

속력을 고려한 선박충돌회피지원 프로그램 개발에 관한 연구

† 양형선*

* 목포해양대학교 마린시뮬레이션센터 전임연구원

A Study on the development of Ship Collision Avoidance Support Program considered Speed

† Hyoung-Seon Yang*

*Full-time Researcher of Marine Simulation Center, Mokpo Maritime University, Mokpo, 530-729, Korea

요 약 : 본 논문에서는 선박충돌사고의 주요한 원인이 되는 인적운항과실의 감소 및 효과적인 선박충돌회피를 지원하기 위해 새로이 제안된 '속력을 고려한 선박충돌회피지원 모델'을 기반으로 한 선박충돌회피지원 프로그램 개발에 관하여 연구하였다. 이 프로그램은 선행 연구에서 고려되지 않은 상대선박의 속력이 고려되었으며, 자선의 선회특성을 이용하여 상대선박의 침로, 속도에 대한 충돌회피 가능영역과 방법을 표시함으로써, 근접상황에서도 효과적인 충돌회피 조종을 지원할 것이다.

핵심용어 : 선박충돌회피, 잔존충돌한계영역, 선박조종성능, 안전경계영역, 가변안전경계영역

Abstract : In this paper, we have studied the ship collision avoidance support program on the basis of 'Ship Collision Avoidance Model considered a Speed' for the purpose of the decrease of the human error, caused ship collisions, at sea and the effective support of avoiding ship collisions. This program has been reflected the speed of a target ship, had not been considered in a preceding study. Besides, the program will effectively support a maneuver for a collision avoidance, through the display of a feasible area and the method of a collision avoidance using the own ship's turning characteristic about the action of target ship's course and velocity.

Key words : Ship collision avoidance, Potential collision limit Area, Ship maneuvering performance, Safe-guard ring, Variable safe-guard ring

1. 서 론

최근 항해장비의 기술적인 발달에도 불구하고 선박충돌사고는 감소되지 않는 것으로 보고되고 있으며, 그 원인으로는 인적운항과실이 약 70%~80%를 차지하고 있다(양, 2004). 이러한 인적과실을 감소시키기 위해 선박충돌회피제어에 관한 많은 연구가 수행되어 왔으며, Hasegawa의 피추론방식 충돌위험도 결정에 따른 충돌회피제어 이론(Hasegawa, 1987; Hasegawa, 1997)과 레이더 영상의 이미지 처리를 이용한 신속한 선박침로 변경을 충돌회피에 이용한 Sato의 연구(Sato, 1998), 그리고 국내에서는 상대선박이 자선에 미치는 충돌위험도를 기반으로 피추론을 이용한 지능형 선박자율운항제어시스템이 개발되기도 하였다(김, 2003). 하지만 선박의 충돌회피방법을 제시하는 관점에 있어 선박의 조종특성은 중요한 요인으로 작용되며, 조종성능이 고려되지 않은 충돌회피 알고리즘은 근접상황에서 발생하는 충돌위험 회피에 대한 충분한 의사결정지원을 하지 못하는 단점을 가질 수 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 연구된 CCAS-Model(Close quarters

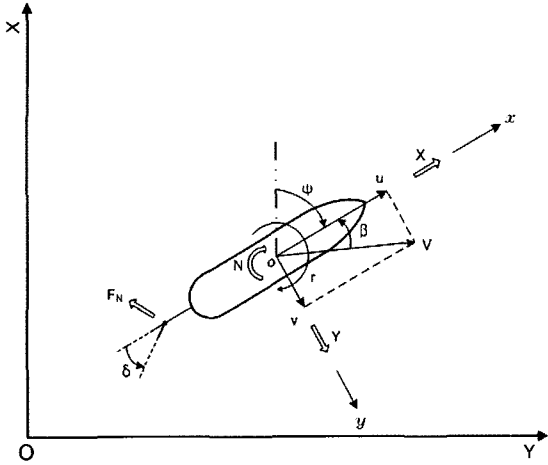
Collision Avoidance Support Model : 근접상황 충돌회피지원 모델)은 선박조종성능을 고려하고 있으며, 개발된 모델을 이용한 선박충돌회피지원 프로그램이 개발되기도 하였다(양 과 정, 2006). 이 프로그램의 충돌회피 알고리즘으로 사용되는 CCAS- Model의 SGR(Safe-Guard Ring; 안전경계영역) 설정은 본선과 상대선박의 속력비가 약 1.7이하로 제한되어 있으며, 제한된 범위 이외에서 충돌위험이 존재할 수 있으므로 선박의 속력이 고려된 SCAM-S(Ship Collision Avoidance Model considered Speed; 속력을 고려한 선박충돌회피모델)모델이 새롭게 연구되었다(양, 2006).

