

鑄造業紅外線暴露劑量的評估與管理

The Management and Assessment of Infrared Exposure Dose in Foundry Industry

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

鑄造業紅外線暴露劑量的評估與管理

The Management and Assessment of Infrared Exposure Dose in Foundry Industry

研究主持人：張振平、劉立文

計畫主辦單位：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

研究期間：中華民國 95 年 3 月 至 95 年 12 月

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所
中華民國 96 年 3 月

摘要

因科技之發展利用紅外線做為生產工具的作業場所日漸增多，例如食品業、玻璃業、電鍍及鑄造業等，對勞工所造成的威脅及傷害也日漸增加，目前國內對於紅外線輻射之作業場所尚未有進行各項紅外線輻射強度暴露評估及管理，因紅外線範圍寬廣，本研究主要量測 770nm~3000nm 之紅外線強度，將 770~1400nm 的強度依其波長對應之 $R(\lambda)$ 值進行換算成有效輻射劑量 E_{eff} ，對視網膜進行暴露評估，將 770~3000nm 的全部能量對角膜與水晶體進行暴露評估。

本單位利用紅外線分光光度測定儀及標準光源發生器進行暴露評估。以絕對光功率計的資料擷取軟體，作為紅外光源輻射的偵測計量。以 ICNIRP 的光譜加權公式將儀器測量之強度，加權各波長對應的 $R(\lambda)$ ，換算成有效輻射劑量 (E_{eff} Irradiance)，再將有效輻射劑量 E_{eff} 加總，進而推估紅外線劑量。熔爐及澆鑄作業產生的紅外線為隨著溫度變化而有不同強度的發射，利用多次光譜儀量測，始能擷取熔爐及澆鑄作業過程中，紅外光源不同強度的變化。進行有效輻射的參數轉換及暴露評估。根據實驗室中紅外線燈管輻射量與距離關係的測量，得知光源強度隨距離呈急遽的遞減，顯示紅外燈管的輻射量與距離平方呈現反比關係。

測量結果顯示熔爐及澆鑄作業溢散高劑量紅外線輻射，在距離澆鑄作業 100cm 處測量的輻射劑量大約介於 $160\sim340\text{mW/cm}^2$ ，熔爐及澆鑄作業的光譜波段仍以 IRA (800~1400nm)及部分 IRB(1400~1900nm)區間為主要輻射區域。根據 ICNIRP 建議角膜與水晶體之傷害的最大暴露劑量為 10mW/cm^2 ，視網膜危害對大的暴露源 $\alpha = 0.1$ ，最大暴露劑量為 0.7W/cm^2 (for $t > 10\text{s}$)。ICNIRP 建議角膜與水晶體之傷害受環境影響而有不同的暴露限制，在特定應用上在 0°C 這限制也許可增加至 40mW/cm^2 ， 10°C 也許可增加至 30mW/cm^2 。紅外線強度隨著距離而改變，距離為決定輻射強弱的重要因素。適當的安全規範是重要的，如若有遮蔽物（如護目鏡）就可以大量減低輻射暴露量，但仍須注意護目鏡配戴方式，若未能正確配戴，將造成熔爐及澆鑄工作者眼睛極大之傷害。

關鍵詞：紅外線、有效輻射、視網膜、角膜、水晶體

Abstract

Recently, infrared have been widely used or found in many applications, such as food industry, glass industry, wireless transfers and welding processes. The injuries and diseases due to IR-exposure are increasing with its frequent usage in workplaces. Therefore measurement of IR strength and evaluation of IR exposure are the key factors to control the IR in workplaces. This study is evaluation the infrared intensity between 770 nm and 3000 nm. This study established a comprehensive approach to monitor IR magnitude, evaluated the risk of the IR exposure, and quantified the effective exposure based on measuring data.

Biological effective factor should be considered for the IR hazardous assessment. The irradiance measured directly from the IR has to be transferred to Effective irradiance by multiplying the biological effective parameter $R(\lambda)$ for human exposure assessment. The spectral weighting function for IR measurement and evaluation was derived from ICNIRP and utilized within this study. Then, the developed IR monitoring method was applied in furnace sources of foundry industry processes. According to infrared ray lamp radiation intensity measurement in the laboratory, the light intensity and IR radiation were decreased progressively with distance. Show the inverse ratio relationship between the radiation intensity of infrared lamp and distance square.

For a relaxed normal eye, the retinal irradiance is directly related to source radiance. It is not readily related to corneal irradiance. Results showed that furnace and pouring emitted strong infrared radiation. The radiation intensity of the pouring work about 160~340 mW/cm². IRA (800~1400nm) and partial IRB (1400~1900nm) were shown the major wavelength range from melting furnace IR spectrum. According to the ICNIRP recommendation, the maximum corneal irradiance is 10mw/cm². Protection of the human retina from thermal injury requires the angular subtense α has a maximum value of 0.1 for very large sources. The maximum irradiance should be limited to 0.7W/cm² (for $t > 10s$). The ICNIRP suggests that the injury of cornea and lens is influenced by environment and has different expose restriction. These limits may be increased to 40mW/cm² at 0°C and approximately 30mW/cm² at 10°C for special applications. Distance is an important factor to affect the irradiance intensity. The appropriate safe standard is important, as the shield material (ex. protective goggles) decrease expose quantity of radiation. If there were not

wear appropriate protecting equipment, it will cause furnace and pouring worker's eyes injury.

Key Words: infrared, effective irradiance, retina, cornea, lens

目錄

摘 要.....	i
Abstract	ii
目錄.....	iv
圖目錄.....	v
表目錄.....	vi
第一章 計畫概述.....	1
第一節 前言.....	1
第二節 目的.....	3
第三節 預計達成之目標.....	3
第二章 文獻探討.....	4
第一節 紅外線工作環境研究的重要性.....	4
第二節 紅外線工作環境的相關危害.....	4
第三章 儀器及研究方法.....	13
第四章 紅外線測量與評估.....	19
第一節 紅外線測定.....	19
第二節 鑄造廠熔爐及澆鑄場所.....	23
第三節 紅外線作業現場進行風險評估.....	27
第五章 結論與建議.....	33
第一節 結論.....	33
第二節 建議.....	34
第六章 未來工作.....	35
誌謝.....	36
參考文獻.....	37
附錄.....	40

圖目錄

圖 1 具有傷害性的輻射線（紫外線、藍色光、紅外線）	6
圖 2 不同光的波長對眼睛與皮膚造成的傷害	8
圖 3 眼睛中各種組織在不同波長下的吸收特性	9
圖 4 視網膜在不同波長光源下的吸收率與傳導率	9
圖 5 熔接作業與太陽光輻射量之比較	11
圖 6 黑色曲線為某透鏡過濾情形，黑點曲線為可見光中的藍色光	12
圖 7 A LARGE RETINAL AREA CAN BE ILLUMINATED BY A COVERGING BEAM FOCUSED AT OR NEAR THE EYE'S NODAL POINT	15
圖 8. 藍光輻射危害及視紫熱危害相對敏感參數曲線圖	16
圖 9 紅外線強度隨距離變化趨勢圖	20
圖 10 寬頻紅外線強度對數值與距離變化圖	20
圖 11 熔爐紅外線輻射的光源特性分析	22
圖 12 採樣規劃說明	23
圖 13 熔爐加料時輻射強度與距離變化圖	24
圖 14 熔爐全熔時輻射強度與距離變化圖	25
圖 15 與熔爐距離 100 公分各工作項目輻射強度比較圖	26
圖 16 THE RELATIONSHIP BETWEEN FIELD LUMINANCE AND PUPIL SIZE, PLOTTED WITH A LINEAR SCALE OF LUMINANCE VALUES (REEEVES, 1920).....	30
圖 17 PUPIL DILATION AND CONTRACTION RATES	31
圖 18 物理性因子危害評估矩陣	32

表目錄

表 1 藍光及視紫危害光譜權衡參數值	17
表 2 熔爐作業現場環境品質	19
表 3 A 廠各工作項目與熔爐不同距離輻射強度量測值 (MW/CM^2)	26
表 4 CORNEA AND LENS 紅外線危害之定性評比範例	28
表 5 RETINA 紅外線危害之定性評比範例	29
表 6 危害評比(HR)之分級標準	31
表 7 暴露評比(ER)之分級標準	32

第一章 計畫概述

第一節 前言

長期以來職業安全衛生工作者一直希望能提供給勞工一個舒適且安全與健康的工作環境，進而達到提高工作效率及產業競爭力的目標。鑄造業為機械之母，台灣鑄造品年產值約六百億台幣。其對台灣各種機械製造等下游行業有極為重要之影響，例如對生醫、通訊電子、機械、國防、水泥、石化、建築、民生器具、藝術等各種行業的生產和研究發展功不可沒。根據主計處每五年普查一次之資料顯示 2001 年資料顯示目前國內鋼鐵鑄造業約有 951 家，員工約有 12,720 人，其他尚有鋁鑄造業員工約有 3,990 人，銅鑄造業員工約有 763 人，鎂鑄造業員工約有 191 人〔1〕。依據 2003 年經濟部統計處工商普查及 ITIS 產業資料庫之鑄造相關廠商資料彙整（剔除設備、貿易等廠商），國內鑄造廠商計有 826 家。2003 年我國鑄件產量排名全球第 11 名，較 2002 年排名前進一名，佔全球總產量 2%，而 2003 年全球鑄件總產量（統計全球 35 個國家）為 7,355 萬公噸，較 2002 年成長 4.8%，整體而言，除 2000 年略有下滑外，全球鑄件總產量呈現上升趨勢，統計全球前 11 大鑄件生產國總產量佔全球總產量達 80%。根據 94 年鑄造業輔導中發現鑄造之作業流程中，其可能會產生之危害，包括：高溫、煙塵、非游離輻射、有機溶劑、特化、噪音及粉塵（含金屬與二氧化矽）危害〔2〕。在這些作業場所發現工作者在熔爐及澆鑄作業時大部分都未穿戴任何防護具，由於灼熱鐵水溫度高達 1200~1800℃ 之間〔3〕，長期在這些工作環境下是否對勞工造成危害，並無足夠之資料及量測數據可以評估。此為本計畫為何要對鑄造業紅外線暴露劑量進行評估與管理之目的，根據文獻顯示紅外線危害之評估可分為 770nm~1400nm 視網膜傷害評估〔4〕及 770nm~3000nm 部分為角膜及水晶體傷害評估，希望建立國內紅外線準確評估與管理其風險之能力，以實施職業衛生管理達到保護勞工之目的。

1786 年 Wenzel 提出鋼鐵業與玻璃製造業工人因曝露紅外線罹患白內障之證據〔6〕，而玻璃製造業工人之白內障也成為許多國家法定之職業病。在眾多非游離輻射中，紅外光的危害，一般認為會引起職業性白內障，其原因乃是高能量之輻射線進

入眼睛時，平均約有 60~70%的能量進入網膜，這些能量的 60%被網膜所吸收，因為這些能量導致眼球組織溫度升高，組織內蛋白質凝固，進而內層基質呈現混濁，白內障因而產生〔7.8.9.10.11〕。除了鋼鐵業與玻璃製造業工人易有過高之紅外線曝露〔13.14.21.22〕，其他行業如乙炔之燒、切、焊作業、電焊作業員工皆為紅外線的高風險群。就勞工衛生控制手段的層級而言，個人防護具之使用為最後之選擇，然而，今日之世界以紅外線當作應用工具已是無所不在。對很多紅外線曝露危害之場所而言，工作人員經常曝露於危害中而不自知，紅外線波長範圍很寬廣，每個波段輻射強度又有強有弱，隨著科技文明的發展，人們使用各種生產工具及方法；製造各式各樣的產品以滿足人類無止境的需求，在這些生產及消費過程中，經常大量使用或生產許多能量極高之光源。如紫外線、紅外光、雷射等非游離輻射，當工作者曝露於此類強光時，生理的傷害及所產生急性或慢性職業病的可能性已是無法避免；因此如何提供有效的防護規範及措施是政府主管機關及企業雇主責無旁貸的工作。

紅外線對作業現場的勞工所造成的威脅及傷害日漸增加，高能量紅外線的使用情形在工業界愈來愈多；但卻又因其波長太短平常無法直接察覺其傷害的存在。因此國內主管機關勞委會在保護勞工的法令制定時，便於勞工安全衛生設施規則中的第 284 條：雇主對於勞工以電焊、氣焊從事熔接、熔斷等作業時，應置備安全面罩、防護眼鏡及防護手套等，並使勞工確實使用。雇主對於前項電焊熔接、熔斷作業產生電弧，而有散發強烈非游離輻射線致危害勞工之虞之場所，應予以適當隔離。但工作場所採隔離措施顯有困難者，不在此限。第二百九十八條：雇主對於處理有害物、或勞工暴露於強烈噪音、振動、超音波及紅外線、紫外線、微波、雷射、射頻波等非游離輻射或因生物病原體污染等之有害作業場所，應去除該危害因素，採取使用代替物、改善作業方法或工程控制等有效之設施。均明確的對輻射線危害防制有規定〔15〕。

綜合以上探討分析可知目前，提供紅外光作業勞工的保護措施法規雖已相當明確，但縱觀國內勞工之作業習慣，配戴足以阻擋輻射穿透的眼睛防護具，保護眼部的措施皆未獲得相當程度的認可及執行。加上一般防護措施僅止於直接面對紅外線發生源的個別工作人員(如熔爐作業員)，對於在輻射範圍內的其他工作人員，則疏於認知及防範，將可能造成不可磨滅的慢性職業傷害。根據文獻檢索目前國內尚未有任何資料顯示對於具紅外線輻射之作業場所進行各項紅外線輻射強度之評估、調查、提出有

效之輻射強度傷害等級、各項曝露風險評估及各種防護措施之方法，且仍未有一公正客觀的紅外線偵測程序及方法可供相關單位檢驗。此外，由於工作環境及使用物質趨向多樣化，且科技發展日新月異，認證體系除了應與時代潮流之供需配合以外，體系之強化與健全更為當務之急。有鑑於此本研究將針對國內可能具紅外線高劑量輻射之作業場所進行偵測、調查及對高危險群暴露工作人員進行風險評估並提出有效之改善建議及防護措施。

第二節 目的

勞工作業場所紅外線檢測工作雖繁瑣且工程浩大，然而，作業場所紅外線輻射對勞工健康的危害及威脅甚巨，如何保護暴露於高劑量紅外線輻射的工作人員的安全，是政府與企業主不可迴避的問題。為避免保護策略建立於不正確的假設，政府與工業安全衛生界應正視作業場所紅外線檢測重要性與急迫性。目前，國內雖然已有法令規定業主須提供防護具以保護作業現場勞工，但是對防護具之使用率及正確使用時機，則有賴於對紅外線的危害認知，因此透過作業場所紅外線檢測以提供作業現場的紅外線曝露強度及危害指標，將有助於對紅外線的危害判斷及保護措施的規範實施。國內目前仍未有針對具紅外線輻射作業場所的偵測調查資料及一公正客觀的紅外線檢驗程序可供相關單位檢驗，所以防護措施效果難以掌控，在如此情況下將會失去政府及法規對勞工保護的美意及成效。

