

# KM-SAM 다기능레이더용 축류형 송풍기 국산화 개발

이경찬\*, 최영호, 이관우, 서대수  
국방기술품질원

## Localization Development of Axial Fan for KM-SAM Multi-function radar

Gyeong-Chan Lee\*, Young-Ho Choi, Kowan-Woo Lee, Dae-Sue Seo  
Defence Agency for Technology and Quality

**요약** 본 논문은 KM-SAM 다기능레이더용 축류형 송풍기에 대한 국산화 개발 내용을 서술하고 있다. KM-SAM 다기능레이더는 중/저고도 위협표적을 탐지 및 추적하는 핵심 장비로 지속적인 외부 환경의 영향을 받는다. 이러한 장비의 원활한 운용을 위해서는 내부 온도 및 습기를 조절하는 송풍기가 필수적이며, 현재까지 다기능레이더용 송풍기는 전량 해외업체 수입에 의존하고 있다. 이러한 문제점 해결을 위해 국산화 개발 연구가 제안되었으며, 국산화 개발은 원제작사와 체계장비 규격 등 관련 기술자료 검토를 통한 요구도 분석, 시제품 설계, 성능시험 및 환경시험을 통한 설계요구조건 검증 등을 포함한다. 송풍기는 가이드 베인이 있는 축류형 팬으로 구성되고 모터는 최대 970 CFM의 풍량과 4.8 IWG 풍압을 발생하도록 제작되었다. 또한 신뢰성 있는 데이터 획득을 위해 AC 전원 공급기, 팬 성능시험기 및 데이터 수집 장비를 구축하여 시험평가를 수행하였으며, 시제품 모두 수입품 대비 동등수준 이상의 설계 요구도 검증이 이루어졌다.

**Abstract** This paper describes the localization development of an axial fan for KM-SAM multi-function radar. The multi-function radar, which is constantly affected by the external environment, is a key instrument for detecting and tracking low and medium altitude threat targets. Operating this equipment smoothly requires a fan for controlling the internal temperature and humidity. Presently, all such fans are imported. To solve these problems, localization development research was proposed. The development of localization includes analysis of requirements through review of related technical reports such as original equipment and system equipment specification, prototype design, and verification of design requirement through performance test and environmental test. The study results are described. The blower consisted of an axial fan with guide vanes and the motor was designed to generate a maximum airflow of 970 CFM and a wind pressure of 4.8 IWG. Six prototypes were manufactured for performance evaluation. In addition, for reliable data acquisition, AC power supply, fan performance tester and data acquisition equipment were designed and tested. All prototypes were verified as having design requirements equal to or better than those of imports.

**Keywords** : Axial fan, Design review, Environmental test, KM-SAM, Localization development

### 1. 서론

KM-SAM(South Korean medium range surface-to air missile) 한국형 중거리 지대공 유도미사일에 장착되

는 다기능레이더는 항공기, 헬기, 유도탄 및 무인 항공기 등의 중/저고도 위협표적을 탐지 및 추적하고 지상으로 부터 수직 발사된 유도탄을 포착, 추적 및 유도명령을 송신하는 무선감시장치이다.

\*Corresponding Author : Gyeong-Chan Lee(DTaQ)

Tel: +82-55-734-6671 email: lgchan@dtaq.re.kr

Received September 19, 2017

Accepted February 2, 2018

Revised (1st January 22, 2018, 2nd February 1, 2018)

Published February 28, 2018

다기능레이더는 트립탑제식으로 다양한 외부 환경에 지속적으로 노출되어 원활한 장비 운용을 위해 냉방, 환기 및 습기 제거 역할을 하는 공기조절용 송풍기가 장착된다. 또한, 송풍기는 장비보호 뿐만 아니라 소음, 진동 등에 의해 발생하는 유해 분진으로 부터 승조원을 보호하여 쾌적한 근무 환경 제공을 위해 반드시 필요한 장비이다[1-2].

