

行政院原子能委員會  
委託研究計畫研究報告

核電廠火災危害分析技術之研究

**A Study on the Technigues of Fire Hazard  
Analysis for Nuclear Power Plants**

計畫編號：942001INER024

受委託機關(構)：中央警察大學

計畫主持人：沈子勝

報告日期：民國九十四年十一月十二日

# 目錄

中文摘要 .....	IV
ABSTRACT .....	V
第一章 前言 .....	1
第一節 計畫緣起.....	1
第二節 計畫目的.....	3
第三節 研究範圍與限制.....	4
第二章 執行方法與進度說明 .....	5
第一節 核電廠相關文獻討論.....	6
一、 相關研究 .....	6
二、核電廠風險特性.....	11
三、核電廠火災狀況特性.....	13
四、核電廠潛在火災危害分析.....	16
五、小結 .....	19
第二節 核電廠消防安全法規之探討 .....	24
第三節 核能安全評估表之建立及適用性檢討 .....	31
一、 NFPA 804 及 805 所建議應設置之設備及相關事項 .....	31
二、NFPA 804 及 805 各項建議之差異比較.....	39
三、訪談人員之建議.....	42
四、小結 .....	46
第四節 核電廠火災危害分析----以電纜分配室模擬探討.....	47
一、FDS 的架構與功能.....	47
二、設計火源 .....	49
三、格點設定 .....	52
四、火災情境之建立.....	53
五、模擬結果分析與探討.....	58
第三章 結論與建議 .....	67
第一節 結論.....	67
第二節 建議.....	69

參考文獻 .....	71
附錄 A 評估表 .....	1

## 中文摘要

國內核能電廠防火設計乃遵循美國核管會相關法規，包括：美國聯邦法規 10 CFR 50.48、10 CFR 50 附錄 A 一般設計準則(GDC) 3、10CFR50 附錄 R 火災防護方案等之要求，以及國內相關消防法規之規定。但消防法規並無法完全適用於該場所，核電廠中某些空間如汽渦輪機室、電纜分配室因空間特性因素並不能完全適用。此外，電廠運作時間長達數十年，核電廠消防法規會因為新災例而進行檢討與修改，既存電廠當被要求要符合審查之法規標準時一定會有落差，且國內向來都是援用國外法規，造成對核電廠消防設備要求及審查上的不便，上述因素顯示建立國內核電廠消防法規的必需性與納入性能式設計的需求。美國核管會(U.S. Nuclear Regulatory Commission) 宣佈新的規定方針，允許電廠領照人自發地採用美國防火協會所發佈的 NFPA 805 核電廠法規。此舉將可為既存電廠適用新法規找出解套方法。本研究之評估表係參照 NFPA 804 及 805 所整合而成，用以評估各場所為使營運不中斷應設置設備之標準，其內容包含軟體及硬體各項規定。整理出的表格並經實地調查及與核電廠相關負責人訪談，相信能使評估表更具實用性。此外，尚以電腦模擬軟體進行電纜分配室內之撒水系統在不同條件下的滅火成效，希望能對阻礙火災下撒水系統的滅火功效有初步瞭解。在本研究情境中初步模擬結果為，撒水頭的動作會因阻礙而延遲且阻隔造成熱氣流往兩旁流動，可能導致非起火位置撒水頭動作。再者，撒水頭放射壓力為 2.2Bar 時撒水頭間距及有無阻礙之影響不大，但放射壓力為 0.48Bar 時撒水頭間距所造成的影響比較大。故進行電纜分配室內撒水系統設計時應對撒水頭的分佈、壓力、阻礙性及探測裝置再進行更詳細探討。

關鍵字：NFPA 805、電纜分配室、核電廠

## **Abstract**

Fire prevention codes for nuclear power plants in Taiwan comply with 10 CFR 50.48、Appendix A General Design Criterion 3 (GDC 3) in 10 CFR 50, 10CFR50 Appendix R and local fire code etc. But local fire code is unsuitable for nuclear power plants in some places, such as turbine generation rooms, cable spreading rooms etc. Besides, with the renew of fire codes, existing nuclear power plants which run for decades are hard to answer the requirements due to spacing and structure. Furthermore, nuclear power plants in Taiwan adopt U.S. fire prevention codes, causing the difficulties in examination and requirement for fire prevention. Based on the reasons above mentioned, fire prevention codes applying to those in Taiwan are badly in need. U.S. Nuclear Regulatory Commission (USNRC) declared a new regulatory policy, permitting reactor licensees to voluntarily adopt a set of fire protection requirements contained in the National Fire Protection Association Standard 805, of fire protection programs for nuclear power plants. Such a new regulatory policy allows alternative method for early-existed NPPs to tally with the prescriptive requirements.

This research integrates regulations of NFPA 804 and 805, which contain hardware and software requirements. For increasing the practicability, the estimation lists were checked by personnel in charge of Nuclear Power Plant. Beside, the research simulates with fire dynamic simulator code to figure out the effect of sprinkler system on cable spreading room with shielding fire. The result shows that shielding fires delay the activation of sprinkler system and reduce its effect. Moreover, the effects vary mainly with operation pressure. The more operation pressure set in shielding fires, the more effect it could be.

Key words: NFPA 805, Nuclear Power Plant, Cable Spreading Room

# 第一章 前言

## 第一節 計畫緣起

核能發電雖然為人類帶來了福祉與便利，但因有輻射外洩造成人員危害及污染環境之風險，故其安全相關措施應特別注重。隨著時代的進步與民眾危機意識的提高，核安相關議題越來越受到注意，由核四興建與否的爭議延燒至今，足見人們對核電廠安全的關切及核能安全的相關議題的著重。雖然核電廠多為鋼筋混凝土構造，但如果火災發生的區劃內存在著與安全停機相關的系統、組件，而使控制室無法有效操控冷卻水源冷卻爐心，或是無法達到安全停機，便可能造成不可預期的後果，甚至造成反應爐爐心熔毀事故，故火災危害實為核能電廠安全之重要課題。在國內九十年三月十八日發生之核三廠三A事件，雖然火勢被CO<sub>2</sub>自動滅火設備撲滅，但因排煙設備未發揮應有的功能，現場濃煙造成一片混亂使救災人員進入不易，且控制室也有一段時間無法有效監控火場狀況。而1975年美國之Browns Ferry核能電廠火災事故造成眾多電纜的燒毀，事後尚需長時間的修復，由國內、外曾經發生在核電廠火災的案例可知，火災事件實為影響核能電廠安全不容小覷之項目。

與核電廠安全相關的法規不斷更新、改善，在2001年美國國家防火協會發佈了NFPA 805，將性能式設計方式納入核電廠之消防設計標準，讓既存核能電廠能夠採取性能式設計來達到規格式法規的要求，性能式設計使既存電廠適用法規的問題得以獲得解決。NFPA 805亦對各類場所所有條列式之規定。因此，本研究嘗試

以 NFPA 804 與 NFPA 805 中的相關規定整合成評估表，對核電廠各個與安全相關分區，依其建議設置之標準進行評估，試著找出核能電廠內各項為防止營運中斷所設置之設備是否尚有改善空間或者尚可加強之處。因此，本研究著重在針對國內核電廠依 NFPA 805 所規定的需求進行消防安全評估，期能達到提升核能電廠之整體消防安全設計、減少核能電廠火災事故發生的目的。此外，並依相關文獻建構電纜分配室空間及依照 NFPA 805 對進行核電廠模擬之設定及情境之建議，進行模擬以探討撒水系統在該場所中的滅火效用。電纜分配室中撒水系統對阻礙火災 (Shielding Fire) 滅火的成效至目前為止仍無定論。以電腦模擬代替實驗，不僅有適用於無法進行全尺寸實驗的處所、再現性高等優點，同時也符合經濟效益。以電腦模擬進行各種情境分析亦可作為性能式設計或改善的基礎。本研究嘗試以電腦模擬軟體進行撒水系統對電纜火災的滅火成效模擬，期望能對電纜分配室中阻礙火災下，撒水系統的滅火效能、成效有初步瞭解。

## 第二節 計畫目的

- (一) 各先進國家核能電廠之消防安全防護理念，以及相關技術規範上已逐漸完備，而國內在此領域之起步較晚，因此本研究擬採用 NFPA 805 所建議的標準進行核能電廠火災危害的評估，提供國內未來進行核能電廠消防安全評估、改善之參考。
- (二) 近年來由於性能式方式的應用以及電腦火災模擬工具的進步，利用電腦進行火災動態模擬以驗證較複雜、特殊空間之消防安全已是趨勢。本研究以場模式火災模擬軟體 FDS 進行核能電廠內之電纜托網火災模擬，以探討在電纜分配室設置撤水系統的效益及撤水頭於不同間隔與壓力對火災初期抑制的效果。
- (三) 在核電廠中，大量集中的電纜為火災時主要燃料來源之一，一旦引燃極易形成延燒，進而可能造成重要設備失效，如果火災發生於有兩串安全停機路徑的區劃內，有可能導致兩條重複串(Redundant Train)同時失效，而產生的嚴重的結果。因此，核電廠消防安全評估的研究希望透過對電纜托網火災的模擬分析，提供未來國內相關單位對電纜托網火災防護的參考。

### 第三節 研究範圍與限制

基於核能發電之需要，核電廠內有眾多廠房，其種類包括反應器廠房、輔助廠房、核燃料廠房、廢料廠房、控制廠房、緊急柴油發電機廠房、汽機廠房等多個空間，各廠房內又有各項系統、設備與組件，由於控制廠房為核能電廠之神經中樞，而各種指令之傳達均透過電纜托網(Cable Tray)傳送，且因電纜絕緣物質的高火載量特性，使得電纜分配室中電纜托網之防護便成為核能電廠消防安全的重點，但限於時間、人力與物力及軟體使用上的限制，無法對所有核電廠火災類型一一加以評估且軟體的應用上尚有其限制，雖然此軟體可用於模擬火災動態，但由於延燒模式仍在探討階段，故本研究僅針對單一電纜起火進行探討並未考慮到延燒的問題。本研究將模擬評估之焦點集中在單一火災情境之火災危害評估，而非整體機率性的火災危險度評估。

本研究僅探討火災初期之各種情境，故設定模擬時間為 400 秒，亦即在本研究中撒水頭動作至抑制的時間。本研究受限於核電廠電纜室(Cable Spreading Room)中電纜的分佈因須考量空間排列及為了符合重複串的安全規定，故在電纜室中電纜的分佈並非規則排列且其高度亦非為固定高度，其分佈型態有交錯、垂直及環繞等，如欲以實際空間分佈進行模擬，在電腦設備、時間、及建構上，皆為重大挑戰，故本研究將其他各種變數簡化，僅探討在電纜分配室中設置撒水系統對上下兩條電纜燃燒時，水系統動作後的火勢、溫度的影響及探討何種壓力或撒水頭分佈可能為較有效之設置方式，而本研究受限於火災模擬軟體的限制，分析對象僅假定僅單條電纜發生火災，並未探討到其延燒的所造成的問題。

## 第二章 執行方法與進度說明

本研究繼前期研究後依照 NFPA 804 及 NFPA 805 整理出評估表，並比較 NFPA 804 及 NFPA 805 的差異性，且已將整理所得出的評估表進行核能電廠實地調查及與相關人員之訪談；本研究所整理出來的評估表在對核二廠進行的評估及與核電廠相關負責人訪談後的結果發現，雖尚有部分項目於目前核電廠並未設置或規定，但依其負責人表示若要實行這些項目或規定應可達到，故適用上應不成問題。

因此本研究依 NFPA 804 及 NFPA 805 所整理出的評估表在進行核能電廠火災危害評估方面，可作為國內未來進行核能電廠消防安全評估、改善之參考。

另外本研究以 FDS 軟體對電纜分配室之電纜托網進行火災模擬，以探討在電纜分配室設置撒水系統的效益以及撒水頭於不同間距及壓力下對火災初期抑制的效果。

模擬結果顯示，電纜分配室中設置撒水系統會因該空間中電纜阻隔而使其滅火效能降低及延遲撒水頭動作時間；初步結論，在撒水頭間距較近時放射壓力對滅火效率影響不大，但在撒水頭間距較遠時，為求更好的滅火效能最好能夠增加放射壓力。

## 第一節 核電廠相關文獻討論

### 一、 相關研究

針對核電廠進行各項危害探討的相關研究不可勝數，本研究僅就火災危害分析及電腦模擬相關文獻進行探討，其內容整理如下：

(一) NIST 的研究報告<sup>1</sup>，「Evaluation of Fire Models for Nuclear Power Plant Application」嘗試以不同模擬軟體(Fire Dynamic Simulator 及 Consolidated Fire and Smoke Transport)進行電纜與火源間水平安全距離之探討。在電纜分配室設定高度和水平距離不同的電纜，並探討在地板上以一熱釋率為 300KW 的垃圾筒當作起火源，其對電纜所造成的影響，及最小的安全距離的探討。在此文章中發現起火源為 300KW 大小的火源之情境下的垃圾筒，在任何位置均不會使上方電纜達到其臨界溫度，且對區域模式及場模式進行比較，區域模式無法看出空間整個溫度分佈，只能算出熱氣層(Hot Gas Layer)的平均溫度且因為區域模式是以半經驗公式寫成，故在某些假設可能會造成某些值會被高估。此篇研究說明，在有空氣對流的空間中 FDS 與 CFAST 的差距不大，但於無空氣對流的空間中，因為 CFAST 所估算的為均溫，所以傳導熱會被低估，導致兩模擬軟體對模擬結果有極大差異，故其結論之一為運用 FDS 模擬軟體進行傳導熱的計算比 CFAST 在計算傳導熱有更精確的表現。

---

<sup>1</sup> Monideep K. D., 1992. Evaluation of Fire Models for Nuclear Power Plant Applications: Cable Tray Fires, p6.

(二)蔡清雄<sup>2</sup>氏「火災後果模擬運用於核能電廠防火設計案例研究」其探討對象為兩間設備開關箱 Room A 與 Room B 是否會因其中一間開關箱起火而導致另一間開關箱也隨著失效。其假設 Room A 設備開關箱起火，且在防火門失效的情況下，評估另一串與安全相關之電器開關箱是否會因另一空間內的開關箱起火而導致同時失效的情況發生，其判斷定損害的基準為 Room B 電器櫃上方兩公尺處的溫度達到 40<sup>0</sup>C。由其模擬的結果顯示，在其研究中 Room A 內撒水及排煙設備失效的情況下，傳至 Room B 的高熱煙流將可被其排煙系統移除，使得開關箱上方兩公尺處的溫度保持在 40<sup>0</sup>C 以下，並說明在有設置撒水系統的情況下，能有效的使 Room B 的溫度降至安全範圍內。

(三)張溯<sup>3</sup>氏，「核電廠火災危害評估」，在此研究中，以電纜火災進行電纜分佈室內兩條電纜安全距離的評估，依核電廠「深層防禦」的原則，電纜中兩條安全路徑，或備餘成功路徑之電纜或設備，若位於主圍阻體外且在同一防火區域時，必須確保至少一串成功路徑受到防護，並由下列三種防護方式擇一進行防護：

- 1、備餘成功路徑之電纜及設備，以三小時防火等級之防火被覆進行防護。與核能安全相關設備之電纜、與核能安全相關之非安全必需電路等，其防火阻隔必須具有三小時的防火時效。
- 2、備餘電纜、設備，以 20ft(6.1m)以上相區隔，其間不可有

---

<sup>2</sup> 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，九十二年六月。

<sup>3</sup>張 溯，核電廠火災危害分析、中央警察大學消防科學研究所碩士論文，九十三年六月

可燃物或火災危害。此外，整個防火區劃亦必須裝設探測器和自動滅火系統。

3、至少一串備餘電纜、其防火阻隔必須具有一小時的防火時效。此外，各防火區劃亦必須裝設探測器和自動滅火系統。

此研究主要探討不同的距離下，使用中電纜起火燃燒對重複串電纜所造成的影響。其設定的情境為，將電纜火災的情境分別設定為，設置通風、設置排煙與在不同電纜距離分佈等情境。模擬結果為不管距離為六點一、三點四或是二點一公尺的情況之下，單條電纜火災不會造成另一條水平電纜達到受損的臨界溫度。其研究是以 FDS 為模擬軟體並分析了各項模擬軟體的設定、假設及限制，在分析了各種軟體的優缺點之後選定以此軟體運用於核電廠火災危害評估。

(四)鄧治東、陳冶均<sup>4</sup>，「核電廠除役期間煙層行為模擬」，此篇研究乃是以計算流體力學軟體 (Computational Fluid Dynamics, CFD) PHOENICS 進行除役期間核能電廠火災所引發煙層下降行為之研究；因核能電廠為管制的核設施，除役期間將進行大型構件之切割，在此研究中假設火災而不得排煙之情況下，設施中的人員能否在煙層下降至人員高度(距地板 1.8m)之前即時逃離，遂成為人員安全考量之因素。此篇研究中乃以 PHOENICS CFD 軟體進行模擬核能一廠人員是否具有足夠的逃生時間；此研究將對核設施中人員的安全逃生時間的適切性提供數理的證據。其研究結果顯示，在一般火災模擬中(高度為 39.83 英尺之樓層)，120 秒後之最低煙層的高度為 3.38m，此煙層下降時間足以提供該空間中人員足夠的逃生時間，而在較危險的火災(即兩面有牆)的案例中

---

<sup>4</sup>鄧治東、陳冶均，核電廠除役期間煙層行為模擬，核設施之消防設計技術與應用研討會，2004 年六月。

(高度為 958 英尺的樓層)，若是以 PVC 材質燃燒所產生的煙層下降狀況，計算所得的人員能夠逃生時間為 60~70 秒，若是以地面快速成長火源的煙層下降速度，則人員能夠逃生的時間為 80~90 秒。火災中雖不得排煙，但根據此研究顯示，萬一發生火災，核電廠中之工作人員仍有足夠時間離至安全地區。

