

## 휴리스틱 알고리즘을 이용한 트림 및 힐링 각도 조절 최적화

홍충유\*, 이진욱\*, 박제웅\*\*  
\*(주)메카정보통신, \*\*조선대학교

### Optimized Trim and Heeling Adjustment by Using Heuristic Algorithm

CHUNG YOU HONG\*, JIN UK LEE\*, JE WOONG PARK\*\*  
\*MECA CO., Ltd., \*\*CHOSUN University

**KEYWORDS** : Trim and Heeling Adjustment 트림 및 힐링 조절, Ballasting 벨러스팅, Deballasting 디벨러스팅, Cargo Shifting 화물의 이동, Heuristic Algorithm 휴리스틱 알고리즘, Optimization 최적화

#### ABSTRACT :

Many ships in voyage experience weight and buoyancy distribution change by various reasons such as change of sea water density and waves, weather condition, and consumption of fuel, provisions, etc.. The weight and buoyancy distribution change can bring the ships out of allowable trim, heeling angle. In these case, the ships should adjust trim and heeling angle by shifting of liquid cargo or ballasting, deballasting of ballast tanks for recovery of initial state or for a stable voyage. But, if the adjustment is performed incorrectly, ship's safety such as longitudinal strength, intact stability, propeller immersion, wide visibility, minimum forward draft cannot be secured correctly. So it is required that the adjustment of trim and heeling angle should be planned not by human operators but by optimization computer algorithm.

To make an optimized plan to adjust trim and heeling angle guaranteeing the ship's safety and quickness of process, we combined mechanical analysis and optimization algorithm. The candidate algorithms for the study were heuristic algorithm, meta-heuristic algorithm and uninformed searching algorithm. These are widely used in various kinds of optimization problems. Among them, heuristic algorithm A\* was chosen for its optimality. The A\* algorithm is then applied for the study. Three core elements of A\* Algorithm consists of node, operator, evaluation function were modified and redefined. And we analyzed the A\* algorithm by considering cooperation with loading instrument installed in most ships.

Finally, the algorithm has been applied to tanker ship's various conditions such as Normal Ballast Condition, Homo Design Condition, Alternate Loading Condition. Also the test results are compared and discussed to confirm the efficiency and the usefulness of the methodology developed the system.

#### 1. 서론

선박은 항해 중, 해수 밀도의 변화, 파랑, 바람의 영향 등과 같은 무수히 다양한 자연적 조건의 변화와 연료 및 식량 등의 소모에 따른 내부적 조건의 변화로 인하여, 그 하중 분포가 수시로 변할 수 있다. 변화된 하중 분포에 따라 선박의 트림과 힐링 각도 또한 변하며, 이러한 변화를 복구하거나, 운항에 최적의 트림과 힐링 각도를 맞추기 위하여, 운항 중 벨러스트 탱크에 해수를 입수, 배수하거나, 탱커선의 경우는 서로 연결된 탱크의 액체 화물을 이동시키는 방법을 이용할 수 있다.

벨러스트 수의 입수, 배수나 액체 화물의 이동은 선박 내부의 액체 화물 펌핑 시스템과 벨러스트 시스템에 의존하게 되며, 많은 양의 벨러스트 입수, 배수와 액체 화물의 이동은 시간적, 경제적으로 추가적인 비용을 발생시킨다. 때문에 최소의 벨러스트 수 입수, 배수량과 액체 화물 이동량으로 트림, 힐링을 조절할 수 있어야 한다.

한편 트림, 힐링 조절을 행함에 앞서, 벨러스트 수 및 액체 화물의 이동에 따른 선박의 무게 분포의 변화를 반드시 고려

해야 한다. 선박의 무게 분포 변화는 비단 트림, 힐링 뿐만이 아니라, 선박의 주요 안전성 검증인자인 종강도와 복원성, 시계성, 최소 선수 흘수 확보, 프로펠러 침수 등에도 치명적인 영향을 줄 수 있으며, 이들에 대한 고려가 없이 트림, 힐링 조절이 진행된다면, 이는 해상 대형사고로 연결될 가능성이 있다.

트림과 힐링을 원하는 수준으로 맞추기 위해 다음의 세 가지 경우가 가능할 것이며, 세 가지의 경우에 모두 사용가능한 트림, 힐링 조절 시스템이 반드시 필요하다.

