

## 항공무장 시스템에서 가스-공기 혼합체의 공력영향성 연구

강태우<sup>1)</sup> · 김명수<sup>2)</sup> · 김영학<sup>2)</sup> · 김승한<sup>\*,1)</sup>

<sup>1)</sup> 국방기술품질원 항공센터

<sup>2)</sup> 한국항공우주산업(주) 고정익개발본부(KFX 무장팀)

### Aerodynamic Effects of Gas-Air Mixture on the Aircraft's Armament System

Tae-Woo Kang<sup>1)</sup> · Myoung-Soo Kim<sup>2)</sup> · Young-Hak Kim<sup>2)</sup> · Seung-Han Kim<sup>\*,1)</sup>

<sup>1)</sup> Defense Agency for Technology and Quality, Korea

<sup>2)</sup> Aircraft Research & Development Division(KFX Weapon Integration Team), Korea Aerospace Industries, LTD., Korea

(Received 29 May 2017 / Revised 9 August 2017 / Accepted 27 October 2017)

#### ABSTRACT

This military aircraft requires the compatibility evaluation of armed installations in accordance with guidelines and standards. In order to ensure the influence of gas-air mixtures caused by gunfire of the supersonic aircraft, CFD analysis of internal and external flows was performed and the results carried out and discussed. The low velocity vortex was formed due to the shape of the Gun Port, after firing the gas-air mixture was evacuated to the outside flow, where it moved to the front of the aircraft and soon merged with the aircraft flow field.

Key Words : CFD(전산유체역학), Gun Port(기총포트), Internal/External flow(내/외부 유동), Aerodynamic effect(공력영향성)

#### 1. 서론

효율적이고 안전한 항공 무기체계 개발·운용을 위해 기총 발사 시 항공기 주변의 공력 영향성에 관한 연구가 활발하게 수행되고 있다. 하지만 아직까지 Fansler의 Friedlander Waveform 이용한 기총 폭발과의 에너지 유출에 따른 특성소산 시간에 대한 연구<sup>[1]</sup>, Heaps의 스케일 기법 연구<sup>[2]</sup>, 기총폭발과 모델 수립에 관한 연구

<sup>[3]</sup> 이외에는 관련 연구의 데이터화가 거의 이루어지지 않고 있다.

일반적인 군용항공기는 미 국방 지침서 MIL-HDBK-1763<sup>[4]</sup>의 무장/장착물 통합 지침에 따른 호환성 평가를 위해 항공기와 장착물 데이터에 대한 해석 수행이 요구되며, 그 범위는 크게 구조 해석, 공력 해석, 공탄성 해석으로 나뉜다. 그 중 기총이 장착된 초음속 항공기의 경우 기총 사격 시 발생하는 고온의 부식 및 폭발성 유해 가스가 항공기 안전에 영향을 줄 수 있기 때문에 기총 사격 시 발생 되는 광범위한 가스-공기 혼합체에 대한 추가적인 해석이 필요하다.

\* Corresponding author, E-mail: seunghanhn@gmail.com  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

일반적으로 기총 사격 시 총열과 기총 조립체 내부에서 가스가 방출되며, 이 중에서 총열 끝단으로부터 발생하는 가스의 대부분은 기체 외부로 방출된다. 하지만, 항공기 주변의 잔여 가스가 항공기의 전방 진행 속도로 인해 총열 후방부에 부딪히거나 전방 총열 밀폐부를 거쳐 기총 격실 내에 흡입되어 비행 안전성에 영향을 미칠 가능성이 있다.

본 연구를 통해 한국공군이 보유·운영하고 있는 국내 개발 초음속항공기의 비행 안전성을 확인하기 위해 기총에서 발생하는 가스-공기 혼합체의 기체 유입 가능성 및 항공기 영향성을 검토하였으며, 공중 사격 시 발생하는 가스-공기 혼합체에 대해 Gun port 내·외부의 유동 흐름과 그에 따른 공력 영향성을 분석하였다.

