

공중탐지체계를 이용한 지·해상 표적에 대한 탐색효과 분석 연구

A Study on the Analysis of Search Effectiveness for the Ground and Marine Target by Airborne Detection System

이문걸¹⁾ · 신동인²⁾

Moon Gul Lee · Dongin Shin

ABSTRACT

The Republic of Korea Air Force is conducting surveillance and engagements operations to air-to-air, air-to-ground and air-to-surface targets using airborne system in real-time. However, the rules and methodologies of each airborne detecting system for the target search that must be performed before engagement are not established well. In particular, the existing search problem research is mainly concerned with searching for the drifting object in the sea and searching for submarines. Therefore, we study on the searching method of the airborne detection system for the ground and maritime target. Currently force's target detection method of the airborne system mainly depends on their own search experiences. In this study, we propose and analyze the search effect on the search pattern through the Agent Based Model simulation. By proposed methodology, we hope that operators can plan well-effectively to the target search and detect mission.

Key Words: Airborne detection system, Search, Agent based simulation, MOE

논문접수일 : 2021년 4월 16일, 심사일 : 2021년 5월 10일, 게재확정일 : 2021년 5월 21일

1) 국방대학교 국방과학학과 교수, 교신저자 bombslee@naver.com

2) 대한민국 공군 29 전술항공대대

1. 서론

공군은 공중체계를 이용한 실시간 공대지 표적탐지 및 교전을 실시하고 있다. 하지만 교전 이전 반드시 수행해야 하는 표적 탐색 방법에 대한 체계별 규정과 방법이 명확하지 않다. 특히, 기존의 탐색문제 연구는 해상에서 표류하는 조난자를 탐색하기 위한 문제와 잠수함과 같은 수중표적을 탐색하는 문제가 주를 이루고 있으며[1,5], 공중체계를 이용한 지·해상 표적 탐색문제에 대한 연구가 미흡한 실정이다. 현재 공군은 다중 고도에 사용되는 무인기와 고성능 공중 감시 및 정찰 전력을 운영하고 있고 추가적인 무기체계 도입을 진행 중에 있다[9]. 이러한 공중 감시체계의 효과적인 표적 감시 능력 발휘를 위해서는 항공기의 성능과 제원 특성 그리고 임무환경을 복합적으로 고려하여 임무계획 수립해야 한다. 이원용과 이문걸[12]은 탐지센서 성능을 알려져 있다고 가정하고 성능이 다른 다양한 공중감시체계가 동시에 채공할 때 최적의 임무지점 할당 및 선정을 계획하였다. 하지만 이 연구에서는 공중체계의 지·해상 표적 탐색방법에 대한 데이터 분석을 랜덤 매개변수를 가미한 개략 성능만을 반영하였다. 실제로 공중 탐지체계가 임무 구역에 투입될 경우 구체적인 탐지 방법과 탐색패턴 계획 수립이 요구된다. 이를 위해 공중체계가 무작위로 표적을 탐색하는 방법과 일정한 탐색패턴을 갖는 행위자기반 모형(ABM: Agent-Based Model) 시뮬레이션을 실시하였다. 행위자기반모형은 행위자간 미시적 상호작용에 기인한 동태적 복잡성을 규명하는 것으로 정의하며 행위자(agent), 시스템, 공간 및 외부환경의 3가지 요소로 구성되어 있다. 이는 행위자로 표현되는 미시적인 수준을 모형화하여 시스템 전체의 거시적 행동을 분석

하고 파악하는 방법으로 창발성을 발견하고 분석하는데 유용하다[2]. 분석을 위한 탐색효과 척도는 탐색패턴별 탐지확률과 탐지시 소요시간으로 선정하였다.

본 연구는 현재 공중탐지체계 운용자의 경험적인 측면에 의존하고 있는 표적탐색 방법을 보완하기 위해 보다 논리적이고 체계적인 접근법을 활용함으로써 운용자가 효과적인 임무계획을 가능토록 하였으며, 시뮬레이션을 이용해 탐색패턴별 탐색효과에 대한 분석결과를 살펴본다. 제시한 모형은 공중탐지체계 운용자뿐만 아니라 군의 다양한 지해상 플랫폼 표적탐지체계의 탐지계획에도 활용이 가능하다.

