JFMSE, 31(4), pp. 1031~1038, 2019.
수산해양교육연구, 제31권 제4호, 통권100호, 2019.
www.ksfme.or.kr
https://doi.org/10.13000/JFMSE.2019.8.31.4.1031

중소형선박의 충돌회피지원모델에 관한 연구

김원욱 · 강성진 · 김영롱* · 김창제†
한국해양수산연수원(교수) · *한국해양대학교(학생) · †한국해양대학교(교수)

A Study on a Small and Medium-sized Ship's Collision Avoidance Support Model

Won-Ouk KIM · Song-Jin KANG · Young-Rong KIM* · Chang-Je KIM†
Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology(professor) ·
*Korea Maritime and Ocean University(student) · †Korea Maritime and Ocean University(professor)

Abstract

This study aims to establish a collision avoidance support model applicable to small and medium-sized ships. Among the core technologies of autonomous vessels, it is most important to provide a route to avoid collision between ships. However, there has not been much research in this regard, and various alarm systems which give a warning against an approach of any ships in advance have been developed as the first stage of autonomous vessel.

This research derived collision avoidance levels to choose a optimal route for collision avoidance, applying a collision judgement model to dynamic ship's domains reflected the characteristics of length, speed, and maneuverability of a ship. of a ship. As a result, the collision avoidance level(CAL) proposed in this study expressed navigation situations of a ship properly. The collision avoidance level will play a great role in developing an autonomous ship and selecting the route to avoid a collision.

Key words : Collision avoidance support model, Collision avoidance level(CAL), Ship's domain, Small and medium-sized ship, Autonomous vessel

Ⅰ. 서 론

해양사고는 선박이나 해양구조물의 기능을 부분적으로 잃게 되는 작은 사고로부터 인명에 관련된 대형사고 또는 기름 유출과 같은 환경오염 사고까지 다양하며, 이런 사고는 불가항력적인 원인에 의한 사고도 있으나 대부분은 인적요인 때문에 발생한다. 즉, 선박충돌 등의 해양사고에 있어서 지각실패, 판단실패, 조작실패를 포함한 운항과실 등의 인적요인(휴먼에러)에 기인하는 사고가 79% 이상을 차지하며(KMST, 2018), 그 나머지의 대부분은 기계계(하드웨어)의 문제에 의해 발생하고 있는 것으로 파악된다. 이는 주변 상황의 부적절한 평가로 인한 잘못된 판단이 해양 사고로 연결됨을 의미한다.

앞으로 더욱 고도화된 자동화선(자율선)의 출현이나 e-Navigation의 실현에 의해 선박의 운항 담당자의 수는 더욱 감소하고 이 때문에 항해환경조건에 따라서는 선박조종자의 정신적부담의 증가나 판단착오 등이 대형 사고로 이어질 가능성이 커질 것으로 예상된다. 특히, 해양사고의 80%이상이 어선을 포함한 중소형선박에서 발생

† Corresponding author : 051-410-4226, kimc@kmou.ac.kr

하고 있으며 전체 해양사고 중 충돌사고의 비율이 가장 높다. 연안어선의 대부분은 선장이 혼자서 당직을 수행하며 선장의 피로와 졸음운전은 충돌사고의 발생 가능성을 높인다(Jung, 2014). 따라서 항해안전의 확보차원에서 선박조종자에게 경계 시의 정신적 부담을 경감시키고 판단착오를 방지시킬 수 있는 항해지원시설이 필요하다.

선박항행의 안전성을 확보하기 위해서는 여러 기능을 가진 시스템개발이 필요하지만 그 중에서 선박조종자의 정신적 부담과 판단착오를 경감시키는데 유용할 뿐만 아니라 항해 자동화의 기본이 될 수 있는 충돌회피지원시스템이 우선적으로 필요한 것으로 파악된다. 현재 대다수의 선박에는 충돌위험선박의 접근을 알람경보 등에 의해 알리는 경보시스템이 많이 활용되고 있지만 충돌위험선박을 적절하게 회피하기 위한 방법론에 관한 연구는 아직도 초보단계라 할 수 있다.

따라서 이 연구는 항법관계의 기본이 되는 두 선박을 대상으로 충돌위험시의 항해안전을 분석하고 그 분석 결과를 기본적인 평가수단으로 활용하여 선박조종자에게 피항판단을 지원하는 충돌회피지원모델을 검토한 것이다.

