

탐지이론 적용을 통한 해상탐색 및 구조작전 의사결정 지원방안

(A Study of Decision-Making Support Plan of SAR
 Through Maritime Search Theory Application)

정 하 룡(Ha-Loung Jung)*, †이 재 영(Jae-Yeong Lee)**

초 록

21세기 신 해양시대를 맞아 해양활동 산업비중이 급격히 증가하고 있으며, 해상사고 또한 대규모 인명 및 재산사고로 이어지고 있어 이에 대한 안전관리체계의 중요성이 강조되고 있다. 본 연구에서는 탐색 및 구조작전의 핵심인 탐색범위의 결정, 탐색세력의 결정, 탐색시간의 결정 3가지 분야에 대하여 의사결정 지원을 위한 이론적 기준을 제시하였다. 이를 위해 해양사고시 현행 탐색 및 구조작전 절차상의 문제점을 파악해 보고, 선행 연구결과와 해상탐지이론을 적용하여 합리적 기준을 설정함으로써 탐색 및 구조작전 수행의 이론적 근거를 마련하였다.

ABSTRACT

In the 21st century, it is highly required to develop a better security management system to prevent many severe accidents occurred in the sea because it has been growing both size and importance for industries and global business which are heavily related to the sea.

In this paper, we proposed a new theoretical criteria for three core decisions to make for SAR(search and rescue). These are three decisions for search scope, search assets, and search duration. We first brought up several issues and problems of current SAR system, and then studies all related factors of these three decisions for SAR operations. This paper provides a theoretical foundation of SAR operations by applying a theoretical approach and reasonable standards.

Keywords : Search Theory, Search and Rescue Operation

논문접수일 : 2008년 10월 28일 논문게재확정일 : 2008년 12월 10일

* 제1 함대 사령부, 해군대위

** 국방대학교 관리대학원 교수

† 교신저자

1. 서론

최근 들어 국가 경제가 급속히 발달하고 해상을 통한 교역량이 늘어나면서 해양의 중요성이 강조되고 있다. 또한 바다는 무한한 자원의 보고로서 이를 확보하려는 국가 간의 정치·경제적 분쟁의 중심에 놓여 있다. 더욱이 여가 시간의 증가에 따른 해양 레저 인구의 증가는 해상 교통량의 증가와 더불어 인적·물적 피해를 수반하는 대형 해양 사고의 가능성을 내포하고 있다.

또한 해양사고는 국내 해양활동 인구 및 어선, 상선 등에 의한 사고뿐만 아니라, 우리 영해를 항행하는 다른 국가의 항공기 및 선박에 의한 사고도 포함하고 있다. 이러한 범국가적 해양사고가 발생하였을 경우, 이를 효과적이고 신속하게 조치하기 위해 관련 국가 간의 국제협약이 체결되어 있다. 이에 따라 해군과 공군의 『탐색 및 구조전대』, 해경의 『구난과』에서는 평소 사고에 대비하여 지속적인 교육훈련을 실시하고 있으며 사고발생시 즉각적인 조치를 취할 수 있는 대기태세를 유지하고 있다.

본 연구에서는 먼저, 해상 사례분석을 통해 탐색 및 구조작전에 대한 이해를 도모하고, 현행 탐색 및 구조작전 절차상의 문제점을 파악해 볼 예정이다. 이후 탐색 및 구조작전 절차의 핵심인 탐색범위의 결정, 탐색세력의 결정, 탐색시간의 결정에 있어서 선행 연구결과와 해상탐지이론을 적용하여 타당한 기준에 대한 이론적 접근을 시도해 보고자 한다.

2. 탐색이론 적용을 위한 모형화

2.1 탐색문제의 형태 구분

해상에서 탐색 상황은 탐색자와 표적의 상관관계, 탐색 시공간의 형태, 표적의 이동 특성, 그리고 탐색자의 탐색 특성 및 방법 등에 따라 다음과

같은 형태로 구분할 수 있다[14].

