

出國類別：國際研討會

第 15 屆國際化學製程安全促進與損害控制研討及博覽會暨爆炸指數測試儀儀器操作及測試

出國報告書

服務機關：勞動部職業安全衛生署北區職業
安全衛生中心

姓名職稱：林聰偉簡任技正

派赴國家：德國弗萊堡(Freiburg im Breisga)市、
瑞士巴塞爾(Basel)市

出國期間：105 年 6 月 3 日至 6 月 12 日

報告日期：105 年 9 月 5 日

目錄

一、	內容摘要.....	1
(一)	目的	1
(二)	參加人員	2
(三)	行程記要	2
二、	訓練／研習／進修／研討會／考察項目及內容.....	4
(一)	研討及博覽會參與內容	4
(二)	爆炸指數測試儀器操作測試與訓練內容	7
三、	訓練／研習／進修／研討會／考察經過.....	10
(一)	研討及博覽會參與經過	11
(二)	爆炸指數測試儀器操作測試與訓練經過	21
四、	感想與心得.....	23
五、	檢討與建議.....	25
六、	誌謝.....	27

一、內容摘要

國際化學製程安全促進與損害控制研討及博覽會，為每 3 年舉辦 1 次之國際型研討會，本(105)年度為第 15 屆，旨在交流世界各國最新之化工製程安全評估技術，預防化工工安事故所造成之火災、爆炸及毒化物擴散危害。

本屆大會假德國弗萊堡(Freiburg im Breisga)市舉行，在風險和安全的管理和溝通、人員和組織因素、事故學習和知識傳承、火災和爆炸事故、模擬和建立模組、製程安全工程及管制議題等主題下，由包含學術界及業界發表論文、海報展示和相關行業展示實際應用等，本署藉由參與過程，可瞭解國際間相關研究之趨勢，包含化學品管理、風險評估及製程安全評估等之新資訊，在日後執行風險評估及危害分析過程中，能更為深入。

另與國立高雄第一科技大學工學院陳政任院長至鄰近之瑞士巴塞爾(Basel)市 Adolf Kühner 公司進行爆炸指數測試儀儀器操作測試與訓練，以 20 公升爆炸鋼球測試裝置量測可燃性粉塵的爆炸特性，此裝置可以測定 1. 最大爆炸壓力及爆炸指數、2. 爆炸下限、3. 極限氧濃度。其基本原理是在爆炸鋼球內形成粉塵與空氣的混合物（粉塵雲），用一定能量的點火源在容器中心引爆，用壓力感測器獲取系統記錄爆炸過程的壓力時間曲線，通過分析爆炸壓力時間曲線得到最大爆炸壓力及爆炸指數。

（一）目的

國際化學製程安全促進與損害控制研討及博覽會為學術界、業界等單位所發表之論文，藉由參與過程，瞭解國際間相關研究之趨勢，包含化學品管理、風險評估及製程安全評估之最新資訊，在日後執行風險評估及危害分析過程中，能更為深入。

另外瑞士 Adolf Kühner 公司設計製造之爆炸指數測試儀，該儀器可進行可燃性粉塵、可燃性氣體與易燃液體蒸氣爆炸指數之測試，可瞭解可燃性粉塵、可燃性氣體與易燃液體蒸氣等物質之爆炸特性，對本署火災爆炸災害原因之調查與分析、具有重要意義，而且訓練成果可與檢查同仁分享。

(二) 參加人員

第 15 屆「國際化學製程安全促進與損害控制研討及博覽會」參加人員為勞動部職業安全衛生署北區職業安全衛生中心林聰偉簡任技正 1 員參與。

研討及博覽會後與國立高雄第一科技大學工學院陳政任院長至瑞士巴塞爾(Basel)市 Adolf Kühner 公司進行爆炸指數測試儀儀器操作測試與訓練。

(三)行程記要

本次參訪期程共計 10 日(105 年 6 月 3 日至 6 月 12 日)，主要以參與第 15 屆「國際化學製程安全促進與損害控制研討及博覽會」為主，另於研討及博覽會後至瑞士巴塞爾(Basel)市 Adolf Kühner 公司進行爆炸指數測試儀儀器操作測試與訓練，以瞭解 20 公升爆炸鋼球測試裝置實際應用為輔，為本案出國主要之行程規劃。

第 15 屆「國際化學製程安全促進與損害控制研討及博覽會」105 年 6 月 5 日至 8 日假德國弗萊堡(Freiburg im Breisga)市舉行，另於研討及博覽會後(6 月 9 日至 10 日)至瑞士巴塞爾(Basel)市 Adolf Kühner 公司進行爆炸指數測試儀儀器操作測試與訓練。

本案相關行程記要彙整如下表：

表 1 參與國際研討會暨爆炸指數測試儀器操作測試與訓練行程記要

台灣時間	德國時間	行程	附註
6 月 3 日 (五) PM23:30~	比台灣晚 7 小時	桃園國際機場→德國法蘭克 福國際機場(大約飛行 14 小 時)(華航)	
6 月 4 日 (六)	6 月 4 日(六) AM06:50 12:00~17:00	抵達德國法蘭克福國際機場 機場至市區 搭德國國鐵至德國弗萊堡市 (Freiburg)	
6 月 5 日 (日)	6 月 5 日(日) 16:00~19:00	參加「第 15 屆國際化學程序 工業損害預防及安全促進研 討會」報到與歡迎會	
6 月 6 日 (一)	6 月 6 日(一) 08:00~19:00	參加「第 15 屆國際化學程序 工業損害預防及安全促進研 討會」	
6 月 7 日 (二)	6 月 7 日(二) 08:30~18:30	參加「第 15 屆國際化學程序 工業損害預防及安全促進研 討會」	
6 月 8 日 (三)	6 月 8 日(三) 08:45~14:30 15:00~16:00	參加「第 15 屆國際化學程序 工業損害預防及安全促進研 討會」 下午搭德國國鐵至瑞士巴塞 爾(Basel)市	
6 月 9 日 (四)	6 月 9 日(四) 09:00~17:00	瑞士 Adolf Kühner 公司爆炸 指數測試儀器介紹及操作 說明	
6 月 10 日 (五)	6 月 10 日 (五) 09:00~17:00 17:00~21:00	於瑞士 Adolf Kühner 公司進 行爆炸指數測試儀實機操作 及測試 搭德國國鐵至德國法蘭克福	
6 月 11 日 (六) PM06:20	6 月 11 日 (六) AM11:20	德國法蘭克福國際機場→抵 達桃園機場	
6 月 12 日 (日) AM08:05		德國法蘭克福國際機場→抵 達桃園機場	

