

毒化災應變網絡關係之研究— 以大甲幼獅工業區為例

The Study on the Social Network Analysis of Toxic Chemical Substance Disaster

漆家圓 Chia-Yuan Chi[※]

吳榮平 Zong-Ping Wu^{※※}

吳念蓁 Nian-Jhen Wu^{※※※}

摘要

工業區內的化工製程一旦發生事故，最嚴重可能觸發毒化災害風險。本研究利用地震衝擊資訊平台，分析大甲斷層發生嚴重錯動後的衝擊影響，再以模擬分析所得的重災區之一，臺中市政府消防局第五救災救護大隊轄區，假設區內大甲幼獅工業區的○○化學公司因地震後發生意外事故，進行應變網絡分析。結果顯示臺中市政府消防局、臺中市政府環保局及事故廠，呈現三核心網絡關係。事故廠在整場事故應變的過程中，居資訊的中心，也是初期應變的關鍵角色。其次，在毒化災應變過程中，提供專業諮詢的中區環境事故資訊小組，卻是需經由臺中市政府環保局的聯繫，才能與現場應變的主力—臺中市政府消防局搭上線，存在資訊溝通落差的問題。消防機關在面對工業火災事故中潛伏的毒化災風險，是否具備應有的技能與智能，本研究也一併提出建議。

關鍵字：毒化災、工業火災、TERIA、社會網絡分析

收稿日期：2023 年 10 月 10 日；通過日期：2023 年 12 月 22 日。

※中央警察大學防災所碩士，臺中市政府消防局隊員（通訊作者：happybird1219@gmail.com）。

※※中央警察大學防災所副教授。

※※※中央警察大學防災所碩士，臺中市政府消防局隊員。

Abstract

Once an accident occurs due to the chemicals used in factories, in the worst case, there is a risk of triggering a toxic chemical substance disaster. This study uses TERIA to set up the impact analysis after the serious dislocation of the Dajia Fault, and analyzes the strain network based on an assumption which a chemical factory has an accident after an earthquake incurs. The study found that the department of fire, the department of environmental protection and the factory where the accident occurred showed a three-core network relationship throughout the emergency response exercise. The factory where the accident occurred occupies a very important position in the entire accident response process. It is the center of information and the main force in the initial response. Secondly, Eric, which plays an important professional consulting role in the response to toxic chemical substance disasters, needs to be contacted by the department of environmental protection before he can get on line with the department of fire, the main force in on-site response, resulting in a gap in professional information communication at the accident site. This study also provides suggestions on whether the department of fire has the necessary skills and intelligence to face the potential risks of toxic chemical disasters in industrial fire accidents.

Keywords: Toxic Chemical Substance Disasters, Industrial Fires, TERIA, Social Network Analysis

壹、前言

一、研究動機與目的

工業區的開發與運營，對於我國經濟發展至關重要，隨著時代的演變與科技的進步，工業區也呈多樣化的發展，如科技產業園區、石化工業區、科學工業園區等高值化產業的工業區開發、設立，大量化學原物料、成品的使用與產出，工業區運營的同時，也潛藏著高災害風險。此外，依照其主管機關、產業別或規劃特性不同而有不同之名稱，分別為：經濟部產業園區管理局（簡稱園管局）主管之科技產業園區、行政院國家科學及技術委員會（簡稱國科會）主管之科學工業園區、行政院環境部（簡稱環境部）主管之環保科技園區、行政院農業部（簡稱農業部）主管之農業生物科技園區，以及由地方政府或民間組織開發之工業區或工業園區等用地系統。

為因應臺灣地小人稠的空間限制，各種工業區的開發與發展，勢必轉向高值化的生產與研發，近年來的高科技產業發展，加上過去支撐臺灣經濟成長的石化園區、科學園區等高值化產業，其間的各项工業製程中，所使用與產出的化學原物料、成品種類繁多，包含具有毒性、可燃性、甚至是爆炸性的化學物質，潛藏著高災害風險（中央災害防救委員會，2018）。例如，2020年12月20日桃園市蘆竹海湖工業區的旭富藥廠火警案、2023年7月14日高雄市楠梓科技產業園區的日商塑美貝科技公司化學原料槽大火，以及2023年9月22日屏東科技產業園區的明揚國際科技股份有限公司工廠大火，為因應工廠持續的火災、甚至爆炸，不得不緊急調集臨近縣市的救災單位參與協助救災，形成跨域協力的災害應變態樣，而其間的應變網絡關係，是為本研究所要探討的重點。

二、個案選定

本研究以2019年臺中市政府環保局，在大甲幼獅工業區內的○○化學公司幼獅廠所進行的「無預警」毒性化學物質災害應變防救演練為討論個案，該演練情境假設中部地區發生大規模地震，臺中市大甲日南工業區○○化學公司幼獅廠建物受損，廠內毒化物（甲醛）供應商正在進行甲醛灌裝作業，受地震影響致使甲醛儲槽灌裝管線脫落，儲槽區出現甲醛異常洩漏情形，灌裝司機因吸入甲醛造成身體不適的情形下，後續所推演的化災應變演練情境，並以社會網

絡分析 (Social Network Analysis, SNA) 的分析軟體 UCINET, 將各項網絡指標數據視覺化成網絡圖, 進行圖形式的應變網絡分析。

凡涉及化學物品的災害本身, 即具有一定的特殊危險性, 尤其是近年來發生過幾起重大工業區的火災、爆炸甚至是毒性化學物質外洩事故。特別是在屏東明揚國際科技股份有限公司工廠大火, 造成 4 位消防人員殉職, 超過百人受傷的情況下, 毒化災事故的應變機制問題更加迫切和重要。期能透過應變網絡的呈現與討論, 梳理各參與應變的行動者 (即節點) 之間, 在災害應變網絡中的連結情形 (即連線), 供未來精進應變作為的參考。

貳、文獻回顧

一、地震衝擊評估

有鑑於台灣位處於環太平洋地震帶上, 以及 1995 年的阪神大地震對日本神戶地區造成的重大損害, 為求防範於未然, 我國開始了地震衝擊評估的研究, 並於 1998 年引進美國的地震災害損失評估系統 HAZUS, 仿照其分析架構並參酌我國地質結構、社經特性, 以及 1999 年 921 大地震的經驗, 於 2000 年開發完成一套專屬我國的地震災害損失評估系統 HAZ-Taiwan。該系統由使用者設定地震的規模與震源參數, 利用內建的地震災害損失分析模組進行分析評估與境況模擬, 模擬推斷不同工程結構物, 如一般建築物、重要設施、交通系統和民生系統等之不同損害程度的機率, 與可能的災損金額為何, 期能整合地震災害潛勢分析, 進行各類建築物受災評估、可能引發之二次災害及社會經濟衝擊等, 地震後的災損預測與評估。