(五)許文勝、韓漢津、林子仁<sup>5</sup>，「核電廠易生濃煙區電腦煙控模擬」，因為核三廠 318 的 3A 事件報告指出，自動滅火設備發揮功能，有效控制火勢，惟緊急電源(供應緊急照明與排煙設備)喪失及防火門開啟情形下，致使事故現場濃煙密佈阻礙搶救工作，因而延誤事故發生後之後續處置作業之進行。所以，此篇研究以核能電廠易生濃煙的開關箱室作為評估對象，模擬火災發生且排煙失效的濃煙分佈情形，為了考量防火門在火場中可能開啟的情形，在此研究中同時模擬了防火門關閉及開啟的火場情境，其發現在防火門失效而維持開啟的情況下使煙不斷排出起火室，使起火室煙層的高度保持在人員的頭部上方，雖有利於起火室人員的避難，但流竄出起火室的濃煙亦同時造成鄰近通道能見度下降，而影響到後續的搶救行動；在防火門正常而維持關閉的情況下，因濃煙被封閉在起火室內使得起火室的煙在 500 秒左右已到人員頭部，但以一般人員的避難速度而言，此時起火室內的人員早已完成避難動作，而無生命危險，相對的濃煙並未竄出起火室，起火室附近通道的能見度並未受到影響，對於後續抵達火場的搶救人員提供一個安全的救災環境。此篇研究的結論為，確保防火門於火災時能正常動作實為決定火災搶救是否能順利的重要關鍵。

---

<sup>5</sup>許文勝、韓漢津、林子仁，核電廠易生濃煙區電腦煙控模擬，核設施之消防設計技術與應用研討會，2004 年六月。

以上幾篇研究為目前國內外以核電廠為對象，運用模擬軟體進行火災危害分析的相關研究報告及論文，某些研究探討電纜火災，有些則是火災產生之煙的影響，這些研究為核電廠相關的研究立下基石，也對核電廠相關防火安全做出不少貢獻，並開始將軟體模擬運用於核電廠內的火災危害分析。但對電纜火災中水系統滅火設備的滅火效用則尚未有研究進行探討。在「深層防禦」的理念中，電纜室可選擇自動滅火系統以因應重複串電纜距離不足 6.1 公尺的規定，但電纜室內的電纜分佈並非每全部井然有序，為了盡量達到有兩串安全停機路徑規定安全距離的要求，電纜室分佈中電纜走向為不規則之分佈，有水平、交錯、重疊及垂直走向的分佈。當水系統滅火設備動作時，其滅火效能可能會因為空間中有阻礙物，而使滅火效能及偵知火災能力大打折扣，故本研究模擬的目的在對電纜火災時水系統滅火設備的效用進行探討，期望能得知在上層有電纜阻礙的情況下，以較大壓力或是較密集設置的撒水頭分佈可達較佳的滅火效能，以作為將來撒水系統設計或改善的參考。

## 二、核電廠風險特性

對輕水式反應器而言，安全停機系統發生故障為最嚴重的事，因為安全停機系統失效之後，無法有效操控飼水系統，造成冷卻水無法冷卻爐心，爐心的衰變熱無法持續被移除，因而導致爐心燃料溫度升高，最終可能造成爐心熔毀的事件。雖然熱移除事故從發生到導致爐心熔毀階段，須要一段時間，但如果機器故障加上人為疏失仍可能導致事故的發生。例如，1979年，發生於美國三哩島事故即是人為疏失加上機械故障而造成衰變熱移除事故，導致大部份燃料元件損壞甚至熔化，因為有圍阻體的保護，僅造成少量的輻射外洩，但事後造成民眾的恐慌及後續處理所付出的成本實在太大。核電廠各個安全系統分別使用著各式各樣的組件，理論上來說，這些組件絕非百分之百的可靠，亦即各個組件仍有損壞的可能性；換句話說，雖說是微乎其微，但多個重要組件還是有可能同時發生故障或損壞。基於此一體認，沒有人保證類似三哩島的事故不會再發生。

核電廠運轉時，核子反應器內不斷進行著核分裂反應，核分裂所產生的分裂產物不穩定，其會透過各種衰變的過程，使它成為其他穩定核種，在衰變過程中會釋出稱為衰變熱的能量。因此，當核能電廠因某種原因停機時，反應器依然會持續放出衰變熱，衰變熱的釋放隨著停機時間的持續而遞減。反應器停機一個月之後反應器中累積的放射性分裂產物仍然會放出為全功率千分之一的衰變熱。以發電量為一百萬千瓦的核能電廠為例，停機一個月後反應器仍然會產生約三百三十萬瓦的能量，足以供應一千戶家庭冷氣機使用的電力<sup>6</sup>。這三百三十萬瓦的能量，如果沒有適當的措施將其自系統中移除，而任其累積的話，反應器的爐心將有

---

<sup>6</sup> 參考自清蔚園 <http://vm.nthu.edu.tw/science/shows/nuclear/safety/content.html>

損壞或熔毀的危險，因而產生無法彌補的後果。核能電廠的安全仰賴特殊安全設施的正常運作；如果特殊安全設施同時發生多項故障時，爐心還是有可能受損造成放射性物質的外洩。因此，從學理上來說，核能電廠並非百分之一百安全，但可藉由不斷的研究及問題探討使核電廠可能發生的危害降低。

### 三、核電廠火災狀況特性

核電廠為一特殊空間、為了符合運轉或是防止輻射外洩並達到深層防護的目的，核電廠內的各項設計有許多特殊性，故其設備較為複雜，空間區劃亦與一般建築相差甚多。除此之外，在其空間內的發電機械設備，備用柴油發電機、控制電纜與各種電器設備，均可能造成特殊的火災狀況，從以往曾發生過之重大火災案例與統計資料的探討分析，將可能發生的核電廠火災狀況特性歸納如下：

#### (一) 核電廠內可燃物種類不易掌控：

一般而言，核電廠內之燃料大部分為 A 類(一般燃料如木材、紙類等)、B 類(柴油、潤滑油等)、C 類(電纜托網內之電纜線、電子設備、控制室電器櫃內配線)之燃料及電廠正常維修和運轉作業時帶進廠內之臨時性燃料、潤滑油、電纜及維修作業時之可燃物。眾多來源使核電廠內可燃物清單不易建立，造成救災、滅火時不易掌握狀況。

#### (二) 核電廠內可燃物分佈：

由於核電廠內之電纜托網的走向分佈非常不一致，有水平、交錯、垂直及重疊等各種方式，使得火勢會沿著垂直分佈之電纜托網快速往上方延燒；而潤滑油管路亦由潤滑系統延伸到需要供油的機件中，一旦因為地震或汽渦輪機震動過度使得潤滑油洩漏，致使潤滑油滴落至產生高溫之機具上，引燃潤滑油，將會造成火勢快速擴大或造成其他安全停機路徑或設備的損害。

(三) 引火源的位置和種類：

由於核電廠內含有大量電子設備和各種配管，故核電廠火災之起火源常與電路故障、配管表面高溫、電線老化及電弧火花有關。另外，作業上的疏失亦有可能，如施工不當、防火措施不完善及未依照標準程序進行焊接、切割等動作均可能引燃其他可燃物並造成嚴重後果，且電器設備可能發火之起火源並不容易掌握。

(四) 阻礙物影響滅火系統效用：

核電廠內之建築結構、防火阻隔、大型金屬設備和電纜托網等，均為影響火災成長、妨礙探測器及滅火設備效能的因素。在此因素下可能增加火災對該空間中之重要設備的熱輻射、煙之危害以及增加人員救災時的困難度。

(五) 密閉空間逃生不易：

核電廠大部份空間均為密閉空間，相較於一般建築物，其室內防火隔間眾多且缺乏自然採光及自然通風，當強制通風系統未啟動或失效時，由於外氣供給受限，會因空氣控制燃燒而使區劃內產生大量濃煙，內部空間易被煙、熱急速充滿，不僅阻礙人員避難亦不易找尋火點，對火勢控制有不利的影响。

(六) 區劃空間形狀：

核電廠內某些空間樓地板面積相對較大、天花板相對較低(例如走廊)，有些空間卻是挑高空間(例如沸水式反應器之反應器廠房，電纜分配室)，在挑高空間設置滅火設備，其各項設備之設置、滅火能力、事後維修及檢查非常困難。

(七) 消防安全設備造成其他設備受損：

核電廠內之重要設備均以探測系統、滅火系統防護，但在滅火設備的選用上須考量藥劑施放後不至於造成所防護設備或其他設備損害之滅火設備。

(八) 伴隨輻射外洩導致救災延誤：

若起火處所位於輻射區內，如反應爐冷卻水泵火災，或火災伴隨輻射外洩事故，可能造成滅火行動的延誤，因為除了要考慮因火災所產生的煙、熱、有毒氣體之外，尚有輻射的問題要列入考慮，無形中增加救災人員的負擔。

#### 四、核電廠潛在火災危害分析<sup>7</sup>

核電廠內不僅區劃眾多，且為因應各種組件平穩有效的運作必須有大量潤滑油，為了提供備用緊急發電，須設置備用柴油發電機及一定數量柴油以供緊急發電、變壓器的絕緣油、施工時所產生的各種熱源、電纜分配室內各種線路分佈、管線及電路交錯配置、電力電纜絕緣被覆，如聚乙烯，為核能電廠內潛在可能發生火災危害的場所或可燃物。雖然每一輕水式核能電廠細部設計不盡相同，但由於功能上之需求，一般而言均具有反應器廠房、輔助廠房、控制廠房、汽機廠房、電纜分配室及電池室等廠房，以沸水式核電廠為例，擁有大量之機械、電氣、控制等系統中，其具有潛在火災危害的地方如下：

##### (一) 沸水式核電廠廢氣系統：

核電廠的廢氣中常會含有氫氣，氫氣來源可能有：1. 爐水分裂 2. 事故後鋯與水在高溫下反應 3. 電池室中蓄電池充電時，若氫氣在空氣中濃度超過4%即達燃燒下限，一旦接觸到火花、火焰或類似熱源時，可能會發生氫氣氣爆現象。

##### (二) 潤滑油系統：

核電廠中有許多設備、組件需要潤滑油，以便能平穩及有效地運轉，例如汽渦輪發電機和渦輪機及冷卻水泵均使用大量的潤滑油，未固定妥善的潤滑油管可能因地震、機件震動導致潤滑油洩漏或是因為產生蒸氣外洩引發火災。

##### 1、汽輪發電機：

汽機和發電機皆需要大量潤滑油，某些機組使用量甚至達

---

<sup>7</sup> 參考自林文興譯，核電廠火災危險性及其可能造成的損失，原子能委員會核能彙刊第 24 卷第 1 期，1988 年 2 月

到 150m<sup>3</sup>，這些潤滑油的燃點約略介於 250°C 至 400°C 之間。而蒸氣的溫度約介於 500°C 至 600°C 之間，遠超過潤滑油的燃點，汽輪發電廠火災有可能發生於油管破裂或潤滑油油管洩漏至高溫之設備上，沸水式核電廠汽機廠房內蒸氣均具有放射線，一旦發生火災，在進行救災必須考量放射性物質可能造成的影響。

## 2、反應爐冷卻水泵

反應爐冷卻水泵火災最大的問題是反應器在運轉當中人員無法接近，如果火災不巧在此處發生，電廠消防隊員在反應器安全停機和輻射程度降至安全值以前可能無法採取救火行動，因為上述因素所造成的救災延遲可能造成危害擴大。

### (三) 電纜分配室：

電纜分配室中有大量的電纜，大量可燃燒物（電纜絕緣物）集中於防火區劃內。電纜在燃燒時會釋放大量的濃煙，而單一火災事件即有可能造成兩條安全停機路徑同時受損，或導致兩條安全停機路徑同時失效的狀況。

### (四) 柴油發電機：

每座反應器至少具有兩台柴油發電機提供緊急備用電源，由於柴油發電機必須經常進行運轉測試，使柴油發電機成為核電廠中發生火災較頻繁的區域。除此之外，柴油發電機必須有柴油當作燃料，而燃料通常放置在其附近，故在其附近會設置儲油設施，若在此類空間中尚有與安全相關的設備時應加強安全防護。

(五) 控制室:

由於有人員二十四小時監控，控制室內發生火災的機率並不大，但倘若發生火災對安全停機能力或經濟上的損失均極為嚴重，可燃物質包含控制盤內塑膠電纜絕緣、控制盤外面塑膠面板、椅子、紙張等，可能的引火源包括電氣故障、值班人員違反規定抽煙等。

(六) 輻射管制區:

可能的燃料包括電纜群、潤滑油、電氣設備，以及其他臨時性的可燃物，如維護設備、保健物理設備、受污染衣物等，輻射管制區發生火災時，必須控制濃煙的蔓延，因為這些濃煙可能已受到放射性物質的污染，被污染的濃煙必需嚴加控制，避免造成人員的曝露。

(七) 變壓器:

由於使用大量電氣設備，核電廠中設有許多不同種類的變壓器，一般在室內者屬於乾式變壓器，較大型之變壓器屬於油絕緣式均安裝於室外，其發生火災的原因包括電路過載、閃電、線圈劣化或其他原因導致絕緣油絕緣效應崩潰而發生電弧，引燃變壓器或造成變壓器外殼破裂，使燃燒的絕緣油大量漏出，波及鄰近設備。

(八) 活性炭過濾器:

活性炭過濾器裝於特定之通風系統，可防止放射性物質釋放至廠外環境中，由於外部熱源、通風不良或活性炭床吸收各種物質發熱等原因都可使活性炭內部溫度升高，或新活性炭因吸附空氣而發熱，造成自然發火(Self-Ignition)，導致活性炭過濾器火災的發生。

## 五、小結

最近正值核四反應爐壓力槽裝設，媒體的焦點重新回到核電廠上，核能電廠安全頓時又成為大家關心的焦點。雖然在世界各地曾發生許多次大小不一的核電廠事故，大部分為機械故障或是人為操作不慎所導致。即便如此，仍不能對火災的影響掉以輕心，火災發生頻率是可藉由適當的防護、維修、防火計劃及設計將發生之機率降低。除了經由發現本身問題並加以改善之外，若能藉由國外曾發生之災例獲取些許經驗，當作前車之鑑以防患事故於未然，將更能減少事故發生率，對核安將會有更大助益。表 2-1、2-2 及 2-3 為我國、日本及曾發生較重大的核電廠災害的例子，若能將這些案例發生原因用以檢討及評估我國核電廠，對核安相關事項必有不小助益。

福井縣美濱核電廠重大事故，造成四死七傷之事故為日本最近一次核電廠蒸氣外洩事故造成，造成民眾對核能安全信心薄弱，日本近年來核電廠事故不斷讓民眾對核能電廠的安全產生疑慮。日本最嚴重的核子事故發生在一九九九年九月，茨城縣東海村的 JCO 東海事業所的鈾燃料加工廠因為三名工人作業不當，引發鈾的臨界反應。這起事故造成六十九人受到輻射感染，半徑三百五十公尺之內的居民全部疏散，半徑十公里內的居民在家掩蔽，受影響人數達到三十二萬人。這起事件也被列為自一九八六年車諾比核電廠災變之後，全世界最嚴重的核子意外事故<sup>8</sup>。此外，人為疏失亦占核電廠發生事故不少比例，故除了強化硬體設施之外，人員訓練及各項緊急應變處理計劃也應該加強。

---

<sup>8</sup> 參考自自由新聞網 <http://www.libertytimes.com.tw/2004/new/aug/10/today-int1.htm>

表 2-1 國內核電廠火災事故

發生日期	內容摘要
1985/7/7	核三廠一號機汽機房發生大火，原因為汽機設計不當，低壓汽機運轉發生劇烈共振現象，汽機葉片脫落，引爆氫氣造成大火，經一年兩個月停機修復，始恢復正常運轉，損失慘重。
1986/6/17	核二廠一號機的保險絲燒毀。
1987/8/29	核三廠模擬中心範本失火。
1989/10/23	核二廠一號機大修中，因包商人員及工安人員執行電焊工作疏忽，導致一場火災。
1990/1/3	核二廠二號機因軸承漏油，飼水泵 A 台處保溫棉冒煙。
1990/1/26	核二廠二號機因汽水分離再熱器洩漏導致加熱器房內蒸汽洩漏使汽機廠房之主蒸汽管路溫度上升。
1990/3/3	核二廠一號機因數位電子液壓控制系統之保險絲燒斷造成主機調速閘門突然關閉，使反應器壓力上升，爐心中子通量上升，使偵測器偵測到過高壓力而急停。
1997/4/21	核二廠 1 號機「汽機廠房」進行電纜托架焊接補強時，焊渣掉入「防火布」引起燃燒，總共 94 條電纜嚴重燒毀。
2001/3/18	核三廠因 4160 伏特斷路器絕緣被打穿，造成電氣火災。
2001/12/18	核一廠儲存重機械之獨立倉庫發生火警，由廠內消防班與臺北縣石門消防分隊合力撲滅，所有機組均正常運轉，不影響核能安全，初步判斷可能為冷氣機電線走火。

(資料來源:張溯論文)

表 2-2 核能電廠重大事故

時間	原因及結果
1952/12	加拿大渥太華白堊河核電廠事故造成部分鈾燃料棒熔毀，造成數百加侖的輻射水外洩，所幸並無造成人員傷亡。
1957/10	英國物利浦北方核電廠，因石墨冷卻裝置起火造成輻射外洩，污染了 200 平方英哩的地區。
1975/3	美國阿拉巴馬北邊 Browns Ferry 核電廠人員使用蠟燭檢查牆壁開口，不小心造成延燒到 PU 泡棉引發火災。
1976	德國東部格賴夫斯瓦爾德核電廠發生火災，造成安全系統失效導致反應器核心幾乎熔毀。
1979/3	美國賓州三哩島事故造成部分鈾核心熔毀，並造成部分輻射水及輻射氣體外洩。
1986/4	烏克蘭基輔因石墨爆炸起火，造成輻射物質外洩擴散到莫斯科、東歐斯堪的那維亞半島及西歐，據稱造成三十一人死亡。

