

〈論文〉

壓力, 溫度 및 濕度的變化가 小銃彈道에 미치는 影響

李興周*·全雲鶴*·郭潤根*

(1975年 1月 31日 接受)

The Effect of Changes in Atmospheric Pressure, Temperature and Humidity on the Exterior Ballistics of a Small Rifle

by

Hung Joo Lee, Un Hack Chun and Youn Kean Kwak

Abstract

The exterior ballistics of small rifles must be analyzed for the shooter and coach who are seriously interested in attainment of maximum performance in the art of rifle marksmanship. It provides also a basic reference material for the designers of rifles having better hitting rates.

The exterior ballistics are computed using a state vector analysis and presented to facilitate use by individuals according to the atmospheric conditions. The ballistics are changed by the pressure, temperature and humidity of the air.

1. 序 論

科學的인 射擊練習과 訓練指導를 爲해서 뿐만 아니라 훌륭한 小銃設計를 爲해서는 彈道の 特性은 多角的인 側面에서 解析되어야 하는 바 지금까지는 標準大氣下의 小銃彈道の 特性과 上, 下向 射擊時의 彈道變化만이 研究되었을 뿐이다 [1-9]. 그러나 大氣條件의 變化, 即 大氣의 溫度, 濕度 및 壓力의 變化에 따른 小銃彈道の 特性이 크게 달라질 것이므로 이에 대한 研究가 必히 이루어져야 한다. 따라서 本 研究에서는 大氣의 溫度 濕度 및 壓力의 變化에 따른 小銃彈道の 變化를 理論的으로 規明하여 小銃射擊術向上에 이바지하고 小銃設計에 重要한 基礎資料를 提供하기 위한 것이다.

2. 彈道計算

彈道計算을 위하여 彈道要素로 부터 標準彈度方程式

* 正會員, 陸軍士官學校

을 求하기 前에 Fig. 1에서 보는 바와 같이 原点에서 水平軸을 x軸, 垂直軸을 y軸으로 하고 Newton의 運動方程式을 適用하면 다음과 같이 된다 [5].

d^2x/dt^2 = - pi/8 * C0*d^2/m * rho * V * dx/dt

d^2y/dt^2 = - pi/8 * C0*d^2/m * rho * V * dy/dt - g

여기서 使用된 記号는 다음과 같다.

- t = 時間(sec)
C0 = 抗力係數
rho = 大氣의 密度(kg/m^3)
d = 彈子의 最大直徑(m)
m = 彈子의 質量(kg)
g = 重力의 加速度(m/sec^2)
V = 彈子의 瞬間速度(m/sec)

方程式 (1) 과 (2) 를 풀기 위한 必要한 初期條件은 다음과 같다.

(1) t = 0 일 때 dx/dt = V0 * cos theta0

dy/dt = V0 * sin theta0

② $x=0$ 일 때 $y=-y_0$ 이다.
 여기서 V_0 는 彈子の 初期速度이고 θ_0 는 射角이며 y_0 는 原点에서 基點까지의 垂直距離를 말한다.

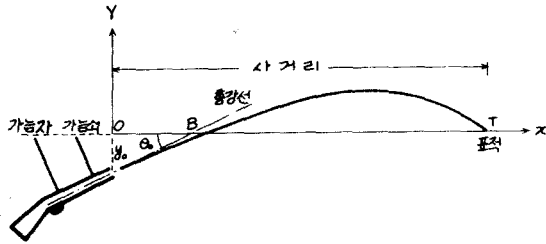


Fig. 1. The Ballistic Elements of a Small Rifle

標準方程式 (1) 과 (2)는 特別한 경우를 除外하고는 解析的인 方法으로 解를 求할 수 없으므로 小銃彈道計算에 State Vector Analysis를 導入하여 다음과 같이 計算할 수 있다[5].

$$x(t) = Q(t-t_0) X(t_0) \dots\dots\dots (5)$$

$$y(t) = Q(t-t_0) Y(t_0) + Q \dots\dots\dots (6)$$

여기서 使用된 記号는 다음과 같다.

