

# 徹甲貫通子로서 텡스텐과 減損우라늄의 比較

池 德 在 譯

텅스텐合金은 過去 40年間에 걸쳐 兵器用으로徹甲(AP) 貫通子(Penetrator)를 生산하는데 널리 利用되어 왔다.

그러나 最近에는 減損우라늄(DU ; Depleted Uranium)도 이 分野에 이용되고 있다.

兩材料는 모두 戰車 및 其他 戰鬪車輛의 裝甲貫通을 위한 運動에너지彈으로서 필요로 하는 高比重, 高强度 두가지 特성을 갖고 있으나 실제에 있어 裝甲破壞兵器의 貫通子 主材料로서는 텡스텐이 적합하며 이 材料를 활용하여야 한다는 見解가 지배적이다.

## 材料의 價値(Materials Availability)

이면 材料가 兵器用으로서 有用하기 위해서는 충분한 供給을 정확히 할 수 있는 것이 필요하며 텡스텐과 減損우라늄은 모두 예상되는 將來에 이용될 수 있는 點을 갖고 있다.

**텅스텐** : 텡스텐은 많은 特性을 가지고 있다. 密度는  $19.3 \text{ g/cm}^3$ 로서 이는 金屬中 白金그룹에만 뒤지고 있으며 融點은  $3,410^\circ\text{C}$ 로서 最高이고 地殼에 存在하는 元素中 26番째로 풍부하다(銅은 25번째, 錫은 30번째).

그러나 텡스텐은 天然에서는 거의가 純粹한 形태로 발견되지 않고 있으며, 代表的 텡스텐礦이 0.5~1.5%의 三酸化텅스텐( $\text{WO}_3$ )을 포함하고 있다.

世界의 텡스텐 埋藏量과 1980~1981年的 採掘量은 表 1에서 보는 바와 같다.

美國의 GSA(General Services Administration)는 텡스텐을 비롯하여 各種資源을 備蓄하

〈표 1〉 世界의 텡스텐礦의 產出量과 埋藏量(톤)

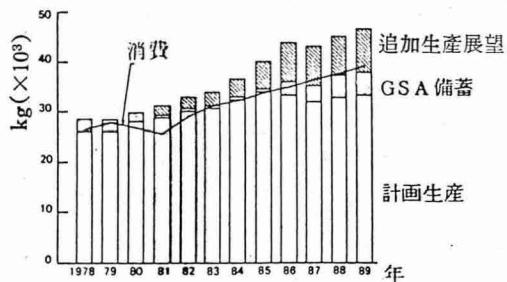
	產出量		埋藏量
	1980	1981	
United States	2,744	3,552	250,000
Australia	3,339	3,330	109,091
Austria	1,498	1,453	18,182
Bolivia	3,366	2,741	39,545
Brazil	1,204	1,223	18,182
Burma	754	816	31,818
Canada	3,956	1,996	431,818
Korea, South	2,747	2,647	81,818
Mexico	270	168	20,000
Portugal	1,560	1,392	24,545
Thailand	1,618	1,212	18,181
Turkey	1,000	76	77,273
Other marketeconomy-countries	4,386	3,538	81,818
China	15,045	13,545	1,363,636
USSR	8,727	8,864	213,636
Other Centraleconomy Countries	2,284	2,272	113,636
World Total	54,498	48,825	2,893,179

고 있으며, 이중에는 텡스텐金屬 4,200 萬 kg 가 포함되어 있다. 이것은 2,680 萬 kg 의 備蓄目標를 輝선 넘어서고 있는 것이다.

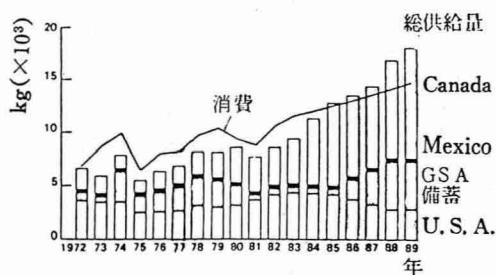
텅스텐粉末 및 炭化텅스텐에 대한 豫想需要의膨脹에 대비하기 위하여 美產業界는 이의 처리능력을 증진시켜 왔다.

첫段階은 암모늄·텅스텐酸鹽(APT)의 生産으로 텡스텐礦의 純度를 높이는 것이었으며, 1979~1980年에 걸쳐서는 새로운 工場의 건설 또는 확장으로 APT 生產能力을 50%나 증가시켜 現在는 그 能力이 수요를 輝선 上廻하고 있는 실정이다(表 2, 3 참조). 이것은 動員에 대처하기 위하여 넓은 生產基盤을 보유하고 있어야 한다

〈표 2〉 西方世界의 텅스텐 消費와 生產



〈표 3〉 北美洲의 텅스텐 需給現況



는 美國防省의 政策에 일치하는 것이다.

