

論文

J. of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences 45(6), 473-480(2017)

DOI:https://doi.org/10.5139/JKSAS.2017.45.6.473

ISSN 1225-1348(print), 2287-6871(online)

한국형 기동헬기 OBIGGS 경고등 이상 점등현상 설계개선

김정훈*, 임현규**, 이기형***

Design Improvement of OBIGGS Abnormal Warning Lights up for Korean Utility Helicopter

Joung-Hun Kim*, Hyun-Gyu Lim** and Ki-Hyung Lee***

Defense Agency for Technology and Quality*, **, Korea Aerospace Industries***

ABSTRACT

Military helicopters are equipped with OBIGGS System to prevent an explosion caused by the projectile. OBIGGS warning lights up should only operate when sensing fault, but it frequently worked without malfunction in the initial production process and the design improvements were required. In this paper, the cause of OBIGGS abnormal warning lights up was reviewed, the improvements were established and proven.

초 록

군용 헬리콥터는 피탄에 의한 폭발을 방지하기 위한 OBIGGS System을 장착하고 있다. OBIGGS 경고등은 이상감지 시에만 작동해야 하나, 초도생산 과정에서 빈번하게 이상 작동을 하여 설계개선이 요구되었다. 본 논문에서는 OBIGGS 경고등 이상 점등 원인을 검토하고 개선방안을 수립 및 입증하였다.

Key Words : Korean Utility Helicopter(한국형 기동헬기), On-Board Inert Gas Generation System(OBIGGS, 탑재형 불활성 가스발생장치), Nitrogen Enriched Air (NEA, 질소가스), Warning Light(경고등)

1. 서 론

한국형 기동헬기에서는 별도의 충전 없이 영구적으로 내폭발성을 만족시키는 탑재형 불활성 가스발생장치(On-Board Inert Gas Generation System, OBIGGS)를 적용하고 있다[1].

OBIGGS는 Fig. 1과 같이 보조동력장치(Auxiliary Power Unit, APU)의 공기부화가스(Bleed Air)를 이용하여 질소 부화 공기(Nitrogen

Enriched Air, NEA)를 발생시켜 연료탱크에 공급하고, 엔진 시동 후에는 엔진의 Bleed Air를 사용한다[2].

OBIGGS는 항공기 전원 인가 시 자체 진단시험(Built-In Test)을 45초 이내에 실시하고 진단결과를 주의 경고패널(Caution Warning Panel, CWP)을 통하여 조종사에게 전달해준다. 또한 OBIGGS 정상작동 감시를 위하여 15±1분에 OBIGGS Control Box 내부의 산소농도를 측정하

† Received : December 27, 2016 Revised : May 28, 2017 Accepted : May 31, 2017

* Corresponding author, E-mail : kim10927@dtaq.re.kr

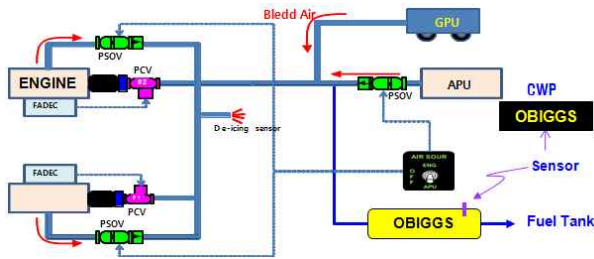


Fig. 1. OBIGGS Operation Diagram

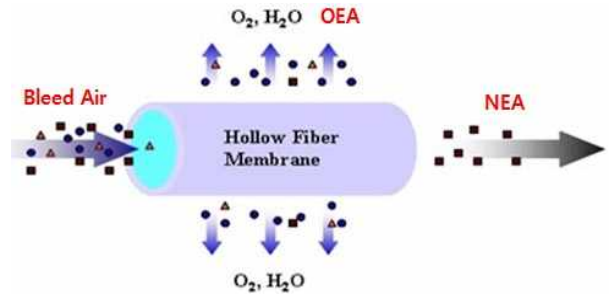


Fig. 2. OBIGGS ASM Concept

Table 1. OBIGGS Warning Light Defect

A/C	#0	#0	#0	#0	#0	#0	Total
Defect	2	1	2	1	1	2	
A/C	#00	#00	#00	#00	#00	#00	15
Defect	1	1	1	1	1	1	

여 정상 여부를 CWP 경고등을 통하여 조종사에게 전달해준다. 점검이 정상적일 경우에는 경고등이 점등 후 소등되고, 15분 이후 산소농도가 10% 이상 초과될 경우에는 지속적으로 경고등이 점등되도록 설계되었다[3].

