



Received: 2024/01/04
Revised: 2024/01/20
Accepted: 2024/03/27
Published: 2024/03/31

***Corresponding Author:**

Joo Mee Park

Division of Naval Officer Science, Mokpo National Maritime University
Road 91, Mokpo-si, Jeollanam-do, Republic of Korea
Tel: +82-61-240-7154
Fax: +82-61-240-7127
E-mail: parkjulie0@naver.com

거북선 함포의 유효사거리와 사각구역 규명에 관한 연구

A Study on the Identification of the Effective Range and Blind Spot of the Battle Turtle Ship Cannon

고광섭¹, 박주미^{2*}

¹해군사관학교 명예교수

²목포해양대학교 해군사관학부 교수

Kwang-Soob Ko¹, Joo Mee Park^{2*}

¹Honorary Professor, Republic of Korea Naval Academy

²Professor, Division of Naval Officer Science, Mokpo National Maritime University

Abstract

전투거북선이나 판옥선에 탑재된 함포의 우수성은 이순신 승리의 중요한 원인이지만 당시 실전에서의 유효사거리와 관련한 연구나 평가는 찾아보기 어렵다. 이에 본 연구는 삼각함수 원리를 적용한 새로운 기하학적 분석 방법을 통해 임진왜란 시기 전투거북선 탑재 총통의 유효사거리와 사각구역을 밝혔다. 연구 결과, 이순신 해전에서 전투거북선이 해전 초기 조선 수군 선봉에서 적선으로 돌격하여 근접해서 적 선체를 타격했는지 여부를 확인할 수 있었다. 향후 함포의 유효사거리와 사각구역을 반영하여 이순신 해전이나 전투거북선 전술을 재조명할 필요가 있다.

The superiority of cannons mounted on the BTS(Battle Turtle Ship) or Panokseon was a crucial factor in Admiral Yi Sun-sin's victories. However, research or evaluations regarding the effective range in practical combat situations at that time are scarce. This study addresses the effective range and blind spots of the cannons mounted on the BTS during the Imjin War period through a novel geometric analysis method applying trigonometric principles. The research results revealed that during Admiral Yi Sun-sin's naval battles, the BTS advanced to the forefront of the Joseon Navy at the beginning of the engagement, closing in on enemy ships and delivering close-range strikes to their hulls. Considering the effective range and blind spot analysis of the cannons in the future, there is a need for a reassessment of Admiral Yi Sun-sin's naval battles and the BTS tactics.

Keywords

임진왜란(The Imjin War),
전투형 거북선(Battle Turtle Ship),
이순신의 거북선(Admiral Yi Sun-sin's Turtle Ship),
총통 유효사거리(Effective Range of Warship Cannons),
총통 사각구역(Blind Spot of Warship Cannons)

Acknowledgement

이 논문은 2023년도 국립목포해양대학교 주관 충무공 합동 세미나에서 발표한 내용을 수정 보완하였음.

1. 서론

지난 반세기 동안 임진왜란 시기 거북선 연구는 故 김재근 교수의 거북선 해설 이후 비교적 활성화되었으나 전문 분야가 다른 연구자들의 연구 관점 및 추정 정도의 차이 등으로 연구 결과에 대한 인식 차이가 여전히 존재한다. 그럼에도 불구하고 거북선 연구와 복원 경험이 많은 해군사관학교에서 2022년 임진왜란 시기 거북선을 복원하여 공개함으로써 임진왜란 시기 거북선 선체 구조 및 포 배치 파악 등에 큰 전환점이 되기도 했다.

한국의 역사에서 거북선은 크게 16세기 임진왜란 시기의 거북선과 18세기 이충무공전서의 귀선도설에 등장하는 통제영 거북선 및 전라좌수영 거북선 등으로 구분된다. 비록 일부 적극적인 연구자들의 거북선 선체 구조 및 포 배열 연구 결과에 이견이 있고, 임진왜란 시기 거북선에 대한 완벽한 복원에는 여전히 한계가 있지만, 16세기 임진왜란 시기 거북선과 18세기 거북선에는 공통점과 차이점이 분명하게 존재한다. 즉 16세기와 18세기 거북선 공히 탄환과 활 등 적의 무기 공격에 대한 방패 역할을 할 수 있고, 적의 선체 진입을 막을 수 있도록 장갑형으로 만들어졌다는 공통점이 있다.

그러나 16세기 임진왜란 시기 거북선은 수군 전투 진형 선봉에 위치하여 적선으로 돌격하고 적함 가까이에서 함포로 적선을 직접 타격하는 전투형 함정으로서의 실전 효과가 검증된 반면, 18세기에 등장하는 거북선은 선체가 비대해지고 적재 중량이 대폭 증가하

여 실전에서 전투 능력에 의문이 제기될 뿐만 아니라, 실전에 참가하여 전투형 함정으로서의 전투성능이 밝혀진 바가 없는 점은 명백한 차이점이라 할 수 있다[1-5].

우리 역사에 등장하는 몇 종의 거북선을 일반적으로 거북선으로 통칭하는 경우가 많지만, 앞서 언급한 바와 같이 200여 년의 시차를 두고 등장하는 거북선들을 차별화하기 위해 16세기 거북선을 이순신 거북선 또는 임진왜란 거북선 등으로 호칭하기도 한다. 그러나 실전에서 뛰어난 전투성능이 입증된 전투 함정으로서의 특성을 감안하여 거북선에 대한 수식어를 붙여 호칭하는 것도 무리는 아닐 듯싶다. 상륙함정 및 소해함정 등 현대 해군함정에 성분작전을 상징하는 수식어를 붙여 호칭하는 것은 좋은 사례라 여겨진다.

본 연구에서는 거북선이 해상 전투를 주 임무로 하는 군함이라는 점을 상징할 수 있도록 전투거북선으로도 호칭하고자 한다.

한편 이순신 해전의 전략과 전술에 관한 연구는 1970년대 전후 간행된 故 조성도 교수의 연구 내용을 크게 벗어나지 못하고 있는 실정이다[6]. 이순신 해전의 전략과 전술 연구의 경우 대부분 이순신의 일기나 장계 등에 기록된 내용에 충실한 서술이나 해석이기에 이러한 경향은 당연하다 할 수 있다[7-9].