한편, 世界的인 텅스텐供給量도 再生法의 채택으로 많은 증가를 가져왔다.

美礦山局의 推定에 따르면 1980年에는 美國의 텅스텐需給의 約 20%가 廢材(Scrap)와 再生材로 공급되었으며 將次는 그 比率이 더욱 증가될 것으로 보인다.

텅스텐 및 炭化텅스텐의 再生方法으로는 亞鉛處理, 酸化와 還元, Cold Stream 등 세 가지가 있다. 텅스텐貫通子 生產時 생긴 重金屬廢材는 酸化와 還元에 의해 쉽게 재생되어 貫通子 生產라인으로 되돌아오게 된다. 이같은 技術은 완전히 확보되어 있어 備蓄된 텅스텐合金 또는 炭化텅스텐의 貫通子는 他用途開發을 위해 再生시킬 수도 있다.

**減損우라늄** : 減損우라늄(DU)은 原子力發電所의 燃料 또는 兵器의 核分裂材料를 만드는 우라늄濃縮工場에서 生成된다.

天然우라늄의 大부분은 2種의 同位元素  $U^{238}$ 와  $U^{235}$ 이 混合되어 있다.  $U^{238}$ 과 달리  $U^{235}$ 는 자연적으로 分裂되는 特성을 지닌 同位元素로서

原子爐 또는 核兵器에 사용이 가능하다. 그러나 天然우라늄은 블과 0.7%의  $U^{235}$ 를 含有하고 있어 原子爐에 대해서는 約 3%로 증가시켜야 한다.

濃縮過程에서 6弗化天然우라늄( $UF_6$ )가스는 原子爐用인 約 3%의  $U^{235}$ 를 含有한 濃縮우라늄과 0.3% 이하의  $U^{235}$ 로서 대부분이  $U^{238}$ 의 減損우라늄을 생산하는 多段式擴散工場에 공급되어 濃縮우라늄 1 kg當 約 5 kg의 減損우라늄이 生산된다. 이 材料는  $UF_6$ (가스) 또는  $UF_4$ (Green Salt) 어느 形態로든 保管이 가능하여 原子力計劃이 起수된 初期때부터 大量의 이들 材料가 비축되고 있다.

1977年 美國의 減損우라늄 總 備蓄量 258,000 톤中 Green Salt는 79,000 톤으로서 이는 충분한 供給量이 된다. 1977年 Green Salt의 價格은 kg當 0.15 달러 이하였다. 이는 濃縮우라늄의 生产과정이 採礦, 濃縮 등에 드는 全費用을 計上하고 있음에도 減損우라늄에 대한 用途가 거의 없었기 때문이다.

構造材로서 應用性이 없던 材料가 貫通子 開發의 材料로된 原因은 바로 이 낮은 價格 때문이었다. 現在 Green Salt의 價格은 kg當 2,20~3,30 달러 정도이다.

### 生產性

兵器用으로서 텅스텐이나 減損우라늄은 兩者共히 合金이 可能한데 있다(텅스텐은 일반적으로 3~10%의 니켈, 鐵 또는 銅과 減損우라늄은 2%의 몰리브덴이나 0.75%의 티탄과 合金).

**텅스텐** : 텅스텐貫通子 合金은 미세한 텅스텐粉末과 니켈·鐵 또는 니켈·銅 細末의 혼합물을 燒結하여 Matrix合金으로 한것으로 제조되어 現用 貫通子는 거의가 니켈·鐵의 Matrix合金으로 되어있다.

텅스텐合金은 보통의 設備로도 加工이 용이하다. Cold-Heading, Cold-Swaging 및 热處理 등의 기술은 強度, 硬度 및 延性(늘려서 35%까지) 등 特性을 개선시켰다.

合金의 密度는 16.8~18.5 g/cm³이고 선택된 冷間加工方法으로 引張強度가 1,380 MPa를 넘

도록 하였으며, 이는 彈丸에 대한 試驗射擊結果에 의해 확인됐다. 이는 20%를延伸하여 衝擊強度(耐衝擊性)  $10^8$  joule 이상의 合金을 사용한 것으로서 機械的 性質은 溫度가 高은 범위에 걸쳐( $-45^{\circ}\text{C} \sim +60^{\circ}\text{C}$ ) 安定되어 있었다.

