

# 各種彈藥의 設計

## 1 머리말

이 論文은 Dr Sedgwick<sup>1)</sup>가 美海軍 解析研究所(CNA)에서 “各種彈藥의 設計”라는 題目으로 講演했던 資料로서 講演의 복식은 各種砲彈 및 徹甲彈 등의 設計方法을 紹介하는데 있었다.

이 講演에 사용된 圖表를 集錄하는 동시에 數例들은 美陸軍彈道研究所, 美空軍裝備研究所, System Science Soft Ware社 등의 支援으로 行한 研究成果의 일부이기도 하다.

## 2. 各種砲彈 및 徹甲彈의 設計

彈頭的 설계는 먼저 兵器使用을 左右하는 目標物을 識別하는데서 부터 시작되고 目標은 크게 나누어 點目標과 地域目標로 分類되며 나아가 硬性目標과 軟性目標로 細分된다. 이와같이 目標의 形質을 알게되면 殺傷, 破壞등에 效果的인 兵器선택이 가능하게 된다

效果的 彈道란 可能한 限의 에너지를 目標物에 指向시켜 최대의 破壞와 殺傷을 행하는데 있으며 또한 副次的으로 얻을 수 있는 2次效果의 可能性도 충분히 追求되지 않으면 안된다.

이 2次效果로서는 裝甲板裏面의 剝離에 의한 破片의 生成이나 目標物가운데 貯藏되고있던 爆發物의 誘發, 燃料에의 引火등을 例舉할 수 있다.

이와같이 選擇된 殺傷, 破壞效果에 基礎를 두

1) 美國에 있어서 貫徹問題의 解析에 관한 第一人者로서 裝甲板의 設計試製나 彈丸의 研究開發에 크게 貢獻하고 있는 科學者이다

고 概略的인 設計가 이루어지며 가장 適切한 彈頭的 媒介變數(Parameter)를 決定하기 위한 상세한 設計計算을 한다. 이러한 計算은 언제나 總合的인 試驗計劃과 밀접한 聯關을 가지면서 하지 않으면 안된다. 여기서 彈頭的 設計順序를 간추리면 다음과 같다.

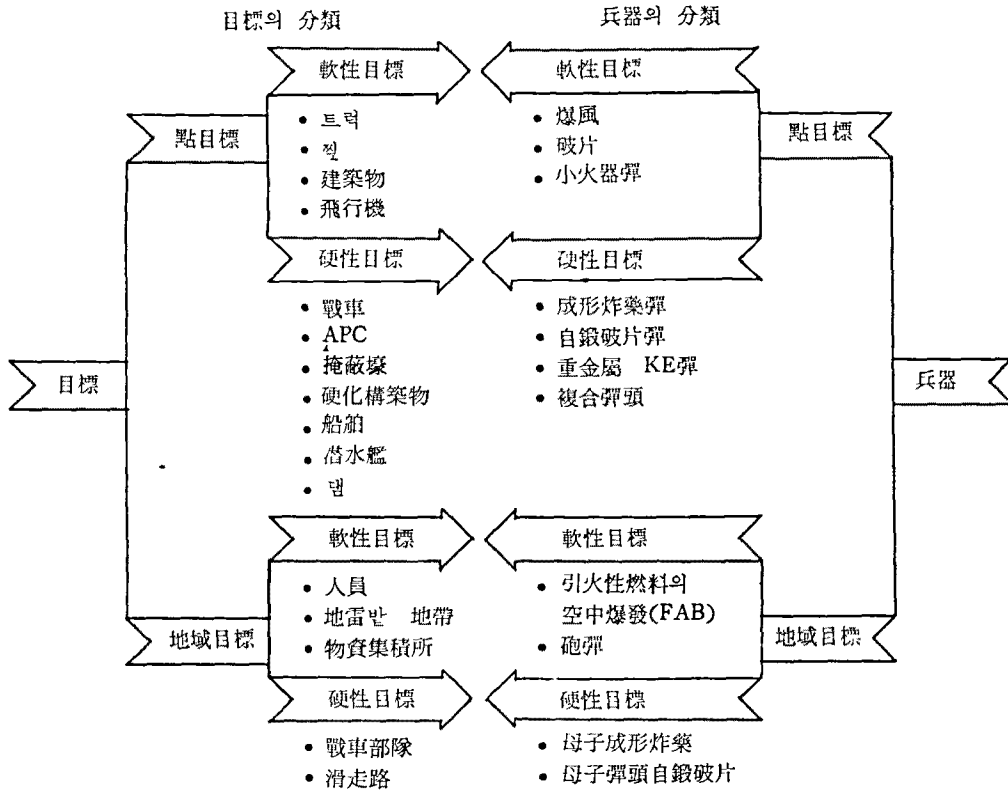
- 攻擊目標物의 識別
- 殺傷, 破壞機構의 選擇 {에너지 指向性  
2次 效果
- 殺傷, 破壞效果의 計算
- 設計方針의 決定
- 試驗計劃의 決定
- 第一次試製
- 試驗의 實施 및 Data分析
- 最適設計를 위한 媒介變數의 選擇
- 生産設計
- 試製生産
- 目標物殺傷, 破壞度의 實用試驗
- 彈頭的 致命度 評價

## 3. 目標物의 識別과 兵器의 選擇

破壞하고자 하는 目標物의 분류는 破壞機構를 選擇하는데 있어 가장 중요한 情報로서 表 1로 目標의 분류와 對應하는 兵器의 選擇例를 나타내 보았다.

