

Received: 2026/06/16
Revised: 2026/06/28
Accepted: 2026/07/29
Published: 2026/09/30

*Corresponding Author:

Se-Youn Jung

Division of Advanced Engineering, Prime College,
Korea National Open University, 86 Daehak-ro,
Jongno-gu, Seoul, 03087, Republic of Korea
Tel: +82-2-3668-4448
E-mail: jseyoun@knou.ac.kr

Abstract

조선시대 신기전은 화차에 장착되어 다수의 발사체를 동시에 발사할 수 있는 선구적인 무기 체계이나, 현재까지 그 전투 효과는 정성적으로만 이해되어 왔다. 본 논문에서는 신기전의 전투 효과를 공학적으로 분석하기 위해 탄도 모델을 이용하여 탄도 특성, 폭발 위치, 탄착분포(CEP)를 분석하였다. 기존의 전훈분석이 전략·전술 중심의 정성적 서술에 편중되었던 한계를 넘어, 본 연구는 역사적 무기 체계의 전투 효과를 공학적 방법론을 통해 정량적으로 분석할 수 있음을 제시하였다는 데 의의가 있다.

During the Joseon Dynasty, the Singijeon was a pioneering weapon system mounted on the Hwacha. It was capable of launching multiple projectiles simultaneously; however, its combat effectiveness has only been studied qualitatively. This study analyzed the combat effectiveness of the Singijeon using an engineering approach with a ballistic model that evaluated its ballistic characteristics, explosion locations, and circular error probable. This study goes beyond the limitations of conventional lessons learned analyses, which have largely focused on qualitative descriptions centered on strategy and tactics. It is significant for demonstrating that the combat effectiveness of historical weapon systems can be quantitatively analyzed using an engineering-based methodology.

Keywords

신기전(Singijeon), 탄도 모델(Ballistic Model), 전투 효과(Combat Effectiveness), 전훈분석(Lessons Learned), 군사 운영 분석(Military OR)

Acknowledgement

이 논문은 2023년도 한국방송통신대학교 학술연구비 지원을 받아 작성된 것임.

전훈분석: 탄도 모델을 이용한 조선 신기전의 전투 효과 분석

Lessons Learned: An Analysis of the Combat Effectiveness of the Joseon Singijeon Using a Ballistic Model

조성진¹, 정세윤^{2*}

¹한국방송통신대학교 프라임칼리지 첨단공학부 전임대우강의교수

²한국방송통신대학교 프라임칼리지 첨단공학부 부교수

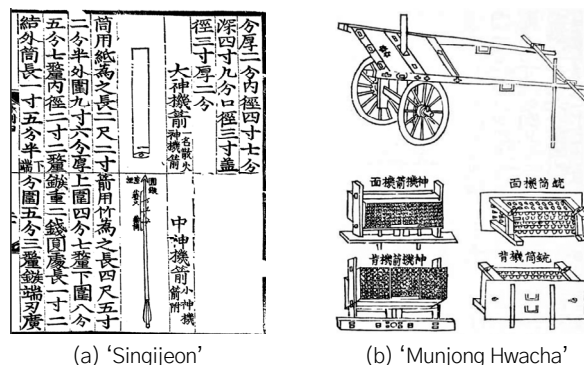
Sung-Jin Cho¹, Se-Youn Jung^{2*}

¹Full-time teaching professor, Division of Advanced Engineering, Prime College, Korea National Open University

²Associate professor, Division of Advanced Engineering, Prime College, Korea National Open University

1. 서론

조선시대에는 신기전, 천·지·현·황자총통, 불랑기포 등 다양한 종류의 화포들을 운용하였다. 이러한 화포들은 특히 임진왜란에서도 사용되었으며 영화나 드라마를 통해 그 모습과 위력들을 간접적으로 이해할 수 있다. 특히 신기전과 총통에서 발사되는 장군전·철환은 전투에 크게 기여한 것으로 알려져 있다. Fig. 1은 조선 세종 5년(1474년) 편찬한 국가 예법 해설서인 『국조오례의서』의 「병기도설」 편에 있는 ‘신기전’과 ‘문종 화차’ 그림(도설)이다[1].



