

## 정유운반선 파형격벽에 대한 경량화 프로그램 개발

신상훈<sup>†\*</sup>, 고대은<sup>\*\*</sup>

현대중공업 선박해양연구소\*  
동의대학교 조선해양공학과\*\*

Development of the Weight Reduction Program for Corrugated Bulkheads of a  
Product Oil Carrier

Sang-Hoon Shin<sup>†\*</sup> and Dae-Eun Ko<sup>\*\*</sup>

Hyundai Maritime Research Institute, Hyundai Heavy Industries Co., Ltd.\*  
Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Dong-Eui University\*\*

### Abstract

For a Product Oil Carrier, longitudinal bulkhead as well as transverse one is corrugated shape in general and intersection part of bulkheads is utilized for a pipe trunk. Since lower and upper stools are to be connected with all of longitudinal and transverse bulkheads, they have a uniform height respectively. The purpose of this study is the development of design system for the minimization of total weight of longitudinal and transverse bulkheads at the initial design stage. In this study, the beam element models for longitudinal and transverse corrugated bulkheads are established and they are applied to the structural analysis. For the practical design, the selection and the position of an additional pipe trunk are considered in this study. In addition the required minimum distance between the bracket installed along the web of corrugation at lower stool and the diaphragm is taken into consideration during optimization process. Evolution strategy(ES) is adopted as an optimization technique.

※Keywords: Product oil carrier(정유운반선), Corrugated bulkhead(파형격벽), Pipe trunk(파이프 트렁크), Diaphragm(다이아프램) Evolution strategy(진화전략)

---

접수일:2008년 7월 3일, 승인일:2009년 3월 30일

† 교신저자: sshoon@hhi.co.kr, 052-202-4720

## 1. 서 론

파형격벽은 보강격벽(stiffened bulkhead)에 비해 유지(maintenance)가 용이하고, 화물의 선적 및 하역에 유리하며, 열하중에 의한 팽창 및 수축에도 자유로운 장점이 있어 선박의 격벽으로 많이 사용되고 있다. 이러한 파형격벽의 중량을 최소화하기 위한 연구도 많이 수행되어 왔으며, 원자재 값이 급등하고 있는 최근에는 그 중요성이 더 부각되고 있다. 파형격벽 최적설계에 관한 연구로 Yim et al.(1987)은 flexible tolerance method (FTM)를 이용한 연구를 수행한 바 있으며, Yum(1990)은 Hooke and Jeeves method를 이용하여 파형격벽의 최소중량설계를 수행한 바 있다. 이때 작업성보다는 최적화 방법에 중점을 두었고 초기치에 민감하여 해를 어느 정도 예상하여야만 유용한 결과를 얻을 수 있었다. Shin and Nam(2003a)은 초기치에 둔감하고 전체최소점(global minimum) 탐색에 탁월한 진화전략(evolution strategy) 기법을 이용하여 수밀 격벽의 최적설계를 수행한 바 있으며, 구조해석이 필요한 디프탱크(deep tank) 격벽의 최적설계를 수행하기 위해 Shin and Nam(2003b)은 Jang and Na(1992)가 개발한 일반화된 경사처짐법을 이용하여 살물선의 길이방향에 설치되는 모든 파형격벽의 최소중량설계를 수행한 바 있다. 지금까지의 최적설계 대상은 살물선과 중격벽이 없는 작은 유조선의 파형격벽에 국한되어 있어 정유운반선과 같이 횡격벽과 중격벽이 모두 파형격벽으로 이루어진 구조를 대상으로 확장하는 연구가 필요하다.

본 연구에서는 정유운반선의 모든 파형격벽의 최소중량설계를 수행하기 위해 횡격벽 및 중격벽의 구조해석에 보요소 모델을 적용하였고, 실선설계에 적합하도록 파이프 트렁크(pipe trunk)의 추가 유무 및 설치 위치를 고려하였다. 또한 최적화 과정에 스톨 다이어프램(diaphragm)과 브라켓의 위치를 계산하여 브라켓이 다이어프램을 관통하여 지나가는 것을 방지하고 브라켓과 다이어프램이 일정 간격이상을 유지하는 구조설계를 위한 제약조건을 반영하였다. 최적화 기법은 전역최적화 기법인 진화전략 기법을 적용하였다.

## 2. 최적화 기법

미분법(gradient method)과 직접탐색법(direct search method) 같은 최적화 기법은 전체최소점 탐색에 취약하여 직접탐색법에서 진화한 확률탐색법(stochastic search method)의 적용이 늘어나는 추세이다. 물론 확률탐색법이 장점만 존재하는 것이 아니라 과도한 탐색 소요시간이라는 단점도 존재하여, 이러한 문제를 해결하기 위한 연구도 진행되고 있다. Lee and Kim(1996)은 직접탐색법과 확률탐색법의 결합인 Hooke and Jeeves 방법과 유전자 알고리즘(genetic algorithm)의 복합형 탐색법을 제시하여 탐색시간을 줄이는 연구를 수행하였고, Na(2005)는 직접탐색법과 확률탐색법의 장점만을 결합한 Pareto 최적점 기반 다목적함수 최적화기법을 개발한 바 있다. 이러한 시도는 하나의 목적함수를 계산하는데 걸리는 시간이 비교적 큰 경우에는 매우 효율적일 것으로 보이나, 본 연구에서와 같이 구조해석에 계산속도가 빠른 보요소를 채택할 경우 확률탐색법만으로도 불과 수 분(分) 안에 결과를 얻어 낼 수 있어 탐색 소요시간의 문제에서 자유로울 수 있다. 본 연구에서 사용한 최적화 기법은 확률탐색법 중에 하나인 진화전략 기법이다.

