

# 한국형 기동헬기 불활성가스발생장치 국산화 개발

안종무\*, 이희랑, 강태우, 최재호  
국방기술품질원

## The Localization Development for Korean Utility Helicopter's On-Board Inert Gas Generation System

Jong-Moo Ahn\*, Hee-Rang Lee, Tae-Woo Kang, Jae-Ho Choi

Defence Agency for Technology and Quality

**요약** 군용 회전익 항공기는 임무 특성상 피탄 환경에 노출이 많이 되며, 피탄 후 연료누설에 의한 화재는 인명 손실로 직결된다. 피탄 시 조종사 및 승무원 생존성 향상을 위해 회전익 항공기 연료탱크는 내탄 성능과 내폭발 성능이 요구된다. 내탄 성능은 자기밀폐성 셀을 연료탱크에 적용하여 만족시킬 수 있으며, 내폭발 성능은 폭발가능 영역의 산소 농도를 낮추는 방법과 열에 의한 연료의 증발을 최소화하여 가연성 연료 증기의 생성을 억제하는 방법을 통해 만족시킬 수 있다. 한국형 기동헬기는 피탄에 대한 내폭발 요구도를 만족시키기 위해 불활성가스발생장치를 통해 연료탱크 내 불활성 가스를 충전 시켜 산소농도를 낮추는 방법을 적용하고 있다.

본 논문에서는 국내 무기체계 양산단계의 부품국산화 업무 절차에 따라 개발된 불활성가스 발생장치의 개발 과정 전반에 대하여 기술하고 있다. 순수 국내 기술력을 통해 개발/제작 되었으며, 단품 성능 시험 및 항공기 장착 시험을 통해 기 장착되어 있는 제품 대비 동등이상의 성능을 가짐을 확인할 수 있었다.

**Abstract** Military rotary aircraft are heavily exposed to projectile environments due to their mission characteristics, and fires caused by fuel leaks after shooting are linked directly to the loss of human life. To improve the survivability of pilots and crews, the fuel tank in rotary aircraft must have gunfire resistance and anti-explosion characteristics. Gunfire resistance can be satisfied by applying a self-sealing cell to a fuel tank. Anti-explosion can be satisfied by reducing the oxygen concentration in an explosive area and suppressing the generation of combustible fuel vapor by minimizing the evaporation rate of the fuel by heat. A Korean utility helicopter applies on-board inert gas generation system to meet the anti-explosion requirements for ballistic impact. The generator fills the fuel tank with an inert gas and reduces the oxygen concentration. This paper describes the overall development process of the OBIGGS developed in accordance with the localization process of weapon components. OBIGGS was developed/manufactured through domestic technology, and the performance was found to be equal to or better than that of the existing products through single performance tests and aircraft mounting tests.

**Keywords** : Anti-Explosion, Korean Utility Helicopter, Localization Development, Nitrogen Enriched Air(NEA), On-Board Inert Gas Generation System(OBIGGS)

### 1. 서론

군용항공기는 임무 특성상 적의 미사일과 철갑탄 등의 피탄 환경에 노출이 많이 된다. 특히 회전익의 경우

적진의 상공 피격 고도 내에서 임무를 수행하는 경우가 있으며, 연료탱크의 피탄은 항공기의 폭발로 이어질수 있다[1,2]. 이러한 문제에 대한 위험성을 낮추고 승무원의 생존성을 높이기 위해 연료탱크는 내탄성 및 내폭발

\*Corresponding Author : Jong-Moo Ahn(DTaQ)

Tel: +82-55-751-5819 email: ahnjm@dtq.re.kr

Received May 19, 2017

Revised (1st June 19, 2017, 2nd June 29, 2017)

Accepted July 7, 2017

Published July 31, 2017

성이 요구된다[2].

내탄성은 자기밀폐(Self-sealing) 기능을 의미하며 연료탱크 피탄 시 내부에 적층된 자기밀폐 소재가 연료와의 접촉을 통해 팽창하여 내부의 구멍을 메워 연료의 누설을 차단하여 화재나 폭발로부터 승무원의 생존성을 높여준다[3,4].

