

어뢰대항전술 영향을 고려한 수상함의 대잠탐색패턴 연구

The Study on Anti-Submarine Search Pattern of the Surface Ship Considering the Torpedo Countermeasure Tactics

이 민 규*

Min Kyu Lee

Abstract

The tactical effectiveness, which is the result of applying decision-making algorithms to respond a specific situation with weapons and sensors, is required to analyze according to the integrated combat situation, because each situation, which is intimately involved with each other, influences the surface ship to complete missions successfully. However, the tactical effectiveness have been analyzed in separation of each tactical situation due to the complexity of the integrated tactical situation.

This paper is originated from the needs for analyzing the anti-submarine search region of the surface ship after it evades the torpedo by operation of the torpedo countermeasure tactics. It also describes simulation results of effectiveness analysis for the search patterns in the search region.

Keywords : Modeling(모델링), Simulation(시뮬레이션), ASW(대잠전), Effectiveness Analysis(효과도 분석), Tactics(전술), Search Pattern(탐색패턴)

1. 서론

함정 전투체계는 지휘무장통제체계를 기반으로 통제되는 다양한 무장 및 센서체계로 구성되며, 각종 위협세력에 대해 효과적으로 임무를 달성할 수 있도록 지휘관에게 여러 정보를 제공한다^[1]. 함정이 전투를 수행할 때 전투능력에 크게 영향을 미치는 요소는 구성 무기체계의 성능과 운용전술이다. 일반적으로, 함정에 탑재되어 있는 구성 무기체계의 성능은 기술적

으로 제한이 되어 있으며, 위협세력으로 부터 발생하는 상황은 예측할 수 없는 경우가 많기 때문에 함정을 운용하는데 있어서 상황에 적절한 전술운용은 임무수행능력을 극대화시켜준다. 더욱이, 위협세력에 대한 함정의 임무수행 시 함정은 복합적인 요소들에 영향을 받기 때문에, 함정의 상황에 따른 전술개발은 필수적이라 할 수 있다^[2].

함정의 대잠탐색전술은 그동안 정해진 공간에서 표적정보의 정확성에 따라 다양한 패턴으로 분석되어왔다^[7,8]. 그러나 실제 전장에서는 정해진 공간에 국한되어 표적을 탐색해야하는 상황만 존재하지 않는다. 오히려 함정의 임무수행에서 유기적으로 얻어지는 표적정보에 의지해서 표적을 탐색해야하는 상황이 발생하

† 2010년 1월 25일 접수~2010년 3월 19일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 이민규(messin@add.re.kr)

게 된다.

일반적으로 잠수함의 탐지거리는 수상함의 탐지거리보다 길다. 따라서 수상함은 잠수함으로부터 초기공격을 받을 확률이 높으며, 위협어뢰를 인지한 함정은 탐지되는 어뢰의 방위에 따른 어뢰대항전술로 대응한다. 따라서 어뢰의 위협에서 벗어난 함정이 표적의 위치를 탐색하기 위해서는 어뢰대항시간 및 초기에 탐지한 어뢰방위정보를 활용하여 발산하는 표적탐색영역을 효과적인 탐색패턴으로 기동해야 한다.

본 연구에서는 어뢰대항전술로 어뢰를 회피한 함정의 대잠탐색전술 분석을 목표로 하고 있다. 이를 위해 어뢰 회피 후 탐색이 요구되는 표적의 회피영역을 분석하였으며, 이 영역에 대한 탐색패턴의 분석을 위해 M&S(Modeling and Simulation)기법을 이용하였다.

본 논문은 2장에서 어뢰대항전술 이후에 함정에서 추적하는 표적의 회피영역을 분석하고, 3, 4장에서는 M&S를 기반으로 한 분석도구의 구성에 대해 기술한다. 그리고 4장에서 시뮬레이션 결과를 제시하여 어뢰대항전술과 연계된 대잠탐색전술에서 고려되는 탐색패턴을 분석한다.

