



# 勞工安全衛生研究報告

## 職場低頻電磁場(波)之個人暴露 評估方法比較

### Comparison of Methods Used to Assess Personal Exposure to Low-Frequency Electromagnetic Field/Waves in Workplaces

職場低頻電磁場(波)之個人暴露評估方法比較



行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所



行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

ISBN:97898603-1884-5



GPN:1010100410  
定價:300元

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所





# 勞工安全衛生研究報告

## 職場低頻電磁場(波)之個人暴露 評估方法比較

### Comparison of Methods Used to Assess Personal Exposure to Low-Frequency Electromagnetic Field/Waves in Workplaces

職場低頻電磁場(波)之個人暴露評估方法比較



行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所



行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

ISBN:97898603-1884-5



GPN:1010100410  
定價:300元

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

職場低頻電磁場(波)之個人暴露  
評估方法比較

**Comparison of Methods Used to Assess  
Personal Exposure to Low-Frequency  
Electromagnetic Field/Waves in  
Workplaces**

職場低頻電磁場(波)之個人暴露  
評估方法比較

**Comparison of Methods Used to Assess  
Personal Exposure to Low-Frequency  
Electromagnetic Field/Waves in  
Workplaces**

研究主持人：林桂儀、李中一

計劃主辦單位：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 100 年 3 月 4 日至 100 年 12 月 20 日

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

中華民國 101 年 3 月



# 摘要

本計劃擬開發職場低頻電磁場之暴露評估模式，以供未來評估不同工作場所之工作者的低頻電磁場暴露概況。以已發表之職場低頻電磁場暴露評估方法之相關文獻為依據，擬定本計劃之工作者暴露矩陣採樣方法，並進行工作現場之環境與個人暴露量測。本研究於北中南共 11 個廠區內，進行 22 場次之環境瞬間測量，同時於工作期間，徵詢 104 位員工，進行其工作期間內的個人連續偵測，並要求其記錄該工作時段之工作日誌。將職場環境測量值配合工作日誌之紀錄估算每位參與者之個人暴露量後發現，以環境量測值所估算之平均數及最大值與個人隨身測量之平均值及最大值間達顯著的正相關性(Pearson correlation coefficient  $r = 0.437$  與  $0.721$ )；進一步以 Intraclass correlation coefficient (ICC)分析，發現兩種暴露評估取得之最大值有最高的正相關性(ICC =  $0.258$ )。成對樣本 t 檢定結果發現，以環境測量值估計個人暴露量之最大值將被低估  $72.24 \text{ mG}$  ( $p < 0.01$ )，但最小值則將被高估  $7.29 \text{ mG}$  ( $p = 0.04$ )。將個人暴露估計值與個人隨身測量值分別以  $2 \text{ mG}$  及  $4 \text{ mG}$  為切點分組，比較此二種量測方式的一致性，發現在算術平均數之一致性(Kappa%)達  $56.7\%$ ( $<2 \text{ mG}$  vs.  $\geq 2 \text{ mG}$ )與  $58.9\%$ ( $<4 \text{ mG}$  vs.  $\geq 4 \text{ mG}$ )。本研究數據顯示，利用工作暴露矩陣所獲得的工作者低頻磁場暴露數值與連續測量數據間之一致性屬於中等；因瞬間測量次數有限，且受測者填寫工作時間記錄表之完整性也可能受到限制，因此工作暴露矩陣無法測量到較極端的最大值與最小值的結果；往後研究可依據此計劃之測量方法，考慮增加瞬間環境測量次數，進行現場量測工作以評估工作者在各種不同的職業環境低頻電磁場之暴露情形。