(資料來源:自行整理)

表 2-3 日本近年核電廠事故

時間	原因及結果
1991/2	關西美濱核電廠二號主機蒸氣發生器破裂。
1993/2	東京電力福島第二核電廠廢棄物處理房蒸氣外洩，一人死亡，兩人輕傷。
1995/12	福井縣敦賀市的高速增殖爐二次冷卻系統配管室鈉氣外洩。
1997/3	茨城縣東海村的動力爐核燃料開發事業所的再處理工廠發生火災與爆炸，輻射線外洩，三十七人遭到污染。
1997/4	福井縣敦賀市的新型換爐原型爐的放射性物質含有鈉氣的重水外洩。
1999/9	茨城縣東海村的 J C O 東海事業所轉換實驗房發生臨界事故，三人受傷六十九人受到輻射感染，其中兩人後來死亡。
2001/11	中部電力濱岡核電廠一號機配管破裂，兩人受到輻射線的污染。
2002/2	東北電力女川核電廠二號機的原子爐房火災，兩人遭輻射線波及。
2004/8	福井縣美濱核電廠重大事故，造成四死七傷之事故。

(資料來源:整理自 [www.libertytimes.com.tw/](http://www.libertytimes.com.tw/))

由以上列表中可得知，在台灣核電廠所發生事故中，較常出現的為機件、零件故障或人為操作不當而造成設備的故障或損壞，其中較嚴重的是核三廠 318 的 3A 事件；從日本核電廠曾發生的核能電廠災例可看出日本核電廠事故較常發生輻射或蒸氣外洩事故，發生於 2004 年 8 月的日本關西電力公司美濱電廠的壓水式反應爐 (PWR) 渦輪室內腐蝕水管破裂，高溫蒸氣破管而出，造成 4 死 7 傷的事故，意外牽扯出爆裂的管線竟已 28 年未仔細檢修的缺失；至於各地曾發生過之重大核安事故如表 2-2，則多為火災所引起。雖然各國核能電廠設計上有部分差異，但主要設施差異不大。故應對外國曾發生過之案例及我國曾發生過的事件，進行檢討、改善，並對這些發生過的案例引以為鑒，強化較易發生事故及發生事故後會

產生較嚴重後果之設備的防護及加強檢修。

爾來核四興建與否的議題，在社會上引起不少爭議，大多數民眾僅覺得核能發電不安全，但畢竟是何處不安全、其不安全程度為何則鮮少提及。以往曾發生的核能重大事故會讓人覺得核電廠事故是可怕、無法想像的，且一旦發生事故是無法挽救的。但從以往災例可得知，殊不知核能電廠只要依照正常程序維護、保養及操作，許多的事故是可避免其發生。對可能發生火災危害的位置進行火災危害分析、根據其危害進行各項安全措施及嚴格執行各項維修、動火、可燃物管制及施工的各項規定，將可使火災的危害降至最小，以達核能電廠核能安全、生命安全、營運不中斷及防止輻射釋放的目標。

## 第二節 核電廠消防安全法規之探討

採用性能式設計方法，能彌補既存電廠適用新法規的困難，同時性能式設計亦給予設計者更自由揮灑的空間。性能式設計方式，除了適用於特種空間或為達特定目的而須排除某些建築、消防法規規定之場所外，更可運用在既存核電廠消防安全設備。核電廠運轉年限有幾十年之久，核電廠空間及設備變化彈性不大，但重大災例會加速核電廠法規的檢討及更新使各項安全需求增加，各項新規定使既存核電廠在符合當前法規的要求有其困難。在電廠十年換照時，電廠中各項機具、設施及設備等皆需通過法規的要求方能取得運轉執照，一旦有設備不符合規定，核電廠即無法取得運轉執照，核電廠的運轉勢必被迫停止，其影響甚巨。性能式方式的採用將可用以當作替代方式來滿足法規更新後對核電廠新增的要求。性能式設計的案子在國內逐漸增加，NFPA 805 亦將性能式設計方法納入核電廠消防安全防護體系中，未來性能式方式若能應用在國內核電廠當作替代方式將可解決既存電廠適用新法規的問題。

1975 年 3 月 22 日美國 Browns Ferry 核能電廠發生大火，促使美國重新檢討核能電廠消防安全之設計與要求，對核電廠法規的重新審視自此開始。美國核電廠消防安全法規與標準之演進以 Browns Ferry 核能電廠事件為界，可概分為 1974 年以前、1975~1977 年、1981 年及 2001 年等幾個主要之演進時期。茲分別將各階段演進之重點簡述如下：

### 一、1974 年以前

這段時間內，防火規定只有兩項：

(一)美國聯邦法規第十篇附錄 A 之一般設計準則 3 (10CFR50

APP. A, General Design Criteria 3), 其要求為:

1. 與安全停機有關的系統、結構物、設備組件，在設計、配置時須考慮不受火災或爆炸而損壞。
2. 使用不燃性材質或防火材料。
3. 提供火災偵測系統與消防滅火系統。
4. 消防系統設計時，須考慮萬一消防系統破管斷裂或誤動作時，確保不會損壞安全系統、設備而妨礙安全停機功能。

(二) 法規指引 1.70.4(RG1.70.4)

規定核能電廠安全分析報告中應有防火方面之敘述，如消防系統之配置、施工和運轉中消防系統之設計和狀態等。

## 二、1975~1977 年

因 1975 年 3 月 22 日美國 Browns Ferry 核能電廠發生大火，超過 1600 條電纜燒毀，而引起「爐心冷卻系統」短暫失效，經過事後檢討，大量增加消防相關要求，故出版了一系列有關防火方面之要求如下：

(一) 1975 年 11 月美國核能管制委員會採取消防系統列入標準審查計畫 (Standard Review Plan)，出版標準審查計劃 9.5-1(Standard Review Plan9.5-1)，要求各核能電廠遵循。

(二) 1976 年 5 月美國核能管制委員會發布 BTP APCSB 9.5-1「核能電廠消防系統指引」，適用 1976 年 7 月 1 日以後取得建造許可之核能電廠，其要求各核能電廠若要取得建廠或運轉執照必先將火災危害分析報告送審，審查各電廠之防火措施是否符合「深度防禦」之理念，亦即：

1. 採取各種預防措施防止火災發生。
2. 即使火災發生，亦能於初期即迅速偵測及撲滅火災。
3. 即使消防滅火系統失效，亦有足夠之防火阻隔阻止火勢

漫延至與核能安全停機有關之備餘設備。

- (三) 1977年2月美國核能管制委員會出版 BTP APCS 9.5-1 「核能電廠消防系統指引」之附錄 A，規範於 1976 年 7 月 1 日以前取得運轉執照核能電廠之火災防護措施。

三、1981年2月，美國核管會正式立法公佈10CFR50.48，「火災防護」，正式將核能電廠消防安全納入聯辦法規體系中；同時並訂定10CFR50附錄R(Fire Protection Program)，規範1979年1月以前運轉核能設施之消防安全方案，主要包括滅火設備方案、火警自動警報系統方案、安全停機能力、廠內消防隊訓練等方案，有關電纜線的消防安全規範為：同一防火區劃含有兩串與核能安全有關之電纜線，其中一串須有3小時等級之防火被覆，或空間分隔在20呎以上且其間不可含有可燃物，並裝設自動滅火系統，或其中一串電纜線有1小時之防火被覆，且裝設自動滅火設備。

四、1981年7月，美國核管會出版NUREG-0800，標準審查計劃9.5.1，「核能電廠火災防護方案」，內容大致涵蓋10 CFR 50、BTP APCS 9.5-1之全部規定，是當時較為完整之消防法規，BTP APCS 9.5-1為核能電廠火災防護的導則，並為第9.5.1章內容的附件。

五、2001年1月美國國家防火協會正式發佈NFPA 804及NFPA 805，成為核能電廠消防安全最完整的標準，且兩者均將火災危害分析明定於條文內容中。

- (一) NFPA 804，Standard For Fire Protection For Advanced Light Water Reactor Electric Generating Plants 係 NFPA 針對進步型輕水式核能電廠所發展出之規格式消防安全標準，所謂進步型輕水式核能電廠乃指其安全停機路徑為三

串，該標準從電廠之設計、建造、運行和維修等各方面建立核能電廠消防安全之最基本之標準。從功能方面而言，基於深度防禦之原則，該標準提供確保安全停機、限制放射性物質外洩、保障人命安全、限制財產損失以及防止運轉中斷等功能之最基本之消防安全標準。

(二) NFPA805，Performance-based Standard for Fire Protection for Light Water Reactor Electric Generating Plants 包含性能式之標準，適用於輕水式核能電廠，內容不僅包括功能性設計方法論、基本火災防護方案的設計與基準、防火系統與防火性能的規劃等，亦提供除役階段及永久停機時的火災防護規範。對於如何應用工程分析以實際支援功能性設計，並進而滿足核能電廠的防火安全終極目標、性能目標以及性能基準，NFPA 805 提供一套完整的火災危害評估方法。根據該標準設計法以及性能基準，核能電廠設計人員或核能管制人員可不再受限於傳統條列式法規的規定，對於核能電廠的消防防護工作將更具有彈性。

除此之外，更將安全評估方法(Probabilistic Safety Assessment, PSA)亦納入其中，這套分析法原本是用來分析外部事件的機率，例如航空器撞上特定建築物的機率，隨後安全評估方法被用來評估在假設情境的事故下核心嚴重損毀及輻射外洩的機率，在 1979 年的三哩島事故後安全評估方法重新被重視。安全評估方法是用在設計及運轉階段的核電廠用以確認及分析每一項可能造成核心損壞情境的可能情況。典型的安全評估方法包括<sup>9</sup>：

- 需要對設備有深厚的瞭解及收集大量相關資訊。

---

<sup>9</sup> 摘譯自 <http://www.nuce.boun.edu.tr/psaover.html>

- 訂定初始事件及損害情況。
- 以事件樹進行核電廠主要系統的模擬。
- 評估事件及人為因素的關係。
- 發展核電廠特殊系統及組件的資料庫。

此方式雖已運用於國內電廠的火災危害評估上，但目前先進之火災模式對核電廠火災危害之適用性仍有限；對濃煙的擴散及其對設備及人員操作之影響、對電廠各電子設備在實際運轉及火災曝露環境之條件下的損壞臨界數據均未明瞭<sup>10</sup>。要全面實施將有賴其它各項因素配合後方能用以合理評估。

#### 六、2001年4月美國核能管制委員會公佈「運轉中核能電廠防火指引」(R.G. 1.189)：

內容上大致引用一般設計準則 3 (GDC 3)、核能電廠消防指引 (APCSB 9.5-1)、核能電廠防火方案 (App. R) 及美國國家防火協會標準 (NFPA) 等綜合參考近 140 份相關法規及標準文件，彙整而成，用之取代現行消防法規、提出可在 Appendix R 之外，另以風險告知性能式設計之替代方案做為選項，其條件為須有詳細之火災分析或消防改善，並證明此替代方案與 Appendix R 擁有等效安全水準。廠方可根據該指引做自我評估，亦可當作決定性法規的基礎，同時，該指引亦表達美國核管會(NRC)接受風險告知和性能式設計替代方案的立場。在消防設施上，亦引用新穎的消防設備與管理如：

- (一) 細水霧滅火系統 (Water Mist Systems) 的採用。
- (二) 電纜托架用線型熱感式火警偵測 (Continuous Line-Type Heat Detectors)。

<sup>10</sup> 參考自自由新聞網 <http://www.libertytimes.com.tw/2004/new/aug/10/today-int1.htm>

- (三)管輪式二氧化碳不能當作安全設備上主要滅火設備。
- (四)電氣開關設備室要用自動滅火設備。
- (五)電纜室、電氣開關設備室高濃煙區提供排煙及排熱設備。
- (六)防火材料的試驗。
- (七)可燃性氣體的儲存、送氣之安全裝置及測試。
- (八)廠外消防隊支援協議。

此法規指引的目的在使火災發生的影響及其發生機率降至最小。在「深層防禦」之設計上，使其能夠確保在火災發生後，用於安全停機所必須的功能不會受損，並將對放射物質外洩至周遭環境的量降至最低。其中討論美國核能業界在火災防護的管制與相關導則之應用與發展，並摘要整理相關可適用之法規、火災防護的主要目的、不同的持照基礎與設計、以及核能電廠假想事故的相關假設。並針對七個範圍說明其管制立場：火災防護計畫、火災預防、火災偵測與抑制、建築設計與被動式設施、安全停機能力、安全重要區域之火災防護、安全重要區域曝露在特殊火災危害的防護。此法規指引的發展係用以提供全面之火災防護。本法規指引亦可作為持照業者自行體檢電廠狀況的參考，並可作為未來制定管制法規的決定式基礎，美國核能管制委員會也將接受「運轉中核能電廠防火指引」(R.G. 1.189)所提出的「風險告知和性能式設計」的替代方案。亦再次強化火災危害分析的重要性，並依據詳細的火災危害分析之基礎，也將接受替代性消防防護設備的配置，其條件為：

- (一)有詳細之火災危害分析或消防改善，並證明此替代案之效果與 10CFR50 附錄 R 相同。
- (二)替代方案確保能在遠端停機控制盤達到熱停機。
- (三)冷停機僅造成有限損傷，在合理時間內可以修護。
- (四)防火塗料不可以做為防火屏蔽。

(五)符合 App. R 所必須的改善方案，並不會比現行或建議的替代方案有更高的防火安全等級。

七、2004 年 6 月所修正的 10 CFR 50.48 Fire protection

修正部分條文，雖採納 NFPA 805 的各項標準，但亦有些項目不予以贊同，如第一章的生命安全目標、目的與基準，與對既存電纜的規定等。

### 第三節 核能安全評估表之建立及適用性檢討

#### 一、NFPA 804 及 805 所建議應設置之設備及相關事項

##### (一) 火災預防計劃(Fire Prevention Program)

應建立火災預防計劃，其項目應包含以下事項：

- 1、告知從業員工及承包商火災安全資訊，至少應包括火災預防程序、火災通報及包含避難的電廠緊急警報。
- 2、建立電廠視察文件，包含為改善火災危害條件所裝設的改善裝置。
- 3、內部管理及暫存可燃物的處理程序。
- 4、可燃性氣體及液體的處理程序需符合 NFPA 相關的程序。
- 5、抽煙、氣焊、磨及熔切相關施工動作的標準作業程序。
- 6、火災預防監督計劃。
- 7、火災通報程序，包括確認及正確處理之規定。

##### (二) 火災危害分析(Fire Hazard Analysis)

各場所應建立火災危害分析並應包括下列事項：

- 1、建築物構造、陳列及設備，包括防火區劃、區劃邊界的防火等級。
- 2、各防火子區劃內主要可燃物之儲存量清單。
- 3、火災防護裝置的概述，包括警報系統、手動及自動滅火系統。
- 4、確保安全停機設備的描述，包括設備間之電纜、導管及此類裝置的位置。
- 5、假設手動及自動滅火設備失效的情境下，火災對每間防火區劃安全停機裝置的影響。

- 6、假設固定式滅火系統動作情況下，分析火災對生命安全、  
污染物釋放、設備操作的損害及財產的損失。
- 7、分析地震、風暴及洪水對火災防護設備的潛在影響。
- 8、失控火災可能造成非安全停機相關設備潛在影響之分析，  
例如污染物的釋放及運作之影響。
- 9、分析火災後復原能力。
- 10、核安相關系統及組件因火災防護系統誤動作或破裂所造成  
影響之分析。
- 11、煙控系統及煙對核安與各個防火區劃運作影響之分析。
- 12、有效損失控制所需之緊急計劃與協調規定之分析，應包括  
主動式或被動式火災防護系統失效的補償措施。

### (三) 火災緊急應變計劃(Fire Emergency Plan)

應建立火災緊急應變計劃，至少應包括下列事項：

- 1、火災之應變及負責人通報事項。
- 2、廠區及轄區消防隊通報。
- 3、人員避難。
- 4、安全、維護、操作及公關人員之配合事項。
- 5、滅火行動。
- 6、火災後復原及污染物控制事項。
- 7、緊急事故發生時控制室運作事項。
- 8、失火對策。
- 9、緊急應變組、防護、安全及其它與火災防護計劃相關組織  
之敘述。

### (四) 失火對策(Pre-Fire Plans)

- 1、註明核電廠中，因為安全或輻射因素限制人員進入之地區  
及允許進入這些區域的方式。
- 2、包括該區域平面配置、任何與安全停機相關的組件、滅火

系統及可能遭受到的火災危害。

- 3、應依需要定期更新。
- 4、應放置於控制室及核電廠消防隊。
- 5、失火對策應載明緊急事故發生時與電廠其他應變組合作事項。

#### (五) 核電廠消防隊(Plant Industrial Fire Brigade)

1、以下各項應被用以規範核電廠消防隊之規定：

- (1)、應為全職、受過訓練且裝備優良之成員，隨時有五名消防隊待命且消防隊員的資格應符合 NFPA 相關規定。
- (2)、為因應火災及緊急事故不應指派其他電廠職務。
- (3)、每班除了消防隊長，應至少有兩員隊員對核電廠安全系統有足夠的訓練及知識，並明瞭滅火系統對核安系統的性能基準所造成的影響。(例外，應具備核電廠安全系統充足訓練及知識之規定，可由核電廠專業人員引導替代)
- (4)、在進行火災確認時，廠區消防隊應立即被通知。
- (5)、每位隊員應通過年度測試，試測項目應包含空氣呼吸器運用。

