

Sech 함수를 이용한 새로운 충돌위험도 평가법

정 태 권*

* 한국해양대학교 운항시스템공학부

A New Approach to the Evaluation of Collision Risk using Sech Function

Tae-Gweon Jeong*

* Division of Ship Operation Systems Engineering, National Korea Maritime University, Pusan 606-791, R. of Korea

요 약 : 충돌위험도의 정량적인 평가는 항해·충돌방지 전문가 시스템 개발에 있어서 중요한 역할을 한다. 이 연구에서는 기존의 충돌위험도 평가 방법을 분석하여 문제점을 비교·검토하였으며, 그 대안으로 sech 함수를 이용한 충돌위험도 평가 방법을 새롭게 시도하였다. 이를 충돌위험도 평가에 적용하고 본선의 안전한 행동구간을 결정할 수 있는 방법을 제시하였다.

핵심용어 : 충돌위험도, sech 함수, 최근접거리, 접근시간, 본선의 안전한 행동구간

Abstract : Evaluating the risk of collision quantitatively plays a key role in developing the expert system of navigation and collision avoidance. This study analysed the existing methods of appraising the collision risk, examined the problems that are intrinsic to them, and developed a new approach to its evaluation by using the sech function as an alternative to them. This paper applied the new method in appraising the collision risk and suggested how to decide the safe range of ownship's action.

Key words : collision risk, sech function, distance to CPA, approach time, safe range of ownship's action

1. 서 론

해상에서 선박의 충돌을 방지하기 위하여서는 그 위험성 여부를 미리 파악하여 거기에 따른 조치를 하여야 한다. 피항 조치에 앞서 그 위험도를 정량적으로 표시하는 것은 항해·충돌방지 전문가 시스템을 구성하고자 할 때 특히 중요하다. 충돌위험성 여부를 파악하는 방법은 기본적으로 눈으로 직접, 혹은 레이더/알파(Radar/ARPA)로 상대 선박에 관한 정보를 얻어 그것의 움직임에 예측하여 이뤄진다. 이렇게 상대 선박의 움직임으로부터 그 위험도를 평가하는 방법에는 과거로부터 사용되어 온 최근접거리(Distance to CPA)와 최근접시간(Time to CPA)에 의한 평가(A G Bole et al. 1982), 예상위험구역(Predicted Area of Danger)에 의한 평가(R F Riggs et al. 1979, A G Bole et al. 1992), 충돌침로·충돌속력 범위에 의한 평가(今津, 1977, 1980, 1981, H Imazu 1978, 1979), 충돌위험구간(Sector of Danger)에 의한 평가(T. Degre et al. 1981, W Burger 1998), 추측위치오차로 구한 충돌확률에 의한 평가(今津, 1984) 등이 있다.

이 연구에서는 이들의 충돌위험도 평가 방법을 분석하여 문제점을 파악한 후 이에 대한 대안으로서, sech 함수를 이용

한 새로운 충돌위험도 평가법을 제시하려고 한다.

이 연구에서는 새로운 충돌위험도 평가법을 레이더 영상이 정상적으로 나타난다는 가정하에 몇 가지 경우에 적용하고, 요즘 채용되고 있는 선박자동식별장치(Automatic Identification System)를 감안하여 진운동 해석방법으로 목표물의 운동을 분석하기로 한다.

2. 기존의 충돌위험도 평가법의 비교 분석

기존의 충돌위험도¹⁾ 평가법의 비교 분석은 今津가 한 것이 최초인데 이 연구에서는 2.1의 최근접거리 및 최근접시간에 의한 충돌위험도, 2.2절의 예상위험구역에 의한 충돌위험도, 2.4절의 충돌위험구간에 의한 충돌위험도 평가 등의 문제점 분석 내용은 今津의 분석 자료를 부분 인용하고(今津, 1984), 2.3절의 충돌침로·충돌속력 범위에 의한 충돌위험도와 2.5절의 추측위치오차로 구한 충돌확률에 의한 충돌위험도 평가 등의 문제점에 대해서는 별도로 분석하기로 한다.

2.1 최근접거리 및 최근접시간에 의한 충돌위험도 평가

최근접거리(Distance to CPA)와 최근접시간(Time to CPA)

* 중신회원, tgjeong@mail.hhu.ac.kr 051)410-4246

1) 충돌위험도(collision risk)란 말은 今津集馬의 “避航と衝突予防装置(成山堂書店, 1984), p77”에서 “본선과 목표와의 사이에 충돌 가능성의 정도”로 쓰고 있다. 이 연구에서도 이 용어를 그대로 사용하기로 한다.

을 이용한 충돌위험도 평가는 지금도 레이더 항해에서 가장 일반적으로 사용하고 있는 방식이다. 이것은 목표물을 지금까지 관측하여 추정된 상대운동으로 목표물이 현재 위치에서 그 대로 진행한다는 가정하에 그 목표물의 최근접거리와 최근접시간을 사용하여 충돌의 위험을 평가하는 방법이다.

