

특별기고

1413년형 거북선 설계

류기수((주)에이블이엔씨)

1. 서론



그림 1 조선왕조실록

표1 과업의 주요 내용

구분	주요 내용
1	- 역사학자, 선박전공자, 전통한선 전문가, 해군 전문가 및 거북선에 관한 학식과 경험이 풍부한 전문가의 자문을 통한 복원 설계 추진
2	- 파주시에서 실시한 「조선 최초 임진강 거북선의 학술연구 및 기초설계 용역」의 결과물에 대한 검토·보완
3	- 고려 말·조선 초 전통 군선의 연장선상에서 조선 중기 판옥선과 임진왜란 기 이순신 거북선까지의 수치 연구 및 동시대의 문헌·회화·연구보고서 등을 면밀히 검토하여 1413년 태종 代 조선 최초 임진강 거북선의 형태 및 치수를 특징하고, 세부적인 콘텐츠 구성을 완성
4	- 조선시대 문헌인 이충무공전서, 이분 행록, 간재집, 비변사등록, 조선왕조실록, 만기요람, 고려선전기, 현성유고, 경국대전, 각선도본, 재조변방지, 해방의 등과 선사 자료를 통해 고려 군선의 발전형이며 이순신 거북선의 원류인 「조선 최초 임진강 거북선」의 특수 목적 군선으로서의 형태, 기능, 구조적 특징 기술

“조선 태종 13년(서기 1413년) 2월 5일 태종이 통제원 남교에서 머물렀다. 그리고 임진강의 임진도 나루를 지나가다가

조선의 거북선과 왜국의 왜선이 서로 싸우는 모습을 보았다.”는 기록이 있으며[1], 이를 계기로 2020년 연말 조달청 나라장터에 “거북선 복원 실시설계 용역사업”이 공고되었다.[2]

구체적인 용역 내역은 지방자치 단체에서 개념적으로 수행한 기초설계 및 학술연구 결과에 대한 검토·보완과 최종적으로 한국해양교통안전공단(Korea Maritime Transportation Safety Authority) 승인 설계도를 검증받는 것이며, 과업 내용과 성과품 내역은 [표 1, 2]와 같다.

표2 사업 성과품 내역

구분	성과품명
기본 설계	기초설계 및 학술연구 검토보고서
	기본설계도
복원 설계	실시 설계 보고서
	복원 설계도
	제작(건조) 내역서
	(일위대가, 단가산출서 포함)
	선체부 목재 수량 산출내역
	기타 조사, 협의 및 제출자료
	조선공학적 검토보고서
	3D Modeling
기타(승인설계도서 포함) 전산자료	

2. 본론

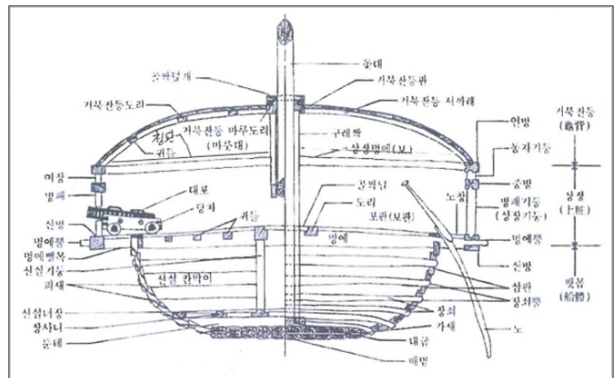


그림 2 1795년형 거북선 중앙횡단면 형상

공식적으로 거북선을 복원하기 시작한 것은 1969년 현충사 중건 때 유물 전시관에 전시하기 위하여 제작한 1/6 축척의 거북선이 처음이었다.[3] 이충무공 전서에 자세히 기록된 [그림 2]의 1795년형 전라좌수영·통제영 거북선을 기본으로 건조되었으며, 이처럼 선조가 남긴 유적·유물과 같은 물질 증거와 그 상관관계를 통해 과거의 문화와 역사 및 생활 방법을 연구하여 현재 상태에 도달하는 과정을 밝히고 최종적으로 미래를 지향하는 학문인 고고학 정역에 더하여 조선해양공학의 기술적인 관점에서 살피고자 한다.