為使震災境況模擬能擴展應用範圍, 以適應不同使用者之需求與精確度不同的資料來源, 國家地震工程研究中心重新開發一套適合臺灣地區使用之「臺灣地震損失評估系統 (Taiwan Earthquake Loss Estimation System, TELES)」(以下簡稱 TELES)。2010 年起開始有學者將 TELES 震損評估子系統之各項模擬資料庫與地震早期評估系統、地理資訊系統進行整合, 開發「地震防災應變資訊網」。目標為將地震相關之活動斷層、歷史地震資料、動態人口、路網、建築物、橋梁、校舍、地下管線等資料 E 化, 提供有授權許可之使用者, 可隨時隨

地利用網際網路進行相關資訊之查詢與瀏覽，並結合網路地理資訊系統，以地圖式系統操作介面呈現空間分析等，成為自主完成的本土化地震早期損失評估系統。

為使地震衝擊空間分布之評估越趨細緻，國家災害防救科技中心自 2013 年起，結合歷年研究成果與參考國內外相關文獻，確立地震衝擊之相關評估方法，於 2014 年研發單機版地震衝擊評估研究與資訊應用平台。因單機系統使用之侷限性且因應科技發展欲開發遠端評估計算功能，於 2015 年建立地震衝擊資訊平台(Taiwan Earthquake Impact Research and Information Application, TERIA)。國家災害防救科技中心自行開發撰寫分析模組，如地動、土壤液化潛勢、建物、人口、道路、橋梁、供水及電力等衝擊分析模組串接至 TERIA，並網格化相關衝擊分析技術資訊。為拓展 TERIA 之應用範圍，2016 年除進行 TERIA 使用介面、分析圖臺之改版、新增避難人口、鐵道橋樑、危害物質管線、坡地災害潛勢等分析模組，並改寫原先之地動、建物分析模組，為地震災害衝擊的評估與分析，建構了方便操作的資訊平台（吳佳容、劉淑燕、柯明淳、黃明偉、鄧敏政、吳秉儒、吳子修、柯孝勳，2017）。

本研究情境假設臺中地區大甲斷層錯動發生芮氏規模 6.8、深度 10.0 公里的強烈地震，並利用 TERIA，模擬臺中地區可能發生的災損情境，主要聚焦於建築物受災區域的分佈，據以作為選定模擬區一大甲幼獅工業區，以及相關災害情境想定的依據。

二、社會網絡分析

社會網絡是社會科學中的一個概念，它是一種強大的分析工具，用於調查複雜的社會關係模式和人與環境糾葛。社會網絡以社會科學研究中兩種通用方式之一來表示（Jones and Faas, 2017）：

1. 比喻或啟發式，作為描述性或分析性概念，概括研究人員在特定情境中感知到的關係或互動模式，或者作為系統觀察關係和互動的指南。
2. 作為衡量個人或整體（即行動者）關係或互動模式的正式系統，採用源自圖論的一項或多項計量（如密度、中心性、橋接等），以及最近檢查複雜性和網絡變化。

社會網絡分析 (Social Network Analysis, SNA) 約 30 年前從人類學與社會心理學發展而成，作為當代社會學研究的關鍵技術方法，它同樣在生物學、傳播學、經濟學、地理學、歷史學、資訊科學、政治學、考古學、發展研究，以及社會語言學等學科中有著重要作用，至今已被用來探討各種不同的領域及議題，且已被廣泛使用 (楊雅雯, 2020)。

社會網絡分析確定研究對象跟網絡邊界後的下一個步驟，便是資料蒐集與分析網絡關係屬性及類型。一般而言，社會網絡類型可分為三類，即個體網 (Ego Network)、局域網 (Partial Network) 及整體網 (Whole Network 或 Complete Network)，依據研究者研究設計需求採取適當類型，直接影響樣本大小 (榮泰生, 2013; Hanneman and Riddle, 2013)。

本研究採取整體網方式蒐集資料，透過分析軟體工具 UCINET 之運用，可宏觀分析整體網絡的特性及結構，例如接近中心性、中介中心等。社會網絡分析在防救災領域的運用，可以透過視覺化行動者之間的關係，更清晰地呈現災害應變網絡的結構和特點。這有助於指導防救災行動，提升應變效能，同時也為未來災害應變機制的改進提供有價值的參考。

三、小結

綜合地震衝擊評估和社會網絡分析的研究成果，TERIA 的應用，不僅提供了更細緻的地震衝擊空間分布評估，還整合了多項分析模組，為地震災害的評估和分析提供了更方便操作的資訊平台。而透過 UCINET 分析軟體，研究者可以掌握整體應變網絡的特性。

本研究結合這兩項分析工具，運用 TERIA 以科學工具和資訊基礎分析出災害情境預測，接著透過 UCINET 分析整體應變網絡結構，毒化物災害應變網絡進行系統化的分析，希望為未來災害應變機制的改進提供參考。

參、研究設計

本研究以中部地區因大甲斷層錯動而發生大規模地震，臺中市大甲幼獅工業區○○化學公司幼獅廠建物受損，在此同時，廠內毒化物（甲醛）供應商正在進行甲醛灌裝作業，受地震影響致使甲醛儲槽灌裝管線脫落，儲槽區出現甲醛異常洩漏情形，灌裝司機因吸入甲醛造成身體不適的情形下，後續所推演的化災應變演練情境，並以 SNA 分析軟體 UCINET，將各項網絡指標數據視覺化成網絡圖，進行圖形式的應變網絡分析。據以檢視毒化災事故時，相關救災應變單位的通報及應變之防救災策略，提出未來的因應策略建議。

一、大規模地震災害境況模擬

(一)地震參數設定

本研究參考 2019 年度國家防災日之情境設定，運用國家災害防救科技中心開發之 TERIA，模擬大甲斷層在日間錯動，發生芮氏規模（ML）6.8、地震深度 10.0 公里之地震，藉以評估臺中市轄內受災情境及災損，作為本研究假設的災害型態並進行搶救情境探討的依據。

(二)人口數

運用 TERIA 進行地震後災害境況模擬分析（圖 1），空間範圍以臺中市政府所轄行政區界。依據我國現行之地震震度分級演算程序，得出本次模擬之地震震度分級分布圖（圖 2）。

