

선박충돌회피지원을 위한 자동제어-Ⅱ

임남균*

*삼성중공업 조선플랜트 연구소

Automatic Control for Ship Collision Avoidance Support - Ⅱ

Nam-Kyun Im*

*Shipbuilding & Plant R&D Institute, Samsung Heavy Industries Co., Ltd. Geoje-shi, 656-710, Korea

요 약 : 본 연구는 선박충돌회피 알고리즘에 대하여 검토하고, 이를 개선하려는 의도로 수행되었다. 선박충돌회피 알고리즘에 대한 연구는 지금까지 많이 수행되었는데, 이런 연구에서 채용하고 있는 핵심 이론을 내용에 따라 구분하면 위험도계산법과 위험지역 설정법으로 각각 나눌 수 있다. 그 두 가지 이론은 각각의 장점과 단점을 가지고 있으며, 또한 그 한계성을 포함하고 있다. 이번 연구는 두 가지 이론의 한계점을 극복하기 위한 방안을 제시한다. 제시된 모델은 위험도 계산법을 기초로 하고 있으며, 위험도계산법에서 가장 문제시 되어온 임계값 설정 문제를 해결하기 위하여, 사용자가 항해 환경 등에 따라 적절히 그 설정값을 선택할 수 있는 기능을 제시하고 있다. 또한 두 가지 이론의 상호 관계를 규명하기 위해서 위험도 계산법의 시뮬레이션을 인용하여, 본선 주위에 위험지역을 도식해 봄으로써, 위험지역설정과 그 차이를 비교하여, 양자간의 이해를 돕는 수단으로 활용하였다. 마지막으로 위험도 계산법의 경우, 특히 TCPA, DCPA를 사용하여 위험도계산을 할 경우, 두 선박이 선미에서 너무 접근하는 문제점이 발생하는데, 이런 문제의 해결책의 하나로, 위험지역 설정법을 부분적으로 적용한 새로운 모델을 제시하고 그 효용성을 검증하였다.

핵심용어 : 선박충돌회피, 선박조종, 자동제어

Abstract : The purpose of this study is to examine the algorithm of ship collision avoidance system and to improve its performance. The study on the algorithm of ship collision avoidance system have been carried out by many researchers. We can divide the study according to the adopted theory into two category such as 'collision risk calculation method' and 'risk area method'. It is not so difficult to find their merit and demerit in the respective method. This study suggested newly modified model, which can overcome a limit in the two method. The suggested model is based on collision risk calculation method and suggests how to solve the threshold value problem, that is, one of the unsolved issues in collision risk calculation method. To solve that problem this study proposed new system under which the users can select appropriate threshold value according to environments such as traffic situations and weathers conditions. Simulation results of new model is schematized using 'risk area method' to examine the relationships between the two method. In addition, in case of 'collision risk method', when TCPA and DCPA are used to determine collision risk, a problem happens, that is, two ships become too close in their stern area, therefore, partial function of 'risk area method' is adopted to solve the problem in suggested model.

Key Words : ship collision avoidance, ship manoeuvring, automatic control

1. 서 론

최근의 눈부신 전자제어 장비의 발달로, 선박, 항해분야에 있어 많은 자동화 기술이 그 자리를 잡고 있다. 그중의 하나인 선박충돌회피 알고리즘에 대한 연구는 지금까지 다수의 연구자에 의해 수행되어, 실용화를 향한 연구가 조금씩 진전되고 있는 상황이다. 이런 상황에서 전반적인 연구들의 특징을 살펴보고, 그 기능성을 개량하기 위한 시도는 나름대로 가치가 있을 것이다. 본 연구도 그러한 움직임의 하나로 실시되었다. 우선 많은 연구자가 제안한 선박충돌회피 알고리즘의 이론을 방법론적 관점으로 크게 두 가지 종류로 분류하여,

각각의 장단점과 한계점을 고찰하였다. 그 검토를 바탕으로 새로운 모델을 제시하여, 그 효용성을 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

2. 충돌회피 알고리즘

선박충돌회피 알고리즘에 대한 연구가 채용하고 있는 핵심 이론을 크게 구분하면 충돌위험구역 설정법과 위험도 계산법으로 각각 나눌 수 있다. 각각의 이론을 개략적으로 살펴보면 다음과 같다.

* 대표저자 : 임남균(정회원), namkyun.im@samsung.com 011)9802-0582

2.1 충돌위험구역 설정법

이 이론은 주로 초기 연구에서 많이 채용되어 왔으며, 최근의 몇몇 연구에서도 채용되고 있다. 본선 주위에 피항영역(ship domains)이라는 일정한 범위의 구역을 설정하고, 그 범위 안으로 상대선박이 침입하면 피항동작을 실시하는 방법을 채택하고 있다. 이 피항영역이란 Fujii(Yahei Fujii, 1978)등의 정의에 의하면 “두 척의 선박이 접근할 때 한편의 선박이 침로를 유지한다고 가정하고, 그 선박 주위에는 다른 선박이 침범하지 않는 구역”이라 설명하였다. 그 범위를 설정하기 위하여 실험에서 직접 선박들의 충돌회피 동작의 형태를 조사한 데이터를 제시하기도 하였다. 두 선박이 같은 방향으로 나란히 진행할 때의 피항영역은 폐쇄영역이라 불리고, 진행방향의 8L(L은 두 선박 길이의 평균), 횡방향은 그 40% 정도로 설정하였으며, 두 선박이 마주치는 경우는 횡방향으로 3-4L 정도, 종방향은 대략 15-20L에서 피항이 시작됨을 밝혔다. 이 방법의 장점은 사용자 입장에서 보면, 어떤 시점에서 피항이 시작되는지를 명확히 알 수 있다는 점을 들 수 있다. 설정된 구역만 파악하면 대체적인 본선의 피항 동작을 예측할 수 있기 때문이다. 또 다른 최근의 연구(Hwan, 2002)는 본선을 중심으로 다가오는 선박의 상대 방위에 따라 항해사가 느끼는 위험도가 틀려지는 현실을 반영하기 위하여, 본선 주위의 구역을 우현, 좌현, 선미부 세 부분으로 구분하여, 각각의 위험구역을 차별화 하였다. 즉 본선의 선수를 중심으로 오른쪽 방향을 기준으로, 0도-112.5도까지는 0.82마일, 112.5도-247.5도까지는 0.4마일, 247.5-0도까지는 0.75마일의 반지름을 갖는 원형 구역을 각각 설정하기도 하였다.

