

# 확장형 탐색구역에서 Multi-Static 운용 기반 대잠헬기의 탐색에 관한 연구

김창현<sup>1)</sup> · 오래근<sup>2)</sup> · 김선효<sup>2)</sup> · 최지웅<sup>2)</sup> · 마정목<sup>\*,1)</sup>

<sup>1)</sup> 국방대학교 국방과학학과

<sup>2)</sup> 한양대학교 해양융합공학과

## An Efficient Search Strategy of Anti-Submarine Helicopter based on Multi-Static Operation in Furthest-On-Circles

Changhyun Kim<sup>1)</sup> · Rahgeun Oh<sup>2)</sup> · Sunhyo Kim<sup>2)</sup> · Jeewoong Choi<sup>2)</sup> · Jungmok Ma<sup>\*,1)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Defense Science, National Defense University, Korea

<sup>2)</sup> Department of Marine Sciences and Convergent Technology, Hanyang University, Korea

(Received 28 June 2018 / Revised 9 August 2018 / Accepted 19 October 2018)

### ABSTRACT

The anti-submarine helicopter is the most effective weapon system in anti-submarine warfare. Recently changes in the introduction of the anti-submarine warfare sonar system are expected to operate multi-static sonar equipment of the anti-submarine helicopter. Therefore, it is required to study the operational concept of multi-static of anti-submarine helicopter. This paper studies on the optimal search of multi-static based on anti-submarine helicopter considering Furthest On Circles(FOC). First, the deployment of the sensors of the anti-submarine helicopter is optimized using genetic algorithms. Then, the optimized model is extended to consider FOC. Finally, the proposed model is verified by comparing pattern-deployment the search method in Korean Navy.

Key Words : Multi-Static(다중상태), Anti-Submarine Helicopter(대잠헬기), Furthest On Circles(확장형 탐색구역), Genetic Algorithm(유전자 알고리즘)

### 1. 서론

군사 전문가들은 현대전에서 가장 두려운 무기체계의 하나로 잠수함을 꼽는다. 그 이유는 바로 ‘은밀성’

으로 수중에서는 공중이나 육상과 달리 표적의 탐지가 어렵기 때문이다. 표적을 탐지하기 위한 수단인 레이더(RADAR : Radio Detection And Ranging)는 전자파를 발생하여 반사되어 오는 파를 분석함으로써 표적의 존재 유무를 확인하지만, 수중에서는 거리에 따른 파장이 짧은 전자기파는 쉽게 산란되어 버린다. 따라서 수중에서 표적을 탐지하기 위한 수단으로 음파

\* Corresponding author, E-mail: jxm1023@gmail.com

Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

를 사용하며, 음파에 의해 수중 표적의 방위 및 거리를 알아내는 음향탐지장비를 소나(SONAR : Sound Navigation And Ranging)라고 한다. 소나는 함정, 항공기, 잠수함 등 다양한 플랫폼에서 운용중이며, 특히 항공기는 넓은 해역을 신속히 탐색하고 수중 표적으로부터 탐지 및 공격 받을 가능성이 적어 효과적인 운용이 가능하다. 그 중에서도 대잠헬기는 현장상황에 빠르게 대응하고 기동성이 우수하여 대잠임무에 가장 적합한 무기체계라 할 수 있다.

최근에는 전술적으로 많은 장점을 가지고 있는 대잠헬기의 추가 도입과 Multi-static 기반의 소나체계 도입이 예상되고 있다. Multi-static 이란 수중 해양환경에서 다수의 음향 센서들로 구성된 다중 노드 소나시스템을 말한다.

한국 해군에 Multi-static에 관한 연구는 천안함 사건 이후 2010년에 소개되었으며, 최근에는 함정 사업과 해상초계기에서 Multi-static 장비를 도입하여 운용개념을 발전시키고 있다. 또한 대잠 능력이 우수한 다른 국가에서는 1990년대 후반부터 Multi-static 기초 이론에 대한 연구를 시작하여 지금까지도 많은 연구가 진행되고 있다<sup>[1]</sup>. 그러나 대잠전에서 Multi-static은 향상된 성능을 발휘할 수 있는 것으로 오랫동안 홍보되어 왔지만, Multi-static의 효용성을 정량화하는 것이 어려웠다. 2011년 호주 국방부 M. P. Fewell과 S. Ozols이 연구<sup>[2]</sup>한 Multi-static 탐지성능 분석은 간단하면서도 높은 수준의 분석 과정을 소개하고 기존 방식의

Mono-static 보다 향상된 탐지거리를 실험을 통해 증명했다. 이후에도 Multi-static과 모델링을 이용한 다양한 연구가 있었으나 전술적 상황과 대잠헬기의 특성을 고려한 연구는 지금까지 수행되지 않았다.

