

工學碩士 學位論文

선박용 나이트비전 시스템의  
페데스틸 구조해석에 대한 연구

*A Study on the Pedestal Structure Analysis  
of the Shipboard Night Vision System*

指導教授 黃勝郁

2008年 2月

韓國海洋大學校 海事産業大學院

電氣·電子·制御工學科

張珍錫

本 論文을 장진석의 工學碩士 學位論文으로 認准함.

위원장 김 기 문 (인)

위 원 황 승 욱 (인)

위 원 이 서 정 (인)

2007 년 12 월 21 일

한국해양대학교 해사산업대학원

# 목 차

Abstract .....	iii
List of Figures .....	v
List of Tables .....	vii
제 1 장 서 론 .....	1
1.1 연구 배경 .....	1
1.2 연구 내용 .....	2
제 2 장 선박의 운동 및 좌표계 변환 .....	4
2.1 선박의 운동 .....	4
2.1.1 좌표계 변환 .....	4
2.1.2 선박의 회전 운동 성분의 2축 변환 .....	6
제 3 장 선박용 동요안정식 NVS의 설계 및 구현 .....	13
3.1 선박용 동요안정식 NVS .....	13
3.2 NVS의 Pedestal 구조 .....	16
3.3 Pedestal의 제어구조 .....	18
제 4 장 Pedestal 구조해석 .....	20
4.1 구조해석의 필요성과 방법 .....	20
4.2 Pedestal 모델링 .....	21

4.2.1 Pedestal의 구조 모델링 .....	22
4.2.2 재료물성치 정의 .....	22
<b>4.3 Nastran 를 이용한 Pedestal 구조해석 .....</b>	<b>25</b>
4.3.1 메쉬(Mesh) 사이즈 설정 .....	25
4.3.2 구조해석 결과 .....	26
4.3.3 전체 변형량 및 등가응력 .....	28
<b>제 5 장 Nastran을 이용한 고유 진동해석 .....</b>	<b>30</b>
5.1 하중을 고려한 구조의 강성 및 강도 해석 .....	30
5.2 외부하중을 고려한 고유진동수 해석 .....	34
5.3 Normal Modes 해석 결과 .....	37
<b>제 6 장 결    론 .....</b>	<b>40</b>
<b>참 고 문 헌 .....</b>	<b>41</b>

# *A Study on the Pedestal Structure Analysis of the Shipboard Night Vision System*

*Jin-Seok Jang*

*Department of Electricity · Electronics · Control Engineering,  
Graduate School, Korea Maritime University*

## **ABSTRACT**

In this thesis, we designed Stabilization Pedestal for ship and analyzed the structure and vibration.

Stabilization Pedestal must be light in order to support the entire weight barking force when a ship needs a brake, centrifugal force when it is turning, given force when it is banking and an impact from the outside or wind

To make pedestal light, the most suitable operations were conducted with analyzing the structure about the Pedestal's receiving load.

A 3D plan is designed by Catia V5 and the stability of structure is examined by an actual product before adapting our study.

But by means of experimentation which is carried by making actual product, problem of a time and cost can be occurred to adapt a rapid current of a modern industry.

We performed analysis to make pedestal light using the Natran (analysis program of structure) which can reduce the cost. So raising an operation efficiency is possible.

Using it as a domestic or international marketing data, we can get a result that is able to give the company many advantages.

What we have to find, which is the best design of Pedestal was accomplished as a result of minimizing the weight and maintaining the hardness.

## List of Figures

Fig. 2.1	6–Degree of freedom motions of ship	4
Fig. 2.2	Displacement of coordinate system	5
Fig. 2.3	Rotation in spherical coordinate system	5
Fig. 2.4	Rotation elements of ship in rectangular coordinate system	6
Fig. 2.5	Rotation in rectangular coordinate system	7
Fig. 2.6	Coordinate transform simulation 1	11
Fig. 2.7	Coordinate transform simulation 2	12
Fig. 3.1	TTM message format of ARPA Radar	13
Fig. 3.2	HDG message format of GYRO	14
Fig. 3.3	GGL message format of GPS	14
Fig. 3.4	The block diagram of Night Vision System	16
Fig. 3.5	The schematic of proposed 2–axes Pedestal	17
Fig. 3.6	Pedestal Control Signal	17
Fig. 3.7	Control block diagram of the pedestal	18
Fig. 3.8	Servo Motor System including Derivation	19
Fig. 4.1	Flowchart of structural analysis	21
Fig. 4.2	2–Axis Stabilized Pedestal designed using Catia	22
Fig. 4.3	Material Properties of Matter Engineering Data	23
Fig. 4.4	2–Axis Pedestal a deal drawing	24
Fig. 4.5	Mesh modelling of Nastran	25
Fig. 4.6	Mesh Data of Solid Model	26
Fig. 4.7	Structural Analysis Modeling	27
Fig. 4.8	Total Deformation	28
Fig. 4.9	Von Mises Stress	29
Fig. 5.1	Mesh Preview	32
Fig. 5.2	Pressure activity condition	32
Fig. 5.5	The variant situation.(scale factor 5.0)	33

Fig. 5.6	The result of an oscillation frequency interpreting of the Pedestal .....	<b>37</b>
Fig. 5.7	Original Oscillation Frequency Interpreting .....	<b>39</b>

## List of Tables

Table 2.2	Coordinate Transformation Process.....	<b>9</b>
Table 4.1	Material properties of Matter Stabilization Pedestal .....	<b>24</b>
Table 4.2	A displacement measurement .....	<b>27</b>

# 제 1 장 서 론

## 1.1 연구 배경

오늘날 지속되는 경제성장은 첨단기술의 발달과 함께 해운의 환경을 끊임없이 변화시키고 있다. 세계 물동량의 98% 이상을 처리하는 선박은 점점 더 대형화·고속화 되고 있다. 이에 따라 좌초, 침몰, 충돌로부터 운항중인 선박의 안전성을 확보하기 위하여 항해용 Night Vision System(NVS)등의 항해 보조 장비들의 선박 내 탑재가 시작되고 있다.

해양이 영토로서의 기능이 점차 중요시되면서, 배타적 경제수역(EEZ) 일대의 어업권의 확보와 해상보안 문제가 세계적인 관심사로 대두되고 있다. 우리나라는 지리적인 특성상 반도에 위치하고 있어, 해상에서 중국, 일본, 북한, 러시아 등과 많은 국제분쟁의 요소를 가지고 있는 실정으로 이에 대비한 불법어로의 효율적 단속 및 국제 분쟁 해결을 위한 감시용 NVS과 같은 해상감시 시스템의 개발 및 적용이 시급한 실정이다.

NVS는 ARPA 레이더로부터 표적 정보, GYRO로부터 자선의 선수 정보, GPS로부터 자선의 위치 정보를 수신하여 표적까지의 상대방위 및 거리를 도출하고, Pedestal이 표적을 지향, 추적하도록 하는 기능을 갖는다. Pedestal에는 주야간 겸용 CCD, IR 카메라 등이 탑재되며, 이러한 센서에 포착된 영상은 전용 모니터에 전송되어 표시되며, 또한 DVR에 기록된다.

선박용 NVS는 크게 항해용 및 해상감시용으로 나눌 수 있다. 항해용은 레이더(Radar)에 포착되지 않는 물체나 근접 해상 상황을 영상으로 관찰하기 위한 장치이며, 해상 감시용은 해상 범죄 행위에 대한 증거물 확보를 위한 장치로서, 고정도 동요안정화(stabilization) 및 표적 추적(target tracking) 기술이 요구된다.

선박용 NVS는 항해 및 감시를 위한 장비 표적을 지속적으로 모니터링하기 위해 빠른

시스템 응답성능과 더불어 해상의 파도, 강한바람 등의 외란에서도 짧은 시간 내에 정상 상태로 돌아오는 외란억제성능이 모두 중요시 되는 시스템이다.

선박에서 사용되는 항해 및 감시용 NVS 같은 지향성 탑재장비는 선박의 운동을 실시간으로 보상하여 항상 표적(Target)을 지향하는 기능이 요구된다. 즉, 롤(Roll), 피치(Pitch), 요(Yaw), 히빙(Heaving), 서징(Surging), 스웨이(Swaying)과 같은 선박의 6자유도운동(6-degree movements)을 실시간으로 보상하기 위한 고정도 동요안정화 기능과 표적 추적 기능을 가지는 Pedestal 제작 및 제어 기술이 요구된다.

선박운동에 대한 동요안정화 방법으로 이전에는 기계적인 구조의 플라이 휠(Fly-wheel)식 관성을 이용하여 수평을 유지하는 수동적 안정화 방식을 사용하였으나, 최근에는 하드웨어 성능과 제어기술의 향상으로 선박의 운동을 계측하여 직접적으로 운동 성분을 보상하는 능동적 안정화 방식을 이용하고 있다.[5-6]

## 1.2 연구 내용

본 논문에서는 방위각 및 고각의 2개의 구동부를 갖는 2축 구조의 Pedestal을 설계 및 제작하였다. Pedestal의 구조 개발 시 적절한 규격에 따라 하중시험 및 구조시험을 통해 구조적 안정성을 제작 전에 평가하였으며, 기본설계를 바탕으로 한 구조적 안정성을 검증뿐만 아니라, 상세 모델링과 구조해석을 통하여 안전성을 평가하였다.

구조해석에 대한 실험 결과, Case 1의 실험에서 Pedestal의 질량은 114.79kg, 변위는 0.00121mm, 응력은 최대 0.231kg으로 실험결과가 나왔으며 또한 Case 2의 경우, 질량은 62.58kg, 변위 량은 0.00431mm, 최대 응력은 0.543kg 으로 실험결과가 나타났다. 응력이나 변위 량을 볼 때, Pedestal 의 질량은 약 60Kg 까지 그리고 Arm의 길이는 50mm 정도 까지 줄일 수 있다고 판단된다.

진동해석 대한 실험 결과를 통해서 Pedestal이 가지는 고유 진동수를 1차에서 10차

까지의 주파수 영역에서 찾아 낼 수 있었다. 기계, 구조물은 고유진동수와 외부에서 가해지는 진동수가 일치하여 공진하면 크게 진동하는데 공진하지 않도록 설계하기 위해서는 해석을 통해 구조물의 고유진동수와 고유진동모드를 구해서 외력 진동수로부터 10 ~ 20%이상 높게 설계해야 된다는 것을 알 수 있었다.

본 논문은 모두 6장으로 구성되며, 각 장에서 수행한 구체적인 연구내용은 다음과 같다.

1장 서론에 이어, 2장에서는 선박의 6 자유도 운동 및 좌표계 변환에 대하여 기술하며, 3장에서는 선박용 동요안정식 NVS의 설계 및 구현에 대하여 논한다.

4장에서는 Pedestal의 기본설계 검증을 위한 구조해석에 대해 설명한다. 본 논문에서는 금속재 및 기타 재료로 제작된 구조에 대해 유한요소 모델을 작성한 과정과 조립된 구성에 대한 구조해석결과를 제시한다.

5장에서는 Nastran을 이용한 고유진동해석에 대해 논한다.

마지막으로 6장에서는 최종적인 결론을 정리한다.

## 제 2 장 선박의 운동 및 좌표계 변환

### 2.1 선박의 운동

#### 2.1.1 좌표계 변환(Coordinate Transformation)

운항중인 선박은 그림 2.1과 같이 6자유도(6-Degree) 운동을 하게 된다. [5] 선박의 운동은 직교 좌표 상에서 회전운동 및 병진운동 성분으로 나눌 수 있으며, 병진 운동은 서어징(Surging), 스웨잉(Swaying) 및 히이빙(Heaving)등 3 성분으로, 회전 운동은 롤링(Rolling), 피칭(Pitching) 및 요잉(Yawing) 성분으로 구성된다.

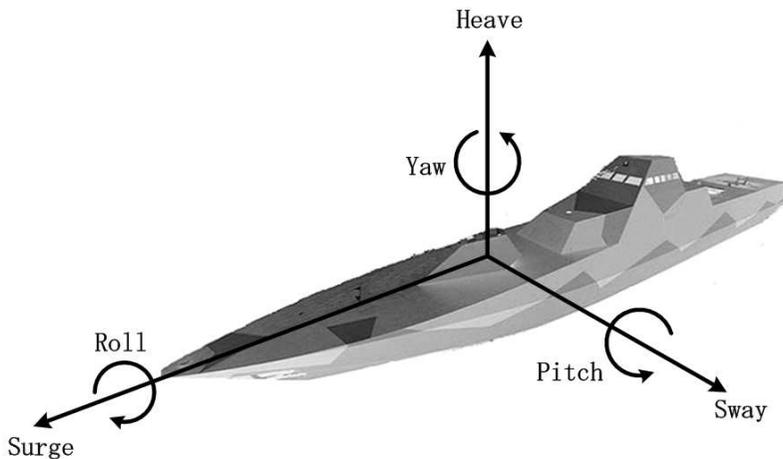


그림 2.1 선박의 6-자유도 운동 성분

Fig. 2.1 6-Degree of freedom motions of ship

선박과 같은 이동체의 움직임은 표적의 위치를 나타내기 위한 좌표계 기준 프레임의 변화를 유발한다. 이동체의 운동에 따른 좌표계 기준 프레임의 변화에는 평행이동과 회

전등이 있다. 그림 2.2와 같이 프레임에 평행하게 이동하는 좌표계 변위(Coordinate Displacement)의 경우, 패럴랙스(Parallax)문제가 유발되며, 그림 2.3 과 같이 방향만이 변하는 좌표계 회전(Coordinate System Rotation)이 일어났을 때, 안정화(Stabilization)의 문제가 야기된다.