임진왜란 동안 이순신의 조선 함대는 여러 차례의 해상 전투에서 일본 수군의 서해 진출을 좌절시키고 연전연승하며 임진왜란 종전에 크게 기여했다. 이러한 이순신 함대 성과의 배경에는 판옥선과 거북선 같은 전투 함정의 우수성, 천자 및 현자 총통 등 함포의 우수성 그리고 이순신의 뛰어난 사즉생(死即生) 리더십과 연안 백성들의 희생이 깊게 녹아 있다. 하지만 이 같은 이순신 승리의 배경 중 하나였던 거북선이나 판옥선에 탑재된 함포의 우수성과 관련하여 실전에서의 유효사거리에 기반한 조선 함대의 전술과 교전 방식에 대한 연구나 평가는 찾아보기 어렵다.

임진왜란 당시 조선 수군의 전투 함정에 탑재되어 함포로 활용된 천자, 지자, 현자, 황자포 종류 등의 총통은 당시 지상군의 주포로도 사용되었고, 각 총통의 최대사거리를 포함한 제원도 기록으로 전해진다[10]. 반면에 지상 전투 또는 해상 전투에서의 각 총통에 대한 실전 유효사거리에 대해서는 알려진 바가 없어서, 현재까지 간행된 임진왜란 시기의 해전 연구에서 판옥선이나 거북선 등에 탑재된 함포의 유효사거리를

고려한 전술과 교전 방식에 관한 연구를 찾기 어려운 것은 당연한지도 모른다.

앞서 언급한 무기체계의 최대사거리와 유효사거리는 그 개념이 크게 다르다. 최대사거리란 무기체계가 도달할 수 있는 거리를 나타내는 개념으로 흔히 사정거리라 부르기도 한다. 반면 유효사거리란 무기체계의 명중률을 나타내며, 무기를 효과적으로 사용할 수 있는 거리 또는 통상 평균 50%의 확률로 표적을 명중시킬 수 있는 거리를 의미한다([11] p. 55, [12] p. 304). 무기체계의 유효사거리는 표적이 최대사거리 범위에 있다고 할지라도 표적의 특성, 지형, 사격 환경의 조건 및 탄도의 특성 등을 고려하여 결정된다. 즉 최대사거리 범위에 있는 표적이라 할지라도 제반 여건에 따라 유효사거리가 달라질 수 있고, 사각 구역이 발생하여 표적을 타격하지 못할 수도 있다([11] p. 56, [12] p. 207). 즉 거북선이나 판옥선에 탑재된 함포의 유효사거리는 해상 전투 환경인 표적의 크기, 선체에 탑재된 함포의 기하학적 배치, 해상 환경 등에 따라 최대사거리에 크게 미치지 못하거나 사각 구역이 발생하여 해상 전투의 교전 과정에서 전술적 한계로 작용했을 것으로 짐작된다.

저자의 선행 연구 결과 아직까지 국내에서 임진왜란 시기 해전에서 거북선이나 판옥선 등 전투함의 함포로 활용되었던 총통의 유효사거리에 기반한 이순신의 해전 전략, 전술 및 교전에 대한 해석이나 연구 결과는 없었다. 본 연구에서는 거북선이나 판옥선에 탑재된 함포의 유효사거리에 기반한 이순신의 해전 전략, 전술 및 교전 재조명 연구를 최종 목표로 하고, 1차적으로는 임진왜란 시기 거북선 탑재 총통의 유효사거리를 밝히는 데 중점을 두고 연구를 수행했다.

연구 과정은 다음과 같다. 우선 총통의 최대사거리와 유효사거리를 유추할 수 있는 사료를 분석하고, 현대적 탄도 운동방정식을 이용한 총통의 최대사거리 및 실사격 자료를 분석하였다. 이를 토대로 거북선 탑재 총통의 유효사거리 계산을 위한 이론체계를 정립하고 임진왜란 해전에 참전했던 일본의 전선을 모델로 시뮬레이션을 실시했다. 시뮬레이션 결과 임진왜란 당시 거북선 탑재 함포의 적선 선체 타격 유효사거리와 사격 사각구역을 구할 수 있었고, 이 유효사거리가 임진왜란 해전에 참전한 일본 수군이 쓴 회고록 내용에 등장하는 거북선의 유효사거리와 거의 일치함을 최초로 확인하였다.

2. 이순신 해전의 교전 특징과 문제의 제기

2.1 거북선이 참전한 해전의 교전 특징

거북선의 기본 기능과 임무는 거북선이 최초로 참전한 사천해전 이후 쓴 이순신의 장계와 이순신의 조카 이분의 기록에서 엿볼 수 있다([13] pp. 45-64, [14]).

또 주요 해전 후 쓴 이순신의 일기나 장계에 나타난 해전의 교전 과정에서 거북선의 기본 임무가 돌격전과 근접전이었음이 좀 더 구체화되기도 한다. 그러나 임진왜란 해전에서 거북선 단독으로 작전을 감행한 기록은 찾기 어렵고 거북선의 돌격전과 근접전 양상은 모두 판옥선과의 합동작전의 교전 과정에서 나타남을 확인할 수 있다. 거북선이 주력 전투함인 판옥선과의 상호 보완적 전투체계를 형성함으로써 전투력의 시너지 효과를 높이는 역할을 했다는 의미로 해석할 수 있는 대목이다.

임진왜란 해전에서 이순신 함대의 전술과 교전 방식은 적 함대의 위치와 규모, 적 함대의 기동 및 조선 수군의 규모, 교전 공간의 크기, 조석 상황 등 제반 전장 환경에 따라 달랐다. 그럼에도 불구하고 저자가 선행 연구를 통해 살펴본 거북선이 참전한 임진왜란 해전 전술에 나타난 대표적인 단계별 공격 특징은 다음과 같다.

