

BULK선용 자동 Ballast Water Management Plan 개발

홍충유*, 권영섭*, 권성진**, 황진욱** ,박제웅*,
*조선대학교, **㈜메카정보통신

The development of auto Ballast Water Management Plan For Bulk Carrier.

Chung You Hong*, Young Sub Kwon*,
Sung Jin Kwon**, Jin Wook Hwang**,
Je Woong Park*

*CHOSUN University, **MECA Co. Ltd, Seoul 138-220 , Korea

KEYWORDS : BWM, MEPC, SEQUENTIAL METHOD, FLOW-THROUGH METHOD, ALGORITHM, HEURISTIC, SIMULATION, OPTIMIZATION, CRITERIA

ABSTRACT : Many port states such as New Zealand, the USA, Australia and Canada have strict regulations to prevent ships which arrive in their port from discharging polluted ballast water which contain harmful aquatic organism and pathogens. They are notified that transfer of polluted ballast water can cause serious injury to public health and damage to property and environment. For this reason, they perceived that the ballast exchange in deep sea is the most effective method, together with submitting the ballast management plan which contains the effective exchange method, ballast system and safety consideration.

In this study, we make an effort to develop optimum ballast water exchange management and in result of that, it provide more convenient and stable process to prepare ballast water management plan for Bulk Carrier.

1.서론

지난 수 천년 동안은 선박의 균형과 안정성을 위한 밸러스트 도구로 바위나 모래, 철 등을 사용하였었다. 하지만, 이러한 고체 밸러스트 성분의 불편한 적하역 특징 때문에 현대에 이르러서는 뛰어난 적하역 효율성을 지닌 해수를 선박의 밸러스트 도구로 사용하고 있다.

현대의 선박은 세계적으로 전체 물류 수송의 80%를 담당하고 있고, 이러한 선박들에 사용되는 밸러스트 수는 한 해 100억톤에 달한다.

해수는 뛰어난 적하역 효율성을 가진 밸러스트 도구로서 유용하게 사용되어지면서도 이로 인한 악영향도 나타나기 시작하였다. 즉, 엄청난 양의 해수 이동과 더불어 해수내의 해양 미생물(무척추 동물, 알, 유충, 난포 등) 또한 해수와 더불어 이동하게 되었던 것이다. 이러한 해양미생물

의 이동은 해양의 생태계 파괴 뿐 아니라 각종 세균 및 병원체를 퍼뜨리게 되었다.

이와 같은 해양 미생물의 위협에 대항하기 위하여, 1993년/1997년 IMO총회 Resolution A774(18) / A868(20) 이 채택되었고, 상기 주제에 관하여 MEPC 산하 Workgroup에서 지속적으로 논의/검토되고 있다. 그러나, Ballast Water의 관리기준, 교환지역, 지침서개발, 선박의 안전에 미치는 영향 등의 문제로 지난 MEPC 48차 회의에서 협약안이 발효되지는 못했으나, 이미 선급에서는 규정화하기 위한 Notation으로 발전한 단계이다. 따라서, 추후 협약발효에 대비해야 할 것이다.

지금까지 협약 발효에 대비하기 위한 밸러스트 수 관리 방안은 Fig.1과 같다.

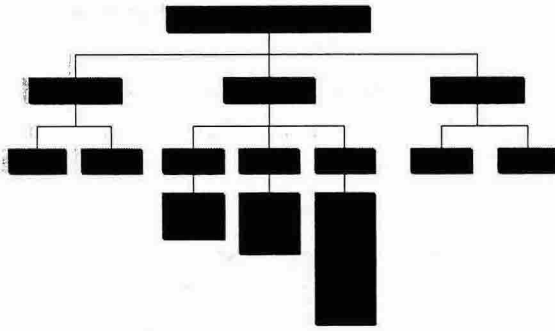


Fig.1 Ballast Water Management Methods

Ballast Water 관리 방안을 크게 나누면 Fig.1에서 나타는 것과 같이 Exchange, Treatment, Isolation의 3가지 방법으로 나누어진다.

