



Received: 2023/08/25
Revised: 2023/09/04
Accepted: 2023/09/22
Published: 2023/09/30

***Corresponding Author:**

Sung-Jin Cho

Division of Advanced Engineering, Prime College,
Korea National Open University
86 Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul, 03087, Korea
Tel: +82-2-3668-4218
E-mail: chosj@mail.knou.ac.kr

Abstract

탄도미사일 분야는 정책적 측면과 과학적 분석 측면으로 그 관심도가 매우 높은 분야이다. 과학적 분석 측면은 탄도궤적 예측, 작전효과 등 정량적 분석이 가능한 효과 수치를 산출하여 정책적 결정을 지원해 줄 수 있는 역할을 한다. 그중 하나로 본 연구는 탄도미사일 발사 시 발사위치를 추정하는 연구를 수행하였다. 발사위치를 추정하여 그 지점에 대한 우리의 가용 전력 집중을 통해 다음 탄도미사일을 발사할 플랫폼을 무력화할 수 있기 때문이다. 발사 플랫폼 중 고정식은 쉽게 위치를 알 수 있으나 지상 이동식발사대와 해상 SLBM 잠수함 같은 경우에는 탄도미사일 발사 시점이 위치를 신속하게 추정할 수 있는 기회이다. 이에 본 연구에서는 탄도미사일 비행특성을 고려한 발사위치 추정을 3가지 상황으로 구분하여 추정 절차를 제시하였다.

The field of ballistic missiles is highly interested in terms of policy and scientific analysis. In terms of scientific analysis, it plays a role in supporting policy decisions by calculating effect figures that can be quantitatively analyzed, such as ballistic trajectory prediction and operational effect. As one of them, this study conducted a study to estimate the launch location when launching a ballistic missile. This is because by estimating the launch location, our concentration of available power at that point can neutralize the platform for launching the next ballistic missile. The fixed location of the launch platform can be easily identified, but in the case of ground mobile launchers and sea SLBM submarines, the timing of the launch of the ballistic missile is an opportunity to quickly estimate the location. Accordingly, in this study, the estimation procedure was presented by dividing the estimation of the launch location into three situations considering the flight characteristics of ballistic missiles.

Keywords

탄도미사일(Ballistic Missile),
탄도궤적(Ballistic Trajectory),
발사위치 추정(Estimating Launch Point),
군사 운영분석(Military OR)

탄도미사일 비행 탐지정보에 기반한 발사위치 추정 연구

A Study on the Estimating Launch Location Based on Detection Information of Ballistic Missile Flight

조성진*

한국방송통신대학교 프라임칼리지 첨단공학부 전임대우강의교수

Sung-Jin Cho*

Full-time teaching professor, Division of Advanced Engineering,
Prime College, Korea National Open University

1. 서론

탄도미사일 분야는 정책적 측면과 과학적 분석 측면으로 그 관심도가 매우 높은 분야이다. 정책적 측면 분석은 정세와 과거 역사를 바탕으로 의사결정자들의 행동을 예측하거나 동향, 추이 등을 정성적 평가·서술하여 타당성을 제시하는 연구 특성이 있다. 반면 과학적 분석 측면은 정성적 결정이나 의사결정자들의 행동을 예측하기보다는 탄도궤적 예측, 요격성공 등 정량적 분석이 가능한 효과 수치를 산출하여 정책적 결정을 지원해 줄 수 있는 역할을 한다. 특히 Kill Chain, KAMD(Fig. 1 참조) 등은 국방에서 탄도미사일 위협 대응을 위한 주요 추진사항[1]이며 과학적 분석이 가능한 주제로는 요격자산 배치, 요격 성공률, 요격 소요량, 방어가능지역 산출 등 다양한 분석 소요가 있다. 추가하여 위협대응 방안 중 탄도미사일 발사위치를 신속하게 알 수 있다면 대화력전과 같은 상황에서 위협전력 제거에 크게 기여할 수 있을 것이다.



