

〈論 文〉

보강재를 이용한 열린 상자형 구조물의 구조변경법에 관한 연구

A Study on the Structural Modification
of the Open Box Type Structure by Using the Stiffener

박 석 주* · 최 창 우** · 오 창 근** · 왕 지 석*** · 정 재 현***

Sok-Chu Park, Chang-Woo Choi, Chang-Geun Oh, Jee-Seok Wang and Jae-Hyun Jeong

〈1995년 9월 19일 접수 ; 1996년 1월 31일 심사완료〉

ABSTRACT

The objective of this paper is to offer the method of the optimum structural modification by fixing the stiffener on the structure. The vibrational characteristics of a open box type structure are analyzed by the sub-structure synthesis method and sensitivities of each sub-structure are calculated by sensitivity analysis method. The positions to modify are found and the quantities to change are obtained by optimization techniques. As the result, it was found that ; (1) The sensitivities of the natural frequency could easily be calculated by the sensitivity analysis method and the optimum position to fix stiffeners could be found. (2) The exact size of stiffeners could be calculated by the optimum structural modification method and the natural frequency could be easily shifted to the objective value. (3) It could be confirmed that the stiffener is a effective tool for accomplishing structural modification.

1. 서 론

현재 유한요소법은 공학의 거의 모든 분야에서 가장 일반적인 해석방법으로 제시되어 있고, 실제로 사용되고 있다. 특히, 구조해석 분야에서는 유한요소법을 이용하여 구조물의 정적·동적 특성을 정도 높게 해석할 수 있게 되었으며, 더 나아가서는 설계 단계에서 구조물의 거동을 비교적 정확하게 예측할 수 있게 되었다. 그러나 일반적으로 구조물이 복잡해지면 해석 결과의 정도를 높이기 위해 요소 분할수를 증가시켜야 한다. 결국 구조물의 자유도가 커지게 되고 이로 인하여 계산기의 계산시간과 기억용량의 제한을 받게 된다. 최근에는 이러한 문제점을

개선하기 위해서 전체 구조물을 단순한 여러 개의 부분구조물로 나누어서 해석하는 부분구조합성법(sub-structure synthesis method)이 실용화되고 있다^(1,2).

이러한 구조해석법들을 이용하여 구조물에 대해 정도 높은 해석 결과를 얻더라도 이것만으로 보다 좋은 특성의 구조물이 제작되는 것은 아니다. 즉, 해석결과만으로 최적한 구조물을 제작하기 위한 설계변경문제와 구조적 특성에 문제가 있을 경우의 구조변경문제에 대한 명확한 해결책을 제시할 수 없는 것이다. 결국 해석결과를 토대로 설계자의 경험이나 직관 등에 의해 설계를 변경한 후 재해석 하여 설계조건을 확인하는 시행착오적인 방법에 의존할 수 밖에 없을 것이다. 이러한 시행착오적인 방법은 엄청난 시간과 경비가 소요되고, 복잡한 구조물에 대해서는 적용하기가 곤란해진다. 이런 문제점을 개선하기 위해서, 구조해석은 최적구조설계법과 결부되어

*정회원, 한국해양대학교 조선공학과

**한국해양대학교 대학원

***한국해양대학교 기계공학과

야 할 것이다. 최적구조설계란 소음과 진동이 없으며 사용이 편리하며 강도상의 문제도 없으며 중량이 최소화된 미려한 외관을 가진 구조물을 만드는 것이다 말할 수 있으나 현재로서는 이런 완벽한 구조물의 설계는 불가능하다. 따라서 모든 문제점을 개선하는 방법은 아직 없고, 문제점들 중 한 개나 두 개의 문제점을 개선하는 것으로 최적화의 목적을 제한하는 것이 일반적이다. 특히 진동특성을 개선하기 위한 구조변경에서는 여러가지 형태의 구조형상이나 치수등에 대해 검토가 이루어져야 하고 이에 따른 수많은 반복적인 진동해석이 요구되므로 계산시간이 많이 걸리게 된다. 이러한 문제를 해결하는데는 감도해석법이 적절할 것이다. 여기서 감도란 어떤 특정부분의 형상이나 치수 등을 바꾸었을 때 해석 결과 값에 영향을 주는 정도를 나타내는 것으로 감도해석법을 이용하면 어느 부분을 수정하는 것이 동특성 개선에 가장 효과적인지를 알 수 있다. 이러한 감도해석법과 최적화수법을 이용하면 목표하는 특성을 가지는 최적구조물을 얻을 수 있다. 바꾸어 말하면 기존의 구조물을 최소한의 변경으로 원하는 특성을 가지는 구조물을 얻을 수 있게 정량적인 구조변경량을 제시하여 주는 것이다^(2,3).

본 연구를 수행하기 전에 기둥을 이용하여 열린 상자형 구조물의 고유진동수를 원하는 목표치로 변경한 바가 있으나⁽⁴⁾ 기둥은 설치공간에 제약을 받을 수가 있고, 미관상에도 문제가 있을 수 있다. 특히 기둥을 설치할 장소가 진동 모드의 노드(node)에 해당되거나 동위상으로 진동하는 모드의 경우에는 기둥의 설치로는 해결할 수 없음을 밝힌 바 있다⁽⁴⁾.

