

# KARI 축소 로터 시험장치(GSRTS) 구조해석

김덕관\*

## Structural Analysis of KARI General Small-scaled Rotor Test System (GSRTS)

Deog-Kwan Kim\*

### Abstract

This paper describes the structural analysis results of KARI General Small-scaled Rotor Test System (GSRTS) operated in KARI to verify operational safety. This GSRTS was developed to conduct a froude and mach small-scaled rotor test. This analysis was performed to investigate the structural Factor of Safety for the various small-scale rotor system like articulated or hingeless rotor and to check the operational capability using given operational design load. Specially, drive system has several bearings, mechanical gears, shaft, etc. and these parts must be required to achieve an operational safety. The calculation was done by using geometric data and material properties by analytical method. This rotor test system should be operated within these calculated Factor of Safety. Furthermore, the operational limitation should be defined as applied to small-scale rotor system of KUH in future.

### 초 록

본 논문은 항우연에서 운용 중에 있는 축소 로터 시험장치(General Small-scaled Rotor Test System, GSRTS)에 대한 구조 안전성 확보를 위한 구조해석 수행 결과를 제시하고 있다. 프루드(froude) 축소 및 마하(mach) 축소 시험을 수행하고, 관절형 및 무힌지 로터 등 다양한 로터 시스템 적용을 위해서는 시험장치의 안전성 확보와 운용상의 능력 범위를 확인하기 위해 로터 운용 조건에서 나오는 기준하중을 이용하여 구조 안전계수를 산출하였다. 특히, 구동계통(drive system)은 베어링 및 기어, 축 등으로 구성되어 있어 운용상의 안전성 확보가 우선적으로 요구되는 필수 항목이다. 구조해석은 구동계통의 기본 부품의 형상 및 재료 물성치를 이용하여 해석적 방법으로 구하였다. 본 로터 시험장치는 설계된 안전계수 안에서 운용을 해야 하며, 향후 KUH 축소 풍동모델 시험을 적용할 때도 하중계산을 통해서 시험시 운용조건을 범위를 정해야 한다.

키워드 : 축소 로터 시험장치(small-scaled rotor test system), 구조해석(structural analysis), 구동계통(drive system), 헬리콥터(helicopter), 지상시험(ground test), 안전계수(safety factor)

## 1. 서 론

일반적으로 헬리콥터의 양력, 추력 및 제어력을 담당하는 핵심계통인 로터시스템의 성능 및 안정성을 검증하기 위해서는 지상시험 장치를 이용하여 지상시험을 수행하게 된다. 항우연은 지름 2-m급 축소형 로터시스템에 대한 지상시험을 수행할 수 있는 축소 로터 시험장치(General Small-scaled Rotor Test System; 이하 GSRTS)를 1999년에 구축하여 현재까지 운용 중에 있다. 프루드(froude) 축소 및 마하(mach) 축소 시험 등과 같은 다양한 시험을 수행할 뿐만 아니라 관절형 및 무힌지 로터 등 다양한 로터 시스템 적용을 위해서는 로터 시험장치에 대한 구조적 안전성을 파악하여 안전하게 시험을 수행해야 한다. 구조 안전성 여부를 판단하기 위한 지표로 최대응력 파손이론(Maximum stress failure theory)을 사용하였다[1]. 이 이론은 이해하기 쉬우며 직접적으로 사용이 가능하다는 이점이 있다. 주응력(principal stress)을 계산하기 위해서 응력집중을 포함한 최대 수직 응력(maximum normal stress)과 전단응력을 모두 사용하였으며, 이렇게 계산된 주응력은 재료의 허용 극한 인장 강도(allowable ultimate tensile strength)와 비교하여 정적 구조 안전계수를 산출하였다.

