

**이동형 대하중 추적 마운트의 구조 건전성에 대한 연구**김병인<sup>a\*</sup>, 손영수<sup>a</sup>, 박철훈<sup>a</sup>, 이성휘<sup>a</sup>, 함상용<sup>a</sup>, 조상현<sup>a</sup>**A Study on the Structural Integrity of Transportable Heavy-duty Tracking-mount**Byung In Kim<sup>a\*</sup>, Young Soo Son<sup>a</sup>, Cheol Hoon Park<sup>a</sup>, Sung Hwi Lee<sup>a</sup>, Sang Yong Ham<sup>a</sup>, Sang Hyun Jo<sup>a</sup><sup>a</sup> Department of Robotics and Mechatronics, Korea Institute of Machinery & Material, 104 Sinseongno, Yuseong-Gu, Daejeon, 350-343, Republic of Korea**ARTICLE INFO***Article history:*

Received	13	August	2013
Revised	6	September	2013
Accepted	10	September	2013

*Keywords:*

Transportable  
Tracking mount  
Dynamic characteristics  
Static analysis  
Harmonic response analysis  
Free vibration analysis

**ABSTRACT**

Satellites provide a lot of information and play roles in the areas of defense and space observations. The precise distances to the satellites are measured by emitting and retro-reflecting a laser. For such surveys, satellite laser ranging (SLR) systems have been developed in different forms and for different areas. The structural integrity of the tracking mount is essential for it to be able to track a high-speed satellite precisely, overcoming the various external and internal disturbances and operating conditions. In this study, the analysis of a tracking mount was performed for weight, wind loads, and inertia loads in order to verify its soundness. The results of the comparison between aluminum and steel were analyzed in order to select the optimal material for the fork and main housing part. In addition, the natural frequency and mode shape were predicted. Optimal material selection and structural integrity will also be verified using static analysis.

**1. 서론**

현재 사용되고 있는 인공위성은 수많은 정보를 제공함으로써 국방 및 우주관측기기 분야 등에서 그 역할을 수행하고 있다<sup>[1]</sup>.

그리고 인공위성의 관측과 위치에 대해 정밀하게 관찰하기 위하여 레이저를 이용한 우주 측지용 레이저 위성추적시스템 등이 개발되어 이용되고 있다<sup>[2]</sup>. 또한, 이러한 추적시스템의 개발은 여러 분야에서 적용될 수 있으며, 다양한 형태로 변환되어 이용될 수 있다. 그 중 하나가 레이저를 이용하여 고속 비행체를 확인하고, 추적하는 것이다. 고속 비행체를 추적하기 위한 장비는 동적 운용조건에서 해당 장비 또는 설비가 내력 및 외력에 의하여 구조적으로 건전성을 확보하여야 한다.

대하중 추적마운트 장비에 대한 운용조건에서의 평가 항목으로는 구조물에 가해지는 자중(Dead weight)을 예로 들 수 있으며, 바람에 의한 풍하중(Wind load), 관성에 의한 관성하중(Inertia load), 자유진동에 대한 평가가 수행되어야 한다.

대부분의 추적마운트 장치는 한 장소에 설치되어 지정된 장소에서 목표물의 이동을 추적한다. 이러한 추적은 추적 범위가 제한되어 있기 때문에 폭 넓은 추적이 불가능하다. 추적범위의 확대를 위해서는 추적마운트를 이동이 가능한 차량에 장착하여 추적 목표물을 따라 이동하면서 추적하게 되면 해결이 가능하다. 하지만 차량에 장착하여 이동하게 되면 이동 중 발생할 수 있는 쏠림이나, 실외에서 사용하기 때문에 외부의 바람에 영향을 받으며, 차량에서 발생하는 진동이 추적마운트의 정도에 많은 영향을 주게 된다.

\* Corresponding author. Tel.: +82-42-868-7616

Fax: +82-42-868-7611

E-mail address: kimbi@kimm.re.kr (Byung In Kim).

본 논문은 운용 환경에서 발생하는 수평방향의 관성하중과 자중 그리고 외부의 풍하중 모두가 적용된 조합하중에 대한 정적 해석과 동적 운용 조건으로서 구조물의 건전성을 확인하기 위해서 구조물에 대한 자유진동해석을 수행하여 구조물이 갖는 진동특성인 고유진동수(Natural frequency) 및 고유모드(Mode shape)를 도출하고 공진이 발생할 수 있는 주파수영역을 찾고자 한다.

