

# 네트워크 통신장비의 진동 해석

## Vibration Analysis of Network Communication Equipment

이 재 환† 김 영 중\* 김 진 섭\*\*

Lee, Jae-Hwan Kim, Young-Joong Kim, Jin-Sup

(논문접수일 : 2007년 3월 16일 ; 심사종료일 : 2007년 4월 27일)

### 요 지

최근 일본에서 발생한 지진으로 이동통신용 전자장비들이 많이 파손되었으나, 국내에서 제작되어 일본에 설치된 모제품은 강진에서도 대부분 구조적 손상이 없었다. 본 논문에서는 이동통신 네트워크 장비의 정/동적 특성을 평가하기 위하여 제품의 유한요소 모델을 생성하여 정적 및 동적 구조해석을 수행하였다. 또한 Zone 3 GR-63-CORE 동적 실험을 수행하여 제품의 안정성을 검증하였고, 유한요소 구조해석 결과와 비교하여 실험과 해석 결과가 유사함이 입증되었다. 구조해석 결과인 동적 응답특성은 실험보다 다소 크게 나왔으며, 부재의 특성파악을 위해 구조물의 치수를 설계변수로 하여 진동특성에 대한 민감도 해석으로 고유진동수에 민감한 부재를 판별하였고, 치수변경으로 경량화 설계치를 산출하였다. 경량화된 디자인의 동적 응답변위가 원래 디자인보다 작게 나와 최적화 결과가 유용할 것으로 보인다.

**핵심용어** : 네트워크 장비, 지진, 동특성 실험, 응답 스펙트럼 해석, 민감도 해석 및 최적 설계

### Abstract

Some network equipments made in Korea were exposed to severe earthquake in Japan several years ago. More than a hundred slim base transfer network stations had been seized with the severe earthquake at Nigata and it was reported that less than fifteen sets showed blackout by interruption of electricity, not by the structural failure. The purpose of this paper is to check the structural safety of the network equipments by performing table test, and the static and dynamic finite element analysis. For the dynamic test, the station weighing 200 kg was subjected to the Zone 3 earthquake loading of GR-63-CORE on the shaking table to obtain the dynamic responses to compare with the analysis results. It is shown that the FE analysis results are a little bit larger than that of the experimental values. And the sensitivity analysis and optimization for the natural frequency is performed and it is found that the first natural frequency is sensitive to small design change as shown in the results. And the dynamic response of optimized design is less than the original design.

**Keywords** : network equipment, earthquake, shaking test, spectrum response analysis, design sensitivity, optimization

### 1. 서 론

국내에서 최초로 지진계를 설치하고 지진을 관측한 것은 1905년으로 역사가 100년 남짓하다(조정래, 2005). 한반도는 지진이 빈번하게 일어나는 일본에 인접해 있지만 지진에 대해서는 안전 지역으로 받아들여지고 있다. 하지만 1978년 이후 지진 총 발생 횟수가 증가세에 있으며 최근 2005년만

살펴보더라도 6월의 경남거제 동남쪽 54km에서 발생한 진도 4.0을 포함하여 36건의 지진이 발생한 것으로 조사됐다(한국지진학회 보고서, 2005). 2004년 일본 니카타현에서 발생한 리히터 규모 7급의 지진에서 한국 네트워크 통신장비들은 전기 공급이 차단된 곳을 제외하고는 손상됨 없이 기능을 유지하였다. 본 논문의 연구 목적은 기지국에 설치된 이동통신용 네트워크 장비 구조물에 대한 유한요소 해석을 수

† 책임저자, 정회원 · 충남대학교 항공우주선박해양공학부 교수  
Tel: 042-821-6624 ; Fax: 042-823-5437  
E-mail: jaelee@cnu.ac.kr

\* 한국기계연구원 e-엔지니어링 연구센터

\*\* 한진중공업 기술본부

· 이 논문에 대한 토론을 2007년 10월 31일까지 본 학회에 보내주 시면 2007년 12월호에 그 결과를 게재하겠습니다.

