

선박충돌회피지원프로그램 개발에 관한 연구

양형선* · 정대득**

*목포해양대학교 전임연구원, ** 목포해양대학교 해상운송시스템학부 교수

A Study on Development of Ship Collision Avoidance Support Program

Hyoung-Seon Yang* · Dae-Deuk Jeong**

*Full-time Researcher of Mokpo Maritime University

** Division of Maritime Transportation System, Mokpo National Maritime University

요 약 : 최근 국내 선박충돌사고는 전체 해양사고의 약 20%~34%를 차지하며, 그 구성비 또한 매년 증가하는 경향을 나타내고 있다. 따라서 본 연구는 선박충돌회피를 효과적으로 지원하기 위해, 선박충돌회피에 큰 영향을 주는 선박조종성능과 근접상황 충돌회피지원을 위해 연구된 CCAS-Model(Close quarters ship Collision Avoidance Support Model : 근접상황 충돌회피지원모델)을 기반으로 한 선박충돌회피지원 프로그램 개발을 목적으로 수행 되었다. 이 프로그램은 선박의 다양한 조우상황을 비교하고, 자선의 선회특성을 이용하여 상대선박의 침로, 속도 유지에 대한 충돌회피 가능영역과 방법을 나타냄으로써 근접상황에서도 신속한 피항동작의 검토 및 결정을 가능케 하며 효과적인 충돌회피 조선을 지원할 것이다.

핵심용어 : 충돌회피지원, 근접상황, 충돌회피지원모델, 선박조종성능, 잔존충돌한계영역

Abstract : Recently, ship collision accidents account for 20%~30% of domestic marine accidents, also have increased continually. In this paper, therefore we propose the development of Ship Collision Avoidance Support program for decreasing ship collision accidents. This program has been developed on the basis of CCAS-Model. A CCAS-Model has ship's maneuvering performance and has been studied for the propose of supporting to avoid ship collision in close quarters. Besides, the program will effectively support maneuvering for collision avoidance through display of the feasible area and the method of collision avoidance using own ship's turning characteristic about action of target ship's keeping course and velocity in various encounter.

Key Words : Ship collision avoidance support, Ship maneuvering performance, CCAS-Model, Potential, Potential Collision Limit Area, Safety-Guard Ring

1. 서 론

최근 국내 해양사고를 분석해 보면 선박충돌사고가 전체 해양사고의 약 20%~34%를 차지하며 구성비 또한 매년 증가하는 경향을 나타내고 있다. 선박충돌사고의 원인으로는 인적운항과실이 약 70%~80%를 차지하고 있다(양, 2004). 이러한 인적운항과실을 감소시키기 위해서 선박충돌회피를 효과적으로 지원할 수 있는 충돌회피알고리즘 개발 및 충돌회피 프로그램의 개발이 절실히 요구되고 있다.

지금까지 선박충돌회피제어에 관한 많은 연구가 수행되어 왔으며, Hasegawa의 퍼지추론방식의 충돌위험도 결정에 따른 충돌회피제어 이론이 많은 연구에서 참조 되고 있다(Hasegawa and Kouzuki, 1987; Hasegawa, 1997). 또한 Yuji Sato는 레이 다에 디스플레이 되는 상대선박의 영상을 이미지 프로세싱을 통하여, 짧은 시간에 파악할 수 없는 선박의 침로 변경을 확인하고 이를 충돌회피에 이용하였다(Sato, 1998). 국내에서는 지능형 선박자율운항제어시스템 개발을 위한 연구가 진행되고 있으며, 이 시스템의 한 부분을 구성하는 충돌회피시스템 개발을 위해 상대선박이 자선에 미치는 충돌위험도를 기반으로 한 퍼

* 대표저자 : 정회원, epicyang@mmu.ac.kr 061)240-7070

** 정회원, ddjeong@mmu.ac.kr 061)240-7053

지추론 방식이 이용되기도 하였다(김, 2003). 하지만 이러한 충돌회피 알고리즘은 선박충돌회피에 중요한 요인으로 작용하는 선박 선회특성의 효과를 고려하지 않음으로 근접상황에서 발생하는 충돌 위험을 회피하는데 충분한 의사결정지원을 하지 못하는 단점을 가질 수 있다.