(a) 'Singijeon' (b) 'Munjong Hwacha'
Fig. 1. 「Byeonggi Doseol」 of the 『Gukjo Oryeui Seorye』

특히, 신기전은 무기 역사에서 가장 선구적인 병기 중 하나로서 발사대인 화차에 장착되어 100발까지 동시 발사가 가능하다. 그리고 신기전은 대규모의 적을 와해시키는 데 효과가 있을 것으로 추정된다. 신기전 중에 소신기전은 화살촉에 의한 물리적 타격력으로 공격하지만, 중신기전과 대신기전은 추진체 앞부분에 ‘발화통’이라는 폭발체를 장착하고 있다. ‘발화통’은 발사 이후 일정 시간 후에 폭발하며 다수의 적에게 피해를 줄 수 있다.

신기전은 어떤 환경에서 쓰느냐에 따라 그 효과가 극명하게 달랐을 것이다. 단단한 흙바닥에 화차를 안정적으로 고정할 수 있는 지상 환경과 달리, 끊임없이 파도가 출렁이는 해상에서는 배의 흔들림 때문에 발사대 자체가 요동치게 된다. 게다가 중신기전과 소신기전은 무게가 가벼워 바다의 강한 바람을 맞으면 비행경로가 쉽게 변하게 된다. 이에 따라 해상에서 발사된 신기전은 지상보다 탄착 범위가 크게 분산되어 명중률이 크게 떨어질 가능성이 높다. 해상에서 선박은 점표적으로 볼 수 있어 탄착 정확도가 중요하며, 반면 지상 부대는 집단형태의 면적이기 때문에 분산 탄착이 유효할 것이다.

본 연구에서는 ‘전훈분석’ 관점에서 탄도 모델을 이용하여 신기전 무기의 효과를 분석해 보고자 한다. ‘전훈분석’이란 ‘전쟁’과 ‘교훈’을 합한 단어로서 전훈분석팀이 전쟁 현장의 작전부대나 주요 훈련부대에 동참해 전쟁·전투 훈련을 분석하는 것이다[2]. 미국의 전훈분석은 ‘전훈분석센터’에서 분석팀을 운용하고 있으며, 현장을 통해 분석된 내용을 바탕으로 즉시 반영할 수 있는 분야와 중장기 전투발전 분야로 구분하여 추진한다. 현재 우리의 전훈분석은 전략·전술·군수에 대한 전투발전 교리에 중심을 두고 있으며, 무기 체계에 대한 분석은 의외로 큰 중심이 되지 못하고 있어 아쉬움이 있다.

무기 체계는 전투에 결정적 영향을 미치며 특히 오래된 과거의 무기들은 운용과 효과에 대한 자료가 매우 부족하다. 신기전도 마찬가지로 우리의 자랑이지만 어떠한 전투 효과를 발휘했는지 추상적으로만 이해되고 있다. 이에 탄도 모델을 이용하여 공학적 방법으로 좀 더 구체적인 전투 효과를 분석하고자 한다.

2. 신기전 소개 및 탄도 모델링

2.1 신기전 소개

신기전은 화약이 장착된 화살 형태의 무기 체계로서, Fig. 2와 같이 총 5종류로 구분된다. 길이 1.5 m 이하의 소신기전과 중신기전, 길이 약 5.5 m의 대신기전이 있으며, 대신기전 발사체를 활용한 산화신기전과 질려신기전 등이 있다[3].

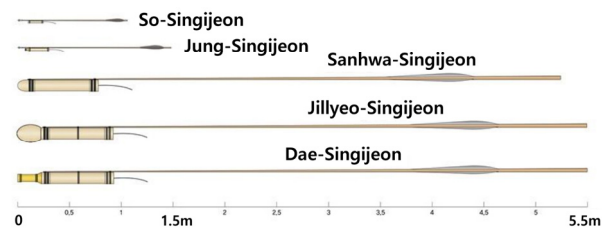


Fig. 2. Types of Singijeon

신기전은 ‘약통’이라는 둥근 막대 형태의 추진체를 가졌으며 ‘약통’의 화약이 연소하면서 내는 힘으로 비행한다. 소신기전은 화살촉만을 장착하여 물리적 타격을 가하는 무기이며, 중신기전은 화살촉과 약통 전방에 ‘발화통’이라 불리는 폭발체를 장착한 형태이다. ‘발화통’은 ‘약통’ 연소 종료 후 지연신관에 의해 일정 시간 후 폭발한다. 따라서 중신기전은 발사 후 표적에 명중하여 고정된 상태에서 폭발하거나, 표적에 도달하기 전에 공중에서 기폭되어 타격을 준다. 대신기전은 ‘발화통’만 장착했으며 장약량이 중신기전보다 약 10배이다. ‘발화통’의 폭발 지연시간은 ‘약통’과 ‘발화통’을 연결하는 약선의 길이로 결정되며, 발사 후 중신기전은 3~4초, 대신기전은 6~9초로 추정하고 있다.

