

# 천수역에서 충돌회피를 위한 가변안전경계영역 적용에 관한 연구

양형선 \*□안영섭 \*\*

\* 해양안전시뮬레이션센터 전임연구원

\*\* 목포해양대학교 해상운송시스템학부

## A Study on the Application of Variable Safe-Guard Ring for the Ship Collision Avoidance in Shallow Water

Hyoung-Seon Yang\*□Young-Sup Ahn\*\*

\* Full-time Researcher of Marine Safety Simulation Center, Mokpo, 530-729, Korea

\*\* Division of Maritime Transportation System, Mokpo National University, Mokpo, 530-729, Korea

**요 약** : 선박의 충돌회피조건에 있어서 조종성능은 중요한 요소이다. 일반적으로 사용되는 조종성능은 심수역을 대상으로 작성되며, 천수역을 항주하는 선박의 조종성은 일반적으로 선회성은 저하되고 침로안정성 또는 추종성은 향상된다. 이러한 선회성의 변화는 충돌회피에 있어 위험을 초래할 수 있다. 본 연구에서는 천수역의 조종성능을 반영함과 동시에 충돌위험정도를 쉽게 파악할 수 있도록 하기 위한 가변안전경계영역의 새로운 적용기법을 제시하였다. 수학적 수치시뮬레이션 검증을 통하여 새롭게 제안된 기법의 유용성을 확인하였다. 따라서 선박충돌위험에 대한 충분한 충돌회피 조건을 지원할 수 있을 것으로 기대된다.

**핵심용어** : 선박충돌회피모델, 천수역, 선박조종성능, 안전경계영역, 가변안전경계영역

**Abstract** : The ship's maneuverability is the important factor to avoid ship's collisions. The ship's maneuverability is usually measured in a deep water, and the turning ability is decreased and the course stability is improved in a shallow water. The variation of the turning ability could cause the risk of collision. In this paper, we proposes application technique of Variable Safe-Guard Ring to consider the shallow water effect and to be simple to estimate the grade of collision risk simultaneously. Through the mathematical simulation, the availability of new method was varified. Therefore this method is expected enough to support a maneuver for collision avoidance.

**Key Words** : Ship collision avoidance model, Shallow water, Ship maneuvering performance, Safe-guard ring, Variable safe-guard ring

### 1. 서 론

항해하는 선박의 충돌은 인명뿐만 아니라 재산 및 자연환경에 막대한 손실을 유발한다. 선박충돌은 부적절한 조종, 경계소홀, 항법위반이 주요 원인이며, 전체 원인의 약 80%를 차지하는 것으로 알려져 있다. 선박의 조종성능 특성은 충돌회피 조종을 위한 중요한 요소이며, 국제해사기구에서는 항행의 안전 확보를 위하여 선박운항자에게 제공할 조종지침서를 권장하고 있다. 물론 그 항목들 중에는 천수역에서의 조종특성도 포함되어 있지만 일반적으로 심수역을 대상으로 작성되며, 선박의 흘수에 비하여 수심이 충분하지 않을 경우 천수의 영향을 받아서 선회권이 증가하게 된다. 이러한 선회권 증가는 조종성능의 저하를 의미하며, 예상하지 못한 조종성능의 변화는

충돌회피 조종에 커다란 위험으로 작용될 수 있다. 충돌회피를 위해 제시된 가변안전경계영역(Variable safe-guard ring, V-SGR)은 대상선박의 속력변화를 고려하기 위해 연구되었다(양, 2006). 하지만 심수역에서의 선박조종성능이 반영되었을 뿐, 천수역에서의 조종성능의 변화는 고려되지 않았다.

본 연구에서는 천수역의 조종성능 변화를 고려하고 안전한 충돌회피 조건을 지원하기 위한 V-SGR의 새로운 적용기법의 개발을 목적으로 한다. 따라서 천수영향에 대한 조종성능의 변화를 반영하기 위해, 선박의 주요 제원으로 천수역에서 조종성능을 나타낼 수 있는 수학적 선박운동모델을 도입하고, 이를 바탕으로 피항을 위해 사용할 타각에 대한 선회계적을 TCPA 시점까지 예측하여 본선과의 충돌여부를 판단하는 일련의 복잡한 과정을 통합하는 V-SGR의 적용기법을 제시함으로써, 심수 및 천수역에서도 안전한 선박 충돌회피 조건의 효율성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