따라서 본 연구에서는 선박마다 다르게 나타나는 선박의 선회조종성능을 갖추고 근접상황 선박충돌회피지원을 위해 연구된 CCAS-Model(Close quarters ship Collision Avoidance Support Model : 근접상황 충돌회피지원모델)을 기반으로 한 선박충돌회피지원 프로그램을 개발을 목적으로 한다. 이 프로그램은 충돌회피 동작을 신속하게 검토하고, 신뢰성 있는 충돌회피동작 의사결정을 지원함으로써, 인적운항과실에 의해 발생하는 선박충돌사고를 효과적으로 감소시킬 수 있을 것이다.

2. 선박운동모델

충돌회피지원 모델과 수치계산을 위한 선박 조종운동방정식은 지구고정좌표계 $O-X Y$ 와 선체고정좌표계 $o-xy$ 로 구성된다. 선박의 조종운동은 주로 평면상에서의 Surge, Sway, Yaw 운동이라 할 수 있으며, 선체 중앙에 원점을 두고 무게중심과 선체중앙사이의 간격을 x 좌표로 표시한 x_G 를 이용한 조종운동방정식은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

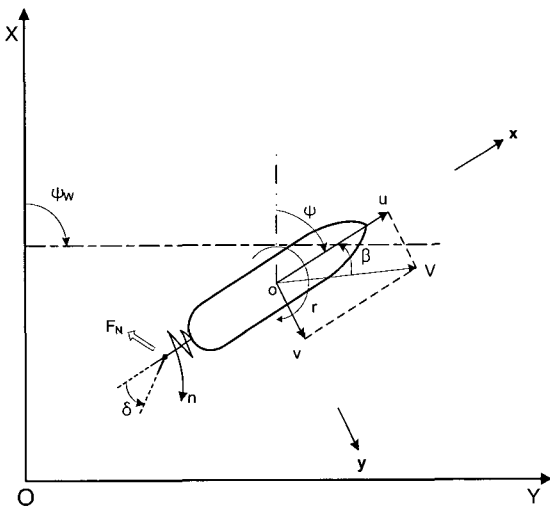


Fig. 1. Coordinate system.

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

여기서, m 은 선체의 질량, I_{zz} 는 z 축 주위의 관성 모멘트이다. u, v, r 은 각각 선체 중앙에서 x 축 방향 속도성분, y 축 방

향 속도성분, z 축 주위의 각속도 성분이다. $\dot{u}, \dot{v}, \dot{r}$ 은 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 표현 한다고 알려진 일본 MMG 수학모델(Ogawa, 1977~1980)을 사용하여 x, y 축 방향의 부가질량과 z 축 주위의 부가관성모멘트를 식(2)와 같이 정의된다.

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

여기서, 첨자 H, P, R 은 각각 선체(Hull), 프로펠러(Propeller), 타(Rudder)에 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. 선박충돌회피지원 모델

일반적으로 충돌회피문제에 있어서 가장 문제시 되는 것은 상대선박의 의도를 미리 파악할 수 없고 단지 과거의 선박 진행 사항으로만 그 의도를 예측해야 한다는 것이다. 따라서 선박충돌회피지원 모델 개발을 위한 알고리즘은 상대선박의 침로와 속도를 유지한다는 가정에서 계획이 수립된다. 상대선박의 속도와 침로 정보를 이용하여 상대선의 행동유지에 대한 피항 행위 결정과 주어진 시간 안에 충돌회피가능 여부를 확인할 수 있는 상호선박의 행동분석은 근접하여 진행되는 선박과의 충돌회피를 위한 동작에도 중요한 영향을 미칠 것이다.

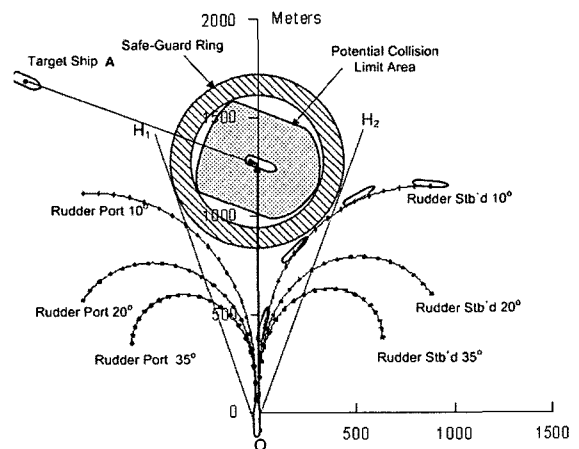


Fig. 2. Close quarters ship collision avoidance support model.

