

# 풍하중을 고려한 확률론적 운동특성 평가기법 개발에 관한 연구

† 이상의

† 창원대학교 메카융합공학과 조교수

## Development of a Probabilistic Approach to Predict Motion Characteristics of a Ship under Wind Loads

† Sang-Eui Lee

† Assistant Professor, Department of Mechatronics Convergence Engineering, Changwon National University, Changwon, 51140, Korea

**요 약** : 지난 10년간, 복원력 상실로 인한 어선의 해양 사고는 지속해 증가하고 있다. 특히, 소형선박 사고의 대부분은 갑작스러운 바람이 주요 원인으로 지목되었다. 바람에 의한 소형선박의 갑작스러운 사고를 예방하기 위해서는 체계적인 분석기법 개발이 필요한 실정이다. 본 연구는 확률론적 극값 추정법을 기반으로 선박의 운동성능에 바람이 미치는 영향을 평가하는 데 그 목적이 있다. 이를 위해 운동 해석, 극값 추출, 운동 특성 분석 등의 연구를 수행하였다. 운동 해석은 Sea State 5의 파랑에서 파도, 과도와 균일 바람, 과도와 NPD풍속 모델 바람이 작용하는 3가지 조건을 적용하였다. 극값 추출은 Hysteresis 필터링 및 Peak-Valley 필터링 기법을 적용하였다. 추출된 극값을 이용하여 적합도 시험(Goodness of Fit Test)을 4가지 분포함수에 대해 수행하여 극값을 가장 잘 표현하는 최적의 분포함수를 선정하였다. 어선의 운동 특성은 3가지 주기 운동에 대하여 (Heave, Roll, Pitch)에 평가 후, 결과를 비교하였다. 선박의 운동성능 해석은 상용 솔버인 ANSYS-AQWA를 이용하였다.

**핵심용어** : 균일 풍속, NPD 모델, 풍속 프로파일, 풍하중, 어선, 확률론적 접근

**Abstract** : Marine accidents due to loss of stability of small ships have continued to increase over the past decade. In particular, since sudden winds have been pointed out as main causes of most small ship accidents, safety measures have been established to prevent them. In this regard, to prevent accidents caused by sudden winds, a systematic analysis technique is required. The aim of the present study was to develop a probabilistic approach to estimate extreme value and evaluate effects of wind on motion characteristics of ships. The present study included studies of motion analysis, extraction of extreme values, and motion characteristics. A series analysis was conducted for three conditions: wave only, wave with uniform wind speed, and wave with the NPD wind model. Hysteresis filtering and Peak-Valley filtering techniques were applied to time-domain motion analysis results for extreme value extraction. Using extracted extreme values, the goodness of fit test was performed on four distribution functions to select the optimal distribution-function that best expressed extreme values. Motion characteristics of a fishing boat were evaluated for three periodic motion conditions (Heave, Roll, and Pitch) and results were compared. Numerical analysis was performed using a commercial solver, ANSYS-AQWA.

**Key words** : uniform wind speed, NPD model, wind speed profile, wind load, fishing boat, probabilistic approach

### 1. 서 론

해상에서 발생하는 어선 사고는 지속해서 증가하고 있으며 (KMST, 2019), 주요 사고는 충돌, 좌초, 전복 등의 3가지로 나눌 수 있다. 사고의 주요 원인은 안개 등에 의한 시정 불량 이 70% 수준으로 가장 빈번하며, 강풍에 의한 조종성 상실이 두 번째로 많았다 (Kang, 2011, Fig. 1). 따라서, 풍속이 소형 어선의 운동성능에 얼마나 영향을 미치는지 체계적으로 파악 하고 분석할 수 있는 연구가 필요한 실정이다.

선박의 풍하중은 풍동, 경험식 및 수치해석(Blenderman, 1994; Isherwood, 1972; Kim et al., 2018; Koop et al., 2010;

OCIMF, 1994; Popinet et al., 2004; Wn ęk and Soares, 2012) 을 이용하여 추정할 수 있다. 실험을 통한 방법이 가장 정확한 것으로 알려졌지만 가장 비싼 방법일 뿐만 아니라 시간도 많



Fig. 1 Example of marine accidents(small boat capsizing).

† Corresponding author : 정희원, euui2000@changwon.ac.kr 055)213-3844

이 소요된다. 특히, 풍속이 실험시설에 따라 달라 같은 모델에서 다른 결과를 얻을 수 있다는 단점이 있다. 경험식은 실험결과와 간단한 이론을 바탕으로 개발되어 빠른 시간에 풍하중을 추정할 수 있는 장점이 있으나 복잡한 형상에 적용할 수 없다는 단점이 있다. 마지막으로 수치해석은 전산유체역학(Computational Fluid Dynamics, CFD)을 이용하여 비교적 적은 비용으로 짧은 시간에 정확한 결과를 얻을 수 있는 장점이 있으나, 개발된 기법의 검증은 위한 실험 결과를 얻기 어려워 기법 고도화의 어려움이 따른다.

확률론적 해석기법을 이용한 극값 추정연구는 그간 선박의 운동 분야보다 사고 하중을 추정하는 연구에 많이 적용됐다. 대표적인 예가 슬로싱(Pastool et al. 2005; Graczyk & Moan 2008; Kuo et al. 2009; Paik et al. 2015) 하중의 추정이다. 본 연구에서는 Paik et al. (2015)의 슬로싱 하중 추정연구에서 극값 추정법을 Hysteresis 필터링 기법과 Peak-Valley 필터링 기법으로 개선하여 개발하였다 (Lee and Lee 2023).

본 연구는 풍하중이 선박의 운동 특성에 미치는 영향을 평가하기 위한 절차를 제안하는 데 그 목적이 있다. 절차는 풍하중 추정, 운동 해석, 극값 추출 및 운동 특성 분석으로 구성된다. 풍하중 추정은 CFD를 이용하여 수행되었으며, 운동 해석은 주파수 및 시간 영역에서 해석을 수행하였다. 극값을 추출은 Hysteresis 필터 및 Peak-Valley 필터링 기법을 적용하였으며, 적합도 시험 (Goodness of Fit Test)를 통해 극값에 대한 최적의 확률분포 함수를 선정하였다. 본 연구는 기존의 풍하중 추정법과 달리 바람을 사고 하중으로 보고 확률론적 기반 위험도 평가의 관점을 제공하고자 한다.

본 연구에서는 개발된 절차에 따라 9.77톤급 어선에 대하여

수행되었으며, 환경 조건은 바람의 영향을 체계적으로 파악할 수 있도록 3가지로 선정하였다.

