

해상 탐지이론 적용을 통한 효과적인 탐색 전략에 관한 연구 A Research about The Effective Search Strategy Through Marine-time Search Theory Application

정 하 룡

국방대학교 관리대학원(navy10089@hanmail.net)

Abstract

The ocean has settled down in human mind as a territory and a leisure space from which anyone enjoys and takes a benefit under the national sovereignty, as the new era of Sea comes. In addition, because the population engaged in marine activities has rapidly increased, the number of marine accidents consequently has grown up as well. In this reason, currently it has been highlighted to devise safety measures to prevent large scale accidents or disasters on the oceans.

Therefore, this thesis firstly points out issues and problems of current search and rescue operations, and secondly studies three primary factors of the search and rescue operations, which are decision of search range, decision of search asset, and decision of search duration. Finally, the thesis suggests a theoretical foundation of the search and rescue operations by applying the result of studies and the marine search theory through a theoretical approach to reasonable standards.

1. 서론

21세기 신 해양시대를 맞아 해양의 중요성은 정치·경제뿐만 아니라 우리 국민의 문화·의식·생활의 중심으로 부상하고 있다. 오늘날 바다는 우리의 주권이 미치는 영토로서 그리고 일반 국민 누구나 즐기고 누릴 수 있는 대중 친화적인 레저공간으로 자리잡아가고 있다. 아울러 해상 물동량이 큰 폭으로 증가하고 국민생활수준의 향상에 따라 개인 여가시간 및 활동영역이 다양화 되어 해양활동 인구가 급격한 증가로 이어지고 있어, 해상사고가 일반 국민들까지 확대됨으로써 일반인들의 대규모 인명사고 또는 대형 재난사고에 대한 안전관리체계의 중요성이 강조되고 있다.[1] 또한 해양사고는 내국인 및 내국인 선박에 의한 사고뿐만 아니라, 자국의 영해를 운항하는 타국 항공기 및 선박에 의한 사고도 포함하고 있다. 이러한 국가적 사고가 발생하였을 경우, 이를 신속하고 효과적으로 조치하기 위한 국제협약이 체결되어 있다. 이에 따라 해군과 공군의 『탐색 및 구조전대』, 해경의 『구난과』에서는 평시 사고에 대비하여 지속적인 교육훈련을 실시하고 있으며 사고발생시 즉각적인 조치를 취할 수 있는 대기태세를 유지하고 있다. 이러한 해상사고 발생시 탐색작전에 있어서 고려되어야 할 요소는 ‘탐색목표(인수자 혹은 표류선박)의 예상위치를 얼마나 정확하게 산출 할 수 있는가?’, ‘최초 투입

세력을 어떻게 산출 할 것인가?’, ‘언제 구조 및 탐색 작전을 종료해야 하는가?’ 이상의 3가지로 함축할 수 있다.

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

2. 해상탐색 및 구조작전의 이해

1) 탐색 및 구조의 개념

탐색 및 구조는 탐색구조 책임구역 내에서 조난당한 인명 및 재산을 구출하기 위하여 가능한 모든 비상수단을 효과적으로 운용 하는 것으로써, 항공기 사고·해난 사고·화재·수해 및 기타 발생 가능한 재난에 대한 구조 활동과 조난자에 대한 적절한 조치, 조난 시 비상통신 절차 및 조난비행관제 등의 모든 활동이 포함된다.

한편 해상탐색구조(Maritime Search And Rescue)란 「해상 및 그 상공에서 조난을 당하거나 조난의 위험에 처한 인명, 선박, 등을 수색하여 이들을 구조하거나 필요한 원조를 제공함으로써 해상에서의 인명과 재산을 보호하는 것」이라고 할 수 있다. 조난자나 조난 선박의 생존가능성 또는 발견 가능성은 시간이 경과함에 따라 급속히 감소하게 된다. 따라서 해상탐색 및 구조에 있어서 가장 중요한 것은 효과적인 수색계획을 수립하여 신속하게 생존자를 구조하는 것으로 신속성이 결과를 좌우한다고 할 수 있다.[8]

2) 해양사고

해양조난사고는 [수난구조법]¹⁾ 제2조의 정의규정에 따라 해상에서 선박 등의 침몰·좌초·전복·충돌·화재·기관고장·추락 등으로 인하여 사람의 생명·신체 및 선박 등의 안전이 위험에 처한 상태를 말하며 일반적으로 해양사고라 한다.

