



항공기 엔진베이 내 소화장치 성능예측을 위한 전산해석방법 연구

신 훈범,^{*1} 서 석 주,² 정 주 현,² 유 진 복²

PREDICTION OF FIRE EXTINGUISH SYSTEM PERFORMANCE BY NUMERICAL METHOD

H.B. Shin^{*1} and S.S. Joo²

There is fire dangers inside engine bay where fuel or oil leakage can be ignited by hot engine surfaces. So, Fire suppressor is needed to extinguish the flames. The current FAA requirement is that the concentration level should be greater than 6% by volume throughtout the protected zone for longer than a half second simultaneously. To Satisfy the FAA requirement, The Fire extinguish system should quickly delivery the fire extinguish agents and Fire extinguish system should be designed effectively.

This study is to develop and simulate the injection of fire extinguish agents into the engine-bay. Transient simulations were performed and predicted the concentration of fire extinguish agents at the certain locatioin in the engine-bay.

Key Words : 전산유체역학(CFD), 소화장치(Fire Extinguish Systems)

1. 서 론

항공기의 소화장치 시스템의 경우 고압의 소화약제를 짧은 순간에 화재 발생지역에 분사 및 일정한 소화약제 농도를 유지하여 화재를 진압하여야 한다. 이러한, 소화장치 시스템 설계 시 효과적인 화재진압을 위한 시스템 각 부분별로 최적화된 형상 개발이 필요하게 된다. 예를 들어 소화농도 유지 및 적절한 위치에 소화약제를 분사하기 위해서는 분사노즐에 대한 형상도 고려하여야 하며 배관 사이드등 여러 구성품에 대한 최적화된 설계개발이 필요하게 된다.

최종적으로는 소화장치 성능은 엔진베이 내에서 화재진압을 위한 일정한 소화약제 농도가 유지되어야 한다. 또한, 항공기 내부에 화재진압을 위한 소화약제 농도가 유지되는 것이 검증되어야 한다. 현재 FAR 규정에서는 화재방지구역(Protected Fire Zone)에서는 0.5초동안 소화약제 농도(Volumetric concentration)가 6%이상을 유지하여야 한다고 규정되어 있다.

따라서, 본 연구에서는 소화장치 성능예측을 위한 엔진베이 내 소화약제 농도를 전산적인 방법으로 예측하고자 하였으며 시험결과와 비교하여 전산해석적 방법의 적용 가능성을 확인하고자 하였다.

2. 수치해석 방법

2.1 소화장치 시스템 소개

Fig. 1은 엔진베이 내 소화장치 시스템을 도시한 그림이다. 소화장치 시스템의 경우 고압의 소화약제 압력용기 및 배관, 밸브등으로 구성되며 소화약제는 압력용기에 연결되어진 배관을 통하여 엔진베이 내부로 공급되어진다. 화재진압에 필요한 소화약제 용량은 엔진베이 내부 체적에 의하여 결정되어지며 엔진베이 환기유량 일부가 고려되었다. 또한, 액체상태의 소화약제(Halon 1301)은 500에서 900 psi 정도의 질소로 충전된 압력용기에 저장되어지며 물성치는 Table 1과 같다.

2.2 전산해석 방법 소개

소화장치 시스템은 소화용기와 배관으로 이루어진 부분과 노즐부터 엔진베이 내부공간에 대한 부분으로 크게 두 가지로 나누어 생각할 수 있다. 효과적인 전산해석을 위하여 압력