二、訓練／研習／進修／研討會／考察項目及內容

本次出國行程，主要包含參與「第 15 屆國際化學製程安全促進與損害控制研討及博覽會」，及至瑞士 Adolf Kühner 公司進行爆炸指數測試儀器操作及測試兩項主要工作，主要為參考國際安全衛生的發展趨勢，蒐集各國製程安全評估及控制方法、危害性化學品管理、安全衛生資訊及運用、災害事故學習和知識傳承及緊急應變措施等，以防止化學製程失控或危害性化學品衍生的危害；並藉由和與會相關人員之研討，將可促進國內安全衛生管理系統與國外專業單位在安全衛生管理技術與設備上的經驗交流與管理能量提升。

另針對高風險事業單位(如石化業等)蒐集有關化學製程安全管理、危害性化學品運作新知、硬體設備、軟體資訊發展方向、專業分項訓練、緊急應變實務，以及管理體系運作與推動實績等資料，希望藉其觀念與做法，從落實安全衛生管理及做好勞工安全衛生教育訓練工作，以防止職業災害發生。

藉由此次參與 20 公升爆炸鋼球測試與訓練工作，瞭解許多普通物質可引發危險的粉塵雲，如煤粉、麵粉、糖、奶粉和玉米澱粉等。亦有許多粉末狀金屬（如鋁粉和鎂粉等）可與空氣結合成具爆炸性的懸浮粉塵，這些物質可能在運輸、使用或儲存時形成粉塵雲，若遇火源（如明火、熱表面、靜電等），即可能產生巨大破壞力之粉塵爆炸。例如八仙樂園彩色派對活動的主舞台，因為粉塵爆炸，造成超過上百位民眾燒燙傷之災害後，瞭解各種物質粉塵爆炸特性，進而控制其危害與風險，成為此次參與爆炸鋼球測試與訓練之重要任務，以避免類似悲劇再發生。

相關參加研討及博覽會及爆炸指數測試儀器操作測試與訓練項目及內容，分別說明如下：

（一）研討及博覽會參與內容

本次「第 15 屆國際化學製程安全促進與損害控制研討及博覽

會」，共計區分 7 大主題，有來自 27 個國家參與，提交論文摘要有 260 篇，其中 162 篇論文在這研討及博覽會發表，再次反映了此研討及博覽會已受到全世界的關注和興趣，由包含學術界、業界等單位提交與會報告論文摘要，經大會評選後，依主題及會議期程選定現場口頭報告論文及現場海報展示論文。

本次研討及博覽會主題如下：

1. 風險和安全的管理和溝通(MANAGEMENT AND COMMUNICATION of Risk and Safety)

風險溝通的主要目的是告知和提醒工作者對他們的風險的辨識及控制，勸阻不安全行為，並使所有受到影響的利益相關者皆能參與風險管理。這個主題的重點，主要在提供高風險行業對其工作風險辨識、管理和溝通的新途徑。還有一個重點是關於安全的溝通及風險管理有效的執行，以保護更多的工作者。

2. 人員和組織因素(HUMAN AND ORGANIZATIONAL FACTORS)

我們由職業災害經驗了解，嚴重的事故都是由一連串錯誤的因素所造成，幾乎不會從單一的因素造成的。而人員和組織因素顯然是造成了這些事故的主要因素。對於這些事故中，管理制度未能有效運作到位，主要係因為人員參與管理系統。這個主題涵蓋了人員和組織的錯誤執行與運作因素，特別是以新的方式來控制這些風險。

3. 事故學習和知識傳承(LEARNING FROM ACCIDENTS AND KNOWLEDGE TRANSFER)

在一個高度變動的環境下，知識和經驗的保存和傳承是非常重要的。因此，本主題的重點是以系統和方法來獲得及保存知識，並轉移到第一線之工程師、工廠管理人員和操作人員。且分析發生之事故的過程與原因，這是工安經驗的重要來源。

4. 火災和爆炸事故(FIRES AND EXPLOSIONS)

火災和爆炸事故總是造成人員及財物重大傷害，尤其對高

風險製程的行業，這個主題是值得進行專門單獨的探討，並致力於減低其威脅。本主題涵蓋了關於火災和爆炸的預防方法及如何降低其破壞影響，包括房屋及建築物的抗震設計，先期之火災和氣體偵測、警報，以及減災系統和救援系統等。還包括諸如設置靜電消除區以消除火源、有害物質的鑑別和化學反應（例如失控反應、自燃等）的安全評估等重要課題。

5. 模擬和建立模組(SIMULATION AND MODELING)

運用電腦的計算能力擴展模擬和建立模組軟體，使其運用的範圍更廣。而理解其基本模式和它們的局限性是判斷所得結果的可靠性和適用性範圍的關鍵步驟。這個主題的重點是對於危害規模和危險程度難以以現場實際呈現的情況，而使用電腦來模擬。包括有害物質的擴散範圍、火災和爆炸的影響、危險特性預測或其他與安全有關的模型，都將在這個主題探討。

6. 製程安全工程(PROCESS SAFETY ENGINEERING)

製程安全工程（PSE）關注在工業製程設施設計階段的安全問題。製程安全工程（PSE）的執行可減少、抑制和消除來自製程的危害。所提出可能的解決方案包括：基於安全的設計、附加安全的功能、完整安全性的儀表、保護層分析和相關的主題。

7. 管制議題(REGULATORY ISSUES)

對於製程安全和災害預防的問題，有許多具體的規定，包括：有害物質分類、爆炸性環境的定義、特定風險作業的設計和操作（例如 LPG 儲存，易燃液體儲存等）以及海上石油和天然氣業務。本主題尋求解決工業安全相關規定的實際應用問題。上述 7 項主題，分別由 7 個主題分組審查。從提交論文摘要的 260 篇中，經大會嚴格的匿名評審遴選過程後共計有 162 篇論文發表。

(二)爆炸指數測試儀器操作測試與訓練內容

研討及博覽會後即與國立高雄第一科技大學工學院陳政任院長搭德國國鐵至鄰近之瑞士巴塞爾(Basel)市 Adolf Kühner 公司進行爆炸指數測試儀器操作測試與訓練(該儀器可進行可燃性粉塵、可燃性氣體與易燃液體蒸氣爆炸指數之測試)。