2006년의 해양 사고에 의한 인명사고는 전체 4,873명이 발생하여 4,769명을 구조하였고(구조율 97.9%) 104명이 사망·실종되었으며 2005년도 사고 발생에 비해 구조율은 높아지고 사망·실종자는 크

1) 1961년 11월 1일 법률 제761호로 제정·공포된 뒤 1994년 12월 22일 법률 제4793호로 전문개정되었고, 그후 수차례 일부 개정되어 현재에 이르고 있다. 조난된 사람과 선박 등의 수색·구조 및 보호에 필요한 사항을 규정하고, '해상에 있어서의 수색 및 구조에 관한 국제협약'의 내용을 수용함으로써 조난사고로부터 인명과 재산의 보전에 이바지함을 목적으로 한다.

게 줄었다. 선박사고는 845척이 발생하여 이 중 794척(구조율 94%)이 구조되었다.

2006년의 해양사고를 조난선박에 대한 기관별 구조실적으로 살펴보면 해양경찰이 757척(95.3%), 자체수리·자력구조가 18척, 선단선 등 타 어선에 의한 구조가 14척, 기타 해군, 외국 구조세력 등에 의한 구조가 5척으로 주로 해경에 의해 구조가 이루어졌으며 해군의 구조사례는 미미한 편이다.

사고당시 기상을 보면 태풍, 풍랑주의보, 저시정 등 해상 기상이 불량할 때 발생한 사고는 181척(21.4%)에 불과한 반면 기상이 양호할 때 발생한 사고는 664척(78.6%)으로 기상 양호 시 사고가 더 많이 발생하였다.

3) 탐색 및 구조관련 국제 협약

(1) 항공안전 관련 협약

가) 국제민간항공기구(International Civil Aviation Organization) : 세계 민간항공의 평화적이고 건전한 발전을 도모하기 위하여 1947년에 발족한 국제연합 전문 기구로서, 민간항공의 안전과 발전을 주목적으로 하는 정부 차원의 국제협력기구이다. 1944년 시카고에서 52개국 대표가 모여 설립을 결정한 국제민간항공조약(시카고조약)에 의거하여 설립되었다. 1947년 국제연합 경제사회이사회 산하 전문기구가 되었다. 국제민간항공 운송의 발전과 안전의 확보, 능률적이고 경제적인 운송의 실현, 항공기 설계·운항기술 발전 등을 주요 목표로 삼고 있다. 주요 업무는 항공기·승무원·통신·공항시설·항법 등 그 기술면에서의 표준화와 통일을 위해 연구하며 그 결과를 회원국에 제공한다.

나) 국제민간항공조약(Convention on International Civil Aviation) : 국제민간항공조약은 1944년 시카고 국제회의에서 채택된 민간항공 운영을 위한 기본조약으로 시카고조약이라고도 한다. 제2차 세계대전 말, 연합국과 중립국의 52개국 대표가 시카고에서 전후 민간항공과 관련된 문제를 협의, 채택한 것으로 전문(前文) 등 4부로 되어 있다.

(2) 선박안전 관련 협약

가) 국제해사기구(International Maritime Organization) : 항로·교통규칙·항만시설 등을 국제적으로 통일하기 위한 국제기구로서 약칭은 IMO이다. 1948년 2월 19일에 스위스 제네바에서 국제연합(UN) 해사위원회가 열렸고 1948년 3월 6일 미국, 영국을 비롯한 12개국이 국제해사기구조약을 채택하였다. 이 조약은 1958년 3월 17일부터 발효되었고 1959년 1월 6일 국제연합 전문기구인 정부간해사자문기구(IMCO)로 활동을 시작하였다. 이 조약은 사고 등에 의한 기름오염뿐 아니라 화학약품, 수화물, 오물, 쓰레기 등으로 오염되는 경우까지 광범위하게 다룬다.