2.1 일반 사항

표 3 1592년형 거북선 기본 사양

구분	내역
전장	26.27 m
선장	21.24 m
선폭	7.06 m
깊이	2.17 m
주추진법	범선
재질	목재

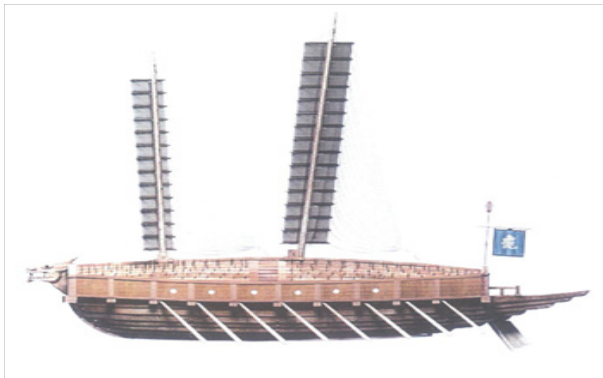


그림 3 1592년형 거북선 형상

각종 문헌으로 종통갑판이 철심으로 무장된 임진왜란 당시 거북선은 1592년형으로 분류되며, 전라좌수영 본영(여수), 방답진(돌산)과 순천부가 선적항이었다.[4] 앞선 1795년형에 비해 임진왜란 당시 거북선에 대해서는 난중일기, 충무공 조카인 이분의 행록 등에 기록되어 있으며, 이를 근거로 2009년 복원을 기획한 지방자치단체에서 두 기관에 1592년형 거북선 제원, 형태 등에 대한 기초자료, 현황, 고증조사를 의뢰하였

다.[5] 참고로 그 가운데 한 기관의 기본치수(Principal Dimension)와 형상은 [표 3], [그림 3]과 같다.

해상 운항을 위한 거북선 역시 선박의 세(3)가지 필요조건인 부양성, 적재성과 이동성이 확보되어야 하며, [표 4]의 과정으로 선급으로부터 도면 승인을 얻은 후, 건조검사, 시운전과 경사시험을 만족해야 한다.

표 4 설계 진행 과정

단계	주요 내용
개념 설계	<ul style="list-style-type: none"> 고중에 의한 전통한선 개념 선형 설계 전통한선 개념 선형안의 CFD 검토 발주처와 기술 협의 건조사양서 작성 (일반, 선각, 선장부, 전장부)
기본 설계	<ul style="list-style-type: none"> 수상레저기구 안전검사기준에 의거 복원성 검토 기본설계(고중안 + 법규와 규정) 구조 설계, 선급 규정 계산서, 중앙부 구조해석 자중확인
선급 승인	<ul style="list-style-type: none"> 설계 관련 제출 문건 (수상레저안전법 시행규칙[별표 7의2]) - 건조사양서 - 일반배치도, 중앙횡단면도, 강재배치도, 외판전개도 - 선체선도, 배수량등곡선도, - 흘수표배치도, 전기계동도
자료 정리	<ul style="list-style-type: none"> 설계 설명서 (자중 추정치, 설계 개선안) 생산설계 및 건조 협의안

2.2 도면 최소 규정

거북선 설계와 건조 과정을 대상으로 한 현행 국내 주요 규정은 [표 5]에 나타내었으며, 법정 사항들을 상회하도록 조치되어야만 선급으로부터 지적 사항 없이 발주처에 인도될 수 있기에 세심한 주의가 요구된다.

특히 아래 [1], [2] 와 [3] 항목은 개념설계 단계부터 감안되어야 하는 주요한 내용이다. 따라서 고중에 따라 복원될 1413년형 거북선도 규정 준수에 따라 부가되는 물량 분포 영향으로 확정되는 부심과 현장 공수 등은 사전에 면밀히 고려되어야 한다.

[1] 목선의 구조 기준

제12조(평판용골)

② 선체중양에 있어서의 평판용골의 단면 치수 및 면적은 다음 각 호에 의한다.

제19조(늑골) ; 늑골 관련 구조 부재 추가해야 함

제20조(늑골의 간격)

① 캔트늑골 이외의 늑골의 간격은 다음 산식에 적합한 것이어야 한다. 다만, 갑판구의 길이가 5미터 이상인 선창 또는 기관실부분의 늑골간격은 당해 늑골간격의 0.9배 이하로 하여야 한다.
 늑골의 간격 = L+20(센티미터)

제21조(선저중통재)

① 선저중통재는 선박의 길이가 21미터 이상, 선박의 너비가 4.8미터 이상인 선박에 있어서는 각 현에 2줄, 그 외의 선박에 있어서는 각 현에 1줄을 설치하여야 한다.

