

선박간 이격거리에 따른 WIND SHIELDING EFFECT 검토

구명준[†]·하문근*·최재웅*·배준홍*

The Study on Wind Shielding Effects According to Distance Between Two Ships

Myoungjun Koo, Munkeun Ha, Jaewoong Choi and Junhong Bae

Key Words: Wind Load(풍하중), Drag Coefficient(항력계수), Pressure Drag Force Coefficient(압력항력계수), Friction Drag Force Coefficient(마찰항력계수), Separation(박리), Shielding Effect(섀딩효과), Shielding Factor(섀딩계수)

Abstract

The environmental elements which naturally occur can result in structural damages and operating faults of vessels under the navigation and mooring. These primary factors are considered as wind, waves and tide. In order to investigate wind shielding effects with respect to wind load conditions between two ships which face the wind directly or slantingly to the wind direction, this numerical simulation was preferred in terms of the variation of wind loads according to different distances, wind velocities and wind directions between two ships. The results were proved to be quite reasonable, comparing with experimental data from Danish Maritime Institute, and the report, "Environmental Conditions And Environmental Loads" published by Det Norske Veritas.

	기호설명
F_D	: 항력, 전체항력 (N)
C_D	: 항력계수 (무차원수)
ρ	: 밀도 (kg/m^3)
V	: 풍속 (m/s)
A	: 투영면적 (m^2)
$C_{D,pres}$: 압력항력계수 (무차원수)
$C_{D,fri}$: 마찰항력계수 (무차원수)
$Ship01$: 풍향의 전방에 위치한 선박
$Ship02$: 풍향의 후방에 위치한 선박

SF	: 섀딩계수 (무차원수)
$F_{D,Ship01}$: 전방 선박의 항력 (N)
$F_{D,Ship02}$: 후방 선박의 항력 (N)
P_{amb}	: 대기압 ($101325 Pa$)

1. 서 론

자연적으로 발생하는 환경적인 요인들은 항해 중 또는 정박 중인 선박의 구조적인 손상이나 작동 상의 문제점을 초래할 우려가 있다. 그러한 주요한 요소는 바람, 파도, 조류 등을 해상에서 들 수 있다. 우리나라에서는 여름철에 해마다 작고 큰 태풍으로 인해 막대한 인적 물적 피해를 보고 있는 실정이다. 예로 들어, 2003년에 우리나라를 강타한 태풍 매미는 사회적으로 큰 피해를 초래했으며, 태풍 및 기타 자연 재해에 대한 경각심을 일깨워주었다. 이러한 이유로 조선소에서는 계류 중이거나 근접하게 위치한 두 선박에 관

† 회원, 삼성중공업 조선해양연구소
E-mail : mj43.koo@samsung.com
TEL : (055)630-6270 FAX : (055)630-6273

* 삼성중공업 조선해양연구소

한 풍하중(wind load) 변화 및 거동 특성에 대한 다각적인 검토가 요구되어졌다. 특히, 당 조선소에서는 안벽 작업 중의 선박에 대해 병렬 계류를 하고 있다. 따라서 계류 시, 병렬 위치한 선박간의 항력변화 및 상호 영향을 파악할 필요가 있다. 또한 선박의 풍하중(wind load)을 최소화하는 형상을 예측하여 운항 상의 경제적 효율을 극대화하기 위한 연구도 수행되어졌다.^(1~2) 본 연구의 목적도 여러 조건하에서의 풍하중(wind load)의 특성 및 변화를 고려하여 자연재해로부터 선박의 안전성을 확보하고 고유가 시대의 경제적 선박의 요구에 부응하는 데 있다.

본 연구는 바람의 방향에 나란히 또는 비스듬히 위치한 두 선박 사이의 상태를 파악하기 위해, 각기 다른 선박 간의 이격거리, 풍속 및 풍향에 따라 풍하중(wind load) 및 항력계수(drag coefficient)를 수치적으로 모사하였다. 덴마크해양연구소(DMI, Danish Maritime Institute)에서 실시한 단일 선박의 풍동실험으로 계측한 실험값⁽³⁾과 수치모사 결과를 비교함으로써 수치모사 결과의 타당성을 검증했다. 또한 실제 선박간의 풍하중(wind load)에 대한 지침을 주는 노르웨이선급(DNV, Det Norske Veritas)의 보고서⁽⁴⁾ 내용 중 일부와도 검토해 보았다.