- 벨러스트 탱크만을 이용
- 탱커선의 겨우 액체 화물을 이동
- 벨러스트 탱크와 액체 화물 탱크를 동시에 이용

결국 최소한의 벨러스트 수 입수, 배수량과 액체 화물의 이동량으로, 대부분의 선박의 공통적인 안전성 검증인자인 종강도, 복원성, 시계성, 최소 선수 흘수 확보, 프로펠러 침수를 모두 만족시키면서 원하는 트림과 힐링을 또한 동시에 복합적으로 맞춰줄 수 있는 시스템이 필요하며, 본 연구에서는 인공지능의 주요한 한 축을 이루는 휴리스틱 알고리즘을 이용하여,

신속성과 안전성을 동시에 추구하는 트림 및 힐링 조절의 최적화를 추구하였다.

## 2. 이론적 배경

### 2.1 선박 해석기술

밸러스트 수량과 화물의 이동을 통한 트림과 힐링 각도의 조절 최적화는 앞서 설명하였듯이, 각 탱크별 최상의 밸러스팅 입수량, 배수량과 액체 화물의 이동량을 산출하는 것이다.

이 때 기본적으로 트림, 힐링 각도 조절 시 선박의 안전성과 관련한 중요한 지표인 종강도, 복원성, 시계성, 최소 선수 흘수 확보, 프로펠러 침수를 만족시켜야 하기 때문에, 이를 해석할 수 있는 시스템을 필요로 한다.

이와 같이 선박을 해석할 수 있는 도구로서, 적하역 지침기 (loading instrument) 를 사용하였다.

적하역 지침기는 선박의 기본적인 설계 정보와 무게분포에 대한 정보를 받아들이며, 배수량, 종강도, 복원성, 트림, 힐링 각도 등 선박과 관련된 공학적 수치들을 해석하는 프로그램이다.

본 연구에서는 먼저 휴리스틱 알고리즘을 본 문제에 맞게 적절히 설계하고, 적하역 지침기와 본 문제에 맞게 새롭게 설계된 휴리스틱 알고리즘을 결합하여 최종적인 트림, 힐링 조절 시스템을 구축하였다.

### 2.2 휴리스틱 알고리즘

휴리스틱 알고리즘은 인공지능 중 탐색법의 한 분류로, 유전 알고리즘, 시뮬레이티드 어닐링, 신경망 등과 함께 수많은 최적화 문제에 널리 쓰이는 알고리즘들 중 하나이다.

<Fig. 1>은 휴리스틱 알고리즘과 함께 전체 알고리즘의 개략적인 계층도를 나타내고 있다.

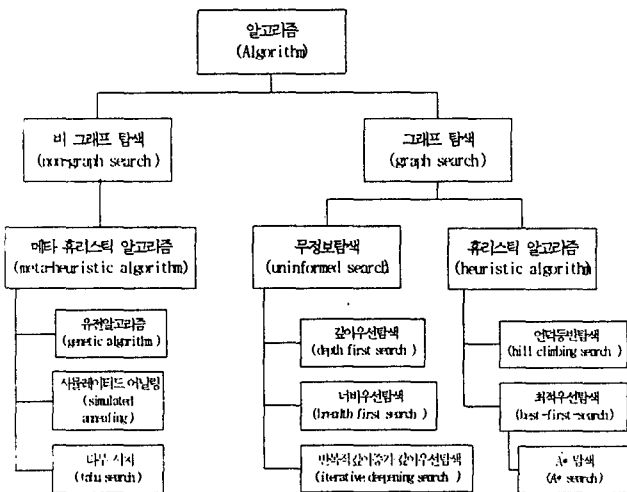


Fig. 1 Flowchart of A\* Algorithm

휴리스틱 알고리즘은 그래프 탐색법의 일종으로, 그래프 탐색법의 특징인 트리구조를 그대로 가지며, 그 개념도는 <Fig. 2> 와 같다. 즉 탐색은 가능한 탐색의 후보들을 확장하면서 트리구조를 넓혀가고, 확장된 트리의 가지들을 계속적으로 탐색하여 최적의 해를 찾아낸다.

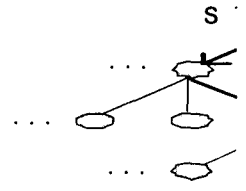


Fig. 2 Graph Search

본 연구에서는 휴리스틱 알고리즘들 중 가장 발전적인 것으로 꼽혀 널리 쓰이며, 최적성(optimality)이 해석적으로 증명된 A\* 알고리즘을 사용하여 트림, 힐링 조절을 최적화한다.

A\* 알고리즘은 노드, 연산자, 평가함수를 구성 요소로 가지며, 이들 각각을 문제에 맞게 설계함으로써, 독립적인 문제에 대한 알고리즘으로 거듭날 수 있다.

