



J. Korean Soc. Aeronaut. Space Sci. 49(7), 601-608(2021)

DOI:https://doi.org/10.5139/JKSAS.2021.49.7.601

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

이동표적에 적용 가능한 공대지 유도폭탄의 투하 가능 영역

강예준¹

Computation of Launch Acceptability Region of Air-to-Surface Guided Bomb for Moving Target

Yejun Kang¹

Agency for Defense Development

ABSTRACT

Launch Acceptability Region of Air-to-Surface Guided Bomb is defined as the set of release points in order to reach a target successfully. LAR is consisted of fixed target area and moving target area whether the target maneuvers or not. In this paper, the computational algorithm of LAR is studied for fixed and moving target. First, multi-simulations are performed varying platform, target, and atmospheric environment to attain Min/Max DB. Second, the LAR functions are obtained using regression and classification algorithm. For operational suitability, the algorithm for display of LAR is studied to obtain appropriate LAR. In this progress, the results of LAR are suitable to apply air-to-ground guided bomb for moving target.

초 록

공대지 유도폭탄의 투하 가능 영역(LAR)은 플랫폼이 목표하는 지점에 장착물이 성공적으로 명중하기 위해 진입해야 하는 영역을 의미한다. 목표물의 기동 종류에 따라 크게 고정표적, 이동표적으로 나누며, 본 논문에서는 고정표적 및 이동표적에도 적용 가능한 투하 가능 영역의 산출 알고리즘에 대해 연구하였다. 이는 플랫폼과 표적, 대기환경을 매개변수로 하여 입력변수를 변화시키며 다중 시뮬레이션을 수행 후 회귀 및 분류 알고리즘을 이용하여 적절한 투하 가능 영역을 시현하기 위한 함수를 개발하였다. 운용 적합성을 위한 시현 알고리즘을 적용하여 적절한 투하 가능 영역이 도출되며, 결과적으로 이동표적에도 적용할 수 있는 공대지 유도폭탄의 투하 가능 영역 알고리즘의 적용 가능성을 확인하였다.

Key Words : Launch Acceptability Region(투하 가능 영역), Footprint(타격 가능 영역), Air-to-Surface Guided Bomb(공대지 유도폭탄)

1. 서 론

공대지 유도폭탄은 추진기관이 있는 유도탄과는 다르게 고고도에서의 위치 및 운동에너지를 이용하

여 지상의 표적을 유도하는 무장체계이다. 일반적으로 공대지 유도폭탄으로 목표로 하는 표적에는 여러 가지가 있지만, 이동 여부로 크게 고정표적과 이동표적으로 나눌 수 있다. 고정표적의 경우 유도방식이

† Received : April 12, 2021 Revised : May 26, 2021 Accepted : June 17, 2021

¹ Researcher

¹ Corresponding author, E-mail : yjkang@add.re.kr

© 2021 The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences

다르더라도 목표로 하는 좌표를 제대로 입력받을 경우 유도오차와 탐색기 오차, 항법오차를 감안하더라도 정밀한 타격이 가능하다. 그러나 이동표적의 경우 초기에 입력받은 위치에 표적이 있지 않으므로 이에 대한 정밀한 계산과 기존의 고정표적의 투하 가능 영역과 다른 표현방식으로 항공기에서 운용자에게 표적에 대한 정보를 제시할 필요가 있다.

효과적인 임무를 위해 항공기의 운용자에게 장착물을 투하해야 하는 시점, 지점을 정확하게 시현해주는 것은 표적의 명중을 위해 매우 중요하다. 공대지 유도폭탄의 표적 명중 여부는 투하 시 기상 조건, 항공기 운용 조건, 표적 상태 등에 의해 결정된다. 이는 실시간 6자유도 비행 시뮬레이션 분석을 통한 결과를 운용자에게 전달해줄 수 있으나, 항공기에 탑재된 항전 장비의 계산 성능 한계에 의한 실시간성이 확보되지 못해 작전 환경에서는 적절하지 않다. 이를 해결하기 위해 항공기의 항전 장비에 탑재되는 무장 제어 알고리즘에 장착물의 6자유도 시뮬레이션을 실시간으로 계산하는 방식이 아닌 장착물의 투하 가능 영역을 간단히 함수로 도출하여 실시간으로 조종사의 다기능 전시화면(Multi-Functional Display, 이하 MFD)에 시현해주는 것이 운용 측면에서 유리하다.

투하 가능 영역은 목표하는 표적에 폭탄, 로켓, 유도탄 등이 도달하기 위해 항공기가 진입해야 하는 영역을 의미한다[1]. 투하 가능 영역에 대한 기존 연구들을 살펴보면 공대지 유도폭탄의 투하 가능 영역의 계산 방법론 및 투하 가능 영역의 결과에 대한 연구 결과를 보고한 바가 있으며[2,3], 인공지능망을 통해 공대지 유도폭탄의 투하 가능 영역을 산출하려는 연구 결과가 보고된 바가 있다[4].

