한국해양공학회 2003년도 춘계학술대회 논문집 PP.225~230

탱커선 전용의 최적화된 밸러스트수 교체 관리

홍충유* 장형준* 권성진* 최영달** 김동언** 박제웅***
*㈜메카정보통신
**STX 조선㈜
***조선대학교

Optimized Ballast Water Exchange Management for Tanker

Chung You Hong*, Hyeong Joon Chang*, Sung Jin Kwon*, Young Dal Choi**,
Dong Eon Kim** AND Je Woong Park***
*MECA CO. Ltd, Seoul.138-220 , Korea
**STX Shipbuilding CO. Ltd, Jinhae,645-350 , Korea
***University of Chosun, Kwangju,501-759, Korea

KEYWORDS : Ballast Water Management, Big-O, Sequential Tree, BackTracking Algorithm, Feedback Method

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 organisms 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 for preparing ballast water management plan.

1.서론

90년대 초반부터 거론되기 시작한 Ballast Water에 포함된 수중유해 미생물 및 발병체원의 확산방지책은 1993년/1997년 IMO총회 Resolution A.774(18) / A.868(20) 채택과 함께 MEPC 산하 Workgroup에서 계속 논의/검토되고 있으며, Ballast Water 관리기준, 교환지역, 지침서개발, 선박의 안전에 미치는 영향 등의 문제로 지난 MEPC 48차 회의에서 협약안이 발효되지는 못했으나, 이미 선급에서는 규정화하기 위한 Notation으로 발전된 단계이다. 따라서 추후 협약발효에 대비해야 할 것이다.

예상으로는 2003년 국제해사기구(IMO) 협약이 발효가 예상되고 있다.

현재 협약에 의한 규정을 선진국에서는 일부 해역에서 필수적으로 요구하고 있다.

이러한 국제적 흐름과 실질적 자국 환경 보존을 위해서 국내에서도 효율적인 밸러스트수 교체에 대한 연구/개발이 선진국의 기술종속적인 상황을 탈피하고 국내 자체기술로서의 자립을 위해 시급한 실정이다.

이상에 대해 현재까지 여러방향의 연구가 진행되어 왔으며 효율적 밸러스트수 교체에 대해서는 다음의 3가지 방안이 마련되었다.

① Sequential Method
② Flow-through Method
③ Treatment Method

①의 방법은 대양 항해 중 공해상에서 선박의 안전성/항해 안정성등이 사전 검증된 조건하에서 밸러스트 수 교체 순서로 작업을 수행하는 것이며, ②의 방법은 대양 항해 중 공해상에서 밸러스트수를 수구획용량의 3배수 채워 넘치게 밸러스트 수 교체 작업을 수행하는 것이며, ③의 방법은 물리적/화학적/생물학적으로 밸러스트 수를 선체내 및 육

상에서 처리하여 해양 오염의 방지책을 확보하는 것이다.

본 개발에서는 대양 항해 중 수창내 수 교체를 수행함으로써 제일 어려운 과정인 ①의 방법을 사용하여 최적의 밸러스트 수교체 순서(Ballast Water Exchange Sequence)를 생성하는 것을 본 과제로 채택하였다.
또한 이론과 경험이 축척된 전문가의 논리를 근거로 전산에 의한 신속정확한 결과를 자동추출할 수 있도록 Trial and Error Method를 수학적으로 체계화하는데 주력하였다.