測試儀器係使用 20 公升爆炸鋼球測試設備，測試容器為不銹鋼球體，球體容積為 20 公升，球體週邊有夾層(可注入水等介質)可作溫度的調節，不僅能維持實驗所需溫度，並且能瞬間移除爆炸時所產生的熱量，使測試能繼續進行。爆炸鋼球上設有觀查窗，通過觀查窗可觀察到點火和爆炸的火光。且設有抽真空、排氣、燃料氣引入、空氣引入等設備。抽真空設備已安裝真空表。本次採用該設備測試可燃性粉塵爆炸的最大壓力和最大壓升。

20 公升爆炸鋼球測試工作原理與流程如圖 1 所示。

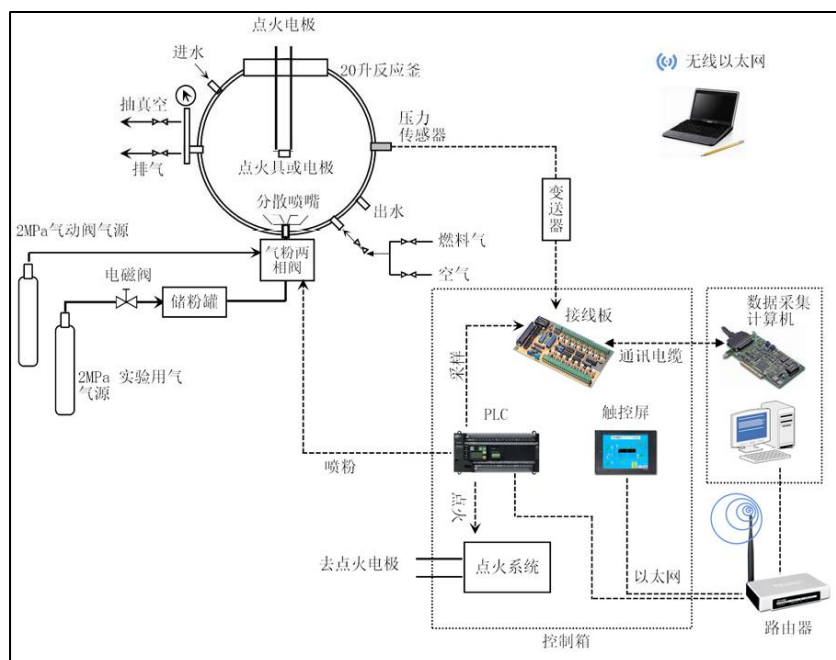


圖 1 20 公升爆炸鋼球測試工作原理與流程(圖片來源：20 升球形爆炸測試系統使用手冊，東北大學工業爆炸及防護研究所)



圖 2 瑞士 Adolf Kühner 公司 20 公升爆炸鋼球

本次瑞士 Adolf Kühner 公司進行 20 公升爆炸鋼球(如圖 2)之操作測試與訓練，由該公司工程師負責解說及操作測試，包括測試設備各元件之介紹、管線檢查、可燃性粉塵爆炸測試實作及設備組裝、拆除清潔等(如圖 3)。

測試的基本原理是在 20 公升爆炸鋼球內加入可燃性粉末，輸入高壓空氣，形成粉末與空氣的混合物（粉塵雲），用一定能量的點火源在爆炸鋼球中心引爆，用壓力感測器獲取系統記錄爆炸過程的壓力時間曲線，通過分析爆炸壓力時間曲線得到最大爆炸壓力及爆炸指數。

我們每次爆炸測試實作後，可由控制之電腦螢幕自動記錄一組「壓力時間曲線」(如圖 4)，藉由此組壓力時間曲線就可計算出該可燃性粉末之爆炸的最大壓力和最大壓升速率(曲線斜率)(如圖 5)。此反映了該可燃性粉末爆炸猛烈程度，可用於爆炸洩壓設計和爆炸抑制設計，並可了解該可燃性粉末爆炸特性。例如八仙樂園使用之玉米粉末，若要了解其爆炸特性，即可藉此

儀器測試，就可事先了解玉米粉末之危害與風險，並可執行風險控制。



圖 3 瑞士 Adolf Kühner 公司工程師解說 20 公升爆炸鋼球及操作測試

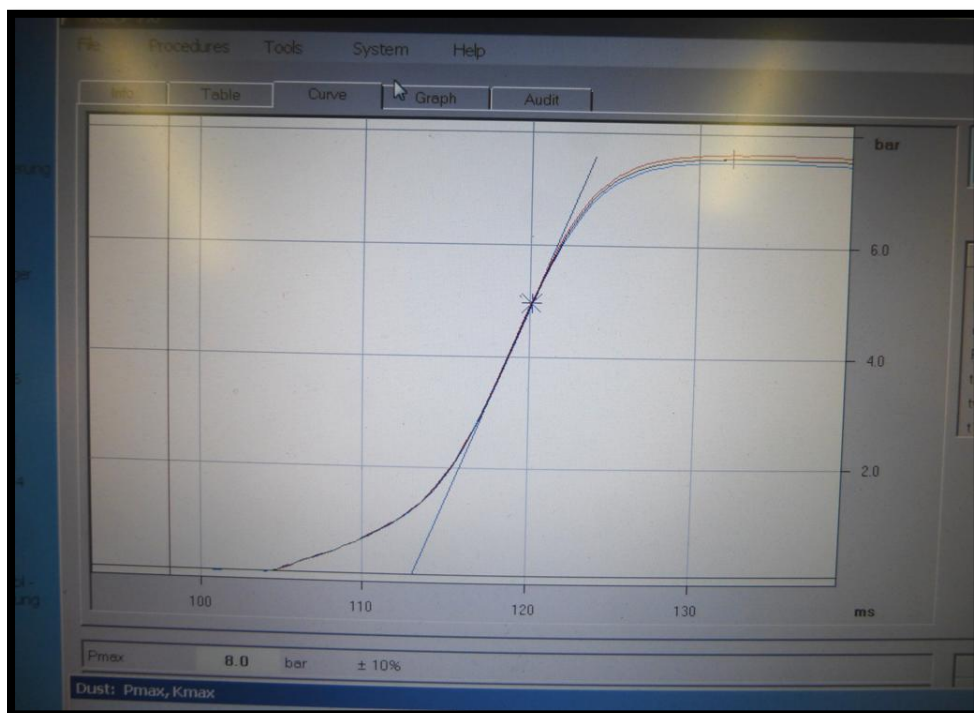


圖 4 壓力時間曲線

Test: 5

	(1)	(2)	result	
Pex	7.7	7.5	7.6	bar
Pm	8.1	7.9	8.0	bar
dP/dt	710	700	705	bar/s
Pd	0.63	0.62	0.63	bar
td	38	38	38	ms
tv	60	60	60	ms
t1	35	33	34	ms

