

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

高溫防護服之抗熱數學模式及其耐熱阻燃機制之研究

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC94-2214-E-032-004-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：淡江大學化學工程與材料工程學系

計畫主持人：陳錫仁

計畫參與人員：楊上暉、黃啟賓、黃順興

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 10 月 13 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫

成果報告

期中報告

高溫防護服之抗熱數學模式及其耐熱阻燃機制之研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC94-2214-E032-004

執行期間：94年8月1日至95年7月31日

計畫主持人：淡江大學化學工程與材料工程學系 陳錫仁

計畫參與人員：楊上暉、黃啟賓、黃順興

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

詢

執行單位：淡江大學

中華民國 95 年 7 月 31 日

摘要

本研究計畫主要針對高溫防護服建立抗熱之數學模式並詮釋其耐熱阻燃之機制。實質上，只要個人身上有高溫防護服蔽體，接觸到熱輻射時就有保護作用，高溫防護服本身在減低火災與熱輻射的灼傷上，具有正面的保護效果。高溫防護服的保護機制因素有很多；比如，只要高溫防護服外層具有高反射性或低吸收性的特質，那熱流的穿透程度就會減少，又如低傳導性或高熱容本質的衣物，遇熱流時衣物外層的溫昇速率也會緩慢下來。衣物在高熱輻射強度下的保護效果，需要未達其自燃溫度方能顯現出來；因此，充分理解防護服的耐熱阻燃機制是很重要的。本研究擬分別發展出熱傳導之單層、多層高溫防護服的數學模式，藉此模式吾人可更深入的瞭解防護服的耐熱阻燃機制。

關鍵詞：高溫防護服、耐熱阻燃機制、數學模式。

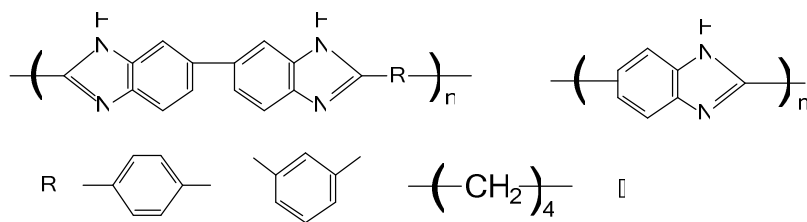
ABSTRACT

This project involves the development of a mathematical modeling and protection mechanism for the influence of heat protective clothing on the personal injury due to fires and thermal radiation. In practice, people who are exposed to heat radiation can only be protected by wearing heat protective clothing. This clothing certainly has a positive influence in reducing the extent of the burns due to fires and thermal radiation. The protective effect of heat protective clothing is dependent on various factors. In the case of good reflective or bad absorptive properties of the outer part of the clothing the heat can only penetrate to a minor extent. A small heat-conducting ability and a high heat capacity of the clothing will result in a slow rise of the temperature on the outside of the clothes. The protective effect of clothing is only valid as long as the clothing has not reached its auto-ignition temperature under high radiation intensity circumstances; therefore, it is important to understand the mechanisms of heat-resistance and ignition-retardation for heat protective clothing. In order to study the effects of protective clothing under fire and extreme heat conditions on the personal injury, we will develop heat-conductive mathematical models for single layer and multi-layers of protective clothing, respectively. As a result, we can have better insights into the mechanism of protection against burns due to the exposure of fires and heat radiation.

Keywords: Heat protective clothing, Heat-resistant/ignition-retardative mechanisms, Mathematical modeling.

一、前言

我國近年來重大災害事件頻傳，其中多數皆由火災爆炸事故所引起，汐止東科大火、福國化工爆炸案、北誼興液化石油氣爆炸案、聯瑞半導體廠大火等災害事件，不僅造成人員生命的傷亡及財產的損失，更嚴重地打擊產業的生產競爭力，讓整個國家社會付出昂貴之成本與代價。經由這些慘痛例子，不得不使產業界驚覺防火防爆的重要性，對於防制及消滅技術如何鑑往知新，預防災害再次發生，為現今產業界當務之急。根據內政部消防署之統計資料顯示，自民國 86 年至 90 年之五年間，台灣地區共發生 77,234 次火災事故，造成 1,258 人死亡、3,578 人受傷，財物損失高達 22,500,976 元，其中包括了火災燃燒歷時最久之汐止東科大樓火災。而今年累計至 91 年 5 月底為止就已發生 8,632 次火災，平均每日火災發生高達 57.5 次；而造成災害事故之原因分析多為煙蒂、電線走火、爐火烹飪、人為縱火、爆竹煙火... 等原因。但根據重大職業災害類型統計分析發現；其中卻是以工業製程火災及爆炸所造成的傷亡最為慘重，故為防止在事業單位之作業場所發生火災爆炸事件，對其具有危險性製程之物料其製造、儲存、使用安全均需進一步加強安全管理及預防措施 [1,2,3,4]。許多碳氫及可燃燃料所引發的意外災害中，燃燒反應常伴隨火球 (Fireball)、池火 (Pool Fire) 發生。這些反應可在數秒抑或數小時之間，藉著熱輻射的型式，釋放出大量的熱，對周圍的人們造成傷害。當皮膚吸收了熱之後，熱量將會向內擴散並提高該區域細胞的溫度。在數秒內提升約 8~9°C 的溫度，將會輕易地使細胞受到破壞。而灼傷的程度，則由哪一層的皮膚細胞受到破壞來決定。在一級灼傷中，真皮沒有受到破壞或只受到極小部份的傷害；二級灼傷中，所有的表皮及少部份的真皮組織都被破壞，而三級灼傷，所有的皮膚 (包括表皮及真皮組織) 皆被摧毀，真皮組織內含許多重要的知覺器官，一旦遭到破壞，易導致殘廢。茲將灼傷特徵整理為表一。高溫防護服最廣為人知的便是消防衣，消防衣的功能需求取決於兩大要素：即安全性與舒適性，消防衣大多為多層結構，而多層結構服飾，除各層布料的性能必須達到標準要求之外，整體服裝結構的設計和縫製扮演極為重要角色，最終產品的附加價值常是整件消防衣通過驗證測試之後才產生。一般而言，耐熱阻燃纖維種類很多，較為大眾知曉的大概是 PBI 纖維 (Polybenzimidazole Fiber) [5]。Polybenzimidazole 簡稱 PBI，中文名稱為「聚苯并咪唑」，是分子中含有苯并咪唑聚合結構單元的聚合體的總稱。結構有兩種表示方法，如下圖所示：



