

공기안내홈이 탄도 정확도에 미치는 실험적 연구

김준규^{*1)} · 김형세²⁾ · 이문환³⁾

¹⁾ 한양대학교 기계공학부

²⁾ ㈜두레텍 기술 연구소

³⁾ 국방과학연구소 제5기술연구본부

An Experimental Study on the Ballistic Accuracy by Air Guide Grooves

Junkyu Kim^{*1)} · Hyungse Kim²⁾ · Moonhwan Lee³⁾

¹⁾ Department of Mechanical Engineering, Hanyang University, Korea

²⁾ The R&D Institute, DURETEK LTD., Korea

³⁾ The 5th Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 21 September 2015 / Revised 11 January 2016 / Accepted 25 March 2016)

ABSTRACT

An experimental study has been found the air guide grooves for reducing drag. When a bullet is fired and move in the air, the drag is generated. The vortex which is one of the types of drag hinders the movement of the bullet. To solve this phenomenon, cut a negative grooves that we are called the air guiding grooves at the back of bullet. The grooves bullet has identified that the drag compared to conventional ammunition(KM80 and K193) is reduced to 4.480 and 4.054 : 10 % through a Finite Analysis Program(AnsysTM). Even pressure center was retreating 0.72 % compared to a Bullet(KM80 and K193). Effect obtained with these results is the accuracy of the grooves bullet in a shooting test was improved by over 32 %(KM80: 2.86, air guide grooves : 1.94) compared to conventional ammunition(KM80 and K193). In addition, muzzle velocity is increased 73 m/s. This is expected to be extended the velocity and effective range of bullet. Also, the velocity of the grooves bullet is increased when moving in the air while the velocity of the bullet(KM80 and K193) is reduced. The gas ejected from the muzzle to be balanced and stable flight of the Bullet. Given these effects, we can reckon the air guide grooves have positive influence.

Key Words : Drag(항력), Bullet(탄환), Grooves(홈), Vortex(와류), Accuracy(정확도), Finite Analysis(유한해석)

1. 서론

일반적으로 탄두는 비행 중 공기저항을 줄임과 동시

* Corresponding author, E-mail: ksm931110@naver.com
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

에 관통력 및 파괴력 등을 향상시키기 위해서 탄두의 앞쪽을 원추형 혹은 유선형으로 제조할 뿐만 아니라, 정확도(명중률)를 향상시키기 위해 총열에 나선형의 홈을 설치하여 탄두를 회전시킨다¹¹.

그러나, 탄두자체의 무게중심(center of mass)이 구조적으로 불가피하게 탄두의 뒤쪽에 위치하게 되며, 그로 인해 총구를 떠나 비행하는 탄두는 더 많은 세차운동(precession)이 발생하게 되며, 탄두 전면의 공기저항과 탄두 저면의 와류 등의 영향을 더욱 받게 됨으로써, 탄두의 속도저하로 인한 관통능력, 유효사거리 및 정확도 등이 저하된다¹².

이를 개선하기 위해 탄저부에 공기안내홈을 형성하여 무게중심을 압력중심에 근접시키며, 자연스럽게 탄저로 공기를 흐르게 하여 탄저에 형성되는 와류를 감소시킨다. 이로 인해 탄두가 비행간 발생하는 세차운동 각도를 줄여 비행안정성, 정확도 및 사거리를 연장하는 탄두 설계를 하였다.

본 연구에서는 기존의 탄두(KM80: 7.62 mm, K193: 5.56 mm)의 형상에서 안정된 비행을 할 수 있는 공기안내홈의 각 축의 각도를 유한해석을 통해 설계하고, 설계된 치수로 개발탄(글루브탄)을 제작하고 공기안내홈을 형성함으로써 줄어드는 질량에 의한 속도 증가 경우를 배제하기 위해 질량은 기존 KM80탄두/K193탄과 동일하게 제작했다. 기존 탄두와 비교 실사격 실험으로 강외탄도 안정성 및 정확도에 대하여 분석을 실시하였다.

2. 유한해석 툴(Ansys™) 및 사격 결과 분석

탄두가 초음속이 되면 충격파의 형태가 바뀌면서 와류에서도 충격파가 발생한다. 와류의 크기가 작아지면 총체적인 항력은 감소하지만 와류를 작게 하는 것은 그리 쉬운 일이 아니다. 저항력은 크게 세 가지로 나눌 수 있다^{11,10}.

