



Received: 2026/05/15
Revised: 2026/05/30
Accepted: 2026/06/17
Published: 2026/06/30

***Corresponding Author:**

Kwang-Soob Ko

Tel: +82-61-240-7125

Fax: +82-61-240-7127

E-mail: nama1@mmu.ac.kr

이순신과 넬슨 해전의 함포 사격거리에 대한 연구: 사격통제장치 개발 이전 시대 해전을 중심으로

Abstract

본 연구는 사격통제장치가 존재하지 않았던 시대 해전의 교전 구조를 물리적·과학적 관점에서 재해석함으로써, 기존의 서술적·경험적 접근이 지닌 한계를 보완하고자 하였다. 특히 함포의 이론적 최대사거리와 실제 교전거리 간의 차이를 명확히 구분하고, 명중 가능성과 파괴 효과가 동시에 확보되는 ‘결정적 교전거리’ 개념을 통해 해전의 실질적 교전 메커니즘을 규명하였다. 이러한 분석은 이순신 해전과 트라팔가 해전이 공통적으로 근접 교전 중심으로 전개되었음을 설명하는 물리적 근거를 제공한다. 향후 임진왜란 해전 연구에서 교전 거리, 명중 구조, 전술 운용을 통합적으로 해석하기 위한 방법론적 출발점으로 기능할 수 있을 것이다.

This study reinterprets the engagement structure of naval warfare prior to the development of fire-control systems from a physical and scientific perspective, thereby addressing the limitations inherent in conventional descriptive and experience-based approaches. In particular, it clearly distinguishes between the theoretical maximum range of naval artillery and actual engagement range in combat. The operational mechanism of naval warfare is elucidated through the concept of the “decisive engagement range,” in which both the hit probability and destructive effect are simultaneously secured. The findings provide a physical basis for understanding that both the battle of Admiral Yi Sun-sin and Battle of Trafalgar were fundamentally conducted as close-range engagements. This study moves beyond traditional qualitative interpretations of pre-fire-control naval warfare and highlights the necessity of quantitative analysis grounded in physical and scientific reasoning. The results are expected to serve as a methodological point of departure for future naval history research, enabling an integrated interpretation of the engagement range, hit probability structure, and tactical employment.

Keywords

이순신 해전(Naval Battles of Yi Sun-sin), 트라팔가 해전(Battle of Trafalgar), 함포 사격거리(Naval Gunfire Engagement Range), 사격통제장치(Fire-Control System), 근접 교전(Close-Range Engagement)

A Study on Naval Gunfire Engagement Ranges in the Battles of Yi Sun-sin and Nelson: Focusing on Naval Warfare before the Development of Fire-Control Systems

고광섭*

해군사관학교 명예교수

Kwang-Soob Ko*

Professor emeritus, Republic of Korea Naval Academy

1. 서론

1.1 연구배경

임진왜란 해전은 한국 해전사에서 가장 중요한 연구 대상 가운데 하나이지만, 실제 교전 거리와 명중률, 선체 타격 구조에 관한 정량적 기록은 거의 찾아보기 힘들다. 특히 이순신 해전의 전술적 성격을 규명하는 과정에서 조선 수군의 총통이 어느 거리에서 실제로 적선의 선체를 타격할 수 있었는가 하는 문제는 오랫동안 충분히 검토되지 못하였다. 그 결과 교과서, 대중서, 역사서, 영상 콘텐츠 등에서는 조선 수군이 총통의 강력한 화력을 바탕으로 원거리에서 적선을 격파한 것처럼 묘사되는 경우가 많았고, 문헌상 최대사거리가 실제 교전 거리처럼 이해되는 통념도 형성되었다 [1-3].

저자는 이러한 문제의식 속에서 2023년 거북선에 탑재되어 함포로 활용된 총통의 선체 타격 가능 거리를 공학적 전술 시뮬레이션을 통해 분석한 결과를 발표했다[4]. 이 연구에서 총통의 문헌상 최대사거리와 일본의 대선인 안택선의 선체를 직접 타격할 수 있는 직사포 특징을 갖는 유효사거리가 현격히 다르다는 점을 밝힌 바 있다. 특히 거북선 함포의 선체 타격 안정권은 적선과의 이격거리 약 10 m 안팎, 타격 경계권은 약 15 m 안팎, 그리고 선체 타격 사

각구역은 약 20 m 안팎에서부터 발생할 수 있음을 제시하였다.

이는 조선 함대의 거북선과 판옥선의 총통 운용이 장거리 포격전을 위한 무기체계라기보다는 적선에 돌격하여 선체를 직접 타격하는 근접 교전 구조와 밀접하게 관련되어 있음을 보여주는 결과였다. 이 연구 결과는 이순신 해전 해석에 중요한 전환점을 제공하였다. 총통의 최대사거리를 곧 실전 유효사거리로 간주하던 기존 인식에 근본적인 의문을 제기했기 때문이다.

그러나 동시에 이 연구는 새로운 과제도 남겼다. 임진왜란 해전은 400년이 넘는 시간적 간격으로 인해 사격 거리, 명중률, 포격 절차, 함선 간 상대 운동 등에 관한 직접적이고 정량적인 기록이 극히 부족하다. 따라서 총통의 유효사거리와 근접 교전 구조를 보다 설득력 있게 재입증하기 위해서는, 이순신 해전 자체의 제한된 사료만이 아니라 동일한 물리적 조건을 공유한 다른 시대의 해전 사례와 비교할 필요가 있다.

본 연구가 주목한 대상이 바로 1805년 트라팔가 해전이다. 트라팔가 해전은 이순신 해전보다 약 200년 뒤에 벌어진 유럽 해전이지만, 중요한 공통점을 지닌다. 그것은 두 해전 모두 현대적 사격통제장치가 개발되기 이전의 해전이었던 점이다. 레이더, 거리측정기, 탄도계산기, 자이로 안정장치, 자동화된 포술 통제 체계가 존재하지 않았던 시대에 함포 사격은 기본적으로 인간의 눈, 경험, 감각, 그리고 함상에서의 제한된 조준 능력에 의존할 수밖에 없었다[5,6].

따라서 16세기 조선 수군의 총통 운용과 19세기 초 영국 해군의 함포 운용은 무기체계의 규모와 기술 수준에서는 차이가 있었지만, 사격통제장치 부재라는 근본 조건에서는 동일한 물리적 한계를 공유하고 있었다.

함포의 탄도는 이론적으로 포물선 운동을 따르지만, 사격통제장치가 없는 해상 전투에서는 그 포물선 탄도를 정밀하게 활용하기 어렵다. 선박은 파도와 바람에 의해 지속적으로 롤링과 피칭을 반복하고, 표적선 또한 움직이며, 발사 순간의 미세한 포각 오차는 거리 증가에 따라 탄착점의 큰 편차로 확대된다. 이런 조건에서는 이론적 최대사거리가 존재하더라도, 실제 명중이 가능한 유효사거리는 훨씬 짧아질 수밖에 없다. 결국 사격통제장치 이전 시대의 해전에서는 장거리 포물선 사격보다, 표적에 접근하여 초기 직선에

가까운 탄도 구간에서 선체를 직접 타격하는 방식이 훨씬 현실적이고 효과적인 전술이 된다.

