

보강재의 수를 포함한 보강판 구조물의 동특성의 최적변경

박 성 현* · 고 재 용**

The Optimum Modification of Dynamic Characteristics of Stiffened Plate Structure Including the Number of Stiffener.

Sung-Hyeon Park* · Jae-Yong Ko**

〈목 차〉	
Abstract	3. 보강판의 동특성과 총중량 변경
1. 서 론	4. 결 론
2. 보강판 구조물의 동특성 해석	참고문헌

Abstract

The purpose of this paper is the optimum modification of dynamic characteristics of stiffened plate structure including the number of stiffener. This paper shows the optimum structural modification method by dynamic sensitivity analysis and quasi-least squares method and considers it's validity. In the method of the optimization, finite element method, sensitivity analysis and optimum structural modification method are used.

The change of natural frequency and total weight are made to be an objective function.

Thickness of plate, the number of stiffener and cross section moment of stiffener become a design variable. The dynamic characteristics of stiffened plate structure is analyzed using finite element method. Next, rate of change of dynamic characteristics by the change of design variable is calculated using the sensitivity analysis.

Then, amount of change of design variable is calculated using optimum structural modification method. It is shown that the results are effective in the optimum modification for dynamic characteristics of the stiffened plate structure including the number of stiffener.

* 정회원, 목포해양대학교 해상운송시스템학부

** 정회원, 목포해양대학교 해양시스템공학부

1. 서 론

컴퓨터의 급속한 발전에 따라 선박, 해양구조물, 항공기, 자동차 등의 설계 자동화에 관한 연구가 진행되고, 많은 분야에서 최적설계의 실용화가 요망되고 있다.

특히 정적인 문제에 관한 최적 설계[1] 분야는 이미 실용화 단계에 도달해 있다고 볼 수 있다. 한편 선박이나 해양구조물의 대형화, 경량화, 고속화의 추세에 따라 구조물의 동적 특성을 고려한 동적 최적 설계에 관한 문제도 중요한 연구 대상이 되어 동적인 문제에 관한 최적 설계의 실용화의 필요성이 높아지고 있다[2].

본 연구에서는 구조물에 발생하는 동적인 문제에 대한 동적 최적 변경문제를 대상으로 하여 유한요소법, 동적 감도해석법, 최적 구조변경법에 대하여 검토하고, 간단한 수치계산 예를 통하여 최적구조변경법의 유효성과 타당성에 대하여 검토하였다.

선체 구조의 격벽판, 갑판, 측외판, 선저판 등 많은 부재들은 보강재와 판으로 이루어진 보강판 구조물의 조합으로 구성되어 있다. 선체 구조에 많이 이용되고 있는 이 보강판 구조물의 설계에 있어서 보강재의 배치, 보강재의 수, 단면 형상 등을 결정하는 것은 매우 중요하다.

본 연구에서는 선체 구조의 기초 구조라고도 말할 수 있을 정도로 선체 구조에 많이 이용되고 있는 보강판 구조물을 해석 모델로 하여, 보강재의 배치와 보강재의 수, 보강재의 단면형상에 따른 보강판 구조물의 동특성을 조사하고, 보강판 구조물의 동특성을 최적변경하는 것을 목적으로 두고 있다.

최적화 방법으로서는 유한요소법, 동적 감도해석법, 의사 최소자승법을 이용한 최적구조변경법을 사용한다.

먼저 보강재의 단면형상, 보강재의 배치에 따른 보강판 구조물의 동적 특성을 유한요소법을 이용하여 해석한다. 설계변수를 줄여서 구조해석이나 감도해석에 따른 해석시간과 계산 용량을 줄이기 위하여 입체 보강판 구조물을 평면 보강판 구조물로 모델링하여 해석한다. 입체 구조물과 평면구조물을 유한요소법으로 모우드 해석한 후 보강판 구

조물에서 주목해야하는 중요한 모우드가 어떤 것인가를 파악한다. 이 중요 모우드의 고유진동수와 총중량을 목표치만큼 변경하는 것을 최적화의 목적함수로 한다.

보강재의 수, 보강판의 두께, 보강재의 단면2차 모멘트를 설계변수로 하여 중요 모우드의 고유진동수와 총중량을 목표치만큼 변경한다.

