역이 발생하며, 팽생이모자반 발생 해역 주변으로 장기간 구름이 존재하는 경우 우리나라 연안해역으로 접근하는 이동경로 모니터링의 어려움이 발생한다. 본 연구에서는 GOCI-II 영상과 해류 및 바람 예측 모델을 이용하여 팽생이모자반의 분포 현황을 파악하고, 이동경로를 예측하는 시스템을 설계하였다. 팽생이모자반의 현황 및 이동경로 예측모델의 초기조건은 국립해양조사원 국가해양위성센터에서 생산하는 시간별 분포 자료를 사용하였으며, 외력으로 동일 기관의 해수 유동 및 바람 예측자료를 사용하였다. 이후 DBSCAN 알고리즘을 사용하여 GOCI-II 영상에서 탐지된 팽생이모자반과 이동예측 결과의 공간 일치성을 정량적으로 평가하였으며, 가장 높은 정확도를 나타낸 이동예측에 적용된 유속(C)과 풍속(W) 할증 계수를 정의($C=0.820$, $W=0.011$)하였다. 이동예측 모델의 성능 검증을 위하여 표류부이의 이동경로와 정성적 비교를 수행하였으며, 예측 시간이 증가하면서 위치 편차가 증가하는 경향성을 보였지만 이동방향 및 경향성은 매우 유사함을 확인하였다. 본 연구의 결과를 이용하여 우리나라 신안군 연안에 접근하는 팽생이모자반의 대응체계 가동 시점의 공간적 기준 활용안을 제시하였으며, 이는 향후 팽생이모자반 대응계획 수립에 유용하게 활용될 것으로 기대된다.

키워드 팽생이모자반, 이동경로예측, 정지레도해색탐체제, 부유성 해조류, 표류부이

Abstract Floating targets such as green and golden algae and marine debris are essential for monitoring materials directly related to our lives, such as marine navigation safety and environmental pollution. Golden algae mainly flowed into Jeju Island and Southwestern coastal waters in Korea from January to June every year, causing various problems such as marine aquaculture facilities, damage to marine landscapes, and failure of ship engines. The Ministry of Maritime Affairs and Fisheries carries out missions to minimize damage

Received: 2023.06.09, Revised: 2023.06.28, Accepted: 2023.06.28

* ㈜유에스티21 원격탐사팀(Department of Remote Sensing, Underwater Survey Technology 21 Corp., Incheon, Republic of Korea, ybpark@ust21.co.kr) (주저자)

** 국립해양조사원 국가해양위성센터(National Ocean Satellite Center, Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, Busan, Republic of Korea, siahina@korea.kr)

*** 국립해양조사원 국가해양위성센터(National Ocean Satellite Center, Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, Busan, Republic of Korea, jinkwang@korea.kr)

**** 국립해양조사원 국가해양위성센터(National Ocean Satellite Center, Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, Busan, Republic of Korea, kahalla@korea.kr)

***** 국립해양조사원 해양관측과(Oceanographic Observation Division, Korea Hydrographic and Oceanographic Agency, Busan, Republic of Korea, hopal96@korea.kr)

***** ㈜유에스티21 원격탐사팀 부장(Department of Remote Sensing, Underwater Survey Technology 21 Corp., Incheon, Republic of Korea, thkim@ust21.co.kr) (교신저자)

through an emergency response system composed of the National Maritime Survey Service, the Korea Coast Guard, the National Institute of Fisheries Science, and local governments. However, in the case of optical sensors, missing regions occur in the image depending on weather conditions. Additionally, when clouds exist for a long time around the sea area where located the golden algae, difficulties arise in monitoring the movement path approaching the coastal waters of Korea. In this study, a system was designed to identify the distribution status of the golden algae and predict its migration path using GOCI-II images and ocean current and wind prediction models. For the initial conditions of the current status and movement route prediction model of the golden algae, the hourly distribution data produced by the National Ocean Satellite Center of the Korea Hydrographic and Oceanographic Agency was used, and the flow field and wind prediction data of the same institution were used as an external force. Afterward, the DBSCAN algorithm was used to quantitatively evaluate the spatial consistency of the golden algae detected in the GOCI-II image and the movement prediction result, and the flow velocity(C) and wind speed(W) augmentation coefficient applied to the movement prediction with the highest accuracy were defined($C=0.820$, $W=0.011$). The qualitative comparison was performed with the movement path of the floating buoy connected to the golden algae, and the position deviation tended to increase as the prediction time increased. However, the movement direction and tendency were very similar. Using the results of this study, a plan for utilizing the spatial criteria of the operation time of the response system for the golden algae approaching the coast of Shinan-gun, Korea, was proposed, which is expected to be usefully used in establishing a response plan for the floating golden algae in the future.

Key words Golden Algae, Movement Prediction, GOCI-II, Floating Algae, Drift Buoy

1. 서론

괘쟁이모자반(*Sargassum horneri*)은 일본과 중국, 한반도 연안에서 자생하는 대형 갈조류로 조간대 하부에서 암반에 부착해 성장한다. 성체를 이루게 되면 전체 길이가 3-5 m에 이르게 되며(이승용, 2018), 겨울에서 봄까지 강한 파도나 해류에 의해 부착부가 암반에서 탈락된다. 탈락 이후 기낭에 의한 부력으로 표류하게 되며 해류와 해상풍 등에 의해 이동한다(Yoshida, 1963; Komatsu et al., 2007). 탈락된 괘쟁이모자반 대부분은 자연 소멸하지만, 일부는 해류로 인해 이동하여 다른 연안해역에 대량으로 유입되는 경우 해상양식 시설, 해양경관 훼손, 선박 기관 고장 등 다양한 피해를 야기한다.

본래 괘쟁이모자반은 한반도 연안에 자생하는 종으로 2015년 이전까지 피해 사례는 거의 없었다. 그러나 2011년부터 5년간 중국 저장성에서 시행한 해양경제 혁신구역 프로젝트를 추진하며 괘쟁이모자반을 대량으로 이식해 해양환경 복원사업을 진행하였고, 이후 2015년부터 현재까지 동중국해에 분포하는 괘쟁이모자반 유조가 쿠로시오 해류와 대마난류를 통해 한반도 연안으로 유입되고 있으며 이로 인한 피해도 발생하고 있다. 이에 대응방안으로 해양수산부는 2022년까지 괘쟁이모자반 조기경보체계를 구축할 계획을 발표하였으며, 이를 기반으로 2024년까지 기존 예찰 정보와 수거 및 처리 현황 데이터베이스화, 실시간 자료 전송체계를 갖춘 통합정보 플랫폼 구축을 추진할 예정이다.

한국해양과학기술원 해양위성센터에서는 정지궤도

해색위성 GOCI(Geostationary Ocean Color Imager)의 시간별 연속된 영상을 이용해 표류하는 괘쟁이모자반 모니터링의 가능성을 제시하였다(이승용, 2018; Kwon et al., 2019). 또한, 위성영상을 이용한 괘쟁이모자반 탐지 결과와 ROMS(Regional Ocean Modeling System), 라그랑지안 모델 등을 이용하여 이동예측 결과 생성 및 정확도 향상 연구를 수행하였다(Kwon et al., 2019; Choi et al., 2022). 황해 해역의 경우, 다양한 조건에서의 입자추적모델 결과를 이용하여 풍속 항증 계수(wind drift factor)가 1%일 때 관측자료와 예측자료간의 거리 차가 가장 적은 결과를 보였다(Kwon et al., 2019; Choi et al., 2022).

