

탄도미사일 하층 방어 수행을 위한 발사대 배치 효과도 분석

An Effectiveness Analysis of Anti-Ballistic Missile Launcher Arrangement for the Lower Tier Defense against the Ballistic Missile

권혁훈* 이범석* 김윤환* 최관범*
 Hyuck-Hoon Kwon Bum-Seok Lee Yoon-Hwan Kim Kwan-Bum Choi

ABSTRACT

For a lower tier defense, the distance between a launcher and an engagement control station is quite important to estimate the proper defense area and to effectively arrange missile launchers. In this paper, we have analyzed an effectiveness of anti-ballistic missile launcher arrangement for the lower tier defense against the ballistic missile. The operation concept, specific configuration and aerodynamic characteristics of the ballistic missile such as SCUD-B/C, Nodong are considered in order to develop a realistic engagement simulation. The diverse engagement results through numerical simulations are provided to conduct the effectiveness analysis of anti-ballistic missiles.

Keywords : Ballistic Missile(탄도미사일), Anti-Ballistic Missile(탄도미사일 요격미사일), Launcher Arrangement(발사대 배치), Lower Tier Defense(하층 방어), Missile Defense(미사일 방어)

1. 서론

최근 많은 나라에서 미사일 방어 체제(MD : Missile Defense) 구축이 주요 군사적 쟁점이 되고 있으며, 국내에서도 미국 주도의 미사일 방어 체제에 대한 협력 여부가 현재까지 협의 중에 있다. 미사일 방어 체제의 주표적인 탄도미사일(Ballistic Missile)은 레이더반사면적(RCS : Radar Cross Section)이 작고 속도가 매우 빠르며 레이더 탐지 및 추적이 어렵기 때문에 단시간 내에 정확하게 요격하기 어렵다. 또한, 이동식 또는 고정식 발사대를 사용하여 은폐나 위장이 용이하며, 동일

한 파괴력을 가진 다른 무기들과 비교하여 경제적이기 때문에^[1,2] 효과적인 미사일 방어 체제를 구축하기는 쉽지 않다.

주 위협국인 북한은 1970년대부터 중국, 소련 등과 협력하여 미사일 기술을 축적해오고 있으며, 노동미사일, 대포동미사일 등을 자체적으로 개발하며 탄도미사일 사거리와 성능을 개선하고 있다. 또한, 한반도를 직접적인 사정권에 두고 있는 SCUD-B/C 미사일을 자체 생산하며 약 600여기를 보유하고 있는 것으로 알려져 있다^[2]. 탄도미사일의 방어는 방어 고도에 따라 중간경로 방어를 수행하는 상층 방어와 종말단계 방어를 수행하는 하층 방어로 나눌 수 있는데, 작전 중심이 짧은 한반도의 경우에는 대략 1분에서 5분 이내에 탄도미사일이 요격지역에 도달하기 때문에 하층방어 수행능력이 중점적으로 요구된다^[2,3].

† 2013년 6월 7일 접수~2013년 8월 16일 게재승인

* LIG 넥스원(LIG Nex1)

책임저자 : 권혁훈(hhkwon22@lignex1.com)

지금까지의 탄도미사일 하층방어 수행능력에 대한 연구는 탄도미사일의 비행궤적을 모사하고 비행특성을 분석하여^[4] 표적탐지거리에 대한 요격고도나 전방 풋프린트를 도출하거나^[3], 교전에 필요한 요격미사일의 소요를 산정하는 알고리즘을 제시하는^[5] 등 주로 탄도미사일의 비행성능과 관련되어 수행되어 왔다. 본 연구에서는 탄도미사일 요격미사일의 운용개념을 기반으로 탄도미사일과 요격미사일의 교전 시뮬레이션을 수행하여 요격미사일 속도에 따른 교전 결과를 분석하였다. 또한, 교전통제소와 요격미사일 발사대 간의 배치 거리에 대한 방어 체계 효과도를 분석하여 지역 공격용으로 사용되는 탄도미사일에 대한 유효 방어 영역을 도출하였다.

2. 탄도미사일 비행궤적 분석

탄도미사일 하층 방어를 위한 시뮬레이션을 수행하기 위해서는 우선 탄도미사일에 대한 비행궤적을 모사하는 것이 필요하다. 사거리가 짧은 전술 유도무기와 달리 탄도미사일은 상당히 긴 사거리를 갖기 때문에 지구 모델을 고려하여 운동방정식을 유도해야 한다. 본 절에서는 북한군이 보유하고 있는 주요 탄도미사일인 SCUD-B/C 미사일 및 노동 미사일을 대상으로 탄도미사일 비행궤적을 분석하였다.