내폭발성을 만족하기 위한 방법으로는 연료탱크 내 불활성기체를 주입하여 산소농도를 낮추는 방법과 열에 의한 연료의 증발율을 낮춤으로써 가연성 연료 증기의 생성을 억제하는 방법이 있다[5]. 군용항공기에는 주로 불활성가스를 주입하는 방법을 적용하고 있으며 한국형 기동헬기 역시 탑재형 불활성가스발생시스템(On-Board Inert Gas Generating System, OBIGGS)을 적용하여 내폭발성을 만족하였다[6]. 본 논문에서는 해외도입품에 의존하고 있는 OBIGGS 국산화 개발을 위한 설계 중점 및 개발 결과를 기술하였다.

## 2. 불활성가스발생장치 설계

### 2.1 불활성가스발생장치 개요

항공기 연료계통의 일부인 불활성가스발생장치는 체계의 엔진 또는 보조동력장치(Auxiliary Power Unit, APU)로 부터 고온, 고압의 Bleed air를 공급받아 불활성기체인 NEA(Nitrogen Enriched Air)를 생성하여 연료탱크에 공급하는 역할을 한다.

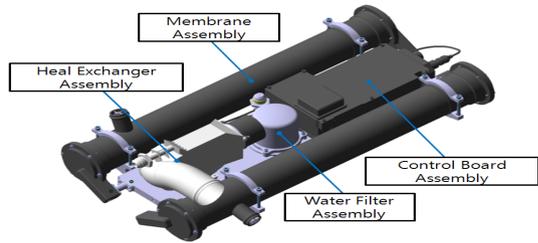


Fig. 1. Configuration of OBIGGS

불활성가스발생장치는 Fig. 1과 같이 구성되어 있으며, 체계로부터 공급된 Bleed air는 열교환기를 지나 85°C 이하의 온도로 멤브레인 조립체에 공급되며, 멤브레인 조립체에서 산소와 질소로 분리되어 산소는 배출되고 질소만 연료탱크로 공급되는 순서로 Fig. 2와 같은 절차로 작동하도록 설계하였으며 제품 개발을 위한 요구도는 체계 운용 조건을 반영하여 Table 1과 같이 설정하였다.

Table 1. Development Requirements of OBIGGS

Contents		Requirement
O <sub>2</sub> outlet percentage		≤ 9% O <sub>2</sub>
Weight		less than 6.2 kg
pressure	operation	Max 5.19 bar
	burst	Min 17.6 bar
Temperature cooling		250°C → 85°C
Water Filter Ability		Water No Emission when inject 80cc water
EMI test (Electromagnetic Interference)		MIL-STD-461F Army Criteria
Environmental Test		MIL-STD-810F

