

地區毒化物災害潛勢分析與評估計畫

Risk Potential Analysis and Assessment for Local Area

Toxic Substances Disasters

主辦單位：行政院環境保護署

執行單位：國立高雄第一科技大學

樊國恕
Fan, Kuo-Shuh

陳政任
Chen, Jeng-Renn

梁曉君
Liang, Siao-Chun

楊惠甯
Yang, Hui-Ning

摘要

環保署為管理毒化物災害預防與應變工作，讓救災支援體系及民間機構深入瞭解本身潛在危險狀況，故擬發展地區毒災害潛勢，以分析與評估災害可能發生位置與風險，以事前洞悉掌握有助於以降低危害影響。

本計畫即針對毒災害潛勢分析，於九十六年十二月十三日提出期末報告，完成下列工作項目：

- 完成台南縣地區背景資料蒐集，規劃建置相關資料表格與圖資，如災因分析、近年災害事故案例列表、分析災害特性以設定地區災害境況模擬…等。
- 評估 PHAST 與 ALOHA 擴散模式適用性，由於 ALOHA 軟體符合地區潛勢應以保守為宜之要點，且在價格上、內件資料庫數量及操作上，皆能符合本計畫需求，故本計畫以 ALOHA 軟體為潛勢分析之模擬程式。
- 改良以往毒性化學物質災害潛勢分析方法，過去研究僅考慮毒化物災害洩漏型態，本計畫再增加火災與爆炸災害類型，以完整呈現毒性化學物質災害潛勢風險。並綜合分析考慮洩漏、火災與爆炸三種型態，與考慮三者中最大者互相比較，前者較能顯現風險之差異。
- 風險定義取「危害半徑平方×人口密度×頻率」比選擇「危害半徑×頻率」更能彰顯社區危害的潛勢。
- 風險值加乘權重後顯示科學園區之風險降低，但傳統工場風險未改變。故建議災害潛勢模擬評估 1. 潛勢風險值取「火災+爆炸+洩漏」2. 風險定義=危害半徑平方×人口密度×頻率 3. 加成權重分析。
- 由台南縣五百多家場廠中完成篩選分析，挑選出 110 家毒化物運作廠，且與未篩選前結果做比較，可知依據本計劃篩選流程得出之篩選場家具有代表性，且能大幅減少潛勢圖之繪製時間。

應用潛勢風險分析結果，將高風險區之避難場所篩除，製作台南縣地區避難場所點位圖，決策單位可依據此圖，進行減災整備預防措施。

關鍵詞：風險分析、毒化物災害、潛勢分析、潛勢

Abstract

EPA is in-charge of the prevention and response of toxic chemical disasters. In order to better understand the potential risk, it is required to develop methodologies for analyzing the risk potential to evaluate the possible location and risk associated with the use of toxic chemicals. The results can be used to minimize the possible consequence for toxic incidents.

This project focuses on the development of methodologies for analyzing the risk potentials of toxic chemicals. In this project, the following work items have been carried out and completed:

- Complete the collection of background information for Tainan County and summarize in graph and table. The results will be used in risk potential analysis.
- Evaluate the suitability for PHAST and ALOHA dispersion models. The ALOHA dispersion model is conservative in results, free to use, ease to operate, and is thus choose as the dispersion model to be used in this project.
- Improve the methodologies for risk potential analysis. The existing method considers only the effects of toxic release. The effects of fire and explosion are added. It is found that adding the three effects are better in showing the risk potential than choosing the largest effects.
- The risk is better defined as: “square of hazardous radius \times population density \times incident frequency” in showing the risk potential than defined as “hazardous radius \times incident frequency”
- Risk value after weighting of facility response capability showed that Science Park has a lower risk but the risk in traditional operating facilities remains the same. Thus, the final conclusions for defining the risk is: 1. Summing the risk from release, fire and explosion, 2. define risk value as “square of hazardous radius \times population density \times incident frequency”, 3. Weighting of facility response capability should be used.
- Propose a selection criterion for choosing 110 operating facilities from a total of 500+ facilities. The resulting risk potential map is compared with the raw potential map and showed small discrepancy. The selection criterion will largely reduce the time required for preparing the risk potential map.

The results of risk potential is used to prepare a map for evacuation refugee. The map can be used in planning evacuation in case of a major disaster occurred.

一、前言

由於台灣工商業相當發達，人口密集，災害發生頻率上升，例如化學物質的使用愈來愈多樣化，環境中各類毒性化學物質的生產、儲存、運輸若有些微不當，將增加民眾受到危害的機率。目前台灣地區對重大災害仍停留於事故緊急應變階段，然救援應變之器材與資源不充裕情形下，若不能有系統的將事前防災工作準備好，可能浪費許多資源，甚而犧牲人員與環境。災害除會造成人員傷亡外，也嚴重影響台灣整體投資的競爭力，對國內經濟成長有相當程度的傷害。

自民國 90 年起便於台灣地區北部、中部及南部建立各區毒性化學物質災害防救技術支援諮詢中心，至 95 年更是規劃成立七隊應變隊成效卓越，亦強化毒性化學物質災害防救技術支援諮詢中心之功能。著眼於未來，環保署為管理毒化物災害預防應變工作，讓救災支援體系及民間機構深入瞭解本身潛在危險狀況，將積極發展各地毒化物災害潛勢，並分析與評估災害可能發生地與風險，事前洞悉掌握有助於以降低危害影響。

二、災因分析與災害規模設定

2.1 背景資料收集

早期台南縣為典型農業縣，農產豐富，耕地面積達九萬多公頃，全國排名第一，主要以稻米、甘蔗、雜糧為主，地方特產極多，其中水田、旱田、魚塢、鹽田、蓮田、菱角田面積均佔全省之冠。

