

行政院所屬各機關因公出國人員出國報告
(出國類別：其他)

參加 2013 年第 12 屆國際靜電研討會

服務機關：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

姓名職稱：蘇文源 副研究員

派赴國家：匈牙利

出國期間：102 年 4 月 15 日至 4 月 22 日

報告日期：102 年 7 月 10 日

摘 要

第 12 屆國際靜電研討會，在 2013 年 4 月 16 日至 20 日於匈牙利布達佩斯舉行，本次大會除了安排 6 場專題演講外，並依不同主題進行 19 場次近百篇論文發表，而本所也發表「台灣塑膠粉體裝卸作業之靜電危害預防」研究論文。

本次研討會除了主要之論文發表與經驗交換研討外，也參訪高電壓實驗室之靜電相關展演，並已蒐集了今年預定公佈之 IEC 60079-32-1 及 IEC 60079-32-2 兩項國際靜電技術規格相關資料。而參與此次研討會後，對國內靜電安全研究與預防等，建議除持續關注國外研究新方法與新結果外，對靜電危害評估也可藉助電腦軟體計算之新研究方式，並配合適當靜電危害或預防之展演，另相關產官學研等單位，也應就該 IEC 兩項靜電技術規格，加以研究探討並本土化為國內技術標準。

目 次

封面.....	1
摘要.....	2
目次.....	3
會議簡介.....	4
目的.....	5
過程.....	6
心得與建議.....	17
附件一 本所發表之研究論文.....	19
附件二 會場照片.....	27

會議簡介

2013 年「第 12 屆國際靜電研討會」為歐洲化學工程師聯盟之工業靜電工作小組 (the Working Party of the European Federation of Chemical Engineer for Static Electricity in Industry) 及主辦國匈牙利布達佩斯科技與經濟大學 (the Budapest University of Technology and Economics) 共同主辦之國際專業研討會，吸引電機電力工程、化學工程、環境工程、物理等領域之全球各地 200 餘產官學者參加，進行靜電原理與應用及危害評估與防治等相關經驗與技術的交流，此項由歐洲化學工程師聯盟之工業靜電工作小組主導之國際靜電研討會，自 1970 年於奧地利維也納舉行第 1 屆研討會後，每 4 年由歐洲各國主辦該項例行會議，現在已是一個不侷限於歐洲地區之國際性專業靜電研討會。

今年會議從 4 月 16 日至 20 日於匈牙利首都布達佩斯靠近多瑙河鎖鍊橋附近的 Hotel Sofitel Budapest Chain Bridge 舉行，會期 5 天，今年的研討會分為靜電原理 (Fundamental) 靜電應用 (Application) 靜電測量 (Measurement) 靜電危害 (Hazard)、液體靜電 (Liquid & Electrostatic)、固體靜電 (Solid & Electrostatic) 及雷擊 (Lightning) 等 7 個不同主題進行 19 場次的近百篇之論文發表，除此之外，也有相關靜電儀器廠商參展，另外大會也特別安排至布達佩斯科技與經濟大學之高電壓實驗室，參觀其超高壓、靜電及雷擊實驗相關展演。

目 的

國內石化工廠等存有可燃性氣體、蒸氣或粉塵之危險場所，在進行液體或粉體之裝卸、處置、儲存作業或產品之製造過程，時有因靜電放電造成火災事故，而電子高科技業則有靜電放電造成電子產品之品質不良問題，因此事業單位對靜電危害評估與防制技術之需求相當迫切，但國內有關靜電危害評估與防制技術之產官學研單位卻寥寥無幾，彼此也不容易有經驗交流對象。

因有關產業之靜電安全亦為本所勞工安全 研究之重要領域，本所也陸續進行了相關石化業或電子業之靜電安全等研究，所以本次出席 2013 年第 12 屆國際靜電研討會，除了發表本所的研究成果「台灣塑膠粉體裝卸作業之靜電危害預防」(The Electrostatic Hazard Prevention for Loading and Unloading Operation of Plastic Powder in Taiwan) (如附件一) 外，亦藉由與國外相關專家學者之研討等進行實務經驗交流，瞭解國際有關職業安全之靜電危害研究議題之最新趨勢及方法，並蒐集相關新資訊和新技術，做為未來國內靜電危害相關問題解決、標準制定或應用及研究方向之參考。

過 程

本屆（第 12 屆）國際靜電研討會，舉辦地點在匈牙利首都布達佩斯靠近多瑙河鎖鍊橋附近的 Hotel Sofitel Budapest Chain Bridge，會期 5 天，由歐洲化學工程師聯盟之工業靜電工作小組及匈牙利布達佩斯科技與經濟大學共同主辦，有來自全球各地 200 餘人參加。本次大會除了安排 6 場的開場專題演講，並針對靜電原理、靜電應用、靜電測量、靜電危害、液體靜電、固體靜電及雷擊等 7 個不同主題進行 19 場次的論文發表，內容涵蓋靜電放電危害與評估、設備人員靜電量測、電纜部分放電、絕緣診斷、雷擊模擬與保護、生物氣膠集塵與工業除塵、氣體分解與清淨等新技術與資訊，共近百篇相關技術論文發表。另外大會並特別安排至布達佩斯科技與經濟大學之高電壓實驗室，參觀其超高壓活線作業之人員等電位放電、各種靜電放電形式及雷擊實驗等相關展演。

因會議期間各出席者所發表不同議題之論文眾多，雖其內容各有所長且頗具研究或應用性，惟受限於時間及研究專長等，在無法兼顧情形下，除了各場次的專題演講外，僅就未來對本所研究策略與國內靜電危害防制之方向或趨勢有所助益者，以及就個人研究領域及興趣等因素考量下擇要參加，以下針對會議過程中與本所研究比較相關之重要專題演講、會議論文、高壓實驗室參訪及其他重要資訊等摘述如下。

