

# 電氣開關室警報系統之性能評估

黃晨維<sup>1</sup>、何三平<sup>2</sup>、簡賢文<sup>3</sup>

長榮大學職業安全與衛生研究所研究生<sup>1</sup>

長榮大學職業安全與衛生研究所助理教授<sup>2</sup>

中央警察大學消防系教授<sup>3</sup>

## 摘要

電氣開關室為控制全廠各項製程系統及提供電力之樞紐，裝設之滅火系統通常以氣體滅火系統為主，並以雙迴路之火警探測器（兩偵煙式或偵煙偵溫式各一）分別偵知火災後，進入倒數 30 秒準備放射，倒數完成後則開始釋放。電氣室電纜槽幾何位置將影響火羽（Fire Plume）及天花板噴流（Ceiling Jet）流動，探測器受遮蔽而延遲作動，造成更多製程設備及電源供應設備燒毀。

本研究主要針對電氣開關室發生電纜火災時，探討各類型探測器偵知火災時間差異性。本研究進行全尺度電纜過負載及明火燃燒情境試驗發現，模擬過負載情境中熱釋放率（Heat Release Rate）為 112kW 離子式探測器（4.2%/m）於火災發生後 117 秒便能偵知火災，而作動溫度 57°C 之定溫式探測器則無法偵知火災發生。明火燃燒情境中熱釋放率需達 243kW 時，離子式探測器僅需 16 秒便可探測火災發生。定溫式探測器僅能於發生火災 80~90 秒後探知火災發生，若小於此熱釋放率時則無法作動。主要係為電氣室空間中電纜槽，其排列幾何位置將造成部分遮蔽以致偵測上略顯困難，但若裝設線型探測器則僅需 6~10 秒便能偵知火災發生，故建議於電氣室中可加裝線型探測器以利火災偵測，便於氣體滅火藥劑於火勢較小時即能早期釋放並有效滅火，以達初期火災防禦之目的，避免造成設備財產及人員嚴重之損失。

## 一、 前言

綜觀國內外相關案例中，電氣開關室造成之火災事故案例層出不窮【1、2、3】，以國際經濟合作發展組織核能會的研究報告指出【4】，最可能造成爐心熔毀的火災事件發生地點為開關箱室（Switchgear Room）、電纜室（Cable Room）、電纜拖架（Cable Tray）、電氣設備室（Electrical Equipment Room）、緊急柴油發電機室（Emergency Diesel Generator Room）等空間。美國運轉中核能電廠的火災事件統計分析報告指出，核能電廠高風險火災發生區域主要為開關箱室、主控制室、緊急柴油發電機室等空間，並以開關箱室為核能電廠內火災發生機率最高且後果最為嚴重的區域。

若於該空間中，若無精準之探測器加以偵測火災發生，產生火災時，將造成重大之傷亡，由於該空間中所扮演之角色為提供全廠內部電力及各項製程系統之樞紐，一但火災發生勢必造成營運上暫時之中斷，倘若火勢波及至重要之製程控制線路時，於化工廠中可成將造成失控反應引發大火及爆炸波及週遭其他工廠，而於核電廠中可以造成反應之鈾料，無法有效移除而過熱造成輻射外洩…等，更重大之工安及環境上之衝擊。故本研究則以某企業電氣開關室作為設計之藍圖，配合該空間中電器箱、電纜槽、探測器…等內容物擺放位置，評估該空間中發生火災時探測器之作動情形。

## 二、 實驗設計

### (一) 空間概述

本研究空間設計以某企業電氣開關室作為設計之藍圖，並於內政部建築研究所防火實驗中心之多功能實驗屋，進行本研究全尺度試驗。由於該企業電氣開關室高度高於多功能實驗屋高度，故本實驗則以該企業電氣開關室天花板高度下方 3.7 公尺，長、寬分別為 6.4 公尺，總體積為 151.6 平方公尺，作為模擬空間。