關鍵詞：低頻電磁場、暴露評估、工作暴露矩陣

## Abstract

This study aimed to develop an occupational exposure assessment model to estimate the low-frequency electromagnetic fields (EMF) exposures for workers in different workplaces. Baed on reviewing all the related literatures regarding the occupational exposure assessment methods of low-frequency electromagnetic fields, the measurement strategy was established. One hundred and four (104) employees from 11 worksites participated in this assessment study. The participants were asked to wear a personal EMF monitor on the waist for 8 hours and complete a preformatted logbook recording their activities during the measurement period. The instantaneous measurements low-frequency EMF of working environments were performed in these 11 worksites for twice per day. The estimated personal EMF values were calculated by matching the logbook record with the results of environmental measurements. Both the estimated personal EMF mean value and maximum value were significantly positively correlated with those values of personal measurements (Pearson correlation coefficient  $r = 0.437$  and  $0.721$ ). The intraclass correlation coefficient (ICC) analysis also demonstrated a significant positive correlation between two maximum values (estimated vs. measured,  $ICC = 0.258$ ). Paired t-test illustrated that the maximum personal EMF exposure would be underestimated for  $72.24$  mG ( $p < 0.01$ ) and the minimum personal EMF exposure would be overestimated for  $7.29$  mG ( $p = 0.04$ ) if the two extreme exposure values were calculated from the environmental measurement results. To investigate the consistency of these two personal exposure measurement strategies, the estimated personal exposure values and personal monitoring results were grouped by the cutoff points of  $2$  mG or  $4$  mG respectively. The results indicated that the consistency (Kappa %) of the arithmetic means were  $56.7\%$  ( $<2$  mG vs.  $\geq 2$  mG) and  $58.9\%$  ( $<4$  mG vs.  $\geq 4$  mG). The personal monitoring was a continuous measurement and the environmental measurement was an instantaneous measurement. Due to the different measuring pattern of these two monitoring data and the quality of the logbook information, the estimated personal exposure values might not be able to represent the extreme values (maximum or minimum) of the personal exposure profiles. The future research can apply this environmental measurement strategy with the personal work logbook to investigate the occupational exposure profiles of the low-frequency electromagnetic fields for different worksites.

Key Words: Extremely low frequency electromagnetic fields, Exposure assessment, Job exposure matrix



# 目錄

摘要.....	i
Abstract.....	ii
目錄.....	iii
圖目錄.....	iv
表目錄.....	vi
第一章 計畫概述.....	1
第一節 緒論.....	1
第二節 計劃目的.....	4
第二章 實施方法及步驟.....	5
第一節 低頻電磁場之個人暴露測量(評估)方法相關文獻.....	5
第二節 專家會議.....	12
第三節 工作環境測量.....	13
第四節 個人隨身測量.....	14
第五節 個人低頻電磁場暴露估計.....	16
第六節 工作暴露矩陣之製作.....	17
第七節 統計分析.....	18
第三章 實施結果.....	19
第一節 工作環境測量結果.....	19
第二節 個人隨身測量結果.....	44
第三節 工作環境測量之效度評估.....	53
第四節 工作暴露矩陣.....	60
第五節 量測方法檢討與建議.....	63
第四章 結論與建議.....	64
第一節 結論.....	64
第二節 建議.....	64
誌謝.....	65
參考文獻.....	66
附件.....	69

