

다단계최적화방법에 의한 선박구조물의 동특성의 최적변경법에 관한 연구

박성현* · 박석주** · 고재용*** · 남정길****

Study on Optimum Modification Method of Dynamic Characteristics of Ship Structures by Multi-level Optimization

S. H. Park · S. C. Park · J. Y. Ko · J. K. Nam

Key words : Multi-level Optimization(다단계최적화방법), Ship Structure(선박구조물),
Dynamic Characteristics(동특성), Optimum Modification Method(최적변경법)

Abstract

This paper discusses the multi-level optimization method in dynamic optimization problems, through stiffened plate of ship structures. In structural optimization, the computational cost increases rapidly as the number of design variables increases. And we need a great amount of calculation and time on problems of modified dynamic characteristics of large and complicated structures. In this paper, the multi-level optimization is proposed, which decreases computational time and cost. The dynamic optimum designs of stiffened plate that control the natural frequency and minimize weight subjected to constraints condition are derived.

The way to apply the multi-level optimization methods in this study follow:

In the first step, the dynamic characteristics is controlled for the two-dimensional model of stiffened plate by sensitivity analysis and quasi-least squares methods. In the second step, the cross-section of the stiffener is decided so that the weight is minimized under needed constraints by the steepest descent or ascent method. In the third, the three-dimensional model is made based on the results of the first step and the second step, confirmation and finer tuning of the objective function are carried out.

It is shown that the results are effective in the optimum modification for dynamic characteristics of the stiffened plate.

* 일본 큐슈대학 박사과정(원고접수일 : 99년 5월)
** 한국해양대학교 해양과학대학 조선공학부
*** 목포해양대학교 해양및조선공학부
**** 현대자동차 설계실

1. 서론

선박구조해석의 기술과 능력은, 대형 고속전자 계산기의 보급에 의해 급격하게 발전하였고, 더욱이 현재에도 보다 복잡하고 큰 구조물의 정밀한 해석을 위하여 많은 연구가 진행되고 있다. 구조물의 최적설계의 분야에도, 계산기에 의한 최적화수법을 이용하는 연구가 이루어지고 있다¹⁾. 그러나, 선박구조물의 최적설계에는, 선체구조의 복잡성, 대형화, 요구성능의 다양성, 수많은 제약조건 등으로 인해 많은 어려운 문제들이 수반되고 있다. 또한, 선체구조설계에 유한요소법등의 구조해석법을 이용하려고 하는 경우, 1회의 해석 만에도 많은 계산을 필요로 하는 구조해석을 몇 번이고 반복계산을 해야 되기 때문에, 상당히 많은 계산시간과 용량이 필요하게 된다. 이 때문에, 단순화한 구조요소별의 최적화, 요구성능별의 최적화 등이 필요하다²⁾. 또한, 설계변수나 제약조건이 많은 대규모의 복잡한 구조물의 최적설계의 경우에는, 그 구조물을 몇 개의 부분구조로 분할하여 최적화 하는 방법을 생각할 수가 있다³⁾.

본 연구에는, 감도해석법, 최적구조변경법, 최급강하법을 이용한 다단계 최적화 방법을 선박구조의 동적 최적설계에 적용한다. 선체구조는 격벽판, 갑판, 측외판, 선저판 등의 판과 보강재로 이루어진 보강판 구조의 조합으로 구성되어 있다.

그러므로 본 연구에서는 선박의 보강판 구조물을 해석모델로 채택하고, 보강판 구조물의 동특성의 변경과 중량을 줄이기 위한 최적설계에 다단계 최적화 방법을 적용하여, 그 방법의 유효성에 대하여 검토한다.

2. 다단계 최적화 방법

설계대상 구조물이 많은 부재를 가지는 경우에, 설계변수와 제약조건이 증대, 구조해석과 감도해석에 따르는 계산량의 증대를 해결하기 위하여, 몇 개의 단계로 나누어서 최적화 하는 방법을 생각할 수 있다. 본 연구에서 이용하는 다단계 최적화 방법은 3개의 단계로 나누어서 해석모델을 최적화 하는 방법이다.

첫 번째 단계에서는, 구조물을 몇 개의 부분 구조로 분할하고, 각 부분에 포함되어 있는 설계변수의 관계를 조사하여 대표적인 변수를 설계변수로 설정한다. 즉, 구조물 전체의 설계변수를 줄여서 최적화를 실행한다.

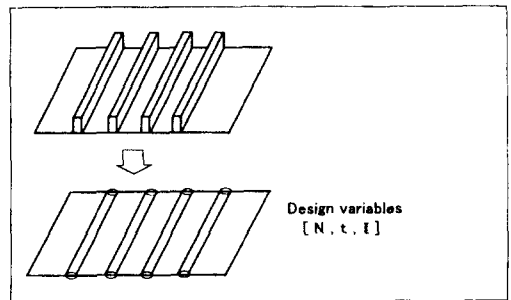
두 번째 단계에서는, 첫 번째 단계의 최적화에서 얻어진 최적해에 대하여 각 부분 구조의 최적해를 구한다.

