

대형 레이더 수송용 이동차구의 주행동특성 분석

Analysis for the Dynamic Characteristics of the Moving Equipment for the large Radar Transportation

전종익† · 이종학* · 강영식* · 최지호* · 강동석**

Jong-Ik Jeon, Jong-Hak Lee, Young-Sik Kang, Ji-Ho Choi, Dong-Seok Kang

Key Words : 대형 레이더(Large Radar), 주행 동특성 분석 (Dynamic Characteristics Analysis), 파워 스펙트럼 밀도 (Power Spectral Density), 수송용 이동차구(Moving Equipment)

ABSTRACT

In this paper, the design concept of the transport of defense equipment and processes were established. And the transport of large radar equipment design were investigated. Detailed design of moving equipment with reference to the U.S. military standard was performed. Damping system of the moving equipment by using a simulation designed to predict In order to minimize shock and vibration in the vehicle due to the irregular road surface is transmitted through. Analysis of the damping system was verified using the driving test.

기 호 설 명

k : 강성
 f : 고유진동수
 m : 질량

1. 서 론

방산장비는 성능시험, 환경시험, 운용장소 설치 및 이동 등을 위해서 차량, 항공기, 선박 및 철도를 이용한 수송이 빈번하다. 수송환경에서 진동, 충격, 온도, 습도, 고도 등 다양한 외부환경에 노출되므로 장비의 안전한 수송을 위한 설계가 기본적으로 적용되어야 하고 추가적인 수송용 장비가 필요할 수 있다. 군용 레이더장비는 차량 수송 시에 진동과 충격 등의 외부 동적환경에 노출되어 있기 때문에 레이더장비의 안정성을 확보하기 위해서 감쇠시스템이 적용된 이동차구에 탑재하여 수송하게 된다. 이동차구는 불규칙한 노면으로 인해 차량에서 전해지는 진동과 충격을 최소화하기 위해서 댐퍼, 스테빌

라이저, 와이어로프 등의 감쇠장치를 포함한다. 이동차구의 감쇠시스템 설계는 미군사규격인 MIL-STD-810G 의 진동충격 설계기준을 적용하여 시뮬레이션 기반으로 진행되며 주행시험으로 동특성을 검증한다. 본 논문에서는 방산장비의 안전하고 효율적인 수송을 위한 수송설계 개념 및 프로세스를 정립하였고 10 톤 이상의 대형 레이더 장비를 수송하는 이동차구의 상세설계 및 주행시험을 통한 동특성을 분석함으로써 이동차구의 적합성 여부를 확인하고 대형 레이더장비에 적합한 수송설계기준을 마련하였다.

2. 본 론

2.1 방산장비 수송설계 개념 및 프로세스

방산장비는 성능시험, 환경시험, 운용장소 설치 및 이동 등을 위해서 수송이 빈번하며, 수송 시 외부환경으로 인한 장비의 구조적 안정성과 내환경성을 갖추도록 수송설계의 목적을 두고 있다.

방산장비의 수송형태는 장비의 성능, 규모, 운용장소 및 운용장소 특성 등에 따라 다양하며 크게 차량, 항공기, 선박, 철도 등으로 나누어진다.

각 수송형태별 설계기준은 수송환경에 따른 진동, 충격, 온도, 습도, 고도 등을 고려하여 정해지므로

† 교신저자; 전종익, LIG 넥스원 기계연구센터
E-mail : jongik.jeon@lignex1.com
Tel : 031-8026-4862, Fax : 031-8026-7804
* LIG 넥스원 기계연구센터

수송환경 분석이 우선적이고 중요하다. 수송형태별 설계기준을 Table 1에 나타내었다.

장비의 상세설계 시 수송환경 분석으로 확립된 설계기준을 준수하는 설계가 진행되어야 하며 이때 구조적, 환경적 기준이 모두 고려되어야 한다.

또한 다양한 수송환경에서 장비의 안정성을 확보하려면 별도의 수송장비가 필요할 수 있다. 특히 수송시의 진동, 충격을 최소화하기 위해서는 별도의 감쇠시스템을 적용하여 장비에 전달되는 양이 최소화되도록 한다.

수송설계 프로세스는 수송형태 분류와 수송환경 분석 그리고 그에 따른 설계기준확립과 상세설계 적용 및 별도의 수송장비 적용의 순서로 진행되며 Fig. 1에 일련의 수송설계 프로세스를 상세히 나타내었다.

