

# 총구 앙등현상의 분석과 감소 방안

## A Study of Muzzle Jumping in the Firing Operation

정 백 기 (군사과학대학원), 김 인 우 (국방과학연구소)

Baek Gi Chung (AIMST), In Woo Kim (ADD)

### ABSTRACT

In the firing operation, muzzle jumping phenomenon was investigated, and a method of reducing muzzle jump was suggested. The muzzle jumping force was determined from the torque acting on the rifle due to a recoil force. For the purpose of reducing a muzzle jump, the gas flowing through the M16A1 flash suppressor was considered.

A flash suppressor, improved in reducing a muzzle jump, was modeled and tested. The experiment shows that muzzle jump has quantitative relation to shape of a flash suppressor, and can be reduced by the improved modeling of a flash suppressor.

**Key Words :** muzzle jump(총구앙등), flash suppressor(소염기), gas port(가스구멍), sampling time(입력자료 획득시간), recoil force(반동력)

### 1. 서 론

사격시 발생하는 총구의 앙등은 명중율을 크게 저하시킨다. 총구앙등이라 함은 총구가 수평 또는 수직 방향으로 편이되는 현상을 의미하며 그 발생 원인으로서 사격시 반동력의 작용방향<sup>1,2,3)</sup>, 총열의 마모, 제퇴기(muzzle brake)의 성능, 총열의 강성 및 재질의 균질도, 장선의 수 및 나선도 등을 들 수 있다.

사격시 총구 앙등은 통상 수평 성분보다 수직 성분이 크기 때문에 총구앙등이라 함은 일반적으로 수직 방향으로의 편이를 나타내며 실사격 시험 결과 우사수는 우상탄, 좌사수는 좌상탄으로 나타났다.<sup>4)</sup>

본 논문에서는 총구의 앙등 현상을 이론 및 실험적으로 분석하고 앙등 현상을 감소시키기 위한 방안을 제시하였다. 소구경화기의 경우 운동 요소는 노리쇠(bolt), 노리쇠몸치(bolt carrier), 몸체(main gun), 공이치기(hammer) 및 완충기(buffer) 등으로 분류할 수 있다. 이러한 운동 요소들은 기능동작(firing operation)이 이루어지는 한 주기

동안에 변위, 속도 및 가속도 성분으로 나타낼 수 있으며 이는 운동하는 부품들의 상호간에 작용하는 힘을 계산하므로써 구할 수 있다.

총구의 앙등현상은 화포의 형상과 사수의 사격 조건(소구경 화기의 경우)에 의하여 발생하는데 본 연구에서는 소총의 형상에 의하여 발생하는 앙등현상을 분석하고 이를 감소시키기 위한 방안으로 소염기의 역할에 대하여 연구하였다. 소염기의 형상이 총구 앙등에 미치는 영향을 분석하기 위하여 소염기를 통과하는 추진가스의 운동을 고려하고 이를 바탕으로 앙등현상을 감소시킬 수 있는 소염기의 모형을 제작하여 앙등현상을 실험적으로 분석하였다.

본 논문은 서론에 이어 2장에서는 운동해석, 3장에서는 총구 앙등 측정 과정을 기술하고, 4장에서는 소염기의 형상에 따른 총구의 앙등현상을 분석하였으며, 5장의 결론으로 구성된다.

### 2. 운동해석

#### 2.1 모델링

화포 부품의 운동을 해석하기 위해서는 각 부품에 작용하는 힘(작용력)을 구하여야 한다. 작용력을 구하기 위해서는 사격시 부품의 기능동작이 이루어지고 있는 동안에 각 부품에 작용하는 접촉력과 압력을 고려하여야 한다.