그러나 기존 연구는 고정표적을 목표로 하는 공대지 유도폭탄의 투하 가능 영역에 대한 연구가 수행되었으며, 이동 표적에 적용 가능한 투하 가능 영역에 대한 심도 있는 연구는 아직 수행된 바가 없다. 따라서 본 논문에서는 투하 가능 영역을 도출하기 위해 SAE와 미국 공군의 연구한 기법 중 하나인 CLARA(Common Launch Acceptability Region Approach)[1, 6,7] 방법을 적용하여 고정표적과 이동표적에 모두 적용 가능한 투하 가능 영역의 계산 알고리즘을 위해 필요한 요소를 파악하고 이를 도출하는 방법론에 대해 연구하였으며, 이를 6-DOF를 이용한 단일 시뮬레이션과의 비교를 통해 투하 가능 영역 알고리즘을 검증하였다.

II. 본 론

항공기의 장착물 투하 가능 영역은 특정 표적에 타격하기 위하여 항공기가 진입해야 하는 영역으로 이는 항공기를 기준으로 타격 가능 영역(Footprint)과

시현 중심을 기준으로 대칭이다. 본 논문에서는 장착물의 6자유도 시뮬레이션을 통해 투하 시점을 기준으로 표적에 명중하는 순간까지를 여러 투하 조건, 표적 예상 위치에 대해 다중 시뮬레이션을 수행하였다.

2.1 투하 가능 영역 계산 방법

투하 가능 영역을 도출하기 위해 Fig. 1과 같이 대칭인 타격 가능 영역을 우선 계산 후 대칭으로 투하 가능 영역을 도출하는 방법을 사용하였다. 타격 가능 영역을 도출하기 위한 방법으로 서론에서 언급한 CLARA 기법을 적용하였고, 이는 Fig. 2와 같이 간단히 표현할 수 있다. 투하 가능 영역은 크게 중심점, 최소사거리 영역, 이동표적에 대한 최대사거리 영역, 고정표적에 대한 최대사거리 영역으로 구성하였다.

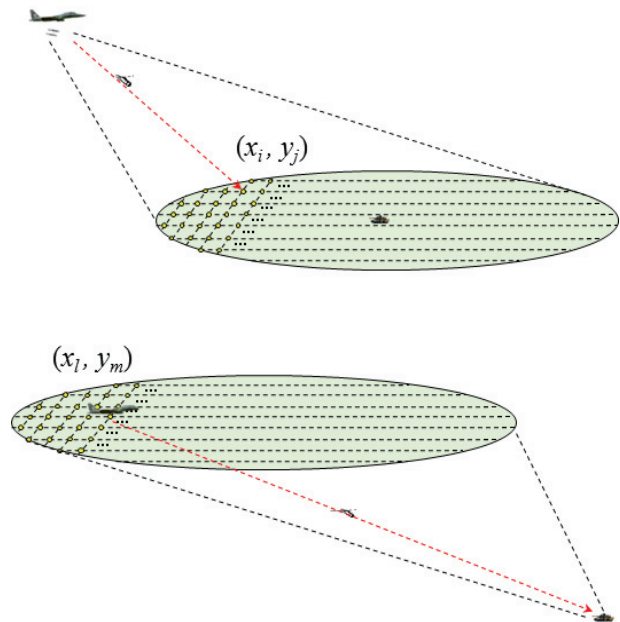


Fig. 1. Footprint and Launch Acceptability Region (LAR)

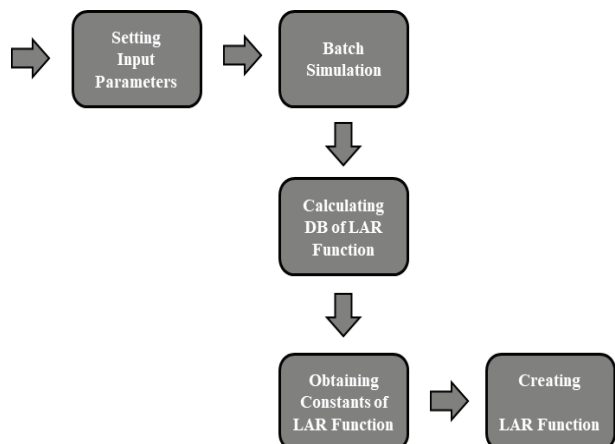


Fig. 2. Schematic of LAR Calculation

2.1.1 시뮬레이션 매개변수 설정

유도폭탄의 투하 가능 영역을 얻기 위해서는 적절한 시뮬레이션 매개변수를 설정해야 한다. 이는 플랫폼으로부터 투하되어 목표물까지 도달하는 데 성능에 영향을 미치는 주요 인자들을 매개변수로 구성해야 한다. 우선, 플랫폼에서의 투하 고도와 목표물의 고도가 추진기관이 없는 유도폭탄의 최대/최소사거리를 결정하는 주요 변수이므로 이 두 변수를 매개변수로 설정하였다. 다음으로 유도폭탄은 활공 장착물이기 때문에 성능이 바람에 매우 민감하게 결정된다. 바람 조건의 경우, 실제 바람 데이터를 고도마다 입력받을 수 없으므로 모델링을 통해 확보하였으며, 이는 -4000 ft에서 바람속도 0 m/s부터 투하 위치까지 바람 속도가 선형적으로 감소하는 모델을 사용하였다[1]. 이때 바람의 방향은 모든 고도에서 투하 시점의 방향과 동일하게 적용하였다. 마지막으로 플랫폼에서 투하할 때의 플랫폼 속도도 투하 가능 영역에 영향을 미친다. 이동표적에 대한 투하 가능 영역에서 표적의 이동속도와 방향은 매개변수로 설정하지 않았다. 이는 운용자가 플랫폼으로부터 실시간으로 표적에 대한 정보를 얻을 수 없는 무기체계도 있으며, 초기 표적에 대한 정보만 안다 하더라도 투하 이후의 정보를 모른다면 전혀 다른 위치로 유도될 수 있기 때문이다.

