

〈論 文〉

부분구조합성법을 이용한 대형구조물의 동특성 규명 및 개선에 관한 연구

A Study on the Identification and Improvement of Dynamic Characteristics of Large Structure by Component Mode Synthesis Method

오재응* · 이정환** · 임동규***
Oh Jae-Eung, Lee Jeong-Hwan and Lim Dong Kyu

〈1994년 3월 3일 접수 ; 1994년 6월 25일 심사완료〉

ABSTRACT

In this paper, to identify the dynamic characteristics of antenna system, the antenna is divided into 4 components and those were analyzed with a conventional FEM package MSC/NASTRAN. Using a Component Mode Synthesis Method, dynamic characteristics of total system is also identified. The Coherence of each component to total system is evaluated by using strain and kinetic component to total system is evaluated by using strain and kinetic energy. The improving strategy of dynamic characteristics is suggested by changing mass and stiffness of large coherence components.

기호설명

- [M] : Mass matrix
- [K] : Stiffness matrix
- [C] : Damping matrix
- { x } : Displacement vector
- { \dot{x} } : Velocity vector
- { \ddot{x} } : Acceleration vector
- { f } : Force vector
- [\bar{M}] : Transformed mass matrix
- [\bar{K}] : Transformed stiffness matrix
- ω : Circular frequency
- [ϕ_B] : Constraint modal matrix
- [T_i] : Transformation matrix of component i
- [T_p] : Transformation matrix of total system
- { y } : Transformed displacement vector
- { F } : Magnitude vector of exciting force
- { X } : Magnitude vector of response

- m_r : r th modal mass
- k_r : r th modal stiffness
- { ϕ_r } : r th modal vector
- γ_r : r th modal coordinate
- E_{sr} : Strain energy of r the mode
- E_{kr} : Kinetic energy of r the mode
- E_{scr} : Strain energy of component
- E_{kcr} : Kinetic energy of component

1. 서 론

구조물의 대형화 및 복잡화에 따라 구조물의 성능을 향상시키고 보다 안정된 구조물의 설계, 제작을 위해서는 구조물의 정확한 동적 거동에 대한 연구와 개발이 필요하게 되었다. 최근 컴퓨터를 이용한 구조물의 구조해석법이나 진동해석법이 눈부시게 발달하여 기계 구조물의 정적, 동적 특성을 정도 높게 해석할 수 있게 되었고, 더 나아가서는 설계 단계에서 상당히 정확하게 구조물의 거동을 예측하는 것이 가능하게 되었다. 유한요소법이 그 대표적인 해석법

*정회원, 한양대학교 공과대학 자동차공학과

**기아자동차 주식회사

***한양대학교 공과대학 정밀기계공학과

으로 대형/복합 구조물의 정적, 동적 해석에 응용되고 있으나, 구조물이 복잡해지면, 해석 결과의 정확도를 높이기 위해서 유한 요소 모델이 많은 자유도를 갖게 되므로, 이 경우의 동적 해석은 컴퓨터의 막대한 계산시간과 계산기 용량을 필요로 함으로서 그 해석 방법의 적용에 한계가 따른다. 따라서 이러한 문제점을 개선하기 위하여 부분구조 합성법이 최근 실용적인 진동해석 방법으로 사용되고 있으며, 부분구조합성법은 전체 구조물 중 일부 구조를 설계 변경할 때 재계산의 효율성과 분계의 동특성 해석시 기존의 수치해석이나 실험해석을 이용할 수 있다는 장점이 있다^(1,2).

대형구조물인 안테나 구조물의 고유진동수는 풍압이나 지진과 같은 동적하중에 대한 반응을 결정하는 주된 인자이며, 보통 높은 고유진동수를 얻음으로써 동적하중으로 인한 효과를 줄일 수 있다. 그러나 안테나 지름이 증가함에 따라 질량이 강성보다 급속히 증가하게 되므로 높은 고유진동수를 얻기란 쉽지 않다. 또한 대형 안테나 동특성 해석시 파악된 최저 고유진동수가 자동 추적을 위한 피드백 제어 시스템의 작동주파수(Crossover Frequency)보다 낮거나 근접하게 되는 경우, 이 제어 시스템상에 불안정하고 비정상적인 진동을 초래하게 된다. 그러므로 안테나 설계시 안테나의 최저 고유진동수는 일반적으로 방위축(Azimuth Axis)이나 양각축(Elevation Axis) 주위에서 진동하는 것으로 가진 진동수에 근접하는 것을 피하도록 설계되어야 한다^(3,4).

본 연구에서는 범용 구조 해석 패키지인 MSC/NASTRAN을 이용하여 대형 구조물인 안테나 각 분계의 동특성을 파악하고, 이 부분구조의 동특성에 부분구조합성 알고리즘을 적용시켜 구조물 전체의 동특성을 파악하였다. 또한 구조물의 주파수 응답 함수를 이용하여 지배적인 고유모드를 구하였고, 각 분계의 변형 및 운동 에너지를 산출하여 전체 고유 모드에 대한 분계의 에너지 기여도를 파악하였으며, 이와 같은 진동 요인 분석에 따른 진동 대책으로, 변형 및 운동 에너지 기여도가 높은 분계의 질량 및 강성 변경에 따른 구조물의 동특성 변화를 예측함으로써 구조물의 동특성 개선의 방향을 제시하였다.