이러한 위험구역설정법은 여러 장점이 있음에도 불구하고, 다소의 한계성을 나타내고 있다. 가령 상대선박이 위험구역으로 설정된 범위를 침범하였다고 하여도, 그 선박의 속도, 진행방향 등의 다양한 요소에 의해 항해사는 느끼는 위험도는 달라지는 것이 일반적이지만, 그러한 요소들 모두 포함시키는데 문제점을 안고 있다. 즉 본선 주위에 위험구역을 설정하는 것 만으로는 선박간의 위험도를 제대로 표현할 수 없다는 점이다.

2.2 충돌위험도 계산법

이 방법은 위에서 설명한 위험지역 설정법이 갖고 있는 단점을 극복할 수 있는 방법으로, 충돌 위험도라는 수치적 개념을 도입하여 그 값이 일정치 이상을 초과 하였을 때 충돌회피 동작을 개시하는 방법이다. 위험도를 계산할 때 적절한 요소를 선택함으로써, 상대선박과 본선의 상호 속도, 상호 방위, 진행 방향 등의 다양한 요소가 변화하는 것을 위험도에 반영할 수 있다는 장점이 있다. Hara(1991)는 선박간의 상대거리, 그 변화율, 상대방위의 변화율을 퍼지로 표현하고, 그 시점에서 인간이 느끼는 위험도를 주관적인 충돌위험도(Subjective Judgment: 이하 SJ)라는 수식으로

표현하였다. SJ를 -3에서 +3까지 7단계로 구분하여 위험도의 수준을 나타내었다. 설정된 충돌위험도와 현재의 충돌위험도 차이를 이용한, 피항각도, 러더각도 등을 계산하여 피항 동작에 활용하는 방법을 도입하기도 하였다. 충돌위험도 계산방법의 경우, 계산된 충돌위험도가 일정 값(threshold value: 선박충돌 회피동작 개시의 기준이 되는 값을 의미하며, 본 연구에서는 임계값이라 표현하기로 함)를 초과하게 되면 선박은 위험을 감지하고 충돌회피 동작에 들어가는데, 이 값의 설정이 충돌회피 동작에 중요한 영향을 미치게 된다. 그러나 당시에는 그 값의 설정에 명확한 기준을 제시할 수 없는 한계가 있었다. 또한 사용자가 설정된 값에 의하여 본선은 어떠한 피항 동작을 수행하는지 추정하기 어렵다는 점 등을 과제로 남겨두고 있다.

IMAZU(1988) 역시 충돌위험도를 아래 식(1)과 같은 형태로 “충돌위험평가값”이라 정의하고 그 값을 계산하였다. 이 식은 두 선박의 거리적 여유(R/d)와, 시간적 여유(R/Vc)를 이용하여 충돌위험도를 수치화한 것이다.

$$Uc = (m_1 d + m_2 Vc) / R \quad (1)$$

여기서 m_1, m_2 : 계수, d: 본선과 상대선의 안전통과거리, R: 두 선박 거리, Vc: 접근속도.

또한 선박이 충돌회피동작의 개시에 따라 변화하는 효용함수라는 설정치를 도입하며, 그 값이 일정한 한계치를 넘어가면 피항을 개시하는 임계값을 정의한 이론을 제시하여, 훌륭한 성과를 얻기도 하였지만, 저자 스스로도 충돌위험도평가값과 임계값 설정의 문제를 여전히 남겨진 과제라고 서술하였다. 이외에도 충돌위험도 계산법을 이용한 많은 연구(Hasegawa, 1987,1997; LEE, 2001; Isshiki,1994)를 찾아 볼 수 있다. 이 연구들은 두 선박의 최근접 거리(Distance of Closest Point of Approach:이하 DCPA), 최근접거리까지의 시간(Time to Closest Point of Approach:이하 TCPA)에 따라 적절한 조합을 설정하고 그 조합에 따라 충돌위험도(Collision Risk:이하 CR)를 계산한다. 계산된 위험도가 미리 설정된 임계값을 초과하면 피항 동작을 시작하는 알고리즘을 기본적으로 채택하고 있다. 대체로 0.7이라는 임계값을 설정해 놓고 충돌위험도가 이 설정값을 초과하면, 충돌회피동작을 개시하도록 알고리즘을 구축하고 있다. 하지만 여기서 문제시 되는 것은 충돌위험도가 얼마일 때 충돌회피 동작을 개시하는 것이 옳은지 판단의 기준이 없다는 점이다. 즉 임계값 설정에 명확한 근거를 제시할 수 없었다. 또한 설정된 임계값으로 인해 어떠한 형태의 충돌회피 동작이 이루어지는지 사용자가 추측하는데도 무리가 있어 사용자와 시스템간의 공감 유지가 어렵다는 문제는 여전히 안고 있다. 또한 다른 연구(정, 2003)는 Sech 함수를 이용하여, 사람의 직관과 비슷한 새로운 충돌위험도 평가법을 개발하였다. 하지만 위험도 계산식에 사용하는 각종 계수의 결정법과 적절한 임계값을 결정하는 문제는 여전히 과제로 남아있다.

