

# 航海 危險管理를 위한 基礎研究

공 성 호\* · 이 은 방\*\*

## A Study on the Fundamentals for Navigational Risk Management

Seong-Ho Kong\* · Eun-Bang Lee\*\*

### Abstract

This paper introduces a new methodology for applying navigational risk management through the application of two concepts to maritime risk analysis: Approach Velocity and Even-Risk Contour. The proposed methodology is comprised of algorithms in two dimensions in order to continuously and precisely assesses complex target motion. This methodology allows the determination of the sequence for own ship's movements in order to reduce risk in area with a high concentration of traffic. The effectiveness and dependability of this methodology will meet or exceed the design requirements of control systems for the smart ships of tomorrow.

### 1. 서 론

물동량의 증가와 조선(造船)기술의 발달로 인한 선박의 대형화·고속화는 선박의 충돌과 좌초사고로 인한 피해양상을 재난적인 것으로 이어지게 하는 경우가 많다. 그러므로 선박의 충돌과 좌초 등의 가능성을 최소화할 수 있는 방안 모색은 매우 중요하다. 뿐만 아니라 선박의 충돌 회피 동작에 대한 연구는 선박의 운항 자동화를 위한 하나의 요소기술로서도 매우 중요시 되고 있다[1][2]. 따라서 해상에 분포되어 있는 여러 항해 위험관리 방법에 관한 연구가 선행되어야 하며 이를 위하여 본 연구에서는 평면적으로 위험도를 평가하여 해상에서 일어나는 충돌 위험성을 보다 간단히 정의·평가하고 이를 시스템에 적용하고자 한다. 이렇게 하면 복잡한 해상 상태에서도 충돌 위험

\* 한국해양대학교 해사수송과학과 석사과정

\*\* 한국해양대학교 해양경찰학과 교수

상황을 신속히 처리하여 보다 효과적인 충돌회피 동작을 취할 수 있다. 그리고 해상에 존재하는 다양한 위험요소들의 위험도 평가를 위하여, 본 논문에서는 기존의 레이더를 이용한 정보인 CPA, TCPA등과 같은 불연속적인 정보가 아닌 연속적인 정보를 이용하고자 한다. 따라서 이들 정보를 얻기 위하여 초기 측정값부터 현재까지의 데이터를 이용하려고 하며, 위험요소들의 운동성분 중 실질적으로 본선에 위험을 주는 성분을 분석하여 위험도를 평가하고자 한다. 이렇게 평가된 위험도는 기존의 일대일 평가방법으로는 어려웠던 교통밀집해역에서의 다수선박에 대하여도 최적의 충돌 회피침로를 구할 수 있으며, 평면적이고 정량적인 평가는 앞으로의 지능화 선박의 종합적인 항해 지원시스템 개발에도 적용할 수 있을 것으로 기대된다. 본 논문에서는 위험도를 평가하기 위해서 등고선의 개념을 도입한 등위험곡선과 접근속도를 새로이 정의하여 선박의 불규칙적인 운동을 고려한 입체적인 위험도를 평가하고 충돌예방 및 피항지침을 제공하는 시스템을 제안하였다.