2. 대잠탐색영역의 분석

가. 어뢰대항전술

수상함의 대잠전 단독임무에서는 잠수함의 은밀성에 의해 초기에 잠수함으로부터 어뢰공격을 받기 쉽다. 수상함은 어뢰방위를 인지하면 Fig. 1과 같이 회피기동과 기만기 전술로 어뢰를 회피한다. 여기서 잠수함이 어뢰를 발사할 때 수상함이 어뢰발사를 인지할 수 있다고 가정하면 어뢰방위(φ)를 통해 표적의 방위를 알 수 있으며, 이는 회피기동 이후에 수상함이 표적을 탐색할 수 있는 중요한 정보가 된다.

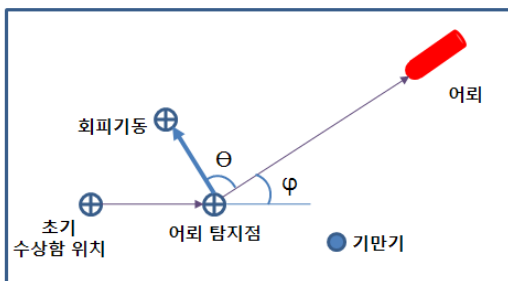


Fig. 1. 어뢰대항전술

나. 대잠탐색영역

대잠전의 대잠탐색전술에서 고려되는 최적의 탐색패턴은 잠수함의 표적정보 정확성에 따라 연구되어왔다. Fig. 2와 같이, 표적의 위치를 정확히 인식하고 있을 경우에는 Datum(표적의 최초위치)을 기준으로 탐색패턴을 적용하고, 표적의 위치를 대략적으로 아는 경우에는 FOC(Further on Circle, 최원권)를 정의하여 탐색패턴을 적용한다. 두 경우 탐색함의 탐색시간 및 표적속도에 의해 표적이 존재하는 FOC는 점점 넓어지며, 임의의 시간 t_1 에서 FOC의 반경이 R_{t1} 라고 할 때 일정시간이 경과한 시간 t_2 에서의 FOC 반경 R_{t2} 는 다음 식 (1)과 같이 결정된다.

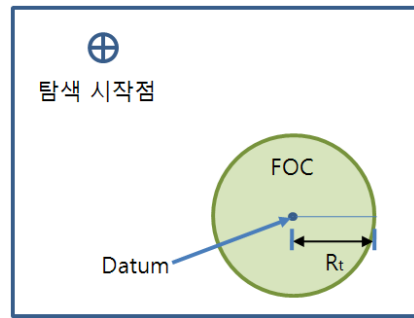


Fig. 2. Datum과 FOC

$$R_{t2} = v_{target} \Delta t + R_{t1} \quad (1)$$

여기서, v_{target} : 표적의 이동속도
 Δt : $t_2 - t_1$
 R_t : t 에서의 FOC 반경

수상함이 어뢰공격을 회피한 후 표적을 탐색하는데 있어 탐색영역을 결정하는 요소는 어뢰를 최초로 탐지한 방위와 어뢰를 회피하는데 걸린 어뢰대항시간이며, 이 두 가지 요소에 의해 추정되는 탐색영역은 일정구간에서 원 형태로 확장되는 FOC와는 다르게, Fig. 3과 같이 표적의 최소/최대 발사거리를 기준으로 추정한 표적의 어뢰발사추정구간에 의해 결정된다. 여기서 표적의 최소/최대 발사거리는 표적(잠수함)의 탐지성능 및 작전에 따라 결정되는 요소이며, 어뢰발사 추정구간은 잠수함이 어뢰를 발사한 것으로 추정되는 구간을 말한다. 임의의 점 A에 대해 시간에 따라 확장되는 FOC는 점 A를 중심으로 하는 원으로 추정할 수

있으며, FOC의 반경은 수상함의 회피기동 시간과 표적의 속도에 의해 결정된다. 어뢰발사추정구간 내에 있는 각 지점의 FOC를 적용하면, Fig. 3과 같은 표적의 최대이동영역을 정의할 수 있다.