常溫下為固體，在 300~350°C 不軟化，在空氣中於 400°C 開始分解，不溶於水，可溶於強極性溶劑，如二甲基醯胺等。有良好的熱氧化穩定性、耐輻射性和機械性能，可由二羧酸與芳香四胺經縮聚反應生成。可用於製造纖維、黏著劑、塗料等。PBI 在二甲基乙醯胺溶劑中進行乾法紡織可得到耐高溫的 PBI 纖維，此纖維具有高度的絕緣性及良好的耐熱性，分解溫度為 660°C，在短

時間內可承受 595°C (868 K) 以上之高溫，長時間時可承受 315°C (588 K) 的溫度，具有較好的熱穩定性和較低的熱收縮性，高溫無煙低毒，且 LOI (Limiting Oxygen Index) 最高可達 43%，目前用來評估纖維抗燃程度大多以 LOI 表示。該指標測量方式，係將被測物質置於一火焰室中，利用改變測試環境中氧氣與氮氣兩者含量的比值，量測出能引發物質燃燒的最低氧含量百分比。眾所皆知，氧氣在大氣中含量約佔 21%，是故，物質的阻燃程度便定義為：舉凡纖維的 LOI 指標大於 21% 者稱為阻燃物，其餘則歸為易燃物或可燃物。一般棉花的 LOI 值約 18%，屬於易燃性纖維，而芳香族聚醯胺類纖維的 LOI 值則均高於 20%，有的甚至可以提高至 30% 以上。而玻璃纖維則屬阻燃性甚高的纖維，即使在 100% 氧氣下也不會有可燃的現象。而除纖維本身具備阻燃特性外，優良的防火纖維，更須具備阻隔熱源與人體皮膚接觸的特性。因此，一般的矽石物質，如：玻璃及石英等，雖具備高溫容忍的特質，然散熱性卻較差，故運用於衣著保護上，易造成穿著上的不適。也因此，具備高阻燃或低熱傳導性成為人們選擇防火纖維的優先考量因素 [6]。

本研究中發展出數學模式分析高溫防護衣之抗熱及其阻燃機制。高溫防護衣的保護機制因素有很多；比如，只要高溫防護衣外層具有高反射性或低吸收性的特質，那熱流的穿透程度就會減少，又如低傳導性或高熱容本質的衣物，遇熱流時衣物外層的溫昇速率也會緩慢下來。衣物在高熱輻射強度下的保護效果，需要未達其自燃溫度 (Auto-Ignition Temperature) 方能顯現出來。本研究在未來高科技防護衣的設計上具有參考價值。

二、高溫防護服抗熱之數學模式

1. 單層高溫防護服

當一熱通量於一段時間內接觸到防護服的外層時，由於熱擴散傳導的作用，防護服內出現了溫度變化。這個溫度變化曲線是熱通量與防護服熱物性的函數。對短暫時間如火球現象，(Fireball Phenomenon) 或針對長時間池火現象 (Pool-Fire Phenomenon) 時，表面接受恆定的熱通量，防護服內的溫度上升可用 Fourier 熱傳導方程式表為：

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

$$I.C.: T(x,0) = T_0$$

$$B.C.1: -k \frac{\partial T}{\partial x}(0, \tau) = \begin{cases} \epsilon Q_r, & 0 < \tau < \tau_c \\ 0, & otherwise \end{cases}$$

$$B.C.2: T(\infty, \tau) = T_0, \tau > 0$$

上式中， T 為防護服溫度 (K)， τ 為暴露時間 (s)， α 為防護服熱擴散係數 (m^2/s)， x 為防護服厚度 (m)， T_0 為防護服表面初始溫度 (K)， k 為防護服熱傳導係數 (W/m.K)， ϵ 為防護服的輻射熱吸收率， Q_r 為入射輻射熱通量 (kW/m^2)， τ_c 為火災持續時間 (s)，以 Laplace Transform 求解，吾人可得：

$$T = T_0 + \frac{2\varepsilon Q_r}{\sqrt{k\rho c}} \left[\sqrt{\tau} \operatorname{ierfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha\tau}}\right) - \sqrt{\tau - \tau_c} \operatorname{ierfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha(\tau - \tau_c)}}\right) U_{\tau_c}(\tau) \right] \quad (1)$$