然近來工商業成長快速，境內大小工廠約 6400 多家，在全省排名第五位，僅次於台北縣、台中縣、桃園縣及彰化縣。除一些屬投資規模（如：奇美、統一、東盟、南紡、怡華、三星、宏遠、東展…等）較大外，其餘均屬中小企業居多。如以行業別統計(如圖 1 所示)，則以機器設備業 1010 家最多，其次為金屬製品業 902 家，塑膠業 800 家，運輸工具業 478 家，食品業 427 家，其餘各行業較少。

縣內闢有新營、官田、新市、永康、仁德等工業區，加上台南科學園區、工研院南部分院進駐後，將轉型為高科技縣，使台南縣產業及經濟結構同時具有高科技產業與傳統產業並存之特性；且台南縣境內毒化物運作廠場，乃為南部縣市中家數最多者，約 500 家左右，故本計畫選擇台南縣做為計畫研究對象之因。

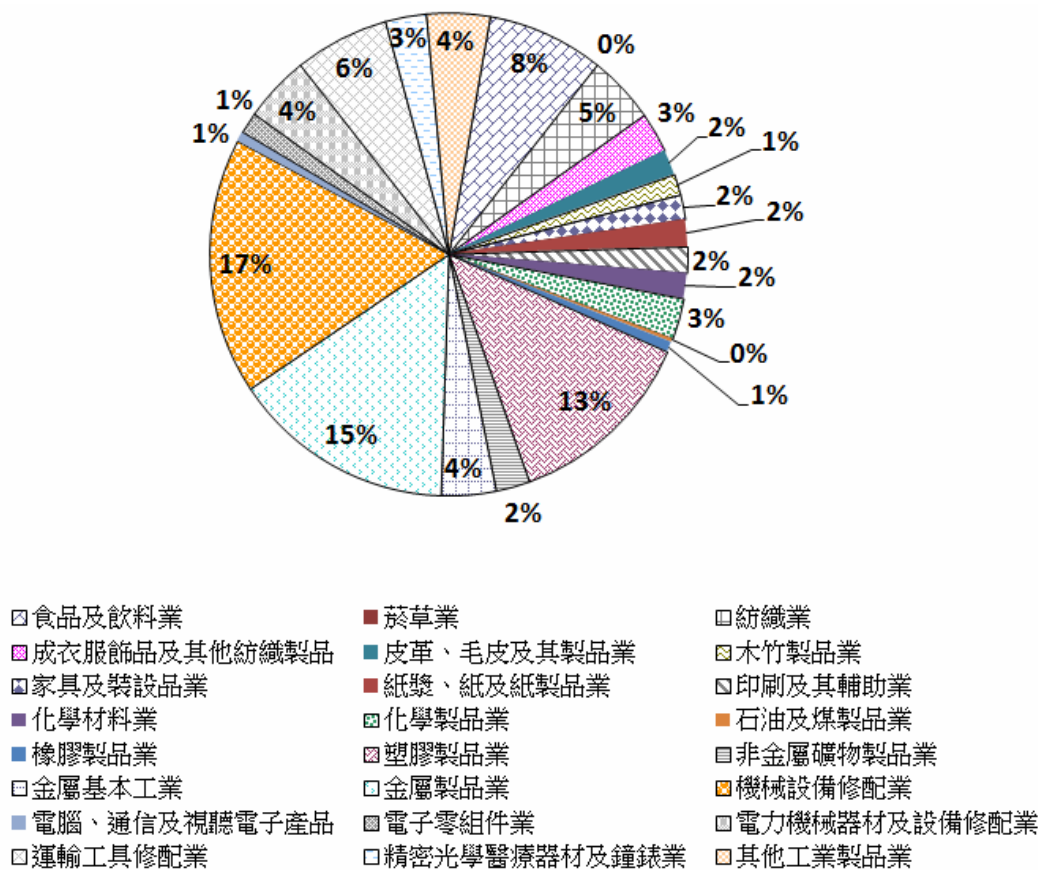


圖 1、台南縣各產業別統計

2.2 台南縣災害規模設定

毒性化學物質可能衍生之災害方式包括災害發生當時現場人員與參與應變之人員因直接暴露、火災、爆炸、震波及建築物破壞等間接原因而造成災害；因燃燒生成之廢氣、廢液、吸收或吸附或燒焦附著於固體物質中；飄散散落至農作物或居家生活環境裏造成日常生活上的暴露；或飄散排放至自然環境中經由食物鏈、生物濃縮、環境蓄積，而影響長遠甚至造成全球性的危害等等，均不可小覷。

各地區之防災計畫應針對不同特性有不同之防災應變計畫，本計畫將以台南縣地區特性及過去災害案例兩種方向來訂定可能發生之災害類別。地區特性考量將以各地區的產業類別、地形特性、建物分布等進行調查，調查內容包括：

- 產業特性，包括商業、工業、農業，工業將進一步區分為化工、鋼鐵、電機、電子、機械、食品、生物、環工、材料…等領域，調查資料將以經濟部工業局的工業區、加工區、國科會的科學園區、交通部的港區等，本計畫將按各領域統計其家數與可能的營運規模，以決定是否有大規模工業災害之可能性。
- 地形特性，包括山地、林地、海岸線、湖泊等，以決定是否有大規模運輸災害之可能性。
- 建物分布：包括人口密度分布、商業區分布、住宅區分布、建築物特性、綠地分布等，以了解災害可能損失人命影響程度。

