

紫外光對生物及化學戰劑消除之芻議

作者簡介

作者林焜智上尉，中正理工學院正 92 年班、化校正規班 96-2 期；曾任排長、副連長、副隊長、教官，現任本校防護組教官。

提要

- 一、紫外線消毒燈已廣泛運用於醫療、衛生、細菌研究、製藥、食品工業等行業，用作消毒、光化學反應和空氣消毒之用途。
- 二、本研究嘗試探討紫外光程序分解生物病源及化學毒劑的有效性及運用於空間、裝備及飲用水消除(毒)作業的可能性。

壹、前言

對生物病源及化學毒劑之消除，目前軍中多採用消毒液擦拭或噴灑方式，對拒水性精密裝備易造成損害，且消除後產生之廢水徹底回收不易。基於環保概念，故提出紫外光消除方式提供應援部隊爾後遂行空間、裝備及飲用水消除(毒)作業參考。

貳、紫外光基本原理：

一、紫外線殺菌原理

紫外線被發現於 1801 年，但直自 1877 年英國科學家利用紫外線照射，可殺滅枯草桿菌、芽苞菌的實驗發表後，才證明了紫外線的殺菌能力。在 1901 年由 Strebel 證實及 Luckiesh 進一步闡明了殺菌作用的波長特性。根據其結論，殺菌作用之特性與細菌種類無關，而其波長在 250~270nm 附近的紫外線殺菌作用最強。經過了二百多年的研究、發展與實驗，目前對紫外線之運用已非常普遍。

紫外線是超出紫色光譜以外、一種看不見的光線，存在於光譜紫色線端的外側，故稱之為紫外線。它仍是光波的一種。根據不同的波長，被劃分為 A 波、B 波及 C 波等 3 波段，其中 C 波段紫外線波長在 240~260nm 之間，為最有效之殺菌波段。波段中最強點之波長是 260 nm。紫外線主要藉由能量，導致微生物的核酸、去氧核糖核酸(DNA)及核糖核酸(RNA)破壞，以達到滅菌效能，對蛋白質等生命物質亦產生一定之作用力。太陽光是最大的紫外線輻射源，但是經由電離層、臭氧層等之隔離後，剩下而能到達地面的，主要是 A 波、B 波，能殺菌的 C 波則微乎其微。科學家為了能便利且容易的獲得充份的紫外線，期能更有效、更集中的達到殺滅細菌的目的，因而發明紫外線輻射源，如紫外線殺菌燈。人造紫外線輻射源光頻譜如圖 1。