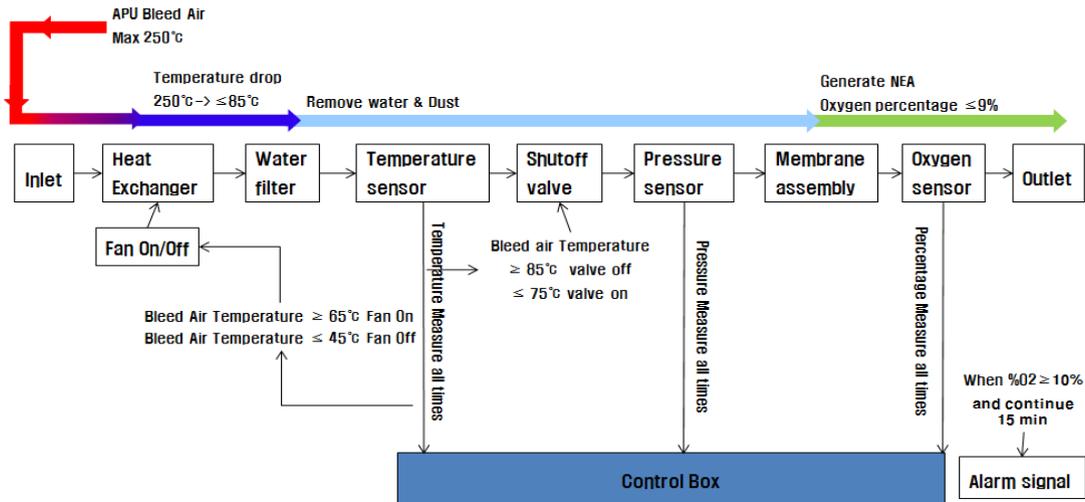


Fig. 2. Operation Flow of On-Board Inert Gas Generation System

## 2.2 불활성가스발생장치 구성품 설계

### 2.2.1 열교환기 조립체

열교환기 조립체는 체계로부터 Bleed air가 가장 먼저 공급되는 곳으로 250℃의 고온, 고압 Bleed air를 85℃ 이하로 낮추는 역할을 하며 Bleed air 온도 및 압력손실은 OBIGGS의 성능에 직접적인 영향을 주기 때문에 설계시 온도강하 성능, 입·출구단에서의 압력손실량 및 중량이 고려되어야 한다.

주전열면 열교환기(Primary Surface Heat Exchanger, PHSE)는 고중형비의 미세 채널 주름핀이 적용된 모든 전열면을 주 전열면으로 사용하여 단위부피당 높은 열전달 면적을 가지므로써 상대적으로 적은 부피와 중량을 가지며, 작은 수력학적 지름을 갖는 유동채널을 통해 낮은 압력손실량을 가진다[7]. 불활성가스발생장치는 열교환기의 중량절감 및 적은 압력손실을 위해 Fig. 3 형상의 PHSE타입 열교환기를 적용하였다.

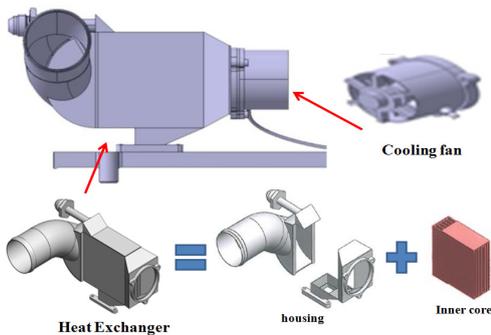


Fig. 3. Configuration of Heat Exchanger Assembly

### 2.2.2 수분필터 조립체

체계에서 유입되는 Bleed air에 수분이 포함되어 있을 경우 산소센서의 오작동을 유발시킬 수 있기 때문에 수분필터 조립체를 이용해 Bleed air에 포함된 수분을 제거하여야 한다.

한국형 기동헬기의 불활성가스발생장치 역시 동일한 이유로 고장탐구를 수행한 사례가 있으며 이러한 문제를 예방하기 위해 기계식 수분분리기에 적용되고 있는 사이클론 방식[8]을 적용하여 Fig. 4와 같이 개발하였다. Bleed air에 포함된 수분은 하우징과 가이드 플레이트에 의해서 1차 배출구로 배출이 되고 디플렉터를 거친 공기는 와류가 발생되며 2차 배출구로 수분이 배출되도록 설계하였다.

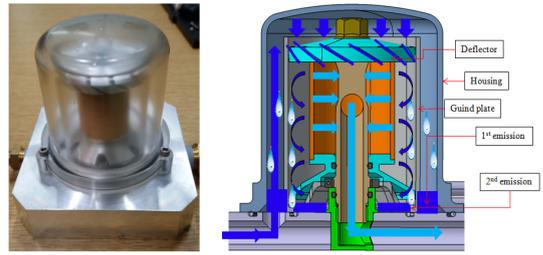


Fig. 4. Configuration and Operation Mechanism of Water Filter Assembly

### 2.2.3 멤브레인 조립체

멤브레인 조립체는 질소발생기의 성능을 결정하는 가장 핵심 부품으로 Bleed air에서 산소와 질소를 분리하는 역할을 하며, Fig. 5와 같이 멤브레인 필터를 보호하는 하우징(Housing)과 고분자 중공사 다발로 이루어져 있는 멤브레인 필터로 구성되어 있다.



Fig. 5. Configuration of Membrane Assembly

멤브레인은 Fig. 6과 같이 투과도와 선택도에 따른 투과속도의 차이에 의해 산소와 수분은 외부로 배출하고 질소만 출구단으로 배출하여 연료탱크에 충전할 수 있도록 설계하였으며, 멤브레인 필터와 하우징을 고정해 주는 폴리우레탄(polyurethane)계 포팅(potting)제의 특성 [9]으로 인해 85℃이하의 Bleed air만 공급되도록 열교환기를 적용하였다.