트라팔가 해전은 이러한 문제를 검증하기에 매우 적절한 비교 사례이다. 넬슨 시대의 해전은 임진왜란 해전보다 관련 문헌과 전투 기록, 함포 제원, 함선 구조, 전술 해석 자료가 훨씬 풍부하게 남아 있다. 또한 트라팔가 해전은 명목상 사거리가 긴 함포를 보유했음에도 실제 결정적 교전이 근접 거리에서 이루어졌다는 점에서, 사격통제장치 이전 해전의 공통 구조를 분석하는 데 중요한 기준점을 제공한다. 이는 문헌 기록이 상대적으로 부족한 이순신 해전의 전투 메커니즘을 보완적으로 해석할 수 있는 비교사적 자료가 된다.

따라서 본 연구는 저자의 선행 연구의 후속 작업으로서, 거북선 총통의 초근접 유효사거리 분석 결과를 세계 해전사적 맥락에서 재검토하고자 한다. 이를 위해 이순신 해전과 넬슨의 트라팔가 해전을 비교 대상으로 삼아, 사격통제장치가 개발되기 이전 시대의 함포 사격이 어떤 물리적 한계 속에서 이루어졌으며, 왜 실제 해전이 장거리 포격전이 아니라 근접 교전 중심으로 전개될 수밖에 없었는지를 분석한다. 결국 본 연구의 출발점은 다음과 같다. 이순신 해전의 근접 교전 구조는 단순히 조선 수군만의 특수한 전술 현상이 아니라, 사격통제장치가 존재하지 않았던 전근대 세계 해전 일반의 물리적 조건 속에서 형성된 보편적 전투 메커니즘일 가능성이 크다. 본 연구는 이 가설을 트라팔가 해전과의 비교를 통해 검토함으로써 이순신 해전의 함포 사격 거리와 전술 구조를 기록과 과학, 그리고 비교 해전사의 관점에서 재해석하고자 한다.

1.2 연구 목적

임진왜란 해전은 16세기 말의 전투로, 1805년 Horatio Nelson 제독이 지휘한 트라팔가 해전에 비해 약 200여 년 앞선 시기의 해전으로서 무기체계의 발전 수준과 전투 기록의 정밀성에서 상당한 차이가 존재한다. 임진왜란 해전은 교전 거리나 사격 방식에 대한 정량적 자료가 제한적인 반면, 트라팔가 해전은 교전 과정과 전술 운용에 대한 비교적 상세한 기록이 전해지고 있다. 그럼에도 불구하고 두 해전은 사격통제장치가 개발되기 이전이라는 결정적 공통점이 있다. 따라서 함포 사격의 작동 방식과 명중률의 구조적

한계는 시대와 지역을 초월하여 본질적으로 유사한 특성을 지녔다.

본 연구는 첫째, 트라팔가 해전에 대한 문헌 분석과 외부탄도학 기반 시뮬레이션을 병행하여, 사격통제장치가 개발되기 이전 시대 해전에서 공통적으로 나타나는 함포 사격의 교전 메커니즘을 규명한다. 둘째, 이러한 연구 결과를 트라팔가 해전보다 200여년 전에 벌어진 임진왜란 해전과 비교·분석함으로써, 기존 문헌 및 사료만으로는 충분히 설명되지 않았던 이순신 해전의 교전 구조를 물리적·과학적 관점에서 재구성하는 데 목적이 있다.

이를 통해 본 연구는 사격통제장치 이전 시대 동서양 해전에 공통적으로 작용한 함포 사격 메커니즘의 구조를 해명하고, 이를 바탕으로 임진왜란 해전의 교전 방식과 전술 해석에 대한 과학적·물리적 기반을 정립하고자 한다.

2. 사격통제장치 개발 이전 해전의 함포사격 구조와 한계

2.1 사격거리 통제 기술의 물리적 특성

사격통제장치 개발 이전 시대의 함포 사격과 관련된 물리적 특성으로 아래 몇 가지를 들 수 있다.

첫째, 19세기 초까지 유럽에서 벌어진 해전은 현대 해군에서 필수적으로 운용되는 사격통제 체계가 존재하지 않는 조건에서 수행되었다. 함포 사격은 전적으로 인간의 감각과 경험에 의존하여 이루어졌다. 즉, 사수는 육안 관측과 체감에 기반하여 거리와 고각을 판단해야 했으며, 이는 사격 결과의 불확실성을 구조적으로 내포하는 체계였다[5]. 이러한 조건은 임진왜란기 조선 수군의 총통 운용뿐 아니라 18세기~19세기 초 영국 전열함의 장포 운용에도 동일하게 적용되었다. 시대에 따라 함선의 외형적 차이는 존재하지만, 포수의 감각 기반 사격 체계의 구조적 한계라는 본질적 조건은 동일했다.

둘째, 해전에서 사용된 주력 포탄은 내부에 폭발 장약이 없는 고체 주철환(solid iron shot)이었다. 이는 현대의 폭발탄과 달리, 폭발이 아닌 운동에너지에 의해 파괴력이 결정되는 구조를 갖는다. 포탄의 파괴력은 다음과 같은 고전역학에서 정의되는 운동에너지 공식으로 설명될 수 있다[7,10].

$$E = 1/2 mv^2 \quad (1)$$

여기서 E 는 운동에너지, m 은 포탄의 질량, v 는 포탄의 속도를 의미한다.

즉, 질량과 속도의 제곱이 충격에너지를 결정하며, 선체 파괴는 충돌 순간의 운동에너지에 의해 발생한다. 즉, 포탄의 물리적 파괴 메커니즘은 폭발이 아닌 물리적 충격이었다.

셋째, 사격통제장치 개발 이전 유럽 해군 함포의 실전 운용 고각은 대체로 0° 에서 6° 사이의 저고각 범위에 머물렀다. Brian Lavery에 따르면, 당시 영국 전열함의 사격 고각은 대부분 6° 이하였으며 실험적으로도 약 $8^\circ \sim 9^\circ$ 를 넘지 않았다[8]. 이러한 저고각 조건에서도 포탄의 탄도는 이론적으로 포물선 운동을 따르지만, 실제 사수의 인식 체계에서는 거의 직선에 가까운 조준선으로 이해되었다. 이는 당시 사격이 정밀한 곡사 계산이 아니라 목표물과 포신을 일치시키는 직선적 조준에 기반했음을 의미한다.

넷째, 명중률 확보를 위한 보정장치가 없어 다양한 사격오차는 명중률 저하로 직결되었다.

2.2 해상 사격 플랫폼 불안정성에 따른 오차와 기초이론

해상에서의 함포 사격은 본질적으로 불안정한 플랫폼 위에서 이루어진다. 함선은 파랑과 바람의 영향으로 지속적인 롤링과 피칭 운동을 반복하며, 발사 순간에도 포신의 방향은 미세하게 변화한다. 이러한 동요는 필연적으로 조준선의 편차를 발생시키며, 이는 발사 시점의 각도 오차 $\Delta\theta$ 로 나타난다. 사격통제장치가 존재하지 않았던 범선 시대에는 이러한 각도 오차를 정밀하게 보정할 수 없었고, 발사 시점 역시 포수의 경험과 감각에 의존할 수밖에 없었다. 따라서 해상 사격에서는 일정 수준 이상의 각도 오차가 구조적으로 발생하며, 이는 탄착 오차의 근본적 원인이 된다.

