

石化工廠化學儲槽區火災警戒範圍界定之研究

內政部建築研究所協同研究報告

107
年度

石化工廠化學儲槽區火災警戒範圍 圍界定之研究

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 107 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

計畫編號：10715B0001

石化工廠化學儲槽區火災警戒範圍 圍界定之研究

研究主持人：鄭元良

協同主持人：陳政任

研究員：蔡曉雲、白櫻芳、賴深江、陳柏端

研究助理：秦睦耕、王政傑

研究期程：中華民國 107 年 2 月至 107 年 12 月

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 107 年 12 月

目次

表次	III
圖次	V
摘要	VIII
第一章 緒論	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究方法與步驟	2
第三節 研究進度說明	4
第二章 石化區儲槽資料收集	7
第一節 分布區位說明	7
第二節 化學品儲槽種類	10
第三節 儲槽潛在危害類型	10
第三章 危害距離分析方法	15
第一節 NFPA 易燃性與可燃性液體規範	15
第二節 緊急應變指引	16
第三節 ALOHA 危害模式	19
第四章 研究結果	27
第一節 資料分析收集	27
第二節 參數設定	30
第三節 危害距離之初步結果	31

第四節 儲槽警戒距離之修正分析	41
第五節 各工業區的儲槽危害潛勢分析	47
第五章 結論與建議	53
第一節 結論	53
第二節 建議事項	54
附錄一 會議紀錄	57
參考書目	79

表次

表 4-1	各工業區資料來源公司	28
表 4-2	各工業區儲槽統計	29
表 4-3	較真實狀況的洩漏孔徑	30
表 4-4	計畫選用之危害標準指標表	31
表 5-1	石化工廠化學儲槽區火災警戒範圍之建議彙整表	55

圖次

圖 1-1	研究流程圖	3
圖 1-2	簡化警戒距離的估算模式的可能範例	4
圖 1-3	研究進度及工作執行甘地圖	5
圖 2-1	大社石化工業區之區位	8
圖 2-2	大林蒲工業區之區位	8
圖 2-3	林園石化工業區之區位	9
圖 2-4	不同儲槽的潛在危害類型	10
圖 2-5	典型的儲槽池火	11
圖 2-6	典型的儲槽閃沸	12
圖 2-7	典型的噴流火焰	12
圖 2-8	典型的蒸氣雲爆炸(2012 中國湖南瓦斯槽車)	13
圖 2-9	典型的沸騰液體膨脹蒸氣雲爆炸	13
圖 3-1	NFPA 30 的儲槽與周界隔離距離	16
圖 3-2	NFPA 30 的兩個儲槽相鄰的隔離距離	16
圖 3-3	ERG 的隔離距離的示意圖與簡圖	17
圖 3-4	ERG 的防護作業距離與危害機率的示意圖	18
圖 3-5	ALOHA 軟體之簡易操作流程圖	20
圖 3-6	ALOHA 軟體臥式槽之設定	21
圖 3-7	ALOHA 軟體圓柱槽之設定	21
圖 3-8	ALOHA 軟體球槽之設定	22
圖 3-9	第一種儲槽失誤模式	23

圖 3-10	第一種儲槽失誤模式之危害分析	23
圖 3-11	第二種儲槽失誤模式(高壓儲槽)	24
圖 3-12	第二種儲槽失誤模式(常壓儲槽)	25
圖 3-13	第三種儲槽失誤模式	26
圖 4-1	儲槽資料收集	30
圖 4-2	丙烯之毒性氣雲危害範圍	32
圖 4-3	丙烯之可燃性蒸氣雲危害範圍	32
圖 4-4	丙烯之爆炸過壓危害範圍	33
圖 4-5	丙烯之噴射火焰熱危害範圍	33
圖 4-6	丙烯之 BLEVE 火球熱危害範圍	34
圖 4-7	甲苯之毒性氣雲危害範圍	35
圖 4-8	甲苯之可燃性蒸氣雲危害範圍	35
圖 4-9	甲苯之爆炸過壓危害範圍	36
圖 4-10	甲苯之池火熱危害範圍	36
圖 4-11	甲苯之 BLEVE 火球熱危害範圍	37
圖 4-12	四大工業區毒性危害距離	38
圖 4-13	四大工業區蒸氣雲爆炸的過壓危害距離	39
圖 4-14	四大工業區池火熱危害距離	39
圖 4-15	四大工業區 BLEVE 火球熱危害距離	40
圖 4-16	四大工業區噴射火焰熱危害距離	40
圖 4-17	四大工業區修正之 BLEVE 火球熱危害距離	41
圖 4-18	四大工業區高壓槽 BLEVE 火球熱危害修正距離	42
圖 4-19	四大工業區高壓槽蒸氣雲爆炸的過壓危害距離	43

圖 4-20	四大工業區高壓槽 BLEVE 火球熱危害救災人員的最終修正距離	44
圖 4-21	四大工業區高壓槽 BLEVE 火球熱危害非救災人員的最終修正距離	45
圖 4-22	四大工業區池火熱危害非救災人員的最終修正距離	46
圖 4-23	四大工業區池火熱危害救災人員的最終修正距離	46
圖 4-24	四大工業區毒性危害的累加潛勢圖	47
圖 4-25	四大工業區蒸氣雲爆炸危害的累加潛勢圖	48
圖 4-26	四大工業區池火熱危害的累加潛勢圖	48
圖 4-27	四大工業區噴射火焰熱危害的累加潛勢圖	49
圖 4-28	四大工業區 BLEVE 火球熱危害的累加潛勢圖	49
圖 4-29	四大工業區所有危害的累加潛勢圖	50
圖 4-30	大社仁武工業區所有危害的累加潛勢圖	51
圖 4-31	前鎮高雄港工業區所有危害的累加潛勢圖	51
圖 4-32	小港大林工業區所有危害的累加潛勢圖	52
圖 4-33	林園工業區所有危害的累加潛勢圖	52

摘 要

關鍵詞：儲槽、ALOHA、危害距離

一、研究緣起

105 年 8 月大陸天津化學品爆炸案，造成百餘人死亡，國內也曾發生如高雄林園石化工業區的北誼興業的 LPG 槽車爆炸、振興橋瓦斯管線洩漏爆炸、新竹福國化工爆炸、高雄 81 氣爆等危害性化學品重大災害案例，造成重大的民眾與救災人員的傷亡。如何於災害發生初期做好區域警戒與隔離是避免傷亡的最重要措施。

二、研究方法及過程

危險性化學物品儲槽的危害主要在於火災的熱輻射與爆炸的過壓，兩者都可能對應變救災人員造成威脅，由於不同類型的儲槽，其外洩、火災、爆炸的類型並不相同。故如何針對已知的儲槽狀況，預做可能的分析，以提供現場應變人員的參考將甚為重要，此也是本計畫的研究目標。

本研究擬先收集林園、大社、大林等三個石化工業區，以及高雄港周邊的化學儲運公司之儲槽資料，而後針對不同儲槽類型(高壓、常壓)、不同儲存物質(乙烯、丙烯、丁二烯、氯乙烯、苯、甲苯、二甲苯、苯乙烯、液化石油氣等)進行可能的危害分析。並採用美國環保署(EPA)與美國國家海洋暨大氣總署(NOAA)所開發的ALOHA (Areal Location of Hazardous Atmospheres)模擬軟體進行前述的後果分析，可根據外洩物質之物理、化學特性配合氣象條件，分別進行外洩、火災或爆炸後果模擬，估算其影響範圍，並提出一簡化的警戒距離的估算模式。

三、重要發現

本計畫迄至目前已達預定之期末進度，已完成仁大、林園、大林、高雄港四大工業區共 60 家公司之儲槽/容器的資料收集與 ALOHA 模擬，所獲致之重要成果概列如下：

(一) 危害距離。

由本研究設定之各項危害標準指標而模擬出的危害距離中發現，在所有危害型式對應的危害距離中，毒性危害距離最大，而噴射火焰熱危害距離最小的。除毒性危害，則以高壓槽的BLEVE火球熱危害距離最大，是所有消防、救災人員的最大危害，其次是蒸氣雲爆炸，池火或噴射火焰的危害皆小於90公尺。

一般設定之熱輻射指標(10 kW/m^2)過低，特別是BLEVE火球熱危害距離，導致危害距離過大，並不適合救災人員的警戒範圍界定，僅能當作疏散的參考。

(二) 救災人員的防護裝備之警戒範圍考量。

因救災人員著有防護裝備，如消防衣、個人自給式呼吸器(SCBA)、防護衣等，能耐受的標準相對性較高，因此在救災人員的警戒範圍，應納入救災人員的防護裝備。經修正調整到 40 kW/m^2 ，已降至較合理可行的結果。

經由分析結果發現，BLEVE火球熱危害距離約槽體直徑的20倍，若僅單純考慮高壓槽，則BLEVE火球熱危害距離約槽體直徑的31倍。進一步考量高壓槽BLEVE的發生需要持續的受熱，且經由安全閥洩壓後，槽內儲存量必然降低，本計畫再以較不保守的假設BLEVE發生時槽內液位由80%降為30%，其最大危害距離，降為儲槽直徑的22.4倍，建議以儲槽直徑的25倍為救災人員的危害警戒距離。

蒸氣雲爆炸過壓危害距離雖可能發生在常壓槽與高壓槽，但實務上高壓儲槽發生蒸氣雲爆炸遠高於常壓槽，若將常壓槽排除，僅保留高壓槽，則危害距離約是儲槽直徑的14倍，仍低於BLEVE火球熱危害距離。

(三) 應排除常壓槽中閃火點較高之化學品產生蒸氣雲爆炸危害。

常壓槽發生蒸氣雲爆炸(VCE)的機率很低，故可以利用閃火點作為標準，忽略常壓槽中閃火點較高之化學品產生蒸氣雲爆炸危害的可能性。常壓槽部分若不考慮毒性與BLEVE、蒸氣雲爆炸，則危害僅剩池火熱輻

射，其危害距離約為儲槽直徑的1倍+10公尺。非救災人員(含防護不足的救災人員)的火災警戒距離建議為儲槽直徑的5倍

四、主要建議事項

本計畫的主要建議事項如下：

建議一

石化火災消防搶救人員之教育訓練宣導：立即可行建議

主辦機關：內政部消防署

協辦機關：各地方政府消防局

消防機關執行危害性化學品災害人命救助、控制火勢及阻卻延燒時，應確保救災人員行動安全，防止災情擴大；指揮官應評估現場搶救安全，對任何不安全救災環境或危險狀況惡化時，救災人員應先行撤離並進行初步管制，通報現場狀況。本研究成果可供現場指揮官評估現場危險狀況，先行撤離救災人員並進行初步管制，建議納入消防搶救人員教育訓練宣導。

● 常壓槽部分，在不考慮毒性危害下：

■ 非救災人員(含防護不足的救災人員)的火災警戒距離建議為儲槽直徑的5倍（可視為疏散距離）；

■ 救災人員的火災警戒距離建議為儲槽直徑+10m。

● 高壓槽部分：

■ 非救災人員(含防護不足的救災人員)的火災警戒距離建議為儲槽直徑的65倍（可視為疏散距離）；

■ 對救災人員的火災警戒距離建議為儲槽直徑的25倍。

此距離是高壓儲槽因外部火災或槽體有洩漏火災時，當有發現槽體壓力有上昇的狀況時如安全閥已開始噴發或洩漏噴射火焰變大時，不論槽體有無適當防護，所有救災人員應立即撤退至此距離之後；即便尚未觀察到槽體壓力有上昇的狀況，救災人員除架設必要的水線灑水冷卻外，也

應盡量保持在此距離之外，以維護安全。對於毒性危害，各應變人員應利用偵測器、風向判斷可能危害範圍，以穿著適當的防護裝備，並進行適當的疏散或就地避難。

建議二

高雄市國土計畫及都市防災規劃參考引用：立即可行建議

主辦機關：高雄市政府

協辦機關：內政部營建署、建築研究所

本研究發現在高雄各工業區的危害特性並不相同，仁大工業區的毒性危害最大，高雄港的毒性危害則是四區中最小的，高雄港的最主要危害則是BLEVE，主要與區內有許多高壓化學物質如丙烯、氯乙烯等的進出口有關。大林工業區雖然化學品存量最大，但主要是油品類，整體危害仍略低於林園與仁大，林園與仁大的危害大約為伯仲之間，但仁大工業區的毒性危害較高，主要來自於幾家廠的特殊物質如中石化的氰化氫、台塑仁武廠的氯氣等，圖4-24至圖4-33各工業區的儲槽危害潛勢分析成果，將可提供高雄市未來的城市規劃參考。

第一章 緒 論

第一節 研究緣起與背景

壹、研究緣起與背景

105年8月大陸天津化學品爆炸案，造成百餘人死亡，國內也曾發生如高雄林園石化工業區的北誼興業的LPG槽車爆炸、振興橋瓦斯管線洩漏爆炸、新竹福國化工爆炸、高雄81氣爆等危害性化學品重大災害案例，造成重大的民眾與救災人員的傷亡。如何於災害發生初期做好區域警戒與隔離是避免傷亡的最重要措施。

貳、研究目的

國內外危害性化學品災害案例持續發生，為防範於未然，宜先掌握石化工廠儲槽區（如乙烯、丙烯、甲苯、二甲苯、苯乙烯、液化石油氣等火災高危險物品）之分布區位，續就可能發生之外洩、火災、爆炸之風險進行評估，並依據大氣擴散條件（風速、風向等）模擬界定出災害警戒範圍(Hazmat zones)，其中包括熱區、暖區、冷區及防護行動區(Protective Action Zone)等範圍，以利災害發生時工業區內員工及鄰近工業區週邊民宅居民、學校師生迅速疏散避難，並協助現場指揮官決定開設消防救災現場指揮中心區位、消防設施設備及消防車輛佈設位置等災害應變救援作業所需空間資源布局，俾利有效控制及撲滅火勢、減少爆炸危害，達到有效減少人命傷亡、財物損失之目的，並可供未來都市計畫工業區劃設隔離帶之參考依據。藉由本研究之進行預期可達下列目的：

1. 潛在風險因子及風險評估流程

石化工廠儲槽區（如乙烯、丙烯、甲苯、二甲苯、苯乙烯、液化石油氣等火災高危險物品）發生外洩、火災、爆炸之潛在風險因子及風險評估流程研究。

2. 火災警戒範圍界定

因應災害搶救及疏散需求，依風險評估規劃各層次警戒範圍(Hazmat zones)，以擬定災害因應警戒方案進行疏散、救援規劃。

3. 火災警戒範圍界定相關消防法規檢討修正建議

如提供消防法第 23 條對公共危險物品、高壓氣體等顯有發生火災、爆炸之虞時劃定警戒區之參考。

石化業與相關使用危險化學品產業雖然風險高，但卻是產業與民生的必須，本計畫的結果將有益於國內石化業與相關產業的儲槽安全設計與救災人員的安全維護，避免未來再有石化災害救災人員傷亡發生，且應持續強化危險化學品災害的防救工作，方能健全產業發展。本案完成後，除協助法規的修訂外，應可推廣至其他工業區、產業等，提升國家整體產業防救災的專業能量。

第二節 研究方法與步驟

壹、 收集林園、大社、大林等三個石化工業區，以及高雄港周邊的化學儲運公司之儲槽資料。

本案最大的挑戰為能否完整收集林園、大社、大林等三個石化工業區，以及高雄港周邊的化學儲運公司之儲槽資料，儲槽數目超過1000個，儲槽資料將包含儲存物質、最大存量、儲存壓力、溫度、連接口管線等。由於三個石化工業區內的運作廠家多為毒化物運作場所，故基本資料已有，本計畫已逐一拜訪、收集。

貳、 針對不同儲槽類型(高壓、常壓)、不同儲存物質(乙烯、丙烯、丁二烯、氯乙烯、苯、甲苯、二甲苯、苯乙烯、液化石油氣等)進行危害分析。

不同儲槽的潛在危害類型包含池火(Pool fire)、閃沸(Boil over)、噴流火焰(Jet fire)、蒸氣雲爆炸(Vapor cloud explosion, VCE)與沸騰液體膨脹蒸氣雲爆炸(Boiling liquid expanding vapor explosion, BLEVE)。

參、 以 ALOHA (Areal Location of Hazardous Atmospheres) 軟體進行擴散模擬。

本計畫將採用美國環保署(EPA)與美國國家海洋暨大氣總署(NOAA)所開發的ALOHA (Areal Location of Hazardous Atmospheres)模擬軟體進行前述的後果分

析，可根據外洩物質之物理、化學特性配合氣象條件，分別進行外洩、火災或爆炸後果模擬，估算其危害距離。

肆、計算個別儲槽之警界距離，並繪製石化區儲槽危害潛勢圖。

而後依據圖1-1的流程，針對每個儲槽進行潛在的火災與爆炸危害範圍分析，此分析的結果除列表提供災害防救的預先規劃(Pre-plan)之外，也將利用GIS軟體，將每個槽的位置、危害範圍套疊於地理資訊系統內，在利用網格化與風險疊加的方式呈現區域的整體風險潛勢，此一方法由協同主持人開發並應用於毒化物的風險潛勢分析(Chen等人,2005)，本計畫將參考此方法，修正、擴大至其他危險化學品，並訂出各危害性儲槽的警戒距離，以供救災人員參考。

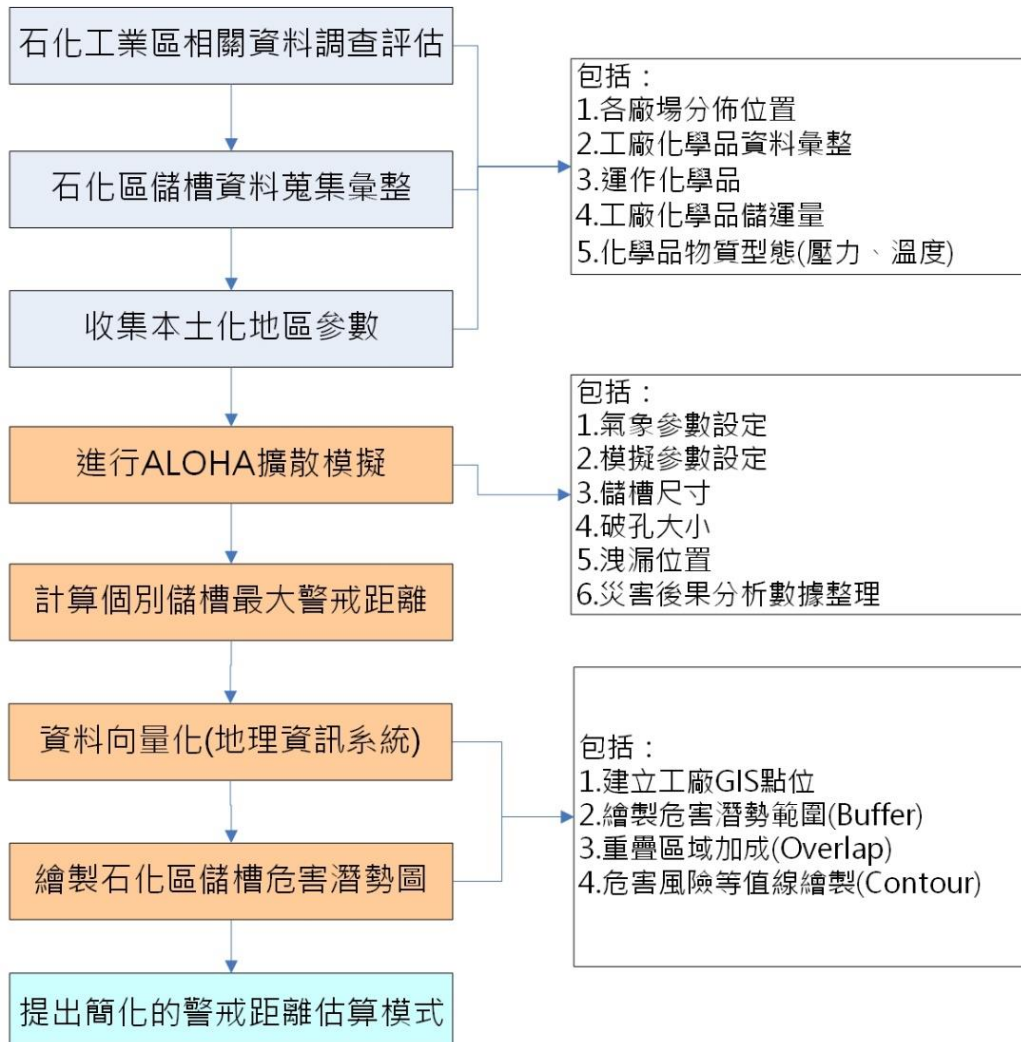


圖 1-1 研究流程圖
(資料來源：本研究成果)

伍、找尋一簡化的警戒距離的估算模式。

在完成各類型、不同尺寸、儲存物質的儲槽警戒距離分析後，本計畫將進一步統計、分析以找尋一簡化的警戒距離的估算模式，如圖1-2所示，以更方便現場應變救災人員的現場應用，最後此結果亦將提出相關消防法規中火災警戒範圍界定的檢討修正建議。

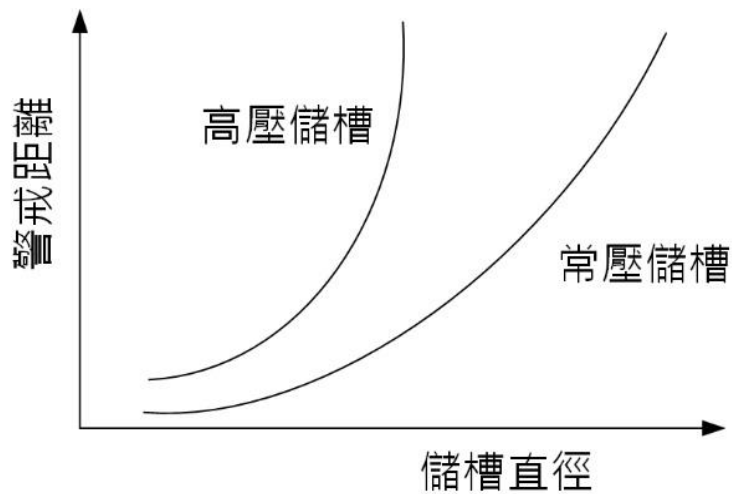


圖 1-2 簡化的警戒距離的估算模式的可能範例。

(資料來源：本研究成果)

第三節 研究進度說明

依據本研究之目的及研究內容，本計畫迄至期末，工作執行初步進度內容如下所述，整體進度如圖 1-3 所示。

- 石化區儲槽資料蒐集彙整分析。
- 收集本土化地區參數。
- 進行 ALOHA 擴散模擬。
- 計算個別儲槽最大警戒距離。
- 繪製石化區儲槽危害潛勢圖。
- 提出簡化的警戒距離估算模式與法規修正建議。

月	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
工作項目											
1.石化區儲槽資料蒐集彙整分析	■	■									
2.收集本土化地區參數		■	■								
3.進行 ALOHA 擴散模擬			■	■	■	■	■	■			
4.計算個別儲槽最大警戒距離								■	■		
5.繪製石化區儲槽危害潛勢圖									■	■	
6.提出簡化的警戒距離估算模式與法規修正建議									■	■	■
預定進度 (累積數)	8%	16%	25%	34%	43%	52%	61%	70%	80%	90%	100%

圖 1-3 研究進度及工作執行甘地圖。

(資料來源：本研究成果)

第二章 石化區儲槽資料收集

台灣目前主要石化區位於高雄與雲林麥寮的台塑石化股份有限公司第六套輕油裂解廠，由於台塑石化股份有限公司第六套輕油裂解廠的規劃晚於高雄石化工業區，其在防護措施與消防設備皆優於高雄石化工業區，因次本計畫將著重收集林園、大社、大林等三個高雄石化工業區，以及高雄港周邊的化學儲運公司之儲槽資料。

第一節 分布區位說明

國內外危害性化學品災害案例持續發生，為防範於未然，宜先掌握石化工廠儲槽區之分布區位，以利災害發生時工業區內員工及鄰近工業區週邊民宅居民、學校師生迅速疏散避難。因次就本計畫將著重收集林園、大社、大林等三個高雄石化工業區，以及高雄港周邊的化學儲運公司之儲槽分布區位如下說明。

壹、高雄石化工業區

1. 大社石化工業區(仁大工業區)

仁大工業區包含大社石化工業區與仁武工業區，其中，大社石化工業區位於高雄市的大社區(圖 2-1)，以化學材料製造業、化學製品製造業與機械設備製造修配業為主，其中以化學材料製造業為最大比例，達 75 %，如李長榮化學工業、中國石油化學工業開發股份有限公司等。