## 2. 해석절차

본 장에서는 풍하중을 받는 선박의 운동 특성을 추정하기 위한 해석 절차를 간략히 소개한다. 전체 절차는 풍하중 계산부터 운동 특성 분석까지 총 4단계로 구성되며, 상세한 내용은 Fig. 2와 같다.

### 2.1 풍하중 계산

풍하중에 대한 구조물의 내구성은 바람뿐만 아니라 구조물의 특성에 따라 결정된다. 선박설계에서 풍하중은 구조 하중과 비교해 상당히 작은 값으로 저항 추정 시, 추가되는 2차 하중(공기 저항)으로 처리되어왔다. 그러나 선박의 안전 운항을 위한 운동성능 확보의 관점에서 풍하중의 역할은 공기 저항의 관점을 넘는 중요도를 가진다. 특히, 소형선박인 경우, 더욱 그러하다. 따라서, 선박설계 시, 안전 운항 성능확보를 위해서는 바람이 선박의 운동성능에 미치는 영향을 충분히 파악하여 반영할 필요가 있다.

앞서 소개한 바와 같이 일반적으로 풍하중은 풍동실험, 경험식 및 전산역학을 이용하여 추정할 수 있다. 복잡한 선박의 형상을 고려한 정밀한 수준의 풍하중 추정은 풍동실험으로만 가능하지만, 필요한 비용과 시간을 고려하면 전산역학을 이용한 수치해석 기법도 좋은 대안이 될 수 있다. 특히, 풍동실험에서 추정된 풍하중 결과를 수치해석으로 검증하는 방법의 핵심은 풍속 프로파일의 적용 유무로 나눌 수 있다.

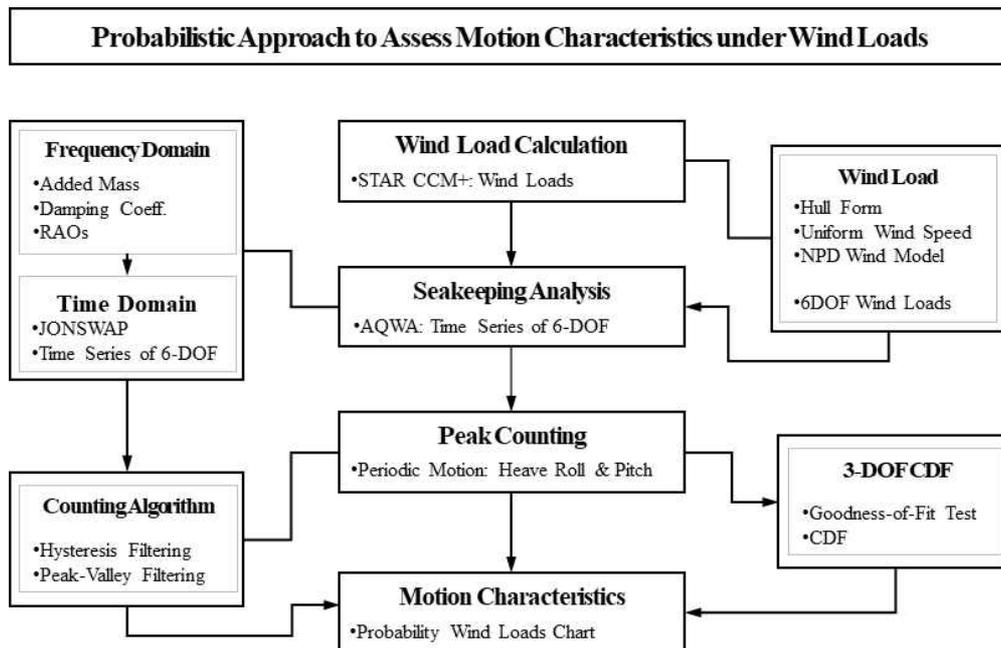


Fig. 2 Procedure of assessing motion characteristics under wind loads.

본 연구에서는 풍하중 추정을 위해 Reynolds averaged Navier-Stokes(RANS) 기반의 상용 솔버인 STAR-CCM+를 사용하였다. 해석은 정상상태에서 풍속 분포곡선을 적용하여 6자유도에 대한 풍하중을 추정하였다. 풍속 분포곡선에 따른 풍하중 추정은 Kim et al.(2018)의 풍속 모델을 적용하여 추정하였으며, 기법개발에 관한 내용은 Lee (2020)에 제시하였다.

### 2.2 운동 해석

바람이 선박에 미치는 영향을 엄밀히 정량화하기 위해서는 파도와 바람을 동시에 고려한 해석기법 개발이 필요하다. 다만, 파와 바람이 만나는 자유수면에서의 상호작용 효과를 충분히 고려한 계산기법의 수치 해석적 적용은 상당한 계산 시간과 비용을 요구한다. 따라서 본 연구에서는 파도와 바람의 효과가 개별적으로 적용할 수 있는 운동 해석기법을 적용한다.

운동 해석에서는 ANSYS-AQWA를 사용하여 주파수 및 시간 영역 해석을 수행한다. ANSYS-AQWA는 포텐셜 이론에 기반한 3차원 패널법으로 본 연구의 목적에 적합하다.

주파수 영역 해석을 통해 부가질량, 감쇠계수 등을 추정하고, 최종적으로 6자유도에 대한 RAO's(Response Amplitude Operators')를 추정한다.

시간 영역 해석은 주파수 영역 해석 결과를 바탕으로 6자유도 풍하중을 적용하여, 단기해석 조건(3시간)에서 불규칙 파를 적용하여 운동해석을 수행하였다. 수치해석으로 추정된 풍하중은 무차원 수로 적용되었으며, 불규칙파 생성에는 Jonswap 파랑 스펙트럼 모델을 적용하였다.

### 2.3 극값 추정

신호 처리 시 극값의 검출은 데이터 처리를 위한 필수적인 과정이다. 가장 단순한 방법은 1차 도함수가 극값에서 0이라는 접근이지만, 노이즈가 존재하는 실제 신호에서는 불필한 다수의 극값이 추출되는 원인이 된다. 따라서 본 연구에서는 1차 도함수의 평활화(Smoothing)를 선행하여 수행하였다. 평활화는 Hysteresis 필터링으로 수행하였다.