세 번째 단계에서는, 구조물 전체를 재해석하여 최종적인 최적화를 실행한다.

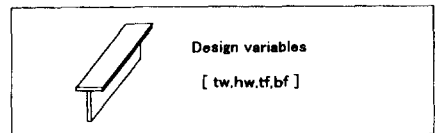
본 연구에서 이용하는 다단계 최적화 방법의 흐름도를 Fig.1에 나타낸다.

먼저, 보강재를 보요소로 바꾸어서 평면 구조모델을 작성하고, 그에 대한 동특성의 최적화를 실행한다. 다음으로, 보강재의 중량을 최소로 하는 보강재의 단면형상을 결정한다. 마지막으로, 입체모델을 작성한 후 확인계산을 하여, 목표치에 달성될 때까지 미세조종을 실행한다.

1st step



2nd step



3rd step

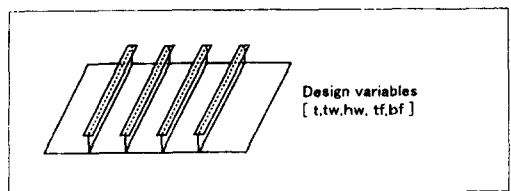


Fig. 1 Multi-level optimum design process

2.1 첫 번째 단계

첫 번째 단계에서는 입체 보강판 구조물을 평면 구조로 모델화하여, 동특성의 최적화를 실시한다. 보강판을 Panel 부와 보강재부로 분할하고, 보강재를 보요소로 취환한다. Panel 부의 설계변수로는 Panel 두께, 보강재부의 설계변수로는 보강재보의 단면2차 모우멘트로 한다. 이 2개의 설계변수에 대하여 동특성의 해석과 감도해석을 하여, 최적구조변경법으로 설계변수의 변경량을 계산한다. 얻어진 변경량을 초기 치에 합하여 평면모델의

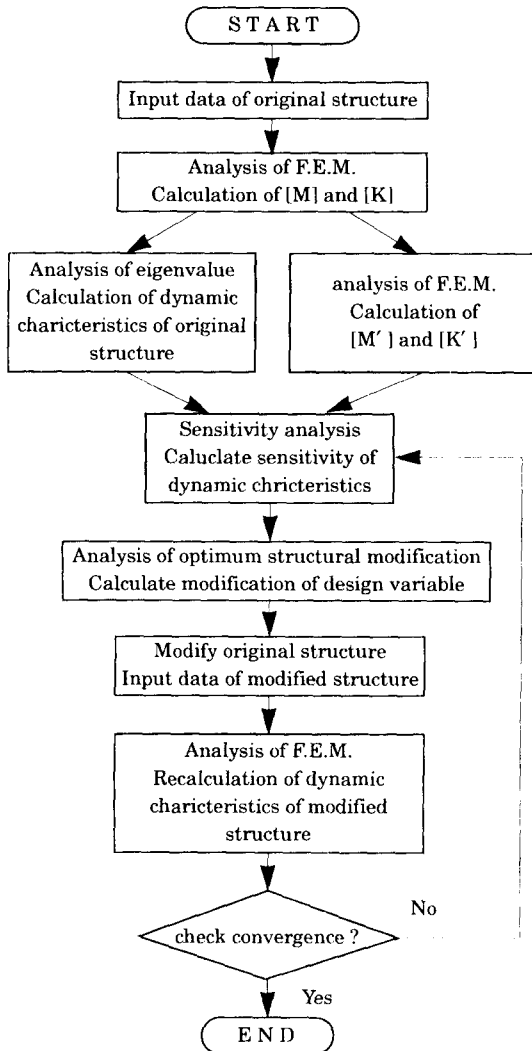


Fig. 2. Flow chart of present optimization process

동특성을 재해석하고, 결과를 검토한 후, 만족스런 결과가 얻어질 때까지 계산과정을 반복한다. 첫 번째 단계의 최적화 계산과정을 Fig.2에 나타낸다.

2.1.1 감도해석법

감도해석은 구조물의 형상, 치수, 재료 등의 설계변수의 변경에 의한 구조물의 정적, 동적 특성의 변화율을 구하는 것이다. 감도분포를 계산하면, 고유진동수나 특정 점에 대한 고유Mode의 크기를 가장 효율적으로 변경하기 위해서는 어느 부분을 수정하면 좋을지를 알 수 있다. 또한, 설계변수가 동특성에 어떤 영향을 미치는지를 알 수 있어서 초기 설계시의 기초자료로 이용할 수 있다[4].