# 圖目錄

圖 1 醫院藥局一般作業環境測量點分佈圖	10
圖 2 醫院作業環境測定測量點分佈圖	11
圖 3 個人低頻電磁場估計值參數計算範例	16
圖 4 廠區一辦公室測量點與讀值分佈	20
圖 5 廠區一影印室測量點與讀值分佈	20
圖 6 廠區二管理室(詢問台)測量點與讀值分佈	21
圖 7 廠區二警衛室測量點與讀值分佈	22
圖 8 廠區二控制室測量點與讀值分佈	22
圖 9 廠區二辦公室(一)測量點與讀值分佈	23
圖 10 廠區二辦公室(二)測量點與讀值分佈	23
圖 11 廠區二辦公室(三)測量點與讀值分佈	24
圖 12 廠區二辦公室(四)測量點與讀值分佈	24
圖 13 廠區二辦公室(五)測量點與讀值分佈	25
圖 14 廠區三研究室測量點與讀值分佈	26
圖 15 廠區三控制室測量點與讀值分佈	26
圖 16 廠區三品管實驗室測量點與讀值分佈	27
圖 17 廠區三生產線測量點與讀值分佈	28
圖 18 廠區四生產線(一)測量點與讀值分佈	29
圖 19 廠區四生產線(二)測量點與讀值分佈	29
圖 20 廠區四生產線(三)測量點與讀值分佈	30
圖 21 廠區四生產線(四)測量點與讀值分佈	30
圖 22 廠區四辦公室測量點與讀值分佈	30
圖 23 廠區五辦公室測量點與讀值分佈	31
圖 24 廠區六小型射出成型機測量點與讀值分佈	32
圖 25 廠區六滾輾機測量點與讀值分佈	32
圖 26 廠區六大型射出成型機測量點與讀值分佈	33
圖 27 廠區六熱壓成型機測量點與讀值分佈	33
圖 28 廠區六 PU 灌注機測量點與讀值分佈	33
圖 29 廠區六 CNC 車床機測量點與讀值分佈	34
圖 30 廠區七辦公室(一)測量點與讀值分佈	35
圖 31 廠區七辦公室(二)測量點與讀值分佈	35
圖 32 廠區七辦公室(三)測量點與讀值分佈	36



圖 33	廠區八射出成型機(一)測量點與讀值分佈	36
圖 34	廠區八射出成型機(二)測量點與讀值分佈	36
圖 35	廠區八滾輾機測量點與讀值分佈	37
圖 36	廠區八熱壓成型機測量點與讀值分佈	37
圖 37	廠區八修邊機測量點與讀值分佈	37
圖 38	廠區九鍍膜機測量點與讀值分佈	38
圖 39	廠區九濕蝕刻機測量點與讀值分佈	39
圖 40	廠區九擴散機測量點與讀值分佈	39
圖 41	廠區九電路印刷機(鏈路燒結)測量點與讀值分佈	41
圖 42	廠區十切片機測量點與讀值分佈	42
圖 43	廠區十長晶爐測量點與讀值分佈	43
圖 44	廠區十一實驗室測量點與讀值分佈	44

# 表目錄

表 1 工作暴露矩陣(一)	7
表 2 工作暴露矩陣(二)	8
表 3 一般作業環境測量密度變化	11
表 4 個人低頻電磁場估計值參數計算範例	17
表 5 受測事業單位量測資訊	19
表 6 個人隨身測量結果描述性統計(n = 104)	45
表 7 廠區一之個人隨身測量結果描述性統計(n = 10)	45
表 8 廠區二之個人隨身測量結果描述性統計(n = 10)	46
表 9 廠區三之個人隨身測量結果描述性統計(n = 10)	46
表 10 廠區四之個人隨身測量結果描述性統計(n = 10)	47
表 11 廠區五之個人隨身測量結果描述性統計(n = 10)	47
表 12 廠區六之個人隨身測量結果描述性統計(n = 10)	48
表 13 廠區七之個人隨身測量結果描述性統計(n = 10)	48
表 14 廠區八之個人隨身測量結果描述性統計(n = 10)	49
表 15 廠區九之個人隨身測量結果描述性統計(n = 10)	49
表 16 廠區十之個人隨身測量結果描述性統計(n = 10)	50
表 17 廠區十一之個人隨身測量結果描述性統計(n = 4)	50
表 18 受測對象短時間個人隨身測量值與 8 小時個人隨身測量值之統計參數 一致性檢定	52
表 19 受測對象個人暴露估計值與個人隨身測量值之統計參數 pearson correlation coefficient 相關性檢定(n = 104)	54
表 20 受測對象個人暴露估計值與個人隨身測量值之統計參數 spearman's rank correlation coefficient 相關性檢定(n = 104)	55
表 21 個人暴露估計值與個人隨身測量值之統計參數 intraclass correlation coefficient 一致性檢定(n = 104)	56
表 22 受測對象個人暴露估計值與個人隨身測量值之統計參數成對樣本 t 檢 定(n = 104)	57
表 23 受測對象個人暴露估計值與個人隨身測量值之「算數平均數」一致性 (n = 104)	58
表 24 受測對象個人暴露估計值與個人隨身測量值之「最大值」一致性(n = 104)	59
表 25 工作暴露矩陣	61



