

油槽自燃現象探討與分析

王儷禎¹，何三平¹，張慧蓓¹，蔡永銘²，施學堯²

¹長榮大學職業安全與衛生學系、²台灣中油股份有限公司

摘要

油槽底板內襯防蝕塗覆工程屬局限空間作業，其特性為內部無法以充分且適當之自然通風來維持內部清淨之可呼吸性空氣，因此作業所使用之塗料為無溶劑型環氧塗料，但於環氧樹脂裡襯積層漆完工後，進行內襯面漆時，不料發生火災。而現場火災初步調查已排除因靜電導致起火之可能性；而槽內所使用的照明燈可能為一發熱源，長時間使用下導致使用過熱，並將塗料加熱至自燃溫度造成自燃現象。

利用圓錐量熱儀去量測無溶劑型環氧塗料的自燃溫度及將無溶劑型環氧塗料直接放置於照明燈正下方兩大方向，觀察是否可發生自燃現象。前者使用圓形油盤作為盛裝塗料的容器，用不同之熱通量加熱無溶劑型環氧塗料，將溫度測量點（熱電偶）放置於塗料最表面之處及關掉抽風系統。後者的測試方法分為三種，首先利用熱通量計測量試體在不同輻射熱源但相同輻射熱強度下，觀察其自燃情形；其二則是證明照明燈邊長 10 cm 正方形區域內 15 個受熱點之熱輻射強度是否均勻；最後，為了減少周圍氣流冷卻之影響，縮小其受熱面積，將容器放置在燈管中心區域觀察試體之自燃現象。

歸納整理出使用 30kW/m^2 、 40kW/m^2 以及 60kW/m^2 等三種不同的熱通量加熱無溶劑型環氧塗料時，自燃溫度約為 302 ~ 317 °C。由照明燈輻射熱強度量測與分析實驗得知，環境溫度(室溫)和容器大小可能為影響環氧樹脂是否能夠發生自燃現象之因素；換言之，當盛裝環氧樹脂的容器面積隨著環境溫度升高而變大時，愈能使環氧樹脂發生自燃現象。

當儲槽進行無溶劑型環氧塗料的襯積層漆時，若槽內溫度愈高，且照明燈有足夠的輻射熱強度，以其不斷地照射，塗料表面溫度易達到自燃溫度而起火燃燒之可能，而至於其他影響因素則需進行實驗方可證明。

關鍵字：圓錐量熱儀、自燃溫度、熱通量

一、 前言

石化工業區內的儲槽為大型工廠不可或缺的設備之一，銹蝕或腐蝕會將昂貴的儲槽設備破壞而減少其壽命，因此須於油槽內進行防蝕施工保護，但其作業型態屬侷限空間場所，特徵為通風不充分，可能因蓄積有害氣體或形成缺氧狀態，造成人員中毒或缺氧窒息或因累積可燃性氣體與空氣混合，使濃度達到燃爆範圍，而引起火災、爆炸。因此施工規範要求，油槽底板內襯防蝕塗覆工程作業所使用之塗料應為無溶劑型環氧塗料，亦為沒有可揮發的有機物含量(VOC)的危害。

災害發生時，施工所使用的塗料為環氧樹脂裡襯積層漆，中文名稱為聚醯胺樹脂(POLYAMIDE RESIN)，亦稱環氧樹脂用硬化劑，其為可燃性物質(其閃火點為 185)。現場火災初步調查發現無顯著明火源引燃且當天的相對溼度為 60~70%(排除因靜電導致起火之可能性)，而槽內所使用的照明燈可能為一發熱源，長時間使用下導致局部過熱，並將塗料加熱至自燃溫度造成自燃(Autoignition)現象。

環顧國內研究的文獻，對可燃性液體之自燃現象鮮少探討之。自燃可分兩種情況，一為當可燃性物質被加熱至自燃溫度，不需火源或火花就能起火燃燒之現象，稱之為自燃(Autoignition)；二為物質本身內部經化學或生物反應產生局部過熱且熱無法由外界環境帶走，導致起火燃燒之現象，這叫做為自燃發火(Spontaneous)。

隨著科技技術日新月異，相對而言所引發的火災也隨科技技術而有所改變，發生火災的類型可依可燃物性質不同而有所不同，分別為 A 類火災、 B 類火災、 C 類火災、 D 類火災等四類，造成火災的原因繁多，其中以自燃火災為較不易鑑定，且可燃性液體本身潛伏著火災之危險性，若儲存或運輸處理的過程中，有外部加熱及其他可造成自燃(Autoignition)起火的條件，可能會提高火災之危險程度。因此，本研究探討燈具產生的局部過熱是否會引起環氧塗料之自燃，此結果可作為將來改善油槽防蝕施工程序及檢驗之參考。

二、 文獻探討

(一) 國內相關自燃研究

吳昌益【2】本論文是以印尼生產之 adaro 環保煤，儲存在台中發電廠開放式的煤場中，以簡單的現場實驗及觀察分析，得到煤堆內部溫度分佈的情形及煤堆蓄熱溫升的趨勢，並推論表面水份含量及周圍風速，將是影響煤堆溫升速率的主要原因。希望藉由本論文能提供煤場管理人員參考應用的資訊，以避免發生自燃致生不必要的損失，並減少意外及環境污染，使此類煤能廣泛而安全的使用。