\* 대표저자 : 종신회원, epicyang@hanmir.com, 010-6579-1000

\*\* 종신회원 : ysahn@mmu.ac.kr, 061-240-7160

## 2. 천수역의 조종운동방정식

천수역에서의 조종운동에 대한 수학 모델은 심수역과 마찬가지로 일본의 MMG에서 Okawa, Kasai, Kose 등이 제안한 것(Owaga and Kasai, 1978; Kose, 1982)과 같이 선체, 타, 추진기 각각의 단독 특성에 이들 상호간의 간섭효과를 추가로 고려한 운동방정식을 채택하며, 심수역의 자료에 천수영향을 첨가하여 주는 것으로 심수시의 자료들만 주어지면 천수역의 조종 특성을 해석할 수 있는 방법을 택하였다. Fig. 1에서와 같이 선박 조종운동방정식은 공간 고정좌표계 O-X<sub>Y</sub>와 선체고정좌표계 o-xy를 택하였고, 선박 무게중심을 원점으로 하는 조종운동방정식은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

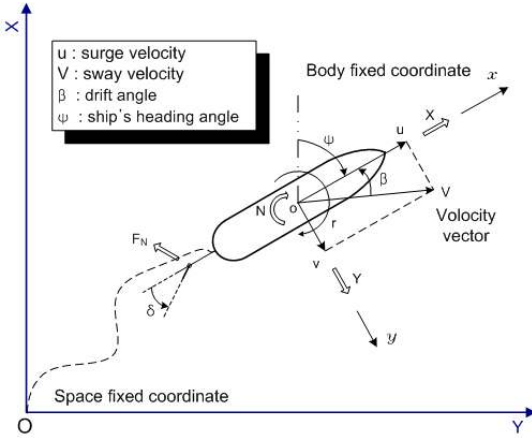


Fig. 1. Coordinate system.

$$\begin{aligned} (m + m_x)\dot{u} - (m + m_y)vr &= X_H + X_R + X_P \\ (m + m_y)\dot{v} + (m + m_x)ur &= Y_H + Y_R \\ (I_{zz} + J_{zz})\dot{r} &= N_H + N_R \end{aligned} \quad (1)$$

$m$ 은 선체의 질량을 의미하며,  $u, v, r$ 은 각각 선체 중앙에서  $x$ 축 방향 속도성분,  $y$ 축 방향 속도성분,  $z$ 축 주위의 각속도 성분이다.  $\dot{u}, \dot{v}, \dot{r}$ 는 시간에 대한 1차 도함수이며,  $X, Y, N$ 은 각각  $x, y$ 축 방향 유체력과  $z$ 축 주위의 유체력 모멘트를 나타낸다. 또한 첨자  $H, P, R$ 은 각각 선체, 프로펠러, 타에 의한 유체력 또는 외력성분을 나타낸다. 그리고  $m_x, m_y$ 는  $x, y$ 축 방향의 부가질량,  $I_{zz}$ 는  $z$ 축에 대한 선박의 관성모멘트,  $J_{zz}$ 는  $z$ 축 방향의 부가관성모멘트를 의미한다.

### 2.1 선체에 의한 힘과 모멘트

선체에 작용하는 유체력은 심수역에서 여러 모형을 대상으로 실험하여 각 유체력 미계수를 선박의 주요치수에 대한 함

수로 제안되었다(Inoue, 1981; Kijima et al., 1990). 특히 Kijima et al.(1990)는 깊이 조절이 가능한 수조에서 여러 선박에 대한 구속 모형을 통하여 각 유체력 미계수에 대한 깊이의 영향을 고려하여 줄 수 있는 실험식을 제안하였으며, 순수한 선체 운동에 의한 각 방향의 힘과 모멘트는 Kijima et al.(1990)의 표현식에 따라 다음과 같다.

$$\begin{aligned} X_H &= (1/2)\rho L d U^2 [X'_{\beta r} r' \sin\beta + X'_{uu} \cos^2\beta] \\ Y_H &= (1/2)\rho L d U^2 \left[ \begin{aligned} &Y'_{\beta\beta} \beta + Y'_{r'r'} r' + Y'_{\beta\beta\beta} \beta|\beta| + \\ &Y'_{rr'r'} r'|r'| + (Y'_{\beta\beta r'} \beta + Y'_{\beta r r'} r') \beta r' \end{aligned} \right] \\ N_H &= (1/2)\rho L^2 d U^2 \left[ \begin{aligned} &N'_{\beta\beta} \beta + N'_{r'r'} r' + N'_{\beta\beta\beta} \beta|\beta| + \\ &N'_{rr'r'} r'|r'| + (N'_{\beta\beta r'} \beta + N'_{\beta r r'} r') \beta r' \end{aligned} \right] \end{aligned} \quad (2)$$