在過去災害案例方面，將以歷年災害事故紀錄統計，如毒災中心資料庫等搜尋整

理，再依據台南縣區內發生的重大事故分類，包括：

- 重大產業災害，特別是較具危害之石化廠、煉油廠、半導體廠等火災、爆炸與毒性外洩事故
- 住宅/商業區火災，包括高樓火災以住宅區瓦斯管線火災
- 交通事故，陸路與船難，特別是危險品運輸，包括船運的污染事故或公路運輸意外翻覆、掉落事故

為擬定地區可能面對災害之威脅，需根據災害特性、歷史分析，故本計畫蒐集 85~95 年台南縣過去重大產業災害資料如下所示，其資料來源為工研院環安衛中心之重大事故資料庫所得，雖然已將其資料從民國 85 年蒐集建置到 95 年，因其僅針對非住宅地點之災害故案件數較少，在台南縣近幾年資料當中學校災害最常發生的類型為實驗室火災，再者產業非化學性災害佔 40.38%的比例係為最高，其次是產業化學性災害佔 30.77%，值得注意的是運輸災害近年來提高至 17.31%，以此為依據暫訂定台南縣人為災害境況模擬與情境設定的方向如下：

- 化學工廠火災與爆炸
- 科技廠房火災
- 化學槽車外洩

三、運作廠家篩選

3.1 篩選流程說明

本研究以環保署毒災防救查詢資料庫內容為背景，一一調查並統計台南縣各鄉鎮市運作廠商家數。藉查詢環保署網路申報系統資料庫中，可以知道台南縣毒化物運作廠場家數多達約 508 家；如圖 2 所示可知台南縣各鄉鎮區毒化物運作廠場家數百分比，以永康 152 家最多，新市 51 家第二、官田 43 家第三；其次為新營、善化、麻豆…等，發現永康、官田、與新營正好為台南縣境內工業區重鎮，新市鄉內亦有台南科學園區之因，所以本計畫將永康市列為首要分析目標，再來是新市、官田…等。

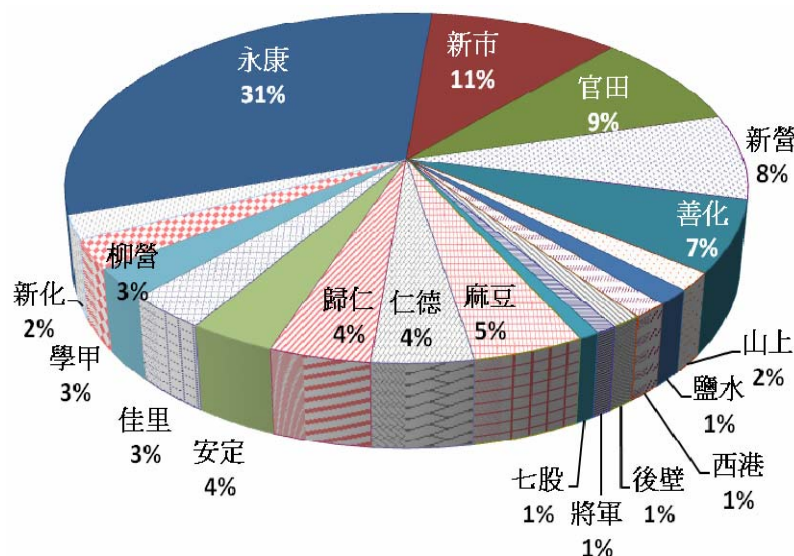


圖 2、台南縣各鄉鎮市毒化物運作廠場家數百分比

為符合經濟效益等因素，若要以執行前 110 大廠家，當作台南縣地區毒災潛勢分析風險評估之代表，在樣本廠家篩選過程便顯得非常重要。本計畫彙整基本相關資料多達 3738 筆，如何從五百多家廠商之中篩選具代表性廠場，必須設計一套原則性的步驟與流程(如圖 3 所示)，以下將說明本計畫篩選條件與原則。先由審慎收集資料中，將具有製造、輸入、販賣許可證或登記文件廠場挑出，即法規意義上具有大量運作性質之廠場；或是將具有危害性高物質(如第三類毒性化學物質、氣體)作為挑選條件，再來將運作物質皆為固態之廠商剔除。在未入選廠場中考量其運作物質種類多寡、是否位於工業區管轄或是否為人口密集高潛勢區，作為加選條件補足剩餘家數；刪除重複廠場資料，並再次確認基本資料內容後，邀請環保署、當地環保局、消防局…等相關單位，召開工作會議說明計畫目標進度，討論預選名單中應增加或刪除之廠家，並提出決議確定篩選名單，立即進行潛勢風險分析相關工作。