2. 접근방법

2.1 접근 알고리즘

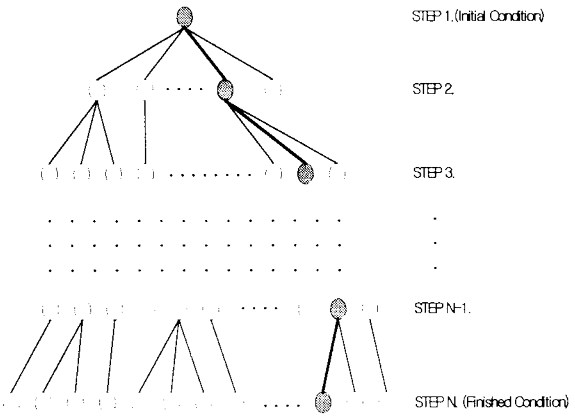

Fig.1 Sequential Tree Diagram

BWM STEP 생성을 위한 기본적 착상은 STEP 생성이 순차적인 진행방식이라는 점에서 발생한다. 본 개발에서는 각각의 Condition들을 Node로 분포하여 Tree 구조화시키고, 해당 Tree 내에서 STEP을 찾고자 하였다.
그러나, BWM STEP 생성을 위해서 수창의 주배수를 Pump의 구동시간과의 관계를 고려해 동시 수행하므로 최적의 Sequence를 구하기 위해서는 Fig.1의 순차Tree를 통한 검색만으로는 원하는 결과를 얻어낼 수 없다. 단편적인 예를 들어, 검색이 교착상태에 빠지는 컨디션(Terminal Node)으로 진행하였을 경우 이는 곧 BWM STEP 생성의 실패로 이어지게 된다. 이러한 문제점을 보완하기 위해서는 이전 스텝으로의 Feedback이 필요하게 되었고 여러 가지 방법 중 Fig.2와 같은 BackTracking Method를 접합시키게 되었다.

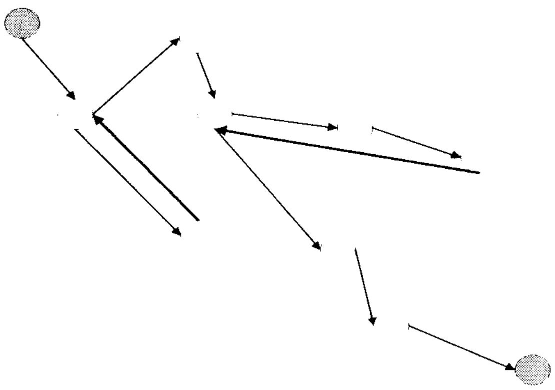

Fig.2 BackTracking Diagram

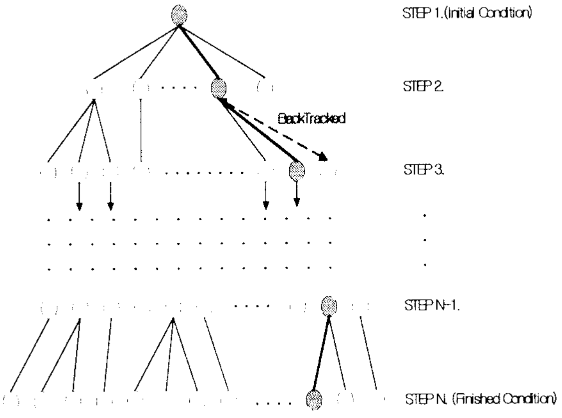

Fig.3 Sequential Tree + BackTracking Diagram

Fig.3은 Sequential Tree에 BackTracking을 접합시킨 모형을 보여주고 있다. 이 모형의 경우, 모든 Node를 대상으로 삼고 있으며 최상의 경우는 STEP 수 만큼의 검색을, 최악의 경우에는 모든 Node 수 만큼의 검색을 수행하게 될 것이다.

검색 수행면에서 효율성을 증대시키기 위해서 본 개발에서는 다음과 같은 조건을 기반으로 BWM STEP을 생성하도록 하였다.

① Node 고려시, 현재 대상이 되는 STEP Condition으로부터의 파생만 고려하도록 한다.
② 선박의 안전성&안정성을 최대한으로 만족시키는 컨디션을 우선적으로 고려하도록 한다.

이상의 내용을 바탕으로 다음과 같은 수식전개 모형 실험을 진행하였다.

2.2. 수식화

상기 모형에 대한 수식을 도출하기 위해서는 대상의 초기상태와 변이에 대한 가정이 필요하다.

No	Data Name	Value
1	초기값 a0	1
2	Each Child Node	3
3	Deadlock Percent	33.3%

Table.1 Model Data1

No	Data Name	Value
1	초기값 a0	1
2	Each Child Node	4
3	Deadlock Percent	(50+25*(-1)n)%

Table.2 Model Data2

Table.1과 Table.2의 Model Data들을 바탕으로 단순 검색의 경우와 조건 검색의 경우의 수식을 도출해 보았다.

2.2.1 단순 검색

상기 모형을 기반으로 하여 다른 조건을 배제하고 STEP을 생성하는 경우의 수식은 다음과 같다.