비감도계의 고유치 문제는 설계변수의 변경전 후에 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(\lambda_{0\gamma}[M_0] - [K_0]) \{\Phi_{0\gamma}\} = \{0\} \quad (1)$$

$$(\lambda_\gamma[M] - [K]) \{\Phi_\gamma\} = \{0\} \quad (2)$$

여기서, [M] : 질량행렬, [K] : 강성행렬, $\lambda_\gamma, \{\Phi_\gamma\}$: γ 차의 고유치와 고유Mode이다. 설계변수 γ 가 γ_0 로부터 미소량 ϵ 만큼 변화했을 경우, [M], [K], $\lambda_r, \{\Phi_r\}$ 를 γ 의 미소변화량 ϵ 에 관해서 Taylor 전개하고 (2)식에 대입하면,

$$([K_0] - \lambda_{0\gamma}[M_0])\{\Phi'_\gamma\} = (\lambda_{0\gamma}[M'] + \lambda'_\gamma[M_0] - [K'])\{\Phi_{0\gamma}\} \quad (3)$$

위의 (3)식에 $\{\Phi_{0\gamma}\}^T$ 를 곱하면, (4)식과 같이 된다.

$$\{\Phi_{0\gamma}\}^T (\lambda_{0\gamma}[M'] + \lambda'_\gamma[M_0] - [K'])\{\Phi_{0\gamma}\} = \{0\} \quad (4)$$

여기에, Mode질량행렬을 정규화 하여 대입하면, 다음과 같이 고유치의 감도를 구할 수 있다.

$$\lambda'_\gamma = \{\Phi_{0\gamma}\}^T ([K'] - \lambda_{0\gamma}[M])\{\Phi_{0\gamma}\} \quad (5)$$

2.1.2 최적구조변경법

감도행렬을[A], 설계변수의 변경 량을{x}, 변경하려는 목표치와 현재치와의 차를{y},로 하는 경우의 최적구조변경 문제는, 다음과 같이 연립1차방정식으로 나타낼 수 있다.

$$[A] \{x\} = \{y\} \quad (6)$$

(6)식에서 행렬[A]가 보통 정방행렬이 아니므로, 최소화승해를 구하는 문제가 된다.

1. 감도행렬 [A]의 행의 크기가 열의 크기보다 클 경우

변경파라미터의 수가 변경하는 동특성의 수보다 적은 경우에는.

$$S = |[A](x) - (y)| \tag{7}$$

과 같은 S를 최소로 하는 미지수를 결정하는 일반적인 최소화승법을 이용한다⁵⁾. 위의 경우에 설계변수의 변경량은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\{x\} = ([A]^T [A])^{-1} [A]^T \{y\} \tag{8}$$

2. 감도행렬 [A]의 열의 크기가 행의 크기보다 클 경우

일반적으로 구조변경의 문제에는, 변경파라미터의 수가 목적함수의 수보다 많으므로, 해를 쉽게 구할 수 없는 경우가 많다. 이 경우에는 행렬 [A]의 일반 역행렬 [A]⁻¹로, 설계변수의 변경량을 계산하는 擬似最小自乘法을 이용한다⁶⁾.

역행렬 [A]⁻¹의 개념을 확장한 일반 역행렬 [A]⁻¹는 행렬 A가 정칙행렬이 아닌 경우 (det |A|=0), 또한 장방형행렬의 경우에도 정의되며, 특히 A가 정방행렬이고, 정칙인 경우에는 역행렬 [A]⁻¹와 일치한다.

일반적으로 다음과 같은 조건을 만족하는 X를 A의 일반 역행렬 [A]⁻¹라고 한다.

$$AXA = A, XAX = X, (AX)^* = AX, (XA)^* = XA \tag{9}$$

(*은 복소행렬의 공역전치행렬을 의미)

위의 일반 역행렬이 수치계산적인 입장에서 중요한 의미를 가지는 것은, 연립방정식 Ax=b의 최소 2승해는, x=[A]⁻¹에 의해서 구해진다는 정리 때문이다. (6)식의 경우 설계변수의 변경량은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\{x\} = [A]^{-1} \{y\} \tag{10}$$

2.2 두 번째 단계

두 번째 단계에서는, 첫 번째 단계에서 구한 최

적해에 대하여, 최급강하법을 이용하여 보강재의 중량을 최소로 하는 보강재의 단면형상을 결정한다. 보강재는 T자형 보강재로 한다. T자형 보강재의, Web의 두께 t_w와 깊이 h_w, Flange의 두께 t_f와 폭 b_f의 4개를 설계변수로 한다. 목적함수는 보강재 한 개의 중량 w_s를 최소화하는 것으로 하고, 제약조건으로는, 첫번째 단계에서 구한 보의 단면 2차 모우멘트, 규정에 의거한 단면계수의 최소치와 보강재의 응력을 고려한 Web와 Flange의 최소두께로 한다.