Ⅱ. 연구 방법

1. 충돌위험 평가

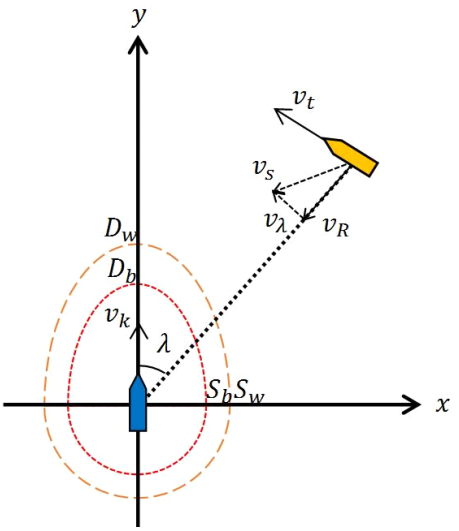
충돌의 위험성이 상대선의 접근속도와 상대위치 등에 의해 검토되어, 그 유효성이 평가된 다음의 충돌위험평가식(Collision Judgement;CJ)을 기본식으로 채택한다.(Kobayashi and Endoh, 1976; Arimura et al., 1988; Kim et al., 2017; Kim and Kim, 2018)

$$CJ=\frac{v_R}{R}-a|v_\lambda|+b\lambda \quad \cdots\cdots (1)$$

이 식에서 CJ값은 충돌의 위험을 나타내는 값으로 CJ값이 클수록 충돌의 위험이 커지는 것으로 평가된다. 식 (1) 및 [Fig. 1]에서 v_k는 노트로 나타낸 자선의 속도, v_R은 상대선의 접근속도로 상대선의 상대벡터(v_s)의 자선방향벡터, v_t는 상대선의 속도이다. R은 자선으로부터 상대선까지의 거리, v_λ은 v_R에 대한 직교성분으로 상대벡터가 자선으로부터 멀어지는 속도이다. λ는 자선의 선수방위로부터 상대선 위치의 각도 및 a, b는 실험결과로부터 정해지는 계수이다. 또한 [Fig. 1]에서 $(x,\ y)$는 직교좌표계이며 좌표의 원점에 자선의 중심이 존재하고 y축은 자선의 항로방향, 즉, 자선의 진행방향을 y축의 (+)방향으로 하며 y축에 직교한 자선의 우현방향을 x축의 (+)방향으로 한다. D_w, D_b, S_w 및 S_b는 동적선박영역(Kijima and Furukawa, 2001; 2003)의 피항거리를 나타내며 각각 전방경계영역거리, 전방한계영역거리, 측면경계영역거리 및 측면한계영역거리(Arimura et. al., 1988; Kijima and Furukawa, 2003), $A_w(=S_w)$와 $A_b(=S_b)$는 각각 후방경계영역거리와 후방한계영역거리이다. 즉, D_w, S_w 및 A_w로 형성되는 타원영역을 경계영역, D_b, S_b 및 A_b로 형성되는 타원영역을 한계영역이라 하고 상대선이 경계영역을 지나 한계영역에 침입하면 충돌로 간주된다.

식 (1)의 v_R은 상대선의 상대벡터(v_S)가 자선의 선수미 방향으로 접근하는 속도이며 상대선이 자선의 선수미로부터 멀어지는 경우에는 상대선과의 충돌위험이 감소하는 것으로 간주한다. 즉, v_R은 기존의 연구(Kobayashi and Endoh, 1976; Arimura et al., 1988; Kim et al., 2017; Kim and Kim, 2018)에 동적선박영역의 특성을 도입시킨 것으로 상대선의 접근과 멀어짐을 명확히 표현하였다.

식 (1)에서 λ의 경우 상대선이 자선의 선수방위를 기준으로 좌·우현 각각 180도 범위로 상대벡터(v_S)와 같은 부호를 취한다. 즉, 상대선이 자선으로부터 멀어지는 경우에는 상대선과의 충돌위험이 감소하는 것으로 간주한다.