2.2.1.1 Model Data 1의 경우

n번째 STEP에서 생성되는 Node의 수(n > 0)

$$a_n = \frac{3}{2}3^{n-1} + \frac{3}{2}$$

n번째 STEP까지의 총 Node의 수

$$s_n = \frac{3}{2}\left(\frac{3^n - 1}{3-1}\right) + \frac{3}{2}n + a_0$$

2.2.1.2 Model Data 2의 경우

n번째 STEP에서 생성되는 Node의 수(n > 0)

$$a_{2n} = a_{2n-1} = 4 * 3^{n-1}$$

n번째 STEP까지의 총 Node의 수

$$s_{2n-1} = 2(3 + 3^{n-1} - 2)$$

$$s_{2n} = 4(3^n - 1)$$

Model Data 1의 경우와 Model Data 2의 경우 모두 n번째 STEP에서의 Node 수와 n번째 STEP까지의 총 Node 수에 대한 검색에 있어 Big_O(3n), 이하 O(3n), 의 수행시간을 가지게 됨을 알 수 있다. 때문에, 단순 검색의 경우 STEP의 수가 길면 길수록, 검색대상 Node 수는 기하급수적으로 증가할 것이다.

2.2.2 조건 검색

상기 모형에 2-①과 2-②의 조건을 추가시키고 STEP을 생성하는 경우의 수식을 도출하기 위해서는 우선 각각의 조건에 대한 기대효과를 명확히 파악하여야 한다.

2.1-①의 조건으로 인하여, 불필요한 컨디션에 대한 Node 생성은 제외될 것이며 이로 인해 STEP 생성시의 수행시간은 기하급수적으로 감소시킬 것으로 기대된다.

2.1-②의 조건은 기대효과를 정확히 산출할 수 없으므로 다음과 같은 가정을 추가로 설정한다.

가정. 2.1-② 로 인하여 Deadlock Node로의 진행가능성이 절반으로 감소한다고 가정한다.

이상의 조건을 기반으로 상기 모형은 다음과 같은 수식을 도출할 수 있다.

2.2.2.1 Model Data 1의 경우

n번째 STEP에서 생성되는 Node의 수(n > 0)

$$a_n = 3\,(n > 0)$$

n번째 STEP까지의 총 Node의 수

$$s_n = 3n + 1\,(n > 0)$$

2.2.2.2 Model Data 2의 경우

n번째 STEP에서 생성되는 Node의 수(n > 0)

$$a_n = 4\,(n > 0)$$

n번째 STEP까지의 총 Node의 수

$$s_n = 4n + 1\,(n > 0)$$

Model Data 1과 Model Data 2에 대해 n번째

STEP에서의 Node에 대한 검색에서는 O(1)의 수행시간을 보여주며, n번째 STEP까지의 총 Node에 대한 검색에 있어서는 O(n)의 수행시간을 보여주고 있다.
즉, 조건 검색의 수식은 총 STEP 수에 따라 비교대상이 비례적으로 증가함을 알 수 있다.

2.2.3 예시

다음은 상기 단순 검색과 조건 검색에 대한 예시를 보여주고 있다.

2.2.3.1 5번째 STEP에서 생성이 종료될 때

① Model Data 1의 경우
-단순검색

$$s_5 = \frac{3}{2}\left(\frac{3^5-1}{3-1}\right) + \frac{3}{2}5 + 1 = 212.5$$

단순검색은 최대 212.5번의 검색을 수행하게 된다.

-조건검색

$$s_5 = 3*5+1 = 16$$

조건검색은 최대 16번의 검색을 수행하게 된다.

② Model Data 2의 경우
-단순검색

$$s_5 = 2\,(3^3 + 3^{3-1} - 2\,) = 66$$

단순검색은 최대 66번의 검색을 수행하게 된다.

-조건검색

$$s_5 = 4*5+1 = 21$$

조건검색은 최대 21번의 검색을 수행하게 된다.

2.2.3.2 10번째 STEP에서 생성이 종료될 때

① Model Data 1의 경우
-단순검색

$$s_{10} = \frac{3}{2}\left(\frac{3^{10}-1}{3-1}\right) + \frac{3}{2}10 + 1 = 44302$$

단순검색은 최대 44302번의 검색을 수행하게 된다.

-조건검색

$$s_{10} = 3*10+1 = 31$$

조건검색은 최대 31번의 검색을 수행하게 된다.

② Model Data 2의 경우
-단순검색

$$s_{10} = 2\,(3^{10} + 3^{10-1} - 2\,) = 157460$$

단순검색은 최대 157460번의 검색을 수행하게 된다.

