

고속정 전투체계의 함포 중심 대공전 성능 분석

A Study on the Gun-Oriented Anti Air Warfare Capability of the Patrol Killer Combat System

황 근 철*

Hwang, Kun-Chul

ABSTRACT

The Gun-Oriented Anti-Air Warfare(GOAAW) which is still one of the important weapon systems of the vessel like the patrol killer to confront air threats comprises the components of the combat system - Command & Control(C2), Ballistic Calculation Unit, Sensors and Guns. In this paper, the GOAAW process of the patrol killer combat system is analyzed with probability and simulated to evaluate the effectiveness and capability of the GOAAW. As a result of the simulation, the performance measures of the GOAAW are discussed in the functional and operational aspects of the combat system.

주요기술용어(주제어) : Gun-Oriented Anti-Air Warfare(GOAAW : 함포 중심 대공전), Patrol Killer Experiment Combat System(차기 고속정용 전투체계), Command & Control(지휘통제체계), Ballistic Calculation Unit(사격계원계산장치), Sensor and Gun(함포와 센서)

1. 서론

현대 해상 전투에서 전투함에 가장 위협이 되는 것은 전투기, 헬기, 유도탄과 같이 짧은 대응 시간이 요구되는 대공 위협세력이다. 이러한 위협 세력에 대한 대응 능력을 확장시키기 위해 구축함급의 중형 함정의 경우에는 기본 무장인 함포이외에 중거리 대공 유도탄(SM-2), 대유도탄방어무기체계(RAM), 근접방어 무기체계(Goalkeeper)와 같은 다층 방어 수단을 갖추고 있다^[1]. 그러나 언급된 시스템들은 대부분 90년대 이후에 건조된 구축함급의 중형 함정에 탑재되어 있

으며, 90년대 이전에 배치된 국내의 대다수 함정 및 고속정과 같은 소형 함정들은 여전히 기본 무장인 함포를 중심으로 대공전을 운용하고 있다^[2,3]. 특히 고속정과 같은 소형 함정의 경우는 연안 방어의 임무 특성으로 인해 대공 위협 세력의 발생 가능성이 중형 함정에 비해 더욱 크지만 대공전 수단이 함포로 한정되어 있기 때문에 함포를 이용한 대공전 수행 능력이 함정의 생존성을 결정한다고 할 수 있다^[4,5].

함포 중심의 대공전 운용은 기본적으로 함포의 성능과 탄도계산장치(Ballistic Calculation Unit)의 성능에 의해 좌우되지만 위협에 대한 탐지부터 사격에 이르는 대공전 수행 절차는 함정에 탑재된 모든 장비 구성 요소가 관여되므로 함정 시스템의 통합적 관점에서 대공전을 분석해야 한다. 이는 앞서 언급된 대부분의 다층 방어 체계가 독립된 시스템(Stand-alone)

† 2007년 9월 11일 접수~2007년 10월 18일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

주저자 이메일 : hkchul@add.re.kr

으로써 함정의 운용과 무관하게 대공전 수행이 가능한 것과 대비되는 것이다. 즉, 함포 중심의 대공전은 함정 전체의 운용을 통제하는 함정 전투체계 측면에서 그 특성을 파악해야 한다^[6].

이러한 측면들에서 함포가 주요한 교전 수단이 되는 고속정의 함포 중심 대공전 특성을 분석하고 성능을 예측하는 것은 고속정의 전투 효과도 측면을 가늠할 수 있는 기반이 되며, 더 나아가 고속정과 같은 소형 함정의 생존성 및 대공전 성능을 향상시킬 수 있는 방안을 제시한다고 할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 목적을 바탕으로 고속정 전투체계의 함포중심 대공전 분석 과정과 그 결과를 기술하고 있으며, 다음과 같은 구성을 취하고 있다. 서론에 이어 2절에서는 고속정 전투체계의 대공전 성능을 정의하고, 시뮬레이션 기반의 성능 분석 방법을 기술한다. 이어 3절에서 대공전 시뮬레이션을 통한 고속정의 성능 분석 결과로서 유도탄 방어능력을 기술한다. 끝으로 4절에서는 3절의 대공전 성능 분석 결과를 고찰하고 그 의미와 분석 결과의 활용가능성을 논의함으로써 결론을 맺는다.

2. 함포 중심의 대공전 성능 분석 방법

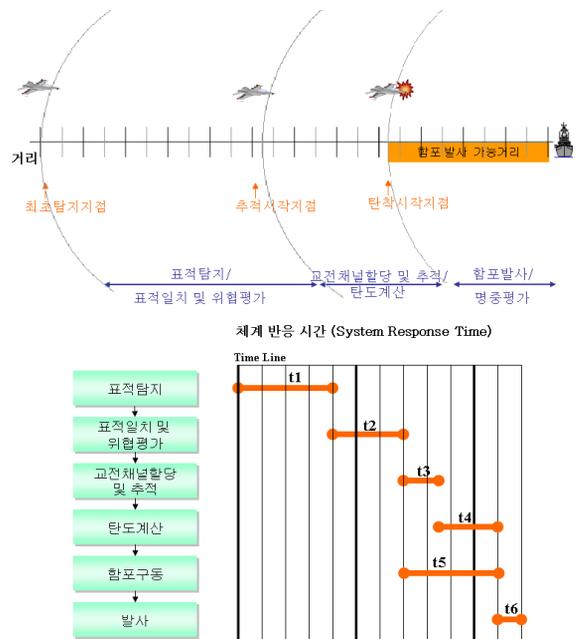
가. 함정 전투체계의 대공전 성능



[그림 1] 고속정의 대공전 수행을 위한 전투체계 구성

그림 1은 함포중심의 대공전 수행을 수행하는 고속정의 한 예로서 본 논문에서 분석되는 고속정의 탑재체계를 보여준다. 그림 1의 고속정은 대공전 수행을

위해 무장 및 센서 체계 그리고 이를 통제하는 지휘무장통제체계를 탑재하고 있다. 이러한 탑재체계 전체를 아울러서 전투체계라 지칭한다. 그림 1의 고속정이 수행하는 함포중심 대공전은 수상함 교전의 일반 절차를 따른다. 즉, 기본적으로 탐색레이더를 통해 탐지된 위협세력을 분석하고 이를 바탕으로 추적센서인 추적레이더와 전자광학추적장비, 그리고 함포인 76mm와 40mm 무장을 할당하는 절차로 이뤄진다. 그림 2는 이러한 함정 전투체계의 대공전 운용을 기 능 수행 단계별로 세분화하여 보여준다.