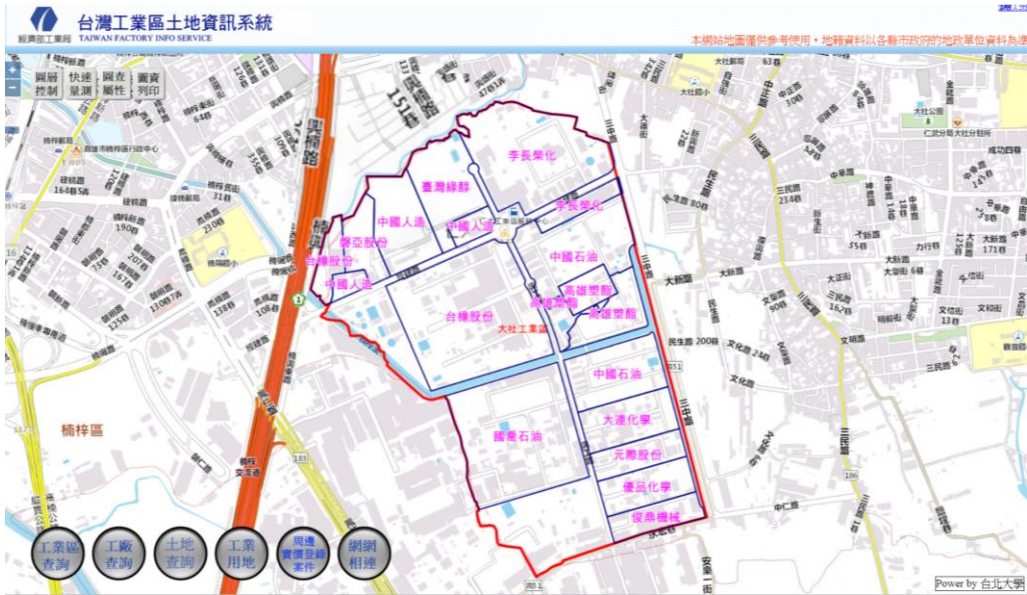


圖 2-1 大社石化工業區之區位。

(資料來源：經濟部工業局 台灣工業區土地資訊系統)

2. 大林蒲工業區

大林蒲工業區位於高雄市的小港區(圖 2-2)，以化學製品製造業化學材料製造業、金屬製造業、機械設備製造修配業等為主，工業區主要廠商為台灣中油股份有限公司大林煉油廠、中國鋼鐵股份有限公司等。



圖 2-2 大林蒲工業區之區位。

(資料來源：經濟部工業局 台灣工業區土地資訊系統)

3. 林園石化工業區

林園石化工業區位於高雄市林園區，如圖 2-3 所示，與大社石化工業區和中油高雄煉油廠構成南台灣石化重鎮，以化學材料製造業、化學製品製造業、石油及煤製品製造業等為主，主要廠商有台灣中油林園石化廠、台灣塑膠工業股份有限公司、李長榮化工股份有限公司等。



圖 2-3 林園石化工業區之區位。

(資料來源：經濟部工業局 台灣工業區土地資訊系統)

貳、高雄港周邊之化學儲運公司

因台灣並非產油國，國內油類之儲運皆由高雄港，經管線輸送至各石化工業區，進行輕油煉解。此外，工廠所需的化學原料也會經由高雄港進行儲運，因此高雄港周邊之化學儲槽數量也相當可觀。

目前港區的儲槽嚴格來說並非屬於高雄港的範圍，各石化公司僅租用高雄港的碼頭，儲槽是各公司自建，目前主要有華運倉儲實業股份有限公司、旅順倉儲股份有限公司、旅順倉儲股份有限公司(原奇美油倉)、李長榮化學工業股份有限公司高雄碼頭儲運站、台灣中油股份有限公司石化事業部前鎮儲運所、絃洋化學

股份有限公司、宜昇股份有限公司、勝一化工股份有限公司前鎮廠等共 8 家。另小港區的中油大林廠雖也在高雄港旁，但是屬於大林蒲工業區。值得注意的是這 8 家都將於 2 年後都將拆遷至洲際貨櫃中心二期，儲槽量可能會再擴大。

第二節 化學品儲槽種類

延續前一章節所述之三大石化工業區與高雄港周邊之化學儲運公司，本節依其運作化學品特性與其相對應之裝載儲槽進行分類。由本計畫收集之儲槽資料，儲槽種類包含圓柱槽、球槽及臥式槽；依化學品儲存壓力，可分為常壓儲槽與高壓儲槽；而因依裝載化學品特性，其儲槽之材質可分為不鏽鋼、碳鋼及 FRP。

第三節 儲槽潛在危害類型

延續前一章節所述林園、大社、大林等三個石化工業區，以及高雄港周邊的化學儲運公司之儲槽資料，本節針對不同儲槽類型(高壓、常壓)、不同儲存物質(乙烯、丙烯、丁二烯、氯乙烯、苯、甲苯、二甲苯、苯乙烯、液化石油氣等)進行可能的危害分析，包括是否洩漏、引燃以及可能之爆炸等危害。圖 2-4 是不同儲槽的潛在危害類型(Crowl 與 Louvar, 2012)，各危害類型簡述如下。

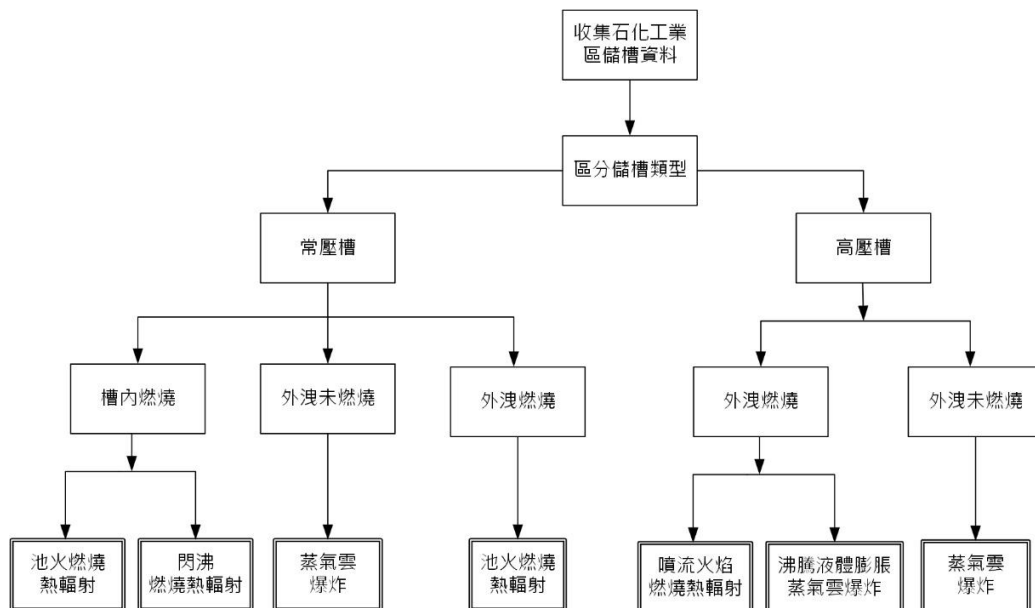


圖 2-4 不同儲槽的潛在危害類型。

(資料來源：Crowl 與 Louvar, 2012)

壹、池火(Pool fire)

常壓可燃性液體不論於槽內或槽外以液池持續燃燒及稱為池火，這是常壓可燃性液體儲槽最常見的事故狀況，危害以熱輻射為主。



圖 2-5 典型的儲槽池火。
(資料來源：協同主持人事故資料)

貳、閃沸(Boil over)

通常常壓油性液體於槽內持續燃燒為一穩定之狀況，但若於滅火過程中將水注入槽內過多，因水比油的密度大，水會沉積於槽底，則槽內上方的火變會持續加熱槽內下層的水，當水溫達到沸騰時，底層的水急速膨脹，將槽內油性液體推出，形成一大火球是為閃沸，危害以熱輻射為主。



圖 2-6 典型的儲槽閃沸。
(資料來源：協同主持人事故資料)

參、噴流火焰(Jet fire)

高壓液體或氣體外洩後立即被引燃，生成一持續燃燒的噴流，危害以熱輻射為主。



圖 2-7 典型的噴流火焰。
(資料來源：協同主持人德州農工訓練資料)

肆、蒸氣雲爆炸(Vapor cloud explosion, VCE)

可燃性氣體或蒸氣外洩後未立即引燃，但與空氣混合生成可燃性氣雲，待接觸引火源後引燃，其燃燒速不受燃料擴散的限制，將產生極大的爆炸過壓與與火

球，危害以熱輻射與過壓為主。



圖 2-8 典型的蒸氣雲爆炸(2012 中國湖南瓦斯槽車)

(資料來源：協同主持人事故資料)

伍、沸騰液體膨脹蒸氣爆炸 (Boiling liquid expanding vapor explosion, BLEVE)

沸騰液體膨脹蒸氣爆炸是指高壓液化氣體容器受熱導致槽體材料強度下跌，但槽內壓力上升，最終槽體破裂，液化氣體外洩急速膨脹並被引燃，產生爆炸過壓、碎片、與火球，危害以熱輻射與過壓為主。



(資料來源：Youtube 影片，<https://www.youtube.com/watch?v=sl-JgyQA7u0>)

第三章 危害距離分析方法

危險性化學物品儲槽的危害主要在於火災的熱輻射與爆炸的過壓，兩者都可能對應變救災人員造成威脅，由於不同類型的儲槽，其外洩、火災、爆炸的類型並不相同，但現有文獻、技術報告、書籍、規範等對於儲槽的一般性危害距離著墨甚少，多局限於各別狀況的分析，與本研究較相關的有：

- NFPA 易燃性與可燃性液體規範(NFPA 30, Flammable and Combustible Liquids Code)
- 緊急應變指引 (Emergency Response Guidebook)
- ALOHA (Areal Location of Hazardous Atmospheres)模擬軟體

以下逐一簡要說明

第一節 NFPA 易燃性與可燃性液體規範

NFPA 易燃性與可燃性液體規範主要規範易燃性與可燃性液體的分類、儲存量的上限、與儲存的安全距離，其中第 22 節是關於地上儲槽，其中有規範儲槽與周界的最低隔離距離、兩個相鄰儲槽的最低隔離距離，如圖 3-1、3-2 所示。由圖 3-1、3-2 可看出最低隔離距離是與儲槽直徑、儲槽槽體的防護設施有關，通常約為儲槽直徑的 1/6~2，此結果並未提供其理論依據，但應是基於燃燒熱輻射 (Chen, et al., 1995)，故此結果應具有應變救災的參考價值。

Table 22.4.1.1(a) Location of Aboveground Storage Tanks Storing Stable Liquids — Internal Pressure Not to Exceed a Gauge Pressure of 2.5 psi (17 kPa)

Type of Tank	Protection	Minimum Distance (ft)	
		From Property Line That Is or Can Be Built Upon, Including the Opposite Side of a Public Way ^a	From Nearest Side of Any Public Way or from Nearest Important Building on the Same Property ^a
Floating roof	Protection for exposures ^b	$\frac{1}{2} \times$ diameter of tank	$\frac{1}{6} \times$ diameter of tank
	None	Diameter of tank but need not exceed 175 ft	$\frac{1}{6} \times$ diameter of tank
Vertical with weak roof-to-shell seam	Approved foam or inerting system ^c on tanks not exceeding 150 ft in diameter ^d	$\frac{1}{2} \times$ diameter of tank	$\frac{1}{6} \times$ diameter of tank
	Protection for exposures ^b	Diameter of tank	$\frac{1}{3} \times$ diameter of tank
	None	$2 \times$ diameter of tank but need not exceed 350 ft	$\frac{1}{3} \times$ diameter of tank
Horizontal and vertical tanks with emergency relief venting to limit pressures to 2.5 psi (gauge pressure of 17 kPa)	Approved inerting system ^c on the tank or approved foam system on vertical tanks	$\frac{1}{2} \times$ value in Table 22.4.1.1(b)	$\frac{1}{2} \times$ value in Table 22.4.1.1(b)
	Protection for exposures ^b	Value in Table 22.4.1.1(b)	Value in Table 22.4.1.1(b)
	None	$2 \times$ value in Table 22.4.1.1(b)	Value in Table 22.4.1.1(b)
Protected aboveground tank	None	$\frac{1}{2} \times$ value in Table 22.4.1.1(b)	$\frac{1}{2} \times$ value in Table 22.4.1.1(b)

For SI units, 1 ft = 0.3 m.

^aThe minimum distance cannot be less than 5 ft (1.5 m).

^bSee definition 3.3.46, Protection for Exposures.

^cSee NFPA 69.

^dFor tanks over 150 ft (45 m) in diameter, use "Protection for Exposures" or "None," as applicable.

圖 3-1 NFPA 30 的儲槽與周界隔離距離。

(資料來源：NFPA)

Table 22.4.2.1 Minimum Shell-to-Shell Spacing of Aboveground Storage Tanks

Tank Diameter	Floating Roof Tanks	Fixed or Horizontal Tanks	
		Class I or II Liquids	Class IIIA Liquids
All tanks not over 150 ft (45 m) in diameter	$\frac{1}{6} \times$ sum of adjacent tank diameters but not less than 3 ft (0.9 m)	$\frac{1}{6} \times$ sum of adjacent tank diameters but not less than 3 ft (0.9 m)	$\frac{1}{6} \times$ sum of adjacent tank diameters but not less than 3 ft (0.9 m)
Tanks larger than 150 ft (45 m) in diameter: If remote impounding is provided in accordance with 22.11.1	$\frac{1}{6} \times$ sum of adjacent tank diameters	$\frac{1}{4} \times$ sum of adjacent tank diameters	$\frac{1}{6} \times$ sum of adjacent tank diameters
	$\frac{1}{4} \times$ sum of adjacent tank diameters	$\frac{1}{3} \times$ sum of adjacent tank diameters	$\frac{1}{4} \times$ sum of adjacent tank diameters

Note: The "sum of adjacent tank diameters" means the sum of the diameters of each pair of tanks that are adjacent to each other. See also A|22.4.2.1.

圖 3-2 NFPA 30 的兩個儲槽相鄰的隔離距離。

(資料來源：NFPA)

第二節 緊急應變指引

緊急應變指引 (Emergency Response Guidebook, ERG)是美國運輸部管線與危險品安全署(U.S. Department of Transportation, Pipeline and Hazardous Materials

Safety Administration)所出版針對各類危險物質的初期應變指引，緊急應變指引針對各物質有提供初期隔離距離(Initial Isolation Distance, IID)、大小洩漏、大小火之防護作業距離(Protective Action Distance, PAD)，初期隔離距離是在災害發生，應變人員所做的隔離距離，如圖 3-3，人員若無適當的防護裝備不能進入此範圍；防護作業距離則是洩漏點下風的方形範圍，在此區域內人員應該疏散(Evacuation)或做室內避難(Shelter-in-place)。ERG 提供的距離屬於保守，通常固體、液體、氣體的一般初期隔離距離分別是 25、50、100 公尺；防護作業距離則更大，如汽柴油的大洩漏則是防護 300 公尺、火災則提高到 800 公尺，這些安全距離對於地狹人稠的台灣是幾乎不可行，也不用於救災人員的安全距離。

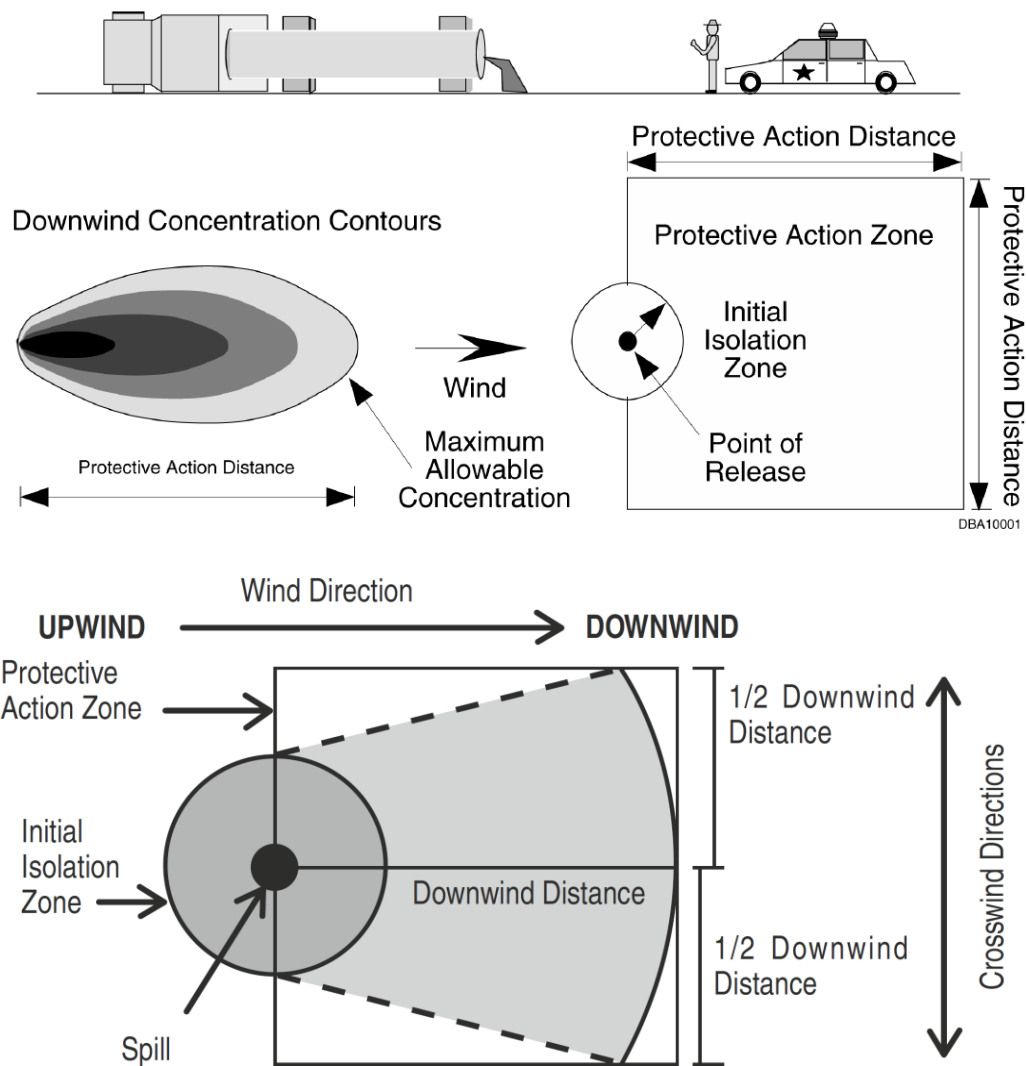


圖 3-3 ERG 的隔離距離的示意圖與簡圖。

(資料來源：Brown 等人，2000；ERG，2016)

進一步探究 ERG 的距離估算依據，是依據外洩與擴散模式，加上統計分析而得(Brown 等人，2000)。對每一化學物質，進行上千種假設性的外洩分析以涵蓋各種外洩量與大氣條件，危害距離的估算是參考美國環保署的急性暴露指引濃度 -2(AEGL-2) 或美國工業衛生協會 (AIHA) 的緊急應變計畫指引濃度 -2(ERPG-2)，但以 AEGL-2 為優先。防護作業距離是依據模擬出的危害距離選取 90% 的機率會避開危害的距離，亦即此距離有 90% 機率不會有危害，如圖 3-4 所示為氯氣、夜間、小洩漏的安全距離與危害機率的關聯圖，當避開危害機率達 90% 時，安全距離為 0.13 英里(208 公尺)；當避開危害機率達 50% 時，安全距離為 0.06 英里(96 公尺)。故距離與危害之關係是反映在危害機率上，而非一絕對的關係，ERG 為求更安全，採取較保守的 90% 避開危害機率，故防護作業距離皆是保守的，也因此並不適用於應變人員救災作業用，但此評估方法仍可套用於個案的分析。

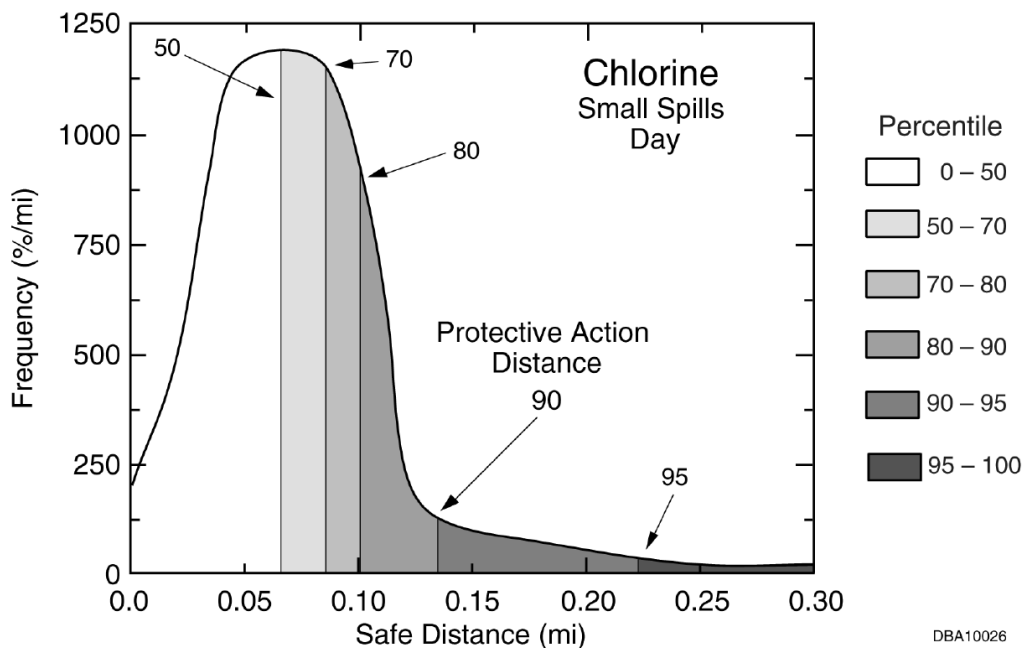


圖 3-4 ERG 的防護作業距離與危害機率的示意圖。

(資料來源：Brown 等人，2000)

第三節 ALOHA 危害模式

由前述的 ERG 分析可知，要訂定警戒範圍最好的方式是逐一針對事故狀況進行危害分析，包括洩漏或火災狀況，目前已有許多後果分析軟體如 ALOHA(Areal Locations of Hazardous Atmospheres; US EPA/NOAA, 2016)、PHAST(Process Hazard Analysis Software Tools; DNV GL, 2017)、SAFER(Safersystem, 2017)等軟體進行分析，事實上若能於事故中使用這類軟體進行分析將能提供最精確的防護警戒與疏散距離，惟實務上國內於事故發生當下受限於人力、經驗、資訊傳遞等，甚少於事故中使用這類軟體進行分析；故本計畫希望能事先透過收集國內重要石化工業區的儲槽資料，逐一進行危害範圍分析，並進一步彙整出類似美國 ERG，但符合國內現況的「簡易」救災用的危害距離的模式或公式，以提供救災人員的參考。

在各種分析軟體中，ALOHA 是美國環保署(EPA)與美國國家海洋暨大氣總署(NOAA)所共同開發的模擬軟體，最新版本為 5.4.7，可根據外洩物質之物理、化學特性配合氣象條件，分別進行外洩、火災或爆炸後果模擬，並估算其影響範圍。ALOHA 軟體可依據實際化學品特性、大氣條件、外洩來源與破孔形式等設定值，執行擴散與各種危害模擬。ALOHA 軟體是架構在完整的外洩、擴散、火災爆炸的分析模式上，詳細的模式可於參考其技術文件(Jones 等人, 2013)。ALOHA 軟體為美國環保署風險管理法案 (Risk Management Program, RMP; US EPA, 2018) 所建議使用之後果分析軟體，為免費下載，其使用之模式已廣泛驗證過，並不遜於其他商用軟體，故本計畫將採用之。

圖 3-5 為 ALOHA 軟體之簡易操作流程，其中 ALOHA 軟體共有四種外洩來源模式，分別為 Direct(直接洩放)、Puddle(液池)、Tank(儲槽)與 Pipe(管線)，因本次計畫著重於石化工廠化學儲槽區火災警戒範圍，故外洩來源皆選擇 Tank(儲槽) 模式，再依不同的破孔大小進行危害模擬。在 ALOHA 軟體中有臥式槽(圖 3-6)、圓柱槽(圖 3-7)與球槽(圖 3-8)3 種儲槽類型，可依實際化工廠儲槽型式進行點選。

