

# 권총의 최대반동력 측정 및 해석 Measurement and analysis the peak recoil force of pistol

엄 혁 (대우정밀공업(주))  
Um, Hyuk

## ABSTRACT

In Pistol, the peak recoil force affects the reliability of the frame and the accuracy of target shooting. To attenuate the peak recoil force of pistol, we develop measuring test bed, which consists of force sensors, linear sensor and a high speed video camera, execute tests with several Pistol models and compare the results measured.

**Key Words :** pistol(권총), peak recoil force(최대반동력)

### 1. 서 론

소화기(Small Arms)에 대한 충격반동력 측정은 주로 사용자의 감각이나 경험으로 정성적인 판단에 의존하여 왔으며 최근에는 정량적인 측정을 위한 노력이 시도되고 있다. 그러한 예로서 한국형 권총기발단계에서의 국방과학연구소 종합시험장에서의 하중계에 의한 반동 측정(1986), 독일 Schenck사의 구경.50기관총용 모의 내구도시험장치 및 시간-변위 측정(1990), 미국 Vector Research Inc.의 휴대용 대전차무기 반동시험장치 (1994) 등이 있다.

이러한 충격반동량을 측정하는 방법으로는 발사에 따른 작동부품의 후퇴거동을 고속카메라 및 변위센서로 촬영 또는 측정하여 운동 에너지를 계산하는 방법 ; 탄도진자 (Ballistic Pendulum)를 사용하여 반동에너지를 계산하는 방법 ; 하중계를 이용하여 충격력을 실시간으로 직접 측정하는 방법이 있다.

위의 첫째 방법은 고속카메라를 사용하여 육안으로 관찰 할 수 없는 고속운동부품의 측정/분석에 적합하나 시험장비가 고가이며 필름의 현상, 인화 분석에 많은 시간이 소요되는 등 사용이 제한적이 있으나 최근 고속 비디오카메라 기술의 발달로 그 활용도를 넓혀가고 있다. 둘째 방법은 3점지지 또는 5점지지 방식으로 소화기 시스템의 최대운동량의 측정/계산에는 적합하나 권총의 특정 운동부품의 반동특성 등의 미시적 측정/분석에는 부적합하다. 셋째 방법은 특수목적용 소형센서의 발달로 시험총기의 측정하고자 하는 부위에 센서를 부착하여 힘을 직접 기록할 수 있는 방법으로서 매우 효율적이다.

본 연구에서는 하중계(Load Cell)을 이용한 1자유도 반동측정 시험장치를 구성하여 권총의 3점 지지위치에서의 발사시 응력특성을 측정하고 추가적으로 동 시험장치를 이용하여 고속비디오 촬영에 성공함으로써 지금까지 측정이 힘들었던 정성적인 반동력을 효율적으로 실시간 측정,분석할 수 있게 됨으로써 특성별로 정량화 비교가 가능하였고 신모델 개발시 설계단계에서 반동력을 줄일 수 있는 기초자료를 확보하였다.

### 2. 시험장치 구성

#### 2-1. 시스템 구성

측정장치는 크게 반동력 측정부와 고속비디오 측정부 및 제어장치로 구성된다. 반동력 측정부는 방아쇠를 당겨주는 Solenoid 및 링크, 권총을 3점지지하여 발사시의 Slide-Barrel 후퇴,전진시 반동력을 측정하는 센서(Fig. 2 의 ②a, ②b, ②c), 권총을 고정시키고 발사후의 후퇴에너지에 의해 전후방 미끄럼운동을 할 수 있는 Sliding Bed (Fig. 2의 ③ 및 ④), 그리고 Sliding Bed 후퇴운동을 흡수하는 완충 스프링 (Fig. 2의 ⑩), 이 Bed의 후퇴,전진 운동량을 측정하는 선형변위계(Fig. 2의 ⑧), 그리고 각 센서로부터의 신호를 변환하는 Interface Board들로 구성된다. 비디오 측정부는 카메라, 비디오 메모리를 활성화시키는 Trigger신호 입력장치, 비디오 메모리 및 출력장치로 구성된다. 제어장치로는 Windows환경에서 Sampling주기와 Triggering신호를 발생하는 PC 및 Mouse, 측정 Data를 저장하고 처리하는 Program

(Visual Basic), 그리고 권총의 방아쇠 작동과 카메라의 구동을 동기화시킬 수 있는 Interface로 구성된다. Fig. 1 은 시험장치의 블록 구성도를, Fig. 2 는 반동측정장치의 개략도를 나타내었다.