GOCI-II(Geostationary Ocean Color Imager-2)는 2021년 2월부터 LIB 자료를 제공하고 있으며, 국립해양조사원 국가해양위성센터에서는 한국해양과학기술원 해양위성센터의 개선된 공간이상반사도 기반 괘쟁이모자반 탐지 알고리즘(박영제 외, 2021)의 기술이전을 통해 황해 영역의 괘쟁이모자반 탐지 결과를 서비스하고 있다. 공간해상도는 GOCI에 비해서 250 m로 향상되었고 시간해상도는 동일하지만, 일일 촬영 횟수가 10회로 증가하였다. 이러한 시공간 해상도의 변화는 이동예측의 입력자료로 사용되는 입자 간격에 영향을 주며, 모니터링 시스템 설계를 위해서 사용하는 이동예측 모델 성능의 외력조건 개선 및 정량적인 재평가가 필요하다. 하지만, 국내 황해 해역을 대상으로 GOCI-II 영상에서 탐지된 괘쟁이모자반을 이용하여 이동예측 모델의 정확성을 평가한 사례는 없다.

본 연구에서는 GOCI-II를 통해 관측한 괘쟁이모자

반 위치정보를 사용해 분포 현황을 파악하고, 이를 초기조건으로 사용한 이동예측 시스템을 설계하였다. 총 8개 기간의 자료를 이용하여 이동예측 외력 계수를 정의하였으며, 팽생이모자반에 연결한 표류부이 위치정보를 이용하여 성능을 검증하였다. 또한, 설계된 시스템을 활용하여 대응체계 가동 시점의 공간적 기준 활용방안을 제시하였다.

2. 연구지역 및 방법

본 연구 지역은 대규모 팽생이모자반 발생 해역인 동중국해의 중국 연안과 피해발생 해역인 우리나라의 황해 연안을 포함하도록 설정하였다. 팽생이모자반의 분포 현황은 한국해양과학기술원 해양위성센터에서 개발한 알고리즘(박영제 외, 2021)을 기반으로 국립해양조사원 국가해양위성센터에서 서비스하는 시간별 탐지 결과를 사용하였으며, 이동예측에 사용되는 외력은 국립해양조사원에서 운영하는 황동중국해 수치모델(YES3K) 결과를 이용하였다.

2.1 연구 지역

기존 연구에서는 우리나라에 대량으로 유입되는 팽생이모자반의 주요 발생지역을 중국 장쑤성 북부지역으로 추정하였다(Zhuang et al., 2020). 팽생이모자반은 성체 이후 암반에서 탈락하여 부유하게 되며, 쿠로시오 또는 대마난류를 통해 우리나라 황해 또는 남해 해역으로 유입된다(이승용, 2018). 또한, 최근 일부 연구에서는 겨울철에 유입되는 팽생이모자반의 발생지역을 발해만 지역으로 추정하였다(손영백 외, 2021). 따라서, 본 연구에서는 우리나라 연안해역으로 유입되어 피해를 발생하는 팽생이모자반의 성장, 탈락, 이동이 주로 발생하는 해역을 촬영하는 GOCI-II 슬롯의 영역을 연구지역으로 선정하였다(Fig. 1).

2.2 GOCI-II 기반 팽생이모자반 탐지결과

팽생이모자반 자료는 국립해양조사원에서 제공하는 시간별 팽생이모자반 공간분포 자료를 사용하였다(Fig. 2). 이 산출물은 한국해양과학기술원 해양위성센터에서 생산하는 부유조류(Lv. 2) 산출물에서 오탐지를 제거한 자료이다. 부유조류 산출물은 GOCI-II 복사휘도(L1B) 영상자료를 반사도 변환, 분자 산란 보정 등의 전처리를 거친 후, 한국해양과학기술원에서 개발한 공간 이상도 기반 부유조류 탐지 기술을 이용하여 자동으로 픽셀별 부유조류 농도값을 산출한다(박영제 외, 2021). 산출된 결과물은 자동 오탐지 제거 과정을 통해 반복적으로 발생하는 이상결과 픽셀수를 최소화

하며, 최종적으로 전문가의 육안판독을 통해 결정된다(국립해양조사원, 2022). 이동예측 모델에 사용되는 외력의 최적 할증 계수 산출을 위해 1-5일 이내 유사한 해역에 구름이 없으며, 팽생이모자반 분포 형태가 비슷한 총 10일의 일자를 선택하여 이동예측 모델 입력 자료 데이터셋을 구성하였다(Fig. 2, Table 1).

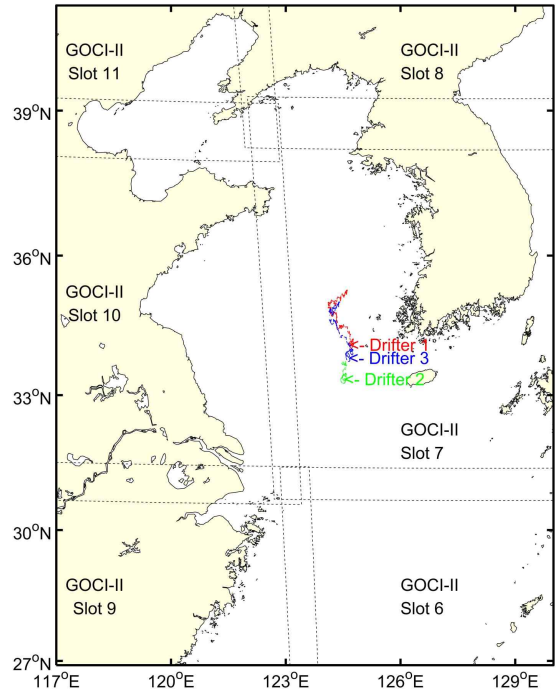


Figure 1. Map of study area and observation area of GOCI-II for each slot. Dot-lines represent the outline of each slot of GOCI-II image. Red, green and blue lines indicate the trajectories of drift buoys, respectively

Table 1. Sargassum detection results that used in this study. A total of 10 images and 46,095 detected sargassum particles were used.

Obs. time (UTC)	detected pixel number
2021. 04. 17. 02:00	3,579
2021. 04. 18. 02:00	1,374
2021. 04. 19. 02:00	3,978
2022. 03. 29. 02:00	1,571
2022. 04. 03. 02:00	715
2022. 04. 17. 02:00	5,636
2022. 04. 19. 02:00	8,452
2022. 04. 20. 02:00	6,188
2022. 05. 03. 02:00	12,194
2022. 05. 04. 02:00	2,408

