

대잠 헬기와의 협동 작전을 고려한 수상함의 최적 대잠탐색 패턴 산출을 위한 시뮬레이션

유찬우^{1†} · 박성운¹

Construction of Optimal Anti-submarine Search Patterns for the Anti-submarine Ships Cooperating with Helicopters based on Simulation Method

Chan-woo Yu · Sung-woon Park

ABSTRACT

In this paper we analyzed the search patterns for the anti-submarine warfare (ASW) surface ships cooperating with ASW helicopters. For this purpose, we modeled evasive motion of a submarine with a probabilistic method. And maneuvers and search actions of ships and helicopters participating in the anti-submarine search mission are designed. And for each simulation scenario, the case where a ship and a helicopter searches a submarine independently according to its optimized search pattern is compared with the case where the search platforms participate in the ASW mission cooperatively. Based on the simulation results, we proposed the reconfigured search patterns that help cooperative ASW surface ships increase the total cumulative detection probability (CDP).

Key words : Combat Management System, Anti-Submarine Warfare, ASW Search Planning

요약

본 연구에서는 수상함과 대잠헬기가 협동작전을 수행하는 환경에서의 수상함의 최적 탐색 패턴을 도출하기 위한 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 위해 대잠 탐색 작전을 수행하는 수상함과 대잠헬기의 기동 및 탐색 임무를 모델링하였으며, 탐색의 대상이 되는 잠수함의 회피 기동을 확률적 방법으로 모델링 하였다. 또한 수상함과 대잠 헬기가 수행하는 대잠 탐색 임무의 효과도를 정량적으로 측정하기 위한 지표들을 정의하였다. 대잠 탐색 작전의 주요 변수 중 하나인 수상함과 잠수함 예상위치 간 초기 거리의 변화에 따른 시나리오들을 생성하였다. 각 시나리오에 대해, 수상함이 단독으로 최적 탐색 패턴에 따라 임무를 수행하는 경우와, 수상함과 대잠헬기가 협동 작전을 수행하는 경우에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 통해 최근까지의 주요 연구 대상이 되어온 수상함들의 단독 작전을 가정한 최적 탐색 패턴으로는, 대잠헬기와의 협동 작전 환경에서 최대의 탐지 효과도를 얻을 수 없음을 밝히고, 협동 작전 환경에서 잠수함 탐지 확률을 최대화 하기위한 수상함의 기동 패턴 재구성 방안을 제안하였다.

주요어 : 전투관리체계, 대잠전, 대잠 탐색 패턴

1. 서론

해상에서 작전을 수행하는 수상함은 항상 공중/수상/수중의 위협에 노출되어 있다. 레이더 기술의 발전으로 공중 및 수상의 위협은 비교적 원거리에서 탐지 가능하며, 단단계에 걸친 방어 수단으로 이에 대응을 수행할 수 있도록 진화하고 있다. 이와 달리, 수중에서 은밀하게 기동하여 수상함을 공격할 수 있는 잠수함의 경우, 소나체계

접수일(2013년 12월 5일), 심사일(2014년 2월 26일),
게재 확정일(2014년 3월 3일)

¹⁾ 국방과학연구소 함정전투체계개발단

주 저 자 : 유찬우

교신저자 : 유찬우

E-mail; cwyu@add.re.kr

가 지속적으로 발전하고 있음에도 불구하고, 복잡한 수중 환경의 영향으로 수 km의 근거리 존재하는 잠수함도 탐지 가능 여부를 확인할 수 없는 것이 현실이다¹¹⁾.

이러한 물리적 한계를 극복하고자 수상함에서는 대잠 헬기를 탑재하여 운용한다. 대잠 헬기는 잠수함 탐지 센서인 디핑 소나(Dipping Sonar)와 소노부이(Sonobuoy) 및 경어뢰 등의 무장을 탑재할 수 있으며, 원거리를 빠르게 기동하며 탐색 및 공격 임무를 수행할 수 있어 대잠 작전의 핵심 무기체계로 주목받고 있다.

대잠헬기를 운용하는 모함은 대잠헬기의 임무를 수립하고 지휘통제 할 수 있는 권한을 가지며, 효과적인 지휘통제는 대잠헬기의 작전 수행 능력 발휘를 위한 전제조건이다. 최신 함정에는 승조원들이 수행하여야 하는 이와 같은 지휘통제 임무를 지원하기 위한 전투관리체계(CMS, Combat Management System)가 탑재된다. 전투관리체계의 설계 결과^{2, 3)}에 따르면 작전에 임하는 지휘관은 전투관리체계를 통해 대잠 전장상황 정보들을 종합적으로 분석하여 자함 및 자함에 탑재된 대잠헬기를 포함한 다수의 예하 세력에 대잠 임무를 할당하며, 작전 기간 동안 집행 및 조정 임무를 수행한다. 이에 따라, 전투관리체계 관련 산출물^{4, 5)}에서도 확인할 수 있듯이, 효과적인 대잠 탐색 작전의 수행을 위해 탐색 작전의 계획부터 집행까지 전반적인 임무 수행을 지원하는 전투관리체계에서 대잠 계획을 관리하고 분석하여 지휘관의 지휘통제 임무를 지원할 수 있는 기능이 개발되고 있다.

본 연구에서는 이와 같은 전투관리체계의 대잠 지휘통제 능력을 향상시키기 위한 방안 중 하나로, 수상함과 대잠헬기의 협동작전을 고려한 대잠탐색패턴을 구성하기 위한 시뮬레이션을 수행하였다. 현재까지의 연구 결과는 수상함과 대잠헬기 각 플랫폼의 운용 효과도 분석에 초점이 맞춰져 왔다. 따라서 이러한 연구결과를 실제 잠수함 탐색 작전에 활용할 경우, 수상함과 대잠헬기는 각각의 플랫폼 특성에 최적화된 패턴에 따라 탐색 작전을 수행하게 되어, 이종의 플랫폼이 협동작전을 수행할 때의 장점을 살릴 수 없다. 따라서 본 연구에서는 수상함이 단독 작전을 수행하는 상황과, 수상함이 대잠 헬기와 협동 작전을 수행하는 상황에서의 탐색 패턴에 따른 탐지효과도를 비교 분석하여, 협동 작전을 수행하는 환경에서의 수상함의 탐색 패턴 구성 방안을 도출하기 위한 연구를 수행하였다. 이와 관련해 제2장에서는 관련 연구 결과를 검토하였고, 제3장에서는 회피 기동을 수행하는 잠수함과 이에 대한 탐색작전을 수행 하는 수상함과 대잠헬기의 기동을 모델링하였으며, 4장과 5장에서는 전장 상황별/탐색 패턴

별 잠수함 누적탐지확률을 계산하기 위한 시뮬레이션 방법 및 그 결과를 기술하였다. 이를 통해 수상함과 대잠헬기의 협동작전을 수행하는 상황에서 전체적인 잠수함 탐지확률을 최대화 하기위한 수상함의 대잠탐색패턴 구성 방안을 제안하였다.