圖 5 電腦自動記錄並算出最大壓力和最大壓升速率(曲線斜率)

三、訓練／研習／進修／研討會／考察經過

本次出國行程共包含參與「第 15 屆國際化學製程安全促進與損害控制研討及博覽會」，及至瑞士 Adolf Kühner 公司進行爆炸指數測試儀儀器操作及測試兩項主要工作，其中研討及博覽會自抵達德國法蘭克福後，直接搭德國國鐵至德國弗萊堡市(Freiburg)，隔天（6 月 5 日）即前往會場辦理報到，領取議程及研討會論文資料，並於 6 月 6 日至 8 日參與研討及博覽會之論文發表、參觀現場海報展示論文及事業單位展示之安全衛生產品。研討及博覽會結束後，當日下午即搭德國國鐵至瑞士巴塞爾(Basel)市，而後至 Adolf Kühner 公司進行爆炸指數測試儀儀器操作及測試。

相關參與研討及博覽會及進行爆炸指數測試儀儀器操作及測試細項資訊說明如下：

（一）研討及博覽會參與經過

第 15 屆國際化學製程安全促進與損害控制研討及博覽會，如前所述共計區分 7 大主題，有來自 27 個國家參與，經大會審議由包含學術界、業界等單位提交論文摘要共計 260 篇，經大會評選後，其中 162 篇論文在這研討及博覽會發表，依主題及會議期程選定現場口頭報告論文及現場海報展示論文。

在研討會期間，幾個專題介紹著重於風險評估和安全的管理、及從火災和爆炸事故經驗中學習，尤其學習其如何建立製程安全管理系統，消除人為不安全行為，以避免類似災害，達到安全文化的境界。



圖 6 出國人員於研討及博覽會會議場所門口攝影



圖 7 大會禮堂論文發表情況



圖 8 現場海報展示論文情況



圖 9 事業單位安全衛生產品展示情況

因論文數量眾多，論文發表分別在 5 個會議場所同時進行，僅就業務相關及專長部分擇場次參與，本報告僅節錄相關論文報告重點進行說明。本次參與研討及博覽會主題重點論文摘述如下：

論文報告：

1. 緊急失控反應-前提是什麼？如何依循處理？(Emergency Runaway Reaction - What Precedes? What Follows?)-- Eckhard Fiedler

失控反應在化學工業是一個很重視的議題。發生時總是造成財物的重大損失及勞工的傷亡。不僅批次生產工廠會發生，連續生產工廠也有可能。

放熱反應是造成失控反應的最大風險，當反應熱產生的速度大於除熱系統時，失控反應就可能發生，其失控原因可能是反應物的劑量使用錯誤、冷卻或攪拌失效而喪失冷卻功能等。當反應混合物的溫度不斷上升且放熱反應加速到一個熱爆炸或失控的溫度時。若沒有足夠的洩壓設備時，反應器將破裂，並引起二次蒸汽雲爆炸。

德國化學公司巴斯夫公司在最近 5 年內發生 2 件失控反應，幸運的是只有財產損失。

案例：失控的管式反應器(C400)

管式反應器 C 400（如圖 10）先用水沖洗後啟動生產進料。由於從反應器 R512 冷進料，致反應器 R523 的溫度下降至低於 88°C，產生大量的結晶，使得反應器有些地方被結晶物堵塞（如圖 11），過了很久，操作人員並沒有意識到反應器已被結晶物完全堵塞。當他們意識到時，其實在 C 400 下方溫度感測器 T 4010 之溫度已達到 140°C。

更由於緊急手動排放失敗，使得溫度迅速增加而啟動警報裝置，並立即在工廠的周圍設置 HCN 等有毒氣體偵測。

在此期間溫度一度達到 180°C（如圖 12），已接近反應器的爆裂失控溫度。幸運的是，此時壓差使法蘭打開，反應器壓力排放，管式反應器 C 400 迅速回到一個安全的溫度條件下。