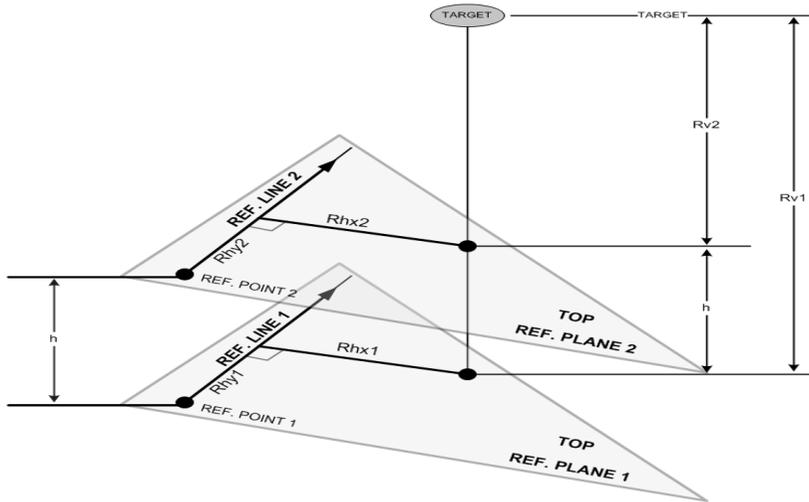


그림 2.2 좌표계의 변위

Fig. 2.2 Displacement of coordinate system

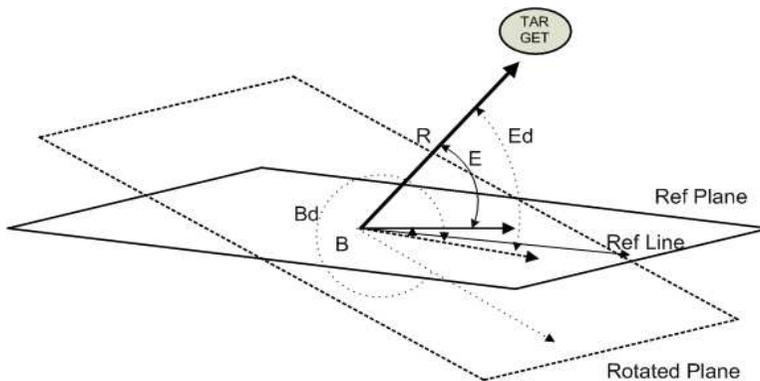


그림 2.3 구면좌표계에서의 회전

Fig. 2.3 Rotation in spherical coordinate system

이동체용 추적 장치에서 이동체의 움직임에 따른 기준 프레임의 변화는 패럴랙스의 안정화를 고려한 좌표계의 변환(Coordinate Transformation) [6] 이 필요하게 된다.

### 2.1.2 선박의 회전운동 성분의 2 축(Azimuth-Elevation) 변환

기준계 0이 회전하여 기준계 1이 되었을 때, 기준계 0에서의 표적의 좌표를  $P_0$ , 기준계 1에서의 표적의 좌표를  $P_1$ 이라 하면  $P_0$  에서  $P_1$ 으로의 변화는 행렬의 곱으로 표현 되어질 수 있다.

이를 회전행렬이라 하고 아래의 식 (2.1)과 같이 나타낼 수 있다. 여기에서  $R_1^0$  은  $P_0$  에서  $P_1$  으로 가기위한 회전행렬이고,  $R_0^1$  은  $P_1$  에서  $P_0$  으로 가기위한 회전행렬이다.

$$\begin{aligned}
 P_1 &= R_1^0 P_0 \\
 P_0 &= R_0^1 P_1 \\
 R_1^0 &= (R_0^1)^{-1}
 \end{aligned}
 \tag{2.1}$$

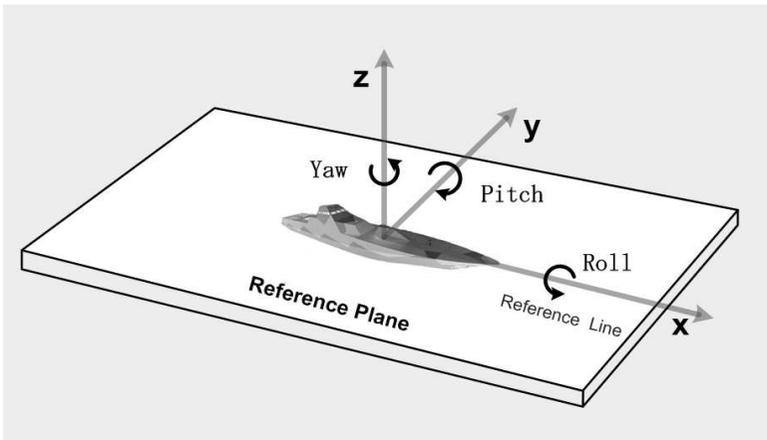


그림 2.4 직각좌표계에서의 선박의 회전성분

Fig. 2.4 Rotation elements of ship in rectangular coordinate system

선박의 회전성분은 그림 2.4과 같이 롤(Roll), 피치(Pitch), 요(Yaw)의 3가지 성분으로 나타낼 수 있다. 여기에서 일반적으로 롤, 피치, 요는 각각의 축을 중심으로 (+)축 연장선에서 바라보았을 때 반시계 방향(Counter Clock Wise)방향으로 회전한 것이 (+)가 된다.

그림 2.5과 같이 직각 좌표계에서 기준선 1이 각도  $\gamma$  만큼 반시계 방향으로 회전하여 기준선 2와 같이 되었을 때, 직각 좌표계에서 표적의  $x, y$  좌표는 식 (2.2)와 같이 나타낼 수 있다.[4]

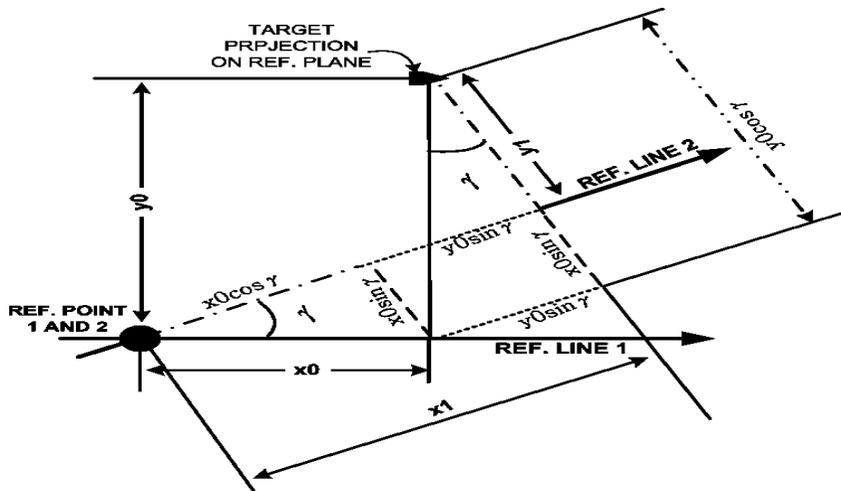


그림 2.5 직각좌표계에서의 회전

Fig. 2.5 Rotation in rectangular coordinate system

$$\begin{aligned} x_1 &= x_0 \cos \gamma + y_0 \sin \gamma \\ y_1 &= -x_0 \sin \gamma + y_0 \cos \gamma \end{aligned} \quad (2.2)$$

위의 식 (2.2)를 행렬형태로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \mathbb{Y} & \sin \mathbb{Y} \\ -\sin \mathbb{Y} & \cos \mathbb{Y} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

이를 3차원으로 확장하면 (z값의 크기는 변화가 없으므로 일정)

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \mathbb{Y} & \sin \mathbb{Y} & 0 \\ -\sin \mathbb{Y} & \cos \mathbb{Y} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} \quad (2.4)$$

가 되고, 이는  $P_1 = R_{yaw}^0 P_0$ 와 같이 나타낼 수 있다. 위와 같은 방법으로 roll, pitch, yaw에 대한 각각의 회전행렬과 그 역행렬을 구해보면 다음과 같다.

$$R_{r1}^0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \Theta & \sin \Theta \\ 0 & -\sin \Theta & \cos \Theta \end{bmatrix} \quad [R_{r0}^1]^{-1} = R_{r0}^1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \Theta & -\sin \Theta \\ 0 & \sin \Theta & \cos \Theta \end{bmatrix} \quad (2.5)$$

$$R_{p1}^0 = \begin{bmatrix} \cos \Theta & 0 & -\sin \Theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \Theta & 0 & \cos \Theta \end{bmatrix} \quad [R_{p0}^1]^{-1} = R_{p0}^1 = \begin{bmatrix} \cos \Theta & 0 & \sin \Theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \Theta & 0 & \cos \Theta \end{bmatrix} \quad (2.6)$$

$$R_{y1}^0 = \begin{bmatrix} \cos \Theta & \sin \Theta & 0 \\ -\sin \Theta & \cos \Theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad [R_{y0}^1]^{-1} = R_{y0}^1 = \begin{bmatrix} \cos \Theta & -\sin \Theta & 0 \\ \sin \Theta & \cos \Theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

일반적으로 회전이 roll-pitch-yaw의 순서로 일어난다고 정의할 때, 전체 회전행렬은 다음과 같이 roll, pitch, yaw의 합성으로 나타낼 수 있다.

$$R_{r-p-y1}^0 = R_{r1}^0 \circ R_{p1}^0 \circ R_{y1}^0 \quad (2.8)$$

$$R_{r-p-y1}^0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos r & \sin r \\ 0 & -\sin r & \cos r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos p & 0 & -\sin p \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin p & 0 & \cos p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos y & \sin y & 0 \\ -\sin y & \cos y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

$$R_{r-\rho-y}^0 = \begin{bmatrix} \cos y \cos \rho & \sin y \cos \rho & \cos y \sin \rho \sin r & \sin y \sin \rho \sin r & \cos y \sin \rho \cos r \\ -\sin y \cos \rho & \cos y \cos \rho & -\sin y \sin \rho \sin r & \cos y \sin \rho \sin r & \sin y \sin \rho \cos r \\ \sin \rho & -\cos \rho \sin r & & & \cos \rho \cos r \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

위의 식을 역행렬로 나타내면 다음과 같다.

$$[R_{r-\rho-y}^0]^{-1} = R_{r-\rho-y}^1 = R_{y^1_0} \circ R_{\rho^1_0} \circ R_{r^1_0} \quad (2.11)$$

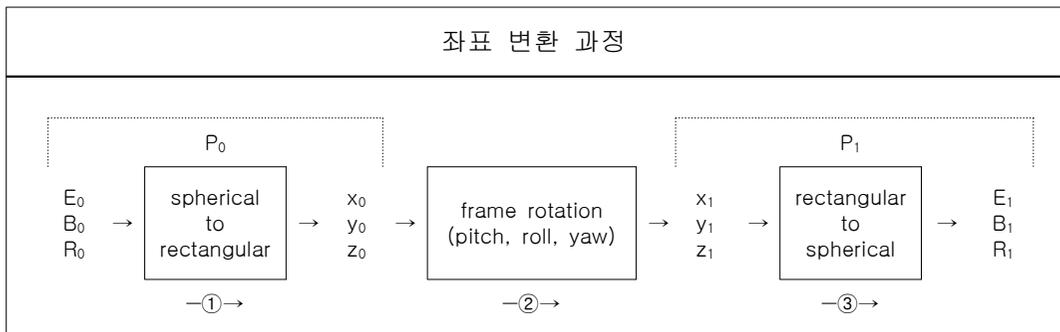
$$R_{r-\rho-y}^1 = \begin{bmatrix} \cos y & -\sin y & 0 \\ \sin y & \cos y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \rho & 0 & \sin \rho \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \rho & 0 & \cos \rho \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos r & -\sin r \\ 0 & \sin r & \cos r \end{bmatrix} \quad (2.12)$$

$$R_{r-\rho-y}^1 = \begin{bmatrix} \cos y \cos \rho & -\sin y \cos \rho \sin r & \sin y \cos \rho \sin r & \cos y \sin \rho \sin r & \sin y \sin \rho \sin r & \cos y \sin \rho \cos r \\ \sin y \cos \rho & \sin y \cos \rho \sin r & \sin y \sin \rho \sin r & -\sin y \sin \rho \sin r & \cos y \sin \rho \cos r \\ -\sin \rho & \cos \rho \sin r & \cos \rho \cos r \end{bmatrix} \quad (2.13)$$

구면 좌표계에서는 roll-pitch-yaw를 계산하기가 까다로우므로 먼저 직교 좌표계로 변환한 후 roll-pitch-yaw를 적용하고 다시 구면 좌표계로 변환한다. 좌표 변환 과정은 표 2.2와 같다.

