

항공기 무장시스템 Gun Gas 공력특성에 관한 연구

최형준, 김승한*
국방기술품질원

Aerodynamic Effects of Gun Gas on the Aircraft's Armament System

Hyoung Jun Choi, Seung Han Kim*
Defense Agency for Technology and Quality

요약 본 연구는 항공기 기총발사 비행조건에서 Gun Port 주변 공기 유동장을 분석하여 디버터(Diverter) 옵션 형상에 따른 Gun Gas 유동량 및 경로를 확인하고 항공기 성능 및 안전성 영향을 확인하였다. Gun Port Diverter는 기총사격 시 발생하는 열을 효과적으로 낮춰주는 역할을 할 뿐아니라 Gun Gas를 상향방향으로 효율적으로 배출시키는 역할을 수행하며, 그 형상에 따라 Gun Gas 경로가 변경될 수 있다. 후방 Gun Port Diverter의 옵션 형상에 따라 기총 발사 시 Gun Gas의 유량, 경로, 압력을 분석하였다. Gun Port 내부 속도분포와 온도변화를 분석한 결과 후방 Diverter를 지나는 유량은 옵션 형상에 따라 급격히 감소하는 경향을 보이지만, 전방을 지나는 유량은 변화가 적은 비슷한 경향을 보임을 확인하였다. 따라서 기총발사 시 발생하는 Gun Gas는 후방 Gun Port Diverter 옵션 형상과 관계없이 항공기 표면에서 충분한 유동 거리가 확보되며, Diverter 옵션 형상에 따른 Gun Gas 유동의 정체는 Gun Port 내부 온도 상승에 큰 영향을 미침을 확인하였다.

Abstract This study examined the airflow field around a gun port on the flight condition of gunfire to verify the aircraft performance and safety effects and gun gas rate, path according to the options of diverter configuration. The gun port diverter not only effectively lowered the heat generated by gunfire but also effectively discharged the gun gas upwards. The path of gun gas can be changed according to its configuration. According to the optional configuration of the rear-gun-port diverter, the flow rate, path, and pressure of the gun gas were analyzed during gunfire. An analysis of the internal velocity distribution and the temperature change of the gun port revealed a rapid decrease in flow rate through the rear diverter according to the option configuration. The forward flow rate showed a similar tendency with little change. This ensures that the gun gas generated during gunfire has a sufficient flow distance from the aircraft surface, regardless of the rear gun port diverter's optional configuration. The flow stagnation of gun gas according to the option configuration of diverter had a great influence on the internal temperature rise of a gun port.

Keywords : Gun Port, Gun Port Diverter, Gunfire, Air Flow Rate, Gun Gas

1. 서론

항공기 성능 및 안정을 고려한 무기체계 개발·운용을 위한 기총 발사 시 항공기 주변의 공력 영향성에 관한 연

구가 활발하게 수행되고 있다. 하지만 [1]과 같이 Fansler의 Friedlander Waveform 이용한 기총 폭발파의 에너지 유출에 따른 특성소산 시간에 대한 연구, [2]와 같이 Heaps의 스케일 기법 연구, [3]과 같이 기총폭발파

*Corresponding Author : Seung_han Kim(Defense Agency for Technology and Quality)

email: seunghann@gamil.com

Received January 15, 2020

Accepted May 8, 2020

Revised February 3, 2020

Published May 31, 2020

모델 수립에 관한 연구, [4]와 같이 항공무장 시스템에서 가스-공기 혼합체의 공력영향성 연구 이외에는 관련 연구의 영향 및 개선을 위한 데이터화가 거의 이루어지지 않고 있다.

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

Fig. 1는 고도 30,000 ft, 마하수 0.9로 비행하는 항공기의 기총 발사 이후 항공기 주변에서 발생된 가스에 의한 공기 흐름의 예를 보여준다. 그림에서 보여지는 바와 같이 비행 중 발사되는 기총 주변의 공기 흐름이 항공기 이동 방향과 상대적인 공력에 의해 급격히 감소하는 것을 확인 할 수 있다. 총구(Muzzle) 전방 15인치, 공구 라인 외측으로 25인치 범위 부근에서 분포됨을 확인 할 수 있다.