행하여 장비의 정적 해석시 설계요구조건으로 제시된 미국 Bellcore사의 통신장비 요구 조건과의 적합 여부를 평가함에 있다. 따라서 고유진동 해석을 통하여 동적 특성을 파악한 후 실제 장비 실험결과와 비교하여 유한요소 모델의 타당성을 확인 하고 정·동적 유한요소 해석을 수행하였다.

또한 내진설계에 대한 검증으로 2004년 일본 니카타현에서 발생한 리히터 규모 7급의 지진 데이터를 이용하여 응답 스펙트럼 해석을 통해 장비의 안정성을 평가하였다. 응답 스펙트럼 해석 후 목적하는 동특성을 얻기 위한 민감도 해석 및 최적설계를 수행하였는데, 민감도 해석의 목적은 구조물의 각 부재에 대한 설계 파라미터 변경을 통해 민감도 해석 후 설계변수(design parameter)의 변화가 전체 구조물 시스템에 어떠한 영향을 미치는가를 미리 예측하기 위함이다. 또한 구조물의 설계 민감도를 사용하는 최적설계 하여 경량화 디자인을 도출하였다.

본 논문에서 수행한 내용을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 동특성 해석을 위한 유한요소 모델생성과 모드해석 및 실제 장비의 진동 실험치와 비교 분석
- 2) 응답 스펙트럼 해석
- 3) 구조물의 각 부재에 대한 설계변경을 통한 민감도 해석 및 최적설계
- 4) 최적 설계치에 대한 응답 스펙트럼 재해석

## 2. 유한요소 모델링

### 2.1 네트워크 장비

본 논문의 모델은 Fig. 1과 같이 이동통신 기지국에 설치된 네트워크용 통신장비로서 알루미늄으로 제작된 캐비넷 형

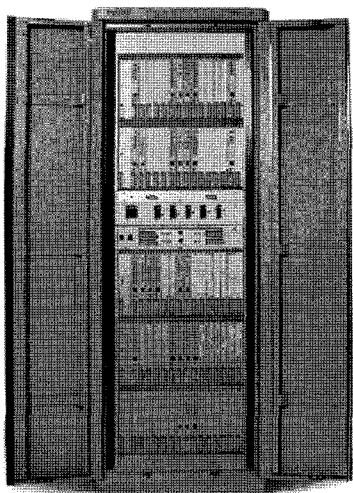


Fig. 1 Network equipment

태의 구조물이다. 네트워크 장비는 대부분 야산의 중계 안테나 근처나 건물의 옥상 등에 노출되어 있어 지진을 포함한 자연 환경의 영향을 받기 쉽거나 선박의 경우에도 심한 파도나 슬래밍 등으로 동적 영향을 받게 된다. 본 장비는 설계 요구 조건으로 미국 Bellcore사의 통신장비 요구조건이 적용 되도록 규정 하였으며 관련 내용은 다음과 같다(Alan 등, 1999).

- 1) 지진 위험지역에 사용하는 구조물의 경우 규정된 정적 힘에 대한 시험 절차를 수행하여 구조물 상단의 최대 단일 진폭방향이 3inch(76.2mm)를 초과하면 안 된다.
- 2) 규정된 Sweep Sine 검사기로 구조물의 고유주파수가 2.0Hz 이상인지 검사한다.
- 3) 구조물은 구조적, 기계적인 손상 없이 규정된 합성파형을 영구적으로 견딜 수 있는 구조를 지녀야 한다. 또한 구조물은 규정된 합성파형 시험 중에 기초에 대해 상대적인 구조물의 최대 단일 진폭편향이 3inch(76.2mm)를 초과하지 않아야 한다.

네트워크 장비 구조물의 특징은 폭과 너비, 높이가 각각 360mm, 550mm, 1,850mm로 안쪽에는 여러 개의 전자모듈이 장착되어 있다. 상부 구조는 대부분이 알루미늄으로 코너에는 보가 상하 지지하며, 지면과 구속되는 바닥판은 강철로 되어 있다. 상부 알루미늄 구조물은 바닥판의 뒤쪽에서 2곳의 끼워 맞춤으로 연결되며 앞쪽은 볼트 체결로 구속 되어 있다.