第三節 預計達成之目標

本計畫預期計畫目標有五項如下：

1. 蒐集相關鑄造業不同熔爐設計工作環境之工廠，並建立其基本資料。
2. 藉由工廠現場訪查來瞭解其製程紅外線暴露狀況。
3. 實施紅外線暴露劑量評估來瞭解鑄造業不同種類熔爐作業人員其暴露量。
4. 對作業人員造成可能之健康影響進行評估。
5. 研議職業衛生管理方法，以降低勞工暴露情形及維護其健康。

第二章 文獻探討

第一節 紅外線工作環境研究的重要性

長期以來職業安全衛生工作者一直希望能提供給勞工一個舒適且安全與健康的工作環境，進而達到提高工作效率及產業競爭力的目標。而隨著科技文明的進展，工作場所裡許多的物理性與化學性危害都直接或間接對人類眼睛造成威脅，物理性危害之防護較化學性危害困難許多，主要原因是物理性危害之無形與其偵測技術之困難。非游離輻射屬物理性危害中之最，因為人類創造出許多新穎且能量極高的光源，因其頻率與波長的多樣化，對人體造成之危害亦有所不同，利用紅外線特性而製造的產品，在今日之世界中已是每個人每天必須用到或看到的，如 CCD、無線傳輸、遙控、紅外線雷射美容等。人們使用各種生產工具及方法；製造各式各樣的產品以滿足人類無止境的需求，在這些生產及消費過程中，經常大量使用或生產許多能量極高之光源。然而有越來越多的產業為達所需之效果而使用如紫外光、紅外光、雷射等非游離輻射，基於環境保護、工業安全及資源回收等理由，在包裝印刷方面為減少包裝膜及油性墨對於環境所造成的危害，採用水性上光已有取代傳統溶劑型上光的趨勢，就是利用紅外線熱輻射乾燥設備，其他如紅外線穀類乾燥、紅外線 PU 油墨乾燥、紅外線雷射美容、玻璃業、熔爐作業等，當工作者曝露於此類強光時，並不知道已曝露在危害中，眼睛於是極容易遭致很大的損傷。但卻又因其波長太短平常無法直接察覺其傷害的存在。因此如何提供有效的防護規範及措施是政府主管機關及企業雇主責無旁貸的工作。

第二節 紅外線工作環境的相關危害

鑄造業為機械之母，其對台灣各種機械製造等下游行業有極為重要之影響，例如對生醫、通訊電子、機械、國防、水泥、石化、建築、民生器具、藝術等各種行業的生產和研究發展功不可沒。根據主計處 90 年普查之資料顯示目前國內鋼鐵鑄造業約有 951 家，員工約有 12,720 人，其他尚有鋁鑄造業員工約有 3,990 人，銅鑄造業員工約有 763 人，鎂鑄造業員工約有 191 人〔1〕

根據 94 年鑄造業輔導〔2〕中發現鑄造之作業流程中，其可能會產生之危害，包括：高溫、煙煙、非游離輻射、有機溶劑、特化、噪音及粉塵（含金屬與二氧化矽）危害。在這些作業場所發現工作者在熔爐及澆鑄作業時皆未穿戴任何防護具，由於灼熱鐵水溫度高達 1200~1600℃之間，長期在這些工作環境下是否對勞工造成危害，並無足夠之資料及量測數據可以評估。鑄造業目前常用之鑄造金屬主要有灰鑄鐵、球墨鑄鐵、可鍛鑄鐵、鑄鋼、鑄鋁及鑄銅等六種。其他還有鑄鋅、鑄鎂、鑄錫、鑄鉛等也常用在鑄造，因為各種金屬性質不一，因此在熔化作業會有極大之差異〔3〕。一般而言熔爐溫度會大於澆鑄溫度，因為熔化之金屬要先倒入澆斗中，再以澆斗進行澆鑄，有時必須考慮各家工廠以天車移動澆斗或轉入小型澆斗再進行澆鑄所需之時間，另外鑄件大小亦會導致熔爐溫度有較大之溫差，大致基本如下表所列：

材 質 種 類	熔 爐 溫 度 ℃	澆 鑄 溫 度 ℃
鋁合金	700 ~ 800	660 ~ 760
青銅	1200 ~ 1300	1100 ~ 1200
黃銅	1080 ~ 1180	980 ~ 1080
鑄鐵	1350 ~ 1450	1300 ~ 1400
鑄鋼	1550 ~ 1600	1450 ~ 1550

凡是熱的物體就都能輻射出看不見的紅外線。紅外線是一種電磁波，在光譜上，紅外線是一種具有強熱作用的輻射線，其波長介於 $0.76\mu\text{m}$ 與 $1,000\mu\text{m}$ 之間。眼睛為靈魂之窗，除了因視覺障礙(遠近視)矯正的原因以外，無論在工作場所或休閒旅遊，為防禦機械能傷害（如飛濺的顆粒、噴濺的化學物質）或防禦輻射能傷害（工作場所裡的紫外線、可見光、紅外線或室外的太陽光），人類常配戴特殊的眼鏡來保護眼睛。而隨著科技文明的進展，工作場所裡許多的物理性與化學性危害都直接或間接對人類眼睛造成威脅，物理性危害之防護較化學性危害困難許多，主要原因是物理性危害之無形與其偵測技術之困難。非游離輻射屬物理性危害中之最，因為人類創造出許多新穎且能量極高的光源，因其頻率與波長的多樣化，對人體造成之危害亦有所不同，利用紅外線特性而製造的產品，在今日之世界中已是每個人每天必須用到或看到的，如 CCD、無線傳輸、遙控、紅外線雷射美容等。人為的強光主要用於照明與製程

之需，一般而言，照明用途之光源較少造成嚴重眼睛之傷害〔4〕。紅外線在臨床醫學上之應用則始於 1948 年，當初僅用於乳房、靜脈和皮膚方面之疾病檢查。在 1956 年加拿大醫師 Lawson 發表第一篇 Infrared Thermography 文獻，1960 年後 Thermography 就廣泛地用於臨床上，以測量評估體表之溫度。然而有越來越多的產業為達所需之效果而使用如紫外光、紅外光、雷射等非游離輻射，基於環境保護、工業安全及資源回收等理由，在包裝印刷方面為減少包裝膜及油性墨對於環境所造成的危害，採用水性上光已有取代傳統溶劑型上光的趨勢，就是利用紅外線熱輻射乾燥設備，其他如紅外線穀類乾燥、紅外線 PU 油墨乾燥、紅外線雷射美容、玻璃業、熔爐作業等，當工作者曝露於此類強光時，並不知道已曝露在危害中，眼睛於是極容易導致很大的損傷。有害輻射對眼睛之傷害如圖 1 所示，眼睛看得見的光譜部分，自波長約 380nm 紫色光至波長約 780nm 的紅色光為「可見光」。在此區域內的藍色光域（約 400-480nm）和 580-600nm 的黃色光域及低於 380nm 的紫外線與高於 780nm 的紅外線對眼睛都有傷害性〔16〕。

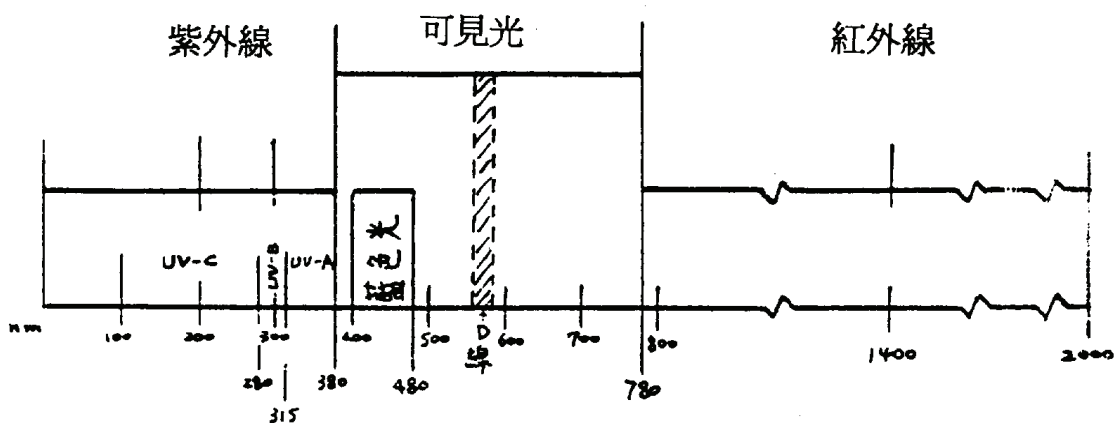


圖 1 具有傷害性的輻射線（紫外線、藍色光、紅外線）

最早之科學文獻卻直到西元 1739 才由 Heister 提出紅外線對眼睛水晶體之危害 (Turner, 1970)〔5〕，1786 年 Wenzel 更進一步提出鋼鐵業與玻璃製造業工人因曝露紅外線罹患白內障之證據〔6〕，而玻璃製造業工人之白內障也成為許多國家法定之職業病。人對熱的物體都有直覺會轉移注視的焦點，吹玻璃勞工因為工作必須長時間直視作品，否則無法作出成品，但在鋼鐵或鑄造業的工人為間歇性看著灼熱之鐵水，

將可以減少白內障發生。在眾多非游離輻射中，紅外光的危害，一直備受矚目，一般認為會引起職業性白內障，其原因乃是高能量之輻射線進入眼睛時，平均約有 60~70% 的能量進入網膜，這些能量的 60% 被網膜所吸收，因為這些能量導致眼球組織溫度升高，組織內蛋白質凝固，進而內層基質呈現混濁，白內障因而產生〔8.9.10.11〕。動物實驗結果顯示，當兔眼暴露於 2,450、8,236、9,375 和 10,050 百萬赫下，10 至 60 分鐘會產生不透明體，而松鼠實驗亦證實相似結果〔10.23〕。同樣地，當累積之輻射暴露超出恕限量時（紅外線的容許暴露標準，目前國內仍未訂定相關法令），亦會造成眼球白化。除了鋼鐵業與玻璃製造業工人易有過高之紅外線曝露，其他行業如乙炔之燒、切、焊作業、電焊作業員工皆為紅外線的高風險群。就勞工衛生控制手段的層級而言，個人防護具之使用為最後之選擇，然而，就有紅外線曝露危害之場所而言，工作人員經常曝露於危害中而不自知，紅外線波長範圍很寬廣，每個波段輻射強度又有強有弱，以電焊而言，其輻射強度及波長是隨時間而改變，如同變動性噪音起落不定，如何確認每位曝露於紅外線作業場所的作業人員每日的曝露劑量，避免導致眼睛傷害，是我們此計畫想要達到的目的。

紅外線光譜範圍在 $0.76 \sim 1000 \mu\text{m}$ 之間，但波段分類上各有不同，有分為三波段也有分為四個波段，若依勞工安全衛生研究所防護具選用技術手冊-安全眼鏡中之敘述，則將整個光譜範圍大致被分為 IRA ($0.76 \sim 1.4 \mu\text{m}$)，IRB ($1.4 \sim 10 \mu\text{m}$)，IRC ($10 \sim 1000 \mu\text{m}$) 三個區段，但依據 ICNIRP 之劃分則大致如下列三個區段：

- 近紅外線 (near infrared, IRA)：其波長在 $0.76 \sim 1.4 \mu\text{m}$
- 中紅外線 (middle infrared, IRB)：其波長在 $1.4 \sim 3 \mu\text{m}$
- 遠紅外線 (far infrared, IRC)：其波長在 $3 \sim 1000 \mu\text{m}$

紅外線的產生有兩大類型：

1. 在生產過程中因為熱源產生紅外線：如玻璃工廠、鑄造廠、鋼鐵廠等。
2. 以紅外線特性在產業上的應用為主，大致包括下列：
 - 塗漆、釉料、瓷釉、黏著劑、油墨和表面處理的紅外線乾燥和烘烤
 - 金屬零件加熱裝配、電焊
 - 布料、紙張、皮革、肉類、蔬菜、陶器和砂模的乾燥
 - 電腦科技、手機、軍事、醫療、雷射美容、體熱的測定及攝影等。

根據國際照明組織針對不同光的波長對眼睛與皮膚造成之傷害的說明如圖 2，在紅外線波段引起的傷害主要是白內障、視網膜和角膜灼傷，以及在低強度光源下熱輻射所產生的熱壓。由於紅外線範圍寬廣，評估並不容易，本研究原則上主要是以 400nm~1400nm 之主要危害區域進行評估。

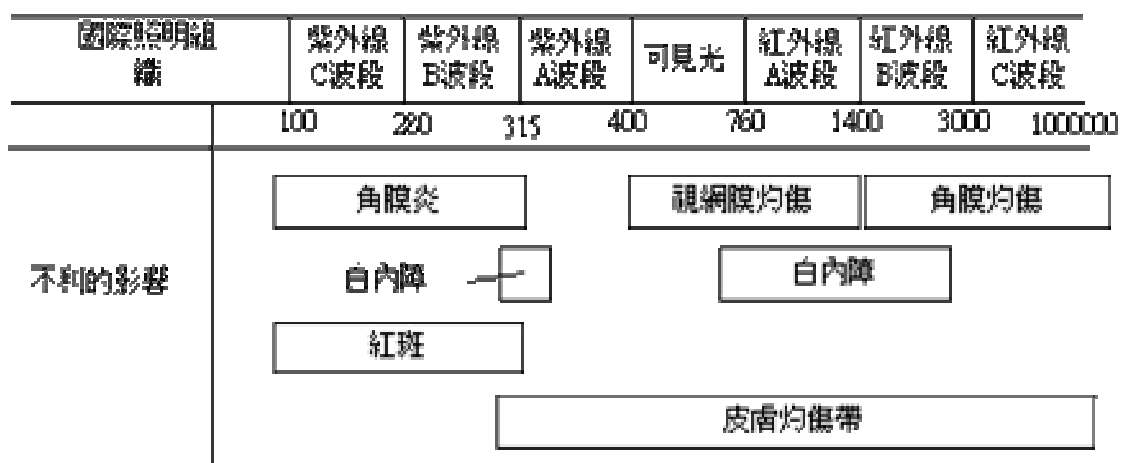
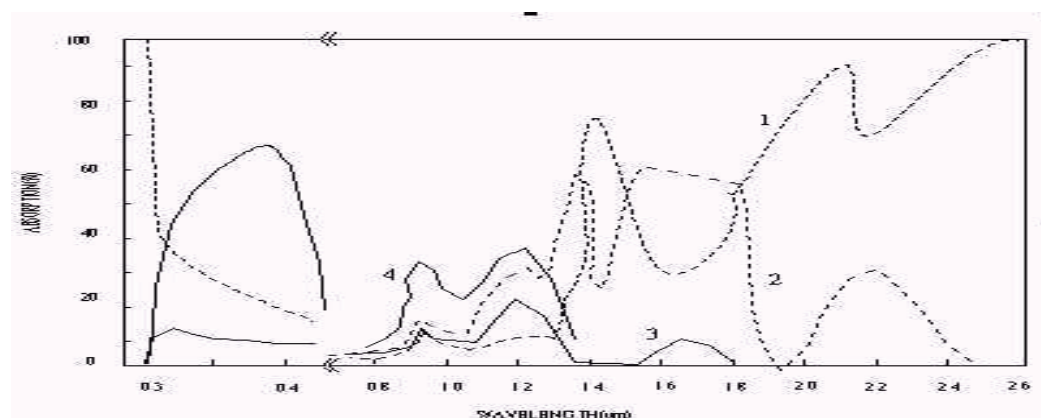