첫째는 전면저항(Fore Drag)으로 전체 항력의 약 40%를 차지하고, 둘째는 탄도비행체의 후면 와류에 의한 탄저저항(Base Drag)으로 약 40%를 차지하며, 셋째로 표면 마찰저항으로 약 20%를 차지한다¹².

저항력은 탄두 비행을 방해할 뿐만 아니라 탄두를 뒤쪽으로 기울게 만든다. 탄두의 속도와 길이가 늘어날수록 공기가 탄두를 기울이는 작용은 더 커진다².

그래서 그 작용을 받은 비행중의 탄두는 완전히 뒤

집어져 떨어지게 될 수도 있다¹³. 그에 반해, 개발된 탄두가 비행할 때는 공기안내홈을 따라 탄저부의 중앙영역으로 공기가 강제 유도되어 흐르기 때문에 후방에서 생성되는 와류를 감소시킴으로써 탄두의 정확도를 높일 것이다.

본 연구에서 개발한 탄두의 탄저면 공기안내홈이 있는 탄두는 Fig. 1에서와 같이 무게중심(CG1)이 탄두의 전방(CG2)쪽으로 이동하면서 압력중심(CP)과 무게중심(CG2) 간의 거리가 줄어들게 되며, 이로 인해 세차운동을 발생시키는 편주각(CA)의 크기가 작아지면서 탄두의 흔들림이 작아지는 동시에 저항력이 감소되기 때문에 비행 안정성이 향상되고, 이와 함께 회전력과 추력이 증대되어 파괴력과 명중률(정확도)가 높아지게 된다^{13,4}.

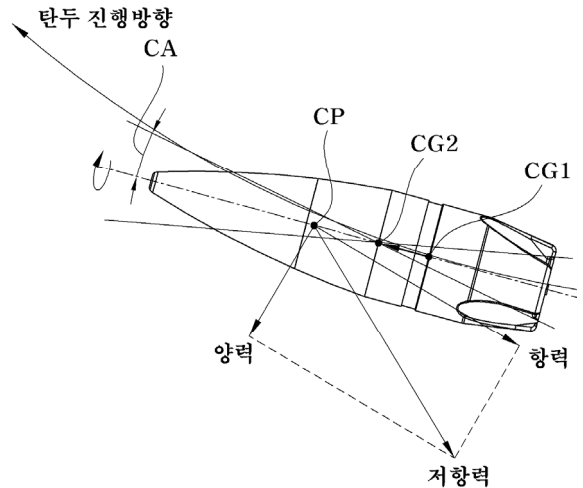


Fig. 1. Notation and longitudinal coordinate system for finding center of pressure of projectile

압력중심(CP)과 무게중심(CG) 간의 거리를 줄이기 위해서 탄두 부분에 비중이 큰 특수한 금속¹¹으로 제조한다면 무게중심은 압력중심으로 더욱 근접시킬 수 있겠지만, 여러 외부 요인을 고려해야 하는 측면에서 특수 금속을 쉽게 사용할 수 있을지는 미지수이다. 따라서 공기안내홈을 형성하여 비율적으로 거리를 줄이는 것이 가장 좋은 방법이다.

또한, 개발탄두에 형성된 공기안내홈은 탄두가 총구를 이탈하는 순간에 분출되는 추진가스의 균형된 분출로 총구의 흔들림을 최소화할 수 있다.

Fig. 2에서와 같이 공기안내홈을 형성함으로써 탄두

를 발사하는 경우 탄두가 총열을 지나 총구를 떠날 때 추진가스가 공기안내름을 통해 균형되게 미리 배출되게 되고, 전면으로 분출되는 압축가스는 진행하는 탄두의 뒷부분의 외형을 감싸 초기 탄두 궤도를 안정화시키는 역할과 동시에 총열 내부에서의 압력이 급격히 떨어져 발사에 따른 충격력이 대폭 감소되는 효과도 아울러 가질 수 있다.

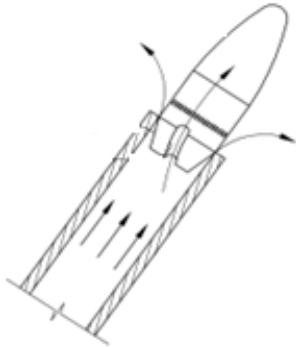


Fig. 2. The concept of a homogeneous jet of propelling gas

본 연구에서는 공기안내름이 어떠한 영향이 있는지를 확인하기 위해서 동일한 탄두 형상 및 무게에서의 탄 형상에서 공기안내름이 있을 경우와 없는 경우를 비교하는 실험을 하였다.

