

## 네트워크 통신장비의 진동 해석

### Vibration Analysis of Network Communication Equipment

이 재 환\* · 김 진 섭\*\* · 김 영 중\*\*\*

Lee, Jae-Hwan · Kim, Jin-Sup · Kim, Young-Jung

#### ABSTRACT

The purpose of this paper is to check the structural safety of the network equipments by performing the static and dynamic finite element analysis. The stress and displacement of structures under static loading condition are evaluated to check whether satisfying the design requirement conditions. Since the computed natural frequencies are similar to the results of experiment, the model could be used for the response spectrum analysis where experimental acceleration value at each frequency are used as seismic input excitation. It is shown that the analysis results are a little bit larger than that of the experimental values. Also sensitivity analysis and optimization for the natural frequency are performed and it is found that the first natural frequency is very sensitive to the stiffness of the equipment.

**Keywords:** network equipment, response spectrum analysis, design sensitivity, optimization, reanalysis

#### 1. 서 론

국내에서 최초로 지진계를 설치하고 지진을 관측한 것은 1905년으로 역사가 100년 남짓하다[1]. 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[2]. 본 논문의 연구 목적은 기 지국에 설치된 이동통신용 네트워크 장비 구조물에 대해 설계 조건으로 제시된 미국 Bellcore사의 통신장비 요구 조건과의 적합 여부를 유한요소 정적 해석으로 평가하고, 고유진동 해석을 결과를 실험결과와 비교하여 유한요소 모델의 타당성을 확인하였으며 지진시 하중과 유사한 입력에 대한 응답 스펙트럼 해석을 수행하였다. 즉, 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 수행하였다. 민감도 해석의 목적은 구조물의 각 부재에 대한 설계 파라미터 변경을 통해 설계변수(design parameter)의 변화가 전체 구조물 시스템에 어떠한 영향을 미치는가를 미리 예측하기 위함이다.

본 논문에서 수행한 내용을 요약하면 다음과 같다.

\* 정희원 · 충남대학교 항공우주선박해양공학과 교수 E-mail: jaelee@cnu.ac.kr

\*\* 한진중공업

\*\*\* 한국기계연구원

- 1) 동특성 해석을 위한 유한요소 모델생성과 정적해석, 모드해석 및 실험 모델의 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 통신장비

본 논문의 모델은 Fig. 1과 같이 이동통신 기지국(Base station)에 설치된 네트워크용 통신장비로서 알루미늄으로 제작된 cabinet 형태의 구조물이다. 네트워크 장비는 대부분 야산의 중계 안테나 근처나 건물의 옥상 등에 노출되어 있어 지진을 포함한 자연 환경의 영향을 받기 쉽다. 본 장비는 설계 요구 조건으로 미국 Bellcore사의 통신장비 요구조건[3]이 적용 되도록 규정 하였으며 관련 내용은 다음과 같다.

- 1) 지진 위험지역에 사용하는 구조물의 경우 규정된 정적 힘에 대한 시험 절차를 수행하여 구조물 상단의 최대 단일 진폭방향이 3 inch (76.2 mm)를 초과하면 안 된다.
- 2) 규정된 Sweep sine 검사기로 구조물의 고유주파수가 2.0 Hz 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 3 inch (76.2 mm)를 초과하지 않아야 한다.

