

## 技術論文

DOI:http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2012.40.8.718

## 항공기 엔진베이 내 소화장치 성능예측을 위한 연구

박영하\*, 김형식\*, 김진환\*\*, 조수용\*\*\*

A Study on the Performance Prediction of Fire Extinguish System  
in Aircraft Engine Bay

Young-Ha Park\*, Hyung-Sik Kim\*, Jinhan Kim\*\* and Soo-Yong Cho\*\*\*

## ABSTRACT

Fuel or oil which is leaked into the aircraft engine bay can make a fire when it is contacted to the engine surface of hot temperature. In order to avoid fire, the fire extinguish system should be designed so that the extinguishing agent is quickly injected and its concentration keeps higher in the fire protection region. FAA requires that the extinguishing agent injected within the fire protection region should be sustained longer than 0.5 second on keeping a higher concentration than 6%. For developing a fire protection system satisfying the FAA regulation, numerical and experimental studies for the injection time and the concentration of the extinguishing agent were conducted. These results showed similar trend for the injection time or concentration, but the data acquisition was delayed due to the response of the sensors in the experiment.

## 초 록

항공기 엔진베이에 누유된 연료나 오일이 고온의 엔진 표면에 닿게 되면 점화되어 화재를 야기시킬 위험성이 높다. 이를 방지하기 위하여서는 소화제를 화재방지영역에 신속하게 분사하고 소화제의 농도가 높고 유지되도록 화재방지시스템을 설계하여야 한다. FAA에서는 소화제가 화재방지영역 전체에 6%의 농도를 0.5초 이상 유지하는 것으로 규정하고 있다. 이러한 요구를 만족할 수 있는 화재감지시스템의 개발을 위하여, 본 연구에서는 엔진베이에 소화제의 분사와 농도측정에 대한 수치적인 연구와 실험적인 연구를 수행하였다. 분사된 소화제의 분사시간이나 농도유지에 대하여 실험과 수치적인 연구의 결과는 유사한 경향을 보이거나, 실험에서 센서의 응답성으로 인하여 소화제의 농도가 늦게 측정되었다.

**Key Words** : Fire Extinguish Systems(소화장치), Fire Extinguishing Agent(소화제), Fire Protection(화재방지), Engine Bay(엔진베이)

## I. 서 론

## 1.1 연구 배경

비행중 항공기 엔진베이에서의 화재는 심각한 문제를 야기하게 되므로 이러한 문제에 능동적으로 대처하기 위하여 항공기에는 엔진베이 화재소

† 2012년 4월 6일 접수 ~ 2012년 7월 23일 심사완료

\* 학생회원, 경상대 항공특성화 대학원, KAI

\*\* 정회원, 한국항공우주연구원, 터보펌프개발그룹

\*\*\* 정회원, 경상대 항공기부품기술연구센터

교신저자, E-mail : sycho@gnu.ac.kr

경남 진주시 가좌동 900번지

화장치를 설치하게 된다. 다행히 비행 중에는 화재가 빈번하게 일어나지는 않는다. 하지만 미국에서 민간 항공기의 엔진화재는 1956년부터 1974년까지 18년 동안 54건이 보고되었다[1]. 같은 기간 동안 군용 항공기에서는 80~90건이 보고되었으며[2] 전투중의 화재는 제외되었다. 그러나 한번 화재가 발생하면 인명 및 비행체의 손실을 야기하므로 이를 소화하기 위한 시스템에 대한 연구가 계속 이루어져 오고 있다.

항공기 엔진베이의 소화장치에는 소화용기뿐만 아니라 소화제를 엔진베이로 보내기 위한 튜브들로 구성되어 있다. 튜브의 끝단은 일반적으로 노즐이 설치되어 있지 않은 단순형상이 적용된다[3,4]. 소화용기의 압력과 튜브의 직경은 소화제의 분사시간을 결정하는 요소가 된다. Halon1301의 경우 이상(액체+기체)상태로 분사되며 분사 후 급격히 증발하여 기화된다[5,6]. 엔진베이에 적용되는 Halon 분사장치는 일반적으로 HRD(High Rate Discharge) 방식을 채택한다[7]. HRD의 경우 소화제를 이송하기 위한 별도의 장치가 필요치 않으며 단순히 튜브만으로도 매우 빠르게 분사되는 장점이 있기 때문이다[8]. 이러한 방식의 사용은 필요한 소화제의 양과 무게를 줄일 수 있으며, 또한 소화장치의 설계가 단순화된다고 알려져 있다.