$$Q(t-t_0) = \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{a}(e^{a(t-t_0)} - 1) \\ 0 & e^{a(t-t_0)} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (7)$$

$$Q = \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (8)$$

$$q_1 = -\frac{g}{a^2} [e^{a(t-t_0)} - a(t-t_0) - 1] \dots\dots\dots (9)$$

$$q_2 = -\frac{g}{a} [e^{a(t-t_0)} - 1] \dots\dots\dots (10)$$

$$a = -\frac{\pi}{8} \frac{C_D d^2}{m} \rho V$$

$$X(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} \dots\dots\dots (11)$$

$$Y(t) = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \end{bmatrix} \dots\dots\dots (12)$$

$x_1(t)$ = 時間 t 까지 彈子が 水平으로 移動한 距離

$x_2(t)$ = 時間 t 에서 彈子の 水平移動 速度

$y_1(t)$ = 時間 t 까지 彈子が 垂直으로 移動한 距離

$y_2(t)$ = 時間 t 에서 彈子의 垂直移動 速度

t_0 = 各 瞬間에서의 Backward Time 이다.

彈道를 計算하기 위한 方程式 (1) 과 (2)에서 使用된 大氣의 密度 ρ 는 壓力 溫度 및 濕도에 따라서 變化하며 露點(dewpoint)에서의 蒸氣壓(vapor pressure of moisture)과 溫度의 變化에 따른 大氣의 密度는 方程式 (13)에 의하여 求할 수 있다[10].

$$\rho = 1.2929 (273.13/T) [(B - 0.3783h) / 760] \dots\dots (13)$$

여기서 T 는 絶對溫度 °를 나타내며 B 는 大氣壓力으로 mmHg로 表示된 量이며 h 는 大氣中에서의 蒸氣의

分壓을 mmHg로 나타낸 量이다. 大氣中에서의 蒸氣의 分壓은 露點에 따라 달라지며 露點과 蒸氣 分壓의 關係를 圖表로 表示하면 Table1과 같다[10].

Table 1. Vapor Pressure of Moisture Vs Dew Point

Dew Point (°C)	Vapor Pressure (mmHg)	Dew Point (°C)	Vapor Pressure (mmHg)
-50	0.029	1	4.92
-45	0.054	2	5.92
-40	0.096	3	5.68
-35	0.169	4	6.10
-30	0.288	5	6.54
-25	0.480	6	7.01
-24	0.530	7	7.51
-23	0.585	8	8.04
-22	0.646	9	8.61
-21	0.712	10	9.21
-20	0.783	11	9.85
-19	0.862	12	10.52
-18	0.947	13	11.24
-17	1.041	14	11.99
-16	1.142	15	12.79
-15	1.252	16	13.64
-14	1.373	17	14.54
-13	1.503	18	15.49
-12	1.644	19	16.49
-11	1.798	20	17.55
-10	1.964	21	18.66
-9	2.144	22	19.84
-8	2.340	23	21.09
-7	2.550	24	22.40
-6	2.778	25	23.78
-5	3.025	26	25.24
-4	3.291	27	26.77
-3	3.578	28	28.38
-2	3.887	29	30.08
-1	4.220	30	31.86
0	4.58		

大氣의 溫度, 濕度 및 壓力을 알면 方程式 (14)에 依하여 蒸氣의 分壓을 計算할 수 있으므로 方程式 (13)을

利用하여 大氣의 密度를 計算할 수 있으며 이를 使用하여 方程式 (1) 과 (2) 에서 小銃彈道를 求할 수 있다.

$$\text{蒸氣의 分壓} = \text{相對濕度} \times \text{水蒸氣의 飽和壓力} \dots\dots 14$$

한편 方程式 (1) 과 (2) 에서 쓰인 抗力係數 C_D 는 다음과 같이 求한다[4].

$$C_D = \frac{\text{Drag}}{\frac{1}{2} \rho V^2 S} \dots\dots 15$$

여기서 S 는 彈子의 最大斷面積이다. 이때 小銃과 같은 直射火器에서는 最大斷面積은 彈子의 重心과 垂直한 面의 斷面積과 같다[4]. 抗力係數는 彈子의 形態 및 速度에 따라서 變하며 實驗에 依하여 求한 抗力係數는 Fig. 2와 같다.

