

권총의 최대반동력 측정 시스템 구축

박문선*, 엄혁*, 구태완**, 강범수**

Establishment of The System for Checking Peak Recoil Force in a Pistol

Moon-Sun Park*, Hyuk Um*, Tae-Wan Ku**, and Beom-Soo Kang**

ABSTRACT

The peak recoil force in a pistol have an effect on the reliability of the frame and target shooting. The experimental system has been established for measurement of the peak recoil force, which consists of force and velocity sensors, high speed camera. For effective operation of the system, a software has also developed, and combined with the hardwares. Several pistols have been tested and compared quantitatively on the peak recoil force and impact energy. It is concluded that the established system can be utilized for checking peak force, and data accumulation for new pistol design.

Key Words : Pistol(권총), Peak recoil force(최대반동력), Velocity sensor(속도감지기), Pistol design(권총설계)

1. 서론

현대에 있어서 휴대용 소화기(small arms)는 군사적 목적과 민간 치안 유지의 목적으로 지속적인 발전과 개발이 이루어지고 있으며 이와 병행하여 이들 소화기 사용자들로부터는 운용측면에서의 인간공학적 요소 반영 요구를 끊임없이 받고 있다. 이에 소화기 개발시 가장 먼저 고려되어야 할 사항으로 안전을 고려한 부품 설계 및 사용자의 운용성을 가장 중시하게 되었다. 특히 군사적 및 민간 경호, 치안 유지 목적으로 가장 많이 사용되는 권총의 경우엔 이런 두 가지 요소가 매우 중요한 설계요소로 자리잡고 있다. 특히 사용자의 부상 및 정확도에 가장 민감한 요소인 사격시 발생하는 반동력(recoil force)의 최소화 문제는 오래 전부터

대두되기 시작하였다. 이에 따른 적합한 부품설계를 위하여서는 권총의 반동력 및 고속운동 측정은 필수적이며, 다양한 모델 개발을 위한 예비 데이터 확보를 위해서도 이러한 시험이 요구된다.

현재 국내와 국외의 군수당국 및 생산을 담당하고 있는 산업계에서는 반동력 감소를 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 소화기에 대한 충격반동력에 대해서는 최근까지도 주로 사용자의 감각이나 경험에 의한 정성적인 판단에 의존해 왔으나, 정량적인 측정을 위한 노력도 시도되고 있다. 그러한 예로서 한국형 권총에 개발단계에 있어서의 국방과학기술연구소 종합시험장에서 하중센서(load cell)에 의한 반동 측정¹¹⁾, 미군시험평가단의 시험절차서¹²⁾, 독일 SCHENCK사의 기관총용 모의 내구도 시험장치 및 시간-변위 측정¹³⁾, 미국 Vector Research Inc.의 휴대용 대전차 무기

* (주) 대우정밀
** 부산대학교 항공우주공학과

반동시험장치^[4] 등이 있다.

이러한 충격반동량을 측정하는 방법으로는 첫째, 발사에 따른 작동부품의 후퇴거동을 고속카메라 및 변위센서로 촬영 또는 측정하여 운동에너지를 계산하는 방법과 둘째, 탄도진자(ballistic pendulum)를 사용하여 반동에너지를 계산하는 방법 그리고 셋째, 하중센서 또는 압력센서(piezo sensor)를 이용하여 충격력을 실시간으로 측정하는 방법등이 있다.^{[5][6]} 첫 번째 방법은 고속카메라 기술의 발달로 육안으로 관찰할 수 없는 고속운동부품 또는 비행탄체의 측정 및 분석에 적합하나 시험장비가 고가이며 필름의 현상과 인화 분석에 많은 시간이 소요되는 등 사용이 제한적이었으나 최근의 고속 비디오카메라 기술의 발달로 그 활용도를 넓혀가고 있다. 두 번째 방법으로는 총기 개발시 가장 간단히 구성하여 측정할 수 있는 방법(3점지지 또는 5점지지 방식이 주로 사용)으로서 전체 시스템의 최대운동량의 측정 및 계산에는 적합하나 권총의 특정 운동부품의 반동특성등의 미시적인 측정이나 분석에는 부적합하다. 셋째 방법은 특수목적용 소형센서의 발달로 시험 총기의 측정하고자 하는 부위에 센서를 부착하여 힘을 직접 기록할 수 있는 방법으로서 매우 효율적이며 다음과 같은 방식으로 구성될 수 있다.