### (二) 建立電纜槽與電纜分布情形

電氣開關室中設有為 A 串與 B 兩串電纜槽如圖 1，A 串中並細分為 3 個電纜槽 A1、A2 與 A3，電纜槽長、寬、高分別為 6.4 公尺、0.7 公尺、0.1 公尺，槽體與槽體間距為 0.35 公尺。B 串則細分 2 個電纜槽 B1 及 B2；A 串與 B 兩串電纜槽間距為 0.5 公尺，電纜槽槽體間距設置與 A 串相同。於電纜數量設置上，則依據該實際空間中電纜槽加以配置，以符合真實空間中電纜造成熱氣及煙之遮蔽情形，其中 A1 至 A3 電纜數量分別為 31 條、176 條、139 條，B1 與 B2 分別為 63 條及 2 條。

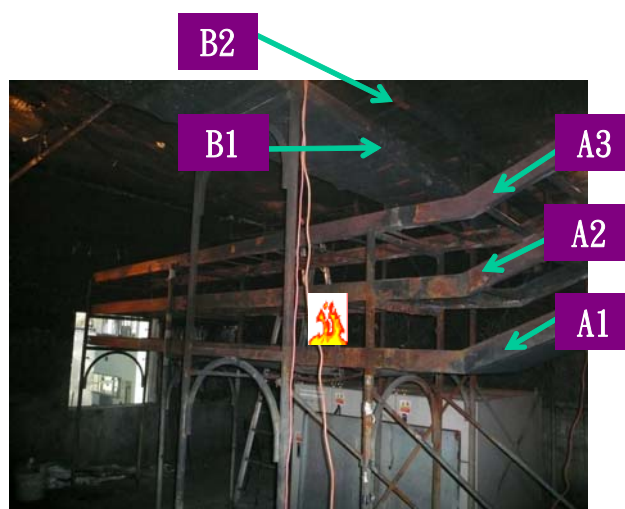


圖 1 電氣開關室配置概況

### (三) 偵溫及偵煙探測器之裝設

本研究中分別配置定溫及偵煙式探測器，如圖 2。依該企業電氣開關室之配置，於 D2 位置分別設置作動溫度 57°C 之定溫式探測器及靈敏度 4.2%/m 之偵煙式離子探測器。並分別於 D1、D2 及 D3 等處配置不同種類之探測器，以欲了解探測器作動時間上之差異性。探測器種類分別為國內常用之規格，如光電式偵煙探測器（一種）、定溫式探測器（特種），作動溫度分別為 58°C 及 70°C，以比較國內外相同作動溫度之探測器，在作動時間上之差異性；另裝設差動式探測器（一種）進行比較。

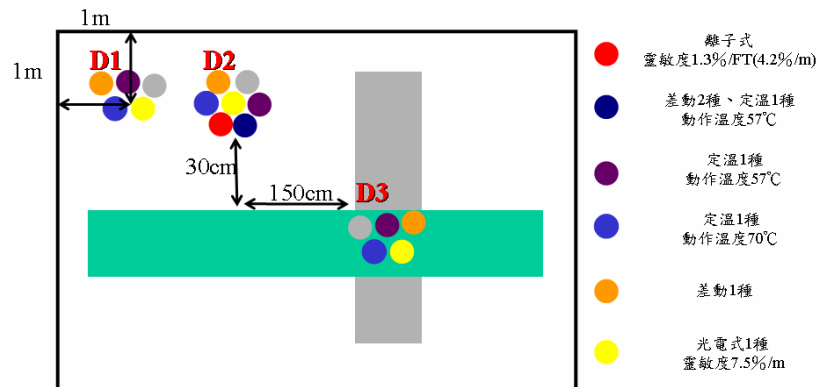


圖 2 偵溫及偵煙式探測器配置概況

### (四) 熱電偶樹裝設

對於多功能實驗屋內部溫度監控上則使用 K-type 之熱電偶加以量測內部溫度變化，再藉由資料擷取卡 (DAQ) 記錄溫度變化情形，探測器位置溫度量測上，於探測器位置溫度量測點設置

如圖 3 所示，分別於探測器位置及距探測器下方 10 公分、20 公分、40 公分、90 公分及 140 公分處設置熱電偶，量測不同高度之溫度變化情形及探測器作動之時間點溫度值。