최근접거리가 작을수록 또 최근접시간이 +값을 가지고 작을수록 충돌의 위험이 큰 것으로 평가한다. 이 방식에 대한 하나의 예를 들면 최근접거리와 최근접시간의 값에 따라 목표의 위험도를 5단계로 나누어 적용한다.²⁾

이 충돌위험도 평가에는 다음과 같은 문제가 있다.

① 충돌위험도와 피항 곤란도와 관계가 명확하지 않기 때문에, 위험도가 얼마일 때 피항 조치를 할 것인가 판정하기 어렵다.

② 하나의 목표에 대하여 최근접거리와 최근접시간 두 개의 값을 사용하므로 목표가 여러 개일 때 종합적으로 충돌위험도를 구하기가 곤란하다. 이로 인하여 본선의 안전한 행동구간을 탐색하기 곤란하다.

2.2 예상위험구역에 의한 충돌위험도 평가

예상위험구역(Predicted Area of Danger, PAD)은 스페리(Sperry)사의 ARPA 제품에서 특허로 사용되고 있는데, 이는 충돌위험도 평가보다도 본선의 안전한 행동 범위를 표시하는 것을 주목적으로 하지만 충돌위험평가의 한 방법으로 볼 수도 있다. 이 예상위험구역이란 본선이 자유롭게 변침할 때 목표물과 충돌 가능성이 있는 구역을 말한다. 그러므로 예상위험구역이 존재하지 않은 방향 혹은 이 구역까지의 거리가 먼 방향으로 침로를 정하면 충돌 가능성은 낮아진다. 이 방법을 이용하면 안전한 침로를 쉽게 알 수 있다.

충돌위험도 평가는 PAD가 본선의 침로 위에 있으며 PAD까지의 거리가 가까울수록 또 본선에서 본 PAD의 수평방향 폭이 넓을수록 위험하다고 평가한다.

이 충돌위험도 평가에는 다음과 같은 문제가 있다.

① 도형으로 표시되므로 충돌위험도를 수치로 평가할 수 없다. 이 때문에 최근접거리·최근접시간에 의한 충돌위험도 평가와 마찬가지로 위험도가 얼마일 때 피항 조치를 할 것인가 판정하기 어렵다.

② PAD의 수평방향의 폭과 PAD까지의 거리는 피항의 곤란성과 관계가 있지만, 그 정도는 관측자가 PAD 분포와 거리로써 판정할 필요가 있다. 또 여러 목표물이 있어 PAD가 여러 개 있을 때에는 피항의 곤란도를 파악하기 위하여 PAD 특성을 이해할 필요가 있다.

2.3 충돌침로·충돌속력 범위에 의한 충돌위험도 평가

충돌침로·충돌속력 범위는 본선이 자유롭게 변침 혹은 변속을 할 때, 목표물과의 충돌 가능성이 있는 본선의 침로 혹은

속력의 범위를 말한다. 즉, 변침할 경우는 현재의 속력을 유지한다는 가정하에 충돌가능성이 있는 침로의 범위이고, 변속할 때에는 현재의 침로를 유지한다는 가정하에 충돌가능성이 있는 속력의 범위이다.

충돌침로의 범위 혹은 충돌속력의 범위는 본선의 현재 혹은 예정된 침로·속력을 포함하여 평가하며 그 충돌침로·속력의 범위가 넓을수록 충돌위험도가 큰 것으로 평가한다.

이 방법에는 다음과 같은 문제가 있다.

① 단순히 범위가 넓은 것일수록 충돌위험도를 높은 것으로 정함에 따라 실제적인 충돌 범위를 간과할 수 있다.

② 또 단순히 현재의 침로 혹은 속력만을 변경시켜 충돌침로·속력의 범위를 결정하기 때문에, 침로와 속력을 동시에 바꾸는 경우에는 실제로 위험구간에 빠져들 위험성이 있다.

③ 본선의 운동특성이 고려하지 않은 점이 있다. 특히 목표가 접근하는 경우 변침·변속량이 크기 때문에 본선의 운동특성을 고려할 필요가 있다.

2.4 충돌위험구간에 의한 충돌위험도 평가

충돌침로·충돌속력 범위와 같은 방법으로 충돌위험구간(Sector of Danger, SOD)을 정하여 충돌위험도를 평가하는 방법이다. 여기서 말하는 충돌위험구간은 변침과 변속이 동시에 이뤄지는 것까지를 포함한다. 즉, 이 SOD 내에 있는 경우는 모두 충돌가능성이 있는 것으로 한다.

충돌위험도의 평가는 충돌위험구간이 넓을수록 위험도가 높은 것으로 표현한다. 이 SOD는 PAD와 마찬가지로 도형으로 본선이 목표와 충돌하는 행동 범위를 표시하므로 본선의 안전한 행동구간의 결정에는 우수하지만, 충돌위험의 평가에는 다음과 같은 문제가 있다.

① 충돌위험구간은 목표물이 선수 쪽에 있거나, 선미 쪽에 있거나 그 거리가 같은 경우에는 동일한 크기가 된다. 그러나 선미 쪽 목표물을 변침으로 피항할 때가 선수 쪽의 목표물보다 비교적 쉽다. 이 때문에 충돌위험구역의 크기만으로 피항의 곤란성을 표현할 수는 없다.

