

바람과 조류가 선박의 변침에 미치는 영향

† 유 영준 · 이 기표*

† 서울대학교 공과대학 조선해양공학과 박사과정, *서울대학교 공과대학 조선해양공학과 교수

요약 : 선박이 다른 선박을 회피하거나 항로를 변경하기 위하여 변침을 하는 경우에, 바람과 조류가 선박의 조종운동에 영향을 줄 수 있다. 이러한 영향을 반영하여 변침 계획을 세울 수 있다면, 보다 높은 안전성과 효율성을 기대할 수 있다. 본 논문에서는 바람과 조류가 선박의 변침에 미치는 영향을 연구하였다. 먼저 바람과 조류의 영향을 고려하여 조종운동방정식을 구성하였으며, 이를 시뮬레이션 하였다. 이후에 변침에 필요한 명령타각의 결정을 위하여 Fuzzy 제어를 적용하였으며, 바람과 조류에 크기에 따라 선박의 제어에 미치는 영향을 분석하였다. 마지막으로 바람과 조류의 영향이 선박의 변침 궤적 및 선박의 속도 변화에 미치는 영향을 분석하였다.

핵심용어 : 바람, 조류, 조종성능, Fuzzy 제어

1. 서론

바람 및 조류가 선박의 조종운동에 미치는 영향

- 선박의 상부구조물의 형상 및 크기에 따라 바람이 선박의 조종운동에 미치는 영향이 변화
- 선박이 운항하는 해역의 조류의 크기 및 방향에 따라 선박의 조종운동에 미치는 영향이 변화
- 바람과 조류가 선박의 조종운동에 미치는 영향을 시뮬레이션 하고, 선박의 변침에 미치는 영향을 분석



<Fig. 1> Cruise



<Fig. 2> 조류의 영향에 큰 세력

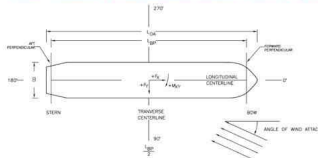


Ship Controllability Laboratory

Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering
Seoul National University

2. 바람과 조류가 선박의 조종운동에 미치는 영향

OCIMF, "Prediction of Wind and Current Loads on VLCCs", 1977



<Fig. 3> Wind force & moment가 선박에 미치는 영향

$$m(\ddot{u} - v\dot{r} - x_G \dot{r}^2) = X_{H+POD} + X_{wind} + X_{current}$$

$$m(\dot{v} + w\dot{r} + x_G \dot{r}) = Y_{H+POD} + Y_{wind} + Y_{current}$$

$$I_{zz} \dot{r} + m x_G (\dot{v} + w) = N_{H+POD} + N_{wind} + N_{current}$$

X_H, Y_H, N_H : Hull force & moment
 $X_{POD}, Y_{POD}, N_{POD}$: POD force & moment
 $X_{wind}, Y_{wind}, N_{wind}$: Wind force & moment
 $X_{current}, Y_{current}, N_{current}$: Current force & moment

선박의 조종운동 방정식

- 선박의 조종운동방정식에 Wind & Current를 외력으로 포함시켜 반영
- 대상선박에 대하여 실험한 결과를 바탕으로 Whole ship model을 이용하여 선박의 조종 시뮬레이션 수행
- Whole ship model에서는 선박의 Hull과 POD의 영향을 함께 고려하여 유체력 미계수를 얻음

$$X_{H+POD}' = X'_{11} \dot{u}' + X'_{12} v'^2 + (X'_{13} - Y'_{11}) v' r' - X'_{14} r'^2 + X'(u) + X'_{15} + X'_{16} \delta^2$$

$$Y_{H+POD}' = Y'_{11} v' + Y'_{12} r' + Y'_{13} v' r' + Y'_{14} v'^3 + (Y'_{15} - X'_{11}) r'^2 + Y'_{16} r'^3 + Y'_{17} v' r'^2 + Y'_{18} v' r' + \dots + Y'_{19} \delta + Y'_{20} \delta^2$$