[그림 2] 고속정 전투체계 대공전 수행절차

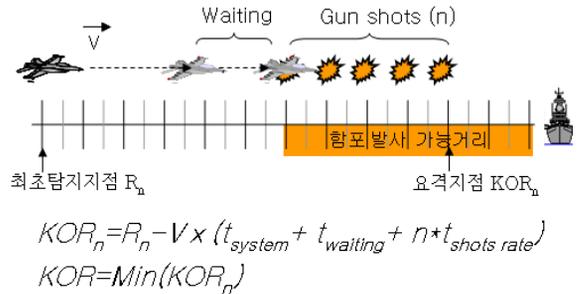
그림 2에서 보는바와 같이 함포중심의 대공전 절차는 대공 표적에 대한 탐지로 부터 시작된다. 자함의 탐색레이더에 의해 위협 표적이 탐지되면, 다음으로 피아식별(Identification of Friend and Foe) 및 위협수준에 대한 평가가 수행되고, 이에 따라 위협표적에 대한 교전 여부가 결정된다. 교전 결정에 따라 교전 수행의 수단이 되는 함포와 추적센서의 교전채널이 할당되면 할당된 추적센서의 추적 개시가 이뤄지고, 추적 센서의 추적정보를 바탕으로 지휘무장통제체계의 탄도계산장치에 의해 함포의 탄도계산이

수행된다. 탄도계산정보에 따라 함포의 구동이 준비되면, 위협 표적이 함포의 사거리 안으로 접근했을 때 최종적으로 대공 표적에 대한 함포 발사를 수행한다. 이러한 일련의 대공전 수행 절차는 함정 전투체계 구성 요소들의 유기적인 조합 하에 이뤄진다. 즉, 함정의 탑재 센서 및 무장 체계, 그리고 이들을 통제하는 지휘무장통제체계가 각각의 대공전 수행 절차를 일정한 처리시간 내에 담당하게 되며 각각의 대공전 수행절차에서 소요되는 처리시간이 전체적으로 종합되어 시스템 전체의 성능 지표가 되는 체계 반응 시간이 된다.

체계 반응 시간이 빠를수록 위협 표적에 대한 대응 전략도 신속하게 수립되며, 그에 따라서 함의 생존성과 위협 표적에 대한 대응능력도 증가된다. 그러나 체계 반응 시간은 대공전에 관여하는 전투체계의 구성 요소가 갖추어야 할 최소 성능에 대한 요구일 뿐이며, 실제적인 대공전 효과도를 나타내지 않는다. 예를 들어, 그림 1에서 교전채널 할당 및 추적절차에서 소요되는 t3초가 시스템 요구사항으로 5초로 주어진다 하더라도 이것은 시스템이 갖추어야 할 최소 성능에 대한 요구사항일 뿐이며, 실제적으로는 t3가 1초 미만으로 교전채널할당 및 추적이 이뤄질 수 있다. 또한 다중표적과의 대공전일 경우에는 탐지 및 위협 평가 과정은 다중 표적에 대해 동시에 수행되고 교전채널 할당과정만이 순차적으로 이뤄지기 때문에 대공전 성능에 대한 평가 수단으로 체계 반응 시간을 사용하는 것은 한계가 있다. 뿐만 아니라 체계 반응시간이 빠르다고 해서 실제적으로 표적을 요격할 수 있는 것은 아니기 때문에 요격확률을 기반으로 하여 함포 및 탄도계산 성능을 반영하는 실제적인 성능지표가 필요하다.

이러한 이유들로 인해 체계반응시간과 유사한 개념인 최대 방어 거리(KOR : Keep Out Range)를 대공전 성능 지표로 삼는다. KOR은 대공전 수행시 대공 표적이 요격되는 지점을 가르키는 것으로써 여기에는 무장 및 센서의 반응시간, 함포 사거리까지 표적의 접근을 기다리는 대기시간, 표적의 요격확률을 고려한 함포발사수, 다중표적 대응시 순차적인 대응에 따른 최소 요격지점을 모두 고려하고 있다. 그림 3은 본 논문에서 함포중심의 대공전 성능 지표로서 식별하고

있는 KOR의 개념을 보여 준다^[6]. 그림에서 n개의 다중 표적에 대한 대공전을 고려할 때, 각각의 표적에 대한 KOR_n은 최초반응시작지점(R_n), 표적속도(v), 함포대응까지 소요되는 체계반응시간(t_{system}), 함포의 사거리까지 표적접근을 기다리는 대기시간(t_{waiting}), 그리고 함포의 발사수와 발사율로서 계산되는 함포 발사시간(n*t_{shotrate})을 통해 구해진다. 이들 각각의 KOR_n 중에서 최소 지점의 위치를 갖는 KOR이 다중표적에 대한 대공전 성능 지표가 된다. 여기서 최초반응시작지점 및 표적 속도는 전투체계의 운용과는 무관하게 위협표적에 의해 결정되는 외부 변수이며, 체계반응 시간, 대기시간, 그리고 함포 발사 시간이 전투체계의 운용에 의해 결정된다.



[그림 3] 대공전 표적에 대한 최대방어거리

나. 대공전 성능 분석을 위한 가정

본 논문에서는 KOR을 함포중심의 대공전 성능 지표로 삼고 있으며, 함정의 구성 장비를 통합 운영하는 함정 전투체계 측면에서의 대공전 성능을 분석하고 있다. 따라서 통합된 시스템으로서의 전투체계 대공전 성능에 초점을 맞추기 때문에 기본적으로 전투체계의 구성요소들은 시스템 사양에 명시된 이상적인 시스템 기능을 수행한다고 간주하고 있으며, 이와 관련되어 대공전 절차상에서 다음과 같은 기본 가정을 전제한다.