圖 2 不同光的波長對眼睛與皮膚造成的傷害

若對眼球直接照射的曝光量大於一個臨界值，不論哪一個波段的光源，都將對眼球造成傷害。眼球中各組織對光源的吸收率都不相同，且同一組織對不同波段的光源其吸收率也不相同。圖 3 即為眼睛中各種組織在不同波長下的吸收特性，因此不同波段的光源可能對眼睛所造成的傷害也就不同，視網膜在不同波長光源下的傳導率與吸收率 (TRANSMISSION AND ABSORPTION) 如圖 4。在波長 $0.4\mu\text{m}$ 到 $1.4\mu\text{m}$ 的區間內，視網膜有一定的吸收率，若曝光量過多，將產生視網膜灼傷，所以又稱為『視網膜傷害區』。



1:角膜 2:房水 3:水晶體 4:玻璃體

圖 3 眼睛中各種組織在不同波長下的吸收特性

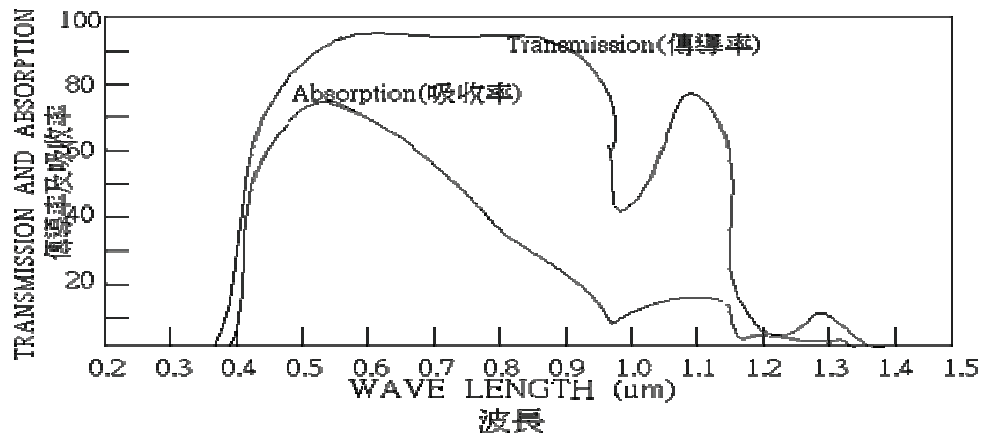


圖 4 視網膜在不同波長光源下的吸收率與傳導率

角膜在 IR-A(紅外線 A)波段 ($0.4\mu\text{m} \sim 1.4\mu\text{m}$) 的紅外線區段內吸收率很低，波長接近 $1.4\mu\text{m}$ 時 (IR-B 紅外線 B 及 IR-C 紅外線 C 波段)，角膜對光的吸收性變大。角膜和房水會吸收照射於眼睛內的輻射熱能，若曝光量過大就會產生灼傷。另外，角膜對溫度相當敏感，高功率的紅外線會引起眼睛劇烈的疼痛感。在高功率的光源短時間曝光時，虹膜傳導的熱能是白內障致病的主因，至於在低能量光源長時間曝光時，由於水晶體直接吸收熱能，而引發白內障的病變。〔10.11〕

ACGIH/ICNIRP 為了保護勞工免於因暴露於紅外線輻射的工作場所而導致眼睛受到傷害，因此訂定了紅外線的曝露標準及規範。茲說明如下：〔18.19〕

a. To Protect the Cornea and Lens

$$770\text{nm} < \lambda < 3000\text{nm} \quad \Sigma E_{\lambda} \cdot \Delta \lambda \leq 1.8t^{-3/4} \text{ W/cm}^2 \quad (\text{for } t < 1000\text{s})$$

$$10\text{mW/cm}^2 \quad (\geq 1000\text{s})$$

E_{λ} : 光譜輻射強度 $\text{W}/(\text{cm}^2 \cdot \text{nm})$

$\Delta \lambda$: 測量波長區間 (nm)

b. To Protect the Retina

$$770\text{nm} < \lambda < 1400\text{nm} \quad \Sigma L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \Delta \lambda \leq 0.6/\alpha \quad (\text{for } t > 10\text{s})$$

$$770\text{nm} < \lambda < 1400\text{nm} \quad \Sigma L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \Delta \lambda \leq 5/\alpha \cdot t^{1/4} \quad (\text{for } t < 10\text{s})$$

E_{eff} : 有效輻射

$R(\lambda)$: Retina Thermal Hazard Function (隨波長改變)

α : angular subtense of the source

紅外線對作業現場的勞工所造成的威脅及傷害日漸增加，但目前國內對於具紅外線輻射之作業場所之各項紅外線輻射強度之評估、調查、各項曝露風險評估及各種防護措施之方法尚未完整，且未有一公正客觀的紅外線偵測程序及方法可供相關單位檢驗。本研究將針對國內具紅外線輻射之鑄造業之熔爐及澆鑄作業場所進行偵測。並藉此建立紅外線輻射劑量量測基準及相關評估資料。

由文獻探討可知紅外線的傷害是不容忽視的尤其是長期暴露在紅外線作業場所中的勞工，因非游離輻射所造成的職業傷害已引起國內外學著的注意及探討。國內主管機關勞委會在保護勞工的法令制定時，便於勞工安全衛生設施規則中〔15〕的第 284 條、第 298 條對於紅外線、紫外線、微波、雷射、射頻波等非游離輻射等之有害作業場所，應去除該危害因素，採取使用代替物、改善作業方法或工程控制等有效之設施。均明確的對輻射線危害防制有明確的規定。第 183 條；第 214 條；第 217 條；第 218 條雖未明確提到紅外線，但對高溫、熔接、熔斷或加熱作業場所均要求雇主需提供防護眼鏡、防護手套以保護勞工眼睛及手部之傷害。

圖 5 為熔接作業產生的輻射能量與太陽光所產生的輻射能量之比較〔16〕，由圖所示，A 曲線(熔接作業輻射)能量比 B 曲線(太陽光)所產生的輻射能量大。因此預防太陽光的傷害值得重視，但相關作業場所之輻射危害更不能忽視。太陽發出之輻射估計到達地球表面上的能量約百分之四十是紅外線，因此它對人的影響是必須注意思考。而低量長時間曝露所形成的傷害，最明顯就是白內障的形成，在高強度紅外線照射地區的人，白內障形成的年齡會比在低度照射地區來得早，在戶外工作者也比室內工作者早發生。圖 6 為藍光通過透鏡後輻射能量衰減的情形，這說明適當之防護眼鏡可以有效降低眼睛的傷害〔16〕。防護眼鏡之防護效率視其遮光能力，物質之遮光可由郎伯特-貝爾定律〔17〕 (Lambert-Beer Law)解釋，即穿透光強度與入射光強度之關係如下式所示

$$\frac{I}{I_0} = e^{-\alpha L}$$

I：穿透光強度

I_0 ：垂直，入射光強度

σ ：消光係數

L ：物質厚度

根據郎伯特-貝爾定律可知，輻射穿透防護鏡片之能力愈高，意即其穿透率愈高，代表該防護眼鏡防護能力愈差。

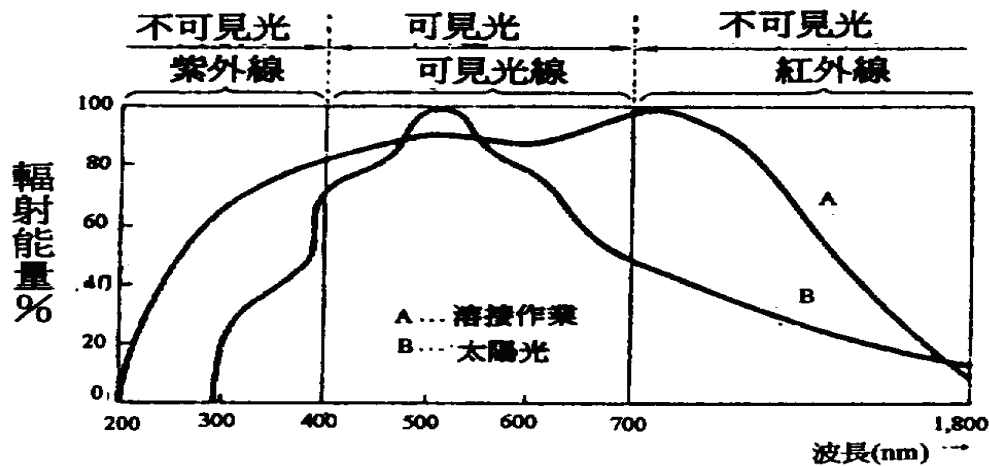


圖 5 熔接作業與太陽光輻射量之比較

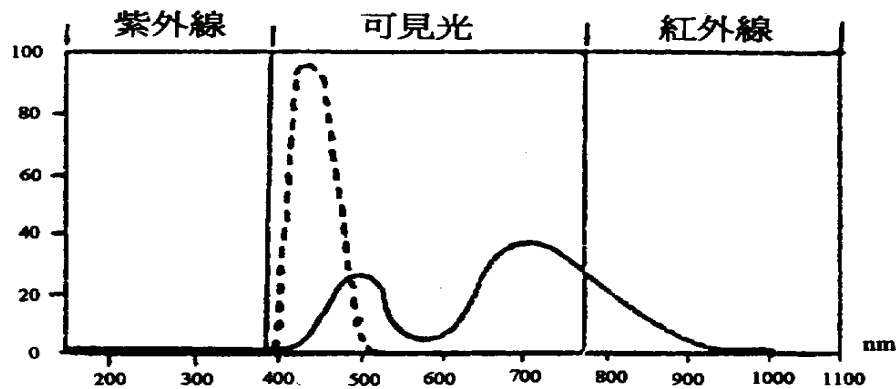


圖 6 黑色曲線為某透鏡過濾情形，黑點曲線為可見光中的藍色光

綜合以上探討分析可知目前，提供紅外光作業勞工的保護措施法規雖已相當明確，但縱觀國內鑄造業勞工之作業習慣，對於配戴足以阻擋輻射穿透的眼睛防護具，保護眼部的措施都未確實執行。若對於在輻射範圍內的工作人員，疏於教育認知及防範，將可能造成不可磨滅的慢性職業傷害。但是目前國內對於具紅外線輻射之作業場所尚無完整相關資料，對各項紅外線輻射強度之評估、調查、提出有效之輻射強度傷害等級、各項曝露風險評估及各種防護措施之方法，且仍未有一公正客觀的紅外線偵

測程序及方法可供相關單位檢驗，在如此情況下使用不當防護措施引起之危害可能比不使用時還嚴重。此外，由於工作環境及使用物質趨向多樣化，且科技發展日新月異，認證體系除了應與時代潮流之供需配合以外，體系之強化與健全更為當務之急。有鑑於此本研究將針對國內具紅外線輻射之鑄造廠熔爐及澆鑄作業場所進行完整的偵測、調查及對高危險群暴露工作人員進行風險評估並提出有效之改善建議及防護措施。

第三章 儀器及研究方法

人類自古便已知道強光對眼睛之危害，1786 年 Wenzel 更進一步提出鋼鐵業與玻璃製造業工人因曝露紅外線罹患白內障之證據〔6〕。在眾多非游離輻射中，紅外光的危害，一般認為會引起職業性白內障。除了鋼鐵業與玻璃製造業工人易有過高之紅外線曝露，其他行業如乙炔之燒、切、焊作業、電焊作業員工皆為紅外線的高風險群。就勞工衛生控制手段的層級而言，個人防護具之使用為最後之選擇，然而，今日之世界以紅外線當作應用工具已是無所不在。對很多紅外線曝露危害之場所而言，工作人員經常曝露於危害中而不自知，紅外線波長範圍很寬廣，每個波段輻射強度又有強有弱，但視網膜傷害除紅外線外，亦包括可見光及藍光之危害。且可見光及藍光之傳導率及吸收率都很大，因此若探討視網膜傷害必須要考量可見光及藍光的暴露，雖然本研究以紅外線評估為主，但有關之危害函數也會在下列介紹。本研究想利用本研究團隊發展之應用軟體及組裝之紅外線偵測設備，以鑄造業熔爐及澆鑄作業人員為對象，對曝露於紅外線作業場所的作業人員進行量測與評估，避免導致眼睛傷害，是我們此計畫想要達到的目的。

詳細方法如下列分項所示：

一、研究方法：

依美國 ACGIH(American Conference of Governmental Industrial Hygienist)/ICNIRP 相對波長之輻射強度提出 E_{eff} (effective irradiance) 有效輻射概念之計算方法，及其規範勞工在紅外線工作場所的暴露時間(exposure time t)的暴露評估模式，利用已在開發之紅外線暴露劑量即時監測軟體量測其瞬間及累積之暴露劑量，並評估其危害風險。

(1)研究紅外線暴露劑量之測量儀器

本研究利用可攜式 NIR256-2.5、標準光源發生器 (DH2000) 均為 Ocean Optic Inc.製造之光學儀器及直讀式 OPHIR NOVA II 紅外線偵測器為以色列製。標準光源及光源強度之校準測試皆依美國 NASA 之測試標準。標準光源發生器 (DH2000) 並經 NIST 認證單位核可校準。絕對光功率計為 Ocean Optic Inc.

