

정적 및 진동 특성을 고려한 수직이동 로봇의 최적설계

안석희*, 최국진⁺, 홍대선⁺⁺
(논문접수일 2008. 6. 9, 심사완료일 2008. 11. 13)

Optimal Design for a Wall-Climbing Robot with Static and Vibration Characteristics

Seok-Hee Ahn*, Kook-Jin Choi⁺, Dae Sun Hong⁺⁺

Abstract

Most of tasks for vertical surface work in shipyard have been accomplished by human workers. However, such manual work often causes injury to workers, also the production cost becomes high due to increasing individual wage. To cope with the circumstance, shipbuilding companies try to introduce wall-climbing robots for carrying out such kind of tasks. In designing a wall-climbing robot, it is essential to minimize its own weight to improve the performance such as moving speed and power saving. For such purpose, this study proposes a method of optimal design for a wall-climbing robot using a genetic algorithm with multi-objective function. Specifically, the thickness of the robot base is minimized to reduce the weight while maintaining the allowable strength and avoiding the resonance frequencies. The proposed method is applied to the design of a wall-climbing robot, and the result shows that the method is useful at an early design stage.

Key Words : Wall-climbing robot(수직이동 로봇), Optimal design(최적설계), Genetic algorithm(유전알고리즘), Resonance frequencies(공진 주파수)

1. 서론

1990년대 중반 경제공황에 대한 우려로 설비 투자에 소극적이었던 유럽과 일본의 경우와는 달리 한국의 조선 산업은

과감한 설비 투자로 현재와 같은 조선 산업 부흥의 기틀을 마련하였고, 그 결과 현재 세계 조선 산업의 최상위 순위를 모두 한국이 차지하고 있으며 당분간 그 기조는 계속 이어질 전망이다. 그러나 풍부한 노동력을 바탕으로 한 중국의 추격

* 국립창원대학교 대학원 기계설계공학과
+ 교신저자, 국립창원대학교 대학원 기계설계공학과 (choi@changwon.ac.kr)
주소: 641-773 경남 창원시 사림동 9번지
++ 국립창원대학교 메카트로닉스 공학부

이 이를 위협하고 있다. 따라서 기술력을 바탕으로 한 고부가 가치 선박의 수주량 증가를 꾀하고 인건비 절감과 품질 향상을 위한 선박건조 자동화가 국내 현장에 도입되고 있다⁽¹⁾.

특히, 대형 선박의 건조 공정에서 선체 외벽 작업은 가장 위험하면서도 어려운 작업으로 분류된다. 이러한 작업은 산업재해 발생빈도가 높을 뿐 만 아니라 작업자의 숙련도에 따라 작업 품질이 차이가 나는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 원격제어를 통해 선체 수직 외벽 작업 수행이 가능하도록 수직 이동 로봇 플랫폼 개발 및 제어시스템의 구현이 요구된다. 기존에 수직 벽면을 올라가기 위한 로봇에 관한 연구들이⁽²⁻⁴⁾ 있었으나, 이러한 연구들은 수직 벽면을 오르기 위한 메커니즘 구현이나 이미 구현된 메커니즘을 이용하여 이동할 때의 동작이나 궤도의 최적화만을 고려하였다. 메커니즘에 대한 연구에서는 수직 벽면에 부착되기 위한 동력원으로서 진공이나 자력 등을 고려하였고 이동을 위해서는 바퀴나 다리 등을 고려하였다. 그러나 수직 이동 로봇에 있어서 부착이나 이동 메커니즘 못지않게 로봇 자체 중량의 경량화가 중요하다고 볼 수 있다. 로봇이 무거워지면 부착과 이동을 위해 보다 큰 동력이 필요하게 되므로 또 다시 큰 액추에이터가 필요하게 되는 결과를 초래하기 때문이다. 수직 이동 로봇이 보다 작은 동력으로도 안정된 고소 작업을 수행하기 위해서는 수직 이동 로봇의 작업 조건을 고려하여 정적인 구조적 안정성과 작업시의 진동에 대한 안정성까지 확보할 수 있는 경량화 최적설계가 요구된다. 그러나 아직까지 수직 이동 로봇의 경량화에 관한 연구는 전무한 실정이다.

