

## 정지형 수중표적에 대한 수중무인체계의 효율적인 탐색 방법론에 관한 연구

허정행<sup>1)</sup> · 문정인<sup>1)</sup> · 최봉완<sup>1)</sup> · 오현승<sup>1)</sup> · 임동순<sup>\*,1)</sup>

<sup>1)</sup> 한남대학교 산업경영공학과

### A Study for Effective Methodology of the Search Pattern of AUV

Junghaeng Hur<sup>1)</sup> · Jungin Moon<sup>1)</sup> · Bongwan Choi<sup>1)</sup> · Hyunseung Oh<sup>1)</sup> · Dongsoon Yim<sup>\*,1)</sup>

<sup>1)</sup> Department of Industrial Management Engineering, Hannam University, Korea

(Received 15 March 2014 / Revised 5 September 2014 / Accepted 7 November 2014)

#### ABSTRACT

The paper is written to determine the optimal search pattern through search effects assessment on underwater targets. 5 types of search patterns are introduced such as, M-type pattern, W-type pattern, rectangular pattern, 4-type pattern and square pattern, In addition, Operational effectiveness analysis model is developed to obtain the optimum search pattern. The algorithms and mathematical models are also suggested to analyze the required search times, AUV's movement patterns, moving distances, overlapping areas and so on.

Key Words : Optimal Search Pattern, Autonomous Underwater Vehicle(AUV), Operation analysis

#### 1. 서론

우리나라는 삼면이 바다로 둘러싸여 있기 때문에 해양자원과 해양 공간 이용에 대한 필요성이 증대되고 있으며, 활발한 해양개발과 이용을 위한 연구 활동 및 정보수집의 중요성이 점차 부각되고 있다. 수중 작업은 수압, 수온, 수심, 조류, 해류, 해저상태에 따라 인간이 직접 작업하기 어려운 경우가 발생한다. 이에 따라 인간의 접근이 어려운 수중 환경에서의 작업을 위하여 자율무인잠수정의 사용과 연구가 활발해지고

있다. 하지만, 자율무인잠수정은 일부를 제외하고 전원 공급은 탑재된 배터리 용량에 전적으로 의존하며 운용시간 또한 배터리 용량에 제한된다는 단점을 가지고 있다. 따라서, 민간과 군사 분야에서 자율무인잠수정에 대한 사용이 활발해짐에 따라 자율무인잠수정의 항법기술, 자율통제기술, 통신기술, 에너지기술, 탐색장비기술 및 센서기술과 같은 핵심기술에 많은 노력을 쏟고 있다.

앞서 언급한 자율무인잠수정의 기술 개발은 더욱 발전중이나 실제 탐색 목적으로 사용되고 있는 자율무인잠수정의 탐색방법 및 기술에 대한 활발한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 자율무인잠수정의 핵심기술을 발전시키기 위한 연구뿐만 아니라 운용관점에서

\* Corresponding author, E-mail: dsyim@hannam.kr

Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

탐색하고자 하는 목표물을 어떻게 하면 적은 시간과 노력을 통하여 효율적으로 탐색할 수 있는가에 관한 연구를 하는 것 또한 중요하다. 따라서 본 연구에서는 자율무인잠수정의 운용관점에서 탐색하고자 하는 목표물에 대한 효율적인 탐색을 위하여 탐색이론을 바탕으로 기존에 제시되어 있는 탐색방법을 보완하여 자율무인잠수정의 제한된 탐색 능력으로 목표물에 대한 탐지확률을 높이기 위하여 탐색패턴을 제안하였다. 또한 자율무인잠수정에 적용하여 탐색패턴의 탐색효과도 분석이 가능한 모델의 개발과 이 모델에서 사용되는 자율무인잠수정의 탐색패턴별 기동알고리즘, 탐색구역크기 결정 알고리즘과 수학적 모델을 제시하였다. 특정 탐색구역에 대한 탐색상황 별 시뮬레이션을 통하여 얻어진 탐색소요시간과 탐지율을 효과적으로 하여 탐색패턴 간의 탐색효과도 분석을 실시하여 탐색상황에 따른 최적의 탐색패턴 제안을 목적으로 하였다.

## 2. 이론적 고찰

사전적 의미로써 탐색(Search)이란 ‘드러나지 않는 사물이나 현상 따위를 찾아내거나 밝히기 위하여 살펴 찾아 찾는 것’을 의미한다. 군사용어로서 탐색이란 지정된 지역에 대한 체계적인 정찰로써 목표를 확인하고 그 위치를 파악하기 위하여 탐지 가능한 모든 수단을 동원하여 적극적으로 조직적인 조사 행위를 의미한다.

예를 들어, 어떤 표적이 Fig. 1의 전체 면적 A지역 어딘가에 있다는 사실만 알고 있다고 가정한다. 표적에 대한 정확한 정보가 주어지지 않아 A지역에 일정하게 분포되어 있다고 가정한다. 탐색자 역시 일정한 형태의 탐색이 아닌 불규칙한 탐지를 한다고 할 때, 탐색자가 A지역에서 L이라는 거리만큼 수색, 정찰했을 때의 탐지확률은 다음 식 (1)과 같이 나타낸다.

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

여기서 W는 탐지장비의 탐지가능 지역의 폭(Width), L은 탐지거리, L/N은 탐지거리 L을 N개의 구간으로 나눈 것을 나타내며, WL/A는 탐지지역 내에서 탐지장비가 담당할 수 있는 지역을 의미한다. 이 모형은 탐지지역 내에 표적의 위치가 불규칙적으로 분포되어

있으며 탐지행위도 임의로 이루어진다는 가정을 기초로 한다. 이 모형에서는 체계적이며 조직적인 탐색보다는 최소의 정보를 가지고 이론적 측면에서 탐지확률을 계산하는데 초점을 두었다.

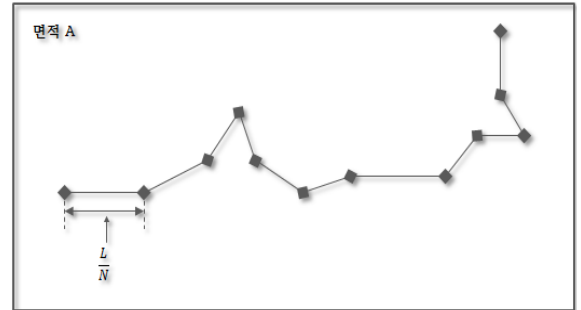


Fig. 1. Random search

고정된 탐색구역 내에 존재하는 표적에 대해 불규칙 탐색을 실시할 경우 탐지확률은  $1 - e^{-WZ/A}$ 로 주어졌다. 만약 이 표적을 탐지하기 위해 탐지속도가 V인 장비로 T시간 탐색하였을 때의 탐지확률의 일반적인 공식은 A가 시간의 함수로 나타나는 경우로 다음 식 (2)과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 W는 탐색장비의 탐색폭, V는 탐색장비의 탐색속도이며 A(T)는 시간의 함수로 나타낸 면적의 크기이다(김충영, 2010; U.S. Naval Academy Operations Analysis Group, 1999).

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

## 3. 자율무인잠수정

자율무인잠수정(AUV : Autonomous Underwater Vehicle)은 자신의 위치, 자세 그리고 환경변화를 측정하는 탑재센서를 통하여 스스로 인지한 후 주행경로를 자율적으로 설정하고 주어진 임무를 수행하는 자율성을 지닌 무인잠수정을 말한다. 자율무인잠수정은 모션에서 독립되어 있어 넓은 해역에서 탐색 목적으로 유용하게 사용이 가능하다. 하지만 자율무인잠수정은 태양열 충전지를 가지고 수면을 부상하여 충전하는 일부를 제외하고 전원 공급용으로 탑재된 배터리 용량에 전적으로 의존하기 때문에 작동시간에 한계가 있으며 운용자가 실시간으로 자율무인잠수정의 상태를 파악할

수 없다는 단점을 가지고 있다. 다음 Fig. 2는 자율무인잠수정을 나타낸다.