지금까지 살펴본 충돌회피이론의 각각의 장단점을 분석

하여 보았는데, 이를 토대로 충돌회피 알고리즘의 모델로서 갖추어야 할 기능을 제시해 보면 아래와 같이 요약할 수 있다. 첫째- 충돌위험도 혹은 위험구역의 설정에 있어서 많은 연구(Hwan, 2002)가 공통적으로 지적하고 있듯이 "선박크기, 속도, 상대위치, 선박진행 방향" 등의 요소를 포함하고 있을 것. 둘째- 항해 환경 요건에 따라 가변적일 것. 즉, 시정 상태, 주위 선박 통항량 등의 환경 요건에 따라 위험도 및 위험구역을 적절히 변경 가능해야 한다. 셋째 - 충돌위험도 계산법의 경우, 충돌 회피 동작의 개시 시점을 정하는 임계값 설정에 대한 명확한 기준을 제시하여, 사용자가 설정된 임계값에 따라 어떠한 선박 충돌회피 동작이 이루어질지 예상할 수 있어야 할 것. 다음 장부터는 위의 3가지 사항을 해결할 목적으로 새로운 모델 제시에 주안점을 두고 서술한다.

3. 수학모델

3.1 선박운동모델

시뮬레이션에 사용된 선박의 제원은 Table 1에 나타나 있다. 수치계산을 위한 운동방정식은 계산의 간편성을 위해 KT 모델(Nomoto,1956,1957)을 채용하였다. 이 모델은 비선형성이 강한 선박의 움직임을 충실히 표현하는 데는 많은 제한이 있다. 그러나 본 연구의 목적은 실선 적용 전 단계에서 피항 Rule을 작성해 보고 이를 적용하여 개략적인 타당성을 알아보는 목적으로 행하여진 연구이기 때문에, KT 모델 사용으로 인해 시뮬레이션상에서 발생하게 되는 선박 움직임을 다소 차이는, 피항 Rule을 적용해 보고 그 Rule의 타당성을 판단 하는데 있어서는 그리 큰 영향을 주지 않는다고 판단된다. 선회각속도, 선속, 조타 등을 식 (2)-(4)을 이용하여 표현하였다. 좌표계는 Fig.1에서처럼 지구 고정 좌표계 $O_0-x_0y_0$ 와 이동하는 선체 중앙에 원점을 둔 $O-xy$ 선체 고정 좌표계를 사용하였다.

$$T_1 + \gamma = K\delta \tag{2}$$

$$T_V V + V = V_{order} \tag{3}$$

$$T_E O + \delta = \delta_{order} \tag{4}$$

여기서, V : 선속, V_{order} :명령타각, r :선회각속도, δ :타각, δ_{order} : 명령타각, K, T : 조종성능지수, T_E :조타 시정수, T_V :선속 시정수를 각각 의미한다. 조종성 지수 K, T 는 선형, 1면적, 조타각에 의해 변화하며, 실제 시뮬레이션에서는 $T = (V/L)T$ 및 $K' = (L/V)K$ 로 각각 무차원화되어 사용되었다. 계수값들은 $T = 6.0$, $K' = 3.395$, $T_E = 2.5$ 초, $T_V = 500$ 초를 각각 적용하였다.

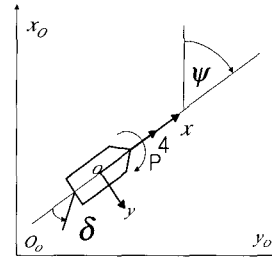


Fig. 1 The ship's coordinate

Table 1 Particulars of the model ship

Type	Tanker
Lpp (m)	325
B (m)	53
d (m)	21.8
Cb	0.8306

3.2 위험도 계산모델

위험도를 인지하고 충돌회피 동작을 개시하는 시점을 결정하기 위하여, 충돌위험도 계산법의 하나인 TCPA 및 DCPA를 이용하는 연구(Hasegawa:1987,1997)을 인용하였다. 충돌위험도계산법은 2장에서 언급한 새로운 모델이 갖추어야 할 조건 중 첫째 요구사항 즉 선박크기, 속도, 상대위치, 선박진행 방향의 모든 요소를 내포할 수 있는 모델이기 때문이다. 다만, 이 방법이 갖는 장점을 그대로 살리고, 보완해야 할 기능으로 지적되어온, 임계값 설정의 문제를 해결하기 위한 방안을 구상하였다. 그 방법으로써는 사용자가 선택한 임계값에 의해 변화하는 충돌회피동작의 개략적인 추측을 가능하도록 하였다. 따라서 사용자는, 주위 선박 통항량 등의 항해 환경 요소 등에 따라 적절히 임계값을 선택할 수 있게 된다. 이런 기능을 가능하게 하기 위하여, 멤버쉽함수와 퍼지 추론룰을 Fig. 2와 Table 2와 같이 변경시켰다. 이때 사용된 멤버쉽함수의 언어변수는 부록 1에 자세히 설명하였다.