다음으로 동적 감도해석기법을 이용하여 설계변수인 보강재의 수, 보강판의 두께, 보강재의 단면2차 모멘트의 변화에 따른 고유진동수와 총중량의 변화율을 파악한다. 감도해석법으로 얻어진 감도값을 가지고 최적구조변경법으로 설계변수의 변경량을 계산하여 구조를 변경한다. 본 연구에서는 감도해석기법을 이용한 최적구조변경법을 보강판 구조물의 동특성의 변경에 적용하여, 이방법의 유효성에 대하여 검토하였다.

2. 보강판 구조물의 동특성의 해석

2.1 해석 보강판 Model

보강판 구조물이 어떠한 동특성을 가지고 있는지를 파악하기 위하여 Fig. 1과 같이 폭a, 높이b, 판의 두께tp를 가진 판에 높이hs, 두께ts의 Flat-Bar Type의 Stiffener가 등 간격으로 설치되어 있는 보강판 구조물을 해석 모델로 채용하였다.

해석대상 모델의 제원은 1997년도판 일본해사협회(NK)[3]의 강선규칙에 의거하여 규정에서 정한 최소치를 계산하여 결정하였으며, 그 제원은 Table 1과 같다. 구조해석이나 감도해석에 따른 해석시간

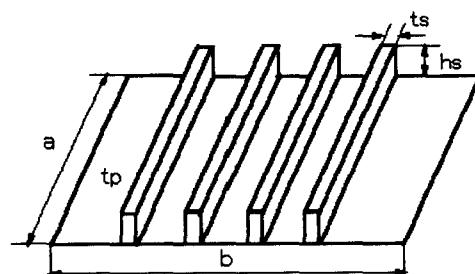


Fig. 1. Stiffened plate model for analysis.

Table 1. Dimensions of stiffened plate model for analysis.

Model	NR45 NR45B	NR510 NR510B	NR615 NR615B	NR720 NR720B
a (m)	3.0			
b (m)	4.2			
N	4	5	6	7
R (hs/ts)	5	10	15	20
S (m)	0.840	0.700	0.525	0.525
tp (mm)	9.2	8.3	7.6	7.1
ts (mm)	33.5	19.9	14.4	11.4
hs (mm)	167.5	199.0	216.0	228.0
Is (m^4)	3.3723E-5	3.5682E-5	3.4229E-5	3.2681E-5
W (kgf)	1440.39	1288.90	1192.73	1132.18

과 계산 용량을 줄이기 위하여 Fig. 2와 같이 입체 보강판 구조물을 평면 보강판 구조물로 모델링하여 해석한다.

Table 1에서 N은 보강판에 설치하는 보강재의 수, R은 보강재의 두께와 깊이의 비 hs/ts이고, tp는 보강재 사이의 판의 두께, Is는 보강재를 빔(Beam) 요소로 평면 모델링하였을 때의 보강재의 단면2차 모멘트, W는 보강판의 총중량을 각각 나타내고 있다.

또한, 보강재의 수 N=4, 보강재의 두께와 길이비 R=5인 입체 모델을 NR45 Model, 보강재를 평

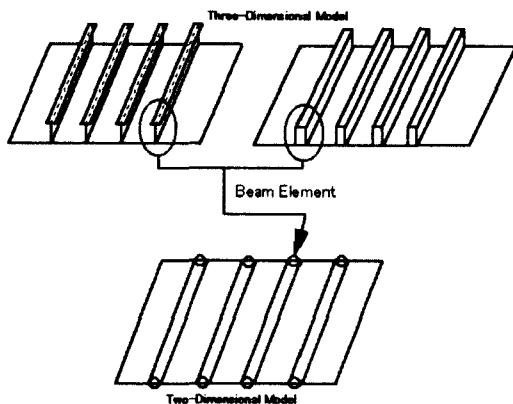


Fig. 2. Two-Dimensional modeling for analysis.

면 모델로 치환한 평면 모델을 NR45B Model, N=5, R=10인 모델을 NR510,510B, N=6, R=15인 모델을 NR615, 615B, N=7, R=20인 모델을 NR720, 720B Model이라 한다.

Table 1에 의하여 보강재의 수가 증가하면 Panel의 두께가 얕게 되어 중량이 감소하고, 보강재의 비 R이 커지면 보강재의 단면적이 적어져서 보강재의 중량이 감소한다. 따라서 보강재의 수가 많아지고 R이 커질수록 보강판의 총중량은 감소함을 알 수 있다.