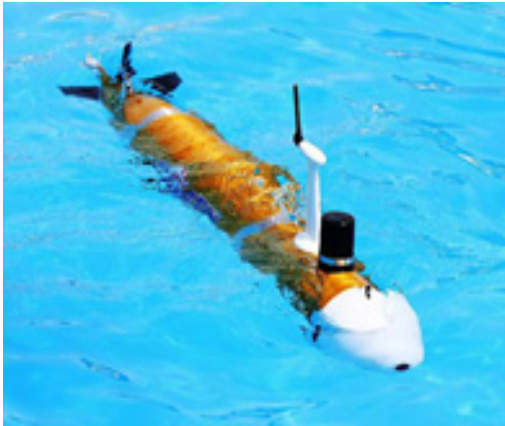


Fig. 2. Autonomous Underwater Vehicle(AUV)

자율무인잠수정 기술은 1980년 초부터 연구가 시작되어 현재 성숙단계에 접어들고 있으며 해양의 많은 산업분야 뿐만 아니라 다양한 군사목적으로 사용하고 있다. 무엇보다도 군에서 사용되는 자율무인잠수정은 적의 통제하고 있는 해역을 은밀하게 침투하고 전혀 알려지지 않은 미지의 수중환경에서 장기간 주어진 여러 가지 임무를 스스로 수행하기를 요구받고 있다(서주노, 최중락, 2011). 군사적으로 자율무인잠수정을 활용할 시 기뢰와 같은 목표물의 탐지, 식별, 분류를 위한 센서와 제어 기술 그리고 정확한 정보 제공을 위한 항법 기술이 요구될 것이다(서주노, 김도완, 이호재, 2011). 본 연구에서는 자율무인잠수정의 표적 탐색의 측면에서 중요하다고 판단되는 에너지기술과 항법 센서기술에 대해서만 언급하고자 한다.

자율무인잠수정의 운용시 에너지기술의 중요 고려사항으로는 운용시간 및 운용속도가 매우 밀접한 상관관계를 가지고 있다. 운용시간의 연장과 운용 속도 증가를 위하여서는 고밀도 에너지원 개발이 요구된다(최형식, 김준영, 2012). 하지만 현재의 기술에서는, 자율무인잠수정의 운용속도가 빠를수록 배터리 소모량은 더 크게 된다. 자율무인잠수정이 탐색을 마치고 복귀하기 위해서는 모함까지 주행이 가능한 최소한의 배터리 잔량이 필요하다. 이때 탐색시간의 제한으로 인하여 운용속도를 빠르게 한다면 동일한 크기의 구역을 탐색하는데 걸리는 운용시간은 짧아지지만 모함으로 복귀하기 위한 배터리 양이 부족하게 되어 탐색목표를 달성

하지 못한 채로 중단하는 비효율적인 상황이 벌어진다. 물론 에너지 기술만이 자율무인잠수정의 운용능력을 결정하는 것은 아니지만, 배터리 용량에 따른 자율무인잠수정의 운용 제한을 해소하기 위하여 고밀도 에너지원의 개발이 필요하다.

자율무인잠수정의 항법시스템은 자율무인잠수정의 방위별 가속도를 측정하는 장비인 가속도계(IMU : Inertial Measurement Unit), 음향신호를 이용하여 수중에서 운동하는 자율무인잠수정의 절대속도와 상대속도를 측정하는 속도계인 DVL(Doppler Velocity Log) 등과 같은 센서 및 시스템들의 복합적인 구성들로 이루어진다.

자율무인잠수정의 임무가 정해지면 탐색대상 해역을 판단하고 대상 해역의 해저 지형을 판단하여 탐색대상 해역에 적합한 탐색패턴을 결정한다. 자율무인잠수정은 정해진 수심으로 이동한 후 정해진 탐색패턴에 따라 탐색을 시작하게 된다. 자율무인잠수정은 넓은 구역의 탐색을 의미하는 광역탐색이 먼저 수행하게 된다. 자율무인잠수정에 탑재되어 있는 센서(전방주사소나 FLS, 측면주사소나 SSS)를 통하여 수중 접촉물의 유무를 파악하게 되며 수집된 데이터 분석을 통하여 접촉물에 대한 정밀탐색이 시작된다. 이때 탐색구역은 접촉물이 탐지된 구역으로 변경되어 정밀탐색을 수행한다. 정밀탐색 수행 시에도 자율무인잠수정에 탑재되어 있는 센서(측면주사소나 SSS, 수중광학카메라 OC, 수중초음파카메라 AC)를 통하여 접촉물에 대한 식별 및 확인을 수행한 후에 자율무인잠수정이 회수되면 임무가 종료되게 된다. Table 1은 자율무인잠수정의 운용 개념을 보여주고 있다.

Table 1. AUV's operation concept

| Step         | Operation Concept  |
|--------------|--|
| Detection    | ○ Unknown underwater objects shall be detected by the sensors of AUV   |
| Verification | ○ Unknown underwater objects shall be verified and determined roughly what kinds of objects are  |
| Confirmation | ○ By using the sensitive sensors(Optical & Acoustic sensors), The detailed target's informations shall be collected and confirmed such as it's shapes, postures, and so on |

### 4. 탐색패턴

본 연구에서는 탐색패턴을 수중 표적원에서 이미 알려진 또는 예상되는 기뢰, 침몰 함정, 장애물 등의 위치를 식별하기 위하여 제공하는 정형화된 탐색경로라고 정의한다. 또한, 자율무인잠수정의 기동 및 탑재 센서 특성을 바탕으로 탐색 효과도 평가를 위하여 M자형 탐색패턴, W자형 탐색패턴, 장방형 탐색패턴, 4자형 탐색패턴, 정방형 탐색패턴 등 총 5가지로 제시하였다. Fig. 3에서 탐색기동방법에 따른 탐색패턴 5가지의 형태를 나타내었다.

Fig. 3과 같이 표적 위치를 대략 아는 경우에는 적용하는 탐색패턴은 M자형 패턴, W자형 패턴, 장방형 패턴이다. 반면, 표적 위치를 정확히 아는 경우에는 장방형 패턴, 4자형 패턴, 정방형 패턴을 적용한다.

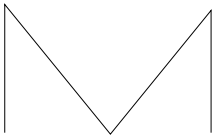
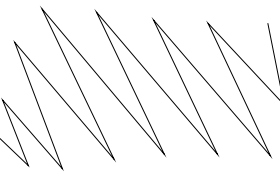
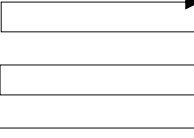
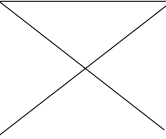
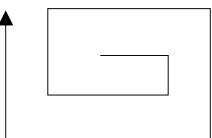
| Name of Pattern (Purpose)                   | Maneuvering methods   |
|---|---|
| M-type search (Broad Search)                |   |
| W-type search (Broad Search)                |  |
| Rectangular Search (Broad/Intensive Search) |  |
| 4-type search (Intensive Search)            |  |
| Square search (Intensive Search)            |  |

Fig. 3. Maneuvering methods based on search pattern

### 5. 자율무인잠수정 운용효과도 분석모델

운용효과도 분석모델은 실제로 자율무인잠수정의 운용이 불가하거나 어려운 상황에서 가상으로 자율무인잠수정을 운용하여 운용효과 분석 및 평가를 하기 위하여 개발되었다. 운용효과도 분석모델에서 탐색패턴별 탐색효과도 측정을 위한 효과적도는 표적에 대한 탐지율과 탐색소요시간을 사용하였다. 자율무인잠수정 운용효과도 분석모델의 전체 구성은 Fig. 4와 같이 표현된다. 분석모델은 탐색패턴결정모델과 탐지모델, 주행모델로 구성되어 있다. 탐색패턴결정모델은 탐색구역 크기 결정알고리즘과 탐색패턴기동알고리즘으로 구현되며 탐지모델은 광역탐색과 정밀탐색을 구현한다. 주행모델은 광역탐색과 정밀탐색에 따른 탐색패턴 주행알고리즘으로 운용되고 회피기동을 구현한다.