2、訓練及演練(Training and Drills)

廠區消防隊及其它在火災發生時與廠區消防共同進行應變人員也應接受相關訓練。

- (1)、接受相關規定之訓練、建立消防隊訓練計劃、每季進行滅火操作及訓練。
- (2)、與廠區消防隊共同進行應變作業人員應接受相關訓練，以確保在緊急時能與廠區消防隊共同作業。
- (3)、演練應於每季舉行、測試廠區消防隊反應、有效應用火前計劃、與其他單位合作情況、在不同場所實施演練，特別是具潛在危害的位置並於演練後進行討論。

- 3、應提供轄區消防隊熟悉特定場所之訓練並於每年邀請其參加年度演練。
- 4、應提供轄區消防隊輻射物質、輻射及危險物質的教育及處理訓練。
- 5、電廠防火管理人應與轄區消防隊主管訂立互助協定。廠區防火管理人應與轄區消防隊協商以建立包含與其他機構合作的救火與救援計劃。

#### (六) 控制室(Control Room Complex)

控制室複合空間(廚房、辦公空間等)為防止遭受火災危害，應以最少三小時防火時效之天花板、牆面與樓板進行區隔。控制室周圍房間應依火災危害分析設置自動撒水系統且需以最少一小時防火時效之不燃性材質區隔，在控制室周圍空間與控制室間的通風系統應設置自動防煙閘門，隨探測器及/或滅火系統連動。

- 1、應設置 A 級及 C 級滅火器於控制室中，水帶箱應設置於控制室外。
- 2、應選擇適用於控制室危害之瞄子，瞄子的選用應符合消防隊規格、電器安全需求及對電器設備造成最少影響。
- 3、偵煙式探測器應裝置於控制室周圍房間、電器櫃及落地櫃。假設備餘安全停機設備設置於相同之電器櫃或落地櫃內應以不燃性屏蔽區隔。
- 4、假定火災發生後控制室人員不撤離則應設置空氣呼吸器。
- 5、控制室進氣口(Intake)應設置偵煙探測器及能夠手動隔離通風系統。
- 6、控制室排煙允許與通風系統共用，但通風系統循環部分應能進行隔離。
- 7、控制室內的電纜應終止於控制室內，不應穿越控制室。

### (七) 電纜分配室(Cable Spreading Room)

電纜分配室應符合下列各項規定：

- 1、應設置水系統自動滅火設備或氣體滅火設備。撒水頭應能涵蓋所有區域，其放水密度應設計在  $0.30\text{gpm}/\text{ft}^2$  ( $12.2/\text{min}.\text{m}^2$ )，最大防護區域在  $2500\text{ft}^2$ ( $232\text{m}^2$ )，若採用細水霧及氣體滅火系統應依 NFPA 相關規定設置。
- 2、撒水或放水系統設計時應考慮到排水能力進行分區，排水系統應可排除兩區域同時放水之水量。
- 3、電纜分配室與鄰近區域以三小時防火屏蔽區隔，並應符合下列事項：
  - (1)、最少兩個分隔的入口可供消防隊入內進行救災。
  - (2)、兩電纜疊架(Cable Stacks)間應有寬 3ft(0.9 公尺)，高 8ft(2.4 公尺)的走道。
  - (3)、水帶箱及移動式滅火器應設置於室外易於取用處。
  - (4)、設置局限型探測器。
- 4、建議在電纜托網達三層以上或電纜寬度超過 18 in.(4.57 公尺)時加裝線型探測器。

### (八) 電纜坑道(Cable Tunnels)

電纜坑道應符合下列各項規定：

- 1、與相鄰分區有三小時以上防火屏蔽。
- 2、電纜坑道內應設置偵煙式探測器(最好在電纜托網達三層以上或電纜寬度超過 18 in.(4.57 公尺)時加裝線型探測器)。
- 3、固定式自動滅火設備應符合下列事項：
  - (1)、設置固定式滅火系統其放水密度應達到  $0.30\text{gpm}/\text{ft}^2$  ( $12.2/\text{min}.\text{m}^2$ )，撒水分區最大邊長為(100 linear ft)30.5 公尺，最大防護區域在  $2500\text{ft}^2$ ( $232\text{m}^2$ )。
  - (2)、撒水頭依電纜排列設置，並依可能暫存可燃性物質

處所設置。

(3)、放水型撒水頭(Deluge Sprinkler)裝設區域應進行分區，使排水系統能同時排除兩區域撒水頭同時放水之水量。

4、撒水系統動作不致造成電纜受損。

5、電纜坑道超過 50ft(15.2 公尺)時應依下列規定：

(1)、至少有兩個分開入口，可供消防隊進入。

(2)、在兩電纜疊架間應有寬 3ft(0.9 公尺)，高 8ft(2.4 公尺)的通道。

(3)、水帶箱及移動式滅火設備應設置在電纜坑道出口處。

#### (九) 電纜通道及垂直電纜(Cable Shafts and Risers)

電纜通道及垂直電纜應與鄰近區域有三小時防火屏障。當垂直電纜高度超過 30ft(9.1 公尺)時每 20ft(6.1 公尺)應設置阻燃器(Fire Break)，自動撒水及偵煙系統應設置於電纜通道的頂端。

#### (十) 電器開關室及繼電器室(Switch Gear Rooms and Relay Rooms)

1、與鄰近區域應有三小時防火屏蔽。

2、電纜不可穿越與安全相關之開關箱室，該空間不應有其他用途，水帶箱及移動式滅火設備應設置於室外易於取用處且開關箱應加高。

3、應設置排水設施以防止與安全相關之設備遭受水損故障。當採取手動滅火設備進行防護時，應設置遠端手動排煙裝置。

#### (十一) 電池室(Battery Rooms)

1、與鄰近區域有三小時防火屏蔽。

- 2、提供通風系統將氫氣容積濃度維持在1%以下。
- 3、通風系統失效時控制室應有訊號顯示。
- 4、直流開關及變頻器不應設置於其內，並應設置火警探測器、水帶箱，移動式滅火設備應設置於電池室外易取用處。

#### (十二) 汽渦輪機及其下層區域(Beneath Turbine Generator Operating Floor)

- 1、應與內含有與安全相關設備之分區有三小時防火時效之屏蔽，在建築物內應設置煙、熱排除裝置及撒水系統。
- 2、汽渦輪機與下方組件應有三小時以上防火屏蔽阻隔。
- 3、汽渦輪機操作層下方，應以撒水或泡沫系統防護，其放水密度應達  $0.30\text{gpm/ft}^2$  ( $12.2/\text{min.m}^2$ )，防護區域不應小於  $5000\text{ft}^2$  ( $464.5\text{m}^2$ )。
- 4、泡沫系統設計應依 NFPA 16 規定設置。
- 5、撒水及泡沫防護區內之電器設備應為密閉式或防水設計。

#### (十三) 汽渦輪機與激磁機軸承(Turbine Generator and Exciter Bearings)

- 1、激磁機外蓋內與激磁機連接的區域應採全區二氧化碳防護。
- 2、在激磁機上方潤滑油管線應以自動撒水系統防護且應包括易集油地區。假如潤滑油儲槽為架高設置則撒水系統亦應防護儲油槽下方區域。
- 3、乾淨及廢油儲存區應依其火災危害分析裝設防護設施，最少應設置自動撒水系統、通風裝置及排水裝置。

#### (十四) 潤滑油系統(Lubricating Oil Systems)

潤滑油系統應符合以下規定：

- 1、潤滑油儲槽與電廠其他設備應具三小時防火時效之屏蔽。

- 2、應裝設抽氣裝置，將潤滑油蒸氣抽離至外部安全區域。
- 3、潤滑油儲存槽應設置地區境界堤或/及排水溝。
- 4、油管下方及附近不應有蒸氣導管或高溫金屬。
- 5、建議能由控制室操控壓縮空氣阻斷閥(Condenser Vacuum Break Valve)及潤滑油幫浦。
- 6、控制潤滑油幫浦的電纜應裝置於火勢不易波及處，且有一小時防火時效。

(十五) 柴油燃料儲存區(Diesel Fuel Storage and Transfer Areas)

- 1、柴油燃料儲存槽不應設置於有與核安相關裝置之建築物內。
- 2、地上式儲槽應距建築物 50ft(15.2 公尺)，如未達該距離，應設置 3 小時防火時效之防火屏蔽。
- 3、地上式儲槽應設置自動撒水系統防護，地上式柴油儲槽及分裝區應設置消防栓。

(十六) 與核安相關幫浦室(Nuclear-Safety-Related Pump Rooms)

應設置火警探測裝置，但自動滅火系統之設置應依火災危害分析。水帶箱及滅火器應設置於易於取用處。

(十七) 新燃料區(New Fuel Area)

於易取用處裝設滅火器，且應裝設火警探測器。水帶箱設置位置應由火災危害分析決定以利搶救行動。新燃料區內可燃物質應維持在最少量。

(十八) 記錄儲存區(Record Storage Areas)

記錄儲存區不應設置於與核安相關區域且需與核安相關區域有三小時防火時效等級之防火屏蔽。

## 二、NFPA 804 及 805 各項建議之差異比較

NFPA 804 及 805 皆為 2001 年業界所發佈之標準，804 對各類場所建議應設置之設備採取條列式規定，而 805 除了與 804 均有條列式規定外，尚有安全評估方法 (Probabilistic Safety Assessment, PSA)、風險告知 (Risk-Informed)、性能式 (Performance-Based) 的設計方式及各項性能基準、情境及模擬軟體的介紹等。雖然 NFPA 804 及 805 均提及條列式標準，但兩套法規之間尚有些許出入。在評估表中的內容有來自 NFPA 804 也有來自 805 的規定，後者對各場所某些規定較保守但亦較具彈性。本評估表是以 NFPA 805 為主軸並參照 NFPA 804 的規定將 805 所未規定之項目加入評估表當中以增加評估表的廣度。表 4-1 為兩套法規在評估表所列項目差異之比較。

表 2-4 NFPA 804 及 805 在評估表所列項目差異之比較

項目 \ 法規	NFPA 804	NFPA 805
火災預防計劃	有	無
火災危害分析	有	無
火災緊急應變計劃	有	無
火前計劃	無右項規定	規定應載明緊急事故發生時與電廠其他小組之合作事項
核電廠消防隊	並無規定可由專業人員替代	除了消防隊長應有兩名消防隊員具核電廠安全系統足夠訓練及知識之規定，但可藉由核電廠專業人員之協助替代此規定。

控制室	相同	相同
電纜分配室	無右項規定	1、規定可採用細水霧系統及氣體滅火系統。 2、建議在電纜達三層或寬度達 18 in. (4.572 公尺)時最好能加裝線型探測器以提供更好的偵測效果。
電纜坑道	無右項規定	與鄰近區域有三小時防火時效之防火屏蔽
電纜通道及垂直電纜	相同	相同
電器開關室及繼電器室	無右項規定	1、與相鄰分區有三小時防火時效之屏蔽。 2、電器開關箱應墊高。
電池室	1、以一小時防火時效與其他分區區隔。 2、設通風裝置應維持氫氣容積濃度在 2% 以下。	1、與安全相關電池室應設置於火災不易波及處。 2、設通風裝置應維持氫氣容積濃度在 1% 以下。
汽渦輪機及其下層區域	相同	相同
汽渦輪機及激磁機軸承	未規定激磁機相關事項	有
潤滑油系統	無右項規定	1、儲油槽與其他設備間有三小時防火時效之屏蔽。 2、建議可由控制室操控壓縮空氣阻斷閥及潤滑油幫浦。
柴油燃料儲存區	無右項規定	地下式儲槽可設置於建築物內或建築物外。
與核安相關之幫浦室	相同	相同
新燃料區	相同	相同
記錄儲存區	相同	相同

(資料來源:自行整理)

NFPA 804 與 805 對某些場所之規定略有差異，例如 NFPA 805 對分區的概念較強，皆會規定與另一分區需要有一定時間以上的防火時效、相關規定雖較保守，但亦有替代性設備規定且有排除方案。例如，在電纜分配室中列出可使用細水霧及氣體滅火系統且建議為了提供更好的偵測效果在電纜達三層或寬度達 18 in. (4.572 公尺) 時最好能加裝線型探測器；在廠區消防隊中規定，除了消防隊長應有兩名消防隊員具核電廠安全系統足夠訓練及知識之規定，但可藉由核電廠專業人員之協助替代足夠訓練及相關知識的規定；而在電池室應設通風裝置應維持氫氣容積濃度在 NFPA 804 規定應達 2% 以下，而在 NFPA 805 則有更保守的要求，規定要達 1% 以下；在電器開關室要求要將電器開關墊高防止撒水系統動作而導致電器開關失效。評估表的整理以 NFPA 805 當作主軸，而導入 804 所提及部分的規定，整合而成之評估表，期能包括核電廠各項軟體及硬體的評估事項，用以評估及提供改善建議。

### 三、訪談人員之建議

#### (一) 火災危害分析

- 1、是否有火災情境分析，包括當自動及手動滅火設備失效時，火災對與安全相關設備所造成的影響？

並未單獨對這種情境進行失效時影響分析也沒有對每個子分區提及失效時相對應的情況。但對避難、排煙的情形則有談到。核電廠負責人認為此項規定太細，施行上恐怕不容易。

- 2、是否對核安相關分區與各個區域間的運作進行煙控影響的分析？

建議應將空間定義更詳細，例如指定某些與核安相關區域進行分析以縮小範圍，如控制室等。因為控制室為整個控制樞紐，進行此類的分析較為需要。

#### (二) 火災預防計劃：

可燃性氣體及液體的處理程式及火災預防計劃並非依照 NFPA 相關標準，電廠有訂定火災預防計劃及處理程序，處理可燃物的程序並非依照 NFPA 805 的規定。

#### (三) 火災緊急應變計劃：

是否載明緊急應變組或各個安全部門及消防隊、救災單位協調的通報事項？

通報地區消防隊是由執值主任指派人員處理；但在與當地消防隊的通報上則有一些認知上的落差，當地消防隊希望核電廠只要有發生火警均需與其通報，但核電廠方面則認為，應由核電廠消防隊先進行處理十分鐘後，如無法滅火再通報轄區消防隊進行處理。其理由為，核電廠為較敏感設施，倘若該廠所發生之大小事故均通報轄區消防隊。就現今

媒體氾濫的情形，必定不斷重複報導核電廠疑似發生火災的消息，這對核電廠的形象之傷害非常嚴重亦會造成民眾不必要的恐慌。

#### (四) 失火對策:

核電廠的失火對策已將之包含在其中，故在適用上並無問題。

#### (五) 核電廠消防隊

- 1、應提供轄區消防隊輻射物質、輻射及危險物品的教育及處理訓練?

轄區消防隊員會因人員流動的問題與本身勤務衝突的關係無法配合，要請轄區消防隊挪出時間配合恐怕不容易，故在施行上可能有困難。建議應由該場所第一負責人或第二負責人帶領轄區消防隊員進入事故現場並提供相關訊息即可。

- 2、轄區消防隊是否熟悉核電空間配置是否對進入的路徑事先規劃:

電廠相關負責人提出決解此項問題的方式，其認為可指定廠內該場所第一負責人或第二負責人，帶領轄區消防隊員進入事故現場進行救災即可。此外，由電廠人員帶領將可更明瞭何處為輻射區及何處有危險物品。

#### (六) 柴油儲槽:

柴油儲槽規定與附近建築物距離不可低於 15.2 公尺：電廠負責人認為問題不夠明確，應討論是否包含儲槽是用以供應該建築物使用的情況。

## (七) 控制室

1、偵煙式探測器是否裝置於控制室周圍房間、電器櫃及落地櫃。假設備餘安全停機設備設置於相同之電器櫃或落地櫃內，其間是否以不燃性材料區隔？

(1) 核二廠的電器櫃為短櫃式，原本的設計已將每座電器櫃分開，單一電器櫃起火並不會延燒到另一電器櫃且備餘安全停機裝置並未設在同一電器櫃內。但核二廠的電器櫃內並無設置偵煙式探測器，因為電器櫃乃為短櫃設計不會延燒至另一電器櫃且該場所二十四小時均有人員駐守。

(2) 核一廠則是為了有效偵測火災，於電器櫃約每二至三公尺即設有設置偵煙式探測器，核一廠負責人覺得加設此裝置能提昇安全性且價格不貴，故覺得應裝設。

2、是否設置 A 類及 C 類滅火器？

核二廠於控制室僅設置二氧化碳滅火器，核電廠負責人認為控制室內主要火災為電器火災故採取二氧化碳滅火器理應足夠。

## (八) 電纜分配室：

1、電纜架達三層或電纜寬度在 18 in. (4.57 公尺) 以上時應設置線型探測器？

(1) 此項規定在核二廠並無此項設計，但其電纜分配室的消防安全設備是採用撒水系統與二氧化碳滅火設備並設的雙重保護方式，故防護能力應該足夠。

(2) 核一廠在電纜分配室亦設置兩套滅火系統，當偵知火災時是以二氧化碳滅火系統先進行滅火，萬一仍無法撲滅火勢再以手動方式啟動撒水滅火系統進行滅火。

2、水帶箱及移動式滅火器是否設置於室外易於取用處？

電纜分配室的空間面積約有上千平方公尺，面積非常廣

大且未設置隔間，若將水帶箱設置於電纜分配室外，當室內發生火災時取用必定發生問題，故將水帶箱設置於電纜分佈室內而非室外。

(九) 汽渦輪機與激磁機軸承：

激磁機上方潤滑油管線應以自動撒水系統防護？

核二廠負責人認為汽渦輪機上方並無潤滑油管通過，故本規定與目前核二的情況並不符合；核一廠人員則認為激磁機旁的發電機及以氫氣冷卻的勵磁機方為較有可能發生火災處，但就目前台灣三座核電廠而言，該場所是以二氧化碳進行全區防護亦非以撒水系統防護安全上應該不成問題。