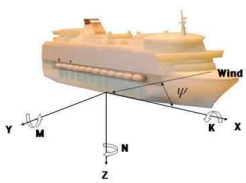
$$N_{H+POD}' = N'_{11} v' + N'_{12} r' + N'_{13} v' r' + N'_{14} v'^3 + N'_{15} r' + N'_{16} v' r'^2 + N'_{17} v' r' + \dots + N'_{18} \delta + N'_{20} \delta^2$$



Ship Controllability Laboratory

Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering
Seoul National University

2. 바람과 조류가 선박의 조종운동에 미치는 영향



<Fig. 4> 풍동 시험에서 이용된 좌표축



<Fig. 5> 풍동 시험에 이용된 모형 대상 선박

선박의 조종운동 방정식

- 0~180deg까지 수행된 실험은 360deg까지 대칭하게 확장하여, 실험보간법을 이용하여 풍하중 계수를 계산
- X, Y, Z, K, M, N 모두 계측하였으나, 조종운동 방정식에서 필요한 X, Y, N계수만 이용

<Table 1> 모형 대상 선박의 중 하중 실험 정보

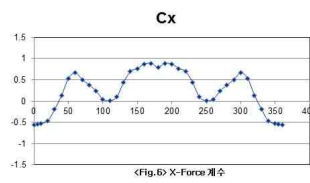
	Design Condition
$L_{wl}(m)$	282
$L_{pp}(m)$	243
$H(m)$	38
$A_w(m^2)$	10,500
$A_v(m^2)$	1,700



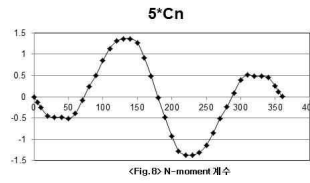
Ship Controllability Laboratory

Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering
Seoul National University

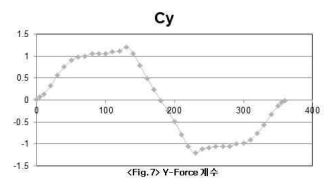
2. 바람과 조류가 선박의 조종운동에 미치는 영향



<Fig. 6> X-Force 계수



<Fig. 6> N-moment 계수



<Fig. 7> Y-Force 계수

- Longitudinal Force Component
 $C_x = \frac{X}{\frac{1}{2} \rho U_{ref}^2 A_f}, X' = \frac{X'}{\frac{1}{2} \rho U_{ref}^2 L_b^2}$

- Lateral force Component
 $C_y = \frac{Y}{\frac{1}{2} \rho U_{ref}^2 A_f}, Y' = \frac{Y'}{\frac{1}{2} \rho U_{ref}^2 L_b^2}$

- Yawing Moment
 $C_n = \frac{N}{\frac{1}{2} \rho U_{ref}^2 A_f L_b}, N' = \frac{N'}{\frac{1}{2} \rho U_{ref}^2 L_b^3}$



Ship Controllability Laboratory

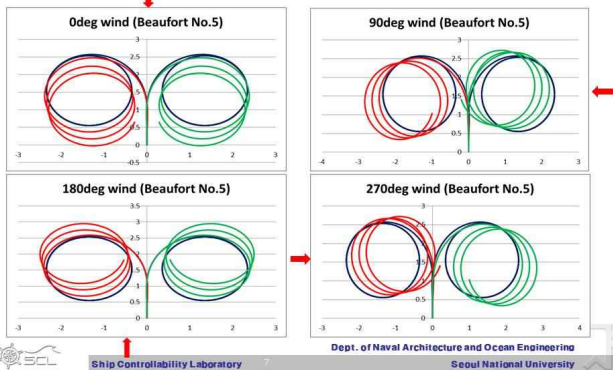
Dept. of Naval Architecture and Ocean Engineering
Seoul National University

