

신 충돌위험도평가에서 피항구역의 문턱값 결정에 관한 연구

정 태 권*

한국해양대학교 운항시스템공학부

A Study on the Threshold of Avoidance Sector in the New Evaluation of Collision Risk

Tae-Gweon Jeong

Division of Ship Operation Systems Engineering, Korea Maritime University, Pusan 606-791, Republic of Korea

요 약 : 충돌위험도의 정량적인 평가는 항해·충돌방지 전문가 시스템 개발에 있어서 중요한 역할을 한다. 이 연구에서는 *sech* 함수를 이용한 새로운 충돌위험도 평가법에서 피항구역의 문턱값을 결정하는 방법을 분석하고 실제 상황에 적용 가능한 식을 개발하였다.

핵심용어 : 충돌위험도, 최근접거리, 접근시간, 문턱값, 피항구역, 위험구역

ABSTRACT : Evaluating the risk of collision quantitatively plays a key role in developing the expert system of navigation and collision avoidance. This study analysed thoroughly how to determine the thresholds as described in the new evaluation of collision risk using *sech* function, and developed the appropriate equation as applicable.

KEY WORDS : collision risk, *sech* function, distance to CPA, approach time, threshold, sector of avoidance, danger zone

1. 서 론

충돌의 위험도를 정량적으로 평가하는 것은 항해·충돌방지 전문가 시스템을 구성할 때 중요한 요건이 된다. 충돌 위험도 정량적 평가에 관한 연구는 여러 가지가 있으나 이들을 이 전문가 시스템 구성에 곧바로 사용하기에는 문제점이 있다(A G Bole et al. 1982, R F Riggs et al. 1979, A G Bole et al. 1992, 今津,1977, 1980, 1981, H Imazu 1978, 1979, T. Degre et al. 1981, W Burger 1998). 이들 문제를 해결하기 위하여 *sech* 함수를 이용한 새로운 충돌위험도 평가가 제안하고(정 2003, 2호), 이 함수에 적용될 계수를 찾는 방법을 개발하였다(정 2003, 3호). 또 피항시기와 관련된 문턱값을 결정하는 방법을 제시하였다(T.G. Jeong, 2003).

이 연구에서는 *sech* 함수를 이용한 신 충돌위험도평가의 위험도 문턱값(threshold) 중 본선의 안전한 행동 구간과 관련된 문턱값 즉, 피항구역의 문턱값을 결정하는 방법을 고찰하고 그 방법에 의하여 실제에 적용 가능한 값을 제시하는데 목적을 두었다.

2. 피항구역 문턱값 결정기법

sech 함수를 이용한 신 충돌위험평가는 식 (1)과 같이 표현된다(정, 2003).

$$CR = \frac{p \cdot \operatorname{sech}(a \cdot dcpa) + q \cdot \operatorname{sech}(b \cdot ta)}{r \cdot \Phi(\theta, \alpha)} \quad (1)$$

단, *CR*은 충돌위험도이고, *dcpa*는 최근접거리이며, *t_a*는 목표의 접근시간이다. 또 *p, q, r, a, b*는 충돌위험도의 변화를 적절하게 결정하기 위한 계수인데, 진폭계수 *p, q, r*는 *sech* 함수의 진폭을 결정하며, 기울기계수 *a, b*는 *sech* 함수의 변화 정도를 결정한다. 그리고 $\Phi(\theta, \alpha)$ 는 본선이 유지선인지 피항선인지 등을 표시하는 본선상태의 결정함수로서, 목표의 방위 θ 및 애스펙트 α 로 결정되며, 그 크기는 본선이 유지선일 때는 0, 피항선일 때는 1로 한다.

2.1 피항구역 문턱값의 결정조건

신 충돌위험도의 문턱값은 두 종류로 구분할 필요가 있는데 그 중 하나는 목표가 충돌의 위험이 있을 때 언제 피항 조치를 취할 것인가를 결정하기 위한 것이고, 다른 하나는 이런 피항 조치를 취하기 위해서 본선의 안전한 행동구간을 결정하기 위

* 종신회원, tgjcong@mail.hhu.ac.kr 051)410-4246

한 것이다. 여기서는 후자와 관련된 문턱값(이하 '피항구역 문턱값'이라고 한다)을 구하기로 한다.