2.2.1 최급강하법

최급강하법은 경사를 기초로 한 비선형 최적화 문제의 반복해법 중에서 대표적인 최적화 방법의 하나이다. 이 방법은, 설계변수가 변화했을 경우 목적함수나 제약조건의 변화비율, 즉 경사벡터를 탐색의 방향결정에 활용하는 것이다. 또한 최적설계의 경우에 있어서, 설계자가 설계변수의 변화에 따른 목적함수나 제약조건의 물리량의 변화를 쉽게 파악할 수 있기 때문에 유력한 최적화 방법의 하나라고 할 수 있다.

$$\text{설계변수} : x = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}^T$$

$$\text{목적함수} : f(x) = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

$$\text{제약조건} : g_i = g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \geq 0 \quad (i = 1, 2, \dots, k)$$

$$\text{경사벡터} : \nabla f(x) = \left\{ \frac{\partial f}{\partial x_1}, \frac{\partial f}{\partial x_2}, \dots, \frac{\partial f}{\partial x_n} \right\}^T$$

위의 같은 최적화 문제의 경우, 설계변수는 다음의 (11)식에 의해 계산할 수 있다.

$$x^{i+1} = x(i) \pm \tau \cdot \nabla f(x(i)) \tag{11}$$

위식은, i+1번째의 설계변수는, i번째에 적합한 정수(Step폭)에 경사벡터를 곱한 것을 수정량으로 하여 i번째 값에 가감하는 것을 의미한다. 식에서 정(+), 부(-)는 각각 최대치 문제와 최소치 문제에 대응하는 것이다.

2.3 세 번째 단계

세 번째 단계에서는 첫 번째, 두 번째 단계의 최적해를 바탕으로 입체구조모델을 작성하고, 동특성을 재해석한다. 목적함수가 목표치에 도달되지

않은 경우에는 첫 번째, 두 번째 단계에서 얻어진 값을 초기치로 하여 구조변경을 하여, 만족스런 결과가 얻어질 때까지 반복계산을 한다.

3. 다단계최적화방법에 의한 보강판의 최적화

3.1 해석모델

선체구조의 단면은, 갑판, 선측, 선저 등 각각의 중통재부재로 보강한 보강판으로 간주할 수 있다. 그러므로, 본 연구에서는 보강판 구조를 해석모델로 하고, 보강판의 동특성의 최적변경에 다단계 최적화방법을 적용한다. 해석대상인 보강판 모델을 Fig.3에 나타낸다. 폭 a , 길이 b , 두께 t 의 판에, 높

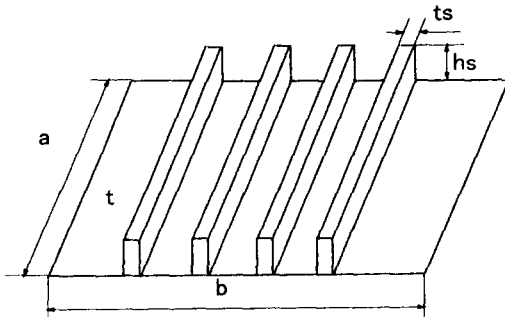


Fig. 3 Stiffened plate model for analysis

Table 1. Dimensions of stiffened plates

a (m)	b (m)	N	S (m)	t (mm)	Wp (kgf)	R	Ws (kgf)	W (kgf)
4.2	3.0	4	0.84	7.8	772.5	5	529.3	1,301.8
						10	419.9	1,192.4
						15	366.7	1,139.2
						20	334	1,106.5
		5	0.70	7.1	703.2	5	588.7	1,291.9
						10	460.9	1,164.1
						15	408.6	1,111.8
						20	368.4	1,071.6
		6	0.60	6.6	653.6	5	636.7	1,290.3
						10	505.4	1,159
						15	440.1	1,093.7
						20	400.7	1,054.3
		7	0.525	6.2	614.0	5	679.8	1,293.8
						10	540.8	1,154.8
						15	471.5	1,085.5
						20	419	1,043

이 h_s , 두께 t_s 의 Flat-Bar Type의 보강재가 등간격으로 배치되어 있는 보강판을 해석 모델로 한다.

보강판의 제원은 일본해사협회의 강선규칙을 참고로 하여 결정했다⁷⁾. 그 제원을 Table1에 나타낸다. N는 보강판에 설치하는 보강재의 개수, W_p , W_s 는 판넬의 중량과 보강재의 중량이고, W는 보강판의 총중량이다. S는 보강재 중심간의 거리이며, R은 보강재의 치수비 h_s/t_s 이다. Table1를 보면 보강재의 수가 증가하면 Panel의 두께가 얇게 되어 보강판의 중량이 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 R이 크게 되면 보강재의 단면적이 작게 되어 보강판의 중량이 감소한다. 따라서, 보강재의 수가 많아지고, R이 크게 되면 보강판의 총중량은 가벼워 짐을 알 수 있다.

3.2 보강판의 동특성의 해석

보강판의 동특성을 조사하기 위하여 유한요소법을 이용하여 고유치해석을 하였다.

경계조건으로는 사변단순지지로 하였고, 해석 결과는 Fig.4과 Fig.5에 나타낸다.