노드는 해(solution)를 찾기 위한 중간점으로서의 표현형을 의미하며 <Fig. 2> 의 각 점에 해당하고, 그래프 탐색의 탐색 가지가 갈려지는 결절점에 해당한다. 연산자는 이러한 노드와 노드 사이를 이동하는 규칙을 정의하며, <Fig. 2> 의 화살표를 의미한다. 평가함수는 노드의 적절성을 평가하여, 수많은 노드들 중 유의한 발전 가능성이 있는 노드를 향해 탐색이 진행되도록 돕는다.

A\* 알고리즘은 시작노드에서부터 출발하여 가장 낮은 지출을 지표로 수많은 노드를 탐색하면서 목표노드에 이른다.

<Fig. 3>은 A\* 알고리즘의 흐름도이다.

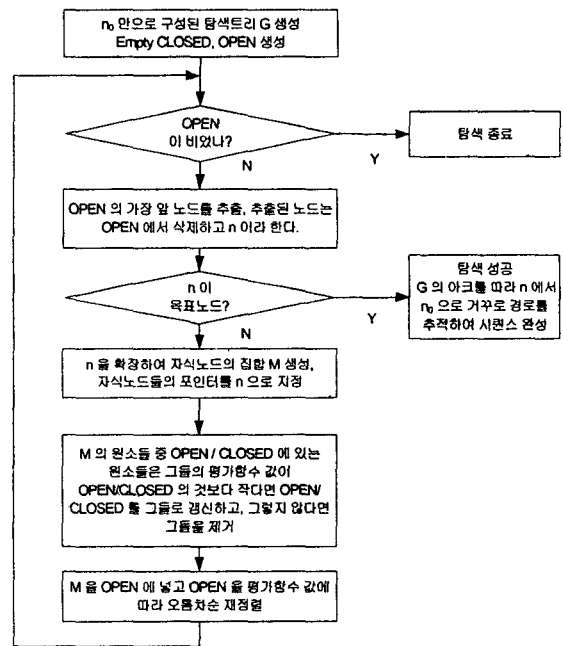


Fig. 3 Flowchart of A\* Algorithm

### 3. 트림, 힐링 각도 조절 최적화

#### 3.1 고려 조건

핵심적인 고려 조건으로는 다음의 세 가지이다.

- 목표 트림, 힐링 각도의 복합적인 만족
- 안전성 확보  
(종강도, 복원성, 시계성, 프로펠러 침수, 선수 흡수 확보)
- 선박 배수량(displacement)의 유지

목표 트림, 힐링 각도의 만족과 안전성의 확보는 본 문제 해결의 궁극적인 목적이다.

선박의 배수량은 운항 중 그대로 유지되는 것이 바람직하기 때문에 고려 조건에 삽입되었다.

본 연구에서는 트림, 힐링을 조절하기 위해서, 액체 화물 탱크의 이동과 밸러스트 수의 입수, 배수를 복합적으로 고려한다. 이 때 액체 화물 탱크의 이동은 배수량을 변화시키지 않지만, 밸러스트 탱크의 입수, 배수는 배수량을 변화시킬 수 있기 때문에, 입수의 양=배수의 양 이 되도록 맞추어 배수량이 변하지 않도록 하였다. 또한 탱커선의 경우 액체 화물 탱크 간의 화물 이동이 가능한데, 이는 두 액체 화물 탱크가 서로 연결되어 있고, 같은 종류의 화물을 싣는 경우에 한해 화물의 이동을 허용하는 방식을 사용하였다.

#### 3.2 알고리즘 설계

<Fig. 4> 는 탱커 선에 대해 트림, 힐링 각도 조절에 대한 해의 한 예를 나타낸 것이다. C는 액체화물 탱크, B는 밸러스트 탱크를 의미한다.

각 액체 화물 탱크와 밸러스트 탱크의 물의 양은 트림, 힐링 조절 전에 (80%, 70%, 70%, ..., 10%, 10%) 이며 회색의 점으로 <Fig. 4> 에 표시된다. 이 상태에서 트림, 힐링 각도를 원하는 수준으로 맞추기 위하여, 액체 화물 탱크는 그대로 유지한 채로, 밸러스트 탱크 B1~B6의 물의 양을 10%씩 늘리고 탱크 B7~B12의 물의 양을 10%씩 줄인 것이 검은 점으로 표시된 새로운 해이다. 이러한 방식으로 선박의 트림을 증가시킬 수 있다.