2. 이론해석

2.1 부분구조합성법(Component Mode Synthesis Method)⁽⁵⁻⁷⁾

부분구조합성법은 구조물을 몇개의 부분구조로 나

누어 동특성 해석을 수행한 후, 각 부분구조의 동특성 즉 모드 파라미터와 경계조건을 이용하여 구조물의 동특성을 해석하는 방법으로, 본 연구에서는 모드합성법 중 고정경계합성법(Fixed Interface Method)을 이용하였다.

구속모드합성법은 구조물 내부영역의 변위를 결합부에 의한 것과 결합부를 고정시켰을 때의 변위의 합으로 표현한다. Fig. 1과 같이 분계를 결합영역 c 와 그 이외의 영역 e 로 분류하였을 때 결합영역 c 를 고정한 경우의 영역 e 의 변위 $\{x_e'\}$ 는 다음과 같다.

$$([K_e] - \omega^2[M_e])\{x_e'\} = \{0\} \quad (1)$$

$$\{x_e'\} = [\phi_{Bi}]\{\xi_i\} \quad (2)$$

여기서 $[\phi_{Bi}]$ 는 결합영역 c 를 고정할 때의 고유치 문제를 풀어서 얻은 구속 모드이고, $\{\xi_i\}$ 는 모달좌표이다⁽⁶⁾. 결합영역 c 의 변위에 의한 영역 e 의 변위 $\{x_e''\}$ 는 가이언의 정축소⁽⁶⁾로 다음과 같이 계산된다.

$$\{x_e''\} = -[K_{ee}]^{-1}[K_{ec}]\{x_{ci}\} = [T_i]\{x_{ci}\} \quad (3)$$

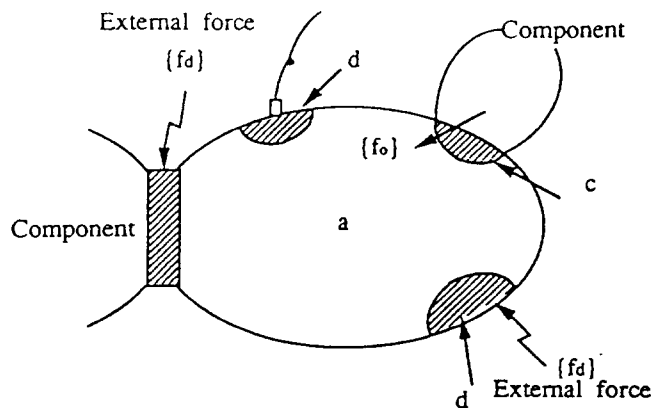
영역 e 의 변위는 식 (2)와 식 (3)의 합으로 표현되므로

$$\{x_e\} = \{x_e'\} + \{x_e''\} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} x_e \\ x_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [\phi_{Bi}] & [T_i] \\ [0] & [I] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_i \\ x_{ci} \end{bmatrix} \quad (5)$$

결합영역을 c , 이외의 영역을 e 로 할때, 2개의 분계로 구성된 전체의 운동방정식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} M_{e1} & M_{e1c1} & 0 & 0 \\ M_{c1e1} & M_{c1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & M_{e2} & M_{e2c2} \\ 0 & 0 & M_{c2e2} & M_{c2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_{e1} \\ \dot{x}_{c1} \\ \dot{x}_{e2} \\ \dot{x}_{c2} \end{bmatrix}$$



interior region a
region b = jointing region c + external forcing & response region d
region e = interior region a + region d

Fig. 1 Various regions of component

$$+ \begin{bmatrix} K_{e1} & K_{e1c1} & 0 & 0 \\ K_{c1e1} & K_{c1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & K_{e2} & K_{e2c2} \\ 0 & 0 & K_{c2e2} & K_{c2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{e1} \\ x_{c1} \\ x_{e2} \\ x_{c2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -f_{12} \\ 0 \\ f_{12} \end{bmatrix} \quad (6)$$

여기서, f_{12} 는 결합영역 c 를 통해 분계 1과 분계 2에 작용하는 내력이다. 식 (5)를 식 (6)에 대입하여 분계별로 구속 모우드에 의한 모우드 좌표를 포함한 새로운 좌표로 축소변환한다. 강결합의 경우, 다음의 조건이 성립하므로

$$\{x_{c1}\} = \{x_{c2}\} = \{x_c\} \quad (7)$$

각 분계에 대하여 가이안의 정축소를 적용하여 결합부의 변위와 결합영역이외의 변위는 다음식으로 표현된다.

$$\begin{aligned} \{x\} &= \begin{bmatrix} x_{e1} \\ x_{c1} \\ x_{e2} \\ x_{c2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{B1} & T_1 & 0 & 0 \\ 0 & I & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \phi_{B2} & T_2 \\ 0 & 0 & 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_1 \\ x_{c1} \\ \xi_2 \\ x_{c2} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \phi_{B1} & T_1 & 0 \\ 0 & I & 0 \\ 0 & \phi_{B2} & T_2 \\ 0 & I & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \xi_1 \\ x_c \\ \xi_2 \end{bmatrix} = [T_p]\{y\} \end{aligned} \quad (8)$$

