

武器의 效果度分析에 關한 考察

韓 洪 燮 (理學博士)

머릿말

하나의 武器시스템을 획득하는 .경우에는 이 새로운 武器가 주어진 目標物에 대하여 얼마나 有效한 가를 나타내는 尺度가 필요하다. 이 尺度를 구하기 위하여서는 目標物의 種類, 狀態, 位置 뿐만 아니라, 武器의 信賴度, 運搬正確度 및 威力등 여러가지 複合要素를 고려하여야 한다.

이러한 武器의 效果度を 分析하는 分野는 우리나라에서 특별히 研究된 바 없으므로, 美國에서 이미 발표된 報告書를 筆者 나름대로 消化하고, 그 方法을 소개하여 우리나라에서 새로이 開發하고 있는 武器시스템을 評價하는데 조금이라도 도움이 되고자 한다.

I. 目標物

주어진 目標物을 파괴시키기 위한 武器와 武器의 所要發數를 추정하기 위하여는 먼저 目標物의 任務가 정확하게 明示되고, 破壞정도가 결정되어야 한다.

目標物은 날개로 된 物體일 수도 있고, 또한 커다란 集團의 일부일 수도 있다(예를 들면 滑走路, 格納庫, 비행기, 車輛, 연료저장소, 사람 등으로 이루어진 飛行場). 이런 경우에는 각개의 要素를 따로따로 分析하여 전체의 武器所要를 판단하여야 한다.

目標物을 분류하는 방법으로는 種類別로 나눌 수도 있고(人馬, 장갑차량, 野砲, 레이더基地,

彈藥庫, 건물, 產業基地, 港灣施設 등), 또한 그 위치에 따라서 空中目標物(Air Targets), 地上目標物(Surface Targets) 및 地下/水中目標物(Sub-surface Targets)로 나눌 수도 있으나, 武器의 效果度を 分析하기 위하여 흔히 쓰는 目標物의 유형은 單獨目標物, 地域目標物, 線狀目標物 및 其他目標物로 구분한다.

(1) 單獨目標物(Unitary Targets)

單獨目標物이란 한개의 要素로 이루어진 目標物로서(예를 들면 레이더, 차량등) 이를 다시 點目標物(Point Targets)과 幾何形態 目標物(Geometric Targets)로 나눌 수 있다.

點目標物이란 目標物의 길이, 폭 및 높이 등이 없다고 생각할 수 있는 目標物로서, 이에 대한 彈頭의 效果度指數는 뒤에 설명할 MAE_f , MAE_b , 또는 VA 로 표시한다.

幾何形態 目標物이란 길이, 폭, 높이 등으로 그 크기를 表示할 수 있는 것으로 直四角形, 원형, 혹은 다른 幾何學的 형태를 가지고 있다.

建物등은 비록 단독으로 존재하지만 單獨目標物로 분류하지 않고 地域目標物로 간주하여 이에 대한 武器의 효과를 나타냄에 있어서도 破壞確率로 표시하지 않고, 全體建物중 파괴된 面積의 비율, 즉 破壞分率로 표시한다. 이는 비록 建物の 일부가 파괴되었다 하더라도 나머지 부분을 사용할 수 있기 때문이다.

(2) 地域目標物(Area Targets)

地域目標物은 多數의 單獨目標物로 이루어진 地域을 뜻한다. 예로서는 사람들의 集團이나;

飛行機, 탱크등의集團을 들수 있다. 또 여러개의 單獨목표물로 構成되어 있는 地域목표물도 單獨목표물로 간주할 때가 있는데,

$$\frac{MAE}{\text{목표물면적}} \geq 10 \text{ 이고,}$$

$$\frac{REP \times DEP}{\text{목표물면적}} \geq 1$$

인 경우가 그러하다. 여기에서 나온 MAE 및 REP, DEP의 뜻은 뒤에서 설명하겠다.

(3) 線狀목표물(Linear Targets)

線狀목표물은 폭이 좁고 길이가 긴것이 특징이며, 이 目標物을 파괴시키기 위하여는 使用可能한 幅을 완전히 절단하여야만 한다. 예로서는 汽車의 線路나 道路등을 들수 있다. 飛行場의 滑走路도 線狀목표물의 하나로, 이를 위해서는 武器의 效果度를 나타내는 특별한 計算法이 개발되어 있다.

(4) 其他 목표물

發電所나 海軍艦艇 등은 이들을 파괴시키는데 필요한 武器의 所要를 계산하는 특별한 방법이 개발되어 있다.

II. 殺傷 및 破壞基準

하나의 目標物이 殺傷(Kill) 혹은 破壞(Damage)되는 것은 目標物의 脆弱度(Vulnerability)와 武器의 威力과의 상호작용에 의한 것으로 目標物이 武器에 의해 殺傷되었다는 것은 그 殺傷基準 혹은 破壞基準을 明示하지 않고서는 말할 수 없다.

目標物이 人馬인 경우에는 “살상”을, 物體인 경우에는 “파괴”라는 單語를 흔히 쓰지만, 여기에서는 구별하지 않고 서로 섞어 쓰고 있다.

目標物의 殺傷基準을 明示하기 위하여서는 目標物의 원하는 殺傷程度, 기능 및 시간의 制限性을 밝혀 말해야 한다. 예를들면 “비행기를 1시간 동안 離陸하지 못하도록 파괴” 시킨다든가, “서 있는 兵士를 5분 이내에 攻擊能力을 마비” 시키기 위하여서는 주어진 武器가 몇개가 필요하다는 式의 표현을 들수 있다.