이와 같은 각도 오차는 표적 거리에서 기하학적으로 확대된다. 조준선이 $\Delta\theta$ 만큼 벗어나 있을 때, 그 오차는 표적까지의 거리 R 에서 위치 오차 Δy 로 변환되며, 이는 식 (2)와 같이 표현할 수 있다[8,9].

$$\Delta y \approx R \cdot \tan(\Delta\theta) \quad (2)$$

식 (2)는 동일한 각도 오차라도 거리가 증가할수록 탄착 오차가 선형적으로 확대됨을 의미한다. 예를 들어 발사 순간에 약 $\pm 3^\circ$ 의 각도 오차가 발생할 경우, 표적까지의 거리가 300 m일 때 탄착 오차는 약 15 m 이상으로 확대된다. 즉, 문제는 포탄이 얼마나 멀리 도달할 수 있는가가 아니라, 그 거리에서 얼마나 정확하게 목표를 맞힐 수 있는가에 있다. 탄착 오차가 존재하더라도, 그 오차가 표적의 유효 범위 내에 포함되면 명중으로 간주할 수 있다. 이를 기하학적으로 표현하면 식 (3)과 같은 조건이 성립한다.

$$R \cdot \tan(\Delta\theta) \leq \frac{H}{2} \quad (3)$$

여기서 H는 표적의 유효 높이를 의미한다. 이 식은 발사 시 발생한 각도 오차가 거리 R에서 위치 오차로 확대되더라도, 그 값이 표적 높이의 절반 이내에 존재할 때만 명중이 가능함을 나타낸다. 이를 각도 기준으로 정리하면 허용 가능한 각도 오차는 거리의 증가에 따라 급격히 감소하게 된다. 다시 말해, 거리가 멀어질수록 요구되는 조준 정밀도는 비현실적인 수준으로 높아지며, 해상과 같이 불안정한 환경에서는 이러한 조건을 충족하기가 매우 어렵다.

실제 사격에서는 개별 포탄이 동일한 지점에 정확히 도달하지 않고, 일정한 분포를 이루며 퍼지게 된다. 이러한 탄착 분포는 일반적으로 표적 중심을 기준으로 하는 2차원 정규분포로 모델링할 수 있으며, 이 경우 명중 확률은 식 (4)와 같이 표현된다[11-13].

$$P(\text{hit}) = 1 - \exp\left(-\frac{a^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4)$$

여기서 a는 표적의 유효 크기, σ 는 탄착 분포의 표준편차를 의미한다. 표준편차 σ 는 탄착점이 얼마나 넓게 퍼지는지를 나타내며, 거리 증가와 함께 확대되는 경향을 가진다. 즉, 각도 오차가 거리에서 위치 오차로 증폭되면서 탄착 분포의 분산이 증가하고, 그 결과 명중 확률은 급격히 감소하게 된다.

이러한 관계는 해상 사격의 물리적 한계를 명확히 보여준다. 해상 플랫폼의 불안정성은 각도 오차를 발생시키고, 이 오차는 거리에서 기하학적으로 확대되며, 그 결과 탄착 분포가 확산되고 명중 확률이 감소한다.

따라서 사격통제장치가 없는 환경에서는 일정 거리 이상에서 명중률을 유지하는 것이 사실상 불가능해진다. 결국 범선 시대 해전에서 교전 거리는 무기의 이론적 사거리보다도, 명중 가능성과 파괴 효과가 동시에 확보되는 근접 거리로 수렴하게 된다. 이는 해상 전투가 단순한 화력 경쟁이 아니라, 거리 통제를 통해 전투 조건을 유리하게 만드는 과정이었음을 보여주는 물리적 근거라 할 수 있다.

3. 넬슨과 이순신 해전의 교전 구조와 함포 사격

3.1 콜벳 사료에 나타난 트라팔가 해전 함포 사격 거리의 정성적 해석

트라팔가 해전의 전술적 구조와 교전 양상을 해석하는 데 있어, 영국의 해군사학자 Julian Corbett의 연구는 가장 권위 있는 출발점으로 평가된다. 콜벳은 20세기 초 영국 해군 전략사 연구를 체계화한 대표적 학자로, 해전사를 단순한 전투 기록이 아니라 전략·전술·지휘체계의 상호작용 속에서 분석한 인물이다. 그의 저서 *The Campaign of Trafalgar*(1910)는 방대한 1차 사료와 전투 보고서를 종합적으로 검토하여 트라팔가 해전을 체계적으로 재구성한 고전적 연구로, 이후 해군사 및 전략 연구에서 기준(reference work)으로 널리 인용되어 왔다[14]. 특히 이 저서는 범선 시대 해전의 실제 교전 양상을 이해하는 데 있어 가장 신뢰할 수 있는 해석 틀 중 하나로 평가되며, 트라팔가 해전에 관한 사료적·학술적 증량감을 동시에 지닌다.

주목할 점은 콜벳이 교전 거리를 미터(m)나 야드(yard)와 같은 정량적 수치로 제시하지 않았다는 사실이다. 대신 그는 “pistol-shot(권총 사격거리)”, “melee(혼전)”, “raking fire(종방향 사격)”과 같은 전술적 표현을 통해 전투 상황을 묘사하고 있으며, 이들 표현 속에는 당시 실제 교전 거리와 전투 밀도가 함축적으로 담겨 있다. 이는 당시 해전 기록이 거리 자체보다는 전투의 전개 양상과 지휘·전술적 판단을 중심으로 서술되었음을 보여준다. 따라서 콜벳의 기록을 해석하는 핵심은 수치의 부재를 한계로 보는 것이 아니라, 오히려 그가 사용한 전술적 언어를 통해 교전 거리의 실질적 의미를 복원하는 데 있다.

이러한 관점에서 볼 때, 콜벳이 묘사한 트라팔가 해

전은 일정한 간격을 유지한 장거리 포격전이 아니라, 거리 압축을 통해 형성된 근접 난전 구조로 이해된다. 실제로 그는 전 전선에서 “권총 사거리에서 이루어진 난전(melee at pistol-shot all along the line)”이 전개되었다고 서술하며, 이는 함선 간 거리가 극도로 축소된 상태에서 교전이 이루어졌음을 의미한다. 또한 “권총 사거리에서 종사격을 가하였다(raking him at pistol-shot as they passed)”는 표현은 결정적 타격이 매우 짧은 거리에서 발생했음을 보여준다. 이러한 서술은 전열 중심의 교전 구조가 붕괴되고, 개별 함선 간 거리를 구분하기 어려운 밀집 전투로 전환되었음을 시사한다.