표 2.2 좌표 변환 과정

Table 2.2 Coordinate Transformation Process



위의 표 2.2에서 ①, ②, ③의 과정은 다음과 같다.

$$\textcircled{1} : \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_0 \cos E_0 \cos B_0 \\ R_0 \cos E_0 \sin B_0 \\ R_0 \sin E_0 \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

$$\textcircled{2} : \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos y \cos \rho & \sin y \cos r + \cos y \sin \rho \sin r & \sin y \sin r - \cos y \sin \rho \cos r \\ -\sin y \cos \rho & \cos y \cos r - \sin y \sin \rho \sin r & \cos y \sin r + \sin y \sin \rho \cos r \\ \sin \rho & -\cos \rho \sin r & \cos \rho \cos r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix} \quad (2.15)$$

$$\therefore \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos y \cos \rho & \sin y \cos r + \cos y \sin \rho \sin r & \sin y \sin r - \cos y \sin \rho \cos r \\ -\sin y \cos \rho & \cos y \cos r - \sin y \sin \rho \sin r & \cos y \sin r + \sin y \sin \rho \cos r \\ \sin \rho & -\cos \rho \sin r & \cos \rho \cos r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_0 \cos E_0 \cos B_0 \\ R_0 \cos E_0 \sin B_0 \\ R_0 \sin E_0 \end{bmatrix} \quad (2.16)$$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = R_0 \begin{bmatrix} \cos y \cos \rho \cos E_0 \cos B_0 + (\sin y \cos r + \cos y \sin \rho \sin r) \cos E_0 \sin B_0 + (\sin y \sin r - \cos y \sin \rho \cos r) \sin E_0 \\ -\sin y \cos \rho \cos E_0 \cos B_0 + (\cos y \cos r - \sin y \sin \rho \sin r) \cos E_0 \sin B_0 + (\cos y \sin r + \sin y \sin \rho \cos r) \sin E_0 \\ \sin \rho \cos E_0 \cos B_0 - \cos \rho \sin r \cos E_0 \sin B_0 + \cos \rho \cos r \sin E_0 \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

$$\textcircled{3} : \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \cos E_1 \cos B_1 \\ R_1 \cos E_1 \sin B_1 \\ R_1 \sin E_1 \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

③ = ② ∘ ① (회전 변환인 경우 R0와 R1은 항상 동일하므로 양변의 R0와 R1을 소거하여 정리)

$$\begin{bmatrix} \cos E_1 \cos B_1 \\ \cos E_1 \sin B_1 \\ \sin E_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos y \cos \rho \cos E_0 \cos B_0 + (\sin y \cos r + \cos y \sin \rho \sin r) \cos E_0 \sin B_0 + (\sin y \sin r - \cos y \sin \rho \cos r) \sin E_0 \\ -\sin y \cos \rho \cos E_0 \cos B_0 + (\cos y \cos r - \sin y \sin \rho \sin r) \cos E_0 \sin B_0 + (\cos y \sin r + \sin y \sin \rho \cos r) \sin E_0 \\ \sin \rho \cos E_0 \cos B_0 - \cos \rho \sin r \cos E_0 \sin B_0 + \cos \rho \cos r \sin E_0 \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

$$E_1 = \arcsin \{ \sin \rho \cos E_0 \cos B_0 - \cos \rho \sin r \cos E_0 \sin B_0 + \cos \rho \cos r \sin E_0 \} \quad (2.20)$$

$$B_1 = \arcsin \left( \sec E_1 \begin{bmatrix} -\sin y \cos \rho \cos E_0 \cos B_0 \\ (\cos y \cos r - \sin y \sin \rho \sin r) \cos E_0 \sin B_0 \\ (\cos y \sin r + \sin y \sin \rho \cos r) \sin E_0 \end{bmatrix} \right) \quad (2.21)$$

$$R_1 = R_0 \quad (2.22)$$

가 된다.

그림 2.6과 2.7는 좌표 변환에 대하여 매트랩(Matlab)을 이용하여 시뮬레이션(Simulation)한 것을 나타낸다. 그림 2.6에서 (a)는 선박의 외부에서 관측자가 보았을 때 표적은 정지한 상태에서 배가 운동하는 모습을 나타낸 것이고, (b)는 선박의 위에서 바라본 모습으로 상대적으로 표적이 움직이는 것처럼 보이며, (c)는 측정된 선박의 움직임을 기준으로 계산된 표적의 좌표를 나타내고, (d)는 계산된 표적의 좌표를 따라 선박위의 관측자의 시선(Line Of Sight)이 표적을 추종하는 것을 보여준다. 그림 2.7는 측정된 롤(Roll), 피치(Pitch), 요(Yaw)의 3축으로부터 좌표변환을 통해 계산된 2축의 방위각(Azimuth)과 고각(Elevation)을 나타내며 아래쪽은 그에 따라 관측자의 시선(Line Of Sight)이 표적을 추종하는 것을 보여주고 있다.

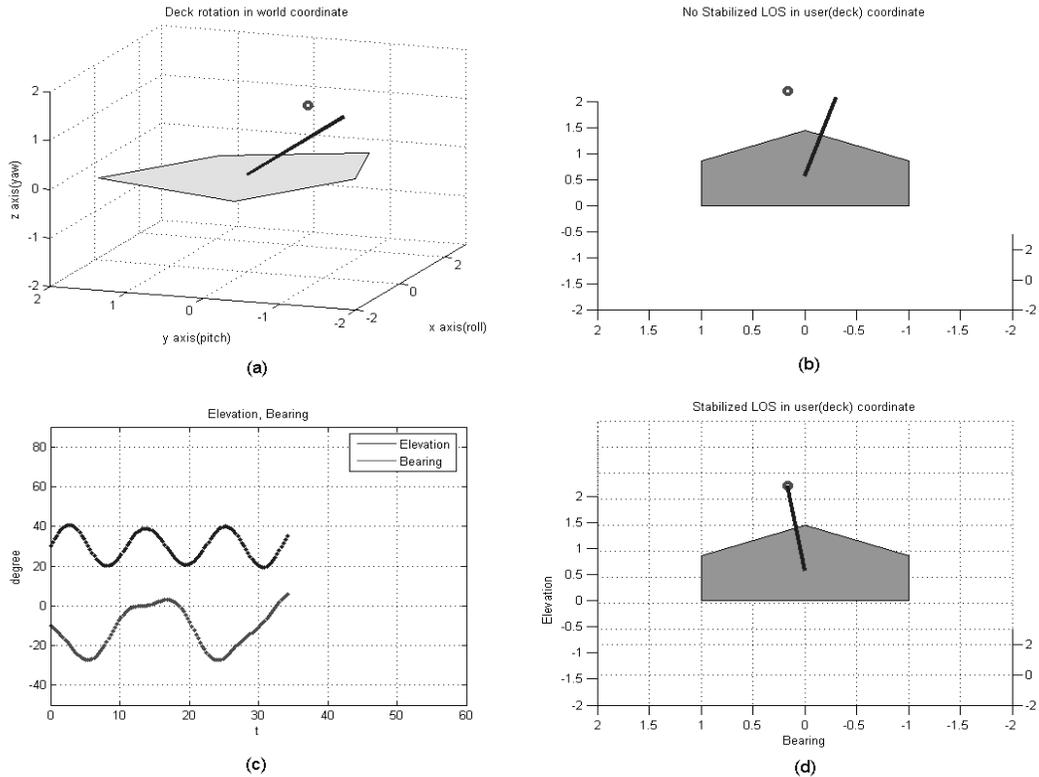


그림 2.6 좌표변환 시뮬레이션 1

Fig. 2.6 Coordinate transform simulation 1

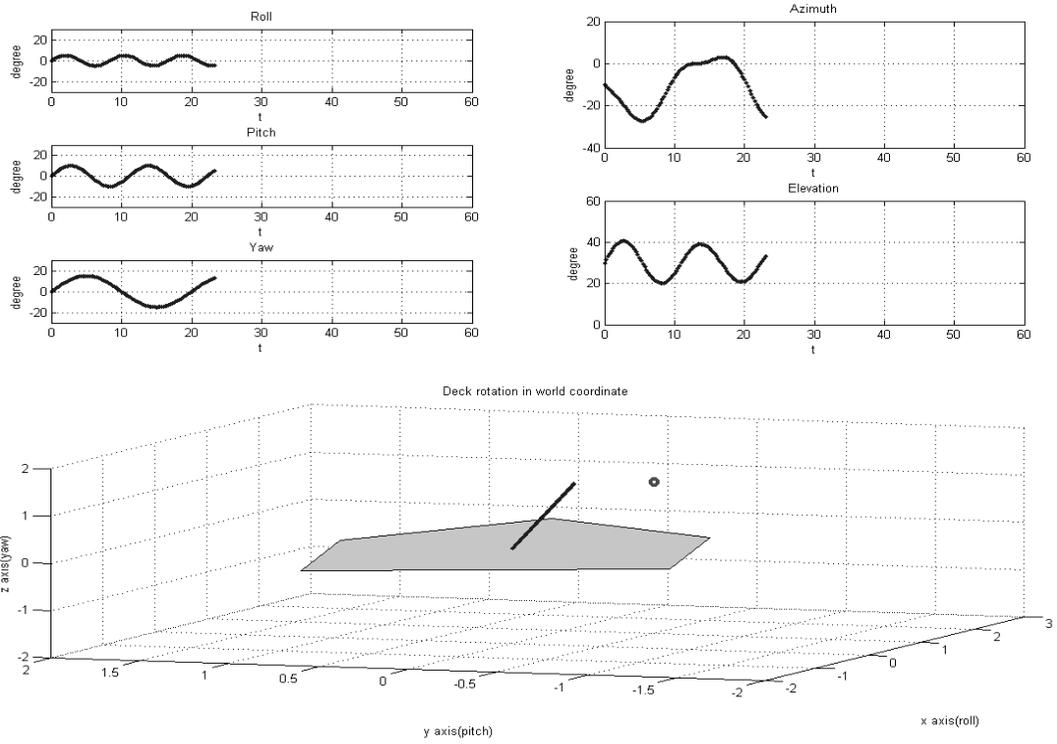


그림 2.7 좌표변환 시뮬레이션 2

Fig. 2.7 Coordinate transform simulation 2

# 제 3 장 선박용 동요안정식 NVS의 설계 및 구현

## 3.1 선박용 동요안정식 NVS

선박용 동요안정식 NVS는 ARPA 레이더로부터 Target 정보, GYRO로부터 자선의 선수 정보, GPS로부터 자선의 위치정보를 받아서, 표적까지의 상대방위 및 거리를 도출하여, CCD, IR 카메라 등이 탑재된 Pedestal이 표적을 지향, 추적하는 기능을 갖는다. 포착된 화면은 전용 모니터 및 ECDIS(Electric Chart Display Information System)에 전송되어 표시되며, DVR에 기록된다.

ARPA 레이더의 표적정보는 아래 그림 3.1과 같이 IMO Resolution 820:1995에 의거한 표준 프로토콜 IEC 61162-1의 TTM(Tracked Target Message) 형태로 전송되는데, 이 메시지에는 표적번호, 자선의 위치 및 방위로부터 표적까지의 거리 및 상대 방위각 등이 포함된다.

IMO Resolution A.820:1995 and MSC 64(67) Annex 4: Data associated with a tracked target relative to own ship's position.

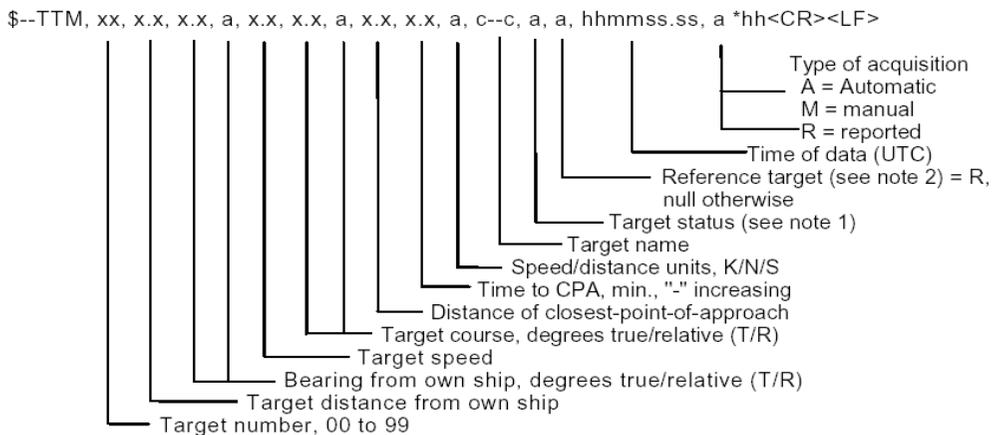


그림 3.1. ARPA 레이더의 TTM 메시지 형태

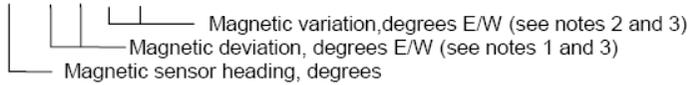
Fig. 3.1 TTM message format of ARPA Radar

IEC 61162-1에 의한 GYRO의 선수정보 및 GPS의 위치정보의 표준 형태는 아래 그림 3.2, 그림 3.3과 같다.

**\*HDG – Heading, deviation and variation**

IMO Resolution A.382 (X). Heading (magnetic sensor reading), which if corrected for deviation will produce magnetic heading, which if offset by variation will provide true heading.

\$--HDG, x.x, x.x, a, x.x, a\*hh<CR><LF>



- NOTE 1 To obtain magnetic heading: add easterly deviation (E) to magnetic sensor reading; subtract westerly deviation (W) from magnetic sensor reading.
- NOTE 2 To obtain true heading: add easterly variation (E) to magnetic heading; subtract westerly variation (W) from magnetic heading.
- NOTE 3 Variation and deviation fields will be null fields if unknown.

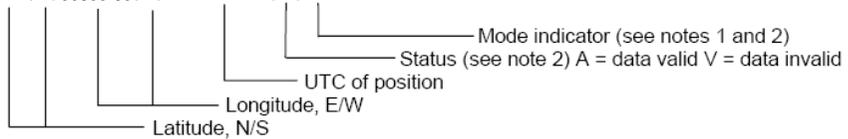
그림 3.2 GYRO의 HDG 메시지 형태

Fig. 3.2 HDG message format of GYRO

**GLL – Geographic position – latitude/longitude**

Latitude and longitude of vessel position, time of position fix and status.

\$-GLL, ll.ll, a, yyyy.yy, a, hhmss.ss, A, a \*hh<CR><LF>



- NOTE 1 Positioning system Mode indicator:  
 A = Autonomous  
 D = Differential  
 E = Estimated (dead reckoning)  
 M = Manual input  
 S = Simulator  
 N = Data not valid
- NOTE 2 The Mode Indicator field supplements the Status field (field 6). The Status field shall be set to V = invalid for all values of Operating Mode except for A = Autonomous and D = Differential. The positioning system Mode indicator and Status fields shall not be null fields.

그림 3.3 GPS의 GGL 메시지 형태

Fig. 3.3 GGL message format of GPS

NVS는 ARPA 레이더, GYRO, GPS로부터 이러한 정보를 수신, 분석하여 Pedestal의 위치로부터 상대 표적까지의 상대 방위 및 거리를 도출하고, 동요안정화 상태에 있는 Pedestal이 표적을 정확히 지향하도록 하여야 한다. NVS의 핵심 장비인 Pedestal은 동요안정화 제어가 가능한 기구적 메커니즘에 IR(Infra Red) 카메라, 주야간 겸용 CCD 카메라, 망원렌즈, 레이저 또는 제논 타입의 서치라이트 등이 탑재되며, 이를 이용하여 안정된 표적 영상을 획득하는 기능을 한다.