따라서 본 연구에서는 관련 선행연구와 비교하여 크게 두 가지의 차이점이 있다. 첫째는 대잠탐색의 주요 개념인 확장형 탐색구역을 적용하였다. 둘째는 플랫폼으로 함정과 해상초계기가 아닌 대잠헬기의 Multi-static 능·수동 센서를 활용하였다. 위의 두 차이점 모두 향후 전술적 운용을 위해 연구하게 되었다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 해양환경을 분석한 Performance Surface와 Multi-static 이론, 유전자 알고리즘을 설명하고, 3장은 2장의 이론적 배경을 바탕으로 능·수동 센서의 최적배치를 시뮬레이션 하였다. 이어서 4장은 확장형 탐색구역에서 대잠헬기의 최적탐색 시뮬레이션과 효용성을 검증하고, 마지막으로 5장에서 결론과 향후 과제를 제시하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 Performance Surface

Performance Surface란 음향 탐지 성능 분포도로 임무구역에 대한 수중 음향 해양환경을 분석하여 소나의 예상 탐지거리를 시각적으로 나타낸 것을 말한다. 미해군에서 도입된 Performance Surface의 개념<sup>[3]</sup>은 지금

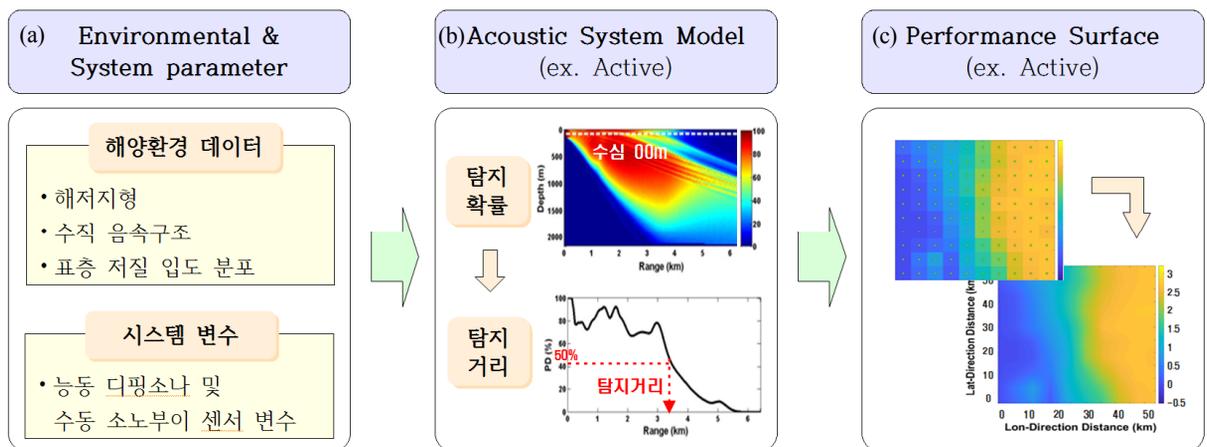


Fig. 1. Overall process of implementing performance surface, (a) Environmental & system parameter, (b) Acoustic system model, (c) Performance surface

도 국내·외에서 정밀한 해양환경 분석을 위해 다양한 연구가 진행되고 있다. 특히 국외에서 P. Mcdowell은 수중 표적의 예상 잠항 심도별 탐지거리의 Performance Surface를 처음으로 연구하였고, 국내에서는 한양대학교 해양음향공학연구실에서 Performance Surface를 기반으로 음향 센서의 최적화에 대한 연구<sup>[4,5]</sup>가 계속되어 왔다.

Performance Surface를 구현하는 위해서는 임무구역을 설정해야 한다. 본 연구에서는 비교적 다양한 해양환경의 특성을 보이는 울진 동방 20 km 외곽해역(53 km × 53 km)을 임무구역으로 정하고, 100개의 격자형 정점으로 구분해서 연구를 수행하였다. Performance Surface를 산출하는 전반적인 과정은 Fig. 1과 같다<sup>[4]</sup>. 각 정점에서 해양환경 데이터를 추출하고, 대잠헬기 능·수동 센서 시스템 변수 값을 설정한다[Fig. 1(a)]. 그 다음 소나방정식과 확률분포함수를 이용하여 소나의 탐지확률과 탐지거리를 산출하고[Fig. 1(b)], 각 정점에 대한 탐지거리를 보간(interpolation)해서 Fig. 1(c)와 같이 하나의 필드로 Performance Surface가 구현된다.

### 2.2 Multi-static

Multi-static을 연구하기 위해서는 Mono-static과 Bi-static의 차이를 이해해야 한다. 음파를 송신하는 능동 센서와 수신하는 수동 센서가 같은 하나의 센서를 Mono-static, 음파를 송신하고 수신하는 능·수동 센서가 다른 것은 Bi-static, 그리고 음파를 송·수신 하는 센서가 3개 이상 다수의 센서들로 구성되어 있는 것을 Multi-static 이라고 한다. Fig. 2는 Mono-static과 Multi-static의 차이를 보여준다<sup>[1]</sup>.