먼저 피항구역 문턱값 결정에는 다음과 같은 사항을 고려할 필요가 있다.

① 신 충돌위험도의 계수(기울기, 진폭)를 결정하여야 하는데 이것은 목표에 대한 위험구역의 크기, 최근접거리, 접근시간 등을 알아모 할 것인가에 따라 다르게 나타난다. 여기서는 최근접거리의 범위를 0.0~1.5 마일로, 접근시간의 범위를 4.6~6.9 분으로, 위험구역의 크기를 2.12(1.5 $\sqrt{2}$)마일로 가정하고 구한 기울기계수는 $a=0.818$, $b=0.180$ 을 사용한다. 또 진폭계수는 $p=1$, $q=1$, $r=0$ 으로 가정한다(정 2003, 2호).

② 상대속력의 범위는 0.1~1.0(마일/분)으로 가정한다. 상대속력에 따라 피항조치후의 경과시간이 결정되고 위험도의 상대적인 크기도 결정되므로 상대속력에 따라 위험구역을 달리 정할 필요가 있다. 여기서는 상대속력이 0.39(마일/분) 이상이 경우 최근접거리의 범위가 0.0~1.5마일인 목표에 대하여 위험구역 2.12마일 밖으로 또 상대속력이 0.28(마일/분) 이상인 목표에 대하여서는 위험구역 1.60마일 밖으로, 상대속력 0.17(마일/분) 이상인 목표에 대하여서는 위험구역 1.06마일 밖으로, 상대속력 0.17(마일/분) 미만의 목표에 대하여서는 위험구역 0.707 마일 밖으로 통과하도록 피항조치를 하는 것으로 한다(T G Jeong 2004).

<Table 1> Relative Speed and Danger Zone

Relative Speed (mile/min)	$vr \geq 0.39$	$0.39 > vr \geq 0.28$	$0.28 > vr \geq 0.17$	$vr < 0.17$
Danger Zone (mile)	2.12	1.59	1.06	0.71

<Table 2> Data of Ownship and Target

Ownship	Course(°)	000	000	000	000
	Speed(mile/min)	0.4	0.4	0.4	0.4
Tatget	Course(°)	180	311.4	000	345.7
	Speed(mile/min)	0.1	0.257	0.2	0.30
Initial Position	Bearing(°)	355.9	037.7	353.3	33.1
	Range(mile)	7.0	5.0	3.0	3.0
DCPA	before Action	0.5	0.2	0.3	0.1
	after Action	2.12	1.59	1.06	0.7
Threshold	Avoidance Time	1.25458	1.26689	1.26017	1.23128
	Avoidance Sector	0.616969	0.916592	0.95543	1.22408
New Course of Own Ship(°)		025	30	12	12
Range at Avoidance Time(mile)		4.87571	3.23619	2.10152	1.53984
Relative Speed(mile/min)		$v_r=0.5$	$v_r=0.30$	$v_r=0.20$	$v_r=0.13$

where, gradient coefficients $a=0.818$ and $b=0.180$.

③ 피항구역의 문턱값은 이미 발표한 피항시기 문턱값에 의하여 피항시기를 결정하고 난 후 적절한 변침 혹은 변속에 대한 본선의 안전한 행동구간을 의미한다.

2.2 피항구역 문턱값 결정 방법

피항구역 문턱값을 결정하는 방법에는 여러 가지 있을 수 있겠으나 이 문턱값 자체가 상대속력, 혹은 위험구역의 크기에 따라 식 (1)에서 표시된 충돌위험도가 변하기 때문에 일정한 값으로 정하기가 곤란하다. 따라서 <Table 1>에서 보여주는 바와 같이 상대속력에 따른 위험구역을 접하도록 변침 혹은 변속할 때 정해지는 충돌위험도를 바로 피항구역 문턱값으로 결정하면 합리적인 값으로 판단된다. 다만 변속의 경우는 변침의 경우에 동일하게 결정되므로 여기서는 변침에 대하여서만 설명한다.