한국형 기동헬기 초도양산 과정에서 Table 1 과 같이 전원인가 후 15±1분에 수행되는 정상작동 감시 점검 시 경고등이 정상적으로 점등되지 않거나, 15분 이후 경고등이 점등되어 소등되지 않는 현상이 15회가 발생되었다. 이와 같은 OBIGGS 결함으로 빈번한 OBIGGS 교체·장착이 발생하였고, 이는 한국형 기동헬기 적기 전력화에 영향을 끼쳐 시급한 개선방안 수립이 요구되었다[4].

본 연구에서는 한국형 기동헬기 OBIGGS 경고등 관련 결함원인 분석 및 개선방안을 도출하여 품질결함을 최소화 시켰다.

II. OBIGGS 경고등 이상 점등현상 원인검토

OBIGGS 경고등이 점등되기 위해서는 Control Box 내부의 산소농도가 10% 이상 초과되거나 OBIGGS 구성품이 비정상작동을 해야 한다. Control Box 내부의 산소농도가 10%를 초과하기 위해서는 공기 분리 모듈(Air Separation Module, ASM)이 정상작동을 하지 않아야 하는데 ASM은 Bleed Air만 공급되면 Fig. 2과 같이 화학적으로 산소 부화 공기(Oxygen Enriched Air, OEA)와 질소 부화 공기(Nitrogen Enriched Air, NEA)를 생성시키기 때문에 단시간에 비정

상 작동을 할 가능성이 존재하지 않는다[5]. 산소 농도 경고와 관련된 OBIGGS 부품을 점검하고 경고등 이상 점등현상의 고장탐구를 위하여 분해검사를 실시하기로 하였다.

2.1 작동 및 분해검사 결과

경고등이 이상 점등된 OBIGGS를 해외 원천업체로 이송시켜 경고등 이상 점등 관련 수락시험을 수행하였을 때 일부는 정상작동을 하였으며, 일부는 항공기 상태와 동일하게 경고등 이상 점등 현상이 발생되었다.

결합현상이 발생된 OBIGGS 분해검사 결과 Fig. 3과 같이 Filter 및 장착부에서 다량의 수분이 발견되었으며, 유동흐름을 제어하는 압력조절밸브(Pressure Regulator Shut Off Valve, PRSOV)에서 부식이 발견된 것을 확인할 수 있었다.

OBIGGS 내부에는 Bleed Air가 산소 및 질소



a) Filter Upper Side b) Filter Bottom Side



c) PRSOV Corrosion

Fig. 3. OBIGGS Internal Inspection

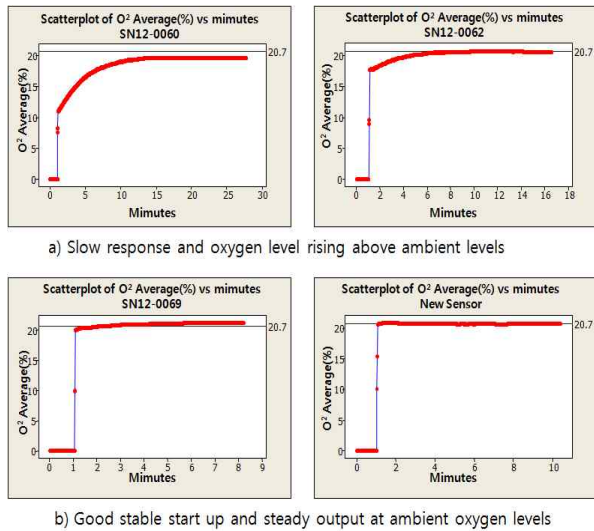


Fig. 4. OBIGGS Oxygen Sensor Quality Check

로 분리될 때 정상적으로 이루어지는지를 감시하기 위하여 압력, 온도, 산소센서가 장착되어 있다. 압력, 온도센서는 분해검사 시 정상작동을 하였지만, 산소센서는 이상 작동 되는 것이 확인되었다.

산소센서 전문업체 시험에서 경고등이 이상 점등된 OBIGGS 산소센서(SN-0060, SN-0062)에 대한 산소 반응속도 점검결과 산소에 반응하는 속도가 Fig. 4와 같이 정상제품보다 늦어진 것을 발견하였다.