## 2. 기총 시스템과 Gun Port 공력특성 검토

### 2.1 기총 시스템 구성

본 초음속항공기에 장착되는 기총 시스템은 Fig. 1과 같이 Transfer Unit과 Barrels 등으로 구성된 Gun Assembly, Drive Units, Control Unit, Ammo Box 및 Gun Port 등으로 구성되어 있고, 상호 유기적인 상호작용을 통해 작동된다. 이들 중 Gun Port는 기총발사 시 발생하는 가스(Gas)의 기체내부 유입 방지, 진동, 소음의 감쇄, 화염의 확산 방지뿐 아니라 탄 파편으로 인한 기체 손상을 방지하는 기능을 수행한다<sup>[5]</sup>.

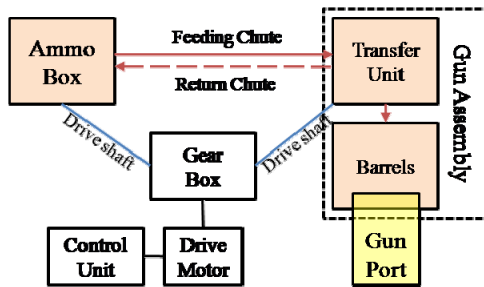


Fig. 1. The block diagram of gun system

### 2.2 Gun Port 주변 가스-공기 혼합체 흐름

#### 2.2.1 타 항공기 사례 검토

기총 사격 시 항공기 주변에서 발생하는 가스 흐름을 검토하기 위해 타 항공기에서 확인된 공기 흐름을 분석하였다. 하기 그림은 본 논문의 해석 모델과 유사한 형상의 항공기에서 기총 발사 시의 공기 흐름

을 보여주는 그래프이다. Fig. 2는 지상에서 정지상태의 기총 발사 시 공기흐름을 나타내며, Fig. 3은 고도 30,000 ft, 마하수 0.9로 비행 중 기총발사 이후 발생한 공기 흐름을 보여준다. 그림에서 보여지는 바와 같이 비행 중 발사되는 기총 주변의 공기 흐름이 항공기 속도에 의해 급격히 감소하는 것을 확인 할 수 있으며 총구(Muzzle)전방 15인치, 총구 라인 외측으로 25인치 범위에서 분포됨을 알 수 있다.