1 정희원, 한국항공우주산업(주) KHP 추진계통팀

2 한국항공우주산업(주) KHP 추진계통팀

* TEL : 055) 851-2814

* Corresponding author, E-mail: hbshin@koreaero.co.kr

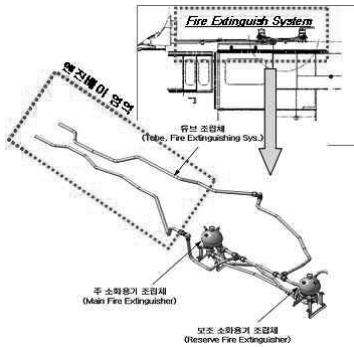


Fig. 1 소화장치 시스템

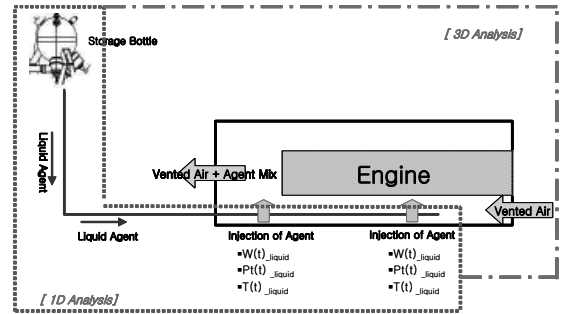


Fig. 3 전산해석 영역구분

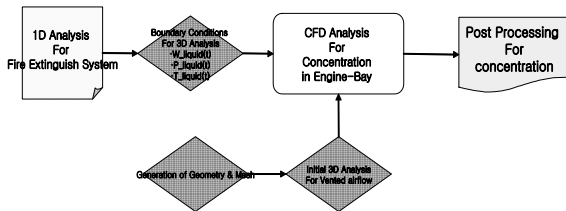


Fig. 2 전산해석 개념도

용기로부터 배관노즐까지의 전산해석은 1차원 상용해석프로그램인 Flowmaster를 이용하고 엔진베이 내부에서의 소화농도 예측은 3차원 실제 형상이 적용되어야 하므로 3차원 유동해석 프로그램인 Fluent V6.3을 이용하였다. Fig. 2는 이러한 해석적 방법에 따른 개념도이다.

2.2.1 배관시스템 해석 (1차원해석)

소화약제 공급시스템은 고압의 소화용기, 배관, 노즐, Check Valve로 이루어져 있으며 소화약제는 압력용기에 고압으로 충전되어져 있다. 고압의 소화약제는 필요시 배관노즐을 통해서 엔진베이 내부로 분사되며 시간변화에 따른 소화약제의 토출량 예측이 필요하다. 이러한, 배관시스템 내부의 전산해석을 위해서 상용 프로그램인 Flowmaster를 이용하였으며 시간변화에 따른 소화약제의 토출량 및 전압력 등을 예측하였다.

2.2.2 엔진베이 내 소화농도 해석(3차원해석)

Table 1 Geometry of Pump

Properties	Halon 1301
Chemical Formula	CBrF3
Molecular Weight	148.9
Liquid Density	1538 kg/m3
Heat of Vaporization	

배관 노즐에서 방출된 소화약제는 가스 상태가 되어 항공기 엔진베이 내부로 확산되게 된다. 따라서, 이러한 물리적 현상을 수치적으로 계산하기 위해서는 다상유동에 대한 관계식과 화학반응이 없는 Chemical Species Transport를 고려하였다. 수치해석 방법을 이용하여 시간변화에 따른 소화약제 농도분포를 예측하였으며 시험결과와 비교 검증토록 하였다. 여기서, 시험결과는 Rig. Test로서 엔진베이 내부를 단순한 경우이며 제한적인 조건에서 시험된 결과이다. 또한, 고압, 액체상태의 소화약제가 배관노즐에서 기화되는 현상을 수치적으로 고려하기 위하여 Hertz Knudsen 관계식을 이용하였으며 공동형상(Cavitation)도 수치적으로 적용하였다. Vapor Transport 관계식은 (1)과 같으며 여기서, 액상과 기체의 질량변환 관계는 Hertz Knudsen 관계식과 식 (2)의 Zwart-Gerber-Belamri model을 적용하였다. 또한, 이러한 수치적인 모델을 유동해석 시 적용하기 위하여 FLUENT에서 제공하는 UDF를 이용하였다.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\alpha\rho_v) + \nabla \cdot (\alpha\rho_v \vec{V}_v) = R_e - R_c \tag{1}$$

$$R_e = F_{vap} \frac{3\alpha_{nuc}(1-\alpha_e)\rho_v}{\Re_B} \sqrt{\frac{2P_v - P}{3\rho_l}} \tag{P < P_v}$$

$$R_c = F_{cond} \frac{3\alpha_e\rho_v}{\Re_B} \sqrt{\frac{2P - P_v}{3\rho_l}} \tag{P < P_v} \tag{2}$$

Pv : Saturation Pressure

*v : Vaport Phase, Fvap = evaporation coefficient

*l : Liquid Phase, Fcond= Condensation coefficient

공기와 가스상태의 혼합기체는 이상기체로 가정하였으며 각 화학종의 물성치를 이용하여 혼합기체 물성치를 계산하였다. 또한, 난류모델은 K-W SST 모델을 적용하였다.