### 2.1 진화전략 기법

진화전략 기법은 Rechenberg(1973)에 의해 처음 도입되었고, 후에 Schwefel(1981)에 의해 더욱 발전, 체계화되었다. 적자 생존과 자연 도태의 원리를 기초로 한 유전자 알고리즘과 유사하며, 크게 ( $\mu+\lambda$ ) 형태인 플러스(plus) 전략과 ( $\mu,\lambda$ ) 형태인 코마(comma) 전략으로 구분된다.

두 전략의 차이점은 선택(selection) 단계에 부모 개체의 참여 여부이다. 플러스 전략은 부모 개체와 자식 개체 모두가 선택에 참여하고, 코마 전략에서는 자식 개체만이 선택에 참여한다. 일반적으로 플러스 전략이 많이 쓰이며  $\mu$ 개의 부모 개체가  $\lambda$ 개의 자식 개체를 형성하며, ( $\mu+\lambda$ )의 모든 개체 중에서 적합성이 좋은 새로운  $\mu$ 개의 부모 개체를 형성하는 전략으로 재결합(recombination)과 돌연변이(mutation) 과정으로 자식개체를 형성한

다.

(1) 재결합 과정

$\mu$ 개의 부모 개체 중에 무작위로 2개체를 선택하며, 각 개체는 설계변수와 이동 간격(step size)으로 구성되어있으므로, 식(1)과 (2)로 나타낼 수 있다. 재결합에 의해 식(3)의 중간 개체가 생성된다.

$$a = (x_a, \sigma_a) \tag{1}$$

$$b = (x_b, \sigma_b) \tag{2}$$

$$re = (x', \sigma') \tag{3}$$

여기서,

$x$  : Design variable

$\sigma$  : Step size

$x'$  : Design variable by recombination,

$$x_a \text{ or } x_b$$

$\sigma'$  : Step size by recombination,

$$(\sigma_a + \sigma_b) / 2$$

(2) 돌연변이 과정

재결합에 의해 얻어진 중간개체에 돌연변이 과정을 통해 식(4)와 같은 새로운 자식개체를 생성시킨다.

$$\mu = (x'', \sigma'') \tag{4}$$

$$\sigma'' = \sigma' \exp[N(\Delta\sigma)] \tag{5}$$

$$x'' = x' + N(\sigma'') \tag{6}$$

여기서,

$x''$  : Design variable by mutation

$\sigma''$  : Step size by mutation

$N()$  : Gaussian random number

진화전략 기법은 유전자 알고리즘과 달리 돌연변이가 보조 연산자가 아닌 주 연산자로 사용되며 식(5)와 (6)에 나타낸 바와 같이 가우시안

(Gaussian) 무작위 함수가 사용되는 특징이 있으며, 가장 큰 특징은 식(3)과 (4)에 나타낸 바와 같이 이동 간격을 각 개체의 유전 정보의 일부로 간주하여 재결합과 돌연변이 과정에 포함시킨 것이라 할 수 있다.

진화전략 기법은 유전자 알고리즘과 같이 다개체 탐색을 수행한다. 다음은 진화전략 기법을 테스트하기 위한 단일목적함수 최적화 문제로서 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 국부최대점(local maximum point)이 24개나 존재하는 난해한 문제를 선택하였다.

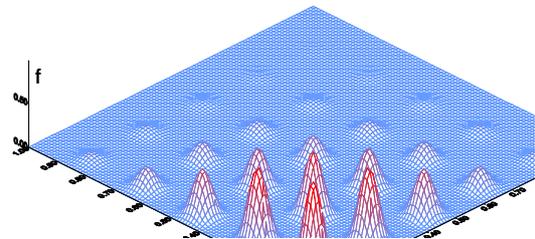


Fig. 1 Multimodal objective function (Test 1)

Test 1

$$a(x) = \sin^6(5.1\pi x + 0.5)$$

$$b(x) = \exp\left(\frac{(-4\ln 2)(x - 0.0667)^2}{0.64}\right)$$

$$f(x) = a(x_1)a(x_2)b(x_1)b(x_2)$$

$$0 \leq x_1, x_2 \leq 2$$

Find maximum objective solution.

이 문제를 해결하기 위해 5개의 부모 개체가 10개의 자식 개체를 형성하며, (5+10) plus 전략을 적용하여 수렴성 및 전체최적점 탐색 성능을 조사하였다. 결과를 Fig. 2에 나타내었다.