첫째, 탐색레이더의 다중 표적 탐지 기능 및 추적 센서(추적레이더, 전자광학추적장비)의 추적기능은 이상적이다. 즉, 대공전 수행을 담당하는 탐색레이더는 시스템 사양으로 제시되는 최대탐지거리의 초수평선 범위에서 모든 표적에 대한 탐지를 동시에 수행하며, 정확한 표적 정보를 생성한다. 또한 이를 탐지된 표

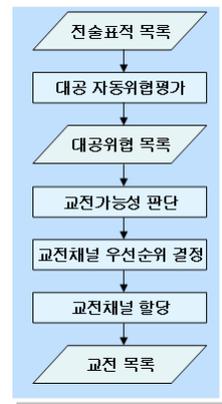
적에 대해 할당된 추적센서는 오차없이 연속적인 추적 정보를 생성한다. 즉, 실제 환경에서 고려될 수 있는 탐지 범위의 제한 및 추적 센서 할당 실패 또는 추적 실패와 같은 기능 저하 요인은 고려하지 않는다. 둘째, 탐지된 표적에 대한 위협평가 및 교전 결심과 같은 지휘통제 기능은 일정한 지휘결심 시간 내에서 기능 수행이 이뤄진다. 일반적으로 지휘결심과정은 운용자의 역량 및 전술 상황에 따라 결정되기 때문에 이에 대한 실제적인 소요시간은 일정치 않으며 그 결과, 변수로서 산출하기 어렵다. 따라서 대공전 수행시 소요되는 지휘결심 시간은 즉각적인 교전 수행이 필요한 교전 지역 내에서의 지휘결심시간이며, 논문에서는 고정된 값으로 가정한다. 즉, 위협평가와 그에 따른 교전채널 할당 명령이 내려지기까지 약 6초로 가정하는데, 이 시간은 지휘무장통제체계의 위협평가 특성에 따라 발생된 모든 표적에 대해 위협순위를 정하고 교전 표적을 선택하는데 소요된다. 셋째, 교전채널 할당에 따라 추적센서의 구동 및 함포의 구동, 탄도계산은 과정은 동시에 진행되며 소요시간은 체계 반응 시간에서 t_3 , t_4 , t_5 에 해당하는 시간으로써 8초를 가정한다. 지휘결심에 따라 교전이 실행되면 추적센서가 획득한 추적정보를 바탕으로 함포의 구동 및 탄도계산이 수행된다. 이 과정에서 차기 고속정 전투체계는 기존의 사격통제체계와 달리 위협표적에 대한 반응시간을 줄이기 위해 센서 및 무장의 구동과 탄도계산을 동시에 진행 한다. 이때, 소요시간은 장비의 구동 범위, 표적의 기동 특성 등이 반영되어 산출되며 그 값은 가변적이다. 따라서 두번째 가정과 마찬가지로 8초의 시간을 교전채널의 구동, 추적개시 및 탄도계산시간으로 가정한다. 넷째, 지휘무장통제체계의 탄도계산장치에 의해 계산되는 탄도는 함포의 최대 발사거리까지 산출되며, 함포 발사가 가능한 시점에서 즉시 발사가 이뤄진다. 실제의 함포 발사는 운용자의 선택에 의해 일정한 대기시간이후에 발사시점이 결정되지만 성능 분석 측면에서는 함포를 통해 신속한 대응을 전제로 하기 때문에 표적이 함포 사거리 내에 있을 경우에는 함포 발사에 있어서 운용자가 선택할 수 있는 발사 대기시간을 고려하지 않는다. 다섯째, 추적센서, 탄도계산장치, 그리고 함포로 구성되는 전투체계의 구성 장비는 사격통제체계로 분

류되며 설계사양에서 보장되는 정확한 사격정밀도를 가진다. 즉, 사격오차범위로 특징지어 지는 설계 사양 안에서 특정 표적에 대한 요격확률을 산출할 수 있으며 함포의 초기상태 및 발사탄수에 따른 정밀도 저하 등을 고려하지 않는다.

다. 위협 순위 및 교전채널 우선순위

앞서 기술된 바와 같이 전투체계 운용에 의해 결정되는 KOR의 변수는 체계반응시간, 함포발사를 위한 대기시간, 표적 요격 시까지 소요되는 함포발사시간이다. 여기서, 체계 반응시간 및 대기시간은 어떠한 무장 및 센서를 선택하고 어떤 순서로 위협표적에 대해 교전하느냐하는 전투체계 대공전 운용 규칙에 따라 달라지며, 함포발사시간은 탄도계산장치, 추적센서, 함포로 구성되는 전투체계 사격통제체계의 사격정밀도에 따라 결정된다. 즉, KOR은 전투체계의 대공전 운용과 사격 기능에 따라 결정된다.

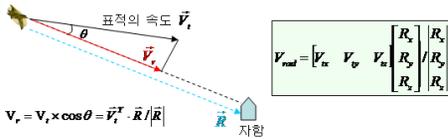
고속정의 대공전 운용 절차는 그림 3의 전투체계 대공전 수행절차 중에서 위협평가 및 교전채널 할당 절차에 해당하며 현재 운용중인 고속정급의 전투함정을 기준으로 그림 4와 같이 정의되었다. 먼저 탐색레이더를 통해 탐지된 전술표적목록에 대한 위협평가가 수행되며 그 결과로 위협순위가 결정된 대공 위협 목록이 생성된다. 생성된 위협목록에 존재하는 각각의 위협표적에 대해서는 자함의 센서와 무장으로 교전이 가능한지 판단하게 된다. 자함의 센서 및 무장은 함포 발사를 위한 교전 자원으로써 센서와 무장이 하나의



[그림 4] 대공전 운용 절차

쌍을 이뤄 교전채널로서 활용된다. 고속정은 76mm 및 40mm 그리고 추적레이더 및 전자광학추적장비의 조합으로 생성되는 4개의 대공 교전채널이 존재하고 이들이 우선 순위에 따라 권고된다. 즉, 고속정의 대공전은 위협 순위와 교전채널 우선순위에 따라 순차적인 교전 운용이 이뤄진다.

고속정의 대공전 운용은 대공전 표적이 가지는 고기동 특성과 그로 인한 짧은 반응 시간을 고려하고 있다. 그 결과, 위협표적의 우선순위 및 교전채널의 우선순위에 대한 판단기준을 즉각적인 대응이라는 측면에서 다루고 있다. 그림 5는 대공전 우선순위를 결정짓는 위협지수를 나타내고 있다. 그림 5에서는 자함에 대한 접근성(TTG : Time To Go)을 기준으로 즉각적인 대응이 필요한 표적을 위협도가 높은 표적으로 간주하고 있다.