본 연구에서는 수직 이동 로봇 플랫폼의 초기 설계를 바탕으로 유한요소해석과 유전 알고리즘⁽⁵⁻⁸⁾으로 구성된 최적설계 시스템을 이용하여 최적설계를 수행한다. 정적 구조 해석 뿐만 아니라 로봇 플랫폼의 고유진동수 해석까지 수행하여 작업시의 공진에 대한 문제까지 고려한다. 최적화 방법은 정적 구조해석을 고려한 것, 고유진동수 해석을 통한 공진 회피를 고려한 것, 그리고 정적 구조해석과 고유진동수 해석을 동시에 고려한 것 등 모두 세 가지이며 최적화 알고리즘으로는 유전알고리즘을 사용한다.

2. 최적설계 시스템 구성

수직 이동 로봇 플랫폼의 최적 설계를 위하여 상용 유한요소해석 프로그램인 ANSYS와 MATLAB으로 구현된 유전알고리즘을 효과적으로 결합한 최적 설계시스템을 구성한다. MATLAB과 같은 일반적인 프로그래밍 언어로 최적설계

시스템을 구현할 때는 최적 설계 대상을 수학적으로 모델링해야 하는데 이 과정에서 모델의 단순화나 해석조건의 생략과 같은 것이 필요하게 되며 이것은 해석 결과의 신뢰성을 떨어뜨리게 된다. 반면 신뢰성 있는 구조해석이나 진동 해석 결과를 위해 ANSYS를 사용 할 경우, 유전알고리즘과 같은 최적화 알고리즘을 APDL(ANSYS Parametric Design Language)을 이용하여 구현해야만 한다. 그러나 APDL 자체가 일반 프로그래밍 언어와는 그 기능 차이가 많이 나므로 최적화 알고리즘을 구현하는 데에 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 MATLAB을 이용하여 유전알고리즘을 구현하고, 이 유전알고리즘과 ANSYS의 해석 결과 데이터가 연동되도록 전체 최적설계 시스템 또한 MATLAB을 이용하여 프로그래밍한다. 이렇게 함으로써 신뢰성 있는 구조해석 및 진동 해석을 이용한 수직 이동 로봇 플랫폼의 최적 설계를 수행하고자 한다. 또한 이렇게 구현된 최적설계 시스템은 다른 기계 시스템에도 적용될 수 있다. 본 장에서는 각 구성에 대하여 간략히 설명한다.

2.1 최적설계

최적설계란 주어진 설계사양을 만족하는 최적의 설계치를 찾아내는 설계기법이다. 전통적인 설계기법에서는 설계자의 숙련도에 의존하여 경험적인 설계를 주로 수행하였다. 그 결과 주어진 설계사양을 초과 만족하는 안정적인 설계를 하는 경향이 뚜렷했다. 그러나 최근의 컴퓨터를 이용한 기계 시스템 해석 방법의 발전과 경쟁적인 생산원가 절감의 필요성으로 최적화 알고리즘을 이용한 최적설계는 필수요소로 인식되고 있다. 일반적인 최적설계 방법으로는 설계민감도를 이용하는 구배법, 유한차분법 등이 있고 설계민감도를 이용하지 않는 방법은 시뮬레이티드 어닐링(SA), 유전알고리즘(GA), 타부 탐색법(TS), 진화전략(ES), 미분진화(DE) 등이 있다. 특히 유전알고리즘은 구현이 간단하면서도 매우 복잡한 문제에 적용이 가능하다는 장점이 있어 널리 사용된다.

2.2 유전알고리즘

자연 생태계에서는 부모가 지니고 있는 유전 성질이 교배를 통해 다음 세대로 전달되고 전달된 유전자의 우열에 의해 환경에 적응하여 살아남느냐 도태되느냐가 결정된다. 유전알고리즘은 이러한 자연계의 변이와 적자생존에 의한 진화의 과정을 모방한 확률적인 탐색 알고리즘으로서 1975년 Holland⁽⁹⁾에 의해 개발되었다. Fig. 1은 Goldberg⁽¹⁰⁾에 의한 유전알고리즘의 기본 순서도(Flow chart)를 나타낸다.