더불어 로터는 회전하면서 진동 하중을 구조물로 전달하기 때문에 로터 시험장치는 이와 같은 진동 환경에서도 견디도록 설계되었다. 또한 로터의 운용 회전속도 범위에서 시험장치와의 공진이 생기지 않아야 한다. 이를 위해 항우연의 GSRTS는 고유진동수를 조절할 수 있는 링크지가 장착되어 있어, 강성을 조절함으로써 고유진동수를 조절할 수 있게 된다.

본 논문에서의 구조해석은 수계산이 가능한 간단한 방법을 사용하여 이루어졌으며, 축소 로터 시험장치 중 가장 핵심적이라고 할 수 있는 구동계통(drive system)의 정적 구조해석을 중심으로 그 결과를 제시하였다. 구동계통은 모터 입력 축(input shaft), 중간 축(intermediate shaft), 로터 구동 축(rotor drive shaft), 베어링 타워

(bearing tower) 및 트랜스미션(transmission)으로 구성된다. 그림1에 GSRTS의 내부 구성도 및 구동계통의 주요 구성품이 제시되었다.

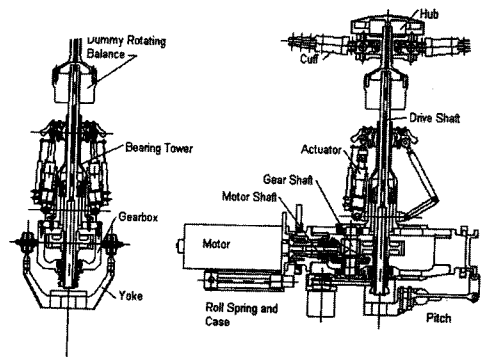
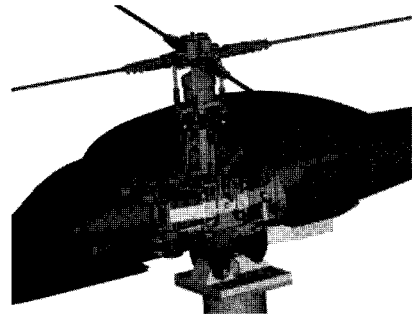


그림 1. KARI GSRTS 세부 구성도

## 2. 물성치 및 설계하중

### 2.1 물성치

본 절에서는 축소 로터 시험장치를 구성하고 있는 주요 부품에 적용된 재료 및 엔지니어링 물성치들을 소개하였다.

#### 2.1.1 주요 재료 물성치

GSRTS의 허브부품, 베어링타워, 더미 밸런스, 요크 등 주요 부품에는 15-5PH 스테인레스강을 적용하였다. 또한 특히 로터 구동 축, 고유진동수 조정을 위한 스프링류 등과 같이 고강성/고강도

가 요구되는 부품의 경우에는 PH13-8Mo 스테인레스강을 적용하였다. 또한, 허브 플레이트에는 티타늄강, 기타 피치 혼, 스와시플레이트 등에는 알루미늄 합금을 적용하였다. 아래 표1에 GSRTS에 적용된 재료 및 물성치 자료들이 요약되었다. 여기에 기술된 물성치는 Mil Handbook 5G로부터 확보하였다[2].

표 1. GSRTS 주요 재료의 물성치 요약

Material	F <sub>u</sub> (ksi)	F <sub>y</sub> (ksi)	F <sub>su</sub> (ksi)	E (msi)	nv	ρ (lb/in <sup>3</sup> )
15-5PH (H925)	170	155	-	28.5	0.27	0.283
15-5PH (H1025)	155	145	97	28.5	0.27	0.283
PH13-8Mo (H950)	217	198	-	28.3	0.28	0.279
PH13-8Mo (H1000)	201	190	117	28.3	0.28	0.279
2024 T4 Al	62	40	37	10.5	0.33	0.101
2024 T851 Al	66	57	37	10.5	0.33	0.101
7075 T6 Al	76	69	44	10.3	0.33	0.101
Ti-6Al-4V	145	135	87	16	0.31	0.16
E9310 (Gears)	168	137	-	29	0.29	0.284
A53S	60	35	-	-	-	-
4310	160	135	-	-	-	-

### 2.1.2 볼트 및 스크류 물성치

GSRTS에는 다양한 볼트 및 스크류가 사용되었으며, 대부분은 NAS 시리즈 또는 미국 군사 규격(Mil Spec)의 표준형 볼트 및 스크류를 적용하였다. 또한 UNBRAKO의 경우 카탈로그의 내용을 보고 참조하였다[3]. 표 2와 3에 대표적인 Socket Head Cap 스크류 및 shoulder 스크류에 대한 물성치가 사이즈별로 요약되었다.