OBIGGS 분해검사에서 필터 및 장착부위에서 수분이 발견되었고, PRSOV에서 부식, 산소센서에서는 산소반응이 느려진 것을 발견하였다. 필터 자체의 수분 및 PRSOV의 부식 자체로는 경고등 점등과 관련이 없으며, 경고등이 이상 점등된 이유는 Control Box 내부의 산소센서가 산소 농도를 측정하는 반응속도가 느려져 산소농도를 10% 이상으로 측정하여 발생된 것으로 추정할 수 있었다.

2.2 산소센서 성능저하 원인 검토

최초 수락감사 시에는 양호하였던 산소센서의 반응속도가 항공기 장착 후 왜 늦어지는지 고장 탐구가 요구되었기에 항공기 체계 및 OBIGGS 차원에서의 산소센서 고장원인을 검토하였다.

2.2.1 체계영향성 검토

항공기 체계에서 OBIGGS 내부의 산소센서 수명에 영향을 미치는 요소는 항공기 진동, 사용온도, 순간적 저전압 등을 추정할 수 있었으나 초도생산 환경은 OBIGGS 개발 요구도 이내로 산소센서의 고장유발 요인이 될 수 없었다.

Table 2. Oxygen Sensor Fail Root Cause & Result

Cause of Failure	OBIGGS Requirement	Aircraft Test Result
Vibration	1.8G@4/Rev	1.5G@4/Rev
Temperature	71℃	40℃
Low Voltage	18 VDC max	18 VDC max

Table 3. Oxygen Sensor Spec

Characteristic	Sensor Spec
O ₂ Pressure Range	2 mbar to 3 bar
Measuring Range	0-25% and 0-100%
Response Speed	4 seconds
Operating Temperature	-100℃ to +400℃

2.2.2 산소센서 제조규격 검토

OBIGGS에 적용된 산소 센서는 Table 3과 같이 응답속도가 4초 이내인 Zirconium Dioxide 센서를 적용하고 있다.

산소센서 제조사(SST Sensing, 영국) Application Note에서 Table 4와 같이 연소성 Gas, 중금속 증기, 할로젠 및 황 화합물, 실리콘 증기 등이 노출된 환경에서 사용할 경우에는 고장유발이 될 수 있다는 경고 문구를 발견하고 OBIGGS 산소센서가 운용되는 환경에 대한 검토가 필요하다는 결론을 얻게 되었다.

2.2.3 산소센서 운용환경 검토

산소센서 제조규격에서 명시된 위해요소 중 연소성 GAS 및 중금속 증기는 산소센서의 전극 판을 태워 완전 고장을 일으키며 할로젠 및 황화합물, 실리콘 증기, 가황처리 고무 등은 산소센서의 정확한 측정 문제를 야기할 수 있다고 명시되어 있었다.

또한 위해요소 중 연소성 GAS(H₂, CO, CH₄, NH₃) 및 중금속 증기는 항공기 존재하지 않으므로 할로젠, 황 화합물 및 실리콘 증기, 강화처리 고무 수분 등에 대한 영향성 검토가 요구되었다.

항공기 체계상 발생 가능한 위해요소를 구체적으로 식별하기 위하여 APU 및 엔진으로부터 발생된 Bleed Air가 OBIGGS까지 공급되는 경로에 장착된 부품 및 부자재를 검토하였다. 공급 경로에는 알루미늄 튜브, 실리콘 커플링, 실런트, 록타이트 등이 이용되며, 장착 위치는 Fig. 5와 같이 구성된다.

Table 4. Oxygen Sensor Operation Notice

Hazard Factor	Effect
Combustibility GAS (H ₂ , CO, CH ₄ , NH ₃)	·O ₂ Sensor Platinum Electrode, Aluminum Oxide Filter Combustion(Gas Concentration 2~2.5% min)
Heavy Metal Vapor (Zn, Cd, Pb, Bi)	·Platinum Electrode Catalyst Characteristic
Halogen, Sulfur Compound	·Transmission Error & Sensor Corrosion
Si Vapor, Vulcanized Rubber	·SiO ₂ Pore & Activated Electrode Coating
Moisture	·Corrosion