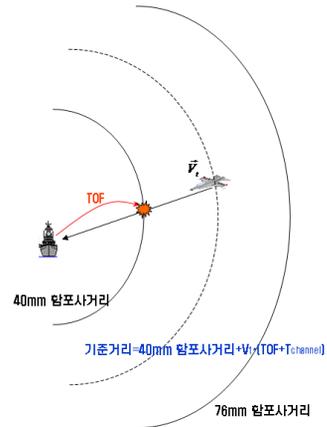


· 위협지수 = 999 - TTG·C

where, TTG(Time To Go) = 자함과 표적간의 거리(R)/방사속도(V)
C = 교전상수

[그림 5] 대공전 위협 순위

그림 5와 같이 위협 순위가 결정된 표적에 대한 대응 수단으로는 76mm 및 40mm 함포, 추적레이더 및 전자광학추적장비로 조합되는 4개의 교전채널이 있다. 여기서 교전채널의 우선순위는 위협순위와 마찬가지로 즉각적으로 대응할 수 있는지 여부에 따라 판단되며, 이는 그림 6에서 보여지는 기준거리를 통해 결정된다. 기준거리는 40mm 함포의 최대사거리에서 초탄발사가 가능하기위해, 40mm 포 비행시간(TOF : Time Of Flight)과 함포구동 및 탄도계산 시간(Tchannel)을 반영해서 결정된다. 그림 6에서 보는 바와 같이 기준 거리 밖에 있는 표적에 대해서는 즉각적인 대응이 가능한 76mm 및 추적정보의 생성 시간이 짧은 추적레이더가 우선하며, 기준 거리 안에서는 함포의 발사율이 높아서 대공 표적의 고기동 특성에 대한 대응이 효과적인 40mm와 추적레이더의 조합이 우선한다.



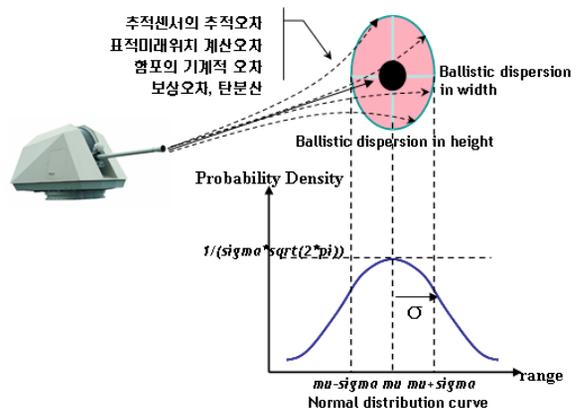
우선순위	기준거리 이상		기준거리 이내	
	무장	추적센서	무장	추적센서
1	76mm 함포	추적레이더	40mm 함포	추적레이더
2	76mm 함포	전자광학추적장비	40mm 함포	전자광학추적장비
3	40mm 함포	추적레이더	76mm 함포	추적레이더
4	40mm 함포	전자광학추적장비	76mm 함포	전자광학추적장비

[그림 6] 교전채널 우선 순위

본 논문에서는 이와 같이 기술된 대공전 운용 규칙에 따라 고속정의 대공전 성능을 분석한다.

라. 함포의 요격확률

대공전 운용과 더불어 차기고속정의 대공전 성능을 결정짓는 요소는 함포 발사가 지속되는 시간이며 이는 교전 표적의 요격 여부에 달려있다. 이러한 표적의 요격 여부는 그림 7과 같이 요격확률로 계산된다.



[그림 7] 함포의 요격확률

그림에서 보는 바와 같이 함포에서 발사된 포탄에 의한 표적의 요격 여부는 탄도계산의 정밀도에 추적 레이더의 추적오차, 표적의 미래위치에 대한 예측 오차, 함포 구동에 따른 기계적 오차, 함 요동에 대한 보상 오차와 같은 요인들이 복합적으로 반영되어 확률적으로 계산된다. 이러한 오차 요인들을 줄임으로써 명중점에 대한 탄의 분산도(σ)를 줄이는 것이 함포 설계 및 탄도계산장치 설계에 있어서 주요한 설계 목표가 된다.

추적센서, 탄도계산장치, 함포로 구성되는 사격통제체계의 이상적 성능은 앞서 언급된 오차 요인들을 최소화한 상태를 기준하며 이는 표 1의 사표(Range Table)상에 표시된 탄분산도로 나타난다^[7,8]. 표 1의 사표는 표적점에 대한 45도 조준 사격의 결과이며, 각각 500m 단위로 76mm 및 40mm 함포의 사거리까지 측정된 탄분산도 값이다.

여기에, 앞서 언급된 추적센서의 추적오차 등의 설

계 오차를 반영하게 되면 사격통제체계의 탄도계산성능을 산출하는 기준이 되는 탄분산도(σ)가 구해진다. 차기고속정 전투체계의 사격통제체계는 기본적인 사표값에 2.5배의 설계 목표치로 두고 있으며 이에 따라 요격확률의 탄분산도가 결정된다. 여기에 근접 신관탄의 효과를 고려하여 76mm 함포의 경우는 명중 범위를 직경 10m로 산정하고 40mm 함포의 경우는 직경 5m로 산정하여 거리에 따른 표적의 요격확률을 계산하였다^[6].

이상과 같이 표적 거리, 탄분산도, 명중범위 곧 표적크기가 구해지면 함포의 단발사격에 의한 요격확률을 수식 1과 같이 구할 수 있다.