소구경 화기에서 한 주기의 기능동작은 다음과 같다. 노리쇠에 의한 송탄작용이 완료되고 잠김작용이 이루어지면 공이치는 회전 운동을 하면서 공이를 치게 되고 공이는 뇌관을 타격함으로써 추진제의 폭발물연쇄 작용이 일어난다. 추진제의 연소에 의하여 발생한 추진가스의 압력은 탄자의 추진과 더불어 노리쇠에도 작용하게 된다. 탄자가 gas port를 통과한 직후 gas pipe를 통하여 노리쇠 멍치의 작은 구멍으로 유입된 일부의 추진가스는 노리쇠를 약실 방향으로, 노리쇠 멍치를 개머리판 방향으로 이동시킨다. 노리쇠멍치가 후방으로 이동하면 노리쇠 연결핀은 홈(pin path)을 따라 이동하므로써 노리쇠를 회전시켜 풀림 작용이 일어나게 되고 노리쇠 멍치가 계속 후진하면, 풀림 작용이 일어난 노리쇠는 탄피를 방출한다. 노리쇠와 노리쇠 멍치가 후진하면 복좌 용수철은 압축되고 공이치는 격발위치로 회전한다. 이때 여러가지 형태의 마찰력이 작용하며 노리쇠 멍치가 일정한 지점에 이르면 노리쇠에 장착되어 있는 차계(ejector)에 의해서 탄피는 추출된다. 노리쇠 멍치가 복좌 용수철을 압축한 후 완충기의 선단에 붙어있는 우레탄과 접촉되면 압축된 복좌 용수철의 복원력에 의하여 복좌(counter-recoil)가 일어난다. 복좌시 노리쇠는 탄창에 장입되어 있는 탄약을 약실로 송탄하고 잠김작용이 이루어진다. 이때 격발 위치에 있던 공이치는 회전운동을 통하여 공이를 타격하므로써 격발이 되고 사격간의 기능동작은 반복되게 된다.

소구경 화기의 운동 부품은 노리쇠, 노리쇠 멍치, 공이치기 및 몸체로 크게 분류할 수 있으며 노리쇠, 노리쇠 멍치 및 몸체의 병진운동과 공이치기 및 몸체의 회전운동을 고려하여 5 자유도계의 동력학적 모델을 도출하였다(Fig.1).

## 2.2 소구경 화기의 부품에 작용하는 힘

가스 구멍을 통하여 유입된 일부의 추진가스가 작용하므로써 각 부품은 상대적 변위를 가지며 이때 다음과 같은 접촉력이 발생한다.

### 가. 노리쇠에 작용하는 힘

노리쇠에 작용하는 힘은 폐쇄력(breech force), 탄약과의 마찰력, 약실과의 충격에 의한 힘, 잠김작용력, 풀림작용력, 노리쇠의 잠김작용이 이루어

지는 동안 노리쇠 멍치에 의한 힘, 송탄에 소요되는 힘, 노리쇠멍치에 있는 가스구멍으로 유입된 추진가스에 의한 힘, 탄피방출력, 노리쇠에 작용하는 중력 등이다. 이러한 요소의 힘들중에서 해석의 단순화를 위하여 노리쇠멍치와의 마찰력, 탄약과의 마찰력, 탄피 방출력, 송탄작용에 소요되는 힘, 노리쇠의 잠김 및 풀림작용력, 중력 등은 무시하였다.

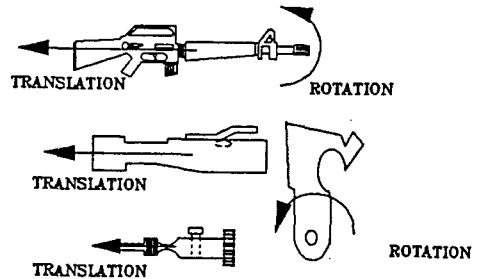


Fig.1 Component and DOF of M16A1 rifle

### 나. 노리쇠 멍치에 작용하는 힘

노리쇠 멍치에 가해지는 힘은 노리쇠에 가해지는 힘의 반작용 성분과 기타의 힘들로서 다음과 같이 분류할 수 있다.

