

커브피팅을 활용한 특정 포병 탄도분석 연구

임강희^{1*}, 최현주², 강경환¹
¹대한민국 육군 분석평가단, ²국방과학연구소

A Study on the Ballistic Analysis of Particular Artillery Using Curve Fitting

Kang-Hee Lim^{1*}, Hyun Joo Choi², Kyung-Hwan Kang¹

¹Center for Army Analysis & Simulation

²Agency for Defense Development

요약 군의 작전계획 수립 단계에서는 전쟁에서 승리하기 위해 피·아 부대를 명확하게 이해해야 함은 물론이고, 지형과 기상 등 주변환경을 충분히 이해하고 활용해야 한다. 이러한 차원에서 본 연구에서는 제한적으로 확보하고 있는 외국군 특정 포병의 일부 화포에 대한 사거리별 최대탄도고 제원을 활용하여 화포의 각각 사거리별 최대탄도고 제원을 역산함으로써 그 결과를 작전계획 수립에 직접적으로 활용하고자 하는 개념에서 착안하였다. 먼저, 아군의 모종 화포의 사표를 활용하여 유사한 사거리 구간 제원으로 커브피팅 기법 적용의 타당성을 검증하였다. 검증 결과, 등간격으로 샘플링한 구간 내에서는 정확도가 비교적 높음을 확인하였으며, 샘플링 구간 밖에서도 사거리를 기준으로 근사거리 구간의 추정값의 오차는 비교적 커서 활용도가 낮은 반면, 원사거리 구간의 추정값은 정확도가 비교적 합리적으로 분석되어 활용 가능성을 확인하였다. 이와 같이, 아군 사표를 통해 검증된 방법으로 커브피팅을 실시하여 특정 포병 화기별 최대탄도고 방정식을 도출하였으며, 이 방정식을 통해서 각각 사거리별 최대탄도고를 산출하였다. 산출된 사거리별 최대탄도고는 산과 같은 작전지역의 지형 등과 함께 고려하여 아군의 작전계획 수립 단계 및 실시간 전장에서 긴요하게 활용될 수 있다. 특히, 적 포병을 탐지하는 대포병탐지레이더 운용부대와 적 상황을 파악하는 과정인 전장정보분석 단계에서 매우 유용하게 활용될 것으로 기대하였다. 추가적으로, 본 연구를 통해서 착안한 한계점과 추가 연구방향을 제시하였다.

Abstract A clear understanding of friendly and hostile units as well as environmental conditions, such as terrain and weather, are necessities for achieving victory on battlefields. An approach to estimating the maximum ordinates of hostile artillery pieces by reversely calculating their trajectories with limitedly available hostile artillery trajectory tables was studied to integrate them into operational planning. A known trajectory table of an artillery piece was curve fitted for similar ranges to verify the method applied. The accuracy of the estimation within the equally sampled data was relatively high. On the other hand, the accuracy for the close range was insufficient to be used, while accuracy for far-range estimation can be more applicable. The curve fitting method verified with known trajectory tables was used to estimate the equations for predicting the maximum ordinates of hostile artillery. Integrating the predicted maximum ordinates by the equation can produce high-value intelligence in operational planning. In particular, it is expected to be helpful in the counter-battery radar operation unit and the intelligence preparation of the battlefield (IPB) unit. In addition, comments on the limitations of this work and future work that requires attention were suggested.

Keywords : Curve Fitting Method, Firing Table, Enemy Artillery, Maximum Ballistic Height, Military Operation

*Corresponding Author : Kang-Hee Lim(Center for Army Analysis & Simulation)
email: lkh13533@hanmail.net

Received April 4, 2023

Revised May 8, 2023

Accepted June 2, 2023

Published June 30, 2023

1. 서론

현재 북한은 야포 8,600여 문, 방사포 5,500여 문 등 총 1만4,100여 문의 화포를 보유한 것으로 알려져 있고, 휴전선 일대에 최소 1,100여 문의 대구경 화포를 배치한 것으로 알려져있다[1]. 그리고 북한은 화생방(화학·생물학·방사능) 무기를 포함한 '비대칭 전력' 중 하나인 장사정포만으로 개진 초기 수십만 명의 희생자가 발생할 수 있다.