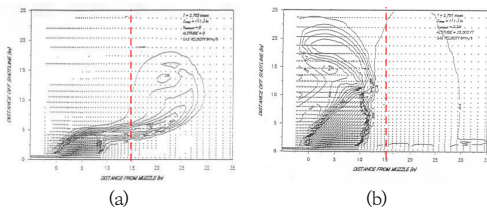


Fig. 1. The air flow after gun fire
(a) On ground (b) In flight

본 연구를 위해 활용된 초음속 항공기에 장착되는 기총 시스템은 Fig. 2과 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.[5]

본 연구를 통해 기총 총구(Gun Muzzle)에서 배기되는 Gun Gas와 대기 유동장의 유동특성을 파악하고자 하였고, Gun Port Diverter 옵션 형상의 개폐에 따른 Gun Gas 이동 경로 변화와 외부 공력효과, 압력분포, 내부 속도 및 온도 특성을 분석하였다.

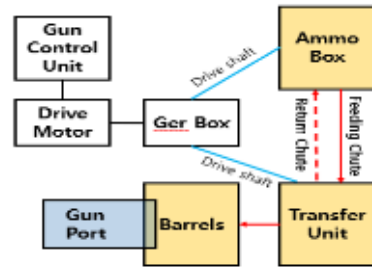


Fig. 2. The block diagram of gun system

2. 본론

2.1 항공기 해석 조건 및 형상

2.1.1 비행조건

기총 사격 시 비행 조건은 Table 1과 같다. 기총 총구에서의 Gun Gas 유동 조건 및 총구 발사율은 Table 2와 같다.

Table 1. Conditions of flight

Classification		Flight	etc
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

Classification		Condition (@ Gun Port)	etc
Pressure	Pt (Mpa)	57.47	
	Ps (Mpa)	33.10	
Temperature (K)		3,200	
Velocity (m/s)		1,048	
Firing Rate (SPM)		0,000	

2.1.2 Gun Port 형상 및 옵션

대상 항공기의 기총 총열 및 Gun Port의 위치는 Fig. 3에 묘사되어 있는바와 같이 항공기 우측 상단, 캐노피 옆에 위치하며, Gun Port 형상은 기총발사 이후 총구에서 발생된 열 배출 및 원활한 공력 흐름을 위해 유선형의 디버터(Diverter)가 전후방에 각 4개씩 적용되어 있는 구조이다.

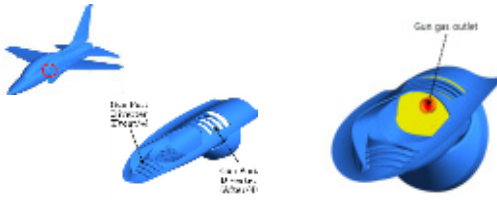


Fig. 3. The configuration of Gun Port/Muzzle

전방 Gun Port Diverter의 경우 전방으로 이동하는 Gun Gas의 경로를 위 방향으로 밀어주어 항공기에 직접적인 영향을 최소화하는 역할을 하므로 Diverter를 막는 것은 의미가 없을 것으로 판단된다.

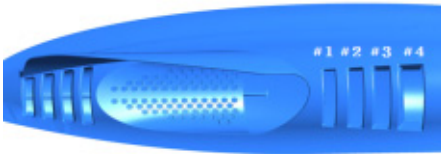


Fig. 4. The configuration of Gun Port Diverter

하지만, 후방 Gun Port Diverter의 경우 Gun Gas 유동 흐름 및 유량의 영향을 확인하기 위해 Fig. 4를 기준으로 Table 3과 같이 옵션 형상을 설정하였다. 항공기 기총 관련 연구 중 항공기 안전 및 기총 장착 설계 검증을 위한 Gun Gas 공력특성 연구와 비교하여 Gun Port Diverter 개폐에 따른 Gun Gas 이동 경로 및 내부온도 변화를 분석하고 옵션에 따른 영향을 확인하고자 선정하였다.