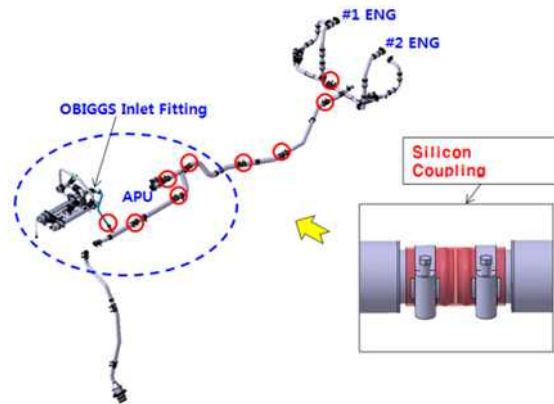


Fig. 5. OBIGGS System Installation Diagram





OBIGGS System 장착에 이용되는 부품 및 부자재중 금속을 제외하고는 화학 물질을 파악할 수 없었기 때문에 황 화합물 및 실리콘이 포함될 가능성이 있는 부품 및 부자재를 Table.5와 같이 식별하였으며, Bleed Air Tube 연결용 Coupling, VV-P-236, Braycote 804, 록타이트 등이 위해요소가 포함될 가능성이 존재할 것으로 추정되었다.

Coupling은 Bleed Air Line의 연결 시, VV-P-236 실린트는 Coupling 조립 시, Braycote 804는 OBIGGS 입구 Fitting 조립 시, Loctite는 OBIGGS 내부에 적용되고 있다.

위해요소별 산소센서 영향성 검토

Table 5에서 식별된 부품 및 부자재를 직접 산소센서에 노출시켜 영향성을 검증할 수 있는 시스템을 Fig. 6과 같이 구성하였다. 부품 및 부자재의 화학성분이 Control Box에 쉽게 도달할 수

Table 5. Potential Causal Factor for Abnormal Oxygen Sensor Operation

Name	Coupling	VV-P-236
Position	Bleed Air Duct	Bleed Air Duct
Usage	Pipe Connection	Sealant
Config		
Name	Braycote 804	Loctite 577
Position	OBIGGS Inlet Fitting	OBIGGS Inlet
Usage	Sealant	Bonding
Config		

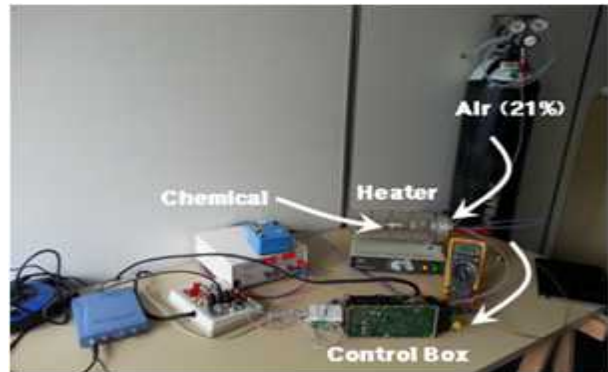


Fig. 6. Potential Casual Factor Verifying System for Oxygen Sensor

있도록 가열장치를 장착하고 O₂ 21%의 공기를 이용하여 산소센서에 노출시켰다.

위해요소 포함 예상 물질 4 EA에 대한 산소센서 노출시험 결과 Coupling, VV-P-236, Loctite에 대해서는 산소센서 영향성이 없음을 확인하였으나, Braycote에 주입 시 약 100분에 산소센서가 작동되지 않는 것을 확인할 수 있었다.

항공기에 장착된 OBIGGS에 대하여 최초 기능검사를 수행할 때는 이상이 없었지만, 비행시험 중에 경고등 이상 점등이 발생된 것으로 보아 Braycote에 노출된 산소센서가 점진적으로 기능을 상실한 것으로 추정되었다.

수분 관련 환경요소 검토

① 카울링을 통한 수분 유입 검토

OBIGGS 개발 시 장착위치가 카울링 내부에 있기 때문에 강우 관련 요구도가 없었으나 장착 위치 검토결과 후방 카울링 안쪽으로 비가 올 때 Fig. 8과 같이 카울링과 오일 쿨러 덕트의 틈(약 7 mm)으로 빗물이 유입되어 OBIGGS가 젖을 수 있는 것으로 확인되었다.