一、重要專題演講

1、產品及製程靜電評估之回顧與展望

此專題演講係為紀念已故德國靜電專家 Helmut Kramer 教授(Kramer 教授從事靜電相關研究近 30 年，曾為德國物理技術研究院 PTB 之靜電實驗室負責人，發表 52 篇靜電危害相關文章及 100 餘篇之演講稿，更為多個標準團體之會員或

主席，尤其對歐盟第 1 份靜電危害技術文件 CENELEC R044-001 制定之貢獻最為卓著)，由德國物理技術研究院 Ulrich Von Pidoll 主講，Von Pidoll 為國際電工委員會靜電技術委員會主席，該演講完整地整理自 1950 年代開始之靜電評估過程至 21 世紀之展望等文獻資料，可說是一部近代靜電史。

演講首先說明在 1954 年，德國因一件二氧化碳噴灑入一個 5000m³ 地下煤油儲槽而造成 29 人死亡之重大爆炸事故，而開始進行密集之靜電危害研究，並於 1958 年出版石油業靜電危害一書，其安全防護建議包括：避免爆炸性環境、接地金屬部件、添加抗靜電物質以增加導電率及降低流動速率至 1m/s；而在 1956 年美國石油協會（API）也出版相似之注意事項。1962 年有關靜電危害評估仍相單簡單，主要為將所有大型金屬部件接地且電阻不可超過 1M Ω ，以充分良好之接地系統避免迷失電流點火危害，防止人員及移動性部件帶電，只有經驗證不會產生危險帶電之塑膠物質才可使用；1966 年發表預防刷狀放電之方法，可藉由降低表面電阻低於 100G Ω ，提高相對濕度至 60%以上，限制絕緣塑膠物質最大表面面積或絕緣物質背覆接地導體等。在 1950 及 1960 年代除了石油工業外，靜電危害並不被認為是重要事項，然 1969 年，因世界最大超級油輪發生系列之嚴重爆炸，而對此有了重大地改變。1971 年德國之靜電安全指引更首先採用了氣體區域劃分（Zone 0, 1, 2）概念，並且在 1970 年代因為多起液體處置，因靜電放電造成火災爆炸事故，對於工廠設計者、管理者與操作者而言，靜電危害預防變成一項重要事項，因此英國、瑞士、荷蘭等國家也繼德國與美國之後，出版了強調液體處置之靜電安全指引。尤其 1976 年，殼牌安全委員會出版之靜電整體性工作實務文件，更成為德國液體處置之靜電安全標準文件。在 1981 年，靜電研究者第 1 次採用轉移電荷方法來評估絕緣性塑膠物質刷狀放電之引燃性，並採

用 2 等級之粉塵區域劃分 (Zone 10, 20) 概念。在 1990 年代，絕緣性塑膠物質之靜電評價成爲物質與製程評估預防爆炸之主要工作之一，而測量大空包靜電放電之氣體探棒及手持式庫倫計等測試方式相繼出現，1997 年則將粉塵區域劃分改成 3 等級 (Zone 20, 21, 22) 概念，而 1999 年歐盟電工委員會 (CENELEC) 公布歐盟第 1 份靜電安全指引 (R044-001)。在 2007 年，粉塵物質採用了新的 3 級分類 (IIIA, IIIB, IIC) ，同時也採用了新的設備保護等級方式 (EPL Ga, Gb, Gc, Da, Db, Dc) ，並且在 2013 年，IEC 60079-1 及 60079-2 兩份國際電工委員會靜電技術規格將被公佈成爲國際技術規格，另由於電腦模擬軟體之可靠性計算，也成了現今進行靜電危害評估等所採用之新方法。

另外該演講除了報告整體靜電歷史回顧與趨勢外，也特別說明德國靜電災害與預防方式之演進過程，德國因 1880 及 1890 年代之冬天在石油醚洗衣店，發生超過 80 件之石油醚蒸氣火災爆炸事故，後來由 Richter 驗證發現係洗衣過程中，因摩擦產生大量之靜電，並建議添加 antibenzenepyrin 解決該問題，此爲首次發現因靜電放電產生事故之系列案例，及後來被實驗證明可以添加靜電消散物質增加物質之導電率來降低靜電，但後來即使添加靜電消散物質，在德國卻仍發生多起二硫化碳之爆炸，Richter 於 1907 年建議增加將所有金屬設備接地，而在 1906 年 Richter 發現靜電也是引起粉塵爆炸的原因，經調查 15 件鋁青銅粉塵爆炸事故後，他建議將所有導電性物體接地或以二氧化碳惰性或增加相對濕度。

2、靜電點火危害之模型化在工業危害評估與災害調查改良應用

此專題演講由瑞士製程安全公司 Martin Glor 博士主講，Glor 爲知名之國際級靜電技術專家，其亦爲歐洲化學工程師聯盟之工業靜電工作小組前任主席。Glor 強調因爲過去有關靜電點火危害評估，大都以簡單之實驗來推估，又因實務

上進行量測靜電危害相關參數並不容易，且其實驗之重複性也易受相關環境影響，所以實驗量測其誤差值相當大，因此經常取相當保守之安全係數來修正其安全界限值，而目前有關電腦模擬軟體相當發達，經藉助該軟體及適當有效模型化，來計算相關複雜之電磁方程式，將可得到更適當之靜電危害相關參數。