특히 目標物이 人馬인 경우의 殺傷基準으로는 예전에는 간단히 “58 ft-pounds” 公式을 썼는데 이는 58 ft-pounds의 運動에너지를 가진 武器가 사람에게 맞으면 그 사람이 殺傷될 확률이 50%라고 간주하는 기준이었다.

表 1에 致死率과 이에 필요한 武器의 運動에너지를 표시하였다. 여기에서 武器의 質量은 2 lb(910그램)이하이어야 한다.

〈표 1〉 에너지와 致死率

致死率	에너지	
臨界值	11 ft-lb	14.92 Joule
10%	40 "	54.24 "
50%	58 "	78.65 "
90%	85 "	115.26 "

요즈음에는 Allen과 Sperrazza가 제시한 動物實驗結果에 의한 經驗式을 쓰고 있다. 이 경험식에 의하면 武器가 사람에게 맞았을때 殺傷될 확률은 P_{HD} 라고 하면,

$$P_{HD} = 1 - \exp[-a(mV^{1.5} - b)^n]$$

으로 주어진다. 여기에서 m 은 武器(보통의 경우 400g)의 質量, V 는 그 速度이다. a, b, n 은 實驗結果에 의한 經驗常數로 대개 戰爭터의 兵士가 任務를 수행할 능력의 喪失程度에 따른 값으로 Allen과 Sperrazza는,

- ① 30秒 이내 방어진력 상실
- ② 30秒 이내 공격능력 상실
- ③ 5분 이내 공격능력 상실
- ④ 12시간 이내 支援능력 상실

의 네가지 경우에 대하여 表로서 提示하였으나 그 값은 秘密로 되어있어 여기서는 생략한다.

III. 彈頭

目標物이 선정되고, 그 破壞基準이 결정되면, 이 目標物을 破壞基準대로 파괴시킬 武器가 필요하다. 이 武器의 종류도 爆彈, 砲彈, 地雷, 魚雷, 彈頭등 수없이 많은데 특히 誘導彈이나 로케트를 運搬手段으로하는 武器를 흔히 彈頭(Warheads)라 通稱한다. 이 彈頭に 관해서는 國防과 技術 7호(1979년 7월호)에 실린 필자의 拙稿를 참고하기 바란다.

IV. 効果度指數

주어진 彈頭 또는 武器가 목표물에 대하여 所期の 피해를 줄수 있는 확률을 計算하기 위하여 目標物/武器/作戰運用要素 사이의 연관성을 數値로 나타내는 방법이 도입되었는데, 이 數値를 效果度指數(Effectiveness Index, EI)라 부르고, 대개 다음의 일곱개의 指數가 흔히 쓰인다.

- ① 脆弱面積(Vulnerable Area, VA)
- ② 爆風平均有效面積(Blast Mean Area of Effectiveness, MAE_b)
- ③ 破片平均有效面積(Fragmentation Mean Area of Effectiveness, MAE_f)
- ④ 有效誤差距離(Effective Miss Distance, EMD)
- ⑤ 爆發口直徑(Crater Diameter, D_c)
- ⑥ 最大有效直徑(Maximum Effective Diameter, MED)
- ⑦ 橋梁有效指數(Bridge Effectiveness Index, BEI)

물론 이들 指數의 값은 목표물과 武器의 相互關係에 따라 다른 값을 갖는다. 어느 爆彈의 MAE는 目標物에 따라 다른 값을 갖고, 주어진 목표물에 대한 MAE는 爆彈에 따라 다르다. VA, EMD, D_c, BEI 등의 경우에도 마찬가지이다.

(1) 脆弱面積(VA)

武器가 목표물에 직접 맞아야(Direct Hit) 破壞되는 경우 武器所要를 계산하는 데에는 脆弱面積의 개념을 쓰고 있다. 취약면적 VA란 주어진 武器에 대하여 脆弱한 목표물의 面積을 뜻한다. 보통의 경우 VA는 목표물의 어떤 特定面積에 국한된 것이 아니고, 목표물 전체로서의 脆弱度를 나타내는 것이다.

목표물의 全體 面積을 작은 面積素 A_i로 나누고, 이 面積素 A_i 안에 武器가 맞았을 때에 목표물이 破壞될 확률을 P_{HD_i}라 하면, 이 목표물의 VA는,

$$VA = \sum P_{HD_i} \cdot A_i$$

로 주어진다. 만일 武器가 목표물에 무작위하게 맞았을 때의 목표물이 破壞될 확률 P_{HD}는,

$$P_{HD} = VA / \sum A_i$$

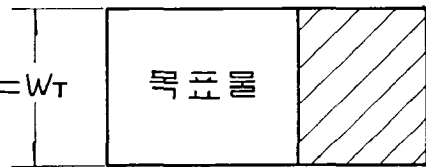
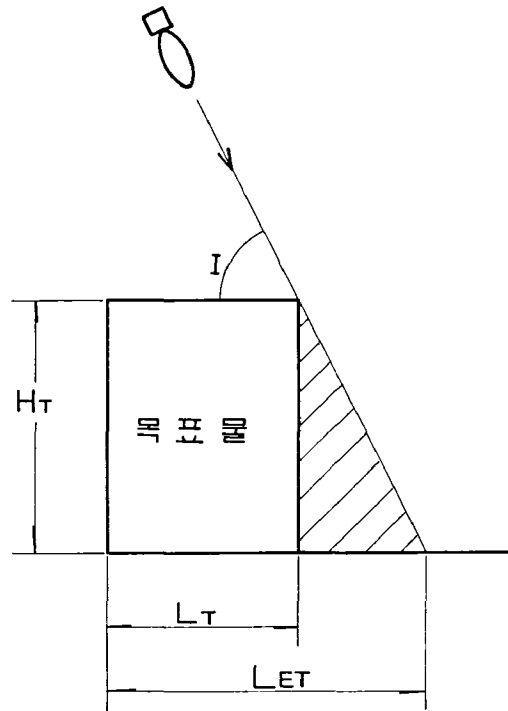
로 주어진다. 물론 $\sum A_i$ 는 目標物 전체의 면적이다.

