

野戰砲兵 武器體系의 速度誤差 許容限界

(Acceptable Velocity Errors Tolerance For Field Artillery Weapon System)

閱 啓 了*·裴 道 善**

ABSTRACT

The artillery fire is characterized by great damage that can be inflicted simultaneously to an area through concentrated firing. The field artillery guns used in R. O.K. Army are generally old. Thus high values of their velocity errors cause wide dispersion of shell landings. Therefore effects of the concentrated firing is lessened.

In this paper a general model which considers all error factors involved in firing in general, is established first. Then from this a basic model which includes the errors involved in concentrated firing only, such as the ballistic error, velocity error, target density function, and damage function, is extracted.

Among many weapon systems now in use a specific one called gun 'A' is selected and its concentration effects are measured through computer simulation. The results show that as the velocity error of a battery increases, its target coverage capability, i.e. concentration effect, decreases.

Therefore the need arises for the field artillery commander to know beforehand characteristics, i.e. velocity errors, of the guns in his unit and also to carefully examine the problem of battery arrangement with the gun characteristics in mind in order to maximize the damage effects of his artillery unit.

1. 序 論

砲兵射擊은 1發로 標的을 命中 시키는 데 意義가 있는 것이 아니라, 砲隊, 大隊, 師團全砲兵, 또는 軍團全砲兵의 集中射擊으로 目標地域을 制壓(Cover)하는 데 있다. 따라서 砲隊의 彈着點이 一定地域內에 集中되지 않고 散發的으로 落下되면 射擊效果는 減少된다.

製作年度가 오래된 各砲의 速度誤差(Veloci-

ty error; V.E.)는 相對的으로 커서 이들로 構成된 編制單位部隊에서 射擊할 경우 彈着點은 散發的으로 分布되어 射擊效果가 減少되므로 本研究는 砲兵射擊效果를 增進시키고 野戰砲兵武器體系의 目標制壓能力을 向上시키는 砲隊의 V.E. 許容限界를 決定하는 方法論을 開發하고자 한다.

野戰砲兵의 最小射擊單位는 砲 6門으로 構成된 砲隊이고 모든 射擊諸元은 砲隊單位로 計算되며 特別한 指示(V.E. 修正 또는 位置修正)가 없는 한 6門의 砲는 同一한 射擊諸元으로 射擊을 한다.

* 國防部

** 韓國科學院

또한 作戰中 大部分의 射擊은 觀測將校가 目標을 確認하고 射擊을 要請하여 이루어지는 任已標的 射擊이며, 이때의 射擊方法은 처음부터 6門의 砲가 全部 射擊하는 것이 아니고 中央砲(3番砲와 4番砲) 또는 3番砲로 射擊을 하여 砲彈의 彈着地點을 目標中央까지 誘導한 後에 效力射段階에서 砲隊 6門의 砲가 調整射擊을 한 中央砲 또는 3番砲의 射擊諸元으로 同時에 平行射向東으로 射擊을 한다.

本研究는 任已標的射擊의 경우를 對象으로 하며 研究結果는 모든 集中射擊에 適用 될 수 있다.

2. 一般目標制壓모델 (General Target Coverage Model)

目標確認에서 射擊完了段階 사이에 일어나는 모든 誤差(delivery error)는 目標制壓에 많은 영향을 미친다. 이러한 誤差要素를 包含한 一般的인 目標制壓 모델을 設定하겠다.

誤差要素들 間의 關係는 그림-1과 같다.²⁾

그림-1에서 (u, v) 는 目標地域內에서 參照點(reference point)을 包含한 實際의 目標位置로서 目標地域의 中心點을 表示한다.

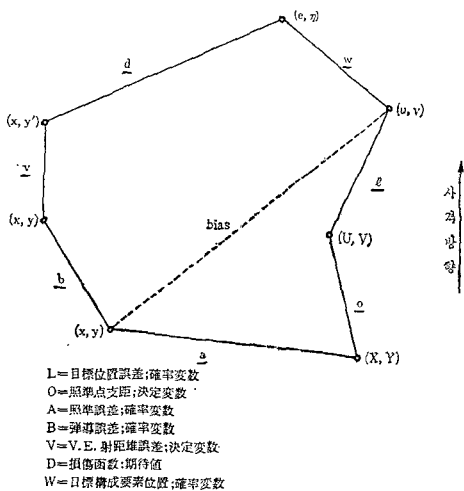


그림-1 體系誤差간의 關係

地形에서 目標을 確認하고 地圖에서 그 地點의 座標를 찾는 方法 및 裝備에 따른 誤差

와 目標確認과 砲彈이 그 地點에 落下하는 時間 사이에 目標의 移動으로 因하여 實際로 目標地點의 座標는 參照點인 (U, V) 로 생각할 수 있다. 그래서 (u, v) 와 (U, V) 사이의 距離 l 를 目標位置誤差(target location error)라고 하며 이것은 $l(U, V; u, v) dU dV$ 인 確率密度函數(Probability density function)²⁾를 갖는다.

그런데 경우에 따라서 敵과 我軍이 近接하여 있을 때는 我軍의 安全을 고려하여 要求되는 彈着點의 中心은 參照點 (U, V) 이 아니고 새로운 地點인 (X, Y) 가 選定될 수 있다.

이때 (U, V) 와 (X, Y) 의 距離 o 를 照準點支距(aim point offset)라고 하며 이것은 決定變數(deterministic variable)이다. 特殊한 경우를 除外하고 一般的으로 $o=0$ (零) 즉 $(U, V) = (X, Y)$ 이다.

다음에 測地(survey), 射擊諸元 算定上의 誤差, 氣象條件과 固定的的偏倚(fixed bias)에 對한 修正의 誤差 때문에 實際 彈着點의 平均中心(actual mean center of impact)은 要求되는 彈着點의 中心으로부터 誤差가 發生한다. 實際 彈着點地點의 平均中心을 (\bar{x}, \bar{y}) 라고 하면 (X, Y) 와 (\bar{x}, \bar{y}) 의 距離 a 를 照準誤差(aiming error)라고 하며 이것은 $a(\bar{x}, \bar{y}; X, Y) dx dy$ 인 確率密度函數를 갖는다.

다음 同一한 射擊諸元으로 계속해서 많은 射擊을 했을 때의 彈着點의 中心 (x, y) 은 彈導誤差(ballistic error) 때문에 彈着點의 中心附近에 分散되어 落下한다. 이때 (\bar{x}, \bar{y}) 와 (x, y) 의 距離 b 를 彈導誤差라고 하며 이것은 $b(x, y; \bar{x}, \bar{y}) dx dy$ 인 確率密度函數를 갖는다.

現在 裝備하고 있는 各種砲 또는 새로 裝備된 砲라 할지라도 各砲의 特性은 同一하지 않으므로 이로 因해서 各砲의 速度上의 誤差(Velocity error; V.E.)는 항상 存在한다. 이러한 V.E. 때문에 彈着點은 射距離上에서 誤差가 發生한다. V.E. 때문에 일어나는 彈着點의 中心을 (x, y') 라고 하면 (x, y) 와 (x, y') 의 距離 v 를 V.E. 射距離誤差(V.E. range error)라고 하며 이것은 射距離上에만 나타나는 決定變

2) 편의상 모든 誤差는 確率密度函數를 갖는 確率變數(random variable)라고 가정한다.

數이다.