2.2 해석 보강판 Model의 동특성

Fig. 2와 같이 설계변수를 줄여서 구조해석이나 강도해석에 따른 해석시간과 계산 용량을 줄이기 위하여 입체 보강판 구조물을 평면 보강판 구조물로 모델링하여 해석한다.

평면 보강판 모델을 해석 모델로 하여 보강판 구조물이 어떠한 동적 특성을 가지고 있는가를 파악하기 위하여 FEM 해석[4]을 하였다. FEM해석에 있어서 보강판의 사변은 단순지지 경계조건을 주었으며, 보강재는 X축과 Y축회전을 구속하고 나머지는 자유의 경계조건을 주어서 해석하였다.

Fig. 3은 NR45B Model의 1차~6차의 고유 모우드, Fig. 4는 NR510B Model의 1차~6차의 고유 모우드를 나타내고 있다. Fig. 5는 NR45B, NR510B Model의 고유 모우드 중에서 주목해야 할 주요 모우드를 나타내고 있다. Fig. 5에서 (N+1,1)Mode는

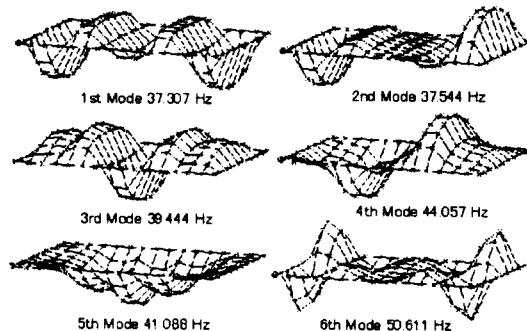


Fig. 3. Natural mode of NR45B model.

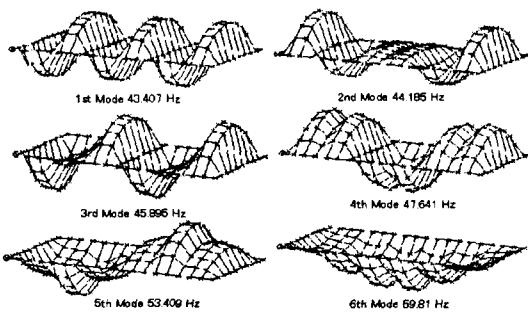


Fig. 4. Natural mode of NR510B model.

종방향의 파(보강판의 길이 방향)의 수 $N+1$ (N =보강재의 수), 횡방향(보강판의 폭 방향)의 파의 수 1를 가진 모우드를 의미하며, (1,1)Mode는 종·횡방향의 파가 모두 1인 모우드를 의미한다.

Fig. 1과 같은 보강판 구조물은 판과 보강재로 이루어진 구조물이므로 주목해야 할 주요 모우드로는 보강재 사이의 Panel이 진동하는 ($N+1,1$)모우드와 보강재가 진동하는 (1,1)모우드를 선택하였다 [5]. Fig. 6은 NR45B, NR510B, NR615B, NR720B Model의 고유치 해석 결과의 고유진동수를 나타내고 있다.

Fig. 6에서 해석 보강판 모델의 최저차 고유 진동수는 보강재 사이의 판이 진동하는 ($N+1,1$)모우드의 진동수 $f(N+1,1)$ 이다.

이것은 보강재의 강성이 상대적으로 커서, 보강재에 비하여 판의 진동수가 저차에 나타나기 때문이다. 또한 보강재가 진동하는 (1,1)모우드의 고유 진동수 $f(1,1)$ 은 보강재 수가 증가하고 R 이 커질수록 고차에 나타나고 있다. 이것은 R 이 커질수록 경

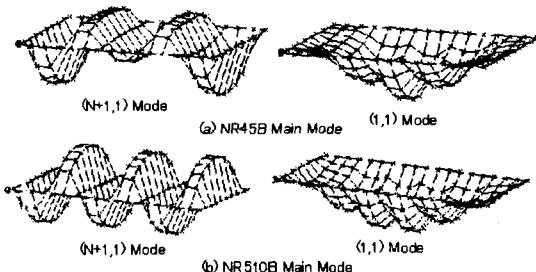


Fig. 5. Main mode of NR45B & NR510B model.