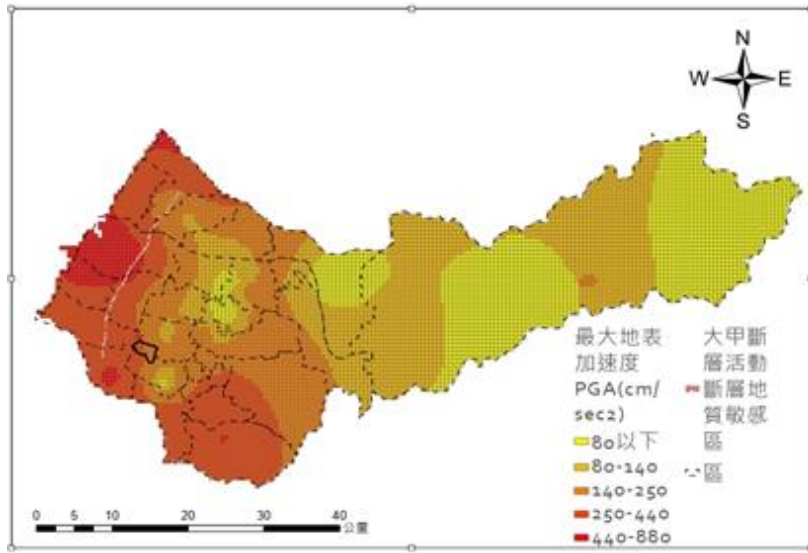


圖 1、大甲斷層地震 PGA 分布

資料來源：研究者自繪

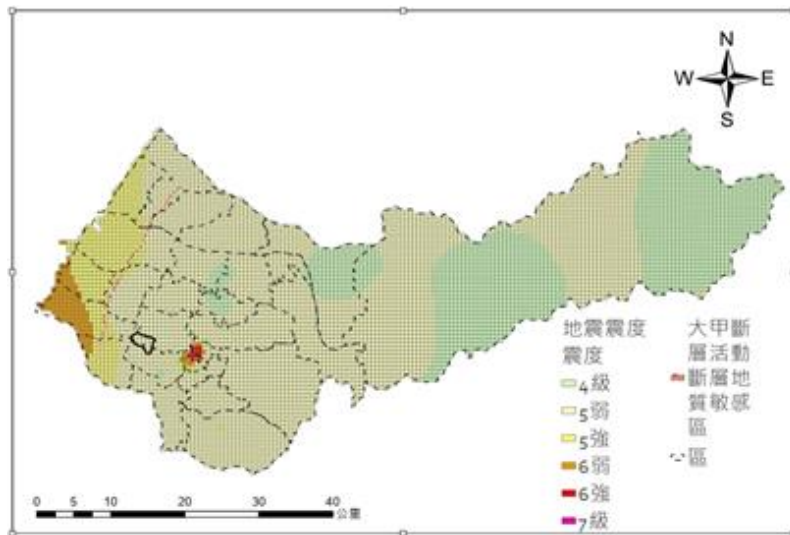


圖 2、模擬之地震震度分級分布圖

資料來源：研究者自繪

(三)建築物受損分佈評估結果

因本研究以工廠受大規模地震影響而導致化學物品外洩的受災情境，因此，僅呈現臺中市轄內建築物的受損分佈推估。從圖 3、圖 4 及圖 5 可發現臺中市範圍內建物部分倒塌較嚴重行政區為清水區、梧棲區、大里區、霧峰區、大肚區、龍井區、沙鹿區、大甲區等，老舊建物部分倒塌較為嚴重行政區為清水區、梧棲區、霧峰區、大里區、大肚區、沙鹿區、龍井區、大甲區等。而臺中市各行政區之建物、老舊建物嚴重及完全損壞棟數如表 1 所示。

而大甲幼獅工業區所在位置處臺中市東北端，屬第五救災救護大隊轄區範圍內，如果推估的地震真實發生，該區可能成為主要的受災區之一。本研究即基於此一情境假設，所導致的化學災害，進行化災應變演練情境模擬分析。