또한 砲兵射擊의 目標은 大部分 地域目標이므로 目標의 構成要素는 目標의 中心點을 中心으로 分布되어 있다.

따라서 目標의 中心點(u, v)에서 目標의 構成要素位置(target element location)인 (ϵ, η)까지의 距離 w 는 $w(\epsilon, \eta; u, v) d\epsilon d\eta$ 인 確率密度函數를 갖는다. 이 函數는 點(u, v)를 中心으로 目標가 地域의 中心으로 조금씩 增加하는 것을 나타내는 地域加重函數(area weighting function)를 表示한다고 볼 수 있으며 또한 點(u, v)를 中心으로 確率의 中心으로 分布되어 있는 目標構成要素의 目標密度函數(target density function)로 고려될 수도 있다.

다음 1發의 砲彈이 주는 目標構成要素에 대한 損傷(damage)은 彈着地點中心(x, y')과 目標構成要素(ϵ, η) 사이의 距離와 方向의 函數이다. 損傷은 實際로는 期待值(expectation)가 $d(\epsilon, \eta; x, y')$ 로 가정되는 確率變數이지만 損傷函數 $d(\epsilon, \eta; x, y')$ 는 이미 알고 있는 函數로 取扱한다.

다음에 偏倚(bias)는 實際의 目標地點(u, v)과 彈着地點의 平均中心(\bar{x}, \bar{y}) 사이의 距離이며 이것을 攻擊의 平均誤差距離(average miss distance for an attack)라고 定義한다. 이것은 2個의 確率誤差(random errors) l 및 a 와 決定支距(deterministic offset) o 를 包含하고 있다.

그러면 目標를 確認하고 射擊을 하여 目標構成要素에 豫想損傷(expected damage) \bar{f} 를 주는 一般目標制壓모델은 위에서 說明한 目標位置誤差 L , 照準點支距 O , 照準誤差 A , 彈導誤差 B , V.E. 射距離誤差 V , 目標構成要素位置 W , 그리고 目標構成要素에 對한 損傷函數 D 에 依하여 一般目標制壓式(general target coverage equation)은 式(1)과 같다.

$$\bar{f} = \iiint \iiint \iiint \iiint d(\epsilon, \eta; x, y') v(y'; y) b(x, y; \bar{x}, \bar{y}) a(\bar{x}, \bar{y}; X, Y) l(U, V; u, v) w(\epsilon, \eta; u, v) d\epsilon d\eta dU dV d\bar{x} d\bar{y} dx dy dy' \dots \dots \dots (1)$$

3. 基本 모델(Basic Model)

가. 모델 設定

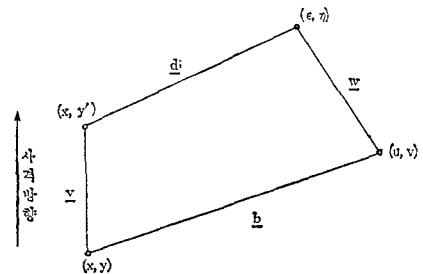
一般目標制壓모델은 目標確認으로부터 射擊을 하여 彈着點이 形成되는 段階까지에 發生하는 모든 誤差를 包含한 모델이다. 그런데 中央砲 또는 3番砲로 最初彈着點에서 目標地域 中心까지 誘導한 後에 砲隊集中射擊이 實施되므로 一般모델에서 目標位置誤差 L , 照準點支距 O , 照準誤差 A 는 調整(誘導) 射擊中에 修正補完되어 無視된다. 즉,

最初射擊時에 目標位置誤差, 照準誤差가 發生하여도 目標中心으로의 誘導射擊中에 全部修正되어 實際의 目標地域中心 (u, v)에 彈着點이 形成되어야만 砲隊射擊(效力射)이 實施된다. 또한 照準點支距 O 는 一般的으로 零(zero)이다.

따라서 砲隊集中 射擊時에 일어날 수 있는 誤差要素는 그림-2와 같이 各砲의 彈導誤差 B , V.E. 射距離誤差 V 와 目標構成要素位置 W , 그리고 目標構成要素에 대한 損傷函數 D 만이 고려된다.

그러므로 砲隊集中射擊時에 豫想損傷 \bar{f} 를 주는 基本目標制壓모델은 式(2)와 같다.

$$\bar{f} = \iiint \iiint d(\epsilon, \eta; x, y') v(y'; y) b(x, y; u, v) w(\epsilon, \eta; u, v) d\epsilon d\eta dx dy dy' \dots \dots \dots (2)$$



- B=彈導誤差; 確率變數
- V=V. E. 射距離誤差; 決定變數
- D=損傷函數; 期待值
- W=目標構成要素位置; 確率變數

그림-2 砲隊集中사격시 體系誤差間의 關係

나. 射擊誤差(delivery error)

野戰砲兵 武器體系에 依한 目標攻擊에는 많은 誤差가 發生한다. 이러한 誤差는 體系誤差(system error)와 彈導誤差의 2個의 範疇로 分類된다. 또한 砲隊集中射擊時에는 各砲의 砲口速度(muzzle velocity)가 相異하므로 V.E.射距離誤差가 發生한다.

體系誤差는 全般的인 武器體系에 依하여 發生하며 다시 照準誤差와 目標位置誤差로 分類된다.

照準誤差는 武器體系의 利用과 關聯되며 이러한 誤差는 理論的으로 修正除去할 수 있다. 즉,

充分한 時間, 努力 그리고 情報만 얻을 수 있다면 除去되고 修正 될수가 있다.

照準誤差를 發生시키는 誤差要素에는 武器體系 設計時에 存在하는 固定的 偏倚(fixed biases), 氣象變化에 依한 變動的偏倚(variable biases), 砲陣地 位置 測定 및 射擊圖版上에 標定 不正確으로 因한 測地 및 標定誤差(survey & mapping error) 등이 있다.

目標位置誤差는 標的獲得의 不確實性으로 因한 誤差로서 具體的인 發生原因은 目標觀測 및 標程誤差 그리고 標的獲得과 射擊途中에 標的의 移動으로 因한 誤差이다.

目標地域의 中心을 (u, v) 그리고 參照點을 (U, V) 하면 一定地域에 있는 目標에 對하여 一般的으로 l 은 式(3)과 같이 表示할 수 있다.

$$l(U, V, u, v)^3 = \begin{cases} 1; U=u, V=v \dots\dots\dots(3) \\ 0; U \neq u, V \neq v \end{cases}$$

또한 l 에 對한 다른 表現方法으로 一定地域 S 內에 矩形分布(uniform distribution)으로 가정하여 式(4)와 같이 表示한다.

$$l(U, V; u, v)^4 = \begin{cases} \frac{1}{S}; (U, V) \in S \dots\dots\dots(4) \\ 0; (U, V) \notin S \end{cases}$$

여기서 S 는 一般的으로 正方形, 長方形, 圓形, 橢圓形 그리고 戰術的, 幾何學的 形態를 갖는 것으로 看做한다.