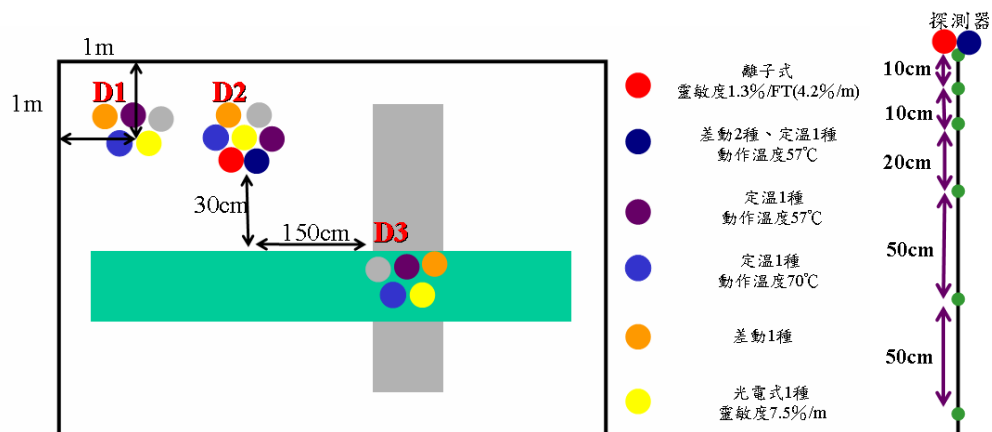


圖 3 探測器位置溫度量測點設置

### (五) 實驗參數

當電線短路或其他因素所產生之溫度高於電纜線被覆之燃點時，電纜線即有可能被熱分解而引燃，其燃燒之模式有可能於初期尚未有明顯火焰燃燒時即產生大量發煙之現象（燃燒模式 I）；另亦有可能因短路而產生之瞬間高溫，隨即引燃電纜線被覆，進而在短時間內引發明火之燃燒現象（燃燒模式 II），並將火源設置於 A 串與 B 串交界位置處之最底層 A1 電纜槽中，主要係考量此位置上方電纜線槽縱橫交錯，幾何關係最為複雜。各燃燒模式詳細概況如下：

於燃燒模式 I 情境中，本實驗以模擬因電纜過載造成電纜過熱所產生之燃燒現象，為模擬此種燃燒情境【5】，特利用內有鎳鉻絲金屬線外層包覆陶瓷纖維以鉛粉壓實直徑 7 公厘之彈筒式加熱棒，作為引燃電纜被覆之加熱源，其功率為 400W，最高加熱溫度為 900°C，以模擬因過載而造成過熱之情境。燃燒模式 II 情境中，本實驗則以轉換與電纜相同熱釋放率之油盤以模擬，短路而

產生之瞬間高溫，隨即引燃電纜線被覆，進而在短時間內引發明火之燃燒現象。

### 三、 結果與討論

本研究共進行四次全尺度試驗，各次實驗情境列示於表 1。茲將表 1 所列之各次試驗過程及結果討論詳述如下。

表 1 全尺度試驗情境說明

	全尺度試驗 1	全尺度試驗 2	全尺度試驗 3	全尺度試驗 4
火源類型	過負載模擬	過負載模擬	明火燃燒	明火燃燒
火源種類	20 支電纜 包覆加熱棒	40 支電纜 包覆加熱棒	1ft 油盤	1.5ft 油盤
熱釋放率	56kW	112kW	83kW	243kW

表 2 全尺度試驗情境說明

探測器位置	全尺度 試驗1	全尺度 試驗2	全尺度 試驗3	全尺度 試驗4
D1-光電1種	171	158	97	67
D2-光電1種	139	133	67	40
D3-光電1種	148	144	57	27
D2-離子4.2%/m	120	117	22	16
D2-57°C 定溫式	-	-	-	89
Line1	X	X	X	10
Line2	X	X	X	64
Line3	X	X	X	-
D1-定溫58	-	-	-	-
D2-定溫58	-	-	-	126
D3-定溫58	-	-	-	-
D1-定溫70	-	-	-	-
D2-定溫70	-	-	-	-
D3-定溫70	-	-	-	-
D1-差動2種	-	-	-	-
D2-差動2種	-	-	-	121
D3-差動2種	-	-	-	80