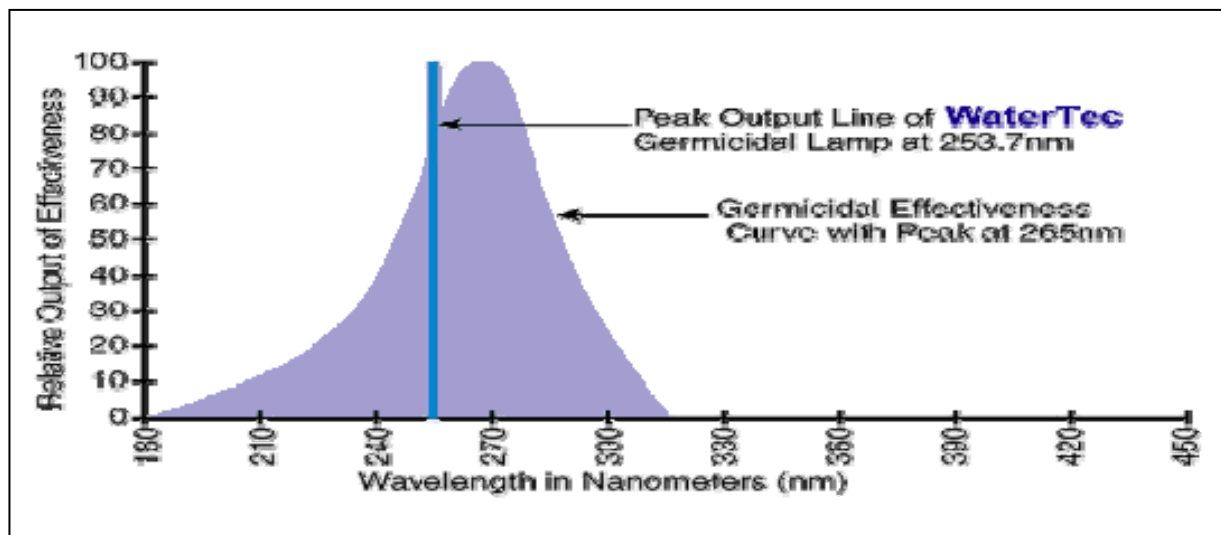
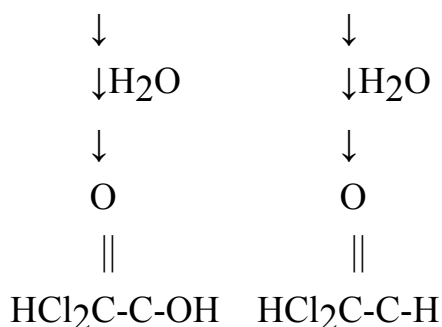
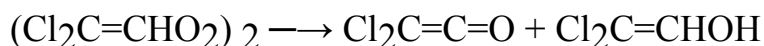
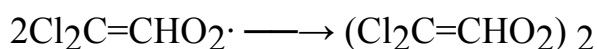
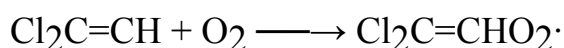
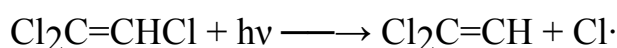


圖 1 人造的紫外線輻射源光頻譜

資料來源：Bolton, J., Ali, S. A., Buckley, J. A., Notarfonzo, R., and Cater, S., Homogeneous Photodegradation of Pollutants in Air, The 87th Annual Meeting, Air and Waste Management Association, Cincinnati, Ohio, June (1994)

二、紫外線化學污染消毒原理

一般在有氧氣存在的情形下，氣相有機物之光解反應大都依循著雙自由基型態(di-radical type)之模式進行反應。以三氯乙烯為例，其分子中之 C-Cl 鍵因其化學鍵分解能只有 81.0kcal/gmol，當其吸收到波長小於 253nm 之紫外線後，便會激發而進行光化學分解反應。Bolton 等人(1994)曾提出三氯乙烯進行紫外線光解反應時之反應機制如下（註1）：



註 1 Bolton, J., Ali, S. A., Buckley, J. A., Notarfonzo, R., and Cater, S., Homogeneous Photodegradation of Pollutants in Air, The 87th Annual Meeting, Air and Waste Management Association, Cincinnati, Ohio, June (1994).

即三氯乙烯受到足夠能量之紫外光照射激發後，其碳氯鍵會先斷裂而失去一個氯原子，形成有機自由基及氯自由基，爾後有機自由基會與氧氣及水進行一連串的鏈鎖反應，分解成無毒的二氧化碳及水，達到消毒的效能。

三、紫外線殺菌及化學污染消毒之影響因素：

紫外線照射能量與處理水的水質息息相關，其中受影響最大的因素如下：

- (一)水溫：水溫會和紫外線處理能力成反比。
- (二)濁度、懸浮顆粒含量：濁度愈高紫外線處理能力愈差。
- (三)欲去除微生物類別：因為一般檢驗水質微生物的排放標準大都以 E.Coli 為依據，因此去除微生物的對象以 E.Coli 作為標準。

