

총구화염저감용 소염기 설계에 관한 연구

A Study on Designing Flash Suppressor for Reducing Muzzle Flash

이 준 호* 채 제 옥* 이 성 배* 김 현 준*
Joon-Ho Lee Je-Wook Chae Sung-Bae Lee Hyun-Jun Kim

Abstract

It is known that muzzle flash can be generated by the reaction between the oxygen in the air and unburned gunpowder contained in the propellant gas if a barrel is not long enough to burn gunpowder fully inside of the barrel. A huge muzzle flash, which is a characteristic of small arms with short barrel length, disturbs a shooter in aiming at the target at night by making the shooter blind for a while and endangers the shooter's life by revealing firing position to enemies. In addition, the heat of muzzle flash can deteriorate the performance of thermal sights, which are attached to small arms for effective night combat. In this paper, flash suppressors of different shapes were designed for a newly developed 5.56mm caliber rifle with short barrel length and the performance of each flash suppressor to reduce the muzzle flash was compared by on-site test firing. Through the test firing, a highly efficient design of flash suppressor for reducing the muzzle flash was identified. The result of the paper can be referred when designing flash suppressors for small arms with short barrel length.

Keywords : Small Arms(소화기), Muzzle Flash(총구화염), Flash Suppressor(소염기)

1. 서 론

현재 전 세계적으로 사용 중인 5.56mm 탄종은 20인치(508mm) 이상의 총열장을 가진 소총에서 발사 시 탄의 추진제를 총열 내에서 충분히 연소시킬 수 있으며, 총열장이 충분히 길지 않은 경우, 불완전 연소된 추진제가 총구를 빠져나와 대기 중의 산소와 반응하면서 총구화염을 일으키게 된다. 총구화염은 총열장이 짧은 소총일수록 더욱 커지게 되며, 큰 총구화염은 특

히 야간 전투 시 사수의 눈을 순간 멀게 하여 조준사격을 할 수 없게 하고, 적에게 사수의 위치를 쉽게 노출시켜 사수를 위협에 처하게 하는 문제점을 야기한다. 또한 큰 총구화염에 의해 발생하는 열은 총구주위의 온도를 상승시킴으로써 탄도학적 효율면에서도 나쁜 영향을 초래하며, 효과적인 야간 전투를 위해 열영상 조준경이 부착된 소총을 운용하는 경우, 열영상 조준경의 성능을 일시적으로 저하시키게 된다. 이러한 총구화염을 줄이기 위해 총열 끝에 소염기를 부착하게 되면 불완전 연소된 추진제는 총구를 빠져나오면서 대기로 빠르게 확산하게 되고 추진가스의 밀도 및 온도 저하로 인해 산소와 반응하여 발생하는 총구화염의 크기를 줄일 수 있게 된다^[1]. 일반적으로

† 2009년 1월 9일 접수~2009년 3월 30일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

책임저자 : 이준호(justinlee@add.re.kr)

소염기 끝단이 막혀있지 않은 개방형 소염기가 끝단이 막혀있는 새장형 소염기에 비해 70% 이상 소염효과가 더 큰 것으로 알려져 있는데, 이는 소염기 끝단이 막혀있으면 불완전 연소된 추진제가 대기 중으로 빠르게 확산되는 것이 방해받기 때문이다. 이를 고려하여 1960년대 베트남전 초기에 배치된 M16 소총에는 개방형 소염기가 적용되었으나 베트남 정글 환경 하에서 운용 시 나뭇가지나 풀잎 같은 이물질이 총구에 끼는 문제가 발생하여 M16A1 소총 이후로는 야전 운용성을 보다 고려하여 새장형 소염기가 적용되었고, 한국군이 운용하고 있는 K1A 기관단총 및 K2 소총 역시 이를 고려하여 새장형 소염기가 적용된 상태이다.

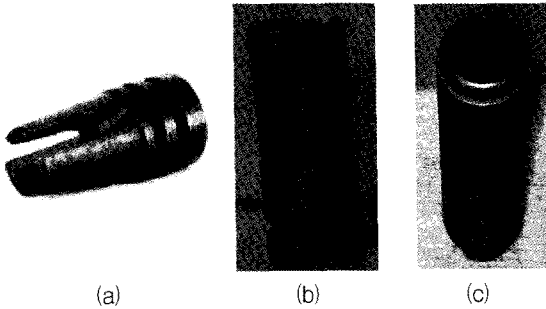
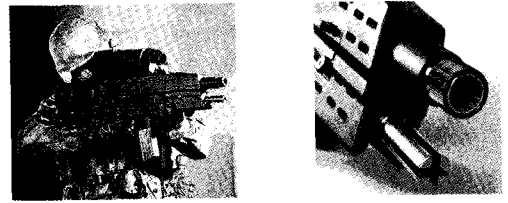