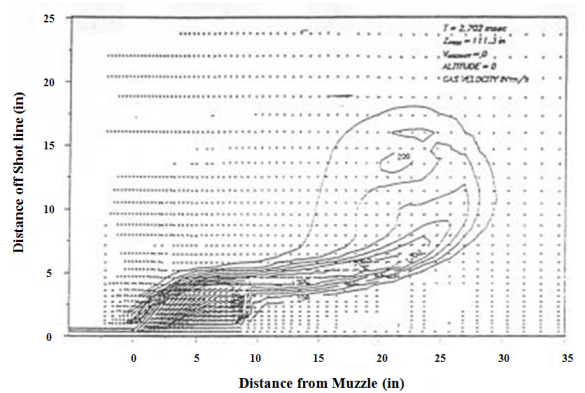


Fig. 2. The air flow after gun fire on ground

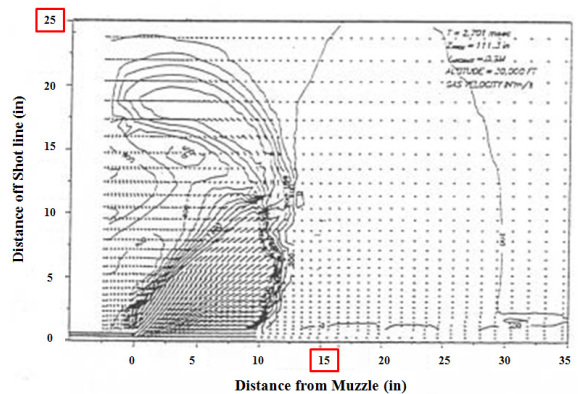


Fig. 3. The air flow after gun fire in flight

#### 2.2.2 대상 항공기 검토

Fig. 4는 항공기 개발 시험 시 Gun Port 주변에서 발생하는 공기흐름을 시간적 순서대로 나타낸 것이다. 기총 사격 직후 가스와 함께 Gun Port 내부에 섬광이 보이며, 가스와 탄두에서 떨어져 나온 일부 잔해들이 캐노피 사이에 억제되어 있는 것을 확인 할 수 있다. 그 다음 가스 및 파편들이 날개 상부에서 후방으로 소

멀되어 가며 최종적으로 다음 사격이 진행되기 전까지 가스가 후방으로 흩어지는 것을 확인 할 수 있다.

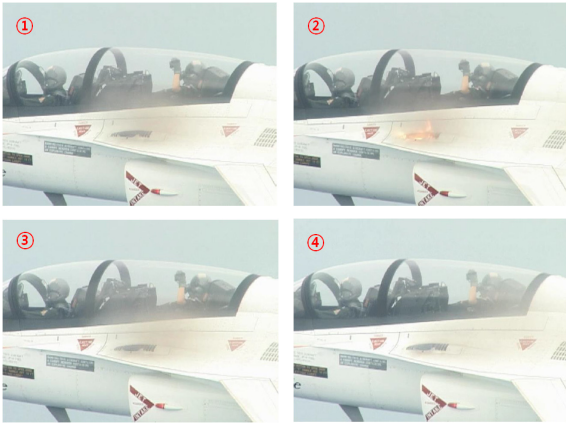


Fig. 4. The phenomenon during gun fire in flight (time sequence: ① → ② → ③ → ④)

### 3. 공력 영향성 해석

#### 3.1 Gun Port 해석형상 및 비행조건

대상 항공기의 기총 총열 및 Gun Port는 Fig. 5에 묘사되어 있는바와 같이 항공기 우측 상단, 캐노피 옆에 위치하며, Gun Port 형상은 기총발사 이후 총구에서 발생된 열 배출 및 원활한 공력 흐름을 위해 유선형의 디버터가 전후방에 각 4개씩 적용되어 있는 구조이다.

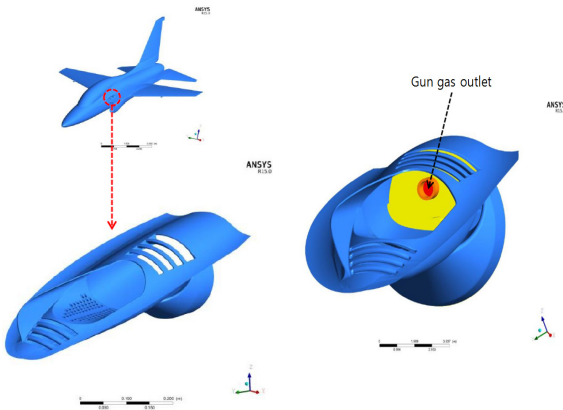


Fig. 5. The configuration of aircraft and Gun Port/Muzzle

기총 사격 시 비행 조건, 총구에서의 gun gas 유동 조건 및 총구 발사율은 각각 Table 1, 2과 같고 단위시간(분)당 발사율은 원제작사 군사보안사항으로 0,000 처리하였다.

