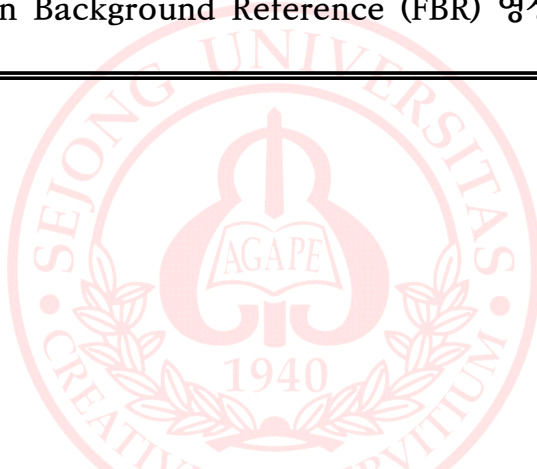


---

# 종합설계 결과 보고서

항만 내 이동 물체 모니터링을 위한  
Frozen Background Reference (FBR) 영상 개선

---



세종대학교 에너지자원공학과\*  
세종대학교 지구자원시스템공학과\*\*

이승준\*, 채영재\*, 윤아영\*\*, 이가람\*\*

2024.06.24

## 보고서 목차

1. 서론 .....	1
1.1. 연구배경 .....	1
1.2. 연구 지역 및 사용 자료 .....	2
2. 연구 방법 .....	5
2.1. 선행 연구 .....	5
2.2. 연구 방법 .....	6
3. 연구 결과 .....	10
4. 결론 .....	11
5. 참고 문헌 .....	12

## 1. 서론

### 1.1. 연구배경

최근에는 불법 입출항, 불법 조업 등 불법 선박을 단속하기 위한 목적으로 항만 및 연안 지역의 선박을 감시하기 위한 노력이 이루어지고 있다. 특히, 광역 감시 역량을 높이기 위한 방법으로 위성 시스템과 무인항공기의 도입에 박차를 가하고 있다(Korea Coast Guard, 2024). 또한, 선박 교통관제 레이더, 통신 시스템, 선박 자동 식별 장치(AIS) 등과 같은 항만 모니터링 시스템이 존재함에도 불구하고 매년 수많은 선박 사고가 발생한다. 2018년부터 2023년까지 5년간 발생한 선박 사고는 14,000여 건에 달한다(Ministry of Oceans and Fisheries, 2023). 국내에서는 위와 같은 선박 사고를 줄이고 항만을 안전하고 효율적으로 운용하기 위한 노력으로 스마트 항만 시스템 사업을 추진하고 있다(Ministry of Oceans and Fisheries, 2023).

해양경찰과 해양수산부에서는 선박을 모니터링하기 위한 방법으로 Synthetic Aperture Radar (SAR) 위성 시스템의 도입에 대한 논의가 이루어지고 있다. SAR 위성은 전천후 관측이 가능하고 지속적이고 주기적으로 영상을 획득할 수 있어 선박 모니터링에 큰 장점을 제공한다(Korea Coast Guard, 2024). 이러한 위성 시스템의 특징을 이용하여 항만 및 연안 지역을 모니터링하기 위한 많은 노력이 이루어지고 있다. SAR 영상을 이용하여 항만의 이동 물체(선박)를 모니터링하기 위한 노력의 일환으로 Frozen Background Reference (FBR) Image를 이용하는 방법이 제안되었다(Taillade et al., 2020). FBR 영상은 계산된 임계값에 의해 시간에 따라 안정적인 픽셀만을 선택하여 제작된다. (Taillade et al., 2020)은 Sentinel-1 위성의 시계열 Ground Range Deteced (GRD) 영상을 이용하여 FBR 영상을 제작하였고, Omnibus test를 통해 선박을 모니터링하였다. 후속 연구로 (Kahar et al., 2022)는 카이제곱 분포를 이용하여 이동 물체를 분류하는 방법을 제안하였다. 해당 연구에서는 항만 지역에서 획득한 SAR 영상이 Point Scatterer (PS), Distributed Scatterer (DS) 그리고 이동 물체로 이루어졌다고 가정하며, 각 픽셀은 특정 통계 분포를 따르므로 카이제곱 분포를 이용하여 분류한다.

기존 시계열 변화 탐지의 경우, 시계열 데이터 내에서 뚜렷한 변화가 발생한 지점을 탐지한다. 하지만, 산업 항구나 주차장과 같이 활동이 많은 지역에서는 물체의 오버랩(overlap)이 발생하면서 탐지할 수 없는 문제가 발생한다(Taillade et al., 2020). FBR 영상은 이동 물체를 제거하여 제작되기 때문에 이러한 문제를 해결할 수 있고 새로 획득된 SAR 영상과의 단순한 비교만으로도 이동 물체의 탐지가 가능하다는 장점이 있다. 하지만, 모든 시계열 영상 내에서 오버랩이 발생하는 지역에선, 기존의 방법으로 모든 이동 물체를 제거하여 FBR 영상을 생성하는 데 한계가 있다. 본 연구에서는 시계열 영상에서 이동 물체가 오버랩 되는 지역을 선정하고 FBR 영상 제작 시 이동 물체가 제거되지 않는 문제를 해결하여 개선된 FBR 영상을 만드는 것을 목표로 한다.