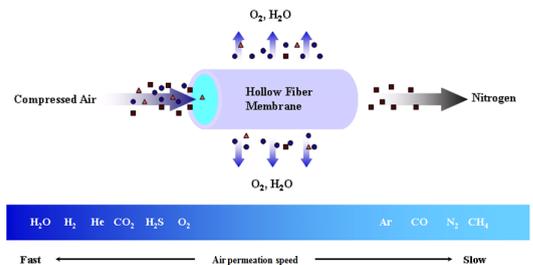


Fig. 6. Principal of Membrane Filter

2.2.4 제어기박스 조립체 및 센서류

제어기박스 조립체, 센서류(온도센서, 압력센서, 산소 센서) 및 차단밸브는 Fig. 7과 같이 구성되어 있으며 장비의 운용상태, 정상작동 여부를 판단하고 비정상 작동시 차단밸브 작동 및 체계에 신호를 전송하는 역할을 하며 각각의 기능은 Table 2와 같다.

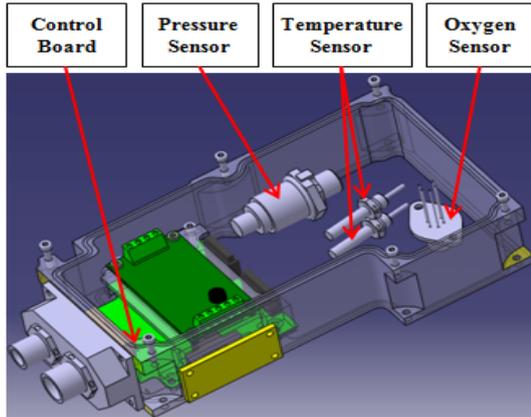


Fig. 7. Configuration of Control Box

Table 2. Components and functions of Control Box

Component	Function	purpose
Temperature sensor	Sensing temperature of air through Heat Exchange and changing to digital signals and Sending to control board of valve.	Membrane Protection (Supply ≤ 85℃ bleed air)
Pressure sensor	Sensing pressure of air through Heat Exchange and changing to digital signals and Sending to control board of valve.	Membrane Protection (Supply ≤ 17.6 bar bleed air)
Oxygen sensor	Sensing oxygen concentration of NEA generated OBIGGS and changing to digital signals and sending control board of valve.	Keep Nitrogen Concentration
Control Board	Data processing of gathered digital signals and decision of shut off valve on/off and sending signal to aircraft	OBIGGS Protection
shut off valve	Receive signals that processed by control board and valve on/off	Shut off the Bleed air

2.3 요구도 충족을 위한 설계변수 최적화

불활성가스발생장치의 요구도 충족을 위한 가장 중요한 요소인 멤브레인 필터는 고분자 중공사 분리막 다발로 이루어져 있으며, 중공사 다발을 흐르는 유체의 투과도와 선택도의 차이에 의해 기체가 산소와 질소로 분리된다. 개발요구도는 저온, 상온, 고온 조건에서 각각 산

소농도 6.0, 4.0, 3.0% 이하의 Bleed air 생성이며, 이를 만족시키기 위해 중공사의 투과도(Permeability, P), 선택도(Selectivity, α), 내·외경지름, 하우징 지름(멤브레인 다발 수)를 설계변수로 놓고 실험을 통해 최적의 변수값을 설정하였다.

멤브레인의 기체 투과 성능을 나타내는 투과도는 식 (1)과 같이 확산도(Diffusivity, D)와 용해도(Solubility, S)의 곱으로 나타낸다[10].

$$P = D \times S \tag{1}$$

멤브레인의 기체 분리 성능을 나타내는 선택도(α<sub>A/B</sub>)는 B 기체에 대한 A 기체의 투과도 비로 식 (2)와 같이 확산계수와 용해도 계수의 곱으로 나타낸다[10].

$$\alpha_{a/b} = \frac{P_a}{P_b} = \left( \frac{D_a}{D_b} \right) \times \left( \frac{S_a}{S_b} \right) \tag{2}$$

멤브레인의 성능을 결정하는 가능 중요한 요소는 투과도와 선택도이며 이상적인 멤브레인은 높은 투과도와 선택도를 가져야 한다. 하지만 Robeson의 연구에서 투과도와 선택도는 trade-off 관계에 있으며[11], 본 논문에서는 항공용 멤브레인으로 적합한 투과도와 선택도를 가지는 폴리이미드(Polyimide) 소재[11,12]를 적용하였다.