선박이 접근하는 상황은 추월하는 경우를 제외하고 마주치는 경우와 횡단하는 경우로 분류할 수 있다. Fig. 2는 CCAS-model을 설명한 것으로써, 상대선박 A는 선박 0와의 CPA 점에서 잔존충돌한계영역(Potential Collision Limit Area)(양, 2004)과 충돌완충영역(Safe-Guard Ring)(양, 2005)을 갖고 이동하며, 두 선박이 계속해서 속도와 침로를 유지하여 진행할 경우 충돌이 있다고 가정한다. 이러한 상황에서 자선의 선회동작에 따른 충돌회피규칙은 Fig. 2를 통하여 다음과 같이 간이 수립 한다(양, 2004).

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.

제안된 충돌회피지원 모델은 두 선박이 충돌위험이 높은 상태로 근접 조우하는 경우 예상 CPA점에서 발생하는 잔존충돌한계영역에 Safe-Guard Ring을 적용하여 확장된 점용면적인 원에 접하고 본선을 기점으로 하는 경계선을 TCPA 안에 선회하여 벗어날 수 있다면 좌·우현 선회변침으로 상대선박과의 충돌을 피할 수 있으며 선회하여야 할 타각도 예측 할 수 있다.

따라서 선박조종성능의 선회특성을 갖는 조종운동방정식과 두 선박의 진행분석을 통하여 상대 선박의 속력과 침로 유지에 대한 충돌회피 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 이와 동시에 충돌회피의 가능성을 판단할 수 있는 기준으로 사용될 수 있으므로 올바른 충돌회피 조종을 취할 수 있도록 지원 가능할 것이다.

4. 선박충돌회피지원 프로그램

선박의 조종성능은 그 선박의 선회궤적에 상당히 큰 영향을 미친다. 상대선박의 침로와 속력 데이터의 분석을 통해 TCPA가 정해지고 그 시간 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 항해장비로부터 수집된 상대선박의 정보를 이용하여 TCPA와 CPA를 분석하는 모듈과 선박에 작용하는 힘을 선체, 프로펠러, 타에 대한 각각의 힘으로 나누고 상호 간섭을 고려하여 선박의 운동을 나타내는 모듈, 그리고 이를 바탕으로 예상 CPA점에서 Safe-Guard Ring을 적용하여 확장된 선박의 점용면적과 TCPA 내에 진행 예상 되는 선박의 선회궤적을 화면에 디스플레이 하는 모듈로 구성된다.

Fig. 3은 선박충돌회피지원 프로그램의 데이터 흐름을 나타

낸 것으로 충돌위험이 있는 상대선박을 선택하여 상대선박의 침로와 속력을 입력 받고 CPA와 TCPA를 계산한다. 수학적 모델로 구성된 선박운동 모듈은 각종 항해장비로부터 계산에 필요한 데이터를 수신하여 처리하고, 선박의 선회궤적 좌표 데이터를 화면에 디스플레이 한다. 잔존충돌한계영역과 Safe-Guard Ring의 설정치를 입력 받고 예상 CPA점에 그 영역을 디스플레이하여 위에서 제시된 충돌회피규칙을 손쉽게 적용할 수 있도록 시각화 한다.

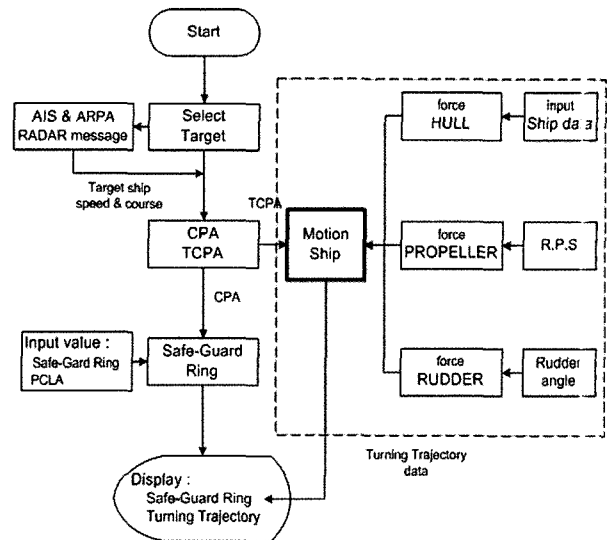


Fig. 3. Software flow chart for the program.