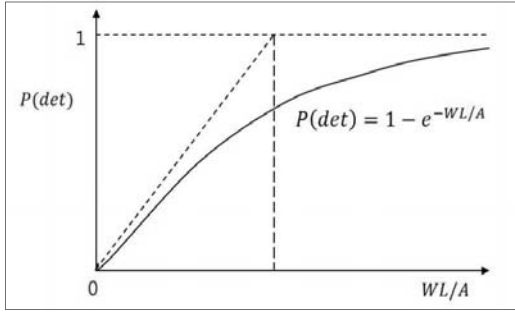
2. 이론적 고찰

2.1 무작위탐색(Random Search) 개념

무작위탐색은 어떤 탐색대상이 전체 면적 A지역 어딘가에 있다는 사실만 알고 있고 탐색 대상에 대한 정확한 정보가 주어지지 않아 지역 A에 동일한 비율로 분포한다고 가정한다. 탐색자 역시 일정한 형태의 탐색이 아닌 불규칙한 탐지를 한다고 할 때, 탐색자가 지역 A에서 L이라는 거리만큼 탐색했을 때의 탐지확률은 다음 식 (1)과 같이 나타난다[1,3].

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

여기서 W는 탐지장비의 탐지가능 폭(sweep width), L은 탐지거리를 나타낸다. 이 탐색 모형은 <그림 1>과 같이 탐지지역 내에 표적의 위치가 불규칙적으로 분포되어 있으며 탐지행위도 무작위로 이루어진다고 가정한다.



<그림 1> Random Search 탐지확률

2.2 시간과 탐색지역을 고려한 무작위탐색

고정된 탐색구역 내에 존재하는 표적에 대한 불규칙 탐색을 실시할 경우 탐지확률은 식(1)로 주어졌다. 만약 이 표적을 탐색하기 위해 탐색자가 탐색속도가 V 로 T 시간 탐색할 경우 탐지확률은 다음 식 (2)와 같이 나타난다[1,2,7].

$$P_D(t) = 1 - e^{-\int_0^T \frac{WV}{A(t)} dt} \quad (2)$$

여기서 W 는 탐색장비의 탐색폭, V 는 탐색속도, $A(t)$ 는 시간의 경과에 따른 탐색구역의 넓이를 말한다.

3. 시뮬레이션 모형

탐지확률식의 기본 가정은 탐색구역 내에 표적이 존재한다는 것이다. 그렇다면 임의로 탐색하는 방법과 정해진 탐색패턴에 따라 임무를 실시했을 때 탐색효과 차이를 확인할 필요가 있다. 탐지 확률식을 간단하게 사용할 수 있지만 탐색패턴에 따른 효과를 평가하기에는 제한적이다. 탐지하는 면적이 동일하면

동일한 탐지확률로 계산되기 때문이다. 이를 보완하기 위해 본 연구에서는 행위자기반모형 시뮬레이션 방법으로 탐색효과를 분석한다.

3.1 모형설계 일반

행위자기반 모형화를 위한 다양한 소프트웨어가 시중에 있으며 본 연구에서는 인터넷에서 쉽게 접근할수 있고 무료로 공개되어 있는 NetLogo 3D(ver.6.0.2)를 사용하였다. 이 소프트웨어는 행위자와 시스템 공간을 Logo라는 고유의 언어를 이용하여 개발할 수 있도록 JAVA로 개발되어 널리 사용되는 소프트웨어 중 하나이다[8].

본 모형은 전투기크기의 정찰임무기, 해상 초계기 등의 공중탐지체계가 고정된 임무구역 내에서 표적탐색을 실시하는 것을 설계하였다. 입력값은 속도, 탐지센서 등 체계 성능과 탐지구역, 탐색 패턴 등이며 이에 따른 효과를 분석하기 위한 모형을 구성한다. 공중체계 표적탐지 시뮬레이션은 김대중과 구형수 [4]가 정리한 <그림 2>의 행위자기반 모형의 구축절차를 바탕으로 본 연구를 수행한다.



