

해상상태별 부유형 풍력 터빈의 동적 RCS 분석

배진우*, 최인식**

Analysis of Dynamic RCS of Floating Wind Turbine by Sea State

Jin-Woo Bae*, In-Sik Choi**

이 논문은 2021년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2021R111A3043120)

요 약

본 논문에서는 해상상태별로 부유형 풍력 터빈에 대하여 전자파 수치해석 시뮬레이션, 실내측정, 실외측정 3가지 방법으로 동적 RCS(DRCS, Dynamic Radar Cross Section) 데이터를 얻고, 이를 시간-주파수 영역 해석법인 STFT(Short Time Fourier Transform)를 적용하여 분석한 결과를 제시한다. 해상상태별 파고(Wave height)와 파주기(Wave period)를 전자파 수치해석 시뮬레이션에서는 코닝 각도(Coning angle)와 코닝 주기(Coning period)를 변화시켜 구현하였고, 실내측정에서는 3D 모션 플랫폼으로 구현하였으며 실외측정에서는 수면 위에 설치된 스티로폼 포지셔너(Positioner)를 이용하여 구현하였다. 획득한 시간-주파수 영역의 스펙트로그램 영상에 나타나는 플래시와 도플러 주파수를 관찰하여 해상상태에 따른 차이를 분석하였다. 그 결과 3가지 방법 모두 해상상태가 증가할수록 나타나는 포락선의 주기가 증가하였으며 플래시 신호의 최대값과 최소값의 차이가 증가함을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we present the Dynamic Radar Cross Section(DRCS) analysis results using Short Time Fourier Transform(STFT), which is one of time-frequency analysis methods. The DRCS of a floating wind turbine is obtained from three different methods such as electromagnetic numerical simulation, indoor measurement and outdoor measurements by sea state. The wave height and wave period by sea state were implemented by varying the coning angle and coning period in the electromagnetic numerical simulation, and the indoor measurement was implemented using a 3D motion platform, and the outdoor measurement was implemented using a styrofoam positioner installed on the water surface. Differences in sea state were analysed by observing the flash and Doppler frequencies in the obtained spectrogram images in the time-frequency domain. The results showed that the period of the flash envelope increases with increasing sea state for all three methods, and the difference between the maximum and minimum of the flash signal also increases.

Keywords

dynamic RCS, sea state, indoor measurement, outdoor measurement

* 한남대학교 전기전자공학과
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6636-5465>
** 한남대학교 전기전자공학과 교수(교신저자)
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8210-0843>

· Received: Dec. 28, 2023, Revised: Jan. 08, 2024, Accepted: Jan. 11, 2024
· Corresponding Author: In-Sik Choi
Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Hannam University, 70
Hannam-ro, Daeduk-gu, Daejeon, 34430, Korea.
Tel.: +82-42-629-8568, Email: recog@hnu.kr

I. 서 론

해상풍력발전기는 해상에 위치하여 얻는 많은 이점으로 인해 육상에서 해상으로 급속도로 전환되며 개발이 가속화되고 있다. 넓은 바다를 이용하여 기존 육상풍력발전기의 문제점인 설치 공간의 제약과 소음문제를 해결하고 대규모 단지 구성이 가능하며 양질의 바람을 얻을 수 있다는 장점이 있다[1]. 하지만 해상풍력발전기는 해상에 위치하여 유지보수와 관리가 어렵고, 바람 에너지를 활용하기 때문에 블레이드가 외부 환경에 노출되어 고장이 발생하기 쉽다. 특히, 해상의 습한 환경으로 인한 얼음 형성이나 소금 결정은 블레이드의 불균형 회전을 유발하며, 파도의 높이나 속도 변화에 따른 해상상태의 악화는 해상풍력발전기 움직임의 변화를 초래하여 전력 손실과 고장을 발생시킬 수 있다.