② 충돌위험도를 수치로 나타내지 않으므로 피항 여부 판정이 어렵다.

2.5 추측위치오차로 구한 충돌확률에 의한 충돌위험도 평가

예상되는 상대운동을 사용하여 목표의 최근접점을 예측하고 그때의 목표의 추측위치오차를 추정하여 충돌확률을 구하여 충돌위험을 평가하는 방법이다.

먼저 목표의 최근접점을 통상적인 방법으로 예측하고, 현지점까지 수집한 정보를 사용하여 구한 상대운동과 그것을 추정한 오차를 사용하여 최근접시간 경과 후에 있어서의 목표의 추측위치 오차를 구한다. 이렇게 구한 위치오차의 분포는 최근접점을 중심으로 한 정규분포를 따른다. 이중 충돌의 가능

2) 당초 이 방법은 ARPA에서 목표물을 자동 인지할 때 그 인지의 우선 순위를 정하기 위한 목적으로 사용된 것으로, 그 위험도가 높은 목표물을 먼저 인지하도록 설계되어 있다.

성이 있는 부분은 본선의 위치를 중심으로 반경을 안전 통과 거리로 하는 원(충돌 위험구역)의 내부가 된다. 이 내부에서의 위치오차분포 곡선의 면적을 구하면 그것이 현시점에서 예상하는 충돌확률 ξ 가 된다. 당연하지만 최근접점이 본선에 가까울수록 1에 가까운 값이 된다.

충돌위험은 충돌 가능성과 피항의 곤란도로 표시할 수 있는데, 피항의 곤란도는 목표와 시간적 여유에 반비례한다고 볼 수 있다. 충돌위험도 U 는 충돌확률 ξ , 시간적 여유 t_a 일 때 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$U = \frac{\xi}{t_a}$$

단 t_a 는 목표와의 거리를 접근속력으로 나눈 값이다. 충돌 위험도 U 가 높을수록 충돌 위험이 높은 것으로 평가한다.

그러나 이 방법에는 다음과 같은 문제점이 있다.

① 목표의 최근접거리가 0마일인데도 불구하고 조선자가 설정한 충돌 위험구역의 크기에 따라 충돌위험도가 현저하게 변한다. 따라서 피항 조치에 필요한 문턱값(threshold)을 일률적으로 정하기 곤란하다.

② 이것을 방지하기 위하여서는 충돌 위험 구역을 전체로 하여야 하는데 그것은 현실감이 떨어진다. 즉, 충돌 위험 구역을 너무 크게 잡으면 최근접거리가 1~2마일에서도 충돌위험도가 너무 크게 나타난다. 이것은 충돌을 하지 않은데도 불구하고 충돌위험도가 크게 나타난다는 말이다.

③ 피항조치 후에도 충돌위험도가 크게 줄어들지 않고 오히려 시간적 여유 감소에 따른 충돌위험도가 너무 크게 증가하여 문턱값 이상으로 나타나 사실은 안전한데도 불구하고 충돌위험도 값에 따라 다시 피항 조치를 고려하여야 하는 문제가 발생한다.

④ 충돌위험도를 충돌확률과 시간적 여유만으로 표현하기 때문에 모든 선박에게 동일한 위험도를 제공하고 하고 있다. 실제의 피항 조치에서 고려하는 상대위치와 에스펙트는 전혀 표현되지 않고 있다.

⑤ 시간적 여유 t_a 가 0에 가까울 때, 극단적인 불연속이 일어난다. 즉, 극도로 위험도가 큰 값으로 있다가 갑자기 극도로 작은 값으로 변한다. 이 때문에 거리가 아주 가까운 경우 예를 들어 0.1마일 이내에서도 충돌위험도가 아주 작은 값으로 표현되는데 이는 우리의 직관과 맞지 않다.

3. sech 함수를 이용한 새로운 충돌위험도 평가법

여기서는 2장에서 언급한 기존의 충돌위험도를 대신할 sech 함수를 이용한 새로운 충돌위험도 평가법을 제시한다.

3.1 충돌위험도 평가 요소

1) 최근접거리

최근접거리는 재래로부터 최근접시간과 함께 충돌의 위험

도를 표현하는 중요한 요소이다. 최근접거리가 작을수록 충돌의 위험도가 크다고 본다. 즉, 최근접거리가 0이면 충돌하는 것이고 커지면 충돌위험도는 떨어지게 된다. 최근접거리를 수식으로 표현하면 식 (1)과 같다.

$$dcpa = R \sin \zeta \tag{1}$$

단, $dcpa$ 는 최근접거리(마일), R 은 목표까지의 거리(마일), ζ 는 목표의 상대운동방향(상대침로, C_r)에서 목표까지의 방위(θ)에 180° 를 더한 값을 뺀 것의 절대값이다. 즉, $\zeta = |C_r - (\theta + 180)|$ 로 표시되고 그 범위는 $0 \leq \zeta \leq 180$ 이다.

2) 최근접시간

최근접시간은 최근접거리와 같이 사용될 때만 그 의미가 있다. 즉, 단순히 최근접시간이 작다고 하여 충돌의 위험이 있는 것이 아니기 때문이다. 그렇기 때문에 목표가 본선 쪽으로 접근하는 시간적 여유를 파악하는데 곤란한 점이 있다.