(十) 電器開關室及繼電器室：

是否設置排水設施以防止與安全相關之設備遭受水損故障？

該區域內僅設置預警系統並未設置滅火系統故沒有撒水系統適用上及排水系統相關的問題。

(十一) 電纜分配室：

排水系統是否可排除兩放水區同時放水之水量？

電纜分配室內並未設置排水系統，因為在設置初期是採取氣體滅火系統進行滅火，撒水系統為事後經評估之後再行敷設做為輔助用途，故此項規定以目前的電纜分佈室並無法符合要求，但在該區劃內的與安全相關設備均進行防水處理。

(十二) 電纜坑道：

撒水頭是否能涵蓋所有電纜分佈區且排水系統是否能有效排出兩分區同時放射的放水量？

排水量未經過計算，並無法確定是否可以達到排除兩區域同時放水的水量，此規定在確認上有困難。

#### 四、小結

經過訪談後本研究有以下看法，就火災危害分析的問題，雖然進行核電廠煙控或設備失效影響分析項目，核電廠人員覺得這些項目規定太細，建議應就某些與安全相關設備或場所進行分析即可，但煙流所產生的問題不僅與人員避難或設備操作相關且有擴散的可能。此外，當欲以安全評估方法進行評估時亦需煙控相關資料當作參數，故火災危害分析的要求應屬合理。至於電器櫃內的偵煙式探測器就 NFPA 805 的規定，應不分其電器櫃為長櫃或短櫃皆需裝置方能即早察覺火災。

電纜分配室的地板未設置排水孔，僅在角落處發現幾個排水口，雖電纜分配室下方與安全相關設備是以防水設計方式防止水損，在撒水系統動作後的排水口是否能有效排出該區域的水量，而不致造成水損則尚待評估。建議核四廠正值建設初期，宜在設計時即將排水系統列入規劃，以降低日後敷設的不便。在核電廠消防隊方面，核電廠負責人說明 NFPA 805 中所提到的各項訓練實施上有困難，因為目前電廠消防隊是以外包方式，人員流動率較大，要求核電廠消防隊接受正規訓練有其困難且與訓練或代訓單位協調合作亦是問題，故實行上有其困難。核電廠人員建議，未來核電廠在設立廠區消防隊時，應可考慮依循中油模式，由電廠設置專屬消防隊，使電廠與該人員有直接隸屬關係，在運用或調度上將較具靈活性且人員訓練不會因為人員流動而須一直重新訓練且經驗無法傳承。此外，與轄區消防隊因為人員流動及勤務上的因素，若要要求當地消防隊對核電廠各區劃有充份瞭解有其困難，此項規定應採取更富彈性規定，由該場所負責人進行引導、輔助即可。一方面該負責人較熟悉該場所，再者也能供安全相關訊息給救災人員。

## 第四節 核電廠火災危害分析----以電纜分配室模擬探討

### 一、FDS 的架構與功能

FDS 是一計算流體力學軟體 (Computational Fluid Dynamics, CFD)，亦即所謂的場模式 (Field Model) 是將模擬範圍切割成若干正立方體之計算格點 (Computational Grid)，所有之計算在此格點內完成，因此格點劃分的愈細計算上也愈繁雜所須之時間亦愈久，但結果會較為合理精確，在運算上可採用大渦流模擬 LES (Large Eddy Simulation) 以及直接數值模擬 DNS (Direct Numerical Simulation) 解控制方程式，這些方程式基本上是由 Navier-Stokes 推導簡化而來，是符合質量守恆、動量守恆、物種守恆以及能量守恆的流體力學方程式，適用的範圍為低馬赫數之流場分析，亦即火場中由熱驅動的低速流場。在燃燒理論方面採用混合分率模式 (Mixture Fraction Model)，解出計算區域中之各物理量變化情形，並可預測室內外之多種火災問題、建築物之排煙系統、撒水頭動作、火災探測以及其他非壓縮流體之熱對流現象，在消防工程領域，有能力模擬多種不同的火災情境，其架構如圖 2-1 所示。

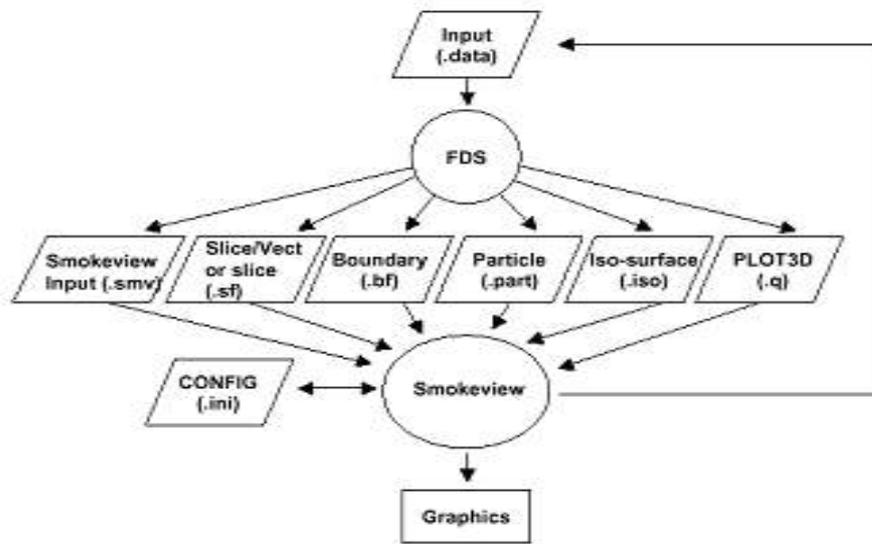


圖 2- 1 FDS 功能架構圖

圖2-1說明在進行模擬之前首先針對欲模擬之對象物及所須輸出 (Output) 之結果建立一輸入檔 (Input) \*.data，經FDS程式之計算後，製造輸出計算結果檔\*.smv、\*.sf、\*.bf、\*.part、\*.iso、\*.q、\*.ini，再經由後處理程式Smokeveiw觀看整個模擬計算過程，其功能包括：模擬火場中煙層 (氣流) 流動方向、煙層溫度、煙層下降速度、火場能見度、燃燒釋熱率 (HRR)、可燃物燃燒速度、撒水頭動作及撒水分佈、感熱式探測器動作、火場溫度分佈、壓力、O<sub>2</sub>、CO<sub>2</sub>及CO濃度、排煙設備動作等。

## 二、設計火源

性能式設計在進行評估時，關鍵因素為決定設計火源之大小。一般而言火源大小之設計，可參考文獻中數據或是燃燒實驗的結果。通常文獻中所提出數據是根據過去多次實驗之結論，在不考慮個別環境所造成之誤差下，其合理性應在可接受的範圍；但若所援引數據之背景因素與我們的設計情況相差甚遠，應考慮其存在的誤差，故設計數據應趨於保守。

目前研究單位在進行電纜托網火災模擬時，通常將已知的參數，如熱釋放率、產物、特性明定於輸入檔。由 Monideep K. Dey 所匯整的「Evaluation of Fire Models for Nuclear Power Plant Applications: Cable Tray Fires」<sup>11</sup>中根據各種實驗資料發現，在通風良好的環境下，一條大約長 15m、寬 0.6m、厚 0.1m 的電纜托網，其熱釋率的分佈範圍大約為 0.8MW 至 2MW。而在其研究中將電纜火災成長特性假設為(T-Squared)的規則，成長至最高熱釋率的時間大約為 10 分鐘。由於本研究中所模擬電纜托網之尺寸為 15m×0.6m×0.1m，故本研究亦以 2MW 為最高熱釋放率作為本次模擬的設計火源，在火勢以時間平方成長的條件下，熱釋放率成長時間設定為 400 秒。NFPA 805 附錄中有提及，為了減少模擬時間，在情境設定上可一開始即設定為起燃之狀態，故在本研究設定一開始即開始燃燒。此外，NFPA 805 的附錄中亦列出潛在可能發生火災的情境，如表 2-5。本研究所選定情境為電弧火花引燃整條電纜，此情境雖不是最常見的事故，但在曾發生過的事件裡，只要涉及電纜分配室相關事故均較為嚴重，如美國的 Brown Ferry 核電廠事故，因此選定電纜分配室的火災情境為本研究探討的對象。

---

<sup>11</sup> Monideep K.D., NISTIR 6872, Evaluation of Fire Models for Nuclear Power Plant Applications: Cable Tray Fires, p9.

表 2-5 NFPA 805 中所載明可能之火災情境

火災種類	燃料	引火源	起火處所
A 類	一般 A 類可燃物	吸煙、焊接切割、施工不慎等	工具間
	一般 A 類燃料	吸煙、焊接切割、施工不慎等	臨時辦公處所
	平常施工或維修時之臨時性可燃物	吸煙、焊接切割、施工不慎等	任何施工或維修之處所
	油布	自燃	任何施工或維修之處所
B 類	氫	電弧	渦輪機房或室外氫氣儲存槽
	過濾器中之焦炭 <sup>1</sup>	潮濕後受熱而引起自燃	主安全過濾區
	潤滑油	與高溫配管接觸	蒸氣驅動幫浦
	渦輪機潤滑油	焊接切割等	渦輪機房
	變壓器絕緣油	內部電路故障造成變壓器外殼破裂，並引燃洩漏之絕緣油	室外變壓器
	燃料油	高溫金屬表面	柴油引擎幫浦間
	潤滑油 <sup>2</sup>	高溫配管表面	主圍阻體內
	燃料油	高溫配管表面	緊急發電機房
渦輪機潤滑油 <sup>3</sup>	高溫配管表面	渦輪發電機房	
C 類	氫、電纜絕緣物、電池塑膠箱	電弧	蓄電池間
	辦公室用具、傢俱、內部電線	吸煙或電路故障	控制室旁之電腦室
	馬達線圈	過熱	具有馬達之區域
	電纜線絕緣被覆	開關箱內電路故障	含電路開關設備之房間
	電纜線絕緣被覆 <sup>4</sup>	電纜內部短路	電纜分配室、電纜管道間、電纜貫穿處
	電纜線、電路板 <sup>5</sup>	電纜箱內發生短路	控制室

註釋：

- 1、 由於木炭過濾器目的在於過濾通風系統中之放射性物質，內部之焦炭已含有大量放射性物質，其燃燒產物中亦含有大量之放射性物質。
- 2、 反應器冷卻劑幫浦潤滑油系統配管或連接處故障導致漏油。
- 3、 與潤滑油配管相連接的機器因重心不穩滑動，導致潤滑油配管失效，沿著機器及配管有多處漏油，潤滑油從高處噴撒下形成二度空間的火災，並在下方地板累積形成二度空間的油池火災。
- 4、 裝滿電纜線的垂直電纜托網內部有一條高壓電纜線內部發生短路，引燃電纜絕緣被覆，並波及旁邊的電纜托網。
- 5、 燃燒產生大量濃煙和可能帶有毒性的燃燒產物，造成人員無法忍受及易受影響之電腦及電器組件受損。

(資料來源:參考自張溯論文)

### 三、格點設定

在 CFD 數值分析中，計算區域 (Computational Domain) 的格點分佈，一方面必須考慮有足夠的密度，以正確合理地描述流場中每一位置之物理量變化，一方面又必須兼顧計算資源 (電腦處理器運算速度、記憶體容量) 之有效運用與計算時間之控制；因此，過度密集的格點將造成格點數目太多，導致計算時間太久、計算資源不足之問題發生，尤其是面臨建築物火災模擬這種計算體積龐大、流場隨時間變化之複雜暫態系統時，情形更是嚴重；相反地，若計算格點分佈太過稀疏，將可能造成無法正確描述流場之問題，造成離散，甚至跑不出結果；因此，如何決定格點大小，是決定模擬是否準確的重要因素。國內有不少研究曾對決定格點大小提出看法，其研究及結果如下：

蔡尤溪氏<sup>12</sup>將 FDS 模擬計算結果與實驗資料做比對，量測空間中各點垂直溫度之變化，並分別以不同格點大小(100mm、150mm、300mm)切割整個計算區域做測試，並與全尺度實驗比較火場中垂直溫度分佈。研究發現當靠近火源，100mm 與 150mm 格點尺寸模型與實驗結果相當吻合，300mm 格點尺寸模型則與實驗結果有較大的誤差，當遠離火源時，不同格點大小對溫度場均能有相當精確的預測。值得注意的是，在火源上方約 0.5 公尺以內模擬預測的垂直溫度分佈與實驗值仍有一定的誤差，而 FDS 在火源表面約 1 公尺以上即可得到良好的預測值。

---

<sup>12</sup> 蔡尤溪等，大空間防煙性能模擬與現場實測基準之研究，內政部建研所研究計畫，九十二年三月。

#### 四、火災情境之建立

在所有核電廠曾發生火災的案例中，最常生的事故並非為電纜起火事故，但因為控制電纜在核安上佔有相當重要的地位，電廠中控制訊號的傳送均是以電纜進行傳輸，一旦發生事故其嚴重度不在話下且在以往的災例中，除了人為事故之外，一旦事故有涉及控制電纜均較為嚴重，故本研究將所選定之火災情境設為核電廠內之電纜分配室(Cable Spreading Room)火災，假定一串裝滿電纜線的水平電纜托網內部有一條高壓電纜線內部發生短路、引燃。而該空間壁面為混凝土材質，其長、寬、高為 15m×9m×4.5m，房間內高度離地面 2.5m 處有一條電纜而在 3.9m 處有另一條電纜在其上方，假設下方電纜因電弧火花導致電纜起火燃燒，造成撒水系統滅火及偵測上的困難。電纜托網長、寬、高各為 15m×0.6m×0.1m，材質為鋼板，電纜材質假定為 PVC，電纜相關熱物理參數則參考「Evaluation of Fire Models for Nuclear Power Plant Applications: Cable Tray Fires」<sup>13</sup>報告中所採用之各項參數，並加入 FDS 內建撒水頭而灑水頭，之放射壓力分別為 0.48(bar)、1.37(bar) 及 2.2(bar)，其 K-factor 為 42(L/min/bar<sup>1/2</sup>)，動作溫度 74°C，反應時間指數 RTI 值為 50(m<sup>1/2</sup>/s<sup>1/2</sup>)，配置方式為正方形配置，間距為 1.7m 及 2.1m，其情境分別為上方沒有電纜阻隔及上方有電纜阻隔兩種，其相關條件設定如表 2-6，模擬情境整理如表 2-7。

<sup>13</sup> Monideep K. Dey, NISTIR 6872, Evaluation of Fire Models for Nuclear Power Plant Applications: Cable Tray Fires, p6.

表 2-6 模擬相關條件設定

設 定 參 數		
種類	參數	數值
實驗空間	模擬空間	15m×10m×4.5m
	格點分佈	150×100×45
	側面牆壁	混凝土
	地板	混凝土
撒水頭	RTI	50(m <sup>1/2</sup> /s <sup>1/2</sup> )
	放射壓力	0.48、1.37、及 2.2(Bar)
	動作溫度	74 <sup>0</sup> C
	K-FACTOR	42(L/min/bar <sup>1/2</sup> )
	水滴大小	800µm
	與天花板距離	10cm
	設置距離	正方型配置，1.7 及 2.1 公尺
電纜托網	尺寸	15m×0.6m×0.1m
火源	燃料	PVC
	單位面積熱釋放率	222kW/m <sup>2</sup>
	最大熱釋放率	2MW

表 2-7 FDS 電腦模擬火災情境

火災情境	HRR(MW)	撒水頭間距 (m)	壓力 (Bar)	上方有無電纜阻礙
Case1	2	1.7	0.48	無
Case2	2	1.7	0.48	有
Case3	2	1.7	1.37	無
Case4	2	1.7	1.37	有
Case5	2	1.7	2.2	無
Case6	2	1.7	2.2	有
Case7	2	2.1	0.48	無
Case8	2	2.1	0.48	有
Case9	2	2.1	1.37	無
Case10	2	2.1	1.37	有
Case11	2	2.1	2.2	無
Case12	2	2.1	2.2	有