심수역에서 각각의 부가 질량 및 부가 관성모멘트는 다음과 같이 표현된다(Hoof and Pieffers, 1988).

$$\begin{aligned} m_{x0} &= \frac{2.7\rho(C_b L B d)^{\frac{5}{3}}}{L^2} \\ m_{y0} &= \frac{\pi}{2}\rho L d^2 \left[ 1 + 0.16 \frac{C_b B}{d} - \frac{5.1}{(L/B)^2} \right] \\ J_{z0} &= \frac{\pi}{24}\rho L^3 d^2 \left[ 1 + 0.2 \frac{C_b B}{d} - \frac{4}{(L/B)} \right] \end{aligned} \quad (3)$$

부가질량과 부가관성모멘트의 천수 영향은 다음 식과 같이 수심-흘수비의 함수로 주어진다(Mejing and Xiuheng, 1990).

$$\begin{aligned} m_x &= \frac{m_{x0}}{(H/d-1)^{1.3}} \left[ (H/d-1)^{1.3} + 3.77 + 1.14 \frac{B}{d} - 0.233 \frac{L}{d} - 3.43 C_b \right] \\ m_y &= \frac{m_{y0}}{(H/d-1)^{0.82}} \left[ (H/d-1)^{0.82} + 0.413 + 0.0320 \frac{B}{d} + 0.0129 \left(\frac{B}{d}\right)^2 \right] \\ J_z &= \frac{J_{z0}}{(H/d-1)^{0.82}} \left[ (H/d-1)^{0.82} + 0.413 + 0.0192 \frac{B}{d} + 0.00554 \left(\frac{B}{d}\right)^2 \right] \end{aligned} \quad (4)$$

식 (2)에서  $X\beta r$ 은 수평동요와 선수동요에 의한  $x$  방향의 유체력 성분인데 심수역에서는  $-0.4m_{y0}$  정도로 표현된다(Yoshimura and Nomoto, 1978). 천수역에서도 같은 표현식을 사용하며  $m_{y0}$ 만 천수역에서의 값  $m_y$ 를 사용한다. 심수역에서 각 유체력 미계수의 실험식은 다음과 같다(Kijima et al., 1990).

$$\begin{aligned} Y'_{\beta o} &= \{(1/2)\pi k + 1.4 C_b B/L\} \\ Y'_{r o} - (m' + m_x)' &= -1.5 C_b B/L \\ Y'_{\beta\beta o} &= \{2.5d(1 - C_b)/B + 0.5\} \\ Y'_{rr o} &= 0.343 d C_b/B - 0.07 \\ Y'_{\beta r r o} &= \{5.95 d(1 - C_b)/B\} \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned}
 Y_{\beta\beta ro}' &= 1.5d C_b/B - 0.65 \\
 N_{\beta o}' &= k \\
 N_{ro}' &= -0.54k + k^2 \\
 N_{\beta\beta o}' &= -0.96d(1 - C_b)/B + 0.066 \\
 N_{rr o}' &= 0.5C_b B/L - 0.09 \\
 N_{\beta rr o}' &= -0.5d C_b/B + 0.05 \\
 N_{\beta\beta ro}' &= -\{57.5(C_b B/L)^2 - 18.4C_b B/L + 1.6\} \\
 k &= 2d/L
 \end{aligned}$$

식 (5)의 침수역의 실험식을 이용하여 Kijima는 다음 식 (6)과 같이 천수역의 유체력 미계수 값을 추정하였다 (Kijima et al., 1990).

$$\begin{aligned}
 D_{shallow} &= f(d/H) \times D_{deep} \quad (6) \\
 D_{shallow} &: \text{천수역에서의 유체력 미계수} \\
 D_{deep} &: \text{침수역에서의 유체력 미계수} \\
 f(d/H) &: \text{천수영향계수}
 \end{aligned}$$

함수  $f(d/H)$ 는 동유체력 미계수에 따라 다음과 같이 두 가지 형태로 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 f(h) &= 1/(1-h)^n - h \quad (7) \\
 f(h) &= 1 + a_1 h + a_2 h^2 + a_3 h^3 \quad (8) \\
 h &= d/H
 \end{aligned}$$