위에서 제시된 충돌회피규칙 및 충돌회피모델을 바탕으로 충돌회피지원프로그램을 개발하였으며, 이 프로그램은 선박 조종성능을 나타내기 위한 선박의 각종 제원 및 유체력 계계수 및 경험식을 이용하여 명령 타각에 따른 선박의 선회궤적을 표시하고 예상 CPA점에 Safe-Guard Ring을 적용하여 충돌회피 가능한 동작을 신속하게 판단할 수 있도록 지원 한다. 선체 운동을 나타내기 위해 사용된 유체력 미계수는 선체의 주요목 자료만으로 유체력 미계수의 개략적인 값을 구할 수 있는 Inoue(Inoue, 1987)의 연구 결과를 이용하였다. 부가질량과 부가관성모멘트는 Motora 도표로부터 유도된 Clarke와 Ho oft의 회귀식으로부터 추정하였다(Hoofft, 1988).

Fig. 4는 선박충돌회피지원 프로그램의 선박조종성능 특성을 계산하기 위한 선박의 제원 및 입력변수를 설정하는 모습을 나타내고 있다. 선박조종성능을 이용한 선회궤적을 예측하기 위해 선박제원 입력창, 프로펠러 제원 입력창, 타(Rudder) 제원 입력창으로 구성된다. 또한 프로그램의 실행을 통하여 타각 사용량 좌현 10, 20, 35도 및 우현 10, 20, 35도 각각 대해 진행할 선회궤적을 동시에 예측하고 수학적으로 계산하여, 그 좌표들을 화면상에 디스플레이할 수 있도록 하였다. 화면상에 표시된 자선의 예상 선회궤적이 상대선박이 가지고 이동하는 충돌완충영역에 겹치지 않는, 미리 예측된 선회타각을 한눈에 파악하고 선

택할 수 있는 장점을 가지므로 충돌회피 방향 및 충돌회피 조선을 위해 실행하여야할 타각을 신속하게 결정하는 것이 가능하다.

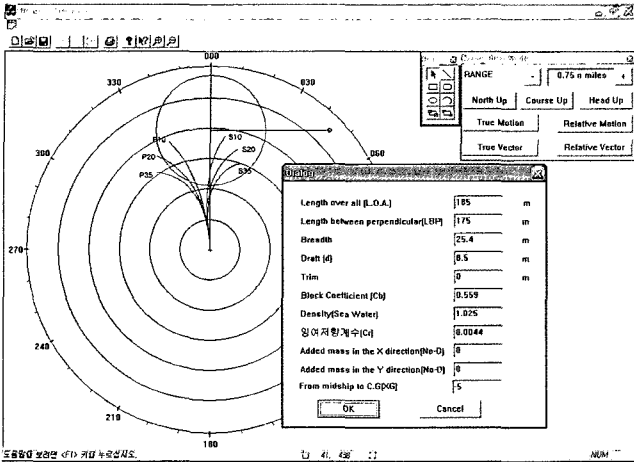


Fig. 4. Diagram of input coefficients for ship maneuvering performance.

Fig. 5는 충돌회피지원 프로그램의 실행 모습을 나타낸 것이며, 사용된 모델선박은 적화상태의 Bulk Carrier 선박으로써 프로그램의 실행을 위해 필요한 제원은 Table 1에 나타나 있다. 또한 잔존충돌한계영역의 종방향 길이(양, 2004)를 640m로 설정하였으며, Safe-Guard Ring의 폭(1/2L; L은 자선의 L.O.A)을 100m로 설정하였다(양, 2005). 상대선박의 침로는 240도, 속력은 16.0Knots로 설정하였으며, 자선의 침로는 000도, 속력은 15.0Knots를 적용하였다. 두 선박이 계속해서 진행할 경우 충돌하는 것으로 계획한 것이다.