한편 콜벳은 전투가 즉각적인 전면전으로 시작된 것이 아니라, 일정 시간 동안 점진적으로 교전이 확대되었음을 지적한다. 즉, 초기에는 일정한 거리를 유지한 접촉이 이루어졌으나, 시간이 경과함에 따라 함대 간 거리가 점차 축소되고 결국 전면적 근접 난전으로 전환되었다는 것이다. 이는 트라팔가 해전이 처음부터 장거리 정밀 사격을 전제로 한 전투가 아니라, 물리적 환경 자체가 근접 교전을 유도하는 조건 속에서 이루어졌음을 의미한다.

이와 같은 콜벳의 분석은 트라팔가 해전을 단순한 역사적 사건이 아니라, 범선 시대 해전의 본질을 드러내는 사례로 재해석할 수 있는 중요한 근거를 제공한다. 즉, 당시 해전에서의 승패는 포의 이론적 사거리보다도, 적과의 거리를 얼마나 효과적으로 단축하고 근접 거리에서 화력을 집중할 수 있었는가에 의해 결정되었다고 볼 수 있다.

3.2 트라팔가 해전 함포 사격 거리의 정량적 근거와 분석

이러한 콜벳의 질적 서술은 이후 사료들을 통해 정량적으로도 보완된다. 사격통제장치가 개발되기 이전 범선 시대 유럽 해전에서 함포의 이론적 최대 사거리는 대략 1,700~2,000 m 수준에 달하였다[15]. 그러나 실제 전투에서 일정한 명중률과 전투 효과를 기대할 수 있는 유효 사거리는 약 300~400 m 범위로 제한되었으며, 이보다 먼 거리에서는 명중률의 급격한 저하로 인해 실질적인 타격 효과를 기대하기 어려워 실제 전투에서 큰 피해를 주지 못하는 사례가 보고되고 있어, 장거리 사격의 기술적 비효율성이 확인된다[16].

이러한 조건 속에서 실제 해전은 유효 사거리보다 훨씬 짧은 거리에서 이루어지는 경향을 보였다. 대부분의 교전은 ‘yardarm to yardarm’으로 표현되는 선체 접촉 직전의 초근접 거리, 즉 수십 미터 이내에서 이루어졌으며, 경우에 따라 약 20~50 m 수준의 ‘pistol-shot range’까지 접근하는 것이 일반적인 전술이었다[17]. 특히 적함의 선미 또는 선수를 종방향으로 관통하는 종사(raking fire)는 가장 치명적인 공격 방식으로 활용되었으며, 이는 전투의 승패가 장거리 사격이 아닌 근접 거리에서의 결정적 타격에 의해 좌우되었음을 보여준다.

이러한 근접 교전은 단순한 거리 축소가 아니라, 명중 확률과 전투 효과를 동시에 확보하기 위한 필연적 선택이었다. 이는 단순한 명중을 넘어 실제 전투 효과가 발생하는 거리 범위를 구체적으로 보여준다. 또한 근접 거리에서는 포탄의 운동에너지가 충분히 유지된 상태에서 선체 및 마스트에 직접적인 손상을 가할 수 있었고, broadside와 같은 집중 사격이 효과적으로 작용하였다[18].

1805년 10월 21일의 트라팔가 해전에서 영국 함대는 제독 Horatio Nelson의 지휘 아래 두 개의 중심 중대로 적 전열을 돌파하는 전술을 채택하였다. 이 전술은 교전 거리를 의도적으로 단축하여 근접 교전을 유도하고, 결정적 타격을 가하기 위한 것이었다[23]. 반면 프랑스-스페인 연합함대는 약 1,000야드 이상의 거리에서 장거리 포격을 시도하였으나, 명중률과 파괴 효과의 한계로 인해 실질적 전투 효과를 거두지 못하였다[19].

실제 교전은 영국 함대가 충분히 접근한 이후에 본격적으로 이루어졌으며, 전열함들은 일반적으로 200 m 이하, 경우에 따라 100 m 이내까지 접근하여 broadside를 집중 운용하였다. 나아가 50 m 이하의 초근접 거리에서는 산탄(grape shot)을 사용하여 승조원에 대한 살상 효과를 극대화하였다. 특히 영국 기함 HMS Victory는 프랑스 기함 Bucentaure에 대해 약 45 m에서 5 m 수준까지 접근한 상태에서 종사격을 가하였다[8,20,22,23]. 일부 기록에서는 약 9 m에서 종사격이 이루어졌음도 확인된다[23]. 이러한 사례는 단순한 근접 교전의 한 장면이 아니라, 명중 가능성과 파괴 효과가 동시에 확보되는 거리 범위에서 전투가 집중되었음을 보여주는 대표적 사례로, 본 연구에서 정의하는 ‘결정적 교전거리(decisive engage-

ment range)’ 개념과 구조적으로 동일한 맥락에 위치한다.

특히 주목할 점은, 트라팔가 해전에 투입된 전열함들이 임진왜란기 조선 수군의 전선에 비해 약 30배에 달하는 규모와 훨씬 강력한 화력을 보유하고 있었음에도 불구하고, 실제 교전 거리는 여전히 수십 미터 이내로 수렴되었다는 사실이다. 이는 함선의 크기나 화포 성능의 향상이 교전 거리를 근본적으로 확대시키지 못했음을 의미하며, 사격통제장치가 부재한 조건에서는 인간의 조준 능력과 해상 환경이라는 물리적 제약이 교전 거리를 결정하는 핵심 요인으로 작용했음을 보여준다.



Fig. 1. The Deadly Blow – HMS Victory’s first broadside at Trafalgar, 21 October 1805¹⁾

따라서 넬슨이 활동했던 유럽의 해전에서도 함포 사격의 사거리는 단순한 최대 도달 거리로서의 이론적 사거리보다, 명중 가능성과 파괴 효과가 동시에 확보되는 물리적·전술적 조건에 부합하는 사거리가 더욱 중요하게 작용하였다. 결국 전투의 승패는 최대 사거리나 무기의 이론적 성능이 아니라, 이러한 ‘결정적 교전거리’를 형성하고 유지하는 능력에 의해 좌우되었으며, 이는 트라팔가 해전이 함포 사격 거리 통제를 중심으로 전개된 대표적 사례임을 보여준다.

3.3 이순신 해전의 교전 구조와 함포사격 거리 해석

3.3.1 이순신과 「고려선전기」 기록으로 살핀 근접 총통 사격 사례

임진왜란 해전의 실제 교전 양상은 사천해전, 당포해전, 당항포해전, 한산해전, 안골포해전, 명량해전 등 대부분의 해전 기록에서 확인된다. 이러한 해전들은 단순한 개별 사례의 나열이 아니라, 반복적으로 나타나는 일정한 전투 구조를 공유하고 있으며, 하나의 일관된 전술 체계 속에서 이해될 필요가 있다.

먼저 사천해전에서는 조석의 영향으로 인해 적 함대가 활 사거리 밖에 위치하자 즉각적인 공격이 이루어지지 못하고, 적을 외해로 유인한 이후에야 교전이 개시된 사례가 확인된다. 이는 문헌상 총통이 더 긴 최대사거리를 가졌음에도 불구하고, 실제 교전은 일정 거리 이내에서 이루어졌음을 시사한다. 만약 총통이 최대사거리 수준에서 실질적인 타격 능력을 갖고 있었다면, 적 함대를 굳이 유인하지 않고도 원거리에서 공격을 시도하는 방식이 가능했을 것이다.