Fig.4에서 NR45는 보강재가 4개, 보강재의 치수비R이 5, NR510은 보강재가 5개, R이 10, NR615는 보강재가 6개, R이 15, NR720은 보강재가 7개, R가 20의 보강판 모델을 각각 나타낸다.

보강재의 수가 증가하고, R이 크게 될수록 보강판의 총중량이 감소되어, 보강판의 최저차 고유진동수는 높게 나타나고 있다. Fig.5는 보강판의 대표적인 모드인 (N+1,1)모드와(1,1)모드를 나타내고 있다. (N+1,1)모드는 보강재 사이의 판넬이 진

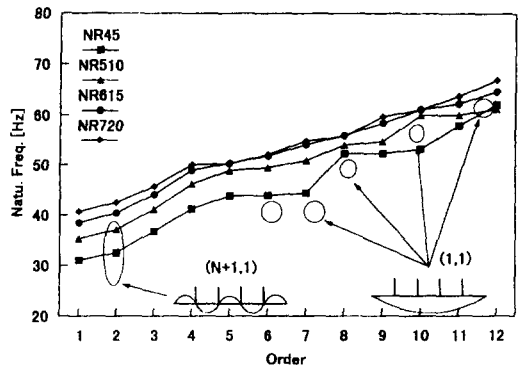


Fig. 4 Natural frequency of stiffened plates

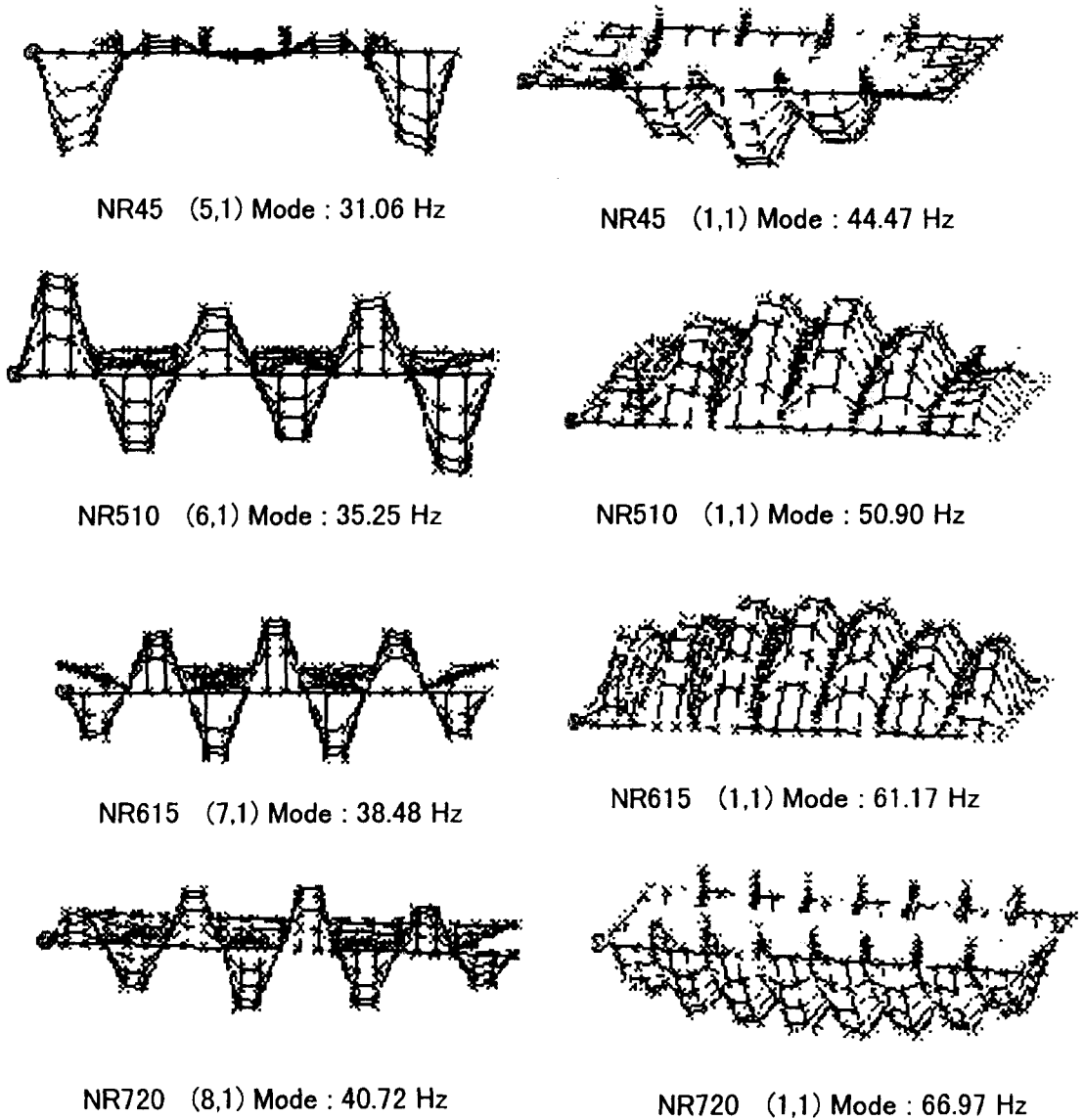


Fig. 5. Natural mode (N+1, 1) and (1,1) of stiffened plates

동하는 모드이고, (1,1)모드는 보강재가 진동하는 모드를 나타낸다.