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

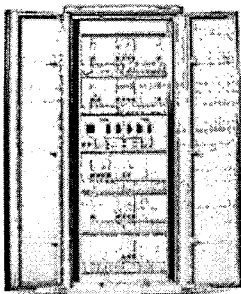


Fig. 1 The shape of network communication equipment

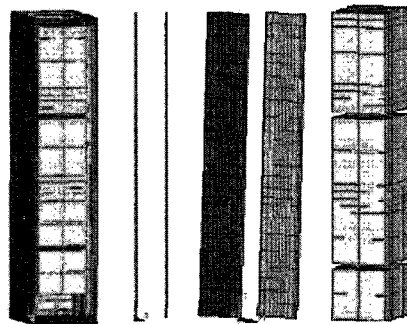


Fig. 2 Finite element model

## 2.2 유한요소 모델링

ANSYS 8.1을 사용하여 Fig.2 와 같이 프레임은 2절점 보요소로 8개, 외판은 4절점 선형 shell 요소로 side plate 2개, rear plate 1개로 모델링 하였으며, 내장되는 electric module은 8절점 선형 solid 요소로 각각 7개를 모델링 하였다. Solid 요소로 모델링된 electric module의 Young's Modulus는 구조물에 내장되는 PCB의 수량 및 두께를 고려하여 Module no. 1~5는 PCB 기본값의 1/100을 Module no. 6, 7은 1/1000로 각각 산정 하였으며, Density는 module 각각의 질량과 부피를 고려하여 등가밀도로 계산하였다. 실 제품에 있는 door는 모델링에서 제외 하였으며 재질의 물성치는 Table 1과 같다.

유한요소로 모델링된 각 부재들의 체결되는 위치에 ANSYS의 CERIG 명령어를 사용하여 beam 요소의 master node에 shell과 solid 요소의 slave node를 연결하였으며, 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.

Table 1 Material property of network equipment

Part	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>

## 3 진동해석과 최적설계

### 3.1 진동해석

네트워크 장비 구조물은 좌·우 방향의 폭이 좁아 외력이 발생했을 경우 가장 취약하다. 따라서, 바닥에 볼트로 고정된 구조물의 최상단을 좌·우 방향으로 장비무게(1,779.68 N)만큼 미는 경우 유한해석을 수행한 결과, 응력은 구조물 바닥 프레임의 볼트 연결위치에서 207Mpa의 최대응력이 걸리는 것으로 나타났다. 이것은 유한요소 해석의 특성상 경계조건에서 발생하는 최대 응력이고 구조 대부분에서의 응력은 평균적으로 69 Mpa 이하로 안정성은 충분하다. 응력의 관점에서는 볼팅 체결되는 곳의 연결부 구조 안정성이 가장 주목해야 할 곳으로 판정된다. 좌우방향 최대 변위는 42.58mm로 참고 문헌에서[4] 제시된 장비의 변위 제한 조건(76.2 mm) 을 만족하는 것으로 판단된다. 정적 해석치와 실장비의 실험치를 비교한 결과는 Fig. 3과 같으며, 거의 일치하나 최대 하중인 1200 N에서 변위가 7.3% 차이가 발생하는데 이는 유한요소 모델링의 정확성과 관련이 있다. 통신기와 같은 전자장비의 경우 모듈의 강성을 정확히 모델링하는 정식화 방법이 없어 오차가 발생하게 된다.

바닥에 고정된 통신장비의 유한모델에 대해 ANSYS에서 Lanczos Method를 사용하여 10차까지의 고유진동수를 구하였다. 1차 고유진동수는 Fig. 4와 같이 3.992 Hz로 모드형상은 좌·우로 진동하는 형상이 나타났다. 2차 고유 진동수는 6.52 5Hz로 전·후로 진동하는 모드형상이, 3차 고유진동 모드는 좌·우로 회전하는

모드형상이 나타났다. 모드해석 결과 1차 고유진동수가 장비의 요구조건인 2 Hz 이상으로 해석되어 결과가 제한조건을 만족하는 것으로 나타났다.

실험에 의한 고유치 분석은, 1차 모드는 3.42 Hz로 구조물의 좌·우 방향 진동, 2차 모드는 6.44 Hz로 전·후 방향 진동이, 3차 모드는 36.4 Hz로 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.