투과특성은 단일 기체(O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>)에 대해 Constant volume/variable pressure 방법으로 기체 투과도를 측정하였으며 투과도 계산식은 다음과 같다.

$$P = \frac{dp}{dt} \left( \frac{VT_0L}{p_0T\Delta pA} \right) \tag{3}$$

투과도 P는 정상상태일 때 시간에 따른 압력의 비(dp/dt), 하부 부피비(V), 두께(L), 분리막의 상부와 하부의 압력차(Δp), 측정 온도(T), 막 유효면적(A), 표준압력(p<sub>0</sub>)과 온도(T<sub>0</sub>)로 표현된다[12].

산소에 대한 질소의 선택도(α<sub>O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub></sub>)는 식 (2)에 따라 산소와 질소의 투과도비(P<sub>O<sub>2</sub></sub>/P<sub>N<sub>2</sub></sub>)로 계산하였다.

폴리이미드 멤브레인의 요구도 만족을 위해 식(3)에 따라 변수값을 조절하여 멤브레인을 제작하였으며, 시험장치를 통해 성능을 측정하였다. 실험에 적용된 변수값은 Table 3과 같으며, 각 차수별 시험 결과는 Fig. 8과 같다.

Table 3. Experiment Variables for Polyimide Membrane

no.	Membrane characteristic				Housing Internal Diameter (mm) (Membrane Bundle)	
	PO <sub>2</sub> (barrer)	PN <sub>2</sub> (barrer)	α (O/N)	Diameter (mm)		
				Internal	External	
1	000	00	0.0	0.0	0.0	00 (7 Bundles)
2	000+46	00+5	0.0+0.6	0.0	0.0	00+12.5 (0+5 Bundles)
3	000-4	00+2.5	0.0-0.4	0.0	0.0	00+5.0 (0+3 Bundles)
4	000-44	00-14.2	0.0+0.9	0.0-0.1	0.0	00+5.0 (0+9 Bundles)

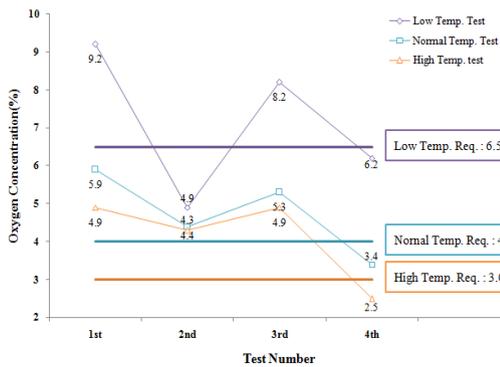


Fig. 8. Optimizing Test Result of Polyimide Membrane

초기 변수값은 기존의 장착제품의 하우징 크기를 고려하여 중공사 내·외경 지름, 투과도와 선택도를 설정하였으며, 1차 시험 결과 Fig. 8와 같이 저온, 상온, 고온 조건에서 모두 불만족하였다. 전체 성능을 향상시키기 위해 멤브레인 하우징(번들 수), 투과도 및 선택도를 증가시켜 2차 시험을 수행하였다. Fig. 8의 2차 시험 결과 저온에서는 만족하였으나 높은 산소 투과도에 따른 압력 손실로 인해 상온, 고온 조건에서 불만족하였다. 압력 손실 감소를 위해 하우징 지름(번들 수)을 줄여서 3차 시험을 수행하였으며 시험 결과 투과도 및 선택도가 모두 감소하여 전체적인 성능이 저하되었다. 4차 실험은 동일한 하우징 내경에 번들 수를 증가시키기 위해 중공사의 외경지름을 축소하였다. 투과도는 감소하였지만 선택도가 3차 실험에 비해 큰폭으로 향상되어 모든 조건에서 성능을 충족하였다. 상기 실험을 통해 멤브레인 필터의 설계변수를 최적화 하여 불활성가스발생장치에 적용하였다.