- (1) Cam path 말기에 작용하는 힘
- (2) 복좌 용수철에 의한 힘
- (3) 공이치기와 노리쇠 멍치의 작용력
- (4) Cavity pressure 에 의한 힘
- (5) 개머리판과의 충격에 의한 힘
- (6) 약실 압력에 의한 힘
- (7) 노리쇠와 노리쇠 멍치와의 마찰력
- (8) 몸체와의 마찰력
- (9) 공이치기와의 마찰력

위에 열거한 여러가지 요소의 작용력에서

(1)-(6)의 항목만 고려하였다.

### 다. 몸체(main gun)에 작용하는 힘

몸체는 개머리판 및 방아틀 멍치와 총열, 총열 덮개 및 기타의 부속장치들로 구성되어 있으며 이에 작용하는 힘을 열거하면 다음과 같다.

- (1) 노리쇠 및 노리쇠 멍치에 의한 충격력
- (2) 탄자와 강선사이에 발생하는 마찰력
- (3) 공이치기에 의한 충격력
- (4) 완충기와의 충격력
- (5) 복좌용수철의 반력
- (6) 약실압력에 의한 힘

### 2.3 운동해석 결과

수치적 해석기법중에서 일반적인 형태의 미분방정식을 해석하는데 널리 사용되고 있는 Runge - Kutta 방법을 이용하여 동력학적 모델을 해석하였다.

소구경 화기 부품의 운동은 공이치기가 회전운동을 시작하는 순간을 기준으로 하여 기능동작의 한 주기(80msec) 동안에 발생하는 일련의 과정을 시간에 따라 나타냈으며 공이치기가 공이를 타격하는 데에는 10msec. 정도의 시간이 소요된다 (Fig.2).

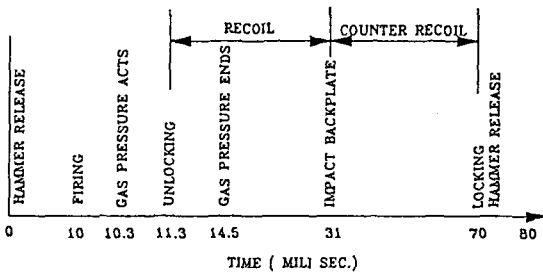


Fig.2 Firing operation of a M16A1 rifle

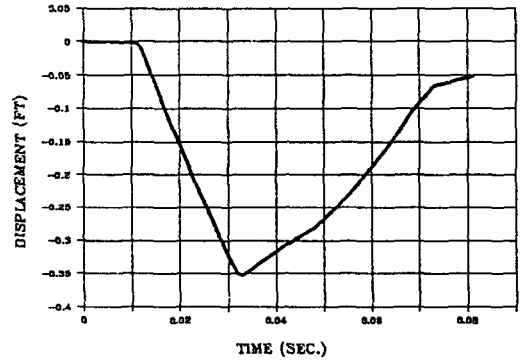
해석은 노리쇠의 변위와 속도, 노리쇠 멍치의 변위와 속도, 몸체의 변위와 속도 그리고 회전변위와 회전속도로 구분하여 실행하였다. 이러한 해석결과를 참고문헌<sup>5,6)</sup>과 비교하여 볼때 세부적인 동적 특성에는 약간의 차이가 있지만 전체적인 동적 특성의 경향은 일치하였다. 부품의 운동해석 결과를 검증하기 위하여, 기능동작이 이루어지고 있는 동안에 노리쇠멍치의 운동을 high-speed camera로 촬영하였다. 노리쇠멍치의 운동을, 측정 한 결과(최대 9.8cm)와 이론적으로 해석한 결과(최대 10.6cm)와 비교하여 볼 때 7.5%의 오차가 발생하였다(Fig.3).

소구경 화기의 회전 각속도는 회전력과 총구 부분에 작용하는 힘을 산출하여 사격시 총구 앙등을 계산하고 총구앙등 감소의 자료로 활용하였다.