## 2. 항해 위험관리 방법

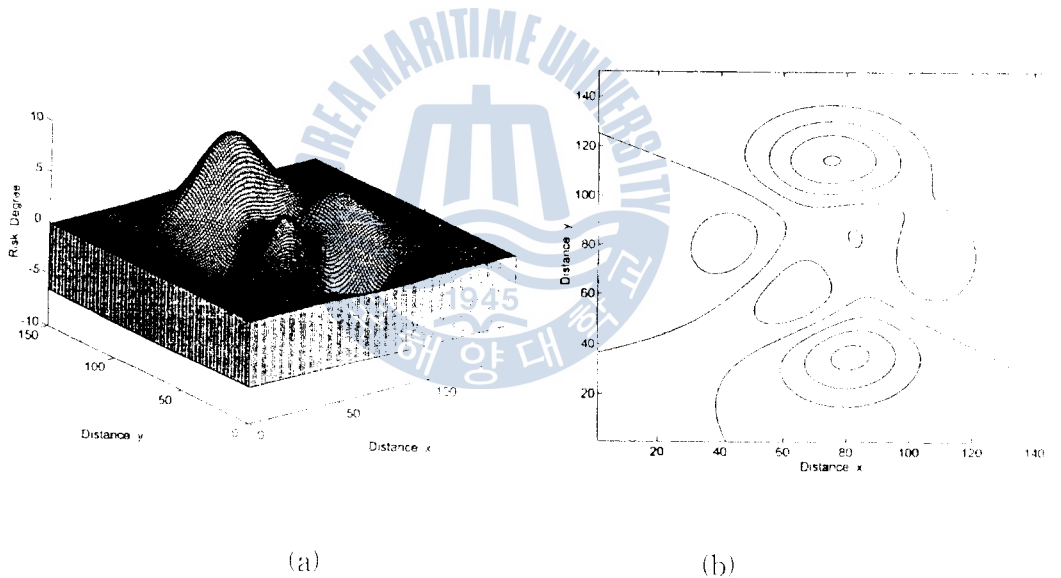
### 2.1 위험도

해상에서 위험도란 해상에 존재하는 여러 위험 요소가 해상활동을 방해하여 사고를 야기할 가능성의 정도를 표현하는 추상적인 말이다. 충돌회피 시에는 본선의 행동 속에서 현재 어떤 행동을 취하는 것이 효율과 안전에서 보아 최적인가를 판단하고자 할 때 필요하다. 선박은 통상 목적지를 향하여 효율이 좋은 항행을 하고자 하며, 충돌회피 조치는 안전 확보를 목적으로 하는 행동이므로 효율과 안전에서 본 충돌회피조치의 결정에는 통상 항행중 충돌회피동작으로의 전환을 위한 행동판단기준을 가질 필요가 있는 데 이때 주요한 것이 충돌위험도이다. 즉, 해상에서 자선(自船)이 항행하고자 하는 해역의 위험도가 낮을 때에는 통상의 항행을 하고 높을 때에는 안전을 확보하기 위한 조치를 한다. 또한 위험도는 목표물과의 안전을 확보하기 위한 본선의 행동범위를 찾는 데도 사용된다.

### 2.2 등위험곡선(ERC: Even Risk Contour)의 개념

<Fig. 1>의 (a)는 산세를 위험도 관점으로 본 그림이다. x, y축에는 평면을 나타내고 있으며 z축에는 산의 위험도를 나타내었다. 즉, 산을 오르거나 내려올 때 산이 가파르거나 높을수록 산을 오르내리는 데 힘이 들며 또한 추락할 확률이 높게 되는 등 그만큼 위험도가 증가하게 된다. 이것을 등고선으로 표현한 것이 (b)이다. 여기서 알 수

있는 것은 산의 경사가 클수록 등고선의 간격이 좁으며, 높이가 높을수록 등고선의 밀도가 크게 나타난다. 등산객은 주로 이 등고선도의 등고선 간격이나 밀도를 이용하여 산의 형세를 파악하며 산을 오르거나 조난시 안전한 지형으로 하산하기도 하는 등 유효하게 사용한다. 이런 등고선 개념을 추상적인 해상의 위험도에도 적용할 수 있다. 해상에서도 수면에 떠있는 물체나, 인공구조물, 또는 눈으로 파악할 수 없는 수면하의 암초, 저수심, 침선 등 여러 위험요소가 산재해 있는데 이들의 위험정도를 공간적으로 크기를 표시한다면 위험도를 표시하는 산과 같이 나타낼 수 있다. 이를 평면적으로 나타내면 위험요소의 대소를 나타내는 추상적인 산도 등고선처럼 같은 위험도를 나타내는 곡선으로 나타낼 수 있는데, 본 논문에서는 이를 등위험곡선(Even Risk Contour, ERC)이라고 부르기로 한다. 즉, 등고선의 간격이 좁을수록 위험에 빨리 직면하게 되며, 밀도가 클수록 위험도의 크기가 커지게 된다.



〈Fig. 1〉 Concept of even risk contour.

### 2.3 등위험곡선의 정의

여기서는 해상활동 중 선박의 운항관점에서 자선(自船)과 주변의 위험요소간의 위험 회피를 기준으로 등위험곡선을 구성하고자 하였다. 즉 자선(自船)이 운동하며 위험요소에 접근하는 성분, 위험요소와 충돌하는 침로를 이탈하는 성분과 회피하는 성분, 그리고 위험요소에 최대로 접근 가능한 제한지점을 아래식과 같이 정하여 구성하였다.

먼저 D에 접근하는 성분인  $\vec{Z}$  는 식(1)과 같다.

$$\vec{Z} = \sum_{k=0}^t \frac{h\Delta d}{p^k} \quad (1)$$

충돌침로 이탈성분  $\vec{\Pi}$  는 식(2)와 같다.

$$\vec{\Pi} = h\Delta d + \sum_{k=0}^t \frac{h\Delta d}{p^{t-k}} \quad (2)$$

충돌회피 성분  $\vec{E}$  은 식(3)과 같다.

$$\vec{E} = h\Delta d \times t \quad (3)$$

위험요소에 최대 접근 가능거리  $N$  은 식(4)와 같다.

$$N = a - \frac{r}{M} \quad (4)$$

여기서,  $t$  = 자선(自船)이 현재의 이동속도로 운동할 때  $N$ 의 끝점에 도달하는 시간, 단위=분,

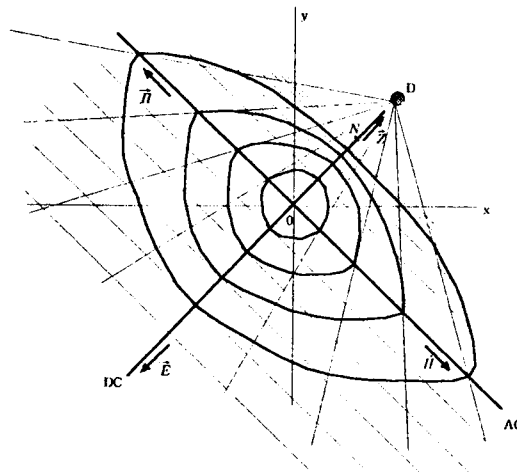
$\Delta d$  =  $N$ 을 단위시간 동안 이동한 거리,

$h, p, a$  = 상수,

$N$  = 위험요소에 최대 접근 가능거리 (자선(自船)으로부터의 거리),

$r$  = 자선(自船)과 D까지의 거리,

$M$  = 접근속도의 평균 절대값이다.



