B-3

헬기 엔진실 할론 소화시스템 성능평가

최병일*, 한용식**, 도규형***, 김명배****, 배학성*****, 서석주******

A performance test of an halon fire extinguishing system for a helicopter engine

Choi, Byung Il* · Han, Yong Shik · Do, Kyu Hyung***,**
· Kim, Myung Bae** · Bae, Hak Sung***** · Seo, Seok Joo******

요 약

한국형 헬기 개발사업 (KHP)에서 개발 중인 한국형 기동 헬기(KUH)의 엔진실에 적용되는 소화시스템의 성능평가를 수행하였다. 사용된 소화약제는 할론 1301 이며, 국방규격에 맞게 설계 되었다. 실물모형의 엔진 목업을 제작하여 소화시스템을 배치하고, 화재 소화실험과 할론 농도 측정 실험을 수행하였다. 실험 결과 설계된 소화시스템은 엔진실 내부의 화재를 효과적으로 소화시켰으며, 국방 규격에서 요구하는 분사 시간 조건 및 농도 조건을 만족함을 확인 하였다.

1. 서 론

엔진 나셀(nacelle)은 jet engine compressor, 연소기 그리고 터빈을 감싸고 있다. nacelle fire는 공기 유동장 안의 장애물 뒤에 형성된 turbulent diffusion flame 형태로 발생한다. nacelle fire의 연료는 jet fuel이나 유압유를 수송하는 파이프의 leaking으로부터 발생한다. 이들은 파이프의 구멍으로부터의 spray fire나, 바닥에 떨어진 연료유의 pool fire 형태로 발생한다. 화재는 소화약제의 일정량 (critical amount)이 화재 안으로 전달될 때 소화된다. 화재의 소화 이후에 연료증기가 단락된 전선에 의한 전기적인 spark나 nacelle 내부 고온 표면부에 닿아 재발화가 일어날 수 있다. 할론(halon) 1301 (trifluorobromomethane, CF3Br)은 뛰어난 소화능력 때문에 항공기의 engine nacelle fire의 소화약제로 널리 사용되어 왔다.

본 연구에서는 최근 한국형 헬기 개발사업 (KHP)에서 개발 중인 한국형 기동 헬기(KUH)

* 정회원 · 한국기계연구원 에너지플랜트연구본부 선임연구원 · 공학박사 · E-mail: cbisey@kimm.re.kr
** 정회원 · 한국기계연구원 에너지플랜트연구본부 책임연구원 · 공학박사 · E-mail: yshan@kimm.re.kr
*** 한국기계연구원 에너지플랜트연구본부 선임연구원 · 공학박사 · E-mail: kyudo@kimm.re.kr
**** 정회원 · 한국기계연구원 에너지플랜트연구본부 책임연구원 · 공학박사 · E-mail: mbkim@kimm.re.kr
***** 한국항공우주산업 선임연구원 · 공학석사 · E-mail: hsbae@koreaaero.com
****** 한국항공우주산업 선임연구원 · 공학석사 · E-mail: grumman@koreaaero.com

의 엔진실에 적용되는 소화시스템의 성능평가를 수행하였다. 실제 개발되는 엔진실(nacelle)에 적용되는 소화약제는 할론 1301로, 국방규격에서 정의하는 조건을 만족하는지 실물크기의 엔진모형에서 소화시스템의 성능을 평가 하였다. 설계된 소화시스템을 배치하고, 화재 소화실험과 할론 농도 측정 실험을 수행하였다. 실험 결과 설계된 소화시스템은 엔진실 내부의 화재를 효과적으로 소화시켰으며, 국방 규격에서 요구하는 분사 시간 조건 및 농도 조건을 만족함을 확인 하였다.