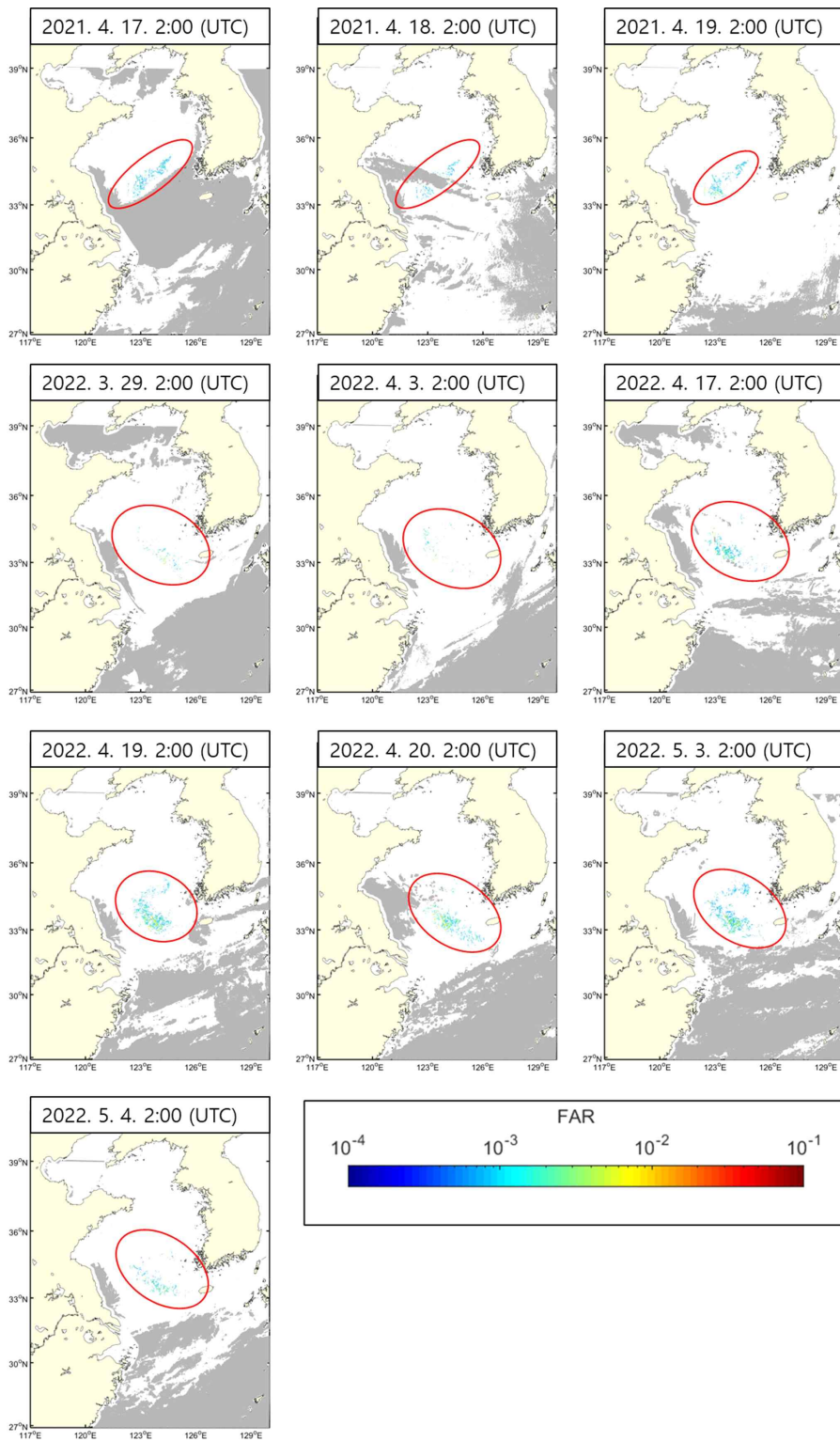


Figure 2. Sargassum detection data used to predict sargassum movement path (2021. 4. 17. ~ 2022. 5. 4.). Red circles in each detection result indicate the virtual particles of sargassum

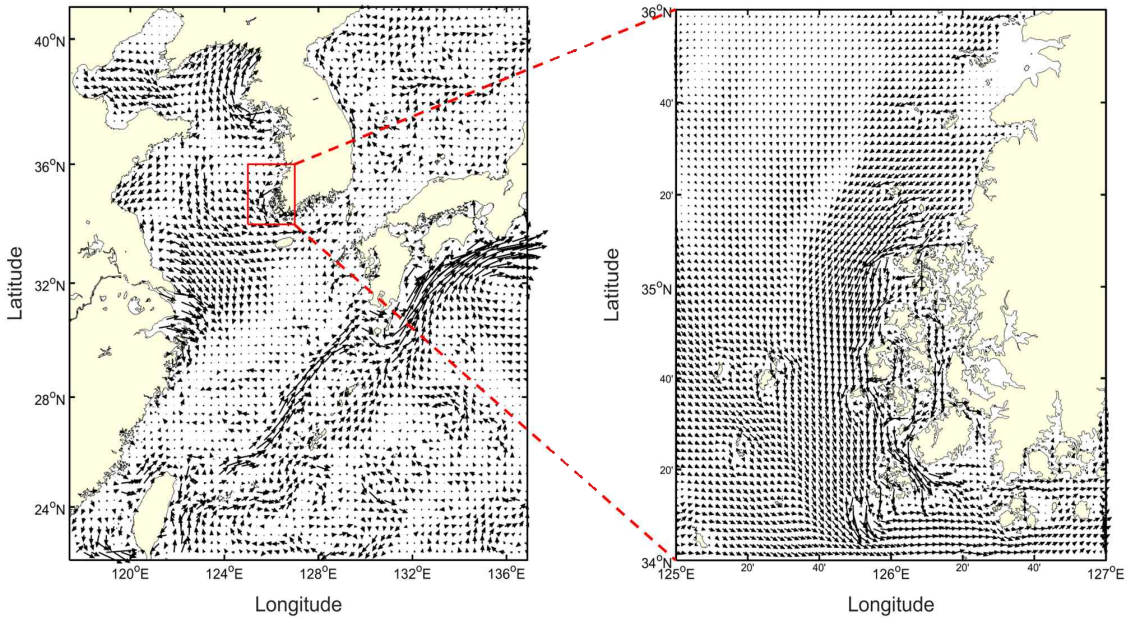


Figure 3. Total area of numerical models and example of sea-water current from ROMS model of the Korea Hydrographic and Oceanographic Agency. The black arrows represent the sea surface current vector. The red box shows the surface current data around the south-west coastal water of the Korea Peninsula

2.3 이동예측 외력 및 라그랑지안 모델

유동장 입력자료와 해상풍 입력자료로 국립해양조사원의 근해 예측 시스템인 황동중국해 예측모델 결과의 해수 유동 예측자료와 해상풍 예측자료를 사용하였다. 황동중국해 예측모델은 ROMS 기반의 수치모델이며, 해상풍 예측 모델은 Weather Research and Forecast(WRF) 기반의 수치모델이다. 두 모델의 격자 영역은 위도 22.0°N~41.0°N, 경도 117.4°E~136.9°E로 동일하며, 수평해상도는 동-서 방향, 남-북 방향 모두 3km 이다(Fig. 3).

최적의 외력 할증 계수 산출을 위한 이동예측 모델 테스트는 최대 5일 이내의 간격을 갖는 자료를 쌍으로 하여 이동예측 입력자료와 결과 정확도 평가 자료로 사용하였으며, 총 8쌍의 이동예측 모델 테스트 데이터셋을 구성하였다(Table 2). Case 1은 2021년 4월 17일의 자료를 이용해 24시간 후인 4월 18일의 팽생이모자반 분포를 예측하였고, Case 2는 2021년 4월 17일의 자료를 이용해 48시간 후인 4월 19일의 팽생이모자반 분포를 예측하였으며, Case 3은 2021년 4월 18일의 자료를 이용해 24시간 후인 4월 19일의 팽생이모자반 분포를 예측하였다. Case 4는 2022년 3월 29일의 자료를 이용해 120시간 후인 2022년 4월 3일의 분포를 예측하였다. Case 5는 2022년 4월 17일 자료를 이용해 48시간 후인 2022년 4월 19일의 분포를, Case 6은 2022

년 4월 17일 자료를 이용해 72시간 후인 2022년 4월 20일의 분포를 예측하였으며, Case 7은 2022년 4월 19일의 자료를 이용해 24시간 후인 2022년 4월 20일의 분포를 예측하였다. 마지막으로 Case 8은 2022년 5월 3일의 자료를 이용해 24시간 후인 2022년 5월 4일의 분포를 예측하였다.