Glor 以填充普通到中高電阻率物質之儲槽的粉層堆放電可能性，塑膠法蘭內含金屬螺栓之電容大小與是否必須接地，樣品之幾何形狀是否影響表面電阻與表面電阻率，塑膠管內含接地金屬螺旋線之氣動傳送可燃性粉體避免沿面放電之規定等 4 種例子來說明電腦模擬計算靜電點火危害在工業危害評估與災害調查之可能應用。

第 1 個電腦計算模擬例子係在直徑 3m，高 8m 之儲槽，填充物質之介電常數為 2，電荷質量比為 10^{-6}C/kg ，密度為 $5 \times 10^2 \text{kg/m}^3$ ，填充速率為 5kg/s，該模擬計算結果顯示電荷消散因素會嚴重地影響其最大電場強度，若電荷完全無法消散，則其最大電場強度將高達 22.6MV/m，超過靜電放電臨界值 3MV/m，則有可能產生粉層堆放電；但若填充物質之電阻率為 $5 \times 10^{12} \Omega\text{m}$ 時，則其最大電場強度為 1.17MV/m，若填充物質之電阻率為 $5 \times 10^{10} \Omega\text{m}$ 時，則其最大電場強度實際上將趨近於 0。

第 2 個電腦計算模擬例子係計算直徑 10mm，長度 50mm 之螺栓，在 8m×6m×4m 之自由空間中央及在一直徑 200mm，長度為 3.8m 之接地金屬管在距離 3mm 與 1mm 平行靠近時之電容量，該模擬計算結果顯示，螺栓在自由空間中央之電容量只有 1.4pF，但在距離 3mm 與 1mm 接地金屬管時，其電容量增加為 3.1pF 及 4.9pF。

第 3 個電腦計算模擬例子，首先模擬量測樣品為 600mm×600mm，厚度

10mm，在長度皆為 100mm，但寬度分別為 1mm 及 10mm 之兩種不同量測電極下，計算不同電極分別在 10mm 至 100mm 之不同電極間隙下所得到之表面電阻，發現兩不同電極在 10mm 至 100mm 電極間隙下其差異值大約為 2.7 至 3.5 倍，因此過去習慣所採用之 10 倍並不正確，且可能是不安全的。另外再針對量測樣品為 600mm×600mm，厚度為 1mm 至 20mm，模擬 100mm 電極間隙下所得到之表面電阻率，發現厚度 1mm 之表面電阻率約為厚度 20mm 之 10 倍，但過去量測表面電阻或表面電阻率時，並不考慮其樣品厚度。

第 4 個電腦計算模擬例子，係模擬外徑為 20mm，厚度為 6mm 之塑膠管，在其內表面下 2mm 處，設置半徑為 1mm 且每匝高度為 25mm 之接地金屬螺旋線，於何種塑膠管材質下，進行氣動傳送可燃性粉體可避免沿面放電，經模擬計算結果，當塑膠管無外覆之接地導電層時，其電阻率不可超過 $3.3 \times 10^8 \Omega m$ ；若塑膠管有外覆之接地導電層時，其電阻率不可超過 $8.3 \times 10^8 \Omega m$ 。

二、重要會議論文

1、防止操作儀電設備之靜電危害可行性研究

俄羅斯 Sergey Zhulikov 結合電腦計算與實驗程序技術，進行探討防止人員帶靜電，執行儀電設備或通訊設備之操作或維修時，因人員靜電放電而造成設備失效之工安事故，在考慮可接受之安全靜電電壓值與所需成本後，其建議針對新的建築控制室或通訊室，其防止人員帶危險靜電之最佳方式，係採用混泥土地板或具有混泥土接合部之陶材磁磚（大小為 10cm×10cm 以下）而作業人員穿著皮製鞋底之鞋子，則靜電可經由鞋底消散至混泥土地板或混泥土接合部；而對於既存之其他親水性或可滲透水氣之地面，其防止人員帶危險靜電之最佳方式，係以空氣加濕器增加室內相對濕度至 65% 以上，並在作業人員穿戴之鞋子上加裝抗

靜電皮帶，則靜電可經由抗靜電皮帶消散至地板。

2、以絕緣性或消散性管路氣動傳送可燃性粉體之靜電危害評估

德國 Wolfgang Fath 也利用了實驗與電腦軟體計算靜電危害之新評估方法，探討以絕緣性或消散性管路，氣動傳送可燃性粉體之靜電危害，首先以實驗方式量測在不同管路與輸送粉體下，氣體傳送速度為 10m/s 時之電流密度，其結果顯示在穩定電流 $1\text{mA}/\text{m}^2$ 以下時，要避免沿面放電之條件如下：若管路之管壁不含任何金屬結構時，該管路並不適合使用；若管路之外層管壁為導電性，而內層管壁為消散性之組合時，則內層管壁不會有足夠之電荷密度而足以造成沿面放電；若管壁構造與特性不清楚時，則量測內管壁至外部導電層之電阻與該量測電極表面積之乘積應小於 $4\text{M}\Omega\text{m}^2$ 。

3、高壓活線作業導電性防護衣之電磁場遮蔽

匈牙利 Gabor Gocsei 教授發表有關高壓活線作業導電性防護衣於高壓電線旁作業時之電磁場防護效果，根據其分別在 120kV、220kV、400kV 及 750kV 高壓線旁模擬活線作業下之測試，其結果顯示對於電場之防護效果，若該導電性防護衣不具備適當之防護面罩時，人員之電場防護並不足，其值將會超過國際非游離防護協會（ICNIRP）之建議值 $10\text{kV}/\text{m}$ ，並且防護面罩之網格尺寸愈小，則人員曝露之電場值愈小，另外該實驗亦證明導電性防護衣對磁場之遮蔽不具有效果，穿戴各式導電性防護衣之作業人員，其前面、背面與頭部之磁場曝露值為 9 高斯至 16 高斯，尤其前面之磁場曝露值全部超過 13 高斯，皆高於國際非游離防護協會之建議值（2010 年前為 5 高斯，2011 年後為 10 高斯）。