본 연구에서는 효과적인 충돌회피를 지원할 수 있는 프로그램의 개발을 목적으로 하며, 새롭게 연구된 선박충돌회피 모델 SCAM-S를 적용한 선박충돌회피지원 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램은 선박조종성능과 속력을 고려하였을 뿐만 아니라, 충돌회피 동작을 신속하게 검토하고, 신뢰성 있는 충돌회피동작 의사결정을 지원함으로써, 인적운항과실에 의해 발생하는 선박충돌사고를 효과적으로 감소시킬 수 있을 것이다.

† 교신저자 : 양형선(정회원), epicyang@mmu.ac.kr 061)240-7070

2. 선박운동모델

충돌회피지원 모델과 수치계산을 위한 선박 조종운동방정식은 지구고정좌표계 $O-XY$ 와 선체고정좌표계 $o-xy$ 로 구성되며 Fig. 1과 같다. 선박의 조종운동은 주로 평면상에서의 Surge, Sway, Yaw 운동이라 할 수 있으며, 선박 무게중심의 x좌표인 x_G 를 원점으로 하는 조종운동방정식은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.



$$\begin{aligned} m(\dot{u} - vr - x_G \dot{\alpha}^2) &= X \\ m(\dot{v} + ur + x_G \dot{\alpha}) &= Y \\ I_{zz} \dot{r} + m x_G (\dot{v} + ur) &= N \end{aligned} \quad (1)$$

m 은 선체의 질량, I_{zz} 는 z 축 주위의 관성 모멘트이다. u , v , r 는 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 선박에 작용하는 힘의 상호 간섭을 고려함으로써 선박의 운동을 보다 잘 표현한다고 알려진 일본 MMG 수학모델을 사용하여 x , y 축 방향의 부가질량과 z 축 주위의 부가관성모멘트를 식(2)와 같이 정의된다(Ogawa and Kasai, 1978).

$$\begin{aligned} (m + m_x) \dot{u} - (m + m_y) vr - (m x_G + m_y \alpha) r^2 &= X_H + X_P + X_R \\ (m + m_y) \dot{v} + (m + m_x) ur + (m x_G + m_y \alpha) \dot{r} &= Y_H + Y_P + Y_R \\ (I_{zz} + J_{zz}) \dot{r} + (m x_G + m_y \alpha) \dot{v} + m x_G ur &= N_H + N_P + N_R \end{aligned} \quad (2)$$

여기서, 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 부가관성모멘트, α 는 m_y 중심의 x 좌표를 나타낸다.

3. 선박충돌회피 모델

선박충돌회피모델은 위에서 나타낸 선박조종운동 모델과 최근 새롭게 제안된 두 선박이 조우하는 각도 및 속력이 고려된 선박충돌회피모델로 구성된다(양, 2006). 이 선박충돌회피모델은 상대속력에 따라 가변안전경계영역(Variable Safe-Guard Ring; V-SGR)의 설정을 바탕으로 한다.