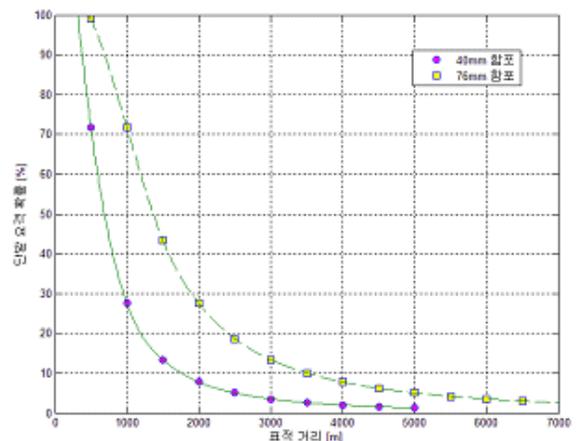
$$P_{ss}(\mu - a < x < \mu + a) = \int_{\mu - a}^{\mu + a} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x - \mu)^2}{2\sigma^2}} dx$$

[수식 1] 함포의 단발요격확률 수식

[표 1] 76mm 및 40mm 함포의 사표 기준 탄분산도

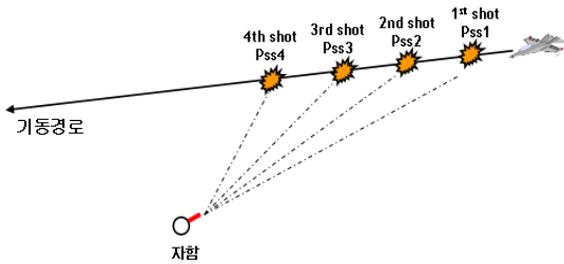
사거리 [m]	76mm 함포 탄분산도[m]		40mm 함포 탄분산도[m]	
	Bearing	Elevation	Bearing	Elevation
500	0.22	0.01	0.2	0.2
1000	0.43	0.05	0.3	0.4
1500	0.65	0.11	0.4	0.7
2000	0.86	0.21	0.6	0.9
2500	1.08	0.37	0.8	1.2
3000	1.29	0.58	1.0	1.6
3500	1.51	0.88	2.1	2.0
4000	1.73	1.27	1.4	2.7
4500	1.94	1.76	1.6	3.8
5000	2.16	2.37	1.8	5.2
5500	2.37	3.11		
6000	2.59	3.99		
6500	2.81	5.03		

그림 8은 이상의 탄분산도와 수식을 통해 얻어지는 76mm 및 40mm 함포 사격통제체계의 단발 요격 확률을 거리별로 보여준다. 여기서 76mm 함포의 경우는 최대 사거리를 7km, 40mm 함포의 경우는 최대 사거리를 5km로 산정하고 있다. 또한 점으로 표시되는 요격확률은 76mm 및 40mm 사격통제체계의 탄분산도에서 직접 계산된 요격확률이며 선으로 표시지 점은 근사화된 예측치이다.



[그림 8] 함포의 거리별 단발요격확률

일반적으로 대공 표적에 대해서는 연속적인 함포 발사가 이뤄지며, 이는 단발요격확률을 바탕으로 하는 누적요격확률로서 나타난다. 그림 9는 함포의 연속적인 발사에 따른 누적 요격확률의 개념과 수식을 보여준다. 그림 9에서 보듯이 누적요격확률은 표적의 기동 궤적에 탄착되는 단발 요격확률을 누적시킴으로써 구해진다.

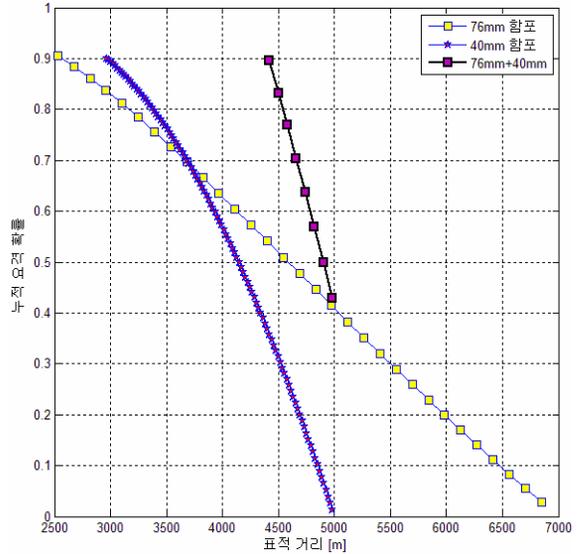


$$P_{cum_n} = 1 - (1 - P_{ss_1}) \times (1 - P_{ss_2}) \times \dots \times (1 - P_{ss_n})$$

[그림 9] 함포의 누적요격확률

이러한 누적 요격확률은 표적의 기동 궤적에 따른 단발 요격확률을 바탕으로 구해지게 되며, 일반적으로 90%의 누적요격확률에 다다랐을 때를 요격시점으로 보고 함포발사의 종료 시점으로 삼는다. 즉, KOR을 결정짓는 함포발사시간은 90%의 누적요격확률 목표치에 다다를 때까지 소요되는 시간을 기준하게 된다. 그림 10은 해면으로 부터 100m 고도에 300m/s의 속도로 자함에 접근하는 표적에 대한 누적요격확률을 계산한 예를 보여준다. 여기서는 함포 발사 이전에 수행되는 모든 대공전 절차가 완료된 상태를 전제로 함포 발사 시간에 의해 결정되는 KOR을 계산하고 있다. 그림에서는 76mm 및 40mm의 개별 무장으로 대응했을 때와 동일표적에 대해 76mm 및 40mm를 동시 대응했을 때의 함포의 연속발사 시간 및 KOR을 비교하고 있다. 여기서 각각의 무장으로 대응했을 경우에는 76mm 및 40mm 함포의 발사율이 각각 0.76Hz, 0.1Hz이고 요격에 소요된 탄수는 31발과 105발이다. 결과적으로 각각의 무장으로 대응했을 경우 23.25 초 및 10.5초의 연속 발사시간이 필요하며, KOR은 76mm로 대응할 때 2.5km, 40mm로 대응할 때 대략 3km를 가르킨다. 반면 76mm 및 40mm로

동시 대응할 때는 76mm의 발사탄수를 기준으로 6초의 대응 시간이 소요되고 KOR은 대략 4.4km 지점이 된다.



