

http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2018.4.3.299

JCCT 2018-8-39

오차간의 상관관계를 이용하는 체계명중률 예측에 관한 연구

A Study on Delivery Accuracy Using the Correlation between Errors

김현수*, 김건인**, 강환일***

Hyun Soo Kim*, Gunin Kim**, Hwan Il Kang***

요약 일반적으로 대공화기의 체계 명중률을 예측할 때 오차를 각각 고정편기, 가변편기 및 랜덤오차로 분류한 후 가변편기와 랜덤오차는 각 오차의 값의 제곱의 합의 제곱근으로 나타내고 고정편기의 경우는 오차의 합으로 나타낸다. 이때 각 오차의 단위 값의 변화에 관한 고각방향과 방위각 방향의 변위를 나타내는 변수가 가중치로 작용한다. 그리고 이 오차들을 이용하여 정규분포식의 적분을 통하여 체계 명중률을 예측한다. 본 논문에서는 오차의 상관관계를 고려하여 체계명중률을 예측하는 방법을 제시한다. 본 접근법이 정밀한 체계 명중률을 예측하는데 도움이 된다는 것을 보인다.

주요어 : 대공화기, 체계 명중률, 오차, 상관관계, 고정편기

Abstract Generally, when predicting the accuracy of the anti-air artillery system, the error is classified as fixed bias, variable bias, and random error. Then the standard deviation on the target is expressed as the square root of the squared sum of each error value which comes from the random error and variable bias and in the case of fixed bias, the mean value is shifted as the sum of errors from the fixed bias. At this time, the variables indicating the displacement of the direction of azimuth and elevation direction with regard to the change of the unit value of each error are weighted. These errors are then used to predict the system's delivery accuracy through a normally distributed integral. This paper presents a method of predicting system accuracy by considering the correlation of errors. This approach shows that it helps to predict the delivery accuracy of the system, precisely.

Key words : the anti-air artillery system, system's delivery accuracy, errors, correlation, fixed bias.

1. 서 론

대공화기의 화력성능을 표현하는 체계 명중률을 예측하기 위해 체계명중률에 관한 논문이 널리 출판되었으며 논문[1]에서는 포구초속오차를 추진제 오차, 발사

체오차를 이용하여 표시하였다. 논문[2]에서는 대공화기의 오차의 종류를 세 가지로 구분하고 있다. 논문[3]에서는 대공화기의 체계 명중률 예측을 위해 실사격과 비슷하게 모의하여 시뮬레이션을 통하여 체계 명중률을 예측하였다. 본 논문에서도 이 방법을 사용한다. 논

*정회원, 명지대학교 정보통신공학과 (제1저자)

**정회원, 고려대학교 보안학과 (참여자)

***정회원, 명지대학교 정보통신공학과 (교신저자)

접수일: 2018년 5월 24일, 수정완료일: 2018년 6월 22일

게재확정일: 2018년 7월 25일

Received: May 24, 2018 / Revised: June 22, 2018

Accepted: July 25, 2018

*Corresponding Author: hwanilkang@naver.com

Dept. of Information & Communication Eng', Myongji Univ, Korea

문[4]에서는 6개의 바퀴를 가진 전투차량 위에 대공화기를 배치하고 노면에 의한 오차와 체계 명중률과의 영향을 관찰한다. 논문[5]에서는 궤적을 이용할 때 궤적의 해석학적인 해를 구하였다. 논문 [6]는 포의 수직 변위와 체계 명중률의 관계에 관한 고찰에 관한 연구이다. 대공화기에서 체계 명중률에 영향을 주는 오차를 세 가지로 분류한다. 고정편기, 가변편기 및 랜덤오차로 분류하는데 그리고 각 오차가 단위값만큼 증가할 때 고각 및 방위각 방향의 증가량을 구하여 표적에서의 오차를 구하고 이것을 정규분포 함수를 이용하여 적분을 이용하여 체계명중률을 예측한다 [2,7]. 본 논문에서는 오차 사이의 상관관계를 고려하여 총오차를 구한 후 정규분포 함수를 이용하여 체계 명중률을 예측하는 방법을 기술한다. 오차의 상관관계는 포구초속과 종풍에서 나타난다. 2절에서는 기존의 체계 명중률 예측 방법을 기술한다. 3절에서는 제안한 오차의 상관관계를 허용하는 체계 명중률을 구하는 방법을 기술한다. 4절에서는 실제 예를 이용하여 제안한 방법의 우수성을 나타낸다. 5절에서 결론을 기술한다.