### 3. 불활성가스발생장치 성능 검증

#### 3.1 개발성능시험

불활성가스발생장치 성능을 검증하기 위해 기본성능 시험, 과열압력시험, 온도강하시험, 여과성능시험, 전자기적합성시험, 환경시험을 수행하였으며 Fig. 9와 같이 별도의 시험장비를 제작하여 성능을 측정하였다. 시험장비는 유량센서(THF, NURITECH社, KOREA) 압력센서(601, NURITECH社, KOREA), 온도센서(K-type thermocouple), 산소센서(OXY-MV-M, ECO SCIENCE社, KOREA), 에어히터(F038825, OSRAM SYLVANIA社, USA)를 적용하여, 공기 가압 및 가열하여 공급이 가능하며 산소 농도, 유량, 온도 측정 및 불활성가스발생장치 제어기박스에서 나오는 신호 모니터링이 가능하도록 제작하였다.

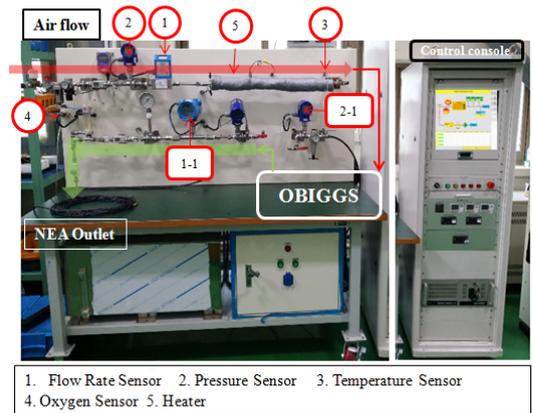


Fig. 9. Performance Test Machine for OBIGGS

기본성능시험은 운용 중 연료탱크 내 산소 농도 9%

이하를 유지하기 위해 연료탱크의 부피 및 체계운용 환경을 고려하여 저온, 상온, 고온 조건에서의 NEA 유량 및 산소농도 요구도 값을 설정하여 수행하였으며 시험결과 기준충족함을 확인하였다. 기본성능시험 요구도 및 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. NEA generation Test Requirements and Results

Requirements				Test Results		
Atmosphere Temp (°C)	Bleed air		NEA Flow Rate (lbs/min)	O <sub>2</sub> (%)	NEA Flow Rate (lbs/min)	O <sub>2</sub> (%)
	Temp (°C)	Pressure (bar)				
-12	117	2.5	≥ 0.05	≤ 6.5	0.051	4.81
35	182	2.2	≥ 0.05	≤ 4.0	0.052	3.28
63	221	2.14	≥ 0.04	≤ 3.0	0.040	2.81

과열압력시험은 불활성가스발생장치가 운용중 공급될 수 있는 최대의 압력에 견딜 수 있음을 확인하는 시험으로 17.6 bar 내압을 3분간 가압 후 검사를 통해 파손이 없음을 확인하였다.

온도강하 시험은 운용될 수 있는 가장 가혹한 조건의 대기 온도에서 고온의 Bleed air가 공급될 때 제품이 정상작동하는지 확인하기 위한 시험으로 열교환기 조립체의 성능에 의해 결정된다. 시험 결과 기준을 만족하는 것을 확인하였으며 자세한 시험 기준 및 결과는 Table 5와 같다.

Table 5. Heat Exchange Test Requirement and Result

Requirements				Test Result	
Environmental Temp (°C)	Environmental Pressure	Input Bleed air		Measured Temp (°C)	Measured Temp (°C)
		Temp (°C)	pressure (bar)		
71	Atmospheric Pressure	250	2.8	≤ 85	82

여과성능시험은 Bleed air에 포함되어 있는 수분의 제거능력을 확인하는 시험으로 실제 발생할 수 있는 조건보다 가혹한 조건으로 수행하였다. 성능 시험장비와 불활성가스발생장치가 연결되는 배관에 80cc의 물을 주입하고 NEA 배출구에서 배출되는 수분량 측정 결과 수분 배출이 없음을 확인하였다.