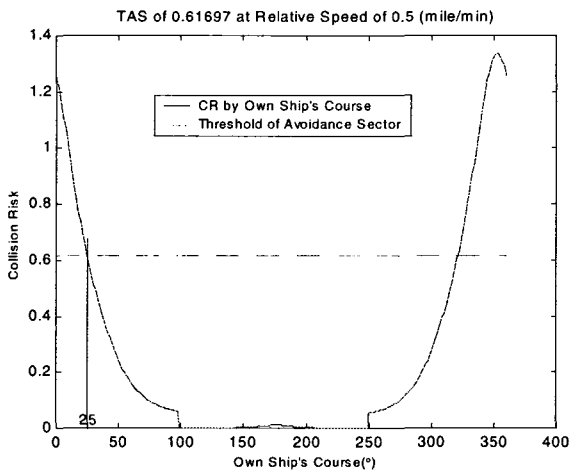
3. 피항구역 문턱값의 적용

3.1 하나의 선박에 적용

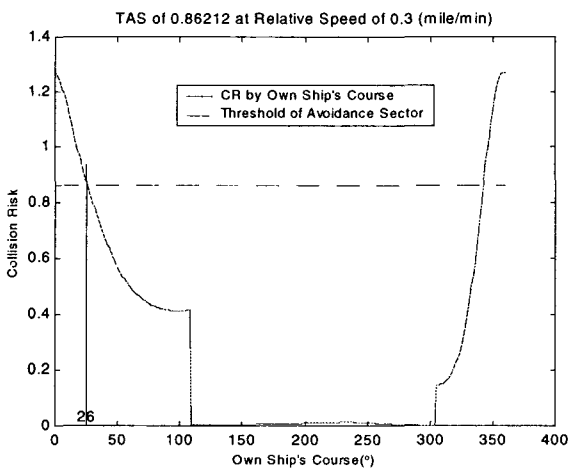
앞에서 설명한 방식으로 구한 피항구역 문턱값에 대하여 검증은 다음과 같은 방법으로 한다. 위험구역 2.12마일, 1.59마일, 1.06마일, 0.71마일 이내로 접근하는 목표물이 설정 위험구역 밖으로 가도록 피항 조치를 하는 경우 그 시기는 피항시기의 문턱값결정 함수에 의한 값 혹은 최소접근거리에 의하여 결정된다. 그 피항시기에서 <Table 1>에서 정한 위험구역을 벗어나기 위한 침로(혹은 속력)를 구하면 그것에 따라 충돌위험도를 구할 수 있는데 이것을 피항구역 문턱값으로 한다. 그 다음 본선의 침로를 변경시켜 이 문턱값보다 작은 것에 해당하는 침로를 본선이 취할 수 있는 안전구역이 되는 것이다.

<Table 2>의 본선의 침로가 000(°)이고 속력이 0.4(마일/분)일 때, 355.94(°) 7.0마일 떨어진 목표물이 최근접거리 0.5마일로 접근하는 경우를 살펴보기로 한다. 여기서 위험구역 2.12마일

밖으로 피항 조치를 하는 시기에 해당하는 거리는 4.876마일이고 그 때의 충돌위험도는 1.255이다. 피항구역 문턱값은 0.617이며 여기에 해당하는 본선의 침로는 025°가 된다. <Fig. 1>은 상대속력 0.50(마일/분)일 때 접근하는 선박에 대하여 구한 피항구역 문턱값과 본선의 침로 변경에 따른 충돌위험도를 표시하고 있다. 이 문턱값 0.617보다 작은 충돌위험도에 해당하는 침로가 본선의 안전한 행동구역이 된다. <Fig. 1>에서는 최소한의 안전 침로라고 볼 수 있는 028°를 표시하고 있다.