II. 체계 명중률 예측 방법

1. 오차의 종류

오차의 종류에는 고정편기, 가변편기 및 랜덤오차가 존재한다. 고정편기는 항상 일정하고 랜덤오차는 언제나 변한다. 가변편기는 한 개의 사격군(single shot group or engagement)에서는 일정하지만 사격군과 사격군 사이에는 변화하는 오차이다. 주요한 오차는 표 1에 기술한다.

표 1. 오차의 유형별 분류

Table 1. Classification by type of errors

오차유형	오차의 형태
고정편기	편류
가변편기	포구초속오차, 종풍오차, 횡풍오차, 온도오차, 밀도오차, 고각오차, 방위각오차
랜덤오차	포구초속오차, 밀도오차, 고각오차, 방위각오차

대공화기의 체계 명중률은 다음과 같다. 고정편기, 가변편기 및 랜덤오차 값을 이용한다. 탄도궤적을 이용

하여 각 오차가 단위값만큼 변화할 때 고각과 방위각 방향의 변화량을 단위편량 (unit effect [2])이라고 한다. 표적에서의 체계 명중률을 표시하기 위해 총 가변편기 오차 및 총 랜덤오차는 각각 단위편량과 오차의 크기의 곱의 제곱의 합으로 나타낸다.

여기서 각 가변편기 오차 (σ_{vi}) 이며 단위편량 ($\frac{\partial y}{\partial e_{vi}}$)는 각 오차가 단위값 만큼 증가시킬 때 고각 방향의 변화량으로 나타낸다.

$$\sigma_{v,e} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial e_{vi}} \right)^2 \sigma_{vi}^2} \quad (1)$$

또한 가변편기의 방위각 오차는

$$\sigma_{v,a} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial z}{\partial e_{vi}} \right)^2 \sigma_{vi}^2} \quad (2)$$

이다. 마찬가지로 랜덤오차의 고각방향의 오차와 방위각 방향의 오차는 각각

$$\sigma_{r,e} = \sqrt{\sum_{i=1}^q \left(\frac{\partial y}{\partial e_{ri}} \right)^2 \sigma_{ri}^2} \quad (3)$$

$$\sigma_{r,a} = \sqrt{\sum_{i=1}^r \left(\frac{\partial z}{\partial e_{ri}} \right)^2 \sigma_{ri}^2} \quad (4)$$

이다. 고정편기의 고각방향의 편이 및 방위각 방향의 편이는 각각

$$\mu_{f,e} = \sum_{i=1}^p \left(\frac{\partial y}{\partial e_{fi}} \right) \sigma_{fi} \quad (5)$$

$$\mu_{f,a} = \sum_{i=1}^p \left(\frac{\partial z}{\partial e_{fi}} \right) \sigma_{fi} \quad (6)$$

로 나타낸다. 고각방향의 체계 명중률은

$$ph_e = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_e^2}} \int_{-\frac{h}{2}}^{\frac{h}{2}} \exp\left(-\frac{(y-\mu_e)^2}{2\sigma_e^2}\right) dy \quad (7)$$

로 기술된다. 여기서

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_{v,e}^2 + \sigma_{r,e}^2} \quad (8)$$

이며 h 는 표적의 높이를 뜻한다. 비슷한 방법으로 방위각 방향의 체계 명중률은

$$ph_a = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_a^2}} \int_{-\frac{w}{2}}^{\frac{w}{2}} \exp\left(-\frac{(z-\mu_a)^2}{2\sigma_a^2}\right) dz \quad (9)$$

이다. 여기서

$$\sigma_a = \sqrt{\sigma_{v,a}^2 + \sigma_{r,a}^2} \quad (10)$$

이며 w 는 표적의 폭을 뜻한다. 총 체계 명중률

$$ph = ph_e \times ph_a \quad (11)$$

이다.

