

선박조종용 PC Ship Maneuvering DeskTop Simulator의 개발과 VLCC 접안조종의 응용에 관한 연구

허용범¹⁾ ·尹点東²⁾

A Study on the Development of PC-based DeskTop Ship Maneuvering Simulator and Its Application to Berthing of VLCC

Yong-Bum Huh, Jeom-Dong Yoon

Abstract

In many cases, marine accidents occurred due to improper ship maneuvering under external forces of wind or current have caused not only economic losses of the people concerned but also significant social problem arising from marine pollution.

To prevent such accidents, training shiphandlers by means of repeated simulation is necessary, but the development of some predictable measures are essential to cope with ship's behavior under various kinds of winds and/or currents.

Particularly, It is very important to decide the exact time to use the engine astern in order to stop the ship completely to be in parallel with the berth at a proper position.

And if the ship does not stop properly due to heavy winds, it is likely that the ship moves in an unexpected manner during its berthing, which may eventually cause collision with the berth

1) 한국해양대학교 해사수송과학과 박사과정
2) 한국해양대학교 운항시스템공학부 교수

facilities, as is the case of Honam Sapphire in 1995.

Accordingly, this study aims at establishing certain criteria or limits in order to maneuver VLCC safely under various wind conditions while approaching to berth.

For this purpose, the author have developed PC-based DeskTop Ship Maneuvering Simulation Method, for which several kinds of mathematical formula were adopted to form a proper mathematical model.

Repeated Simulations were performed with the above mathematical model for a VLCC approaching to berth in low speed to stop in the vicinity of the berth on port side, under various wind forces and directions from starboard.

From the results of this study, following conclusions were derived;

1) In order to obtain maximum yaw to starboard for FPP VLCC while proceeding ahead with astern engine, corresponding reverse RPM to ship's speed is to be maintained. In other words, full astern engine is not always necessary to obtain maximum yaw to starboard.

2) When the wind direction varies between 20° - 50° from bow to to starboard, differences of total yaw is little and if the wind direction is 10° or 60° from bow to starboard, there is almost no differences in total yaw.

3) When the wind direction exceeds 60° from bow to starboard, lateral distance to berth from ship should be maintained wider than the normal clearance 3B-4B, because lateral velocity is large comparing with yaw.

4) Headwind foster yaw to starboard, proportional to wind force, when uses engine astern while proceeding ahead.

5) “ Equi-wind force curves”, “ Equi-wind direction curves ” and “ Maneuverable wind pressure diagram ” devised in this study were found to be useful to cope with various wind conditions when berthing VLCC.

제 1 장. 서 론

선박의 조종과 관련되어 발생하는 사고들은 많은 경우에 있어서 당사자들만의 피해에 그치지 아니하고 때로는 해양 오염 등으로 커다란 사회적 문제를 일으키고 있으며 최근 발생한 Honam Sapphire 호, Sea Prince 호 사고에서도 알 수 있듯이 풍압면적이 과대한 자동차 전용선이나 컨테이너 운송선이 아니더라도 초대형 원유선이 저속 항해시 풍조(風潮)의 예측과 이에 대한 대응이 적절치 못할 경우 큰 해난사고를 발생시킬 수 있다.

특히 접안 예정인 초대형선이 항내에서 저속으로 부두에 접근시 풍조의 영향을 받는 상태에서 부두 전방의 정선점에 도착하기 위하여 후진기관을 사용하는 시점은, 접안 예정 부두의 전방에서 부두와 적절한 거리를 두고 이와 평행으로 정선하도록 조종을 해야 하는 아주 중요한 때이며, 만일 이때 비정상적 자세가 되면 이후 접안시 까지 선체 움직임이 불안정하여 사고로 연결될 수 있다.