식 (7), (8)의  $n$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $a_3$ 는 선체의 주요치수로 추정할 수 있는 실험식에 의하여 구한다(Kijima et al., 1990). 식 (7)를 이용하여 추정되는 천수역에서의 유체력 미계수는  $Y_{\beta}'$ ,  $Y_{\beta\beta}'$ ,  $Y_{\beta rr}'$ ,  $N_{\beta}'$ ,  $N_r'$  이며 각각의  $n$ 의 표현식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 Y_{\beta}' &; n = 0.40C_b B/d \\
 Y_{\beta\beta}' &; n = -0.26C_b B/d + 1.74 \\
 Y_{\beta rr}' &; n = -2.13d C_b/B + 1.80 \\
 N_{\beta}' &; n = 0.425C_b B/d \\
 N_r' &; n = -7.14k + 1.5
 \end{aligned} \quad (9)$$

식 (8)을 이용하여 추정되는 천수역에서의 유체력 미계수는 각각  $Y_r' - (m' + m_x')$ ,  $Y_{\beta\beta r}'$ ,  $N_{\beta\beta}'$ ,  $N_{rr}'$ ,  $N_{\beta\beta r}'$ ,  $N_{\beta rr}'$  이다.

## 2.2 추진기에 의한 힘과 모멘트

침수역에서  $X$ 방향으로 프로펠러에 작용하는 힘은 다음과

같다.

$$X_P = \rho(1 - t_{p0})n^2 D_p^4 K_T(J_P), \quad J_P = \frac{u_p}{nD_p} = \frac{u(1 - w_p)}{nD_p} \quad (10)$$

여기서  $n$ 은 프로펠러 회전수(rps),  $D_p$ 는 프로펠러 원반의 직경을 나타내며,  $t_{p0}$ 는 자항시힘으로 구해 질 수 있다. 추력 계수  $K_T$ 는 전진계수  $J_P$ 의 함수로 표현된다. 한편,  $u_p$  (m/s)는 프로펠러에 유입되는 유체흐름의 평균속도를 의미하며,  $w_p$ 는 프로펠러 위치에서의 유효반류계수이다. 추력감소계수  $t_{p0}$ 는 천수역으로 갈수록 고속선은 약간 증가하지만, 그 정도가 매우 작고 방형비척계수가 어느 정도 큰 선박에서는 거의 일정 값을 갖는 것으로 나타나며,  $w_p$ 는 실험결과에 의하면 추진기의 하중 상태 즉 전진비에 따라 변하지만, 천수역으로 갈수록 거의 일정하므로 천수역에서 추진기의 작동에 의한 추진력은 침수역에서의 표현식을 그대로 사용하였다(Yoshimura, 1986).

## 2.3 타에 의한 힘과 모멘트

MMG 수학적모델을 참고로 하여 조타에 기인하는 유체력은 식 (11)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 X_R &= -(1 - t_R)F_N \sin\delta \\
 Y_R &= -(1 + a_H)F_N \cos\delta \\
 N_R &= -(x_R + a_H x_H)F_N \cos\delta
 \end{aligned} \quad (11)$$

여기서  $\delta$ 는 타각,  $F_N$ 은 타 직압력,  $x_R$ 은 타위치의  $x$ 좌표이며, 타력의 감소계수인  $t_R$ 과  $a_H$ 는 타에 의해 선체에 유기된 횡방향 유체력과 타력과의 비로서, 조타에 의해서 주선체에 유기되는 간섭유체력의 영향을 나타낸다.  $x_H$ 는 선체에 작용하는 타의 간섭력의 작용위치  $x$ 좌표를 나타낸다(Hasegawa, 1980). 식 (11)에서  $a_H$ 는 천수역으로 갈수록 증가하지만  $x_H$ 는 감소한다. 즉 타와 선체의 간섭력은 증가하지만 그 작용점은 천수역으로 갈수록 선체 중심쪽으로 이동함을 의미하므로  $(x_R + a_H x_H)$ 는 깊이와 상관없이 거의 일정한 값을 갖는다. 침수역에서의  $a_{H0}$ 와  $x_{H0}$ 의 값과 천수영향으로 인한  $a_H$ 와  $x_H$ 의 값은 다음 식과 같이 표현된다(Meijing and Xiuheng, 1990).

$$\begin{aligned}
 a_{H0} &= 0.679 - 1.51C_B + 1.44C_B^2 \\
 x_{H0} &= -(0.4 + 0.1C_B)L \\
 a_H &= a_{H0}\{1.061 - 0.618(d/H) + 2.150(d/H)^2\} \\
 x_H &= x_{H0}\{0.996 + 0.0818(d/H) + 1.031(d/H)^2\}
 \end{aligned} \quad (12)$$

## 3. 천수역 조종성능 반영을 위한 V-SGR

선박의 속력을 고려한 충돌회피모델에서 제시된 V-SGR(양, 2006)은 두 선박의 CPA점에 설정하여, 침수역을 대상으로 작성된 선박운동모델을 통한 예상 선회궤적과의 상관관계를 분석함으로써, 충돌회피의 의사결정 지원을 담당하였다. 하지만 천수역에서의 조종성능은 고려되지 않았다. 천수역의 조종성능을 반영함과 동시에 충돌위험의 정도를 쉽게 파악할 수 있도록 하기위한 V-SGR의 새로운 적용 방식에 대한 연구를 수행하였다.