2. 할론 소화시스템 국방규격

현재의 nacelle fire protection system은 하나나 그 이상의 약제용기와 약제를 nacelle로 보내기 위한 파이프로 구성되어 있다. 파이프의 끝단에는 일반적으로 노즐이 설치되어 있지 않고 단순한 tube 형상이다. 특수한 경우에는 nacelle 내부로의 약제의 확산을 용이하게 하기 위하여 tee type의 tube가 이용되기도 한다. 약제용기의 압력과 tube의 직경은 약제의 분사시간을 결정하는 요소가 된다. 할론 1301의 경우 약제는 two phase(액체+기체)상태로 nacelle에 분사되며 분사 후 급격히 증발하여 기화된다.

Engine nacelle에 적용되는 할론 system은 일반적으로 HRD(High rate discharge) system이다. HRD의 경우 약제를 distribution 하기 위한 distribution ring이 없이 open tube로 매우 빠르게 분사된다. 이러한 설계가 필요한 약제의 양과 무게를 줄이고 보다 단순한 시스템 설계가 된다고 알려져 있다. 이 방법은 모두 MIL-E 22285[1], 1959와 AIR 1262[2]에 잘 정리되어 있다.

약제 분사시간은 0.5~0.9초 사이이며 Mil spec에는 1초 내로 정해져 있다. 이 HRD system에 필요한 약제량은 nacelle의 free volume과 nacelle 내부 공기유동의 양, 그리고 nacelle 형상 (smooth, rough, deep seated)의 함수로 정해져 있다. smooth nacelle은 전기 housing, 유압 및 연료 라인, transducers등을 포함하며, nacelle의 견고도를 높이기 위해 rib이 채용되면 rib의 높이에 따라 rough nacelle 및 deep frame nacelle로 분류된다.

소화성능은 기본적으로 nacelle의 여러 위치에서의 소화약제의 농도 측정에 의해 검증된다. 모든 위치에서 설계농도가 일정시간 이상 유지되어야 한다. 할론 1301의 경우 6%(volume)의 농도가 0.5초 이상 유지되어야 한다.

AENFTS(Aircraft Engine Nacelle Fire Test Simulator) 연구결과[3]는 HRD가 이루어지고, Hot surface reignition이 발생하지 않는다면, 대부분의 nacelle 조건에서 상기한 조건보다 약한 조건에서 소화가 이루어짐을 보여주고 있다.

소화약제는 일반적으로 질소로 가압 충진 되어 방출된다. 질소의 충진량은 AIR 1262에서 오른쪽 식과 같이 정의되고 있다.

$$V_n = \frac{1379}{P_b} V_s$$

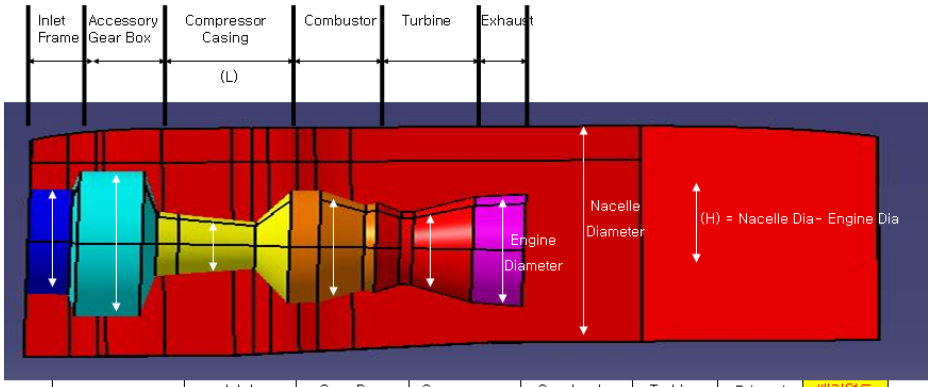
$P_b(kPa)$: $System\ \mathrm{Pressure}$, $V_s(m^3)$: $Total\ System\ Volume$, $V_n(m^3)$: $Volume\ of\ N_2\ at\ P_b$