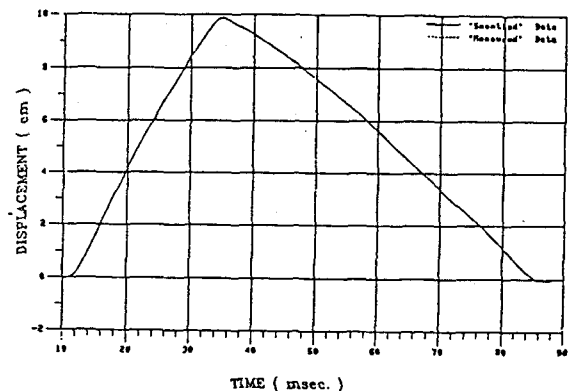
### 2.4 소구경 화기의 총구앙등력

사격자세와 격발과정의 완벽하다고 가정할때 총구가 앙등되는 요소는 크게 두가지로 분류할 수 있다. 첫째는 탄자와 추진가스가 총구를 통하여 분출되는 과정에서 나타나는 반작용력과 둘째요소

로서는 소총의 기하학적 형상을 들 수 있다. 즉 탄자와 추진가스가 갖는 운동량에 의하여 몸체는 반작용적인 주퇴력을 받게되며 이 주퇴력은 총열 방향을 따라 총구 후방으로 작용하게 된다. 만일 총열과 개머리판이 일직선상에 놓여 있다면 주퇴력은 개머리판을 통하여 사수의 어깨에 전달되며 이때 몸체는 병진운동만이 이루어진다. 그러나 소구경 화기의 기하학적 형상을 고려해 볼때 총열은 소총의 중심으로 부터 0.78" 상방에 위치하며 사수의 어깨와 접촉하는 개머리판의 중심은 소총의 중심 보다 0.34" 아래에 위치하고 있다. 이와 같이 총열방향을 따라 작용하는 주퇴력의 작용 방향과 소구경 화기의 병진운동을 구속하는 개머리판의 중심위치가 다르기 때문에 소총에는 회전 모우멘트가 발생하므로써 총구가 앙등된다.



(a) calculation



(b) measurement

Fig.3 Bolt carrier displacement of a M16A1 rifle

소구경 화기의 무게 중심점에 작용하는 회전 모우멘트는 총의 질량관성 모우멘트와 각속도의

곱으로 나타낼 수 있으며 이를 총구 위치에 작용하는 회전 모우멘트로 환산하기 위하여서는 평행이론을 사용한다. 총구에서의 질량 관성 모우멘트는 소총의 질량에 무게 중심점으로 부터 총구까지의 거리의 제곱을 곱하여 무게 중심에서의 질량 관성 모우멘트를 더함으로써 구하였다.

총구에서의 앙등력은 총구에 작용하는 회전 모우멘트로 부터 계산하였다. 소총은 개머리판을 통하여 사수의 어깨에 지지되어 있으므로 총구로 부터 개머리판까지의 길이가 모우멘트 팔 길이이다. 그러므로 총구에 작용하는 앙등력은 총구에서의 모우멘트를 모우멘트 팔 길이로 나누어 구하였으며, 이와 같이 계산된 총구 앙등력(Fig.4)은 사격시 총구의 앙등을 발생시키는 힘이 되고 앙등을 감소시키기 위해서는 앙등력이 발생되지 않게 하거나 앙등력을 상쇄시킬 수 있는 방안이 강구되어야 한다.

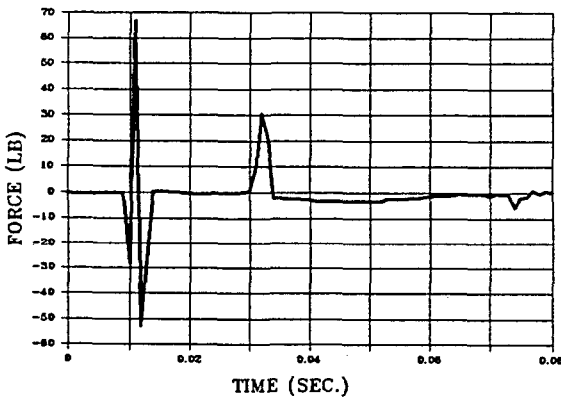


Fig.4 Jumping force of M16A1 rifle at the muzzle

### 3. 총구앙등 실험 및 분석

#### 3.1 실험 방법 및 결과

소총의 사격시 총구앙등과 노리쇠움치의 운동을 측정하여 해석적으로 구한 운동결과와 비교하기 위하여 소총을 설치대에 고정시켰으며 설치된 소총은 회전운동만이 가능하도록 하였다. 회전운동의 지지점은 사수의 견착점을 선택하였다. 사격은 단발사격 3회, 10연발사격 3회를 실시하였다. High-speed camera는 각각 노리쇠움치 측면에 설치하여 노리쇠움치 운동의 측정과 소염기의 측면

에 설치하여 총구 앙등을 측정하였다.