2.1.2 다중 시뮬레이션 수행

투하 조건으로 선정한 매개변수를 적용하여 6자유도 시뮬레이션을 각 조건에 따라 수행 후 충돌 결정 조건에 맞는 결과를 DB화한다. 매개변수의 조합을 구성할 때 조건이 많을 때 실험계획법을 이용하는 것이 효과적일 수 있으나 매개변수가 많지 않아 완전배치법을 이용하여 분석을 수행하였다.

5가지의 매개변수의 값이 결정되면 Fig. 3과 같이 중심점 기준 15도 간격으로 목표물의 위치를 변화시켜가며 단일 시뮬레이션을 수행하였다. 각도 간격을 15도로 설정한 이유는 적절한 다중 시뮬레이션 총 수행 횟수 및 유사 체계 대비 세밀한 간격으로 분석을 위해 다음과 같이 설정하였다. 각 단일 시뮬레이션 결과는 Table 1과 같은 충돌 결정 조건으로 분류하여 최소/최대사거리를 DB화한다. 충돌 결정 조건은 장착물의 물리적 특성과 유도, 제어를 고려하여 결정하였다. 최대사거리의 경우 이동/고정표적 여부에 따라 다르게 계산하였으며 결과도 각각 도출되게 설정하였다.

2.1.3 회귀 분석 방법 선정 및 함수 도출

다중 시뮬레이션 결과를 통해 도출된 최소/최대사거리 DB로 회귀 분석을 통해 결과를 함수화하기 위해서는 적절한 통계 회귀 분석 방법을 선정해야 한다. 일반적인 회귀 분석 알고리즘은 최소 자승법(Least Square Method)을 통한 선형 회귀 분석, 단계

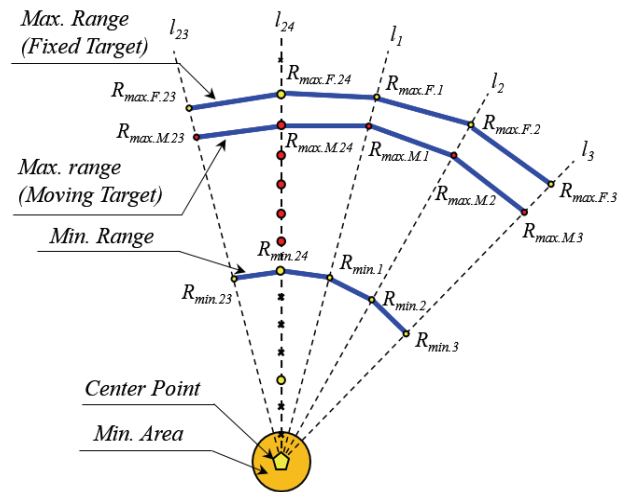


Fig. 3. Concept for obtaining Min & Max Range DB

Table 1. Terminal Constraints of Simulation

Condition	Value
Miss Distance	~ 3 m
Final Pitch Angle	20° ~ 85°
Maximum Speed	~ Limit Conditions of Structural Design

적 회귀 분석(Stepwise Regression) 등 매우 다양하게 있다. 이 중 계산된 DB와 회귀 모델 적용 결과의 경향성 추종 성능, 회귀 모델을 얻기 위한 계산 시간 등을 고려하여 최선의 알고리즘을 선정하였다.

2.1.4 분류 분석 방법 선정 및 함수 도출

다중 시뮬레이션 수행을 통해 얻은 최소/최대사거리 DB를 이용하여 회귀 분석을 수행 후 얻은 투하 가능 영역 함수는 실제 수행한 단일 시뮬레이션 결과와 비교 시 값이 작거나 무의미한 결과가 도출될 수 있다. 이러한 몇 가지 케이스를 올바르게 처리하지 않으면 실제 운용 시 투하 불가능한 포인트가 LAR나 Footprint로 시현될 가능성이 있어 임무에 큰 영향을 미칠 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 다중 시뮬레이션을 통해 얻은 충돌 결정 조건 부합 여부를 이용하여 통계적 분류 기법을 적용한 후 부합한 결과만 종합하여 회귀 분석을 수행하도록 프로그래밍하였다.

분류 분석 방법은 KNN(k-nearest Neighbors), SVM(Support Vector Machine) 등 회귀 분석과 마찬가지로 매우 다양한 방법이 존재한다. 계산된 DB와의 적합성, 탑재 코드화 가능성 등을 고려하여 알고리즘을 선정하였다.

2.1.5 투하 가능 영역 함수 코드화

최소/최대사거리의 DB를 이용하여 분류 분석과

회귀 분석을 통해 입력 변수에 대한 도출된 투하 가능 영역 수식과 계수들을 DB화하고 이를 플랫폼 운용자에게 시현이 가능한 탑재 함수 코드를 생성하는 과정을 의미한다. 생성된 함수 코드는 물리적으로 유의미한지를 비교 및 검증도 해야 한다.