풍력발전기를 운영하기 위해서는 이러한 문제를 예방하기 위한 모니터링 시스템이 필수적이다. 현재 풍력발전기 모니터링 시스템에 관한 연구는 국내외에서 활발하게 이루어지고 있으며, 센서를 이용한 다양한 방식이 있다[2][3]. 이러한 방식은 접촉식 방법으로 블레이드를 제작할 때 설치되며, 해상풍력발전기의 경우 센서의 결함 발생 시 직접 관리하기 어렵다는 단점이 있다. 이를 보완하기 위한 원격 모니터링 시스템으로 레이더 기반의 비접촉식 방법이 있으며 연구가 활발하게 이루어지고 있다[4][5]. 선행연구[6]-[8]에서는 블레이드의 파손 및 회전상태에 대한 전자파 수치해석 시뮬레이션 및 측정결과를 비교했으며, 얻어진 스펙트로그램 영상에서 특성벡터 추출 방법 및 합성곱 신경망을 이용하여 회전상태를 구분하였다. 선행연구[6][7]는 육상풍력발전기를 대상으로 연구를 수행했으며, 선행연구[8]는 해상풍력발전기의 블레이드 회전상태에 대한 시뮬레이션 및 측정결과 비교를 한 가지의 해상상태로 가정하여 연구를 수행하였다. 하지만 실제 해상상태는 상황에 따라 변하며 선행연구에서는 이를 고려하지 않았다.

본 논문에서는 해상상태별 파고와 파주기를 전자파 수치해석 시뮬레이션, 실내측정, 실외측정에서 구현하는 방법을 제시하고, 이를 통해 획득한 동적 RCS(Radar Cross Section) 데이터에 시간-주파수 영

역 해석법인 STFT(Short Time Fourier Transform)를 적용하여 해상상태별로 획득한 스펙트로그램 영상을 관찰하여 분석한 결과를 제시한다.

II. 관련 이론

2.1 해상상태별 RCS 시뮬레이션

해상상태에 따라 변하는 부유형 풍력 터빈의 움직임에 대한 정보를 얻기 위해서 동적 RCS 데이터를 계산해야 한다. 이를 위해 레이더가 바라보는 표적인 풍력 터빈의 블레이드와 기둥이 함께 관측되는 상황을 가정하여 시뮬레이션을 진행하였다. 블레이드와 기둥의 3D CAD(Computer Aided Design) 모델은 상용 소프트웨어인 FEKO를 이용하여 모델링 하였고, 레이더 신호의 반사와 산란을 정확하게 모델링하기 위해 표면을 근사화하는 메쉬(Mesh) 구조를 적용하였다. FEKO보다 더 빠른 광선추적법을 수행하기 위해 TSM-RT(Two Scale MODEL-Ray Tracing)방법을 RCS 해석코드인 DARSIM으로 구현하였고, 여기에 변환된 메쉬 데이터를 불러 RCS 계산을 수행하였다[9]. 그러나 해상에 있는 부유형 풍력 터빈은 해상에 따라 움직임이 변하기 때문에 이를 시간에 따른 표적의 3차원 움직임으로 표현해야 한다.

파도에 의한 운동은 회전하는 강체의 회전축이 흔들리는 세차운동(Precession)과 유사하며 특히, 물체의 회전축이 단일한 원 궤적을 그리며 움직이는 coning으로 볼 수 있다. 따라서 시뮬레이션을 위해 해상상태별로 coning motion을 다르게 설정해야 한다.

먼저 풍력 터빈의 coning motion은 그림 1과 같이 나타낸다. 여기서 Φ 는 coning에 대하여 원 궤적으로 회전하는 각도이고 본 논문에서는 ϕ 가 0° 에서 360° 까지 한 바퀴 도는데 걸리는 시간을 coning period라고 가정하였으며, θ 는 풍력 터빈의 회전축이 z축과 이루는 각도로 coning angle이라고 가정한다. 그림 1과 같은 coning을 시뮬레이션에 적용하려면 변환된 k번째 삼각형 메쉬의 세 꼭짓점에 있는 위치벡터 $\vec{v}_{k,1}, \vec{v}_{k,2}, \vec{v}_{k,3}$ 로 이루어진 행렬 V_{object} 에 시간 샘플 t_p 에서의 회전행렬 R_p 를 곱해 좌표변환을 수행해야 한다[10]. 아래 식 (1)은 이를 나타낸다.