본 연구에서는 이와 같은 상황 하에서 선박을 풍압에 대하여 안전하게 조종할 수 있는 하나의 기준을 마련함을 연구 목적으로 하였으며 이에 필요한 선박 조종용 시뮬레이터를 개발하고 한국항해학회지에 게재하여 검증 받은 바 있다. 본 시뮬레이터는 80486DX2의 CPU로서 16MB의 RAM과 640 x 480 dot의 Video Display용 Monitor를 장착한 PC를 사용 하였으며, 소프트웨어는 보다 효율적인 그래픽 처리를 위해 Turbo Pascal ver. 5.0으로

[1] [2] 작성하였다 모든 데이터의 입출력은 기본입출력 장치 만으로도 가능토록 단순화 시켰다.

이 조종 시뮬레이션은 실무상의 필요를 위하여 여러가지 선형에 대하여 가능해야 하므로, 선체 요목만으로도 이용할 수 있는 일본 조선학회의 MMG (Mathematical Model Group : 조종운동 수학모델 검토그룹) 모델도 [3] [4] 채택하였다.

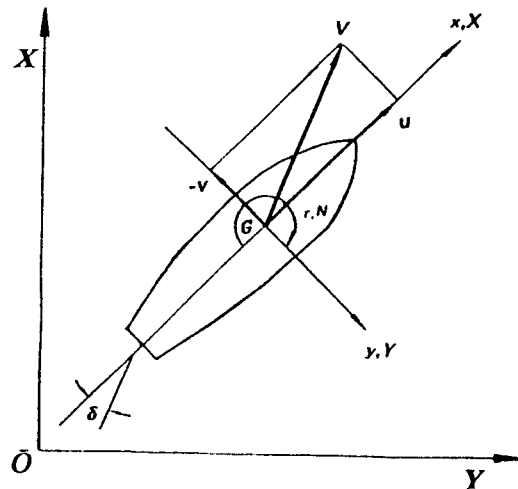
제 2 장. 시뮬레이션을 위한 수학모델.

2.1 수학모델의 정식화

정수(靜水) 상에서의 선체운동은 Surge, Sway, Yaw 성분만을 고려대상으로 하며 본 연구에서는 항내 저속 항해중 주기후진이 수반되므로, 선체 운동방정식의 유체력에 관하여는 Propeller Reversing 도 표현하는 수학모델이 필요 하다.

선체운동을 표시하는 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} m(\ddot{u}-vr) &= X \\ m(\ddot{v}+ur) &= Y \dots\dots\dots (1) \\ I_z \dot{r} &= N \end{aligned}$$



[Fig. 2. 1. 1] Coordinate System

식 (1)의 우변은 MMG모듈에 기타의 유체력 및 풍압 등의 외력들을 추가하여 다음과 같이 구성 하였다.

$$\begin{aligned} X &= (X_H + X_P + X_R) + X_A + X_W + X_T \\ Y &= (Y_H) + Y_P + (Y_R) + Y_A + Y_W + Y_T \dots\dots\dots (2) \\ N &= (N_H) + N_P + (N_R) + N_A + N_W + N_T \end{aligned}$$

식 (2)에서 첨자 H, P, R, A, W, T는 선체 만의 움직임(H), 프로펠러 작동(P), 타의 작동(R), 풍압력(A), 조류(W), 예선(T)을 각각 의미하며, 유체력들 중 ()안의 $X_H, X_P, X_R, Y_H, Y_R, N_H, N_R$ 와 실제 시뮬레이션시 필요한 프로펠러 회전수 변동 및 조타시 타각의 시간지연(Time lag)의 계산은 MMG의 수학모델 [3] [4]을 사용하였고 $Y_P, N_P, X_A, X_W, X_T, Y_A, Y_W, Y_T, N_A, N_W, N_T$ 는 다음과 같이 별도로 구하였다.

2.2 수학기모델의 구성.

