

技術論文

스마트무인기 콘솔의 설계 및 진동·충격해석

권기한*, 김종욱**, 윤홍우*, 박형건*

Design and Dynamic Response Analysis of Smart UAV Console System

Gi-Han Kwon*, Joong-Wook Kim **, Hong-Woo Yoon* and Hyung-Gun Park*

ABSTRACT

This paper presents a design concept of smart UAV console system and the analysis of its dynamic response to shock and vibration. The console system design is determined by two main elements; the shape design and the mechanical design. The shape design refers to the human engineering aspects according to the military standards for ship borne equipment. The goal of the mechanical design is to provide the required shock and vibration endurance. The endurance of the system is numerically verified by means of Finite Element Method. The results of verification show that six resilient mounts installed on the console allow to sufficiently decrease the influence of the input impact wave on endurance of the system.

초 록

본 논문에서는 스마트무인기 콘솔구조의 설계개념을 소개하고, 장비의 안전성을 평가하기 위하여 충격과 진동에 대한 국방 환경시험규격을 적용하여 수치해석을 통한 주파수 응답스펙트럼을 분석하였다. 콘솔의 설계개념은 형상설계와 공학설계로 크게 분류된다. 형상설계는 콘솔의 운용성을 높이기 위한 인체공학규격을 기초로 하며, 공학설계는 충격과 진동에 대한 내구성을 높이기 위한 설계이다. 수치해석은 유한요소법을 통해 수행되었으며, 해석결과 콘솔에 설치된 6개의 탄성스프링은 충격과 진동에 대하여 충분한 감쇠를 보임이 확인되었다.

Key Words : Console(전시기), Impact Analysis(충격 해석), Frequency Response(주파수 응답), Natural Frequency(고유진동수), FEM(유한요소법), MIL-STD(국방 규격)

1. 서 론

방산장비의 발전은 전자산업의 발전과 함께 고성능, 다기능화 되어가고 있다. 현대의 전자 구성품들은 소형, 경량화 되면서도 그 성능은 확대되어 가는 추세이다. 특히, 아날로그 시대를 지나 디지털 기술의 발전은 다양한 정보의 가시화

(display)를 요구하고 있으며, 이로 인한 정보처리의 최종단계인 콘솔의 역할은 매우 중요하다. 콘솔이란 중앙처리장치에 직결되어 시스템의 상태를 알아보거나, 각종 업무를 처리하기 위해 사용되는 특수한 기능의 모니터, 키보드 등의 단말장치를 의미한다. 현재 개발 중인 스마트무인기 콘솔은 중앙처리장치와 단말장치가 모두 장착되어 독립된 임무를 수행할 수 있는 콘솔 시스템(system)이다. 또한 제한된 공간에서 장시간 전체 시스템의 운용 상태를 확인, 제어, 전송, 분석 등 다양한 기능과 가시화가 요구된다. 따라서 운용자의 작업환경 및 장비의 특성 등을 최대한 고려한 설계가 필요하다. 군 전력화를 목적으로 설계

† 2004년 7월 26일 접수 ~ 2005년 3월 25일 심사완료

* 정회원, STX레이다시스(주)
연락처자, E-mail: ghkwon@stxradersys.co.kr
경기도 용인시 구성읍 청덕리 418번지

** 정회원, 한국항공우주연구원

되는 콘솔은 설치환경과 사용목적에 따라 다양한 국방규격(military standard)을 만족하여야 한다. 스마트무인기 콘솔의 설치환경은 차량에 설치된 셸터(shelter)에 탑재되는 지상 장비와 함정(surface ship)에 탑재되는 함상용 장비로 구분된다.