III. 오차상관관계를 이용한 체계명중률

오차의 상관관계를 이용한 체계 명중률의 식을 유도하고자 한다. 우선 가변편기의 고각 방향의 오차는

$$\sigma_{v,e} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial y}{\partial e_{vi}}\right)^2 \sigma_{vi}^2 + 2 \frac{\partial y}{\partial e_{v,i}} \frac{\partial y}{\partial e_{v,j}} \sigma_{v,i} \sigma_{v,j}} \quad (12)$$

로 표현된다. 여기서 $e_{v,i}, e_{v,j}$ 는 포구초속과 종풍이고 $\sigma_{e_{v,i}}, \sigma_{e_{v,j}}$ 는 가변편기 포구초속오차 및 종풍오차를 각각 나타낸다. 또한 가변편기의 방위각 방향의 오차는

$$\sigma_{v,a} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial z}{\partial e_{vi}}\right)^2 \sigma_{vi}^2} \quad (13)$$

로 기술된다. 랜덤 오차의 고각방향의 오차는

$$\sigma_{r,e} = \sqrt{\sum_{i=1}^q \left(\frac{\partial y}{\partial e_{ri}}\right)^2 \sigma_{ri}^2} \quad (14)$$

이고 랜덤오차의 방위각 방향의 오차는

$$\sigma_{r,a} = \sqrt{\sum_{i=1}^r \left(\frac{\partial y}{\partial e_{ri}}\right)^2 \sigma_{ri}^2} \quad (15)$$

로 기술된다. 고정편기 고각 방향과 방위각 방향의 편기는 각각

$$\mu_{f,e} = \sum_{i=1}^p \frac{\partial y}{\partial e_{f,i}} \sigma_{f,i} \quad (16)$$

$$\mu_{f,a} = \sum_{i=1}^p \frac{\partial z}{\partial e_{f,i}} \sigma_{f,i} \quad (17)$$

이다.

IV. 실험 및 결과

표 2에 오차를 설정하고 체계 명중률을 구하였다.

표 2. 실험에사용된 오차 값
 Table 2. Error values in experiment

오차 종류 오차 유형	포구초속오차	종풍 오차,	횡풍 오차	밀도	고각 오차	방위각오차	온도	편류
고정편기	-	-	-	-	-	-	-	2 mil
가변편기	10.32m/s	0.5m/s	0.5m/s	0.8%	0.5 mil	1.9 mil	5 deg	-
랜덤오차	6.0m/s	0	0	0.5%	0.2mil	.8 mil	0	-

케적을 이용한 체계 명중률을 예측한 결과를 기술하고 본 논문에서 제시한 상관관계를 고려한 체계 명중률 예측방법과 상관관계를 무시한 체계 명중률 예측기법을 비교하여 표 3에 나타냈다. 표3에서 보듯이 오차상호관계를 고려한 체계 명중률 예측기법이 실사격과 비슷한 케도를 이용한 체계 명중률 예측기법에 더 가까운 값을 얻었다.

표 3. 체계 명중률 예측 비교

Table 3. Comparison of system's delivery accuracy

체계 명중률 예측기법	체계 명중률 예측값	비고
궤적을 이용	0.5500	실사격과 비슷함
오차 상관관계 무적용	$0.6372 \times 0.7008 = 0.4465$	신뢰성낮음
오차 상관관계 적용	$0.7427 \times 0.7008 = 0.5205$	신뢰성높음

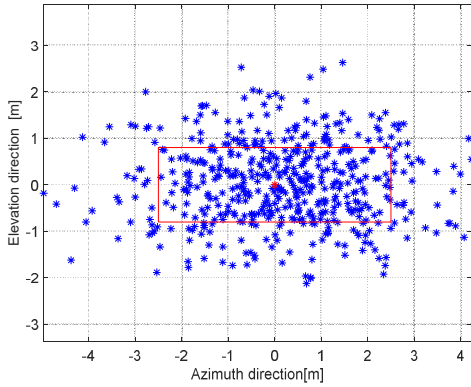


그림 1. 궤적을 이용한 체계 명중률 예측

Figure 1. System's delivery accuracy prediction using the trajectory

실사격의 모의실험을 통하여 궤적을 통한 체계 명중률을 예측하였다 [3]. 발사각은 1000mil로 가정하였다. 그림 1에서 체계 명중률을 예측할 수 있는데 그 값은 0.5500이다. 체계 명중률을 예측하기 위해 각 오차가 단위값만큼 변화할 때 고각 방향의 변이와 방위각 방향의 변이를 표 4에 기술한다. 이 정보는 체계 명중률 예측에 이용된다.