24개나 존재하는 국부최대점으로 이루어진 계곡을 탐색하는 것은 일반 다개체 탐색법에서도 어려운 문제라 할 수 있다. 80세대를 거치는 동안에 걸리는 시간이 1초도 안되기 때문에 세대수에 따라 탐색한 목적함수의 최대값을 도시하였다. 20세

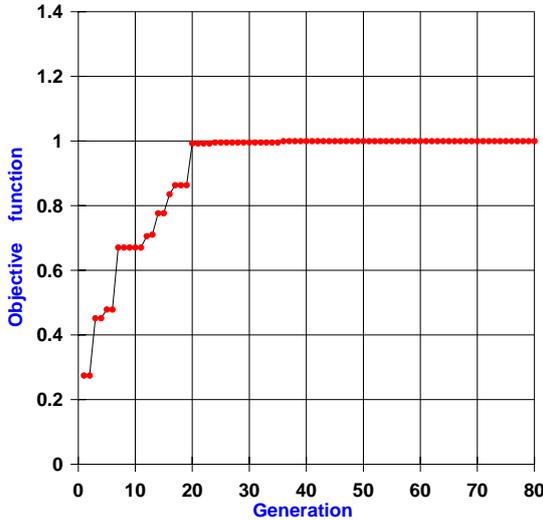


Fig. 2 Convergency result

대에 전체최대점 근방까지 탐색했음을 알 수 있고, 36세대에 전체최대점(0.06683, 0.06683)을 탐색해 내었다. 진화전략 기법은 수렴성 및 전체최대점 탐색에 매우 뛰어남을 알 수 있다. 또한, 유전자 알고리즘을 이용하여 이 문제를 해결하려면, 각 설계변수 구간을 10만분의 1 스케일로 분할하여야하므로 스트링이 매우 길어지는 현상이 나타날 것이다.

다음은 진화전략 기법을 테스트하기 위한 다목적함수 최적화 문제이다.

Test 2

$$f_1(x) = x_1$$

$$f_2(x) = g(x_2) \cdot h(f_1, g)$$

$$h(f_1, g) = 1 - \left(\frac{f_1}{g}\right)^\alpha - \frac{f_1}{g} \sin(2\pi q f_1)$$

$$g(x_2) = 1 + 10x_2$$

$$q = 4, \alpha = 2, 0 \leq x_1, x_2 \leq 1$$

Find Pareto solutions.

위에 나타낸 문제는 파레토(Pareto) 최적해들이 불연속과 비볼록(nonconvex) 형상을 갖는 문제로 진화전략에 의해 탐색한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 일반적으로 가중치법이나 제한조건식법은

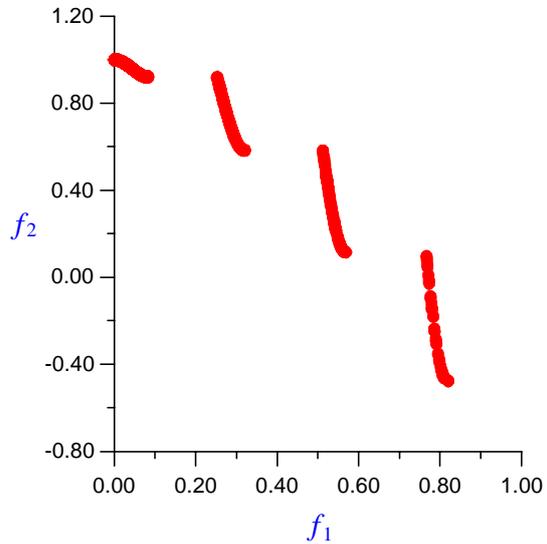


Fig. 3 Pareto solutions obtained from the evolution strategy

그 구간을 몇 개로 나누느냐에 따라 Pareto 최적해의 개수가 결정되지만, 진화전략기법은 그림에 나타낸바와 같이 가중치법이나 제한조건식법의 결합없이 독립적으로 전구간에 걸쳐 Pareto 최적해를 잘 찾고 있음을 보여준다. 이러한 다개체 탐색법을 파형격벽 최적설계에 적용하여 강재비 절감 효과를 얻고자 하는 것이 본 연구의 목적이다.

2.2 목적함수

횡격벽과 종격벽의 파형 부분의 중량, 즉 한 개의 화물창당 스톨을 제외한 파형격벽의 중량을 목적함수로 설정하였다.

살물선 디프탱크 격벽의 경우는 선박의 외판과 만나는 파형격벽 위치에 파이프 트렁크가 설치되는데, 정유운반선의 경우는 Fig. 4와 같이 횡격벽과 종격벽의 교차 부분에 설치가 되는 특징이 있다.

또한 Fig. 4와 같이 파이프 트렁크가 교차부에 추가적으로 하나 더 설치 될 수 있으므로 추가 설치 위치를 횡방향과 종방향 모두 고려할 수 있도록 하였다. 목적함수에는 파이프 트렁크의 중량도 포함된다.