국내에서 생산되고 있는 대부분의 송풍기 팬은 60 Hz 전원을 사용하는 산업용으로 현재까지 다양한 연구개발이 진행되어 왔다. 하지만 군사용으로 사용되는 송풍기는 요구되는 환경 조건과 신뢰성 수준이 산업용 팬에 비해 보수적이며, 국내에는 개발 실적이 부족한 400 Hz 전원을 사용하고 있다. 이에 따라 현재까지 다기능레이더용 송풍기 팬은 전량 해외업체 수입(AMETEK Roton社, USA)에 의존하고 있어 안정적 부품 조달의 어려움과 장비 결함시 신속한 A/S 등에 애로사항을 겪고 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점 해결을 위해 제안된 KM-SAM 다기능레이더용 송풍기의 국산화 개발내용을 서술하고 있다. 개발 초기부터 기존 장비와 호환성을 유지할 수 있도록 외형 형상은 동일하게 유지하였으며, 동등 이상 성능 발휘를 위해 수입장비 사양과 상위조립체인 다기능레이더의 요구도를 분석하여 팬 설계, 제작 및 개발시험평가를 수행하였다.

## 2. 본론

### 2.1 시제품 설계 및 제작

#### 2.1.1 요구도 분석

국내환경에 유리하고 KM-SAM 다기능레이더에 적합한 축류형 송풍기 국산화 개발을 위해 체계장비 운용 조건이 명시된 국방규격과 MIL 규격을 비교분석하여 Table 1과 같이 운용환경에 대한 요구도를 설정하였다 [3]. 또한 체계장비 요구도를 충족시키는 송풍기 팬의 성능 구현을 위해 선별된 수입장비의 송풍량 시험을 수행하여 Fig 1과 같은 성능데이터를 획득하였으며, 그래프 분석 결과 최대 출력점(642 CFM at 2.64 Inch Water Gage)을 도출하였다. 최대 출력점을 기준으로 송풍기 팬의 요구 출력을 만족시키는 최적의 변환 관계를 도식화하여 나타내었다. 이를 통해 3상 115V, 400 Hz 전원이 입력되는 교류 전동기의 고정자에 생기는 회전자계의 동

기속도( $N_s$ )가 식 (1)과 같이 6,000 rpm인 8극 유도 전동기 설계가 적절함을 계산하였다. 또한 회전자에 유도된 자기장의 회전속도와 고정자의 회전방향에서 필드 회전 속도 사이의 비율인 슬립( $S$ )을 식 (2)와 같이 계산하여 전동기의 토크값이 0.57 Nm 이상을 만족되어야 됨을 결정하였다.

$$N_s = \frac{120}{P} f = \frac{120}{8} \times 400 = 6000 \text{ rpm} \quad (1)$$

( $N_s$  : 동기속도,  $P$  : 극수,  $f$  : 주파수)

$$S = \frac{(N_s - N)}{N_s} = \frac{(6,000 - 5,475)}{6,000} = 0.0875 \quad (2)$$

( $S$  : 슬립,  $N$  : 실 회전속도)

Table 1. Environmental Condition Requirement of Axial Fan

Contents	Requirement
Noise	KS B 6361, $\leq 89.5$ dBA (at suction direction 3 feet)
Voltage regulation	211 Vac, 380 Hz, 220 Vac, 40 Hz, 229 Vac, 410 Hz
High Temp.	MIL-STD-810F, 501.4 procedure I & II Operation : 100 °C, Storage : 110 °C
Low Temp.	MIL-STD-810F, 502.4 procedure I & II Operation/Storage : -54 °C
Humidity	MIL-STD-810F, 507.4, relative humidity 95 ± 4 %
Rainfall	MIL-STD-810F, 506.4 procedure I
Vibration	MIL-STD-810F, 514.5 procedure I
Shock	MIL-STD-810F, 516.5 procedure I
Salt spray	MIL-STD-810F, 509.4 48 hours salt spray test
EMI	MIL-STD-461E, CE102, RE102
Durability	MIL-B-23071, Extend Life(3.5.2.1) 1,000 hours