본 논문에서는 이런 문제를 해결할 수 있는 방법으로 구조물에 보강재(stiffener)를 설치하여 구조물의 고유진동수를 바꾸는 구조변경을 수행한다.

구조물의 고유진동수 중에서 문제가 되고 있는 고유진동수를 감도해석법과 최적구조변경법을 이용하여 안전한 범위 밖으로 옮기는 구조변경을 수행하고, 얻어진 결과를 부분구조합성법으로 재해석(reanalysis)하여 고찰함으로써 제시한 방법의 타당성을 검증하고자 한다. 또한 본 연구에서는 범용의 유한요소법에 의존하지 아니하고 저자가 직접 모든 프로그램을 개발하여 범용화하고자 한다.

2. 감도해석법

감도란 구조물의 치수, 재료 등의 설계 변경으로 인한 정적·동적 특성의 변화율을 말하는 것이다.

즉, 수학적으로 감도란 반응값의 설계변수에 대한 미분치로 정의된다.

고유진동수와 고유진동형의 감도를 구하는 많은 방법들이 제안되어 있으나 여기에서는 Fox의 방법⁽⁵⁾을 이용하기로 하고 다음과 같은 운동방정식을 고려하기로 한다.

$$(\omega^2[M] + [K])\{X\} = (-\lambda[M] + [K])\{X\} = \{0\} \quad (1)$$

이 고유치 문제에서 r 차의 고유치 λ_r 에 대한 고유진동모드 벡터를 $\{\phi_r\}$ 이라고 두고, 설계변수 γ 가 γ_0 에서 미소량 $\Delta\gamma$ 만큼 변화해서

$$\gamma = \gamma_0 + \Delta\gamma \quad (2)$$

이 되면 $[K]$, $[M]$, λ_r , ω_r , $\{\phi_r\}$ 들도 따라서 변화하게 되는데, 설계변수에 대한 1차 미분항만을 고려하면 이것들은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$\begin{aligned} [K] &= [K_0] + \frac{\partial [K]}{\partial \gamma} \cdot \Delta\gamma = [K_0] + [K'] \Delta\gamma \\ [M] &= [M_0] + [M'] \Delta\gamma \\ \omega_r &= \omega_{0r} + \omega_r' \Delta\gamma \\ \lambda_r &= \lambda_{0r} + \lambda_r' \Delta\gamma \\ \{\phi_r\} &= \{\phi_{0r}\} + \{\phi_r'\} \Delta\gamma \end{aligned} \quad (3)$$

또, $\lambda_r = \omega_r^2$ 이므로

$$\begin{aligned} \lambda_r' &= 2\omega_r \omega_r' \\ \omega_r' &= \lambda_r' / 2\omega_r \end{aligned} \quad (4)$$

이 되고, 따라서 고유진동수의 감도는 고유치의 감도에 의하여 구할 수 있게 된다.

중간 유도과정을 생략하고 고유치의 감도를 나타내면 다음과 같다.

$$\lambda_r' = \{\phi_{0r}\}^T ([K'] - \lambda_{0r} [M']) \{\phi_{0r}\} \quad (5)$$

이 고유치의 감도가 강성행렬의 감도 $[K']$, 질량행렬의 감도 $[M']$ 와 r 차의 고유진동모드 $\{\phi_{0r}\}$ 에 의하여 표시됨을 알 수 있다.

그리고 식 (3)에서는 1차 미분만을 고려하였으므로 식 (3)에서 얻어진 값들은 근사값이 될 수 밖에 없다. 따라서 원하는 목표값을 얻기 위해서는 얻어진 변경량을 가지고 고유치 해석을 다시 하여 목표값에 도달했는지를 확인하는 반복과정을 거쳐서 최종의 설계량을 결정해야 할 것이다.

3. 최적구조변경법

감도해석에 의해 구해진 감도행렬을 $[A]$, 설계를

변경하고자 하는 장소의 변경량을 $\{\Delta\gamma\}$, 변경하고자 하는 목표값과 현재값과의 차를 $\{\Delta\omega\}$ 라 하면, 이의 최적화 문제는

$$[A]\{\Delta\gamma\}=\{\Delta\omega\} \quad (6)$$

로 나타낼 수 있다. 이 식은 1차 방정식을 나타내고 있지만, 행렬 $[A]$ 가 일반적으로 정방행렬이 아니므로 최소자승해를 구하는 문제이다.