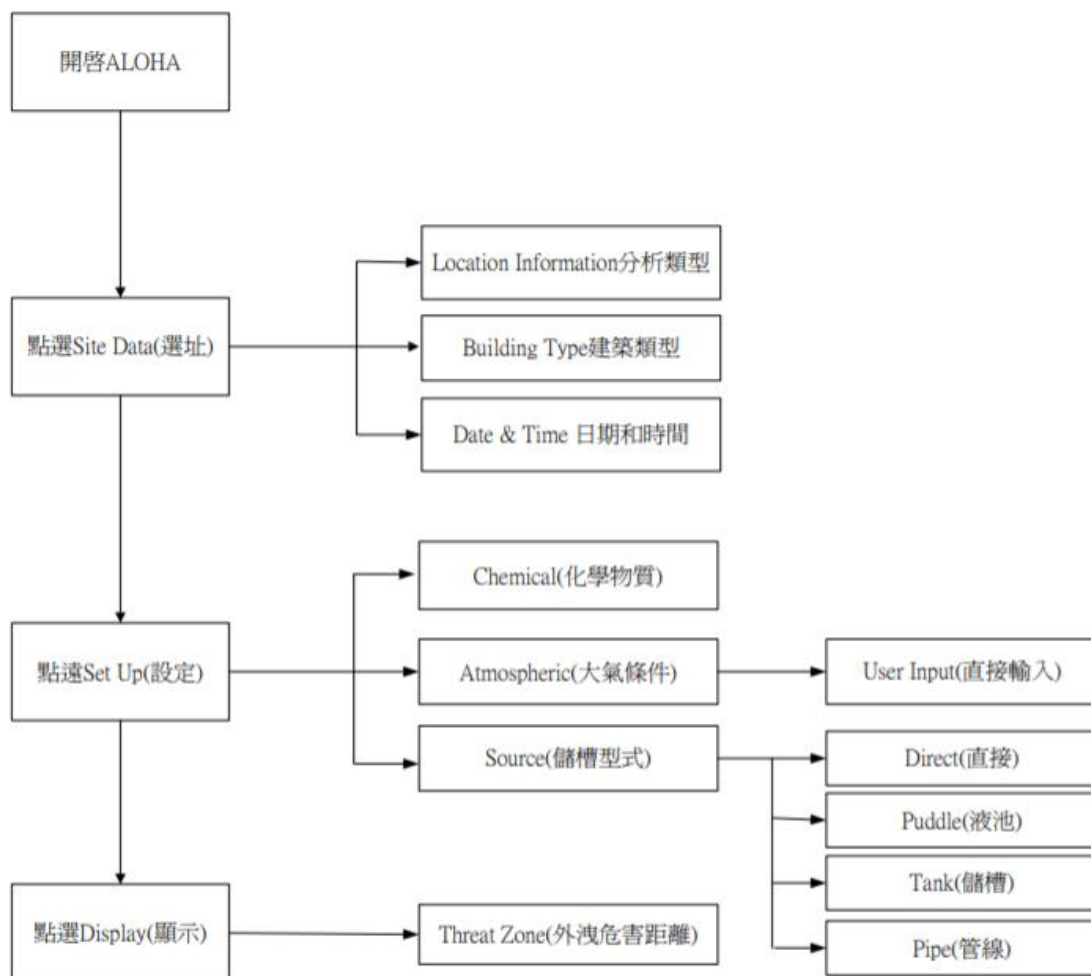


圖 3-5 ALOHA 軟體之簡易操作流程圖。
(資料來源：陳政任，2011)

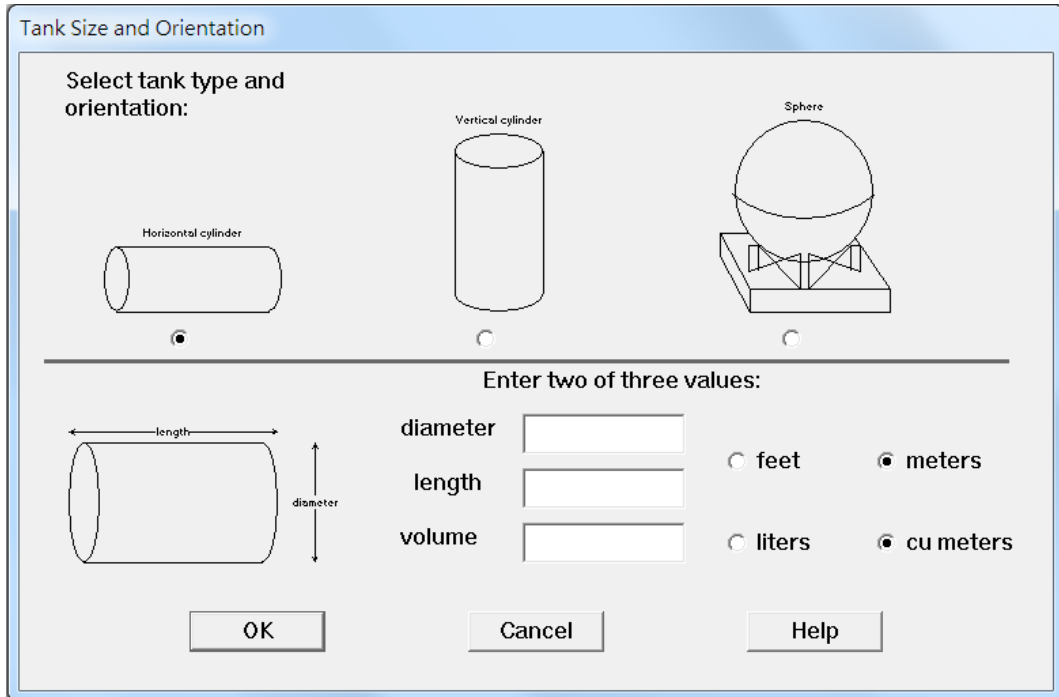


圖 3-6 ALOHA 軟體臥式槽之設定。
(資料來源：ALOHA, 2016)

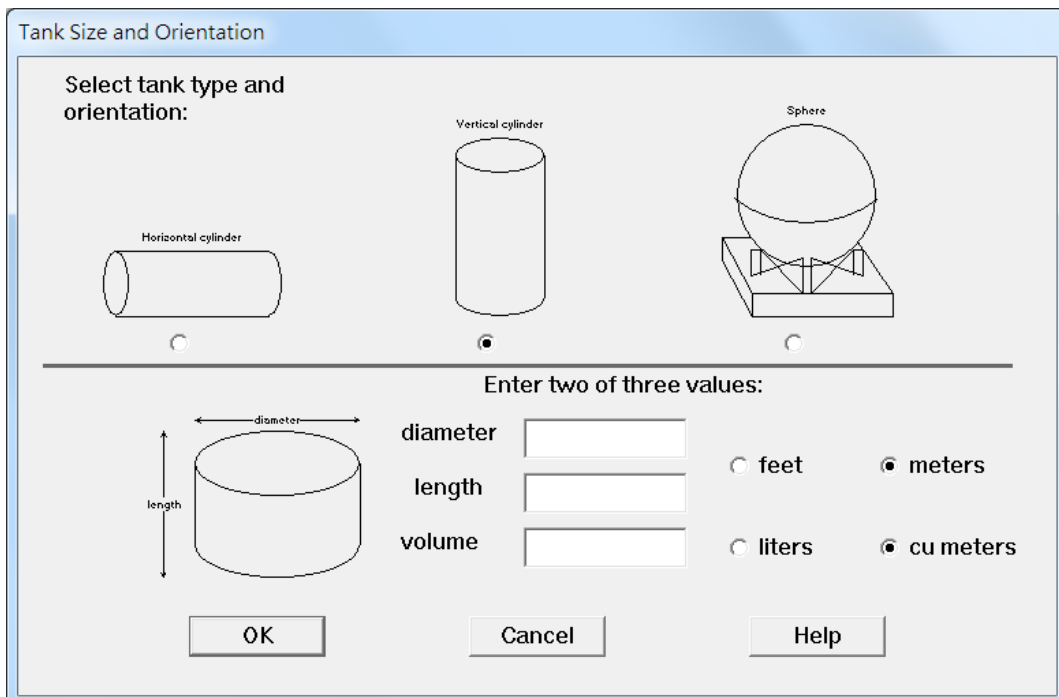


圖 3-7 ALOHA 軟體圓柱槽之設定。
(資料來源：ALOHA, 2016)

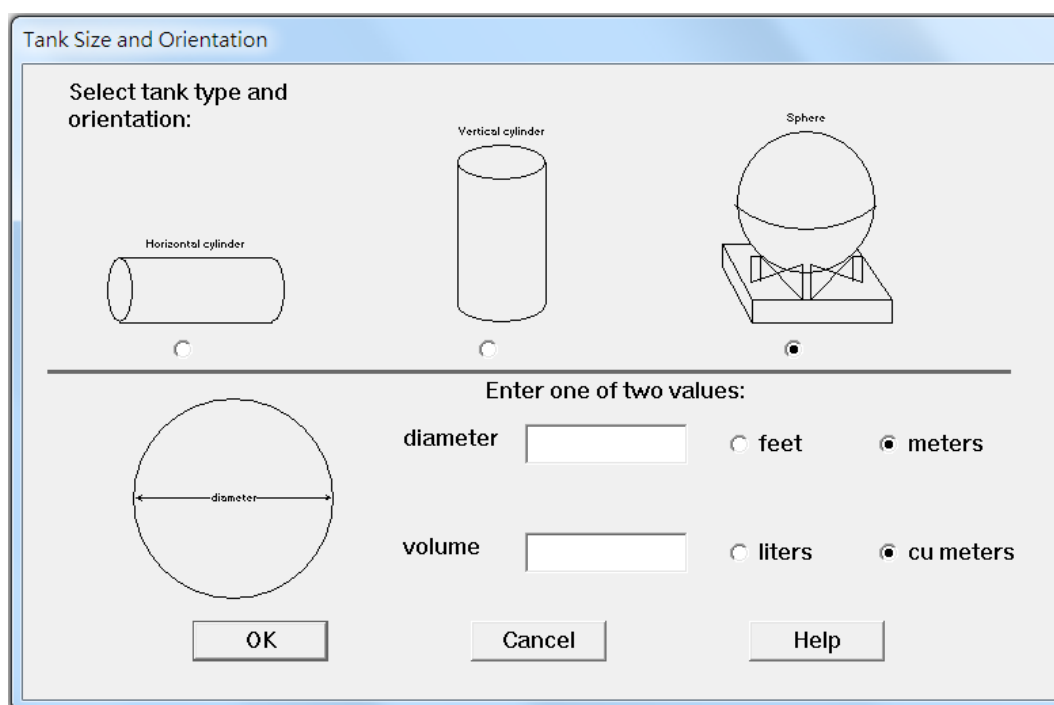


圖 3-8 ALOHA 軟體球槽之設定。

(資料來源：ALOHA, 2016)

在 ALOHA 軟體中，對於具有火災爆炸危害之化學品，再選擇完儲槽洩漏型式後，會有三種對於儲槽失誤模式可以進行模擬，三種儲槽失誤模式如下所述。

壹、第一種儲槽失誤模式。

ALOHA 軟體中的第一種儲槽失誤模式的條件是當化學品自儲槽洩漏，化學品未燃燒且自集液堤揮發或逸散置大氣中，如圖 3-9。選擇此失誤模式可用來模擬毒性氣雲危害範圍、可燃性蒸氣雲危害範圍及爆炸過壓危害區域，如圖 3-10。

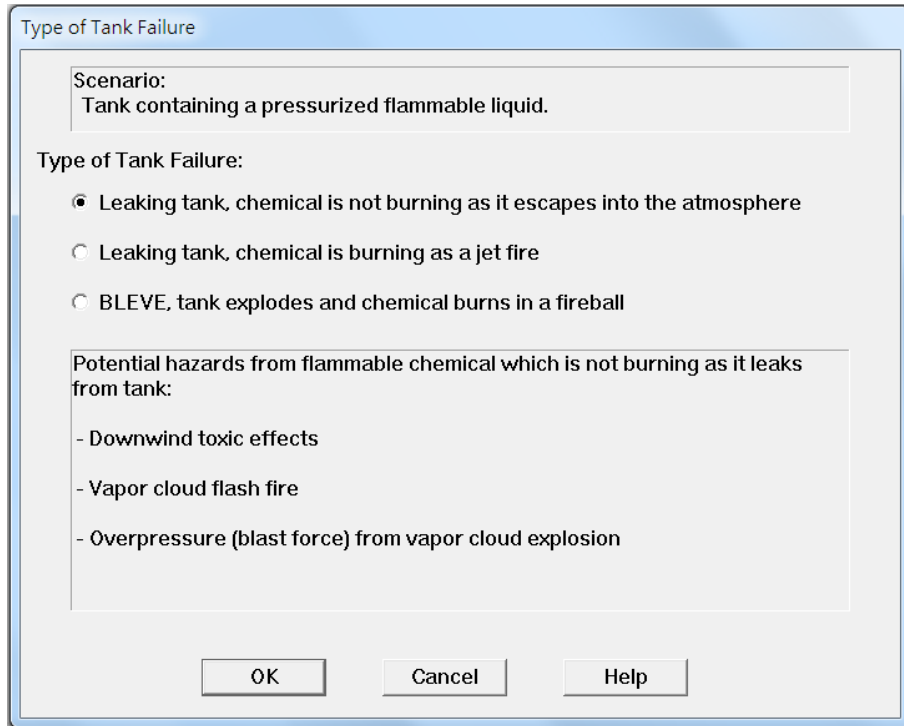


圖 3-9 第一種儲槽失誤模式。
(資料來源：ALOHA, 2016)

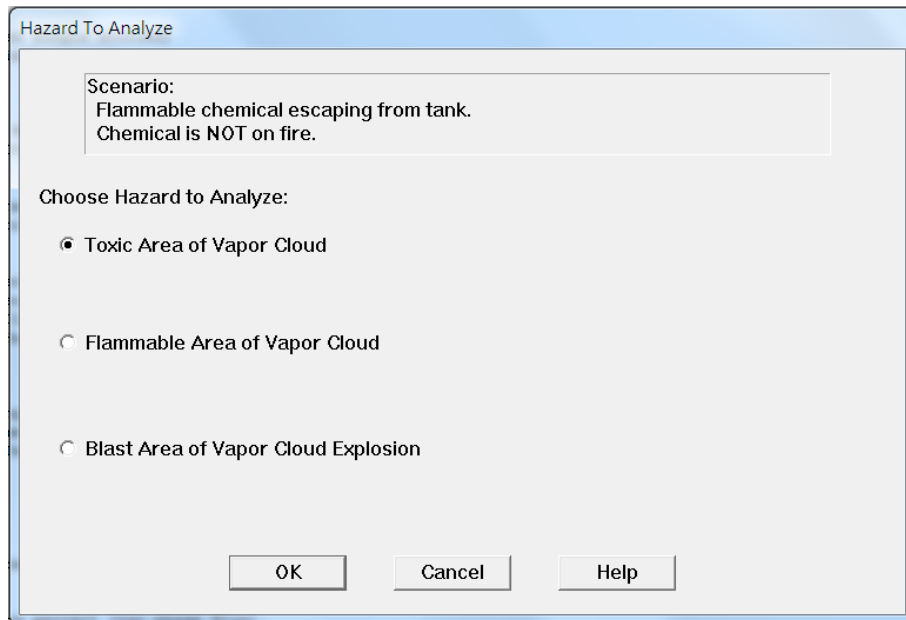


圖 3-10 第一種儲槽失誤模式之危害分析。
(資料來源：ALOHA, 2016)

貳、第二種儲槽失誤模式。

ALOHA 軟體中的第二種儲槽失誤模式的條件，是當化學品自儲槽洩漏，且產生燃燒。當儲槽為高壓儲槽，燃燒型態是為噴射火焰(圖 3-11)；反之，當儲槽是為常壓儲槽(圖 3-12)，其燃燒便為池火型態。選擇此失誤模式可模擬火災熱輻射之危害區域。

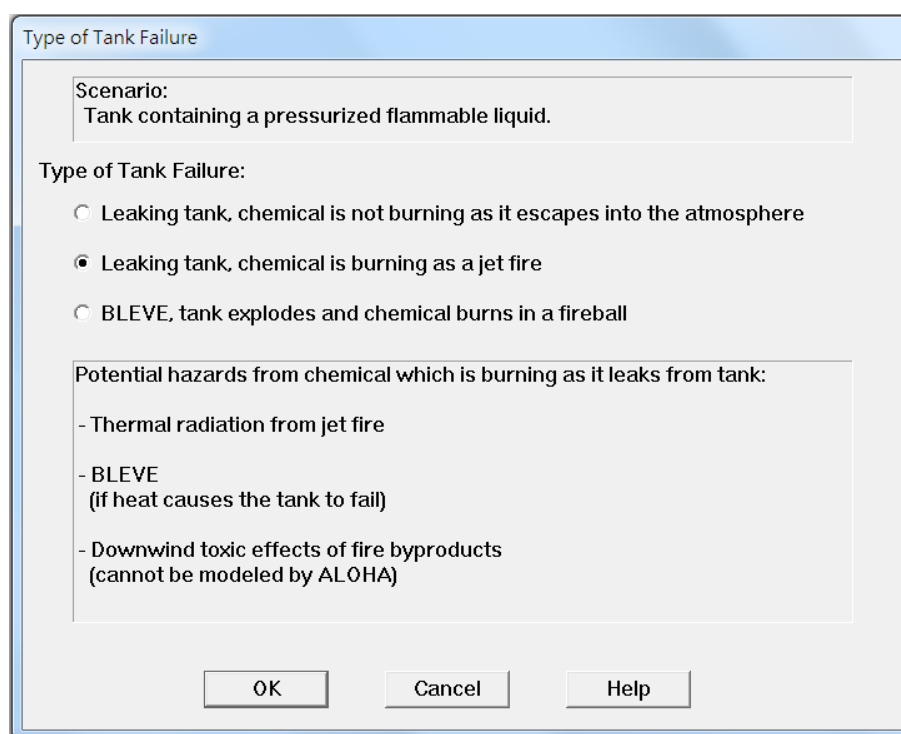


圖 3-11 第二種儲槽失誤模式(高壓儲槽)。

(資料來源：ALOHA, 2016)

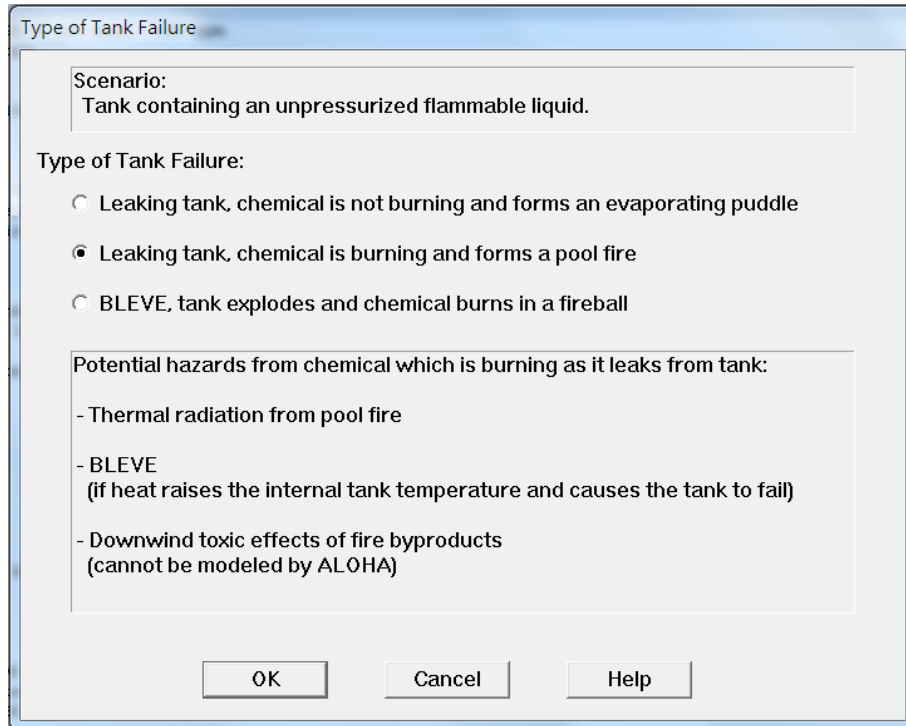


圖 3-12 第二種儲槽失誤模式(常壓儲槽)。
(資料來源：ALOHA, 2016)

參、第三種儲槽失誤模式。

第三種儲槽失誤模式(圖 3-13)為沸騰液體膨脹蒸氣雲爆炸(Boiling liquid expanding vapor explosion, BLEVE)，使儲槽破裂，產生火球，模擬火球熱輻射之危害區域。

各種模式的分析結果將於下一章列舉說明。

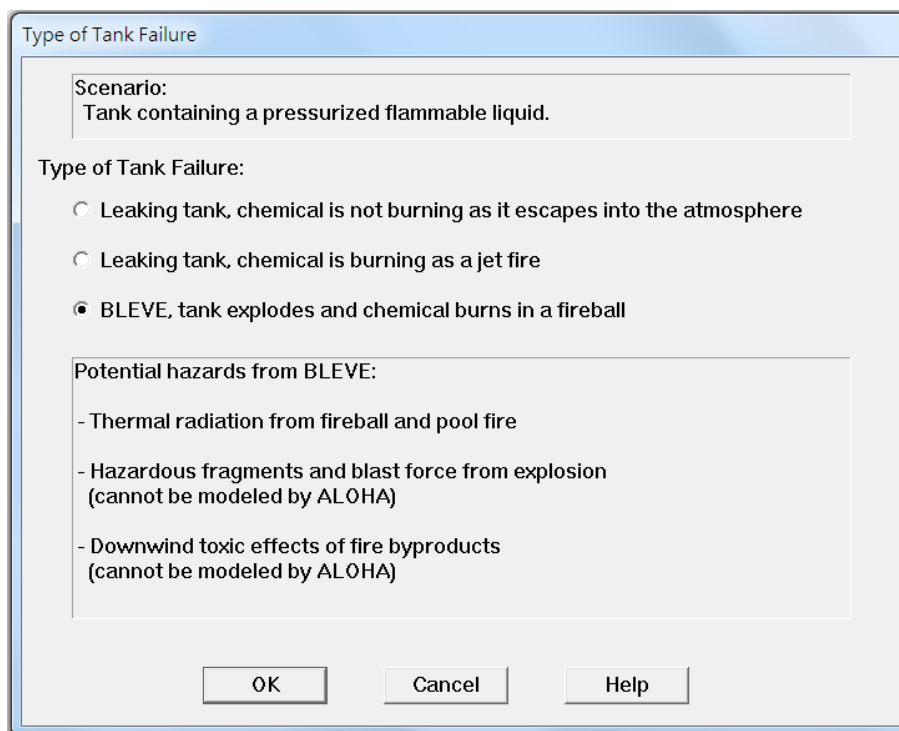


圖 3-13 第三種儲槽失誤模式。
(資料來源：ALOHA, 2016)

第四章 研究進度

第一節 資料分析收集

本計畫目前已完成仁大工業區、林園工業區、大林工業區、前鎮區高雄港周邊共 60 家公司，如表 4-1 所示，共 27,825 個儲槽/容器的資料收集，儲槽資料收集包含類型、尺寸、儲存物質、儲存條件、儲存狀態等，如圖 4-1 所示。為了有效分析，將數據進一步篩選並把容量未達 500 L 的容器排除，500 L 以下的容器多為非固定槽，危害不大故先排除，扣除後尚有 1,123 個。此外相同尺寸、相同物質的儲槽分析是相同的，固可扣除，扣除後尚有 614 個不同尺寸、不同物質的儲槽，其容量範圍介於 0.5 ~ 271,688 m³ 間，其中，271,688 m³ 的最大儲槽是為台灣中油股份有限公司煉製事業部大林煉油廠原油與燃料油儲槽，直徑長達 84.65 公尺。500 L 以上的儲槽總容積達 7,550,096m³，以台灣中油股份有限公司煉製事業部大林煉油廠的總容積 6,180,378.8 m³ 為最大，主要儲存物質為易燃性油料類，顯見煉油與一般下游石化業的易燃與毒性危害特性仍有不同。這四個區域的高壓儲槽總數達 175 個，約佔 1,123 個 500 L 以上儲槽的 15%，這些高壓儲槽危害遠高於常壓儲槽，是應變救災人員最需注意的設施。

表 4-1 各工業區資料來源公司

工業區	資料來源公司
<p>仁大工業區 (20 家)</p>	<p>三芳化學工業股份有限公司 大立高分子工業股份有限公司 大連化學工業股份有限公司高雄廠 中國人造纖維股份有限公司高雄總廠 中國石油化學工業開發股份有限公司大社廠 元際股份有限公司 台塑大金精密化學股份有限公司仁武廠 台精化學工業股份有限公司 台橡股份有限公司高雄廠 台灣塑膠工業股份有限公司仁武廠 台灣聚合化學品股份有限公司高雄廠 李長榮化學工業股份有限公司大社廠 長川化工股份有限公司 長春人造樹脂廠股份有限公司高雄廠 南亞塑膠工業股份有限公司仁武廠 高雄塑酯化學工業股份有限公司 高福化學工業股份有限公司 國喬石油化學股份有限公司高雄廠 磐亞股份有限公司高雄廠 優品化學工業股份有限公司</p>
<p>林園工業區 (16 家)</p>	<p>中日合成化學股份有限公司林園工廠 台灣中油股份有限公司石化事業部 台灣苯乙烯工業股份有限公司高雄廠 台灣氯乙烯工業股份有限公司林園廠 台灣塑膠股份有限公司林園廠 台達化學工業股份有限公司林園廠 台灣科思創股份有限公司高雄廠 合興石化工業股份有限公司林園廠 和益化學工業股份有限公司 東聯化學股份有限公司高雄林園廠 信昌化學工業股份有限公司林園廠 南亞塑膠工業股份有限公司林園二廠 南帝化學工業股份有限公司 華夏聚合股份有限公司林園廠 遠榮氣體工業股份有限公司林園工廠 聯成化學科技</p>

