

NASTRAN 기반 R-Tabu 탐색법을 이용한 선박구조물의 진동최적설계

Vibration Optimization Design of Ship Structure Using NASTRAN-based R-Tabu Search Method

채상일* · 송진대* · 김용한* · 양보석[†] · 공영모** · 최수현**

S. I. Chae, J. D. Song, Y. H. Kim, B. S. Yang, Y. M. Kong and S. H. Choi

Key Words : NASTRAN(나스트란), R-Tabu Search(랜덤터부탐색), Optimum Design(최적설계), Ship(선박)

ABSTRACT

Recently, the importance of ship vibration is emerging due to the large scaling, high speed and lightning of ship. For pleasantness in a cabin, shipbuilders ask for strict vibration criteria and the degree of vibration level at a deckhouse became an important condition for taking order from customers. This study conducted optimum design to attenuate vibration level of a deckhouse to solve above problems. New method was implemented, that is NASTRAN external call type independence optimization method. The merit of this method is global searching after setting various object functions and design variables. The global optimization algorithm used here is R-Tabu search method, which has fast converging time and searching various size domains. By modeling similar type to ship structure, validity of the suggested method was investigated.

1. 서 론

최근 선박의 대형화, 고속화 및 경량화로 인하여 진동문제의 중요성이 대두되고 있으며, 특히, 선원 근무환경의 고급화에 따른 선실의 쾌적성을 위해 선주의 엄격한 진동허용치 적용을 요구함에 따라, 거주구의 진동문제가 선박 수주의 중요한 조건이 되고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 상기 문제 해결의 일환으로 선박 거주구의 진동을 저감하기 위한 최적설계를 수행할 수 있는 NASTRAN 기반 외부 호출형 독립최적화 기법을 제안하고 이를 가상 선박 구조물에 적용하여 유용성을 확인하였다.

최적화는 설계 대상물에 유용성과 안전성을 확보하면서 최소의 재료를 사용하여 최대의 효과를 달성할 수 있도록 그 구조물의 치수와 기하학적 형상 등의 제반 파라미터를 결정하는 것으로, 수학적 관점에서는 각각의 제약조건을 만족하는 설계변수 중에서 목적함수를 최소 또는 최대화 하는 설계변수 값을 찾는 것이다. 위의 개념을 근거로 최적설계를 위한 여러 가지 방법을 검토하였다.

먼저, NASTRAN 내부의 최적화 모듈은 감도해

석을 기반으로 하는 최적화기법으로서, 목적함수와 설계변수를 설정하는데 많은 제약조건이 있고, 국부 탐색 기법으로 전역적인 최적화를 수행하기 어려우며, 또한 복잡한 사용자 정의의 최적화기법을 결합하여 사용할 수 없는 단점이 있다. 다음으로는 NASTRAN/DMAP 을 이용한 최적화 기법이다. 이는 해석과정상의 유용한 정보를 추출할 수는 있으나, DMAP 은 일반 사용자가 사용하기에는 상당한 전문지식이 요구되고, NASTRAN 실행 시 외부 프로그램과 상호 정보교환을 반복 수행하는데 많은 어려움이 있다.

따라서 본 연구에서는 일반 최적화 알고리즘의 국부 수렴을 방지하기 위하여, 전역 최적화 알고리즘을 사용할 수 있는 NASTRAN 외부 호출형 최적화기법을 제안한다. 이 기법은 유전알고리즘(GA), Simulated Annealing(SA), 인공생명알고리즘(ALA)등과 같은 전역 최적화기법을 적용할 수 있고, 기본적인 목적함수 뿐만 아니라, 사용자가 정의하는 복잡한 형태의 목적함수도 설정할 수 있으며, 다양한 설계변수를 선택할 수 있다. 다양한 최적화 알고리즘들이 제안되어있지만, 본 연구에서는 최적해 수렴속도가 빠른 Random Tabu 탐색법을 이용하였다. 그리고 제안된 기법의 유용성을 검토하기 위해 가상적 선박의 거주구를 대상으로 최적화 전후의 거주구의 진동응답을 비교 검토하였다.