이러한 북한의 포병화기 위협을 사전에 파악하고 대비하는 것은 중요한 작전개념 중 하나이다. 하지만, 산악지형이 많은 비중을 차지하고 있는 우리나라의 지형적 특성상 적 포병화기의 탄도 등 정확한 운용개념을 반영한 작전개념 발전은 구체적이지 않을 수 있다. 예를 들면, 152mm 자주포의 장약별 최대사거리 및 최대탄도고와 전선 전방의 지형(차폐물 등)을 고려하여 현재 배치된 지역에서 아군 지역에 도달 가능성 또는 도달 가능 범위를 판단하는 것은 매우 중요할 것이며, 아군도 마찬가지로 전방에 위치하고 있는 주요 고지와 같은 차폐물을 고려하여 탄도를 고려한 작전개념을 수립해야 할 것이다.

본 연구에서는 아군 장비의 사표 제원을 통해 커브피팅 방식의 활용 가능성을 확인한 후, 제한적으로 알려진 외국군 특정 포병의 최대탄도고 제원을 활용하여 엑셀에서 제공하는 커브피팅 방법으로 제원이 확보된 구간 내의 사거리별 최대탄도고 방정식을 구하였다. 이 방정식을 통해 화기별, 사거리별 최대탄도고를 구함으로써 아군이 작전을 전개함에 있어 포병 및 정보 운용의 상대적 정보 우월성을 확보하도록 근거를 제공하였다.

2. 선행연구

2.1 포병화기 사표

모든 포병화기는 사용 장비 및 기상 상태 등의 표준 상태에서 사격제원과 이들이 변화했을 경우 적용해야 하는 수정량을 표시한 사표에 따라 사격제원을 산출한다. 이는 각 화포에 대하여 사용 탄약마다 작성되어 있다. 사표를 통해 산출되는 사격제원은 탄약 및 장약의 종류, 대기 흐름(바람), 온도, 습도 및 밀도 등 표준조건을 포함하여 세부적으로는 발사위치(위도), 발사방향(남, 북) 등 지구의 자전 현상까지도 고려하여 수정량을 적용하여 매우 세밀한 작업을 통해 산출된다. 과거에는 운용인원의 수

동계산을 통해 제원이 실시간 산출되었지만, 현재는 컴퓨터에 프로그램화되어 거의 자동으로 산출되고 있다.

자동화되어가고 있는 현재의 무기체계 시스템상 운용자들이 탄도에 대해 이해하는 폭이 좁아질 수 있으나, 실제 포탄의 비행궤적이나 사표를 통한 제원 산출절차 등을 반영한 작전개념이 수립되어야 한다. 아군의 화포 사격을 위한 제원 산출간에는 자동화 체계를 통해서 사격 가능 여부가 사용자에게 통지되었지만, 상대방 화포의 사격을 위한 제원에 대해서는 그 사표를 대부분 확보하지 않고 있기 때문에 작전에 긴요하게 반영하기 어려운 것이 현실이다. 하지만, 일부 제한적인 사표 제원을 가지고 수학적 기법을 통해 검증된 결과를 도출해 낸다면 그 활용도가 매우 높을 것이다.

2.2 특정 포병화기의 사표제원

위에서 설명한 바와 같이 포병화기의 사표 제원은 작전개념 설정에 매우 중요한 자료이다. 하지만 상대방 장비에 대한 구체적인 사표 등을 확보하지 못한 상황에서 합리적인 작전개념 반영이 제한된다.

하지만, 최소한의 자료로 예측 가능한 수준의 제원을 도출하기 위한 연구가 필요하며[2-4], 이를 위해 각종 문헌연구를 통해 제한적으로 알려진 외국군 특정 포병화기의 제원은 Table 1에서 보는 바와 같다.

Table 1. Maximum Ballistic Height of Some Types

| Category | Fire Range | Max. Ballistic Height | |
|----------|------------|-----------------------|------------|
| | | Charge 'a' | Charge 'b' |
| A Type | 5km | 126m | 203m |
| | 10km | 986m | 1,380m |
| | 15km | 4,120m | 4,157m |
| B Type | 5km | 66m | 90m |
| | 10km | 407m | 578m |
| | 15km | 1,500m | 2,130m |
| | 20km | 4,260m | - |
| C Type | 5km | 110m | - |
| | 10km | 737m | - |
| | 17km | 4,590m | - |
| D Type | 10km | 519m | - |
| | 15km | 1,870m | - |
| | 20km | 6,150m | - |

Table 1에서 제시된 제원은 일부 보안상 문제가 있을 수 있어 화포 및 장약의 형태를 사전 비공개 처리 하였다.