2. 관련연구

함정에 탑재되는 대잠 탐지체계의 개발은 이를 운용하기 위한 전술의 개발을 수반한다. 잠수함을 효과적으로 탐지하기 위한 목적의 무기체계 운용전술을 개발하기 위한 현재까지의 연구들은 주로 대잠 무장 및 센서 체계들의 성능 및 효과도를 분석하기 위한 연구를 중심으로 이루어졌다. 수동 소나인 선배열에인음탐기체계의 운용 효과도 분석^{6, 7)}, 능동 소나인 선체고정형음탐기체계의 운용 효과도 분석^{8, 9)}, 어뢰음향대항체계의 효과도 분석 등 대잠 센서/무장 체계의 개발 기간 중, 개발되는 센서의 성능 및 체계의 운용효과도를 분석하기 위한 다양한 연구들이 지속적으로 이루어져 왔다.

대잠 탐색 플랫폼의 최적 탐색 지점을 선정하기 위한 이론적인 방법론으로, 게임이론을 활용한 방법들이 활발히 연구되고 있다. 이인영화게임(two person zero sum game)은 대잠 탐색 모델을 구성하기 위한 기본적인 방법 중 하나로¹⁰⁾, 최근에는 다개체가 수행하는 협동 작전을 모델링하기 위한 도구로도 게임이론이 사용되고 있다^{11, 12)}. 또한 실제 작전환경에서 잠수함이 직면하는 가용 에너지의 한계¹³⁾와 수상함에 탑재된 센서에 가해지는 각종 노이즈에 의한 제한사항¹⁴⁾들을 고려한 연구가 진행되고 있다. 작전 반경이 넓어지고 작전에 참여하는 플랫폼의 수가 증가함에 따라 필연적으로 발생하는 연산 시간의 증가 폭을 최소화하기 위한 연구¹⁵⁾도 진행되고 있다.

대잠 헬기의 최적 탐색 패턴을 구성하기 위한 연구는 게임이론을 기반으로한 Danskin¹⁶⁾의 연구를 시작으로, 1차원 상에서의 대잠 헬기와 잠수함 간의 탐색/회피 문제를 해결하기 위한 연구^{17, 18)}가 이루어 졌다. 대잠 헬기의 임무와 관련된 시뮬레이션으로, Hu 및 Liu¹⁹⁾는 시뮬레이션 상에서 전술 상황을 판단하여 의사결정 및 설정된 임무를 수행할 수 있는 대잠 헬기 에이전트를 모델링하는 방안을 제안하였으며, 이와 같은 모델링 결과를 바탕으로 제한된 기동조건 하에서 대잠 헬기의 임무를 최적화하기 위한 연구도 이루어지고 있다²⁰⁾.

실제 작전환경에서 잠수함에 대한 좀 더 정확한 탐지확률을 계산하기 위해서는 복잡한 수중 환경에서의 음파

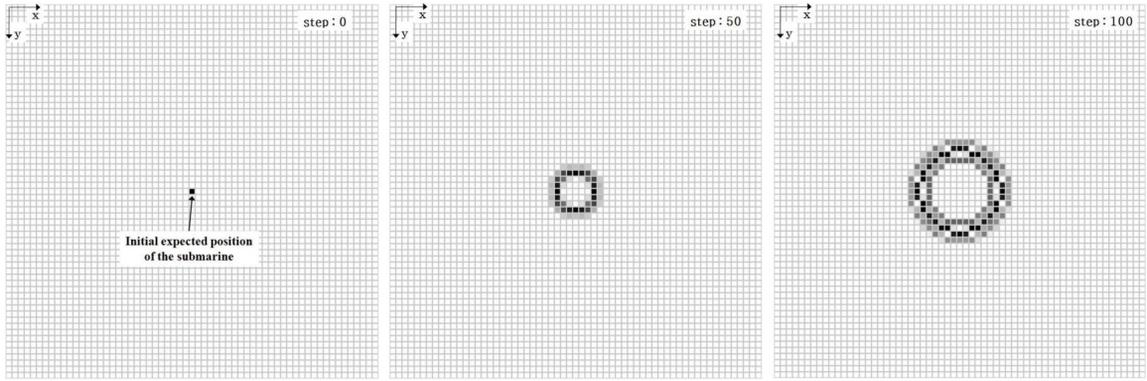


Fig. 1. Probabilistic Modeling of the Expected Submarine Position

전달 모델을 고려해야 한다^[21]. 실제 작전환경에서 수상함의 기동 경로를 결정할 수 있는 방법으로 유전알고리즘을 활용한 방법도 연구되었다^[22].

이와 같이 현재까지 진행된 연구들은 단일 또는 동일 형태의 탐색 플랫폼들의 탐색 지점 또는 경로를 최적화하기 위한 연구들이 중점적으로 진행되었다. 본 연구에서는 이중의 플랫폼인 수상함과 대잠 헬기가 협동 작전을 수행하는 실제 작전환경을 반영하여, 수상함의 최적 대잠탐색 패턴 산출을 위한 시뮬레이션을 수행하였다.

3. 대잠 플랫폼 및 잠수함의 기동 모델링

3.1 잠수함의 기동 모델링

탐색 플랫폼들의 잠수함 탐지확률을 계산하기 위한 시뮬레이션에서, 잠수함의 초기위치는 전체 작전 구역 내 임의의 지점이나, 특정 지점 또는 한정된 공간을 선정할 수 있다. 이 중 잠수함의 초기 예상위치로 선정 가능한 특정 지점으로 데이텀(datum) 또는 플래밍 데이텀(flaming datum)을 들 수 있다. 데이텀은 접촉이 소실된 잠수함 또는 잠수함으로 의심되는 표적의 마지막 접촉 위치를 의미하며, 플래밍 데이텀은 적 잠수함에 의해 아군 함정 피격된 위치를 의미한다. 본 연구에서는 시나리오에서 설정한 전체 작전 구역의 중심점을 데이텀으로 지정하여, 이 지점을 잠수함의 초기 예상위치로 설정하였다.