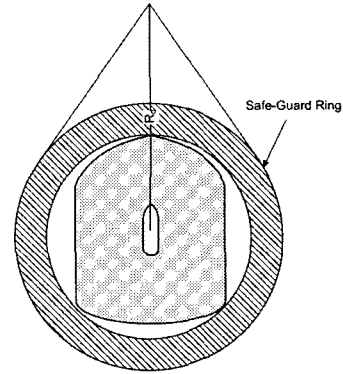


Fig. 2 Variable Safe-Guard Ring

Fig. 2에서 R_d 는 상대선박의 속력에 따라 변화하며, SGR의 반경이 변하는 것을 의미한다. R_d 의 방향은 상대선박의 침로와 같은 방향으로 표시된다. R_d 의 값은 선행 연구된 안전경계영역(양 과 예, 2005)의 반지름($1L+200$; L 은 선박의 L.O.A)보다 작을 경우 V-SGR의 변화는 없지만, 그 보다 클 경우 상대선박의 침로방향으로 확장된 점에서 SGR의 원에 접하는 경계선을 갖게 되며 다음 식으로 계산된다(양, 2006).

$$\begin{aligned} R_d &\geq (TCPA \times V_o + L) \sin \alpha \\ \text{if } m < 0, \alpha &= \pm \cos^{-1} \left(\frac{k}{V_o \sqrt{1+m^2}} \right) - \tan^{-1}(m) \\ \text{if } m > 0, \alpha &= \pm \sin^{-1} \left(\frac{k}{V_o \sqrt{1+m^2}} \right) + \tan^{-1} \left(\frac{1}{m} \right) \\ k &= V_a (\cos \theta - m \sin \theta) \quad \text{단, } -180^\circ < \alpha < 180^\circ \end{aligned}$$

여기서, L 은 선박의 길이, θ 는 두 선박의 조우각, V_a 는 상대선박 속도, V_o 는 자선의 속도를 의미한다. m 은 상대선박으로부터 자선을 원점으로 하고 원하는 항과거리를 반지름으로 하는 원에 접하는 직선의 기울기, TCPA는 CPA까지의 시간, α 는 두 선박의 일정한 항과거리를 유지하기 위한 자선의 초기 변침각도를 의미한다.

위에서 설명된 V-SGR과 선박운동에 대한 수학적 모델을 적용하여 선박충돌회피모델은 Fig. 3과 같이 구성되며, Fig. 3은 본선이 우현 10도의 타각으로 피항할 경우에 충돌회피모델을 적용한 것이다.

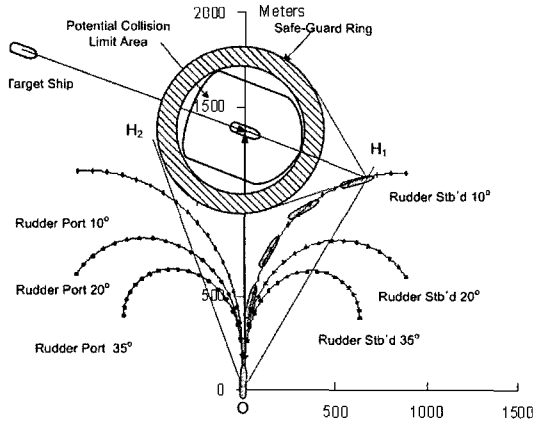


Fig. 3 Model for Ship Collision Avoidance

선박이 접근하는 상황은 추월하는 경우를 제외하고 마주치는 경우와 횡단하는 경우로 분류할 수 있다. Fig. 3에서 상대선박 A는 선박 O와의 CPA 점에서 잔존충돌한계영역 (Potential Collision Limit Area; PCLA)과 V-SGR을 갖고 이동하며, 두 선박이 계속해서 속도와 침로를 유지하여 진행할 경우 충돌이 있다고 가정한다. 이러한 상황에서 자선의 선회 동작에 따른 충돌회피규칙은 다음과 같다(양 과 예, 2004 ; 양, 2006).

Rule 1 : 자선이 좌현 선회할 경우 TCPA 안에 선분 OH_1 을 벗어나 선회 할 수 있다면 충돌을 피할 수 있다.