<그림 2> 시뮬레이션 모형 구축 절차

3.2 대상시스템 관찰

본 모형은 공중체계의 표적탐지 시스템에 대한 속성을 반영할 필요가 있다. 일반 지상 차량 및 함정과 달리 항공기는 초고속 기동능력을 가진 반면 연료량의 제한에 따른 탐지시간의 제한 등에 대한 속성이 반영되어야 한다.

고속 기동성에 따라 선회 등 방향 전환 순

간에는 탐색 성능이 다소간 제한될 수도 있고 <그림 3>에서 보는 바와 같이 완벽하게 해당 라인을 따라 이동하는 것은 어려운 것이다. 아울러 이러한 순간에서의 속도 및 선회 측면의 제한성을 함께 고려해야 한다.

3.3 행위자 설정 및 규칙 적용

본 절에서는 공중 탐지체계가 실제 운용되는 3차원 공간의 환경을 정의하여야 한다. 이러한 환경 구현을 위해서는 <표 1>과 같이 행위자(agent), 행동규칙, 특성, 상태 및 상호작용 등을 정의하고 동시에 고려하여야 할 것이다.

우선 행위자는 항공기가 되고 항공기의 기동특성, 속도, 연료량 등의 성능이 포함된다.

행동규칙 및 특성은 상기의 기본 제원에 탐지센서 능력이 포함되어야 하며, 공중탐지체계 항공기에는 주로 광학 및 적외선 카메라, SAR 레이다 등의 탐지센서가 장착되어 있다. 이러한 센서들의 성능에 따라 탐지거리, 해상도 및 자동포착 능력 등의 부수적인 기능을 보유하고 있다. 이러한 센서는 지상,

해상의 환경과 기상 요인 등에 따라 탐지 정확도 및 기본 성능이 좌우될 것이다.[13]

이를 행동규칙으로 정의되는 이러한 성과와 함께 탐색계획 즉, 탐색패턴을 어떻게 계획하느냐가 임무 성공의 핵심이 될 것이다

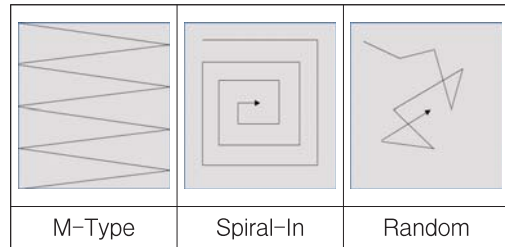
행위자가 구현되는 환경과 상호작용을 나타내는 탐색구역은 한반도 합동화력지역(JFA-K: Joint Fires Area-Korea)내 Cell(24×30NM)의 공간으로 설정하였다. 표적을 탐지할 때 까지의 걸린 탐색시간은 실제 해당 구역내 공중체계가 임무를 수 있는 시간인 30분으로 설정한다.[11]

본 연구는 공중체계의 표적탐지를 모형화하기 때문에 행위자(agent)는 표적을 탐지하는 공중체계이다. 표적의 위치는 실험마다 탐색지역내 임의의 한 지점에 나타나도록 실행하였다. 다음의 <표 1>은 시뮬레이션을 실행하기 위한 구성이다.

탐색패턴에 따른 효과도 분석을 위해 <그림 3>과 같은 행동규칙을 설정하였다.