교전 초기에는 거북선이 조선 함대 선봉에서 함포로 위협사격을 가하며 진격하고, 거북선 뒤를 따르는 판옥선들은 주로 활 및 소형 총통 등의 개인 병기로 적 인명을 살상하고 상황에 따라 함포로도 사격을 병행했다. 이때 거북선 뒤 판옥선에서의 함포 사격은 적선 선체 타격보다는 시위적 성격이 강한 심리전, 위협사격 또는 거북선 선봉대의 엄호사격 성격이 강했을 것으로 추정된다. 또 선봉에서 진격하는 거북선을 포함한 선봉대의 아군 피해를 고려한 사격 안전 지역을 고려하며 사격했을 것으로 추정된다.

교전 중기에는 적선 선체 타격 가능 거리에 진입한 거북선은 함포로 선체 타격을 가하며 격파 사격을 실시하고, 이어서 뒤따르는 판옥선도 일제히 활과 소형 총통 등으로 적 수군을 살상하면서 일제히 돌격하여 적선의 선체 타격이 가능한 유효사거리까지 근접하여 함포로 격파 사격을 가했다. 특히 이 과정에서 거북선뿐 아니라 대부분의 참전 판옥선도 일제히 돌격하여 근접하여 적선의 선체 타격을 가하여 적 함대를 격

파하는 교전 형태는 임진왜란 연구에서 거의 주목받지 못한 대목으로 앞으로 재조명해야 할 부분이다.

교전 종말 단계에서는 해전마다 다소 차이는 있지만 선체 장악, 상륙 제압 또는 적선을 불태우는 순서로 교전이 진행되었다.

상술한 이순신 함대의 단계별 교전 특징은 적이 함대를 항 포구에 정박시킨 상태에서 적선 위 또는 육지에서 수세적으로 응전했던 사천해전, 당포해전, 당항포해전, 안골포해전 및 부산포해전의 사례를 중심으로 살펴본 것이다([13] pp. 69-78, [15]). 이 해전들은 적 함대의 기동이 거의 없는 상황에서 전개된 관계로 조선 함대가 더 체계적으로 적 함대를 공격할 수 있었다는 특징이 있다. 즉 이들 해전은 한산해전, 명량해전, 노량해전과 같이 조선 함대와 적 함대가 동시에 기동하는 혼전 상황에서 치러진 해전이 아니었기 때문에 조선 함대의 교전 양상이 비교적 정형화된 형태로 나타나 이순신의 해전 전술을 엿보는데 큰 의의가 있다.

2.2 문제 제기

앞서 거북선에 탑재된 함포의 실전에서 최대사거리나 유효사거리에 대한 수치적 또는 명시적 근거가 없는 상황에서 임진왜란 주요 해전의 전술 및 교전 기록을 분석하여 요약했다. 함포로 활용되었던 천자, 지자, 현자, 황자총통 등의 최대사거리가 1,000 m 이상인[16] 점을 고려하여 위에서 언급한 내용을 살펴보면 상식적으로 이해되지 않는 부분이 있다.

우선 사천해전, 당포해전, 당항포해전, 안골포해전, 부산포해전 등의 교전 특징에서 언급한 바와 같이 거북선이 근접해 적선의 선체를 타격하면 뒤따르는 판옥선도 일제히 돌격하여 함포로 위협을 감수하고 적 함대에 교대로 들락거리며 근접하여 선체를 타격할 흔적을 뚜렷하게 확인할 수 있다. 특히 당항포해전에서 1592년 9월 6일 새벽 적 수군 100여 명이 탑승하고 도주하는 적선 1척을 방담 첨사 이순신의 판옥선이 돌격하여 쳐들어가 편전, 철환 질러포, 대발화 등을 쏘고 던지며 적선을 격파하고 쇠갈고리로 끌어당겨 적을 사살하고 불지른 바 있다([13] pp. 51-54). 이 공격 형태는 앞서 적시한 여타의 해전과 유사한 교전 방식임에도 좀 더 구체적으로 판옥선의 근접 교전 상황을 이해할 수 있게 해준다. 이 교전에서 방담 첨사 이

순신의 수군들은 적선에 공격 물체를 던지거나 쇠갈고리로 끌어당길 거리만큼 근접해 함포와 개인 병기로 사격했음이 확인된다.

반면 위에서 예를 든 사천해전, 당포해전, 당항포해전, 안골포해전, 부산포해전에서 활이나 조총에 비해 상대적으로 최대사거리가 월등하게 긴 총통의 장점을 살려 원거리에서 선체 타격하여 적선을 격파한 흔적은 찾아보기 어렵다. 또 이들 해전 외에 명량해전이나 노량해전 등 어떤 해전에서도 일반적으로 생각하는 총통의 최대사거리를 가늠할 수 있는 이격거리에서의 적 공격 흔적도 찾아보기 어렵다. 오히려 사천해전 초기 이순신 함대는 수심 확보의 한계로 화살의 힘이 미치지 못하여 포구에 정박한 적 함대를 공격하지 못했다. 활보다 사거리가 훨씬 긴 함포를 보유하고 있었음에도 포구에 정박해 있는 적 함대의 타격이 절실한 상황에서 함포 사격을 가하지 않은 것이다([13] pp. 46-48).

위에서 살펴본 바 1,000여 m가 넘는 최대사거리를 갖는 총통이 거북선의 함포로 활용될 경우 총통의 유효사거리가 최대사거리에 비해 크게 미치지 못한 것으로 추정은 되지만, 그 비율이 어느 정도인지는 과학적으로 밝혀진 바가 없다. 그럼에도 불구하고 임진왜란 해전에서 '사정거리가 긴 총통의 장점을 활용하여 일본의 주 무기인 조총의 사정거리 밖, 적어도 240 m - 360 m 밖에서 대장군전 등을 집중적으로 발사하여 공격했다는 등의 내용이 지배적이다. 심지어 이순신 해전 승리의 요인 중 하나로 꼽히는 총통의 우수성을 장거리 포격에 의한 적선 격파에서 찾는 경우도 있다([17], [18] p. 293). 그러나 이는 함포로 사용된 총통의 유효사거리 개념을 고려하지 않고 최대사거리(사정거리) 개념만을 고려한 추정 및 주관적인 상상으로 볼 수 있다. 즉 앞서 설명한 바와 같이 함포의 유효사거리를 고려하지 않고 또 최대사거리 범위에 있는 표적(여기서는 적선의 규모)이라 할지라도 표적의 크기 등에 따라 유효사거리가 크게 달라진다는 사실을 반영하지 못한 데에서 기인한 것이다.