<p>大林工業區 (15 家)</p>	<p>中國鋼鐵股份有限公司 中國鋼鐵股份有限公司第三冷軋廠 三福化工股份有限公司 高雄廠 中石化 小港廠 醃胺工場 中鋼碳素化學股份有限公司 中鋼鋁業股份有限公司臨海廠 台灣中油股份有限公司煉製事業部大林煉油廠 台灣志氣化學股份有限公司碱氣廠 台灣科德股份有限公司 永記造漆工業股份有限公司 李長榮化學工業股份有限公司 高雄廠 李長榮化學工業股份有限公司小港廠 東剛工程股份有限公司 唐榮油漆股份有限公司 盛餘股份有限公司 凱景實業股份有限公司</p>
<p>前鎮區高雄港 (9 家)</p>	<p>台虹科技股份有限公司(一廠) 旅順倉儲(股)份有限公司 台達化學工業股份有限公司前鎮廠 台灣日東電工股份有限公司 台灣塑膠工業股份有限公司-第四工場 李長榮化學工業股份有限公司高雄碼頭儲運站 宜昇股份有限公司 台灣中油股份有限公司石化事業部前鎮儲運所 華運倉儲股份有限公司 前鎮廠</p>

(資料來源：本研究結果)

表 4-2 各工業區儲槽統計

工業區	總儲槽/ 容器數	>500L 儲 槽總數	>500L 不 同類型 儲槽數	高壓儲 槽總數	不同類 型高壓 儲槽數	>500L 儲槽 總容積(m ³)
大林	7,658	294	134	58	18	6,210,700.0
林園	4,483	373	211	37	24	688,150.6
前鎮高港	12,617	182	130	36	18	497,447.6
大社仁武	3,067	274	139	44	24	153,798.5
合計	27,825	1,123	614	175	84	7,550,096.7

(資料來源：本研究結果)

B	C	F	G	H	I	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	W	X
序號	事業名稱	種類	化學品名稱	化學品英文名	濃度	化學品型態	裝載容器種類	裝載容器材質	相同規格容器數	裝載容器規格				單一容器計量容量	單一容器經常容	單一容器最大容	貯存溫度	貯存壓力
		(EX-一般化學品、公共危險品、毒化物)	(EX-二級甲品)		%	(氣體、液體)	(鋼瓶、橫式、圓柱、方型、球型、袋裝)	(鋼、鐵、不銹鋼、鋁、玻璃、陶瓷、其他)	(EX-1、2、3)	長(單位:m)	寬(單位:m)	高(單位:m)	直徑(單位:m)	m ³	(公斤或公升)	(公斤或公升)	(°C,常溫貯存;攝氏溫度,高倍溫貯存;攝氏溫度)	(kg/cm ² ,常溫貯存;其他壓力)
0	(EX-00公司OO廠)																	
2	優品化學工業股份有限公司	公共危險品	丙酮	ACETONE	99%	液體	圓柱	鐵	1			4	3.6	40.7	20000L	30000L	常溫	常壓
3	優品化學工業股份有限公司	公共危險品	壬烯	1-NONENE	95%	液體	圓柱	鐵	3			7	3.8	79.3	20000L	35000L	常溫	常壓
4	優品化學工業股份有限公司	公共危險品	柴油	DIESEL (TRIDECANE)	100%	液體	橫式	鐵	1	1.87			0.96	1.4	710KG	950kg	常溫	常壓
7	元際股份有限公司	公共危險品	乙二胺	ETHYLENE DIAMINE	99%	液體	方柱	不銹鋼	1	2	0.5	1		1.0	500kg	1000L	常溫	常壓
9	元際股份有限公司	毒化物、公共危險品	乙腈	ACETONITRILE	99.9%	液體	圓柱	不銹鋼	2			5.7	3	40.3	18500kg	31500kg	常溫	常壓

圖 4-1 儲槽資料收集。
(資料來源：本研究結果)

第二節 參數設定

壹、環境設定

ALOHA 分析的環境設定以高雄歷年最高溫(37.2°C)及最低月平均風速(1.27 m/s)為基礎，以模擬最嚴重狀況。

貳、洩漏狀況模擬設定

若大氣條件與洩漏狀況都以最嚴重狀況進行模擬，其模擬結果可能與實際狀況產生較大的誤差，因此洩漏狀況是選用較真實的狀況(Crowl 與 Louvar, 2012)，此較真實的狀況亦是美國環保署風險管理法案(Risk Management Plan, RMP; US EPA, 2018)所訂定的標準，如下表所示，並且將儲槽液位假設為容積的 80%。

表 4-3 較真實狀況的洩漏孔徑。

連接管徑(in)	破孔面積估算
連接管徑 > 4"	20%連接管面積
2" < 連接管徑 < 4"	2"管面積
連接管徑 < 2"	管面積

(資料來源：Crowl 與 Louvar, 2012)

參、危害標準設定

ALOHA 軟體最後的分析需輸入各項危害標準指標，以模擬出的危害距離。危害標準選用，本計畫目前在危害標準指標選用如表 4-3 所示。

表 4-4 計畫選用之危害標準指標表

危害分析	危害標準指標
毒性氣雲危害範圍	AEGL-3, ERPG-3, PAC-3 (Protective Action Criteria)或 IDLH (Immediate Danger to Life and Health)
可燃性蒸氣雲危害範圍	60 %LEL
蒸氣雲爆炸過壓危害區域	3.5 psi
池火熱危害區域	10 kW/m ²
BLEVE 火球熱危害區域	10 kW/m ²
噴射火焰熱危害區域	10 kW/m ²

(資料來源：本研究成果)

第三節 危害距離之初步結果

壹、高壓儲槽之 ALOHA 模擬結果

高壓儲槽之 ALOHA 模擬結果是以一直徑為 12.514m 的丙烯球槽為例，其連接管線為 6 吋，分別計算 ALOHA 軟體模擬出之毒性氣雲危害範圍、可燃性蒸氣雲危害範圍、爆炸過壓危害範圍、噴射火焰熱危害範圍及 BLEVE 火球熱危害範圍如下：

1. 毒性氣雲危害範圍。如圖 4-2 所示。

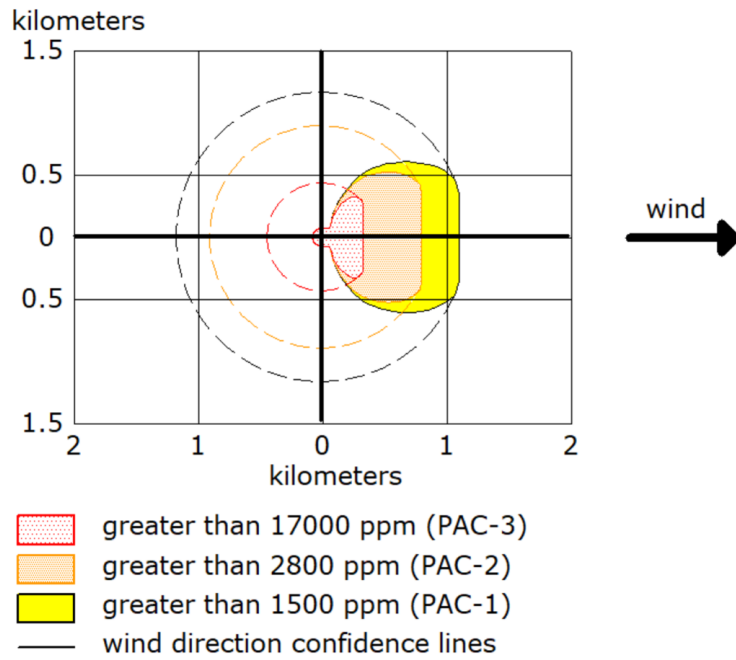


圖 4-2 丙烯之毒性氣雲危害範圍。
(資料來源：本研究成果)

2. 可燃性蒸氣雲危害範圍。如圖 4-3 示。

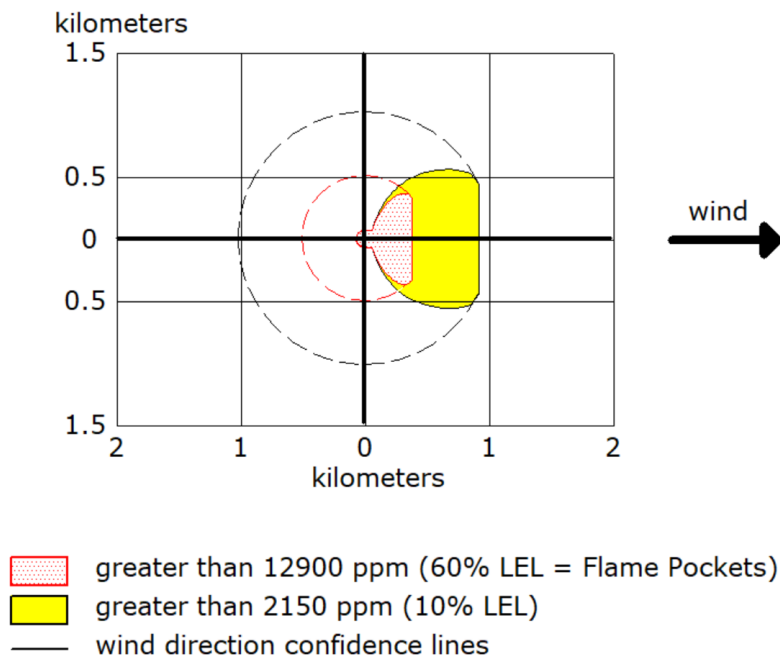


圖 4-3 丙烯之可燃性蒸氣雲危害範圍。
(資料來源：本研究成果)

3. 蒸氣雲爆炸過壓危害範圍。如圖 4-4 示。

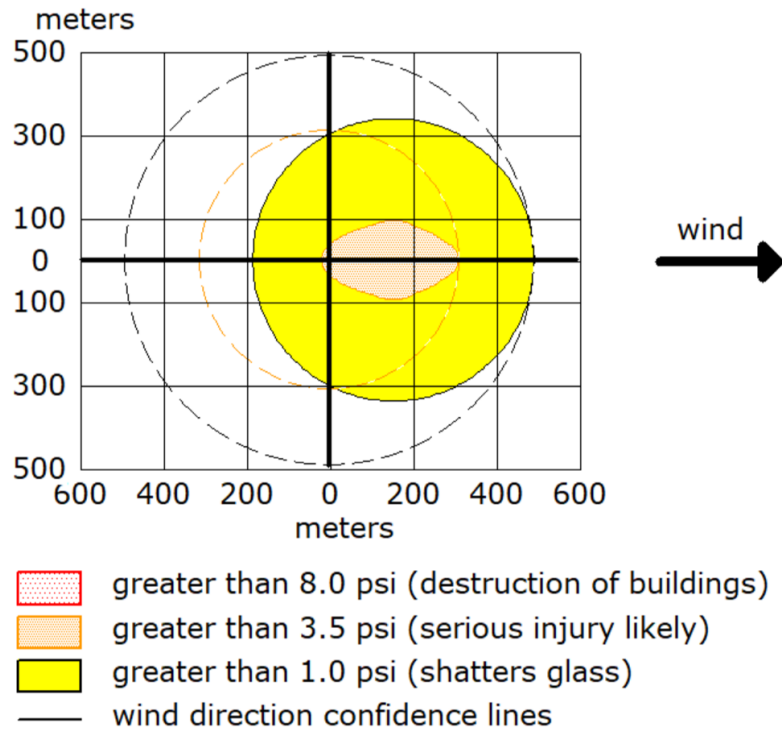


圖 4-4 丙烯之蒸氣雲爆炸過壓危害範圍。
(資料來源：本研究成果)

4. 噴射火焰熱危害範圍。如圖 4-5 示。

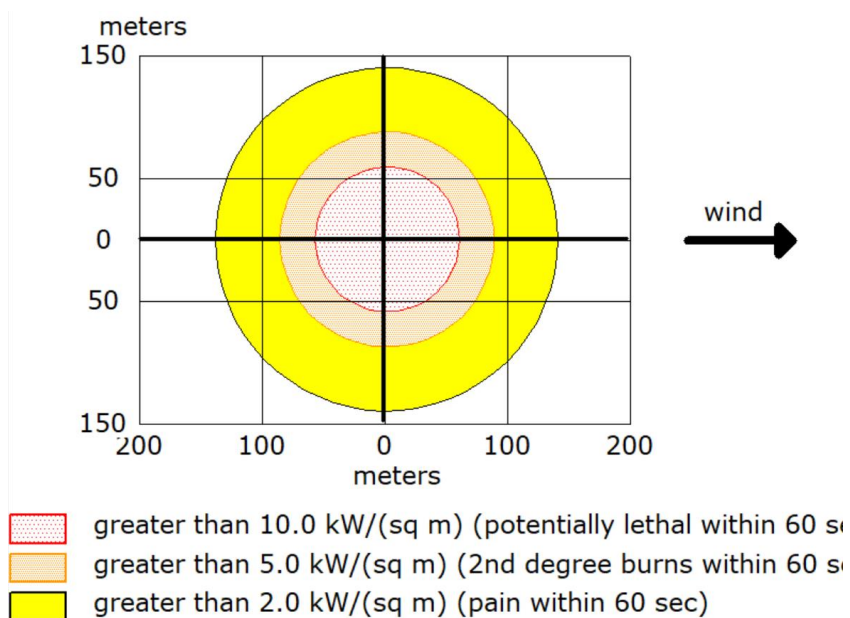


圖 4-5 丙烯之噴射火焰熱危害範圍。
(資料來源：本研究成果)

5. BLEVE 火球熱危害範圍。如圖 4-6 示。

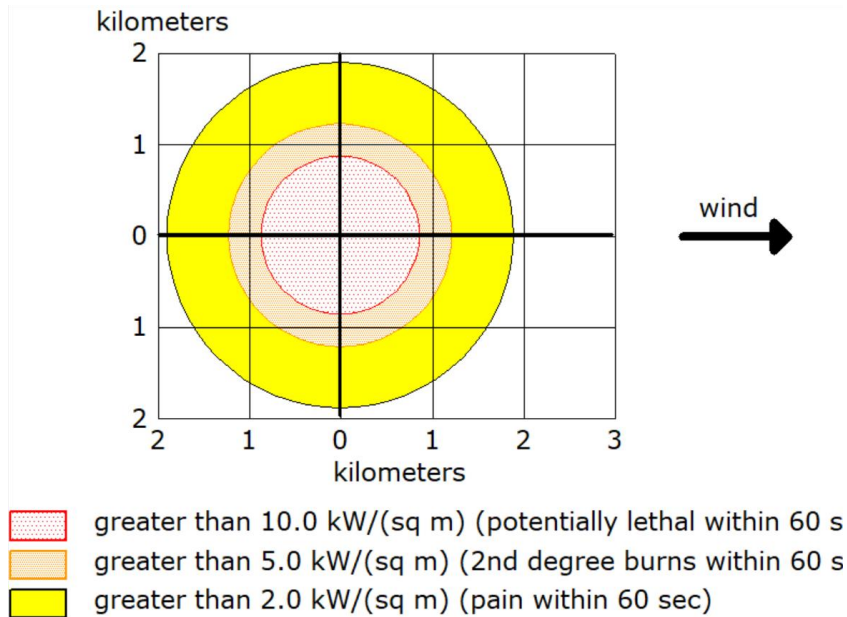


圖 4-6 丙烯之 BLEVE 火球熱危害範圍。
(資料來源：本研究成果)

6. 危害範圍結果討論

整理丙烯高壓儲槽之 ALOHA 模擬結果，毒性氣雲危害範圍是 331m、可燃性蒸氣雲危害範圍 380m、爆炸過壓危害範圍 311m、噴射火焰熱危害範圍 62m 及 BLEVE 火球熱危害範圍 861m，此範圍仍偏大，應用於救災人員有困難。

貳、常壓儲槽之 ALOHA 模擬結果

常壓儲槽之 ALOHA 模擬結果是以以一直徑為 10.95m、高為 7.05m 的甲苯儲槽為例，分別列出 ALOHA 軟體模擬出之毒性氣雲危害範圍、可燃性蒸氣雲危害範圍、爆炸過壓危害範圍、池火熱危害範圍及 BLEVE 火球熱危害範圍。

1. 毒性氣雲危害範圍。如圖 4-7 示。

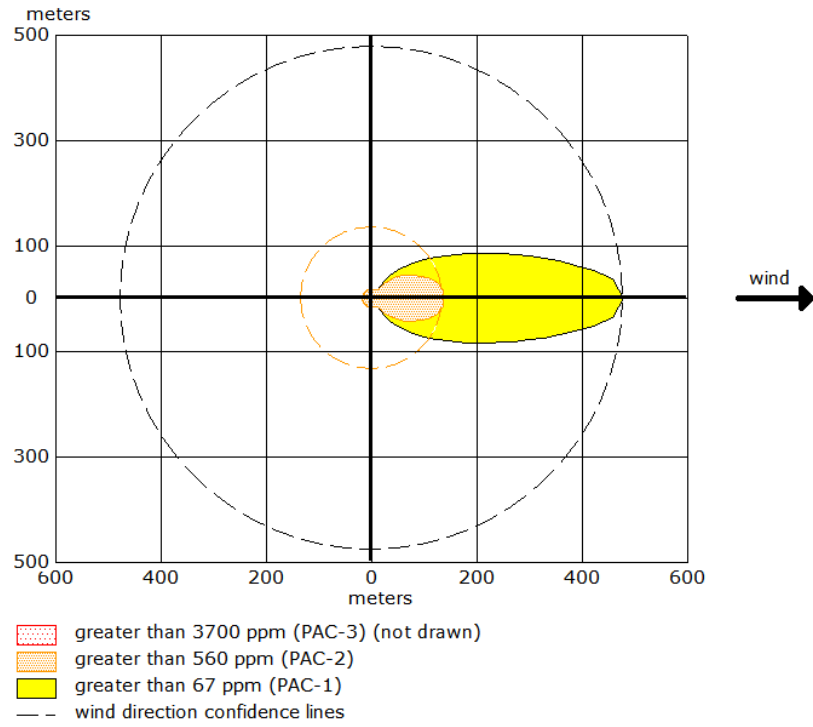


圖 4-7 甲苯之毒性氣雲危害範圍。
(資料來源：本研究成果)

2. 可燃性蒸氣雲危害範圍。如圖 4-8 示。

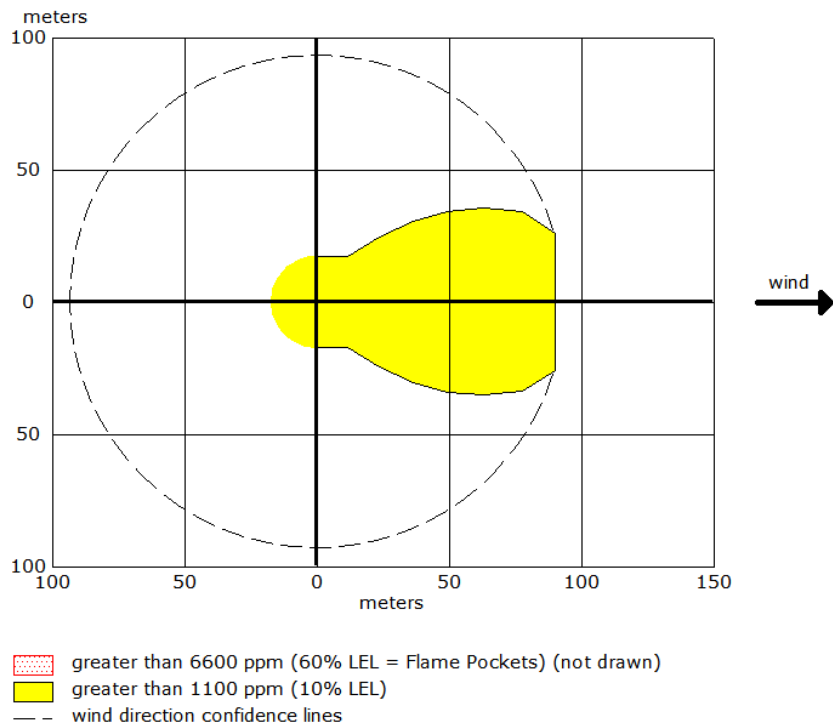


圖 4-8 甲苯之可燃性蒸氣雲危害範圍。
(資料來源：本研究成果)

3. 蒸氣雲爆炸過壓危害範圍。如圖 4-9 示。

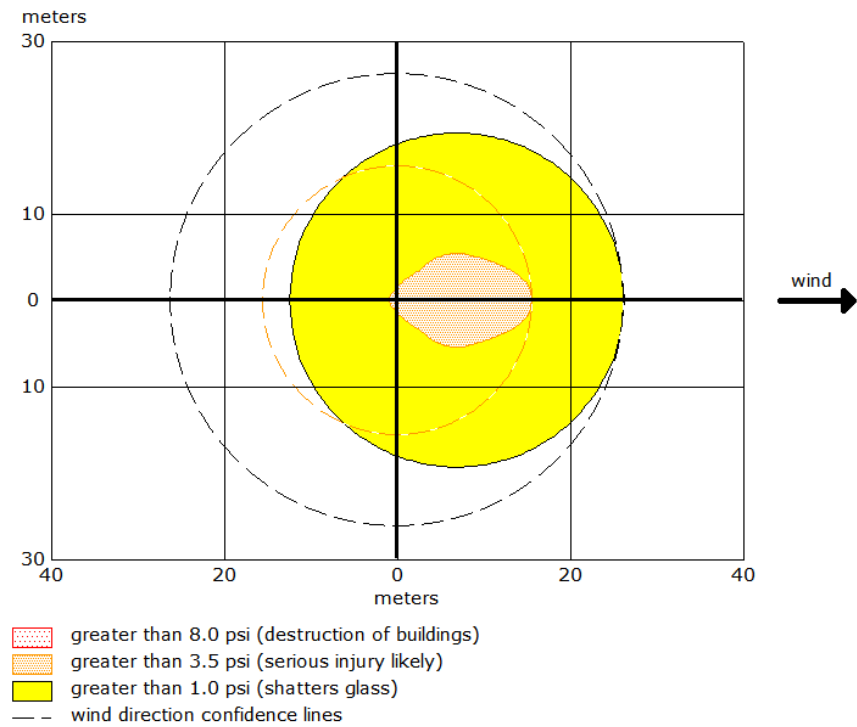


圖 4-9 甲苯之蒸氣雲爆炸過壓危害範圍。
(資料來源：本研究結果)

4. 池火熱危害範圍。如圖 4-10 示。

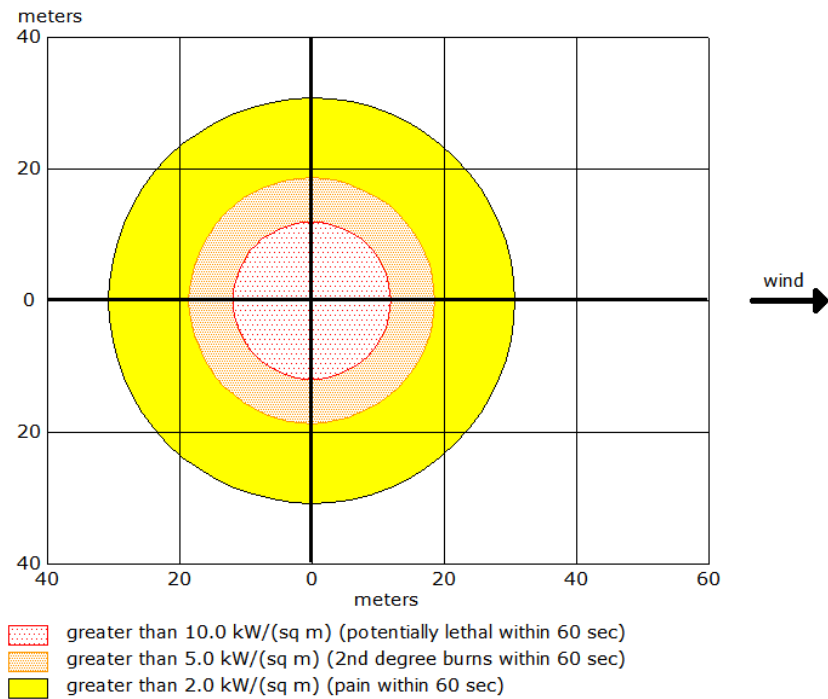


圖 4-10 甲苯之池火熱危害範圍。
(資料來源：本研究結果)