천수역의 조종성능 변화는 위에서 나타낸 천수역의 선박조종운동 수학적 모델로 표현될 수 있으며, 이를 효과적으로 반영하기 위해 V-SGR의 적용위치와 적용기법에 대하여 제안하기로 한다.

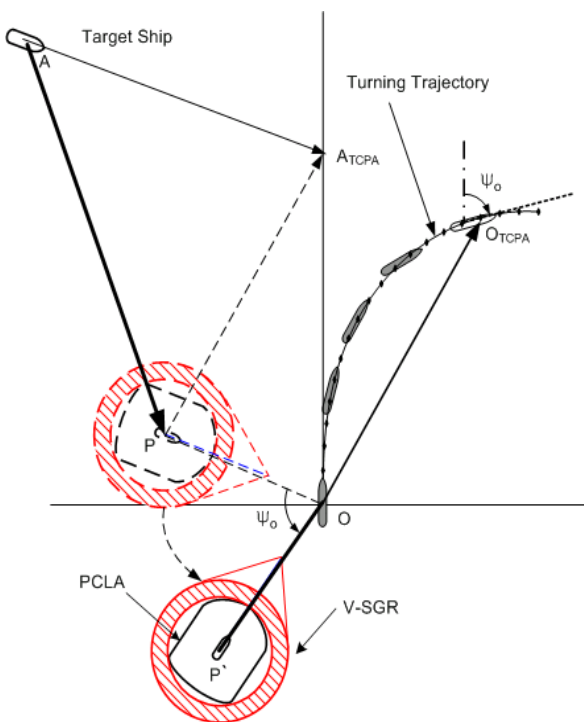


Fig. 2. Concept for the application of V-SGR.

Fig. 2는 천수역의 조종성능 변화를 반영하기 위한 V-SGR의 새로운 적용기법에 대한 개념을 나타낸 것이다. 여기서 V-SGR은 상대선박의 속력에 따라 변화하는 가변안전경계영역을 의미한다. 자신의 선박위치는 O, 상대선의 위치는 A, 천수역에서 타각 사용으로 예상되는 자신의 선회궤적 위에서 TCPA까지 변화하는 위치는  $O_{TCPA}$ ,  $O_{TCPA}$ 점까지 변화된 선수방위의 변화량은  $\psi_0$ , 상대선의 TCPA까지 진행한 위치를  $A_{TCPA}$ 라고 정의한다. 따라서 TCPA의 시점에서 자신을 기준으로 한 상대선의 상대위치는  $\overrightarrow{OO_{TCPA}}$ 와  $\overrightarrow{AA_{TCPA}}$ 의 벡터합성에 의해 P에 위치하게 된다. 하지만 자신의 선수방위가  $\psi_0$ 만큼 변화했기 때문에, 원점을 기준으로  $\psi_0$ 만큼 다시 회전하게 되며, P점과 P'점에 적용한 V-SGR은 P'점으로 회전 이동

한다. P점의 좌표를  $(x, y)$ , P'의 좌표를  $(x', y')$ 라고 한다면  $\psi_0$  만큼의 회전 이동은 식 (13)으로 표현될 수 있다.

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \psi_0 & \sin \psi_0 \\ -\sin \psi_0 & \cos \psi_0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (13)$$

기존에 제시된 V-SGR(양, 2006)의 적용위치는 두 선박의 CPA점인 ATCPA이지만, 본 논문에서 새롭게 제시한 V-SGR에서는 천수역의 선박운동을 나타내는 수학적 모델을 통하여 TCPA까지 타각사용으로 예측되는 자신의 선회궤적을 반영하고 TCPA 시점에서 자신의 위치와 선수방위를 기준으로 상대선박의 상대위치(Fig. 2의 P' 점)를 근접 표시하였다.