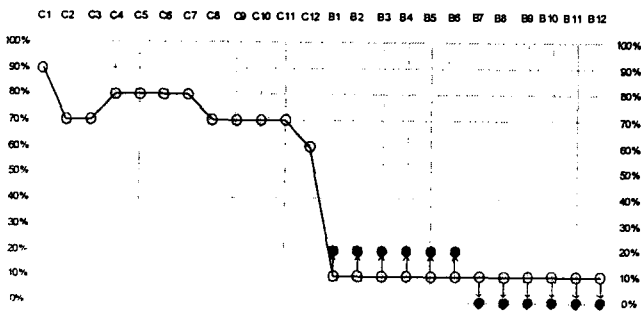


Fig. 4 Statespace of Algorithm Graph

<Fig. 4> 는 밸러스트 탱크만으로 트림, 힐링 각도를 조절하는 경우의 예이며, 탐색이 시작되면 먼저 가장 첫 번째 탱크의 밸러스트 수량을 탱크별로 트리구조에 의해 탐색한다. 첫 번째 탱크에서 마지막까지 차례대로 밸러스트 수량이 결정되면 탐색이 종료된다.

이 때 원하는 트림과 힐링 각도를 만족시키는 각 탱크 별 밸러스트 수량을 최적화시키기 위하여 알고리즘의 세 가지 구성 요소인 다음의 노드와 연산자 평가함수를 설계한다.

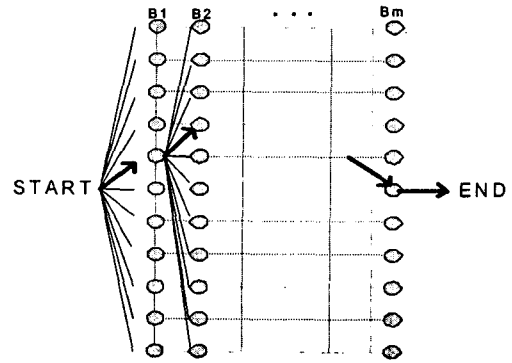


Fig. 5 Conceptual Diagram of Algorithm

#### 1) 노드의 설계

최적해는 시작노드에서부터 목표노드까지의 시퀀스로서 나타낼 수 있어야 한다. 따라서 하나의 노드는 각 액체 화물 탱크의 화물량과 밸러스트 탱크의 수량으로 정의되어야 한다.

즉 노드는 <Fig. 5> 에서의 각 탱크에서의 액체 화물 적재량이나 밸러스트 수량을 의미한다.

지나치게 많은 노드가 발생하여 탐색이 지연되는 것을 방지하기 위해서 평균적으로 탱크 전체 부피의 약 3%에 해당하는 비율로 각 탱크들의 수량을 격자화(discretization)하여 노드에 반영한다.

(<Fig. 4>, <Fig. 5> 의 경우 10%로 격자화 되어 있다.)

#### 2) 연산자의 설계

연산자는 노드에서 노드로의 이동을 담당하므로, 트림, 힐링을 맞추기 위해 각 탱크의 적재량을 변화시키는 규칙을 정의한다. 즉 <Fig. 5> 에서와 같이 탱크 B1의 물의 양이 결정되면, 그에 따라 연속적으로 탱크 B2에서의 적재 상태가 0%, 10%, 20%, ..., 100% 중 하나로 결정되며, 이러한 과정을 통해 모든 탱크의 적재량을 결정한다.

#### 3) 평가함수의 설계

평가함수는 알고리즘의 가장 핵심이 되는 요소로, 부모노드에서 확장되는 자식노드들을 모두 평가하여, 이 들 중 최적의 노드로 탐색이 진행되도록 돕는다.

본 연구의 궁극적인 목표가 안전성을 유지하며, 최소량의 액

체 화물 이동과 밸러스트 수 입수, 배수로 트림과 힐링 각도를 조절하는 것이므로, 평가함수는 이와 같은 목표에 더 유의하게 접근하는 노드에 대해서 좋은 평가를 내려야 한다.

(통상적으로 알고리즘의 평가함수는 지출을 기준으로 작성되기 때문에, 값이 낮을수록 우수한 것이다.)

A\* 알고리즘의 기본적인 평가함수는  $f(n) = g(n) + h(n)$  이지만 본 논문에서는 안전성에 대한 패널티 함수로서  $w(n)$  을 도입하여, 최종적으로 결정된 평가함수는 식 (1) 과 같다.

$$f(n) = (g(n) + h(n)) \cdot w(n) \quad (1)$$

$g(n)$ 은 시작노드에서 현재 노드  $n$ 까지의 지출을 의미하며,  $h(n)$  은 현재노드에서 목표노드까지의 예상 지출을 의미한다.