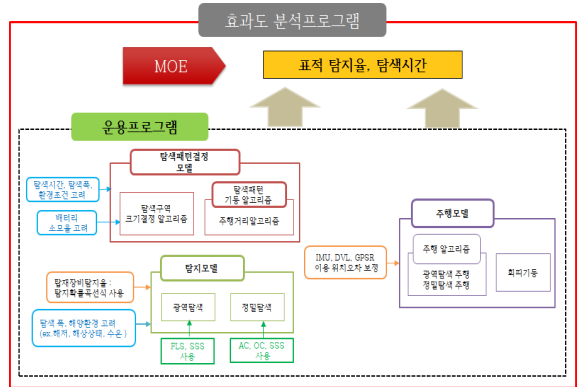


Fig. 4. The composition of AUV operation effectiveness analysis model

탐색패턴결정모델은 탐색해역 내에서 탐색구역의 크기, 탐색소요시간, 탐지장비의 성능, 수중장애물 여부 등을 고려하여 탐색패턴을 결정한다. 자율무인잠수정의 탐색을 위해서는 탐색구역의 크기와 함께 탐색 시작과 종료지점을 지정해야 한다. 탐색구역의 크기는 상황에 따라 다르게 결정할 수 있으며 자율무인잠수정 운용속력, 탑재센서의 성능, 배터리 용량 그리고 주행 거리에 따라 결정된다. 자율무인잠수정의 운용속력 별 주행가능거리와 배터리 잔량에 따른 주행가능거리가 탐색구역크기 결정에 큰 영향을 준다. 따라서 운용효과도 분석모델에서는 탐색구역의 크기가 자율무인잠수정의 탑재센서의 성능, 배터리 용량과 운용속력에 따라 주행거리에 반영될 수 있는 탐색구역크기 결정알

고리즘을 제시하였다. 또한 탐색 효과도 분석에 반영하기 위하여 탐색패턴 별 주행거리 산출이 가능하도록 하는 탐색패턴 기동알고리즘을 제시하였다.

탐색해역의 크기를 결정하기 위해서는 탐색형태별로 자율무인잠수정이 운용되는 수심에 따라 결정되는 SWATH 폭에 의해 결정되며 그 크기는 M자형의 탐색구역 폭은 SWATH 폭  $\times 0.9$ , 탐색구역 길이는 경로폭  $\times 21$ (자동화를 보장하기 위해 찾아낸 배수)이고, W자형의 탐색구역 폭은 SWATH 폭  $\times 0.9$ , 탐색구역 길이는 경로폭  $\times 20$ (자동화를 보장하기 위해 찾아낸 배수)이며, 장방형 탐색구역의 폭은 M자 및 W자와 달리 경로의 개수는 탐색폭/경로폭으로 결정되고 주행거리는 지정된 속력으로 요구되는 주행거리에 따라 결정되며, 그 순서는 ① AUV 운용속력 결정 ② 속력에 따른 운용시간 판단 ③ 운용시간별 주행가능거리 판단이다.

정해진 탐색구역을 모두 탐색하기 위하여 탐색패턴을 반복적으로 그리게 되는 과정에서 탐색패턴마다 중복구역이 발생하게 된다. 중복구역의 영향을 탐색효과도 분석에 반영하기 위하여 중복구역의 크기를 구하는 수학적 모델을 제시하였다.

### 5.1 M자형 탐색패턴

M자형 탐색패턴의 기동은 분석모델 내에서 탐색대상해역의 최저 수심을 판단하는 것으로부터 시작한다. 대상해역의 최저 수심을 확인한 후 자율무인잠수정의 운용수심을 파악한다. 만약 운용수심이 해역의 최저 수심보다 작거나 같다면 대상해역의 최저 수심을 재확인 후 자율무인잠수정의 운용수심을 다시 설정하게 된다. 운용수심이 대상해역의 최저 수심보다 크다면 설정한 운용수심에 따른 주사폭이 결정된다. 탐색의 정확도를 높이기 위하여 경로간의 최소겹침률을 지정하게 되면 경로폭이 산출된다. 경로폭은 Swath 폭에서 최소겹침률을 뺀 값을 사용하며 경로폭 단위로 탐색구역의 길이가 결정된다. 이때 탐색구역의 길이는 경로폭의 21배가 되도록 모델링 되었다. 탐색구역의 길이가 결정되면 모델 내에서 자율무인잠수정이 탐색구역의 진입점으로 이동하여 진입하게 되며 진입점에서 종료점의 예상위치를 무작위로 산출하게 된다. 종료점의 예상위치를 산출하기 위해서 진입점에서 예상 종료점을 바라보는 방위와 거리를 구하게 된다. 단위시간과 운용속도를 이용하여 예상 종료점을 구하여 이 예상 종료점을 가지고 매 단위시간마다 방위오차와 속도오차를 발생시켜 실제 위치를 계산하게 된다.

종료점으로 이동 후 회두진행을 통하여 다음 경로의 진입점으로 진입하게 된다. 진입점으로 진입을 한 후에는 다음 경로의 종료점을 무작위로 산출하게 되며 산출된 지점이 탐색종료 지점이라면 종료점으로 이동 후 탐색을 종료하게 된다. 그러나 산출된 지점이 탐색종료 지점이 아니라면 회두진행을 통하여 다음 경로의 진입점으로 진입하여 탐색종료지점에 도달할 때까지 반복적인 경로 이동을 통하여 탐색을 하게 된다. 자율무인잠수정의 경로이동은 자율무인잠수정의 운용속도와 이동거리를 고려하고 INS와 DVL 오차율과 자율무인잠수정 자체의 편향오차를 반영하여 시뮬레이션을 실시한다.

주행거리는 Swath 폭 길이만큼의 경로 수 10개,  $\theta$  만큼의 기울기를 갖는 경로 수 22개, 각 경로 종료 후 다음 경로 시작점까지의 회전 이동 경로 수( $\pi$ Swath width)/2) 25개, 후반부의 경로 4개를 건너뛰는 회전 이동 경로 수(4Swath width) 3개를 모두 합한 것이다. 그러므로 자율무인잠수정이 M자형 패턴으로 탐색구역 전체를 탐색하기 위한 주행거리는 식 (3)과 같다. 여기서 W는 자율무인잠수정이 탐색하는 탐색구역의 폭 (Width)이며, SWATH는 Swath 폭을 나타낸다.

$$\text{주행거리}(L) = 10W + 22\sqrt{W^2 + SWATH^2} + 25\left(\frac{\pi SWATH}{2}\right) + 12SWATH \quad (3)$$

M자형 탐색패턴의 탐색 중복구역의 크기는 다음과 같이 표현할 수 있다.

