

자동차운반선의 선회성능에 미치는 풍하중의 영향에 관한 연구

최명식* · 이경우** · 오양국***

A Study on the Estimation of Wind Forces Influence upon the Turning Ability of a Car Carrier Ship

Myong-Sik Choi · Gyoung-Woo Lee** · Yang-Kuk Oh****

Abstract	4. 수치 계산
1. 서언	5. 결론
2. 조종운동 방정식과 수학 모델	참고 문헌
3. 유체력 미계수와 풍압력 계산	

Abstract

Since very large and high-speed ships have been appeared in marine transportation from 1970s, these ships with poor maneuverability have made large-scale accidents frequently all over the world. The IMO(International Maritime Organization) recommended that ship designers should evaluate various maneuvering performance at initial stage and serve them to ship operators when they deliver a new ship.

Meantime, it is expected that ships with large and wide superstructure would have poor maneuverability when they are affected by strong wind. Therefore, car carrier ship with large superstructure was selected to confirm how the ship responds to the external wind forces in this paper. The lateral and transverse projected areas above the water level were considered and ship behaviors were checked by change of rudder angles under severe wind conditions of different directions. In addition, hydrodynamic derivatives and coefficients were predicted from ship particulars and numerical calculations were carried out with the mathematical model of low speed maneuvering motions.

* 정회원, 연구당시 Stevens Institute of Technology 방문교수

** 정회원, 목포해양대학교 해양시스템공학부 교수

*** 정회원, 한국선급 검사원

1. 서언

1970년대 이후 해상수송의 급격한 증가는 선박을 대형화, 전용화 및 고속화시켰으며, 거대형선인 유조선, 산적화물선, 컨테이너선, 액화가스 산적운반선 및 롤온·롤오프선 등의 대형 전용선에서 조종성 저하로 인한 사고가 발생하였고, 유류의 유출로 인한 해상오염은 심각하였다.

한편, 국제해사기구(IMO)는 거대형선에 대한 조종성에 관심을 가지게 되었고, Res.A160(ES.IV), A209(VII) 및 A601(15)에 이어 1993년 11월 4일 IMO총회에서는 선박의 조종을 위한 잠정기준인 Res.A751(18)을 승인하고 각 국은 1994년 7월 1일 이후에 건조되는 길이 100m이상의 모든 선박과 케미칼 탱카 및 가스 캐리어는 길이에 관계없이 이 기준을 준수토록 하고 주관청에 따라서는 자국에 입항하는 선박에 대하여 조종성 정보인 도선사용카드(Pilot Card), 선교 포스터(Wheelhouse poster) 및 조종성 자료(Manoeuvring booklet)를 작성하여 본선에 비치할 것을 권고하였다.

선박의 조종성능은 외력, 선박상호간에 영향, 천수의 영향, 협수로의 항행, 항내에서 조선(操船) 등의 많은 외부환경적 변수를 가지고 있다.

여러 종류의 외력을 받고 있는 상황에서 조종성능의 정도 높은 추정은 안전한 조선(操船)과 운항 확보를 위하여 필수 불가결한 일이다. 이러한 외부환경에 대한 선박거동을 정확히 추정하는 일은 선박자체의 특성을 이용한 조선(操船)을 가능하게 할 뿐 아니라, 황천시의 피항 방법과 예선(Tug boat)의 효과적인 사용 및 사이드 스러스터의 필요성 검토 등에도 유효한 자료를 제공한다. 이들 외력 중, 바람의 영향은 상부구조물이 거대한 선박이 항만 및 협수로에서 저속 조종운동을 할 때 조종성능에 큰 영향을 미치는 것으로 보고되었다[1][2].

본 연구에서는 거대한 수면상부구조물을 가지는 거대선 중에서 실제 운항중인 자동차 운반선을 선택하였으며, 풍하중을 받고 있는 상황에서 풍향과 타각도의 변화에 대한 선박의 선회성능의 변화를 조종성능 시뮬레이션을 통하여 검토하였다.