중신기전과 소신기전은 Fig. 1(b)의 ‘문종 화차’라는 이동식 화차에 ‘신기전기’라는 발사대를 장착하여 100발을 발사할 수 있으며, 대신기전은 고정식 발사대에서 단발로 발사한다[4].

2.2 탄도 모델링

신기전의 비행 특성을 분석하기 위해서 탄도 모델을 활용하고자 한다. 탄도 모델 연구는 탄도미사일과 관련한 다양한 주제들에서 연구되어 오고 있는 대표

적인 공학분석이다. 먼저 탄도 비행 특성에 대한 분석으로 발사방법에 따른 비행궤적 특성, 발사부터 탄착까지의 속도 변화 등을 다룬 연구가 있다[5]. 두 번째는 탄도 특성을 고려하여 발사위치를 추정하는 연구가 있으며[6], 세 번째는 비행거리와 정점고도만으로 탄도의 발사속도, 발사각도, 비행시간을 추정하는 연구가 있다[7]. 네 번째는 역사적 무기인 조선시대 천자총통의 대장군전에 대한 탄도 특성을 분석한 연구가 있다[8].

본 연구의 탄도 모델은 3차원 좌표계를 기반으로 하며, x 축을 비행하는 정면 방향으로, y 축을 수직 높이로, z 축을 좌우 측면으로 정의한다.

v_0 : 최초 발사속도

θ_0 : 최초 발사각도(고각)