잠수함의 기동 경로를 모델링하는 방법으로는, 다수의 예상 기동 경로에 대해 가중치를 설정하는 방법이 많이 이용된다^[23]. 잠수함 예상 기동 경로는 방위와 속력으로 구성되는데, 본 연구에서는 전 방위에 대해 1도 간격으로 기동 예상 경로를 설정하고, 각 방위별 예상 경로에 대해

세 가지의 속도 성분을 가지는 경로를 생성해, 총 1080개의 경로를 생성하고 각 경로에 동일한 가중치를 적용하였다. 이 때 가중치란 잠수함이 특정 경로를 특정 속력으로 기동할 확률을 의미한다.

Fig. 1은 시뮬레이션 실행 시, 시간대 별 잠수함 예상 위치의 변화를 보여준다. 잠수함의 예상 위치는 시뮬레이션 상 시간이 지남에 따라 중심 위치에서 멀어지며 넓은 지역에 걸쳐 분포하게 된다. 따라서 작전 개시 초기에는 데이텀을 중심으로 분포가 집중되어 있어 이 지점을 탐색하는 플랫폼에 의해 탐지될 확률이 높지만, 시뮬레이션 시작 후 시간이 경과함에 따라 산포가 커져 제한된 탐지 범위를 가지는 탐색 플랫폼들에 의해 탐지될 가능성이 감소한다.

3.2 함정의 탐색 기동 모델링

잠수함을 탐지하기 위한 수상함의 기동 방법에는 다양한 패턴이 존재한다^[9]. 본 연구에서는 두 척의 수상함이 각 수상함별 초기위치에서 출발해 잠수함의 초기 예상위치 밖 일정 거리까지 접근한 뒤, 사각형 형태의 패턴으로 시뮬레이션 종료 시까지 지속적인 탐색을 수행하는 것으로 설정하였다. 사각형 패턴의 탐색 기동 방법은, 적의 잠수함으로 공격받을 가능성이 있는 구역의 중심 지역으로의 기동을 지양하면서도, 잠수함이 특정 구역을 벗어나지 못하도록 구역 외곽에 경계선을 형성할 수 있다는 의미를 갖는다. Fig. 2는 본 연구에 적용한 함정의 탐색 기동 패턴을 형상화 하였다. 여기서 수상함들의 탐색 시작 위치는 사각형 탐색 패턴의 형상을 결정하는 ‘탐색선 폭’에 따라 결정된다. 탐색시작 위치의 x,y 좌표는 탐색선 폭의 1/2에 해당한다. 탐색위치에 도착한 수상함은 사각형 형

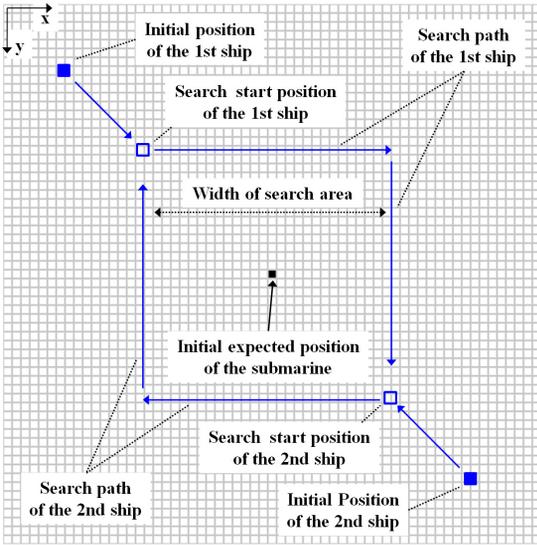


Fig. 2. Search maneuver modeling of two surface ship

태의 탐색 기동 경로를 따라 시계 방향으로 탐색을 시작한다. 실제 전장 환경에서는 수상함이 잠수함을 탐지하는 즉시 임무 변경이 요구된다. 하지만 본 연구에서는 잠수함의 기동을 확률 모델로 정의하였으므로, 미 탐지된 잠수함 예상 기동 경로가 존재하는 한, 탐색 플랫폼의 최종적인 누적탐지확률을 산출하기 위한 탐색 기동을 시뮬레이션 종료 시까지 지속한다.

3.3 대잠 헬기의 탐색 기동 모델링

수상함이 저속으로 지속적인 탐색을 수행하는데 비해, 대잠 헬기는 설정된 디핑 위치까지 고속으로 기동하여 정지한 상태에서 수중 탐색을 수행하며, 완료 후 다음 디핑 위치로 기동하여 탐색 임무를 반복적으로 수행한다. 따라서 대잠 헬기의 탐색 패턴은 디핑 지점과 디핑 순서에 의해 결정된다. 수상함의 기동 패턴이 탐지 효과도에 미치는 영향을 분석하고자 하는 본 연구의 목적 상, 대잠 헬기의 탐색 패턴은 대잠헬기 단독 작전 시 최적 탐색 패턴을 도출하기 위해 수행된 Danskin^[16]의 연구 결과를 활용하여 구성하였다. Danskin은 게임이론을 이용해 최적의 대잠 탐색 지점을 산출하는 방법에 대한 연구를 수행하였으며, 그 결과 잠수함의 예상 기동 속력을 고려하여 데이터 주변에 각 방위에 균일하게 탐색 세력을 할당함으로써 최대의 탐지 효과를 얻을 수 있음을 밝혔다.