[Fig. 1] Dynamic ship domains and vector indications

동적선박영역(Kijima and Furukawa, 2001; 2003)에서 선박의 주위에 형성되는 경계영역 및 한계영역을 다음 식으로 나타낸다.

$$\frac{x^2}{A^2}+\frac{y^2}{B^2}=1 \quad (y \geq 0) \quad \cdots\cdots (2a)$$

$$x^2+y^2=B^2 \quad (y<0) \quad \cdots\cdots (2b)$$

여기에서, A, B는 각각 타원형의 장축반경 및 단축반경으로 각각 D_w, S_w인 경우에 경계영역거리, 또는 각각 D_b, S_b인 경우에는 한계영역거리를 구성한다. 즉, 선수부($y \geq 0$)는 타원형, 선미부($y<0$)는 원형의 영역을 이룬다. 선미에서의 접근은 선수부보다 상대적으로 경계의 중요도가 떨어지므로 후방과 측면을 동일한 크기로 가정하였다. 본 연구에서의 충돌회피모델은 자선이 피항선인 경우 상대선박이 한계영역에 접근하기 전에 회피동작을 취하여 충돌위험을 해소시키며, 상대선박이 한계영역을 침범하면 충돌이 발생한 것으로 간주한다.

선박의 크기, 속력, 조종능력 등이 고려된 무차원 경계영역거리 D_w/L(L은 자선의 길이) 및 무차원 한계영역거리 D_b/L를 각각 식 (3a)와 식 (3b)로 나타낸다.

$$D_w/L=2D_b/L-1 \quad \cdots\cdots (3a)$$

$$D_b/L=1+1.34\times\sqrt{k_{AD}^2+(k_{DT}/2)^2} \quad \cdots\cdots (3b)$$

여기에서, $k_{AD}=10^{(0.3591\log v_k+0.0952)}$, $k_{DT}=10^{(0.5441\log v_k-0.0795)}$ 및 v_k는 [Fig. 1]에서 언급한 자선의 속력이다. 또한, 선박의 측면 및 후방에 형성되는 경계영역 및 한계영역의 무차원 단축반경 S_w(또는 A_w)$/L$ 및 S_b(또는 A_b)$/L$를 각각 식 (4a)과 식 (4b)에 나타낸다.

$$S_w/L=0.2+2k_{DT} \quad \cdots\cdots (4a)$$

$$S_b/L=0.2+k_{DT} \quad \cdots\cdots (4b)$$

2. 피항선에 대한 항법 적용

마주치는 경우, 추월하는 경우 및 횡단하는 경우의 선박 속력을 <Table 1>에 나타낸다.

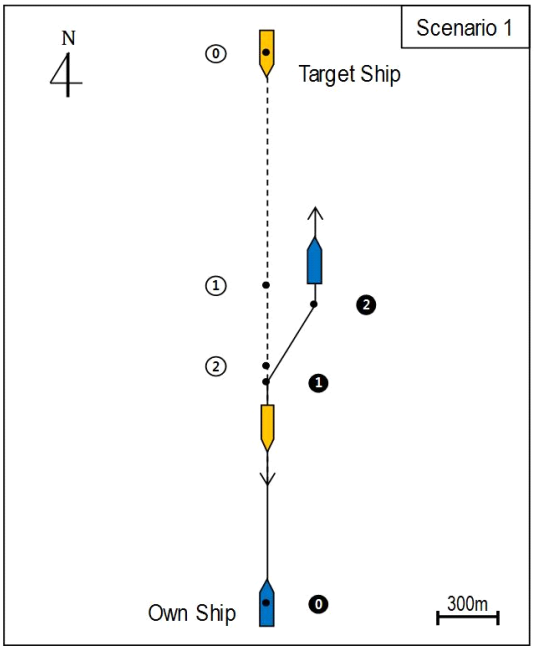
<Table 1>의 모든 경우가 두 선박이 추가적인 회피 동작 없이 항로를 유지하면 충돌하는 사례이다. 자선은 피항선, 상대선은 유지선으로서 자선이 우현변침 20도, 30도 또는 60도로 진행한 후에 원래의 항로로 복귀하는 경우이고 상대선은 최초의 속력 및 항로를 유지한 채로 계속 진행하는 경우이다.