Fig. 1. 초기 M16(a), K2(b) 및 K1A(c) 소총 소염기

그러나, 현대 전장 환경 하에서는 근접 시가지전투 및 기계화 전투차량을 이용한 병력 이동이 많아짐에 따라 병사들은 좁은 공간에서의 원활한 소총 사용을 위해 점점 더 짧은 총열장을 가진 소총을 선호하게 되었다. 이에 따라 총열장이 짧은 소총의 큰 총구화염으로 인해 야기되는 사격위치 노출 등 병사의 생존성 저하 문제를 우선 고려하여 신규 개발되는 소총의 경우 Fig. 2와 같이, 소염효과가 우수한 개방형 소염기를 적용하고 있는 추세에 있다.

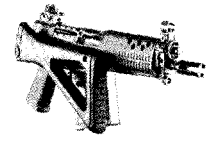
소구경 소총에서 발생하는 총구화염에 대한 해석 연구들은 총구로부터 탄두가 이탈할 때 총구 부근에서 형성되는 총구배출유동장(muzzle exhaust flow field)을 대부분 2차원으로 모델링하여 전산유체역학 프로그램으로 수치해석을 수행해 왔다. 이 경우, 총구 끝단은 소염기가 부착되지 않은 상태 또는 총열 축방향으로 확대칭을 이루는 매우 간단한 형상의 소염기를 부착한 상태로 해석을 수행하였다^[2~5]. 그러나 소염기의 형상이 확대칭이 아닌 경우에는 3차원 모델을 사용하



(a) XM29 OICW(총열장 250mm)



(b) XM8(총열장 318mm)



(c) SIG552(총열장 226mm)



(d) G36C(총열장 228mm)



(e) HK53A3(총열장 211mm)

Fig. 2. 개방형 소염기 적용 예

여 계산량이 매우 많은 수치해석을 수행하여야 하므로 제한된 시간 내에서 수행하기에는 어려운 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 총열장이 짧은 5.56mm 구경 소총의 경우에 발생하는 큰 총구화염을 저감하기 위해 다양한 형상의 소염기를 설계/제작하였고 그에 따른 소염효과를 실험적 접근 방법인 실 사격 시험을 통하여 분석하였다. 또한 국내에서 사용 중인 5.56mm K100 신형 보통탄 및 KM193 구형 보통탄에 대해, 탄종 변화에 따른 소염기의 소염효과 역시 분석하였다.

2. 시험 대상 소총

본 연구에서 고려된 시험 대상 소총에는 K2 소총과 동일하게 5.56mm K100 신형 보통탄의 사용에 적합한 7.3인치 당 1회전의 강선율과 310mm의 총열장을 갖는 총열(6조 우선)이 장착되어 있다. 참고로 한국군 및 미군에서 운용중인 주요 5.56mm 구경 소총의 총열장은 아래와 같다.

- K1A : 263mm, K2 : 465mm
- M4 : 368mm, M16 : 508mm

3. 총구화염 측정시험 절차

소염기 장착 사격 시 발생하는 총구화염의 측정을 위한 시험 절차는 다음과 같다.

- 1) 측정 간 소총의 이동 방식을 위해 사격 고정구에 소총을 거치한다.
- 2) Fig. 3과 같은 화염측정자를 제작하여 총열에 평행하게 총구 옆에 설치한다.

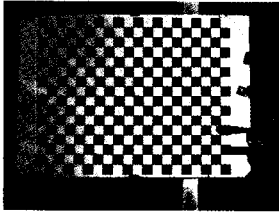


Fig. 3. 화염측정자

- 3) 총구화염을 촬영할 수 있는 디지털카메라를 설치한다. 이 때 카메라는 총구에서 발생하는 화염을 전부 촬영할 수 있도록 총구높이에 위치시키며, 화염이 카메라에 영향을 주지 않도록 총열 축방향에 대해 직각방향으로 카메라를 이격시켜 위치시킨다.
- 4) 시험 탄약은 상온으로 환경 처리된 탄을 사용하며, 야간 무월광 하에서 외부 조명이 없는 상태로 단발(또는 점사)로 5회 사격하여 총구화염을 카메라로 누적 촬영한다.
- 5) 촬영된 사진 상의 화염측정자 격자를 이용하여 화염의 크기를 측정한다.