즉 본 문제에서의  $g(n)$ 은 시작 탱크에서부터 현재의 탱크까지 확보된 트림과 힐링, 안전성 여부, 액체 화물 이동량, 밸러스트 입수, 배수량을 반영하게 되며,  $h(n)$ 은 현재의 탱크에서부터 마지막 탱크까지의 그것들을 반영한다.  $w(n)$ 은 현재 노드  $n$ 에서의 안전성 검사 결과에 따른 패널티 함수로서, 종강도, 복원성 등이 위배될 경우 높은 값을 갖도록 하여 해당 노드가 선택될 가능성을 낮춘다.

평가함수들  $f(n)$ ,  $g(n)$ ,  $h(n)$ 값의 기준은  $n$  노드에서의 트림, 힐링과 목표 트림, 목표 힐링, 현재까지의 화물 이동량, 밸러스트 수 입수, 배수량이며,  $w(n)$ 값의 기준은 안전성 여부이다.

$g(n)$ 을 식 (2) 와 같이 나타내었다.  $T(n)$ 은  $n$  노드에서의 트림,  $H(n)$ 는  $n$  노드에서의 힐링 각도,  $\Delta T$ 은 시작노드의 트림과 목표 트림의 차이,  $\Delta H$ 는 시작노드의 힐링 각도와 목표 힐링 각도의 차이,  $b(n)$ 은 시작노드  $n_0$ 에서 현재노드  $n$ 까지 밸러스트 수 입수, 배수량과 액체 화물 이동량의 질량 총합이며,  $b_{min}$ 은 트림의 조절을 위해 시작노드에서 필요한 최소한의 밸러스트 수 입수량, 배수량 및 화물의 이동량이다. 목표노드는  $m$  이며, MTC 는 시작 노드에서 1cm 의 트림을 발생시키기 위한 피칭모멘트의 양이다.

$$g(n) = \frac{b(n)}{b_{min}} \cdot \left( \frac{|T(n) - T(n_0)|}{\Delta T} + \frac{|H(n) - H(n_0)|}{\Delta H} \right) \quad (2)$$

$(b_{min} = 100 \cdot MTC \cdot \Delta T)$

$h(n)$ 을 식 (3) 과 같이 나타내었다.

$$h(n) = \frac{b(n)}{b_{min}} \cdot \left( \frac{|T(n) - T(m)|}{\Delta T} + \frac{|H(n) - H(m)|}{\Delta H} \right) \quad (3)$$

결론적으로 식 (1) 에 따라  $f(n)$  은 식 (4) 와 같이 정리된다.

$$f(n) = \frac{b(n)}{b_{min}} \cdot \left( \frac{|T(n) - T(n_0)| + |T(n) - T(m)|}{\Delta T} + \frac{|H(n) - H(n_0)| + |H(n) - H(m)|}{\Delta H} \right) \cdot w(n) \quad (4)$$

### 3.2 적하역 지침기와 알고리즘의 통합

앞서 설명하였듯이, 설계된 알고리즘의 평가함수  $f(n)$  은 각 노드에서의 트림, 힐링은 물론 종강도, 복원성 등의 안전성 관련 정보를 필요로 한다. 이러한 정보는 알고리즘 단독으로는 얻는 것이 불가능하므로, 이를 별도로 해석해 줄 적하역 지침기가 필요하다.

적하역 지침기는 선박의 설계 정보와 무게분포를 이용하여 위의 정보들을 해석하므로, 기본적인 설계 정보는 데이터베이스화하여 별도로 미리 입력한 후, 노드에 따라 바뀌는 액체 화물의 양과 밸러스트 수량과 같은 무게 분포 정보를 알고리즘이 매 탐색마다 연속적으로 적하역 지침기에 입력하여, 해석 정보를 그에 대한 출력으로서 받는다. 알고리즘은 출력 정보를 해석하여 해당 노드에 대한 평가함수값을 완성한다.

적하역 지침기는 특히 종강도의 계산에 매우 많은 시간을 소요하기 때문에, 평가함수  $f(n)$ 을 많이 호출할수록, 알고리즘의 탐색 시간이 증가하게 된다.

## 4. 실험 결과

실험의 대상 선박의 개요는 <Table 1> 과 같다.