본 논문에서는 NVS를 그림 3.4와 같이 구성하였다. MCU(Main Control Unit)는 ARPA 레이더, GYRO, GPS등의 항해 장비로부터 취득한 목표 정보로부터 목표 지향각(방위각 및 고각)을 도출하여 PCU(pedestal Control Unit)로 전송하는 역할을 한다. 또한 유저 인터페이스로부터 Pedestal 제어 정보를 수신하여 PCU에 전송하며, DVR, 모니터, 망원렌즈, CCD등을 직접 제어하는 기능도 갖는다. 레이더에 의한 목표정보는 약 3 초에 한번 정도 수신되는 관계로 목표물의 추종을 레이더에만 의존 할 수 없다. 그 사이의 목표물 추종을 보완할 수 있는 여러 가지 다양한 방법이 적용되어야 한다.

PCU는 Pedestal을 직접 제어하여 Pedestal의 동요안정화 및 목표지향각을 유지시키는 기능을 하는 장비로써, ARM 코어의 프로세서, 모션 콘트롤 IC, OGC(Optical GYRO Sensor) 인터페이스 유니트로 구성된다. PCU는 MCU로부터 정보를 수신하여 Pedestal이 목표 지향각을 유지할 수 있도록 제어 하며, 또한 OGC로부터 실시간으로 계측된 선박의 운동성분을 수신하여 Pedestal의 동요안정화 제어를 수행한다.

OGC로부터 계측된 선박의 회전 운동성분은 PCU에서 축 변환 알고리즘을 거쳐 Pedestal의 축 제어 정보로 변환 되며, 이 때 Pedestal의 축 구조 형태에 따라 다양한 축 변환 알고리즘이 적용될 수 있다. 본 논문에서는 2축 구조의 Pedestal을 설계 제작 하였으며, 이에 관한 축 변환 알고리즘은 2장에서 자세히 기술하였다.

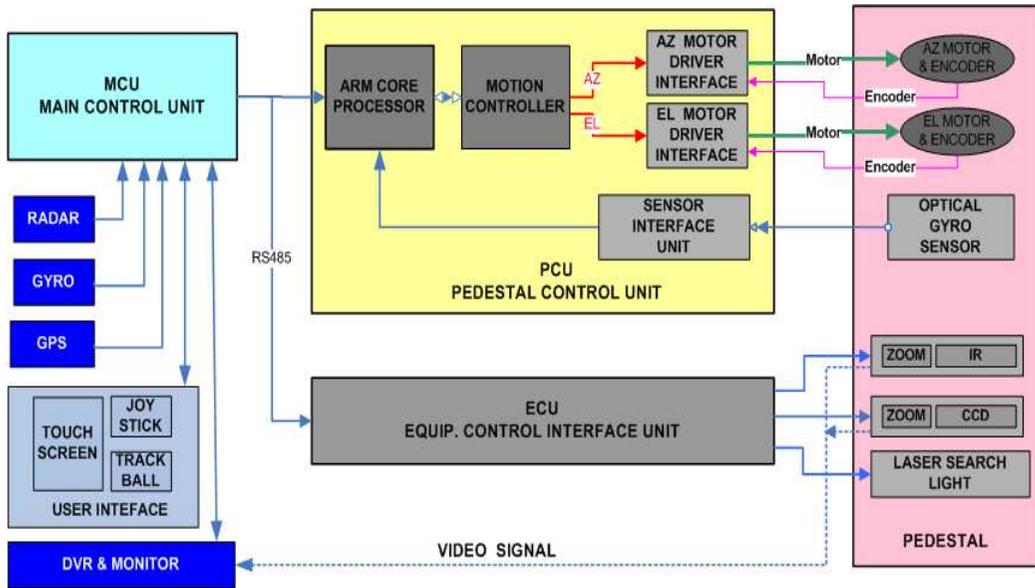


그림 3.4 Night Vision System의 구성도

Fig. 3.4 The block diagram of Night Vision System

### 3.2 NVS의 Pedestal 구조

본 논문에서는 그림 3.5와 같이 방위각 및 고각의 구동부를 갖는 2축 구조의 Pedestal을 설계 및 제작하였으며, 기구부는 Pedestal Frame, 각 축에 부착되는 DD(Direct-Drive) 방식의 서보 모터, 19비트 엔코더 구성된다. 방위각 모터는 Pedestal이 현재 Pedestal의 위치에서 목표물에 대한 방위각(Bearing) 회전에 사용되며 고각 모터는 목표물에 대한 고각 회전에 사용된다.

Pedestal의 방위각과 고각은 3축 광자이로 센서에 의해 계측된 롤링(Rolling), 피칭(Pitching) 및 요잉(Yawing) 회전성분을 축 변환 과정을 통하여 생성한 방위각과 고각 성분에 의해서 제어되며, ARPA 레이더 등에 의하여 도출된 목표물의 지향각이 더해지게 된다.

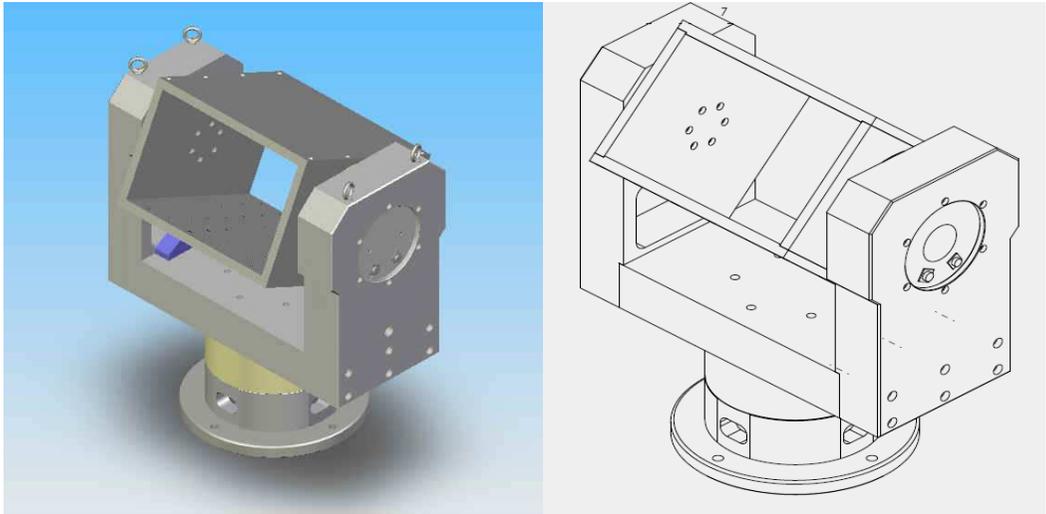


그림 3.5 설계된 2-축 Pedestal 도면

Fig. 3.5 The schematic of proposed 2-axes Pedestal

Pedestal에 탑재되는 장비의 제원 및 인터페이스 및 제어신호는 아래 그림 3.6과 같다. 탑재 장비의 제어 신호는 ECU(Equipments Control Unit)을 통하여 MCU에 연결되며, Pelco-D 프로토콜을 사용하도록 설계하였다.

### Pedestal 탑재 장치 제원

	POWER	SIGNAL	MASS
CAMERA	DC 12V, 1.2A	RS 485 (2), VIDEO SIGNAL (2), DAY/NIGHT (1), MOTION DETECT (1)	0.6 KG
LENSE	DC 12V, 0.5A	NEAR INFRARED SET (2), IRIS, FOCUS, ZOOM CONTROL (12), RS232 (3)	5.2 KG
LASER ILLUMINATOR	DC 12V, 3.5A	RS 232 (3), MOTOR CONTROL, POWER CONTROL	2.1 KG
THERMAL CAMERA	DC 12V, 1.5A	VIDEO SIGNAL (2), RS 422 (2) OR RS 232 (3)	7.7 KG
DD MOTOR	220V 3 PHASE, FG	POWER (3), FG (1)	
ENCODER	DC 5V	SIGNAL (2)	
LIMIT S/W	DC12 V	SIGNAL (2)	

그림 3.6 Pedestal 탑재장치의 제원 및 제어신호

Fig. 3.6 Pedestal Control Signal

### 3.3 Pedestal의 제어 구조

선박용 동요안정화 시스템은 그림 3.7과 같은 제어과정을 수행한다. 실제 제작된 Pedestal은 2축 구조로 각 축은 DD(Direct Drive) 서보 모터와 20 비트 엔코더 그리고 모션 센싱 유닛인 광자이로 센서로 구성된다.

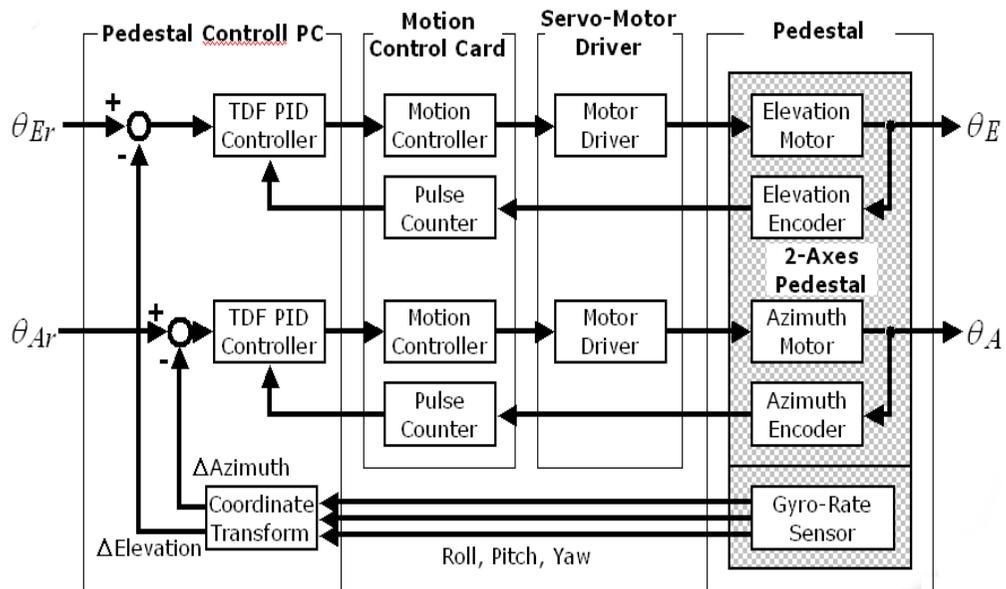


그림 3.7 Pedestal의 제어 블록도

Fig. 3.7 Control block diagram of the pedestal

광자이로 센서는 KVH사 DSP-4000으로 이 광자이로 센서는 선박의 3축 회전운동 성분인 롤링(Rolling), 피칭(Pitching), 요잉(Yawing)의 회전 운동 성분을 검출 하여 Pedestal 컨트롤 유닛으로 전달한다. 검출된 회전운동성분은 좌표계 변환(Coordinate Transform)과정을 거치게 된다. 이로써 pedestal의 제어 성분이 고각과 방위각 성분으로 변환되며, 기존의 지향각(고각과 방위각)에 변환된 보상치가 더해져서 TDF PID controller로 전달하게 된다.

광자이로 센서 인터페이스는 Xilinx사의 FPGA Spartan3를 이용하여 축 단위로 검출된 데이터를 묶어서 단일 채널로 CPU의 시리얼 포트에 송신하도록 구현하였다. 내부에 115.2kbps의 UART를 포함시켰으며, KVH 센서 데이터 수신부와 UART 사이에 16 바이트 크기의 FIFO(First In First Out) 버퍼를 배치하였다.

TDF PID Controller는 Pedestal부의 엔코더 값과 메인 컨트롤러에서 전달된 보상치를 모션 컨트롤 카드에 전달하고 모션 컨트롤 카드는 그림 3.8과 같은 각도 차원의 입력을 모터 드라이버에 전달한다. 이는 Pedestal의 각축을 구동하는 제어 입력으로 쓰이게 된다.

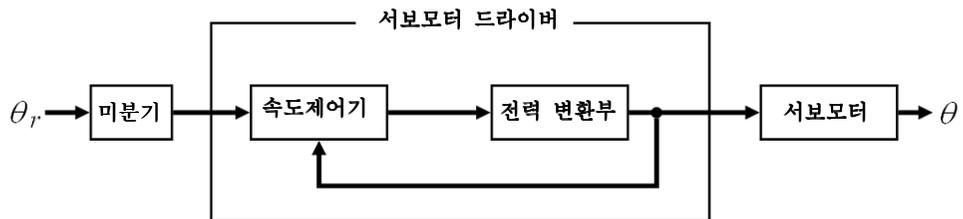


그림 3.8 미분기 포함 서보모터시스템 block diagram

Fig. 3.8 Servo Motor System including Derivation

이와 같은 일련의 과정을 반복적으로 수행함으로써, Pedestal의 동요안정화 제어가 이루어진다.

## 제 4 장 *Pedestal* 구조 해석

### 4.1 구조해석의 필요성과 방법

구조해석이란 복잡한 물리적인 현상을 특정한 설계 평가 기준들 즉, 가속도, 속도, 변위, 온도, 응력(stress), 변형률(strain), 진동수(frequency), 모드(mode), PSD(Power Spectral Density) 등을 기준으로 분류하여 산출하는 것이다.

구조물 해석에 있어서, 하중, 변위(변형), 변형률, 응력에 대한 상관관계가 중요한 사항이다. 하중이 작용하면 미세하지만 기계나 구조물은 변형을 한다. 이때의 기계나 구조물의 각 점의 이동 량이 변위이며, 전체 구조물에서 바라보면 변형이다. 전체가 동일하게 변하면 변위 량은 크지만 변형은 없다. 각 위치에 관한 변형의 크기를 나타내는 것이 변형률이다. 이 변형률에 대하여 재료 내부에 생기는 저항력, 즉 하중에 대응하는 재료 내부의 저항력이 응력이다.