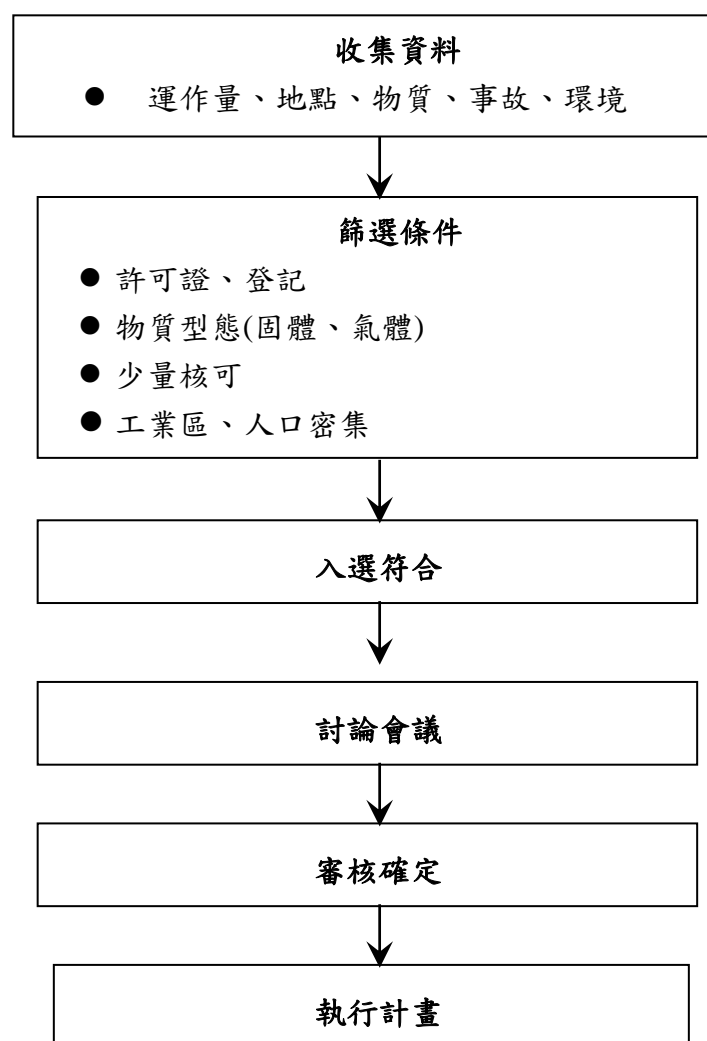


圖 3、前 110 家毒化物運作廠場篩選流程

3.2 篩選結果

從篩選方法發現，由於許可證條件入選者共有 8 家，而符合登記文件入選者共有 54 家，且符合氣體條件入選者有 21 家，還有其他屬實驗室類型為物種繁多共有 27 家入選，所以從原訂前 100 家廠場最後增加 10 家廠場，共 110 家。

四、潛勢分析模組適用性評估

4.1 擴散模式的比較

目前常用的擴散模式有美國環保署 (USEPA) 與海洋大氣署 (NOAA) 所開發的 ALOHA 程式，與荷蘭 DNV 公司所開發的 PHAST 程式，基本上兩種程式的基本擴散分析模式大致相同，以重質氣雲及高斯氣體擴散為基礎，主要的差異在許多參數的不同，例如地表粗糙度、都市或鄉鎮的選擇以及大氣溫度、溼度等參數，這些均會影響擴散的範圍及距離。

表 1、ALOHA 與 PHAST 整體比較

軟體	ALOHA	PHAST
價格	免費分享(FREE)	昂貴(年租金百萬元)
資料庫	上千種(可自訂)	較少，約 60 種物質
操作&程式	程式錯誤少，操作容易	藏有錯誤(bug)，造成當機，操作繁瑣
硬體需求	低，程式小	高，消耗系統資源，需較高階電腦
模擬時間	快速	長
模擬結果	較保守，較遠	較精確，較短
綜合評選	地區潛勢應以保守為宜，且無論在價格、資料庫或操作…上，皆較能符合本計畫需求。	此軟體屬慢工出細活類型，雖然程式較不穩定且操作較難又物質少…等缺點，但若無時間資金限制下，模擬結果較佳可列入考慮。

綜合上述結果從兩者軟體原有限制上，PHAST 限制於本計畫來說有一定程度的克服難度，如分析物質資料庫僅約 60 幾種，有新增困難費時數量多之缺憾；以本計畫研究目的來說，ALOHA 程式不但操作便利性能恰當且影響層面較小，以價格、資料庫、操作…等層面綜合評定後，故選用 ALOHA 做為擴散分析程式。

4.2 危害潛勢之定義

預估毒化物之危害潛勢分析之參數因子包含眾多，如氣象、地形、地物、人文活動行為等，為了本土化各項參數將蒐集調查台南縣如氣象參數(風向、風速、溫度…)，地形地貌參數(座標、高程、粗糙度…)做為參數設定相關背景，以符合現況。工安風險通常指對單一物質、場所、事件…評估危害風險；潛勢分析則指大範圍區域危害風險影響，又因人為性災害與天然性災害相比，人為災害之影響性區域較小且侷限場所，但若為毒化物災害，其影響性則可能很大，故仍需進行潛勢分析。一般風險定義為後果乘上發生機率，而後果通常定義為死亡人數，因完整的風險評估耗時過久，且本計畫所研究評估之對象區域廣、工廠家數繁多其化學物質也不盡相同，故簡化危害風險值定義為：

$$\text{危害風險值} = \text{危害半徑 (km)} \times \text{發生機率 (1s/yr)} \quad (1)$$

危害半徑與危害後果成比例，危害風險值係指每年可能發生災害的影響範圍。即區域內每年可能發生災害的次數。如欲考慮人口因素可將式(1)，改為下式，危害風險值係指每年發生災害的影響人數。

$$\text{危害風險值} = \text{危害半徑平方 (km}^2\text{)} \times \text{發生機率 (1s/yr)} \times \text{人口密度} \quad (2)$$

本計畫依據所蒐集之相關資料，比較 ALOHA 與 PHAST 程式模擬工廠毒化物洩漏擴散後果，選用 ALOHA 程式作為模擬工具，並假設最嚴重的情況 (worst-case) (表 3)，且以實務經驗之破孔大小與儲槽大小比例之關係，如表 4 所示，參考美國化工協會之儲槽破孔發生機率，如表 5 所示，將危害風險簡化為危害半徑 (km) 乘上發生機率 (1/yr)，即得危害風險值。