<Table 1> The speeds of own ship and target ship according to each navigation situation

	Head-on	Overtaking	Crossing
Own Ship (L=50m)	5.0	10.0	5.0
Target Ship	5.0	5.0	8.7

3. 마주치는 경우

자선은 000도 상대선박은 180도로 두 선박이 마주보면서 진행하다가 경계영역을 넘어 500미터 ($10L$)거리에 도달한 후($CAL \simeq 250$), 자선이 30도 (Fig. 2 참조) 또는 20도(Fig. 4 참조) 우현변침하여 400미터 ($8L$)진행 후, 다시 000도로 진행하는 경우이다. [Fig. 3]에서 세로축의 CAL에는 충돌위험값(식 (1)의 CJ)에 동적선박영역의 특성을 도입시키고, 상대선의 접근과 멀어짐이 명확히 반영된 것으로 이 값은 충돌위험과 충돌회피를 결정하기 위한 판단기준이 되며 충돌회피지수 또는 피항지수(Collision Avoidance Level : $CAL = CJ \times 10^4$)를 나타낸다.

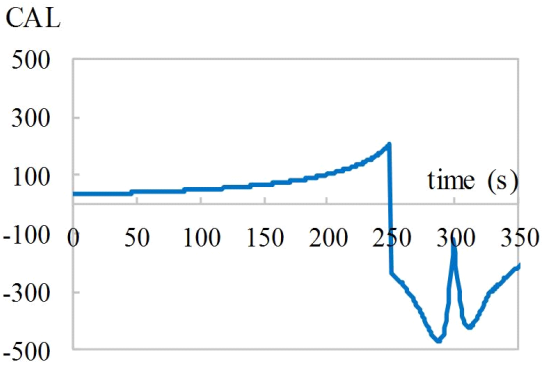


[Fig. 2] Scenario of head-on situation

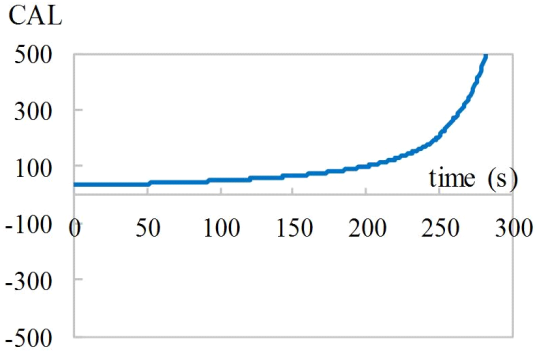
[Fig. 3]에서 자선이 우현변침(약 250초)하자마자 충돌회피지수가 급격히 작아지면서 위험상황이 종료된다. 그 후, 두 선박이 최접근점(약 300초)에 도달할 때 충돌회피지수가 (-)값의 범위에서 상승한 후 하강하지만 (-)값은 상대선이 자선에서 멀어지는 방향으로 진행함으로써 충돌위험 상황이 해소된 것을 의미한다. 이 결과는 두 선박이 마주치는 경우의 일반상황과 아주 잘 일치한다.

<Table 2> The speed and course of own ship and target ship at each point(head-on)

Scenario 1	Own Ship	Target Ship
0 (t=0)	5.0m/s, 000°	5.0m/s, 180°
1 (t=250)	5.0m/s, 030°	5.0m/s, 180°
2 (t=330)	5.0m/s, 000°	5.0m/s, 180°



[Fig. 3] CJ values of own ship in head-on situation (30 degrees starboard alteration)



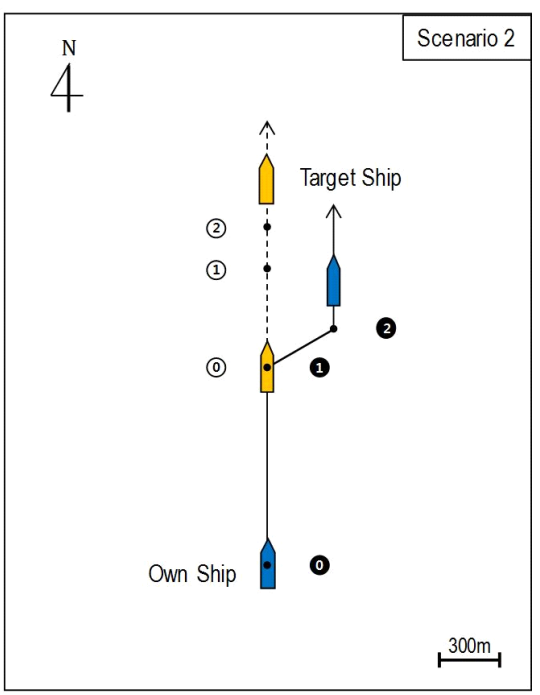
[Fig. 4] CJ values of own ship in head-on situation (20 degrees starboard alteration)

