

선박전용 구조해석 시스템(SeaTrust-Holdan) 개발 현황 및 향후 방향

이정렬, 박호균, 도형민 (한국선급)

1. 개요

유한요소법에 의한 선체 구조해석이 시작된 이래 모델링 시간을 줄이기 위하여 조선소를 중심으로 많은 노력과 시간이 투입되었다. 국내 조선소에서는 MSC/PATRAN과 같은 상용 소프트웨어에 조선에 필요한 기능을 추가하는 것을 비롯하여 사용하고 있는 CAD 시스템과의 연결 등 여러 가지 방법이 시도하였으며, 이 노력은 하드웨어의 성능 및 상용 소프트웨어의 기능 향상과 더불어 모델링 분야에서 어느 정도 성과를 이루었다고 판단할 수 있다. 하지만 국내 조선소의 선박 건조량의 증가와 국제선급 연합회의 이중선체 유조선 및 산적화물선에 대한 직접 해석법에 의한 선박 구조강도 평가의 강제화에 따른 선체 구조해석의 증가에 효율적으로 대처하기 위하여, 상용 소프트웨어를 사용하여 유한요소 모델링 및 해석 결과를 평가하는 것은 한계에 다다랐다고 볼 수 있다.

한국선급에서는 1997년부터 유한요소 모델링을 자동으로 수행하는 방법을 울산대학교와 공동으로 연구한 것을 바탕으로, 2001년 9월에 산적화물선, 이중선체 유조선 및 컨테이너선의 화물창 구조해석을 자동으로 수행할 수 있는 SeaTrust-Holdan 1.0을 출시하였다. 이 버전은 주요 정보를 입력하여 자동으로 모델을 생성하는 그래픽 환경에서 뛰어난 사용자 인터페이스를 제공하는 프로그램이었지만, 생

성된 요소의 수정 및 다양한 형태의 선박을 지원하기 위한 기능 추가 등의 문제점이 발생되어 널리 사용되지 못하였다.

SeaTrust-Holdan 2.0은 이전 버전의 문제점을 해결하기 위하여 모델링 및 그래픽 커널인 OpenCASCADE를 채택되었으며, 새로운 개념의 모델 생성 및 수정 방법이 도입되었다. 현재 배포되고 있는 버전은 2004년 3월에 발표된 이 버전을 기반으로 지속적으로 발전된 것이다. 2.0 버전의 발표 이후 조선소에서 필요한 기능을 추가하기 위하여 2005년부터 2006년까지 대우조선해양, 삼성중공업 및 한진중공업과 2단계에 걸쳐 공동 개발을 진행하였다. 1단계는 모델링 기능의 강화에 중점을 두었으며, 2단계는 좌굴강도 평가를 비롯한 후처리 기능의 강화에 중점을 두었다. 2008년 10월에 발표한 4.0 버전은 자동 요소 생성 기능, 보고서 생성 기능 및 해석 결과 평가 기능이 추가되었으며, 사용자 요구 사항의 약 90%정도가 반영되어 출시되었다.

그림 1과 같은 구조를 가지고 있는 SeaTrust-Holdan은 처음 화물창 구조해석을 쉽고 빠르게 수행하기 위하여 개발되었지만, 점차 그 기능을 확대하여 지금은 전선구조해석용 모델도 쉽게 생성할 수 있도록 필요한 기능들이 많이 추가되었다. 또한 모델링 뿐만 아니라 구조해석을 수행한 후 결과 평가 및 보고서 작성을 쉽게 할 수 있는 기능들이 추가되었다.

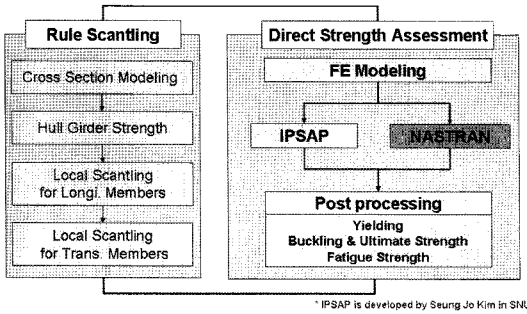


그림 1. SeaTrust-Holdan의 구조

이로 인해 엔지니어들이 단순하고 반복적인 작업을 피하고 실제 구조 강도 평가에 주력할 수 있게 되었다고 할 수 있다.