表 3、外洩模式最嚴重情況設定

項目	設定條件
洩漏時間	30 min
洩漏點	地平面
大氣狀態	F
風速	1.5 m/s
溫度	當地最高溫
溼度	平均溼度
測量點	2 meters
地形	城市 or 鄉下

表 4、儲槽大小與破孔大小尺寸關係

儲槽大小(TON)	破孔大小(in)
<10	2
≥10, <200	4
≥200, <2000	6
>2000	8

表 5、儲槽形式之破孔發生機率

形式	次/年
金屬(大)槽	0.00863
非金屬(小)槽	0.0103
壓力槽(球 or 橫式)	0.000955

通常毒化物之危害以毒性為主，故可用達到立即危害濃度(IDLH 或 TLV-C)的擴散範圍為危害半徑，以此種簡易的分析方法曾應用在高雄縣/市的所有毒化物場所，其所得的潛勢結果與過去所發生的事故相當符合，顯示此方法的可行性。但當毒化物伴隨有可燃性時，則其風險高於單純的毒性風險，例如福國化工爆炸的事故，雖然其外洩物質同時具有毒性與可燃性(如丙烯晴)，但最後卻是因蒸氣雲爆炸才造成重大的損失，故為求完整，風險潛勢中有必要再加入可燃性的危害。

由於可燃性的最大危害為蒸氣雲爆炸，池火或噴射火燄等的危害範圍有限，故本計畫將針對每一可燃性毒化物，再執行一擴散分析，但以達到爆炸下限(Lower Explosion Limits)的擴散範圍為可燃性危害半徑，則其最終之危害風險值將定義為：

$$\text{危害風險值} = \text{毒性危害風險值} + \text{可燃性危害風險值} \quad (3)$$

$$\text{危害風險值} = \text{毒性危害風險值與可燃性危害風險值，兩者取最大值} \quad (4)$$

五、繪製分析潛勢圖方法

本研究選用 SuperGIS 軟體提供地圖繪製、編輯、地理分析、網格影像等地理資訊系統之功能，作為毒化物災害潛勢分析結果之展示，利用其特性將預測危害結果資料轉化成具有空間分佈位向關係之潛勢分析圖，為達成災害潛勢分析之要求，資料庫應建立之圖形包含有，縣市界、鄉鎮區界、村里界、河流、鐵路、道路、機關設施、學校、公園綠地...等；應建立之屬性資料包含有，過去災例資料(時間、地點、損失...)、人口統計資料(各鄉鎮區、村里、女性、男性...)、工廠基本資料(座標、名稱、風險值...)及縣市、鄉鎮區、村里、道路...之名稱。潛勢分析圖將增加呈現各應變隊與消防分隊駐點，並將服務效能納入危害風險之考量；毒化災害發生分佈面積可推估可能受害影響人口數量，於未來發生緊急災害時做準備措施或計劃等後勤作業，提供一個最佳的決策支援系統。

藉 93 年高雄縣市毒化災分析潛勢方法得知，利用工廠定位座標創造點位於地圖上並建立 GIS 屬性資料，將工廠毒化物洩漏擴散後果以工廠為中心，並調查中央氣象局資料，與環保署測站資料，統計台南地區近十年來 16 方位平均風向出現機率(表 5 所示)，分別乘以其值，帶有風向機率之危害範圍其相互重疊區域的值做總加成，如圖 3 所示，之後輸出至 Suerfer 程式繪製危害風險等直線在套疊回 GIS 系統 SuperGIS 程式中。目前進度已將永康市各工廠座標定位，並以建置於 GIS 系統上。在無風情況下，假設危害範圍近似為正圓；若受風向影響，則需調查當地各方位風向機率，將無風情況下，危害範圍呈正圓形等分為 16 扇形，分別乘上其相對風向之機率。

表 5、台南地區 16 方位平均風向出現率

風向	機率	風向	機率
北北東	0.111564	南南西	0.048077
東北	0.07964	西南	0.033749
東北東	0.040417	西南西	0.037682
東	0.034838	西	0.032885
東南東	0.035974	西北西	0.03274
東南	0.045801	西北	0.065399
南南東	0.038196	北北西	0.078879
南	0.03518	北	0.230496