### 2.2 유한요소 모델링

ANSYS 8.1을 사용하여 Fig. 2와 같이 유한요소 모델링을 하였는데 좌측부터 첫 그림은 전체모델링, 상하지지 8개 프레임은 2절점 보요소로, 측면 외판 2개와 후판 1개는 4절점 선형 판 요소로, 내장되는 전자기판(PCB) 7개는 마지막

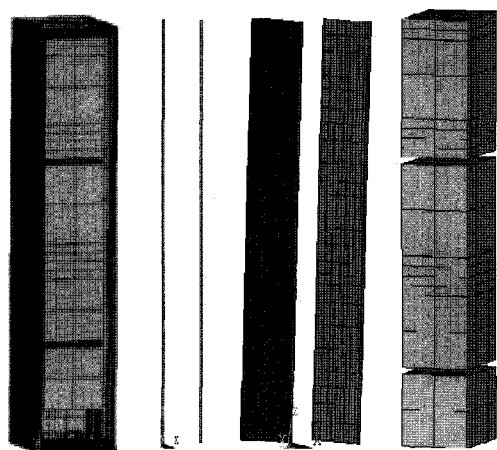


Fig. 2 Finite element model

Table 1 Material property of network equipment

PCB	E(Pa)	Weight (kg)	Volume (mm <sup>3</sup> )	Density (kg/mm <sup>3</sup> )
Module 1	3.66×10 <sup>4</sup>	4.5	8.57×10 <sup>6</sup>	5.25×10 <sup>-7</sup>
Module 2	3.66×10 <sup>4</sup>	45.2	3.99×10 <sup>7</sup>	1.23×10 <sup>-6</sup>
Module 3	3.66×10 <sup>4</sup>	24.0	3.14×10 <sup>7</sup>	7.63×10 <sup>-7</sup>
Module 4	3.66×10 <sup>4</sup>	3.0	8.57×10 <sup>6</sup>	3.50×10 <sup>-7</sup>
Module 5	3.66×10 <sup>4</sup>	2.4	8.57×10 <sup>6</sup>	2.80×10 <sup>-7</sup>
Module 6	3.66×10 <sup>3</sup>	11.5	3.14×10 <sup>7</sup>	3.66×10 <sup>-7</sup>
Module 7	3.66×10 <sup>3</sup>	8.9	3.14×10 <sup>7</sup>	2.83×10 <sup>-7</sup>

의 3차원 8절점 고체요소로 각각 모델링 하였다. 위에서부터 아래로 7개의 PCB 모듈이 1번 부터 7번까지 있으며 각각의 무게와 강성은 Table 1과 같고 2번째 모듈은 전원공급 장치로 가장 무거운데 상부에 위치해 있어 다소 불안정하게 보인다. 고체요소로 모델링된 전자기판은 각종 회로와 전자, 전기 부품이 PCB 기판에 납땜되어 있어 실제 강성을 정확히 파악할 수가 없다. 따라서 경험에 의거하여 산정하는 바, 본 연구에서는 구조물에 내장되는 PCB 기판의 강성특성은 두께 및 부피를 고려하여 Table 1과 같이 정의하였다.

실 구조에서 판과 지지 막대는 볼트구조로 연결되어 있어서, 유한요소로 모델링 시에는 각 부재들의 체결되는 위치에 ANSYS의 CERIG 명령어를 사용하여 보요소의 마스터 절점에 판과 고체 요소의 slave 절점을 연결하였다. 경계조건을 정의하기 위하여 상부 구조물과 하부의 판은 전면의 볼트 위치에서는 전방향 구속만을 주었으며 후면의 끼워 맞춤 체결위치에서는 좌우·상하 운동을 허용하고 전·후 방향 구속조건을 해제하였다. 마지막으로 바닥 판과 지면은 볼트가 체결되는 4점에 대해서는 전방향 구속을 하였다.