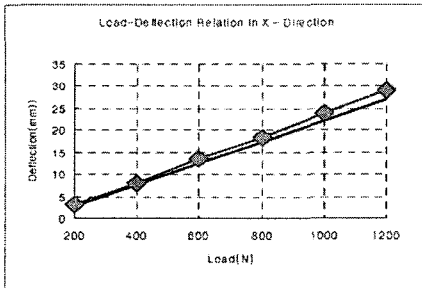


Fig. 3 Comparison of the left-right displacement of FEA and experiment

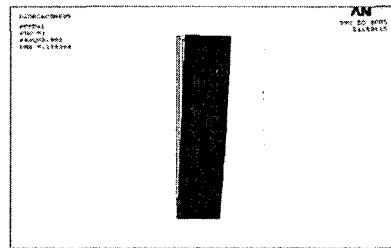


Fig. 4 The first mode shape

### 3.2 응답 스펙트럼 해석

응답 스펙트럼 해석은 [5,6] 모드해석의 연장으로 과도해석보다 시간이 많이 절약되어 지진이나 다른 불규칙 진동에 대한 응답을 계산할 때 자주 사용된다. 스펙트럼 해석을 위한 입력 데이터는 주파수(Hz) 0.3, 0.6, 1.0, 5.0, 7.0, 10.0, 15.0 에 대한 가속도(g)는 각각 0.2, 2.0, 2.0, 3.0, 2.0, 1.7, 1.0이다. 장비에 대한 진동실험에서 측정된 주파수별 가속도, 속도, 변위, 주파수 응답 해석을 위한 데이터는 Fig. 5와 같다. 응답 스펙트럼 해석 결과인 구조물의 좌·우 방향 최대 변위가 Fig. 6에서 67.07 mm로 나타났으며 구조물의 전·후 방향 최대 변위는 16.97 mm로 제한조건을 만족하는 것으로 나타났다.

진동실험에 의한 응답 스펙트럼 결과치는 구조물의 좌·우 방향 최대변위가 55.03 mm, 전·후 방향 최대 변위는 17.35 mm로 유한요소 해석 결과와 다소 오차가 있다. 유한요소 해석시 입력 데이터인 주파수·가속도 값을 근사치로 입력하여 발생한 것으로 판단된다. 이는 역시 유한요소 모델의 정확성과 관련이 있으며 모델의 정확성이 어느 정도 높은가에 의해 해석 결과와 실험치가 수렴하게 된다.

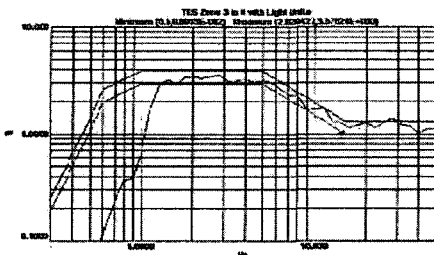


Fig. 5 The response spectrum data

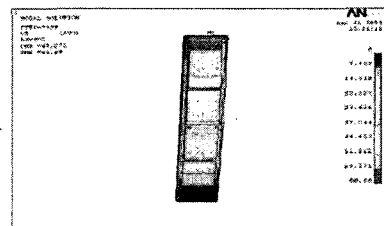


Fig. 6 The left-right displacement by spectrum analysis

### 3.3 민감도 해석 및 최적설계

네트워크 장비 구조물을 구성하는 각 부재에 대한 민감도 해석과 최적설계 시[7,8] 설계변수는 Fig. 7과 같이 shell로 모델링 된 부분만하고, 설계 제약함수는 고유진동수로, 제한 조건은 1차 고유진동수 3.99 Hz 이상으로, 목적함수는 구조물의 중량으로 하였다. 각 부재에 대한 민감도 해석을 수행한 결과, 고유진동수 변화에 가장 크게 미치는 부재는 바닥판의 steel plate로 나타났다. 최적설계 결과 (Table 2), 초기 고유진동수는 3.99 Hz에서 4.30 Hz로 증가 하였으며, 중량은 부재 치수 변화에 따라 미비한 증가를 보였다. 현재의 최적설계에는 전자 모듈의 중량이 설계변수가 되지 않아 완전한 최적설계 결과를 얻을 수 없다. 그러나, 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 중량의 변화에도 고유진동수의 변화가 제법 큰 것을 알 수 있다. 최적 설계치에 대한 응답 스펙트럼 해석 변위는 58 mm로 Fig. 8과 같이 최적 설계 전 초기 응답 스펙트럼 해석치 67 mm 보다 낮은 값으로 나타나 구조물의 안정성이 증가되는 것을 알 수 있다. 내장된 모듈을 설계변수화 할 수 없어 10% 증분에 대해 유한차분법으로 민감도를 계산한 결과, 모듈 1과 2가 0.00245, 0.0268로 크고 나머지는 영향력이 작다. 각 모듈의 중량을 10% 증가시, 장비의 고유진동수는 약 4.56 Hz (14.2%)로 수치계산 된다.