式中， $\operatorname{ierfc}(\eta) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-\eta^2} - \eta + \eta \operatorname{erf}(\eta)$

且 $\eta = \frac{x}{2\sqrt{\alpha\tau}}$ ； $\operatorname{erf}(\eta)$ 為誤差函數 (Error Function)； $U_{\tau_c}(\tau)$ 為單位階梯函數

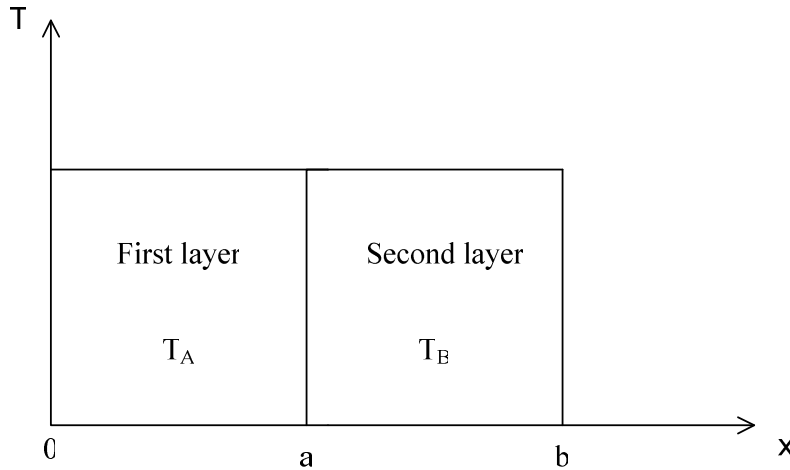
(Unit Step Function)。當 $\tau = \tau_c$ 時，

$$T = T_0 + \frac{2\varepsilon Q_r}{\sqrt{k\rho c}} \left[\sqrt{\tau} \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-x^2/4\alpha\tau} + \frac{x}{2\sqrt{\alpha\tau}} \operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha\tau}}\right) - \frac{x}{2\sqrt{\alpha\tau}} \right]。$$

式中， ρ 為防護服密度 (kg/m^3)， c 為皮膚比熱 (J/kg.K)，根據上式，吾人可撰寫 FORTRAN 程式語言，來估計防護服表面入射輻射熱通量、火災持續時間與防護服溫度變化的關係。

2. 多層高溫防護服

就雙層的高溫防護服，吾人可藉下圖建立數學模式，



$$\frac{\partial T_A}{\partial \tau} = \alpha_A \frac{\partial^2 T_A}{\partial x^2}, \quad \text{in } 0 < x < a, \tau > 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial T_B}{\partial \tau} = \alpha_B \frac{\partial^2 T_B}{\partial x^2}, \quad \text{in } a < x < b, \tau > 0 \quad (3)$$

初始條件 (initial conditions) 為

$$I.C.1 : T_A(x,0) = T_o, \quad \text{for } 0 < x < a$$

$$I.C.2 : T_B(x,0) = T_i, \quad \text{for } a < x < b$$

邊界條件 (boundary conditions) 為

$$B.C.1 : -k_A \frac{\partial T_A}{\partial x}(0, \tau) = \varepsilon Q_r, \quad \text{for } \tau > 0$$

$$B.C.2 : T_A(a, \tau) = T_B(a, \tau), \text{ for } \tau > 0$$

$$B.C.3 : k_A \frac{\partial T_A}{\partial x}(a, \tau) = k_B \frac{\partial T_B}{\partial x}(a, \tau), \text{ for } \tau > 0$$

$$B.C.4 : -k_B \frac{\partial T_B}{\partial x}(b, \tau) = h(T_B - T_i) \text{ for } \tau > 0$$

上述之偏微分方程組，吾人可藉廣義的正交擴展技術 (Generalized Orthogonal Expansion Technique) 求取分析解 [7,8]; 此外，若採數值方法，則 Method of Lines [9] 是相當有效且快捷的方法。