텅스텐金屬은 碳化텅스텐보다 우수하다고 판명된 10年前부터 貫通子製造에 활용되어 왔으며 그밖에 Gyroscope의 回轉子, X線의 密閉裝置, 工具받침 및 航空機의 Counterweight 등에도 이용되고 있다.

美國에서는 5個 이상의 會社가 텅스텐金屬으로 된 構成品을 生産하고 있다.

**減損우라늄**: 2% 모리브네의 減損우라늄合金은 Phalanx 艦船用인 近距離火器시스템에 사용하고 있으나, 他시스템에서는 0.75% 티탄의 減損우라늄合金을 대신 사용하고 있다.

두가지 모두 보통의 技術로 鑄造 및 热間加工이 가능하나 減損우라늄의 작은 粒子는 自然發火性이 있어 特殊한 機械加工方法을 필요로 한다.

요구되는 特性인 再生性, 强靱性 및 耐應力腐蝕性 등을 볼 때 減損우라늄은 少量의 鐵(最大 50 ppm)이나 酸素(最大 75ppm) 또는 水素(最大 1 ppm)에 의해 影響을 받고 있다. 그리고 採算上 困難때문에 機械加工廢材와 研削廢材 등에 대한 재생은 하지를 않고 있다.

廢棄費用도 점차 높아지고 있는데 이는 特殊한 包裝과 廢棄場所가 필요하기 때문이다. 그리고 Green Salt 가 保管된 銅製드럼에서는 鐵의 汚染이 발생하며 오래 貯藏된 材料에서는 50 ppm을 넘는것이 많았다.

減損우라늄에 대해서는 1980年 10月 美國의 Charlottesuille에서 개최된 高密度運動에너지貫通子材料에 관한 第2次 세미나에서의 講演要旨에 잘 要約되어 있다.

國防次官(研究·技術擔當) Jerom · Persh 氏는 美陸軍 M 774 減損우라늄貫通子 生產에 언급하여 「品質管理上의 문제때문에 최근 몇차례나 中止를 하지 않으면 안됐었다.

美空軍은 減損우라늄製의 GAU-8 貫通子로 성공적인 결과를 얻었지만 陸軍用의 貯藏子는 대단히 복잡하여 많은 문제점이 야기됐다.

減損우라늄은 이 分野에 많은 豫算을 投入하

였음에도 불구하고 충분한 理解를 얻을 수 있는 段階까지는 이르지 못하고 있는 實情이다」라고 말하고 있다.

## 性 能

兵器用으로서(適合한 것이) 텅스텐이냐 우라늄이냐에 대한 決定은 대체적으로 性能에 달려 있다. 彈藥의 목적은 裝甲을 貯通해야 하는 것으로 他要素가 모두 同等한 조건이라면 최고의 貯通性能을 갖고 있는것이 좋다.

最適의 設計로 된 텅스텐과 減損우라늄의 貯通子를 직접 비교할 수 있는 實物 크기의 試驗데이터는 한정되어 있다.

美國의 彈丸生產에서 텅스텐合金으로 된 貯通子를 主로한 것은 海外軍事販賣用의 105 mm M 735 및 美陸軍 M 2/M 3 Bradley 戰闘車輛用인 25 mm M 791(그림 1)이다.

캐나다, 프랑스, 西獨, 英國, 이스라엘 등은 텅스텐合金貫通子를 生산하고 있으며, 텅스텐이 裝甲貫通용으로서 將來性있는 材料임을 입증하고 있다.

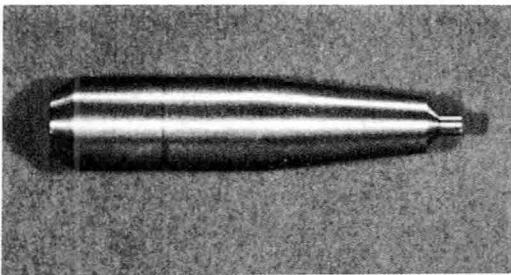
減損우라늄貫通子와 유사한 設計로 제작된 105 mm 및 90 mm 텅스텐貫通子에 대한 限定된 시험에서는 텅스텐合金이 보다 효과적인 貯通子材料로서 潜在特性을 가지고 있는 것으로 나타났다(그림 2).

이 潜在特性은 텅스텐이 減損우라늄보다 破腔內에서 금속부품의 安全性維持에 중요한 因子인 動的降伏強度가 60% 높다는 점에서 더욱 강조되고 있다.