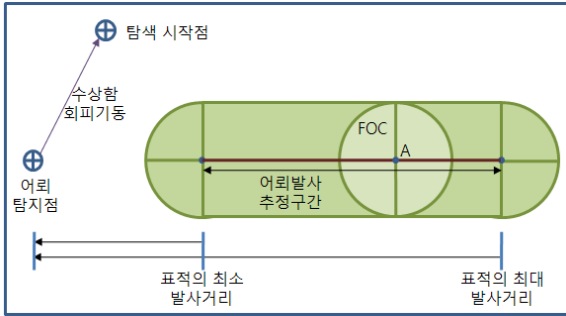


Fig. 3. 표적의 최대이동영역

본 연구에서는 표적의 최대이동영역에서 고려될 수 있는 여러 패턴 중 Fig. 4와 같은 'W' 패턴에서 탐색 각도(θ)에 따른 탐지확률 및 탐색시간을 분석하였다. 탐색각도의 크기가 크면 전체탐색영역을 탐색하는 시간은 줄어들지만 탐색을 하지 못하고 지나치는 탐색영역이 넓어지는 반면, θ 의 크기가 작으면 표적을 놓치는 탐색영역은 줄어들지만 전체탐색영역을 탐색하는데 시간이 늘어난다.

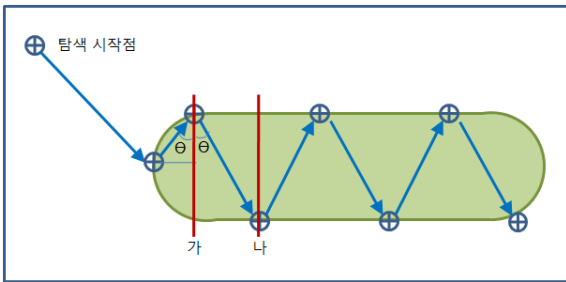


Fig. 4. 최대이동영역에서의 'W' 탐색패턴

Fig. 4와 같은 탐색영역은 특정 시각에서의 탐색영역을 의미하며, 탐색시간이 증가함에 따라 어뢰발사구간의 각 위치에 대한 FOC의 반경이 확장되면서 표적의 최대이동영역은 점점 확장된다. 여기서, 수상함의 소나 탐지거리를 고려하여 Fig. 4의 구간 가-나 내의 모든 영역을 탐색할 수 있는 임의의 θ 가 존재한다고 가정할 때(이 경우에는 지나친 영역을 더 이상 고려할 필요가 없다.), 시간에 따라 증가하는 탐색영역은

Fig. 5와 같은 형태를 갖는다. 여기서 방향변경 시 고려되는 Δw_n 는 점 A에서 점 B까지 함정이 이동할 때까지 넓어진 탐색영역 폭으로 식 (2)와 같이 표현된다. Δw_0 은 초기위치에서 점 A까지 이동할 때 넓어진 탐색 폭으로 정의된다.

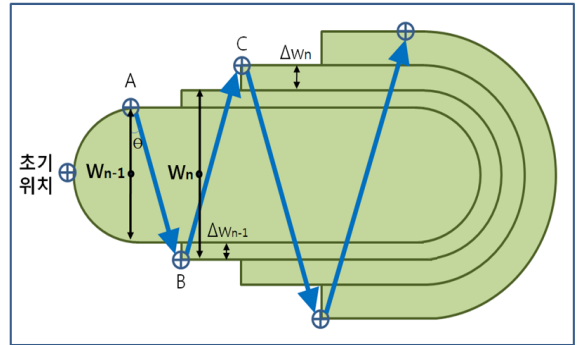


Fig. 5. 탐색영역 증가 패턴

$$\Delta w_n = v_{target} \Delta t, n = 1, 2, 3, \dots \quad (2)$$

여기서, v_{target} : 표적의 회피속도
 Δt : 구간 AB의 탐색 소요시간

구간 AB의 탐색하는데 소요되는 시간 Δt 는 다음 식 (3)과 같이 구간 AB의 거리와 수상함의 탐색속도로 표현된다.

$$\Delta t = \left(\frac{W_{n-1} + \Delta w_{n-1}}{\cos \theta} \right) / v_{ship} \quad (3)$$

여기서, v_{ship} : 수상함의 탐색속도
 W_n : n번 방향전환 후 탐색영역 폭
 θ : 탐색각도

탐색영역의 폭은 식 (4)와 같이 정의되고, W_0 은 수상함이 탐색시작점에서 초기위치로 이동할 때까지 확장된 탐색영역 폭이다.