국제선급 연합회의 공통구조규칙(Common Structural Rule, 이하 CSR이라 함)에서는 150m 이상의 이중선체 유조선 및 산적화물선에 대하여 직접 해석법에 의한 구조강도 평가를 강제화하고 있다. 한국선급에서는 SeaTrust-Holdan과는 별도로 CSR을 적용한 이중선체 유조선 및 산적화물선의 구조해석을 위하여 SeaTrust-CSR을 제공하고 있으며, 이 두 프로그램은 국내의 조선소, 설계회사 및 대학에서 대략 1,000여 Copy 정도를 사용하고 있다.

본 고에서는 SeaTrust-Holdan을 직접 강도 평가(Direct Strength Assessment, 이하 DSA라 함) 파트의 구조설계 기능에 초점을 맞추어 설명하고자 한다. 다만, 자동 요소 생성 기능 및 좌굴 강도 평가 기능은 별도로 설명하므로 여기에서는 간략하게 설명하기로 한다.

SeaTrust-Holdan의 DSA 파트는 주로 선체 구조 해석을 위한 모델러 및 구조해석 결과를 평가(항복 강도, 좌굴 강도, 피로 강도)하는 파트이며, 구조 해석을 위하여 서울대에서 개발한 IPSAP과 상용 구조해석 소프트웨어인 MSC/NASTRAN과 인터페이스되어 있다. 본 파트는 선박의 구조해석을 위하여 전용으로 개발한 것으로 이를 이용하여 모델링 및

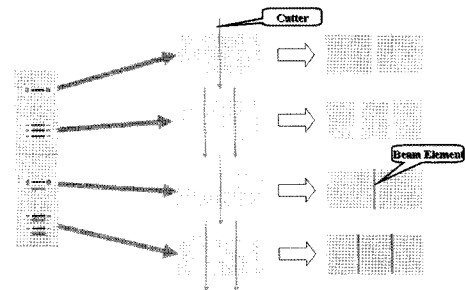
구조 강도 평가를 수행한다면 상용 소프트웨어를 사용하는 것보다 최대 3배 이상의 생산성을 낼 수 있을 것이다.

2. 새로운 모델링 방법 개발

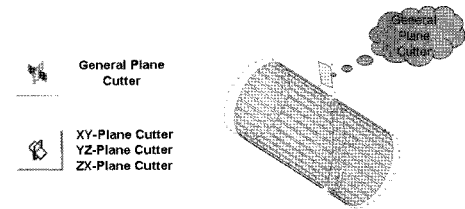
2.1 분할자 (Cutter)

일반적으로 상용 소프트웨어에서는 Bottom-up 방식의 모델링을 지원하고 있지만, SeaTrust-Holdan에서는 Top-down 방식에 의한 모델링을 지원하고 있다. 가장 먼저 모델링을 수행할 범위에 대한 정보를 입력하고, 이 정보 및 Rule Scantling에서 생성한 중앙 단면을 이용하여 종강도 부재에 대한 유한요소 모델을 간단하게 생성한다. 종강도 부재에 대한 모델링이 완료되면, 특설 늑골(Web Frame) 및 횡격벽(Transverse Bulkhead)에 대한 모델링을 수행한 다음 브래킷 등의 작은 부재를 모델링한다.

이와 같은 모델링 방법을 손쉽게 하기 위하여 큰 요소를 작은 요소로 분할하는 모델링 방법을 채택



(가) Line Cutter



(나) Plane Cutter

그림 2. 분할자(Cutter)의 종류



하였으며, 그림 2와 같이 큰 요소를 작은 요소로 자르는 분할자(Cutter)를 모델링 도구로 제공하고 있다.

선 분할자(Line Cutter)를 사용하면 큰 요소를 작은 요소로 자르면서 보 요소를 자동으로 생성할 수 있으며, 평면 분할자(Plane Cutter)를 사용하면 산적 화물선의 파형 격벽 등을 더욱 빠르게 모델링할 수 있다.

2.2 모델링용 다각형 요소의 개발

유한 요소 모델에서는 삼각형 및 사각형의 판 요소를 사용하기 때문에 이러한 요소만을 사용하여 선박의 복잡한 형상을 모델링하는 데에는 많은 제약이 따르게 된다. 따라서 SeaTrust-Holdan에서 제공하고 있는 큰 요소를 작은 요소로 분할하는 기능을 사용하기 위해서는 선박의 복잡한 형상을 적절하게 표현할 수 있어야 한다. 이를 위하여 그림 3과 같이 복잡한 선체 형상을 쉽게 표현할 수 있는 모델링용 다각형 요소를 개발하였다.