<표 1> 시뮬레이션 입력 데이터 및 속성

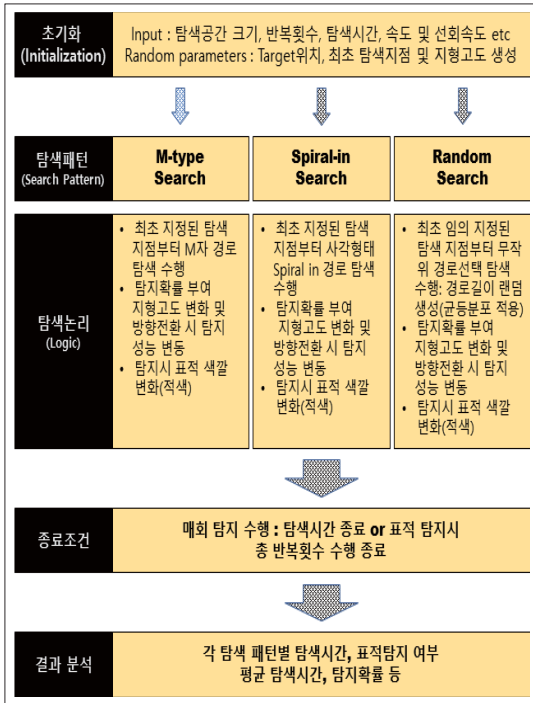
구 분		내 용
행위자(agent)		공중체계, 표적(지형)
행동규칙 (behavior)		M-type, Spiral In, Random search
특성 (property)	탐색구역	Cell(24×30NM)
	표적	탐색지역내 임의로 위치
	탐색시간	제한된 탐색시간(30분)
상태(state)		상태1 : 표적 탐지 전 상태2: 표적 탐지 후
상호작용 (interaction)		객체가 표적을 탐지할 경우 표적의 색깔 변경



<그림 3> 탐색 패턴 유형

3.4 시뮬레이션 모형 구성

본 모형의 실험은 전차크기 표적이 개략적으로 해당 구역에 위치된다는 것을 전제로 무작위로 탐색하는 것과 일정한 패턴을 가지고 탐색 할 경우의 효과를 분석하기 위한 것이다. 이 때 공중탐지체계의 센서 성능은 지형고도 및 속도에 따라서 탐지 성능이 달라지며, 본 연구에서는 방향 선회 시 제한된 탐



<그림 4> 시뮬레이션 모형 개념 및 논리

지 성능을 가지는 것을 모의 논리에 포함하였다.

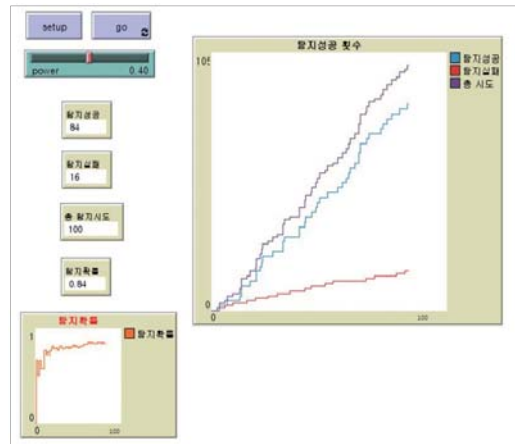
<그림 4>는 시뮬레이션 모형의 개략적인 알고리즘을 설명한 것이며 탐색공간 및 표적 생성이후 각 탐색패턴별 적용 규칙을 묘사한 것이다. 탐색패턴은 공중탐지체계에 적합한 보편적으로 사용하는 M-type과 Spiral-In 탐색 실험을 수행한다. 이 두 가지 패턴을 적용한 이유는 흔히 공중체계는 임무 명령을 받게 되면 탐색구역으로 초고속으로 신속히 위치할수 있으므로 탐색은 해당 구역 외곽에서 일반적으로 시작된다.

한편, 무작위 탐색패턴 논리는 최초탐색지점을 기준으로 방향과 이동길이를 결정하게 되고 해당 지점까지 도달되었을 경우 다시 방향과 이동길이를 생성하는 균일(Uniform) 분포를 갖는 랜덤값을 발생시켜 지속 탐색을 수행한다.