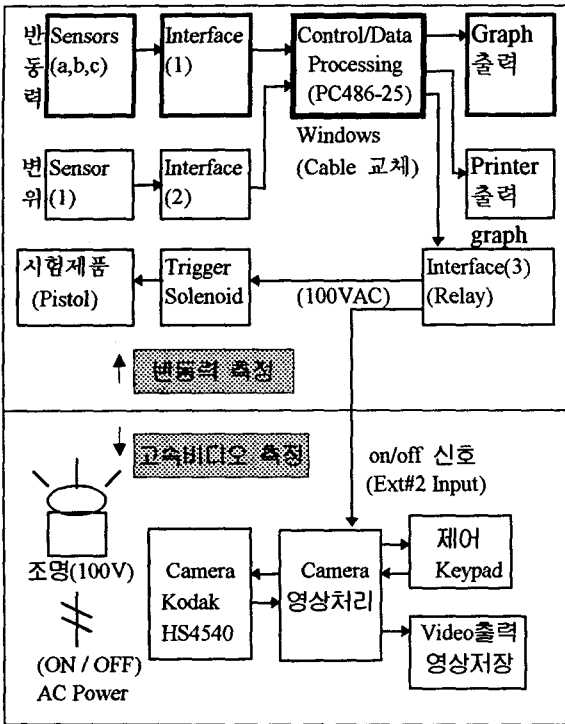
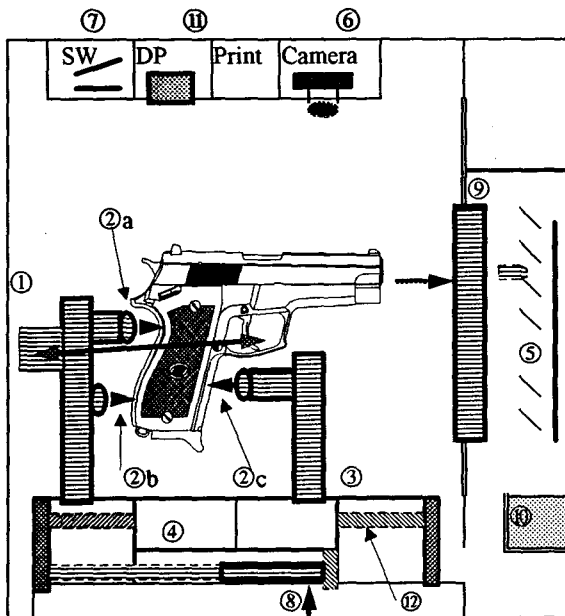


Fig. 1



① Trigger Solenoid      ② Load cell  
③ Clamp                      ④ Base Plate (Bed)

- ⑤ Bullet Trap (Plate)
- ⑥ 고속 카메라
- ⑦ Triggering Switch
- ⑧ Linear Transducer
- ⑨ Wood Plate
- ⑩ 탄알 받이
- ⑪ Data Recorder /Processor
- ⑫ Spring

Fig 2

### 2-2. 장치 사양

시험용으로 개발된 장치 및 관련장비의 사양은 Table 1. 과 같다.