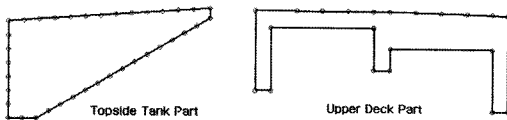


그림 3 모델링용 다각형 요소

2.3 부적합 요소(Non-Compatibility Element)의 자동 제거

모델링을 수행하다 보면 1-D 요소가 1개의 절점을 가지게 되거나 삼각형 또는 사각형의 판 요소가 필요한 개수만큼의 절점을 가지고 있지 않은 부적합 요소가 흔하게 발생하게 된다. 이와 같은 부적합 요소는 모델링 단계에서 찾아내는 것은 전문가들도 아주 어려운 작업의 하나이지만, SeaTrust-Holdan에서는 자동으로 부적합 요소를 제거하여 사용자가 의도하지 않는 요소가 생성되는 것을 방지하고 있다.

2.4 보 요소 생성 및 수정 기능

보 요소를 생성할 때 주의할 점은 보 요소의 법선 방향(Normal Direction)을 정확히 입력하는 것이다. 보 요소의 법선 방향은 초보자일수록 실수를 많이 하는 부분으로, 사용자의 실수를 줄이기 위하여 보 요소가 생성될 때 보 요소의 법선 방향은 자동으로 판 요소의 법선 방향에 따라 생성하여 주며, 보 요소의 법선 방향이 잘못 입력된 경우에도 판 요소의 법선 방향에 따라 쉽게 수정할 수 있다. 그림 4와 같이 선체 외판에 붙어 있는 보 요소의 법선 방향도 아주 쉽게 정의할 수 있다.

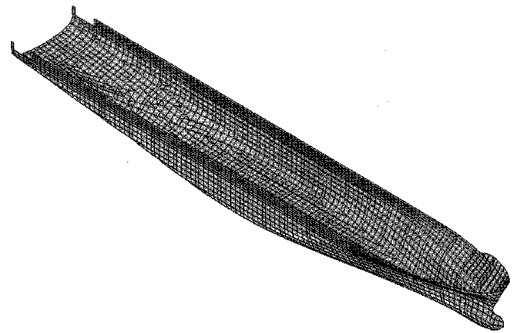


그림 4. 선체 외판 보요소의 법선 방향

2.4 직관적인 물성치 입력 기능

CSR에서는 순치수 기반의 강도 평가를 수행하게 되어 있다. 판 요소의 경우에는 쉽게 순치수 기반의 물성치를 입력할 수 있지만, 보 요소의 경우에는 순치수 기반의 물성치를 입력하는 것은 아주 복잡하고 많은 시간을 요하게 된다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 부재 치수를 총 두께(Gross Thickness)와 부식 추가(Corrosion Addition)로 분리하여 입력하며, 이를 이용하여 순두께 기반의 데이터를 생성하고 있다.

또한 그림 5와 같이 판 요소의 경우 입력한 두께와 그래픽으로 보여주는 색깔이 일치하게 보여주므로 사용자가 쉽게 입력된 값을 확인할 수 있으며, 그림 6과 같이 보 요소의 경우 도면에 표시되어 있는 부재 치수 표기 방법에 따라 입력 및 출력을 지

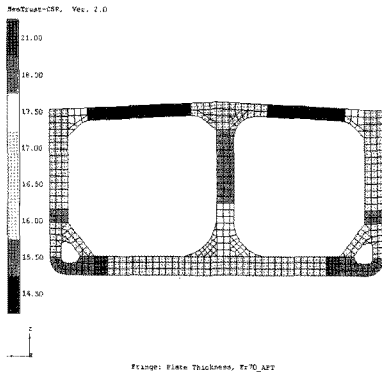


그림 5. 판 요소의 두께 표현

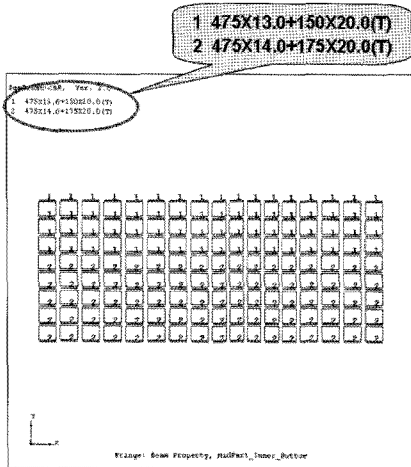


그림 6. 보 요소의 부재 치수 표기

원하고 있다.