# 第一章 計畫概述

## 第一節 緒論

科技的腳步進入資訊時代以後，人類的生活漸漸與電子產品變得密不可分，而完備且完善的供電系統也在其中扮演相當重要的角色。當人們享受著電子產品所提供的方便性時，卻往往忽略圍繞在生活環境四周的電力系統產生的極低頻電磁場(波)(extremely-low-frequency electromagnetic fields/wave, ELF/EMF)所可能發生的健康危害。雖然全球對於極低頻電磁場所產生的健康危害目前仍未有定論，但自 1979 年，美國 Wertheimer 與 Leeper 兩位學者發現居住於高電流排列輸配電線路附近的兒童，其罹患癌症的風險顯著高於一般兒童之後[1]，針對極低頻電磁場所可能產生的健康危害已成為流行病學的研究趨勢，目前已有許多的研究結果一致發現，兒童暴露於極低頻電磁場與罹患白血病有顯著的相關性，而在職業流行病學領域，Kheifets 等學者於 2008 年針對過去職業暴露極低頻電磁場的研究進行統合分析(Meta-analysis)，發現暴露極低頻電磁場與罹患白血病及腦癌的危險性顯著增加[2]。

過去有相當多的職業流行病學研究職場暴露極低頻電磁場與白血病及腦癌之間的相關性。Gilman 等學者於 1985 年進行病例對照研究發現，暴露極低頻電磁場的礦工罹患白血病的危險性顯著增加；Lin 等學者於 1985 年針對 951 名死於腦癌的個案進行病例對照研究，結果發現，曾參與電力設備相關的工作者，其罹患腦癌的比例較高，且較高的極低頻電磁場暴露亦顯著增加罹患腦癌的風險。Miham 在 1985 年針對電力公司員工的研究指出，許多癌症的標準化死亡比皆顯著增加，其中腦癌之標準化死亡比為 123( $p < 0.05$ )，白血病標準化死亡比為 136( $p < 0.01$ )[3]；Floderus 等學者於 1993 年的病例對照研究發現，高暴露組罹患白血病與腦瘤的危險性 OR 為 3.0(1.6-5.8)與 1.4(0.9-2.1)[4]；Thériault 等學者於 1994 年的研究顯示，過去職場累積暴露量達  $3.1\mu\text{T}$  其罹患急性非淋

巴白血病的危險性 OR 為 2.41(1.07-5.44)、急性骨髓性白血病 OR 為 3.15(1.20-8.27)[5]；Savitz 與 Loomis 兩位學者於 1995 年美國電力公司的世代研究發現，職業暴露 4.3 $\mu$ T-year 以上的族群，其罹患腦癌的危險性 RR 為 2.3(1.15-4.56)。1996 年 Miller 等學者，利用巢式病例對照研究法針對暴露 60Hz 極低頻電磁場的電力公司員工進行研究，校正干擾因子後，暴露極低頻電磁場 345V/m-year 以上罹患白血病的危險性 OR 為 0-171V/m-year 的 3.5 倍(1.01-19.7)[6]；Guenel 等學者於 1996 年針對法國電力公司員工的研究指出，高暴露組罹患腦瘤的危險性 OR 為 3.08(1.08-8.74)且資歷 25 年以上的員工罹患腦瘤的危險性也顯著得較高[7]；Savitz 等學者於 2000 年的研究結果顯示，過去 2-10 年暴露 1.05-1.21 $\mu$ T 的電力公司員工，其罹患腦癌的危險性 RR 為 2.38(1.14-5.00)[8]；Villeneuve 等人於 2000 年針對男性技術員進行一巢式病例對照研究，以對照組暴露值三位數分為高、中、低暴露組，結果發現高暴露組與中暴露組罹患白血病的 OR 值為 1.10(0.28-4.28)與 2.31(0.66-8.12)[9]。