그림 3은 상기의 1차원 해석결과를 이용한 3차원 해석방법에 대한 개념도이다. 1차원 해석결과인 노즐에서의 소화약제의 시간대별 유량 및 압력, 온도변화를 3차원 유동해석 경계조건으로 부여하였다.

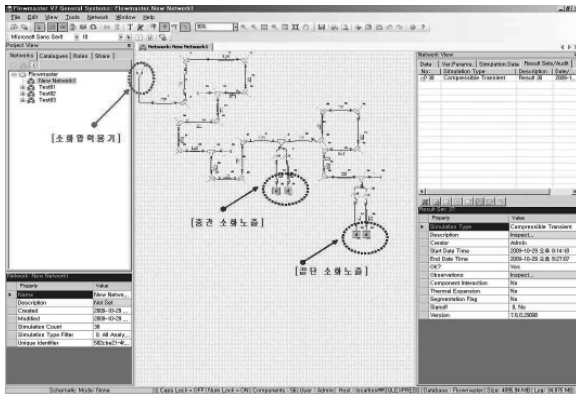


Fig. 4 1차원 해석사례

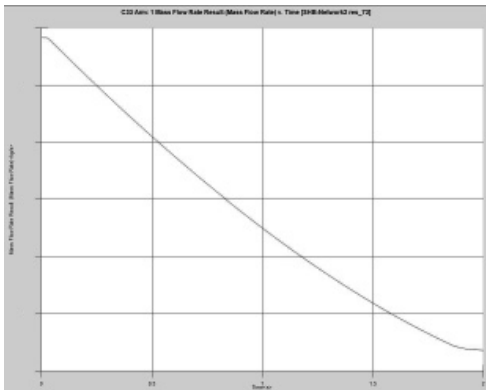


Fig. 5 압력용기 내부의 소화약제 방출시간

3. 수치해석결과

소화약제가 가압되어 있는 압력용기로부터 배관시스템까지의 1차원적 해석결과는 시간에 따른 압력용기의 압력변화를 경계조건으로 하여 유량변화 및 배관노즐의 전압력변화를 수치적인 방법으로 예측하였다. 그러한 결과를 바탕으로 하여 3차원 유동해석을 통하여 엔진베이 내부의 기체상태의 소화약제 농도를 예측하였다.

3.1 1차원 해석결과

그림 4는 압력용기와 배관 및 노즐단까지의 압력손실 및 시간에 따른 소화약제 방출량을 예측하기 위하여 Flowmaster를 이용한 해석을 보여주고 있다. 좌측 상향에 있는 Component는 소화압력용기를 나타내며 질소 가스로 가압되어 소화약제가 액체상태로 충전되어 있다. 우측 하단부는 일반 대기조건에 노출되어 있는 각 배관 끝단의 소화노즐을 의미하며

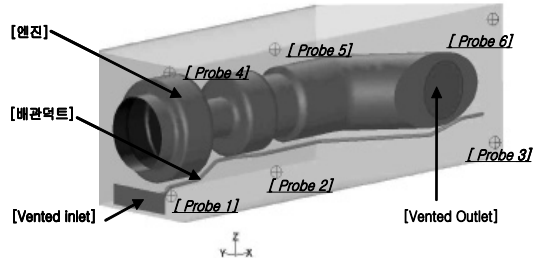


Fig. 6 3차원 전산해석 형상

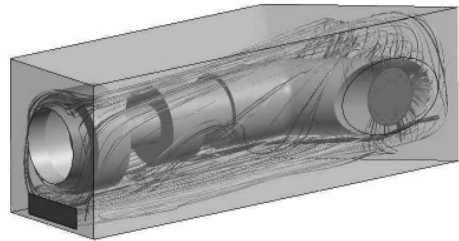


Fig. 7 3차원 전산해석 결과 (StreamLine)

조건은 일반 대기압으로 가정하였다.

그림 5는 배관노즐에서 시간에 따른 소화약제 방출량을 예측한 그림이다. 소화약제가 배관노즐을 통하여 배관시스템에서 완전히 방출되는 소요시간은 약 0.57초이다.