2.3 커브피팅 연구

커브피팅이란 일련의 데이터 점들이 보이는 추세를 가장 잘 대표하는 곡선 함수를 구하는 것으로, 전체적인 추세를 선형, 지수 및 로그형, 거듭제곱, 이동평균, 그리고 다항식으로 구할 수 있다. 이는 데이터의 형태나 종류를 참고하여 지정할 수 있다[5-9]. 본 연구에서 관심을 갖고 있는 사거리에 따른 최대탄도고는 선형은 아니지만 증감이 서로 의존적으로 변화하고 있다는 것에 착안하여 다항식 함수로 피팅하였다. Table 2는 커브피팅에 사용된 사거리와 최대탄도고 제원의 예시이며, 이를 통해 Fig. 1에서 보는 바와 같이 엑셀을 활용하여 커브피팅 곡선 및 함수를 도출하였다.

Table 2. Sample Data for Curve Fitting

| Range (km) | Max. Ballistic Height (m) |
|------------|---------------------------|
| 5 | 83 |
| 10 | 423 |
| 15 | 1240 |
| 20 | 3024 |

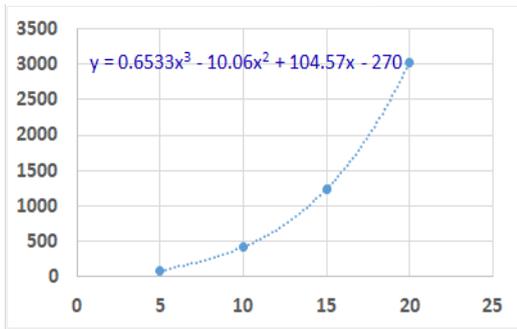


Fig. 1. Range - Max. Ballistic Height Curve

3. 결과분석

3.1 분석 방법

본 연구에서는 특정 포병화기의 최대탄도고를 화기별로 다양한 사거리에 대해 일반화하기 위해서 커브피팅 방법을 적용하였다. 먼저, 적 포병화기의 확인된 최대탄도고가 3~4개이므로 사거리별 최대탄도고를 일정한 함수로 일반화할 수 있는 방법 인지를 아군 화포의 사표를 활용하여 3~4개의 사거리 및 최대탄도고 제원으로 커브피팅을 통해 함수를 구하였고, 그 함수를 이용하여 구간 내 다른 사거리에서의 최대탄도고를 구하여 정확도를 분

석하였다. 이러한 방법을 통해 일부 구간에서의 정확도를 확인한 다음, 커브피팅 함수가 구간 외에서는 어떠한 경향성을 보이는지를 확인하기 위하여 서로 다른 화포와 장약을 예로 들어 분석을 진행하였다. 아군의 사표 상 사거리와 최대탄도고 사이의 관계를 확인한 다음, 일부 확인된 특정 포병 화기의 사거리별, 장약별 최대탄도고로 제원을 활용하여 커브피팅 함수를 구하였다. 그 결과 임의 사거리에서 최대탄도고를 산출할 수 있었으며, 다양한 사거리에서의 최대탄도고를 작전개념에 활용할 수 있도록 제공하였다.

3.2 아군 사표를 통한 커브피팅 정확도 분석

기본적으로 사표는 탄도방정식을 통해 산출된다. 그리고 유도탄이 아닌 이상 포병 탄약의 탄도는 위에서 언급한 바와 같이 대기 흐름(바람), 온도, 습도 및 밀도 등과 같은 부수적인 조건 이외에 탄약 및 장약의 종류에 지배적으로 종속된 물리적 현상이다. 따라서, 본 연구에서 관심이 있는 사거리와 최대탄도고와의 관계를 정의하기 위해서 다음과 같이 아군의 모 기종 화포의 사표를 활용하였다. 보안을 고려하여 화포의 구체적인 종류와 장약의 형태는 구체화하지 않았음을 먼저 밝힌다.