또한 설계된 추적마운트에서 구조적 건전성에 가장 많은 영향을 미치는 Fork부와 Main housing부의 재질이 강재와 알루미늄일 경우에 대해 해석을 수행하여 재질에 따른 구조의 건전성에 대해 소개하고자 한다.

## 2. 대하중 추적마운트의 모델링

### 2.1 자유진동해석의 운동방정식

해당 장비의 구조물은 운전 및 운송조건에서 관성력과 같은 하중을 받게 되어 응력이 발생하게 된다. 따라서 식 (1)과 같은 평행방정식을 이용하여 응력해석을 수행하며, 이를 기본으로 하는 자유진동 해석을 위한 운동방정식을 사용한다<sup>[3]</sup>.

$$\text{평행 방정식} \\ [K]\{u\} = \{F\} \quad \text{또는} \quad \{K\}\{u\} = \{F^a\} + \{F^r\} \quad (1)$$

$$\text{운동방정식} \\ [M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F^a\} \quad (2)$$

$$(-\Omega^2[M] + i\Omega[C] + [K])\{\{u_1\} + i\{u_2\}\} e^{i\Omega t} \\ = (\{F_1\} + i\{F_2\}) e^{i\Omega t} \quad (3)$$

$$([K] - \Omega^2[M] + i\Omega[C])\{\{u_1\} + i\{u_2\}\} = \{F_1\} + i\{F_2\} \quad (4)$$

### 2.2 풍하중의 난류모델

운동해석을 위한 직교좌표계의 수식적 지배방정식(질량 보존법칙, 운동량 보존법칙, 에너지 보존법칙)은 수식적으로 표현하면 다음과 같으며 난류모델의 전달함수는 대부분의 수치해석 프로그램에서 사용하는  $k-\epsilon$  난류모델을 사용하였다. 난류 유동장해석을 위하여 사용한 난류모델( $k-\epsilon$ )의 Reynolds stress가 평균속도 성분에 비례한다는 Boussinesq 가설에 의한 Reynolds stress tensor는 식 (5)와 같이 표현된다<sup>[4]</sup>.

$$\tau_{ij}^R = \mu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (5)$$

$k-\epsilon$  난류모델의 동점성계수( $\mu_t$ )는 2가지 기본적인 난류인자로 아래와 같이 정의할 수 있다.

$$\mu_t = f_u \frac{C_\mu \rho k^2}{\epsilon} \quad (6)$$

또한, 위의 난류모델에 사용되는 점성인자는 층류 및 난류모델의 전달함수이며 다음 식과 같이 2개의 전달함수로 사용된다.

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \left( \mu_l + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right) + S_k \quad (7)$$

$$\frac{\partial \rho \epsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right) + S_\epsilon \quad (8)$$

위 식에서

$$S_k = \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \epsilon + \mu_t P_B \quad (9)$$

$$S_\epsilon = C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} \left( f_1 \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \mu_t C_B P_B \right) - C_{\epsilon 2} f_2 \frac{\rho \epsilon^2}{k} \quad (10)$$

이며, 식에서 나타난 유체의 부력(buoyancy forces)으로 생기는 난류유동의 생성은

$$P_B = - \frac{g_i}{\sigma_B} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x_i} \quad (11)$$

### 2.3 대하중 추적마운트 시스템의 유한요소모델

일반적으로 단면 및 길이 방향의 크기가 유사한 형상의 경우는 솔리드요소(Solid element)를 사용하고, 길이 및 크기에 비해 두께가 매우 얇은 판재(plate)에 대해서는 셸요소(Shell element)를 적용한다<sup>[5]</sup>. 그리고 단면에 비하여 길이 방향이 긴 부품의 경우는 빔요소를 적용하여 유한요소모델을 완성한다. 그러나 대하중 추적마운트 구조물은 다소 큰 두께를 지니고 있는 판의 형상을 지니고 있으므로 대부분의 부품을 솔리드요소(Solid element)를 적용하였다. 솔리드요소는 8절점으로 이루어져 있으며, 절점의 3자유도는 병진방향으로서 UX,UY,UZ에 해당된다. 그리고 최적 재질 선정을 위해 강재와 알루미늄으로 재질을 변경하여 해석을 수행하였으며, Main Fork arm의 경우는 강재와 알루미늄의 강성의 차이로 인해 알루미늄 재료를 사용할 경우 두께가 커질 경우를 해석하여야 하므로 6자유도를 갖는 셸요소를 사용하였다.