三、高溫防護服之耐熱組燃機制

衣物在高熱輻射強度下的保護效果，需要未達其自燃溫度 (Auto-Ignition Temperature) 方能顯現出來; 因此，充分理解防護服的耐熱阻燃機制是很重要的。熱輻射劑量 (Thermal Radiation Dose) 通常定義為

$$D_t = t_e Q_r^n \quad (4)$$

式中， t_e 為有效曝露時間， Q_r 為熱輻射強度， n 為冪次。針對單層高溫防護服而言，吾人可求出 τ_c 所對應的尖峰溫升及其尖峰溫升時間 τ^* 所需吸收總熱量的預測。在同一高溫防護服厚度下，只要 τ_c 相同，即使入射輻射強度不同，依然會在相同的有效暴露時間點出現尖峰溫度，而尖峰溫度則依熱輻射強度的增加而提高。因此，可知影響尖峰溫度出現時間的關鍵為火災持續時間 τ_c ，將式(1)對時間微分並令其為零，可得：

$$\begin{aligned} \frac{dT}{d\tau} &= \frac{1}{2\sqrt{\tau}} \left[\frac{x}{2\sqrt{\alpha\tau}} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha\tau}}\right) + \operatorname{ierfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha\tau}}\right) \right] \\ &- \frac{1}{2\sqrt{\tau-\tau_c}} \left[\frac{x}{2\sqrt{\alpha(\tau-\tau_c)}} \operatorname{erfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha(\tau-\tau_c)}}\right) + \operatorname{ierfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha(\tau-\tau_c)}}\right) \right] = 0 \end{aligned}$$

其中 $\operatorname{ierfc}(\eta) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} e^{-\eta^2} - \eta + \eta \operatorname{erf}(\eta)$ ，且 $\eta = \frac{x}{2\sqrt{\alpha\tau}}$

微分後，上式中的 τ 即為出現尖峰溫升的時間 τ^* ，因此以 τ^* 取代 τ 並重新整理可得：

$$\frac{x}{2\sqrt{\alpha\tau_c}} = \left(\frac{\tau^*}{\tau_c} \right) \left(\frac{\ln \sqrt{\frac{\tau^*}{\tau^* - \tau_c}}}{\frac{\tau^*}{\tau^* - \tau_c}} \right)^{1/2}$$

此外，利用式(1)，吾人亦可求在有效暴露時間， t_e ，下達到自燃溫度所吸收的輻射強度。

$$\varepsilon Q_r = (T - T_0) \sqrt{k\rho c} \left\{ 2 \left[\sqrt{t_e} \operatorname{ierfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha\tau}}\right) - \sqrt{t_e - \tau_c} \operatorname{ierfc}\left(\frac{x}{2\sqrt{\alpha(t_e - \tau_c)}}\right) U_{\tau_c}(t_e) \right] \right\}^{-1}$$

四、結果與討論

應用式(1)，分別固定防護服的輻射熱吸收率為 0.1、0.5 及 0.9；火球持續時間為 5、10 及 15 s 與入射輻射熱通量 100 kW/m^2 下，模擬單層不同厚度的 PBI 纖維上升溫度對暴露時間的變化。由圖一~圖九可見 PBI 纖維均可抵擋住在這些狀況下的輻射熱侵襲 (868 K)，只有在 1 mm 厚度下稍有危險 (圖九)。式(2)與式(3)組成之聯立偏微分方程式則使用 method of lines，即「空間差分/時間積分法」，首先將偏微分方程式中之空間微分式利用差分公式轉換成一組聯立的常微分方程式，再對時間積分求得方程式的動態解。method of lines 可說是一種有效而便捷的求解聯立偏微分方程式的方法，尤其當邊界條件是時間的函數或是單位階梯函數時。圖十為固定防護服的輻射熱吸收率為 0.1、池火持續時間 100 min 與入射輻射熱通量 60 kW/m^2 下，雙層 (第一層為 PBI 纖維，第二層為假想的纖維) 相同厚度 (5 mm) 的纖維上升溫度對厚度之變化。圖十一為固定防護服的輻射熱吸收率為 0.1、池火持續四個不同時段、不同入射輻射熱通量 (最高 60 kW/m^2) 下，雙層相同厚度 (5 mm) 的纖維上升溫度對暴露時間之變化。圖十二為固定防護服的輻射熱吸收率為 0.1、池火持續四個不同時段、不同入射輻射熱通量 (最高 60 kW/m^2) 下，雙層相同厚度 (5 mm) 的纖維上升溫度對厚度之變化。在這些狀況下的輻射熱侵襲，纖維均可維持在安全範圍內。

五、結論與建議

一般而言，消防衣的設計可分為三層，外層當防火防焰之用，中間層達到透氣防水的功能，內層則必須有耐高溫的功能，本文討論防火防焰的外層，以 PBI 纖維為例作分析，在火球持續時間 5 s、10 s 及 15 s 與入射輻射熱通量 100 kW/m^2 及 PBI 纖維厚度 1 mm、3 mm 及 5 mm 下，隨著火球持續時間與入射輻射熱通量的增加，PBI 纖維上升溫度也愈高，若增加 PBI 纖維的厚度，則有助於降低 PBI 纖維上升的溫度。此外，在雙層纖維的池火 (Pool Fire) 長時間熱侵襲下，PBI 纖維均表現出耐熱效果優良的防護材質。本研究將來的後續工作將對模式進行驗證。

