형상변경에 의한 L형 구조물의 최적구조변경법에 관한 연구

오 창 근[1], 박 석 주[2]

A Study on Optimum Structural Modification of the L-Type Structure by Shape Changes

Chang-Geun Oh , Sok-Chu Park

Abstract

The structural analysis methods have remarkably been developed with rapid progress of digital computer. The finite element method and the sub-structure synthesis method which can quite precisely analyze the dynamic problems of structures, are typical examples of such methods. But such methods can't provide optimal structural design techniques for engineers. Therefore, the sensitivity method is appeared to improve this aspects, where the sensitivity is defined as the differentials of design variables for the objective values. The change quantities of the positions to be modified are obtained by the optimum structural modification method using the sensitivities.

In this study, the optimum structural modification of the L-type structure by shape changes is suggested. The vibration characteristics of L-type structure are analyzed by the sub-structure synthesis method and the coordinate sensitivities of each sub-structure are calculated and the change quantities of the position to be modified are calculated by using that

1) 한국해양대학교 선박공학과 석사과정 선체구조 전공
2) 한국해양대학교 조선공학과 교수

방법이 감도해석법(sensitivity analysis method)이다. 여기에서 감도(sensitivity)란 어떤 특정 부분의 형상이나 치수 등의 설계변수를 바꾸었을 때 해석 결과 값에 미치는 영향의 정도를 나타내는 것이다. 감도해석법을 이용하면 어느 부분을 변경하는 것이 가장 효과적인지를 알 수 있다. 따라서 이러한 감도해석법을 이용하면 시행착오적인 방법에 비해 시간과 경비를 줄일 수 있고, 구조물의 효율적인 설계변경이나 구조변경이 가능할 것이다.[4]-[6] 감도해석법을 이용한 연구 사례는 많지 않지만 부재의 두께, 단면형상, 기둥 같은 부가부재 등을 이용해 구조변경 내지는 설계변경을 한 연구들이 있다.[6]-[9]

본 연구에서는 진동특성을 개선하기 위한 방법으로서 구조물이 가지는 공간적인 좌표를 설계변수로 하여 좌표 감도(coordinate sensitivity)를 구하고, 이를 이용하여 구조물의 길이와 높이에 대한 형상을 변경하여 구조물의 고유진동수를 바꾸는 최적구조변경법(optimum structural modification method)을 예시하고자 한다.

먼저 모우드합성법으로 임의 치수의 L형 구조물의 진동특성을 해석하고, 진동특성을 변경하기 위해 감도해석법으로 변경할 부분의 좌표 고유진동수 감도를 구하여, 최적구조변경법으로 변경할 부분의 변경량을 구한다. 그리고 변경후 모우드합성법으로 재해석하여, 결과를 비교함으로써 제시한 방법의 타당성을 고찰하고자 한다.

2. 감도해석법과 최적구조변경법

최근에는 유한요소법이나 부분구조합성법을 이용한 구조해석으로 설계단계에서 구조물의 정적·동적 특성을 예측하는 것이 비교적 쉬워지게 되었다. 그러나 설계된 구조물이 최적한 것인지에 대한 의문은 여전히 남게 된다. 또한 제작된 구조물의 특성에 문제가 있을 경우, 어떻게 구조변경을 하는 것이 좋을 것인가에 대한 해결지침이 거의 없었다. 따라서 설계자의 경험이나 직관 등에 의하여 설계를 변경한 후, 다시 구조해석을 하여 설계조건을 확인하는 시행착오적인 방법에 의존할 수 밖에 없었던 것이다. 이러한 시행착오적인 방법은 엄청난 시간과 경비가 소요되어 비효율적이다. 이러한 단점을 보완할 수 있는 방법이 감도해석법을 이용한 최적구조변경법이다. 감도해석법은 구조물의 치수나 재료의 변경 등으로 인한 정적·동적 특성의 변화율을 구하는 방법이고, 여기에서 말하는 감도란 어떤 특정부

dCollection

sensitivities.