4、個人保護裝備附屬導電性組件之放電點火風險評估

英國 Paul Holdstock 針對附屬於個人保護裝備的導電性組件（例如 D 形環、

釦子及拉鍊等) 分別以電容計法、電荷分配法與電荷轉移法等 3 種量測法，進行該等小組件之靜電放電點火風險相關測量，其結果顯示一般電荷分配法與電荷轉移法所量測之電容值皆高於電容計法，尤其測量拉鍊時，其差異值更顯得具有重大意義，而以電荷分配法測量拉鍊時，其電容值會因提高施加電壓而跟著變大。另外發現拉鍊清洗後，其電容量測值變大，此原因係拉鍊清洗後，其長度變長了。另外以電荷分配法與電荷轉移法測量電容時，所施加之電壓為 1kV 以上之高電壓，可反應出拉鍊之充放電情形，其對點火風險之評估可能是重要的，但電容計法係採低電壓，故無此充放電情形。

5、帶電絕緣板以離子中和器除電之過度中和問題

日本 Ohsawa 針對帶電絕緣板在上下兩面均帶正電、僅上面帶正電、僅下面帶正電、上面帶正電且下面帶負電之 4 種初始帶電均勻分佈，在該絕緣板上面裝置離子中和器 (ionizer) 除電之情況下，利用電腦模擬計算除電過程有否可能出現電荷過度中和 (over-neutralization) 之靜電危害問題，經計算模擬後發現僅上面帶正電之初始帶電情況，在除電過程之起始階段不會出現電荷過度中和之靜電危害問題。因此該電腦模擬結果顯示以離子中和器除電時，依絕緣板初始帶電分佈情形，可能於除電過程之起始階段產生靜電問題與危害，當絕緣板相反面帶電時，就會出現電荷過度中和之靜電危害問題，反之，若絕緣板相反面不帶電時，就不會出現電荷過度中和問題。然而不論絕緣板初始帶電分佈情形如何，於達到穩態階段後，絕緣板之帶電荷都能降至安全水平以下。因此在安裝離子中和器時，應考量初始帶電分佈情形，並將其安裝在帶電面以避免電荷過度中和問題。

6、台灣塑膠粉體裝卸作業之靜電危害預防

本所之研究成果「台灣塑膠粉體裝卸作業之靜電危害預防」 The Electrostatic

Hazard Prevention for Loading and Unloading Operation of Plastic Powder in

Taiwan), 被安排於第 2 天進行發表, 由於本論文屬於製程安全之實務應用型, 因此深受與會者熱烈研討, 並洽詢相關問題及互相交換經驗與意見。而該論文主要是以高潛在靜電危害之塑膠粉體裝卸料作業為研究探討對象, 並與曾經因靜電放電產生工安事故之塑膠粉體裝卸料作業廠商為合作對象, 彙整與檢討防止塑膠粉體裝卸產生靜電放電危害之設施。首先採用失誤樹分析方法尋找粉體裝卸產生粉塵爆炸之要因, 接著進行工廠現場作業之靜電特性測量, 以實際了解粉體裝卸製程靜電累積現況, 並實際檢測評估業界常用之減少粉體裝卸帶靜電方法之有效性 (包括使用多層環狀銅質漏斗、金屬卸料導管、金屬螺旋輸送器、噴霧增濕系統、接地金屬棒及氮氣充填惰性等)。結果發現 (1) 靜電主要放電點發生在袋口對進料口、粉體對進料口、人員對進料口及粉層堆對槽體等處; (2) 噴霧增濕系統與接地金屬棒對於太空包粉體卸料時之靜電消除, 並無明顯之效益; (3) 金屬螺旋輸送器銜接於太空包卸料口, 對粉體輸送至槽體卸料口之靜電防護有良好效果; (4) 多層環狀銅質漏斗及金屬卸料導管能減低卸料粉體之靜電, 但有其效果限制; (5) 充填氮氣來控制氧氣濃度以預防靜電放電引發塵爆有顯著之功效, 但國內並未事先測量該粉塵爆炸之最低需氧濃度, 而僅憑經驗值設定, 可能存在安全上之不確定性。最後經由綜合相關訪視測量與調查後, 提出下列相關建議 (1) 粉體之完整靜電特性測試是必要的; (2) 太空包等袋子之選用應視粉體之最低點火能量而定; (3) 作業時有必要進行現場靜電量測, 以評估該作業之靜電放電風險; (4) 確認所有導體被良好搭接且接地; (5) 建議使用金屬螺旋輸送器; (6) 惰性氣體填充可有效防止塵爆, 但應明瞭粉塵爆炸之最低需氧濃度; (7) 加強有關靜電放電危害辨識、評估及控制等訓練。

三、高壓實驗室參訪

本次研討會除了靜態之專題演講、技術論文發表與相關靜電儀器製造廠商參展之靜態展示外，大會並特別安排至布達佩斯科技與經濟大學之高電壓實驗室，參觀其相關高電壓研究與實驗工作，在參觀其超高壓活線作業之人員等電位放電、各種靜電放電形式及雷擊實驗等相關展演後，發現該大學高壓實驗室設備規模及研究人員均比國內大學相關實驗室等級高且實作相當豐富。