콘솔의 설계에 있어서 기본적으로 검토되어야 할 항목은 크게 형상설계와 공학설계로 나눌 수 있다. 콘솔의 형상설계에 관한 치수와 전자구성품의 설치기준 등은 인체공학 설계기준인 MIL-STD-1472F[1]를 참고하고 있다. 공학설계는 강도, 열유동, 내충격 및 방진설계 그리고 EMI(electro-magnetic interference) 차폐설계가 요구된다. 특히 함정탑재용 장비의 경우 미국해군의 탑재장비에 대한 충격시험규격인 MIL-STD-901D[2]와 진동시험규격인 MIL-STD-167-1[3]의 기준을 모두 만족해야 한다.

본 연구에서는 스마트무인기 콘솔의 구성과 기본설계 개념을 소개하고, 차량탑재에 비해 상대적으로 가혹한 환경인 함정탑재 시 요구되는 충격과 진동시험규격을 적용하여 수치해석을 통한 주파수 응답 스펙트럼을 분석하였다. 또한 해석 결과를 통하여 외부로부터의 충격과 진동이 장비에 미치는 영향을 분석하고, 이를 감소시키기 위하여 설치된 탄성마운트의 타당성 및 특성을 파악함으로써 향후 실시하게 될 환경시험에 대비한 기초자료를 획득하기 위함이다. 수치해석은 유한요소법을 통해 수행하였으며, 상용프로그램인 I-DEAS 9.0을 사용하였다.

II. 본 론

2.1 형상설계

콘솔과 같은 기구장치의 기본기능은 전자 구성품 또는 sub-unit류의 장비를 실장 및 보호하는 것이다. 이를 위해 시스템 상호간의 호환성, 운용성, 정비유지성은 물론 설치 및 운용조건이 사전에 충분하고 고려되어야 한다. 또한 외부 환경적 요소에 대한 내구성을 갖춘 표준화 및 모듈화된 장비구현이 형상설계의 목적이며, 이를 통해 독창적인 국산화 모델이 개발되어야 한다.

스마트무인기 콘솔의 기본구성은 Fig. 1과 같이 모니터 조립체와 MMI(man machine interface) 장치가 탑재된 운용자조작기 조립체 그리고 신호처리용 랙이 탑재된 하부구조물 조립체로 구성된다. 콘솔의 외형치수는 (W)660mm×(H)1735mm×(D) 1070mm이며, 전체 중량은 약 210 Kg_r이다.

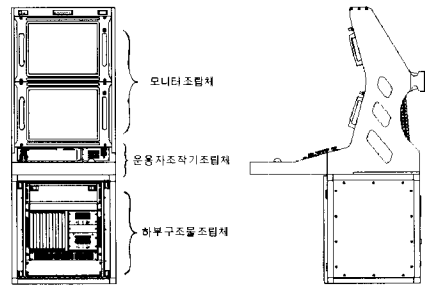


Fig. 1. Design configuration of console system

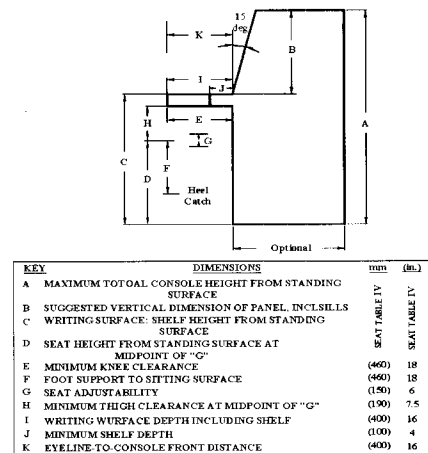


Fig. 2. Standard console dimensions

스마트무인기 콘솔의 기본 설계치수는 MIL-STD-1472F에 소개된 Fig. 2의 기준을 참고한다. 모니터의 각도는 수직 축에 대하여 15°의 경사각을 기본으로 설치하였으며, 운용자의 작업공간과 운용성을 고려하였다. 운용자조작기에 장착된 MMI 장치의 설치규격 또한 인체공학 기준을 참고하고 있다.