脆弱面積이 EI로 쓰일 경우, 目標物의 실제 크기가 중요한 것은 아니고, 武器가 보는 목표물의 假想的인 크기가 중요하다. 이 假想的인 크기는 물론 武器의 목표물에 대한 衝突角度(Impact Angle, I)에 따라 크게 변한다.

二次元 目標物의 경우에는 有效目標物의 실제 크기와 같으나 三次元의 경우에는 그림 1에서 보는 바와 같이,

$$L_{ET} = L_T + H_T / \tan I$$

$$W_{ET} = W_T$$



<그림 1> 목표물의 유효크기

로 주어진다. 여기에서 L_T, W_T, H_T 는 目標物의 실제 길이와 幅과 높이를 L_{ET} 와 W_{ET} 는 目標物의 有效길이와 有效幅을 뜻하고 I 는 衝突角度를 나타낸다.

간단한 예로 그림 2에 表示된 탱크를 $A_1=5\text{m}^2, A_2=2\text{m}^2, A_3=8\text{m}^2$ 의 세部分으로 나누고 이 각 面積所에 武器가 맞았을 경우에 탱크가 破壞될 확률을 각각 $P_{HD1}=0.3, P_{HD2}=0.5, P_{HD3}=0.8$ 이라고 하면,

$$\begin{aligned} VA &= P_{HD1}A_1 + P_{HD2}A_2 + P_{HD3}A_3 \\ &= 0.3 \times 5 + 0.5 \times 2 + 0.8 \times 8 \\ &= 8.9(\text{m}^2), \end{aligned}$$

따라서 武器가 탱크에 무작위하게 맞았을 때 탱크가 破壞될 확률 P_{HD} 는,

$$P_{HD} = 8.9 / (5 + 2 + 8) = 0.59$$

로 나타낼 수 있다.

많은 主要目標物(레이더裝備, 機動裝備등)에 대하여 VA 의 값이 破片(무기)의 質量, 속도, 目標物의 노출자도 등의 函數로 알려져 있으나 이 역시 비밀로 되어있다.

(2) 爆風平均有效面積(MAE_s)

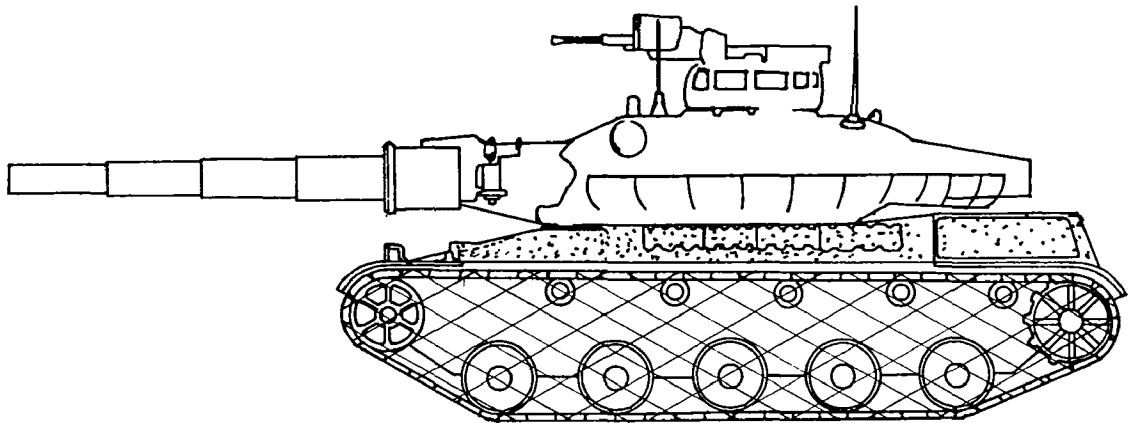
MAE_s라는 개념은, 武器가 폭발할 때에 생기는 暴風波(Blast Wave)에 의하여 目標物이 破壞되리라고 생각되는 범위의 尺度로써 도입되었다.

이 MAE_s는 地表面에 대략 正四角形으로 표시되며(실제의 경우에는 원형으로 表示하는 것이 편리할 때도 있다). 한 邊의 길이가 (MAE_s)^{1/2}인 正四角形 안에서는 目標物이 破壞될 확률 P_D 가 1이고 그 밖에서는 0으로 간주한다. 혹은 이 正四角形을 全體面積이 MAE_s인 半徑 $R = (MAE_s / \pi)^{1/2}$ 인 圓으로 代置할 수도 있다(그림 3a). 目標物이 사람인 경우에는 그림 3b에서와 같이 폭발 중심으로부터 半徑 R_1 이내에서는 殺傷確率이 1이고, 半徑 R_2 밖에서는 0으로, R_1 과 R_2 사이에는,

$$P_D(R) = \frac{R_2 - R}{R_2 - R_1}$$

로 표시하기도 한다.