실험에 사용된 탄두는 기존의 KM80 탄두의 형상과 무게를 기준으로 동일한 무게와 공기안내름이 있는 개발탄두를 사용했다.

최적의 공기안내름의 각도를 산출하기 위해서는 실제 사격에 의한 정확도를 확인하기 위해서는 유사한 탄도비행체 사격제원으로부터의 경험적인 추정, 풍동 시험, 탄도시험, 도플러 방법(Doppler Method) 등과 같은 방법이^[1,8,9] 있지만, 많은 시제 탄두를 생산하기에는 제한사항이 있다.

본 연구에서는 2.1에서와 같은 유한해석 툴^[6]을 이용해 우선 모의실험으로 최적의 공기안내름의 각도를 산출하였다.

2.1 유한해석 툴(AnsysTM)을 이용한 모의 실험

본 연구에서는 MDO(Multi-disciplinary Design Optimization)^[5]를 이용하여 탄두 속도 800 m/s, 회전속도 3,000 rps 및 중력 9.8 m/s의 표준상태로 기존의 KM80탄의 외부형상에 공기안내름을 컷팅한 신개발탄

에 최소항력이 미치는 공기안내름의 깊이(B)와 측면 각도(A)를 아래의 Fig. 3의 각도를 변화시키면서 산출하였다.

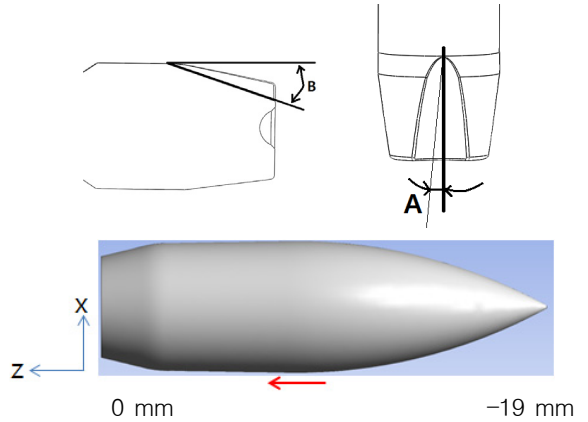


Fig. 3. Drag the direction of the bullet

그에 따라 항력과 압력중심점 이동정도를 산출했다. Fig. 3에서와 같이 항력은 주 유동방향에 반력에 의해 생기는 힘으로 z 방향의 힘이고, 최적화 계산을 통해 Cutting에 대한 최적 각도를 계산한 결과, No Cutting Type 대비 Cutting Type은 항력이 4.580 : 4.045로써 10% 정도의 항력이 감소하는 것과 압력 중심이 -10.35 : -10.28로써 0.72% 정도 압력중심점이 무게중심 방향으로 후퇴하는 결과도 나타났다.

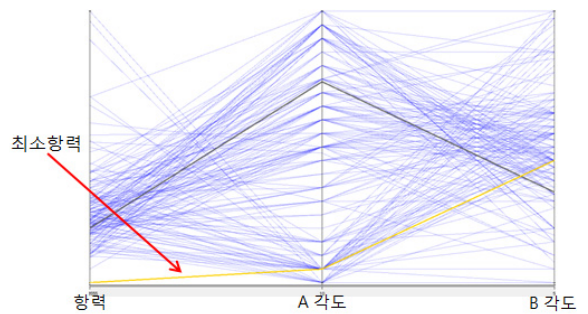


Fig. 4. Angle calculated using the minimum drag MDO

Fig. 4는 MDO를 이용한 최소항력의 각도를 산출한 그래프이다. 탄두의 전진방향 대비 최소항력을 갖는 A, B의 각도를 산출하였다.

기존의 공기안내름이 없는 탄에 비해 A의 각도는 10.25° 이동하였고, B 각도는 오른쪽으로 11.75° 추가

이동한 각도로 나타났다. 이를 토대로 실험탄의 날개 각을 적용하여 3가지 종류의 탄두를 가공하였다.