## 1.2. 연구 지역 및 사용 자료

연구 지역은 대한민국, 경상남도 부산광역시의 부산 신항을 선정하였다. 부산 신항은 매년 물동량이 증가하고 있으며 표 1과 같이 2021년 기준 부산 북항에 비해 약 2배 이상의 물동량을 보인다. 이에 비례하여 부산 신항은 대형 선박 이동량이 많다(Busan Metropolitan City, 2023). 2020년 대한민국 정부는 부산항 제2 신항을 2022년에 착공해 동북아 물류 중심지로 부상시킨다는 계획을 발표하였으며 전국 항만에 대한 중장기 비전과 개발계획을 담은 ‘2030 항만정책 방향과 추진 전략’을 발표하면서 부산항 제2 신항에 국산화된 자동화 기술을 도입하여 2030년부터 본격적으로 한국형 스마트 항만을 운영해 나간다는 방침을 내세웠다(Wu, 2020). 이에 따라 선박 교통량이 크게 증가할 것으로 보인다. 한편, 부산 신항은 선박 교통관제 레이더를 운용하는데, 지상 레이더는 그림 2의 (a)처럼 영구적인 shadow 영역이 발생하여 관측에 한계가 있다(Chernyshovet et al., 2022). 부산항의 경우 그림 2의 (b)와 같이 영구적인 shadow 영역이 존재하며 빨간색 박스와 같이 선박이 존재할 경우 shadow에 의해 사각지대가 발생한다. 본 연구에서 제시하는 위성 시스템을 활용한 항만 내 관측은 선박 교통관제 레이더의 한계를 극복하며 효과적이고 효율적인 모니터링이 가능할 것으로 기대된다.

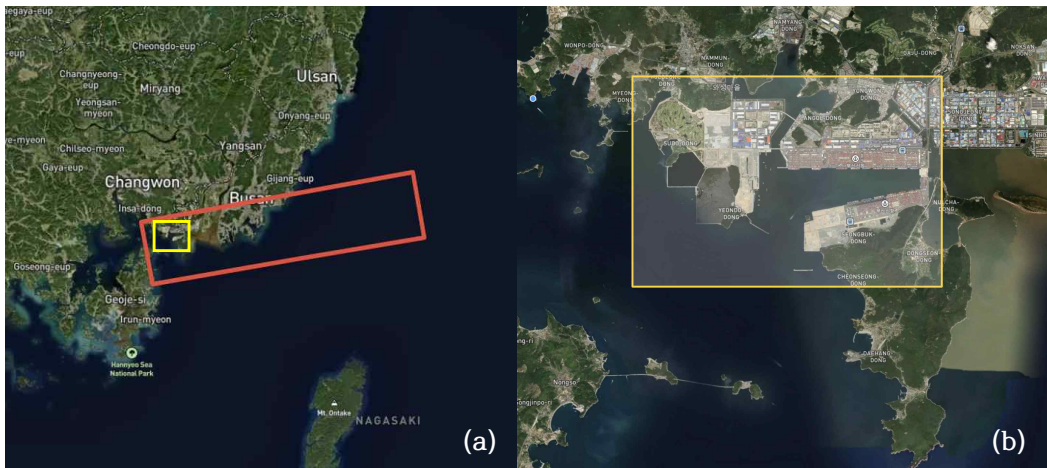


그림 1. (a) 연구에 이용된 Sentinel-1A 위성 영상의 Burst 위치(빨간색)와 연구지역(노란색), (b) 연구지역(노란색)인 부산 신항

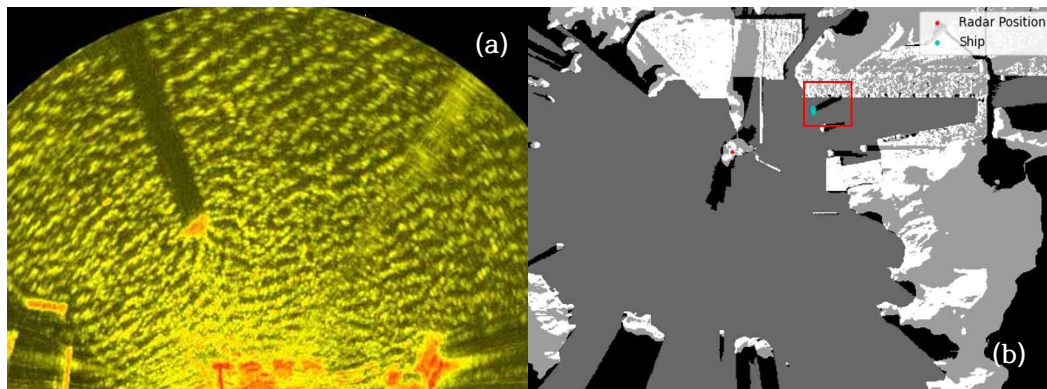


그림 2. (a) 선박 교통관제 레이더 영구적인 shadow (Yang, 2022), (b) Copernicus 30m DEM 을 이용한 부산 신항 선박 교통관제 레이더 shadow 영역 시뮬레이션

[단위:천TEU]

구분		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	전년대비
부산항 총계		19,469	19,456	20,493	21,663	21,992	21,824	22,706	4.0%
북항	물량	6,591	6,595	7,013	6,997	6,961	6,846	7,163	4.6%
	비중	33.9%	33.9%	34.2%	32.3%	31.7%	31.4%	31.5%	-
신항	물량	12,878	12,861	13,480	14,665	15,031	14,978	15,543	3.8%
	비중	66.1%	66.1%	65.8%	67.7%	68.3%	68.6%	68.5%	-

표 1. 북항과 신항의 물동량 비중 추이

연구에 이용된 위성은 European Space Agency에서 운용 중인 Sentinel-1A 영상으로 표 2과 같은 특성을 갖는다. 연구에는 표 3과 같이 2022년 1월 12일부터 2023년 12월 9일까지의 45개 영상을 이용하였다. 자료처리에는 정합과 calibration이 완료된 영상을 이용하였다.