2.2.1. 프로펠러 사용시 선체에 미치는 횡방향 유체력 Y, 및 회두모멘트 N_p

선박조종 중 프로펠러 역회전에 의한 선체 회두현상을 유발시키는 N_p 는 아주 중요한 고려 요소이며 이는 특히 항내에서 저속 운항을 하는 때를 포함하여 여러 경우에 유용하게 사용할 수 있는 현상이다. [5] Fujino에 의하면 [6],

$$\begin{aligned} Y_p &= n^2 D^4 Y_{\bar{p}} \\ N_p &= n^2 D^5 N_{\bar{p}} \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

단, $Y_{\bar{p}}, N_{\bar{p}}$: u/nP 의 함수로서 $u>0, n<0$ 인 경우외에는 0이다.

즉, 직진중 프로펠러를 역전할 때에만 유효하다.

n : 매초당 프로펠러 회전수.

D : 프로펠러의 직경.

2.2.2. 풍압에 의해 선체의 종, 횡방향에 미치는 힘 X_A, Y_A 및 회두모멘트 N_A

이 값들은 Isherwood의 회귀식에 의하여 [7],

$$\begin{aligned}
 X_A &= 0.5 C_x \rho_a V_{rw}^2 A_r \\
 Y_A &= 0.5 C_y \rho_a V_{rw}^2 A_L \dots\dots\dots (4) \\
 N_A &= 0.5 C_y \rho_a V_{rw}^2 A_L L_{gc}
 \end{aligned}$$

단, ρ_a : 공기의 밀도 ($0.125\text{Kg}\cdot\text{sec}^2/\text{m}^4$).
 C_x, C_y : 상대풍향 및 선형(Hull Shape)의 함수인 풍압계수.
 V_{rw} : 상대풍속.
 L_{gc} : 풍압 착력점과 선체 중심간의 거리.
 A_r, A_L : 수선 상부 선체의 x, y 축 상의 투영 단면적. [8]

2. 2. 3. 조류 및 예인선의 외력

조류에 의해 선체에 미치는 중, 횡방향 힘 X_w, Y_w , [9] 회두모멘트 N_w 와 예인선에 의해 선체에 미치는 중, 횡방향 힘 X_r, Y_r 및 회두모멘트 N_r 에 관하여 본 시뮬레이터의 Software내에는 모두 계산 항목이 포함되어 있으나 이 연구에서 시뮬레이션의 조건은 예선과 조류의 영향이 없는상태로 하였으므로 이곳에서는 상술하지 않는다.

2. 2. 4. MMG Model

주선체에 작용하는 종방향 유체력 X_H , 프로펠러의 유효추력 X_p , 주선체에 작용하는 횡방향 유체력 Y_H , 선회 모멘트 N_H , 조타에 기인하는 종방향 유체력 X_R , 횡방향 유체력 Y_R , 회두모멘트 N_R , 프로펠러 회전수 및 조타기의 수학 모델은 MMG Model을 사용하였다.

이상의 이론에 의하여 시뮬레이션을 위한 Software를 Turbo Pascal Ver. 5.0으로 작성하였으며, 서론에서 밝힌 바와같이 한국항해학회지에 게재하여 그 정밀도를 검증받은 바 있다. [10]

제 3 장. VLCC의 입항조종 시뮬레이션 및 결과 분석.

FPP 선박의 경우 감속 또는 후진을 하기 위하여 프로펠러를 역회전시키면 선체가 우회두하며 이 현상은 선종에 따라 상이하다.

VLCC와 소형 연안 유조선의 경우는 전진상수($J_p = u/n P$)가 약 -0.6 ~ -0.7 일 경우 우회두가 가장 강하게 나타나며 이 값이 -1.2보다 작으면 오히려 좌회두 한다. 이 회두력 및 회두모멘트는 전진상수 J_p 의 함수로서 표현할 수 있으며 식(3)에 의하여 계산된다.

3. 1. 시뮬레이션 초기조건의 설정

시뮬레이션을 위한 모델선박은 공선상태의 선미 선교형 VLCC로서 ULCC와 동일한 우회두 성질을 갖는 것으로 하였고 제원은 다음과 같다.