나) SAR 국제협약

SAR 협약의 목적은 해상의 조난자에게 援助를 제공하고 모든 연안국이 감시와 수색 및 구조업무를 위한 적절한하고도 실질적인 체계를 확립함에 있다. 또한 해상 및 그 상공에서의 안전에 관한 활동 관련 국가간 정부조직 및 기구 조정이 바람직함을 인정한 1960년 “해상에서의 인명안전에 관한 국제회의”에서 채택된 권고를 고려하며, 해상 조난자의 구조를 위하여 해상교통의 필요에 부응하는 국제적인 해상 수색 및 구조계획을 확립함으로써 이와 같은 활동을 개발하고 촉진할 것을 희망하고, 전 세

계의 수색 및 구조기관의 협력과 해상에서의 수색 및 구조 활동의 참가당사자 간의 협력을 촉진할 것을 바란다고 명시되어 있다.

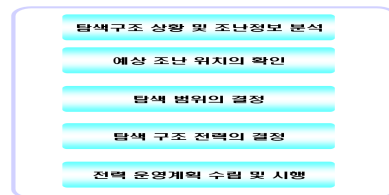
(3) 탐색 및 구조관련 기타 협약

가) SALVAGE 협약 : 1910년에 제정되어 1989년 개정되었다. 1910년 해난구조에 관한 국제협약은 주로 사법적인 측면을 규정한 것으로서 구조에 성공했을 경우 구조료에 관한 「No cure, No pay」 규정이 대부분이고, 공법적(公法的)인 측면을 규정한 것은 제 11조에서 선장에게 자선과 승무원 및 여객에게 심각한 위험이 없는 한 조난자가 적국인(敵國人)이라도 구조하여야 한다는 의무를 부여하고 있다.

나) 해상인명 안전협약(SOLAS) : 1974년 제정되어 1995년 개정되었다. 1974년에 제정된 SOLAS 제 5장(항해의 안전) 10 규칙에는 선장의 조난통보 의무와 조치를 규정하고 있다. 즉, 모든 선박의 선장은 선박, 항공기, 구명정 등으로부터 조난신호를 접수하면 조난자 구조에 최선을 다하도록 규정하고 있으며 또한 조난 선박의 선장에게는 조난신호에 대하여 구원의사를 표시한 선박들의 선장들과 협의하여 구조하는데 가장 적당하다고 인정되는 하나 또는 둘 이상의 선박을 소집할 권한을 부여하고 있다.

4) 기존 탐색 절차상의 문제점 고찰

해군과 해경의 수색 및 정찰 방법은 거의 유사한 절차에 의해 이루어진다. 먼저 조난사고가 접수되면 정확한 조난 위치를 확인하고 가장 인접한 가용 세력을 판단하여 최단 시간 내 현장에 투입한다. 탐색 범위는 사고 당시의 조류와 풍향에 따라 최초 사고 시 부터 경과시간을 추정하여 선정하며 투입 세력의 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.



<그림 1> 탐색 및 구조 절차

이런 대부분의 탐색 및 구조작전은 해군이나 공군, 해경에서 시행중인 구조 절차에 의해 이루어지고 있다. 하지만 탐색구역의 선정에 가장 큰 영향을 미치는 조류와 바람의 영향에 대해 다양한 해상 실험을 통한 연구결과와 이를 바탕으로 한 다양한 시뮬레이션 툴이 있음에도 다분히 경험적인 자료에 의해 탐색 구역이 선정되고 있으며, 특히 투입세력 및 탐색 시간은 특정한 이론적 근거 없이 이루어지고 있는 실정²⁾이다.

