

# 풍속 분포곡선이 어선의 풍하중에 미치는 영향에 관한 연구

이상의\*\*

\* 창원대학교 메카융합공학과 조교수

## Effect of Wind Speed Profile on Wind Loads of a Fishing Boat

Sang-Eui Lee\*\*

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

**요 약 :** 지난 10년간 복원력 상실에 의한 어선의 해양사고가 지속해서 증가하고 있으며, 갑작스러운 강풍이 주요 원인으로 지적되고 있다. 이러한 강풍에도 견딜 수 있는 어선의 운동·조종성능을 확보하기 위해서는 정밀한 풍하중 예측 기법이 우선되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 전산유체역학 기법을 이용한 어선의 풍하중 평가기법을 개발하고자 한다. 특히, 고도 변화에 따라 풍속이 변화하는 계산환경을 모사하여 그 결과를 균일한 속도분포를 가정한 수치해석 결과와 비교 분석하고자 한다. 본 연구에서는 0-180°까지 15° 간격으로 13개의 방향에 대해 풍하중을 계산하였으며, 계산에 사용된 메쉬 모델은 메쉬 의존성 시험을 수행하여 개발하였다. 전산수치해석은 RANS(Reynolds-averaged Navier-Stokes) 기반 상용 해석 Solver인 STAR-CCM+(Ver. 13.06)와  $k-\omega$  난류 모델을 이용하여 정상상태(Steady State) 유동해석을 수행하였다. 수치해석결과를 간략히 살펴보면 Surge, Sway 및 Heave에서 39.5%, 41.6% 및 46.1% 풍하중이 감소하였으며 Roll, Pitch 및 Yaw에서 48.2%, 50.6% 및 36.5% 감소하였다. 결론적으로 본 연구에서는 고도에 따른 풍속 변화 모델을 통해 기존보다 정밀한 수준의 풍하중 추정이 가능한 것을 확인하였으며, 그 결과가 선박의 풍하중 추정 평가기법 발전에 이바지하길 기대한다.

**핵심용어 :** 풍속 분포곡선, 풍하중, 어선, 전산유체역학, 유한체적법

**Abstract :** Marine accidents involving fishing boats, caused by a loss of stability, have been increasing over the last decade. One of the main reasons for these accidents is a sudden wind attacks. In this regard, the wind loads acting on the ship hull need to be estimated accurately for safety assessments of the motion and maneuverability of the ship. Therefore, this study aims to develop a computational model for the inlet boundary condition and to numerically estimate the wind load acting on a fishing boat. In particular, wind loads acting on a fishing boat at the wind speed profile boundary condition were compared with the numerical results obtained under uniform wind speed. The wind loads were estimated at intervals of 15° over the range of 0° to 180°, and i.e., a total of 13 cases. Furthermore, a numerical mesh model was developed based on the results of the mesh dependency test. The numerical analysis was performed using the RANS-based commercial solver STAR-CCM+ (ver. 13.06) with the  $k-\omega$  turbulent model in the steady state. The wind loads for surge, sway, and heave motions were reduced by 39.5%, 41.6%, and 46.1% and roll, pitch, and yaw motions were 48.2%, 50.6%, and 36.5%, respectively, as compared with the values under uniform wind speed. It was confirmed that the developed inlet boundary condition describing the wind speed gradient with respect to height features higher accuracy than the boundary condition of uniform wind speed. The insights obtained in this study can be useful for the development of a numerical computation method for ships.

**Key Words :** Wind speed profile, Wind load, Fishing boat, Computational Fluid Dynamics, Finite Volume Method

### 1. 서 론

어선의 해양사고는 충돌, 좌초, 전복 등이 대부분을 차지하고 있으며(Kang, 2011), 2014년 이후 지속해서 사고 발생률이 증가(Table 1 참조)하고 있다(KMST, 2019). 어선의 해양사고 기상 원인 중, 안개 등으로 인한 시계 불량이 70%로 1위

를 풍속이 13.6%로 2위를 기록하고 있다(Kang, 2011). 어선의 운동성능과 연관성이 낮은 시계 불량을 제외하면, 풍속에 의한 어선 사고가 가장 높은 빈도로 발생하고 있다. 따라서, 소형 어선의 갑작스러운 운동·조종성능에 영향을 미치는 풍속의 영향에 관한 정밀한 연구가 필요한 실정이다.

선박의 풍하중 추정방법은 대표적으로 풍동 시험, 이론식, 경험식 및 수치해석기법을 이용한 추정법으로 나눌 수 있다

† euui2000@changwon.ac.kr, 055-213-3844

(Shearer and Lynn, 1960; White, 1966; Aage, 1971; Isherwood, 1972; Andersson, 1978; van Berlekom et al., 1975; van Berlekom, 1981; Gould, 1982; van Oortmerssen et al., 1987; OCIMF, 1994; Blendermann, 1993a, 1993b, 1994, 1995, 1996; Haddara and Guedes Soares, 1999; Molland and Barbeau, 2003; Popinet et al., 2004; Brizzolara and Rizzuto, 2006; Zhang et al., 2010; Koop et al., 2010; Tannuri et al., 2010; Wnęk and Guedes Soares, 2012; Wnęk et al., 2009, 2010; Kim et al., 2018). 이들 중 풍동 시험은 가장 정확한 하중 평가법으로 알려져 있으나, 시험기관과 개별 풍동의 시험 조건에 따라 동일 모델의 풍하중 추정값 사이에 차이가 발생하기도 한다. 이러한 차이점을 보완하기 위해 전산유체역학(CFD, Computational Fluid Dynamics)을 이용한 연구가 꾸준히 진행되었으나, 계산시간이 오래 걸린다는 단점이 있었다. 그러나 2000년대 이후, 고성능 계산기(High Performance Computing)의 연산 용량 및 속도 발전은 CFD 기술의 발전으로 이어졌다. 그 결과 선박의 풍하중 추정 분야에서도 CFD의 역할과 비중이 최근 크게 확대되고 있다.