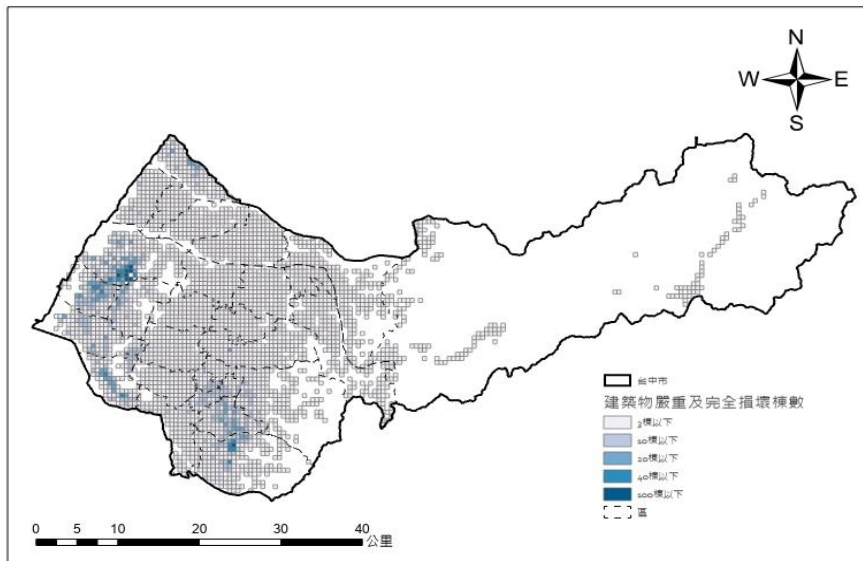


圖 3、建築物嚴重及完全損壞棟數

資料來源：研究者自繪

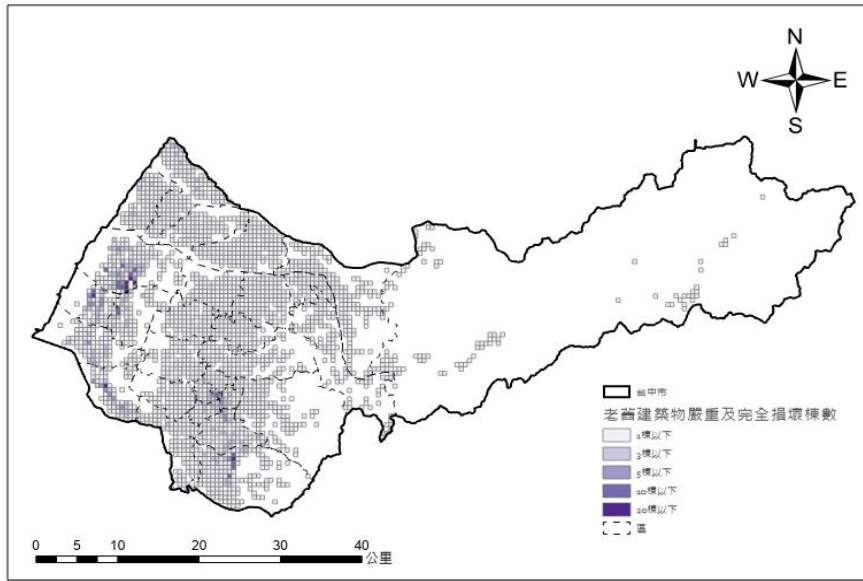


圖 4、老舊建築物嚴重及完全損壞棟數

資料來源：研究者自繪

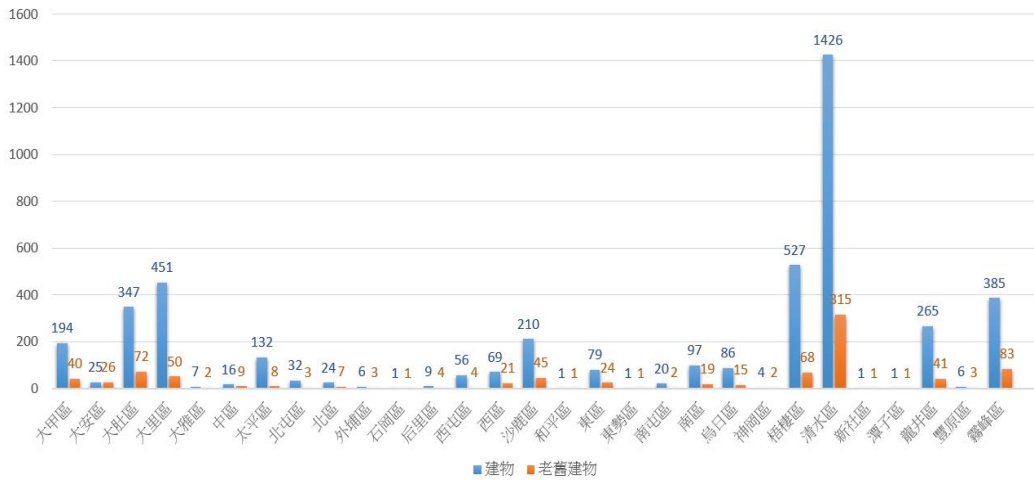


圖 5、建物及老舊建物嚴重及完全損壞棟數

資料來源：研究者自繪

表 1、臺中市各行政區建物、老舊建物嚴重及完全損壞棟數

	包含行政區	建物嚴重及完全 損傷棟數	老舊建物嚴重及 完全損傷棟數
第一救災救護 大隊	豐原區、潭子區、 神岡區、大雅區	17	5
第二救災救護 大隊	東勢區、和平區、 石岡區、新社區	2	1
第三救災救護 大隊	大里區、霧峰區、 太平區、烏日區	1,053	156
第四救災救護 大隊	沙鹿區、龍井區、 大肚區、清水區、 梧棲區	2,773	540
第五救災救護 大隊	外埔區、大甲區、 后里區、大安區	2,716	72
第六救災救護 大隊	南屯區、西區部分 里別、西屯區部分 里別	66	4
第七救災救護 大隊	北區部分里別、西 區、東區、中區、 南區、西屯區部分 里別	267	73
第八救災救護 大隊	北區部分里別、北 屯區	61	7
	總棟數	6,955	858

資料來源：研究者自行彙整

二、災害情境想定

本研究的災害情境，係假設大甲幼獅工業區○○化學公司幼獅廠，在發生地震當下，廠內毒化物（甲醛）供應商正在進行甲醛灌裝作業，受地震影響致使甲醛儲槽灌裝管線脫落，儲槽區出現甲醛異常洩漏情形，灌裝司機因吸入甲醛造成身體不適，毒化物洩漏的搶救程序，列述如表 2。

表 2、大甲幼獅工業區○○化學公司毒化物災害的搶救程序

步驟	毒化物洩漏的搶救程序
1	甲醛儲槽灌裝，地震引發洩漏，一名員工因吸入甲醛造成身體不適倒臥在儲槽區附近。
2	報告廠長，成立應變指揮中心，通報鄰近廠區和相關機構。
3	鄰近公司啟動應變機制，展開疏散。
4	廠區指揮中心劃定警戒區，執行管制，進行初步應變。
5	環保局接到通報，通報相關單位，請求專業技術支援。
6	消防局接手指揮，進行危害辨識與災情評估，制定行動方案。
7	警察協助現場交通管制。
8	地區運作組織成員支援搶救，提供應變器材。
9	指揮權轉移至環保局，進行現場環境監測。
10	技術小組提供應變資料，進行現場環境監測。
11	空氣檢測、疏散避難準備，報告給民政局。
12	截流廢水，引導水槽車處理，協助除污作業。
13	應變人員圍堵、止漏，聯繫供應商協助移除車輛。
14	毒物控制，人員除污後進入冷區。
15	技術小組檢測空氣無危害，宣佈事故解除。
16	事故解除，公司進行環境除污及清理廢棄物。

資料來源：臺中市政府環境保護局 (2019)

肆、資料分析與結果

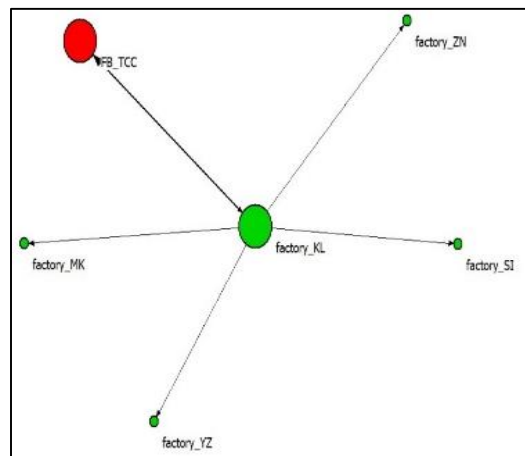
一、網絡分析圖 - 以每隔 10 分鐘進行時間片切割

根據前述以大甲幼獅工業區 OO 化學公司幼獅廠發生的災害情境與應變程序想定，提取參與事故緊急應變行動的相關單位（即行動者），包括：臺中市政府消防局、臺中市政府警察局、經濟部工業局工業區服務中心、經濟部工業局大甲幼獅工業區服務中心污水處理廠、環保署中區環境事故專業技術小組、三晃股份有限公司大甲廠、永日化學工業股份有限公司臺中幼獅廠、新能化工股份有限公司、馬光化學工業股份有限公司、長春人造樹脂廠股份有限公司彰濱廠等。這些單位皆為模擬災害救災網絡的行動者，同時也是本研究第一階段社會網絡中的節點。本研究依據毒性化學物質災害防救業務計畫及臺中市災害防救計畫內容進行演練，參照演練實況內容後，統整出行動者間災害應變網絡連結情形（圖 6）。

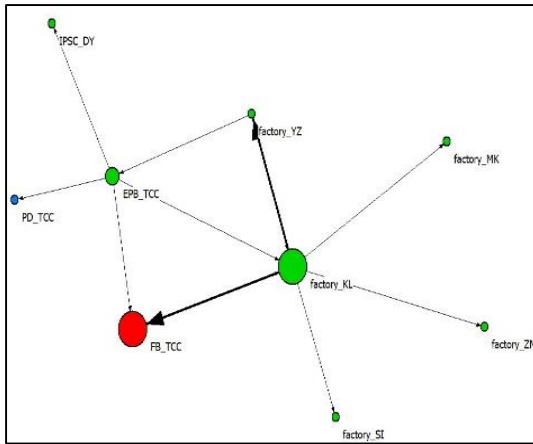
由於採「無預警」方式進行，整場演習時間序約為 110 分鐘，所產出之網絡圖線條會較於複雜，不易以淺顯易懂地解釋，公私部門間與私部門間緊急應變過程中的來往情形，故分析網絡圖以 10 分鐘為一個時間段作切割，俾利明確表現公私部門及單獨私部門群體（即各行動者）之間的關係，分析成果如圖 6。

