

ABM을 이용한 미사일방어 사격방법에 관한 연구
- 패트리엇 체계를 중심으로 -

A Study on Defensive Shooting Methods for Missile using ABM
- Focusing on the Patriot system -

남기봉¹⁾ · 이춘주²⁾
Gibong Nam · Choonjoo Lee

ABSTRACT

This study analyzed the accuracy of each method of consecutive firing and salvo & time on target shooting corresponding to short-range ballistic missiles(SRBMs), and suggested a firing method according to the separation distance of the air defense battery. As a result of the analysis using the AnyLogic program, it was possible to identify a shooting method that maximizes the accuracy according to the separation distance of the air defense battery, the intercept height, and the ballistic missile range. The results of this simulation indicate that effective defense training is possible by diversifying the shooting methods for missile defense training, such as consecutive firing and salvo & time on target shooting.

Key Words : Surface to Air Missile(SAM), Accuracy rate, Salvo & Time on target shooting, ABM Simulation

논문접수일 : 2022년 10월 19일, 심사일 : 2022년 11월 3일, 게재확정일 : 2022년 11월 17일

1) 국방대학교 무기체계전공 석사과정

2) 국방대학교 무기체계전공 교수 / 교신저자(Corresponding author)

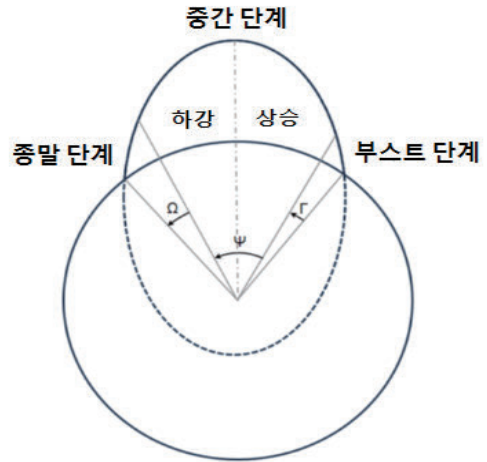
한다. 스커드-C는 탄두중량을 770kg으로 줄이고 사거리를 500km로 높여 남해안 지역까지 사정권으로 두고 있다. 스커드-B/C의 주요 제원은 <표 1>과 같다.[4]

<표 1> 스커드-B/C 제원

구 분	SCUD-B	SCUD-C
최대사거리(km)	340	500
고도(km)	95	145
최대속도(km/s)	1.5	2
탄두중량(kg)	1,000	770
비행시간(분)	5	7

스커드 미사일은 원형 공산 오차 (CEP : Circular Error Probability)가 큰 특성(공산오차 1km 내외)으로 인해 군사적 표적에 대한 공격보다는 핵, 생화학무기, 화학탄두 등의 대량살상무기 (WMD : Weapon of Mass Destruction)를 장착하여 산업시설 및 대도시 인구밀집지역에 대한 공격을 감행할 것으로 예상된다.[5]

탄도미사일의 비행특성은 <그림 3>과 같이 지구 중심을 하나의 초점으로 하는 타원궤적 형태로 비행한다는 점이다. 이러한 탄도미사일의 비행 순서는 미사일의 추진체가 연소되어 추진력을 얻는 부스트 단계, 외기권에서 대기의 저항 없이 자유비행하는 중간 단계, 미사일이 대기권으로 재진입하여 목표지점까지 비행하는 종말단계로 구분된다.



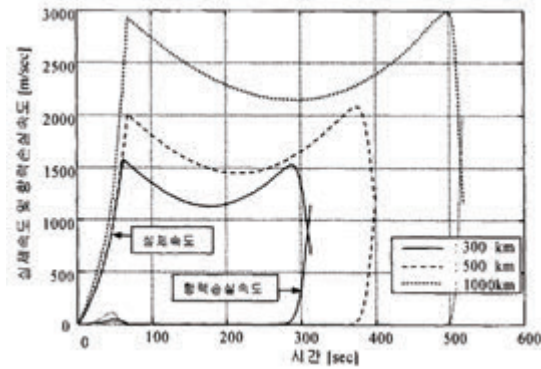
<그림 3> 탄도미사일 비행궤적

부스트 단계는 탄도미사일이 발사된 순간부터 추진체의 연소가 종료되는 시점까지의 비행단계로 발사된 미사일이 추력 및 내부 유도장치를 이용하여 페이로드를 원하는 위치로 옮기게 되며 추진체의 연소가 종료되면 부스터는 분리된다.[6]

중간 단계는 탄도미사일 추진체 연소가 종료된 후 대기권으로 재진입하기 전까지의 단계이다. 단거리탄도미사일(SRBM)의 경우 일반적으로 카르만선(Karman line)이라 불리는 고도 100km 이내에서 연소가 종료된다. 중간단계는 대기권과 외기권의 두 영역으로 구분할 수 있는데 대기권 내에서는 항력과 중력의 영향을 받고, 외기권에서는 중력의 영향만을 받아 자유비행하는 타원궤도 형태로 비행한다.[7]