Table 1. Conditions of flight

구 분		비행조건	비고
Altitude (ft)		6,500	
Flight velocity (kts)		450	
Angle of	Dive (deg)	20.0	
	Pitch (deg)	1.0	
	Side slip (deg)	0.0	

Table 2. Conditions of gun gas

구 분		초기조건 (@ 총구)	비고
Pressure	Pt (MPa)	57.47	
	Ps (MPa)	33.10	
Temperature (K)		3,200	
Velocity (m/s)		1,048	
Firing Rate (Shoot Per Minute, SPM )		0,000	

#### 3.2 수치해석기법

유동해석 코드는 비선형 유동방정식인 Navier-Stokes 방정식에 기초한 상용코드인 ANSYS 15<sup>[6]</sup>를 사용하였으며, 비정상상태의 자유표면에서 가스-공기혼합체의 현상을 해석하기 위해 VOF(Volume of Fluid method)를 사용하였다. 지배방정식을 보존형으로 나타내면 아래와 같다.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial E}{\partial x} + \frac{\partial F}{\partial y} + \frac{\partial G}{\partial z} = \frac{1}{Re} \left( \frac{\partial E_v}{\partial x} + \frac{\partial F_v}{\partial y} + \frac{\partial G_v}{\partial z} \right) \quad (1)$$

수식 (1)에서 Q는 아래와 같다.

$$Q = \begin{bmatrix} \rho \\ \rho u \\ \rho v \\ \rho \omega \\ \rho E \end{bmatrix}, E = \begin{bmatrix} \rho u \\ \rho u^2 + P \\ \rho uv \\ \rho u\omega \\ \rho uH \end{bmatrix}, F = \begin{bmatrix} \rho v \\ \rho v^2 + P \\ \rho v\omega \\ \rho vH \end{bmatrix}, G = \begin{bmatrix} \rho \omega \\ \rho \omega\omega \\ \rho \omega^2 + P \\ \rho \omega H \end{bmatrix}$$

난류모델로는 경계층 내부에서 우수한 성능과 자유 전단층과 외부영역의 해석결과가 우수하다고 알려져 있는  $k-\omega$ 를 모델을 기반으로 한 Shear Stress Transport (SST)모델을 적용하였다. 비점성 플럭스는 공간에 대한 이차 정확도의 Roe의 Flux Difference Splitting(FDS)를 사용하였고, 점성 플럭스는 중심차분법을 이용하여 계산하였다. 그리고 지배 방정식의 공간차분법은 고차, 고해상도 수치해석 기법인 풍상 차분기법(Upwind differencing)을 적용하여 급격한 유동변화가 있는 영역의 강건한 계산능력을 고려하였다<sup>7)</sup>.

### 3.3 기총발사 전/후 유동 특성 분석

공중 사격 시 발생하는 다량의 기총가스는 일반적으로 총구 주변에서 높은 축적률을 가지므로 폭발 위험성이 높다. 따라서 총구 주변의 기총 가스의 흐름을 분석하기 위해서는 기총 발사 후 가스-공기 혼합체에 대한 내/외부 유동 영향성을 모두 고려해야 한다.

#### 3.3.1 기총발사 전/후 Gun Port 내부 유동 특성

Gun port 내부 유동장의 와류 발생 가능성과 가스 축적으로 인한 폭발 가능성을 확인하기 위해 Table 3에 기술된 조건으로 유동장 해석을 진행하였다.

Table 3. Conditions of internal flow

구 분	조 건	비고
Time (msec)	0	
	10	
	20	
Firing Rate (SPM)	0,000	
Period of shooting (msec)	20	

Fig. 6(a)에 묘사된 Gun Port를 A-A' 단면에 대한 해석 결과를 Fig. 6에 시간순으로 도시하였다. 그림에서 보이는 바와 같이 포켓형태의 Gun Port 형상으로 인해 기총발사 전에는 Fig. 6(b)의 화살표와 같이 내부 안쪽에 낮은 속도의 와류가 형성되어 있다. 하지만 기총 발사 후에는 총구에서 배출된 고온, 고압의 가스로 인해 Gun Port 내부의 약한 와류장은 빠르게 소멸되고 외부로 배기되는 고속 유동장이 형성된다. 해석 결과에 따라 기총 발사 시 내부 유동장의 와류 발생

가능성과 가스 축적으로 인한 폭발 가능성은 거의 없음을 확인할 수 있다.