여기서,

$$[T_p] = \begin{bmatrix} \phi_{B1} & T_1 & 0 \\ 0 & I & 0 \\ 0 & \phi_{B2} & T_2 \\ 0 & I & 0 \end{bmatrix}$$

이고,

$$\{y\} = \begin{bmatrix} \xi_1 \\ x_c \\ \xi_2 \end{bmatrix}$$

이다. 식 (8)을 식 (6)에 대입하고, $\{T_p\}^T$ 를 곱하여 정리하면, 전체에 대한 축소 변환된 운동방정식이 얻어진다.

$$[\bar{M}]\{\dot{y}\} + [\bar{K}]\{y\} = \{\bar{f}\} \quad (9)$$

여기서,

$$\begin{aligned} [\bar{M}] &= [T_p]^T [M] [T_p] \\ [\bar{K}] &= [T_p]^T [K] [T_p] \\ \{\bar{f}\} &= [T_p]^T \{f\} \end{aligned}$$

이다.

2.2 변형 및 운동에너지에 의한 기여도 해석^(10,11)

전계의 모드에 대한 각 분계의 모드의 기여도는 에너지의 계산을 통하여 파악할 수 있다. 전체의 운동방정식에서 $\{x\} = \{X\}e^{j\omega t}$ 라고 가정하면, 변형에너지 E_s 와 운동에너지 E_k 는 다음과 같다.

$$E_s = \sum \frac{1}{2} \{X\}^T [k] \{X\} \quad (10)$$

$$E_k = \sum \frac{1}{2} \omega^2 \{X\}^T [m] \{X\} \quad (11)$$

모드파라미터를 이용한 전체에 대한 r 차 모드의 변형 및 운동에너지 E_{sr} , E_{kr} 은 다음과 같이 표현된다.

$$E_{sr} = \frac{1}{2} k_r \quad (12)$$

$$E_{kr} = \frac{1}{2} \omega_r^2 m_r \quad (13)$$

전계 r 차 모드에 대한 분계의 변형에너지 E_{scr} 와 운동에너지 E_{kcr} 는 다음과 같이 표현된다.

$$E_{scr} = \frac{1}{2} \{\phi_{cr}\}^T [K_c] \{\phi_{cr}\} \quad (14)$$

$$E_{kcr} = \frac{1}{2} \omega_r^2 \{\phi_{cr}\}^T [M_c] \{\phi_{cr}\} \quad (15)$$

전계의 r 차 모드에 대한 각 분계의 에너지 기여도는 전체의 r 차 모드벡터중에서 분계의 자유도에 해당하는 모드벡터와 분계의 질량 및 강성을 이용하여, 변형에너지 기여도는 식 (12)에 대한 식 (14)의 비로써, 운동에너지 기여도는 식 (13)에 대한 식 (15)의 비로써 구한다. 변형에너지 기여도 C_{scr} 과 운동에너지 기여도 C_{kcr} 은 다음과 같다.

$$C_{scr} = \frac{\{\phi_{cr}\}^T [K_c] \{\phi_{cr}\}}{k_r} \quad (16)$$

$$C_{kcr} = \frac{\{\phi_{cr}\}^T [M_c] \{\phi_{cr}\}}{m_r} \quad (17)$$

여기서 C_{scr} 은 r 차 모드로 시스템이 진동하는 경우, 계 전체의 스트레인 에너지에 대한 c 분계의 C_{scr} 이 다른 분계에 비해 큰 값을 가지면 c 분계의 강성값을 변경함으로써 시스템의 특성을 용이하게 변경시킬 수 있다.

3. 대형 구조물의 동특성 규명과 기여도 평가의 결과 및 고찰

3.1 단품의 유한 요소 모델

안테나 시스템은 강철과 알루미늄으로 구성되어

있으며, 유한 요소 해석 모델의 구성에 이용된 요소들의 물성치는 Table 1에 나타내었다.

수치해석을 위하여 안테나 시스템을 부반사 기둥(Subreflector struts), 지지구조와 주반사판(Backing structure & Main reflector surface panels), 중앙 허브(Center hub), 지지 마운트(Pedestal mount)의 4개의 단품으로 분리하여 유한 요소 모델링하였고, 동특성 해석에 사용된 전체의 모델 및 각 단품의 모델을 Fig. 2과 Fig. 3에 나타내었다.

부반사 기둥은 타원형의 파이프로 구성되어 있으므로 모두 보요소로 모델링하였고, 부반사 기둥과 지지 구조의 결합부위는 강결합으로 모델링하였다. 지지 구조는 실제로 트러스 구조물로 되어 있으므로,

보요소로 모델링하였으며, 보요소로 치환된 부재는 축방향 및 굽힘 모멘트를 전달하게 되어, 단면적과 면적 관성 모멘트까지를 고려하였다. 주반사판은 평판 요소로 치환된 평판으로 모델링하여 두께를 고려하였다. 주반사 판의 물성치는 알루미늄의 물성치를 사용하였다. 중앙 허브는 408개의 평판요소로 형상을 단순화하여 모델링하였다. 지지 마운트는 I형강, 중공 파이프로 구성되어 있으므로 단면보로 모델링하였다.