3) 목표의 접근시간

최근접시간의 한계를 극복하기 위하여 이 연구에서도 2장의 충돌확률에 의한 충돌위험도 평가에서 이용한 시간적 여유 t_a 를 그대로 적용한다. 다만 이름을 목표의 접근시간으로 바꿔 사용하기로 한다. 이 목표의 접근시간은 식 (2)와 같이 목표까지의 거리를 목표의 상대속력의 본선 방향의 성분으로 나누어 표현한 것이다.

$$t_a = \frac{R}{v_r \cos \zeta} \tag{2}$$

단, t_a 는 목표의 접근시간(분), v_r 는 목표의 상대속력(마일/분)이다. 이 접근시간을 사용하면 목표의 접근에 따른 본선의 시간적 여유를 잘 알 수 있다.

4) 본선의 상대결정함수

본선의 상대결정함수는 본선이 유지선인지 피항선인지에 따라 값이 결정되는 함수로서 목표의 방위와 에스펙트를 변수로 가진다. 이 함수는 목표의 충돌위험도를 본선이 유지 혹은 피항할 것인지에 따라 다르게 적용하기 위해서 사용한다.

3.2 최근접거리 및 접근시간과 충돌위험도와의 관계

충돌위험도는 크게 보면 최근접거리에 반비례하고 또 접근 시간에도 반비례한다. 그러나 이 반비례를 함수로 표현하면 최근접거리가 0일 경우 접근시간이 아주 많이 남아 있는데도 불구하고 충돌위험도가 $+\infty$ 로 아주 크게 나타난다. 또 앞에서 언급한 충돌확률에 의한 충돌위험도에서 발생한 것과 같이, 접근시간 0에서 $+\infty$ 가 또 접근시간이 0에서 음수로 변하는 순간 충돌위험도 $-\infty$ 로 되는 극단적인 불연속이 발생한다. 사실 접근시간이 0에 가까운 음수 값을 갖는데도 불구하고, 충돌위험도가 $-\infty$ 로 극히 작아진다는 것은 직관적으로 받아들이기 어렵다.

3.3. sech 함수를 이용한 충돌위험도 표현

1) sech 함수의 특성

sech 함수는 식 (3)과 같이 cosh 함수의 역이다.

$$\text{sech}(t_a) = \frac{1}{\cosh(t_a)} \quad (3)$$

Fig. 1은 충돌위험도 CR을 목표의 접근시간 t_a 의 sech 함수로 표현한 예이며, 이 그림에서 보듯이 접근시간 t_a 가 0일 때 1로 최대가 되고 좌우대칭인 우함수임을 알 수 있다.

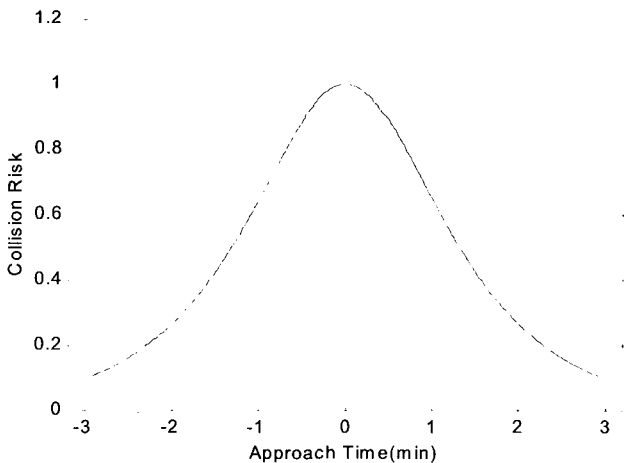


Fig. 1 Characteristics of Sech Function

2) 새로운 충돌위험도 평가식

sech 함수를 이용한 충돌위험도는 최근접거리와 접근시간을 변수로 식 (4)와 같이 표현할 수 있다.

$$CR = p \cdot \text{sech}(a \cdot dcpa) + q \cdot \text{sech}(b \cdot t_a) + r \cdot \Phi(\theta, a) \quad (4)$$

단, CR은 충돌위험도이고, $dcpa$ 는 최근접거리이며, t_a 는 목표의 접근시간이다. 또 p, q, r, a, b 는 충돌위험도의 변화를 적절하게 결정하기 위한 계수인데, 계수 p, q, r 는 sech 함수의 진폭을 결정하며, 계수 a, b 는 sech의 변화 정도를 결정한다. 그리고 $\Phi(\theta, a)$ 는 본선이 유지선 혹은 피항선인지 등의 상태를 결정하는 함수로서, 목표의 방위 θ 및 에스펙트³⁾ α 로 결정되며, 그 크기는 본선이 유지선일 때는 0, 피항선일 때는 1로 정의한다.

충돌위험도를 식 (4)와 같이 표현함으로써 다음과 같은 점을 해소할 수 있다.