먼저, 최대사거리의 2/3 이내 사거리에서 샘플링하여 커브피팅 한 결과와 최대사거리까지 전 구간에서 샘플링하여 커브피팅 한 결과를 비교하였다. Table 3에서 보는 바와 같이 C-F_1은 2/3 이내 사거리에서 4개를 샘플링하였고, C-F_2는 전 사거리 내에서 샘플링하였다. 참고로 Table 3에서 굵은 글씨는 샘플링 포인트이며, 음영은 구간오차평균 및 구간표준편차(커브피팅 범위 내) 영역이다. Table 3에서 보는 바와 같이 커브피팅 구간 내에서는 정확도가 매우 높고 표준편차값이 2.0% 이내에 있는 것을 볼 수 있다.

Table 3. Curve Fitting Accuracy Analysis(1)

| Range (km) | Max.Height (m) | C-F_1 | Error (%) | C-F_2 | Error (%) |
|------------|----------------|--------------|-----------|--------------|-----------|
| 3 | 28 | 28.0 | 0.0 | 49.6 | 77.3 |
| 4 | 53 | 52.9 | -0.2 | 64.2 | 21.1 |
| 5 | 86 | 86.0 | 0.0 | 86.1 | 0.1 |
| 6 | 131 | 129.3 | -1.3 | 121.4 | -7.3 |
| 7 | 187 | 184.9 | -1.1 | 173.8 | -7.0 |
| 8 | 257 | 254.7 | -0.9 | 245.5 | -4.5 |
| 9 | 342 | 340.7 | -0.4 | 337.0 | -1.4 |
| 10 | 445 | 445.0 | 0.0 | 448.7 | 0.8 |
| 11 | 567 | 569.6 | 0.5 | 580.6 | 2.4 |

| | | | | | |
|-------------------------|------|---------------|-------|---------------|------|
| 12 | 711 | 716.5 | 0.8 | 733.3 | 3.1 |
| 13 | 881 | 887.7 | 0.8 | 908.3 | 3.1 |
| 14 | 1079 | 1085.2 | 0.6 | 1109.0 | 2.8 |
| 15 | 1311 | 1311.1 | 0.0 | 1340.7 | 2.3 |
| 16 | 1582 | 1567.3 | -0.9 | 1611.6 | 1.9 |
| 17 | 1902 | 1855.8 | -2.4 | 1933.2 | 1.6 |
| 18 | 2279 | 2178.8 | -4.4 | 2320.9 | 1.8 |
| 19 | 2723 | 2538.1 | -6.8 | 2794.5 | 2.6 |
| 20 | 3251 | 2935.8 | -9.7 | 3378.6 | 3.9 |
| 21 | 3894 | 3373.9 | -13.4 | 4103.8 | 5.4 |
| 22 | 4713 | 3854.5 | -18.2 | 5006.4 | 6.2 |
| 23 | 5871 | 4379.5 | -25.4 | 6129.7 | 4.4 |
| Total Error Avg.(ABS) | | | 4.2 | | 7.7 |
| Section Error Avg.(ABS) | | | 0.5 | | 3.3 |
| Total SD(ABS) | | | 6.8 | | 16.1 |
| Section SD(ABS) | | | 0.4 | | 2.0 |

하지만 구간 밖에서는 5구간까지는 10% 이내의 오차를 보이지만 6구간 초과 시 급격히 오차가 커지고 있음을 알 수 있다.

다음으로, 같은 구간에서 3개를 샘플링한 경우와 4개를 샘플링한 경우의 상호관계를 분석하기 위하여 Table 4에서 보는 바와 같이 커브피팅을 실시하였다. Table 4에서는 기본적으로 사거리 2~8km 구간 내에서 샘플링 하였으며, C-F_2는 등간격으로, C-F_1은 C-F_2와의 차이점을 구별하기 위해 중간 6km 지점을 제외하였다. 그 결과, C-F_2의 경우 구간오차평균과 구간표준편차가 1.8% 이내로 분석되었고, C-F_1의 경우는 C-F_2보다 구간오차평균은 약 4.2%, 구간표준편차는 약 2.0% 증가하고 있는 것을 확인할 수 있다. Table 4을 통해 분석할 수 있는 것은 샘플링이 5구간 이내의 경우 정확도는 향상되지만 그 이상의 경우에는 커브피팅의 특성상 구간 내일지라도 구간 간격이 넓은 범위의 정확도는 물론이고 그 영향을 줄 수 있는 구간 밖의 인접 구간까지 영향을 미치고 있음을 C-F_1을 통해 확인할 수 있다. 그리고 이 경우 모두 Table 3에서와 같이 구간 밖에서는 오차가 증가하는 경향을 확인할 수 있다.