3.2 분계 및 전계의 동특성 규명

구조물 분계 및 전계의 동특성 파악과 부분구조합성법을 이용한 해석 결과의 타당성을 검토하기 위하

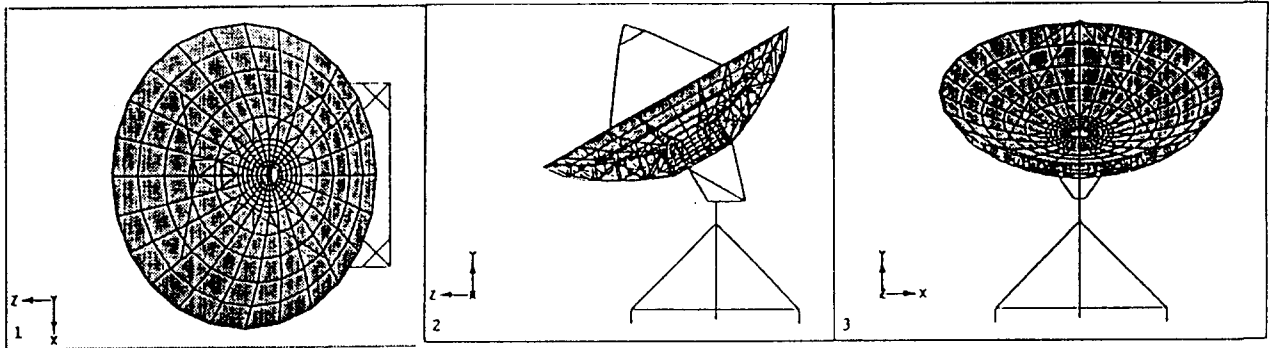


Fig. 2 Finite Element model of total system

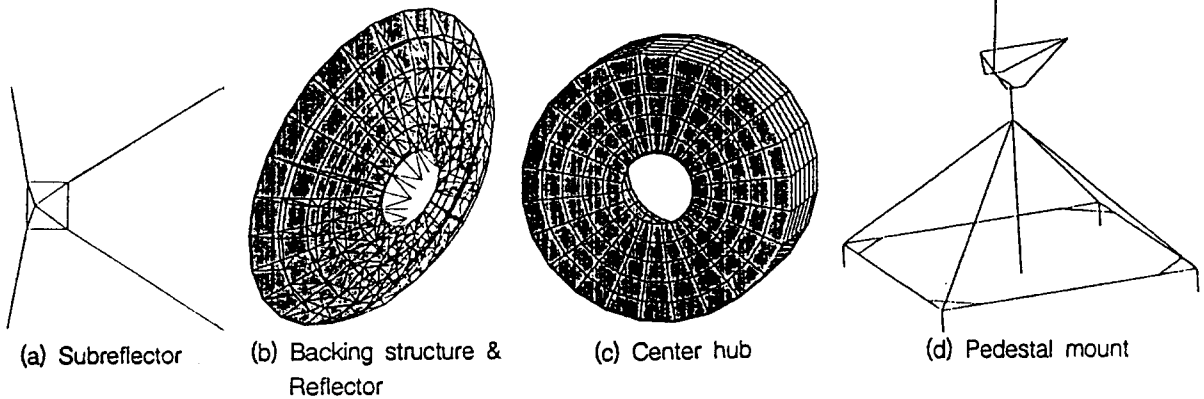


Fig. 3 Finite Element model of each component system

Table 1 Material properties of antenna system

Item	Steel	Aluminium
E(Young's modulus)	$2.1 \times 10^5(\text{kg/mms}^2)$	$7.1 \times 10^7(\text{kg/mms}^2)$
ν (Poisson's ratio)	0.3	0.3
ρ (Density)	$7.85 \times 10^{-5}(\text{kg/mm}^3)$	$2.7 \times 10^{-5}(\text{kg/mm}^3)$

여 범용 구조해석 패키지인 MSC/NASTRAN을 이용하여 각 분계의 동특성 해석을 수행하고, 부분구조합성법을 이용한 해석 결과와 유한요소법에 의한 구조물의 일체 해석 결과를 비교하였다.

안테나 각 분계의 동특성 해석 결과를 Table 2에 나타내었고, 유한요소법을 이용한 구조물의 일체해석 결과와 부분구조합성법을 이용한 해석결과를 Table 3에서 비교하였고, 안테나 일체해석의 주파수 응답 함수와 부분구조합성법을 이용한 해석(이하 CMS해

석이라 약칭)의 주파수 응답 함수를 Fig. 4에 나타내었다.