Fig. 5는 기존 탄두(KM80)와 개발탄두의 후면부의 와류 형성을 airflow/pressure/velocity 별로 보여주는 것으로 왼쪽 그림의 개발탄두의 탄저부분 와류가 감소됨을 확인하였다.

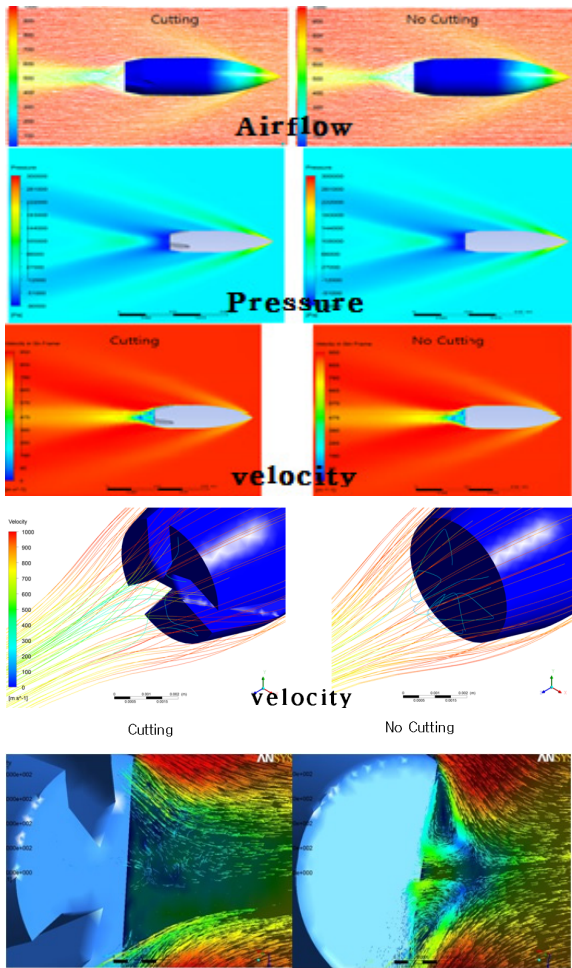


Fig. 5. Compare airflow/pressure/velocity in 2D/velocity in 3D by ansysTM[6](Cutting - No Cutting)

모의실험을 통해 산출된 결과를 토대로 KM80, KM80과 같이 동일한 질량(9.5±0.02 g)의 개발탄두의 각도(A, B)를 달리하는 3종류의 개발탄두(A-Type, B-Type, E-Type)를 동일한 조건에서 사격하여 탄착지점을 확인하고, 그에 따른 총구에서의 추진가스 분출 상태를 확인하였다.

2.2 사격 실험

본 실험은 사거리 연장은 측정할 수 없었으나, 총구로부터 15 m 떨어져 있는 표적지에 탄착되는 탄착점으로 탄두집중도(표준편차)의 값을 통해 정확도를 도출하였다.

실험을 위해 Fig. 6과 같이 실험장치를 구성하여 기존탄두(KM80)와 최적 각도로 제작한 탄두(E-Type) 및 각도를 조금씩 변경한 탄두(A-Type / B-Type)를 제작하여 실험하였다.



Fig. 6. Production developed bullet & KM80, fire testing Lab.

실험은 KM80탄을 기준하여 사격한 탄착 분포를 기준으로 하여 Table 1, Table 2는 각 유형별 개발탄의 탄착된 분포이며, Fig. 3에서 MDO로 최적화된 각도로 제작한 것은 E-Type이며, 각 A 각도를 ± 2° 씩을 변경하여 제작한 것이 A-Type / B-Type 이다.

또한, 동일한 질량을 위해 Fig. 7에서 결합하는 방법으로 탄심(a)의 부분을 텅스텐과 같은 비중이 높은 금속을 소결시켜 본체(b)에 결합시켜 KM80탄의 중량을 맞추어서 탄두를 가공하였다.