여기서 點目標란 直擊 또는 至近彈이 아니면 殺傷, 破壞할 수 없는 것이며, 地域目標란 殺傷, 破壞效果가 어느 領域에 걸쳐 미쳐야할 것을 必要하기 때문에 精密한 命中率에 比하여 殺傷, 破壞領域의 넓이가 보다 중요한 것이된다.

硬性目標이란 主로 裝甲板등으로 堅固히 防



護되어 있는 것이나 댐, 滑走路, 및 地下構造物 등도 여기에 包含시키고 있다.

表 1은 兵器의 選擇이 硬性 및 軟性目標에 대한 殺傷, 破壞機構나 點 또는 地域目標에 대한 兵器의 운반수단에 따라 如何히 目標物의 分類와 聯關지어지고 있는가를 보여주고 있는데 이 가운데 나오는 殺傷, 破壞機構에 관하여는 다음에서 상세한 說明을 하기로 하겠다.

4. 殺傷, 破壞機構

各種砲彈이나 徹甲彈의 殺傷, 破壞機構란 어떤 目標物에의 에너지 傳達機構라고 할수 있다.

즉, 高性能炸藥에 의한 爆風效果, 砲彈에 의한 破片效果, 成形炸藥彈에 의한 噴出(Jet)이나, APDS彈과 같은 運動에너지의 集中效果등이 殺傷, 破壞機構에 例가 되며, 彈頭에는 이러한 몇 가지의 殺傷, 破壞效果를 組立한것이 사용되고

있다.

또한 長身の 棒狀貫徹體는 그 運動에너지로 裝甲板을 破壞시키며, 貫徹體가 지닌 에너지가 目標物에 전과되는 樣相을 층돌에 寄與하는 貫徹體와 目標物의 많은 媒介變數(Parameter)에 따라 달라진다.

貫徹이나 貫通現象에는 彈孔形成, 花瓣狀突出 Plugging現象, 內面剝離 또는 이러한 現象의 複合狀등이 있고 貫通現象에는 2次效果로서 裝甲板裏面に 形成되는 破片群에 의한 人員의 殺傷效果를 더 가지고 있으며, 이와같이 目標를 殺傷, 破壞하는 方法을 다음에 例擧한다면,

- 가. 各種砲彈
  - 爆風
  - 破片
  - 成形炸藥에 의한 噴出(Jet)
  - 自鍛破片
  - 複合效果
- 나. 徹甲彈... ○貫徹

○貫通

○裝甲板裏面의 破片效果

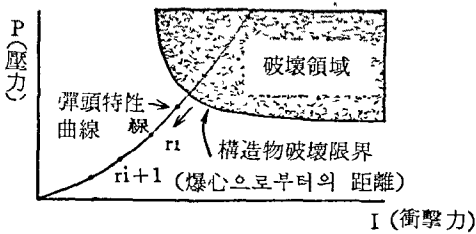
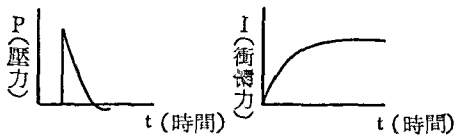
### 5. 爆風效果

爆風은 軟性目標物의 殺傷, 破壞에 사용되며, 爆風效果를 노린 彈頭는 衝擊에 의하여 爆發하는 炸藥을 充填한 筒狀의 筒狀의 筒狀 또는 爆彈이기도 하다. 따로 爆風效果를 廣域에 미칠 수 있는 것으로는 引火性燃料의 空中爆發이 있으며, 이는 炭化水素 Gas(Propane)와 酸化劑를 空中散布하여 空氣와의 自然混合을 기다려 點火되는 것이다.

취약한 構造物을 破壞하는 것을 爆風의 尖頭壓力, 即 衝擊力이다. 따라서 爆風效果를 이용하는 兵器의 設計에 있어서는 爆發 또는 燃燒開始點으로 부터의 壓力分布, 衝擊波의 進行樣相을 아는 것이 중요하다.

이러한 資料에 의하여 爆風으로 構造物에 致命的인 破壞를 할 수 있는 範圍의 예측이 可能해진다

그림 1 에는 壓力, 衝擊力의 時間的 變化와 爆發點으로 부터의 거리에 따른 變化를 나타내며 이로부터 壓力—衝擊力曲線(P-I 曲線)을 얻을 수 있다. 構造物破壞限界를 나타내는 曲線을 P-I 曲線에 加하므로써 破壞領域을 求할 수 있고, 기대하는 破壞를 이룰 수 있는 有效破壞半徑을 求할 수 있다.



〈그림 1〉 爆風 效果

### 6. 破片效果

破片效果를 노리는 兵器로서는 砲彈外에도 高性能炸藥을 圓筒型케스에 充填하여 爆發로 케스가 無數의 破片을 放射形으로 날리는 것을 包含한다. 이를 위하여 彈體에 홈을 낸다거나 많은 구멍을 뚫으므로써 破裂時의 破片의 크기나 個數를 調整하고 있으며, 일반적으로 破片에 의한 構造物의 破壞成果를 評價한다는 것은 破片形狀이 不規則이기 때문에 매우 困難하여 Pecht와 Ipson 公式<sup>2)</sup>을 사용하나 貫徹에 필요한 限界彈着速度는 實驗에 의하여 求하여지고 있다.