黃家峰【3】是以純木屑 50g 及石棉為實驗樣品，置於電熱系統中，其目的為探討木屑的自燃點與環境溫度、時間、堆積高度、添加物之間的關係，並且藉由理論模式來與實驗值來做比對。木屑在電熱箱內的自燃過程受到傳導熱、對流熱、輻射熱等現象，在木屑內部積熱，而使木屑變質分解、焦化現象最後氣化燃燒。實驗結果顯示環境溫度在 150 以下的木屑皆不會有自燃現象，而在 200 以上的木屑皆會有自燃現象產生。然而又因添加純石棉的顆粒大小不同而異，在純石棉為粉末狀態時其環境溫度控制在 250 （純木屑與純石棉重量一樣）皆不會有自燃現象產生，若純石棉為顆粒狀態時仍會有自燃現象產生。藉由理論模式的分析可以預測自燃點之燃燒時間，溫度和時間之變化圖，藉由 CFD-RC 之計算軟體可模擬堆積高度與自燃點時間，將計算結果與實驗值做一比對，結果顯示其與實驗結果具相同的趨勢。

鄭招仁【4】探討矽甲烷燃燒反應機制，發現矽甲烷和氧的濃度對燃燒速率的影響是成正比。同時隨著二者濃度的增加，燃燒速率亦增加。但是矽甲烷濃度增加對反應速率之重要性會較氧來的重要。其次，利用 PHOENIC 軟體來模擬一般工業用之燃燒器之流場，發現距離噴嘴口約 2 至 3 公分處會有劇烈混合之現象，

產生之二氧化矽將易阻塞於噴嘴口附近。倘若使用氮氣來稀釋並阻隔矽甲烷和空氣，結果顯示在噴嘴口附近氮氣可成功將氧阻隔延遲反應時間。因此利用矽甲烷反應機制和稀釋氣體之特性來阻絕氧氣在噴嘴口與矽甲烷產生自燃反應，可改進噴嘴口沈積之缺點，並進而可作為設計一新式燃燒器之參考。

楊振華【5】探討硫化鐵的氧化反應放熱特性，以恆溫微量熱卡計（TAM Air Isothermal Calorimeter）實驗測試，用不同量組合的純硫化鐵和硫化鐵 油泥分別測試，測試結果顯示：乾燥的純硫化鐵氧化放熱速率為 $3.67 \times 10^{-4} \sim 5.17 \times 10^{-4}$ cal/min，表示氧化反應非常的慢；潮濕的純硫化鐵在通入空氣幾分鐘內立即反應，同時放出大量的熱，高峰放熱時間約 5 小時；而硫化鐵 油泥配比的氧化反應初期較緩和，而在 2 小時至 10 小時為氧化反應放熱高峰，由於油泥的蓄熱及空隙使得硫化鐵獲得較充足的氧氣，因此放熱高峰持續較久，這也是熱危害的高峰期。