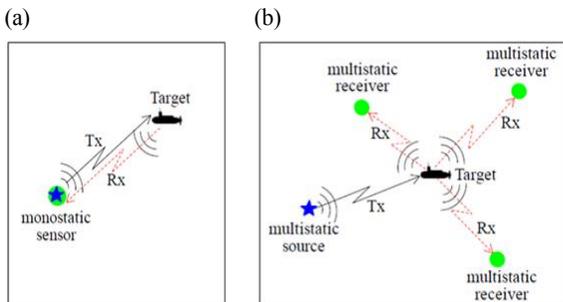


Fig. 2. (a) Mono-static sensor with a co-located source and receiver, (b) Multi-static system with one source and three independent receivers

그림에서 능동 센서가 표적을 향해 음파를 송신하는 주파수를 Tx, 표적에 맞은 반사파가 수신 센서에 전달되는 주파수를 Rx라고 한다. Multi-static[Fig. 2(b)]은 Mono-static[Fig. 2(a)]과 비교해서 다수 센서들의 시스템으로 구성되어 있어 표적의 탐색과 추적이 용이하고 탐지구역이 증대되는 장점이 있다.

Multi-static을 시뮬레이션하기 위해서는 능·수동 센서의 탐지거리와 탐지확률을 산출해야 한다. 탐지거리란 수중 표적이 존재할 것이라고 판단되는 심도를 기준으로 센서의 탐지확률이 50 %가 되는 지점까지의 거리를 말한다<sup>[5]</sup>. 본 연구에서는 구현된 능·수동 센서의 Performance Surface에서 각 센서 탐지거리의 평균을 Multi-static 연산 식에 적용해서 탐지확률을 산출하였다.

능동 센서에서 표적까지의 거리( $R_{ST}$ ), 수동 센서에서 표적까지의 거리( $R_{TR}$ )를 이용하여 거리( $R_{equiv}$ )는 센서가 두 개 이상일 때 표적까지의 기하평균을 의미하며 식 (1)과 같이 표현이 가능하다<sup>[2]</sup>.

$$R_{equiv} = \sqrt{R_{ST}R_{TR}} \quad (1)$$

식 (1)를 통해 구해진 표적까지의 거리( $R_{equiv}$ )와 아래의 식 (2) Fermi 함수를 이용해서 탐지확률( $p_d$ )을 산출한다<sup>[2]</sup>.

$$p_d(R_{equiv}) = \frac{1}{1 + 10^{(R_{equiv}/R_0 - 1)/b}} \quad (2)$$

위 식에서  $R_0$ 는 능·수동 센서 탐지거리의 평균을 의미하고,  $b$ 는 확산계수로 1을 적용하였는데, 이는 거리가 증가함에 따라 탐지확률이 지수 곡선의 형태를 보이며 감소하는 수치이다.

또한 능동 센서의 직접파와 표적으로부터의 반사파가 겹쳐서 표적 탐지가 제한되는 구역을 음영구역(Blind zone)이라고 한다. 이것은 식 (3)을 통해서 해결이 가능하다<sup>[2]</sup>.

$$p_d(R_{equiv}) = \begin{cases} p_d(R_{equiv}), & \text{if } R_{equiv} \geq R_b \\ 0, & \text{if } R_{equiv} < R_b \end{cases} \quad (3)$$

$R_b$ 는 음영구역의 반경을 의미하며 산출과정은 식 (4)와 같다. 식 (4)에서  $R_b$ 의 거리를 계산할 수 있다<sup>[2]</sup>.

$$R_{ST} + R_{TR} < R_{SR} + 2R_b \quad (4)$$

식 (3)에서 표적까지의 거리( $R_{equiv}$ )가  $R_b$  보다 크면 탐지확률이 산출되고, 만약 작으면 탐지확률은 0이므로 음영구역이 된다. 위의 과정을 능·수동 센서 수량에 따라 반복 실행해서 Multi-static의 탐지확률을 산출한다.

2.3 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘(GA : Genetic Algorithm)은 생물의 유전과 진화 과정을 기반으로 자연계의 진화 원리를 이용하여 근사 최적 해를 찾는 알고리즘의 한 종류이다<sup>[6]</sup>. 본 연구에서는 넓은 임무구역에서 제한된 시간과 센서 수량으로 최적의 효과를 얻기 위해 유전자 알고리즘을 적용하였다. 3장에서 수행한 최적배치와 최적탐색의 시뮬레이션은 근사 최적 해를 갖는 것을 의미한다.

유전자 알고리즘의 구조는 Fig. 3과 같으며 초기 모집단의 생성, 적합도 평가, 선택 및 교배, 돌연변이의 주요 연산자로 구성되어 있다.