유한요소법을 이용한 구조물의 일체해석 결과(FEM해석)와 분계간의 결합 점의 갯수를 본 연구에서는 48점(Grid)으로 하였으며 이때 6자유도 계를 고려한 288개의 내부모드가 존재한 경우로 모델링하여 해석한 결과(CMS해석)를 비교한 결과 1% 이내의 오차로 잘 일치함으로 CMS 해석을 이용한 해석 결과가 타당함을 알 수 있었다. 한편, 각 분계간의 결합점의 갯수와 내부모드 수와의 정확한 관계를 규명하기 위한 연구가 계속 검토되어야 할것으로 사료된다.

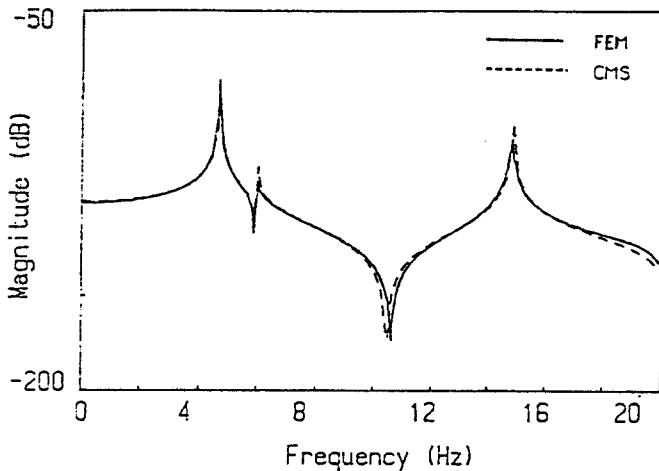


Fig. 4 Comparison of frequency response function of antenna system between CMS and conventional FEM

3.3 주파수응답함수에 의한 지배적 고유모드 파악

부분구조합성법을 이용한 해석 결과를 이용하여 구조물의 주파수 응답 함수와 모드 좌표를 구하여 구조물의 지배적인 고유모드를 추출하였다. 안테나 계의 주파수 응답 함수와 고유모드 성분으로부터 지배적 고유 모드 성분을 구하여, Fig. 5에는 주파수 응답 함수를 Fig. 6에는 Fig. 5의 주파수 응답 함수에 대해서 비연성화하여 각 성분별로 비연성시킨 주파수 응답함수를 나타내었다.

안테나 구조물에 대하여 1차 모드가 가장 지배적인 영향을 주며, 3차와 6차 모드도 구조물에 많은 영향을 주었음을 알 수 있었다. 이 결과는 안테나

Table 2 Natural frequencies of each component

Component	Natural frequencies(Hz)				
	1st	2nd	3rd	4th	5th
Subreflector struts	12.85	15.40	15.40	43.43	103.07
Backing structure & main reflector surface panels	29.02	30.42	30.80	30.85	31.85
Center hub	13.04	21.22	21.22	26.25	39.73
Pedestal mount	23.32	28.33	32.66	37.40	

Table 3 Comparison of nature frequencies of antenna system between CMS and conventional FEM

Method	Natural frequencies(Hz)				
	1st	2nd	3rd	4th	5th
FEM	4.65	5.57	5.94	12.14	12.81
CMS	4.62	5.60	5.92	12.14	12.81
Error(%)	0.6	0.5	0.3	0.0	0.0

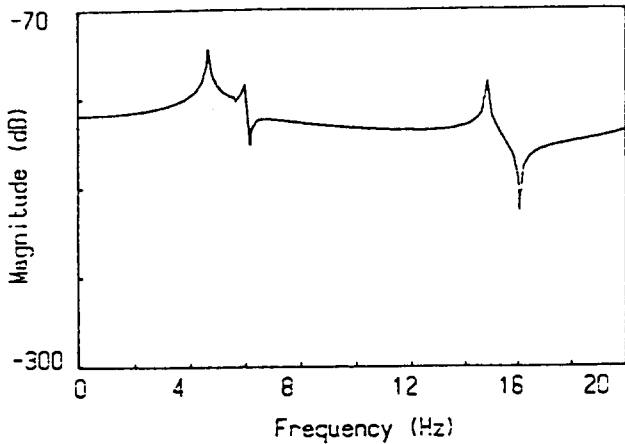


Fig. 5 Frequency response function at exciting point 1000 & response point 1

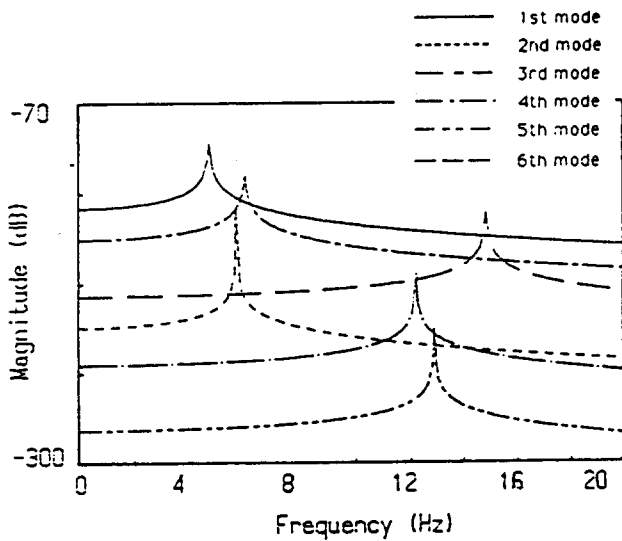


Fig. 6 Modal coordinate at exciting point 1000 & response point 1

설계시, 안테나의 안정적인 운용을 위하여 최저 고유진동수를 높이는데 중점을 둔다^(12,13)는 점과 일치함을 알 수 있었다.