가. 운동방정식

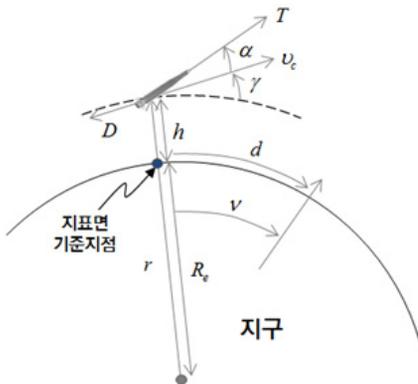


Fig. 1. 탄도미사일 모델

지구 모델을 고려한 탄도미사일은 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다^[6]. 여기서, 탄도미사일은 질점으로 간주

되며, 동체에 작용하는 주요 힘들은 추력, 항력, 양력, 중력이다. 또한, 지구는 완전한 구로 간주하였고, 공력과 자전에 의한 영향을 고려하지 않았다.

탄도미사일의 속도, 경로각, 위치, 그리고 무게에 대한 운동방정식은 식 (1)에서 식 (5)의 미분방정식으로 기술된다^[6].

$$\dot{v}_c = -g_e \frac{R_e^2 \sin(\gamma)}{r^2} - \frac{D}{m} + \frac{T \cos(\alpha)}{m} \quad (1)$$

$$\dot{\gamma} = -g_e \frac{R_e^2 \cos(\gamma)}{v_c r^2} + \frac{v_c \cos(\gamma)}{r} + \frac{L + T \sin(\alpha)}{v_c m} \quad (2)$$

$$\dot{v} = v_c \frac{\cos(\gamma)}{r} \quad (3)$$

$$\dot{h} = v_c \sin(\gamma) \quad (4)$$

$$\dot{m} = -\frac{T}{I_{sp}} \quad (5)$$

위 식들에서 사용된 변수 및 상수들은 다음과 같다.

| | |
|-----------------|--|
| v_c | : 속도(m/s) |
| γ | : 경로각(rad) |
| d | : 지표면 이동 거리(m) |
| $v (= d / R_e)$ | : 지표면 이동 위도(rad) |
| r | : 지구 중심부터 거리(m) |
| h | : 지표면으로부터 고도(m) |
| m | : 질량(kg) |
| α | : 받음각(rad) |
| I_{sp} | : 추진제 비추력(sec) |
| T | : 추진제 추력(N) |
| D | : 항력(N) |
| L | : 양력(N) |
| R_e | : 지구 반지름(m) |
| g_e | : 중력 상수($N \cdot m^2 \cdot kg^{-2}$) |

본 연구에서는 전체 비행 구간에서 탄도미사일의 받음각이 작다고 가정하고 탄도미사일이 받는 양력은 고려하지 않았다.

나. 운용로직

탄도미사일은 일반적으로 부스트 단계와 자유 비행 단계로 구분할 수 있고, 부스트 단계는 세부적으로 수직 상승 단계와 선회 단계로 나누어진다^[3]. 본 연구에서는 수직 상승 단계에서는 경로각 90°로 비행하며, 선회 단계에서는 다음 식과 같이 경로각이 선형적으로 변화한다고 가정하였다.

$$\gamma = 90^\circ - \frac{(t-t_i)}{(t_f-t_i)}\gamma_p, \quad t_i \leq t \leq t_f \quad (6)$$

여기서 t_i 와 t_f 는 각각 프로그램 선회의 시작 및 종료 시간을 나타내고, γ_p 는 프로그램 선회의 선회각을 의미한다. 탄도미사일의 프로그램 선회 단계가 종료되면 자유 비행 단계로 진입하게 된다.

다. 형상 및 공력특성 분석

탄도미사일의 비행궤적을 적절하게 모사하기 위해서는 탄도미사일의 양력 및 항력을 적절하게 산출하는 것이 필요하다. 일반적으로 미사일의 공력을 계산하기 위해서는 반경험적 방법(Semi-Empirical Method), 선형 이론(Linear Theory), CFD 기법 등을 사용하는데, 본 연구에서는 반경험적 방법 기반 프로그램인 AP 09^[7,8]를 이용하여 공력 계수를 산출하였다.

탄도미사일의 형상은 SCUD-B/C 미사일과 노동 미사일 형상 등을 토대로 다음 Fig. 2와 같은 일반적인 탄도미사일 형상을 가정하여 사용하였다.



Fig. 2. 탄도미사일 형상

대상 탄도미사일 제원은 다음 Table 1과 같다^[3].

Table 1. 대상 탄도미사일 제원

| 미사일 종류 | 사거리 (km) | 무게 (kg) | 길이 (m) | 직경 (m) | 반원추각 (°) |
|--------|-----------|---------|--------|--------|----------|
| SCUD-B | 340 | 5,870 | 11.25 | 0.88 | 10 |
| SCUD-C | 500~600 | 6,090 | 12.25 | 0.88 | 10 |
| 노동 | 1000~1300 | 20,000 | 15.20 | 1.30 | 18 |

꼬리 날개의 에어포일은 더블웨지(Double-Wedge)로 가정하였으며, 꼬리 날개 길이는 SCUD-B/C 및 노동 미사일 형상에 기초하여 유추하였다.