ϕ : 최초 발사방위각도

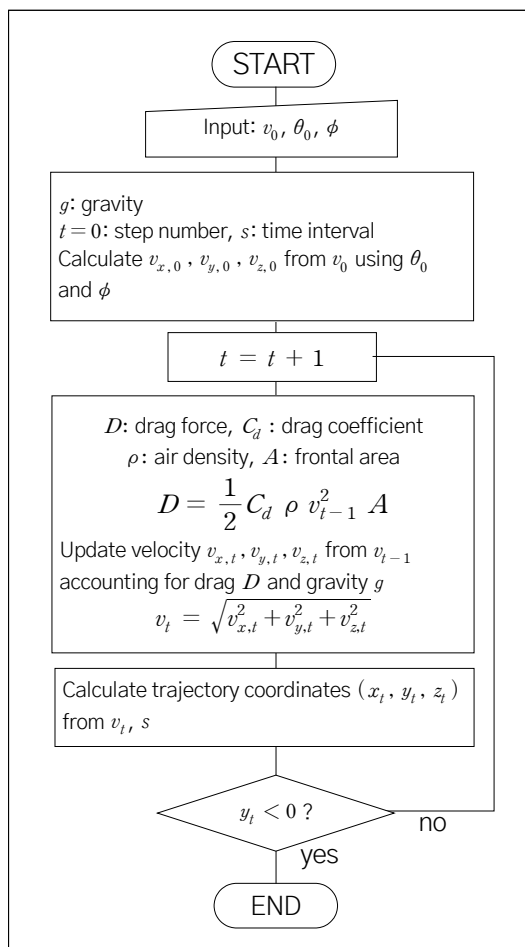


Fig. 3. BM trajectory calculation process

$v_{x,t}, v_{y,t}, v_{z,t}$: t 에서 x, y, z 축 방향 속도

θ_t : t 에서 변화하는 탄의 비행각도

ϕ : t 에서 비행방위는 변화 없음을 가정

$$v_{x,t} = v_{t-1} \cos \theta_{t-1} \cos \phi$$

$$v_{y,t} = v_{t-1} \sin \theta_{t-1} - g \cdot s$$

$$v_{z,t} = v_{t-1} \cos \theta_{t-1} \sin \phi$$

$$v_t : t \text{에서 속도 } (v_t = \sqrt{v_{x,t}^2 + v_{y,t}^2 + v_{z,t}^2})$$

Fig. 3는 세 가지 입력값 ' v_0, θ_0, ϕ '을 바탕으로 탄 착될 때까지 각 시점에서의 비행 좌표를 구하는 흐름도를 나타낸 것이다. 일반적으로 탄도 비행을 모델링할 때는 화약이 타들어 가는 내부 연소 과정부터 비행 궤적까지 복잡한 공학 계산을 거치게 된다. 그러나 대나무와 한지, 전통 흑색화약으로 만들어진 신기전은 제작 공정의 편차나 화약 상태에 따라 발사 시마다 물리적 오차가 크게 발생할 수밖에 없다[9]. 신기전의 비행은 점화 후 발생하는 연소추진력으로 이루어지며, 이용우 등[10]의 연구에서는 연소추진력이 점화 후 약 1~2초에 최고가 된다. 연소시간이 짧으므로 추진 종료 시점의 비행거리도 짧으며, 화약 품질의 균일성 또한 낮아 비행거리 편차도 발생할 것이다. 따라서 개별 신기전 한 발이 날아가는 추진 가속 과정을 미세하게 계산하는 것보다는 복잡한 추진 구간을 하나의 '유효초기속도'로 단순화하여 v_0 로 계산하여도 유효한 결과를 얻을 수 있을 것이다.

본 연구의 분석 목적은 비행 과정 자체보다 탄착점 분포 분석에 있으므로, 탄도 모델에서는 '유효초기속도'를 초기 발사속도 v_0 값으로 적용하여 탄도를 산출한다. 또한 몬테카를로 시뮬레이션 방법을 이용하여 탄도 모델의 기본 요소인 발사속도, 발사각도, 발사방위각의 오차를 난수로 구현하여 탄착 분산 범위를 산출한다.

3. 탄도 모델을 이용한 신기전 탄도 분석

3.1 신기전의 기본 발사 특성 산출

신기전의 탄도 특성을 분석하기 위해 필요한 제원 값들은 한국학중앙연구원 자료[4]와 복원 연구자료[9,10]를 활용하였다. Table 1은 자료들을 통해 정리한 신기전의 제원들이다. 추진체인 약통의 직경과 총 무게는 공기저항을 계산하기 위한 값이며, 비행거리는 탄도 모델에서 발사속도 v_0 를 추정하기 위한 기준

Table 1. Specifications of Singijeon[4]

Type	Length	Propellant Diameter	Total Weight	Flight Range
Dae-Singijeon (Large)	5.2 m	94 mm	5.3 kg	1,000 m
Jung-Singijeon (Medium)	1.4 m	28 mm	300 g	150~200 m
So-Singijeon (Small)	1.0 m	20 mm	100 g	100~150 m

값이다.

신기전의 최대 비행거리가 되는 v_0 를 추정하기 위해 발사각도 θ_0 는 40° , 발사방위각 ϕ 는 0° 로 가정하여 설정하였다. 발사각도 40° 는 복원한 ‘문종 화차’ 발사대의 최대 발사각도이다[11].

Table 2는 탄도 모델을 이용하여 구한 각 신기전의 v_0 와 비행시간들이다.

Table 2. Estimation of Singijeon launch velocity (v_0)

Type	Flight Range	v_0	Flight Time
Dae-Singijeon (Large)	1,000 m	126.6 m/sec	14.4 sec
Jung-Singijeon (Medium)	199 m	47.6 m/sec	6 sec
So-Singijeon (Small)	150 m	41.7 m/sec	5.3 sec

3가지 ' v_0 , θ_0 , ϕ ' 값들은 몬테카를로 시뮬레이션에서 탄착 분포를 구하기 위한 기준값으로 사용한다.

3.2 대신기전 탄도분석

대신기전은 발사 후 약 9초가 지나면 ‘발화통’이 폭발하는 무기이다. 그러므로 발사각도에 따라 ‘발화통’이 폭발하는 위치가 다를 것이며 ‘발화통’은 지표면과 최대한 가까워야 공격 효과가 있을 것이다. Table 3는 대신기전의 4가지 발사각도별 최대 비행거리와 발사 9초 후 폭발 위치이다.