Fig. 1. 탄도미사일 관련 연구응용 가능 분야[1]

탄도미사일 발사 위치 추정은 신속하게 실시간으로 이루어져야 의미가 있다. 발사위치를 추정하여 그 지점에 우리의 가용 전력을 집중함으로써 다음 탄도미사일 발사 플랫폼을 무력화할 수 있기 때문이다. 발사 플랫폼 중 고정식은 평소 정보수집을 바탕으로 쉽게 위치를 알 수 있으나 지상의 이동식발사대와 해상의 SLBM 잠수함 같은 경우는 탄도미사일 발사 시점이 위치를 신속하게 추정할 수 있는 기회이다. 탄도미사일 탐지가 가능한 레이더를 이용하여 실시간 접촉 정보를 바탕으로 발사지점을 역추적하는 방법은 이미 대포병레이더에서도 활용되고 있지만 탄도미사일과 포탄의 비행특성이 다르기 때문에 바로 활용하는 것은 제한된다. 이에 본 연구에서는 탄도미사일 비행특성을 고려한 발사 위치 추정을 3가지 탐지 상황으로 구분하여 추정절차를 제시하고자 한다.

2. 탄도미사일 관련 연구

탄도미사일과 관련한 연구들은 꾸준히 발표되고 있으며 다양한 주제들이 연구되고 있다.

먼저 탄도미사일의 비행 특성에 대한 연구로 추진체 특성과 발사방법에 따른, 즉 저각·정상·고각발사에 따른 비행궤적 특성, 발사부터 정점고도·탄착까지의 속도 변화 등을 다룬 연구이다[2-4]. 두 번째는 탄도미사일 방어를 다룬 연구이다. 방어체계 구축을 위한 고려사항, 방어가능영역 산출, 다층방어체계 구축 등 다양한 연구가 수행되고 있다[5-7]. 세 번째는 탄도미사일의 추적과 관련된 연구로 Fridling[8]의 연구는 탄도미사일 방어를 위한 표적 추적 알고리즘을 다양하게 다루고 있다. 네 번째는 탄도미사일 발사위치를 추정하는 연구로서 Li et al.[9]의 연구가 있으며 위성 등 수동적 센서에 의한 정보를 바탕으로 수학적 방법을 활용한 방법을 제시하였다.

3. 탄도미사일 발사위치 추정 연구

3.1 탄도미사일 비행 특성

탄도미사일은 Fig. 2와 같이 기본적으로 포물선 형태의 곡선을 그리며 비행한다. 이러한 탄도비행 궤적을 공학적으로 분석하는 것이 탄도미사일에 대한 연구의 시작점이다. 이 탄도비행의 특성을 모델링하여 구현

한다면 다양한 추진속도와 비행각도에 따른 탄도비행 특성을 연구할 수 있다. 특히 북한의 고각 발사 탄도미사일의 비행 거리를 바탕으로 정상각도 발사 시 최대 비행 거리를 추정하는 것도 가능하다. 또한 역 탄도궤적 추정을 통하여 발사위치 근사 추정도 가능하다.

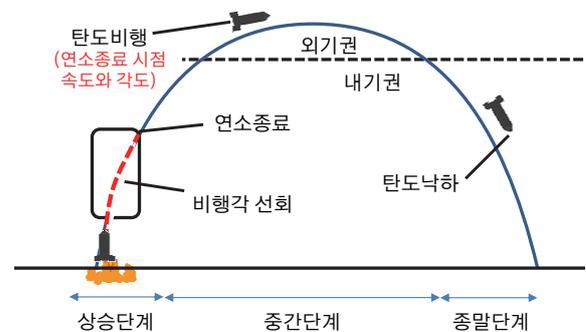
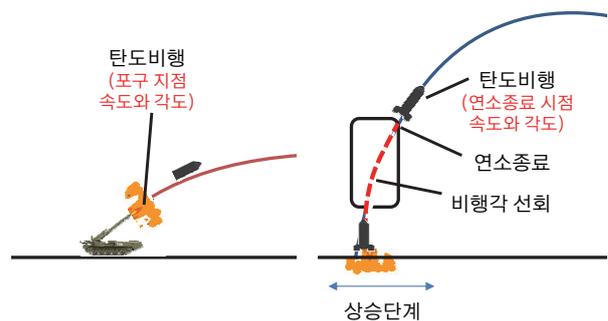