所開發的 32 位元資料擷取品管操作軟體，該軟體具絕對光功率分析的功能，可當作一般 NIR 光譜儀偵測器。針對絕對光功率強度檢測功能 absolute spectral intensity, $W/cm^2/nm$, $uJouls$, $uWatt$, $uJouls / cm^2$, $uWatt / cm^2$, 共 8 種單位，其絕對光功率值，經過 NIST 光源校正。該軟體提供即時顯示介面，並且容許控制資料擷取參數，如訊號積分時間(integration period)、掃描次數平均(averaging)和光譜平滑度(boxcar smoothing)。256-element InGaAs array, slit-25(standard), grating #N2, 900-2500 nm ; Integration time: 50 ms ; Data transfer rate: Full scans into memory every 10 ms ; Signal-to-Noise: 4000:1 ; Optical resolution: ~ 7.5 nm。



(2)以軟體計算紅外線暴露劑量

本研究團隊依 ACGIH/ICNIRP 建議之有效輻射概念之計算方法，利用已在開發之紅外線暴露劑量即時監測軟體量測其瞬間及累積之暴露劑量。

(3)本計畫將依 ACGIH/ICNIRP 之規範，採用之紅外線光譜儀可精密量測不同波段強度，並利用文獻提供之每區段 ($\sim 10nm$) 的 $R(\lambda)$ 值，均分各波長區間，以每 $\sim 10nm$ 為區間測量不同波長之光譜輻射強度 $W/(cm^2 \cdot nm)$ (E_λ) 及暴露劑量。

(4) 以 UV/Visible 光譜儀 USB2000 對波長介於 400~880nm 的光區光源暴露進行量測，以可攜式 NIR256-2.5 對於波長介於 860~1400nm 紅外光區光源暴露進行量測。當光源功率經視紫輻射參數加權積分加總如下式：如表 1

$$770nm < \lambda < 1400nm \quad E_{eff} = \sum E_\lambda \cdot R(\lambda) \Delta \lambda \leq 0.6 / \alpha \quad (\text{for } t > 10s)$$

$$770nm < \lambda < 1400nm \quad E_{eff} = \sum E_\lambda \cdot R(\lambda) \Delta \lambda \leq 5 / \alpha \cdot t^{1/4} \quad (\text{for } t < 10s)$$

E_{eff} : effective irradiance

$R(\lambda)$: Retina Thermal Hazard Function (隨波長改變)

α : apparent radiation source

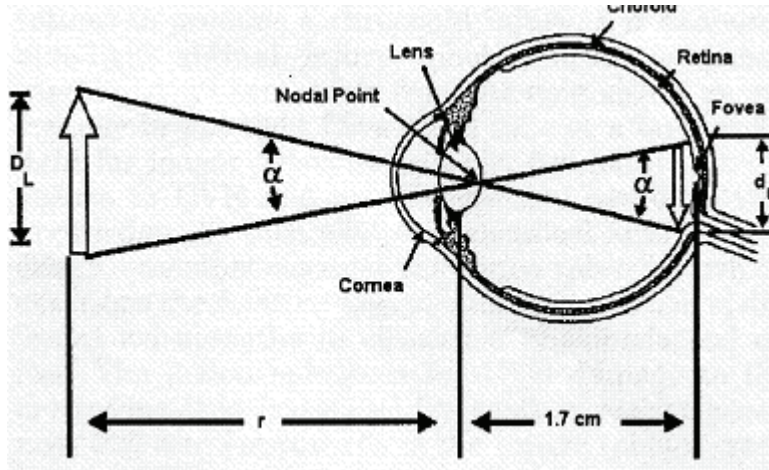


圖 7 A large retinal area can be illuminated by a covering beam focused at or near the eye's nodal point (approximately 17mm in front of the retina)

$$\alpha = dr/17 = D_L/r$$

dr : retinal image size (limited to 1.7mm)

$$E = \pi L_s \tau d_e^2 / 4 f^2 = 0.27 L_s \tau d_e^2 = 0.27 (0.6 / \alpha) \tau d_e^2$$

E : retinal irradiance (W/cm^2)

L_s : source radiance ($W/cm^2 \text{ sr}$)

f^2 : the effective focal length of the eye (1.7cm)

d_e : pupil diameter (cm)

τ : the transmittance of the ocular media (~90%)

若以低亮度之紅外線暴露進行評估，則 pupil diameter 等於 0.7，對 770~1400nm 的視網膜熱危害限制可表示如下：

$$\begin{aligned} E &= 0.27 (0.6 / \alpha) \tau d_e^2 = 0.27 (0.6 / \alpha) (0.9) (0.49) = 0.0714 / \alpha \\ &= 0.071 (17 / dr) \end{aligned}$$

若 $\alpha = 0.1$ 則限制輻射 = 6 $W/cm^2 \text{ sr}$ ；

或 retinal irradiance = 0.7 W/cm^2

E_λ 為光源量測經光譜分析儀軟體(OOIrrad, Ocean Optical Inc.)計量後之輻射功率，單位為 W/cm^2 。量測得光功率乘上暴露時間及表一參數與波長頻寬範圍（此為 10nm），進行加總後，可計得總紅外光輻射功率。

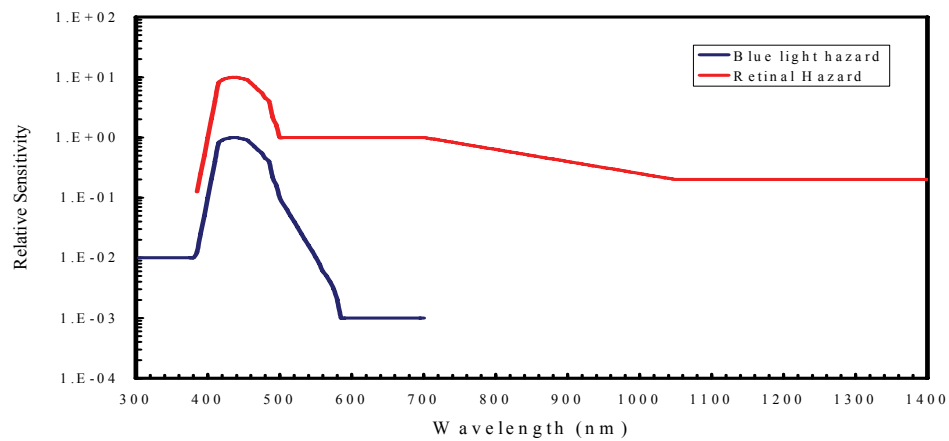


圖 8. 藍光輻射危害及視紫熱危害相對敏感參數曲線圖

表 1 藍光及視紫危害光譜權衡參數值

Wavelength (nm)	Blue-Light Hazard B(λ)	Retinal Hazard R(λ)	Wavelength (nm)	Blue-Light Hazard B(λ)	Retinal Hazard R(λ)
305	0.01	-	460	0.800	8.0
310	0.01	-	465	0.700	7.0
315	0.01	-	470	0.620	6.2
320	0.01	-	475	0.550	5.5
325	0.01	-	480	0.450	4.5
330	0.01	-	485	0.400	4.0
335	0.01	-	490	0.220	2.2
340	0.01	-	495	0.160	1.6
345	0.01	-	500	0.100	1.0
350	0.01	-	505	0.079	1.0
355	0.01	-	510	0.063	1.0
360	0.01	-	515	0.050	1.0
365	0.01	-	520	0.040	1.0
370	0.01	-	525	0.032	1.0
375	0.01	-	530	0.025	1.0
380	0.01	-	535	0.020	1.0
385	0.013	0.125	540	0.016	1.0
390	0.025	0.25	545	0.013	1.0
395	0.050	0.5	550	0.010	1.0
400	0.100	1.0	555	0.008	1.0
405	0.200	2.0	560	0.006	1.0
410	0.400	4.0	565	0.005	1.0
415	0.800	8.0	570	0.004	1.0
420	0.900	9.0	575	0.003	1.0
425	0.950	9.5	580	0.002	1.0
430	0.980	9.8	585	0.001	1.0
435	1.000	10.0	590	0.001	1.0
440	1.000	10.0	595	0.001	1.0
445	0.970	9.7	600~700	-	1.0
450	0.940	9.4	700~1050	-	$10^{[(700-\lambda)/500]}$
455	0.900	9.0	1050~1400	-	0.2

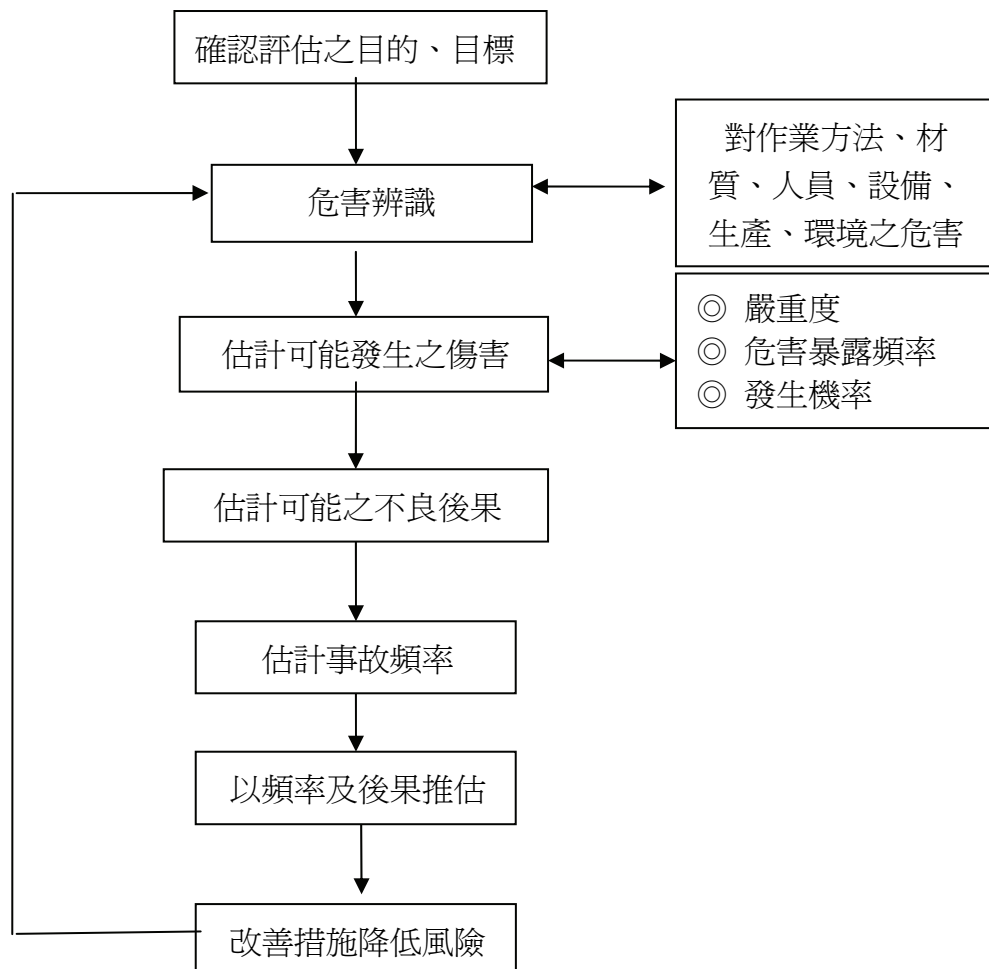
2. 進行步驟

- (1) 蒐集國內有關紅外線輻射危害法令規定。
- (2) 選幾家不同熔件溫度及不同鑄造材質測其波長、強度。
- (3) 以自行組裝之儀器進行可見光及紅外線暴露輻射強度量測，並以軟體分析曝露

之光譜輻射強度 $W/(cm^2 \cdot nm)$ 。

- (4) 利用已開發之軟體進行可見光及紅外線暴露劑量計算。
- (5) ACGIH 建議暴露劑量與本研究結果之比較。
- (6) 擬定可行且具體的可見光及紅外線作業現場之暴露劑量量測方法。輻射暴露劑量一般皆隨距離而改變，基本上將以作業時勞工眼睛與炙熱熔爐或澆鑄時與鐵水間可能之不同距離為量測基礎，量測此時之輻射強度作為與實驗室模擬時之基準，並據以提供防護眼鏡之選用建議。
- (7) 對紅外線作業現場進行風險評估。

本風險評估採用工作場所導向風險評估模式：



第四章紅外線測量與評估

第一節 紅外線測定

因紅外線範圍寬廣，本研究主要量測 770nm~3000nm 之紅外線強度量測，將此波段 770~1400nm 的強度(Irradiance)依其波長對應之 $S(\lambda)$ 值進行換算成有效輻射劑量 E_{eff} 對 Retina 進行暴露評估，將 770~3000nm 的全部能量對 Cornea and Lens 進行暴露評估。作業現場環境品質如表 2 所示。

針對非游離輻射紅外線暴露危害因子，進行紅外線暴露劑量量測方法之建立。

A. 紅外燈源燈管光輻射量測

可攜式紅外燈源燈管，測量不同距離的紅外線劑量與暴露評估。開啓紅外燈源燈管，架設寬頻光譜儀及光纖，依距離 50 cm 至 300 cm 記錄光輻射功率強度。感測時間訂為 100ms (0.1 second)，紅外光譜強度掃描波長範圍（770~3000nm 紅外光域；IRA、IRB）。紅外線強度隨距離變化趨勢如圖 9 所示，顯示紅外線強度與距離平方成反比。圖 10 顯示紅外燈管的輻射量對數值與距離呈現反比關係。

表 2 熔爐作業現場環境品質

電磁波 m G	107~461	100~0cm
溫度(°C)	28.2±3.8	0~300cm
相對溼度(%)	60.6±8.8	0~300cm
O ₂	20.36±0.14	0~300cm
O ₃ (ppb)	5±5	0~300cm
CO(ppm)	8.2±2.4	0~300cm
CO ₂ (ppm)	650±122	0~300cm
照度(LUX)	77±37 Lux	100cm 高；0~300cm