“—”：表示無動作

“X”：表示無設置

全尺度試驗 1 中，以 20 支電纜包覆加熱棒作為火源，其燃燒熱釋放率約為 56kW 之燃燒情形如圖 4，試驗結果如上表 2 顯示，以 D2 位置離子式探測器於實驗開始後 120 秒最先動作，主要是由於其靈敏度 1.3%/ft(4.2%/m)優於其他探測器，接著同一位置處(D2)所裝設之光電式一種探測器(靈敏度為 7.5%/m)於實驗開始後 139 秒偵測到火災發生，其次為裝設於 D3 處之光電式一種探測器，其動作時間為 148 秒，最後動作之探測器為設於 D1 處之光電式一種探測器，由於其位置距火源較遠，因此需 171 秒探測器方能動作。本次試驗 D2 位置上亦同時裝設多顆探測器，既有與該企業電氣開關室設有之定溫探測器，其動作溫度為 57°C；及國內製造之定溫式特種探測器，其動作溫度分別為 58°C 及 70°C；以及差動一種探測器。該等探測器於此試驗中皆不動作，由圖 5 中可得知，於實驗之中內部探測器位置之溫度皆小於探測器作動之溫度，故此探測器則不會作動。



圖 4 全尺度試驗 1 內部燃燒情形



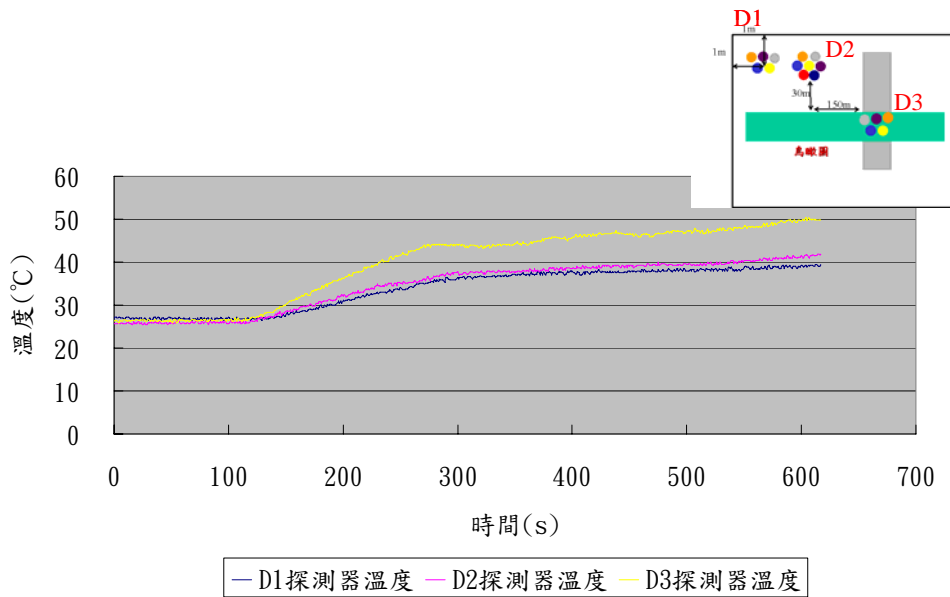


圖 5 全尺度試驗 1 探測器位置溫度變化情形

由於全尺度試驗 1 以 20 支電纜包覆加熱棒作為火源，其燃燒熱釋放率約為 56kW，其無法使偵溫式探測器作動，故全尺度試驗 2 時，則以 40 支電纜包覆加熱棒作為火源，試驗結果於上表 2，與全尺度試驗 1 具有相同之實驗結果，D2 位置離子式探測器於實驗開始 117 秒後最快作動，其次則為光電式探測器作動順序為 D2、D3、D1，所需時間分別為實驗開始後 133 秒、144 秒及 158 秒，而偵溫式探測器仍無法作動，如圖 6，主要係因遮蔽之效應，因此導致本次全尺度試驗探測器位置之溫度仍小於探測器作動之溫度。