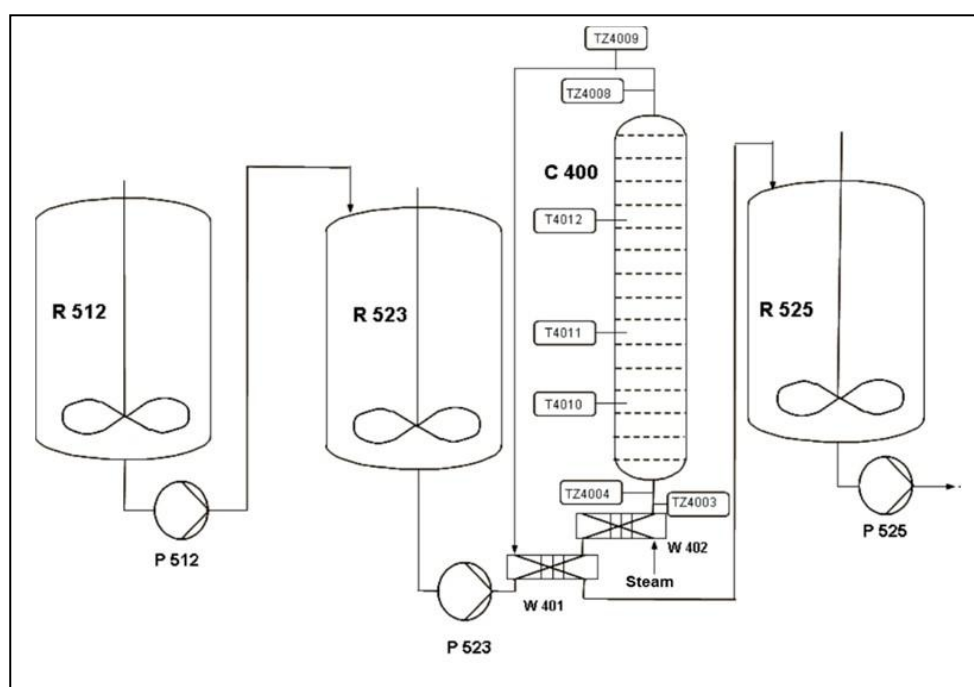


圖 10 化學反應流程圖

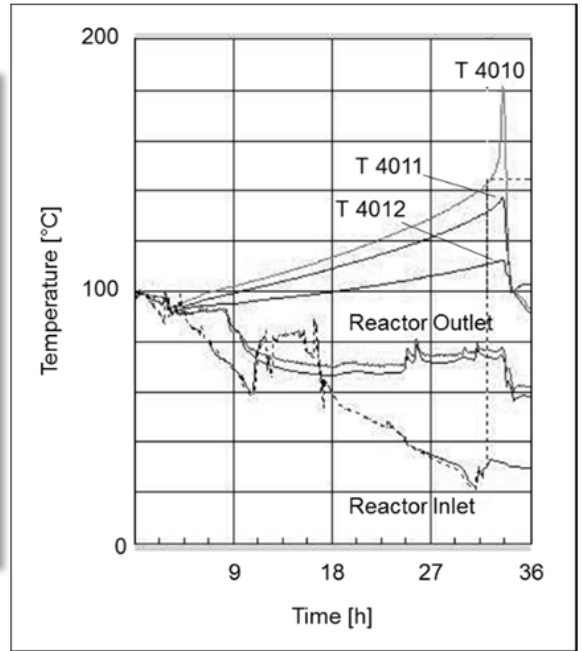


圖 11 反應器 C 400 入口堵塞情形

圖 12 反應器 C400 的溫度-時間曲線

由此經驗教訓，可以了解化工廠設計和操作，必須從不危害勞工及環境作為主要考量。為了達到此一目標，化學製程中有關對勞工和環境危害，必須事先被識別。

因此從製程安全評估，辨識製程危害、評估風險、控制風險，達到可接受的程度的風險，並通過每一個生產設施中的全面製程安全管理體系的發展和穩定的性能來實現安全生產。

2. 從內在的安全觀點討論福島第一核電廠事故(On the Accident at Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant from the Inherent Safety Points of View)-- Kazutoshi Hasegawa

福島第一核電廠災害是從大地震(2011 年 3 月 11 日發生規模 9.0 大地震並引發十餘米高的海嘯)所產生最嚴重的事故。從安全文化和內在的安全觀點來探討其發生原因。因為很多基本面的問題尚未被體現出來，諸如：安全的優先性、抗震加固工程、冗餘且多樣性子系統、不對稱故障模式等。因此，雖然事故是由地震所引發，但會造成如此嚴重事故，卻是由於缺乏安全的原則和內在安全設計所導致。所以它發生原因應該是人為因素勝過於自然災害。

(1)安全的優先性

福島第一核電廠的反應器是由美國通用電氣公司所設計的，並不適合日本的文化和自然特徵，如土地狹小、人口眾多和地震多發的國家，以及人民曾遭受原子彈攻擊等。

自核電廠建立以來，可能發生的最嚴重操作事故，所應依循程序，並沒有被提供及訓練，亦未引進急劇情況的安全技術。總之，東京電力公司並不關注像大地震或大海嘯等危及反應器安全之大危害，沒有正確看待和培養出安全文化。

(2)抗震加固工程

西元 2006 年新的審查核電廠反應器設施抗震設計監管指南，由日本在核安全委員會（NSC）核定。實際上修訂僅僅是抵抗地震達 6.8 級左右。而東京電力公司儘管知道，部分的設備和管線，不符合新訂指南的要求，幾乎沒有實施任何抗震加固工程。

(3)冗餘且多樣性子系統

如圖 13 所示，它是福島第一核電廠事故的主要原因及後果。由於地震引起滑坡災害及海嘯造成冷卻系統之海水泵浦故障，而使全廠停電。當所有的安全功能，因為地震和海嘯都同時失去了應有的功能，面對自然災害造成多個電源同時中斷時，對於確保電源供應的多樣性是脆弱的，也失去核電廠多層的保護功能。

這些設計和/或技術都不具多樣性，以避免電廠遭淹沒而使電廠電力消失，這些設計和/或技術不僅冗餘而且多樣性也已經無法實現，以確保安全功能之效能。

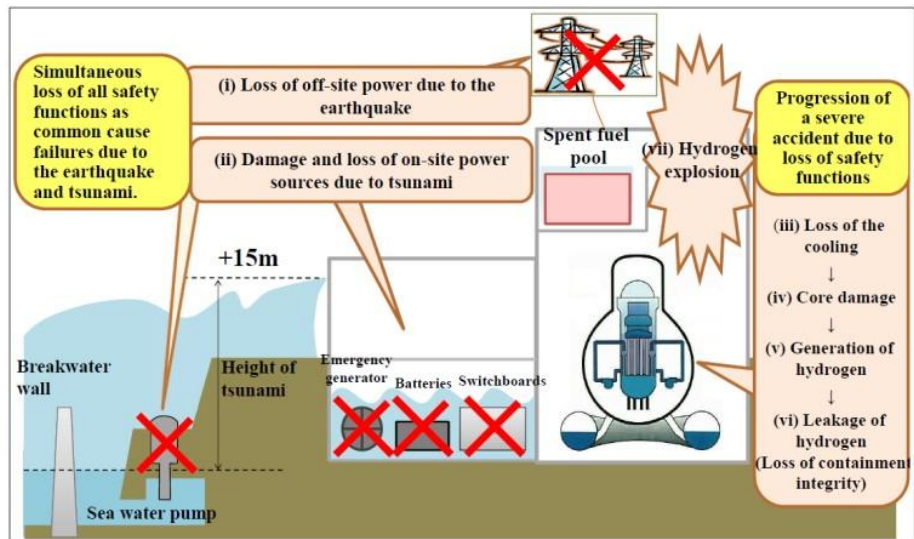


圖 13 福島第一核電廠災害後果 (NRAJ, 2013 年)



圖 14 氫氣爆炸後一縷白色輕煙從 4 號機組上升
(摘自東京電力公司 2011.03.16)

(4)不對稱故障模式，反應器冷卻系統有害影響的簡化和限制

絕熱冷卻系統被安裝在 1 號機組反應器，該冷卻系統具有不對稱故障模式，即使在冷卻系統已故障，但它仍可在人員正常操作下發揮冷卻效果。可使用消防車和容器排氣壓力注水以冷卻爐芯。但是，他們沒有了解這允許他們採取必要的措施之前提，以至於沒有採取注水進入反應爐的必要的措施。因此後續才發生三次氫氣爆炸，並使整個事故損失進一步擴大。這是平時教育訓練