이어 당포해전에서는 거북선이 적선의 누각 아래까지 돌격한 뒤 총통을 상향 발사하는 장면이 기록되어 있다. 또한 적선을 포위한 상태에서 근접 거리까지 반복적으로 출입하며 총통과 화기를 집중 운용하는 전술이 나타난다. 이는 단순한 장거리 포격전이 아니라, 적선에 육박한 상태에서 선체와 상부 구조물을 직접 공격하는 근접 교전 양상을 보여준다.

이와 같은 전투 구조는 한산해전에서도 동일하게 확인된다. 이순신의 장계에 따르면 여러 장수들이 앞다투어 돌격하여 왜선의 층각(層閣)을 파괴하고 적선을 나포하는 장면이 서술되어 있다. 이러한 전투 양상은 일정한 거리를 유지한 원거리 포격으로는 설명하기 어려우며, 오히려 적선에 접근하여 직접 타격을 가하는 전형적인 근접 교전 형태로 이해하는 것이 타당하다. 이러한 교전 구조는 당포해전에서 나타난 전술과도 매우 유사한 양상을 보인다([25], pp. 768-770, pp. 772-773, pp. 798-805).

한산해전에서 나타난 이러한 교전 양상은 일본 측 사료인 『고려선전기』의 기록과도 상호 보완적으로 일치한다. 해당 사료에 등장하는 ‘入亂有合戰’이라는 표현은 문자 그대로 “난전에 들어가 합전이 있었다”는 의미이며, 함선 간 거리가 극도로 축소되어 서로 뒤

¹⁾ 넬슨의 HMS Victory가 프랑스 기함 Bucentaure의 선미를 가로질러 총사격을 가하는 장면의 그림에 문헌의 기록을 근거로 부가 설명을 한 것이다(출처: Geoff Hunt 작품/Art Marine Gallery). Gibbons에 따르면 당시 Victory는 Bucentaure에 100야드 이내까지 접근하여 결정적인 일제사격을 가하였다[23].

영커 싸우는 혼전 상태를 의미한다. 특히 ‘합전(合戰)’은 일본 사전에서 “取っ組み合いのケンカをする”, 즉 “서로 붙잡고 뒤엉켜 싸우는 전투”로 설명된다. 따라서 이는 조선 측 기록에서 확인되는 전투 양상과 구조적으로 동일한 상황을 묘사한 것으로 볼 수 있다.

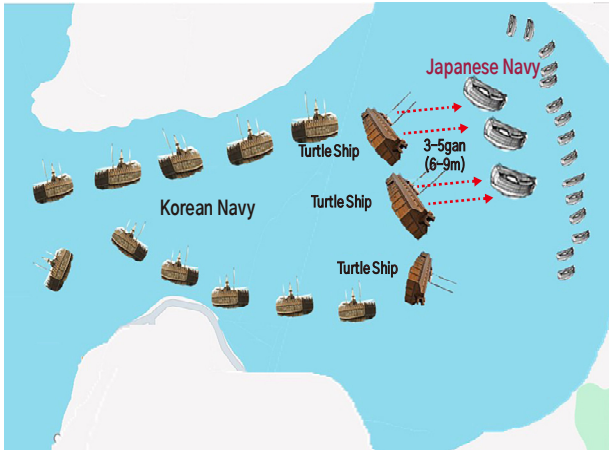


Fig. 2. The Turtle Ship's assault on the Japanese fleet at Angolpo, 10 July 1592²⁾

특히 『고려선전기』에는 한산해전 이후 이어진 안골포해전에서 거북선이 적선에 약 3~5간(약 6~9 m)까지 접근하여 총통 사격을 수행하였다는 기록이 나타난다. 이는 당시 총통 운용이 오늘날 감각의 장거리 포격이 아니라, 적선과 극도로 근접한 상태에서 이루어졌음을 보여주는 직접적인 증거라 할 수 있다.

더욱이 적에 비해 수적으로 절대 열세였던 명량해전에서도 교전 초기부터 적선과 맞붙어 전투를 수행한 상황이 이순신의 기록을 통해 확인된다. 만약 총통의 적선 타격 유효사거리가 충분히 길었다면, 전술적으로는 교전 초기부터 원거리 포격을 통해 적 함대를 먼저 제압하는 방식이 훨씬 합리적이었을 것이다. 그러나 실제 기록에서는 그러한 양상이 나타나지 않는다.

결국 위에서 살펴본 다양한 교전 사례들은 공통적으로 총통이 실전에서 극히 짧은 거리에서 운용되었음을 보여준다. 이는 임진왜란 해전의 실제 교전 구조가 단순한 장거리 포격전이 아니라, 적 함대를 포위하고 거리 압축을 통해 접근한 뒤 선체를 직접 타격하는 근접 교전 체계였음을 강하게 시사한다[26].

²⁾ 거북선 3척이 일본 함대에 근접해 함포 사격을 가하는 장면을 묘사한 장면이다. 일본측 사료, 고려선 전기에 따르면 거북선이 약 3~5간(약 6~9 m)까지 접근해 포격을 가해 일본 함대에 치명적인 피해를 입혔다[26].

4. 시뮬레이션 기반 탄도 분석과 교전 거리 구조의 재해석

4.1 분석의 방향 및 시뮬레이션 변수 설정

트라팔가 해전에서 운용된 32파운드 함포와 임진왜란 당시 거북선에 탑재된 총통을 대상으로, 동일한 물리적 조건 하에서 탄도 시뮬레이션을 수행하고, 이를 통해 실제 해전에서 형성된 교전 거리 구조를 분석한다. 두 무기체계는 200년의 시간차에도 불구하고, 사격통제장치가 부재한 상태에서 운용되었다는 공통 조건을 공유한다는 점에서 비교의 타당성을 가진다.

Table 1. Comparison of ballistic simulation parameters

Parameter	32-pounder Cannon Shot	Chongtong Projectile
Projectile Mass (kg)	14.5	31.6
Propellant Charge (kg)	4.5	1.16
Muzzle Velocity (m/s)	487	90
Muzzle Height (m)	2.0	2.0
Firing Angle (°)	6, 10, 15	6, 10, 15
Drag Coefficient (Cd)	0.7	0.7
Air Density (ρ , kg/m ³)	1.225	1.225
Gravitational Acceleration (m/s ²)	9.81	9.81

시뮬레이션에는 탄도 운동에 직접적인 영향을 미치는 최소 변수만을 적용하였다. 포탄 질량, 직경, 포구 초속, 포구 높이, 발사각, 항력계수, 중력가속도 등을 포함하였으며, 거북선 총통의 제원은 Park & Yi[24]의 연구에서 활용한 제원과 포탄 질량 31 kg, 초기속도 90 m/s를, 넬슨 시대의 함포 포탄은 Douglas[27]의 자료를 활용하였다. 이와 같이 두 화포 체계는 각각의 신뢰 가능한 문헌에 기반한 고유 제원을 적용하되, 비교 분석의 일관성을 확보하기 위해 발사각(6°, 10°, 15°), 포구 높이(2.0 m), 항력계수($C_d=0.7$), 공기밀도($\rho=1.225 \text{ kg/m}^3$), 중력가속도($g=9.81 \text{ m/s}^2$) 등 나머지 물리 조건은 동일하게 설정하였다. 이러한 조건 통일은 서로 다른 시대와 기술 체계를 가진 화포의 탄도 특성을 순수하게 비교하기 위한 것이다.