The results obtained are as follow :

1. The sensitivities of the natural frequency can easily be calculated by the sensitivity method.
2. The change quantities of the position to be modified can exactly be calculated by the optimum structural modification method.
3. The structure is modified without changing the original natural modes. Therefore, it can overcome that another vibration problems after structural modification.

1. 서 론

전자계산기를 이용한 구조물의 정적·동적 해석법이 발달하여 정적·동적 특성을 정도 높게 해석할 수 있게 되었으며, 더 나아가서는 실계 단계에서 구조물의 거동을 비교적 정확하게 예측하는 것이 가능하게 되었다. 유한요소법이 그 대표적인 해석법으로 응용되고 있다. 일반적으로 구조물이 복잡해지면, 해석 결과의 정도를 높이기 위해 요소 분할 수를 증가시켜야 한다. 결국 자유도가 매우 커지게 되고 컴퓨터의 계산시간과 기억용량이 문제된다. 이러한 문제점을 개선하기 위해서 구조물 전체를 여러 개의 단순한 부분구조물로 나누어 해석하는 부분구조합성법(sub-structure synthesis method)이 최근 실용적인 동적 해석 방법으로 이용되고 있다. 이 방법은 일부 구조의 변경시에는 다른 부분의 데이터를 이용할 수 있으므로 모델링의 효율성이 좋고 결합부의 특성을 고려할 수 있다는 장점이 있다.[1][2] 그러나 유한요소법이나 부분구조합성법을 이용하여 구조물에 대한 정도 높은 해석 결과를 얻더라도 이것만으로 보다 좋은 특성의 구조물이 제작되는 것은 아니다. 즉, 해석결과만으로는 최적한 구조물을 제작하기 위한 실계변경문제와 구조적 특성에 문제가 있을 경우의 구조변경문제에 대한 명확한 해결책을 제시할 수 없는 것이다. 결국 해석결과를 토대로 실계자의 경험이나 직관 등에 의해 실계를 변경한 후 재해석하여 실계조건을 확인하는 시행착오적인 방법에 의존할 수 밖에 없을 것이다. 이러한 시행착오적인 방법은 엄청난 시간과 경비가 소요되고, 복잡한 구조물에 대해서는 적용하기가 곤란해진다. 이러한 단점을 보완할 수 있는

dCollection

분의 형상이나 치수 등의 설계변수를 바꾸었을 때, 해석 결과 값에 미치는 영향의 정도를 말한다. 고유진동수와 고유모우드의 감도를 구하는 많은 방법들이 제안되어 있으나 본 연구에서는 Fox의 방법을 이용하였다. 그리고 설계변경을 원하는 장소의 변경량을 구하기 위해서는 최소자승해를 구하는 것이 되지만 일반적으로 구조변경 문제는 구하고자 하는 변경량의 수가 방정식의 수보다 많기 때문에, 결국 어떤 조건을 가해 일의적인 해를 구하는 의사 최소자승 문제를 푸는 것이 된다. 보통 최소의 변경량이 되도록 조건을 가해서 주어진 문제를 풀게 되므로 최적 구조변경법이라 한다.

3. L형 구조물의 진동해석 및 최적구조변경

3.1 모우드합성법에 의한 진동해석

본 연구에서 사용한 L형 구조물은 Fig. 3.1와 같은 길이 400mm, 높이 300mm, 폭 200 mm의 해석적인 모델이다. 모우드합성법을 이용하기 위해 전체 구조물을 Fig. 3.2와 같이 2개의 부분구조로 나누어 모델링하고 해석하였다. 모우드합성법으로 해석한 이 모델의 진동형태는 Fig. 3.3에서 보는 바와 같이 크게 두가지 진동형태로 나눌 수 있다. 즉, 수직판의 굽힘 진동형 진폭이 수평판보다 큰 진동형태와 수평판의 진동형 진폭이 수직판보다 큰 진동형태로 나눌 수 있다. 여기에서 수직판의 진동형 진폭이 큰 경우를 그룹 1 이라 하고 수평판의 진동형 진폭이 큰 경우를 그룹 2 라 하였다.