한편, [Fig. 4]에서 자선이 우현으로 20도 변침을 하였지만, 충돌회피지수는 계속 증가하여 결국 충돌한 것으로 간주된다.($CAL > 450$) 이 결과

는 해당하는 회피각도가 충돌위험을 줄이기에는 충분하지 못한 것으로 판단되며, 실제 두 선박이 근접하여 마주치는 경우의 일반적인 상황과도 잘 일치한다. 충돌 또는 근접상황을 피하기 위해서는 조기에 변침하던지 또는 대각도로 변침해야 할 것이다.

4. 추월하는 경우

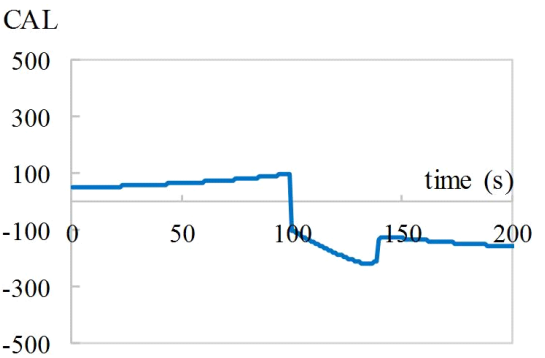
자선이 상대선박을 추월하는 경우이며, 500미터거리에서 자선은 60도 우현변침하여 400미터 진행 후, 다시 000도로 진행한다. [Fig. 6]에서 자선이 우현변침(약 100초)하자마자 충돌회피지수가 급격히 작아지면서 위험상황이 종료된다. 그 후, 두 선박이 최접근점(약 130초)에 도달할 때 충돌회피지수가 (-)값의 범위에서 상승한 후 하강하면서 위험상황이 종료된다. 이 결과는 추월하는 경우의 일반상황과 아주 잘 일치한다.



[Fig. 5] Scenario of overtaking situation

<Table 3> The speed and course of own ship and target ship at each point(overtaking)

Scenario 2	Own Ship	Target Ship
0 (t=0)	10.0m/s, 000°	5.0m/s, 000°
1 (t=100)	10.0m/s, 060°	5.0m/s, 000°
2 (t=140)	10.0m/s, 000°	5.0m/s, 000°

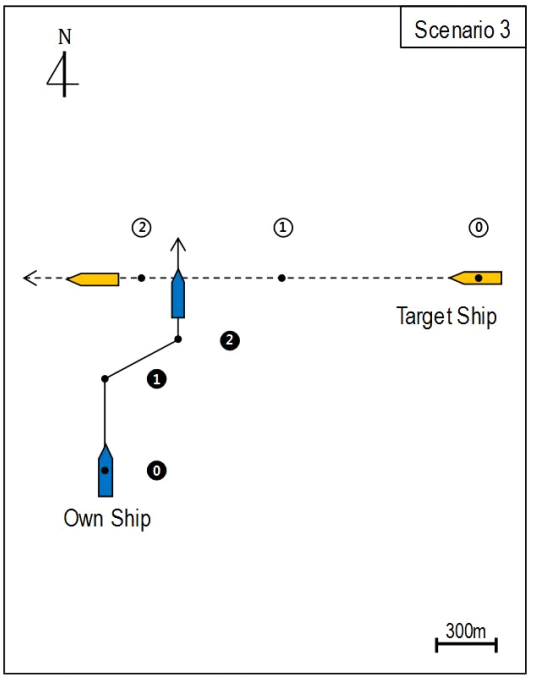


[Fig. 6] CJ values of own ship in overtaking situation

5. 횡단하는 경우

자선은 000도 상대선박은 270도로 두 선박이 횡단상태로 진행하다가 1000미터(20L)거리에서 자선이 60도 우현변침하여 400미터 진행 후, 다시 000도로 진행하는 경우이다.