† 교신저자 연희원) yyj0823@snu.ac.kr

* 종신회원 kprhee@snu.ac.kr

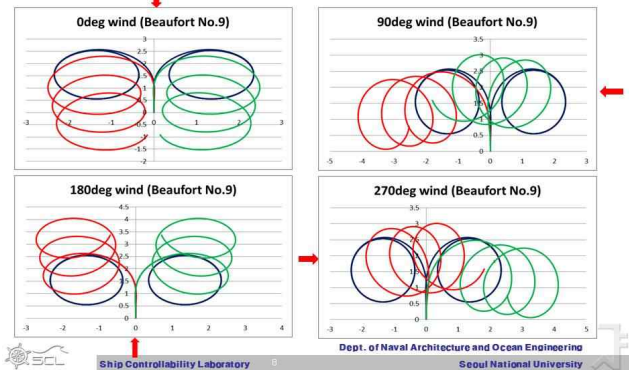
2. 바람과 조류가 선박의 조종운동에 미치는 영향

⊙ 바람의 방향에 따른 35° 시뮬레이션 결과 (Beaufort number 5)



2. 바람과 조류가 선박의 조종운동에 미치는 영향

⊙ 바람의 방향에 따른 35° 시뮬레이션 결과 (Beaufort number 9)



2. 바람과 조류가 선박의 조종운동에 미치는 영향

⊙ Current 반영

- W. Hwang, "Application of system identification to ship maneuvering"의 방법
- Relative velocity를 이용하여 유체력 계산 및 반영

$$u_r = u - u_c \cos(\psi - \psi_c)$$

$$v_r = v + u_c \sin(\psi - \psi_c)$$

$$\dot{u}_r = \frac{du_r}{dt} = \frac{d}{dt}(u - u_c \cos(\psi - \psi_c))$$

$$= \dot{u} - u_c \cos(\psi - \psi_c) + u_c \sin(\psi - \psi_c) \frac{d}{dt}(\psi - \psi_c)$$

$$= \dot{u} + u_c \sin(\psi - \psi_c) \frac{d}{dt}(\psi - \psi_c) \quad (u_c = \text{constant})$$

$$= \dot{u} + u_c \cdot r \cdot \sin(\psi - \psi_c) \quad (\psi_c = \text{constant})$$

$$\dot{v}_r = \frac{dv_r}{dt} = \frac{d}{dt}(v + u_c \sin(\psi - \psi_c))$$

$$= \dot{v} + u_c \sin(\psi - \psi_c) + u_c \cos(\psi - \psi_c) \frac{d}{dt}(\psi - \psi_c)$$

$$= \dot{v} + u_c \cos(\psi - \psi_c) \frac{d}{dt}(\psi - \psi_c) \quad (u_c = \text{constant})$$

$$= \dot{v} + u_c \cdot r \cdot \cos(\psi - \psi_c) \quad (\psi_c = \text{constant})$$

2. 바람과 조류가 선박의 조종운동에 미치는 영향

⊙ - W. Hwang, "Application of system identification to ship maneuvering"의 방법
- Relative velocity를 이용하여 유체력 계산 및 반영

$$m(\dot{u}_r - v_r \cdot r - x_G \dot{r}^2) = m[(\dot{u} - u_c \cdot r \cdot \sin(\psi - \psi_c)) - (v + u_c \sin(\psi - \psi_c))r - x_G \dot{r}^2]$$

$$= m[\dot{u} - v \cdot r - x_G \dot{r}^2 + u_c \cdot r \cdot \sin(\psi - \psi_c) - u_c \cdot r \cdot \sin(\psi - \psi_c)]$$

$$= m(\dot{u} - v \cdot r - x_G \dot{r}^2)$$

$$m(\dot{v}_r + u_r \cdot r + x_G \dot{r}^2) = m[(\dot{v} + u_c \cdot r \cdot \cos(\psi - \psi_c)) + (u - u_c \cos(\psi - \psi_c))r + x_G \dot{r}^2]$$

$$= m[\dot{v} + u \cdot r + x_G \dot{r}^2 + u_c \cdot r \cdot \cos(\psi - \psi_c) - u_c \cdot r \cdot \cos(\psi - \psi_c)]$$