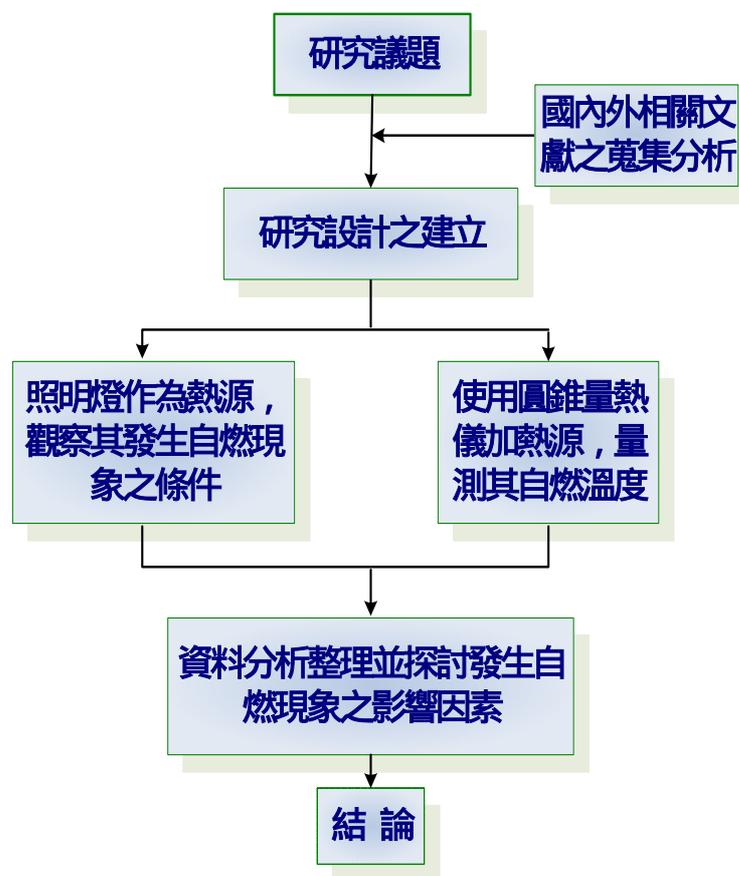
(二) 國外相關自燃研究

M. Horii 和 S. Iida (1999)【6】說明有關 ASR (Automobile Shredder Residue) 自燃等相關性，包含有粉塵厚度與自燃溫度探討，及儲放時間與自燃溫度之探討，並且以實驗值與理論值做一比較。得知到當粉塵厚度堆積越高時，其自燃溫度點就會越低。另外將粉塵放入 15cm 的不鏽鋼箱內，當環境溫度分別空置於 100°C, 125°C, 150°C, 175°C 時，就只有 175°C 會又自燃現象產生。

O. Sugawa (1992)【7】藉由馬鈴薯片來說明有關時間與自燃點之相對關係，另外又討論到馬鈴薯片密度與自燃性之關係。得知當密度分別為 0.15g/cm^3 與 0.3g/cm^3 ，環境溫度為 70°C，存放於直徑 40cm 的圓球裡，由實驗得知這兩種不同密度之馬鈴薯片，其自燃點並不會有明顯的不同，又當馬鈴薯片之溫度約在 200°C~300°C 之間時，其中心部分就會有燒黑的現象產生。

三、 研究方法與流程

本研究方法分為二大部分探討，其一係利用圓錐熱量儀去量測環氧樹脂裡襯積層漆之自燃溫度(環氧樹脂裡襯積層漆，簡稱為環氧塗料，以下內容均以簡稱代表之)，其二則是利用照明燈加熱環氧塗料是否能達到其自燃溫度，最後將二大部分測量所得之數據，進行比較、分析與討論並提出結果。



(一) 環氧塗料之自燃溫度量測

於圓錐熱量儀裝置(圖 3-1 所示), 無抽風狀態下, 以不同熱通量加熱環氧塗料並量測其自燃溫度, 而測試方法乃依循 ASTM E 1354 (Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption Calorimeter) 之測試標準進行測試。盛裝環氧塗料的容器為不鏽鋼圓形油盤, 尺寸為內直徑 10cm, 圓形截面積: 78.54 cm^2 , 深 3.2 cm, 內容積約 251.33ml, 油盤厚度 0.24 cm(如圖 3-2 所示), 溫度量測係利用熱電偶測量(圖 3-3 所示)。