2.5 하중 및 경계 조건 자동 생성

CSR에서는 구조 해석을 위한 모델링 방법뿐만 아니라 하중 및 경계 조건에 대해서도 아주 상세하게 규정하고 있지만, 이 하중을 계산하는 방법은 아주 복잡하기 때문에 상용 소프트웨어를 사용하여 생성하는 것은 거의 불가능하다.

SeaTrust-Holdan에서는 이와 같은 점을 고려하여 CSR에서 요구하고 있는 방법에 따라 하중 및 경계 조건을 자동으로 생성하여 주고 있다.

또한 일반적인 구조해석을 위하여 사용자가 수동으로 하중 및 경계 조건을 입력하는 방법을 지원하고 있으며, 외부에서 생성한 하중도 입력하는 기능을 지원하고 있다.

2.6 모델링 마법사

큰 요소를 만든 다음 분할자를 이용하면, 아주 쉽게 모델링을 수행할 수 있다. 모델링을 지원하기 위하여 그림 7과 같이 주요 정보를 입력하면 그 정보를 이용하여 큰 요소를 만들어주는 모델링 마법사를 지원하고 있으며, 이 기능은 지속적으로 추가될 예정이다.

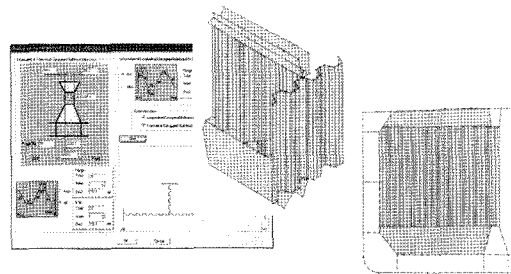


그림 7. 모델링 마법사 (파형격벽)

2.7 자동 요소 생성

자동 요소 생성은 MSC/PATRAN과 같이 기본적으로 Surface에 대하여 수행할 수 있다. 하지만 Surface는 변이 3개 또는 4개로만 이루어져야 하므로 복잡한 선체 구조 형상을 나타내기 어렵다. 따라서 그림 8과 같이 개구(Opening) 주위와 같은 부위를 쉽게 처리하기 위하여 폐위 곡선(Closed Curve Chain)

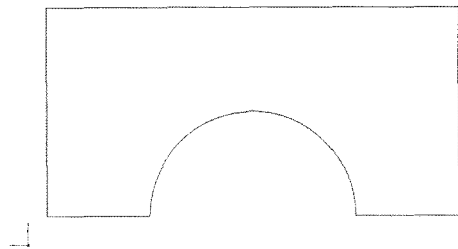


그림 8. Closed Curve Chain



을 이용한 자동 요소 생성 기능도 제공하고 있다.

또한 기 생성되어 있는 요소에 직접 자동 요소를 생성하는 기능도 제공하고 있다.

자동으로 생성되는 요소는 사각형 요소를 위주로 생성되고 있으며, 삼각형 요소는 불가피한 경우에만 생성되도록 되어 있다.

3. 강도 평가 기능

3.1 결과 조합

선체구조해석은 여러 개의 하중 조건에 대하여 수행하여 그 결과를 평가한다. CSR의 경우 규칙에서 규정하고 있는 하중 조건은 20여개가 넘고 있다. 따라서 이 조건에 대해서 구조해석을 수행한 다음 이를 평가하는 데에도 많은 시간이 요구된다.

SeaTrust-Holdan은 강도 평가를 지원하기 위하여 결과 조합을 할 수 있는 여러 가지 기능을 제공하고 있다.