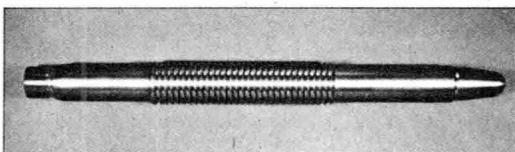
美國 및 西獨의 專門家들은 텅스텐合金에 그特性를 잘 살려서 設計할 경우 減損우라늄보다 우수하다고 評價하고 있다.

텅스텐合金貫通子는 兵器市場에서 최근 실시된 발전된 目標에 대한 사격시험에서 만족스러운 性能을 보여준 바 있다.

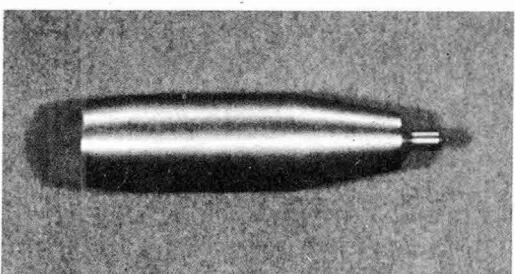
광범위한 機械的性質을 이용하여 開發者는 각種硬度를 가진 單一 또는 遊隔裝甲目標를 파괴할 수 있는 貯通子를 제작하고 있으며, 더 나아가서는(例로서 電子裝置를 파괴하기 위하여) 裝甲貫通後 散彈(Slug)을 形成하도록 설계하기도



〈그림 1〉 M79 25 mm 彈의 燒結텅스텐 合金으로 된 貫通子. 이 弹은 陸軍 M2/M3 Bradley 戰闘車輛에 장치된 M242 Bushmaster 砲로 발사된다.



〈그림 2〉 高密度텅스텐合金製의 105mm 貫通子. 減損우라늄과 유사한 설계로 제작된 105mm 및 90mm 型으로서 美國에서 실시된 試驗에서는 텅스텐合金으로 된 것이 貫通子材料로서 효과적임을 나타냈다.



〈그림 3〉 20mm 弹의 텅스텐貫通子. 小口徑彈의 시험에서는 텅스텐合金이 貫通子材料로서 減損우라늄보다 성능이 우수했다.

한다.

小口徑彈(그림 3)에서도 텅스텐合金은 적은費用으로 減損우라늄合金보다 貫通性이 높았다. Phalanx에 대한 美水上兵器센터/Dahlgren 研究所의 성능비교시험이 그것으로서, 이에 따르면 貫通子의 入口速度는 모두 같은데 出口速度가 빠를수록 裝甲貫通이 용이하였으며(表 4参照), 이는 機械加工을 한 텅스텐은 機械加工을 한 우라늄보다 37單位, 鍛造텅스텐은 鍛造우라늄보다 28unit가 더 우수하다는 점으로 분석됐다.

#### 〈표 4〉

貫通子	目標出口速度
機械加工한 우라늄	100
텅스텐(燒結)	104
鍛造우라늄	126
機械加工한 텅스텐	137
鍛造텅스텐	154

이것은 다만 1回의 試驗結果로서 더 많은 試驗評價가 요구되었으나 텅스텐이 非加工 및 鍛造品 共히 減損우라늄보다 좋은 결과로 나타났다.

#### 安全性

우라늄은 放射性元素로서 生產, 訓練 또는 實際戰闘에서 安全性 問題가 야기된다.

減損우라늄이 환경에 미치는 영향에 대하여 美國의 資源諮詢委員會가 報告한 내용을 要約하면 다음과 같다.

「減損우라늄 사용이 人間環境에 미치는 영향은 주로 이 材料가 지닌 두가지 性質, 즉 化學毒性과 放射能에 관계되는 것이다. 減損우라늄이 無差別의으로 환경에 放出된다면 영향을 받지 않을 수 없다. 가장 可能性이 있는 人間에 대한 浸透經路는 微粒子의 吸入으로서 血液循環系統에 들어가면 鉛, 硒素, 水銀等 重金屬에 의한 것과 똑같은 弊害를 유발시켜 人體에 傷害를 주게 된다.

또한 研究開發 및 試驗評價過程이나 戰闘間에서 수행되는 野外射擊은 사용지역의 水質에도 惡影響을 미친다. 水質은 물에 들어온 空中우라늄 또는 우라늄化合物에 의해 영향을 받으며, RDT/E間에 汚染된 물에서 우라늄이 蓄積되고 있는 것이 판명된 바 있다. 그러므로 野生生物은 RDT/E 및 戰闘間에서 減損우라늄 사용에 의해 영향을 받는다고 보아야 할것이다.

