

# X-밴드 레이더 이미지 기반 표층해류 계측 분석

강나윤\* · 이유경\*\* · † 양영준

\*동명대학교 대학원 석사과정생, \*\*동명대학교 조선해양공학부 연구원, † 동명대학교 조선해양공학부 교수

## Analysis of Surface Current Measurement Based on X-band Radar Image

Na-Yun Kang\* · Yu-Kyung Lee\*\* · † Young-Jun Yang

\*Master Course Student, Graduate School of Tongmyong University, Busan Sinseon-ro 428, Korea

\*\*Researcher, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Tongmyong University, Busan Sinseon-ro 428, Korea

† Professor, Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Tongmyong University, Busan Sinseon-ro 428, Korea

**요 약** : 본 논문은 X-밴드 레이더 이미지를 이용한 표층해류 계측 비교 결과를 분석한다. 속초해수욕장에 설치된 선박용 X-밴드 레이더를 이용해 2022년 2월 기간 동안 표층해류 계측을 진행하였다. 국립해양조사원 해양 관측 부이의 자료를 기준으로 하여 계측 데이터 비교 및 분석을 통해 표층해류(유속) 계측 정확도를 입증했다.

**핵심어** : X-밴드 레이더, 표층해류, 신호처리 해석, 분산성 관계, 최소 자승법

**Abstract** : This paper explains the comparison results of surface current measurement using X-band Radar image through analysis. Measurements were carried out from February 2022 using the X-band Radar for marin ships installed at Sokcho Beach. Based on the Korea Hydrographic and Oceanographic Agency ocean observation buoys, the accuracy of surface current(current speed) measurement was verified through comparison and analysis of measurement data.

**Key words** : X-band Radar, Surface current, Fast Fourier Transform(FFT), Dispersion relation, Least Squares Method

### 1. 서 론

우리나라는 3면에 바다로 둘러 쌓여있다. 바다와 밀접한 경우, 파랑 계측 자료는 각종 선박, 해양플랜트, 해안 감시 등 활용 가치가 매우 높다. 부이와 같은 in-situ 방식은 전통적으로 파랑을 계측하는 방법은 경제성, 운용상의 어려움으로 인해 원격계측 방법을 통한 파랑 해석 연구가 활성화 되고 있다. 표층해류 계측은 원격 계측이 가능한 선박용 X-밴드 레이더를 이용한 경우 국내에서 전무한 상황이다. 표층해류(유속) 계측은 부이나 인공위성으로 계측이 되어왔지만 해양환경에 따라 많은 변수가 존재한다. 비용적 측면과 분실의 위험성을 고려하여 원격 계측이 가능한 레이더 계측의 정확도가 높아진다면 표층해류 계측에 있어 유용하게 사용될 것으로 본다.

### 2. 계측 데이터

X-밴드 레이더로 계측한 표층해류 데이터를 비교하기 위해 국립해양조사원에 있는 해양관측부이 데이터를 기준으로 비교를 진행하였다. 속초해수욕장에 설치된 X-밴드 레이더 계측 간격은 5분으로 설정하여 계측하였고 해양관측부이의 표층해류 계측 간격도 5분 간격으로 계측이 진행되어 데이터가 제공되고 있다. 부이 데이터는 한 달 단위로 X-밴드 레이더는 실시간 계

측 데이터를 볼 수 있는 차이가 있다. 부이 계측은 ADCP(Acoustic Doppler Current Profiler) 장비를 이용하여 한 지점에 고정시켜 계측이 된다. ADCP 장비는 초음파를 이용하여 유속을 측정하여 정확도는 높지만 한 지점에 고정해야한다는 점이 있고, X-밴드 레이더는 원하는 구역을 설정하여 데이터를 실시간으로 얻을 수 있다는 점이 있다.

### 3. 표층해류 기법

표층해류 기법에 있어 중요한 식은 분산성 관계이다. 기존 분산성 관계식에 표층해류를 포함하면 다음과 같이 나타난다.

$$\omega = \sqrt{g|k| \tanh(|k|h)} + |U| |k| \cos(\theta - \theta_U) \quad (1)$$

분산성 관계는 파의 노이즈 성분을 제거하기 위해 쓰지만 식의 해양 공학적 의미는  $\omega$  파 주파수(Angular Frequency)는 시간(Temporal)과  $|k|$  파수(Wave Number)는 공간(Spatial)을 뜻한다.