[†] 책임저자, 정희원, 부경대학교 기계공학부

E-mail : bsyang@pknu.ac.kr

Tel : (051) 620-1604, Fax : (051) 620-1405

* 부경대학교 대학원

** ㈜대우조선해양 기술연구소, 진동소음팀

2. NASTRAN 외부호출형 독립최적화기법

2.1 NASTRAN의 최적화 모듈

NASTRAN 최적화는 현재의 해석 모델로부터 제한조건을 만족시키면서 목적함수를 최소(또는 최대)화시키는 새로운 모델을 찾는 기능이다. 그 속성상 해석이라기보다는 합성으로, NASTRAN에서의 설계변수는 형상 최적화와 관련된 형상변수와 sizing 최적화와 관련된 sizing 변수로 대별된다. 선형 정적해석, 고유진동해석, 주파수응답해석 등에 설계최적화 및 민감도해석을 제공한다. 제한조건식이나 목적함수로 사용되는 해석응답으로는 해당 해석에서 출력되는 일반적 해석 결과뿐만 아니라, 사용자가 정의한 간단한 수식도 함수로 사용 가능하다. 구조해석, 민감도해석 및 수치 최적화 과정을 반복하여 최적화를 수행한다. 민감도 기반 최적화를 수행하기 때문에, 사용자 정의의 복잡한 수식을 목적함수로 설정하지 못하는 단점과 수치 최적화 방법으로 연속적 선형 및 2 차 함수 프로그래밍법을 채택하고 있으므로, 기본적으로 국부 탐색만을 수행한다.

NASTRAN/DMAP은 해석과정에서 유용한 정보를 추출하여 목적함수를 구성할 수 있고, 해석 절차를 수정하거나, 특수한 기능을 수행하는 사용자 정의의 프로그램을 작성할 수 있도록 한다. 그러나 최적화 문제에서 최적해로 수렴하는데 계산의 반복이 필요하고, 대형 구조물을 해석하기 위해서는 NASTRAN의 해석결과가 필요하다. 이처럼, 사용자가 구성한 프로그램에 얻은 정보와 NASTRAN의 해석정보를 상호 교환하는 작업을 반복적으로 수행해야 한다. toolkit이라는 전문 프로그램이 필요하고, 일반 사용자가 프로그램을 구성하고 사용하기에는 상당한 전문지식이 필요하다.

따라서, 본 연구에서는 보다 사용자가 편리하게 프로그램하고 최적화를 수행하도록 하기 위해, NASTRAN 외부호출형 독립최적화 기법을 제안한다.

2.2 NASTRAN 외부호출형 독립최적화기법

간략하게 말하면, 제안하는 NASTRAN 외부호출형 독립 최적화 기법은 사용자가 정의하는 최적화 과정에 그 목적함수의 평가를 위해 NASTRAN을 사용하는 것이다.

이를 위해 사용자 정의 최적화 과정에 설계변수 및 목적함수 정보가 필요하며, NASTRAN 실행을 위해 대상 모델파일이 요구된다.

먼저, 모델 파일은 크게 CAD 프로그램을 이용

하여 제작된 형상을 넘겨받는 방법과 유한요소 모델링 프로그램을 이용하여 모델링하는 방법이 있다. 전자는 형상 제작까지는 쉽게 할 수 있으나, 요소 생성시 타 유한요소 프로그램을 사용해야 하는 단점이 있고, 후자는 형상제작은 전자보다 어려우나, 요소생성과 구속, 하중조건을 부과하는데 있어, 용이한 장점이 있다. 설계자의 취향에 맞게 사용될 수 있는 부분이다.

모델링 후에 설계자가 최적화 하고자 하는 설계변수를 선정한다. 설계변수로는 모델의 요소정보인 판 요소의 두께, 보 요소의 크기나 단면적 등과 같은 모델에 직접적으로 입력되는 정보나 그러한 정보로 환원될 수 있는 임의의 대상 일 수 있다. 단 설계변수의 선정과정에서 물리적인 고려와 현실적인 구현가능성 등의 문제는 고려되어야 할 것이다.