Table 4. Curve Fitting Accuracy Analysis(2)

| Range (km) | Max.Height (m) | C-F_1 | Error (%) | C-F_2 | Error (%) |
|------------|----------------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| 2.0 | 47 | 47.0 | 0.0 | 47.0 | 0.0 |
| 2.5 | 76 | 67.8 | -10.8 | 81.0 | 6.6 |
| 3.0 | 114 | 102.6 | -10.0 | 118.6 | 4.1 |
| 3.5 | 159 | 151.3 | -4.8 | 162.1 | 2.0 |

| | | | | | |
|-------------------------|------|---------------|-------|---------------|-------|
| 4.0 | 214 | 214.0 | 0.0 | 214.0 | 0.0 |
| 4.5 | 280 | 290.6 | 3.8 | 276.6 | -1.2 |
| 5.0 | 357 | 381.3 | 6.8 | 352.4 | -1.3 |
| 5.5 | 447 | 485.8 | 8.7 | 443.7 | -0.7 |
| 6.0 | 553 | 604.3 | 9.3 | 553.0 | 0.0 |
| 6.5 | 677 | 736.8 | 8.8 | 682.7 | 0.8 |
| 7.0 | 823 | 883.3 | 7.3 | 835.1 | 1.5 |
| 7.5 | 1000 | 1043.7 | 4.4 | 1012.8 | 1.3 |
| 8.0 | 1218 | 1218.0 | 0.0 | 1218.0 | 0.0 |
| 8.5 | 1507 | 1406.3 | -6.7 | 1453.2 | -3.6 |
| 9.0 | 1977 | 1608.6 | -18.6 | 1720.9 | -13.0 |
| Total Error Avg.(ABS) | | | 6.7 | | 2.4 |
| Section Error Avg.(ABS) | | | 5.7 | | 1.5 |
| Total SD(ABS) | | | 4.7 | | 3.3 |
| Section SD(ABS) | | | 3.8 | | 1.8 |

다음으로 사거리의 전반부에서 샘플링한 경우와 사거리의 중반부에서 샘플링한 경우의 커브피팅 결과가 어떤 관계가 있는지에 대한 분석을 위해 Table 5와 같이 샘플링 및 커브피팅을 진행하였다. Table 5의 C-F_1은 최대 사거리의 약 60%에 해당하는 20km까지의 사거리를 5구간마다 샘플링하였으며, C-F_2는 C-F_1에서 전반부 5구간 1개 샘플 대신 후반부 5구간 1개 샘플을 추가하여 25km까지 샘플링하여 커브피팅을 실시하였다. C-F_1 및 C-F_2 모두 구간오차평균 및 구간표준편차는 1.66% 이하로 분석되었다. 그리고 C-F_1과 C-F_2 모두 이후 5구간 이상까지 5% 미만의 오차를 유지하였고, 사거리 30km까지는 8%미만의 정확도를 나타내고 있다.

Table 5. Curve Fitting Accuracy Analysis(3)

| Range (km) | Max.Height (m) | C-F_1 | Error (%) | C-F_2 | Error (%) |
|------------|----------------|---------------|-----------|---------------|-----------|
| 5 | 55 | 55.00 | 0.00 | -46.99 | -185.43 |
| 6 | 82 | 86.53 | 5.53 | 18.00 | -78.04 |
| 7 | 117 | 122.44 | 4.65 | 80.03 | -31.60 |
| 8 | 160 | 164.58 | 2.86 | 141.75 | -11.40 |
| 9 | 213 | 214.80 | 0.85 | 205.85 | -3.36 |
| 10 | 275 | 274.97 | -0.01 | 275.00 | 0.00 |
| 11 | 349 | 346.94 | -0.59 | 351.86 | 0.82 |
| 12 | 436 | 432.55 | -0.79 | 439.12 | 0.72 |
| 13 | 537 | 533.68 | -0.62 | 539.43 | 0.45 |
| 14 | 654 | 652.18 | -0.28 | 655.48 | 0.23 |
| 15 | 790 | 789.89 | -0.01 | 789.94 | -0.01 |
| 16 | 947 | 948.68 | 0.18 | 945.47 | -0.16 |
| 17 | 1126 | 1130.41 | 0.39 | 1124.75 | -0.11 |
| 18 | 1332 | 1336.92 | 0.37 | 1330.45 | -0.12 |
| 19 | 1566 | 1570.08 | 0.26 | 1565.24 | -0.05 |