3차원 모델을 바탕으로 대하중 추적마운트 구조물에 대한 유한요소모델을 완성하였으며 이러한 유한요소모델의 형상을 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1의 (a)는 구조물에 대한 유한요소모델을 등각방향에서 장비를 관측한 경우를 나타내고 있으며, (b)는 단면(Section area)을 나타낸 것이다.

Fig. 2 (a)에서는 SOLID185 요소를 나타내고 있으며, (b)는 SHELL181 요소의 형상을 나타내고 있다. 그러므로 대하중 추적마운트 전체 모델을 유한요소모델로 나타내기 위해서 사용한 셸 요소는 10,108개이며, 그에 대한 절점은 10,288개이고 솔리드 요소의 수는 170,470개 절점의 수는 218,168개이다.

유한요소모델링 과정에서 적용한 요소는 아니지만 풍하중을 고

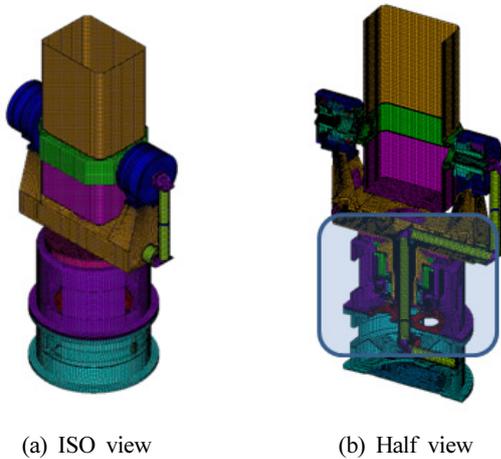


Fig. 1 Finite element model for tracking mount

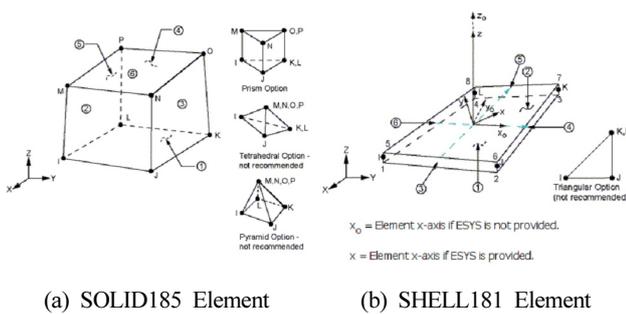


Fig. 2 Applied solid and shell element for finite element model

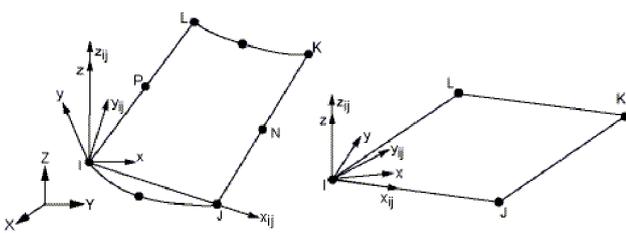


Fig. 3 3-dimensional surface shape(SURF154) of the elements

려하기 위해 표면요소(SURF154)를 사용하였다. 3차원 표면요소는 풍하중을 고려할 때 형상에 따라 하중의 형태로 가해지는 바람의 세기를 차등 분포 하중으로 구조물의 표면에 적용하고자 사용한 요소이다. 표면요소에는 다양한 하중 및 표면효과를 적용할 수 있으며 구조에 대해 격자 분할된 요소의 면 위에 중첩하여 생성된다. 표면요소에 대한 구조적 형상에 대해 그림 Fig. 3에 나타내었다.

### 3. 해석조건

완성된 유한요소모델을 사용하여 다양한 하중 조건 및 경계조건을 적용하여 유한요소해석을 수행할 수 있다.

정적해석을 수행할 때에는 축면방향의 관성하중(Inertia force)과 구조물 고유의 하중인 자중(Dead weight)과 바람에 의한 풍하중(Wind load)해석을 수행하고, 세 결과를 하나로 조합한 조합하중해석결과가 구조물이 받는 응력(Stress) 및 변형(Deformation) 등을 허용응력(Allowable stress)과 비교했을 때 허용응력보다 계산된 유한요소해석의 응력강도는 작아야 한다.