- ① 길이가 탐색구역 폭인 직각삼각형 : 8개
  - 8개  $\times$  (탐색구역 폭  $\times$  Swath width) / 2
- ② 길이가 탐색구역 폭/2 인 이등변삼각형 : 8개
  - 8개  $\times$  ((탐색구역 폭/2)  $\times$  Swath width) / 2
- ③ 길이가 탐색구역 폭인 마름모 : 4개
  - 면적은 이등변삼각형의 2배
  - 4개  $\times$  (탐색구역 폭  $\times$  Swath width) / 2

위의 내용을 정리하여 식 (4)과 같이 M자형 탐색패턴의 중복구역 크기의 산출이 가능한 식으로 표현하였다. W는 탐색구역의 폭, SWATH는 Swath 폭을 의미한다.

$$\text{중복구역크기} = 8W + SWATH \quad (4)$$

### 5.2 W자형 탐색패턴

자율무인잠수정이 W자형 패턴으로 탐색구역 전체를 탐색하기 위해 주행하는 거리는 각 W자 패턴 경로의 길이를 합친 것과 같으며 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{주행거리}(L) = \left( \frac{128SWATH}{\cos\theta} \right) + 35\pi SWATH \quad (5)$$

- 첫 W패턴 경로의 길이(L1) =  $\frac{12.5SWATH}{\cos\theta} + 3\pi SWATH$
- 두 번째 W패턴 경로의 길이(L2) =  $\frac{13.5SWATH}{\cos\theta} + 4\pi SWATH$
- 세 번째 W패턴 경로의 길이(L3) =  $\frac{14.5SWATH}{\cos\theta} + 4\pi SWATH$
- 네 번째 W패턴 경로의 길이(L4) =  $\frac{15.5SWATH}{\cos\theta} + 4\pi SWATH$
- 다섯 번째 W패턴 경로의 길이(L5) =  $\frac{16SWATH}{\cos\theta} + 4\pi SWATH$
- 여섯 번째(L6)는 네 번째 W패턴 경로의 길이와 동일
- 일곱 번째(L7)는 세 번째 W패턴 경로의 길이와 동일
- 여덟 번째(L8)는 두 번째 W패턴 경로의 길이와 동일
- 아홉 번째 W패턴 경로의 길이(L9) =  $\frac{12.5SWATH}{\cos\theta} + 4\pi SWATH$

자율무인잠수정이 탐색구역을 탐색 시에 탐색 최소 겹침률을 5%로 허용하였다. 최소겹침률의 허용으로 인하여 탐색 구역에서 탐색이 중복으로 일어나는 구역이 존재하게 된다. W자형 패턴의 중복구역 크기를 swath 폭에 따라 결정되도록 하는 수학적 모델로 제시하였다. 탐색 중복구역의 크기는 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{중복구역크기} = 3 \left[ \frac{\sqrt{3}}{4} \left( \frac{4SWATH}{\cos\theta} \right)^2 \right] \quad (6)$$

여기서  $\cos\theta$ 는  $4SWATH/(4SWATH/\cos\theta)$ 이며,  $\theta$ 는  $\tan^{-1}(W/4SWATH)$ 가 된다. W는 탐색구역 폭을 의미하

는 것이다. 탐색 중복구역의 크기를 구하기 위해서 피타고라스 정리의 정삼각형 넓이 공식을 이용하여 유도를 하였다.

### 5.3 장방형 탐색패턴

자율무인잠수정이 장방형 패턴으로 탐색구역 전체를 탐색하기 위한 총 주행거리는 탐색구역 길이만큼의 경로 수 n개, 각 경로 종료 후 다음 경로 시작점까지의 회전 이동 경로 수 n-1개, 경로간의 이동거리 ( $\pi$ 주사폭)/2을 모두 합한 값으로 나타낼 수 있다. 주행거리는 다음 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다. W는 탐색구역의 폭, SWATH는 Swath 폭을 의미한다.

$$\begin{aligned} \text{주행거리}(L) &= (n \times \text{탐색구역 길이}) \\ &\quad + (\text{경로개수} - 1) \left( \frac{\pi SWATH}{2} \right) \\ &= \left( \frac{W}{\text{경로폭}} \right) \text{탐색구역 길이} \\ &\quad + (\text{경로개수} - 1) \left( \frac{\pi SWATH}{2} \right) \\ &= (W \times \text{경로개수}) + \left( \frac{\pi SWATH}{2} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

장방형 탐색패턴의 탐색구역길이는 (주행거리-(경로개수-1) $\pi$ SWATH/2)/경로 개수이며, 경로 개수는 탐색구역 폭/경로폭으로 나타낼 수 있다. 장방형 탐색패턴의 경우에는 각 경로 간 겹침구역을 제외하고 별도로 추가되는 중복구역은 발생하지 않는다.

### 5.4 4자형 탐색패턴

자율무인잠수정이 4자형 패턴으로 탐색구역 전체를 탐색하기 위한 주행거리는 경로 하나의 주행거리에 4배를 한 값으로 나타낼 수 있으며 주행거리에 4배한 것에 경로와 경로간의 이동거리를 더하여 총 주행거리를 표현 할 수 있다. 경로 간의 이동거리는 식 (8), 주행거리는 식 (9)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{경로 간 이동거리} = \frac{3\pi SWATH}{2} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{주행거리}(L) &= \sqrt{60.5SWATH^2 + 6SWATH} \\ &\quad + \sqrt{40.5SWATH^2} \\ &\quad + \frac{\pi SWATH(2 + SWATH)}{4} \end{aligned} \quad (9)$$

자율무인잠수정이 탐색구역을 탐색 시에 경로간의 최소겹침률을 5%로 허용하였다. 최소겹침률의 허용으로 인하여 탐색 구역에서 탐색이 중복으로 일어나는 구역이 존재하게 된다. 4자형 패턴의 중복구역의 크기를 Swath 폭에 따라 결정되도록 수학적 모델로 제시하였다. 탐색 중복구역은 한 변의 길이가 Swath 폭인 정사각형의 면적을 이용하여 구할 수 있으며 크기는 식 (10)과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{중복구역크기} = \sqrt{8SWATH^2} \times \sqrt{8SWATH^2} \quad (10)$$

### 5.5 정방형 탐색패턴

정방형 패턴의 탐색구역 중심에서 사각 확장형 또는 구역 외곽으로부터 축소형의 기동 경로를 가지고 있으며, 탐색구역의 크기를 경로폭의 6배로 제한하여 결정하면 주행거리는 식 (11)과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{주행거리} = 35 \times SWATH \quad (11)$$

정해진 탐색구역을 모두 탐색하기 위하여 12번의 경로로 탐색하게 된다. 정방형 탐색패턴의 경우에는 각 경로 간 겹침구역을 제외하고 별도로 추가되는 중복구역은 발생하지 않는다.

탐색구역의 크기는 자율무인잠수정의 운용해역의 수심에 따른 탐지센서의 탐지폭, 운용속력과 배터리 잔량에 의하여 결정된다. 자율무인잠수정 운용효과도 분석모델에 적용할 운용속력은 3kts, 5kts, 7kts 중에서 결정된다. 본 연구에서는 운용속력 별 배터리 소모율이 일정한 것으로 가정하고 속력에 따른 운용시간을 추정하였으나 향후 기술 및 운용시험 과정에서 확보되는 배터리 소모율 자료가 확보되면 모델에 보완 가능하다. 운용효과도 분석모델에 적용하기 위해 기술 시범사업으로 개발중인 자율무인잠수정의 운용속력이 3kts일 때는 운용시간이 20시간, 7kts일 때는 3시간임을 이용하여 5kts일 때의 운용시간을 추정해 본 결과 Table 2에서 알 수 있듯이 약 11.5시간을 나타내고 있다.