Table 1. Point of impact of A-Type / B-Type bullet

A	x (mm)	y (mm)	B	x (mm)	y (mm)
1	18	-2	1	0	8
2	58	-25	2	17	-21
3	32	-5	3	0	-21
4	0	-12	4	-16	-8
5	-5	-18	5	6	0

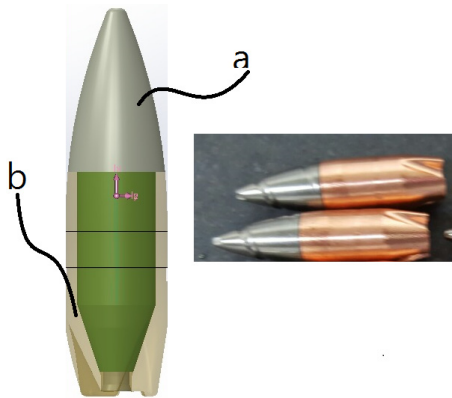


Fig. 7. Assembled bullet A/B/E Type

그 결과 A-Type의 탄착점의 분포는 표준편차 20.61 이고, B-Type는 8.90로써, Table 2의 E-Type과 같이 최적화된 각도의 탄두에 비해 탄착점의 분포의 표준편차는 상당한 차이가 있었음을 확인했다.

Fig. 8은 Table 2의 결과로 탄착된 지점을 표정하여 탄착점의 집중도를 나타낸 것으로, KM80 탄두는 2.86의 집중도의 표준편차 대비 개발탄은 1.94으로 개발탄의 탄착점이 더 집중되었다.

Table 2. Point of impact of KM80 / E-Type bullet

KM80 (탄두무게 (g))	x (mm)	y (mm)	총구 속도 (m/s)	E (탄두무게 (g))	x (mm)	y (mm)	총구 속도 (m/s)
1(9.508)	-9.5	-4	823	1(9.541)	0.5	-6	866
2(9.536)	-11.5	3	810	2(9.537)	-7.5	-5	874
3(9.518)	-7.5	2	807	3(9.540)	-4.5	-8	870
4(9.516)	-8	6	801	4(9.522)	-5	-4.5	869
5(9.528)	-5.5	1	811	5(9.531)	-2.5	-4	872

이 결과로 기존 KM80탄에 비해 32 %의 정확도(명중률) 향상이 있음을 확인하였고, 특히 총구로부터 10 m 정도에서 떨어진 속도측정 센서로 측정된 탄두속도는 801 m/s(KM80)과 874 m/s(개발탄)으로 73 m/s의 속도 증강이 있는 것도 확인하였다.

이는 기존 KM80탄의 보트테일의 각도와 탄저의 추진가스가 집중되는 표면의 신규 설계형상이 추진제에서 발생하는 추진압력을 탄두에 유효하게 전달되었으므로 볼 수 있다.

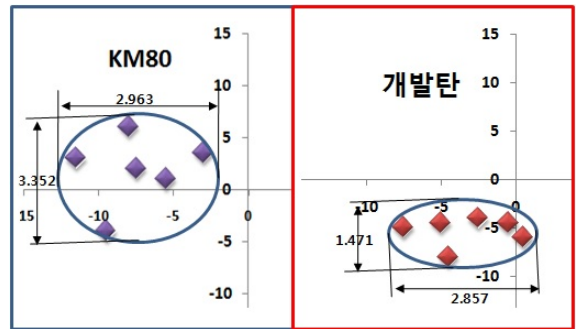


Fig. 8. Point of impact of KM80 : E-Type

2.3 5.56mm 추가 사격실험

KM80탄의 총구속도의 변화가 동일 질량에 대한 변화가 있는 것에 대해 신뢰성 있는 실험값을 재 확인하기 위해 5.56 mm 기존 탄두(K193)과 동일한 질량의 개발형상과 동일하게 제작한 F-Type의 탄두를 가공하여 각 6발의 실험을 추가하였다.

Table 3. Point of impact of K193 / F-Type bullet

K193	x (mm)	y (mm)	질량 (g)	탄속(m/s) (추진제: 1.70g)		
				1	2	3
1	-5	-8	3.537	955.1	953.5	949.6
2	1	-10	3.555	959.2	958.7	957.4
3	-2	-5	3.551	952.9	951.9	949.5
4	5	-10	3.547	959	957.6	954
5	1	-12	3.54	966.5	967	968.2

F- TYPE	x (mm)	y (mm)	질량 (g)	탄속(m/s) (추진제: 1.70g)		
				1	2	3
1	3	-15	3.548	985.9	985.9	986.8
2	3	-13	3.548	992.2	992.2	992.6
3	2	-16	3.543	985.4	985.9	989.4
4	1	-13	3.545	979.5	980	981.5
5	1	-16	3.545	990.6	991.5	993.8

그 결과는 Table 3, Fig. 9와 같았으며, 정확도 측면에서는 기존의 탄두인 K193 탄에 비해 정확도는 더

향상되었으며, 동일한 질량과 추진제에서도 7.62 mm (KM80) 탄에서와 같은 현상인 40 ~ 50 m/s가 증대되고, 3개 구간의 센서에서 측정한 속도가 오히려 역전되어 F-Type의 탄은 역전되는 결과를 확인하였다.