Platform	Sentinel-1A
Nominal Altitude	693 km
Repeat Cycle	12 Days
Local Time at Ascending Node	18:00
Look Direction	Right Looking
Swath Width	250 km (IW)
Spatial Resolution	5x20 (Range x Azimuth) meters

표 2. Sentinel-1A Specifications

No.	Orbit Pass	Beam Mode	Polarization	Acquisition Date
1	Ascending	Interferometric Wide Swath (IW)	VV	2022.01.12
2				2022.01.24
3				2022.02.05
4				2022.02.17
5				2022.03.01
6				2022.03.13
7				2022.03.25
8				2022.04.06
9				2022.04.18
10				2022.04.30
11				2022.06.05
12				2022.06.17
13				2022.06.29
14				2022.07.11
15				2022.07.23
16				2022.08.04
17				2022.08.16
18				2022.08.28
19				2022.09.21
20				2022.10.03
21				2022.10.15
22				2022.10.27
23				2022.11.08
24				2022.11.20
25				2022.12.02
26				2022.12.14
27				2022.12.26
28				2023.01.07
29				2023.01.19
30				2023.01.31
31				2023.02.12
32				2023.02.24
33				2023.03.08
34				2023.03.20
35				2023.04.01
36				2023.04.25
37				2023.05.19
38				2023.05.31
39				2023.06.12
40				2023.06.24
41				2023.07.18
42				2023.07.30
43				2023.09.16
44				2023.10.10
45				2023.12.09

표 3. List of Sentinel-1A Data

## 2. 연구 방법

### 2.1. 선행 연구

(Taillade et al., 2020)는 Sentinel-1 SAR 영상을 이용하여 FBR 영상을 제작하는 방법을 제시하였다. 항만 지역에서 획득한 시계열 SAR 영상에는 PS, DS와 이동 물체로 이루어져 있다고 가정하였을 때, 각 픽셀의 시계열 데이터에서 이동 물체의 존재 여부에 따라 Coefficient of Variance (CV)는 큰 폭으로 변화한다. 따라서, CV는 시계열 데이터에서 이동 물체가 존재하는지를 판단하는 척도로 사용되며 식 (1)과 같이 계산된다.

$$CV = \frac{\sigma_{temp}}{\mu_{temp}} \quad (1)$$

$\sigma_{temp}$ 는 시계열 표준편차,  $\mu_{temp}$ 는 시계열 평균을 의미한다. 실제 값을 이용해 계산한 CV와 달리 식 (2)와 같이 통계적인 방법을 이용하여 시계열 SAR 영상의 픽셀의 일반적으로 기대되는  $CV(CV_{exp})$ 를 구할 수 있다. 또한,  $CV_{exp}$ 는 영상의 개수에 영향을 받는데, 영상 개수에 의한 영향을 고려하면 식 (3)과 같이 이동 물체의 존재 여부를 판단할 임계값을 계산할 수 있다.

$$CV_{exp} = \sqrt{\frac{\Gamma(L)\Gamma(L+1)}{\Gamma\left(L + \frac{1}{2}\right)^2}} - 1 \quad (2)$$

$$\psi = CV_{exp} + \frac{\alpha}{\sqrt{D^m(i,j)}} \quad (3)$$

식 (2)에서  $\Gamma(\cdot)$ 는 감마 함수,  $L$ 는 Effective Number of Looks (ENL)이다. 식 (3)에서  $\psi$ 는 픽셀 내에 이동 물체가 없을 때 영상 개수에 따라 기대되는 CV,  $D$ 는 SAR 영상,  $m$ 은 영상 개수,  $(i,j)$ 는 영상 내에서 픽셀의 위치를 의미한다. 실제로 계산된 CV가  $\psi$ 보다 크면 이동 물체가 존재한다는 것을 의미한다.  $CV < \psi$ 를 만족하지 않는 픽셀의 경우 시계열 평균에서 가장 멀리 떨어져 있는 픽셀이 영상 내에 존재하는 이동 물체라고 가정하고 제거한다. CV가  $\psi$ 보다 작아질 때까지 이 과정을 반복 수행하고, 남은 픽셀의 평균을 FBR 영상의  $(i,j)$ 위치에 할당한다. (Taillade et al., 2020)는 이에 기반하여 그림 3과 같은 과정으로 FBR 영상을 제작하였다. 그림 4의 (a)는 싱가포르지역의 Sentinel-1 위성의 Amplitude 영상, (b)는 선행 연구에서 제작된 싱가포르지역의 FBR 영상이다.

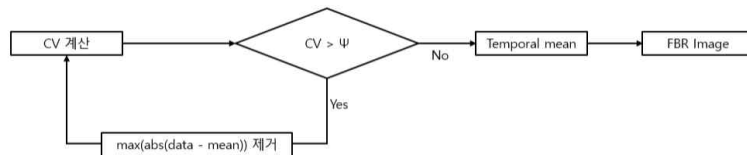


그림 3. FBR 제작에 이용된 알고리즘 Flow Chart

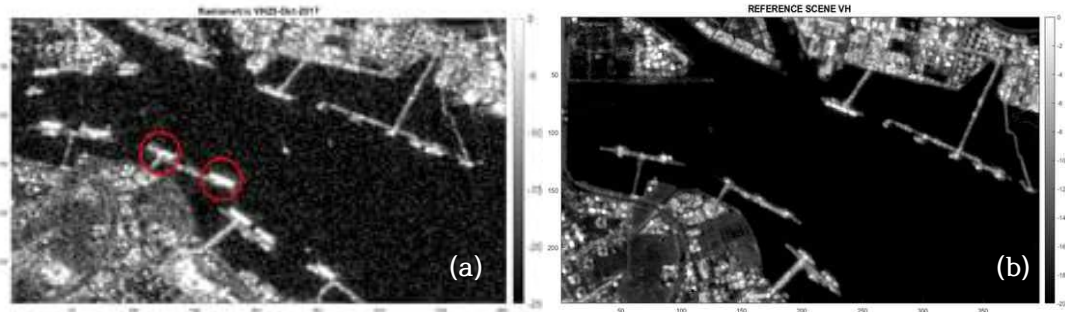


그림 4. (a) 싱가포르지역의 Sentinel-1 위성의 Amplitude 영상(VH), (b) 제작된 싱가포르지역의 FBR 영상(Taillade et al., 2020)