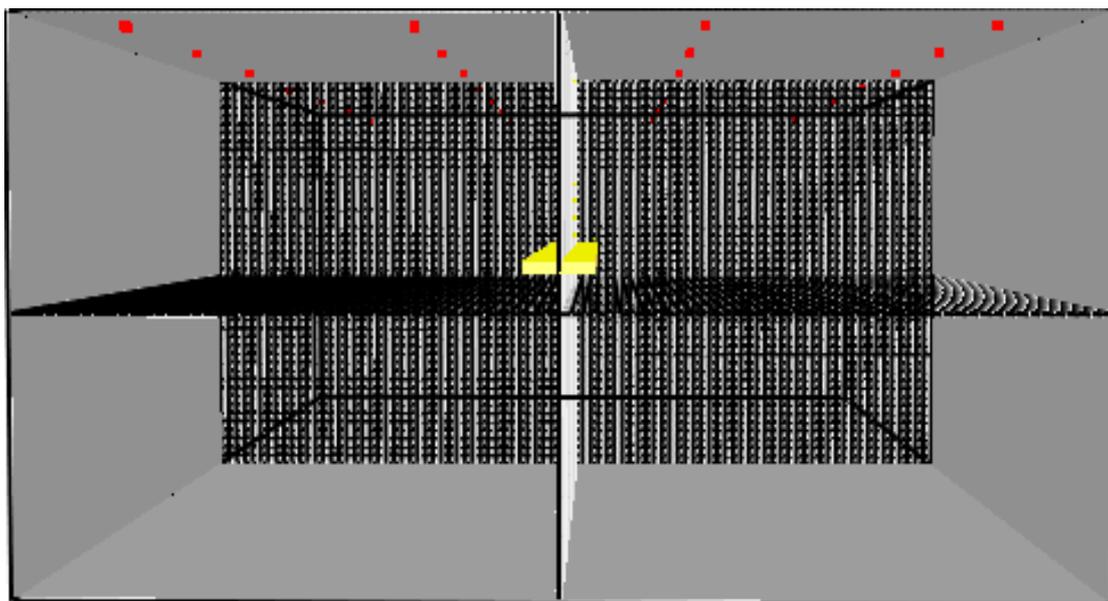


圖 2-2 撒水頭間距 1.7 公尺之空間配置圖

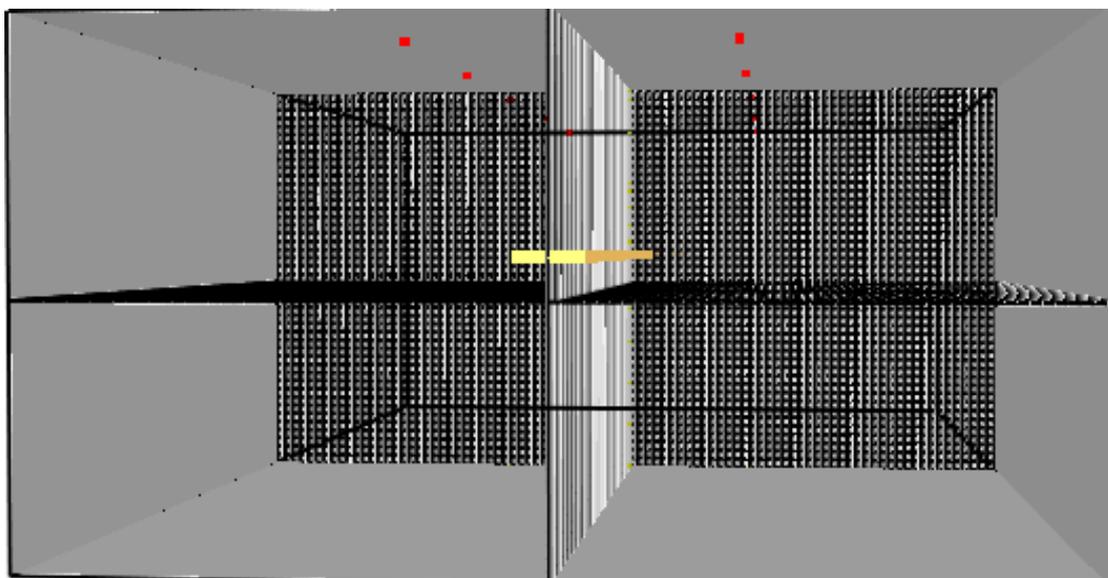


圖 2-3 撒水頭間距 2.1 公尺之空間配置圖

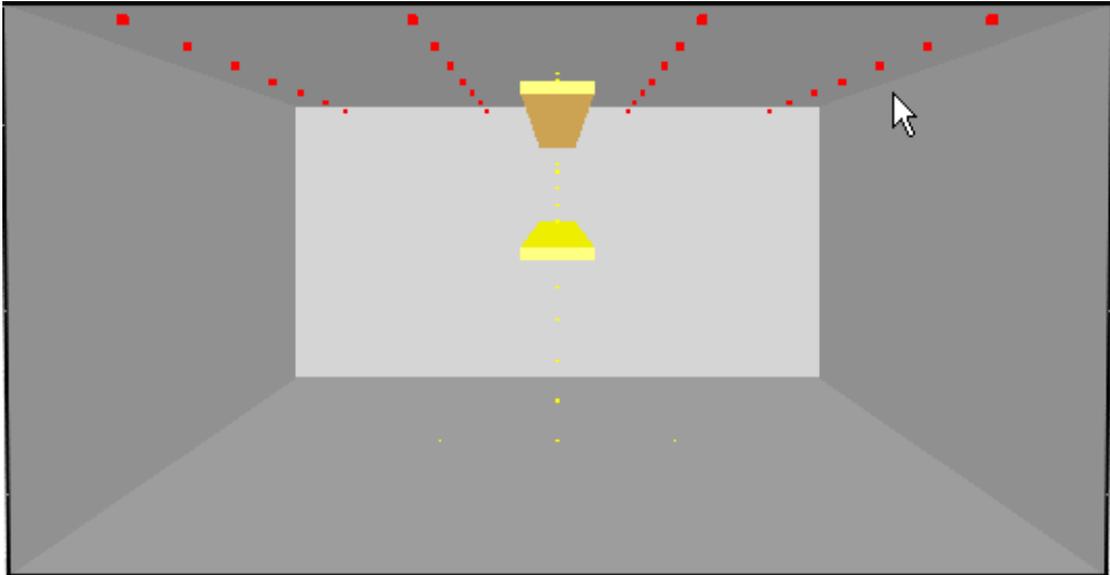


圖 2-4 撤水頭間距為 1.7 公尺之電纜空間分佈圖

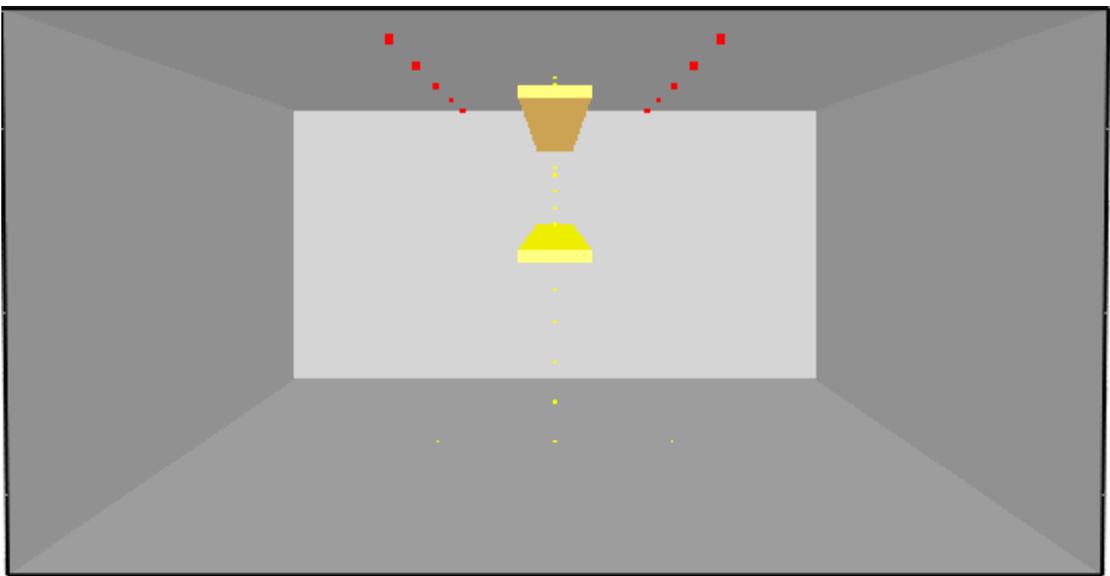
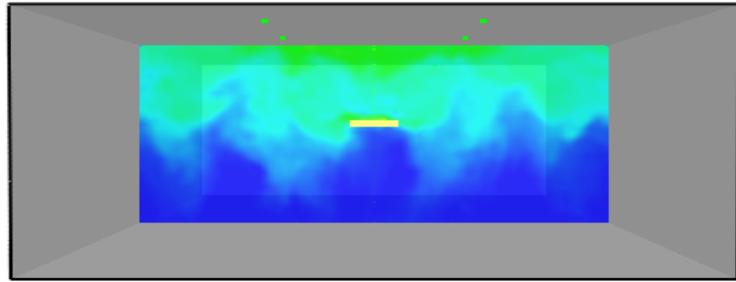
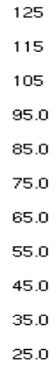


圖 2-5 撤水頭間距為 2.1 公尺電纜之空間分佈圖

Smokeview 4.0.5 - Feb 14 2005



Slice  
temp  
C



Frame: 267

Time: 267.0



圖 2-6 間距為 2.1 公尺撒水頭動作後之溫度分佈

## 五、模擬結果分析與探討

從撒水系統動作後起火電纜熱釋率變化的情形，可看出撒水系統在動作後有阻礙火災、無阻礙火災、撒水頭於不同間距分佈下及不同放射壓力，各種交互因素影響的情形。電纜分配室中所設置之撒水系統會因該室中電纜阻隔而使其滅火效能降低及使動作時間延後，在實際空間中電纜分佈呈不規則、多層次排列，對火災的探測及撒水滅火系統的滅火成效會造成更大影響。以下的模擬結果期望能探知各項因素中，何種因素對滅火成效影響最為顯著，以利往後進行電纜分配室中自動滅火系統設置之參考。