대상물이 보다 나은 설계가 되도록 목적함수를 선정한다. 목적함수로는 해석 틀에서 제공하는 무게, 부피, 고유진동수, 소음레벨과 같은 간단한 것에서부터 해석 틀의 결과물(응답, 고유진동수 등등)을 독립변수로 그들의 함수로 정의되는 임의의 목적함수까지 다양하게 선정할 수 있다.

그리고 대상 구조물의 구조적 안정성 등을 고려한 구속조건을 정의해서 비현실적인 설계가 되지 않도록 한다. 구속조건의 선정역시 목적함수의 선정과 유사하게 다양한 가능성을 제공한다.

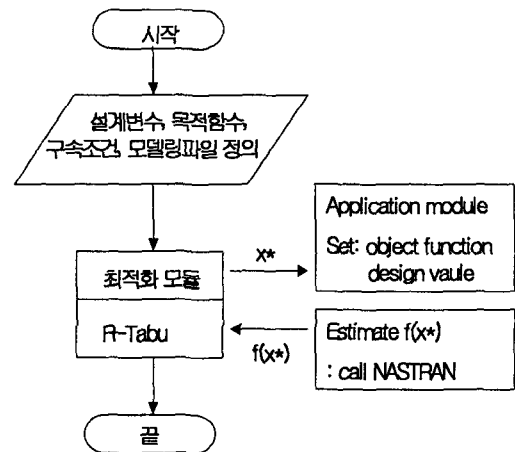


Fig. 1 Flow chart of proposed optimization algorithm

Fig. 1은 제안하는 기법의 흐름도를 보여주고 있고, 계산순서는 다음과 같다.

1. 설계변수, 목적함수, 구속조건, 모델파일의 정의
2. Application module 내에 목적함수 및 구속조건

정의(초기화)

3. 선택된 최적화기법 호출 (R-tabu search method), $X^* = X_{ori}$
4. 선택된 최적화기법은 목적함수 및 구속조건을 평가하기 위해 설계변수 X^* 를 제공하면서 Application module 호출,
5. Application module 은 X^* 에 근거해서 갱신된 모델에 대한 NASTRAN 해석 및 목적함수 평가
6. 선택된 최적화 기법은 Application module로부터 넘겨받은 목적함수에 근거하여 수렴조건 판정
7. 수렴조건을 만족하면, 과정 1로 이동하며, 수렴조건을 만족하지 않을 때, 새로운 설계변수 선정 후 과정 4로 돌아감.
8. 수렴조건을 만족하면, 종료.

3. 진동설계의 적용 예

선박의 거주구의 진동을 저감하기 위하여 외형적으로 유사하나, 내부적인 부분은 대칭적으로 가상 모델을 만들었다.

3.1 해석 모델

선박 구조물의 진동해석 및 최적화수행을 위해, 대형구조물의 해석에 용이한 상용 유한요소프로그램인 NASTRAN을 사용하였다. 본 해석을 위한 모델은 제안된 최적화 기법의 유용성을 알아보기 위해서 Fig. 2와 같은 가상의 모델을 선택하였다. 거주구의 진동거동을 파악하기 위하여 가장 효과적인 영역인 엔진실, 거주구로 구성된 선미부만을 대상 해석모델로 선택하였다. 요소는 shell로 구성하고 CQUAD4를 사용하였으며, 3091개이다.

응답점은 Fig. 2에 표시된 것처럼 Navigation deck의 port side이다. 거주구를 6층으로 하였고, Navigation deck 부분은 생략하였다. 엔진은 Fig. 2처럼 간략하게 표현했으며, 기진력은 Fig. 3의 화살표처럼 H-moment 형식으로 크기는 85000N으로 가하였다.