Table 3. Options of Diverter on Gun Port

	Diverter#1	Diverter#2	Diverter#3	Diverter#4
Option#1	Closed	Open	Open	Open
Option#2	Closed	Closed	Open	Open
Option#3	Closed	Closed	Closed	Open
Option#4	Closed	Closed	Closed	Closed

본 논문에서는 기본 형상에 대한 전·후방 Gun Port 유량 분포를 확인하고 Table 4에서 제시하는 연구내용 개념과 같이 Gun Port Diverter 옵션 형상에 따른 연구 결과를 확인하고자 한다.

Table 4. Flow of Research Concept

No	Contents
1	Flow Rate of Baseline Gun Port Diverter
2	Pressure Distribution Before Gunfire
3	Gun Gas Streamline After Gunfire
4	Pressure Change as Diverter Options
5	Flow Rate as Diverter Options
6	Inner Air Temperature of Gun Port

2.1.3 수치해석기법

유동해석 코드는 비선형 유동방정식인 Navier Stokes 방정식에 기초한 시뮬레이션 프로그램인 상용코드 Ansys Version 15[7]을 사용하였으며, 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.

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

난류모델로는 경계층 내부에서 우수한 성능과 자유 전단층과 외부영역의 해석결과가 우수하다고 알려져 있는 k- ω 를 모델을 기반으로 한 Shear Stress Transport(SST)모델을 적용하였다. 그리고 지배 방정식의 공간차분법은 고차, 고해상도 수치해석 기법인 Roe의 풍상차분기법(Upwind differencing)을 적용하여 급격한 유동변화가 있는 영역의 강건한 계산능력을 고려하였고[8] Roe-FDS Flux, 유동성분과 난류성분의 차분법으로 2차 풍상차분법을 사용하였다.

2.2 공력 해석 결과

2.1.1 전·후방 Gun Port 유량 분포

설정된 항공기 비행조건에서 Gun Muzzle에서 배기되는 Gun Gas Streamline 분석 결과 전방 Gun Port Diverter를 통과하는 유량은 7.3%이고 후방 유량은 13.3%이다.

Table 5. Flow Rate of Gun Port Diverter

Location	Front Diverter				After Diverter			
	#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4
Flow Ratio	0.3%	2.5%	3.0%	1.5%	1.8%	3.8%	6.0%	1.8%
Total	7.3%				13.3%			

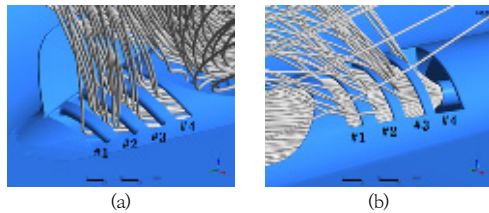


Fig. 5. Gun Gas Streamline
(a) Forward Diverter (b) After Diverter

2.1.2 기총 발사 전 압력 분포

기총 발사 전(0.0 msec) 항공기 Gun Port 주변 압력 분포는 후방 Gun Port Diverter 개폐에 따라 Gun Port 후방 압력 분포가 미세하게 변화되지만 전체 Gun Port 주변 압력 분포의 변화는 Fig. 6과 같이 비슷한 경향을 보인다.

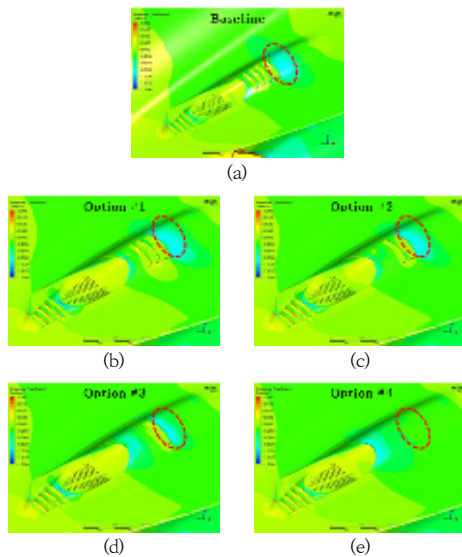


Fig. 6. Pressure Distribution (0.0 msec)
(a) Baseline (b) #1 (c) #2 (d) #3 (e) #4

2.1.3 기총 발사 후 Gun Gas 이동 경로

기준형상(Baseline)의 경우 배기된 Gun Gas는 Gun Muzzle 전방으로 약 40인치 이동 후 항공기의 Upper, Outboard 방향으로 휘어져 항공기 후방으로 이동한다. Fig. 7과 같이 옵션 형상들은 기준 형상 대비 약 1 ~ 2인치 후방에서 방향을 바꾸어 이동하지만 기준형상과 동일한 유동흐름 및 항공기 이격 특성을 보인다.