OBIGGS가 빗물에 젖더라도 산소센서가 위치한 Control Box는 오링으로 밀봉 처리되어 외부의 빗물이 유입될 수가 없는 구조이며, Fig. 9와 같은 방수시험을 통한 빗물 유입 모사 시험을 수행한 결과 Control Box 안으로 수분이 침투되지 않았으며 또한 작동시험 결과 OBIGGS 정상작동

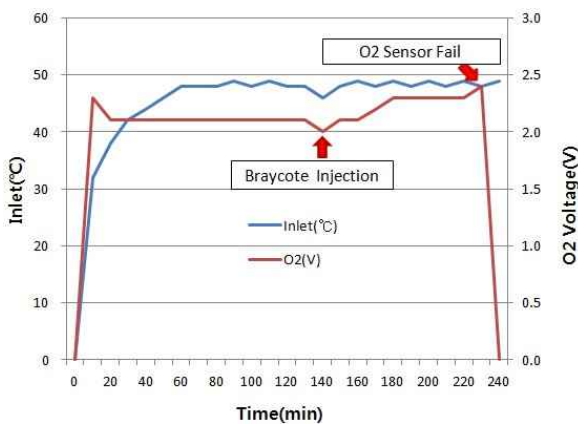


Fig. 7. Test Result for Braycote 804 Injection

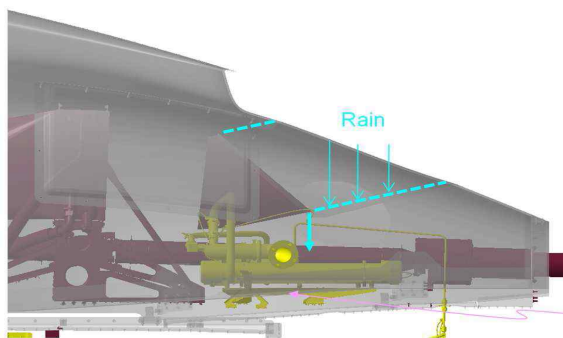


Fig. 8. After Cowling's Rain Influx Path

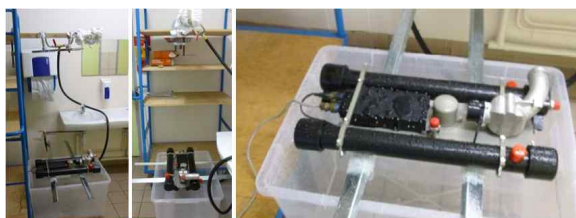


Fig. 9. OBIGGS Water Proof Test

을 확인할 수 있었다.

② 엔진 및 APU를 통한 수분유입 검토

우천 비행을 실시할 경우 엔진 흡입구 및 APU 흡입구를 통하여 빗물이 유입되고 빗물이 걸러지지 못할 경우 Fig. 10과 같이 Bleed Air Line을 타고 흐를 수 있는 가능성을 확인하였다.

엔진은 자체에 입자분리기(Inlet Particle Separator, IPS)가 존재하기 때문에 대부분의 수분이 걸러지게 된다. APU는 스크린 형태의 이물질 제거장치만 존재하고 내부에는 IPS 형태의 장치가 존재하지 않는다.

APU를 통한 수분 유입 가능성을 검토하기 위하여 Fig. 11과 같이 항공기 1.8 mm/min 강우조건에서 APU를 10분간 가동하여 실제로 Bleed Air Line을 통하여 수분이 유입되는지 시험을 진행하였다. 유입 수분량을 측정하기 위하여 OBIGGS Inlet End Fitting을 분리한 후 수분 수집기(Water Collector)를 장착하였다.

최대 강우조건에서 APU 작동시험 결과 Table 6과 같이 APU 흡입구를 통한 수분이 OBIGGS Inlet에서 검출되는 것이 확인되었다.

강우 조건하의 시험에서 검출된 수분은 Fig. 12과 같이 열교환기, 필터, 압력 및 온도센서, Shut Off 밸브, 멤브레인, Control Box(산소센서

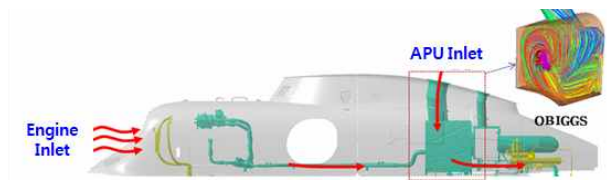


Fig. 10. Water Route in Engine & APU System

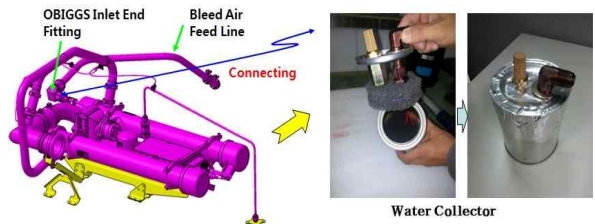


Fig. 11. Water Route in Engine & APU System

Table 6. Water Detection Test Result in Rain Condition

Test Result	1st	2nd	3rd
Collector Weight	403.0g	403.0g	403.0g
Test Weight	403.5g	404.0g	405.0g
Water Weight	0.5g	1.0g	2.0g