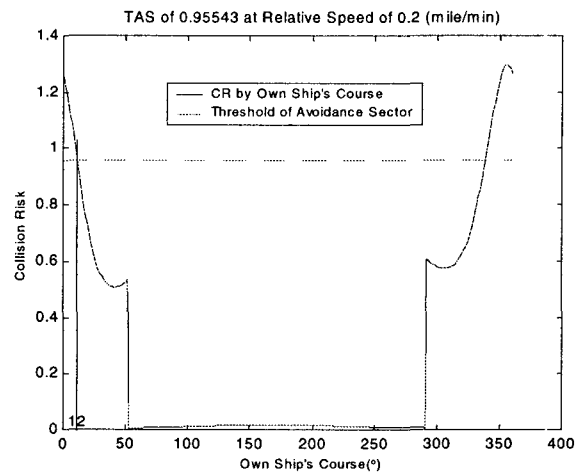
<Fig. 1> TAS at Relative Speed 0.5 (mile/min)



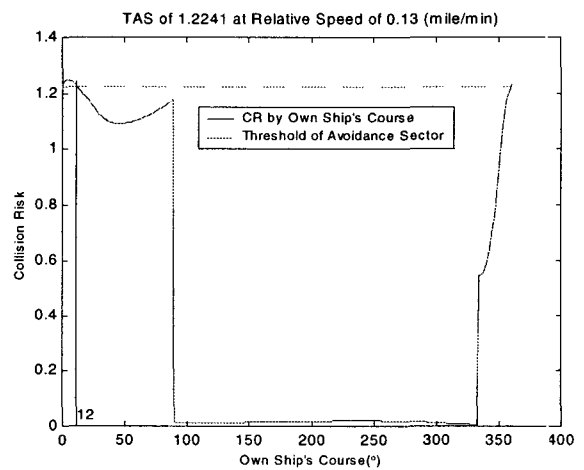
<Fig. 2> TAS at Relative Speed 0.3 (mile/min)

또 037.7(°) 5.0마일 떨어진 목표물이 최근접거리 0.2마일로 접근하는 경우를 살펴보기로 한다. 여기서 위험구역 1.59마일 밖으로 피항 조치를 하는 시기에 해당하는 거리는 3.236마일이고 그 때의 충돌위험도는 1.267이다. 피항구역 문턱값은 0.917이며 여기에 해당하는 본선의 침로는 030°가 된다. <Fig. 2>은 상대속력 0.30(마일/분)일 때 접근하는 선박에 대하여 구한 피항구역 문턱값과 본선의 침로 변경에 따른 충돌위험도를 표시하고 있다. 이 문턱값 0.917보다 작은 충돌위험도에 해당하는 침

로가 본선의 안전한 행동구역이 된다. <Fig. 2>에서 최소한의 안전 침로인 030°를 표시하고 있다.



<Fig. 3> TAS at Relative Speed 0.2 (mile/min)



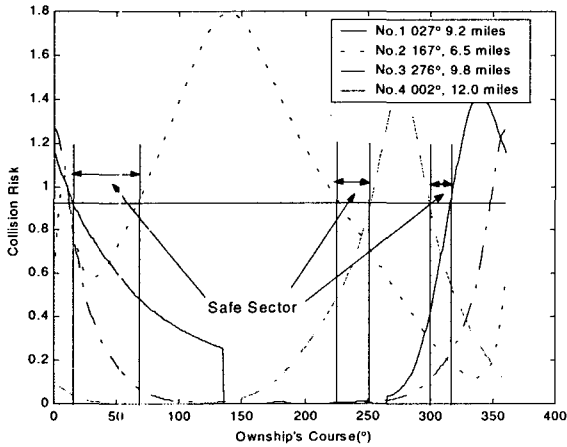
<Fig. 4> TAS at Relative Speed 0.13 (mile/min)

다른 예로서 353.3(°) 3.0마일 및 033.1(°) 3.0마일 떨어진 각각의 목표물이 최근접거리 0.3마일, 0.1마일로 각각 접근하는 경우를 살펴보기로 한다. 이들 목표물이 각각 위험구역 1.06마일, 0.7마일 밖으로 피항 조치를 하는 시기에 해당하는 거리는 2.102마일, 1.540마일이고 그 때의 충돌위험도는 각각 1.260, 1.231이다. 피항구역 문턱값은 각각 0.955, 1.224이며 여기에 해당하는 본선의 침로는 모두 012°이다. <Fig. 3>과 <Fig. 4>는 상대속력이 각각 0.20(마일/분), 0.13(마일/분)인 선박이 접근할 때, 각각의 선박에 대하여 구한 피항구역 문턱값과 본선의 침로 변경에 따른 충돌위험도를 표시하고 있다. 이 문턱값이 0.955, 1.224보다 각각 작은 충돌위험도에 해당하는 침로가 본선의 안전한 행동구역이 된다. <Fig. 3> 및 <Fig. 4>에서 최소한의 안전 침로인 012°를 표시하고 있다.