寬頻紅外線強度值與距離變化圖

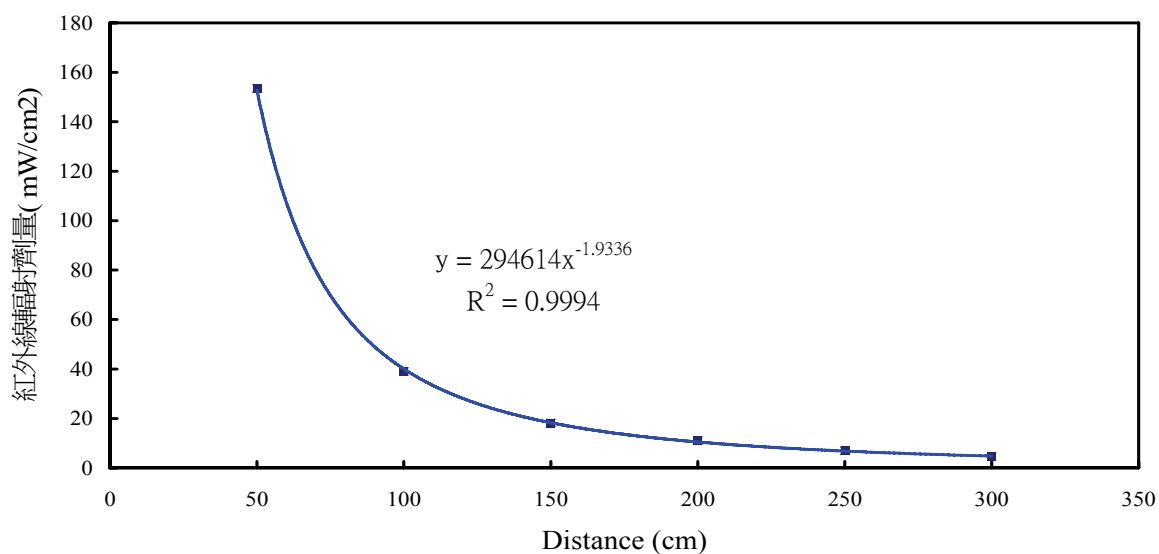


圖 9 紅外線強度隨距離變化趨勢圖

寬頻紅外線強度對數值與距離變化圖

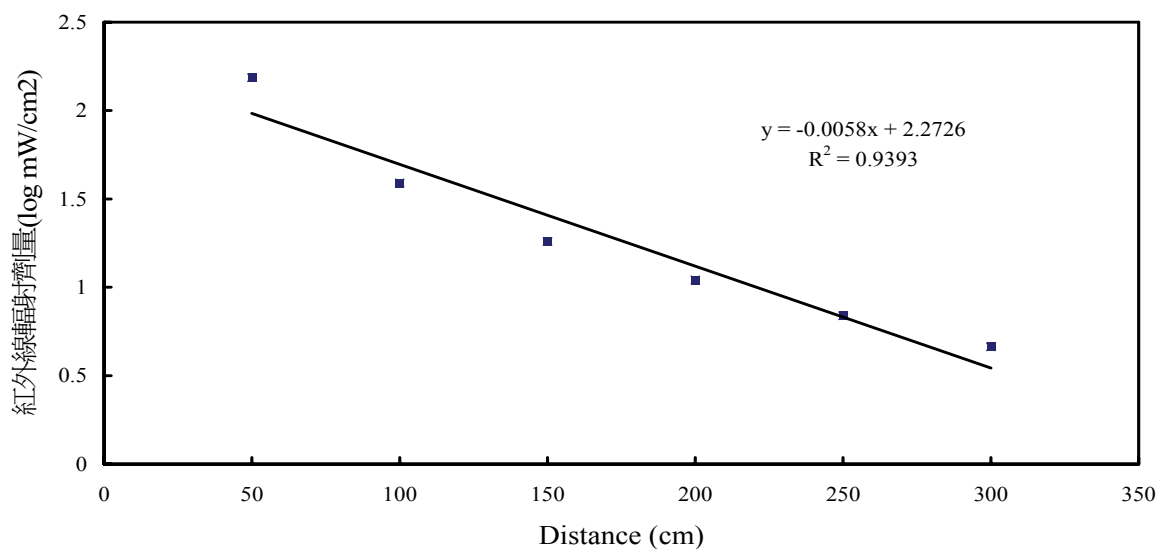


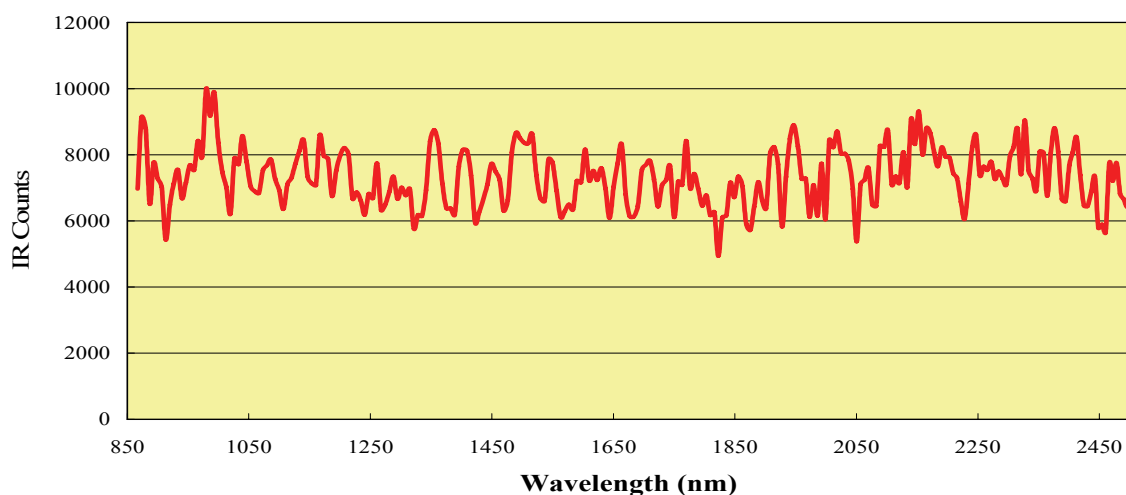
圖 10 寬頻紅外線強度對數值與距離變化圖

B. 紅外光譜特性分析

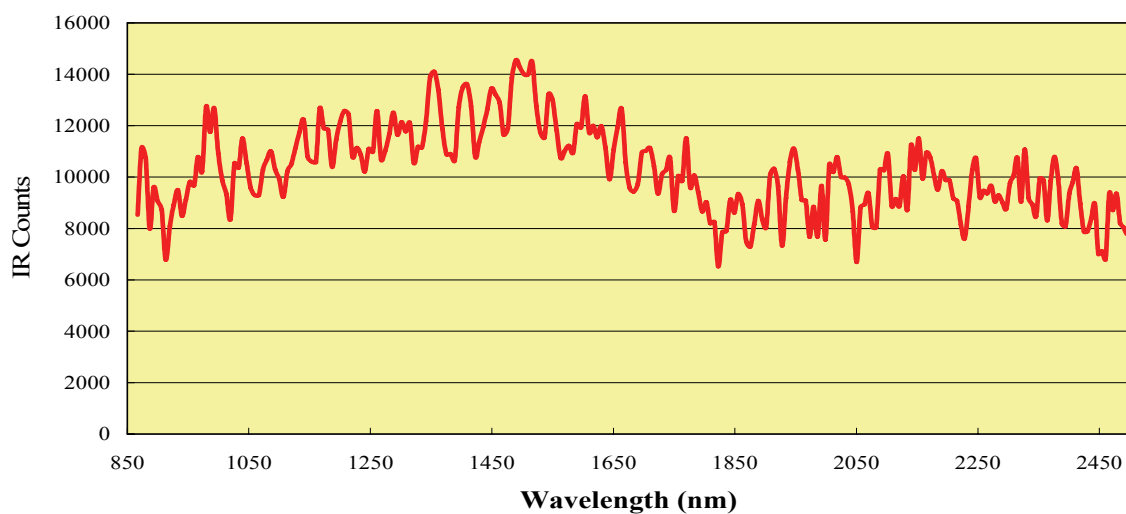
利用可攜式 NIR256-2.5 及標準光源發生器 (DH2000) 均為 Ocean Optic Inc. 製造之光學儀器，以每 10nm 波寬解析度測量熔爐的光輻射原始計量 Counts 與光輻射

功率強度，分析光源特性如圖 11，由圖可知鑄造業其紅外線強度主要分佈在 860~1800nm 之間。對於 IRC 部分則因為儀器無法分析而無法精確了解是否有輻射。儀器量測之輻射強度因為熔爐及澆鑄作業產生的紅外線為隨著溫度變化而呈現高低的輻射。每次作業因為澆鑄時間的需求，必須考慮冷卻的問題，而必須提高熔爐溫度，因此熔爐溫度並未固定，一般情形大約在 1200~1500℃ 之間。由紅外光譜特性分析看出溫度會增加紅外線強度，但對紅外線光譜圖特性並未有很大的影響。

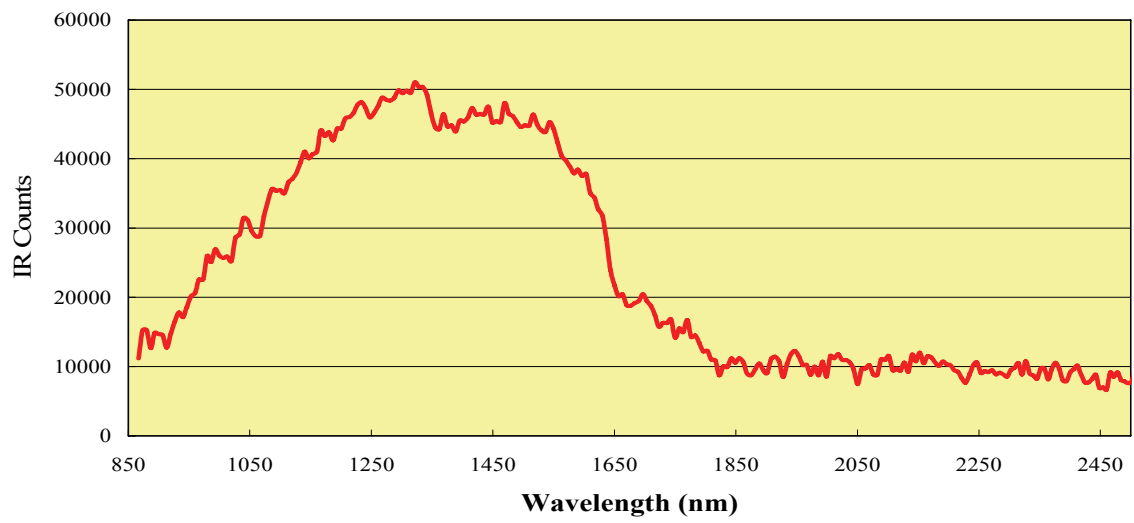
剛開始加料時50公分紅外線強度隨波長變化圖



加料時50公分紅外線強度隨波長變化圖



全鎔時50公分紅外線強度隨波長變化圖



50公分紅外線強度隨波長變化圖

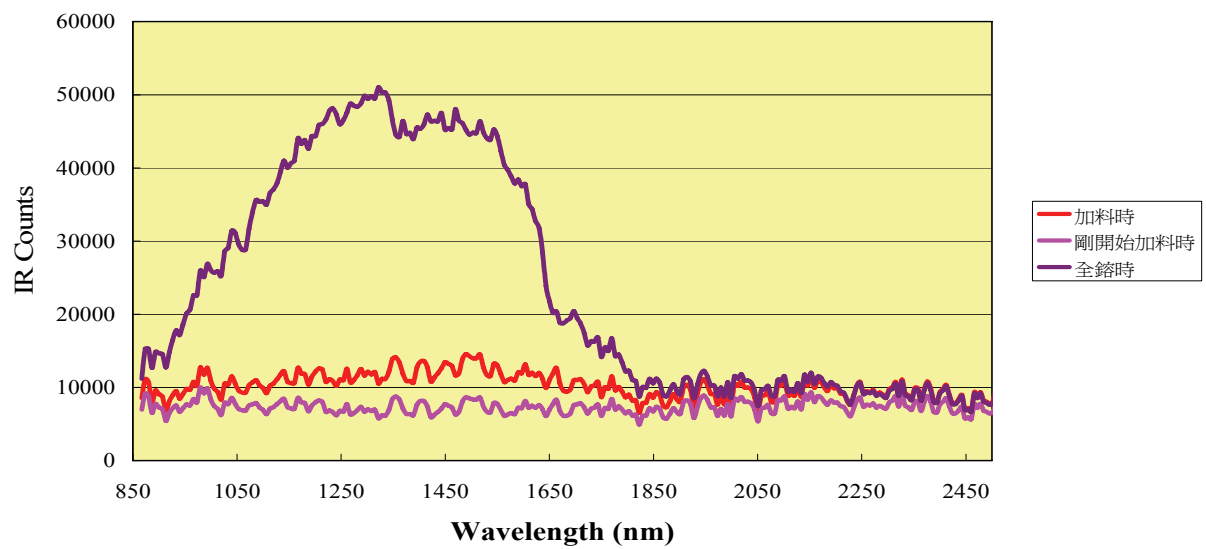


圖 11 熔爐紅外線輻射的光源特性分析

第二節 鑄造廠熔爐及澆鑄場所

針對國內可能具紅外線高劑量輻射之熔爐及澆鑄作業場所進行偵測。利用輻射光譜儀(Spectroradiometer)掃描記錄熔爐及澆鑄作業產生之紅外線，定性輻射圖譜並作強度積分計算。並以不同距離探究輻射的強度影響，及觀察熔爐及澆鑄作業時間圖譜的動態變化。

熔爐及澆鑄作業形式：高週波熔爐

測量距離：50 cm，100 cm，200 cm，300 cm，防護眼鏡 (高 100/距離 50 cm)遮蔽後。採樣規劃說明如圖 12；測量方式：感測頭直接對準光源。IR 光譜儀監測條件：0.1 秒/筆 紀錄。測量時間：5 秒連續記錄。儀器掃描積分波長：800 ~ 3000 nm。積分記錄形式：光源強度(mW/cm^2) v.s. 波長 (nm)。

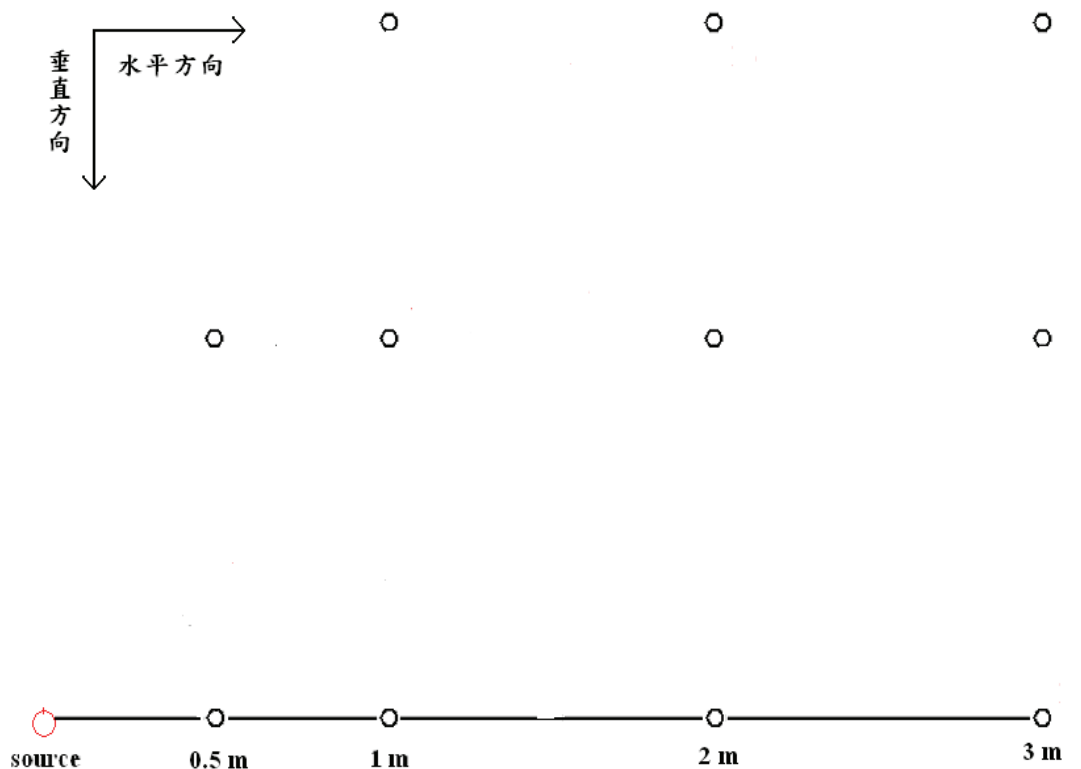


圖 12 採樣規劃說明

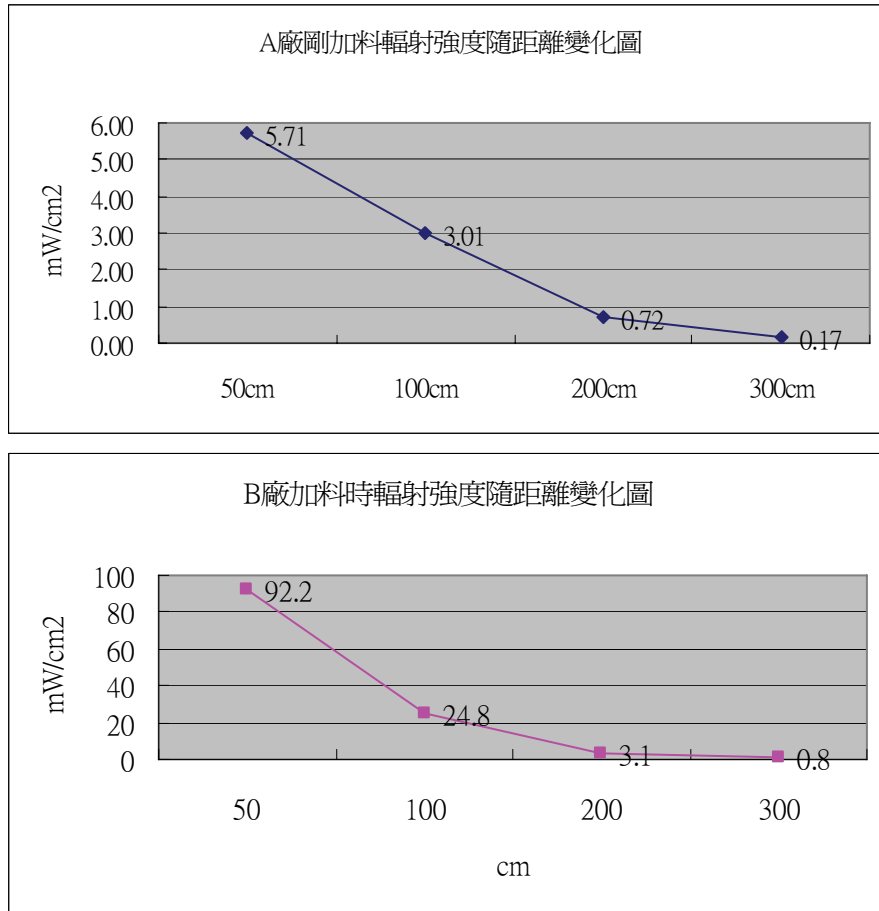


圖 13 熔爐加料時輻射強度與距離變化圖

熔爐及澆鑄作業散溢之紅外光源屬於非固定輻射源，如紅外燈源燈管之情形。熔爐及澆鑄作業產生的紅外線為隨著溫度變化而有不同強度的發射，利用多次光譜儀量測，始能擷取熔爐及澆鑄作業過程中，紅外光源不同強度的變化。如圖 13 顯示熔爐加料時輻射強度與距離變化，由於加料作業是連續式，必須不停覆蓋原料，不可以全熔再加料，將會導致噴濺現象造成傷害，因此此時輻射強度較低。圖 14 表示熔爐全熔時輻射強度與距離變化的狀況，圖 15 則是在不同工作狀況與熔爐距離 50 公分時輻射強度比較圖，儀器量測之輻射強度因為熔爐及澆鑄作業產生的紅外線隨著溫度變化而呈現高低輻射，但距離仍然為決定輻射強弱的因素，若有遮蔽物（如護目鏡）可以大量減低輻射暴露量。