다음 Fig. 3과 Fig. 4는 각각 SCUD-B/C와 노동 미사일에 대한 항력 계수를 나타낸다.

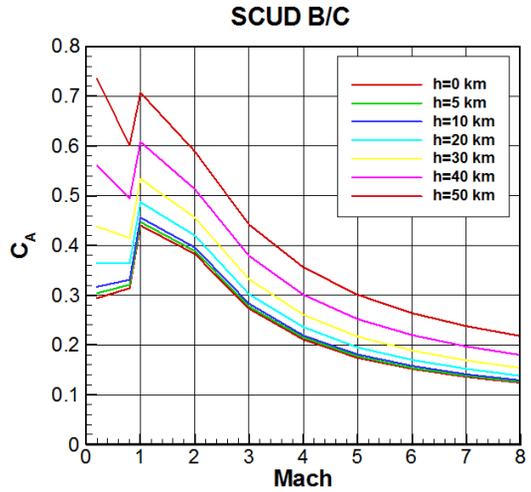


Fig. 3. SCUD-B/C 미사일 항력계수

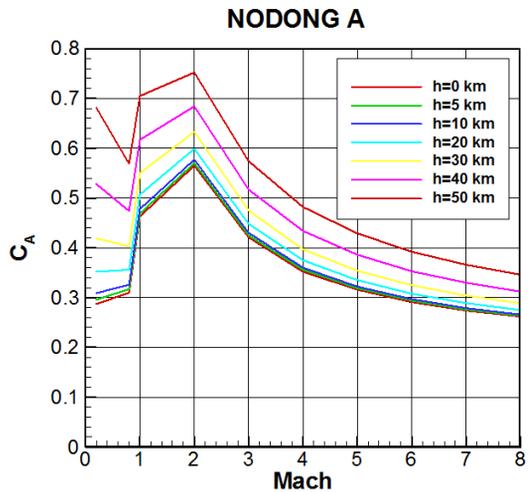


Fig. 4. 노동 미사일 항력계수

탄도미사일의 항력계수가 마하수와 고도에 따라 크게 변하는 것을 알 수 있는데, 특히 SCUD-B/C 미사일은 마하 1에서 노동 미사일은 마하 2에서 크게 증가하는 것을 알 수 있다.

극초음속에서 반경험적 기법은 많은 오차를 발생할

가능성이 있지만, 추가적인 풍동시험을 수행하지 않는 이상 유도탄의 교전 효과도를 수행하는 데에는 충분한 정보라고 판단된다.

라. 비행궤적 산출 및 분석

탄도미사일의 사거리 조정 방법에는 다양한 방법이 존재하는데, 본 연구에서는 연소종료 시의 경로각을 조절하여 사거리를 변경하는 오버로프트(Over-Lofted) 방법을 적용하였다⁴⁾. 또한, 높은 고도에서의 비행궤적을 적절하게 모사하기 위해서는 지구 대기 모델을 고려해야 하는데, 본 시뮬레이션에서는 다음 Fig. 5와 같은 US Standard Atmosphere 1976 모델⁹⁾을 기반으로 고도에 따른 음속과 공기밀도를 산출하였다.

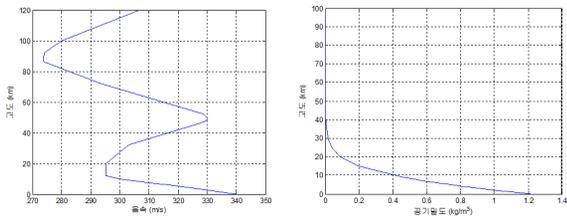


Fig. 5. 고도에 따른 음속 및 공기밀도 변화

다음 Fig. 6과 Fig. 7은 각각 사거리 300km와 사거리 500km에 대한 SCUD-B/C 및 노동미사일의 비행궤적을 나타낸다.