5. BLEVE 火球熱危害範圍。如圖 4-11。

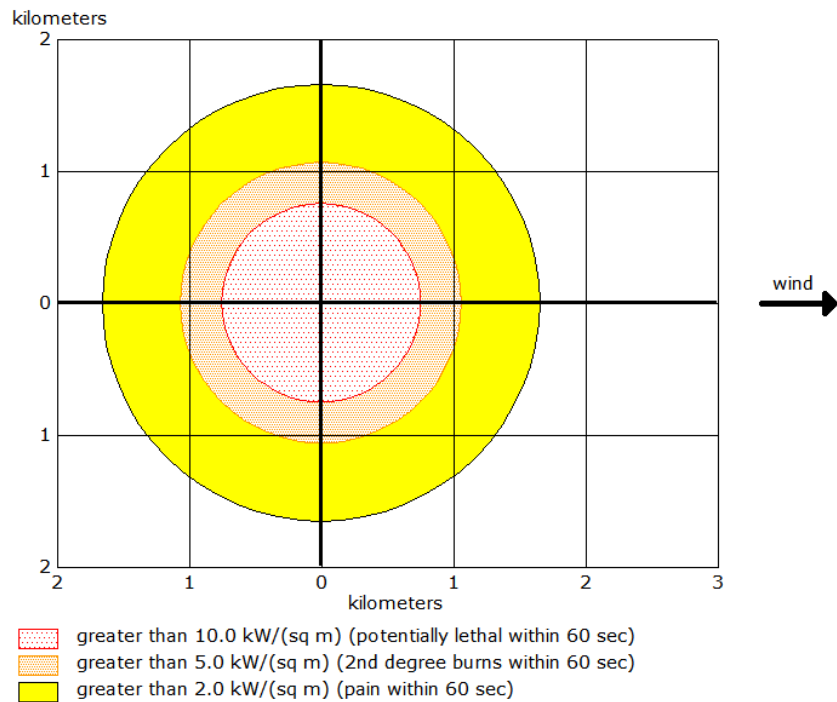


圖 4-11 甲苯之 BLEVE 火球熱危害範圍。
(資料來源：本研究成果)

6. 危害範圍結果討論

整理甲苯儲槽之 ALOHA 模擬結果，毒性氣雲危害範圍是 46m、可燃性蒸氣雲危害範圍 30m、池火熱危害範圍 13m 及 BLEVE 火球熱危害範圍 750m，此範圍除了 BLEVE 火球熱危害範圍仍偏大之外，尚屬合理。

參、儲槽警戒距離之初步分析結果

本計畫目前已完成四大工業區共 60 家公司之儲槽資料收集與 ALOHA 模擬，將目前研究設定之各項危害標準指標而模擬出的危害距離，與相對應之儲槽容積、儲槽直徑作圖，如下所示。

1. 以 PAC-3 危害標準之毒性危害

本計畫選用之毒性危害標準是 PAC-3 (Protective Action Criteria，防護作為標準-3)，相當於急性暴露指引濃度(AEGL)-3、緊急應變指引

(ERPG)-3、或立即健康危害標準(IDLH)，通常是指暴露於此濃度 1 小時內即有生命危險，已是所有毒性危害標準中最高的，一般暴露此濃度必須有防護具，但即便如此，如圖 4-12 所示，危害距離極大，最大毒性危害距離達 7.4 公里，且此筆結果所對應儲槽容積僅約 96 m³，為中國石油化學工業開發股份有限公司大社廠之氰化氫儲槽，此結果是真實且具有代表性的，在所有危害型式對應的危害距離中，毒性危害距離最大，由此可知化學品的毒性危害是不容小覷的，但圖 4-12 也顯示毒性危害距離與儲槽直徑關聯不大，與物質本身的毒性關聯較大。

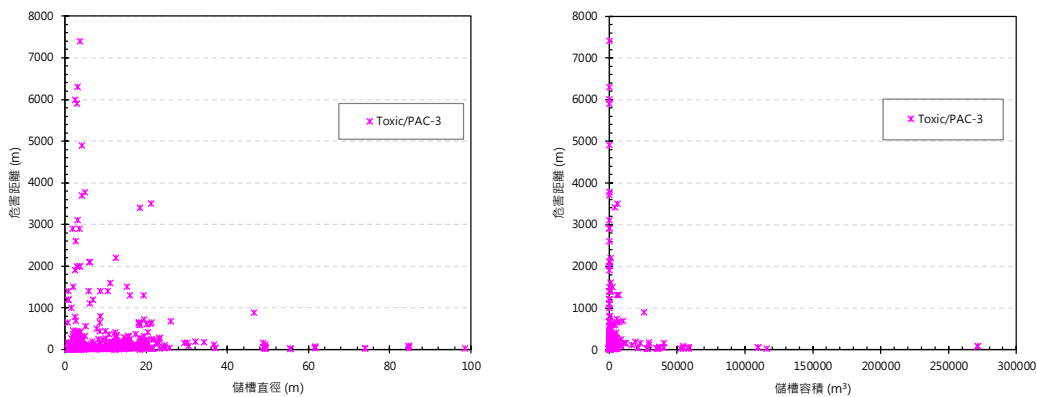


圖 4-12 四大工業區毒性危害距離。
(資料來源：本研究成果)

2. 蒸氣雲爆炸之爆炸過壓危害。

圖 4-13 為蒸氣雲爆炸的爆炸過壓危害距離遠低於毒性危害距離，其距離都在 450 公尺以內，圖 4-13 也顯示毒性危害距離與儲槽直徑或容積關聯不大，以強迫線性關聯可推估蒸氣雲爆炸過壓危害距離約為儲槽直徑的 6.3 倍。

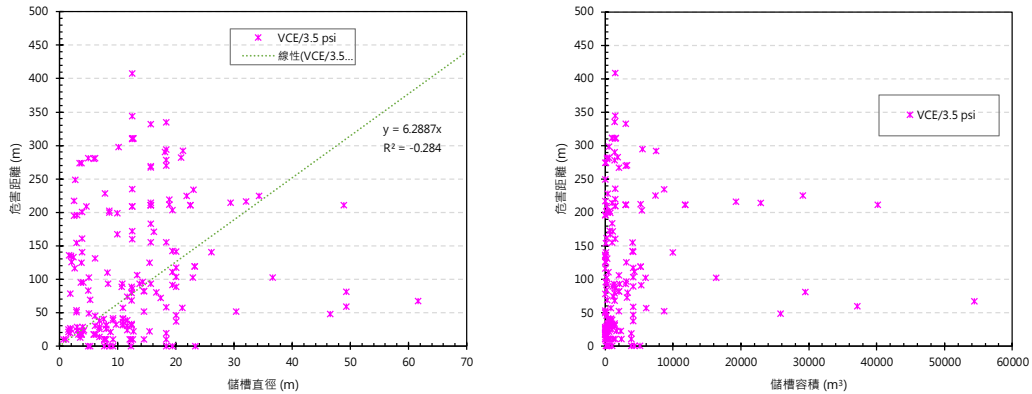


圖 4-13 四大工業區蒸氣雲爆炸的過壓危害距離。
(資料來源：本研究成果)

3. 以 10 kW/m^2 危害標準之池火熱危害。

如圖 4-14，排除揮發性較高的高壓化學物質，池火的熱危害距離大多在 50 公尺以下，是所有危害型式對應的危害危害距離中最小的，且危害距離與儲槽直徑大致呈現正相關的趨勢，與儲槽容積則無明顯關聯。

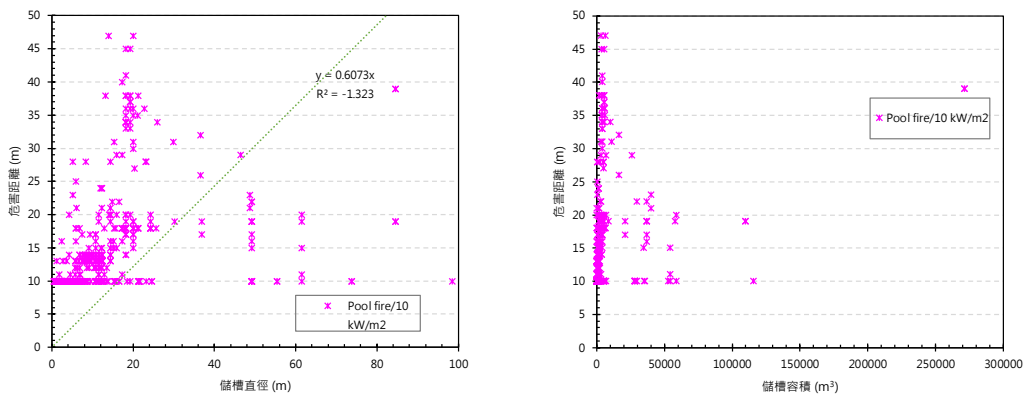


圖 4-14 四大工業區池火熱危害距離。
(資料來源：本研究成果)

4. 以 10 kW/m^2 危害標準之 BLEVE 火球熱危害。

如圖 4-15，BLEVE 火球熱危害距離皆為偏大，其中最大危害距離甚至達 1.9 公里，但與儲槽容積略呈正比。

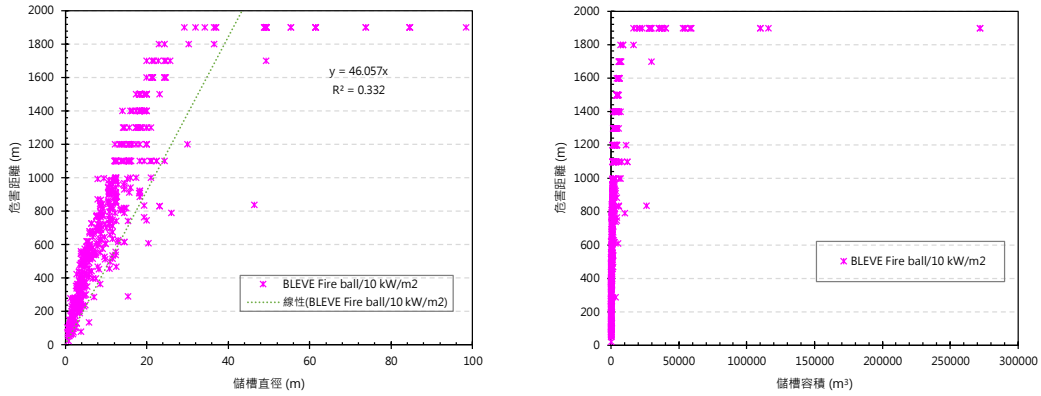


圖 4-15 四大工業區 BLEVE 火球熱危害距離。
(資料來源：本研究成果)

5. 以 10 kW/m^2 危害標準之噴射火焰熱危害。

如圖 4-16，噴射火焰僅發生於高壓儲槽，且噴射火焰最大之熱危害距離僅為 83 公尺，且危害距離與儲槽直徑大致呈現正相關的趨勢，與儲槽容積則無明顯關聯。

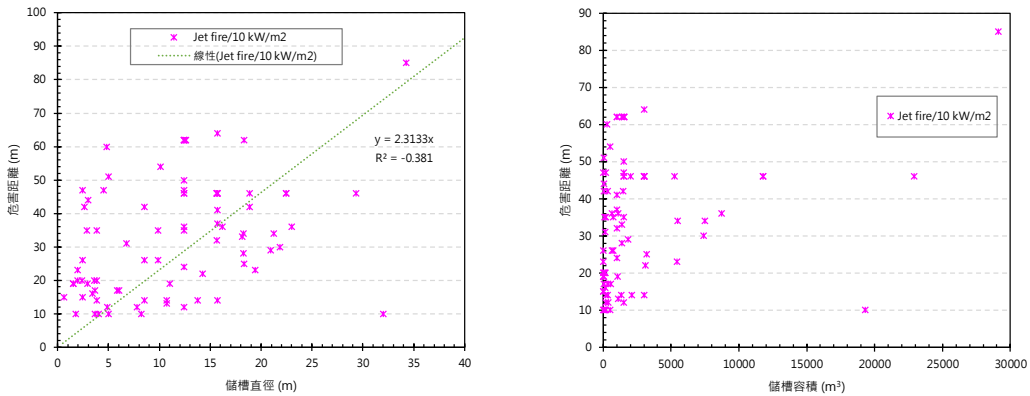


圖 4-16 四大工業區噴射火焰熱危害距離。
(資料來源：本研究成果)

6. 初步結論。

初步結論可看出池火熱危害距離最短，其次為噴射火焰之熱危害距離、蒸氣雲爆炸的過壓危害距離，最大的是 BLEVE 火球熱危害距離。且危害距離與儲槽直徑大致呈現正相關的趨勢，與儲槽容積則無明顯關聯。

第四節 儲槽警戒距離之修正分析

由前述結果顯示，目前設定之各項危害標準指標顯然過低，導致模擬出的危害距離過大，由於毒性危害對於人員主要在呼吸危害，若是應變人員能著空氣呼吸器(SCBA)，則毒性危害可完全排除，故危害僅剩火災熱輻射與爆炸過壓，其中以 BLEVE 的火球熱危害距離最大，由於現有採用 10kW/m^2 並未考量應變人員的防護，且 10kW/m^2 的熱輻射危害是對無防護的人員於 60 秒內有致命的危險，但實務上因 BLEVE 持續的時間甚短，通常都在 1 秒鐘內，故可容許的熱輻射強度應更高。Mandal 與 Song(2014)對不同消防衣的熱輻射測試，發現在 50kW/m^2 的熱輻射下，要達到 2 級燒傷的時間都超過 2 秒鐘，考量可能的著裝變數，本計畫先以 40kW/m^2 的熱輻射進行分析，其結果如圖 4-17。其中水平軸改用儲槽的直徑，分析的結果顯示 40kW/m^2 的危害距離約是儲槽直徑的 20 倍，但線性回歸的決定係數(R^2)僅 0.323，由圖可看出主要的差異來自於部分大型常壓儲槽的閃沸狀況危害值遠低於其他，顯然對於各種儲槽大小、內容物差異甚大的情況下，此初步的線性回歸是並不具有參考性。

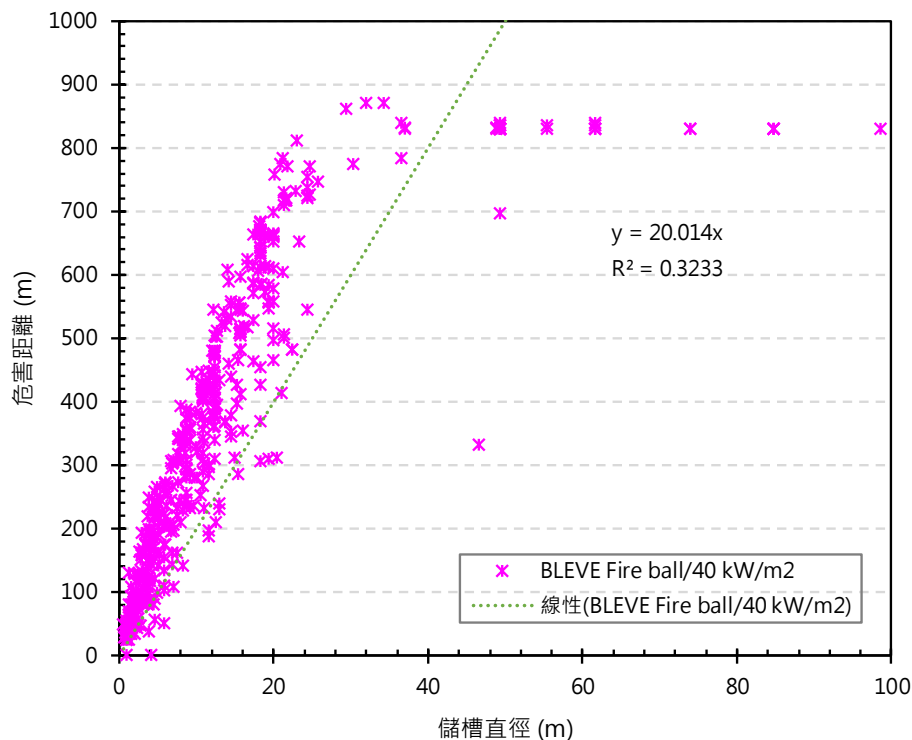


圖 4-17 四大工業區修正之 BLEVE 火球熱危害距離。
(資料來源：本研究成果)

由於常壓儲槽發生 BLEVE 的機率遠低於高壓槽，圖 4-18 將常壓槽的數據排除後，僅留下高壓槽，則危害距離約是儲槽直徑的 31 倍，且線性回歸的決定係數(R^2)達 0.833。

圖 4-13 的蒸氣雲爆炸過壓危害距離是包含常壓槽與高壓槽，但實務上高壓儲槽發生蒸氣雲爆炸遠高於常壓槽，若將常壓槽排除，僅保留高壓槽，且水平軸改用儲槽的直徑，分析的結果顯示危害距離約是儲槽直徑的 14 倍，並未超過 BLEVE 的危害距離，但數據極為分散，如圖 4-19，故高壓槽的危害距離仍應參考 BLEVE 的危害距離。至於高壓槽的噴射火焰的危害距離因遠小於 BLEVE 的危害距離，故不再修正分析。

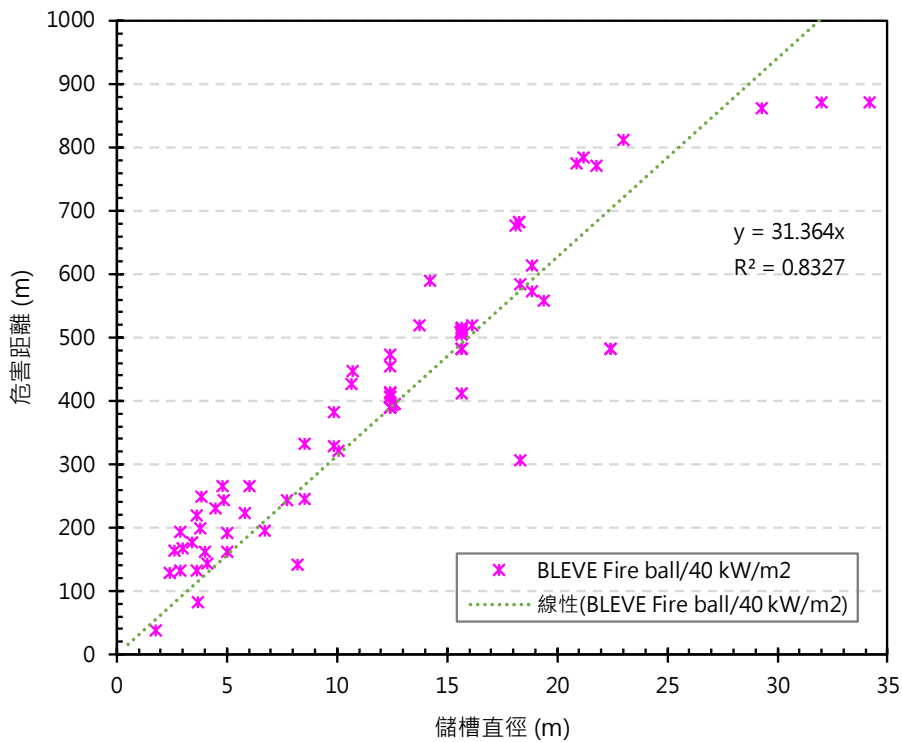


圖 4-18 四大工業區高壓槽 BLEVE 火球熱危害修正距離。
(資料來源：本研究成果)

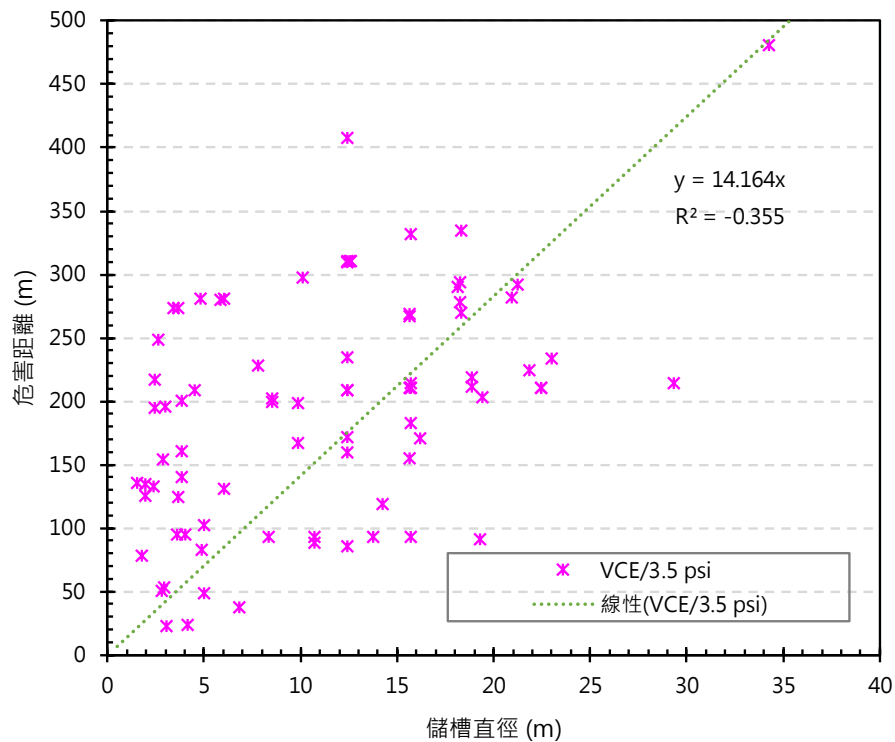


圖 4-19 四大工業區高壓槽蒸氣雲爆炸的過壓危害距離。
(資料來源：本研究成果)

圖 4-18 的 BLEVE 火球熱危害距離是高壓槽的最大危害距離，約為儲槽直徑的 31.4 倍，但此距離於實務上仍偏大，以一直徑 10m 的儲槽為例，危害距離即達 310m，雖然較安全，但也影響救災人員的應變處置。進一步考量 BLEVE 的發生需要持續的受熱，且經由安全閥洩壓後，槽內儲存量必然降低，本計畫再以較不保守的假設 BLEVE 發生時槽內液位由 80% 降為 30%，其結果如圖 4-20，最大危害距離，降為儲槽直徑的 22.4 倍，雖有減少但並未等比例減少，主要原因應是 BLEVE 爆炸後的火球體積雖然隨著槽內儲存量減少，但影響熱輻射的確是火球直徑，應該是火球體積的開三次方，則

$$31.4 \times \sqrt[3]{\left(\frac{30}{80}\right)} = 22.6$$

與重新執行危害分析的 22.4 倍極為相近，間接證明本計畫危害分析的正確性。基於實務操作上及安全性考量，本計畫建議採用 25 倍的儲槽直徑做為高壓槽的危害警戒距離，此距離是高壓儲槽因外部火災或槽體有洩漏火災時，當有發現槽體壓力有上昇的狀況時如安全閥已開始噴發或洩漏噴射火焰變大時，不論槽體有

無適當防護，所有救災人員應立即撤退至此距離之後；即便尚未觀察到槽體壓力有上昇的狀況，救災人員除架設必要的水線灑水冷卻外，也應盡量保持在此距離之外，以維護安全。對於非救災人員或是未著消防衣的救災人員，其危害標準仍是 10 kW/m^2 ，危害距離如圖 4-21 所示，應盡量保持在 65 倍的儲槽直徑距離之外，以維持人員安全。

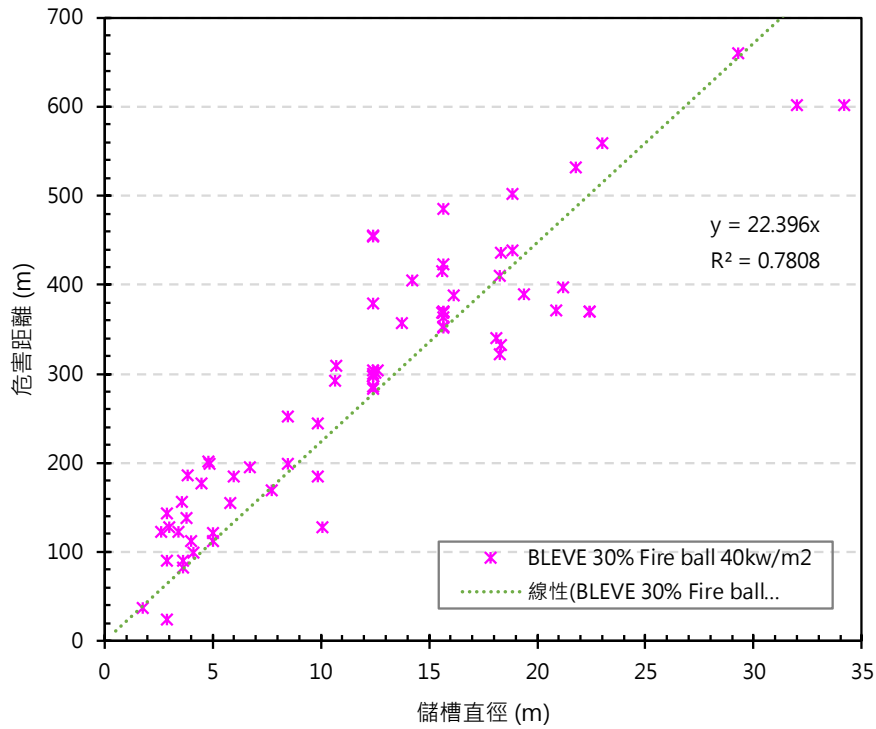


圖 4-20 四大工業區高壓槽 BLEVE 火球熱危害救災人員的最終修正距離。(資料來源：本研究成果)