① 최근접거리 $dcpa$ 나 접근시간 t_a 가 작을수록 충돌위험도가 증가한다. 그러나 그 증가율이 선형적으로 변하는 것은

우리의 직관과 맞지 않다. 예를 들어 최근접거리가 0마일이나 0.05마일이나 그 위험도는 거의 동일할 수밖에 없다. sech 함수는 0근처에서 거의 1이기 때문에 우리의 직관과 일치하고 있다.

② 접근시간 t_a 의 경우 목표가 다가올 때에는 +값을 가지나 통과하고 나면 즉 최근접점을 지나는 순간 -값을 갖는다. 이때 단순한 반비례함수를 이용하면 불연속이 일어나 극단으로 작아져서 곤란하고, Exp 함수를 이용하면 그 크기가 급속하게 증가하기 때문에 타당하지 않다. 반비례함수에서 나타난 극단으로 작아지는 문제는 최근접거리와 접근시간변수로 하는 sech 함수의 합을 취함으로써 해결할 수 있다.

③ 접근시간 t_a 와 최근접거리 $dcpa$ 가 0일 때 그 최대값을 1로 할 수 있다.

④ 최근접거리 및 접근시간을 sech 함수에 대입함으로써 무차원화하여, 목표의 충돌위험도를 이들의 합으로 표현할 수 있다.

⑤ 본선의 상태결정함수 $\Phi(\theta, a)$ 를 이용하여 실제 선박에서 이뤄지는 것처럼 유지선 혹은 피항선에 따라 그 위험도를 달리 표현할 수 있다.

그러나 sech 함수를 이용한 충돌위험도는 최근접거리가 0에 가까운 경우에 접근시간 t_a 가 음수이거나, 아주 큰 값인데도 불구하고 충돌위험도가 1에 가까운 값으로 표현되는 문제가 예견된다. 접근시간 t_a 이 음수인 경우에는 진폭 계수 p 를 작게 하여, 접근시간 t_a 가 큰 경우에는 본선의 상태결정함수 $\Phi(\theta, a)$ 를 활용하면 해결될 수 있다.

4. sech 함수를 이용한 새로운 충돌위험도 평가법의 적용

충돌위험도를 파악하기 위해서는 식(4)의 진폭결정 계수 p, q, r 과 기울기결정 계수 a, b 를 최적하게 결정하여야 한다. 그러나 이 연구에서는 sech 함수를 이용한 충돌위험도 평가의 유용성 여부를 확인하는데 있으므로 이들 계수는 임의로 다음과 같이 정하여 이 식을 몇 가지의 경우에 대하여 적용하기로 한다.

$$p = 1, \quad \text{if } t_a \geq -1(\text{min})$$

$$= 0.01, \quad \text{otherwise}$$

$$q = 1$$

$$r = 0$$

$$a = 1.3$$

$$b = 1/3, \quad \text{if } t_a \geq -1(\text{min})$$

$$= 2, \quad \text{otherwise}$$

3) 에스펙트(aspect)란 본선에서 상대선이 보이는 모습을 말하며, 이는 상대선에서 본 본선의 방위를 상대방위로서 표시한다. 그 값은 좌현 0~180°, 우현 0~180°가 된다. 예를 들어 상대선의 정선수가 본선을 향하고 있으면 에스펙트는 0이 되고, 정선수가 본선을 향하고 있으면 에스펙트는 180°가 된다. 또 상대선의 좌현 전체 면이 똑바로 본선을 향하고 있으면 좌현 90°가 된다.

진폭 계수 p 와 기울기 계수 b 를 접근시간 t_a 에 대하여 다르게 한 것은 접근시간이 음수가 되는 순간부터 이론적으로는 전혀 충돌의 위험이 없기 때문이다. 그렇다 하더라도 1분이 지나기 전까지는 위험이 존재할 것으로 판단하여 -1분을 적용하였다. 본선의 상태결정함수 $\Phi(\theta, \alpha)$ 의 계수 r 을 0으로 한 것은 충돌위험도를 구성하는 sech 함수만의 변화를 보다 잘 파악하기 위해서이다.

4.1 최근접거리가 서로 다른 목표가 접근하는 경우

Table 1은 목표의 초기 위치와 침로, 속력 등을 표시하고 있다. Fig. 2는 두 목표가 최근접거리 $dcpa$ 가 각각 0, 1.5마일로 접근하는 그림이고 Fig. 3은 접근하는 두 목표의 충돌위험도를 나타내고 있다. Fig. 3을 살펴보면 목표가 접근함에 따라 점점 충돌위험도가 증가하다가 최근접점에서 최대가 되고 최근접점을 지나고 나면 충돌위험도는 아주 크게 떨어짐을 알 수 있다. 이런 사실은 우리의 직관과 잘 일치함을 알 수 있다. 또 최근접거리 $dcpa$ 가 0일 경우에는 충돌위험도는 2.0까지 증가하고, 1.5마일 경우에는 0.66까지 증가함을 알 수 있다.