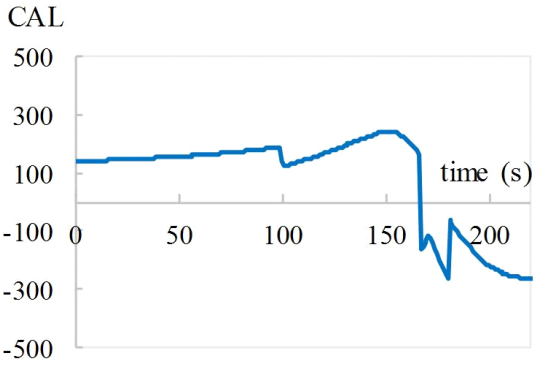
[Fig. 8]에서 자선이 우현변침(약 100초)하였어도 상대선은 자선의 한계영역을 향하므로 충돌회피지수는 최접근거리(v_R=0)에 도달하기 전(약 150초)까지 증가하고 최접근거리를 통과한 후에는 급격히 작아지고 충돌위험은 해소된다. 이 결과는 두 선박이 횡단하는 경우의 일반상황과 아주 잘 일치한다. 충돌회피지수(CAL)를 항법에 적용시켜 검토해 본 결과, $CAL \leq 150$은 주의, $150 < CAL \leq 300$은 경계, $300 < CAL \leq 450$은 매우 위험, $450 < CAL$은 충돌 등으로 분류할 수 있으며, 충돌의 위험이 존재하는 경우 충돌회피지수가 300이하일 때 피항조치를 취하는 것이 바람직하다.



[Fig. 7] Scenario of crossing situation

<Table 4> The speed and course of own ship and target ship at each point(crossing)

Scenario 3	Own Ship	Target Ship
0 (t=0)	5.0m/s, 000°	8.7m/s, 270°
1 (t=100)	5.0m/s, 060°	8.7m/s, 270°
2 (t=180)	5.0m/s, 000°	8.7m/s, 270°



[Fig. 8] CJ values of own ship in crossing situation

Ⅲ. 연구 결과

자선이 항해 중에 상대선을 만나면 피항선 여부를 판단하고, 자선이 피항선일 경우 피항항로를 선정하여 피항하고, 자선이 유지선일 경우, 상대선의 동정을 주시하면서 항로 및 속력을 유지하고 충돌의 위험이 있을 경우 피항을 위해 최선의 협력동작을 취한다. 이 때, 자선이 피항선일 경우 정확하고 신속하게 피항동작을 취해야 하지만, 주변상황에 따라서는 피항동작을 취하는 것이 간단하지 않은 경우가 많다. 따라서 충돌위험이 존재하는 경우, 피항방향과 피항방법을 결정하도록 지원할 수 있는 즉, 충돌회피에 도움이 되는 장치가 필요하다.

제Ⅲ장에서 충돌위험값에 동적선박 영역을 반영시켜 충돌위험을 평가한 결과, 충돌위험은 충돌회피지수에 의해 잘 표현될 수 있음을 확인할 수 있었다. 그러나 충돌회피지수 만으로는 피항선의 새로운 항로를 설정하기 위한 정보로서 충분하지 않다. 일반적으로 피항선은 충돌을 피하기 위하여 일시적으로 항로를 변경한 후에, 유지선으로부터 충분한 거리를 유지하도록 새로운 항로를 설정한다. 그러나 과도한 변침은 또 다른 충돌위험을 일으킬 수 있으며 경제적인 관점에서도 바람직하지 못하다. [Fig. 4]에서 검토한 바와 같이, 충돌위험, 접근상태 및 과도한 항로의 변경을 피하고 안전항해를 확보하기 위해 다음과 같은 알고리즘에 의해 충돌위험값을 확장 전개한 충돌회피지수를 활용하여 충돌회피지원모델을 구축하고자 한다.