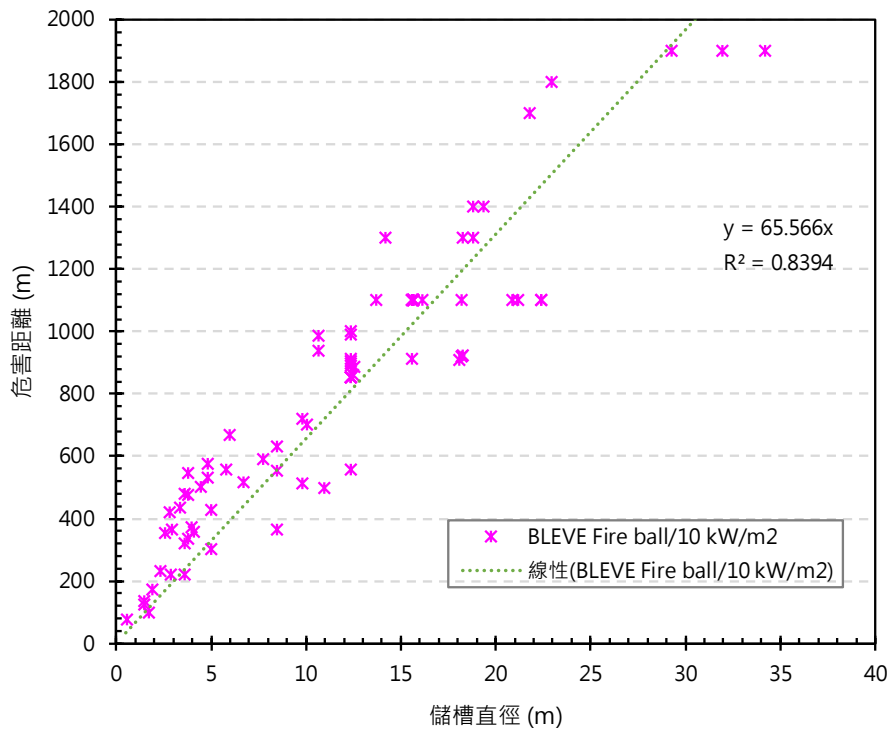


圖 4-21 四大工業區高壓槽 BLEVE 火球熱危害非救災人員的最終修正距離。(資料來源：本研究成果)

常壓槽部分若不考慮毒性與 BLEVE、蒸氣雲爆炸，則危害僅剩池火熱輻射，圖 4-22 為重新繪製分析的危害距離，但水平軸縮小，可看出危害距離的上限約為儲槽直徑的 5 倍，可視為非救災人員的危害距離，對救災人員，熱危害標準可以提高到 40 kW/m^2 ，危害距離如圖 4-23 所示皆在 30m 以下，簡易的估算方法可用儲槽直徑+10m 作為救災人員的警戒距離。

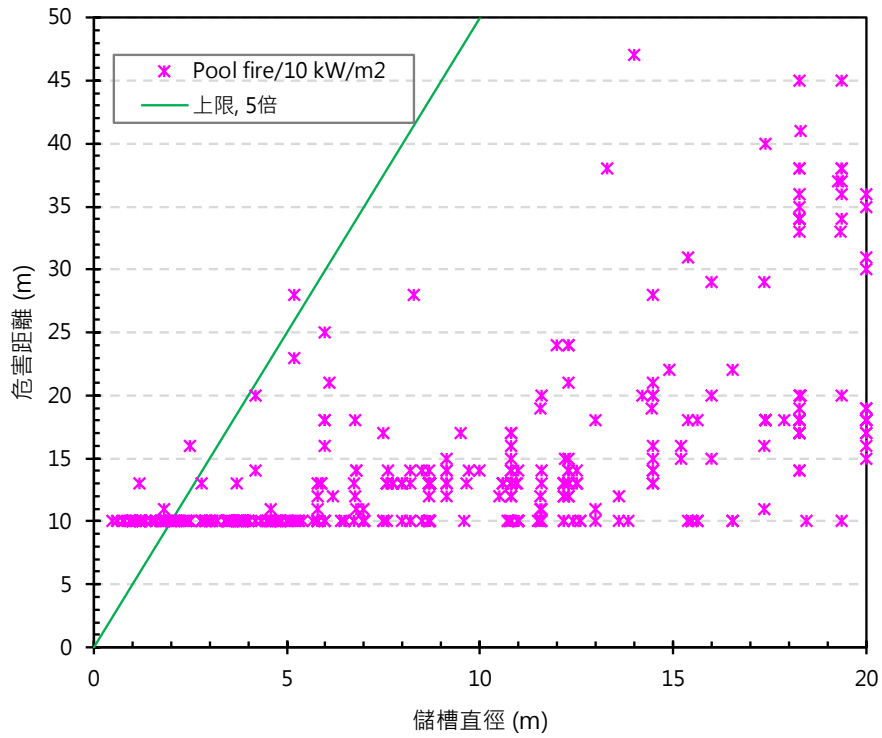


圖 4-22 四大工業區池火熱危害非救災人員的最終修正距離。
(資料來源：本研究結果)

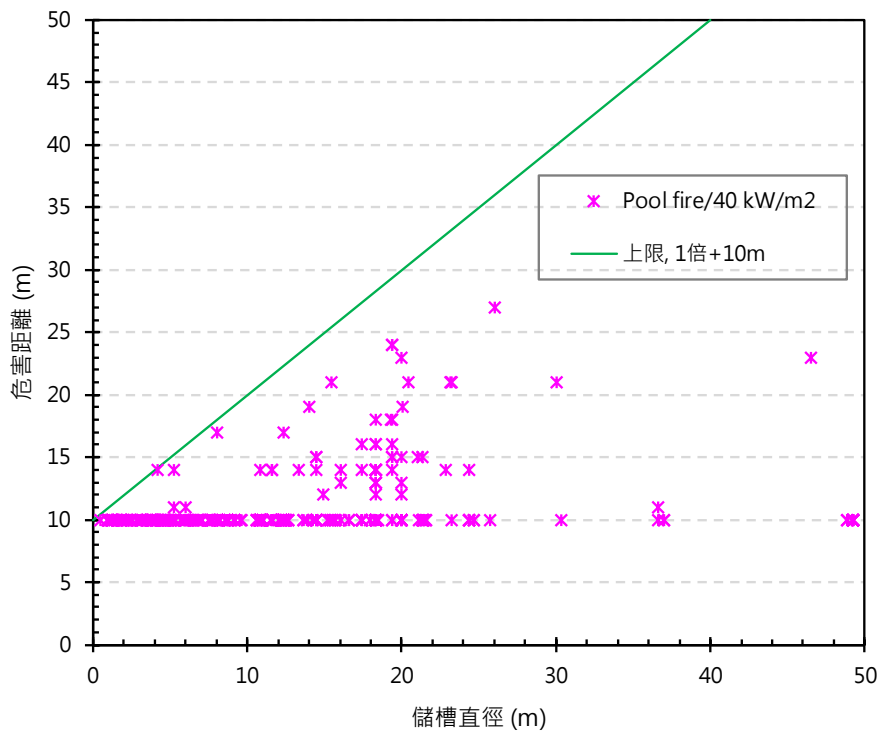


圖 4-23 四大工業區池火熱危害救災人員的最終修正距離。
(資料來源：本研究結果)

第五節 各工業區的儲槽危害潛勢分析

由前述結果已將各工業區各儲槽的所有可能的危害距離都分析出來，本部分進一步將各儲槽的危害距離以 GIS 地理資訊系統匯整，以繪製各工業區的儲槽危害潛勢圖。本計畫以 SuperGIS 軟體，依照每一公司的位置為圓心，按其儲槽的危害距離繪製一圓形，每一種危害以一個圓形表示，重疊越多的區域代表其危害越大，此種危害累加的方式雖不易完全呈現各儲槽的絕對風險，但仍可作為相對風險的比較。

圖 4-24~28 為五種不同類型危害的各別累加潛勢圖，分別為毒性、蒸氣雲爆炸過壓、池火熱危害、噴射火焰熱危害、BLEVE 火球熱危害，圖 4-29 為五種不同類型危害的同時累加潛勢圖。

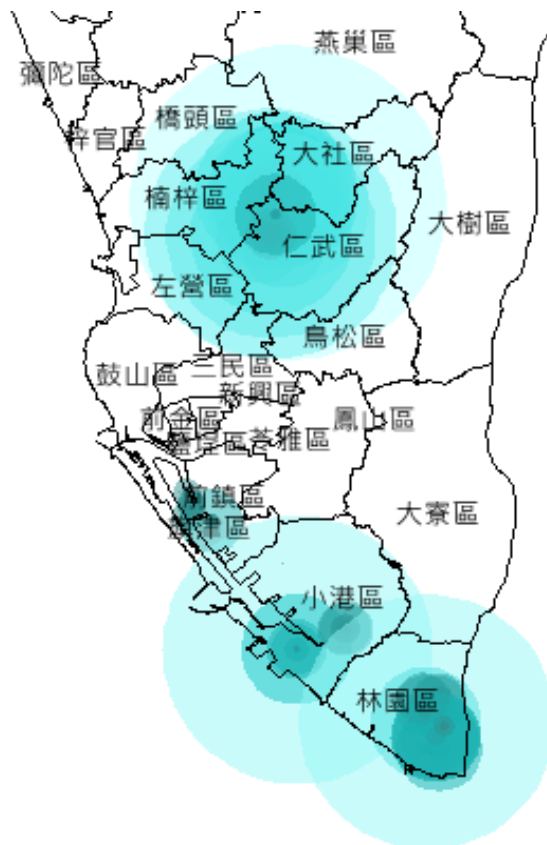


圖 4-24 四大工業區毒性危害的累加潛勢圖。
(資料來源：本研究成果)

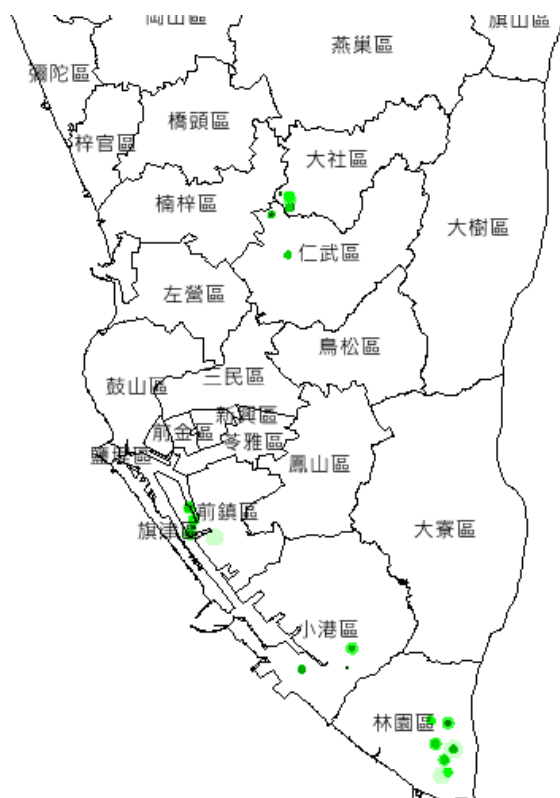


圖 4-25 四大工業區蒸氣雲爆炸危害的累加潛勢圖。
(資料來源：本研究成果)

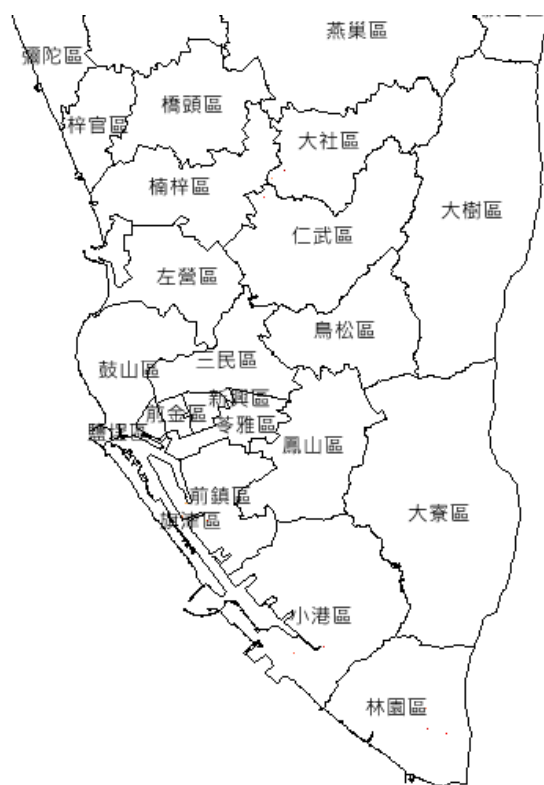


圖 4-26 四大工業區池火熱危害的累加潛勢圖。
(資料來源：本研究成果)

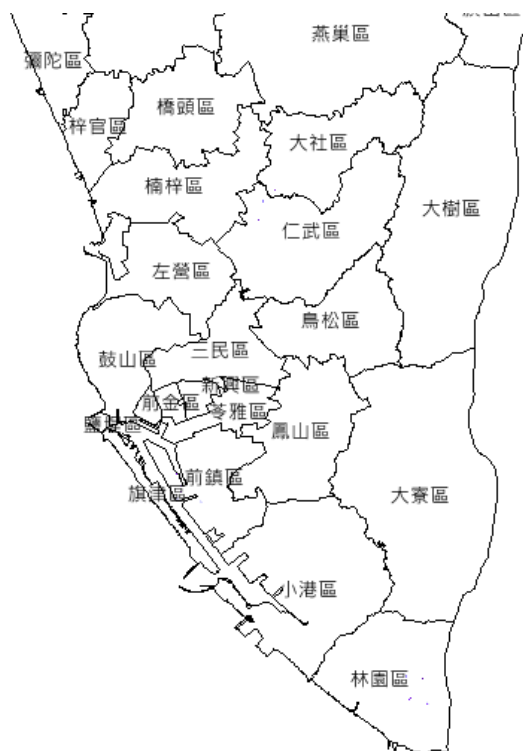


圖 4-27 四大工業區噴射火焰熱危害的累加潛勢圖。
(資料來源：本研究成果)

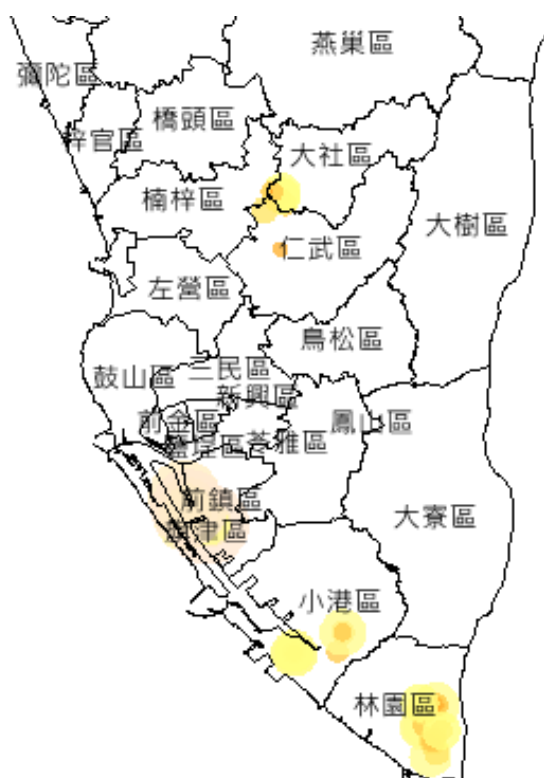


圖 4-28 四大工業區 BLEVE 火球熱危害的累加潛勢圖。
(資料來源：本研究成果)

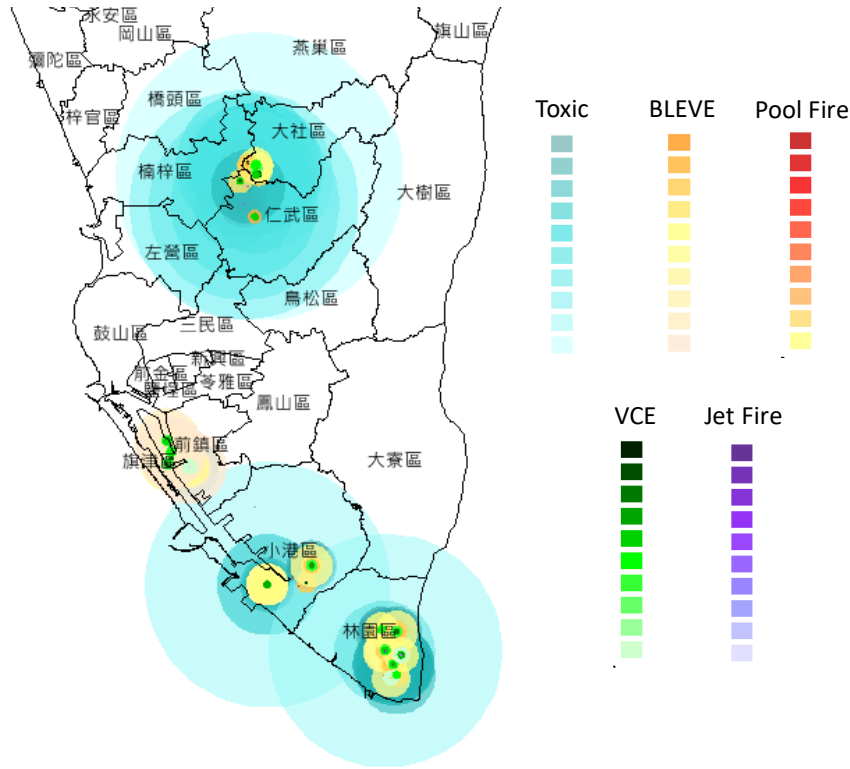
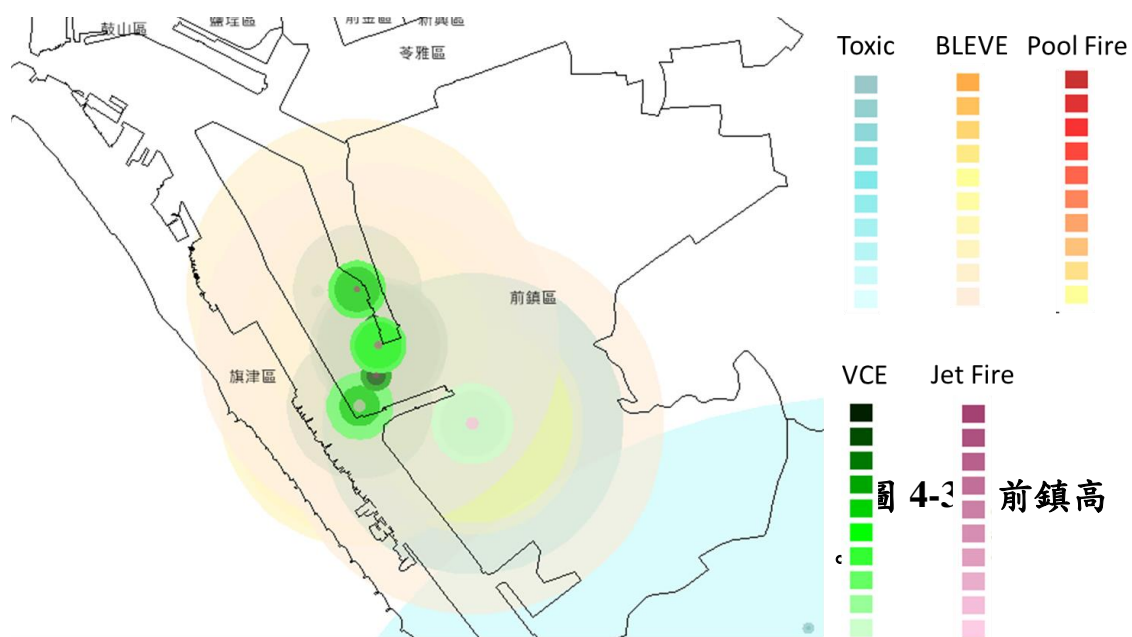
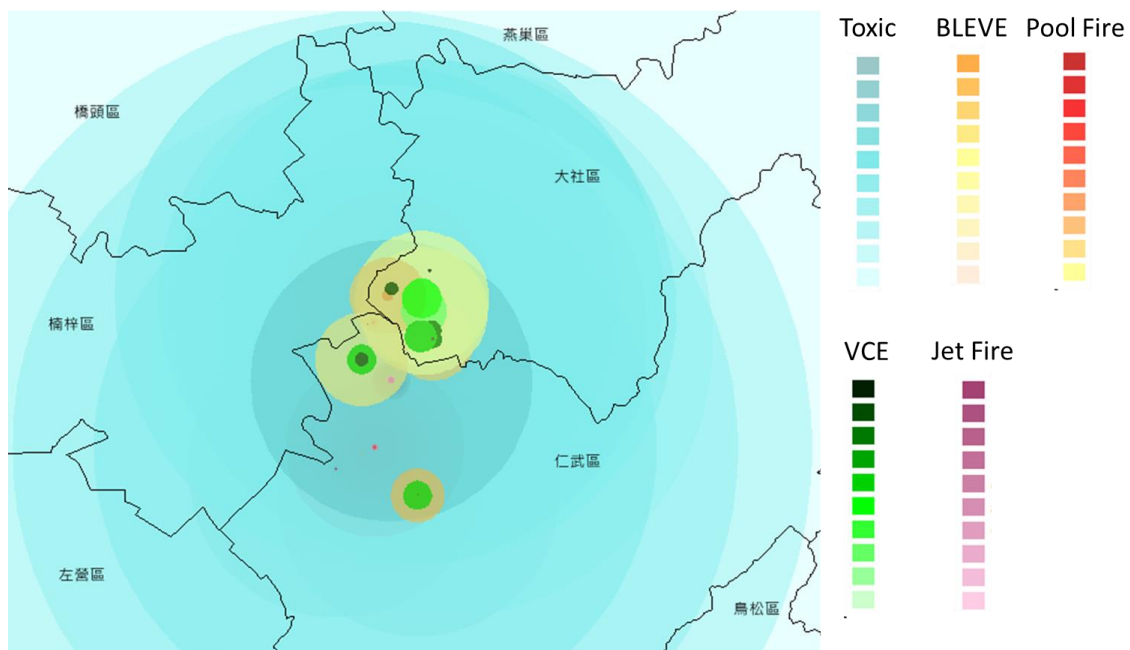
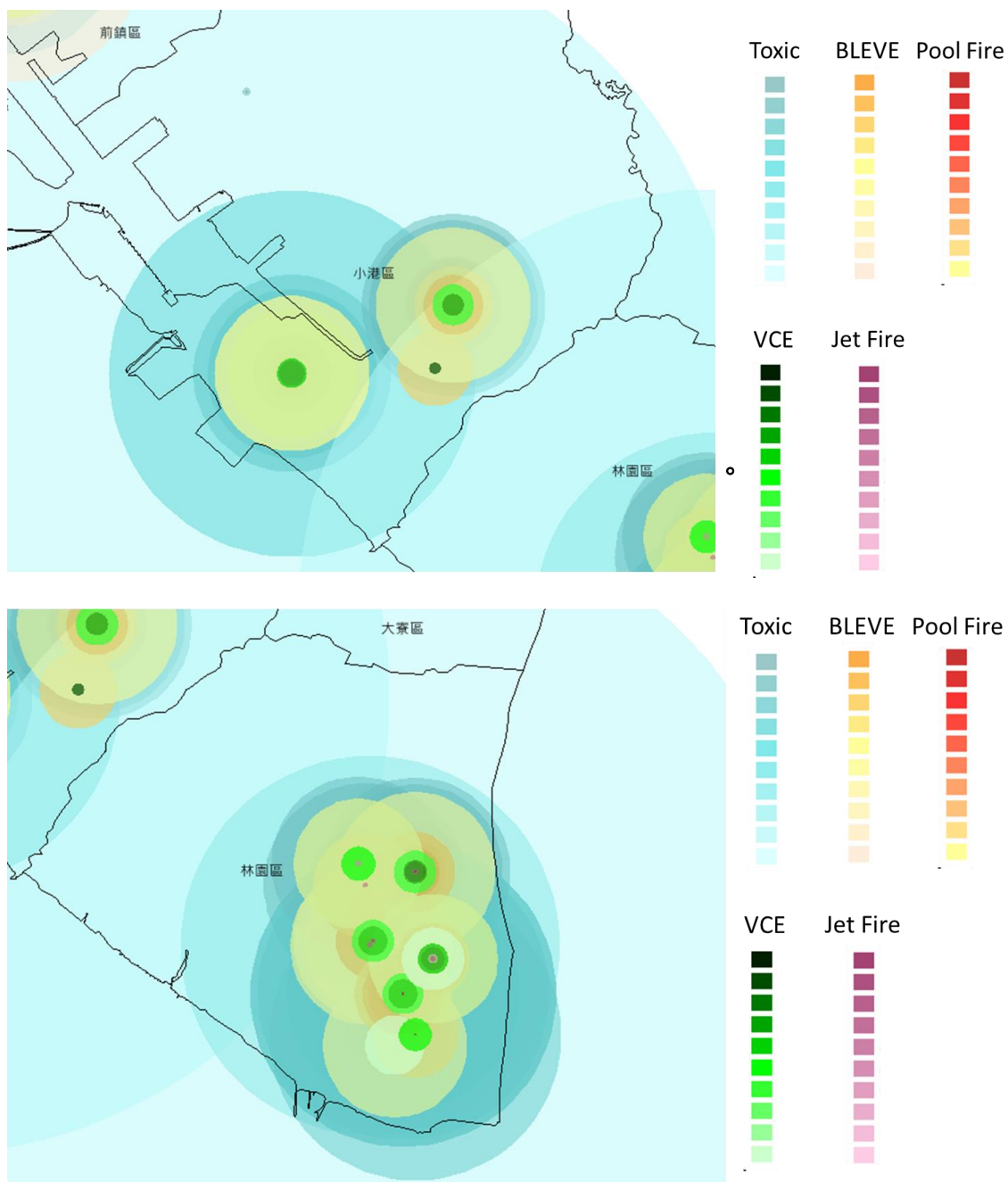