따라서 본 연구에서는 CFD를 이용한 어선의 풍하중 추정 기법을 개발한다. 구체적으로 고도에 따라 풍속이 변화하는 유입조건을 적용한 풍하중 평가법을 개발하고, 최종적으로 풍속 변화가 없는 균일한 유입조건에서 추정된 풍하중 결과와 비교하여 정량적 풍하중 감소 수준을 평가한다.

## 2. 선행연구

선박설계에서 풍하중은 2차 하중으로서 경험식, 수치계산 및 풍동 모형시험 등의 방법으로 평가되어왔다(Lee, 2015). 이들 중 풍동 시험(Shearer and Lynn, 1960; White, 1966; Aage, 1971; Isherwood, 1973; Andersson 1978; van Berlekom et al., 1975; van Berlekom, 1981; Gould, 1982; OCIMF, 1994; Blendermann, 1993a, 1996; Molland and Barbeau, 2003)이 가장 정확한 풍하중 평가법으로 알려졌지만 큰 비용이 들어가는 단점이 있어,

Table 1. Marine accidents according to vessel type in Korea

Year	Passenger Ship	Cargo Ship	Fishing Boat	Others
2014	51	111	1,029	374
2015	66	115	1,621	560
2016	65	116	1,794	574
2017	46	127	1,939	770
2018	44	112	2,013	799
Total	272	581	8,396	3,077

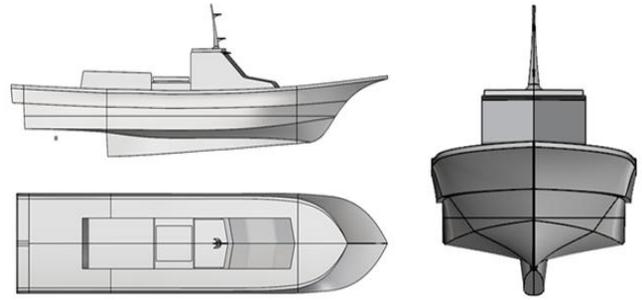


Fig. 1. Target vessel, 9.77ton fishing boat.

실험의 높은 비용을 절약할 수 있는 풍하중 추정법이 제안 되어왔다.

실험을 대체할 수 있는 풍하중 추정법은 이론적, 경험적, 수치적 방법으로 나눌 수 있다. 대표적인 이론 추정법으로는 2차원 원형 실린더의 정상 및 진동상태 유동을 기반으로 개발된 볼텍스(Vortex) 모델링 기법을 들 수 있다(van Oortmerssen et al., 1987). 이 추정법은 큰 구조물의 풍하중 추정에는 적용할 수 있지만 복잡한 형상에는 적용할 수 없을 뿐만 아니라 유동에 의한 구조물 간의 효과를 고려하지 못하는 단점이 있다.

이러한 이론적 방법을 보완하기 위한 목적으로 개발된 방법이 경험식을 이용한 추정이다. 경험식은 유사한 형상을 가진 시리즈(Series of Family) 선박의 풍동 시험결과를 바탕으로 경험식을 개발하여 풍하중을 추정하는 방법이다(Isherwood, 1972; Gould, 1982; Blendermann, 1993b, 1994, 1995, 1996; Haddara and Guedes Soares, 1999). 그러나 경험식을 이용한 추정법은 새로운 형상에 대한 풍하중 추정에는 전혀 적용할 수 없다는 단점이 있다.

이러한 경험식의 한계는 컴퓨터 성능의 비약적 발전과 함께 CFD로 보완되는 수준이었으나 최근에는 경험식의 한계를 넘어 새로운 형상의 풍하중 추정 시 풍동 시험 없이 직접적인 결과를 내고 적용하는 수준에까지 이르렀다. 초기 CFD 연구는 기존 풍동 실험 결과를 검증하는 수준에 머물렀으나(Popinet et al., 2004; Brizzolara and Rizzuto, 2006; Zhang et al., 2010; Koop et al., 2010; Tannuri et al., 2010; Wnęk and Guedes Soares, 2012; Wnęk et al., 2009, 2010) 최근의 연구 수준은 풍동을 그대로 모사하여 개별 시험기관의 결과 검증이 가능한 수준까지 이르렀다(Kim et al., 2018).

따라서 본 연구에서는 어선의 풍하중 추정을 위해 CFD 기법을 기반으로 풍동 시험에서 사용하는 풍속 분포곡선을 경계조건으로 설정한 수치해석모델을 개발하고, 최종적으로 균일한 풍속을 가정한 수치 시뮬레이션 결과와 비교하여 개발된 방법의 정확성을 비교 분석하고자 한다.

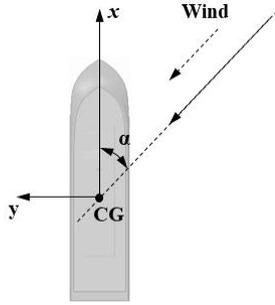


Fig. 2. Coordinate system.

### 3. 수치해석모델

#### 3.1 대상구조물

일반적으로 어선은 5 ton 이하가 많고 이들은 대부분 근해에서 운항한다. 그러나 10 ton 규모의 어선은 연근해를 벗어나 조업하는 경우가 빈번하여 기상변화 대응에 많은 어려움이 따른다. 따라서 본 연구에서는 대상 선박 중 9.77 ton 어선을 대상 선박으로 선정하고 이를 이용하여 수치해석기법을 개발한다. Fig. 1은 대표적인 9.77 ton 어선을 보여주고 있으며, 해당 선박의 제원은 Table 2와 같다. 본 연구에 적용한 좌표계는 Fig. 2와 같다.

