

人員消除作業程序之研析—以核子事故為例

作者簡介



作者李佳玲上尉，畢業於陸軍官校化學系 99 年班，陸軍化生放核訓練中心正規班 102 年班，領有環保署乙級毒性化學物質證照，歷任排長、副連長、訓練官等職，現任陸軍化生放核訓練中心防護課程組教官。

提要

- 一、國軍協助核子事故災害救援已責無旁貸，但化學兵偵消部隊遂行消除任務時，人員作業時間、水源需求及除污後產生之廢水(廢棄物)等問題，影響作業效率及民眾(人員)生命安全。
- 二、本研究重新檢討於核子事故發生的情況下，人員消除作業程序、步驟及要領與裝備、設施之需求，使偵消部隊在核子事故之救援行動能更有效遂行人員除污作業，確保民眾生命安全。
- 三、藉我國歷年核安演習人員消除作業之作法及輻傷責任醫院之研究，檢討、分析現行消除作業程序，並提出相關精進與執行作法，以增加我化學兵偵消部隊人員消除站之作業效能。

關鍵字：核子事故、防護站、人員消除

前言

自民國 100 年 3 月 11 日福島核電廠發生國際核能事件分級制(INES)¹第 7 級的核子事故後，核電廠的安全引起了國際社會的熱烈討論及反核團體的密切關注，但隨著社會進步，用電需求日趨升高，核能供電的地位短時間不易被取代，因此，我國行政院原能會等相關部會亦針對核子事故的發生研擬許多相對應的計畫作為與應變機制，以提升全民之災變應變能力，減少災損及保障民眾生命財產安全。

時代改變，「災害防救」已成為國軍中心任務之一，但面對高風險之核子事故災害救援任務²，國軍必須預先規劃相關行動準據及救援整備，我軍化學兵偵消部隊在核子事故災害救援中扮演著不可或缺的角色，支援人員消除作業即為主要任務之一，為使偵消部隊持續且有效支援人員消除作業，重新檢討作業程序，並以美國輻射相關報告及學者研究為參考，期能使未來在災害救援時，以安全、有效、快速及節約為前提完成消除任務，國人恢復安居樂業。

本文

-
- 1 國際核能事件分級制(INES)：由國際原子能總署(IAEA)和經濟合作開發組織核能署(OECD/NEA)訂定之，較低的 1 至 3 及總稱為異常事件，較高的 4 至 7 級則稱為核子事故。
 - 2 依據核子事故緊急應變法(民國 92 年 12 月 24 日公布)第一章，第 10 條：「核子事故支援中心，應辦理下列事項：一、實施人員、車輛及重要道路等輻射污染之清除。二、協助地方災害應變中心執行民眾掩蔽、疏散(運)、疏散民眾收容、暫時移居、緊急醫療救護、碘片發放、交通管制、警戒及秩序維持。三、協助輻射監測中心進行輻射偵測。四、其他由核子事故中央災害應變中心指示之事項。」

一、核子事故防護站介紹³

(一)設置地點：設置於距核能電廠半徑 12 至 16 公里範圍內。

- 1.核一廠：西行方向為三芝區淺水灣；東行方向為萬里區翡翠灣俱樂部(如圖 1)。

圖 1 核一廠防護站位置圖



資料來源：新北市災害應變中心防護站開設作業程序書，頁 11

- 2.核二廠：西行方向為石門區石門洞停車場；東行方向為基隆市立棒球場(如圖 2)。

圖 2 核二廠防護站位置圖



資料來源：新北市災害應變中心防護站開設作業程序書，頁 11

- 3.核三廠：西行方向為恆春鎮恆春航空站；東行方向為滿州鄉長樂國小(如圖 3)。

³ 新北市及屏東縣核子事故區域民眾防護應變計畫，103 年修訂。

圖 3 核三廠防護站位置圖



資料來源：作者自繪

(二)配置及功能(如圖 4)

