

# MARPOL 손상 복원성 기준을 고려한 Loading Condition 결정

김성훈<sup>†</sup>  
한진중티엠에스

## Loading condition decision considering MARPOL damage stability criteria

Seong-Hoon Kim<sup>†</sup>  
HHIC-TMS

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

In case of crude oil tanker, loading condition must be satisfied MARPOL damage stability criteria (Reg.28). But some specific demands are hard to content the criteria. So, it takes a lot of time and efforts to make loading condition reflecting these demands. In this study, PSO (Particle Swarm Optimization) is used to make loading condition to be satisfied the criteria. Study result is applied 'CROSSWAY (160,000 DWT Crude Oil Tanker)' in NAPA. The result shows that satisfy the criteria and other constraints and limitation.

**Keywords** : Loading condition(적하 조건), Particle Swarm Optimization(PSO, 입자 군집 최적화), MARPOL Damage Stability(MARPOL 손상 복원성)

## 1. 서론

Oil Tanker의 경우 loading condition은 설계뿐만 아니라 운항 중에도 MARPOL 손상 복원성 규정(IMO, 1997)을 만족해야 한다. 선주는 선박 운항 경제성의 극대화를 위해 MARPOL 손상 복원성 기준을 만족하기 어려운 loading condition을 요구하는 경우가 있다. 이와 같은 경우, Fig. 1과 같이 설계자의 경험을 바탕으로 한 반복 작업의 경우 loading condition을 작성하는데 많은 시간이 걸린다.

이번 연구에서는 Fig. 2와 같이 Particle Swarm Optimization(PSO)를 사용하여 MARPOL 손상 복원성 기준을 만족하는 loading condition 최적화 방법을 제시한다. 그리고 이 방법을 실제 160,000 DWT Oil Tanker인 'CROSSWAY'에 적용하여 적용가능성을 검토하였다.

## 2. PSO 알고리즘

### 2.1 PSO 알고리즘 특징

PSO알고리즘(Kennedy and Eberhart, 1995)은 진화형 계산 기법의 일종으로 이론이 간결하며 구현이 용이하다. 또한 연산이 효율적이며 다른 확률적 방법 보다 안정적인 수렴 특징

을 가지고 있다. 특히, 많이 쓰이는 유전자 알고리즘과 비교하여 계산시간이 적다(Hassan, et al., 2004).

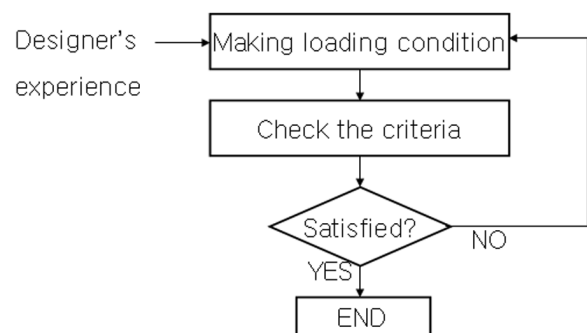


Fig. 1 Procedure of making loading condition using designer's experience

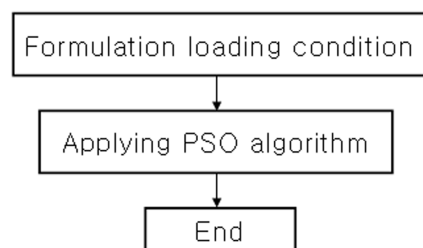


Fig. 2 Procedure of making loading condition using PSO algorithm

<sup>†</sup> 교신저자 : seonghoon@hhic-tms.com, 010-7448-6248

PSO 알고리즘의 가장 두드러진 특징은 집단을 기본으로 한 탐색 알고리즘이다. PSO는 확률론적 최적화 알고리즘의 한 종류로서 병렬적 진화를 포함하기 때문에 다른 탐색 알고리즘의 단점인 국소 최소값에 수렴하는 것을 최소화할 수 있으며 탐색 공간 안의 정보를 사용하여 미분 가능하지 않은 목적함수에 적용 가능하여 복잡하고 불확정적인 공간을 탐색할 수 있는 장점을 가지고 있다.

### 2.2 PSO 알고리즘

[Step 0] n개의 particle을 탐색 공간 내에서 임의로 생성한다. 이들은 초기 swarm이 된다.

[Step 1] 각각의 particle들이 현재까지의 탐색 중 가장 좋은 평가값의 위치를 pbest에, swarm 전체의 particle들 중 가장 좋은 평가값을 갖는 particle의 위치를 gbest에 기억시킨다.