圖 4-29 四大工業區所有危害的累加潛勢圖。
(資料來源：本研究成果)

由圖 4-29 可看出各工業區的危害特性並不相同，仁大工業區的毒性危害最大，高雄港的毒性危害則是四區中最小的，高雄港的最主要危害則是 BLEVE，主要與區內有許多高壓化學物質如丙烯、氯乙烯等的進出口有關。大林工業區雖然化學品存量最大，但主要是油品類，整體危害仍略低於林園與仁大，林園與仁大的危害大約為伯仲之間，但仁大工業區的毒性危害較高，主要來自於幾家廠的特殊物質如中石化的氰化氫、台塑仁武廠的氯氣等。圖 4-29 也可看出整個高雄市市區是完全被四大工業區所包圍，整體城市發展及易受限於這些工業區的污染與工安事件所影響，由於中油高雄廠已關廠，不靠海的仁大工業區的後續發展值得深入探討。圖 4-30~33 分別為各工業區的單獨區域風險圖，可方便各相關單位之參考。





第五章 結論與建議

本研究「石化工廠化學儲槽區火災警戒範圍界定之研究」結論與建議說明如后。

第一節 結論

本研究已完成高雄四大石化相關工業區共 60 家公司、614 個不同類型、物質儲槽/容器的資料收集與 ALOHA 模擬。由本研究設定之各項危害標準指標而模擬出的危害距離中發現，在所有危害型式對應的危害距離中，毒性危害距離最大，而池火熱危害距離最小的，排除毒性危害，則以高壓槽的 BLEVE 火球熱危害距離最大，是所有消防、救災人員的最大危害，其次是蒸氣雲爆炸，池火或噴射火焰的危害皆小於 90 公尺。

一般設定之熱輻射指標(10 kW/m^2)過低，特別是 BLEVE 火球熱危害距離，導致危害距離過大，並不適合救災人員的警戒範圍界定，僅能當作疏散的參考。救災人員著有防護裝備，如消防衣、個人自給式呼吸器(SCBA)、防護衣等，能耐受的標準相對性較高，因此在救災人員的警戒範圍，應納入救災人員的防護裝備。經修正調整到 40 kW/m^2 ，已降至較合理可行的結果。

經由分析結果發現，BLEVE 火球熱危害距離約槽體直徑的 20 倍，若僅單純考慮高壓槽，則 BLEVE 火球熱危害距離約槽體直徑的 31 倍，此距離可作為高壓槽救災的警戒距離。但對常壓槽而言，BLEVE 主要是模擬常壓槽閃沸(Boil over)，但閃沸的發生是需要夠長的燃燒時間，可透過救災訓練的強化來避免發生，故建議常壓槽不考慮此危害。進一步考量高壓槽 BLEVE 的發生需要持續的受熱，且經由安全閥洩壓後，槽內儲存量必然降低，本計畫再以較不保守的假設 BLEVE 發生時槽內液位由 80% 降為 30%，其最大危害距離，降為儲槽直徑的 22.4 倍。

蒸氣雲爆炸過壓危害距離雖可能發生在常壓槽與高壓槽，但實務上高壓儲槽發生蒸氣雲爆炸遠高於常壓槽，若將常壓槽排除，僅保留高壓槽，則危害距離

約是儲槽直徑的 14 倍，仍低於 BLEVE 火球熱危害距離，故高壓槽的救災的警戒距離應採用 BLEVE 的危害距離。至於高壓槽的噴射火焰的危害距離因遠小於 BLEVE 的危害距離，故不再修正分析。常壓槽部分若不考慮毒性與 BLEVE、蒸氣雲爆炸，則危害僅剩池火熱輻射，其危害距離約為儲槽直徑的 1 倍+10 公尺。

在各工業區的整體儲槽危害潛勢部分，各工業區的危害特性並不相同，仁大工業區的毒性危害最大，高雄港的毒性危害則是四區中最小的，高雄港的最主要危害則是 BLEVE，主要與區內有許多高壓化學物質如丙烯、氯乙烯等的進出口有關。大林工業區雖然化學品存量最大，但主要是油品類，整體危害仍略低於林園與仁大，林園與仁大的危害大約為伯仲之間，但仁大工業區的毒性危害較高，主要來自於幾家廠的特殊物質如中石化的氰化氫、台塑仁武廠的氯氣等。這修分析結果將可提供高雄市未來的城市規劃參考，包括仁大工業區的存廢等。

第二節 建議事項

本計畫針對石化工廠化學儲槽區火災警戒範圍界定，提出以下之具體建議：

- 常壓槽部分，在不考慮毒性危害下，非救災人員的火災警戒距離建議為儲槽直徑的 5 倍(可視為疏散距離)；對救災人員，火災警戒距離建議為儲槽直徑+10m。
- 高壓槽部分，非救災人員的火災警戒距離建議為儲槽直徑的 65 倍(可視為疏散距離)；對救災人員，火災警戒距離建議為儲槽直徑的 25 倍，此距離是高壓儲槽因外部火災或槽體有洩漏火災時，當有發現槽體壓力有上昇的狀況時如安全閥已開始噴發或洩漏噴射火焰變大時，不論槽體有無適當防護，所有救災人員應立即撤退至此距離之後；即便尚未觀察到槽體壓力有上昇的狀況，救災人員除架設必要的水線灑水冷卻外，也應盡量保持在此距離之外，以維護安全。
- 對於毒性危害，各應變人員應利用偵測器、風向判斷可能危害範圍，以穿著適當的防護裝備，並進行適當的疏散或就地避難。

表 5-1 為石化工廠化學儲槽區火災警戒範圍之建議彙整表，需特別強調此建議並未考量連鎖事故，僅可慮單一儲槽的事故，若有連鎖事故則應進一步加大火災警戒範圍，惟其範圍分析並未在本計畫範圍內，故未提出具體的警戒範圍。

表 5-1 石化工廠化學儲槽區火災警戒範圍之建議彙整表。

槽體類型	現場人員	火災警戒範圍(m)
常壓	救災人員	儲槽直徑 D+10 m
	非救災人員	儲槽直徑 D× 5
高壓	救災人員	儲槽直徑 D× 25
	非救災人員	儲槽直徑 D× 65

(資料來源：本研究成果)

綜合上述，本計畫的主要建議事項如下：

建議一

石化火災消防搶救人員之教育訓練宣導：立即可行建議

主辦機關：內政部消防署

協辦機關：各地方政府消防局

消防機關執行危害性化學品災害人命救助、控制火勢及阻卻延燒時，應確保救災人員行動安全，防止災情擴大；指揮官應評估現場搶救安全，對任何不安全救災環境或危險狀況惡化時，救災人員應先行撤離並進行初步管制，通報現場狀況。本研究成果可供現場指揮官評估現場危險狀況，先行撤離救災人員並進行初步管制，建議納入消防搶救人員教育訓練宣導。

● 常壓槽部分，在不考慮毒性危害下：

- 非救災人員(含防護不足的救災人員)的火災警戒距離建議為儲槽直徑的5倍；
- 救災人員的火災警戒距離建議為儲槽直徑+10m。

● 高壓槽部分：

- 非救災人員(含防護不足的救災人員)的火災警戒距離建議為儲槽

直徑的65倍；

■對救災人員的火災警戒距離建議為儲槽直徑的25倍。

此距離是高壓儲槽因外部火災或槽體有洩漏火災時，當有發現槽體壓力有上昇的狀況時如安全閥已開始噴發或洩漏噴射火焰變大時，不論槽體有無適當防護，所有救災人員應立即撤退至此距離之後；即便尚未觀察到槽體壓力有上昇的狀況，救災人員除架設必要的水線灑水冷卻外，也應盡量保持在此距離之外，以維護安全。對於毒性危害，各應變人員應利用偵測器、風向判斷可能危害範圍，以穿著適當的防護裝備，並進行適當的疏散或就地避難。

建議二

高雄市國土計畫及都市防災規劃參考引用：立即可行建議

主辦機關：高雄市政府

協辦機關：內政部營建署、建築研究所

本研究發現在高雄各工業區的危害特性並不相同，仁大工業區的毒性危害最大，高雄港的毒性危害則是四區中最小的，高雄港的最主要危害則是BLEVE，主要與區內有許多高壓化學物質如丙烯、氯乙烯等的進出口有關。大林工業區雖然化學品存量最大，但主要是油品類，整體危害仍略低於林園與仁大，林園與仁大的危害大約為伯仲之間，但仁大工業區的毒性危害較高，主要來自於幾家廠的特殊物質如中石化的氰化氫、台塑仁武廠的氯氣等，圖4-24至圖4-33各工業區的儲槽危害潛勢分析成果，將可提供高雄市未來的城市規劃參考。

附錄一

會議記錄

內政部建築研究所 107 年度「都市與建築減災與調適科技精進及整合應用發展計畫(一)協同研究計畫」第 2 案「石化工廠化學儲槽區火災警戒範圍界定之研究」

評選委員發言單及廠商回應一覽表

項次	評選意見	廠商回應
1	多層次警戒範圍界定，似無討論。小範圍近場模擬，以 ALOHA 分析似有其侷限性，如震波傳遞及時間軸的變遷等，宜做適當之處理，以利決定災害範圍警戒方案。	市面上模擬分析軟體多元，模擬軟體的應用將直接影響到實際槽體之分析數量，由於本研究期程有限，故採用已廣泛驗證過之美國環保署 ALOHA 軟體，且採用較高的安全係數。
2	是否含軟體的使用說明，與氣象條件及洩漏物物化性質料等，宜有適當之處理。	實際模擬將採用當地的年平均氣象條件，目前石化廠所運作的物質皆有在 ALOHA 軟體的物質資料庫內，故洩漏物物化性質料無問題。
3	儲槽的設計多元，其耐燃基準不盡相同，對於二次災害如鋼結構崩塌或骨牌效應，或衍生的 TOXIC、RELEASE 或 BLEVE 等如何分析，於研究論述時宜說明。	目前石化災害依危害程度分為爆炸災害、火災及毒氣外洩三種，大規模事故死亡主要是爆炸災害，各種爆炸類型都會考慮進去，「創意或自由回饋項目」將增加毒性警戒距離分析。
4	其他強制或自願性規範，如 UN 運輸緊急應變指南的應變距離等，其如何分類及應用，其制定程序或分類學的操作，或許可於研究論上討論簡化運用方式。	國外現行可參考法令有北美緊急應變指引 (Emergency Response Guidebook)，但其安全警戒範圍太大，並不是用於地狹人稠的臺灣現況，故透過個別儲槽的分析，並提高安全係數來降低災害風險，找出較為可行的安全建議，來保障消防人員的安全。
5	對一儲槽進行安全距離研究，惟事故發生時常產生連鎖效應，該警戒安全距離應如何估算？石化區儲槽危害潛勢圖如何呈現？	現有分析程式不易模擬群體連鎖反應，故先找出每個槽體的警戒距離，再利用 GIS 軟體疊加來呈現區域的整體風險潛勢，同時提高安全係數來降低風險。
6	能否運用感測器等偵測系統，輔助災害應變示警？	利用感測器偵測較適用於毒災應變，應用於火災、爆炸預警之可燃性濃度偵測器雖有，但預警難度較高。本研究將增加毒災部分之研究，期使計畫成果更為充實完整。

7	建議對於危害種類程度進行識別，以危害大小作為研究資源投入，進行適度分配。	目前石化災害依危害程度分為爆炸災害、火災及毒氣外洩三種，故採用已廣泛過之美國環保署ALOHA軟體，且採用較高的安全係數，以完整分析高雄地區的三个石化工業區及高雄港的所有的儲槽危害。
8	由於對危害構造物之種類及位置無法完全掌握，是否就相關影響範圍之分級，提出相關建議。	本計畫欲執行的高雄地區的三个石化工業區及高雄港的所有的儲槽資料已有初步的收集，包含其構造類型，不足部分將再透過拜訪廠家以收集完整資料。
9	肥料工廠也有類似的重大爆炸災害或毒化災，是否包含類似災害之探討。	肥料工廠跟石化工廠有所差異，礙於研究經費與期程，本研究將優先聚焦石化工廠之探討。
10	研究進度未註明查核點。	查核點部分，將納入補充說明。
11	未提出創意或自由回饋項目，請補充說明。	石化災害依危害程度分為爆炸災害、火災及毒氣外洩三種，大規模事故死亡主要是爆炸災害，各種爆炸類型都會考慮進去，「創意或自由回饋項目」將增加毒性警戒距離分析。
12	除了個別儲槽之警戒範圍外，是否有整個廠區連鎖反應的研究與推估。	現有分析程式不易模擬群體連鎖反應，故先找出每個槽體的警戒距離，再利用GIS軟體疊加來呈現區域的整體風險潛勢，同時提高安全係數來降低風險。
13	危害除了爆炸外，是否要考量毒氣外洩對民眾的影響。	石化災害依危害程度分為爆炸災害、火災及毒氣外洩三種，大規模事故死亡主要是爆炸災害，毒氣外洩危害相對較低，本案仍將納入。
14	有關評分項目「創意或自由回饋項目」，敬請補充說明。	「創意或自由回饋項目」將增加毒性警戒距離分析。

內政部建築研究所 107 年度「都市與建築減災與調適科技精進及整合
應用發展計畫(一)協同研究計畫」第 2 案
「石化工廠化學儲槽區火災警戒範圍界定之研究」
專家學者諮詢會議紀錄

一、時間：107年5月15日(星期二)下午2時30分

二、地點：內政部建築研究所13樓-討論室(一)

三、主席：陳召集人政任 教授

記錄：秦睦耕、王政傑

四、出席人員：陳政任、蔡綽芳、吳武泰、林文正、李彥毅、潘日南、蘇昭郎

徐新益、賴深江、雷明遠、白櫻芳

五、召開說明：

國內外危害性化學品災害案例持續發生，為防範於未然，宜先掌握石化工廠儲槽區(如乙烯、丙烯、甲苯、二甲苯、苯乙烯、液化石油氣等火災高危險物品)之分布區位，續就可能發生之外洩、火災、爆炸之風險進行評估，並依據大氣擴散條件(風速、風向等)模擬界定出災害警戒範圍(Hazmat zones)，其中包括熱區、暖區、冷區及防護行動區(Protective Action Zone)等範圍，以利災害發生時工業區內員工及鄰近工業區週邊民宅居民、學校師生迅速疏散避難，並協助現場指揮官決定開設消防救災現場指揮中心區位、消防設施設備及消防車輛佈設位置等災害應變救援作業所需空間資源布局，俾利有效控制及撲滅火勢、減少爆炸危害，達到有效減少人命傷亡、財物損失之目的，並可供未來都市計畫工業區劃設隔離帶之參考依據。

105年8月大陸天津化學品爆炸案，造成百餘人死亡，國內也曾發生如高雄林園石化工業區的北誼興業的LPG槽車爆炸、振興橋瓦斯管線洩漏爆炸、新竹福國化工爆炸、高雄81氣爆等危害性化學品重大災害案例，造成重大的民眾與救災人員的傷亡。如何於災害發生初期做好區域警戒與隔離是避免傷亡的最重要措施。

本計畫首先將掌握石化工廠儲槽區(如乙烯、丙烯、甲苯、二甲苯、苯乙烯、液化石油氣等火災高危險物品)之分布區位，續就可能發生之外洩、火災、爆炸之風險進行評估，並依據大氣擴散條件(風速、風向等)模擬界定出災害警戒範圍(Hazmat zones)，其中包括熱區、暖區、冷區及防護行動區(Protective Action Zone)

等範圍，以利災害發生時工業區內員工及鄰近工業區週邊民宅居民、學校師生迅速疏散避難，並協助現場指揮官決定開設消防救災現場指揮中心區位、消防設施設備及消防車輛佈設位置等災害應變救援作業所需空間資源布局，俾利有效控制及撲滅火勢、減少爆炸危害，達到有效減少人命傷亡、財物損失之目的。

本計畫的研究將可協助現場救災人員劃定安全警戒區，避免災害擴大實的潛在傷亡，結果也可供未來都市計畫工業區劃設隔離帶之參考依據。

期透過本次專家諮詢會議，達成提供本案後續執行參考，以精進研究成果並有效落實於應用層面。

本次工作會議召開議題如下：

1. 本年度先期完成之「石化工廠化學儲槽區火災警戒範圍界定」架構方向、內容等成果說明及後續修訂之建議。
2. 本案建構之「石化工廠化學儲槽區火災警戒範圍界定」之預期成果如何落實及後續相關法令修訂之建議。

六、執行工作簡報：略。

七、會議討論(綜合)：

吳武泰委員：

1. 本案已將ALOHA相關參數導入，界定出擴散範圍，建議再比對緊急應變指南之安全距離，找出適合救災人員研判之應警戒範圍。
2. 以往以儲槽直徑的1.3-9倍去推估火焰高度，再評估輻射熱距離，消防衣美規或歐規以熱輻射值80-84kw/m²測8-12秒，警戒範圍對應救災人員的防護裝備，建議可找美國、歐洲及大陸已研究之文獻資料參考。

林文正委員：

1. 廠區內若有防溢堤，安全距離是否調整？
2. 假設同時兩個儲槽發生災害，該如何界定出安全距離？
3. 以及是否可將救災裝備的有效距離納入ALOHA模擬距離的考量中。

潘日南委員：

1. 消防法內有提到警戒區及安全距離，但沒有模擬實際距離，是否可將模擬後的距離進一步的對消防法作出修改、以及可將毒性化學物質疏散原則之概念可套入ALOHA之分析原則。
2. 消防法有消防人員編組與消防車、消防砲塔及設置方法，可納入ALOHA進行模擬，審視消防法之標準。

徐新益委員：

1. 未來警戒範圍目的在於保護救災人員，建議將現有消防人員裝備之防護力納入考量。
2. 儲槽火災發生對鄰近居民可能有安全及健康危害，建議後續將疏散計畫納入重點。
3. ALOHA與GIS軟體之結合，有助於結果之展示。

蘇昭郎委員：

1. 有關石化工廠化學儲槽區火災警戒範圍界定，建議區分為兩類：(1). 毒性化學物質，警戒範圍可參考HAZMAT，ERPG-3、ERPG-2、ERPG-1，或其他化學品毒理指標：IDLH、TWA等，可參考ERG(緊急應變指南)及SDS(安全資料表)。(2). 現場化學品具有揮發性及有爆炸之虞的警戒範圍，應監控其爆炸上下限及熱輻射，對於高風險不穩定的物質(危險指數>100%者)應特別注意。
2. 對於工廠火災所形成的空氣汙染，應運用氣象即時資訊計算其可能的燃燒煙塵飄散情形，並對下風地區提出警戒。
3. 對於儲槽因火災而有爆炸之虞時，應收集化學儲槽的資訊、化學品及其儲存量，據以計算其可能的爆炸後果(BLEVE)，以作為其警戒範圍之依據，也可參考ERG(緊急應變指南)處理原則篇橘色業的疏散距離。
4. 為方便消防人員緊急應變作業需求，援建議應於工廠緊急應變計畫書中明確載列其化學儲槽區火災警戒範圍或其參考距離。

蔡綽芳組長：

1. 發生火災業者的第一時間點滅火最為重要，以將人員傷亡控制到最低。
2. 統計易發生災害的廠房類型，將重點案例專門改善，數據以雲端互通，利於整

合、救災、溝通。

陳政任教授：

1. 建物火災重點在於救災人員之危害辨識能力，加強危害辨識能力，提升救災人員的安全性，減少傷亡及機率。
2. ALOHA是一危害距離的模擬，台灣受限產業密度影響到設廠位址，危害辨識教育(限於毒化災)再加強，救災技巧後續補強，未來可針對建物火災及毒化災做研究計畫。

雷明遠博士：

1. ALOHA模擬主要是作為人員疏散距離的參考，是否可作為危害影響範圍的依據，民眾的心理預期與科學結果有落差，是否能以此為基礎來作為數據評估量化。
2. 新建立的化學桶槽應將危害影響範圍及疏散距離加入緊急應變計畫，以利於公家機關作為設廠評估。

八、散會：下午4時00分。

內政部建築研究所 107 年度「都市與建築減災與調適科技精進及整合應用發展計畫(一)協同研究計畫」第 2 案「石化工廠化學儲槽區火災警戒範圍界定之研究」

期中審查會議回應一覽表

項次	委員意見	廠商回應
1	<p>江執行長瑞祥</p> <p>(1) 除災害內容、距離交叉分析外，建議再考慮災害風險發生機率、災害發生後對救災人員生命造成的危害影響，以及儲槽安全距離所涵蓋鄰近社區居民的安全等因素納入考量。</p> <p>(2) 建議分就災中、災後的警戒範圍再分類，考慮災害發生前的空間規劃及災害發生後的警戒範圍。</p> <p>(3) 建議分析成果可供「韌性規劃」之人為災害土地使用管制策略研擬參考。</p> <p>(4) 多槽體及其相關災害之整合分析，可從方法論提出未來研究建議。</p>	<p>陳政任教授</p> <p>(1) 有關民眾疏散距離部分，後續將以較低危害值的警戒距離估算，以供參考。</p> <p>(2) 現階段僅考慮到最嚴重的災害情況，後續研究將增加災害時序與過程，納入以往實例經驗，在期末報告時提出包含災害初期到最後極嚴重狀況的災害時序、救災程序與警戒距離，供指揮官與現場人員在現場判斷災害進展狀況。</p> <p>(3) 於期末報告中納入</p> <p>(4) 複數儲槽相互影響災害情況，因目前 ALOHA 軟體分析上的限制，僅能模擬單一儲槽事故，加上 GIS 風險疊加可靠度不高，故本年度研究仍以單槽分析為主，會納入研究報告中特別說明。</p>
2	<p>李科長擇仁</p> <p>(1) 目前分析方式皆以單一儲槽為模擬對象，若為多槽性的災害是否仍可應用？如研究指出大仁工業區有 139 個儲槽。如類似高雄氣爆，能否應用。</p>	<p>陳政任教授</p> <p>(1) 複數儲槽相互影響災害情況，因目前 ALOHA 軟體分析上的限制，僅能模擬單一儲槽事故，加上 GIS 風險疊加可靠度不高，故本年度研究仍以單槽分析為主，會納入研究報告中特別說明。</p>
3	<p>何教授明錦</p> <p>(1) 基本上防災重於救災，宜多方蒐集了解致災原因納入討論，做為未來防止災損擴大之參考。</p> <p>(2) 救災人員的安全範圍是基本考量，除考慮救災人員的配置</p>	<p>陳政任教授</p> <p>(1) 感謝委員建議。</p> <p>(2) 有關民眾疏散距離部分，後續將以較低危害值的警戒距離估算，以供參考。</p> <p>(3) 感謝委員建議。</p>