단, D: 위험요소    DC: 충돌침로    AC: 회피침로    N: 최대 제한값

〈Fig. 2〉 Arrangement of even risk contour.

<Fig. 2>는 수식(1),(2),(3),(4)를 적용하여 해상에서 위험요소를 회피하기 위한 등위험곡선을 레이더 스크오프의 x, y축에 나타낸 것이다. 위험요소는 선박뿐만 아니라 암초, 저수심, 해상구조물 등 자선(自船)이 그 위치로 운동하게 되면 선박에 위험을 초래하며, 항해할 수 있는 해역을 제한하게 된다.

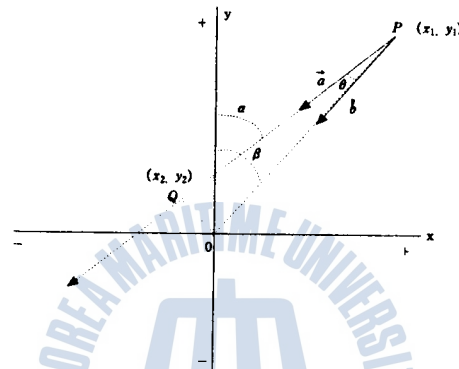
<Fig. 2>를 상기수식과 관련하여 설명하자면, D가 자선(自船)으로 접근하고 있다. 이 상황은 상대적인 것이기 때문에 D가 정지해 있고 자선(自船)이 능동적으로 운동을 한다고 보면, 자선(自船)은 중심 0의 위치에서 어느 방향으로나 운동할 수 있다. DC 성분은 D와 충돌침로를 나타내며, AC 성분은 DC와 수직을 이루며 충돌침로에서 이탈하는 성분을 나타낸다. 이때 등고선의 간격은 단위시간당 자선(自船)이 이동할 수 있는 거리에 해당한다. 그러나 DC 성분은 D와 충돌침로를 나타내기 때문에 DC 성분 중 중심 '0'에서 D방향으로 접근하는  $\vec{Z}$  방향의 운동은 이 방향으로 시간의 경과에 따라 이동할수록 위험도가 커지게 된다. 즉, 시간이 지남에 따라 다른 방향보다도 위험요소에 빨리 접근하게 되며 그 만큼 위험도가 증가하게 되는 것을 말한다. 따라서  $\vec{Z}$  방향으로의 접근을 제한하여야 한다.  $\vec{Z}$  성분과 반대방향인  $\vec{E}$  방향으로의 운동도 DC 성분 상에 있기 때문에 최소 D가 자선(自船)을 향해 접근하는 단위시간당 이동거리만큼은 이동을 해야한다. 그렇지 않고 자선(自船)의 이동성분이 D의 접근성분보다 작다면 일정 시간이 경과한 후에는 D와 충돌하게 되기 때문이다.  $\vec{H}$  성분은 충돌침로에서 가장 빨리 이탈하기 위해서 DC에 수직성분으로 이동하는 것을 나타낸다. 이 성분은 AC축을 따라 변화하게 되며, AC 또한 보이지 않는 위험요소에 대한 위험도의 분포를 표시할 수 있다. 즉 DC상의 위험도에 따라서 이와 같은 위험도를 가지는 지점을 AC상에 표시할 수 있으며 이때 이 위험도는 DC의 위험도보다 좀더 거리의 변화율이 증가한 지점에 분포하게된다. 이것은 DC와 AC상에 같은 위험도를 표시하게 되면 AC상의 위험도가 DC상의 위험도보다 단위시간에 따른 거리의 변화율이 증가한 지점에 분포하게 된다. 결국 위험도의 분포는 DC를 종축으로 하고 AC를 횡축으로 하는 가우스분포의 형태가 된다.