3.2 다수 선박에 적용

다수의 선박이 접근하는 경우에도 한 척의 선박과 동일하게 적용할 수 있다.

<Fig. 5>는 여러 선박이 접근하는 경우를 표시하고 있다. 이때에는 충돌위험도가 가장 큰 선박을 대상으로 피항구역 문턱값을 구하여 그것보다 작은 충돌위험도에 해당하는 침로가 본선이 취할 안전한 행동범위가 된다.



<Fig. 5> Many Targets & Threshold of Avoidance Time

4. 결론

이 연구에서는 *sech* 함수를 이용한 신 충돌위험도평가에서 나타난 피항구역 문턱값을 결정하기 위한 방법을 제시하고 그것을 접근하는 하나의 목표 및 여러 개의 목표물에 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 피항구역의 문턱값은 피항시기 문턱값 결정에 사용한 위험구역을 벗어나기 위한 충돌위험도로서 정할 수 있다
- ② 이 문턱값보다 작은 충돌위험도에 해당되는 침로가 본선의 안전한 행동구역이 된다.
- ③ 다수의 선박이 접근하는 경우에도 ②항과 동일하게 적용할 수 있다.

위와 같은 방법으로 신 충돌위험도평가에서 나타난 문제점들이 해소될 수가 있다. 남아 있는 문제로서는 진폭계수 p, q 를 조정하거나 본선상태 결정함수 $\Phi(\theta, \alpha)$ 를 적용하는 점이다. 또 하나의 문제로서는 접근시간이 음수인 경우의 처리가 있다. 또 실선에서의 실험 절차가 남아 있다. 이들에 대하여서는 향후 연구로 미룬다.

참고문헌

- [1] 정태권(2003):*Sech* 함수를 이용한 새로운 충돌위험도 평가법, 한국항해항만학회지, 제27권, 제2호, pp.103~110
- [2] 정태권(2003):신 충돌위험도평가의 기율기계수 결정에 관한 연구, 한국항해항만학회지, 제27권, 제3호, pp.351~358
- [3] 今津隼馬(1977):衝突危険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.
- [4] 今津隼馬(1980):船舶における等衝突危険度に関する研究, 航論, 63号, p.130.
- [5] 今津隼馬(1981):他船の行動変化を考慮した衝突危険度について, 航論64号, p.180.
- [6] 今津・小山(1984):避航開始時機の決定について, 航論70号, p.203.
- [7] 今津隼馬(1984):避航と衝突予防装置, 成山堂書店, pp.80~89.
- [8] A G Bole, K D Jones (1982), "Automatic Radar Plotting Aids Manual", Heinemann, p.120.
- [9] A.G. Bole, W.O. Dineley (1992), "Radar and ARPA Manual", Butterworth-Heinemann, pp. 303~304.
- [10] H. Imazu (1978), "Collision Avoidance and Risk in Radar Navigation", Instituto Universitario Navale di Napoli
- [11] H. Imazu & A.M. Sugisaki (1979), "A Theoretical Analysis of Collision Risk for Vessel", ISSOA-79, p.189.
- [12] R.F. Riggs & J.P. O'Sullivan (1979), "An Analysis of the Point of Possible Collision", IAIN-1979, p.256.
- [13] T. Degre & X. Lefevre (1981), "The Manoeuvring Room Concept", 4th International Symposium on VTR, p.169.
- [14] T. G. Jeong(2003), "A Study on the Threshold of Avoidance Time in the New Evaluation of Collision Risk", the Journal of Korean Institute of Navigation and Port Research, Vol.27, No.6, pp.619~624.
- [15] T. G. Jeong(2004), "A Study on a New Evaluation of Collision Risk and the Problems Involved", Asia Navigation Conference 2004, Korean Institute of Navigation and Port Research
- [16] W. Burger, M.Sc. (1998), "Radar Observer's Handbook for Merchant Navy Officers", Brown, Son & Ferguson, Ltd, pp.202~204.