### 7. 成形炸藥彈에 의한 噴出效果

噴出은 眞空銅製알을 둘러싼 炸藥이 爆發했을 때 그 알이 進行軸을 따라 부서져 流體化하여 形成된다. 이 噴出先端의 速度는  $8 \times 15^5 \text{cm/Sec}$ 까지 達한다

그러나 噴出에 따르는 速度勾配는 대단히크며 噴出 뒷면의 鎔滓(Slag)라 불리우는 領域에서는 速度가 현저히 減少된다. 이 噴出에 따른 速度勾配로 因하여 離隔(Stand-Off)이 클수록 噴出은 길게되어 마침내는 아주작은 粒子가 되어 貫徹力을 잃게된다. 따라서 最大의 貫徹效果를 얻기 위하여는 離隔을 適切히 決定해야 할 필요가 있는 것이다.

### 8. 自鍛破片彈

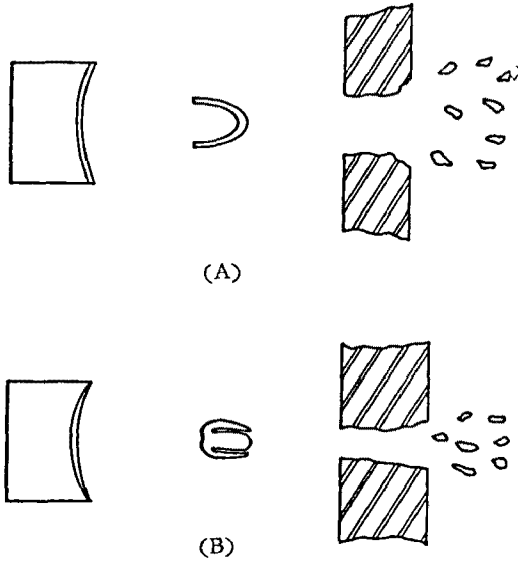
自鍛破片彈은 緩曲形의 金屬性덕쇠(Liner)가 高性能炸藥으로 둘러싸인 것으로서 炸藥과 덕쇠의 配置는 原則적으로는 成形炸藥彈과 같으며, 炸藥의 爆發에 의하여 圓板은 加速되어 高速으로 飛行하는 한個의 破片이되어 커다란 破壞效果를 올린다.

2) 彈藥의 殘留速度 =

$$\left[ \frac{1}{1 + \frac{\text{彈藥密度} \times (\text{대개 직徑})^2 \times \text{裝甲板 두께}}{\text{目標密度} \times (\text{圓筒型彈藥의 직徑})^2}} \right] (\text{彈藥速度}^2 - \text{限界彈着速度}^2)$$

이러한 自鍛破片彈은 破片이 거의 同一速度로 飛行하기 때문에 離隔(Stand-Off)이 길어져도 噴出의 경우처럼 粒子化되지 않고 期待效果를 發揮할 수 있는 長點을 지니고 있다.

그림 2에 두 種類의 自鍛破片彈을 나타냈는데 (A)는 破片的 두께가 一定하고 破片은 컵(Cup)形으로 되어있다. 이와같은 飛行體의 運動에너지에 의한 貫徹의 解析에는 破片을 眞空圓筒으로 모델化 하여도 支障이 없다. (B)는 破片的 두께가 가장자리에 갈수록 얇어져 있으며 그림과 같이 破片의 質量은 彈頭的 進行軸 근처에 集中한다. 이 質量集中에 의하여 運動에너지는 한 곳에 指向되어 貫徹孔 直徑은 작아지나 두꺼운 裝甲板을 貫徹시킬 수 있다.



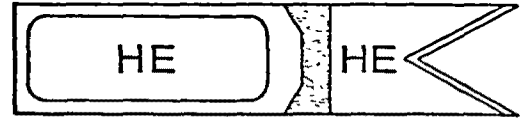
〈그림 2〉 自鍛破片彈

### 9. 複合效果

前述한 通常彈頭的 殺傷, 破壞機構를 複合시키므로서 어떤 特定目標物에 대하여 매우 效果的인 兵器를 設計할 수 있다. 예를 들면 그림 3의 彈頭는 成形炸藥彈에 다른 殺傷, 破壞效果를 갖는 追從彈頭를 붙인 것으로서 이는 成形炸藥에 의한 噴出이 硬性目標物을 軟化시킨後 追從彈이 目標를 貫徹하여 爆發하는 것으로 噴出效果, 破

片效果, 爆風效果 등을 얻을 수 있으며, 破片가 發火性物質로 만들어 있으면 燒夷效果도 있어 燃料貯藏施設과 같은 目標의 破壞에 有効하다.