六、參考文獻

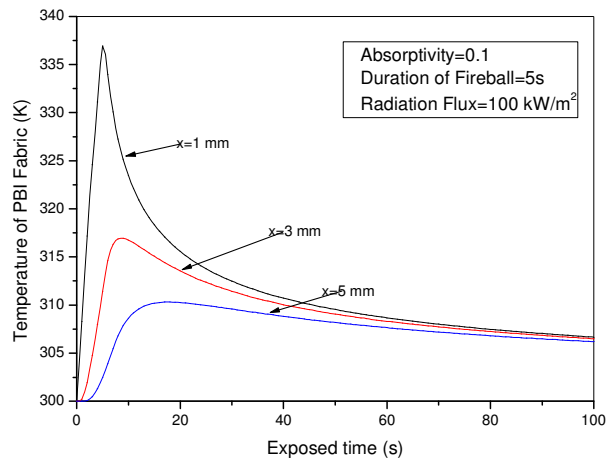
- [1] Pietersen, C.M., 1988; "Analysis of the LPG-Disaster in Mexico City," J. Hazardous Mat., 20: 85-107.
- [2] Roberts, A.F., 1981; "Thermal Radiation Hazards from Releases of LPG from Pressurized Storage," Fire Safety J., 4(3): 197-212.
- [3] Chen, H. J., Lin, M. H., 1999; "Modeling a Boiling-Liquid, Expanding-Vapor Explosion Phenomenon with Application to Relief Design for Liquefied Ammonia Storage," Ind. Eng. Chem. Res., 38(2): 479-487.
- [4] 張夙萱，民國 88 年 6 月，"液化石油氣槽車灌裝與卸收作業之安全評估"，碩士論文，淡江大學化工研究所。
- [5] 蘇美心，民國 93 年 6 月，"脈衝熱輻射灼傷模式與替代性高壓液化氣貯存設備之研究"，碩士論文淡江大學化學工程與材料工程研究所。
- [6] Hilado, C.J., Murphy, R.M., 1978; "Ignition and Flash-Fire Studies of Cellulosic Materials," Fire and Materials, 2(4):173-176.

- [7] Ozisik, M.N., 1980; Heat Conduction, p.294, John Wiley and Sons, New York, USA.
- [8] Mulholland, G.P., Cobble, M.H., 1972; "Diffusion Through Composite Media," Int.J. Heat Mass Transfer, 15: 147.
- [9] Schiesser, W.E., 1991; The Numerical Method of Lines, Academic Press, Inc., New York, U.S.A.

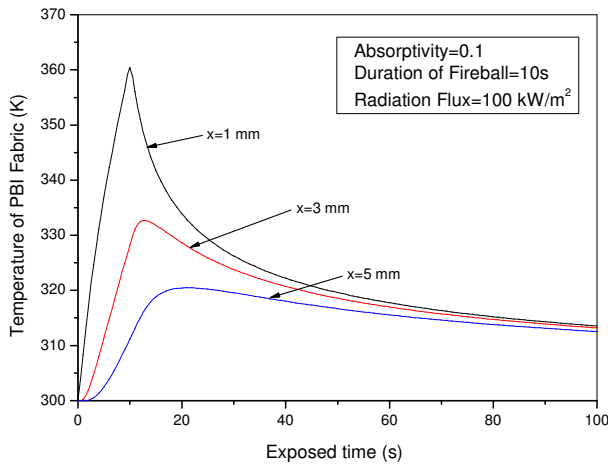
七、圖表

表一、不同灼傷程度特徵比較表

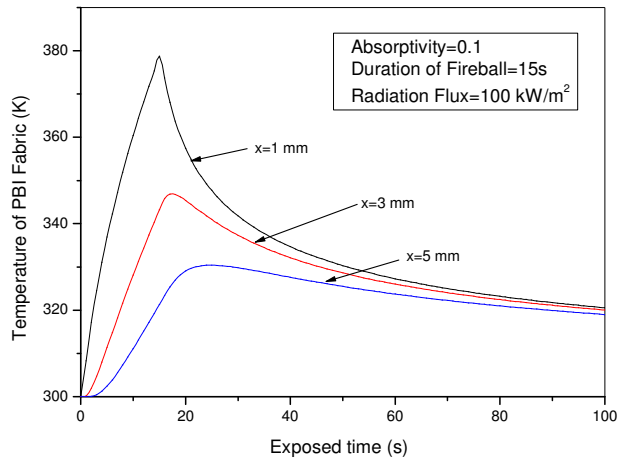
程度	外觀	知覺	過程
一級灼傷	輕度至重度的紅斑、皮膚受壓變蒼白、皮膚乾燥、細小且薄的水泡。	疼痛、感覺過敏、麻辣感，冷敷可以緩和疼痛。	不適會持續 48 小時，3 至 7 日內脫皮。
二級灼傷	大且厚層的水泡蓋住廣泛的區域。水腫、斑駁紅色的底層、上皮有破損、表面上潮濕發亮、會滴水。	疼痛、感覺過敏、對冷空氣會敏感。	表淺的部份皮層燒傷在 10 至 14 日內癒合，深部的部份皮層皮膚燒傷需要 21 至 28 日，癒合的速度根據燒傷深度與是否有感染的存在而不同。
三級灼傷	不同顏色變化，如深紅色、黑色、白色、棕色、表面乾燥及水腫。脂肪露出、組織潰壞。	幾乎不痛、麻木。	全層皮膚壞死，2、3 週後化膿且液化，不可能自然癒合，瘢痕引起畸形或失去功能，在焦痂下面，微血管叢生成纖維細胞。