그러나 減損우라늄의 악영향은 거의 毒性에 의한 것임을 주의해야 할것이다.

減損우라늄의 低放射能은 어떤 중요한 醫學的 및 環境問題를 야기시키지는 않는다. 그럼에도 美國의 政策은 모든 開發試驗射擊時에 落塵을 완전히 封鎖하여 관리하도록 하고 있는 것이다.

또하나 減損우라늄의 安全上의 큰 문제는 輻

丸의 製造過程 또는 그 결과로 생기는 廢材에 관한 것이다.

污染된 材料는 주의해서 취급해야 하고 政府가 지정하는 安全한 장소에埋沒하지 않으면 안되며 특수한 什器나 濾過裝置를 시험장에 설치하여 人員에 대한 防護措置를 취해야 한다는 것이다. 이같은 安全上の 문제때문에 일부 NATO加盟國들은 自國內에서 減損우라늄彈藥의 저장이나 사격을 하려하지 않고 있다.

그러나 텅스텐은 이러한 危險이 없다. 텅스텐合金의 彈藥은 製造過程이나 사용시에 毒性이나 放射能의 문제가 전혀 야기되지 않는 것이다.

## 貯藏

일반적으로 彈藥을 저장하는 경우 性能의 減損現象이 문제가 된다.

減損우라늄은 上述한 應力腐蝕에 의한 龜裂現象을 받기 쉽고 또한 大氣의 영향도 받게 되기 때문에 保護코팅이 필요하며 알미늄, 亞鉛, 니켈, 크롬等을 配合한 各種 코팅方法이 검토되고 있다.

航空機用 Counterweight에 사용되는 減損우라늄을 텅스텐金屬과 腐蝕防止面에서 分析해 보았을 때 니켈·카드뮴鍍金에 에폭시에나멜(Epoxy Enamel)被膜을 한 減損우라늄이 꼭 필요한 것은 아니라는 것으로 알려졌다. 그러나 에폭시被膜만을 한 텅스텐은 전혀 문제가 없으며 대개의 경우(貫通子를 포함하여) 코팅이 필요치 않았다.

## 價格

減損우라늄과 텅스텐의 價格을 비교하는 方法은 여러 가지가 있다.

即, (1) 原材料의 價格(1981年末에 濃縮텅스텐은 鐵系의 Green Salt kg 當 2.20~3.30 달러에 대해 14.35 달러였음), (2) 金屬合金의 狀態(완성된 貫通子의 形態), (3) 戰場, (4) 抑止目的을 다할 기간까지 貫通子의 貯藏壽命 등이 그것이다.

그러나 종전까지는 減損우라늄 生產價格이 텅스텐보다 유리했으나 현재는 製造 및 廢材에 대한 廢棄費用의 증가로 價格이 높아졌다. 產業界專門家들의 공통된 견해는 減損우라늄의 가격은放射性材料로 취급해야 하는 費用과 廢棄問題로 인하여 증가되기 때문에 總循期面에서 볼때 텅스텐이 減損우라늄보다 훨씬 우수한 것으로 보고 있다.

그밖에 고려해야 할 主要 費用分析要素는 다음과 같다.

(1) 減損우라늄貫通子의 多量生產에 따른 資源確保問題

(2) 減損우라늄은 텅스텐같이 많은 材料源과再生製造 및 廢材利用設備를 갖춘 광범위한 支援產業이 부족한 點

(3)一部 NATO國들은 自國內에서 減損우라늄을 材料로 한 兵器의 저장 또는 사용을 원치 않고 있으며, 따라서 NATO內에서의 兵器시스템標準化에 방해가 되고 있다는 點

(4) 貯藏壽命은 20年 이상으로 고려할 시 野戰에서 취급하는데 損傷을 방지할 수 있는 保護코팅의 未完成

(5) 外國의 요구에 따른 텅스텐貫通子開發에 美國이 실패할 경우 海外販賣의 損失

## 結論

以上 論述된 바와 같이 텅스텐은 減損우라늄보다 좋다는 것이 명백하고 兵器用으로서 바람직한 材料임을 알 수 있다. 價格, 生產 및 貯藏面에서 텅스텐은 設計上 優位에 있다.

減損우라늄과 텅스텐은 모두 쉽게 利用할 수 있는 材料이며 減損우라늄이 약간의 性能上의 利點이 있어 貫通子로 사용할 수 있으나 綜合的으로 분석해 볼때 技術 및 獲得條件이 충분히 확보된 텅스텐쪽이 더 적합한 材料로 판단된다.

## 참고文獻

(International Defense Review, 5/1983)