Table 2. Initial and validation time of movement prediction model for each case. The validation time means the GOCI-II image acquisition time.

Cases	initial time (UTC)	validation time (UTC)
Case 1	2021. 04. 17. 02:00	2021. 04. 18. 02:00
Case 2	2021. 04. 17. 02:00	2021. 04. 19. 02:00
Case 3	2021. 04. 18. 02:00	2021. 04. 19. 02:00
Case 4	2022. 03. 29. 02:00	2022. 04. 03. 02:00
Case 5	2022. 04. 17. 02:00	2022. 04. 19. 02:00
Case 6	2022. 04. 17. 02:00	2022. 04. 20. 02:00
Case 7	2022. 04. 19. 02:00	2022. 04. 20. 02:00
Case 8	2022. 05. 03. 02:00	2022. 05. 04. 02:00

팽생이모자반 초기위치(X_0, Y_0)에서 표층해류(u_c, v_c , m/s)와 풍속(u_w, v_w , m/s)에 의해 시간(t)당 이동하는 거리를 계산했다 (식 1).

$$\begin{pmatrix} X_{t+1} \\ Y_{t+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X_t + (Cu_c + Wu_w) dt \\ Y_t + (Cv_c + Wv_w) dt \end{pmatrix} \quad (1)$$

유속 할증 계수(C)는 0.700-1.000범위에서 0.020간격으로 16개, 풍속 할증 계수(W)는 0.000-0.300 범위에서 0.001 간격으로 31개의 경우를 시험하여 총 496개 경우의 이동예측을 진행하였으며, GOCI-II에서 탐지된 팽생이모자반 입자의 위치에 예측모델자료인 외력을 적용하는 경우 가장 가까운 모델 격자의 자료를 사용하였다. 예측 모델 자료는 1시간 간격으로 구성되어 있으며, 각 이동예측 결과의 정확성을 평가하여 비교하였다.

2.4 팽생이모자반 이동예측 정확성 평가

팽생이모자반 탐지 결과는 각 픽셀 면적(250 m × 250 m) 내에 팽생이모자반이 차지하는 면적의 비율로 나타낸다.

점 (point) 형태의 탐지결과 특성상, 연속적인 탐지 결과를 확인하더라도 특정 픽셀의 팽생이모자반이 다음 시간에는 어디로 이동했는지 확인하는 것은 어렵다. 즉, 점-점 기반 이동예측 성능 확인은 어려움이 따른다. 따라서 본 연구에서 이동예측 성능을 확인하기 위해 사용한 방법은 다수의 점을 군집화하는 클러스터링 기법 중 DBSCAN (Density - based spatial clustering of applications with noise) 기법을 사용했으며, 군집화된 점을 모두 포함하도록 최외곽 폴리곤을 생성하였다.

이 기법들을 통해 점 기반 이동예측 검증이 아닌 면 기반 이동예측 정확도 평가 방법 적용이 가능하며, 넓은 영역에 군집을 이루며 산발적으로 분포하는 팽생이모자반에 적절한 평가방법 이라고 할 수 있다.

2.4.1 DBSCAN

점 형태의 탐지 결과 및 이동예측 결과를 군집화하기 위하여 DBSCAN를 사용했다. DBSCAN은 공간 및 비공간적 고차원 데이터베이스의 noise가 있을 때 임의의 모양의 데이터를 군집화하도록 설계되었다. DBSCAN 알고리즘은 클러스터의 각 객체에 대해 주어진 반지름(Eps) 이내에 최소 개체 수(minPt) 이상의 이웃을 포함할때 하나의 군집으로 정의한다(Khan et al., 2014).

본 연구에서 사용한 minPt는 탐지된 픽셀 수 N 을 이용하여 다음과 같이 정의하였다.

$$\text{minPt} = \sqrt{N} \quad (2)$$

Eps는 각 탐지 결과를 이용하여 Elbow method를 적용하여 결정하였다. Elbow method는 모든 점에 대해 K 개의 최근접 이웃의 거리를 오름차순으로 도시한 이후, Elbow 형태처럼 꺾이는 지점의 거리를 사용하는

방법이다(Antunes et al., 2018). 여기서 K 는 앞에서 계산한 minPt를 사용하였다(Fig. 4(a)).

이동예측 결과에 대해 DBSCAN을 적용할 때에는 예측 일자의 관측자료를 기반으로 계산된 minPt를 사용하였으며, K 는 이동예측에 사용한 자료의 픽셀 수를 사용하였다(Fig. 4(b)).

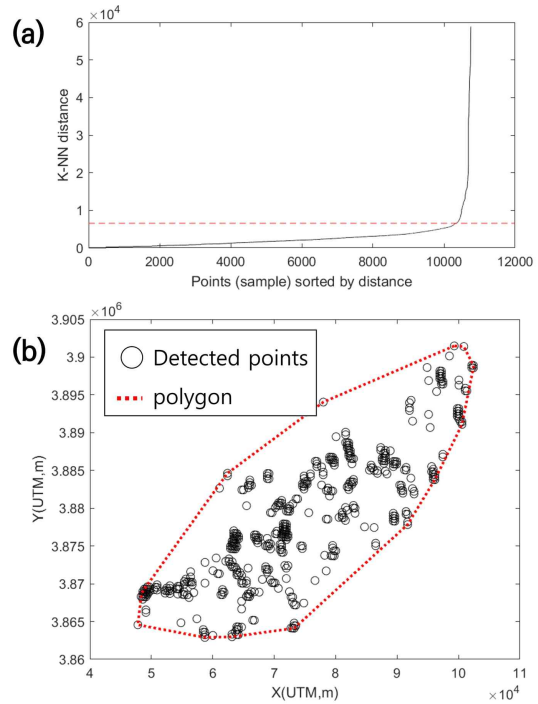


Figure 4. Example of clustering and polygon formation. (a) example of Elbow method using K-NN distance. Red dashed line is indicating Eps that measured by Elbow method. (b) example of polygon that contains all of same cluster

2.4.2 팽생이모자반 이동예측 성능 지표

팽생이모자반 이동예측 성능 확인에는 이동예측 결과와 실제 관측 결과의 폴리곤을 이용하였으며, TP, FP, FN, TN 4종류의 조합으로 나눌 수 있다(Table 3).

Table 3. Confusion matrix for quantitative evaluation between predicted and observed sargassum data.

		Observation	
		YES	NO
Prediction	YES	True Positive (TP)	False Positive(FP)
	NO	False Negative(FN)	True Negative(TN)

TP는 이동예측한 위치에 팽생이모자반이 관측된 경우이고, FP는 이동예측한 위치에 팽생이모자반이 존재하지 않는 경우, FN은 팽생이모자반도 이동했을 것으로 예상했으나 발견되지 않은 경우를 말하며, TN은 이동하지 않았을 것으로 예측한 위치에서 팽생이모자반이 발견되지 않은 경우이다. 본 연구에서는 이동예측 결과와 관측 결과를 이용해 생성한 폴리곤의 면적을 이용하여 Fig. 5와 같이 정확도를 평가하였다.