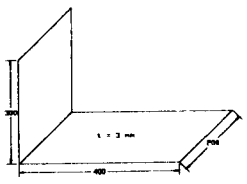


Fig. 3.1 Dimension of the L-type Structure

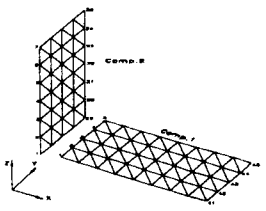


Fig. 3.2 Modeling of the Structure of 2 components

Collection

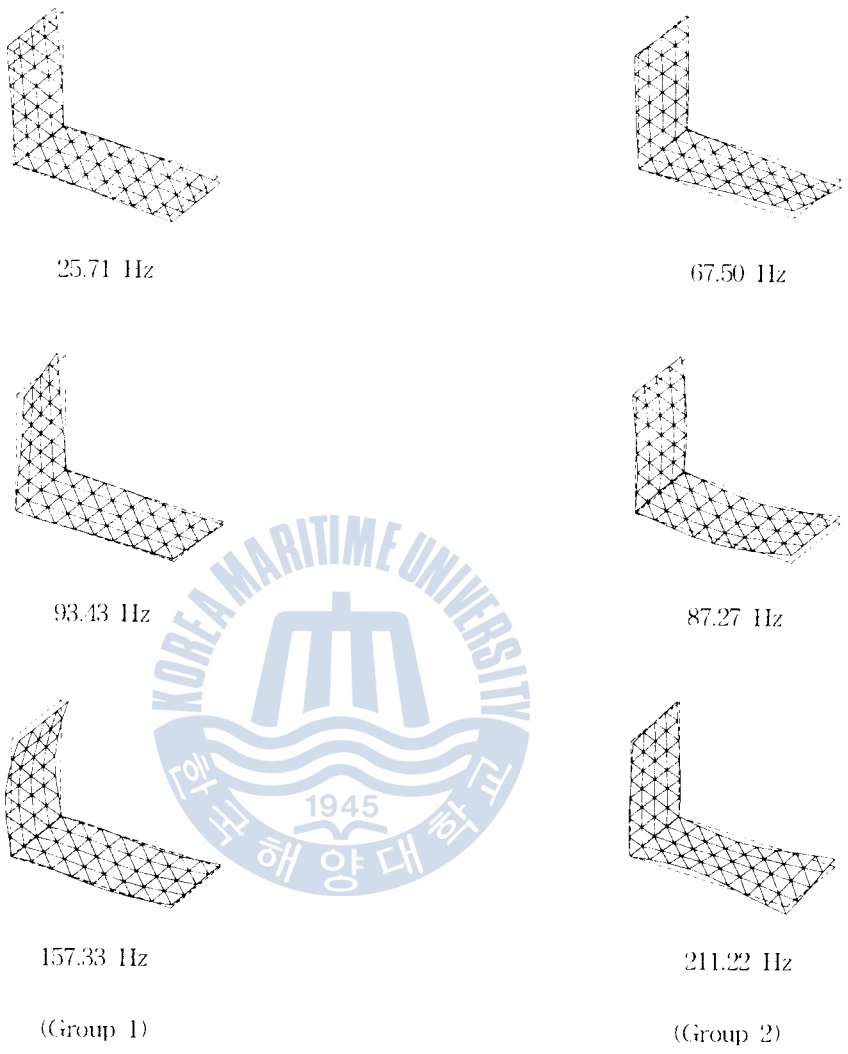


Fig. 3.3 Natural modes before modification

3.2 감도해석 및 최적구조변경

본 연구에서는 해석한 구조물의 고유진동수 중 감힘 1차 진동형을 가지는 87.27Hz를 구조물의 길이와 높이에 대한 형상을 변경함으로써 80Hz로 바꾸는 구조변경을 예시하고자 한다. 먼저 수평판과 수직판의 끝단의 절점들을 변경할 위치로 선택하였다. 또한 이 절점들의 길이 방향의 좌표를 설계변수로 하였고 감도해