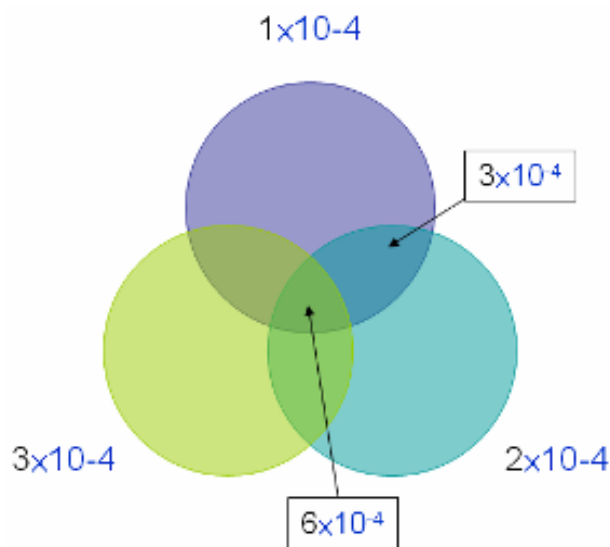


圖 3、風險重疊區加成示意圖

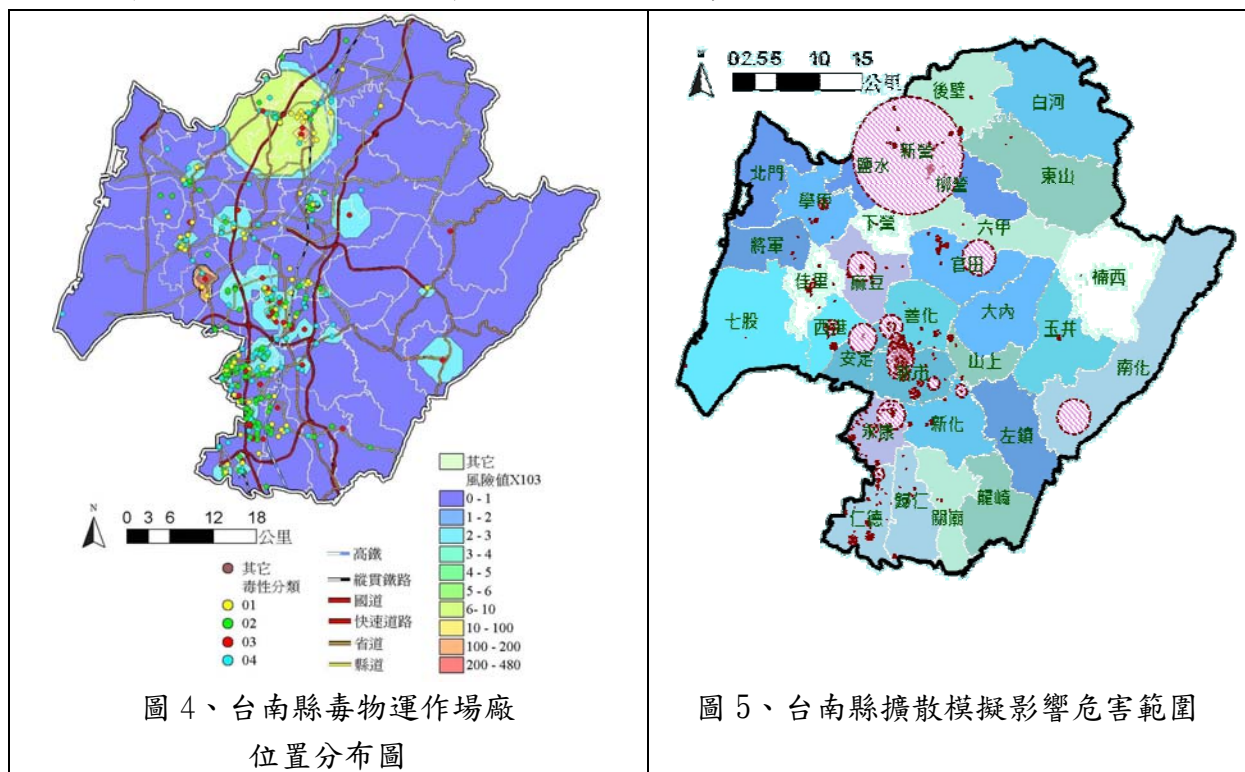
六、潛勢分析結果與討論

將 ALOHA 結果應用在災害的潛勢分析及後果分析上，也可作為事故發生時緊急應變之參考，並考量影響化學物質擴散之因子如化學物質種類及風速、風向、溫度、溼度等大氣條件、儲槽型式、儲存量(體積)、破孔直徑、破孔位置等危險度因子及時量平均濃度 (Time Weighted Average, TWA)、立即危害濃度 (Immediately Dangerous to

Life or Health level, IDLH) 等指標。

圖 4 為台南縣毒物運作場廠位置分布圖，紅色圓點表第三類毒性化學物質分佈位置，黃色圓點表第一類毒性化學物質分佈位置，綠色圓點表第二類毒性化學物質分佈位置，其餘淡藍色圓點表示第四類毒性化學物質分佈位置。圖 5 台南縣擴散模擬影響危害範圍，顯示由 ALOHA 擴散模擬影響範圍以新營市最大，表示此區域內具危害性或儲量高之毒化物質，而麻豆、官田、善化、新市、永康、南化各區內亦有高危害性物質影響，而以善化、新市、永康、仁德密度較高。圖 6 為台南縣固定式毒化物災害潛勢圖-有風向未篩選前(火災+爆炸+洩漏)，圖 7 為台南縣固定式毒化物災害潛勢圖-有風向篩選後(火災+爆炸+洩漏)，圖 8 為台南縣固定式毒化物災害潛勢圖-有風向篩選後(火災、爆炸、洩漏，三者取大)，圖 9 為台南縣固定式毒化物災害潛勢圖-有風向篩選後(半徑平方×人口密度)，由圖可知風險定義取「危害半徑平方×人口密度×頻率」比選擇「危害半徑×頻率」更能彰顯社區危害的潛勢，圖 10 為台南縣避難場所位置分布圖，圖 11 為台南縣救災單位位置分布圖。

依據工廠風險值高低可進行危害分級，將分為嚴重危害、高度危害、中度危害、輕度危害與無危害五大類別，最高至最低分別由不同顏色作區分，依序由紅色為表示最危險，轉為黃色表示中度危險，顏色綠表示風險度值低，而藍色表示風險度值甚低或無潛在影響力。並依區域的毒化災潛勢分析結果，與縣市政府環保及救災支援單位，其現行人力、器具等資源配置，通盤考量比較優缺點、適用性探討及可行性，俾作為日後縣市政府環保及救災支援單位災害應變之參考。