2. 수치해석방법

2.1 해석모델 및 이론

본 수치모사에서 사용된 선박의 모델은 780 PASSENGERS & RO-RO FERRY로써 삼성중공업에서 건조 중에 있다. 본 수치모사에 대한 개략도와 해당 선박의 주요제원을 각각 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다. 바람에 의한 항력은 다음과 같이 표현되어진다.

$$F_D = C_D \times \left(\frac{1}{2} \rho V^2\right) \times A \quad (1)$$

위 식에서 C_D 는 항력계수로써 형상이 복잡한 여러 물체에 대해 정확한 값을 예측하는 것은 불가능하다. 따라서 여기서는 선박의 겉 부분을 둘러싸고 있는 수많은 미소 면적에 대해 항력의 두 가지 요인인 압력항력(pressure drag force)과 마찰항력(friction drag force)을 구하여 이를 벡터 합산

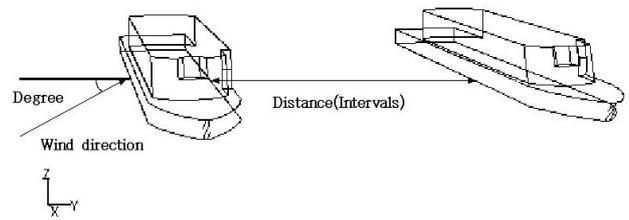


Fig. 1 Schematic of modeled condition

Table 1 Principal dimensions of modeled vessel

Items	Dimensions
Length Over All(LOA)	186.60 m
Breadth Moulded	28.4 m
Depth Moulded(Main Deck)	9.7 m
Passengers	780 P.

하여 항력 및 항력계수를 구하도록 했다.

$$C_D = C_{D,press} + C_{D,frict} \quad (2)$$

위 식에서처럼, 물체 앞 정체영역에서의 높은 압력과 뒷부분 박리된(separated) 영역에서의 낮은 압력간의 차이로 기인한 힘을 압력항력계수($C_{D,press}$, pressure drag force coefficient)라 하고, 면에 작용하는 전단응력을 적분한 마찰항력계수($C_{D,frict}$, friction drag force coefficient)와 합하여 전체항력계수(C_D , total drag force coefficient)가 된다. 본 연구에서는 편의상, 풍향에 나란히 위치한 선박 중 전방의 배를 Ship01, 후방의 배를 Ship02라 명명하고, Ship01이 Ship02에 미치는 쉴딩효과(shielding effect)를 평가하기 위해 식(3)과 같이, 쉴딩계수(shielding factor)를 정의하였다.

$$SF = \frac{F_{D,Ship02}}{F_{D,Ship01}} \quad (3)$$

2.2 지배방정식 및 난류모델

본 연구는 정상, 비압축성 외부유동에 대하여 수치계산을 수행하였다. 지배방정식은 시간 평균화된 운동량방정식(RANSE, Reynolds Averaged Navier- Stokes Equation)을 사용하고 있다.

속도장과 난류장을 예측하기 위해 two-equation 모델인 표준 k-ε 난류모델을 적용하였으며, 이 모델이 벽 근처에서의 속도장을 해석하기 위해

대수속도법칙(Log law)을 사용하는 것은 널리 알려져 있다.⁽⁵⁾

2.3 수치해석방법

수치해석은 전산유체 상용코드인 Fluent를 사용하여 수행하였다. 이 코드는 지배방정식을 유한체적법⁽⁶⁾(FVM, Finite Volume Method)으로 이산화한다. 이산화된 선형방정식은 implicit procedure에 의해 반복해를 구한다. 속도 및 압력 보정을 위해 Patankar⁽⁷⁾에 의해 제안된 SIMPLE 해법을 사용하였다. 이산화는 운동량방정식 및 난류방정식에 대해 second order upwind scheme⁽⁸⁾을 적용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 단일 선박에 대한 수치모사

본 수치모사의 타당성을 검증하기 위해, Fig. 2에는 동일한 선박에 대해 수행했던 DMI(Danish Maritime Institute)의 실험결과⁽³⁾와 비교하였다. DMI의 실험은 풍향의 변화에 따른 항력계수를 계측한 것이며, 그림은 선체에 직면한 y축 항력계수를 나타내고 있다. 가장 큰 항력계수에 대해, 실험값과 해석값은 8%의 차이를 보였다. 또한 정성적으로도 유사한 추세를 보이고 있음을 확인할 수 있다. 앞으로 SBD(Simulation Based Design) 기법 활용의 일환으로 해석값이 실험값을 대체할 수 있을 것으로 사료된다.