回旋의 特性(convolution properties) 때문에 자주 使用되는 또 다른 形態는 正規分布로 가정하여 式(5)와 같이 表示된다.

$$l(U, V; u, v)^5 = (2\pi\sigma_U\sigma_V)^{-1} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\left(\frac{U-v}{\sigma_U} \right)^2 + \left(\frac{V-v}{\sigma_V} \right)^2 \right] \right\} \dots\dots\dots(5)$$

σ_U, σ_V ; 目標位置誤差의 標準偏差

다. 彈導誤差

同一한 口徑의 同一한 砲號의 砲彈을 同一한 砲에서 同一한 射擊諸元(孤角 및 偏角)으로 많은 射擊을 했을 때 砲彈은 同一한 地點에 落下하지 않고 一定한 形態로 分散되어 落下한다. 이러한 自然的인 遇然現象을 散布(dispersion) 形態라고 한다.

砲彈의 彈着點은 橫(偏角)과 縱(射距離)으로 散布된다. 散布는 固有誤差(inherent error)에 依하여 發生하는 것이며 人爲的 誤差에 依한 彈着點의 分散이 아니다. 人爲的인 誤差는 除去 또는 修正할 수가 있으나 固有誤差는 이것이 不可能하며 이러한 固有誤差로 散布가 發生한다.

散布가 發生하는 原因은⁶⁾

- ① 砲腔(main bore)內에서 사소한 變化
- ② 砲架(carriage)의 機械裝置의 不正確과 不完全한 固着性
- ③ 飛過中에 空氣抵抗의 사소한 變化 등이 있다.

彈導誤差는 彈着點의 平均中心에 對한 砲彈의 彈着中心의 散布距離를 말한다.

彈導誤差는 武器體系의 正確性을 決定하는 것이며 彈導誤差의 크기는 射表에 明示되어 있다.

많은 獨立變數의 合은 正規分布에 接近한다고 豫想할 수 있기 때문에 (中心極限의 定理, central limit theorem) 彈導誤差는 二變數 正規分布(bivariate normal distribution)를 갖는다고 看做할 수 있다.

二變數 正規分布의 一般式은 式(6)과 같다.

$$b(x, y; \bar{x}, \bar{y}) = (2\pi\sigma_x\sigma_y\sqrt{1-\rho^2})^{-1} \exp \left\{ -\left[\frac{(x-\bar{x})^2}{\sigma_x^2} - 2\rho\frac{(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sigma_x\sigma_y} + \frac{(y-\bar{y})^2}{\sigma_y^2} \right] / 2(1-\rho^2) \right\} \dots\dots(6)$$

여기서

$\bar{x}=x$ 方向의 彈着平均中心

$\bar{y}=y$ 方向의 彈着平均中心

3), 4), 5) 참고문헌 [2], pp. 15~16

6) 참고문헌 [5], pp. 16

$\sigma_x = x$ 方向 誤差의 標準偏差
 $\sigma_y = y$ 方向 誤差의 標準偏差
 $\rho = x$ 와 y 의 相關係數

(6)式에서 彈導誤差의 性質때문에 相關係數는 보통 “零”이 아니지만 극히 작아서 무시 될 수 있다. 따라서 相關關係가 없는 二變數 正規分布는 式(7)과 같다.

$$b(x, y; \bar{x}, \bar{y}) = (2\pi\sigma_x\sigma_y)^{-1} \exp\{-[(x-\bar{x})^2/2\sigma_x^2 + (y-\bar{y})^2/2\sigma_y^2]\} \dots (7)$$

(7)式에서 $\sigma_x = \sigma_y = \sigma$ 이면 圓形正規分布(circular normal distribution)가 되고 $\sigma_x \neq \sigma_y$ 이면 橢圓形正規分布(elliptical normal distribution)가 된다.

砲兵射擊의 彈着點은 橢圓形正規分布에 가깝다.

散布의 測定 方法으로 標準偏差 σ_x, σ_y 代身에 砲術에서 자주 使用되는 公算誤差(probable error)가 있다.

많은量的 砲彈을 射擊하여 形成된 射彈散布를 二個의 同一한 射彈散布群으로 分割하는 直線을 그림-3에서와 같이 射擊方向에 수직과 平行하게 그을 수 있다. 이때 二直線이 交叉하는 地點이 彈着中心이다.

彈着中心 보다 멀리(또는 가까이) 떨어진 射彈單을 고려하여 다시 遠彈을(또는 近彈) 二個

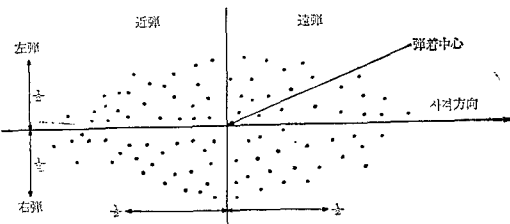


그림-3 射彈散布

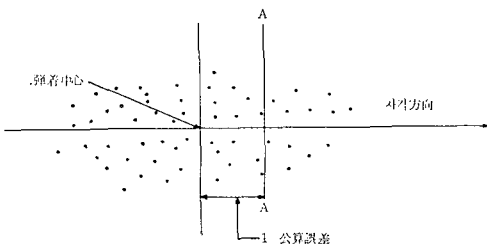


그림-4 公算誤差

의 同一한 集團으로 分割하는 第二의 直線을 그림-4에서 AA線과 같이 射擊方向에 수직하게 그을수 있다. 彈着中心으로부터 直線 AA까지의 距離를 平均上 誤差의 測定單位로 1公算誤差라고 한다.

正常的인 射彈散布의 경우에 極少數(1000發中 約 7發)을 除外하고은 彈着中心에서 4公算誤差 範圍內에 事實上 모든 彈着이 形成된다.

射彈散布의 形態는 大略 橢圓形이며 射距離上 및 偏角上的 4公算誤差는 實質的으로 모든 射彈을 網羅하기 때문에 모든 射彈의 分布를 包含하는 矩形을 그림-5와 같이 그릴 수 있다. 이 矩形을 100% 矩形이라고 한다.

射彈散布矩形을 射距離上에서 8個 區域으로 分割하면 各區域內에 떨어지는 射彈의 百分率은 그림-5에서 表示된 것과 같다.

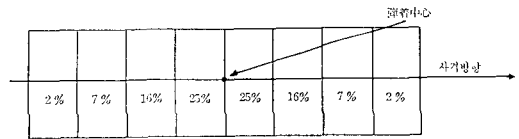


그림-5 100% 矩形

公算誤差의 定義에 依하여 50%의 射彈은 ± 1 射距離 公算誤差內에 떨어지며 其他 百分率도 實驗에 依하여 얻은 結果이다.⁸⁾ 이러한 散布 百分率은 偏角上에서도 역시 同一하다.

射距離 및 偏角上的 公算誤差의 크기는 射表에 明示되어 있으며 이는 精密한 砲를 基準으로 한 것이다. 따라서 野戰에서 射擊하여 얻은 每 射彈間의 公算誤差는 一般的으로 射表上의 값보다 크다. 그리고 偏角公算誤差는 射距離公算誤差 보다 상당히 적다.

正規確率分布에 있어서 標準偏差와 公算誤差값 간의 關係는 正規確率分布表로부터 얻을 수 있다. 즉,

$$PE_R = 0.6745\sigma_R$$

$$PE_D = 0.6745\sigma_D$$

여기서

PE_R ; 射距離上的 公算誤差(range probable error)

8) 참고문헌 [7], 부록 B, pp.B-2.

PE_D ; 偏角上的 公算誤差(deflection probable error)

σ_R ; 射距離上的 標準偏差

σ_D ; 偏角上的 標準偏差

라 速度誤差(V.E.)