$$= m(\dot{v} + u \cdot r + x_G \dot{r}^2)$$

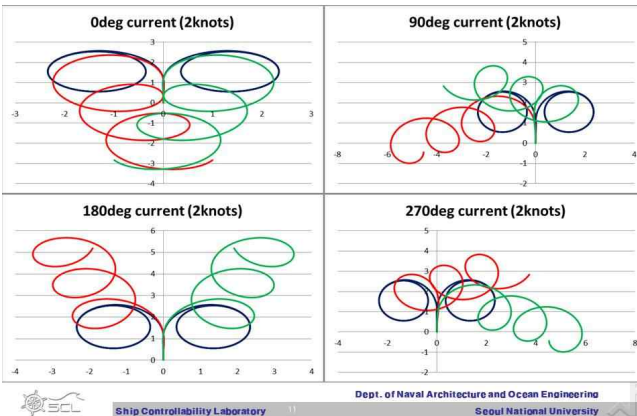
$$m(\dot{u} - v \cdot r - x_G \dot{r}^2) = (X_{H-PDD})_x + X_{wind}$$

$$m(\dot{v} + u \cdot r + x_G \dot{r}^2) = (Y_{H-PDD})_x + Y_{wind}$$

$$I_{zz} \dot{r} + m x_G (\dot{v} + u \cdot r) = I_{zz} \dot{r} + m x_G (\dot{v} + u \cdot r) = (N_{H-PDD})_z + N_{wind}$$

$(X_{H-PDD})_x, (Y_{H-PDD})_x, (N_{H-PDD})_z$: Hull force & moment in current
 $X_{wind}, Y_{wind}, N_{wind}$: Wind force & moment

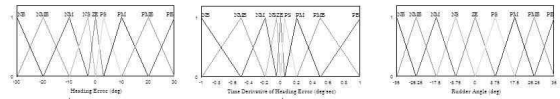
2. 바람과 조류가 선박의 조종운동에 미치는 영향



3. Fuzzy control

⊙ Fuzzy control을 이용한 Command rudder angle 추론

- Heading error와 Time derivative of heading error가 Input
- 아래의 Inference table을 이용하여 Rudder angle의 소속함수가 결정되고, 비퍼지화 하여 결정



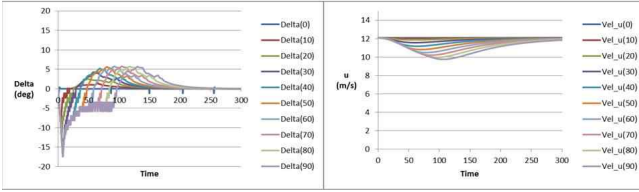
		Time Derivative of Heading Error								
		NB	NMB	NM	NS	ZE	PS	PM	PMB	PB
Heading Error	NB	ZE	NS	NM	NMB	NB	NB	NB	NB	NB
	NMB	PS	ZE	NS	NM	NMB	NB	NB	NB	NB
	NM	PM	PS	ZE	NS	NM	NMB	NB	NB	NB
	NS	PMB	PM	PS	ZE	NS	NM	NMB	NB	NB
	ZE	PB	PMB	PM	PS	ZE	NS	NM	NMB	NB
	PS	PB	PB	PMB	PM	PS	ZE	NS	NM	NMB
	PM	PB	PB	PB	PMB	PM	PS	ZE	NS	NM
	PMB	PB	PB	PB	PB	PMB	PM	PS	ZE	NS
	PB	PB	PB	PB	PB	PB	PMB	PM	PS	ZE

<Fig.9> Fuzzy Inference

4. 바람과 조류가 선박의 변침에 미치는 영향

④ Fuzzy control을 이용한 Tracking simulation

- Command heading angle을 0~90deg까지 변경시켰을 때, delta와 u의 Time history
- Delta의 경우 0.5sec 간격으로 추론된 값으로 시뮬레이션 했지만, 실제 운항 형태와 차이가 있음
- Command heading angle이 클수록 속도의 Reduction이 큼



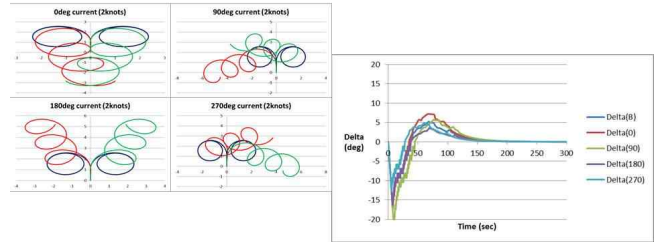
<Fig. 10> Time history of delta (Rudder angle)

<Fig. 11> Time history of u (Longitudinal direction)