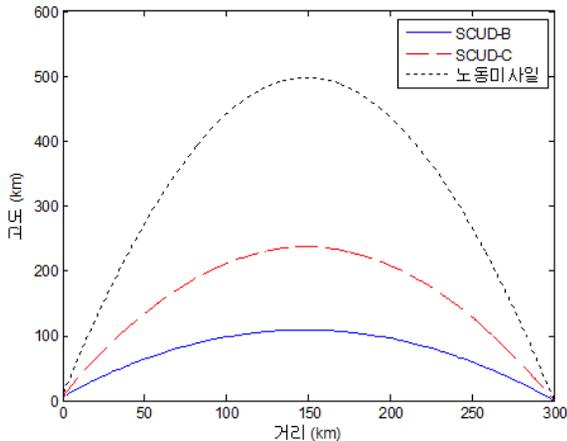


Fig. 6. 사거리 300km 비행궤적

최대사거리가 1000km 이상인 노동미사일의 경우에는 사거리 300km나 500km를 비행하기 위해서 위의

그림에서 보는 것과 같이 SCUD-B/C 미사일보다 높은 각도로 조절하여 비행함을 확인할 수 있다.

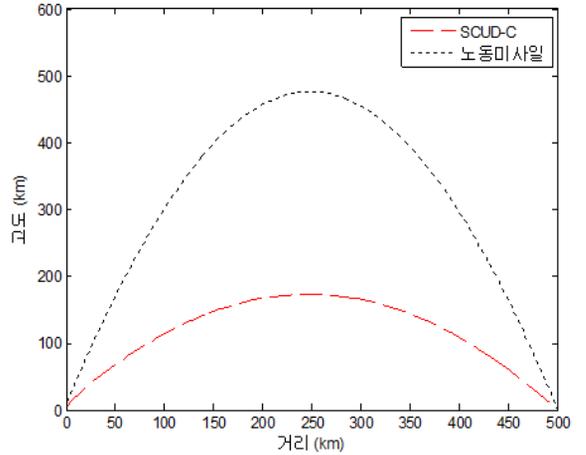


Fig. 7. 사거리 500km 비행궤적

다음 Fig. 8은 사거리 300km에 대한 대상 탄도미사일의 속도를 비교한 결과인데, 최대 사거리가 길수록 종말 속도가 증가하는 것을 볼 수 있다. 노동미사일의 경우에는 종말에서 최대 약 3km/s까지 속도가 증가하는데, 이는 SCUD-B의 종말 속도의 약 2배에 해당한다. 또한, 탄도미사일은 종말 단계에서 대기권에 진입하며 대기의 항력으로 인하여 속도가 줄어드는데, Fig. 8에서 보듯이 탄도미사일의 종말 속도가 빠를수록 속도 변화가 크기 때문에 보다 정밀한 제어가 가능한 요격미사일이 요구될 것으로 판단된다.

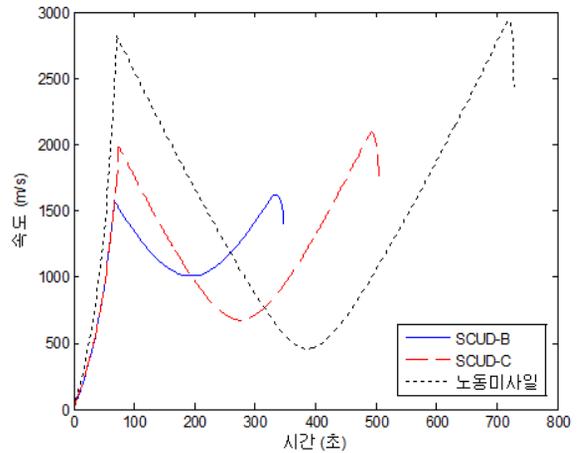


Fig. 8. 사거리 300km 비행속도

3. 탄도미사일 요격미사일 비행궤적 분석

본 절에서는 탄도미사일 요격미사일의 비행궤적을 모사하기 위하여 탄도미사일 요격미사일의 교전 시나리오 및 운용개념을 살펴보았다. 또한, 다음 절에서 수행할 탄도미사일 요격미사일의 효과도 분석을 위해서 복잡한 유도탄 운용단계를 적절한 가정을 통하여 간략화하고 비행궤적을 산출하였다.

가. 운용개념

탄도미사일에 대한 전체적인 교전 시나리오는 다음 Fig. 9와 같다. 표적 탄도미사일이 발사되어 조기경보가 발생하고 탄도미사일의 항적정보가 보고되면, 작전 통제소에서 표적을 탐지하고 분류한다. 그 후 표적의 식별이 완료되면 다기능레이더에서 표적 탄도미사일의 추적을 시작하고 다기능레이더와 연계된 교전통제소에서는 요격에 적절한 발사대를 선정하여 탄도미사일 요격미사일을 발사하게 된다.

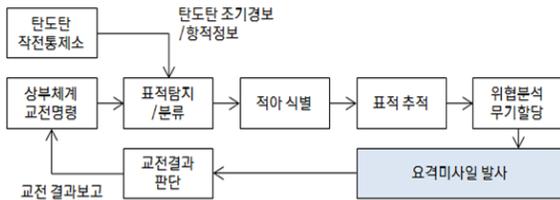


Fig. 9. 요격미사일 교전 시나리오

탄도미사일 요격미사일은 교전통제소의 교전 명령이 인가되면 발사되는데, 비행 단계는 Fig. 10과 같이 크게 4단계로 운용된다.