#### 3.2 풍속 모델

풍동 시험기관에서 가장 널리 사용되는 풍속 분포곡선은 NPD(Norwegian Petroleum Directorate) 모델로서 완전히 발달한 난류표면유동 경계층(Fully-developed Turbulent Boundary Layer)을 로그 프로파일(Logarithm Profile)로서 구현한 수치 모델이다(Kim et al., 2018). NPD 프로파일의 평균풍속은 다음과 같다.

$$U(z) = U(z_{ref})(1 + 0.0573 \sqrt{1 + 0.15U(z_{ref})}) \ln \frac{z}{z_{ref}} \quad (1)$$

여기서  $z_{ref}$ 는 기준 높이로 수면으로부터 10m를 의미하며,  $U(z_{ref})$ 는 기준 높이에서의 기준속도를 나타낸다.

Kim et al.(2018)은 NPD 풍속 모델에 Roughness Length ( $z_0$ )를 도입하여 수정된 NPD 프로파일의 평균풍속을 아래와 같이 제안하였다.

$$U(z) = U(z_{ref})(1 + 0.0573 \sqrt{1 + 0.15U(z_{ref})}) \ln \frac{z + z_0}{z_{ref}} \quad (2)$$

Table 2. 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

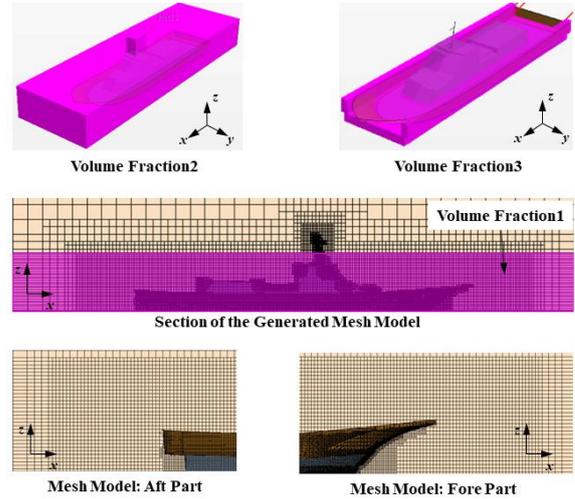


Fig. 3. Volume fractions and generated mesh model.

본 연구의 대상 어선은 서해, 남해, 동해 및 제주도 등에서 운항한다. 해양수산부(MOF, 2017) 보고서에 따르면 태풍을 제외한 국내 해역에서의 최대 평균풍속은 9.85~12.85 m/s 범위이다. 일찍이 Lee(2015)는 풍속 변화에 따른 풍하중 계수가 일정한 수준을 유지한다는 점을 수치적으로 확인하였다. 따라서 본 연구에서는 국내 해역 최대풍속 범위 내의 값인 10 m/s를 기준 풍속으로 적용한다.

#### 3.3 경계조건 및 메쉬 모델

본 연구에서는 STAR-CCM+(Ver. 13.06)를 이용하여 수치해석을 수행하였다. 연구에 적용된 메쉬모델은 Fig. 3과 같이 생성되었다. 메쉬 생성에는 3가지의 Volume을 정의하여 전체 메쉬 크기인 Global 크기에 비례하여 생성되도록 설정하였다. 상세 내용은 Table 3에 나타내었다. 대상 어선의 선체 주변의 첫 번째 격자 크기는 5 mm로 동일한 크기를 적용하였다.

최종 수치해석에 사용된 메쉬 모델은 메쉬 의존성 시험을 통하여 결정하였으며, 메쉬 의존성 시험은 5가지 모델에 대하여 수행하였다. 적용된 메쉬 생성 조건 및 수는 Table 3과 같다. 메쉬 의존성 시험은 균일 풍속에서 선수 정면( $\alpha = 0$ )과 선측 정면( $\alpha = 90$ )에 대하여 수행하였으며, 그 결과는 Fig. 4, 5와 같다. 최종적으로 본 연구에 적용된 메쉬 수는 약 270만개 수준이다.

풍속 분포곡선이 어선의 풍하중에 미치는 영향에 관한 연구

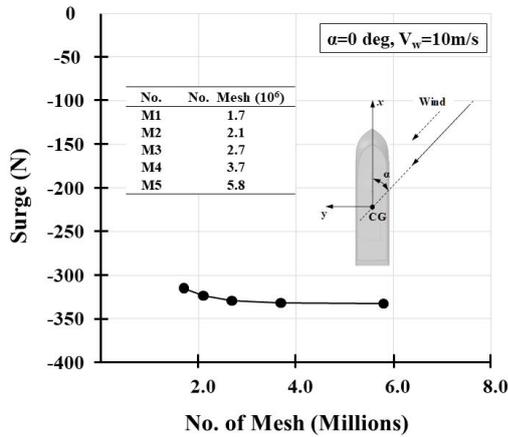


Fig. 4. Results of mesh convergence for surge in head sea.

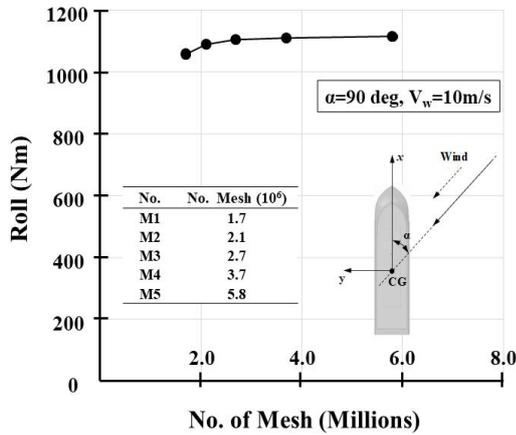


Fig. 5. Results of mesh convergence for roll in beam sea.

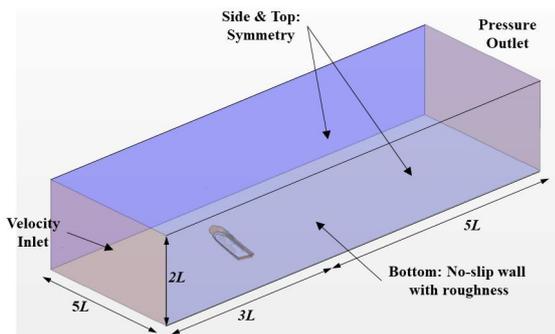


Fig. 6. Computational domain and boundary conditions.