주어진 퍼지모델에 의해 충돌위험도가 계산되고, 충돌회피동작이 이루어질 경우, DCPA 멤버쉽함수는 두 선박의 통과거리와 관련되며, 본선이 타선과 유지하는 최소한의 안전 구역을 설정하는 역할을 한다. 또한 TCPA 멤버쉽함수의 경우는 선속에 따라 차이는 있겠지만, 충돌회피 동작이 시작되는 순간의 두 선박 간의 거리에 영향을 미친다. 이런 성질을 이용하여, 임계값이 변화함에 따라 두 선박의 통과거리와 충돌회피동작이 개시될 때의 두 선박의 거리가 일괄적으로 변화하여, 사용자는 주어진 임계값에 따라 어떠한 충돌회피 동작이 이루어지는지 예측할 수 있게 된다. 두 선박의 통과 거리 및 충돌회피 개시 시점의 선박 거리를 식 (5)와 (6)을 이용하여 TCPA, DCPA 멤버쉽 함수에 반영하여 표현하였다.

충돌회피를 개시하는 시점에서의 두 선박간의 거리 설정을 위하여, 식(5)의 $m1$ 을 0, 1, 2, 3.5, 4.8, 6.5, 7.5, 9miles 등으로 계산하여 TCPA_i를 구하였다. 또한 항과거리 즉 최소접근거리의 설정을 위하여 식(6)의 $m2$ 값을 각각 0.2, 0.5, 1, 1.8, 2.5miles 설정하여 DCPA_i 계산하였다. 이렇게 구분한 TCPA_i, DCPA_i를 바탕으로 퍼지멤버쉽함수와 퍼지추론률을 Fig. 2와 Table 2와 같이 나타내었다. Table 2를 살펴보면, 충돌위험도 멤버쉽함수가 MEP2일 경우, 충돌회피동작 개시 거리를 표현할 수 있는 TCPA는 MEP2, 두 선박의 통과 거리를 나타내는 DCPA 멤버쉽함수는 ME에 각각 해당됨을 알 수 있다. 또한 충돌위험도의 멤버쉽함수가 한 단계 높아진 DMP로 변경되면 TCPA, DCPA에 관한 멤버쉽함수 역시 동일하게 MEP1, DE로 일괄되게 변경된다. 이러한 현상으로 인하여, 사용자가 임계값을 임의로 변경하더라도 피항개시 거리와, 두 선박의 항과 거리가 일괄되게 변화하게 되어, 사용자는 변경된 임계값에 따라 어떠한 피항동작이 이루어지는지 추정이 가능하게 된다. 이렇게 함으로써 기존의 연구에서 문체시 되었던 임계값의 설정 문제를 어느 정도 해결할 수 있는 한 가지 방법을 제시할 수 있었다. 즉 변경된 임계값에 따라 어떠한 피항동작이 이루어지는지 추정이 가능해 지므로, 사용자는 주위 선박 통황 상황이나 기타 날씨 등의 환경요소에 따라 적절히 임계값을 변경함으로써, 사용자가 원하는 피항동작 형태(여기서는 피항개시 시점과 두 선박의 통과거리)를 설정할 수 있게 된다. 본 연구의 피항률에 의하면 대표적인 3가지 임계값에 따라 어떠한 충돌회피 동작이 이뤄지는가를 피항개시 거리와 최소접근거리를 이용하여 Table 3과 같이 나타내었다. 이때 마주치는 선박의 선속은 각각 15kts를 기준으로 하였다.

$$m1_i \frac{3600 [\text{sec}]}{2V_m * 1852 [m]} = TCPA_i \quad (5)$$

$$m2_i \frac{1852 [m]}{L_m} = DCPA_i \quad (6)$$

여기서, $m1_i, m2_i$: 충돌회피동작이 개시될 때의 두 선박간 거리 및 두 선박간 최근접 거리, V_m : 두 선박의 평균 선속, $TCPA_i$: 각각의 TCPA 멤버쉽 함수의 중앙부 값, L_m : 두 선박의 평균 길이, $DCPA_i$: 해당 DCPA 멤버쉽함수의 중앙부 값

한편, 퍼지멤버쉽함수와 퍼지추론률을 통한 충돌위험도 계산 방법은 아래와 같은 형식을 취하였다. TCPA와 DCPA가 각각 a_0, b_0 일 경우, TCPA, DCPA 각각의 멤버쉽함수, $\mu_{A_i}(a_0), \mu_{B_j}(b_0)$ 에 의해 각 규칙 전건부의 적합도 (w_n)를 구한다. 이렇게 구한 적합도를 이용하여, 충돌위험도 멤버쉽함수 $\mu_{C_n}(u)$ 는 식(7)과 같이 수정된다. 그리고

최종적인 추론결과는 식(8)과 같이 나타낼 수 있으며, 여기서 CR을 구하기 위한 비퍼지화 방법은 무게중심법(Center of Gravity method)에 의해 계산하였으며, 식(9)로 나타내었다. 이런 일련의 과정을 간단히 도식화 한 것이 Fig. 3이다.

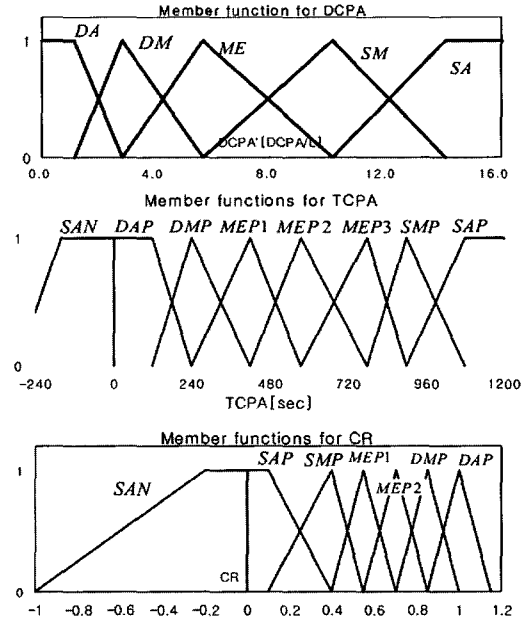


Fig. 2 Fuzzy membership functions

Table 2 Reasoning Rules for Collision Risk

		TCPA							
		SAN	DAP	DMP	MEP1	MEP2	MEP3	SMP	SAP
D C P A	DA	SAN	DAP	DAP	DMP	MEP2	MEP1	SMP	SAP
	DM	SAN	DMP	DMP	DMP	MEP2	MEP1	SMP	SAP
	ME	SAN	MEP2	MEP2	MEP2	MEP2	MEP1	SMP	SAP
	SM	SAN	MEP1	MEP1	MEP1	MEP1	MEP1	SMP	SAP
	SA	SAN	SMP	SMP	SMP	SMP	SMP	SMP	SAP