理想的인 標準砲腔狀態에서 射擊하는 경우에 砲彈이 砲口를 떠날 때의 速度를 標準砲口速度라고 한다.

速度誤差(V.E.)는 實際의 砲口速度와 理想的인 標準速度를 比較하여 그 差異를 말하며 $\pm m/sec$ 로 表示한다.

標準砲口速度에 比하여 實際 砲의 砲口速度는 變化하는데 그 原因은 다음과 같다.⁹⁾

① 速度傾向(Velocity trend) : 大部分의 條件에서 처음 몇발의 砲口速度는 確率的 形態(random pattern)의 正規分布 보다는 規則的 形態(regular pattern)의 正規分布를 한다. 따라서 規則的 形態의 正規分布 性質을 利用하여 砲의 平均砲口速度를 算出할 수 있다. 이런 現象을 速度傾向이라고 한다.

速度傾向의 크기와 範圍는 火砲, 裝藥 그리고 射擊前後의 砲腔狀態에 따라서 變化한다.

② 相異한 彈藥로트의 使用

③ 火砲의 藥室과 砲腔內部的 規格許用誤差

④ 砲腔의 侵蝕(wears of tube); 계속하여 射擊을 함으로써 加熱된 氣의 移動作用 및 化學作用 그리고 砲彈의 前進運動에 依해서 砲腔內部를 侵蝕 시킨다. 이러한 砲腔의 侵蝕은 氣로 因한 侵蝕作用, 砲彈의 흔에 依한 侵蝕作用 그리고 磨擦로 因한 侵蝕作用에 依하여 發生한다.

⑤ 不正確한 砲彈의 裝進(nonuniform ramming)

⑥ 不完全하고 청결치 못한 砲彈의 回轉帶(rotating band)

⑦ 推進裝藥 溫度(propellant temperature)의 變化 : V.E. 算出時에는 이 變化量을 除去하여야 한다.

⑧ 裝藥의 濕度(moisture content of powder)의 變化

⑨ 藥室內의 推進裝藥 位置(position of bag-

ged propellant in chamber)의 變化

⑩ 砲彈의 무게(weight of projectile) 差異 ·

⑪ 銅化作用(coppering); 砲彈이 砲腔內에서 前進運動時 發生하는 磨擦로 因하여 砲彈 回轉帶의 表面이 깎아져서 砲腔內에 얇은 조각으로 附着된다. 이런 現象을 銅化作用이라고 한다.

過度한 銅化作用은 砲彈의 前進運動에 抵抗力을 變化시켜 異質的인 砲口速度를 誘發시킨다.

⑫ 裝藥의 殘滓(powder residues)

⑬ 砲腔內部的 溫度變化 등이 있다.

上記와 같은 여러가지 要素가 各己 相異하게 砲口速度에 影響을 미치므로 砲口速度의 分布狀態를 正確히 把握하기는 어려운 일이다. 따라서 여러 발의 射擊을 해서 平均砲口速度를 決定하고 射表에 明示되어 있는 標準砲口速度와의 差異를 計算하여 絕對V.E.를 求하고 이를 各砲의 V.E.로 使用한다.

그런데 射擊時 마다 各砲腔의 實際砲口速度를 알 수 있다면 砲兵射擊의 正確은 向上될 수 있으나 이런 諸元의 獲得은 時間的으로 不可能하다. 따라서 過去의 砲口速度(또는 V.E.)를 基礎로 射擊諸元을 算出한다.

마. 目標密度 函數(target density function)

目標의 中心點(u, v)에서 目標構成要素(ϵ, η)까지의 距離 w 에 對한 가장 簡單하고 一般的인 分布形態는 正方形, 矩形, 圓形 또는 墮圓形 地域內에 均一하게 分布되어 있는 것으로 看做한다.

戰術教範¹⁰⁾에는 目標의 크기, 形態 및 目標構成要素에 對한 情報가 있으면 이를 利用하고 아무런 情報가 없으면 目標構成要素는 圓形地域內에 均一하게 分布되어 있는 것으로 가정하며, 目標地域의 半徑(R_t)은 情報에 根據하여 決定하도록 規定하고 있다. 따라서 一般的으로 分布形態에 對하여 情報가 없을 때에 目標密度函數 w 는 式(8)과 같이 表示된다.

$$w(\epsilon, \eta; u, v) = \begin{cases} (\pi R_t^2)^{-1}; (\epsilon - u)^2 + (\eta - v)^2 \leq R_t^2 \\ 0 ; (\epsilon - u)^2 + (\eta - v)^2 > R_t^2 \end{cases} \dots (8)$$

9) 참고문헌 [5], pp.280~285.

10) 참고문헌 [8], pp. 22.

또한 目標構成要素의 密度形態가 墮圓形地域內에 正規分布라고 가정하면 目標密度函數 w 는 式 (9)와 같이 表示된다.

$$w(\epsilon, \eta; u, v) = (2\pi\sigma_\epsilon\sigma_\eta)^{-1} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\left(\frac{\epsilon-u}{\sigma_\epsilon} \right)^2 + \left(\frac{\eta-v}{\sigma_\eta} \right)^2 \right] \right\} \dots (9)$$

$\sigma_\epsilon, \sigma_\eta$; 標準偏差

바. 損傷函數(damage function)

砲彈의 損傷效果를 複雜한 computer simulation 으로 近似값을 求하는 것은 可能하지만 많은 費用과 時間이 所要되며 또한 作戰에 適用함에 있어 實質의 이 못된다. 따라서 一般的으로 簡單한 幾何學的 圓形이나 取扱하기 容易한 數學的 函數를 利用한다. 이러한 接近方法은 가장 近接한 結果를 얻기 爲한 損傷函數나 媒介變數(parameter)를 選擇하려는 것이다.

野戰砲의 損傷範圍나 形態는 口徑에 따라 相異하며 또한 落下角度에 따라서 다르다. 目標地域의 自然條件 역시 效果形態에 크게 영향을 미친다. 즉 무성한 숲은 砲彈의 破片效果를 抵下시키고 岩石地帶는 破片效果를 增加시킨다.

그림-6은 典型的인 砲彈의 損傷形態의 斷面圖이다. 그림-6에서 砲彈의 損傷形態는 地域의 斷面的으로 不規則하다. 그러므로 不規則性을 統計的으로 平均化한 것이 그림-7이며 이는 比較的 損傷形態가 規則的이다.

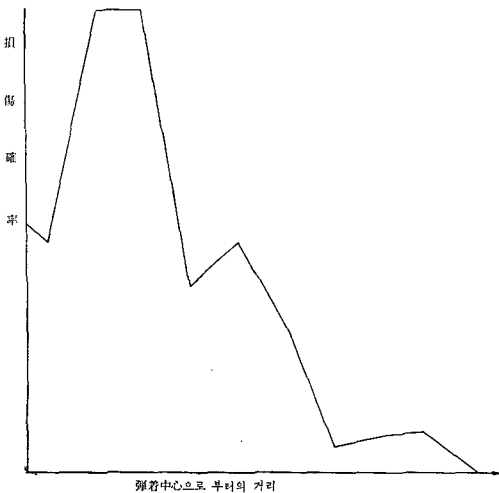


그림-6 典型的 損傷形態(斷面圖)

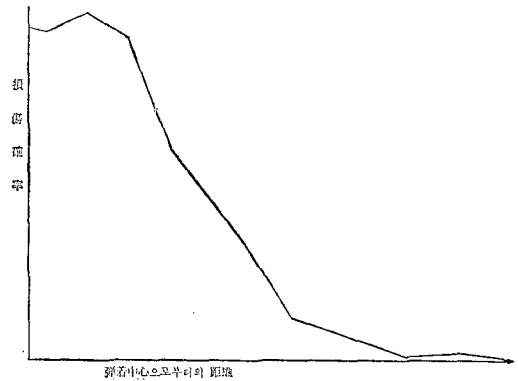


그림-7 平均的 損傷形態(斷面圖)

이러한 平均的 損傷形態를 適切히 表現하는 分析的이고 取扱하기 容易한 損傷函數 構成에 必要한 媒介變數는 다음과 같다.