Table 1 Properties of Test Ship

Ship Principal Particular Data			
LOA	274 m	LBP	264 m
Depth	23.7 m	Breadth	48.2 m
CARGO TANKS		BALLAST TANKS	
NAME	Vol(CuM)	NAME	Vol(CuM)
NO.1 (P)	10900.2	F.P.TK (C)	4266.8
NO.1 (S)	10900.2	NO.1 (P)	5022.7
NO.2 (P)	15153.5	NO.1 (S)	5022.7
NO.2 (S)	15208.3	NO.2 (P)	4116.6
NO.3 (P)	15208.3	NO.2 (S)	4116.6
NO.3 (S)	15208.3	NO.3 (P)	4181.3
NO.4 (P)	15208.3	NO.3 (S)	4181.3
NO.4 (S)	15208.3	NO.4 (P)	4181.3
NO.5 (P)	15208.3	NO.4 (S)	4181.3
NO.5 (S)	15208.3	NO.5 (P)	4102.6
NO.6 (P)	13938.9	NO.5 (S)	4102.6
NO.6 (S)	13938.9	NO.6 (P)	4764.6
SLOP (P)	1674.9	NO.6 (S)	4764.6
SLOP (S)	1674.9	A.P.TK (C)	1690.7
Criteria: Allowable Value			
Max SF	100.0 %	Max BM	100.0 %
Min GoM		2.0 m	
Min Prop. Immersion		100.0	
Min DraftAtFP		4.5	
Max BlindLength		500.0	

대상 선박은 탱커 선이며, 따라서 액체 화물의 이동이 가능하므로, 밸러스트 수의 입수, 배수와 함께 액체 화물 이동도

고려하였다.

실험은 선박의 운항 중 다음의 대표적인 세 가지의 운항 조건들에 대하여 이루어졌다.

(단, 해수 밀도는 1.025 (MT/m<sup>3</sup>) 이며, 각각의 운항 조건에 대하여 길이는 m, 부피는 m<sup>3</sup>, 질량은 MT 단위, 비율은 % 단위를 기준으로 작성되었다. 트림, 힐링 조절 전과 후의 상태는 BEFORE, AFTER에 표시되며, 액체 화물 이동, 밸러스트 수 입수, 배수의 최종적인 작업 순서는 표 아래쪽에 표시된다.)

- Normal Ballast Condition (Intermediate)
- Homo Design Condition (Intermediate)
- Alternate Loading Condition (Intermediate)

세 가지 운항 조건에 대해, 목표 트림= -0.5 (m), 목표 힐링= 0.0 (deg)인 경우에 대하여 실험을 실시하였다.(트림의 부호는 -일때 Trim by Stern 이다.)

실험결과 Table 2~4의 아래쪽에 기입된 ADJUST TYPE 은 SHIFT, BALLAST, DEBALLAST 의 세 가지로 나뉘어 지는데, 각각 SHIFT는 액체 화물의 이동, BALLAST 는 밸러스트 탱크의 배수, DEBALLAST 는 밸러스트 탱크의 입수를 의미한다.

Table 3 Adjustment for Homo Design Condition 1)

BEFORE ADJUST				AFTER ADJUST			
Disp.	Trim	Heeling	FP.DRaft	Disp.	Trim	Heeling	FP.DRaft
167085.3	-0.17	0.08	15.74	167085.3	-0.49	0.00	15.49
Propeller	Invisible	Max SF	Max BM	Propeller	Invisible	Max SF	Max BM
184.38	175.68	70.08	74.68	196.23	181.94	69.54	78.76
CARGO TANKS		BALLAST TANKS		CARGO TANKS		BALLAST TANKS	
Name	Vol	Name	Vol	Name	Vol	Name	Vol
C.1(P)	10682.2	B.(FP)	0.0	C.1(P)	10682.2	B.(FP)	0.0
C.1(S)	10682.2	B.1(P)	0.0	C.1(S)	10448.9	B.1((P)	0.0
C.2(P)	14850.4	B.1(S)	0.0	C.2(P)	14617.15	B.1(S)	0.0
C.2(S)	14850.4	B.2(P)	0.0	C.2(S)	14850.4	B.2(P)	0.0
C.3(P)	14904.1	B.2(S)	0.0	C.3(P)	14437.6	B.2(S)	0.0
C.3(S)	14904.1	B.3(P)	0.0	C.3(S)	14904.1	B.3(P)	0.0
C.4(P)	14904.1	B.3(S)	0.0	C.4(P)	15137.4	B.3(S)	0.0
C.4(S)	14904.1	B.4(P)	0.0	C.4(S)	14904.1	B.4(P)	0.0
C.5(P)	14904.1	B.4(S)	0.0	C.5(P)	15137.4	B.4(S)	0.0
C.5(S)	14904.1	B.5(P)	0.0	C.5(S)	15137.4	B.5(P)	0.0
C.6(P)	13660.1	B.5(S)	0.0	C.6(P)	13893.4	B.5(S)	0.0
C.6(S)	13660.1	B.6(P)	0.0	C.6(S)	13660.1	B.6(P)	0.0
C.S(P)	1641.4	B.6(S)	0.0	C.S(P)	1641.4	B.6(S)	0.0
C.S(S)	1641.4	B.(AP)	0.0	C.S(S)	1641.4	B.(AP)	0.0
CARGO SHIFTING / BALLASTING / DEBALLASTING ORDER							
SOURCE TANK			ADJUST TYPE	ADJUST VOL	TARGET TANK		
Name	Vol	Full%			Name	Vol	Full%
C.1(S)	10682.2	98.0	SHIFT	233.28	C.4(P)	15137.4	99.5
C.2(P)	14850.4	98.0	SHIFT	233.28	C.6(P)	13893.4	99.7
C.3(P)	14904.1	98.0	SHIFT	233.28	C.5(P)	15137.4	99.5
C.3(P)	14904.1	98.0	SHIFT	233.28	C.5(S)	15137.4	99.5