● FB_TCC	臺中市政府消防局。
● PD_TCC	臺中市政府警察局。
● EPB_TCC	臺中市政府環保局。
● STP_DYIP	大甲幼獅工業區污水處理廠。
● EIST_CT	中區環境事故專業技術小組。
● IPSC_DY	大甲幼獅工業區服務中心。
● factory_KL	OO 化學工業股份有限公司幼獅廠。
● factory_YZ	永日化學工業股份有限公司臺中幼獅廠。
● factory_SI	三晃股份有限公司大甲廠。
● factory_ZN	新能化工股份有限公司。
● factory_MK	馬光化學工業股份有限公司。
○ factory_CC	長春人造樹脂廠股份有限公司彰濱廠。

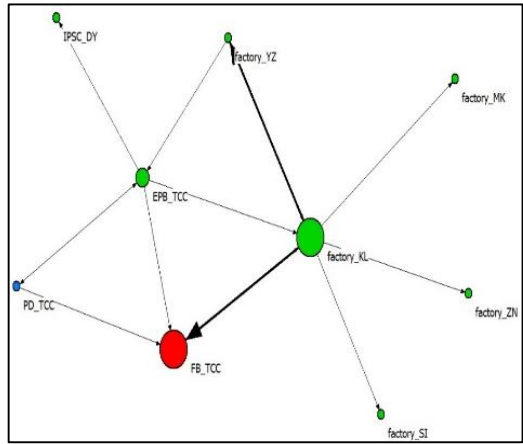
工業區演練各行動者代號及名稱



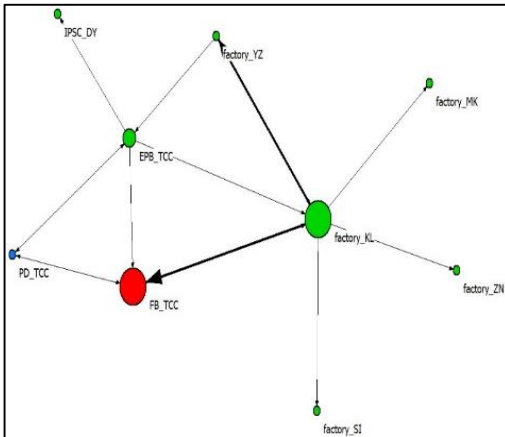
第 10 分鐘



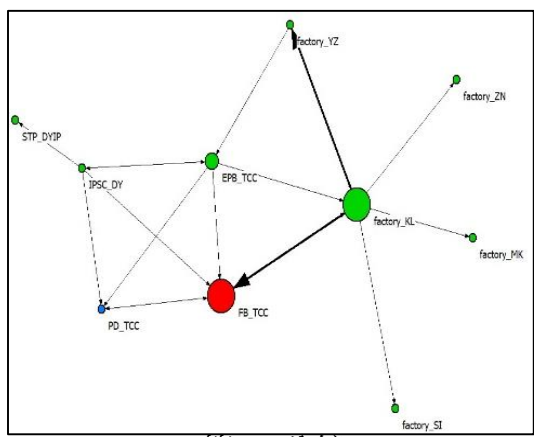
第 20 分鐘



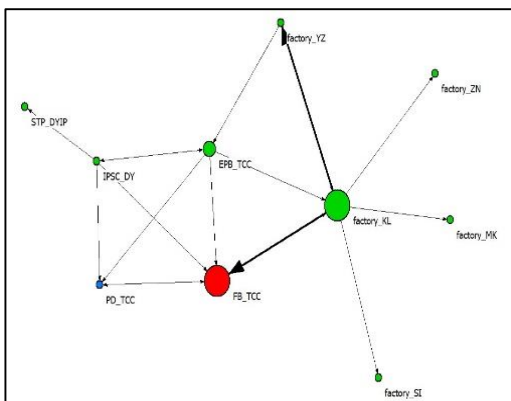
第 30 分鐘



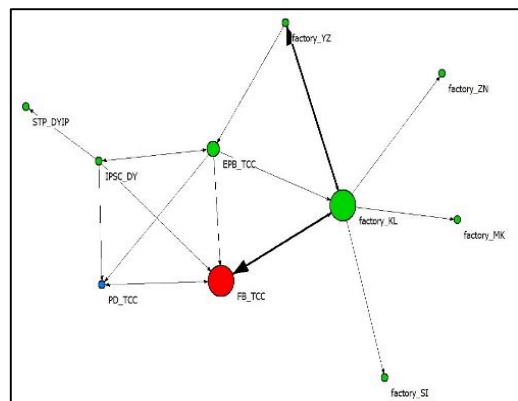
第 40 分鐘



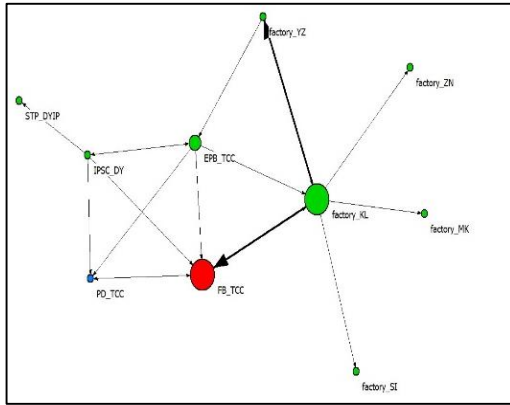
第 50 分鐘



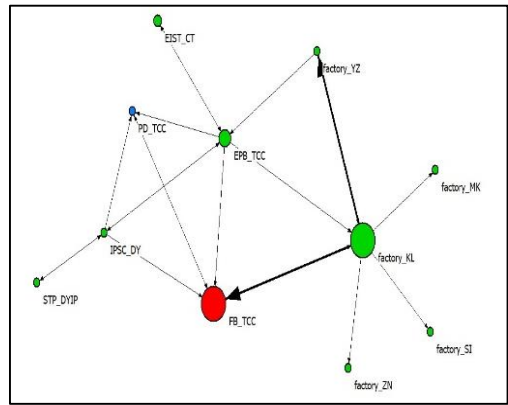
第 60 分鐘



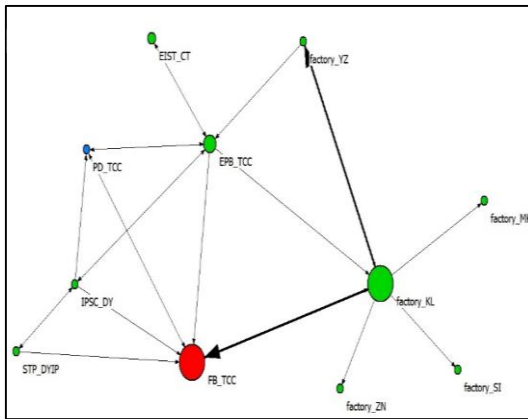
第 70 分鐘



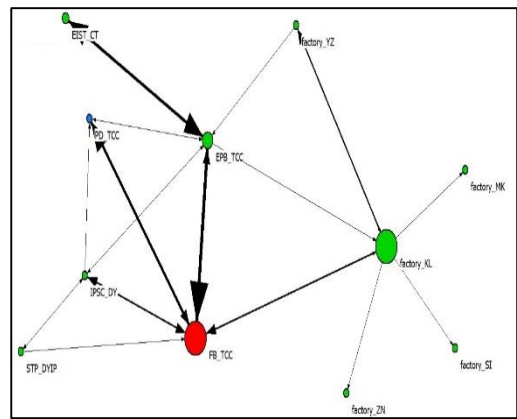
第 80 分鐘



第 90 分鐘



第 100 分鐘



第 110 分鐘

圖 6、後果模擬危害影響範圍

資料來源：研究者自繪

根據圖中的節點（行動者）和連線（互動關係）的數量，可以發現該網絡呈現出中心性分布不均、節點度數不平衡的特點。其中，一些節點成為了網絡的關鍵成員，這些節點的中介中心性比其他節點高得多，因此這些節點在網絡中具有更大的影響力。