소염기의 총구앙등에 대한 역할을 실험적으로 분석하기 위하여 소염기를 통하여 측방으로 유출되는 추진가스의 압력과 총구의 앙등을 나타내는 수직가속도를 측정하였다. 추진가스의 압력과 수직가속도는 각각 피에조 압력 측정기와 B&K의 3축 가속도계를 사용하여 측정하고 측정된 출력을 증폭시키기 위하여 Charge Amp. 및 B&K 제품의 Amp.를 사용하였다. 실험에서 사용된 환산계수는 압력측정시 0.1V 당 316psi 이고 가속도 측정시의 10mV는  $1m/s^2$ 가 되도록 셋팅 하였다.

실험 결과는 가속도계를 부착하여 측정된 자료는 고속카메라로 촬영하여 얻은 자료와 최고값의 비교에서는 작은 오차를 나타내지만 변위의 형태는 다른 모양을 보여주고 있다. 이러한 차이는 측정간의 sampling time이 다르기 때문에 발생한 것으로 판단된다.

#### 3.2 소염기의 역할

본 절에서는 사격시 주퇴력과 소총의 기하학적 형상에 의하여 발생하는 총구의 앙등현상이 소염기를 통하여 유출되는 추진가스에 의하여 어떠한 영향을 미치는가에 대한 실험적 분석을 통하여 소염기의 부수적인 역할을 규명하고자 한다.

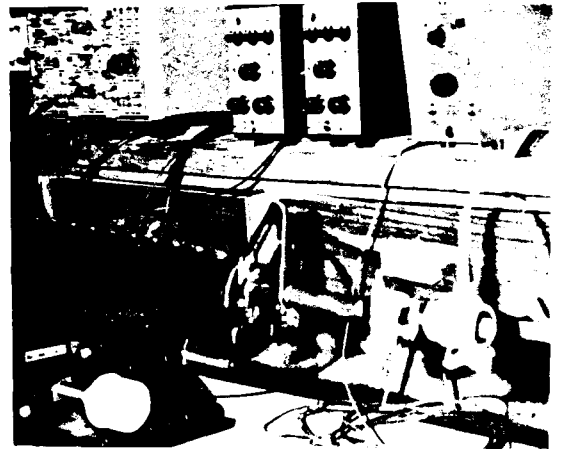


Fig.5 Photography for measurement of gas pressure and muzzle jump at flash suppressor.

소염기의 slot를 통하여 유출되는 추진가스의 압력을 측정하고 소염기의 부착 유무에 따른 총구에서의 수직방향 가속도를 각각 측정하였으며 소염기의 slot을 각각 다른 방향 (3개의 slot은 개방하고 3개의 slot은 폐쇄함)으로 변화시켰을때의 총

소총을 설치대에 고정시키고 사격시 소총은 회전운동만이 가능케한 후 총구의 앙등을 측정하였다. 실험은 소염기의 형상에 따라 각각 단발사격 3회, 10연발사격 3회를 실시하였으며 소염기의 형상은 M16A1 소총에 부착된 기존의 소염기, K-2 소총용 소염기, 그리고 제작된 모델의 소염기를 사용하였다. 사격방식은 기존 소염기를 부착한 후 단발 3회, 10연발 3회를 실시하고 K-2 소총의 소염기와, 제작된 모델의 소염기에 대하여 소염기 중심 slot을 13시 방향( $30^\circ$ )과 11시 방향( $-30^\circ$ )으로 하여 각각 3회씩 실시하였다.