동적해석을 수행할 때에는 구조물이 갖는 고유한 진동특성을 확인하기 위해서 자유진동해석을 수행하고 주파수영역(Frequency domain)에서의 모드별 주파수를 추출한다. 그 후 조화응답해석을 수행하여 조화가진에 의해 구조물이 갖는 동적거동을 평가하고자 한다.

#### 3.1 조합하중을 적용한 정적해석

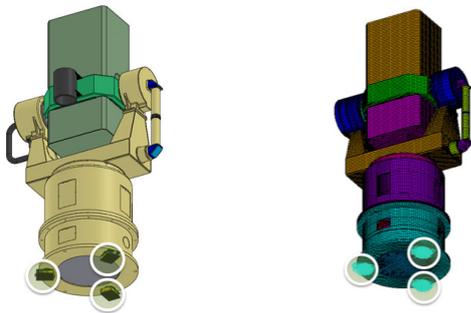
자중해석은 별다른 하중의 적용 없이 구조물 전체에 수직방향으로의 중력가속도인  $9.81 \text{ m/s}^2$ 을 적용하여 정적해석을 수행하는 해석을 말한다. 구조물에 대한 정적해석을 수행할 때에는 구조물의 실제 물리계에서의 결합, 조립 및 지지조건 등을 고려하여 경계조건(Boundary conditions)을 고려해야 하며, 물리계에 대한 부적절한 경계조건을 적용할 경우 구조물은 강체운동(Rigid body motion)을 하게 되어 해석이 수행되지 못한다.

대하중 추적마운트 구조물은 지정된 위치에 설치되어 운용되는 것이 아니라 필요에 따라 이동 중에도 장비를 운용해야 하므로 차량 등과 같은 운송수단에 설치되는 조건을 고려하였다. 이 때 노면 상태에 따라 급정거 또는 운송시 발생하는 코너링 상황과 같은 불규칙 조건 등에서의 구조물이 받는 영향을 평가하였다.

관성하중은 일정한 하중이 아니기 때문에 하중의 크기를 수평방향으로 중력가속도의 1.5배인  $14.715 \text{ m/s}^2$ 의 성분을 가속도 방향으로 수평방향에 적용하여 정적해석을 수행하였다. 하중의 적용 방향은 풍하중의 방향과 동일한 Z-방향에 대해서만 해석을 수행하였으며, 경계조건은 모든 정적해석에서 동일하게 적용한 Fig. 4와 같은 경계조건을 적용하였다.

Fig. 4의 (a)와 같이 실제 물리계에서는 Level block을 통해 고정되는 형상을 하고 있으므로 (b)에서와 같이 유한요소모델에서 동일한 지점에 대해 고정조건(Fixed condition)을 부여하여 경계조건을 적용하였다. 경계조건을 선택하는 절점에 대해 실제와 동일한 면적만큼을 선택하지 않고, 결합되는 부위의 강성을 고려하여 계산적으로 절점을 구속하였다.

추적마운트는 주로 외부에서 운용하여 바람에 대한 풍하중해석이 필요로 하다. 바람에 의한 영향력을 평가할 때에는 구조물의 형상에 따라 구조물의 표면에 작용하는 하중의 크기는 달라진다.



(a) 3-D constraints in the physical world (b) Boundary conditions applied to the finite element model

Fig. 4 Boundary conditions applied in static analysis

Table 1 Number of elements used in the flow analysis

Element	Number [EA]
Fluid cells	1,211,160
Partial cells	208,623

Table 2 Wind load calculations for instantaneous wind velocity (45 m/s)

Parameter	Total Value	X-dir.	Y-dir.	Z-dir. (Horizontal Dir.)	Area [m <sup>2</sup> ]
Normal Force [N]	2845.9	-26.9	-222.6	2837.1	29.2
Friction Force [N]	23.2	0.03	-0.16	23.2	29.2
Force [N]	2869.0	-26.9	-222.8	2860.2	29.2
Torque [N*m]	4275.9	4275.5	6.78	57.3	29.2
Surface area [m <sup>2</sup> ]	29.2	0	0	0	29.2
Torque of Normal force	4251.3	4250.9	6.86	57.3	29.2
Torque of Friction force	24.6	24.6	-0.07	0.024	29.2