본 논문에서는 BULK선의 특징을 분석하여 BWM 생성시 고려해야 할 부분들에 대해 파악하고 이를 상기의 3가지 방법 중 첫 번째 방법인 Exchange Method와 결합하여 Bulk선의 대양 항해 중 수창 내 수 교체 수행순서를 자동으로 생성하는 프로그램의 개발에 대하여 다루고 있다.

2. 개발 내용

2.1 기반 기술

본 개발에 관련하여 우선적으로 알아야 할 사항에 대해 먼저 살펴보도록 하겠다.

2.1.1 BULK선의 특징

벌크선은 선박의 안정성을 위한 경우에 Hold를 Ballast Tank로 사용하는 경우도 존재한다. 이러한 특수한 경우 때문에 다음과 같은 점들이 추가적으로 고려되어야 한다.

① Sloshing

Hold Ballasting이 되어 있을 경우, Hold의 유체가 수창에 Impact Force를 가하게 된다. 이러한 경우, 내적인 Impact Force뿐 아니라, Sea State에 따라 외적인 Impact Force도 받게 되며 이는 구조상으로 적정 Sea State에서 어느 정도의 Impact Force를 견딜 수 있는지가 정해져 있는 사항이므로 Notation이나 추후 연구 고려되어야 할 것으로 보인다.

② Ballast Inertia

Heavy Ballast의 경우 주로 고려되는 사항이며, Hold의 Ballasting 상태를 단면으로 보아 Moment를 고려할 때의 내부에서 밀어내는 힘과 외부에서 해수가 밀고 들어오는 힘 때문에 Top Side Tank나 Hopper Tank가 손상을 입을 수 있다는 것이다.

이 점에 관해서는 좀 더 심도깊은 연구가 필요할 것으로 고려된다.

③ Grain Stability

Bulk선이 Grain을 실었을 경우, Grain Stability에 관한 고려가 필요하다. 본 개발에서는 Ballast Exchange 도중 Grain은 Static한 상태를 유지하는 것으로 간주하고 Grain Stability를 고려하도록 한다.

2.1.2 Exchange Method

Exchange Method는 다음의 두 가지로 나뉘어진다.

① Sequential Method

Sequential Method는 공해 상에서 선박의 입항 200해리 전, 밸러스트 수 교체를 완료 지을 수 있는 순차적인 방법론을 의미하며, 고려되어야 하는 점은 시간적 요소와 역학적 요소가 있다.

시간적 요소란, 밸러스트 수 교체가 선박의 입항 전 200해리 이전에 완료되어야 하는 특성으로 인하여 최단 시간내에 밸러스트 수 교체를 완료 지을 수 있도록 고려해야 함을 의미한다.

역학적 요소란, 밸러스트 수 교체가 선박의 운항중 이루어지기 때문에 수 교체 작업 도중 선박의 안전성 및 항해 안정성이 유지되어야 함을 의미한다.

② Flow-Through Method

Flow-through Method는 Sequential Method에 혼용되어 사용되거나 독자적으로 사용된다. 밸러스트 수에 3배수를 넘치게 하여 수질을 정화시킨다는 기본적으로 가장 간단한 방법이지만, 효율성이 저하(과다한 시간, 연료 소모, 주변환경 부적합 등)되기 때문에 본 개발에서는 독자적으로 사용하기 보다는

Sequential Method를 진행하기 어려운 경우에 있어 부분적으로 사용한다.

2.1.3 BWMP 생성을 위한 선박의 고려 요소

Exchange Method를 수행할 때, 선박에 있어 고려해야 할 요소들은 크게 선급 규제 사항, 법적 규제 사항, 운항적 고려 사항의 세 가지로 나뉘어 진다.

이를 도식화 하면 Fig.2와 같다.