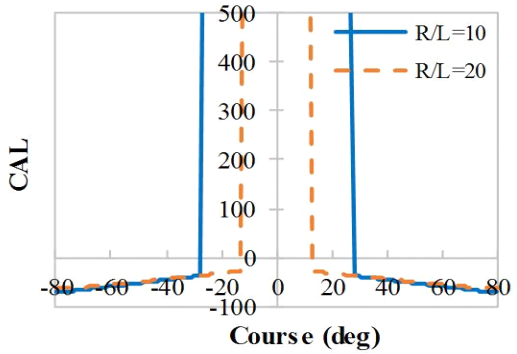
1) 현재 위치에서 상대선은 최초의 속력과 항로를 유지한 채로 계속 진행하는 경우를 가정하고, 자선은 좌현 80도(-80도)에서 우현 80도(+80도)까지 1도 간격으로 변침하는 경우를 가정한다. 이 때, 각 변침 각도에서 자선이 계속 진행하는 경우 발생할 수 있는 최대의 충돌회피지수를 채택한다.

2) 상대선이 자선의 한계영역을 통과할 것으로 예측되는 경우, 충돌위험이 존재하는 근접상태이므로 v_R 및 λ는 (+)값을 취한다.

3) 자선이 피항선일 경우, 피항할 필요가 있다면 우현 쪽의 충돌회피지수가 300이하인 방향으로 또는 충돌회피지수가 상대적으로 작은 쪽으로 변침하고, 자선이 유지선일 경우, 상대선을 관찰하다가 피항선의 회피 동작만으로 충돌의 위험을 피하기 어렵다고 판단되는 경우($CAL = 300$), 상기의 과정을 적용시켜 충돌회피를 위한 항로를 채택한다.

1. 마주치는 경우

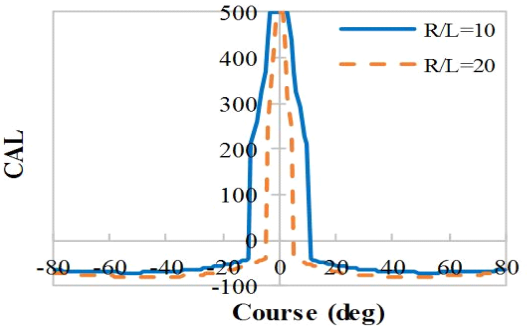
자선은 000도 상대선박은 180도로 두 선박이 마주보면서 진행하다가 1000미터($20L$) 및 500미터($10L$) 떨어진 경우의 충돌회피지원모델을 [Fig. 9]에 나타낸다. 상대선이 멀리 떨어져 있는 경우($20L$) 피항을 위해서 우현으로 15도 정도의 변침이 필요한 것으로 충돌회피지원모델에서 제공하고 있으나, 가까운 경우($10L$)에는 25도 이상의 변침을 하도록 권고한다. 즉, 멀리 떨어져 있는 경우에는 비교적 소각도 변침에 의해 피항이 가능함을 의미한다.



[Fig. 9] Maximum value for CAL value from -80 to 80 degrees (head-on)

2. 추월하는 경우

자선이 상대선박을 추월하는 경우이며, 자선과 상대선이 1000미터($20L$) 및 500미터($10L$) 떨어진 경우의 충돌회피지원모델을 [Fig. 10]에 나타낸다. 거리가 가까울수록 변침각을 크게 해야 함을 나타낸다.



[Fig. 10] Maximum value for CAL value from -80 to 80 degrees (overtaking)

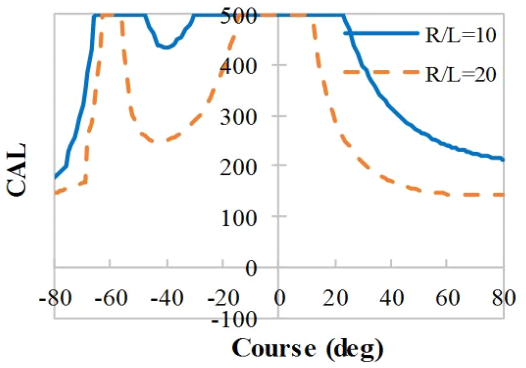
3. 횡단하는 경우

자선은 000도 상대선박은 270도로 두 선박이 횡단상태로 진행하다가 자선과 상대선이 1000미터($20L$) 및 500미터($10L$) 떨어진 경우의 충돌회피지원모델을 [Fig. 11]에 나타낸다. 두 선박이 1000미터($20L$) 떨어져 있는 경우, 피항하기 위해 우현으로 20도 이상 변침해야 함을 나타낸다. 그러나 두 선박이 500미터($10L$) 떨어진 경우에는 40도 이상 대각도 변침이 필요함을 나타낸다.