먼저 구하고자 하는 미지수, 즉 변경하고자 하는 변경량의 수가 방정식의 개수보다 적은 경우는 다음과 같이 S 를 최소로 하는 최소자승해를 구하면 된다.

$$S=|[A]\{\Delta\gamma\}-\{\Delta\omega\}| \quad (7)$$

그러나 일반적으로 구조변경의 문제는 위와는 달리 구하고자 하는 변경량의 개수가 방정식의 개수보다 많은 것이 특징이다. 예를 들면, 몇 개의 고유진동수를 특정 고유진동수로 변경시키고자 할 때, 변경할 수 있는 부분의 수는 수십 개에서 수백 개에 이른다. 이 경우에는 무수히 많은 해를 가지게 되나 다음과 같이 S 를 최소로 하는 제약을 가하면 해가 일의적으로 결정된다.

$$S=\{\Delta\gamma\}^T\{\Delta\gamma\} \quad (8)$$

이러한 경우를 의사 최소자승법(pseudo least square method)의 문제라 부른다. 또 이 제약조건을 만족시키는 해는 변경량을 최소로 하는 해가 되기 때문에 최적해라 말할 수 있다. 여기에서 행렬 $[A]$ 가 독립성을 가지고 있으면 이의 해는 다음과 같이 간단히 구해질 수 있다.

$$\{\Delta\gamma\}=[A]^T([A][A]^T)^{-1}\{\Delta\omega\} \quad (9)$$

그러나 원판 등과 같이 대칭구조물은 감도행렬의 열이 같은 경우가 생길 수도 있다. 바꾸어 말하면, 행렬 $([A][A]^T)$ 의 역행렬이 존재하지 않게 되어 이 문제를 푸는 것은 간단하지 않고 식 (6)에 제약조건인 식 (8)을 추가하여 풀거나 식 (6)에서 $[A]$ 의 일반 역행렬을 직접 구하여 풀어야 한다⁽⁶⁾.

4. 열린 상자형 구조물의 진동해석과 최적구조변경

4.1 모드합성법에 의한 진동해석

본 연구를 위해서 Fig. 1과 같은 두께가 1.6mm인 연강판을 사용하여 제작한 길이 400mm, 폭 200mm, 높이 250mm인 열린 상자형 구조물을 실험 및

해석모델로 사용하였다. 우선 전체구조물을 Fig. 2와 같이 간단한 4개의 부분구조로 나누고 각 부분구조를 50mm 간격의 정방형 유한요소로 모델링하였다. 구속조건은 사방 자유인 조건을 선택하였다. 또한 구조물 중앙에 기관(engine)이 설치되어 있다고 간주하여 1번 부분구조 23번 절점을 가진하여 충격 실험을 실시하고, 한편으로는 모드 합성법으로 해석하였다. 해석에 채용한 모드 수는 각 부분구조에 대해 20개로 하였고 결합부의 모드수도 20개로 하였다. Fig. 3은 1번 부분구조 23번 절점을 가진하여 같은

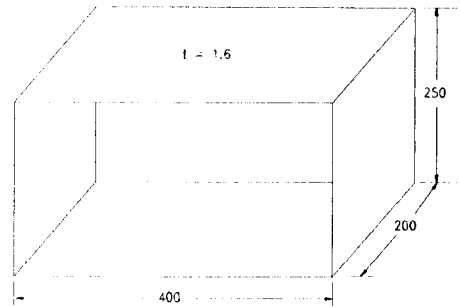


Fig. 1 Dimension of the open box type structure

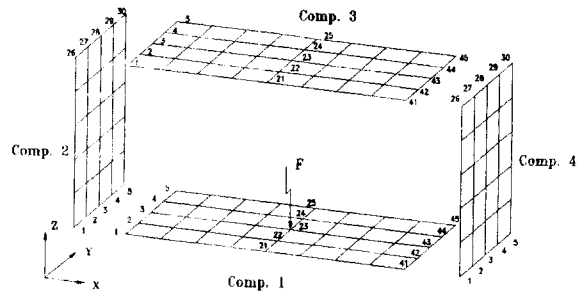


Fig. 2 Modeling of the open box type structure

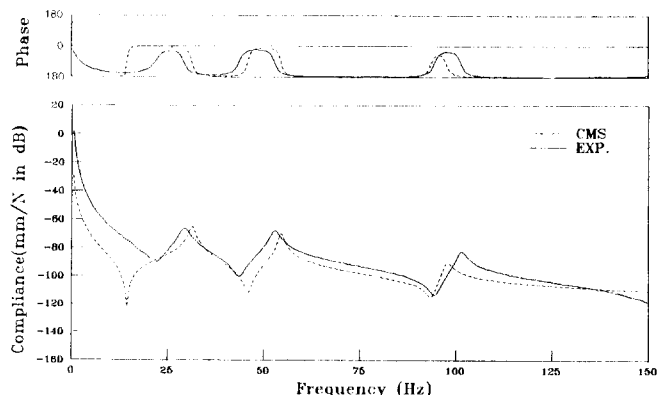


Fig. 3 Compliance of the open box type structure (force 1-23, response 1-23)

점의 응답을 나타낸 전달함수이고 Fig. 4는 같은 가진에 대한 3번 부분구조 23번 절점의 응답을 나타낸 전달함수이다. 그리고 Fig. 5는 모드합성법으로 해석한 이 모델의 고유진동형을 나타낸 것이다.

4.2 감도해석 및 최적구조변경

구조변경을 수행하기 위하여 구조물의 1번 분계 23번 절점에 운전범위 10~35Hz의 기관이 설치되어 있다고 가정하기로 한다. 이와같이 가정하면 운전범위내에 21.2Hz와 31.4Hz, 두 개의 고유진동수가 존재하게 되는데 21.2Hz의 고유진동수는 기진원이 구조물의 고유진동형 노드(node)에 해당되기 때문에 문제가 되지 않는다. 문제가 되는 것은 31.4Hz의 고유진동수로 공진현상을 일으킬 염려가 있으므로 이를 개선하기 위해서는 31.4Hz의 고유진동수를 운전범위 밖으로 이동시킬 필요가 있다. 본 연구에서는 보강재를 구조물에 부가함으로써 31.4Hz의 고유진동수를 45.0Hz로 변경시키는 구조변경을 수행하고자 한다.