- 탐색자와 표적의 상호작용 여부
 - 단측 탐색(one-side search)
 - 탐색 게임(search game)
- 탐색 공간 및 시간의 형태
 - 연속 공간 및 시간(continuous space, time)
 - 이산 공간 및 시간(discrete space, time)
- 표적의 이동 형태
 - 고정된 표적(stationary target)
 - 이동하는 표적(moving target)
- 탐색자 수의 크기
 - 단독 탐색자(single searcher)
 - 다수 탐색자(multiple searcher)
- 탐색자의 탐색 방법
 - 이동 제한 없음, 할당 위치탐색(search allocation)
 - 제한 이동 경로 탐색 (constrained search path)
- 탐색 효과 척도로 구분
 - 탐지 확률의 최대화
 - 탐지 시간의 최소화

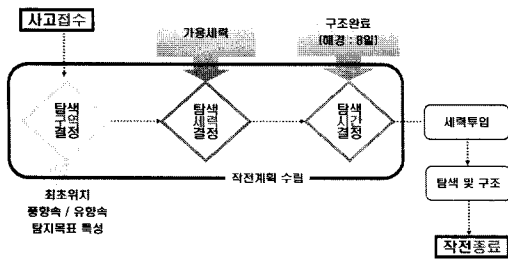
단측 탐색(one-side search)의 경우는 해상에서 조난자나 조난 선박의 탐색 상황을 묘사할 수 있으며, 수상함이나 항공기에 의한 잠수함이나 소형 침투선의 탐색 등에는 탐색 게임(search game)으로 적절히 묘사가 가능하다. 탐색 공간의 형태는 탐색자가 탐지장비를 이용하여 연속적으로 할당된 구역을 무작위 탐색하는 연속 공간 및 시간(continuous space, time)의 모형과, 탐색자나 표적의 위치는 셀로 표현하여 각 셀로의 전이 확률

에 의한 경로탐색 문제로 모형화 할 경우 이산 공간 및 시간(discrete space, time)에 대한 탐색모형을 적용할 수 있다. 모형에 대한 효과 척도(Measure of Effectiveness : MOE)는 연구의 목적에 따라 고정된 시간에 탐지확률을 최대화 하는 문제와, 탐지시간을 최소화 하는 문제로 구분 가능하다.

2.2 현실의 탐색 절차상의 문제점 고찰

해군과 해경의 수색 및 정찰 방법은 유사한 절차에 의해 이루어진다. 먼저 조난사고가 접수되면 정확한 조난 위치를 확인하고 가장 인접한 가용세력을 판단하여 최단 시간 내 현장에 투입한다. 탐색 범위는 사고 당시의 조류와 풍향에 따라 최초 사고 시 부터 경과시간을 추정하여 선정하며 투입세력의 수는 현행업무를 고려하여 적절히 통제된다. 탐색 시간은 통상 100% 구조 시 까지를 목표로 하나 기상이나 작전 가능세력의 여건을 고려하여 조정되기도 하며 국민의 관심 속에서 진행되는 작업의 경우 여론의 영향을 받기도 한다.

해군이나 공군, 해경에서 시행중인 탐색 및 구조작전은 <그림 1>과 같은 절차에 의해 이루어지고 있다.



<그림 1> 탐색 및 구조 절차

하지만 탐색 및 구조작전 절차 중 탐색구역의 선정에 가장 큰 영향을 미치는 조류와 바람의 영향에 대해 다양한 해상 실험을 통한 연구결과와 이를 바탕으로 한 시뮬레이션 틀이 있음에도 충분히 경험적인 자료에 의해 탐색 구역이 선정되고

있으며, 특히 투입세력 및 탐색 시간은 특정한 이론적 근거 없이 이루어지고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 선행 연구과제 분석을 통해 논리적인 탐색범위의 선정 방법에 대해 살펴보고, 탐색이론을 적용하여 적절한 투입세력과 탐색시간을 도출해 보고자 한다. 따라서 제 3장에서는 탐색 및 구조절차 중 탐색구역, 탐색세력 및 탐색시간을 산출할 수 있는 이론적 근거를 제시하였다.

3. 모형화를 통한 적용이론 고찰

3.1 탐색 및 구조작전의 모형화

문제 해결을 위한 탐색 및 구조작전의 모형화 결과 탐색 공간의 형태, 이동 경로, 탐색 시간의 표현은 연속 공간 및 시간(continuous space, time)에서 - 이동에 제한이 없이 할당된 위치에서 탐색(search allocation)토록 하였으며, 탐색자의 수와 탐색 특성은 다수 탐색자(multiple searcher)에 의한 탐색으로 모형화 하였다. 표적의 이동 형태는 단측 탐색(single side search)에 의한 이동하는 표적(moving target)이며, 탐색의 효과적 평가 기준은 표적에 대한 탐지확률(detection probability)의 최대화로 하였다. 해상 탐색 및 구조작전에 대한 모형화를 통해 탐색구역은 SAR 모델에 의한 고전적인 위치추정 방법으로 산출하였으며, 탐색세력은 탐지이론의 탐지확률에 대한 공식을 다수 탐색자(multiple searcher) 문제에 적용 가능토록 확장하여 탐지확률(detection probability)을 최대화(95% 이상) 할 수 있는 다수 탐색자(multiple searcher) 수를 산출하였다. 탐색시간은 탐지 효과에 대한 평가를 통해 탐지확률(detection probability)이 최소화(5% 이내) 되는 시점으로 산출 하였다.