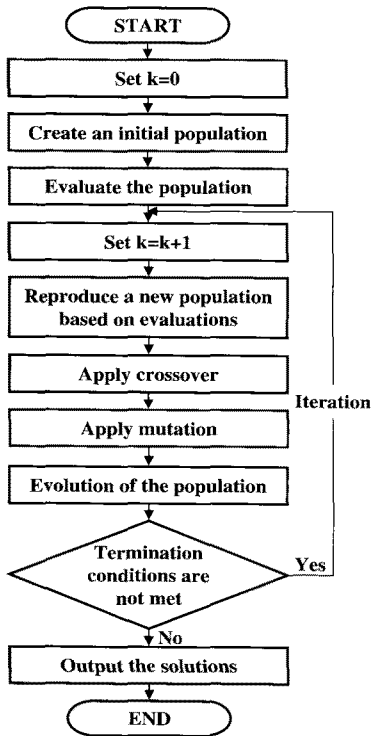


Fig. 1 Flow chart of the GA

2.3 최적설계 시스템

유전알고리즘은 과학기술용 범용 프로그램인 MATLAB으로 구현하였다. 그러나 유한요소 해석 프로그램인 ANSYS는 기본적으로 MATLAB과 데이터 교환이 이루어지지 않는다. 따라서 본 연구에서는 MATLAB으로 구현된 유전알고리즘에서 설계변수 값을 ANSYS로 보내고, 다시 ANSYS의 해석 결과를 유전알고리즘으로 받기 위하여 Fig. 2와 같은 최적설계 시스템을 구축하고 매개 변수로는 일반 텍스트 파일을 사용한다.

3. 초기 설계 모델의 해석

본 논문에서 최적설계의 대상으로 정한 수직 이동 로봇 플랫폼의 형태는 Fig. 3과 같다. Fig. 3은 로봇 플랫폼에 제어기와 청소 작업용 모듈이 모두 부착된 형태이며, 이 중 로봇 플랫폼은 좌우에 각각 2개씩의 바퀴가 볼도록 압 형태의 구조물과 가운데에 흡착을 위한 진공패드와 조립되는 원판 형태의 패드가 결합되어 있는 구조로 되어 있다. 청소

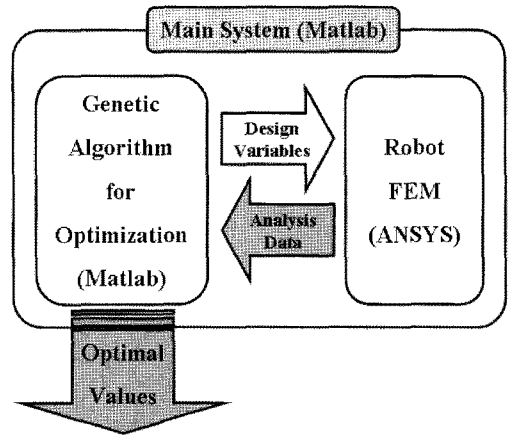


Fig. 2 Block diagram of the optimal design system

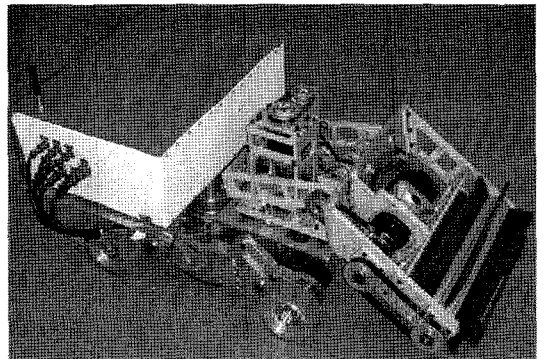


Fig. 3 The wall-climbing robot with papering module

작업용 모듈은 선체 외관의 부식이나 용접 슬러지 등을 제거하기 위하여 회전하는 드럼에 사포를 부착한 형태로 이루어져 있다. 해석 대상은 제어기와 모듈을 제거한 상태의 플랫폼이며 유한요소해석 모델링을 위하여 로봇 플랫폼 형상은 일부 간략화 하였다. 정적 구조해석 고려 조건은 진공패드에 발생하는 진공압이며, 로봇 플랫폼 자체의 중량은 진공압에 비해 매우 작고 또한 로봇 플랫폼이 수직 벽면에 부착된다는 점을 감안하여 고려하지 않았다. 진동해석 고려 조건은 청소 작업용 모듈에 장착되는 톨의 회전수에 따른 공진효과를 고려하였다. 수직 이동 로봇 플랫폼의 초기 모델은 그 크기나 구동부의 용량 등이 모두 설계자의 경험적인 지식을 바탕으로 설계되어졌으므로, 먼저 초기 모델에 대하여 해석을 수행하고 이 값을 최적화 결과와 비교하기 위한 기준으로 사용한다.