暴風波에 의한 目標物의 破壞尺度는 超過壓力(Peak Overpressure)과 그 力積(Impulse)의 函數로 나타낼 수 있는데 폭발파의 持續時間을 無限大로 假定할 경우, 超過壓力에 따른 유리창,



A1

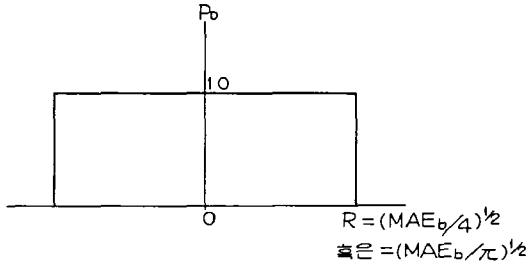


A2



A3

<그림 2> 취약면적 계산의 예



〈그림 3〉 폭풍平均有效 면적의 개념

사람의 鼓膜 및 肺의 파괴정도는 表 2에 나타내었다.

〈표 2〉 超過壓力(Ps1)에 따른 파괴정도

	유 리 창	鼓 膜	肺
臨界值	0.25	2.4	14.5
10%	0.90	2.8	17.5
50%	3.0	6.3	20.5
90%	5.0	12.2	25.5

(3) 破片平均有效面積(MAE_f)

武器의 效果度指數 중에서 가장 많이 쓰이는指數가 이 MAE_f로서 흔히 殺傷面積(Lethal Area, A_L)이라고도 불리운다.

殺傷面積 A_L은 K.A. Myers가 도입한 것으로 破片에 의한 MAE_f 뿐만 아니라 爆風波에 의한 MAE_b도 함께 고려하였으나, 보통의 경우 爆風波에 의한 效果는 破片에 의한 效果보다는 훨씬 적다.

Myers에 의하면 武器가 (0, 0, z)에서 폭발하였을 때에 (x, y, 0)에 있는 目標物이 爆風과 破片에 의해 殺傷될 확률을 P_D(x, y)라 하면 이 武器에 의해 殺傷될 目標物의 전체 개수 E_C는,

$$E_C = \iint \delta(x, y) P_D(x, y) dx dy$$

로 주어진다. 여기서 δ(x, y)는 目標物의 密度

이다. 만일 目標物이 골고루 分布되어 있다고 생각하면 δ(x, y) = δ인 常數로 되어 위의 式은,

$$A_L \equiv E_C / \delta = \iint P_D(x, y) dx dy$$

으로 나타나고, A_L ≡ E_C/δ를 殺傷面積(혹은 MAE_f)가 작은 경우에는 MAE_f로 볼 수도 있다 이라고 부른다.

여기서 주의해야 할 것은 A_L이 다만 面積의 次元만을 갖고 있을뿐, 우리가 생각하고 있는 실제적인 面積의 뜻은 아니라는 사실이다. 바로 이 理由 때문에 殺傷面積이라는 개념은 있으나(面積의 次元을 갖고 있으므로), 殺傷半徑이라는 말은 一般 사람들 간에는 흔히 쓰이면서도 武器效果度를 分析하는 專門家들 사이에는 쓰이지 않는 것이다. 역지로,

$$A_L = \pi R_0^2$$

가 되는 R₀를 殺傷半徑이라고 定義할 수도 있겠으나, 그 뜻은 R₀이내의 目標物은 전부 殺傷되고, R₀ 밖의 目標物은 하나도 피해를 입지 않는다는 뜻은 아니다.

이 A_L에 “平均”密度 δ를 곱하면 E_C, 즉 殺傷되리라는 目標物의 개수가 나온다.

이 A_L 혹은 MAE_f의 實際計算은 매우 복잡하여 나중에 기회 있으면 다시 발표하겠다.

어느 點目標物에 대한 武器의 A_L 혹은 MAE_f가 알려져 있으면 이 武器가 (0, 0)에서 爆發하였을 때에 (x, y)에 위치한 目標物이 파괴될 확률 P_D(x, y)는 近似式으로 Carleton 破壞函數(Carleton Damage Function)로 주어진다.

$$P_D(x, y) = \exp \left[- \left(\frac{4x^2}{L_{ET}^2} + \frac{4y^2}{W_{ET}^2} \right) \right]$$