追從彈頭를 붙인 成形炸藥彈



- HE(高性能炸藥)
- 爆風效果
- 破片效果
- 噴出效果
- 燒夷效果

〈그림 3〉 複合效果

### 10. 高速貫徹彈

우선 超高速彈과 高速彈의 差異를 생각해 보기로 한다. 超高速衝突이란 彈着速度가 音速보다 큰 경우를 가리키며, 大多數彈體의 音速은 거의  $5 \times 10^5 \text{cm/Sec}$ 이다. 彈體가 音速以下로 衝突하는 경우를 高速衝突이라고 定義지을 수 있으나 衝突速度가  $3 \times 10^4 \text{cm/Sec}$  以下の 경우는 除外된다. 超高速彈 및 高速彈共히 彈體와 目標物의 衝突媒介變數의 變化에 따라 여러가지의 破壞形狀을 이루는데 이를 詳細히 說明하면 다음과 같다.

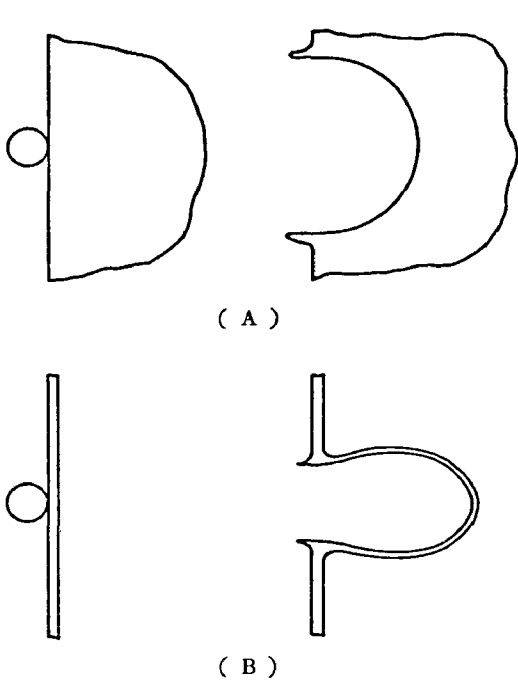
#### (가) 超高速衝突

厚板目標에 대한 超高速彈의 주요한 破壞效果는 彈孔의 形成이다(그림 4, A) 이 衝突의 특징은 彈體自體의 材料強度가 貫徹過程에서 거의 關係가 없으며 彈孔의 最終形狀을 결정하는 主要因子는 目標物의 밀도, 降伏應力, 彈體의 質量, 速度등이 된다.

薄板目標物에의 超高速衝突에서 彈體 및 薄板이 破裂하여 無數의 微少한 破片群이 形成되며(그림 4, B)이 破片群은 膨脹하여 飛散하기 때문에 破壞效果가 급격히 減少된다.

#### (나) 高速衝突

高速衝突彈에 의한 貫徹過程에 있어서는 各種 衝突媒介變數에 따라 目標物의 破壞形狀이 決定



〈그림 4〉 超高速衝突에 의한 破壞形狀

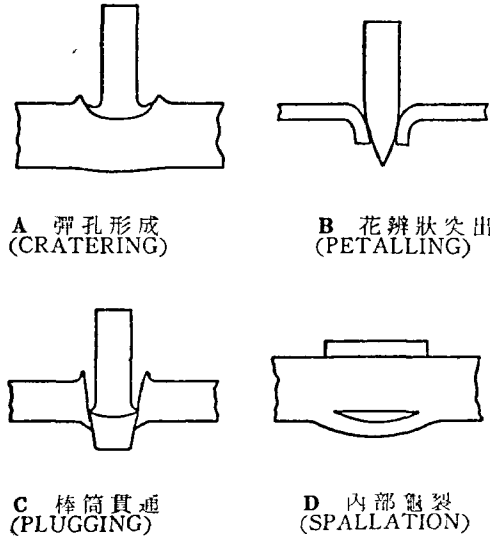
되며, 그림 5는 이러한 代表的인 破壞形狀을 나타낸 것이다

일반적으로는 이러한 몇개의 形狀이 複合된 破壞가 생기고 있는 것이다. 卽 厚板目標의 경우에 있어서의 主要한 破壞形狀의 그림 A와 같은 彈孔形成(Cratering)이며, 그림 B와 같이 尖頭貫徹體가 薄板에 衝突하면 花瓣狀突出(Petalting)이 形成된다.

이 形狀은 衝突로 因하여 彈頭先端을 중심으로 無數의 放射狀龜裂(Crack)이 생기며 花瓣과 같은 模樣을 만들면서 彈藥의 진행에 따라 裏面에 向하여 꼬부러지는 破壞形狀이다.

그림 C는 比較的 鈍頭의 貫徹體가 그 直徑과 같은 두께의 板에 衝突하는 경우로 마개(Plug)라 할 棒筒破片이 剪斷破壞에 의하여 貫通하게 된다.

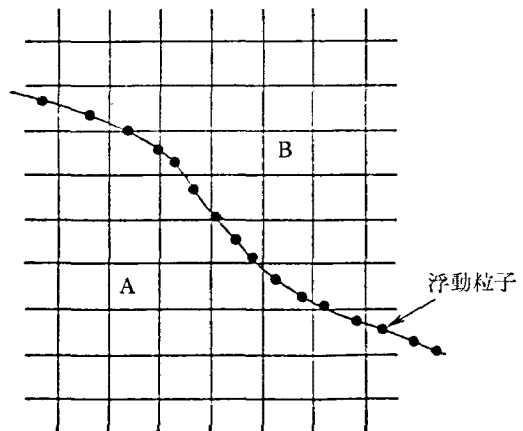
또한 그림 D와 같이 薄板의 貫徹體가 厚板目標物에 충돌하면 薄板貫徹體의 自由表面에 의한 彈性波의 反射波와 厚板裏面으로 부터의 反射波가 相乘하므로서 內部龜裂(Spallation)이 생겨 剝離된다.