Fig. 6은 수치해석에 사용한 계산도메인 사이즈를 나타내고 있으며, 구체적으로 폭 방향으로 어선 길이(L)의 5배, 높이 방향으로 2배, 길이 방향으로 8배(상류 3배, 하류 5배)로 결정하였다. 계산에 적용한 경계조건은 유입구에 Velocity Inlet과 유출구에 Pressure Outlet을 주었으며, 풍속의 프로파일

변화를 고려하기 위해 Bottom은 No-slip Wall 경계조건을 적용하였다. 실제로 Bottom은 자유수면(Free Surface)이지만 본 연구에서는 풍동 시험에서 사용하는 풍속분포 곡선을 최대한 모사할 수 있는 경계조건을 만들기 위하여 No-slip Wall 조건을 적용하였다. 수치해석은 어선을 고정하고 Velocity Inlet에서 바람이 유입되는 것으로 설정하였다.

3.4 유동해석

본 연구에서는 3차원 정상상태 비압축성 점성유동을 가정하여 수치해석을 수행하였다. 유동 지배방정식은 질량과 모멘텀 보존방정식으로 아래와 같다.

$$\frac{\partial u_j}{\partial x_j} = 0 \tag{3}$$

$$\frac{Du_j}{Dt} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_j} + \nu \frac{\partial^2 u_j}{\partial x_i \partial x_i} + f_j \tag{4}$$

여기서  $u_j = (u, v, w)$ ,  $x_j = (x, y, z)$ ,  $f_j$ 는 체적력,  $\rho$ 는 밀도,  $\nu$ 는 동점성계수를 의미한다.

난류는  $k-\omega$  모델을 경계층에는 Wall Function을 적용하였으며, 중력은 무시하였다. 적용된 난류 모델과 Roughness Length에 의한 풍속 변화는 Kim et al.(2018)의 정식화에 따라 모델링을 수행하였다.

Table 3. Conditions of mesh convergence

Mesh Size	M1	M2	M3	M4	M5	
Global, G (m)	2.0	1.75	1.50	1.25	1.00	
Volume1 (% of G)	x-axis = 80, y-axis = 80, z-axis = 10					
Volume2 (% of G)	x-, y-, z-axis = 10					
Volume3 (% of G)	x-, y-, z-axis = 5					
No. of Mesh (Million)	1.7	2.1	2.7	3.7	5.8	
Ave. y <sup>+</sup>	Surge	10.9	10.8	10.3	9.9	9.6
	Roll	8.08	8.06	8.03	7.97	7.92

Table 4. Average error of wind speed profile

Name of Section	Below 1 m	Above 1 m
Section1 (x = 20m)	3.4 %	1.1 %
CG (x = 34.4)	-0.4 %	-0.9 %
Section2 (x = 95m)	0.4 %	-0.4 %
Outlet (x = 120m)	0.3 %	-0.6 %

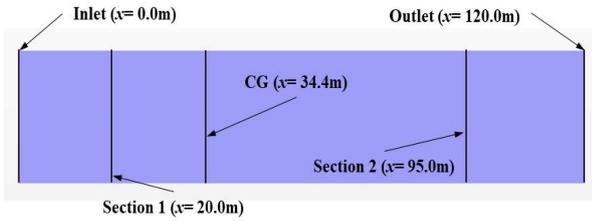


Fig. 7. Cross-section locations for monitoring wind speed.

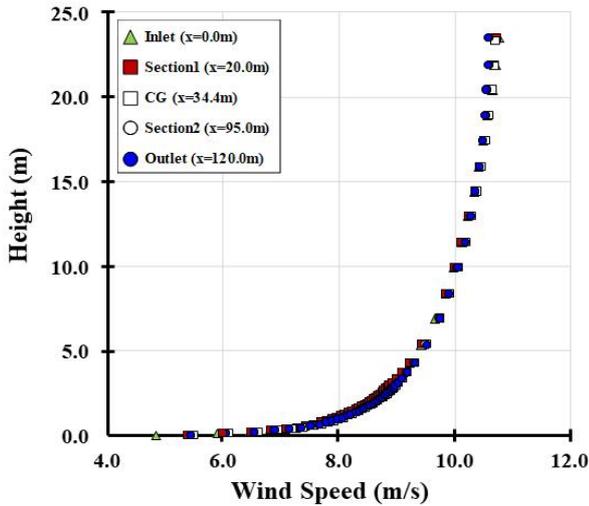


Fig. 8. Wind speed profile comparison among 4 cross sections, Inlet, Section 1, CG, Section 2 and Outlet.

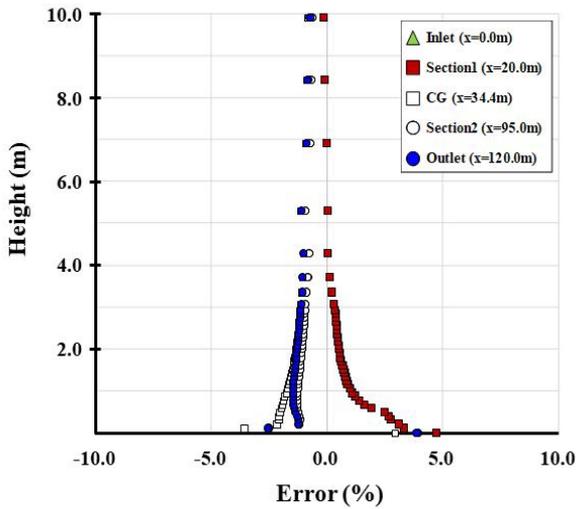


Fig. 9. Error of wind speed profile relative to inlet wind speed among Inlet, Section 1, CG, Section 2 and Outlet.