### 3. 이동 물체에 대한 위험관리

#### 3.1 접근속도(AV: Approach Velocity)의 정의

<Fig. 3>은 레이더 스크오프를 기준으로 자선(自船)과 상대선의 움직임을 좌표계 형식으로 나타낸 것이다. 즉 중심이 자선(自船)에 해당되며 x축의 (+)는 자선(自船)의 오른쪽에 해당되며 (-)는 왼쪽에 해당된다. 또한 y축의 (+)는 자선(自船)으로부터 전방을

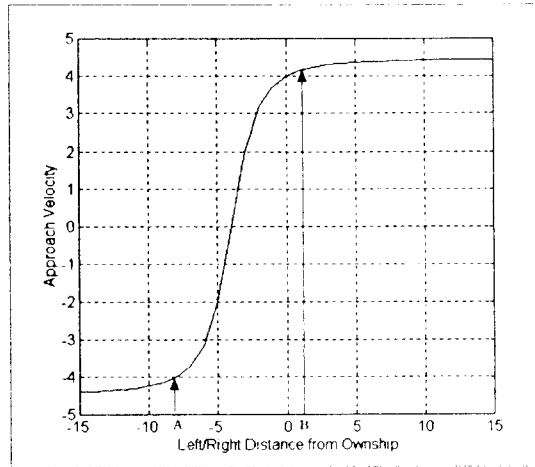
나타내며 (-)는 후방을 나타낸다. 상대선은  $P(x_1, y_1)$ 의 위치에서  $\vec{a}$ 만큼의 상대 속도로  $\overline{PQ}$  상을 이동하고 있다. 이때 상대선의 움직임을 보게 되면 상대선이  $\overline{PQ}$  상을 이동하면서 계속적으로 변하는 값이 있다. 이것은  $\theta$ 의 값이다. 이  $\theta$ 값은 자선(自船)과 상대선의 진속력과 진침로의 변화에 따라 그 값이 변하게 된다. 본 논문에서는 이  $\theta$ 를 ‘접근각(AD: Approach Degree)’이라고 부르기로 하겠다[3][4].



〈Fig. 3〉 Approach velocity and relation movement.

여기서 주목할 것은 결국 상대선은  $\vec{a}$ 로  $\overline{PQ}$  상에서 이동하고 있지만 실질적으로 자선(自船)에 영향을 주는 성분은 자선(自船)을 향해 다가오는  $\vec{b}$ 라 할 수 있다. 즉 상대벡터  $\vec{a}$ 의 자선(自船)에 대한 실질적인 충돌위험 성분은  $\vec{b}$ 가 되는 것이다. 이  $\vec{b}$ 를 본 논문에서는 ‘접근속도(AV: Approach Velocity)’라 정하기로 하며, 다시 이를 정의하면 접근속도란 상대선박이 자선(自船)과 일정한 위치관계를 가지고 특정 상대속도로 진행할 때에 자선(自船)에 직접적으로 영향을 미치며 접근하는 성분이다.(상대벡터  $\vec{a}$ 가 자선(自船)과 상대선의 위치선에 수선의 발을 내린  $\vec{b}$ 이다) 이를 수식으로 표현하면 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 |\vec{b}| &= |\vec{a}| \cos \theta \\
 &= |\vec{a}| \cos(\alpha - \beta) \\
 &= |\vec{a}| (\cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta)
 \end{aligned} \tag{5}$$



<Fig. 4> A variation of approach velocity.

<Fig. 4>는 <Fig. 3>의 관계를 접근속도로 표현하여 나타낸 것이다. 접근속도가 '0'이 되는 지점은 자선(自船)이 상대선과 CPA를 가지며 통항하는 지점을 의미한다. 또, 접근속도가 (-)인 값은 상대선이 전방에서 자선(自船)을 향하여 접근하고 있는 것을 의미하며, (+)값은 자선(自船)으로부터 멀어지는 것을 의미한다. 여기서 주목할 수 있는 것은 구간 A, B를 통항하게 되는 시기인 데 이 구간은 다른 구간보다도 접근속도가 급격히 변하기 때문에 다른 구간보다도 충돌위험이 크다고 할 수 있는데 이를 '제1 위험구역'이라 하겠다.

### 3.2 접근속도에 의한 항해 위험관리

접근속도의 특징 중 접근속도가 '0'이 되는 지점을 주목할 수 있다. 접근속도가 '0'이 되는 경우는 상대벡타값이 '0'이거나 접근각이  $90^\circ$ 일 때이다. 이때 시간의 변화에 따라 상대벡타가 계속 '0'이라는 것은 두 선박이 같은 벡타성분으로 운동하거나 정지해 있는 경우를 말한다. 이 경우 접근속도도 전구간이 '0'이 된다. 이는 시간이 무한대로 흐른다고 가정했을 때 항상 그 위치를 지키기 때문에 이를 충돌위험관계로 판단한다면 관측 초기부터 충돌상태가 아닌 이상 절대 충돌이 일어나지 않는 상황이 된다. 다시 말하면 충돌위험이 없는 상황을 말하는 것이다. 또한 접근각이  $90^\circ$ 라는 것은 상대선과 자선(自船)이 CPA를 통과하는 시점을 의미한다. 이를 역으로 말하면 그 시점 후에는 두 선박은 서로 멀어지는 벡타성분으로 운동을 하게 되는 것이다. 즉 두 선박간의 가장 위험한 충돌위험상황을 막 통항하는 순간이기 때문에 그 이후에는 충돌위험성이 사라진다는 것을 의미한다. 이와 같이 접근속도의 결과값으로 충돌위험도를 평가할 수 있



음을 알 수 있으며, 결과적으로 접근속도가 '0'에 가깝게 수렴하는 상태일수록 충돌위험성이 작다고 할 수 있다.