- 1.前置偵檢作業：疏散人員下車時，逐一跨越門框偵檢器，確認有無污染，若偵測到污染時，須至指定地點除污，無污染則放行前往至指定地點。
- 2.緊急醫療救護區：於防護站內應設置緊急醫療救護區，為疏散之民眾（包含老弱婦孺、慢性病患等）提供必要的醫療急救措施。
- 3.車輛除污區：由支援中心於疏散方向道路上架設車輛除污區，將所有疏散車輛進行除污，避免輻射物質向外污染其他地區。
- 4.人員除污區：當人員輻射劑量偵檢值超過容許範圍時，則須至除污區進行全身沖洗除污。
- 5.人員登記編管作業站：
 - (1)自行開車疏散：通過輻射劑量偵檢後，至各區公所設置之登記編管作業區報到登記，再自行前往政府安排之收容所或自行依親收容。
 - (2)搭運輸車疏散：通過輻射劑量偵檢後，至各區公所設置之登記編管作業區報到登記，再由公所人員引導搭乘運輸車輛至所屬收容所安置。

(三)設備配置：應配置車輛、無線電通訊設備、輻射監測儀器、儀器操作程序手冊、地圖、防護衣物(輻防包)、緊急應變計畫、程序書、通訊聯絡簿冊、個人劑量計、照明設備、小組和公眾用的預防藥物，並設置緊急醫療救護站。

圖 4 以淺水灣停車場防護站空間規劃圖為例



資料來源：新北市核子事故區域民眾防護應變計畫，頁 45

二、現行人員消除作業程序

(一)人員消除車

1.作業編組⁴(如表 1、圖 5)