본 연구에서는 대잠 헬기 두 대가 참가하는 대잠탐색 작전 상황에 Danskin의 연구 결과를 적용하여, Fig. 3과

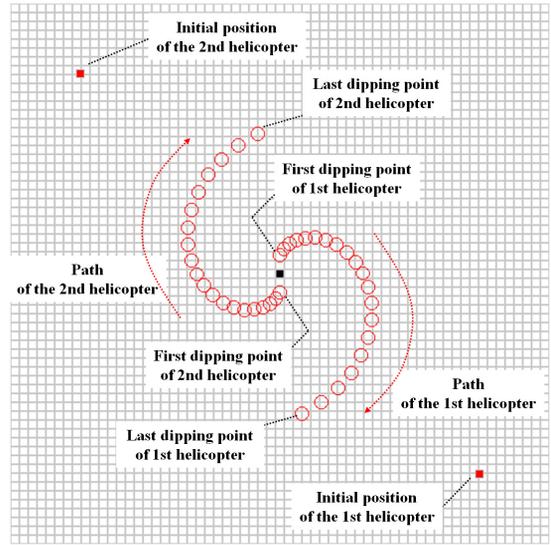


Fig. 3. Search maneuver modeling of two ASW helicopters

같이 데이터 주변 각 방위에 걸쳐 동일한 탐색 자원이 배분되고, 잠수함의 예상 속력을 고려하여 각 방위에 걸쳐 시뮬레이션 시간대 별 가장 잠수함이 존재할 확률이 높은 곳에 디핑이 이루어지도록 기본 디핑 패턴을 설정하였다. 그림과 같이 1번 대잠헬기는 0도에서 180도까지 20회의 디핑을 수행하며, 2번 헬기는 180도에서 360도까지 20회의 디핑을 순차적으로 수행한다. 디핑 순서는 우선적으로 잠수함의 초기 위치에 대한 탐색을 수행한 뒤, 나선 형태로 원거리를 순차적으로 탐색하며, 지정된 디핑 패턴에 따라 ‘기동→디핑소나전개→소나탐색→디핑소나회수→기동’의 반복적인 절차에 따라 탐색 작전을 수행하도록 설계하였다.

4. 대잠 헬기 임무 시뮬레이션 설계

4.1 임무 효과도 측정 지표 및 관련 변수 설계

탐색 작전을 수행하는 수상함 및 대잠헬기의 목표는 적 잠수함을 탐지해 위치를 파악하는 것이다. 따라서 ‘잠수함 탐지 확률’은 탐색 작전의 가장 중요한 효과도 지표이다. 이와 같은 잠수함 탐지 확률을 정의하기 위해서는 수중 탐지 센서인 소나의 기능 및 성능에 대한 정의가 필요하다.

수상함 및 대잠헬기를 비롯한 탐색 플랫폼에서 잠수함을 탐지하는 방법에는 잠수함에서 발생하는 소음을 예인음탐기체계(Towed Array Sonar System) 등의 수동

소나를 이용해 탐지하는 방법과, 선체고정형음탐기(Hull Mounted Sonar) 등의 능동 소나를 이용해 잠수함에 의해 반사되는 신호를 탐지하는 방법, 그리고 이와같은 단상태 소나의 한계를 극복하기 위해 송신단과 수신단을 분리하여 탐지 성능을 높인 양상태 소나, 다수의 플랫폼에 탑재된 소나에서 송수신 하는 신호를 종합적으로 분석하는 다중상태 소나 등이 있다. 본 연구에서는 탐색 패턴이 탐지 효과도에 미치는 영향을 중점적으로 분석하기 위해, 단상태 소나만을 고려하였다.

이와 같이 다양한 탐지 방법을 활용해 수중 탐색을 수행하는 플랫폼의 잠수함 탐지 가능 여부에는 음원준위(Source Level), 표적 강도(Target Strength), 전달손실(Transmission Level), 지향지수(Directivity Index), 탐지 임계치(Detection Threshold), 소음준위(Noise Level) 등의 요인이 영향을 미친다. 본 연구에서는 이와 같은 다양한 요소들을 탐지가능거리(Detection Range)라는 하나의 값으로 정의하였다.

탐지가능거리란 탐색 플랫폼이 잠수함을 탐지할 수 있는 최대거리를 의미한다. 탐색 플랫폼의 탐지가능거리 내로 잠수함이 근접했을 때 탐색 플랫폼이 잠수함을 탐지하였는지 여부는, 탐색 플랫폼과 잠수함 간의 거리에 따른 함수로 표현 가능하나, 본 연구에서는 잠수함이 탐색 플랫폼의 탐지가능거리 내로 접근할 경우 탐색 플랫폼이 잠수함을 100% 탐지하는 것으로 설정하였다. 이 때 잠수함의 위치는 잠수함의 기동 모델에서 정의한 1080 개의 기동 경로, 기동 속력 및 작전 개시 이후 경과 시간에 따라 결정되며, 기동 패턴 및 속력에 따라 결정되는 수상함의 위치를 계산하여, 시뮬레이션 상 잠수함의 위치와 수상함 간의 거리가 수상함의 탐지거리 이하가 되면 수상함이 잠수함을 탐지한 것으로 판정한다. 단, 지속적인 탐색을 수행하는 수상함의 경우, 탐지 가능 거리 내에 잠수함이 접근할 시 잠수함을 탐지할 수 있는데 반해, 대잠 헬기의 경우 잠수함이 근거리에서 위치하더라도 ‘소나탐색’을 수행할 때만 잠수함을 탐지할 수 있으며, 기동, 디핑소나전개, 디핑소나회수 중에는 잠수함을 탐지할 수 없다.

누적탐지확률은 시뮬레이션 시작부터 종료까지 탐지에 성공한 잠수함 기동 경로를 합산하여, 잠수함의 전체 기동경로 중 탐지한 기동 경로의 비율로 계산한다. 따라서 초기 위치로부터 회피기동을 수행하는 적 잠수함에 대해 누적탐지확률을 최대화하도록 계획된 임무가 효과적인 임무라 할 수 있다.