3. 실험장치 및 방법

KUH의 엔진실에 사용되는 자동화재 진압시스템은 충격, 전기사고 등 각종 원인으로 발생되는 화재 및 폭발을 조기에 자동으로 감지하여 진압함으로써 장비 및 인원을 보호하여 지속적인 역할 수행을 가능케 한다. 소화시스템은 크게 화재 감지기(Fire detector), 소화기를 구동하는 제어 동작부(controller) 및 소화기(소화약제 용기 및 노즐)로 구성되어 있다. 현재 KUH 개발단계에서는 할론 1301 (CF3Br)을 소화시스템으로 채택하고 있다. 항공기 엔진의 nacelle은 엔진의 압축기, 연소기, 터빈을 둘러싸고 있는 원통형의 몸체이다. nacelle 화재의 전형적인 형태는 고속의 공기흐름 하에서 장애물 뒤에서 안정화된 난류확산화염 이다. 화재원은 항공기 연료나 유압유가 배관의 누설부분을 통하여 누출되는 것이며 그 형태는 주로 분사화염이나 풀화염 이다. 적당량의 소화제가 화재에 뿌려지면 소화가 이루어지지만, 연료증기가 고온의 금속표면이나 단락에 의한 전기스파크에 의하여 재발화 되기도 한다. 이러한 KUH의 소화성능 평가를 위한 화재 시나리오 및 성능평가장치를 설계하였다.

3.1 실험장치

본 실험에서는 실물크기의 엔진 nacelle 목업을 제작하여 실험을 수행하였다. 그림 1은 엔진 구성도와 치수를 보여준다.



	Inlet	Gear Box	Compressor	Combustor	Turbine	Exhaust	배기덕트
Diameter (in)	14.17	19.53	7.52	15.2	12	14.17	
Nacelle Dia (in)	28.54	28.54	30	30	30	30	
H (in)	14.37	9.01	22.48	14.8	18	15.83	
L (in)	4.25	7.95	12.28	7.97	11.41	4.75	

그림 2. KUH 엔진 nacelle 내부 개략도

화재는 고온부가 위치하고 있는 연소기와 터빈, 그리고 배기덕트 부위에서 발생한다. Nacelle 내부의 빈 공간 부피는 1.0m^3, 항공기 운항 중 nacelle 내부를 흐르는 공기유량은 0.23kg/s로 설계되었다. 공기는 inlet frame 부분으로 유입되어, 배기덕트 주변으로 흐른다. 그림 2는 제작된 실물크기의 엔진 모형과 공기 유속을 제어 장치를 그림 3은 충진 및 분사장치 계통도를 보여준다.

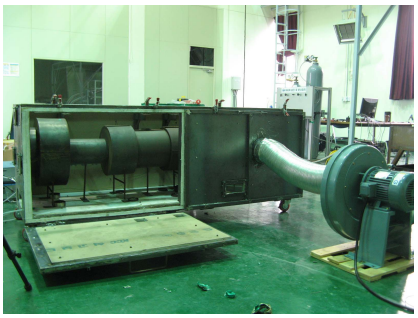


그림 3. KUH 엔진 nacelle 모형

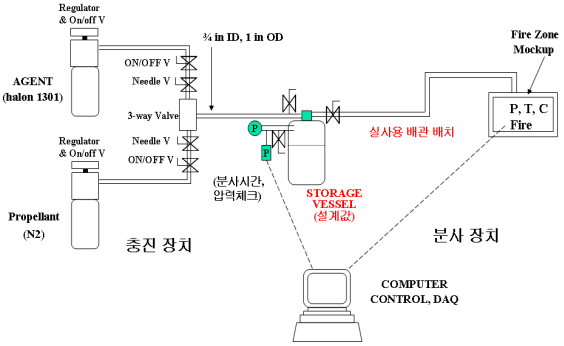


그림 3. 충진, 분사장치 계통도

할론을 분사하기 위하여 국방규격에 맞도록 분사장치를 설계 제작하였다. 내부 체적은 2.3 리터이며, 충진되는 할론의 양은 rough nacelle을 고려하여 1.3kg으로 하였다. 분사를 위한 가압용 질소는 41.4bar로 충진되었다. 분사용 배관은 내경 3/4 in 이며 길이는 약 4m 이다. 분사를 위한 분사포트는 배관 nacelle inlet 부분과 nacelle의 중앙부위 두 곳에 두었으며, 분사포트의 총 면적은 배관 단면적과 같다. 그림 4는 제작된 분사장치를, 그림 5는 엔진 nacelle 내부에서의 분사포트 위치를 보여준다. 분사 포트의 배치는 모두 4 종류를 사용하였는데 그림 4에서의 Floor nozzle이 KUH 엔진에서 채택된 설계안이다.