Table 1 Ownship with No Action & Targets' Situation

	Ownship	Target 1	Target 2
Range(mile)	-	8.0	8.0
Bearing(°)	-	030	050
Course(°)	000	240	258
Speed(mile/min)	0.4	0.4	0.4

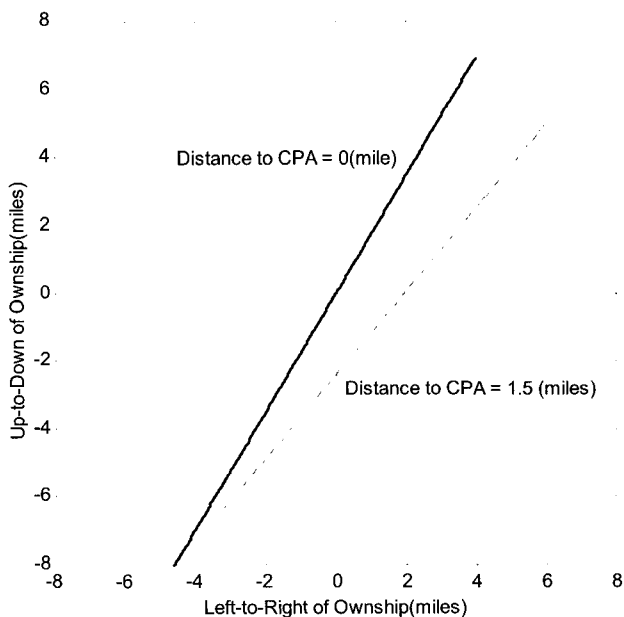


Fig. 2 Two Targets with Different CPAs Approaching Ownship

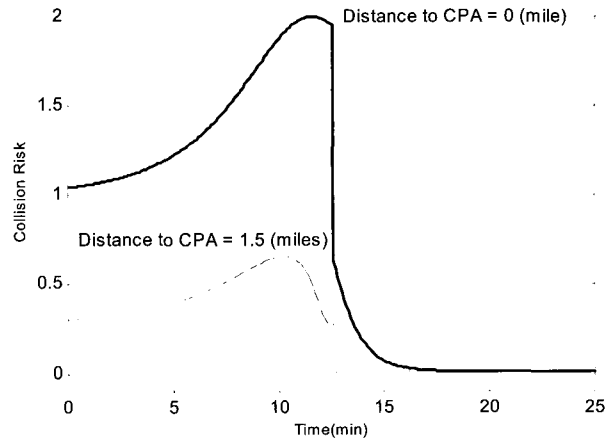


Fig. 3 Comparison of Collision Risk of Two Targets with Different CPAs

4.2 충돌의 위험이 있어 침로 혹은 속력을 변경한 경우

Table 2는 본선과 목표가 이동하다가 목표가 4.2마일로 접근하였을 때 변침 혹은 변속을 한 것을 표시한다. Fig. 4는 목표가 최근접거리 $dcpa$ 0으로 접근할 때, 침로를 000°에서 035°로, 속력을 24노트에서 10.8노트로 각각 변경하여 $dcpa$ 를 1.5마일로 한 경우의 충돌위험도를 나타내고 있다.

Table 2 Ownship with Action and Target's Situation

	Ownship	Target	Avoiding Action
Range(mile)	-	7.0	4.2
Bearing(°)	-	040	040
Course(°)	000	260	035
Speed(mile/min)	0.4	0.4	0.18

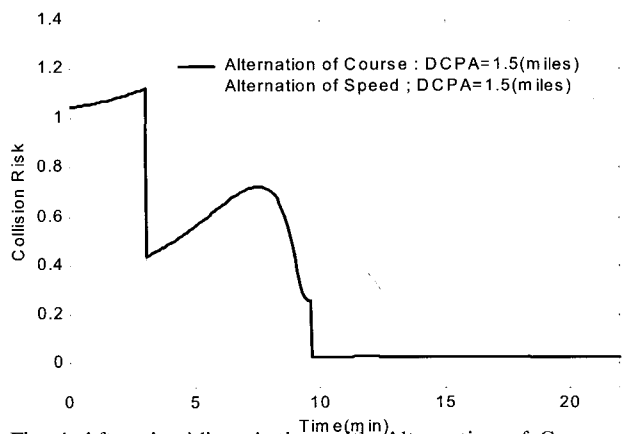


Fig. 4 After Avoiding Action with Alternation of Course and Speed Respectively

침로를 변경한 경우가 속력을 바꾼 경우보다 변경한 후에 충돌위험도가 낮은 것은 접근시간이 상대적으로 작기 때문인 것으로 판단된다. 이 접근시간은 상대속력이 좌우하게 되는데, 변침의 경우가 변속의 경우보다 상대속력이 크다. 이에 따라 충

돌위험도가 다시 커져서 문턱값을 얼마로 할 것인가에 따라 다시 피항조치를 고려할 수밖에 없는 상황이 될 수도 있다. 그러나 이 문제는 계수를 적의 조정하거나 본선의 상태결정함수를 고려하여 문턱값을 결정하면 충분히 해결할 수 있다.