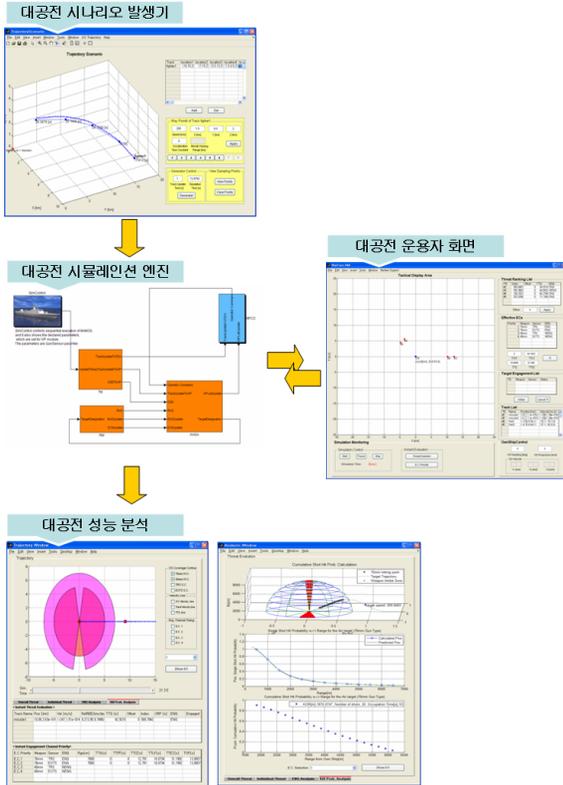
[그림 10] 76mm 및 40mm를 이용한 대공전 분석의 예

라. 함포중심의 대공전 시뮬레이션

지금까지 기술된 바와 같이 고속정의 대공전 성능 분석을 위해서는 전투체계의 대공전 운용 절차, 사격 통제체계의 누적요격확률 분석, 그리고 이러한 운용 및 기능 분석의 기초로서 대공 표적의 기동 패턴을 설정하는 대공전 시나리오가 필요하다. 즉, 실제적인 고속정의 대공전 운용 환경을 바탕으로 한 대공전 성능 분석이 필요하다. 그 결과, 본 논문에서는 고속정 전투체계의 대공전 운용 및 기능을 모사하는 시뮬레이션 기반의 성능 분석을 수행하였다.

그림 11은 고속정의 함포 중심 대공전을 분석하기 위한 시뮬레이션 프로그램의 구조를 보여준다. 그림에서 대공전 시나리오 발생기는 다양한 대공 표적의 기동 패턴을 설정한다. 설정된 대공전 시나리오는 전투체계의 대공전 운용을 모사하는 시뮬레이션 엔진을 통해 실행되고 운용자는 대공전 운용화면을 통해 대공전 절차를 수행하게 된다. 시뮬레이션이 진행되는 동안 위협평가 및 교전채널 할당 결과와 같은 대공전 수행 데이터들은 대공전 성능 분석을 위해 저장되며

시뮬레이션이 종료된 후 대공전 성능 분석 화면을 통해 KOR을 포함하는 다양한 대공전 결과 데이터가 전시된다.



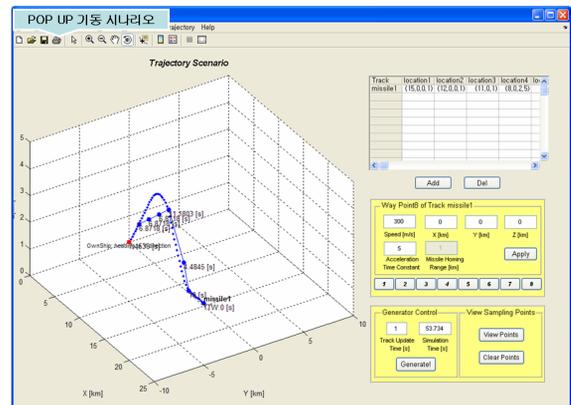
[그림 11] 고속정의 함포 중심 대공전 시뮬레이션

3. 함포 중심의 대공전 시뮬레이션 결과

고속정 전투체계의 함포중심 대공전 시뮬레이션은 고속정의 대공전 상황을 모사한다. 특히 유도탄 비행과 같이 함의 생존성에 큰 영향을 미치지만 실제적인 전투 상황 모사가 어려운 대공전 상황을 시뮬레이션하고 그 결과를 분석하는데 초점을 맞추고 있다. 본 논문에서는 서로 다른 기동패턴을 가지는 7개의 단일 유도탄 표적에 대한 대공전 및 다중의 유도탄 표적에 대한 대공전 성능 분석 결과를 제시하고 있으며, 이를 토대로 고속정의 함포중심 대공전에 보여 줄 수 있는 유도탄 방어 능력을 검토하였다.

먼저 단일 유도탄의 방어능력 분석을 위한 7개의 대공전 시나리오는 그림 12와 같다. 각각의 단일 유도탄 시나리오는 그림에 하단에 나타난 시나리오 생성기를 통해 표적의 기동중 궤적이 설정된다.

대공전 시나리오	시나리오 설명	초기운동정보 (Rx,Ry,Rz) [km] / (Vx,Vy,Vz) [m/s]	
		자함	유도탄
1	Straight Incomina 자함을 목표로 해면 비행 중인 직선 기동 유도탄	(0.0,0) / (0.0,0)	(10.0,0.1) / (300.0,0)
2	Straight Passina 자함이 아닌 다른 임정을 목표로 순항중 비행 중인 유도탄	(0.0,0) / (0.0,0)	(10.5,2) / (250.0,0)
3	Straight Divina 4km 상공에서 자함을 향해 발사된 유도탄	(0.0,0) / (0.0,0)	(4,0.4) / (212.0 -212)
4	Curvina 자함을 목표로 궤적을 바꿔 곡선 기동 중인 유도탄	(0.0,0) / (0.0,0)	(10.15,2) / (250.0,0)
5	Weavina 해면 비행과 더불어 좌우로 뒹미 기동하면서 자함에 접근중인 유도탄	(0.0,0) / (0.0,0)	(20.0,0.1) / (300.0,0)
6	Dog Lap 전속 항진하는 자함을 추적하며 기동 궤적을 변경하는 유도탄	(0.0,0) / (0.2,0)	(15.0,4) / (300.0,0)
7	Pop Up 해면 비행후 자함을 목표로 상승 및 하강 기동을 수행하는 유도탄	(0.0,0) / (0.0,0)	(15.0,0.1) / (300.0,0)