소화제 분사시간, 필요한 소화제량, 소화제 농도, 튜브 및 피팅 설계는 MIL 규격에 따르며 장치의 검증은 비행시험으로 이루어지고 있다[9]. 그러나 비행 중 소화제 농도 측정을 수행하기 위해서는 고속비행 중에 엔진을 비정상적으로 정지시켜야 하므로 상당히 위험한 시험이 된다. 따라서 비행 시험을 대체할 방안에 대한 연구가 필요하다.

### 1.2 연구 목적

항공기의 소화장치 시스템의 경우 단시간에 화재를 진압하기 위하여 고압의 소화제를 화재 발생지역에 분사하여야 할뿐만 아니라 일정한 소화제의 농도를 유지하여야 한다. 이러한, 소화장치 설계 시 효과적인 화재진압을 위하여 장치의 각 부품별로 최적화된 형상 개발이 필요하게 된다. 예를 들어 소화제농도 유지 및 적절한 위치에 소화제를 분사하기 위해서는 분사장치에 대한 최적의 형상을 고려하여야 하며 배관의 직경 등 여러 구성품에 대하여 최적화된 설계를 필요하게 된다.

최종적으로 개발된 소화장치의 성능은 엔진베이 내에서 화재진압을 위한 일정한 소화제 농도

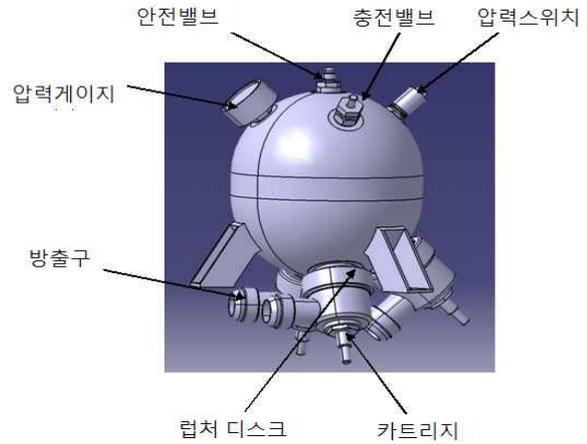


Fig. 1. Configuration of fire extinguisher

가 유지되어야 하며, 또한 항공기 내부에 화재진압을 위한 소화제 농도가 유지되는 것이 검증되어야 한다. FAA에서는 화재방지구역(Protected Fire Zone)으로 분사된 소화제가 부피기준으로 6%이상의 농도를 0.5초 이상 유지되어야 한다고 규정하고 있다[10].

본 연구에서는 소화장치 성능예측을 위하여 엔진베이 내 소화제 농도를 전산적인 방법으로 예측하고자 하며, 시험결과와 비교하여 전산해석적 방법의 적용가능성을 확인하고자 한다. 이를 위하여 MIL 규격에 의해 설계된 소화장치가 작동될 때 충분한 소화제농도를 확보하고 있어 엔진베이 내부의 화재를 진압할 수 있는지를 평가하고자 한다. 따라서 해석 및 실험을 통해 해석치의 정확성을 평가하여 새롭게 개발되는 향후 프로젝트의 설계에도 활용하고자 한다.

## II. 본 론

### 2.1 소화장치 시스템

소화장치는 항공기 엔진 또는 보조동력장치에 화재가 발생하면 이를 소화하는 장치로써 소화용기 조립체, 튜브조립체 및 피팅류, 관성스위치, 소화제 등으로 구성된다. 소화용기 조립체는 소화용기, 방출구, 카트리지, 압력스위치, 압력계이지, 충전밸브, 안전밸브, 립처디스크로 이루어져 있으며 Fig. 1은 소화용기 조립체의 형상을 보여주고 있다. 소화용기의 작동은 충돌반응시스템의 일부으로써 항공기가 지상에 충돌 시 이를 감지하여 소화용기 조립체에 전기적 작동신호를 제공하여 자동으로 소화장치가 가동되도록 하는 기능도 수행한다. 또한 튜브조립체는 소화용기에서 방출된 소화제를 누설 없이 화재영역까지 이동시켜 주는

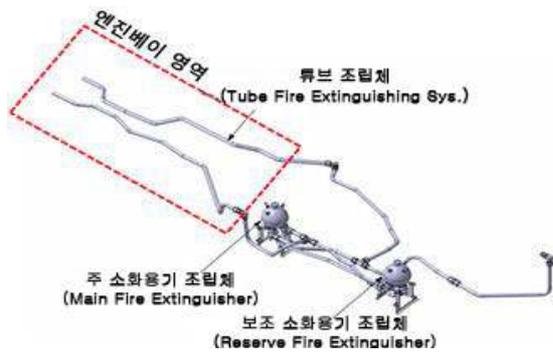


Fig. 2. Fire extinguishing system

기능을 하며, 피팅류는 소화제를 누설 없이 튜브와 튜브를 연결시켜 주는 구성품이다. Fig. 2는 소화장치 시스템의 구성도를 보여주고 있다. 본 연구에서는 소화장치의 소화제는 MIL-B-12218의 규격에 따라 Halon 1301(CF3Br)를 적용하였다.