실제 구조 해석을 수행 하는데 있어서 가장 중요한 요소는 구조물을 정확하게 모델링 하는 능력이다. 자연계의 모든 물체는 비선형성(재료의 비선형성, 대 변형, 기계적인 접촉 문제 등)을 항상 가지고 있기 때문에 이를 충실히 반영할 수 있어야 한다.

유한 요소법에서 양질의 메쉬(mesh)를 생성하는 것이 중요한 과제이다. 정보가 요구 되는 곳을 상세하게 나타내기 위하여 아주 미세한 메쉬가 필요하다. 그러나 너무 미세 하면 계산하는데 많은 시간이 소요된다. 메쉬는 알맞은 횡축비(aspect ratios)와 유연한 비틀림(distortion)을 갖는 well-shaped element가 바람직하다.

유한 요소법을 이용한 구조 해석과정은 그림 4.1과 같이 나타낼 수 있다.

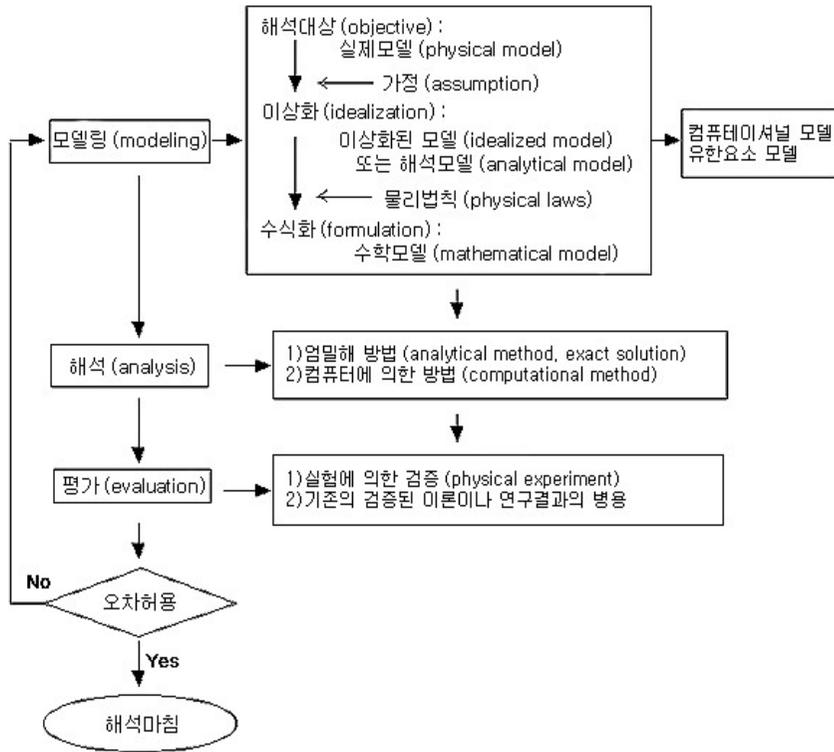


그림 4.1 구조 해석 순서도

Fig 4.1 Flowchart of structural analysis

## 4.2 Pedestal 모델링

유한요소 해석의 작업순서는 구조물의 모델링 → 재료물성치 정의 → 유한요소 모델링 → 하중조건, 구속조건 정의 → 해석 → 결과 검토 순으로 진행된다. 본 논문에서 유한요소 모델링은 Catia V5를 이용하였고 해석은 Nastran 프로그램을 이용하였다. 그림 4.2는 Catia를 이용해 설계된 2-Axis 동요안정화 Pedestal 그림이다.

### 4.2.1 Pedestal의 구조 모델링

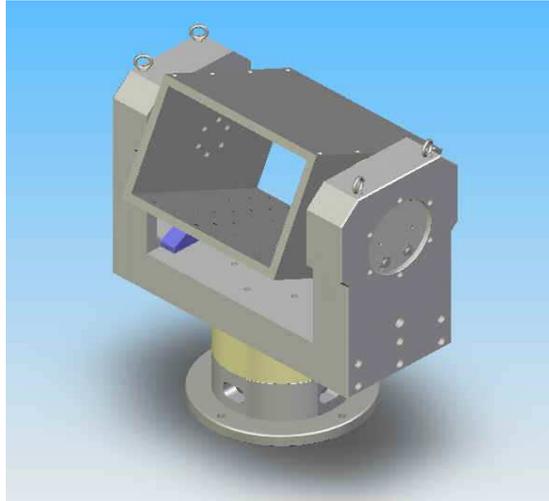


그림 4.2 Catia를 이용해 설계된 2-Axis 동요안정화 Pedestal

Fig 4.2 2-Axis Stabilized Pedestal designed using Catia

### 4.2.2 재료 물성치 정의

Pedestal의 설계 단계에서 전체 중량 및 내구성 등을 고려하여, 주된 재료는 알루미늄 합금을 우선 고려하였으며, 구조가 분리가 되도록 하여 다양한 재료로 채택하여 실험할 수 있도록 하였다. 수직 지지대와 받침대는 알루미늄 합금으로 하부 베이스는 스테인레스 스틸 정하고 실험하였다.

그림 4.3은 알루미늄 합금에 대한 재료 물성치를 나타낸 그림이고, Pedestal의 각 부품은 그림 4.4의 분해도에 나타내었으며, 각 부품에 적용된 소재의 엔지니어링 데이터 값을 표 4.1 나타내었다. 이러한 조건하에서 Pedestal이 받는 하중에 대하여 구조해석을 수행하고 Pedestal의 경량화를 위한 최적화 해석을 수행하였다.

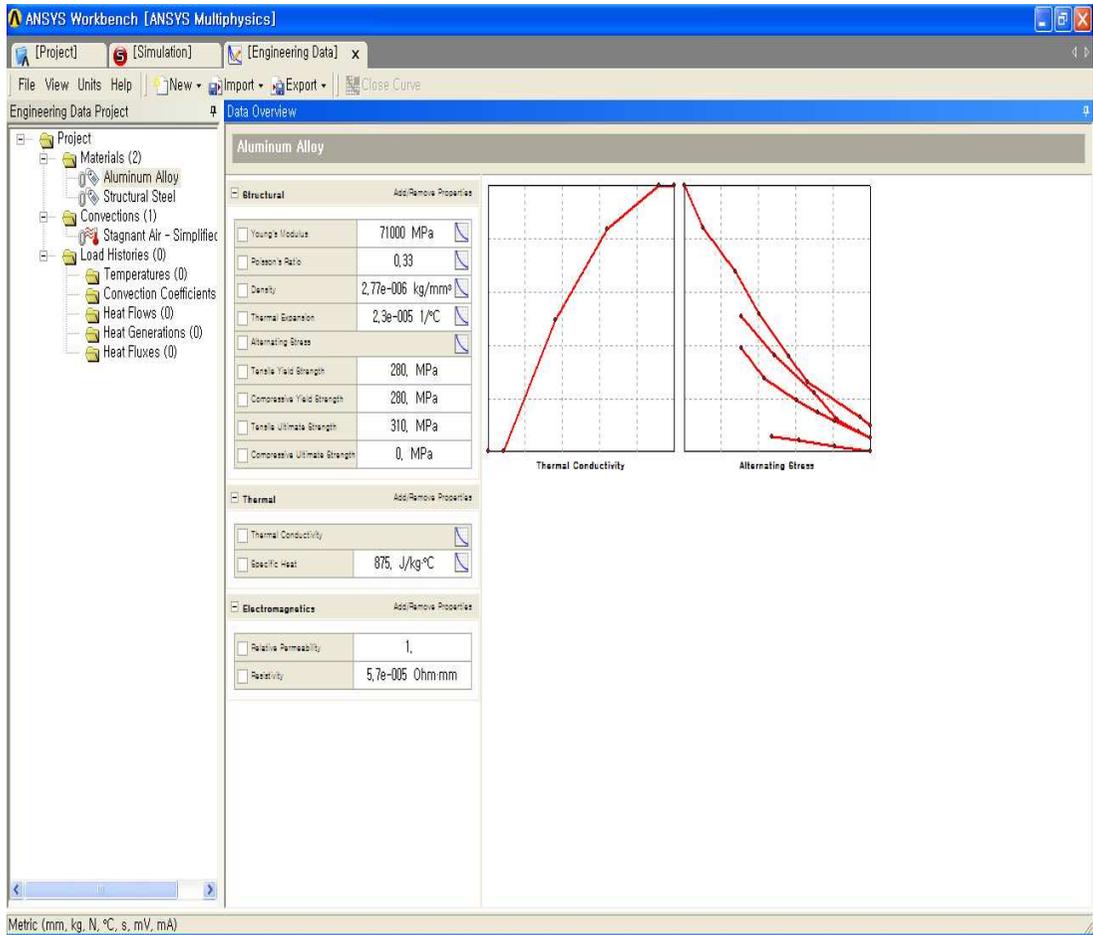


그림 4.3 엔지니어링 데이터의 재료 물성치

Fig 4.3 Material Properties of Matter Engineering Data

Pedestal에 적용된 각 소재의 인장강도는 다음과 같다. 스테인레스 스틸의 인장강도는 1158 MPa, STS304가 515MPa, 그리고, 알루미늄인 AL6061-T6이 455 MPa이다. 영계수(Young's Modulus)= 275790.280 kPa, 푸아송비=0.33, 밀도= 2.71 g/cm이다.



### 4.3 Nastran을 이용한 Pedestal 구조해석

동요 안정화 Pedestal은 모터의 구동력 또는 제동력, 선박 선회시의 원심력 및 기울 때에 작용하는 힘과 외부의 충격 등을 감당할 수 있어야 한다. 그러나 구동 축에 부착된 부하의 관성모멘트가 커질 경우 작은 외란에도 자체 공진주파수에 의해 진동의 가능성이 높다. 안정된 외란억제성능을 보장하기 위해 서보모터 드라이버 내부의 제어기 게인을 높이는데 한계가 있으며, 이로 인해 서보모터의 응답이 무척 느려지는 단점이 있다. 원활한 외란억제성능과 신속한 설정치 추종성능을 동시에 향상시키기 위하여 관성 모멘트 및 구조물의 무게를 가능한 줄여야 한다.

#### 4.3.1 메쉬(Mesh) 사이즈 설정

Catia V5로 설계한 Pedestal 도면을 Nastran으로 읽어 들여 그림 3.9과 같이 메쉬 작업을 하였다. Pedestal 모델에서 관심 영역인 Arm의 메쉬(Mesh) 사이즈를 0.25 in 로 설정하였으며, 구조상 취약부분인 홀이나 결합부 등은 기존 메쉬보다 더 조밀한 메쉬를 생성하였다.

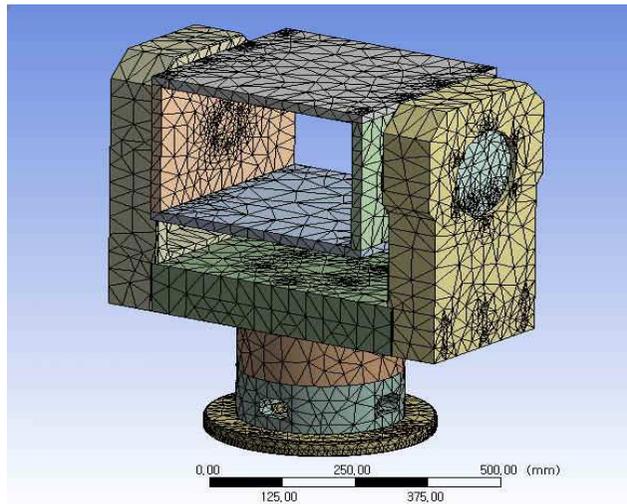


그림 4.5 Nastran을 이용한 Mesh 모델링

Fig 4.5 Mesh modelling of Nastran

Details of "Mesh"	
<b>Defaults</b>	
Global Control	Basic
Relevance	0
<b>Statistics</b>	
Nodes	215087
Elements	129926

그림 4.6 Solid 모델을 Mesh한 결과값 (절점과 요소 생성)

Fig 4.6 Mesh Data of Solid Model

메쉬는 솔리드 모델을 절점과 요소로 설정해주는 작업이다. 메쉬의 구성은 보다 정확한 결과를 얻는데 있어서 매우 중요한 요소이며, 메쉬 구성이 잘못되면 정확한 결과를 얻을 수 없다. 분석 결과의 정확성은 요소들의 분포와 크기에 의존하며 미세한 격자는 실제 결과와 비슷한 해를 구할수 있으나 Data의 저장용량이 증가한다. Nastran는 모델의 형상을 자동 인식하여 최적화된 메쉬를 구성해 준다.

### 4.3.2 구조해석 결과

Nastran를 이용하여 Pedestal의 경량화를 위해 최적화 해석을 수행했으며, 최적화 해석의 목적은 무게를 최소화시키면서 강성을 유지 할 수 있는 최적의 설계를 찾는 것이다. 모델의 해석 과정에서 등가응력의 최대 값이 재료의 항복 강도보다 작으면 이 모델은 하중조건에 대해 안전하다고 볼 수 있다.

본 논문에서는 Pedestal 무게를 달리하여 그림 4.7과 같이 2 가지로 설계하여 이에 대한 구조 해석을 수행하였으며, 해석 결과는 표 4.2와 같다. 사용된 재료는 Aluminum 6061 Annealed Wrought이며, 최대 하중은 60kg로 설정하였다.