보강판의 최저차모드는, 어느 모델에서도 보강재 사이의 판넬이 진동하는 (N+1,1)모드가 기본모드로 되어 있다. 이것은 보강재의 강성이 비교적 크기 때문에, 보강재의 고유진동수에 비해서 보강재 사이의 판넬의 고유진동수가 상대적으로 낮게

되어, 최저차에 판넬의 진동모드가 지배적으로 나타났기 때문이라고 생각된다.

또한, (1,1)모드는 보강재가 증가하고 R이 크게 되면 고차에 나타난다. 이것은 R이 크게 됨에 따라 중량이 감소하고, 보강재가 증가함에 따라 전체적으로 강성이 높아지기 때문이라고 생각되어 진다.

3.3 보강판의 동특성의 최적화

선체구조설계에서는, 엔진이나 프로펠러로부터의 주기적인 외력에 의한 진동이 문제로 되는 경우가 많기 때문에 외력의 진동수와의 공진을 피하려는 동적 설계가 중요하다.

그러므로, 본 연구에서는 보강판의 동특성의 해석결과를 고려하여, 대표적인 모드인 (N+1,1)모드와 (1,1)모드의 고유진동수에 주목하여 이 2개의 동특성을 변경한다.

3.3.1 첫 번째 단계 최적화

보강판을 평면구조로 모델화하고, 판넬의 두께 t 와 보강재 보의 단면2차모우멘트 I 를 설계변수로 한다. 제약조건으로는 $t > t_{req}$ (NK규칙에 의한 최소규정두께치)로 한다. 목적함수로는, 보강판 구조물에서 중요한 모드인, 보강재간 판넬이 진동하는 (N+1,1)모드의 고유진동수 $f(N+1,1)$ 를 35Hz로, 보강재가 진동하는(1,1)모드의 고유진동수 $f(1,1)$ 를 40Hz로 변경하는 것으로 한다. 보강재의 수가 4개와 5개가 설치된 보강판을 해석모델로 하여 최적구조변경을 적용하여 Table 2와 같은 결과가 얻어졌다. 해석결과 초기치에 비하여 두께가 얇게 되고, 단면2차 모멘트는 크게 되어, 총중량은 줄어졌다. 보강재가 5개의 경우에는 $f(N+1,1)$ 가 목표치보다 5Hz정도 높게 되어 있다. 이것은 판넬의 두께 t 가 제약조건 때문에 최소두께 7.1mm이하로 줄일 수 없기 때문에 높게 되어졌다고 생각된다. 구조변경후의 보강판은 보강재가 5개의 경우의 중량이 더 작은 것을 알 수 있다.

3.3.2 두 번째 단계 최적화

최급강화법을 이용하여 보강재의 중량을 최소로 하는 보강재의 단면형상을 계산한다. 보강재의 중량은 (12)식으로 주어지며,

Table 2. Initial and optimum value of stiffened plates

Step	N	t (mm)	I ($\times 10^{-6}m^4$)	W (kgf)	f(N+1,1) (Hz)	f(1,1) (Hz)
Initial	4	10	16.52	1,414.8	40.98	30.86
Optimum		8.7	29.57	1,286.1	35.3	40.21
Initial	5	9	15	1,362.9	51.47	33.36
Optimum		7.1	21.73	1,174.7	39.64	41.24

$$W_s = \rho_s b (t_w h_w + t_f b_f) \quad \rho_s : \text{보강재의 밀도} \quad (12)$$

설계변수에 대한 중량의 경사는 다음 식으로 얻어진다.

$$\frac{\partial W_s}{\partial x_i} = \rho_s b \frac{\partial}{\partial x_i} (t_w h_w + t_f b_f) \quad (13)$$

설계변수의 최적치는 다음 식으로 계산할 수 있다.

$$x_{i+1} = x_i - \tau \frac{\partial W_s}{\partial x_i} \quad (14)$$

여기에서, 설계변수 $x_i = [t_w, h_w, t_f, b_f]$ 이다.

첫 번째 단계에서 해석했던 보강재가 5개 설치된 모델을 대상으로 두 번째 단계의 최적화 계산을 하였다. 제약조건과 최적화 계산결과를 Table 3에 나타낸다.