### 3 정 · 동적해석과 최적설계

#### 3.1 정 · 동적해석

네트워크 장비 구조물은 좌·우 방향의 폭이 좁아 외력이 발생했을 경우 가장 상대적으로 취약하다. 유한요소 모델링의 정확도를 검증하기 위하여 장비에 대한 정적 하중·변위 실험과 이어서 유한요소 정 · 동적해석을 하였다. Fig. 3에서 왼쪽은 유압 하중기와 변위 계측기이고 오른쪽은 통신장비(측면)이다. 바닥에 볼트로 고정된 구조물의 최상단을 좌·우 방향으로 장비무게(1,779.68N)만큼 최대의 하중상태로 유한해석을 수행한 결과, 응력은 구조물 바닥 프레임의 볼트 연결위치에서 207MPa의 최대응력이 걸리는 것으로 나타났다. 이것은 유한요소 해석의 특성상(절점) 경계조건에서 발



Fig. 3 Force-displacement equipment test

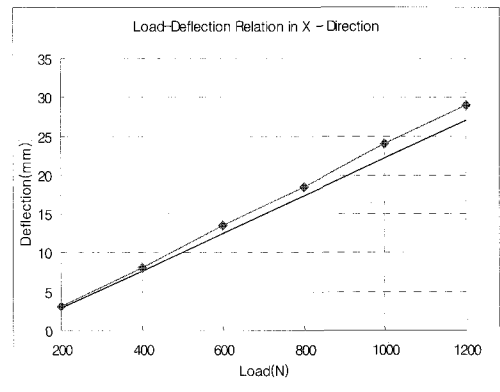


Fig. 4 Comparison of the left-right displacement of equipment test and FEA

생하는 최대 응력이고 구조 대부분에서의 응력은 평균적으로 69MPa이하로 알루미늄의 항복응력을 고려하면 안정성은 충분하다. 응력의 관점에서는 볼팅되는 곳의 연결부 구조 안정성이 가장 주목해야 할 곳으로 판정된다. Fig. 4에서 위의 선은 최대 하중 1200N이 가해진 실험시의 변위로 29mm이고, 아래선은 정적 유한요소 해석치로 27mm이며 약간의 차이가 발생하는데, 이는 유한요소 모델링의 정확성과 관련이 있다. 현재의 결과는 서로 잘 일치하는 것으로 판단되어 유한요소 모델을 사용함이 입증되었다. 좌우방향 최대 변위는 42.5mm로 참고문헌에서(한국기계연구원 보고서, 2002) 제시된 통신장비의 변위 제한조건(76.2mm)을 만족하는 것으로 판단된다. 통신기와 같은 전자장비의 경우 PCB 모듈의 강성을 정확히 모델링하는 정식화 방법이 없고 경험에 의존하므로 오차가 발생하게 된다.

바닥에 고정된 통신장비의 유한모델에 대해 ANSYS에서 Lanczos Method를 사용하여 10차까지의 고유진동수를 구하였다. 1차 고유진동수는 Fig. 5와 같이 3.99Hz로 모드형상은 좌·우로 진동하는 형상이 나타났다. 2차 고유 진동수

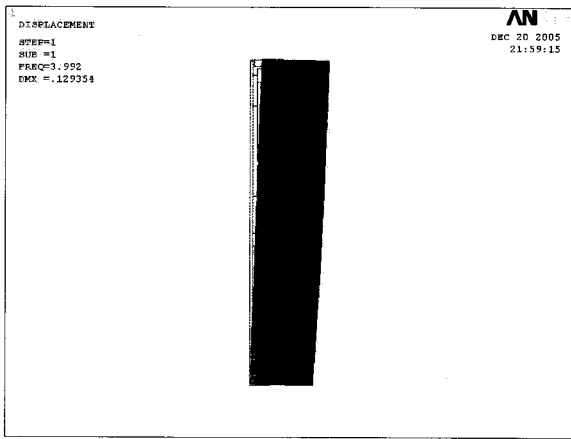


Fig. 5 The first mode shape

는 6.52Hz로 전·후로 진동하는 모드형상이, 3차 고유진동 모드는 좌·우로 회전하는 모드형상이 나타났다. 모드해석 결과 1차 고유진동수가 장비의 요구조건인 2Hz이상으로 해석되어 결과가 제한조건에 만족하는 것으로 나타났다.