종말 단계는 탄도미사일의 진입체가 높은 속도로 대기권에 재진입하여 가열 및 감속이 일어나는 단계로 비행시간이 짧으며, 정점 이후 증가하던 비행속도가 공기저항에 의한 항력이 중력보다 커진 후부터 급격히 감소한다. 시뮬레이션에서 구현하고자 하는 탄도미사일의 요격 시점은 고도 약 100km에서 대기권으로 재돌입하여 계

획된 탄도를 그리며 목표에 도달하는 종말 단계이며, 탄도 거리에 따른 실제 속도 및 항력 손실 속도는 <그림 4>, <표 2>와 같다.[8]



<그림 4> 탄도탄 사거리에 따른 실제 속도 및 항력 손실 속도

<표 2> 사거리에 따른 종말단계 탄도미사일 속도

사거리	300km	500km	1,000km
속도	1,000 ~ 1,500m/s	1,500 ~ 2,000m/s	2,000 ~ 3,000m/s

미사일방어의 중요성이 높아짐에 따라 우리 군은 공군의 방공유도탄사령부를 미사일방어사령부로 조직을 개편('22. 4. 1. 부) 하였다. 미사일방어사령부 직할 부대인 사격지원대는 적의 공중침투 상황을 가정하여 매년 항공기 사격대회³⁾를 실시하고 있으며, 2025년까지 탄도탄을 표적으로 하는 사격대회 실시를 목표로 사업을 추진 중이다. 미사일방어작전 시 효과적인 대응과 명중률을 높이기 위한 방안으로 방공포

대 배치원칙을 고려한 위치, 사격방법의 다양화 등이 필요할 것으로 판단된다. 본 연구는 대한민국에 직접적인 피해를 줄 것으로 평가되는 단거리탄도미사일(SRBM)에 대하여 연속·동시사격방법에 따른 명중률을 분석하고 이를 통해 미사일방어 교전 특성 및 방어목표와 방공포대 이격거리에 따른 사격방법의 특성을 찾고자 하였다.

2. 본론

2.1 미사일방어 명중률 관련 이론

미사일방어작전에서 명중률이란 탄도탄을 대상으로 지대공미사일을 발사하여 격추에 성공한 비율을 의미한다. 단발사격 명중률이 a 일 때, 연속·동시사격 명중률의 개념은 <그림 5>이며, 수식은 (1)과 같다.[9]



* 용어정의: T (Target), H(Hit), M(Miss), P(Probability), a(단발사격 명중률)

<그림 5> 연속·동시사격 경우의 수에 따른 명중률 개념도

$$\text{연속/동시사격 명중률} = 1 - (1 - a) \cdot (1 - a) \quad (1)$$

3) 충남 보령시에서 매년 실시되는 방공유도탄 사격대회는 1966년 제1회 사격대회를 시작한 이래 2021년까지 48회째를 맞고 있으며 호크(Hawk), 신궁, 미스트랄, 발칸 외 2013년 패트리엇, 2017년 천궁 첫 사격을 실시하여 명중에 성공하였다.



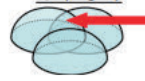

지금까지 미사일방어 관련 연구들은 대부분 최적 배치방안, 요격미사일 운용방안, 교전&무장할당 계획 수립 등이며 알고리즘, 수리모형의 방법론으로 행위자 기반의 ABM(Agent Based Modeling)을 활용한 시뮬레이션 모델은 찾아보기 어려웠다. 미사일방어에 대한 명중률, 교전환경을 정확하게 분석하기 위해서는 탄도탄의 특성에 따른 고려요소(항력, 발사각, 유도방식, 비행계적, RCS⁴⁾ 등)와 변수들이 다수인 복잡한 문제이므로 이를 고려하여 분석할 필요가 있다. 본 연구는 미사일방어 모델링 방법론 중 복잡계 모델링에 해당하는 ABM기법을 활용하였으며 시뮬레이션을 구성할 때 참고한 이론은 아래와 같다.

2.1.1 배치원칙

북한 탄도미사일 위협 고조에 따라 미사일방어 전력의 중요성은 점점 높아지고 있으며 제한된 자원으로 최대의 방어효과를 발휘하기 위한 노력이 지속적으로 요구되고 있다. 미사일방어 무기체계의 운용효과를 극대화하기 위한 여러 가지 방안들이 있지만 전장중심이 짧은 한반도에서는 특히 배치문제가 중요하다. 적은 아군의 방어목표 중요도에 따라 공격규모를 결정할 것이기 때문에 방공포대 배치 시 방어규모와 위치를 동시에 고려해야 한다.