표 4.2 변위 량 측정

Table 4.2 A displacement measurement

	질량	Total Translation (변위량)	Von Mises Stress (응력)	Arm 두께
Case 1	114.79 kg	0.00121mm	최대 0.231kg	100mm
Case 2	62.58 kg	0.00431mm	최대 0.453kg	50mm

Case 1의 실험 결과에서 Pedestal의 질량은 114.79kg, 변위는 0.00121mm이며, 응력은 최대 0.231kg이다. 또한 Case 2의 경우, 질량은 62.58kg, 변위 량은 0.00431mm이며, 최대 응력은 0.543kg 이다. 응력이나, 변위 량을 볼 때, Pedestal 의 질량은 약 60Kg 까지 그리고 Arm의 길이는 50mm 정도 까지 줄일 수 있다고 판단된다.

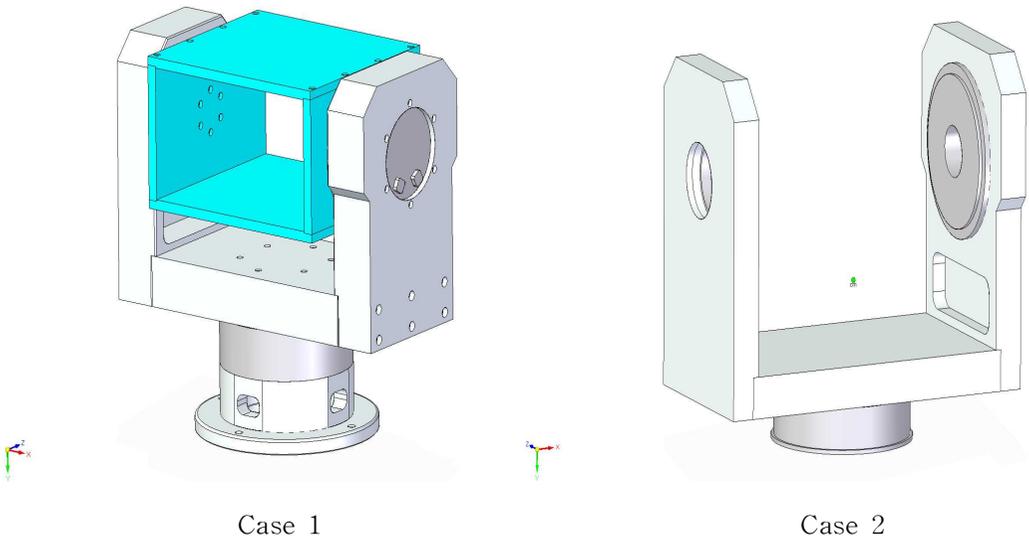
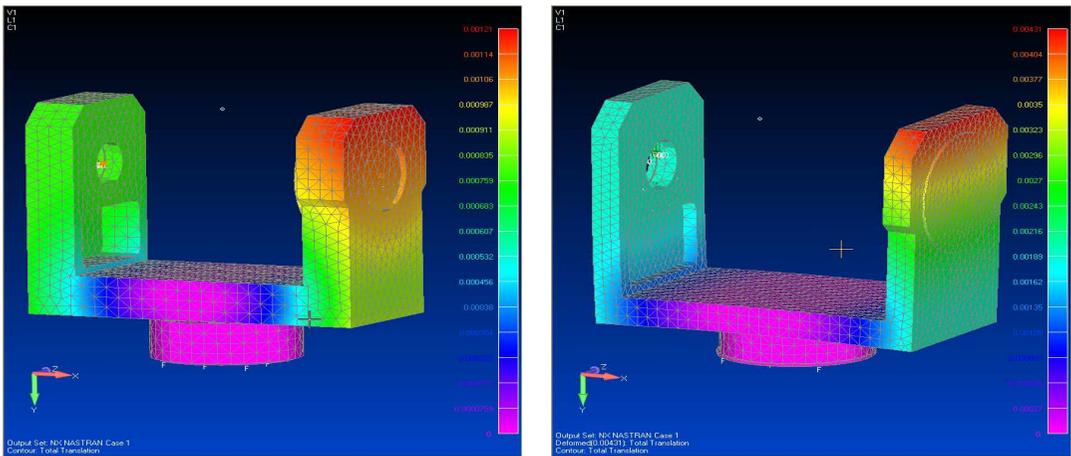


그림 4.7 구조 해석 모델링  
Fig 4.7 Structural Analysis Modeling

### 4.3.3 전체 변형량 및 등가응력

전체 변형량은 구조물이 힘을 받아 원래 상태에서 변형된 값을 각 방향별 변형량을 벡터적으로 합한 값으로 Case 1의 실험 결과에서 0.00121mm로 나타났으며 또한 Case 2의 실험결과 0.00431mm로 나타났다.

그림 4.8은 전체 변형량 결과를 그래픽으로 표시하였다.



Case 1 : 0.00121mm

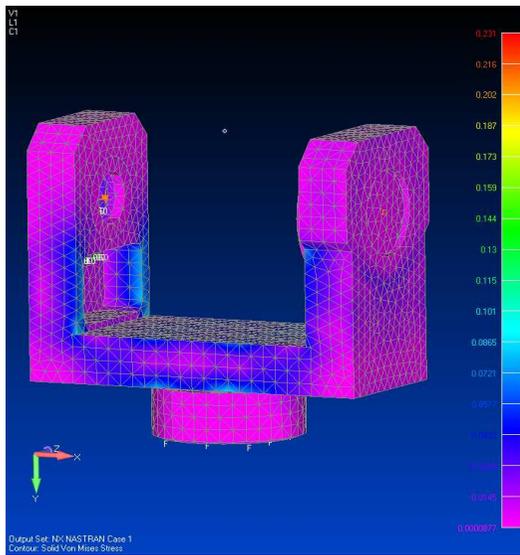
Case 2 : 0.00431mm

그림 4.8 전체 변형량

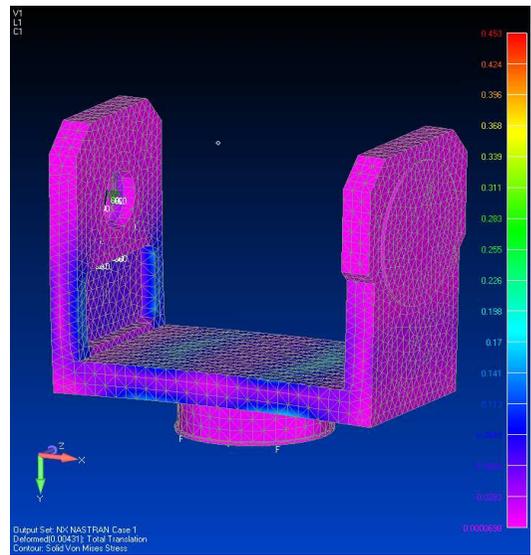
Fig 4.8 Total Deformation

등가응력은 몇 번의 시험적인 구조 해석을 해본 결과 경우에 따라 다르지만 변형률은 하중을 수배로 갑자기 증가시키지 않는 한 하중을 2배 또는 3배 이상 올린다고 해서 거기에 비례하여 증가하는 것이 아니라 탄성 한도에 다다르면 더 이상 변위는 증가하지 않고 Von-Mises응력 (등가응력- 등가응력의 최대값이 재료의 항복강도 보다 작으면 그 모델은 하중조건에 안전하다고 판단, 반대로 등가응력이 항복강도보다 크면 소성 변형)이 일어나게 됨을 알수 있었다.

그림 4.9는 등가응력(Von Mises Stress)결과를 그래픽으로 표시하였다.



Case1 : 최대 0.231kg



Case2 : 최대 0.453kg

그림 4.9 등가 응력

Fig 4.9 Von Mises Stress

## 제 5 장 Nastran을 이용한 고유진동해석

### 5.1 하중을 고려한 구조의 강성 및 강도해석

진동해석에 앞서 부하 하중 즉 상단 부 단위 압력에 대한 구조물의 강성 및 강도 해석을 수행하였다. 구조물의 상단부에 하중이 인가되거나, 구조물이 일정 시스템에 연계되어 있는 경우, 해당 구조물은 가속도 및 속도의 동적인 환경 하에 놓이게 되며, 연결부에서 구조적인 강도 및 강성 해석이 수행되어야 한다.

하중을 고려한 구조 해석에서 사용되는 일반적인 지배 방정식은 다음식 (5-1)과 같다.

$$[M]\{\ddot{u}(t)\} + [B]\{\dot{u}(t)\} + [K]\{u(t)\} = \{P(t)\} \quad (5-1)$$

여기서  $[M]$ 은 질량 행렬,  $[B]$ 는 감쇠 행렬,  $[K]$ 는 강성 행렬이며,  $\{P(t)\}$ 는 하중 벡터이다.

상기의 방정식은 관성력, 감쇠력, 비선형성, 그리고 시간에 따른 작용 외력이 고려된 방정식이다. 그러나 선형 정적 방정식에서 하중 이 시간에 따라 변하지 않고 재료의물성치가 일정한 것으로 가정하기 때문에 관성력, 감쇠력, 비선형성이 고려되지 않는다.

$$[K]\{u\} = \{P\} \quad (5-2)$$

선형 정적해석을 위한 가정은 다음과 같다.

(1) Pedestal 재료는 내부에 틈이나 공간을 가지지 않는 연속체로써 응력은 변형률과 비례하며 항복점을 초과하지 않는다.

(2) 미소한 변위

미소의 변위에 대한 가정은 선형 빔(beam), 판(plate), 셸(shell), 그리고 고체(solid) 거동에 대한 지배 방정식을 공식화하는데 사용된다. 이 가정은 판 두께의 20 %내 그리고 작은 전장(span)의 길이에 2 %내의 변위를 가지는 것이다. 대 변형은 비선형해석방법을 필요로 한다.

(3) 정적 평형상태에 있는 구조물의 관성 영향이 동반되는 동적 효과(dynamic effect)를 유발시키지 않을 정도의 완만한 하중 작용이 요구된다.

그에 대하여 기본적인 명세서(specification)을 알고 있어야 되나, 그 명세서(specification)대신 상기에서 기술한 경계조건에 대하여 단위 압력 ( $1.0 \text{ mN/mm}^2$ )을 작용하여 그 특성만을 파악 하였으며, 선형영역에서는 스케일 팩터(scale factor)로써 하중을 곱해주면 대략적인 특성은 파악된다.

지금까지 모달 해석을 하는데 있어서 모달 해석 설정과 물성치 입력, 구속조건 설정하였다. 여기서 Pedestal 요소 망의 생성여부를 확인해야 한다.

설계된 Pedestal에 대하여 요소 망 해석을 수행한 결과는 그림 5.3 같으며, 생성된 Node 수는 215,087이고 Elements 수는 129,926 이다. 그림 5.4는 Pedestal에 60Kg의 하중이 작용할 때의 단위 압력 분포를 나타낸 것이다. 그림 5.5는 해석 결과 구조물의 변형을 Scale factor 5.0으로 확대하여 나타낸 것이다.

Pedestal의 상단부에 60Kg의 하중이 인가된 경우, 구조물의 변형 해석을 위한 선형 정적해석을 수행한 결과, 응력분포가 최소  $9.43\text{E}-0.3 \text{ mN/mm}^2$ 이면 안정한 상태이며 최대  $1.98\text{E}+0.2 \text{ mN/mm}^2$  이면 구조물 변형이 발생 된다는 것을 알 수 있었다.

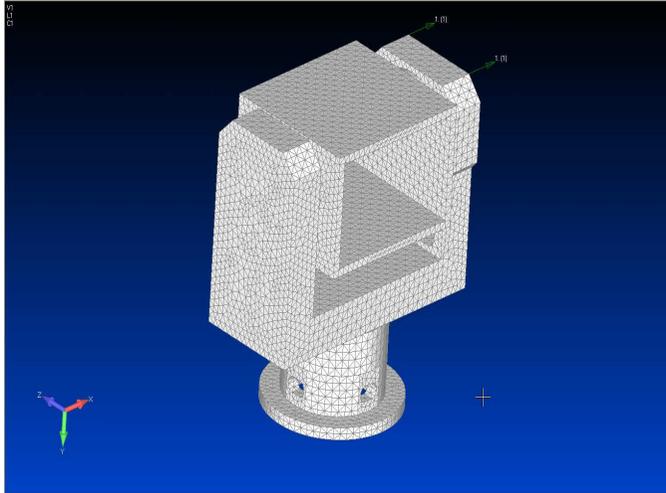


그림 5.1 요소망 미리보기

Fig 5.1 Mesh Preview

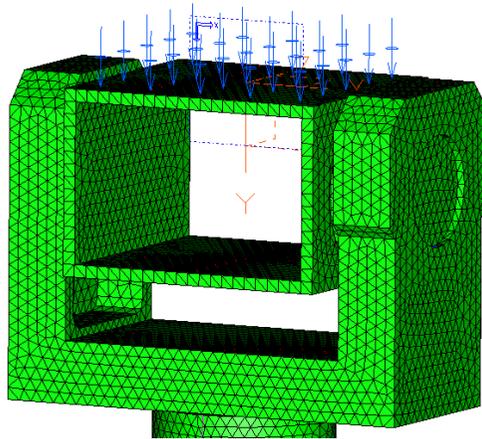


그림 5.2 상단부 압력작용 조건

Fig 5.2 Pressure activity condition

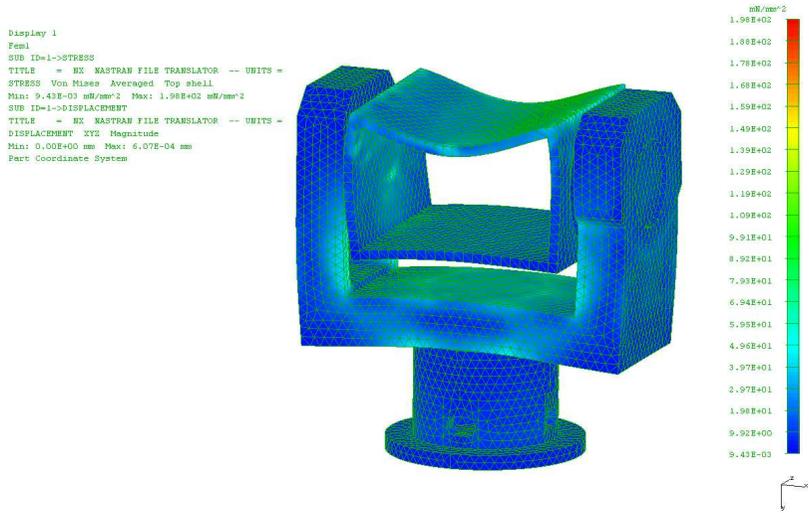


그림 5.3 변형상태(실제 모델대비 scale factor 5.0)와 응력분포  
 Fig 5.3 The variant situation.(scale factor 5.0)

## 5.2 외부 하중을 고려한 고유진동수 해석

고유 진동해석은 구조물의 기본 특성인 고유 진동수와 고유 변형을 검토하는 해석으로 기본적인 지배 방정식의 형태는 다음과 같다.

$$[M]\{\ddot{u}\} + [K]\{u\} = 0 \quad (5-3)$$

여기서,  $[M]$ 은 질량 행렬,  $[K]$ 는 강성 행렬이다.