Fig. 10. 탄도미사일 요격미사일 운용개념

요격미사일은 발사대에서 수직 발사한 후, 일정 고도에서 선회하여 관성유도를 수행한다. 그 후 교전통제소로부터 유도명령을 수신하여 요격 지점을 향해 비행하고 최종적으로 탐색기가 표적을 고착(Lock-On)하면 호밍유도로 전환하여 표적을 격추한다.

나. 비행궤적 산출 및 분석

하층 방어를 수행하는 탄도미사일 요격미사일의 효과도 분석을 수행하기 위해서 앞 절에서 기술한 운영개념을 적절한 가정을 통하여 간략화하였다. 우선, 탄도미사일 요격미사일의 비행시간, 사거리 및 속도가 탄도미사일에 비하여 매우 작기 때문에, 탄도미사일 요격미사일의 속도와 선회각속도를 일정하다고 가정하고 양력, 항력, 추력 등의 힘들을 고려하지 않았다. 또한, 요격미사일은 수직발사 후 선회 기동을 하며 예측 요격지점으로 비행하게 되는데, 본 시뮬레이션에서는 요격미사일이 수직발사 후, 비례항법유도(PNG : Proportional Navigation Guidance)유도를 통하여 요격을 수행한다고 가정하였다.

요격미사일은 일반적으로 탄도미사일에 비해 속도가 느리기 때문에 속도에 따라 요격고도의 차이가 크게 발생한다. 이는 교전 효과도 분석에 있어 주요한 구속 조건으로 작용하기 때문에 속도에 따른 요격미사일의 비행궤적을 살펴볼 필요가 있다. 다음 Fig. 11은 속도에 따른 탄도미사일 요격미사일의 비행궤적을 나타낸 결과이다.

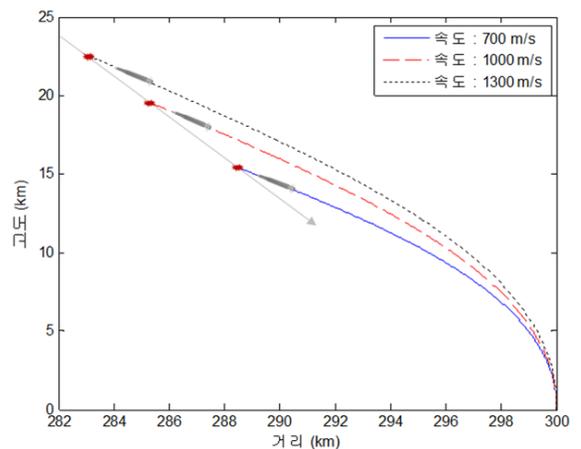


Fig. 11. 탄도미사일 요격미사일 비행궤적

4. 교전 시뮬레이션

본 절에서는 앞에서 수행한 탄도미사일과 탄도미사일 요격미사일에 대한 비행 시뮬레이션을 통합하여 상호 교전 시뮬레이션을 수행하였다. 다음 Fig. 12는 사거리 300km일 때, SCUD-B와 1000m/s의 속도로 비행하는 요격미사일의 교전 결과를 나타내는데, 일반적인 탄도미사일과 요격미사일의 교전 시뮬레이션 결과를 나타낸다.

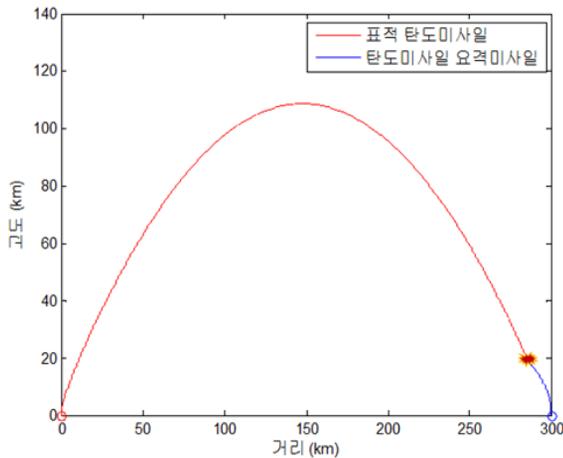


Fig. 12. 탄도미사일 교전 시뮬레이션 결과

본 연구에서 고려하고 있는 탄도미사일에 대한 하층방어는 일반적으로 고도 40km 내에서 이루어지며, 탄두의 대류권 진입을 방지하기 위해서 대류권 밖에서 수행되어야 한다³⁾. 탄도미사일 요격고도는 크게 다기능레이더의 탐지거리, 위협분석 및 무기할당 시간, 그리고 요격미사일의 속도에 의해 영향을 받는데, 이를 고려하여 유효 요격고도에서 요격이 가능한 탄도미사일 요격미사일을 배치하는 것이 요구된다.

