

## 진동을 고려한 열영상장비 내부프레임 설계

### Design for Vibration of the inner-frame of thermal surveillance equipment

김윤기† · 서상호\*

Yoon ki Kim, Sang Ho Suh

#### 1. 서 론

최근 열영상 센서의 발달과 보급으로 인해 열영상 관측장비의 개발이 활기를 띠고 있다. 열영상 관측장비는 절대온도 0K 이상의 모든 물체에 존재하는 적외선을 측정하는 장비로 산업용, 의료용, 군사용 등 적용 분야가 넓은 장점이 있다. 하지만 열영상을 얻기 위한 열영상 센서는 일반적으로 냉각이 필요하여 냉각기가 사용되게 되고, 냉각기에서 발생한 진동이 다른 모듈들에게 전달되어 영상의 품질이나 기능 구현에 악영향을 미칠 수 있다.

본 연구에서는 설계에 실험계획법을 적용하여 극저온 냉각기에서 발생한 진동을 내부프레임이 감쇠시키도록 하였다. 또한 주어진 무게 및 형상의 제한 조건 내에서 내부프레임을 설계하였다. 설계 과정에서 설계 변수들의 치수를 실험계획법을 사용하여 효과적으로 결정하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 설계 방향

###### (1) 모듈 배치

열영상 관측장비는 열영상 광학 모듈, 가시영상 모듈, 극저온 냉각기, 모터 제어 모듈, PCB 등으로 구성되어 있다. 각 모듈들의 성능을 가장 잘 발휘하면서 공간을 효율적으로 활용하기 위해 그림 1 과 같이 모듈을 배치하였다.



그림 1. 모듈 배치

###### (2) 극저온 냉각기

위 연구에서 적용되는 냉각기는 극저온 냉각기로 스티링 엔진(stirling engine)을 사용하며 수 초 내에 과도 상태를 지나 정상상태로 안정되고 압축기와 cold finger displacer, 모터 3 가지 종류의 가진원이 존재한다. 가진원에서 발생하는 진동 중 압축기와 cold finger displacer 는 40Hz 의 1 차 고유진동수를 보이며 서로 90°의 위상차를 가지고 있다. 또한, 모터는 400Hz 의 1 차 고유 진동수를 가지고 있다. 표 1 에 각 진동원의 1 차 고유진동수를 정리해 놓았다.

표 1. 극저온 냉각기의 진동 특성

	과도상태	정상상태
압축기	60Hz	40Hz
Cold finger displacer	60Hz	40Hz
모터	400Hz	400Hz

###### (3) 내부프레임

내부프레임은 위의 그림 1 의 모든 모듈을 구속해야 하기 때문에 모든 모듈과 연결되어 있으며, 극저온 냉각기에서 발생된 진동을 다른 모듈로 전달한다. 이는 내부프레임을 설계 여부에 따라 모듈들이 받는 진동이 증폭 또는 감쇠될 수 있음을 의미한다. 따라서 내부프레임의 설계목표는 진동원들의 1 차 고유진동수를 피하고 400Hz 대의 모터 1 차 고유진동수를 감쇠할 수 있도록 200~220Hz 의 1 차 고유진동수를 갖고, 개발계획 시 제한조건으로 설정되었던 150g 이하의 내부프레임을 설계하는데 목표를 두었다.

##### 2.2 형상 설계

###### (1) 기본 형상의 설계변수 선정

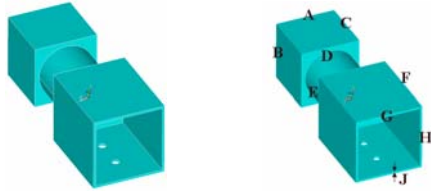
각 모듈들의 구속과 관측장비 외부 케이스와의 고정 등을 고려하여 그림 2 와 같이 내부프레임의 기본 형상 구현하였고 9 가지 설계변수를 선정하였다.