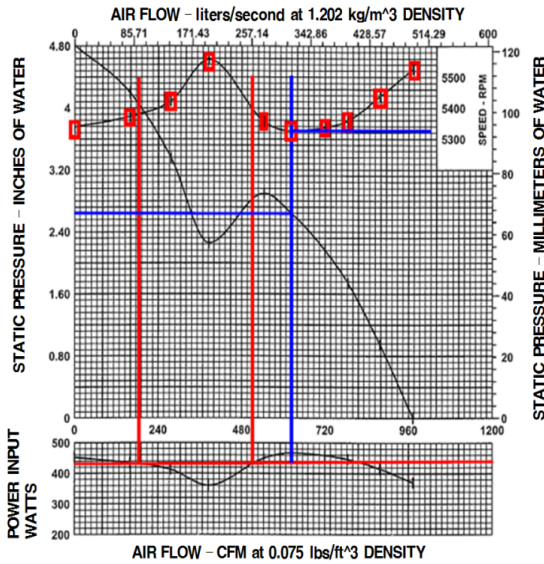


Fig. 1. Performance Data for Imported Axial Fan

❖ Apparent Power 0.9kVA  
(115Vac, 2.7A, pf 0.50, 3Phase)

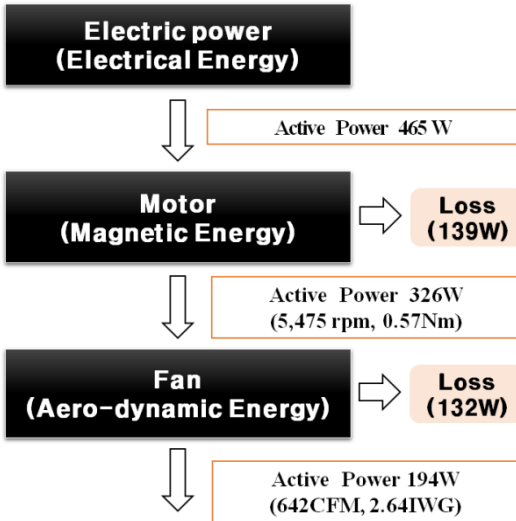


Fig. 2. Energy Conversion Relationship Diagram of Axial Fan

앞서 분석한 수입장비의 성능데이터와 전동기 요구도 분석을 통해 최종적으로 국산화 개발 대상품인 다기능레이더용 송풍기의 개발성능에 대한 주요 요구조건을 Table 2와 같이 정리하였으며, 체계에서 요구하는 최대 풍량, 최대압력 등의 요구도를 충분히 만족한다[3].

Table 2. Development Requirement of Axial Fan

Contents	Requirement
Max. flow	970 CFM $\leq$ x (at pressure "0")
Max. pressure	4.8 IWG (at flow "0")
Rated revolutions	5,500 rpm $\pm$ 5 %
Power consumption	x $\leq$ 432.25 W
Load current	x $\leq$ 2.6A (at pressure "0")
Weight	x $\leq$ 8.0 lbs (3.63 kg)
Size	x $\leq$ $\Phi$ 240 $\times$ L115

### 2.1.2 시제품 설계

요구도를 바탕으로 시제품의 출력을 만족하는 전동기의 형상 및 주요 설계 사양을 Table 3에 나타내었으며, 전동기 다이내모 시스템 장비를 이용하여 무부하, 정격부하, 정동부하, 기동에 대해 각각 시험 결과를 측정하여 설계치를 검증하였다. 총 6개의 시제품을 제작하여 데이터를 측정하였으며, Table 4와 같이 시험 결과 5 % 내외의 오차를 보였다.

각 시제품 시험결과를 검증하기 위해 전동기 모델에 대해 전자기 유한요소해석(FEM)을 수행하였다. Fig. 3은 해석 모델에 대한 요소 분할도와 자속밀도 분포를 나타내고 있으며, Fig. 4는 전동기 회전수에 따른 전류, 토크, 역률 특성에 대한 해석 결과를 나타낸다. 무부하, 정격부하, 정동부하, 기동 상태에서 해석 결과를 Table 4의 시험값과 비교 결과 유사한 데이터를 나타냄을 확인할 수 있었다.