Hysteresis 필터링은 특정 진폭의 게이트를 정의하여, 게이트보다 작은 진폭을 가진 극값은 시계열에서 제거한다. 진행 방식은 시계열의 변환점 게이트를 왼쪽에서 오른쪽으로 투사함으로써 수행되며, 변환점이 게이트보다 작으면 시간 이력에서 제거된다. Fig. 3은 Hysteresis 필터링의 적용 알고리즘을 간단한 예로 나타냈으며, Fig. 4는 Hysteresis 필터링을 적용한 전후의 결과를 비교하였다.

Peak Valley 필터링은 Fig. 5와 같이 기울기 방향으로 역방향인 데이터 포인트만 유지하는 것으로, 신호의 최댓값과 최솟값만을 추출한다. 이를 통해 극한 환경에서 선박이 경험하는 극값의 운동 성분을 추출할 수 있다. 선박의 운동 해석 결과를 이용하여 주기 운동 (Heave, Roll, Pitch)에서만 극값을 추출하였다.

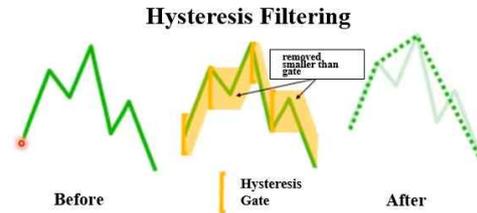


Fig. 3 Example of hysteresis filtering (Lee and Lee 2023).

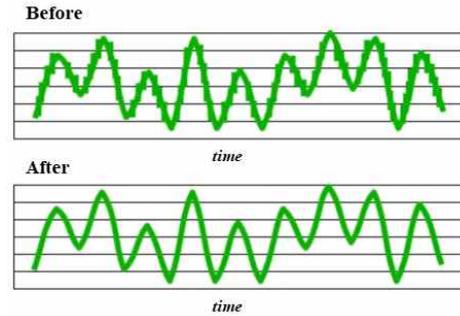


Fig. 4 Example of applying hysteresis filtering.

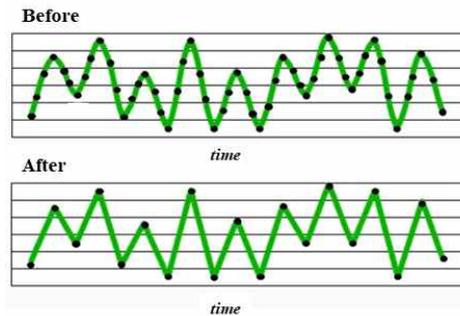


Fig. 5 Example of applying peak-valley filtering (Lee and Lee 2023).

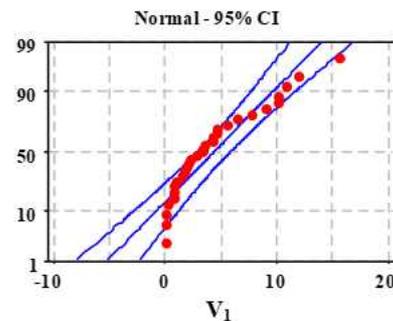


Fig. 6 Example of results from the goodness of fit test.

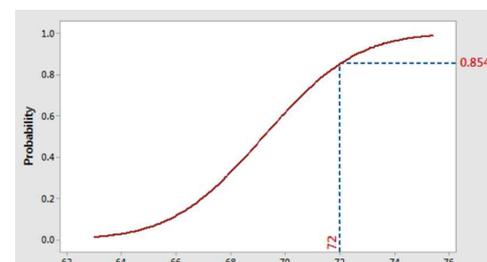


Fig. 7 Example of probability and expectations from the cumulative density function.

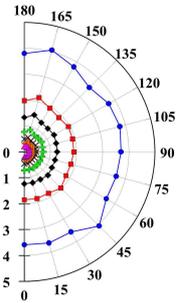


Fig. 8 Example of polar chart for motion characteristics.

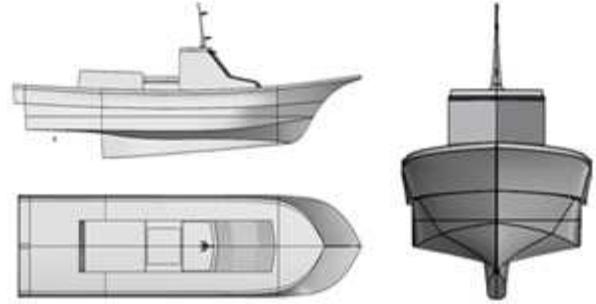


Fig. 9 Target structure, 9.77ton fishing boat. (Lee, 2020).

### 2.4 운동 특성 분석

바람, 파도, 조류에 의한 선박 운동 특성은 확률론적 프로세스(Stochastic Process)를 통해 추정할 수 있다. 앞서 추출한 운동 성분의 극값을 가장 적절히 표현할 수 있는 분포함수를 추정하기 위해 적합도 시험 (Goodness of Fit Test)을 수행한다. 적합도 시험에는 4가지 분포함수, 정규(Normal), 지수(Exponential), 2-및 3-변수 와이불(Weibull) 분포를 적용한다. 최종적인 분포함수의 적합도는 AD(Anderson-Darling, 1954)값을 기준으로 결정한다. Fig. 6는 정규분포 함수에 대한 데이터의 적합도 결과를 예로서 나타내었다.

극값에 대한 최적의 분포함수의 CDF (Cumulative Density Function)를 이용하면, 개별 수준에 따른 극값을 추정할 수 있다. Fig. 7은 CDF를 이용하여 확률 및 기댓값을 추정하는 예를 나타내었으며, Fig. 8은 확률에 따른 운동특성 추정값을 Polar 차트로 표기한 예를 나타내었다.

## 3. 확률론적 평가

본 장에서는 2장에서 제시한 해석 절차에 따라 9.77톤 어선에 적용한 결과를 다룬다. 이를 통해 제안한 확률론적 평가 절차의 적용 가능성을 평가한다.

### 3.1 대상 구조물

본 연구는 앞서 제안한 절차에 따라 9.77톤의 어선의 운동 특성 분석을 수행한다. Table 1은 대상 구조물의 주요 요목을 정리하였으며, Fig. 9는 대상 구조물의 형상을 표현하였다.

### 3.2 풍하중 계산

저자는 선행연구에서 대상 구조물의 풍하중을 전산유체역학을 이용하여 추정한 바 있다. (Lee, 2020) 따라서 본 논문에서는 풍하중 추정에 관한 상세한 내용은 생략한다.