† 교신저자; 이오시스템

E-mail : -kim-y-k-@hanmail.net

Tel : (032) 290-1685, Fax : (032) 290-1602

\* 이오시스템



(a) 기본 형상 (b) 설계변수  
그림 2. 내부프레임 기본 형상과 설계변수

(2) 기본 형상 설계

가장 효율적인 설계를 위해 선정된 9 가지 변수들을 고유진동수/질량이 최대화 되는 것을 목적함수로 D-optimal design 을 사용하여 실험계획법을 수행하였다. 그 결과 그림 3 과 같이 주효과 그래프를 얻었으며, 내부 프레임에 큰 영향을 미치는 F, G, H 와 설계 제한조건이 적은 J 를 두 번째 실험계획법 대상으로 선정하였다. 그 외 A, B, C, D, E 는 구조적 제한조건 내에서 가장 큰 값을 갖는 수준을 선택하였다. 재선정된 F, G, H, J 의 4 가지 변수들을 대상으로 위와 같은 방법으로 실험계획법을 수행하였고 그 결과를 그림 4 에 표현하였다. 결과를 살펴보면 모든 변수가 수준이 낮을수록 높은 목적함수 결과값을 가졌기 때문에 J 를 제외한 변수들을 형상 및 모듈 배치를 고려하여 가장 작은 수준으로 결정하였다. 변수 J 는 추가적으로 변수의 수준을 낮출 수 있었으므로 변수 J 가 고유진동수/질량에 미치는 영향을 추가로 분석하여 가장 높은 값을 갖는 수준을 그림 5 와 같이 선택하였다. 그 결과 239.5Hz 의 1 차 고유진동수와 160.5g 의 무게를 갖는 기본형상을 제시하였다.

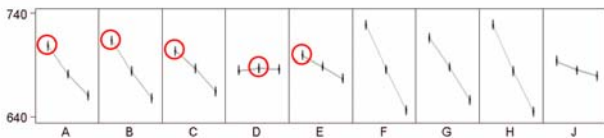


그림 3. 9 가지 변수들의 D-optimal design

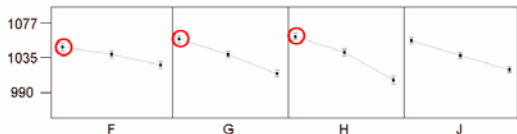


그림 4. 4 가지 변수들의 D-optimal design

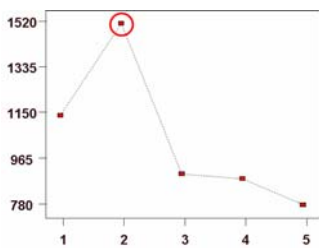
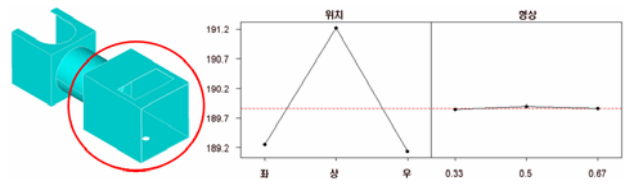


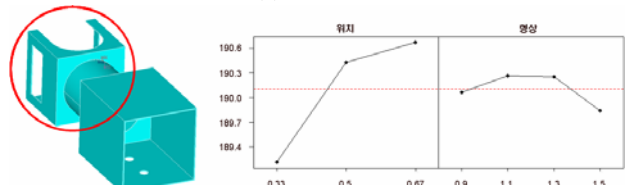
그림 5. 변수 J 의 수준결정

(3) 상세 설계

실험계획법을 통해 결정된 기본 형상을 토대로 상세설계를 수행하였다. 기본형상의 경우 1 차 고유진동수가 목표로 했던 200~220Hz 보다 높은 239.5Hz, 무게도 160.5g 으로 목표 무게 150g 보다 무겁다. 목표를 달성하기 위해서는 기본형상에 추가적인 무게와 고유진동수의 감소가 필요하였다. 이를 위해 실험계획법을 적용하여 기본 형상에 구멍의 위치와 형상을 선정하였고, 구조해석을 통해 실현 가능성을 검토하여 205.5Hz, 138.2g 의 특성을 갖는 내부프레임을 설계하였다. 그림 6 에 구멍 위치와 형상에 따른 고유진동수/질량의 변화를 볼 수 있고, 그림 7 에 상세 설계 모델과 1 차 고유 진동 모드형상을 표현하였다.

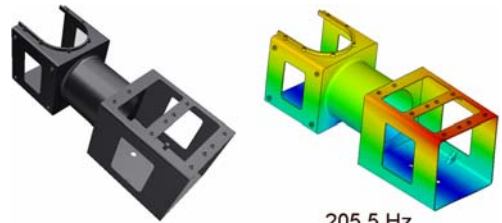


(a) 앞 부분



(b) 뒷 부분

그림 6. 구멍 위치와 형상에 따른 고유진동수/질량의 변화



(a) 모델

(b) 1 차 고유 진동 모드

그림 7. 상세 설계 모델

3. 결론

극저온 냉각기에서 발생하는 진동으로 인한 열영상 관측장비의 영상 성능 저하를 막기 위하여 극저온 냉각기의 진동을 고려한 설계 목표를 선정하였다. 무게 및 모듈 배치에 따른 형상 제한 조건을 준수하면서 목표로 한 범위 내 1 차 고유진동수가 존재하도록 내부프레임 설계하였으며, 설계 과정에서 실험계획법의 도입과 그 과정을 제시하였다. 그 결과 205.5 Hz 의 1 차 고유진동수와 138.2g 의 무게로 목표를 달성하였다. 추후 시제품을 제작하여 장비의 영상 성능 확인으로 설계 과정의 타당성을 입증할 예정이다.