HMS 운용방안에 관한 연구

A Study on Operational Method of a HMS

신 성 철*

Seoung Chul Shin

이 철 목**

Chul Mok Lee

Abstract

The Navy is in the process of developing a sonar-operation strategy to increase the effectiveness of underwater target searching capability. HMS is the basic strategy to detect underwater targets. The advantages of HMS is that, it has a short preparation time to operate and can be always used regardless of sea conditions and weather. However, it is difficult to effectively detect underwater targets due to the interaction between marine environments and sonar-operations. During the research, the effectiveness of the HMS system's underwater target searching capability was analyzed by integrating various search and defense patterns, and environment conditions into the simulation. In the simulation the ship search an evasive target within a set region. The simulation presented results for an effective searching and defense methods of underwater targets. These research results can be used as foundation for advancing and improving the sonar operational tactics.

Keywords : Hull Mounted Sonar(HMS, 소나), Underwater Target(수중표적), Furthest on Circle(최원권), Datum(최종 접촉 소실점)

1. 서론

오늘날 수상함들은 현대화된 다양한 무기체계들을 탑재하여 대공, 대함, 대잠작전 등을 수행한다. 그 중에서도 수중표적을 탐지하는데 있어 가장 효과적인 장비로 선체 고정형 소나(HMS : Hull Mounted Sonar)가 사용되고 있다. HMS는 운용 준비시간이 짧고, 해상상태나 기상상태와 무관하게 상시 운용 가능하다는 장점

을 지니고 있어^[1] 그 활용 중요성이 부각되고 있다.

HMS의 활용 중요성이 증대됨에 따라 국내에서도 최근 들어서 효율적인 소나 운용방법을 직접 개발하기 위한 다양한 연구가 이루어지고 있다^[3,6]. 수상함의 수중표적 탐색 능력은 많은 요인들 중에서도 소나의 성능 및 그 운용능력에 따라 결정된다고 할 수 있다. 최근의 수중표적 탐색방법은 다양한 플랫폼들을 조합한 협동성 측면에 맞춰져 있으며 그런 상황에서 HMS를 이용한 탐색방법이 가장 핵심적인 요소로 활용되고 있다. 효율적인 수중표적 탐색이 되기 위해서는 여러 세력들의 협력이 절실히 요구되지만, 세부적으로 보면 결국은 단일함정에 의한 탐색이 매우 중요하다. 는 것을 알 수 있으며, RIMPAC과 같은 연합훈련에서

† 2012년 5월 17일 접수~2012년 8월 24일 게재승인

* 해군사관학교(Naval Academy)

** 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 신성철(seochul@hanmail.net)

도 이 같은 사실을 찾아볼 수 있다. 따라서 HMS를 이용한 수중표적 탐색의 기본은 단합에 의한 구역탐색이라 할 수 있다^[4].

따라서 본 연구에서는 HMS를 탑재한 단일 함정이 회피기동(수중표적이 수상함을 탐지한 후 피탐되지 않기 위한 기동)을 하는 하나의 수중표적을 탐색하는 탐색 시뮬레이션과 침투하는 수중표적을 경비하는 경비 시뮬레이션을 수행하고, 그 결과를 분석하여 효율적인 HMS 운용방안을 제시하였다.

2. 시뮬레이션

가. 탐색모델

수중표적을 탐색하는 탐색 시뮬레이션에서는 HMS를 탑재한 단일 함정이 탐색영역 내에 존재하는 하나의 수중표적을 탐색하고, 상호교전은 없는 것으로 가정하였다. 수중표적 탐색에서 수중표적에 대한 최종 접촉 소실점(Datum)의 위치와 경과시간 등은 매우 중요한 요소들로서, 이에 따라 탐색영역의 형태 및 탐색 방법 등이 크게 달라질 수 있다.

먼저, 탐색영역의 형태는 탐색함정의 임무에 따라 다양한 형태로 존재할 수 있는데, 본 연구에서 사용한 탐색영역의 형태는 Fig. 1과 같이 원형과 정사각형 형태의 두 가지를 사용하였다. 원형의

Fig. 1. Model of search area

탐색영역은 최종 접촉 소실점의 위치를 정확히 알고 있는 경우에 사용되는데, 이는 수중표적에 대한 최종 접촉 소실 시각부터 특정 시간동안 수중표적이 이동 가능한 최대 범위가 원형(FOC : Furthest On Circle)

으로 나타나기 때문이다. 탐색영역의 크기는 탐색을 시작할 시점의 FOC이며, 탐색함정이 수중표적을 탐색하는 경과시간에 따라 FOC의 크기도 확장되도록 고려하였다. 정사각형의 탐색영역은 최종 접촉 소실점의 위치를 대략 아는 경우에 사용되는데, 이 경우에 나타나는 FOC는 그 형태가 단순하지 않기 때문에 수중표적의 이동 속도를 고려한 정사각형 형태로 정형화하여 사용하였다.