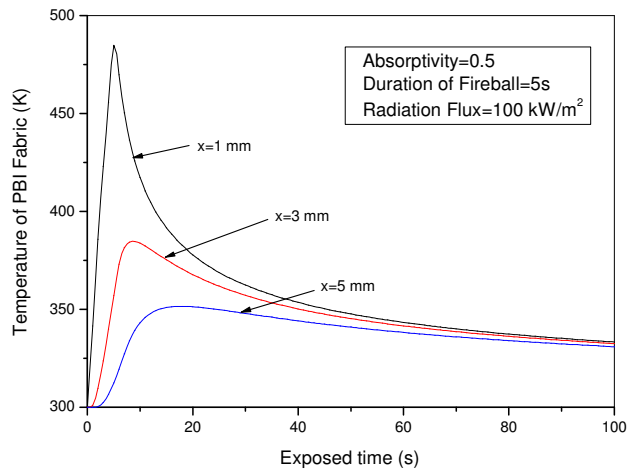
圖一、固定防護服的輻射熱吸收率為 0.1、火球持續時間 5 s 與入射輻射熱通量 100 kW/m^2 下，單層不同厚度的 PBI 纖維上升溫度對暴露時間之變化



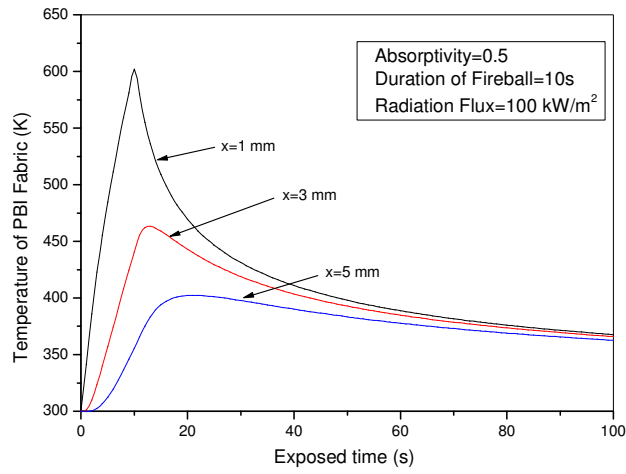
圖二、固定防護服的輻射熱吸收率為 0.1、火球持續時間 10 s 與入射輻射熱通量 100 kW/m^2 下，單層不同厚度的 PBI 纖維上升溫度對暴露時間之變化



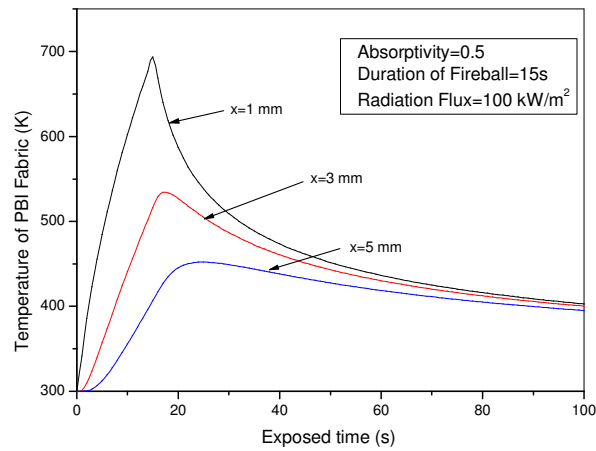
圖三、固定防護服的輻射熱吸收率為 0.1、火球持續時間 15 s 與入射輻射熱通量 100 kW/m² 下，單層不同厚度的 PBI 纖維上升溫度對暴露時間之變化



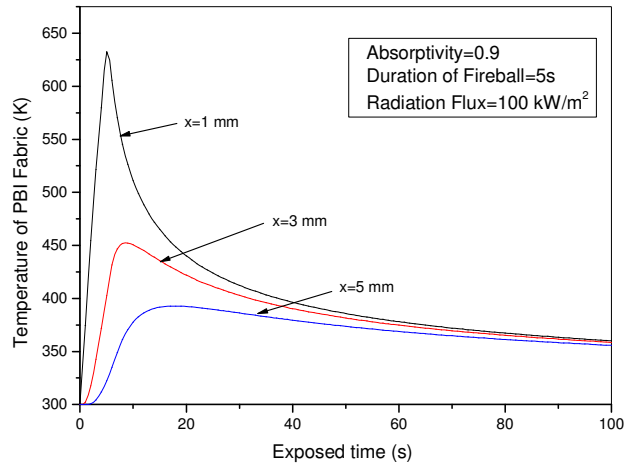
圖四、固定防護服的輻射熱吸收率為 0.5、火球持續時間 5 s 與入射輻射熱通量 100 kW/m² 下，單層不同厚度的 PBI 纖維上升溫度對暴露時間之變化