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교

dCollection

석법을 통해 이들 절점들의 길이 방향 좌표에 대한 고유진동수 감도를 구하였다. 이렇게 구한 감도를 이용하면 각각의 절점에 대한 변경량을 구할 수 있는데, 본 연구에서는 수평판만 변경할 경우, 수직판만 변경할 경우, 그리고 양쪽판 모두를 변경할 경우의 세가지 경우로 나누어서 구조변경을 실시하였다. Table 3.1은 수평판만 변경한 경우의 감도와 변경량을 나타내고 있다. Table 3.2는 수직판만 변경한 경우의 감도와 변경량을 나타내고 있다. Table 3.1 과 Table 3.2를 비교해 보면 알 수 있듯이 수평판의 감도가 수직판의 감도보다 큼을 알 수 있다. 바꾸려 했던 고유진동수 87.27Hz에 해당되는 고유진동형은 수평판의 진동형 진폭이 수직판과 비교해 볼 때 크게 나타난다. 결국 진동형 진폭이 큰 수평판의 감도가 진동형 진폭이 작은 수직판의 감도보다 더 큰 것을 의미한다. Table 3.3은 양쪽판 모두를 변경한 경우의 감도와 변경량을 보여주고 있다. 그리고 수평판만 변경했을 때 해당되는 진동형 집단을 Fig. 3.4에 나타내었다. 마찬가지로 수직판만 변경했을 때, 양쪽 모두를 변경했을 때, 해당되는 진동형 집단을 각각 Fig. 3.5 과 Fig. 3.6에 나타내었다.

Table 3.1 The sensitivity and change quantities in the case of the horizontal plate modification

No. comp.	N.P.	1st calculation		2nd calculation		Total changes(mm) (4th iter.)
		sensitivity (Hz/mm)	Δγ(mm)	sensitivity (Hz/mm)	Δγ(mm)	
1	41	-0.2792E-01	13.61	-0.1268E-01	-0.81	12.66
	42	-0.5937E-01	28.94	-0.3928E-01	-2.50	25.05
	43	-0.6186E-01	30.16	-0.1040E-00	-6.62	23.41
	44	-0.6055E-01	29.51	-0.5236E-01	-3.35	25.15
	45	-0.2957E-01	14.41	0.2474E-01	1.56	16.21
Natural freq.		78.81(Hz)		79.78(Hz)		79.98(Hz)

Table 3.2 The sensitivity and change quantities in the case of the vertical plate modification

No. comp.	N.P.	1st calculation		2nd calculation		Total changes(mm) (4th iter.)
		sensitivity (Hz/mm)	Δγ(mm)	sensitivity (Hz/mm)	Δγ(mm)	
2	7	-0.1638E-01	23.42	-0.2289E-01	3.64	28.96
	14	-0.3591E-01	51.32	-0.5161E-01	9.00	64.34
	21	-0.3764E-01	53.80	-0.6268E-01	9.96	66.61
	28	-0.3275E-01	46.81	-0.3628E-01	5.77	54.60
	35	-0.1653E-01	23.66	-0.1237E-01	1.97	26.51
Natural freq.		81.71(Hz)		80.64(Hz)		80.27(Hz)

dCollection

Table 3.3 The sensitivity and change quantities in the case of the both plate modification

No. comp.	N.P.	1st calculation sensitivity (Hz/mm)	1st calculation Δγ(mm)	2nd calculation sensitivity (Hz/mm)	2nd calculation Δγ(mm)	Total changes(mm) (3th iter.)
1	41	-0.2793E-01	11.94	-0.1374E-01	-1.12	10.77
	42	-0.5937E-01	25.38	-0.4017E-01	-3.27	21.76
	43	-0.6186E-01	26.45	-0.1025E-00	-8.33	17.86
	44	-0.6054E-01	25.89	-0.5014E-01	-4.08	21.25
	45	-0.2957E-01	12.64	0.2462E-01	2.00	14.75
2	7	-0.1638E-01	7.00	-0.1256E-01	-1.02	5.94
	14	-0.3763E-01	15.35	-0.3147E-01	-2.56	12.68
	21	-0.3591E-01	16.09	-0.3239E-01	-2.63	13.35
	28	-0.3275E-01	14.00	-0.2951E-01	-2.40	11.50
	35	-0.1652E-01	3.07	-0.1444E-01	-1.17	5.84
Natural freq.		78.48(Hz)		79.91(Hz)		80.01(Hz)