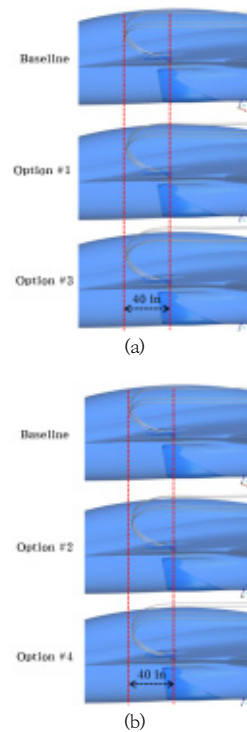


Fig. 7. Gun Port Streamline (10.0 msec)
(a) Baseline, #1, #3 (b) Baseline, #2, #4

2.1.4 기총 발사 주기에 따른 압력 변화

Fig. 8에서와 같이 후방 Gun Port Diverter 옵션 형상에 따라 Gun Port 전방에서는 압력이 증가하는 경향을 보인다. Option #1 ~ #3의 경우는 압력 증가가 적은 반면 Option #4 (All Closed)의 경우에는 압력이 기준형상 대비 30% 정도 증가한다. 또한 유동속도 증가는 이격 특성에 긍정적인 영향을 보인다.

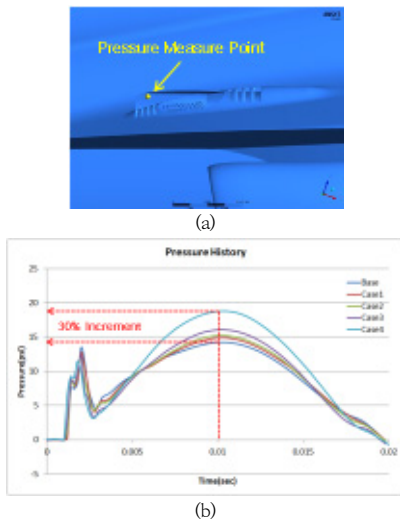


Fig. 8. Pressure Change as Diverter Options
(a) Pressure measure point (b) Pressure History

2.1.5 옵션별 전·후방 Gun Port 유량 분포 변화

기준형상과 동일한 방법으로 Gun Muzzle에서 배기되는 Gun Gas Streamline의 특성을 분석하였다. Fig. 9에서 수치적으로 비교 가능한 것과 같이 후방 Gun Port Diverter의 막는 개수가 증가할수록 전방 Diverter를 통과하는 Gun Gas 유량의 변화가 적은 반면, 후방 Diverter를 통과하는 Gun Gas 유량은 급격히 감소하는 경향을 보인다.

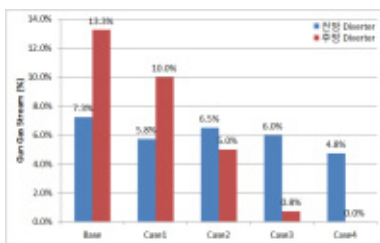


Fig. 9. Flow Rate as Diverter Options

해석 옵션별 항공기 표면과 Gun Port Diverter를 통과하는 Gun Gas의 이동경로에 대한 상세한 유선(Streamline) 형상은 아래의 Fig. 10과 같다.