Rule 2 : 자선이 우현 선회할 경우 TCPA 안에 선분 OH_2 벗어나 선회 할 수 있다면 충돌을 피할 수 있다.

제한된 충돌회피지원 모델은 두 선박이 충돌위험이 높은 상태로 근접 조우하는 경우 예상 CPA점에서 발생하는 V-SGR을 적용하고 본선을 기점으로 하는 경계선을 TCPA 안에 선회하여 벗어 날 수 있다면 좌·우현 선회변침에 따른 상대선박과의 충돌을 피할 수 있으며 선회하여야 할 타각도 예측할 수 있다.

따라서 선박조종성능의 선회특성을 갖는 조종운동방정식과 두 선박의 진행분석을 통하여 상대 선박의 속력과 침로 유지에 대한 피항 조종의 기준을 제시하고, TCPA 시간 내에 두선박이 조우하는 다양한 상황에 대해 자선의 선회에 따른 충돌회피 가능성과 그 한계를 신속하게 파악 할 수 있다. 또한 충돌회피 동작의 진행을 예측하고 그와 동시에 충돌회피의 가능성을 판단할 수 있는 기준으로 사용될 수 있으므로 올바른 충돌회피 조종을 취할 수 있도록 지원 가능할 것이다.

4. 충돌회피지원 프로그램

선박의 선회궤적을 예측하는 것은 타선박과의 충돌회피 동작에 상당히 큰 영향을 미친다. 상대선박과의 CPA 및 TCPA가 계산되고 TCPA 내에 본선의 선회궤적 변화를 사전에 파악 할 수 있다면, 여러 가지 충돌상황 및 조우각에 따른 피항

행위 결정을 신속하게 검토할 수 있을 것이다. 충돌회피지원 프로그램은 자선의 정보를 이용하여 선박에 작용하는 힘을 선체, 프로펠러, 타에 대한 각각의 힘으로 나누고 상호 간섭을 고려하여 선박의 운동을 나타내는 모듈과 상대선박의 정보를 이용하여 예상 CPA점에서 V-SGR을 적용하여 확장된 선박의 점유면적과 TCPA 내에 진행 예상 되는 선박의 선회궤적을 화면에 디스플레이 하는 모듈로 구성된다.

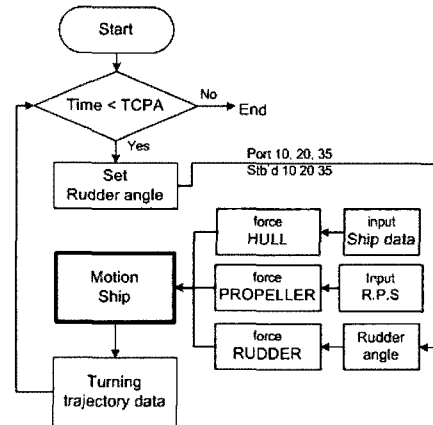


Fig. 4 Flow chart for ship motion module

Fig. 4는 선박조종운동을 표현하는 모듈을 나타낸 것으로써 계산된 TCPA 동안 자선의 타각사용으로 예상되는 선회궤적을 계산하는 기능을 담당한다. 우현 및 좌현 타각 10도, 20도 및 35도 사용에 대한 예상 선회궤적을 동시에 표현할 수 있도록 구성되었으며, 선박의 운동 표현은 선체의 주요항목으로 계산 가능한 선박 유체력과 추진기에 의한 추진력 및 타의 직압력을 종합적으로 고려한 수학적 모델을 사용한다. 선체운동을 나타내기 위해 사용된 유체력 미계수는 선체의 주요목 자료만으로 유체력 미계수의 개략적인 값을 구할 수 있는 Inoue의 연구 결과를 이용하였다(Inoue, 1987).