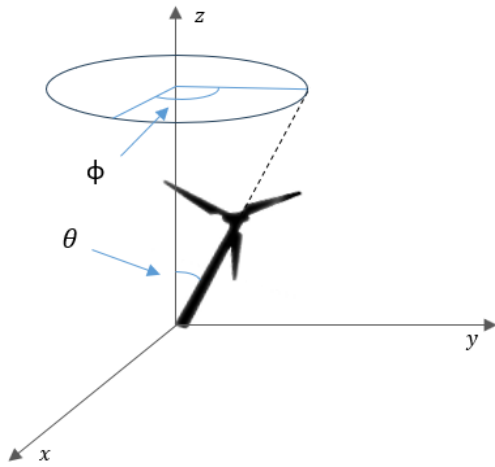


그림 1. 풍력 터빈의 coning motion
Fig. 1. Coning motion of wind turbine

$$V|_p = R|_p V_{object} \quad (1)$$

$$V_{object} = [v_{k,1} \ v_{k,2} \ v_{k,3}]$$

회전행렬 $R|_p$ 는 식 (2)와 같이 오일러 회전행렬로 구성되며, coning angle을 반영하기 위해 y축을 중심으로 θ_0 만큼 회전하는 행렬 $R_y|_{\theta=\theta_0}$ 과 ϕ 를 반영하기 위해 z축을 중심으로 ϕ_0 만큼 회전하는 행렬 $R_z|_{\phi=\phi_0}$ 을 포함한다. 행렬 $R_z|_{\phi=\phi_0}$ 은 xz 평면상에 위치해야 할 위치벡터를 벗어나게 하는데, 이를 보정하기 위해 역박향으로 z축 회전하는 행렬 $R_z|_{\phi=-\phi_0}$ 을 포함한다.

$$R|_p = R_z|_{\phi=\phi_0} R_y|_{\theta=\theta_0} R_z|_{\phi=-\phi_0} \quad (2)$$

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos\Phi & -\sin\Phi & 0 \\ \sin\Phi & \cos\Phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_y = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix}$$

해상상태별 coning angle과 coning period를 설정하기 위해 Principles of Naval Architecture[11]에 정의된 해상상태별 유의 파고(Significant wave height)와 주기(Modal period)를 정리하고 본 연구에서 해상상태에 따른 차이를 명확하게 하도록 간소화한 해상상태를 표 1에 나타내었다[12].

표 1. 해상 상태

Table 1. Sea state

Sea state[11]	Significant wave height [m]	Modal period [sec]	our method
0	0	7.5	1
1	0.02	7.5	
2	0.3	7.5	
3	0.88	7.5	
4	1.88	8.8	2
5	3.25	9.7	
6	5.0	12.4	3
7	7.5	15.0	
8	11.5	16.4	4
9	14.0	20.0	

본 연구에서 간소화한 4단계의 해상상태를 전자파 수치해석 시뮬레이션으로 구현하기 위해 앞에서 설명한 coning angle과 coning period를 DARSIM에서 RCS해석코드로 구현하였다. 이 파라미터를 조정하여 각 해상상태를 설정할 수 있다.

시뮬레이션으로 구현한 각 해상상태는 표 1에서 나타난 유의 파고와 주기를 고려하여 해상상태가 증가함에 따라 coning angle과 coning period가 증가하도록 설정하였다. 표 2는 각 해상상태에 적용한 파라미터 값을 나타낸다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터

Table 2. Simulation parameter

Sea state	Coning angle [degree]	Coning period [sec]
1	1	1
2	3	2
3	8	3
4	15	4

2.2 해상상태별 실내 측정

실내 측정 환경을 구성하기 위해 실제 해상환경과 비슷한 움직임을 갖는 3D Motion Platform을 구현하였다. 3D Motion Platform은 전동 실린더, 모터 드라이브 모듈, Arduino 하드웨어 보드를 연결하여 상하 움직임을 구현 하였고, 상단면과 하단면을 연결한 3개의 전동 실린더에 각각 다른 delay를 적용하여 coning과 유사한 움직임을 구현하였다.

선행연구[8]에서는 상단면을 목재로 구성하였지만, 본 연구에서는 해상상태별로 증가하는 코닝 각도에 대한 3D Motion Platform이 받는 하중을 감소시키기 위해 스티로폼 재질로 구성하였다. 그림 2는 완성된 3D Motion Platform을 나타낸다.