當人員於前置偵檢區實施輻射污染快篩作業後，確認遭受輻射污染，則須至人員消除站進行全身沖洗除汙。

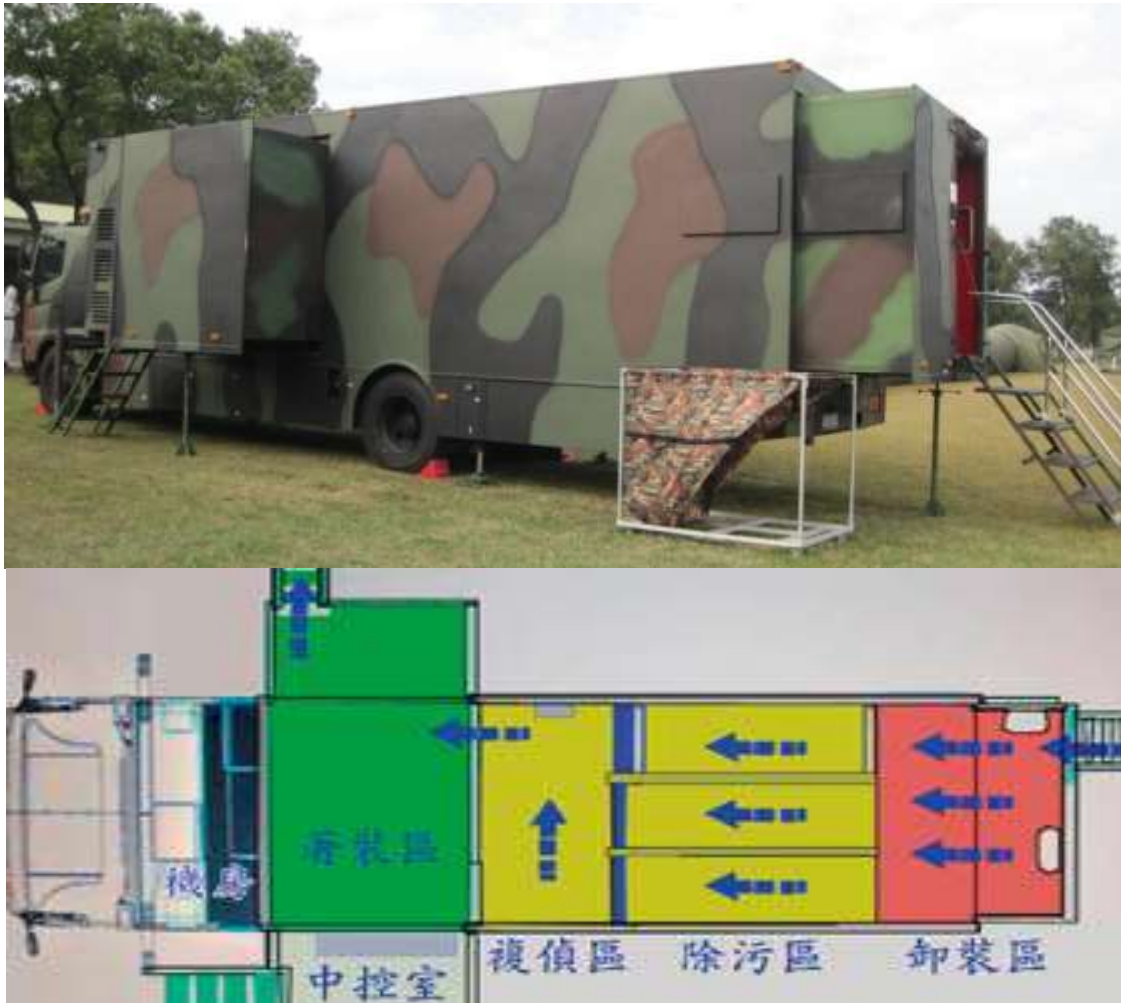
表 1 人員消除車作業編組與職掌

職	稱	人 數	職	掌	
組	長	1	承消除支援隊長之命，負責指揮組員執行受污染人員除污作業。		
偵	檢	兵	2	負責對事故人員實施初(複)偵檢，瞭解人員受污染狀況。	
登	記	兵	1	負責將受污染人員姓名等資料登錄於管制簿冊內。	
服	裝	兵	1	負責人員沐浴後服裝撥發，並掌握補給來源。	
裝	備	操	手	1	負責操作「機動式模組化人員消除站」。
駕		駛	1	負責車輛駕駛工作。	
合		計	7		

資料來源：第三作戰區核子事故緊急應變支援程序書-消除作業，頁 5

圖 5 人員消除車外觀及內裝示意圖

⁴ 第三作戰區核子事故緊急應變支援程序書，民 104 年 8 月 17 日



資料來源：防護課程組教學資料

2.作業要領⁵

- (1)初偵：受污民眾至本站實施除污作業時，先至登記區，依檢查表記錄基本資料後，由偵檢兵利用輻射偵測儀檢測劑量，並記錄於檢查表中，針對人員劑量較強處，於檢查表內加註。
- (2)卸裝：進入卸裝區後，將衣物卸除，將脫卸下來之衣物及裝備，放入「真空壓縮收納袋」並藉「真空抽取機」將其抽成真空狀態，再投入「物品收集窗」外之裝備收集車並置入污染物收集桶後，進入沐浴區。
- (3)除污：進入除污區後，利用清潔劑由上而下依頭、頸、胸、腹、背及腿的順序實施除污，並檢視檢查表內紅色圈記部份，加強除污，反複沖洗。
- (4)複偵：偵檢兵利用輻射偵測儀偵測劑量，告知受檢人員偵測結果，並決定是否應再消除或後送醫療。
- (5)著裝：進入著裝區，由作業人員發給乾淨衣物，自行換穿後，視除污人員生理狀況，引導離開或至收容中心收容。

⁵ 化學兵偵消部隊訓練教範(第二版)，陸軍司令部印頒，民 104 年 12 月 3 日

(二)傷患消除站⁶

1.作業編組(如表 2)

本處傷患意指因病痛造成行動不變、無明顯外傷出血及意識清醒之人員。

表2 傷患消除站作業編組與職掌

職	稱	人 數	職	掌
組	長	1	承消除支援隊長之命，負責指揮組員執行受污染人員除污作業。	
偵	檢	兵	2	負責對事故人員實施初(複)偵檢，瞭解人員受污染狀況。
登	記	兵	1	負責將受污染人員姓名等資料登錄於管制簿冊內。
卸	裝	兵	2	負責卸除受污染人員身上衣物。
消	除	兵	4	負責對受污染人員實施沐浴洗刷作業。
輕消器操作手		2	負責操作輕消器。	
抽水機操作手		1	負責操作抽水機將污水抽至污水回收桶。	
合	計	13		