| | | | | | |
|-------------------------|-------|---------|--------|---------|--------|
| 20 | 1832 | 1831.74 | -0.01 | 1831.80 | -0.01 |
| 21 | 2133 | 2123.75 | -0.43 | 2132.79 | -0.01 |
| 22 | 2471 | 2447.98 | -0.93 | 2470.89 | 0.00 |
| 23 | 2849 | 2806.27 | -1.50 | 2848.78 | -0.01 |
| 24 | 3269 | 3200.49 | -2.10 | 3269.11 | 0.00 |
| 25 | 3735 | 3632.49 | -2.74 | 3734.56 | -0.01 |
| 26 | 4249 | 4104.12 | -3.41 | 4247.81 | -0.03 |
| 27 | 4819 | 4617.24 | -4.19 | 4811.53 | -0.16 |
| 28 | 5452 | 5173.71 | -5.10 | 5428.39 | -0.43 |
| 29 | 6162 | 5775.38 | -6.27 | 6101.05 | -0.99 |
| 30 | 6968 | 6424.11 | -7.81 | 6832.20 | -1.95 |
| 31 | 7911 | 7121.75 | -9.98 | 7624.50 | -3.62 |
| 32 | 9080 | 7870.17 | -13.32 | 8480.63 | -6.60 |
| 33 | 10834 | 8671.21 | -19.96 | 9403.26 | -13.21 |
| Total Error Avg.(ABS) | | | 3.28 | | 11.71 |
| Section Error Avg.(ABS) | | | 1.09 | | 0.17 |
| Total SD(ABS) | | | 4.54 | | 36.14 |
| Section SD(ABS) | | | 1.66 | | 0.25 |

C-F_1과 C-F_2 모두 커브피팅 이후 구간에 대해서는 오차가 점점 증가하고 있지만 최대 20% 미만이지만, C-F_2의 경우 커브피팅 이외 구간 중에서 근 사거리 구간에서는 과도한 오차가 발생하고 있다.

이와 같이 아군이 운용 중인 특정 화포 및 장약의 조합을 통해 사거리에 따른 최대탄도고를 커브피팅을 통해 분석한 결과 Table 3, Table 4, Table 5에서와 같이 특정 조건 하에서 추세의 정확도를 다음과 같이 확인할 수 있었다. 첫째, 샘플링 구간 내에서 커브피팅을 통한 함수는 오차의 절대값 표준편차가 최소 0.25%에서 최대 3.8% 수준으로 분석되었으며, 등간격으로 샘플링한 경우에는 최대 2.0% 수준으로 분석되었다. 둘째, 커브피팅 함수는 샘플링 구간을 기준으로 원사거리 구간은 5구간 내에서 최대 9.7%의 정확도 오차를 보이지만, 근사거리 구간은 비교적 오차가 크게 발생하여 근사거리의 추세 예측이 어려울 것으로 분석되었다. 셋째, 5개 구간 등간격 샘플링의 경우 정확도 오차가 낮게 분석되었으나, 5개 구간을 초과하는(본 연구에서는 10개 구간) 경우의 커브피팅 함수는 해당 구간 내 뿐만 아니라 구간 밖에서도 약 10%의 오차를 나타내는 것으로 분석되었다.

3.3 특정 포병화기의 최대탄도고 함수 도출

위에서 분석한 방법에 따라 Table 1에서와 같이 제한적인 특정 포병의 화포 및 장약별 최대탄도고 제원에 기반하여 커브피팅을 통한 함수를 Table 6에서 보는 바와 같이 도출하였다.