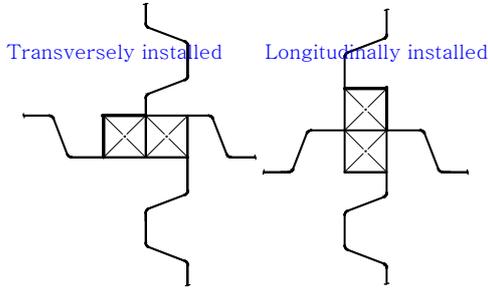


Fig. 4 Position of additional pipe trunk

2.3 설계변수

정유운반선 중격벽은 종방향 중심선(centerline)에 설치되는 것이 일반적이며, 상하부 스텔은 종·횡방향 모두 설치되기 때문에 그 높이가 종·횡 모두 같은 것이 일반적이다.

Fig. 5에 나타낸 것과 같이, 횡격벽 파형 부분의 파형 깊이( $X_1$ ), 파형판의 너비( $X_7$ ), 파형 사판의 투영길이( $X_8$ )와 중격벽 파형 부분의 파형 깊이( $XX_1$ ), 파형판의 너비( $XX_7$ ), 파형 사판의 투영길이( $XX_8$ ) 등 총 6개를 설계 변수로 설정하였으며, 이러한 치수들에 따른 각 파형의 두께는 IACS 및 선급규정에 의해 결정하였다. 또한 상하부 스텔의 치수는 설계자가 결정하는 임의의 값을 사용하도록 하였으며, 각각의 변수들은 모두 설계에 적용할 수 있도록 이산화된 값을 사용하였다.

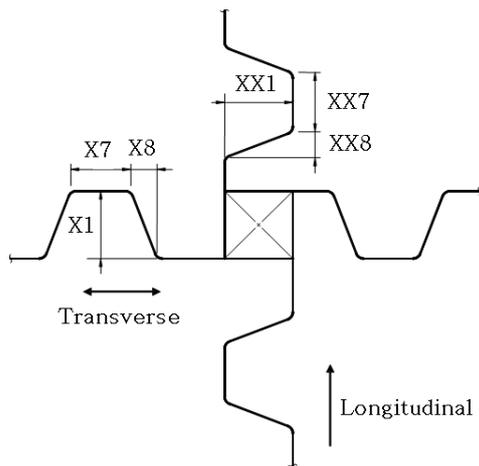


Fig. 5 Design variables

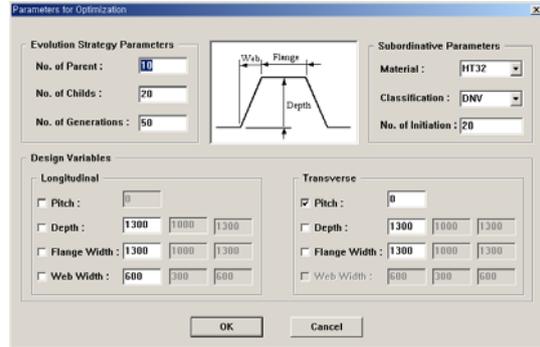


Fig. 6 Input for optimization parameters

Fig. 6은 진화전략 기법을 사용하기 위해 부모 개체의 수, 자식개체의 수, 세대(generation) 수를 입력하고, 각 설계변수 들의 상한값과 하한값 등을 입력하는 GUI(graphic user interface) 창을 보여주고 있다.

2.4 제한조건

다음과 같은 제한조건을 적용하였고, 제한조건을 위배하면 목적함수에 페널티를 부과하여 경쟁에서 의도적으로 배제시켰다.

- 1) 파형 사판의 경사각 제한: 살물선의 디프탱크 격벽의 경우 ABS선급 규정은 60도보다 작을 경우 횡방향의 강도 계산을 요구하고 있어 60도 이상을 유지하도록 하였다.
- 2) 파형 깊이 제한: 수밀격벽 설계시 IACS UR 규정의 조건으로 파형 깊이의 2.5배가 하부 스텔의 하부 폭보다 작도록 하였다. 또한, 상부 스텔의 상부 폭보다 파형의 깊이가 크지 않도록 하였다.
- 3) 제작상의 제한 : 파형의 두께가 굽힘가공 한계인 25mm보다 같거나 작도록 하였다.
- 4) 구조해석에 의한 제한 : 파형 중앙부의 압축 응력값이 임계 좌굴 응력값보다 작아야 하며, 파형 최하단부의 응력값은 각 선급의 허용 응력을 만족시키도록 제한하였다.
- 5) 작업성을 고려한 제한 : 정유운반선에서는 파형의 웨브 (파형 사판)를 따라서 하부 스텔에 브라켓이 설치된다. 이때 브라켓과 다이아프램 사이에 간섭이 일어나지 않아야 하며, 제작이 가능하도록 최소거리 이상 떨어지도록 하였다. Fig. 7

은 종격벽의 경우 브라켓이 설치된 위치와 브라켓 끝단의 위치를 나타낸다. 그림에서  $\alpha$ 는 파형 사판의 경사각을 나타내며,  $\beta$ 는 하부 스텔의 경사각을 나타낸다. 기하학적 형상에 의해 브라켓의 끝단은 파형 사판의 끝단 보다  $d$ 만큼 차이가 생긴다. 그 값은 식(7)과 같다.