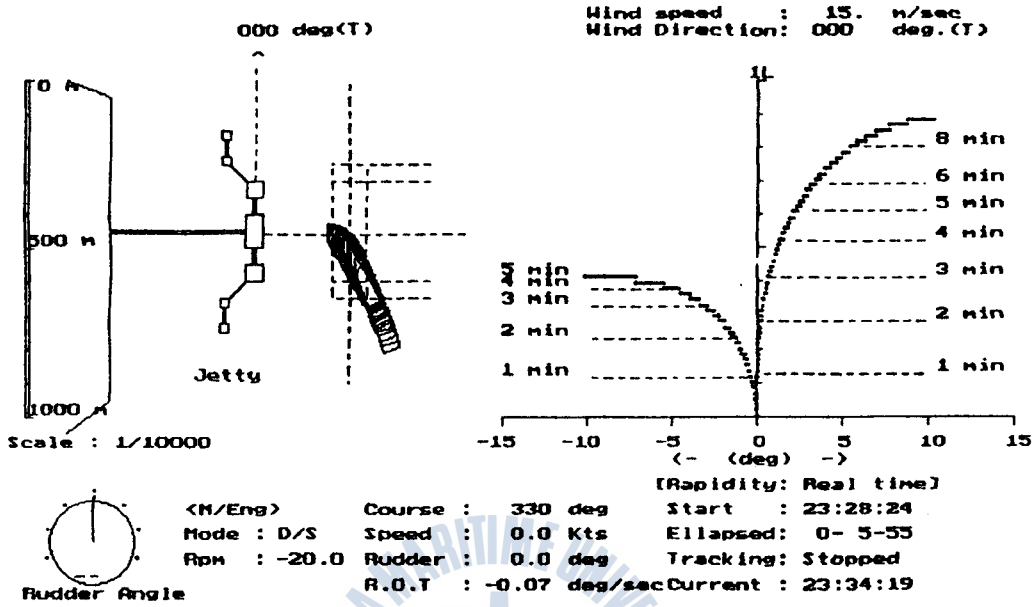
Displacement :	125,000 M/T.	L.O.A :	318 m
Breadth :	56 m	Draft :	9.64 m(mid), 7.66 m(fore), 11.61 m(aft).
C_B :	0.82	Propeller pitch :	6.32 m. dia : 8.9 m
Rudder area :	88.88 m ²	Rudder area ratio :	34.5,
Aspect ratio :	1.28	Rudder height :	10.67m, width : 8.33m

이 선박을 접안예정인 부두로부터 약 1L거리에서 2 Kts의 속력으로 접근하면서 극미속후진 기관을 사용할때의 시뮬레이션을 행하였다. 이때 외력으로는 정선수로부터 우현측으로 상대방위 70도까지 매 10도씩 8종의 풍향에 초속 5, 10, 15, 20m의 4종의 풍속을 적용하여 모두 32종의 시뮬레이션을 행하였으며, 좌현 정횡 4B 정도되는 위치에 도달할때의 진출거리와 회두각을 [Fig. 3. 1. 1]과 같이 그래픽과 그래프 및 Data로써 표시하였다.