전자기 적합성 시험은 불필요한 전자파신호에 의한 불활성가스발생장치의 영향성 유무를 확인하는 시험으로 체계운용 조건에 따라 MIL-STD-461F Army Aircraft

수준의 CE(Conducted Emission, 전도방사), CS(Conducted Susceptibility, 전도내성), RE(Radiated Emission, 복사방사), RS(Radiated Susceptibility, 복사내성) 시험을 수행하여 기준 이하의 Noise 발생 및 정상작동함을 확인하였다.

환경시험은 체계 운용환경에서 불활성가스발생장치의 정상작동 여부를 확인하기 위해 MIL-STD-810F 규격에 따라 온도, 고도, 상대습도, 염수분무, 균류 및 유체 저항, 진동, 충격, 가속도, 모래, 먼지, 폭발환경, 호우시험을 수행하였으며 기준을 체계 운용 환경에 맞게 조정하여 적용하였다. 시험 결과 모든 항목에서 정상 작동함을 확인하였다.

### 3.2 체계적합성시험

불활성가스발생장치는 단품의 성능 검증 후 체계 부착 성능시험을 통해 최종적으로 입증하였다. 타 체계와는 달리 항공부품은 비행시험을 통해 성능이 최종 입증되며 불활성가스발생장치 역시 지상장착성시험과 비행시험을 수행하였다.

지상장착성시험은 체계와의 기계적 인터페이스 적합성 및 간섭여부를 확인하는 시험으로 비행 전 장착성 및 간섭여부 확인, 비행 후 균열 및 탈거 확인결과 이상없음을 확인하였다.

비행시험은 연료탱크 내의 산소 농도가 엔진 시동 후 30분 이내 9% 이하 도달됨을 확인하기 위한 시험으로 기본 임무조건 비행에서 각 연료탱크 내 산소농도 및 요구도 도달 시간을 측정하였다. 시험 결과 Fig. 10과 같이 모든 연료탱크에서 30분 이내에 산소 농도 요구도를 충족하였으며, 기 장착되어 있는 제품 동등 이상의 성능을 가짐을 확인하였다.

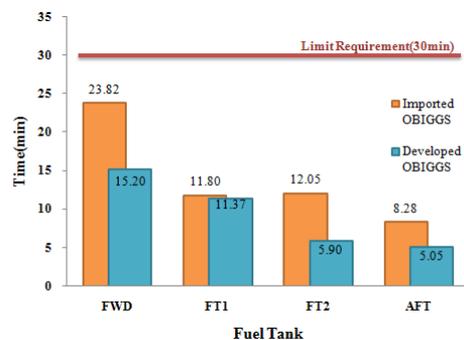


Fig. 10. Time to reach 9% Oxygen Concentration at Each Fuel Tank

## 4. 결론

한국형 기동헬기의 내폭발성 요구도 만족 및 승무원 생존성 향상을 위해 적용된 불활성가스발생장치의 국산화 개발을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 불활성가스발생장치의 성능에 주요한 영향을 미치는 요소는 멤브레인 필터이며, 항공용 멤브레인으로 적합한 폴리이미드(Polyimide) 소재를 적용하였다.
- 2) 체계 운용 및 환경 조건을 고려하여 요구도를 설정하였고 증공사의 투과도, 선택도, 내·외경 지름, 하우징 지름을 변화시키면서 멤브레인 필터의 성능을 최적화 하였다.
- 3) 멤브레인 필터는 산소투과도가 높을 경우 압력손실로 인한 성능저하가 발생하여 투과도를 낮추고 선택도를 높여 요구도를 충족하였다.
- 4) 요구도 도달 시간은 5.05 ~ 15.20분으로 기준 대비 최소 49% 정도의 여유가 있으며, 기 장착되어 있는 제품 대비 최소 4%, 최대 51%의 성능개선 효과가 나타났다.

본 논문은 불활성가스발생장치 국산화 개발을 위한 설계 및 검증 방안을 제시하였으며 차후 동종 및 유사종류의 부품 개발에 참고가 될 것으로 기대된다. 또한, 국외 도입품에 의존하던 제품의 국내 최초 개발을 통해 관련 제반기술을 확보하여 향후 진행되는 차세대 항공기 사업에 크게 기여할 것으로 판단된다.