Table 1 Principal dimensions of a 9.77ton fishing boat

Displacement	LBP (m)	Breadth (m)	Draft (m)	Design Speed (kts)
9.77ton	15.0	3.9	0.760	15.0

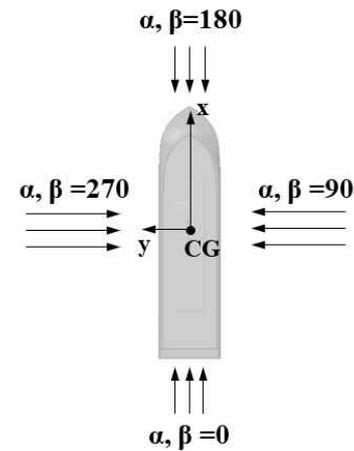


Fig. 10 Schematic definition of coordinate system ( $\alpha$ =wind direction,  $\beta$ =wave direction)

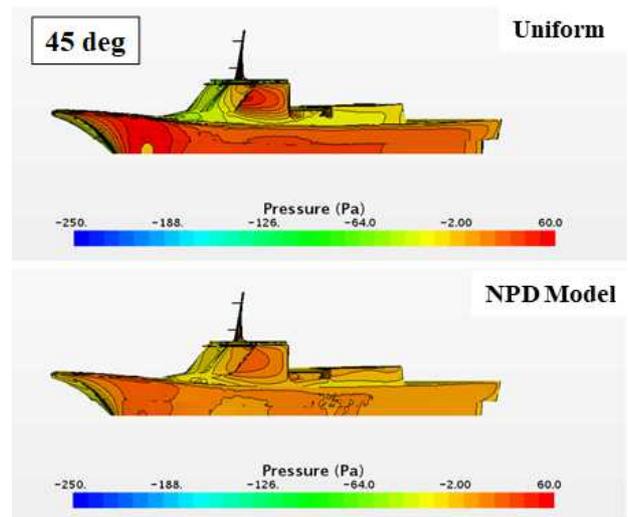


Fig. 11 Example of pressure contour comparison for 9.77ton fishing boat. (Lee, 2020).

Table 2 Environmental conditions for motion analysis

Sea State No.	$H_s$ (m)	$T_p$ (m)	Wind Speed (kts)
5	3.28	9.7	24.5

본 연구에서는 아래와 같이 3가지 환경 조건에서 해석을 수행한다.

- Case I: Wave
- Case II: Wave + Uniform Wind
- Case III: Wave + NPD Wind Profile

본 연구에서 사용한 좌표계는 Fig. 10에 나타내었다. Fig.

11은  $\alpha = 45^\circ$  인 경우, Case II와 Case III의 발생하는 압력분포를 비교한 예이다. Fig. 12는 대상 구조물에 대한 6자유도 풍하중을 요약하여 나타내었다. Case II 대비 Case III에서 Surge, Sway 및 Heave 풍하중이 최대 39.5%, 41.6% 및 46.1% 감소하였으며 Roll, Pitch 및 Yaw에서는 최대 48.2%, 50.6% 및 36.5% 감소하였다. (Lee, 2010)

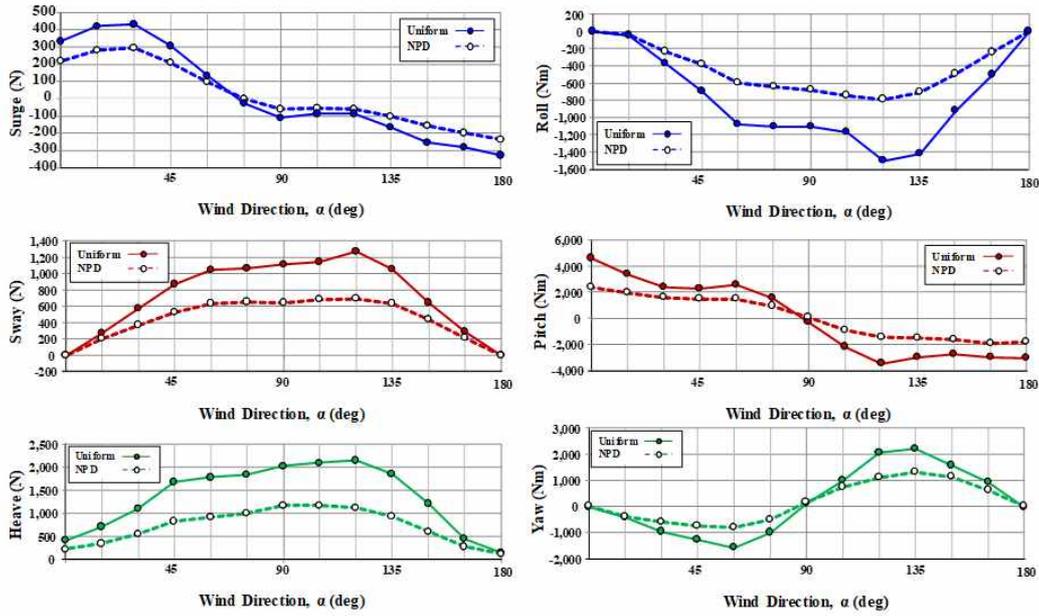


Fig. 12 Wind Loads for 9.77ton fishing boat. (Lee, 2020).