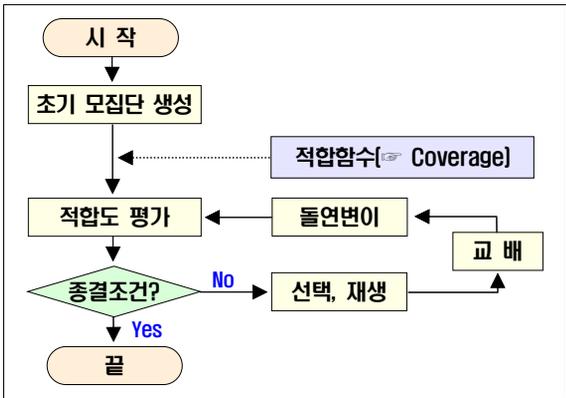


Fig. 3. Genetic algorithm structure

2.3.1 유전자 구성

본 연구에서 개체(염색체)는 1차원의 배열로 표현하며 가능한 능·수동 센서의 수량만큼 유전자를 생성하고 센서가 배치되는 위치(좌표)를 이용하여 Table 1과 같이 유전자를 구성하였다.

Table 1. Genetic organization

센서 수	1개	...	n-1개	n개
능 동	xA1, yA1	...	xAn-1, yAn-1	xAn, yAn
수 동	xP1, yP1	...	xPn-1, yPn-1	xPn, yPn

2.3.2 초기 모집단 생성

구성된 초기 모집단은 적합도 평가와 유전 연산자를 통해서 최적의 해로 수렴하게 된다. 본 연구에서 초기 모집단을 생성하는 방법은 생성된 해들이 지역적 근사해로 조기 수렴하는 특성을 방지하고 전역적인 공간 탐색이 가능한 임의생성 기법을 사용하였다.

2.3.3 적합도 평가

적합함수는 개체가 최적의 해로 수렴하기 위한 적합성을 판단하는 기준이 되며 본 연구에서 적합함수는 식 (5)와 같다.

$$Coverage(\%) = \frac{\text{탐색구역 내 정점 수}}{\text{탐색구역 정점 수}} \times 100 \quad (5)$$

식 (5)의 탐색구역이란 임무구역 내에서 탐색하고자 하는 구역이며, 탐색구역은 센서의 탐지확률이 50%가 되는 지점까지의 면적, 즉 구역을 말한다. 탐색구역과 탐색구역 모두 포함하고 있는 정점의 수로 표현된다.

2.3.4 유전 연산자

선택 및 재생산은 다음 세대로 진화하기 위해서 적자생존의 자연법칙에 기초하여 적합도가 우수하게 평가된 개체를 선택하는 과정이다. 본 연구에서 사용한 방법은 Gradient-like<sup>[7]</sup>로 재생산시 개체들의 유전적 다양성을 유지하면서 지역해를 피하고 연산이 빠른 장점이 있다. 교배는 선택된 두 부모 세대의 개체를 조합해서 새로운 개체를 형성하기 위한 과정으로 개선된 단순교배 방법인 Modified simple<sup>[8]</sup>을 사용하였다. 또한 돌연변이는 개체의 형질을 의도적으로 변화시켜 새로운 개체를 생산하는 것으로 Dynamic<sup>[9]</sup>을 사용하였다. Dynamic은 다음 세대의 평가 결과에 따라 돌연변이율이 함께 변경되는 방법이다. 상기의 이러한 유전자 알고리즘의 연산 과정을 반복해서 Coverage(%)가 최대가 되는 Multi-static 능·수동 센서의 최적배치를 실시하였다.

3. 연구 모델 및 시뮬레이션

3.1 임무구역 Performance Surface 산출

앞서 2.1에서 설정한 임무구역을 바탕으로 다른 계절보다 양호한 탐지환경을 나타내는 2월을 대상으로 연구하였다.

각 정점별 세부적인 해양환경 데이터는 해저지형

(ETOPO1)<sup>[10]</sup>, 수직 음속구조(GDEM)<sup>[11]</sup>, 표층 저질 입도 분포(한국지질자원 연구원)<sup>[12]</sup>를 사용하였고, 대잠헬기의 Multi-static 능·수동 센서 파라미터는 Table 2와 같다. 본 연구에서는 보안상의 이유로 센서 제원에 근사한 임의 값으로 설정하였다.

Table 2. Sonar system parameters

Active Dipping Sonar(source)	Value
Frequency	중저주파수 대역
Source level	200 ~ 250 dB
Pulse length	10 ms
Source depth	100 m
Target strength	7 dB
Noise level	43 dB
Passive Sonobuoy(receiver)	Value
Target frequency	200 Hz
Target source level	100 ~ 200 dB
Sensor array depth	100 m
Noise level	61 dB
Other parameters	Value
Target depth	10~100 m
Detection probability	50 %
Wind speed	4 m/s
Directivity index	0 dB
Detection threshold	0 dB

앞서 언급한 상기의 데이터를 활용하여 탐지확률과 탐지거리를 산출하기 위한 음파전달 모델은 다른 모델들 보다 연산시간이 짧아 여러 종류의 센서 신호를 모델링하기 적합한 음선이론 기반의 BELLHOP 모델<sup>[13]</sup>을 적용하였다. 2.1에서 Performance Surface를 산출하는 전반적인 과정을 통해서 임무구역에 대한 Performance Surface는 Fig. 4와 같이 구현되었다.