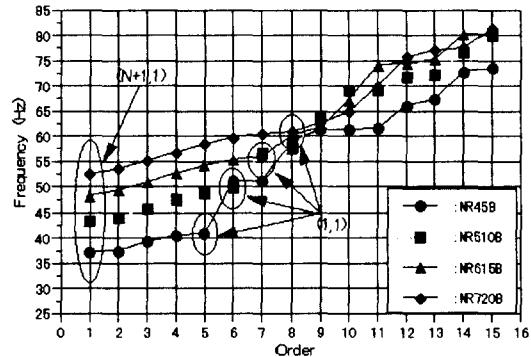


Fig. 6. Natural frequency of stiffened plate structure.

량화 되고 보강재가 증가함으로써 전체적으로 강성이 커지기 때문에 사료된다.

3. 보강판의 동특성과 총중량의 최적변경

본 절에서는 FEM 과 동적 감도해석기법을 이용한 최적구조변경법을 보강판 구조물의 동특성과 총중량의 변경에 적용하여, 이방법의 유효성에 대하여 검토한다.

보강판 구조물의 주요 모우드인 (1,1), ($N+1,1$)모우드의 고유 진동수 $f(1,1)$, $f(N+1,1)$ 과 보강판의 총중량을 목표치만큼 변경하는 것을 목적함수로 한다.

판의 두께, 보강재의 단면2차 모멘트, 보강재의 수를 설계변수로 하여 고유진동수와 총중량을 변경한다.

3.1 감도해석

감도해석은 구조물의 형상, 치수, 재료 등의 설계변수의 변경에 의한 구조물의 정적, 동적 특성의 변화율을 구하는 것이다. 감도분포를 계산하면, 고유진동수나 특정 점에 대한 고유모우드의 크기를 가장 효율적으로 변경하기 위하여 어느 부분을 수정하면 좋을지를 알 수 있다. 또한, 설계변수가 동특성에 어떤 영향을 미치는지를 알 수 있어서 초기설계시의 기초자료로 이용할 수 있다.[6]

비감쇠계의 고유치 문제는 설계변수의 변경전후

에 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(\lambda_{or}[M_o] - [K_o])\{\Phi_{or}\} = \{0\} \quad \dots \dots \dots \quad (1)$$

$$(\lambda, [M] - [K])(\Phi_r) = \{0\} \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

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

$$([K_o] - \lambda_{or}[M_o])\{\Phi_r'\} = \\ (\lambda_{or}[M'] + \lambda_r'[M_o] - [K'])\{\Phi_{or}\} \quad \dots \dots \dots (3)$$

위의 (3) 식에 $\{\phi_{oi}\}^T$ 를 곱하면, (4) 식과 같아 된다.

$$\{\Phi_{oy}\}^T (\lambda_{oy}[M'] + \lambda_r [M_o] - [K']) \{\Phi_{oy}\} = \{0\} \quad (4)$$

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

$$\lambda_r' = \{\Phi_{or}\}^T ([K] - \lambda_{or}[M]) \{\Phi_{or}\} \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

3.2 보강판의 총중량을 1300kgf로 변경

(1) 대상 Model : Table 2와 같이 보강재의 수가 3개, Panel의 두께 11.00×10^{-3} (mm)인 모델을 초기 모델로 선정하였다.

Table 2. Initial dimensions of stiffened plate model for analysis.

a(m)	3.00
b(m)	4.20
E(N/m ²)	2.05E+11
N	3
tp (m)	11.00E-3
Is(m ⁴)	2.0000E-5
W(kgf)	1619.95

- (2) 제약조건 : $tp > t_{\text{preq.}}$, $Z > Z_{\text{req.}}$ (NK 규정에서 요구하는 최소 두께와 단면계수)

- (3) 설계변수 : 보강재 사이의 판 두께 tp , 보강재의 단면2차 모멘트 I_s , 보강재의 수 N

- (4) 목적함수 : $f(1,1) \rightarrow 40.00 \text{ Hz}$, $f(N+1,1) \rightarrow 45.00 \text{ Hz}$, $W \rightarrow 1300.0 \text{ kgf}$

- ### (5) 최적화 계산의 Flow

① FEM 으로 대상 Model의 동적 특성을 파악한다.