〈그림 5〉 高速衝突에 의한 破壞形狀

### 11. 貫徹現象의 解析

貫徹問題의 數值解析을 위하여 Dr Sodgwick 등은 HELP(Hydrodynamic Elastic Plastic)라 불리우는 電子計算機 Program을 開發한바 있다 이의 특징은 連續體力學問題를 푸는 汎用 Program으로서 異種材料의 接觸境界 및 自由境界를 몇개의 浮動粒子를 사용하여 나타낸다는 獨創的인 考察이 이루어져 있는 點이며(그림 6, Help Code)以下는 이 Help Code에 의한 解析結果의 例를 든 것이다.



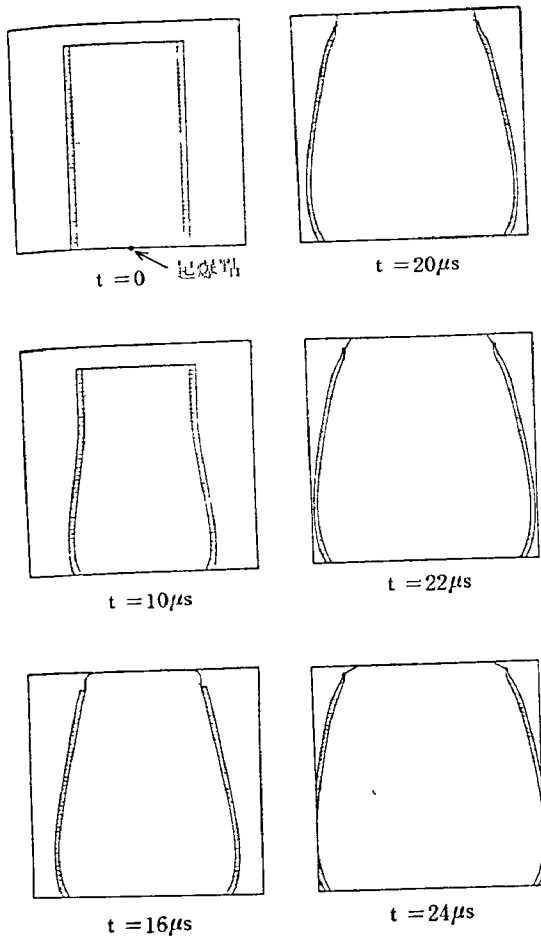
〈그림 6〉 Help Code

(가) 破片彈

그림 7은 農化物質(Octal)을 充填한 空筒이 破裂하는 過程을 解析한 例로서 計算은 爆發開始로부터 圓筒型 包裝全體가 解析的으로 破壞되는  $24\mu s$ 까지로 하여 그간의 變形過程을 圖示한 것이며, 計算時의 破片最大速度는  $2.1 \times 10^5 \text{cm/Sec}$ 였음.

(나) 砲彈의 爆發

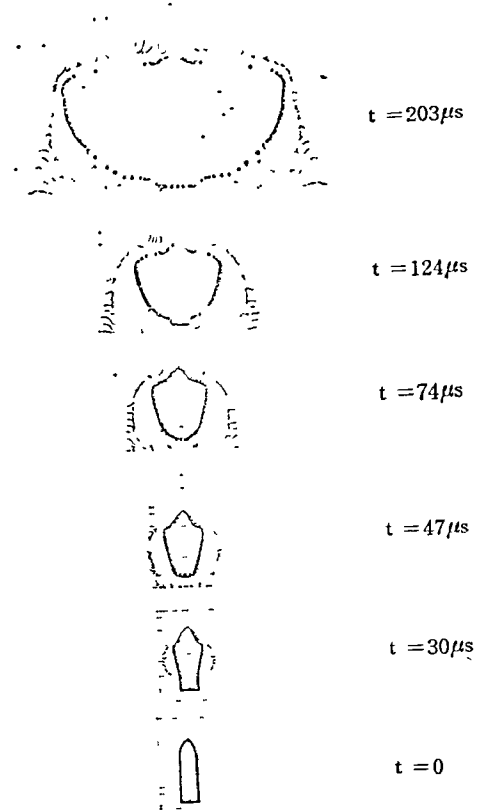
그림 8은 105mm砲彈의 爆發過程을 計算에 의하여 求한 것으로서 여기서는 銅製彈皮에 B-Component 炸藥을 充填한 砲彈을 사용하여 砲彈의 外界와의 相對速度는  $9 \times 10^4 \text{cm/Sec}$ 로 하고, 爆發은 砲彈의 尖頭部에서 開始한 것으로 한 것이다.



<그림 7> 破片彈

(다) 成形炸藥彈에 의한 噴出의 生成

그림 9은 PB×9404炸藥을 充填한 直徑 8.23cm의 成形炸藥彈에 의한 噴出生成過程을 나타낸 것으로서, 頂錐는 0.19cm 두께의 銅製로 그 圓錐角은 21度이다.