여기에서,

$$L_{ET} = (4a \times MAE_f / \pi)^{1/2}$$

$$W_{ET} = L_{ET} / a$$

$$a = 1 - 0.8 \cos I$$

I = 武器의 Impact 각도

만일 I = 90°인 경우를 생각해 보면,

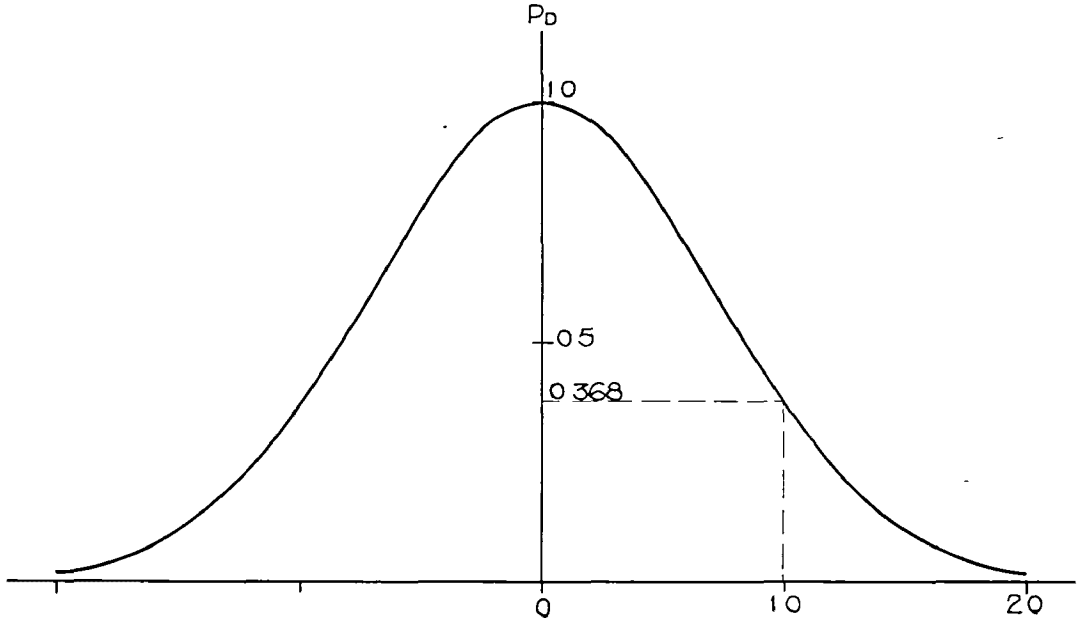
Carleton 破壞函數는,

$$P_D(R) = \exp(-\pi R^2 / MAE_f),$$

$$R^2 = x^2 + y^2,$$

로 표시된다. 만일 R* = R / (MAE_f/π)^{1/2}로 나타내면,

$$P_D(R^*) = \exp(-R^{*2})$$



〈그림 4〉 R^* 에 따른 $P_D(R^*)$ 의 변화 $\pi R^2 = MAE$ 가 되는 R 의 위치에서 (즉 $R^*=10$) P_D 는 약 37% 임을 알수 있다.

으로 되고, 이는 그림 4에 표시하였다.

(4) 有効誤差距離(EMD)

경우에 따라서는 목표물을 破壞시키기 위하여 武器가 목표물에 직접 맞지 않아도 된다. 武器가 목표물 근처에만 떨어져도 所期의 目的을 달성할 수 있다.

따라서 이 EMD는 近似誤差距離(Near Miss Distance)라고도 불리우며, 주어진 破壞度を 일으키기 위하여 武器가 목표물의 가장자리로 떨어질 수 있는 最大距離를 뜻한다.

이 때문에 目標物의 有效 크기를 계산할 때에는 EMD에 의해 目標物 주위에 둘러싸인 面積도 목표물의 일부인 것처럼 간주해야 한다(그림 5).

따라서 目標物 길이 및 幅이 L_T 및 W_T 인 二次元 目標物의 有效길이 L_{ET} 와 有效幅 W_{ET} 는,

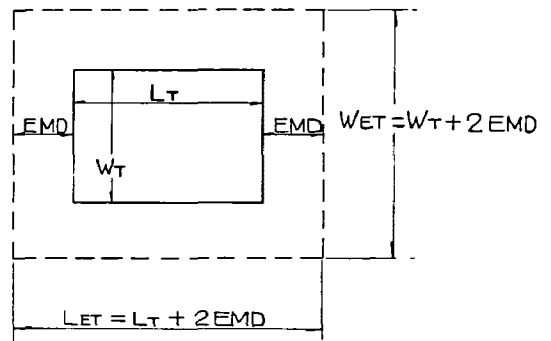
$$L_{ET} = L_T + 2EMD$$

$$W_{ET} = W_T + 2EMD$$

로 간주할 수 있다.

(5) 爆發口直徑(D_c)

武器의 Cratering效果를 나타내는 效果度指數



〈그림 5〉 有效오차거리의 개념

로서의 爆發口 直徑 D_c 가 쓰이고 있고, 補助指數로는 爆發口 깊이 H_c 가 쓰인다. 일정한 크기를 갖고 있는 목표물에 대하여 爆發口의 半徑 $D_c/2$ 는 EMD로 생각할 수 있으므로 목표물의 有效크기는,

$$L_{ET} = L_T + D_c$$

$$W_{ET} = W_T + D_c$$

로 된다.

(6) 最大效果直徑(MED)

이 MED는 地雷가 작동하여 목표물을 破壞할

수 있는 圓의 直徑을 뜻한다.

(7) 橋梁效果指數(BEI)

이 BEI는 特定橋梁에 대한 特定武器의 效果를 나타내기 위한 經驗値로서, 이 武器가 幅이 W_T 인 橋梁에 맞을 경우, 이 橋梁이 파괴될 확률은,

$$P_{HD} = 1 - \exp(-BEI/W_T)$$

로 表示된다.

V. 運搬正確度

武器를 목표물까지 운반할 때에는 많은 作戰要素가 고려되어야 한다. 즉 敵의 防禦態勢, 氣象條件, 地形, 목표물의 모양이나 크기 및 운반 정확도 등이 중요한 고려대상이 되며, 이들은 모두 서로 複合的으로 작용하여 武器效果를 크게 좌우하게 된다.

물론 破壞範圍가 半徑數 km씩 되는 核武器를 사용하는 경우에는 運搬正確도가 크게 문제 되지 않겠지만, 그 영향이 半徑 수십 혹은 수백 m밖에 안되는 在來式 非核武器를 쓸 경우에는 運搬正確도는 가장 중요한 要素로서 작용한다.

正確도가 좋을 수록 目標物을 파괴시키는데 所要되는 武器의 發數가 적어지므로, 현대의 모든 武器들이 값이 비싸더라도 精密誘導하는 것은 당연한 추세이다. 이 章에서는 運搬正確도를 이해하는데 필요한 用語를 定義하겠다.

(1) 목표물 位置誤差(Target Location Error, TLE)

이 誤差는 목표물의 實際位置와, 목표물이 위치하고 있다고 생각되는 位置와의 차이로서, 이 TLE는 地圖자체가 얼마만큼 정확하게 製作되었는 데도 따르지만, 목표물을 觀測할 때에 생기는 側定誤差에도 관련된다.

아무리 武器를 정확히 운반할 수 있다 하더라도 그 位置自體를 잘못 판단할 경우에는 武器의 效果를 無能化시키므로 중요한 目標物의 경우, TLE는 10m 내외의 正確성이 바람직하다.