4. 실험결과 및 분석

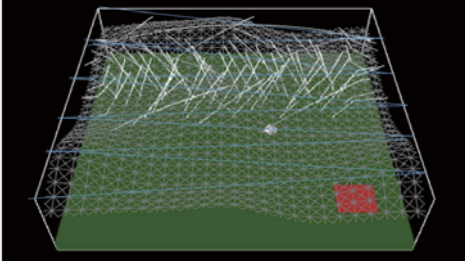
4.1 실험 계획 및 환경구현

실험은 각 탐색패턴 마다 제한된 시간인 30분 이내에 표적을 탐지하는지 여부에 따라 성공과 실패로 구분하였고 500번의 반복을 하였다. 탐색종료 조건은 표적을 탐지하였거나 표적이 탐지하지 못하고 탐색시간이 종료될 경우이다. 총 반복횟수를 기준으로 탐지와 실패의 횟수는 누적되고 총 탐지시도와 성공 횟수의 비율이 패턴별 탐지확률이 된다. 추가적으로 표적 탐지 성공 시 소요된 탐색 시간 자료를 추출하여 효과분석 자료로 사용한다. <그림 5>는 M-type 탐색패턴 실험 결과에 따른 분석 결과에 대한 예시 화면이다.



<그림 5> M-type 탐색 탐지 성공과 실패에 대한 횟수 결과 및 탐지확률 분석화면 예시

또한 본 연구에서 실제 탐색 임무와 유사한 환경구현을 위해 지형은 <그림 6>의 예시와 같은 Random Gradation 논리를 사용하여 생성된 임의의 지형 데이터를 가지고 실험을 수행한다. 영향요인은 항공기를 기준으로 지상과의 고도에 따라 탐지성능을 모의할 수 있다.



<그림 6> 지형 환경 구현 3차원 모델링

4.2 모형 검증 및 유효성 조사

본 모형이 정상적으로 구현되는지 시뮬레이션 결과에 대한 신뢰도를 보장하기 위해 모형의 타당성 검증(verification) 및 유효성 확인(Validation)을 실시해야 한다. 연구 모형의 타당성 검증은 모형의 코딩이 제대로 되었는가를 검증하는 것으로써 NetLogo상의 Check 기능을 통해 확인할 수 있다. 또한 이러한 검증은 모형이 순차적으로 각 개체가 진행 단계별로 정상적으로 논리에 따라 작동하는지 여부를 포함하여 진행하였다.

유효성 조사는 모형이 의도한 대로 가동하여 실제 시스템과 동일하게 움직이는지를 확인하는 작업이 요구된다. 그러나 현 모형은 실제 체계를 참조하여 핵심적인 사항 및 특성을 고려하여 설계되어 있고 현실과 유사한 수준을 나타내는 것을 확인하였다. 아울러 본 사항은 연구자가 해당 분야에서 다양한 경험을 가진 전문가로서 항공작전 임무형태와 항공기의 성능과 탐지센서의 작동 결과를 비교했을 때 유사한 형태로 동작됨을 확인하였다. 하지만 이러한 실제 표적탐지 상황 결과와 효과 확인을 위한 현실적인 제한이 있음을 밝힌다.

4.3 탐색패턴별 탐지시간 상이성 검정

시뮬레이션 모형의 반복 실행을 통해 탐색 패턴별 100회 성공시 까지의 탐지시간을 측정한다. 검정데이터는 <표 2>와 같으며, 비

교하고자 하는 집단은 탐색패턴별 3개 집단이다. 이를 통해 탐색 패턴들에 대한 차이를 분석하기 위해 영향을 미치는 요인(factor)을 탐지시간으로 선정하고 이에 대해 가설검정을 실시한다. 따라서 비교하고자 하는 집단이 3개, 요인이 1개이기 때문에 일원분산분석(one-way ANOVA)을 기법을 사용한다.