2.2 공학설계

공학설계는 외부 환경조건에서 유니트 및 장착 구성품의 내구성을 확보하기 위한 내충격 및 방진설계와 구조물 내부에서 발생하는 유체유동과 필요에 따라 요구되는 국부적인 냉각을 위한 열유동 설계 그리고 유니트별 전자파 차폐를 위한 EMI 설계가 있다. EMI 설계는 MIL-STD-461E의 국방시험규격을 따르며, 스마트무인기 콘솔은 접합부위 차폐를 위한 가스켓과 Air vent 부위에 Honey comb 필터를 사용하여 전자파를 차폐하였다. 본 연구에서는 내충격 및 방진설계에 주안점을 두고 구조해석을 수행하였다.

2.3 구조 해석

콘솔의 주요 부품인 전자 구성품은 외부의 충격과 진동에 안정적인 운용이 요구된다. 따라서 충격과 진동에 대비한 적절한 탄성마운트의 선정이 매우 중요하다. 실제 환경시험은 별도의 시험용 치구가 설치되며, 치구와 콘솔 사이에 6개의 탄성마운트가 설치된다. 탄성마운트의 설치 위치는 장비의 무게에 따른 치짐량과 콘솔의 무게중심을 고려하여 결정하였다. 충격시험의 경우, 해머(hammer)를 자유낙하하여 발생된 순간적인 충격이 탄성마운트를 거쳐 콘솔로 전달된다. 자유낙하 시 해머의 높이는 장비의 설치기준과 무게에 따라 차등되어 환경시험에 적용되는 순간가속도가 결정된다. 진동시험은 국방규격에 규정된 진동스펙트럼을 치구의 바닥에 가진(excitation)하여 탄성마운트를 거쳐 콘솔에 전달한다.

2.3.1 유한요소 모델

유한요소 모델은 Fig. 3과 같이 하부와 후면에 모두 6개의 탄성마운트로 고정되어 외부 가진을 강성계수에 따른 전달률로 감쇄시키고 장비에 전달되는 구조이다. 장비 내부에서 발생하는 진동은 무시하였으며, 입력 가진에 대한 Dynamic response analysis를 수행하였다.

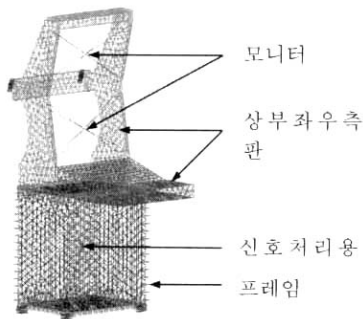


Fig. 3. Finite element model for dynamic response analysis

콘솔 구성품의 무게와 요소형태는 Table 1과 같고 모든 구성품의 재질은 AL6061-T6이다. 모니터와 신호처리용 랙은 집중질량요소를 적용하여 모델링하였으며, 각각은 상부좌우측면판과 프레임에 강체(rigid bar)로 연결되어있다. 프레임은 빔 요소를 이용하여 단면계수 값을 산출·적용하였다.

탄성마운트의 강성(stiffness)은 입력주파수 범위에서 선형구간을 계산하였으며, Table 2와 같이 제작사인 Enidine(社)의 제공 자료를 기초로 하였다.

Table 1. Weight and mesh types of sub-units

| Assembly | Weight(Kg) | Mesh Type |
|------------------|------------|-----------|
| 모니터 | 50 | Lumped |
| 상부좌우측판 운용자조작기 | 80 | Solid |
| 신호처리용 랙 | 40 | Lumped |
| 프레임 | 25 | Beam |
| 커버 / 도어 | 15 | Shell |

Table 2. Stiffness of wire mounts

| Type | 방향 | Stiffness (mN/mm) | 설치 위치 |
|----------|----------|-------------------|-------|
| WR12-600 | Compress | 1.264E5 | 후면 |
| | Shear | 0.3E5 | |
| WR12-800 | Compress | 1.923E5 | 하면 |
| | Shear | 0.14E5 | |