이순신 해전 승리의 결정적 요소인 적선 선체 타격 함포의 유효사거리가 반영되지 않은 이순신 해전의 서술이나 해석은 제한적일 수밖에 없다. 따라서 임진왜란 해전 승리의 요인으로 꼽히는 대표적인 무기체계인 총통의 함포 활용 시 적선 타격을 위한 유효사거리, 특히 거북선에 탑재된 총통의 유효사거리의 실제

파악은 이순신의 해전 연구에 새로운 도약의 계기가 될 수 있다고 생각한다.

3. 총통의 유효사거리 사료분석

3.1 사료분석

임진왜란 150여 년 전 세종실록 107권 1445년 3월 30일 기사에 따르면 '각 총통의 사거리를 개선하여 천자총통 1300보, 지자총통 900보, 기자총통 600보 등으로 향상하고 명중률도 대폭 향상시켰다'는 기록이 있다[19]. 임진왜란 발발 100여 년 전인 1493년 윤 5월 28일 성종실록 기록에도 연대(봉화대)를 지키에 있어서 적이 멀면 포를 쏘고 더 다가오면 활을 더 근접시 돌을 던진다는 육전 전술 기록이 있다[20]. 또한 명종실록 25권, 명종 14년 6월 6일 비변사 회의에서 대형화기가 자칫하면 적의 탄환이 날아올 수 있는 거리에서 사용되었다는 기록도 확인할 수 있다. 임진왜란 종전 약 11년 후인 1609년 도체찰사 이항복의 지적에 따르면 육전뿐 아니라 해전에서도 대형 총통의 유효사거리 문제가 명료하게 지적된다.

이상의 사료를 통해 총통의 최대사거리가 개략적으로 1,000보(국궁 거리 기준 1,200 m, 대한제국 기준 1,818 m) 전후임을 알 수 있다. 이 사정거리는 『화포식언해』와 『용원필비』에 수록된 총통의 거리와도 매우 근접한다. 물론 이 사거리 시험 측정 당시 장소가 육상인지 해상인지, 발사 각도가 어느 정도인지 등을 포함해 유효사거리와 명중률도 불분명하다. 하지만 '적의 탄환이 날아올 수 있는 거리에서 사용되었다'라는 지적은 총통의 유효사거리가 의외로 짧았다는 의미로 간주될 수 있다. 유효사거리와 명중률과는 무관하게 총통의 최대사거리가 활보다 길다는 것만은 명확하다. 이는 『수조규식』에 수록된 바와 같이 200보 거리에서 총통을 활용하고 100보보다 짧은 거리에서 활을 쏜다는 기록과도 일치한다[21].

임진왜란 이전 사료와는 다르게 임진왜란 이후 백사 이항복의 기록은 육전은 물론 해전에서 총통의 활용 문제를 적시했다는 데에서 여타의 기록과는 의미가 다르다. 이항복은 『백사집』에서 '천자총통이나 지자총통 등의 대포는 규모가 크고 장전 소요 화약이 지나치게 많아 화력이 크고 맹렬하나 화살이 곧게 나가지 않아 수전이나 성을 지키는 데 모두 쓰기에 알맞

지 않다'라고 적시했다.

이항복의 기록에 있어서 특히 총통이 크고 화약이 많이 소요된다는 불편한 점 외에도 '화살이 곧게 나가지 않는다'는 지적에 주목할 필요가 있다. 그 이유는 탄도공학적으로 볼 때 총통 발사 후 일정 거리 직선 운동 후 이어지는 곡선의 궤적이 불규칙하여 유효사거리를 예측할 수 없었다는 점이고, 둘째, 실전 측면에서 보면 적선 선체 타격에 적지 않은 애로사항이 있었을 것으로 볼 수 있기 때문이다.

즉 이항복의 기록은 총통의 유효사거리는 천편일률적으로 인용되고 있는 문헌상 총통의 최대사거리와는 크게 차이를 시사하며, 총통의 예측 불가능한 유효사거리는 명중률에 결정적인 요소로 작용했을 것이다.

다음은 거북선을 철갑선으로 기록한 내용이 포함되어 있어 잘 알려진 일본측 사료로 임진왜란 해전에 참전한 도노오카 진자에몬(外岡甚左衛門)이 쓴 회고록 『고려선전기(高麗船戰記)』에 기록된 안골포해전 상황에서 발췌한 주요 내용 요지다[22]. 우선 거북선 함포 사격에 대한 기록을 살펴보기로 한다.

“6일에 부산포에서 나와 해협 입구에 이르러 8일에는 안골포의 오도항에 들어갔다. 9일 오전 8시경부터 적의 대선 58척과 소선 50척 가량이 공격해 왔다. 대선 중의 3척은 맹선(거북선)이며 오후(6시경)까지 교대로 달려들어 사격했다. 고루(高樓)며 통로며 발을 보호해주는 방어 시설까지 모두 부수었다. (...) 5간(1칸은 1.82 m), 또는 3간 이내까지 근접해 사격했다.”

위 내용은 임진왜란 해전 중 거북선이 함포 사격 시 적선과의 이격거리, 즉 유효사거리를 가늠할 수 있는 유일한 수치적인 기록이라는 점에서 의미가 있지만 거북선 함포의 해전에서의 유효사거리에 대한 신뢰성 있는 연구가 없어 크게 주목받지는 못했다.

또 『고려선전기』에 위 내용과는 대조적인 아래와 같은 대목이 확인된다.

“적의 배에서 쏜 대포 불화살이 날아오는 도중에 많이 꺾이는 것을 사람들이 보았다. 배에 꽂힌 대포 불화살은 겨우 140~150개에 지나지 않았다. 이런저런 상황을 생각해 보면 신의 가호가 실로 크다며 사람들은 한없이 기뻐했다. 정말이지 신의 가호가 없었다면 이번 전투에서 이와 같은 행운은 있기 어려웠을 것이라고 모두들 말했다.”