$$W_{n+1} = W_n + 2 \Delta w_n, n = 0, 1, 2, \dots \quad (4)$$

$$\Delta w_n = \frac{v_{target}}{v_{ship}} \frac{W_{n-1} + \Delta w_{n-1}}{\cos \theta}, n = 1, 2, 3, \dots \quad (5)$$

식 (3)을 식 (2)에 대입하면, 식 (5)와 같이 Δw_n 를 θ 에 관한 식으로 표현할 수 있다. 이제 식 (4)와 식 (5)를 이용하면 Fig. 6과 같은 탐지각도(θ)별 방향전환 수(n)에 대한 탐색영역 폭(W_n)을 얻을 수 있다. 잠수함의 회피속도가 일정하다고 가정하면 같은 시간에 증가되는 탐색영역의 폭은 일정하다. 따라서 θ 의 크기가 작을 경우에는 단시간에 탐색영역을 중단(縱斷)하기 때문에 방향전환 수에 따른 탐색영역 폭이 상대적으로 완만하게 증가한다. θ 의 크기가 클 경우에는 탐색영역을 중단하는데 많은 시간이 걸리기 때문에 다음 방향전환에서 증가되는 탐색영역 폭이 상대적으로 크게 증가한다.

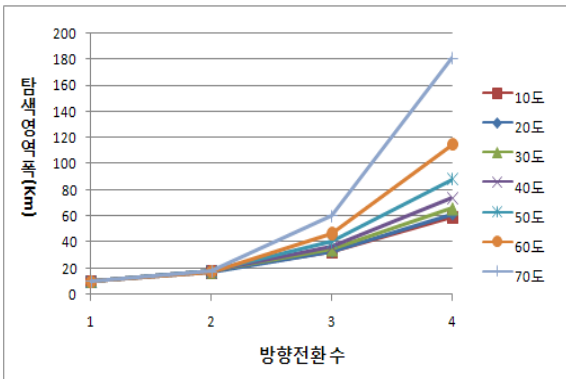


Fig. 6. 탐색각도별 탐색영역 폭 증가추이

θ 의 크기가 작을수록 같은 시뮬레이션 시간에서 탐색영역의 폭을 중단하는 횟수가 많아진다. 이는 이전 영역(Fig. 4에서 점 '나'에 수상함이 있을 경우, 왼쪽 영역을 말함)에 있는 표적을 놓치지 않는다는 가정을 성립시키지만 나머지 탐색영역을 탐지하는 동안 탐색영역의 폭이 기하급수적으로 넓어져 특정 방향으로 잠수함이 회피기동을 수행하면(극단적으로 π (rad)으로 회피한 경우) 탐색이 불가능하게 된다. 반면 θ 의 크기가 90° 에 가까워지면 같은 시뮬레이션 시간동안 탐색영역을 중단하는 횟수가 줄어들어 탐색영역의 종점에 빠르게 도달하지만, 수상함의 탐지거리로는 탐색되지 않는 영역이 발생하게 된다.

이와 같이 극단적인 탐색각도는 탐색성공률을 떨어뜨리기 때문에 탐색성공률을 높일 수 있는 탐색각도의 분석이 요구되며, 본 연구에서는 시뮬레이션 분석 도구를 활용하여 탐색성공률과 평균탐지시간을 통해 탐색각도를 분석하였다.

3. 대잠탐색전술 시뮬레이션 S/W 개발 방법

Fig. 7은 대잠탐색전술 시뮬레이션 S/W의 개발계층을 보여준다. 대잠탐색전술 시뮬레이션 S/W는 이산사건 시스템의 수학적 모델링 방법론 중 하나인 DEVS 형식론^[3]으로 설계되어, 이산사건 시뮬레이션 엔진^[4]을 기반으로 개발되었다. DEVS 형식론을 구현할 수 있는 다양한 함수를 제공하는 이산사건 시뮬레이션 엔진은 DEVS 모델 간의 메시지를 통제하며 시뮬레이션을 진행시킨다. DEVS 모델은 결합모델과 원자모델로 구성되며, 각 모델들은 외부입력 또는 상태(state)의 시간경과에 의해 상태가 천이된다. 시간경과에 의한 상태 천이가 발생되면 다른 모델로 메시지가 전달되며, 해당 모델의 기능은 메시지에 따라 Object 모델로 정의된 함수를 통해 표현된다^[5,6].