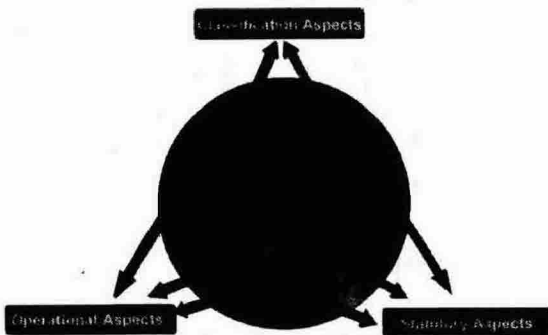


Fig.2 General Criteria

Fig.2는 총 고려 요소를 8부분으로 나누고 있다. 운항적 고려 사항에는 교체에 소요되는 시간, Propeller의 안정성, Bottom Slamming을 제거하기 위한 최소 선수 Draft가 있다. 법적으로 규제되는 사항에는 항해사의 가시거리 확보, Intact Stability와 Bulk선에서 고려되는 Grain Stability가 있다. 본 개발에서 Grain Stability는 Ballast Exchange를 수행하는 도중에 Static한 상태를 유지한다고 가정할 것이며 추후 깊은 고려를 필요로 할 것이다. 선급 규제 사항에는 종강도적인 측면이 선박에 안전항가를 보고 있으며, Dynamic Loads (Fatigue, Ballast Inertia, Sloshing)을 고려하고 있다. Dynamic Loads는 주로 구조적인 측면에서 고려되는 사항이기 때문에 이러한 부분에 대하여 본 개발에서는 좀 더 심도높은 연구를 해야 할 것으로 보인다.

2.1.4 알고리즘(Heuristic)

알고리즘이란, 문제를 풀기위한 절차나 방법을 말한다. 본 개발에서 주어진 문제는 최적화(시간, 안전성/항해 안정성 또는 스텝의 수)된 Sequence를

생성하는 것이고, 이로 인해 문제를 풀기 위한 알고리즘이 필요로 된다.

본 개발에서는 수많은 Heuristic 알고리즘을 검토하였고, 그 중 본 개발과 관련이 있는 알고리즘들을 파악, 분류해 보았다.

① 깊이우선 탐색(Depth-First Search)

- 알고리즘의 일반적인 형태로, 같은 계열의 알고리즘인 너비우선탐색(Breadth-First Search)보다 Sequence-Seeking 문제에 더 적합하다. Sequential Method를 사용한 결과물을 생성할 때 가장 기본적으로 생각해 볼 수 있는 알고리즘이다.

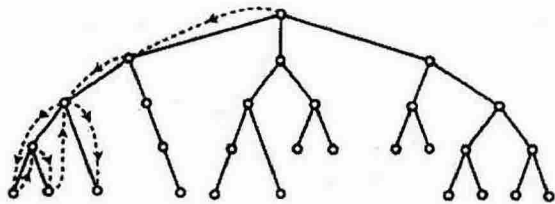


Fig.3 깊이우선 탐색

② 점진적 깊이증가 깊이우선탐색(IDFS : Iterative Deepening Depth-First Search)

- 깊이우선탐색에 한계깊이 D를 부여하고, 한계깊이 D를 점점 높여가면서 탐색을 진행한다. 더 짧은(우수한) Sequence의 해를 얻기에 적합하다. 본 개발에서는 다른 알고리즘과 더불어 장점을 적용하여 사용하고 있다.

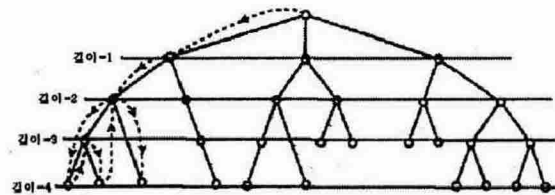


Fig.4 점진적 깊이증가 깊이우선탐색

③ 퇴각 탐색(Backtracking)

- 깊이우선탐색을 이용하는 휴리스틱 알고리즘들의 기본적 전제로, 탐색이 실패시 탐색 가능한 가장 최근의 상위 노드로 회귀하는 방법이다. 본 개발에 실제로 사용할 탐색 방법의 하나이다.

④ 언덕오르기 탐색(Hill-Climbing Search)

- 현재 노드의 후계노드들중 가장 평가값이 우수한 방향으로만 탐색을 진행시킨다. 전체최적해

가 아닌 지역최적해로의 조기수렴의 문제가 있다. 깊이 우선 탐색에 비해 본 개발에 더 적합할 것으로 파악된다.