3.2 표류위치 추정 모델

해상사고 발생에 따른 조난자나 조난선박에 대

한 예상 범위를 추정하기 위한 방법에는 여러 가지가 있다. 그중에서도 미 해군의 SAR(Sear And Rescue) 모델, IMO의 수색 및 구조 지침서, 미 해경의 CASP(Computer Aided Search Plan), 실험 모델에 의한 방법 등이 있다. 또 다른 이동 표적의 위치를 추정하는 방법에는 OR(Operations Resarch)의 고전적인 최단경로 문제와 전이확률(transition probability)을 이용한 마코프 과정(Markov process)을 통해 표적의 예상위치를 추정하는 확률 모형도 있다. 본 연구에서는 미 해군의 SAR 모델에 의한 구명정 표류위치 추정방법을 기준으로 문제를 해결 하였다.

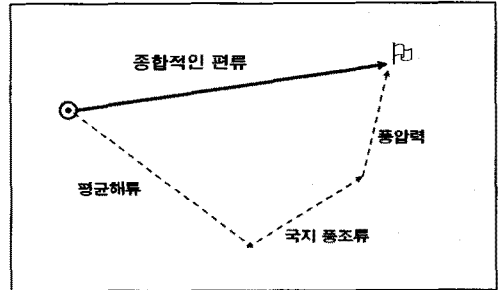
SAR 모델에 의한 표류위치 추정은 구명정에 있는 조난자를 탐색할 때, 탐색 전 시간을 통하여 계속적으로 수정된 위치를 선정하기 위해서는 바람과 대류의 편향효과를 고려한 허용치가 주어져야 한다. 넓은 대양에서 구명정 표류는 평균해류, 지역적인 조류류, 그리고 바람이 불어오는 방향에 달려있다. 바람에 의한 표류는 해면 위에 있는 구명정을 밀어내는 바람의 효과이다. 구명정은 바람 방향으로 풍속, 구명정의 크기, 구명정 부표의 크기에 따라 해면을 표류한다. 다양한 종류의 선박이 받는 풍속의 비율(%)처럼 풍압의 속도는 <표 1>과 같다. 이 표는 풍속 40kts 이상히 대체로 정확하다[13].

<표 1> 구명정 이외의 선박에 대한 풍압

수상선박의 형태별 풍압	
선박의 형태	풍압속도
구명작업용 보트	2%
무거운 배수량, 깊은 흘수의 범선	3%
중간 배수량의 범선, 트롤선, 참치잡이 어선	4%
대형 요트	5%
가벼운 요트	6%

총체적인 편기(Drift)기점을 주어진 시간 동안에 구명정에 영향을 미치는 편류요소의 종합적인

영향을 벡터도표(Vector Diagram)를 이용해 나타내면 <그림 2>과 같다.



<그림 2> 종합 편류

3.3 해상탐지 이론

3.3.1 Random Search

Random search는 단독 탐색자(single searcher)가 탐색구역 내에 반드시 존재하는 고정된 표적(stationally target)에 대해 탐색을 표현한다. 이때 탐색자는 이동 경로에 대한 특성 없이 불규칙한 탐색을 한다고 할 때, 탐색자가 탐색구역(A)에서 일정 거리(L)만큼 탐색을 실시하였을 때 표적에 대한 탐지확률을 말한다.

$$P(\text{det}) = 1 - e^{-\frac{WZ}{A}}$$

이 모형은 탐지지역 내에 표적의 위치가 불규칙적으로 분포되어 있으며 탐지행위도 Random 하게 이루어진다는 가정을 기초로 하고 있다.[4]

3.3.2 Uniform Random Search

Random search는 탐색구역 전체는 불규칙 탐색하는 것이지만, Uniform random search는 탐색구역을 n개로 나누어 작은 구간 내에서 random search 하는 탐색 방법이다. 탐색자는 작은 구간

내에서 탐색을 종료 후 그 다음 구간으로 이동해서 탐색활동을 n번 계속 하거나(single searcher), n명의 탐색자가 각각 작은 구간을 맡아서 탐색하는 경우(multiple searcher)를 말한다. 이때 전체 탐색면적은 $A=nSb$ 가 되며 작은 구간을 탐색하는 탐색자는 탐색거리 b만큼 탐색하게 된다.(S=구간의 길이) 따라서 총 탐색거리는 nb 가 되며 $L=nb$, $A=nSb$ 이므로 앞의 모형과 비교하면 다음과 같이 된다.

$$\frac{WL}{A} = \frac{W(nb)}{(nSb)} = \frac{W}{S}$$

그러므로 uniform random search를 할 경우에는

$$P(\text{det}) = 1 - e^{-\frac{W}{S}}$$

가 된다. 이러한 uniform random search 모형은 random search 모형들 중에서 표적 탐지확률의 하한치를 제공하고 있다. 이 탐색방법은 실제로 중복탐색을 피할 수 있기 때문에 실질적인 탐지확률을 높이는 효과를 얻을 수 있다[4].