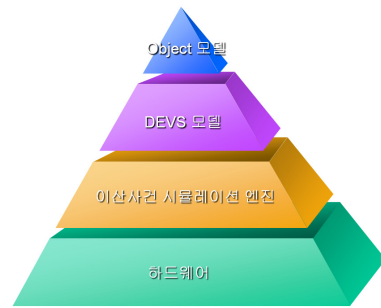


Fig. 7. 시뮬레이션 S/W 개발 계층

4. S/W 구성 모델

대잠탐색전술 시뮬레이션 S/W는 수상함, 잠수함 그리고 탐지평가 모델로 구성되어 있으며, 전체 구성도는 Fig. 8과 같다.

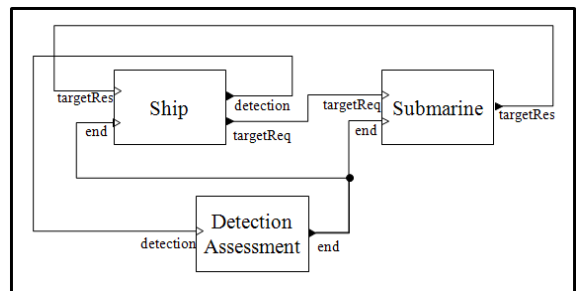


Fig. 8. 대잠탐색전술 시뮬레이션 S/W 전체 구성도

가. 수상함 모델

수상함 모델은 기동을 담당하는 플랫폼 모델과 표적을 탐지하는 소나 모델로 구성된다. 수상함 모델의 결합모델^[3]은 Fig. 9와 같이 설계되었다.

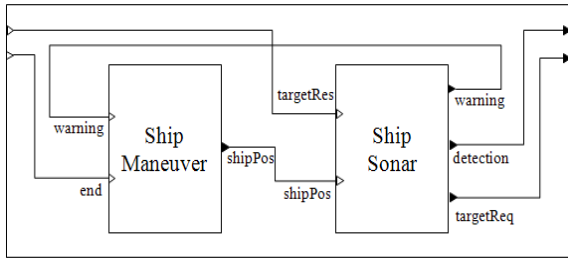


Fig. 9. 수상함 모델

1) 플랫폼 모델

수상함의 플랫폼 모델은 수상함의 기동을 모의하며, 이를 위해 Object 모델에는 방향전환 및 속도변경을 위한 함수가 구현되어 있다. Fig. 10은 수상함 플랫폼 모델의 원자모델^[3]을 나타낸다.

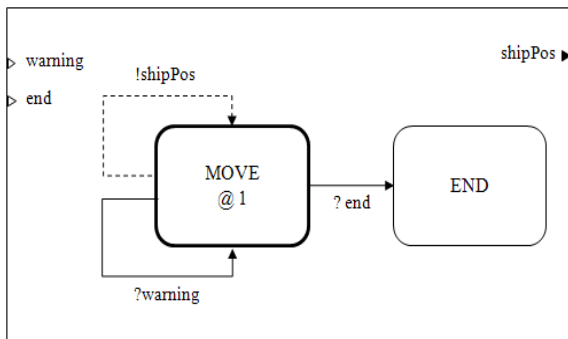


Fig. 10. 수상함 플랫폼 모델

2) 소나(탐지) 모델

수상함의 탐색전술패턴을 분석할 때, 가장 영향을 미치는 요소는 수상함의 탐지거리이다. 탐지거리는 자체 시스템의 성능뿐만 아니라 환경에 많은 영향을 받기 때문에 몬테칼로 시뮬레이션을 수행할 때 탐지거리에 확률변수가 적용되어야한다. 소나 탐지거리에 대한 정형화된 탐지거리 공식은 존재하지 않기 때문에, 개발된 분석도구에서는 탐지거리에 식 (6)과 같은 정규분포를 적용하여 시스템 성능 및 환경의 불확실성을 대신하였다. Fig. 11은 수상함 소나 모델의 원자모델을 나타낸다.