2.2 소화장치 조립체 설계기준

소화용기 조립체는 MIL-E-22285에 의해 설계되었다. 적용된 설계 기준으로는 재질, 분사시간, 소화농도, 소화제 용량산정, 소화용기 체적, 튜브 조립체 및 피팅설계 등이다. 전산해석을 통해 소화장치 시스템 설계가 타당한지 확인을 위해 소화제 방출 후 엔진베이 내부의 소화제농도가 기준치 이상을 유지하는지 예측하였으며, 소화농도 실험을 통해 분사시간, 소화제 용량산정, 소화제 농도 관련 성능 검증을 수행하였다.

분사시간의 기준은 MIL-E-22285의 Para 3.9[11]의 요구 규격인 1초 이하로 설정하였으며, 소화농도 기준은 Para 3.8[12] 요구 규격인 분사 후 0.5초 에서 소화농도 6%유지를 적용하였다. 소화제 용량 산정 기준은 Para 3.8.1[13]의 규격을 적용하여 식(1)과 같이 계산하였다. 식(1)에서의  $W$ 는 Halon1301의 양[kg]을 나타내며,  $V$ 는 체적[m<sup>3</sup>]을 의미하며,  $Wa$ 는 유량[kg/s]을 나타낸다.

$$W = 3(0.32V + 0.25Wa) \tag{1}$$

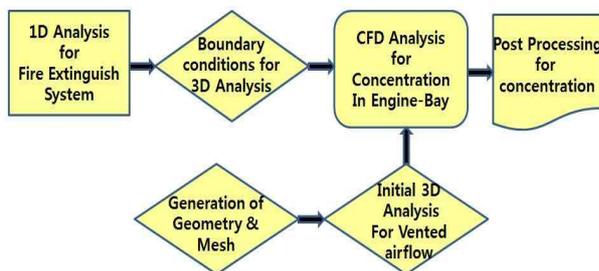


Fig. 3. Flow chart for computation

2.3 전산해석 및 결과

소화장치 시스템은 소화용기와 배관으로 이루어진 부분과 노즐부터 엔진베이 내부공간에 대한 부분으로 크게 두 영역으로 나뉘어진다. 효과적인 전산해석을 위하여 압력용기로부터 배관노즐까지의 전산해석은 1차원 상용해석프로그램인 Flowmaster[14]를 이용하고 엔진베이 내부에서의 소화제 농도 예측은 3차원 실제 형상이 적용되어야 하므로 3차원 유동해석 프로그램인 CFX[15]를 이용하였다. Fig. 3은 이러한 해석적 방법을 수행하는 순서도이다.

2.3.1 배관시스템 해석(1차원 해석)

소화제 공급시스템은 고압의 소화용기, 배관, 노즐, 체크밸브로 이루어져 있으며 소화제는 압력용기에 고압으로 충전되어져 있다. 고압의 소화제는 필요시 배관노즐을 통해서 엔진베이 내부로 분사되며 시간변화에 따른 소화제의 토출량 예측이 필요하다. 이러한, 배관시스템 내부의 전산해석을 위해서 상용 프로그램인 Flowmaster를 이용하였으며 압력 손실 및 시간변화에 따른 소화제의 방출량 및 전압력 등을 예측하였다.

Fig. 4는 압력용기와 배관 및 노즐단까지의 압력손실 및 시간에 따른 소화제 방출량을 예측하기 위하여 Flowmaster를 이용한 해석관로를 보여주고 있다. 좌측 상향에 있는 부품은 소화압력용기(①)를 나타내며 질소 가스로 가압되어 소화제가 액체상태로 충전되어있다. 우측 하단부는 각 배관 끝단의 소화노즐(③,④)을 의미하며 출구조건은 일반 대기압으로 가정하였다. 소화압력용기와 소화노즐은 배관(②)으로 연결되어 있어, 소화장치 시스템이 작동 시 소화제가 화재 발생 영역에 방출이 될 수 있도록 관로가 형성되어있다.