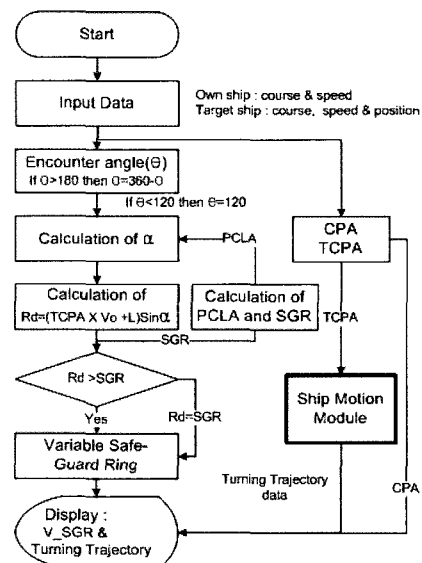


Fig. 5 Software flow chart for the program

Fig. 5는 선박충돌회피지원 프로그램의 전체 데이터의 흐름을 나타낸 것이다. 상대선박의 침로, 속력 및 위치정보와 자선의 침로 및 속력 정보를 입력 받고 CPA, TCPA, 두 선박의 조우각($90^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$), 초기변침각 α 및 R_d 값을 차례로 계산한다. TCPA는 R_d 값 계산과 선박운동모듈에서 선회계적을 표현하는데 사용되며, CPA는 V-SGR이 적용되는 위치로 사용된다. PCLA는 α 값 계산에 필요한 상대선박과의 최소항과거리로 사용된다. 만약 계산된 R_d 값이 SGR의 반경보다 적을 경우 SGR의 반경을 그대로 사용한다. 선박운동 모듈로부터 선회계적 좌표 데이터를 획득하여 자선의 중심좌표에 디스플레이하며, 선박충돌회피 동작의 의사결정을 지원하기 위해 R_d 값을 이용하여 예상 CPA점에 V-SGR 영역을 시각화 하였다.

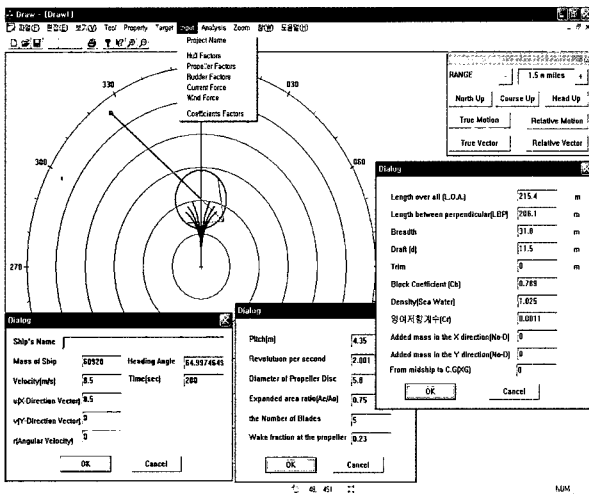


Fig. 6 Diagram of input coefficients for maneuvering performance

Fig. 6은 충돌회피지원 프로그램의 선박조종성능을 표현하기 위한 선박의 제원, 프로펠러 제원 및 타의 제원 등의 입력 변수를 설정하는 모습을 나타내고 있다. 선박조종성능을 이용한 선회계적을 예측하기 위해 선박제원 입력창, 프로펠러 제원 입력창, 타(Rudder) 제원 입력창으로 구성된다. 프로그램의 실행을 통하여 타각 사용량 좌현 10, 20, 35도 및 우현 10, 20, 35도 각각 대해 TCPA내에 진행할 선회계적을 동시에 예측하고 그 좌표들을 화면상에 시각화하였다. 또한 예상 CPA 점에 V-SGR을 표시하였다. 따라서 상대선박의 속력이 고려된 V-SGR과 화면상에 표시된 자선의 예상 선회계적의 비교를 통하여, 사용할 타각을 한눈에 파악하고 선택할 수 있는 장점을 가지므로 충돌회피 방향 및 충돌회피 동작을 위한 신속한 의사결정 지원이 가능하다.