Table. 1 Specification of test equipment

구분	특성	비고
1. Controller	IBM-PC Program Triggering Visual Basic by Mouse	SVGA
2. 하중계 (Load Cell)	Force Bandwidth	0 ~ 1,000 lbs ring type 70 kHz
3. 변위계 (LVM-110)	최대변위 Bandwidth	± 100 mm Lucas control ≥ 2kHz
4. Sliding Bed	Bed mass Spring K	9.914kg 0.36kg/mm
5. Camera & Processor	Model Image sensor 기록방식 저장용량 저장속도	Kodak HS4540 192 x 239 pix DRAM 1,000 frames 400 ~ 4800(full fr.) ~ 58,000 (split fr.)
6. Trigger Solenoid	Stroke Force	≥ 15mm ≥ 3 kgf

○ Video Camera 구동신호 ==> External syn. 접속

### 3. 시험 측정 DATA

#### 3-1. 특성치수

본 시험장치는 Spring-Mass 운동특성을 이용한 측정으로서 다음관계에서 후퇴에너지를 계산하게 된다.

$$\begin{aligned}
 K.E + P.E &= \text{const.} \\
 -KX + Ma &= F \\
 E &= 0.5MV^2 + 0.5KX^2
 \end{aligned}$$

여기서 M은 측정장치의 SLIDING 전체질량으로

$$M = 9.914(\text{BED}) + 0.8\text{kg}(\text{Pistol}) = 10.7\text{kg}$$

이며 K는 Recoil 스프링 상수로서 Sliding Bed에 2개의 스프링을 직렬로 배치하여

$$K = 0.36 \text{ kg/mm}$$

또한 X는 Sliding Bed의 변위

a 는 Sliding Bed의 가속도를 표시한다.

시험에 사용한 샘플(Pistol) 특성은 Table 2 와 같다.

Table 2. Measured data of Test samples (Pistol spec)

구분 (모델)	Slide후 퇴거리	Slide 무게	BBL 무게	총기 무게	총구 속도	Recoil Sp. k	비고 (구경)
	mm	gram	gram	gram	fps	kg/mm	
DH380	36.5	275	~	680	910	0.14	.380
BRG380	39.6	240	~	654	(910)	0.14	"
W-PPK/S	35.2	215	~	651	(910)	0.13	"
KBI-R61	33.2	231	~	571	(910)	0.08	"
DP51	47.0	308	80	795	(1157)	0.08	9mm
DP51Mk2	47.0	327	98	832	(1157)	0.08	"
DH40	47.0	334	85	864	883	0.08	.40
SIG229	49.4	391	82	914	940	0.06	"
DH45Mk2	52.9	396	120	974	833	0.14	.45
Ruger 90	52.9	430	119	955	(895)	0.05	"
Colt 1090	55.0	369	94	1085	830	0.06	"

\* 탄약 구경별 특성(SAAMI규격)

탄자 질량 : 총구속도(표준총열)

.40 = (S&W.40)	= 155grain	= 1120 fps
.380 = (380AUTO)	= 90	= 910
9mm = (9 x 19mm)	= 115	= 1157
.45 = (45AUTO)	= 230	= 895

### 3-2 충격 측정 DATA

센서에서 읽은 반동력 Data는 샘플링주기에 따른 3개 위치의 하중값, 1개의 선형변위값이 수치Data 및 그래프로서 출력되며 (샘플 예: Fig.3), 출력된 각 Pulse (충격 Peak) 위치에 따른 시간을 판독하여 Slide, Barrel의 운동속도 및 에너지를 측정/계산하게 된다. (Table 3 참조)

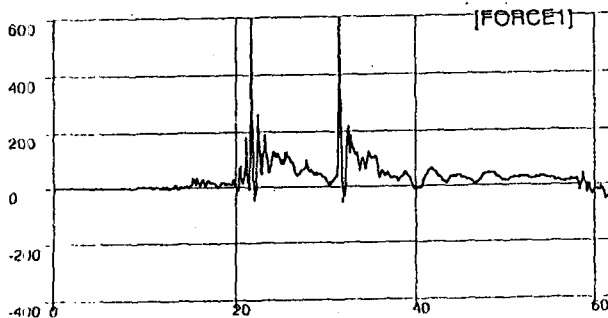


Fig. 3 Recoil Force curve (sample)

x-axis = time (msec) y-axis = force (lb)

Table 3. Time and Velocity table of Slide (Pistol)