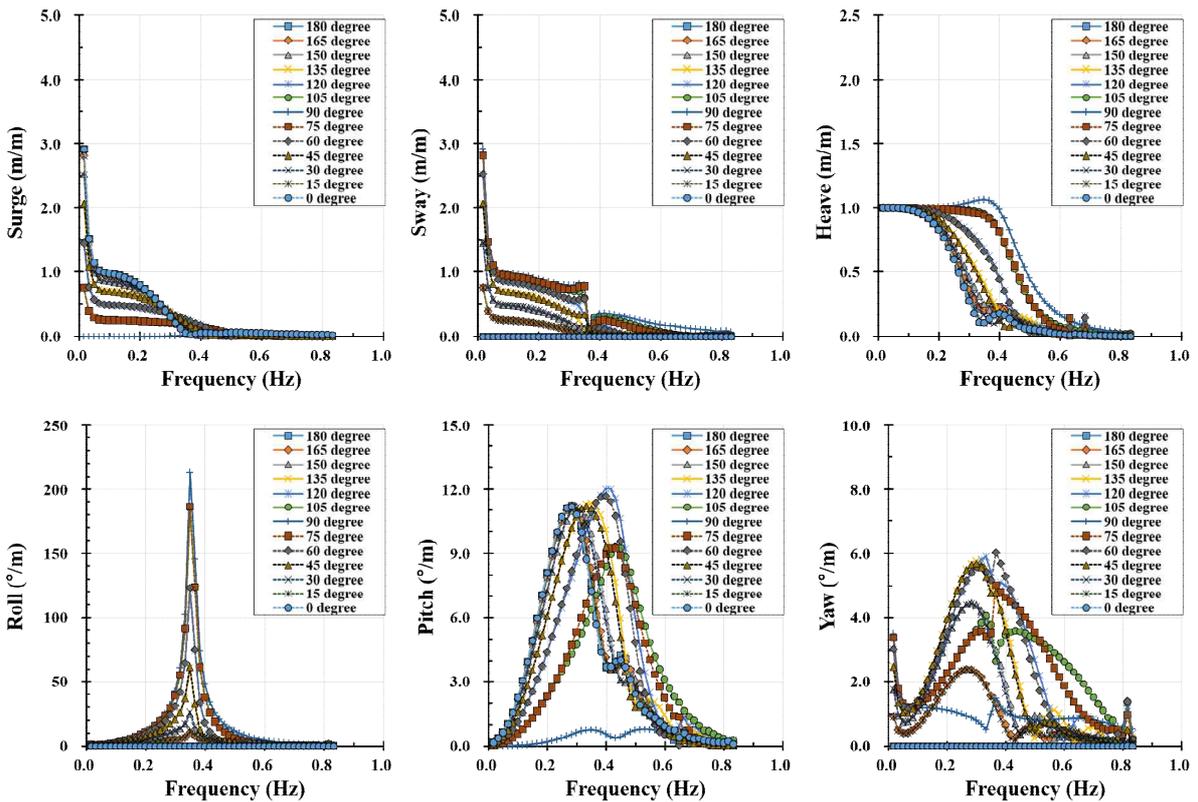


Fig. 13 RAOs of 9.77ton fishing boat (Lee and Lee 2023).

### 3.3 운동 계산

본 절에서는 ANSYS-AWQA를 이용하여 유체동역학적 파력을 계산하였다. 주파수 영역 해석은 수심 120m, 패널 수 1457개, 50개의 주파수와 23개의 파 방향에 대하여 계산을 수행하였다. Fig. 13은 어선의 6자유도에 대한 RAO's 나타내고 있다. (Lee and Lee 2023)

시간 영역 해석은 단기 해석 조건 (Short-term Period, 3-hour)을 기준으로 0.1s의 시간 간격으로 계산을 수행하였다. 불규칙파 생성에는 Jonswap 파랑 스펙트럼 모델을 적용하였으며, 파도와 바람의 방향은 가장 보수적인 관점의 하중조건을 적용하기 위해 동일한 방향에서 작용하는 것으로 설정하였다. Table 2에는 시간 영역 해석에 적용한 파도와 바람 조건을 나타내었다. 이 조건은 북태평양의 연간 해상 상태의 평균으로부터 참조하였다. (Paik & Thayamballi, 2007)

Fig. 14는 Case II,  $\alpha = \beta = 45^\circ$  인 경우, 어선에 발생하는 운동 결과를 Heave, Roll, Pitch에 대하여 예로 도시하였다.

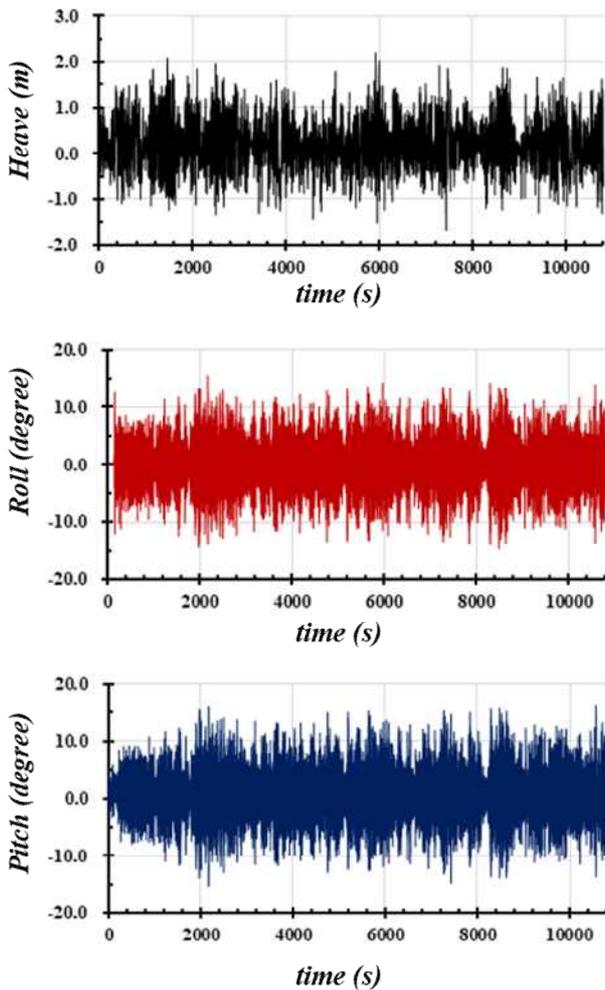


Fig. 14 Heave, Roll and Pitch of a 9.77ton fishing boat.

### 3.4 극값 추출

앞서 3.3절에서 계산한 운동 결과에 대해 Hysteresis 필터링과 Peak-Valley 필터링을 수행한다. 그 결과를 바탕으로 분포함수 적합도 시험을 개별 자유도에 적용하였다.

극값 추출에 사용된 데이터는 원점을 기준으로 음과 양의 값이 반복적으로 나타나는 특징이 있다. 분포함수 추정 시 원활한 분석을 위해 최대-최솟값을 동시에 표기할 수 있는 크기 (Double Amplitude)를 기준으로 데이터를 정리한다. 따라서, 최종 극값 추정 시 이를 고려하여야 한다.

Fig. 15는 Case I,  $\beta = 90^\circ$  인 경우, Roll 운동의 극값에 대한 분포함수 적합도를 평가한 결과이다. Heave, Roll, Pitch 운동은 3변수-와이블 분포가 가장 적합한 것으로 확인되었다.

Fig. 16은 Fig. 15에서 추정된 3변수-와이블 분포를 이용하여 확률에 따른 Roll 운동의 극값을 추정하는 예를 나타내었다. 추정된 결과를 살펴보면, 상위 1.0% (CDF=0.99)의 Roll 운동 극값은 11.63° 수준이며, 중간(CDF=0.5)은 4.54° 수준이다.

Fig. 17은 Case I, II, III에서  $\alpha = \beta = 90^\circ$  인 경우, Roll 극값 분포곡선을 비교하여 나타내었다.