到了第 110 分鐘時，臺中市政府消防局（FB_TCC）、臺中市政府環保局（EPB_TCC）、大甲幼獅工業區服務中心（IPSC_DY）、OO 化學公司幼獅廠（factory_KL）等機構的節點依然是網絡中心，這些節點仍然是訊息傳遞和資源協調的關鍵角色。與前幾個時間點相比，許多新的節點加入了網絡，例如新的工廠和政府機構，這些新節點與之前的節點形成了更加複雜和密集的關係。

在這些時間點中，網絡中各個節點之間的互動和聯繫呈現出動態的變化，其中一些節點具有更高的中介中心性和節點度數，這些節點在網絡中扮演著關鍵的角色，對於訊息傳遞、資源協調和災害應對都發揮著至關重要的作用，這些指標將在下一節分析。

二、網絡關係指標分析

本研究採取整體網方式蒐集資料，透過 UCINET 分析個案呈現災害應變網絡，運算分析整體網絡的特性及結構，包含入度點度 (In-Degree Centrality)、接近中心度 (closeness centrality)、中介中心度 (betweenness centrality) 等。這些指標提供了深入的數據分析，有助於理解每個行動者在應變網絡中的地位 and 角色。透過分析這些中心性指標，研究者可以識別出關鍵行動者，了解信息流通的效率，並評估整體應變網絡的強韌性。這不僅為視覺化提供了更深層次的解釋，也為未來應變機制的改進提供了有價值的參考。

入度點度 (In-Degree Centrality)、接近中心度 (closeness centrality)、中介中心度 (betweenness centrality) 是本文使用的主要指標。UCINET 的應用通常包括計算這些指標，以便更好地理解網絡結構和節點之間的相互關係。以下是各網絡分析指標的定義：

入度點度 (In-Degree Centrality)：表示網絡中有多少個節點指向特定節點。在有向網絡中，入度點度高的節點表示有較多其他節點指向它，可能是一個重要的信息接收者。

接近中心度 (Closeness Centrality)：衡量一個節點到達網絡中其他節點的平均最短路徑長度。接近中心性高的節點與其他節點之間的距離較短，更容易快速與其他節點交換信息。對於 OO 火警的網絡，接近中心性可以用於找出哪些單位更加靠近其他單位，以及哪些單位更加遠離其他單位。較高的接近中心性可能表示著該單位更容易與其他單位溝通和合作。

中介中心性 (Betweenness Centrality)：衡量一個節點在網絡中的中介地位，即它在最短路徑中擔任橋樑的次數。中介中心性高的節點在不同部分之間的信息流動中起到關鍵的中介角色。對於 OO 火警的網絡，中介中心性可以用於找出哪些單位在不同單位之間起著更重要的傳遞訊息的作用。較高的中介中心性可能表示著該單位在協調和溝通上更加重要。

這些指標可幫助分析網絡中節點的相對重要性、中心性和連接性。在本研究個案分析中，臺中市政府環保局（EPB_TCC）與所有目標節點連結的數量達 11 次，進行災情蒐集通報及應變，並督導事故廠商進行回收及清理作業，協助事故現場環境偵測及採樣作業協助調度空品監測車進行周邊環境監控。而臺中市政府消防局與所有目標節點連結的數量達 12 次（表 3），接收到最多次其他行動者傳遞而來的訊息，代表消防局身為應變單位在此次演練的重要性，擔任災區救災組，執行火災搶救工作，協助災區之區域管制、監控及人命救助等工作，架設除污站，協助人員除污作業。最少的是長春公司，所有目標節點均無連結，他在此次演練計畫擔任毒化物供應商，執行協助槽車移除的任務。

表 3、第 110 分鐘中不同行動者的入度點度

行動者	FB_TCC	EPB_TCC	PD_TCC	IPSC_DY	STP_DYIP	EIST_CT
入度點度	12	11	5	5	2	3
行動者	factory_KL	factory_YZ	factory_SI	factory_ZN	factory_MK	factory_CC
入度點度	8	3	1	1	1	0

資料來源：本研究自行彙整

接近中心度是一個衡量在網絡中信息流動和節點可達性的重要指標。在接收資訊的接近中心度(In-Closeness Centrality)以臺中市政府消防局(FB_TCC)數字最大，為 0.440 單位衡量距離（表 4），表示其他節點到 FB_TCC 的平均最短距離。數字越大表示越慢取得資訊，與相關人最遙遠，關係較疏離，溝通無法迅速，雖消防局在救災現場中扮演重要角色，但不容易取得資訊，要與中區環境事故資訊小組取得資訊必須透過臺中市政府環保局的聯繫，在現場的消防應變單位無法直接與中區環境事故資訊小組取得聯繫，在現場無法在第一時間建立合作關係（如圖 6 的第 90 分鐘）。

表 4、第 110 分鐘中不同行動者的接近中心度

行動者	FB_TCC	EPB_TCC	PD_TCC	IPSC_DY	STP_DYIP	EIST_CT
outclose	0.550	0.579	0.379	0.458	0.407	0.393
inclose	0.440	0.423	0.407	0.407	0.333	0.344
行動者	factory_KL	factory_YZ	factory_SI	factory_ZN	factory_MK	factory_CC
outclose	0.524	0.478	0.250	0.250	0.250	0.250
inclose	0.407	0.333	0.355	0.355	0.355	0.250

資料來源：本研究自行彙整

在演練情境中，中介中心度以臺中市政府消防局 (FB_TCC) 與臺中市政府環保局 (EPB_TCC) 最高，代表在最短路徑中擔任橋樑的次數最多，與其他相關單位之間的聯繫非常密切 (表 5)，呈現出一個雙核心的節點 (除了假設的事故廠 factory_KL 之外)。

包括臺中市政府警察局、經濟部工業局工業區服務中心、經濟部工業局大甲幼獅工業區服務中心污水處理廠、環保署中區環境事故專業技術小組等。這些單位之間的互動可以協調應對可能發生的毒性化學物質災害事件，有效地進行災害應變工作。