3.1 정적 구조해석

수직 이동 로봇 플랫폼의 정적해석을 위한 유한요소 모델에 적용된 하중조건은 패드 밑면에 작용하는 흡착 진공압을 일반 압력으로 환산하여 적용하였고 구속조건은 암 하부에 U_z 방향의 자유도를 구속하였다. 정적 구조해석을 위한 유

Table 1 Modeling data for FEM

Nodes	41,977
Elements	23,635
Constraint	Bottom of Arm, U_z
Loads [Pa]	Bottom of Pad, -Z direction 32,400
Modulus of elasticity [GPa]	71.7
Poisson ratio	0.346
Density [kg/m^3]	2,810

한요소 모델링에 대한 데이터 및 물성치는 Table 1에, 최대 변위 해석결과와 최대응력 해석결과를 Fig. 4에 각각 나타내었다.

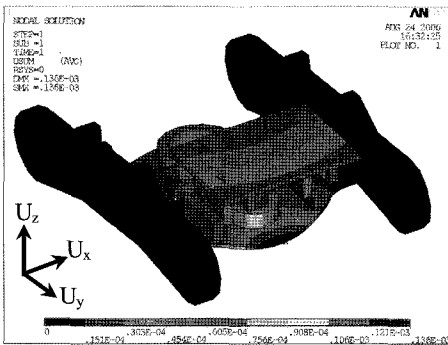
정적해석결과 플랫폼의 최대 변위는 패드의 전면부 원주 상에 발생하고 크기는 0.136mm이다. 최대응력은 Fig. 4의 점선으로 된 원으로 표시된 패드와 암의 연결부에서 발생하고 있고 그 크기는 147.9MPa이다. 플랫폼의 재질은 알루미늄 합금 7075 T6로서 항복강도가 524MPa이므로 최대응력 발생부위의 경우 안전율이 3.5로 일반 기계의 안전율 4보다는 약간 모자라지만 전체적으로 발생 응력이 작아 과도한 안전 설계가 이루어진 것을 알 수 있다.

3.2 고유진동수 해석

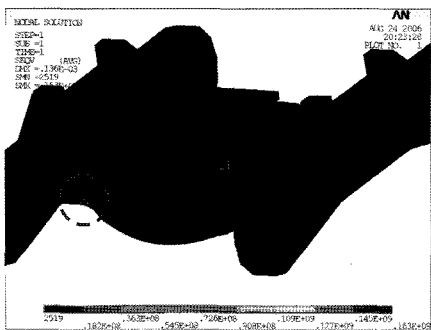
수직 이동 로봇 플랫폼의 고유진동수 해석은 정적 구조해석에서와 동일한 유한요소해석 모델링을 사용하여 Block Lanczos⁽¹¹⁾ 방법으로 10차까지의 고유진동수를 추출하였다. Table 2에 각 차수의 주파수를 정리하여 나타내었고 Fig. 5는 1차 고유진동수의 모드 형상을 보여주고 있다.

4. 최적설계 수행

수직 이동 로봇 플랫폼의 초기 설계 모델의 유한요소해석과 더불어 중량을 자동 계산하였으며 그 값은 16.6kg으로



(a) Deformation



(b) Stress

Fig. 4 Maximum deformation and stress through static analysis

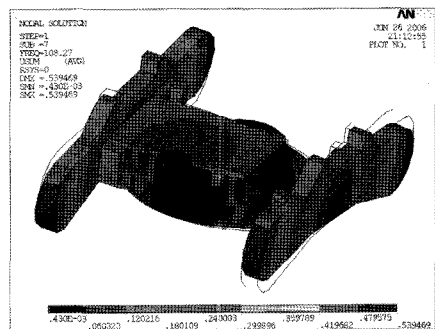


Fig. 5 1st mode shape

Table 2 Natural Frequency [Hz]

Mode	1 st	2 nd	3 rd	4 th	5 th
Freq.	106.14	232.93	319.76	378.79	469.29
Mode	6 th	7 th	8 th	9 th	10 th
Freq.	477.64	566.68	642.53	664.06	668.16

구해졌다. 이 값을 줄이는 것이 최적설계의 목적이므로 플랫폼의 전체 구조에서 중량의 변화에 영향을 크게 미칠 수 있는 치수를 설계변수로 정해야 한다.

설계변수의 수가 많아지면 모델링 및 해석 소요 시간이 크게 증가하게 된다. 그리고 플랫폼의 구조에서 두께가 변하더라도 그 무게의 영향이 적은 부분이 있으므로 Fig. 6와 같이 가장 크게 영향을 미치는 패드의 두께와 암의 두께를 설계변수로 한다. 설계 변수의 범위는 정적 구조해석을 고려한 때와 고유진동수 해석을 통한 공진 회피를 고려한 때를 각각 다르게 적용하였다.