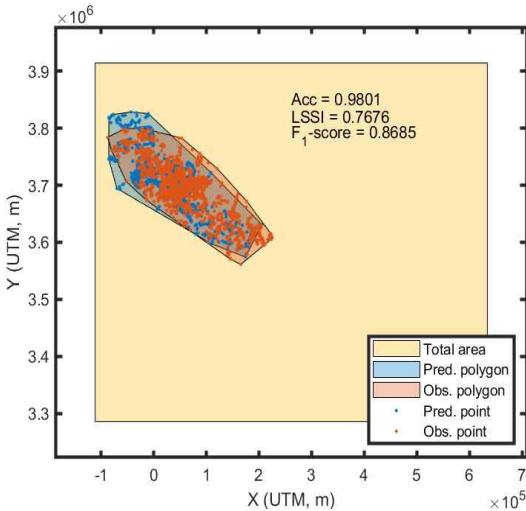


Figure 5. Example of comparison result between prediction and validation. The red and blue dots represent observed and predicted sargassum particles, respectively

파란색 점과 폴리곤은 각각 이동예측한 위치의 지점과 DBSCAN을 이용해 생성한 폴리곤이며, 붉은색 점과 폴리곤은 각각 이동예측한 일시에 관측되어 평가자료로 활용한 팽생이모자반의 위치 지점과 폴리곤이다. 정확도(accuracy, ACC), Lee Sallee Shape Index Method (LSSI), F₁-score 를 이용해 이동예측 성능을 정량화했다.

ACC는 이동예측이 적절한 경우와 그렇지 못한 경우에 대한 비율이다. 0에서 1의 값을 가지며 완전한 값은 1이다. TN영역이 팽생이모자반 관측/예측 영역에 비해 넓은 영역을 차지하여 높은 ACC를 보일 수밖에 없기 때문에 팽생이모자반 이동예측 성능을 평가하는데 어려움이 있다(Fig. 5).

$$ACC = \frac{TP + TN}{TP + FP + FN + TN} \quad (3)$$

LSSI는 비교대상간의 교차 면적을 계산하여 공간적

인 위치 정확도를 측정하는 것으로, 본 연구에 적용하면 관측된 팽생이모자반 폴리곤과 이동예측한 팽생이모자반 폴리곤의 교집합 영역을 합집합 영역으로 나누어 계산한다. LSSI는 0과 1사이의 값을 가지며 1에 가까울수록 두 자료간의 공간적 위치 일치도가 높고, 0에 가까울수록 낮은 것을 의미한다. LSSI는 두 자료의 공간적인 위치 부합정도를 참고하기에 효율적인 지수이다(이진영 et al., 2019).

$$LSSI = \frac{TP}{TP + FP + FN} \quad (4)$$

정밀도(precision, Prec)는 이동예측 영역에서 실제로 팽생이모자반이 탐지된 비율로, FP의 비율을 낮춰야 하는 모델의 성능을 확인할 때 사용하는 지표이다. Prec의 값은 0과 1사이의 값을 가지며 1에 가까울수록 모델의 성능이 뛰어나며, 0에 가까울수록 예측한 위치에 팽생이모자반이 위치하지 않음을 나타낸다.

$$Prec = \frac{TP}{TP + FP} \quad (5)$$

재현율(Recall)은 팽생이모자반 관측영역에서 이동예측 모델이 제대로 예측한 영역의 비율로, FN의 비율을 낮춰야 하는 모델의 성능을 확인하기 위한 지표이다. Recall은 0과 1사이의 값을 가지며 1에 가까울수록 관측영역이 예측영역에 잘 포함됨을 나타낸다.

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (6)$$

Prec와 Recall은 둘 중 하나의 값만으로 모델의 성능을 확인하기에는 적절하지 않은 면이 있다. 예를 들면 Prec의 경우 예측 영역이 매우 작지만 관측영역에 포함될 경우 1의 값을 갖지만 실제로는 과소 예측한 경우가 될 수 있으며, Recall의 경우 예측 영역이 전체 영역에 해당할 경우 1의 값을 갖지만 실제 모델의 성능은 좋지 않음을 예상할 수 있다. 따라서 모델의 성능 평가에는 일반적으로 F₁-score를 사용한다. F₁-score는 Prec와 Recall의 조화평균으로, 0과 1사이의 값을 가지며 Prec와 Recall 중 한 값이 0에 가까우면 F₁-score의 값이 0에 가까워지며, 두 값이 모두 높을 때 1에 가까운 값을 나타낸다.

$$F_1 - score = 2 \frac{Prec + Recall}{Prec \times Recall} \quad (7)$$

2.5 표류부이 자료

2022년 5월 16일과 2022년 5월 31일 총 3개의 표류 부이를 해수면에서 부유하는 팽생이모자반에 부착하여 계류하였다(Fig. 6, Table 4).



Figure 6. Attachment example between sargassum and drifters. The top picture shows connecting the sargassum to the buoy, and the bottom image indicates the linked sample floating in the ocean

5월 31일에 계류한 부이 중 1개는 팽생이모자반과 연결하였으며, 1개는 주변에 독립적으로 계류하였다. 1번 부이는 2022년 5월 20일부터 2022년 6월 20일 (총 31일), 2번 부이는 2022년 5월 31일부터 2022년 6월 8일 (총 8일), 3번 부이는 2022년 5월 31일부터 2022년 6월 20일 (총 20일) 동안 위치정보 수집이 가능하였으며, 위치 이상값은 제거하였다(Fig. 1). 수집

된 위치값은 이동예측 모델의 검증 자료로 사용하였다.

3. 결과 및 토의

3.1 유속 및 풍속 할증 계수 산정

0.700-1.000 범위의 C와 0.000-0.300 범위의 W를 이용한 팽생이모자반 이동예측 정확성 평가 결과, ACC의 경우 C는 높을수록 높은 값을 보였고, W는 0.022 까지는 ACC와 양의 상관관계를, 그 이후엔 음의 상관관계를 보였다. C가 1.000, W는 0.011에서 0.922의 최댓값을 보였고, C가 0.760, W는 0.010에서 0.893의 최솟값을 보였다 (Fig. 7(a)).

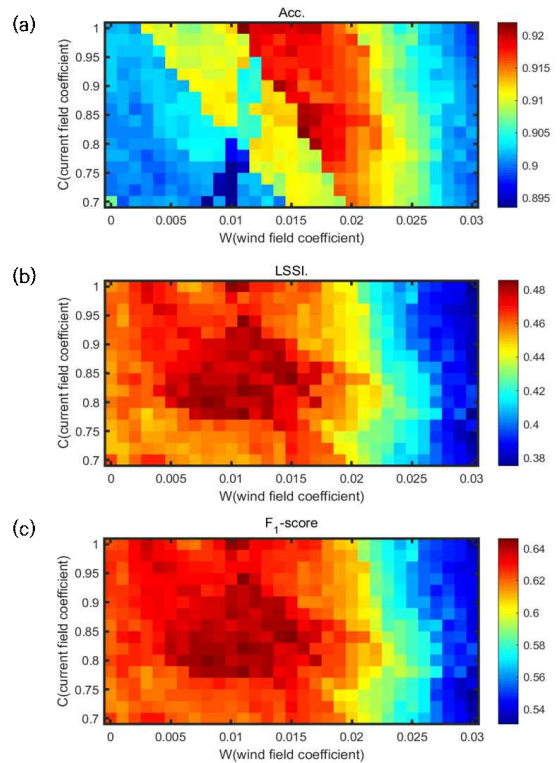


Figure 7. Performance indicator according to C and W. (a) 8 tests averaged ACC, (b) 8 tests averaged LSSI, (c) 8 tests averaged F1-score. The x- and y-axes represent the wind field and current field coefficients, respectively

Table 4. Overview of drifter buoy including deployment, data receive start and end time and logged GPS time.