2. 조종운동 방정식과 수학 모델

일반적인 선박의 조종운동 방정식은 Fig. 2.1과 같이 선체중앙에 좌표원점을 둔 동좌표계를 $O-xy$ 라 할 때, 식(2.1)과 같이 나타낼 수 있다[3].

$$\begin{aligned} m(\dot{u} - vr - x_G r^2) &= X_H + X_P + X_R + X_W \\ m(\dot{v} + ur + x_G \dot{r}) &= Y_H + Y_P + Y_R + Y_W \quad \dots\dots(2.1) \\ I_{zz} \dot{r} + m x_G (\dot{v} + ur) &= N_H + N_P + N_R + N_W \end{aligned}$$

여기서 m 은 선체의 질량, I_{zz} 는 z 주위의 관성모멘트이다. u, v, r 은 각각 x, y 축 방향 속도 성분, z 축 주위의 각속도 성분이다. $\dot{u}, \dot{v}, \dot{r}$ 는 각각 u, v, r 의 시간에 대한 1차 도함수를 나타낸다. x_G 는 무게중심의 좌표, X, Y, N 는 각각 x, y 축 방향 유체력과, z 축 주위의 유체력 모멘트이다. 여기서, 첨자 H, P, R, W 는 각각 주선체, 프로펠러, 타 및 바람에 기인하는 유체력과 외력성분을 나타낸다. Fig. 2.1에서 V_w 와 ψ_w 는 각각 절대 풍속과 절대 풍향각을 나타낸다.

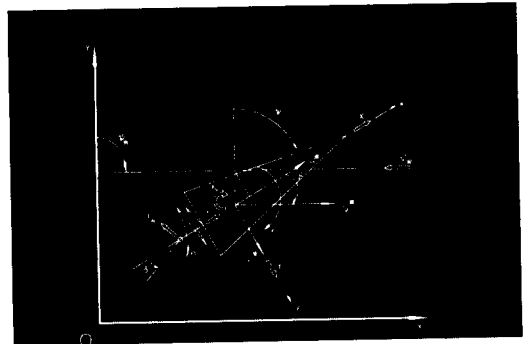


Fig. 2.1 Coordinate system

주선체에 작용하는 유체력과 모멘트의 고전적인 수학모델로서는 Abkowitz, Norbbin, Oltman 등의 모델을 들 수 있는데, 이들 모델들은 선속의 제한, 실험데이터의 유무에 따라 적용이 제한되는 것으로 알려져 있다. 또한 일본의 MMG에서 개발된 MMG 모델[3]은 널리 실용적으로 사용되고 있으나, 고속과 중속의 경우를 제외한 저속의 경우에는

결과가 그리 좋지 않은 것으로 알려져 있다. Takashina[4]는 예선에 의한 조종운동과 그에 대한 계산을 수행하여 수학모델을 제안하였다. 이 모델은 전진운동이 큰 종래의 수학모델에 적용하기는 무리가 있지만, 저속 대각도 편류각에서 적용될 수 있는 수학모델이다. 이 모델은 실험으로 얻어진 값을 가지고 Fourier 계수를 이용하여 유체력 미계수(流体力 微係數)의 수치를 추정하는 방법이며, 이러한 유체력 계수들은 형태가 복잡하고 실용적으로 계산하기가 어려운 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 기본적으로 Takashina의 방법에 준하는 방법으로 조종운동을 해석하고, 유체력 미계수를 모형시험을 통하지 않고 실용적으로 계산하여 적용한 Shon[5]의 모델을 이용하여 풍압을 받는 선박의 조종성능을 해석한다. 선속과 프로펠러 회전 방향의 가감 및 후진 등의 광범위한 프로펠러 하중도를 갖는 상황에서 프로펠러에 의한 유체력 X_p 는 Van Lammeren[6]의 B-series 프로펠러 특성으로부터 계산한다. 프로펠러 회전에 의한 횡방향 유체력과 모멘트는 Fujino[7]의 실험결과를 참고한다.