상기의 방정식을 풀기 위하여  $\{u\} = \{\phi\} \sin \omega t$ 로 가정하고 1 차와 2 차 도함수를 구하여 지배 방정식에 대입하여 정리하면 다음과 같다.

$$-\omega^2 [M]\{\phi\} \sin \omega t + [K]\{\phi\} \sin \omega t = 0 \quad (5-4)$$

$$([K] - \omega^2 [M])\{\phi\} = 0 \quad (5-5)$$

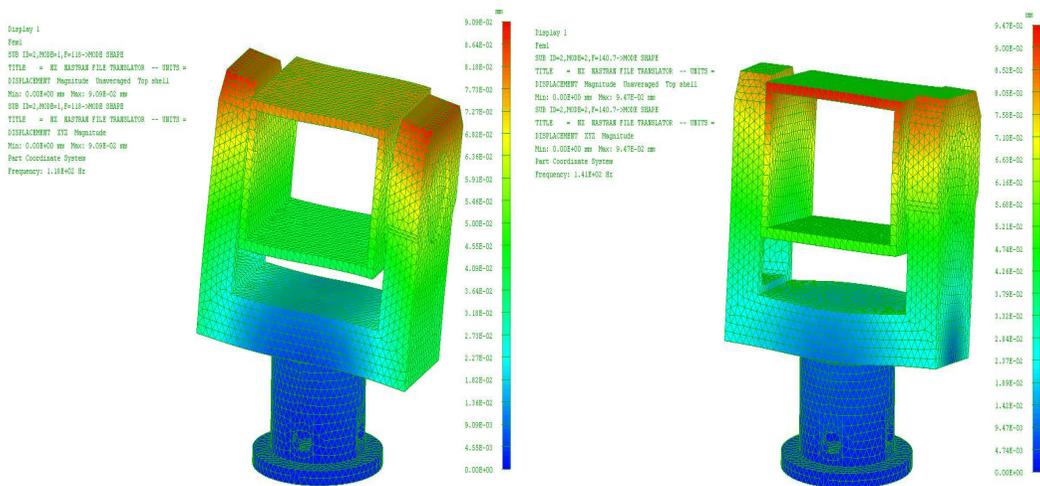
$\{\phi\} = 0$ 이면 trivial solution이기에 물리적으로는  $\det([K] - \omega^2 [M]) = 0$  이어야 한다.  $\lambda = \omega^2$ 로 설정하면  $\det([K] - \lambda [M]) = 0$ 는 고유치 문제가 된다. 상기로부터 고유 진동 해석은 고유치(eigenvalue)  $\lambda$ 와 고유 벡터(eigenvector)  $\{\phi\}$ 를 구하는 것이다. 고유 진동수는  $f = \omega / 2\pi$ 로 정의되며( $f$ : cyclic natural frequency,  $\omega$ : circular natural frequency) 계산된 고유 벡터는 상호 직교성(orthogonality)을 가지고 있고 구조물이 진동할 때, 주어진 시간 내에서 모드형(mode shape)은 고유 벡터의 선형 중첩으로 표현된다. 모드의 직교성은 한 모드가 다른 모드에 의하여 영향을 받지 않는 것을 나타낸다. 만약 구조물이 완전히 구속되어있지 않다면 강체 모드(rigid mode, stress-free mode)가 나타나며, 수학적으로 고유 진동수가 0 Hz 또는 거의 0 Hz에 가까운 진동수를 가진다. 고유 벡터는 천이 응답 해석이나 주파수 응답 해석에 사용된다.

Pedestal의 고유 진동 주파수가 얼마인지 확인하여 공진을 미연에 방지하고자 진동수 해석을 수행하였다. 해석타입은 “Structural Frequency“로 적용하고 모드 개수는 8개로 지정하여 8차까지의 고유 진동주파수를 측정하였으며, 고유진동수 해석 결과는 다음과 그림 5.6과 같이 확인할 수 있었다. 이 때 구속 조건은 바닥이 고정된 상태이고, 하중은 최대 60Kg로 설정하였다.

고유 진동수 해석을 통하여 1차에서 8차까지 Pedestal의 고유진동 주파수를 구하였으며, Pedestal의 고유모드 주파수를 확인하였다.

고유모드 추출법은 Lanczos method를 이용하여 해석을 수행하였다. 그림 5.6에서 나타난 고유 모드는 구조물의 공진주파수 상에서 나타나는 변형모드로서 동적 하중이 모드별 주파수대로 작용될 때, 각 모드별 변형크기에 Scale factor값을 곱하여 나타내었다. 각 모드 별 주파수대는 동적 강성을 나타낸다.

동적 강성은 일정 동적 하중의 주파수 영역을 파악하여 하기 위해 다음과 같은 해석을 통하여 그 영역에 각 모드의 주파수가 포함되지 않도록 설계하면 된다. 실험 결과 118Hz 이상이면 변형이 발생이 한다는 것을 알 수 있었다.



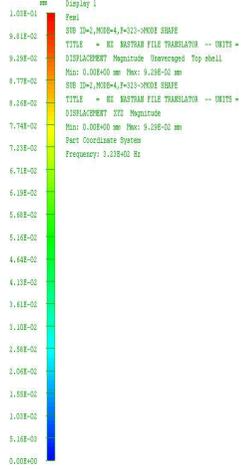
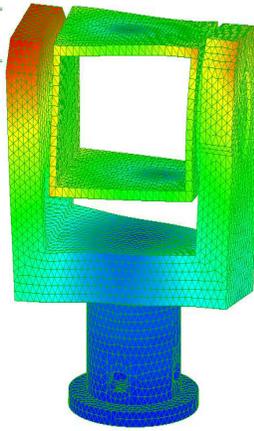
1차 Mode = 118 Hz

2차 Mode = 140 Hz

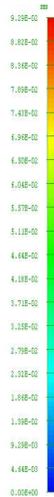
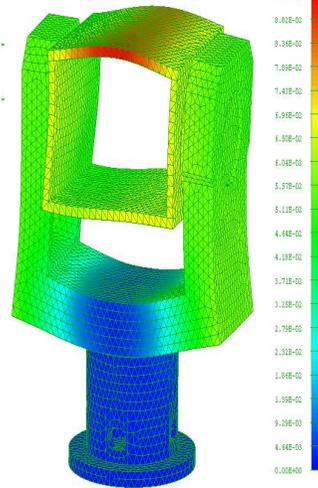
```

Display 1
Fem1
SUB ID=1,MODE=1,PO=211.5-MODE SHAPE
TITLE = EE MATHLAB FILE TRANSLATOR -- UNITS =
DISPLACEMENT Magnitude Unwarped Top shell
Max: 0.008400 mm Max: 1.018E-01 mm
SUB ID=1,MODE=1,PO=211.5-MODE SHAPE
TITLE = EE MATHLAB FILE TRANSLATOR -- UNITS =
DISPLACEMENT XYZ Magnitude
Max: 0.008400 mm Max: 1.018E-01 mm
Part Coordinate System
Frequency: 1.118400 Hz

```



3차 Mode = 221.5 Hz

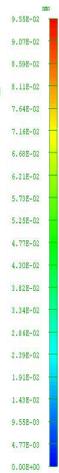
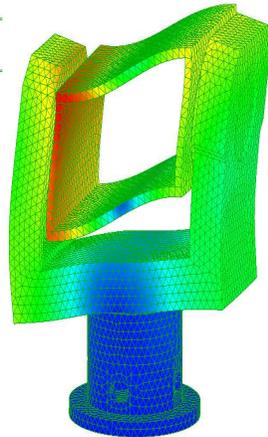


4차 Mode = 323 Hz

```

Display 1
Fem1
SUB ID=1,MODE=5,PO=365.3-MODE SHAPE
TITLE = EE MATHLAB FILE TRANSLATOR -- UNITS =
DISPLACEMENT Magnitude Unwarped Top shell
Max: 0.008400 mm Max: 9.55E-02 mm
SUB ID=1,MODE=5,PO=365.3-MODE SHAPE
TITLE = EE MATHLAB FILE TRANSLATOR -- UNITS =
DISPLACEMENT XYZ Magnitude
Max: 0.008400 mm Max: 9.55E-02 mm
Part Coordinate System
Frequency: 3.653400 Hz

```

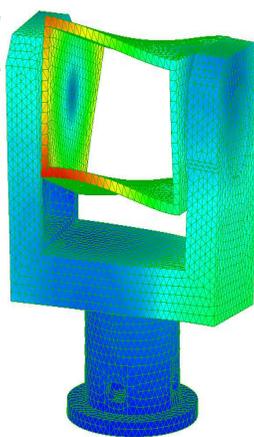


5차 Mode = 365.3 Hz

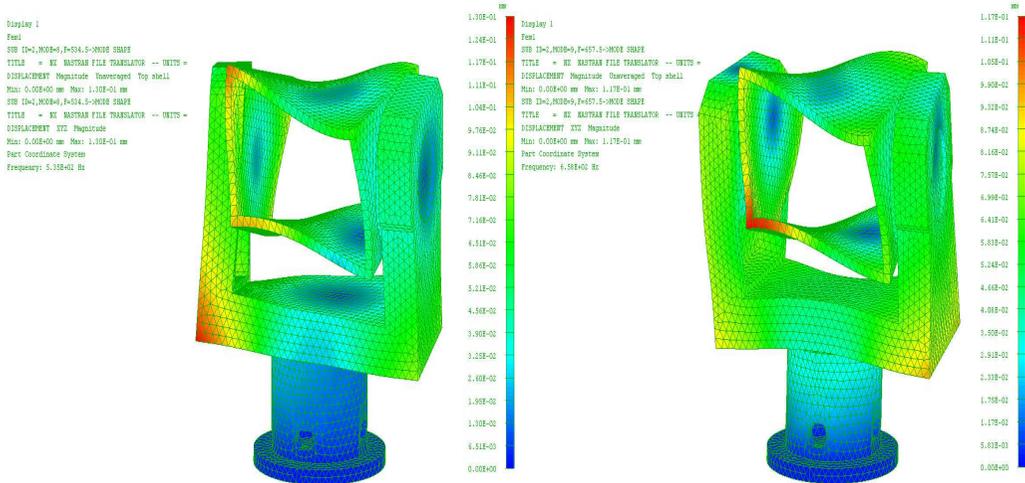
```

Display 1
Fem1
SUB ID=1,MODE=6,PO=436.1-MODE SHAPE
TITLE = EE MATHLAB FILE TRANSLATOR -- UNITS =
DISPLACEMENT Magnitude Unwarped Top shell
Max: 0.008400 mm Max: 1.94E-01 mm
SUB ID=1,MODE=6,PO=436.1-MODE SHAPE
TITLE = EE MATHLAB FILE TRANSLATOR -- UNITS =
DISPLACEMENT XYZ Magnitude
Max: 0.008400 mm Max: 1.94E-01 mm
Part Coordinate System
Frequency: 4.361400 Hz

```



6차 Mode = 436.1 Hz



7차 Mode = 534.5 Hz

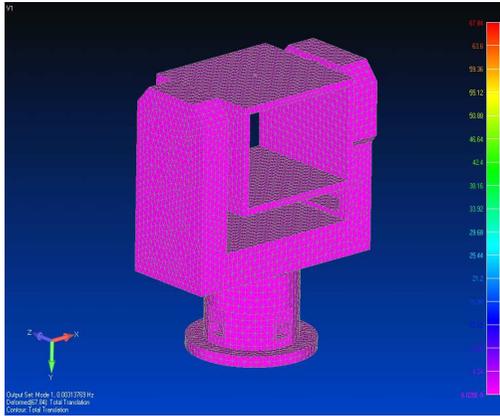
8차 Mode = 657.5 Hz

그림 5.4 Pedestal의 진동수 해석 결과

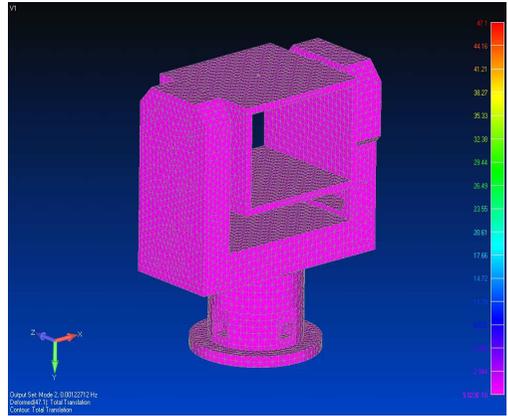
Fig 5.4 The result of an oscillation frequency interpreting of the Pedestal

### 5.3 Normal Modes 해석 결과

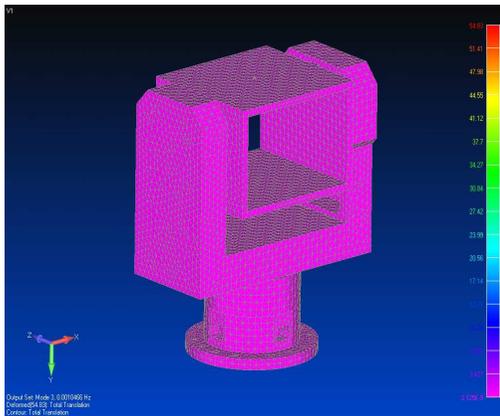
현재 Pedestal의 자체의 고유 진동수를 알기 위한 해석이므로 응답해석(Response Analysis) 즉, 외부 하중(진동하중)을 받을 때 일어나는 현상을 해석하기 위해 해석 타입을 Normal Modes로 수행 하였다. 그림 5.5은 Pedestal이 가지는 고유 진동수를 Mode 1~10까지 총 변위를 그림으로 나타낸 것으로 Mode 1~9까지는 형상 내 변형이 일어나지 않고 Mode 10(86.72519 Hz)에서 형상 변형이 일어난다. 실험 결과 86.72519 Hz보다 10 ~ 20%이상 낮은 외력진동수는 허용이 된다.