표 2. shoulder screws의 물성치

Body Size	Single Shear Strength(lb)
1/4	4710
3/8	10500
1/2	18850
5/8	29450
3/4	42410
1/1	75400

표 3. Socket head cap screws의 물성치 요약

Size	Threads per inch		Tensile strength(lb)		Single Shear Strength(lb)
	UNRC	UNRF	UNRC	UNRF	
#2	56	64	702	749	660
#4	40	48	1150	1260	1120
#6	32	40	1730	1930	1700
#8	32	36	2660	2800	2400
#10	24	32	3330	3800	3225
1/4	20	28	6050	6910	5600
5/16	18	24	9960	11000	8750
3/8	16	24	14700	16700	12600
1/2	13	20	27000	30400	22350
5/8	11	18	40700	46100	34950
3/4	10	16	60200	67100	47700
7/8	9	14	83100	91700	64000
1/1	8	12	109000	119000	84800

## 2.2 설계하중

### 2.2.1 축소 허브의 설계하중

이 절에서는 축소시험장치를 설계하고 분석하는데 적용된 설계하중에 대한 내용을 기술하였다. 주요 하중은 로터 시스템에 의해 생성되는 하중이다. 그 이외에 외부 형상(동체 장착시)에 의해 생기는 공기력 및 피치 제어용 작동기에서 작용하는 하중 등이 존재하게 된다. 시험장치의 여러 부품에 작용하는 하중을 계산하기 위해서 사용된 방법은 힘과 모멘트 평형 방정식을 이용하는 것이다. 단순한 유한요소모델을 이용하여 허브 중심에 작용하는 힘과 모멘트를 기준으로 다른 부품의 하중들을 산출하였다. 또한 전단력 및 굽힘 모멘트도 이러한 유한요소 모델을 통해 산출하였다. 아래 표 4에는 축소 허브의 설계 제한 하중 값을 제시하였다. 설계 운용 회전수는 프루드 축소 시험의 경우 900rpm이며, 마하 축소 시험의 경우 2100rpm이다. 구조해석에 사용된 하중은 2100rpm 마하 축소 시험시 작용하는

운용 하중을 기준으로 적용하였다. 그러나 기본 시험이 프루드 시험이기 때문에 파손모드의 경우 900rpm 로터 회전수를 고려하였다. 또한 풍동시험시 작용하는 동압(dynamic pressure)은 150psf를 적용하였으며, 제자리 비행시험시에는 10psf를 적용하였다.

표 4. 축소 허브의 설계하중

설계 하중	값	비 고
추력 (lb)	462.7	
전단력 (lb)	51.88	모든 방향
굽힘 모멘트(in-lb)	101.82	모든 방향
토크 (in-lb)	4200	

### 2.2.2 축소 블레이드의 원심력

회전하는 로터 블레이드는 원심력(centrifugal force; CF)을 발생시킨다. 원심력은 시험대상 로터 시스템의 회전반경, 질량, 로터 회전 속도를 사용해 계산되며 적용 식은 다음과 같다.

$$CF = m \cdot r \cdot \Omega^2$$

여기서 질량(m)은 0.02slug, 회전반경(r)은 1.73ft, 로터회전속도( $\Omega$ )는 1,632rpm이며, 계산된 원심력(CF)은 1256.6 lb이다.