$$d = \frac{s \cos \beta}{\tan \alpha} \quad (7)$$

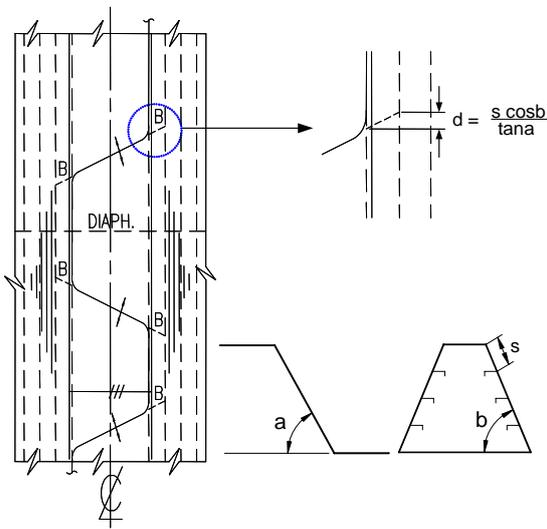


Fig. 7 Bracket end location

종격벽의 경우 각 위치들은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$pbkt(2k-1) = xx9(m) + l(k-1) - d \quad (8)$$

$$pcor(2k-1) = xx9(m) + l(k-1) \quad (9)$$

$$pbkt(2k) = xx9(m) + XX8 + l(k-1) + d \quad (10)$$

$$pcor(2k) = xx9(m) + XX8 + l(k-1) - d \quad (11)$$

여기서,  $k$ : 1~ total No. of pitch

$l$ :  $XX7 + XX8$

$pbkt(n)$ : 브라켓과 종통재의 교차점

$pcor(n)$ : 파형 끝점의 위치

$xx9(m)$ : 시작위치

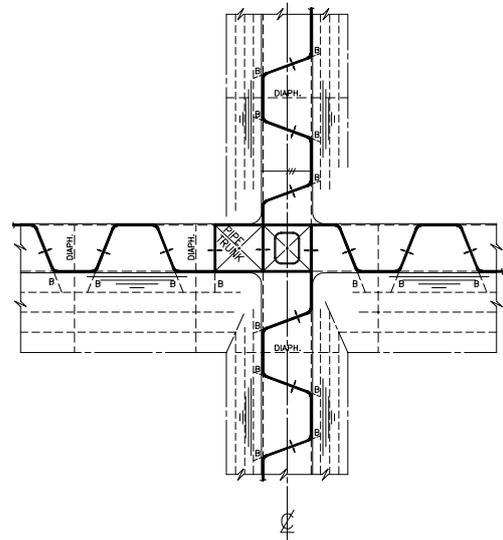


Fig. 8 Lower stool and additional pipe duct

$xx9(m)$ 은 시작점의 값으로써 파형의 웨브와 최소거리 이상이 되도록 5mm간격으로 탐색할 수 있는 최소의 점으로 600mm이상 또는 반피치 이상의 값을 갖도록 하였다. 식(8)~(11)에 나타난 위치 정보와 다이어그램의 위치 정보를 비교하여 브라켓과의 간섭을 막고 제작이 가능한 최소거리를 확보하도록 하였다. 특히, 횡격벽의 경우는 Fig. 8과 같이 하부 스텔이 경사면과 수직면으로 이루어진 경우가 많고, 파이프 트렁크가 추가로 설치되는 경우 종격벽과는 달리 많은 경우의 수를 고려하여야한다. 하부 스텔이 경사면과 수직면으로 이루어지면 브라켓이 종통재와 만나는 좌표는 피치수가 홀수와 짝수인 경우에 따라 달라지며, 파이프 트렁크가 추가로 설치되면 중심선을 중심으로 좌우의 파형 시작점들이 달라지기 때문이다. 본 연구에서는 이러한 경우를 모두 고려하였다.

Fig. 9는 파이프 트렁크의 추가 여부와 설치 위치를 입력하고, 다이어그램의 위치정보 등을 입력하는 창이다.