현상이 적게 나타나기 때문이다. 참고로 K1A와 K2 소총의 소염기 내부는 Cone 형태로 가공되어 있는데 이는 총구를 막 빠져나온 불완전 연소된 추진제가 총구에서 떨어질수록 점차적으로 확장되는 소염기 내부의 빈 공간 속으로 빠르게 확산됨으로써 불완전 연소된 추진제의 밀도 및 온도가 낮아지게 되어 이를 통해 총구화염의 크기가 저감되게 된다⁶⁾.

새장형 소염기 장착 전/후 K100탄 사격 시의 시험결과는 Fig. 5와 같다. 소염기 장착에 의해 총구화염 크기가 약간 작아지기는 하나 매우 큰 총구화염이 발생하였으며, 소염기 끝단에서 스파크와 같은 불꽃이 일어나는 것이 확인되었다. 이는 막혀 있는 소염기 끝단에 의해 추진가스가 원활하게 빠져나가지 못하고 부딪히면서 발생하는 것으로 판단되며, 신규 설계된 새장형 소염기는 총구화염의 저감에는 효과가 거의 없음이 확인되었다. 참고로 길이가 긴 K1A 기관단총의 새장형 소염기를 시험 소총에 장착하여 시험한 결과, 총구화염은 거의 발생하지 않았는데, 이는 소염기 길이 증가에 따라 소염기 자체가 총열장의 증가 효과를 가져와 추진제가 연소할 수 있는 시간이 그만큼 증가되기 때문이다. 그러나 시험 소총의 전장 및 중량 제한으로 인해 추가적인 소염기 길이 증가는 적용이 곤란하였다.

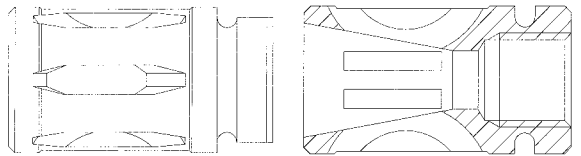
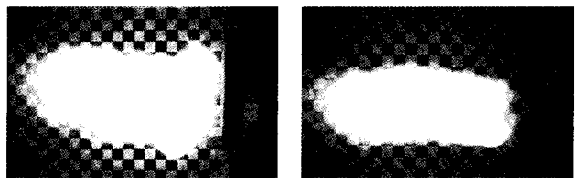


Fig. 4. 시험 소총용 새장형 소염기 형상

4. 새장형 소염기 설계 및 시험결과

시험 소총을 위해 우선적으로 기존의 K1A 기관단총 및 K2 소총의 소염기와 유사한 새장형 소염기를 Fig. 4와 같이 신규 설계하였다. 시험 소총의 전장(overall length) 및 중량 제한으로 인해 소염기 길이를 45 mm로 하였으며(참고 : K1A 100mm, K2 50mm), 사격 시의 우측상향 총구양등현상을 방지하기 위해 1시 방향으로 3개의 가스분출구가 나있던 K1A, K2 소총에 비해 시험 소총에서는 M16A1 소총과 같이 원주방향으로 균등하게 6개의 가스분출구를 만들었다. 이는 시험 소총이 K1A나 K2에 비해 중량이 무거우므로 총구양등



(a) 소염기 장착 전 (b) 소염기 장착 후

Fig. 5. 새장형 소염기 장착 전/후 사격 시 총구화염

5. 개방형 소염기 설계 및 시험결과

가. 소염기 설계안

새장형 소염기의 대안으로서 다음과 같이 총 6가지

개방형 소염기를 고려하였다. 소염기 설계 시 고려된 설계 변수로는 가스분출구의 위치 및 소염기 내부의 Cone 형상 가공 여부이다. Fig. 6 (a)는 일반적으로 많이 사용되고 있는 개방형 소염기의 가스분출구 위치로써 서로 마주보고 있는 2개의 가스분출구의 중심축이 서로 일치하는 경우이며, Fig. 6 (b) 및 (c)는 중심축이 각각 반시계와 시계방향으로 offset된 상태이다. 사격 시, 탄두는 총열 내부의 강선에 맞물린 상태로 강선방향(여기서는 반시계방향)을 따라 회전 및 전진을 하게 되며 탄두를 총구쪽으로 밀어내는 역할을 하는 추진가스 역시 강선방향으로 회전을 하게 되는데, Fig. 6 (b)는 추진가스가 회전하는 방향으로 가스분출구 위치를 이동시키면(즉, 반시계방향 offset 부여) 추진가스가 대기 중으로 보다 원활하게 빠져나가 총구 화염의 크기를 줄일 수 있다고 알려진 점을 고려하였다¹⁷⁾. Fig. 6 (c)는 이와 달리, 회전하여 나아가는 추진가스의 진행방향을 고려할 때 Fig. 6 (b)의 경우는 대