Table 3. Design Specification of Electric Motor

Contents		Design Spec.	
Number of poles		8	
Core material		KS C IEC 60404-8-4 M300-35A5, 0.35t	
Stator	Number of slots	24	
	Coil	Turn number	28
		Dia.	0.55 mm
		Space factor	30.5 %
		Parallel circuit number	1
Number of slots		29	
Skew		0.8 slot	
Rotor	BAR	Cross-section area	5.12 mm <sup>2</sup>
		Material	Copper
	END Ring	Full dia.	39.4 mm
		Minor dia.	23.0 mm
		Cross-section area	16.4 mm <sup>2</sup>

Table 4. Experimental Test Result for Electric Motor

Test items	Contents	Design Spec.	Test result					
			#1	#2	#3	#4	#5	#6
No load	Current [A]	2.04	1.94	1.95	1.96	1.94	1.98	1.96
	Power factor	0.11	0.12	0.12	0.12	0.10	0.11	0.12
Full load	Current [A]	2.57	2.57	2.64	2.64	2.66	2.63	2.62
	RPM	5,550	5,517	5,497	5,478	5,500	5,498	5,496
	Torque [N.m]	0.51	0.52	0.53	0.53	0.52	0.52	0.51
	Power [W]	297.4	298	301.2	300.9	301.8	300	303
	Input [W]	424.9	410.4	417.8	422	420	418.1	415.8
	Power factor	0.47	0.46	0.45	0.46	0.45	0.46	0.46
	Efficiency [%]	69.98	72.6	72.084	71.294	71.854	71.749	72.879
Rating	Current [A]	3.76	3.77	3.77	3.65	3.87	3.67	3.7
	RPM	4,845	4,747	4,726	4,808	4,666	4,827	4,789
	Torque [N.m]	0.81	0.77	0.77	0.79	0.8	8.05	0.79
Starting	Current [A]	5.84	5.58	5.7	5.93	5.83	5.71	5.66
	Torque [N.m]	0.6	0.58	0.58	0.59	0.6	0.59	0.60

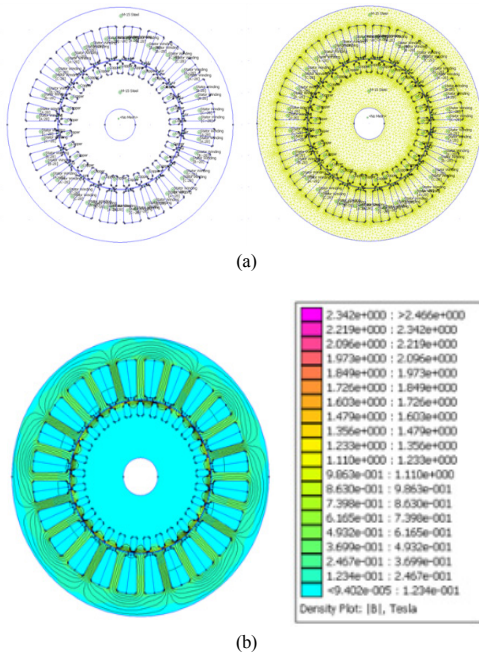


Fig. 3. Magnetostatics Simulation of Electric Motor  
 (a) FEM Modeling and Element Design  
 (b) Magnetic flux density Distribution