보강재를 설치할 최적의 장소를 찾기 위해 다음과 같이 감도해석을 수행하였다. 먼저 보강재를 설치할 장소는 열린 상자형 구조물의 수평판과 수직판의 폭 방향이나 길이방향으로 설치할 수 있을 것이므로 보강재의 길이는 정할 수 있다. 또한 보강재는 일반적으로 구조물 제작시 사용한 재료를 이용하고 있으므로 보강재의 두께는 열린 상자형 구조물의 두께와 동일하다고 가정하였고, 그 형상은 Fig. 6과 같다. 그리고 보강재의 높이는 5mm의 초기값을 가진다고 가정하여 보강재의 높이를 설계 변수로 하고 열린 상자형 구조물의 수직판과 수평판에 대해 폭 방향으로 설치할 경우의 감도와 길이 방향으로 설치할 경

우의 감도를 계산한 결과 길이 방향으로 설치할 경우의 감도가 훨씬 높았다. 따라서 길이 방향으로 보강재를 설치하기로 하고 Table 1에 수평판의 길이방향으로 보강재를 설치한 경우와 수직판의 길이방향으로 보강재를 설치한 경우의 감도를 나타냈다. 수평판에 보강재를 설치하였을 때의 감도가 수직판에 설치하였을 때의 감도보다 크게 나타나고 있다. 이는 주목한 고유진동수의 고유진동형은 수평판의 진동형 진폭이 수직판의 진동형 진폭보다 크므로, 진동형 진폭이 큰 수평판에 보강재를 설치하였을 때의 감도가 큰 것을 의미한다. 그리고 수평판과 수직판

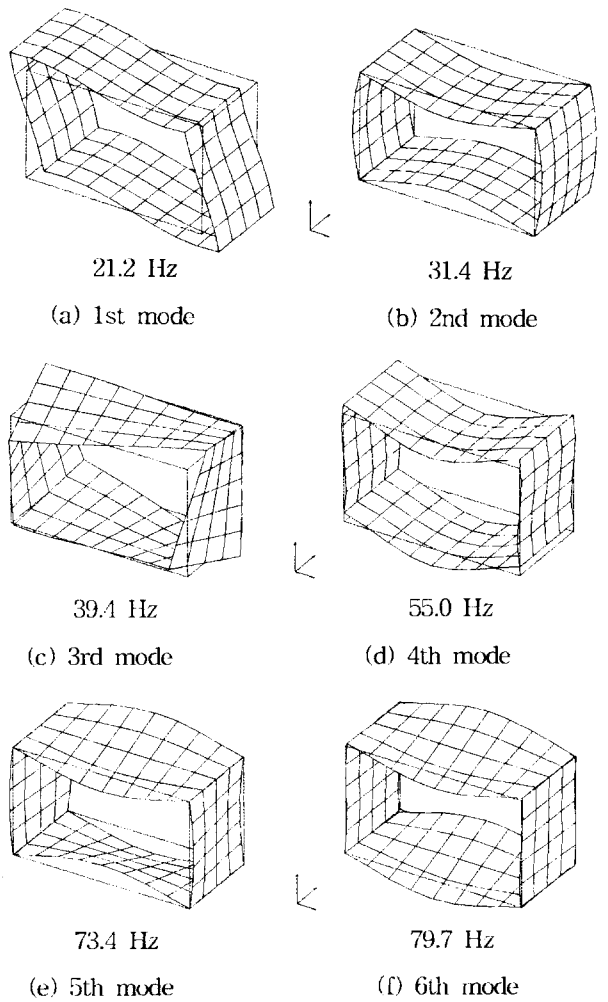


Fig. 5 Natural modes before modification

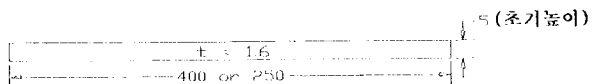


Fig. 6 Dimension of stiffener

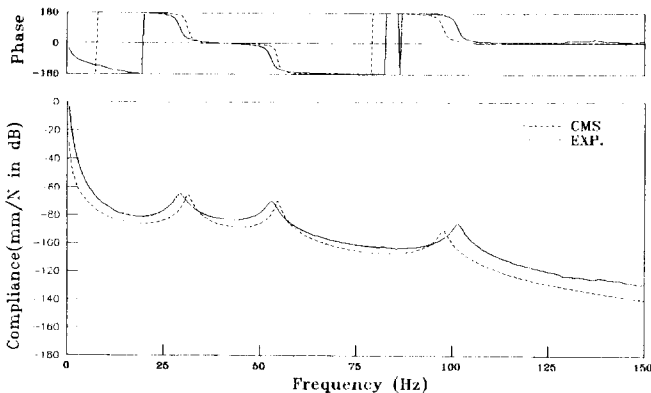


Fig. 4 Compliance of the open box type structure (force 1-23, response 3-23)