## 2.2. 연구 방법

2.1의 방법을 이용하여 국내 부산 신항에 적용한 결과는 그림 5 (b)와 같다. 그림 5 (a)와 (b)의 (가) 지역을 비교했을 때 존재하던 선박이 잘 제거되었다. 하지만, 그림 5 (a)와 (b)의 (나) 지역에서는 정박한 선박이 제거되지 않았다. 이는 (나) 지역에서 대부분의 시기에 선박이 존재하기 때문에 기존 알고리즘 적용 이후에도 픽셀값이 높게 유지되는 것으로 판단하였다. 본 연구에서는 이동 물체가 드물게 나타나는 경우를 Case 1, 대부분의 시기에 이동 물체가 나타나는 경우를 Case 2, 이동 물체가 나타나지 않는 경우를 Case 3으로 분류하였다.

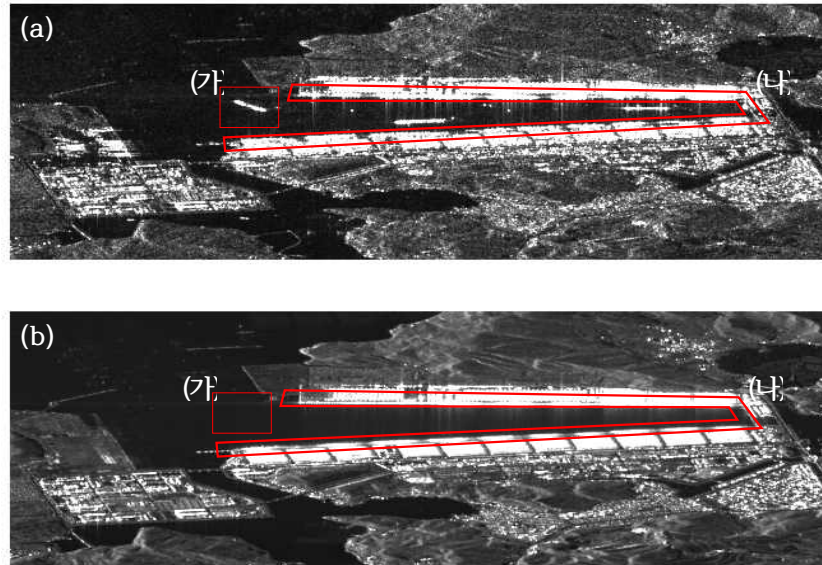


그림 5. (a) 2023년 12월 09일 Sentinel-1A amplitude 영상, (b) 2022년 01월 12일부터 2023년 12월 09일까지 45개 SLC 영상으로 제작한 FBR 영상



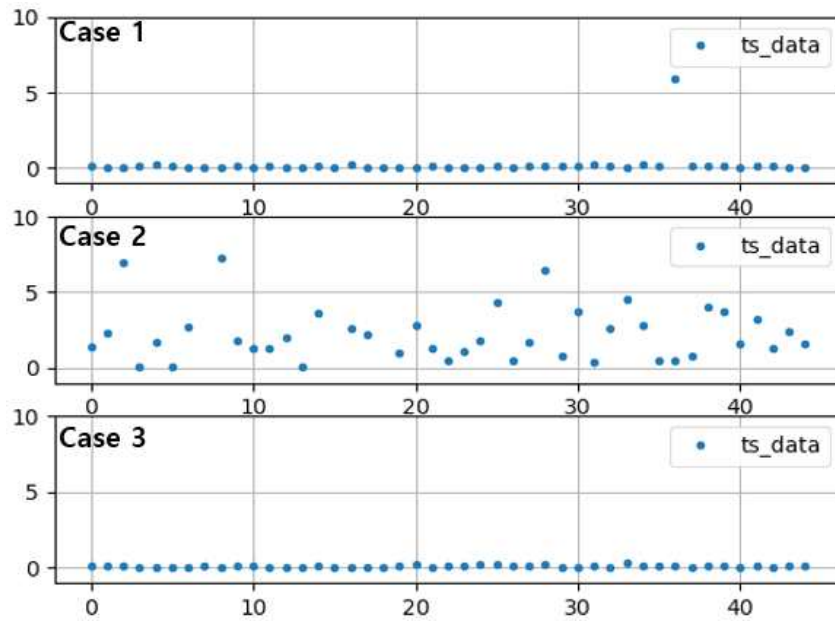


그림 6. Case 1은 그림 6의 (가), Case 2는 그림 6의 (나), Case 3은 그 이외의 clutter 지역에서 획득한 픽셀값이다. 각 그래프의 가로축은 영상 획득순서, 세로축은 픽셀의 진폭 값을 의미한다.

그림 5 (a)의 (나) 지역은 그림 6의 Case 2와 같은 분포를 보인다. Case 2의 경우 거의 모든 시기의 영상에서 선박이 존재하는 것으로 나타나지만, 파도에 의한 선박의 움직임, 선박에 적재되어있는 컨테이너의 위치, 선박의 종류 등에 의해 다양한 픽셀값을 보인다. 따라서, 항상 선박이 존재하더라도 전체적으로 높은 CV를 보인다. Case 1의 경우에는 기존 알고리즘 적용 후 CV가 낮아지면서 낮은 밝기값의 픽셀만 남지만, Case 2는 기존 알고리즘을 적용하게 되면 CV는 낮음에도 여전히 밝기값이 큰 선박 픽셀만 남는다. 그림 7은 Case 1과 Case 2에 해당하는 픽셀에 기존 알고리즘을 적용한 결과를 가시화한 것이다.