3.2 3차원 해석결과

1차원 해석결과인 시간변화에 따른 소화약제 유량, 전압력, 전온도 변화를 경계조건으로 하여 비정상상태의 엔진베이 소화농도를 예측하였다. 해석대상 엔진베이 형상은 그림 6과 같으며 배관노즐은 엔진베이 전방하부와 중간하부에 각각 2개의 노즐로 구성되어 있다. 또한, 엔진베이 입구쪽 하부에는 외부의 공기가 일정한 양으로 유입된다고 가정하였다.

그림 7은 엔진베이 내부의 소화농도를 예측하기 전 Vented Air에 흐름을 전산해석한 결과이다. 엔진베이 화재 시 Vented Inlet으로 유입되는 외부공기를 차단하게 되지만 고장발생시 일부영역이 열려있는 경우를 가정하였다. 주 흐름은 엔진베이 하부를 통하여 출구로 유출되는 것을 확인할 수 있으며 상대적으로 엔진베이 상부는 속도가 낮은 유동이 형성되는 것을 확인할 수가 있다.

그림 8은 엔진베이 내부의 소화액체와 공기의 혼합기체 분포를 질량분율로 도시한 그림이다. 단면은 전방노즐 근처이며 시간에 따른 질량분율 분포를 도

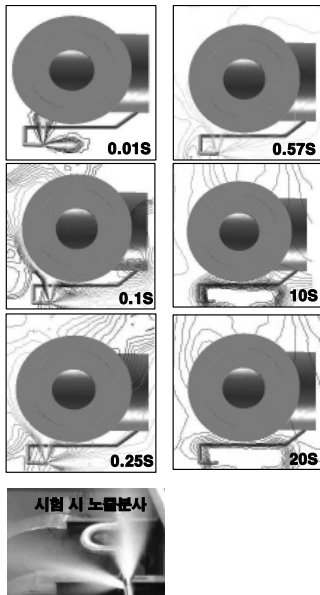


Fig. 8 엔진베이 내 혼합기체 분포

시하였다.

엔진베이 내부에 6곳에서 기화된 소화약제 농도를 측정하였으며 25초간 농도 변화를 그림 10~11에서 도시하였다. 그림 9는 시험결과로서 6곳의 측정위치에서의 농도값이며 Probe 1~Probe 3은 엔진베이 하부위치한 센서이며 Probe 4~Probe 6는 상부에 위치한 센서이다. 엔진베이 하부에서 측정된 농도값은 전방센서(Probe 1)일수록 농도값의 크거나 유지시간이 후방센서(Probe 3)에 경우보다 작고 짧은 것을 볼 수가 있다. 이러한 경향은 엔진베이 Vented Inlet으로 외부 공기가 유입되어 상대적으로 속도가 높은 곳에 위치한 센서(Probe 1)일수록 농도값이 낮고 유지시간이 짧은 것으로 판단된다. 그러나, 엔진베이 상부 센서(Probe 4~Probe 6)의 경우는 거의 유사한 경향을 보이며 외부공기의 유입으로 인하여 농도변화의 영향성이 엔진베이 하부보다는 작은 것을 확인할 수가 있다.

그림 10은 전산해석적인 방법을 통한 엔진베이 내부의 소화농도 예측 결과이다. 엔진베이 하부에 위치

Table 2 소화농도 및 유지시간

Item	하부센서(농도/시간)			상부센서(농도/시간)		
	P1	P2	P3	P4	P5	P6
시험결과	12% (10초)	12% (10초이상)	10% (10초이상)	14% (5초)	13% (5초)	12% (5초)
전산해석 결과	19% (1.25초)	19.03% (20초이상)	18.16% (7.91초)	21.67% (20초이상)	19.04% (20.초이상)	17.02% (10.64초)

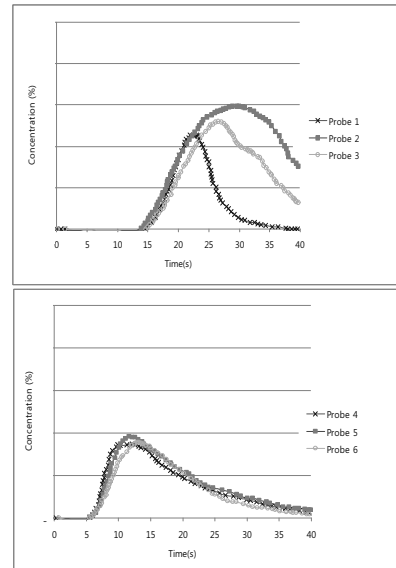


Fig. 9 소화농도변화 (시험결과)