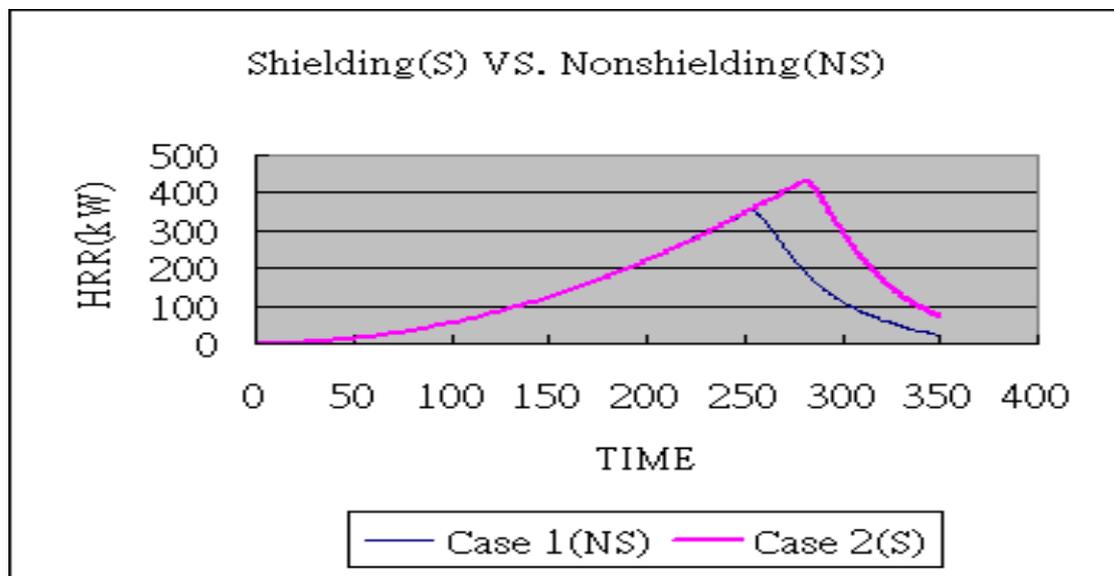


圖 2-7 撒水頭間距 1.7 公尺、壓力 0.48bar 之熱釋率比較

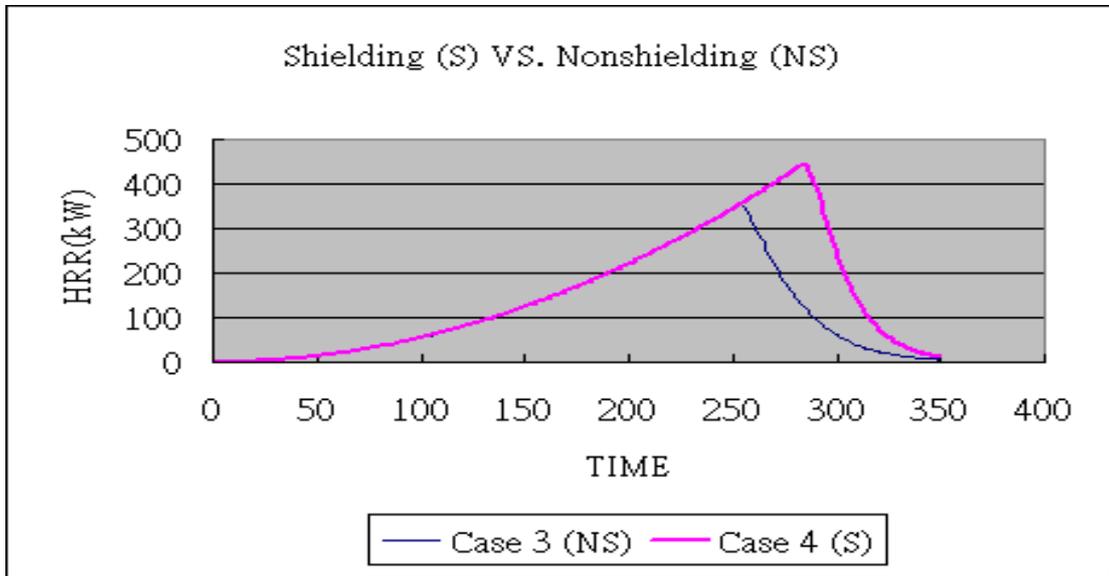


圖 2-8 撒水頭間距 1.7 公尺、壓力 1.37bar 之熱釋率比較

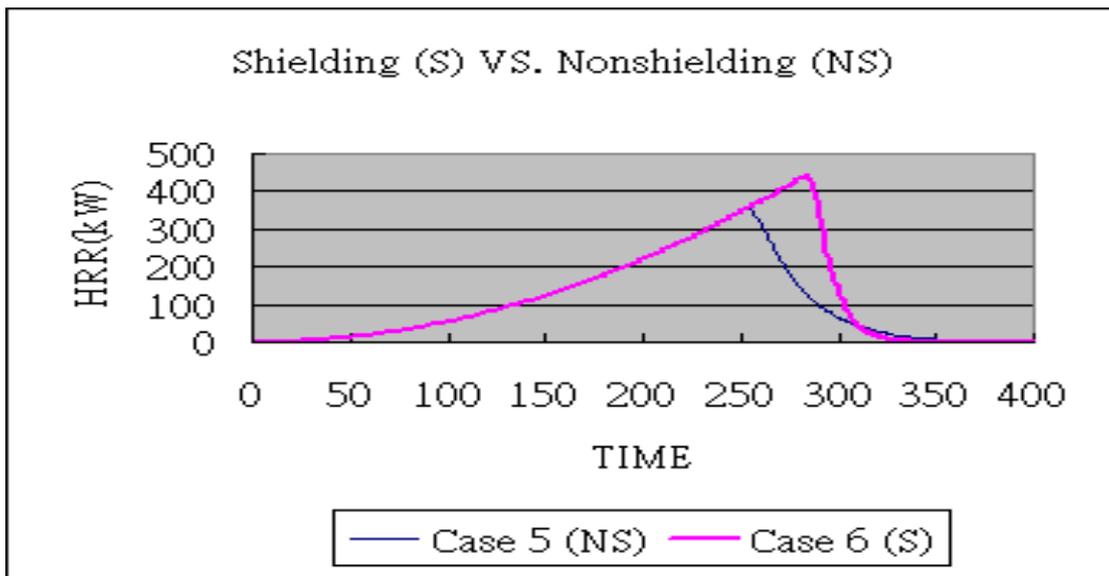


圖 2-9 撒水頭間距 1.7 公尺、壓力 2.2bar 之熱釋率比較

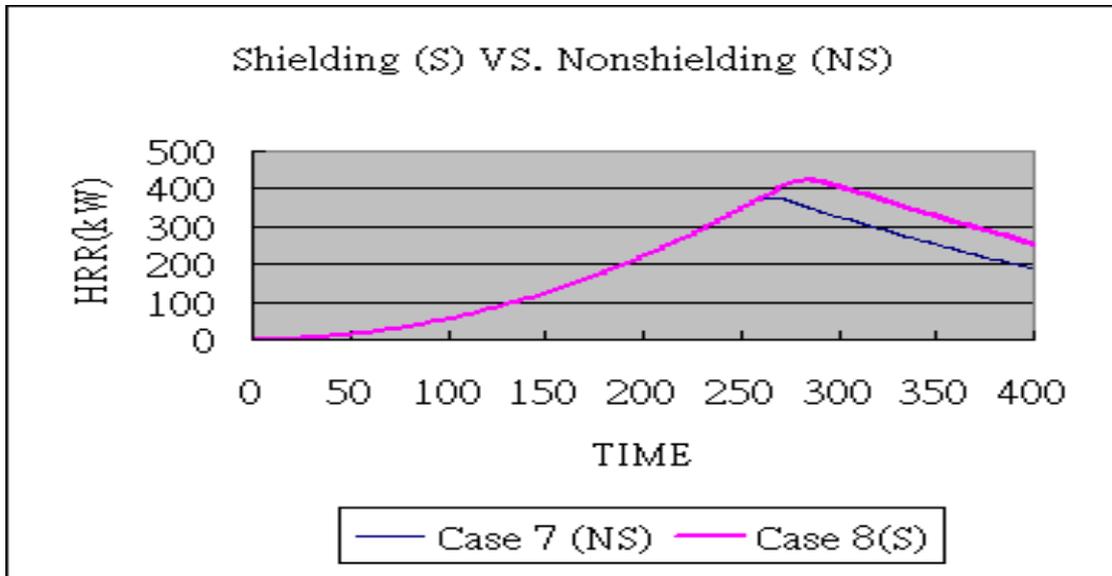


圖 2-10 撒水頭間距 2.1 公尺、壓力 0.48bar 之熱釋率比較

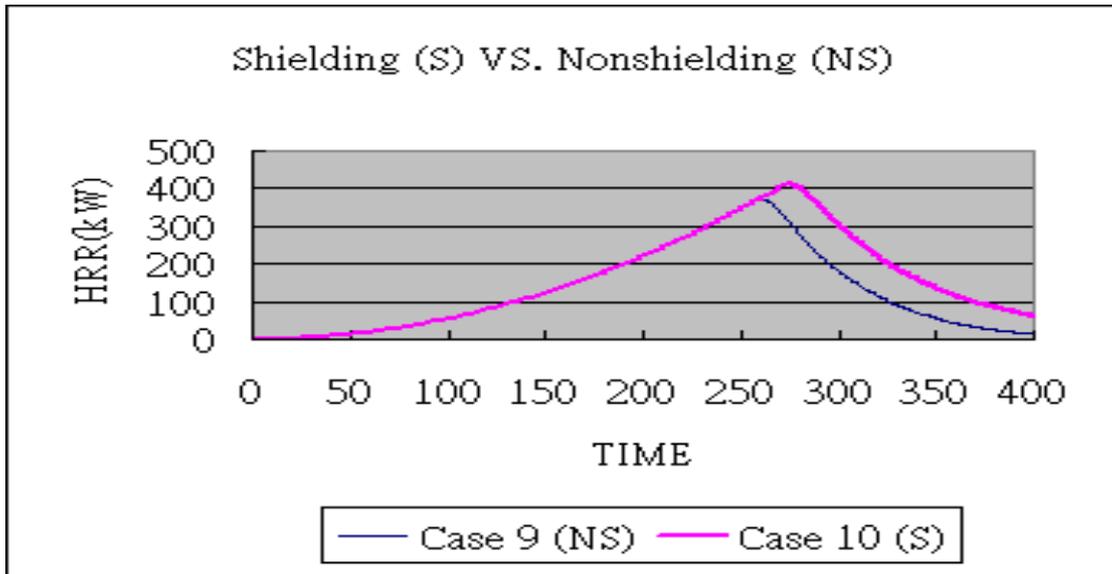


圖 2-11 撒水頭間距 2.1 公尺、壓力 1.37bar 之熱釋率比較

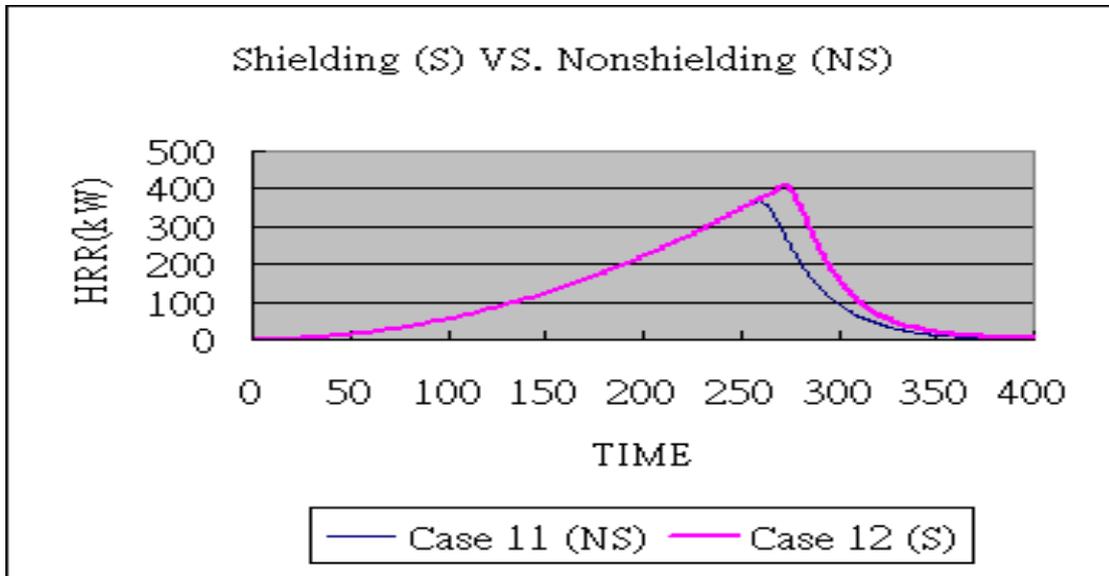


圖 2-12 撒水頭間距 2.1 公尺、壓力 2.2bar 之熱釋率比較

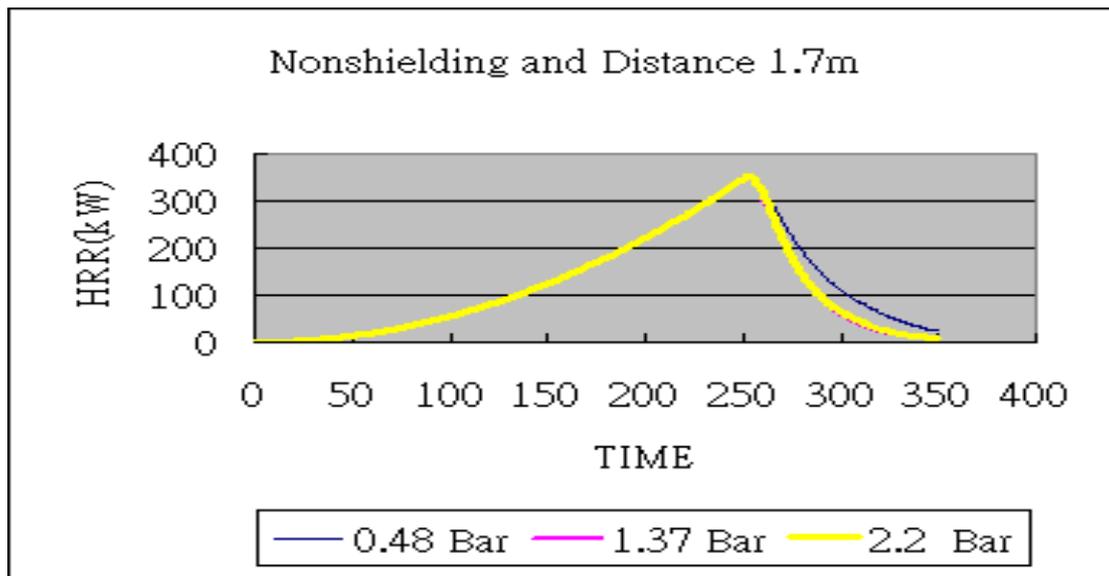


圖 2-13 距離 1.7 公尺不同壓力下熱釋率變化

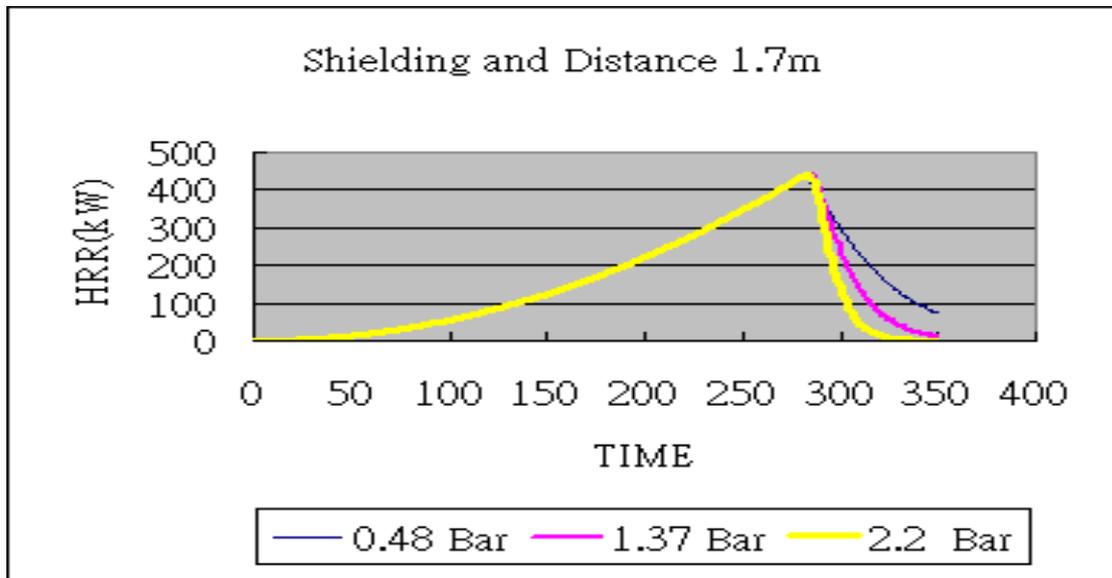


圖 2-14 距離 1.7 公尺不同壓力下熱釋率之變化

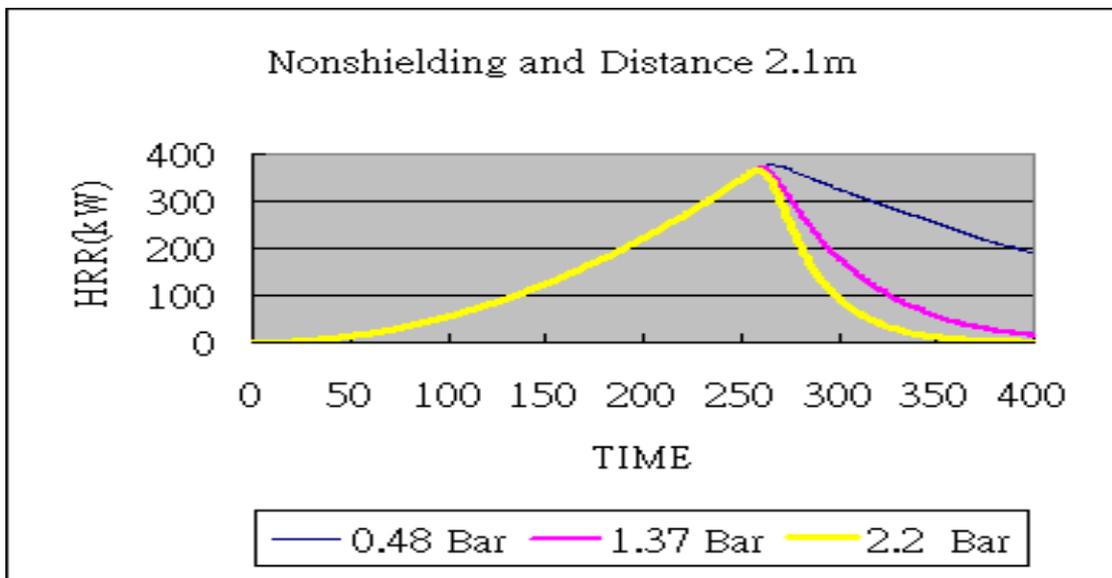


圖 2-15 距離 2.1 公尺不同壓力下熱釋率之變化

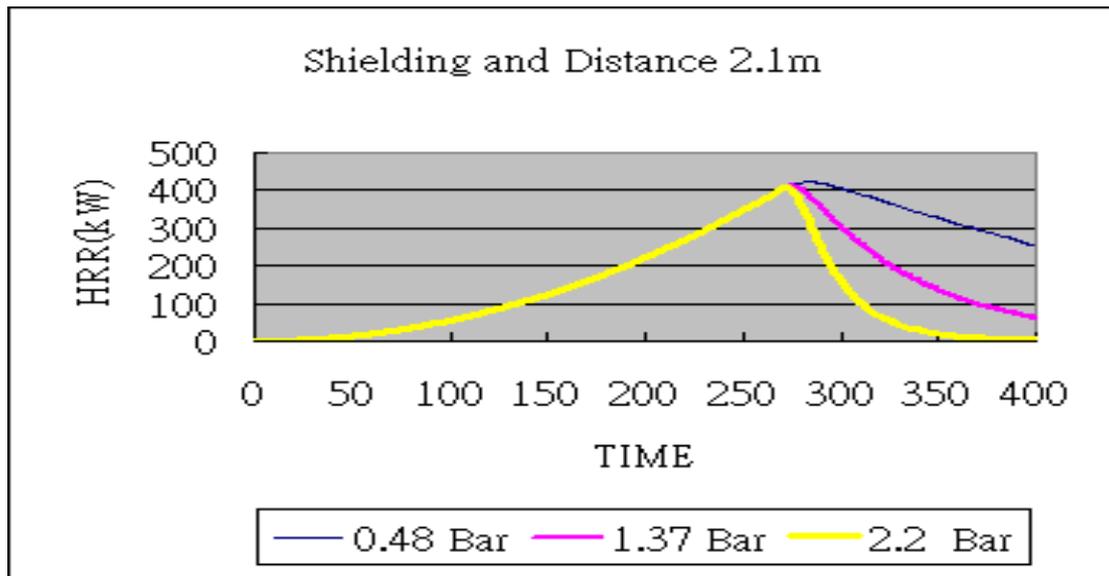


圖 2-16 距離 2.1 公尺不同壓力下熱釋率之變化

表 5-4 模擬結果列表

撒水頭 間距	放射 壓力 (Bar)	阻隔 (Shield ing)	撒水動 作時間 (秒)	熱釋率 開始下 降時間	開始下 降時之 熱釋率	350 秒 時之熱 釋率	400 秒 時之熱 釋率
1.7 公尺	0.48	無	252	254	353	22	
		有	277	282	431	70	
	1.37	無	252	254	352	5.7	
		有	280	284	422	10.7	
	2.2	無	252	254	353	0.95	
		有	280	284	425	0.6	
2.1 公尺	0.48	無	256	272	371		189
		有	270	285	423		252
	1.37	無	255	265	362		14.2
		有	270	275	411		60
	2.2	無	256	261	361		1.85
		有	272	273	407		2.89

由模擬結果的圖 2-7 至 2-12 顯示，阻礙火災(Shielding Fire)與非阻礙火災對電纜燃燒之熱釋率的影響。以圖 2-7 為例，在非阻礙火災情境下撒水頭動作時間約在 254 秒動作，而在阻礙火災的情況撒水頭在 282 秒才動作。非阻礙火災動作時熱釋率約為 353kW 而阻礙火災動作時的熱釋率約在 431kW。其結果顯示，假設在電纜分配室中發生火災，空間中電纜不僅會造成撒水頭動作時間的延後，亦會影響其滅火效率，故在電纜分配室中撒水系統的設置應將空間中阻礙物因素列入考量，而非僅達到一定放水密度及壓力的規定。

圖 2-13 可看出非阻礙火災的情境下，撒水頭距離為 1.7 公尺時，撒水頭放射壓力為 1.37 與 2.2Bar 時熱釋率變化不大，這說明了當撒水頭間距已達一定程度時，壓力的因素已不是那麼明顯，當撒水頭間距為 1.7 公尺其放射壓力為 2.2Bar 與 1.37Bar 情境中，其熱釋率下降曲線幾乎重疊。由此可知，當撒水頭間距小於一定距離時增加放射壓力之助益有限。

由本模擬中圖 2-13 及圖 2-14 能得知撒水頭間距為 1.7 公尺，但有、無阻礙火災情境圖的差別。圖 2-13 為非阻礙火災的情境，火災發生不久即因周遭撒水頭動作造成溫度下降，以致較遠處之撒水頭不致達到動作溫度，撒水頭動作數量較少造成其熱釋率下降曲線較平緩；而圖 2-14 的阻礙火災之高溫煙、熱因為被上方電纜所阻礙，熱氣流使較遠處之撒水頭先動作繼而造成火源附近撒水頭動作，撒水頭動作數量較多使得有阻礙火災情境中雖然撒水頭動作時間較晚，但其熱釋率反而降得較快。此結果顯示若於電纜分佈室中發生火災，撒水頭動作的分區不一定會是起火區域，因為在空間中有通風裝置及阻礙物的因素，會導致熱氣流流竄至他處，因而可能不會使其上方撒水頭動作而造成災害擴大。當進行撒水頭設計時亦應將此因素列入考量。

由圖 2-14 及 2-16 阻礙火災之熱釋率可看出在不同撒水頭間距下的滅火成效，其動作時熱釋率均在 420kW 左右；而在撒水頭動作後，如圖 2-14 中撒水放射壓力為 0.48Bar 時於 350 秒之熱釋率為 70kW，而於圖 2-16 則可看出在相同壓力下其熱釋率約為 330kW；圖 2-14 放射壓力為 1.37 Bar 於 350 秒時熱釋率為 10kW，而圖 2-16 距離為 2.1 公尺，相同放射壓力的情境下 350 秒時的熱釋率約為 130kW。撒水頭距離為 1.7 及 2.1 公尺的阻礙火災中雖然撒水頭動作時間相近，但撒水頭放射壓力差異對滅火效能造成較大的影響。

就撒水頭間距而言，當距離為 1.7 公尺時，不管放射壓力為多少，滅火成效均非常相近，而當撒水頭分佈距離在 2.1 公尺時滅火成效則隨著距離增加而減少，尤其是放射壓力為 0.48 Bar 的熱釋率曲線下降程度緩慢，同樣情形也發生在沒有阻礙火災的情況。

由模擬的結果可得到各項因素影響的結論：

#### 一、阻礙火災的影響：

從圖 2-7 至圖 2-12 的本研究的模擬結果可看出阻礙會造成撒水頭動作時間延後而導致產生較高的熱釋率。圖 2-13 為非阻礙火災的情境，火災發生不久即因周遭撒水頭動作造成溫度下降，以致較遠處之撒水頭不致達到動作溫度，撒水頭動作數量較少造成其熱釋率下降曲線較平緩；而在本模擬中，圖 2-14 的阻礙火災之高溫煙、熱因為被上方電纜所阻礙，熱氣流使較遠處之撒水頭先動作繼而造成火源附近撒水頭動作，撒水頭動作數量較多使得有阻礙火災的模擬情境中雖然撒水頭動作時間較晚，但其熱釋率反而降得較快。

#### 二、撒水頭間距：

在本模擬所設計的情境中，撒水頭間距對撒水頭動作時間的影響不大，但對壓力較小的撒水頭之熱釋率下降曲線則有較大的影響。在撒水頭間距為 1.7 公尺時不同壓力下熱釋率曲線非常相近，但在撒水頭間距為 2.1 公尺時熱釋率的曲線隨放射壓力的不

同有更明顯的差別。本模擬中在阻礙火災中或非阻礙火災中，撒水頭間距為 1.7 公尺時的放射壓力與滅火效能關係較不明顯，但當距離加大，放射壓力較小之撒水頭的滅火效能則是隨距離增加而降低。