Fig. 4(a)는 능동 센서의 Performance Surface로 임무구역의 우측에서 탐지거리가 3 km 이상의 양호한 환경을 보이는 반면에 좌측에서는 1 km 이하로 탐지거리가 낮다. Fig. 4(b)의 수동 센서 Performance Surface는 전반적으로 1~2 km의 탐지거리를 보였다. 능동 센

서는 표층 저질 등 해양환경의 영향을 받고 수동 센서는 주변 어선 등 소음에 영향을 많이 받기 때문에 능동센서에서 보다 양호한 탐지거리를 갖는다. 이처럼 산출된 Performance Surface는 수중환경의 시·공간적인 변화가 반영되어 탐색계획 수립 시 활용도가 높을 것으로 판단되며, 본 연구에서는 최적탐색을 위한 기초 자료로 활용되었다.

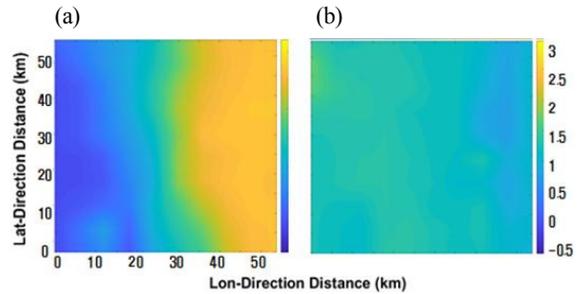


Fig. 4. Performance surface of mission area, (a) active sensor, (b) passive sensor

### 3.2 최적배치 시뮬레이션

유전자 알고리즘을 이용해서 Multi-static 능·수동 센서의 최적배치를 시뮬레이션 하였다. 유전 파라미터는 기존의 최적화를 수행한 연구 결과들을 참고하였고, 반복 시뮬레이션을 통해서 Table 3과 같이 적용하였다. 알고리즘의 종결 조건은 세대를 거치면서 최적의 해로 수렴되는 같은 해가 반복될 때까지로 설정하였다.

Table 3. Genetic parameters

구 분	값
개체 수	100
세대 수	60
교배율	0.80
돌연변이율	0.05
종결 조건	같은 해가 반복될 때까지

본 연구에서 유전자 알고리즘은 MATLAB R2017b를 사용해서 구현하였으며, PC 환경은 Intel Core i3-6100U CPU 2.30 GHz 이다. 시뮬레이션은 능동 센서의 수량 1~2개, 수동 센서 1~3개까지 변화해 가면서 각각의 Coverage(%)를 산출하였다[Fig. 5].

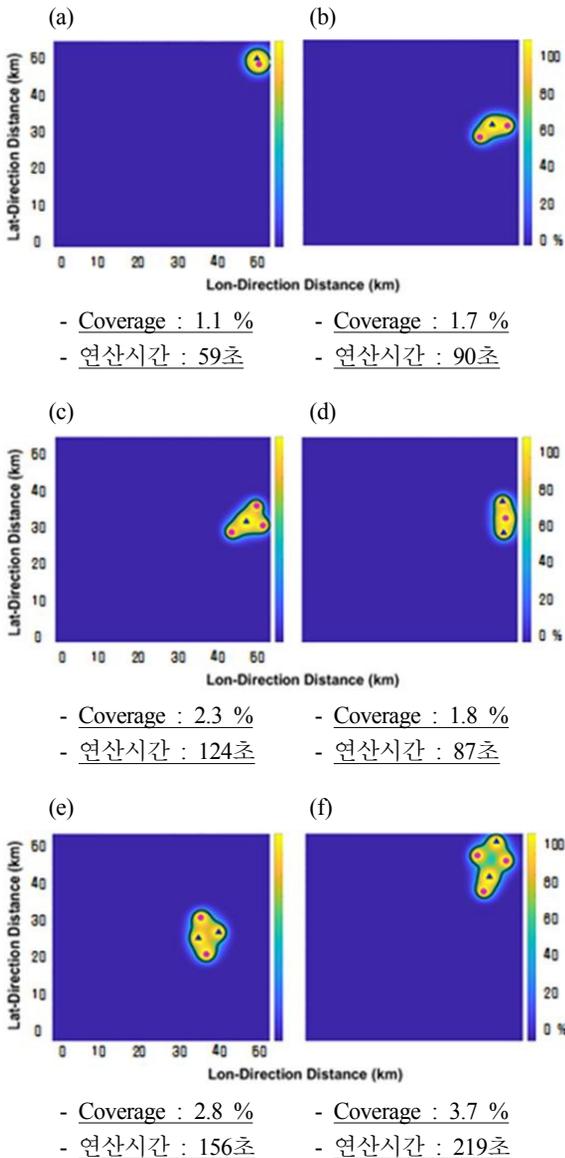


Fig. 5. Optimal deployment GA, (a)~(c) active1 passive1~3, (d)~(f) active2 passive1~3