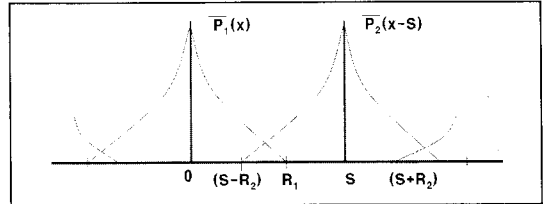
3.3.3 평행탐색

만약 탐색하고자 하는 목표물이 어떤 탐색구역 내에 확실히 위치하고 있거나 그럴 가능성이 높은 경우에는 체계적인 탐색을 하기 위해 동시에 다수의 탐색자(multiple searcher)를 투입하는 평행탐색 방법이 사용된다. 이와 같은 방법은 탐지확률 곡선을 알고 있을 경우에 적용될 수 있다.

각각의 탐색자가 가지고 있는 탐지확률곡선이 주어졌을 때, <그림 3>과 같이 n명이 동시에 일정 지역을 수색 정찰한다고 가정한다. 이들의 탐색구역이 중첩되지 않을 경우에 탐지확률(detection probability)은 $P(\text{det})=W/S$ 이었다. 만약 탐색자간의 간격이 $2R_m$ 보다 작다면 한명 이상의 탐색자

가 동시에 표적을 발견할 수 있다.

$$E[(Px)] = \int_0^S P(x) \frac{1}{S}$$



<그림 3> 중복탐지 확률 곡선

0과 S 사이에서 각 탐색자의 탐지확률곡선은 $P_1(x)$, $P_2(x)$ 이다. 그러나 탐지확률곡선이 0에서 시작되어야 하므로 P_1 은 타당하나 P_2 는 적절히 변형되어야 한다.

$$E[P(x)] = \frac{1}{S} \int_0^{S-R_2} P_1(x) dx + \int_{R_1}^S P_2(x-s) dx + \int_{S-R_2}^{R_1} [P_1(x) \cup P_2(x-S)] dx$$

위 식을 살펴보면 중첩탐색을 통해 평행탐색이 random search 나 uniform random search 보다 탐지확률이 높다는 것을 알 수 있다[4].

3.3.4 시간과 구역을 고려한 Random Search

고정된 탐색구역 내에 존재하는 표적에 대한 불규칙 탐색을 실시할 경우 탐지확률은 $1 - e^{-\frac{W}{A}}$ 로 주어졌다. 만약 이 표적을 탐지하기 위해 탐지속도가 V인 로 T시간 탐지한다면 탐지확률은

$$P_D(T) = 1 - e^{-\frac{WVT}{A}}$$

가 될 것이다. 보다 일반적인 공식은 탐지지역 A가 시간의 함수로 나타날 경우로서 다음과 같은

식이 될 수 있다.

$$P_D(T) = 1 - e^{-\int_0^T \frac{WVT}{A(t)} dt}$$

여기서

$$A(t) = \pi(R + u_t)^2$$

이므로 다음과 같이 표현이 가능하다.

$$P_D(T) = 1 - e^{-C}$$

단,

$$C = \frac{WVT}{\pi R(R + uT)}$$

탐지시간이 아주 길어진다면 상기 식의 C값은 다음과 같이 된다.

$$\lim_{T \rightarrow \infty} C = \frac{WV}{\pi Ru}$$

결론적으로, 시간 경과에 따른 표적 예상 범위의 증가로 인해 탐지확률이 감소하므로 조기탐색이 중요하다는 것을 알 수 있다[4].

3.4 탐지이론의 확장

상기에서 살펴본 탐지이론 식은 탐색 수단이 단일 유형(single searcher)일 경우에만 적용이 가능하다. 하지만 현실은 항공기와 수상함이 복합적(multiple searcher)이로 투입되며, 같은 유형이라 하더라도 탐색속력이나 탐색폭 등의 탐지성능이 다를 수 있으므로 이를 반영 할 수 있는 탐지이론 식이 필요하다.