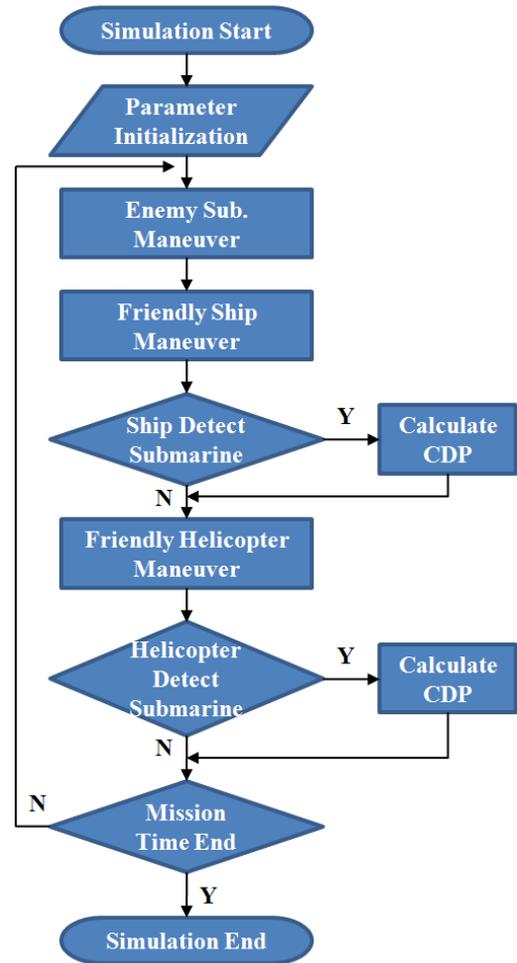


Fig. 4. Flow chart on the simulation of an ASW search mission

4.2 대잠 탐색 작전 시나리오 설정

본 연구에서 적용한 대잠 탐색 작전 시뮬레이션의 흐름도는 Fig. 4와 같다. 시뮬레이션이 시작되면 탐색 대상인 잠수함의 기동이 제3장에서 기술된 잠수함의 기동 모델에 따라 모의된다. 탐색 플랫폼인 수상함과 대잠헬기는 시뮬레이션 초기화에서 설정되는 속력으로 모델링된 패턴에 따라 기동 한다. 잠수함과 각 탐색 플랫폼이 시뮬레이션 단위 시간 동안 기동한 후에는 탐색 플랫폼의 탐지 조건에 따라 잠수함 탐지 여부를 확인한다. 확률 분포로 정의된 잠수함의 각 기동 경로 상의 잠수함의 현재 위치가 탐색 플랫폼의 탐지 조건이 만족되는 범위 내에 존재하는 경우, 그 기동 경로는 탐지된 것으로 판단해 누적 탐지확률 계산에 더해진다. 한 번 탐지된 잠수함의 기동 경

로는 이후 시뮬레이션 진행 과정에서 누적탐지확률 계산에 중복 적용되지 않도록 처리한다. 이 과정은 탐색 작전 종료 시까지 계속되며 시뮬레이션 종료 시의 최종 누적탐지확률이 시뮬레이션 결과 값으로 도출된다.

잠수함의 초기 예상위치는 탐색 플랫폼의 탐색 패턴을 결정하는 주요 요소이다. 본 연구에서는 잠수함 초기 예상위치와 수상함의 초기 위치 간의 이격 거리 변화에 따른 세 가지 시나리오를 설정하고, 각 시나리오에 대해 ‘단독’ 및 ‘협동’ 작전을 수행할 때의 누적탐지확률 및 이에 따른 ‘최적 탐색선 폭’을 산출하였다. 여기서 탐색선 폭이란 3.2절에서 정의한 바와 같이 수상함이 사각형 탐색 기동을 할 때 사각형 한 변의 길이를 의미한다. 시나리오 형태 중 ‘단독’ 탐색의 의미는, 수상함이 탐색선 폭을 설정할 때 대잠헬기의 기동을 고려하지 않고, 수상함 자체의

탐색 기동만으로 최대의 누적탐지확률을 얻을 수 있는 탐색선을 따라 기동함을 의미하며, 이때의 탐색선 폭이 ‘단독’ 탐색 시의 최적탐색선 폭이 된다. 대잠헬기와의 ‘협동’ 작전의 경우에는, 수상함의 탐색선 폭을 선정할 때, 수상함의 탐색 기동으로 획득한 누적탐지확률과 대잠 헬기의 탐색 기동으로 획득한 누적탐지확률의 합계를 최대화 할 수 있도록 탐색선 폭을 선택함을 의미한다. 이 때 수상함 또는 대잠헬기에 의해 한 번 탐지된 잠수함 기동 경로는, 타 탐색 플랫폼의 누적탐지확률 계산 시 중복 반영되지 않도록 배제한다.

이로서 초기 이격 거리가 동일한 시나리오에서 ‘단독’ 작전을 수행하였을 경우의 최적 탐색선 길이와, ‘협동’ 작전을 수행하였을 경우의 최적 탐색선 길이를 비교함으로써, 수상함이 대잠헬기와 협동 작전 수행할 시에는 탐색 패턴에 어떠한 변화가 요구되는지 확인할 수 있다. 이와 같은 시뮬레이션 실행하기 위해 사용한 주요 설정 값은 Table 1과 같다.

Table 1. Parameters for the simulation

| Category | | Value | | |
|----------------|-----------------|------------------|--------|-------|
| Friendly | Surface Ship | Maneuver Speed | 20 kts | |
| | | Detection Range | 4 km | |
| | | Initial Distance | Long | 60 km |
| | | | Middle | 40 km |
| | Short | | 20 km | |
| ASW Helicopter | Maneuver Speed | 120 kts | | |
| | Detection Range | 2 km | | |
| Enemy | Submarine Speed | High | 4 kts | |
| | | Medium | 5 kts | |
| | | Low | 6 kts | |

5. 시뮬레이션 결과 및 분석

수상함과 대잠헬기의 협동 작전에 따른 누적탐지확률의 변화는 Fig. 5와 Fig. 6의 비교 분석을 통해 확인할 수 있다. 수상함이 단독으로 탐색 작전을 수행하는 시나리오에 따라 시뮬레이션을 수행한 결과로, 수상함의 탐색선 폭의 변화에 따른 누적탐지확률의 변화는 Fig. 5와 같다. 시뮬레이션 결과에 따르면 수상함 단독 작전 시 누적탐지확률을 최대화하기 위해서는, 잠수함예상위치와 수상함 간의 초기 이격 거리가 50 km 일 경우 탐색선 폭을 28

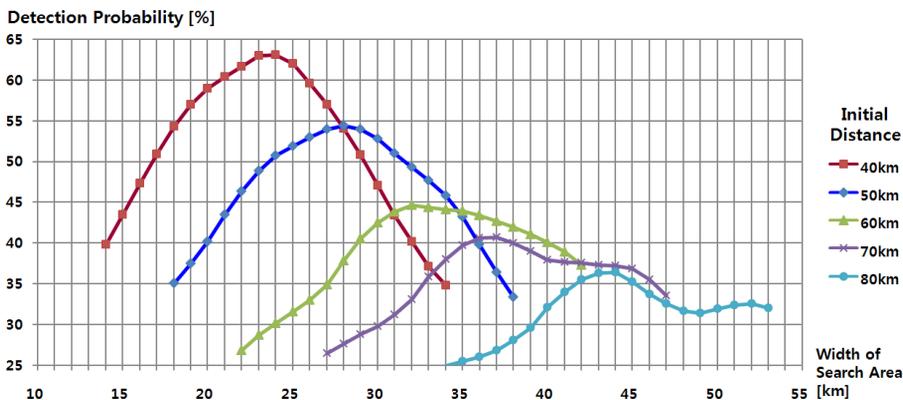


Fig. 5. CDP according to the variation of the distance between the initial expected submarine position and the initial surface ship position (Case 1: Search mission with only surface ships)