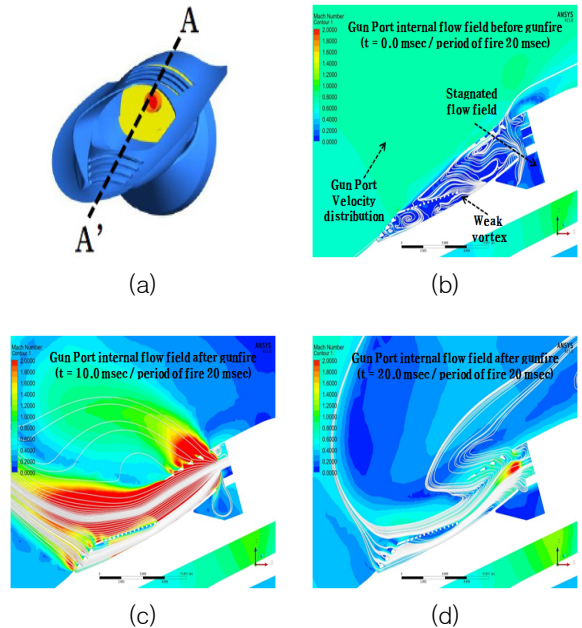


Fig. 6. The velocity distribution of internal flow field near gun port before/after gun fire: (a) shape of gun port, (b) 0.0, (c) 10.0, and (d) 20.0 msec

#### 3.3.2 기총발사 전/후 Gun Port 외부 유동 특성

공중 사격 직후 발생한 가스-공기 혼합체의 항공기 내부 유입을 확인하기 위해, 아래 기술된 방법으로 외부 유동장 해석을 진행하였다.

##### 3.3.2.1 시간에 따른 압력계수 변화분포

Fig. 7은 기총 발사 전 압력분포와 발사 직후 10~30 msec 시간 동안 Gun Port 주변의 압력 분포를 해석한 결과이다.

기총 발사 전/후의 압력분포를 살펴보면 발사 직후 10 msec 경과 했을 때 총구에서 발사된 가스 압력이 가장 높으며, Gun Port 전방에 고압영역이 형성되고 좌측 캐노피 및 strake 부위의 압력이 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 그리고 발사 후 20 msec 부터 기총 전방에 발생되었던 고압 영역이 빠르게 소멸되고 발사 후 30 msec 부터는 기총 발사 전 압력분포로 회복 확인 할 수 있다.

