

# 유지선박의 충돌회피협력 동작 시점에 대한 연구

이희진\* · † 박득진

\*국립부경대학교 해양생산시스템관리학부 연구원, † 국립부경대학교 해양생산시스템관리학부 교수

**요약** : COLREGS의 규칙 17에는 피항선박만의 충돌회피동작으로 충돌을 피할 수 없을 때 유지선박은 충돌을 피하기 위한 협력 행동을 취해야 한다고 명시되어 있다. 이 연구에서는 두 선박 간 충돌 시 각도별 거리(CDC)를 통해서 유지선박이 언제 충돌회피 협력 동작을 취해야 하는 시점을 제시하였다. 두 선박 간 충돌평가는 다양한 시나리오에 기반한 시뮬레이션을 통해 수행되었고, 시뮬레이션은 MMG 모델에 의해 설계되었다.

**핵심용어** : 자율운항선박, COLREGS, 선박충돌, 유지선박

## Research Structure

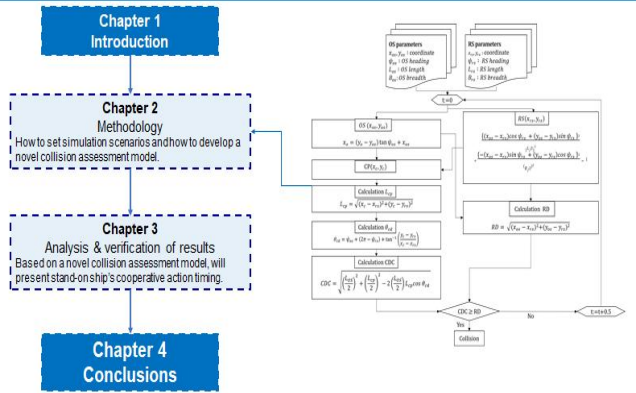
### 연구 목적

- 유지선박의 충돌회피 협력 동작 시점 제시

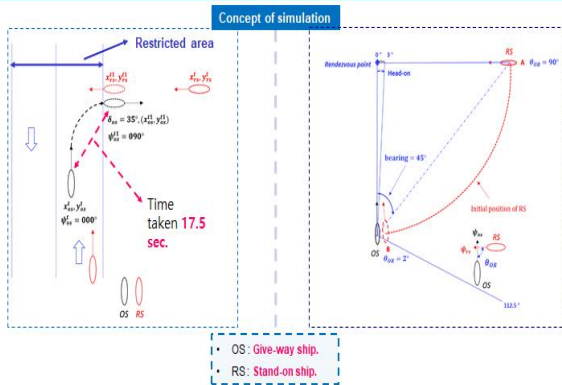
### 연구 배경

- 각국의 자율운항선박의 개발 진행
- AI에 의해 운항될 선박은 수치 정보에 기반한 데이터가 필요
- 정량적인 COLREGS의 모호성
- 모호한 COLREGS의 규정을 해석할 능력이 AI에게 없기 때문에, 직접 유지선의 충돌 회피협력 시점을 계산하여 제시

## Research Structure



## Setting of Simulation



## Equations of Ship Motion

**MMG model**

- 선박에 작용하는 moment를 Hull, Propeller, Rudder로 나누어 나타냄
- Course keeping control에서 좋은 퍼포먼스를 보여준다

**Equations of ship motion**

$$\begin{cases} (m + m_h)(U \cos \beta - U \beta \sin \beta) + (m + m_r) U r \sin \beta = X, \\ -(m + m_h)(U \sin \beta + U \beta \cos \beta) + (m + m_r) U r \cos \beta = Y, \\ (I_{22} + I_{22}^h) \dot{r} = N, \end{cases}$$

$$\begin{cases} (m' + m'_h) \left( \frac{U}{L} \cos \beta - \beta \sin \beta \right) + (m' + m'_r) r' \sin \beta = X', \\ -(m' + m'_h) \left( \frac{U}{L} \sin \beta + \beta \cos \beta \right) + (m' + m'_r) r' \cos \beta = Y', \\ (I'_{22} + I'_{22}^h) \left( \frac{U}{L} r' + \frac{U}{L} \dot{\beta} \right) = N'. \end{cases}$$

**Earth-fixed and body-fixed coordinates systems**

† 교신저자 : 중신회원, pdj@pknu.ac.kr  
\* 정회원, heejinlee@pknu.ac.kr

### Components of External forces

$$\begin{cases} X' = X'_H + X'_P + X'_R \\ Y' = Y'_H + Y'_R \\ N' = N'_H + N'_R \end{cases}$$

- $H$ : hull force
- $P$ : propeller thrust
- $R$ : rudder force

### Longitudinal forces produced by a propeller

$$\begin{cases} X'_P = (1 - t_p) n^2 D_p^4 K_T (J_p)^2 L_d U^5 \\ K_T (J_p) = C_1 + C_2 J_p + C_3 J_p^2 \\ J_p = U \cos \beta (1 - w_p) / n D_p \end{cases}$$