최적설계를 위한 유전알고리즘의 파라미터들은 Table 3과 같다. 최대 세대수(maximum generation) 지정은 유전알고리즘의 종료조건 결정 방법의 하나로서, 유전알고리즘이 수행되어 가면서 더 이상의 개선이 일어날 가능성이 매우 적다고 판단될 때를 유전알고리즘의 종료조건으로 정하는 것이다. 본 논문에서는 여러 입력에 따른 수렴 경향을 파악하여 50세대로 정한다. 집단크기(population size)는 너무 작으면 지역해로 빠르게 수렴하는 문제가 발생할 수 있고 반대로 너무 크면 성능의 향상 정도에 비해 연산시간이 기하급수적으로 늘어난다. 일반적으로 30-200 사이에서 집단의 크기가 유지되며 본 논문에서는 ANSYS 해석 시간을 고려하여 20으로 설정한다. 교배확률(P_c)과 돌연변이확률(P_m)도 너무 크거나 작게 설정하면 최적해를 탐색할 때 방향성을 잃거나 지역해에 빠지는 수가 있다. 본 논문에서는 일반적으로 알려진 최선의 범위(P_c: 80-95 %, P_m: 0.01-1%)⁽⁵⁾안에서

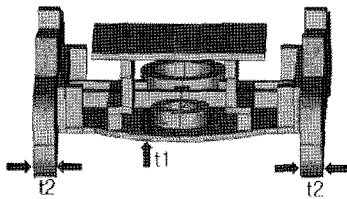


Fig. 6 Variables to be optimized

Table 3 GA Parameters for the optimal design

Parameters	Value
Maximum Generation	50
Population Size	20
Number of Variable	2
Probability of Crossover, P _c	0.8
Probability of Mutation, P _m	0.01

몇 번의 실험을 통하여 결정한다.

목적함수로는 식 (1)을 사용하며 이 때 n은 플랫폼을 구성하는 각 요소의 번호이며 ρ는 밀도, V는 체적을 나타낸다.

$$O(x) = \sum_{i=1}^n \rho_i V_i \quad (1)$$

4.1 정적 구조해석을 고려한 최적설계

먼저 정적 구조해석을 고려한 최적설계의 경우 두 설계변수의 범위는 구조적으로 다른 부분과 간섭이 발생하지 않는 한도 내에서 Table 4와 같이 정한다. 이 때 각 설계 변수의 분해능은 개체의 유전정보를 담고 있는 비트(bit) 수를 늘림으로써 원하는 만큼 정밀하게 할 수 있다. 그러나 본 논문에서는 소수점 이하의 치수는 플랫폼의 중량 변화에 큰 변화를 미치지 않으므로 1mm 단위의 분해능으로 한다.

정적 구조해석을 고려한 최적 설계에서는 구속조건으로 플랫폼의 허용 응력을 사용하였다. 플랫폼 재질인 알루미늄 합금 7075 T6의 항복강도 524MPa에 안전율 5를 나눈 값 105를 적용하여 발생 응력이 이 값을 초과할 경우 벌점함수를 적용하여 그 개체는 자연도태 되도록 한다.

식 (1)의 목적함수와 구속조건에 따른 벌점함수를 이용하여 식 (2)와 같은 적합도 함수를 계산한다.

$$F(x) = \frac{1}{O(x) + P(x)} \times s \quad (2)$$

여기에서 O(x)는 목적함수이며 P(x)는 벌점함수이고 s는 스케일 상수이다. 최적화의 목적이 로봇의 중량을 최소화 하는 것이므로 목적함수의 역수 형태를 취함으로써 중량이 적으면 적합도 함수의 값이 커지게 되어 생존 확률을 높게 된다. 최적화 수행 과정의 목적함수 값의 변화와 적합도 함수의 변화는 Fig. 7과 같다. Fig. 7에서 best fitness function value는 한 세대에서 가장 높은 적합도 함수 값을 의미하고 average fitness function value는 한 세대의 적합도 함수 값의 평균을 의미한다. 최적화 결과 패드의 두께는 증가한 반면 암의 두께는 크게 감소하였다. 전체적인 중량은 16.6kg에서 12.0kg으로 36%의 감소 효과를 나타내었다. Table 5

Table 4 Range of variables for the static optimal design

Variables	Range [mm]
t1 (Pad thickness)	3 ≤ t1 ≤ 12
t2 (Arm thickness)	10 ≤ t2 ≤ 45