② 목적함수 $f(N+1,1)$, $f(1,1)$, W에 대한 설계변수 tp, Is, N의 동적 감도해석을 하여 설계변수의 변화에 따라 목적함수인 고유진동수와 총중량이 얼마나 변화 할 것인가, 어느 설계변수에 고유진동수와 총중량이 가장 민감한가를 파악한다.

동적 감도해석 결과의 감도행렬을 [A], 설계 변수의 변경량을 (x) , 변경하는 목적함수의 목표치와 현재치와의 차를 (y) 로 하여 다음과 같은 최적 구조변경 방정식(1)을 세운다.

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

③ 위의 식(1)을 최소자승법으로 계산하여 목적 함수를 목표치만큼 변경하기 위해서는 설계변수를 얼마만큼 변경해야 하는가를 계산한다. 즉 설계변수의 변경량 Δtp , ΔIs , ΔN 을 계산한다.

식(1)의 계산에 있어서 감도행렬 $[A]$ 가 통상 정방행렬이 되지 않는 경우에는 다음과 같이 최소자승법을 이용하여 해를 구한다.

감도행렬 [A]의 행의 크기가 열의 크기보다 클 경우 즉, 변경 파라메터(설계변수)의 수가 변경하는 목적함수의 수보다 적은 경우에는:

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

과 같은 S를 최소로 하는 미지수를 결정하는 일방적이 최소자승법을 이용하다[6].

위의 경우에 설계변수의 변경량 Δtp , ΔIs , ΔN 는 다음 식으로 구할 수 있다

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

일반적으로 구조변경의 문제에는, 변경 파라미터의 수가 목적함수의 수보다 많다. 즉, 감도행렬 $[A]$ 의 열의 크기가 행의 크기보다 클 경우에는 해를 일의적으로 구할 수 없다. 이 경우에는 행렬 $[A]$ 의 일반 역행렬 $[A]^{+1}$ 로, 설계변수의 변경량을 계산하는 의사 최소자승법을 이용한다.

이 경우에 있어서 설계변수의 변경량은 다음식으로 구할 수 있다.

$$\{x\} = [A]^{+} \{y\} \quad \dots \dots \dots \dots \dots (9)$$

④ ⑤의 단계에서 얻어진 설계변수의 변경량을 초기 설계변수에 합하여 제약조건을 만족하는지 확인하여 조정한다.

⑤ 새로운 설계변수를 초기값으로 하여 구조해석과 총중량 계산을 하여 만족하는 결과가 얻어질 때까지 ①~⑤의 계산 단계를 반복한다.[7]

본 연구에서의 감도행렬 $[A]$ 는 설계변수에 대한 1차 감도를 이용하므로 설계변수의 변경량을 반복계산에 의하여 구한다. 즉 얻어진 변경량을 초기치에 합하여 구조변경 후 FEM으로 재해석하고, $\{y\}$ 가 최소가 될 때까지 반복 계산한다. 최적화 계산의 흐름도를 Fig. 7에 나타낸다.

해석 결과를 Table 3에 나타낸다. Table 3의 결과를 보면 6번의 반복계산에서 $f(1,1)=40.65\text{Hz}$ (목표치, 40.00Hz), $f(N+1,1)=45.41\text{Hz}$ (목표치, 45.0Hz), $W=1299.98$ (목표치, 1300)에 도달하였다.

그때의 설계변수 보강재의 수는 5개, tp 는 8.412 (mm)가 되었다.

구조변경 결과를 Fig. 8에 나타낸다. 구조변경 전후의 설계변수의 tp , Is , N 의 변화를 Fig. 11, 목적함수 $f(1,1)$, $f(N+1,1)$, W 의 변화를 Fig. 12에 나타낸다.