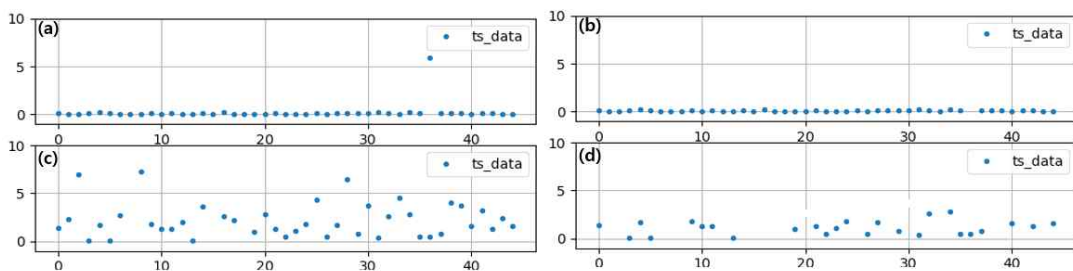


그림 7. (a) Case 1 픽셀 분포, (b) Case 1 알고리즘 적용 후 픽셀 분포, (c) Case 2 픽셀 분포, (d) Case 2 알고리즘 적용 후 픽셀 분포, 각 그래프의 가로축은 영상 획득순서, 세로축은 픽셀의 진폭값을 의미한다.

본 연구에서는 Case 2에 해당하는 픽셀을 분류하고 마스킹하여 기존 FBR 영상에서 제거되지 않던 이동 물체를 제거하는 방법을 고안하였다. Case 2에 해당하는 픽셀은 모든 시기에 픽셀값이 큰 폭으로 변동한다는 특징이 있어 CV가 클 것으로 판단하였다.

하지만, 그림 9와 같이 45개 영상을 모두 이용해 계산한 CV만으로는 Case 1과 Case 2의 구분에 한계가 있었다. Case 1과 Case 2에 해당하는 픽셀을 효과적으로 구분하기 위해 45개 영상을 5개씩 9개 시기로 분할 하여 각각의 시기마다 CV를 계산하였다. 그림 9의 (a)에서 Case 1에 해당하는 픽셀이 9개 시기 중 2개 시기에서만 CV가  $\psi$ 보다 크게 나타났고, (b)에서는 Case 2에 해당하는 픽셀이 9개 시기 중 7개 시기에 CV가  $\psi$ 보다 크게 나타났다. 이와 같은 통계적 특성을 이용하여 Case 1과 Case 2를 구분하였다. 그림 10은 각 픽셀이 9개 시기 중 CV가  $\psi$ 보다 큰 경우를 확률로 나타낸 것이다. 그림 10에서  $CV > \psi$ 일 확률이 0.7 이상인 픽셀을 Case 2에 해당하는 픽셀로 가정하였고, 스펙클에 의한 영향을 줄이기 위해 3x3 moving window를 이용하였다. 3x3 커널 내에 Case 2에 해당하는 픽셀이 절반 이상일 경우 커널 내의 모든 픽셀을 Case 2로 분류하였다. 그림 11는 위와 같은 방법을 이용하여 Case 2에 해당하는 픽셀을 분류한 결과다. Case 2로 분류된 픽셀은 마스킹 후 중앙값 필터를 이용하여 보간을 수행하였다. 국지적인 지역적 특성을 반영하면서도 급격한 지역적 변화에 의한 영향을 피하기 위해 31x31 크기의 커널을 이용하였다. 보간된 결과는 그림 12과 같다.

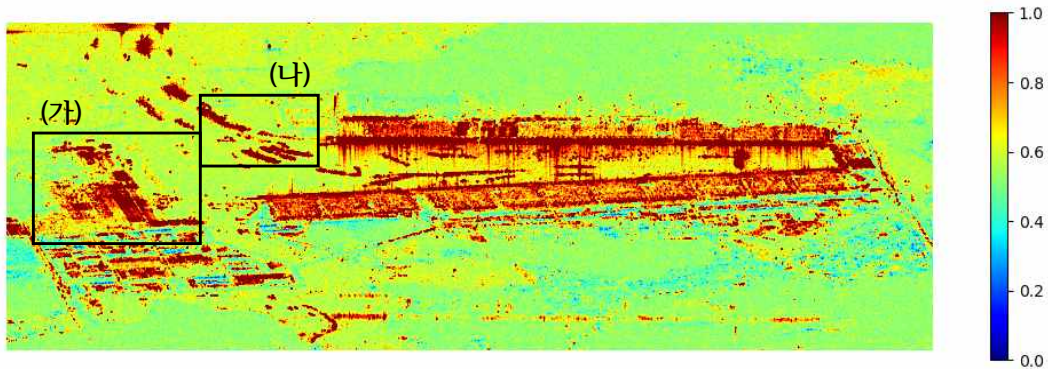


그림 8. 2022년 01월 12일부터 2023년 12월 09일까지 45개 영상을 이용하여 계산한 CV

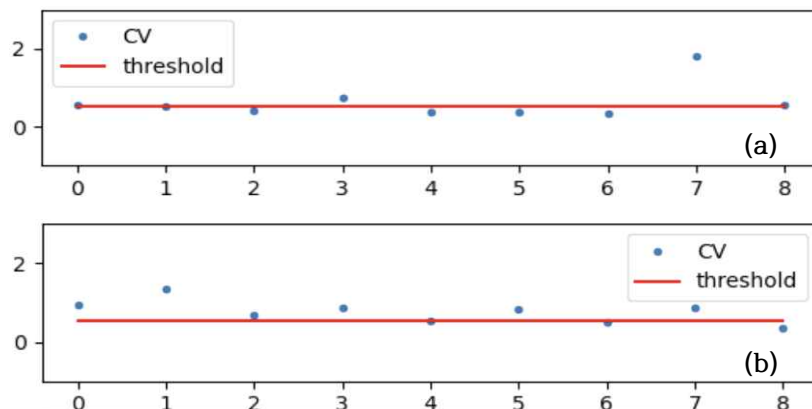


그림 9. (a) 9개 시기 중 Case 1에 해당하는 픽셀의 CV가  $\psi$ 보다 큰 경우, (b) 9개 시기 중 Case 2에 해당하는 픽셀의 CV가  $\psi$ 보다 큰 경우