자율무인잠수정 운용효과도 분석모델을 이용하여 동일한 탐색구역 내에서의 임의의 수중표적에 대한 시물레이션을 거쳐 그 결과로 얻은 탐지율과 탐색소요시간, 배터리소모량, 주행거리, 중복구역의 크기를 고려하여 최적의 탐색패턴을 결정하게 된다.

주행모델은 자율무인잠수정이 모함에서 진수하여 탐

색구역까지 이동상황과 설정된 탐색패턴에 따라 주행하는 상황과 탐색을 마친 후 모함으로 복귀하는 과정을 모사한다.

Table 2. Maximum moving distances based on searching speeds

| Searching speed | Max. Operating hours(hour) | Max. moving distance |
|-----------------|----------------------------|----------------------|
| 3kts            | 20                         | 60mile(111.12km)     |
| 5kts            | 11.5                       | 55mile(101.9km)      |
| 7kts            | 3                          | 21mile(38.9km)       |

### 5.6 회피기동

광역탐색과 정밀탐색 시 탐색패턴 별 주행상황과 장애물 회피를 위한 회피기동을 모사하도록 하였다. 주행모델을 통하여 자율무인잠수정 탐색 시작의 최초위치와 탐색 시작의 종료위치, 주행속력에 따른 주행상황 모사를 확인할 수 있다. 자율무인잠수정에 탑재된 전방주사소나를 이용하여 탐색 중 표적을 탐지하였을 경우 표적의 식별과 확인 후에 회피의 필요성을 판단한다. 회피 여부 판단은 표적이 탐색경로 10m 이내에 있는 경우와 그렇지 않은 경우로 결정하였다. 표적이 탐색경로 10m 이내에 있지 않은 경우에는 전방주사소나로 촬영하며 통과하고 표적 탐색경로 10m 이내에 있는 경우에는 회피기동 하도록 하였다. 정밀탐색 시에는 표적에 대한 정확한 식별과 확인을 위하여 회피여부 판단 기준을 5m로 하였다.

### 5.7 탐지모델

탐지모델은 자율무인잠수정이 탐색패턴에 따라 주행하면서 탑재센서를 통하여 수중표적을 탐지하는 상황을 모사한다. 광역탐색과 정밀탐색에 각각 사용되는 탑재센서의 운용범위 안에 표적이 포함되었는지를 확인한 후 탐지 여부를 판단하도록 하였다. Table 3은 수중표적 탐지를 위해 자율무인잠수정에 탑재된 센서들이다.

수중표적 탐색 시 탐색에 영향을 미치는 요소는 여러 가지가 있다. 탑재장비 관련 요소, 해양환경에 관련된 요소들이 표적에 대한 탐지율 증가와 감소에 영향을 준다. 다양한 형태의 해양환경요인을 반영하기 위하여 일반화된 형태의 탐지확률곡선(Lateral Range



Curve)을 탐지모델에 반영하였다. 탐지확률곡선은 실제 해양환경을 확률적으로 사용함으로써 그 특성을 반영하여 통계적인 분석을 수행할 수 있다.

Table 3. AUV's sensors

| Sensor                      | Capacity  | Etc                         |
|-----------------------------|---|-----------------------------|
| Forward Looking Sonar (FLS) | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Detect Range : 100m</li> <li>○ Equiped to forward of ship</li> <li>○ 3 dimensional Multi-Beam Sonar equipment</li> </ul> | Forward 3-D images Acquired |
| Side Scan Sonar (SSS)       | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Detect Range : 37.5~100m</li> <li>○ SWATH width : 60m</li> <li>○ Equiped to side of ship</li> </ul>                      | the sea bottom Acquired     |
| Acoustic Camera (AC)        | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Detect Range : 30m</li> <li>○ Equiped forward of AUV</li> </ul>  | Forward 2-D images Acquired |
| Optical Camera (OC)         | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Illumination : 0.1LUX@F2.0</li> <li>○ Image level : 640×480 /30FPS</li> <li>○ Equiped forward of AUV</li> </ul>          | Video clips saved           |

식 (12)는 소나의 최대탐지거리, 자율무인잠수정과 수중표적과의 거리, 탐색환경계수를 식별하여 만든 탐지확률곡선식이다.

$$P(d) = \exp \left[ -2 \left( \frac{d}{\alpha d_{\max}} \right)^2 \right] \times \alpha \quad (12)$$

P(d)는 탐지확률, d는 자율무인잠수정과 수중표적과의 거리, dmax는 Sonar의 최대탐지거리를 나타내며 α는 탐색환경계수, 함정 및 해양 특성의 영향에 따른 가중치(0≤α≤1)를 반영한다. 탐지확률곡선은 대략적으로 Fig. 5와 같은 형태를 나타낸다. 탐색환경계수 α는 소나의 탐지능력에 영향을 미치는 자율무인잠수정의 특성과 해양환경요소의 수준으로 현실적인 시뮬레이션을 위하여 기존에 확보된 전투실험 자료 또는 Modeling & Simulation 툴을 통한 데이터를 고려해야한다. 본 연구에서 탐색환경계수 α는 임의의 값을 사용하고 적용 장비도 전방주사소나로 제한하였다.

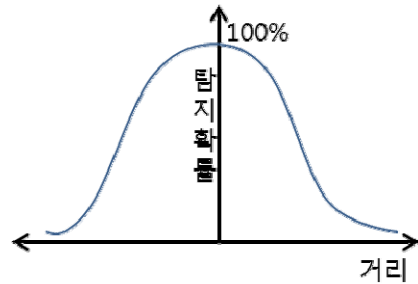


Fig. 5. Detection probability distribution

### 6. 시뮬레이션 결과

탐색패턴 효과도 분석을 위한 시뮬레이션은 Table 4에 따라 설정한다. 탐색 효과도 분석을 위한 탐색구역은 광역탐색을 위한 M자형, W자형, 장방형패턴과 정밀탐색을 위한 4자형, 장방형, 정방형패턴 모두 동일한 탐색구역으로 설정한다. 수중표적은 동일한 수심과 임의의 위치에 지정하였으며 그 위치는 광역탐색의 3가지 패턴에 모두 동일하게 적용한다. 정밀탐색에서 수중표적의 위치는 광역탐색의 위치와 동일한 표적 중 일부를 탐색구역 내에 위치시켜 탐색한다. 자율무인잠수정 주행모델 작동 시 위치오차와 자율무인잠수정 자체의 편향오차가 반영되어 시뮬레이션이 진행될 때 궤적을 지정하지 않으면 경로간의 사이가 벌어져 탐색을 하지 못하는 범위가 생긴다. 이 때문에 경로간의 궤적을 지정하되 최소(5%)로 하여 탐색 반복회수에 영향을 미치지 않도록 하고 경로 사이의 미 탐지구역이 최대한 적게 생기도록 하였다. 수중표적 발견 확률은 측면주사소나(SSS), 초음파카메라(AC), 광학카메라(OC) 모두 0.5를 입력하였고 전방주사소나(FLS)는 탐지확률곡선을 적용하였다. 배터리 용량은 시뮬레이션 대상이 되는 자율무인잠수정의 실제 값을 입력하였다. 이밖에도 탑재센서 운용범위와 항법센서의 오차를 또한 5가지 패턴 모두 동일하게 적용한다.

M자형 패턴은 Swath 폭의 21배로 탐색구역 길이가 설정되기 때문에 Swath 폭의 20배로 탐색구역 길이가 설정되는 W자형과의 직접적인 비교는 적절하지 않다. 따라서 탐색구역의 길이를 조절하여 시뮬레이션이 가능한 장방형 패턴과 비교하여 두 패턴 중 더 효과적인 패턴을 결정하였다. Table 5는 M자형 패턴과 장방형 패턴의 10회 반복 시뮬레이션 결과를 평균으로 나타낸다.