제23조(선측중통재)

① 선박의 깊이가 2.5미터(제21조 제6항의 규정에 의한 선박의 경우에는 2.75미터) 이상인 선박에는 상갑판보의 받침재와 밑지중통재와의 중앙부근에 선측중통재를 설치하여야 한다.

제24조(보받침재 및 부보받침재)

① 선박의 깊이가 2.5미터 이상인 선박에는 보받침재 이 외에 부보받침재를 설치하여야 한다.

제25조(외판 등)

③ 외판 및 외부외판의 너비는 30센티미터 이하로 하여야 한다.

제27조(상갑판보)

① 상갑판보의 간격은 제20조 제1항의 규정에 의한 늑골의 간격의 2배로 하여야 한다.

제33조(목갑판)

① 목갑판의 너비는 25센티미터 이하로 하고, 그 두께는 별표 4에 의한 것 이상으로 하여야 한다.

제40조(선루) : 선루 높이 제한(2.1미터) 고려함

제41조(갑판실) : 갑판실 높이 제한(2.1미터) 고려함

[2] 범선의 구조 및 설비 등에 관한 기준

제7조(밸러스트) : 복원성 고려하여 평형수 설치함

제15조(선수격벽 등의 설치) : 「강선의 구조기준」

제221조 제1항 부합해야 함

[3] 수상레저기구 안전검사 기준

제7조(항해구역의 지정 등)

② 항해구역을 평수구역으로 지정받은 기구는 지정된 항해구역에도 불구하고 평수구역의 끝단 및 가까운 육지(또는 섬)로부터 10마일(제7조 제1항 제2호에 해당하는 기구는 5마일) 이내의 연해 구역을

항해할 수 있으며, ~

제8조(복원성)

① 승선정원이 13명 이상인 기구는 이 조에서 정하는 요건에 따라 복원성을 유지하여야 한다.

② 제1항에 따른 기구의 소유자는 해당 기구의 항해 구역에 따라 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 복원성요건에 적합하지 여부를 확인받기 위하여 복원성 자료 3부를 검사대행 기관에 제출하여야 한다.

1. 평수구역을 항해구역으로 하는 기구

$$G_0M \geq 0.059B (B/D - 2.2) + [2.058(T/D)^2 - 2.857T/D + 0.99]B$$

표 5 주요 법규와 규정의 내용

표제	주요 내용
목선의 구조 기준	<ul style="list-style-type: none"> 「선박안전법」 제26조로 목선의 구조, 시설, 설비 등 필요 사항 규정 - 제1장 총칙 - 제2장 목재 - 제3장 선체의 구조 - 제4장 고착못 - 제5장 이음 - 제6장 고착 - 제7장 갑판구등의 폐쇄장치 - 제8장 보 칩
범선의 구조 및 설비 등에 관한 기준	<ul style="list-style-type: none"> 「선박안전법」 제26조로 범선의 구조, 시설, 설비 등 필요 사항 규정 - 제1장 총칙 - 제2장 선체 - 제3장 범장 및 기관 - 제4장 배수, 구멍 및 소방설비 - 제5장 조타 및 계선설비 - 제6장 거주, 위생 및 탈출설비 등 - 제7장 항해용구 및 전기설비 - 제8장 항해시험 및 복원성 - 제9장 보 칩
수상레저기구 안전검사 기준	<ul style="list-style-type: none"> 항해구역의 지정 복원성
선박법	<ul style="list-style-type: none"> 국적, 선종, 선박톤수 규정
선박안전법	<ul style="list-style-type: none"> 감항성 및 안전운항 필요 사항 규정

2.3 부가 사항

선급의 승인 사항에는 없지만, 역사성을 지닌 거북선의 효율적 자항을 위해 [표 6]의 요구도 충분히 확보되어야 한다.

그리고 선체와 법정 속구 등을 완비하고 운항에 필요한 최소 승무원만 승선한 배수량 상태로 대형선 [표 7]의 경하상태 (Ballast Condition) 요구 조건에 대하여도 고려해야 하며, 최종적으로 복원되는 임진강(1413년형) 거북선 역시 경제성이 확보되어야 한다. 초기 개념과 기본설계 단계에서부터 책정된 유지 보수비용이 상회되지 않도록 감가상각에 따른 수익성이 고려되어야 하며, 이를 위해 고종 및 현재 법규와 함께 앞선 1795년형과 1592년형 거북선 복원 사례를 충분히 검토하여 최적화 설계가 수행되어야 한다.