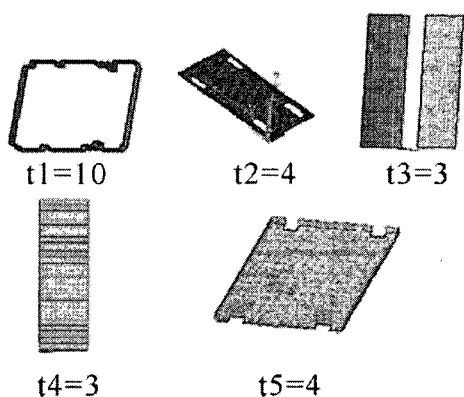


Fig. 7 Initial design variables

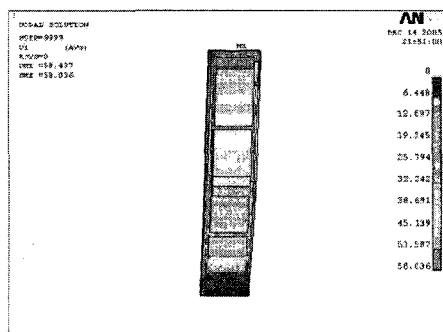


Fig. 8 The left-right displacement by spectrum analysis at optimal values

Table 2 Optimized design variables

Design variables	Sensitivity	Initial value	Optimal value
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		3.99	4.30
Weight		193.96	194.52

#### 4. 결 론

본 연구를 통하여 도출된 주요 연구 결과를 정리하면 다음과 같다.

- 1) 정적해석 및 고유치 해석을 통하여 네트워크 장비 구조물의 설계제한 조건에 대한 충족여부를 검토한 결과, 응력 및 변형의 최대치와 고유진동수가 만족하는 것으로 검증 되었으며 실 장비 실험치와의 비교를 통해 해석에 대한 신뢰성을 검증 하였다. 한편 폭이 좁은 측면방향의 변위가 크게 발생되어 좀 더 안정성이 요구될시 구조적 보강이 필요한 것으로 판단된다.
- 2) 설계 민감도를 해석하여 구조물 각 부재의 설계 변수별 고유진동수에 미치는 영향을 해석하였으며, 설계 제한조건을 만족하며 비교적 낮은 고유 진동수를 좀 더 높일 수 있는 최적 설계 대안을 도출하였다. 또한 그 결과에 대한 응답 스펙트럼 재해석을 통해 최적설계 과정이 검증되었다.
- 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 해석 시 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

1. 조정래, 원자력발전소 안전계통 캐비닛의 내진설계를 위한 동적해석, 한국원자력연구원 보고서, 2005,
2. 한국지진학회 보고서, 국내연도별 지진발생현황, 2005
3. Alan N. Herda, D Allan Daggs, 1999, Seismic Simulation of the Motorola SCTM4812ET RF and Power Cabinets Using Pro / Engineer and Ansys
4. 한국기계연구원 보고서, Slim BTS의 진동시험, 2002
5. Liang, C. C, Yang, M. F. and Tai, Y. S., "Prediction of shock response for a quadrupodmast using response spectrum analysis method," Ocean Engineering, Vol. 29, 2002, PP. 887 ~ 914.
6. Rao, S. S., Mechanical Vibration, Addison-Wesley,, Menlo Park, CA, pp. 1984, 190 ~195.
7. 이재환, 장강석, 신민용, "연속법에 의한 판구조 고유진동수의 민감도해석", 한국해양공학회지 제1권 제1호, 1997. pp. 3-9
8. 이재환, 허유경, 정태환, 이종무, "심해용 무인잠수정 구조의 민감도 해석에 의한 최적설계", 대한조선학회 논문집, 제41권, 제3호, 2004, pp. 28-34