구분 (모델)	t <sub>1</sub>	t <sub>0</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	t <sub>4</sub>	V3 (m/s)	V4 (m/s)	BED 후퇴 (mm)	에너지 (kg-mm)
DH380	0	/	5.3	/	22	6.9	2.2	12.8	29.5
BRG380	0	/	5.3	/	28	7.5	2.4	12.5	28.1
W-PPK/S	0	/	5.4	/	25	6.5	1.8	14.0	35.3
KBI-R61	0	/	5.0	/	24.8	6.6	1.7	13.4	32.3
DP51Mk2	-0.9	0	9.4	36	43	4.3	1.4	19.3	67.1
DH40	-2	0	7	33	38	5.8	1.5	24.9	111.6
SIG229	-6	0	7.7	42	47	5.6	1.3	27.4	135.1
DH45Mk2	(-1)	0	8.3	-	(-)	5.7	-	29.0	151.4*
Ruger 90	"	0	9.0	44	49	5.1	1.3	31.4	177.5
Colt 1090	"	0	6.8	-	42.6	7.3	1.5	31.0	173.0

Sampling frq. = 83 kHz

t<sub>1</sub> : Slide이동시작(msec)

t<sub>0</sub> : 총열정지시각(msec)

t<sub>2</sub> : Slide 최대후퇴(msec)

t<sub>3</sub> : 총열전진시각(msec)

t<sub>4</sub> : Slide전진완료(msec)

V3 = Slide최대후퇴거리-총열정지거리) / t<sub>2</sub>

V4 = (Slide최대후퇴거리) / (t<sub>4</sub> - t<sub>2</sub>)

후퇴 에너지 : 고체 마찰력 무시

### 3-3. VIDEO 기록분석

고속비디오 촬영 (9500fps 속도) 결과에 의한 운동 특성 분석결과는 Table 4 와 같다.

Table 4. Slide Vel. analyzed from V-CAM records of Slide(Pistol)

구분 (모델)	T1	T3	T4	SL전진 T5	SL 후퇴 V1	SL 전진 V2
DH380	-0.0235 sec	-0.0170 sec	-0.013 sec	-0.0015 sec	6.9 m/sec	3.17 m/sec
BRG380	-0.0245	-0.0184	-0.014	+0.0045	6.5	2.14
W-PPK/S	-0.0220	-0.0175	-0.012	+0.003	7.8	2.34
KBI-R61	-0.028	-0.0235	-0.0175	-0.0038	7.4	2.42
DP51Mk2	-0.0280	-0.0160	-0.0135	+0.013	4.3	1.7
SIG229	-0.028	-0.0180	-0.010	+0.016	5.6	1.4
DH45Mk2	-0.021	-0.0113	-	(S/Stop)	4.8	-
Ruger90	-0.0265	-0.0155	-0.012	+0.025	4.2	1.4
Colt1090	-0.0272	-0.0195	-0.016	+0.0175	6.5	1.6

단위=sec T1 = firing

T2 = case eject

T3 = recoil position

T4 = delay

V1 = (SLIDE운동거리) / (T3-T1)

V2 = (SLIDE운동거리) / (T5-T4)

### 3-4 시험결과 분석

이상에서 본 시험장치 개발 및 시험을 통해 다음과 같은 결과를 얻었다.

(1) 권총 충격측정시 신뢰할 수 있는 Peak값을 얻기 위해서는 각 하중계(load cell)에 대해 최소 10kHz 이상의 샘플링측정주기가 필요하였는데 이는 권총 발사시 Slide의 후퇴-전진에 소요되는 시간이 40~60msec 소요되고 Slide 및 Barrel의 후퇴 충격순간의 Rise Time (Pulse 최고점 도달시간)을 고려할 때 이하의 값일 때는 신뢰도가 급격히 저하됨을 알 수 있다.