표 6 조종 성능

항목	주요 내용
침로안정성능	• 거북선이 원하는 방향으로 똑바로 갈 수 있는 능력
변침성능	• 거북선이 충돌이나 좌초 등이 일어날 수 있는 상황에서 방향을 바꾸어 위험을 회피할 수 있는 능력
선회성능	• 거북선의 진행 방향을 바꿀 때 필요한 공간의 크기
정지성능	• 거북선이 정지할 때까지 필요한 거리

표 7 경하상태 운항 조건 [6]

항목	주요 내용
선수미 흘수차	• 전장의 1.5% 이내
최소 가시 거리	• 500m와 전장의 2배 가운데 작은 값

2.4 실시설계 과정

주어진 공기에서 최소 비용으로 최대 효과를 창출하는 방안은 수많은 시행착오를 거쳐 선박의 기본설계도에 정형화되었고 발주처와의 기술협의를 거친 건조사양서에 서명하고, 목선의 공학적인 필요성에 부합되도록 [표 8]을 기준으로 구조설계 수행하여 선급으로부터 검증받도록 되어 있다.

먼저 거북선 선형은 선속에 부가되는 저항에 민감한 상태임으로 주의를 기울여 운항의 단락화를 피해야 한다. 선수선저부는 목재 평탄형으로써 선수 파랑에 따른 해수압에 대해 과보강 되지 않도록 유념해야 하며, 선수부의 플레어 각도 (Bow Flare Angle) 역시 효과적인 쇄파가 되도록 미리 고려해야 한다. 특히 거북선 특징인 돌출된 선수부 귀두 자체는 해상 황천에 의해 지지부에 가해지는 급격한 파랑 충격력에 충분한 보강이 요구된다. 그리고 거북선의 경우 목재선 건조 후 운항 기간이 경과함에 따른 미세한 균열(Crack)의 확산 방지를 위해, 부재 연결부와 개구부 등에 대한 피로 보강 설계에

세심한 주의가 필요하다. 일반적으로 압연탄소강에 비해 가공성이 떨어지는 목재선임을 감안하여 선각은 응력 집중을 회피하고 효과적인 응력 이완을 위해 고리구조 (Ring Type Structure)가 바람직하며, 이를 위해 기본설계 시 부재 배치와 목재 치수 결정을 공학적으로 수행하여야 한다.

표 8 기본구조설계 주요 내용

문서 내역	주요 기술 사항
전산유체해석서	① 선속 추정
중양횡단면도	① 설계 목표치 설정
	② 중양을 관통하는 종통부재 (Longitudinal Member) 설계
	③ 횡부재 (Transverse Primary Member) 설계
	④ 격벽 (Bulkhead) 설계
	⑤ 슬로싱(Sloshing) 보강 설계
	⑥ 피로(Fatigue) 보강 설계
	⑦ 부재 결합 설계
강재배치도 & 외판전개도	① 설계 목표치 설정
	② 선미부 (Aft Part) 설계
	③ 화물창부 (Cargo Hold Part) 설계
	④ 선수부 (Fore Part) 설계
	⑤ 선실부 (Accommodation Part) 설계
	⑥ 선저선수 내충격설계 (Bottom Slamming & Bow Impact)
	⑦ 예인력 (Tug Push Force) 보강 설계
	⑧ 전선굽힘모멘트 설계 (Hull Girder Bending Moment Envelope Curve)
	⑨ 전선전단응력 설계 (Hull Girder Shear Force Curve)
구조해석서	① 전선 구조해석
	② 상체 구조해석
	③ 좌굴 (Buckling) 해석
	④ 피로수명(Fatigue Life) 설계
	⑤ 응력 집중 회피 및 부재 경감 설계

3. 결론

거북선은 해풍으로 순항하는 범선시기에 해수면 아래 체적에 대한 부심의 위치를 파악하는 것이 중요하며, [그림 3]의 거북선엔 두 개의 돛이 설치되어 풍랑과 돛의 거동으로 거북선 항로가 결정된다. 따라서 부심을 정확히 추정하여 유체역학과 공기역학을 고려해서, 모든 돛의 경사각과 타에 대해 원활한 거북선 항주가 가능하도록 설계되어야 한다. 그리고 해풍과 파랑에 의한 미세한 선체 트림(Trim) 변화의 부심 이동으로 동역학적 균형 상태가 급격하게 변하며, 선저가 세장형인 현대 선박과 달리 수공의 건조 편이를 고려한 평탄형 거북선은 조종성에 대한 파급 효과가 더욱 크다.