미사일방어 전력의 배치원칙은 <표 3>에서 보는 바와 같으며, 공통적인 목적은 교전 및 격추 횟수를 최대화하여 방어효과를 극대화하는 것이다. 본 연구에서는 MEP⁵⁾ 방공포대 2개 발사대를 객체로 구성하여 방어목표에 대한 화력을 보장할 수 있도록 중첩사격을 적용하였다.[10]

<표 3> 미사일방어 전력 배치원칙

원칙	개념
 <p>중첩사격</p>	· 인접 미사일방어 무기끼리 중첩하여 서로 보강할 수 있도록 배치
 <p>균형방어</p>	· 한 지역의 다양한 위치에 균등한 화력을 제공 (방어목표가 분산되어 있을 시)
 <p>중점방어</p>	· 적의 공격 가능성이 높은 방향이나 방공우선순위가 높은 부대, 시설에 미사일방어 무기를 집중 배치
 <p>중심방어</p>	· 적 탄도탄이 방어목표에 근접할수록 사격량이 증가되도록 배치

2.1.2 사격방법

사격방법은 배치원칙과 함께 미사일방어의 효율성을 높이기 위한 전술로서 <표 4>에서 보는 바와 같이 총 3가지 방법이 존재한다.[11]

<표 4> 미사일방어 사격방법

구분	개념
단발사격 (Single Shot)	1개의 발사대에서 1발의 지대공 미사일을 발사하는 사격방법
연속사격 (Salvo)	1개의 발사대에서 ○초의 간격을 두고 2발의 지대공미사일을 연속으로 발사하는 사격방법
동시사격 (Time On Target)	2개의 발사대에서 각각 1발의 지대공미사일을 발사하여 표적에 동시에 도달하도록 하는 사격방법

4) RCS(레이다 반사 면적) : Radar Cross Section

5) MEP(Minimum Engagement Package) : 최소 교전 체대로 1기의 교전통제소와 1기의 레이더, 2기의 발사대로 구성된다.

항공기 방어작전 시 시간적(항공기 탐지·포착 후 방어목표 접근 소요시간), 공간적(적 예상 접근로) 여유가 있어 적 항공기 대수, 방어 우선순위, 지대공미사일 전력 등을 고려하여 사격방법을 다양하게 구사하는 것이 가능하였다. 하지만 현재 우리 군의 미사일방어작전은 하층 방어6)에 국한되어 있으며, 탄도미사일의 비행특성과 종말단계 교전 가능시간(30초 이내)을 고려하였을 때 한 번의 교전 기회가 매우 중요하다. 따라서 요격 가능성을 높이기 위해 미사일방어작전 교리에서는 탄도탄 1발에 대해 지대공미사일 2발의 대응(연속·동시사격)을 원칙으로 하고 있다.

2.2 ABM을 이용한 모델 구성

미사일방어 명중률을 분석하기 위해 애니로직(Anylogic) 프로그램을 활용하였다. 애니로직 소프트웨어는 <그림 6>과 같이 이산사건모델링(Discrete Event Modeling), 에이전트 기반 모델링 (Agent Based Modeling), 시스템동역학(System Dynamics) 3가지 시뮬레이션의 통합지원이 가능하다.[12] 애니로직 프로그램은 유연한 시스템 언어를 바탕으로 그래픽 인터페이스, 도구 및 라이브러리 객체 등 다양한 영역에서 사용자의 신속한 접근을 가능하게 해주는 특징을 가지고 있다.[13]

본 연구에서 조작변수는 사격방법과 탄도탄의 사거리(속도), 요격고도로 설정하였고 통제변수는 방어목표 3곳(A, B, C)의 위치와 발사대 2기의 배치로 설정하였으며, 종속변수는 명중률이 된다. ABM기반 모델링을 활용하여 연구목적에 부합하도록 변수가 되는 각 객체들에게 행동 양식과

모의논리를 지정해주고 시뮬레이션 진행에 따른 명중률 결과를 분석하였다.



<그림 6> 애니로직 시뮬레이션 모델링의 3가지 방법

2.2.1 가정사항 및 전제조건

연구 목적 달성을 위해 00전투비행단과 유사한 전투환경 특성을 반영하여 시뮬레이션 모델을 구성하였고, <표 5>, <표 6>과 같은 가정사항을 적용하였다. [14]

탄도탄의 공격규모는 시나리오가 원활하게 구동되는 횟수인 1,000발을 기준으로 하였고 탄종에 따른 사거리, 고도, 속도의 차이를 두었다. 연구목적 상 레이다는 객체로 구성하지 않았으며, PAC-3 레이다의 제원을 바탕으로 탐지범위만을 선정하였다.