-조건검색

$$s_{10} = 4*10+1 = 41$$

조건검색은 최대 41번의 검색을 수행하게 된다.

2.3. 수식 결과 고찰

BWM STEP을 생성할 때, 단순 검색의 경우 수행시간 f = O(x^n) (x는 변수, n은 스텝수)으로 표현될 수 있고, 조건 검색의 경우 수행시간 f = O(n) (n은 스텝수)으로 표현될 수 있다.
즉, 단순 검색의 경우 검색 수행은 스텝수에 대한 기하급수적 증가를 보이고, 조건 검색의 경우 검색 수행은 스텝수에 대한 비례적인 증가를 보인다. 이 같은 사실은 2.2.3의 예시 결과에서도 확인이 가능하다.
Model Data 가 실제 Data와는 많은 차이가 있고 수행시간에 영향을 미치는 Factor 중 고려하지 않은 것이 많음을 감안하더라도 수행시간 비교면에서, 조건 검색은 단순 검색에 비해 월등한 Performance를 나타낼 것으로 보인다.

3. 개발 내역

3.1. 개발 FLOW CHART

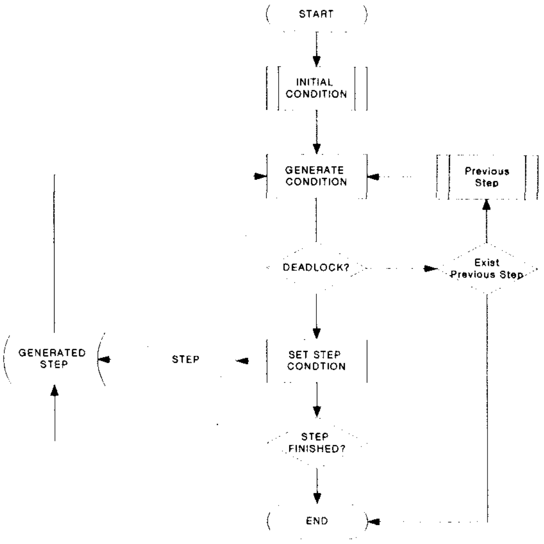

Fig.4 Flow Chart

본 개발은 Fig.4의 Flow Chart를 기반으로 다음과 같이 수행되었다.

① Initial Condition을 1번 STEP으로 확정한다.
② 이후 진행 가능 Condition을 생성한다.
③Condition 중 STEP을 선정하되 Deadlock에 빠지는 Condition일 경우 이전 STEP에서 다시 진행 가능 Condition을 생성한다.
④ 선정된 STEP을 이번 STEP으로 확정한다.
⑤ STEP 생성이 완료되었으면 생성을 종료한다. 완료되지 않았을 경우, 이번 STEP을 대상으로 하여 ②번 Process부터 다시 진행시킨다.

3.2. 개발결과

상기 모형과 Flowchart를 기반으로 제작된 본 개발품은 실제 Tanker선을 대상으로 STEP을 생성하였다.

아래 그림들(Fig.5, Fig.6)은 동일한 35K DWT CLASS Tanker선을 대상으로 Manual로 STEP을 생성한 결과와 본 개발품을 이용해 자동으로 STEP을 생성한 결과이다.

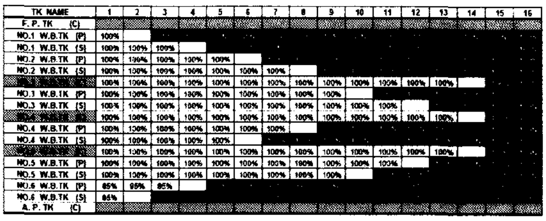

Fig.5 35K Manual BWM STEP

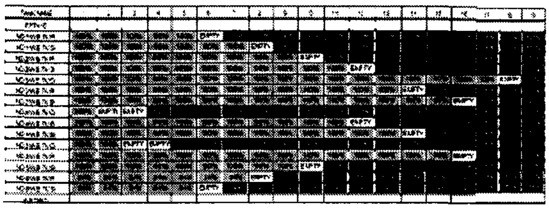

Fig.6 35K Auto BWM STEP

Fig.6은 Fig.5의 대상호선과 동일한 호선에 대해 본 개발품을 이용해 자동으로 Ballast Water Exchange Step을 생성한 결과이다.