해당 장비 구조물에 대하여 일정한 크기의 유동영역을 표현하여 유동장의 유입부(Inlet)와 유출부(Outlet)를 정의하고, 유입부에 유입속도를 적용함으로써 바람이 부는 조건에 대한 시뮬레이션을 수행할 수 있다. 여기서 일정한 크기의 유동장을 유한요소법(Finite Element Method)을 이용하여 모델링한다면 해석을 수행하는데 경제성이 매우 떨어지므로 전산유체역학에서 주로 사용되는 오일러 기술법 기반의 근사해석 기법인 유한체적법(Finite Volume Method)을 이용하여 해석을 수행하였다. 해석을 수행하기 위해 사용된 유한체적의 셀(Cell)의 수는 Table 1과 같다.

Table 3 Material properties of each component

Material Number	Part name	Young's Modulus [Pa]	Poisson's Ratio	Density [Kg/m <sup>3</sup> ]	Description	
1	Rising block body	138E9	0.3	7200	FC300	
2	Body base	138E9	0.3	7200	FC300	
3	Base support plate	200E9	0.3	7800	A240	
4	Optical pipe main	200E9	0.3	7800	A240	
5	Base bearing inner cover	200E9	0.3	7800	A240	
6	Base body shaft	200E9	0.3	7800	A240	
7	AZ encoder support flange	200E9	0.3	7800	A240	
8	Resolver gear	200E9	0.3	7800	A240	
9	AZ encoder	200E9	0.3	7800	A240	
10	Bearing Outer Cover	200E9	0.3	7800	A240	
11	AZ encoder housing	200E9	0.3	7800	A240	
12	Rotor fix flange	200E9	0.3	7800	A240	
13	Fork body	AL	66E9	0.33	2800	AL6061
		Steel	200E9	0.3	7800	FC300
14	Fork cover	200E9	0.3	7800	A240	
15	Optical support tube	200E9	0.3	7200	A240	
16	EL housing	AL	66E9	0.33	2800	Casting Alloy
		Steel	138E9	0.3	7200	A48
17	Cross roller bearing over	200E9	0.3	7800	A240	
18	Cross roller bearing shaft	200E9	0.3	7800	A240	
19	Optical assembly	200E9	0.3	7800	A240	
20	Optical tube	200E9	0.3	7800	A240	

작용하는 풍하중의 세기는 일정하게 작용하는 것이 아니기 때문에 지역적으로 평균적인 바람의 세기를 입력하였다. 국내의 최대 순간 풍속은 45 m/sec<sup>[6]</sup>이며 구조물이 받는 유효단면적을 1.5배 가량의 큰 조건으로 최대 압력(Max. static & dynamic pressure)에 의한 수평하중(Normal force)을 유동해석을 통하여 계산하고자 한다.

유동장 해석에 의해 구조물의 표면에 작용하는 하중을 Table 2에 나타내었다. 표면에 적용할 하중의 성분을 z방향 하중인 약 2,860 N으로 결정하였으며, 이는 바람의 방향에 의해 가장 큰 하중이 작용할 것으로 판단되는 성분이기 때문이다.

정적해석은 풍하중, 자중 및 관성하중에 의한 3가지 경우에 대해 해석이 수행되어 졌으며, Fork body 및 EL housing의 재질을 강재로 하였을 때와 알루미늄으로 하였을 때의 두 가지 조건에 대한 해석이 수행되어야 한다. 따라서 동일한 하중조건과 경계조건에 대하여 재질의 변경에 따른 해석을 수행함으로써 재질의 변화가 구조물의 구조적 건전성에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 해석에 적용된 추적마운트의 주요 재료 물성은 Table 3과 같다.

### 3.2 조화응답 및 자유진동해석을 통한 동특성 해석

대하중 추적마운트 구조물에 대한 동적해석은 장비의 운용 시 발생할 수 있는 소음 및 진동 현상을 예측하고, 보완하여 동적운용에 의한 장비의 손상을 방지할 수 있다. 나아가 장비의 수명을 연장시키고, 장비의 사용 목적에 맞추어 효과적인 운용을 기대할 수 있기 때문에 동적해석을 수행하여 구조물에 대한 진동특성 및 동적 거동을 검토하여야 한다.

구조물의 재질을 정확하게 적용하고, 자유진동해석을 수행함으로써 대하중 추적마운트 시스템에 대한 진동특성을 확인할 수 있다.