본 절에서는 Figs. 15-16에 제시한 과정을 3가지 환경 조건 (파도, 파도와 균일 바람, 파도와 NPD풍속 모델 바람)과 13가지의 방향에 대하여 수행하였다.

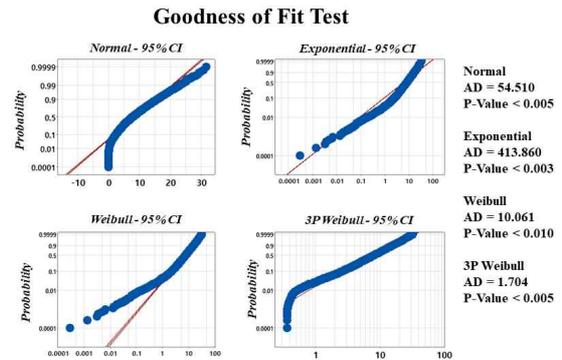


Fig. 15 Results of Goodness of Fit test for Case I,  $\beta = 90^\circ$  (Lee and Lee 2023).

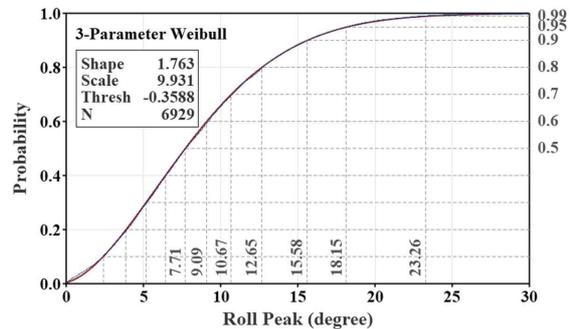


Fig. 16 Estimated CDF and their expectation of roll peak according to the probability for Case I,  $\beta = 90^\circ$ .

### 3.5 운동 특성 분석

3.4절의 결과를 바탕으로 전체 해석 결과에 대한 분포함수를 추정하였다. 이를 바탕으로 Heave, Roll, Pitch 운동의 특성을 7가지 CDF 값(0.99, 0.95, 0.90, 0.80, 0.70, 0.60, 0.50)에 대하여 추출하였다. 추출된 정보는 반지름 방향에 극값의 크기로 정의하고 원주 방향을 파도와 바람의 방향으로 정의하여 Polar 차트에 표기한다.

Fig. 18은 환경 조건에 따른 7가지 CDF 값에 대해 Heave, Roll 및 Pitch의 극값 변화를 비교하여 나타내었다.

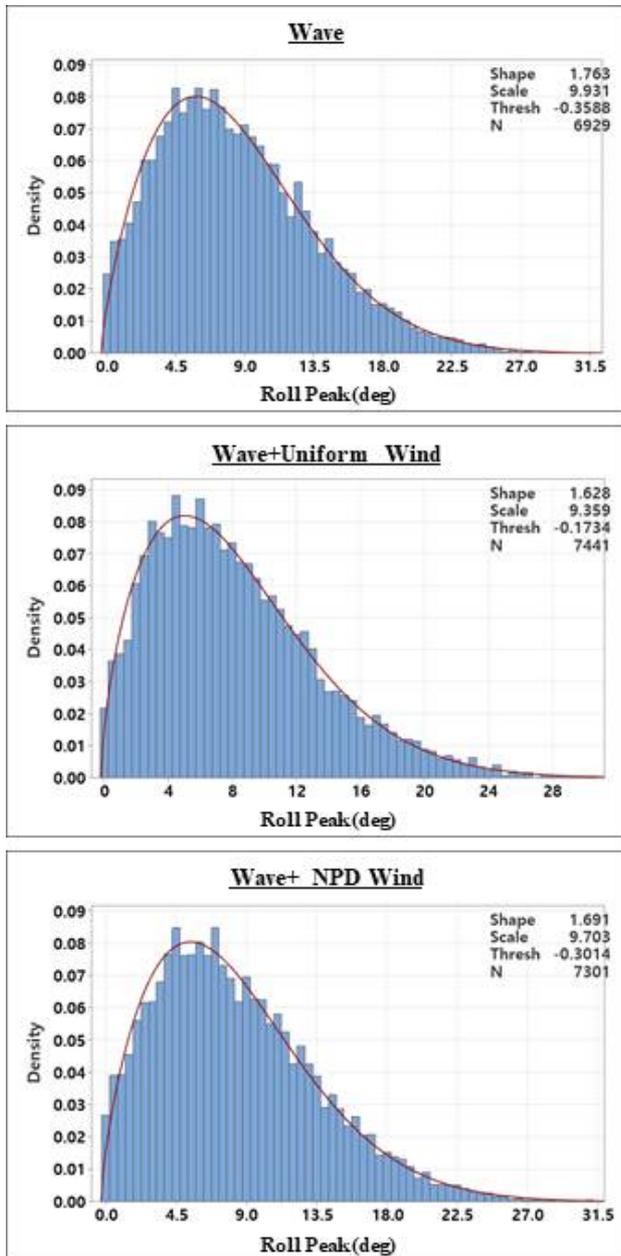


Fig. 17 Comparison of roll peak distribution for Case I, II and III at  $\alpha = \beta = 90^\circ$  (Lee and Lee 2023).

CDF=0.99 수준에서, Heave, Roll 및 Pitch의 경우, 전체적으로 3.0m 및 10.0° 이상의 값이 나타나고 있으며, 전체 평균은 3.55m, 11.95° 및 12.46° 수준으로 추정되었다. 바람이 적용되지 않은 Case I 에서 바람이 적용된 Case II, III보다 큰 운동 특성을 보인다. 특히, Heave에서 Case I 이 9.0% 및 5.8% 큰 것으로 나타난다. 반면 Roll과 Pitch에서는 1.5% 내외의 작은 차이를 보인다. 따라서 바람의 효과는 Roll과 Pitch의 극값에 큰 영향을 미치지 않는 것으로 보인다.

Fig. 19는 상위 3개의 CDF 값에 따른 환경 조건에 따른 운동 특성의 변화를 비교하였다. Heave의 경우, Roll 및 Pitch와 비교하여 상대적으로 큰 편차를 보이는 것으로 관찰되었다.