參、紫外光之應用

近幾年來，新型人工紫外線殺菌燈不斷問世，其中有熱陰極低壓汞蒸氣放電燈、陰極低壓汞蒸氣放電燈、冷陰極高壓汞蒸氣放電燈等。熱陰極低壓汞蒸氣放電燈，以外型可分為直型管、H 管型、U 型管等。為了不同的需要，又可分為低臭氧(無臭氧)、臭氧及高臭氧等 3 種。在功率上除了常用的 30W、20W、15W、8W 外，高的可達 1,000W，低的只有 1W。用於飲用水消毒、污水消毒、空氣淨化器殺菌、醫用工具消毒、餐飲具消毒等等不勝枚舉。就化學兵而言，紫外光消除較適用於飲用水消毒、污水消毒、空氣淨化器殺菌、裝備消毒等。例如：

- 一、地下化指揮所遭受攻擊時，其化防(濾毒、空調)系統、淨水系統屆時會啟動，但目前只有濾毒系統對毒劑有過濾作用，另外淨水系統只作一般的消毒而已，故可在空調、淨水系統及內部空間加裝紫外光燈，以強化水質及室內空氣之淨化效能(如圖 2、3、4、5)。
- 二、裝備消除站可利用輸送帶及紫外光燈進行消毒，來減短消毒和靜置所需要的時間、藥劑及作業之人力，且可以採移動式，以利部隊機動(如圖 6)。