실험에 의한 고유치 분석은, 1차 모드는 3.42Hz로 구조물의 좌·우 방향 진동, 2차 모드는 6.44Hz로 전·후 방향 진동이, 3차 모드는 36.4Hz로 수직방향 진동 모드형상이 나타나 유한요소 고유치 해석과 1, 2차 모드의 경우 비슷하였으나 3차의 경우 유한요소해석은 좌·우로 비틀리는 진동모드가 나타났다. 가장 중요한 1차 모드가 실험치와 비슷하게 나타나 유한요소 모델링의 정확성을 확보한 것으로 사료된다.

### 3.2 응답 스펙트럼 해석

응답 스펙트럼 해석은(Liang 등, 2002; Rao, 1984) 모드해석의 연장으로 과도해석보다 시간이 많이 절약되어 지진이나 다른 불규칙 진동에 대한 응답을 계산할 때 자주 사용된다. 엄밀한 지진응답해석을 위해서는 시간별 과도 동적해석을 수행해야 하나 간이 기법으로 응답 스펙트럼 해석이 수행되기도 한다. 장비에 대한 Zone 3 GR-63-CORE 기준의 주파수별 가속도는 로그선으로 기준치의 30% 확대, 기준치, 실험치 순서로 위에서 아래로 Fig. 6에 그려져 있으며 관심이 되는 1차 고유진동수 영역에서 두 번째 기준치 선과 세 번째 실험치 선이 1~10Hz 영역에서 가속도 값이 최대 3에서 1까지 거의 유사함을 알 수 있다. 한편 스펙트럼 해석을 위한 입력 데이터는 주파수(Hz) 1.0, 5.0, 7.0, 10.0, 15.0에 대하여 가속도(g)는 3.0, 3.0, 2.0, 1.7, 1.0을 사용하였다. 응답 스펙트럼 해석 결과인 구조물의 좌·우 방향 최대 변위는 Fig. 7에 66.7mm, 전·후 방향 최대변위는 16.7mm로서 미국 Bellcore사의 통신장비 요구조건 규정인

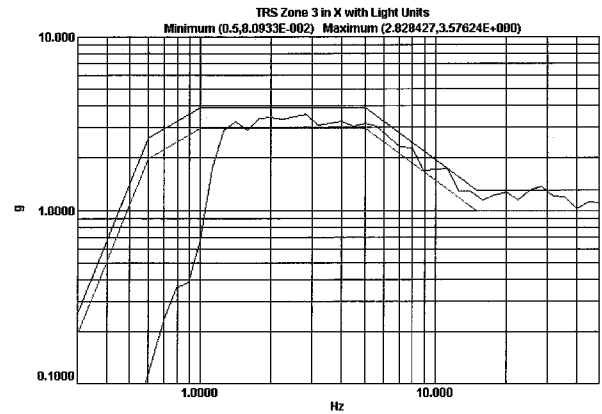


Fig. 6 The response spectrum data

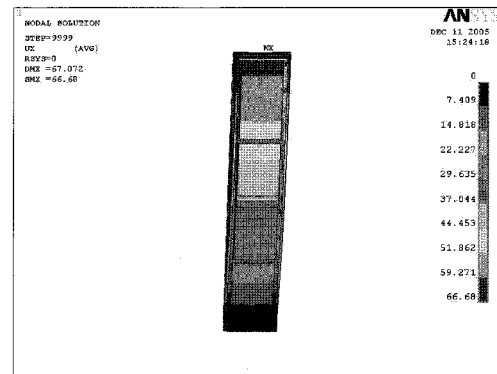


Fig. 7 The left-right displacement by spectrum analysis

제한조건 3 inch를 만족한다.

한편 응답 스펙트럼 동특성에 의한 실험 결과치는 구조물의 좌·우 방향 최대변위가 55.0mm, 전·후 방향 최대변위는 17.3mm로 유한요소 해석 결과와 다소 오차가 있다. 유한요소 해석시 입력 데이터인 주파수·가속도 값을 근사치로 입력하는 것과 앞선 언급된 유한요소 모델링의 정확도와 관련된 것으로 판단된다. 이러한 장비의 PCB 기판을 포함한 유한요소 모델링에 대한 정확성이 어느 정도 높은가에 의해 해석 결과와 실험치가 수렴할 것으로 사료된다.