지대공미사일의 속도는 마하 1.8 ~ 4 수준으로 PAC-3 탄도탄 요격용 미사일과 유사하게 설정하였다. 시나리오가 시작되면 북한의 탄도미사일은 사전에 설정된 방어목표 A, B, C에 대하여 집중공격을 감행할 것이다. 실제 전장에서 다수의 탄도탄 공격 시 최대 9발의 탄도탄과 동시교전이 가능하지만, 본 시뮬레이션에서는 1발씩 순차적으로 교전하는 것으로 가정하였다. 교전 시 지대공 유도무기 발사대에 탑재되어 있던 탄이 모두 소모되면 다음 교전을 수행하기 위한 유도탄 재적재 시간이 필요

6) 탄도탄 종말단계 교전은 고도 40km 이하의 하층방어와 고도 40~150km의 상층방어로 구분되며, 현재 운용 중인 탄도탄 방어 무기체계(PAC-3, 천궁 Block-II)는 하층방어만을 담당하고 있다.

하지만, 시뮬레이션 시나리오의 원활한 구현을 위하여 탄이 재적재되는 시간은 고려하지 않았다.

<표 5> 시뮬레이션 수행을 위한 가정 및 전제조건

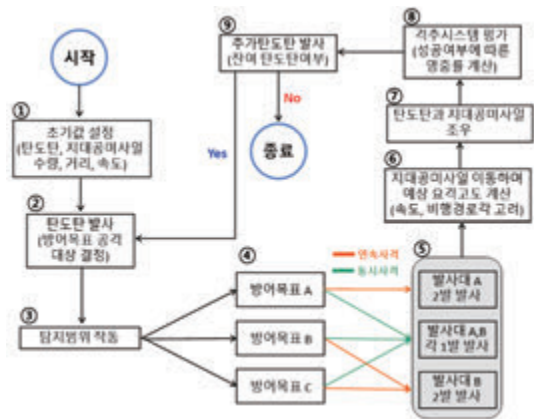
- 적 탄도탄 공격규모 : 각 시나리오 상황별 1,000발씩 수행
- 탄도탄 종류 : SCUD-B, C, ER / 사거리·정점 고도·속도 : <표 6> 참고
- 탄도미사일 대상 탐지범위 : 발사대1, 2 기준 거리 000km, 고도 00km
 - * 탐지범위 내 진입 시 100% 탐지
- 지대공미사일 속도 : 마하 1.8 ~ 4 수준, 시간 경과에 따라 평균속도 유지
- 지대공미사일 수량 : 시뮬레이션 소요 수량 확보
 - * 발사대 유도탄 재적재 시간 미고려
- 교전 고도 : 최소 4km ~ 최대 20km / 구간별 2km 간격 구분
- 아군 부대 규모 : 1개 방공포대(발사대1, 2 보유)
- 발사대 배치 : 3개 방어목표와 이격거리
 - * 발사대1 : A(↔0km), B(↔3km), C(↔6km)
 - 발사대2 : A(↔3km), B(↔1km), C(↔4km)
- 단발사격 명중률 : 80%
 - * 탄도탄과 지대공미사일이 정면 조우 시
- 연속·동시사격 명중률 : 수식 (1) 참고

<표 6> 북한의 공격 탄도탄 제원

구분	사거리	정점고도	속도
SCUD-B	300km	95km	마하 2.9 ~ 4.4
SCUD-C	500km	145km	마하 4.4 ~ 5.8
SCUD-ER	1,000km	280km	마하 5.8 ~ 8.8

2.2.2 시뮬레이션 시나리오

국방시스템의 모델은 보편적으로 공학급 - 교전급 - 임무급 - 전구급의 4단계 수준으로 모의된다. 공학급은 무기체계의 기능과 성능을 표현하고, 교전급은 무기체계의 1:1 혹은 1:다수의 교전 능력을 모의한다. 임무급은 주어진 교전 능력을 통해 임무수행 능력을 모의하고, 전구급은 합동/연합 작전 수준의 수행능력을 모의한다.[15] 위의 4가지 국방시스템 모델 중 본 연구에서 사용된 시뮬레이션은 확률을 기반으로 사격방법에 따른 명중률 분석 및 무기체계 1:1의 교전 모델을 표현하였으므로 교전급 모델의 수준으로 구성하였다. 본 연구의 시뮬레이션 흐름도는 <그림 7>과 같다.

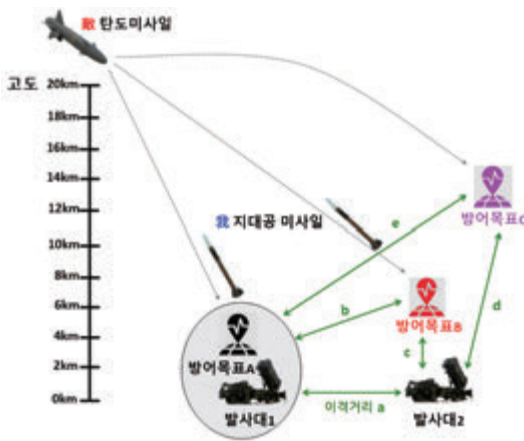


<그림 7> 시뮬레이션 흐름도

①초기값 설정에서 탄도미사일의 수량과 사거리, 공격목표를 결정하고 지대공미사일의 사격방법과 요격고도를 입력한 후 시뮬레이션을 가동한다. ②탄도미사일이 발사되고 방어목표 3개(A, B, C) 지점 중 1 곳을 향해 비행을 시작하며 공격 시작지점과 목표지점에 따른 속도가 계산된다. ③탄도미사일이 방호목표를 향해 접근 시 탐지범위(거리 000km, 고도 00km) 내 진입