3.3 보강판의 총중량을 1100kgt 로 변경

(1) 대상 Model, 설계변수, 최적화 계산 Flow는

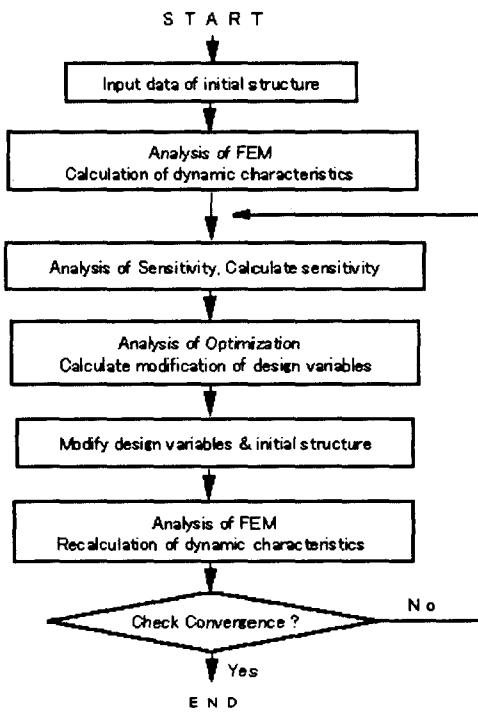


Fig. 7. Flow chart of optimization.

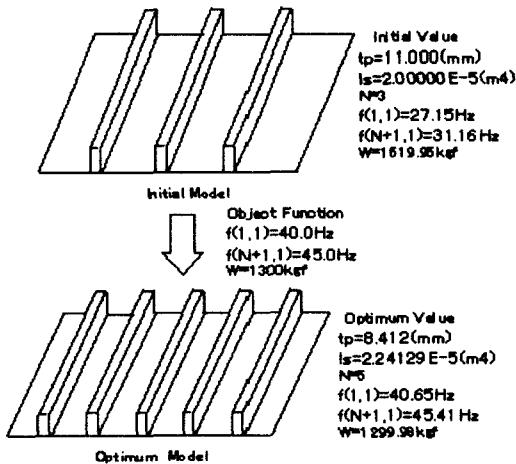
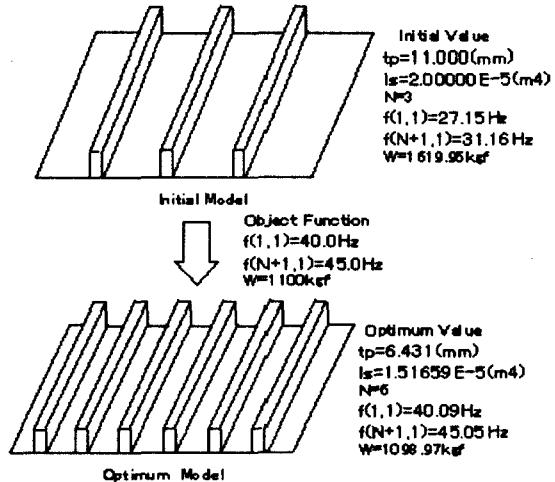
Table 3. Result of optimization ($W \rightarrow 1300\text{kgt}$).

	N	tp (mm)	Is (E-5m ⁴)	W (kgf)	$f(1,1)$ Hz	$f(N+1,1)$ Hz
Initial	3	11.000	2.00000	1619.95	27.15	31.16
Iter.1	4	10.806	3.86690	1599.45	42.94	43.78
Iter.2	5	10.108	3.27416	1467.99	46.58	52.36
Iter.3	5	9.575	2.32772	1415.12	40.37	50.87
Iter.4	5	9.218	2.48176	1379.79	41.89	49.00
Iter.5	5	8.815	2.28450	1339.92	40.68	47.30
Optim.	5	8.412	2.24129	1299.99	40.08	45.41
Target				1300.0	40.00	45.00

3.2와 동일.

(2) 목적함수 : $f(1,1) \rightarrow 40.00\text{ Hz}$, $f(N+1,1) \rightarrow 45.00\text{ Hz}$, $W \rightarrow 1100.00\text{kgt}$

해석 결과를 Table 4에 나타낸다. Table 4의 결과를 보면 5번의 반복계산에서 $f(1,1)=40.09\text{Hz}$ (목

Fig. 8. Result of optimization ($W \rightarrow 1300\text{kgf}$).Fig. 9. Result of optimization ($W \rightarrow 1100\text{kgf}$).Table 4. Result of optimization ($W \rightarrow 1100\text{kgf}$).

	N	tp (mm)	Is (E-5m ⁴)	W (kgf)	f(1,1) Hz	f(N+1,1) Hz
Initial	3	11.000	2.00000	1619.95	27.15	31.16
Iter.1	5	8.794	2.93674	1337.81	45.55	46.49
Iter.2	6	7.407	1.96036	1183.63	43.89	50.31
Iter.3	6	6.664	1.62396	1119.99	41.10	46.31
Iter.4	6	6.462	1.46884	1101.79	39.49	45.31
Optim.	6	6.431	1.51659	1098.97	40.09	45.05
Target				1100.0	40.00	45.00

표치, 40.00Hz), $f(N+1,1)=45.05\text{Hz}$ (목표치, 45.0Hz), $W=1098.97$ (목표치, 1100)에 도달하였다.