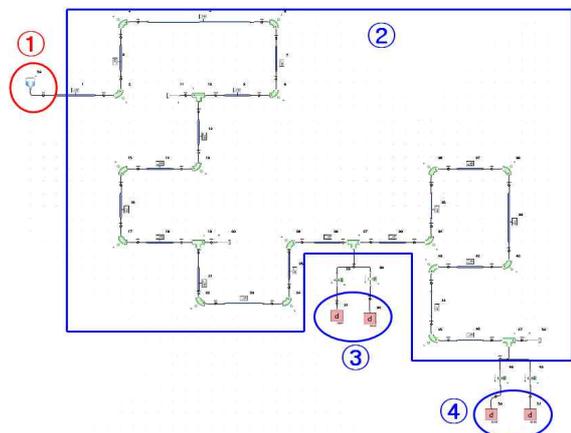


Fig. 4. Diagram of tubes and nozzles

Table 1. Properties for fire extinguisher

Property	Value
Outflow Loss	0.5
Inflow Loss	0.5
Diameter of Inlet	0.019 m
Accumulator Height	0.160 m
Base Level above Refer.	0 m
Polytropic Index	1.4
Vapour Pressure	0.0206 bar
Liquid Type	Halon
Initial Temperature	20 °C
Liquid Level	0.069 m
Gas Pressure	42.38 bar
Horiz. X Area v Height	Height vs Area Curve

소화압력용기를 모사하기 위해 Table 1과 같이 어큐뮬레이터 공기탱크로 선택하여 소화용기에 적합한 변수를 선택하였다. 또한 어큐뮬레이터를 적용해 구형의 소화압력용기로 유사하게 모사하기 위하여 높이와 면적과의 관계는 Fig. 5와 같이 별도로 설정하였다.

소화장치에 적용되는 46개의 배관들을 각각 모사하기 위해 형상에 맞도록 관, 실린더형, 곡관, 원형관 등으로 선택하였다. 직선 튜빙에는 관 및 실린더형을 적용하였고, 휘어지는 부위는 형상에 따른 손실을 고려하기 위해 곡관 및 실린더형을 적용하였다. 또한 각각의 길이, 직경, 곡률 및 전향각 등의 기하학적인 치수를 설정하였다.

소화제가 분사되는 끝단 4개의 배관을 소화노즐로써 모사하기 위하여 Table 2와 같이 오리피스로 선택하였다. 소화제가 방출되는 소화노즐처

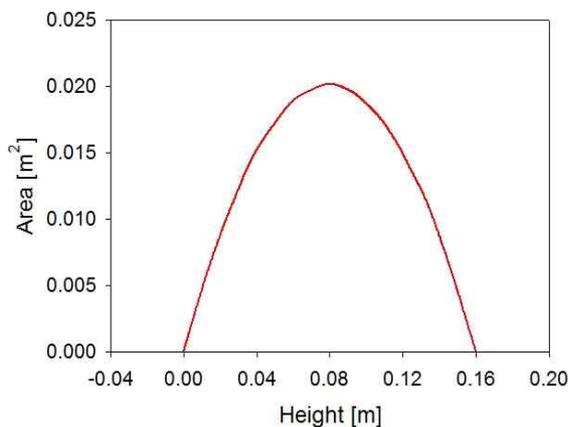


Fig. 5. Height vs area curve for spherical fire extinguisher

Table 2. Properties for tube end

Property	Value
Orifice: Sharp-edge (Standard)	Sub Form
Pipe Diameter	0.019 m
Orifice Diameter	6.7 mm
Vapour Pressure	0.0206 bar
Correction Coefficient Cd	Compressibility

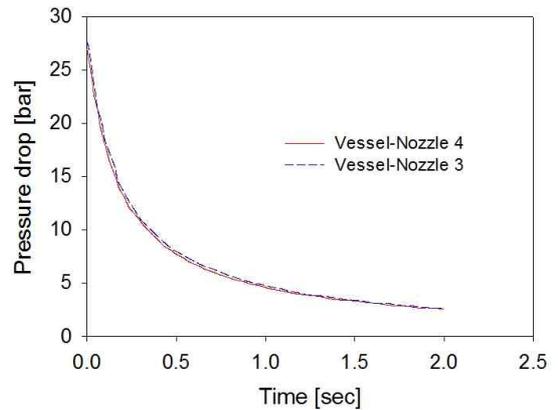


Fig. 6. Pressure drop on the tubes

럼 유사하게 모사하기 각각의 설계변수값을 설정하였으며 4개 배관의 설계값은 동일하게 설정하였다. 계산에서 작동유체는 압축성으로 하였으며, 시간간격은 1밀리초(msec)로 하여 2초까지 계산을 수행하였다.