3.4 변형 및 운동에너지 분포에 의한 분계의 기여도 규명

구조물의 진동상태 파악과 진동요인을 분석하기 위하여 안테나 계의 각 고유모드에 대한 분계의 기여도를 파악하였다. 각 분계의 변형에너지와 운동에너지를 구하고, 전계에 대한 각 분계의 에너지 비를 구하여 각 분계의 기여도를 규명하였다. 전계에 대한 각 분계의 변형에너지 기여도를 Table 4와 Fig. 7에 나타내었고, Table 5와 Fig. 8은 전계에 대한 각 분계의 운동에너지 기여도를 나타낸다.

전계에 대한 각 분계의 변형에너지 기여도의 파악으로 구조물의 1, 2, 3차 모드의 경우, 지지 마운트

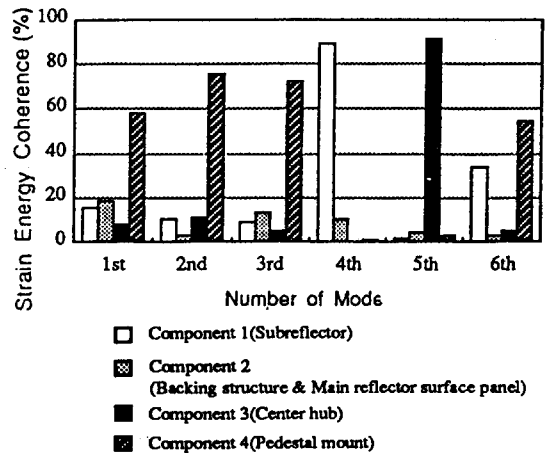


Fig. 7 Strain energy contribution of each component

Table 4 Strain energy coherence antenna system(unit: %)

Component	Natural frequencies(Hz)					
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
Subreflector struts (Component 1)	15.16	10.21	9.18	89.17	1.21	34.19
Backing structure & main reflector surface panels (Component 2)	18.71	3.30	13.45	10.21	4.48	2.91
Center hub (Component 3)	7.73	10.71	5.09	0.16	91.12	5.43
Pedestal mount (Component 4)	58.40	75.78	72.28	0.46	3.21	57.47

Table 5 Kinetic energy coherence of antenna system(unit : %)

Component	Natural frequencies(Hz)					
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
Subreflector struts (Component 1)	5.98	6.22	2.35	99.71	0.26	90.99
Backing structure & Main reflector surface panels (Component 2)	46.61	46.18	53.87	0.25	0.61	4.18
Center hub (Component 3)	43.63	43.00	41.64	0.04	99.08	4.02
Pedestal mount (Component 4)	3.78	4.60	2.14	0.00	0.05	0.81

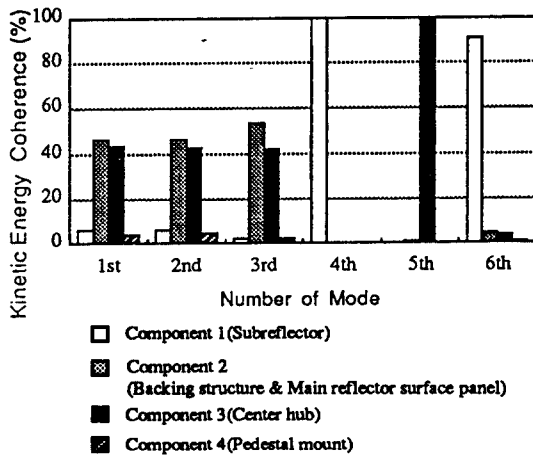


Fig. 8 Kinetic energy contribution of each component

분계가 가장 기여를 많이 하였고, 4차 모드의 경우는 부반사 기둥 분계, 5차 모드의 경우는 중앙 허브 분계의 변형에너지 기여도가 크음을 알 수 있다. 또한 전체에 대한 각 분계의 운동에너지 기여도의 파악 결과, 운동에너지 기여도 측면에서 1, 2, 3차 모드에서는 지지구조와 주반사 판 분계가 가장 기여가 컸으며, 4, 6차 모드는 부반사 기둥 분계, 5차 모드는 중앙 허브 분계의 운동에너지 기여가 높음을 알 수 있다.