해양환경은 해저지형, 지질, 염분, 수온, 해수 방향 등과 같은 다양한 요인들로 인해 복잡한 해양환경이 조성되어 탐지장비 및 탐지환경에 많은 영향을 준다. 본 연구에서는 실험의 간편성을 위해 수중표적에 대한 탐색이 동일한 지역에서 수행된다는 가정을 하고, 식 (1)과 같은 정규분포와 유사한 형태의 탐지확률곡선식^[2]에 기반한 탐지확률^[6]을 사용하였다.

$$P(d) = \exp \left[-2 \left(\frac{\tilde{d}}{\beta(v_{own}, v_{tgt}) d_{max}} \right)^2 \right] \times \alpha \quad (1)$$

$P(d)$: 탐지확률

$\tilde{d}$: 탐색함정과 잠수함과의 거리

$\beta(v_{own}, v_{tgt})$: 상대 속도에 따른 탐지성능 증감률

d_{max} : 소나의 최대 탐지거리

α : 해양 환경영향에 따른 가중치

식 (1)의 상대 속도에 따른 탐지성능 증감률(β)은 탐색함정과 수중표적의 속도에 따라 발생하는 함정 자체소음이 탐지확률에 미치는 영향을 반영하기 위한 것으로 $0 < \beta \leq 2$ 값을 갖도록 하였다. 소나의 최대 탐지거리(d_{max})는 해양환경에 영향을 받으나 본 연구에서의 가정(동일한 지역에서 수행)에 의해 동일한 해양환경의 영향을 받으므로 소나의 최대 탐지거리를 고정된 값으로 사용하였고, 탐색함정의 최대 탐지거리보다 수중표적의 최대 탐지거리를 더 크게 설정하였다. 해양 환경영향에 따른 가중치(α)는 탐색지역의 SVP(Sound Velocity Profile)의 기울기를 이용한 가중치로서, 본 연구에서는 기울기가 양수, 음수, 0의 세 가지만 고려하여 $0 \leq \alpha \leq 1$ 값을 갖도록 하였다.

탐색방법 또한 최종 접촉 소실점의 위치 정보에 따라 많은 차이가 있을 수 있는데, [5]에서는 탐색함정이 사용할 수 있는 탐색패턴 16가지 중에서 비교적 탐색효과가 좋은 탐색패턴을 각각 3개씩 제시하였다

(Fig. 2). Fig. 2에서 빨간색은 수중표적의 기동(또는 FOC)이고, 파란색은 탐색함정의 기동을 나타낸다.

Fig. 2. Search patterns

수중표적 역시 피탐되지 않기 위해서 다양한 형태의 회피기동을 할 수 있다. [6]에서는 수중표적의 회피기동 형태는 전혀 알 수 없기 때문에 가장 일반적인 가정(탐색함정의 일정 거리 이상을 유지한다는 것)을 기본으로 하여 가상의 회피기동 방법을 제시하였는데, 이를 Fig. 3에 나타내었다.

본 연구에서는 HMS를 이용하여 수중표적을 탐색하는 효과를 분석하기 위하여 다양한 탐색패턴과 회피기동 방법 등을 적용하고, 탐지확률을 사용하여 시뮬레이션 하였다. 최종 접촉 소실점의 위치 정보가 정확한 경우의 최초 탐색영역 크기는 5, 10, 15 NM을 사용하고 시간이 경과함에 따라 확장되도록 하였고, 수중표적의 최초 위치는 최종 접촉 소실점이다. 최종 접

촉 소실점의 위치 정보가 대략적인 경우에는 10, 15, 20 NM의 고정된 탐색영역을 사용하였고, 수중표적의 최초 위치는 탐색영역내의 임의의 위치이다. 탐색함정은 HMS뿐만 아니라 예인형 선배열 소나(TASS : Towed Array Sonar System)와 같은 탐색장비를 운용한다는 가정을 하고 HMS를 운용할 때는 능동(Active) 모드, 운용하지 않을 때를 수동(Passive) 모드로 구분하였다.