표 4. 오차 단위값 변화에 따른 고각/방위각 변화

Table 4. Elevation/azimuth angle change due to unit value change of the given error

	$\frac{\partial e}{\partial e_{v_m}}$	$\frac{\partial e}{\partial R_w}$	$\frac{\partial e}{\partial e_{den}}$	$\frac{\partial e}{\partial e_{ang}}$	$\frac{\partial e}{\partial e_t}$	$\frac{\partial a}{\partial e_{C_w}}$	$\frac{\partial a}{\partial e_a}$
단위	.052	-0.5	-0.002	0.9936	0.03	0.871	0.76
편량	4	068	1	0.9936	52	0	85

상관관계를 고려한 체계 명중률 구하기 위해 우선 고각 방향의 가변편기의 총 오차는

$$\sigma_{v,e} =$$

$$\sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial e_{v_m}}\right)^2 \sigma_{v,v_m}^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial e_{R_w}}\right)^2 \sigma_{v,R_w}^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial e_{den}}\right)^2 \sigma_{v,den}^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial e_{eng}}\right)^2 \sigma_{v,eng}^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial e_t}\right)^2 \sigma_{v,t}^2} \quad (18)$$

이고 고각 방향의 랜덤오차의 총 오차는

$$\sigma_{r,e} =$$

$$\sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial e_{v_m}}\right)^2 \sigma_{r,v_m}^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial e_{den}}\right)^2 \sigma_{r,den}^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial e_{ang}}\right)^2 \sigma_{r,ang}^2} \quad (19)$$

따라서 고각방향 총오차는

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_{v,e}^2 + \sigma_{r,e}^2} \quad (20)$$

이다.

방위각 방향의 가변편기 총 오차는

$$\sigma_{v,azi} =$$

$$\sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial e}\right)^2 \sigma_{v,e_a}^2 + \left(\frac{\partial z}{\partial e_{C_w}}\right)^2 \sigma_{v,e_{C_w}}^2} \quad (21)$$

방위각방향의 총 랜덤 오차는

$$\sigma_{r,azi} = \sqrt{\left(\frac{\partial z}{\partial e_a}\right)^2 \sigma_{r,e_a}^2} \quad (22)$$

이다. 방위각 방향의 총 오차는

$$\sigma_{azi} = \sqrt{\sigma_{v,azi}^2 + \sigma_{r,azi}^2} \quad (23)$$

이다.

V. 결 론

일반적으로 오차해석을 이용한 체계 명중률 예측은 오차의 제곱의 합의 제곱근을 이용하여 체계 명중률을 예측하였다. 종풍과 포구초속은 매우 밀접한 관계에 있으므로 상관관계를 고려한 체계 명중률 예측 기법을 제안하였다. 실제 실 사격과 비슷한 궤적을 통한 체계 명중률을 예측한 후에 상관관계를 고려한 체계 명중률이 상관관계를 고려하지 않는 체계 명중률 예측 기법에 비해 더 정확하다는 것을 보였다.

※ 본 연구는 국방과학연구소의 연구지원프로그램(미래 지상체계 분석 특화연구실 (계약번호: 311165-911074201))의 지원을 받아 작성하였습니다.

References

- [1] H. I. Kang, G. I. Kim, and H. S. Kim, "A study on prediction of probability of hit for an anti-aircraft artillery," Indian Journal of Science and Technology, vol. 9, no. 1, Dec., 2016.
- [2] Luke S, Strohm, An Introduction to the Sources of Delivery Error for Direct-Fire Ballistic Projectiles, 2013, ARL-TR_649.
- [3] H. I. Kang, K. Park, J. M. Kim, "The stochastic simulation of hit probability based on mathematical modelling for anti-aircraft gun system," ICMDT Conference, Pusan, 2013.
- [4] H. I. Kang, J. J. Pyun and Hyun Soo Kim, "A study on probability of hit for combat vehicle," IICCC, St. peterburg, Russia, 2016.
- [5] H. I. Kang, J. J. Pyun, H. S. Kim, "A study on algebraic solutions of trajectory equations", Indian Journal of Science & Technology, 8(S1), pp.206-209,2014.
- [6] H. I. Kang, K. Park, S. Y. Choi, H. S. Kim, "A study on a vertical gun jump parameter for hit probability", Indian Journal of Science & Technology, 8(S1), pp.222-225, 2014.
- [7] R. MacFadzean, Surface-Based Air Defense System Analysis, Artech House, Boston, 1992.