부터 탐지/포착된다. ④탄도탄이 공격하려는 방어목표의 정보(A, B, C 중 1곳)가 발사대1, 2로 전달된다. ⑤방어목표와의 이격거리 및 기설정된 사격방법에 따라 발사대 1, 2에서 지대공미사일 2발이 발사된다. ⑥지대공미사일이 비행하며 자신의 위치정보와 탄도탄의 위치정보, 속도, 비행궤적, 조우각을 고려하여 요격고도를 계산한다. ⑦탄도탄과 지대공미사일 2발 조우 시 격추 시스템 평가 단계로 넘어간다. ⑧명중률은 탄도탄의 사거리(속도)와 요격고도, 사격방법에 따른 조우각의 영향을 받으며 지대공미사일 2발 중 1발이 격추에 성공하면 명중한 것으로 평가한다. 2발 모두 격추에 실패하면 요격실패로 계산된다.(첫 번째 미사일 격추시 두 번째 미사일 자체폭파) ⑨초기값에서 설정한 탄도미사일 수량 중 잔여탄이 있을 시 ②번 단계로 돌아가서 같은 절차를 반복하고, 잔여탄 모두 소진 시 시뮬레이션은 종료된다.

시뮬레이션 상황을 개념화하면 <그림 8>과 같으며 탄도미사일 사거리, 각 방어목표에 대한 사격방법, 요격가능 고도(2km 간격) 등을 고려하여 총 144가지 상황에 대한 시뮬레이션을 진행하였다.



<그림 8> 시뮬레이션 상황 개념도

2.2.3 객체별 모의논리

시뮬레이션 프로세스 흐름을 이해하기 위해 설계에 사용된 애니로직(Anylogic) 프로그램 기능에 대한 설명은 <표 7>과 같다. [16]

<표 7> 애니로직(Anylogic) 기능

구분	모양	명칭	기능
Agent		agent	상태차트 및 기타 에이전트와의 프로세스, 흐름도, 유형 등을 정의
Agent Component		parameter	매개 변수로 모델링된 객체의 일부 특성을 나타냄
		event	시간의 경과에 따른 독립 사건의 흐름을 작업하는 데 사용
Agent Component		variable	시뮬레이션의 결과를 저장하거나 일부 데이터 단위 또는 객체의 특성을 설명할 때 사용
		function	Java 함수의 알고리즘을 지원하며, 함수를 통해 지정된 결과 산출
		output	변수에 따른 결과값
Statechart		statechart entry point	특정 프로세스를 설명하기 위한 초기 상태를 나타내는데 사용
		state	조건 및 이벤트에 따른 특정 제어 위치를 나타내며, 단일 또는 다중 상태를 복합적으로 표현
		transition	시간경과, 비율, 조건, 메시지, 도착 총 5가지의 트리거가 존재하며 한 상태에서 다른 상태로의 전환으로 지정된 작업을 수행
	final state	제어가 최종 상태에 들어갔을 때 상태 차트가 종료되는 지점	

구분	모양	명칭	기능
기타		scale	그래픽 편집기에서 사용되는 거리 측정기
		stock	좌표값을 나타내는 블록
		dynamic variable	객체 간 거리차이를 연산할 때 사용

탄도미사일은 본 시뮬레이션의 첫 번째 구성을 맡은 객체로 Statechart entry point에서 State로 비행 행동을 하게 되면 시나리오가 시작되며 Agent actions 카테고리 내의 On startup에서 어떤 방어목표를 공격할지 결정한다. State를 통해 비행을 유지하면서 제어선으로 2개의 Transition과 연결이 된다. 조건을 표현하는 Transition에서는 공격발수와 사거리, 이동속도에 따른 작업을 수행하고 도착을 나타내는 Transition에서는 지대공미사일에 격추되지 않고 목표물에 도달 시 임무에 성공하는 것으로 계산한다. Parameter는 방어목표이며 임무에 성공시 타격횟수를 결과로 저장한다. 탄도미사일 객체의 Final state 조건은 탄도탄의 전량 소모이다.



<그림 9> 탄도미사일 상태 차트

발사대는 지대공미사일의 발사를 담당하는 객체이다. 발사대는 탄도탄의 속도와 방어목표 접근 동안 이격거리를 계산하기 위해 시나리오 시작 전 탄도미사일의 사거리에 따른 Node(300/500/1,000)값을 입력해야 한다. 시나리오 시작 후 탄도탄이 탐지범위 내 진입 시 100% 확률로 탐지/포착하며, 지대공미사일을 발사해야 하는 시점을 계산한다. 조건은 탄도탄의 속도 및 방어목표와의 거리이며, 사전에 설정된 고도에서 요격이 이루어질 수 있는 타이밍에 발사된다.