(2) 照準誤差(Aiming Error)

이 誤差는 用語의 뜻 그대로 실제로 照準한

점과 照準하려는 점과의 차이를 말하며, 일반적으로 이 誤差는 무시할 수 있을 정도로 작아야 한다.

(3) 運搬正確度(Delivery Accuracy)

目標物을 향해 여러發의 武器를 발사했을 경우에 이 武器들이 목표물에 어느정도 가까이 彈着했느냐를 나타내는 彈着點 分布로서는 흔히 圓形定規分布(Circular Normal Distribution)와 二價定規分布(Bivariate Normal Distribution)의 두가지가 쓰이고 있다.

(a) 二價定規分布(Bivariate Normal Distribution)

二價定規分布는 탄착점의 分布 $f(x, y)$ 가 射距離(Range)방향과 그에 直角인 偏角(Deflection)방향에 대한 標準偏差 σ_x 와 σ_y 가 자기 다른 경우로,

$$f(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)$$

으로 나타낼 수 있다(편의상 여기에서는 x 軸을 射距離 방향으로, y 軸을 偏角방향으로 간주한다.) 물론 $f(x, y)$ 를 全空間으로 積分하면 1이 된다. 즉,

$$\int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) dx dy = 1.$$

위의 分布函數에서 볼수 있듯이 二價定規分布函數는 σ_x 와 σ_y 의 두개의 係數로서 決定되는데 軍事科學에서는 이 두개의 標準偏差보다는 射距離公算誤差(Range Error Probable, REP)와 偏角公算誤差(Deflection Error Probable, DEP)가 더욱 널리 쓰이고 있다.

照準點과 목표물의 位置가 일치한다고 가정하고 照準點을 지나고 武器의 비행체도와 平行인 두개의 直線을 같은 거리만큼 띄워 飛行軌道の 左右로 그리면, 幅이 띄워는 거리의 두배인 帶(무한대의 길이를 가진)가 얻어진다.

이 帶안에 평균적으로 모든 彈着點의 50%가 포함되도록 할때에 띄워놓은 거리를 DEP라고 한다. 즉 이 경우에는,

$$0.5 = \int_{-\infty}^{\infty} dx \int_{-DEP}^{DEP} f(x, y) dy$$

의 式이 성립한다. 같은 방법으로 飛行方向에 垂直으로 平行인 두 直線을 照準點의 上下로

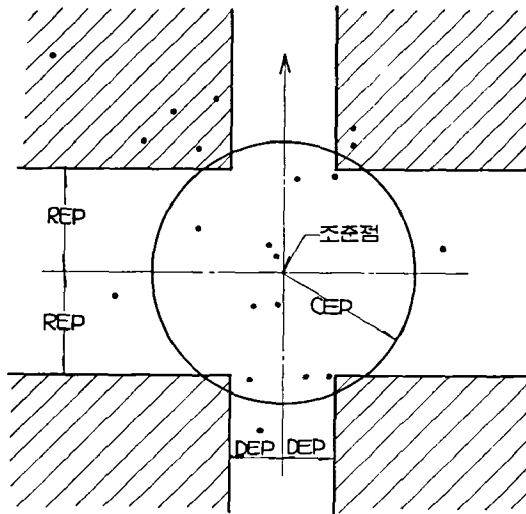
REP씩 떨어져 그리면 두배의 REP를 幅으로 하는 無限大의 帶가 얻어지고, 이 帶안에는 平均 彈着點의 50%를 포함한다. 이 두개의 帶가 중첩된 2REP×2DEP의 地域은 결국 모든 彈着點의 25%를 포함하게 될것이다(그림 6).

이 REP와 DEP는 사거리와 偏角에 대한 標準偏差 σ_R (혹은 σ_x), σ_D (혹은 σ_y)와

$$REP=0.6745\sigma_R$$

$$DEP=0.6745\sigma_D$$

의 관계가 성립된다. 각 DEP나 σ_D 내의 彈着點의 分布는 그림 7에 표시하였다.



〈그림 6〉 CEP 및 REP, DEP의 개념

(b) 圓形定規分布(Circular Normal Distribution)

圓形定規分布는 二價定規分布의 특수한 경우로 標準偏差 σ_x 와 σ_y 가 같은 값 σ 을 갖는 경우이다. 즉 彈着點의 分布가 方位角에 관계없이 목표물 주위에 대칭으로 분포되어 있어 分布函數는 목표물로부터의 거리 r 만의 函數로,

$$f(r, \theta) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right)$$

으로 주어지고, 全 空間에 대해 積分하면

$$\int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} f(r, \theta) r dr d\theta = 1$$

그 값은 1이 된다.

여기에서도 二價定規分布에서의 마찬가지로 목표물로부터 半徑 r 인 圓을 그리어 이 圓안에 平均적으로 모든 彈着點의 50%가 포함되도록 하면, 이 r 은 圓形 公算誤差(Circular Error Probable, CEP)로 불리운다. 즉

$$0.5 = \int_0^{2\pi} \int_0^{CEP} f(r, \theta) r dr d\theta$$

의 式이 성립된다. 이 CEP와 σ 사이에는,

$$CEP=1.1774\sigma$$

의 관계식이 성립되고, 또한 σ_R 과 σ_D 가 서로 크게 다르지 않으면 (그 비가 2:1이하인 경우에는),

$$CEP=0.589(\sigma_R+\sigma_D)$$

$$=0.873(REP+DEP)$$

의 近似式이 성립한다.