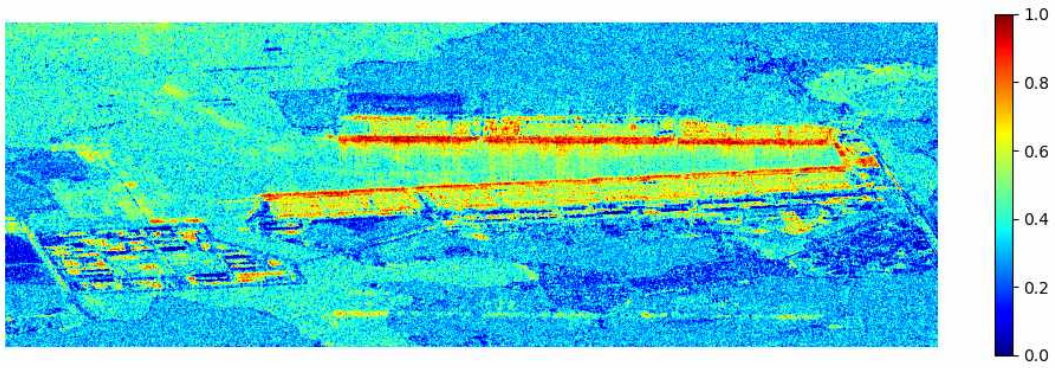


그림 10. 2022년 01월 12일부터 2023년 12월 09일까지 45개 영상을 시간순으로 5개 영상씩 9개 시기로 나누어 계산한 CV가 임계값  $\psi$ 보다 클 확률을 나타내는 확률지도

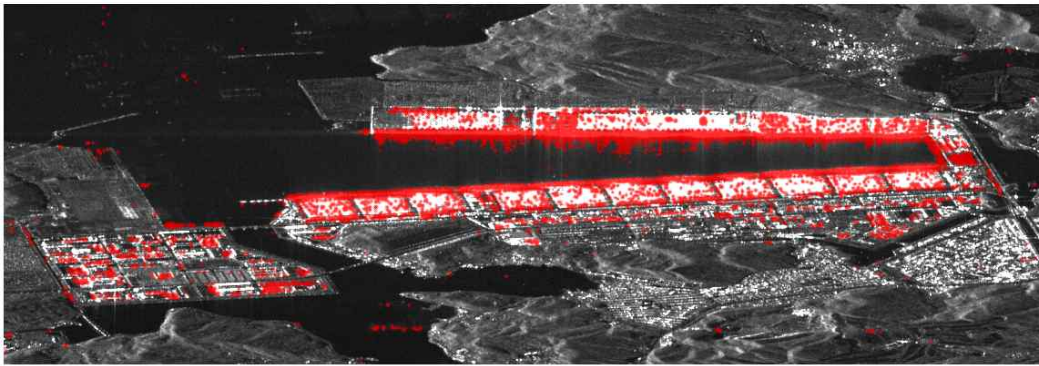


그림 11. CV가 임계값  $\psi$ 보다 클 확률이 70% 이상인 픽셀을 분류한 후 3x3 커널을 이용하여 필터링한 결과(Case 2에 해당하는 픽셀을 분류한 결과)

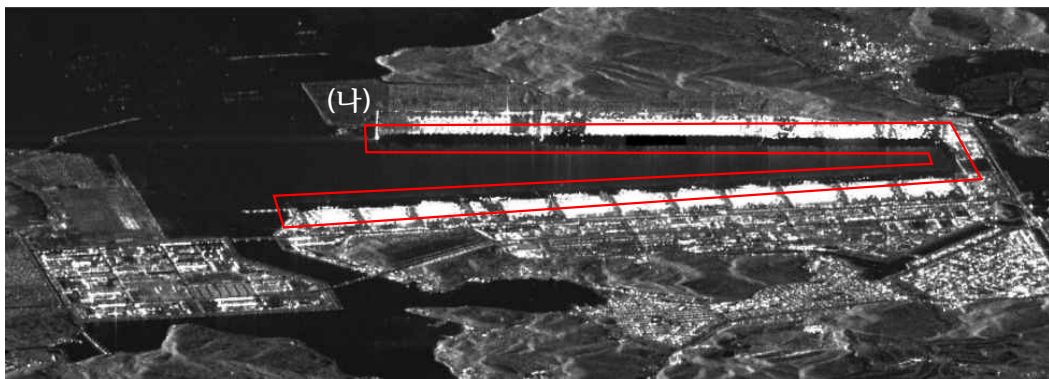


그림 12. 2022년 01월 12일부터 2023년 12월 09일까지 45개 SLC 영상으로 제작한 FBR 영상에서 Case2에 해당하는 픽셀을 마스킹한 후 보간한 결과

### 3. 연구 결과

최종적인 FBR 영상은 (Taillade et al., 2020)에서 제시된 알고리즘을 적용한 후 그림 11과 같이 분류된 픽셀을 마스킹한 후 보간을 통해 제작하였다. 동일한 방법을 이용하여 SLC 영상과 GRD 영상에 적용하여 각각의 FBR 영상을 제작하였다. 두 경우 표 4에 제시된 파라미터를 이용할 때 Case 2에 해당하는 픽셀이 가장 잘 분류되었다. 그림 13 (a)는 SLC 영상을 이용하여 제작한 FBR 영상, (b)는 GRD 영상을 이용하여 제작한 FBR 영상이다.