圖 3-1 為圓錐量熱儀之裝置圖

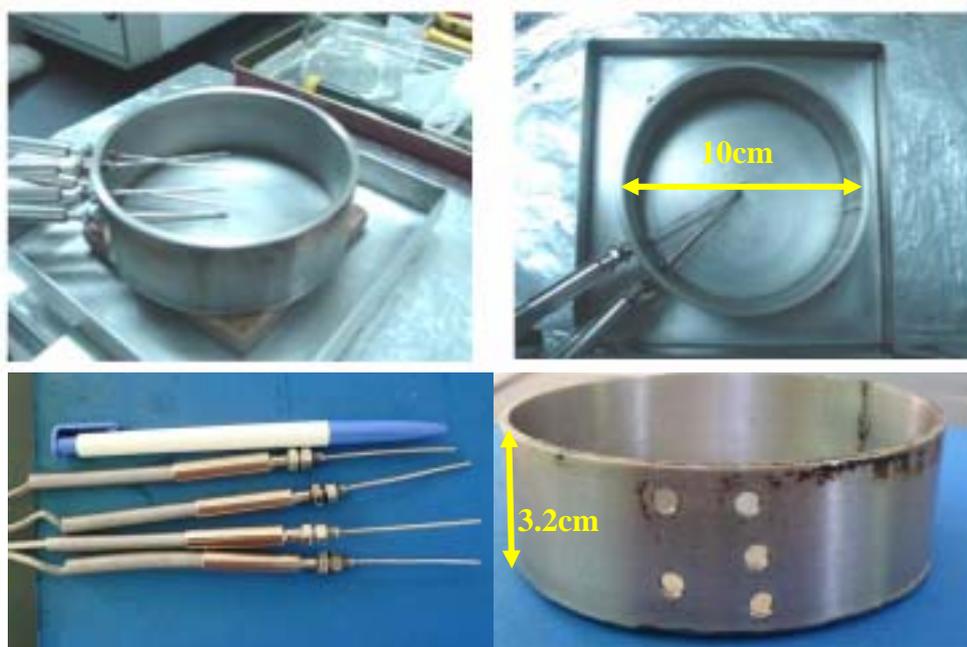


圖 3-2 不繡鋼圓形油盤側面與俯視圖

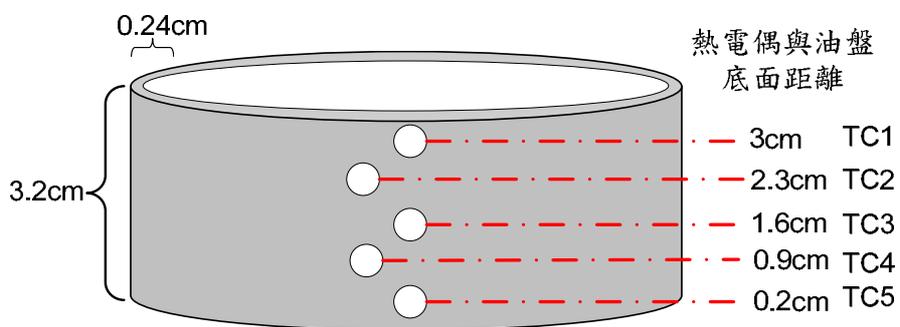


圖 3-3 熱電偶量測點位置

(二) 照明燈加熱環氧塗料是否能達到其自燃溫度

1. 試體於不同輻射源，但相同輻射熱強度下，觀察其自燃情形

利用熱通量計 (Heat Flux Meter) 測量功率為 500W 的照明燈燈管中心點所釋放出之熱通量強度 (如圖 3-4 所示), 再將測量得到的數據設定輸入於圓錐量熱儀, 並將待測試體 (共有柴油與環氧樹脂 2 種, 因使用半自動閃火點測定儀測出柴油與環氧樹脂之閃火點相近約為 80 左右, 且為了節省環氧樹脂的使用量, 故先用柴油測試得知實驗限制條件, 以下測試方法亦是) 倒入直徑為 10cm 的圓形容器, 觀察試體在不同輻射熱源但相同輻射熱強度下, 其自燃情形。



圖 3-4 熱通量計測量照明燈燈管中心點熱通量強度示意圖

2. 證明照明燈邊長 10 cm 正方形區域內 15 個受熱點之熱輻射強度是否均勻

由於圓錐量熱儀之輻射熱源係經過特殊設計並已進行相關測試與驗證，因此對於放置在邊長為 10cm 的正方形容器內的試體皆會均勻受熱；反觀，照明燈輻射熱強度最大的區域應為燈管中心點，其他旁邊區域會受到氣流的冷卻影響而相對較小。如此，恐導致進行方法一的實驗時發現，圓錐量熱儀可順利將試體點燃，照明燈則無法使之產生自燃現象。

係以燈管中央為中心點在邊長 10cm 的正方形範圍內，距離中心點上、下各 5cm 的位置取一測量點，之後再以水平方式每距離燈管 2.5cm 取一排量測點，共有 5 排合計 15 個量測點(每個量測點擺放之熱通量計切齊工作燈下端 (約距離燈管 6cm))，驗證照明燈是否有加熱不均勻之現象，詳細測量方式顯示於圖 3-5。

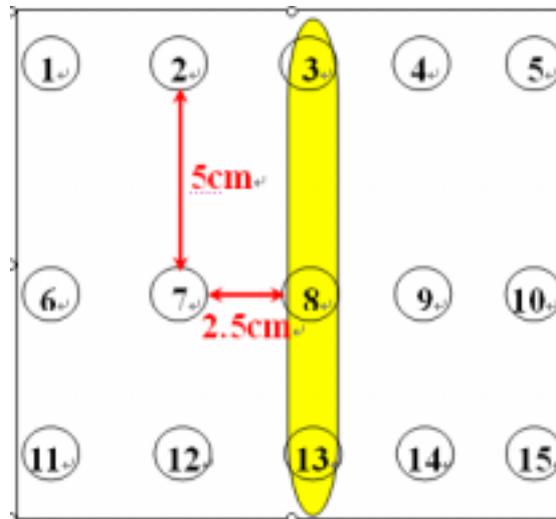


圖 3-5 照明燈量測點示意圖

3. 縮小其受熱面積，將容器放置在燈管中心區域觀察試體之自燃現象

倘若上述量測結果發現照明燈確實有加熱不均勻之問題，則將裝有試體的容器放置在燈管中心區域，減少周圍氣流冷卻之影響，使容器內的試體每一點盡可能達到均勻受熱之效果，故使用高度為 2 公分的圓形容器，其直徑分別為 2cm、3cm、4cm、4.5cm、5cm、5.5cm 等六種容器，如圖 3-6 所示。