1、超高壓活線作業之人員等電位放電展演

本項展演係真人穿戴活線作業用之全套導電衣物，乘坐在懸吊於數十個絕緣礙子串接下之可操控上下作業椅上，展演電氣作業人員於進行超高壓活線作業時，人員接觸該超高壓電線完成等電位搭接前，出現在超高壓電線與人員導電衣物間之電弧放電情形。該展演可讓參觀者或活線作業人員明瞭實際超高壓電線活線作業時，出現電弧放電現象與斷弧情形。

2、各種靜電放電形式展演

本項展演包括沿面放電（Propagating brush discharge）與電暈放電（Corona discharge）兩項，其中沿面放電係加高電壓於接近一大片玻璃之小球型金屬上，逐漸調高其高電壓後，使該小球型金屬與大片玻璃間之氣體空間離子化，但未完全絕緣破壞，而達到該區域同時全面放電，形成沿面放電之現象。另電暈放電係在數個絕緣礙子串接之絕緣套管上先放置一瓶底部挖小洞之瓶裝水，使水沿著該串接絕緣礙子邊緣滴下，然後加高電壓於絕緣套管上下之金屬間，逐漸調高其高電壓後，使該金屬間之絕緣礙子部分表面離子化，但未完全絕緣破壞，而形成電暈放電之現象。該兩項展演可讓參觀或研究人員了解該兩種放電之實際情形與現象。

3、雷擊實驗相關展演

本項展演包括地面上不同材質物體雷擊後之破壞現象 與人員座於鐵製金屬箱內之雷擊後等電位現象 兩項，其中對於地面上不同材質物體雷擊後之破壞現象，係分別加雷擊電壓於人造合成石材、潮濕竹材及金屬材質之短棒上，實際了解其破壞情形，該展演可發現人造合成石材短棒雷擊後破裂斷掉、而潮濕竹材從雷擊點中間分裂，而金屬材質之短棒並無異狀。另法拉第籠子內之雷擊後等電位現象，係先使展演人員座於具有兩面鐵網開窗之鐵製金屬箱，而後於該鐵箱上端施加雷擊電壓，此時雖出現大電弧與巨大放電聲響，但鐵製金屬箱內之人員安全無恙，此即是所謂的法拉第籠子（Faraday's cage）等電位現象，其可展示人員於車體內遭受雷擊時，不會有電擊危險現象。

四、其他重要資訊交流

因我國並非國際電工委員會（IEC）之會員國，不易直接獲知 IEC 相關標準制定之時程與草案內容，但由本次研討會之相關專家研討交流及論文發表等，獲知適用於爆炸性環境（例如石化業等危險場所）之 IEC 兩項靜電技術規格已將近完成制訂時程，預計於今年公布，其中一項技術規格為 IEC 60079-32-1 屬於靜電危害及指引部分，其係由目前歐盟技術報告 CLC TR 50404：2003 版本加以修正制訂，內容相當廣泛，主要包括：固體材質之靜電、液體之靜電、氣體之靜電、粉體之靜電、處置爆炸物與電氣引爆裝置之靜電、人員之靜電、靜電電擊、接地與搭接等技術本文，及靜電充電、累積、放電與風險評估之量測等靜電原理，絕緣固體材質、處置液體或粉體處置與儲存等之引火性靜電放電，物質之可燃特性，危險區域分類，設備保護等級分類，系統性之靜電評價流程等參考性附錄。而另一項技術規格為 IEC 60079-32-2 屬於測試部分，而測試方法有大部份採用電

子業常使用之 IEC 60341 系列靜電標準，其內容主要規定表面電阻、表面電阻率、洩漏電阻、使用中鞋類、使用中手套、粉體電阻率、液體導電率、電容、轉移電荷、點火測試、電荷衰檢測量及崩潰電壓等之測試通則、原理、設備、樣品、程序、可接受準則與測試報告等。

心得及建議

1. 本次參加 2013 年第 12 屆國際靜電研討會，其會議內容從靜電之放電危害與評估、設備人員靜電量測、電纜部分放電、絕緣診斷、雷擊模擬與保護，到靜電應用於生物氣膠集塵與工業除塵、氣體分解與清淨等新技術與資訊，內容相當多元廣泛，而經由研討會之論文發表等，了解目前國外對靜電相關領域研究趨勢與方法，及有關標準規範及量測之新資訊，另本所發表之研究成果「台灣塑膠粉體裝卸作業之靜電危害預防」，也深受與會者熱烈研討，並洽詢相關問題及互相交換經驗與意見，顯示本所的靜電研究亦能與國際議題接軌，探討國際關注、本土性之靜電危害議題。
2. 研討會中有多篇論文對於靜電之放電危害與評估方法，採用部分實驗搭配電腦軟體計算方式進行，這對過去慣以實驗量測取得數據，但常因靜電實驗之重複性不易與量測上之困難等，最後常再搭配經驗值修正之預估方式，提供了研究上之解決對策與快速方法，而且經由此新方法獲得之結果與傳統方法差異很小，且重複性較高，因此包括今年即將公佈之國際電工委員會 IEC 60079-32-1（靜電危害及指引）中之部分安全規定值就是採用此新方法所評估後之新數據，因此建議國內日後對靜電放電危害與評估之相關研究，亦可考慮採用藉助電腦軟體（如 FET、Excel Macros、Excel Solver 等）計算方式進行。
3. 經由本次研討會相關專家討論及論文發表，獲知適用於爆炸性環境（例如石化業等危險場所）之國際電工委員會 IEC 60079-32-1（靜電危害及指引）及 IEC 60079-32-2（測試）兩項靜電技術規格已將近完成制訂時程，預計於今年公布，因國內一直沒有完整之靜電指引與測試相關技術規格標準等，又基於