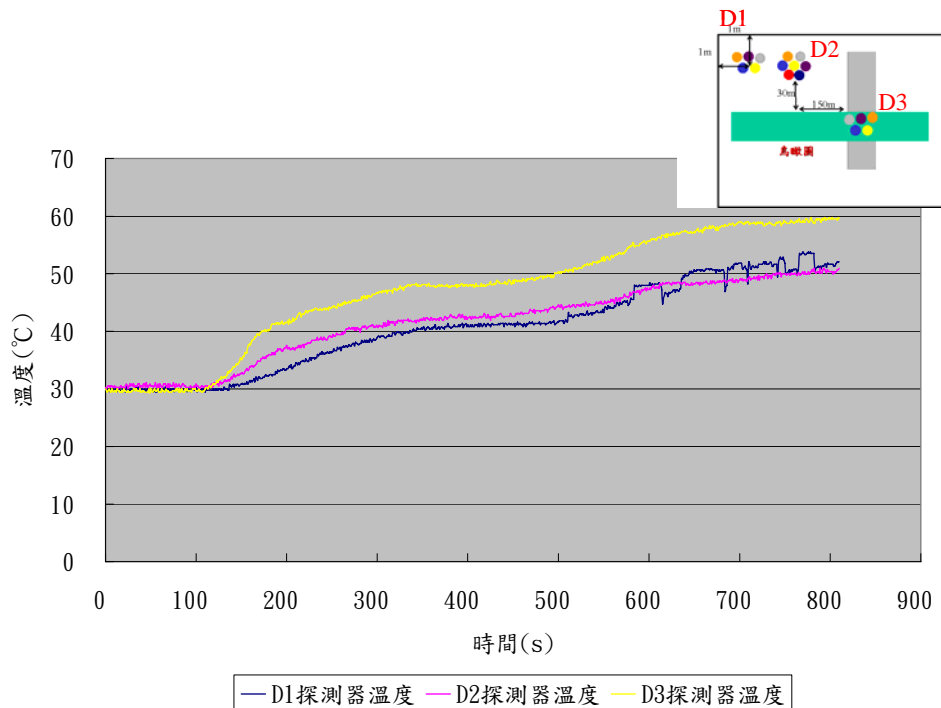


圖 6 全尺度試驗 2 探測器位置溫度變化情形

由前兩次試驗之 56.11kW 提升為 112kW(亦即 40 支電纜包覆加熱棒)，由前 2 次全尺度試驗中接觀察到，其溫度皆低於偵溫式探測器之額定動作溫度 57°C，故即使熱釋放率達 112kW 規模之火災尚不足以驅動偵溫式探測器順利動作。此外，由於電纜包覆加熱棒模擬電纜過負載情境需大量電源，但受多功能實驗屋電源供應之限制，再加上火源上方縱橫交錯電纜槽之遮蔽效應，影響內部環境溫度上升，有鑒於上述兩項因素，故後續前測試驗之火源則改採以油盤液體燃料取代之。

全尺度試驗 3 欲模擬電纜線於瞬間引發明火燃燒之情境，首先採用 1 英呎油盤火源，注入清水後再注入 95 無鉛汽油 900 cc 為燃料，其熱釋放率為 83kW，由實驗結果顯示，由於此次火災類型為發焰火災，與前 2 次悶燒火災形式差異甚大，故於 D2 位置離子式探測器於實驗開始 22 秒後即作動，其次則為光電式探測器作動順序為 D3、D2、D1，所需時間為實驗開始後 57 秒、67 秒及 97 秒，而全尺度試驗 3