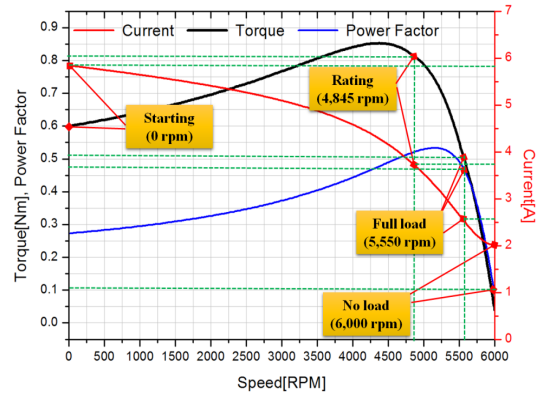


Fig. 4. Analysis Result of Electric Motor

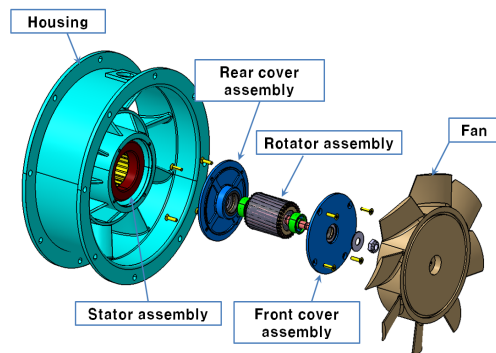


Fig. 5. 3D Configuration of Axial Fan Assembly

Fig. 5와 같이 전동기의 고정자와 회전자 코어 형상, 팬의 임펠러와 가이드 베인 형상을 바탕으로 기계 구조의 상세 설계를 진행하였다. 기본적으로 외형 크기나 체계 장착 부의 인터페이스를 고려하여 설계를 진행하였으며, 그 외의 환경 요구 조건과 내구성 요구도에 따라 기본적인 Layout을 설계하고, 각각의 주요 구성품을 설계하였다.

설계된 송풍기 팬의 운용 시 외부 환경에 의해 겪을 수 있는 하중조건에 대한 구조 건전성을 분석하기 위해 팬과 하우징에 선형 정적해석을 수행하였다. 송풍기 팬의 요구도 분석에 따라 15g의 하중조건에 대해 X(longitudinal), Y(transverse), Z(vertical) 3축 방향에 적용하였으며, 경계조건은 실제 설치 조건과 동일하게 고려하였다. 팬과 하우징은 알루미늄 합금 AC4CH-T6으로 제작되었으며, Table 5에 재료 물성치를 나타내었다.

팬과 하우징의 최대변위와 Von-Mises 응력에 대한 상세한 해석 수행 결과는 Fig. 6, 7과 Table 6에 나타내었으며, 팬과 하우징의 안전계수 계산 결과 허용 응력 대비 약 1.9배 이상의 수치를 나타내어 구조 건전성을 만족하였다.

Table 5. Property of AC4CH-T6

Property	Value
Elastic modulus (GPa)	71
Poisson's ratio	0.33
Tensile Strength(MPa)	283
Coefficient of thermal expansion ( $\mu\text{m}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ )	23.3(25°C)
Density( $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$ )	2.7

Table 6. Analysis result of Fan and Housing

Contents		Fan	Housing
Max. displacement(m)	x, y	4.28e-006	1.00e-006
	z	4.30e-006	6.83e-006
Allowable stress(Pa)	x, y	2.83e+006	2.83e+006
	z	2.83e+006	2.83e+006
Von-Mises stress(Pa)	x, y	8.96e+005	7.57e+005
	z	1.48e+005	7.05e+005
Safety factor	x, y	3.16	3.74
	z	1.91	4.01

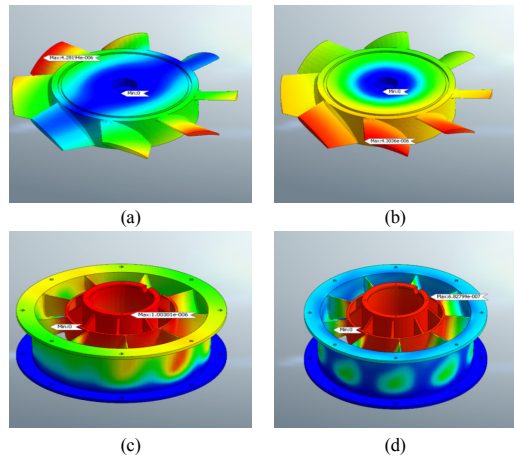


Fig. 6. Displacement of the Fan and Housing  
 (a) Displacement of X-axis/Y-axis(Fan)  
 (b) Displacement of Z-axis(Fan)  
 (c) Displacement of X-axis/Y-axis(Housing)  
 (d) Displacement of Z-axis(Housing)