하중센서 : 초기 외압(권총 고정시의 예압)을 포함한 실시간 응력변화를 측정.

압력센서 : 순간적인 힘의 변화 및 최대압력을 실시간으로 측정.

특수 박막센서 : 하중센서의 원리를 응용한 형태로서 0.1mm 이하의 두께를 갖는 센서로 특수한 공간 및 응력변화 측정에 사용할 수 있으나 주파수 및 사용 범위에 제한적임.

이상을 배경으로 본 연구에서는 하중센서를 이용한 1자유도 반동력 측정 시험 시스템을 구성한 후 시험장치를 제작하여 권총의 3점지지 위치에서의 발사시 응력특성을 측정하고 추가적으로 동 시험장치를 이용하여 고속비디오 촬영을 하여 구경별 반동력의 정량화 비교를 수행하였다.

2. 최대반동력 측정 시스템 구축

2.1 운동특성

본 연구에서 구성한 권총의 반동력 측정은

Fig. 1에서 보이는 스프링-질량(spring-mass) 시스템의 운동 특성을 이용한 측정으로서 다음과 같이 후퇴에너지를 계산할 수 있다.^{[7][8][9]}

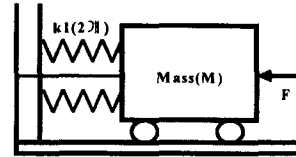


Fig. 1 Spring-Mass system

$$KE + PE = \text{const.}$$

$$-Kx + Ma = F$$

$$E = \frac{1}{2} M v^2 + \frac{1}{2} K x^2$$

여기서 KE는 운동에너지(kinetic energy), PE는 위치에너지(potential energy), M 은 측정장치의 슬라이딩 베드의 질량, K 는 recoil 스프링 상수이다. 그리고, x 는 슬라이딩 베드(sliding bed)의 변위, v 는 슬라이딩 베드의 속도, a 는 슬라이딩 베드의 가속도이다. M 과 K 를 정량적으로 나타내면 다음과 같다.

$$M = \text{Sliding Bed} + \text{Pistol} = 9.91\text{kg} + 0.80\text{kg} = 10.71\text{kg}$$

$$K = 0.36\text{kg/mm} (\text{Sliding Bed에 2개의 스프링 사용})$$

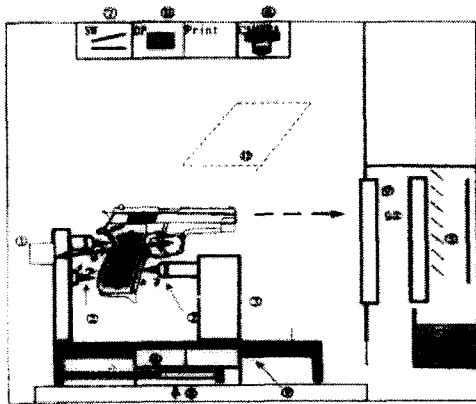
또한, 금속간의 미끄럼 마찰력은 표면이 매끄러울 때 마찰계수(friction coefficient)가 0.15 정도로 슬라이딩 전체의 질량(M)이 10.71kg임을 감안하면 1.61kg의 정마찰력(static friction force)을 예측할 수 있다. 이때 권총의 반동력을 약 200kg이라고 하면 상대적인 고체 마찰력은 0.80%로 무시할 수 있다. 그러므로 권총의 탄환 발사시 스프링에 가해지는 포텐셜 에너지를 계산하는 식은 다음과 같이 나타내어질 수 있다.

$$E = \frac{1}{2} K (\Delta x)^2 = \frac{1}{2} (\text{스프링상수}) \times (\text{후퇴거리})^2$$