除白血病以及腦癌之外，2000 年 Håkansson 等學者在瑞典針對焊接工廠員工進行世代研究，極低頻電磁波暴露量於 90 百分位以上與 75-90 百分位的員工，其罹患星狀細胞瘤的危險性 RR 為 3.0(1.1-8.6)與 2.3(1.1-4.4)[10]；Forssén 等學者於 2004 年針對女性的世代研究指出，暴露極低頻電磁波與罹患乳癌並無顯著相關[11]；Karipidis 等學者於 2007 年的研究顯示，將研究對象暴露量以四分位數分組，並控制人口學變項後，最高暴露組較最低暴露組罹患淋巴癌的危險性 OR 為 1.48(1.02-2.16)，但再加以控制其他工作相關干擾因子後，並未發現統計上顯著的相關性。而 2008 年的統合分析研究更認為低頻電磁場與癌症間因果關係的推論並無法被確定，主要的理由除了低頻電磁場有關之白血病 subtype 在這些研究中並不一致，此外，許多研究中的研究方法也不盡完善，其中有部分研究所使用的暴露評估方法，可能會對結果造成頗大的偏差(bias)[2]。

由過去流行病學研究中發現低頻電磁波與健康之流行病研究中，工作者之低頻電磁場(波)暴露評估方法的不盡完善，可能是造成流行病學研究結果因果



關係無法被建立的主要原因之一。我國過去已進行許多行業現場量測評估。包括：張氏依公司/工廠之配合意願共選定 28 家公司/工廠進行暴露評估測定，結果若以各廠區磁場之最高瞬間值來看，是以「汽車及其零件製造業」之瞬間值達 1259.2mG 為最高，其次為「電子機械器材製造修配業」之 657.6mG。若以平均值磁場強度分析，「電鍍業」工作(6.00-22.15mG)與從事「電子產品製造機械設備」工作(2.29-16.92mG)有較高之平均值磁場強度。2002 年的研究則將電磁場測量儀器佩戴於勞工身上，確認勞工暴露之強度，並針對耗電量大（電流強度高）之設備找出可能產生之磁場發生源，量測結果發現，除電焊作業及縫紉機操作人員外，其量測值之中位數幾乎低於 4mG。且距離大電力設備 3 公尺以上，均可將及低頻磁場之暴露值降至 4mG 以下[12]。

而依據張等人建構低頻電磁場之暴露評估具體作法且建立國內低頻電磁場職場暴露特性基本資料，計畫結果顯示除少數操作(如鑄造業之高周波爐或超音波塑膠熔接等外)，多數行業之低頻電磁場仍以電力頻率(60Hz)為主，而低頻磁場除鑄造業之高周波爐附近較高外(可達數百毫高斯)，其餘均遠低於國際暴露建議值。但是該計畫只針對工作場所中勞工特定操作位置或潛在發生源及其周遭進行定點量測為主，並非個人採樣[13]。

另外，工作者暴露於低頻電磁場之工作環境中會有潛在的健康風險，由於職業流行病學研究通常需要較大的樣本數，以及考量現場工作時間佩戴測量儀器的不方便性，過去的職業流行病學研究幾乎未曾完全以個人 8 小時佩戴低頻電磁場測量儀器的方法進行低頻電磁場之暴露評估或用個人隨身測量的數據計算時量加權平均，因此本計畫之主旨在於蒐集整理過去低頻電磁場(波)個人暴露評估方法，建立適合我國職業場所工作者之低頻電磁場個人暴露評估模式，利用工作場所環境測量所獲得的極低頻磁場暴露數據，評估是否能夠反映出工作者於 8 小時工作中之實際個人暴露狀況之程度。