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
Draft fore	11.5m
Draft aft.	11.5m
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

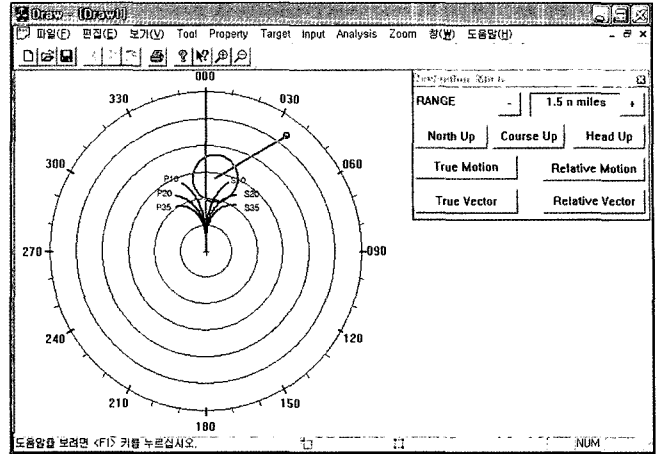


Fig. 5. Ship Collision Avoidance Support Program.

개발된 프로그램은 PC를 바탕으로 개발되었으며, 선박의 선회특성을 반영하여 좌우현 타각 10, 20, 35도에 대한 선회궤적의 변화를 예측하여 동시에 디스플레이 한다. 항해모드의 Range 설정 값을 변화하여, 화면에 나타난 내용들을 확대 및 축소가 가능하도록 기능을 추가하였다. 또한 Safe-Guard Ring을 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. 실험 및 결과

본 논문에서 제안되고 구성된 선박충돌회피지원 프로그램의 성능 및 효율성을 검토하기 위해, 두 선박이 교차하는 경우를 가정하고 충돌회피 시뮬레이션 조종을 행하였다. 근접거리에서 선박이 교차하며 충돌위험도가 높은 환경을 설정하고, 선박조종자가 선박조종시뮬레이터를 이용하여 상대선박과의 충돌회피를 위한 선박조종 행위의 결과를 분석하였다. 충돌회피지원 프로그램을 적용할 경우와 적용하지 않을 경우에 발생하는 차이점을 파악하기 위해 시뮬레이션 참가자에 의해 조종된 선박과 상대선박과의 근접거리 정보를 사용한다. 본 논문에서 제시한 프로그램의 데이터 프로우 차트에서는 타 선박의 정보를 항해장비로부터 획득하도록 구성하였지만, 시뮬레이션 수행에 있어서 이러한 기능을 사용할 수 없으므로 타 선박의 속력과 침로를 초기값으로 미리 설정하여 이미 획득한 상태에서 실험을 수행하였다.

시뮬레이션 선박조종을 위한 참가자는 해운회사를 통한 개인 실습을 마치고 실제 선박을 직접 조종한 경험이 있는 목포해양대학교 4학년 학생 10명을 대상으로 선정하였으며, 2가

지 시나리오 설정에 대한 충돌회피 조종을 수행하여 총 20차례 실행하였다. 실제 선박종사자인 숙련된 항해사와 같은 숙련도를 어느 정도 유지하기 위해 시뮬레이션을 수행하기 전 참가 대상자에게 선박시뮬레이터의 선교실에 탑재되어 있는 항해장비의 사용법과 국제해상충돌방지규칙을 숙지하도록 하였다.

시뮬레이션을 위한 시나리오 설정은 2가지 계획으로 구성된다. 본선은 침로 000°, 속력 15 knots로 항행하고 상대선박은 침로 240°, 속력 16 knots로 항행한다. 두 선박 모두 침로와 속력을 계속 유지할 경우 충돌을 유발할 수 있도록 계획되었다. 또한 시뮬레이션 설정 계획 인덱스를 의미하는 Sim. #01, Sim. #02는 충돌 예상지점까지의 TCPA가 각각 147초, 본선으로부터 상대선박까지의 거리는 1.110 n mile로 설정하여 충돌회피지원 프로그램의 실용성을 알아 볼 수 있도록 하였다.

선박의 근접거리를 구할 경우, 두선박의 선체 중심사이의 거리를 구하는 것이 일반적이다. 하지만, 근접한 상황에서 두 선박의 근접거리는 각 선박이 갖는 선체의 중방향 및 횡방향 길이가 다르므로, 두 선박의 선체중심 사이의 거리와는 이격 거리가 발생된다. 이러한 차이점이 있지만 일반적인 근접거리 계산법을 사용한 이유는 시나리오 계획 하에 수행된 전체 시뮬레이션 선박조종 결과에 대한 통계적 분석 및 근접상황 충돌회피지원시스템 적용여부에 따라 발생하는 수치적 경향을 살펴보기 위해서이다.