2.2 전체 구성도

본 연구의 주목적인 권총의 탄환 발사시 발생하는 반동력을 측정하기 위한 전체 구성도를

Fig. 2에 나타내었다. 이 반동력 측정장치는 권총과 슬라이딩 베드로 이루어진 반동시험베드(recoil test bed)부와 탄환의 운동을 측정하기 위한 고속비디오 카메라 측정부, 그리고 탄환의 안전한 회수를 위한 속도 감쇠 및 회수부로 이루어져 있다. 이 회수부는 우선 탄환이 나무판을 관통하여 1차 속도를 감소시킨 후 철판에서 2차 속도 감쇠를 일으켜 탄환이 철판 하단부의 수거함에 떨어지도록 설계하였다. 본 시험에서는 무엇보다도 안전이 최우선시 되어야 하기 때문에 탄환을 권총에 장전시 클램프(clamp)상태의 이상유무를 필히 확인하고, 발사된 탄환의 속도 감쇠를 위한 1차와 2차 속도감쇠 장치의 이상유무 또한 필히 점검해야 했다.



- 1. TR Solenoid 2. Sensors 3. Clamp 4. Base plate
- 5. Bullet trap 6. Camera 7. Remote switch
- 8. Scale 9. Wood plate 10. Water/wood
- 11. Data record/Process unit 12. Mirror/Reflector

Fig. 2 Detail block diagram for recoil force measurement

2.3 반동력 측정 소프트웨어 개발

권총의 반동력 측정을 위한 시험의 결과를 효과적으로 전산화하기 위해서는 시험 과정에서 센서를 통하여 나오는 연속적인 신호를 처리할 수 있는 소프트웨어(software)의 개발이 필요하였다. 본 연구에서 개발한 소프트웨어에는 각기 다른 시험 모델에 대한 하중센서의 부착 위치에 따른 반동력의 측정 오차를 최소화하기 위하여 하중센서들의 부착위치에 대한 반동력을 보정하는 알고리즘을 추가하였다. 또한, 본 연구에서 소프트웨어

의 구동을 위해 PC-486급의 프로세서를 사양으로 구성하였고, 원활한 연속신호의 처리를 위해 충분한 양의 기억용량을 확보·장착하여 시험에 임하였다. 그리고, 소프트웨어를 PC와 사용자와의 대화가 가능한 형식으로 프로그래밍하여 외부에서 입력제어가 가능하도록 개발하여 누구나 쉽게 운용할 수 있는 간단한 전문가 시스템을 구축하였다. 인터페이스(interface) 회로도를 Fig. 3에 나타내었고, Fig. 4에 이 전문가 시스템의 응용결과가 나타나 있다. 체계구성도(system block diagram)는 Fig. 5에 나타나 있다.

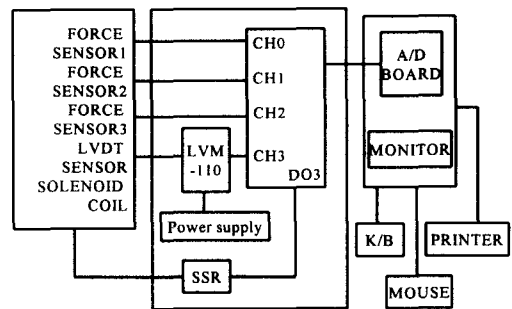


Fig. 3 Interface circuit for recoil force measurement

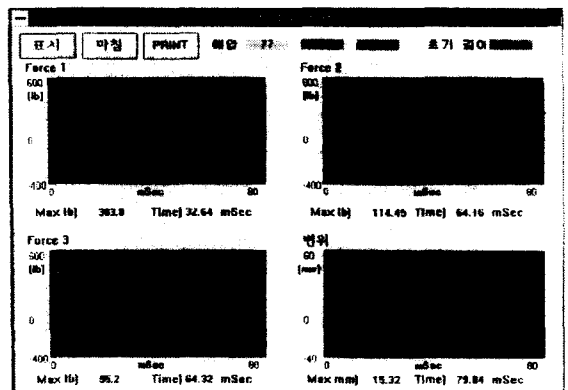


Fig. 4 A sample result about system operation

2.4 반동력 측정 하드웨어 개발

Fig. 6에서 보는 바와 같이 반동력 측정 하드웨어(hardware)를 구성하였다. 이 하드웨어는 반동력 시험베드와 고속비디오 촬영을 위한 카메라로 구성되어 있다.