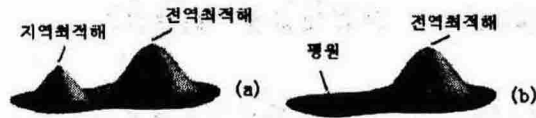


Fig.5 언덕오르기 탐색

⑤ 최적우선탐색(BF : Best-First Search)

- 노드의 지출(평가)함수를 정의한다. $f(n)$ 값이 가장 우수한 방향으로 탐색을 진행시킨다. 진행 가능한 모든 노드 중 최저의 지출을 갖는 쪽으로 탐색을 진행시킨다. 여러 변형들이 있으며 GBF 탐색, A* 탐색, Z* 탐색 등도 그 중 하나이다. ④의 언덕오르기 탐색과 유사한 맥락으로써 본 개발에서 어느 정도의 사용이 가능할 것으로 보인다.

⑥ A* 탐색(A* Search)

- 최적우선탐색의 변형이다. 노드의 평가에 지출함수를 도입한다. $f(n) = g(n) + h(n)$ 을 이용하여 각 노드를 평가한다. $g(n)$ 은 과거의 지출, $h(n)$ 은 미래의 예상 지출을 의미한다. $f(n)$ 은 총지출이다. 총지출이 낮은 노드를 따라 탐색을 진행시킨다. IDA*(Iterative Deepening A*), SMA*(Simply Memory-Bounded A*) 등의 변형이 있다. 실제적으로 본 개발에서 적용하려는 탐색 방법이다.

2.2 개발 이론

본 개발은 다음과 같은 요소들을 바탕으로 수행되었다.

2.2.1 BWM 생성을 위한 고려요소 검사

효과적인 스텝을 생성하기 위하여 다음과 같은 요소를 평가의 대상으로 삼는다.

① PUMP의 최대 구동 여부

스텝을 생성함에 있어 최적화의 고려 대상이 되는 요소이다. PUMP를 최대로 구동하여 스텝을 생성한다는 것은 결과물의 수행이 최단 시간 내에 수행된다는 것을 의미한다. 이것은 실제 사용에 있어 효율적인 Sequence를 생성하기 위함

이다.

② 종합적 고려

종합적 고려는 상기 PUMP 최대 구동 여부와 아래의 네 가지 항목을 총체적으로 고려하는 것을 말한다. 고려의 대상이 많을수록 실제 검색할 컨디션의 수는 줄어들게 되지만, 자동생성에 실패할 확률은 늘어나게 되므로 종합적인 고려가 제일 중요하다.

②-1 General Criteria에 대한 평가

- General Criteria는 2.1.3에 설명이 되어 있다. 이것에 대한 평가란, 현재의 스텝이 각각의 요소에 얼마나 잘 부합하는지를 평가하는 것을 의미한다. General Criteria에 대한 평가는 현재의 스텝에 국한하여 제일 안정적인 것을 우선적으로 고려한다.

②-2 Bulk Consideration에 대한 평가

- Bulk선에서 더 고려해야 되는 사항에 대해서는 2.1.1에 설명이 되어 있다. 이는 상기 ②-1항목과 더불어 현재 스텝이 Bulk선에 대한 고려를 간과하지 않도록 고려하는 것을 의미한다. 본 개발에서는 Grain Stability를 우선적으로 고려한다.

②-3 효율성(적합성)

- 효율성(적합성)이란 현재의 스텝이 얼마나 실제 사용 가능한지에 대한 평가이다. 즉, Operator가 실제 수행을 최대한 효율적으로 불편함 없이 진행할 수 있도록 고려하는 것을 의미한다. 이 항목에 대한 판단은 최대한의 유량을 가진 컨디션을 우선적으로 고려한다.

②-4 차후 스텝 예측

- 현재 검사되는 컨디션은 이전 컨디션과 이후 컨디션과의 관계를 가진다. 이러한 관계는 주로 밸러스트 탱크내 물의 양으로 판단이 가능하다. 만약, 현재로의 진행이 안전성/항해 안정성이 악화되고 있고 앞으로 똑같은 방향의 수교체를 진행할 예정이라면 차후의 스텝은 진행 불가 상태에 도달할 가능성이 커지게 된다.

상기 항목들에 대한 종합으로 현재 스텝 결정에 대한 최종 판단을 내릴 수 있다.