2.3.2 고유진동수 해석

고유진동수 해석을 위한 구속조건으로 6개의 탄성마운트 끝점은 고정되었으며, Table 2에서 제시된 각 방향별 강성이 적용되었다. Fig. 4는 고유진동수

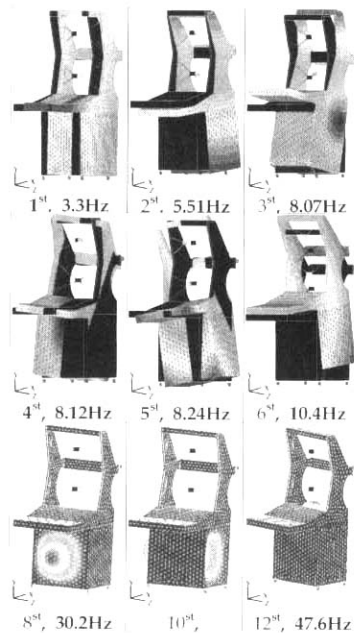


Fig. 4. Results of normal mode analysis

해석 결과로 고유진동수 해석 후 수행되는 진동응답 해석의 최대 입력가진 주파수인 50Hz내에 있는 Mode shape을 나타내었다. 1차에서 6차까지는 탄성스프링과 모델 전체에 대한 Mode shape을 보이고 있다. 1차는 X축 방향 Translational mode이며, 2차와 3차는 Z축을 기준으로 Rotational mode, 4차와 5차는 X축을 기준으로 Rotational mode, 그리고 6차는 Y축 방향 Translational mode이다. 8차에서 10차까지의 Mode shape은 하부구조물의 커버에서 Local mode shape을 나타내고 있으며, 9차, 11차는 8차와 10차의 반대방향 Mode shape으로 생각하였다. 본 논문에서 수행되는 구조해석은 탄성마운트의 강성과 설치위치, 그리고 콘솔의 형상과 중량을 고려하여 충격과 진동에 대비한 탄성마운트의 타당성과 응답결과를 목적으로 하고 있기 때문에 하부구조물의 커버에서 발생하는 Local mode shape은 큰 의미를 가지지 않는다.

2.3.3 충격응답 해석

MIL-STD-901D에서 규정하는 합정용 탑재장비의 충격시험은 장비의 무게에 따라 경 중량(light weight)과 중 중량(medium weight) 충격시험으로 구분된다. 스마트무인기 콘솔의 경우 중 중량 충격 시험에 해당되며, 가진 위치는 치구와 탄성마운트의 체결부위인 탄성마운트의 바닥이다. 가진 방향은 장비의 수직축 방향이다. 중 중량 충격시험기의 경우, 충격해머의 낙하에 의한 대상 시험물이 설치된 Anvil-table에 가해지는 충격가속도의 크기는 시험품의 중량에 거의 무관하게 일정한 값을 가지며, 이때 충격가속도의 크기는 약 550g(는 중력가속도)이다[4]. 입력충격가속도는 스마트무인기 콘솔과 동일한 중량등급의 장비에 대한 환경시험 결과를 기초로 600g로 결정하였다.

동적계(dynamic system)의 지지물이 외부로부터의 가진이나 갑작스러운 변위, 가속도 운동을 받을 경우에 대하여 Fig. 5와 같이 간단히 표현할 수 있다.

지지점의 단순 조화 변위를 y로 잡고 관성 좌표계로부터 질량 m의 변위를 x로 놓았을 때 운동방정식은 식 (1)과 같다.