#### 4. 수치해석 결과

본 연구의 시뮬레이션에 앞서 대상구조물을 제외한 도메인에서 NPD 풍속 모델을 적용한 경우, Inlet에서의 유동이 도메인 내에서 초기 입력대비 얼마나 변화하는지 검토하였다. Fig. 7은 5개의 단면 위치, Inlet ( $x = 0.0m$ ), Section1 ( $x = 20.0m$ ), 선체 중심 (CG,  $x = 34.4m$ ), Section2 ( $x = 50m$ ), Outlet ( $x = 120.0m$ )을 보여주고 있다. 풍속의 계산조건은  $U(z_{ref}) = 10.0m/s$ 로 설정하였으며, Roughness Height,  $r$ 은  $30z_0 \sim 50z_0$  범위로 알려진 것을 참고하여 주어진 범위 내에서 시리즈 해석을 수행하고 그 결과  $r = 45 \times z_0$ 로 결정하였다.

Fig. 8은 각 단면에서 생성된 풍속 프로파일을 비교하여 나타내었다. Inlet에서 생성된 풍속이 Outlet을 통해 전체 계산도메인을 빠져나가는 동안 거의 일정하게 유지되고 있다.

Fig. 9는 각 위치에서 Inlet 속도대비 차이를 나타내었다. 오차는 식 (6)과 같이 계산하였다.

$$Error = \frac{v_{x=0.0m} - v_{sections}}{v_{x=0.0m}} \times 100 (\%) \quad (6)$$

수면으로부터 1 m 이하의 위치에서 상대적으로 큰 오차가 발생하는 것으로 관찰되었으며, 선체 중심 위치보다 상류에서는 유입속도보다 큰 속도 프로파일을 하류에서는 1% 이내의 작은 속도 프로파일이 생성되는 것을 관찰하였다. Table 4는 1 m 높이를 기준으로 Inlet 대비 평균 오차율을 나타내었다. 이러한 오차는 바닥 경계면에서부터 생성되는 격자를 보다 조밀하게 생성하면 더욱 정확한 풍속 프로파일 생성할 수 있으나, 계산시간의 증가로 이어지는 문제가 있어 현재 메쉬 모델을 그대로 적용한다.

본 연구에서는 어선의 풍하중 추정을 위하여 2가지의 풍속 모델링 기법을 개발하였다. 수치 시뮬레이션 결과를 검토하기에 앞서 풍속을 Uniform으로 가정한 것은 실질적인 해상 풍속 형상을 대표할 수 없다. 특히, 기존의 풍하중 추정 연구는 선박 조종성 분야의 주요 연구주제였음을 고려하면 고비용의 풍동 시험 없이 선박의 풍하중을 짧은 시간 안에 추정할 수 있는 효과적인 방법이였다. 그러나 Kim et al.(2018)이 NPD 풍속 모델을 이용해 개발한 수치해석 기법은 풍동 시험결과를 대체할 수 있는 수준까지 이르러 있다. 따라서 본 연구와 같이 대상구조물의 풍동 시험결과를 확보하지 못한 연구의 경우 기존의 Uniform 풍속을 가정한 풍하중 추정이 어느 정도의 정량적 오차를 가져왔는지 살펴보는 수준에서 본 연구의 결과를 받아들이는 것이 타당할 것이다.

개발된 모델링 기법을 이용한 해석에서는 각각의 방법에 대해 0-180°까지 15° 간격으로 총 13가지 풍향에 대한 시뮬레이션을 수행하였다.

풍속 분포곡선이 어선의 풍하중에 미치는 영향에 관한 연구

Fig. 10은 NPD 풍속 모델과 균일한 풍속을 적용한 시뮬레이션 결과에서 어선에 작용하는 압력분포를 풍향( $\alpha = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$  및  $180^\circ$ )에 따라 비교 제시하였다.

풍향  $\alpha = 0^\circ$  및  $180^\circ$ 일 때, 바람을 정면으로 받는 풍압면에서의 압력장에 큰 변화가 있으며, 이러한 압력장의 변화는 NPD 모델에 의해 생성된 낮은 속도에 의한 것으로 확인된다. 또한,  $\alpha = 45^\circ, 90^\circ$  및  $135^\circ$ 일 때, 바람을 맞는 풍압면에서 압력장이 상당히 저하된 것으로 확인되며, 이러한 압력 저감이 추정된 풍하중의 값을 저감하는 효과로 나타난다. 대표적으로  $\alpha = 0^\circ$  및  $180^\circ$ 인 경우, 풍하중에 의한 Pitch 모멘트의 저감이 상당히 크게 나타났으며,  $\alpha = 90^\circ$ 인 경우, Roll과 Yaw 모멘트의 저감이 상당한 것으로 나타났다.

Fig. 11은 NPD 모델과 균일한 풍속 작용 시 어선의 6자유도에 대한 풍하중을 비교하여 나타내었다. 먼저 Surge는  $\alpha = 15^\circ$ 인 경우 하중 차가 138 N으로 가장 컸으며 모든 방향

에 대한 풍하중 평균 저감률은 39.5 % 수준으로 나타났다. Sway와 Heave는  $\alpha = 120^\circ$ 인 경우 풍하중의 차이가 574 N, 1,014 N으로 가장 크게 나타났으며, 각각의 평균 저감률은 41.6 %, 46.1 %였다. 회전 운동에서 Roll은  $\alpha = 135^\circ$ 일 때 가장 큰 715.7 Nm의 차이가 나타났으며, 평균 저감률은 48.2 %로 나타났다. Pitch는  $\alpha = 0^\circ$ 와  $120^\circ$ 에서 가장 큰 2,209.9 Nm와 2036.8 Nm 차이가 발생했으며, 평균 저감률은 50.6 %로 6 자유도 운동 중 가장 큰 저감률을 나타내었다. 마지막으로 Yaw의 경우  $\alpha = 120^\circ$ 에서 가장 큰 946.2 Nm 차이가 발생했으며, 평균 저감률은 36.5 %였다. 앞서 Fig. 1에 나타낸 어선의 형상을 고려하면 정면에서 불어오는 바람에 의한 Pitch 모멘트 기여가 상당한 것으로 예상하며, 선체 중심을 기준으로 선수 선미 간의 형상 차이로 인해  $\alpha = 120^\circ$ 에서 가장 큰 값의 차이가 나타난 것으로 판단된다. Table 5는 Fig. 11에 표기된 풍하중 값을 표기하였다.