## References

- [1] Department for Communities and Local Government, *Fire and Rescue Service Operational Guidance- Aircraft Incidents*, pp. 116-164, TSO(The Stationery Office), 2012.
- [2] J. H. Kim, C. Y. Kim, J. J. Jang, M. Y. Lee, D. S. Shim, "Design Improvement of Vent System for Korean Utility Helicopter's Anti-Explosion fuel Tank", *J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, vol. 45, no. 1 pp. 76-81, 2014.  
DOI: <https://doi.org/10.5139/JKSAS.2014.42.1.76>
- [3] H. G. Kim, S. C. Kim, J. W. Lee, I. H. Hwang, J. W. Hue, D. W. Shin, T. K. Jung, B. G. Ha, "Assessment of Self-sealing Performance of the Fuel Tank of the Rotorcraft against Ginfire Projectiles", *J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences*, vol. 38, no. 5 pp. 477-481, 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.5139/JKSAS.2010.38.5.477>

- [4] H. G. Kim, S. C. Kim, "Study on the Phase II Qualification Test for Fuel Cell of Rotorcraft", *J. of The Korea Academia-Industrial cooperation Society*, vol. 14, no. 3 pp. 1054-1060, 2013.  
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.3.1054>
- [5] S. K. Kim, "Investigation of means for protecting fuel tank explosion", *J. of Aerospace Engineering and Technology*, vol. 3, no. 1 pp. 272-276, 2004.
- [6] Defense Acquisition Program Administration, *Helicopter, Utility*, Korea Defence Standard KDC 1450-T4011, pp. 121, Defense Acquisition Program Administration, 2012.
- [7] J. W. Seo, C. Y. Cho, S. R. Lee, Y. D. Choi, "Thermal Characteristics of a Primary Surface Heat Exchanger with Corrugated Channels", *J. of Entropy*, vol. 18, no. 1, 15, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/e18010015>
- [8] J. F. RICHARDSON, J. H. HARKER, J. R. BACKHURST, *Chemical Engineering*, p.37-91, Butterworth-Heinemann, 2013.
- [9] C. Hepburn, *Polyurethane Elastomers*, p.51-106, Springer Science & Business Media, 2012.
- [10] Winston Ho, Kamallesh Sirkar, *Membrane Handbook*, p.25-53, Springer Science & Business Media, 2012.
- [11] D. Y. OH, S. Y. HA, J. M. Lee, H. J. Kim, S. Y. Nam, "Developing Trend of Gas Separation Membrane for OBIGGS", *Korea Industrial Chemistry News*, vol. 13, no. 3 pp. 37-45, 2011.
- [12] J. M. Lee, M. G. Lee, D. J. Kim, S. Y. Nam, "Characterization of Gas Permeation Properties of Polyimide Copolymer Membranes for OBIGGS", *Membrane Journal*, vol. 24, no. 4 pp. 325-331, 2014.  
DOI: [https://doi.org/10.14579/MEMBRANE\\_JOURNAL.2014.24.4.325](https://doi.org/10.14579/MEMBRANE_JOURNAL.2014.24.4.325)

안 종 무(Jong-Moo Ahn)

[정회원]



- 2014년 2월 : 한국기계연구원 부설 재료연구소 연구원
- 2014년 2월 : 경상대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

국방, 기계/재료, 항공우주공학

---

**이 희 랑(Hee-Rang Lee)**

[정회원]



- 2013년 2월 : 경상대학교 항공우주 특성화 대학원 항공우주공학과 (공학석사)
- 2013년 2월 ~ 현재 : 국방기술품질원 항공센터 감항인증팀

<관심분야>

국방, 항공우주공학, 비행제어

---

**강 태 우(Tae-Woo Kang)**

[정회원]



- 2012년 2월 : 경상대학교 항공우주 특성화 대학원 항공우주공학과 (공학석사)
- 2012년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 항공센터 감항인증팀

<관심분야>

국방, 기계/재료

---

**최 재 호(Jae-Ho Choi)**

[정회원]



- 2015년 8월 : 연세대학교 정보산업 공학과 (공학석사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

품질경영시스템, 산업공학, 서비스사이언스