### 三、撒水頭放射壓力：

在本模擬的情境設計中，沒有阻礙且撒水頭間距為 1.7 公尺的情境中，撒水頭放射壓力影響的因素不大，從圖 2-13 可看出當撒水頭達到一定距離後增加放射壓力的助益有限。但在撒水頭間距為 2.1 公尺時即產生較明顯的差異，壓力為 1.37 與 2.2 Bar 曲線距離更明顯，尤其是壓力為 0.48 Bar 的熱釋率曲線的下降速度更是緩慢。由此模擬可推知，在撒水頭在 2.1 公尺間距下放射壓力對撒水頭滅火效率影響可能較為顯著。

## 第三章 結論與建議

### 第一節 結論

#### (一) 國內建立核電廠消防法規必要性：

國內核電廠消防法規長久以來皆是援用國外核電廠消防法規，此現象造成核電廠主管機關要求改善消防安全設備時並無固定標準且審查不易，故建立一套適合國內本土情況之核電廠消防法規以規範各項防火規定及消防設備的設置有其必要。

#### (二) 核電廠對新標準適用性高：

國外核電廠法規雖藉由不斷演進而成，但因為 NFPA 805 乃是整合先前許多相關規定而成，故該法規之概念及內容變動不大。依 NFPA 805 所整理出來的評估表對核二廠所進行的評估及與核電廠相關負責人訪談的結果發現，雖尚有部分項目於目前核電廠並未設置或規定，但據其負責人表示若要實行這些項目或規定應可達到，故適用上應不成問題。

#### (三) 撤水系統會受電纜分配室內阻礙物影響：

模擬結果顯示，電纜分配室中設置撤水系統會因該空間中電纜阻隔而使其滅火效能降低及延遲撤水頭動作時間。本研究探討的情境僅為單條電纜阻隔，但在實際空間中電纜分配室中電纜的分佈是呈不規則、多層次排列，這對火災偵測及撤水系統滅火成效所造成影響將遠比單一電纜還要嚴重。雖然撤水系統被認為最有效且最符合成本效益的滅火系統，但若欲在該空間有效發揮功能應對撤水頭的分佈、壓力、阻礙性及探測裝置再進行探討。初步結論，在撤水頭間距較近時放射壓力對滅

火效率影響不大，但在撒水頭間距較遠時，為求更好滅火效能最好增加放射壓力。

## 第二節 建議

- (一)應建立適合本國核電廠的消防法規標準，方便主管機關對核電廠各項滅火設備及防火相關規定進行要求。國內核一及核二廠在建設之初因為歸類為特種建築物，其所採用的核電廠消防法規仍是根據美國核電廠法規 RG. 1. 120 的規定設計，隨著核能事故發生、法規檢討及演進後對消防安全需求增高，當十年換照時對核電廠所進行各項要求時有困難性，故為了提升核能電廠本身防火安全及便於評估消防設備是否符當前較新標準，建立國內核電廠消防安全法規有其必要性。
- (二)應建立核電廠中各種主要可燃物及設備的燃燒、最低損害基準及設備失效基準，以利進行各項評估及模擬時各項情境設定。當相關資料庫建立後消防工程人員即可根據這些基本資料，透過火災模擬軟體預測可信度更高的火災情況，以提供更接近真實且可靠的資訊，並可提供安全評估方法所需的相關參數，有利於爐心熔毀機率與輻射外洩機率評估的進行並可提高評估的精準度。
- (三)應針對核能電廠內與安全相關分區中主要可燃物進行水系統或氣體滅火實驗，所得之數據將有利於進行性能設計時滅火參數設定。當明瞭該區域內各項物質燃燒特性與滅火影響之後，將能更準確的評估滅火藥劑量或撒水頭的分配是否合適、能否提供足夠防護效果，以利更經濟、合適防護方式的採用。

(四)國內核電廠應嘗試採用性能式設計，性能式設計是為達相同以上安全水平而採用不同手段的設計方法，也可適用如核電廠此類特種建築物。NFPA 805 於 2001 年由業界發佈為輕水式核能電廠消防安全標準，屬於性能式消防安全標準，不但明確指出核電廠應達到之性能基準，且對於工程分析方法、火災模擬、消防安全評估方式有明確的規範，並提供一套完整的核電廠消防安全設計方法。若應用 NFPA 805 並參照修正後的 10CFR50.48 等法規於國內核電廠，將使核電廠的消防安全設計更具有彈性亦可提供既存電廠再提昇安全水平的另一手段。

## 參考文獻

### 中文文獻

1. 張 溯，核電廠火災危害分析、中央警察大學消防科學研究所碩士論文，九十三年六月。
2. 林文興，核電廠防火安全評估，明志工專學報第十七期，民國七十七年 pp. 221-282 。
3. 林文興譯，核電廠火災危險性及其可能造成的損失，原子能委員會核能彙刊第 24 卷第 1 期，1988 年 2 月
4. 柯建明，大型車站建築之火災煙控系統設計與電腦模擬分析，國立中山大學機械與機電工程研究所碩士論文，九十二年六月。
5. 蔡尤溪等，大空間防煙性能模擬與現場實測基準之研究，內政部建研所研究計畫，九十二年三月。
6. 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，九十二年六月。
7. 核能研究所，台電／核研所核能發電技術發展方案－風險告知應用於核一廠火災分析與防火包覆評估期中報告，民國九十年六月。
8. 翁寶山，臺灣核能史話，行政院原子能委員會編印，民國九十年八月。
9. 核能研究所，核設施之消防設計技術與應用研討會，2003 年 10 月。
10. 核能研究所，核設施之消防設計技術與應用研討會，2004 年 12 月。

### 英文文獻

1. Regulatory Guide 1.189-Fire Protection for Operating Nuclear Power Plants, U.S. Nuclear Regulatory Commission, April 2001.
2. Regulatory Guide 1.174- Regulatory Guide 1.174 - An Approach for Using Probabilistic Risk Assessment in Risk-Informed Decisions on Plant-Specific Changes to the Licensing Basis, U.S. Nuclear

- Regulatory Commission, November 2002.
3. 10 CFR 50.48, Appendix A and R, “Fire Protection for Light Water Reactors”, Code of Federal regulations, U.S. NRC.
  4. Dougal Drysdale, An Introduction to Fire Dynamics, Second Edition, University of Edingburgh, UK May, 1999.
  5. Dey, Monideep K., Evaluation of Fire Models for Nuclear Power Plant, Applications: Cable Tray Fires, U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology, November 2002.
  6. National Fire Protection Association, NFPA805, Performance-based Standard for Fire Protection for Light Water Reactor Electric Generating Plants, 2001 Edition.
  7. National Fire Protection Association, NFPA 804, Standard for Fire Protection for Advanced Light Water Reactor Electric Generating Plants, 2001 Edition.

#### 參考網站

1. <http://www.newnuclearhome.com> 美麗新世界-新核家園
2. <http://www.taipower.com.tw> 台灣電力公司
3. <http://vm.nthu.edu.tw/science/shows/nuclear> 核能知識網路展覽
4. <http://www.aec.gov.tw> 行政院原子能委員會
5. <http://www.iner.gov.tw> 核能研究所
6. <http://www.nrc.gov> 美國核能管制委員會
7. <http://www.nist.gov> 美國國家標準技術研究所
8. [www.nuce.boun.edu.tr/psaover.html](http://www.nuce.boun.edu.tr/psaover.html)
9. <http://www.libertytimes.com.tw> 自由新聞網

## 附錄 A 評估表

### 火災危害分析文件

是	否	評估項目	備考
		是否包括建築物構造、陳列及設備包括防火區劃、區劃邊界的防火等級？	
		是否包括各個防火子區劃內主要可燃物的存貨清單？	
		是否有火災防護設備的概說，包括自動滅火設備及警報設備？	
		是否有確保安全關閉所必需之設備的描述，包括設備之間的電纜與管道及此類設備的位置？	
		是否有火災情境分析，包括當自動及手動滅火設備失效時，火災對與安全相關設備所造成的影響？	
		是否有評估核安相關系統及組件因火災防護系統誤動作或破裂所造成之影響？	
		是否有評估天然災害對火災防護設備所造成的潛在影響？	
		是否有火災後復原能力的分析？	
		是否針對與核安相關區域作煙控分析及煙對核安和各個區域運作的影響？	
		其它非由火災所造成對安全關閉潛在影響的分析，如機器故障或污染物的釋放等問題？	
		是否有設置主動或被動式防火系統失效的補償措施？	

## 火災預防計劃

是	否	評估項目	備考
		是否包括核電廠火災預防程序、電廠緊急變計畫及避難計畫等？	
		內部管理與臨時可燃物的堆放是否有作業標準？	
		可燃及可燃性氣體的處理程序是否符合規範（如 NFPA）？	
		起火源的控制程序，如抽煙、焊、切及磨的相關動作是否依照相關程序（如 NFPA51B）？	
		是否有火災預防監督計畫（如 NFPA601）？	
		是否有火災通報程序，包括確認及正確處理之規定？	

## 失火對策

是	否	評估項目	備考
		是否標明核電廠中那些區域為因安全或放射線控制因素，被鎖住限制進入及允許進入這些區域的方式？	
		該計畫是否包括該區域平面配置，包括任何與安全停機相關的組件、滅火系統及可能遭受到的火災危害？	
		是否依需要定期更新？	
		失火對策是否放置在控制室及核電廠消防隊？	

## 火災緊急應變計劃

是	否	評估項目	備考
		是否載明火災發生時的應變及負責人通報事項?	
		是否載明廠區及轄區消防隊的通報事項?	
		是否載明人員避難事項?	
		是否載明安全、維護、運作及公關人員的配合事項?	
		是否載明滅火行動事項?	
		是否載明災後重建及污染物的控制事項?	
		是否載明緊急事件發生時控制室的運作事項?	
		是否載明失火對策事項?	
		是否載明緊急應變機構、防護、安全及其它與火災防護計劃相關組織協調合作之事項?	

## 核電場消防隊規定

是	否	評估項目	備考
		是否隨時有五名消防隊員待命，且無指派其它核電廠任務？	
		除了消防隊長是否還有至少二名消防隊員，受過核電廠安全相關系統的訓練並擁有充份的相關知識？	
		消防隊是否有依相關規定訓練？	
		是否每季接受滅火訓練和演習且書面計畫詳述消防隊訓練程序？	
		書面紀錄是否包括：每位成員之上課教室、親自參與的訓練、更新訓練、參加特別培訓學校、消防隊領導階層訓練？	
		演練是否位於核電廠各種不同的區域進行，特別是在火災危險評估為核電廠運轉關鍵並且有可能發生火災危害之處？	
		演練記錄是否保存及消防隊的演練情節、消防隊員反應和執行所被指派任務能力且在每次演練後是否進行檢討？	
		是否與轄區消防分隊簽定互助協議，且應與轄區消防機關磋商訂定滅火及救援計畫，且當舉行年度演練時應邀請轄區消防隊參與？	
		轄區之消防人員是否熟悉核電廠的空間配置，且對進入火場之路徑(出入口被鎖住)是否預先規劃並接受過放射性材料、輻射及危險材料處理之訓練？	
		消防隊是否有足夠設備排除水損區域積水？	

## 柴油儲槽

是	否	評估項目	備考
		放置儲槽之建築物內是否有與安全相關設備?	
		地上儲槽與附近建築物是否保持 50ft(15.2m) 以上的距離?	
		若距離在 50ft(15.2m) 以下是否設置 3 小時以上防火時效之防火牆阻隔?	
		地上式儲槽是否設置自動撒水系統?	
		其滅火防護系統是否包含警報、探測、撒水?	

## 與核安相關之幫浦室

是	否	評估項目	備考
		是否設置偵煙探測系統?	
		是否裝置自動撒水系統?	
		是否設置消防栓箱及滅火器?	

## 新燃料區

是	否	評估項目	備考
		是否設置水帶箱?	
		是否設置滅火器?	
		該區內可燃物是否依規定維持在最小量?	

## 控制室

是	否	評估項目	備考
		與核電廠其它區域以三小時防火牆，樓板，天花板區劃？	
		在控制內周圍房間是否依火災危害分析設置水系統滅火設備，及以一小時防火時效防火結構進行區隔？	
		在控制室及周圍空間的通風裝置是否設置偵煙式探測器及防火閘門？	
		是否設置 A 類和 C 類滅火器？	
		消防栓箱是否設置在控制室外？	
		在控制室周圍房間及電器櫃內是否設有偵煙式探測器？	
		備餘安全停機設備如果在同一櫃或操作台內是否施以適當分隔？	
		是否設置空氣呼吸器？	
		外氣進風口是否設置偵煙式探測器？	
		控制室通風系統是否可手動進行區隔？	
		是否設有排煙系統或與通風系統共用？	
		電纜是否貫穿控制室？	

## 渦輪機房

是	否	評估項目	備考
		是否與鄰近安全相關建築物有 3 小時防火時效的防火阻隔?	
		屋頂是否設置排煙、熱裝置?	
		渦輪機下方地板是否符合下列規定?	
		渦輪機與下方裝置之間有三小時防火屏蔽?	
		在渦輪下方各個區域是否設置水系統滅火設備?	
		設置撒水系統時放水密度是否達到 0.3gpm/ft <sup>2</sup> (12.2l/min.m <sup>2</sup> )?	
		若以泡沫系統(foam-water sprinkler system)取代撒水系統是否依照相關規定設置?	
		在防護區內的電器設備是否採取防水處理?	

## 汽渦輪機與激磁機軸承

是	否	評估項目	備考
		如設置撒水系統時其放水密度是否達到 0.3gpm/ft <sup>2</sup> (12.2l/min.m <sup>2</sup> )?	
		渦輪機上方潤滑油管線及易集油地區是否設置自動撒水系統防護?	
		假如潤滑油儲槽為架高設置則撒水系統是否防護儲油槽下方區域?	
		渦輪機發熱部份與激磁機軸承是否有設置防水處理?	
		與渦輪機箱直接相鄰區域應採取全區二氧化碳滅火設備防護?	
		是否採取其它滅火系統?及其標準依據?	

## 潤滑油系統

是	否	評估項目	備考
		渦輪機潤滑油儲槽與電廠其它設備是否有三小時以上防火時效之防火區劃?	
		儲槽是否設有抽氣裝置，將潤滑油蒸氣抽離至外部安全區域?	
		是否設置境界堤或是排水裝置?	
		提供渦輪機使用的潤滑油管線是否設置防震裝置?	
		控制潤滑油幫浦的電纜是否裝置於火勢不易波及處，且有一小時防火時效?	
		由控制室是否可對壓縮空氣阻及斷閥潤滑油幫浦進行控制?	

## 開關箱室及繼電器室

是	否	評估項目	備考
		與其它區域是否有三小時防火時效之阻隔?	
		與安全相關開關室中之電纜是否貫穿該區劃?	
		與安全相關的開關室是否尚有其它用途?	
		消防栓箱及移動式滅火器是否置於室外易於取得處?	
		開關箱是否架高?	
		是否設置排水系統，排除撒水系統動作時的水量?	
		當設置手動滅火設備時，是否加裝排煙啟動裝置?	

## 電池室

是	否	評估項目	備考
		是否以防火阻隔與鄰近區域分隔?	
		是否裝置通風系統，防止室內氫氣濃度超過1%?	
		通風裝置失效時控制室是否能偵知?	
		與安全相關的電池室是否位火災不易波及處?	
		直流開關及變頻器是否設於電池室內?	
		是否設置火災探測裝置?	
		消防栓箱及移動式滅火器是否置於室外且易於取得處?	

## 電纜分佈室

是	否	評估項目	備考
		是否設置水系統滅火系統?	
		是否能涵蓋整個電纜分佈區?	
		其放水密度是否 0.3gpm/ft <sup>2</sup> (12.2l/min.m <sup>2</sup> )?	
		最大防護區是否在 2500ft <sup>2</sup> (232.2m <sup>2</sup> )?	
		是否設置其它滅火系統?其設置標準為?	
		排水裝置是否有能力排出兩防護區同時放水時的水量?	
		是否與相鄰區域有三小時防火時效並符合下列規定?	
		有兩個不同入口供消防隊進入?	
		相鄰兩電纜疊架是否有寬 3ft (0.9 公尺)、8ft(高 2.4 公尺)的走道?	
		水帶箱及移動式滅火器是否設置於室外易取得處?	
		是否設置局限型偵煙式探測器?	
		電纜架達三層或電纜寬度在 18in.(4.572 公尺)以上時是否設置線型探測器?	

## 電纜通道及垂直電纜

是	否	評估項目	備考
		與鄰近區域是否有三小時防火時效之阻隔?	
		垂直高度超過 30ft(9.1 公尺)時，每 20ft(6.1 公尺)設有裝置防止延燒裝置?	
		通道的天花板(頂端)是否設置自動撒水及偵煙設備?	

## 電纜坑道

是	否	評估項目	備考
		與鄰近區域是否有三小時以上之防火屏蔽?	
		除了設置偵煙式探測器之外是否在電纜架高度達三層或電纜寬度 18 in. (4.57 公尺) 以上增設線型探測器?	
		是否設置水系統滅火系統?	
		如為撒水系統是否達放水密度 0.3gpm/ft <sup>2</sup> (12.2l/min.m <sup>2</sup> )?	
		最大防護區域在 2500ft <sup>2</sup> (232.2m <sup>2</sup> ) 以下?	
		是否採用其它滅火系統? 依照何標準?	
		是否能涵蓋所有的電纜分佈區且排水系統是否能有效排出所放射的水量?	
		電纜是否會因自動撒水系統動作而造成故障?	
		電纜通道長度超過 50ft(15.2 公尺) 時是否符合下列各項?	
		是否有兩個不同入口供消防隊由外進入?	
		消防栓及移動式滅火器是否設置於室外易取得處?	
		相鄰兩電纜疊架是否有寬 3ft (0.9 公尺)、8ft(高 2.4 公尺) 的走道?	