### Hydrodynamic forces and moment produced by a rudder

$$\begin{cases} X'_R = -(1 - t_r) F_N \sin \delta \\ Y'_R = -(1 + a_R) F_N \cos \delta \\ N'_R = -(x'_R + a_R x'_B) F_N \cos \delta \end{cases}$$

### Hydrodynamic forces and moment acting on a hull

$$\begin{cases} X'_H = X'_{Dp} r' \sin \beta + X'_{Lm} \cos^2 \beta \\ Y'_H = Y'_{Dp} \beta + Y'_{Dp} r' + Y'_{Dp} \beta |\beta| + Y'_{Dp} r' |r'| + (Y'_{Dp} \beta + Y'_{Dp} r') \beta r' \\ N'_H = N'_{Dp} \beta + N'_{Dp} r' |\beta| + N'_{Dp} r' |r'| + (N'_{Dp} \beta + N'_{Dp} r') \beta r' \end{cases}$$

- $X'_{Dp}$ : Variation of longitudinal force according to drift angle  $\beta$  and non-dimensional yaw rate  $r'$ .
- $X'_{Lm}$ : Ship's resistance in forward straight motion.
- $Y'_{Dp}, Y'$ , etc.: Hydrodynamic derivatives.
- $t_p$ : thrust deduction factor.
- $n$ : number of propeller revolution.
- $D_p$ : diameter of a propeller.
- $K_T (J_p)$ : thrust coefficient.
- $J_p$ : advance coefficient.
- $C_1, C_2, C_3$ : constants.
- $w_p$ : effective wake fraction at propeller position.
- $F_N$ : non-dimensional rudder normal force.
- $a_R, a_B$ : interaction coefficients.
- $x'_R, x'_B$ : position of a rudder and acting point of additional lateral force induce by

### Parameters used for CDC

### Equations of an ellipse representing shape of RS

$$\frac{((x_c - x_{r2}) \cos \psi_{r2} + (y_c - y_{r2}) \sin \psi_{r2})^2}{(L/2)^2} + \frac{(-(x_c - x_{r2}) \sin \psi_{r2} + (y_c - y_{r2}) \cos \psi_{r2})^2}{(B/2)^2} = 1$$

### Equation of extended centerline of OS

$$x_c = (y_c - y_{os}) \tan \psi_{os} + x_{os}$$

### Parameters for CDC

- can be computed four parameters generated when two ships collide ( $CP, L_{cp}, L_{cp}$ , and  $\theta_{cd}$ ).

### Parameters used for CDC

### Form of expression when substituted

- $Ay_c^2 + 2By_c + C = 0$
- $y_c = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (y_c \in y_c)$

### Computation of CDC

$$\begin{cases} L_{cp} = \sqrt{(x_c - x_{r2})^2 + (y_c - y_{r2})^2} \\ \theta_{cd} = \psi_{os} + (2\pi - \psi_{r2}) + \tan^{-1} \left( \frac{y_c - y_{r2}}{x_c - x_{r2}} \right) \end{cases}$$

$$CDC = \sqrt{\left(\frac{L_{os}}{2}\right)^2 + (L_{cp})^2} - 2\left(\frac{L_{os}}{2}\right) L_{cp} \cos \theta_{cd}$$

### Computation of RD

$$RD = \sqrt{(x_{os} - x_{r2})^2 + (y_{os} - y_{r2})^2}$$

- 모델선박: KVLCC2
- 시뮬레이션 수역: Restricted areas
- CDC
  - 두 선박간 충돌교각 ( $\theta_{cp}$ ), 충돌당한 선박의 충돌 위치 (CP), 선박의 길이와 폭을 파라미터로 하여 계산

### 3D expression

- The CA value
- 1 for collision (red)
- 0 for no collision (black)
- Figure depicts the areas where collisions are inevitable generally

### 2D expression

- Areas of inevitable collision ( $\theta_{IC}$ )
- The range of  $\theta_{IC}$ :  $2.0^\circ - 34.0^\circ$

### Expressed in range of bearing angles

- $\theta_{IC}$  as a bearing angles
- Bearing angles:  $73.0^\circ$  to  $89.0^\circ$

- Factors for CDC:  $CP, L_{os}, L_{cp}$ , and  $\theta_{cd}$ .
- Conditions of impossible computation
  - Port or starboard side of the OS's bow touches the RS's bow or stern.
- Conditions in which collisions are inevitable
  - two ships sailed together towards the same RP and same speed
  - $\theta_{OR}$  smaller than  $34^\circ$

본 논문은 2022년도 해양수산부 및 해양수산과학기술진흥원 연구비 지원으로 수행된 '자율운항선박 기술개발사업 (20200615)'의 연구결과입니다.