그림 5. 분사장치

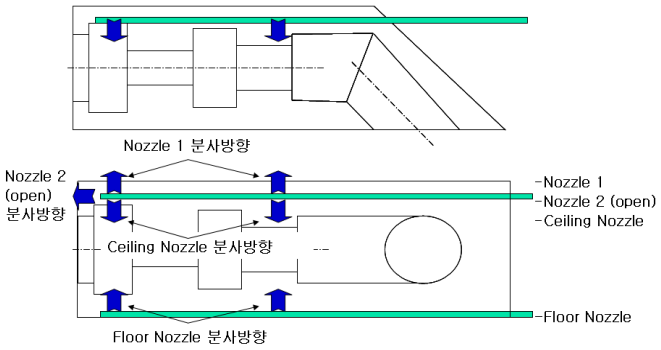


그림 6. 배관 및 분사 포트 위치

3.2 화재 시나리오

미국 공군의 실물실험 자료[4]에는 엔진 화재 종류를 화재종류는 분사화재와 풀화재로 규정하여 실험하고 있다. 그러나 일반적으로 풀화재가 스프레이 화재보다 소화하기 어렵기 때문에[5] 본 연구에서는 대상화재로 풀화재만을 상정하였다. 그림 6은 풀화재의 배치도를 보여준다.

3.3 실험방법

할론 소화시스템의 성능평가를 위해서는 국방규격의 만족 여부를 확인하여야 한다. 국

방규격에서는 할론의 분사시간 1초 이내, 그리고 화재실내 공간에서 할론의 소화농도 6%(부피) 이상이 0.5초 지속되어야 한다고 규정되어 있다. 따라서 분사시간 계측을 위해 분사장치에 압력센서를 설치하였으며, 할론 농도 계측을 위해 그림 6과 같이 총 6곳에서의 할론 농도를 계측하였다. FAA(Federal Aviation Adminstration)에서 인증하는

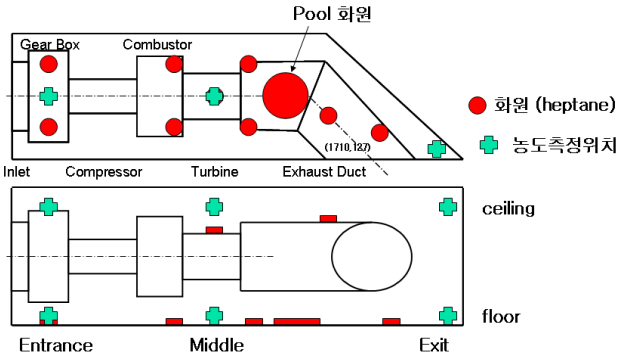


그림 7. 배관 및 분사 포트 위치

할론 측정 장치는 Statham analyzer (Model GA-1, GA-2A)와 Halonyzer (I, II)이다. 이들 농도 측정 장치는 1952년 Yanikoski의 특허 기술에 기반하고 있다.[6] 그러나 상기한 할론 농도 측정장치를 국내에서 구할 수 없어 엔진 내부의 산소농도를 측정하여 이를 토대로 할론 농도를 추정하였다. Test section에 공기와 할론만 존재하고(가압 충진제를 공기로 사용) Test section에 할론이 분사되어도 질소와 공기의 비는 일정하다고 가정하면 산소농도 측정 결과로부터 할론 농도를 다음과 같이 유추할 수 있다.