4.2 탄도 모델 및 해석 방법

본 절에서는 함포 사격의 물리적 특성을 검토하기

위해 외부탄도학(exterior ballistics)에 기반한 수치 시뮬레이션을 수행한다. 시뮬레이션은 공기저항이 속도의 제곱에 비례한다는 가정을 적용한 2차원 탄도 모델을 기반으로 하며, 이를 통해 발사체의 궤적과 거리별 탄착 특성을 분석한다.

이러한 접근은 외부탄도학의 기본 원리에 근거한 것으로, 이론적 기반은 Robert L. McCoy의 연구에 따른다[28].

본 시뮬레이션에서 사용된 기본 운동 방정식은 식 (5)와 같다.

$$m \frac{dv}{dt} = -mg - \frac{1}{2} \rho C_d A v^2 \quad (5)$$

여기서 m : 포탄 질량, g : 중력가속도, ρ : 공기밀도, C_d : 항력계수, A : 단면적, v : 속도 벡터

이 방정식은 중력과 공기저항이 동시에 작용하는 외부탄도학의 기본 모델을 나타내며, 발사체의 궤적은 이 두 힘의 상호작용에 의해 결정된다. 발사체의 운동 방정식은 수치해석적 방법을 통해 계산되었으며, 시간 적분에는 높은 정확도를 갖는 4차 Runge-Kutta 방법을 적용하여 탄도 궤적을 구하였다[29].

본 모델은 바람, 발사체 회전, 선체 운동 등 외부 변수를 제외한 단순화된 조건을 적용하고 있다. 이는 실제 전투 환경을 완전히 재현하기 위한 것이 아니라, 탄도 운동의 본질적 특성과 거리 증가에 따른 탄착 구조의 변화를 명확히 드러내기 위한 것이다.

4.3 시뮬레이션 결과 및 분석

4.3.1 시뮬레이션 기반 탄도 해석과 근접 교전의 물리적 필연성

다음 그래프는 시뮬레이션 결과이다. Fig. 3는 넬슨의 지휘함인 Victory함 32 파운더 함포의 포물선 궤적으로 발사각(6°, 10°, 15°)에 따른 포물선 궤적을 나타낸다. Fig. 4는 Victory함 32 파운더 함포가 다양한 발사각에서 형성되는 궤적과 표적 높이(약 50 m: 연합함대 마스트)와의 교차 관계를 나타낸다. 회색 영역은 포고각별로 목표를 타격할 수 있는 유효 구역을 의미하며, 실제 교전 가능 거리는 이 영역 내에서 결정됨을 보여준다. Fig. 5는 조선 함대 함선에 탑재된

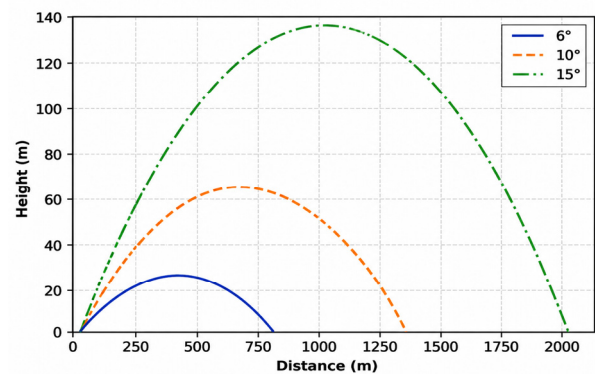


Fig. 3. Victory: Full parabolic trajectories

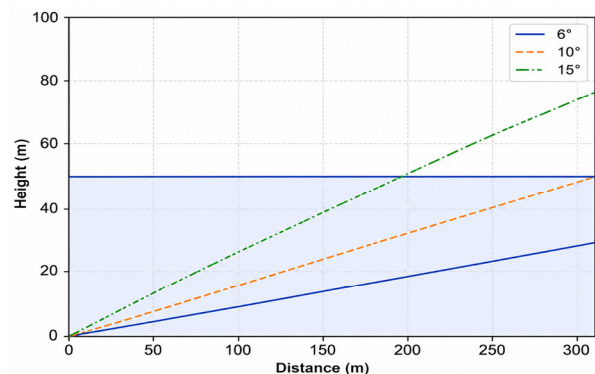


Fig. 4. Victory: Impact zone

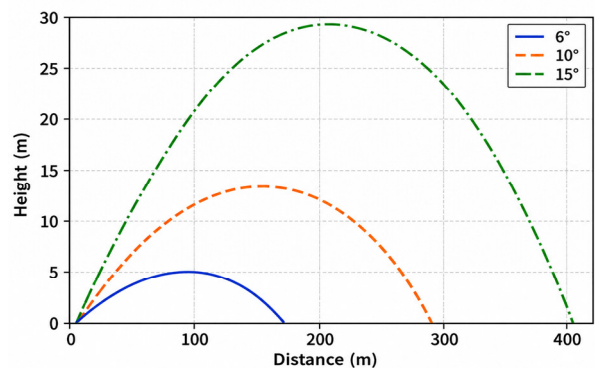


Fig. 5. Chongtong: Full parabolic trajectories

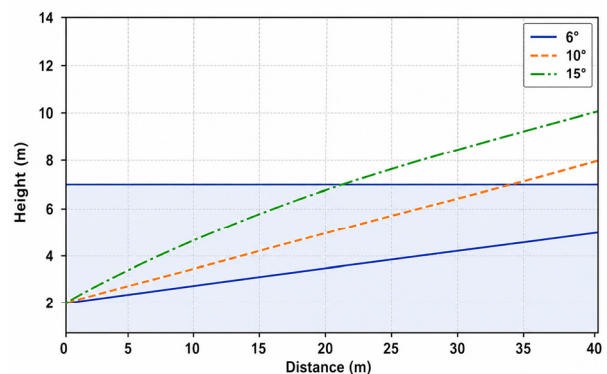


Fig. 6. Chongtong: Impact zone

총통의 발사각별 탄도 궤적을 나타낸 것이다. 초기 속도가 낮기 때문에 Victory함 함포에 비해 사거리와 고도가 크게 제한됨을 알 수 있다. Fig. 6는 총통의 발사각별 궤적과 목표 높이(약 7 m: 일본 안택선의 개략 높이)와의 교차 관계를 나타낸다. 회색 영역은 포고각별 타격 가능 거리 범위를 의미하며, 총통의 실전 교전 거리가 매우 제한된 범위 내에서 형성됨을 보여준다.