따라서 본 장에서는 탐지이론 식을 다중세력(multiple searcher)에 적용이 가능토록 확장해 보 고자 한다.

해상 탐지이론에서 일정 구역 내에 반드시 존재 하는 탐색목표를 탐색할 확률은 다음식과 같다.

$$P_D(T) = 1 - e^{-\frac{WVTn}{A}}$$

위 식은 동일한 탐지특성을 가지는 단일 유형의 탐색수단 n척이 탐색했을 때 확률을 계산하는 식 이다. 위 식을 살펴보면 오로지 탐색폭(W)과 탐색 속력(V) 그리고 탐색세력의 수(n)만이 탐색세력 의 특성을 나타낸다는 것을 알 수 있다. 이 개별 특성을 타나내는 값을 동일 유형의 2척인 경우와 타 유형의 2척인 경우로 확장해 보면 다음과 같이 표현 할 수 있다.

<동일 유형(함정) 2척>

$$P_D(T) = 1 - e^{-\frac{(W_{\text{함정}} V_{\text{함정}} + W_{\text{함정}} V_{\text{함정}})T}{A}}$$

$$= 1 - e^{-\frac{2(W_{\text{함정}} V_{\text{함정}})T}{A}}$$

<타 유형(함정+항공기)의 2척>

$$P_D(T) = 1 - e^{-\frac{(W_{\text{함정}} V_{\text{함정}} + W_{\text{항공기}} V_{\text{항공기}})T}{A}}$$

<복합 세력(α척의 함정과 β척의 항공기)>

$$P_D(T) = 1 - e^{-\frac{[\alpha(W_{\text{함정}} V_{\text{함정}}) + \beta(W_{\text{항공기}} V_{\text{항공기}})]T}{A}}$$

위 식의 표현은 탐지확률 식이 지수함수의 형태 를 취하고 있으므로 지수함수의 특성을 이용하면 쉽게 전개할 수 있다.

따라서, 탐색세력의 특성을 나타내는 (WV)값 을 탐색세력의 성능지수(Ω)라 할 때 해상 탐지이 론의 단일 탐색자(single searcher)에 대한 탐지확 률 식은 다음 식과 같이 복합 수단에 대한 탐지확 률로 확장이 가능하다.

$$P_D(T) = 1 - \exp\left[-\frac{\sum_{i=1}^m n_i \Omega_i T_i}{\pi(D(T_d + T))^2}\right]$$

- i : 탐지세력 유형 index
- n_i : 탐지세력 유형 i 의 수
- Ω_i : 탐지세력 유형 i 의 성능지수(= $W_i \times V_i$)
- T_i : 탐지세력 유형 i 의 탐색시간
(=일일 탐지시간×일수)
- D : 종합편류
- T_d : 지연시간
- T : 총 탐색시간

$$A = \pi (D \times T_d)^2$$

- A : 탐색구역
- D : 종합편류
- T_d : 지연시간

상기 수식을 적용하여 탐색구역 설정의 예를 들어보면 <그림 4>와 같다.

4. 효과적인 탐색 절차 도출

4.1 탐색구역의 결정

탐색구역은 탐색 목표를 100% 탐색 가능한 탐색세력을 결정하기 위해 필수적으로 산출되어야 하는 값이다. 최초 탐색구역의 산출에 있어 고려 요소는 최초 사고위치, 상황발생 지역의 조류 및 바람, 탐색 목표물의 형태 등을 들 수 있다. 상황 발생 지역의 조류는 조석표에 표기된 해당 지역의 조류 방향과 세기를 이용해 산출하며, 바람의 영향은 탐색 목표의 유형에 따라 탐색 목표에 작용하는 풍압력을 이용하여 산출이 가능하다. 본 연구에서는 인명구조를 목적으로 하는 조난자(소형 구명정)에 대해 다루고 있으므로 풍압을 1%로 적용하였으며 국지 조풍류는 풍속 40kts 이상의 강풍에서 적용되므로 제외하였다.

탐색 목표의 예상 위치는 최초 위치에서 조류의 영향과 바람에 의한 풍압력의 영향을 벡터 합성에 의해 산출할 수 있다.

예상 탐색 구역은 최초 위치에서 예상위치까지의 거리를 반경으로 하는 원의 넓이로 계산할 수 있으며, 이때 고려해야 할 요소는 지연시간이다. 지연시간은 최초 사고 발생시간부터 탐색세력이 현장에 도착하여 탐색을 시작할 때 까지의 시간을 말한다. 따라서 예상 탐색구역 산출시 반경은 (최초 위치에서 예상 위치까지 거리)×(지연시간)이다.