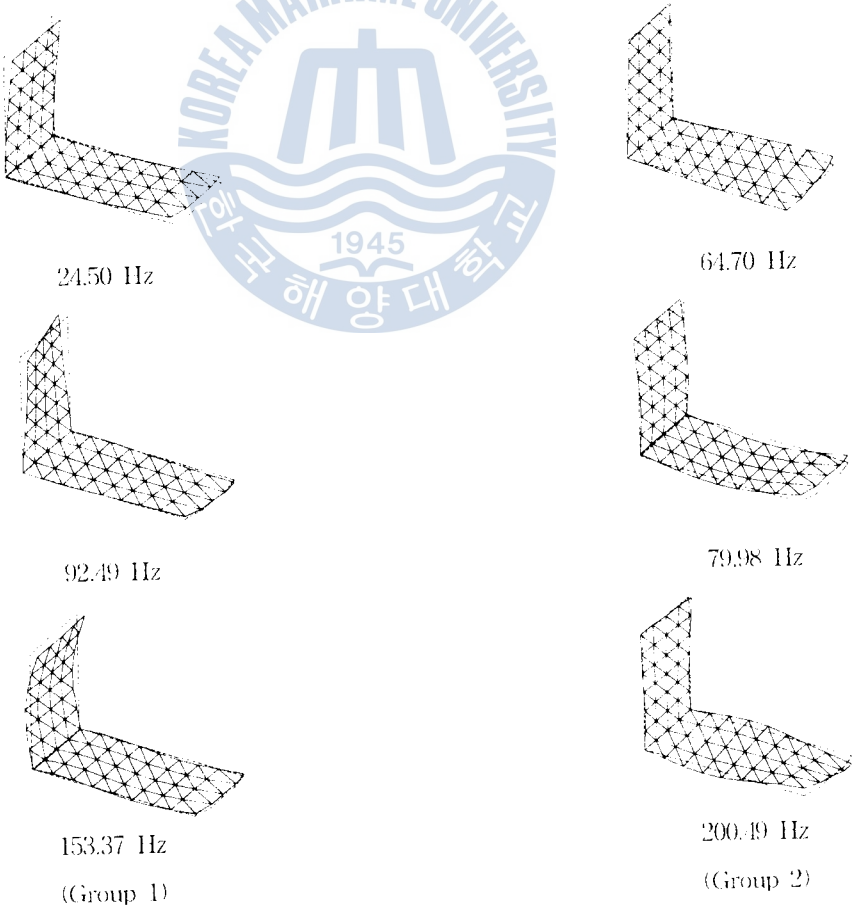
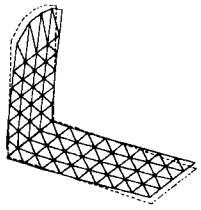


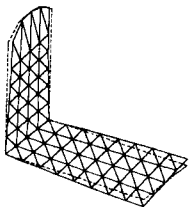
Fig. 3.4 Natural modes after horizontal plate modification