爆炸性環境之 IEC 標準，目前已被全世界主要國家所採用，而 CNS 國家標準也是以採用 IEC 國際標準為原則，因此建議相關產官學研應儘快蒐集相關資料，加以研究探討並轉化為國內技術標準。

4. 另外參觀布達佩斯科技與經濟大學之高電壓實驗室，發現該大學高壓實驗室設備規模及研究人員均比國內大學相關實驗室等級高，且實作相當豐富，而該實驗室進行之超高壓活線作業人員等電位放電、各種靜電放電形式及雷擊實驗之展演，更能讓相關人員了解各種實際情形，並與理論互相搭配，加深印象，而其中有關人員座於鐵製金屬箱內施加雷擊電壓後，人員不會有電擊問題之等電位現象展演，也再次驗證了本所 85 年進行防止移動式起重機誤觸高壓電線感電研究，將大鼠放置於鐵製籠子內施加高電壓實驗之法拉第等電位實驗後，該大鼠也安然無恙之情形，因此該項研究報告曾建議起重機操作人員於座位上操作起重機，萬一誤觸高壓電線時，該操作人員不可因驚慌逕自下車，而應留於車內，才不會有電擊危害問題。

附件一 本所發表之研究論文

The Electrostatic Hazard Prevention for Loading and Unloading Operation of Plastic Powder in Taiwan

M.H. Hsieh¹, W.Y. Su², C.H. Ye¹, Z.H. Liu¹

¹ Central Taiwan University of Science and Technology, Institute of Safety and Disaster Prevention Technology, Taiwan

² Institute of Occupational Safety and Health, Council of Labour Affairs, Taipei, Taiwan

Abstract

This study explored the safety measures for loading and unloading process with the high potential electrostatic risk plastic powder. We cooperated with a plastic powder manufacturing company which had ever been caused dust explosion accident induced by electrostatic discharge (ESD). So, we explored the most common measures used for electrostatic hazard prevention on powder loading and unloading processes in Taiwan.

In order to evaluate electrostatic risk of the powder loading and unloading process, we conducted a series onsite electrostatic characteristics measurement on both powder operations. And we also examined the mitigation effect of electrostatic hazard under operating the electrostatic mitigation facilities (such as multi-ring type funnel with copper material, conductive chute, metal screw conveyer, water mist spray system, grounding metal rod and inert gas purging etc.) which were commonly used on both powder handling processes.

According testing results, we found : (1) water mist spray system and grounding metal rod seemed ineffective on electrostatic decline effect; (2) metal screw conveyer showed good result on electrostatic prevention, especially the outlet of bulk powder container connected with the inlet of screw conveyer; (3) both multi-ring type funnel with copper material and conductive chute could eliminate electrostatic significantly, but could not eliminate electrostatic completely; (4) controlling oxygen concentration by purging nitrogen gas exhibited a good preventive effect on dust explosion hazard, but the setting point of oxygen concentration without detecting powder's minimum oxygen concentration (MOC) test will be the safety uncertainty of this measure in Taiwan.

Finally, we discussed the measures and strategies used for electrostatic hazard prevention, and developed the ESD prevention guideline for plastic powder loading and unloading processes. We hope the result of this study could be the key reference for the ESD prevention criterion of the plastic powder operation.

Keywords: Electrostatic discharge, Fire, Explosion, Plastic Powder, Electrostatic prevention

I. INTRODUCTION

People always think the plastic powder is a kind of stable material, and the atmosphere of Taiwan is under high humidity in the whole year. Therefore; it seems impossible to have electrostatic problem in handling plastic powder. Unfortunately: there were many dust explosion accidents caused by electrostatic discharge (ESD) in past. For example, a plastics manufacturing company in northern of Taiwan has an explosion accident, resulted 1 death and 2 injuries in 2001 [1]. Another two dust explosion events happened in same plastics powder loading process in six months since the end of 2008 in southern of Taiwan [2]. In 2012, there were more than 3 dust explosion events induced by ESD in the first six months [3].

After explored those dust explosion events, Unknowing the electrostatic characteristic of powder and unable recognized the electrostatic hazard of their handling process are the major factors of incidents [4]. Thus, the objective of this study will explore the effect of most common measures used for electrostatic hazard prevention and control for both loading and unloading process.

II. METHOD

To figure out the root of dust explosion in powder loading operation, we adopt the fault tree analysis method to do so. Then we cooperate with a plastic powder manufacturing company which had ever been caused dust explosion accident induced by ESD.

In order to evaluate electrostatic risk of the powder loading and unloading process, we conducted a series onsite electrostatic characteristics measurement on both powder operations. And we also examined the mitigation effect of electrostatic hazard under operating the electrostatic mitigation facilities (such as multi-ring type funnel with copper material, conductive chute, metal screw conveyer, water mist spray system, grounding metal rod and inert gas purging etc.) which were the most common measures used on both powder handling processes.

III. RESULT

A. Fault Tree Analysis of Powder Explosion in Loading Operation

Due to the ignition source focus on ESD in this study, the fault tree analysis of dust explosion induced by ESD in loading operation as shown in Fig. 1. Based on this result, ESD could be produced on various operations, such as from bag outlet to loading inlet, powder to loading inlet, operator to loading inlet, and pile powder top to loading tank. Besides, ESD hazard will not only be influenced by the resistivity of powder, package materials, tank, and the worker who wearing conductive equipment or not, but also the bonding and grounding effect could influence ESD as well.