Fig. 6은 압력용기와 배관에서 분사출구까지의 압력손실을 시간에 따라 얻어진 결과로써 일정용량의 소화제가 분사되어질 때 시간에 따라서 용량의 감소가 발생된다. 따라서 압력이 높았던 초기상태에는 높은 압력손실을 보이다가 이후 서서히 감소하는 결과를 보이고 있다. ④번의 소화노즐까지의 총 배관길이가 다소 길었기 때문에 압력손실이 ③번의 소화노즐까지의 압력손실에 비하여 다소 증가하였지만 그 차이는 미미하였다.

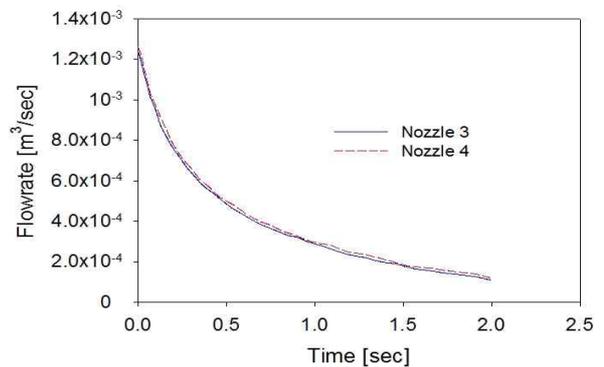


Fig. 7. Flowrate at the tube ends

Fig. 7은 소화노즐(③,④)에서의 시간에 따른 소화제 방출량에 대한 결과이다. 초기 소화압력 용기의 내부 압력은 42.38 bar였다. 초기 방출 시 소화노즐(③,④)에서의 압력은 배관에서의 압력손실을 고려하였을 때 압력은 27.04 bar가 되었다. 배관의 길이에 따른 압력손실의 차이로 소화제의 방출량은 ③번의 소화노즐에서 ④번의 소화노즐에 비하여 다소 많았지만 압력손실의 차이와 마찬가지로 그 차이는 그다지 크지 않았다. 소화노즐에서 시간에 따른 소화제 방출량은 식(2)와 같이 시간에 대하여 3차 다항식으로 표현되었다.

$$W = -0.0002t^3 + 0.001t^2 - 0.0014t + 0.0012 \quad (2)$$

**2.3.2 배관시스템 해석(3차원 해석)**

배관 노즐에서 방출된 소화제는 가스 상태가 되어 항공기 엔진베이 내부로 확산되게 된다. 이러한 변화를 수치해석의 방법을 이용하여 시간변화에 따른 소화제 농도분포를 예측하였으며, 수치해석은 CFX를 사용하였다. 해석대상 엔진베이 형상은 Fig. 8과 같으며 배관노즐은 엔진베이 전방하부와 중간하부에 각각 2개의 노즐로 구성되어 있다. Fig. 9는 해석을 위한 비정렬 격자의 형태를 보여주고 있으며, 격자의 개수에 따른 결과값의 변화가 없을 때까지 격자수를 변경하였으며, 계산에서 격자수는 60만개를 적용하였다. 입구는 비행조건을 고려하여 전압력으로 설정하고, 출

구는 질량유량의 조건을 주었다. 해석은 비정상상태로 시간간격은 1밀리초로 설정하여 계산을 수행하였다.

계산을 위하여 노즐유동 영역을 만들어 작동유체를 Halon1301로 설정하고, 튜브라인을 통하여 유동을 형성하고, 출구는 소화노즐로 설정하였다. 엔진베이에서의 유동영역은 작동유체를 공기로 설정하였다. 엔진베이 입구쪽 하부에서는 공기가 흡입되며 이 공기는 소화노즐에서 분사된 Halon1301과 함께 측면의 출구를 통하여 배출된다. 소화노즐에서의 질량유량은 1차원 해석 결과에 따라 설정하였다.

엔진베이 화재 시는 입구의 하부에서 유입되는 벤트에어를 차단하게 되지만 화재에 따라 차단부의 고장이 발생됨을 가정하여 일부영역이 열려있는 경우를 가정하여 흡입구의 면적과 유속에 의하여 흡입되는 공기량은 0.23kg/s로 가정하였다. Fig. 10은 엔진베이 내부의 소화제농도를 예측하기 위한 유동의 유선의 결과를 보여주고 있다. 대부분의 유동이 엔진베이 하부를 통하여 출구로 유출되는 것을 확인할 수 있으며 흡입구의 위치가 하부에 위치하고 있으므로 상대적으로 엔진베이 상부는 속도가 낮은 유동이 형성되는 것을 보여주고 있다.