[그림 12] 유도탄 단일 표적 대공전 시나리오

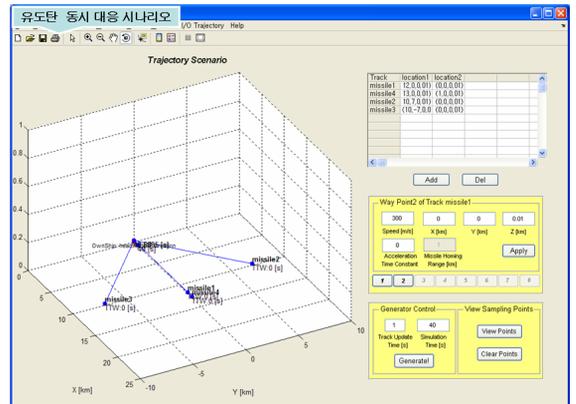
설정된 단일 유도탄 표적의 시나리오는 대공전 시뮬레이션 엔진을 통해 실행되고, 앞서 기술된 대공전 운용 절차를 통해 76mm 또는 40mm 함포의 교전채널이 할당되어 유도탄 요격이 시작된다. 설정된 시나리오에서는 유도탄 표적이 함포의 최대사거리에 도달하기 이전에 충분한 체계 반응시간이 보장되기 때문에, 대공전 성능 지표로서 KOR을 결정짓는 요소는 유도탄의 기동패턴 및 사격통체체계의 정밀도에 따른 요격확률이 된다.

그림 13은 단일 유도탄 표적 시나리오에 대한 대공전 성능을 보여 준다. 그림에서는 함포 교전채널의 기본적인 성능을 확인하기 위해 수행된 단일 교전채널의 대공전 성능으로써, 90% 및 50% 요격확률을 기준으로 한 최대방어거리와 요격 시점까지 소요되는

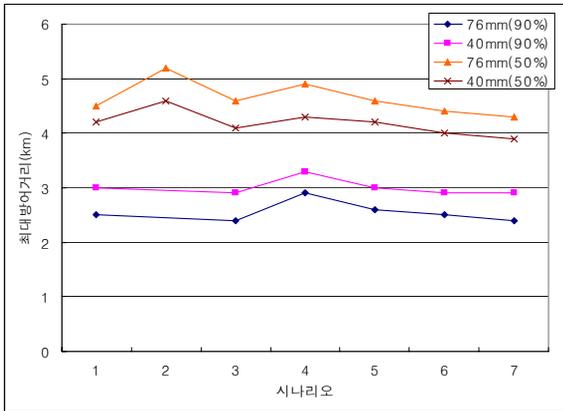
함포의 발사시간 곧, 무장 점유시간을 보여 주고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 대공전 수행에 있어서 90% 요격확률은 40mm 함포 채널의 성능이 우수함을 알 수 있다. 그러나 40mm 함포는 76mm 함포에 비해 짧은 사거리를 가지기 때문에 신속한 함포 대응 측면에서는 76mm 함포 보다 대기 시간이 길어진다. 즉, 50%의 요격확률에서 보듯이 76mm 함포는 요격확률은 낮지만 40mm 함포에 비해 원거리에서의 유도탄 대응이 가능하다. 따라서 즉각적인 대응 측면에서는 76mm 함포 교전채널이 우수하며, 요격확률 측면에서는 40mm 함포 대응이 우수한 특징을 나타낸다.

다중의 유도탄 표적에 대한 대공전 성능 분석은 그림 14와 같은 유도탄 동시 대응 시나리오를 통해 분석되었다.

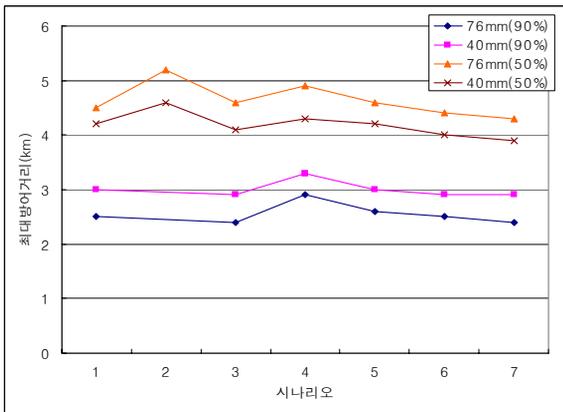
대공전 시나리오	시나리오 설명	초기운동정보 (Rx,Ry,Rz) (km) / (Vx,Vy,Vz) (m/s)	
		자함	유도탄
유도탄 동시대응	자함을 목표로 하면 비행 중인 4발의 유도탄에 대한 동시 대응	(0,0,0) / (0,0,0)	(12.0, 0.0, 0.0) / (10.0, 7.0, 0.0) (10.0, -7.0, 0.0) / (13.0, 0.0, 0.0) / 자함을 향해 800(m/s)의 속력으로 기동



[그림 14] 유도탄 동시 대응 시나리오



(a) 최대 방어거리

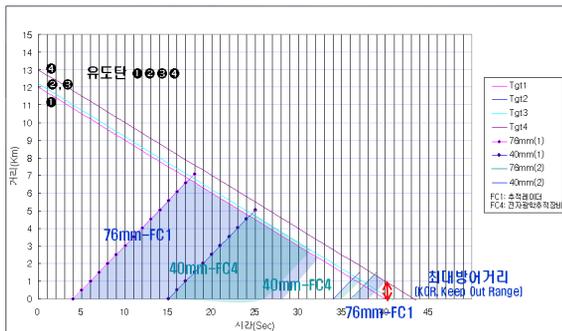


(b) 무장점유시간

[그림 13] 유도탄 단일 표적 대응에 대한 대공전 성능

그림 14의 유도탄 동시대응 시나리오에서는 자함으로부터 10km 지점에 동시 발사된 4발의 유도탄의 기동을 설정하고 있다. 4발의 유도탄은 그림 14의 시나리오 발생기에 나타난 유도탄 순번별로 위협 순위가 정해지며, 이에 따라 순차적인 대공전이 수행된다. 먼저 유도탄 1에 대해 76mm-추적레이더의 교전채널이 할당되고 요격시까지 함포 대응이 수행된다. 유도탄 1에 대한 대응과 더불어, 유도탄 2에 대하여는 40mm-전자광학추적장비의 교전채널이 할당되고 40mm 함포 사거리에서 유도탄 요격을 수행한다. 단일 유도탄의 대공전 성능에서 본 것과 같이 유도탄 2에 대한 요격이 먼저 완료되며, 교전이 완료된 40mm-전자광학추적장비의 교전채널은 다시금 유도탄 3에 할당된다. 이때 할당과정에 소요되는 체계반응시간은 앞서 언급된 가정에서 8초를 할애하며, 함포의 사거리 내에 유도탄 3이 존재하기 때문에 함포 발사 대기 시간은 0초가 된다. 이 과정에서 유도탄 1에 대해 요격이 완료되고, 교전이 종료된 76mm-추적레이더의 교전채널은 8초의 반응시간이 소요된 후 유도탄 4의 요격을