Table 6. Function Obtained by Curve Fitting

| Category (Type, Charge) | Curve Fitting Function (y: Max. Ballistic Height, x: Range) |
|----------------------------|--|
| Aa | $y = 45.48x^2 - 510.2x + 1540$ |
| Ab | $y = 32x^2 - 244.6x + 626$ |
| Ba | $y = 1.22x^3 - 21.56x^2 + 178.1x - 438$ |
| Bb | $y = 21.28x^2 - 221.6x + 666$ |
| Ca | $y = 35.419x^2 - 405.89x + 1254$ |
| Da | $y = 58.58x^2 - 1194.3x + 6604$ |

본 연구에서 분석한 결과에 근거하여 Table 6의 'Ba'의 경우 사거리별 최대탄도고를 산출하면 Table 7에서 보는 바와 같다.

Table 7. Prediction of Max. Ballistic Height (Enemy Art.)

| Range (km) | Max.Height (m) | Range (km) | Max.Height (m) | Range (km) | Max.Height (m) |
|------------|----------------|------------|----------------|------------|----------------|
| 5 | 66.0 | 13 | 914.0 | 21 | 5,092.6 |
| 6 | 118.0 | 14 | 1,177.3 | 22 | 6,035.7 |
| 7 | 170.7 | 15 | 1,500.0 | 23 | 7,096.8 |
| 8 | 231.6 | 16 | 1,889.4 | 24 | 8,283.1 |
| 9 | 307.9 | 17 | 2,352.7 | 25 | 9,602.0 |
| 10 | 407.0 | 18 | 2,897.4 | 26 | 11,060.8 |
| 11 | 536.2 | 19 | 3,530.7 | 27 | 12,666.7 |
| 12 | 702.7 | 20 | 4,260.0 | | |

앞에서 분석한 바와 같이 샘플링 구간 내의 값들은 비교적 신뢰도 높은 수준의 값으로 예측해 볼 수 있고, 구간 밖인 21 ~ 25km 사거리 구간에서는 최대 3% 이내의 오차 범위 내에서 활용 가능할 것으로 예측해 볼 수 있다.

3.4 활용방안 및 연구의 한계점

본 연구를 통해 분석한 특정 포병 화기의 사거리별 최대탄도고는 군사작전 분야에서 활용성이 광범위하다. 한 반도는 휴전선 이북지역은 대부분 높은 산악지형으로 이루어져 있으며, 이러한 지형적 요소는 작전계획 수립 시 상당한 장애 요인으로 극복의 대상이다. 특히, 특정 포병 부대의 위치를 파악하고 나서 최대사거리 범위를 무분별하게 피해 범위로 선정하여 아군의 기동로, 거점, 보급로 선정 등에서 일괄 배제시킴으로써 작전의 융통성과 효율성을 저해시킬 필요가 없어질 수 있다. 또한, 매우 복잡한 전장 환경을 고려해 본다면, 작전계획 수립 시 반영하여 대포병탐지레이더 운용 등 정보 획득 측면에서도 불

필요한 노력의 낭비를 사전에 차단시킬 수 있을 것이다.

하지만, 본 연구를 진행하면서 일부 한계점이 존재하였다. 특정 포병 사표 역시 아군 사표와 유사하게 산출되었다는 가정에 대해서 검증할 수 있는 특정 포병 사표가 부재하여 신뢰도 검증이 미흡시 되었다는 점이다. 또한, 특정 포병의 제한적인 최대탄도고 제원이 5km 단위로 존재하여 본 연구에서는 아군의 사표를 이와 유사하게 분석하였으나, 향후에는 아군 사표에 대한 수학적 심층 분석이 필요할 것이다. 추가적으로, 작전계획에 반영하기 위해서는 본 연구에서 분석한 사거리별 최대탄도고 뿐만 아니라 각 사거리별 도달 가능한 장약 및 최대탄도고를 분석하여 한 층 더 현실적인 작전개념 반영을 위한 연구가 지속되어야 할 것이다.

4. 결론

본 연구에서 분석한 바와 같이 제한적으로 알고 있는 특정 화포 및 장약에 대한 사거리별 최대탄도고를 산출하기 위하여 커브피팅 방식을 활용하였다. 먼저 아군의 모종 화포의 사표를 이용하여 커브피팅으로 도출한 함수가 샘플링 구간 내부 및 외부에서 각각 어떠한 경향성을 보이는지 분석하였으며, 이를 통하여 일정 수준 활용 가능성을 예측하였다. 아군 사표를 통한 검증을 통해 제한적으로 보유하고 있는 특정 화포의 제원으로 커브피팅을 실시하여 함수를 도출하여 각 사거리별 최대탄도고를 구하였다.