## 第二節 計劃目的

本計劃之主旨在建立我國低頻電磁場之職場個人暴露評估模式，以利應用於低頻電磁場健康研究中之暴露評估，計劃目的及解決的問題如下：

1. 蒐集近期國內、外職業流行病學健康研究中有關低頻電磁場(主要為極低頻(extremely-low-frequency, 40-800Hz 範圍之磁場)之個人暴露測量(評估)方法相關文獻，並比較不同評估方法之優缺點。
2. 針對特定職場之環境進行 20 個場次之「工作場所環境測量」，以了解工作者在此特定職場中之潛在低頻磁場職業暴露狀況。
3. 在進行特定「工作場所環境測量」的同時，也將針對該工作場所之工作者(約 100-120 人)進行「個人隨身量測」，並將環境測量與個人測量所獲得之數據進行比較，評估兩者間可能存在之差異，以及造成此差異之原因。
4. 利用「工作場所環境測量」之數據，配合工作者自填之工作日誌資料(包括 8 小時工作期間所接觸之機器設備以及在工作場所中移動情形與在各區域之停留時間)，建立我國特定行業工作者之低頻磁場「工作暴露矩陣(Job Contents Exposure Matrix, JCE, JCEM or JEM)」，並依此「工作暴露矩陣」計算每名工作者之 8 小時低頻磁場累積暴露量，與「個人隨身量測」之數據進行比對，以評估該「工作暴露矩陣」之效度以及作為個人暴露評估工具之可行性。

## 第二章 實施方法及步驟

本研究計劃名稱爲低頻電磁場暴露評估，但執行時僅進行磁場量測，因 2001 年國際癌症研究署(International Agency for Research on Cancer, IARC) Monograph 中指出，日常環境中所接觸到的低頻電場強度並不會影響人體健康，但大於 3-4 mG 以上之低頻磁場則可能增加兒童白血病發生之風險[14]，此後幾乎所有的流行病學研究均針對低頻磁場的環境暴露議題進行探討，且低頻電場容易被建築物、樹木等物體屏蔽，而低頻磁場則不易被物體屏蔽，因此對人體健康的潛在影響較電場大，這也就是許多流行病學研究關心環境中低頻磁場效應的原因之一。由於低頻電場的隨身量測不易進行，而近身量測電場值也會受到人體感應而影響，因此本計劃所提出之工作者個人隨身量測方法無法以目前的測量儀器達成。

### 第一節 低頻電磁場之個人暴露測量(評估)方法相關文獻

針對職場暴露低頻電磁場的流行病學研究自 1980 年代早期開始發展，在研究過程中，由於電磁場本身的特殊性，暴露評估方法成爲影響研究結果的關鍵因素，許多學者致力於發展暴露評估方法與工具，建立更有效的職場暴露低頻電磁場的評估指標。以下爲過去流行病學研究中經常使用的暴露評估方法。

#### 一. 直接評估方法

##### (一) 個人隨身測量(personal monitoring)

職場暴露評估中使用的直接評估方法便是使受試者攜帶個人隨身測量儀器如 EMDEX II 或 EMDEX Lite 於離地約一公尺的腰間部位在工作期間進行長時間的連續測量，以獲得較精準的個人低頻電磁場暴露量。此暴露評估方法雖較其它間接評估方法有高的效度，但費用與時間成本皆較高，因此僅適合針對研究個案數較少的研究進行暴露評估，如 Villeneuve 等學者於 2000 年的巢式病例對照研究爲例，研究對象僅 249 人[9]，而 Ubeda 等學者於 2011 年的研究中，

參與個人隨身量測的志願者僅 172 人[15]。Floerus 等學者於 1996 年研究所製作的工作暴露矩陣，許多職業類別的受測人數也僅有個位數人次，因此若要進行大樣本數的流行病學研究，個人隨身測量的暴露評估方法將較不可行[4]。