Fig. 2. 탄도미사일 비행단계 구분

3.2 일반 포탄 비행과의 차이점

대화력전에서 중요한 부분은 대포병레이더에 의한 적 화력의 사격위치 추정이다. 대포병레이더는 탄도미사일 탐지레이더와 같은 방식의 위상배열레이더 형태이다. 즉 탐지한 표적의 위치를 지속적으로 추적할 수 있다. 일정 시간 간격으로 접촉된 포탄의 비행위치를 계산하여 비행속력과 비행각을 산출하고 이를 바탕으로 탄도를 역추정함으로써 예상 사격위치를 산출한다. Fig. 3는 포탄과 탄도미사일의 비행특성 차이를 보여주고 있다.



(a) 일반적 포탄 비행 (b) 탄도미사일 비행

Fig. 3. 일반적 포탄 비행과 탄도미사일 비행 차이

일반 포탄과 같은 탄도의 경우 탄도궤적을 역으로 계산하면 지면과 닿는 지점이 사격지점이 되므로 위치 추정이 용이하다. 반면 탄도미사일은 일반적으로 수직

으로 발사되어 비행각 선회 후 연소가 종료되는 시점에서 속도와 비행각에 따라 나머지 탄도비행 특성을 추정할 수 있다. 그러므로 탄도미사일 상승단계 탐지정보를 바탕으로 하는 탄종 추정은 제한되나 레이더 탐지 접촉 고도가 낮을수록 위치 추정의 정확도는 높아진다. 그렇지만 탐지레이더는 지구곡면과 주변 산악지형 등으로 인하여 발사 초기 탐지가 매우 제한되며, Table 1은 레이더 고각이 수평이라는 가정하에 발사위치 거리에 대한 최초 탐지 가능 고도를 나타낸 것이다.

Table 1. 발사위치 거리에 따른 레이더 탐지고도

거리 (km)	탐지 가능 고도 (km)
300	7.1
400	12.6
500	19.7
600	28.4
700	38.7

3.3 탄도미사일 탐지 시점별 고찰

일반적으로 탄도미사일은 수직 발사되며 설정된 비행각으로 선회한 후 연소가 종료될 때까지 자체 추진에 의해 상승한다. 연소 종료 후에는 속도와 비행각에 의한 물리적 탄도궤적을 그리며 비행한 후 지구 중력에 의해 낙하하면서 목표지점을 타격한다. 레이더에 의한 탐지는 탄도미사일 상승단계에서 이루어지지만 지구 곡면과 주변 지형의 영향으로 발사지점부터의 탐지는 거의 불가능하다.

Table 2는 상승 상태에 있는 탄도미사일의 탐지 시점별 발사위치 추정을 위한 분석 개념을 나타낸 것이다.

Table 2. 탐지 시점별 위치 추정 개념

발사 과정	탐지 시점	위치 추정 개념
	① 수직 상승	탐지 지점이 곧 발사위치 지점
	② 비행각으로 선회 중	선회 각 속도를 측정하여 수직시점 역추정
	③ 선회 완료	연소 종료 시점 정보를 바탕으로 역궤도 산출

추가하여 탄도미사일이 비행각 선회 완료 후 연소종료 상태인지 여부도 중요한 고려 요소이다. 연소종료 시점이 최고 속도이며 이때의 속도와 비행각으로 발사위치를 역추적할 수 있는 정보가 되기 때문이다.

3.4 탄도미사일 위치 추정 알고리즘

본 연구의 목적은 레이더를 통한 실시간 탄도미사일 비행 탐지정보를 바탕으로 발사위치를 추정하는 방법론 제시이다. Fig. 4는 발사위치 추정을 위한 알고리즘 흐름도이며, 발사된 탄도미사일 탐지 시점에서 3가지 비행 상태별로 적합한 위치 추정 개념을 활용하여 알고리즘을 연구하였다.