Table 5 Results from the static optimal design

Contents	Initial value [mm]	Optimized value [mm]	Change [%]
Pad thickness [mm]	5.0	8.0	+ 60
Arm thickness [mm]	30.0	15.0	- 50
Max. stress [MPa]	147.9	94.5	- 36
Weight [kg]	16.6	12.0	- 28

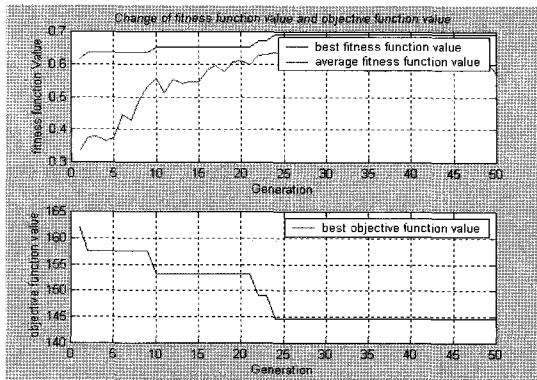


Fig. 7 Change of the fitness and the objective function through the static optimal design

Table 7 Results from the dynamic optimal design

Contents	Initial value [mm]	Optimized value [mm]	Change [%]
Pad thickness [mm]	5.0	8.0	+ 60
Arm thickness [mm]	30.0	21.0	- 30
Max. stress [MPa]	147.9	95.6	- 35
1 st Freq. [Hz]	106.1	148.4	+ 40
Weight [kg]	16.6	14.1	- 15

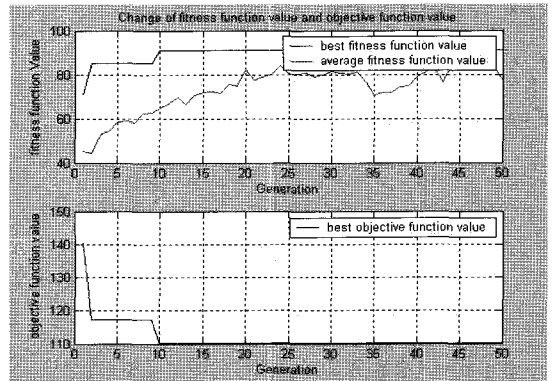


Fig. 8 Change of the fitness and the objective function through the dynamic optimal design

는 그 결과를 보인다.

4.2 고유진동수 해석 및 공진 회피를 고려한 최적설계

고유진동수 해석 및 공진 회피를 고려한 최적설계에서는 정적해석을 고려한 최적설계 결과 값을 하한으로 하는 설계 변수의 범위를 Table 6과 같이 정한다. 따라서 허용응력에 대한 구속조건은 적용되지 않는다.

플랫폼에 장착되어 실제 작업을 하게 될 청소 모듈의 회전수가 약 2000rpm으로서 이를 Hz로 환산하면 약 33Hz가 된다. 만약 이 주파수의 배수인 66, 99, 132, 165Hz의 고유진동수를 플랫폼이 갖게 되면 공진이 발생할 가능성이 크게 된다. 따라서 플랫폼의 1차 고유진동수를 33Hz의 배수가 되는

Table 6 Range of variables for dynamic optimal design

Variables	Range [mm]
t1 (Pad thickness)	$8 \leq t1 \leq 20$
t2 (Arm thickness)	$15 \leq t1 \leq 45$

주파수에서 최대한 멀어지게 하는 것이 공진을 회피할 수 있는 방법이다. 초기 설계 모델의 1차 고유진동수가 106.1Hz이므로 이 값을 33Hz의 배수인 132Hz와 165Hz에서 가장 멀리 떨어진 150Hz 정도를 갖도록 구속조건을 설정하였다.

Fig. 8은 최적화 과정의 목적함수 값의 변화와 적합도함수 값의 변화를 나타낸 것이며 Table 7은 최적화 결과를 나타낸다.

정적 구조해석을 고려한 경우보다 전체 중량의 감소폭은 줄었으나 공진 회피 목적인 1차 고유진동수의 변화는 목적하는 150Hz에 근접했음을 알 수 있다. 최대 발생 응력은 정적 구조해석을 고려한 경우의 94.5MPa와 비슷한 95.6MPa로 플랫폼 전체의 구조적 안정성은 그대로 유지되었음을 확인할 수 있다.