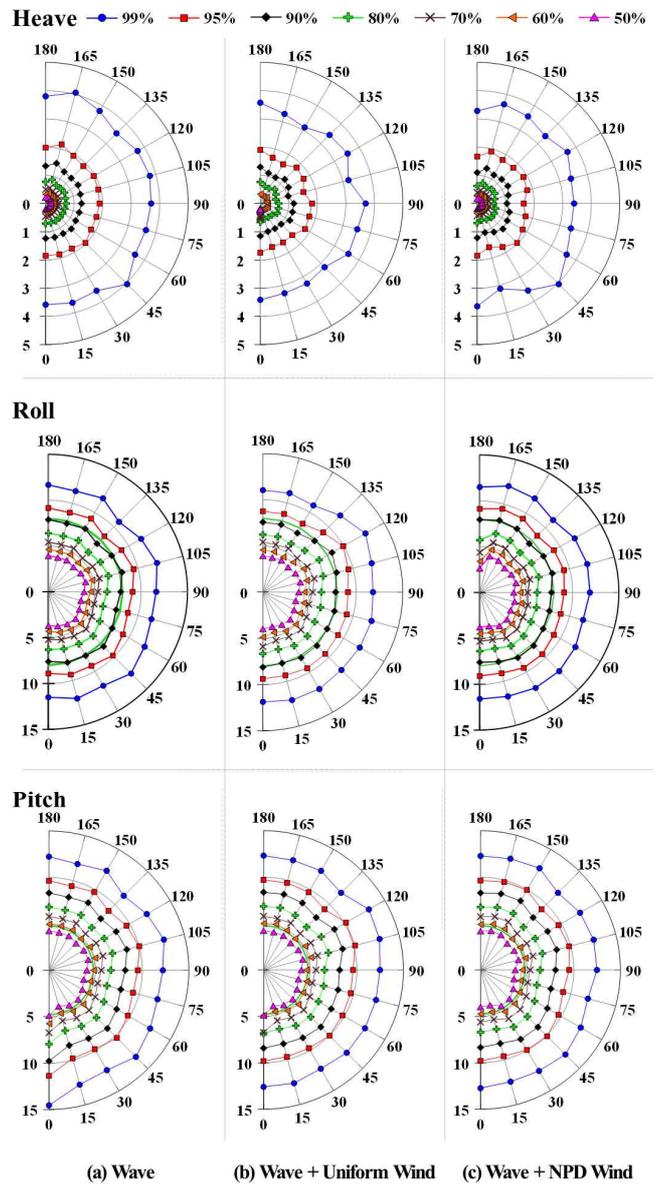


Fig. 18 Comparison of motion characteristics for heave, roll and pitch; (a) Case I, (b) Case II, (c) Case III.

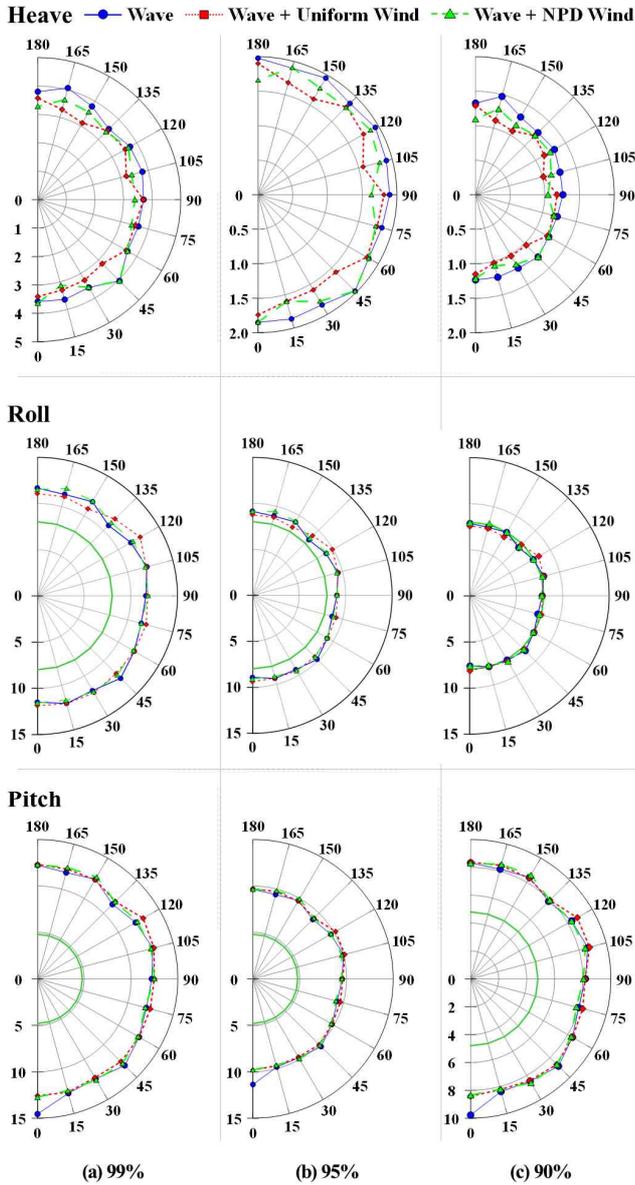


Fig. 19 Comparison of motion characteristics for heave, roll and pitch; (a) CDF=0.99, (b) CDF=0.95, (c) CDF=0.90.

CDF=0.99에서 Heave 최댓값은 Case I의  $\alpha = 45^\circ, 165^\circ$ 와 Case III의  $\alpha = \beta = 45^\circ$ 에서 관찰되었으며, 그 수준은 4.0m로 나타났으며 전체 평균은 3.55m였다. 그러나 CDF=0.95와 0.90 수준인 경우, Heave의 전체 평균은 1.81m와 1.19m 수준으로 나타나 49.1% 및 66.4% 낮아진 것으로 나타났다.

CDF 값이 0.99, 0.95, 0.90까지 변화함에 따라 Roll 전체 평균은 11.95°, 9.29°, 7.96°로, Pitch는 12.46°, 9.75°, 8.39°로 변화하였다. 이 특성의 변화는 크지 않은 것으로 나타났다. Roll은 CDF=0.99 대비 22.2% 및 33.4% 감소하였고, Pitch는 21.8% 및 32.7% 감소하였다. Heave와 비교하여 Roll과 Pitch의 경우, CDF 변화와 환경 조건의 변화에 상대적으로 민감하지 않은 것으로 확인되었다.