본 연구의 결과는 특정 포병과 대치한 상황에서의 작전개념 수립에 긍정적으로 활용될 수 있기를 기대한다. 한편, 본 연구에서 다하지 못한 연구는 다른 아이디어 및 이론에 근거하여 추가 연구가 진행되기를 기대한다.

References

[1] _____, Defense White Paper 2022, Ministry of National Defence, 2022, pp. 26-27.

[2] H. S. Jeon, Y. C. Choi, J. W. Park, "Measuring Structural Vibration from Video Signal Using Curve Fitting", *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, Vol.19, No.9, pp.943-949, 2022.

[3] H. S. Choi, C. H. Lee, T. B. Nguyen, "Application of Linear Curve Fitting Methods for Slug Test Analysis in Compressible Aquifer", *Journal of the Korean*

Geotechnical Society, Vol.23, No.11, pp.99-107, 2007.

[4] J. K. Kim, S. H. Oh, "The Performance Assessment of a Straight-Type Five-Hole Pressure Probe Using a Zone Partition and Two-Dimensional Curve-Fitting Functions", *Journal of Power System Engineering*, Vol.18, No.1, pp.22-31, 2014.

[5] H. Akima, "A New Method of Interpolation and Smooth Curve Fitting Based on Local Procedures", *Journal of the ACM*, Vol.17, No.4, pp.589-602, Oct. 1970.
DOI: <https://doi.org/10.1145/321607.321609>

[6] A. O'Hagan, "Curve Fitting and Optimal Design for Prediction", *Journal of the Royal Statistical Society: Series B(Methodological)*, Vol.40, No.1, pp.1-24, 1978.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1978.tb01643.x>

[7] M. A. McCraig, G. R. Osinski, E. A. Cloutis, "Fitting the curve in Excel: Systematic curve fitting of laboratory and remotely sensed planetary spectra", *Computers & Geosciences*, Vol.100, pp.103-114, March 2017.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.11.018>

[8] Y. J. Yang, S. P. Gordon, "Interpolation and Polynomial Curve Fitting", *National Council of Teachers of Mathematics*, Vol.108, No.2, pp.132-141, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.5951/mathteacher.108.2.0132>

[9] R. L. Eubank, P. Speckman, "Curve fitting by polynomial-trigonometric regression", *Biometrika*, Vol.77, No.1, pp.1-9, March 1990.
DOI: <https://doi.org/10.1093/biomet/77.1.1>

임 강 희(Kang-Hee Lim)

[정회원]



- 2006년 8월 : 중국 북경항공항천대학교 항공기설계 학과 (항공기설계 석사)
- 2014년 8월 : 중국 북경항공항천대학교 항공기설계 학과 (항공기설계 박사)

• 2015년 3월 ~ 현재 : 육군본부 시험평가단, 기획관리참모부, 전력단, 분석평가단 담당

<관심분야>

과학기술 동향, 항공기 설계, 감항인증, 우주정책/기술, 사업관리, 시험평가, 분석평가, 소요기획

최 현 주(Hyun Joo Choi)

[정회원]



- 2005년 8월 : 미국 애리조나 대학교 광학 석사
- 2014년 2월 : 한국과학기술원 기계공학 박사
- 2017년 ~ 현재 : 국방과학연구소 위성체계단

<관심분야>

위성 개발, 우주 개발, 우주정책/기술, 사업관리, 시험평가, 분석평가, 소요기획

강 경 환(Kyung-Hwan Kang)

[정회원]



- 2002년 2월 : 연세대학교 산업공학과 (산업공학 석사)
- 2007년 2월 : 연세대학교 산업공학과 (산업공학 박사)
- 2007년 3월 ~ 2018년 12월 : 방위사업청 사업관리 담당/팀장
- 2019년 12월 ~ 현재 : 육군본부 전력단, 분석평가단 과장

<관심분야>

무기체계사업관리, 운영분석, 분석평가, 최적화