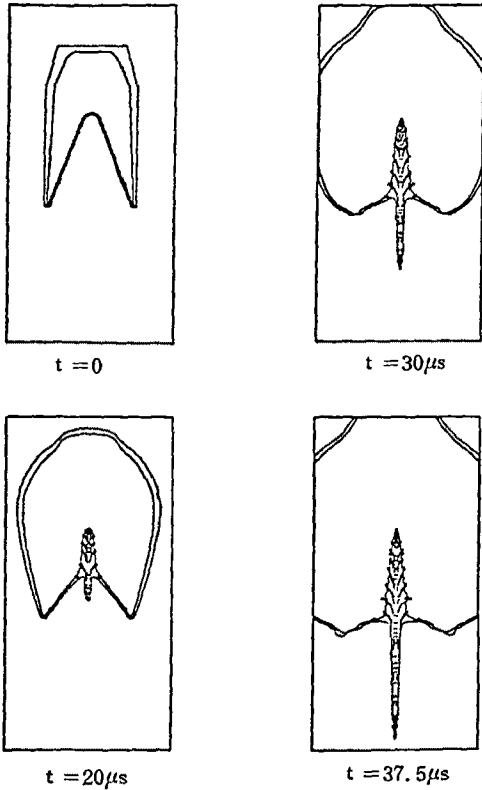
<그림 8> 砲彈의 爆發

計算에 의하여 얻어진 噴出의 最大速度는  $8.0 \times 10^5 \text{cm/Sec}$ 였으며, 彈底의 起爆點에서 爆發이 開始되고 부터  $37.5\mu s$ 까지의 過程을 보았는데 이 사이에 噴出이나 鎔碎가 완전하게 生成發達된 것 을 알수 있다.

(라) 自鍛破片彈

앞에 그림 2의 B와 같은 形態의 自鍛破片彈에 있어서는 그림 10와 같이 爆發開始로부터  $200\mu s$ 까지의 計算結果를 나타내며, 이 사이에 變形된 破片은 彈頭直徑의 約 4倍의 距離를 날라가 거

3)  $\mu s$  : 百萬分의 1(Micro-Second)를 나타내는 記號



〈그림 9〉 成形炸藥彈

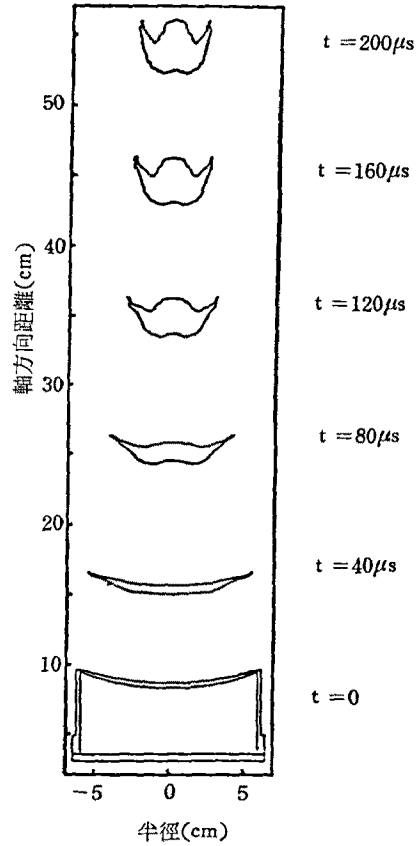
이 最終形狀에 達하였고, 이때의 速度變化는 3%以下였다. 이 解析例로부터 알수 있드시 破片은 한몸이 되어 飛行衝突하기 때문에 매우 큰 離隔(Stand-Off)에서도 같은 破壞效果를 얻을 수 있는 것이다.

(마) 超高速衝突

그림 11은 알미늄圓柱가  $5 \times 10^5 \text{cm/Sec}$ 로 알미늄製 目標에 衝突한 경우를 解析한 結果로서 計算은 彈孔形狀이 거이 一定해질 때까지 行하여진 것이다.

(바) 成形炸藥의 噴出에 의한 貫徹

Help Code에 의하여 噴出에 의한 貫徹現象의 解析이 허다하게 行하여지고 있는데 그림 12는 그 한例로서 裝甲板이 貫徹되고 貫徹의 進行이 멎음과 同時에 裝甲板裏面에 破片群을 生成하기 까지를 計算한 것으로 초기조건은 길이 3.81cm, 先端半徑 1.27cm의 銅噴出이 두께 2.54cm의 銅



〈그림 10〉 自鍛破片彈

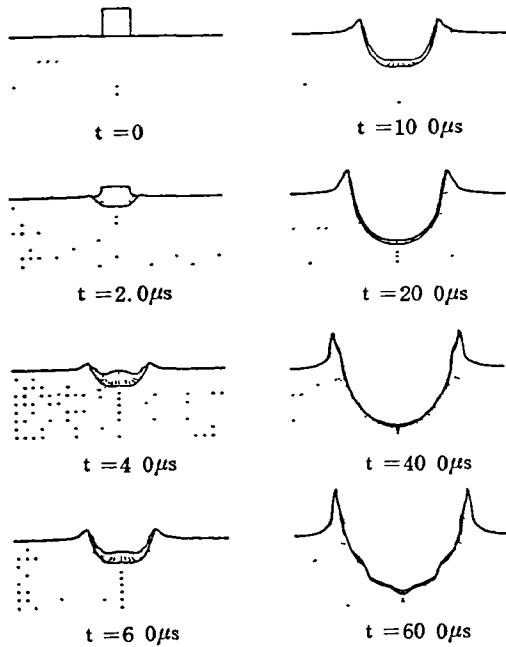
製裝甲板에 速度  $7.6 \times 10^5 \text{cm/Sec}$ 로 衝突하여 그림과 같이  $10.3 \mu\text{s}$ 에는 約 3.87cm 直徑의 구멍이 생기고 있음을 알수 있다.