### 2.2.3 입력 축 하중

입력 축(Input shaft)은 전단력과 모멘트 하중을 거의 또는 전혀 받지 않으며, 토크의 영향만 존재한다. 기어작용에 의해 감소된 것을 고려하면 최종으로 받는 입력 축의 토크는 368.92in-lb이다.

### 2.2.4 중간축 하중

중간 축(Intermediate shaft)은 입력 축과 마찬가지로 전단력과 모멘트 하중의 영향은 거의 없으며, 토크와 축력의 영향을 받는다. 중간축이 받는 토크(torque)는 1475.65 (in-lb)이며, 축력(axial force)은 100 lb이다.

### 2.2.5 구동축 하중

로터 시스템에서 생성되는 추력 및 토크 등 모든 하중은 구동축을 통해 지지 구조물 및 구동계통의 부품으로 전달된다. 특히 구동계통의 핵심 구성품인 구동축의 경우, 추력(thrust), 축하중(axial load)은 베어링을 통해 로터마스트로 전달이 된다.

그림 2는 구동축의 개략적인 형상을 보여주고 있다.

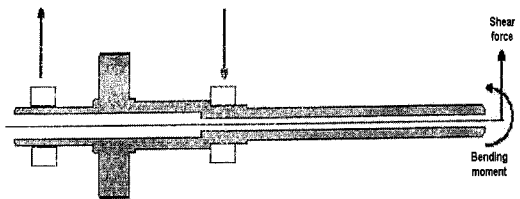


그림 2. 구동축 단면도 및 하중 분포도

그림 2와 3은 각각 운용하중 하에서 구동축에 발생하는 축력, 전단력, 굽힘 모멘트의 분포를 보여주고 있다.

구동축에 작용하는 축력은 하우징에 있는 베어링에서 하중의 일부분을 가져갈 때까지 일정하며, 최대값은 462.7lb이다. 또한 축력 및 횡력도 베어링에서 하중의 크기가 변할 때까지 일정하며 최대값은 두 힘 모두 107.62 lb이다.

최대 피칭 모멘트는 613.18in-lb이며 적용된 토크는 기어를 만나기 전까지 일정하므로 4,200in-lb의 값을 갖는다.

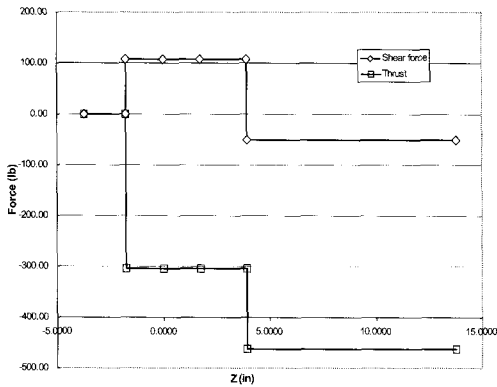


그림 3. 구동축의 전단력 및 토크 하중 분포도

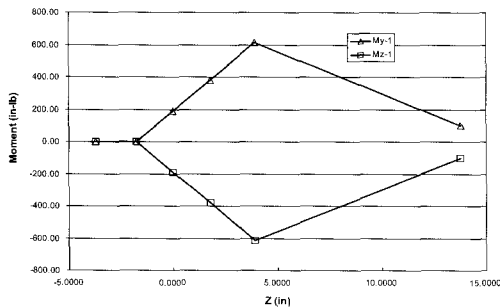


그림 4. 구동축의 굽힘 모멘트 하중 분포도

### 2.2.6 베어링 타워(Bearing Tower) 하중

베어링 타워는 외부의 피치제어용 작동기를 지지하고 내부에서 구동축을 지지하는 베어링들을 가진다. 그림 5는 베어링 타워의 개념적인 형상을 나타내고 있다.

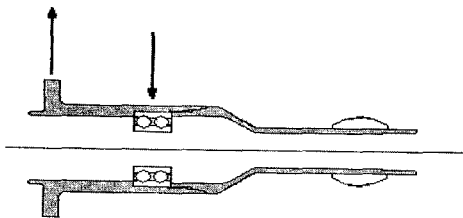


그림 5. 베어링 타워의 단면 및 작용 하중

베어링타워에 작용하는 하중의 분포는 그림 6 과 7에 표시하였으며 베어링타워에 작용하는 하

중의 최대값은 표 5에 정리하였다.