Table 3. Flight characteristics by launch angle

No.	Launch Angle	Maximum Flight Range *If No Explosion	Explosion Location (Range, Height) *After 9 Seconds
①	40°	1,000 m	(692 m, 234 m)
②	30°	937 m	(776 m, 104 m)
③	25°	866 m	(808 m, 34 m)
④	22.7°	824 m	(821 m, 1.5 m)

Fig. 4는 Table 3의 탄도궤적과 발사 9초 후 폭발 위치를 나타낸 것이다. ①의 경우 이론상 최대 비행거리는 1,000 m이나, 거리 692 m, 고도 234 m 지점에서 폭발하므로 실제 비행거리는 감소한다. 폭발은 지표면과 가까울수록 타격 효과가 높으므로 폭발고도가 1.5 m인 ④의 발사각도 22.7° 가 효과적이며 이때 비행거리는 821 m이다. 반면 높은 고도에서 폭발도 적에게 심리적 타격을 줄 수 있다.

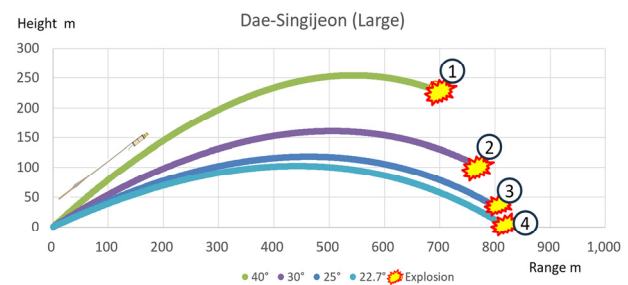
**Fig. 4.** Dae-Singijeon trajectory changes and explosion locations by launch angle

Fig. 5는 ④의 발사 제원을 기준으로 몬테카를로 시뮬레이션으로 구한 100발의 탄착 분포이다. 발사 속도, 발사각도, 발사방위각 오차에 영향을 주는 요소는 다양하므로 본 연구에서는 다음과 같이 오차를 가정하였다. 발사속도는 $\pm 5\%$, 발사각도와 발사방위각도는 $\pm 2^\circ$ 로 가정하여 시뮬레이션하였다.

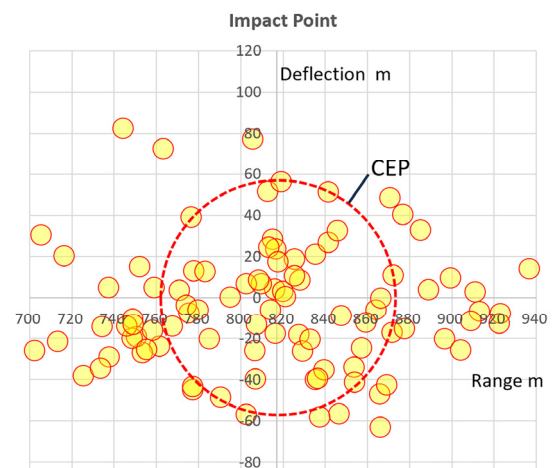
**Fig. 5.** Monte Carlo simulated impact points

Fig. 5에서 탄착점 원의 크기는 대신기전의 발화통 폭발 유효 반경을 5 m로 가정했을 때 크기이다. 대신

기전 100발에 대한 CEP는 58 m로 산출되었다.

3.3 중신기전과 소신기전 탄도 분석

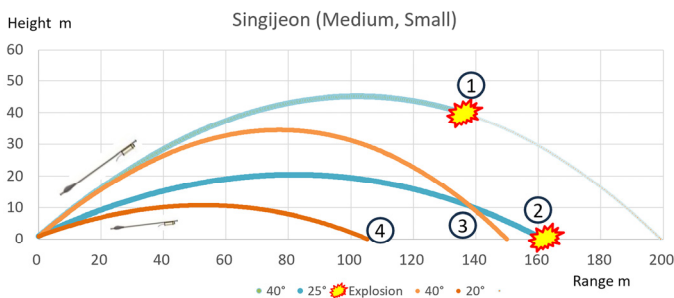
중신기전과 소신기전은 화살촉을 장착했으며, 중신기전에는 발화통이 있어 발사 후 약 4초가 지나면 폭발한다. Table 4는 중신기전과 소신기전의 최대 비행거리와 중신기전 폭발 위치를 나타낸 것이다.