4.3 통합 최적설계

2.2장에서 거론한 바와 같이 유전알고리즘은 다수의 구속조건과 다수의 목적함수 적용이 가능하므로 이 장에서는 정

Table 8 Range of variables for the integrated optimal design

Variables	Range [mm]
t1 (Pad thickness)	$3 \leq t1 \leq 20$
t2 (Arm thickness)	$10 \leq t1 \leq 45$

Table 9 Results from the integrated optimal design

Contents	Initial value [mm]	Optimized value [mm]	Change [%]
Pad thickness [mm]	5.0	8.0	+ 60
Arm thickness [mm]	30.0	21.0	- 30
Max. stress [MPa]	147.9	95.6	- 35
1 st Freq. [Hz]	106.1	148.4	+ 40
Weight [kg]	16.6	14.1	- 15

적 구조해석과 고유진동수를 동시에 고려하여 최적설계를 수행하고자 한다. 정적 구조해석을 고려한 경우와 고유진동수를 고려한 경우의 두 최적설계 시스템 모듈을 통합하여 최대 발생 응력에 대한 구속 조건과 공진 회피에 대한 구속 조건을 모두 적용한다. 목적함수는 두 가지 모두 플랫폼의 중량에 대한 것이므로 하나로 사용한다. 설계 변수의 범위는 두 가지 경우의 범위를 통합하여 Table 8과 같이 적용한다.

Fig. 9는 최적화 과정의 목적함수 값의 변화와 적합도함수 값의 변화를 나타낸 것이며 Table 9는 최적설계 결과를 나타낸 것이다. 결과는 고유진동수를 고려한 최적설계 결과와 일치하는 것을 확인할 수 있다. 이것은 두 가지의 구속조건, 즉 최대허용응력에 대한 구속조건과 1차 고유진동수에 대한 구속조건에 대하여 동일한 가중치를 적용하였기 때문이다. 어느 한쪽의 구속조건에 위배되면 동일한 벌점을 부여 받아 도태되는데 고유진동수를 고려한 최적설계의 해 영역(feasible region)이 정적 구조해석을 고려한 최적설계의 해 영역에 포함되기 때문이다.

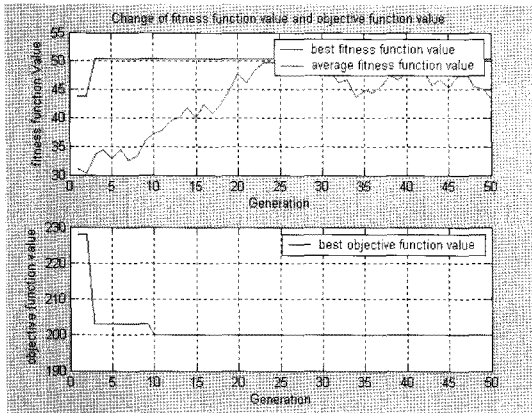


Fig. 9 Change of the fitness and the objective function through the integrated optimal design

4.4 최적설계 결과 요약

이상의 세 가지 최적설계 방법에 대한 결과를 Table 10에 하나로 나타낸다. 정적 구조해석을 고려한 최적설계의 경우 초기 설계시의 패드 두께가 작아 플랫폼 재료의 허용응력을 벗어나는 해석 결과가 나왔기 때문에 최적화 결과에서는 패드 두께가 오히려 3mm 증가하는 결과를 보인다. 그러나 전체적으로는 플랫폼의 허용응력에 최대한 근접하면서 가장 경량화 될 수 있는 치수로 결과가 나왔으며 전체적인 중량의 감소폭은 28%이다. 고유진동수를 고려한 최적설계의 경우 정적 구조해석을 고려한 최적설계의 경우보다 중량 감소폭은 15%로 적었지만 의도하는 특정 주파수의 회피를 이룰 수 있었다. 두 가지를 모두 고려한 최적설계의 경우 고유진

Table 10 Integrated result from the optimal design

Contents	Initial value [mm]	Static optimal design		Dynamic optimal design		Integrated optimal design	
		Optimized value [mm]	Change [%]	Optimized value [mm]	Change [%]	Optimized value [mm]	Change [%]
Pad thickness [mm]	5.0	8.0	+ 60	8.0	+ 60	8.0	+ 60
Arm thickness [mm]	30.0	15.0	- 50	21.0	- 30	21.0	- 30
Max. stress [MPa]	147.9	94.5	- 36	95.6	- 35	95.6	- 35
1 st Freq. [Hz]	106.1	-	-	148.4	+ 40	148.4	+ 40
Weight [kg]	16.6	12.0	- 28	14.1	- 15	14.1	- 15