3.5 탄도 접촉 정보를 바탕으로 역궤도 계산

탄도의 물리적 궤도 추정은 식 (1)을 응용하여 계산한다. 탄도의 비행은 3차원이지만 비행하는 방향으로 직진하기 때문에 2차원 평면으로 표현 가능하다.

$$\begin{aligned}
 x &= v_0 \cos \theta t \\
 y &= v_0 \sin \theta t - \frac{1}{2} g \cdot t^2
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

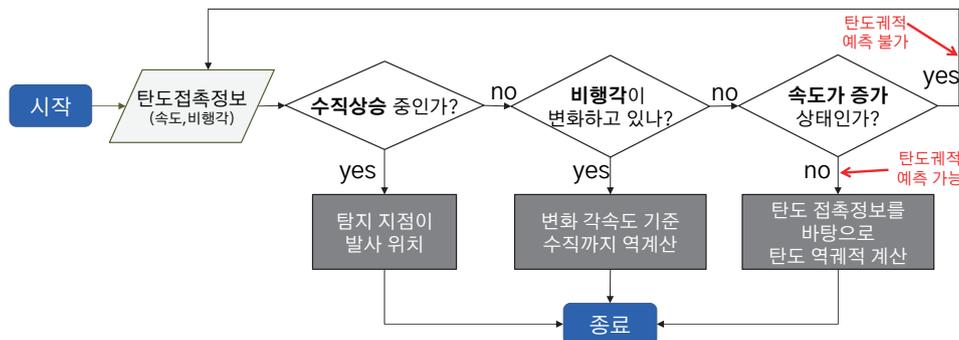


Fig. 4. 탄도미사일 발사위치 추정을 위한 흐름도

여기서, v_0 : 탐지 시점 속도, θ : 비행각이다.

탄도 비행의 역궤적을 추정하면, 발사위치는 대포병 레이더와 같이 지상까지 곡선으로 그려진다. 그러므로 탄도미사일의 수직상승과 선회 특성을 반영하여 발사 위치의 추정 범위를 줄여야 한다. Fig. 5는 300 km급 탄도미사일 정상발사를 기준으로 하고 탐지위치 고도를 35 km로 가정하여 물리적 추정 역궤적과 탄도미사일 제원을 고려한 상승궤적 추정을 나타낸 것이다.

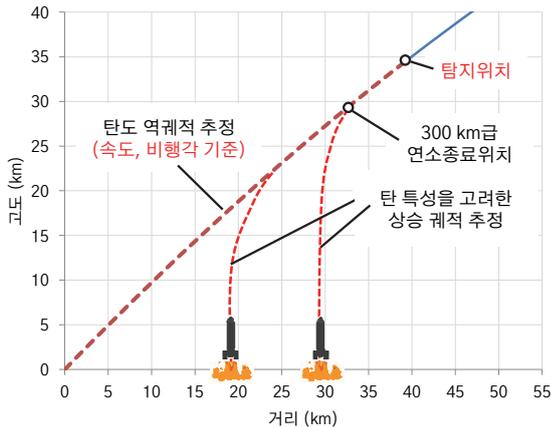


Fig. 5. 추정된 역궤적과 상승궤적 비교

300 km급 탄도미사일은 연소종료시간 약 70초, 종료고도 약 30 km이며, 이때 정상발사 최대 거리를 비행하기 위해서는 속도가 1.51 km/sec이어야 한다. 동일한 거리를 비행하기 위한 지상 발사속도는 1.7 km/sec이다. 실제 상승궤적을 추정하려면 평소 정보수집을 통해 구축된 자료들을 활용해야 한다. 이 추정 방법을 통해 신뢰성 높은 탄도미사일 발사위치 추정을 구현하려면 물리적 탄도궤적 추정과 평소 분석된 탄도미사일 제원 정보가 융합되어야 할 것이다.

4. 결론

탄도미사일 관련 연구의 정책적 관심은 매우 높으며 이러한 정책을 뒷받침해 주는 것이 과학적 분석이다. 탄도미사일의 위협에 대응하기 위한 다양한 방안으로는 발사시설을 타격하는 능력, 발사된 탄도미사일을 요격하는 능력 등 여러 방안이 있다. 기존에는 탄도미사일 비행특성, 방어체계 능력 분석 등이 주요 연구주제였다. 이는 방어적 성격의 연구이며 적의 발사지점 타격을 위한 공격적 작전 수행을 위한 연구도 병행하여 필요하다.