충돌위험을 판단하는 예측방법은 2단계로 구성된다. 일차적인 단계는 V-SGR 영역에 자신의 위치가 침범하게 되면 충돌하는 것으로 간주하며, 이차적인 단계는 V-SGR에 표시된 상대선의 선수방위선과 상대거리 그리고 자신의 위치를 비교함으로써 충돌위험성을 쉽게 판단할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 4. 시뮬레이션 및 고찰

본 연구에서 새롭게 제안된 V-SGR의 적용기법에 관한 유용성을 확인하기 위해 충돌회피를 위한 수학적 시뮬레이션 검토를 수행하였다. 수심-흘수비(H/d) 1.5인 천수역을 대상으로 우현타각 20°로 발생하는 자신의 선회궤적과 초기속력 및 침로를 유지하는 상대선박과의 위치변화를 분석하기로 한다. 시뮬레이션 검증에 사용된 모델 선박의 제원은 Table 1과 같다.

Table 1. Principal dimensions of the model ship

Type : Container ship	Rudder	Propeller
LOA : 200 m	HR : 7.7m	Pitch : 6.8575m
Breadth : 25.4m	LR : 4.21m	DP : 6.5m
Draft : 8.5m	AR : 30.48m <sup>2</sup>	Blade : 5
Cb : 0.559		

모델선박의 속력을 결정하는 것은 선체 침하량과 선저여유 수심과 관련이 있다. 스쿼팅(Squatting) 현상으로 발생하는 선체침하량의 계산에 사용되는 여러 가지 식 가운데서 가장 많이 사용되는 수식은 Barrass 약산식( $S_{sink} = C_b \times V^2/100$ )이다. 속력이 15 Kts일 때 Barrass 약산식에 의한 모델선박의 선체침하량은 약 1.257 m 이므로, 수심-흘수비(H/d) 1.5인 곳에서 여유 수심은 약 3m가 된다. 따라서 위에서 사용된 천수역의 선박조종운동 모델은 천수역뿐만 아니라 침수역에서도 적용 가능하므로 모델선박의 일반적인 속력을 고려하여 자신과 상대선의 속도를 15.0 Kts로 설정하였으며, SGR의 반경은

400m로 초기화하였다. 또한 상대선박의 초기 속도와 자신의 속도가 동일하므로 가변 안전경계영역의 변화는 없게 된다.

상대선박의 시점 좌표는 새롭게 적용되는 V-SGR에 자신이 침범하지 않는 조건을 만족하는 최소 거리로 설정하였으며, 두 선박의 조우각은 90°에서 10° 간격으로 180°까지 10가지의 경우로 시뮬레이션을 계획하였다. Fig. 3은 각각의 조우각으로 계획된 시나리오를 제안된 V-SGR의 적용기법을 통하여 나타낸 것이다.

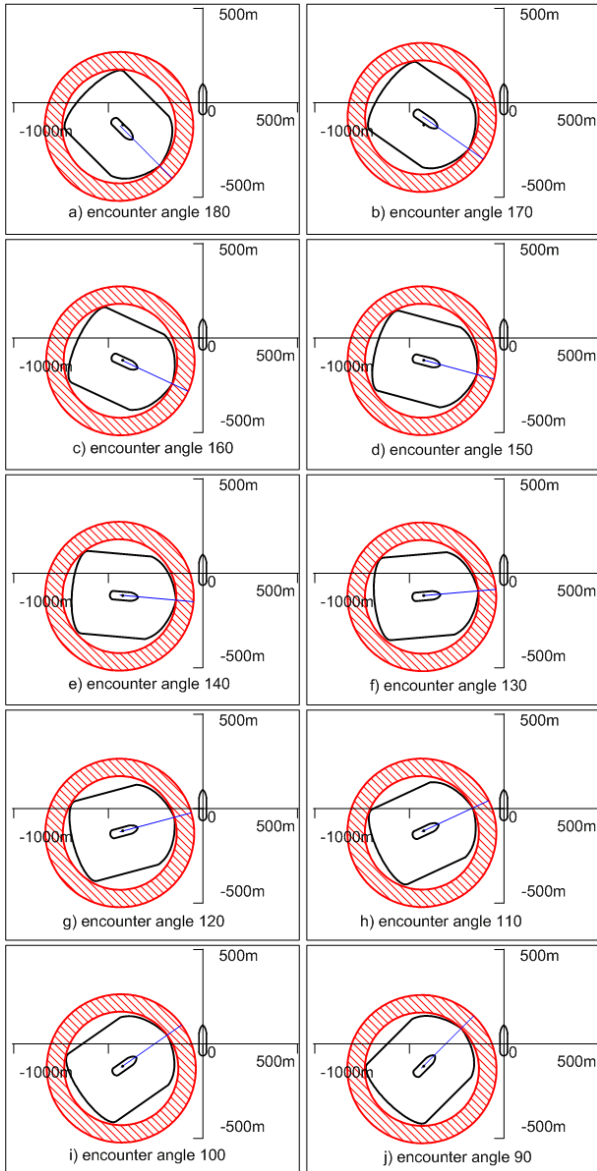


Fig. 3. New application of V-SGR for simulation.