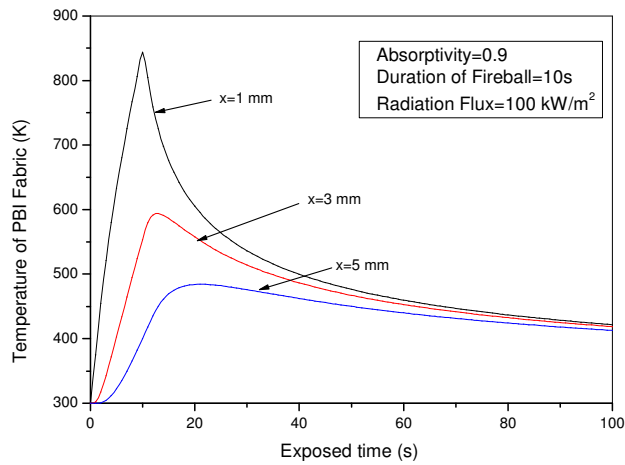
圖五、固定防護服的輻射熱吸收率為 0.5、火球持續時間 10 s 與入射輻射熱通量 100 kW/m^2 下，單層不同厚度的 PBI 纖維上升溫度對暴露時間之變化



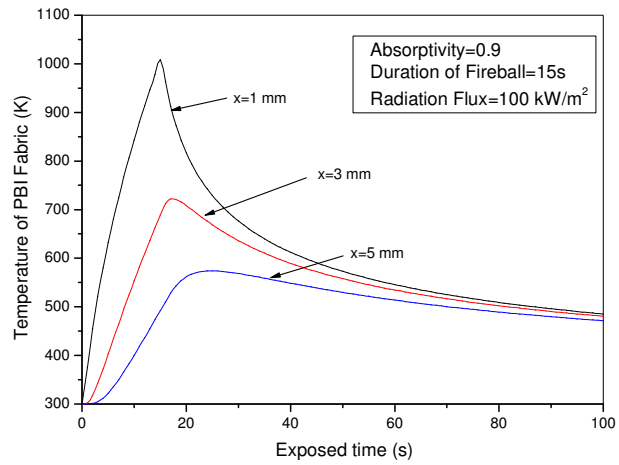
圖六、固定防護服的輻射熱吸收率為 0.5、火球持續時間 15 s 與入射輻射熱通量 100 kW/m^2 下，單層不同厚度的 PBI 纖維上升溫度對暴露時間之變化



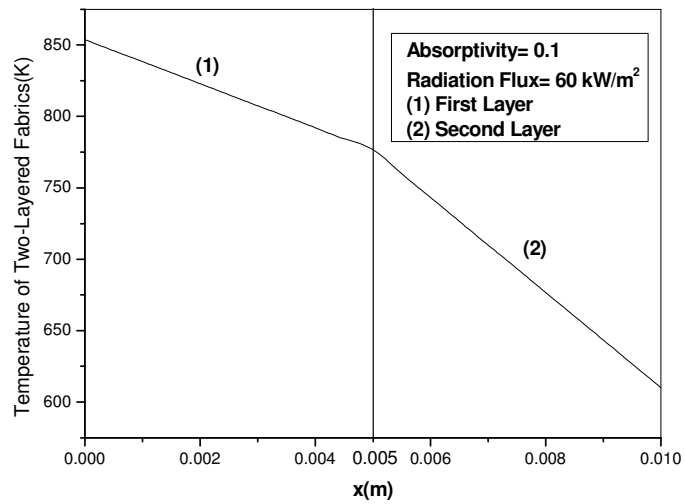
圖七、固定防護服的輻射熱吸收率為 0.9、火球持續時間 5 s 與入射輻射熱通量 100 kW/m^2 下，單層不同厚度的 PBI 纖維上升溫度對暴露時間之變化



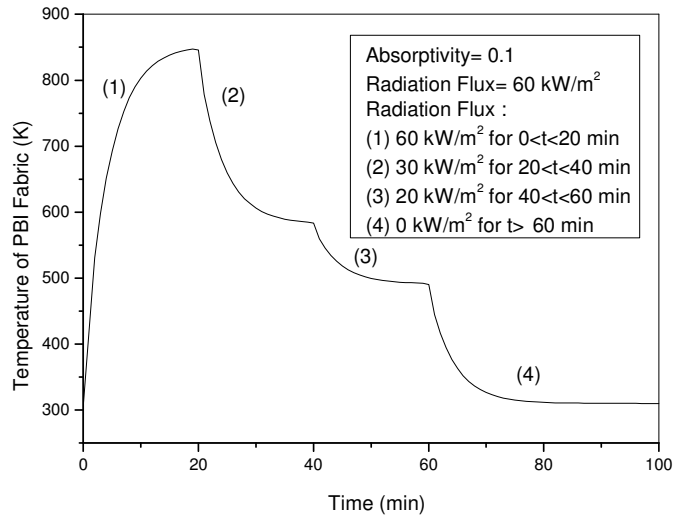
圖八、固定防護服的輻射熱吸收率為 0.9、火球持續時間 10 s 與入射輻射熱通量 100 kW/m^2 下，單層不同厚度的 PBI 纖維上升溫度對暴露時間之變化