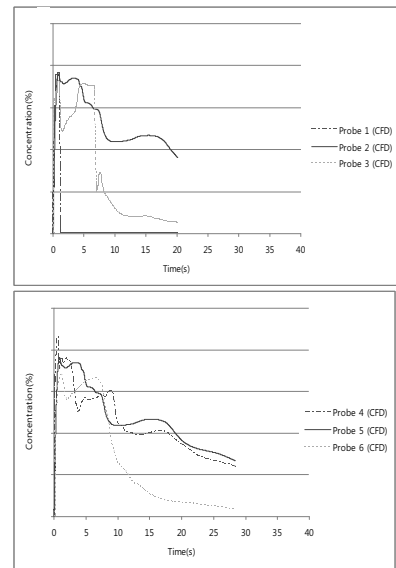


Fig. 10 소화농도변화 (전산해석결과)

한 센서들의 농도변화값을 살펴보면 전방위치 센서인 Probe 1의 경우가 농도유지 시간이 짧은 것을 확인할 수 있으며 중앙위치 센서인 Probe 2에서의 농도유지 시간이 가장 긴 것을 확인할 수가 있다. 시험결과와 비교하면 경향성은 유사하나 최대 농도값 및 유지시간이 차이가 발생하였다. 또한, 엔진베이 상부에 위치한 센서들의 농도값의 변화는 10초까지 3개



의 센서가 거의 비슷한 농도변화를 가지며 시험결과와 유사한 경향을 보인다. 그러나, 엔진베이 하부와 상부와 같이 농도 최대값이나 유지시간이 시험결과와 차이를 보이고 있다.

이러한 원인은 시험을 통한 소화농도 측정 시 계측시스템의 계측 반응시간 지연으로 인하여 농도값 및 유지시간에 대한 오류가 존재하며 전산해석결과와 비교 시 일부 차이가 존재하는 것으로 판단된다.

Table 2는 이러한 계측 반응시간 지연을 보정한 결과를 나타내며 전산해석 결과와 비교한 내용이다.

엔진베이 하부 전방위치한 센서(Probe 1)을 제외하고 전산해석 결과가 시험결과보다 상대적으로 최대농도값이나 유지시간이 큰 것을 볼 수가 있다. 앞서 설명한 바와 같이 시험 결과는 계측 반응시간 지연으로 인하여 상대적으로 작게 나오는 것으로 판단되며 그로 인하여 전산해석 결과와 차이를 보이는 것으로 판단된다.

FAR 규정상의 6% 이상에서 0.5초가 농도유지 시간을 만족하는 것을 시험결과나 전산해석 결과로서 확인할 수가 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 항공기 엔진베이 내 화재진압을 위한 소화장치 성능을 전산적인 방법 적용 가능성을 확인하고자 하였으며 성능을 예측하고자 하였다. 또한, 소화장치의 주요성능은 엔진베이 내의 소화농도로 예측하였으며 시험결과와 비교 검토하였다.

(1) 소화장치 성능예측을 위한 전산적인 방법은 크게 두 가지

로 구분하여 수행하였다. 소화장치 압력용기부터 배관노즐까지의 1차원적 해석을 수행하였다. 1차원 해석결과인 배관노즐 출구에서의 소화약제의 유량변화와 압력변화를 이용하여 3차원 해석의 경계조건으로 부여하였으며 다상 및 다화학종을 고려한 혼합기체의 유동해석을 통하여 엔진베이 내의 소화농도를 예측하였다.

(2) 예측결과 시간변화에 따른 소화농도 변화는 시험결과와 경향성은 유사하나 최대값 및 농도유지 시간에서 차이를 보였다. 이러한 원인은 시험 시 소화농도 계측 반응시간 지연으로 인한 차이가 주요한 것으로 판단된다.

(3) 엔진베이 내 소화농도의 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.

참고문헌

- [1] 2007, Kandala, R., "CFD analysis of a fire extinguishing system for an aircraft nacelle," *International Aerospace CFD Conference*.
- [2] 1977, "General Guidelines for Measuring Fire-Extinguishing Agent Concentration in Powerplant Compartments," *FAA Advisory Circular, AC, No.20-100*.
- [3] 2005, *FLUENT 6 - User's Guide*, Fluent, Inc.