본 시뮬레이션에서는 위협 가능한 표적 탄도미사일을 SCUD-B/C 및 노동미사일로 가정하고, 유효 요격고도는 각각 10km, 12km, 14km 이상으로 선정하였다. 또한, 다기능레이더 탐지거리와 위협분석 및 무기할당 시간을 각각 00km, 00초로 가정하고 다양한 요격미사일 속도에 대한 교전 시뮬레이션을 수행하였다. 다음 Fig. 13은 SCUD-B/C 및 노동미사일에 대하여 탄도미사일 요격미사일 속도에 따른 요격고도를 산출한 결과를 나타낸다.

Fig. 13에서 볼 수 있듯이 표적 탄도미사일의 종말

속도가 높을수록 동일한 속도의 요격미사일에 대하여 더 낮은 고도에서 요격됨을 확인할 수 있다. 다음 Table 2는 유효 요격고도와 대상 탄도미사일에 따른 요격미사일 속도 요구조건을 나타내는데, 요격고도가 높을수록 또는 탄도미사일의 종말속도가 높을수록 더 빠른 속도의 요격미사일이 요구됨을 알 수 있다. 한반도의 짧은 작전 중심을 고려하여 SCUD-B/C를 위협 가능한 탄도미사일로 판단하고 유효 요격고도를 14km 이상으로 선정할 경우, 약 927m/s 이상의 평균 속도를 지닌 탄도미사일 요격미사일의 배치가 요구된다.

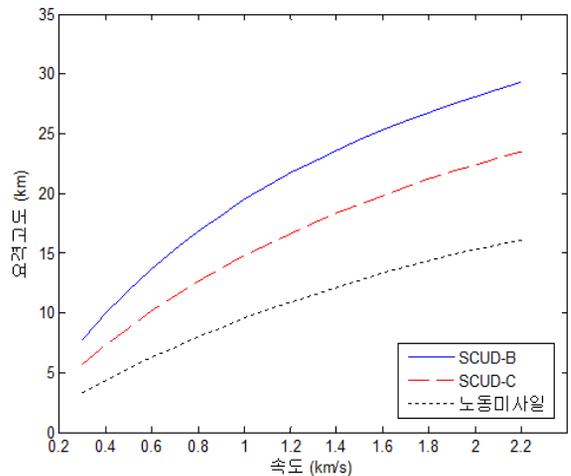


Fig. 13. 요격미사일 속도에 따른 요격고도

Table 2. 최소요격고도에 따른 속도 요구조건

| 미사일 종류 | 요격고도 10km | 요격고도 12km | 요격고도 14km |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| SCUD-B | 403m/s | 505m/s | 618m/s |
| SCUD-C | 590m/s | 749m/s | 927m/s |
| 노동 | 1066m/s | 1371m/s | 1725m/s |

5. 발사대 배치 효과도 분석

탄도미사일 요격미사일은 교전통제소로부터 유/무선 발사 명령을 수신한 후 발사를 수행하는데, 표적 탄도미사일로부터의 타격 피해를 최소화하기 위하여 일반적으로 발사대는 교전통제소로부터 일정 거리 떨어진 위치에 분산되어 배치한다. 또한, 발사대가 최대한 넓

은 거리에 떨어져 분산될수록 지역 방어 영역을 넓힐 수 있어 적은 수의 발사대로 효과적인 지역 방어가 가능해진다. 본 절에서는 다기능레이더 및 교전통제소로부터 발사대까지의 거리에 따른 교전 시뮬레이션을 수행하여 발사대 배치 효과도를 분석하였다.

다음 Fig. 14는 발사대 배치에 따라 SCUD-B의 요격고도를 나타낸 결과이다. 여기서, 다기능레이더 및 교전통제소는 탄도미사일 발사지점으로부터 220km 떨어진 곳에 위치한다고 가정하였고, 요격미사일 속도는 1000m/s로 간주하였다.