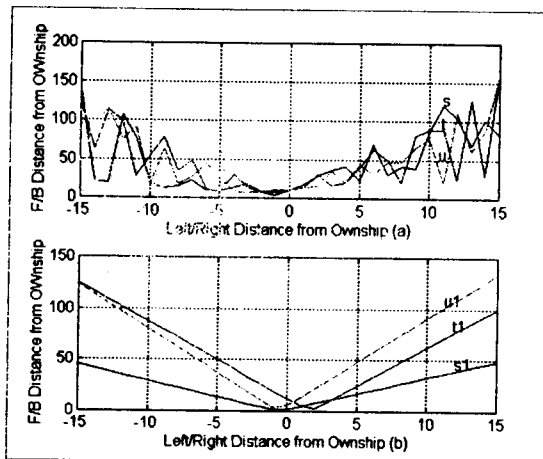
이제 상기의 접근속도 개념을 이용하여 충돌위험도를 평가하고자 하면, 접근속도'0'에 얼마만큼 수렴하는 가를 기준으로 평가할 수 있다. 즉, 접근속도 '0'에 가장 가깝게 근접할수록 충돌위험성이 작다고 할 수 있다. 본 논문에서는 이 근접값을 얻기위해 구하고자 하는 구간의 평균절대값(M)을 구하였다. 이를 수식으로 표현하면 식(6)과 같다.

$$M = \frac{1}{\Delta i} \left| \sum_{i=i_1}^{i_2} f_i \right| \quad (6)$$

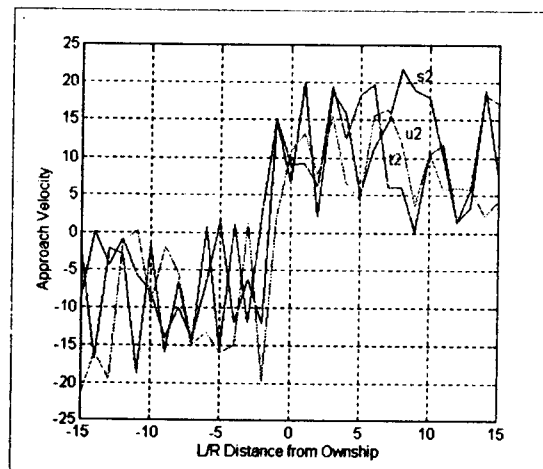
(단,  $i_1$  = 시작값,  $i_2$  = 끝값,  $\Delta i$  =  $i$ 의 전 변위량)

### 3.3 접근속도를 이용한 충돌회피 우선순위

<Fig. 5>, <Fig. 6>은 교통혼잡지역에서 상대선박이 불규칙적으로 운동할 때의 충돌위험도 평가에 대한 그래프의 예이다. 먼저 CPA를 이용하여 선박의 충돌위험도를 나타낸 것이 <Fig. 5>의 (a), (b)이고 접근속도로 표현한 것이 <Fig. 6>이다. <Fig. 5>의 (a)는 s, t, u 세선박이 불규칙적으로 운동할 때를 가정하여 Random값을 적용하여 나타낸 것이다. 여기서 CPA를 이용할 경우 x축 5, 10 지점의 값을 이용하여 계산한 경우 (b)에서와 같은 결과를 얻게된다. 즉 세선박 s, t, u에 대한 CPA  $s_1 = 1.4981$ ,  $t_1 = 3.0372$ ,  $u_1 = 3.4311$ 로 나타나 충돌회피 우선순위가  $s \rightarrow t \rightarrow u$  순으로 나타난다. 하지만 이것은 특정 두지점 5, 10간의 데이터를 기준으로 계산된 값에 불과하다.