4.3 본선의 안전한 행동구간

본선의 안전한 행동구간⁴⁾은 충돌위험도가 적절한 문턱값 이하가 되도록 취할 수 있는 본선의 침로 혹은 속력의 범위가 된다. Table 3은 침로 000°, 속력 24노트인 본선이 4.2마일로 접근하는 목표를 피항하기 위하여 침로 혹은 속력의 변경을 나타낸다. Fig. 5는 본선의 침로를 0°에서 360°로 변경하면서 나타나는 충돌위험도를 본선 침로에 대하여 표시한 것이고, Fig. 6는 본선의 속력을 -24노트(-0.4마일/분)에서 +24노트(0.4마일/분)로 변경할 때 나타나는 충돌위험도를 본선의 속력에 대하여 표시한 것이다. 예를 들어 충돌위험도의 문턱값을 0.7로 한다면 충돌위험도가 0.7미만 경우의 침로 혹은 속력의 범위가 본선의 안전한 행동구간이 된다. 여기서는 본선 침로의 경우 59.6~360, 000~007.6°의 범위가 안전한 행동구간이고, 속력의 경우는 0.23~0.4(마일/분) 즉, 13.8~24노트, -0.4~0(마일/분) 즉, -24~0노트의 범위 본선의 안전한 행동구간이 된다.

Table 3 Ownship with Full Range of Action and Target's Situation

	Ownship	Target	Range of Action
Range(mile)	-	4.2	Course : 0~360° Speed : -24~24kts
Bearing(°)	-	040	
Course(°)	000	230	
Speed(mile/min)	0.4	0.3	

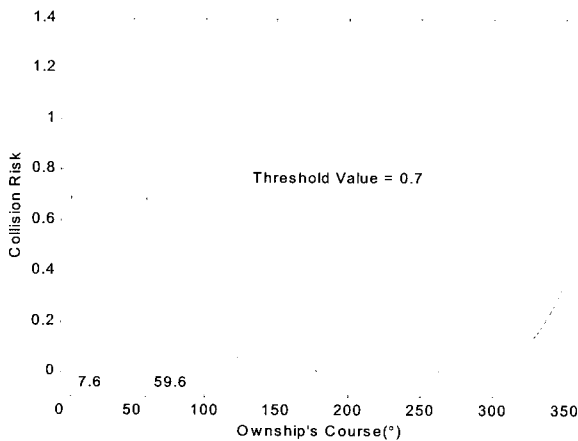


Fig. 5 Collision Risk of a Target against Alternation of Ownship's Course

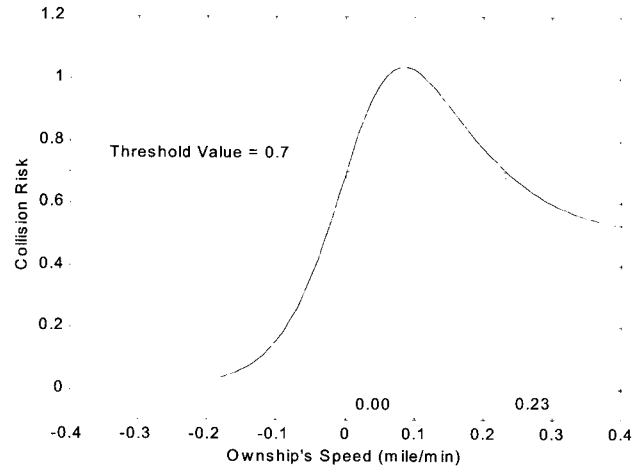


Fig. 6 Collision Risk of a Target against Alternation of Ownship's Speed

본선의 안전한 행동구간의 결정은 복수의 목표물이 존재할 경우에도 동일하게 적용된다. Table 4에서는 3척의 선박이 본선에 접근하는 경우의 상태를 표시하고 있다. Fig. 7은 이 3척의 선박이 접근할 때 본선의 침로를 0~360°까지 변경할 때의 각각의 목표의 충돌위험도를 표시한 것이다. 본선의 임의 침로에서의 충돌위험도는 3개의 충돌위험도 중에서 최대값으로 한다. 여기서도 문턱값을 0.7로 하면 본선의 안전한 행동구간은 각각 029~113°, 164~276°, 324~357°가 된다. 다만 Target 2의 경우 침로 27°에서 충돌위험도가 크게 나타난 것은 목표의 접근시간 t_a 가 상당히 큰 값이지만 본선의 선미 쪽에서 다가오는 목표의 거의 0에 가까운 최근접거리의 영향으로 발생한 것이다. 이 문제는 본선의 상태결정함수 $\Phi(\theta, a)$ 를 이용하면 쉽게 해결될 것이다.