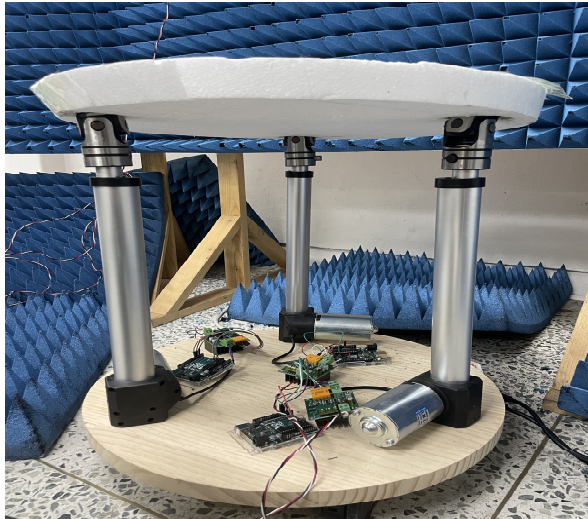


그림 2. 3D 모션 플랫폼
Fig. 2. 3D motion platform

각 해상상태에 해당하는 움직임을 구현하기 위해 전동 실린더가 상승 또는 하강하는데 걸리는 시간과 각 실린더 사이의 delay를 조정하였다. 각 전동 실린더는 Arduino에서 설정한 시간만큼 상승을 마치면 같은 시간만큼 하강한다. 이 시간과 각 실린더 사이의 delay를 증가시킬수록 상단면의 중심축이 지면의 수직 방향과 이루는 각도가 증가하며, 모든 실린더의 상하 움직임이 한번 이루어지는데 걸리는 총시간이 증가한다. 이를 파고와 파주기에 의한 코닝 각도와 코닝 주기로 가정하였다. 표 3은 3D Motion Platform에 적용한 해상상태별 파라미터값을 나타내며 Up/Down Time은 한 개의 전동 실린더가 상승 또는 하강하는데 걸리는 시간, Delay 1, 2는 두 번째 세 번째 실린더가 처음 상승할 때의 지연 시간을 나타낸다.

동적 RCS를 얻기 위한 부유형 풍력 터빈의 모델은 3D CAD 모델과 같은 크기의 스케일 모델을 이용하였다. 다중반사의 영향을 최소화하기 위해 표적인 스케일 모델은 포지셔너를 설치한 3D Motion Platform 위에 설치하였으며, 전파 흡수체를 바닥과 표적 뒤에 설치하였다.

표 3. 3D 모션 플랫폼 파라미터
Table 3. 3D motion platform parameter

Sea state	Up/Down Time [ms]	Delay 1 [ms]	Delay 2 [ms]
1	2000	1150	2300
2	4000	2150	4300
3	6000	3150	6300
4	8000	4150	8300

데이터 획득을 위한 측정장치는 24GHz 도플러 레이더와 DAQ(Data AcQuisition) 모듈을 사용하였다. 레이더를 통해 얻은 표적의 데이터는 아날로그값의 I/Q 데이터로 출력되며 DAQ를 통해 디지털 신호로 전환된다.

2.3 해상상태별 실외측정

실외측정 환경을 구성하기 위해 그림 3과 같이 실제 수면 위에 스티로폼 포지셔너와 스케일 모델을 설치하였고 실내측정과 같은 측정장치인 24GHz 도플러 레이더와 DAQ를 사용하여 데이터를 획득하였다. 관측시간 동안 실제 수면은 일정한 해상상태를 유지하기 때문에 설치된 포지셔너에 수직으로 힘을 인가하여 수면에 파도와 같은 움직임을 형성하였다. 인가하는 힘의 크기가 증가할수록 수면의 움직임이 거세지는 것을 고려하여 해상상태를 인가하는 힘의 크기에 따라 4단계로 분류하였고 그에 따른 표적의 데이터를 획득하였다.