Fig. 3에서 보는 바와 같이 모든 조우각에서 V-SGR에 자신의 위치가 침범되지 않는 것을 확인할 수 있으므로 일차적인 검토 방법으로는 충돌위험은 없는 것으로 판단할 수 있다. 또한 이차적인 검토 방법으로 V-SGR에 표시된 상대 선박의 선수방위선의 방향과 자신의 선수방위를 비교하여 볼 때 Fig.

3의 a)~g)의 경우는 자신의 선미부분을 향하므로 계속하여 진행한다면 두 선박의 항과거리는 증가하여 충돌위험이 없는 것으로 판단된다. 하지만 Fig. 3의 h), i), j)의 경우는 상대선의 선수방위선이 자신의 선수부분을 향하므로 계속하여 항진한다면 항과거리는 감소하여 충돌위험이 높게 됨을 예측할 수 있게 된다.

Fig. 4는 위에서 제안된 계획에 의해 시뮬레이션을 실시한 선박의 위치변화를 나타낸 것이다. 두 선박이 초기 속력과 침로를 그대로 유지할 경우 심볼의 교차점에서 충돌할 것으로 예상되지만, 심볼(▲)으로 표시된 자신의 선회로 충돌을 회피할 수 있는 것을 알 수 있다. 하지만 조우각 90°, 110°에서는 시간이 진행됨에 따라 상대선박과의 항과거리가 점점 감소하므로 충돌위험이 높은 것을 알 수 있다. 이를 더욱 자세히 분석하기 위하여 TCPA 전후의 근접상황에 대한 변화를 살펴볼 필요가 있으므로 충돌회피조선 개시 이후의 항과거리 변화를 분석하였다.

두 선박이 침로와 속력을 초기상태로 계속 유지할 경우 TCPA는 168초가 되며, Fig. 5에서는 자신의 충돌회피조선 개시 이후 160초부터 280초까지 항과거리의 변화를 나타낸 것이다. 특히 조우각 90°~110°에서의 항과 최소거리를 살펴보면 300m 이하로 매우 근접함을 파악할 수 있으며, 최소 근접이후의 항과거리 또한 완만하게 증가하고 있으므로 충돌위험이 매우 높은 것을 확인할 수 있다.

Fig. 3에 나타낸 초기 시뮬레이션 계획에 대한 충돌위험 검토의 예측 결과와 수학적 시뮬레이션 검증의 결과가 일치함을 확인하였다. 따라서 천수역의 조종성능 변화가 반영하기 위해 제안된 V-SGR의 새로운 적용기법에 대한 유용성이 높은 것으로 판단된다.

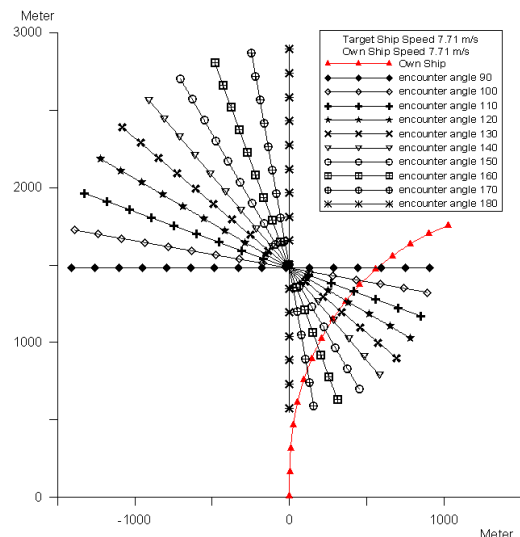


Fig. 4. Ships' trajectory of simulation (Rudder=Stb'd 20°, H/d=1.5).

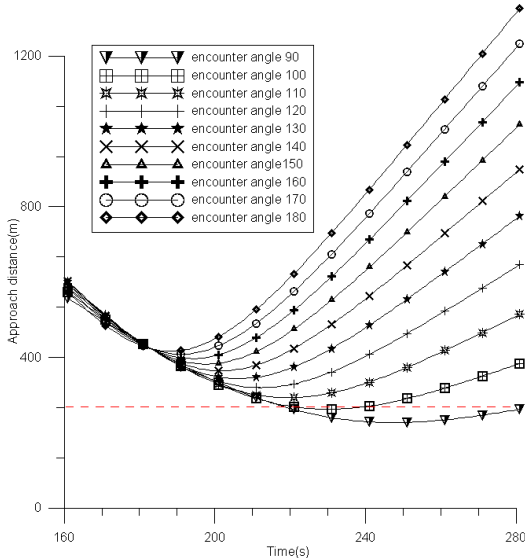


Fig. 5. Variations of approach distance.