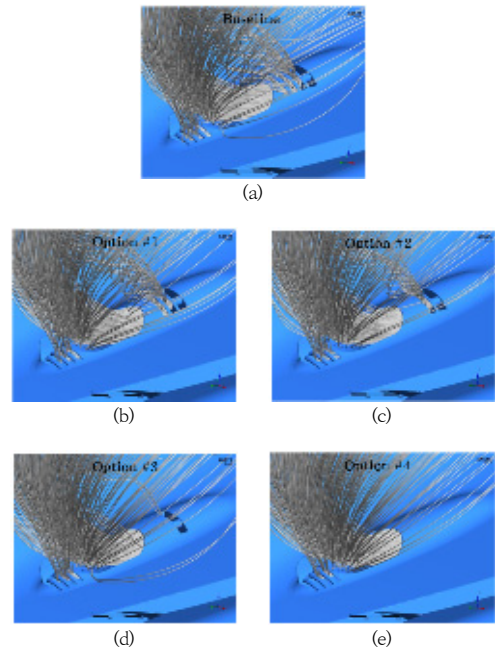


Fig. 10. Gun Port Diverter Streamline
(a) Baseline (b) #1 (c) #2 (d) #3 (e) #4

2.1.6 기총 발사 시 Gun Port 내부 속도 분포

후방 Gun Port Diverter는 옵션 형상에 따라 기준형상(Baseline) 대비 전방, 후방 Gun Port Diverter의 배기 속도가 증가하는 경향을 보이지만 Fig. 11과 같이 Option #4(All Closed)를 제외하고는 거의 비슷한 유동장 특성을 보인다.

2.1.7 기총 발사 후 Gun Port 내부 온도 분포

기총 발사 후 후방 Gun port Diverter를 통해 유입된 외부공기가 Gun Port 내부의 고온가스를 냉각시키는 역할을 하는 것으로 분석된다. Fig. 12의 후방 Diverter 내부 온도 분포를 비교해보면, 후방 Gun Port Diverter의 옵션 형상에 따라 Gun Port 내부 냉각 효율에 심각한 영향을 줄 수 있다. 고온의 가스는 Gun System 구조에 심각한 손상과 기능적 저하를 초래할 수 있다.

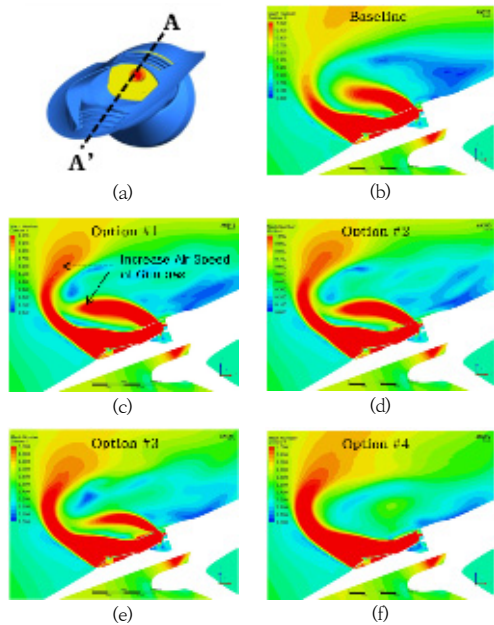


Fig. 11. Inner Air Speed of Gun Port
(a) View Face (b) Baseline (c) #1 (d) #2 (e) #3 (f) #4

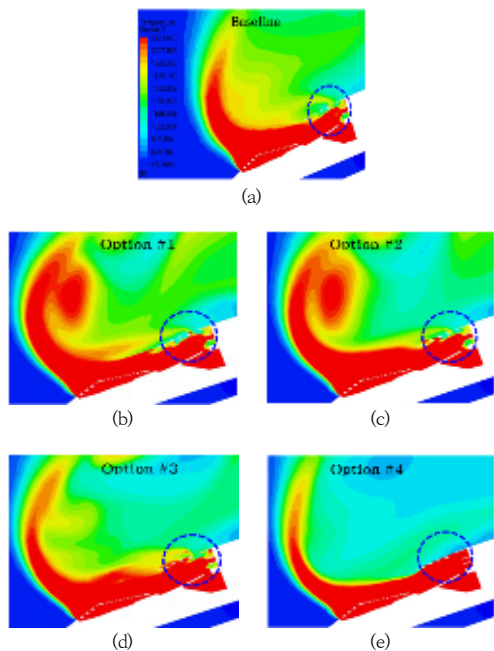


Fig. 12. Inner Air Temperature of Gun Port
(a) Baseline (b) #1 (c) #2 (d) #3 (e) #4