<Fig. 5> Evaluation of collision risk degree using CPA



<Fig. 6> Evaluation of collision risk degree using approach velocity

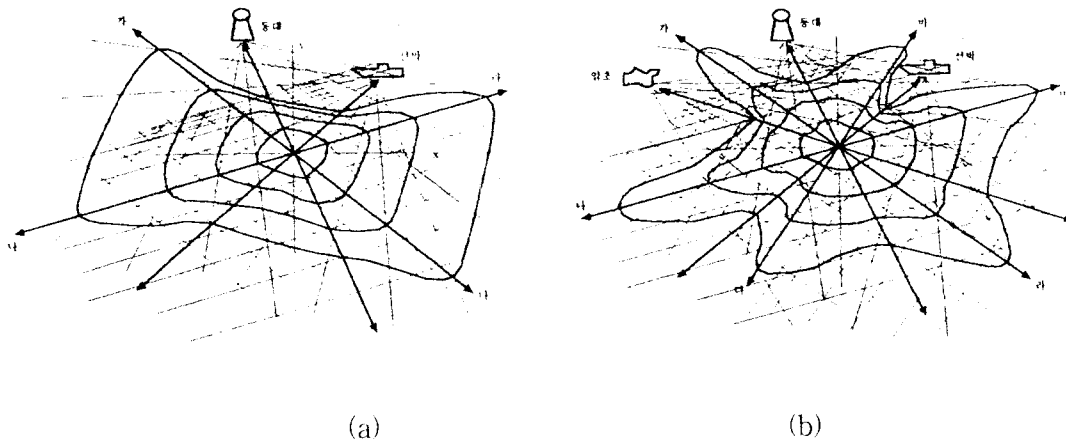


이를 접근속도로 평가하면 <Fig. 6>과 같이 세선박 s, t, u에 대한 M값  $s^2= 9.5778$ ,  $t^2= 8.3606$ ,  $u^2= 12.9959$ 를 얻게 되어 충돌회피 우선순위가  $u \rightarrow s \rightarrow t$  순이 된다. 이 값은 두지점간의 전체적인 데이터평균값을 이용한 것이기 때문에 현재 이용되고 있는 CPA 계산값보다 더욱 신뢰성을 준다.

## 4. 등위험곡선 의한 충돌회피법

### 4.1 충돌회피법

<Fig. 7>은 앞에서 제안된 규칙을 적용하여 여러 위험요소가 있을 때에 대하여 등위험곡선을 구성해 보았다. 여기서 (a)는 두 개의 위험요소가 있을 때 충돌회피 침로를 선정하는 것을 나타내고 있으며, (b)는 세 개의 위험요소가 있을 때 충돌회피 침로를 나타내고 있다. (a)에서는 두 개의 위험요소가 있는 곳은 등고선의 간격이 밀집되어 나타나고 있으므로 자선(自船)의 진행방향을 고려할 때 (가), (라) 방향으로 회피침로를 택하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다. (b)에서는 회피침로가 (가), (나), (다), (라), (마), (바)로 나타나, (마)침로가 바람직 할 것으로 판단된다. 왜냐하면 먼저 등고선 간격이 넓으며, 회피 동작시 다른 침로보다도 갑자기 발생한 위험요소를 만나더라도 (라)쪽으로는 등고선 간격이 여유가 있기 때문이다. 이렇게 하므로 해서 자선(自船)의 주위에 분포되어 있는 여러 위험요소들의 위험도를 동시에 평가하여 이들 위험요소를 회피할 수 있는 최적의 침로를 구하게 된다.



<Fig. 7> Even risk contour of danger factors.

## 4.2 기존의 방법과 비교

### 4.2.1 전문가 시스템

이 시스템을 충돌회피동작에 적용한 경우는 자선(自船)에서 주변에 위치한 개개의 선박을 If Then 형식으로 일대일 피항으로 국한시킨다. 즉 최종 피항 행동을 결정하기 전에 아무리 많은 고려를 한다 하더라도 일대일 피항이 되는 이상, 자선(自船)은 가장 위험하다고 판단되는 타선을 피하는 행동만을 결정하게 되며 결과적으로 자선(自船)이 취할 수 있는 더 많은 행동들이 고려대상에서 제외될 수 있다. 또한 단 하나의 선박만을 피하는 행동으로 또 다른 위험을 불러일으키지 않기 위해서는 그 전에 많은 고려가 필요하게 되며, 그만큼 규칙들이 복잡해지고 시스템의 개발 및 유지는 힘들어지게 된다[5].

### 4.2.2 행동 공간 탐색법

이 방법은 자선이 취할 수 있는 각 행동들의 안전도를 검사한 후 그 중 가장 안전한 행동을 취하는 방법으로 하나의 노드는 그 지점에서 시작되는 안전한 행동들을 나타내는 가지를 갖는다. 이 방법을 이용할 경우에는 항해 규칙의 적용이 어려워지게 된다. 이 경우 일반적인 항해 규칙의 적용은 주어진 행동이 규칙을 위반했을 경우 위험도에 가중치를 주는 방법으로 이루어진다. 하지만 이 방법은 어디까지나 단순한 규칙에만 이용될 수 있으며 규칙이 복잡하거나 각 항구, 항로 등의 특별한 규칙을 고려해야 할 경우에는 그 해결이 어려워진다. 또한 상대선의 행동 변화도 고려되지 않는다[6].

### 4.2.3 유전자 알고리즘법

유전자 알고리즘은 생명체의 자연 도태(natural selection)와 유전자를 통한 정보 전달 방법을 응용한 최적화 방법을 말한다. 이 방법 또한 상기 두 가지 방법을 결합하여 피항행위를 결정하도록 하였으며, 충돌위험도 평가도 기존의 퍼지이론을 접목시키고 있다. 또한 상황설정도 일대일 경우에 국한시키므로 예측 불가능한 실제해상에서의 적용에 대해서는 미흡하다[7][8].