그림 4 착륙 과정에서 폭발한 화성 우주선 '스타십'

한편 일론 머스크가 창업한 미국 우주탐사 기업 스페이스X가 개발 중인 화성 이주용 우주선 '스타십' (Starship)이 시험 과정에서 폭발했지만, ... 머스크는 ... "화성이여, 우리가 거기로 간다" 라고 하면서 만족감을 표시했다. ... 스페이스X 경쟁업체인 블루 오리진을 설립한 제프 베이조스 아마존 최고경영자 (CEO)는 ... "이것이 얼마나 어려운 지 아는 사람이라면 오늘의 시험 비행에 감동할 것" 이라고 말했다.[7] 하지만 거듭된 실패에도 불구하고, 2050년까지 화성 이주에 선박과 동일한 체계인 우주선 스타십이 개발되고 있다.

이처럼 국내 법규와 규정에 부합되도록 문화유산인 1413년형 거북선을 조선해양공학적으로 복원·발전시켜, 세계 3대 선급인 노르웨이독일 (DNV-GL) 선급 본부가 위치한 오슬로의 800년 대 여왕 전용선 오세베르그 (Oseberg)만을 위한 바이킹 박물관처럼 친환경 관광 산업에 이바지되리라 기대된다.



그림 5 오슬로 바이킹 박물관 [8]

그리고 '55개국이상', '글로벌 배출량의 총합 비중이 55% 이상에 해당하는 국가 비준'이란 두 가지 조건이 만족되면서 2016년 11월 발효된 파리기후변화협약(Paris Climate

Change Accord)은, 선진국에만 온실가스 감축 의무를 부여했던 교토의정서와 달리 195개 당사국 모두에게 구속력 있는 보편적 첫 기후 관련 대책에 대한 합의이다.[9] 또한 국가별 온실가스 감축량은 각국이 제출한 자발적 감축 목표 (Intended Nationally Determined Contribution)를 그대로 인정하되 2020년부터 5년마다 상향된 목표를 제출하도록 되어 있다. 이처럼 화석 연료에서 풍력으로 항해하는 1413년형 거북선처럼 파력과 태양광 등으로의 추진 연료 변화도 지속적으로 진행되고 있으며, 5월 5일 머스크의 스타십이 다섯 번째 시험 비행에서 지상 착륙 성공했음을 전하며 글을 마친다.

참고 문헌

- [1] [조선왕조실록, 국사편찬위원회], <http://sillok.history.go.kr>
- [2] [조선 최초 임진강 거북선 복원 실시설계 용역, 나라장터], www.g2b.go.kr
- [3] 이원식 [한국의 배, 대원사], <http://www.daewonsa.co.kr/>
- [4] 나영석 [여수시, 좌수영거북선 고증 위한 용역 착수, 경향신문], <http://www.khan.co.kr/>
- [5] 김석훈 [제갈길 못찾는 '전라좌수영 거북선 복원', 뉴스시스], <https://www.newsis.com/>
- [6] [Requirements concerning STRENGTH OF SHIPS, IACS], <http://www.iacs.org.uk/>
- [7] 지용배 ["화성이여, 우리가 간다"...우주선 폭발에도 머스크는 만족, 서울경제], www.sehdaily.com
- [8] [오슬로 바이킹 박물관, ZUM], <https://search.zum.com/>
- [9] 류기수 [파리기후변화협약, 대한조선학회지56권4호], <http://www.snak.or.kr/>

류 기 수



- 서울대학교 조선공학과 졸업
- 현 재 : (주) 에이블이엔씨 상무이사
- 관심분야 : 선박/해양구조물/크레인 기본설계, 특허컨설팅, 해수담수화 개념설계, 알루미늄선 EPC, 거북선 기본설계
- E - mail : ksryu@ableenc.co.kr