4. 대형 구조물의 동특성 개선 결과 고찰

4.1 분계의 강성 변경에 따른 구조물의 동특성 변화 파악
구조물의 동특성 개선 대책안을 제시하기 위하여,

Table 6 Natural frequencies of system according to stiffness change

Stif.(%)	Mode(Hz)					
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
90	4.43	5.42	5.69	12.14	12.80	14.76
95	4.53	5.52	5.81	12.14	12.80	14.80
100	4.62	5.60	5.92	12.14	12.81	14.78
105	4.71	5.69	6.03	12.14	12.81	14.76
110	4.80	5.77	6.13	12.14	12.81	14.74

전절에서 구한 각 고유모드별 각 구조물의 변형 및 운동에너지에 미치는 기여도를 알아본 결과를 이용하여, 관심 고유모드에 대해 변형에너지 분포가 큰 지지 마운트 분계의 관성모멘트를 90%~110% 변경시키면서 구조물의 동특성 변화를 파악하였다. 1차 모드에 대하여 변형에너지 분포가 큰 지지 마운트 분계의 관성모멘트를 90%~110%로 변경시키면서 해석한 결과를 Table 6과 Fig. 9에 나타내었다.

해석 결과, 지지 마운트 분계의 관성모멘트를 증가시키면 따라 전절에서 기여도를 평가한 결과와 마찬가지로 전체의 1, 2, 3 및 6차 고유진동수는 높아졌고, 4, 5차 고유진동수는 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 이는 지지 마운트 분계의 강성이 구조물 전체의 동특성중 1, 2, 3 및 6차 모드에 영향을 끼치고 4, 5차 모드에는 영향을 끼치지 않음을 의미한다

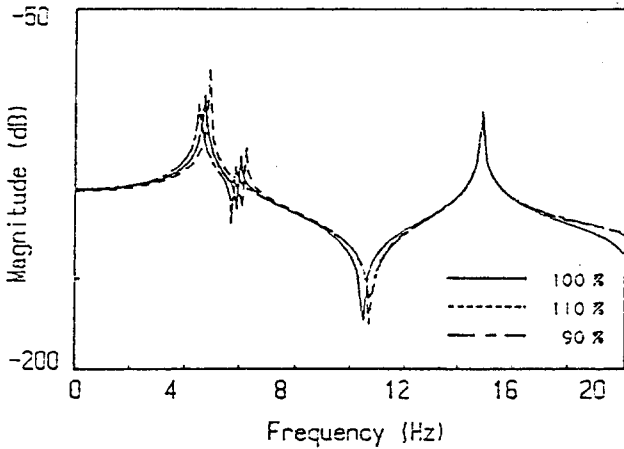


Fig. 9 Frequency response function according to stiffness change

다.

4.2 분계의 질량 변경에 따른 구조물의 동특성 변화 파악

1차 고유모드에 대하여 운동에너지 분포가 큰 지지구조와 주반사 판 분계의 질량을 변경시키면서 부분구조 변경에 따른 구조물의 동특성 변화를 파악하였다. Table 7과 Fig. 10는 지지구조와 주반사 판 분계의 질량을 변경시키면서 구조물의 동특성 변화를 파악한 결과이다. 질량의 주요 인자인 밀도를 90%~110%로 변경시켜가며 해석을 수행하였다. 분계의 질량을 증가시키기에 따라 1, 2, 3차 고유진동수가 낮아졌고, 4, 5, 6차 고유진동수는 변화가 없었다. 이 결과로부터 지지구조와 주반사 판 분계의 질량은 1, 2, 3차 고유진동수에 큰 영향을 줄 수 있었다.

4.3 분계의 강성 및 질량 변경에 따른 구조물의 동특성 변화 파악

1차 고유모드에 대하여 운동에너지의 기여도가 큰 지지구조와 주반사 판 분계는 질량을, 변형에너지의 기여도가 큰 지지 마운트 분계는 강성을 동시에 변경시켜가며 동특성 변화를 파악하여 구조물의 동특성 개선 대책안을 제시하였다. Table 8와 Fig. 11는 지지구조와 주반사 판 분계의 질량과 지지 마운트 분계의 강성을 변경시키면서 구조물의 동특성 변화를 파악한 결과이다. case 1은 질량과 강성을 변경시키기전의 결과이고, case 2는 질량 10% 감소, 강성

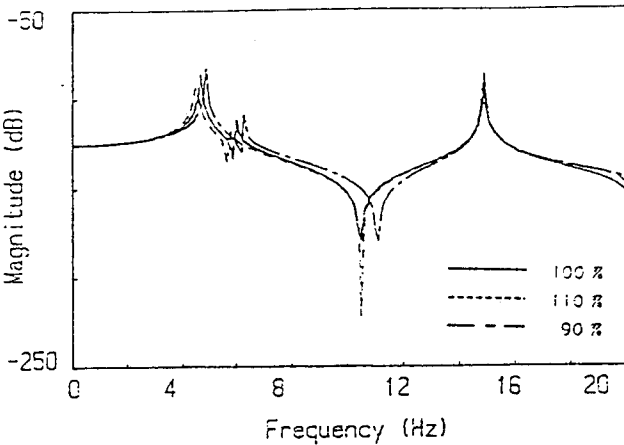


Fig. 10 Frequency response function according to mass change

Table 7 Natural frequencies of system according to mass change

Mass(%)	Mode(Hz)					
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
90	4.82	5.83	6.22	12.14	12.81	14.79
95	4.72	5.71	6.06	12.14	12.81	14.78
100	4.62	5.60	5.92	12.14	12.81	14.76
105	4.53	5.50	5.79	12.14	12.80	14.76
110	4.45	5.40	5.67	12.14	12.80	14.75