3.2 두 선박에 대한 수치모사

Ship01의 주류 방향의 선측이 풍속의 제공에 비례하여 가장 높은 압력값을 나타냈다. 초기 진행하던 유동이 선체의 측면에 부딪혀 앞으로 진행하지 못하고 선측에서 넓은 정체 영역이 형성된다. 또한, 정체됨으로 인해 속도에너지가 압력 에너지로 변형된다. Fig. 3은 수면으로부터 5m 위의 지점에서 풍향이 선측에 직각으로 불어올 때, 선박간의 이격거리에 따른 Ship02 주위의 압력 분포를 나타내고 있다. 이격거리가 5%, 10%로 선박이 매우 근접한 경우에는 선박 주위에 하나의 압력장을 형성하나 선박간 거리가 멀어지면서 개별적인 두 개의 압력장을 보여주고 있다. 매우 근접한 선박 사이의 영역은 너무 밀폐되어 있어 주류의 영향을 거의 받지 못해 유동은 정체된 상

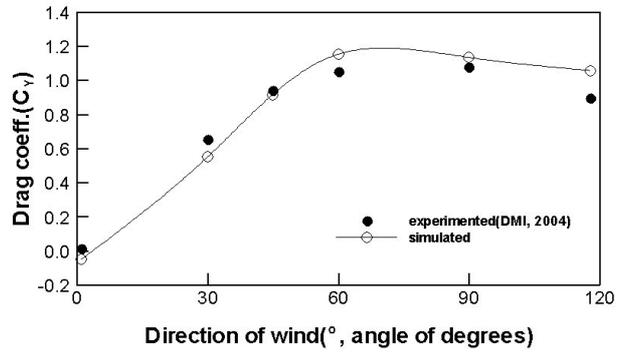


Fig. 2 Drag Coefficient according to direction of wind

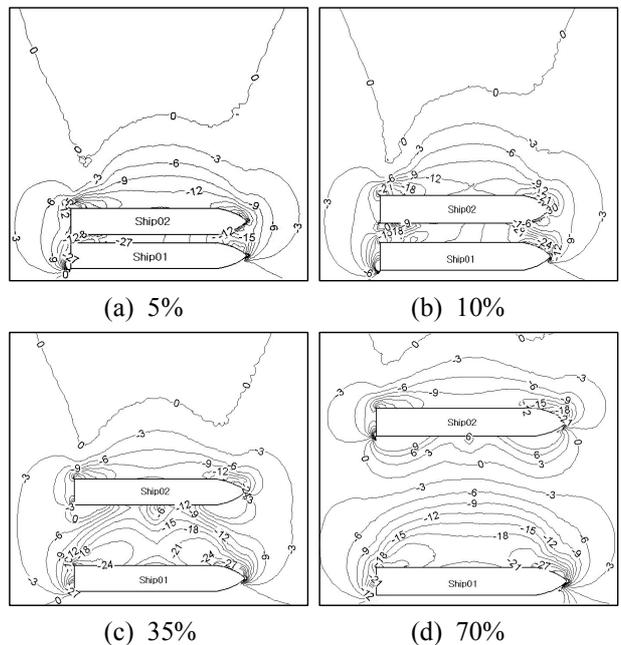


Fig. 3 Contours of static pressure ($P - P_{amb}$) according to distance between ships (% for LOA)

태이며 이와 같은 경우는 두 선박간의 영역에서 에너지 전달 메커니즘이 상당히 불량한 상태임을 나타낸다. Ship02의 후류 방향으로의 박리영역이 발달하게 되므로 에너지 전달이 주류 방향보다 왕성하여 압력이 상승한다. 선측에서 주류 방향의 압력값보다 후류 방향의 압력값이 더 높게 되어 압력항력은 풍향에 반대로 작용하게 된다. 하지만, 이격거리가 충분히 멀어지면 이러한 경향은 역전되어 선측의 후류 방향보다 주류 방향

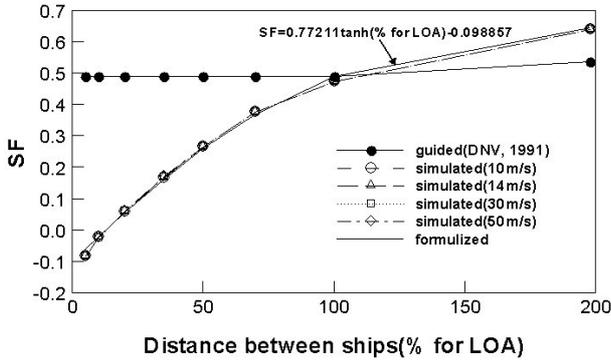


Fig. 4 Shielding factor for distance between ships

이 높은 압력값을 가지게 된다. 이러한 결과는 충분히 서로 근접하게 위치한 선박에 대해서는 풍하중(wind load)의 영향만으로도 서로 충돌할 우려가 있음을 시사하고 있다.