Buoy No.	Deployment time	Data reception start time	Data reception end time	Counts of position data
1	2022.05.16. 09:19	2022.05.20. 12:10	2022.06.20. 23:34	1,203
3	2022.05.31. 16:40	2022.05.31. 17:01	2022.06.08. 11:49	220
2	2022.05.31. 13:29	2022.05.31. 17:57	2022.06.20. 23:46	625

LSSI와 F_1 -score의 경우 절대적인 크기 차이는 있지만 변화하는 양상은 동일한 것으로 나타났다. 두 성능 지표 모두 C의 범위가 0.7000-0.760인 영역보다 0.780-1.000인 범위에서 높게 나타났으며, W의 값이 0.020보다 높은 영역에선 점차 낮아지는 것으로 나타났다. C가 0.820, W는 0.011에서 LSSI는 0.486, F_1 -score는 0.646의 최댓값을 보였고, C가 0.740, W는 0.030에서 LSSI는 0.375, F_1 -score는 0.531의 최솟값을 보였다(Fig. 7(b, c)).

ACC의 값은 0.885~0.915의 범위로 변동폭이 매우 좁은 것으로 나타났지만, 이는 팽생이모자반 관측영역이나 예측영역에 비해 전체 영역이 넓어서 나타나는 현상으로 ACC만으로 이동예측 성능을 평가하기엔 부적절하다고 판단했다. 반면 LSSI와 F_1 -score의 경우 TN의 영향을 받지 않기 때문에 이러한 현상이 나타나

지 않았으며, 서로 다른 성능지표에서 동일한 C와 W 조건에서 최댓값을 보여 해당 계수(C=0.820, W=0.011)를 각각 최적의 유속 및 풍속 할증 계수로 정의하였다.

유동장과 해상풍의 최적 계수를 적용하여 클러스터링 및 폴리곤 생성 후 성능평가 지표를 계산한 결과를 Fig. 8에 제시하였다. 과란색 점과 폴리곤은 각각 이동예측한 위치의 지점과 DBSCAN을 이용해 생성한 폴리곤이며, 붉은색 점과 폴리곤은 각각 이동예측한 일시에 관측되어 검증자료로 활용한 팽생이모자반의 위치의 지점과 생성된 폴리곤이다. 전반적으로 팽생이모자반 이동예측 시 이동 패턴은 유사하게 나타나는 것으로 확인되지만(Fig. 8), Case 5, Case 7, Case 8 세 가지 이동예측 결과에서는 이동예측 결과와 관측 결과의 팽생이모자반 분포 패턴이 다른 것을 확인할 수 있다.

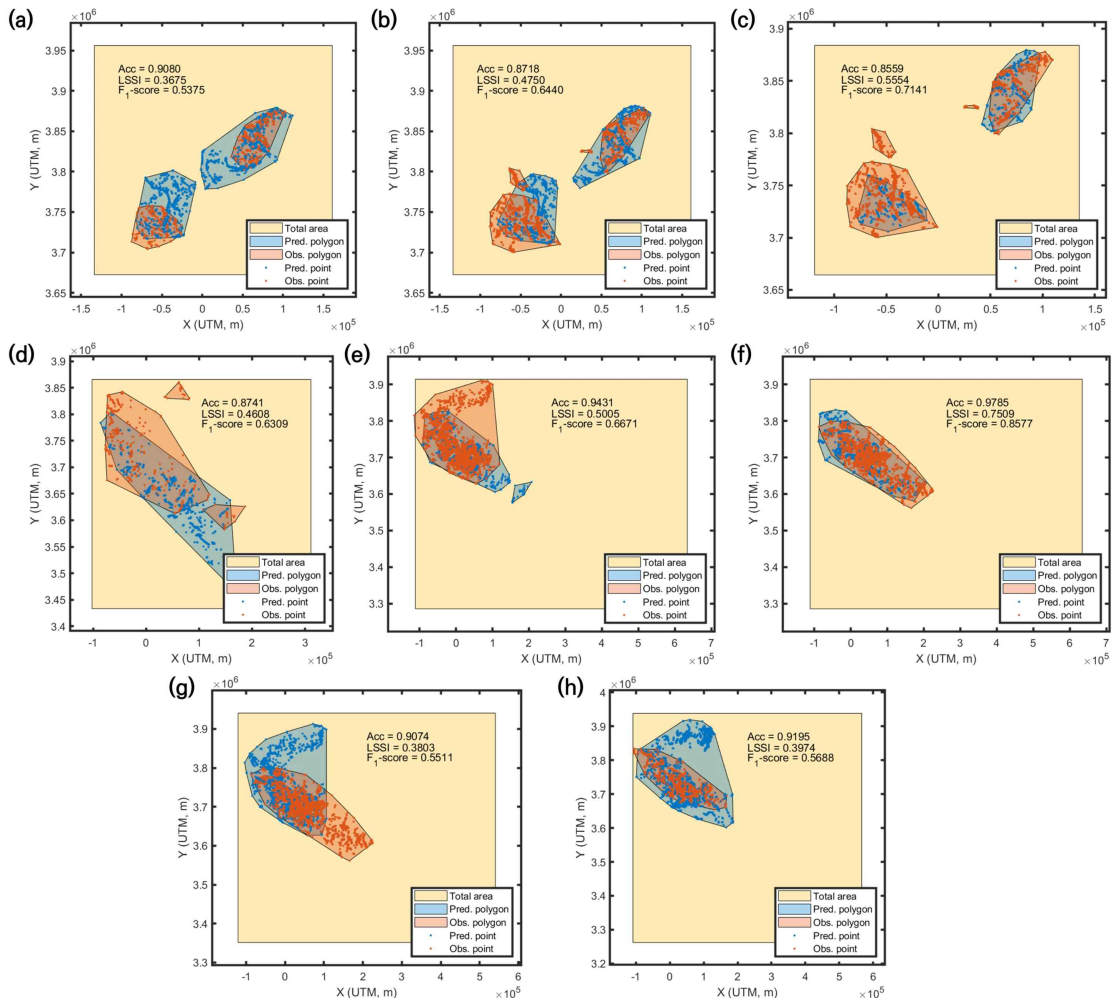


Figure 8. Performance validation result of each test case. (a) Case 1, (b) Case 2, (c) Case 3, (d) Case 4, (e) Case 5, (f) Case 6, (g) Case 7, (h) Case 8. A detailed description of each case is described in Table 2

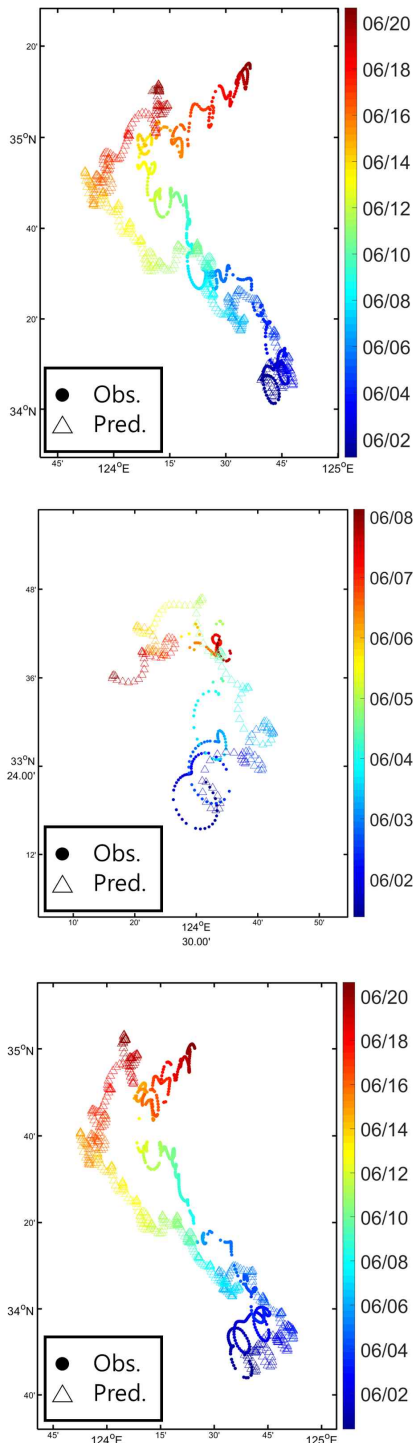


Figure 9. Trajectories observed drifters and predicted positions. (a) Drifter 1, (b) Drifter 2, (c) Drifter 3. The circle and triangle marks represent logged and predicted drifter location, respectively