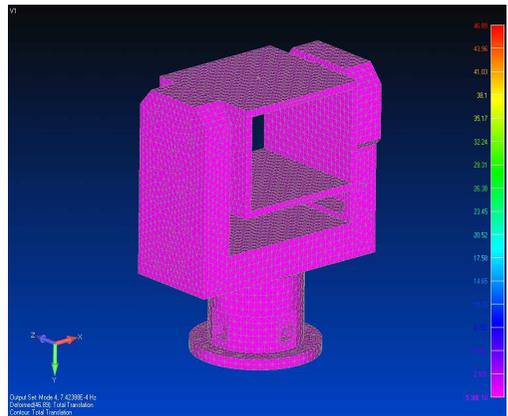
Mode 1 : 0.0013769Hz



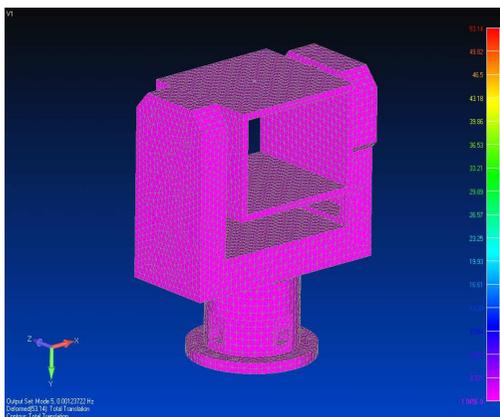
Mode 2 : 0.00122712 Hz



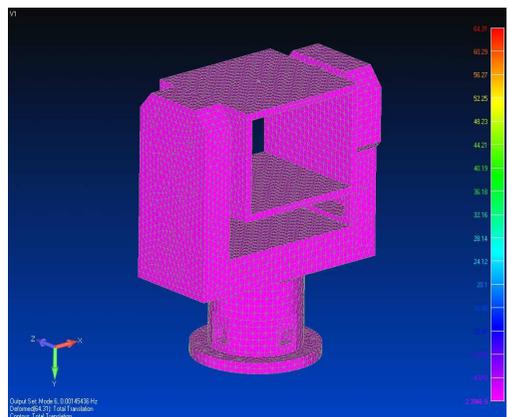
Mode 3 : 0.0010466 Hz



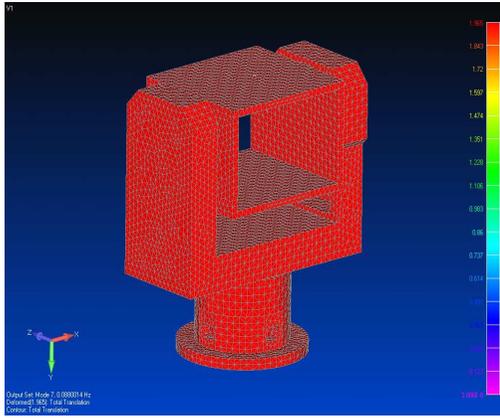
Mode 4 : 0.000742388 Hz



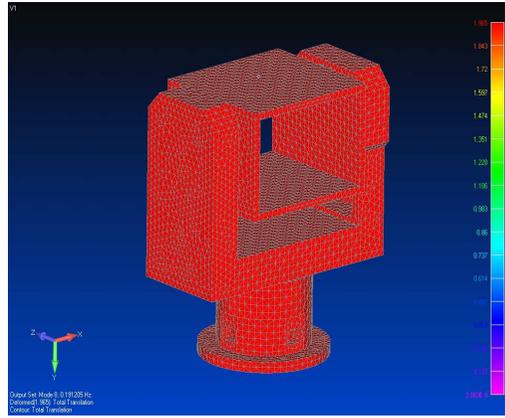
Mode 5 : 0.00123722 Hz



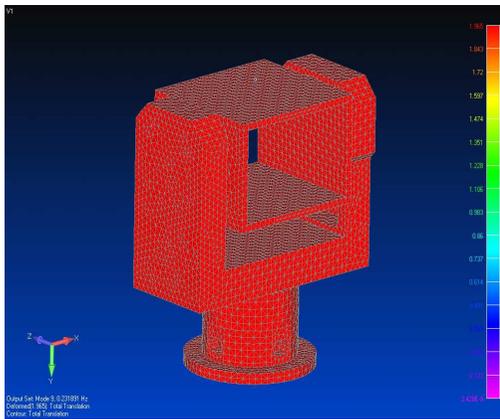
Mode 6 : 0.00145436 Hz



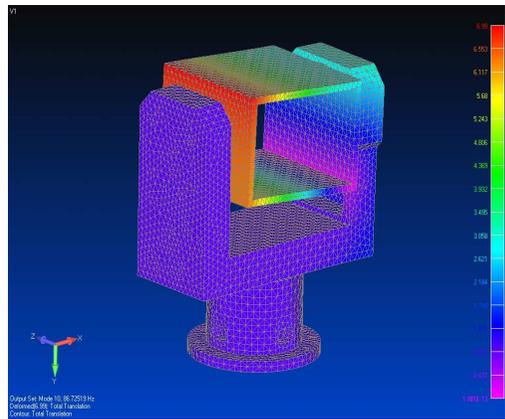
Mode 7 : 0.0880014 Hz



Mode 8 : 0.191205 Hz



Mode 9 : 0.231891 Hz



Mode 10 : 86.72519 Hz

그림 5.5 고유 진동수 해석

Fig 5.5 Original Oscillation Frequency Interpreting

## 제 6 장 결 론

본 논문에서는 선박용 동요 안정식 NVS 시스템을 개발하는데 있어 핵심 요소인 Pedestal의 구조를 CATIA V5 이용하여 3차원으로 설계 및 제작하였으며, Nastran을 이용하여 Pedestal의 최적화 설계를 위한 해석을 수행하였다. 해석 결과, 해상환경에서 적용할 수 있는 최적의 Pedestal 설계안을 찾을 수 있었다.

실험 결과 다음의 결론을 얻었다.

1) 최적 설계 시 관심 대상은 Pedestal(Pedestal)무게이다.

Pedestal의 경량화를 위해 최적화 해석을 수행한 결과 Case 1의 실험 결과에서 Pedestal의 질량은 114.79kg, 변위는 0.00121mm이며, 응력은 최대 0.231kg이다. 또한 Case 2의 경우, 질량은 62.58kg, 변위 량은 0.00431mm이며, 최대 응력은 0.543kg 이다. 응력이나, 변위 량을 볼 때, Pedestal 의 질량은 약 60Kg 까지 그리고 Arm의 길이는 50mm 정도 까지 줄일 수 있다고 판단된다.

2) 진동해석 결과

고유 진동수 해석을 통하여 Pedestal이 가지는 고유 진동수를 1차에서 10차까지의 주파수 영역에서 찾아내었다. 구조물은 고유진동수와 외부에서 가해지는 진동수가 일치하여 공진하면 크게 진동한다. 공진하지 않도록 설계하기 위해서는 우선 Nastran으로 Normal made 해석기능 의해 설계 구조물의 고유진동수와 고유진동모드를 구했다. 고유진동수를 외력 진동수로부터 10 ~ 20%이상 높게 설계해야 된다는 것을 알 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] 안양근, “선박용 위성안테나의 Stabilized Pedestal구조와 제어알고리즘의 설계 및 구현에 관한 연구”, 한국해양대학교 석사학위 논문, 1997
- [2] 고운용, 황승욱, 진강규, “선박용 위성 안테나 Pedestal의 안정화 제어,” '98한국자동제어학술회의 논문집, pp.188-191,1998.
- [3] 고운용, “Stabilized 위성안테나용 Pedestal제어장치의 설계 및 구현에 관한 연구”, 한국해양대학교 석사학위 논문, 1998.
- [4] 오정환, “선박용 위성통신 안테나의 Pedestal 제어기 설계에 관한 연구”, 경남대학교 박사학위 논문, 1998.
- [5] 정성수, “안정화 위성 추적 안테나용 ACU의 설계 및 구현에 관한 연구”, 한국해양대학교 석사학위 논문, 1999.
- [6] (주)태성 FEA사업부 “ANSYS Workbench”, 2007.
- [7] 여혜진, 조철훈, 김정호, 이창성, 하병언, 김승조, “초대형 구조 해석에서의 NASTRAN의 효율성 연구”, 서울대학교 석사학위 논문,
- [8] MSC/NASTRAN User Handbook. MSC
- [9] 한국선급, “선박 진동, 소음 제어 지침”, 1991
- [10] Robert, D.B., “Formulas for Natural Frequency and Mode Shape”, VNB, 1979.
- [11] 김극친, 유병건, “선체 수평진동에 있어서의 부가수 질량 3차원 수정 계수”, 대한조선학회지, 제 11권 제 1호, 1974.
- [12] 최병일, “NASTRAN을 이용한 탑재장비의 내충격해석”, 인하대학교 석사 학위 논문, 2003
- [13] 박성용, “NASTRAN을 이용한 일반 점성 감쇠를 갖는 구조물의 유한 요소 진동해석”, 부산대학교 석사학위 논문, 1999
- [14] 이타경, “대형구조물의 진동해석을 위한 부분구조합성법의 NASTRAN 연결 모듈 개발”, 부산대학교 석사학위 논문, 1998
- [15] T. D. Whitely, “Optimizing Neural Networks using Faster More Accurate Genetic Search”, Proc. 3rd Int. Conf. on genetic Algorithms, 1989.
- [16] D. Whitely and C. Bogart, “The Evolution of Connectivity : Pruning Neural

- Networks Using Genetic Algorithms", Proc. Int. Conf. on Neural Networks, pp.134-137, 1990.
- [17] S. A. Harp and T. Samad, "Genetic Synthesis of Neural Network Architecture", Handbook of Genetic Algorithms, VNR Computer Library, 1991.
- [18] J. Torreale, "Temporal Processing with Recurrent Networks : An Evolutionary Approach", Proc. 4th int. Conf. on Genetic Algorithms, San Diego, 1991.
- [19] P. Arena, R. Caponette and L. Fortuna and M. G. Xibilia, "Genetic Algorithm

## 감사의 글

한국해양대학교 대학원에 입학했을 때가 엇그제 같은데 벌써 2년이라는 시간이 흘렀습니다. 부족한 저에게 논문을 쓸수 있게 해준 분들에게 이 자리를 빌어 감사의 마음을 전하러 합니다.

먼저 본 논문의 처음 연구계획에서부터 완성에 이르기까지 학문적 기틀을 잡아 주시고 친절하고 소상한 가르침을 베풀어 주셨던 지도교수이신 황승욱 교수님께 깊은 감사를 드리며, 논문심사과정을 통하여 아낌없는 격려와 지도를 하여 주신 김기문, 김종화, 진강규, 조석제, 이서정 교수님께 머리 숙여 감사의 말씀을 드립니다.

석사 생활을 즐겁게 할수 있게 해준 해상통신 연구실 사람들에게 깊은 감사를 드립니다. 본격적인 연구가 시작될 무렵 귀중한 연구 자료를 제공해 주시고 책임감 있게 연구실을 꾸려나가고 주신 정근씨에게 깊은 감사를 드립니다. 회사에서나 학교에서 많은 도움을 준 세훈이, 굿은일을 도맡아하는 종민이, 연구실의 활력이 되고 웃음소리가 호탕한 기량이, 항상 성실하게 모든 일에 임하는 승훈이에게 고마움을 전합니다.

또한 우리 가족들에게 감사의 마음을 전합니다. 이때까지 저를 잘 키워주신 집안의 기둥이신 아버지, 항상 저를 위해 절에 가서 기도하시며 저에게 큰 힘이 되어주시는 어머니, 항상 옆에 있어서 고마움을 전하지 못한 형님과 형수님, 누님에게 고마움을 전합니다. 그리고 이 세상 수많은 사람 중에서 나를 믿고 선택해 준 은희와 함께 이 기쁨을 나누고자 합니다.

직장생활과 학업을 병행하는 일이 결코 쉽지는 않았지만 뒤쳐지지 않고 무사히 졸업할 수 있게 된 것을 뒤돌아보면 그동안 저를 도와준 많은 고마운 분들이 계셨다는 것을 다시금 생각하게 합니다.

연구자의 능력과 한계에 부딪쳐 연구의 어려움을 체득해가기 시작할 무렵, 저에게 힘이 되어 주시고 동생처럼 걱정해주신 진상훈 사장님, 이정두 사장님께 감사 말씀드리고 싶습니다.

항상 나를 믿고 함께 일을 하고 있는 서화선, 이재성, 홍경미, 나의 절친한 친구 지순갑, 김성철, 정광수, 주승태 주임, 김기도 대리, 정민호, 이홍남 부장님, 이원태부장님 그리고 나의 후원자 사촌동생 인애에게 고마움을 전합니다.

끝으로 석사과정을 마칠 수 있도록 배려해 주고 늘 곁에서 따뜻하게 격려해주신 이용희 사장님께 존경과 감사의 말씀을 드립니다.

오늘의 작은 열매에 자만하지 않고 계속 정진하면서 살아가도록 하겠습니다.