앞서 제시한 바와 같이, 바람의 영향이 크게 나타나지 않은 원인을 살펴보면 다음과 같이 추정할 수 있다. 첫째로, 대상 선박이 큰 상부를 가지지 않아, 바람이 대상 구조물의 운동에 미치는 영향이 충분하지 않은 경우이다. 이를 확인하기 위해서는 큰 상부 구조를 가지는 해양플랜트 등에 관한 추가 연구가 필요할 것으로 판단된다. 두 번째로, 본 연구에 적용한 절차는 운동 해석 데이터를 필터링하여 저주파 성분만을 남기고 있다. 이러한 과정이 바람의 영향을 줄이거나 제거하는 방향으로 진행되었다면, 그 효과를 잡아낼 수 없을 것이다. 따라서 이러한 효과를 방지할 수 있는 새로운 방법의 필터링 기법 적용이 필요할 것으로 판단된다. 마지막으로 제안한 절차는 추출한 운동의 극값을 이용하여 바람의 영향을 분석하고자 하였다. 그러나 바람과 선박의 극값 거동 간의 상관도가 아주 낮다면, 태생적인 기법의 한계를 가질 것으로 판단된다. 일반적으로 선박의 운동은 파도에 가장 큰 영향을 받는다. 태풍 정도의 강력한 바람이 아니라면, 바람의 영향이 아주 적어, 그 영향을 분석하기 어려울 것으로 판단된다.

앞서 언급한 것과 같이 본 연구에서 제안한 절차는 많은 기술적 한계를 가지고 있다. 이를 보완하기 위해서는 체계적인 추가 검토 및 향후 연구가 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. 결 론

본 연구의 목적은 풍하중이 선박의 운동 특성에 미치는 영향을 평가하기 위한 절차를 제안하는 데 있다. 본 연구의 결론을 간략히 정리하면 다음과 같다.

- (1) 확률론적 극값 추정법을 기반으로 선박의 운동 특성을 분석하는 절차를 개발하였다.
- (2) 극값의 추정 정도를 개선하기 위해 Hysteresis 필터링 및 Peak-Valley 필터링 기법을 개발하여 적용하였다.
- (3) 3가지 환경 조건과 13가지 파도 및 바람 방향에 대한 시리즈 운동 해석을 수행하여 풍하중이 작용하는 어선의 운동 특성을 분석하였다.
- (4) CDF=0.99인 경우, Heave에서만 풍하중의 효과가 나타났으며, Roll과 Pitch에서는 그 효과가 미미한 것으로 관찰되었다.
- (5) 풍하중 추정은 대형 상부 구조물을 가지는 선박의 운동 성능 평가에 필수적이다. 따라서 본 연구에서 개발한 확률론적 기법을 대형상부구조를 가지는 선박의 운동성능 평가에 적용하는 추가적인 연구가 필요하다.

#### 사 사

이 성과는 정부 (과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2020R1G1A10109 91).

## References

- [1] Anderson, T. W. and Darling, D. A.(1954), "A Test of Goodness-of-fit", *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 49, No. 268, pp. 765-769.
- [2] Blendermann, W.(1994), "Parameter Identification of Wind Loads on Ships", *Journal of Wind Energy and Industrial Aerodynamics*, Vol. 51, pp. 339-351.
- [3] Graczyk, M, and Moan, T.(2008), "A Probabilistic Assessment of Design Sloshing Pressure Time Histories in LNG Tanks," *Ocean Engineering*, Vol. 35, pp. 834-855.
- [4] Isherwood, R. M.(1972), "Wind Resistance of Merchant Ships", *Transactions of the Royal Institution of Naval Architects*, Vol. 114, No. 3, pp. 327-338.
- [5] Kang, J. P.(2011), "A Study on the Relationships between a Fisher Boat Sea Accidents and Meteorological Factors", Master Thesis, Pukyong National University.
- [6] Kim, J. W., Jang, H. C., Xu, W., Shen, Z., Kara, M., Yeon, S. M. and Yan, H.(2018), "Numerical Modelling of Neutrally-stable and Sustainable Atmospheric Boundary Layer for the Wind Load Estimation on an Offshore Platform", *The 37th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*, Madrid, Spain, June 17-22.
- [7] KMST(2019), "Korean Maritime Safety Tribunal, Statistics: Marine Accidents according to Vessel Type".
- [8] Koop, A., Klaij, C. and Vaz, G.(2010), "Predicting Wind Loads for FPSO Tandem Offloading using CFD", *Proceedings of the ASME 29th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering*, June 6-11, Shanghai, China.
- [9] Kuo, J. F., Campbell, R. B., Ding, Z., Hoie, S. M., Rinehart, A. J., Sandstorm, R. E., Yung, T. W., Greer, M. N. and Danaczko, M. A.(2009), "LNG Tank Sloshing Assessment Methodology: The New Generation", *Proceedings of 19th International Offshore and Polar Engineering Conference*, ISOPE, June 21-26, Osaka, Japan.
- [10] Lee, S. E.(2020), "Effect of Wind Speed Profile on Wind Loads of a Fishing Boat", *Journal of The Korea Society of Marine Environment & Safety*, Vol. 27, No. 6, pp. 922-930.
- [11] Lee, S. E. and Lee B. H.(2023), "Assessing the Effect of Wind on the Motion Peaks of Small Marine Vessels", *Journal of Coastal Research*, Vol. SI, No. 116, pp. 593-597.
- [12] OCIMF(1994), "Prediction of Wind and Current Loads on VLCCs (2nd Ed.)", Witherby and Co., London, UK.
- [13] Paik, J. K., Lee, S. E., Kim, B. J., Seo, J. K., Ha, Y. C., Matsumoto, T. and Byeon, S. H.(2015), "Toward a Probabilistic Approach to Determine Nominal Values of Tank Sloshing Loads in Structural Design of LNG FPSOs", *Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering*. Vol. 137, No. 2, doi: 10.1115/1.4029666.
- [14] Paik J. K. and Thayamballi A. K.(2007), "Ship-shaped Offshore Installations: Design, Building, and Operation", Cambridge (UK), Cambridge University Press.
- [15] Pastoor, W., Ostvold, T. K., Byklum, E., and Valsgard, S.(2005), "Sloshing Load and Response in LNG Carriers for New Designs, New Operations and New Trades," *GasTech 2005*, March 14-17, Bilbao, Spain.
- [16] Popinet, S.; M. Smith, and C. Smith.(2004), "Experimental and Numerical Study of the Turbulence Characteristics of Air Flow around a Research Vessel", *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol. 21, pp. 1575-1589.
- [17] Wnęk, A. D. and C. Guedes Soares.(2012), "Numerical Analysis of the Shadow Effect of an LNG Floating Platform on an LNG Carrier under Wind Conditions", *Sustainable Maritime Transportation and Exploitation of Sea Resources-Rizzuto & Guedes Soares (Eds.)*, Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-62081-9.

---

Received 08 December 2023

Revised 10 December 2023

Accepted 14 December 2023