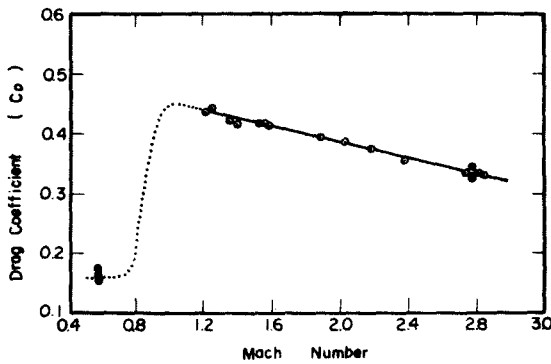


Fig. 2. Drag Coefficients

3. 彈道表

大氣의 溫度가 一定하고 修正壓力(B-0.3783h)이 變하는 경우에 Colt Semi-Automatic Rifle[4]의 彈道를 그림으로 表示하면 Fig. 3에서 10까지와 같다. Fig. 3은 大氣의 溫度가 -40°C 로 一定할 때 大氣의 壓力에서 露點에서의 蒸氣壓를 곱하여 修正壓力이 600mmHg 로 부터 790mmHg 까지 50mmHg의 壓力으로 增加할 때의 彈道를 射距離 250m까지 25m 간격으로 表示한 것이다. Fig. 3에서 볼 수 있는 바와 같이 修正壓力이 커지고 射距離가 멀어질 수록 下彈이 形成되는 傾向이 있다. Fig. 4는 大氣의 溫度가 -30°C 이고 修正壓力이 600mmHg 에서 790mmHg 까지 變할 때의 彈道를 射距離 250m까지 25m 간격으로 表示한 것이며 Fig. 5는 大氣의 溫度가 -20°C 이고 Fig. 6은 大氣의 溫度가 -10°C , Fig 7은 大氣의 溫度가 0°C 일 때의 修正壓力 600mmHg에서

790mmHg 까지 50mmHg의 壓力으로 增加할 때의 各 射距離에서의 彈道高이다. Fig. 8, 9 및 10은 大氣의 溫度가 各各 10°C , 20°C 및 30°C 에서의 修正壓力의 變化에 따른 各 射距離에서 彈道高를 나타낸다.

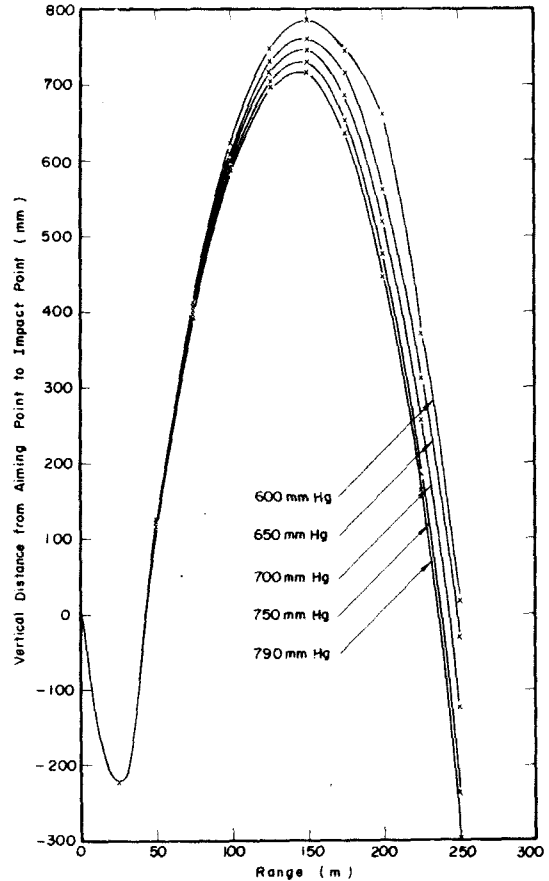


Fig. 3. The Ballistics of a Small Rifle due to the Changes of Corrected Pressure at 80°C Atmospheric Temperature