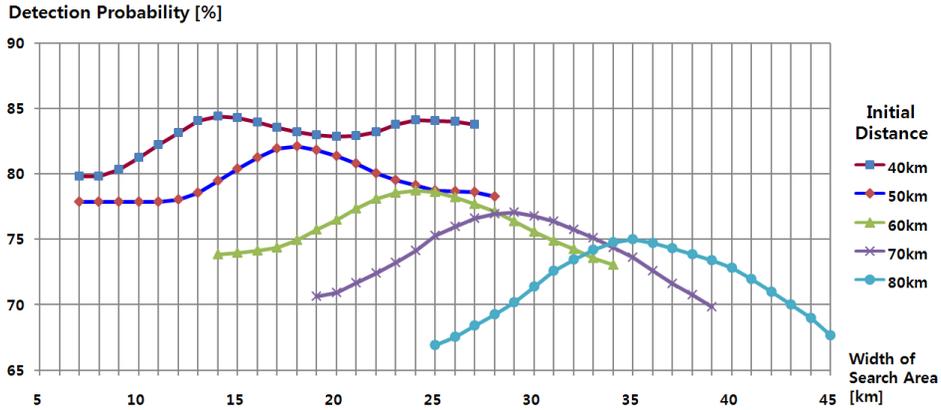


Fig. 6. CDP according to the variation of the distance between the initial expected submarine position and the initial surface ship position (Case 2: Search mission with surface ships and ASW helicopters)

km, 이격 거리가 60 km 일 경우 탐색선 폭을 32 km, 이격 거리가 70 km 일 경우 탐색선 폭을 37 km로 설정함으로써 최대의 누적탐지확률을 얻을 수 있다. 또한 초기 이격 거리가 40 km인 경우에는 탐색선 폭을 24 km로 설정함으로써 누적탐지확률 63.1%를 달성할 수 있으나, 초기 이격 거리가 증가할수록 누적탐지 확률이 급격히 감소하여 초기 이격 거리가 80 km인 경우에는 비록 최적 탐색선 폭을 따라 탐색 작전을 수행할 지라도 누적탐지확률이 36.4%에 불과함을 알 수 있다. 이 수치는 초기 이격 거리가 40 km인 시나리오와 비교하여 26.7% 감소한 수치이다.

이에 비해 수상함과 대잠헬기가 협동 작전을 수행하는 경우의 시뮬레이션 결과인 Fig. 6에 따르면, 초기 이격 거리가 50 km일 경우 누적탐지확률의 최대값이 54.4%(단독)에서 82.7%(협동)로, 초기 이격 거리가 60 km일 경우 누적탐지확률의 최대값이 44.7%(단독)에서 78.8%(협동)로, 초기 이격 거리가 70 km일 경우 누적탐지확률의 최대값이 40.7%(단독)에서 77.1%(협동)로 증가함을 알 수 있다. 이는 대잠헬기의 경우 잠수함의 분포가 탐색 원점에 집중되어 있는 탐색 작전 초기에, 탐색 원점 주변으로 빠르게 기동해 소나 디핑을 통한 잠수함 탐색을 수행하기 때문이다. 초기 이격 거리의 증가에 따른 누적탐지확률의 변화를 살펴보면, 초기 이격 거리가 40 km인 경우에 탐색선 폭을 14 km로 설정함으로써 누적탐지확률 84.4%를 달성할 수 있으며, 초기 이격 거리가 80 km인 경우에도 탐색선 폭을 35 km로 설정함으로써 누적탐지확률 75.0%를 달성하여, 초기 이격 거리가 40 km 인 시나리오가 비교해 볼 때 9.4%가 감소함을 알 수 있다. 이러한 감소폭

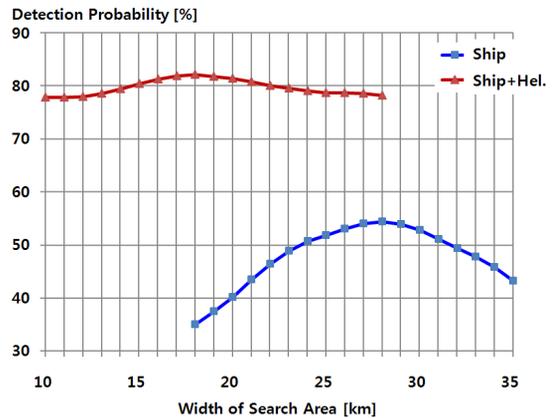


Fig. 7. CDP (Initial Distance: 50 km)

은 수상함 단독 작전을 수행할 경우(26.7%감소)와 비교해 볼 때 약 1/3에 불과한 수치이며, 이를 통해 수상함과 대잠 헬기가 협동 작전을 수행할 경우, 초기 이격 거리가 증가하더라도 단독 작전 시에 비해 안정적으로 높은 확률의 누적탐지확률을 달성할 수 있음을 알 수 있다.

잠수함예상위치와 수상함 간 최초거리가 동일한 경우에 대해 단독 작전 시뮬레이션 결과와 협동 작전 시뮬레이션 결과를 비교해 보면, 단독 작전의 효과도를 최대화할 수 있는 수상함의 탐색선 폭과, 협동 작전의 효과도를 최대화할 수 있는 탐색선 폭이 동일하지 않음을 알 수 있다. 잠수함 예상위치와 수상함 간 초기 이격 거리 별 단독/협동 작전에 따른 탐지확률의 변화는 Fig. 7~9를 통해 확인할 수 있다. 초기 이격 거리가 50 km 일 때(Fig. 7), 단독 작전의 경우 누적탐지확률을 최대로 하는 탐색폭이 28 km

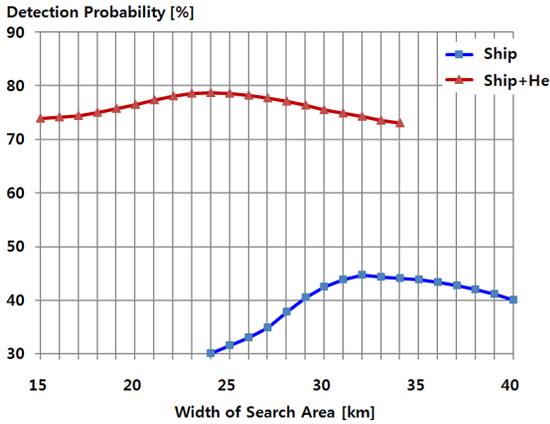


Fig. 8. CDP (Initial Distance: 60 km)