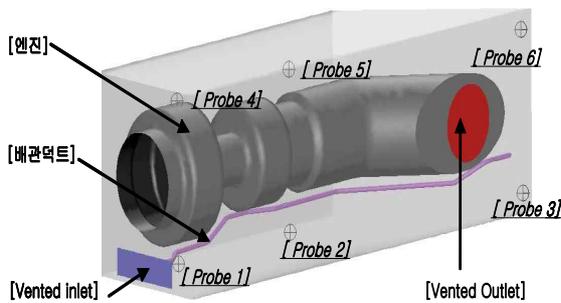


Fig. 8. Configuration of engine bay

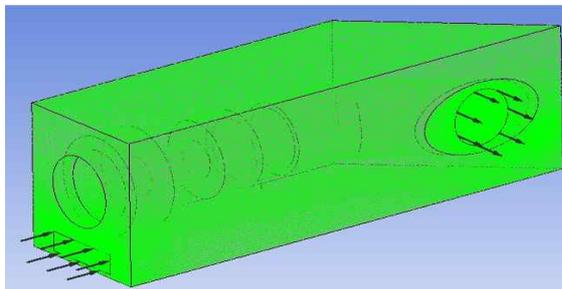


Fig. 9. Grids in the engine bay

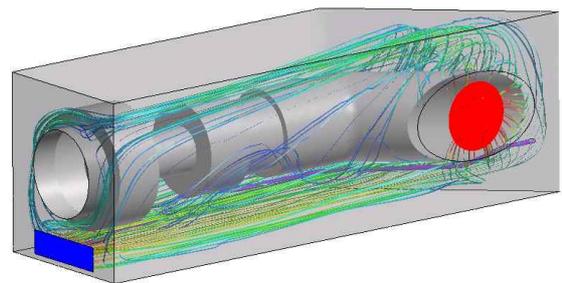


Fig. 10. Streamlines in the engine bay

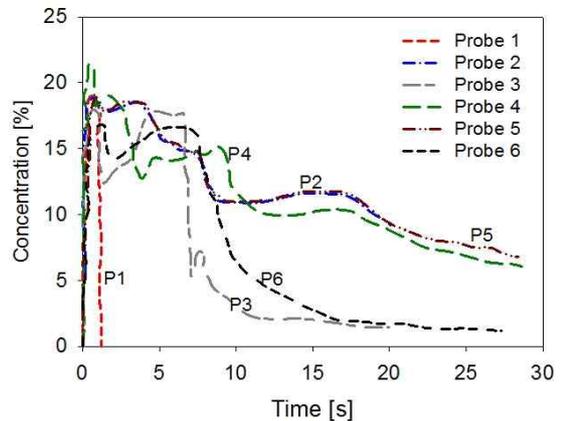


Fig. 11. Variations of concentration

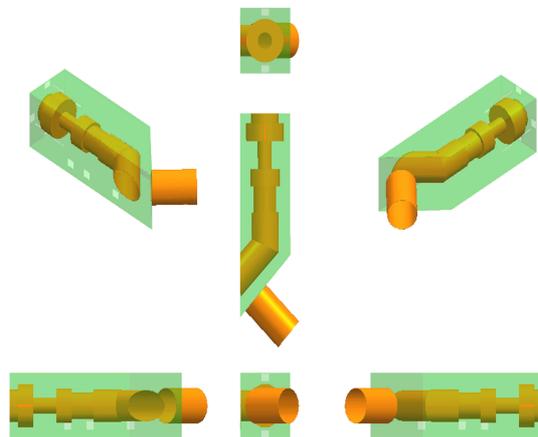
Fig. 11은 전산해석적인 방법을 통한 엔진베이 내부의 소화제농도를 예측한 결과이다. 엔진베이 하부에 위치한 센서들(프루브1~3)의 농도 변화값을 살펴보면 전방위치 센서인 프루브 1의 경우가 농도유지 시간이 짧은 것을 알 수 있으며 중앙위치 센서인 프루브 2에서의 농도유지 시간이 가장 긴 것을 확인할 수가 있다. 그리고 엔진 베이 상부에 위치한 센서들(프루브4~6)의 농도 변화값을 살펴보면 외부 공기의 유입으로 인하여 농도 변화의 영향이 엔진베이 하부보다는 작은 것을 확인할 수가 있다. 아울러 Table 3은 계산에서 얻어진 소화제농도의 유지시간에 대한 결과를 보여주고 있다.

**2.4 엔진베이 내 소화농도 실험**

전산해석 결과의 분사시간 및 소화제농도 예측 결과의 정확도 평가 및 소화장치의 화재 소화여부를 평가하기 위하여 실험장치를 제작하였다. 정확한 성능평가를 위해 실물 크기의 엔진베이, 소화제 충전, 분사장치를 사용하여 화재진압실험 및 Halon 분사실험을 수행하였다. 항공기 엔진베이와 엔진을 동일한 크기로 mockup을 설계하였고, Fig. 12는 엔진베이 mockup의 설계도이다.