大氣의 修正壓力이 600mmHg 로 一定하고 大氣의 溫度가 -40°C 에서 30°C 까지 10°C 간격으로 增加하고 射距離가 250m 까지 25m 간격으로 增加할 때 彈道高를 圖表로 表示하면 Fig. 2와 같으며 修正壓力이 650mmHg 일 때는 Table 3, 700mmHg 일 때는 Table 4, 750mmHg 일 때는 Table 5, 790mmHg 일 때는 Table 5와 같다. Table 2로부터 5까지에서 볼 수 있는 바와 같이 修正壓力이 一定하고 大氣의 溫度가 增加할 수록 射距離가 增加함에 따라 上彈이 形成되는 傾向이 있다.

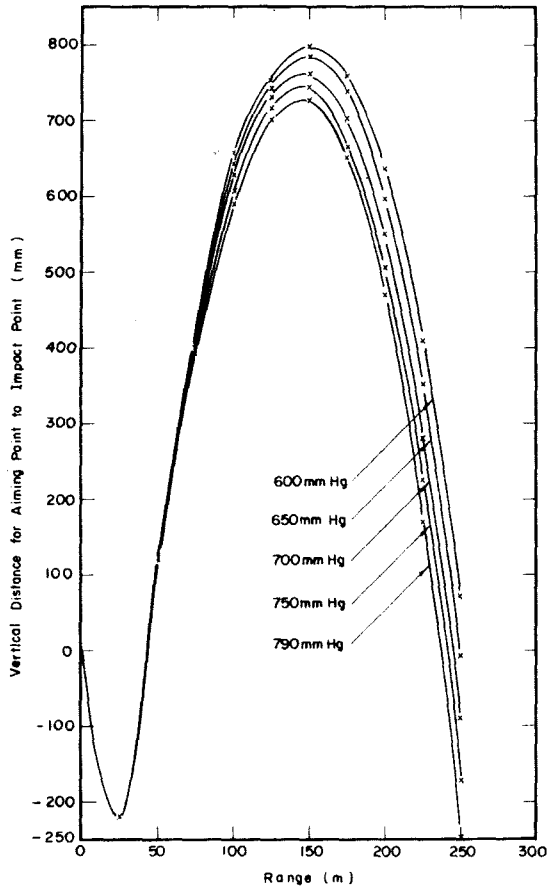


Fig. 4. The Ballistics of a Small Rifle due to the Changes of Corrected Pressure at 30°C Atmospheric Temperature

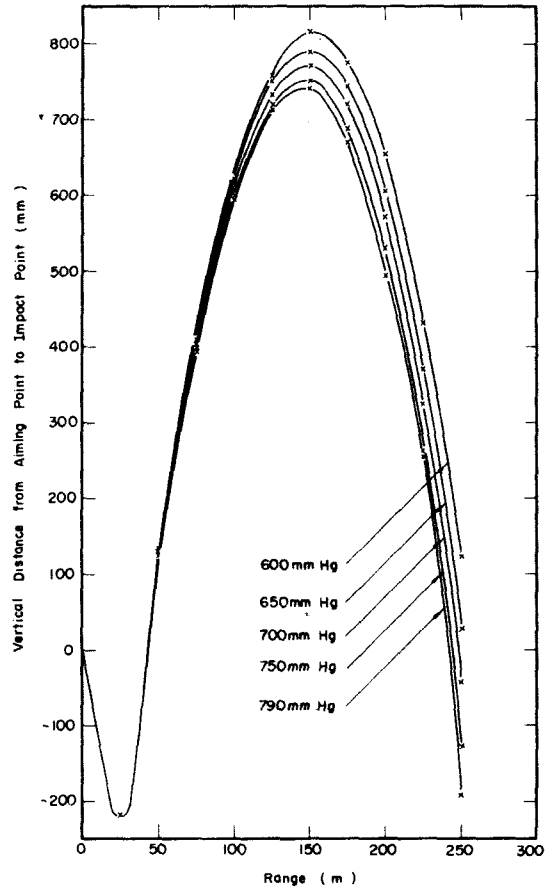


Fig. 5. The Ballistics of a Small Rifle due to Changes of Corrected Pressure at 20°C Atmospheric Temperature