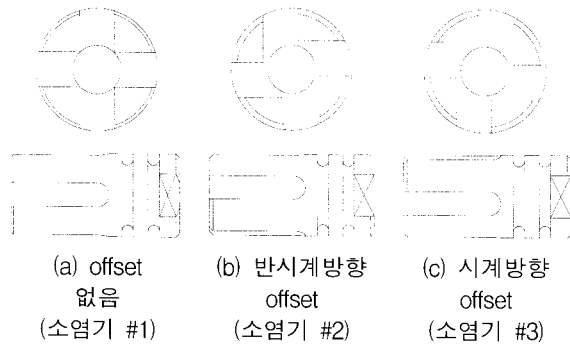


Fig. 6. 가스분출구 위치별 Cone 형상 미적용 개방형 소염기

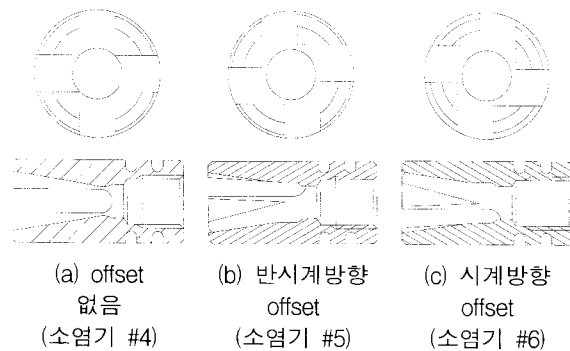


Fig. 7. 가스분출구 위치별 Cone 형상 적용 개방형 소염기

부분의 추진가스가 가스분출구 측면에 부딪힌 이후에 분출되므로 가스분출을 보다 원활하게 하기 위해 시계방향으로 가스분출구 위치를 이동시켰다. 이로 인해 추진가스는 추진가스 회전방향의 접선방향을 따라 반경방향으로 가스분출구 측면을 타고 미끄러져 빠져나갈 것이 예상된다. 또한 소염기 축방향으로의 원활한 추진가스 확산을 위해, Fig. 7과 같이 가스분출구 위치별로 소염기 내부에 Cone 형상이 적용된 소염기를 추가 설계하였다. 모든 개방형 소염기의 길이는 새장형 소염기와 동일하게 45mm로 하였고, 소염기의 주요 외경 및 내경 치수 역시 동일하게 하였다.

나. 시험 결과

형상이 서로 다른 6가지 개방형 소염기를 장착하여 총구화염을 10회 측정된 결과는 다음과 같다.

시험 소총의 총열 강선율에 적합한 K100탄을 사격하였을 경우, 6가지 모든 개방형 소염기에서 Fig. 8과 같이 육안관측이 어려운 불꽃 형상의 작은 화염이 발생하였으며, 설계된 모든 개방형 소염기는 시험 소총 총열의 7.3인치 당 1회전의 강선율에 적합한 K100탄 사격 시, 새장형 소염기에 비해 소염효과가 매우 우수함을 알 수 있었다.

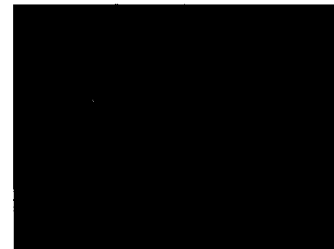


Fig. 8. K100탄 사격 시의 총구화염

현재 야전 부대에서는 K1A 기관단총과 K2 소총을 함께 운용하고 있는데, 일부 부대를 제외하고는 탄약 보급 및 유지관리 측면에서 K1A 기관단총과 K2 소총에 모두 사용 가능한 KM193탄을 지급하여 사용하고 있다. 따라서 시험 소총이 야전 배치될 경우, KM193탄 사격을 수행할 수 있으므로 이때의 소염효과를 확인하기 위해 추가적으로 KM193탄에 대해 동일한 방법으로 시험을 하였으며 결과는 Fig. 9와 같다. 10회 측정 결과, Fig. 7 (c)의 소염기(가스분출구 위치의 시계방향 offset 부여 및 소염기 내부 Cone 형상 적용, 소염기 #6)의 경우에만 10회 모두 K100탄 사격 시와

유사하게 육안관측이 어려운 불꽃 형상의 작은 화염이 발생하였으며, 나머지 5가지 소염기는 육안 관측이 충분히 가능한 크기의 총구화염을 10회 시험 중 3~5

회 발생시켰다. 두 탄종 간에 총구화염의 크기가 차이나는 이유는 Table 1과 같이 1) 탄자중량, 2) 총구속도 및 3) 강선율의 차이^[8,9] 등에 기인한 것으로 판단되며 K100탄과 KM193탄 사격을 모두 고려할 경우, 시험 소총에는 Fig. 7 (c)의 소염기를 장착하는 것이 효과적임을 알 수 있었다.