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \frac{1}{T} \quad (2)$$

$$|k| = k_x + k_y \quad (3)$$

$$\vec{k}_x = |k| \cdot \cos\theta, \quad \vec{k}_y = |k| \cdot \sin\theta \quad (4)$$

$$|\vec{k}| = \sqrt{|\vec{k}_x|^2 + |\vec{k}_y|^2} \quad (5)$$

#### 4. 최소 자승법

X-밴드 레이더를 이용한 표층해류 측정 값을 얻기 위해서는 신호 처리 해석이 필요하다[1]. 신호 처리 해석 시 오차 값이 발생하게 되는데 최소자승법을 이용하여 값들의 오차 제곱의 합을 최소화할 수 있다. 해양환경에 따라 최소 자승법 식은 다음과 같이 표현된다.

$$\Delta\omega = \omega - \sqrt{g|k| \tanh(|k|h)} - k_x u_x - k_y u_y \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} \sum Q k_x^2 & \sum Q k_x k_y \\ \sum Q k_x k_y & \sum Q k_y^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_x \\ u_y \end{bmatrix} \\ & = \begin{bmatrix} \sum Q k_x (\omega - \sqrt{gk \tanh(kh)}) \\ \sum Q k_y (\omega - \sqrt{gk \tanh(kh)}) \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (7)$$

여기서  $\Delta\omega$ 는 오차를 의미한다. 속초해수욕장에서 측정을 진행하였기에 수심을 고려하여 측정을 진행했다. Q는 에너지 스펙트럼을 의미한다. 즉  $Q(k_x, k_y, \omega)$  신호 값이다.

또한 심해 영역은 수심이 무한수심으로 가정되어  $\tanh |k|h \approx 1$ 으로 근사된다.

#### 5. 결 과

2022년 2월 한 달 동안 측정하여 국립해양조사원 해양관측부이 데이터와 비교를 진행했다. 오차율 60% 이하로 나온 데이터 비교 그래프는 다음과 같다.

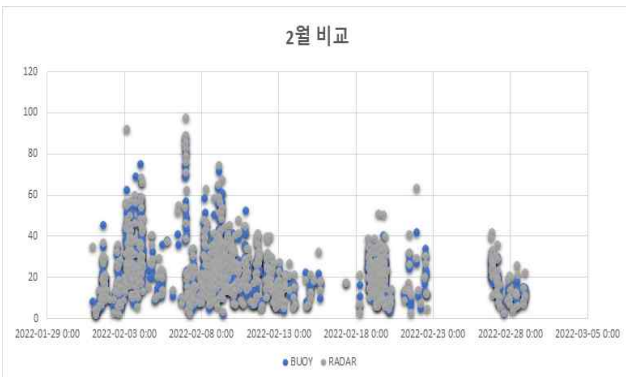


Fig. 4 2월 데이터 비교 그래프

#### 5. 결 론

본 연구는 X-밴드 레이더를 이용한 표층해류 측정을 통해 정확도를 검증하기 위해, 공공의 측정자료인 국립해양조사원 해양관측부이 데이터를 기준으로 비교를 진행했다. 데이터 비교 기간은 2022년 2월 한 달간의 데이터로 비교를 해보았다. 비교한 결과 오차율이 60퍼센트 이하인 데이터가 형성되는 것을 확인했다. 향후 장기 측정 비교 검증을 통해 정확도를 향상시키고자 한다.

#### 사 사

본 논문은 2022년도 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 의한 연구임 [S2950374]

본 논문은 2022년 해양경찰청 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(클라우드 기반 차세대 VTS 통합 플랫폼 개발)

#### 참 고 문 헌

- [1] I. R. Young, W. Rousenthal "A Tree-Dimensional Analysis of Marine Radar Images for the Determination of Ocean Wave Directionality and Surface Current " JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 90, NO. C1,PAGES1049-1059,JANUARY20,1985
- [2] J. c. Nieto, F. Ziemer, J. Seemann, C. M. Senet "OVERCOME OF THE NYQUIST LIMIT IN NAUTICAL RADAR MEASUREMENT OF WAVE FIELDS" 17th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering Copyright 1998
- [3] Cristina Lido de la Muela, "ANALYSIS OF SEA SURFACE FEATURES BY USING X-BAND RADAR DATASETS"Enero,2017
- [4] Smagorinsky, T. J.(1963), "General Circulation ... Equations", Mon. Weather Rev., 91, pp. 99-105.
- [5] Zhongbiao Chen, Biao Zhang, Vladimir Kudryavtsev, Yijun He and Xiaoqing Chu "Estimation of Sea Surface Current from X-band Marine Radar Image by Cross-spectrum Analysis" Remote Sens. 2019, 11, 1031
- [6] BJORN LUND AND HANS C. GRABER, KATRIN HESSNER, NEIL J. WILLIAMS "On Shipboard Marine X-band Radar Near-Surface Current 'Calibration' " 2015 American Meteorological Society