### 3. 2차원 보요소 모델

Fig. 10은 종격벽 및 횡격벽의 강도 계산을 위한 보요소 모델을 나타내고 있다. 하나의 파형 구

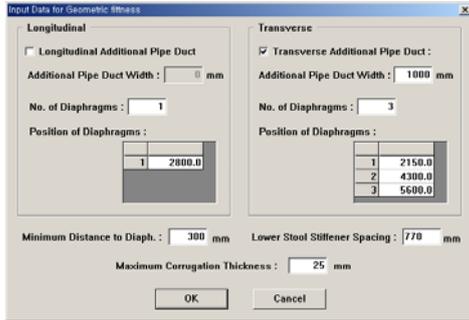


Fig. 9 Input of additional pipe duct and related data

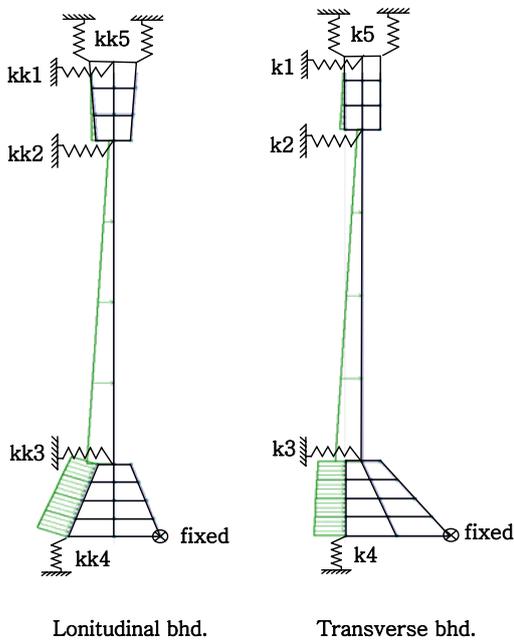


Fig. 10 Beam model

조를 보요소로 치환하여 상하부 스텔과 연결된 2차원 구조물로 이상화시킨 모델이다.

하부 스텔 윗변과 상부 스텔 아랫변에 위치한 스프링(spring)은 상하부 스텔의 비틀림 강성과 수평 방향 강성 효과를 고려하기 위함이고, 상부 스텔 윗변의 수평 스프링은 갑판에서의 수평 방향 강성 효과를 고려하기 위함이며, 수직 스프링은 수직 방향의 강성효과를 고려하기 위함이다. 하부 스텔 아랫변에 위치한 수직 스프링은 하부 스텔의

비틀림 강성에 기인한 수직 방향 강성 효과를 고려하기 위함이다. 각 스프링 상수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$kk1 = 0.8 \times b \times E / [ (\frac{T_l^2}{384 \times I_y} + \frac{0.325}{B_{efy} \times t_d}) T_l^2 ] \quad (12)$$

$$kk2 = \frac{kk1 \times kks}{kk1 + kks} \quad (13)$$

$$kks = 8 \times G \times J / [ h_u^2 \times b \times n \times (n + 2) ] \quad (14)$$

$$kk3 = 0.9 \times 3.08 \times J \times E \times b / [ h_l (T_l - B_l) ]^2 \quad (15)$$

$$kk4 = 4 \times P / Q \times kk3 \quad (16)$$

$$kk5 = 0.5 \times E / ( \frac{T_l^3}{384 \times I_z} + \frac{0.325 T_l}{A_z} ) \quad (17)$$

$$k1 = 0.8 \times b \times E / [ (\frac{T_B^2}{384 \times I_x} + \frac{0.325}{B_{efx} \times t_d}) T_B^2 ] \quad (18)$$

$$k2 = \frac{k1 \times ks}{k1 + ks} \quad (19)$$

$$ks = 8 \times G \times J / [ h_u^2 \times b \times n \times (n + 2) ] \quad (20)$$

$$k3 = 0.9 \times 3.08 \times J \times E \times b / ( h_l B_{hi} )^2 \quad (21)$$

$$K4 = 4 \times P / Q \times k3 \quad (22)$$

$$k5 = 0.5 \times E / ( \frac{T_B^3}{384 \times I_z} + \frac{0.325 T_B}{A_z} ) \quad (23)$$

여기서,

- $b$  : Width of model
- $E$  : Young's modulus
- $T_l$  : Tank length
- $I_y$  : Moment of inertia contributed to transverse direction
- $B_{efy}$  : Effective breadth of transverse direction

- $t_d$  : Deck thickness
- $G$  : Shear modulus
- $J$  : Torsional constant of stool
- $h_u$  : Height of upper stool
- $n$  : No. of torque or no. of equivalent girders on upper stool  
 $n = (C/b)-1$   
 $C = \text{Length of upper stool}$
- $h_l$  : Height of lower stool
- $B_l$  : Lower part breadth of lower stool
- $P = 1/[1 + (\frac{h_l}{B_l})^2]$
- $Q = 1 - P$
- $I_z$  : Moment of inertia contributed to vertical direction
- $A_z$  : Web area contributed to vertical direction
- $T_B$  : Tank breadth
- $I_x$  : Moment of inertia contributed to longitudinal direction
- $B_{efx}$  : Effective breadth of longitudinal direction
- $B_{ht}$  : Length between hopper tanks

Figs. 11-12는 각각 보요소 모델의 스프링 상수 계산 및 구조해석을 위한 입력창을 나타내고 있다.

4. 결과 및 고찰

Fig. 13은 최적화 결과를 보여주는 창으로 종격벽 및 횡격벽의 총중량이 최소가 될 때의 설계변수들과 각 격벽들의 최적위치들을 나타내주며, 관심부위의 응력값들과 허용응력 등을 보여준다.

Fig. 14는 최적화 결과에 대한 제한조건들의 값을 보여주는 창으로 제한조건들의 크기를 하나의 창에 표기하기 쉽도록 무차원화 하였고, 각 제한조건들에 대한 설명을 표기하였다. 그래프상에서 모두 0보다 큰 값을 나타내어야만 모든 제한조건을 만족함을 의미하며, 각 제한조건들의 여유 정도를 쉽게 알아볼 수 있도록 하였다.