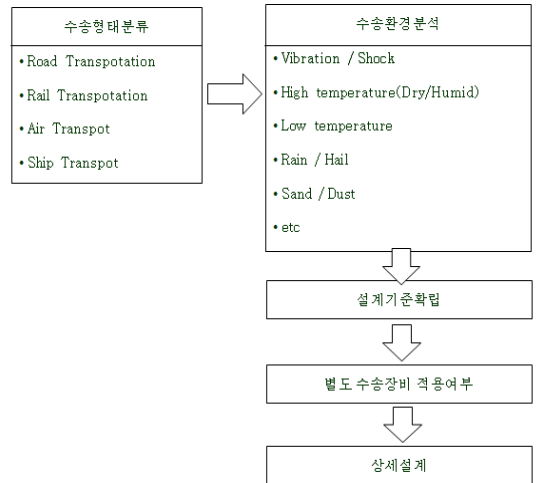


Fig. 1 수송설계 프로세스

Table 1 수송형태별 설계기준 미군사규격

Transportation Type	Environmental Stress(Induced)	Environmental Stress(Natural)
Road Transportation	Road shock Road vibration Handling shock	High temperature (Dry/Humid) Low temperature Rain / Hail Sand / Dust
Rail Transportation	Rail shock Rail vibration Handling shock	High temperature (Dry/Humid) Low temperature Rain / Hail Sand / Dust
Air Transport	In-flight vibration Landing shock Handling shock	Reduced pressure Thermal shock (Air drop only) Rapid decompression
Ship Transport	Wave-induced vibration Wave sine shock Mine, Blast shock Handling shock	High temperature (Humid) Low temperature Rain Temporary Immersion Salt fog

2.2 대형 레이더 수송용 이동치구 설계기준 검토

해당 대형 레이더의 수송형태는 차량수송이며 수송환경은 온도, 습도, 이물질, 진동, 충격 등에 노출되며 특히 차량주행 시 불규칙한 노면으로 인해 발생하는 진동 및 충격하중이 레이더 장비에 가장 큰 영향을 끼친다. 진동 및 충격하중으로 인한 레이더 장비의 정렬이 틀어질 경우 운용 시 성능에 많은 영향을 줄 수 있으므로 진동 및 충격하중을 최소화할 수 있는 별도의 수송용 이동치구를 설계하여 적용하였다.

수송용 이동치구는 차량과 레이더 장비 사이에 장착되어 차량에서 전해지는 진동과 충격을 최소화하는 역할을 한다. 대형 레이더 수송용 이동치구의 개념도를 Fig. 2와 3에 나타내었다.

이동치구의 상세설계기준은 미군사규격 MIL-STD-810G⁽¹⁾의 진동 및 충격기준을 적용하였으며 Fig. 4과 5에 나타내었다.