表 5、第 110 分鐘中不同行動者的中介中心度

行動者	FB_TCC	EPB_TCC	PD_TCC	IPSC_DY	STP_DYIP	EIST_CT
中介中心度	22	21	0	7.5	0	0
行動者	factory_KL	factory_YZ	factory_SI	factory_ZN	factory_MK	factory_CC
中介中心度	27.5	1	0	0	0	0

資料來源：本研究自行彙整

從整體應變網絡的角度來看，這些行動者皆扮演著相當重要的角色。他們是模擬災害救災網絡的行動者，按照毒性化學物質災害防救業務計畫和臺中市災害防救計畫的內容進行演練和應變。在災害應變網絡中，不同的結構類型可能會影響行動者之間的溝通、資源共享以及決策流程等方面。這些行動者可以快速而有效地行動，提供關鍵的救援和支援，對於災害應變具有重要的意義。

伍、結論與建議

一、結論

(一) 企業忽視管理權責，對公部門資源依賴度過高

在整個模擬演練過程中，雖然臺中市政府消防局與臺中市政府環保局呈現雙核心的節點，顯示公部門在應變體系中具有相當的地位。然而，應變網絡事故廠 factory_KL 在整個演練中被視為從頭到尾最重要的核心節點，儘管為初期應變主要聯絡對象，卻未提供實質救災應變量能。這種情況突顯了企業在工業防火管理體系中的關鍵地位，然在整個應變體系中卻依賴公家就應變單位的主導，而這樣的依賴度過高可能成為應變體系的致命弱點。

雖於法規面，內政部主管的消防法，規範有場所的防火管理制度外，在環境部主管的毒性及關注化學物質管理法中，也要求業者訂定並落實執行危害預防及應變計畫，但這麼綿密的安全防護網，就連演練過程都能看見的問題，也經由實際發生事故得以實證，在 2023 年 9 月 22 日屏東科技產業園區的明揚國際科技股份有限公司工廠大火中，並未發揮預期的效果。這顯示了企業在安全應變體系中的過度依賴，且這種依賴度的過高可能導致應變體系的不堪壓力。

以消防法的立法意旨來看，管理權人本應承擔場所的最終且全部的消防安全責任。然而，研究分析過程揭示了機構或企業在災害應變管理中依賴度過高的現象，應呼籲在應變體系中實現更均衡的力量分配，避免過度依賴單一實體而導致應變效能的下降。

(二) 資訊在災害應變管理中存在時間差異和不足的情況

在模擬演練中，對照圖 6 的第 90 分鐘時間片顯示，中區環境事故資訊小組一直至演習後的 90 分鐘，才和現場擔任事故指揮的臺中市政府消防局 (FB_TCC)，透過臺中市政府環保局 (EPB_TCC)，在現場建立起「間接的」聯繫，這種時間差異可能導致應變行動在資訊傳遞和共享方面的延誤。

透過與實際事件的案例比較，特別是 2023 年 9 月 22 日屏東科技產業園區的大火，文章強調了在實際事故中可能出現的問題。屏東縣消防局在事故現場的第一梯次到達後發生爆炸，工安人員也在第一時間受傷，再一次凸顯了資訊

傳遞和應變的不足。

雖然環境部化學署在各地建置的「環境事故資訊小組」擁有毒化災應變的專業能力，但在實際事故發生時，這樣的專業能力未能夠迅速而有效地協同應變，顯示了資訊的協同性不足。

文章指出，如果對於毒化物的應變與管理持較被動的態度，第一線救災人員的專業技能與智能將難以提升。這表明在培養應變人員的專業技能方面存在挑戰，可能需要更有效的培訓和支持。總體而言，這些點都強調了資訊在災害應變管理中的關鍵性，以及現有體系中資訊共享和協同的不足，這可能影響整體應變效能。

(三) 跨機關合作是面對類似毒化物災害可能引發複合式災害的根本

對照圖 6 的第 50 分鐘時間片顯示，透過大甲幼獅工業區服務中心的協調，大甲幼獅工業區污水處理廠正式加入整場應變演習，擔任救災過程中，無論的洩漏物因外洩或起火燃燒等，或是消防救災需要進行的事故現場射水防護或搶救等，必然產生大量的廢水或受污染的廢水，若在毒化物災害應變過程中處理不當可能引發複合式災害，為免對環境造成二次危害，會有很多災害引發的狀況需要多個機關或部門在同時間合作處理。就如 2023 年 7 月 14 日高雄市楠梓科技產業園區的日商塑美貝科技公司化學原料槽大火，除了火災事件外，也因為儲槽洩漏的化學物品燃燒產生的大量刺鼻濃煙而引發毒化災應變單位的疑慮，同時需大量的消防水源用以冷卻廠房、儲槽，也使用了大量的消防泡沫進行滅火，並且產生的大量受污染的救災廢水需要汙水處理單位處理，這牽涉到毒化災場所的事件可能引發複合式災害，這時透過跨機關的密切合作來應對災害，以減輕災害可能對環境和社會造成的危害。

二、建議

(一) 企業自主防災的重要性與必要性

模擬演練顯示，在工業防火管理中，事發工廠應是核心焦點。雖法規有規範，但需企業主動執行危害預防及應變計畫。跨機構合作需提升，特別是與公私部門合作，以確保應變時的即時資訊分享。企業自主防災的自覺性和文化尤為關鍵，應鼓勵企業積極改善風險管理。根據經濟部地質調查及礦業管理中心

2021 年公告的最新統計資料顯示，總計 36 條活動斷層遍佈於全臺，大甲斷層只是其中之一。以本研究就大甲斷層進行的地震衝擊評估即顯示，單臺中市行政轄內，建物嚴重及完全損傷棟數即高達 6,955 棟，其中，必然包含許多企業廠房受創。當大規模地震災害發生，公部門救災資源勢必以人命救助為首要任務，企業如何在重大災害降臨時可以將受災程度降至最低？唯有具「企業持續維運管理（Business Continuity Management, BCM）」下的「企業防災」才可得。以確保企業在遭逢天災或人禍等意外時，保護重要營運過程不受重大災害或資訊系統失效的影響，仍然可以繼續運作，包括企業本身的運作端與客戶需求的供貨端，業者的積極投入，是應變過程中不可缺少的一環。相同的思維，也可以在近期的重大工業火災、爆炸事故中印證，以 2020 年 12 月 20 日旭富藥廠火警案為例，業者因製程需要，平時廠內即需儲放著數頓「鈉」備用，業者是否有自覺「本於防範未然」，針對「鈉」預先做好「防災」「應變」的整備？針對這種高火災、爆炸風險的化學物質，各主管機關在例行的各項檢查時，發現廠內儲放著數頓備用的「鈉」，是否同步檢視廠內的「防災」「應變」整備是否足夠因應？是否必要提供業者相應的「防災」「應變」整備的「行政指導」？當然，業者在接受類似的「行政指導」後的態度？是本廠相關設施「優於」法令要求？還是對工安、環保、消防的資源投注「無上限」，積極改善廠內風險，完全取決於企業防災的自主性如何。