[Step 2] 각 개체의 다음단계 이동을 위한 속도 벡터를 식(1)에 의해서 계산한다.

$$v_j^{i+1} = wv_j^i + c_1 \cdot r_1 \cdot [pbest_j^i - X_j^i] + c_2 \cdot r_2 \cdot [gbest^i - X_j^i] \quad (1)$$

여기서  $v_j^i$ 는 i번째 swarm j번째 particle 속도,  
 $X_j^i$ 는 i번째 swarm j번째 particle 위치,  
 $pbest_j^i$ 는 i번째 swarm j번째 particle의 pbest  
 $gbest^i$ 는 i번째 swarm의 gbest  
 $w$ 는 하중계수로 본 연구에서는 [0,1]사이의 값을 사용  
 $c_1, c_2$ 는 가속 상수로서 본 연구에서는 2로 사용  
 $r_1, r_2$ 는 랜덤 상수로서 [0,1]사이의 값을 사용

[Step 3] Step2에서 계산된 속도 벡터를 기준으로 식(2)과 같이 새로운 swarm의 particle을 결정한다.

$$X_j^{i+1} = X_j^i + v_j^{i+1} \quad (2)$$

[Step 4] 종료조건을 만족하면 탐색과정을 종료하고, 그렇지 않으면 [Step 1]부터 반복한다.

## 3. MARPOL 손상 복원성 기준

MARPOL Annex 1 Regulation 28에서는 손상 구획의 결정 및 복원성 계산을 위하여 손상 구획의 크기 및 손상 복원성 기준을 제시하고 있다.

손상 복원성 기준은 아래와 같이 5가지로 제시하고 있고, 모두 만족해야 손상 복원성 기준을 만족하는 Oil Tanker로 판단한다.

- ① 최종 수선은 Opening(개구)의 하단보다 낮아야 한다.
- ② 비대칭 침수에 의한 횡경사각은 25°에서 30°사이
- ③ 복원정 곡선이 평형위치로부터 적어도 20° 범위 이상
- ④ 20° 범위 내에서 최대 잔류복원정이 적어도 0.1m 이상

- ⑤ 평형위치로부터 20° 이내의 곡선하의 면적은 0.0175m<sup>2</sup>-rad 이상

## 4. 사례 분석

Fig. 2에서 제시된 방법을 비중이 0.98 ton/m<sup>3</sup>인 화물을 하기 흘수(summer draft)까지 싣는 160,000 DWT Oil Tanker 'CROSSWAY'의 loading condition에 적용하였다. Fig. 2의 Procedure는 NAPA macro를 사용하여 작성하였다.

### 4.1 정식화

설계 변수는 Fig. 3에서 각각의 Cargo tank 및 Slop tank로 하였고 과도한 횡경사를 방지하기 위해 대칭적으로 싣게 하였다.

목적함수는 위에서 제시된 MARPOL 손상 복원성 기준 중 ①항을 만족할 경우 다른 항목도 만족되기 때문에 ①항만 고려하였다.

제약 조건은 하기 흘수, cargo tank filling ratio 및 비손상시 굽힘 모멘트(bending moment)로 하였다. Cargo tank filling ratio는 용적 조건에 따라 결정되고 전단력(shear force)을 고려하여 80%이상이 되도록 하였다. 굽힘 모멘트의 경우 비손상시 구조적 안전성을 고려한다. 비손상 복원성 및 다른 제한 조건은 하기 흘수 인 경우 만족하기 때문에 고려하지 않았다.

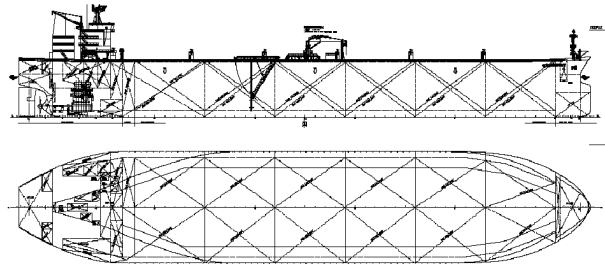


Fig. 3 Tank arrangement of 'CROSSWAY'

위와 같은 최적화 문제를 수학적으로 정식화를 하면

- 설계변수  
 NO.  $i$  Cargo Tank(P&S)  $i=1, \dots, 6$   
 Slop Tank (P&S)

- 목적함수

$$\text{Minimize } \sum_{j=1}^n x_j$$

- $x_i$ : 손상시 최종수선 아래 개구 잠긴 깊이 절대값
- $n$ : 손상시 최종수선 아래 잠긴 개구 개수

- 제약 조건  
 Equivalent draft=17,218m  
 $0.8 \leq \text{Cargo tank filling ratio} \leq 0.98$

$$BM_j \leq BM_j^{MAX}$$

여기서  $BM_j$ ,  $BM_j^{max}$ 는  $j$ 번째 loading condition에 대한 최대 굽힘 모멘트와 최대 허용 굽힘 모멘트를 나타낸다.