未落實所造成。

(5)對反應器壓力容器之洩漏或熔毀要求寬鬆

定位（抽出或插入）控制棒安裝在反應器壓力容器的底部（如圖 15 所示），這是用在沸水反應器控制其產生能量的方法。

所有的控制棒在這次地震後，都已經完全插入而停止作用。但是，為何還會造成 1 號、2 號和 3 號機 3 個反應器之情況變差和核心崩潰？係因壓力容器底部有孔的結構，由於極度高熱或壓力升高隨後崩壞，造成水和氣體洩漏。而且這種類型的沸水反應器不能直接注水進入反應器壓力容器的底部。

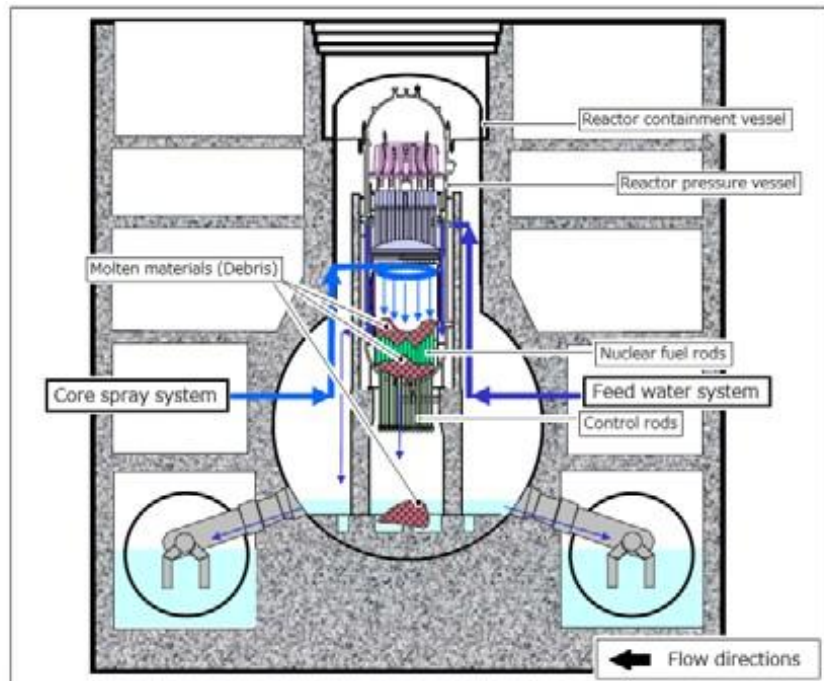


圖 15 2 號機反應器內部壓力容器狀態
（東京電力公司，2013 年）

(6)簡化應急應變對策

緊急情況使用的消防系統將水注入核反應器，大多依附消防車(泵)進行。但注入水量的增加，並未顯示出反應器水位相對增加，懷疑注水管道堵塞和/或水的洩漏。後由東京電力公司調查，約 80% 的注入水量流入旁通線，若注入水量連續供給到核反應器中，事故就不會如此嚴重。

因此，與消防系統聯結之冷凝系統，所組成的緊急替代注水系統太複雜，應確保對核反應器的直接流線，即使在安全功能損失的情況下，仍能防止嚴重的損害，其方法必須是簡單明確的。而簡化的安全性措施，可以使安全功能確保，特別是在緊急情況下。

由上可知，福島第一核電廠的事故雖然是由地震引發，但因東京電力公司缺乏安全的原則和內在安全設計技術觀念，而造成一個非常嚴重災害。所以，與其說這起事故是因大地震，隨後引發海嘯之自然災害，不如說這是純粹的人為災難，只是在等待時機發生，而這次地震只是一個單純的觸發器(媒介物)。

3. 高雄氣爆事件-海港城市災害的詳細分析(Kaohsiung Vapour Explosion - A Detailed Analysis of the Tragedy in the Harbour City)-- Hui-Ning Yang, Jen-How Chen, Home-Jo Chiu, Ting-Jia Kao, Hsiao-Yun Tsai, and Jenq-Renn Chen

2014 年 7 月 31 日午夜，高雄市區發生災難性的氣體爆炸。這起災害是由一條地下管線加壓輸送液丙烯時洩漏所引發。由操作單位之操作日誌和管線破裂洩漏模型分析推估，至少 90 公噸之液丙烯洩漏，並進入地下管溝，洩漏後約 3 小時到達點火源之前，在管溝已擴散 4.5 公里。遇火源引起了嚴重蒸氣爆炸，炸毀了地下管溝及上方的道路，造成 32 人死亡，三百多名受傷及道路上一百多輛車損毀。

尋找洩漏點

爆炸發生後火勢最大，並一直持續到第二天早上 6 點，火逐漸減少，就可以清楚地火勢從管溝的一個分支出來，顯然，這將是洩漏源。(如圖 16)



圖 16 最後著火處即為洩漏源

沿著洩漏源檢查發現，有三條管線經過管溝。其中 4 吋管完全暴露在空氣中，有一個 7 公分×4 公分的破裂開口(如圖 17)，6 吋管和 8 吋管毗鄰 4 吋管，亦暴露在空氣中，並無破損情況。檢查洩漏的 4 吋管，發現其管壁厚度，因管溝潮濕的環境腐蝕，從其原來厚度 6 毫米大幅減少到小於 1 毫米。



圖 17 4 吋丙烯管線及破裂開口

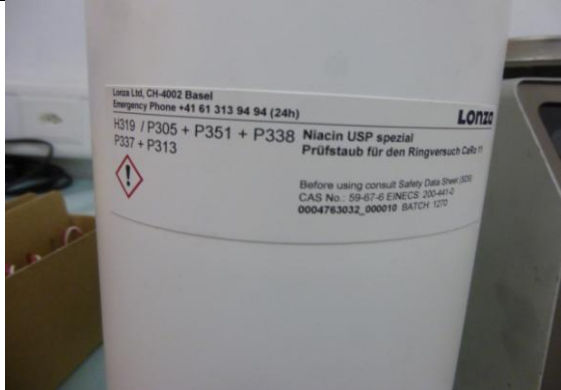
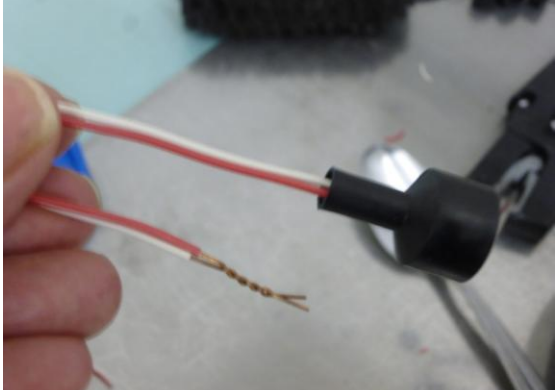
本案提供了很多經驗教訓，為防止類似事件建議：