VI. 武器 시스템의 效果

非核武器를 사용하는 경우, 무기체계 全般으로서의 效果는 武器의 적절한 作動, 武器를 목표물까지 운반하는 正確度 및 목표물에 所期의 파괴를 일으킬 수 있는 彈頭의 威力등의 여러 複合的인 요소에 의해 좌우된다.

武器體系의 기본적인 尺度는 그 시스템으로서의 목표물에 대한 殺傷確率(Kill Probability)이다. 간단한 경우, 목표물의 殺傷確率 P 는,

$$P=P_F \times P_H \times P_{HD}$$

로 나타낼 수 있다.

武器가 적절하게 作動할 확률을 표시하는 P_F (Functioning Probability)는 결국은 武器시스템의 信賴度(Reliability)를 뜻하며, 이는 시스템을 運用해온 履歷의 통계수치에서 얻어지는 값이다.

履歷이 알려지지 않은 새로운 開發品目에 대하여는 이와 비슷한 시스템의 경우로부터 推論하거나 각 구성품의 試驗을 통하여 구할 수도 있다. 信賴度를 말할 때에는 대부분 그 말이 옳을 百分率을 나타내는 確信度(Confidence Level)와 함께 나타내는데 試驗品目이 실패없이 성공한 횟수, 信賴度 및 確信度 사이에는 다음의 式이 성립한다.

실패없이 成功한 시험횟수

$$= \frac{-\ln(1-\text{確信度})}{1-\text{信賴度}}$$

이를 表로 표시하면 表 3과 같다.

P_H (Hit Probability)는 武器가 목표물에 피해

〈표 3〉 실패없이 성공한 시험횟수

信 頼 度	確 信 度			
	80%	85%	90%	95%
0.99	161	190	230	300
0.95	32	38	46	60
0.90	16	19	23	30

를 줄수 있는 범위내에 맞을 확률로서, 이는 彈着點의 分布函數로 표시할 수 있다.

武器가 목표물에 피해를 줄수 있는 범위내에 맞았을 때에 이 武器에 의해 목표물이 破壞될 확률 P_{HD} (Damage Probability Given a Hit)는 결국 武器의 效果度 指數의 函數이며, 이 指數가 MAE_f 로 주어질 경우, P_{HD} 는 Carleton 破壞函數로 쓸수 있다.

보통의 경우, P_F , P_H , P_{HD} 는 서로 독립되지 않는 數值이나, 이들을 각각 별도로 計算할 수 있는 때에는 주어진 武器가 목표물을 破壞시킬 확률은 이들의 곱으로 구해진다.

美 空軍에서는 空對地 武器의 효과를 휴대용

電子計算器(특히 HP 67)를 이용하여 計算할 수 있도록 여러가지 경우에 대하여 프로그램을 作成하였는데, 여기서는 그 중에서 “단독 목표물에 각각 照準한 武器”(Individually Aimed Weapons vs. Unitary Targets)의 경우를 例로 들어 單發殺傷確率(Single Shot Kill Probability, $SSKP$)를 구하여 보자.

주어진 條件은 1) 點目標物과 2) 이 목표물에 대한 武器의 MAE_f , 3) MAE_f 의 길이對 幅의 比인 a , 그리고 4) 武器의 運搬正確度を 표시하는 REP 와 DEP 의 값이고, 구하는 값은 $SSKP$ 이다.

앞에서 記述한 바와 같이 $SSKP$ 는,

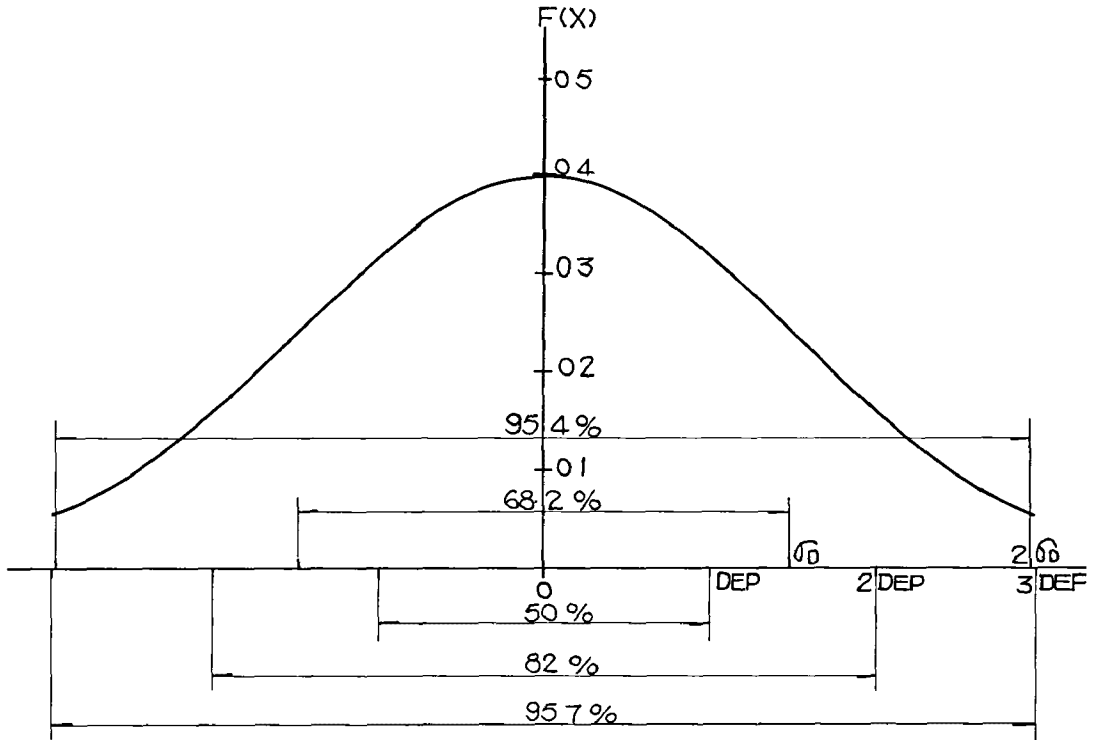
$$SSKP = P_F \times P_H \times P_{HD}$$

로 주어지나 武器가 어느 곳에 떨어질지 사전에 알수 없으므로 실제의 $SSKP$ 의 값은 (x, y) 平面의 전체에 대해 積分하여야 한다.