Table 1. K100 및 KM193탄 비교

	K100 (SS109, M855)	KM193 (M193)	비 고
탄자 중량 (g)	4.02	3.56	
총구 속도 (m/s)	915	965	20 인치 (508mm) 총열장 기준
적합 최적 강선율	7 인치 (178mm) 당 1회전	12 인치 (305mm) 당 1회전	

6. 결론

본 연구에서는 총열장이 짧은 소총의 경우에 발생하는 큰 총구화염을 저감하기 위해 다양한 형태의 소염기를 설계/제작하였으며, 총구화염 저감효과를 실사격 시험을 통해 분석하였다. 5.56mm 구경의 시험 소총에 대한 시험 결과, 개방형 소염기가 새장형 소염기에 비해 총구화염의 크기가 매우 작았으며, 고려된 6가지 개방형 소염기 중에서 가스분출구 위치를 시계방향으로 offset 시키고, 소염기 내부에 Cone 형상을 적용한 소염기가 K100탄 및 KM193탄 모두에 대해 소염효과가 우수함을 확인하였다.

Reference

- [1] 이홍주, 정백기, 김인우, “5.56mm M16A1 소총의 소염기 연구”, 국방과학연구소, GSDC-419-90022, 1991.
- [2] Klingenberg, G. and Heimerl, J. M., “Gun Muzzle Blast and Flash”, Progress in Astronautics and Aeronautics, Vol. 139, AIAA, Washington, pp. 197 ~338, 1992.
- [3] Hudson M. K. et al., “The Evaluation of Computational Fluid Dynamics Methods for Design of Muzzle Blast Suppressors for Firearms”, Propellants, Explosives, Pyrotechnics, Vol. 26, pp. 201~208, 2001.
- [4] Cler, D. L. et al., “Computational Fluid Dynamics Application to Gun Muzzle Blast - A Validation Case Study”, ARCCB-TR-03011, US ARDEC, 2003.
- [5] Jang, X. et al., “Numerical Simulation of Blast Flow Fields Induced by a High-Speed Projectile”, Shock Waves, Vol. 18, pp. 205~212, 2008.
- [6] Schmidt E. M., “Muzzle Devices, a State-of-the-Art

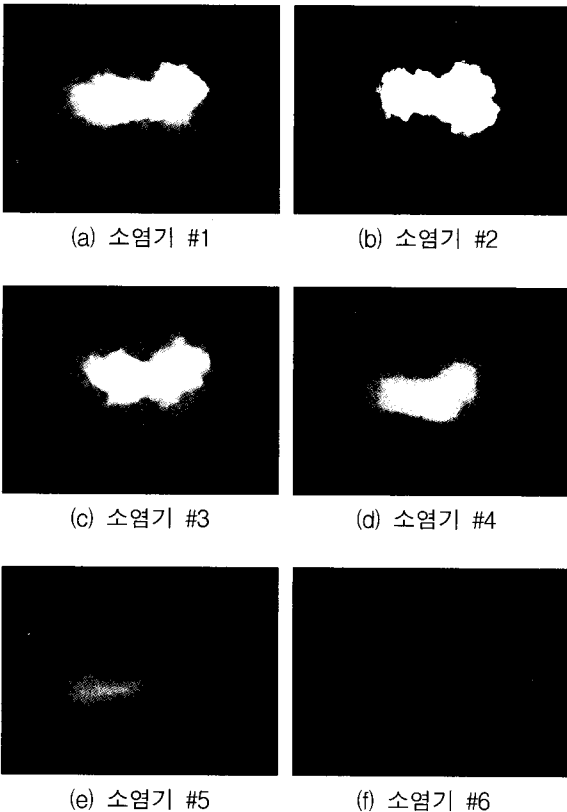


Fig. 9. KM193탄 사격 시의 총구화염

- Survey. Volume I. Hardware Study”, AD-909325, US Ballistic Research Laboratories, 1973.
- [7] Sommers S., “Muzzle Flash Suppressor”, US Patent No. 5,596,161, 1997.
- [8] 국방규격 1305-1061-1, “5.56MM 보통탄, K100”, 2000.
- [9] 국방규격 1305-1026-2, “5.56MM 보통탄, KM193”, 2004.