B. The Result of Using Electrostatic Mitigation Facilities

Table 1 is the results of the powder handling process used multi-ring type funnel with copper material, and table 2 is the result which non-used. Obviously, we can find significant difference voltage between two tables, the one which use multi-ring type funnel could decrease the voltage, and the open degree of package bag also affects the voltage.

Using conductive slide chute or not will influence the voltage significantly (Table 3), the voltage of using chute is 6.8 kV. Additionally, using metal screw conveyer is also effective to exhibit the powder be charged. In table 4, the voltage of powder which be packed in package bag before loading is 0.4-0.5 kV, and there were the similar values when powder be transported. The location of sampling shows in Fig. 2.

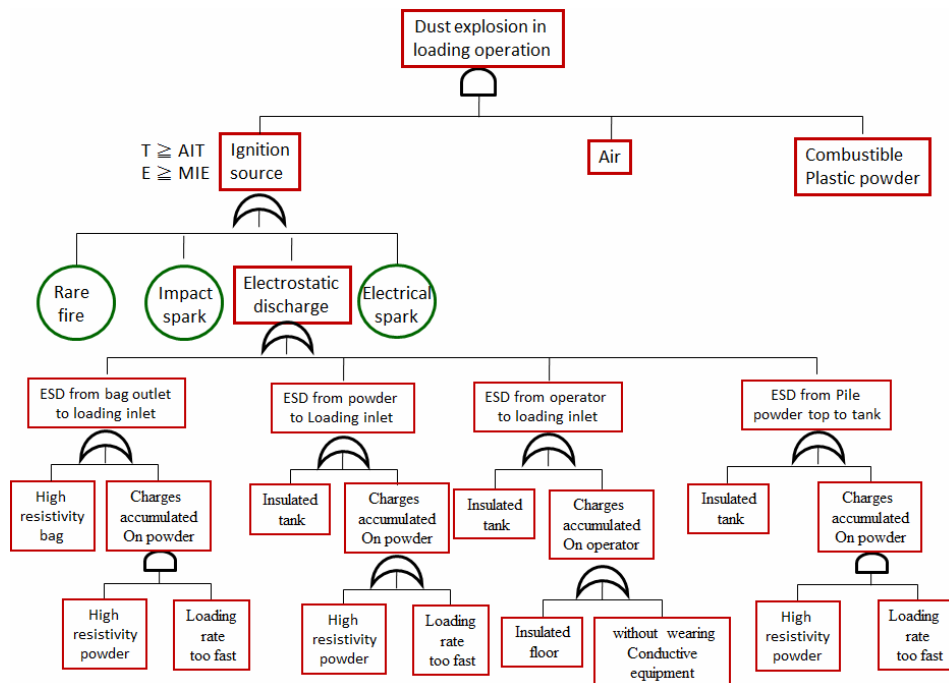


Fig. 1 Fault tree analysis of dust explosion in loading operation

TABLE I

The voltage of using multi-ring type funnel with copper material

Open degree of package bag	Discharging time (sec)	Rate (kg/s)	The voltage of bag outlet (kV)	The voltage of funnel outlet (kV)
whole	128	3.1	7.2	3.8
half	198	2.0	6.8	3.2
little	413	0.97	3.2	1.8
Humidity : 75-85% Temperature : 35°C Background of package bag : 0.17-0.8 kV Weight of Powder : 500 kg/bag				

TABLE 2

The voltage of non-using multi-ring type funnel with copper material

Open degree of package bag	Discharging time (sec)	Rate (kg/s)	The voltage of bag outlet (kV)	The voltage of funnel outlet (kV)
Whole	125	3.2	7.4	8.6
Half	202	2.0	6.5	7.1
Little	418	0.96	3.0	3.6
Humidity : 75-85% Temperature : 35°C Background of package bag : 0.17-0.8 kV Weight of Powder : 500 kg/bag				

TABLE 3

The difference voltage of setting conductive chute

Metal screw conveyer	Voltage (kV)
None	24.0
Have	6.8
Humidity : 75-80% Temperature : 35°C Background of package bag : 0.17-0.8 kV Weight of Powder : 500 kg/bag	

TABLE 4

The voltage of metal screw conveyer

Area	Voltage (kV)
powder in package bag before loading	0.4-0.5
Inlet (A)	1.3
Middle conveyer (B)	0.3
Outlet (C)	3.8
Humidity : 75-80% Temperature : 35°C Background of package bag : 0.17-0.8 kV	

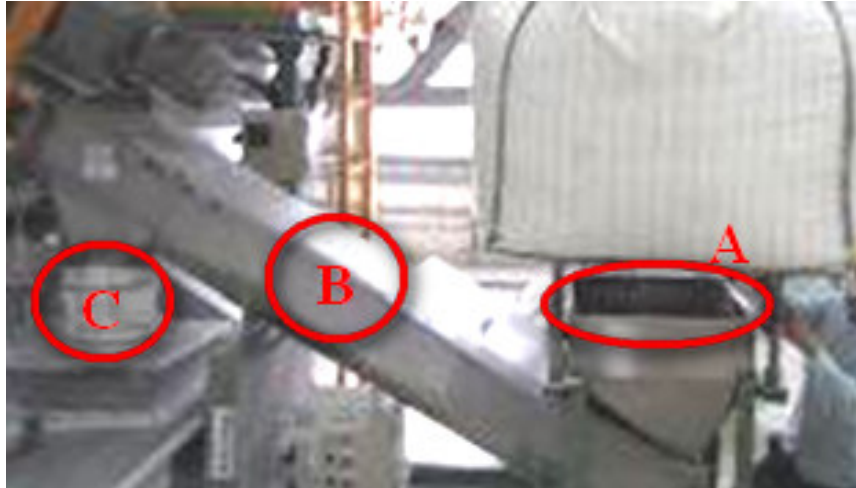


Fig. 2 The testing area of using metal screw conveyer

IV. DISCUSSION

According to the testing results, we found : (1) water mist spray system and grounding metal rod seemed no any help on electrostatic decline effect; (2) metal screw conveyer showed good result on electrostatic prevention, especially the outlet of bulk powder container connected with the inlet of screw conveyer; (3) both multi-ring type funnel with copper material and conductive chute could eliminate electrostatic significantly, but could not eliminate electrostatic completely; (4) controlling oxygen concentration by purging nitrogen gas exhibited a good preventive effect on dust explosion hazard, but the setting point of oxygen concentration without undergoing powder's minimum oxygen concentration (MOC) test will be the safety uncertainty of this measure in Taiwan.