Fig. 7과 Fig. 8은 충돌회피지원 프로그램의 실행 모습을 나타낸 것이며, 사용된 모델선박은 적화상태의 Bulk Carrier 선박으로써 프로그램의 실행을 위해 필요한 제원을 Table 1에 나타내었다. 또한 Fig. 7과 Fig. 8에서 사용된 상대선박의 정보는 Table 2와 같다.

Table 1 Ship model's principle particulars

Type of ship	Bulk Carrier Loaded Condition
Displacement	60920 ton
L.B.P	206.1m
L.O.A.	215.4m
Beam moulded	31.8m
Block Coefficient	0.789
Number of propellers	1
Type of propeller	Fixed pitch
Diameter of propeller	5.8m
Pitch	4.35m
Number of blades	5
Number of rudders	1
Max rudder rate	4.5 deg/s
Rudder area	25.481m ²
Height of rudder	7m
Width of rudder	4.214m

Table 2 Scenario for simulations

Item	Own Ship	Target Ship	
		Case 1	Case 2
Course	000°	130°	240°
Speed	15.0Kts	30.0Kts	30.0Kts
X-Coordinates	0	-1600	1600
Y-Coordinates	0	2400	2144

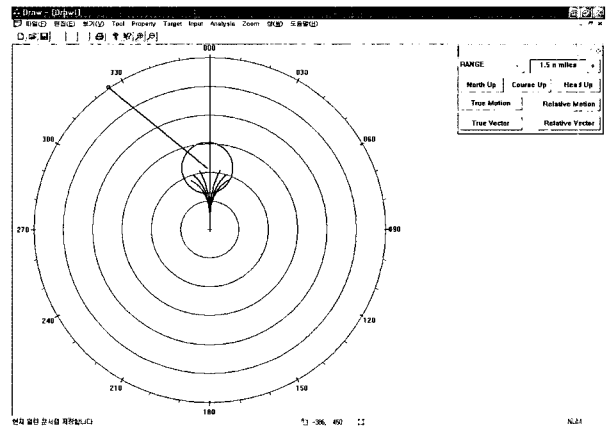


Fig. 7 Ship Collision Avoidance Support Program(case 1)

Fig. 7은 Table 2의 1번 시나리오를 실행한 결과로써 국제 충돌방지규칙에 따라 상대선은 피항의무선이며 자선은 유지선인 위치에 놓여 있다. 만약 상대선이 충분한 피항 조치를 하지 않는다면 충돌할 위험이 있으므로 자선도 피항 동작을 취해야만 하는 상황이다. 상대선의 속력이 자선의 2배로써 R_d 가 확장된 V-SGR이 표시 되어야 하나, 예상된 CPA 점에 표시

된 V-SGR은 R_d 의 확장이 보이지 않고 있다. 그 이유는 TCPA 내에 R_d 의 확장 없이도 우현 타각 35도를 사용하여 충분히 최소 항과거리를 유지할 수 있기 때문이다.

차레 수행되었으며, 시뮬레이션 대상자들에게 자선과 상대선이 계속해서 진행할 경우 충돌위험이 높음을 미리 각인토록 하였다.

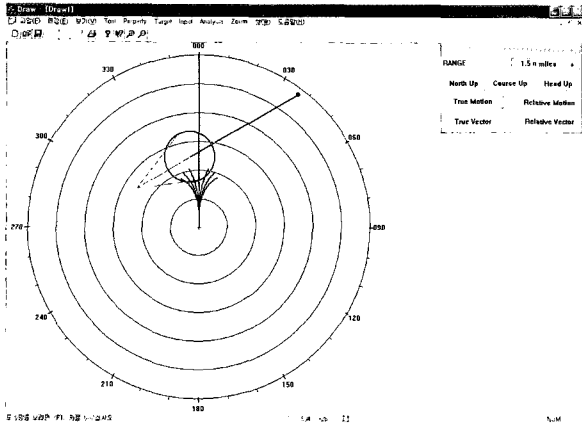


Fig. 8 Ship Collision Avoidance Support Program(case 2)