Table 3 Collision Avoidance action according to threshold value

Mode	임계값	피항개시거리		최소접근거리	
		miles	m/L	miles	m/L
1	0.85	3.5	19.9	0.5	2.8
2	0.7	4.8	27.4	1	5.7
3	0.55	6.5	37.0	1.8	10.3

$$\left. \begin{aligned} w_n &= \mu_{A_i}(a_0) \wedge \mu_{B_j}(b_0) \\ \mu'_{C_n}(u) &= w_n \wedge \mu_{C_n}(u) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$\mu_C(u) = \mu'_{c_1}(u) \vee \mu'_{c_2}(u) \vee \dots \vee \mu'_{c_n}(u) \quad (8)$$

$$u_0 = \frac{\int \mu_C(u) \cdot u du}{\int \mu_C(u) du} \quad (9)$$

여기서 \wedge :최소값, \vee :최대값, u_0 :최종 계산된 CR값을 의미한다. 단, A,B는 전진부, C는 후진부를 각각 의미하며, i, j, n 은 1부터 시작되는 숫자로 그 각각의 최대값은 전진부 멤버쉽함수와 추론규칙의 갯수이다.

이런 과정을 거쳐, 충돌위험도를 계산하고, 충돌위험도가 임계값을 초과하면 충돌회피 동작을 개시하게 되는데, 각각을 식으로 표현하면 (10) 및 (11)과 같다. 여기서 V_t 는 충돌회피동작이 일어나는 시점에 영향을 미치는 최종 임계값인데, 사용자가 정의한 f_2 값을 기본으로 하여, 두 선박간의 조우 형태(Hasegawa:1987,1997, Im:2003)를 나타내는 f_3 를 감안하여 결정된다. 본선이 유지선일 때와 피항선일 때에 따라 f_3 는 변화한다. 아직까지 f_3 계수를 결정하는 명확한 기준을 제시한 연구는 찾아볼 수 없다. 하지만 위험구역설정 이란 연구(Hwan,2002)의 경우 우현과 좌현의 구역 반경비율 : 0.9 정도로 그 값을 제시하고 있듯이, 대체로 본선이 유지선일 때가 피항선일 때보다 약 80-90% 정도 피항개시 동작이 빨라지는 것이 무난하지 않을까 생각된다. 또는 본선이 유지선이라도 피항선과 같은 시기에 충돌회피 동작을 개시하더라도 안전상 큰 문제를 야기하지는 않으므로, 무시해도 무방하지 않을까 생각된다. 만일 유지선이 피항선에 비하여 약 10%정도 늦게 충돌회피동작을 개시한다고 가정하면 식(11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$CR = f_1(tcpa, dcpa) \quad (10)$$

$$V_T = f_2\{1 + f_3(\theta + \phi)\} \quad (11)$$

$$f_3 = 0, \quad \text{if a ship is burden}$$

$$f_3 = 0.1, \quad \text{if a ship is privileged}$$

f_2 :사용자 정의 임계값, f_3 :조우 상황에 따른 계수, V_t :최종 피항개시 임계값, ϕ : 두 선박이 마주치는 각도, θ : 상대선박의 상대방위

3.3 피항거동 RULES

충돌위험도가 계산된 후에는 피항거동 Rule에 따라 피항 동작이 이루어진다. 상세한 일련의 과정은 참고문헌(Hasegawa:1987,1997, Im:2003)에 준하였다. 다만 위에서 언급한 것처럼 설정된 임계값에 의하여, 충돌회피 동작이 의도한 대로 수행되는지 여부를 파악하기 위하여, 피항동작이 개시되는 선박의 위치를 기준으로 위험 구역을 설정해 보는 시도를 하였다. 또한 충돌위험도 계산법의 경우 두 선박의 속도차가 비슷하다면 추월 및 피추월 관계에서는 충돌위험도가 낮게 평가되어, 선미 부근에서 두 선박이 너무 접근하는 문제가 있다. 이 문제를 해결하기 위하여 선미 부근에서는 위험구역 설정법을 부분 채용하는 새로운 모델을 제시하였다.