圖 2 空調系統加裝紫外光燈

資料來源: <http://www.106w.com/uvc/index.htm>

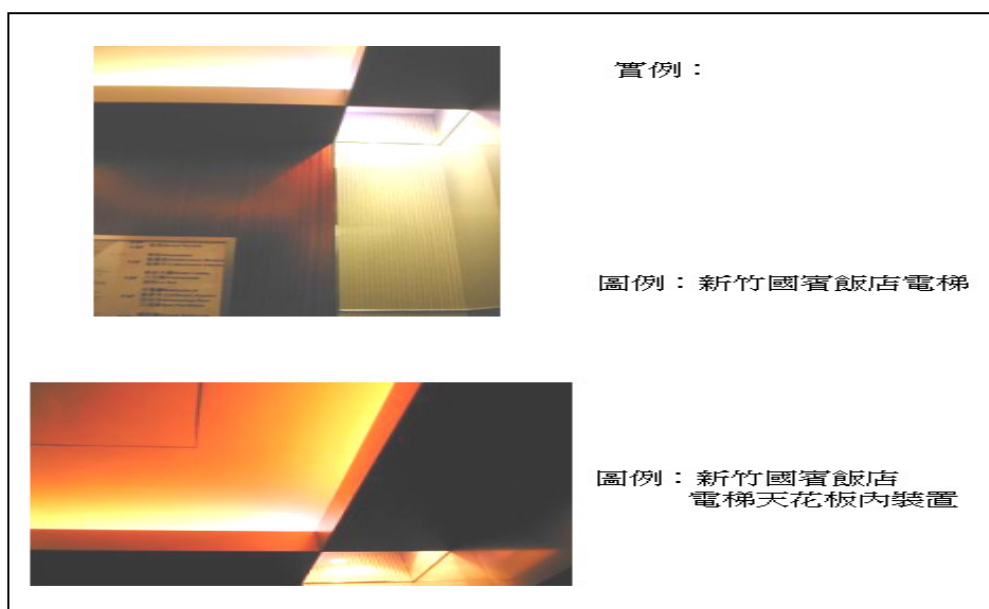


圖 3 空間加裝紫外光燈

資料來源: <http://www.106w.com/uvc/index.htm>



圖 4 辦公室加裝紫外光燈

資料來源: <http://www.106w.com/uvc/index.htm>



圖 5 污水處理系統加裝紫外光燈

資料來源: <http://www.106w.com/uvc/index.htm>

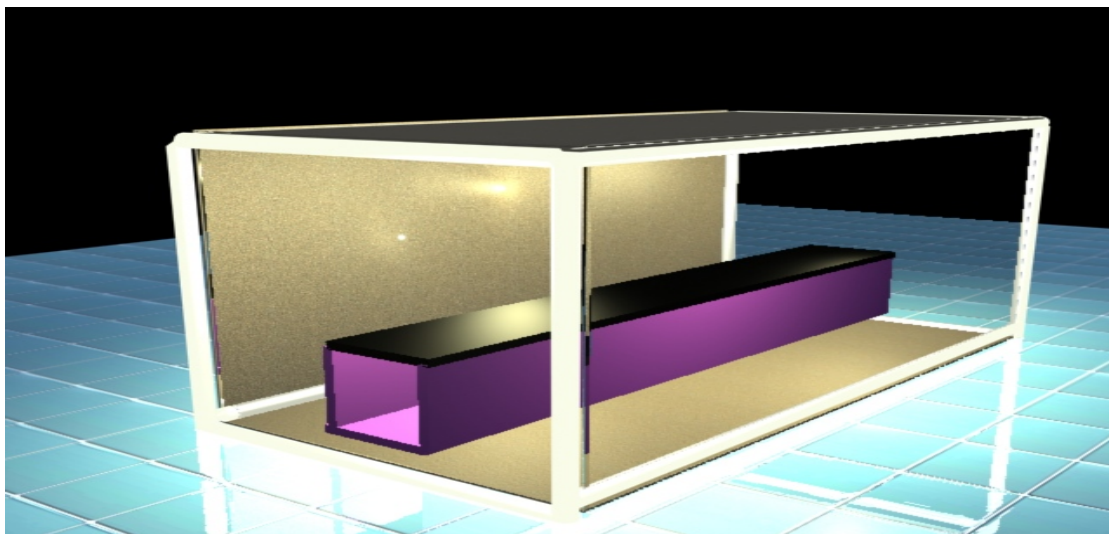


圖 6 輸送帶式裝備消除站

資料來源: <http://www.106w.com/uvc/index.htm>

三、紫外光應用於單兵飲水安全

以現行軍用鋼質水壺材質而言，僅須將水壺蓋改良成鑲嵌紫外光發光二極體壺蓋(如圖7)，即可對壺蓋周邊、壺內氣體及壺內水體進行消毒和殺菌，以確保單兵飲水安全。至於電源的供應方式大致可分為下列三種：

- (一)手搖式發電設計。
- (二)電池。
- (三)太陽能(如圖 8)。



圖 7 紫外光發光二極體壺蓋示意

資料來源: <http://www.yahoo.com.tw>



圖 8 太陽能供電壺蓋示意圖

資料來源:<http://www.yahoo.com.tw>

而電源供應的方式，可以將上述之三種方法結合為一體，先將太陽能水壺在瓶蓋製成時就將電池鑲在裡面，讓它完全防水，再將手搖式發電加裝於瓶蓋。平時在白天日光充足作業時候，把水壺掛在外面約4個小時，上面的太陽能板就可以充飽電力，到了晚上裡面的LED就可以用來當作消毒和殺菌用燈；若電力不足時，可更換用電池或是手搖式發電。綜合以上利用紫外光消毒，其主要優點及與傳統消除方法比較如表1（註2）：

- (一)殺細菌面廣泛：含細菌、真菌、病菌、立克次體、霉菌體、肝炎病毒等都有良好地殺滅效果。
- (二)無副作用：對被消毒的物體，無損害、無腐蝕、無污染、無殘留。
- (三)使用方便：隨取隨用，關閉電源紫外線便消失無蹤。
- (四)應用範圍廣：生化研究、食品、環保、物體表面、立體空間的消毒殺菌，都可使用。
- (五)價格低廉：不論設備費或使用費相對的都是比較低廉。

註2 H.W. Herrmann, I. Henins, J. Park, and G.S. Selwyn, “Decontamination Chemical and Biological Warfare (CBW) Agent Using an Atmospheric Pressure Plasma Jet (APPJ)” Physics of Plasma, Vol. 6, 2284–2289 (1999).