발사지점 타격을 위해서는 발사위치에 대한 정보가 우선적으로 필요하다. 이에 본 연구는 공격적 작전을 위하여 탄도미사일 발사 시 레이더로 탐지되고 있는 탐지정보를 기반으로 발사위치를 추정하는 방법을 연구하였다. 여기서 탐지정보는 상승단계에서의 탐지정보이다. 탄도미사일 상승단계의 비행특성을 이용한 발사위치 추정 개념 내용을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 탄도미사일은 발사 직후 수직 상승 상태이므로 이때 탐지하면 탐지 지점이 곧 발사위치이다.
- (2) 탄도미사일이 사전 설정된 비행각으로 선회중인 상태에서 탐지한 경우 각속도를 역계산하여 수직지점을 발사위치로 추정한다.
- (3) 탄도미사일의 비행각 변화가 없고 연소종료 이후인 탐지 시점에서는 속도와 비행각으로 탄도역궤적을 추정하고 예상되는 탄도미사일 발사제원 특성과 융합하여 발사위치를 추정한다.

더불어, 본 연구를 발전시키기 위한 다음과 같은 추가적인 연구가 필요함을 제시한다.

- (1) 다양한 탐지 센서들 즉 레이더, 위성 등의 정보를 융합하여 신속하게 발사위치를 추정하는 연구가 필요하다.
- (2) 탄도미사일의 추력 제원을 바탕으로 하여 더 정밀하게 발사위치를 추정하는 방법론 연구가 필요하다.
- (3) 신속한 탄도미사일 발사위치 추정이 가능하다는 전제하에 어떠한 전력과 방법으로 발사플랫폼(즉 육상은 이동식발사대, 해상은 SLBM 잠수함)을 타격할 수 있을 것인지에 대한 연구가 필요하다. 이러한 즉각 응징 타격전력과 작전이 가능해야 비로소 신속한 탄도미사일 발사위치 추정 연구의 가치가 있기 때문이다.

탄도미사일 주요 연구인 비행궤적 추정 연구, 미사일 방어 연구와 함께 본 연구와 같은 발사위치 추정에 대한 연구도 더 활발하게 진행되기를 기대한다.

참고문헌

[1] 국방부, 2022 국방백서, 대한민국 국방부, 2023.

- [2] 권용수, 최봉석, “탄도미사일 비행궤적 특성 해석,” 한국국방경영분석학회지, 제32권 1호, pp. 176-187, 2006.
- [3] 유병천, 김주현, 권용수, 최봉완, “탄도미사일의 비행궤적 예측 방법 연구 - 탄종별 비행경로각과 사거리를 중심으로,” 시스템엔지니어링학술지, 제16권 2호, pp. 131-140, 2020.
- [4] 박진호, 김종환, 천명국, 이진규, 양인상, “발사된 탄도미사일 관측자료에 기반한 최대사거리 능력과 사격정보 추정에 관한 연구,” 한국국방경영분석학회지, 제49권 1호, pp. 1-16, 2023.
- [5] 김지원, 권용수, 이경행, “탄도미사일의 위협 특성에 따른 탄도미사일 방어체계 구축에 대한 고려사항 분석,” 한국군사학논집, 제72집 1권, pp. 1-29, 2016.
- [6] 홍동욱, 임동순, 최봉완, “탄도미사일 궤적 시뮬레이션 모델을 이용한 방어영역 산출 및 응용,” 한국군사과학기술학회지, 제21권 4호, pp. 551-561, 2018.
- [7] 박상건, 이경행, “미국의 MD를 고려한 능력기반 다중방어체계 구축방안 연구,” 한국해군과학기술학회지, Vol. 3, No. 1, pp. 46-55, 2020.
- [8] B. E. Fridling, The State of Multiple Sensor, Multiple Target Tracking in Ballistic Missile Defense, Institute for Defense Analysis, Alexandria, Virginia, 1991.
- [9] Y. Li, M. Yeddanapudi, T. Kirubarajan and Y. Bar-Shalom, “Trajectory and Launch Point Estimation for Ballistic Missiles from Boost Phase LOS Measurements,” Proceedings of the 7th Mediterranean Conference on Control and Automation (MED99) Haifa, Israel, pp. 930-952, 1999.