이에 본 연구에서는 선행 연구과제 분석을 통해 논리적인 탐색범위의 선정 방법에 대해 살펴보고, 탐색이론을 적용하여 적절한 투입세력과 탐색시간

2) 해경의 경우 탐색 및 구조작전 기간 10일, 해양경찰청 구난과.

을 도출해 보고자 한다. 따라서 제 3장에서는 탐색 구역, 탐색세력 및 탐색시간을 산출할 수 있는 이론적 근거에 대해 알아보기로 하자.

3. 해상탐색 관련 이론적 고찰

1) 표류위치 추정 모델

해난사고 발생시 표류지점 추정 및 수색작업의 지역범위를 경정하기 위하여 현재 각국에서 사용하고 있는 모델은 대개 다음 중 하나이다. 그 것은 IMO의 수색 및 구조지침서, 미해군의 해양환경 자료센터의 SAR 모델, U.S Coast GUARD의 CASP, 몬테카를로 방법 등이 있는데, 이 모델들은 형식적으로는 각기 다른 추정점 결정방법을 택하고 있지만 근본적인 원칙은 모두 같다고 할 수 있다. 즉 조류, 해류, 취송류, 연안류 등에 의한 해수의 운동은 표류에 100%영향을 미친다고 가정하며, 바람에 의한 영향은 표류물체의 형태적 특성에 따라 유형별로 풍압력을 산출하여 해수유동으로 인한 표류에 벡터합성을 하여 전체 표류거리 및 방향을 결정하고 있다.[9]

본 절에서는 미 해군의 SAR 모델에 의한 구명정 표류위치 추정방법과 몬테카를로 방법에 대해 살펴보고자 하겠다.

(1) SAR 모델에 의한 표류위치 추정³⁾

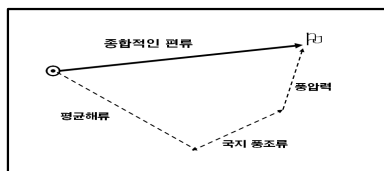
구명정에 있는 조난자를 탐색할 때, 탐색 전기간을 통하여 계속적으로 수정된 위치를 선정하기 위해서는 바람과 대류의 편향효과를 고려한 허용치가 주어져야 한다. 넓은 대양에서 구명정 표류는 평균 해류, 지역적인 조류류, 그리고 바람이 불어오는 방향에 달려있다. 바람에 의한 표류는 해면 위에 있는 구명정을 밀어내는 바람의 효과이다. 구명정은 바람방향으로 풍속, 구명정의 크기, 구명정 부표의 크기에 따라 해면을 표류한다.

다양한 종류의 선박이 받는 풍속의 비율(%)처럼 풍압의 속도는 <표 1>와 같다. 이 표는 풍속 40kts 이상히 대체로 정확하다.

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

< 표 1 > 구명정 이외의 선박에 대한 풍압

총체적인 편기(Drift)기점을 주어진 기간 동안에 구명정에 영향을 미치는 편류요소의 종합적인 영향을 벡터도표(Vector Diagram)를 이용해 나타내면 <그림 2>과 같다.



< 그림 2 > 종합 편류

(2) 몬테카를로 방법을 통한 표류위치 추정⁴⁾

몬테카를로 방법을 이용한 표류 모델은 표류선박에 해당하는 수치적 입자를 추적하는 방법으로 모델링 되어있다.

시간 t 내에 위치(x0, y0)에 있던 입자가 시간이 Δt 만큼 경과 후 바람과 해수 유동에 의해 이동한 후 놓이게 될 새로운 위치를 (x0+ Δx, y0+ Δy)라 할 때, Δt 동안 변위 (Δx, Δy)는

$$\Delta x = (U + u')\Delta t$$

$$\Delta y = (V + v')\Delta t$$

로 주어진다. 여기서 (U, V)는 바람에 의한 풍압류 및 해수 유동의 유속이고, (u', v')는 난류적인 유속이다.