각각의 소염기에 대한 실험결과는 앙등현상의 최대값을 비교하여 불패 시제품 소염기를 13시 방향에 중심 slot이 위치하도록 설치할때 총구의 앙등현상이 작아짐을 나타냈다(Fig.7).

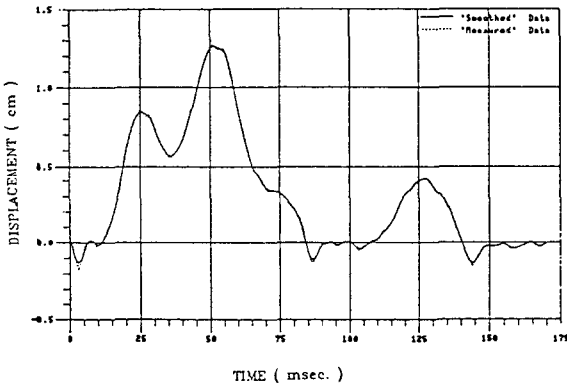


Fig.7 Single shot for prototype flash suppressor( $30^\circ$ )

## 5. 결 론

본 연구에서는 소구경 화기의 총구앙등의 분석 및 감소 방안을 위하여 기능동작이 이루어지는 동안 노리쇠, 노리쇠 문치, 공이치기 및 소총의 몸체를 연구 대상으로 고려하여 5자유도계의 동력학적 모델을 도출하고 부품의 운동을 해석하였다.

해석결과는 각 부품의 변위, 속도 및 가속도로 나타냈으며 이는 물리적인 현상 및 연구자료<sup>5,6)</sup>들과 일치함을 보여주었으며 성능 개선을 위한 설계 자료로 활용될 수 있다.

소총의 동적해석 결과를 이용하여 주퇴력에 의하여 발생하는 회전 모우먼트를 구하므로써 총구에서 발생하는 앙등력을 계산하였다. 총구 앙등력

을 감소시키기 위하여 소염기를 통해 통과하는 추진가스의 운동량이 총구앙등에 미치는 영향을 실험적으로 분석하였다. 또한 소염기를 통하여 유출되는 추진가스의 방향을 임의로 변화시킴에 따라 총구 앙등력을 계산할 수 있는 총구에서의 수직가속도를 측정하였다.

소염기의 형상 변화는 총구에서의 추진가스 유동현상을 변화시킴으로써 변화된 추진가스가 갖는 운동량만큼 총구의 앙등감소에 영향을 미침을 입증하였으며 소염기의 형상변화에 대한 총구의 앙등을 실험적으로 구한 결과, 소염기에 의한 총구의 앙등은 소염기의 slot을 3개로하고 비대칭(중심  $30^\circ$  방향) 형상을 갖는 것이 가장 효과적이었다.

## 참 고 문 헌

1. 이홍주, 정백기, 김인우, "M16A1 소총의 동적 특성", 국방과학연구소 기술 보고서, AMSD - 419 - 89150, 1988.12
2. 정백기, "M16A1 소총의 총구앙등 감소", 국방과학연구소 기술 보고서, 1990.12
3. 정백기, "소염기 형상이 총구앙등에 미치는 영향에 관한 연구", 육사논문집 47집, pp.307-332, 1994.12
4. "M16 소총용 소염기 부대 실용시험 결과", 국방과학연구소, 기분 1522-41, 1982.2
5. Gay, H.P. and Winholt, E.M., "Analog Simulation of the Mechanism of the M16A1 Rifle", BRL Report no. 1596, Aberdeen Proving Ground, MD, 1972.6
6. Paul E. Ehle, and Albert E. Rahe, "Theory and Application of Mathematical Modelling of Shoulder - Fired Weapons", Part I : M16A1 Rifle, R - TR - 75 - 010, General Thomas J. Rodman Lab., 1972.11
7. FM 23-9, "Rifle, 5.56-mm, M16A1", US Army
8. TM9-1005-249-20, "Organizational Maintenance Manual, 5.56-mm, M16A1", US Army.