進行熔爐及澆鑄作業過程紅外線輻射量測，需經過生物效應的有效輻射轉換，以明瞭其對人體的確切危害。由表 3 中可以發現熔爐及澆鑄作業在距離 100cm 處測量的有效輻射劑量很大，依 ICNIRP 的建議量最大容許暴露值祇有 $10\text{mw}/\text{cm}^2$ ，事實上

一般熔爐及澆鑄作業操作者距離是更短，若未有適當防護具，且能正確穿戴防護具，將造成熔爐及澆鑄作業操作者眼睛極大之傷害。

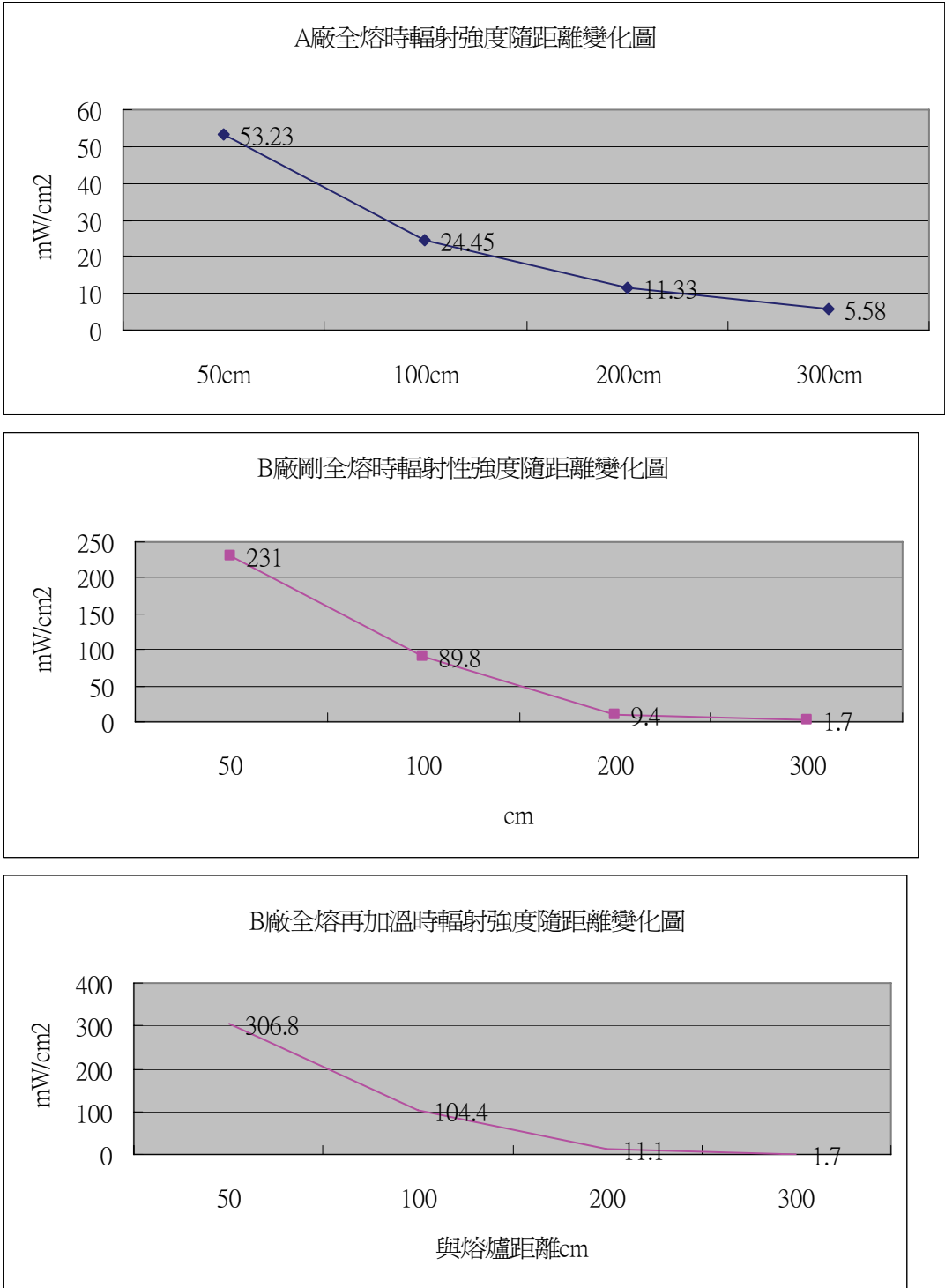


圖 14 熔爐全熔時輻射強度與距離變化圖

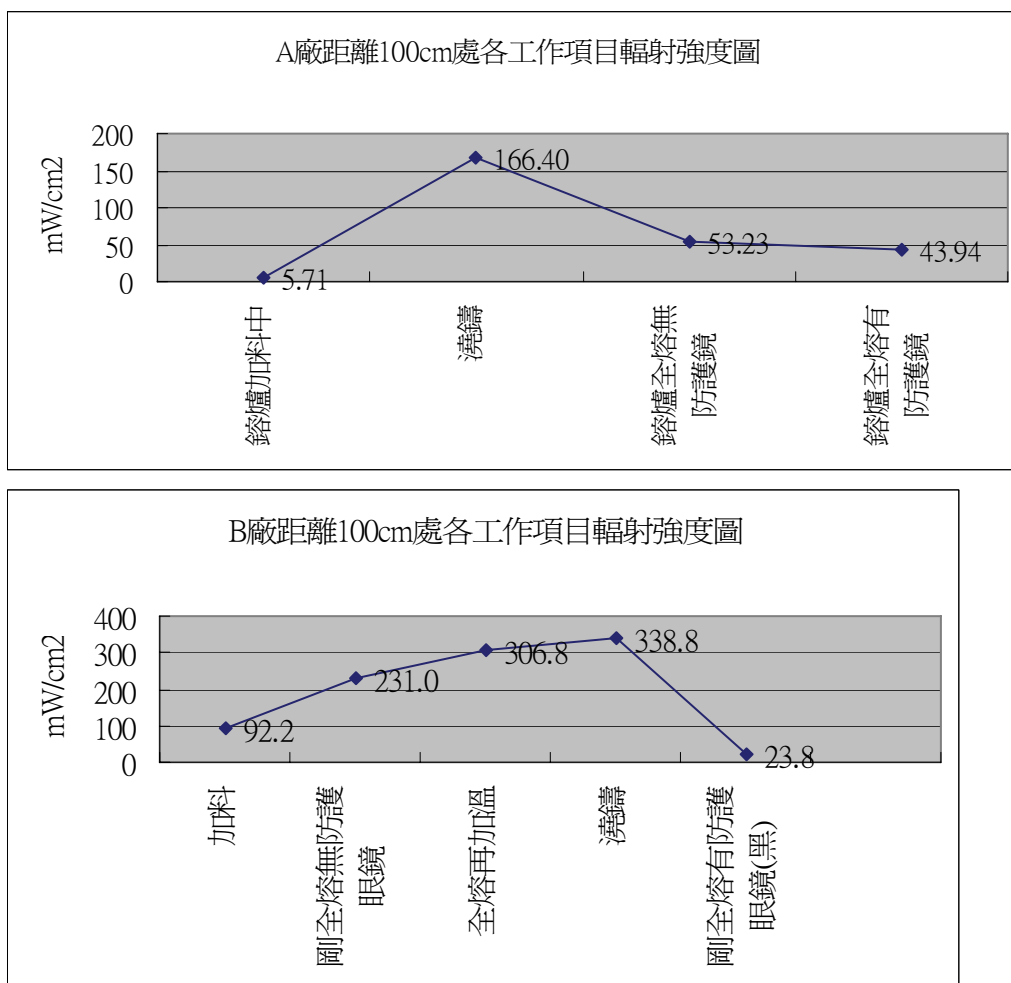


圖 15 與熔爐距離 100 公分各工作項目輻射強度比較圖

表 3 A 廠各工作項目與熔爐不同距離輻射強度量測值 (mW/cm²)

A 廠與熔爐距離	熔爐加料中	澆鑄	剛全熔無防護鏡	剛全熔有防護鏡 (透明)
50cm	5.71		53.23	43.94
100cm	3.01	166.40	24.45	
200cm	0.72	78.55	11.33	
300cm	0.17		5.58	
B 廠與熔爐距離	熔爐加料中	澆鑄	剛全熔無防護鏡	剛全熔有防護鏡 (黑)
50cm	92.2		231.0	23.8
100cm	24.8	338.8	89.8	
200cm	3.1		9.4	
300cm	0.8		1.7	

第三節紅外線作業現場進行風險評估

針對工作場所中可能因暴露危害因子之人員，應充分使其對衛生危害、風險評估與管理等方面有基本之認知。本年度希望能了解鑄造廠作業人員在職業衛生風險鑑別、評估與管理等各方面之認知與能力，內容包括：

- (1) 職業衛生風險評估與管理系統：原理、步驟、方法與其重要性。
- (2) 職業衛生危害鑑別：作業場所常見之職業衛生危害種類、暴露途徑、暴露嚴重性、與鑑別之方法。
- (3) 作業環境測定策略與管理：各種職業衛生危害之測定方法、採樣策略規劃與數據管理等。
- (4) 符合職業衛生風險評估與管理之各項要求，包括鑑別、評估與管理過程中，每個人所必須扮演的角色和負擔的責任。

一、資料收集

本年度將彙整鑄造業既有之危害鑑別與風險評估資料，篩選找出各種可能暴露到各種危害因子之作業類型、區域與人員，作為評估之準備。對於具有潛在暴露風險之部門，將針對工作場所中之各種職業衛生危害進行全面性的審視。統整各部門之調查結果，加上歷年作業環境測定之數據資料，以建立完整職業衛生風險評估之資料。

二、定性風險評估系統建立與風險管理

彙整前述收集之調查資料，可針對各危害因子進行定性風險評估，初步描繪廠內之職業衛生風險分布。作業場所中常見危害因子包括物理性因子與化學性因子兩類，其定性評估之參數分析方法茲詳述如下：

(1) 物理性因子參數分析

各部門依據一致的標準，針對工作場所中之非游離輻射(如磁場、紅外光與雷射等)以及熱環境等危害因子，建立定性之評比資料。評比標準將參考對應國內外相關職業暴露標準或指引進行設計，包括勞工安全衛生設施規則、美國政府工業衛生師協會(ACGIH)之容忍值(TLV-TWA)、美國輻射保護委員會(National

Council on Radiation Protection, NCRP)及 ICNIRP 等。

表 4 表 5 為紅外線定性評比範例，評比較高者(4~5)，視為不可接受之風險，應優先量測以確認其暴露實態(Exposure profile)，其餘評比較低之情況則可依需要隨機抽樣進行測定。此外，也應危害情境選用適當之量測方法與指標。Cornea & lens 之傷害受環境影響而有不同的暴露限制，如於 0℃ 其限制可提高至 40mw/cm²，10℃ 其限制可提高至 30mw/cm²，晶狀體溫度不可以超過 37℃。

表 4 Cornea and Lens 紅外線危害之定性評比範例

評比參考		定性風險描述
$\geq 1000s$	$t < 1000s$	
◆100 以上 mW/cm ²	◆ $\geq 2 \times 1.8t^{-3/4}$ W/cm ²	高度風險 不可接受之風險等級 需優先量測以確認危害性
◆50 以上，未滿 100 mW/cm ²	◆ $\geq 1.5 \times 1.8t^{-3/4}$ W/cm ²	中高度風險 不可接受之風險等級 需優先量測以確認危害性
◆30 以上，未滿 50 mW/cm ²	◆ $\geq 1 \times 1.8t^{-3/4}$ W/cm ²	中度風險 可接受之風險等級 需量測以確認危害性
◆10 以上，未滿 30 mW/cm ²	◆ $\geq 0.8 \times 1.8t^{-3/4}$ W/cm ²	中低度風險 可接受之風險等級 隨機量測以確認危害性
◆10 以下 mW/cm ²	◆ $< 0.8 \times 1.8t^{-3/4}$ W/cm ²	低度風險 可接受之風險等級 隨機量測以確認危害性

表 5 Retina 紅外線危害之定性評比範例

評比參考		定性風險描述
t > 10s	t < 10s	
$\blacklozenge \geq 2 \times 0.6 / \alpha$	$\blacklozenge \geq 2 \times 5 / \alpha \cdot t^{1/4}$	高度風險 不可接受之風險等級 需優先量測以確認危害性
$\blacklozenge \geq 1.5 \times 0.6 / \alpha$	$\blacklozenge \geq 1.5 \times 5 / \alpha \cdot t^{1/4}$	中高度風險 不可接受之風險等級 需優先量測以確認危害性
$\blacklozenge \geq 1 \times 0.6 / \alpha$	$\blacklozenge \geq 1 \times 5 / \alpha \cdot t^{1/4}$	中度風險 可接受之風險等級 需量測以確認危害性
$\blacklozenge \geq 0.8 \times 0.6 / \alpha$	$\blacklozenge \geq 0.8 \times 5 / \alpha \cdot t^{1/4}$	中低度風險 可接受之風險等級 隨機量測以確認危害性
$\blacklozenge < 0.8 \times 0.6 / \alpha$	$\blacklozenge < 0.8 \times 5 / \alpha \cdot t^{1/4}$	低度風險 可接受之風險等級 隨機量測以確認危害性