해당 이동예측 시험 케이스의 시기는 2022년 4월 17일 이후의 자료에서 나타났으며, 소규모 구름 등의 영향으로 팽생이모자반이 가려져 탐지 되지 않았으며, DBSCAN을 이용한 클러스터링 적용시 설정한 minPt와 Eps에 따라 적은 양의 점이 산발적으로 존재할 시 군집을 이루지 못하고 폴리곤에서 제외되기 때문에 나타난 현상으로 확인하였다. 또한, 본 연구의 목적은 현업 활용이 가능한 팽생이모자반 모니터링 시스템 설계이므로, 운영되는 기관의 정책, 네트워크 및 보안 등 제약사항이 존재한다. 따라서, 입력자료 및 비교자료로 사용되는 GOCI-II 영상의 공간해상도 대비 저해상도의 해수유동장 및 바람 예측 모델 자료를 사용하였다. 이는 입자의 이동예측 과정에서 위치오차의 누적 현상을 야기하며, 향후 이를 개선할 수 있는 고해상도의 모델 구축 및 최적의 외력 할증 계수 산출 추가 연구가 필요할 것으로 사료된다. 또한 구름영향으로 인해 이동예측 시뮬레이션 시간이 상이한데, 이후 다양한 시간 간격의 시뮬레이션 및 정확도를 비교하는 추가적인 연구가 필요하다.

3.3 표류부이 자료 비교

2022년에 수행한 표류부이 관측자료에 팽생이모자반 이동예측 방법을 적용하여 비교하였다(Fig. 9).

이동예측 시작점은 표류부이의 좌표가 수신되기 시작한 2022년 5월 31일의 좌표를 사용하였으며, 첫 번째 부이와 세 번째 부이는 6월 20일까지 약 3주간 관측이 진행되었으며, 두 번째 부이는 9일 후인 6월 8일까지 관측이 진행되었다. 표류부이를 팽생이모자반에 고정하여 관측을 수행했기 때문에 팽생이모자반 이동예측 테스트를 통해 구한 유동장과 해상풍 최적 계수를 적용하였다. 시간이 지남에 따라 이동예측 위치와 관측위치의 오차가 커져 실제 위치와는 점점 멀어지지만, 전반적인 유동 패턴을 잘 재현하고 있음을 알 수 있다.

4. 팽생이모자반 모니터링 시스템 설계 및 활용방안

GOCI-II 영상은 한반도 주변 해역을 매일 오전 8시-오후 5시에 1시간 간격으로 연속 촬영하며, 이는 해상에서 이동하는 부유물질 모니터링에 매우 좋은 촬영 정책이다. 하지만 해상 센서 특성상 태양 및 구름 등 환경조건에 따라 연속적인 자료의 획득이 불가능한 경우가 발생하며, 대응 계획 수립 관점에서는 미래 시점의 팽생이모자반 분포 정보 획득의 한계점이 존재한다. 따라서, 본 연구에서는 GOCI-II에서 관측되는 팽

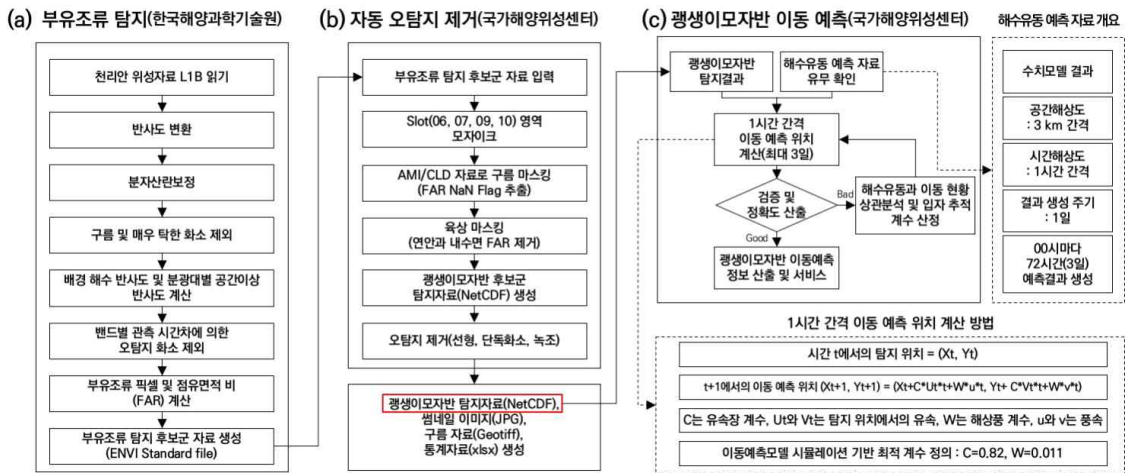


Figure 10. Flowchart of sargassum monitoring system. (a) shows the floating algae detection module which developed by KIOST. (b) and (c) indicated the flowchart of removing false-alarm and predicting sargassum trajectory module, respectively

생이모자반 현황 정보와 라그랑지안 이동예측 모델을 결합한 시스템을 설계하였다(Fig. 10).

본 시스템은 3개의 모듈로 구분된다. 첫 번째 모듈은 한국해양과학기술원 해양위성센터에서 개발한 부유조류 탐지 알고리즘으로 구성하였다. 해당 알고리즘은 팽생이모자반이 포함된 탐지결과와 위치정보를 제공하지만 노이즈 형태의 이상값과 중국 연안에서 주로

발생하는 녹조류의 부유성 해조류 탐지 결과를 포함한다(Fig. 10(a)). 오염지 자동 제거를 위해서 두 번째 모듈에서는 반복적으로 발생하는 이상값 픽셀과 산발적으로 발생하는 노이즈 형태의 오염지를 자동으로 제거하는 기능을 포함한다(국립해양조사원 2022). 또한, 통계분석을 통해 중국 연안에서 발생하는 부유성 녹조류의 탐지 결과를 자동으로 제거하는 알고리즘을 수행한

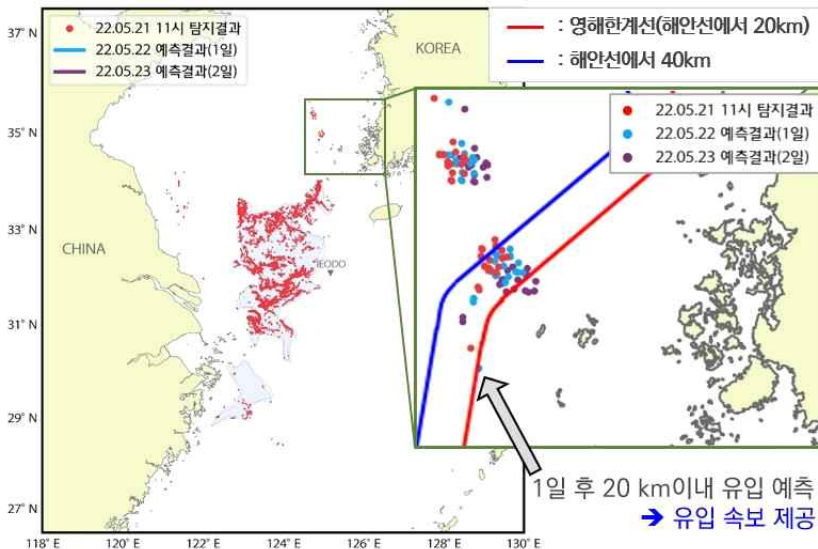


Figure 11. Example of decision making utilization. The green box represents the coastal waters of Shinan-gun, Jeollanam-do on the Korean Peninsula. The red and blue lines in the enlarged picture represent the boundaries at distances of 20 km and 40 km from the coastline, respectively. The red, blue, and purple particles indicate the prediction system input data, day one and day two prediction results, respectively

다(Fig. 10(b)). 마지막 모듈에서는 유동장과 바람의 예측 모델 자료를 외력으로 사용하는 이동예측 기능으로 구성되었다(Fig. 10(c)). 모델 초기 입력자료는 GOCI-II 영상의 팽생이모자반 탐지 결과를 사용하며, 1시간 간격으로 최대 3일 이동예측이 가능하다.