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교

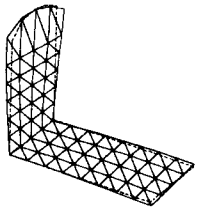
dCollection



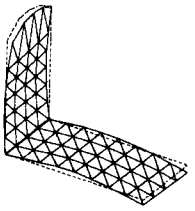
21.50 Hz



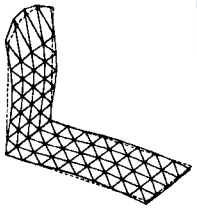
65.02 Hz



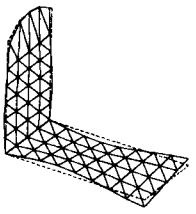
82.35 Hz



80.27 Hz

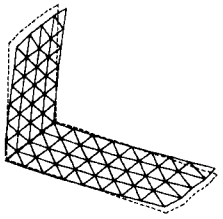


123.16 Hz
(Group 1)

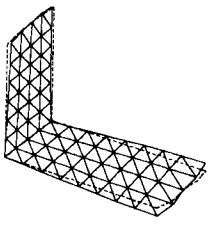


208.05 Hz
(Group 1)

Fig. 3.5 Natural modes after vertical plalte modification



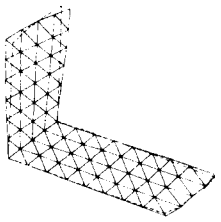
23.72 Hz



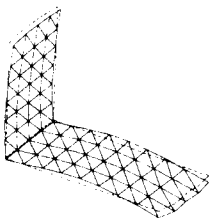
64.57 Hz

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교

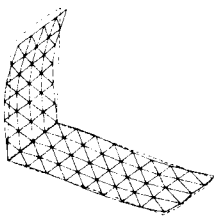
dCollection



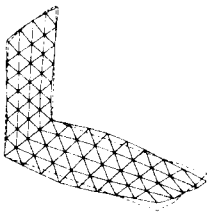
90.00 Hz



80.01 Hz



145.74 Hz
(Group 1)



201.33 Hz
(Group 2)

Fig. 3.6 Natual modes after both modification

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교

3.3 구조변경 후의 고찰

본 절에서는 앞 절에서 구해진 변경량을 이용하여 모우드합성법으로 재해석(re-analysis)을 수행한 결과를 고찰하고자 한다. Table 3.1 ~ Table 3.3에서 알 수 있듯이 재해석 결과, 고유진동수는 각각의 세경우에 대해서 79.98Hz, 80.27Hz, 80.01Hz로 변경되어 처음 목표했던 값에 거의 일치하고 있으며, 이는 3회 내지 4회의 반복 계산을 통해 얻을 수 있었다. Fig. 3.7은 구조변경 전과 각각의 경우에 대한 구조변경 후의 진달함수의 변이를 보여주고 있다. Fig. 3.7의 왼쪽 은 1번 분계의 23번 절점을 가진했을 때 같은 점에서의 진달함수이고, 오른쪽은 같은 가진 상태에서 2번 분계 20번 절점에서의 진달함수이다. 구조변경 전의 87.27Hz에서의 공진점이 모든 경우에 대해 80Hz로 옮기진 것을 알 수 있다. Fig. 3.8는 구조변경 후의 각각의 경우에 대한 판들의 변경된 형상을 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 완전한 대칭은 아니지만 비교적 대칭적인 형상을 이루고 있음을 알 수 있다. 이는 처음에 구한 감도의 오차가 반복계산을 통해 누적된 것으로 사료된다.

dCollection

Fig. 3.4 ~Fig. 3.6에서 보인 바와 같이 어떤 경우에 대해서도 고유진동형에는 거의 변화가 없다. 이는 변경할 위치의 변경량이 비교적 잘 산출된 것을 의미한다. 이 결과를 보다 구체적으로 고찰하기 위해서 Table 3.4에 이들의 대비표를 나타내었고 다음과 같이 각각의 그룹별 구조변경의 경우에 대해서 고찰하였다.

1) < 그룹 1 > : 수직판의 진동형 진폭이 큰 집단

① 수평판만 변경한 경우

고유진동수가 거의 변화가 없다. 구조변경으로 변화된 강성과 질량이 해당 고유진동수에 크게 영향을 미치지 못 했을 것이다.

② 수직판만 변경한 경우

고유진동수의 변화가 크게 나타난다. 구조변경으로 변화된 강성과 질량이 진동형 진폭을 변화시킨다는 것을 의미한다. 전달함수를 보면은 더욱 잘 알 수 있다.