3.2 최적설계의 정식화

목적함수는 각 방향에 대해 선택된 포인트의 관심영역 주파수 범위 내 각 진동수별 진동속도 응답의 크기 $Re_{q,d}$ 의 제곱에 가중치 ω_q 를 곱하여 합산한 것을 고려된 총 응답 수 N_Q 로 나누어 구한 가중제곱평균근을 취한 값들 중 최대값으로 하였다.

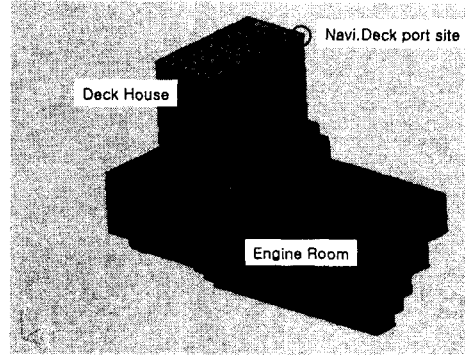


Fig. 2 Analytical model

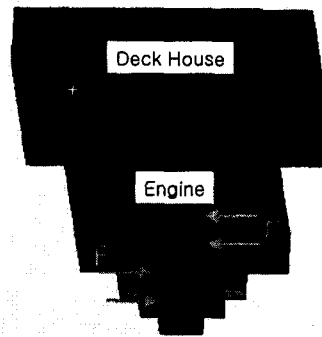


Fig. 3 Model of engine part

선박 구조물에서는 종방향(longitudinal direction)의 부재가 진동에 많은 영향을 미친다. 이에 종방향의 두께를 설계변수로 설정하고, 수는 20개이고, 변수범위는 초기모델(X_{ori})의 90%~140%로 하였다. 설계변수의 상한 및 하한은 구조적인 안정성을 고려하였으며, 과도한 부재 사용문제를 고려하였다. 엄밀하게는 구조해석 및 총중량에 대한 평가가 수행되면서 설계변수 폭이 넓혀져야 겠으나, 문제를 단순화시키기 위해 위와 같이 선정하면서 추가적인 구속조건을 고려하지 않았다.

최적화 과정은

find : X

$$\text{minimize : } f = \max(f_1, f_2, f_3) \quad (1)$$

$$\text{subject to : } 0.9 \times X_{ori} \leq X \leq 1.4 \times X_{ori} \quad (2)$$

$$\text{where } f_d = \sqrt{\frac{1}{N_Q} \sum_{q=1}^{N_Q} \omega_q Re_{q,d}^2} \quad (3)$$

여기서 d 는 모델의 종·횡·수직 방향을 나타낸다.

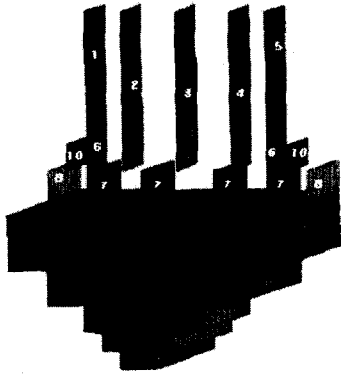


Fig. 4 Design variables I

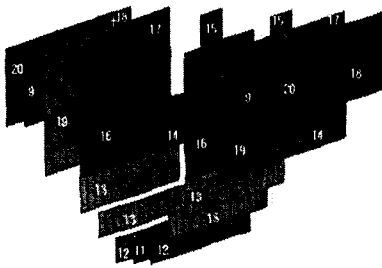


Fig. 5 Design variables II

3.3 전역최적화 알고리즘

NASTRAN 외부 호출형 독립최적화 기법에 이용될 수 있는 최적화 알고리즘의 임의의 함수최적화 기법이 될 수 있다. 특히 전역최적화 기법들로 GA, ALA, SA 및 R-Tabu 등의 기법이 있다. 논문의 완전성을 위해 본 연구에서는 채택한 R-Tabu 탐색법에 대해 간략히 설명한다.