Table 4. Simulation input data

| Items                           |     | Broad Search                                  | Intensive Search |
|---------------------------------|-----|---|------------------|
| Depth                           |     | 20m   | 20m              |
| Speed                           |     | 3kts  | 3kts             |
| Target numbers                  |     | 3   | 2                |
| Target depth                    |     | 5m  | 5m               |
| Probability of target detection | FLS | applied by detection probability distribution |                  |
|                                 | SSS | 0.5   | 0.5              |
|                                 | AC  | 0.5   | 0.5              |
|                                 | OC  | 0.5   | 0.5              |
| Battery Capacity                |     | 2940Wh  | 2940Wh           |
| Overlap percentage              |     | 5%  | 5%               |
| Simulation repetition           |     | 10  | 10               |

Table 5. M-Type and rectangular search pattern comparison

| Items                           |     | M-type search        | Rectangular search  |
|---------------------------------|-----|----------------------|---------------------|
| Search area (Dist×Width)        |     | 1305m × 400m         | 1305m × 400m        |
| Search Width (swath width)      |     | 65m                  | 65m                 |
| Search time                     |     | 177min               | 123min              |
| Battery consumption             |     | 434Wh                | 303Wh               |
| Moving distance                 |     | 16433m               | 11468m              |
| Overlapping area                |     | 209334m <sup>2</sup> | 25612m <sup>2</sup> |
| Target detecting numbers        | FLS | 2.6                  | 3                   |
|                                 | SSS | 1.2                  | 1.6                 |
| Probability of target detection | FLS | 0.87                 | 1.0                 |
|                                 | SSS | 0.4                  | 0.58                |

1305m × 400m 크기의 탐색구역에서 수중표적 3개를 탐색하는데 걸린 탐색소요시간은 M자형 패턴이 평균 177분, 장방형 패턴은 평균 123분이 걸렸다. 배터

리 소모량과 주행거리는 탐색소요시간이 긴 M자형 패턴이 약 1.4배 정도 더 많은 것을 알 수 있다. 중복구역은 같은 구역을 더 긴 시간동안 탐색한 M자형 패턴이 약 8배 정도 넓다. 자율무인잠수정 탑재 소나별 표적 평균 탐지율은 장방형 패턴이 M자형 패턴보다 높았다.

Fig. 6은 광역탐색 시 동일한 탐색구역 크기와 동일한 위치의 수중표적에 대한 평균 탐색소요시간과 탐지율을 비교한 그래프이다. 그래프에서 알 수 있듯이 동일한 위치의 수중표적 3개에 대한 평균 탐지율은 M자형 패턴이 63.5%, 장방형 패턴이 78%로 장방형 패턴의 탐지율이 14.5% 높은 것을 알 수 있다. 또한 장방형 패턴은 수중표적 탐색소요시간이 M자형 패턴에 비하여 탐색시간이 53.6분 정도 빠르다는 결과를 나타냈다.

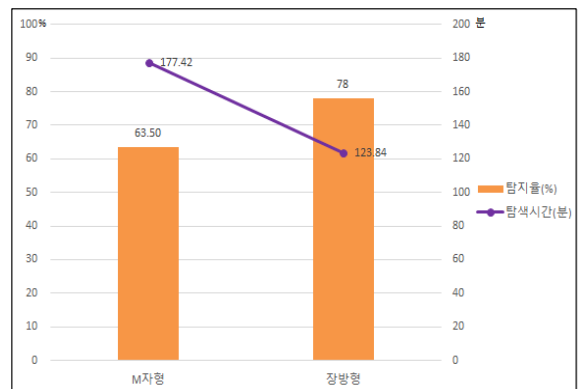


Fig. 6. Search time and detection probability comparison between M-type and rectangular searches

시뮬레이션 결과에서 나타나듯이 동일한 위치에 있는 임의의 표적과 동일한 크기의 탐색구역에 대한 탐색 시 M자형 패턴에 비하여 탐색소요시간이 짧고 표적 탐지율이 높으며 주행거리와 배터리 소모량이 적은 장방형 패턴이 효과적이다.

Table 6은 W자형 패턴과 장방형 패턴의 10회 반복 시뮬레이션 결과를 평균으로 나타낸다. 1242m × 400m 크기의 탐색구역에서 수중표적 3개를 탐색하는데 걸린 탐색소요시간은 W자형 패턴이 평균 215분, 장방형은 평균 118분이 걸렸다. 배터리 소모량과 주행거리는 탐색소요시간이 긴 W자형이 약 1.8배 정도 더 많은 것을 알 수 있다. 중복구역은 같은 구역을 더 긴 시간동안 탐색한 W자형 패턴이 장방형 패턴에 비하여 약 13

배 정도 넓다. 자율무인잠수정 탑재 소나별 표적 평균 탐지율 중 FLS는 두 패턴이 동일하며, SSS와는 W자형 패턴이 높은 것을 알 수 있다.

Table 6. W-type and rectangular search pattern comparison

| Items                           |     | W-type search        | Rectangular search  |
|---------------------------------|-----|----------------------|---------------------|
| Search area (Dist×Width)        |     | 1242m × 400m         | 1242m × 400m        |
| Search Width (swath width)      |     | 65m                  | 65m                 |
| Search time                     |     | 215 min              | 118 min             |
| Battery consumption             |     | 528Wh                | 290Wh               |
| Moving distance                 |     | 19955m               | 10964m              |
| Overlapping area                |     | 319245m <sup>2</sup> | 24392m <sup>2</sup> |
| Target detecting numbers        | FLS | 3                    | 3                   |
|                                 | SSS | 2.2                  | 1.4                 |
| Probability of target detection | FLS | 1.0                  | 1.0                 |
|                                 | SSS | 0.73                 | 0.67                |

다음 Fig. 7은 광역탐색 시 동일한 탐색구역 크기와 동일한 위치의 수중표적에 대한 평균 탐색소요시간과 탐지율을 비교한 그래프이다. 장방형 패턴은 수중표적 탐색소요시간이 W자형 패턴에 비하여 탐색시간이 97분 정도 짧으며 탐지율은 W자형 패턴이 장방형 패턴에 비하여 3%로 높은 것을 알 수 있다. 시뮬레이션 결과에서 나타나듯이 동일한 위치에 있는 임의의 표적과 동일한 크기의 탐색구역에 대한 탐색 시 W자형 패턴이 장방형 패턴에 비하여 수중표적 대한 탐지율이 조금 높게 나타났다. 이는 W자형 패턴은 탐색 중복구역이 넓기 때문에 표적에 대한 탐지 가능성이 누적되어 탐지율 증가에 영향을 미쳤다고 예상할 수 있다. 두 패턴간의 탐지율 차이가 크다면 W자형 패턴이 장방형 패턴에 비하여 효과적인 패턴이라 할 수 있다. 하지만 장방형 패턴이 W자형 탐색패턴에 비해 탐지율의 차이가 작고, 탐색시간이 짧아 장방형 탐색패턴이 W자형 탐색패턴보다 탐색 효과도가 높다고 할 수 있다.



Fig. 7. Search time & detection probability comparison between W-type and rectangular search

광역탐색시 최적의 탐색패턴 시뮬레이션 결과는 Fig. 8과 같이 나타난다. 여기서, 탐색 중복구역이 탐지율과 탐색소요시간에 미치는 영향을 나타내고 있다.