발사대는 2대이며 Event내의 Action 카테고리에서 탄도미사일의 공격목표에 따른 지대공미사일 사격 발사대를 결정한다. 방어목표 A는 발사대1에서 방어목표 B, C는 발사대2에서 연속발사 2발이 이루어지며, 동시사격은 발사대1, 2에서 각 1발씩의 미사일이 발사된다. 지대공미사일이 탄도탄과 조우 시 격추 여부를 판단하고 Parameter에서 명중률을 계산한다.

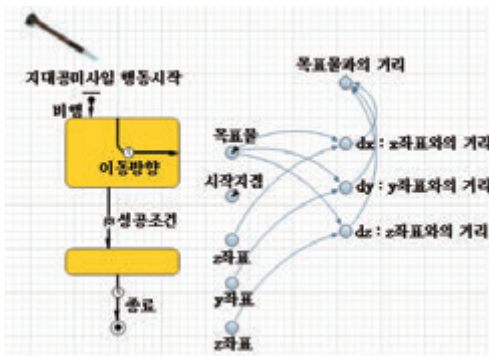


<그림 10> 발사대 상태 차트

지대공미사일은 발사대에서 떠남과 동시에 Statechart entry point로부터 행동이 시작된다. 지대공미사일은 Transition에서 시간경과에 따른 행동을 수행하는데, 현재 자신의 위치좌표와 목표물(탄도미사일)과의 거리 차이를 연산하며 이동방향을 결정한다.

지대공미사일은 2발이 비행하여 탄도탄과 조우 시 각각의 명중률이 적용되어 격

추여부가 결정된다. 이 때 명중률은 방어 목표와의 이격거리에 따른 발사대의 위치, 탄도탄의 속도에 영향을 받는다. 성공 조건은 2발 중 한 발이 명중에 성공해야 하며 첫 번째 미사일 격추 성공 시 두 번째 미사일은 자체 폭발한다. 지대공미사일은 각 객체가 독립적으로 행동하며, 1회용으로 작동하므로 탄도미사일과 조우한 뒤에는 임무 성공 여부와 관계없이 Final state로 종료된다.



<그림 11> 지대공미사일 상태 차트

2.3 시뮬레이션 결과

본 연구에서 활용한 애니로직(Anylogic) 프로그램 클라우드(Cloud)에서는 사용자가 구성한 시뮬레이션에 대한 Inputs 정보에 따른 Outputs 결과를 확인할 수 있다. 시뮬레이션 결과로부터 얻어진 명중률의 값은 시뮬레이션 횟수를 늘릴수록 정확해질 것이나 반복횟수를 무한히 할 수는 없기에 클라우드가 원활하게 구동되는 횟수인 탄도미사일 1,000발을 상황별로 적용하여 명중률 평균값을 도출하였으며 그 결과는 <표 8>과 같다.