회귀 분석을 통해 얻은 함수는 중심점을 기준으로 각 15도 간격으로 총 24개 방향별로 함수가 도출되기 때문에 이를 종합하여 Footprint, LAR를 시현하면 함수 도출에 사용된 DB 결과와 함수 결과와의 차이가 있을 수 있다. 따라서 함수 도출 후 다양한 케이스를 설정하여 함수화된 코드 결과와 DB와의 결과를 비교 검증해야 한다.

2.2 투하 가능 영역 계산

투하 가능 영역 계산은 앞서 기술한 방법으로 계산하였으며, 동체 고정형 탐색기가 적용된 공대지 유도폭탄에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 이동/고정 표적에 따라 최소/최대사거리가 다르지만, 최소사거리는 이동표적에 대한 최소사거리를 적용하였다. 이는 투하 가능 영역의 복잡함을 줄이고, 이동표적의 최소사거리가 고정표적의 최소사거리보다 크기 때문에 실제 운용 측면에서 보수적인 결과를 도출하기 위해서다.

2.2.1 시뮬레이션 조건 생성

공대지 유도폭탄의 성능에 영향을 주는 5가지 주요 변수인 플랫폼의 투하 고도, 표적 고도, 플랫폼 투하 속도, 바람 세기, 바람 방향을 매개변수로 총 17,000개의 케이스를 설정하였다. 이동표적은 목표 지점에서 1가지 속도, 방향은 360도 전 방향을 45도씩 8가지로 각각 나눈 후 총 매개변수 조건에 대해 각각 시뮬레이션하여 모든 표적 이동 방향에서 충돌 결정 조건 만족 시 최소/최대사거리 DB에 포함시켰다.

2.2.2 사거리 DB 및 중심점 계산

오일러 각을 이용하여 자세 제어를 하는 공대지 활공 장착물은 목표물과의 사거리가 짧은 조건에서 피치각이 $\pm 90^\circ$ 근처로 유도될 가능성이 있다. 이는 특이점(Singularity)에 의해 장착물의 제어 불능을 유발할 수 있어 특이점이 나타날 가능성이 큰 영역을 투하 가능 영역에서 제외해야 한다. 이를 위해 장착물이 5가지의 매개변수를 입력조건으로 하여 자유낙하하여 도달할 위치를 중심점으로 설정하고, 이를 중심으로 최소 반경을 설정하여 특이점에 빠지지 않는 투하 가능 영역이 생성되도록 구현하였다.

중심점은 투하지점과 가까운 지점일 것임을 고려하여 자유낙하 후 바람의 영향성 및 기타 영향성을 고려하여 계산하였다. 아래와 같은 절차로 계산하였으며, 각 매개변수 조건마다 계산이 수행된다.

1. 설정된 매개변수들을 투하 제원으로 하여 자유 낙하지점과 낙하 시간 계산

2. 실제 투하 고도에서의 바람 조건과 낙하시간 등을 고려하여 자유낙하 지점 고려
3. 탐색기 기울임각, 표적 속도, 바람 방향을 이용한 중심점 보정

이때, 탐색기 기울임각이 변수로 설정된 이유는 유도조종이 탐색기 기울임각을 고려하여 종말 유도를 수행할 것이므로, 이를 고려하여 중심점 계산의 변수로 고려하였다. 이는 식 (1), (2)와 같이 정리할 수 있다.

$$Pt_x = FF_x + f(V_{wind}, \theta_{wind}, FF_{time}) \quad (1)$$

$$Pt_y = FF_y + f(V_{wind}, \theta_{wind}, FF_{time})$$

$$X_c = Pt_x + f(P_{alt}, \theta_{tilt}, FF_{time}, V_{tgt}, \theta_{wind}) \quad (2)$$

$$Y_c = Pt_y + f(P_{alt}, \theta_{tilt}, FF_{time}, V_{tgt}, \theta_{wind})$$

이때, X_c, Y_c 는 중심점 좌표, V_{wind}, θ_{wind} 는 바람의 속도와 방향, FF_x, FF_y, FF_{time} 은 자유낙하 계산 위치 및 낙하 시간, V_{tgt} 는 표적 이동속도, θ_{tilt} 는 탐색기 기울임각, P_{alt} 는 플랫폼 고도이다.

계산된 최소 반경 이내에는 무조건 탄착 불가 영역으로 설정하고, 이후의 바깥의 사거리에 대해 방위각에 따른 표적의 위치와 속도를 고려하여 시뮬레이션 결과를 수행하였다. 설정한 위치에서 표적이 8방향 중 하나라도 명중하지 못하면 투하 가능 영역에서 배제하였다.

각 방위각에 따라 목표 위치를 이동하면서 최소 반경 이후로 6자유도 시뮬레이션을 수행하면 Fig. 3과 같이 어느 포인트 이후로는 연속적으로 탄착 조건이 만족하는 구간이 존재하게 된다. 구간 중 가장 짧은 사거리를 최소사거리, 노란색 점인 고정표적의 최대사거리와 붉은 점인 이동표적의 최대사거리가 각 매개변수에 따라 도출되며, 이를 DB로 구성하였다.