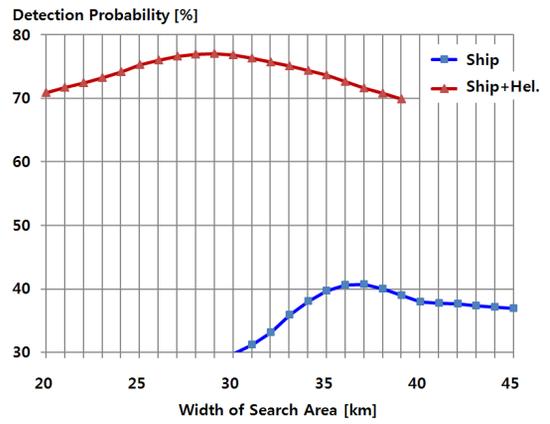


Fig. 9. CDP (Initial Distance: 70 km)

Table 2. Variations of the effectiveness when applying the search patterns optimized to cooperative environment

| Initial distance between ship and submarine [km] | Best width of search area | CDP (Ship+Helicopter) [%] | Mean time for submarine detection [min] | Increment ratio of detection probability [%] | Decrement ratio of consumed time for detection [%] |
|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------|----------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| 40 km | Best Width for surface ships : 24 km | 84.2 | 67 | 0.2 | 28 |
| | Best Width for cooperative mission : 14 km | 84.4 | 48 | | |
| 50 km | Best Width for surface ships : 28 km | 78.3 | 73 | 3.8 | 21 |
| | Best Width for cooperative mission : 18 km | 82.1 | 58 | | |
| 60 km | Best Width for surface ships : 32 km | 74.3 | 76 | 4.5 | 8 |
| | Best Width for cooperative mission : 24 km | 78.8 | 70 | | |
| 70 km | Best Width for surface ships : 37 km | 71.6 | 85 | 5.5 | 6 |
| | Best Width for cooperative mission : 29 km | 77.1 | 80 | | |
| 80 km | Best Width for surface ships : 43 km | 70.1 | 95 | 4.9 | 2 |
| | Best Width for cooperative mission : 35 km | 75.0 | 93 | | |

입에 비해, 협동 작전의 경우 누적탐지확률을 최대로 하는 탐색폭이 18 km 로, 단독 작전의 경우에 비해 10 km 감소함을 알 수 있다. 초기 이격 거리가 60 km인 경우에도 (Fig. 8) 역시 누적탐지확률을 최대로 하는 탐색폭이 32 km 에서 24 km로 8 km 감소하며, 초기 이격 거리가 70 km

인 경우에도(Fig. 9) 역시 누적탐지확률을 최대로 하는 탐색폭이 37 km에서 29 km로 8 km 감소한다.

또한 상기의 시뮬레이션 결과에 따라 협동 작전 시에는 탐색선 폭을 감소시킴으로써 잠수함 최초 탐지 시까지 소요되는 평균 탐색 시간을 줄이는 효과를 얻을 수 있다.

이 때의 평균 소요시간은, 총 1,080개의 잠수함 예상 기동 경로 중 수상함 또는 대잠헬기에 의해 탐지된 경로에 대해 각 경로 별 탐지된 시간을 계산하고, 탐지 시간의 평균을 취함으로써 산출 할 수 있다. 잠수함 예상위치와 수상함 간 최초거리가 50 km인 상황에서, 협동 작전에 최적화된 탐색선 폭인 18 km를 적용하여 탐색 기동을 수행할 경우, 잠수함 탐지까지의 평균 소요시간은 58분으로, 단독 작전에 최적화된 탐색선폭인 28 km로 기동하는 경우의 평균 소요시간 73분에 비해 약 15분 가량 감소시킬 수 있다. 잠수함 예상위치와 수상함 간 최초거리가 40 km, 60 km인 경우에도 동일하게 잠수함 탐지까지의 평균 소요시간을 감소 시키는 효과를 얻을 수 있다. 상기의 결과를 정리 하면 Table 2와 같다.

이와 같은 시뮬레이션 결과로부터 수상함과 대잠헬기의 협동작전을 통한 탐지 확률의 증가 폭을 최대화하기 위해서는, 수상함의 기동 패턴에 변화가 필요함을 알 수 있다. 즉, 현재까지 연구의 중심이 되어온 수상함 단독 작전을 가정한 전술상황에서 도출한 탐색선에 비해 탐색선 폭을 약 8~10 km 가량 감소시켜야 하며 이때 잠수함 및 탐색 플랫폼의 기동 특성, 센서 특성 그리고 해양환경 등의 변수가 고려되어야 한다.

6. 결 론

본 연구에서는 대잠헬기와 협동 작전을 수행하는 수상함을 위한 대잠 탐색 패턴 구성 방안에 대한 연구를 수행하였다. 이를 위해 탐색 플랫폼인 수상함 및 대잠 헬기의 기동을 모델링 하였으며, 탐색 목표인 잠수함의 시간대별 위치를 확률적 모델로 정의하였다. 수상함과 잠수함 예상 위치간의 초기 이격 거리가 서로 다른 시나리오를 구성하여, 수상함이 단독 탐색 작전을 수행하는 경우와 수상함이 대잠헬기와 협동 탐색 작전을 수행하는 경우에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. 그 결과로 수상함이 대잠헬기와 협동 작전을 수행할 경우 안정적으로 높은 수치의 누적탐지확률을 달성할 수 있다는 분석 결과와 함께, 수상함이 단독 탐색 작전하는 상황에서 도출한 탐색선 폭을 수상함과 대잠 헬기가 동시에 작전을 수행하는 상황에 그대로 적용할 경우 잠수함 탐지 확률을 최대화 할 수 없음을 밝혔다. 협동 작전을 수행하는 경우에는 시나리오에 따라 수상함의 탐색선 폭을 감소시킴으로써 잠수함 탐지 확률을 높일 수 있다는 결론을 도출하였다.