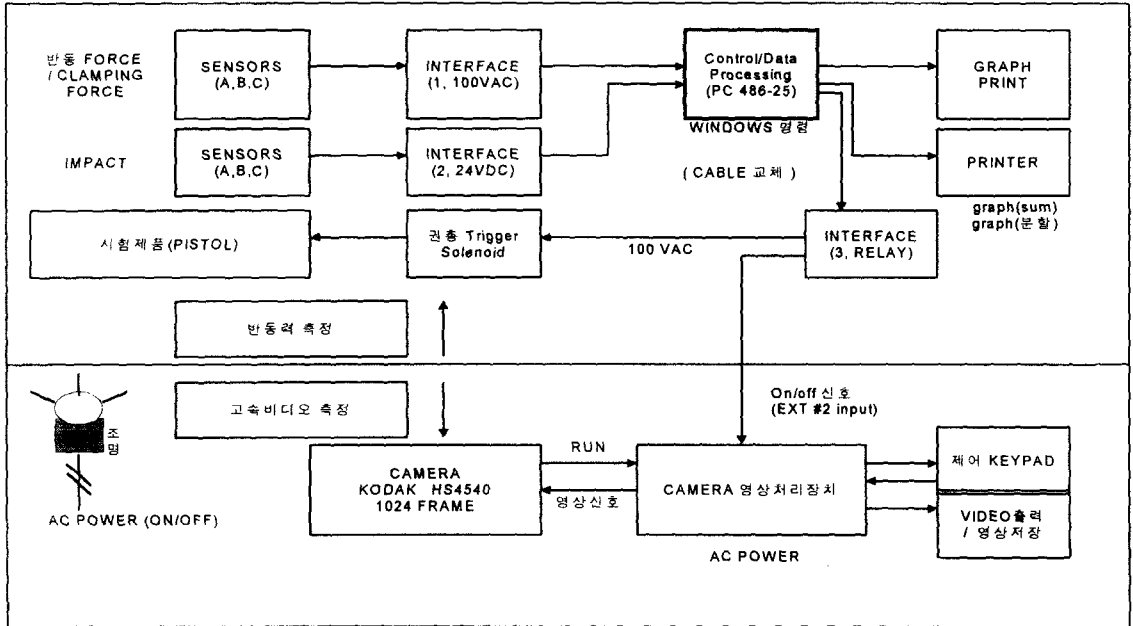
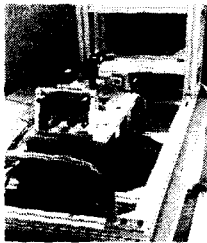


Fig. 5 The system block diagram about recoil force measurement



(a) Side view of hardware system



(b) Behind view of hardware system

Fig. 6 Hardware system of recoil force measurement

2.4.1 반동력 측정 센서

본 연구의 시험 장치에서 발생하는 시간에 대한 응력 및 변위를 측정하기 위한 정밀 측정기구로는 PCB PIEZOTRONICS사의 208 계열 및 국내 제작 RING 하중센서와 LUCAS CONTROL SYSTEMS PRODUCTS사의 LVM-110 변위 센서를 사용하였다. 이 하중센서는 0~2,000kgf (1,000lb) 이하의 하중 조건에서 10kHz 이상의 응답을 갖는 사양으로 이번 연구에서 적용한 3점지지 측정방식에 따라 지정된 세 개의 위치에 부착하였으며, 선형변위센서(LVDT)는 최대변위가 100mm(±50mm) 이상의 조건에서 2kHz 이상의 응답을 갖는 것으로 1개를 사용하여 권총의 반동력 측정에 유효하는 측정 센서를 준비하였다. 또한 이들이 권총에 부착되는 위치는 하중센서와 선형변위센서는 Fig. 7에서와 같다. 각기 다른 시험 모델에 대한 하중센서의 부착 위치에 따른 반동력의 측정 오차를 최소화하기 위하여 응력센서들의 부착위치에 대한 반동력을 보정하는 알고리즘을 추가하였다.