消除方式	反應速度	乾式作業	攜帶性	安全性	非破壞性	環保	穿透性
藥劑消除	佳	不良	鈍重	不良	不良	不良	普通
UV 消除	普通	佳	方便	佳	普通	佳	不良

表 1 消除方法比較表

資料來源：作者整理繪製

肆、紫外光應用之限制

當前使用紫外線消毒殺菌燈技術已然成熟，但仍普遍存在以下幾個問題：

一、紫外線之穿透率，並不如想像中之高：

任何紙片、鉛玻璃、塑膠都能大幅減低輻射強度。因此燈管上之灰塵、油漬都直接影響紫外線穿透率。所以新燈管在使用前，應先以紗布沾純度 75% 之酒精擦拭，以清除油漬、手汗及灰塵。

二、紫外線對人體具有一定之傷害：

人體最易受傷部位是眼睛之眼結膜，引起結膜炎之最低量劑約 $5\text{mJ}/\text{cm}^2$ 。因此最好在任何時候都不要用眼睛，直視點亮中之燈管，以避免受傷，萬一必須要看時，應用普通玻璃(戴眼鏡)或透光塑膠片，作為防護面罩。

三、反應速度慢：

Zuo 等人於 2005 年研究中（註3）以氣態之 HD 糜爛毒劑為例，利用強度 $0.4\text{mW}/\text{cm}^2$ 的 20W 殺菌燈管(254nm)處理氣態 HD 糜爛毒劑，須經 30 分鐘的反應時間，可降低 80% 毒劑劑量，並於 2007 年研究中(註4)利用強度 $0.6\text{mW}/\text{cm}^2$ 的 20W 殺菌燈管(254nm)處理氣態 GD 神經毒劑，經 120 分鐘的反應時間，可降低 99% 毒劑劑量，並有 25% 的 GD 神經毒劑分解成無毒的二氧化碳。(如表 2)

註3 G.M. Zuo, Z.X. Cheng, G.W. Li, W.P. Shi and Shi T. Miao, "Photoassisted Reaction of Sulfur Mustard under UV Light Irradiation" Environ. Sci. Technol., Vol. 39, 8742–8746 (2005).

註4 G.M. Zuo, Z.X. Cheng, G.W. Li, W.P. Shi and Shi T. Miao, "Photoassisted Reaction of Sulfur Mustard under UV Light Irradiation" Chemical Engineering Journal, Vol. 128, 135–140 (2007).

毒劑種類	強度	時間	效能
HD 糜爛毒劑	0.4mW/cm ² 的 20W	30 分鐘	降低 80%毒劑劑量
GD 神經毒劑	0.6mW/cm ² 的 20W	120 分鐘	降低 99%毒劑劑量

表 2 照射量劑與滅菌率

資料來源：作者整理繪製

伍、結語

綜合上述結果與傳統消除方法比較，紫外光消除方式具不添加藥劑的乾式模式、方便攜帶、無污染、無副作用及符合環保等特性，適用於拒水之靈敏性精密儀器及電控、雷達、射控、通訊及指揮控制面板的表面消除，唯反應速度仍待精進與可能會破壞塑膠材質面板或按鍵，及由於穿透性不佳，造成隙縫處消除不易。

參考資料

- 一、Bolton, J., Ali, S. A., Buckley, J. A., Notarfonzo, R., and Cater, S., Homogeneous Photodegradation of Pollutants in Air, The 87th Annual Meeting, Air and Waste Management Association, Cincinnati, Ohio, June (1994).
- 二、H.W. Herrmann, I. Henins, J. Park, and G.S. Selwyn, “Decontamination Chemical and Biological Warfare (CBW) Agent Using an Atmospheric Pressure Plasma Jet (APPJ)” Physics of Plasma, Vol. 6, 2284–2289 (1999).
- 三、G.M. Zuo, Z.X. Cheng, G.W. Li, W.P. Shi and Shi T. Miao, “Photoassisted Reaction of Sulfur Mustard under UV Light Irradiation” Environ. Sci. Technol., Vol. 39, 8742–8746 (2005).
- 四、G.M. Zuo, Z.X. Cheng, G.W. Li, W.P. Shi and Shi T. Miao, “Photoassisted Reaction of Sulfur Mustard under UV Light Irradiation” Chemical Engineering Journal, Vol. 128, 135–140 (2007).