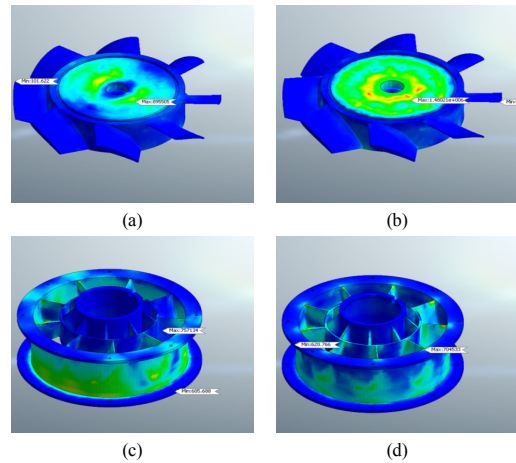


Fig. 7. Von-Mises stress of the Fan and Housing  
 (a) Von-Mises stress of X-axis/Y-axis(Fan)  
 (b) Von-Mises stress of Z-axis(Fan)  
 (c) Von-Mises stress of X-axis/Y-axis(Housing)  
 (d) Von-Mises stress of Z-axis(Housing)

### 2.1.3 시험장비 설계

시험 장비는 팬의 성능 시험 관련 규격인 “KS B 6311 - 송풍기의 시험방법”과 “ANSI/AMCA 210-07 - Laboratory Methods of Testing Fans for Certified Aerodynamic Performance Rating”[4]에 따라 Fig. 8과 같이 설계 및 구성하였다.

본 연구를 통해 개발한 시험 장비는 크게 3부분으로 나누어지는데 공기 조절기용 팬의 전동기 전원을 공급하기 위한 AC Power Supply, 팬의 공기 역학 시험을 위한 덕트(Duct)와 챔버(Chamber)등으로 구성된 Test Bench, 그리고 시험 data를 획득하고 기록/저장하는 DAQ(Data Acquisition) 시스템부이다.

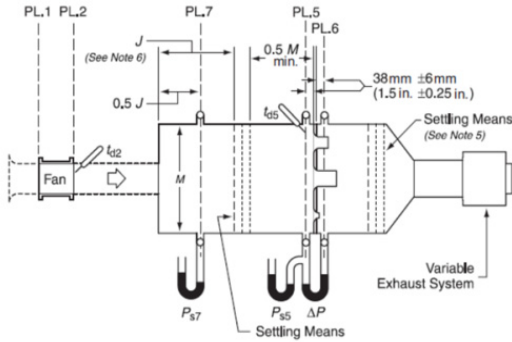


Fig. 8. Fan Performance Test Equipment Schematic Diagram

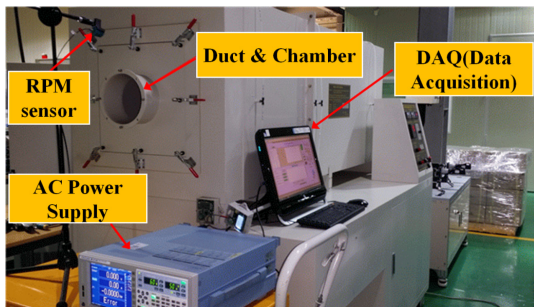


Fig. 9. Test Bench and DAQ of Fan Performance

### 2.1.4 시제품 제작

설계 자료를 바탕으로 6개의 송풍기 팬 시제품을 제작하였으며, Fig. 10과 같이 시제품 형상을 나타내었다.