탐지율, 탐색소요시간을 주요소로 비교하고 배터리 소모량, 주행거리, 중복구역의 영향을 고려시, M자형 패턴과 장방형 패턴의 탐색효과 비교결과는, 표적에 대한 탐색소요시간이 짧고 주행거리와 배터리 소모량이 적으며 탐지율이 높은 장방형 패턴이 더 효과적임을 알 수 있었다. 또한 W자형 패턴과 장방형 패턴을 비교한 결과, 표적에 대한 탐지율은 W자형 패턴이 조금 높았으나 그 차이가 작고 탐색 중복구역이 장방형 패턴에 비하여 매우 넓어 탐지 가능성이 누적 영향을 고려하였을 때, 장방형 패턴이 탐색소요시간과 주행거리가 짧고 배터리 소모량이 적으면서 유사한 탐지율을 보이고 있어 더 효과적인 탐색패턴임을 알 수 있었다. 위의 결과를 종합하였을 때 광역탐색 시 최적의 탐색패턴은 탐지율이 높고 배터리 소모량과 주행거리가 적은 장방형 패턴이라는 결론을 내렸다.

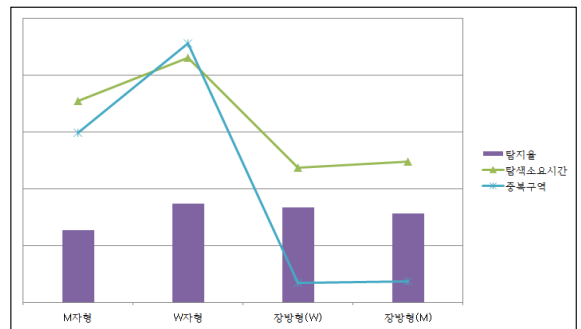


Fig. 8. Effects of overlapping area on to detecting probability and searching time

Table 7은 정밀탐색 시 4자형 패턴, 장방형 패턴, 정방형 패턴의 시뮬레이션 비교 결과를 나타낸다. 정밀 탐색은 같은 크기의 탐색구역에 대하여 4자형 패턴, 장방형 패턴, 정방형 패턴간의 비교가 가능하고, 4자형 패턴, 장방형 패턴, 정방형 패턴의 10회 반복 시뮬레이션 결과를 평균으로 나타낸다. 372m × 372m 크기의 탐색구역에서 수중표적 2개를 탐색하는데 걸린 탐색소요시간은 4자형 패턴이 평균 81분, 장방형 패턴은 평균 82분 그리고 정방형 패턴은 44분이 걸렸다. 배터리 소모량과 주행거리는 탐색소요시간이 가장 짧은 정방형 패턴이 적은 것을 알 수 있다. 중복구역은 4자형 패턴이 가장 넓다. 자율무인잠수정 탑재 소나별 표적 평균 탐지율 중 SSS는 4자형 패턴과 장방형 패턴은 동일하며 정방형 패턴은 나머지 두 패턴에 비하여 낮았으며 AC는 장방형 패턴이 가장 높으며, OC는 세 가지 패턴 모두 탐색이 일어나지 않았다.

Table 7. The results of intensive searches

| Items                           | 4-type search        | Rectangular search  | Square search      |
|---------------------------------|----------------------|---------------------|--------------------|
| Search area (Dist×Width)        | 372m × 372m          | 372m × 372m         | 372m × 372m        |
| Search Width                    | 65m                  | 65m                 | 65m                |
| Search time                     | 81min                | 82min               | 44min              |
| Battery consumption             | 199Wh                | 201Wh               | 110Wh              |
| Moving distance                 | 7523m                | 7535m               | 4163m              |
| Overlapping area                | 209334m <sup>2</sup> | 14635m <sup>2</sup> | 3252m <sup>2</sup> |
| Target detecting numbers        | SSS                  | 2                   | 2                  |
|                                 | AC                   | 0.6                 | 1.2                |
|                                 | OC                   | 0                   | 0                  |
| Probability of target detection | SSS                  | 1.0                 | 1.0                |
|                                 | AC                   | 0.3                 | 0.6                |
|                                 | OC                   | 0                   | 0                  |

Fig. 9는 정밀탐색 시 동일한 탐색구역 크기와 동일한 위치의 수중표적 2개에 대한 평균 탐색소요시간과 탐지율을 비교한 그래프이다. 그래프에서 알 수 있듯이 임의의 수중표적 2개에 대한 평균 탐지율은 4자형

패턴이 43.33%, 장방형 패턴이 53.33%, 정방형 패턴이 30%로 장방형 패턴이 가장 높은 것을 알 수 있다. 4자형 패턴과 장방형 패턴은 수중표적 탐색소요시간이 0.8분의 아주 근소한 차이로 장방형이 길다. 정방형 패턴은 나머지 두 패턴과 비교하여 확연히 짧은 것을 알 수 있다. 수중표적에 대한 탐지율은 세 패턴 중 탐색소요시간이 가장 긴 장방형 패턴이 53.33%로 가장 높은 것을 알 수 있고 탐색소요시간이 가장 짧은 정방형이 탐지율도 가장 낮은 것을 확인 할 수 있다.

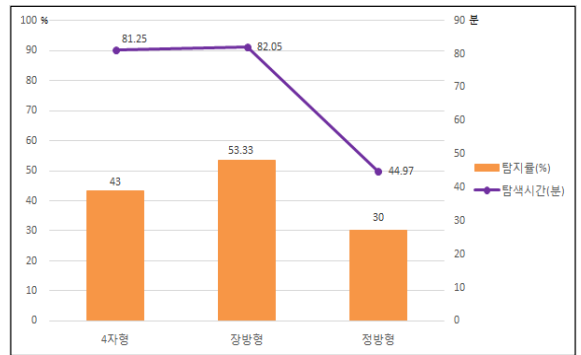


Fig. 9. Search time comparison regarding intensive searches

시뮬레이션 결과에서 나타나듯이 동일한 위치에 있는 임의의 표적과 동일한 크기의 탐색구역에 대한 탐색 시 탐색소요시간이 가장 긴 장방형 패턴이 4자형, 정방형 패턴에 비하여 수중표적에 대한 탐지율이 높게 나타났다. 정방형 패턴은 탐색소요시간이 다른 두 패턴보다 짧지만 탐지율 또한 두 패턴에 비하여 매우 낮은 것을 알 수 있었다. 4자형 패턴은 중복구역의 크기가 장방형 패턴에 비하여 약 14배 정도 넓음에도 불구하고 장방형 패턴은 탐색소요시간 또한 아주 근소한 차이를 보이고 있다. 하지만, 평균탐지율은 장방형 패턴이 4자형 패턴에 비하여 10%가 높다. 이러한 결과를 토대로 장방형 탐색패턴이 4자형 탐색패턴과 정방형 탐색패턴 보다 탐색 효과도가 높다고 할 수 있다.

## 7. 결론

본 연구는 기존 연구를 바탕으로 자율무인잠수정을 통한 수중 표적 탐색에 적합한 탐색패턴을 제시를 통하여 탐색상황에 따른 최적의 탐색패턴을 도출하기 위

하여 수행되었다. 탐색방법과 탐색이론에 관한 연구결과 및 적용사례 연구를 통하여 기존의 탐색방법과 탐색이론을 토대로 자율무인잠수정 기동특성을 고려한 탐색패턴을 제시하였다. 탐색패턴은 수중표적의 위치 정보에 따라 ‘위치를 대략 아는 경우’의 광역탐색과 ‘위치를 정확히 아는 경우’의 정밀탐색에 적용할 수 있도록 분류하였다. 광역탐색에는 M자형 탐색패턴, W자형 탐색패턴, 장방형 탐색패턴을 사용하도록 하였고 정밀탐색에는 4자형 탐색패턴, 장방형 탐색패턴, 정방형 탐색패턴을 사용하도록 제안하였다.