Table 2. A statistical analysis of maneuvering simulation

Scenario \ DCPA	Sim. #01		Sim. #02	
	Program	×	Program	○
Max.(m)	289.6		893.8	
Min.(m)	59.3		469.5	
Ave.(m)	184.5		714.0	
Std. Dev.	92.4		130.5	
No. of collision accident	3.0		0.0	

Table 2는 시뮬레이터를 이용한 시뮬레이션 조종결과를 수치적으로 나타낸 것으로서, 각각의 시나리오 계획 하에 수행된 근접거리의 최대, 최소, 평균 그리고 표준편차를 분석한 것이다. 충돌회피지원 프로그램이 적용된 Sim. #02의 결과는 적용되지 않았던 Sim. #01보다 근접거리의 최대, 최소 그리고 평균값에서 통계적으로 더 먼 DCPA를 유지하고 있다. 또한 Sim. #01의 시나리오에서는 충돌사고가 3건 발생한 것에 비해 Sim. #02 시나리오에서는 단 한건의 충돌사고도 발생하지 않음을 알 수 있다. 이는 충돌회피지원 프로그램이 충돌회피를 위한 의사결정에 효과적인 지원을 하고 있음을 잘 나타내고 있다.

6. 결론

본 연구는 선박충돌회피를 효과적으로 지원하기 위해, 선박의 선회조종성능을 갖추고 근접상황 충돌회피지원을 위해 연구된 CCAS-Model을 기반으로 한 선박충돌회피지원 프로그램 개발을 목적으로 수행 되었다.

이 프로그램은 선박의 선회특성을 반영하여 좌우현 타각 10, 20, 35도에 대한 선회계적의 변화를 동시에 디스플레이 하고, Safe-Guard Ring을 중첩하여 시각화함으로써 제시된 충돌회피규칙을 적용하는데 신속하고 편리함을 제공할 것이다. 상대선박의 침로와 속력 데이터를 통해 TCPA가 정해지고 TCPA 내에 본선의 선회계적 변화를 사전에 파악 할 수 있다. 따라서 여러 가지 충돌상황 및 조우각에 따른 피항행위 결정을 신속하게 검토할 수 있다는 장점을 가지며, 신뢰성 있는 충돌회피동작에 대한 의사결정 지원이 가능하므로 인적운항과실에 의해 발생되는 선박충돌사고를 효과적으로 감소시킬 수 있을 것이다. 또한 시뮬레이션 실험을 통하여 개발된 프로그램의 실용 가능성을 확인 하였다.

아울러 자동화된 지원시스템을 위해 선박항해장비와 정기적 통신으로 연결하여 상대선박의 정보 및 외력상황에 대한 각종 정보를 실시간으로 처리할 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.

참고 문헌

- [1] 김용기(2003), 선박의 지능형 자율운항제어 시스템개발, 산자부 중기거점 및 차세대 기술개발 최종보고서, pp. 1-210.
- [2] 양형선·예병덕(2004), 근접상황 선박충돌회피지원도월에 관한 연구(I), 한국항해항만학회지, 제28권 10호 pp. 827-832.
- [3] 양형선·예병덕(2005), 근접상황 선박충돌회피지원도월에 관한 연구(II), 한국항해항만학회지, 제29권 제10호, pp. 827-832.
- [4] Clarke D.(1983), The application of Maneuvering Criteria in Hull Design Using Linear Theory< The Naval Architect, p 152.
- [5] Hasegawa K. · Kouzuki A.(1987), Automatic Collision Avoidance of a ship, Japan Kansai Society of Naval Architecture, No. 205 pp. 1-10.
- [6] Hooft, J. P.(1988), Maneuverability of Frigates in Waves. Marine Technology, Vol.25, No.4, pp.242-250.

- [7] Inoue, S.(1981), Hydrodynamics Derivatives on Ship Maneuvering, International Shipbuilding Progress, Vol. 28, No. 325, p325-341.
- [8] Kazuhiko Hasegawa(1997), Reconfiguration of Auto-navigation Fuzzy Expert System, Japan Kansai Society of naval Architecture, pp.124-148.
- [9] Owaga et al.(1977~1980), MMG Report- I , II,III,IV, V, Journal of the Society of Naval Architecture of Japan, Vol 575, 577, 578, 579, 616, pp.788-790.
- [10] Yuji Sato · Hiromitsu Ishii(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 : 2006년 2월 13일

원고채택일 : 2006년 2월 27일