(二) 強化跨域合作的災害應變指揮溝通

在毒化災事故中強調第一線救災人員在應對事故工廠內可能的各種化學原料時的資訊同步掌握的重要性。專業能力單位無法緊密合作是可能造成災害應變效率降低。本研究演練個案中的「環境事故資訊小組」具有毒化災應變的專業知識，實際應變中卻礙於通訊時間或交通距離而無法有效地快速到場提供專業知識。因此，必須加強毒化物救災相關資訊的即時通報與分享，為避免「遠水救不了近火」的現象，建議建立更強大的跨域合作架構，包括與消防機關、環保局等單位的密切互動，以促進資訊的即時分享和更有效的應變。

其中消防機關為通常第一到場救災應變單位，不以「毒化物非消防機關主管」為藉口，積極參與毒化物的應變與管理。這需要建立一個開放的合作文化，讓不同領域部門之間能夠更緊密地，從而提升第一線救災人員的效率和量能。

而跨域合作的災害應變指揮溝通經由演習個案分析體現出來，臺中市政府

消防局、臺中市政府環保局和事故廠之間形成的三核心網絡關係。這種跨域合作的災害應變指揮的網絡模式值得鼓勵，應該在平時進行更多的資訊交流、演練，以及業者與各公部門之間三方或多方的跨域合作，從而在事故發生時，能夠更迅速而準確地分享重要資訊，提高應變效能。

若能在平時重視跨域合作的重要性，不僅能夠解決專業能力協同性不足的問題，還能在災害應變中發揮更大的效能。在日益複雜的災害環境中，這種強化的跨域合作將成為提高整體應變效能的不可或缺的一環。

(三) 提升企業內部事故通報與初期應變的能力

2018 年，內政部公告了「自衛消防編組應變能力驗證要點」，旨在提升機構自身事故通報與初期應變能力。然而，從歷次重大工業火災、爆炸事故的經驗看來，企業自身的初期應變措施似乎未達相應要點的要求水準。

以 2023 年 9 月 22 日屏東科技產業園區的明揚國際科技股份有限公司工廠大火為例，根據屏東縣政府的說明，政府開罰的三大違失之一，即「工廠於當天下午 5 時 10 分就傳出火警，但廠區延遲至 5 點 31 分才報案」(公視台語台，2023)。此係依據消防法(第 19-1 條)於 2023 年 6 月 20 日針對於場所火災爆炸、危險物品漏逸時修訂立即通報程序及相應罰則。毒化災事故通報程序亦在毒性及關注化學物質管理法第 41 條規定，毒性化學物質的作業場所應於 30 分鐘內通報，消防法相對於毒性及關注化學物質管理法並未標明具體的量化數據。因此，若通報應變行為同時有兩法以不同內容規定之，未來一旦發生涉及民眾生命財產安全的工安事故，執法過程中可能引發更多爭議。

且災害應變效能往往取決於事故通報的時效，尤其是特殊災害事故，需要特定的應變裝備、機具、器材調集、檢點也需花費一段時間，越是及早通報並採取應變措施，越能避免災情擴大。透過高雄市政府消防局在 2021 年林園工業區四次重大工安事故之後的無預期突襲檢驗，以確保各工廠的自衛消防編組是否符合申報的編組，確保初期應變能力達到基本水準。這一步驟的實施將有助於確保自衛消防編組的應變能力，在初期應變時能夠及時、正確地應對可能的事態，避免情勢惡化。

(四) 強化工業區消防安全管理體系以應對毒化災

為加強快速且全面應對毒化災害的能力，必須深入研究工業區的管理體系，特別著重消防安全的權責與分工。消防單位在災害發生時扮演關鍵角色，需要即時取得更全面的資訊，包括現場毒性化學物質存量、現場配置、人車移動路線、職業安全衛生檢查等。現行制度中，2023 年 1 月 19 日新修訂的「科技產業園區設置管理條例」，其中列舉了經濟部所屬產業園區管理局的職責，包括工廠設置、職業安全衛生檢查、吸引投資及宣傳等，但未明確包含消防安全管理事項，僅在經濟部產業園區管理局組織條例規定，得商請消防主管機關，在各科技產業園區設消防單位，依法執行消防及災害防救業務，突顯在產業園區內的消防安全管理事務管理權責的不明確。

過去的災害事件也引起社會對工業區內管理事權統一的質疑，如 2021 年高雄林園工業區的四次重大工安事故，以及 1998 年一連串新竹科學園區大火促使新竹縣政府消防局在 2020 年 1 月 1 日接手了縣轄範圍的消防業務，竹科消防隊在解除之前已成立 38 年，主要任務包括協助園區建管成立單一窗口，配合投資廠商進行消防安檢及檢修證照申請等工作。而現消防業務由消防局接手，園區業務將呈現分割情形，不再由科學園區管理局統一管理消防安全事權，單一窗口的運作面臨考驗。

未來的研究可以深入探討歷史事故的經驗，尋找更有效的管理機制，強化快速啟動且完整毒化災應變網絡，進一步提升整體應變能力，以確保工業區管理更為安全和有效的應對各種可能的災害風險挑戰。

參考文獻

- Hanneman, R. A. and Riddle, M. (2013) *社會網絡分析方法 UCINET 的應用* (陳世榮譯), 高雄市: 巨流圖書。
- Jones, E. C. and Faas, A. J. (2017) An introduction to social network analysis in disaster contexts, In: Jones, Eric C. and Faas, A.J. (Eds.) *Social network analysis of disaster response, recovery, and adaptation*, pp.3-8, US: Candice Janco.
- 內政部 (2023) *從科技園區大火, 檢討火災搶救、火災預防及廠商安全管理*, 臺北市: 立法院第 10 屆第 8 會期內政委員會第 3 次會議專題報告。
- 公視台語台 (2023) 明揚火厄! 違法囤有機過氧化物! 9 死 112 傷 工安管理有學著教訓? 【台灣新眼界】。
- 吳佳容、劉淑燕、柯明淳、黃明偉、鄧敏政、吳秉儒、吳子修、柯孝勳 (2017) *地震衝擊資訊平台 (TERIA) 技術研發及主題式應用介面建置*, 行政法人國家災害防救科技中心成果 (編號: NCDR 105-T25)。
- 番薯滕 (2023) 楠梓加工區中央路的日商「塑美貝科技有限公司」廠房火警無人傷亡, 2023 年 9 月 20 日取自 <https://n.yam.com/Article/20230714519961>。
- 楊雅雯 (2020) *颱風救災網絡之探討-以臺南市白鹿颱風為例*, 中央警察大學防災研究所碩士論文, 未出版, 桃園。
- 榮泰生 (2013) *UCINET 在社會網絡分析(SNA)之應用*, 初版, 台北市: 五南。
- 臺中市政府環境保護局 (2019) *108 年度臺中市毒性化學物質災害應變(含疏散避難)防救演練演練手冊*, 財團法人環境永續發展基金會。