2.1.8 항공기 Gun Gas 공력 분석 종합

기총 발사 시 발생하는 Gun Gas가 통과하는 Gun Port Diverter 옵션 형상에 따른 항공기 영향을 정리하고자 한다. 유량은 후방 Diverter 옵션 형상 관계없이 전방 Diverter를 통과하는 일정한 유량이 확보된다. 압력에서는 Baseline 대비 옵션4 형상에서 압력 30%가 증가되었다. 이러한 유량과 압력은 이동경로 분석에서와 같이 항공기 표면에서 충분한 이격을 유지하여 공력에 따른 항공기 영향이 적음을 확인하였다. Gun Port 내부 속도와 온도는 가장 극한 영향인 옵션 4 분석에서와 같이 속도에 따른 하중과 고온의 영향을 고려하여야 한다.

3. 결론

본 논문은 항공기 기총발사 비행조건에서 Gun Gas 유동량 및 경로를 확인하고 항공기 성능 및 안전성 영향을 확인하고자 Diverter 형상에 따른 해석을 수행하였다. 후방 Diverter를 지나가는 유량은 옵션 형상에 따라 급격이 감소하는 경향을 보이지만, 전방을 지나가는 유량은 변화가 적은 비슷한 경향을 보인다. 따라서 기총발사 시 발생하는 Gun Gas는 후방 Gun Port Diverter 옵션 형상과 관계없이 항공기 표면에서 충분한 유동 거리가 확보된다.

Diverter 옵션 형상에 따른 Gun Gas 유동 속도는 내부 Port와 외부 항공기 표면에서 유사한 경향을 보였다. 하지만 Gun Gas 배출 후 Gun Port 내부에서 발생하는 유동 흐름의 정체는 내부 공기유입이 차단되어 온도를 상승시키고 Cooling 시간이 늘어나 냉각효율이 저하될 수 있다. 기총시스템 장착 구조물의 열해석을 통해 건전성을 확보해야한다.

본 연구를 통해 기총시스템의 Gun Port Diverter 옵션 형상에 따라 기총 발사 시 발생하는 Gun Gas 공력특성을 분석하여 항공기 안전성을 확인하였고 항공기 구성품인 Gun Port 개발 및 검증 시 비교 자료로 활용될 것으로 기대한다.

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] Tae-Woo Kang, Myoung-Soo Kim, Young-Hak Kim, Seung-Han Kim, "Aerodynamic Effects of Gas-Air Mixture on the Aircraft's Armament System," *The Korea Institute of Military Science and Technology*, vol. 20, no.6, pp. 788-793, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.9766/KIMST.2017.20.6.788>
- [5] "AIRCRAFT/STORES COMPATIBILITY SYSTEMS ENGINEERING DATA REQUIREMENTS AND TEST PROCEDURES," MIL-HDBK-1763, 1998.
- [6] B.G. Kim, Y.H. Kim, "T-50 20mm Gun System Design," *The Korean Society For Aeronautical And Space Sciences*, pp. 754-757, 2004.
- [7] ANSYS, ANSYS Fluent Theory Guide, Version 15.0.
- [8] Roe, P. L, "Approximate Riemann Solvers, Parameter Vectors and Difference Schemes," *Journal of Computational Physics*, Vol. 43, No.2, pp. 357 ~372, 1981.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0021-9991\(81\)90128-5](https://doi.org/10.1016/0021-9991(81)90128-5)

김 승 한(Seung-Han Kim)

[정회원]



- 2012년 2월 : 광주과학기술원 기전공학부 (공학박사)
- 2012년 3월 ~ 2014년 7월 : LG 전자 차세대통신연구소 선임연구원
- 2014년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원 재직

<관심분야>

항공무기체계, 항공전자, 무장

최 형 준(Hyoung-Jun Choi)

[정회원]



- 2012년 2월 : 경상대학교 항공우주공학과 (공학석사)
- 2013년 2월 ~ 2015년 7월 : 국방과학연구소 연구원
- 2018년 11월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원 재직

<관심분야>

항공우주, 체계, 유체