Fig. 3. Type of evasive movements

본 연구에서는 수중표적 탐색에 대한 효과를 평가하기 위해 4개의 평가요소^[5]를 사용하였다. 사용된 평가요소는 탐색함정이 수중표적을 탐지한 확률을 나타내는 '탐지율', 탐색 시작시점에서 수중표적을 탐색할 때 까지 소요된 시간을 나타내는 '소요시간', 수중표적이 탐색영역을 이탈해서 탐색함정이 수중표적을 탐색하지 못한 확률을 나타내는 '도주율', 수중표적이 탐색영역 내에 존재하고 있는데도 탐색 제한시간이 초과되어 수중표적을 탐색하지 못한 확률을 나타내는 '미발견율' 이다.

나. 경비모델

침투하는 수중표적에 대한 경비는, 특정 해안이나 항구를 향해 특정 방향에서 진입하여 특정 목적지로 침투하는 경우와 외해에서 특정 영역으로 침투하는 경우로 구분해 볼 수 있다. 일반적인 경비는 상대적으로 넓은 구역에 대하여 침투하는 수중표적을 차단하는 것으로, 최종 접촉 소실점의 위치 정보가 없거나 대략적인 경우이다.

경비모델 시뮬레이션에 사용될 경비패턴은 [5]에서 제시된 탐색패턴들 중에서 경비패턴으로 적용 가능한 4가지 패턴(Fig. 4)을 사용하였다. 경비에서는 최종 접촉 소실점의 위치를 정확하게 알 수 없으므로 탐색모델의 최종 접촉 소실점의 위치가 대략적일 경우를 기준으로 하여 정사각형을 경비영역으로 사용하였다. 수중표적의 진행방향은 정사각형 경비영역의 한 변에서 반대편 변으로 직선 이동한다고 가정하였다(Fig. 4에

서 붉은색 점선 화살표). 또한, 침투하는 수중표적이 탐색함정을 탐지하면 탐색모델의 회피-2 방법으로 회피동 한다고 가정하였다.

(a) Square pattern

(b) Linear pattern

(c) Advancing rectangle pattern

(d) Crossover pattern

Fig. 4. Defense patterns

침투하는 수중표적에 대한 경비 효과를 평가하기 위해서 탐색모델에서 사용된 4개의 평가요소 중에서 경비에서는 의미 없는 ‘도주율’과 ‘미발견율’은 제외하고 ‘탐지율’과 ‘소요시간’만을 평가요소로 사용하였다.

다. 시뮬레이션 환경

HMS 운용방안 분석을 위한 시뮬레이션 프로그램은 Visual Studio 6.0의 C++와 CSIM18 Simulation Tool^[7]을 이용하여 개발되었으며, Windows XP에서 수행되었고, 시뮬레이션에 적용된 매개변수 값은 Table 1과 같다.

탐색 시뮬레이션에서는 탐색영역, 해양환경, 탐색패턴, 회피기동, 탐색함정의 능동소나 운용시간 간격 등을 고려한 총 576 Case에 대해 탐색제한 시간 36시간을 적용해 각각 500회의 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하였다. 경비 시뮬레이션에서는 경비패턴, 탐색영역 크기, 경비함정의 능동소나 운용시간 간격 등을 고려한 총 80 Case에 대해 각각 500회의 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하였다.

Table 1. Simulation parameters

구분	매개변수	값	매개변수	값
공통	해양환경	동,하절기	탐지조건	3분접촉
탐색함	능동소나 탐지거리	4NM	수동소나 탐지거리	3NM
	능동소나 운용시간	10/15/30/임의(분)	탐색속도	15KTS
수중표적	능동소나 탐지거리	5NM	수동소나 탐지거리	2NM
	이동속도	6KTS	회피속도	9KTS

3. HMS 운용효과 분석

가. 탐색모델

본 연구에서는 최종 접촉 소실점의 위치가 대략적인 경우에 적용할 수 있는 패턴(4자형, 사각선형, 원형)과 정확히 알고 있는 경우에 사용할 수 있는 패턴(확장정방형, 전방차단, 후방차단), 수중표적의 회피기동 등을 조합하여 시뮬레이션을 수행하였고, HMS를 탑재한 탐색함정이 회피기동을 하는 수중표적을 탐색하는 효과를 분석하였다. 본 연구에서는 탐지율을 탐색효과도의 기본척도로 사용하였고, 탐색패턴별 능동소나 운용시간 간격에 따른 탐지율에 대한 시뮬레이션 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

최종 접촉 소실점 위치가 대략적인 경우에 있어, 개방형인 4자형 패턴이 폐쇄형인 사각선형과 원형 패턴보다 전반적으로 좋은 탐지율을 보이고 있다. 폐쇄형 패턴은 탐색영역이 비교적 작은 경우에 있어서 중복 탐색되는 영역이 적은 원형 패턴이 중복 탐색되는 영역이 많은 사각선형 패턴보다 더 좋은 탐지율을 보이고 있다.