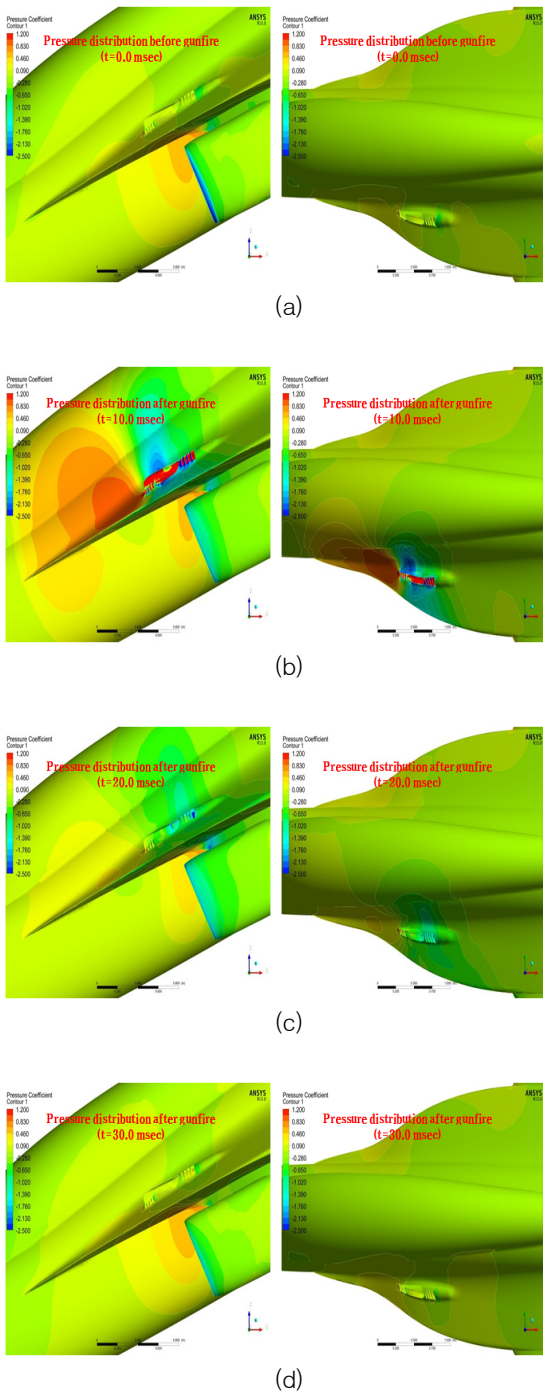


Fig. 7. The pressure distribution on the aircraft body before/after gun fire(LH: side view, RH: top view): (a) 0.0, (b) 10.0, (c) 20.0, and (d) 30.0 msec

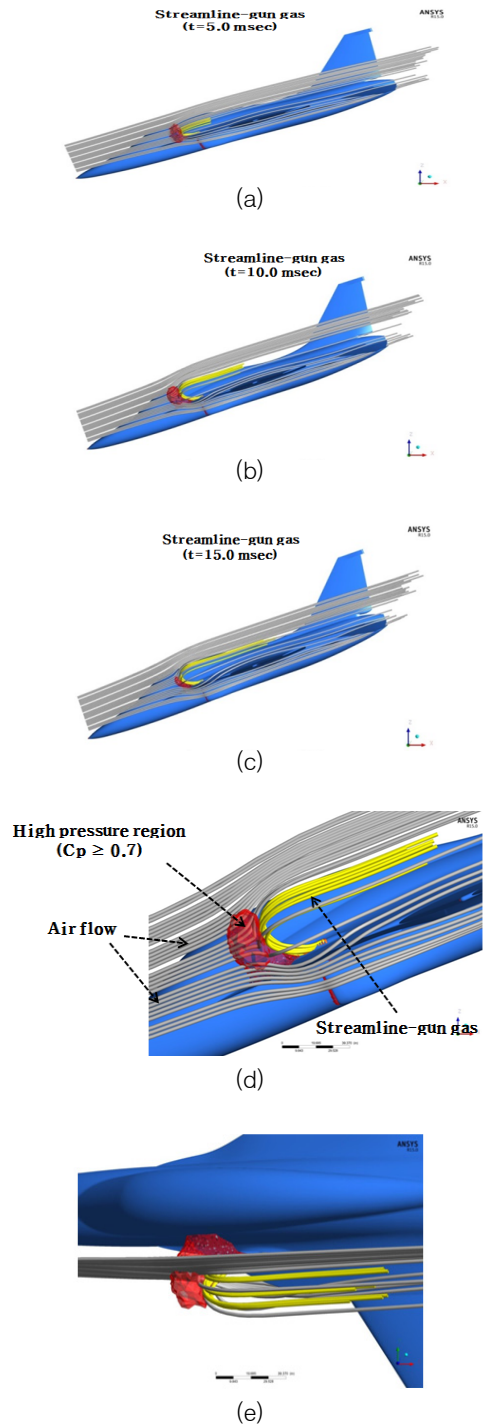


Fig. 8. The streamline of gun-gas after gun fire: (a) 5.0, (b) 10.0, (c) 15.0 msec, (d) enlarged side and (e) top view



### 3.3.2.2 기총 발사 후 가스-공기 혼합체 유동장 분석

기총발사 후 압력분포를 통해 확인 된 결과를 가지고 가스-공기 혼합체의 유동경로를 Fig. 8과 같이 가시화 해보았다.