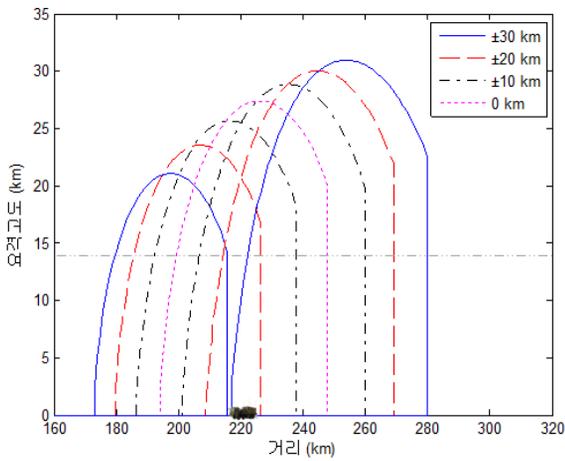


Fig. 14. 발사대 배치에 따른 요격고도 결과

탄도미사일의 요격고도를 살펴보면 발사대가 교전통제소 뒤쪽에 위치하는 것이 앞쪽에 위치하는 것보다 넓은 지역의 방어에 유리하다. 최소 유효 요격고도를 14km라고 가정할 경우, 교전통제소 약 30km 뒤쪽에 위치한 발사대에서는 약 53km를 방어하는 반면 교전통제소 약 30km 앞쪽에 위치한 발사대에서는 약 35km 정도만 방어하는 것으로 나타났다. 이는 다기능레이더 앞쪽으로 비행하는 탄도미사일의 탐지고도가 다기능레이더 뒤쪽으로 비행하는 탄도미사일의 탐지고도에 비해 더 낮기 때문인 것으로 판단된다. 본 시뮬레이션 결과를 살펴보면 사거리 190km인 SCUD-B 탄도미사일이 사거리 250km인 SCUD-B 탄도미사일에 비해 약 20km 낮은 고도에서 탐지되는 것으로 확인되었다.

다음 Fig. 15는 탄도미사일 종류에 따른 발사대 배치 효과도를 나타낸 결과이다. 대상 탄도미사일은 SCUD-B/C 및 노동 미사일이며, 다기능레이더 및 교

전통제소는 앞의 시뮬레이션과 동일하게 220km에 설정하였다. 또한, 요격미사일 속도는 1000m/s이고, 발사대 위치는 교전통제소 위치와 교전통제소로부터 앞뒤 30km 떨어진 위치에 배치되어 있다고 가정하였다.

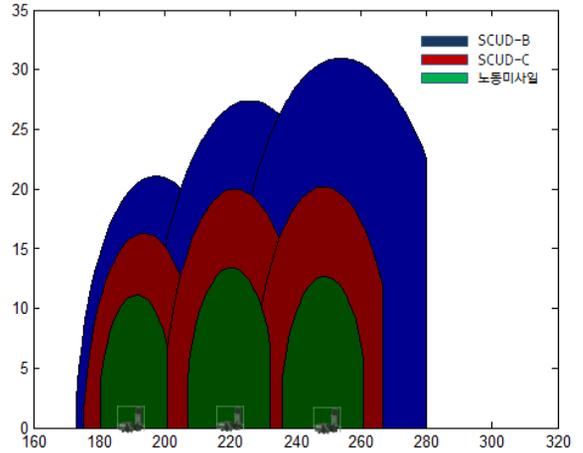


Fig. 15. 탄도미사일 종류에 따른 발사대 배치효과도

시뮬레이션 결과를 보면 탄도미사일의 종말속도가 빠를수록 지역 방어 영역이 좁아지는 것을 확인할 수 있다. 특히 종말속도가 가장 빠른 노동미사일은 30km 떨어진 곳에 발사대를 배치할 경우 중간 지역의 방어가 불가능하기 때문에 요격미사일의 성능을 증대시키거나 발사대 간격을 좁혀야 효과적인 방어 시스템을 구축할 수 있다. 다음 Fig. 16은 최소 요격고도에 따른 발사대 배치 가능 영역을 나타낸 결과이다.

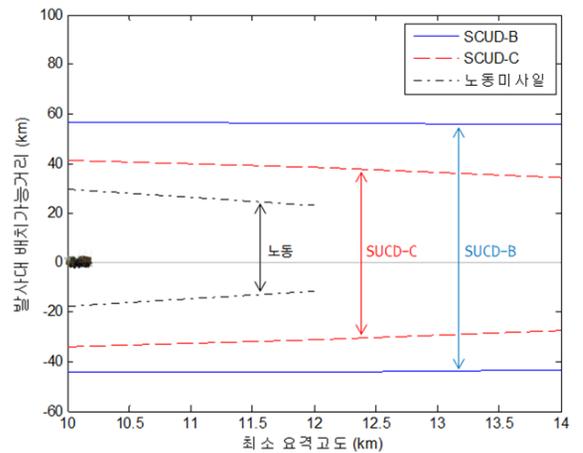


Fig. 16. 최소 요격고도에 따른 발사대 배치가능영역

위의 결과는 탄도미사일의 종말속도가 빠르거나 최소 요격고도가 높을수록 발사대 배치 가능 영역이 줄어드는 것을 나타낸다. 또한, 교전통제소 앞 쪽보다 뒤 쪽에서 발사대 배치 가능 영역이 보다 넓고, 최소 요격고도보다 표적 탄도미사일의 성능에 따라 크게 영향을 받는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 일반적으로 적의 표적 탄도미사일이 정해져 있고 발사대 수량이 한정된 상황을 고려하면, 지역 방어 영역을 넓히기 위해서는 교전통제소 위치를 방어 지역 앞 쪽에 선정하고 발사대를 뒤 쪽에 배치하는 것이 효과적이다.