그때의 설계변수 보강재의 수는 6개, tp 는 6.431(mm)가 되었다. 구조변경 결과를 Fig. 9에 나타낸다. 구조변경 전후의 설계변수의 tp , ls , N 의 변화를 Fig. 11, 목적함수 $f(1,1)$, $f(N+1,1)$, W 의 변화를 Fig. 12에 나타낸다.

3.4 보강판의 총중량 최소화

- (1) 대상 Model, 설계변수, 최적화 계산 Flow는 3.2와 동일.
- (2) 목적함수 : $f(1,1) \rightarrow 40.0\text{Hz}$, $f(N+1,1) \rightarrow 45.0\text{Hz}$, $W \rightarrow \text{Minimum}$

해석 결과를 Table 5에 나타낸다. 해석 결과 5번의 반복계산에서 $f(1,1)=40.09\text{Hz}$ (목표치, 40.00Hz), $f(N+1,1)=45.03\text{Hz}$ (목표치, 45.0Hz), $W=939.57$ (목표치, Minimum)에 도달하였다.

동특성을 만족하는 총중량의 최소량은 열마인지를 파악하기 위하여 제한조건을 제외하고 해석하였다. 그때의 설계변수 보강재의 수는 7개, tp 는 5.155(mm)가 되었다. 구조변경 결과를 Fig. 10에 나타낸다. 구조변경 전후의 설계변수의 tp , ls , N 의 변화를 Fig. 11, 목적함수 $f(1,1)$, $f(N+1,1)$, W 의 변화를 Fig. 12에 나타낸다.

Table 5. Result of optimization (Minimum).

	N	tp (mm)	ls (E-5m ⁴)	W (kgf)	f(1,1) Hz	f(N+1,1) Hz
Initial	3	11.000	2.00000	1619.95	27.15	31.16
Iter.1	6	7.788	2.91814	1211.33	52.07	50.34
Iter.2	7	6.666	2.26999	1089.17	52.42	53.87
Iter.3	7	5.765	1.22585	999.93	40.58	49.74
Iter.4	7	5.043	1.29746	928.48	42.70	43.54
Optim.	7	5.155	1.14038	939.57	40.09	45.03
Target				Minim.	40.00	45.00

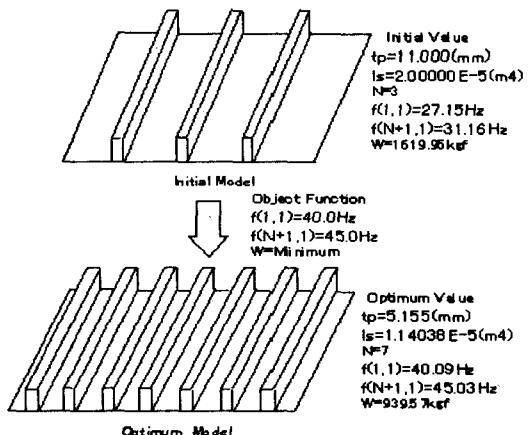
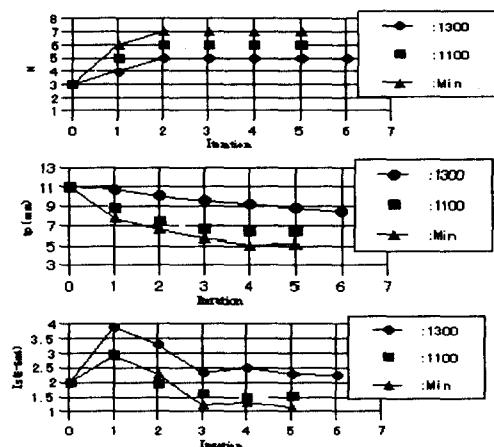
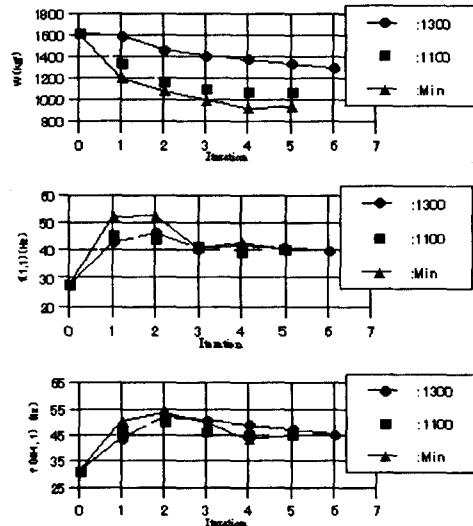
Fig. 10. Result of optimization ($W \rightarrow \text{Minimum}$).