총구에서 발사 후 생성 된 고온, 고압의 가스-공기 혼합체는 시간이 경과함에 따라 전방으로 이동 후 항공기 날개를 따라 흘러가게 되는데 가시화된 그림을 자세히 보면 압력계수가 0.7보다 큰 고압영역에서의 가스-공기 혼합체는 항공기 유동장과 합쳐져서 대기 유동경로를 따라 후방으로 흘러간다는 사실을 확인할 수 있다. 해석 결과에 따라 Gun port 주변의 가스가 항공기 비행에 따라 항공기 내부로 유입될 가능성은 거의 없을 것으로 판단된다.

## 4. 결론

항공기가 임무수행을 위해 무장체계를 갖추게 되면 형상관리 및 무장체계와의 호환성 평가, 비행안전에 관한 영향성을 확인하기 위해 무장/장착물에 대한 데이터 해석이 요구된다. 본 연구에 사용된 항공기는 기총이 장착되어 있으며 기총발사 이후 발생하는 가스-공기 혼합체 영향으로 인한 비행안전성을 확인하기 위해 CFD 기법을 이용하여 공력 영향성 해석을 수행하였다.

기총에서 탄두 발사 후 내재 되어 있는 축적물로 인한 폭발가능성을 확인하기 위해 내부 유동 해석을 수행한 결과 고온, 고압으로 인해 와류장은 빠르게 소멸되고 외부로 배기되는 고속 유동장이 형성되는 것을 확인 할 수 있었다. 이후 수행 된 외부 유동장 해석에서는 시간에 따른 압력변화 분포를 통해 공력 영향성을 확인하였고 기총 발사 후 10 msec 경과 했을 때 최고 압력을 기록했으며 이후에는 사격 전 압력상태로 회복하는 것을 확인하였다.

기총 발사로 인해 Gun Port 주변에서 발생 된 유선

(Stream line)을 살펴보면 가스-공기 혼합체는 고온, 고압에 의해 항공기 전방으로 이동 후 항공기 유동장과 합쳐진다. 그 이후, 대기 유동경로를 따라 상/하 방향으로 휘어지면서 후방으로 흘러가는 것을 확인 할 수 있었다.

본 연구를 통해 기총발사 이후 해당 운용항공기 Gun Port 주변에 발생하는 공력영향을 확인 할 수 있었으며 비행 안전 영향성을 검토할 수 있는 압력 및 속도 분포에 관한 데이터를 확보할 수 있었다.

## References

- [1] Fansler, K. S., "Dependence of Free-Field Impulse on the Decay Time of Energy Efflux for a Jet Flow," The Shock and Vibration Bulletin, Bulletin 56, pp. 203-212, 1986.
- [2] Heaps, C. W., Fansler, K. S., and Schmidt, E. M., "Computer Implementation of a Muzzle Blast Prediction Technique," The Shock and Vibration Bulletin, Bulletin 56, pp. 213-229, 1986.
- [3] D. G. Kim, J. H. Han, J. H. Jang., "Analysis of Aircraft Vibration Caused by Gun Blast Wave," The Korean Society For Aeronautical And Space Sciences, pp. 413-416, 2005.
- [4] "Aircraft/Stores Compatability Systems Engineering Data Requirements and Test Procedures," MIL-HDBK -1763, 1998.
- [5] B. G. Kim, Y. H. Kim, "T-50 20 mm Gun System Design," The Korean Society For Aeronautical And Space Sciences, pp. 754-757, 2004.
- [6] ANSYS, ANSYS Fluent Theory Guide, Version 15.0.
- [7] Roe, P. L., "Approximate Riemann Solvers, Parameter Vectors and Difference Schemes," Journal of Computational Physics, Vol. 43, No. 2, pp. 357-372, 1981.