시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 함포 탄도가 이론적으로는 포물선 운동을 따르지만, 실제 해전에서 의미를 갖는 구간은 그 전체 궤적이 아니라 초기 직선에 가까운 제한된 구간임을 명확하게 보여준다. 이 현상은 물리적으로 다음과 같이 설명된다. 포탄은 발사 직후에는 초기 속도 방향이 운동을 지배하므로 궤적의 곡률이 작고, 결과적으로 직선에 가까운 경로를 따른다. 반면 거리가 증가할수록 중력의 영향이 누적되어 탄도 곡률이 커지고, 궤적은 점점 포물선 형태를 뚜렷하게 나타낸다. 따라서 표적 높이가 제한된 조건에서는 포물선 전체가 아니라 초기 직선 구간만이 실질적인 타격 영역으로 작용하게 된다.

이와 같은 구조는 사격통제장치가 존재하지 않았던 해전 환경에서 더욱 결정적인 의미를 갖는다. 장거리 포격이 유효하려면 탄착점의 예측과 보정이 가능해야 하지만, 앞서 설명한 바와 같이 당시에는 거리 측정, 고각 보정, 플랫폼 안정화, 착탄 관측 등의 체계가 존재하지 않았다. 이러한 조건에서는 발사각의 미세한 오차가 거리 증가와 함께 급격히 증폭되어 탄착점의 분산을 초래하게 된다. 반면 근거리에서는 탄도의 직선성이 유지되므로, 포신 방향을 표적에 직접 일치시키는 방식으로 명중 확률을 높일 수 있다.

시뮬레이션 결과는 바로 이 점을 시각적으로 보여준다. 동일한 발사각 조건에서도, 표적 높이와 교전 거리를 제한하면 실제로 의미를 갖는 구간은 포물선 전체가 아니라 직선에 가까운 초기 교차 구간으로 수렴한다. 이는 함포의 탄도는 이론적으로 포물선이지만, 실제 전투에서 포수가 활용하는 유효 타격 구간은 그 초기 직선 구간에 집중되며, 명중 여부는 발사각 조정보다 교전 거리의 축소에 의해 결정된다. 넬슨이 트라팔가 해전에서 사용한 32파운드 함포는 임진왜란 시 총통보다 훨씬 긴 사거리를 가졌음에도 불구하고, 실제 전투의 결정적 국면은 근접 거리에서 형성되었다. 이는 무기의 절대적 사거리와 관계없이, 사격

통제장치가 없는 환경에서는 함포가 동일하게 ‘직선 타격 구간 중심’으로 수렴함을 의미한다.

4.4 한산해전 학익진 전술의 재해석

사격통제장치가 존재하지 않았던 시대의 해전 양상을 한산해전에 적용해 보면, 이 전투의 성격과 학익진 전술의 본질은 보다 분명하게 드러난다. 한산해전의 승리를 흔히 총통의 장거리 화력과 학익진에 의한 집중 포격에서 찾는 경향이 있지만, 이러한 해석은 총통의 실제 유효사거리와 해상 포격의 물리적 조건을 충분히 고려하지 못한 측면이 있다. 특히 조선 수군이 일본군의 조총 사정거리 밖에서 일방적으로 장거리 포격을 가했다는 설명은 전술적 인상은 강하지만, 실제 해상 전투 환경과 탄도 조건을 함께 검토할 경우 재고될 필요가 있다.

앞서 살펴본 탄도 분석과 사료 기록은 총통의 운용이 문헌상 최대사거리와 동일하게 이해될 수 없음을 보여준다. 총통의 탄도는 이론적으로 포물선 운동을 따르지만, 실제 전투에서 선체 타격 효과가 확보되는 구간은 전체 궤적이 아니라 초기의 제한된 구간이었다. 즉, 사격통제장치와 거리측정 장비가 없던 16세기 해전에서 의미 있는 것은 장거리 곡사 포격이 아니라, 표적을 비교적 직접적으로 겨냥할 수 있는 근접 직사 구간이었다. 따라서 한산해전에서의 총통 운용 역시 장거리에서 적선을 일방적으로 타격한 형태라기보다, 교전 거리가 충분히 압축된 상태에서 적선의 선체와 상부 구조물을 직접 타격하는 방식으로 이해하는 것이 더 타당하다.

이 관점에서 한산해전의 전투 구조는 단순한 포위전이 아니라, 거리와 공간을 단계적으로 통제된 전술 체계로 해석될 수 있다. 조선 수군은 먼저 적을 유인하여 자신들이 선택한 해역으로 끌어들이고, 이후 학익진을 전개하여 적의 전진 방향과 퇴로를 제한하였다. 이 과정에서 학익진은 단순히 반달형으로 적을 둘러싸는 진형이 아니라, 적 함대를 특정 공간 안에 묶어 두고 교전 거리를 점차 압축하는 장치로 작용하였다. 이후 조선 수군은 근접 거리에서 총통과 화기를 집중 운용하고, 적선을 직접 파괴하거나 나포·화공으로 전투를 종결하였다.

따라서 한산해전 학익진의 핵심은 ‘포위’ 그 자체에 있는 것이 아니라, 적을 조선 수군이 원하는 거리

와 방향으로 끌어들이는 거리 통제에 있었다고 볼 수 있다. 학익진은 총통을 장거리에서 발사하기 위한 정적인 포진이 아니라, 적의 기동을 제한하고 교전 거리를 조절하여 조선 수군의 화력이 가장 효과적으로 작용하는 결정적 교전거리를 만들어내는 동적인 전술 체계였다.

이러한 해석은 한산해전의 승리를 단순히 진형의 우수성이나 화포의 성능만으로 설명하는 기존 관점을 넘어선다. 한산해전의 본질은 조선 수군이 해상 사격의 물리적 한계, 즉 장거리 명중률의 제한과 근접 거리에서의 타격 효과를 전술적으로 활용했다는 데 있다. 결국 학익진은 적을 포위하기 위한 전통적 진형이 아니라, 적을 유인하고 가두며 거리를 압축하여 결정적 타격 조건을 조성한 과학적 거리 통제 전술이었다. 이 점에서 한산해전은 사격통제장치 이전 시대 해전의 물리적 제약을 정확히 이해하고 이를 능동적으로 전술화한 대표적 사례로 재평가될 수 있다.

5. 결론

본 연구는 사격통제장치가 존재하지 않았던 시대의 해상 포격 조건과 탄도 구조를 바탕으로, 이순신 해전의 실제 교전 메커니즘을 과학적으로 재검토하였다. 특히 임진왜란 해전의 총통과 트라팔가 해전의 함포에 대한 탄도 시뮬레이션 결과를 문헌 기록과 비교함으로써, 전근대 해전의 실제 교전거리가 어떠한 원리에 의해 결정되었는지를 분석하였다.

첫째, 탄도 시뮬레이션 결과는 임진왜란 해전의 총통과 트라팔가 해전의 함포가 모두 문헌상 최대사거리와는 현격한 차이가 있는 직사포적 특성을 가졌음을 보여주었다(Fig. 3~6 참조). 이는 무기의 이론적 최대사거리가 곧 실제 전장에서의 교전거리를 의미하지 않으며, 유효사거리와 실제 교전거리도 구분되어야 함을 시사한다.