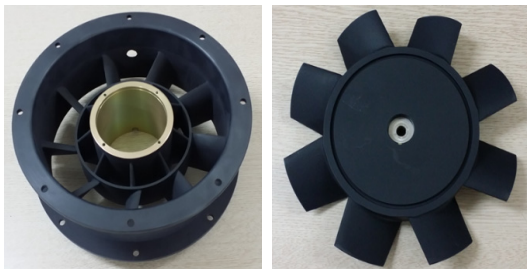


Fig. 10. Configuration of Prototype

## 2.2 시험평가

### 2.2.1 성능시험

제작된 시제품과 시험 장비를 토대로 국산화 개발 대상품인 다기능레이더용 송풍기의 성능시험을 수행하였다. 총 10개 항목에 대한 시험결과 6개의 시제품 모두 기준치를 만족하는 결과를 보였으며, Table 7에는 각 시험결과와 평균값을 나타내었다.

Table 7. Performance Test Result of Fan

Test items	Requirement	Result
Withstand voltage	1,000V, 50~60Hz Application time : 1 minute	OK
Insulation resistance	$20M\Omega \leq x$ (when 500±25VDC is applied)	$\infty$
Max. flow	$970CFM \leq x$	1005.41
Rated revolutions	$5,500RPM \pm 5\%$	5,461
Load current	$x \leq 2.6A$	2.5
Power consumption	$x \leq 432.25W$	403.88
Regulated flow	$745CFM \leq x$ (at a static pressure 2.0IWG(500Pa))	746.27
Max. pressure	Static pressure $x \leq 4.8IWG$ (In the state of zero air flow)	4.5
Weight	$x \leq 8.0 lbs.(3.63kg)$	3.55
Size	Fan height : $110.0 \pm 2.5mm$	109.98
	Fan full dia. : $\varnothing 239.5 \pm 1.5mm$	239.92

### 2.2.2 환경시험

소음시험은 총 6개의 시제품 모두 측정하여 기준치를 만족하였으며, 결과는 평균값으로 Table 8에 나타내었다. 나머지 10개 항목의 환경시험은 선별된 시제품에 1개에 대해 각각 수행되었으며, 환경에 노출 중에는 회전수와 부하전류를 측정하여 송풍기의 정상작동 여부를 확인하였고, 모든 환경시험 후에는 최대풍량, 부하전류 및 최대압력시험을 실시하여 기준치 이내에 만족하는 결과를 나타냈다.

Table 8. Environmental Test Result of Fan

Test items	Requirement	Result
Noise	KS B 6361, $x \leq 89.5$ dBA RPM : $5500 \pm 5\%$ (at suction direction 3feet)	87.2 dBA
Voltage regulation	211 Vac, 380 Hz/220 Vac, 40 Hz /229 Vac, 410 Hz (20 minutes for each test)	OK
High Temp.	MIL-STD-810F 501.4 procedure I & II Operation/Storage : $100 \text{ }^\circ\text{C}/110 \text{ }^\circ\text{C}$ (Total test time : 32 hours)	OK
Low Temp.	MIL-STD-810F, 502.4 procedure I & II Operation/Storage : $-54 \text{ }^\circ\text{C} \sim 20 \text{ }^\circ\text{C}$ (Total test time : 36 hours)	OK
Humidity	MIL-STD-810F, 507.4 Relative humidity $95 \pm 4 \%$ Temp. : $20 \text{ }^\circ\text{C} \sim 60 \text{ }^\circ\text{C}$ (Total test time : 240 hours)	OK
Rainfall	MIL-STD-810F, 506.4 procedure I Water droplet Dia. : $0.5 \sim 4.5 \text{ mm}$ Air velocity : $18 \text{ m/s}$ or more Exposure time : 30 minutes	OK
Vibration	MIL-STD-810F, 514.5 Category 4, procedure I 250 minutes per X, Y, Z axis	OK
Shock	MIL-STD-810F, 516.5 procedure I Amplitude : 25g, Duration : 11ms 3 times per X, Y, Z axis	OK
Salt spray	MIL-STD-810F, 509.4 Salt solution concentration : $5 \pm 1 \%$ , at $35 \text{ }^\circ\text{C}$ (Total test time : 48 hours)	OK
EMI	MIL-STD-461E CE102 : $10 \text{ kHz} \sim 10 \text{ MHz}$ RE102 : $2 \text{ MHz} \sim 18 \text{ GHz}$	OK
Durability	MIL-B-23071, Extend Life Continuous operation test (Total test time : 240 hours)	OK