### 3.3 민감도 해석 및 최적설계

네트워크 장비 구조물을 구성하는 각 부재에 대한 민감도 해석과 최적설계 시(이재환, 1994; 이재환 등, 1997; 2004) 설계변수는 Fig. 8과 같이 판요소의 두께(mm)를 설정하였다. T1, t2, t5는 바닥판, t4와 t3는 뒤와 옆 판 부재의 두께로 최적설계시 변수로 작용한다. 장비 구성부분의 8개 프레임 지지물은 강성의 역할이 적어 설계변수로 설정을 하지 않았다. 설계 제약함수는 고유진동수로, 제한 조건은 1차 고유진동수

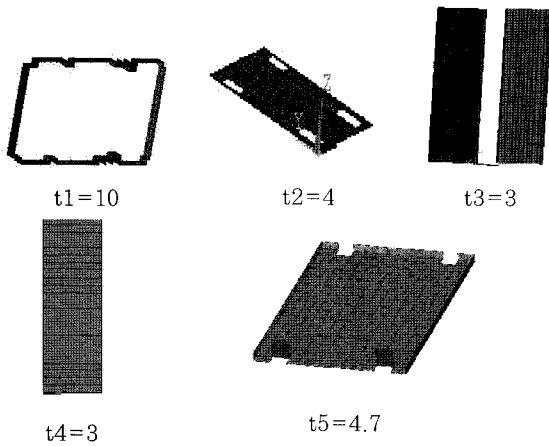


Fig. 8 Initial design variables

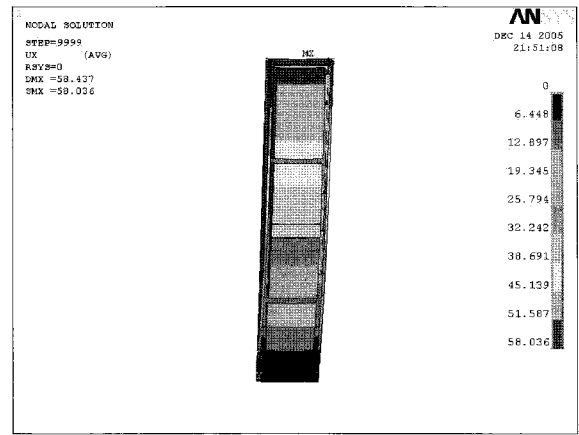


Fig. 9 The left-right displacement by spectrum analysis at optimal values

Table 2 Optimized design variables

Design variables	Sensitivity	Initial value(mm)	Optimal value(mm)
t1	0.00533	10.0	10.1
t2	0.00133	4.0	4.06
t3	0.00185	3.0	3.11
t4	0.00045	3.0	3.02
t5	0.01395	4.7	5.96
Frequency (Hz)		3.99	4.30
Weight (kg)		193.96	194.52

3.99Hz이상으로, 목적함수는 구조물의 중량으로 하였다. 각 부재에 대한 민감도 해석을 수행한 결과, 고유진동수 변화에 가장 크게 미치는 부재는 구조물 바닥판의 강철판(t5)으로 나타났다. 최적설계 결과(Table 2), 초기 고유진동수는 3.99Hz에서 4.30Hz로 증가 하였으며, 각각 판의 중량은 부재 치수 변화에 따라 미비한 증가를 보였다. 현재의 최적설계에는 전자 모듈(PCB 기판)이 설계변수가 되지 않아 완전한 최적설계로 볼 수는 없다. 중량 변화가(194.52-193.96)/193.96×100=0.34%인데 비해 고유진동수의 변화는(4.30-3.99)/3.99×100=7.7%로 작은 질량의 변화에도 고유진동수의 변화가 제법 큰 것을 알 수 있다. 최적 설계치로 다시 만든 유한요소 모델에 대한 응답 스펙트럼 해석 변위는 Fig. 9에서 최대 58mm로 최적 설계 전 초기 응답 스펙트럼 해석치 66.7mm 보다 낮은 값으로 나타나 최적설계로 구조물의 안정성이 증가된 것을 알 수 있다.