Fig. 5에서 탐지된 구역 안에 세모는 능동 센서, 동그라미는 수동 센서를 의미한다. Fig. 5(a)~(c)는 능동 센서 1개와 수동 센서 1~3개를, Fig. 5(d)~(f)는 능동 센서 2개와 수동 센서 1~3개의 시뮬레이션 결과이며, 수동 센서의 수량을 증가시키면 Coverage(%)가 일정하게 높게 나타났다. 연산시간은 기준시간(능·수동 센서 각 1개) 대비 센서 수량을 증가시키면 Coverage(%)

와 마찬가지로 연산시간이 일정하게 증가하였다. 또한 유전자 알고리즘을 적용한 능·수동 센서의 최적배치는 대체적으로 Performance Surface가 양호한 구역으로 분포됨을 알 수 있다.

#### 4. 확장형 탐색구역을 고려한 시뮬레이션 및 효용성 검증

본 연구가 제안하는 확장형 탐색구역에서 유전자 알고리즘과 해군에서 운용중인 패턴배치의 최적탐색 시뮬레이션을 비교하였고, 수중 표적을 임의로 생성해서 그 효용성을 검증하였다.

##### 4.1 확장형 탐색구역 및 시나리오 설정

탐지하고 있는 수중 표적을 소실했을 경우 지연시간에 따라 표적이 이동하는 전 방위 구역은 넓어지게 된다. 결국 지연시간이 길수록 표적을 재 탐지 할 수 있는 확률은 떨어지게 되는데, 이처럼 수중 표적이 최대 속력으로 이동 가능한 전 방위 구역을 확장형 탐색구역(FOC : Furthest-On-Circles) 이라고 한다. 실제로 해군에서는 확장형 탐색구역을 적용하여 대잠전을 수행하며, 임무구역 내의 전력과 센서들을 이용해서 다양한 전술을 구사하고 있다.

본 연구에서 확장형 탐색구역은 대잠헬기의 대잠상황을 설정하였고 세부 파라미터는 Table 4와 같다.

Table 4. Anti-submarine situation parameters

확장형 탐색구역(FOC)		값
수중 표적 속력		0.0 kts
지연시간		50, 70, 90분
대잠헬기		값
임무가능시간		90분
탐재 센서	능동	디핑소나(회)
	수동	소노부이 12개
능·수동 센서 사용		값
확장형 탐색구역	50분	능동 4회, 수동 8개
	70분	능동 2회, 수동 2개
	90분	능동 2회, 수동 2개

확장형 탐색구역의 크기는 수중 표적의 속력에 따라 달라지는데 적 잠수함 OO급 최대 이동속력 0.0 kts를 기준으로 하였다. 또한 대잠헬기의 임무가능시간은 수중 표적을 소실한 이후부터 90분까지로 가정하고, 확장형 탐색구역은 50분, 70분, 90분으로 탐색시간을 구분하였다. 능·수동 센서의 사용은 디평소나 이용시 대잠헬기의 성능과 탑재 센서의 수량을 고려하여 지연시간에 따라 일정하게 분할하였다.

#### 4.2 최적탐색 시뮬레이션

##### 4.2.1 유전자 알고리즘 시뮬레이션

확장형 탐색구역을 적용해서 3.2와 같이 유전자 알고리즘을 이용 대잠헬기 능·수동 센서의 최적탐색을 시뮬레이션 하였다[Fig. 6].

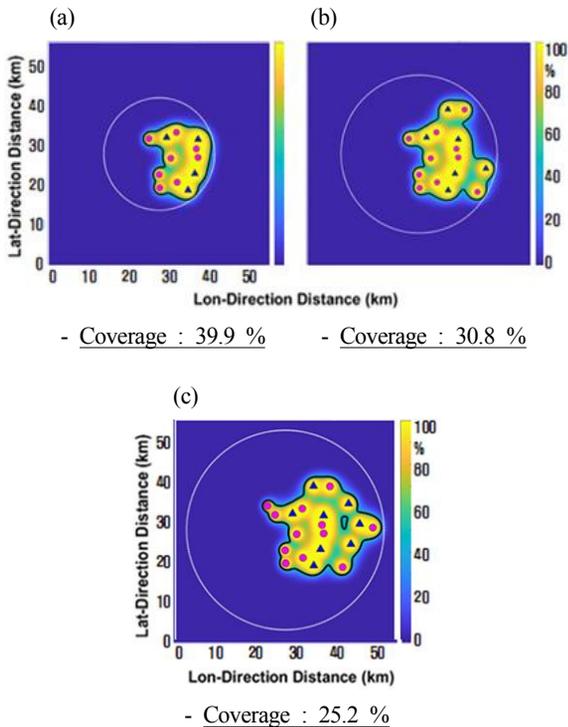


Fig. 6. Simulation result of optimal search GA, (a) 50 min FOC, (b) 70 min FOC, (c) 90 min FOC

탐지구역 안에서 세모는 능동 센서, 동그라미는 수동 센서를 의미하고, 외곽의 점선은 지연시간에 따른 확장형 탐색구역을 나타낸다. 탐색시간이 늘어남에 따

라 능·수동 센서의 사용량이 많아지고 Performance Surface가 양호한 쪽으로 센서가 배치되어 누적된 탐지구역이 넓어진다. 그렇지만 확장형 탐색구역도 계속해서 90분까지 넓어지기 때문에 상대적으로 Coverage (%)의 증가율은 낮아지는 것을 알 수 있다.