Table 3의 K193의 5번 탄에서만 역전 현상이 있는 것에 반해 F형의 모든 탄에서는 역전현상이 있음을 알 수 있다. 이는 공기안내흡에 의한 초기 비행안정을 이룬 탄체에서 분출되는 가스에 의한 추진력이 기존의 탄두보다 더 효과가 있는 형상인 것으로 확인하였다.

또한, 정확도는 현저히 증대되어 Fig. 9에서와 같이 2배 이상의 집중도 향상을 확인하였다.

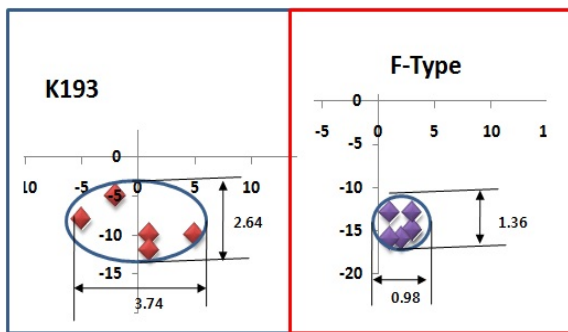


Fig. 9. Point of impact of K193/F-Type

2.4 총구 추진가스 분출 실험

Fig. 10 및 Fig. 11에서 보는 바와 같이 총구를 이탈하는 탄두의 탄저 형상(균일하게 분포된 공기안내흡)에 의해 분출되는 가스의 균일성 여부를 확인하였다.

이를 위해 사용된 초고속카메라는 Phantom Camera로 interval 34.47 μ s, Exposure 1.63 μ s을 촬영할 수 있는 고속카메라를 사용했다.

촬영된 시간 간격은 탄두중간부가 총구를 나오는 순간을 t+1로 시작하여 34.47 μ s의 간격으로 t+2 ~ t+4의 촬영 영상을 얻었다.



Fig. 10. t+3 step time(KM80 / E-Type bullet)

Fig. 10에서와 같이 t+3 step time에서의 가스분출 상태를 볼 때, 우측 그림인 E-Type Bullet의 추진가스 분

출은 전면으로 일정하게 분출하는 것을 볼 수 있고, 반면에 좌측 그림은 KM80으로 총구를 이탈하는 순간의 추진가스는 일방향으로 치중되고 가스가 탄저 밀면에 접촉되고 뒤로 반사되어 그 압력이 뒤로 방출되는 것을 볼 수 있었다.

Fig. 2에서와 같이 공기안내흡으로 탄두가 총열을 지나 총구를 떠날 때 추진가스가 공기안내흡을 통해 균형되게 미리 배출되는 것을 확인할 수 있었고, 총열 내부에서의 압력이 급격히 떨어져 발사에 따른 충격력이 대폭 감소되는 효과도 있을 것으로 본다.

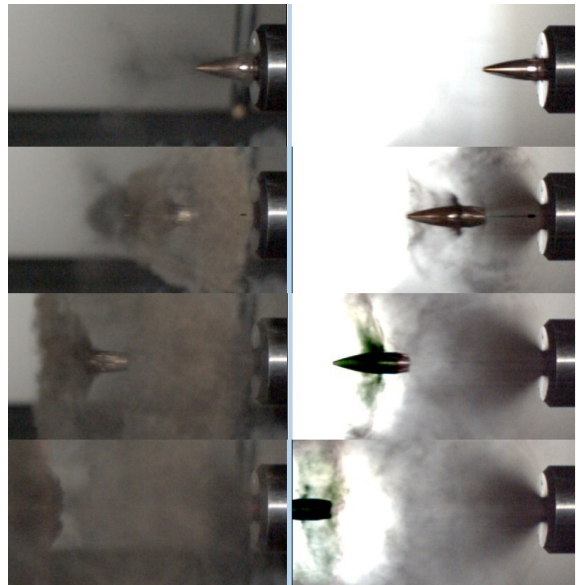


Fig. 11. step time(t+1 ~ t+4)(KM80 / E-type bullet)

또한, Fig. 11의 각 step 별로 총구에서 분출되는 추진가스를 통해 오른쪽의 개발탄두에서의 진행방향으로 추진가스 분출이 탄두를 감싸 전방으로 추진되는 것을 개발탄두의 총구에서는 볼 수 있으며, 그에 반해 왼쪽 기존탄두의 추진가스 분출은 탄저의 평면을 추진가스가 받아내고 그 후면으로 추진가스가 밀려 총구쪽으로 분출되는 것을 볼 수 있다.