### 4.2.4 등위험곡선을 이용한 충돌회피

등위험곡선은 실시간으로 해상의 위험도를 평가하여 선박의 충돌회피에 적용한다. 또한 특정 두 지점간의 정보를 이용하는 것이 아니고 초기측정값으로부터 현재까지의 정보를 모두 이용하므로 평가된 위험도는 보다 신뢰성을 가지게 된다. 또한 교통밀집 해역에서의 다수 선박들에 대하여 일대일 대응식이 아닌 전체적인 위험요소들의 전반

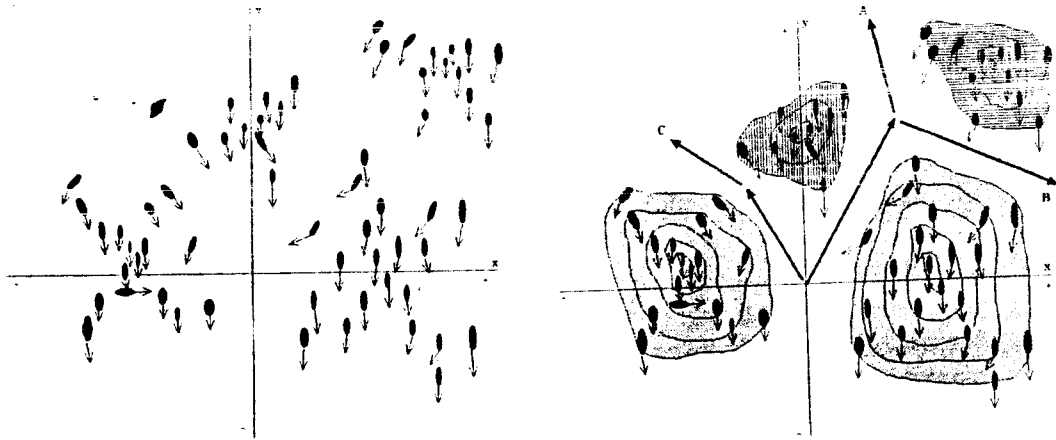
적인 흐름을 파악할 수 있으므로 보다 신속한 위험회피동작을 취할 수 있으며, 앞으로 자동화 선박의 충돌회피 시스템의 기초자료로도 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

### 4.3 교통밀집해역에서의 적용 실험

해상에서 운항하는 선박에는 여러 위험요소가 있다. 특히 협수로 통항해역과 묘박지와 같은 교통혼잡해역에서는 같은 해상을 운항하고 있는 타 선박뿐만 아니라 암초, 해상구조물, 협수로등이 선박운항에 제한을 주는 요소가 된다. 이런 해역에서는 선박에 탑재되어 있는 레이더등의 항해장비를 이용하기도 하지만 실질적으로 항해사의 눈을 통하여 조선의사 결정을 하게된다. 그 이유는 레이더는 여러 복잡한 항행환경을 일대일 대응식의 데이터값만을 주기 때문에 전체적인 선박의 흐름이라든지 전반적인 위험요소의 배치를 표시하는 것은 불가능하기 때문이다. 또한 계속적으로 선박이 불규칙적으로 운동하고 있기 때문에 항해사는 제공되는 정보를 신뢰할 수 없게 된다. 따라서 항해사의 눈으로 충돌위험선박의 흐름을 관찰하고 예측하여 자선(自船)의 충돌회피계획을 세우게 된다. 인간은 특정상황에서 개개의 위험요소를 결합하여 종합적인 판단을 내릴 수 있는 능력을 가지고 있다. 그러나 현재의 기술로는 인간과 같은 판단을 할 수 있는 장비의 개발은 좀더 미래의 일이라 하겠다. 복잡한 해상상태에서의 충돌회피행위 중 하나는 여러 선박을 비슷한 위험요소끼리 묶어서 동일한 위험도를 가지는 집단이라고 평가한 후 자선의 충돌회피동작을 행하는 것이다. 이것을 본 논문에서는 Grouping을 이용한 충돌위험도평가(ECRDG: Evaluation of Collision Risk Degree by Grouping)이라고 하겠다. 이에 관계되어 다음과 같은 그림을 제시하고 그에 따르는 충돌회피동작에 대해서 설명하고자 한다.

<Fig. 8>은 교통혼잡지역에서의 선박흐름을 나타낸 것이다. 그림에서는 여러 선박이 밀집하여 운항하고 있다. 이런 상황에서 과거의 레이더정보를 이용하려면 다소 무리가 따른다. 왜냐하면 각각의 선박들의 CPA, TCPA등의 정보를 수집하기에는 시간적 제약이 따르며 그 각각의 정보를 평가하여 항해에 적용하기에도 수시로 상황이 변하며 선박이 밀집한 해역에서는 위험순위를 판단하기도 어렵거니와 평가된 정보의 신뢰성도 의문이 제기된다. <Fig. 9>는 <Fig. 8>의 상황을 접근속도를 이용하여 충돌위험도를 평가한 후 비슷한 위험도끼리 묶어서 자선(自船)의 충돌회피 동작을 취하는 그림이다. 즉, 접근속도를 이용하여 위험상황을 정량적으로 나타내게 되면 일정범위의 위험도를 하나의 위험도로 평가 할 수 있게 된다.