#### (2) DH380의 충격값 및 Slide 후퇴/전진속도 평가

구 분 (모델)	Slide후퇴 f (Peak)	Slide후퇴 v (ave)	Slide전진 v (ave)	후퇴 E (kg-mm)
DH380	1382.4 lb	6.9 m/sec	3.17 m/sec	29.5
BRG380	787.9 lb	6.5 m/sec	2.14 m/sec	28.1
W-PPK/S	785.6 lb	7.8 m/sec	2.34 m/sec	35.3
KBI-R61	1432.2 lb	7.4 m/sec	2.42 m/sec	32.3

- \*1. 운동속도측정은 고속비디오 측정결과 기준임.
- \*2. Peak충격값은 센서의 샘플링  $f=20.8$  kHz에서의 측정값임.
- \*3. Slide 후퇴속도는 동일구경에서 Slide무게와 반비례하고 총구속도에 영향을 미치는 약실가공 정밀도에도 영향이 있는 것으로 판단됨.

(3) Max. Peak충격값 및 후퇴에너지 비교그래프를 그리면 Fig. 4 와 같다. 그래프에서 보듯이 후퇴에너지는 탄약(구경)별로 대별될 수 있으나 9mm 구경 이상일 경우 같은 구경에서도 상당한 편차를 보이고 있는데 이는 총기 모델별로 약실잠금-Recoil 구조가 상이한 데 연유한 것으로 판단된다. 또한 최대반동력(Peak Recoil Force)은 탄약위력(구경)보다는 약실잠금구조에 따른 변화가 크며 이는 .380구경은 Simple Recoil구조로서 약실압력 발생순간 가스활대가 잠금이 풀리는 반면 9mm 이상 구경에서는 Short Recoil 구조로서 단행정(수 mm) 후퇴하는 동안 Slide와 Barrel 이 약실을 밀폐한 채로 약실압력이 어느정도 감소한 뒤 Slide가 후퇴운동하는 특성에서 유추되는 결과와 유사한 결과를 보인다.

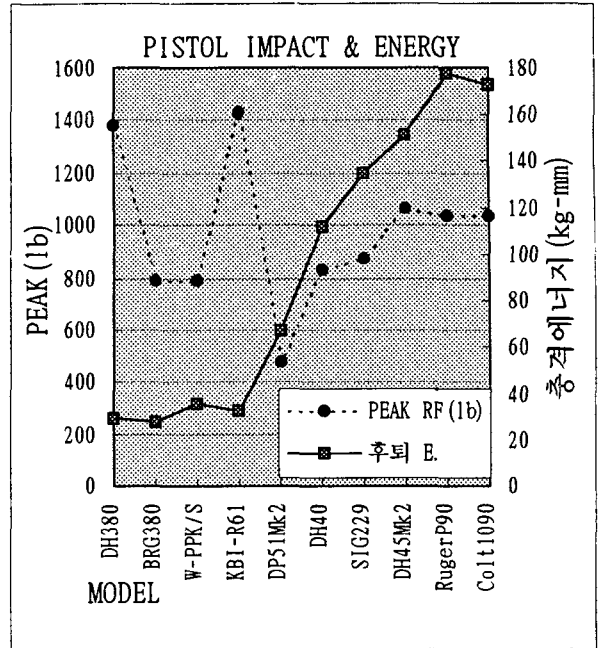


Fig. 4 Comparison of Peak Recoil Force

### 4. 결론 및 고찰

Pistol의 Recoil Force 측정장치를 개발함으로써 권총사격시 구경별, 모델별 Slide 및 Barrel의 후퇴시 반동충격량(3점 위치) 및 상대적인 후퇴에너지를 비교분석 할 수 있었고 고속비디오 카메라를 이용하여 Triggering 순간의 운동부품에 대한 작동특성을 확인할 수 있었다. 또한 하중계, 변위계 및 고속비디오 카메라의 작동을 권총 격발순간과 동기화시킴으로서 짧은 순간(약 0.2초)동안의 효율적인 측정이 가능하였다.

### 5. 참고문헌

- (1) TOP 3-2-826 ; US Army Test and Evaluation Command
- (2) AMSTE-RP-702-102 (TOP 3-2-826) "Kinematic Tests of Small Arms"
- (3) Gay, H. P., "Displacement-Time Recorder" Ballistic Research Lab Report 610, June 1946.
- (4) 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.