Fig. 7 Attached position of load cell

2.4.2 반동력 시험 베드

권총의 반동력 측정을 위한 반동력 시험 베드는 이동이 가능한 구조로 높이 0.70m, 폭 0.80m, 길이 1.50m 이하의 제원으로 구성되어 있다. 이 측정 장치에는 반사경과 판독을 위한 기준점 및 거리 표시가 있어 측면에서 카메라 측정이 가능한 투명 구조로 마련하였다. 또한, 탄피와 탄자를 안전하게 회수할 수 있는 구조로 이루어져 있다. 권총의 방아쇠 작동을 위해 스트로크 거리 15mm 이상, 힘 3kg 이상의 솔레노이드를 설치하였다. 그리고, 최대 운동고정질량이 20kg 이하인 상태에서 반발 운동에너지를 측정할 수 있는 스프링-질량 시스템으로 구성하였다. 권총의 탄환 발사시 발생하는 순간 충격치의 측정을 위해 하중센서에서 감지되는 신호와 순간 변위 측정을 위해 선형변위센서에서 측정되는 변위를 오실로스코프와 PC에 기록·저장하기 위해 각각 신호 전달용 케이블로 연결 하였다.

2.4.3 고속비디오카메라

고속비디오 카메라 운용을 위한 프로세서는 높이 21.00cm, 폭 44.45cm, 직경 41.91cm 의 무게 17.30kg인 KODAK사의 HS4540 모델을 사용하였다.^[10] 이 모델은 촬영한 디지털 이미지(Digital Image)를 보조기억장치에 저장할 수 있으며, 저장 방식은 REC-Trigger 또는 External Sync. 방식으로 사용자가 선택할 수 있도록 되어있는 기종이다. 그리고, 카메라는 높이 12.07cm, 폭 10.16cm, 길이 27.30cm 의 제원을 가지고 있으며 그 무게는 2.70kg 이다. 이 카메라의 이미지 센서는 192×239 pix NMOS, 256 grey scale의 성능을 가지고 있었다.

2.5 권총의 반동력 측정 시스템 구축

다음의 내용은 하중센서와 선형변위센서 및 고속 비디오 카메라를 활용하여 권총의 반동력 측정 과정을 요약한 것이다. 이 반동력 측정시험에 대한 흐름도를 Fig. 8에 나타내었으며, 변위·속도 측정시험에 대한 흐름도는 Fig. 9에 도표화하였다.

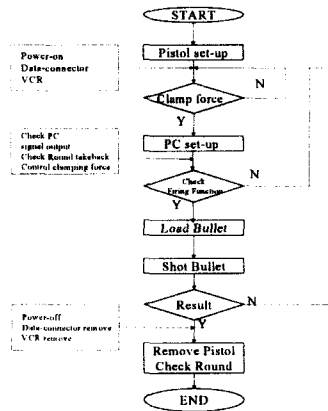


Fig. 8 Flow chart of the system about recoil force measurement

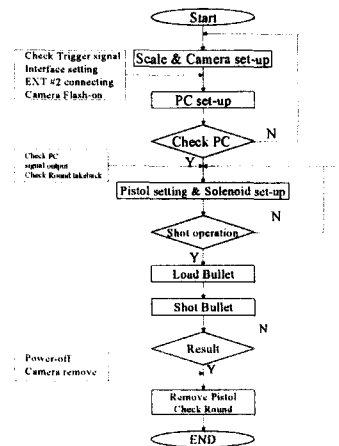


Fig. 9 Flow chart of the system about displacement and velocity measurement

2.5.1 반동력 측정시험

이 시험은 권총의 발사 순간의 시간에 대한 충격

량 및 후퇴에너지를 측정하여 분석함으로써 제품의 설계 및 개선의 기본 자료로 활용하기 위하여 필요한 자료를 얻기 위해 아래의 각 단계별로 시험을 수행하였다.