표 5. 베어링타워의 최대 하중

추력(lb)	462.7
축력(lb)	172.62
굽힘 모멘트(in-lb)	374.47

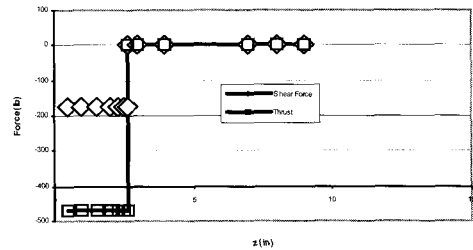


그림 6. 베어링 타워의 추력 및 전단력 하중 분포도

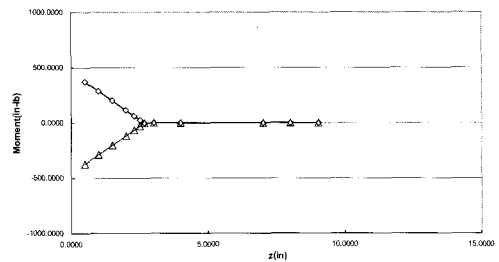


그림 7. 베어링 타워의 굽힘 모멘트 하중 분포도

### 2.2.7 트랜스미션의 하중

트랜스미션의 외부에 작용하는 하중은 베어링 타워에서 발생한 하중이다. 운용조건에서 트랜스미션에 작용하는 최대하중은 표 6와 같다.

표 6. 트랜스미션의 최대하중

축력/횡력 (lb)	172.62
추력(lb)	462.7
피칭/롤 모멘트(in-lb)	374.47
토크(in-lb)	0

### 3. 구조해석 결과

#### 3.1 구동모터 입력 축

구동모터 입력축의 단면도는 그림8에 제시되었다. 표7에는 구동모터 입력축의 단면형상 자료가 제시되었다.

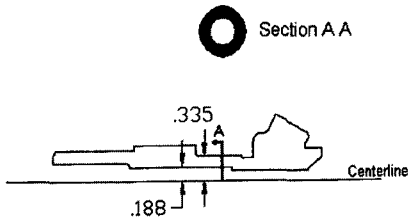


그림 8. 구동모터 입력축의 단면도

표 7. 구동모터 입력축의 단면형상 자료

외경(OR)	0.335in
내경(IR)	0.188in
면적(Area)	$\pi \times (OR^2 - IR^2) = 0.2415in^2$
관성(Inertia)	$\pi / 4 \times (OR^4 - IR^4) = 0.0089in^4$
토션상수(K)	$2 \times Inertia = 0.0178in^4$

구동모터 입력축의 토크값(368.92in-lb)을 이용하여 토션에 의한 전단응력을 산출하였다. 토션에 의한 전단응력은 다음과 같은 식을 사용하였으며, 토크에 의한 전단응력은 6934.92psi가 산출되었다.

$$\tau = \frac{T \cdot OR}{K}$$

상기의 계산된 전단응력 값을 이용하여 입력축의 재질인 15-5PH(H1025)의 극한전단강도(Fsu)가 97ksi이므로 계산된 안전계수(Factor of Safety)는 13.99이다.

#### 3.2 중간 축

중간 회전축의 단면도가 그림9에 제시되었다. 표 8에는 중간 회전축의 단면형상 자료가 제시되었다.