본 연구에서는 시뮬레이션 수행을 위해 무기체계의 기

능 및 성능과 관련된 변수들을 정의하고 특정한 값으로 설정하였다. 하지만 복잡한 해양환경과 같이 본 연구에서 반영하지 못한 변수들이 실제 작전환경에는 존재하며, 무기체계의 특성 또한 본 연구에서 설정한 가정과 동일하지 않다. 따라서 본 연구를 통해 도출한 결과 값을 실제 작전 환경에 그대로 적용하기에는 한계가 있다. 하지만 본 연구에서 수행한 시뮬레이션 결과를 통해 도출한 결론인 단독, 협동 작전 시의 ‘탐색선 폭’의 변경의 필요성은 여전히 유효한 것으로 판단되며, 방위별/수심별로 탐지가능거리가 달라지는 복잡한 해양환경 및 실제 대잠 플랫폼의 성능 파라미터를 적용한다면, 실제 대잠 작전을 수행하는데 유용한 탐색선을 도출할 수 있을 것으로 기대한다. 또한 본 연구 결과를 바탕으로 최근 이슈화 되고 있는, 서로 다른 특성의 유/무인 체계들이 협동 작전을 수행하는데 요구되는 임무별 최적 기동 계획을 도출하기 위한 시뮬레이션 체계를 구축하는데 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

급속도로 발전하는 하드웨어 성능의 도움으로 수상함의 중심 체계인 전투관리체계는 과거에 수행하지 못했던 다양한 정보수집 및 분석 기능을 실시간으로 수행하고 있다. 과거의 대잠탐색 운용 전술이 오프라인으로 수행된 시뮬레이션 결과를 바탕으로 개발되었다면, 미래에는 전투관리체계의 컴퓨팅 파워를 바탕으로, 본 연구에서 제안한 방법론과 같이 전장 상황의 변화를 실시간으로 반영한 온라인 시뮬레이션을 작전 현장에서 수행함으로써 한 층 효율적인 무기체계의 운용이 가능할 것으로 예상된다.

References

1. R. J. Urick, principles of underwater sound, 3rd edition, Mc-Graw-Hill, 1983.
2. Lee, D.H., Choi, Y.C., Lee, G.J. and Kim, J.S., “Operational concept description”, ADD, ADDR-415-090260, 2009.
3. Lee, D.H., Choi, Y.C., Lee, G.J. and Kim, J.I., “FFX CFCS system and subsystem description”, ADD, ADDR-415-090249, 2009.
4. Kim, Y.R., Kim, K.S., Park, S.W. and Yu, C.W., “FFX combat system CFCS Software design description (ASW plan)”, ADD, ADDR-415-090309, 2009.
5. Yu, C.W. and Park, W.S., “Research plan on the ASW plan function for the naval combat system”, the 9th Naval Weapon Symposium, 2012.6.
6. Park, G.J., Hong W.Y., “Research on the ASW tactics using a TASS”, ADD, NWS-415-970548, 1997.
7. Lee, D.H., Kho, Y.S. and Ryu K.Y., “Research on the

- simulation model for analysing TASS operational effectiveness”, ADD, NWS-513-981354, 1998.
8. Kim, J.H., “Research on the effective analysis method for the fixed line array sonar”, Journal of Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 7, No. 2, pp. 32-40, 2004.
 9. Shin S.C. and Park J.M., “Development of the Simulator for analysing ASW Search Patterns using the HMS”, Journal of Korea Society for Simulation, Vol. 19, No. 2, pp. 99~106, 2010.6.
 10. James N. Eagle, Alan R. Washburn, “Cumulative Search-Evasion Games”, Naval Research Logistics, Vol. 38, pp. 495~510, 1991.
 11. Ryusuke Hohzaki, “A Cooperative Game in Search Theory”, Naval Research Logistics, Vol. 56, pp. 264~278, 2009.4.
 12. Johannes O. Royset, Hiroyuki Sato, “Route Optimization for Multiple Searcher”, Naval Research Logistics, Vol. 57, pp. 701~717, 2010.10.
 13. Ryusuke Hohzaki, Alan R. Washburn, “An Approximation for a continuous datum search game with energy constraint”, Journal of the Operations Research Society of Japan, Vol. 46, pp. 306~318, 2003.
 14. Ryusuke Hohzaki, “Discrete Search Allocation Game with False Contacts”, Naval Research Logistics, Vol. 54, pp. 46-58, 2006.8.
 15. Cho S.J., Choi B.W. and Cheon J.H., “Research on the target search logics for the ASW Decision Support System”, Journal of Korea Institute of Military Science and Technology, Vol.13, No.5, 824-830, 2010.
 16. J. M. Danskin, “A helicopter versus submarine search game”, Operations Research, Vol. 16, pp. 509-517, 1968.
 17. V. J. Baston, F. A. Bostock, “A One-Dimensional Helicopter-Submarine Game”, Naval Research Logistics, Vol. 36, pp. 479-490, 1989.
 18. Andrej Yu. Garnaev, “A Remark on a Helicopter and Submarine Game”, Naval Research Logistics, Vol. 40, pp. 745-753, 1993.
 19. Hu Zheng-tao and Liu Jian, "The Research of ASW Helicopter ACGF Construction Based on CXBR", IEEE International Conference on Computational Intelligence and Security Workshops, pp. 132-135, 2007.
 20. Yu, C.W., Kim, J.Y., Kim, C.H. and Jung, Y.R., “Modeling and Simulation for Evaluating the Submarine Detection Capability of ASW Missions for an Anti Submarine Helicopter”, Journal of Korea Society for Simulation, Vol. 20, No. 2, pp. 59~66, 2011.6.
 21. Cho, J.H. and Kim J.S., “Analysis on the Effectiveness of the Detection for the Passive Sonar System”, Journal of Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 15, pp. 272-287, 2012.6.
 22. J. H. Cho, J. S. Kim, J. S. Lim, S. I. Kim, Y. S. Kim, “Optimal Acoustic Search Path Planning for Sonar System Based on Genetic Algorithm”, International Journal of Offshore and Polar Engineering”, Vol. 17, pp. 218-224, 2007.9.
 23. Daniel H. Wagner, W. Charles Mylander, Thomas J. Sanders, Naval Operations Analysis, 3rd edition, Naval Institute Press, 1999.



유 찬 우 (cwyu@add.re.kr)

2004 서울대학교 기계항공공학부/전기공학부 학사
 2006 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사
 2006~현재 국방과학연구소 선임연구원

관심분야 : 대잠전 지휘통제, 모델링&시뮬레이션



박 성 운 (swpark@add.re.kr)

1991 부산대학교 전자공학과 학사
 1993 부산대학교 일반대학원 전자공학과
 1993~현재 국방과학연구소 책임연구원

관심분야 : 함정전투체계, 모델링&시뮬레이션