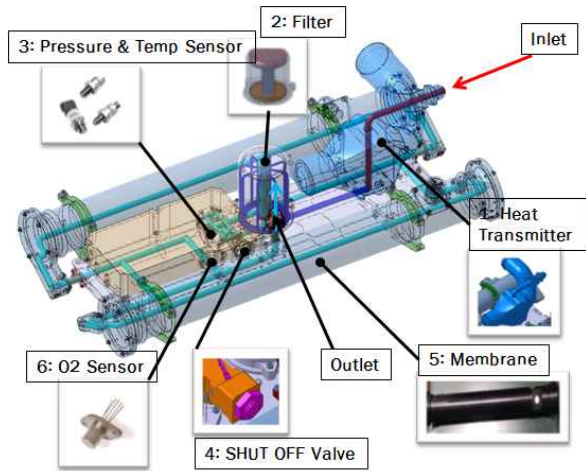


Fig. 12. OBIGGS Air Flow Sequence

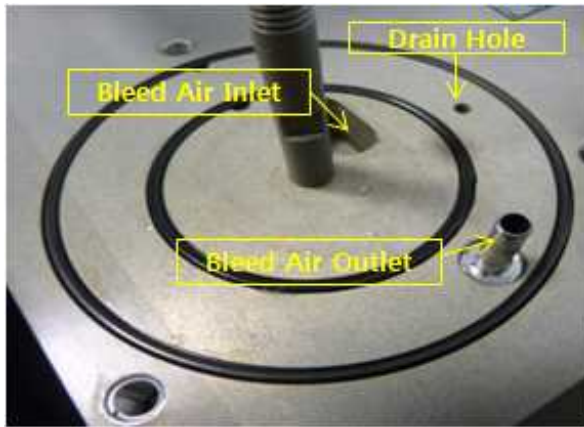


Fig. 13. Filter's Drain Hole & Bleed Air Inlet/Outlet

위치) 순으로 흐른다.

열교환기는 엔진 및 APU에서 공급되는 250℃의 Bleed Air를 고속의 쿨링팬을 이용하여 65℃로 낮추는 역할을 하며 수분이 유입될 경우에 걸러지는 구조적 특성을 가지고 있지 않다. 따라서 OBIGGS 내부로 수분이 유입될 경우에 최초로 수분 발견이 가능한 곳은 필터이다.

필터로 유입된 수분은 Fig. 13과 같이 Bleed Air 입구를 통하여 유입되어 필터를 통과한 후 Drain Hole을 통하여 빠져나간다. Bleed Air 출구는 금속 Tube가 장착되어 기준면보다 높기 때문에 수분이 유체형태로는 산소센서가 위치한 Control Box 내부로 유입될 수 없는 구조이다.

OBIGGS 분해검사에서 산소센서가 위치한 Control Box 내부에서 수분의 흔적을 발견하지 못하였고 강우조건 및 방수 시험 실시 후 OBIGGS 경고등 이상 점등 현상이 발생되지 않았으므로 수분은 경고등 점등 현상과 관련 없는

것으로 판단되었다. 하지만 수분이 배출되지 못하고 필터 내부에 장기간 고여 있을 경우에는 OBIGGS에 부식 등의 악영향을 끼치므로 개선이 요구되었다.

2.3 OBIGGS 경고등 이상 점등현상 원인 검토 종합

경고등이 이상 점등된 OBIGGS 분해검사 결과 필터에서 다량의 수분과 PRSOV 밸브에서 부식이 발견되었으며, 산소센서가 정상품보다 느린 반응속도를 보이는 것을 확인하였다.

경고등이 이상 점등되기 위해서는 산소농도가 10% 이상이거나 OBIGGS의 자체진단 시험결과가 고장이어야 한다. 산소농도를 결정하는 멤브레인은 Bleed Air만 공급되면 화학적으로 작동되기 때문에 고장의 원인이 될 수 없었기 때문에 산소농도를 모니터링 하는 산소센서가 이상작동할 경우에 경고등이 점등되었다는 추론을 할 수 있었다.

산소센서 제조규격 검토결과 황화합물, Silicone 및 수분이 포함된 환경에서 사용할 경우 고장유발이 될 수 있다는 제조사 규격을 발견하고 관련 입증시험을 실시하였다.