위 내용은 안골포해전에서 발사한 함포의 발사체 탄도가 적의 선체에 도달하지 못하고 중간에 바다 위로 떨어진다는 목격담으로 앞에서 언급한 3~5간(대략 6 m - 9 m)에서 발사한 거북선 함포사격과는 대조적이다. 이는 유효사거리 범위 밖에서 사격했을 때 적선의 발사체가 선체까지 도달하지 못하거나, 이항복의 기록처럼 곧게 멀리 나가지 못한다는 의미로 이해되는 대목이다.

3.2 탄도학 시뮬레이션 및 실사격 사례 분석

탄도학은 사물이 중력과 공기 저항 등의 외부 힘을 받으면서 총알, 로켓, 포탄과 같은 발사체의 비행경로를 분석할 때 사용되며, 여기서 삼각함수는 발사체의 초기 조건과 비행경로를 분석하는 데 필수적이다. 즉 발사 각도, 발사체 도달 최대 높이, 발사체가 이동하는 수평거리는 물론 발사체의 속도와 방향에 따라 변하는 공기 저항 분석 시 벡터의 각도와 크기를 계산할 때를 비롯해 발사체 비행 중 특정 시점에서의 공간상의 좌표를 계산할 때도 사용된다. 위에서 언급한 탄도학의 개념을 실제로 적용하기 위해서는 현대 공학 연구 계산에 범용으로 사용되는 잘 알려진 탄도학 이론식, 에너지원의 크기, 발사체의 속도, 제반 계수 등이 필요하다.

조선 시대 총통에 관한 국내 연구 중에서 규모가 가장 큰 총통인 천자총통과 대장전을 모델로 탄도학 이론식을 적용한 천자총통의 사거리 측정 시뮬레이션을 시도하여 총통의 사거리 추정에 유의미한 결과를 제시한 사례가 있었다[23]. 또 조선 시대 총통을 복원해 실사격한 사례 역시 시뮬레이션 결과와 함께 임진왜란 시기 총통의 사거리 및 유효사거리를 추정하는데 무시할 수 없는 자료로 활용되고 있다.

우선 박혜일은 천자총통 및 대장전을 모델로 선정하고 탄도학 운동방정식을 통해 고각별로 계산된 사거리 결과를 제시했다. 계산 결과 총통의 유효사거리를 70여 미터에서 높은 명중률 100여 미터보다 먼 거리에서는 명중률이 현저하게 떨어질 것으로 추정했다. 이 연구 결과는 공학적 모델을 이용한 시뮬레이션 결과를 제시함으로써 임진왜란 시기 총통의 사거리 및 유효사거리를 추정하는데 도움이 되고 있다. 그럼에도 불구하고 박혜일의 시도에서 천자총통에 대장전 장전 후 약 45도 고각 발사 시 최대사거리는 문헌

상의 사정거리에 비해 50 % 수준으로 나타났다. 앞서 언급한 포의 사거리는 고각, 포구 출발 속도, 질량 외에 발사의 대기환경, 모델로 선정된 총통의 규격 정확도 등이 영향을 미칠 수 있음을 감안할 때 박혜일이 제시한 탄도 역학적 시뮬레이션 결과는 실제와는 상당한 차이가 있을 것으로 보인다. 또 과거 저자는 해군사관학교에서 교수로 재직 당시 해군사관학교 연병장에서 세 차례(1994년 8월, 1995년 3월, 1996년 4월)에 걸쳐 각 총통과 무기를 육포만을 향해 사격하는 시험을 직접 참관한 바 있다. 당시 현장에서의 소감을 피력하는 것은 적절치 않지만, 비록 400년 후 다른 제반 환경에서 실시된 시험임을 감안하더라도 총통에 대한 명중률 및 유효사거리에 대한 의문이 적지 않았다. 당시 공식 시험 결과 사정거리는 문헌 기록의 50 % 수준에 그쳐 이 경우 역시 임진왜란 당시 총통을 재현하는 데에는 실패하였다([18] p. 328).

3.3 함포의 포축선 양각과 발사체 초기 속도의 영향

Figs. 1-2는 1950년대 미 해군의 사격통제장치 교육 자료인 미 해군 교범에 수록된 그림이다[24]. Fig. 1은 현대식 포가 개발되지 않았던 1800년 이전 시기 미



Fig. 1. 19세기 이전 함포 운용 방식

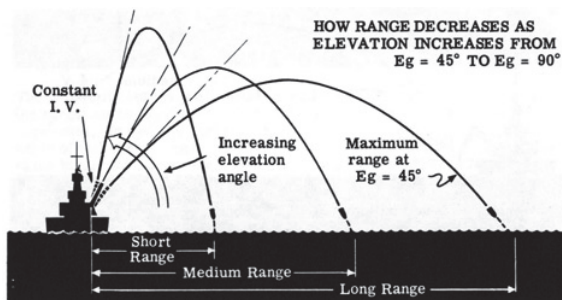


Fig. 2. 사격 양각의 변화에 따른 발사체 궤적

해군의 대포 운용 방식을 나타낸다. 임진왜란 시기와 시차는 있지만 현대식 포와 사격 통제장치가 개발되기 전의 함포 운용 방식이란 공통점으로 미루어 임진왜란 해전에 활용된 조선 수군의 총통 사격 방식도 이와 유사했을 것으로 추정된다.

이 교범은 19세기 이전 해군 함포 사격은 명중률 향상을 위해 주로 포수가 눈으로 목표물을 직접 확인해 사격해야 했고, 승조원은 함포 사격이 잘 되도록 배를 조종해야 하였기에 과학에 의한 사격이 아니라 예술이었으며, 당시의 함포는 정교한 사격 조준 시스템이 없어 근거리를 제외하고는 부정확했다고 적고 있다. 또 발사체가 고정된 초기 속도로 발사된 후 공기 저항 등을 제외하면 그 이동 거리는 포축선과 수평 사이의 각도인 양각에만 의존하며, 따라서 양각이 커지면 중력이 발사체의 수직 속도를 극복하는 데 시간이 더 오래 걸리고 이 시간 동안 발사체가 총에서 더 멀리 이동하기 때문에 거리가 증가한다고 적혀 있다[24].