Table 1 Sensitivities of each stiffener

Horizontal plate			Vertical plate		
No. comp.	N. P.	sensitivity (Hz/mm)	No. comp.	N. P.	sensitivity (Hz/mm)
1	1-41	.69259E+00	2	1-26	.54638E+00
	2-42	.61436E+00		2-27	.46132E+00
	3-43	.59210E+00		3-28	.44353E+00
	4-44	.61436E+00		4-29	.46132E+00
	5-45	.69259E+00		5-30	.54368E+00
3	1-41	.69259E+00	4	1-26	.54638E+00
	2-42	.61436E+00		2-27	.46132E+00
	3-43	.59210E+00		3-28	.44353E+00
	4-44	.61436E+00		4-29	.46132E+00
	5-45	.69259E+00		5-30	.54368E+00

Table 2 The sensitivities and change quantities in the case of the horizontal plate modification

No. comp.	N. P.	1st calculation		2nd calculation		3rd calculation	
		Sensitivity (Hz/mm)	γ (mm)	Sensitivity (Hz/mm)	γ (mm)	Sensitivity (Hz/mm)	γ (mm)
1	3-43	.59210E+00	9.132	.12328+E01	11.047	.15123+E01	10.861
3	3-43	.59210E+00	9.132	.12328+E01	11.047	.15123+E01	10.861
Natural freq.		40.3 Hz		45.6 Hz		45.0 Hz	

Table 3 The sensitivities and change quantities in the case of the vertical plate modification

No. comp.	N. P.	1st calculation		2nd calculation		3rd calculation	
		Sensitivity (Hz/mm)	γ (mm)	Sensitivity (Hz/mm)	γ (mm)	Sensitivity (Hz/mm)	γ (mm)
2	3-28	.44353E+00	9.702	.58082+E00	15.921	.26388+E00	21.015
4	3-28	.33353E+00	9.702	.58082+E00	15.921	.26388+E00	21.015
Natural freq.		37.8 Hz		43.1 Hz		45.0 Hz	

Table 4 The sensitivities and change quantities in the case of both plate modification

No. comp.	N. P.	1st calculation		2nd calculation		3rd calculation	
		Sensitivity (Hz/mm)	γ (mm)	Sensitivity (Hz/mm)	γ (mm)	Sensitivity (Hz/mm)	γ (mm)
1	3-43	.59210E+00	7.341	.91714+E00	10.238	.13315+E01	9.765
2	3-43	.59210E+00	7.341	.91714+E00	10.238	.13315+E01	9.765
3	3-28	.44353E+00	5.499	.47670+E00	7.0046	.66479+E00	6.768
4	3-28	.44353E+00	5.499	.47670+E00	7.0046	.66479+E00	6.768
Natural freq.		38.3 Hz		46.6 Hz		45.0 Hz	

의 양변의 감도가 좋았으나 고유진동형의 대칭성을 유지하고 최소 개수의 보강재를 설치하기 위해 보강재의 설치 위치를 중앙으로 결정하였다. 그리고 계산된 감도값을 이용해서 31.4Hz의 고유진동수를 목표로 하는 고유진동수 45.0Hz로 변경하기 위해 최적구조변경법으로 보강재의 높이를 구한 후에 얻어진 치수의 보강재를 구조물에 부가해서 재해석하면 그 결과를 확인할 수 있는데, 본 연구에서는 수평판에만 보강재를 부가한 경우, 수직판에만 보강재를 부가한 경우, 양쪽 모두에 보강재를 부가한 경우로 나누어 구조변경을 실시하였다. 그리고 Table 2, 3, 4에는 각각의 구조변경에 대한 감도값과 변경량을 나타낸 것이다.

4.3 구조변경후의 고찰

감도해석법과 최적구조변경법을 통하여 구해진 치수의 보강재를 구조물에 부가해서 모드합성법으로 재해석한 결과는 다음과 같다. Table 2~Table 4를 통해 알 수 있듯이 수평판에만 보강재를 설치한 경우, 수직판에만 보강재를 설치한 경우, 그리고 양쪽 모두에 보강재를 설치한 경우 모두 31.4Hz의 고유진동수를 목표했던 45.0Hz로 변경되었음을 확인할 수 있었으며, 이는 3회 정도의 반복계산을 통해 얻을 수 있었다.

Fig. 6과 Fig. 7은 구조변경 전과 각각의 경우에 대한 구조변경 후의 전달함수의 변화를 보여주고 있다. 간격이 넓은 점선으로 표시한 것이 구조변경전의 전달함수이고, 수평판에만 보강재를 설치한 경우, 수직판에서 보강재를 설치한 경우, 양쪽판 모두에 보강재를 설치한 경우의 전달함수는 각각 실선,