Fig. 4는 풍향이 선측에 직각으로 불어올 때, DNV에서 지침⁽⁴⁾을 주는 섀딩계수와 풍속에 따라 구한 본 수치모사의 해석결과를 비교한 그림이다. 결과에서 풍속이 변화하더라도 섀딩계수는 거의 일정하다. 이것은 항력계수가 풍속에 민감하지 않은데서 기인하는 것으로 항력계수가 레이놀즈수(Reynolds number)와는 무관하고 물체의 형상에 기인하는 계수임을 보여준다. 본 수치모사의 결과와 DNV의 자료와는 많은 차이를 보인다. DNV 자료는 이격거리 100% 이하의 구간에서도 100%와 같은 섀딩계수를 일괄적으로 적용하고 있다. 실제, 본 수치모사 결과는 이격거리 100% 이하에서 섀딩계수는 더 급격하게 증가하고 이격거리가 더 커질수록 증가폭이 둔화됨을 확인했다. 따라서 DNV 자료는 근접영역(0%~100%)에 대해, Ship02의 풍하중(wind load)을 상당 부분 과대예측하고 있는 것으로 드러났다. 또한 수치 결과를 커브 피팅하여 수식화하는 식(4)를 도출했다. 다음 식을 이용하면 선박간 이격거리만으로 섀딩계수를 구할 수 있다. 하지만 선박간 이격거리가 200% 이하에서만 적용되는 제한이 있다.

$$SF = 0.77211 \tanh(\% \text{ for } LOA) - 0.098857 \quad (4)$$

where, distance between ships $\leq 200\%$

Fig. 5는 풍속이 10m/s인 경우에, 풍향과 이격거리의 따른 섀딩계수 변화 추이를 나타내고 있다. 풍향이 비스듬하게 기울어져 불어올수록 섀

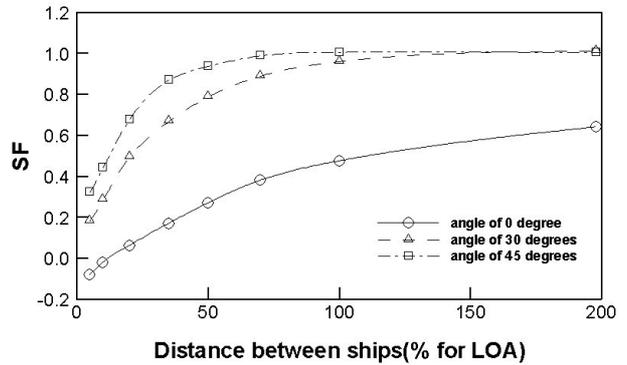


Fig. 5 Shielding factor for direction of wind and distance between ships at 10m/s

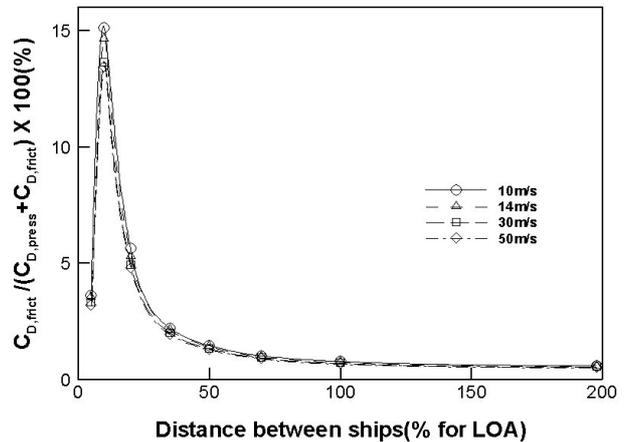


Fig. 6 Effect ratio of pressure drag force out of total drag force in the Ship02

딩계수는 1의 값으로 빨리 회복되고 있다. 식(3)에 의하면 섀딩계수 1은 Ship01과 Ship02의 전체항력이 동일함을 의미하며, Ship02가 Ship01로부터 전혀 섀딩효과를 받지 못함을 나타낸다. 이것은 풍향에 직면하는 Ship02에 대한 Ship01의 은폐 면적이 줄어들는데 기인한 것이다.