考量暴露能量之機率及嚴重性，以暴露危害評比(Exposure Hazard Rating, EHR)作為評估之指標，茲定義如下：

$$EHR = HR \times ER$$

HR：危害評比 (Hazard Rating)，反映暴露之嚴重性，若 Cornea & lens 與 Retina 紅外線危害之評比應該取評比較高者。HR 中暴露時間及暴露限制係 ICNIRP 建議之容許暴露時間與暴露限制，並根據現場觀察熔爐與澆鑄作業者大約每日工作時間 8~12 小時，但直接暴露於紅外線下之時間大約 2~3 小時，雖然暴露超過 1000 秒以上，但為間歇性暴露，我們根據現場觀察每次澆鑄時間最高不超過 200 秒，考量風險因此將 ICNIRP 建議暴露限制值定為中度風險較能符合現場情形。

另外若無任何反射面則作業人員背對（或未正對）紅外線發生源時其強度將急速下降，評估時可去除其暴露時間，但對於時量加權部分目前並無法評估，可能要先探討連續曝露與間歇性曝露差異後才能決定。目前暫定之參考評比標準如表 6 所示。

ER：暴露評比 (Exposure Rating)，反映暴露之機率，包含暴露時間與暴露防護(P)

等變項，參考評比標準如表 7 所示。

原則上高防護紅外線眼鏡能過濾 9 成以上紅外線，中防護紅外線眼鏡能過濾 7~9 成以上紅外線，低防護紅外線眼鏡能過濾 7 成以下紅外線。主要考量是現場最高暴露 $\sim 350\text{mW}/\text{cm}^2$ ，若 9 成以上過濾，則暴露值低於 $35\text{mW}/\text{cm}^2$ ，容許暴露時間可達到 200 秒以上，高於一般正常操作時之直視暴露時間。若 7 成以上過濾，則暴露值低於 $100\text{mW}/\text{cm}^2$ ，容許暴露時間可達到 45 秒以上，若 7 成以下過濾，則暴露值高於 $100\text{mW}/\text{cm}^2$ ，容許暴露時間低於 40 秒以下，對暴露之勞工相當不利。危害評比與暴露評比之各項參數，將依據其相關性，以相乘之矩陣方式運算，反映能量暴露之暴露危害評比。目前 ICNIRP 採取較為保守的評估態度，以瞳孔全開的 7mm diameter 作為評估的標準；如圖 16 表示瞳孔大小與亮度之關係，一般狀況大小為 $10\sim 20\text{mm}^2$ ，如圖 17 表示瞳孔從暗到亮、從亮到暗，放大與縮小的改變速度，瞳孔從暗到亮，瞳孔全開的 7mm 到 3mm 須時 5 秒，從亮到暗，3mm 到 6mm 須時 15 秒。但若近距離觀察物品也會使瞳孔變小；圖 18 為物理性因子危害評估矩陣。

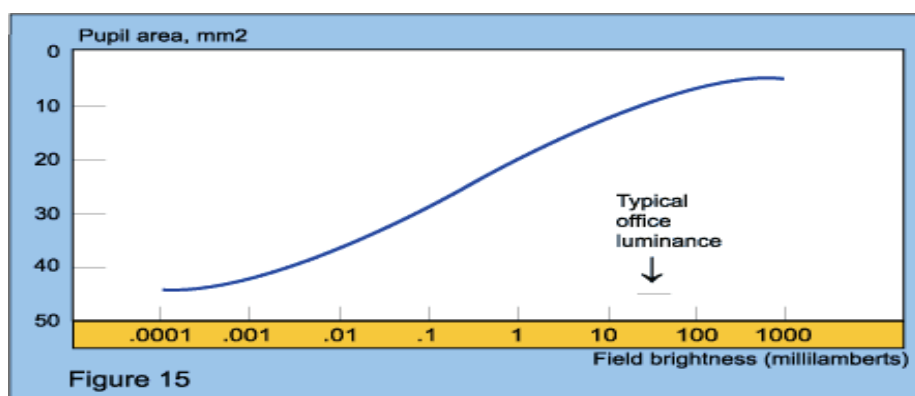


圖 16 The relationship between field luminance and pupil size, plotted with a linear scale of luminance values (Reeves, 1920). **(The graph can be changed to cd/m^2 by multiplying millilamberts by 3.183.)**

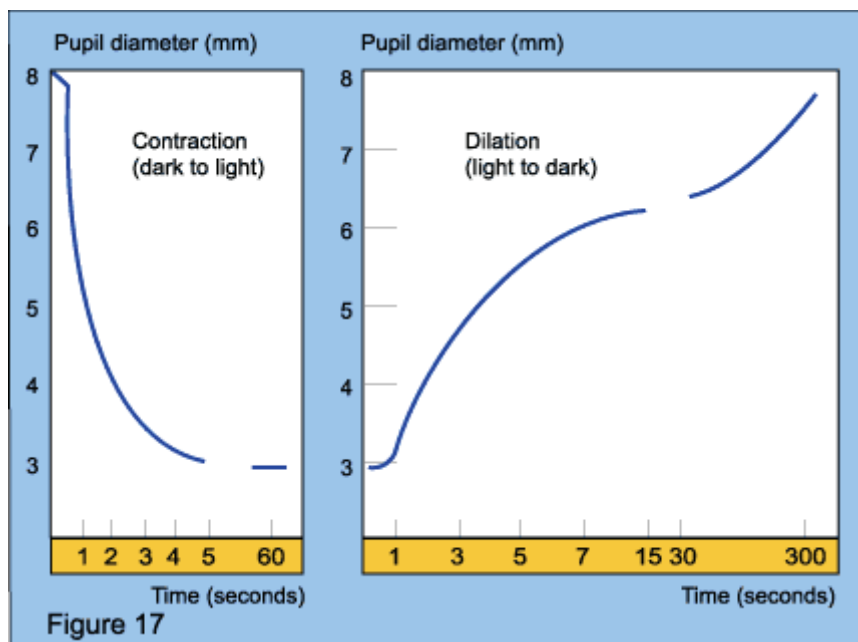


圖 17 Pupil dilation and contraction rates . **Change the size of the pupil when going from a dark field to a field of over 100 millilamberts and the reverse (Reeves, 1920).**

表 6 危害評比(HR)之分級標準

評分	Cornea and Lens (mW/cm ²)		Retina(mW/cm ²)	
	(t ≥ 1000s)	(t < 1000s)	(t > 10s)	(t < 10s)
5	≥ 100	≥ 2 × 1.8 t ^{-3/4}	≥ 2 × 0.6 / α	≥ 2 × 5 / α · t ^{1/4}
4	≥ 50 to < 100	≥ 1.5 × 1.8 t ^{-3/4}	≥ 1.5 × 0.6 / α	≥ 1.5 × 5 / α · t ^{1/4}
3	≥ 30 to < 50	≥ 1 × 1.8 t ^{-3/4}	≥ 1 × 0.6 / α	≥ 1 × 5 / α · t ^{1/4}
2	≥ 10 to < 30	≥ 0.8 × 1.8 t ^{-3/4}	≥ 0.8 × 0.6 / α	≥ 0.8 × 5 / α · t ^{1/4}
1	< 10	< 0.8 × 1.8 t ^{-3/4}	< 0.8 × 0.6 / α	< 0.8 × 5 / α · t ^{1/4}

表 7 暴露評比(ER)之分級標準

評分	環境溫度 (T)	照明 (L)	暴露防護 (C)
5	$\geq 40^{\circ}\text{C}$	< 50	無
4	$30 \sim < 40^{\circ}\text{C}$	$50 \sim < 100$	防噴濺眼鏡
3	$20 \sim < 30^{\circ}\text{C}$	$100 \sim < 200$	低防紅外線眼鏡
2	$0 \sim < 20^{\circ}\text{C}$	$200 \sim < 300$	中等防紅外線眼鏡
1	$< 0^{\circ}\text{C}$	≥ 300	高透明防紅外線眼鏡

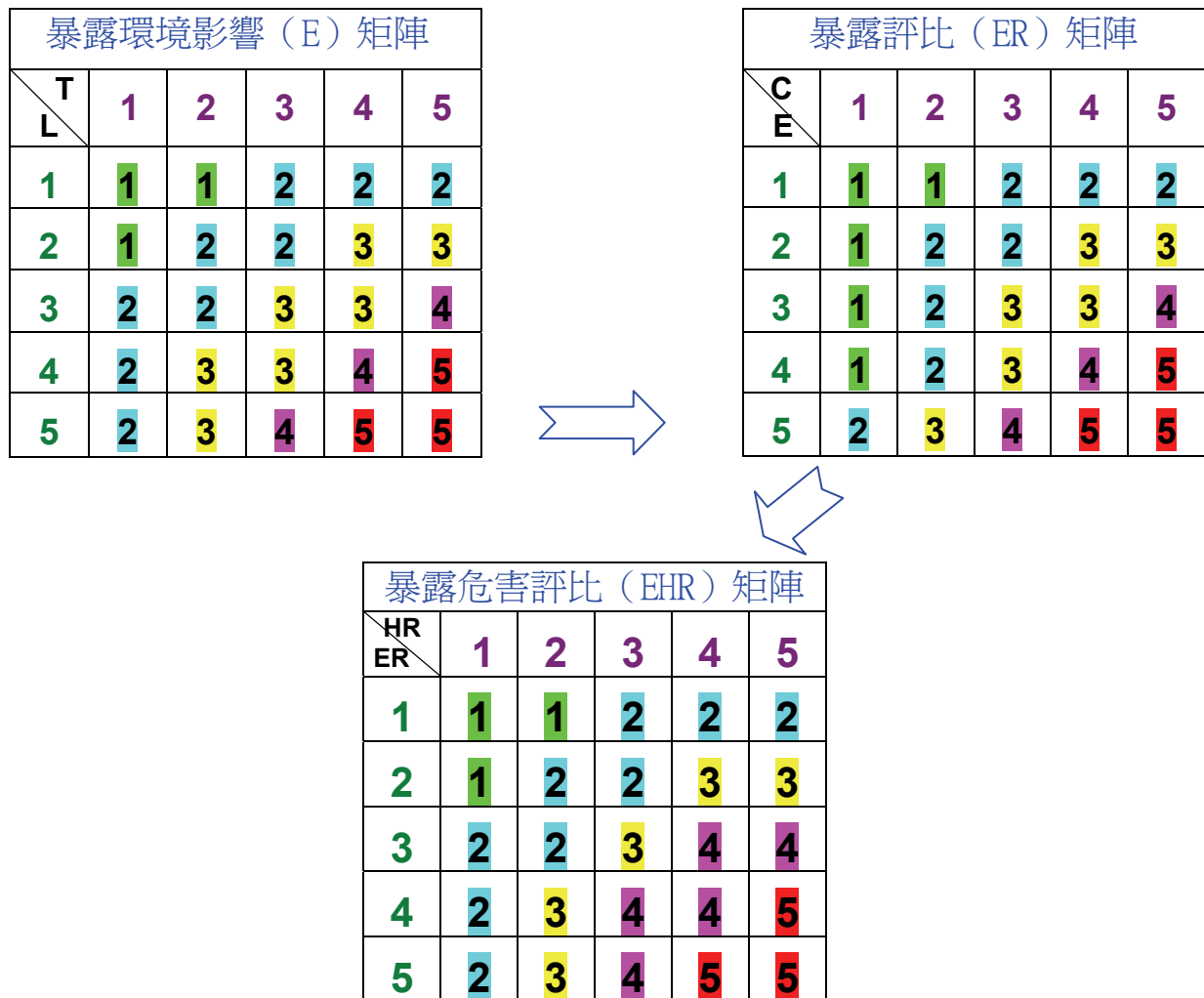


圖 18 物理性因子危害評估矩陣

第五章 結論與建議

第一節 結論

1. 利用紅外線分光光度測定儀(NIR-256)，標準光源發生器（DH2000），絕對光功率分析軟體，Optical fiber 光纖，可以建立對於紅外線輻射量測之標準方法。
2. 每次熔爐與澆鑄作業暴露時間皆遠大於 10 秒以上，在 Retinal 或 cornea and lens 的熱危害判斷上應小心評估，因為人眼睛若不舒服時會避開或轉向其他方向。是否因為工作需要而有真正直視熱源是評估暴露量的重點。
3. Retinal irradiance 由於與瞳孔有關，ICNIRP 為保護視網膜熱傷害，對紅外線暴露限制是以低照度暴露為原則，可以假設瞳孔全開的狀況進行評估，此時為最大可能危害，對於作業人員有較高之保障。熱危害的發生必須在眼睛可以很舒適的注視下才容易發生。但依目前所測量的輻射劑量大約介於 $160\sim340\text{mW/cm}^2$ ，皆小於 0.7W/cm^2 。
4. 對保護 cornea and lens 而言，雖然熔爐與澆鑄作業者每日工作時間 8~12 小時，但直接暴露於紅外線下之時間大約 2~3 小時，雖然暴露 1000 秒以上，但為斷斷續續暴露，因此建議可以提高暴露強度，我們根據觀察每次澆鑄時間大約小於 100 秒，則 100 秒可以容許暴露量為 57mW/cm^2 ，因此將 $30\sim50\text{ mW/cm}^2$ 設定為中度風險。45 秒可以容許暴露量為 100mW/cm^2 ，因此將 $50\sim100\text{ mW/cm}^2$ 設定為中高度風險。
5. 現場環境溫度會影響 cornea and lens 的暴露限制，一般降低溫度可以提高暴露限制。ICNIRP 建議 Cornea & lens 之傷害受環境影響而有不同的暴露限制，如於 0°C 其限制可提高至 40mw/cm^2 ， 10°C 其限制可提高至 30mw/cm^2 ，晶狀體溫度不可以超過 37°C 。
6. 由於現場澆鑄作業瞬間紅外線暴露強度超過 100mW/cm^2 ，且澆鑄時必須注視澆鑄口避免過量，對作業人員傷害較大，且現場大都無適當防護眼鏡，長期會對作業人員造成傷害。
7. 鐵水溫度愈高，紅外線輻射能量愈大，但不影響紅外線光譜的分佈。
8. 影響紅外線暴露評估有多項因素，利用風險矩陣作為風險評估的工具是一項值得

考慮的方式。

9. 熔鐵爐（cupola）為連續出鐵水作業，工作時間長，若未配戴紅外線防護鏡對眼睛造成極大的危害性。
10. 熔爐噸數不同，爐體高度設計不同，在溫度、作業方式及時間會有差異，通常體積大者紅外線暴露量較大。
11. 高效能紅外線防護眼鏡能遮蔽 9 成以上的紅外線輻射，具有良好的防護效果。
12. 目前並不十分清楚紅外線暴露是否有累積的效應或有回復之時間。