2.2.2 본 개발에 적용한 Heuristic Algorithm

본 개발에서는 다음과 같은 Heuristic Algorithm 들을 종합하여 적용시키고자 한다.

- ① 점진적 깊이증가 깊이우선탐색
- ② 퇴각 탐색
- ③ A* 탐색

아래의 Fig.6에서는 이러한 알고리즘을 혼합시켜 본 개발에서 사용되는 Flow-Chart를 보여주고 있다.

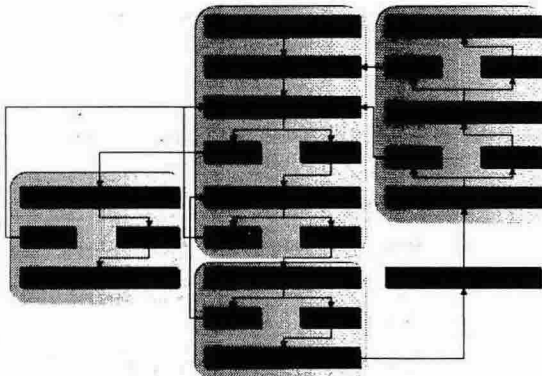


Fig.6 Flow Chart

상기 Fig.6에 나타난 것처럼 본 알고리즘은 크게 선택, 평가, 회귀, 결정의 단계로 나뉘어진다. 선택은 탱크 선택, Ballast Water Quantity 선택이 있으며 깊이 우선 탐색의 개념을 사용한다. 즉, 현재의 스텝에서 진행 가능한 방향을 순서대로 탐색하여 선택 하는 것을 의미한다. 평가는 선택하여 생성된 조건에 대한 평가를 의미하며 A* 탐색의 개념을 이용하여 평가를 수행하게 된다. 평가의 대상이 되는 요소에는 BWM 수행을 위한 고려요소에 설명이 되어 있다.

회귀는 평가에서 통과되지 못한 경우 이전의 상태로 퇴각하는 것을 의미하며 퇴각 탐색의 개념을 사용한다.

이 3가지의 알고리즘을 사용하여 BWMP 생성 과정을 모형화 한 것이 Fig.7이다.

상기 3개의 알고리즘에 대해 도식화 한 것이 Fig.7이다.

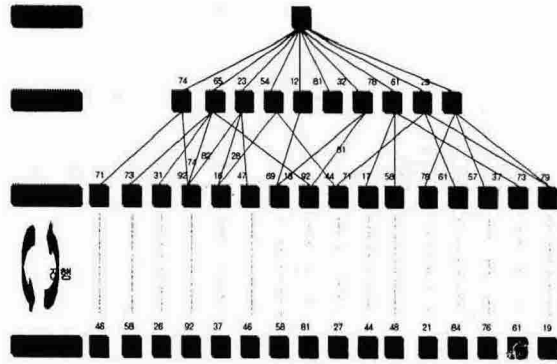


Fig.7 Combined Heuristic Model

상기 Fig.7에서 확인 할 수 있듯이 각 스텝은 여러개의 가능 조건들로 이루어지며 각각의 조건은 자신만의 평가값을 가지고 있다.

알고리즘은 이러한 평가값들로부터 선택을 결정하고 스텝을 생성해 나가게 된다.

'평가를 얼마나 적절히 수행해 나가는 가'는 본 개발에 있어 제일 핵심적인 내용이다.

2.3 수행성 판단(SIMULATION)

이와 같은 평가와 로직으로 구성된 개발품의 성능 실험을 SIMULATION 해 보았다.

모의 실험을 위한 MODEL DATA는 Table 1과 같다.

MODEL DATA		
NO	ITEM	DATA
1	Extended Node Count	10
2	Terminal Node Percent	50%
3	Step Count	10

Table 1 MODEL DATA

Table 1의 MODEL DATA로 SIMULATION한 결과는 Table 2와 같다.