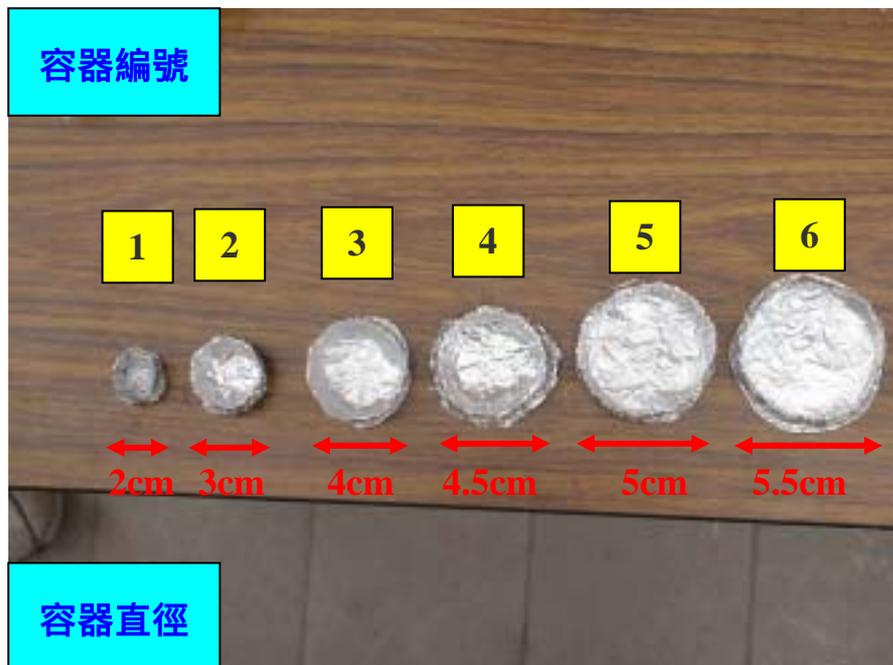


圖 3-6 不同直徑之容形容器示意圖

四、 結果與討論

(一) 環氧塗料之自燃溫度量測

起初本實驗使用 10kW/m^2 之熱通量加熱廠商所提供有添加調質劑 AH-212、EL998、DV222 三項物料的無溶劑型環氧塗料時，因供給能量不足無法將之點燃，因此將熱通量加倍為 20kW/m^2 ，但亦無法觀察到無溶劑型環氧塗料之自然現象，故繼續將熱通量增加至 30kW/m^2 、 40kW/m^2 以及 60kW/m^2 等三種不同情境加熱無溶劑型環氧塗料，結果發現無論熱通量為 30kW/m^2 、 40kW/m^2 或 60kW/m^2 ，皆可將之點燃，實驗結果歸納整理如表 4-1。

表 4-1 不同熱通量下環氧塗料能否發生自燃現象之彙整表

熱通量 (kW/m^2)	10	20	30	40	60
環氧塗料					
自燃起火時間(s)	×	×	383	66	34
自燃溫度()	×	×	302	310	317
× 表示於 10 分鐘內材料無法點燃並燃燒					

由圖 4-1 可觀察到熱通量為 30kW/m^2 ，於加熱時間為 0 70 秒之間時，由於受到外界高溫加熱之影響，使得塗料表面溫度從 20 迅速上升至 250 左右，之後溫度逐漸呈現緩慢且穩定上升之現象，直到約 383 秒，塗料之表面溫度再度出現疾速上升之現象，同時塗料表面也發生起火之自燃現象，故可判定該塗料的自燃溫度約為 317 。依此類推，可歸納整理出當本實驗使用 30kW/m^2 、 40kW/m^2 以及 60kW/m^2 等三種不同的熱通量加熱環氧塗料時，自燃溫度分別為 317 、310 以及 302 ，故當外界供給足夠點燃廠商所提供有添加調質劑 AH-212、EL998、DV222 三項物料的無溶劑型環氧塗料之能量下，其自燃溫度呈現相近之趨，約為 302 317 左右。