할론 분사 시 산소농도 X, 질소농도 Y, 할론 농도 Z
X : Y = 0.209 : 0.791, X + Y + Z = 1
Z (할론 농도) = 1 - (X + Y) = 1- (X + X*0.791/0.209) = 1 – 4.785*X

산소농도는 Paramagnetic type 센서(signal Co.)를 사용하여 계측하였다.
분사 시간 측정 및 농도 실험은 화재가 없는 상태에서 진행하였으며, 실제 화재 진압 유무를 확인하기 위하여 풀화재를 그림 6과 같이 배치하여 소화 여부를 확인하였다.
nacelle 내부를 흐르는 공기 유량은 설계 공기유량(0.23kg/s)의 50%, 100%, 150%로 설정하여 각각의 경우 화재 소화여부와 할론 농도 측정을 실시하였다.

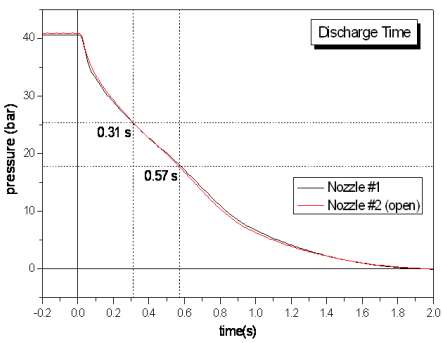
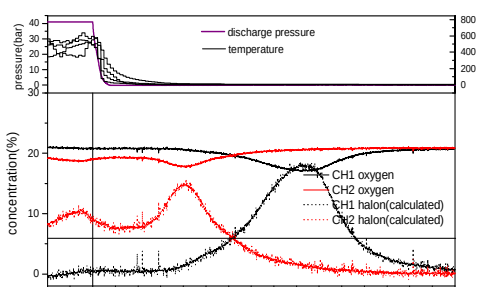


그림 8. 할론 분사시간

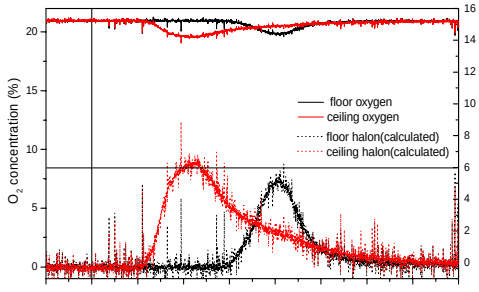
3. 실험 결과

그림 7에 설계 제작된 할론 분사장치의 분사시간을 도시하였다. 할론 분사장치를 개방하면 가압(41.4bar)된 질소가 할론을 밀어내면서 할론이 분사된다. 그림 7의 0.31초는 할론이 분사용기에서 완전히 빠져나간 시간이며, 0.57초는 배관을 거쳐 엔진 nacelle로 완전히 방출된 시간이다. 국방규격에서 요구한 1초 이내의 분사기간을 만족하고 있음을 알 수 있다.

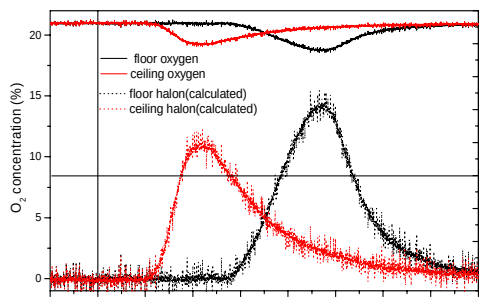
그림 8에 nacelle 설계 유량에서의 실험 결과를 보였다. 사용된 분사노즐 배치는 그림 5에서의 Floor Nozzle로 KUH의 설계안이다.