둘째, 탄도 분석 결과와 문헌 기록은 서로 독립적인 접근에도 불구하고 동일한 결론에 도달하였다. 트라팔가 해전에서 HMS Victory는 프랑스 기함 Bucentaure에 약 10야드(9 m)까지 접근하여 일제사격을 가하였으며(Fig. 1 참조), 안골포 해전에서는 거북선이 왜선에 약 3~5간(6~9 m)까지 접근하여 포격을 실시한 것으로 기록되어 있다(Fig. 2 참조). 이는 두 무기가 일정한 유효사거리를 확보하고 있었음에도 불구하고, 실제

교전은 훨씬 짧은 거리에서 이루어졌음을 보여준다. 결국 사격통제장치가 존재하지 않았던 시대의 유효사거리는 공격이 가능한 거리를 의미할 뿐이었으며, 실제 교전은 명중률과 파괴효과를 극대화할 수 있는 거리에서 이루어졌음을 확인할 수 있다.

셋째, 사격통제장치가 개발되기 이전 시대인 임진왜란 총통과 범선시대 함포는 모두 직사포적 특성을 가지므로 포탄이 적 함선의 높이 범위 안에 머무는 거리가 제한되었으며, 여기에 함선의 동요와 조준 오차까지 더해지면서 지휘관들은 가능한 한 적함에 접근할 수밖에 없었다. 따라서 근접 교전은 단순한 전술적 선택이 아니라 당시 무기체계 발전 기술과 전투 환경이 만들어낸 물리적 필연성이었다.

특히 주목할 점은 1592년 안골포 해전과 1805년 트라팔가 해전이 213년의 시간 차이와 서로 다른 함선 및 무기체계를 가지고 있었음에도 불구하고, 실제 교전거리가 모두 약 10 m 내외로 수렴한다는 사실이다. 이는 전근대 해전의 실제 교전거리가 무기의 최대사거리나 이론적 성능에 의해 결정된 것이 아니라, 사격통제장치가 부재한 환경에서 인간이 확보할 수 있는 명중 가능성과 적 함선의 크기 및 높이가 부과하는 물리적 제약에 의해 결정되었음을 보여준다.

결론적으로 본 연구는 임진왜란 해전의 근접 포격 양상이 조선 수군만의 특수한 사례가 아니라, 사격통제장치 이전 시대의 해전 환경에서 공통적으로 나타난 보편적 교전 메커니즘이었음을 확인하였다. 이는 이순신 해전을 세계해전사적 관점에서 재조명할 수 있는 새로운 해석 틀을 제시하며, 전근대 해전의 실제 교전 양상을 이해하는 데 중요한 시사점을 제공한다. 따라서 기존 임진왜란 해전 해석 가운데 당시 기술 수준과 실제 전장 조건을 충분히 반영하지 못한 부분은 없는지 재검토할 필요가 있으며, 이순신 해전에 대한 이해 역시 최대사거리 중심이 아니라 실제 교전거리와 명중 메커니즘의 관점에서 새롭게 조명될 필요가 있다.

또한 본 연구는 근접 교전이 불가피했던 전장 환경 속에서 이순신이 어떠한 전술과 지휘체계를 통해 적함에 접근하고 전투 우위를 확보할 수 있었는지에 대한 새로운 연구 과제를 제시한다. 이는 지금까지 상대적으로 충분히 조명되지 않았던 이순신의 전술적 리더십과 지휘 역량을 보다 구체적으로 이해하는 데 중요한 단서를 제공할 수 있을 것이다. 궁극적으로 이러

한 접근은 이순신 해전을 개별 전쟁사의 범주를 넘어 세계해전사 속에서 재해석하고, 그의 전략과 리더십을 보다 객관적이고 보편적인 관점에서 평가하는 데 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] D. H. Choi, The Translated Chungmugong Yi Sun-sin Collection (6th ed.), Wooseok Publisher, 1999, p. 544.
- [2] Y. S. Choi, A Holy Place of the Nation 'Goha-do', Hoon, 2007, p. 65.
- [3] J. D. Kim, Yi Sun Sin, Gadian, 2023, p. 172.
- [4] Kwang-Soob Ko & Joo Mee Park, 'A Study on the Identification of the Effective Range and Blind Spot of the Battle Turtle Ship Cannon,' Journal of the KNST, VOL.7, NO.1, 2023, pp. 1-10.
- [5] U. S. A. Naval Manual, Fire control Fundamentals, Bureau of Naval Personal, Navpers, 1953.
- [6] William Congreve, A Treatise on Naval Gunnery, Longman, Hurst, Rees, Orme, and Brown, 1811, pp. 18-30.
- [7] https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University_Physics/University_Physics
- [8] Brian Lavery, Nelson's Navy, Conway Maritime Press, 1989.
- [9] K. A. Stroud & Dexter J. Booth, Engineering Mathematics, Palgrave Macmillan, 2007.
- [10] OpenSta, University Physics Volume 1, 2016, Ch. 4.3 "Projectile Motion," pp. 153-160.
- [11] Sheldon M. Ross, Introduction to Probability Models, Academic Press, 2014, pp. 233-240.
- [12] Military Technical Courier, 'Projectile Dispersion Modeling Using Gaussian Distribution,' VOL. 67, NO. 1, 2019, pp. 45-60.
- [13] K. A. Peterson, 'Numerical Simulation Investigations in Weapon Delivery Probabilities,' Master's Thesis, Naval Postgraduate School, 2008, pp. 28-30.
- [14] Julian S. Corbett, The Campaign of Trafalgar, Longmans, Green and CO., 1910.
- [15] Albert C. Manucy, Artillery Through the Ages: A Short Illustrated History of Cannon, U.S. National Park Service, 1994, p. 52.
- [16] Anthony Bruce & William Cogar, Encyclopedia of Naval History, Routledge, 2014, p. 62.
- [17] Mark Lardas, Constitution vs Guerriere: Frigates During the War of 1812, Osprey Publishing, 2012, p. 29.
- [18] A. B. McLeod, British Naval Captains of the Seven Years' War, Boydell Press, 2012, p. 141.
- [19] Roy Adkins, Nelson's Trafalgar: The Battle That Changed the World, Abacus, 2006.
- [20] Admiralty Dispatches and Action Reports, UK National Archives, 1805.
- [21] Roy Adkins & Lesley Adkins, The War for All the Oceans, Abacus, 2006.
- [22] James G. Lacey, 'Trafalgar: A Predestined Victory,' Proceedings, U.S. Naval Institute, VOL. 131, NO. 10, 2005.
- [23] Tony Gibbons, The Encyclopedia of Ships, Thunder Bay Press, 2001, p. 74.
- [24] H. I. Park & Y. C. 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,' Journal of the Korean History of Science Society, VOL. 1, NO. 1, 1989, pp. 3-18.
- [25] J. P. Park, The Translated Imjin War Diary, Gilhangari, 2019.
- [26] 外岡甚左衛門, 高麗船戰記, 1592.
- [27] Howard Douglas, A Treatise on Naval Gunnery, John Murray, 1855, p. 368.
- [28] Robert L. McCoy, Modern Exterior Ballistics: The Launch and Flight Dynamics of Symmetric Projectiles, Schiffer Publishing, 1999, pp. 1-20.
- [29] Steven C. Chapra & Raymond P. Canale, Numerical Methods for Engineers, McGraw-Hill, 2015.