資料來源：第三作戰區核子事故緊急應變支援程序書-消除作業，頁 6

2.作業要領(如圖 6)

- (1)初偵：依檢查表記錄人員基本資料後，由偵檢兵利用輻射偵測儀檢測劑量，並記錄於檢查表中，針對人員劑量較強處，用顏色筆以畫圈方式加註，再送至卸裝區。
- (2)卸裝：作業人員將傷患衣物剪開，再送至除污區。
- (3)除污：作業人員使用霧狀噴灑對傷患各部位實施洗刷作業，並特別對受污染部位加以清洗，傷口附近須小心處理，避免因污水由傷口進入，造成體內暴露。
- (4)複偵：使用輻射偵檢器，對於受污染人員實施複偵檢作業，作業時，應儘量避免移動或翻轉傷患，尤其骨折傷患更應嚴禁，以免造成傷者的二次傷害，偵測完畢，檢查表應隨傷患一併後送至醫療站或責任醫院。
- (5)著裝：使用毛毯覆蓋於傷患，並將傷患緊急後送至醫療單位。

⁶ 第三作戰區核子事故緊急應變支援程序書，民 104 年 8 月 17 日

圖 6 傷患消除作業示意圖



資料來源：防護課程組教學資料

三、衍生問題

一旦發生核子事故，我軍化學兵偵消部隊任務之一為支援防護站人員、傷患消除站之開設，就現行之作業流程，將從污染區撤離之人員通過前置偵檢區快篩後，區分有、無污染兩條行動路線，無污染人員至人員登記編管作業站登記後離開，有污染之虞人員引導至人員消除站實施除污，但為避免污染擴散，以往將有污染之虞人員皆依人員消除作業程序實施除污，因為數不少，故衍生出任務執行上問題，有賴各級幹部研討。

(一)水源需求

人員消除作業程序為初偵、卸裝、除污、複偵及著裝等五項步驟，就我軍而言，在除污過程還是以濕式消除為主，因此，良好充足之水源是作業中不可或缺的，但無論是人員消除車或傷患消除站都須仰賴汲水車輛或供水管路補給，加上偵消部隊所用來儲水的輕型消毒器(以下簡稱輕消器)水囊有限，若災區現場週圍水源取得不易，供需無法平衡的情況下，將導致消除作業無法繼續執行的窘境。

如何降低在人員消除作業中對水源依賴的程度，以及減少消除用水的使用量，是必須詳加思考的，才能使作業人員在達到除污效果與水源需求中取得平衡點。

(二)廢水處理

消除作業過程中，大量污水一直是偵消部隊在支援各項救災及演訓任務時所面臨的問題，雖然依據核子事故緊急應變作業北部輻射監測中心程序書之除污廢水處理作業程序書中，明確規定由核電廠負責除污廢水處理，但除污廢水必須從集中、回收、暫儲、運載、檢測至淨化，確認無污染問題後才能排放。

一連串的處理過程都讓各業管部門視為燙手山芋，也讓部隊必須花費大量的時間(集中、回收的作業)及空間(水囊暫儲、運載作業)解決廢水問題，但國軍配賦裝備數量有所限制，因此在運用上必須仔細衡量，方能支援部隊實需，與其被動解決廢水處理問題，不如先主動思考如何減少廢水的產生，如此，才能真正達到治本效果。

(三)作業時間

在支援各項救災的行動中，生命安全的救護永遠是第一優先考量，但大量的人員不斷地從核子事故緊急應變計畫區(EPZ)⁷往外運送，偵消部隊的作業效率面臨了極大的考驗，人員針對體外暴露的防護，縮短曝露時間及遠離射源是必要的手段，因此，在攸關個人生命安全的情況下，每個人都希望自己能盡快除污，所以，如何縮短單人作業時間，重新檢視人員消除作業的程序，期有更精進的空間，提升作業效能。