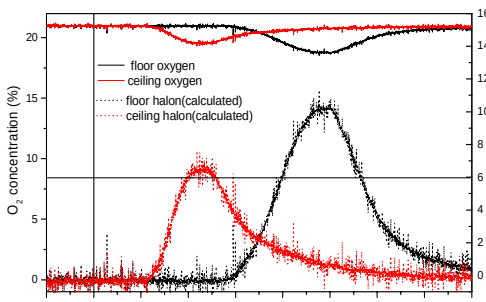
(a) 화재실험 결과



(b) 입구부분 농도 측정 결과



(c) 중간부분 농도 측정 결과

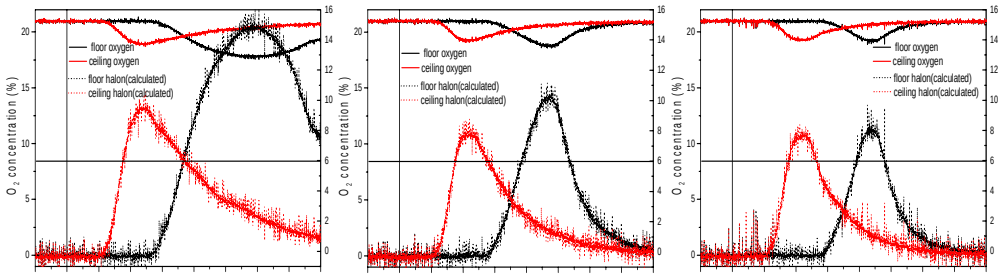


(d) 중간부분 농도 측정 결과

그림 8. 실험 결과 (공기유량 : 0.23kg/s, 농도측정 위치: 입구/중간/출구 각 상 하부)

그림 8(a)는 화재실험 결과를 보여준다. 할론 분사 후 각 풀화재에 설치한 열전대의 온도 신호가 바로 강하한다. 즉 분사 즉시 그림 6과 같이 설치된 모든 화재가 신속히 소화되고 있음을 알 수 있다. 그림 8(b)~8(d)는 그림 6에서 정의한 농도 측정 위치에서의 산소농도와 이로부터 계산된 할론 농도 변화를 보여준다. 국방 규격에서는 할론 농도 6% 이상이 0.5초 이상 유지되어야 한다고 규정되어 있다. 입구 부분을 제외하고는 할론 농도는 국방 규격을 만족하고 있음을 알 수 있다. 입구 부위의 할론 농도가 낮은 이유는 입구의 바닥 부위에서 공기가 유입되기 때문으로 보인다. 공기가 바닥에서 유입되는 입구 부분을 제외하고 전체적으로 바닥 부근이 천장 부근보다 할론 농도가 높다. 이는 할론의 밀도가 공기보다 높기 때문으로 판단된다.

항공기가 순항할 때 engine nacelle을 흐르는 공기의 유량은 직접 측정하지 않고는 알 수 없다. 때문에 본 연구에서는 설계유량인 0.23kg/s의 50%와 150%에 대해서 농도 측정 실험을 수행하였다. 그림 9에 nacelle 유량의 변화에 따른 할론 농도 측정 결과를 보였다. 사용된 분사노즐 배치는 역시 그림 5에서의 Floor Nozzle로 KUH의 설계안이다. 농도 측정 위치는 nacelle 중간 부위의 상 하부 이다.(그림 6 참조)

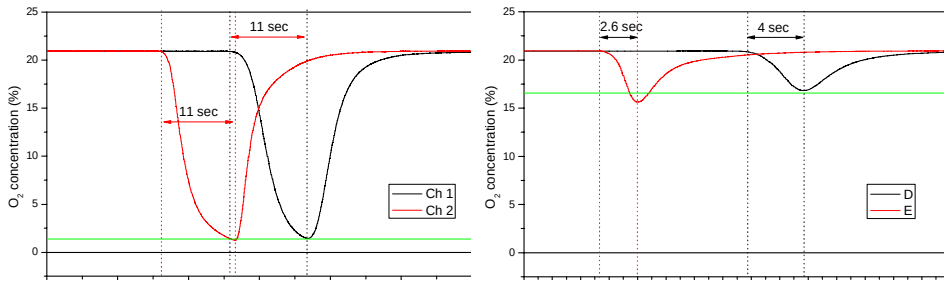


(a) nacelle 유량 0.115kg/s (b) nacelle 유량 0.23kg/s (c) nacelle 유량 0.345kg/s

그림 9. Nacelle 유량 변화에 따른 농도측정 결과 (Floor nozzle, 측정위치 : 중간)

nacelle 유량이 증가하면 할론 농도가 감소하는 것을 알 수 있다. 이는 물리적으로 당연한 결과로, 분사된 할론이 많은 양의 공기와 혼합되기 때문이다. 그러나 설계유량의 150% (0.345kg/s)에서도 할론 농도는 국방 규격인 6%를 초과하고 있다.