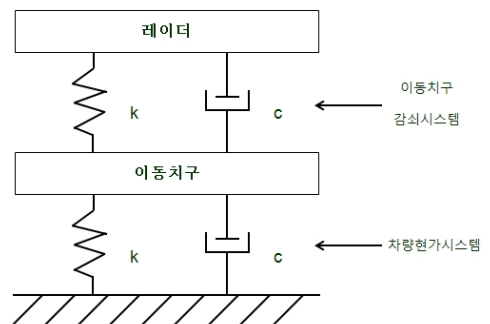


Fig. 2 대형 레이더 수송용 이동치구 개념도

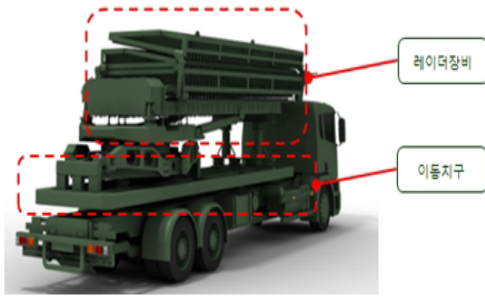


Fig. 3 대형 레이더 수송용 이동차구

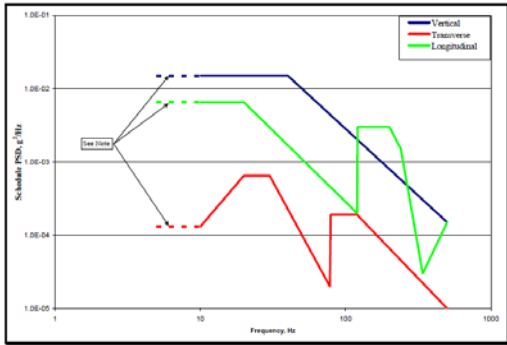


Fig. 4 진동가진프로파일

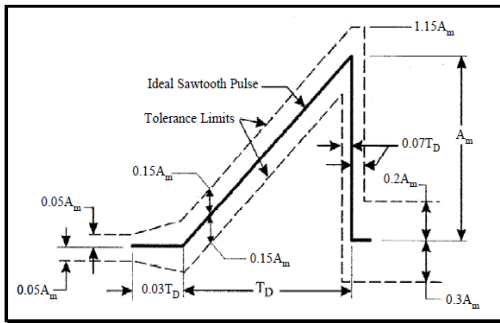


Fig. 5 충격가진프로파일

2.3 이동차구 상세설계

(1) 설계개념

대형 레이더 수송용 이동차구는 포장도로, 비포장도로, 과속방지턱, 경사로등반, 경사로하강, 급정지, 급출발 및 코너링 주행시의 진동을 절연하는 역할을 한다. 또한 이동시 중량을 최소화하기 위해서 기본적으로 경량화설계가 진행되어야 하며 동시에 구조적 안정성을 위한 강성을 확보하여야 한다.

이동차구의 고감쇠를 위해서 아이솔레이터와 스테빌라이저를 적용하였고 아이솔레이터의 최적위치

선정을 통해서 절연효과를 최대화하였다. 이동차구의 고강성 경량화를 위해서 각관을 이용한 용접구조를 적용하였으며 그 형상을 Fig. 6에 나타내었다.

(2) Isolator 선정

이동차구는 고온, 저온, 습도, 강우, 일사 등의 환경조건과 내구성 및 저소음을 만족하여야 한다. 유사장비의 과거 설계이력을 살펴보면 고무댐퍼나 유압식 댐퍼는 환경조건과 내구성 및 저소음을 만족하기에 한계가 있었으므로 와이어로프 형식의 감쇠장치가 적합하다. 본 장비의 아이솔레이터는 ENIDINE 사의 000를 적용하였고 형상 및 구조와 상세사양을 Fig. 7과 Table 2에 나타내었다.

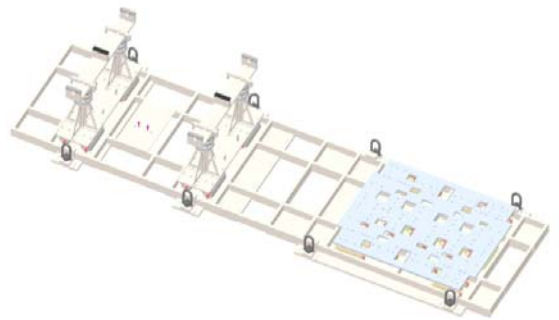


Fig. 6 대형 레이더 수송용 이동차구 형상

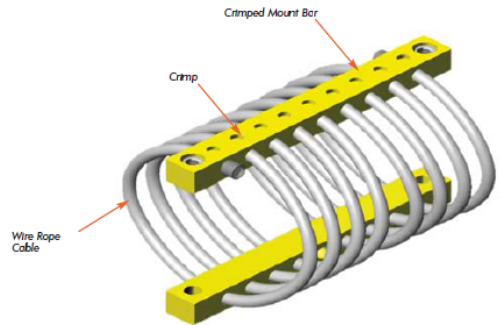


Fig. 7 Isolator 형상 및 구조

Table 2 Isolator 상세사양

구분	내용
Max. Isolator and Spacer Bar Assembly Height	≤180mm
Vibration Input	MIL-STD-810G a) U.S Highway b) Composite

	c) Wheeled Vehicle
Shock Input	20g, 11ms Saw tooth
Fragility Target	10g
Transmissibility at Resonance	3.5

(3) 동특성 분석

아이슬레이터의 상세사양과 최적위치를 선정하기 위해 선 분석된 레이더장비와 이동차구의 고유진동수 및 고유모드와 미군사규격(MIL-STD-810G) 진동프로파일을 이용하여 동특성을 예측 및 분석하였다. 레이더장비의 고유진동수는 37Hz이며 이동차구의 고유진동수는 12Hz로 예측되었으며 이를 고려한 입력과 응답의 PSD(Power Spectral Density)값을 비교한 결과 감쇠효과는 진동량 15%, 충격량은 65% 감소되는 결과를 얻었다. Fig. 8에 진동응답특성 결과를 나타내었고 이 결과를 바탕으로 아이슬레이터 수량과 최적위치를 선정하였다.