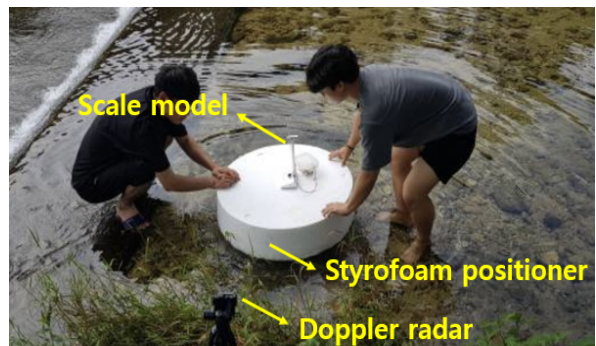


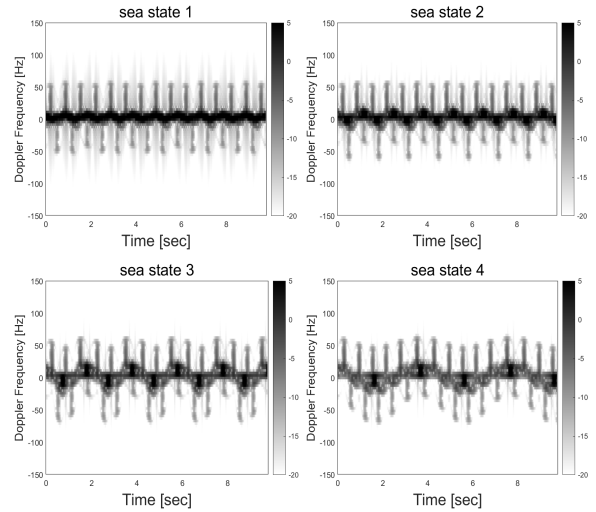
그림 3. 실외측정 환경
Fig. 3. Outdoor measurement environment

III. 실험 결과 분석

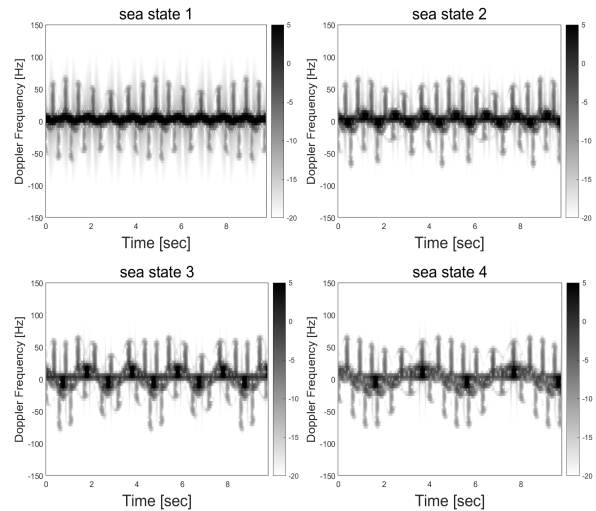
해상상태의 변화를 제외한 다른 조건을 고정하기 위해 3가지 방법에서 사용한 스케일 모델과 3D CAD 모델의 크기를 같게 하였으며, 전자파 수치해석 시뮬레이션과 측정에서 24GHz로 같은 주파수를 이용하였다. 세 가지 방법을 통해 얻은 RCS 데이터를 MATLAB 작업공간에 로드하여 시간-주파수 영역 해석법인 STFT를 적용하였다. 이를 통해 얻은 해상상태별 시간-주파수 영역의 스펙트로그램 영상은 다음과 같다.

세 가지 서로 다른 데이터로부터 획득된 스펙트로그램 영상에서 관측시간이 각각 다른 것을 확인할 수 있다. 이는 각 데이터를 획득하는 과정에서 coning motion을 구현하는 방법이 다르기 때문이다. 시뮬레이션에서는 3D CAD Model과 회전행렬을 이용하여 DARSIM으로 구현하였으며, 실내측정에서는 3D Motion Platform으로 구현하였다. 또한 실외 측정에서는 사람이 직접 스티로폼 포지셔너에 해상상태에 따른 힘을 가하여 구현하였다. 위와 같이 coning motion을 구현하는 방법이 서로 달라 적용 가능한 코닝 주기가 달랐으며, 포락선의 변화를 확인하기 위해서 주기에 따라 관측시간을 다르게 설정하였다. 스펙트로그램 영상에 나타난 플래시 신호의 간격은 블레이드의 회전 속도가 증가할수록 좁아지며 관측시간을 길게 한 경우에 좁아진다. 블레이드의 속도는 세 가지 서로 다른 데이터를 획득하는 방법에서 모두 같은 조건을 유지하는 데 한계가 있기 때문에 각 방법에서 나타나는 플래시 신호의 간격은 차이가 있다.

그림 4와 그림 5에 나타난 시뮬레이션과 실내측정 스펙트로그램 영상에서는 Zero 도플러 근처 신호와 포락선이 코닝 모션에 따라 정현파 신호처럼 나타난다. 그림 6에 나타난 실외측정 스펙트로그램 영상에서는 포락선과 Zero 도플러 근처 신호가 정현파 신호처럼 나타나지만, 해상 클러터로 인해 Zero 도플러 근처 신호가 강하게 나타난 것을 확인할 수 있다. 세 가지 방법 모두 해상상태가 증가함에 따라 정현파 신호의 주기가 증가하였으며, 블레이드에 의한 도플러 주파수의 최댓값과 최솟값의 차이가 증가함을 확인하였다.