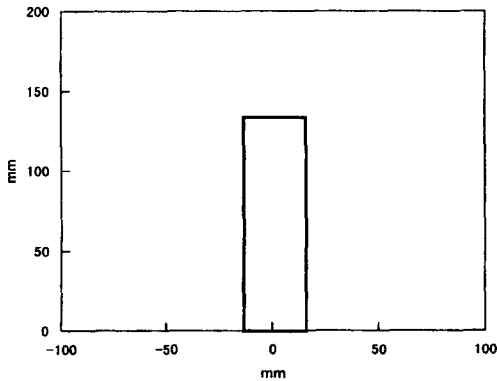
Table 3의 제약조건에서, I는 첫 번째 단계에서 구한 보강재의 단면2차 모우멘트의 최적치, Z는 규정에 의해서 요구되는 단면계수의 최소치, t_w 는 보강재의 응력을 고려하여 정한 Web의 최소 두께치, t_f 는 보강재의 응력을 고려하여 정한 Flange의 최소 두께치를 각각 나타내고 있다. 그러므로 두

Table 3. Constraint, Initial value and optimum value (2nd step)

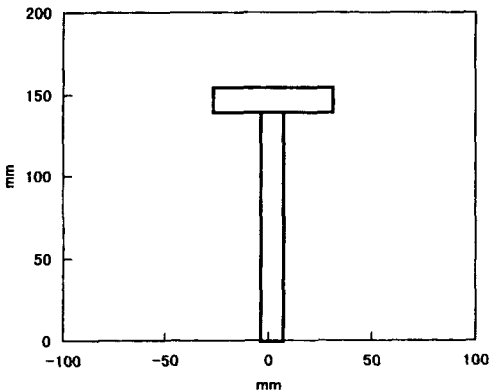
Constraint	
I ($\times 10^{-6}m^4$)	21.73
Z (cm ³)	132.3
t_w (mm)	10
t_f (mm)	15
Initial value of 2nd step	
type	Flat bar
t_s (mm)	32.1
h_s (mm)	124.6
I ($\times 10^{-6}m^4$)	15
Z (cm ³)	151.76
W_s (kgf)	94.23
Optimum value	
type	T type
t_w (mm)	10.03
h_w (mm)	138.22
t_f (mm)	15.03
b_f (mm)	65.4
I ($\times 10^{-6}m^4$)	21.69
Z (cm ³)	185.74
W_s (kgf)	56.05

번째단계에서 설계변수는, 설계조건 $I=I$ (첫 번째 단계에서 구한 보강재 I 의 최적치), $Z>Z$ (규정에 의해 정한 최소치규정치), $t_w>t_w$ (규정에 의해 정한 최소 두께치), $t_f>t_f$ (규정에 의해 정한 최소 두께치)를 만족해야한다.

보강재의 초기형상으로는 Flat-Bar Type로 하였다. Web부분은초기형상에 비하여 두께 t_w 가 얇게되고 깊이 h_w 가 깊게되어 깊고 가느다란 형상이 얻어졌다. Flange부분은 두께 t_f 가 얇게되고, 폭 b_f 가 넓혀진 형상이 되었다. 이것은 Web와 Flange의 두께는 중량을 줄이기 위해 제약조건 한계까지의 두께로 알게 되었고, 단면2차모멘트의 최적치를 만족하기 위해 Web부가 높게, Flange부가 넓게 되었다. 중량은 94 kgf에서 56 kgf로 줄어졌다. 두 번째 단계에서 얻어진 보강재의 최적 단면형상을 Fig.6에 나타낸다.



(a) Initial



(b) Optimum

Fig. 6 Cross section of stiffener (2nd step)

3.3.3 세 번째 단계 최적화

세 번째 단계에서는 첫 번째, 두 번째 단계에서 얻어진 최적해를 토대로 하여 입체구조 모델을 작성한 후, 동특성을 재해석한다. Table4에 각 단계마다의 해석 결과의 최적해를 나타내고 있다. 첫 번째 단계, 두 번째 단계의 최적치를 토대로 작성된 두 번째 모델은 $f(1,1)$ 가 목표치보다 약6Hz정도 높게 되어있다. 이것은 첫 번째 모델의 평면구조와 두 번째 모델의 입체구조 모델간의 오차와 두 번째 단계에서 보강재의 중량을 줄인 영향 때문이라고 생각되어진다. 그러므로 첫 번째 단계의 목표치를 설정할 때 처음부터 평면모델과 입체모델의 오차를 고려하여 설정하면 세 번째 단계에서는 확인 계

Table 4. Principal data of stiffened plates of respective stages

	1st Model	2nd Model	3rd Model
a (m)		4.2	
b (m)		3	
N	5	5	5
S (m)	0.7	0.7	0.7
t (mm)	7.1	7.1	7.1
$I (\times 10^{-5}m^4)$	21.73	21.69	18.54
t_w, h_w, t_f, b_f (mm)		10, 138, 15, 65	10, 128, 15, 65
W (kgf)	1,174.7	982.6	931.9
$f(N+1,1)$ (Hz)	39.6	34.9	35.7
$f(1,1)$ (Hz)	41.2	45.9	39.8