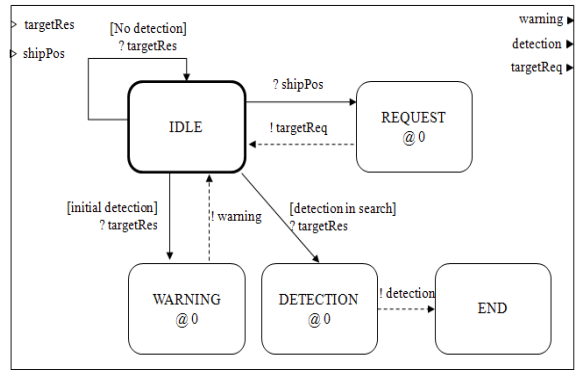


Fig. 11. 수상함 소나 모델

$$D = N(\mu_d, \sigma_d^2) \tag{6}$$

여기서, D : 수상함의 탐지거리

나. 잠수함 모델

잠수함 모델은 플랫폼 모델만 존재하며, 플랫폼 모델은 잠수함의 방향전환 및 속도변경을 통제한다. 시뮬레이션이 시작되면, 잠수함은 어뢰공격을 했다고 가정하고 회피기동을 수행한다. 잠수함의 회피기동 방향은 함장의 지휘결심에 결정되는 요소로서, 특정 방향으로 지정할 수 없기 때문에 식 (7)과 같이 확률식을 사용하여 회피방향을 결정하였다. 여기서 어뢰공격을 수행한 잠수함은 공격함 방향의 반대방향으로 회피할 확률이 높으므로, 평균회피방위 μ_b 가 π (rad)인 정규분포를 적용하였다. Fig. 12는 잠수함 플랫폼 모델의 원자모델을 나타낸다.

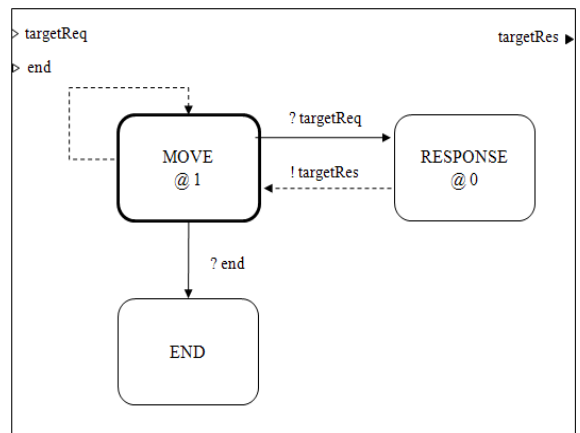


Fig. 12. 잠수함 플랫폼 모델

$$B_{evade} = B_{initial} + N(\mu_b, \sigma_b^2) \quad (7)$$

여기서, $B_{initial}$ (rad) : 초기방위
 B_{evade} (rad) : 회피방위

5. 대잠탐색전술 시뮬레이션

가. 몬테칼로 시뮬레이션 시나리오

1) 시나리오 가정

대잠탐색전술 시뮬레이션 S/W에서 수행되는 시뮬레이션의 기본 가정은 다음과 같다.

- ① 표적은 초기에 수상함 위치를 알고 있어, 시뮬레이션이 시작되면 즉시 수상함을 공격한다. 이 후, 표적은 회피기동만 수행한다.
- ② 현대 대잠전은 대부분 협동대잠작전을 실시하지만, 본 시뮬레이션에서는 다대다 교전분석을 위한 기본정보를 얻기 위해 수상함과 잠수함의 1:1교전으로 국한한다.
- ③ 본 시뮬레이션에서는 어뢰대항전술로 어뢰를 회피한 수상함의 대잠탐색패턴을 분석을 목표로 하고 있으므로, 수상함은 초기 어뢰공격을 성공적으로 회피했다고 가정한다.