Table 8 Natural frequencies of system according to stiffness & mass change

Case	Mode(Hz)					
	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
Case 1	4.62	5.60	5.92	12.14	12.81	14.76
Case 2	5.00	6.00	6.44	12.14	12.81	14.80
Case 3	4.81	5.80	6.17	12.14	12.81	14.78
Case 4	4.44	5.41	5.68	12.14	12.80	14.76
Case 5	4.27	5.22	5.45	12.14	12.14	14.74

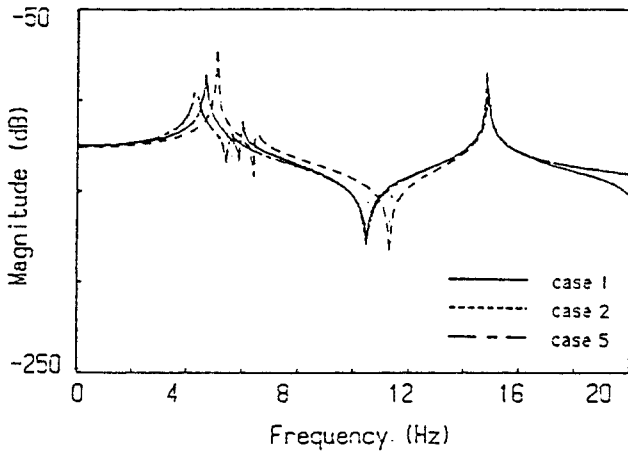


Fig. 11 Frequency response function according to stiffness and mass change

10% 증가, case 3는 질량 5% 강성 5% 증가, case 4는 질량 5% 증가, 강성 5% 감소, case 5는 질량 10% 증가, 강성 10% 감소시켰을 경우이 해석 결과이다.

1, 2, 3차 고유진동수는 case 2와 case 5의 경우에 동특성의 변화가 컸고, 4, 5, 6차의 고유진동수는 어떤 경우도 변화가 없었다. 이상의 결과로 안테나 설계시, 안테나의 최저 고유진동수를 높이기 위해서는 지지구조와 주반사 판 분계의 질량과 지지 마운트 분계의 강성을 변경시키는 것이 효과적임을 알 수 있었다.

5. 결 론

구조물의 동특성 규명 및 동특성 개선을 위한 본 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 부분구조합성법을 이용한 해석 결과와 유한요소법을 이용한 구조물 전체의 해석 결과가 잘 일치함으로 부분구조합성법을 이용한 해석결과의 타당성을 검증하였다.

(2) 주파수 응답 함수를 이용하여 구조물에 지배적인 고유모드 파악과 각 분계의 변형 및 운동에너지 기여도 파악으로 지배적인 고유모드에 민감한 구조물의 분계를 파악하였다.

(3) 지배적인 고유모드에 민감한 분계의 강성 또는 질량을 변경시켜 구조물의 동특성을 규명한 결과

지배적인 고유모드에 민감한 분계가 동특성 개선을 위한 효과적인 구조변경 부위임을 검증하였다.

참 고 문 헌

- (1) 유명덕, 1989, "부분구조합성법을 이용한 구조물의 동특성 해석에 관한 연구," 한양대학교 석사학위논문
- (2) 이신형, 이장무, 1990, "부분구조합성법을 이용한 비선형 결합부 구조물의 동적해석," 대한기계학회논문집 제14권 제2호, pp. 324~330
- (3) James W. Mar, Harold Liebowitz, 1969, "Radar Telescope System," The MIT PRESS
- (4) Takashi Kitsuregawa, "Satellite Communication Antenna," Artech House
- (5) 長松昭男, 大熊政明, 1991, "部分構造合成法," 培風館
- (6) 長松昭男, 大熊政明, 1983, "部分構造合成法による振動解析(第1報, 基礎的検討)," 日本機械學會論文集(C編), 49卷 437號, pp. 3~11
- (7) 長松昭男, 大熊政明, 1983, "區分モード合成法による振動解析(第4報, 固有振動數と固有モード-その2)," 日本機械學會論文集(C編), 49卷 443號, pp. 1120~1127
- (8) 長松昭男, 大熊政明, 1984, "區分モード合成法による振動解析(第5報, 強制振動その2)," 日本機械學會論文集(C編), 50卷 450號, pp. 251~259
- (9) 오재웅, 1985, "구조물 모드 해석의 기초와 응용," 화성출판사
- (10) Nishioka, M. and Tomita, T., 1985, "Method of Large-scale Vibration Analysis of Vehicle Body Structure," 日本自動車技術會 論文集, No. 3, pp. 68~75
- (11) 임재문, 김민수, 이귀영, 1993, "부분구조합성법을 이용한 배기계의 진동해석," 대한기계학회논문집 제17권 제7호, pp. 1833~1840
- (12) Robert S. Pinkham, Leo J. LaFrance, "The Structure Analysis of a Solar Furnace"
- (13) Xu Qingyu, Luo Xiaoyu, Qiou Yang, "The Dynamic Analysis and Experimental Research of A Radar Antenna Frame"