- 최대 결과 추출 기능

여러 개의 해석 결과 중에서 요소 별로 가장 큰 결과만을 추출하여 새로운 결과를 만들

- 두 개의 결과 비교 기능

두 개의 결과를 선택하여 비교하기 위한 기능으로 두 개의 결과에 대한 비율 또는 값의 차이를 보여 줄 수 있도록 새로운 결과를 만들

- 국부 하중에 의한 구조해석에 규칙에 의한 종강도 응력 조합 기능

- 사용자 정의한 수식에 의한 조합 기능

$$\sqrt{R1^2+R2^2} * \sin(0.15 + \text{atan2}(R1, R2))$$

위 식과 같이 사용자가 입력한 수식을 이용하여 새로운 결과를 만들

3.2 항복강도 평가

일반적으로 응력을 출력하는 기능 외에도 그림 9와 같이 특정 응력 값을 넘는 요소만 출력하는 기

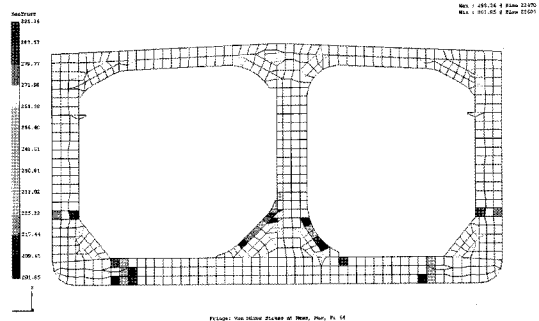


그림 9. 특정 응력을 넘는 요소만 출력

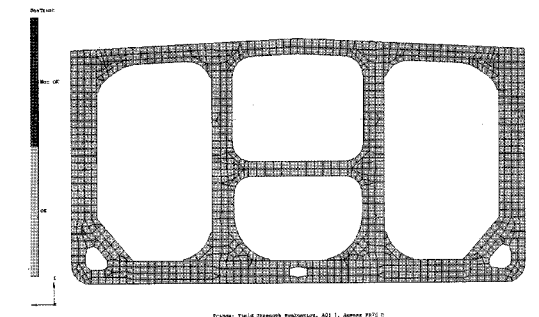


그림 10. 항복강도계수를 이용한 평가

능을 제공하고 있다. 또한 더욱 쉬운 항복 강도 평가를 위하여 입력된 부재의 재료 계수와 항복 사용 계수(Yield Utilization Factor)를 이용하여 해당 부재가 허용 응력을 초과하는 지를 그림 10과 같이 검토하는 기능을 제공하고 있다.

선택된 결과가 모든 해석 결과 중에서 최대값을 검토할 때에는 최대값이 발생한 하중 조건에 동시에 출력하는 기능도 제공하고 있다.

3.3 좌굴강도 평가

좌굴강도 평가를 위하여 제공되는 기능으로는 유한 요소 모델로부터 좌굴강도 검토용 패널 및 관련 물성치를 자동으로 찾는 기능을 제공하고 있다. 이 기능을 사용하면 약 3만개 정도의 요소를 가진 하나의 화물창의 약 20여개의 구조 해석결과에 대하여 좌굴강도 평가를 위한 계산을 펜티엄 IV 컴퓨터

에서 1~2분 내에 계산을 수행할 수 있다. 좌굴강도 평가에서도 항복 강도 평가에서와 마찬가지로 최대 결과를 추출하여 평가하는 기능을 제공하고 있다. 또한 직사각형이 아닌 좌굴강도 패널에 대해서는 CSR에 따라 자동으로 직사각형의 좌굴강도 패널로 이상화하여 평가를 수행한다.

이중선체 유조선에 대한 좌굴강도 평가는 DNV에서 개발한 PULS 또는 그와 동등한 프로그램을 사용하여 수행하도록 규정되어 있지만, PULS와 동등한 프로그램이 개발되어 있지 않으므로, 이중선체 유조선의 좌굴강도 검토를 위하여 유한 요소 모델로부터 PULS용 입력 데이터를 자동으로 생성하여 주며, PULS 계산 결과를 입력받아 그 결과를 같이 출력할 수 있는 기능을 제공하고 있다.

SeaTrust-Holdan에서 제공하는 좌굴강도 평가는 KR, CSR에 따른 규칙 외에도 다른 선급의 규칙도 다수 지원하고 있다.

3.4 피로강도 평가 기능

CSR에 따라 피로강도를 평가하기 위한 모델을 만들고 이에 대한 하중을 생성한 다음 구조해석을 수행한다. 피로강도 평가는 단순하게 평가에 필요한 요소 및 간단한 관련 정보를 입력하면 그림 11과 같이 즉시 계산하여 그 평가 결과를 보여준다.