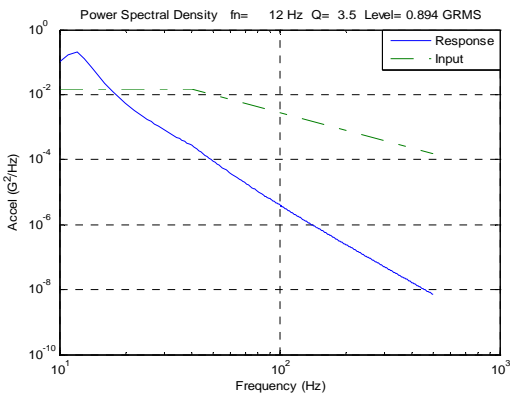


Fig.8 진동응답특성

2.4 대형 레이더 수송환경 시험 및 분석

(1) 시험절차

레이더 수송용 이동차구의 적합성을 검증하기 위해 수송환경 시험을 진행하였으며 설계기준을 고려하여 차량운행속도는 50km/h이하이며, 주행시의 가속도값을 측정하였다.

가속도값은 차량, 수송용 이동차구와 레이더장비에 각각 가속도센서를 부착하여 측정하였고 노면에서 전달되어 차량서스펜션에 의해 감쇠된 가속도값과 이동차구의 감쇠시스템을 통해 감쇠된 가속도값을 분석 및 비교하여 수송용 이동차구의 감쇠정도를 확인하였다.

주행조건에 따라 달라지는 동특성을 분석하기 위

해서 아이들링, 50km/h 주행과 과속방지턱 통과 시로 구분하여 각각 3번에 걸쳐 30초씩 측정하였다.

측정된 가속도값은 각 부분에서의 주파수별 PSD 값과 전달함수를 분석하여 수송용 이동차구의 감쇠정도를 확인하였다.

차량의 운행속도는 급정거 및 코너링 등의 동적 환경에서 레이더장비에 작용하는 가속도값을 증대시켜 미리 셋팅해놓은 레이더 주 장비의 정렬에 영향을 미치므로 이를 고려하여 50km/h이하로 주행하였다.

(2) 시험준비

수송환경 시험에 사용된 트럭은 길이 10.1미터, 폭 2.5미터 그리고 탑재가능 총 중량이 25톤 이며 자체적으로 에어서스펜션이 적용되어 불규칙한 노면에서 전해지는 가진을 1차적으로 감쇠하는 역할을 한다. 가속도센서는 2kHz이상 측정이 가능하며 총 25개가 사용되었고 계측된 신호를 변환시켜주는 DSA(Digital Signal Analyzer)를 이용하여 가속도값을 계측하였다. 시험에는 전원을 공급하는 배터리와 전원용량을 변환해주는 전원컨버터 등이 포함되며 가속도센서의 부착위치를 Table 3에 나타내었다.

Table 3. 가속도센서 부착위치

상세 부착 위치	채널번호
차량 적재함 상판	1~11
이동차구 프레임	12~17
이동차구 아이슬레이터 상판	18~20
레이더 장비	21~24
레퍼런스	25

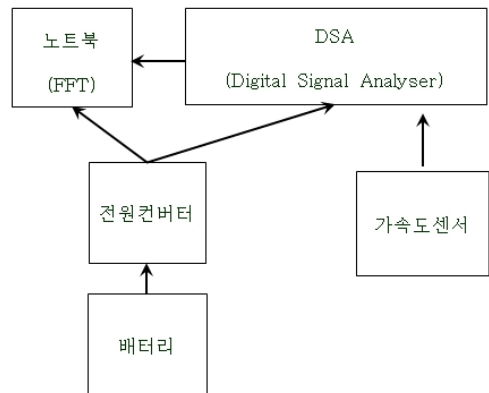


Fig. 9 시험구성도

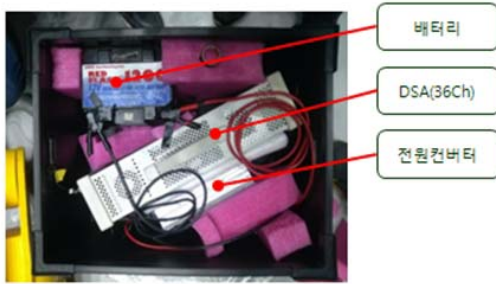


Fig. 10 실제 시험 구성

데이터의 수집은 1.5kHz로 하였고 분석은 정속구간에 대해서 4096개의 데이터를 50% 중첩하여 진행하였다. 이동치구에 레이더를 탑재하여 수송 시에 진동은 일반적으로 500Hz이내이므로 실제분석도 500Hz내에서 진행하였다. 시험구성을 Fig. 9와 Fig. 10에 나타내었다.