### 4.2 적용 결과

위의 정식화를 개체수 16개, 종료조건 10회 반복으로 하여 PSO 알고리즘에 적용하였다.

Fitness는 각 개체 중 목적함수 값이 가장 큰 값으로 두었고, Fig. 4와 같이 4번째 반복 때부터 Fitness 값이 0에 수렴하는 것을 볼 수 있었다. 목적함수 값이 0이 되면 손상시 최종 수선 아래 개구가 없는 것으로 판단 할 수 있으며, 4번째 반복 때부터 모든 개체들이 손상 복원성 기준 ①항을 만족하는 것을 알 수 있었다.

최적화 결과는 Fig. 5 및 Table 1와 같았고 Table 2와 같이 제약 조건에 포함되지 않은 제한 조건들도 만족하였다.

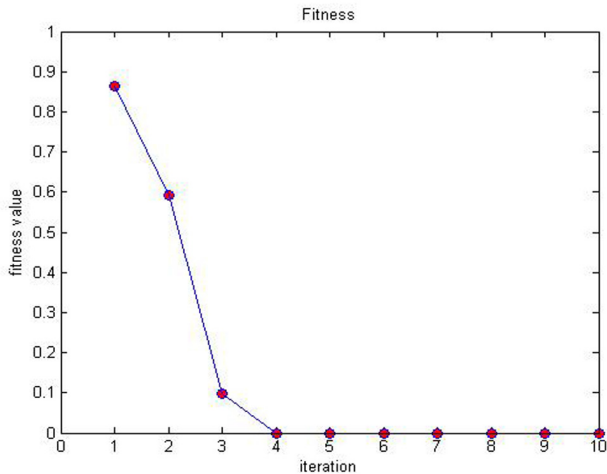


Fig. 4 Fitness

Table 1 Optimization result (constraints)

Item	Result of optimization	Constraints
Equivalent draft	17.218 m	Satisfied
Cargo tank filling ratio	0.8 ~0.98	Satisfied
% of permissible bending moment	88.375%	Satisfied

Table 2 Limitation of making loading condition

Item	Result of optimization	limitation
% of permissible shear force	81.656%	Satisfied
Intact stability criteria	Satisfied	Satisfied
Minimum visible distance	247.788m	Satisfied
Propeller immersion/diameter	207.817%	Satisfied

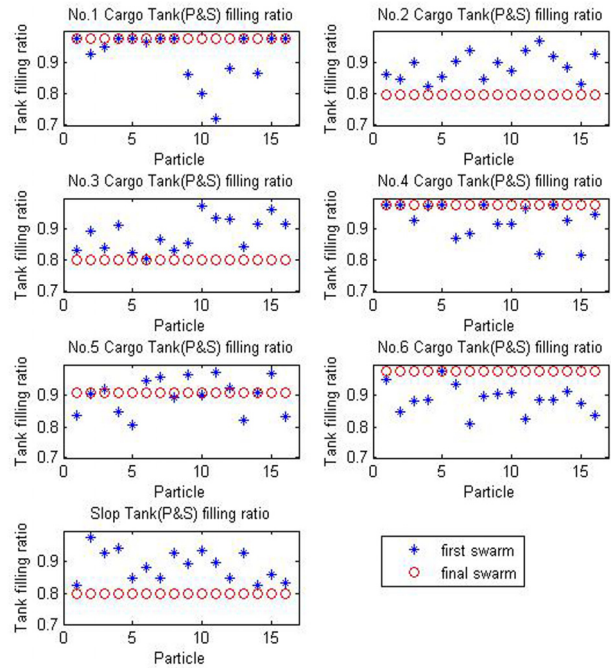


Fig. 5 Result of optimization(design variable)

## 5. 결론

본 연구에서는 PSO 알고리즘을 사용하여 MARPOL 손상 복원성 규정을 만족하는 160,000 DWT Oil Tanker의 loading condition을 작성하였다. 이를 위해, MARPOL 손상 복원성 기준 및 제약조건들에 대해 수학적으로 정식화를 하였다. 적용 결과 기존 방법 보다 효율성이 증대 되었고, 규정을 만족하는 loading condition을 신속히 찾을 수 있었다.

## References

HASSAN, Rania, et al. A comparison of particle swarm optimization and the genetic algorithm. In: *Proceedings of the 1st AIAA Multidisciplinary Design Optimization Specialist Conference*. 2005.

Kennedy, J. and Eberhart, R. C. (1995), Particle swarm optimization, *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, IV*, pp. 1942-1948.

International Maritime Organization(IMO), 1997. MARPOL 73/78 & 1984 Amend.



김성훈