③ 양쪽 모두 변경한 경우

아주 작은 변화이지만 고유진동수에 변화가 있다. 수평판의 변경량은 크지만 수직판의 작은 변경량으로 인해 고유진동수가 작아진 것으로 생각된다.

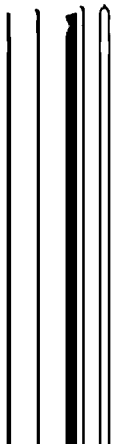
2) < 그룹 2 > : 수평판의 진동형 진폭이 큰 집단

① 수평판만 변경한 경우

앞에서 언급한 그룹 1과는 달리 커다란 고유진동수의 변화를 볼 수 있다. 수평판의 변화된 질량과 강성이 진동형 진폭에 영향을 미친다는 것을 의미한다.

② 수직판만 변경한 경우

그룹 1과 달리 고유진동수의 변화가 거의 없다. 변경으로 변화된 강성과 질량이 진동형 진폭에는 영향을 거의 미치지 못함을 알 수 있다.



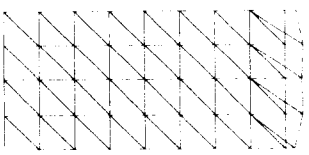
dCollection

Table 3.4 The change of natural frequency by structure modification

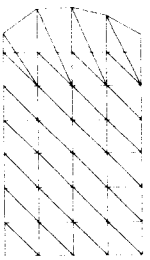
Group	Order	Original (Hz)	Modi. Hori. Plate (Hz)	Modi. Verti. Plate (Hz)	Modi. Both Plate (Hz)
1	1	25.71	24.50	21.50	23.72
	2	93.43	92.49	82.35	90.00
	3	157.33	153.37	123.16	145.74
2	1	67.50	64.70	65.02	64.57
	2	87.27	79.98	80.27	80.01
	3	211.22	200.49	208.05	201.33

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교

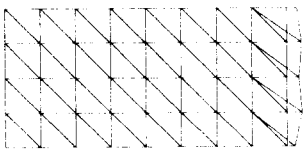
Fig 3.7 Comparision of the original and modified compliance

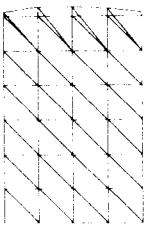


(only horizontal plate modification)



(only vertical plate modification)





(Both plate modification)

Fig. 3.8 The shape of plates after modification

dCollection

Table 3.4 The change of natural frequency by structure modification

Group	Order	Original (Hz)	Modi. Hori. Plate (Hz)	Modi. Verti. Plate (Hz)	Modi. Both Plate (Hz)
1	1	25.71	24.50	21.50	23.72
	2	93.43	92.49	82.35	90.00
	3	157.33	153.37	123.16	145.74
2	1	67.50	64.70	65.02	64.57
	2	87.27	79.98	80.27	80.01
	3	211.22	200.49	208.05	201.33

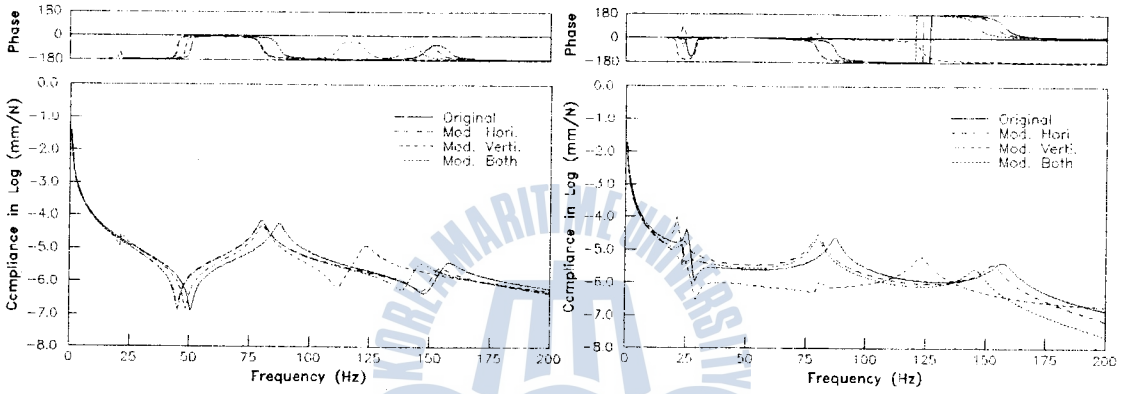
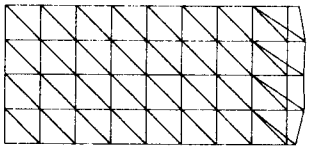
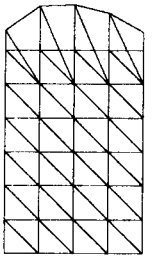