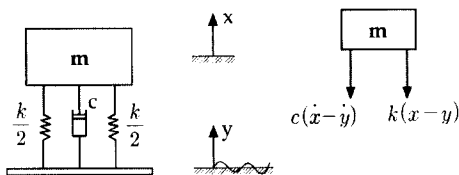


Fig. 5. Dynamic model of the system

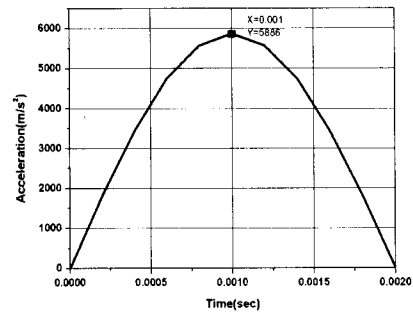


Fig. 6. Input spectrum for impact analysis

$$\ddot{z} + 2\zeta\omega_n \dot{z} + \omega_n^2 z = -\ddot{y} = \frac{F}{m} \quad (1)$$

여기서 $z = x - y$ 로 지지점과 장비간의 상대 변위이며, $\zeta = \frac{c}{c_c}$ 는 감쇠비이다. 탄성마운트의 감쇠비 또한 동일등급의 환경시험 장비에 대한 경험치를 적용하여 0.05로 가정하였다. 위에서 결정한 입력 충격가속도 600g는 식 (2)로 나타낼 수 있으며, Fig. 6과 같은 입력 스펙트럼으로 표현된다. 충격 지속시간은 2msec이다.

$$\ddot{y} = 5886 \sin\left(\frac{\pi}{0.002} t\right) \quad (2)$$

입력 충격가속도에 대한 응답 결과는 입력 충격가속도로 인한 최대 Peak 이후 점성 감쇠 자유진동으로 Fig. 7과 같은 주기운동을 보인다. 응답가속도의 획득위치는 하부모니터로 0.02sec에서 42.5g의 최대 순간가속도를 나타낸다. 600g의 입력 순간가속도가 탄성마운트의 충격흡수를 통해 42.5g로 감쇠되었으며, 탄성마운트의 감쇠로 인해 콘솔에 도달하는 순간가속도는 시간이 경과함에 따라 감쇠하는 결과를 보인다.

탄성마운트의 강도는 제작사인 Enidine(社)의 제

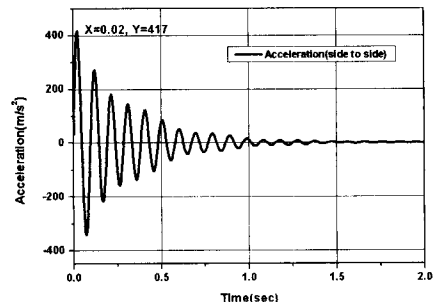


Fig. 7. Results of impact analysis (Acceleration)

공 자료로부터 안전성이 확인되었으며, 해석결과로부터 충분한 충격흡수가 확인되었다.

충격해석의 결과는 콘솔의 강도설계 뿐만 아니라 탑재되는 전자구성품의 선정에 중요한 기초자료로 활용된다. 방산 장비용으로 제작된 모니터와 MMI 장치 그리고 중앙처리장치와 같이 충격에 민감한 전자 구성품들은 순간적인 충격에 대한 허용규격을 제시하고 있다. 위의 해석결과를 통하여 스마트무인기 콘솔이 합정탑재용으로 설계될 때, 42.5g이하에서 충분한 안전성을 가지는 전자 구성품이 선정되어야 한다. 또한 42.5g의 최대 순간가속도에서 안전성을 가지지 못하는 전자 구성품은 개별 탄성마운트를 설치하여 구성품에 전달되는 순간가속도를 낮추어 설계하여야 한다.

2.3.4 진동응답 해석

진동시험은 각 방향별 공진주파수를 탐색하는 공진탐색시험과 탐색된 공진주파수에서 2시간 동안 진행되는 진동 내구시험, 그리고 가변주파수 시험으로 구성된다. 본 연구에서는 가변주파수 시험에 대한 해석을 수행하였으며, 이를 통해 각 방향별 공진주파수와 주파수 응답에 대한 분석을 수행하였다. MIL-STD-167-1에서는 Table 3과 같이 1Hz 간격의 불연속 주파수로, 4~50Hz의 주파수 범위에서 각 구간별로 5분간 실시하여 가변주파수 시험을 수행한다. 따라서 설계 시 선정된 탄성마운트와 장비의 무게 등에 의해 결정되는 공진주파수를 탐색하여 실제 환경시험에서 나타나는 응답 스펙트럼을 예측하는 것이 중요하다.