결과적으로 예상 탐색구역을 산출하는 수식은 다음과 같다.

[탐색구역의 결정]										
도		radians		종단면		적교좌표				
3	중단(α ₁)	30.00	0.52	종속(V ₁)	20.00	0.20		X	Y	
4	유향(α ₂)	80.00	1.36	유속(V ₂)	2.00	/		X	Y	
5	지연시간	5.00						X	Y	
6								1.00	1.73	
7	* 풍압력(원소자나 구명정에 바람에 걸리는 정도) = 풍속*1%									
8	* 지연시간(사고발생 시점부터 구조대가 현장에 도착하여 주지 걸리는 시간)									
9								X'	Y'	
10								1.17	1.63	
11								V'	2.18	
12								α'	1.00	
13										
14								반경	10.88 NM	
15								최초탐색구역	371.71 NM ²	

<그림 4> (예시) 탐색구역의 결정

사고발생 지점의 바람(30도 20kts)과 조류(60도 2kts)를 고려한 편류 벡터값은 2.18이며, 이를 이용해 산출한 최초 탐색구역은 371.71NM²이다.

4.2 탐색세력의 결정

탐색구역의 결정 이후 탐색세력을 결정해야 한다. 투입 가능한 세력이 많을 경우 가용한 전력을 모두 투입하면 최대의 탐색 효과를 거둘 수 있겠지만, 현실적으로 투입 가능한 세력에는 제한이 따르기 때문에 예상 탐색구역 내에서 최초 1일 동안 탐색했을 때 탐지확률이 95%가 되는 투입 세력을 판단해야 한다. 이는 적정 투입세력의 기준이 되는 수치이며, 이 세력보다 적게 투입했을 경우 탐지확률이 낮아진다는 것을 알 수 있으며, 이 세력보다 과도하게 투입하였을 경우에는 예산이나 경비를 낭비 여부를 판단 할 수 있다.

탐색세력을 판단함에 있어 고려요소는 최초 탐색구역, 탐색세력의 탐색폭(W), 탐색속력(V) 등을 들 수 있다. 최초 탐색구역은 기 산출하였으며,

탐색폭은 탐색 목표의 특성이나 상태에 따라서 달라질 수 있다. 탐색 목표가 대형일 경우 R/D의 최대 탐색거리가 탐색폭이 될 것이며, 탐색 목표가 소형으로 R/D를 이용해 탐색하기 어려운 경우에는 시각탐색 가능 거리가 탐색폭이 될 것이다. 본 연구에서는 인명구조를 목적으로 하는 조난자(소형 구명정)에 대해 다루고 있으므로 탐색폭을 시각 탐색폭으로 적용하였다.

상기에서 판단한 최초 탐지구역, 탐색폭, 탐지속력을 이용하여 최초 1일 동안 95% 탐지 가능한 투입세력은 다음과 같은 수식을 통해 산출할 수 있다.

$$P_D(T) = 1 - \exp\left[-\frac{\sum_{i=1}^m n_i \Omega_i T_i}{\pi(D(T_d + T))^2}\right] = 0.95$$

- i : 탐지세력 유형 index
- n_i : 탐지세력 유형 i 의 수
- Ω_i : 탐지세력 유형 i 의 성능지수(= $W_i \times V_i$)
- T_i : 탐지세력 유형 i 의 탐색시간
- D : 종합편류
- T_d : 지연시간
- T : 총 탐색시간

통상적으로 가용 탐색세력 중 항공세력은 그 수가 제한되어 있어 가용한 항공기의 수를 대입 후 함정의 수를 산출하는 것이 타당하다.

상기 수식을 적용하여 투입세력 산출의 예를 들 어보면 <그림 5>와 같다.

	원형	항공기	
1	탐색폭(W)	1.00	2.00 NM
2	탐지속력(V)	8.00	120.00 kt
3	탐지시간(T)	10.00	4.00 h
4	탐지확률	0.95	
5	탐지면적(A)	371.71	km ²
6	투입세력(n)	1.92	1.00 척

이론적으로 1일 수색시 탐지확률이 95%가 되는 투입세력

<그림 5> (예시) 탐색세력의 결정

최초 탐색구역을 이용하여, 투입세력의 성능지수를 대입하여 탐지 확률이 95% 이상이 되는 투입세력의 산출 값은 항공기 1척, 함정 2척이다.