##### 4.2.2 패턴배치 시뮬레이션

현재 해군에서 운용중인 패턴을 유사하게 구현하여 확장형 탐색구역에서 능·수동 센서의 최적탐색을 시뮬레이션 하였다[Fig. 7]. 패턴의 형태는 직선, 십자, 원, 사각, 격자 등 다양하나 수동 센서의 배치 간격은 형태와 관계없이 항상 일정하다. 따라서 최적의 수동 센서 배치 간격을 찾기 위해서 일정하게 배치 간격을 조정해가며 Coverage(%)를 비교하였다. 그 결과 Performance Surface에서 산출된 탐지거리의 5배를 배치 간격에 적용했을 때 최적이 되었다. 그 다음 확장형 탐색구역에서 능·수동 센서의 배치는 탐색시간에 따라 전 방위에서 고른 배치가 되도록 가정하였다.

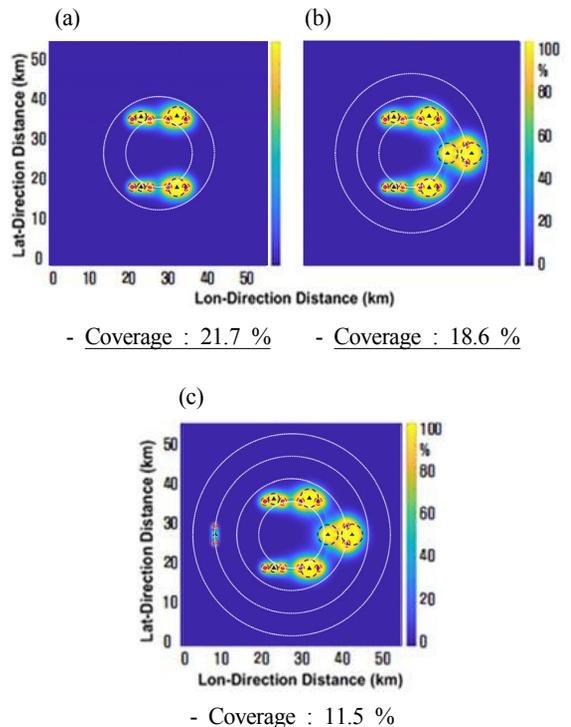


Fig. 7. Simulation result of pattern deployment, (a) 50 min FOC, (b) 70 min FOC, (c) 90 min FOC

Fig. 7에서 탐지구역 안에 세모는 능동 센서, 동그라미는 수동 센서이다. 그리고 센서 외곽의 점선은 각 센서의 탐지거리를 나타낸다. 유전자 알고리즘 적용 결과와 유사하게 탐색구역 우측에서 양호한 탐지확률을 보인 반면, 90분 확장형 탐색구역에서 탐지구역이 현저히 떨어지면서 전체적으로 낮은 Coverage(%)을 보였다.

4.2.3 최적탐색 시뮬레이션 결과

Fig. 6~7의 결과처럼 확장형 탐색구역에서 유전자 알고리즘을 이용한 대잠헬기의 최적탐색이 패턴배치 보다 Coverage(%)가 약 15~20 % 높게 도출되었다.

4.3 효용성 검증

4.2의 시뮬레이션 결과를 검증하기 위해 수중 표적을 임의로 생성해서 유전자 알고리즘과 패턴배치의 평균 탐지확률을 비교하였다. Table 5는 수중 표적의 파라미터를 나타내며 한번 탐지되면 기동을 종료하는 것으로 설정하였다.

Table 5. Underwater target parameters

수중 표적		값
갯 수		100개
시뮬레이션 횟수		100회
기 동	속 력	0 ~ 0.0 kts
	방 위	0 ~ 360°
	시 간	90분까지
탐 지		한번 탐지되면 기동 종료

Fig. 8은 확장형 탐색구역에서 유전자 알고리즘과 패턴배치에 대해 Table 5의 수중 표적 파라미터를 적용한 시뮬레이션 결과이다.

Fig. 8에서 실선은 유전자 알고리즘의 탐지확률, 점선은 패턴배치를 나타낸다. 가로축은 100개의 수중 표적에 대한 시뮬레이션 횟수이며 세로축은 탐지확률이다. 각각의 평균 탐지확률은 63.7 %, 59.8 %로 유전자 알고리즘의 평균 탐지확률이 약 4 % 높게 산출되었다.

또한 Fig. 8에서의 평균 탐지확률 결과를 바탕으로 “유전자 알고리즘의 평균 탐지확률이 패턴배치에 의한 평균 탐지확률 보다 높다”는 대립가설을 수립 후 T-단측검정을 실시하였다.