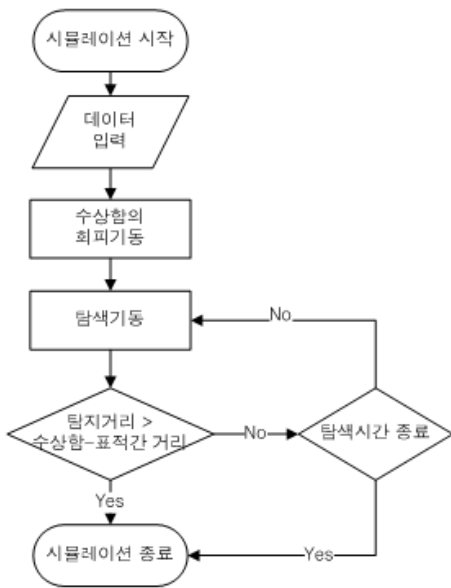


Fig. 13. 시뮬레이션 순서도

- ④ 본 시뮬레이션에서는 수상함이 초기 어뢰방위를 정확히 추정할 수 있다고 가정한다.

2) 시뮬레이션 진행

시뮬레이션은 Table 1에 따라 설정되어 Fig. 13의 순서에 따라 진행된다. 시뮬레이션이 종료되면 총 실험회수에 대한 탐지성공률과 평균탐지시간이 UI(User Interface)에 표시된다. 본 실험에서는 탐색각도별로 탐지성공률 및 평균탐지시간을 산정하여 비교/분석하였다.

Table 1. 구성요소 설정

구분	수상함(탐색)	잠수함(표적)
평균탐지거리	10Km	
이동속도	15knot	8knot
탐색시간	12시간	-
어뢰회피방향	어뢰방위에서 좌현 90도	-
어뢰회피시간	15분	-
초기 상대거리	10Km	
어뢰발사추정구간	7Km	

나. 시뮬레이션 결과

Fig. 14는 탐색각도별 탐지성공률을 나타낸다. 탐색각도가 작을 때는 탐색영역 종점까지 도달하기 전에 탐색영역이 발산하여 탐지성공률이 매우 낮으며, 탐색각도가 커질수록 빠르게 탐색영역의 종점에 도달할 수 있어 탐지성공률이 증가하는 경향을 보인다. 그러나 40도 이후부터는 점점 성공률이 낮아지는데, 이는 탐색각도가 커질수록 탐색영역의 종점까지 가는 동안 수상함의 탐지거리를 벗어나는 영역이 넓어지기 때문이다. 50도 이상부터는 탐지성공률이 완만해지는데, 이는 탐색영역의 종점에 도달하기 전에 방향전환이 발생하지 않아 탐색영역을 일정각도로 횡단하는 ‘—’패턴이 되기 때문이다. 즉, 50도 이상부터는 ‘W’패턴이 아닌 ‘—’패턴의 각도에 따른 탐지성공률을 의미한다.

Fig. 15는 탐색각도별 평균탐지시간을 나타낸 것으로, 50도를 기준으로 크게 패턴이 달라진다. 50도 이상에서는 탐색영역을 횡단하여(‘—’패턴) 얻어지는 탐지시간으로 평균 2,000초의 짧은 평균탐지시간을 가지

지만, 탐지성공률이 낮기 때문에 좋은 탐색패턴이 될 수 없다. 10~15도의 경우에도 짧은 평균탐지시간을 가지지만, 탐지성공률이 낮다는 점을 고려하면 잠수함이 특정방향으로 회피하였을 경우에만 빠르게 탐지한다는 것을 추정할 수 있다. 20~50도 이하에서는 'W' 패턴의 중단시간으로 인해 상대적으로 긴 평균탐지시간을 가지며, 40도에서 상대적으로 짧은 평균탐지시간을 가진다.