- (1)不可忽視地下管線輸送易燃液體或氣體的風險評估。
- (2)建立地下管溝及管線正確的資料，可確認氣體擴散動態，對於洩漏現場的搶救非常重要。
- (3)可燃氣體洩漏地下管溝的唯一安全的方法是使氣體濃度稀釋

到低於爆炸下限。但這需要很久時間，因此火源的控制是至關重要的。

(二)爆炸指數測試儀器操作測試與訓練經過

研討及博覽會後即與國立高雄第一科技大學工學院陳政任院長搭德國國鐵至瑞士巴塞爾(Basel)市 Adolf Kühner 公司進行爆炸指數測試儀器(20 公升爆炸鋼球)操作測試與訓練，由該公司工程師負責解說及操作測試，包括測試儀器元件介紹、可燃性粉塵爆炸測試實作及設備組拆、清潔等。測試與訓練情況如下圖所示。

	
介紹測試儀器元件	可燃性粉末
	
可燃性粉末秤重(定量)	可燃性粉末倒入測試儀器
	
點火器(內含火藥)	安裝點火器至點火棒上



安裝點火器至點火棒上



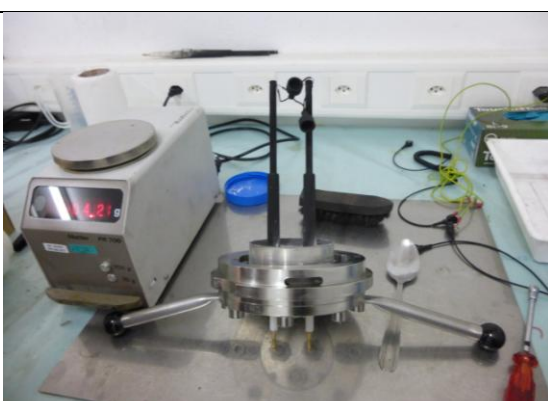
點火棒置入測試儀器內



點火棒連接電極



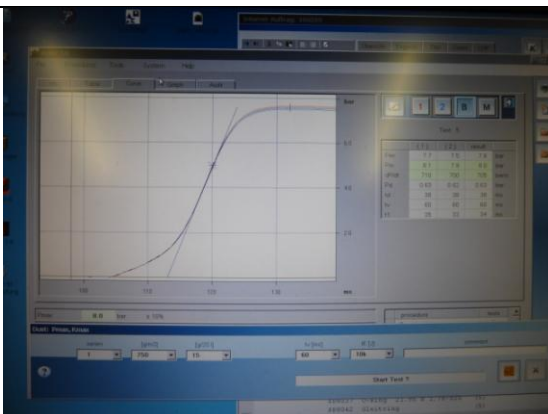
開啟電源點火爆炸



從測試儀器取出點火棒



點火棒及點火器爆炸測試後情況



電腦顯示「壓力時間曲線」(左)及最大壓力和最大壓升速率表(右)



清潔、檢查測試儀器元件

四、感想與心得

本次參與第 15 屆國際化學製程安全促進與損害控制研討及博覽會，在風險和安全的管理和溝通、人員和組織因素、事故學習和知識傳承、火災和爆炸事故、模擬和建立模組、製程安全工程及管制議題等主題下，由包含學術界、業界等單位所發表之論文，藉由參與過程，瞭解國際間相關研究之趨勢，包含化學品管理、風險評估及製程安全工程等新資訊，在日後執行風險評估及危害控制過程中，能更為深入。

而參與爆炸指數測試儀器操作測試與訓練，藉由測試可燃性粉末，得知粉塵爆炸的最大壓力和最大壓升，也顯示出該可燃性粉末爆炸猛烈程度，可運用於爆炸洩壓設計和爆炸抑制設計，並可了解該可燃性粉末爆炸特性。

經歷此次出國行程，也實際參與研討會及儀器操作訓練，另有以下幾點感想與心得：

- (一) 研討及博覽會議地點位於德國弗萊堡，它是古老的大學城和天主教區中心，以先進環保理念和高水準生活而聞名；發現同一條道路上有軌道電車、汽車、腳踏車、嬰兒車及行人一起共用，沒有紅綠燈、沒有斑馬線，也沒人指揮卻能平安無事，原因就是“禮讓”，顯露出市民的教養，也展現出身為工安人常常掛在口中的“紀律”，因為沒有紀律就沒有安全，他們自律的精神，非常值得我們敬佩與學習。



- (二) 2011 年 3 月 11 日日本 311 大地震，9.0 級大地震引起十餘米高的海嘯，淹沒了福島第一核電廠，摧毀了電力系統及冷卻系統，發生非常

嚴重的核能災害。雖然東京電力公司認為事故主因是地震、海嘯等天然災害，但明明知道核電廠耐震性能不足，卻未進行相關抗震補強工程，而且對於地震伴隨海嘯等複合式災害的應變對策不足，工程師、作業員也沒有受到足夠的訓練，這些都是東京電力公司的管理問題，所以這次災害與其說是「天災」，不如說是「人禍」更為洽當。

為何一家集發電、輸電、配電於一體的大型電力公司會如此經營呢？因為它一直將「降低成本」與「提高核電使用率」作為最重要的經營目標，「確保安全最優先」只是口號，當確保安全與經營目標發生衝突時，安全最優先的態度就退縮了。想想！我們很多高風險的企業，對於安全的態度何嘗不是如此，往往只追求短期獲利，卻忽略了追求企業長期的價值，在此態度下，安全就在風險不一定會發生之情形下被犧牲了。