	<p>方式與安全距離之外，建議一併考量一般民眾在災害發生時的撤離時機、方式以及安全範圍，來減少災害傷亡規模。</p> <p>(3) 建議蒐集檢討國內外類似化學儲槽火災案例，將警戒範圍與防災注意事項，以及可採取之預防措施納入考量，如運用實體工程作為防範（如防溢堤），或以足夠強度的設備來防止爆炸，縮小災害範圍，供本研究成果報告參考。</p> <p>(4) 在廠區選址與設置規定，建議配合擬訂可供制定土地使用管制規則參考之原則。</p> <p>(5) 研究報告內容及圖表重點，建議中文化處理呈現，以利各領域人士參酌。</p>	<p>(4) 感謝委員建議。</p> <p>(5) 將於期末報告中納入。</p>
<p>4</p>	<p>蘇組長昭郎</p> <p>(1) 對於石化廠火災所形成的空氣污染，亦是造成危害的重要因素之一，如何對下風地區提出警戒，建議考量。</p> <p>(2) 有關石化廠化學儲槽區火災警戒範圍界定，對於第一線應變救災人員可提供相當關鍵性的資訊，且現場災害情形各自不同，複雜性極高，建議本案期末報告應提出可供現場指揮官參考的簡易計算公式。</p> <p>(3) 災害現場的危害發生潛勢以及危害步驟階段的研判，相較警戒距離的公式來得重要，未來可持續建立可供現場緊急應變使用之教材，作為現場指揮官與專業人員判斷之依據。</p> <p>(4) 目前本研究採單一槽危害距離，若是多槽危害是否仍可使用？此外，高雄氣爆案例的管線危害是否適用。</p>	<p>陳政任教授</p> <p>(1) 感謝委員建議。</p> <p>(2) 感謝委員建議，將於期末報告中納入。</p> <p>(3) 現階段僅考慮到最嚴重的災害情況，後續研究將增加災害時序與過程，納入以往實例經驗，在期末報告時提出包含災害初期到最後極嚴重狀況的災害時序、救災程序與警戒距離，供指揮官與現場人員在現場判斷災害進展狀況。</p>

	<p>(5) 槽體直徑 5 公尺 BLEVE 的安全距離 130 公尺，如何射水？建議可將救災之安全距離做為未來救災機具設備整備之參考，而非僅以人員裝備的防護能力作為判斷。</p>	
<p>5</p>	<p>高雄市政府消防局 康科長格賢（書面意見）</p> <p>(1) 有關研究計畫中火災警戒範圍界定，由於工業區內部分儲槽距離較近，請將複數儲槽相互影響的可能性納入考量。</p> <p>(2) 在火災警戒範圍界定後，建議加入此火災警戒範圍下，救災人員所需資源評估，如救災車輛需停放多遠距離、需佈幾條水線進行搶救、水線佈線距離、救災冷熱暖區範圍界定、冷熱暖區所需穿著防護裝備、救災所需時間及救災總計需多少名人力等，以符合實務所需。</p> <p>(3) 研究目的提及：「於災害發生初期做好區域警戒及隔離是避免傷亡的最重要措施」，建議加入流程圖，供第一時間搶救人員劃定警戒區參考。</p>	<p>陳政任教授</p> <p>(1) 複數儲槽相互影響災害情況，因目前 ALOHA 軟體分析上的限制，僅能模擬單一儲槽事故，加上 GIS 風險疊加可靠度不高，故本年度研究仍以單槽分析為主，會納入研究報告中特別說明。</p> <p>(2) 現階段僅考慮到最嚴重的災害情況，後續研究將增加災害時序與過程，納入以往實例經驗，在期末報告時提出包含災害初期到最後極嚴重狀況的災害時序、救災程序與警戒距離，供指揮官與現場人員在現場判斷災害進展狀況。</p> <p>(3) 感謝委員建議。</p>
<p>6</p>	<p>國家地震工程研究中心 林博士克強</p> <p>(1) 本研究主要在研究危害性氣體或液體儲槽設施之火災警戒範圍界定研究，實非常有助於該設施的配置與安全措施之規劃。然因位置較為集中，危害風險相對較低，相對於儲槽設施，地下管線維修不易且線路往往經過公共區域，故其影響風險亦不低，故建議未來可將管線危害之警戒範圍納</p>	<p>陳政任教授</p> <p>(1) 感謝委員建議。</p> <p>(2) 感謝委員建議，將納入未來參考方向。</p> <p>(3) 感謝委員建議，遵照辦理。</p>

	<p>入，做更進一步的研究。</p> <p>(2) 建議將本計畫各儲槽的模擬數據及研究成果，與國內相關儲槽設施之實際現況進行比對，對其提供建議以落實應用。</p> <p>(3) 針對不同儲槽內容物，是否劃定不同的警戒範圍。</p>	
7	<p>賴技師宏嘉</p> <p>(1) 目前研究及調查之分析模擬皆為單一儲槽，若化工廠有複數儲槽情況，是否提供加大警戒範圍的建議。</p> <p>(2) 若救災人員因救災需求而必須縮短警戒範圍，警戒範圍的界定是否能納入提升安全防護設備等級等建議，進而縮減安全距離。</p> <p>(3) 國外是否有無人救災機具或無人化自動化設備的使用可供參考，以降低傷亡機率。</p>	<p>陳政任教授</p> <p>(1) 複數儲槽相互影響災害情況，因目前 ALOHA 軟體分析上的限制，僅能模擬單一儲槽事故，加上 GIS 風險疊加可靠度不高，故本年度研究仍以單槽分析為主，會納入研究報告中特別說明。</p> <p>(4) 感謝委員建議，將於後續研究中修正並納入</p>
8	<p>中華民國全國建築師公會 林建築師國財</p> <p>(1) 有關石化廠區的案例，建議多納入幾個工業區。</p> <p>(2) 建議提供一個明確的界定範圍，以供後續參考。</p> <p>(3) 建議後續針對疏散模式，加強敘明。</p>	<p>陳政任教授</p> <p>(1) 感謝委員建議，將於後續報告中說明。</p>
9	<p>蔡組長綽芳</p> <p>(1) 除了救災之外，本計畫預期成果還包括民眾避難引導警戒值的界定，建議於後續研究內容加強說明。</p> <p>(2) 本研究模擬方式及警戒範圍界定皆以單一儲槽進行分</p>	<p>陳政任教授</p> <p>(1) 民眾疏散距離部分，後續將以較低危害值的警戒距離估算，以供參考。</p> <p>(2) 複數儲槽相互影響災害情況，因目前 ALOHA 軟體分析上的限制，僅能模擬單一儲槽</p>

	<p>析，並未涉及複數儲槽相互影響連環引爆的預測，建議於報告書中清楚說明，避免讀者誤用。</p> <p>(3) 敬鵬火災後更強調重視消防人員的性命安全，建議搶救範圍的界定，能將新科技如無人機、投擲滅火彈等其他消防搶救模式納入考量，期能減少救災人員傷亡機率。</p>	<p>事故，加上 GIS 風險疊加可靠度不高，故本年度研究仍以單槽分析為主，會納入研究報告中特別說明。</p>
--	--	---

內政部建築研究所 107 年度「都市與建築減災與調適科技精進及整合
應用發展計畫(一)協同研究計畫」第 2 案
「石化工廠化學儲槽區火災警戒範圍界定之研究」
第二次專家學者諮詢會議紀錄

一、時間：107年10月08日(星期一)下午2時30分

二、地點：內政部建築研究所13樓-討論室(一)

三、主席：陳召集人政任 教授

記錄：秦睦耕、王政傑

四、出席人員：鄭元良、蔡綽芳、吳武泰、林文正、李彥毅、蘇昭郎、白櫻芳、陳政任

五、召開說明：

國內外危害性化學品災害案例持續發生，為防範於未然，宜先掌握石化工廠儲槽區(如乙烯、丙烯、甲苯、二甲苯、苯乙烯、液化石油氣等火災高危險物品)之分布區位，續就可能發生之外洩、火災、爆炸之風險進行評估，並依據大氣擴散條件(風速、風向等)模擬界定出災害警戒範圍(Hazmat zones)，其中包括熱區、暖區、冷區及防護行動區(Protective Action Zone)等範圍，以利災害發生時工業區內員工及鄰近工業區週邊民宅居民、學校師生迅速疏散避難，並協助現場指揮官決定開設消防救災現場指揮中心區位、消防設施設備及消防車輛佈設位置等災害應變救援作業所需空間資源布局，俾利有效控制及撲滅火勢、減少爆炸危害，達到有效減少人命傷亡、財物損失之目的，並可供未來都市計畫工業區劃設隔離帶之參考依據。

105年8月大陸天津化學品爆炸案，造成百餘人死亡，國內也曾發生如高雄林園石化工業區的北誼興業的LPG槽車爆炸、振興橋瓦斯管線洩漏爆炸、新竹福國化工爆炸、高雄81氣爆等危害性化學品重大災害案例，造成重大的民眾與救災人員的傷亡。如何於災害發生初期做好區域警戒與隔離是避免傷亡的最重要措施。

本計畫首先將掌握石化工廠儲槽區(如乙烯、丙烯、甲苯、二甲苯、苯乙烯、液化石油氣等火災高危險物品)之分布區位，續就可能發生之外洩、火災、爆炸之風險進行評估，並依據大氣擴散條件(風速、風向等)模擬界定出災害警戒範圍(Hazmat zones)，其中包括熱區、暖區、冷區及防護行動區(Protective Action Zone)等範圍，以利災害發生時工業區內員工及鄰近工業區週邊民宅居民、學校師生迅速疏散避難，並協助現場指揮官決定開設消防救災現場指揮中心區位、消防設施設備及消防車輛佈設位置等災害應變救援作業所需空間資源布局，俾利有效控制及撲滅火勢、減少爆炸危害，達到有效減少人命傷亡、財物損失之目的。

本計畫的研究將可協助現場救災人員劃定安全警戒區，避免災害擴大實的潛在傷亡，結果也可供未來都市計畫工業區劃設隔離帶之參考依據。

期透過本次專家諮詢會議，達成提供本案後續執行參考，以精進研究成果並有效落實於應用層面。

本次工作會議召開議題如下：

3. 本年度完成之「石化工廠化學儲槽區火災警戒範圍界定」之預期成果說明。
4. 本案建構之「石化工廠化學儲槽區火災警戒範圍界定」之預期成果如何落實及後續相關法令修訂之建議。

六、執行工作簡報：略。

七、會議討論（綜合）：

林文正 科長：

1. 能否透過比對現有的法規對於警戒距離、警戒區域劃分及避難逃生路線，對現有的法規更具體的建議及納入教育訓練的教材，以提供現場救災人員立即性的判斷。

陳政任 教授：

1. 模擬結果需要各方確認其可行性，才能更肯定的提出具體的法規。透過教育訓練的方式可先使現場救災人員有基本的認知，是較為恰當的方式。

陳坤宗 大隊長：

1. 運用 ALOHA 程式模擬有一些限制及誤差，如阻隔及輻射熱的影響，建議將這些限制及誤差納入考量。
2. 不同物質的影響變化很大，造成危害範圍的差異也很大，建議未來考量其差異性納入警戒範圍的界定。
3. 未來運用程式模式考量建築物內部限制及誤差較小的程式模式，如 FDS 程式以及 ALOHA 程式互相對照。

陳政任 教授：

1. 在毒化災及火災同時發生情況下，救災人員可防火卻很難防毒化物，目前有一款防護衣可抗閃燃。
2. 大部分毒化物受高溫後，毒性反而下降，但毒性須依現場物質判斷。
3. ALOHA 的缺點在於只能模擬戶外，如加上 FDS 軟體模擬，需要的數據量龐大，建議於後續研究進行。

蔡綽芳 組長：

1. 如何描述蒸氣雲的過壓狀態，室內有沒有發生的機會？北部醫院有隔間到頂的規劃，是否有可能利用這隔間到頂的空間，使得建築物內的閃燃在這一空間自行反應，是否會因此破壞建築物空間。

陳政任 教授：

1. 火焰燃燒時有兩種情形，第一種為可燃物有多少燒多少，這種稱為擴散燃燒，第二種為現場的可燃物預先與空氣混合好，再出現一引火源，被引燃的火焰會隨著可燃物的範圍逐漸燃燒及加速，而火焰加速度的上升超過音速產生壓力波，這一壓力波超過一大氣壓時就稱為過壓。閃燃與蒸氣雲爆炸的機制一樣，閃燃存在於建築物中，為一局限空間，而閃燃及蒸氣雲都可利用體積估算出過壓，而一般建築物材質無法承受過壓。

吳武泰 主任：

1. BLEVE 危害距離數值是否可信。

陳政任 教授：

1. BLEVE 危害距離是可信的，非救災人員的避難距離為儲槽直徑的 65 倍，以北誼興業為例，直徑 2 公尺的槽車，約在 125 公尺外的人員無傷亡，而 BLEVE 有另一危險因素為爆炸碎片，碎片危害難以納入考量。

李彥毅 秘書：

1. 複合式火災的警戒距離，是否以此模擬結果的警戒距離來作為參考。

陳政任 教授：

1. 由於複合情境下的警戒距離過於複雜，此模擬中以單一儲槽最大危害來

作為救災人員參考依據。

蘇昭郎 組長：

1. 以反恐的角度來看，發生過壓時，爆炸碎片尤為重要，過壓容易受的建築物內的障礙物影響而減弱，相對於過壓將會從建築物最弱邊突破，最弱邊的爆炸碎片危害距離為最遠。
2. 在法規確立前，可頻繁的舉辦教育訓練，讓現場救災人員有一定程度的常識及知識。
3. BLEVE 是否會因儲槽材質不同而影響危害距離？
4. 儲槽可依容積、壓力不同來作為分級管理的依據，對於救災人員或是勞檢單位可以有一參考依據。
5. 能否透過教育訓練使現場救災人員可以判斷出火災各階段的機制特徵，提供救災的安全性。

陳政任 教授：

1. 建築物中的障礙物能一定程度上抵擋過壓及熱輻射，實際發生時卻很難迅速找到適當障礙物，而障礙物的材質、大小都須列入考量。
2. 國內儲槽材質大多為碳鋼及不鏽鋼，槽體部分因成本考量沒有使用水泥包覆。
3. 國內儲槽的分級管理，因石化廠內的儲槽為大容積，故勞檢單位的檢查是嚴格執行，而依現有法規下製程設備的檢查是完善且詳細的。
4. 可透過影片可以說明火災爆炸各階段的機制，可列為未來教材。

鄭元良 主任秘書：

1. 新舊廠房是否依照相同基準及考量下建設。

陳政任 教授：

1. 因國內石化廠在設立時都會依照 NFPA 規範建設，故新舊廠房並無太大差異，無法作為直接比較。

吳杰穎 副教授：

1. 危害潛勢圖可與人口特性分布圖疊圖作脆弱度分析，可提供給市府作為都市規劃的參考。

陳政任 教授：

1. 人口分布圖及仁大工業區危害潛勢圖套疊後，仁大工業區風險最大，而高雄港在套疊後風險也提高，後續可加入此類圖表。

八、散會：下午5時00分。

內政部建築研究所 107 年度「都市與建築減災與調適科技精進及整合應用發展計畫(一)協同研究計畫」第 2 案「石化工廠化學儲槽區火災警戒範圍界定之研究」

期末審查會議回應一覽表

項次	委員意見	廠商回應
1	<p>全國建築師公會 陳俊芳建築師：</p> <p>(1) 於第五章第二節建築事項，建議增加對於高壓槽及常壓槽直徑之明顯標示方式，或提供資料給消防救災單位，以利迅速救災。</p> <p>(2) 對於毒性危害，偵測器、風向計之設置地點建議，以利救災作業。</p>	<p>陳政任 教授：</p> <p>(1) 以直徑判斷為較容易的方式，一般儲槽區標示方式為容積，而建議救災以目測方式來判斷警戒範圍及疏散距離。</p> <p>(2) 儲槽區的固定式偵測器係用於初期洩漏偵測，並不能應用於事故救災時使用，而報告中提到的偵測器為救災人員在事故現場時所使用的偵測器，並不會有廠區偵測器設置位置的疑慮。</p>
2	<p>結構工程技師公會 陳正平技師：</p> <p>(1) 研究成果可供石化廠選址及危害管理之參考。</p> <p>(2) 於儲槽區設置防火牆(堤)可有效控制災害範圍及救災危害。</p>	<p>陳政任 教授：</p> <p>(1) 儲槽防溢堤在國內法規有規範，並不會有儲槽無設置防溢堤的疏忽。</p>
3	<p>蘇昭郎 組長：</p> <p>(1) 化學儲槽火災事故的演進有階段性，起火→大規模→閃沸→蒸氣雲爆炸→BLEVE。本案已彙整相當完整的事故分析，可做為完整的教材資料。</p> <p>(2) 應用 NOVA 的模擬軟體 ALOHA 進行危害距離分析，以目前國內情形，其結果以 10kW/m²(輻 射)/40kW/m²(BLEVE)及直徑倍數為防護距離之基準，為利使用，建議以表格方式呈現。</p> <p>(3) 是否可將防護距離以機率百分比或是風險百分比表示。</p>	<p>陳政任 教授：</p> <p>(1) 結論中的估算模式已納入近期的指揮官訓練教材中。</p> <p>(2) 結論中的估算模式會再整理成表格方式放入報告中。</p> <p>(3) 現有的危害標準轉換成傷害風險值或機率百分比會有一定程度的困難，尚待未來的研究。</p>

<p>4</p>	<p>歐政一 主任秘書：</p> <p>(1) 研究所得之警戒範圍，將現有救災設備及有效距離加以考量比對。</p> <p>(2) 各槽體警戒範圍以 GIS 建立空間點位，應更具實質規劃及救災效益。</p>	<p>陳政任 教授：</p> <p>(1) 結論所提出的警戒距離不等於救災距離，事故初期是以救災設備可以減緩災情的前提下做為救災距離，如槽體外觀有明顯變化，則可由指揮官下令現場救災人員往後撤退至警戒距離外。</p> <p>(2) GIS 潛勢圖中雖可標入警戒距離，但對於現場救災人員難有立即性的參考，因 GIS 需藉由電腦開啟，但現場救災須立即性的決定警戒範圍，以槽體直徑做為參考更為有效。</p>
<p>5</p>	<p>莫懷祖 組長：</p> <p>(1) 緊急應變指南(ERG)與實驗數據是否有差異，及其差異性。</p> <p>(2) 災害中的冷、暖、熱區中的應變人員，如何應用結論中的警戒及疏散距離的推估距離。</p> <p>(3) 研究中提到的修法，能否以文字具體說明。</p> <p>(4) GIS 潛勢圖套疊中，能否以具體尺度(例:周邊社區或明顯地標)，提供公家單位在市政規劃時迅速判斷危害範圍。</p>	<p>陳政任 教授：</p> <p>(1) 緊急應變指南中包含所有物質，但其內容中提供的危害初期警戒及疏散距離通常都過大，難適用於台灣的現況。</p> <p>(2) 冷、熱區差距劃分是針對毒性部分，毒性對於消防人員不是最主要的危害，但對於一般民眾是最主要的危害；本計畫為針對消防救災人員，故毒性部分並無太多考量，以火災的部分，目前所提供的距離便可作為冷、熱區的劃分依據，後續會補充及修正入報告中。</p> <p>(3) 第二次專家諮詢會議時有提到研究中的修法暫時沒有修法的考量，在於各國皆無此類立法，且希望未來以訓練的方式教導給救災及應變單位，經過長時間的訓練及實際測試可驗證此推估模式的可行性再行納入法規後。現階段若接納入法規後，若於現場應變造成反效果，將是各界不樂見的結果。</p> <p>(4) GIS 潛勢圖的尺度過大問題，由於為四個工業區的整合，若以各工業區呈現則尺度會適當放大。</p>

6	<p>游逸駿 主任：</p> <p>(1) 未來如需整合並加入應變資源或是指揮官資源時，有進場、環境因素及設備因素的修正，或許可以修正因子的方式提供距離估算的便利性。</p>	<p>陳政任 教授：</p> <p>(1) 由於此報告繳交期限稍早，後續會考量納入修正於報告中。</p>
7	<p>李晨光 正工程師：</p> <p>(1) 是否可根據現有 GIS 潛勢圖與吳教授之國土城鄉規劃計畫，以資料及統整資料的方式，可提供市府單位執行國土城鄉規劃的考量。</p>	<p>陳政任 教授：</p> <p>(1) 將此人為災害的模擬結果公諸於民眾，容易造成民眾恐慌，反而造成工業區廢止或遷廠的進度提前，故建議結果僅用於救災人員。</p>
8	<p>林克強 研究員：</p> <p>(1) 本研究成果相當具體，可作為相關單位制定法規或應用指南的參考。</p> <p>(2) 是否有相應儲槽發生連續爆炸式火災的問題?若有，此評估結果是否仍能通用。</p>	<p>陳政任 教授：</p> <p>(1) 本案並無考慮相連儲槽的連環爆炸，但每一儲槽都有其相對應的防護措施，而現場救災人員也會對相鄰儲槽的進行防護，故實務上相連儲槽的連環事故機率極低。</p>
9	<p>李澤仁 科長：</p> <p>(1) 成果符合預期，對城市規劃也有相當的助益。</p>	<p>陳政任 教授：</p> <p>(1) 感謝委員指教</p>
10	<p>何明錦 教授：</p> <p>(1) 未彙整期中報告審查意見回復情形，建請依規定格式補充。</p> <p>(2) 期末報告對危害性化學品暨高壓氣體場所火災、爆炸案例與風險考量因子及場所警戒範圍界定及疏散模式資料收集精簡但具實用性。</p> <p>(3) 建議將警戒範圍與防災注意事項以及可採取之預防措施，依儲槽特性做具體之分類建議。</p> <p>(4) 未來相關廠址的劃設與儲槽設計安全區原則，建議土地分區使用管制規則中作必要之規範。</p>	<p>陳政任 教授：</p> <p>(1) 將於期末報告中納入。</p>

參考書目

網站部分

- AIHA (American Industrial Hygiene Association), Current ERPG® Values (2016),
<https://www.aiha.org/get-involved/AIHAGuidelineFoundation/EmergencyResponsePlanningGuidelines/Documents/2016%20ERPG%20Table.pdf>, 2016
- DNV GL, PHAST - Process Hazard Analysis Software Tools,
<https://www.dnvgl.com/services/process-hazard-analysis-software-phast-1675>,
2017.
- Safersystem Inc., SAFER, <https://www.safersystem.com>, 2017.
- US EPA, Acute Exposure Guideline Levels for Airborne Chemicals,
<https://www.epa.gov/aegl>, 2018
- US EPA, Risk Management Plan, <https://www.epa.gov/rmp>, 2018.
- US EPA/NOAA, ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) code,
<http://www.epa.gov/ceppo/cameo/aloha.htm>, 2016.

外文部分

- Brown, D.F., Policastro, A.J., Dunn, W.E., Carhart, R.A., Lazaro, M.A., Freeman, W.A., and Krumpolc, M. Development of the table of initial isolation and protective action distances for the 2000 Emergency Response Guidebook.. United States: N. p., 2001. Web. doi:10.2172/775267.
- Chen, J. R., Ho, T. C., W. K. Chou, and C. C. Duh, Thermal Radiation Hazard of Storage Tank Fires and Its Relation to Tank-to-Tank Spacing, *2nd Intl. Conf. and Exhib. Loss Prev. in Oil, Chem. Process Ind.*, Singapore (1995)
- Chen, J. R., S. C. Liang, K. S. Fan, P. C. Hsu, J. L. Su, GIS-based global risk potential map for the planning of chemical emergencies, ICUDR, Kobe, Japan, 2005.

Crowl, D. A. and J. F. Louvar, Chemical Process Safety: Fundamentals with Applications, 3rd ed, Prentice-Hall, Upper Saddle River, N. J., 2012.

Jones, R., W. Lehr, D. Simecek-Beatty, R. Michael Reynolds, ALOHA® (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) 5.4.4: Technical Documentation. U. S. Dept. of Commerce, NOAA Technical Memorandum NOS OR&R 43. Seattle, WA: Emergency Response Division, NOAA, 2013.

Mandal, S., Song, G, An empirical analysis of thermal protective performance of fabrics used in protective clothing, Annals of occupational hygiene, 58 (8) 1065–1077 (2014).

National Fire Protection Association (NFPA), NFPA 30 - Flammable and Combustible Liquids Code, 2018.

U.S. Department of Transportation, Pipeline and Hazardous Materials Safety Administration, Emergency Response Guidebook, 2016.

石化工廠化學儲槽區火災警戒範圍界定之研究

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路3段200號13樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：鄭元良、陳政任、蔡曉雲、白櫻芳、賴深江、陳柏端、
秦睦耕、王政傑

出版年月：107年12月

版次：第1版

ISBN：978-986-05-7618-4(平裝)

石化工廠化學儲槽區火災警戒範圍界定之研究

ISBN: 978-986-05-7618-4(平裝)