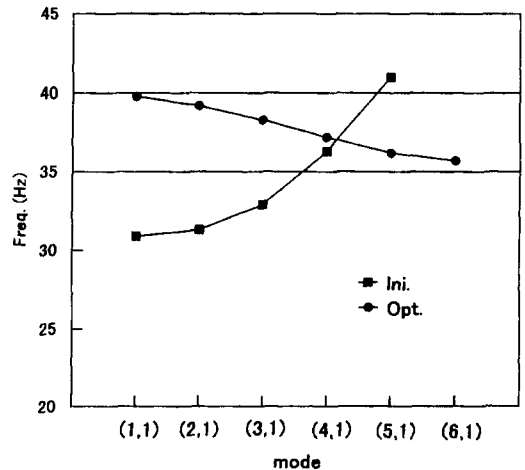


Fig. 7 Comparison of natural frequencies between initial model and optimum model

산만으로도 충분할 것으로 생각된다. 그러나 이번 연구에서는 오차를 고려하지 않았으므로 $f(1,1)$ 에 대하여 세 번째 단계에서 미세조정을 위한 최적화 계산을 한다. 세 번째 단계에서는 판넬의 두께, Web의 두께, Flange의 두께는 제약조건 한계치까지 변경되어 있으므로 변경하지 않고, $f(1,1)$ 에 가장 크게 영향을 주는 Web의 깊이 만을 설계변수로 하여 미세조정을 위한 구조 변경을 하였다. Fig.7에는 초기모델과 최종 최적모델의 고유진동수의 비교를 나타내고 있다.

$f(1,1)$ 가 31Hz에서 목표치 40Hz로, $f(N+1,1)$ 가 41Hz에서 목표치 35Hz에 변경되어 졌고, 총중량도 1174.7 kgf에서 931.9 kgf로 줄어진 결과가 얻어졌다.

4. 결 론

구조물의 동적 문제에 대한 최적설계의 방법으로써 다단계 최적화수법을 선박의 보강판 구조물의 동적 최적설계에 적용하여, 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 첫 번째 단계의 최적화에서, 보강재가 등간격으로 배치되어진 평면 보강판 모델의 판넬의 두께, 보강재의 단면2차 모우멘트를 설계변수로 하여, 제약조건을 만족하는 동특성의 변경이 가능하였다.
- (2) 두 번째 단계의 최적화에서, 보강재의 중량을 최소화하는 보강재의 단면형상을 결정하는 최적화가 가능하였다.
- (3) 보강판 구조물에서 중요한 모드인, 보강재간 판넬이 진동하는 (N+1,1)모드와 보강재가 진동하는 (1,1)모드 두개를 주목하여 변경함으로써 다른 Mode들도 변경할 수 있다는 것을 알 수 있게 되었다.
- (4) 격벽판, 갑판, 측외판, 선저판 등 많은 보강판과 보강재로 이루어진 선박구조물의 동적 최적설계에는 구조물 전체를 몇 개의 부분구조로 분할하여 최적화하는 다단계 최적화수법이 유용할 것으로 생각된다.

참고문헌

- [1] Hughes, O.F., "A Practical Method for the Rational Design of Ship Structures", J.of Ship Research, Vol.24, No.2, 1980.
- [2] Evans, J.H., "Optimizing Ship Structural Design Through the Choice of Materials", J. of the Society of Naval Architects of Japan, Vol. 128, 1970.
- [3] 土木學會, "構造システムの最適化—理論と應用—", 1988.
- [4] 長松昭男, "モード解析", 培風館, 1985.
- [5] 中川 徹, 小柳義夫, "最小二乗法のよる實驗データ解析", 東京大學出版會, 1986.
- [6] 戶川集人, "マトリクスの數値計算", オーム社, 1971.
- [7] 日本海事協會, "鋼船規則", C編, 1997.

저 자 소 개



고재용

1962년 5월생. 1985년 한국해양대학교 항해학과 졸업. 1991년 부산대학교 조선공학과 석사과정 수료. 1995년 일본 히로시마 대학 박사과정 수료. 1995년~현재 목포해양대학교 교수, 당학회 회원



박석주

1953년 3월생. 1976년 한국해양대학교 항해학과 졸업. 1983년 부산대학교 조선공학과 석사과정 수료. 1989년 일본동경공업대학교 박사과정 수료. 1979년~현재 한국해양대학교 교수, 당학회 편집이사



남정길

1962년 7월생. 1985년 한국해양대학교 기관공학과 졸업. 1991년 한국해양대학교 석사과정 수료. 1999년 한국해양대학교 박사과정 수료. 1992~현재 현대자동차 중앙연구소, 당학회 회원



박성현

1965년 12월생. 1988년 한국해양대학교 항해학과 졸업. 1993년 한국해양대학교 선박공학과 석사과정 수료. 1995년~현재 일본큐슈대학 박사과정, 당학회 회원