Table 2 Adjustment for Normal Ballast Condition 1)

BEFORE ADJUST				AFTER ADJUST			
Disp.	Trim	Heeling	FP.DRaft	Disp.	Trim	Heeling	FP.DRaft
73081.9	-2.90	0.07	8.03	73081.9	-0.45	-0.01	7.15
Propeller	Invisible	Max SF	Max BM	Propeller	Invisible	Max SF	Max BM
99.83	417.6	60.55	30.40	84.11	331.21	67.28	37.72
CARGO TANKS		BALLAST TANKS		CARGO TANKS		BALLAST TANKS	
Name	Vol	Name	Vol	Name	Vol	Name	Vol
C.1(P)	0.0	B.(FP)	0.0	C.1(P)	0.0	B.(FP)	2799.4
C.1(S)	0.0	B.1(P)	5022.7	C.1(S)	0.0	B.1(P)	5022.7
C.2(P)	0.0	B.1(S)	5022.7	C.2(P)	0.0	B.1(S)	4789.4
C.2(S)	0.0	B.2(P)	4116.6	C.2(S)	0.0	B.2(P)	4116.6
C.3(P)	0.0	B.2(S)	4116.6	C.3(P)	0.0	B.2(S)	4116.6
C.3(S)	0.0	B.3(P)	4181.3	C.3(S)	0.0	B.3(P)	4181.3
C.4(P)	0.0	B.3(S)	4181.3	C.4(P)	0.0	B.3(S)	4181.3
C.4(S)	0.0	B.4(P)	4181.3	C.4(S)	0.0	B.4(P)	4181.3
C.5(P)	0.0	B.4(S)	4181.3	C.5(P)	0.0	B.4(S)	4181.3
C.5(S)	0.0	B.5(P)	4102.6	C.5(S)	0.0	B.5(P)	2702.9
C.6(P)	0.0	B.5(S)	4102.6	C.6(P)	0.0	B.5(S)	4102.6
C.6(S)	0.0	B.6(P)	4288.1	C.6(S)	0.0	B.6(P)	3121.7
C.S(P)	0.0	B.6(S)	4288.1	C.S(P)	0.0	B.6(S)	4288.1
C.S(S)	0.0	B.(AP)	0.0	C.S(S)	0.0	B.(AP)	0.0
CARGO SHIFTING / BALLASTING / DEBALLASTING ORDER							
SOURCE TANK			ADJUST TYPE	ADJUST VOL	TARGET TANK		
Name	Vol	Full%			Name	Vol	Full%
SEA			BALLAST	2799.4	B.(FP)	2799.4	65.6
B.1(S)	5022.7	100.0	DEBALLAST	233.3	SEA		
B.5(P)	4102.6	100.0	DEBALLAST	1399.7	SEA		
B.6(S)	4288.1	90.0	DEBALLAST	1166.4	SEA		

Table 4 Adjustment for Alternate Loading Condition 1)