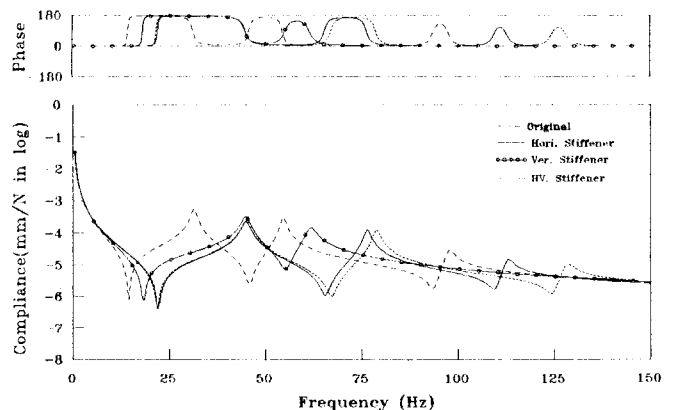


Fig. 7 Comparison of the original and modified compliance (force 1-23, response 1-23)

실선에 동그마리를 더한 것, 간격이 조밀한 점선으로 표시하였다. Fig. 6은 1번 부분구조의 23번 절점을 가진했을 때 같은 점에서의 전달함수이고, Fig. 7은 같은 가진상태에서 3번 부분구조 23번 절점에서의 전달함수이다. 구조변경 전의 31.4Hz에서의 공진점이 모든 경우에 대해 45.0Hz로 옮겨진 것을 알 수 있다. 그리고 Fig. 8~Fig. 10은 구조변경후의 고유진동형을 나타낸 것이고, Table 5에는 변경전과 변경후의 고유진동수의 변화를 각각의 경우에 대하여 나타내었다. 이를 통하여 보강재는 구조물의 고유진동수를 변경하는데 효과적인 부가부재임을 확인할 수 있었다.

이 결과를 수평판에 보강재 부가한 경우, 수직판에 보강재를 부가한 경우, 양쪽 모두에 보강재를 부가한 경우로 나누어 고찰하면 다음과 같다. 보강재를 수평판에만 설치한 경우 Table 5에서 보는 바 같이 수평판의 고유진동형 진폭이 큰 차수의 고유진동수가 크게 변화하고 수평판의 고유진동형 진폭이 작은 차수에 대해서는 고유진동수의 변화가 작다. 마찬가지로 수직판에만 보강재를 설치할 경우에 대해서는 수직판의 고유진동형 진폭이 큰 차수의 고유진동수가 크게 변화하고 수직판의 고유진동형 진폭이 작은 차수에 대해서는 고유진동수의 변화가 작다. 양쪽판 모두의 고유진동형 진폭이 큰 경우에는 양쪽판 모두에 보강재를 설치하는 것이 효과적임을 알 수 있었다.

이상에서와 같이 고유진동수를 바꾸기 위해서는 바꾸려고 하는 고유진동수의 고유진동형 진폭이 큰 부분에 보강재를 설치하는 것이 효과적이라는 것을 확인할 수 있었다.

그리고 Table 6에는 본 연구에 앞서 수행한 기동을 이용한 열린 상자형 구조변경의 결과⁽⁴⁾를 나타낸 것이다. 이 연구에서도 똑같은 가정하에 31.4Hz의 고유진동수를 45.0Hz로 변경하는 구조변경을 하였으며 Table 6에서 보는 바와 같이 주목한 고유진동수가 목표한 고유진동수로 변경된 것을 알 수 있다. 여기서 특이할 점은 상·하 수평판이 반대위상으로 진동하는 고유진동형에 기동을 설치한 경우 즉, 변경전의 31.4Hz와 73.7Hz의 고유진동수가 구조변경후에 큰 변화를 보이고 있고 그 이외에 기동의 설치 위치가 고유진동형의 진동절에 해당되는 경우와 상·하 수평판이 동위상으로 진동하는 고유진동형에 기동을 설치한 경우의 고유진동수는 변화가 없음을 알 수 있다. 따라서 기동을 이용한 구조변경의 특징은 관심이 있는 반대위상으로 진동하는 고유진동형의

고유진동수 이외의 다른 고유진동수에는 영향을 주지 않고 효과적으로 구조변경을 할 수 있다는 것을

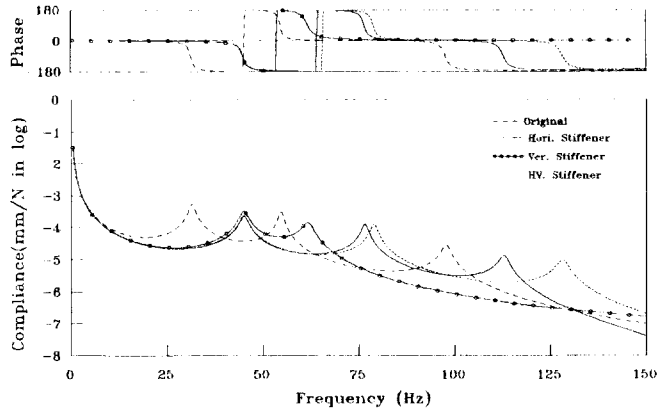


Fig. 8 Comparison of the original and modified compliance (force 1-23, response 3-23)