Fig. 8은 Table 2의 2번 시나리오를 실행한 결과로써 국제 충돌방지규칙에 따라 상대선은 유지선이며 자선은 피항의무선인 위치에 놓여 있다. 따라서 본선은 충돌회피를 위한 피항 조치를 취해야만 하며, 그렇지 않을 경우 예상 CPA점에서 충돌할 상황임을 알 수 있다. 만약 자선이 좌현 타각을 사용하여 항과 최소거리를 유지하고자 한다면, R_d 가 확장된 V-SGR의 꼭지점과 자선과의 경계선을 TCPA내에 벗어날 수 있어야 하지만 예상된 좌현 선회궤적을 살펴보면 불가능함을 알 수 있다. 따라서 자선은 우현타각 10도 이상을 사용하여야만 충돌회피가 가능함을 파악할 수 있다.

개발된 프로그램은 PC를 바탕으로 개발되었으며, 선박의 선회특성을 반영하여 좌·우현 타각 10, 20, 35도에 대한 선회궤적의 변화를 예측하여 동시에 디스플레이 한다. 항해모드의 Range 설정 값을 변화하여, 화면에 나타난 내용들을 확대 및 축소가 가능하다. 또한 V-SGR을 중첩하여 시각화함으로써, 충돌회피규칙을 적용하는데 신속하고 편리함을 제공할 것이다. 특히 시간적 여유가 적은 근접상황에서 발생하는 충돌위험이 높은 상황에서도 신속한 충돌회피 동작의 검토 및 선회타각의 결정을 판단할 수 있으므로 부적절한 조종으로 발생하는 선박 충돌사고를 감소시킬 수 있을 것으로 기대 된다.

5. 시뮬레이션 및 검토

본 논문에서 연구된 선박충돌회피지원 프로그램의 효율성을 검토하기 위해, Table 2의 2번 시나리오를 가정하고 프로그램을 적용할 경우와 적용하지 않을 경우에 대한 각각의 충돌회피 시뮬레이션 조종을 행하였다. 시뮬레이션 선박조종을 위해 목포해양대학교 4학년 학생 20명을 대상으로 선정하였으며, 프로그램을 적용할 그룹과 적용하지 않을 그룹으로 10명씩 분리하였다. 시나리오 설정에 대한 충돌회피 조종은 총 20

Table 3 A statistical analysis of simulation

Distance	Group No.1		Group No.2	
	Program	×	Program	○
Max.(m)	320		612	
Min.(m)	50		396	
Ave.(m)	225		445	
Collision	3		0	

Table 3은 시뮬레이션 조종결과를 나타낸 것으로서, 각각의 시나리오 계획 하에 수행된 근접거리의 최대, 최소, 평균 그리고 충돌횟수를 분석한 것이다. 충돌회피지원 프로그램이 적용되지 않은 1번 그룹에서는 상대선박과의 거리가 너무 근접함을 느끼고 우현타각 사용을 주저하는 현상이 발생되었으며, 좌현타각을 사용하는 상황도 발생하였다. 이러한 현상은 자선에 대한 선회조종성능을 정확히 인지하지 못해 발생하는 것으로 판단된다. 1번 그룹에서는 충돌이 3건 발생하였지만 프로그램이 적용된 2번 그룹에서는 한 건의 충돌사고도 발생하지 않았다. 또한 프로그램에서 시각화된 자선의 선회궤적과 V-SGR을 비교하고 신속한 우현타각 사용을 결정하였다. 2번 그룹의 수행결과 1번 그룹보다 근접거리의 최대, 최소 그리고 평균값에서 통계적으로 더 먼 항과거리를 유지하고 있음을 Table 3을 통하여 알 수 있다. 이러한 시뮬레이션 수행 결과는 프로그램이 충돌회피를 위한 의사결정에 효과적인 지원을 하고 있음을 잘 나타내고 있다.