내장된 PCB 모듈의 특성을 엄밀히 파악할 수 없고, ANSYS에서도 현재 이러한 기판에 대해 설계 변수화를 못하고 따라서 민감도를 구할 수 없어 PCB 기판의 질량에 대해서는 유한차분 해석 방법으로 직접 민감도를 계산하였다. 각 모듈별로 10% 질량 증가 후 진동해석으로 고유진동수를 구

하여 유한차분으로 각 모듈의 민감도를 계산하였다. 상부에 있는 모듈 1과 2의 고유진동수에 대한 민감도가 0.00245, 0.0268이고, 나머지는 영향력이 작았다. 모듈의 질량을 10% 증가한 경우에 계산된 민감도를 이용하여 새로 계산된 고유진동수는 약 4.56Hz로 14.2% 증가하였고, 질량이 10% 감소한 경우 고유진동수는 3.41Hz로 14.5% 감소하였다.

#### 4. 결 론

본 연구를 통하여 도출된 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

1) 정적해석 및 고유치 해석을 통하여 네트워크 장비 구조물의 설계제한 조건에 대한 총중여부를 검토한 결과, 응력 및 변위의 최대치와 고유진동수가 통신장비 설계조건을 만족하는 것으로 검증 되었으며 실제 장비 정·동적 실험 결과와의 비교를 통해 해석에 대한 신뢰성이 검증되었다.

2) 설계 민감도를 해석하여 구조물 각 부재의 설계 변수별로 고유진동수에 미치는 영향을 분석하였으며, 설계 제한조건을 만족하며 고유진동수를 좀 더 높일 수 있는 최적 설계대안을 도출하였다. 설계변수 변화가 적고 질량변화가 적었으나 고유진동수 변화가 다소 큰 것이 확인되었다. 최적설계 결과가 검증되었는데 응답스펙트럼해석에서 최적화 디자인의 동적 변위가 최초 디자인보다 적은 것이 입증되었다.

3) 본 연구를 통하여 네트워크 장비 구조물의 동적 특성 및 지진하중에 대한 안정성 여부를 파악할 수 있었으며, 향후 본 연구 절차를 장비의 설계 변경에 따른 구조물의 동특성 해석시 적용함으로써 효율적으로 장비 동특성을 사전 예측할 수 있으며 실 장비 시험에 따른 고비용의 부담 또한 덜게 될 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 충남대학교 학술진흥재단의 지원에 의해 수행된 것으로, 저자는 대학의 연구비지원에 감사드립니다.

참 고 문 헌

조정래 (2005) 원자력발전소 안전계통 캐비닛의 내진설계를 위한 동적해석, 한국원자력연구원 보고서.

한국지진학회 보고서 (2005), 국내연도별 지진발생 현황.

Alan N., Herda, D., Allan D. (1999) Seismic Simulation of the Motorola SCTM 4812 ET RF and Power Cabinets Using Pro/Engineer and Ansys.

한국기계연구원 보고서 (2002) Slim BTS의 진동시험.

Liang, C.C. Yang, M.F., Tai, Y.S. (2002) Prediction of Shock Response for a Quadropodmast using Response Spectrum Analysis Method, *Ocean Engineering*, 29, pp.887~914.

Rao, S.S. (1984) *Mechanical Vibration*, Addison-Wesley, Menlo Park, CA, pp.190~195.

이재환 (1994) 수송체 구조물의 진동특성에 관한 설계민감도 해석, 한국전산구조공학회논문집, 7(1), pp.91~98.

이재환, 장강석, 신민용 (1997) 연속법에 의한 판구조 고유진동수의 민감도해석, 한국해양공학회지, 1(1), 1997, pp. 3~9.

이재환, 허유정, 정태환, 이종무 (2004) 심해용 무인잠수정 구조의 민감도 해석에 의한 최적설계, 대한조선학회 논문집, 41(3) pp.28~34.