- Step1. 권총 반동력측정시험기(이하 '시험기'라 함)를 야외 사격장에 설치하고 전원을 연결한다. 이때 탄알 장전 유무에 상관없이 총구는 표적을 향하게 하고 전원전압을 확인한다. 그리고, 데이터전송 케이블의 연결을 확인한다.
- Step2. 필요시 영상촬영기(VCR 및 테이프)를 설치한다.
- Step3. 권총을 설치하고 클램핑 상태의 이상유무를 확인한다.
- Step4. PC를 구동하고 하중센서 및 선형변위센서의 신호를 인식하는지 확인한다. 이때 PC의 화면상에는 "0" 출력이 되어야 한다.
- Step5. 탄알 안전수거장치를 점검한다. 탄알의 1차·2차 속도감쇠기인 나무판과 철판의 과다 변형시 안전을 위해 교체한다.
- Step6. PC의 설치 상태를 보면서 권총의 클램핑력을 조정한다. PC에서의 클램핑력 조정방법을 Fig. 10에 나타내었다.
- Step7. 총의 거치상태를 확인하고 탄약을 장전하지 않은 상태에서 1회 원격발사하여 기능을 확인한다. 이때 스프링 상수(K)를 0.36kg/cm의 값으로 입력한다.
- Step8. 위의 모든 단계에서 이상이 없음이 확인되면 탄약을 한발 장전하고 난 후 마우스로 PC 윈도우상의 '시작' 버튼을 누른 후 마우스 포인터(pointer)를 'Y'위치에 둔다.
- Step9. 탄의 비산에 대한 안전을 확인하고 난 후 발사를 사수가 직접 마우스 버튼을 누르거나 relay를 통해 원격제어하여 발사신호를 작동한다.
- Step10. 신호기록여부 및 비디오 촬영결과를 확인한다.
- Step11. 시험이 종료되면 권총 분리, 전원 차단, 데이터 전송 케이블을 분리하고 잔탄을 확인한다.

2.5.2 변위 · 속도 측정

이 시험은 권총의 발사 순간의 가스활대의 변위 · 속도 · 가속도를 측정하고 분석함으로써 제품

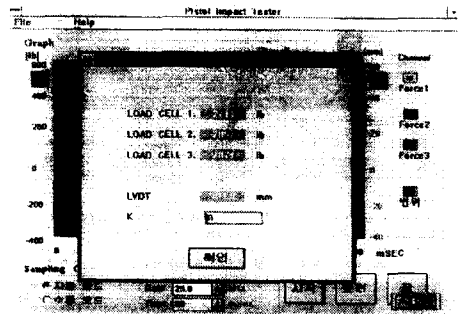


Fig. 10 Clamping force control in software

의 설계 및 개선에 필요한 자료를 수집하기 위하여 아래의 각 단계별로 시험을 수행하였다.

- Step1. 시험기를 실내 전용시험장비를 사용하여 실내에 설치하고 전원을 연결한다. 이때 탄알 장전 유무에 상관없이 총구는 표적을 향하게 하고 전원전압을 확인한다. 그리고, 데이터 전송 케이블의 연결을 확인한다.
- Step2. 권총의 본체 및 슬라이드의 상대 운동을 측정할 수 있는 스케일(scale)을 설치한다.
- Step3. 고속 비디오 카메라를 설치한다. 이때 트리거(trigger) 신호와 인터페이스 및 시험기의 설치를 확인한다. 다음으로 제어장치의 'EXT IN #1'을 제거하고 'EXT IN #2'로 연결한다.
- Step4. 카메라용 플래시를 'ON' 시키고 카메라의 광도 및 초점, 크기를 조정한다. 필요시에는 'EXT IN #2' 신호를 Delay 하거나 카메라의 제어판에서 'START, CENTER, END' 중에서 원하는 모드를 선택한다. 이 경우에 있어서 일반적으로 'CENTER'를 선택하게 되며 프레임 속도는 4500 또는 9000으로 조정한다.
- Step5. PC를 구동하고 하중센서 및 선형변위센서의 신호를 인식하는지 확인한다. 이때 PC의 화면상에는 "0" 출력이 되어야 한다.
- Step6. 방아쇠 작동 솔레노이드를 구동해 보고 동시에 카메라의 신호가 연동하는지를 확인한다.
- Step7. 탄알 안전수거장치를 점검한다. 탄알의 1차·2차 속도감쇠기인 나무판과 철판의 과다 변형시 안전을 위해 교체한다.
- Step8. 권총을 시험기에 설치한다. 필요시에는 grip plate를 제거한다. 권총의 설치가 끝나면 방아쇠 당김 솔레노이드 핀의 정위치, grip 전