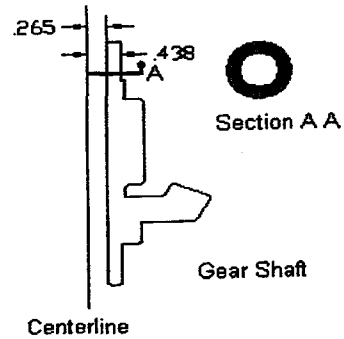


그림 9. 중간 회전축의 단면도

표 8. 중간 회전축의 단면형상 자료

외경(OR)	0.438in
내경(IR)	0.265in
면적(Area)	$\pi \times (OR^2 - IR^2) = 0.382in^2$
관성(Inertia)	$\pi / 4 \times (OR^4 - IR^4) = 0.025in^4$
토션상수(K)	$2 \times Inertia = 0.05in^4$

중간회전축에 작용하는 토크값 1475.68in-lb을 이용하여 토션에 의한 전단응력을 산출하였다. 토션에 의한 전단응력은 앞서와 같은 동일한 식을 사용하였으며, 토크에 의한 전단응력( $\tau$ )은 12910.05psi가 산출되었다. 또한 축력에 의한 하중 100 lb에 의해 작용하는 수직응력( $\sigma$ )은 216.73psi이다. 따라서 주응력(principal stress,  $\sigma'$ )은 아래와 같은 식을 이용하여 산출하였으며, 계산된 값은 13041.58psi이다.

$$\sigma' = \frac{\sigma_{max}}{2} + \sqrt{\left(\frac{\sigma_{max}}{2}\right)^2 + \tau_{max}^2}$$

상기의 계산된 주응력 값을 이용하여 중간축의 재질인 E9310의 극한인장강도(Ftu)와 항복응력(Fty)가 각각 168ksi, 137ksi이므로 계산된 안전계수(Factor of Safety)는 13.99이다. 산출된 중간

축의 안전계수는 표 9에 제시되었다.

표 9. 중간축의 안전계수 요약

안전계수(극한강도)	12.88
안전계수(항복강도)	10.50

$$\tau = \alpha \frac{T \cdot F}{A}$$

$$\alpha = \frac{4}{3} \left[ \frac{OR^3 - IR^3}{(OR^2 + IR^2)(OR - IR)} \right]$$

$$\alpha_{AA} = 1.817, \alpha_{BB} = 1.960$$

### 3.3 로터 구동축

로터 구동축의 단면도가 그림10에 제시되었다.

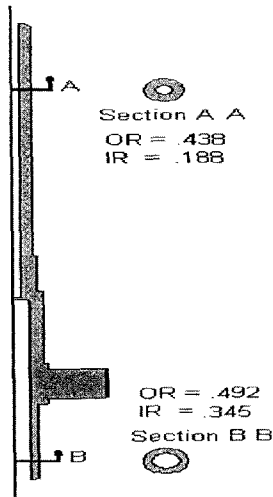


그림 10. 로터 구동축 단면형상

로터 구동축의 하중은 추력(thrust), 횡력(side force), 굽힘 모멘트(bending moment) 및 토크(torque)를 복합적으로 받게 된다. 각 하중으로부터 생기는 응력값을 구하였다.

추력은 462.71lb이며, 수직응력이 생기며, 단면 AA에 대한 응력( $\sigma_{AA}$ )은 941.01psi이다. 또한 단면 BB에 의한 응력( $\sigma_{BB}$ )은 1197.04psi이다.

횡력(transverse force, T.F) 및 굽힘 모멘트(M) 값은 각각 107.62lb 와 613.18in-lb이며 이 하중에 의한 전단응력( $\tau$ ) 및 수직응력( $\sigma$ )은 아래와 같은 식을 이용하여 산출하였다. 계산된 전단응력  $\tau_{AA}$  는 397.45psi이고,  $\tau_{BB}$ 는 545.74psi이다. 또한 굽힘 모멘트에 의한 수직응력  $\sigma_{AA}$ 와  $\sigma_{BB}$ 는 9617.79psi 와 8645.87psi이다.

$$\sigma = \frac{M \cdot OR}{I}$$

로터 구동축에 작용하는 토크(T)는 4200 in-lb 이며, 이로 인해 발생하는 전단응력  $\tau_{AA}$ 와  $\tau_{BB}$ 는 32,938.5psi와 29,609.94psi이다.