4.3 탐색시간의 결정

해상 탐지이론을 적용하여 탐색범위를 산출하고 최적 투입세력을 계산하여 탐색 및 구조작전을 실시하였으나 표적을 탐색하지 못한다고 하여 기약 없이 지속적인 탐색작전을 실시할 수는 없다. 탐색 및 구조작전을 종료할 수 있는 시점은 조난자 구조의 경우 조난자의 최대 생존시간이 될 것이며, 탐색 목표가 조난자 사체나 사고 부유물일 경우에는 탐지확률이 특정기준 이하인 경우에는 탐색을 종료하여야 한다.

상기의 고려사항을 적용하여 산출한 최적 탐지시간은 다음과 같이 산출 할 수 있다.

1. 생존자 구조의 경우 : 계절별 최대 생존시간
2. 익수자 변사체 및 사고 부유물 탐지의 경우 : 탐지확률 5% 이하

상기 기준을 적용하여 수색시간 산출의 예를 들 어보면 <그림 6>과 같다.

시연시간	탐색구역(NM)	탐색속력	탐색거리	투입세력	투입시간
372					
1	1	6895	0.122	변류구조	
2	2	3432	0.065		
3	3	7739	0.383	여객선	
4	4	13755	0.632		
5	5	21685	0.526		
6	6	30943	0.621		
7	7	42114	0.716		
8	8	55010	0.812		
9	9	69628	0.914		
10	10	85958	0.912		
11	11	104091	0.912		
12	12	123735	0.911		
13	13	145261	0.910		
14	14	168486	0.909		
15	15	193391	0.909		
합계			5.0		
총탐색시간	50.72782259		2.1		

<그림 6> (예시) 탐색시간의 결정

예시를 살펴보면 하절기의 경우 최대 생존시간이 24시간이므로 작전시작 1일이 지나면 익수자

의 생존가능성이 매우 낮다. 따라서 탐색 목표를 생존자에서 익수자 번사체나 사고 부유물로 전환해야 하며, 최종 탐색 및 구조작전의 종료시점은 탐지확률이 5%이하가 되는 3일이 이론적인 값이라 하겠다.

4.4 주요 변수에 대한 민감도 분석

주요 변수의 선정은 확장된 탐색식에 입력 가능한 10개의 변수 중 최종 의사결정권자의 판단에 의해 조정이 가능한 4가지 변수에 대하여 민감도 분석을 실시 하였다.

<표 2> 주요 입력 변수

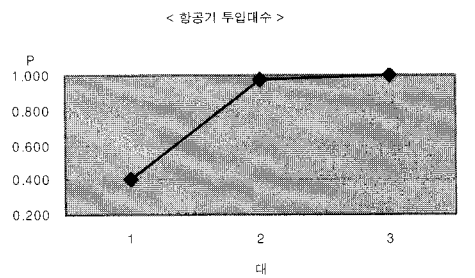
변수	내용	범위	단위
α	항공기 투입 대수	0~3	1대
β	함정 투입 대수	2~15	1대
V	항공기 탐지속력	80~180	10kts
	함정 탐지속력	5~15	1kts

주요 입력 변수는 <표 2>와 같으며 주요 변수에 대한 민감도 분석 결과는 다음과 같다.

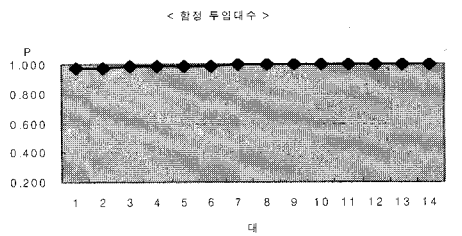
민감도 분석 결과 탐지확률에 가장 큰 영향을 미치는 변수는 항공기의 투입대수이며 다음으로 항공기의 탐지속력, 함정의 탐지속력 순으로 나타났다. 이는 탐지세력의 결정에 있어서 탐지성능이 우수한 항공기의 투입에 대해 중대하게 고려해야 한다.

5. 결론

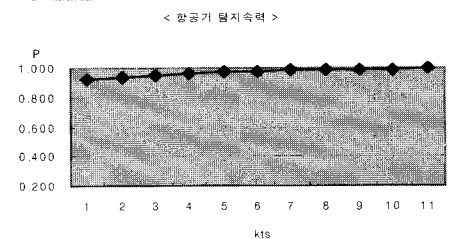
본 연구에서는 해상사고 발생 시 탐색 및 구조작전 절차에 있어서 탐색구역의 결정·탐색세력의 결정·탐색시간의 결정에 대한 선행 연구 자료와 해상 탐지이론을 적용하여 이론적인 결과를 산출하였다. 이는 현재 공군, 해군, 해경에서 사용하고