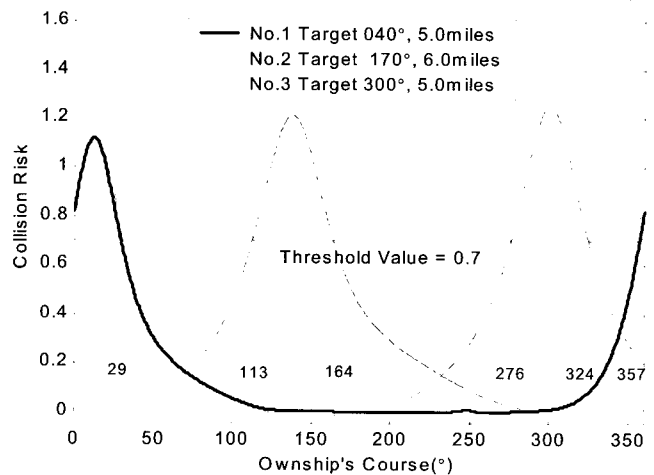


Fig. 7 Collision Risk of Many Targets against Ownship's Course Alternation

4) 今津隼馬의 “避航と衝突予防装置(成山堂書店, 1984), p79”에서 ‘본선과 목표와의 사이에 안전거리 이상의 거리적 여유를 확보할 수 있는 본선의 행동을 안전행동’이라고 하고 또 ‘어떤 문턱값 이하의 충돌위험도를 갖는 행동을 본선의 안전행동범위’라고 정의하고 있다. 여기서는 이 안전행동범위를 본선의 안전한 행동구간으로 바꿔 사용한다.

Table 4 Ownship with Full Range of Action and Targets' Situation

	Ownship	Target 1	Target 2	Target 3
Range(mile)	-	5.0	8.0	5.0
Bearing(°)	-	040	170	300
Course(°)	000	260	012	120
Speed(mile/min)	0.4	0.3	0.6	0.4

5. 결 론

이 연구에서는 항해·충돌방지 전문가 시스템의 개발의 앞 단계로서, 이 시스템에 중요한 역할을 하는 충돌위험도 평가를 새롭게 접근하였다. 즉, 기존의 충돌위험도 평가 방법을 비교·분석한 다음, 이들 방법이 가진 문제점을 해결하기 위한 목적으로 sech 함수를 이용한 새로운 충돌위험도 평가법을 개발하고, 그것을 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

① sech 함수를 이용함으로써 접근시간 t_a 가 0으로 접근할 때 무한대로 커지는 문제를 최대값 1로 해결할 수 있다. 또 최근접거리가 0 근처의 값일 때 그 값을 거의 1로 함으로써 우리의 직관과 일치시킬 수 있다.

② 또, 최근접거리와 접근시간변수로 하는 sech 함수의 합을 취함으로써, 접근시간 t_a 의 반비례함수에서 나타나는 근접거리에서 충돌위험도가 극단으로 작아지는 문제를 해결할 수 있다.

③ 진폭 계수와 기울기 계수를 조정하여 충돌위험도의 변화량을 적절하게 변경할 수 있다.

④ 본선의 상태결정함수 $\Phi(\theta, a)$ 를 도입하여 본선이 피항선 혹은 유지선인지에 따라 충돌위험도 값을 달리 취할 수 있다.

⑤ 문턱값을 적절히 결정함으로써 충돌위험도가 그 문턱값 이하가 되는 본선의 안전한 행동구간을 정할 수 있어, 충돌 피항 조치를 쉽게 할 수 있다.

그러나 이 sech함수를 이용하는 데는 다음과 같은 문제점이 있다. 최근접거리가 미소할 때, 접근시간이 음수이거나, 접근시간이 상당히 큰 값인데도 최근접거리의 영향으로 충돌위험도가 1에 가까운 값으로 커지게 된다. 이런 문제는 진폭 계수 p 를 작게 조정하거나, 본선의 상태결정함수 $\Phi(\theta, a)$ 를

활용하면 해결할 수 있는데 이것은 다음 연구로 미룬다. 아울러 진폭계수 p, q, r 과 변동율 계수 a, b 를 최적한 값으로 결정하는 문제 또 적절한 문턱값을 결정하는 문제 등은 향후 연구로 미루기로 한다.

참 고 문 헌

[1] 今津隼馬(1977):衝突危險度の判定と避航措置, 避航操船シンポジウム, 日本航海學會, pp.80.

[2] 今津隼馬(1980):船舶における等衝突危險度に關する研究, 航論, 63号, p.130.

[3] 今津隼馬(1981):他船の行動變化を考慮した衝突危險度について, 航論64号, p.180.

[4] 今津・小山(1984):避航開始時機の決定につて, 航論70号, p.203.

[5] 今津隼馬(1984):避航と衝突予防装置, 成山堂書店, pp.80~89.

[6] A G Bole, K D Jones (1982), "Automatic Radar Plotting Aids Manual", Heinemann, p.120.

[7] A.G. Bole, W.O. Dineley (1992), "Radar and ARPA Manual", Butterworth-Heinemann, pp. 303~304.

[8] H. Imazu (1978), "Collision Avoidance and Risk in Radar Navigation", Instituto Universitario Navale di Napoli

[9] H. Imazu & A.M. Sugisaki (1979), "A Theoretical Analysis of Collision Risk for Vessel", ISSOA-79, p.189.

[10] R.F. Riggs & J.P. O'Sullivan (1979), "An Analysis of the Point of Possible Collision", IAIN-1979, p.256.

[11] T. Degre & X. Lefevre (1981), "The Manoeuvring Room Concept", 4th International Symposium on VTR, p.169.

[12] W. Burger, M.Sc. (1998), "Radar Observer's Handbook for Merchant Navy Officers", Brown, Son & Ferguson, Ltd, pp.202~204.

원고접수일 : 2003년 3월 31일

원고채택일 : 2003년 5월 14일