기존 연구에서 사용한 모델을 이용하여, 시뮬레이션을 행하고 충돌회피동작이 일어나는 구역을 표시해 보면 Fig. 4와 같다. 편의상 본선의 우현 부분만 나타내었다. 본선 주위의 원형은 타 선박이 본선을 향해 전진 할 때 충돌회피 동작을 개시하는 구역을 의미한다. 시뮬레이션 수행시 설정된 내부값은 Table 3의 모드 2, 임계값 0.7로 각각 선택되었고, 본선의 선속은 13kts, 타선의 선속은 15kts로 설정되었다. 즉 충돌회피 동작의 개시 거리가 대략 4.8마일이며, 선박 간 통과 거리는 약 1마일을 유지하는 피항동작이 예상된다. 바깥의 굵은선(Stern)은 타선의 상대 움직임이 본선의 선미 쪽으로 통과할 경우를 의미하며, 안쪽의 작은 가는선 구역은 타선의 상대움직임이 본선의 선수를 지나쳐 갈 경우를 각각 의미한다. 그림에서 보는 것처럼 선수 부근에서는 대체로 4.8마일 전후에 충돌회피 동작이 개시되어 설정값과 일치함을 보여주고 있으며, 선박의 횡 방향으로 갈수록 그 거리가 줄어들어, 선미부근에서는 급감함을 보여주고 있다. 이러한 현상은 충돌위험구역 설정법을 적용한 연구에서도 지적하고 있듯이, 선박의 선수방향보다 횡 방향으로 갈수록 위험구역이 좁아지는 것과 잘 일치하고 있음을 보여준다. 즉 충돌위험도 계산법이 비록 충돌위험구역이란 개념을 모델 자체에 포함하고 있지는 않지만, 시뮬레이션 결과에 의하면 위험구역 설정법과 유사한 형태의 위험구역을 형성하고 있음을 시사하는 것이다.

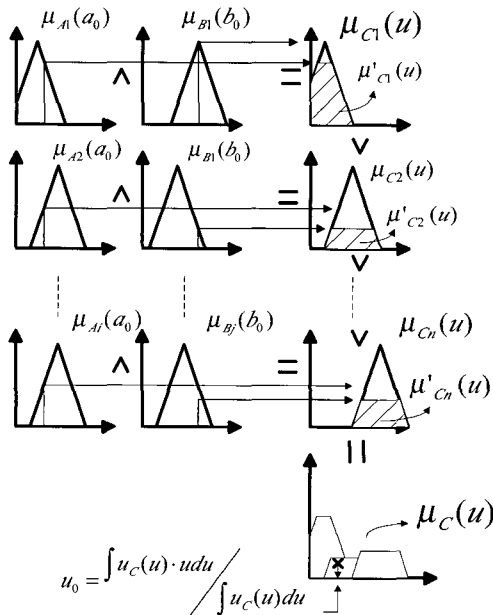


Fig. 3 Graphical interpretation of fuzzy inference

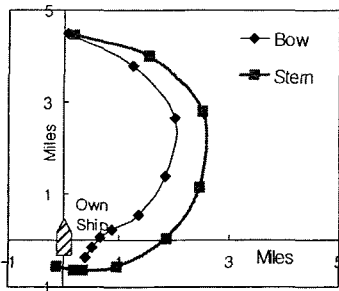


Fig. 4 Boundary of collision avoidance action

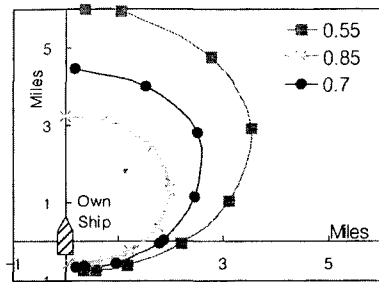


Fig. 5 Boundary of collision avoidance action according to threshold value

아울러 사용자가 3가지 임계값을 설정하였을 때 그 차이를 비교해 보았다. Table 3에서 설정된 임계값 0.7, 0.55, 0.85이 각각 선택 되었을 때 충돌회피동작을 시작하는 범위를 그림으로 표시하여 보았다. Table 3에 따르면 임계값에 따라 피항개시 거리는 각각 3.5, 4.8, 6.5마일이며, 두 선박의 통과 거리는 각각 0.5, 1, 1.8마일이 될 것을 알 수 있다. Fig. 5는 이런 예상과 동일하게 각각 3.5, 4.8, 6.5마일 범위 구역에서 충돌회피 동작이 시작되는 것을 잘 나타내고 있으므로, 사용자는 원하는 충돌회피 개시 시점과 타 선박과의 통과거리를 우선 결정하고 그 값을 실현할 수 있는 임계값을 설정할 수 있게 된다. 즉 사용자의 임계값 결정에 따라 적절한 피항동작이 결정되고 또 그 피항 동작 형태를 추정 가능하게 되므로, 지금까지 충돌위험도 계산법에서 문제시 되어온 임계값 설정의 문제를 해결할 수 있는 한 가지 수단으로 활용할 수 있을 것이다.

덧붙여, 두 선박이 비슷한 선속으로 추월 및 피추월 관계일 때, TCPA, DCPA를 이용하여 충돌위험도를 계산하는 경우, TCPA가 크게 계산되는 현상이 발생한다. 이 현상으로 인해 두 선박이 근접했음에도 불구하고, 충돌위험을 인지하는 것이 늦어지는 문제점이 발생한다. 이런 현상은 그림에서도 잘 나타나 있는데, Fig. 5를 보면 선미부근은 다른 방향에 비하여 위험구역이 상당히 좁게 설정되어 있음을 알 수 있다. 이런 문제점을 해결하기 위하여 한 연구(Hasegawa: 1987, 1997)의 경우, 본선의 선미 부근에서 상호 충돌지점을 잇변의 꼭지점으로 하는 삼각형 형상을 구성하여, 이러한 문제를 해결하고자 시도하였다. 그러나 두 선박의 선속 및 진행 방위에 따라 충돌지점이 급격히 변화하는 문제점이 발생하며, 사용자는 충돌회피 동작 내부 알고리즘에 대하여, 적절한 추정을 할 수 없게 된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여, 선미 부근에서는 위험구역 설정법을 부분 채용하는 모델을 제시하였다. 즉 기존의 위험구역 설정법을 본선의 선미부근에 채용하여 Fig. 6처럼 위험구역을 설정하였다. 따라서 그 구역 밖에서는 충돌위험도 계산법에 의해 피항동작을 개시하며, 설정된 위험구역을 침범하게 되면, 충돌위험도가 낮더라도, 충돌회피 동작을 개시하게 된다. 위험구역의 반경은 본선의 선미 방향으로 각각 0.5, 1.0, 1.5마일로 설정하였다.