四、精進作法

為使偵消部隊持續且有效支援人員消除作業，重新檢討作業程序，參考美國疾病控制與預防中心(Center Disease Control and Prevention, CDC)⁸的相關報告及其他學者研究，針對輻射自我除污強調先脫卸再偵檢的流程，與我軍現行作業程序相互比較，提出相關精進與執行作法並修正，以增加我化學兵偵消部隊人員消除站之作業效能。

(一)國外作業程序

1.CDC：先脫卸、後洗淨。

CDC 對於民眾遭受輻射有一份公告資料—自我消除及協助他人除污(如圖 7)⁹，其中步驟一為將外層衣物脫卸，步驟二為洗淨，步驟三為換上乾淨衣物，最後步驟為協助他人，若民眾有污染之虞可由以上步驟自行除污。

7 緊急應變計畫區：係萬一核子反應器設施發生核子事故且可能造成大量放射性物質外釋時，為保護民眾健康及安全，必須即時採取民眾防護措施之區域。核子反應器設施經營者應依核子反應器設施型式、設施周圍地形、人口分布狀況及氣象資料等，評估劃定各核子反應器設施周圍之緊急應變計畫區，並每五年檢討修正。

8 美國疾病控制與預防中心(CDC)：為保護公眾健康和安全提供可靠的資料，通過與國家衛生部門及其他組織的有利的夥伴關係，以增進健康的決策，促進公民健康。

9 同註 8。

圖 7 自我消除及協助他人除污



資料來源：美國疾病控制與預防中心(CDC)

2. 美國衛生與公眾服務部(US Department of health & Human Service, HHS)¹⁰：除去所有衣物可減少 90% 污染。

HHS 針對輻射緊急醫療處理(Radiation Emergency Medical Management, REMM)有詳細的人員、傷患除污程序、步驟，文中提到關鍵報告是除去所有衣物最多可減少 90% 污染¹¹。

10 美國衛生與公眾服務部(HHS)：是一所維護美國公民健康，提供公眾服務的聯邦政府行政部門，其中一項工作就是為沒有經濟能力接受治療的民眾提供醫療保險服務。

11 輻射緊急醫療處理(Radiation Emergency Medical Management, REMM)，Photos of Decontamination Facilities and Procedures。

3.輻射事故處理指導原則(Guidance for Radiation Accident Management)：先移除，再偵測。

依據輻射緊急救援中心/訓練地點(Radiation Emergency Assistance Center/Training Site, REAC/TS)¹²的處理程序(如表 3)¹³，步驟三為脫除受污染的衣服，步驟四則偵測輻射污染，同 CDC 的公告資料及 HHS 所訂定的 REMM 對輻射落塵的處理要求相同。

表 3 輻射事故處理指導原則

Guidance for Radiation Accident Management

Radiation Emergency Assistance Center/Training Site (REAC/TS)

處理程序演練示範

步驟 1.著上防護服，避免散播的輻射污染。

步驟 2.環境準備

步驟 3.移除受污染的衣服



步驟 1



步驟 2



步驟 3

步驟 4.偵檢(測)輻射污染

步驟 5. A 傷口除污

步驟 6.消除未受傷的皮膚



步驟 4



步驟 5



步驟 6

資料來源：<http://orise.orau.gov/reacts/guide/procedures.htm>

12 輻射緊急救援中心/訓練地點(Radiation Emergency Assistance Center/Training Site, REAC/TS)：是由國家核安局(National Nuclear Security Administration, NNSA)和國際衛生組織(World Health Organization, WHO)相關部門所組成，提供緊急狀況回覆、專業的醫療建議和諮詢、並有合格鑑定的教育科目以及能對輻射或核子事故做出正確的判斷。