조타에 기인하는 유체력은 MMG 모델[3]을 참조로 하여 식(2.2)와 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} X_R &= -(1-t_R)F_N \sin \delta \\ Y_R &= -(1+a_H)F_N \cos \delta \quad \dots\dots\dots(2.2) \\ N_R &= -(x_R+a_H x_H)F_N \cos \delta \end{aligned}$$

여기서, X_R , Y_R , N_R 은 조타에 의한 유체력, δ 는 타각, F_N 은 타직압력, x_R 은 타직압력의 착력점의 x 좌표, t_R , a_H 는 선체에 작용하는 타의 간섭력을 나타내는 계수, x_H 는 선체에 작용하는 타의 간섭력의 작용위치의 x 좌표를 나타낸다.

x_R , t_R , a_H 는 모형시험결과[8]를 이용하여 계산한다. 타직압력 F_N 은 Fujii식[9]을 이용한다. V_R , a_R 은 타에 유입하는 흐름의 유효유입속도, 흐름의 유효양각을 나타낸다. 이 들 값은 선속과 프로펠러의 회전방향에 따라 달라지는데 본 연구에서는 문헌[10]을 참고하여 결정한다.

조타기의 응답모델은 전동 유압식 조타기의 수학모델로 식(2.3)과 같이 나타낸다[11].

$$\begin{aligned} T_E \delta + \delta &= \delta^* \quad : \quad (|\delta^* - \delta| \leq T_E \delta_{max}) \quad \dots\dots(2.3) \\ \delta &= \text{sign}(\delta^* - \delta) \delta_{max} \quad : \quad (|\delta^* - \delta| > T_E \delta_{max}) \end{aligned}$$

여기서 δ^* 는 명령타각, T_E 는 시정수, δ_{max} 는 최대 타각속도를 나타낸다. 본 연구에서는 시정수는 2.5 sec 최대 타각속도는 3.0 deg/sec를 취한다[11].

3. 유체력 미계수와 풍압력 계산

정도 높은 조종운동을 구현하기 위해서는 실제 유체력을 잘 표현할 수 있는 유체력 미계수의 추정이 필요하다. 본 연구에서는 실용적인 계산을 위하여 Inoue[12]의 경험식을 이용, 유체력 미계수를 계산한다. 또한 부가질량 및 관성모멘트는 Clarke[13]와 Hooft[14]의 회귀식을 이용한다.

상부구조물이 큰 저속 비대형선이 항행할 때 풍압력의 영향은 매우 크게 나타난다. 선체 상부구조물은 일반적으로 복잡한 형상을 지니고 있기 때문에 통상 이론적인 추정에는 많은 어려움이 있다. 그러므로 통상 풍압력의 계산은 풍동실험을 통한 실선 풍압력 추정기법을 이용하고 있다.

본 연구에서는 바람에 의한 힘과 모멘트는 식(3.1)과 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} X_w &= C_X \frac{1}{2} \rho_A V_A^2 A_T \\ Y_w &= C_Y \frac{1}{2} \rho_A V_A^2 A_L \quad \dots\dots\dots(3.1) \\ N_w &= C_N \frac{1}{2} \rho_A V_A^2 A_L L_{OA} \end{aligned}$$

여기서 A_T , A_L 은 각각 수면위의 횡방향, 종방향 투영면적이고, C_X , C_Y , C_N 은 상대 풍향각 및 선체 형상의 함수인데 본 연구에서는 Isherwood의 경험식[15]으로부터 계산한다.