입력 가진은 하부 4개, 후면 2개의 탄성마운트에 전·후, 수직, 좌·우 방향으로 동일한 가진이 적용되었다.

Table 3. Frequency range vs. table amplitude

| Frequency range(Hz) | Table amplitude(mm) |
|---------------------|---------------------|
| 4 ~ 15 | 0.762 |
| 16 ~ 25 | 0.508 |
| 26 ~ 33 | 0.254 |
| 34 ~ 40 | 0.127 |
| 41 ~ 50 | 0.0762 |

Fig. 8~13은 각 방향으로의 입력 가진에 대한 하부모니터에서 나타난 순간가속도와 변위에 대한 응답 결과이다. Fig. 8은 전·후 방향으로의 입력 가진에 대한 순간가속도 응답결과로 주파수 8.0Hz에서 1.28g의 최대 순간가속도 값을 보인다. 8.0Hz를 기

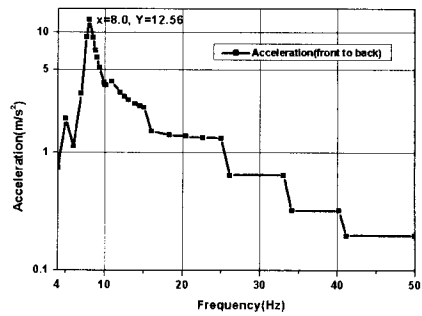


Fig. 8. Results of frequency response Analysis (front to back acceleration)

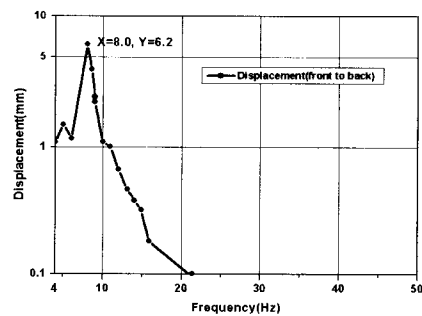


Fig. 9. Results of frequency response Analysis(front to back displacement)

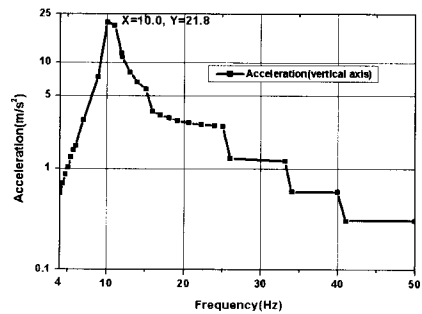


Fig. 10. Results of frequency response Analysis (vertical acceleration)

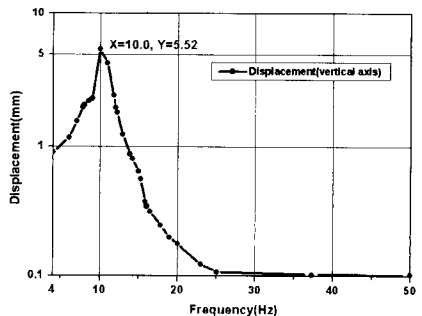


Fig. 11. Results of frequency response Analysis (vertical displacement)

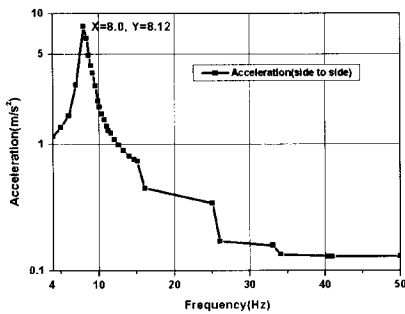


Fig. 12. Results of frequency response Analysis (side to side acceleration)