Table. 2. The Ballistics of a Small Rifle due to the changes of Atmospheric Temperature at 600 mmHg

射距離(m) 溫度(°C)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
-40	-22.1	12.9	41.2	62.0	74.8	78.9	75.0	61.1	37.2	2.0
-30	-22.0	13.3	41.4	62.3	75.3	79.8	76.0	63.6	40.8	7.1
-20	-22.0	13.2	41.2	62.3	76.2	81.8	77.5	65.8	43.8	12.1
-10	-22.3	12.9	41.7	62.7	76.1	82.2	79.8	68.7	46.5	16.0
0	-21.9	13.4	42.2	64.0	77.7	83.3	82.0	70.2	49.6	19.3
10	-21.8	14.4	43.0	65.1	79.4	84.5	82.6	71.9	52.6	21.5
20	-21.7	14.1	43.2	64.4	78.6	85.5	82.5	72.8	53.3	24.5
30	-21.5	14.0	43.2	64.6	79.3	85.2	84.4	75.5	56.6	28.2

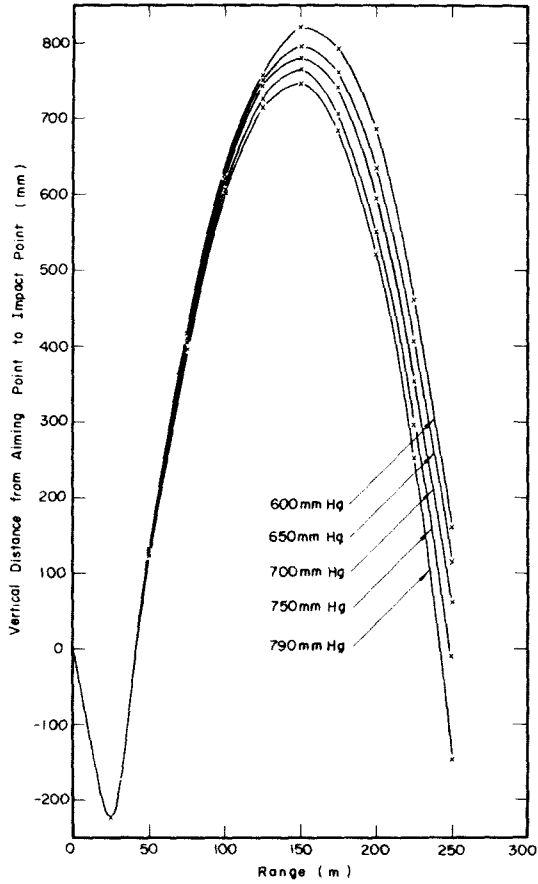


Fig. 6. The Ballistics of a Small Rifle due to the changes of Corrected Pressure at 10°C Atmospheric Temperature

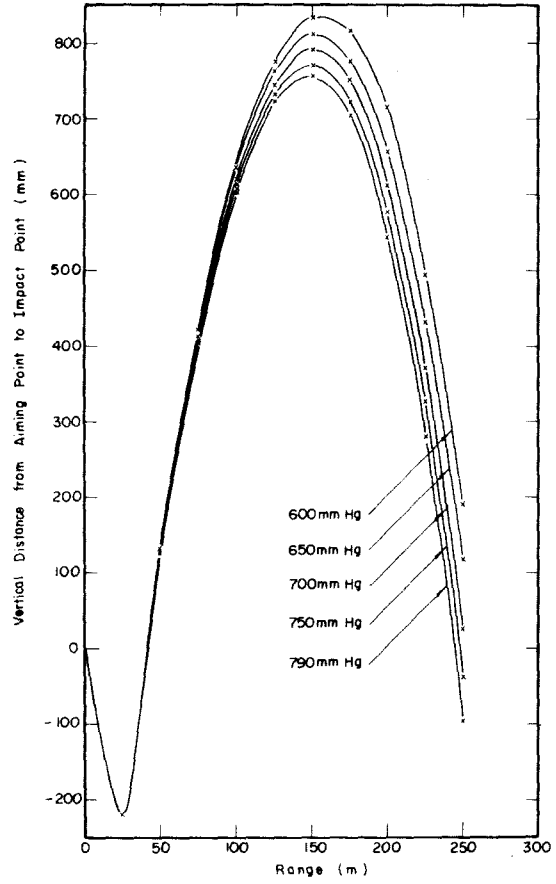


Fig. 7. The Ballistics of a Small Rifle due to the changes of Corrected Pressure at 0°C Atmospheric Temperature