① 殺害確率(kill probability): λ

λ 는 彈着中心에서의 殺害確率이다. 즉,

$$d(\epsilon, \eta; x, y') = \lambda \quad 0 \leq \lambda \leq 1$$

② 效果形態의 半徑(weapon pattern radius); R_p

效果形態의 半徑 R_p 는 實際로 損傷을 주는 地域의 面積과 同一한 面積의 圓半徑을 意味한다. 즉,

$$\iint d(\epsilon, \eta; x, y') d\epsilon d\eta = \lambda R_p^2$$

따라서 效果形態의 윤곽선은 損傷效果가 同一한 點을 連結한 圓이 된다.

③ 效果形態의 軸線; R_x, R_y .

武器의 效果形態가 墮圓形에 가까울 때에 二個의 軸線 R_x, R_y 는 實際로 損傷을 주는 地域의 面積과 同一한 面積의 墮圓의 軸線을 意味한다. 즉,

$$\iint d(\epsilon, \eta; x, y') d\epsilon d\eta = \lambda \pi R_x R_y$$

上記 媒介變數를 利用한 分析的 損傷函數에 一般的으로 다음의 二個가 있다.

① 쿠키-컷타 損傷函數(cookie-cutter damage function)

많이 使用되는 分析的 損傷函數는 圓形쿠키-컷타(circular cookie-cutter)이다. 즉,

$$d(\epsilon, \eta; x, y') = \begin{cases} \lambda; & (\epsilon-x)^2 + (\eta-y')^2 \leq R_p^2 \\ 0; & (\epsilon-x)^2 + (\eta-y')^2 > R_p^2 \end{cases} \quad (10)$$

여기서

R_p : 損傷圓의 半徑

λ : " 內의 損傷水準, $0 \leq \lambda \leq 1$

그림-8은 그림-7의 平均的 損傷形態에 圓形쿠기-컷타에 依한 損傷形態를 比較한 것으로서 二個의 損傷形態의 面積은 同一하다.

② 圓形制壓損傷函數(circular coverage damage function)

原點에 彈着中心點이 있고 標準偏差가 β 인

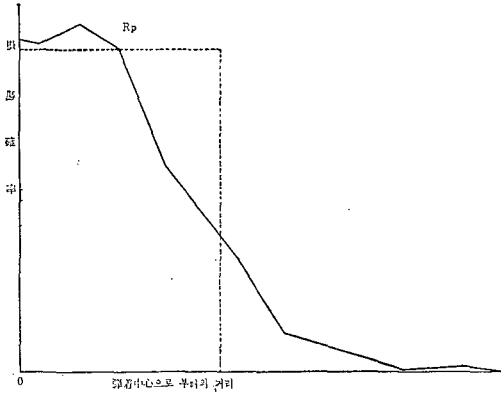


그림-8 平均損傷形態와 쿠기컷타損傷形態

圓形正規分布의 彈導誤差가 있는 경우 彈着의 平均中心에서 r 만큼 떨어진 點(ϵ, η)으로 부터 R_p 以內에 砲彈이 떨어질 確率 $p(R_p/\beta, r/\beta)$ 는 (그림-9 참조) 式 (11)과 같다.

$$p(R_p/\beta, r/\beta) = \iint_c \bar{b}(x, y'; 0, 0) dx dy' \\ = (2\pi\beta^2)^{-1} \iint_c \exp\{-(x^2 + y'^2) / 2\beta^2\} dx dy' \dots\dots\dots (11)$$

여기서

$$c = \{(x, y); (x-\epsilon)^2 + (y-\eta)^2 \leq R_p^2\}, \\ r^2 = \epsilon^2 + \eta^2$$

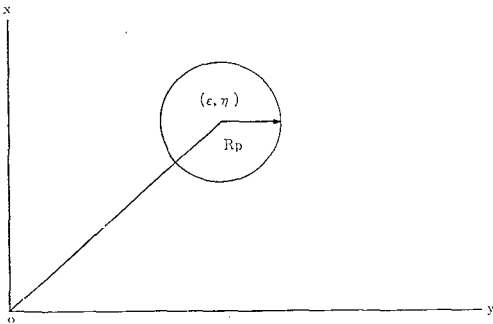


그림-9 圓形制壓函數

式 (11)를 圓形制壓函數(circular coverage function)라 한다.

그런데

$$\text{損傷函數} \left\{ \begin{array}{l} \text{點}(\epsilon, \eta) \text{을 殺害할 位} \\ \text{置에 떨어질 確率} \end{array} \right\} \times \\ \left\{ \begin{array}{l} \text{點}(\epsilon, \eta) \text{를 殺害할 位置에} \\ \text{떨어졌을 때 殺害할 確率} \end{array} \right\} \dots (12)$$

이므로 圓形制壓損傷函數 d 는

$$d(\epsilon, \eta; x, y') = \lambda \cdot p(R_p/\beta, r/\beta) \text{가 된다.}$$

그림-10은 平均損傷函數와 圓形制壓損傷函數를 比較한 것으로서 쿠기-컷타損傷函數에 比하여 平均損傷函數에 가깝다.

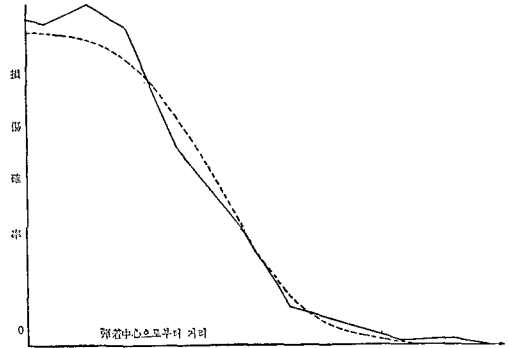


그림-10 平均損傷形態와 圓形制壓損傷形態

4. 方法論

砲隊射擊時에는 目標位置誤差, 照準誤差는 修正補完되어 거의 無視되며, 其他 各砲에서 일어날 수 있는 機械的 誤差(砲放列誤差, 射擊機材誤差, 諸元裝入誤差등)는 없는 것으로 看做하면 豫想損傷(expected damage) \bar{f} 를 얻는 基本모델은 式 (2)였다. 즉,

$$\bar{f} = \iint d(\epsilon, \eta; x, y') v(y':y) \bar{b}(x, y; u, v) \\ w(\epsilon, \eta; u, v) d\epsilon d\eta dx dy dy'$$

여기서 彈導誤差 $\bar{b}(x, y; u, v) dx dy$ 는 이미 說明한 바와 같이 圓形正規分布를 하며 射表에 裝藥 및 射距離別로 射距離公算誤差 및 偏角公算誤差가 明示되어 있다. 또한 速度誤差 $v(y':y) dy'$ 역시 射表에 裝藥 및 射距離別로 $\pm 1\text{m/sec}$ 當 射距離誤差가 明示되어 있다.