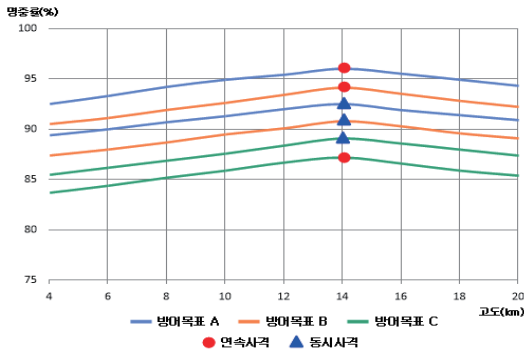
<표 8> 시나리오 상황별 탄도미사일 1,000발에 대한 명중률 평균값

탄도탄 사거리	방어목표 요격고도 (이상 ~ 미만)	A		B		C	
		연속 사격	동시 사격	연속 사격	동시 사격	연속 사격	동시 사격
300km	4km ~ 6km	93.3	90.0	91.1	88.0	84.4	86.2
	6km ~ 8km	94.2	90.7	91.9	88.7	85.2	86.9
	8km ~ 10km	94.9	91.3	92.6	89.5	85.9	87.6
	10km ~ 12km	95.4	92.0	93.4	90.1	86.7	88.4
	12km ~ 14km	95.8	92.5	94.1	90.8	87.2	89.1
	14km ~ 16km	95.5	91.9	93.5	90.3	86.6	88.6
	16km ~ 18km	94.9	91.4	92.8	89.6	85.9	88.0
500km	18km ~ 20km	94.3	90.9	92.2	89.1	85.4	87.4
	4km ~ 6km	91.7	88.3	89.8	86.2	82.9	84.8
	6km ~ 8km	92.5	89.1	90.5	87.0	83.7	85.6
	8km ~ 10km	93.2	89.8	91.3	87.8	84.4	86.4
	10km ~ 12km	94.0	90.5	92.0	88.5	85.2	87.0
	12km ~ 14km	94.7	91.1	92.6	89.4	85.9	87.7
	14km ~ 16km	94.1	90.5	92.2	88.7	85.5	87.1
1,000km	16km ~ 18km	93.6	90.0	91.8	88.1	84.9	86.6
	18km ~ 20km	93.1	89.5	91.2	87.4	84.2	86.1
	4km ~ 6km	86.1	83.5	84.1	81.1	77.3	79.2
	6km ~ 8km	88.7	85.1	86.7	83.5	79.7	81.8
	8km ~ 10km	90.8	87.2	88.8	85.5	81.8	83.9
	10km ~ 12km	92.3	88.7	90.3	87.0	83.3	85.3
	12km ~ 14km	93.2	89.8	91.3	88.0	84.4	86.4
14km ~ 16km	92.1	88.6	90.1	86.9	83.2	85.3	
16km ~ 18km	90.9	87.3	88.8	85.7	81.9	84.0	
18km ~ 20km	89.5	85.9	87.4	84.3	80.4	82.6	

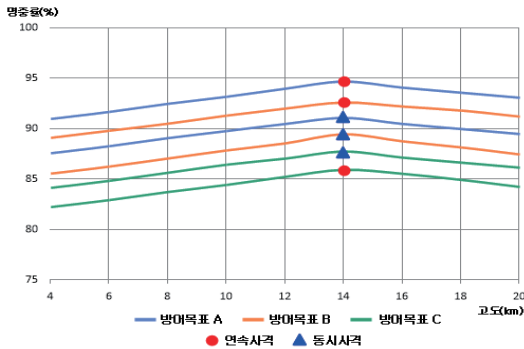
탄도미사일 사거리에 따른 명중률 종합 결과를 2차원 그래프로 정리하면 <그림 12>, <그림 13>, <그림 14>와 같다. x축은 요격고도, y축은 명중률을 의미한다. 명중률 평균은 ①방어목표 A 연속사격 ②방어목표 B 연속사격 ③방어목표 A 동시사격 ④방어목표 B 동시사격 ⑤방어목표 C 동시사격 ⑥방어목표 C 연속사격 순서로 높게 나타났으며 방공포대와 인접한 곳에 배치된 방어목표일수록 명중률이 높아지는 것을 확인할 수 있었다. 방공포대와 방어목표가 가까울수록 탄도탄과 지대공미사일은 정면으로 조우할 확률이 높아질 것이므로 명중률은 조우각에 영향을 받는 것으로 판단된다. 전 사거리(300/500/1,000km)에 대해서 방어목표 A와 B는 동시사격보다 연속사격의 명중률이 높게 나타났으나 방어목표 C는 연속사격보다 동시사격의 명중률이 높게 나타났다. 이를 토대로 방어목표와 방공포대 간 이격이 있을수록 연속사격보다 동시사격의 효율성이 높아지는 경

향을 확인할 수 있었다.

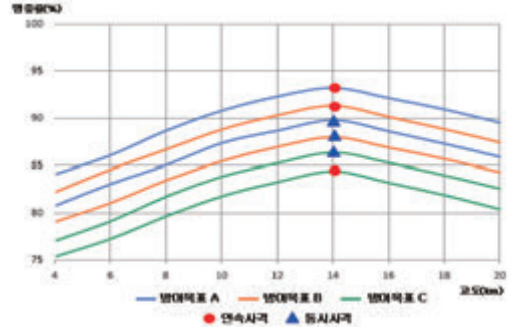
또한, 사거리에 따른 고도(2km 간격)별 명중률의 평균편차는 300km(0.56), 500km(0.62)에 비해 1,000km(1.95)에서 상대적으로 높게 나타났으며, 특히 사거리 1,000km 고도 8km 이하 구간의 명중률 평균편차는 2.34로 눈에 띄게 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 이는 탄도미사일 종말단계의 짧은 비행시간과 하강 상태 최고 속도가 영향을 미친 것으로 판단된다. 따라서 미사일방어 작전 시 500km 이상의 사거리를 가진 탄도미사일(스커드-ER 이상급)에 대해서는 선제적 대응을 통한 조기 교전이 필수적일 것이다.



<그림 12> 사거리 300km 탄도탄 명중률 결과



<그림 13> 사거리 500km 탄도탄 명중률 결과



<그림 14> 사거리 1,000km 탄도탄 명중률 결과

3. 결론

본 연구는 지속적으로 증가하는 북한의 탄도미사일 위협에 대응하여 미사일방어 명중률을 분석하고 그에 따른 탄도탄 교전 특성 및 방어목표와 방공포대 이격거리에 따른 사격방법의 특성을 찾고자 하였다. 미사일방어 관련 연구들을 살펴본 결과 최적 배치방안, 요격 미사일 운용방안, 교전 & 무장할당 계획 등의 주제로 연구들이 진행되었으며 대부분 알고리즘, 수리모형을 활용한 방법론이 사용되었다. 이에 기존 미사일방어 연구에서 시도하지 않았던 ABM기법의 시뮬레이션을 활용하여 객체로 적용 가능한 변수들을 설계하고 실험을 진행하였다. 시뮬레이션 결과 명중률과 관련하여 탄도미사일의 교전 특성과 방공포대 배치에 따른 적절한 사격방법의 운용을 확인할 수 있었다.