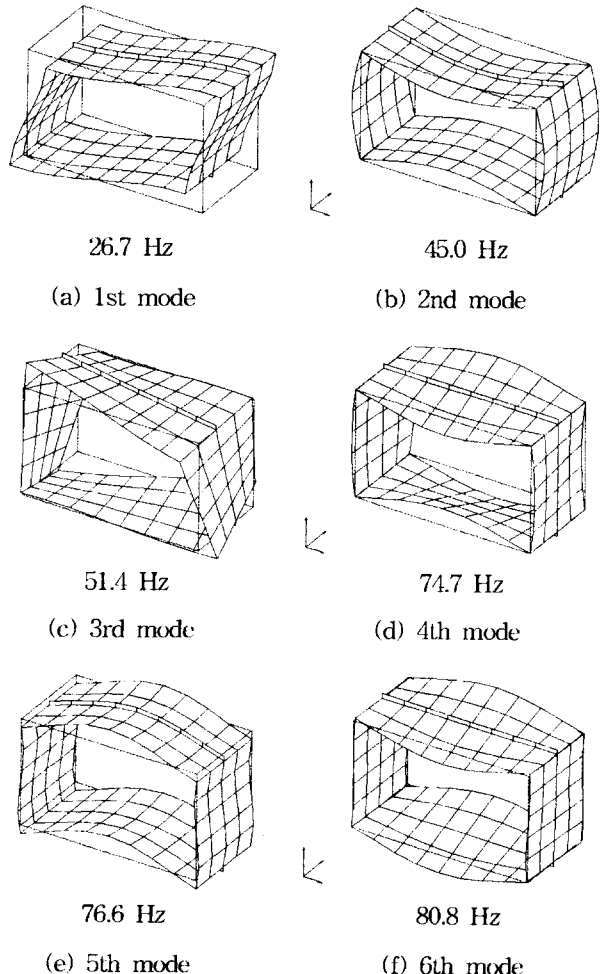


Fig. 9 Natural modes after the horizontal plate modification

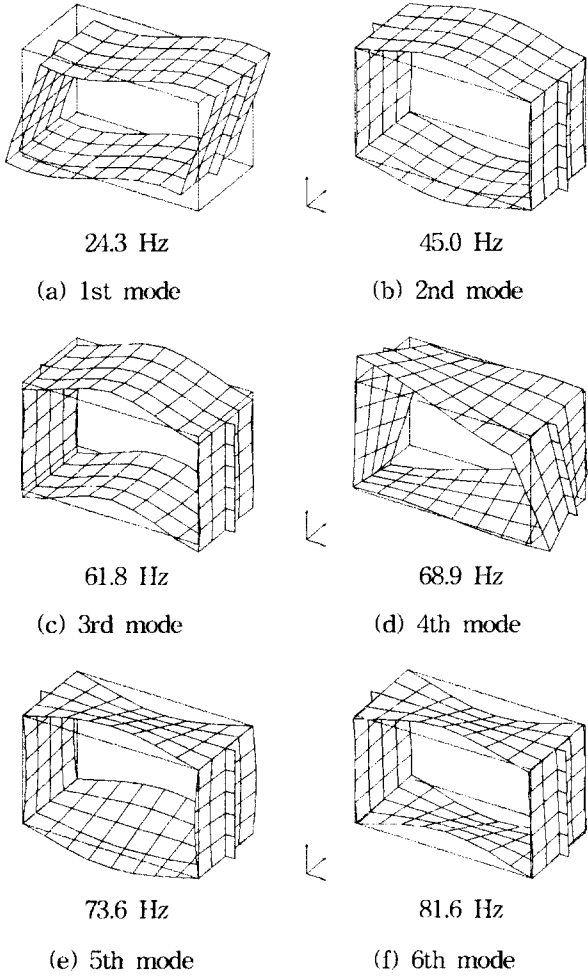


Fig. 10 Natural modes after the vertical plate modification

Table 5 Change of the natural frequency by structural modification using the stiffener

Order	1	2	3	4	5	6
Original (Hz)	21.2	31.4	39.4	55.0	73.4	79.7
Modi. Hori. plate(Hz)	26.7	45.0	51.4	76.6	74.7	80.8
Change rate (%)	(26.1)	(43.3)	(30.5)	(39.9)	(1.8)	(1.4)
Modi. Verti. plate (Hz)	24.3	45.0	68.9	61.8	73.6	81.6
Change rate (%)	(14.6)	(43.3)	(74.9)	(12.4)	(0.3)	(2.4)
Modi. Both plate (Hz)	30.8	45.0	59.6	79.0	74.7	81.1
Change rate (%)	(45.3)	(43.3)	(51.3)	(43.6)	(1.8)	(1.8)

의미한다. 그러나 상·하 절점 사이의 고유진동형의 진동절이나 동위상이라면 기둥을 이용하여 고유진동수를 변경하는 것이 어렵다는 것을 의미한다. 반면