다음 損傷函數 $d(\epsilon, \eta; x, y')$ 와 目標密度函數 $w(\epsilon, \eta; u, v) d\epsilon d\eta$ 는 目標中心으로 부터 一定한 損傷을 주는 地域으로 表示할 수 있다. 이를 效果形態(effect pattern)라고 한다.

砲隊射擊時 6發의 砲彈이 效果的으로 制壓할 수 있는 地域의 크기는 얼마나 되는가를 고찰하기로 한다.

一般的으로 砲兵砲彈이 損傷을 주는 地域의 크기는 砲彈自體의 特性 및 標的의 特性에 따라서 다르다. 즉,

砲彈自體의 特性으로는 砲彈의 口徑, 形態, 信管(fuse), 砲彈破片特性, 落下角度 등이 있으며, 標的의 特性으로는 標的의 크기, 敵兵力의 防禦程度, 標的地域內의 敵兵力의 分散程度, 地形의 傾斜度 및 土質의 特性 등이 있다.

砲彈의 損傷地域의 크기를 알아내는 科學的인 實驗射擊과 統計的 技法을 使用하여 一定한 條件下에서 砲彈의 豫想되는 損傷地域을 豫測하는 것이 可能하게 되었다. 이같은 理論的인 結果는 標的의 迅速, 簡單한 體系分析과 砲兵指揮官의 砲兵射擊方法 決定에 基礎資料를 提供한다.

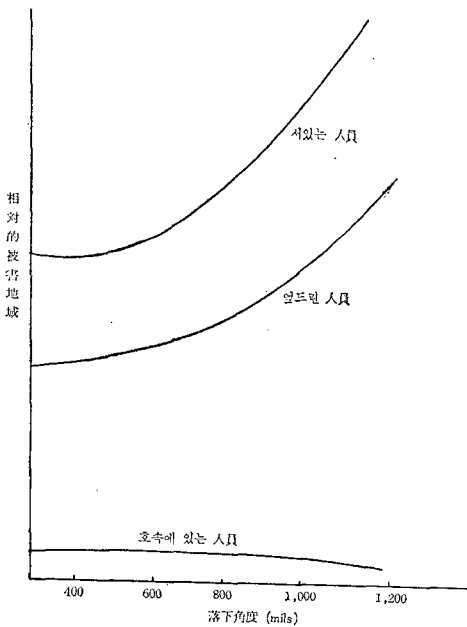


그림-11 被害地域과 落下角度

11) 참고문헌 [5], pp. 315~317.

于先 砲彈 一發의 效果形態¹¹⁾를 살펴 본다. 一般的으로 砲彈의 落下角度(angle of fall)가 增加함에 따라서 效果地域(衝激 및 破片으로 因한)은 그림-11과 같이 增加하며, 彈着地點의 地面이 단단할수록 效果地域은 넓어진다.

순발信管(quick fuse)를 裝入한 砲彈이 各種 砲兵火器의 中間射距離에 落下되었을 시의 一發의 效果地域은 表-1과 같다.

表-1 各種砲의 1發의 效果地域

口徑 (caliber)	效果的인 制壓地域 (m)		破片效果地域 (半徑 : m)
	깊이 (depth)	넓이 (width)	
A 武器體制	20	30	175
B "	30	50	360
C "	30	80	470
D "	65	60	680
E "	15	50	160

表-1에서 各種砲의 一發의 效果的 制壓地域은 서있는 人員(standing troops)의 50%를 殺傷할 수 있는 地域을 意味하며 砲彈의 效果를 定義하기 위한 統計的 計算에 依하여 얻은 結果이다. 實際로 一發의 砲彈의 損傷地域은 그

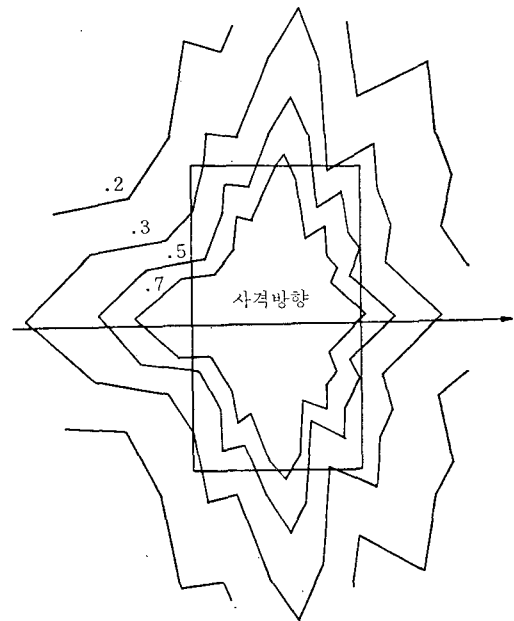


그림-12 砲彈效果形態(순발信관)

12) 참고문헌 [5], pp. 317~320.

림-12와 같이 大略的으로 墮圓形이다.

다음에 A 武器體系 一個砲隊가 射擊할 경우 (6門의 砲가 一發씩 射擊) 殺傷地域(效果形態)¹²⁾은 그림-13과 같은 直四角形으로 表示된다. 이같은 直四角形의 殺傷地域은 많은 射

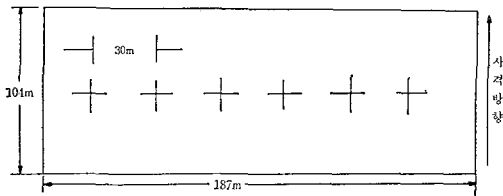


그림-13 A 武器體制砲隊 1發效果形態

擊結果의 平均값을 計算하여 얻은 것이다. 直四角形의 윤곽선에서는 서 있는 人員의 殺傷率이 5%이며, 윤곽선 內部에서는 더높은 殺傷率을 나타내고, 平均殺傷率은 11.3%이다.

50%의 殺傷率을 갖는 直四角形으로 表示된 砲彈 一發의 效果形態를 根據로 하여 많은 射擊結果를 統計的 計算으로 平均값을 求한 것이 5%의 殺傷率을 갖은 砲隊效果形態의 윤곽선이다.

參考로 各種 砲兵火器의 效果形態는 表-2와 表-3과 같다.

다음 野戰에서 砲隊의 砲配置形態는 地形과

表-2 各種火器效果形態比較(1發사격)

武器體制	矩 形 (m)		形態地域 (m ²)	殺 傷 率 (%)	殺 傷 地 域 (m ²)	A 武器體制와 比 較
	넓 이	깊 이				
A 砲 隊	187	104	19,448	11.3	1,848	1.0
B "	252	134	33,768	14.7	4,964	2.7
C "	253	123	31,119	11.8	3,672	2.0
A 大 隊	547	104	56,888	11.6	6,428	3.5
B "	732	134	98,088	15.1	14,811	8.0
C "	773	123	95,079	11.6	11,029	6.0

〈주〉 殺傷地域 = (形態地域) × (殺傷率)

表-3 各種火器效果形態比較(3發사격)

武器體制	矩 形 (m)		形態地域 (m ²)	殺 傷 率 (%)	殺 傷 地 域 (m ²)	A 武器體制와 比 較
	넓 이	깊 이				
A 砲 隊	171	129	22,059	20.9	4,610	1.0
B "	256	162	41,472	25.8	10,700	2.3
C "	225	146	32,850	22.6	7,424	1.6
A 大 隊	531	129	68,499	20.3	13,905	3.0
B "	736	162	119,232	26.7	31,855	6.9
C "	775	146	113,150	22.3	25,232	5.5

〈주〉 殺傷地域 = (形態地域) × (殺傷率)

狀況에 따라서 다르다. 砲隊의 砲配置形態는 3가지 基本形이 있다.