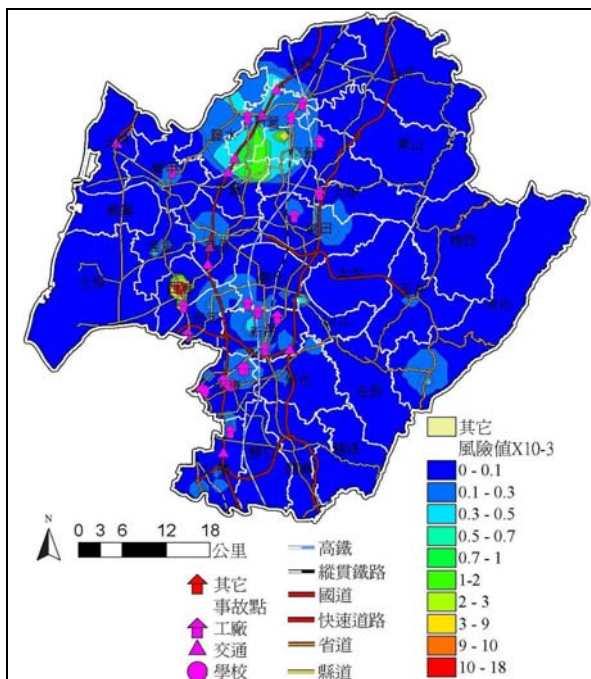


圖 6 台南縣固定式毒化物災害潛勢圖-有風向未篩選前(火災+爆炸+洩漏)

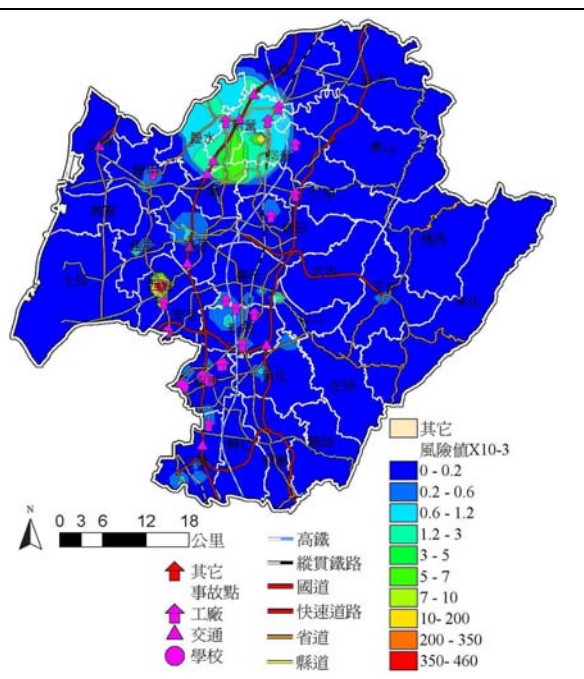


圖 7、台南縣固定式毒化物災害潛勢圖-有風向篩選後(火災+爆炸+洩漏)

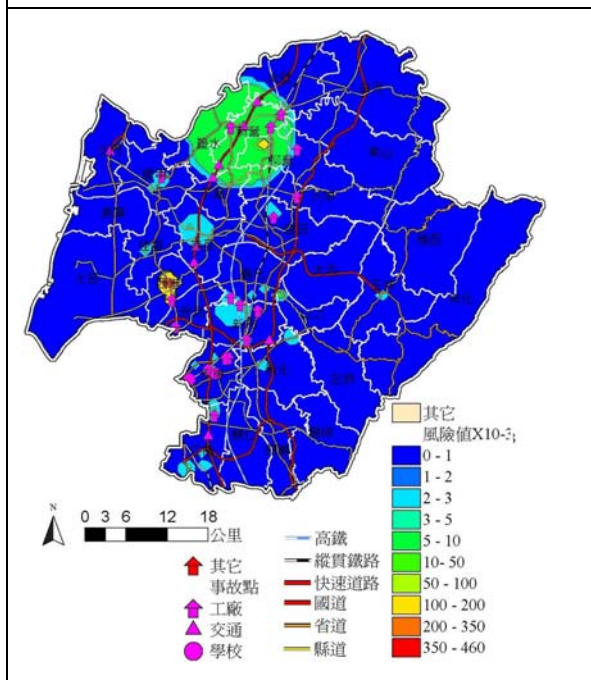


圖 8、台南縣固定式毒化物災害潛勢圖-有風向篩選後(火災、爆炸、洩漏，三者取大)

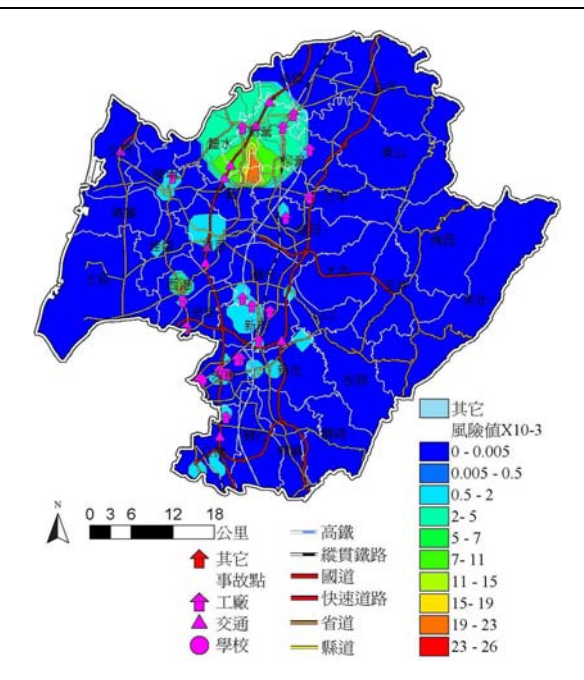


圖 9、台南縣固定式毒化物災害潛勢圖-有風向篩選後(半徑平方x人口密度)