Fig. 6은 Ship02에서 마찰항력이 전체항력에 미치는 기여도를 나타내고 있다. 풍속이 높아질수록 전체적인 기여도가 약간씩 낮아짐을 보여준다. 또한 대부분의 구간에서 항력에 결정적인 영향을 주는 것은 압력항력임을 알 수 있다. 하지만 선박간 거리가 10%~20%에서는 마찰항력의 기여도가 무시 못 할 만큼 커진다. 이것은 압력항력이 풍향에 반대로 작용했다가 다시 역전되는 구간에서 나타나는 현상이다. 압력항력은 선박간

거리에 따라 급격하게 변화하는 반면에, 마찰항력은 풍속에는 변화나 선박간 이격거리에는 민감하지 않으므로 그림과 같은 결과가 나타난다. 실제 전체항력이 0이 되는 이격거리에서는 마찰항력이 무한대가 된다. 본 연구의 결과로, 이격거리 10%~20% 구간에서 극대화되는 마찰항력 기여도가 나타날 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구의 결과 다음의 결론을 얻게 됐다. 이격거리 100% 이상보다 그 이하에서 설딩계수의 변화율이 더 큼을 알 수 있었다. DNV 자료는 이격거리 100% 미만에 대해, 100%의 결과를 일괄적으로 적용하므로 설딩계수를 과대예측하여 풍하중(wind load)을 실제 하중에 비해 크게 계산할 것으로 판단된다. 또한 설딩계수를 예측할 수 있는 수식을 제안하였다.

동일한 이격거리에 대하여, 풍속에 따른 설딩계수는 거의 동일했으며 이러한 사실은 설딩계수를 결정짓는 항력계수가 특별한 유동 천이가 동반되지 않는 구간에서는 레이놀즈수에 영향을 받지 않기 때문에 나타나는 결과이다. DNV 자료에서도 풍속에 따른 설딩계수 변화는 고려하지 않는데 그 타당성이 검증되었다. 또한, 풍향이 선측에 비스듬하게 들어올수록 설딩계수는 더 빨리 회복되었다.

이격거리가 매우 근접한 부분에서는 *Ship01*과 *Ship02* 사이의 유동이 정체되어 충분한 에너지 보급이 주류로부터 이뤄지지 않는 반면에, *Ship02* 후류 방향으로 왕성한 박리현상으로 인해, 에너지 보급이 활발해 압력을 높이므로 주류 방향의 선측보다 후류 방향의 선측의 정압이 높게 형성되어 풍하중이 풍향에 반대로 작용함을 알 수 있었다. 이는 다시 말해, 특정한 외력이 없

이 풍하중만으로도 매우 근접한 선박은 충돌할 우려가 있음을 나타낸다.

DMI의 실험결과와의 비교로, 본 연구결과를 검증하였다. 앞으로 새로 만드는 선박에 풍하중 실험을 직접 수행하지 않고 SBD(Simulation Based Design)로 대체하여 설계비용을 절감할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- (1) Matsumoto K. et al., 2003, "Study on Decrease of Wind Load impacted to the Front and Side of Ship", J. of the Kansan Society of Naval Architects, Vol. 240, pp. 115~123.
- (2) A. C. de Bruin, 2003, "Initial Development of a Method to account for Wind Shielding Effect on a Shuttle Tanker during FPSO Offloading", National Aerospace Laboratory.
- (3) DMI, 2004, "Wind Load Test of 780 Passengers & RO-RO Ferry", Force Technology Ltd.
- (4) DNV, 1991, "Environmental Conditions and Environmental Loads", DNV Classification Notes No. 30.5.
- (5) Wilcox, D. C., 1993, "Turbulence Modeling for CFD", DCW Industreis, Inc.
- (6) Versteeg. H. K. and Malalasekera W., 1995, "An introduction to Computational Fluid Dynamics", LONGMAN.
- (7) Patankar, S. V., 1980, "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", McGraw-Hill.
- (8) Fluent, 2001, "Fluent Version 6, User's Guide Volume 2/5" Fluent Europe Ltd., 10.2, 22.2~22.8.