본 분석의 기본 가정은 독립성, 정규성, 등분산성을 만족해야 한다. 관측치는 각 그룹에 실행에 대해 서로 독립적이어서 그룹간에 서로 영향을 주지 않아야 하고, 각 그룹에 있는 데이터는 정규분포의 형태를 가져야 한다. 흔히 일원분산 분석에서 만약 데이터의 수가 아주 많은 경우에는 정규성을 가지지 않아도 되며, 만약 그룹간의 데이터 수가 비슷하고 어느 두 그룹 간의 분산 비(ratio)가 모두 4를 넘지 않는 경우에는, 두 번째 조건인 등분산을 가지지 않아도 되는 것으로 알려져 있다.[6]

<표 2> 탐색 패턴별 탐지시간

Case 1: M-type		Case 2: Random		Case 3: Spiral-In	
탐지성공 순번	탐지시간 (sec)	탐지성공 순번	탐지시간 (sec)	탐지성공 순번	탐지시간 (sec)
1	1800	1	1750	1	967
2	20	2	1204	2	108
3	99	3	108	3	1080
4	1251	4	368	4	60
5	882	5	468	5	487
6	462	6	1490	6	1200
7	1618	7	258	7	1476
8	1401	8	689	8	14
9	702	9	1750	9	1657
10	604	10	1690	10	984
11	42	11	1772	11	647
12	780	12	1582	12	368
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
99	1751	99	1432	99	983
100	770	100	1335	100	1568

<표 3> 각 탐색 패턴별 평균탐지시간 오차 분석(단위: 초)

구분	case 1	case 2	case 3
평균	0.00	0.00	0.00
표준 오차	103.93	100.01	107.61
중앙값	-30.76	142.00	74.92
표준 편차	519.64	500.03	538.06
분산	270023.0	250027.1	289507.1
첨도	-0.51	-0.62	-1.00
왜도	0.38	-0.65	-0.04
범위	1780.00	1664.00	1766.00
최소값	-764.76	-1056.00	-878.08
최대값	1015.24	608.00	887.92
관측수	100	100	100
신뢰 수준 (95.0%)	214.50	206.40	222.10

<표 3>의 각 패턴별 평균 탐색시간을 기준으로 오차에 대한 분석결과를 보면 각 그룹의 분산과 표준편차가 서로 유사한 수준의 값을 가져 등분산성이 성립함을 알 수 있다.

본 사항은 패턴 간 탐지시간 차이가 있는지를 비교하는 것이며, 처리 대상은 3가지 탐색 패턴(M=M자형, R=Random, S=Spiral-in)이 되며, 가설은 다음과 같다.

$$H_0 : \mu_{1(M)} = \mu_{2(R)} = \mu_{3(S)} \quad H_1 : \text{not } H_0$$

일원분산분석을 실시한 결과는 <표 4>와 같으며 F-value가 44.18로 나왔으며, p-value는 매우 작게 나와 유의수준 0.05에서 H_0 는 기각하고 H_1 을 채택한다. 즉, 탐색패턴에 따른 탐지시간의 차이가 통계적으로 유의하다고 할 수 있다. 즉 결과 처리간의 차이가 존재하는 것은 확인되었다.

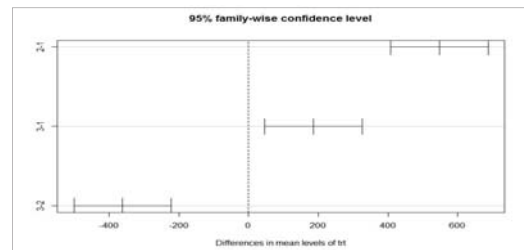
<표 4> 일원 분산분석 결과

요인	자유도 (df)	제곱합 (SS)	평균제곱 (MS)	분산비 (F)	p-value
처리	2	15,500,630	7,750,315	44.18	<2E-16
오차	297	52,099,439	175,419		
전체	299	67,600,069			

그렇다면 처리들 간에 어디에서 차이가 존재하는지를 확인 할 필요가 있다. 이를 위해 고안된 검정방법인 튜키의 다중비교 방법을 사용하였다. 결과는 <표 5>와 같으며 95% 신뢰수준으로 상한과 하한의 신뢰계수 구간을 구했고, 처리간 p-value는 유의수준 0.05보다 작으므로 통계적으로 처리간 유의한 차이가 존재한다는 것을 확인 할 수 있다. 즉, 실험에서 추출된 탐지시간의 데이터에 대한 통계검정 결과로서 탐색 패턴들 간의 차이가 존재한다는 것을 알 수 있다.