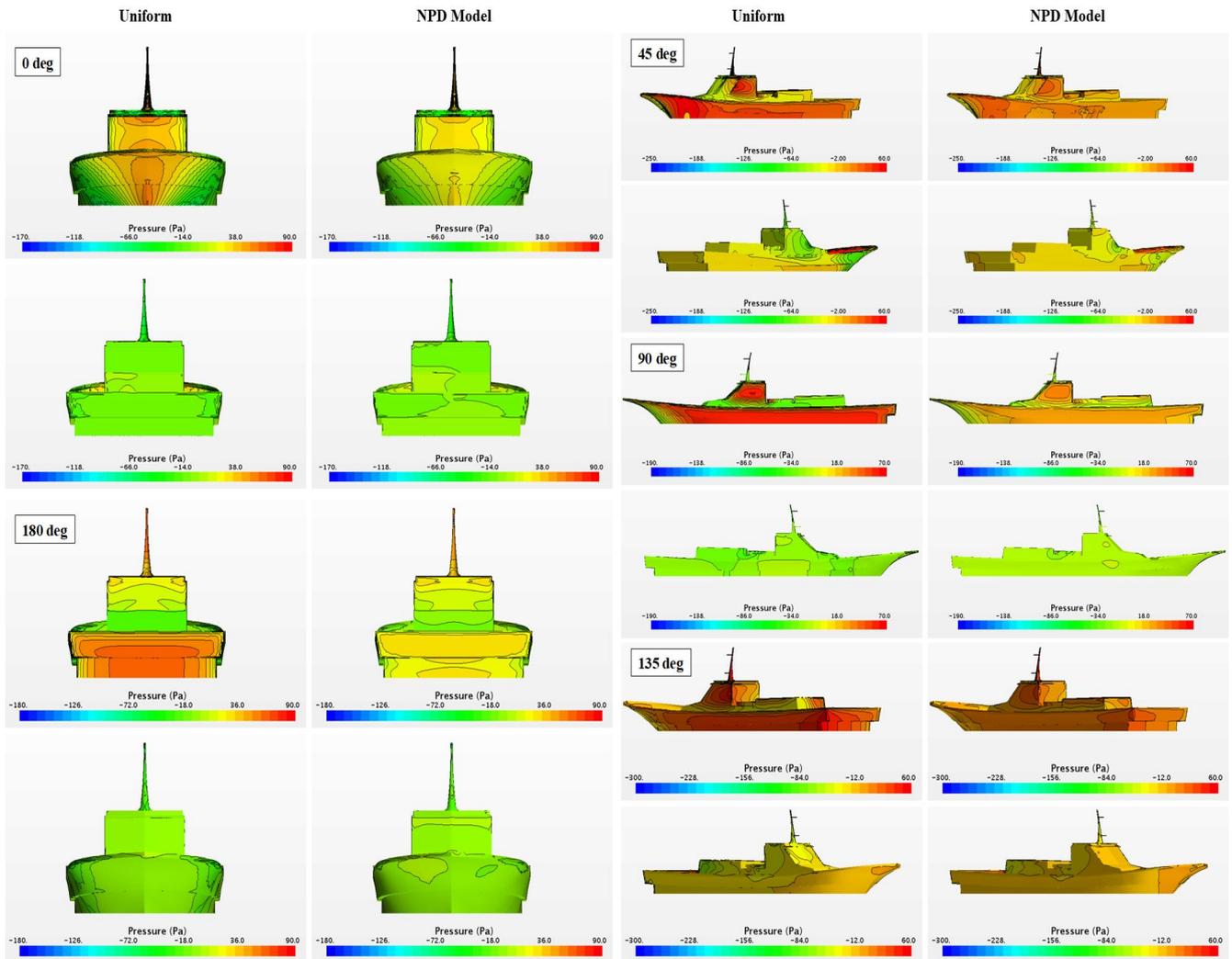


Fig. 10. Pressure contour comparison between uniform and NPD wind profile at 5 wind directions ( $\alpha = 0, 45, 90, 135,$  and  $180^\circ$ ).