본 농도 측정 실험결과는 산소농도 측정기를 통하여 연속 측정으로 이루어졌다. 그러나 test section에서 흡입된 시료가 sampling 라인을 거치면서 희석되어 실제 농도 값보다 낮은 값을 보이게 된다. 그림 10에 본 실험에서 사용된 산소농도 측정기가 sampling 시간에 따라 측정하는 산소 농도값을 나타내었다.



(a) 질소 10초 주입시 농도 측정기 반응 (b) 질소 1초 주입시 농도 측정기 반응

그림 10. 산소농도 측정기 반응 시간 시험

실험에서는 순수한 질소를 sampling 라인의 끝에서 일정시간(10초, 1초) 주입한 후 다시 대기중에 노출 시킨 결과이다.

질소를 10초간 주입한 결과 산소농도는 약 11초 후에 최저 농도에 도달하였으나, 최저 농도값은 주입된 sample의 농도 (순수 질소, 산소 농도 0%)보다 높게 측정되고 있다. 질소 주입 시간을 점점 단축하여 1초만 주입한 경우 측정된 산소농도는 원 sample의 농도인 0%가 아닌 약 16% 정도로 계측 되었다. 즉 1초라는 짧은 시간동안 sample 라인에 주입된

질소는 sample 라인을 거치면서 주입 전 후에 sample 라인에 존재하는 공기와 희석되어 실제값보다 높은 산소농도를 보이게 된다. 따라서 본 실험에서 계측된 할론 농도는 실제값보다 낮게 계측되었다고 유추할 수 있으며, 이렇게 낮게 계측된 할론 농도가 국방규격을 만족하는 수준이므로 본 실험에서 사용된 설계안이 국방규격을 충분히 만족시킬 수 있음을 알 수 있다.

4. 결론 및 향후 계획

한국형 기동 헬기(KUH)의 엔진실에 적용되는 할론 소화시스템을 설계 제작하고 실물 모형의 엔진 목업에서 성능평가 실험을 수행하였다. 실험 결과 설계된 소화시스템은 엔진실 내부의 화재를 효과적으로 소화시켰으며, 국방 규격에서 요구하는 분사 시간 조건 및 농도 조건을 만족함을 확인 하였다.
그러나 성능평가의 주요소인 할론 농도 측정에 있어 sampling 라인에서의 농도 희석 효과가 있어 정확한 할론 농도값을 측정할 수 없었다. 향후 할론 농도 측정법에 대한 개선이 필요할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국형 헬기 개발사업 (KHP) 지원을 통해 이루어진 것으로 이를 가능케 한 한국항공우주산업(주)에 감사드립니다.

참고문헌

[1] MIL E 22285 Extinguishing System, Fire, Aircraft, High-Rate-Discharge Type, Installation and Test Of, 27, April, 1960.

[2] AIR 1262 : Aircraft Fire Protection for Helicopter Gas Turbine Power Plant and Related System Installations, 1974

[3] Johnson, A.M., and Grenich, A.F., "Vulnerability Methodology and Protective Measures for Aircraft Fire and Explosion Protection, "Wright Patterson AFB, OH, Technical Report AFWAL-TR-85-2060, (1986)

[4] J. Michael Bennett (Bennettech), "Verification of NGP fire Suppression Principles", 16th Halon Options Technical Working Conferences (HOTWC), 2006.

[5] Gann, R.G., Editor, Fire Suppression System Performance of Alternative Agents in Aircraft Engine and Dry Bay Labaotry Simulations, Vol. 2, Section 9, NIST SP 890, 1 - 199 pp, 1995

[6] Yanikoski, F.F., Gas Analysis Apparatus, United States Patent Office Patent Number 2,586,899, February, 26, 1952.