Fig. 2는 발사체의 궤적을 사격 양각의 변화에 따라 예상되는 결과에 대해 기하학적 개념으로 설명한 그림이다. 그림에서 보듯이 함포의 사거리를 증가시키기 위해 양각을 차츰 높이면 45도에서 최대사거리를 얻을 수 있고, 포구를 출발 발사체의 속도를 증가한다면 동일 양각에서 탄도 운동방정식을 적용해 결과를 도출하지 않더라도 직선 운동이 커질 수 있음을 예측할 수 있다.

임진왜란 당시 조선 수군의 총통이 동차 등 포가에 올려져 판옥선이나 거북선에서 함포로 사용되었다는 기록은 전해지지 않는다. 그럼에도 불구하고 조선 후기 수군이 총통을 전선의 선체에 거치해 사용하였던 점으로 미루어 임진왜란 시기 조선 수군도 총통을 전선의 선체에 어떤 형태로든 거치하여 사용하였을 것으로 보인다([3] pp. 4-28).

임진왜란 해전에서 총통 사격 양각이 얼마였는지 명확하게 제시한 사료는 없으나, 선체에 거치 형태로 탑재된 총통의 사격 양각을 최저 17도로 제시한 연구 결과와 총통 탄도 시뮬레이션을 분석하면서 양각 20도 안팎을 적용하여 유의미한 결과를 제시한 연구가 있다[23,25]. 이뿐만 아니라 이순신 해전에서 적선 선체 타격은 거북선이든 판옥선이든 중국에는 근접해서 함포로 격파하는 방식으로 이루어졌음이 확인된다. 총통의 거치 형태, 실전에서의 선체 타격 양상, 총통 발사체의 특성 등으로 미루어 임진왜란 해전에

서 총통으로 적선의 선체를 타격하는 방식은 총통에서 발사된 발사체가 곡선 운동 후 낙하하며 폭발하는 오늘날 지상군의 박격포·곡사포의 공격방식이 아니었고 일정각을 유지하며 발사된 발사체가 포축선 상의 표적과 직접 충돌해 타격하는 방식이었음을 쉽게 짐작할 수 있다. 본 연구에서도 과거 연구자들이 제시한 총통의 사격 양각 자료를 거북선 탑재 함포의 양각 자료로 준용한 이유다. Fig. 3은 동차에 실린 복원된 총통 사진이다. 가장 왼쪽이 대장군전이 장전된 천자총통으로 현재 해군사관학교에서 보유하고 있다.



Fig. 3. 대장군전이 장전된 천자총통

4. 거북선 함포의 적선 선체 타격 탄도 분석

4.1 거북선 함포의 탄도 이론체계 정립

기하학과 삼각함수의 원리 및 개념은 그리스 학자 피타고라스와 유클리드 등을 거치면서 기원전 4세기 경 체계화되었다. 이 원리는 중세를 거치면서 토목, 건축, 군사 및 항해 등 현대 과학이 발전하기 전에도 다양한 분야에서 활용되었다. 삼각함수의 기하학적 요소는 발사체 고각에 영향을 받는 범용의 공학적 탄도 방정식을 푸는 데도 반영된다[26,27]. 하지만 탄도 방정식을 적용하여 정확한 무기체계 탄도를 구하기 위해서는 무엇보다 우선적으로 탄도에 영향을 미칠 수 있는 발사체나 발사 플랫폼의 물리적 및 화학적 특성을 포함한 정확한 제반 제원 특성이 탄도방정식에 반영되어야 한다.

앞서 언급한 것처럼 공학적 탄도방정식을 적용한 거북선 총통 탄도의 시뮬레이션 또는 실제 시험 결과가 문헌에 전해지는 총통의 최대사거리에 턱없이 못 미치는 이유는 무기체계 발사체나 발사 플랫폼의 제반 물리적 및 화학적 제원 특성이 탄도방정식에 반영되지 못했기 때문이다.

따라서 총통에 대한 구체적인 자료가 부재한 상황에서 범용의 공학적 탄도방정식을 거북선 함포의 탄도 분석에 적용하는 대신 이에 적합한 새로운 이론체계 정립이 필요하다. 이를 위해 거북선 함포로 활용된 총통 탄도의 물리적 현상에 주목할 필요가 있다. 평사포 특성을 갖는 거북선 함포에 의한 표적 타격은 평탄도([11] p. 56) 즉 직선 운동 과정에서 이루어지며 앞서 분석한 바와 같이 다음의 몇 가지 물리적 특성이 있다. 첫째, 발사체의 이동 거리는 포축선과 수평 사이의 양각에 크게 좌우되고 발사체는 일정 거리를 직선 운동을 하며, 둘째, 발사체의 초기 속도가 증가하면 동일 사격 양각에서 직선 운동 및 사거리도 증가하고, 셋째, 선체와 총통이 모두 강구조로 되어 있어 선체 거치대의 총통 포축선은 선체 운동에 영향을 받는다는 점 등이다.

본 연구에서는 위에서 설명한 바를 토대로 총통의 포축선과 수평면과의 양각, 발사체의 수평 이동 거리 및 발사체와 표적의 높이 등을 함수로 하는 삼각함수 원리를 적용한 기하학적 분석이 거북선 함포의 유효 사거리 실제 파악을 위해 실용적이고 합리적이라 판단했다.

다음은 알려진 삼각비의 정의에 관한 내용이다[28]. Fig. 4와 같은 직각삼각형에서 $\angle A = \theta$ 의 크기가 정해지면 삼각형의 크기와 관계없이 세 변 $AB = c$, $AC = b$, $BC = a$ 사이의 비 $\frac{a}{c}$, $\frac{b}{c}$, $\frac{a}{b}$ 의 값은 일정하다. 이때 이 비의 값을 다음과 같은 기호를 사용하여 정의하고, 이것을 각 θ 에 대한 삼각비(trigonometric ratio) 또는 예각의 삼각함수(trigonometric function)라 하며 그 관계식은 식 (1)과 같다.