13 〈輻射事故處理指導原則〉，<http://orise.orau.gov/reacts/guide/procedures.htm>。

4. Dr. Eric Toner：脫除衣服可達到 80%的除污，脫除衣服並洗澡除污效果可達 95%。

本篇報導以匹茲堡大學生物安全中心的 Dr. Eric Toner 在研究遭受髒彈攻擊後會發生什麼事時曾說：「消除其實很簡單」¹⁴作開端，並提到「脫除衣服可達到 80%的除污，脫除衣服並洗澡除污效果可達 95%」¹⁵，再針對日本福島核子事故(如圖 8)後所採取的防護措施，無論是體外暴露的防護，或避免體內暴露的作為都影響當地居民的健康，並以車諾比為對比，顯現核子事故的處理更為成熟。

圖 8 日本福島核子事故偵檢實況



資料來源：Ken Shimizu/AFP/Getty Images

5.核子事故污染率

根據 104 年友情行動的資料(如圖 9)，當核子事故發生時，真正需要執行人員消除作業的僅 3.3%，且大部分的污染位置為靴子、手套、外套外層、個人裝備及其他受嚴重污染之物品。

14Richard Knox, “Decontamination After Radiation Exposure: Simpler Than You May Think”, March 17, 2011 3:17 PM ET, <http://www.npr.org/sections/health-shots/2011/03/17/134627643/decontamination-after-radiation-exposure-simpler-than-you-may-think>。

15 同註 12。

圖 9 人員與裝備消除作業



人員與裝備消除作業

項目	數量	需消除數量	%	污染位置
人員	840	28	3.3	靴子、手套、外套外層、個人裝備及其他受嚴重污染之物品
獨立裝備		40 ^a	-	
車輛	75	40	53.3	輪胎、空氣過濾器、通風口
貨櫃	68	13	19.1	容器上蓋
發電機/輔助動力系統	237	70	29.5	過濾器和空氣流通區域
其他/通用裝備	4,840	78	1.6	平面 (可能累積落塵的地方)
定翼機	78	17	21.8	機翼前端、螺旋槳、起落架與空氣導入口
旋翼機	19	8	42.1	機翼前端與空氣引入口

資料來源：Radiation Contamination in Operation Tomodachi: Implications for Combat Operations in a Contaminated Environment; Ed McGrady • Robert Benbow • Kathleen Ward • Yancey Hrobowski; CRM D0025709.A2/1Rev October 2011

(二)調整後作業程序

依據國外作業程序，修正我軍偵消部隊支援核子事故現行之人員消除作業程序，將從污染區撤離之人員通過前置偵檢區快篩後，有污染之虞的人員，一律先將外層衣服脫除，再行詳細初偵，為避免脫卸時，衣服上之輻射物質揚起，可先行配戴口罩，防止因吸入造成體內暴露；若偵測結果無污染，則由無污染通道離開至人員登記編管作業站，仍有污染之虞，則至人員消除站實施沐浴，修正後人員消除作業程序為卸裝、初偵、除污、複偵及著裝，調整作業程序後，對部隊平時執行任務所衍伸的問題亦能解決。

(三)修正前、後之比較

舉例，本次有若有 1000 人次經前置偵檢區快篩結果為有污染人員，則根據國外作業程序，脫除衣服後(已達 80-90%除污)再偵檢仍需實施消除數量為 3.3%，所以，進入人員消除站之人數為 33 人。

依據 102 年陸軍化學兵學校防護組準則驗證項目，化安 100 人員消除車執行人員消除時，清水儲水櫃容量 1,000 公升，若 9 個噴口同時供水，僅能供應約 27 分鐘且執行 54 人次之消除作業，若任務時間以一小時為例，需要將近 2,220

公升之水源，相對產生污水量即約 2,220 公升，而污水收集櫃 1,100 公升，收集的能量也只有將近半小時的儲存量，其消除能量整理(如表 3)¹⁶。

表 3 消除裝備能量

消除能量(依流量量多寡)				
消除裝備		輕型消毒器 (壓力影響流量)	沉水馬達 (流量無法調整)	化安 100 人員消除車
救援式消	人員消除站	約 1500 公升/小時	約 9000 公升/小時	約 2220 公升/小時
	傷患消除站	約 1500 公升/小時	約 9000 公升/小時	
	車輛消除站	約 2350 公升/小時	約 9000 公升/小時	