풍압류 및 해수 유동의 유속은 별도의 계산 모델을 이용하여 지정한다. 난류적 유속성분 u'과 v'는 난류장의 강도에 따라 결정되는 난류적 특성 유속인 Ub와 Vb의 범위 폭 내에서 불규칙적으로 분포하므로, 난류적 유속을 몬테카를로 방법으로 모델링 하면 시간 Δt동안의 변위는

$$\Delta x = (U + uUb)\Delta t$$

$$\Delta y = (V + vVb)\Delta t$$

로 표현된다. 여기서 u와 v는 각각 [-1, 1]구간 내의 값을 가지는 임의의 난수이다. 난류적 특성 유속 Ub와 Vb의 크기는 각각 x와 y방향의 와동 확산계수 Dx 및 Dy와

$$U_b = (6D_x/\Delta t)^{1/2}$$

$$V_b = (6D_y/\Delta t)^{1/2}$$

의 관계에 있다. 난류적 유동에 수반되는 와동 확산 계수의 크기는 일정하지 않고 난류장의 공간적 및 시간적 크기가 증가함에 따라 와동 확산 계수도 증가한다. 확산계수의 정확한 적용을 위해서는 확산 실험을 통하여 시간규모에 적합한 값을 도출하여야 한다.

2) 해상탐지 이론

(1) Random Search⁵⁾

어떤 탐지대상이 전체 면적 A지역 어딘가에 있다는 사실만 알고 있다고 가정하자. 그러나 정확한 정보가 없기 때문에 A지역에 일정하게 분포되어 있다고 가정하고 탐지를 시작해야 한다. 탐지자 역시 일정한 형태를 가진 탐지보다는 불규칙한 탐지를 한다고 할 때, 탐지자가 A지역에서 L이라는 거리만큼 수색, 정찰을 했을 때 탐지 확률을 말한다.

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

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

(2) Uniform Random Search⁶⁾

지금까지 일정한 지역 A를 불규칙적으로 탐색한 것과는 달리 지역을 n개로 나누어 작은 구간 내에서 random search를 하는 방안을 생각할 수 있다. 탐지자는 작은 구간 내에서 탐지를 완료한 후 그 다음 구간으로 이동해서 탐지활동을 n번 계속하거나 n개의 탐지자가 각각 작은 구간을 맡아서 탐지하는 경우를 말한다. 이때 전체 탐지면적은 A=nSb가 되며 작은 구간을 탐지하는 탐지자는 탐지거리 b만큼 탐지하게 된다.(S=구간의 길이) 따라서 총

3) 탐색 및 구조교범, 6장 2절 가능구역, p40-44.

4) 해난사고 대응기술 개발, 한국기계연구원, p117-118.

5) 김충영 외. 『군사 OR의 이론과 응용』. 두남출판사. p135-137.

6) 김충영 외. 『군사 OR의 이론과 응용』. 두남출판사. p138.

탐지거리는 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 식 (10)이 uniform random search를 할 경우에는

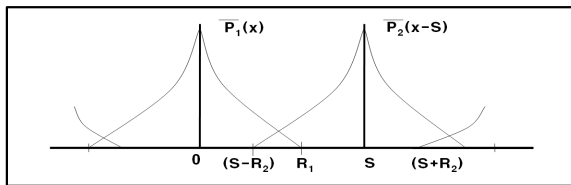
$$P(det) = 1 - e^{-\frac{W}{S}}$$

가 된다. 이러한 uniform random search모형은 random search 모형들 중에서 표적탐지 확률의 하한치를 제공하고 있다. 이 탐색방법은 실제로 중복탐색을 피할 수 있기 때문에 실질적인 탐지확률을 높이는 효과를 얻을 수 있다.