위에서 구한 응력을 수직응력 및 전단응력으로 정리하여 주응력을 계산하면 아래 표 10과 같다.

표 10. 로터 구동축의 응력값

	단면 A-A	단면 B-B
$\sigma_{max}$ (psi)	10558.89	9842.909
$\tau_{max}$ (psi)	33336.14	9191.618
$\sigma'$ (psi)	39031.05	15347.7

로터 구동축의 재료는 PH13-8Mo(H950)이며, 극한인장강도( $F_{tu}$ )와 항복응력( $F_{ty}$ )가 각각 217ksi, 198ksi이므로 로터 구동축에 대한 계산된 안전계수는 표 11에 정리하였다.

표 11. 로터 구동축의 안전계수

	단면 A-A	단면 B-B
안전계수(극한강도)	5.56	14.14
안전계수(항복강도)	5.07	12.90

### 3.4 베어링 타워

로터 베어링 타워의 단면형상이 그림11에 제시되었다. 또한 상세한 단면형상 자료는 표12에 제시하였다.

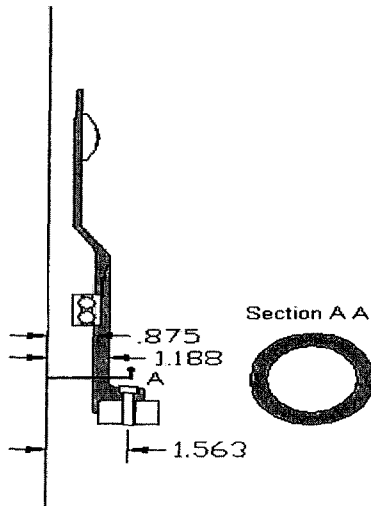


그림 11. 베어링 타워의 단면형상

표 12. 베어링 타워의 단면형상 자료

외경(OR)	1.188in
내경(IR)	0.875in
면적(Area)	$\pi \times (OR^2 - IR^2) = 2.209in^2$
관성(Inertia)	$\pi / 4 \times (OR^4 - IR^4) = 1.104in^4$
토션상수(K)	$2 \times Inertia = 2.208in^4$

추력은 462.71lb이며, 수직응력이 생기며, 수직 응력( $\sigma$ )은 228.09psi이다.

횡력(transverse force, T.F) 및 굽힘 모멘트(M) 값은 각각 172.62lb 와 374.47in-lb이며 이 하중에 의한 전단응력( $\tau$ ) 및 수직응력( $\sigma$ )은 위에서 구한 동일한 방법으로 계산하였다. 계산된 전단응력( $\tau$ )은 167.64 psi이며 수직응력( $\sigma$ )은 402.95 psi 이다.

위에서 구한 응력을 수직응력 및 전단응력으로 정리하여 주응력을 계산하면 아래 표 13과 같다.

표 13. 베어링 타워의 응력값

$\sigma_{max}$ (psi)	631.04
$\tau_{max}$ (psi)	167.64
$\sigma'$ (psi)	672.81

베어링 타워의 재질은 15-5PH(H1025)이며, 극

한인장강도( $F_{tu}$ )와 항복응력( $F_{ty}$ )가 각각 155ksi, 145ksi이므로 베어링 타워에 대한 계산된 안전계수는 표 14에 정리하였다.

표 14. 베어링타워의 안전계수

안전계수(극한강도)	230.38
안전계수(항복강도)	215.52

### 3.5 트랜스미션

트랜스미션의 단면형상이 그림12에 제시되었다

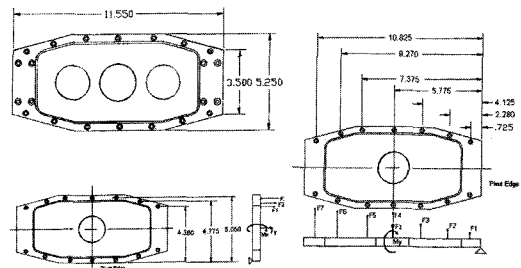


그림 12. 트랜스미션의 단면형상

먼저, 축 및 피치로드 하중(Axial/Pitch load)을 구해야 한다. 트랜스미션의 pivot edge에 발생하는 모멘트는 추력에 의한 성분과 피칭 모멘트 자체 값은 합산으로 구하게 된다. 계산된 모멘트 값은 3046.56 in-lb이다.