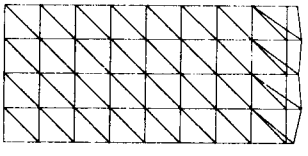
Fig 3.7 Comparision of the original and modified compliance

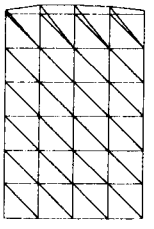


(only horizontal plate modification)



(only vertical plate modification)





(Both plate modification)

Fig. 3.8 The shape of plates after modification

dCollection

5. 결 론

본 연구에서는 L형 구조물의 형상변경에 의한 최적구조변경법에 대해 고찰해 보았고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 감도해석법을 이용해 L형 구조물에 변경할 위치들의 좌표 고유진동수 감도를 쉽게 구할 수 있었다.

2. 좌표 고유진동수 감도를 이용한 최적구조변경법에 의해 변경량을 정량적으로 구할 수 있었고, 고유진동수를 목표한 값으로 쉽게 바꿀 수 있었다.

3. 구조변경후의 고유진동형이 변경전의 고유진동형에 거의 영향을 주지 않으므로 구조변경으로 인한 또 다른 진동문제를 야기시키지 않고 효과적인 구조변경을 할 수 있었다.

4. 차분법이 아닌 직접 미분법에 의해서 감도 계산 프로그램을 개발하였고, 이를 이용하여 계산 절차나 시간 등을 크게 절약할 수 있었다.

본 연구에서는 구조물의 길이와 높이에 대한 형상을 변경하여 고유진동수를 바꾸는 구조변경만을 하였지만, 고유진동수를 변경하는 방법과 고유진동형을 변경하는 방법을 병행하게 되면 더욱 효과적인 구조변경이 가능할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] 朴錫柱, 長松昌男, "프레스 機械의 振動解析과 動特性의 最適化", 韓國舶用機關學會誌, 第14卷, 第3號, 1990, p.31

[2] 오재응 외 3인, "부분구조합성법을 이용한 대형 구조물의 동특성 규명 및 개선에 관한 연구", 한국소음진동학회 추계학술발표대회 논문집, 1993, p.177

[3] K.F.Ehmann, Joo H. H., "A Method for Substructural Sensitivity Synthesis" ASME J. Vol.113, 1991, p.201

dCollection

[4] 朴錫柱 外4人, "感度解析技法에 의한 最適 構造變更法", 韓國舶用機關學會誌, 弟16卷, 弟1號, 1992, p.47

[5] 김종현,임채환,"섭동법을 이용한 구조 재설계 기법", 대한조선학회지, 제31권, 제1호, 1994, p.22

[6] 岩原光男, 長松召男, 朴錫柱, "動特性を考慮した構造物の最適化方法", 日本機械學會論文集, 56卷 423號, 1990, p.1753

[7] 金子康智, 間瀨正隆, "感度解析法によるタービン翼の最適設計", 日本機械學會論文集, 57卷541號, 1991, p.181

[8] 박경진, "2차원 외팔보의 형상변수에 대한 민감도 오차해석", 대한기계학회논문집, 제17권, 제1호, 1993, p.11

[9] 박석주 외 3인 ,"열린 상자형 구조물의 진동최소화기법에 관한 연구", 한국소음진동학회 춘계학술발표대회 논문집, 1994, p.28-33

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교

dCollection