특히, 기존탄두의 추진가스 분출 모습에서는 총구를 이탈하는 순간의 탄두 저면부에서 일측방향으로 불균일하게 분출되는 것을 볼 수 있다.

탄두가 총구를 이탈할 순간에 균형된 추진가스 분출은 탄두의 비행을 초기에 안정화시킬 수 있도록 하는 효과도 있을 것이다.

3. 결론 및 추후 연구 과제

본 연구에서는 개발탄과 같이 탄저부에 와류가 감쇄되는 최적의 공기안내름 각도를 유한해석 툴(Ansys)을 통해 산출하였다.

공기안내름은 탄두의 무게중심을 앞쪽으로 전진시켜, 비행안정성 향상과 줄어드는 세차운동으로 인해 탄두 앞쪽에 받는 저항력이 줄어들어 정확도(명중률) 향상과 파괴력에도 영향을 줄 수 있다.

특히, 사격 실험을 통해, 글루브탄은 기존의 KM80 탄에 비해 32 %의 정확도가 향상되었으며 총구속도도 73 m/s 증가됨을 확인하였고, 추가로 한 5.56 mm의 K193탄의 실험에서도 동일한 질량/추진제에서도 총구속도가 향상됨은 사거리도 연장될 것으로 기대된다.

또한, 균일하게 분출되는 총구의 추진가스 분출효과는 탄두의 비행안정은 물론이고, 탄두의 속도에 영향을 준다는 것을 확인하였다.

추후 연구 과제는 다음과 같다.

본 실험에서의 결과를 토대로 동일한 조건에서의 관통(파괴력) 정도를 확인하고, 본 연구에서 확인한 비행간 세차운동이 줄어드는 효과를 통해 탄환이 수중에 입사될 때를 고려한 탄두 부분에서의 공기 버블링 효과를 주는 형상을 연구하고, 이를 적용한 수중 관통탄의 연구를 진행할 예정이다.

References

- [1] In-Young Kang, "Stability and Accuracy Analysis for the Shape of Supersonic Spin-stabilized Projectile," South Korea: ADD, 2003.
- [2] S. Yoon, "Development Trends in Aerodynamic Analysis," Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, Vol. 2, 1994.
- [3] S. Hwang, "Several Factors Affect the Ballistics Pistols and Rifles," South Korea: ADD, 2006.
- [4] G. Choi, O. Rho, "Determination of Parameters Characterizing Dynamic Behavior of Bullet During Atmospheric Flight," Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, Vol. 6, 1978.
- [5] Y. Kang, "Multi Disciplinary Design Optimization and Performance Evaluation of a Single-Stage Transonic Axial Compressor," ASME Turbo Expo., 2012.
- [6] ANSYS Inc, "ANSYS CFX-Solver Theory Guide," Release 12.1, 2009.
- [7] J. Kim, H. Kim, M. Lee, "An Experimental Study on the Ballistic Accuracy by Air Guide Grooves," KIMST Annual Conference Proceedings, 2015.
- [8] Engineering Design Handbook, "Design for Control of Projectile Flight Characteristics," Headquarters U.S Army Materiel Command, 1966.
- [9] Mehmet AKCAY, "Development of Universal Flight Trajectory Calculation Method for Unguided Projectiles," ITU Der-gisi in Turkish, 28, 369-376, 2004.
- [10] McCoy, Robert, "Modern Exterior Ballistics: The Launch and Flight Dynamics of Symmetric Projectiles," Schiffer Pub., 1999.
- [11] C. L. Farrar, D. W. Leeming, "Military Ballistics: A Basic Manual," Brassey's Publishers, 1983.
- [12] Lee, H. J., "Gun and Ballistics," South Korea: Cheongmoon-Gak, 1998.