Parameters	SLC	GRD
ENL	1	4.5
$\alpha$	0	1
CV $\times$ $\psi$ 일 확률	0.7	0.7

표 4. SLC 영상과 GRD 영상을 이용할 때 Case 2에 해당하는 픽셀을 분류하기 위한 임계값 설정에 사용된 파라미터

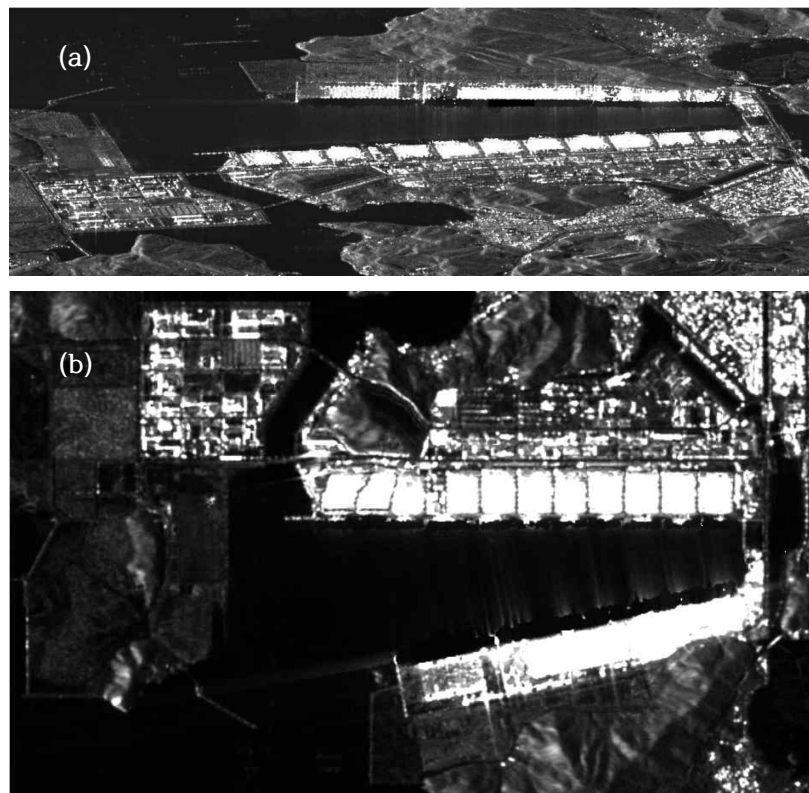


그림 13. (a) 2022년 01월 12일부터 2023년 12월 09일까지 45개 SLC 영상을 이용하여 제작한 FBR 영상, (b) 2022년 01월 12일부터 2023년 12월 09일까지 45개 GRD 영상을 이용하여 제작한 FBR 영상



## 4. 결론

2.2에서 제시한 방법으로 FBR을 제작한 결과는 그림 13과 같다. 그림 5 (b)의 (나) 지역에서 제거되지 않던 정박 된 선박이 그림 12의 (나) 지역에서는 제거되었다. 그림 11에서 마스킹 된 픽셀의 위치는 그림 12의 (나) 지역 외에도 다양하게 분포하는데, 이는 컨테이너 용지나 주차장에서 관측되는 빈번한 움직임에 의한 것으로 판단하였다. Case 2에 해당하는 픽셀을 마스킹하는 방법으로 그림 9와 같이 45개 영상을 모두 이용하는 경우에는 그림 10의 (가)와 (나)지역과 같은 Case 1에 해당하는 픽셀도 함께 마스킹 된다. 위와 같은 경우에는 기존에 제시된 방법(Taillade et al., 2020)을 이용했을 때 계산되는 실제 통계량을 이용하지 못한다는 단점이 있다. 따라서, 본 연구에서는 그림 9와 같이 45개 영상을 9개 시기로 나눈 후 조건  $CV > \psi$ 를 만족하는 빈도가 큰 Case 2에 해당하는 픽셀만을 마스킹하는 방법을 이용하였다.

마스킹 된 픽셀을 보간 하기 위해 중앙값 필터를 이용하였다. 중앙값 필터는  $31 \times 31$  크기의 커널을 제작한 후 적용하였다. 마스킹 된 인접 픽셀의 영향을 받지 않으면서 국지적인 지역적 특성을 반영하기 위하여 커널 크기를 충분히 크게 적용하였다. 또한, 커널의 크기를 충분히 크게 설정하여 인공구조물에 의한 불연속적인 픽셀값 분포를 잘 반영하여 보간 할 수 있었다. 특히, 선박이 정박 된 지역과 컨테이너 용지에서 지역적인 특성이 잘 반영되었다.

그림 14 (a), (b)는 각각 기존 방법을 이용하여 제작한 FBR 영상, Case 2에 해당하는 픽셀을 마스킹하는 과정을 적용한 FBR 영상을 이용하여 RGB 영상을 제작한 결과다. 두 RGB 영상은 모두 Red: 2023년 12월 09일 Amplitude 영상, Green: FBR 영상, Blue: FBR 영상을 이용하여 제작하였다. 따라서, FBR 영상에는 존재하지 않지만, Amplitude 영상에 존재하는 이동 물체는 빨간색으로 표시된다. 그림 14 (a), (b)의 (나) 지역에서는 Case 2에 해당하는 픽셀을 마스킹 한 경우에 선박이 더 잘 탐지된다. 하지만, 그림 14 (a), (b)의 (가) 지역과 같이 공사가 진행된 경우에는 두 방법 모두 신축된 건물이 FBR 영상에 반영되지 않았다.