4. 수치 계산

본 연구에서 선정된 선박은 Fig. 4.1과 같은 수선

Table 4.1 Principal particulars of ship

items		car carrier
HULL		
Length overall	$L_{OA}(m)$	199.98
Length B. P.	$L(m)$	190.0
Breadth	$B(m)$	32.26
Mean draft	$d(m)$	9.00
Trim	$\tau(m)$	0.0
Block coefficient	CB	0.602
Rudder		
Height	$H(m)$	6.6
Area ratio	A_R/Ld	0.020
Aspect ratio	λ	1.406
Propeller		
Diameter	$D(m)$	6.6
Pitch ratio	P/D	1.14
No. of blades		5

Table 4.2 Values of parameters used to predict wind force

Items	
L_{OA}/L	1.054
AL/Ld	1.418
AT/Ld	0.560
L_{SS}/A_L	0.036
S/L_{OA}	1.100
C/L_{OA}	0.529
M	2
ρ_A/ρ	0.0012

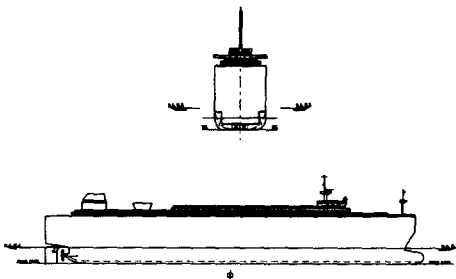


Fig. 4.1 Projected plan of a ship

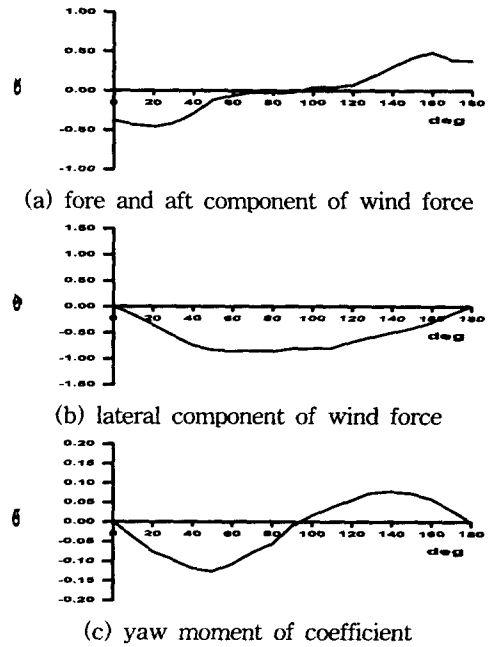


Fig. 4.2 Calculation of wind forces

간장이 190 m, 방형비척계수가 0.6인 자동차 운반선이다. 풍압 하에서 선박의 선회성능을 알아보기 위하여 만재 상태에서의 풍압력, 풍압모멘트를 계산하고 그 결과를 Fig. 4.2에 나타낸다. 계산에 사용된 선박의 주체원과 풍압력 계수를 Table 4.1, 4.2에 각각 나타낸다. AL/Ld , AT/Ld 는 수면하 측면적에 대한 수면상부의 측면 및 정면의 투영 면적을 표시하며, A_{ss} 는 선루의 측면 투영면적이고 S 는 마스트, 환풍기 등의 돌출물과 수면의 길이를 제외한 측면 투영면적 둘레의 길이이다. C 는 측면 투영면적의 중심에서 선수까지의 거리를 나타낸다. 본 논문에서 조종성에 대한 시뮬레이션 기법은 Runge-Kutta-Gill의 수치계산법을 이용한다. 계산 조건으로는 외력으로서 바람만을 고려하고, 바람의 방향을 정선수와 좌현선수 방향인 0° , 330° 방향으로 각각 설정하였다. 그리고, 타각을 우현 10° , 20° , 35° 로 변화하여 선박의 선회성능을 고찰하였다. 초기의 선속은 16.58 knots로 설정하고, 풍속은 바람이 없는 경우와 30m/sec 두 가지 조건에서 선회운동 시뮬레이션을 실시하고, 그 결과를 Fig.