또한, 좌현 40도(-40도) 부근에서 일시적으로 충돌위험이 감소하다가 -50~-60도 부근에서 다시 상승하는 것을 알 수 있다. 이 상승의 이유는 자선이 해당 각도로 진행하는 경우, 두 선박이 충돌각도로 다시 접근하기 때문이다. 현재 상황에서는 피항선인 자선이 충돌방지규칙에 따라 우현으로 40도 이상을 변침하거나 또는 좌현변침을 고려하는 경우, 상대 선박과의 협의를 통해 좌현으로 -70도 이상으로 대각도로 변침하는 경우 충돌위험을 피할 수 있다. 상대선과 협의가 이루어진 경우라도 D/L=20에 -30~-40도로 진행하면, 상당기간 접근상태가 유지될 것이다.

따라서 횡단하는 경우에는 가능하면 두 선박이

멀리 떨어진 위치에서 피항선이 조기에 우현 쪽으로 피항하여야 함을 나타내며, 현실적으로 매우 합리적인 결과라 할 수 있다.



[Fig. 11] Maximum value for CAL value from -80 to 80 degrees (crossing)

Ⅳ. 결 론

자선주위에 존재하는 다른 선박과의 충돌위험의 적절한 평가는 해양사고를 회피하는 데에 매우 중요하다. 충돌위험은 상대위치, 속력 및 선수방위와 같은 많은 파라메터에 의존하여 변한다.

따라서 이 연구에서는 이런 파라메터의 효과를 포함하여 동적선박 영역, 상대선의 접근과 멀어짐을 반영시킨 충돌회피지수를 제안하였고 이 충돌회피지수를 적용하여 충돌위험을 평가하였다. 즉, 충돌위험, 접근상태 및 과도한 항로의 변경을 피하고 안전항해를 확보할 수 있는 충돌회피지수에 의한 충돌회피지원모델을 구축한 것으로 이 모델을 적용하여 매우 합리적인 결과를 얻었으며, 이 모델은 앞으로 더욱 고도화된 자동화선(자율선)의 출현이나 e-Navigation의 실현에 선도역할이 가능할 것이다. 또한 선박조종자에게는 경계시의 정신적 부담과 판단착오를 경감시킬 수 있을 것이다.

특히, 해양사고의 대부분을 발생시키는 어선과 중소형선박의 충돌위험시의 항해안전을 평가하여 피항판단을 지원할 수 있는 항해지원장비의 역할이 가능할 것으로 판단된다.

향후 연구에서는 다수의 선박에 대한 충돌위험 관계를 파악하고, 선박뿐만이 아니라 안벽, 협수로, 방파제 등의 고정 장애물을 동시에 고려하여 충돌회피모델을 고도화 할 필요가 있다.

References

Arimura N, Yamada K, Watanabe K, Shiota N and Ohtani K(1988). A Study on Man-machine System in Vessel Traffic Flow, Ship's Research, 25(3), \Research Report, 55~71(in Japanese).

Jung CH(2014). A Study on the Requirement to the Fishing Vessel for Reducing the Collision Accidents, The Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, 20(1), 18~25.

Kijima K and Furukawa Y(2003). Automatic collision avoidance system using the concept of blocking area, Proc. of IFAC Conf. on Manoeuvring and Control of Marine Craft, Girona, Spain, 262~267.

Kim WO and Kim CJ(2018). Establishment of Navigational Risk Assessment Model Combining Dynamic Ship Domain and Collision Judgement Model, The Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, 24(1), 36~42.

Kim WO, Kim CJ, Youn DG and Kim DH(2017). Development of Maritime Traffic Risk Assessment System based on ECDIS, JFMSE, 29(6), 1670~1675.

Kobayashi H and Endoh M(1976). Analysis of Collision Avoiding Action of Ship, Journal of Japanese Navigation Research, 55, 101~109(in Japanese).

Korean Maritime Safety Tribunal(2018). Statistical annual reports from 2013 to 2017, Status of marine accidents' causes as per types and years, https://www.kmst.go.kr/kmst/statistics/annualReport/selectAnnualReportList.do.

• Received : 20 May, 2019
• Revised : 03 June, 2019
• Accepted : 25 July, 2019