즉, 直線形, 갈지자形(W字形) 그리고 變形이다. 그런데 直線形과 變形은 野戰에서 거의 使用치 않으며 前面防禦와 攻擊作戰時에는 大部分 갈지자形의 砲配置를 한다. 또한 砲隊에서 砲配置를 할 때에는 殺傷效果를 고려하여

一般的으로 넓이 150m, 깊이 50m以內에서 展開하여야 한다.¹³⁾

本論文에서는 野戰에서 訓練 및 實際로 陣地編성한 資料를 土臺로 하여 갈지자形에서 10개의 砲配置形態를 選擇하였다.

選定한 10個 砲配置形態에서 同時에 砲隊射

13) 참고문헌 [6], pp. 98.

擊을 하여 裝藥 및 射距離別로 各砲의 彈導誤差와 V.E. 射距離誤差를 計算하고, 砲隊彈着이 效果形態內에 形成되는 效果率을 computer simulation 으로 測定하여 砲隊制壓能力을 評價하였다.

computer simulation의 flow chart 및 computer program listing 은 紙面關係로 省略한다.

5. 感度分析(Sensitivity Analysis)

가. 概 要

本論文에서 開發한 方法論으로 가상적 資料

를 가지고 A 武器體系를 V.E. 및 射距離別로 Computer simulation 한 結果, 效果率은 表-4 및 表-5와 그림-14, 그림-15, 그림-16 그리고 그림-17과 같다. 또한 豫想殺傷率은 式(13)에 의거 計算할 수 있으며 表-4 및 表-5에 表示하였다.

$$\bar{f} = \iiint \iiint d(\epsilon, \eta; x, y') v(y'; y) b(x, y; u, v) w(\epsilon, \eta; u, v) d\epsilon d\eta dx dy dy'$$

= (效果形態內 平均殺傷率)

× (效果形態內 떨어질 效果率(%))... (13)

나. 射距離別 集中效果

表-4 및 表-5와 그림-14, 15, 16 및 17에

表-4 砲隊 1發사격시 效果 및 豫想殺傷率

사거리 (m)	VE(m/sec) 효과	0	± 1	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6	± 8	± 10
		효과탄수	52	57	56	52	43	28	20	10
3,000	효과율(%)	86.7	95.0	93.3	86.7	71.7	46.7	33.4	16.7	16.7
4,000	효과탄수	49	55	47	43	32	15	10	7	9
	효과율(%)	81.7	91.7	78.3	71.7	53.3	25.0	16.7	11.7	15.0
5,000	효과탄수	52	54	55	55	54	51	40	25	8
	효과율(%)	86.7	90.0	91.7	91.7	90.0	85.0	66.7	41.7	13.3
6,000	효과탄수	47	52	52	53	52	38	36	19	9
	효과율(%)	78.3	86.7	86.7	88.3	86.7	63.3	60.0	31.7	15.0
7,000	효과탄수	45	47	54	48	42	40	20	13	9
	효과율(%)	75.0	78.3	90.0	80.0	70.0	66.7	33.3	21.7	15.0
8,000	효과탄수	47	54	54	53	41	30	27	11	8
	효과율(%)	78.3	90.0	90.0	88.3	68.3	50.0	45.0	18.3	13.3
9,000	효과탄수	44	52	54	54	37	25	16	10	8
	효과율(%)	73.3	86.7	90.0	90.0	61.7	41.7	26.7	16.7	13.3
10,000	효과탄수	46	52	51	46	35	31	20	10	9
	효과율(%)	76.7	86.7	85.0	76.7	58.3	51.7	33.3	16.7	15.0
계	효과탄수	382	423	423	404	336	258	189	105	70
	효과율(%)	79.6	88.1	88.1	84.2	70.0	53.8	39.4	21.9	14.6
예 상 살상율(%)	효과 율 × 11.3	9.0	10.0	10.0	9.5	7.9	6.1	4.5	2.5	1.6

<주> ① 11.3% : 效果形態內 平均殺傷率

② 선정된 10개 砲陣地에서 사격한 결과임.

表-5 砲隊 3發사격시 效果 및 豫想殺傷率

사거리 (m)	VE(m/sec) 효과	0	± 1	± 2	± 3	± 4	± 5	± 6	± 8	± 10
		효과탄수	169	170	174	171	158	124	89	36
3,000	효과율(%)	93.9	94.4	96.7	95.0	87.8	68.9	49.9	20.0	15.6
4,000	효과탄수	152	168	167	142	109	72	42	28	28
	효과율(%)	84.4	93.3	92.8	78.9	60.6	40.4	23.3	15.6	15.6
5,000	효과탄수	163	173	171	171	172	159	150	92	53
	효과율(%)	90.6	96.1	95.0	95.0	95.6	88.3	88.3	51.1	29.4
6,000	효과탄수	155	170	170	166	160	148	118	67	38
	효과율(%)	86.1	94.4	94.4	92.2	88.9	82.2	65.6	37.2	21.1
7,000	효과탄수	145	164	161	152	144	127	103	58	32
	효과율(%)	80.6	91.1	89.4	84.4	80.0	70.6	57.2	32.2	17.8
8,000	효과탄수	157	143	164	166	151	125	95	38	30
	효과율(%)	87.2	90.6	91.1	92.2	83.9	69.4	52.8	21.1	16.7
9,000	효과탄수	155	167	162	159	135	119	87	35	30
	효과율(%)	86.1	92.8	90.0	88.3	75.0	66.1	48.3	19.4	16.7
10,000	효과탄수	150	159	158	145	118	102	60	41	28
	효과율(%)	83.3	88.3	87.8	80.6	65.6	56.7	33.3	22.8	15.6
계	효과탄수	1,246	1,334	1,327	1,272	1,147	976	744	395	267
	효과율(%)	86.5	92.6	92.2	88.3	79.7	67.8	51.7	27.4	18.5
예상 살상율(%)	효과율 × 20.9	18.1	19.4	19.3	18.5	16.7	14.2	10.8	5.7	3.9

〈주〉 ① 20.9 : 效果形態內 平均殺傷率
 ② 선정된 10개 砲陣地에서 사격한 결과임.

서 보는 바와 같이 同一한 V.E.를 갖는 砲隊 射擊에서도 射距離公算誤差가 적은 5,000m 와 6,000m에서 效果가 相對的으로 좋다.

이 射距離는 A 武器體系의 中間射距離이다. 다. V.E.別 集中效果

砲의 特性인 V.E.를 고려하여 砲隊를 編成하는 것이 砲兵射擊의 集中效果를 增進시키는 가장 重要한 要素이며 또한 本研究의 課題이다.