이렇듯 충돌위험도가 평가되면 ECRDG를 나타낼 수 있으며 그에 따르는 충돌회피동작도 계획할 수 있다. 따라서 <Fig. 9>는 산발적으로 분포되어 있는 위험요소들을 비슷한 위험도끼리 묶은 후 그것을 하나의 위험요소라고 보고 등위험곡선을 구성한 것



<Fig. 8> A model of heavy sea

<Fig. 9> Collision avoidance course with even risk contour

이다. <Fig. 9>에서는 등위험곡선을 표현하지 않고 화살표로 대신하였다. 이렇게 함으로써 기존 특정 두 시점의 정보를 이용하던 것과는 달리 초기측정치로부터 현재까지의 정보를 이용하여 신뢰성을 높게 한다. 이것은 그 선박의 전반적인 흐름을 평가하는 것이고 그것을 토대로 앞으로의 미래상황도 예측할 수 있게 되는 것이다. 또한 Grouping이라는 개념은 일정해역에 산발적으로 분포하여 운동하는 어선군 이라든지 암초군 등을 하나의 특정 위험도로 평가하여 자선의 항해계획에 반영하게 되기 때문에 보다 신속하고 정확한 충돌회피 계획을 수립할 수 있게 한다. 즉 <Fig. 8>에서와 같은 상황에서 자선(自船)은 어느 방향으로 충돌회피동작을 취할 것인가가 상당히 고민스럽게 판단되는 것을 <Fig. 9>에서는 여러 위험요소를 하나의 위험요소로 평가하였기 때문에 A, B, C 등의 침로로 충돌회피동작을 취할 것으로 권고할 수 있게 된다. 또, ECRDG이 밀집한 해역은 위험요소가 많다는 의미를 가지게 되므로 그런 밀집지역으로의 항해는 피해야 되는 것으로 나타나게 된다. 이렇게 함으로써 과거의 일대일 대응식의 충돌회피방법으로는 어려웠던 교통밀집해역에서의 다수선박간의 충돌회피동작을 등위험곡선을 이용하면 해결할 수 있게 된다.

## 5. 결 론

항행 선박의 위험관리를 위한 개선책으로 접근속도[AV] 개념과 등위험곡선[ERC] 개념을 도입하여 새로운 알고리즘을 구성하였다. 동일한 목적으로 지금까지 활용되고

있는 전문가 시스템, 행동공간탐색법 그리고 유전자 알고리즘 등은 특정 위험 대상물과 본선과의 관계를 일대일 대응에 초점을 맞춘 것인 반면 이 연구에서 제안된 기법은 모든 위험 대상물과 교동환경 요소를 총체적 통합적으로 고려하여 고안된 것이 특징이라 할 것이며 그 주요 개선점을 들면 다음과 같다.

1. 위험 대상물의 불규칙운동을 종합적이며 입체적으로 위험도를 평가하며, 실시간으로 평가함으로써 위험회피 동작의 순서를 정량적으로 결정 가능하게 하며, 장차 무인 지능화 선박의 충돌회피시스템 개발에 적용될 수 있는 요소 기술이 된다는 점이다.
2. 접근속도를 이용하여 특정 지점간이 아닌 초기 측정값으로부터 현재까지의 정보를 바탕으로 위험요소의 실질적인 위험도를 평가할 수 있다.
3. 등위험곡선을 이용하여 교동밀집해역에서도 정량적으로 자선(自船)의 충돌회피 계획을 세울 수 있다.
4. 접근속도를 이용한 ECRDG는 선박의 전체적인 교동흐름을 판단할 수 있으며, 앞으로의 흐름도 예상할 수 있다.
5. 접근속도를 이용하여 애매한 관계의 충돌위험관계를 정확한 수치로 표현 가능하므로 항해사로 하여금 신속한 판단을 내릴 수 있도록 정보를 제공한다.

그러나 앞으로의 무인 지능화 선박의 항해지원시스템에 적용하기 위해서는 많은 경험자수의 표준화된 정량화 문제와 다수상황에 따른 수치 실험의 지속적인 연구가 요구된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 해양수산부, 해난심판사례집, 해양수산부 중앙해난심판원, 1998.
- [2] Hasegawa, K., "Automatic Collision Avoidance System for Ships using Fuzzy Control," 8th Ship Control System Symposium, Hague, 1987.
- [3] Imazu, H. and Koyama, T., "The Optimization of the Criterion for Collision Avoidance Action," Journal of Japan Institute of Navigation, Vol. 71, Sep., 1984.
- [4] Imazu, H. and Koyama, T., "The Determination of Collision Avoidance Action," Journal of Japan Institute of Navigation, Vol. 70, Jan., 1984.
- [5] Koyama, T. and Yan, J., "An Expert System Approach to Collision Avoidance," 8th Ship Control System Symposium, Hague, 1987.
- [6] Hara, K. and Hammer, A., "A Safe Way of Collision Avoidance Maneuver based

of Maneuvering Standard Using Fuzzy Reasoning Model,” MARSIM 93, St. John's, 1993.

- [7] Hammer, A. and Hara, K., “Knowledge Acquisition for Collision Avoidance Maneuver by Ship Handling Simulator,” MARSIM & ICSM 90, Tokyo, 1990.
- [8] 최종수, 인공지능의 세계, 대영사, 1991.