위해물질이 포함된 물질을 찾기 위해 품목별 화학성분을 조사했지만, 제조상의 비밀로 공개하지 않아 위해요소 포함 예상물질에 대하여 모사시험을 실시하였다.

위해요소 환경 모사시험 결과 Braycote 804 주입 시 100여분 만에 산소센서가 고장난 것을 확인할 수 있었으며, 수분 환경 모사시험 결과 APU 흡입구에서 유입된 수분이 OBIGGS 필터까지 유입된 것을 확인할 수 있었으나, 산소센서가 위치한 Control Box 내부까지는 도달하지 않는 것으로 확인되었다.

OBIGGS 경고등 이상 점등현상은 산소센서의 고장으로 발생한 현상이며, 산소센서의 성능저하는 Braycote 804 Gas에 노출되어 발생된 것으로 확인되었다. OBIGGS 필터내에서 발견된 수분은 방수시험, 우천비행 등에서 APU 흡입구로 유입된 수분이 배출되지 못한 것으로 산소센서의 고장과는 직접 연관이 없는 것으로 확인되었다. 장기적인 측면에서는 산소센서에 악영향이 있을 수 있으므로 개선이 요구되었다.

III. 개선방안 검토 및 입증시험

3.1 Braycote 804 제거

OBIGGS 산소센서 고장원인으로 확인된

Braycote 804는 OBIGGS Inlet Fitting 장착 시 원활목적으로 이용되며, Fitting 장착 시에 적용하지 않아도 큰 문제가 없기 때문에 제거하는 설계변경을 실시하였으며, Braycote 804 제거 후에는 경고등 이상 점등현상이 발생되지 않았다.

3.2 수분 환경요소 제거

수분을 제거하기 위한 가장 좋은 방법은 수분이 포함되지 않은 Bleed Air를 공급하는 것이나 보조동력장치의 개조가 필요하여 항공기 체계 또는 OBIGGS 자체 내에서 수분을 배출하는 방법으로 개선방안이 도출되었다.

체계적인 측면에서 Bleed Air와 같이 공급되는 수분을 제거하기 위하여 Fig. 14와 같이 Bleed Air 라인 중간에 별칭 가공을 하여 Drain Hole을 뚫어 유입된 수분이 빠질 수 있는 방안을 수립하였다.

APU 흡입구를 통한 수분유입 시험장치를 이용하여 항공기 최대 강우조건하에서 OBIGGS Inlet 부위까지 유입되는 수분을 Table 7과 같이 측정하였다. 시험결과 수분 최대 0.7g이 유입되었으며, Bleed Air 라인을 통한 수분배출이 효과가 미미하다는 것을 확인하였다.

수분이 Drain Hole을 통하여 배출되지 못한 이유는 APU에서 발생된 Bleed Air 속도에 의하여 수분이 별칭 부위에 고이지 못하고 통과해버렸기 때문이다. 수분을 걸러주기 위하여 Drain Hole 주변에 칸막이 형태의 수분 걸림 장치를 구현하려고 하였으나 Bleed Air 속도 감소 시 OBIGGS 질소생성 성능에 영향을 미치게 되어 체계에서의 수분 감소방안은 적용을 보류하였다.

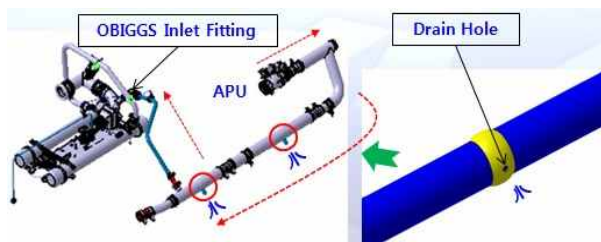


Fig. 14. Bleed Air Line Improvement Plan

Table 7. Water Detection Test Result of Prototype

Test Result	1st	2nd	3rd
Collector Weight	403.0g	403.0g	403.0g
Test Weight	403.3g	403.5g	403.7g
Water Weight	0.3g	0.5g	0.7g