진동특성해석은 정적해석과 동일한 경계조건을 가지며, 하중의 항을 무시한 상태에서의 동적해석을 말한다. 즉, 외력이 아닌 구조물 자체가 갖는 고유한 진동특성을 확인할 수 있다.

구조물에 대한 실제 시험과 진동특성해석의 결과와의 오차는 부속품 간의 접촉되는 부위에서의 접촉 강성에 따른 오차라고 판단할 수 있지만 주요 관심이 되는 고유모드에 대한 고유진동수 영역의 범위는 크게 벗어나지 않는다.

자유진동해석을 수행하여 대하중 추적마운트 시스템에 대한 진동특성을 확인한 후에 장비의 동적 운용 상태에서의 주기적인 하중의 가진에 의한 동적 거동을 분석하여야 한다. 자유진동해석이 하중을 무시한 시스템 자체의 진동특성해석이라면 조화응답해석은 주기적으로 가진되는 하중에 의해 발생하는 구조물의 동적거동을 검토하는 해석이라고 할 수 있다. 구조물의 경계조건을 적용한 절점에 1~100 Hz까지 300구간(Sub-step)으로 분할하여 각각의 주파수 포인트에서 9.81 m/s<sup>2</sup>의 가속도 하중을 수직방향으로 조화 가진 하도록 설정하였다.

## 4. 해석결과

대하중 추적마운트에 대하여 정·동적해석을 수행하였다.

정적해석에 대한 결과는 구조물에 하중을 적용하여 도출된 결과와 각 하중에 대한 결과를 선형적으로 조합하였을 때의 응력수준 및 변형 정도에 대한 결과만을 언급하며, 동적해석은 시스템에 대한 자유진동해석의 결과로 주요 모드와 해당 모드에서의 고유진동수를 나타내었으므로 조화응답해석의 결과만을 다루기로 한다.

### 4.1 조합하중에 의한 정적해석결과

자중 및 관성하중, 풍하중에 의한 정적해석을 수행한 결과를 중첩(Super position)시켜야 나타낸 재질에 따른 응력과 변위결과에 대해 Fig. 5~8에 나타내었다.

Fig. 5~6에서 응력 해석의 경우 알루미늄(SI=24.3MPa)과 강(SI=27.7 MPa) 재질이 비슷한 결과가 나왔으며, Fig. 7~8에서 조합하중에 대한 대하중 추적마운트의 변위량은 경동부 상단부분

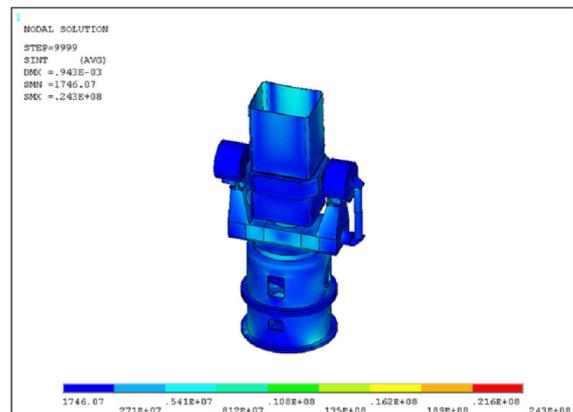


Fig. 5 Stress analysis result for the combined load(Aluminium) (SI=24.3 MPa)

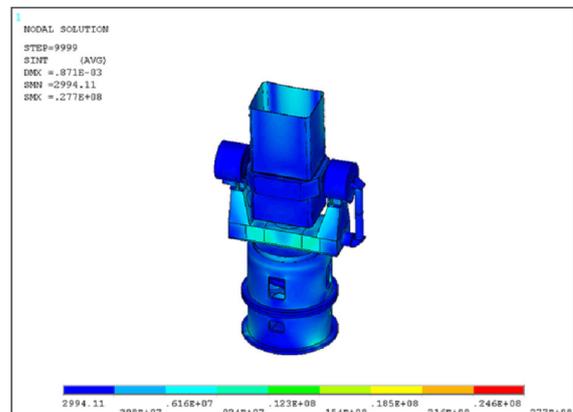


Fig. 6 Stress analysis result for combined load (Steel) (SI=27.7 MPa)