資料來源：李兆華，〈消除廢液處理之研析〉《核生化防護半年刊》，第 101 期，(桃園：聯勤北部印製廠，94 年 3 月 1 日)

1. 用水降低，廢水減少

	現行作業程序	修正後作業程序
	通過前置偵檢區人數 1000 人	
除污人數	進入人員消除站	
	1000 人	$1000 \times 3.3\% = 33$ 人
耗水量	$1000 \text{ 人} / 54 \text{ 人} \div 18.52$ $18.52 \times 27 \text{ 分鐘} \div 501 \text{ 分鐘}$ $\div 8.34 \text{ 小時}$ $8.34 \text{ 小時} \times 2220 \text{ 公升/小時} \div 18515 \text{ 公升}$	$33 \text{ 人} / 54 \text{ 人} \div 0.61$ $0.61 \times 27 \text{ 分鐘} \div 16.5 \text{ 分鐘}$ $\div 0.28 \text{ 小時}$ $0.28 \text{ 小時} \times 2220 \text{ 公升/小時} \div 610 \text{ 公升}$

2. 廢水儲存空間縮小

	現行作業程序	修正後作業程序
除污人數	1000 人	33 人
廢水量	18515 公升	610 公升
污水收集桶 (輕消氣配附 水囊)	$18515 - 1100 = 17415$ 公升 $17415 \text{ 公升} / 500 \text{ 公升/個} = 34.83$ 個 $\div 35$ 個	$610 - 1100 = -490$ 公升 (無需水囊)

¹⁶ 李兆華，〈消除廢液處理之研析〉《核生化防護半年刊》，第 101 期，(桃園：聯勤北部印製廠，94 年 3 月 1 日)。

3.消除作業效能提升

	現行作業程序	修正後作業程序
除污人數	1000 人	33 人
作業時間	1000 人/54 人 $\div$ 18.52 18.52*27 分鐘 $\div$ 501 分鐘 $\div$ 8.34 小時	33 人/54 人 $\div$ 0.61 0.61*27 分鐘 $\div$ 16.5 分鐘 $\div$ 0.28 小時

結語

災害救援已是時勢所趨，生命安全的救護為第一考量，在面臨複合式或大規模災害時，對國軍整體而言，考驗的不僅是部隊平日訓練的程序、步驟及要領，還有物資缺乏、補給不易、民眾壓力及長時間作業下人員的更替等問題，每項的嚴峻程度都是難以衡量的，因此，為了在救援過程中能夠持續且有效執行消除任務，修正我軍現行人消站作業程序、步驟及要領，使偵消部隊在核子事故之救援行動能更有效遂行人員除污作業，確保民眾生命安全。

參考資料

- 一、《化學兵偵消部隊訓練教範(第二版)》，國防部陸軍司令部，104 年 12 月 3 日出版。
- 二、《新北市災害應變中心作業程序書》，103 年 4 月 11 日修訂。
- 三、《新北市核子事故區域民眾防護應變計畫》，103 年 4 月 11 日修訂。
- 四、《第三作戰區核子事故緊急應變支援程序書》，104 年 8 月 17 日。
- 五、美國疾病控制與預防中心(Center Disease Control and Prevention, CDC)。
- 六、美國衛生與公眾服務部(US Department of health & Human Service, HHS)。
- 七、<http://orise.orau.gov/reacts/guide/procedures.htm>
- 八、<http://www.npr.org/sections/health-shots/2011/03/17/134627643/decontamination-after-radiation-exposure-simpler-than-you-may-think>
- 九、Radiation Contamination in Operation Tomodachi: Implications for Combat Operations in a Contaminated Environment; Ed McGrady • Robert Benbow • Kathleen Ward • Yancey Hrobowski; CRM D0025709.A2/1Rev October 2011
- 十、李兆華，〈消除廢液處理之研析〉《核生化防護半年刊》，第 101 期，(桃園：聯勤北部印製廠，94 年 3 月 1 日)。