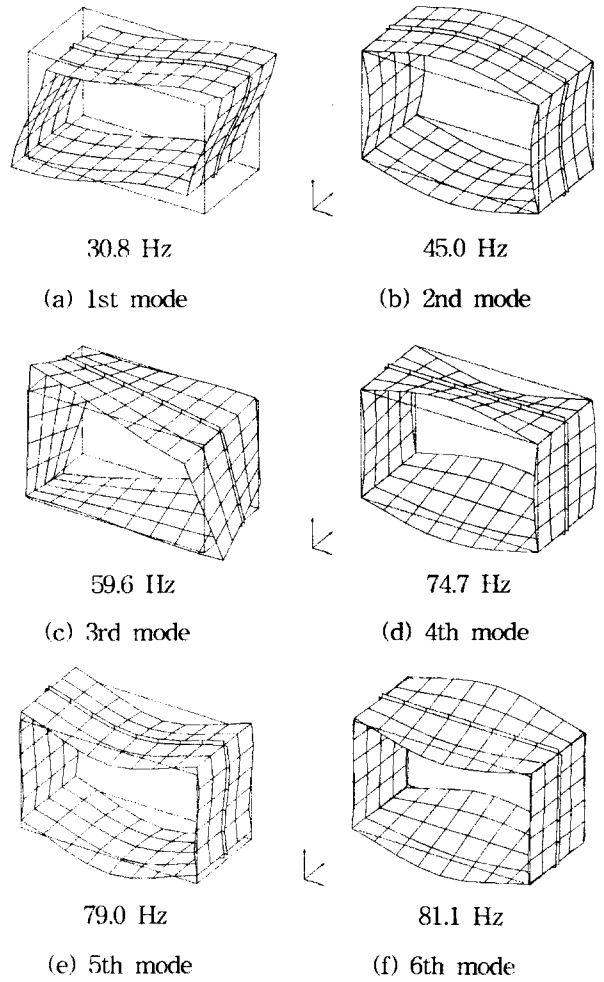


Fig. 11 Natural modes after both plate modification

Table 6 Change of the natural frequency by structural modification using the pillar

Order	1	2	3	4	5	6
Original (Hz)	21.2	31.4	39.4	55.0	73.4	79.7
Modified (Hz)	21.2	45.0	39.4	55.0	92.7	79.7
Change rate (%)	(0.0)	(43.3)	(0.0)	(0.0)	(26.3)	(0.0)

에 보강재를 이용한 구조변경에서는 보강재가 기둥에 비해 설치 공간에 비교적 제약을 받지 않는다는 장점 뿐만 아니라 Table 6에서 보는 바와 같이 모든 차수의 고유진동수가 그 정도의 차이는 있지만 변화하고 있음을 알 수 있다. 이것은 기둥을 이용한 구조변경에서는 불가능했던 상·하 절점사이의 고유진동형이 동위상으로 진동하는 경우에도 구조변경이 가능하다는 것을 의미한다.

5. 결 론

본 연구에서는 열린 상자형 구조물에 보강재를 설치하여 공진현상을 일으킬 염려가 있는 구조물의 고유진동수를 기관의 운전범위 밖으로 이동시키는 최적구조변경법에 대하여 고찰해 보았고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 감도해석법을 이용하여 열린 상자형 구조물에 보강재를 설치할 위치와 설치하였을 때의 고유진동수 감도를 쉽게 구할 수 있었다.

(2) 고유진동수 감도를 이용하는 최적구조변경법에 의해 보강재의 치수를 정량적으로 구할 수 있었고, 고유진동수를 목표한 값으로 쉽게 바꿀 수 있었다.

(3) 상·하 수평판이 동위상으로 진동하는 경우에 기둥의 설치로는 고유진동수를 변경하는 것이 불가능하였지만 보강재를 이용한 구조변경에서는 동위상으로 진동하는 경우에도 쉽게 고유진동수를 변경할 수 있었다.

(4) 보강재는 구조변경문제에 있어서 설치장소에 제약을 받지 아니하고 효과적으로 사용될 수 있는 부가부재임을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 구조물에 보강재를 설치하여 고유진동수만을 변경하는 구조변경이지만, 고유진동수를 변경하는 방법과 고유진동형을 변경하는 방법을 병행하게 되면 더욱 효과적인 구조변경이 가능할 것으로 사료된다. 그리고 구조물의 치수, 형상, 재료등

의 종합적인 설계변수를 고려하는 감도해석과 이를 바탕으로 하는 최적구조변경이 필요할 것이다.

후 기

본 연구는 1994년 한국과학재단의 특정연구과제의 연구비 지원을 받아 이루어졌으며, 관계자 여러분께 감사드리는 바이다.

참 고 문 헌

- (1) 大態政明, 1986, “部分構造合成法による 振動解析”, 博士學位論文, 日本東京工業大學.
- (2) 朴錫柱, 長松召男, 1990, “프레스 機械의 振動解析과 動特性的의 最適化”, 韓國船舶機關學會誌, 第14卷, 第3號, p. 34.
- (3) 박석주, 왕지석, 1992, “감도해석법에 의한 구조물의 결합부 강성 산출에 의한 연구”, 韓國船舶機關學會誌, 第16卷, 第5號, p. 60.
- (4) 박석주 외, 1994, “열린 상자형 구조물의 진동 최소화 기법에 관한 연구”, 한국소음진동공학회지, 제4권, 제4호, pp. 479~486.
- (5) R.L. Fox, 1968, “Rates of Changes of Eigen Values and Eigen Vectors”, AIAA J., Vol. 6, No. 12, p. 2426.
- (6) 柳井晴夫, 竹内 啓, 1983, “射影行列, 一般行列, 特異値分解”, 東京大學出版會, p. 65.