연구결과 미사일방어 시 명중률이 높게 나타나는 적정 요격구간을 파악할 수 있었으며, 방어목표와 방공포대 간 거리가 이격될수록 동시사격의 명중률이 높아지는 경향을 확인할 수 있었다. 또한, 사거리 500km 이상 탄도탄에 대해서는 요격고도가 명중률에 큰 영향을 미치므로 선제적

대응을 통한 조기교전이 필수적임을 확인하였다. 이를 미사일방어 운용교리 및 교범에 적용한다면 방공포대 배치에 따른 적절한 사격방법 확립 및 작전계획 수립에 기여할 수 있을 것이다. 한 번의 교전기회가 전장의 승패를 좌우할 수 있는 미사일방어 작전에서 한정된 수량의 지대공미사일 자산을 효율적으로 배분함은 물론 효과적인 사격방법 운용의 의사결정에 도움이 될 것이다. 또한, 2025년 시행 예정인 탄도탄 사격대회 계획수립 시 실전적 훈련이 진행될 수 있도록 표적과 방어목표 운영 및 사격방법의 운용 등에 대한 참고자료로 활용이 가능할 것이라 기대한다.

향후 본 연구에서 가정사항에 두었던 변수들을 추가하고 위계임, 정보분석 데이터, 연합연습 등으로 축적된 데이터를 활용한 시뮬레이션을 구성한다면 실제 전장에 더 가까운 결과를 도출할 수 있을 것이다. 특히 적 공격전력으로 스커드 미사일보다 어려운 비행특성을 갖는 순항미사일, KN-23 등의 객체를 모델에서 구현할 수 있다면 더욱 현실적이고 활용가치가 높은 연구가 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 뉴스타운(2020. 3. 9.), “北 600mm 방사포는 대남용” <http://www.newstown.co.kr/news/articleView.html?idxno=448547> (검색일: '22. 9. 21.)
- [2] 김미연, “미래핵심 위협을 고려한 북한의 핵미사일능력분석 및 전망”, 국방대학교 석사학위논문, 2015.
- [3] 국방부, 『2020 국방백서』
- [4] 최규철, “한국형 탄도미사일 방어체계(KAMD) 발전방안 연구”, 국방대학교 합동참모대학 연구논문, 2017.
- [5] 오복진, “북한의 핵 및 미사일 위협에 대한 효과적인 대응방안”, 국방대학교 안보과정 정책연구보고서, 2016.
- [6] 김지원, 권용수, “비행경로각 조정에 의한 중거리 탄도미사일의 비행궤적 특성 해석”, 2015.
- [7] 권용수, “탄도미사일의 비행궤적 특성 해석”, 2006.
- [8] 이재영, 광기훈, “북합-휴리스틱 알고리즘을 이용한 지대공 유도무기 최적배치 방안 : 탄도미사일방어를 중심으로”, 2008.
- [9] 이춘주, 최상영, “무기체계 분석론 수업교재”, 국방대학교 관리대학원, 2021.
- [10] 공군교범 3-13, “유도탄 작전”, 2016.
- [11] 공군교범 3-6-1, “방공유도탄 전술”, 2018.
- [12] 이현호, “Anylogic 3일 만에 끝내기”, 북코리아, 2019.
- [13] 이재영 등 5명 “애니로직 시뮬레이션을 이용한 무인지상차량 운용성능과 전투효과의 연관성 분석”, 2015.
- [14] 권용수, “탄도미사일의 비행궤적 특성 해석”, 2006.
- [15] 김탁곤, “국방 모델링 시뮬레이션”, 2018.
- [16] Xavier Estadlla Valls. “Simulation study of different yard and crane side operations at a container termina”, Technical University of Denmark - management engineering master thesis, 2018.

저 자 소 개



남기봉(E-mail: ok210609@naver.com)

현재 국방대학교 무기체계전공 석사과정
관심분야 : 지대공유도무기(SAM), ABM



이춘주(E-mail: sarang90@korea.kr)

1991 육군사관학교 졸업(이학사)
1997 미국 UC Berkeley 핵공학 석사
2005 KDI 국제정책대학원 정책학 석사
2006 서울대학교 기술정책학 박사
현재 국방대학교 무기체계전공 교수
관심분야 : 기술정책, 국방로봇(무인전력),
방위산업정책, 생산성분석,
핵심인프라보호