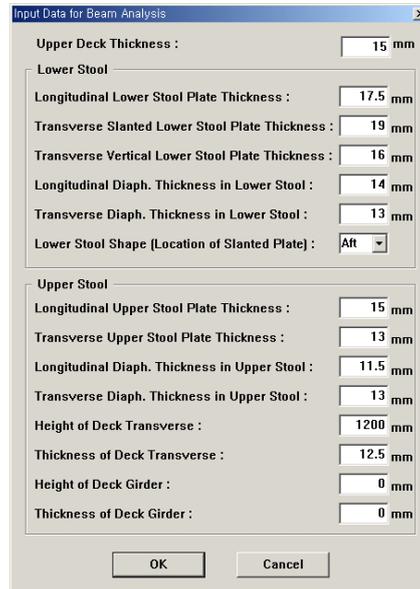


Fig. 11 Input of stool data

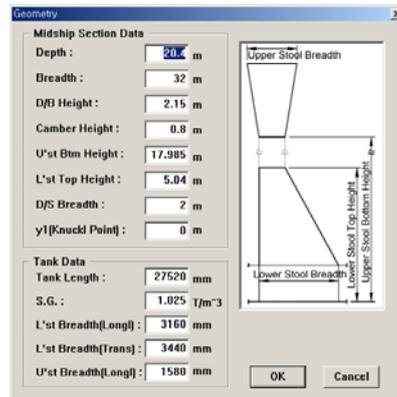


Fig. 12 Input of midship data

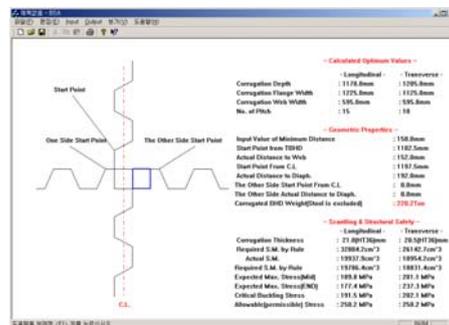


Fig. 13 Optimum results

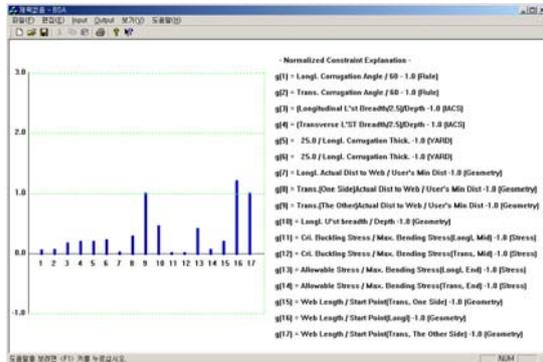


Fig. 14 Output of constraints

4.1 실적선과의 비교

주요 제원이 같고 관련 선급만 다른 실적선인 70K급의 정유운반선을 대상으로 최적화 결과와 실적선의 치수를 Table 1에 정리하였다.

최적화 결과는 DNV 선급 요구사항에 따라 설계한 실적선에 비해 약 3%정도의 중량 절감 효과를 보이지만, LR 선급 요구사항에 따라 설계한 실적선에 비해서는 약 7%정도의 큰 절감 효과를 보여준다. 작업성을 고려한 결과이므로 그 효과의 의미 있다고 할 수 있다.

Table 1 Comparison of optimum results(mm)

Design variable	LR		DNV	
	Existing ship	Optimum result	Existing ship	Optimum result
X1	1250	1175	1150	1120
X7	1100	1140	1150	1125
X8	480	440	430	455
XX1	1250	1160	1150	1130
XX7	1240	1215	1240	1215
XX8	480	515	480	500
Weight (ton)	172.6	160.5	167.2	162.5
ratio	-	93.0%	-	97.2%

4.2 3차원 유한요소해석과의 비교

Table 2는 최적화 치수에 대한 2차원 보요소의 응력값과 3차원 유한요소해석으로 얻은 응력값을 비교한 표이다. 대부분의 경우 3차원 유한요소해석의 결과와 6% 이내의 오차가 발생하였다. 특히, 종격벽의 경우는 중앙부나 선저부 모두 5% 이내의 오차를 보여 본 해석방법이 실제 거동을 잘 나타낸다고 볼 수 있다. 보 해석으로 구한 응력이 크므로 좀 더 정확한 구조해석 결과를 얻을 수 있다면 더 큰 절감 효과를 얻을 수 있겠으나, 해석의 오차를 안전여유로 간주하였다.

Table 2 Comparison of structural analysis results

Class	Position		Stress (MPa)		Error rate (%)
			2D Beam	3D FEM	
LR	Trans. Bhd.	Center	166.1	166.0	0.1
		Bottom	216.7	203.8	6.3
	Longi. Bhd.	Center	162.7	159.5	2.0
		Bottom	180.2	178.5	1.0
DNV	Trans. Bhd.	Center	170.8	161.1	6.0
		Bottom	229.7	204.1	12.5
	Longi. Bhd.	Center	165.1	165.1	0.0
		Bottom	167.8	160.2	4.7

4.3 유형 효과

70K급 정유운반선에 적용할 경우 중량 절감 효과는 다음과 같다.