Table 3. The Ballistics of a Small Rifle due to the changes of Atmospheric Temperature at 650mmHg

射距離(m) 溫度(°C)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
-40	-22.4	12.5	40.5	60.9	73.3	77.0	71.7	56.9	31.3	- 5.3
-30	-22.2	12.9	40.7	61.4	74.5	78.6	74.2	59.7	35.2	- 0.8
-20	-22.2	12.8	41.3	61.9	75.0	79.0	74.8	60.9	37.4	2.6
-10	-21.9	13.2	41.4	62.4	75.3	79.7	76.0	63.6	40.8	6.8
0	-21.8	13.4	41.3	62.3	76.5	81.3	77.9	65.6	43.2	11.7
10	-21.9	13.3	41.9	62.9	76.9	82.1	79.9	68.2	46.7	15.8
20	-22.0	13.8	42.2	63.7	77.7	83.8	81.4	70.4	50.1	18.3
30	-21.9	13.5	42.8	64.2	78.3	84.9	82.2	71.0	51.0	21.6

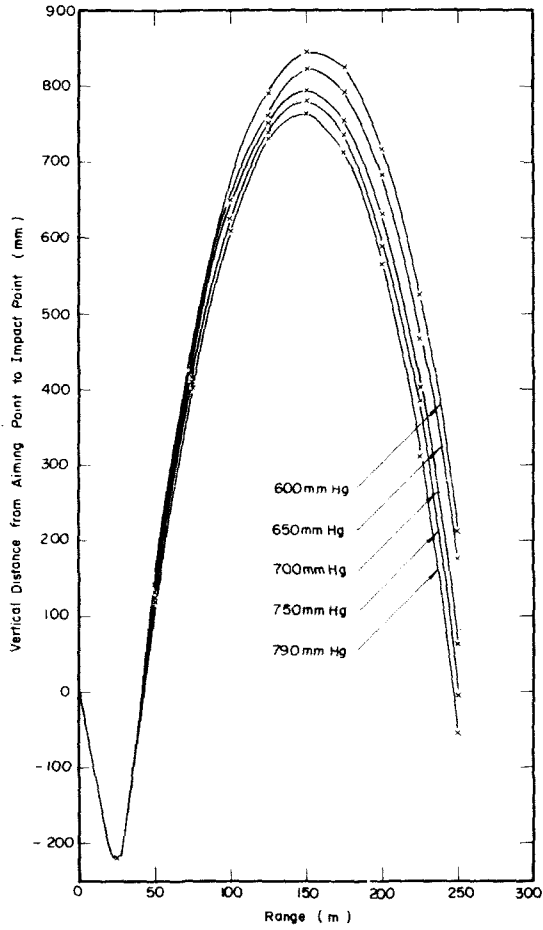


Fig. 8. The Ballistics of a Small Rifle due to the changes of Corrected Pressure at 10°C Atmospheric Temperature