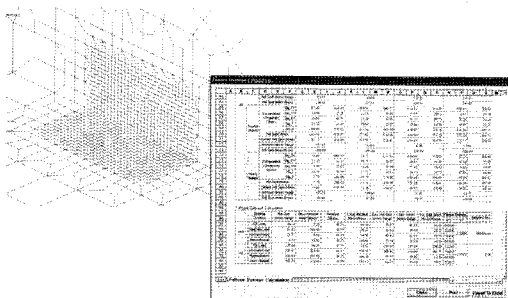


그림 11. 피로강도 평가 기능

4. 보고서 생성

선체구조해석은 일반적으로 한 번에 완료되지 않

는다. 선체구조해석을 1차 완료한 다음 해석 결과 보고 및 선급 제출을 위하여 필요한 결과를 추출하여 보고서를 만드는 작업은 아주 단순하고 지루한 작업의 일종이다. 더구나 보강 또는 하중의 변경에 따라 재해석을 수행하는 경우 다시 똑같은 작업을 반복하게 되며, 이러한 작업은 엔지니어를 아주 짜증스럽게 만들고 있다. 보고서를 만들기 위하여 반복적으로 결과 그림을 출력하는 작업을 쉽게 하기 위하여 다음과 같이 그림을 출력하여 자동으로 마이크로소프트의 Word File로 생성하는 기능을 제공하고 있으며, 대략 1,000여장의 그림을 펜티엄 IV 컴퓨터에서 약 10분 정도에 생성하는 성능을 가지고 있다.

- 일괄 보고서 생성 기능

그림 12와 같이 출력을 위하여 필요한 그룹 및 해석 결과를 선택한다. 선택된 그룹 별로 좌표계, 출력 항목을 선택하면 쉽게 필요한 물성치 및 해석 결과를 그림으로 생성할 수 있다.

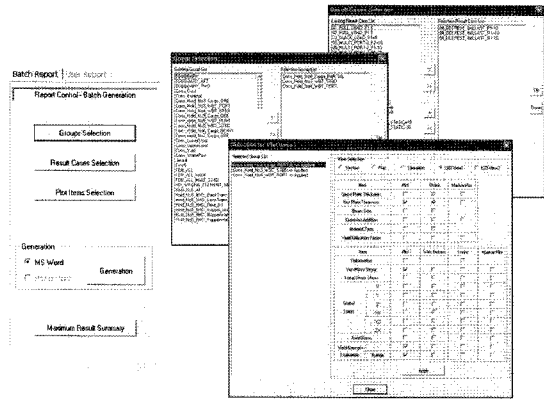


그림 12. 일괄 보고서 생성 기능

- 사용자 정의 보고서 생성 기능

사용자가 한 장씩 출력한 그림에 대한 정보를 별도로 저장한 다음, 필요한 경우에 별도의 입력 없이 출력하는 기능으로, 일괄보고서 생성 기능과는 달리 확대/축소 기능도 같이 이용할 수 있다.



5. 맺음말 및 향후 과제

지금까지 SeaTrust-Holdan에 대하여 간략하게 그 특징 및 기능을 소개하였다. 이 프로그램은 현재 많은 프로젝트에 적용되어 그 유용성을 인정받고 있으며, 사용자들의 피드백을 지속적으로 반영하여 현재도 계속 진화하고 있다.

본 프로그램은 선박 전용으로 개발되어 구조 해석 모델링 및 후처리를 위한 상용소프트웨어와 비교해서도 선박 분야에서만큼은 그 기능이 뛰어나다고 자부할 수 있으며, 지속적으로 상용 프로그램을 대체하고 있다.

앞으로 유한요소 모델을 빠르게 수행하기 위하여 모델링 마법사 기능을 지속적으로 추가할 예정이며, 상세 구조 해석 및 피로 강도 해석을 위하여 해당 부위에 대하여 자동으로 필요한 모델을 생성하는 기능을 개발하고 있는 중이다.

향후 사용자들이 더욱 많아지기를 바라면서, SeaTrust-Holdan이 선박 분야에서 가장 좋은 소프트웨어로 자리 매김할 수 있도록 사용자들의 의견을 충분히 반영하고, 불편 사항을 최소로 하는데 최선의 노력을 경주할 것이다. ⚓