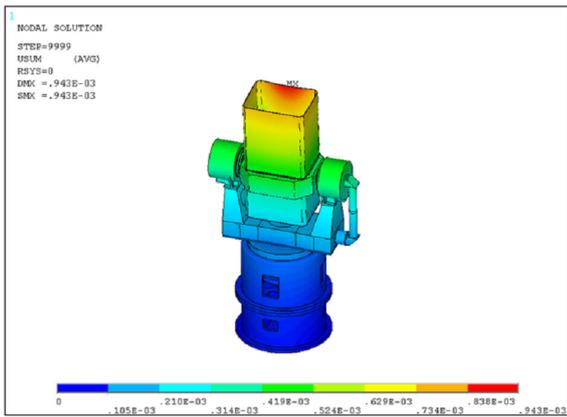


Fig. 7 Displacement analysis result for the combined load (Aluminium) (Disp = 0.943 mm)

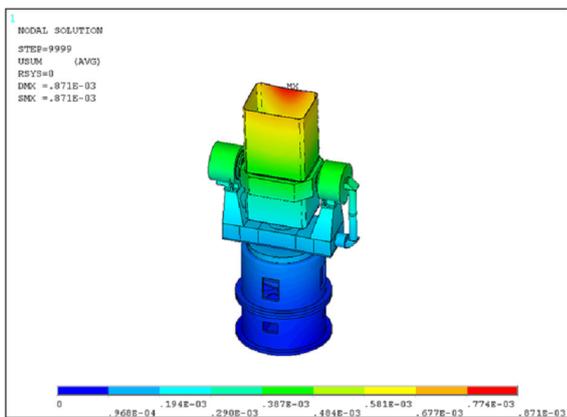


Fig. 8 Displacement analysis result for the combined load (Steel) (Disp = 0.871 mm)

이 가장 크며, 변위량은 알루미늄(Disp = 0.943 mm)과 강(Disp = 0.871 mm)재질 비슷한 결과가 나왔으며 구조물에 건전성에 영향을 미치지 못하는 작은 값이다.

#### 4.2 조화응답 및 자유진동해석에 의한 동적거동결과

Table 4에서 대하중 추적마운트 시스템의 주요 고유모드에 대한 고유진동수 값을 표기 하였다.

자유진동해석을 수행하여 얻은 시스템의 진동특성을 바탕으로 조화응답해석을 수행하여 얻은 결과를 Fig. 9에 나타내었다.

Fig. 9는 대하중 추적마운트 시스템의 Fork body 및 EL housing의 재질이 알루미늄의 경우에 대해 주파수 영역에서의 각 방향의 진폭(Amplitude)을 나타내었다.

Fig. 10에는 대하중 추적마운트 시스템의 Fork body 및 EL housing의 재질이 강재인 경우에 대해 주파수 영역에서의 각 방향의 진폭(Amplitude)을 나타내었다.

Table 4 Modal frequencies & Mode shape of tracking mount system

Mode No.	Modal frequencies [Hz]		Mode shape
	On steel	On aluminum	
1st	32.8	33.3	1st bending mode (X-dir. on left & right)
2nd	36.5	35.2	1st bending mode (z-dir.) (Z-dir. on front & rear)
3rd	79.4	77.3	shell mode of Optical assembly
4th	83.8	83.8	shell mode of Optical assembly
5th	97.1	95.8	shell mode of Optical assembly
6th	106.3	110.0	shell & bending mode

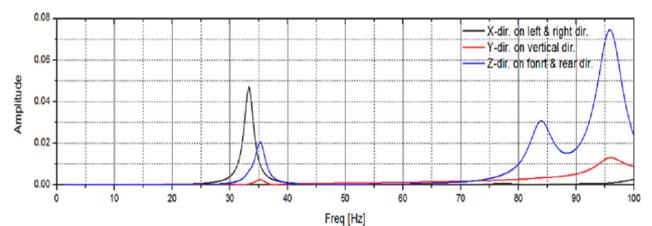


Fig. 9 Harmonic response analysis results of tracking mount system (Aluminum)

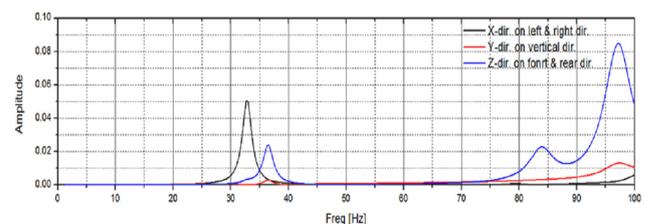


Fig. 10 Harmonic response analysis results of tracking mount system (Steel)