Table 4. Flight characteristics of Jung & So-Singijeon

Type	No.	Launch Angle	Maximum Flight Range *If No Explosion	Explosion Location (Range, Height) *After 4 Seconds
Jung-Singijeon (Medium)	①	40°	199m	(136m, 40m)
	②	25°	161m	(161m, 0.5m)
So-Singijeon (Small)	③	40°	150m	No Charge
	④	20°	105m	

Fig. 6(a)는 4가지 탄도궤적과 중신기전의 폭발 위치를 나타낸 것이며, Fig. 6(b)는 ②와 ④에 대해 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하여 산출한 100발의 탄착 분포이다. 각 100발에 대한 CEP는 소신기전이 8.7m, 중신기전이 14.5m로 산출되었다.

Fig. 7은 해상 환경에서 다양한 외부 영향에 의해 발사 오차가 3배 증가한다고 가정한 소신기전의 105 m 거리에서의 탄착 분포이며, CEP는 19 m로 산출되었다. 이를 임진왜란 당시 일본군의 주력 전선인 ‘아타케부네’와 ‘세키부네’의 상부 면적을 기준으로 명중률을 추정한 결과 각각 21%, 6%의 낮은 명중률을 보였다.



(a) Trajectory Changes and Explosion Locations by Launch Angle

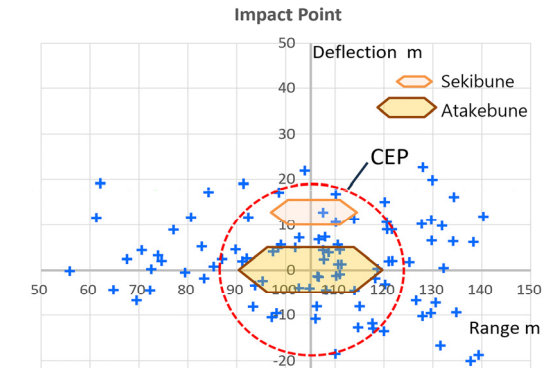
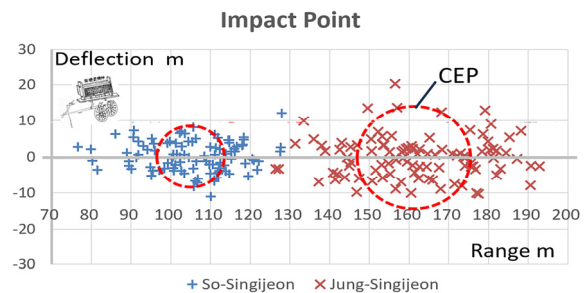


Fig. 7. Impact points of So-Singijeon at sea

3.4 신기전 특성을 고려한 효과적 전술

신기전은 비행 특성, 폭발 방식, 탄착 분산 범위에 따라 운용 효과가 크게 달라질 수 있다. 이에 본 연구에서는 탄도 모델 분석 결과를 기반으로 신기전의 전투 효과를 높여주는 전술적 활용 방안을 다음과 같이 도출하였다.

- 신기전 발화통의 지연신관 특성을 반영한 결과, 공중 기폭으로 인해 실제 유효사거리는 이론적 최대 사거리보다 감소하였다.
- 해상 사격 환경에서는 탄착군이 크게 확산되어 명중률이 저하되므로 운용 효과가 제한된다.
- 신기전은 특정 목표물을 공격하는 ‘점표적’ 무기가 아니라, 대규모 소프트 표적들을 대상으로 화력을 투사하는 ‘지역표적’ 무기로 적합하다.
- 대량 동시사격과 발화통의 폭발 효과는 적 부대의 진형과 사기를 와해시키며 협동공격의 시너지 효과를 높일 수 있다.



(b) Monte Carlo Simulated Impact Points

Fig. 6. Jung-Singijeon & So-Singijeon trajectory and impact points

4. 결론

본 연구에서는 전훈분석 관점을 바탕으로 조선 시대 대표적 전통 무기인 신기전의 전투 효과를 탄도 모델을 통해 공학적으로 분석하였다. 특히 지연신관에 의한 발화통의 폭발 시간을 모델에 반영한 결과, 공중 기폭으로 인해 실제 비행거리가 초기 추진력 기반의 이론적 사거리보다 단축된다는 결과를 도출하였다.