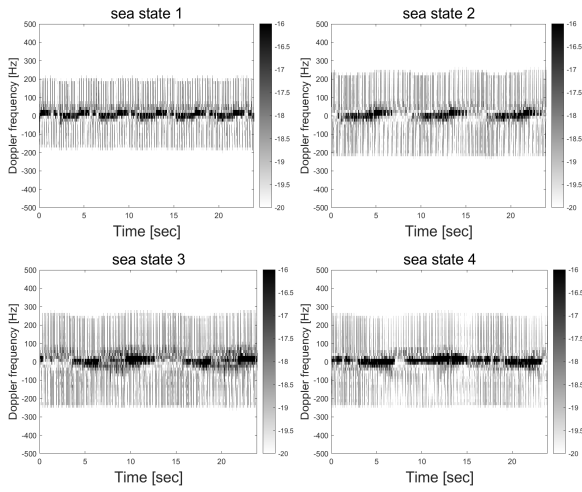
(a) 정상 회전
(a) Normal rotation



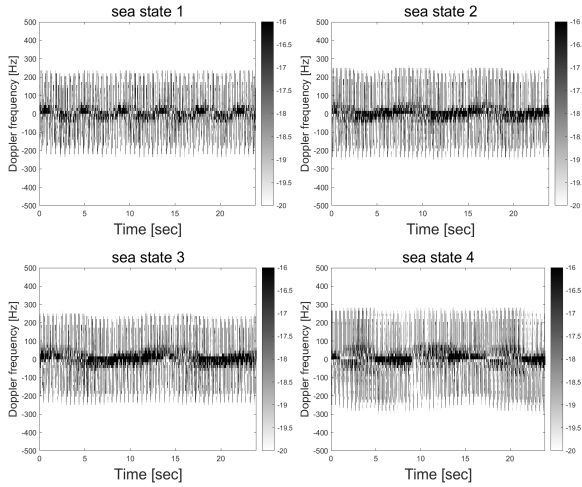
(b) 불균형 회전
(b) Imbalance rotation

그림 4. 해상상태별 시뮬레이션 스펙트로그램
Fig. 4. Simulation spectrogram by sea state

그림 5와 6의 스펙트로그램 영상은 관측시간이 길어 플래시 신호를 자세히 관측하는 데 한계가 있다. 그림 7과 그림 8은 짧은 시간 동안 실내측정과 실외측정을 통해 얻은 해상상태 4에서의 스펙트로그램 영상을 나타낸다. 관측시간이 짧아 해상상태에 따른 움직임은 나타나지 않지만, 정상 회전상태와 불균형 회전상태의 차이를 확인할 수 있다. 실내측정과 실외측정에서 모두 정상 회전과 불균형 회전에서 도플러 주파수 크기의 차이가 있으며, 정상 회전에서는 플래시 신호의 간격이 일정하지만, 불균형 회전에서는 일정하지 않은 것을 확인하였다.