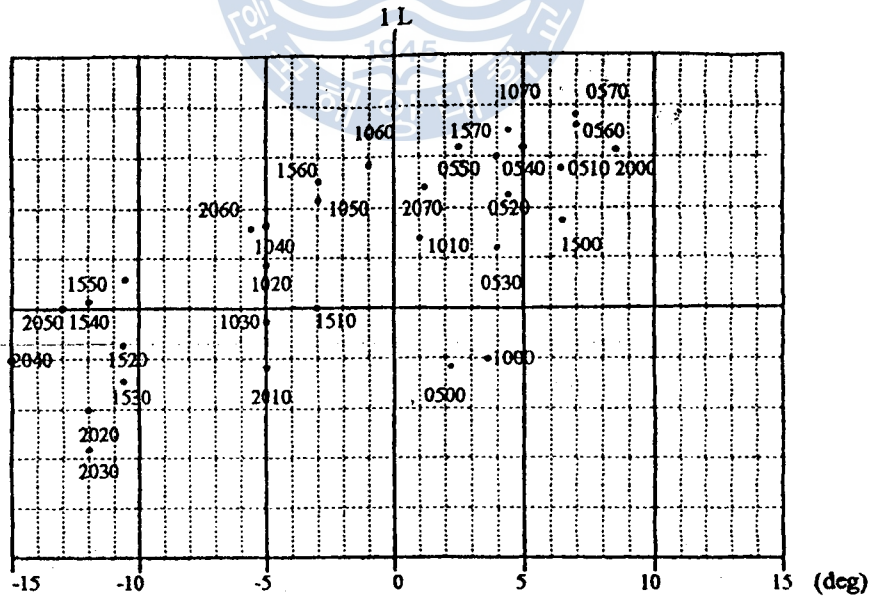
이 그림에서 상부 좌측은 부두로 향하여 접근하는 선체의 궤적(Trajectory)을 나타낸다. 상부 우측의 그래프는 종축에 진출거리를 횡축에 회두각을 표시한다.

3. 2. 시뮬레이션 결과의 분석

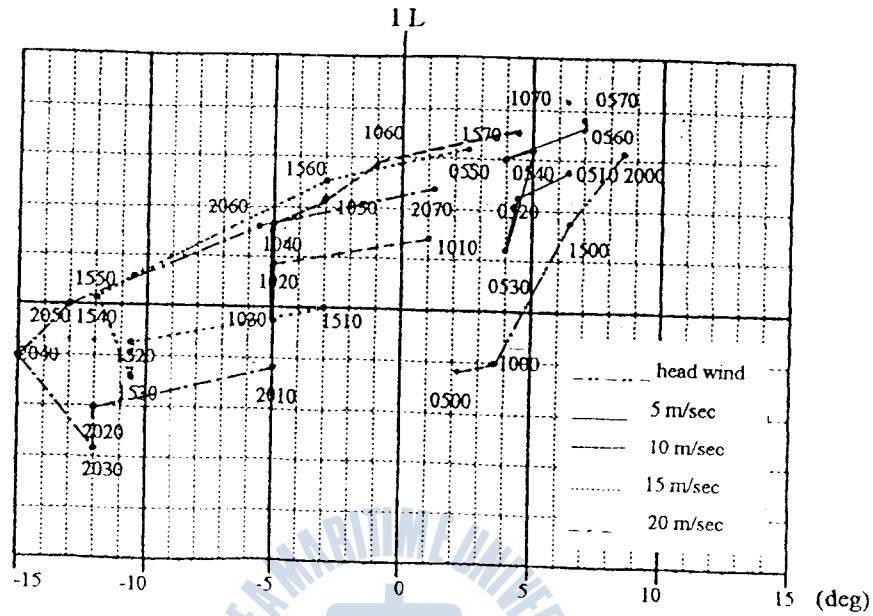
3. 1.의 방법에 의하여 32종의 시뮬레이션을 행한 결과에 대하여 각 시뮬레이션 완료시점에서의 좌표(종축: 진출거리를 선체길이에 무차원화한 값, 횡축: 회두각도)를 모두 기점하면 [Fig. 3. 2. 1]와 같다. 각점은 네자리 숫자로 표현되어 있으며 앞의 두자리는 풍속, 뒤의 두자리는 상대풍향(선수로부터 우현측으로)을 각각 나타낸다.