BEFORE ADJUST				AFTER ADJUST			
Disp.	Trim	Heeling	FP.DRaft	Disp.	Trim	Heeling	FP.DRaft
120602.6	-1.88	0.06	10.61	120602.6	-0.48	-0.01	11.46
Propeller	Invisible	Max SF	Max BM	Propeller	Invisible	Max SF	Max BM
145.84	291.99	53.75	31.97	137.24	253.85	60.44	23.79
CARGO TANKS		BALLAST TANKS		CARGO TANKS		BALLAST TANKS	
Name	Vol	Name	Vol	Name	Vol	Name	Vol
C.1(P)	0.0	B.(FP)	0.0	C.1(P)	1866.2	B.(FP)	0.0
C.1(S)	0.0	B.1(P)	5022.7	C.1(S)	933.1	B.1((P)	5022.7
C.2(P)	14850.4	B.1(S)	5022.7	C.2(P)	14850.4	B.1(S)	5022.7
C.2(S)	14850.4	B.2(P)	0.0	C.2(S)	14850.4	B.2(P)	233.3
C.3(P)	0.0	B.2(S)	0.0	C.3(P)	0.0	B.2(S)	233.3
C.3(S)	0.0	B.3(P)	4181.3	C.3(S)	0.0	B.3(P)	3714.6
C.4(P)	14904.1	B.3(S)	4181.3	C.4(P)	12338.1	B.3(S)	3014.9
C.4(S)	14904.1	B.4(P)	0.0	C.4(S)	14670.9	B.4(P)	0.0
C.5(P)	0.0	B.4(S)	0.0	C.5(P)	0.0	B.4(S)	0.0
C.5(S)	0.0	B.5(P)	0.0	C.5(S)	0.0	B.5(P)	0.0
C.6(P)	13660.1	B.5(S)	0.0	C.6(P)	13660.1	B.5(S)	233.26
C.6(S)	13660.1	B.6(P)	0.0	C.6(S)	13660.1	B.6(P)	233.26
C.S(P)	0.0	B.6(S)	0.0	C.S(P)	0.0	B.6(S)	0.0
C.S(S)	0.0	B.(AP)	0.0	C.S(S)	0.0	B.(AP)	0.0
CARGO SHIFTING / BALLASTING / DEBALLASTING ORDER							
SOURCE TANK			ADJUST TYPE	ADJUST VOL	TARGET TANK		
Name	Vol	Full%			Name	Vol	Full%
C.4(P)	14904.1	98.0	SHIFT	1866.2	C1(P)	1866.2	17.1
C.4(P)	13037.9	85.7	SHIFT	700.0	C.1(S)	700.0	6.4
C.4(S)	14904.1	98.0	SHIFT	233.3	C.1(S)	933.1	8.6
SEA			BALLAST	700.0	B.(FP)	700.0	16.4
SEA			BALLAST	233.3	B.2(P)	233.3	5.7
SEA			BALLAST	233.3	B.2(P)	233.3	5.7
SEA			BALLAST	233.3	B.5(S)	233.3	5.7
SEA			BALLAST	233.3	B.6(P)	233.3	5.7
B.3(P)	4181.3	100.0	DEBALLAST	466.6	SEA		
B.3(S)	4181.3	100.0	DEBALLAST	1166.4	SEA		

## 5. 결론

본 논문에서는 액체 화물의 이동과 밸러스트 탱크의 입수, 배수를 통한 트림, 힐링 각도 조절의 최적화에 대해 연구하였으며, 실선의 데이터를 적용하여 결과를 검증하였다.

먼저 휴리스틱 알고리즘의 일종인 A\* 알고리즘을 본 연구에 쓰일 알고리즘으로 선정한 후, A\* 알고리즘의 핵심 요소인 노드, 연산자, 평가함수를 설계하였다. 이렇게 재설계된 알고리즘과 트림, 힐링 각도, 종강도, 복원성 등을 해석할 적하역 지칭기를 결합하여 최종적인 트림, 힐링 각도 조절 시스템을 완성하였다. 완성된 트림, 힐링 각도 조절 시스템은 실제 선박의 데이터와 함께 대표적인 세 가지 운항 조건인 Ballast Condition, Homo Design Condition, Alternate Loading Condition 에 각각 적용되어 그 성능이 검증되었다.

본 연구를 통해 안전하고 신속한 트림, 힐링 각도의 조절을 위한 사전 계획을 세울 수 있는 시스템을 개발하였으며, 개발된 알고리즘은 적하역 지칭기와 연동을 필요로 하는 다양한 조선 분야의 최적화 문제들을 접근할 수 있는 효율적인 성과를 얻었다.

## 참고문헌

- Judea Pearl (1984), "Heuristics : Intelligent Search Strategies for Computer Proplem Solving", pp. 46-65
- J. Isbester (1993), "Bulk Carrier Practice", pp. 87-100
- James Rambaugh (1991), "Object Oriented Modeling And Design", Ch. 2, 3, 6
- 손기준 (1993), "Chemical Tank의 안전운항 개요", Ch. 3 Sec.4
- 김윤영 (2002), "Smart-Nesting system with optimal cutting path planning considering minimum heat effect", 박사학위논문, Kyushu University, pp. 19-21
- 이성찬 (1998), "A Study on the Computer Aided Process Planning System for Turning Using Heuristic Search Algorithm", 박사학위논문, 한국과학기술원, pp. 39-47
- 홍충유 (2003), "Tanker선 전용의 최적화된 Ballast Water Management Plan 개발", 해양공학회 03년 춘계학술대회, pp. 225-230