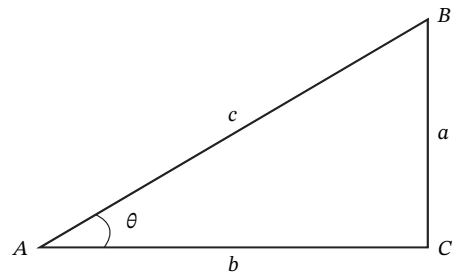


Fig. 4. 직각삼각형

$$\sin \theta = \frac{a}{c}, \cos \theta = \frac{b}{c}, \tan \theta = \frac{a}{b} \quad (1)$$

4.2 거북선 함포의 탄도 시뮬레이션 및 분석

삼각함수 원리를 거북선 함포 발사체 궤적 분석을 위해 Fig. 3에서 $\angle A = \theta$ 는 거북선 함포의 사격 양각, c 는 함포 발사체의 궤적 직선거리, b 는 거북선과 적선의 수평선 상의 이격거리, a 는 적선(표적)의 높이 또는 발사체 궤적(탄도)의 높이로 정의하였다. 또 거북선에 탑재된 총통의 해발 높이는 명확하게 알려진 바는 없지만, 기존의 연구 결과([2] pp. 153-154)를 참고하여 거북선 총통의 해발고도를 2 m, 당포해전에 참전한 적의 대선([15] p. 773) 높이를 준용하여 7 m로 설정하였다. 거북선 함포로 탑재된 총통의 양각은 기존 연구를 참고하여[23,25] 기본 17° - 20°로 하되 거북선의 롤 및 피칭 등을 고려하여 변화각은 $\pm 3^\circ$ 로 정했다. 이렇게 하여 계산한 Table 1의 데이터를 토대로 거북선에서 발사한 함포의 적 대선 타격 가능 권역, 타격 경계권역 및 타격 사각권역을 Fig. 5에 나타냈다.

Table 1. 거북선 함포의 유효사거리에 대한 시뮬레이션 결과

사격 양각 (°)	발사체 탄도 높이 a (m)					
	b = 5 m*	b = 10 m	b = 15 m	b = 20 m	b = 30 m	b = 40 m
14	3.4	4.7	6.1	7.4	10.1	12.8
17	3.6	5.1	6.6	8.2	11.3	14.4
20	3.8	5.6	7.4	9.2	12.8	16.4
23	4.1	6.2	8.3	10.4	14.6	18.8

*b: 거북선과 적선의 수평선 상의 이격거리

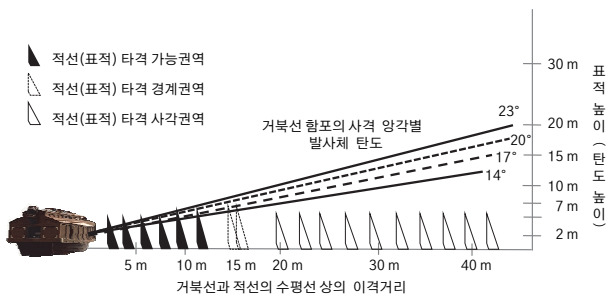


Fig. 5. 거북선 함포의 유효사거리에 대한 시뮬레이션 결과

Fig. 4에서 실선과 점선은 거북선 탑재 총통으로 주어진 양각에서 사격했을 때 발사체의 직선 운동인 평탄도 궤적을 나타낸다. 가로축은 거북선과 적선의 수

평 이격거리를 나타내고 세로축은 표적의 선체 높이를 나타낸다. 이 그림에서 보듯이 표적으로 선정한 일본 대선의 선체 타격 가능 경계권은 이격거리 15 m 부근임을 알 수 있다. Table 1의 데이터를 참조하여 좀 더 세부적으로 살펴보면 15 m 이격거리에서도 함포의 양각이 14도와 17도인 경우 거북선 함포의 발사체 궤적의 높이가 각각 6.1 m, 6.6 m이기 때문에 높이가 7 m인 적 대선은 발사체와 충돌할 수 있어 거북선 함포로 적선의 선체 타격이 가능하다. 그러나 함포의 양각 20도와 23도에서 발사체 궤적의 높이는 각각 7.4 m, 8.3 m이므로 발사체가 적의 대선 높이 7 m 위로 지나기에 따라 상호 충돌은 일어나지 않아 적 선체 타격은 불가하다. 반면에 거북선과 적선의 수평 이격거리가 좁혀져 10여 m 안으로 유지되면 발사체의 높이가 네 양각 어떤 경우든 7 m 이하이기 때문에 거북선 함포로 적선의 선체 타격이 가능하다. 그러나 타격 경계권인 이격거리가 15 m를 벗어나 20 m 이상이 되면 어떤 경우에도 발사체 궤적 높이가 7 m 이상이 되기 때문에 거북선의 발사체는 적 대선 위로 지나간다. 따라서 이 영역은 사각지역에 해당함을 알 수 있다.

본 연구의 결과를 토대로 상술한 거북선이 참전한 해전의 교전 특징을 소환하여 살펴보면 거북선이 적선 깊숙이 침투하여 적선 선체를 타격한 이유, 거북선을 뒤따르던 판옥선들이 일제히 돌격하여 적 함대에 드나들며 적선의 선체를 타격한 이유를 짐작할 수 있다. 또 일본측 사료인 『고려선전기』 기록에 명시된 바와 같이 거북선이 왜 일본 함대에 5 m - 9 m까지 접근하여 함포사격을 해야만 했는지를 이해할 수 있다.

5. 결론

본 연구는 이순신 해전 연구 사상 처음으로 총통의 거북선 함포 활용 시 적선 선체 타격을 위한 유효사거리와 사각구역 실체 파악을 위한 연구이다. 본 연구의 연구 결과를 요약하면 아래와 같다.

첫째, 거북선에 탑재되어 함포로 활용된 총통의 실질적인 유효사거리와 사각구역 분석을 위해서 발사체 초기의 직선 운동, 즉 평탄도에 중심을 둔 함포로 활용된 총통의 발사체 궤적 분석에 적합한 새로운 맞춤형 이론 체계를 제시하였다. 거북선 함포의 포축선과 수평면과의 양각, 발사체의 수평 이동 거리 및 발

사체 탄도 높이를 함수로 하는 삼각함수 원리를 적용한 새로운 기하학적 분석 방법을 제시하였다.