<표 5> Tukey 검정 결과

\$Trt	diff	lower	upper	p_adj
2-1	547.53	408.00855	687.0514	0.000000
3-1	186.20	46.67855	325.7214	0.005209
3-2	-361.33	-500.85145	-221.8086	0.000000



<그림 7> Tukey plot

4.4 탐색패턴별 효과분석 결과

모형의 실험은 탐색패턴을 제외한 환경변수는 동일하게 설정하였으며, 각 탐색패턴간 500회의 반복실험을 하였다. 제한된 임무시간이라는 공중체계의 탐색특성상 이른 시간 내에 표적을 탐지하는 것이 가장 중요한 요소이며, 탐색효과 평가요소는 총 시물레이션 횟수 대비 표적의 탐지회수 비율인 탐지율과 탐지 소요시간을 분석한다.

<표 6> 탐색 패턴별 효과 측정 결과

구분	① 평균 탐지확률	② 평균 탐지시간	MOE (=①÷②)	상대 비율
M-Type	0.84	785.51 sec	0.00107	1.00
Spiral-In	0.92	971.71 sec	0.00094	0.88
Random	0.64	1,333.04 sec	0.00048	0.45

실험결과는 <표 6>과 같으며 M-Type 패턴의 평균 탐지확률은 0.84이며 평균 탐색시간은 약 13분이다. Spiral-In과 Random 패턴 각각 탐지확률은 0.92와 0.64, 평균 탐색시간은 16분과 22분이 소요되었다. 어쩌면 이러한 결과는 직관적으로 당연할 거라 추측 할 수 있다. 즉, 일정한 패턴을 가지고 탐색하는 방법이 임의적으로 탐색하는 방법보다 탐지율과 탐지 소요시간 측면에서 보다 우수한 결과를 보여준다. 이러한 사실은 조남석과 다양한 기존 연구결과에서도 마찬가지로 Random 탐색이 상대적으로 성능이 낮음을 보여 주고 있다.[1,2,5,10]

한편 위 실험은 다양한 기준의 평가지표 설정에 따라 탐색효과의 결과값이 달라질 수 있다. 기본적으로 탐색 성능을 평가할 경우 탐지율은 높고 탐지시간이 짧게 소요되는 결과를 원한다. 이를 기초로 탐지율을 탐지시간으로 나누어 계산했을 때 이 값이 높을수록 좋다 것이다. 따라서 <표 6>에서의 실험

에 대한 효과측정(MoE; Measure of Effectiveness) 종합 결과는 M-type이 가장 우수한 결과를 보여주고 있고 또한 일정한 패턴을 가진 탐색이 우수한 성능을 보이는 것으로 나타났다.

M-type 탐색은 Sweep width가 중복되는 비효율성이 존재하지만 대상 구역 전반을 개략적으로 신속히 탐색 할 수 있는 장점을 가진다는 점에서 알 수 있다. 한편 Spiral-In 혹은 Spiral-Out 형태의 탐색은 대상 구역에 대한 사각지역이 발생할 우려가 적고 정밀하게 탐색할 수는 있으나 최악의 경우에는 오히려 시간 측면에서 오래 걸릴수 있는 단점을 가질수 있다.

종합하면, 본 연구 결과에서 패턴을 갖는 탐색 형태를 취할 경우 상호 간의 평균탐색시간 차이는 3분이다. 이 시간은 실제 현장의 작전 실무자가 느끼기에는 큰 차이는 아니라고 볼 수 있다. 따라서 운용자의 탐색 패턴의 선택은 표적의 위치가 어느 정도 알려져 있을 경우 또는 임무계획 단계에서 얼마나 많은 탐색시간을 사용할 것인가에 따라 좌우될 것이다.