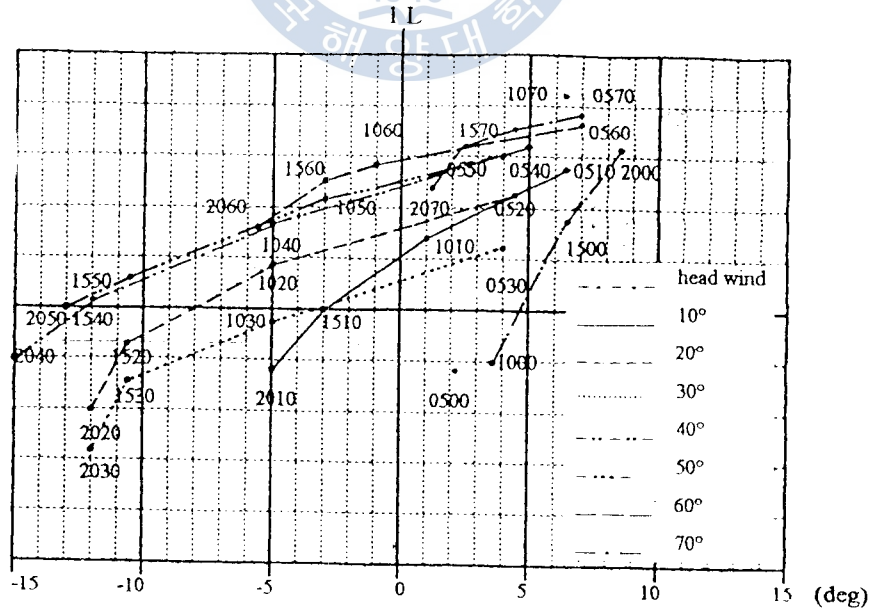
[Fig. 3. 1. 1] Display method of the result of simulation.



[Fig. 3. 2. 1] Indication of all simulation results in terms of ship's position and heading angle.

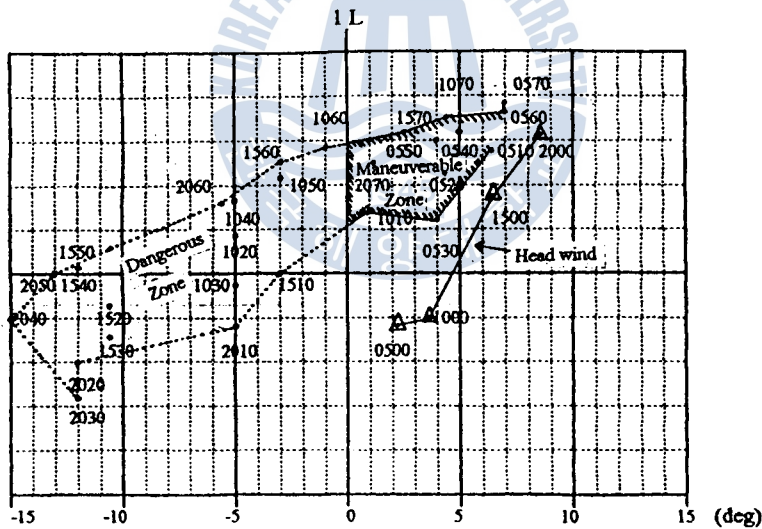


[Fig. 3. 2. 2] Equi-wind force curves



[Fig. 3. 2. 3] Equi-wind direction curves

이 점들을 풍속이 같은 점들끼리 연결한 [Fig. 3. 2. 2]을 등풍속선도(等風速線圖: Equi-wind force curves), 풍향이 같은 것끼리 연결한 [Fig. 3. 2. 3]을 등풍향선도(等風向線圖: Equi-wind direction curves)라 칭하며 이 그림들에 의하면 임의의 풍속, 풍향에 대한 진출거리 및 회두각을 알수 있다. 또한 [Fig. 3. 2. 4]은 모든 점들 중 외곽에 위치한 점들만을 연결한 것으로서 조종가능 풍압구역도(操縱可能風壓區域圖: Maneuverable wind pressure diagram)라 칭하며, 우측의 빗금친 부분은 각 풍향, 풍속에 노출되었을 때 후진기관으로써 바람을 이겨내고 우회두할 수 있는 조종가능구역을 표시하며, 좌측구역은 후진기관으로 만든 우회두가 곤란하여 반드시 예인선의 도움을 받아야하는 위험구역을 표시한다.