Random Tabu Search 법은 Hu 에 의해 제안되었으며, 일반적인 구속조건이 있는 최적화문제에 적용한 것이다. 최소화 문제를 고려할 때, 초기치 x_0 를 설정하고 x_0 를 중심으로 strp size 만큼 영역을 분할한다. 각 step 에 대해 step 영역 내부에 random 하게 x_c 를 발생시켜 $f(x_c)$ 가 $f(x_0)$ 보다 적으면, 그 점을 영역내의 최소점으로서 기억하고 모든 step 에 대해 동일한 과정을 수행한다. 각 step 에서 선택된 최소점들 중에서 가장 작은 x 를 제 2 차 근사해 x_1 으로 하고, x_1 주위에 다시 근방영역을 설정하여 앞의 탐색과정을 다시 반복한다. 이 과정을 수렴조건 만족할 때까지 하거나 반복 수 만큼 반복한다. R-Tabu 법의 특징은 탐색영역을 크기가 다른 여러 영역으로 분할해서 탐색을 하기 때문에 맹목적인 탐색을 피할 수 있고, 따라서 탐색에 필요한 횟수를 줄일 수 있고, 랜덤탐색을 하기 때문에 국소적 최적해에 빠지는 것을 막을 수

있고, 전역적 최적해를 구하는 것이 가능하다.

전역최적화 기법으로는 비교적 빠른 탐색성을 제공하는 방법으로 Random tabu 탐색기법을 채택하였다.

3.4 최적화 결과 및 고찰

최적화 전후로 응답치의 변화를 확인하기 위해, 먼저 NASTRAN 을 이용하여 강제진동해석을 수행하였다. Fig. 6 은 최적설계 전후의 계산결과를 비교한 것이다. x 축은 주파수(Hz)를, y 축은 진동속도(mm/s)를 나타내고, 방향은 위에서 아래로 종방향(Longi.), 횡방향(Trans.) 및 수직방향(Verti.) 순이다.

관심 영역인 8~16 Hz 에서 진동속도 진폭의 Peak 값이 약간 감소한 것을 알 수 있다. 대상 선박의 전선 모델이 아닌 선미부만을 모델링 하였고, 각 부분도 간략하게 가상적으로 모델링 된 부분과 구속조건의 문제로, 어느 정도 차이가 있다. 관심 영역 또한 통상적으로는 5~12 Hz 이고, 응답치 또한 높게 나타났다.

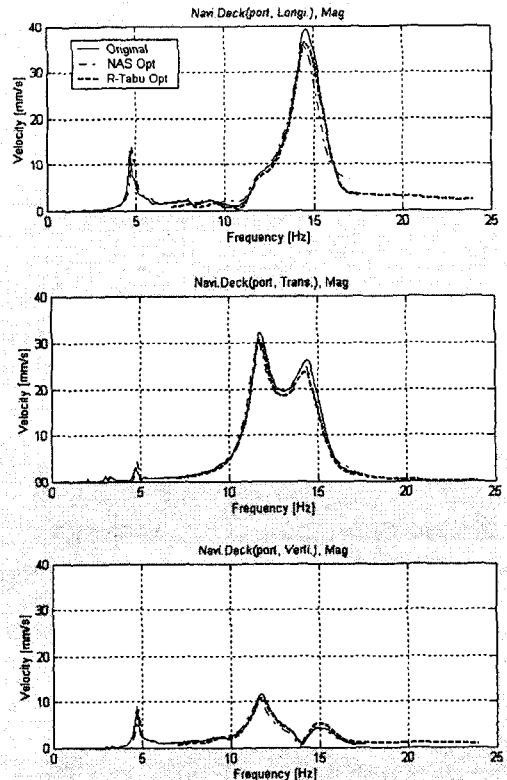


Fig. 6 Comparison of response

Table 1 Comparison of optimization results

Direction	Freq. (Hz)	Velocity(mm/s) (proposed)	Velocity(mm/s) (NASTRAN)
Longitudinal	14.6	2.8 ↓	3.6 ↓
Transverse	11.8	1.4 ↓	1.6 ↓
	14.4	2.7 ↓	1.5 ↓
Vertical	11.7	0.83 ↓	0.1 ↓
	15.0	1.0 ↑	0.2 ↑