之偵溫式探測器仍無法作動。觀察三處偵測器附近之溫度皆低於偵溫式探測器額定動作溫度 57°C (詳圖 7)。

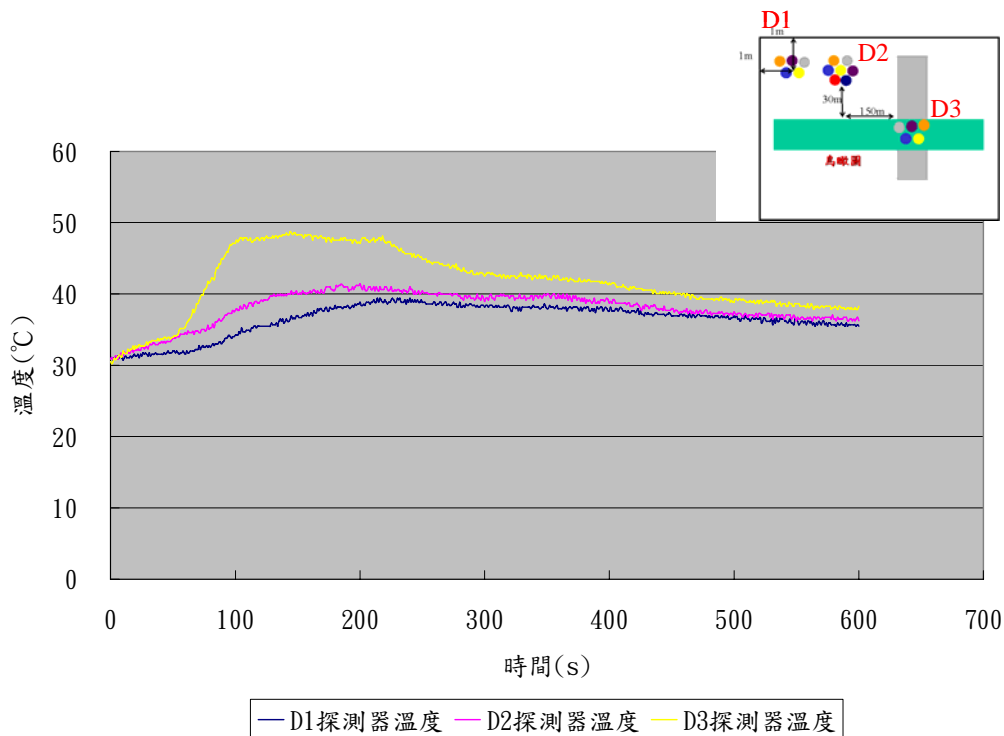


圖 7 全尺度試驗 3 探測器位置溫度變化情形

因此全尺度試驗 4，則將由盤加大至 1.5 英尺之油盤並注入 95 無鉛汽油 1200 cc 之液體燃料 (熱釋放率為 243kW) 進行試驗。本次實驗探測器動作先後順序如上表 2，於該企業內部所裝設於 D2 之離子式探測器最先動作，當火災發生後 16 秒後隨即偵測出火災訊號，D3 至 D1 光電 1 種探測器動作時間分別為 27 秒、40 秒及 67 秒。對定溫式探測器而言，由探測器位置溫度變化情形，如圖 8 溫度皆高於探測器所設定之動作溫度，故該企業內部裝設之定溫式探測器 D2-定溫式 57°C 其動作時間為 89 秒，而同位置處所裝設之國內偵溫式探測器 (動作溫度為 58°C) 之動作時間則需 126 秒，火源正上方位置處 (D3) 之探測器由於遮蔽效應之影響，定溫式探測器 70°C 均無法於滅火前動作，而差動式探測器 D3 及 D2 則以 80 秒及 121 秒後作動，另外於此次試驗中，而增設之 L1 線型探測器則僅需 10 秒鐘便能偵知火災發生。