SLC 영상과 GRD 영상을 이용하는 경우에 제작된 FBR 영상 사이의 큰 차이는 없었다. 하지만, GRD 영상의 경우 컨테이너 용지에서 Case 2로 분류된 픽셀이 크게 적었다. 그리고, FBR 영상을 제작할 때 이용된 파라미터는 표 3과 같았다. 임계값  $\psi$ 를 계산할 때 사용되는 영상 개수에 의한 영향의 정도(유의수준)를 결정하는  $\alpha$ 의 값에서 큰 차이를 보였다. Case 2에 해당하는 픽셀을 분류할 때, SLC 영상을 이용하는 경우  $\alpha = 0$ 일 때, GRD 영상을 이용하는 경우  $\alpha = 1$ 일 때 더 좋은 결과를 보였다.

2.2에 제시된 방법을 이용했을 때, 기존에 제거가 되지 않던 정박 된 선박을 성공적으로 제거하였다. 하지만, (Taillade et al., 2020)에서 제시되었던 토지 피복이 변화하는 픽셀이 FBR 영상에 반영되지 않는 문제는 여전히 해결하지 못하였다. 그리고, 부두에 정박하는 선박이 항상 동일한 선박인 경우에는 2.2에 제시된 방법을 적용하지 못할 것으로 보인다.

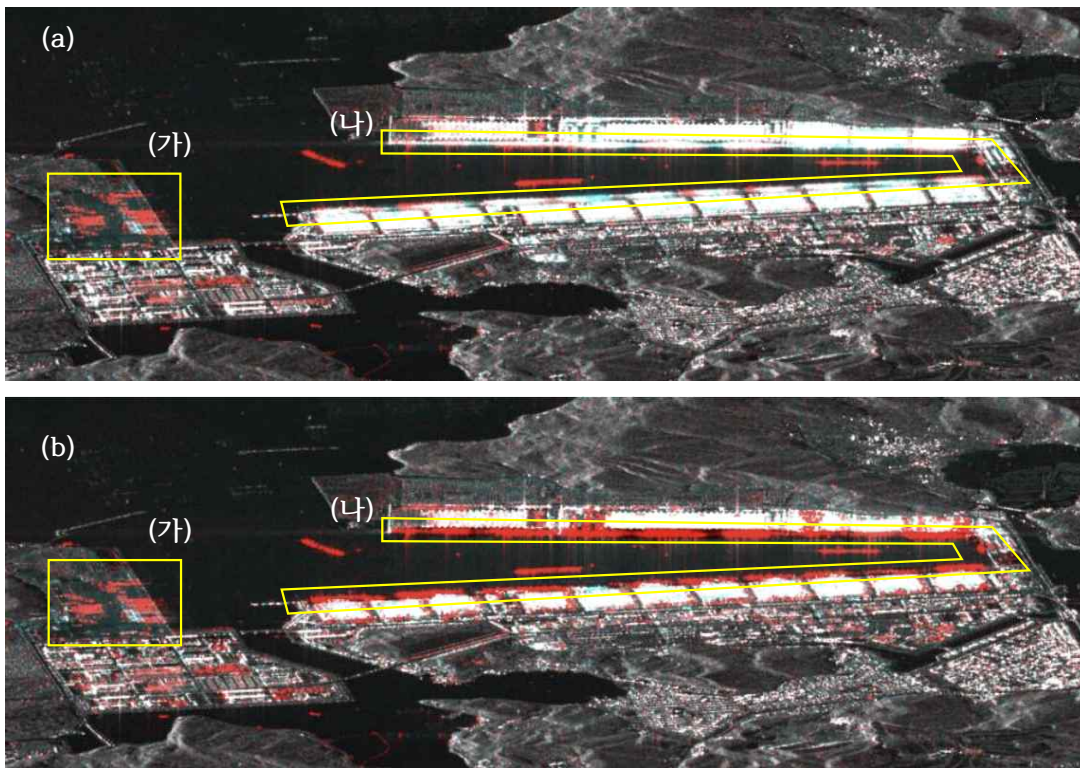


그림 14. (a) 기존 방법을 이용하여 제작한 FBR 영상과 2023년 12월 09일 Amplitude 영상을 이용하여 제작한 RGB 영상, (b) Case2에 해당하는 픽셀을 마스킹하는 과정을 적용한 FBR 영상을 이용하여 RGB 영상과 2023년 12월 09일 Amplitude 영상을 이용하여 제작한 RGB 영상. (Red: 2023년 12월 09일 Amplitude 영상, Green: FBR 영상, Blue: FBR 영상)

## 5. 참고 문헌

- Busan Metropolitan City, (2023). Busan Port Status, Busan Metropolitan City. (In Korean)
- J. H. Wu. (2020). Building a smart port-Busan Port 2 to open in 2022, Korean Broadcasting System. (In Korean)
- Ministry of Oceans and Fisheries. (2023). Create a global smart port with our company and technology. (In Korean)
- Ministry of Oceans and Fisheries. (2023). Marine Accident Statistice Report 2023, Ministry of Oceans and Fisheries, Korea Maritime Safety Tribunal.
- M. S. Kwon. (2024). Withdrawal of 'Illegal Foreign Ship Operation' Threatening National Security and Fishermen's Safety, Korea Coast Guard. (In Korean)

- 
- P. Chernyshov, K. Hessner, A. Zavadsky and Y. Toledo. (2022). On the Effect of Interferences on X-Band Radar Wave Measurements, *Sensors* 2022, 22, 3818.
- S. Kahar, F. Hu and F. Xu. (2022). Ship Detection in Complex Environment Using SAR Time Series, *IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN APPLIED EARTH OBSERVATIONS AND REMOTE SENSING*, VOL. 15, 2022.
- T. Taillade, L. Thirion-Lefever and R. Guinvarc'h. (2020). Detecting Ephemeral Objects in SAR Time-Series Using Frozen Background-Based Change Detection, *Remote Sens.* 2020, 12, 1720.
- Y. J. Yang. (2022). A Study on the Relationship between Meteorological Condition and Wave Measurement using X-band Radar, *J Navig Port Res.* 2022;46(6):517-524.