따라서,

$$SSKP = \iint P_F \times P_H \times P_{HD} dx dy$$

로 주어지고, 여기에서 P_F 가 武器의 彈着點 $(x,$



〈그림 7〉 탄착점이 예상되는 분포곡선과 DEP 및 δ_0 에 따른 탄착점의 分布率

y)와 무관하다면 P_F 는 常數로서 積分記號 밖으로 나온다. P_H 와 P_{HD} 는,

$$P_H = \frac{1}{2\pi\sigma_x \times \sigma_y} \exp\left[-\left(\frac{x^2}{2\sigma_x^2} + \frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)\right]$$

$$P_{HD} = \exp\left[-\left(\frac{4x^2}{L_{ET}^2} + \frac{4y^2}{W_{ET}^2}\right)\right]$$

으로 주어진다. σ_x 와 σ_y 를 REP와 DEP로 바꾸어 積分하면,

$$SSKP = P_F \times \frac{L_{ET}/REP}{\sqrt{(L_{ET}/REP)^2 + 17.6}}$$

$$\times \frac{W_{ET}/DEP}{\sqrt{(W_{ET}/DEP)^2 + 17.6}}$$

로 주어짐을 알 수 있다.

또한 N_V (Number of Volleys)를 一齊射擊의 發數라 하고 $P_K(N_V)$ 를 N_V 發을 사격했을 경우, 목표물이 破壞될 확률이라고 하면,

$$P_K(1) = SSKP,$$

$$P_K(N_V) = 1 - (1 - SSKP)^{N_V},$$

$$N_V = \frac{\ln[1 - P_K(N_V)]}{\ln(1 - SSKP)}$$

의 式을 얻는다.

例로서 다음과 같은 경우에 대하여 SSKP와 $P_K(N_V) = 0.5$ 인 N_V 를 구하여 보자.

주어진 條件 :

$$P_F = 1.0,$$

$$MAE_f = 1,000\text{m}^2$$

$$I = 75^\circ \text{ (Impact Angle),}$$

$$(a = 1.0 - 0.8 \cos I = 0.793)$$

$$REP = 30\text{m},$$

$$DEP = 20\text{m}.$$

이들 數値로부터

$$L_{ET} = (4a \times MAE_f / \pi)^{1/2} = 31.77\text{m},$$

$$W_{ET} = L_{ET} / a = 40.07\text{m},$$

$$L_{ET}/REP = 1.06,$$

$$W_{ET}/DEP = 2.00,$$

$$SSKP = P_F \times \frac{L_{ET}/REP}{\sqrt{(L_{ET}/REP)^2 + 17.6}}$$

$$\times \frac{W_{ET}/DEP}{\sqrt{(W_{ET}/DEP)^2 + 17.6}}$$

$$= 0.11$$

$$N_V = \frac{\ln(1 - P_K(N_V))}{\ln(1 - SSKP)} = 6.21,$$

즉, SSKP는 약 11%이고, 목표물을 破壞시킬 확률은 50%로 잡으면 $N_V = 7$ 이 됨을 알 수 있다.

맺음말

이상으로 武器시스템의 효과를 分析하는 일반적인 方法論을 간단히 소개하였다. 목표물을 選定하고, 그 목표물을 破壞시킬 武器를 결정하고 效果度 指數(EI)를 계산한다.

武器의 시스템으로서 信賴度를 구하고, 또 運搬正確度가 결정되면 原理的으로는 목표물에 대하여 武器를 單發射擊했을 때 SSKP를 구할 수 있고 이로부터 一齊射를 할 경우의 破壞確率도 구할 수 있음을 보여 주었다.

EI를 구체적으로 구하는 일은 너무 복잡하므로 여기서는 생략하였으며, 목표물이 點目標物이 아니고 地域目標物(예를 들면 길이와 幅이 주어지는 直四角形이라던지)이거나, 또 武器自體가 分散形(Cluster Type)이라 子彈의 分散形態 등도 고려하여야 하는 여러가지 경우를 여기서는 생략하였다.

결국 用語解説에 그친 감이 없지 않으나, 武器의 效果度分析에 조금이라도 도움이 되었으면 하는 것이 필자의 소망이다.

參考文獻

- (1) Joint Munitions Effectiveness Manual (Air-to-Surface), Basic JMEM, TH61A1-DF-1-1-1.
- (2) Weaponering Principles for Air-to-Surface Warfare, HQ. 314th Air Division(IN), U.S. Forces, Korea.
- (3) Programmable Calculator Manual for JMEM/AS Open-End Methods, 61 JTCG/ME-3-10-1.
- (4) Fugelso, L.E., Weiner, L.M. and Schiffman, T.H., Explosion Effects Computation Aids, AD-903279.
- (5) Missile Engineering Handbook, D. Van Nostrand(1958).
- (6) 國防과 技術 7, pp 41~48(1979)
- (7) Won Hyung Lee, FORTRAN Program for Expected Damage by Surface-to-Surface Weapons, 한국군사운영분석연구회지 Vol 5(1), 37(1979)