(3) 평행탐색⁷⁾

만약 탐색하고자 하는 목표물이 어떤 특정지역 내에 확실히 위치하고 있거나 그럴 가능성이 높은 경우에는 체계적인 탐색을 하기 위해 한꺼번에 여러 명의 탐색자를 투입하는 평행탐색 방법을 많이 사용한다. 그러한 탐색은 여러 명의 탐지자가 동시에 일정한 지역을 책임지면서 수색 및 정찰을 실시하는 방법이다. 이와 같은 방법은 탐지확률곡선을 알고 있을 경우에 적용될 수 있다. 만약 탐지간 간격이 2Rm 보다 작다면 한명 이상의 탐지자가 동시에 표적을 발견할 수 있다.

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



< 그림 3 > 중복탐지 확률 곡선

0과 S 사이에서 각 탐지자의 탐지확률 곡선은 P1(x), P2(x)이다. 그러나 탐지확률곡선이 0에서 시작되어야 하므로 P1은 타당하나 P2는 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) 시간과 구역을 고려한 Random Search⁸⁾

고정된 탐색구역 내에 존재하는 표적에 대한 불규칙 탐색을 실시할 경우 탐지확률은 $1 - e^{-\frac{WV}{A}}$ 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

7) 김충영 외. 『군사 OR의 이론과 응용』. 두남출판사. p138-141.

8) 김충영 외. 『군사 OR의 이론과 응용』. 두남출판사. p141-143.

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 중요하다라는 것을 알 수 있다.

3) 탐지이론의 확장

상기에서 살펴본 탐지이론 식은 탐색 수단이 단일 유형일 경우에만 적용이 가능하다. 하지만 현실은 항공기와 수상함이 복합적으로 투입되며, 같은 유형이라 하더라도 탐지속력이나 탐지폭 등의 탐지 성능이 다를 수 있으므로 이를 반영 할 수 있는 탐지이론 식이 필요하다.

따라서 본 장에서는 탐지이론 식을 다중세력에 적용이 가능토록 확장해 보고자 한다.

해상탐지이론에서 일정 구역 내에 반드시 존재하는 탐지목표를 탐지할 확률은 다음식과 같다.

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

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

<동일 유형(함정) 2척>

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

<타 유형(함정+ 항공기)의 2척>

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

<복합 세력(α척의 함정과 β척의 항공기)>

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

위 식의 표현은 탐지확률 식이 포아송 분포의 형태를 취하고 있으므로 포아송 분포의 super-position을 적용하면 쉽게 이해할 수 있다.

따라서, 탐지세력의 특성을 나타내는 (WV)값을 탐지세력의 성능지수(Q)⁹⁾라 할 때 해상탐지이론의 단일 수단에 대한 탐지확률 식은 다음 식과 같이

9) 본 논문에서 저자의 이론을 설명하기 위한 가칭임.

복합 수단에 대한 탐지확률로 확장이 가능하다.

$$P_D(T) = 1 - e^{-\frac{(a\Omega_1 T_1 + \beta\Omega_2 T_2)}{A}} \quad \text{---(5)}$$

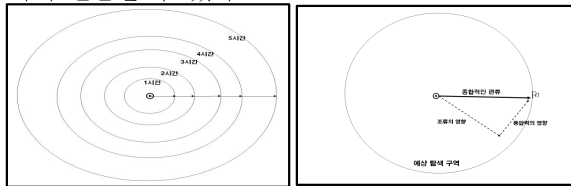
α = 탐지유형 1의 수
 β = 탐지유형 2의 수
 Ω_1 = 유형 1의 성능지수 = 유형 1의(탐색폭×탐색속력)
 Ω_2 = 유형 2의 성능지수 = 유형 2의(탐색폭×탐색속력)
 A = 탐색구역의 면적
 T_1 = 탐지유형 1의 탐지시간
 T_2 = 탐지유형 2의 탐지시간

4. 효과적인 탐색 절차 도출

1) 탐색구역의 설정

탐색구역은 탐색 목표를 100% 탐색 가능한 탐색 세력을 결정하기 위해 필수적으로 산출되어야 하는 값이다. 최초 탐색구역의 산출에 있어 고려요소는 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 구명정에 대해 다루고 있으므로 풍압을 1%로 적용하는 것이 타당하다.