수중표적 탐색에 있어 능동소나의 운용시간 간격이 탐색영역 크기에 관계없이 탐지율에 미치는 영향은 크지 않음을 알 수 있다. 그러나 최종 접촉 소실점 위치가 정확한 경우에는, 적극적 탐색방법이라 할 수 있는 전방차단과 후방차단 패턴이 작은 탐색영역에서 효과적으로 나타났으며, 능동소나의 운용시간 간격도 작을수록 더 효과적임을 알 수 있다. 탐색영역이 비교적 큰 경우에는 소극적 탐색방법이라 할 수 있는 확장정방형 패턴이 더 효과적이며, 능동소나 운

(a) Search rate of '4' type pattern

(e) Search rate of front intercept pattern

(b) Search rate of square pattern

(f) Search rate of rear intercept pattern

Fig. 5. Search rate of rear intercept pattern

(c) Search rate of circle pattern

(d) Search rate of extended square pattern

용시간 간격에는 영향을 크게 받지 않는다고 할 수 있다.

탐색합정이 수중표적을 탐색한 경우, 탐색패턴별 능동소나 운용시간 간격에 따른 탐색 소요시간을 Fig. 6에 나타내었다. 탐색영역의 크기가 동일한 경우 탐색패턴에 관계없이 대부분 비슷한 소요시간을 보이고 있으며, 최대 20시간 이내이다. 최종 접촉 소실점의 위치가 대략적일 경우에 탐색영역의 크기에 따라 소요시간이 증가하고 있는데, 이는 수중표적의 위치를 확신할 수 없어 고정된 탐색영역 전체를 대상으로 탐색하기 때문이다. 최종 접촉 소실점의 위치가 정확한 경우에는 탐색영역의 크기가 증가하더라도 소요시간이 크게 증가하지 않고 있으며 2시간 이내임을 알 수 있다. 최종 접촉 소실점의 위치가 정확한 경우에는 최종 접촉 소실점을 중심으로 탐색영역의 크기가 시간에 따라 점점 확장되기 때문에 탐색초기에 수중표적을 탐지하지 못한다면 시간이 경과할수록 수중표적을 탐지하기가 쉽지 않다는 것을 알 수 있다.

수중표적의 회피기동과 관련해서는 좀 더 많은 연구가 진행되어야 할 부분으로 그 세부내용은 본 연구

(a) Elapse time of '4' type pattern

(e) Elapse time of front intercept pattern

(b) Elapse time of square pattern

(f) Elapse time of rear intercept pattern

Fig. 6. Search elapse time of search patterns

(c) Elapse time of circle pattern

(d) Elapse time of extended square pattern

범위를 벗어난다. 최종 접촉 소실점의 위치가 대략적 일 때 탐색패턴에 따라 탐지율에 있어서 약간의 차이는 나타났지만 전체적으로는 탐색패턴별로 유사한 형태를 보였다. 대부분의 회피기동 방법에서 수중표적이 탐색함정에 피탐되지 않은 경우에는 탐색영역을 벗어난 수중표적이 많이 발생하고 있음을 알 수 있었다. 그러나 회피-2 방법은 다른 회피방법에 비해 탐색되지 않는 확률도 높았지만 탐색되지 않고 탐색영역 내에 존재하고 있는 확률 또한 높게 나타난 특징을 보였다.

나. 경비모델

본 연구에서 경비모델에 대한 분석은 탐색모델에서의 최종 접촉 소실점의 위치가 대략적인 경우를 기준으로 하여 수행하였다. 경비 시뮬레이션은 경비에 적용 가능한 4가지 탐색패턴에 대하여, 경비영역을 10, 15, 20, 25, 30 NM로 세분하여 탐색모델과 동일환경에서 시뮬레이션한 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

수중표적이 침투에 성공한 경우, 침투에 소요된 소

(a) Infiltration elapse time of crossover pattern

(b) Search rate of defense patterns

(c) Search rate of operation time interval of active sonar

Fig. 7. Simulation results of defense model

요시간에 대한 시뮬레이션 결과가 경비패턴과 무관하게 거의 동일한 시간이 소요된 것으로 나타났다(Fig. 7의 a). 이는 수중표적의 침투속도에 영향을 주는 요인은 경비패턴과 무관하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 7의 b에서 교차형 패턴을 제외한 다른 패턴들의 탐지율의 변화 패턴과 경비영역에 따른 탐지율의 변화 패턴에는 큰 차이가 없었다. 특이하게 교차형 패턴은 특정 경비영역(15 NM)에서 다른 패턴들에 비해 매우 높은 탐지율을 보이고 있으며, 경비영역에 따른