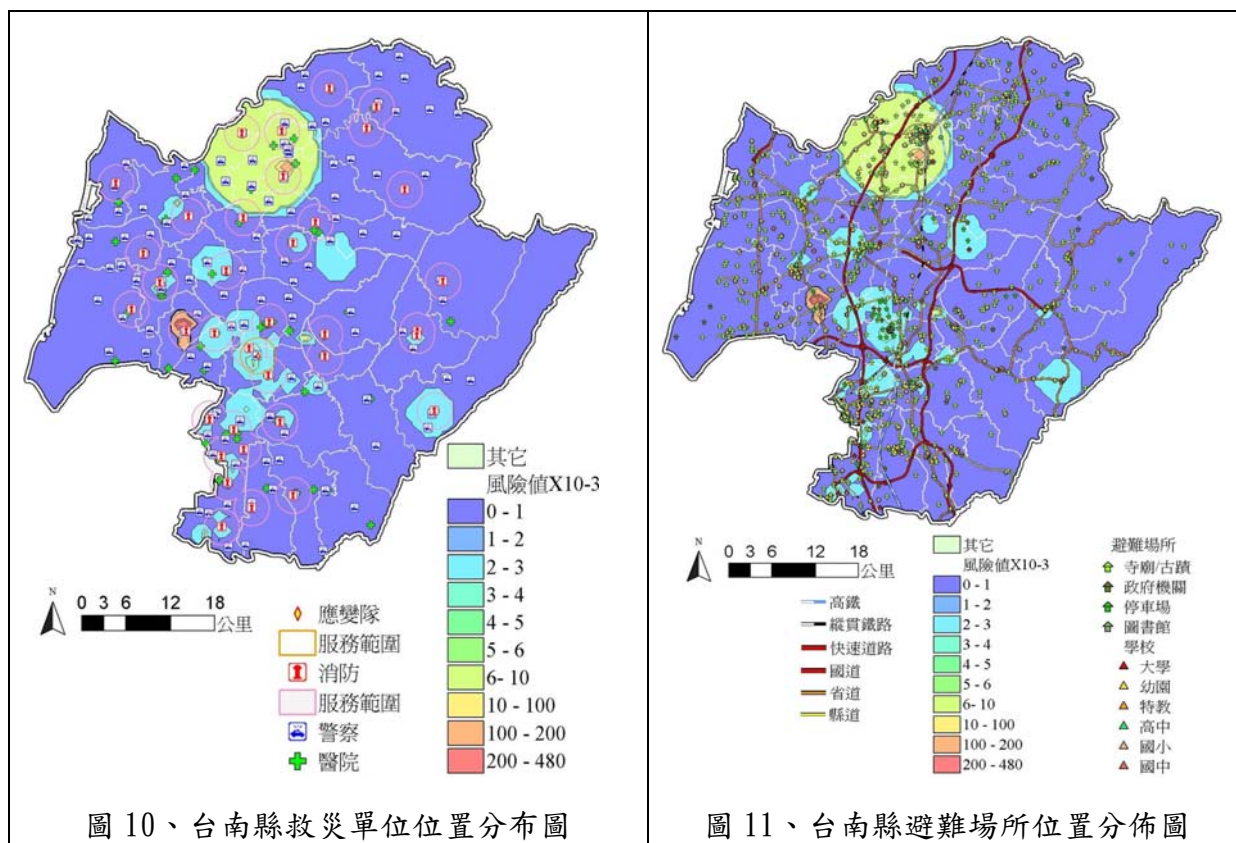


圖 10、台南縣救災單位位置分布圖

圖 11、台南縣避難場所位置分佈圖

參考文獻

1. 中鼎工程股份有限公司，化學災害現場預防資訊體系計畫，1992
2. 行政院環境保護署毒管處，第二屆化學災害預防技術研討會論文集，1995
3. 泰興工程顧問股份有限公司，調查規劃化學災害預防及應變處理示範計畫，1992
4. 國立高雄第一科技大學，加強高雄縣市人為災害防救計畫，2003
5. 國立高雄第一科技大學，加強高雄縣市人為災害防救計畫，2004
6. 國立高雄第一科技大學，加強高雄市災害防救計畫，2005
7. 環保署毒性化學物質災害防救資料庫，<http://61.30.108.131/>
8. 環保署毒性化學物質網路申報系統，<http://flora2.epa.gov.tw/toxicweb/>
9. 環保署環境資料庫，http://edb.epa.gov.tw/index_eme.htm
10. 環保署毒性化學物質管理系統，<http://flora2.epa.gov.tw/toxicweb/>
11. 工研院環安中心重大災害資料庫，<http://www.cesh.itri.org.tw/info/>
12. 行政院災害防救委員會，<http://www.ndppc.nat.gov.tw/>
13. J. R. Chen, 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.
14. AIChE, Guidelines for Process Equipment Reliability Data, with Data Tables, American Institute of Chemical Engineers, 1989.
15. Cowl, D. A. and J. F. Louvar, *Chemical Process Safety*, 2nd ed., Prentice-Hall, 2002.
16. DNV Technica, *Process Hazard Analysis Software Tools*, User Manul, 2002.
17. K. S. Fan, S. C. Huang, J. R. Chen, "Hazard Potential Analysis for Freeway Transportation of Toxic Substances", 20th CCPS Conference, Atlanta, USA, 2005.
18. EPA, ALOHA (Areal Locations of Hazardous Atmospheres) code, <http://www.epa.gov/ceppo/cameo/aloha.htm>, 2007.