Fig. 11. Change of design variables N, tp, ls.

4. 결 론

본 연구에서는 선체 구조에 많이 이용되고 있는 보강판 구조물을 해석 모델로 하여, 보강재의 배치와 보강재의 단면형상에 따른 보강판 구조물의 동특성을 조사하였고, 그 동특성을 목표치 만큼 변경하기 위해서는 보강판에 보강재를 몇 개를 설치할 것인가, 어떠한 단면 형상을 가진 보강재를 설치할 것인가, 등의 문제들을 결정하는 동적 최적 구조변경법에 대하여 검토하였다.

또한 보강판 구조물의 동특성을 변경함과 동시에

Fig. 12. Change of object function W, $f(1,1)$, $f(N+1,1)$.

에 보강판의 총중량을 목표치만큼 변경 혹은 최소화하기 위하여는 어떠한 형상을 가진 보강재를 몇 개를 설치 할 것인가에 대하여 검토하여 다음과 같은 결과가 얻어졌다.

(1) 보강재의 수가 증가하면 판의 두께가 얕게 되어 중량이 감소하고, 또한 보강재의 비 R_i 이 커지면 보강재의 단면적이 적어져서 보강재의 중량이 감소한다. 따라서 보강재의 수가 많아지고 R_i 이 커질수록 보강판의 총중량은 감소함을 알 수 있었다.

(2) 보강재의 강성이 상대적으로 커서, 보강재에 비하여 판의 진동수가 저차에 나타나기 때문에 Fig. 1과 같은 보강판 모델의 최저차 진동수는 보강재 사이의 판이 진동하는 $(N+1,1)$ 모우드의 진동수이다.

또한 보강재가 진동하는 $(1,1)$ 모우드의 진동수는 R_i 커질수록 경량화 되고 보강재가 증가함으로써 전체적으로 강성이 커지기 때문에 보강재 수가 증가하고 R_i 커질수록 고차에 나타남을 알 수 있었다.

(3) 입체 구조모델을 평면 구조모델로 모델링 함으로써 설계변수를 줄일 수 있게되어 구조해석 및 감도해석에 걸리는 시간과 용량을 줄일 수 있었다.

(4) Panel두께 tp, 보강재의 단면2차 모멘트 ls, 보강재의 수 N을 설계변수로 하여 보강판의 주요 고

유 진동수의 변경과 총중량의 변경이 가능하였다.

참 고 문 헌

- 1) Kavlie D. and Moe, J. : Automated Design of Frame Structures, ASCEJ., Struct. Div., Vol.97, No. St1, 1978, pp.33-62.
- 2) 박성현 외2인 : 선박의 보강판 구조물의 동특성의 최적변경법에 관한 연구, 한국항해학회지, 제25권, 제1호, 2001, pp.45-52.
- 3) 日本海事協會: 鋼船規則,C編, 1997, pp.78-81.
- 4) 박성현, 박석주 : 大型 浮流海洋構造物의 波浪中 應答의 低減解析에 관한 研究(第1報), 한국항해학회지, 제24권, 제1호, 2000, pp.85-95.
- 5) 朴成鉉 外2人 : 多段階最適化手法에의한 防撓板構造物의 動特性의 最適變更法에 관한 研究, 日本造船學會論文集, 第186号, 1999, pp.431-443.
- 6) 中川徹, 小柳義夫 : 最小二乘法에 의한 實驗데이터 解析, 東京大學出版會, 1996.
- 7) 朴成鉉 外2人 : 構造物의 動特性의 最適變更法에 關한 基礎 研究, 日本西部造船學會, 第96号, 1998, pp.193-206.