이상의

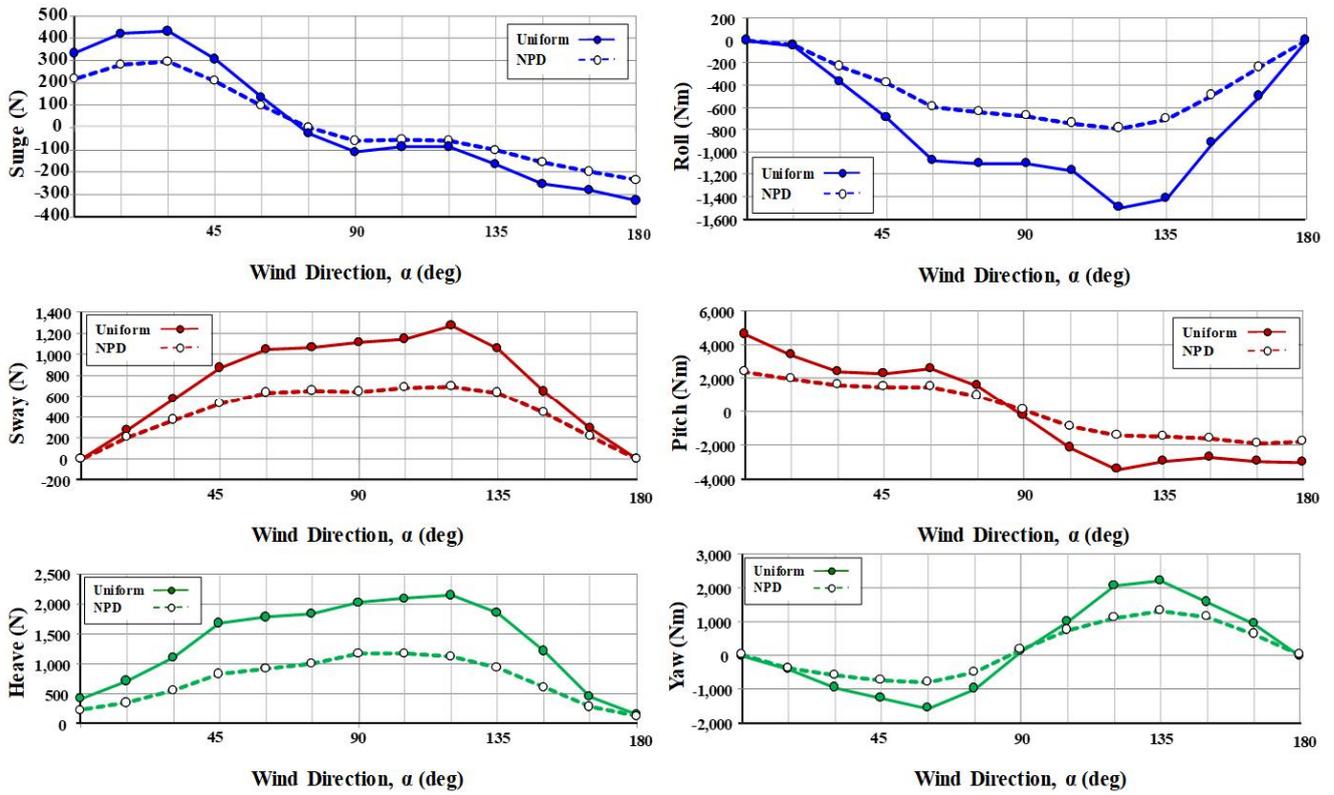


Fig. 11. Comparison of wind loads on a fishing boat.

Table 5. Wind loads on a fishing boat

Model	Direction ( $\alpha$ )	0	15	20	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
NPD Model	Surge (N)	-234	-200	-155	-100	-60	-53	-62	-1	99	207	294	281	216
	Sway (N)	0	213	441	629	688	679	641	652	631	526	366	200	0
	Heave (N)	113	266	599	919	1,109	1,172	1,176	997	915	817	548	347	221
	Roll (Nm)	0	-245	-497	-706	-789	-746	-679	-640	-596	-385	-233	-37	0
	Pitch (Nm)	-1,842	-1,938	-1,608	-1,526	-1,426	-899	88	921	1,487	1,457	1,590	1,948	2,404
	Yaw (Nm)	0	620	1,139	1,336	1,111	742	174	-507	-806	-756	-597	-370	1
Uniform	Surge (N)	-330	-284	-252	-168	-89	-88	-111	-29	133	305	431	419	333
	Sway (N)	0	291	641	1,054	1,262	1,141	1,114	1,066	1,040	863	576	270	1
	Heave (N)	152	447	1,197	1,845	2,123	2,075	2,003	1,820	1,762	1,671	1,103	698	406
	Roll (Nm)	0.6	-504	-917	-1,422	-1,500	-1,165	-1,104	-1,103	-1,076	-697	-376	-52	-2
	Pitch (Nm)	-3,041	-2,978	-2,739	-2,993	-3,463	-2,192	-309	1,517	2,545	2,297	2,377	3,378	4,613
	Yaw (Nm)	-5	915	1,567	2,216	2,057	982	110	-979	-1,559	-1,277	-951	-422	-9

## 5. 결론

본 연구는 어선의 풍하중을 수치적으로 정밀히 평가할 수 있는 기법개발을 목적으로 수행되었다. 이를 위해 균일한 풍속을 가지는 조건과 NPD 모델을 적용한 수치해석 모델을 개발하여 시리즈 해석을 수행하였다. 본 연구의 결론을 간략히 정리하면 다음과 같다.

(1) 본 연구에서는 사전연구와 최신 연구 동향을 기반으로 CFD를 이용하여 고도에 따른 풍속의 변화를 고려한 NPD 풍속 모델을 적용한 수치해석 기법을 개발하였다.

(2) 5가지 메쉬 모델을 Surge와 Roll에 대한 메쉬 의존성 시험을 수행하였으며, 그 결과 수치해석 메쉬 모델을 개발하였다.

(3) NPD 모델에 의해 생성된 풍속이 전체 도메인을 따라 흘러감에 따라 균일한 속도분포가 유지되는 수치해석기법을 개발하였다.

(4) 대상 어선에 대하여 15° 간격으로 두 가지 풍속 모델에 대한 시리즈 해석을 수행하였으며 그 결과를 비교 분석하였다. NPD 모델의 풍하중을 균일 풍속(10m/s) 조건과 비교한 결과, Surge, Sway 및 Heave에서 39.5%, 41.6% 및 46.1% 풍하중이 감소하였으며 Roll, Pitch 및 Yaw에서 48.2%, 50.6% 및 36.5% 감소하는 것을 확인하였다.

(5) NPD 모델 적용으로 인한 풍하중 감소는 대상 어선의 운동성능에 직접적인 영향을 미칠 것으로 판단된다. 따라서 본 연구 결과를 바탕으로 풍하중이 대상 어선의 운동성능에 미치는 정량적 영향에 관한 연구를 추후 진행하고자 한다.

본 연구에서 개발한 수치해석 기법과 그 결과는 어선뿐만 아니라 상대적으로 큰 상부 구조를 가지는 컨테이너선 및 해양플랜트의 풍하중을 추정할 수 있는 기법으로 적용 가능할 것으로 기대한다.

## 사 사

이 논문은 2019~2020년도 창원대학교 자율연구과제 연구비 지원으로 수행된 연구 결과임.