또한 해상 환경에서는 선체의 흔들림과 외부 영향으로 인해 탄착 분산 범위가 확대되어, 점표적인 선박에 대한 명중률이 크게 낮음을 확인하였다. 이를 통해 신기전은 특정 목표물을 타격하는 '점표적' 무기보다 넓은 구역에 화력을 투사하는 '지역표적' 무기로 효과적임을 확인하였다.

본 연구는 역사적 사료가 부족한 전통 무기 체계의 운용 특성과 전투 효과를 정량적 공학 방법론으로 분석하였다는 점에 의의가 있다. 또한 기존 전훈분석이 전략·전술적 교리 중심의 정성적 분석에 편중되었던 한계를 넘어, 무기 체계 전투 효과는 공학적 방법론을 통해 정량적으로 분석할 수 있음을 제시하였다.

향후 연구에서는 조선시대 화포 무기 전반으로 연구 대상을 확장하여, 전통 무기 체계의 전투 효과를 보다 체계적으로 분석하고자 한다.

참고문헌

- [1] 조선시대 법령자료, 국조오례의서례(國朝五禮儀序例), 권4, 군례(軍禮), 병기도설(兵器圖說), 화차(火車), 국사편찬위원회, 2021.06.18.
https://db.history.go.kr/joseon/item/level.do?levelId=jlawb_230_0040_0010_0020_0380 (accessed 2026.05.06.)
- [2] Sung Jin Cho, Jae Hyo Jeon, Sung Min Jung, & Yoon Chul Cho, 'Lessons Learned: A Simulation Analysis on Rommel's

Logistics Problem in WW-II North-African Campaign,' Journal of the Military Operations Research Society of Korea, VOL. 44, NO. 2, 2018, pp. 1-10.

[3] 채연석, 되살아난 조선의 로켓 화기, 신기전과 화차, 집현전네트워크 홈페이지, 2023.09.19.
https://jiphyunnet.or.kr/app/service/jiphyun/archive/592?doc_cat=sub4_6 (accessed 2026.05.27.)

[4] 한국민족문화대백과사전, 신기전, 한국학중앙연구원 홈페이지, 2026.05.11. <https://encykorea.aks.ac.kr/Article/E0032719> (accessed 2026.05.13.)

[5] Yong Soo Kwon & Bong Suk Choi, 'Analysis of the Flight Trajectory Characteristics of Ballistic Missiles,' Journal of the Military Operations Research Society of Korea, VOL. 32, NO. 1, 2006, pp. 176-187.

[6] Sung-Jin Cho, 'A Study on the Estimating Launch Location Based on Detection Information of Ballistic Missile Flight,' Journal of the KNST, VOL. 6, NO. 3, 2023, pp. 331-335.

[7] Sung-Jin Cho, 'A Study on a Simple Analysis Method for Rapidly Estimating the Trajectory of a Ballistic Missile,' Journal of the Military Operations Research Society of Korea, VOL. 49, NO. 3, 2023, pp. 1-11.

[8] Hae-Il Bak & Yu-Chan Yi, 'Estimation of Trajectories for the Large General-Arrow Fired from the Early Korean Gun-Barrel "CH'ON-JA-CH'ONG-T'ONG" and the Effective Gun Range from the Turtle-Boat,' Korean Journal for the History of Science, VOL. 11, NO. 1, 1989, pp. 3-18.

[9] Yongwu Lee, Minjae Kim, Seungwon Wang, Jaiho Kim, & Hwanil Huh, 'The First Korean Rocket Dae-Sin-Gi-Jeon: Study of Propellant Case (Yak-Tong),' in Proceedings of 2008 KSPE Fall Conference, November 2008, pp. 211-214.

[10] Yongwu Lee & Hwanil Huh, 'The 15th Century Korean Rocket Dae-Sin-Gi-Jeon: Flight Test Result,' in Proceedings of 2009 KSPE Fall Conference, November 2009, pp. 325-328.

[11] 채연석, 이동식 로켓발사대, 문종화차(文宗火車), 사이언스올 홈페이지, 2014.12.22.
<https://www.scienceall.com/brd/board/749/L/menu/748?brdType=R&thisPage=1&bbsSn=95385&brdCodeValue=> (accessed 2026.05.06.)