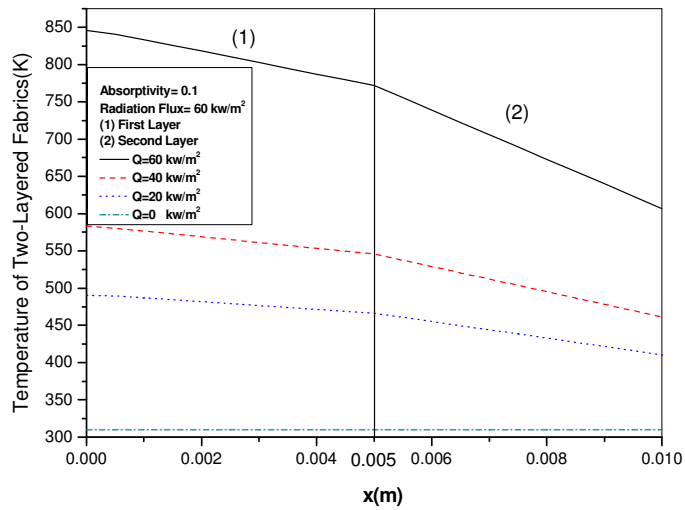
圖九、固定防護服的輻射熱吸收率為 0.9、火球持續時間 15 s 與入射輻射熱通量 100 kW/m^2 下，單層不同厚度的 PBI 纖維上升溫度對暴露時間之變化



圖十、固定防護服的輻射熱吸收率為 0.1、池火持續時間 100 min 與入射輻射熱通量 60 kW/m^2 下，雙層相同厚度 (5 mm) 的 PBI 纖維上升溫度對厚度之變化



圖十一、固定防護服的輻射熱吸收率為 0.1、池火持續四個不同時段、不同入射輻射熱通量（最高 60 kW/m²）下，雙層相同厚度（5 mm）的 PBI 纖維上升溫度對暴露時間之變化



圖十二、固定防護服的輻射熱吸收率為 0.1、池火持續四個不同時段、不同入射輻射熱通量（最高 60 kW/m²）下，雙層相同厚度（5 mm）的 PBI 纖維上升溫度對厚度之變化

計畫成果自評

我國近年來重大災害事件頻傳，其中多數皆由火災爆炸事故所引起，在許多碳氫及可燃燃料所引發的意外災害中，燃燒反應常伴隨火球 (Fireball)、池火 (Pool Fire) 發生。這些反應可在數秒抑或數小時之間，藉著熱輻射的形式，釋放出大量的熱，對周圍的人們造成傷害。當皮膚吸收了熱之後，熱量將會向內擴散並提高該區域細胞的溫度。在數秒內提升約 8~9°C 溫度，將會輕易地使細胞受到破壞。而灼傷的程度，則由哪一層的皮膚細胞受到破壞來決定。在一級灼傷中，真皮沒有受到破壞或只受到極小部份的傷害；二級灼傷中，所有的表皮及少部份的真皮組織都被破壞，而三級灼傷，所有的皮膚（包括表皮及真皮組織）皆被摧毀，真皮組織內含許多重要的知覺器官，一旦遭到破壞，易導致殘廢。本研究針對高溫防護衣物的耐熱阻燃機制做一詳實的解析；本研究成果可應用到未來高科技防護衣的設計上：比如，結合奈米技術將銀顆粒嵌入芳香族聚醯胺類纖維內，製成重量輕且安全性高的消防衣。

可供推廣之研發成果資料表

可申請專利

可技術移轉

日期：95年9月28日

<p>國科會補助計畫</p>	<p>計畫名稱：高溫防護服之抗熱數學模式及其耐熱阻燃機制之研究 計畫主持人：淡江大學化學工程與材料工程學系 陳錫仁 計畫編號：NSC94-2214-E032-004 學門領域：程序工程</p>
<p>技術/創作名稱</p>	<p>高溫防護服的抗熱數學模式及其應用</p>
<p>發明人/創作人</p>	<p>陳錫仁</p>
<p>技術說明</p>	<p>中文：本研究主要發展出熱傳導之單層、多層高溫防護服的數學模式，藉此模式吾人可更深入的瞭解防護衣物的抗熱阻燃機制。</p> <p>英文：This project involves a study of the effects of protective clothing under fire and extreme heat conditions on the personal injury, we developed heat-conductive mathematical models for single layer and multi-layers of protective clothing, respectively. As a result, we can have better insights into the mechanism of protection against burns due to the exposure of fires and heat radiation.</p>
<p>可利用之產業 及 可開發之產品</p>	<p>使用高溫防護服之事業機構。</p>
<p>技術特點</p>	<p>高溫防護服的抗熱數學模式</p>
<p>推廣及運用的價值</p>	<p>高溫防護服之研發產業機構。</p>

- ※ 1. 每項研發成果請填寫一式二份，一份隨成果報告送繳本會，一份送 貴單位研發成果推廣單位（如技術移轉中心）。
- ※ 2. 本項研發成果若尚未申請專利，請勿揭露可申請專利之主要內容。
- ※ 3. 本表若不敷使用，請自行影印使用。