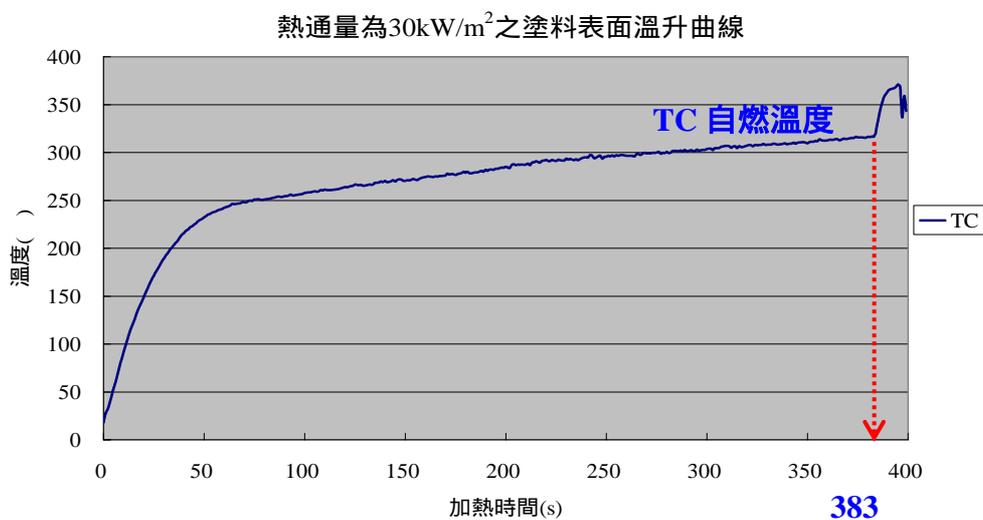


圖 4-1 熱通量為 30kW/m^2 之塗料表面溫度上升曲線圖

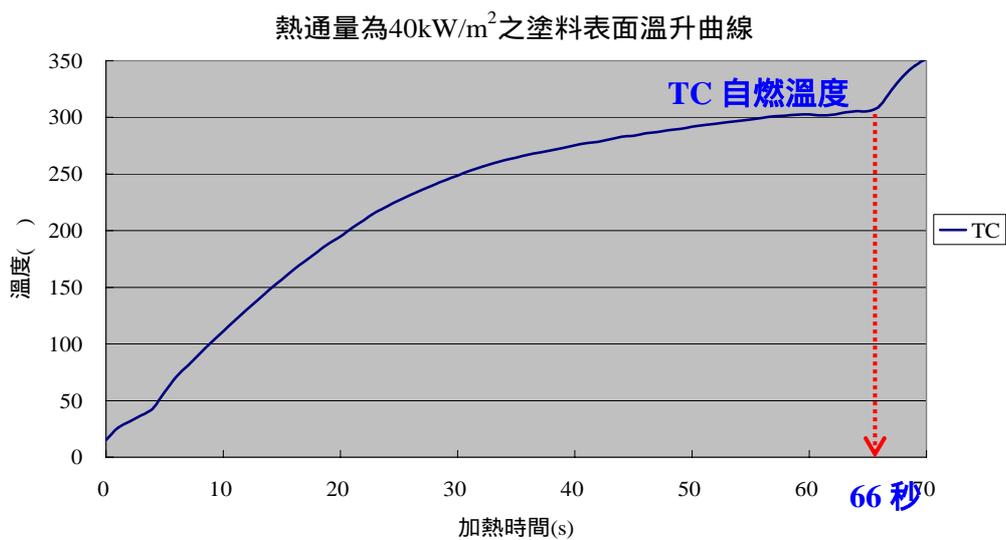


圖 4-2 熱通量為 40kW/m^2 之塗料表面溫度上升曲線圖

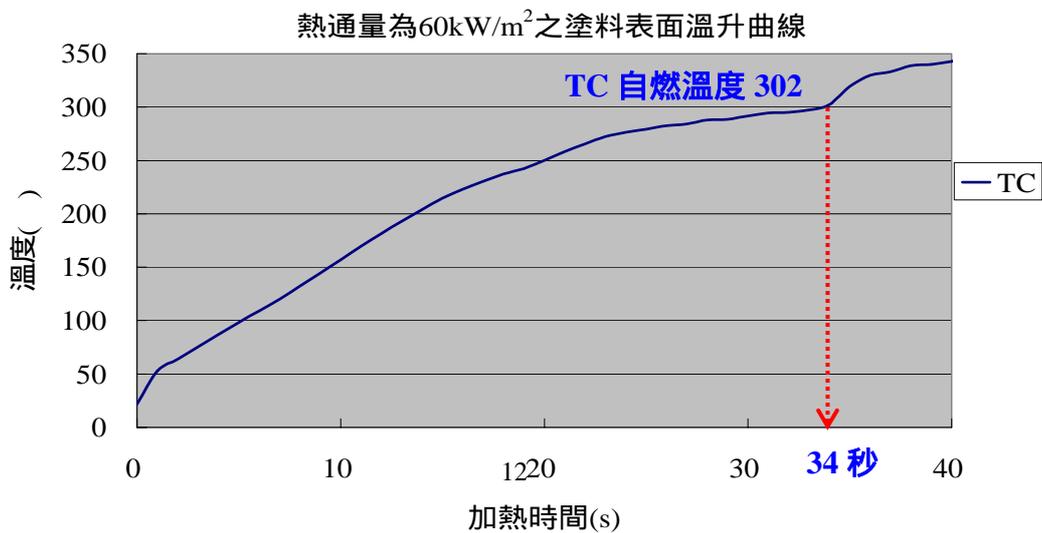


圖 4-3 熱通量為 60kW/m^2 之塗料表面溫度上升曲線圖

(二) 照明燈加熱環氧塗料是否能達到其自燃溫度

1. 試體於不同輻射源，但相同輻射熱強度下，觀察其自燃情形

照明燈燈管中心點之輻射熱強度測量結果，觀察到照明燈約 500 秒後即達到穩定狀態，其穩定後之輻射熱強度約為 26.8kW/m^2 ，而表 3-2 則是柴油、環氧樹脂在照明燈與圓錐量熱儀輻射熱源為 26.8kW/m^2 強度下之實驗結果。從表 4-2 中得知當實驗容器為直徑 10cm 的圓形容器且輻射熱源為圓錐量熱儀時，無論試體為柴油或環氧樹脂皆可使其發生自燃現象，但當輻射熱源改為照明燈時，兩種試體皆無法發生自燃現象。

表 4-2 不同輻射熱源下柴油與環氧樹脂自燃現象彙整表

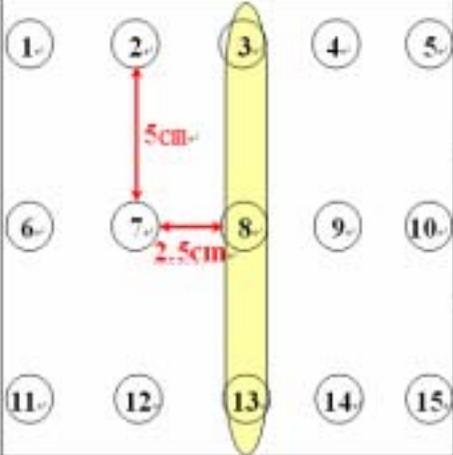
輻射熱源 試體	圓錐量熱儀	照明燈
柴油	發生自燃現象	無自燃現象
環氧樹脂	發生自燃現象	無自燃現象