자율무인잠수정을 이용한 탐색을 수행할 때 탐색패턴의 효과도 분석을 통하여 최적의 탐색패턴을 도출하기 위하여 자율무인잠수정 운용효과도 분석모델을 개발하였다. 분석모델은 탐색패턴결정모델, 주행모델, 탐지모델로 구성하였다. 자율무인잠수정 운용효과도 분석모델에서 자율무인잠수정의 탐색패턴에 따른 기동을 모사하고 시뮬레이션에 반영하기 위하여 탐색패턴결정을 위한 탐색패턴별 기동알고리즘과 탐색구역크기결정 알고리즘을 제안하고 수식으로 표현하였다.

탐색상황별 최적의 탐색패턴을 도출하기 위하여 운용효과도 분석모델에 자율무인잠수정의 기능관련 요소, 탐색상황에 관련된 기술변수를 입력한 후 광역탐색과 정밀탐색을 실시하였다. 광역탐색 시 동일한 탐색구역크기와 동일한 수중표적에 대한 탐색 효과도를 측정하였다. M자형 패턴과 장방형 패턴을 비교한 결과 장방형 패턴이 표적에 대한 탐지율을 높였으며 표적에 대한 탐지소요시간 또한 짧게 나온 것을 확인하였다. W자형 패턴과 장방형 패턴을 비교한 결과 표적에 대한 탐지율은 W자형이 높았지만 그 차이는 3%로 매우 낮았다. 반면, W자형 패턴은 주행거리와 탐색소요시간이 길고 중복구역의 크기가 매우 커 표적에 대한 탐지 가능성 누적을 고려한 결과 탐지율이 유사하고, 탐색소요시간과 주행거리, 배터리 소모량이 작은 장방형 패턴이 W자형 패턴에 비하여 탐색효과가 좋음을 알 수 있었다.

정밀탐색 시 동일한 탐색구역 크기와 동일한 수중표적에 대한 탐색효과도를 측정하였다. 4자형 패턴, 장방형 패턴, 정방형을 비교한 결과 정방형 패턴은 표적에 대한 탐색소요시간은 매우 짧으나 탐지율이 4자형 패턴과 장방형 패턴에 비하여 매우 낮은 것을 확인하였다. 또한 주행거리, 배터리소모량도 나머지 두 패턴에 비하여 작지만 표적에 대한 탐지율이 낮아 효과적인 탐색을 하지 못하였음을 알 수 있었다. 4자형 패턴과

장방형 패턴은 주행거리, 배터리 소모량, 탐색소요시간이 거의 차이가 없음을 확인하였다. 그러나 표적에 대한 탐지율은 장방형 패턴이 4자형보다 높았음을 확인하였다. 비교결과를 통하여 장방형 패턴이 4자형 패턴과 정방형 패턴에 비하여 탐색효과가 좋음을 알 수 있었다.

연구결과를 요약하면, 표적에 대한 위치정보가 부족하거나 정보가 없는 경우에 광역탐색을 실시할 때 장방형 패턴을 사용하면 표적에 대한 탐지율을 높일 수 있다. 또한, 표적에 대한 위치정보가 정확한 경우에 정밀탐색을 실시할 때에도 장방형 패턴을 사용하면 표적에 대한 탐지율을 높일 수 있다. 이런 효과는 표적에 대한 짧은 탐색소요시간으로 입증하였다. 탐색소요시간이 짧은 것은 주행거리, 배터리소모량, 중복구역크기를 적게 하여 주행 시 다른 패턴에 비하여 동일한 배터리 양으로 정해진 탐색구역에 대한 탐색활동을 증가시킬 수 있어 탐색효과 증가에 영향을 줄 수 있는 가능성을 포함하고 있다. 결과적으로 광역탐색 시에는 장방형 패턴을 사용하여 위치정보가 확실하지 않은 표적에 대한 탐지확률을 높일 수 있고 정밀탐색 시에도 장방형 패턴으로 위치정보가 확실한 표적에 대한 탐지확률을 높일 수 있음을 증명하였다.

## 후 기

이 논문은 2014 한남대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었음.

## References

- [1] Kim, Chungyoung, Military OR Theory and Application, Dunam, Inc. pp. 119-143, 2010.
- [2] Mun, Ilsung, Shin, Myungsu, Cho, Yongjin, Kang, Changku, You, Jungsung, Measurement of the Yellow Sea Visibility Raange by using Video Cameras, Korea Ocean Research & Development Institute, KRISO, 2002.
- [3] Seo, Juno, Kim, Dowan, Lee, Hojae, Development Trend of AUV Navigation Tactics, ICROS, Vol. 17, No. 2, 2011.
- [4] Seo, Juno, Choi, Junglak, AUV's Autonomous Level

- and Development Trend, IEIE, Vol. 38, No. 7, 2011.
- [5] Lee, Kiyong, An Analysis of Required Technologies for Developing Unmanned Mine Countermeasure System Based on the Unmanned Underwater Vehicle, KIMST, Vol. 14, No. 4, pp. 579-589, 2011.
- [6] Lee, Minkyu, The Study on Anti-Submarine Search Pattern of the Surface Ship Considering the Torpedo Countermeasure Tactics, KIMST, Vol. 13, No. 2, 2010.
- [7] Lee, Taekyu, Military word dictionary, Ilwol. Inc., 2012.
- [8] Choi, Hyungsik, Kim, Joonyoung, AUV R&D Situation and Prospect, The Society of Naval Architects of Korea, Vol. 49, No. 3, 2012.
- [9] Hwang, Arom, Kim, Munhwan, Lee, Shimyong, Yoon, Jaemoon, Kim, Chanki, The Effectiveness Analysis for Mine Search of AUV, KIMST, Vol. 14, No. 5, 2011.
- [10] B. Anderson and J. Crowell, Workhorse AUV-A Cost Sensible New Autonomous Underwater Vehicle for Surveys/Soundings, Search & Rescue, and Research, 2005.
- [11] S. J. Benkoski, M. G. Monticino and J. R. Weisinger, A Survey of the Search Theory Literature. Naval Research Logistics 38, pp. 469-494, 1991.
- [12] D. V. Chudnovsky and G. V Chudnovsky, Search Theory : Some Recent Developments. Marcel Dekker, Inc., 1989.
- [13] Fossen, Guidance and Control of Ocean Vehicle, 2002.
- [14] J. R. Frost and L. D. Stone, Review of Search Theory : Advances and Application to Search and Rescue Decision Support, Technical Report(CG-D15-01), U.S Coast Guard Research and Development Center, 2001.
- [15] W. T. Herr, AUV Technology Development and Demonstration Program, Proc of A Partnership of Marine Interests, pp. 1290-1299, 1988.
- [16] D. W. McClarin, Discrete Asynchronous Kalman Filtering of Navigation Data for the Phoenix Autonomous Underwater Vehicle, M. S. Thesis, Naval Postgraduate School, Monterey, CA, 1996.
- [17] Roger P. Stokey, Alexander Roup, Development of the REMUS 600 Autonomous Underwater Vehicle, Jane's Underwater Security Systems and Technology, 2009.
- [18] R. L. Wernli, UVs--A Technology Whose Time Has Come, Proc. Conf. UT'02 OES/IEEE, pp. 309-314, 2002.
- [19] The World AUV Market Report 2010-2019, Douglas Westwood Ltd., 2009.
- [20] U.S Naval Academy Operations Analysis Group, Translated by Choi, Sunghwan, Navy OR Theory, ROK Naval Academy, pp. 190-198, 1999.