表-4 및 表-5와 그림-14, 15, 16 및 17에서 보는 바와 같이 砲隊의 V.E.가 적을수록 集中效果는 相對的으로 좋다. 그런데 simulation으로 얻은 結果는 砲隊 V.E.가 "0"일때 (6

門의 砲의 V.E.가 同一한 경우 혹은 砲口速度가 同一한 경우) 보다는 V.E.가 ±1, ±2 및 ±3m/sec일때에 集中效果가 좋게 나타난다. 이것은 射擊時에 各砲의 彈導誤差와 V.E.射距離誤差 및 砲配置時에 V.E.가 3番砲 보다 클때는 (+) 3番砲 보다 後方に 陣地를 定하고 反對로 V.E.가 3番砲 보다 적을때 (-)은 前方에 陣地를 編成한 結果로 三個의 誤差要素가 相互作用하여 砲隊 彈着點의 散布를 集中시킨 것으로 判斷된다.

砲兵射擊의 特徵인 射擊의 集中效果를 얻기爲해서는 그림-15에서 보는 바와 같이 砲隊 一發을 射擊할 경우에 砲隊 V.E.가 ± 3m/sec



그림-14 砲隊 1發사격시 効果率 (V.E. 및 사거리별)

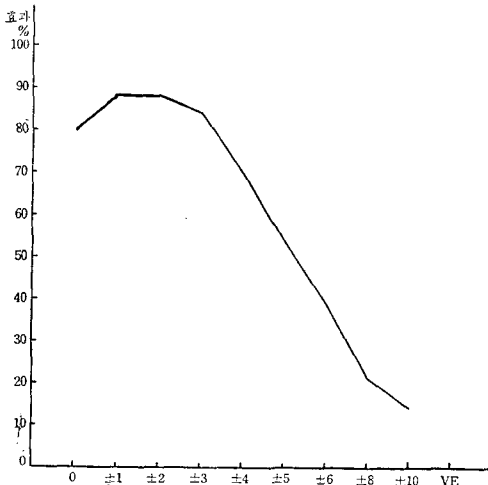


그림-15 砲隊 1發사격시 効果率 (V.E. 별)

内に 있어야 80% 以上の 集中效果를 얻을 수 있고 그림-17에서와 같이 砲隊 3發을 射擊할 경우 砲隊 V.E.가 $\pm 4m/sec$ 内に 있어야 80% 以上の 集中效果를 얻을 수 있다.

作戰中에는 보통 砲隊 3發 以上の 集中射擊을 하므로 砲隊 V.E.가 $\pm 4m/sec$ 内に 있어야

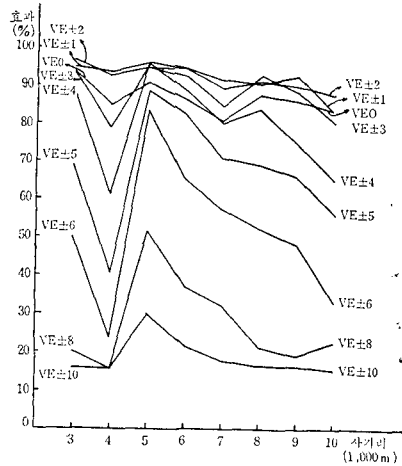


그림-16 砲隊 3發사격시 効果率 (V.E. 및 사거리별)

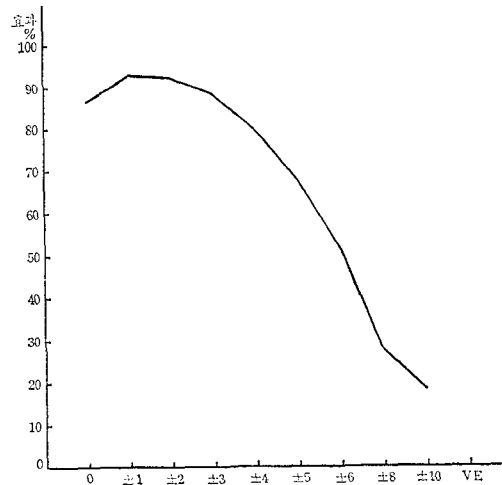


그림-17 砲隊 3發사격시 効果率 (V.E. 별)

表-5에서 보는 바와 같이 豫想殺傷率이 16% 以上이 된다.

6. 結 論

本研究는 野戰砲兵 砲隊의 集中射擊 效果를 增進시키는 方法을 찾으려고 集中射擊時에 일어나는 誤差要素를 網羅한 基本모델을 設定한 後에 여기에 必要한 變數의 값을 合理的으로

찾고 이것을 computer simulation 으로 集中射擊效果를 測定 評價함으로써 各砲의 V.E.가 重要함을 強調하였고 砲隊 V.E.의 許容限界를 決定하였다. 즉,

① 砲兵指揮官은 砲兵의 射擊效果를 最大로 하기 爲하여 砲의 特性인 V.E.를 事前에 알고 있어야 한다.

② 偏角公算誤差는 射距離公算誤差에 比하여 대단히 적으므로 砲隊의 砲陣地 넓이가 150m 를 超過하지 않는 한 集中射擊效果에 影響을 미치지 못한다.

③ 一般的으로 砲兵武器體系는 各種 火器의 中間射距離에서 集中效果가 크다.

즉, A 武器體系는 5,000~6,000m 射距離에서 集中效果가 가장 좋다. (그림-14 및 그림-16 참조)

④ 砲隊의 V.E.가 $\pm 4\text{m/sec}$ 以上이면 集中效果가 80% 以下이므로 指揮官은 各砲의 V.E.를 고려하여 砲隊를 編成하여야 한다. (그림-17 참조)

만약에 砲隊 V.E.가 $\pm 4\text{m/sec}$ 以上이면 射擊要員의 訓練狀態가 우수하더라도 砲隊의 集中射擊 效果는 나쁘다. 따라서 全野戰砲兵의 集中射擊 效果를 向上시키기 爲하여 各砲의 絕對 V.E.를 求하고 이것을 根據로 하여 砲隊의 砲構成을 調整해야 할 必要性이 있다고 判斷된다.

⑤ 끝으로 本論文에서 效果測定은 實際로 射擊을 하여 얻은 것이 아니고 이에 近似한 comp-

uter simulation 을 하였으므로 豫算과 人力이 許容한다면 野戰에서 射擊을 實施하여 그 結果를 比較해 볼 必要性이 있다.

참 고 문 헌

1. Albert H. Bowker, Gerald J. Lieberman, *Engineering Statistics (2nd ed)* Prentice-Hall, Eaglewood Cliffs, N.J., 1972.
2. Carl H. Hess, "Target coverage", *Topics in Military Operations Research*, The University of Michigan Engineering Summer Conference, 1969
3. Geoffrey Gordon, *System Simulation*, Prentice-Hall, Eaglewood Cliffs, N.J., 1969.
4. FM6-40, *Field Artillery Gunnery*, Headquarters, Department of the Army, 1950
5. FM6-40, *Field Artillery Gunnery* Headquarters, Department of the Army, 1960
6. FM6-140, 野戰砲兵大隊 및 砲隊, 陸軍本部, 1970.
7. FM6-141-1, *Nonnuclear Employment of Field Artillery Weapon System(u)*, Headquarters, Department of the Army, 1967.
8. FM101-31-1, *Staff Officers Field Manual Nuclear Weapons Employment*, Headquarters, Department of the Army, 1963.
9. FM105-H-7 *Firing Table*, Headquarters, Department of the Army, 1971.

* 本論文은 韓國科學院 産業工學科 碩士學位論文中에서 部分的으로 拔萃한것임.