5. 결론

본 연구는 선박충돌을 회피하기 위한 의사결정을 신속하게 지원할 수 있는 선박충돌회피지원 프로그램의 개발을 목적으로 수행되었다. 개발된 프로그램은 선박의 조종성능을 고려하기 위해 선박의 제원, 유체력 계계수 및 경험식을 이용한 수학적 선박조종운동 모델을 포함하고, V-SGR을 적용으로 선박의 속력도 함께 고려된 SCAM-S 모델을 사용하였다.

이 프로그램은 선박조종성능을 반영하여 좌·우현 타각 10, 20, 35도 사용에 대한 예측된 선회궤적을 동시에 디스플레이 하고, V-SGR을 예상 CPA점에 중첩하여 시각화함으로써 제시된 충돌회피규칙을 적용하는데 신속하고 편리함을 제공할 것이다. 두 선박의 침로, 속력 및 위치정보를 입력받아 V-SGR의 확장영역과 TCPA, CPA가 계산되고, TCPA 내에 본선이 선회할 수 있는 궤적의 변화를 사전에 파악 할 수 있다. 일반적으로 상대선이 자선에 비해 속력이 높은 경우에 피항영역의 감소 및 제한을 갖게 되지만, 조우하는 선박의 속력

이 고려된 V-SGR의 적용으로 충돌회피를 위한 피항 가능한 영역과 조우각에 따른 피항행위 결정을 신속하게 검토할 수 있다는 장점을 갖는다. 시뮬레이션 검토를 통하여 프로그램의 유용성과 충돌회피동작에 대한 의사결정 지원이 효과적임을 확인하였으며, 인적운항과실에 의해 발생하는 선박충돌사고를 효과적으로 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다.

아울러, 레이더 영상을 실시간으로 중첩하여 디스플레이할 수 있는 기능이 추가되고, 항해장비와 전기적 통신연결을 통하여 상대선박의 정보 및 외력상황에 대한 각종 정보를 실시간 자동 처리될 수 있는 모듈의 개발이 연구된다면 그 실용성은 증가할 것이다. 실시간 데이터 처리 방식은 기존 프로그램이 수행에 영향을 주지 않아야 하므로 중첩작업으로 작동하는 비동기 I/O방식과 프로그램의 효율성을 높이기 위해 이벤트(Event)지향 I/O 방식이 함께 적용되어야 할 것이다. 향후 연구에 있어서 이러한 사항은 반영 되어야 할 과제이다.

참 고 문 헌

- [1] 김용기(2003), “선박의 지능형 자율운항제어 시스템개발”, 산자부 중기거점 및 차세대 기술개발 최종보고서.
- [2] 양형선, 예병덕(2004), “근접상황 선박충돌회피지원모델에 관한 연구(I)”, 한국항해항만학회지, 제28권 10호, pp. 827-832.
- [3] 양형선, 예병덕(2005), “근접상황 선박충돌회피지원모델에 관한 연구(II)”, 한국항해항만학회지, 제29권 10호, pp. 827-832.
- [4] 양형선, 정대득(2006), “선박충돌회피지원프로그램 개발에 관한 연구”, 해양환경안전학회지, 제12권 1호, pp.47-52.
- [5] 양형선(2006), “속력을 고려한 선박충돌회피모델에 관한 연구”, 한국항해항만학회지, 제30권 10호, pp. 779-785.
- [6] Hasegawa, K., Kouzuki, A.(1987), “Automatic Collision Avoidance system for ships using fuzzy control”, Japan Kansai Society of naval Architecture, No. 205 pp. 1-10.
- [7] Inoue, S. et al.(1981), “Hydrodynamics Derivatives on Ship Maneuvering”, International Shipbuilding Progress, Vol. 28, No. 325.
- [8] Ogawa, A. and Kasai, H.(1978), “On the Mathematical Model of Maneuvering Motion of Ships”, I.S.P., Vol. 25.
- [9] Satō, Y., Ishii, H. (1998), “Study of a collision avoidance system for ships”, Proceeding of International Conference on Parallel and Distributed Systems, ICPADS Control Engineering Practice vol. 6(n9), p. 1141-1.

원고접수일 : 2007년 4월 6일

원고채택일 : 2007년 6월 22일