## References

[1] Aage, C.(1971), Wind Coefficients for Nine Ship Models, Report No. A-3, Hydro- and Aerodynamic Laboratory, Lyngby, Denmark.  
 [2] Andersson, G. O.(1978), Untersuchung der Fahrtverluste durch Wind und Seegang bei einem schnellen Einschraub-

Containerschiff, Bundesministerium für Forschung und Technologie, Meerestechnik.  
 [3] Blendermann W.(1993a), Schiffsform und Windlast: Korrelations- und Regressionsanalyse von Windkanalmessungen am Modell, Report No. 533, Institut für Schiffbau der Universität Hamburg, 99 pages plus Appendix, Hamburg, Germany.  
 [4] Blendermann, W.(1993b), Wind Loads on Moored and Manoeuvring Vessels, Proceedings of the ASME 12th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, June 20-24, Glasgow, UK., Vol. I, pp. 183-189.  
 [5] Blendermann, W.(1994), Parameter Identification of Wind Loads on Ships, Journal of Wind Energy and Industrial Aerodynamics, Vol. 51, pp. 339-351.  
 [6] Blendermann, W.(1995), Estimation of Wind Loads on Ships in Wind with a Strong Gradient, Proceedings of the ASME 14th International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering, June 18-22, Copenhagen, Denmark, Vol. 1-A, pp. 271-277.  
 [7] Blendermann, W.(1996), Wind Loading of Ships-collected Data from Wind Tunnel Tests in Uniform Flow, Institut fuer Schiffbau der Universität Hamburg, Hamburg, Germany.  
 [8] Brizzolara, S. and E. Rizzuto(2006), Wind Heeling Moments on Very Large Ships: Some Insights Through CFD Results, Proceedings of the 9th International Conference of Stability of Ships and Ocean Vehicles, September 25, Rio de Janeiro, Brazil.  
 [9] Gould, R. W. F.(1982), The Estimation of Wind Loadings on Ship Superstructures, The Royal Institution of Naval Architects, Marine Technology Monograph No. 8.  
 [10] Haddara, M. R. and C. Guedes Soares(1999), Wind Loads on Marine Structures, Marine Structures, Vol. 12, pp. 199-209.  
 [11] Isherwood, R. M.(1972), Wind Resistance of Merchant Ships, Transactions of the Royal Institution of Naval Architects, Vol. 114(3), pp. 327-338.  
 [12] Kang, J. P.(2011), A Study on the Relationships between a Fisher Boat Sea Accidents and Meteorological Factors, Master Thesis, Pukyong National University.  
 [13] Kim, J. W., H. C. Jang, W. Xu, Z. Shen, M. Kara, S. M. Yeon, and H. Yan(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, OOAEE, Madrid, Spain, June 17-22.  
 [14] KMST(2019), Korean Maritime Safety Tribunal, Statistics: Marine Accidents according to Vessel Type.

- [15] Koop, A., C. Klaij, and G. Vaz(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.
- [16] Lee, S. E.(2015), A Probabilistic Approach to Determine Niminal Values of Tank Sloshing Loads in Structural Design of LNG FPSOs, PhD Thesis, Pusan National University.
- [17] MOF(2017), Ministry of Oceans and Fisheries, A Study Report on the Safety of the Operating Distance and Area for a Fishing Boat.
- [18] Molland, A. F. and T. E. Barbeau(2003), An Investigation into the Aerodynamic Drag on the Superstructures of Fast Catamarans, The Transactions of The Royal Institution of Naval Architects, Vol. 145, pp. 31-43.
- [19] OCIMF(1994), Prediction of Wind and Current Loads on VLCCs (2nd Ed.), Witherby and Co., London, UK.
- [20] 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.
- [21] Shearer, K. D. A. and W. M. Lynn(1960), Wind Tunnel Tests on Models of Merchant Ships, Transactions of the North East Coast Institution of Engineers and Shipbuilders, Vol. 76, pp. 229-266.
- [22] Tannuri, E. A., C. H. Fucatu, B. D. Rossin, R. C. Montagnini, and M. D. Ferreira(2010), Wind Shielding Effects on DP System of a Shuttle Tanker, Proceedings of the ASME 29th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, June 6-11, Shanghai, China.
- [23] van Berlekom, W. B., P. Tragardh, and A. Dellhag(1975), Large Tankers-wind Coefficients and Speed Loss due to Wind and Waves, The Transactions of The Royal Institution of Naval Architects, Vol. 117, pp. 41-58.
- [24] van Berlekom, W. B.(1981), Wind Forces on Modern Ship Forms- Effects on Performance, Transactions of the North East Coast Institute of Engineers and Shipbuilders, Vol. 97(4), pp. 123-134.
- [25] van Oortmerssen, G., J. J. W. van der Vegt, and F. van Walree(1987), Forces on Cylinders in Oscillatory Flow: a Comparison of the Results of Numerical and Physical-models, Proceedings of the 3rd International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures, June 22-26, Trondheim, Norway.
- [26] White, G. P.(1966), Wind Resistance-suggested Procedure for Correction of Ship Trial Results, NPL TM116.
- [27] 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.
- [28] Wnęk, A. D., A. Paço, X-Q. Zhou, and C. Guedes Soares(2009), Numerical and Experimental Analysis of the Wind Forces Acting on a Floating LNG Platform, In proceedings of the 13th International Congress, IMAM2009.
- [29] Wnęk, A. D., A. Guedes Soares, X-Q. Zhou, and C. Guedes Soares(2010), Numerical and Experimental Analysis of the Wind Forces Acting on LNG Carrier, V European Conference on Computational Fluid Dynamics, June 14-17, Lisbon, Portugal.
- [30] Zhang, S., L. Wang, S. Yang, and H. Yang(2010), Numerical Evaluation of Wind Loads on Semi-submersible Platform by CFD, Proceedings of the ASME 29th International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, June 6-11, Shanghai, China.

---

Received : 2020. 11. 23.

Revised : 2020. 12. 10.

Accepted : 2020. 12. 28.