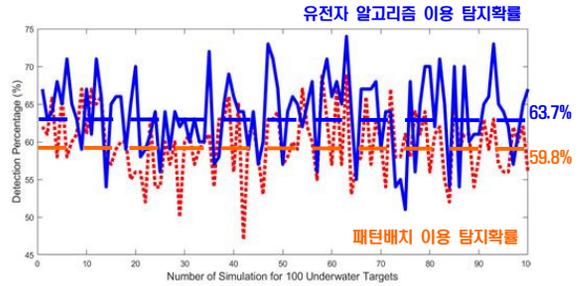


Fig. 8. Simulation result of underwater targets detection

Table 6. T-test result

구 분	유전자 알고리즘	패턴배치
평 균	63.7	59.8
P값	1.111×10 <sup>-8</sup>	
유의 수준	0.05	

Table 6의 결과에서 P값이 유의 수준 이내이기 때문에 대립가설이 채택 된다. 따라서 유전자 알고리즘과 패턴배치의 평균 탐지확률은 유의미한 차이가 있음을 알 수 있다.

5. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 확장형 탐색구역을 적용하여 Multi-static 운용 기반 대잠헬기의 최적탐색을 연구하였다. 이를 위해 임무구역의 해양환경을 분석하여 Performance Surface를 구현하고 유전자 알고리즘을 이용해서 Multi-static 능-수동 센서의 최적배치를 시뮬레이션 하였다. 또한 해군에서 운용중인 패턴배치와 비교를 통해서 Coverage(%)가 최대가 되는 최적탐색 결과를 도출하였고, 수중 표적을 임의 기동시켜 탐지확률의 효용성을 검증하였다.

해당연구는 향후 해군 대잠전술에 적용을 위한 측면에서 두 가지의 한계점 및 과제를 갖는다.

첫째는 본 연구에서 사용한 유전자 알고리즘과 기존의 다른 알고리즘과의 성능 비교가 필요하다. 실제로 유전자 알고리즘은 연산 시간이 다소 오래 걸리는 단점이 있었다. 또한 대잠헬기의 운용은 빠른 탐색계획 수립이 중요하기 때문에 알고리즘의 비교 검증이

요구된다.

둘째는 대잠헬기의 기동 특성을 고려한 탐색 패턴에 대한 연구가 필요하다. 대잠헬기의 장점은 기동성으로 정확히 원하는 위치에 능·수동 센서를 배치할 수 있다. 그러나 이번 연구에서는 센서의 배치 방법과 순서를 고려하지 못하였다. 따라서 첫 번째의 탐색계획 수립과 연계해서 대잠헬기의 기동 특성을 고려한 탐색 패턴의 연구가 향후 진행되어야 할 것이다.

## References

- [1] A. Washburn and M. Karatas, "Multistatic Search Theory," *Military Operations Research*, Vol. 20, No. 1, pp. 21-38, 2015.
- [2] M. P. Fewell and S. Ozols, "Simple Detection-Performance Analysis of Multistatic Sonar for Anti-Submarine Warfare," Australian Government Department of Defence(DSTO-TR-2562), 2011.
- [3] P. Mcdowell, "Environmental and Statistical Performance Mapping Model for Underwater Acoustic Detection Systems," University of New Orleans Theses and Dissertations, 2010.
- [4] S. H. Kim, et. al., "Optimal Deployment of Sensor Nodes based on Performance Surface of Acoustic Detection," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 18, No. 5, pp. 538-547, 2015.
- [5] M. K. Cheon, et. al., "Optimal Search Pattern of Ships based on Performance Surface," *Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology*, Vol. 20, No. 3, pp. 328-336, 2017.
- [6] M. Mitchell, "An Introduction to Genetic Algorithm," MIT Press, 1998.
- [7] D. T. Pham and G. Jin, "Genetic Algorithm using Gradient-Like Reproduction Operator," *Electron. Lett.* 31st, pp. 1558-1559, 1995.
- [8] G. H. Hwang and W. T. Jang, "Advances in Evolutionary Algorithms," I-Tech Education and Publishing, Vienna, p. 95, 2008.
- [9] T. P. Hong and H. S. Wang, "A Dynamic Mutation Genetic Algorithm," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 3, pp. 2000-2005, 1996.
- [10] C. Amante and B. W. Eakins, "ETOPO1 Arc-Minute Global Relief Model : Procedures, Data Source and Analysis," NOAA Technical Memorandum, NGDC (National Geophysical Data Center), 2009.
- [11] M. R. Carnes, "Description and Evaluation of GDEM-V 3.0," Naval Research Laboratory, 2009.
- [12] Korea Institute of Geology, Mining and Materials Rep. NP 2007-010, 2007.
- [13] B. P. Michael, "Gaussian Beam Tracing for Computing Ocean Acoustic Fields," *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 82, No. 4, pp. 1349-1359, 1987.