2.2.3 회귀 분석을 통한 함수 생성

계산된 사거리 DB는 매개변수가 적지 않으며 선형성이 낮아 일반적인 최소 자승법 등의 알고리즘이 적합하지 않았다. 그러나 다변량 적응 회귀 스플라인(Multivariate Adaptive Regression Spline, MARS)은 몇 개의 Knot를 정하고, 그 사이 구간을 다항식으로 가정하여 분석하는 알고리즘으로 비선형이 큰 DB에 대해서도 오차를 줄일 수 있다[8]. 이를 최대사거리와 중심점 DB에 적용시켰으며, 최소사거리 분석은 선형 회귀 분석(Generalized Linear Regression Model, GLM)을 적용하였다. 회귀 모델의 결과는 Fig. 4와 같으며, 이는 다음 절에서 같이 설명하고자 한다.

2.2.4 회귀 모델의 분류 알고리즘 적용

회귀 분석을 통해 도출된 투하 가능 영역 함수는 예측 모델이기 때문에 실제 DB와 다른 결과가 나타

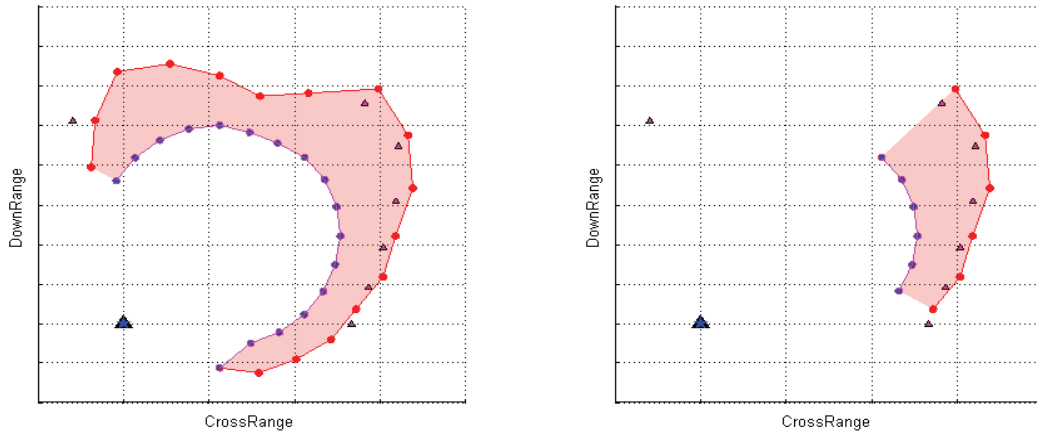


Fig. 4. Results Comparison (Left : Regression Only, Right : Regression + Classification)

날 수 있다. 특히 모델 결과가 매우 작은 사거리일 경우는 물리적으로 맞지 않는 결과를 낼 수 있어 이러한 경우를 배제하는 판단 기준이 필요하다.

여러 회귀 분석 모델 중 SVM을 선택한 이유는 타 분류 분석 모델보다 예측하는데 자원과 시간이 적게 들어 실시간으로 변하는 매개변수 조건에서 분류가 쉽고, 이에 따른 LAR/Footprint 시현이 용이하여 이를 채택하였다.

투하 가능 영역의 모델 결과가 실제 DB의 탄착/미탄착 2가지로, 이진 분류(Binary Classification) 작업을 수행하면 분류 알고리즘 결과에 따라 특정 회귀 분석 결과를 배제하고 현실적인 투하 가능 영역을 도출할 수 있게 된다.

회귀 분석 모델에 SVM의 적용 여부에 따라 결과가 다르게 나타나며, 이는 Fig. 4와 같이 나타난다.

그림에서 노란색 영역은 고정표적, 적색 영역은 이동표적에 대한 각각의 Footprint의 결과이다. 영역의 외곽선 및 원형 모양의 점은 파란색, 적색, 하늘색, 보라색은 각각 고정표적, 이동표적의 최대사거리, 고정표적과 이동표적의 최소사거리를 나타낸다. 회귀 모델

의 적합성을 고찰하기 위해 실제 다중 시뮬레이션 6자유도 결과는 삼각형 모양의 점이며, 고정표적은 파란색, 이동표적은 적색이다. 최소사거리는 고정표적은 아랫방향 화살표, 이동표적은 윗방향 화살표로 나타났다.

Figure 4는 분류 알고리즘 적용 여부에 따른 영향성을 보기 위해 이동표적의 최대사거리에 대한 그림만 도시했다. 그림에서 보듯이 분류 알고리즘 적용 여부에 따라 투하 가능 영역의 결과가 분명히 차이난다.

회귀 모델에서 투하 가능 영역이 함수로 도출되었다 하더라도 투하 가능 영역에서 Table 1의 충돌 결정 조건을 만족하지 않는다면 영역에 포함하지 않아야 한다. Fig. 4의 좌측과 같이 DB 계산 결과를 나타내는 삼각형 마커가 없는 영역에도 회귀 모델 결과는 존재하는데, 이는 실제로 명중한 결과가 아니므로 분류 알고리즘을 통해 제거해야 한다. 따라서 이에 대한 결과는 Fig. 4의 우측으로, 분류 알고리즘이 제대로 작동함을 확인할 수 있다. 결과적으로 분류 모델 적용 시 6자유도 결과에서 충돌 결정 조건을 기준으로 분류 분석을 수행하였으며, 내부적으로 마진을 주어 결과를 도출하였다.