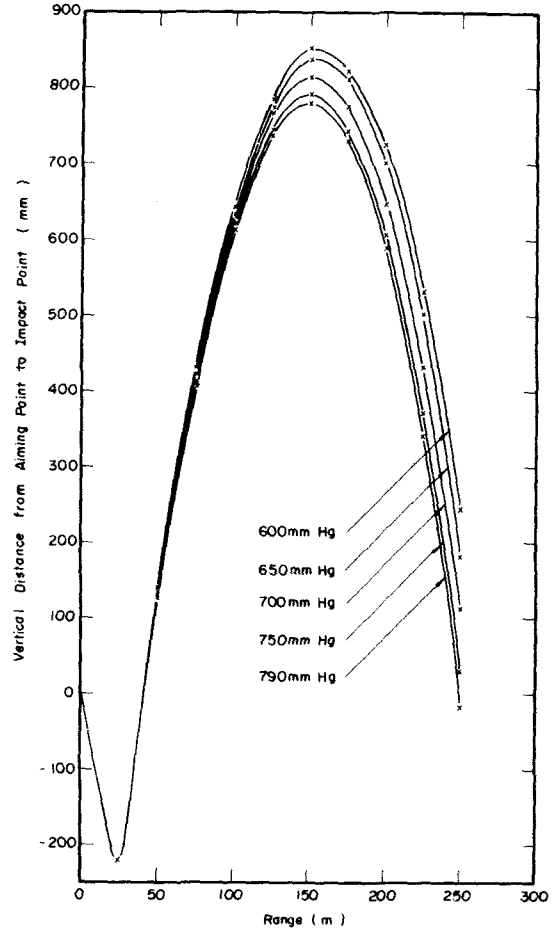


Fig. 9. The Ballistics of a Small Rifle due to the changes of Corrected Pressure at 20°C Atmospheric Temperature

Table 4. The Ballistics of a Small Rifle due to the changes of Atmospheric Temperature at 700mmHg

射距離 (m) 溫度 (°C)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
-40	-22.5	12.3	40.0	60.1	71.7	74.9	68.8	52.3	25.1	-14.5
-30	-22.4	12.6	40.4	60.9	73.0	76.6	70.8	55.2	28.7	-8.8
-20	-22.4	12.6	40.4	61.1	73.1	77.1	72.3	57.3	32.5	-4.0
-10	-22.1	12.9	40.9	61.9	74.5	78.4	74.0	55.6	35.2	-0.1
0	-22.1	12.8	41.2	61.8	75.0	79.2	75.1	61.0	37.5	3.0
10	-22.0	13.1	41.4	62.4	75.3	79.7	75.9	63.3	40.5	6.4
20	-22.0	13.2	41.4	62.2	75.8	81.3	77.9	65.0	43.1	11.6
30	-22.0	13.0	41.6	63.1	76.4	82.2	79.1	67.7	46.7	14.9

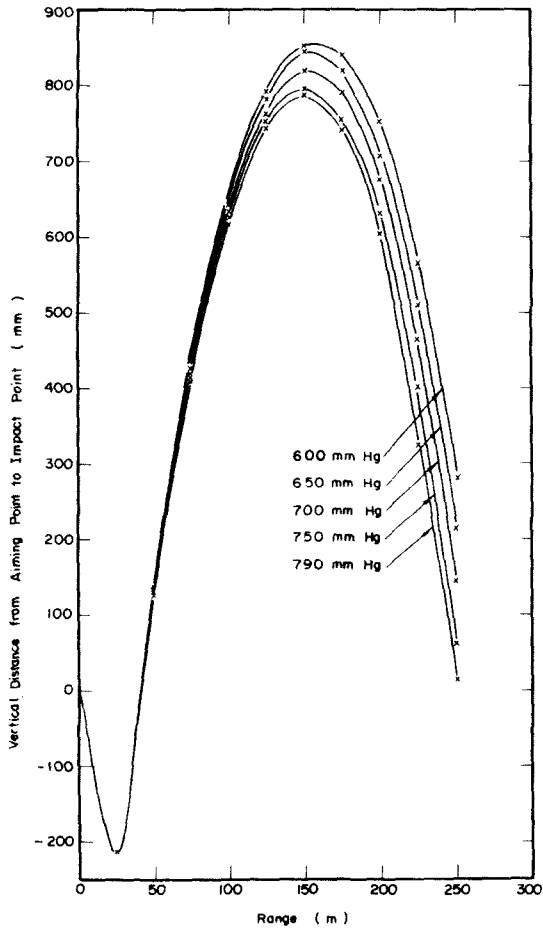


Fig. 10. The Ballistics of a Small Rifle due to the changes of Corrected Pressure at 30°C Atmospheric Temperature

Table 5. The Ballistics of a Small Rifle due to the changes of Atmospheric Temperature at 750mmHg