**Table 3. Variation of concentration with injected time at six sensors**

하부 센서 (농도/시간)			상부 센서 (농도/시간)		
P1	P2	P3	P4	P5	P6
10% 이상 (1초)	10% 이상 (18초)	10% 이상 (6초)	6% 이상 (25초)	6% 이상 (25초)	6% 이상 (11초)



**Fig. 12. Mockup of engine bay**



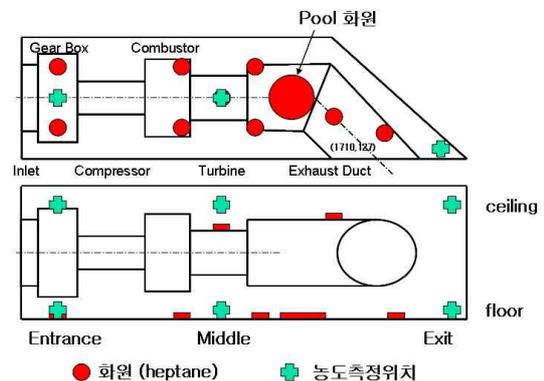
**Fig. 13. Picture of test facility**

엔진베이 화재 시 내부로 흐르는 공기유량은 0.23kg/s로 가정하여, 이러한 공기량이 형성되도록 하기 위하여 배기덕트 후면에 블로워를 설치하였다. 이 블로워에는 유량제어장치를 설치하여 공기유량제어가 가능토록 하였다. 공기 유입구는 엔진베이 전면 하단부에 위치하고 개구부 면적은 380cm<sup>2</sup> (38 cm×10 cm) 이다. 유입된 공기는 배기덕트 주변으로 흘러 630cm<sup>2</sup>의 면적을 가지는출구를 통해 빠져나가도록 설계하였다.

화원(fire source)은 화재발생 가능성이 높은 구역인 연소기와 터빈, 그리고 배기덕트의 주변에 소형 화재 8곳, 대형 화재 1곳에 배치하였으며, 모든 구역에서 동시 발화시킨 후 소화실험을 수행하였다. 그리고 소화제농도를 측정하기 위한 센서는 엔진베이 상하부에 각각 3개씩을 설치하였다. Fig. 14는 화원 배치 및 농도측정 센서 장착 위치 개략도를 보여주고 있다.

**Table 4. Variation of concentration with injected time in experiment**

하부 센서 (농도/시간)			상부 센서 (농도/시간)		
P1	P2	P3	P4	P5	P6
10% 이상 (3초)	10% 이상 (5초)	10% 이상 (10초)	6% 이상 (10초)	6% 이상 (10초)	6% 이상 (10초)



**Fig. 14. Fire sources and sensors**

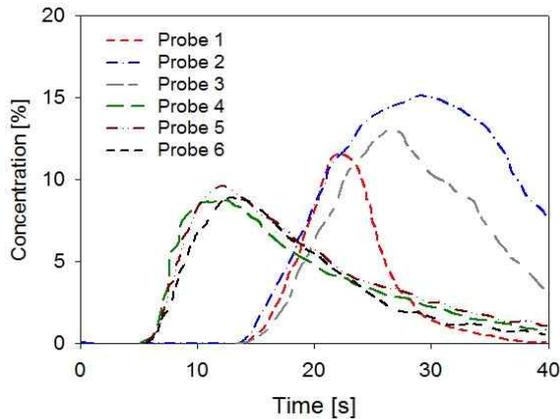


Fig. 15. Variations of concentration on the six sensors in experiment

소화제 농도 실험 결과 소화제 분사 후 즉시 화재가 소화되었으며, 재발화가 발생하지 않았다. Fig. 15는 엔진베이 내부 6곳에서 기록된 소화제 농도 변화를 보여주고 있다. 측정센서 1~3은 엔진베이 하부에 위치하며, 측정센서 4~6은 상부에 위치한다. 엔진베이 하부에서 측정된 농도값은 전방센서(프루브 1)일수록 농도값의 크기나 유지시간이 후방센서(프루브 3)보다 작고 짧은 것을 볼 수가 있으며 수치해석 계산의 결과와 동일한 현상을 보여주고 있다. 또한 엔진베이 상부센서(프루브 4~6)의 경우 외부공기의 유입이 하부에서 형성되므로 농도변화의 영향이 엔진베이 하부보다는 작은 것을 실험에서도 확인할 수가 있었다. 하지만 실험결과에서 최대값 및 농도유지 시간에서는 수치해석적인 예측의 값과는 차이를 보였다. 이러한, 원인은 실험 시 센서에서 소화농도 계측 반응시간 지연으로 인한 것으로 판단된다. Table 4는 실험에서 얻어진 소화제 농도와 유지시간을 보여주고 있다.