(사) 裝甲裏面破片群의 實驗과의 比較

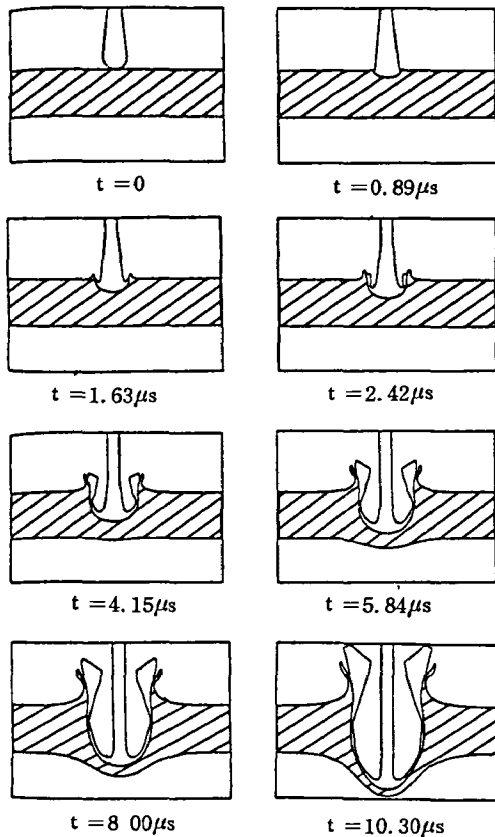
噴出이 裝甲板을 貫徹하면 裝甲板裏面에 破片群이 형성된다. 그림 13은 두께 2.54cm의 裝甲板을 貫徹한 경우에 破片群의 先端形狀의 變化에 대한 數值解析과 X-Ray 寫眞으로 얻어진 觀測 結果를 함께 나타낸 것으로 兩結果의 時間은 정확히 合致된 것이 아니기 때문에 定量的 比較는 困難하나 定性的으로는 比較의 일치되고 있다.

(아) 棒筒狀破壞

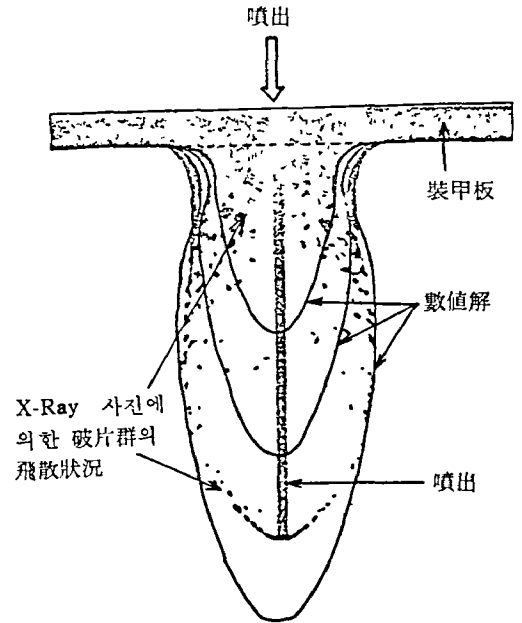
그림 14에는 7.35g의 鋼製圓柱가 두께 0.635cm의 알미늄板에  $5.56 \times 10^4 \text{cm/Sec}$ 로 衝突하였을 경우에 充填(Plug)의 生成 및 押出過程 등의



〈그림 11〉 알미늄탄의 알미늄目標에의 超高速衝突



〈그림 12〉 成形炸藥彈噴출에 의한 貫徹



〈그림 13〉 噴출에 의한 裝甲板面의 破片群形狀 (X-Ray寫眞과 數値解析結果)

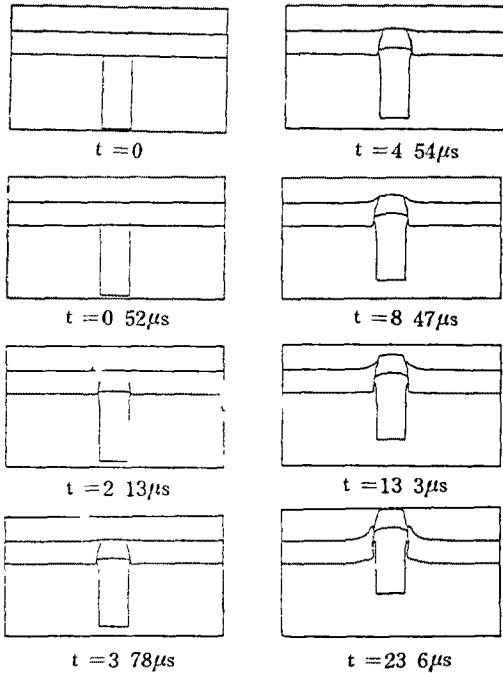
解析結果를 나타낸 것이다.