한편, 지역 방어 영역을 넓히기 위한 다른 하나의 방안은 요격미사일의 성능을 증대시키는 것이다. 다음 Fig. 17은 SCUD-B 탄도미사일에 대하여 요격미사일 속도에 따른 발사대 배치 가능 거리를 최소 요격고도에 따라 나타낸 결과이다.

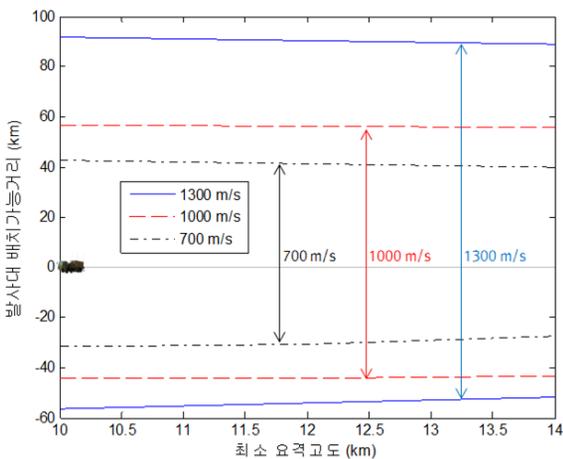


Fig. 17. 요격미사일속도에 따른 발사대배치가능영역

예상했던 것과 같이 요격미사일의 평균속도가 증가할수록 발사대 배치 가능 영역이 넓어지는 것을 확인할 수 있다. 특히, 교전통제소 뒤 쪽의 방어 가능 거리가 앞 쪽에 비하여 요격미사일 속도에 크게 영향을 받는 것으로 판단된다.

6. 결론

탄도미사일 하층 방어에 있어 발사대 배치는 아군의 피해를 최소화하고 방어를 효과적으로 하기 위한 주

요한 요소이기 때문에 미사일 방어 체계의 구축에 앞서 광범위하고 심도 있는 연구가 선행되어야 한다. 본 연구에서는 탄도미사일과 탄도미사일 요격미사일의 교전 시뮬레이션을 수행하여 탄도미사일 하층 방어 수행을 위한 발사대 배치 효과도를 분석하였다. 효과도 분석을 수행한 결과, 발사대는 교전통제소의 앞 쪽보다 뒤 쪽에서 보다 넓은 영역에 배치 가능하고, 표적 탄도미사일의 종말속도가 빠를수록 혹은 요격미사일의 속도가 느릴수록 배치 가능 영역이 줄어드는 것을 확인하였다. 본 논문에서 제시한 연구 결과는 표적 탄도미사일과 요격미사일의 성능, 그리고 최소 요격고도를 고려하여 주요 지역의 적절한 발사대 배치 영역을 도출하는데 유용하게 활용될 수 있다고 판단된다.

References

- [1] 황진하, “주변국 미사일위협 분석과 한국의 미사일 방어체계 구축에 관한 연구”, 2007년도 국정감사 정책연구보고서, 2007. 10.
- [2] 박휘락, “한국 미사일 방어에 관한 주요 쟁점 분석”, 국가전략, 제14권, 제1호, 2008.
- [3] 권용수, 김정희, 이경행, “성공적 하층 미사일방어 수행을 위한 시스템 요구능력 도출”, 한국국방경영분석학회지 제37권, 제2호, 2011. 6.
- [4] 권용수, 최봉석, “탄도미사일의 비행궤적 특성 해석”, 한국국방경영분석학회지 제32권, 제1호, 2006. 6.
- [5] 김홍섭, 김기태, 전건욱, “탄도미사일의 비행특성을 고려한 요격미사일 소요 알고리즘”, 한국군사기술학회지 제14권, 제6호, pp. 1009~1017, 2011. 12.
- [6] W. G. Wiesel, “Spaceflight Dynamics”, 2nd ed., McGraw-Hill Series in Aeronautical and Aerospace Engineering, 1997.
- [7] F. G. Moore, L. Y. Moore, “2009 Version of the Aeroprediction Code : AP09”, Journal of Spacecraft and Rockets, Vol. 45, No. 4, pp. 677~690. 2008.
- [8] F. G. Moore, L. Y. Moore, “Approximate Method to Calculate Nonlinear Rolling Moment due to Differential Fin Deflection”, Journal of Spacecraft and Rockets, Vol. 49, No. 2, pp. 250~260, 2012.
- [9] <http://www.engineeringtoolbox.com>