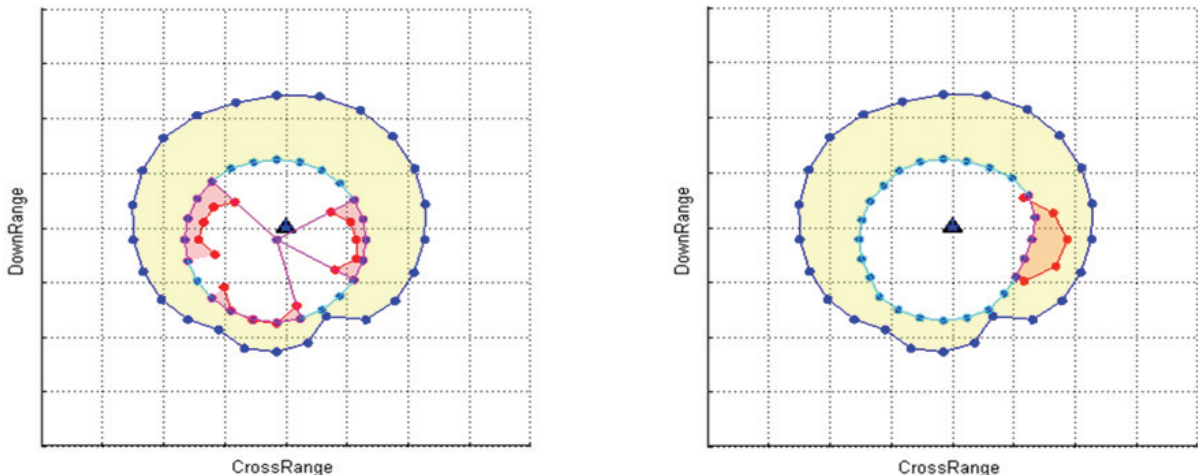


Fig. 5. Results Comparison (Left : No Procedure 1,2, Right : Procedure 1,2)

2.2.5 투하 가능 영역의 시현 알고리즘

분류 알고리즘이 적용된 투하 가능 영역의 회귀 모델은 운용자에게 시현되기 적합하지 않은 모양이 존재한다. 이러한 시현의 최적화를 위해 다음과 같은 과정을 알고리즘에 탑재하였다.

1. 2개 이상의 영역이 도출될 경우, 최대 면적의 영역만을 유효 영역으로 설정(Fig. 5)

$$R_{min} = R_{max}$$

(if $R_{max} - R_{min} < A, R_{max} > R_{min}$)

$$R_{max} = 0$$

(else if $R_{max} < R_{min}$)

(Fig. 5)

3. LAR와 동일 면적의 원을 찾고, 그 원과 내접한 다각형의 LAR 도출 (Procedure 3)(Fig. 6)

$$R_{max.moving} = R_{max.fixed}$$

(if $R_{max.moving} > R_{max.fixed}$)

5. 영역의 모든 내각의 합이 일정 각도 이상 확보 (Fig. 7)

6. 최대와 최소사거리가 연속으로 같은 경우 제거 및 유효 영역만 보존(Fig. 8)

여기서 R 은 회귀 모델에서 도출된 사거리이며, 아랫첨자로 $max, min, moving, fixed$ 는 각각 최대, 최소사거리, 이동표적, 고정표적을 의미한다.

2번 절차는 최대사거리와 최소사거리의 차가 일정 값 이하일 경우 최소사거리를 최대사거리와 같게 설정하였다. 이는 최대와 최소의 영역 차가 너무 작아 영역이 운용에 어려움이 있을 것을 감안하여 설정하였다. 최소사거리를 최대와 같게 함으로 투하 가능 영역은 기존보다 일부 보수적으로 도출되며, 만일 최대사거리가 최소사거리보다 작을 경우 최대사거리 결과를 0으로 설정하였다. 실제 DB에서 이런 결과는 없으나 회귀 모델의 결과에 따라 일부 투하 가능 영역의 최대사거리의 오류가 있을 수 있어 이러한 절차를 추가하였다.

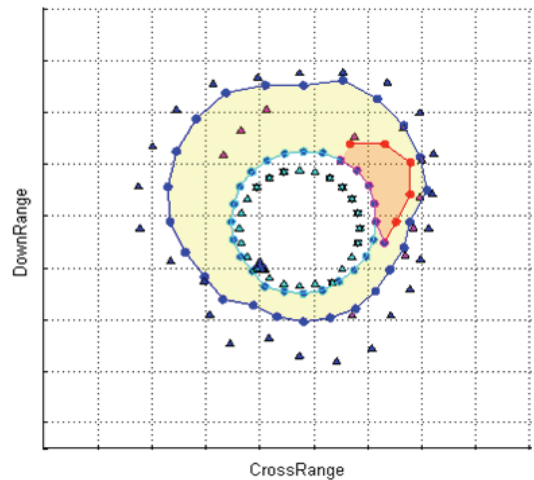
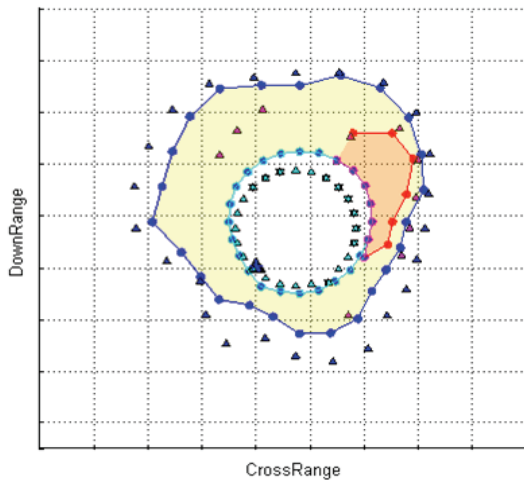