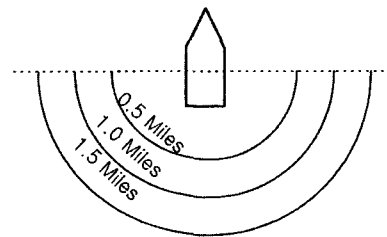


Fig. 6 The diagram for newly suggested model

4. 시뮬레이션 결과

사용자가 임계값을 임의로 결정함에 따라 충돌회피 동작이 어떻게 변화하는지 알아보기 위해 시뮬레이션을 실시하였다. Table 3의 모드 1과 2가 선택되었을 때의 결과를 Fig. 7-8에 각각 비교하였다. 피항개시 시점을 비교하면, 모드 1을 선택하였을 경우, 충돌회피동작을 개시할 때의 선박의 거리가 2.5마일 전후, 모드 2의 경우, 4마일 전후로 나타나고 있다. 또한 통과거리를 비교하며 보면, 모드 1은 약 0.5마일 정도까지 감소하다가 다시 증가하는 것에 반하여, 모드 2의 경우는 약 1.0마일 까지 두 선박이 접근하였다가 멀어지고 있음을 알 수 있다. 이 결과는 Table 3의 피항 개시 거리와 최소접근거리와 유사한 경향을 보여주고 있다. 다만, 충돌회피 동작의 개시 시점이, Table 3의 예측값 보다 다소 적게 나타나고 있는데, 이것은 시뮬레이션의 조우 형태가 정선수로 마주치는 것이 경우가 아니기 때문으로 판단된다. 한편 선박 궤적을 나타낸 것이 Fig. 8이다. 왼쪽이 모드 2, 오른쪽이 모드 1의 경우를 각각 나타내고 있다. 각각 선택 모드에 따라 차등된 피항 동작이 이루어지는 것을 알 수 있다. 이상의 결과를 요약하면, 사용자가 피항 동작을 감안하여 적절한 임계값을 설정해 주면, 그 설정값에 따라 정해진 피항동작이 수행되고 있음을 시뮬레이션이 잘 나타내고 있는 것이다.

또 다른 시뮬레이션 결과는 본선이 타선을 추월하는 경우를 나타내고 있다. 위험도계산법을 충돌회피 알고리즘에 적용할 경우, 두 선박이 추월상황이 되면 두 선박이 너무 근접하는 문제가 발생한다고 설명한 바 있다. 이 문제를 해

결하기 위하여 3.3에서 설명한 Fig. 6의 새로운 방식과 기존의 방식을 각각 시뮬레이션에 적용하여 그 결과를 비교하여 보았다. Fig. 9의 왼쪽은 기존 방식, 오른쪽은 새로운 방식으로 시뮬레이션을 실행한 경우의 선박 궤적을 보여주고 있다. 새로운 방식을 채택한 경우는 Fig. 6의 선미후방 1마일 모델을 채택하였다. 각각의 시계열 정보는 Fig. 10와 11에서 보여주고 있다. 기존 모델의 경우, 두 선박이 약 0.25마일까지 접근하여도 충돌회피 동작이 일어나지 않고 있음을 보여주고 있다. 충돌위험도인 CR의 변동을 살펴보더라도, 위험도가 0.7이상이 될 때까지 계속 접근하여, 두 선박이 너무 접근하는 문제가 발생하고 있다. 그러나 새로운 방식을 적용한 경우를 살펴보면, 추월하는 선박이 타 선박의 1마일 후방에 접근하자, CR이 임계값(0.7)을 넘지 않았지만, 충돌

회피 동작이 일어남을 보여주고 있다. 따라서 기존의 위험도계산법을 바탕으로 하여 선박 후방지역만 위험지역 설정법을 부분적으로 채용한 결과 기존방식이 갖고 있는 선박 후미 부근에서의 선박접근 문제를 해결할 수 있음을 알 수 있다.