射距離 (m) 溫度 (°C)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
-40	-22.5	12.2	39.7	59.5	70.7	73.3	65.9	48.2	18.6	-23.2
-30	-22.4	12.3	39.8	59.9	71.5	74.5	67.7	50.9	23.0	-17.2
-20	-22.5	12.4	40.2	60.0	72.0	75.5	69.3	53.2	25.9	-12.9
-10	-22.3	12.7	40.3	60.9	73.0	76.6	70.8	55.3	29.6	
0	-22.5	12.6	40.6	60.8	73.4	77.3	72.4	57.5	32.7	-3.9
10	-22.0	13.1	41.4	62.4	75.3	79.7	75.9	63.3	40.5	6.4
20	-22.4	12.8	41.0	62.0	74.8	79.1	75.0	61.0	37.4	3.0
30	-22.2	13.1	41.4	62.3	75.3	79.7	75.7	63.1	40.3	6.1

Table 6. The Ballistics of a Small Rifle due to the changes of Atmospheric Temperature at 790mmHg

射距離 (m) 溫度 (°C)	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250
-40	-22.5	12.1	39.5	59.2	70.3	72.0	63.9	44.8	13.9	-30.0
-30	-22.6	12.2	39.8	59.4	70.6	72.8	65.4	47.2	17.9	-24.4
-20	-22.4	12.3	39.8	59.7	71.5	74.2	67.2	49.8	21.7	-19.1
-10	-22.5	12.2	40.0	60.1	71.7	74.9	68.8	52.4	25.1	-14.5
0	-22.3	12.6	40.2	60.6	72.9	76.4	70.6	54.7	28.1	-9.3
10	-22.4	12.4	40.5	61.0	73.3	76.9	71.7	56.8	31.2	-5.4
20	-22.1	12.8	40.9	61.3	74.3	78.5	73.5	59.1	34.0	-1.3
30	-22.2	12.7	41.0	61.7	74.9	79.2	74.3	60.6	36.2	1.8

3. 結 論

小銃彈道는 大氣壓이 一定할 때는 溫度가 上昇함에 따라 大氣의 密度를 減小시키어 彈着群이 相對的으로 위로 형성되며 溫度가 一定할 때는 壓力이 增加함에 따라 密度가 커져서 彈着群이 相對的으로 아래에 형성된다. 露點(dew point)이 增加할 수록 蒸氣의 分壓(vapor pressure of moisture)은 커져 大氣의 密度는 작아지며 相對的으로 上彈이 형성된다. 相對濕度가 커질수록 蒸氣의 分壓은 커지며 따라서 大氣의 密度는 減小하고 上彈이 형성된다. 특히 온도변화범위가 $\pm 20^{\circ}\text{C}$ 정도이고 압력변화범위가 $\pm 20\text{mmHg}$ 정도인 한국시형에서는 사거리 250m에서의 수직탄도고의 변화는 $\pm 16\text{mm}$ 정도임을 알 수 있다.

參 考 文 獻

1. 黃海雄, “小銃의 銃腔照準,” 陸士論文集 第十四輯, pp. 179~189, 1975
2. 黃海雄, 朴喜鎔, “小銃의 零點設置,” 陸士論文集 第十六輯, pp. 119~130, 1976
3. 黃海雄, “零點射擊時 射距離의 計算 구명,” 陸士新報, 第167号, 육사신문사, 1976
4. 李興周, 張源弘, “小銃의 上下向 射擊時 彈道學上의 垂直偏差,” 機械學會 論文集, 第2卷2号, pp. 47~51, 1978.
5. 李興周, 張源弘, “狀態變數를 利用한 小銃彈道 計算,” 陸士論文第18集, 1978.
6. McAllister, L. C., “A Compendium of Ballistic Properties of Projectiles of Possible Interest in Small Arms “APG, Report No. 1532, 1971.
7. Braun, W. F., “Aerodynamic Data for Small Arms Projectiles,” BRL Report No. 1630, 1973.
8. Miller, A., A Better Rifle Cartridge,” Ordnance, 1972.
9. Hayes, J., “Elements of Ordnance,” John Wiley & Sons, Inc., 1937.
10. Handook of Chemistry and Physics, 55ed, p. F-9, p. E-44, 1974~1975.