Fig. 6. Results Comparison (Left : No Procedure 3, Right : Procedure 3)

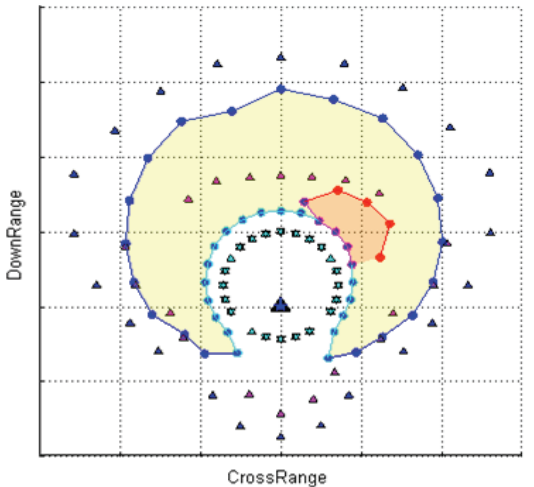
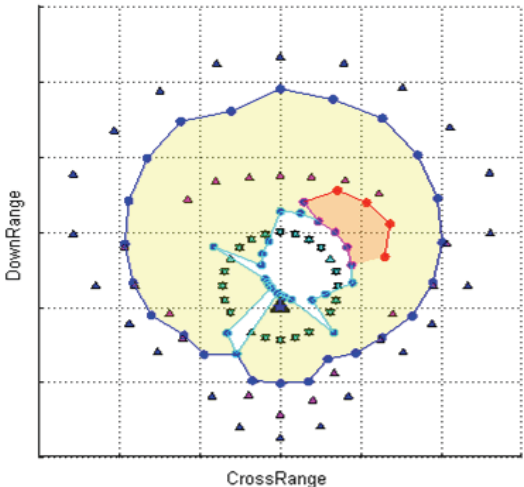


Fig. 7. Results Comparison (Left : No Procedure 5, Right : Procedure 5)

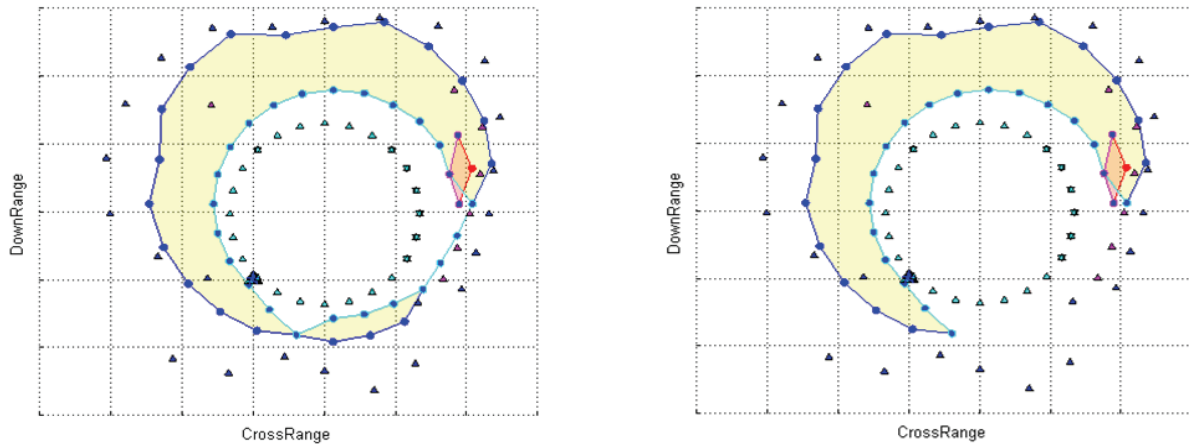


Fig. 8. Results Comparison (Left : No Procedure 6, Right : Procedure 6)

3번 절차는 투하 가능 영역의 비대칭성과 운용자에게 영역의 균일함, 시현성을 위해 추가하였다. 일부 모양이 바뀌었으나 실제 투하 가능 포인트는 포함하도록 하여 운용상은 문제가 없다.

4번의 경우 전 방향으로 표적이 이동하는 경우를 모두 명중이 가능한 결론인 이동표적 최대사거리보다 고정표적의 최대사거리가 클 수가 없으므로 회귀 함수의 모델의 논리적 비약을 보충해주는 절차를 추가하였다.

다음으로 Fig. 7과 같이 최소사거리 영역이 균일하지 않거나 다각형의 형태가 적절하지 않은 경우를 고려하여 최소사거리일 경우 가장 보수적인 바깥 영역으로 시현되는 절차를 추가하였다.