- DNV 선급 :  $(167.2-162.5) \times 5.5EA=26(\text{ton})$   
26 ton/척 절감 예상
- LR 선급 :  $(172.6-160.5) \times 5.5EA=67(\text{ton})$   
67 ton/척 절감 예상

LR 선급 요구사항에 따라 설계한 실적선에 비해서는 척당 67 ton이라는 큰 강재비 절감 효과를 얻을 수 있으며, 이 프로그램을 스테인레스강이나

클래드강과 같은 고가의 강재로 구성된 화학제품 운반선에 적용한다면 상당한 비용 절감 효과를 얻을 수 있을 것이라 사료된다.

정유운반선의 경우 지금까지는 파형격벽의 응력값을 예측하지 못하여 파형 단면의 형상을 조금씩 변경하면서 기존의 실적선 자료를 바탕으로 설계해 왔고, 시간상의 제약으로 구조해석을 통한 응력값을 일일이 확인할 수 없는 실정이었다. 본 연구는 정유운반선 파형격벽의 응력값을 유사하게 예측할 수 있는 보요소 모델을 정립하여 이러한 문제를 해결하였으며, 최적화 기법과 결합하여 파형격벽 최소중량설계를 용이하게 수행할 수 있고, 제작상의 제한조건들을 충분히 고려하여 실제 선박 건조에 유용하도록 하였다.

## 5. 결 론

본 연구는 정유운반선의 모든 파형격벽에 대한 최소중량설계를 위해 횡격벽 및 종격벽을 모사할 수 있는 보요소 모델을 구성하였다. 전체 최적점 탐색에 탁월한 진화전략 기법을 채택하여 70K급 정유운반선에 적용한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 최적화 결과를 보면 DNV 선급 요구사항에 따라 설계한 실적선에 비해 약 3% 정도의 중량 절감 효과를 보이지만, LR 선급 요구사항에 따라 설계한 실적선에 비하면 약 7% 정도의 큰 절감 효과를 보여준다. LR 선급 요구사항에 따라 설계한 실적선과 비교하면 적당 67 ton의 중량 절감을 예상할 수 있으며, 설계 공수를 줄이는데도 크게 기여할 것으로 사료된다.
- 2) 3차원 유한요소해석 결과와 비교해 보면 대부분 약 6% 이내의 오차를 보인다. 해석의 정도를 높인다면 더 정확한 최적화 결과를 얻을 수 있으나, 오차가 크지 않고 어느 정도의 안전 계수를 도입한다는 측면에서 긍정적이라 할 수 있으며, 본 연구에 적용된 2차원 해석이 실 구조물의 거동을 잘 나타낸다고 할 수 있다.
- 3) 작업성을 충분히 고려하도록 제한조건을 설정하였다. 최소중량을 주는 설계변수 값이라 하더라도

도 작업성을 위반하면 도태되도록하여 프로그램의 실용성을 높였다.

## 참 고 문 헌

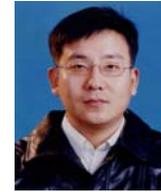
- Jang, C.D. and Na, S.S., 1992, "On the Development of the Generalized Slope Deflection Method for the Analysis and Design of Ship Structures," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 29, No. 4, pp. 202-213.
- Lee, D.K. and Kim, S.Y., 1996, "Techno-economic optimization of an LNG carrier with multi-criteria in the preliminary design stage. Journal of Ship Production," Vol. 12, No. 3, pp. 141-152.
- Na, S.S., 2005, "Development of a Multi-objective function Method Based on Pareto Optimal Point," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 42, No. 2, pp. 175-182.
- Rechenberg, I., 1973, Evolutionsstrategie: Optimierung Technischer Systeme nach Prinzipien der Biologischen Evolution, Frommann-Holzboog Verlag, Stuttgart.
- Schwefel, H.P., 1981, Numerical Optimization of Computer Models, Wiley, Chichester.
- Shin, S.H. and Nam, S.K., 2003a, "A Study on Optimum Structural Design of the Corrugated Bulkhead Considering Stools," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 40, No. 4, pp. 53-58.
- Shin, S.H. and Nam, S.K., 2003b, "Minimum Weight Design for Watertight and Deep Tank Corrugated Bulkhead," Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 40, No. 6, pp. 12-19.
- Yim, S.J., Kim, G.H. and Yang, Y.S., 1987, "Optimum Structural Design of a Corrugated Bulkhead by Using Flexible Tolerance Method," Journal of the Society of Naval

Architects of Korea, Vol. 24, No. 4, pp. 45-52.

- Yum, J.S., 1990, Minimum Weight Design of Corrugated Bulkheads Using the Generalized Slope Deflection Method, M.S Thesis, Seoul National University.



< 신 상 훈 >



< 고 대 은 >