(三)批式製程反應之製程操作變數多，複雜性也較高，若是以放熱反應來進行，可能因操作上的失誤或機械設備故障，使反應器溫度增加，而反應所產生的熱量若無法迅速移除，即會導致反應器溫度不斷上升，當溫度超過失控溫度，則會造成失控反應，製程一旦發生失控反應往往釀成火災、爆炸等重大危害。民國 90 年新竹縣福國化工公司之爆炸案，就是因為在生產過程中發生失控反應而造成 1 人死亡及 112 人受傷的重大工安事件，也是新竹工業區自民國 67 年設立以來最嚴重的一起爆炸意外。

預防批式製程失控反應，就是要落實製程安全管理，建構完善的自主管理制度，由確認失控溫度，建立從操作溫度到失控溫度之安全防護設施，如警報、停止進料、冷卻、添加抑制劑等防護層，尤其經由風險評估具有重大危害之製程，即應設計本質較安全之緊急排放冷卻系統，才能提升批式製程安全管理的水準及標準。因此德國巴斯夫公司雖然在最近 5 年內發生 2 件失控反應，卻能幸運的只有輕微財產損失，即是事先辨識製程危害、控制風險，並通過每一個生產設施中的全面製程安全管理體系的發展和穩定的性能來實現安全生產。

(四)高雄氣爆事件是由一條地下管線加壓輸送液丙烯時洩漏所引發，但並非管線位於地下，看不到即無法管理；評估地下管線洩漏之原因有銹蝕破漏、外力破壞(挖路施工、天然災害等)及偷盜等，由管線洩漏原因來建構地下管線之安全管理，先建置地下管線圖資管理系統，掌握管路位置，再維持地下管線設備完整性(MI)，從管線材料選擇、施工方法、管線巡查、管線監測系統(管壓及流量異常分析)、陰極防蝕、緊密電位量測、管厚檢測等，再加上定期測定高風險地區(如人口密集區或附近有涵溝經過等)土壤氣體，即可確實監控有無洩漏至土壤情形、確保地下管線之安全。

五、檢討與建議

研討及博覽會 4 天的行程，分成 7 大主題發表了 162 篇論文，由研討會討論之議題，瞭解各國製程安全評估方法、危害性化學品管理、災害事故學習和知識傳承及緊急應變措施等，以預防化學製程失控或危害性化學品衍生的災害；並藉由和與會相關人員之研討，促進安全衛生管理技術與設備上的經驗交流與管理能量提升。參與研討過程中，有以下幾點檢討與建議事項：

(一)收集國際間重大事故及肇災原因、避免類似災害：

中國青島下水道在 2013 年發生了一場毀滅性的密閉空間氣體爆炸，造成 62 人死亡，136 人受傷。該爆炸係因原油管線約 2,000 公噸原油洩漏入城市下水道蔓延數公里所造成。另一個更大的事件則是在墨西哥瓜達拉哈拉 1992 年的氣體爆炸案，係因汽油管線腐蝕洩漏到下水道而引起，共有 252 人死亡，超過 1,500 人受傷。這兩事故傷亡慘重的關鍵因素，都是由於洩漏大量的易燃物質至人口稠密的市區下水道內而肇災。以上事故原因與民國 103 年 7 月 31 日發生的高雄氣爆事件發生原因，並無太多差異，若能事前收集此等重大事故及肇災原因，檢討國內地下管線安全管理問題，事前仔細評估此城市重大危險源，指定主管機關督導管線擁有者確實執行地下管線之檢查及維護，或許高雄氣爆可以避免，市民的生命財產也不會造成如此慘重的損失。

(二)輔導批次放熱製程事業單位建立防護層(LOPA)及緊急排放冷卻系統，減少製程失控風險：

批次放熱製程的「失控反應」風險大，製程中若造成失控反應往往釀成火災、爆炸等重大危害，而造成事業單位重大的損失，因此輔導推廣批次放熱製程之事業單位建構完善的自主管理制度，建立多道防護層，設置從操作溫度到失控溫度之安全防護設施，如警報、停止進料、冷卻、添加抑制劑等防護層，尤其經由風險評估具有重大危害之製程，即應設計本質較安全之緊急排放冷卻系統，才能減少製程失控風險，提升批式製程安全管理的能力。

(三)製程安全評估與施工安全評估，納入天然災害(如颱風、地震或海嘯等)風險因素，評估結果應被重視及控制：

民國 91 年 3 月 31 日正在興建的臺北 101 大樓，當時高樓上塔吊的吊臂，還有很多工程機具，因為不堪規模 6.8 地震侵襲，從 51 樓高的地方墜落到地面，地上車毀人亡，造成 5 死 6 傷。雖然天災難防，但台灣位於環太平洋地震帶，又年年面臨颱風的侵襲，因此天然災害(如颱風、地震或海嘯等)風險很高，應納入製程安全評估與施工安全評估，對於評估結果應被重視及控制。

(四)培養勞工良好的教養，遵守工安紀律，建立安全文化：

5S 管理起源於日本，是指在生產現場中對人員、機器、材料、方法等生產要素進行有效的管理，包含整理 (SEIRI)、整頓 (SEITON)、清掃 (SEISO)、清潔 (SEIKETSU) 和教養 (SHITSUKE) 5 個項目，有的事業單位在原來 5S 的基礎上又增加了安全(Safety)，即形成了 6S，惟其中只有“教養”是精神層面、是形而上的，也是最重要、最難做到。因此宣導事業單位培養勞工良好的教養，提高人員的素質，養成嚴格遵守法規制度的習慣和態度，勞工的教養在潛移默化中提高，也建立事業單位的安全文化。如同德國弗萊堡市民的教養，不用嚴格的交通管理，更不用罰款，即可使交通井然有序，他們自律的精神和文化，即是工安人員所強調的紀律。

六、誌謝

本次出國參與國際研討及博覽會及參與爆炸指數測試儀器操作測試與訓練行程，感謝署長的指派及主秘的鼓勵，及中心長官及同仁協助(提供一台翻譯機)。

並感謝瑞士 Adolf Kühner 公司工程人員講解及實際操作測試爆炸指數測試儀器(20 公升爆炸鋼球)及國立高雄第一科技大學工學院陳政任院長、蔡曉雲老師及楊惠甯同學的引導與協助。

最後感謝本次出國參訪訓練行程，一路上曾經幫助過我的人，包括在德國弗萊堡教堂迷路時，熱心引導我回旅館的女孩，才能使一路惶惶難安的心情，稍感放心，也才能順利地完成此次行程，總之，協助我的人太多，需要感謝的人更多，希望能善用所學，盡心盡力去協助需要我幫助的同仁與勞工。