마지막 절차는 1번 절차로도 없어지지 않는 영역 및 최소/최대사거리가 동일한 경우를 제거하여 실제 투하할 수 있는 영역만 시현되도록 하였다.

2.3 투하 가능 영역 계산 검증

2.2절에서 언급한 프로세스로 도출된 투하 가능 영역을 6자유도 다중 시뮬레이션 결과와 비교하여 검증하기 위해 유도폭탄의 운용 범위 내에서 5개의 매개변수를 임의로 하여 20개의 case에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. 개발된 함수 결과와 시뮬레이션 DB 결과와의 비교를 통한 검증을 위해 참고문헌 [5]의 정확도 측정 방법 중 면적비와 길이비를 고려하였으며, 그 결과는 Table 2와 같다.

면적비와 길이비는 고정표적, 이동표적의 투하 가능 영역에 따라 각각 74.5 %, 72.6 %, 72.0 %, 68.8 %로 산출됐으며, 이는 최소사거리 영역은 DB보다 더 보수적으로 함수가 도출되어 최소사거리 함수 결과는 더 크고, 최대사거리 함수 결과는 DB보다 안쪽으로 회귀모델이 설정되어 이와 같이 표현되었다. 실제 계산보다 함수 결과가 영역이 많이 줄어들었으나 운용상의 원활함과 시현 적절성, 물리적 타당성 논리가 고려되어 이와 같이 나타났기 때문에 검증한 비율은 적절하다 판단된다.

Table 2. Area & Length Ratio (LAR vs DB)

Case	Ratio	Area Ratio (Fixed, %)	Area Ratio (Moving, %)	Length Ratio (Fixed, %)	Length Ratio (Moving, %)
Case 1		74.99	69.81	72.86	67.56
Case 2		76.29	75.86	74.54	72.67
Case 3		75.89	75.36	73.59	71.65
Case 4		76.11	75.28	72.18	69.46
Case 5		76.76	74.63	75.82	72.70
Case 6		75.77	74.27	72.69	69.86
Case 7		75.02	73.78	72.52	69.87
Case 8		75.42	73.74	71.67	68.59
Case 9		74.94	73.53	72.50	69.67
Case 10		76.20	73.51	73.14	69.75
Case 11		76.93	73.51	75.62	71.55
Case 12		73.02	72.59	69.08	66.49
Case 13		74.65	72.43	71.58	68.26
Case 14		74.09	71.28	70.55	66.80
Case 15		72.49	71.05	70.42	67.58
Case 16		72.57	71.02	69.89	66.80
Case 17		72.57	70.85	70.55	67.44
Case 18		73.53	70.27	70.74	66.60
Case 19		74.48	69.80	71.98	66.95
Case 20		68.50	69.67	67.04	65.62
Average		74.5	72.6	72.0	68.8

III. 결 론

본 논문에서는 무추력으로 활공하는 공대지 유도폭탄의 투하 가능 영역을 산출하기 위한 알고리즘을 개발하였다. 이를 위해 장착물의 투하 가능 영역에 영향을 주는 매개변수를 파악하고, 이 변수들을 고려한 다중 시뮬레이션을 수행하여 투하 가능 영역의 중심점, 최소사거리, 이동/고정표적의 최대사거리 DB를 구성하였다. 획득한 사거리 DB에 회귀 분석 알고리즘, 분류 알고리즘을 적용하여 투하 가능 영역의 합수를 정의하였으며, 운용상의 원활함을 위해 투하 가능 영역의 시현 알고리즘도 개발하였다. 추후 본 논문에서 제시한 프로세스로 유사한 장착물에 대해 투하 가능 영역을 획득할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- 1) Clark, D., Faust, A. and Jones, A., "Common Launch Acceptability Region Task Group," *SAE Technical Paper Series*, 2001-01-2953, 2001.
- 2) Park, S. S., Hong, J. H. and Ryoo, C. K., "Computation Algorithm for Launch Acceptability Region of Air-to-Surface Missiles," *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 43, No. 10, 2015, pp. 910~919.
- 3) Seo, J. J., "Developing an Algorithm to Calculate Launch Acceptability Region of Air-to-Ground Guided Bomb," *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 45, No. 6, 2017, pp. 517~522.
- 4) Kim, S. G., Park, J. H., Park, S. H., Lee, S. P. and Kim, K. H., "Computation for Launch Acceptability Region of Air-to-Surface Guided Bomb Using Artificial Neural Network," *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, Vol. 46, No. 4, 2018, pp. 283~289.
- 5) Common Launch Acceptability Region Approach Requirements Document (CLARA RD), SAE AIR5566 Rev. A, No. 8, 2012.
- 6) Common Launch Acceptability Region Approach Interface Control Document (CLARA ICD), SAE AIR5682 Rev. A, No. 8, 2012.
- 7) Common Launch Acceptability Region (CLAR) Truth Data Generator Interface Control Document (ICD) for the CLAR Approach (CLARA), SAE AIR5788 Rev. A, No. 8, 2012.
- 8) Friedman J. H., "Multivariate Adaptive Regression Splines (with discussion)," *The Annals of Statistics*, Vol. 19, No. 1, 1991, pp. 1~141.