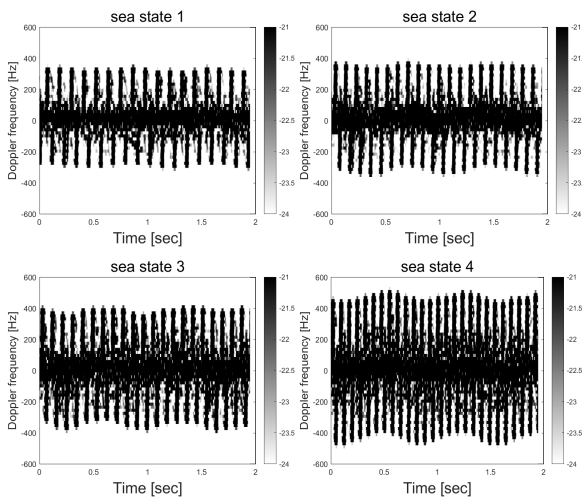


(a) 정상 회전
(a) Normal rotation

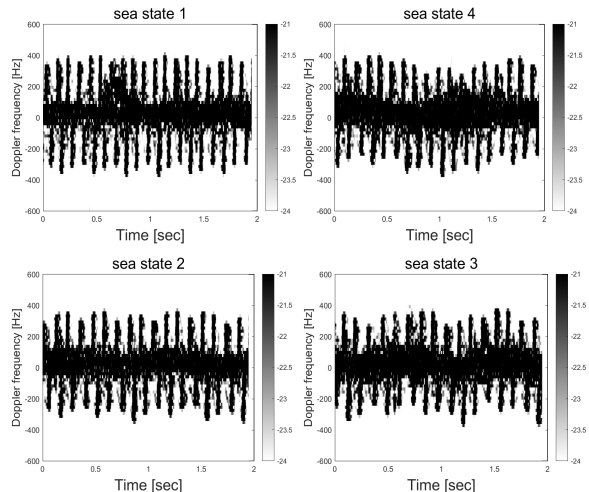


(b) 불균형 회전
(b) Imbalance rotation

그림 5. 해상상태별 실내측정 스펙트로그램
Fig. 5. Indoor measurement spectrogram by sea state

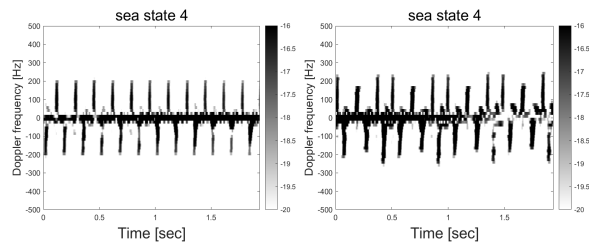


(a) 정상 회전
(a) Normal rotation



(b) 불균형 회전
(b) Imbalance rotation

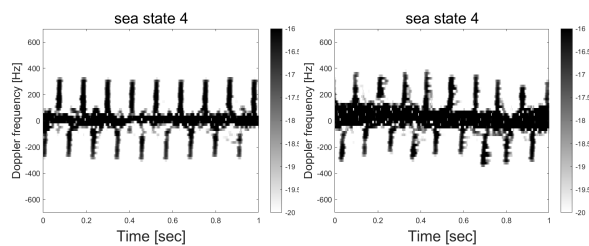
그림 6. 해상상태별 실외측정 스펙트로그램
Fig. 6. Outdoor measurement spectrogram by sea state



(a) 정상 회전
(a) Normal rotation

(b) 불균형 회전
(b) Imbalance rotation

그림 7. 해상상태 4에서 2초 관측 결과 (실내측정)
Fig. 7. Two second observation result at sea state 4 (Indoor measurement)



(a) 정상 회전
(a) Normal rotation

(b) 불균형 회전
(b) Imbalance rotation

그림 8. 해상상태 4에서 1초 관측 결과 (실외측정)
Fig. 8. Own second observation result at sea state 4 (Outdoor measurement)

IV. 결론

본 논문에서는 해상상태에 따른 부유형 풍력 터빈의 동적 RCS를 분석하기 위해 전자파 수치해석

시물레이션, 실내측정, 실외측정 각각에 간소화된 4 단계의 해상상태를 적용하여 동적 RCS 데이터를 얻고 여기에 STFT를 적용하여 스펙트로그램 영상을 획득하였다. 획득한 스펙트로그램 영상은 정상 회전상태와 불균형 회전상태를 나타내며 해상상태 별로 비교 및 분석하였다. 그 결과, 세 가지 서로 다른 데이터로부터 획득한 스펙트로그램 모두 해상상태가 증가함에 따라 도플러 주파수의 최대값과 최소값의 간격이 증가했으며 정현파 신호의 주기가 증가하였다. 또한, 해상상태가 높아지더라도 정상 회전상태와 불균형 회전상태의 도플러 주파수 크기와 플래시 간격의 차이가 발생함을 확인하였다. 이를 통해 해상상태가 증가하더라도 부유형 풍력 터빈의 회전상태 구분이 가능하다는 것을 확인하였으며, 스펙트로그램을 통해 해상상태를 판단할 수 있음을 확인하였다. 향후, 같은 조건에서 데이터를 더 많이 수집하여 딥러닝을 이용한 구분 실험을 진행할 예정이다.

Acknowledgement

본 논문은 2022년 개최된 한국정보기술학회 추계 종합학술대회 논문 “해상상태별 부유형 풍력 터빈의 RCS 시물레이션 분석”과 2023년 한국정보기술학회 하계종합학술대회 논문 “해상상태별 부유형 풍력 터빈의 실내측정결과 분석”을 확장한 것이다.