그리고 그림 15에는 棒筒狀貫徹體가 平板에 斜角을 이루어 衝突하는 문제를 푼 結果를 나타낸 것으로 여기에서는 Tungsten 合金棒心에 Marm 300鋼의 被覆을 입힌것을 사용했으며, 두께 0.955cm의 壓延均質裝甲板에 速度  $1,531 \times 10^5 \text{cm/Sec}$ 로  $65^\circ$ 斜角에 衝突시키는 동시에 殘留速度가  $1,515 \text{cm/Sec}$ 에 이르기까지 計算을 實施한 것이다. 또한, 그림 16에는 Tungsten 合金棒이 같은 그림 15의 경우와 같은 條件下에서 衝突하였을 경우를 全體의 衝突過程이 보기쉬운 角度를 선택하여 나타낸 것으로서  $t = 42 \mu\text{s}$ 에서 薄板裏面에 突出하고 있는 部分은 破壞限界를 넘어선 것이기 때문에 實際로는 破片이되어 飛散한다. 이 計算에는 三次元의 METRIC(Multi-Material-Eulian Tri-Dimensidnal Code)를 使用하였다.

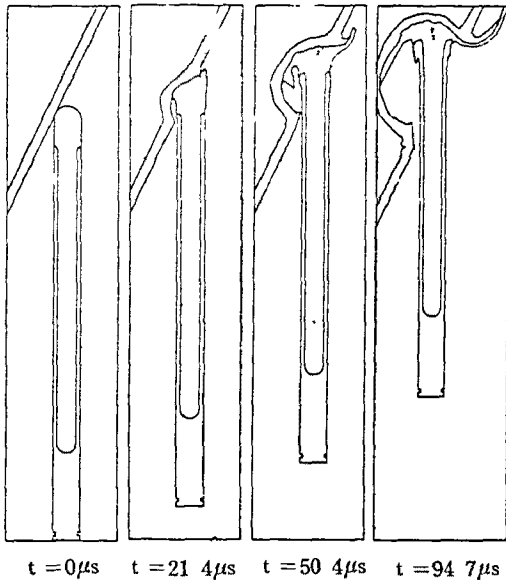
## 12. 兵器設計技術의 進步

第2次世界大戰 이후에 있어서 通常彈頭의 設計技術이 進步한 最大인 이유로서는 高速電子計算機의 이용을 들수 있을 것이다. 卽 汎用의 連續體力學問題解析用 Code를 사용하여 彈頭機構,



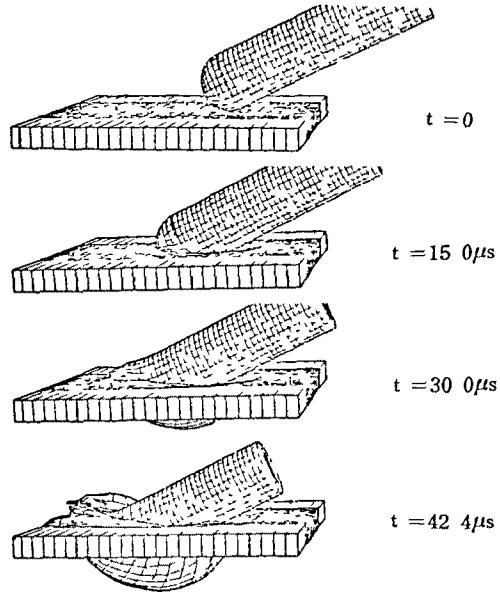


〈그림 14〉 棒筒狀 破壞



〈그림 15〉 棒筒狀貫徹體(二次元解析)

彈頭的 殺傷, 破壞效果 및 KE彈과 목표물과의 相互作用 등의 數值解析이 容易해진 것으로 더욱이 電子計算機의 小型化로 現在 行하여지고 있는 誘導 및 運搬 System의 電算機의 利用과 함께 連續體力學 Code도 頻繁하게 使用하게 되었다.



〈그림 16〉 棒筒狀貫徹體(三次元解析)

여기에는 包括的인 것은 아니나 戰後의 눈부신 技術革新이라고 생각되는 것들을 例擧한다면 다음과 같은 것이 있다.

- 電子計算機
- 多彈頭兵器
- 重金屬徹甲彈
- 誘導 System
- 運搬 System
- 複合效果兵器

### 13. 맺 음 말

지금까지의 여러가지 內容을 묶어 살펴보면, 彈頭的 設計는 그것을 使用하는 目標物에 관한 諸情報를 分析하는데서 부터 시작되며, 이 分析에 따라 採用되는 殺傷, 破壞機構가 선택되고 彈頭設計의 試案이 다듬어진다. 이때 最適設計 媒介變數의 결정을 위하여는 一連의 試驗과 함께 彈頭機構의 計算이 실시되며, 兵器의 最終試驗段階에서는 目標物에 대한 實射로서 그 殺傷, 破壞效果를 測定하여 彈頭的 致命度 評價를 실시한다. 이와같은 過程은 최근 發展되고있는 Computer技術, 兵器誘導 System, 運搬 System, 試驗資料의 處理法, 材料科學 등은 彈頭 및 貫徹體의 設計技術에 혁신적인 進歩를 가져와 現在의 設計技術을 工藝의 領域까지 끌어 올리려 하고 있는 것이다.

日本「兵器と技術」79年 9月號에서(姜福培 抄譯)