### 3. 결론

본 논문에서는 KM-SAM 다목적레이더에 적용되는 축류형 송풍기 팬의 국산화개발 과정에서 이루어진 설계 요구도 분석 및 성능 검증에 대해 기술하였다. 최적의 설계사양 선정에 위해 수입품의 성능시험을 통한 송풍량 및 최대출력 등 핵심 요구도 분석을 통해 최적의 전동기 출력을 계산하여 선정하였다. 이를 통해 세부적인 전동기 모델의 설계데이터를 제시하였고, 실제 성능시험과 전자기 해석을 통해 검증하였다. 뿐만 아니라 송풍기 팬의 구조 건전성 검증을 위해 제시된 시제품의 형상을 모델링하여 팬과 하우징의 선형 정적해석을 수행하여 최대 변위를 검증하였고, Von-Misses 파손응력 해석을 통해 구조물의 파괴에 대한 안전계수가 1.9배 이상임을 검증하였다. 또한 완성된 시제품에 대해 체계장비에 적합한 사양으로 테일러링 된 개발성능 및 환경조건을 적용하여 시험평가를 수행하였으며, 모든 항목에 대해 기준치를 만족하여 시제품의 성능을 입증하였다.

향후 논문을 통해 제시된 축류형 송풍기 팬의 설계 및 검증 방안은 유사장비 국산화 개발을 위해 참고자료가 될 수 있을 것으로 기대되며, 수입품에 의존으로 겪고 있는 부품조달, 정비 애로사항 등의 해결 및 차후 진행되는 체계장비 개량사업에 크게 기여할 것으로 판단된다.

### References

- [1] S. H. Lee, O. J. Kwon, "Optimization of Duct System with a Cross Flow Fan to Improve the Performance of Ventilation", *The KSFM Journal of Fluid Machinery*, vol. 16, no. 1, pp. 40-46, 2013.
- [2] C. H. Lee, W. U. Lee, S. C. Jang, C. S. Yi, "A Study on the Development of a 4,000CMM Grade Blower for a Ventilation System", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, vol. 16, no. 1, pp. 17-23, 2017.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.14775/ksmpe.2016.16.1.017>
- [3] KDS 5840-4009, "Vehicle-Mounted Multi-Function Radar, MPQ-540K", *Korea Defence Standard*, 2012.
- [4] ANSI/AMCA 210-07, "Laboratory Methods of Testing Fans for Certified Aerodynamic Performance Rating", *American National Standard*, 2007.

**이 경 찬(Gyeong-Chan Lee)**

[정회원]



- 2013년 2월 : 경상대학교 기계항공 공학과 졸업(공학석사)
- 2013년 3월 ~ 현재 : 국방기술품 질원 연구원 재직

<관심분야>  
국방, 기계/재료

**서 대 수(Dae-Sue Seo)**

[정회원]



- 2011년 2월 : 인하대학교 조선해양 공학과 졸업(공학학사)
- 2010년 12월 ~ 2014년 8월 : 현대 중공업 조선설계부 근무
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품 질원 연구원 재직

<관심분야>  
국방, 조선공학

**최 영 호(Young-Ho Choi)**

[정회원]



- 1989년 2월 : 부산대학교 조선해양 공학과 졸업(공학학사)
- 1989년 4월 ~ 1996년 7월 : 해군 조함장교 복무
- 1996년 8월 ~ 현재 : 국방기술품 질원 선임연구원 재직

<관심분야>  
국방, 조선공학

**이 관 우(Kowan-Woo Lee)**

[정회원]



- 1989년 3월 ~ 1998년 2월 : 해군 조함장교 복무
- 2012년 2월 : 한국해양대학교 함정 운용공학과(공학석사)
- 1998년 3월 ~ 현재 : 국방기술품 질원 책임연구원 재직

<관심분야>  
국방, 조선공학, 전기전자