References

- [1] H. K. Shin, "Floating Offshore Wind Energy Generation", *Journal of Wind Energy*, Vol. 10, No. 4, pp. 5-12, Dec. 2019. <https://doi.org/10.33519/kwea.2019.10.4.001>.
- [2] A. Coscetta, A. Minardo, L. Olivares, M. Mirabile, M. Longo, M. Damiano, and L. Zeni, "Wind Turbine Blade Monitoring with Brillouin-Based Fiber-Optic Sensors", *Journal of Sensors*, Hindawi Limited, pp. 1-5, Mar. 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/9175342>.
- [3] K. H. Kim, H. C. Yang, and K. H. Choi, "A study on detecting the condition of wind turbine blades surface via piezoelectric sensor network", *Proc. of KSME Conference*, Gangwon, Korea, pp. 780-781, Dec. 2016.
- [4] J. Moll, et al., "Radar-based structural health monitoring of wind turbine blades: The case of damage detection", *Structural Health Monitoring*, Vol. 17, No. 4, pp. 815-822, Aug. 2017. <https://doi.org/10.1177/1475921717721447>.
- [5] J. Moll, T. Maetz, D. Wessel, V. Krozer, and S. Krause, "Differential Radar Imaging at 60GHz for Structural Health Monitoring of Wind Turbine Blades: Preliminary Experimental Results", 2020 German Microwave Conference, Cottbus, Germany, pp. 17-20, Mar. 2020.
- [6] Y.-B. Kim and I.-S. Choi, "Feature Vector Extraction and Classifier Design for State Classification of Wind Turbine Blade", *The Journal of Korean Institute of Information Technology*, Vol. 19, No. 6, pp. 89-97, Jun. 2021. <https://doi.org/10.14801/jkiit.2021.19.6.89>.
- [7] Y.-B Kim, Y.-M. Kim, and I.-S. Choi, "State Classification of Wind Turbine Blade using Convolutional Neural Network", *The Journal of Korean Institute of Information Technology*, Vol. 20, No. 4, pp. 89-97, Apr. 2022. <https://doi.org/10.14801/jkiit.2022.20.4.89>.
- [8] Y.-M. Kim and I.-S. Choi, "Comparison of Simulation and Measurement for Imbalance Rotation of Floating Wind Turbine", *The Journal of Korean Institute of Information Technology*, Vol. 21, No. 3, pp. 99-105, Mar. 2023. <https://doi.org/10.14801/jkiit.2023.21.3.99>.
- [9] Y.-J. Choi and I.-S. Choi, "Dynamic RCS Calculation of Wind Turbine Blade Using GPU-Based TSM-RT", *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol. 31, No. 3, pp. 245-252, Mar. 2020. <https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2020.31.3.245>.
- [10] Y. J. Choi, "A Study on the feature extraction of

the target motion using a continuous wave radar", Ph. D. dissertation of Hannam University, pp. 34-54, Feb. 2021.

- [11] E. V. Lewis, "Principles of Naval Architecture (Second Revision): Volume III. Motions in Waves and Controllability", Jersey City, NJ, The Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1989.
- [12] M.-H. Park, J.-Y. Go, W.-J. Jeon, H.-S. Kim, S.-W. Kwon, S.-K. Lee, S.-H. Ryu and S.-H. Kim, "Variation of Radar Performance by Ship Motion according to Sea State", J. Korean Inst. Electromagn. Eng. Sci., Vol. 32, No. 5, pp. 475-483, Mar. 2021. <https://doi.org/10.5515/KJKIEES.2021.32.5.475>.

저자소개

배진우 (Jin-Woo Bae)



2018년 3월 ~ 2024년 2월 :
한남대학교 전기전자공학과
(공학사)
관심분야 : RADAR 신호처리, RCS
해석 및 분석

최인식 (In-Sik Choi)



1998년 2월 : 경북대학교
전자공학과(공학사)
2000년 2월 : POSTECH
전자전기공학과(공학석사)
2003년 2월 : POSTECH
전자전기공학과(공학박사)
2003년 ~ 2004년 : LG전자

선임연구원

2004년 ~ 2007년 : 국방과학연구소 선임연구원
2007년 ~ 현재 : 한남대학교 전기전자공학과 교수
관심분야 : RADAR 신호처리, RADAR 시스템 설계,
RCS 해석 및 분석, EMI/EMC 해석