### 5. 결 론

본 연구에서는 천수역의 조종성능 변화를 고려하고 안전한 충돌회피 조선을 지원하기 위한 V-SGR의 새로운 적용기법을 제안하였다. 제안된 적용기법은 천수역에서도 선박의 조종운동특성을 나타낼 수 있는 수학적 선박조종운동 모델을 바탕으로 하며, 상대선의 속력이 고려된 V-SGR을 설정함으로써 심수역뿐만 아니라 천수역에서도 타 선박과의 충돌회피를 가능하도록 한 것이다.

제안된 V-SGR의 적용기법은 수학적 시뮬레이션을 실행을 통하여, 초기 시뮬레이션 계획에 대한 충돌위험 검토의 예측결과와 수학적 시뮬레이션 검증결과가 일치함을 확인하였다. 따라서 천수역에서도 충분한 피항동작을 실행할 수 있을 것으로 판단된다.

일반적으로 선박은 흘수에 비하여 수심이 충분하지 않을 경우 천수의 영향을 받아 조종성능이 저하되며 선회반경이 증가하게 되므로, 이러한 특성을 항해사들이 신속하게 판단하기는 어려운 요인으로 작용한다. 본 연구를 통해서 천수역에서 변하는 조종성능을 반영함으로써 상대선박과의 충돌회피방법을 신속하게 결정할 수 있으므로 여러 가지 충돌상황 및 조우각에 따른 충분한 피항행위를 실행할 수 있을 것으로 기대된다.

아울러, 충돌회피를 위해 본 연구에서 제안된 사항을 실선에 적용하기 위해서는 Radar, AIS, Rudder Meter, RPM Meter 등 각종 전자항해 장비와 물리적, 전기적 연결을 위한 인터페이스의 개발이 필요하다. 이러한 사항은 실선 사용가능하며, 안전하고 신뢰성 높은 선박충돌회피시스템을 위하여 계속해서 연구되어야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] 양형선(2006), "속력을 고려한 선박충돌회피모델에 관한 연구", 한국항해항만학회지, 제30권 10호, pp. 779-785.
- [2] Hasegawa K.(1980), "Performance Criterion of Autopilot Navigation", Journal of the society of Naval Architects, Japan, No. 178, pp. 325-330.
- [3] Hooft J. P. and Pieffers J.B.M.(1988), "Maneuverability of Frigates in Waves", Marine Technology, Vol. 25, pp. 262-271.
- [4] Inoue S.(1981), "Hydrodynamics Derivatives on Ship Maneuvering", International Shipbuilding Progress, Vol. 28, No. 321, pp. 321-325.
- [5] Kijima K., Nakiri Y., Tsutsui Y. and Matsunaga M.(1990), "Prediction Method of Ship Maneuverability in Deep and Shallow Water", MARSIM & ICSM 90, Tokyo, Japan, pp. 78-83.
- [6] Kose K.(1982), "On a New Mathematical Model of Maneuvering Motion of a Ship and Application", I.S.P., Vol. 29, pp. 122-127.
- [7] Meijing L. and Xiuheng W.(1990), "Simulation Calculation and Comprehensive Assessment on Ship Maneuverabilities in Wind, Wave, Current and Shallow Water", MARSIM & ICSM 90, pp. 403-411.
- [8] Ogawa A. and Kasai H.(1978), "On the Mathematical Model of Maneuvering Motion of Ships", I.S.P., Vol. 25, pp. 183-188.
- [9] Yoshimura Y. and Nomoto K.(1978), "Modeling of Maneuvering Behavior of Ships with Propeller idling, Boosting and Reversing", Journal of the Society of Naval Architecture, Vol. 144, pp. 245-250.
- [10] Yoshimura Y.(1986), "Mathematical Model for the Maneuvering Ship Motion in Shallow Water", Journal of the Kansai Society of Naval Architecture, Vol. 200, pp. 41-51.

원고접수일 : 2008년 03월 05일

원고수정일 : 1차 : 2008년 04월 18일

2차 : 2008년 05월 21일

게재확정일 : 2008년 06월 24일