위해 할당됨으로써 유도탄 4발에 대한 동시대응이 완료된다. 이상의 동시대응 과정 및 각각의 유도탄에 대한 KOR은 그림 15에 나타나 있다. 그림 15는 원점에 위치한 자함을 중심으로 대응시간에 따른 유도탄의 거리를 표시하고 있으며, 함포 발사 시점과 요격 시까지 소요되는 교전채널의 함포 발사시간을 표시하고 있다. 그림에서 1번 유도탄은 76mm-추적레이더 채널로 대응되어 대략 2.5km 지점에서 요격되고 있으며, 2번 유도탄은 40mm-전자광학추적장비로 대응되어 대략 2.8km 지점에서 요격된다. 이후 각각의 채널은 8초의 반응시간 후에 3번 및 4번 유도탄에 할당된다. 3번 유도탄은 40mm-전자광학추적장비로 대응되어 대략 1.2km에서 요격되며, 4번 유도탄은 76mm-추적레이더로 대응되어 대략 1km 지점에서 요격된다. 결과적으로 동시 출현 유도탄 4발에 대한 유도탄 최대방어거리는 1km가 된다.



[그림 15] 유도탄 동시 대응에 대한 대공전 성능

4. 결론

전투함의 함포 중심 대공전은 함정의 탑재 무장과 센서 및 이를 통제하는 지휘무장통제체계가 통합 운용되는 전투체계 측면에서 분석되어야 한다. 본 논문에서는 고속정 전투체계의 함포중심 대공전 성능을 분석하기 위해 고속정 전투체계의 대공전 운용 절차와 기능 수행 절차를 정의하고 하고 있으며, 이를 바탕으로 대공전 성능 지표가 되는 최대방어거리(KOR : Keep Out Range)을 산출하고 있다. 본 논문에서 분석하고 있는 함포를 이용한 고속정의 유도탄 방어

능력은 유도탄의 기동패턴과는 큰 상관없으며, 2~3km 지점에서 요격확률 90% 이상을 가진다. 이는 종말 유도단계에서는 함정을 향해 직선기동이 되는 유도탄의 기동특성이 반영된 결과로 보여진다. 또한 여러 발의 유도탄에 대한 동시 대응은 최대 4발의 유도탄에 대해 대응 가능하고 그 때 최대 방어거리는 시뮬레이션 결과로 1km를 확보하는 것을 확인하였다. 여기서 단일 유도탄의 요격 지점은 함포의 요격 확률에 전적으로 결정되는 반면, 여러 발의 유도탄에 대한 요격 지점은 교전채널 할당 규칙과 그에 따른 함포의 요격확률에 의해 결정된다. 따라서 단일 표적 및 다중 표적에 대한 함포중심의 대공전에서 최대방어거리를 확장하기 위해서는 체계반응시간을 단축하고 함포의 정밀도를 높여야 한다. 특히, 무장 및 센서, 그리고 탄도계산장치와 같은 전투체계 구성요소의 성능 사양이 확정되어 있을 경우에는 교전결심에 따른 교전채널할당 시간과 함포 발사과정을 자동화하여 전체적인 체계반응시간을 단축할 필요가 있다. 그러나 이러한 성능 분석 결과에서 함포의 유도탄 방어 능력은 요격확률치를 기준하고 있을 뿐이며, 실제적으로 자함의 피해여부를 결정하는 유도탄 파괴는 보장하지 않는다. 즉, 유도탄의 요격이 이뤄지더라도 실제적이 파괴까지를 고려하면 보다 많은 함포의 발사 시간이 요구되며, 파괴된 유도탄의 관성 효과를 고려한다면 보다 먼 거리에서의 최대 방어거리가 필요하다. 더욱이, 분석과정에서는 무시하였지만 유도탄 탐지실패와 같이 체계반응시간을 증가시키는 여러 가지 실제적인 요인들을 고려한다면 대공표적에 대한 함포의 최대 방어거리는 더욱 짧아지게 된다. 결과적으로 단일 유도탄의 경우에 2~3km의 최대방어거리는 함포를 이용한 유도탄 방어 능력의 한계를 보여준다고 할 수 있으며, 유도탄을 파괴하여 함의 생존성이 극대화하기 위해서는 근접방어무기체계나 대유도탄방어 무기체계와 같은 별도의 방어체계가 필요하다고 할 수 있다.

이러한 한계점에도 불구하고 이상의 함포중심 대공전의 성능 분석 과정 및 결과는 고속정뿐만 아니라 함포중심의 대공전을 수행하는 기타 전투함에도 동일하게 활용할 수 있는 대공전 성능 분석 방법이라 할 수 있다. 더불어 이러한 전투체계 측면의 대공전 성

능 분석 과정을 통하여 보다 효과적인 함포중심의 대공전 운용 계획을 수립할 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] Joris Janssen Lok, "Navies look for ways to tackle the ever-changing close in threat", Jane's International Defense Review, Dec, 1, 2004.
- [2] Jane's Fighting Ships, "Ulsan Class(FFG)", Jane's Information Group, Mar, 14, 2005.
- [3] Jane's Fighting Ships, "Po Hang Class(FS/FSG)", Jane's Information Group, Mar, 14, 2005.
- [4] 밀리터리리뷰 9월호, "한국 해군의 연안전투함과 연안전투체계획", 군사연구, 2004.
- [5] 이동훈, 김철호, 김태수, "함포교전시물레이션 시스템", 한국군사과학기술학회지, 통권 28호, pp. 78~86.
- [6] 황근철, 한응기, "폐회로 사격통제 기술 교육 질 충교역(Closed Loop Fire Control TAA on Thales Netherland)", 국방과학연구소, 2005.
- [7] Range Table For 76/62 OTO MELARA Compact Gun Firing HE Projectile MOD.79, OTO MELARA SpA, 1983.
- [8] 40mm L/70 브레다 사정표, 해군본부 기술교범 15-2-45, 1988.