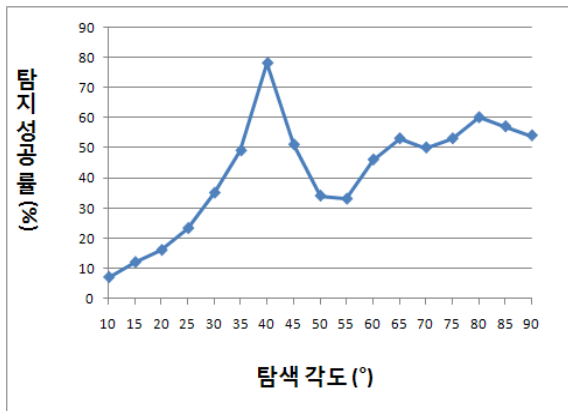


Fig. 14. 탐색각도별 탐지성공률

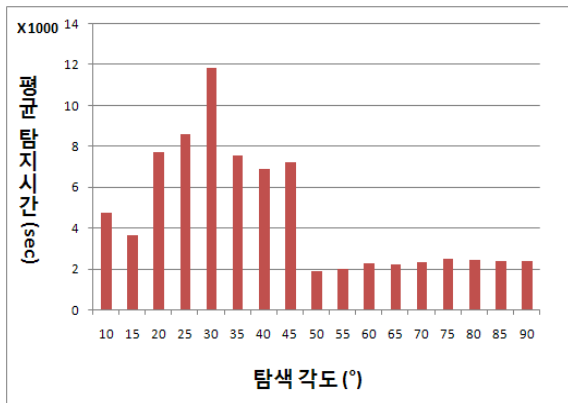


Fig. 15. 탐색각도별 평균탐지시간

6. 결론

특정 공간상에 일률적으로 분석된 기존의 대잠탐색전술 대신에, 본 논문에서는 어뢰대항전술을 고려한 수상함의 대잠탐색전술 패턴에 대해 분석하였다. 기

본적으로 위협어뢰의 방위, 어뢰대항시간 및 표적의 회피속도에 따른 수상함의 탐색영역을 정의하였으며, 'W' 패턴을 적용하였을 때 탐색시간에 따라 고려되어야 하는 탐색영역을 분석하였다. 또한, 탐색영역에 대한 탐색패턴을 분석하기 위해 대잠탐색전술 시뮬레이션 S/W를 개발하였다. 개발된 시뮬레이션 S/W는 어뢰대항전술과 연계된 탐색패턴을 분석할 수 있도록 모델링되었으며, 다양한 탐색전술 분석을 위해 모델이 변경되어도 모델의 재사용 및 확장이 용이한 DEVS 형식론을 기반으로 설계되었다. 시뮬레이션 결과를 살펴보면, 2장에서 분석한 것처럼 극단적인 탐색각도에서는 탐색성공률이 높지 않았으며, 탐색각도가 40도일 때 탐색성공률이 극대화되고 평균탐지시간이 상대적으로 짧다는 것을 확인하였다.

향후에는 본 논문에서 분석된 대잠탐색영역을 토대로 다른 형태의 탐색패턴에 대한 연구가 필요할 것이다.

Reference

- [1] 노정호, 이성은, “Open Architecture 기반 함정전투 체계 개발추세 및 전망”, 국방과학기술플러스, Vol. 84, 국방과학연구소, 2009.
- [2] Frits. A, “Formulation of Desgin and Tactics Optimization”, Ph.d thesis, Georgia Institute of Tech. 2004.
- [3] 송해상, 김탁곤, “The DEVS Formalism : A Framework for Specification of Discrete Event Processes Control”, 유도무기 학술대회 논문집, 1994.
- [4] 김탁곤, “DEVSIM++ v.3.0 Developer's Manual”, KAIST, 2006.
- [5] 이동훈, “함포 중심 교전의 DEVS 모델링 연구”, 국방과학연구소, NSDC-412-060155, 2006. 1.
- [6] 김탁곤, 나영인, “대어뢰전 복합 운용 전술 효과도 분석”, 국방과학연구소, ADDR-417-090376, 2008. 12.
- [7] 신성철, 서주노, 최봉완, 전재효, 박영만, “대잠 효과도 분석을 위한 HMS 운용전술에 관한 연구”, 국방과학연구소, ADDR-415-081734, 2008. 10.
- [8] 최봉완, 조성진, 전재효, 양재영, “시뮬레이션에 의한 탐지확률과 프랙탈 차원의 상관관계를 이용한 대잠탐색패턴의 효과도 평가”, 해양무기학술대회 논문집, 2008.