탐지율의 변화 패턴 또한 다른 패턴들과 다르게 나타나고 있다. 이와 같은 현상에 대한 분석은 좀 더 많은 연구가 진행되어야 할 부분이다. 탐색모델에서와 같이 경비모델의 경우에서도 능동소나 운용시간 간격이 탐지율에 미치는 영향은 크지 않게 나타났으며, 모든 경비패턴에서 유사한 결과를 보여 교차형 패턴만을 Fig. 7의 c에 나타내었다.

4. 결론

본 연구에서는 HMS 운용방안을 연구함에 있어 수상함이 HMS를 이용하여 특정영역에 존재하는 수중표적을 탐색하는 경우와 특정영역으로 침투하는 수중표적을 경비하는 경우로 구분하여, 회피기동을 하는 하나의 수중표적에 대해 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 분석하였다.

수중표적을 탐색하는 경우에 있어 첫째, 최종 접촉 소실점의 위치가 대략적인 경우, 작은 탐색영역에서는 중복 탐색되는 부분이 적은 폐쇄형 패턴과 개방형 패턴이 탐지율에서 우수하게 나타났으나, 넓은 탐색영역에서는 탐색 경로를 예측하기 어려운 개방형 패턴이 우수한 결과를 보였다. 또한 능동소나 운용시간 간격이 탐지율에 미치는 영향은 크지 않았으며, 20시간 이내에 수중표적을 탐색 하였다. 둘째, 최종 접촉 소실점의 위치를 정확하게 알고 있는 경우에 있어서는 시간에 따라 탐색영역이 확장되어가는 특성때문에 최종 접촉 소실점 위치를 기준으로 하여 빠른 탐색속도로 능동소나 운용시간 간격을 작게하는 적극적 탐색이 필요하며, 2시간 이내에 수중표적이 탐색되고 있으나 탐지율은 매우 낮게 나타났다.

침투하는 수중표적을 경비하는 경우에 있어서는 경비영역의 크기에 따라 경비하는 방법이 달라져야 하며, 경비영역 크기에 따른 경비패턴 개발이 필요하다. 일반적인 경비방법으로는 수중표적이 목표하는 침투지점을 중심으로 움직이면서 능동소나 운용시간 간격을 작게하는 것이 효과적임을 알 수 있다.

수중표적의 회피기동 및 특정 경비영역에서의 경비패턴에 대하여는 향후 많은 연구가 이루어져야 할 부분이며, 해양환경의 실 자료와 검증된 음향모델을 사용하여 더 정확한 실험결과를 통한 분석이 필요하다. 본 연구 결과는 효율적인 HMS 운용방안을 연구하는데 기초자료로 활용될 수 있다.

References

- [1] 류영우, “선저고정형 소나의 탐지성능 향상을 위한 빔 안정화 빔형성 기법”, 한국군사과학기술학회지, 제11권, 제3호, pp. 129~137, 2008.
- [2] 박영만, 신성철, “수중 표적 탐색전술 분석용 시뮬레이션 시스템 설계 및 개발”, 한국해양정보통신 논문지, 제13권, 제12호, pp. 2753~2758, 2009.
- [3] 이민규, “어뢰대항전술 영향을 고려한 수상함의 대잠탐색패턴 연구”, 한국군사과학기술학회지, 제13권, 제2호, pp. 204~210, 2010.
- [4] 신성철, 박영만, “HMS를 이용한 대잠탐색 패턴분석을 위한 시뮬레이터 개발”, 한국시뮬레이션학회 논문지, 제19권, 제2호, pp. 99~106, 2010.
- [5] 신성철, 서주노, 최봉완, 전재효, 박영만, “대잠 효과도 분석을 위한 HMS 운용전술에 관한 연구”, 국방과학연구소, ADDR-415-081734, pp. 104~112, 2008.
- [6] 신성철, 서주노, 최봉완, 전재효, 박영만, “대잠 효과도 분석을 위한 HMS 운용전술에 관한 연구”, 국방과학연구소, ADDR-417-092040, pp. 100~123, 2009.
- [7] “User's Guide CSIM18 Simulation Engine”, Mesquite Software, Inc., 1994.