동수를 고려한 최적설계의 결과와 동일하게 나왔다. 이것은 첫째, 두 가지 구속조건의 가중치가 동일하게 적용된 것과 둘째, 설계 변수의 범위가 공진 회피 구속조건 안에 최대 발생 응력 구속조건이 포함되는 형태로 구성되어 있기 때문으로 판단된다. 만약 플랫폼에 장착되는 작업 툴의 회전수 조건이 변하거나 플랫폼의 재질 등의 변경 등으로 구속조건의 설정 값이 바뀌고, 정적 구조해석과 공진 회피의 중요도에 따라 가중치를 달리 부여한다면 통합 최적설계의 결과가 정적 구조해석을 고려한 경우와 고유진동수를 고려한 경우와는 달라질 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 선박건조작업과 같은 고소 작업을 위한 수직이동로봇 플랫폼에 대한 최적설계를 수행하였다. 숙련된 설계 기술자에 의한 초기 설계 모델을 대상으로 하여 먼저 정적 구조해석과 고유진동수 해석을 수행하였다. 그리고 해석 결과를 바탕으로 최적설계의 대상이 되는 주요 부위의 치수를 설계변수로 정하였고, 허용응력과 공진 회피 주파수를 구속조건으로 하였다. 정적 구조해석만을 고려한 경우와 고유진동수를 고려한 경우 그리고 두 가지를 동시에 고려한 경우 이렇게 세 가지의 최적화 방법을 수행하여 그 결과를 비교 분석하였다. 최적설계 결과 정적 구조해석만을 고려한 경우는 플랫폼의 중량이 16.6kg에서 12.0kg으로 28%가 감소하였고, 고유진동수를 고려한 경우 및 정적 구조해석과 고유진동수 두 가지를 동시에 고려한 경우에는 모두 중량이 14.1kg으로 15%의 감소를 보였다. 이 결과를 반영하여 2단계 수직 이동 로봇 플랫폼의 설계가 이루어졌고, 이러한 결과는 제안한 본 방법이 수직 이동 로봇 이외에도 다양한 로봇기구나 기계시스템 등의 초기 설계 단계에 유용하게 사용될 수 있음을 보여주고 있다.

후 기

이 연구에 참여한 연구자(의 일부)는 「2단계 BK21 사업」의 지원비를 받았음.

참 고 문 헌

- (1) Rhee, H. I., 1995, "The Korea's Shipbuilding Industry," *Journal of The Korean Society of Marine Engineering*, Vol. 19, No. 1, pp. 1~6.
- (2) Yi, L., Jinwu, Q., Yaozong, S., and Zhenbang, G., 1998, "The kinematics and force analysis of a new leg mechanism for multi-legged wall-climbing robot," *Journal of Shanghai University*, Vol. 2, No. 1, pp. 49~53.
- (3) Nagakubo, A. and Hirose, 1994, "Walking and running of the quadruped wall-climbing robot," *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, Vol. 2, pp. 1005~1012.
- (4) Kang, T. H., Kim, H. S., Son, T. Y., and Choi, H. R., 2003, "Design of quadruped walking and climbing robot," *Proceedings of IEEE International Conference on Intelligent Robots and System*, Vol. 13, pp. 619~624.
- (5) Jin, G. G., 2002, "Genetic Algorithms and Their Application," KyoWooSa, Seoul.
- (6) Jung, H. H., and Seo, K. K., 2002, "A Genetic Algorithm based on Optimal Design Methodology for a Lever Sub-Assembly of an Auto Lever," *Proceedings of KSME Spring Annual Conference*, pp. 946~953.
- (7) Hong, S. H., Park, J. Y., Kim, J. H., Jung, S. H., and Lee, C. D., 1998, "Structural Stress Analysis for Industrial Robot," *Proceedings of KSME 1998 Autumn Annual Conference*, pp. 565~569.
- (8) Richardson, J. T., Palmer, M. R., Liepins, G. E., and Hilliard, M., 1989, "Some guidelines for genetic algorithms with penalty functions," *Proceeding of the third international conference on Genetic algorithms*, pp. 191~197.
- (9) Holland, J. H., 1975, *Adaptation in Natural and Artificial Systems*, The University of Michigan Press, Michigan.
- (10) Goldberg, D. E., 1989, *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Co. Inc., N.Y..
- (11) Nguyen, D. T., 2007, *Finite Element Methods*, Springer Verlag, New York, pp. 365~377.