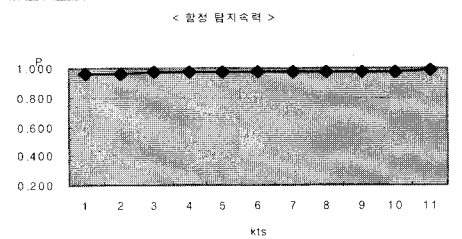
<그림 7> 민감도 분석(항공기 투입대수)



<그림 8> 민감도 분석(함정 투입대수)



<그림 9> 민감도 분석(항공기 탐지속력)



<그림 10> 민감도 분석(함정 탐지속력)

있는 탐색 및 구조절차에 있어서 탐색구역, 탐색세력, 탐색시간 결정의 경험적인 요인을 제거하고

수치에 대한 이론적 근거를 제시할 수 있을 것이다.

하지만 실제 상황이 발생하였을 경우 급변하는 해상상태와 해상 탐지이론이 현실세계를 100% 반영하지 못하는 제한사항으로 인해 실제 작전의 결과와 이론적 결과가 다소의 차이를 나타낼 수 있다. 또한 현행작전과 중복되는 탐색 및 구조작전 세력의 제한으로 인해 이론적인 결과를 그대로 적용 할 수는 없다는 현실적 문제도 존재한다.

본 연구의 이론적 접근을 통한 산출결과는 탐색 및 구조작전 의사결정권자의 의사결정을 지원할 수 있는 참고자료로 활용 가능하며, 제한된 상황 하에서 현재의 탐색 및 구조작전이 이론에 비해 얼마나 부족한지 혹은 과중한 낭비는 없는지 판단할 수 있는 기준으로 작용할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 김충영 외. 『군사 OR 이론과 응용』. 두남출판사. 2004.
- [2] 해양경찰청. 『2007 해양경찰청 백서』. 2008.
- [3] 예병덕 외. 『해상교통 안전관리시스템(CITS) 구축을 위한 연계 기술 표준화 방안 연구 용역』. 한국해양대학교. 2005.
- [4] 백종실. 『해상수색 및 구조협약의 발효와 우리의 대응방안』. 해양수산개발원.
- [5] 연봉철. 『탐색 및 구조작전 발전 방향』. 국방참모대학. 1997.
- [6] 이운성. 『법의학의 세계』. 살림출판사. 2003.
- [7] 해군본부. 『탐색 및 구조교범』. 1987.
- [8] 김기재. 『탐색 및 구조 발전방안 연구』. 해군대학. 2002.
- [9] 한국기계연구원. 『해양사고 대응기술의 개발』. 1998.
- [10] 강창구 외. 『해난사고 대응 통합 관제 및 수색 시스템 개발』. 한국해양연구원. 2003.
- [11] 이문진 외. 『표류선박 거동특성 관측 및 분석』. 한국해양연구원. 2005.
- [12] 강신영. 『조난선박 위치추정을 위한 GUI 프로그램 개발』. 한국해양대학교. 2002.
- [13] U.S. Coast Guard. 『national Search and Rescue Manual』. 1991.
- [14] Canadian Coast Guard. 『national Search and Rescue Manual』. 1996.
- [15] IMO, 『IAMSAR Manual』. 1999.

■ 저자소개 ■

정 하 통 (E-mail: navy10089@hanmail.net)

- 2000 해군사관학교 전기공학과 졸업(공학사)
- 2003 연세대학교 물리학과 졸업(이학사)
- 현재 국방대학교 운영분석학과(석사 중)
- 관심분야 위게임 및 시뮬레이션

이 재 영 (E-mail: leeis100@yahoo.co.kr)

- 1980 육군사관학교 졸업(이학사)
- 1988 미국 Naval Postgraduate School 졸업(OR 석사)
- 1995 미국 North Carolina State University 졸업(OR 및 통계학 박사)
- 현재 국방대학교 운영분석과 부교수
- 관심분야 비용대 효과분석, C4I 체계효과 평가, 비용분석, 국방지식경영, 의사결정모델 개발, 최적화모델 개발, 시뮬레이션, 전투실험(Battle-lab), DM&S, MIS, ERP, CRM, SCM

〈주요저서 / 논문〉

- 「테크노 경영의 이론과 실제」(국방대학교, 2005)
- 「디지털 전장시대의 국방경영정보체계」(국방대학교, 2001)
- 「지식경영의 국방적용 사례연구」(교수논총, 제21집, 국방대 2001)
- 「21세기 국방경영혁신을 위한 RMA 추진전략」(교수논총, 제20집, 2000)
- 「21세기 국방분석평가제도」(한국국방연구원 국방정책연구, 제5호, 1999)