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



< 그림 4 > 지연시간에 따른 탐색구역의 확장

< 그림 5 > 편류에 의한 예상 탐색구역

예상 탐색 구역은 최초 위치에서 예상위치까지의 거리를 반경으로 하는 원의 넓이로 계산할 수 있다. 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.

$$A(\text{탐색구역}) = \pi(D(\text{편류}) \times T_l(\text{지연시간}))^2$$

상기 수식을 적용하여 탐색구역 설정의 예를 들어보면 다음과 같다.

< 탐색구역의 결정 >

종량(n)	속	rad/s	종속(V)	종양면	비합	X	Y
20.00	0.52		20.00	0.20	0.17	0.10	
80.00	1.05		2.00	/	1.00	1.73	
자연시간	5.00						

* 풍압력(인수자나 구명정이 바람에 밀리는 정도) = 풍속×1%
 * 지연시간=사고발생 시공부터 구조대가 현장에 도착할때 까지 걸리는 시간

V	2.18
α	1.00

탐색구역 면적: 10.98 NM²
 최초탐색구역: 371.71 NM²

< 그림 6 > (예시)탐색구역의 설정

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

2) 탐색세력의 결정

탐색구역의 결정 이후 탐색세력을 결정해야 한다. 이때에는 탐지 확률이 95%가 되는 투입 세력을 판단해야 한다. 이는 적정 투입세력의 기준이 되는 수치이며, 이 세력보다 적게 투입했을 경우 탐지 확률이 낮아진다는 것을 알 수 있으며, 이 세력보다 과도하게 투입하였을 경우에는 예산이나 경비를 낭비 여부를 판단 할 수 있다.

탐색세력을 판단함에 있어 고려요소는 최초 탐지구역, 탐지 세력의 탐지폭(W), 탐지속력(V) 등을 들 수 있다. 최초 탐지구역은 기 산출하였으며, 탐지폭은 탐지 목표의 특성이나 상태에 따라서 달라질 수 있다. 탐색 목표가 대형일 경우 R/D의 최대 탐지거리가 탐색폭이 될 것이며, 탐색 목표가 소형으로 R/D를 이용해 탐지하기 어려운 경우에는 시각탐색 가능 거리가 탐색폭이 될 것이다. 본 연구에서는 인명구조를 목적으로 하는 구명정에 대해 다루고 있으므로 탐색폭을 시각 탐색폭으로 적용하는 것이 타당하다.

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

$$P_D(T) = 1 - e^{-\frac{(a\Omega_1 T_1 + \beta\Omega_2 T_2)}{\pi(DT)^2}} = 0.95$$

α = 항공기 투입 대수 β = 함정 투입 대수
 Ω_1 (항공기 성능지수) = (탐색폭×탐색속력)
 Ω_2 (함정의 성능지수) = (탐색폭×탐색속력)
 T_1 (항공기 탐지시간) = 4h/일
 T_2 (함정 탐지시간) = 10h/일
 A (탐색구역) = $\pi(DT)^2 = \pi(\text{편류} \times \text{총지연시간})^2$

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 들어보면 다음과 같다.

< 투입세력의 결정 >

	함정	항공기	
탐지폭(W)	1.00	2.00	NM
탐지속력(V)	8.00	120.00	kts
탐지시간(T)	10.00	4.00	h
탐지확률	0.95		
탐지면적(A)	371.71		NM ²
투입세력(n)	1.92	1.00	척
	2	1	척

* 평균 시각 탐색거리의 2배
 * 평균 주간 중 탐색 가능시간
 * 이론적으로 1일 수색시 탐지확률이 95%가 되는 투입세력

< 그림 7 > (예시) 투입세력의 결정
최초 탐색구역을 이용하여, 투입세력의 성능지수