(3) 시험결과 분석

차량, 이동치구 및 레이더장비에 부착한 가속도센서로 측정된 가속도데이터 중에서 이동치구에 의한 감쇠 전인 차량에서의 PSD값과 이동치구에 의해 감쇠된 후의 레이더장비에서의 PSD값을 분석하였다.

실측에 의한 고유진동수는 약 13.75Hz로 나타났으며 동특성을 예측하는 단계에서 적용된 레이더장비 중 시험 시에는 제외된 부품이 있어 실측에 의해 계산된 스프링상수를 이용하여 전체 레이더장비를 포함한 고유진동수를 계산하였다. 계산식에 의한 스프링상수와 고유진동수는 식 (1)과 식 (2)에 의해 각각 57,695,856과 12.09Hz로 동특성 예측 단계에서와 근접한 값을 얻을 수 있었으며 이로써 시험의 타당성이 확보되었다고 볼 수 있다.

$$k = (2\pi \times f)^2 \times m \quad \text{식 (1)}$$

$$= (2\pi \times 13.75)^2 \times 7,730\text{kg} = 57,695,856.78\text{N/m}$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}} \quad \text{식 (2)}$$

$$= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{57,695,856.78}{10,000\text{kg}_f}} = 12.09\text{Hz}$$

차량운전석에 탑승한 상태 기준으로 좌측과 우측의 PSD RMS 측정값을 비교하였고 Fig. 11과 12에 그

결과를 나타내었다. 고주파수 영역으로 갈수록 아이슬레이터에 의해서 PSD값이 현저히 감소되고 있음을 확인할 수 있고 PSD RMS 값 기준으로 약 13%의 감쇠효과가 있음을 확인하였다. 이는 대형레이더 장비의 수송 시 안정성을 충분히 확보할 수 있는 감쇠량이며 동특성예측을 통한 이동치구의 감쇠시스템 설계를 입증할 수 있다고 판단된다.

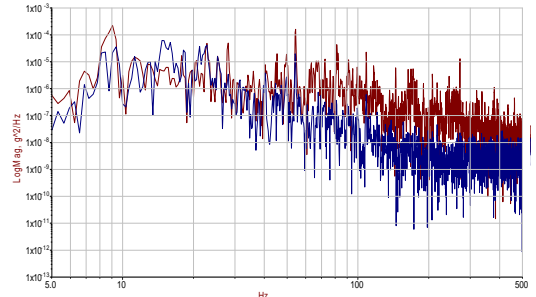


Fig. 11 차량기준 좌측 PSD값

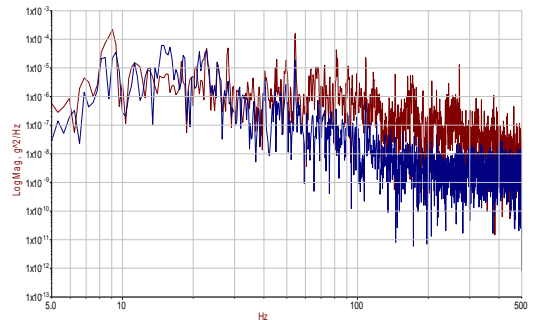


Fig. 12 차량기준 우측 PSD값

3. 결론

레이더의 수송용 이동치구를 수송설계 프로세스에 따라 설계하였고 레이더의 대형화로 별도의 이동치구를 적용하였으며 상세설계 시 미군사규격(MIL-STD-810G)의 진동충격 설계기준을 적용하였다.

실제 수행시험으로 검증한 결과 동특성예측으로 검토한 감쇠량과 근접한 결과를 얻었다. 이동치구에 의해 감쇠되기 전인 차량에서의 PSD값과 이동치구에 의해 감쇠되어 레이더에 전달되는 PSD값은 RMS기준으로 13%의 차이가 있었으며 이동치구의 고감쇠역할을 충분히 만족한다고 판단된다.

또한 이동치구의 고유진동수와 고유모드를 이용한 진동응답특성을 예측하여 아이슬레이터의 최적위치

와 수량을 결정하는 과정이 신뢰성이 있음을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

(1) DOD, 2008, MIL-STD-G : Department of Defense Test Method Standard for Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests, Method 514.6 Vibration, Method 516.6 Shock.

(2) Shin, J.Y., Lee, J.H., Kang, Y.S., and Choi, J.H., 2012, Dynamic Characteristics Analysis on Antenna Equipment by Experimental Method, 2'nd Conference Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, pp.632~637

(3) Song, O.S., Lee, H.Y., 2010, Shock Traveling Analysis of Truck-Mounted Special Equipments, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol.20, No.4, pp.381~389