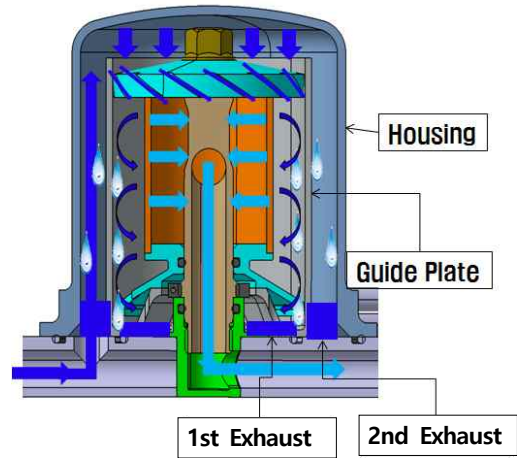


Fig. 15. Water Discharging Plan in Filter

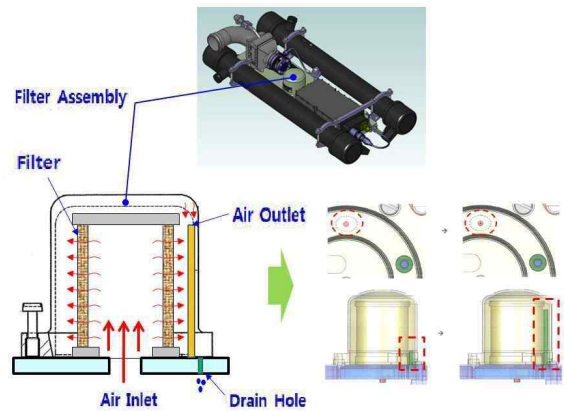


Fig. 16. OBIGGS Filter Improvement Plan

OBIGGS 필터 내에서 수분을 배출하기 위하여 Bleed Air 방향을 Fig. 15와 같이 필터 바깥쪽에서 안쪽으로 들어가는 것으로 개념을 잡고 Bleed Air가 디플렉터 상부로 올라가면서 수분을 1차 배출하고 디플렉터 사선 홈을 통과하면서 회전을 유발시켜 2차 배출시키는 개선안을 도출하였으나, 필터 아래쪽의 장착면과 필터의 전면적인 설계변경이 필요한 사항으로 일정 및 비용문제로 향후 국산화 시 적용하기로 의사결정 되었다.

OBIGGS 필터 내에서 수분을 배출하기 위한 다른 방안으로 Fig. 16과 같이 Drain Hole($\varnothing 0.2\text{ mm} \rightarrow \varnothing 1.0\text{ mm}$)을 확장하고 Air Outlet Tube 길이($12.9\text{ mm} \rightarrow 55.9\text{ mm}$)를 변경하고, PRSOV 밸브 재질을 Steel에서 CRES로 변경하는 개선안을 수립하였다. PRSOV 밸브 재질을 변경한 사유는 액체형태의 수분은 Drain Hole 및 Tube 길이 변경으로 제거가 가능하지만, 증기형태의 수분은 개선안으로 제거가 불가능하여 재질을 변경하였다.

개선 OBIGGS를 수리온 시제기 #3, #4호기에 장착하여 820시간 동안 운용한 결과 경고등 점등 현상이 없었으며, 분해검사 결과 부식이 발생되지 않았음을 확인하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 한국형 기동헬기 OBIGGS에서 발생한 경고등 이상 점등현상과 관련하여 이상 점등현상 원인을 파악하여 개선방안을 수립하여 입증결과를 제시하였다.

OBIGGS 경고등 이상 점등 현상은 Braycote 804에서 발생된 Silicone Gas로 인해 산소센서의 성능이 저하되어 발생되었다. Braycote 804는 OBIGGS Inlet Fitting 장착 시에 이용되는 그리스로 적용하지 않아도 장착상의 문제가 없기 때문에 제거하는 설계변경을 실시하였으며, 제거 후에는 경고등 이상 점등현상이 발생되지 않았다.

OBIGGS 분해검사에서 발견된 수분은 APU

흡입구에서 유입되어 필터까지 Bleed Air와 함께 흘러들어갔으나 경고등 이상 점등과는 직접적인 관계는 없었다. 하지만 장기적인 측면에서의 고장유발 방지를 위하여 체계 Bleed Air Line을 개선하여 OBIGGS로 유입되는 수분이 최소가 되도록 설계 개선하였다.

References

- 1) HELICOPTER, UTILITY, Korea Defence Standard KDS 1520-4001, 2016, pp.121
- 2) AIRCRAFT EQUIPMENT INSTRUCTION, FUEL SYSTEM DRY CHECK A88AEI-28-0114, 2014, pp.16
- 3) Aerospace Information Report SAE AIR 1903, 2008, pp.2
- 4) Flight Test Report for Fuel System Test, 2012, pp.38
- 5) Qualification by Analysis Report for KUH OBIGGS, 2012