2. 證明照明燈邊長 10 cm 正方形區域內 15 個受熱點之熱輻射強度是否均勻

柴油或環氧樹脂於照明燈下加熱，為何皆無法發生自燃現象呢？該現象的發生可由表 4-3 解釋，因圓錐量熱儀之輻射熱源經過特殊設計並已通過測試與驗證，所以可使邊長為 10cm 的正方形容器內的試體均勻受熱；反觀，照明燈輻射熱強度最大的區域僅在燈管中心點，其他旁邊區域受到氣流冷卻而相對

較小，故導致圓錐量熱儀可順利將試體點燃，照明燈則無法使柴油或環氧樹脂產生自燃現象。

表 4-3 照明燈在邊長 10cm 正方形區域內各點輻射熱強度測量結果



1	2	3	4	5	11.1- kW/m ²	17.4- kW/m ²	20.5- kW/m ²	17.4- kW/m ²	12.7- kW/m ²
6	7	8	9	10	17.4- kW/m ²	22.1- kW/m ²	26.8- kW/m ²	20.5- kW/m ²	14.3- kW/m ²
11	12	13	14	15	12.7- kW/m ²	22.1- kW/m ²	23.7- kW/m ²	20.7- kW/m ²	14.3- kW/m ²

3. 縮小其受熱面積，將容器放置在燈管中心區域觀察試體之自燃現象

從表 4-4 發現，無論盛裝柴油的圓形容器直徑為 2cm、3cm 或 4cm，皆無法使之發生自燃，當容器直徑更換為較大的 4.5cm 時，兩次實驗均可順利點燃柴油，合理推測因為容器直徑為 2cm、3cm 或 4cm 雖可有效聚集照明燈燈管中心之輻射熱，但柴油蒸發的濃度可能尚未到達燃燒下限，故無法產生自燃；而當容器直徑變為 4.5cm 時，除了能夠有效聚熱且因面積夠大，使得柴油蒸發的濃度足以到達燃燒下限而起火燃燒。反觀，環氧樹脂於第一次實驗中，無論使用直徑 4cm、4.5cm、5cm 或 5.5cm 的容器都無法發生自燃。

在第二次實驗中，由於為了證明盛裝柴油的圓形容器直徑為 4.5cm 時，確實能夠發生自燃現象，所以再進行一次實驗，而實驗結果亦證明當容器直徑為 4.5cm 時，柴油確實能夠順利發生自燃現象。

當盛裝柴油容器為 4.5cm 時，兩次實驗皆可發生自燃現象，故於第二次實驗再進行一次容器直徑為 4.5cm 盛裝環氧樹脂的實驗，結果顯示能夠使環氧樹脂發生自燃現象，比較環氧樹脂兩次實驗結果發

現，第一次與第二次實驗中貨櫃內環境溫度分別為 37 、 40 ，故環境溫度的高低可能為影響環氧樹脂是否能夠發生自燃現象的因素之一，至於其他影響因素則需繼續進行實驗方可證明。

此外比容器直徑 4.5cm 小（例如 2cm、3cm、4cm），且室溫為 37~43 範圍都無法發生自燃，合理推測當容器直徑比 4.5cm 小時，環氧樹脂蒸發的濃度可能尚未到達燃燒下限。而盛裝環氧樹脂的容器直徑比 4.5cm 大時，因當時實驗場所室溫僅有 30 ，所以較易受到周圍氣流冷卻影響，導致液體表面無法有效聚集照明燈管中心之輻射熱，故環氧樹脂亦無法產生自燃現象；而環境溫度為 40 時，盛裝環氧塗料之容器直徑 4.5cm 實驗，卻能發生自燃起火之現象。

綜和上述結果得知，當環境溫度為定溫狀態下（超過 40 ），放大盛裝塗料之容器面積，較易觀察到塗料之自燃現象；而容器面積固定時（定容），環境溫度愈高，愈易使塗料產生自燃起火燃燒，故環境溫度（室溫）和容器大小可能為影響環氧樹脂是否能夠發生自燃現象之因素。

表 4-4 柴油、環氧樹脂於不同實驗條件下之自燃現象彙整表

試體	容器直徑		2cm	3cm	4cm	4.5cm	5cm	5.5cm
	是否自燃							
柴油	第一次實驗 (室溫)	X (37)	X (37)	X (38)	O (38)	-	-	
	第二次實驗 (室溫)	-	-	-	O (41)	-	-	
環氧樹脂	第一次實驗 (室溫)	-	-	X (31)	X (37)	X (30)	X (30)	
	第二次實驗 (室溫)	X (43)	X (41)	X (41)	O (40)	-	-	