第二節建議

1. 工作現場亮度較低，工作人員瞳孔會放大，對視網膜有較大之熱危害，建議改善現場照明，降低作業人員危害暴露。
2. 目前調查發現現場作業人員有少數戴近視眼鏡，另外有少數會配戴防噴濺眼鏡外，幾乎都無任何眼睛防護配備，建議應要求澆鑄及熔爐作業人員一律配戴高效能紅外線防護眼鏡，降低作業人員熱危害暴露。
3. 因為工作現場照度較低，紅外線防護眼鏡一般為深色，會妨礙視線不方便作業，作業人員不喜歡配戴，建議使用高透光性的高效能紅外線防護眼鏡。
4. 作業人員使用手套應以防熱手套為主。
5. 澆鑄作業時盡量減少直視鐵水時間。
6. 加料完立即遠離熔爐，並減少觀察時間。
7. 直讀式紅外線輻射偵測器測量結果迅速，建議作業現場以此判斷紅外線輻射總量作為暴露評估及改善現場安全衛生管理。
8. 建議熔爐及澆鑄作業人員應於健康檢查中加強眼睛疾病之檢查。
9. 由於國內目前尚未對紅外線的暴露加以管制，國際上也多未立法管制，但對暴露紅外線所造成的傷害則均視為職業病，可考慮將此部分之傷病列入勞工保險給付項目。

第六章未來工作

1. 針對工業界各種可能紅外線暴露進行調查。
2. 依目前醫學研究發現應進行紅外線的皮膚暴露健康危害評估。
3. 針對藍光區光波段（Blue-Light Hazard）的健康危害，進行熱危害及視紫危害的評估(Thermal / Retina Hazard)。
4. 設計並規劃單一量測儀器或軟體，對光輻射劑量量測的直接轉換，並發展暴露評估限制等級，分類及暴露容許時間的即時警示。
5. 收集文獻資料判斷紅外線暴露是否有累積的效應或有回復之時間。

誌謝

本研究計畫參與人員除本所張組長振平、劉立文副研究員外，另包括中山醫學大學職業安全衛生學系劉宏信副教授與中華醫事學院工業安全衛生系藍崇翰助理教授等人，謹此敬表謝忱。

參考文獻

1. 行政院主計處 90 年普查資料。
2. 勞工委員會勞工安全衛生研究所，九十四年鑄造業職業衛生輔導計畫，林宜長、劉宏信、錢葉忠等。
3. 鑄造學，高立圖書有限公司，林文和、邱傳聖等
4. Pollak, VA and Romanchuk,KG (1980):The risk of retina damage from high intensity light sources. American Industrial Hygiene Association Journal 41(5):322-327.
5. Turner, HS (1970): The Interaction of Infrared Radiation with the Eye: A Review pf the Literature. Aviation Medicine Research Laboratory. Ohio State University, Ohio, USA. P1-80.
6. Wenzel, M. de (1786): Traite de la cataract avec des observations. In: textbook of Ophthalmology, 1954 V6, pp.6484 (ed. Duke-Elder, WS) Mosby Company, St. Louis, USA
7. Pitts, DG, Cullen, AP and Dayhaw-Barker,P.(1980):Determination of ocular threshold levels for infrared radiation cataractogenesis. US. DHHS Public Health Service. NIOSH Publ. No. 77-0042-7701, Cincinnati, OH, USA. Pp.1-55.
8. Geeraets, WJ and Berry ER (1968):Ocular Spectral Characteristics as Related to Hazards from Lasers and Other Light Sources. American Journal of Ophthamol. 66:15-20.
9. Clarke, AM; Geeraets WJ; Ham, WT Jr. (1969): Equilibrium Thermal Model for Retinal Injury from Thermal Sources. Applied Optometry. 8:1051-1054.
10. Pitts, DG and Cullen, AP (1981):Determination of infrared radiation levels for acute ocular cataractogenesis. Graefes Arch. Klin. Exp. Ophthalmol. 217:285-297.

11. Goldmann, H (1933): Genesis of Heat Cataract. Arch. Of Ophthalmol. 9:314.
12. Grundy, JW (1986):A simple method of occupational visual requirements. Optometry Today. October 11: pp. 684-688.
13. Oriowo OM, Chou BR, Cullen AP (1997):Glassblowers' ocular health and safety: optical radiation hazards and eye protection assessment. Ophthalmic and Physiology Optics. 17 (3):216-224.
14. Oriowo OM, Chou BR, Cullen AP, Robinson BE (1997): Occupational Exposure to optical radiation and the ocular health status of glassblowers. Ophthalmic and Physiology Optics. 17 (6):483-491.
15. 行政院勞工委員會 勞工安全衛生設施規則 中華民國八十五年十月
16. 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所防護具選用技術手冊—安全眼鏡勞工安全衛生技術叢書 IOSH84-T-004, 中華民國八十四年六月
17. Middleton, WEK (1960): Iris, 51, p.145
18. ICNIRP Guidelines ; (1997) Guidelines on Limits of Exposure to Broad-band Incoherent Optical Radiation (0.38 to 3 μ m). Health Physics Society. 73 (3) :539-554
19. David Sliney, Danielle Aron-Rosa, F Delori, F Fankhauser, R Landry, M Mainster, J Marshall, B Rassow, B Stuck, S Trokel, T Motz West and M Wolffe; (2005) Adjustment of guidelines for exposure of the eye to optical radiation from ocular instruments: statement from a task group of the ICNIRP. Applied Optics. 44 (11) :2162-2176.
20. David Sliney and Myron Wolbansht,(1980):Safety with Laser and other Optical Sources. Plenum Press, New Yprk and London, pp.65-151.
21. E. Lydahl, B. Philipson, (1984) Infrared radiation and cataract. I. Epidemiologic investigation of iron- and steel-workers, Acta Ophthalmol. 62, 961 – 975.
22. E. Lydahl, B. Philipson, (1984) Infrared radiation and cataract. II.

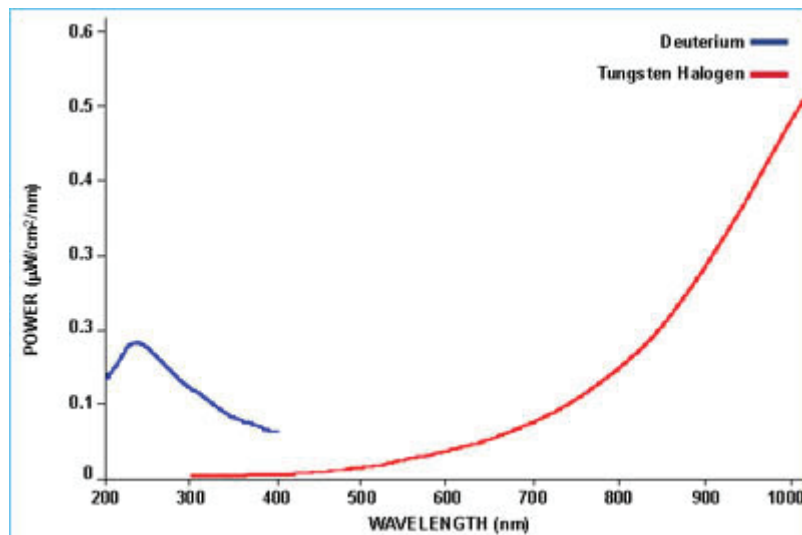
Epiradiation demilogic investigation of glass workers, *Acta Ophthalmol.* 62, 976 – 992.

23. Chou, BR (1982): Spectral transmittance of the ocular media of the thirteen-lined ground squirrel from 200 to 2500 nm. MSc Thesis, University of Waterloo, Ontario, Canada.

附錄



DH-2000-CAL Deuterium Tungsten Halogen Calibration Standard UV-NIR Calibration Source. In performing fast, radiometric calibrations from 210-1050 nm. NIST-traceable Calibration from 210-1050 nm. Provides absolute spectral intensity in $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ at the fiber port. Calibration Certificate. Calibration data is provided in paper and electronic formats, for use with the OOIIrrad-C Irradiance Software.



These spectral output graphs were taken separately for the deuterium (200-400 nm) and the tungsten halogen bulbs (400-1100 nm) to avoid a sharp line spectrum >400 nm in the deuterium trace

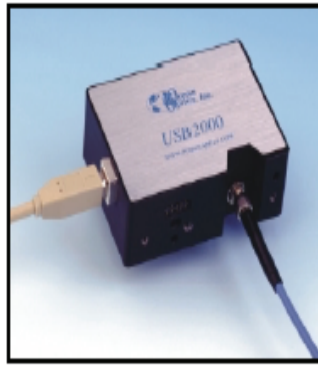


Figure 1-1: Ocean Optics USB2000 Fiber Optic Spectrometer

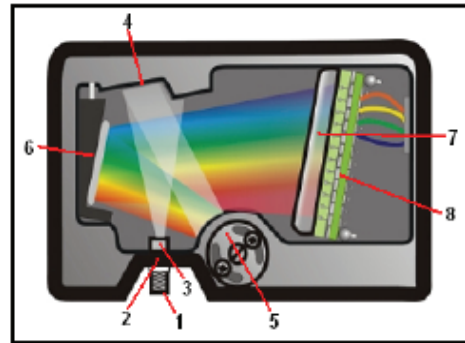


Figure 2-1: USB2000 Spectrometer with Components

Item	Name	Description
1	SMA Connector	The SMA Connector secures the input fiber to the spectrometer. Light from the input fiber enters the optical bench through this connector.
2	Slit*	The Slit is a dark piece of material containing a rectangular aperture, which is mounted directly behind the SMA Connector. The size of the aperture regulates the amount of light that enters the optical bench and controls spectral resolution. You can also use the USB2000 without a Slit. In this configuration, the diameter of the fiber connected to the USB2000 determines the size of the entrance aperture. Only Ocean Optics technicians can change the Slit.
3	Filter*	The Filter is a device that restricts optical radiation to pre-determined wavelength regions. Light passes through the Filter before entering the optical bench. Both bandpass and longpass filters are available to restrict radiation to certain wavelength regions. Only Ocean Optics technicians can change the Filter.
4	Collimating Mirror	The Collimating Mirror focuses light entering the optical bench towards the Grating of the spectrometer. Light enters the spectrometer, passes through the SMA Connector, Slit, and Filter, and then reflects off the Collimating Mirror onto the Grating.
5	Grating*	The Grating diffracts light from the Collimating Mirror and directs the diffracted light onto the Focusing Mirror. Gratings are available in different groove densities, allowing you to specify wavelength coverage and resolution in the spectrometer. Only Ocean Optics technicians can change the Grating.
6	Focusing Mirror	The Focusing Mirror receives light reflected from the Grating and focuses the light onto the CCD Detector or L2 Detector Collection Lens (depending on the spectrometer configuration).
7	L2 Detector Collection Lens*	The L2 Detector Collection Lens (optional) attaches to the CCD Detector. It focuses light from a tall slit onto the shorter CCD Detector elements. The L2 Detector Collection Lens should be used with large diameter slits or in applications with low light levels. It also improves efficiency by reducing the effects of stray light. Only Ocean Optics technicians can add or remove the L2 Detection Collection Lens.
8	CCD Detector (UV or VIS)	The CCD Detector collects the light received from the Focusing Mirror or L2 Detector Collection Lens and converts the optical signal to a digital signal. Each pixel on the CCD Detector responds to the wavelength of light that strikes it, creating a digital response. The spectrometer then transmits the digital signal to the OOIBase32 application.



絕對光功率校正(absolute irradiance Calibration)

1. 準備標準光源，及標準光源校正檔案，並先讓光源暖機 20 分鐘。裝置好光學路徑，包含光纖與 CC3 感測探針。
2. 在 Scope Mode 下設定積分時間(500~2000ms)，使光譜偵測最大值落於 3500 counts 至 4000 counts 之間。
3. 關閉”Scan” 鈕，點選”Calibration/Absolute Irradiance”，將開啓絕對光源功率校正視窗(Absolute irradiance calibration window)
4. 啓動標準光源檔案，分別將可見光及紫外光校正絕對光功率光源檔儲存於預設之校正檔案，並於完成後，進入 UV/VIS Calibration 合併檔的校正。
5. 開啓點選”Save UV/VIS Calibration” 合併檔，作合併檔的儲存。如僅需紫外光源可逕行校正 UV 檔，一般以 UV/VIS 合併檔共同校正儲存。
6. 返回光功率校正視窗，點選”Active Spectrometer Calibration File” 啓動 UV/VIS 合併校正檔，並將自動於量測時，對光源功率即時計算轉換。
7. 量測光源強度時，可依據 Spectral Graph Mode 的形式，量測光源的 Counts，或切換至 $\mu\text{W}/\text{cm}^2/\text{nm}$ 的光功率強度偵測，其光功率強度即是利用上述絕對光功率校正程序，設定的轉換參數進行的讀值計算。並且以標準光源發生器(DH2000)的校準光源校正，該標準光源發生器的校正容許時間為每 100 小時，需再經由 NIST 認證的單位進行在校準，並且需要在每一次進行光源校正後，紀錄標準光源的使用時間。
8. 光譜分析儀經絕對光源功率校正後，量測光強度約可進行 3~4 個月（視使用頻度），之後需再進行校正。

光源亮度/強度檢測操作程序

1. 開啓電腦，連接 USB2000 光譜分析儀及光纖與 CC3 感測探頭。
2. 啓動 OOIrrad (Ocean Optical Inc. Irradiance)軟體，初始硬體設定時，需將各光譜分析儀型號載入（每一 USB2000 分析儀有其特殊序號，因出廠光譜解析校正不同）。
3. 光譜分析儀參數設定，在資料記錄圖表” Log/Chart”，可點選每次掃描計算的資料存入指定的路徑檔案。該軟體可以即時連續記錄，視設定的積分時間，可以進行光源動態變化的監測記錄。
4. 依據 Spectral Graph Mode 的形式，可選擇亮度及光功率量測(Irradiance Measurement)，Scope 模式爲偵測器之原始訊號，以 Counts 顯示光源亮度，需調至 $\text{W/cm}^2/\text{nm}$ 模式（先經絕對光源校正），始能顯示光源功率數值，該軟體可提供八種不同光源數值記錄：Lumen，Lux，Candela 在可見光區域 (380~780nm);與 Radiometric values: Joule，Watt， Joule/cm^2 ， Watt/cm^2 及 dBm。其光源數值均需指定計算的光譜區域範圍，儀器軟體可進行直接計量，並即時顯示記錄。
5. 設定好各參數後，開啓 Scan 及 Analysis，在 Scan 鈕的選項，可選擇單一 (Single)掃描或連續(Cont.)掃描，啓動 Analysis，即會計算分析所取得的光譜訊號，並記錄儲存各項光源數值。
6. 實際掃描之光譜範圍 400~880nm，再與 NIR-256 光譜範圍 860~2550nm 結合，d 可以判斷 770~1400nm 的絕對光強度。

鑄造業紅外線暴露劑量的評估與管理

著者：張振平、劉立文

出版機關：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

221 台北縣汐止市橫科路 407 巷 99 號

電話：02-26607600 <http://www.iosh.gov.tw/>

出版年月：中華民國 96 年 3 月

版（刷）次：初版 1 刷

定價：200 元

展售處：

國家書坊台視總店

<http://www.govbooks.com.tw/>

台北市松山區八德路三段 10 號 B1

電話：02-25781515#643

行政院勞工委員會員工消費合作社

台北市大同區延平北路二段 83 號 9 樓

電話：02- 85902770、85902794

五南文化廣場

台中市區中山路 6 號

電話：04-22260330

- 本書同時登載於本所網站之「出版中心」，網址為 <http://www.iosh.gov.tw/>。
- 本所保留所有權利。欲利用本書全部或部分內容者，須徵求行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所同意或書面授權。

【版權所有，翻印必究】

GPN: 1009600665