[Fig. 3. 2. 4] Maneuverable wind pressure diagram

제 4 장. 결 론

본 연구에서는 개인용 컴퓨터를 이용한 선박조종 시뮬레이터를 개발하여, 접안 예정인 VLCC가 부두 전방의 정선점 부근에서 후진 기관을 사용할 때

여러가지 방향과 세기의 바람에 대하여 취해야할 가장 적절한 대응 방법을 모색하는 데에 응용하였으며 다음의 결론을 얻었다.

- 1) 전진중인 FPP의 VLCC가 후진 기관을 사용할 때 정선시까지 가장 큰 우회두각을 얻기 위하여는 당시 속력에 상응하는 회전수의 후진 기관을 사용해야 하며, 정상적인 기상조건에서 실제 조선시는 전진상수 J_p 의 값이 -0.5 정도가 되는 후진 기관 회전수가 가장 합리적이고 부두 전방에서 정선점에 거의 도달할 때 이 회전수는 D/S (극미속후진) 부근이다.
- 2) 풍향이 선수 우현 $20^\circ - 50^\circ$ 사이일 경우 동일한 풍력이면 진출거리에 차이는 있지만 풍향변화에 따른 회두량의 차이는 거의 없고, 풍향이 선수 우현 10° 와 60° 의 경우는 진출거리만 다를 뿐 정선시까지 회두각은 거의 동일하다.
- 3) 풍향이 선수로 부터 60° 를 초과하면 우회두각에 비하여 좌현 횡이동이 크므로, 정선시의 부두와 본선 사이의 간격을 통상으로 유지하는 3B-4B보다 더욱 크게 되도록 사전에 이를 조정하여야 한다.
- 4) 바람을 정선수에서 받으며 후진 기관을 사용시는 풍속에 관계없이 우회두를 유발시키며 이때 우회두의 크기는 거의 풍속에 비례한다.
- 5) 본 연구에서 제안한 방법으로 “등풍속선도”, “등풍향선도”와 “조종가능 풍압구역도”를 개개의 선박별로 분석해 두면 입항조선 중 여러가지의 바람에 대하여 유용하게 사용할 수 있다.

參 考 文 獻

- [1] 朴命圭, “터보 파스칼 5.0 응용” 一進社, 1992
- [2] 趙東涉, “터보파스칼 數值解釋” 教學社, 1990

- [3] S. Inoue, N. Hirano, K. Kijima & J. Takashina, "A Practical Calculation Method of Ship Maneuvering Motion", Int'l Shipbuilding Progress, Vol.28. No.325, 1981
- [4] 孫景浩, "船舶의 操縱性能評價를 위한 數學모델에 關한 研究", 韓國航海學會誌 第25號, 1989.
- [5] 芳村康男, 野本謙作, "増減速を伴う操縱運動の取扱について" ("Modeling of Maneuvering Behavior of Ships with a Propeller Idling, Boosting and Reversing") 日本造船學會 論文集 第144號 1978
- [6] Fujino, M. et al., "On the Maneuverability of Ship While Stopping by Adverse Rotation of Propeller." J. of the Kansai Society of Naval Architecture, 169, 1978
- [7] Isherwood, R.M., "Wind Resistance of Merchant Ship," RINA, Vol. 114, 1972
- [8] 尹点東, 巨大型船 操縱論, 亞成出版社, 1983, p100, p101.
- [9] 尹点東, 前掲書 p104
- [10] 許龍範, "PC를 利用한 船舶操縱練習用 DeskTop Simulator 開發에 關한 研究" 韓國航海學會誌 第20卷 第2號.