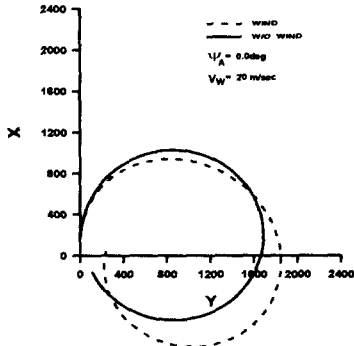


Fig. 4.3 Characteristics of turn simulation ($\delta=10^\circ$)

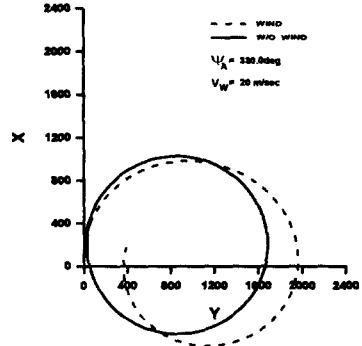


Fig. 4.6 Characteristics of turn simulation ($\delta=10^\circ$)

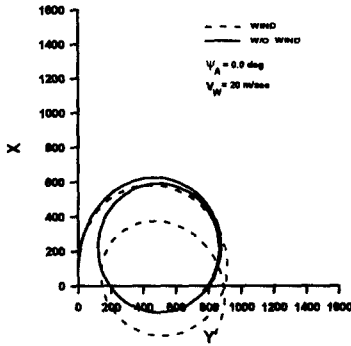


Fig. 4.4 Characteristics of turn simulation ($\delta=20^\circ$)

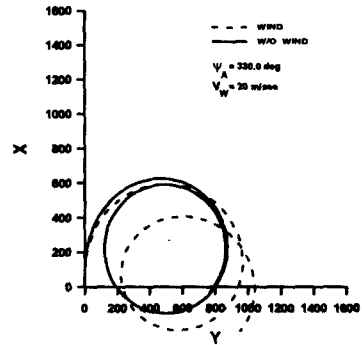


Fig. 4.7 Characteristics of turn simulation ($\delta=20^\circ$)

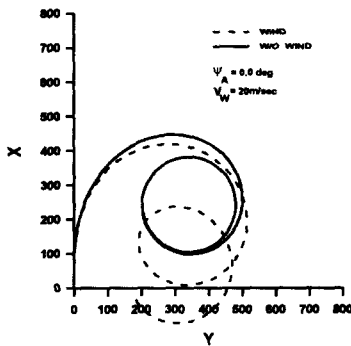


Fig. 4.5 Characteristics of turn simulation ($\delta=35^\circ$)

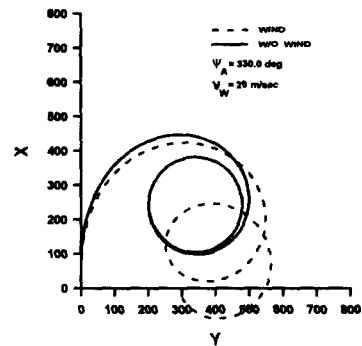


Fig. 4.8 Characteristics of turn simulation ($\delta=35^\circ$)

4.3 ~ 4.8에 나타낸다. 본 계산에 사용된 풍속조건은 풍력계급 8 정도로서, 실제 운항 중 대각도 조타를 시도하는 경우는 거의 없을 것으로 판단되나, 본 연구에는 극한적인 바람과 풍향의 영향을 알

아보기 위하여 상기조건을 선정한다. 결과를 살펴보면, 타각이 증가할수록 정상선회권의 찌그러짐이 커지고 있음을 알 수 있고, 작은 타각을 사용할 수

록 바람의 영향을 더욱 많이 받게 되어 선회권의 중심이 풍하측으로 심하게 밀리고(타각을 10도 주었을 때 약 135° 방향으로 자선의 길이만큼) 있다. 또한 선회가 일어나기 시작하면 바람의 영향을 심하게 받게되어 순간적으로 횡두 모멘트가 증가되어 조종 불능 상태에 이르게 될 것으로 추정할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 자동차 운반선 선회성능에 미치는 풍하 중의 영향을 알아보기 위하여 풍향과 타각에 따른 선회성능 시뮬레이션을 실시하였다.