후방 하중센서 밀대의 밀착 유부, 관련 나사의 조임 여부를 확인한다.

- Step9. 총의 거치상태를 확인하고 탄약을 장정하지 않은 상태에서 1회 원격 발사하여 기능을 확인한 다음, 카메라의 영점 및 작동 여부와 고정 이상유무 그리고 timing 선택의 적합성을 판단한다.
- Step10. 이상이 없음이 확인되면 탄약을 한발 장전한다.
- Step11. 탄의 비산에 대한 안전을 확인하고 발사 신호를 작동한다.
- Step12. 신호기록 및 촬영결과를 확인한다.

3. 실험

최대 충격값 및 후퇴에너지 비교그래프를 그리면 Fig. 11과 같다. Fig. 12는 반동력 측정소프트웨어에 의해 PC의 모니터상에 나타나는 시험 결과의 예이다. 이 그림에서는 여러 가지 모델중 네가지 모델에 대한 예를 나타내었다. 이 Fig. 12에서는 3개의 하중센서에서 측정되는 반동력과 1

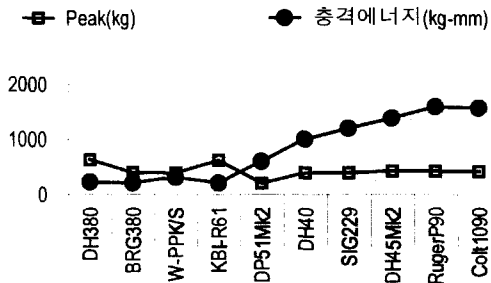
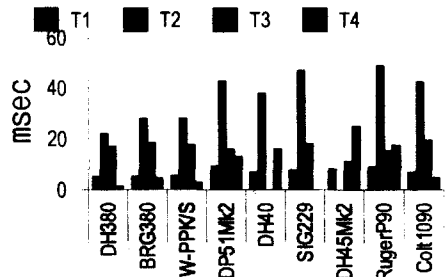


Fig. 11 Comparison of peak recoil force and reaction energy for each test model

개의 변위센서에서 측정되는 변위등 총 4개의 연속신호가 동시에 화면상에 나타나게 된다. Fig. 13에서는 여러 시험 모델에 대한 하중센서와 고속 비디오 촬영 결과에 대한 운동 특성을 나타낸 것이다. Fig. 14는 각 하중 센서에서 측정된 충격 peak위치와 고속 비디오 촬영 결과를 슬라이드 속도에 대해 비교 분석한 것이다. 또한, Fig. 15에서는 고속 비디오 촬영 결과를 작동부 질량, 총열후퇴거리, 총구속도를 비교 분석하였다.

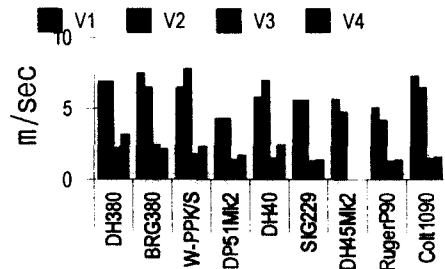


Fig. 12 A sample result of each test for recoil force measurement



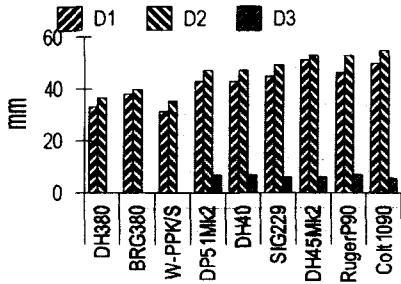
- T1 : 슬라이드 최대 후퇴 시간(하중센서)
- T2 : 슬라이드 전진 완료 시간(하중센서)
- T3 : 슬라이드 최대 후퇴 시간(고속비디오)
- T4 : 슬라이드 전진 완료 시간(고속비디오)