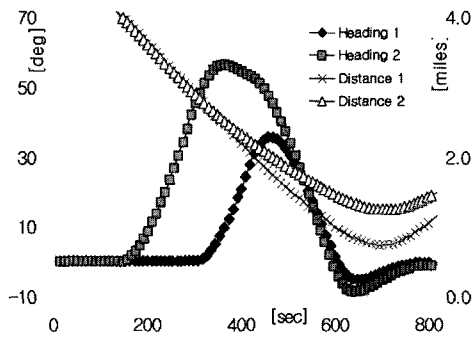


Fig. 7 Time history of two model

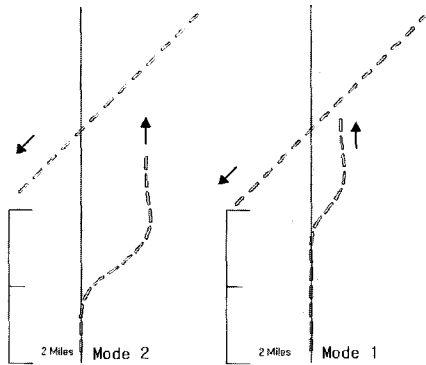


Fig. 8 Ship trajectory of two model

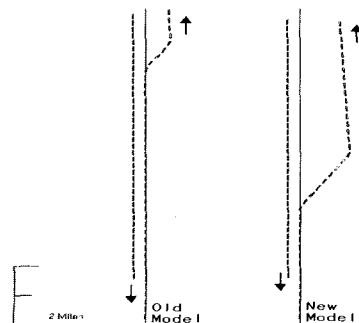


Fig. 9 Ship trajectory of overtaking situation

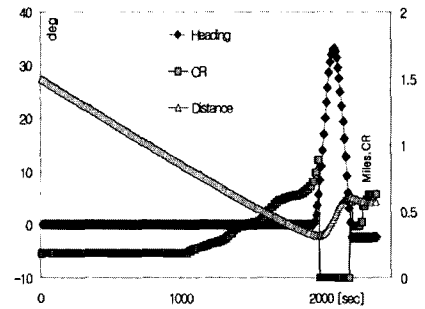


Fig. 10 Time history of old model

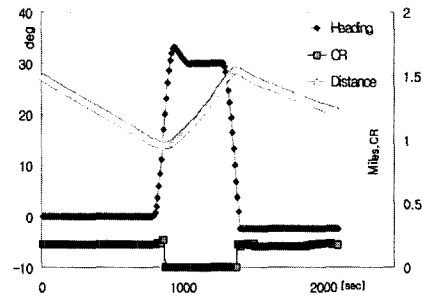


Fig. 11 Time history of new model

5. 결 론

- 지금까지 검토한 사항을 요약하면 다음과 같다.
- 충돌회피 알고리즘 연구를 내용에 따라 크게 두 가지 이론으로 구분하여 각각의 장단점을 분석해 보았다.
 - 기존의 충돌위험도계산법이 갖고 있는 문제점의 하나인 임계값 결정 문제의 해결을 시도하였다. 즉 설정된 임계값에 따라 피항동작을 추정할 수 있도록 충돌회피 알고리즘을 마련하여, 사용자는 항해 환경에 따라 사용자 임의의 피항 동작을 달성할 수 있었음을 확인하였다.
 - 충돌위험도 계산법을 적용한 결과를 위험설정구역 도식법과 비교 분석하는 작업을 행하였다. 시뮬레이션 도식 결과 선수 방향, 횡방향, 선미방향으로 각각의 영역이 차등있게 분표 되어, 위험구역설정법과 유사한 경향을 나타냄을 발견하고, 그 타당성을 발견할 수 있었다.
 - 선미방향의 근접문제해결을 위해 위험구역 설정법을 부분적으로 인용한 새로운 모델을 제시하고, 시뮬레이션을 이용하여 그 효용성을 검증하였다.
- 이 연구를 통하여 기존의 충돌회피 알고리즘에 대한 몇 가지 사항을 개선하는 성과를 올렸다. 하지만 이 연구의 실

용화를 위해서는 아직도 해결해야 할 과제는 많이 남아 있는 것이 현실이다. 예를 들면, 충돌회피 알고리즘에 엔진사용법을 추가한다든지, 무리를 지은 다수 선박에 대한 충돌회피 동작 연구 등은 앞으로 추가되어야 사항은 대표적인 예라 할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Fujii, Y. et al(1978):Studies on Marine Traffic Control - 2, Journal of the Japan Institute of Navigation, No.55, pp 127-132
- [2] Hwang, C. H. (2002):The Integrated Design of Fuzzy Collision_Avoidance and H_limite-Autopilots on Ships, The Journalof Navigation, vol.55 pp 117-136
- [3] Hara, K. (1991): "Proposal of Maneuvering Standard to Avoid Collision in Congested Sea Area",Japan Institute ofNavigation, No.75 pp33-40
- [4] Hasegawa, K. and Kouzuki, A. (1987): Automatic Collision Avoidance System for ships using fuzzy control, JapanKansai Society of Naval Architecture, No. 205 pp 1-10
- [5] Hasegawa, K. and Kouzuki, A. (1987): Automatic Collision Avoidance System for ships using fuzzy control, Japan Kansai Society of Naval Architecture, No. 205 pp 1-10
- [6] Hasegawa, K. et al(1997): Reconfiguration of Auto-navigation Fuzzy Expert System, The Kansai Society of NavalArchitecture,
- [7] IMAZU, H. et al.(1988):"The Determination of Collision Avoidance Action", Japan Institute of Navigation, No.70, pp31-37
- [8] ISSHIKI, H.(1994): Algorithm for Collision Avoidance of a Ship, Journal of Kansai Naval Architecture of Japan, No. 222, pp 117-123
- [9] Im, N.. (2003): Automatic Control for Ship Collision Avoidance Support, Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol.27, No.4, pp 375-381
- [10] Jeong, T. G. (2003): A New Approach to the Evaluation of Collision Risk using Sech Funtion, Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol.27, No.2, pp 103-109
- [11] Lee, S. K. and Kwon, B. J. (2002): A Study on the Automatic Control for CollisionAvoidance of the ships, Journal of Korean Navigation and Port Research, No. 26 Vol.1, pp 8-14
- [12] Nomoto, K. (1956,1957): Study on ship's manoeuvrability, Jouranal of Japan Society of Naval Archieture, No.99 No.101

부록 1. 언어변수

- DA:Dangerious
 DM:Mediumly Dangerous
 ME:Medium
 SM:Mediumly Safe
 SA:Safe
- SAN:Negative Safe
 DAP:Positive Dangerous
 DMP:Positive Mediumly Dangerous
 MEPI:Positive Medium 1
 MEP2:Positive Medium 2
 MEP3:Positive Medium 3
 SMP:Positive Mediumly Safe
 SAP:Positive Safe
- SAN:Negative Safe
 SAP:Positive Safe
 SMP:Positive Mediumly Safe
 MEPI:Positive Medium 1
 MEP2:Positive Medium 2
 DMP:Positive Mediumly Dangerous
 DAP:Positive Dangerous

원고접수일 : 2003년 9월 30일
 원고채택일 : 2003년 12월 11일