SIMULATION RESULT			
ITEM	깊이 우선탐색	Heuristic	Combined Heuristic
탐색횟수	약 12,207,031	약 1,220,703	약 1,220,703
최적화 평가	100	40	70(예측 결과)

Table 2 SIMULATION RESULT

Table 2에서 확인 할 수 있듯이, 탐색횟수(수행 시간)는 기본적 Heuristic와 본 개발에서 사용하는 IDA*(Depth First Search + BackTracking + A* Search) Heuristic이 비슷한 성능을 보이나, 최적화를 대상으로 한 결과물에 평가에서는 IDA* Heuristic이 기본적 Heuristic에 비해 우수한 성능을 보인다.

최적화 평가에서는 깊이 우선 탐색이 모든 가능한 집단에 대한 탐색을 수행하여 결과물의 우수성이 뛰어나다고 하지만 너무나 많이 탐색으로 인한 시간의 소모로 인하여 적절하다고 판단되지 않으며, 종합적인 고려를 해 보았을 때 IDA* Heuristic Algorithm이 적합할 것으로 판단된다.

3. 결론

지금까지 살펴본 내용과 같이 본 개발에서는 Bulk선을 대상으로 한 Ballast Water Exchange Plan 최적 생성에 관한 내용을 다루었다. 특히, 첫째로 Bulk선 고유의 Criteria 설정 및 자체 해를 구하는 개발에 대한 연구가 집중적으로 필요함을 강조하였다. 즉, Sloshing, Ballast Inertia, Grain Stability등과 같이 운동량과 구조와의 상관 관계 정의가 우선되도록 개발되어야 할 것이다. 두 번째로는 Algorithm적인 측면에서, 점진적 깊이 증가 깊이 우선 탐색법과 퇴각 탐색법 그리고 A* 탐색법의 혼합을 시도하였고 이에 BWMP 생성에 필요한 고려 요소들을 여러 각도에서 평가하여 최적화를 모색하고자 하였다.

상기 사항을 근거로 한 SIMULATION 결과로 추정할 때, 본 개발품이 현업 및 개발 수행에 실제 적용 가능할 것으로 판단되며 부족한 부분에 있어서는 개발과 더불어 보완된 성능을 지니게 될 것으로 기대된다.

현재 국제적으로 Ballast Water Management Plan의 제시가 의무화되어 가는 추세이고, 이러한 Ballast Water Exchange Plan의 생성에서 가장 고려할 점이 많은 선종이 Bulk선종이므로, 실제적으로 본 개발이 완료되는 시점에서는 거의 전 선종에 BWMP를 적용할 수 있을 것으로 예측된다.

본 개발품의 사용으로 인해 선주나 항해사들이 신속 정확한 결과물 도출로 선박의 항해 안전성 사전 확보 및 설계 능력 제고에 충분히 일조가 되리라 기대된다.

참고문헌

- [1] IMO Resolution A.868(20)
- [2] LR EP (Pt.7 Ch.11), 2001
- [3] DNV CLEAN, CLEAN-DESIGN (Pt.6 Ch.12 Sec.3), 2000
- [4] ABS ES (Guide for the Class Notation Environmental Safety), 2001
- [5] BV CLEAN-SEA, CLEAN-AIR (Pt.A Ch.5 Sec.7), 2001
- [6] GL, Guidelines on Ballast Water Management, 2001
- [7] Principle of Naval Architecture, 미국조선학회, 1994, 대한교과서주식회사
- [8] 이론선박 공학
- [9] 시스템 설계 공학, 박제용 편저
- [10] Bulk Carrier Practice, Captain J Isbester FNI MRIN Extra Master
- [11] Bulk Carrier Safety Requirement 당사 적용 현황, 현대상호중공업(주) 종합설계부, 2003
- [12] D/H Bulk Carrier for New Rules & Regulations, 대우조선해양, 2003
- [13] LOADCOM HANDBOOK, MECA
- [14] Heuristics, Judea Pearl, 1984
- [15] 메타 휴리스틱, 김여근,윤복식,이상복 공저, 1997
- [16] 휴리스틱 탐색 기법을 이용한 선박가공용 자동 공정계획 시스템에 관한 연구 / 이성찬 / KAIST
- [17] 휴리스틱 그래프 탐색법을 이용한 로봇트 매니플레이터의 충돌 회피 경로계획 / 崔在鴻 / 한양대학교
- [18] 휴리스틱 기법을 이용한 컨테이너선의 적재계획의 연구 / 신진용 / 부산대학교