Fig. 13 Comparison of time-dependent characteristics by load cell and LVDT result (unit:msec)



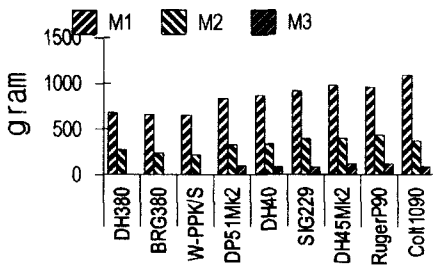
- V1 : 슬라이드 후퇴속도(하중센서)
- V2 : 슬라이드 후퇴 속도(고속비디오)
- V3 : 슬라이드 전진 속도(하중센서)
- V4 : 슬라이드 전진속도(고속비디오)

Fig. 14 Comparison of velocity-dependent characteristics by load cell and LVDT result (unit:m/sec)



D1 : 슬라이드 정지 거리
 D2 : 슬라이드 최대 후퇴 거리
 D3 : Barrel drop 거리

(a) Barrel move length (unit:mm)



M1 : 총기질량, M2 : 슬라이드 질량,
 M3 ; Barrel 질량

(b) Operating part mass(unit:gram)

Fig. 15 Comparison of barrel move length and operating part mass from high-speed video test result

4. 결론

본 연구에서는 발사시 인체에 미치는 반동력을 측정하는 시스템을 구축하였으며 이 시스템을 사용하여 현재 운용중인 여러 가지 모델의 권총을 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 권총 충격 측정시 신뢰할 수 있는 peak 값을 얻기 위해 최소 10kHz 이상의 샘플링 주기가 필요함을 시험결과를 통해 알수 있었다.

2) 여러 권총 모델에 대한 충격량 정량화 및 주요 부품의 후퇴속도에 대한 데이터화를 이루었다.

3) 영상 데이터 및 운동 데이터 확보로 각 시

스템에 대한 정확한 운동 특성의 이해가 용이해졌고, 신제품 개발시 이의 피드백(feedback)이 가능해졌다.

향후 연속 기록 및 순간 저장 기능의 촬영장비 확보 및 변위 · 속도 · 가속도를 측정용 센서의 소형화를 통하여 좀더 정확한 데이터 획득으로 신뢰성 증대를 위한 부품 설계 및 특히 반동력 저감 설계에 매우 효과적으로 이 시스템을 이용할 수 있으리라 사료된다.

참고문헌

1. AMSTE-RP-702-102(TOP 3-2-826), "KINEMATIC TESTS OF SMALL ARMS," 1972.
2. TOP 3-2-826 : US ARMY TEST AND EVALUATION COMMAND, 1972.
3. SCHENCK AG DIVISION, "SLIDE MOTION SIMULATOR," 1991.
4. Gay, H.P., "DISPLACEMENT-TIME RECORDER," Ballistic Research Lab. Report 610, June 1946.
5. Gay, H.P., "Notes on Techniques and Apparatus for Investigating the Effects of Recoil and Stability of Mounts for Small Arms Weapons," Ballistic Research Lab. Report 955, Dec. 1955.
6. Miller, F.H., "Final Report on Initial Production Test of Magazine, 30-Round, for M16A1 Rifles," Aberdeen Proving Ground, Md., Report APG-MT-3547, June 1970.
7. Das, B.M., "Engineering Mechanics/DYNAMICS," IRWIN, pp. 98-143, 1992.
8. Greenwood, D.T., "Principles of Dynamics," 2nd Edition, Prentice Hall, pp. 68-134, 1988.
9. Thomson, W.T., "Theory of Vibration with Applications," 4th Edition, pp. 51-206, 1993.
10. Kodak 안내서 - HS4540-고속비디오 CAMERA, Kodak Co. Ltd., 1995.