### III. 결 론

본 연구에서는 항공기 엔진베이 내 화재진압을 위한 소화장치에 대하여 수치해석적인 방법을 적용하여 성능을 예측하고 시험결과와 비교하였다. 소화장치 성능예측을 위한 수치해석적인 방법으로 소화장치의 압력용기부터 배관노즐까지 1차원적 해석을 수행하였다. 1차원 해석결과인 배관노즐 출구에서의 소화제 질량유량 변화를 3차원 해석의 경계조건으로 부여하였으며 혼합기체의 유동해석을 통하여 엔진베이 내의 소화제농도를 예측하였다.

엔진베이 내 소화제농도의 최대값 및 유지시간이 시험결과와 차이는 보이지만 경향성은 유사한 것으로 판단되어 소화장치 설계 시 엔진베이 내 일정 소화농도를 유지하기 위한 소화장치 설계 시 유용한 정보를 제공할 수 있을 것으로 판단된다. 특히, 소화장치 배관노즐의 크기, 엔진베이 내 위치 등을 선정할 경우 최적의 설계 변수를 선택하는데 전산해석 방법이 적용될 수 있을 것으로 판단된다.

소화제 분사시간, 필요한 소화제량, 소화제농도 등에 대한 소화장치 설계 검증을 기존에 수행하고 있는 비행 시험을 대신해 전산해석과 엔진베이 내 소화농도 실험을 통해 검증 가능한지에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단되며, 최종적인 확인은 비행시험을 통해 예측 결과와의 추가적인 비교 검토가 수행되어야 할 것이다.

### 후 기

본 연구는 기초기술연구회가 지원하고 항공우주연구원이 주관하는 DRC사업의 일부로 수행되었습니다.

### 참고문헌

- 1) Boeing, "Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents, Worldwide Operations 1959-2004," Boeing Commercial Airplane Aviation Safety, May, 2005.
- 2) Picard, B., Hartsig, D. and Levesque, R., "F/A-18 Engine Bay Fire Reduction," Technical Memorandum TM-92-172-SA, Naval Air Warfare Center Aircraft Division, Patuxent River, Maryland, 1993.
- 3) Altman, R. L., Ling, A. C., Mayer, L. A. and Myronuk, D. J., "Development and Testing of Dry Chemicals in Advanced Extinguishing Systems for Jet Engine Nacelle Fires," NASA Report JTCG/AS-82-T-002, NASA-AMES Research Center, Mountain View, CA. 1983.
- 4) Air, "Aircraft Fire Protection for Helicopter Gas Turbine Power Plant and Related System Installations," AIR 1262(8), 1974.
- 5) Naval Air, "Fixed-Wing Aircraft Fire Protection: Halon 1301 Fire Suppression Systems Effectivity Analysis," NEWCADLKE-MISC-05SR-0146, Naval Air Warfare Center Aircraft Division, September 1994.

6) Naval Air, "Rotary Aircraft Fire Protection: Halon 1301 Fire Suppression Systems Effectivity Analysis," NEWCAD LKE-MISC-05-SR-0132, Naval Air Warfare Center Aircraft Division, May 1994.

7) Tedeschi, M. and Leach, W., "Halon 1301 Fire Suppression System Effectivity Aboard U.S. Naval Aircraft," Halon Options Technical Working Conference, Albuquerque, NM. 1995. pp.128-136.

8) Donald B., "A Review of the History of Fire Suppression on U.S. DoD Aircraft," Halon Options Technical Working Conferences (HOTWC), 2005.

9) 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.

10) FAA, "General Guidelines for Measuring Fire-Extinguishing Agent Concentration in Powerplant Compartments," FAA Advisory Circular AC No. 20-100, 1977.

11) MIL-E-22285, "Extinguishing System, Fire, Aircraft, High-Rate-Discharge Type, Installation And Test Of Para 3.9 Duration of Discharge,"

12) MIL-E-22285, "Extinguishing System, Fire, Aircraft, High-Rate-Discharge Type, Installation And Test Of Para 3.8.1 Quantity of agent, (b) For Rough Nacelle Interior with High Airflow,"

13) MIL-E-22285, "Extinguishing System, Fire, Aircraft, High-Rate-Discharge Type, Installation And Test Of Para 3.8 Concentration of Agent,"

14) Flowmaster, "Advanced Thermo- Fluid System Modeling and Simulation," Flowmater V7, Flowmaster Group, 2010.

15) CFX, ANSYS V13, Ansys Inc., 2010.