둘째, 임진왜란 해전에 참전한 일본 수군의 대선을 모델로 제시한 이론식을 적용하여 시뮬레이션한 데이터를 기반으로 거북선 함포의 선체 타격 유효사거리와 사각구역을 구했다. 거북선의 적선 선체 타격 안정권은 적선과의 이격거리 10여 m 안팎, 타격 경계권은 15 m 안팎, 적선 선체 타격 사각 구역은 20 m 안팎에서부터 발생한 것으로 나타났다. 이 시뮬레이션 결과는 일본측 사료(『고려선전기』)에 소개된 거북선 교전 시의 사격권과도 일치하였으며, 이 결과로부터 거북선이 교전 초기 조선 수군 선봉에서 적선으로 돌격 및 근접하여 적 선체를 선제 타격한 이유를 알 수 있었다.

셋째, 임진왜란 시기 함포로 활용된 총통의 적선 타격 가능 거리인 유효사거리는 문헌상 총통의 최대사거리와는 현격한 차이가 있음은 물론 함포의 사각구역이 확인되었다.

오랜 기간 이순신 해전 재현은 물론 전술 해석 등에 문헌상 총통의 최대사거리(1,000 m 안팎)를 선체 타격 유효사거리로 준용한 사례가 많았다. 그러나 연구 결과에서 확인했듯이 임진왜란 해전에서 함포로 활용된 총통은 해상 표적인 선체 높이에 따라 유효사거리는 최대사거리와는 비교할 수 없을 만큼 짧아진다. 임진왜란 시기 거북선이나 판옥선에 탑재된 총통의 적선 직접 타격 유효사거리나 사각구역을 고려하지 않은 이순신 해전 재현이나 전술 해석은 상당히 추상적이고 실제 교전 형태와는 차이가 있을 것으로 판단되는 이유다.

향후 본 연구 경험을 기반으로 다양한 시나리오를 발굴하여 연구를 계속할 예정이며, 임진왜란 시기 거북선의 함포로 활용된 총통의 유효사거리와 사각구역을 고려하고 거북선과 판옥선의 합동 전술을 반영한 이순신 해전 전술에 대한 연구도 추진할 예정이다.

후기

본 연구에 조언과 격려를 아끼지 않으신 국내 이순신 연구 석학 정진술, 김주식, 박종평 님께 감사의 말씀을 드린다.

참고문헌

- [1] Kim, J. G. (1978), *Myth of the Turtle Ship*, Jungjeong Publisher.
- [2] Jung, J. S. (2012), *The Authentic Theory about Admiral Yi Sun Sin Theory IV – Correct Understanding of the Turtle Ship*, Research theses of Yi Sun Sin, Vol. 17, pp. 143-169.
- [3] Kim, B. L. (2014), *Study on Weapon System of the Joseon's Navy*, Research theses of Yi Sun Sin, Vol. 21, pp. 1-53.
- [4] Song, E. I. (2021), *Proposals for Current State and Assignment of Restored Imjinwar-Style Turtle Ships*, *History & the Boundaries*, No. 120, pp. 31-76.
- [5] Kim M. W. (2022, December 7), "Turtle Ship Restored though In-depth Historical Research: What are Differences from What We Have Known?," SBS News, https://news.sbs.co.kr/news/endPage.do?news_id=N1006998259&plink=ORI&cooper (Accessed: 2024.1.3.)
- [6] Jo, S. D. (1986), *Chungmugong Yi Sun-shin*, Yeongyeong Publisher.
- [7] Lee, M. W. (2012), *A Critical Biography of Yi Sun-shin*, Seongandang.
- [8] Jae, J. M. (2011), *Yi Sun-shin Baek-ujong-gun*, Happy Tree.
- [9] Ko, K. S. & Choi, Y. S. (2021), *The Unknown Yi Sun-shin by Us*, Book Korea.
- [10] Park, J. K. (1813), 戎垣必備.
- [11] Lee, J. H. (2007), *An Understanding of Weapons*, Yangseogak.
- [12] Joint Chiefs of Staff (2006), *Dictionary of Joint Forces Terminology*, p. 304.
- [13] Yi Sun-shin (2015), *Janggye Written by Yi Sun-shin in ImjinJangCho* (Korean version translated by Cho, S. D.), Yeongyeong Cultural Publisher, pp. 45-64.
- [14] Kim, H. G. (2019), *The Translated Leechoongmugong Haengrok*, Gagyanal.
- [15] Park, J. P. (2019), *The Translated Imjin War Diary*, Gilhangari.
- [16] Park, J. K. (1813), 戎垣必備.
- [17] Choi, D. H. (2008), *Chungmugong Yi Sun-shin Confesses to the Republic of Korea*, Purunsol, pp. 543-544.
- [18] Choi, Y. S. (2007), *A Holy Place of the Nation 'Goha-do,' Hoon*.
- [19] *The Veritable Records of the Joseon Dynasty*, Sejongsillog, Vol. 107, March 30th, 1445 (https://sillok.history.go.kr/id/kda_12703030_001).
- [20] *The Veritable Records of the Joseon Dynasty*, Sejongsillog, Vol. 278, May 28th, 1493 (https://sillok.history.go.kr/id/kia_12405128_002).
- [21] Kim, B. L. (2010), *The Battle Formation and Naval Weapons Employment of the Joseon Navy*, *Military History*, Vol. 74, p. 171.

[22] 外岡甚左衛門 (1592), 高麗船戰記.

[23] Bak, H. I. & Yi, Y. C. (1989), 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, pp. 3-18.

[24] U. S. A. Naval Manual (1953), Fire control Fundamentals, Bureau of Naval Personal, Navpers.

[25] Choi, D. H. (1999), The Translated Chungmugong Yi Sunshin Collection (6th), Wooseok Publisher, p. 544.

[26] Kim, H. S. & Jung, S. D. (2016), The Unknown Yi Sun-shin by Us, KyengMoon Publisher, pp. 234-237.

[27] Ko, K. S. (2022), Electronic Navigation and GPS, Book Korea.

[28] Lee, S. I. (2011), The Foundation of Industrial Mathematics, Sanghagdang, pp. 57-59.