Unfortunately, most of plastics manufactory in Taiwan did not have any idea to identify the electrostatic hazard. They did nothing on measuring characteristic of powder like volume resistivity, minimum ignition energy (MIE), minimum oxygen concentration (MOC) etc., and they also did not conduct electrostatic field or voltage survey under operation condition to evaluate the electrostatic risk of powder treatment process.

V. CONCLUSION

Base on the result of this study, our conclusion is: (1) to complete electrostatic characteristic test of the powder is necessary; (2) the FIBC type selected should depend on MIE of the powder; (3) it is need to execute onsite electrostatic field or voltage survey under operation condition to evaluate the electrostatic risk of powder handling process; (4) ensure each conductive part should be well bonding and grounding; (5) metal screw conveyer is recommend to equipped, especially the outlet

of bulk powder container connected with the inlet of screw conveyer; (6) inert gas purging measure is good for prevent dust explosion caused by ESD; but the oxygen control has to refer the MOC of powder, (7) the training program of ESD hazard identification, assessment and control should be promote for all plastics manufactory in Taiwan.

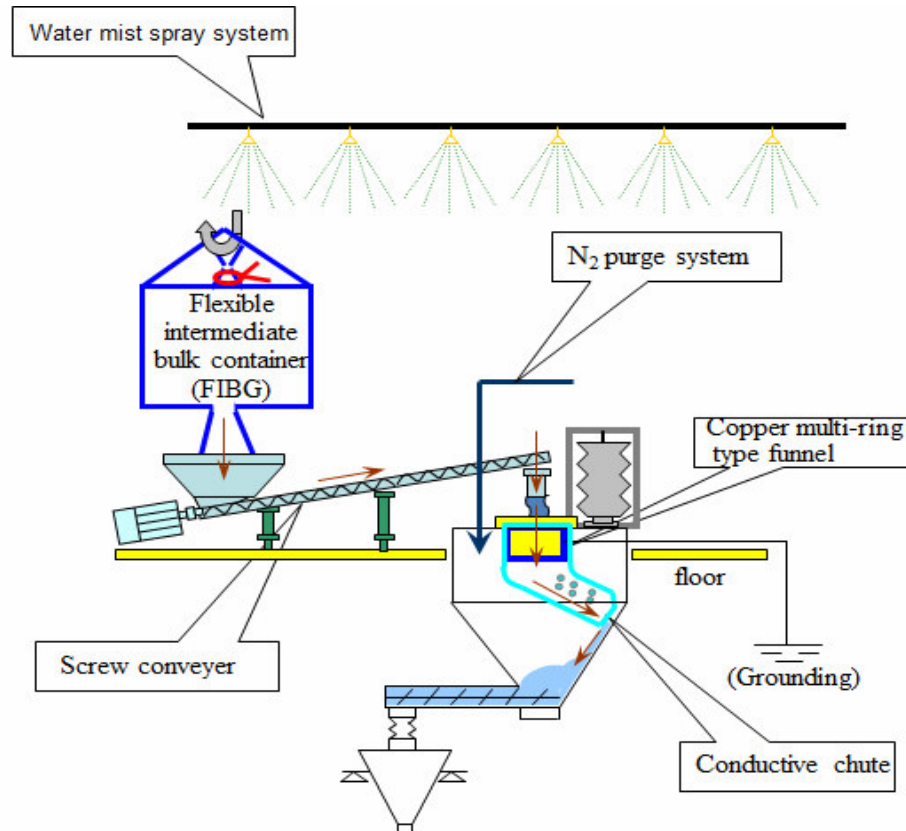


Fig. 3 Common electrostatic prevention measures in powder loading process [5]

VI. ACKNOWLEDGMENT

This study was supported by a grant from Institute of Occupational Safety and Health (IOSH100-S303), and thanks for all participants

VII. REFERENCE

- [1] 麥寮工業園區勞工安全促進會 (2001) 從事反應槽入料作業因爆炸致死傷. [Online]. Available: http://www.mlafsh.com.tw/enviornment/enviornment_4.asp#ajax2.htm
- [2] 防災科學教育館 (2010) 台塑南亞廠大火 疑原料輸送產生靜電釀災. [Online]. Available: http://3d.tfd.gov.tw/f_news2_d.asp?sno=201
- [3] TVBS News (2012) 燕巢化工廠油槽氣爆 火焰 10 米高. [Online]. Available: <http://tw.yahoo.com>

- [4] Institute of Occupational Safety and Health, 勞工安全衛生簡訊:製造業靜電危害現況調查 Taipei, Taiwan: IOSH, 1997, vol. 24.
- [5] The Nan Ya Plastics Corporation website (2012). [Online.]. Available: <http://www.npc.com.tw/>

附件二 會場照片



研討會現場



大會主席團與主辦幹部



會場參展廠商攤位



超高壓活線作業等電位放電展演