Table1 은 최적화된 결과를 비교한 표이다. 각각의 피크에서 응답치가 낮아짐을 보여준다. 단, 수직방향에서 15Hz 부근에서 다소 응답치가 높아졌으나, 최적화가 수행되었음을 알 수 있다. 현재 NASTRAN 최적화가 좀 더 나은 결과를 도출했는데, 이 모델에서 국부해가 전역해일 가능성이 높고, 또한 외부호출형기법의 계산시간이 부족한 이유도 최적결과의 차이를 나타낸 것 같다. 설계변수 선정에 있어 종부재만을 선택하였으나, 횡부재를 추가한다면 더 나은 최적화를 이룰 수 있을 것이다. Table 2 는 설계변수의 변화를 보여주고 있다. R-Tabu 법의 파라미터로 Step 수는 3, 반복 수는 100 회로 하였다. 수렴조건으로 설계변수 변화를

Table 2 Comparison of design variables

Design variables	NASTRAN	Proposed
1	9.800	8.820
2	6.000	5.400
3	6.000	5.400
4	6.000	8.400
5	9.800	13.720
6	6.000	5.400
7	8.000	7.200
8	14.250	12.830
9	12.000	10.800
10	9.800	8.820
11	18.000	25.200
12	36.000	50.040
13	18.000	16.200
14	10.800	15.120
15	10.900	13.057
16	14.000	12.600
17	10.900	15.260
18	10.900	9.810
19	18.000	16.200
20	20.000	18.000

평가하는 등의 방법을 채택하는 것이 일반적이나 1 회외 목적함수 평가에 소요되는 시간이 NASTRAN 해석에 소요되는 시간에 의존하며, 장시간이 요하므로 계산시간을 적절히 조절하기 위해 반복 수를 종료판정기준으로 삼았다. 이러한 이유로 충분히 수렴되기 전에 종료되었을 가능성이 크며 예상되는 설계변수의 변화 패턴과 다른 변화를 보이는 것이 위의 특징을 뒷받침하고 있다. 따라서 유용성에 대한 신뢰할 만한 검토를 위해 충분한 시간적 여유를 갖고 수렴 판정기준을 달리 하여 최적화를 수행할 필요가 있다.

4. 결론

선박과 유사한 외부 형태를 모델링 하여 진동 최적설계를 수행하였다. 모델링이 가상적이기에, 실제모델과 해석결과가 차이가 있었다. NASTRAN 외부호출형 기법이 현재 NASTRAN 최적화모듈보다는 좋지 못하지만, 계산시간을 충분히 한다면 충분히 나은 최적설계 결과를 도출할 것이고, 대형 구조물에도 적용할 수 있을 것으로 판단된다. 향후에, 전역해를 찾는 과정에서 빠른 수렴 특성을 가진 최적화 알고리즘을 개발해야 할 필요가 있다.

참고문헌

- (1) 송진대, 2002, 최적설계를 위한 향상된 인공지능 알고리즘의 개발, 부경대 대학원 공학석사 학위 논문
- (2) Kirkpatrick, S., C.D. Gelatt Jr. and M.P. Vecchi, Optimization by Simulated Annealing, IBM Research Report RC 9355, 1982.
- (3) 전상범, 1998, 유전알고리즘과 Random Tabu 탐색법에 의한 최적설계 알고리즘의 개발, 부경대 학교 대학원 기계공학 석사학위 논문
- (4) MSC.PATRAN User's Guide Version 8, The MacNeal-Schwendler Corporation, 1998
- (5) Grant Sitton, MSC.NASTRAN Basic Dynamic Analysis User's Guide, The MacNeal-Schwendler Corporation, 1993
- (6) Moore, Greg, MSC.NASTRAN Design Sensitivity and Optimization, User's Guide, The MacNeal-Schwendler Corporation, 1994