자동 생성된 Ballast Water Exchange Step은 현재 STX 신조선에 적용되어 사용되고 있으며, 이는 작업의 신속정확화, 안정화 및 작업시간 절감의 장점을 주고 있다.

4. 결론

본 논문은 Sequential Tree Method와 BackTracking Algorithm을 혼합하여 Ballast Water Exchange Step을 생성하는 방법 및 개발 결과에 대해 고찰하였다.

현재 국제적으로 Ballast Water Management Plan의 제시가 의무화되어 가는 추세이므로, 본 개발의 산출물인 자동생성된 STEP SEQUENCE가 범용적으로 사용되어진다면, 신속 정확한 결과를 얻을 수 있고 작업량 감소에 큰 도움을 줄 수 있으며 항해중 어떠한 선체운항 조건 변화에도 본선에서 즉시 검증 후 수행과정을 도출시킬 수 있다고 판단된다.

현재 STX 조선에서는 본 개발품을 활용하여 자동화된 Ballast Water Exchange Sequence를 생성해서 사용하고 있으며, 이 개발품은 신조선 및 현존선 모두 보편타당성을 유지하면서 광범위하게 적용할 수 있고, 신조선의 경우 초기설계시 최적구획 결정을 위해 사전 검증할 수 있는 방법으로 활용 할 수 있다.

그러나 아직 다음과 같은 사항에서 더욱 연구, 보완되어야 할 것이다.

① 현재 개발 대상으로 삼은 Tanker선의 경우, 고려해야 할 특수한 조건이 다소 적은 선종이므로 향후 Bulk선이나 Container선에 대한 적용을 위해서는 추가적인 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것이다.

② 현재 개발 Program이 대체적으로 만족스러운 결과를 도출하지만 적용예가 STX조선㈜에서 건조되는 중형 TANKER선에만 국한되어 있어 대/초대형 Tanker선에는 연구개발이 더 필요하다. 또한 Ballast Pump의 수가 많고 수창의 배치가 많은 선에 대해서도 추가 연구 개발이 필요하다.

현재 Program에서는 중형 Oil Tanker의 적용 가능성 유무를 실무로 검증하였으며 향후 검증 확인이 특별히 요구되는 Fine Hull Ship인 Gas Carrier 및 타선종(특수선종 포함)의 적용에 있어 여러 가지 측면(생성 Time, Pumping Mode, Man Hour, 범용성 등)에서의 부족한 부분을 충족시키기 위해서 최적화를 위한 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것이다

후기

금번과제 공동연구개발의 중요성을 고려하여 배려해주신 STX조선㈜의 김성기 부사장님과 핵심적인 기술지도를 해주신 조선대 박제웅 교수님께 감사드립니다.

참고문헌

[1] IMO Resolution A.868(20)
[2] LR EP (Pt.7 Ch.11), 2001년
[3] DNV CLEAN, CLEAN-DESIGN (Pt.6 Ch.12 Sec.3), 2000년
[4] ABS ES (Guide for the Class Notation Environmental Safety), 2001년
[5] BV CLEAN-SEA, CLEAN-AIR (Pt.A Ch.5 Sec.7), 2001년
[6] GL, Guidelines on Ballast Water Management, 2001년
[7] Principle of Naval Architecture.
[8] 이론선박 공학
[9] 박제웅 편저, 시스템 설계 공학
[10] James Rum Baugh / Michael blaha / William Premelani / Frederick Eddy / William Lorensen, Object-Oriented Modeling and Design
[11] 현대경영연구소, Pert / CPM 실무
[12] 민성기, 시스템엔지니어링
[13] 극동기술경영연구원 신용하, 장동훈, 이인우, 기술 경영론
[14] 이철영, 항만 물류 시스템
[15] 백인태, 컨테이너 터미널의 물류정보처리
[16] 손기준, Chemical Tanker의 안전운항 개요
[17] 남청도, 이도진, 황의창, 유조선 운항실무 (Marpol 73/78에 의거한)
[18] Melanie Mitchell, An introduction to Genetic algorithm
[19] 김훈규 인하대학교 자동차공학과, A study on the erection process planning in shipbuilding using genetic algorithm
[20] Russell D. Mellor, Department of industrial engineering, anburn university yavuz A. Bower, Department of industrial and operations Engineering, the university of Michigan, A new simulated annealing algorithm for the facility layout problem
[21] 김 윤영 Kyushu university, Smart-Nesting system with optimal cutting path planning considering minimum heat effect.