## 5. 결론

대하중 추적마운트 구조물은 구조적으로 약 2.5톤의 무게를 지니고 있으며 자중 그리고 운송조건에서 발생하는 관성하중, 풍하중을 모두 고려한 유한요소해석을 수행한 결과, Fork body와 EL housing의 재료를 강재를 적용한 경우가 알루미늄 재료를 적용한 경우 보다 약 10% 가량 높은 것으로 나타났다. 그러므로 알루미늄을 적용한 모델의 응력강도와 최대변위는 24.3 MPa과 0.943 mm이다. 대하중 추적마운트 구조물은 운행 장비에 설치되기 때문에

**Table 5 Allowable yield strength and fatigue strength of steel and aluminum**

Materials	Fatigue Strength (St) [MPa]	Calculated Results [MPa]	Status
On applied steel on fork plate	90	> 27.7	Safe
On applied AL6061	96	> 24.3	Safe

내력과 외력의 정적 및 동적하중을 오랜 시간 주기적으로 받게 되기 때문에 해당 장비의 구조적 건전성을 확보하기 위해서는 Table 5와 같은 피로강도(Fatigue strength) 조건에서 계산된 응력강도를 평가하여야 한다. 결론적으로 대하중 추적마운트 구조물은 알루미늄과 강재의 두가지 재질 정적 조건에서 안정하게 설계가 되었다.

또한 조화응답 및 자유진동해석을 통해 구조물 고유 모드 형상에 대해 분석하였으며, 재질에 따른 주파수 영역을 나타내었다. 알루미늄의 경우가 강재보다 진폭은 조금 높게 나왔지만 공진주파수영역은 25~40 Hz, 75~100 Hz로 비슷한 양상을 보였다. 모터에서 발생할 수 있는 진동과 이동시 차량에서 발생할 수 있는 진동을 구조물 고유특성을 바탕으로 공진이 발생하지 않도록 공진주파수영역을 벗어나 운용해야 할 것이다.

알루미늄과 강재로 나누어 해석한 결과 두 재질 모두 성능 면에서는 큰 차이를 보이지 않고 모두 건전하지만 제작비용에서 장점을 가지는 강재로 제작하는 것이 적절하다고 사료된다.

향후 본 연구를 바탕으로 설계된 추적마운트 구조물을 제작하여 실제 고유진동수 측정을 측정하여 설계 및 해석에 대한 검증 연구를 추가적으로 진행할 것이다.

## References

- [1] Seeber, G 2003, Satellite Geodesy, 2<sup>nd</sup> Ed, Walter de Gruyter, Berlin, 424.
- [2] Park, E.S., Yoo, S.Y., 2012, "Status and progress of ARGO-M system development", Publications of the Korean Astronomical Society, 27:3 49-59.
- [3] Lee, C. W., 1993, Vibration analysis of rotors, Kluwer Academic Publishers, Netherlands.
- [4] David .C. Wilcox, 2006, Turbulence Modeling for CFD, DCW Industries, Inc.
- [5] ANSYS Inc, 2003, Element Reference Manual Volume II, ANSYS Inc, Canonsburg
- [6] Korea Meteorological Administration, viewed 9 July, Metadata: the foundations of resource description, <[http://web.kma.go.kr/weather/climate/wind\\_average01.jsp](http://web.kma.go.kr/weather/climate/wind_average01.jsp)>
- [7] Yi, C.S., Jeong, J.H., Lee, J.S., Yun, J.H., 2012, "A Numerical Analysis on Flow Characteristic of 200HP Grade Water Jet for Small Ship", KSMTE, 21:1 150-155.
- [8] Jang, S.H., Kim, S.M., Hwang, H.Y., Choi, Y.H., Park, J.K., 2007, "Dynamic Characteristic Analysis of a Micro Milling Machine by Using F.E.M. and Impulse Hammer Test", KSMTE, 2007 Autumn Conference 9-34.
- [9] Jeong, Y.M., Kim, J.S., 2013, "On the Improvement of Free Vibration Analysis via Saint-Venant's Principle", KSMTE, 2013 Spring Conference 11-11.
- [10] Hwang, H.Y., Jang, S.H., Jung, W.Y., Choi, Y.H., 2009, "A Study on Vibration Analysis of an Elevation Mechanism for GWLS", KSMTE, 2009 Autumn Conference 159-164.