備註 X：無自燃現象 O：發生自燃現象 -：無進行該項實驗

圖 4-4 為柴油、環氧樹脂於容器直徑為 4.5cm 時，發生自燃起火燃燒的現象；而圖 4-5 及圖 4-6 則是盛裝環氧樹脂容器直徑分別為 3cm、4cm、5cm 及 5.5cm 時，無法起火燃燒之情形。因圖 4-5 顯示環氧樹脂呈現結晶碳化現象，此現象的發生某種程度上也驗證了照明燈對於容器直徑為 3cm 與 4cm 時可有效聚集照明燈燈管中心之輻射熱，但液體蒸發的濃度可能尚未到達燃燒下限的推測，而圖 4-6 則無結晶碳化僅顯現環氧樹脂變化為焦黃的現象，所以亦證實容器直徑比 4.5cm 大時，易受到周圍氣流冷卻影響，導致無法有效聚集照明燈燈管中心之輻射熱。



柴油

環氧塗料

圖 4-4 容器直徑為 4.5cm，柴油與環氧塗料發生自燃起火燃燒的現象



圖 4-5 容器直徑為 3cm 與 4cm，環氧塗料呈現結晶碳化

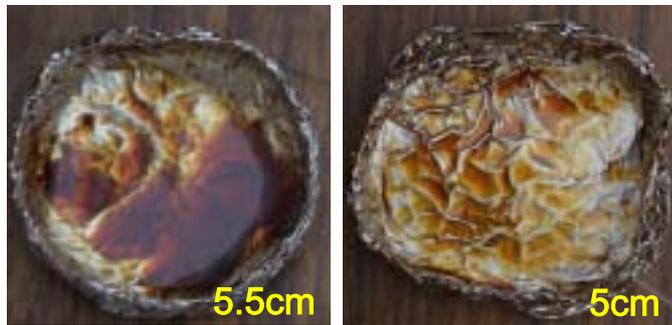


圖 4-6 容器直徑為 5cm 與 5.5cm，環氧塗料變化為焦黃的現象

五、 結論

根據塗料的自燃溫度量測與分析實驗發現，廠商所提供有添加調質劑 AH-212、EL998、DV222 三項物料的無溶劑型環氧塗料，使用 30kW/m^2 、 40kW/m^2 以及 60kW/m^2 等三種不同的輻射熱強度加熱塗料時，其測得自燃溫度分別為 317、310 以及 302，故無溶劑型環氧塗料之自燃溫度範圍應為 302 ~317 左右。

就火災學的理论基礎而言，若要探討物質是否會被引燃，皆係以輻射熱強度作為標準，因為不同的物體會有不同的輻射率，若僅考慮熱源釋放的溫度高低，實驗結果便會產生不夠嚴謹的情況，故本實驗係量測照明燈之輻射熱強度分布，而不測量其溫度分布情形。

從實驗結果得知，環境溫度(室溫)和容器大小可能為影響環氧樹脂是否能夠發生自燃現象之因素；換言之，當盛裝環氧樹脂的容器面積隨著環境溫度升高而變大時，愈能使環氧樹脂發生自燃現象。因此，當儲槽進行無溶劑型環氧塗料的襯積層漆時，若槽內溫度愈高，且照明燈有足夠的輻射熱強度，以其不斷地照射，塗料表面溫度易達到自燃溫度而起火燃燒之可能，而至於其他影響因素則需進行實驗方可證明。

最後，於探究事故原因中，因測試所需較長的時間及事故當時所使用的燈具設備部份已損壞，故本研究僅探討燈具產生的局部過熱是否會引起環氧塗料之自燃，而從實驗證明 500W 之小型燈具確實會引起環氧塗料自燃，且事故當時的燈具更大，引起自燃之機會比實驗的結果更容易產生自燃之現象。

未來展望

儲存或運輸及處理可燃性液體時，大多使用照明燈來增加施工環境的照明，但無形中卻加熱了可燃性液體，等到符合自燃起火的條件後，就會發生災害，因此本研究將提出 500W 照明燈作為另一加熱源，探討發生自燃現象之條件因素，以提供相關人員作為參考，避免因照明燈等其他熱源照射下，使其發生自燃現象。

六、 參考文獻

1. 台灣中油股份有限公司
<http://www.cpc.com.tw/big5/home/index.asp>
2. 吳昌益，「環保煤儲存自燃問題之研究」，國立交通大學工學院碩士在職專班產業安全與防災學程，碩士論文，2004。
3. 黃家峰，「添加石棉之木質材料的自燃現象研究」，國立台灣大學機械工程學研究所，碩士論文，2000。
4. 鄭招仁，「半導體產業潔淨室之矽甲烷燃燒控制技術」，國立台灣大學機械工程學研究所，碩士論文，1998。
5. 楊振華，「硫化鐵（ ）氧化反應放熱特性研究」，國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程所，碩士論文，2003。
6. M. Horii, S. Iida, “ Study of spontaneous combustion for automobile shredder residue(ASR) ”, JSAE Review 20, pp. 395-400, 1999.
7. O. Sugawa, “ Short communication on self-ignition of potato chips waste ” Fire Science. Technol., Vol. 12 No. 1, pp. 1-6, 1992.