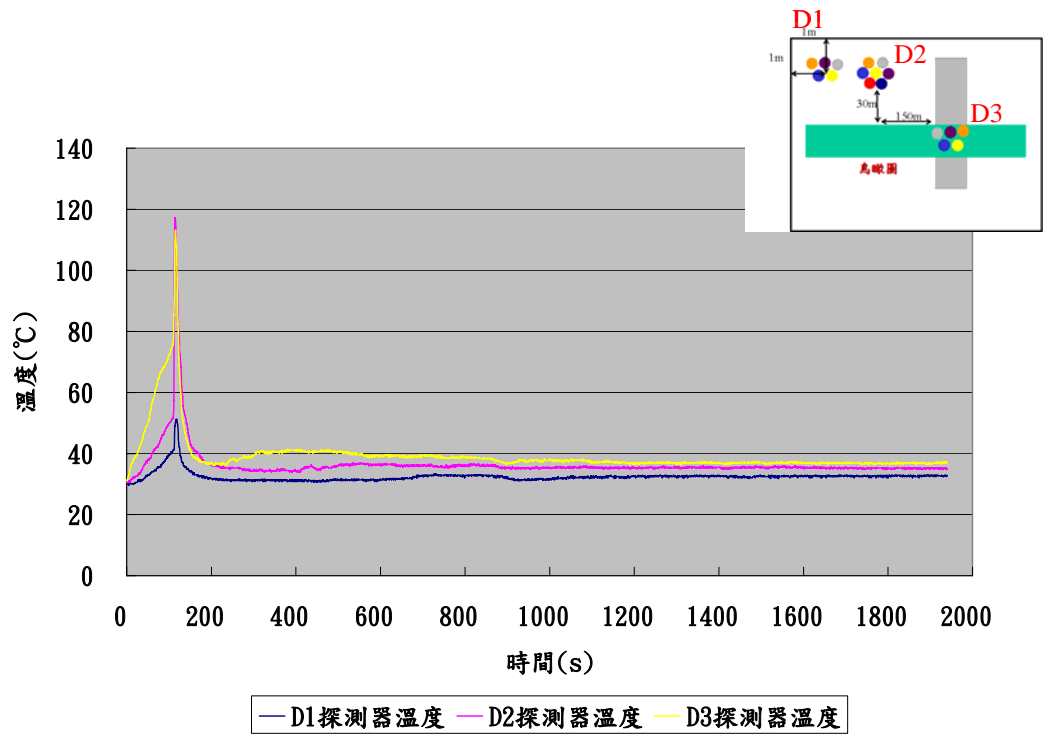


圖 8 全尺度試驗 4 探測器位置溫度變化情形

#### 四、 結論

現行電氣開關室內部滅火系統之設計上，皆採用氣體滅火系統為主，如 CO<sub>2</sub>、FM-200、IG-541...等，其避免探測器造成誤報而使藥劑釋放，系統啟動的機制係採雙迴路偵測系統之設計，當兩套偵測系統皆偵知火災事故後，進行 30 秒之倒數預備放射。通常偵測系統上以離子式探測器與光電式探測器最為常見，但部分電氣開關室環境較惡劣之則以偵溫及偵煙 2 種探測器最為設計，由實驗結果發現，火源上方縱橫交錯電纜槽之遮蔽效應擾亂並阻礙熱氣流上升之趨勢，此效應造成偵溫式探測器偵測上略顯困難，致使電纜燃燒之熱釋放率達 243kW 時，偵溫式探測器方能於發生火災 89 秒後，偵知火災發生，此時火勢已可能引燃上層之電纜。反觀本實驗加裝之線型探測器，僅需 10 秒便能偵知火災發生，故建議爾後電氣開關室可加裝線型探測器以利火災之偵測，期使 FM-200 藥劑於火勢較小時即能有效早期釋放，以達深度防禦之目的。此外，由本研究實驗結果發現進口偵溫式探測器對於火災偵知之效能較國內製造者靈敏度高，因此未來於電氣開關室內部檢修時，若採用偵溫式探測器時，建議將此議題納入產品品牌選定之重要參考依據，期能及早偵知火災事故進行適當之處置，以降低災害之發生。

## 參考文獻

- 【1】 呂鴻隆，「我國核電廠採用 NFPA 805 適用性探討—以核二廠為例」，中央警察大學消防科學研究所，碩士論文，
- 【2】 蔡清雄，「火災模擬運用於核能電廠防火設計案例研究」，國立交通大學產業安全與防災學程，碩士論文，
- 【3】 沈子勝，核能電廠火災危險分析(Fire Hazard Analysis)技術研究，民國 92 年 11 月 27 日
- 【4】 NEA/CSNI/R(99)27, Organization for Economic Co-operation and Development, FIRE RISK ANALYSIS, FIRE SUMULATION, FIRE SPREADING AND IMPACT OF SMOKE AND HEAT ON INSTRUMENTATION ELECTRONICS, March 2000
- 【5】 Andrew . Kim, and Joseph Su, “Thermal Decomposition Products from Fire Suppression with HFC-227ea in an Electronic Facility” , Journal of Fire Protection Engineering, Vol.14, No. 4, 2004, pp.265-281.