팽생이모자반이 우리나라 연안해역으로 접근하는 경우, 일정 해역 이내로 유입되면 해양수산부는 비상대응체계를 가동한다. 본 시스템의 이동예측 결과는 비상대응체계 가동 시점의 의사결정에 활용이 가능하다(Fig. 11).

예를 들어, 우리나라에 근접한 팽생이모자반의 영해 한계선(해안선으로부터 20km 떨어진 해역의 경계선) 이내 진입 시점을 예측한다. 또한, 외해 지역에 있는 소규모 도서지역을 대상으로 별도의 유입속보 제공이 가능하다. 이는 함정, 항공 등의 효율적인 예찰 계획 수립을 지원하며, 선박 등을 이용한 수거 활동의 시점 및 위치 선정에도 활용이 가능하다.

5. 결론

본 연구에서는 GOCI-II 기반의 공간분포 현황과 이동예측 모델을 활용하여 팽생이모자반 모니터링 활동을 지원하는 시스템 설계 결과를 소개한다. 국립해양조사원의 국가해양위성센터에서 서비스하는 팽생이모자반 탐지자료와 황동중국해 근해 예측시스템을 이용해 팽생이모자반의 이동예측이 가능하도록 구성하였다. 2021년 4월 ~ 2022년 5월 기간동안 유사 해역에서 구름이 없고 팽생이모자반이 존재하는 10개의 GOCI-II 영상 촬영 시간을 기준으로 이동예측의 시작 및 종료 시점으로 정의한 8개의 시물레이션을 수행하였다. 정량적인 평가 결과 가장 높은 정확성을 나타내는 최적의 외력 할증 계수($C=0.820$, $W=0.011$)를 제안하였다. 발생하는 위치오차의 주요 원인으로는 GOCI-II 위성영상의 공간해상도 및 센서의 특성으로 인한 팽생이모자반 탐지 정확성 한계와 외력으로 적용하는 예측 모델 자료의 낮은 공간해상도로 추정되었다. 본 연구 결과는 2015년 이후 동중국해 연안에서 성장하여 우리나라 서해안으로 접근하여 양식장 및 선박 운항에 피해를 입히는 팽생이모자반의 이동예측을 통해 대응체계의 효율성 향상에 기여할 것으로 기대된다. 향후 GOCI-II 영상의 공간해상도로 인해 미탐지되는 소규모 팽생이모자반에 대한 탐지 성능 향상이 요구되며, 중·고해상도 위성영상을 연계하는 융합연구를 진행할 계획이다. 또한, 운영기관의 예측 모델 고도화가 진행되는 경우 이동예측 정확성 향상이 기대된다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 ‘천리안 2B호 산출물 정확도 향상 연구(2022-0546)’ 연구사업과 국립해양조사원의 ‘2022년 해양위성정보 종합분석 및 활용지원’ 용역사업의 지원을 받아 수행하였습니다.

참고문헌

1. 국립해양조사원 (2022). 2022 해양위성정보 종합분석 및 활용 지원. 국립해양조사원
2. 박영제, 성서연, 한희정, 박명숙, 이순주, 양현, 이희일, 노재훈, 유주형, 윤석, 안재현, 김성, 김충근, 문정언, 배상수, 안재현, 안기범, 김광석, 김동희, 금인희, 이선주, 한태현, 양신일, 김재림, 최혜민, 김계림, 김지희, 최우창, 이은경, 김민규, 최혜연, 허재무, 김민상, 오건, 조성익. 2021. 해양탐재체 통합자료처리시스템 개발 최종보고서.
3. 손영백, 박상울, 김장균, 이혁제, 김태훈. (2021, October). 위성-모델 활용 외래기원 팽생이모자반의 새로운 기원지 추적 연구. In 제 35 회 한국조류학회 학술발표대회 (pp. 14-14). 한국조류학회.
4. 이승용, “입자추적실험을 통한 제주 근해 팽생이모자반 유입에 영향을 끼치는 요인 분석”, 제주대학교, 석사논문
5. 이진영, 김동균, 박경운, 김태웅. “정량적 평가 지표를 활용한 호우피해 예측지도의 정확도 판단기준 설정.” 대한토목학회논문집 39.3 (2019): 381-389.
6. Antunes, M., Gomes, D., and Aguiar, R. L., 2018. Knee/elbow estimation based on first derivative threshold. In 2018 IEEE Fourth International Conference on Big Data Computing Service and Applications (BigDataService) pp. 237-240., IEEE (doi: 10.1109/BigDataService.2018.00042).
7. Choi, B. J., Kwon, K., Kim, K. Y and Kim, K., 2022. Tracking the drifting of pelagic Sargassum rafts in the East China Sea and Yellow Sea using a coastal ocean modeling system. In 8th International Coordination Meeting of the Coastal and Shelf Seas Task Team (COSS-TT). Ocean Predict.
8. Khan, K., Rehman, S. U., Aziz, K., Fong, S. and Sarasvady, S., 2014. DBSCAN: Past, present and future. The Fifth International Conference on the

- Applications of Digital Information and Web Technologies, (ICADIWT 2014), pp. 232-238, (doi: 10.1109/ICADIWT.2014.6814687).
9. Komatsu, T., Tatsukawa, K., Filippi, JB., Sagawa, T., Matsunaga, D., Mikami, A., Ishida, K., Ajisaka, T., Tanaka, K., Aoki, M., Wang, WD., Liu, HF., Zhang, SD., Zhou, MD. and Sugimoto, T. 2007. Distribution of drifting seaweeds in eastern East China Sea. *J Mar Syst.* 67:245-252 (doi:10.1016/j.jmarsys.2006.05.018).
 10. Kwon, K., Choi, B. J., Kim, K. Y., Kim, K., Kwon, K., Choi, B. J., ... and Kim, K., 2019. Tracing the trajectory of pelagic Sargassum using satellite monitoring and Lagrangian transport simulations in the East China Sea and Yellow Sea. *Algae*, 34(4), 315-326 (doi:10.4490/algae.2019.34.12.11).
 11. Yoshida, T., 1963. Studies on the distribution and drift of the floating seaweed. *Bull Tohoku Reg Fish Res Lab.* 23:141-186 (in Japanese with English abstract).
 12. Zhuang, M., Liu, J., Ding, X., He, J., Zhao, S., Wu, L., ... and He, P., 2021. Sargassum blooms in the East China Sea and Yellow Sea: formation and management. *Marine Pollution Bulletin*, 162, 111845 (doi:10.1016/j.marpolbul.2020.111845).