5. 결론

본 논문은 지·해상의 탐색환경에서 공중체계를 이용한 표적 탐색문제를 다루었다. 이는 경험적으로 이루어지던 탐색방법에 과학적인 접근을 함으로써 실시간 탐지에서 교전으로 이루어지는 공중체계의 임무효과를 높일 수 있다. 탐지이론을 적용하여 탐색효과를 분석하는 방법은 탐지하는 면적이 동일하면 동일한 탐지확률로 계산되기 때문에 제한이 따른다. 미시적인 수준의 모형화를 통해 거시적인 분석을 할 수 있게 하는 행위자기반 모형의 장점을 이용하여 탐색패턴에 따른 탐색효과

를 확인 할 수 있었다.

본 연구에서 사용한 탐색패턴은 보편적으로 사용하는 3가지 방법으로 탐색효과를 분석하였다. 하지만 모형의 유용성을 높이기 위해서는 추가적인 탐색패턴 연구가 필요하다. 현실에서는 탐색환경에 따라 다양한 탐색패턴이 존재하기 때문이다. 또한 실제 지형정보와 기상 등 탐색에 영향을 미치는 다양한 환경변수들을 반영할 경우 보다 자세한 분석에 도움이 될 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] Alan R. Washburn, "Search and Detection, 4th edition", Naval Postgraduate School, Monterey, 2002.
- [2] Chungyoung Kim, "Military OR Theory and Application", Dunam, Inc. pp.119-143, 2010.
- [3] Dae-Eun Lim, "A Study on the Application Examples and Application Method for National Security of ABM," *Security Monograph Series*, Vol. 4, No. 2, pp.1-54, 2015.
- [4] Daejong Kim and Hyeongsu Koo, "Land Use Change Prediction with Spatiotemporal Pattern Analysis and Strategies for Urban Policy", *Korea Research institute for Human Settlements*, Anyang, 2011.
- [5] Daniel H. Wagner, W. Charles Mylander and Thomas J. Sanders, "Naval Operations Analysis", 3rd ed., Naval Institute Press, Maryland, 1999.
- [6] E. Ostertagová and O. Ostertag, "Methodology and Application of One-way ANOVA", *American Journal of Mechanical Engineering*, Vol. 1, No. 7, pp 256-26, 2013.
- [7] Junghaeng Hur, Jungin Moon, Bongwan Choi, Hyunseung Oh and Dongsoon Yim, "A Study for Effective Methodology of the Search Pattern of AUV", *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 17, No. 6, pp.751-763, 2014.
- [8] L. Tesfatsion, "Chapter 16 Agent-Based Computational Economics: A Constructive Approach to Economic Theory", *Handbook of Computational Economics*, Vol. 2, pp. 831-880, 2006.
- [9] Ministry of National Defense, "White Paper of National Defense 2018", Seoul, 2018.
- [10] Nam sok, Cho, "Study of simulation model for search path of reconnaissance drone", *Journal of Simulation Society of Korea*, Vol. 28, No.1, pp.23-39, 2019.

- [11] Republic of Korea Air Force, "3-4 Close Air Support", Republic of Korea Air Force, 2013.
- [12] Wonyong Lee and Moon Gul Lee, "An optimization model of surveillance and reconnaissance planning for ground targets", *Journal of the Aviation Management Society of Korea*, Vol. 16, No.6, pp.3-17, 2018.
- [13] Youngjo Song, "IT & Future Strategy", *National Information society Agency*, Daegu, pp. 1-40, 2012.

저자 소개



이문걸 (E-mail: bombslee@naver.com)

1995 공군사관학교 산업공학과 공학사

2004 미국 Naval Postgraduate School
Operations Research 석사

2009 서울대학교 산업공학과 졸업(박사)

현재 국방대학교 국방과학학과 교수

관심분야 : 군사 OR 응용 연구, 대형문제
최적화, 무기체계 효과분석,
시험평가 방법론



신동인 (E-mail: airshin2@gmail.com)

2005 공군사관학교 항공공학과 학사

2018 국방대학교 군사운영분석 전공 석사

현재 대한민국 공군 전술항공대대 조종사로
복무중

관심분야 : 군사 OR 응용 연구, 탐지 및 탐색
문제 모델링, 국방사업관리