4. 바람과 조류가 선박의 변침에 미치는 영향

④ 2knots current (90deg)가 있을 때, Tracking simulation

- Command heading angle을 40deg인 경우 delta
- Delta의 경우 형태는 기본적인 형태는 유사하지만, Current 조건에 따라 크기의 변화가 있음

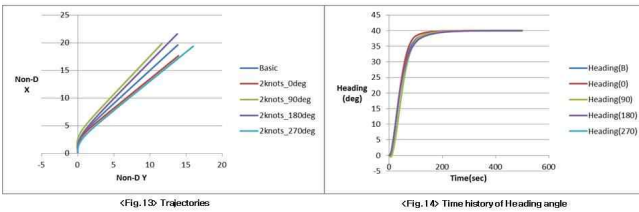


<Fig. 12> Time histories of delta (Rudder angle)

4. 바람과 조류가 선박의 변침에 미치는 영향

④ 2knots current (90deg)가 있을 때, Tracking simulation

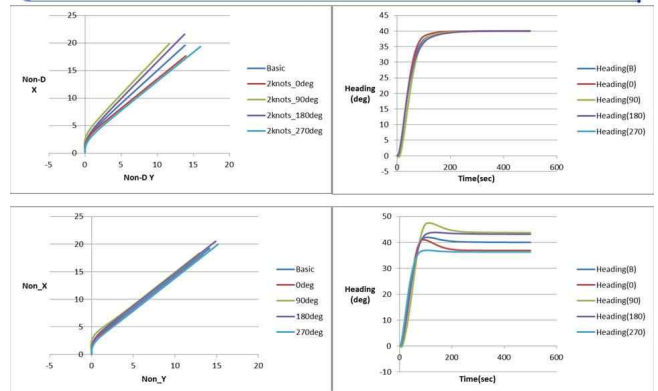
- Command heading angle을 40deg인 경우 Trajectory
- Trajectory의 경우 환경의 영향이 없을 때와 위치가 분명하게 다음을 알 수 있음
- Heading angle의 경우 조건에 따라 40deg가 아닌 경우가 나타나고 있음



<Fig. 13> Trajectories

<Fig. 14> Time history of Heading angle

4. 바람과 조류가 선박의 변침에 미치는 영향

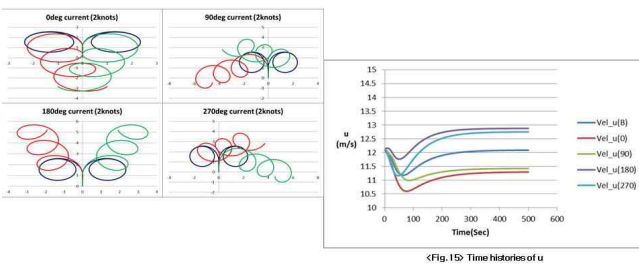


Ship Controllability Laboratory

4. 바람과 조류가 선박의 변침에 미치는 영향

④ 2knots current (90deg)가 있을 때, Tracking simulation

- Command heading angle을 40deg인 경우 u
- 속도 Reduction에 current의 입사각이 중요한 영향을 주고 있으며, 속도의 변화를 확인할 수 있음



<Fig. 15> Time histories of u

5. 결론

④ 바람과 조류가 선박의 변침에 미치는 영향

- Fuzzy control을 적용하여 변침시 Rudder 입력을 결정하였을 때, 변침각에 관계없이 유사한 형태의 명령타격이 결정되는 것을 알 수 있음.

- 조류적이 적용하고 있는 상태에서 Fuzzy control을 적용했을 때, 선박의 Heading은 40deg를 유지하지만, 실제 선박의 궤적은 40deg를 유지할 수 없음
- 이를 보완하기 위하여 Fuzzy control의 입력값 중에서 Heading angle을 실제 이동궤적의 기울기로 바꾸어주었을 때, Heading angle은 40deg가 아니지만 선박의 진행 방향은 40deg를 유지할 수 있음

- 조류의 방향에 따라 선박의 속도 감소 또는 증가에 영향을 주고 있으며, 이것은 선박의 위치에측에 영향을 줄 수 있음