연구 결과, 선박의 주제를 가지고 풍하중을 받는 상황에서 선회성능을 어느 정도 추정할 수 있었다. 계산결과에서 알 수 있듯이 대각도 타각을 사용하면 상대적으로 풍하중의 영향을 크게 받아 정상선회가 불가하여 조종불능 상태에 이르게됨을 확인하였다. 강풍하에서 상부구조물이 큰 선박을 조선(操船)할 경우 대각도 타각을 사용해서는 안된다는 사실을 알 수 있다. 그리고, 강풍하에서 작은 타각을 사용하면서 저속으로 선회를 시도할 경우에는 풍하측으로 심하게 밀릴 것을 감안하여 풍하측에 충분하고 안전한 수역이 확보되었을 때 시행하여야 할 것이다.

본 연구에서 계산한 풍압력 회귀분석 데이터는 현재 공시선형의 데이터와는 많은 선형의 차이가 있기 때문에, 향후 이에 대한 보완이 필요하다고 판단된다. 또한 본 연구에서 사용된 수확모델과 미계수의 추정에 대한 체계적인 적용 및 해석이 필요하다고 판단된다.

또한 본 연구에서 다루었던 선박의 선회운동뿐만 아니라 항내 조선(操船)의 필수요소인 미소 변침성능, 보침성능, 및 정지성능에 있어 바람의 영향에 대한 체계적인 계산 및 분석이 필요할 것으로 판단되며, 더불어 출입항 조선문제, 예선 및 사이드 스러스터의 사용, 시뮬레이터 등의 연구와 병행되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] Inoue, S., et al., “操縦性に対する風の影響(I,II,III)”, 西部造船會會報, 第44号, 第45号, 第46号, 1972. 1973.
- [2] Takagishi, K., et al., “Behavior a Full Ship in the Sea”, Proc. KOJAM, 1996.
- [3] Ogawa, A., et al., “MMG報告(I)-操縦運動の數學Modelについて-”, 日本造船學會誌, 第575号, 1977.
- [4] Takashina, J., “タクによる操縦運動とその計算法について”, 日本造船學會論文集, 第160号, 1987.
- [5] Shon, K. H., “Hydrodynamic Force and Manoeuvring Characteristics of Ship at Low Advance Speed”, SNAK, Vol.29, No.3 1992.
- [6] Van Lammeren, W. P. A. et al., “The Wageningen B-Screw Series”, Trans SNAME, Vol. 77. 1969.
- [7] Fujino, M., et al., “フ°ロヘ°ラ逆轉による制動時の船の操縦性について”, 日本關西造船協會誌, 第173号, 1979.
- [8] Kose, K. et. al., “操縦性能推定に用いる數學モデルと模型試験”, 日本造船學會誌, 第668号, 1985.
- [9] Fujii, H., “自航模型船による舵特性の研究”, 日本造船協會論文集, 第107号, 1960.
- [10] 손경호, “Hydrodynamic Force and Manoeuvring Characteristics of Ship at Low Advance Speed”, 대한조선학회논문집, 제29권, 제3호, 1992.
- [11] 손경호, “선박의 조종성능 평가를 위한 수확모델에 관한 연구”, 한국해양대학교, 부설선박공학연구소, 1989.
- [12] Inoue, S. et al., “Hydrodynamic Derivatives on Ship Manoeuvring”, ISP, Vol. 28, No. 325, 1981.

- [13] Clarke, D. et al., "The Application of Manoeuvring Criteria in Hull Design Using Linear Theory", *The Naval Architect RINA*, 1983.
- [14] Hooft, J. P. et al., "Design Information on the Ship Manoeuvrability", *NSMB Report No.45931-1/2-NS*, 1984.
- [15] Isherwood, R.M., "Wind Resistance of Merchant Ship", *Trans. RINA*, Vol. 114, 1972.