축/피치로드 하중으로 발생하는 스크류 하중은 다음 수식으로 계산되며 각 스크류를 표 15에 제시하였다.

$$F_{S_i} = \frac{M \cdot d_i}{2 \sum_{j=1}^8 d_j^2}$$

여기서,  $d_1$ 은 0.725in,  $d_2$ 는 2.280in,  $d_3$ 는 4.125in,  $d_4$ 는 5.775in,  $d_5$ 는 7.35in,  $d_6$ 는 9.720in 그리고  $d_7$ 은 10.825in이다.



표 15. 축/피치로드 스크류 하중

$F_{s_1}$ (lb)	3.52
$F_{s_2}$ (lb)	11.09
$F_{s_3}$ (lb)	20.06
$F_{s_4}$ (lb)	28.08
$F_{s_5}$ (lb)	35.74
$F_{s_6}$ (lb)	45.08
$F_{s_7}$ (lb)	52.64

다음으로 횡/요 하중에 의한 pivot edge에 발생하는 모멘트도 추력 성분 및 요잉 모멘트 값을 합산하여 계산하며, 그 값은 1589.06b-in이다.

횡/요 하중으로 발생하는 스크류 하중은 다음 수식으로 계산되며 각 스크류 힘은 표 16에 제시하였다.

$$F_{s_i} = \frac{M \cdot d_i}{2 \cdot d_1^2 + 2 \cdot d_2^2 + 3 \cdot d_3^2}$$

여기서,  $d_1$ 은 4.360in,  $d_2$ 는4.775in 그리고  $d_3$ =5.0510in이다.

표 16. 횡/요 하중에 대한 스크류 힘

$F_{s_1}$ (lb)	43.27
$F_{s_2}$ (lb)	47.39
$F_{s_3}$ (lb)	50.11

직접적으로 스크류 하중은 추력에 의해 작용하는데 14개로 구성되었기 때문에 33.05lb이다.

따라서, 최대 스크류에 작용하는 하중은 위에서 구한 3개 하중을 합한 135.81lb 이다. 이 하중 값을 기준으로 안전계수를 산출하면 19.59가 된다. 그러므로 충분한 구조적 안전성을 확보한다고 할 수 있다.

## 4. 결 론

본 논문은 항우연에서 운용 중에 있는 축소 로터 시험장치(General Small-scaled Rotor Test System, GSRTS)에 대한 구조해석을 수행한 결과를 제시하였다. 다양한 로터 시스템 적용을 위한 시험장치의 안전성 확보와 운용상의 능력을 확인하기 위해 로터 운용 조건에서 나오는 하중을 기준으로 구조 안전계수를 산출하였다. 특히, 구동계통(drive system)은 베어링 및 기어, 축 등으로 구성되어 있어 운용상의 안전성을 확보하는 것이 필수적이다. 해석결과 대부분 구조적으로 안전한 것으로 나왔다. 계산은 기본적인 형상 및 재료 물성치를 이용하여 해석적 방법으로 구하였다. 본 로터 시험장치는 설계된 안전계수 안에서 운용을 해야 하며, 향후 KUH 축소 풍동모델 시험을 적용할 때도 하중계산을 통해서 운용상의 범위를 정해야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. "Elements of strength of materials", Stephen P. Timoshenko, 5th edition, 1985, pp313.
2. "Mil Handbook 5G", 1990, 미국
3. <http://www.unbrako.com>
4. "GSRTS Structural analysis report", 1999, 한국항공우주연구원