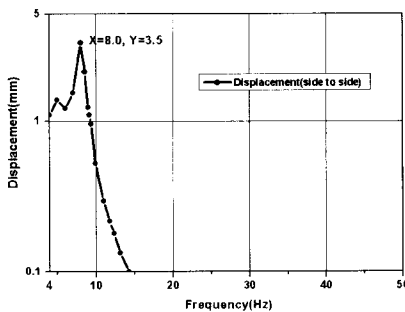


Fig. 13. Results of frequency response Analysis (side to side displacement)

준으로 주파수가 증가하거나 감소함에 따라 순간가속도의 값이 감소하는 경향을 보인다. Fig. 9는 전·후 방향의 순간가속도 해석과 동시에 얻어진 주파수에 따른 변위 결과이다. 8.0Hz에서 최대 변위 6.2mm를 보이며, 20Hz 이상의 주파수 범위에서는 0.1mm 이하의 낮은 변위를 보인다.

Fig. 10과 Fig. 11은 수직방향으로의 입력 가진에 대한 순간가속도와 변위 결과이다. 전·후 방향 가진 결과와 유사한 경향을 보이며 주파수 10.0Hz에서 2.22g의 최대 순간가속도를 가진다. 이때의 최대 변위는 5.52mm이다.

Fig. 12와 Fig. 13은 좌·우 방향으로의 입력 가진에 대한 순간가속도와 변위 결과이다. 주파수 8.0Hz에서 0.828g의 최대 순간가속도 값을 가지며, 이때의 최대 변위는 3.5mm이다.

주파수 응답해석을 통해 선정된 탄성마운트가 설치된 콘솔의 진동특성을 파악하였으며, 입력 가진으로 인해 장비에 미치는 순간가속도와 이때의 변위를 확인하였다. 또한 각 방향별 최대순간가속도가 나타

나는 공진주파수를 확인하였다. 함정탑재용 장비의 경우 장비의 고유진동수와 각 방향별 공진주파수를 찾는 것이 매우 중요하다. 공진주파수는 외부 진동이 고려되어야 하는 환경에 설치되는 장비 설계 시 중요한 설계인자이다. 즉, 탄성마운트의 강성을 조절함으로써 설계자가 의도하는 공진주파수를 유도할 수 있다. 또한 탄성마운트의 설치위치와 개수 그리고 Type에 따른 주파수 응답해석을 통해 최적의 방진설계가 가능하다.

III. 결 론

방산장비의 형상 및 공학 설계는 국방규격을 따르고 있으며, 수요자의 요구사항인 다기능과 편리한 정비 및 운용성 그리고 발전된 외관형상이 모두 고려되어야 한다. 콘솔은 설치환경에 따라 충격 및 진동에 대비한 탄성마운트의 설계가 필수적이며, 수치해석을 통해 응답 형태와 선정된 탄성마운트의 타당성을 파악, 검토할 수 있다. 또한 충격과 진동해석을 통하여 획득된 응답결과 자료는 콘솔의 강도설계와 콘솔 내부에 설치되는 전자구성품의 사양결정에 중요한 자료가 된다.

후 기

본 연구는 “스마트무인기 기술개발사업”과제에서 수행된 연구결과의 일부이며, 스마트무인기 기술개발사업단의 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) "Human Engineering", MIL-STD-1472F, 1998
- 2) "Shock Tests, H. I. (High-Impact) Ship-board Machinery, Equipment, System, Requirement for", MIL-STD-901D(NAVY), 1963.
- 3) "Mechanical Vibration of shipboard Equipment", MIL-STD-167-1(SHIPS), 1969.
- 4) Yang, Y. J., Chung, J. H., Cho, D. S. and Kim, B. H., "A Study on the Optimum Design of Resilient Mount for Shock & Vibration Isolation", Proceedings of the Annual Spring Meeting of SNAK, 2001, PP. 298~302.