## 二. 間接評估方法

### (一) 職業別(job title)

早期的流行病學研究，進行個人暴露評估時，若缺乏電磁場量測的相關設備或是在暴露估計上有所限制時，過去的研究以職業別的分類為暴露評估方法。以 Mihan 等學者於 1985 年的研究方法為例，利用華盛頓州 1950-1982 年 20 歲以上有職業紀錄的男性的死亡紀錄檔為研究樣本，考量年齡與死亡年份後計算 219 種職業別 158 個不同死因的標準化死亡率，將研究對象以研究者認為有職業電場或磁場暴露的職業納入，如：電子技術員、廣播電報員、線務員...等，探討這些工作別是否有較高的癌症標準化死亡率[3]。除此之外，研究者會針對特定的高暴露機構如發電廠或是焊接工廠員工進行研究，如 Pira 等學者於 1999 年於義大利針對地熱發電廠員工進行研究，研究者以於 1950 年 1 月 1 日至 1990 年 12 月 31 日期間曾經在發電廠工作 3 個月以上的男性員工為研究族群，由發電廠取得研究對象的生日、工作開始與離職的日期以及其它詳細的工作史資料，且向當地政府取得死亡紀錄，探討其標準化死亡率與標準化癌症別死亡率[16]。

以職業別進行暴露評估的優點在於省略電磁場暴露測量的步驟，將具有暴露電磁場性質的工作視為暴露族群，可獲得較多的研究對象；其缺點是無法反映各種不同的職業別暴露情形的差異，亦無法呈現相同職業別中，不同工作面向的暴露差異情形。

### (二) 工作暴露矩陣(job exposure matrix)

1990 年代，學者們開始利用個人低頻電磁場測量儀器作為暴露評估工具，但在研究實務中，研究經費的限制與受測工作者長時間佩戴的意願較低，使得流行病學研究難以獲得較大的個案數，因此有許多學者開發「工作暴露矩陣」

進行不同職業別的暴露評估。

製作「工作暴露矩陣」前，必須先將相近工作內容的職稱進行整合，以 Floderus 等學者於 1996 年的研究為例，將「建築師(architects)」、「工程師(engineers)」以及「建築技師(technicians in construction work)」依國際標準職業分類挪威版(ISCO code)歸為同一職業類別，參與的研究對象於工作時間將個人隨身測量儀器(EMDEX-C 或 EMDEX-100)佩戴於腰間，量測時間至少六小時，量測頻率為每秒一次，量測結果以算術平均數、幾何平均數呈現研究對象職業暴露情形，並以四分位差呈現暴露量的變異情形，結果如表 1 所示[4]。

表 1 工作暴露矩陣(一)

ISCO Code	Occupation	No. of Measurements	Mean Exposure ( $\mu\text{T}$ )			Maximum Exposure ( $\mu\text{T}$ )		
			Arithmetic	Q1 Q3	Geometric	Arithmetic	Q1 Q3	Geometric
1	Architects, engineers, and technicians in construction work	24	0.16	(0.12—0.19)	0.15	6.9	(1.9—6.0)	3.9
2	Electrical and electronics engineers and technicians	31	0.31	(0.12—0.36)	0.22	24.7	(2.1—23.0)	6.5
3	Mechanical engineers and technicians	49	0.27	(0.14—0.25)	0.19	16.7	(2.6—10.9)	6.0
4	Chemical engineers and technicians	7	0.36	(0.15—0.4)	0.29	16.0	(2.0—10.8)	5.4
5	Metallurgists and mining engineers and technicians	4	0.39	(0.14—0.65)	0.25	80.9	(3.9—158.0)	14.6
6	Engineers and technicians in other technical fields	10	0.18	(0.1—0.24)	0.16	15.3	(2.6—5.0)	4.6
7	Surveyors, measurers, cartographers	5	0.14	(0.08—0.19)	0.10	6.4	(2.1—12.8)	3.6
11	Chemists and physicists	4	0.15	(0.12—0.18)	0.14	8.4	(1.9—15.0)	4.6
31	Physicians	5	0.12	(0.11—0.15)	0.12	2.7	(1.2—2.0)	1.9
32	Dentists	4	0.27	(0.18—0.35)	0.24	8.4	(2.4—14.4)	4.9
42	Health and nursing work	7	0.10	(0.04—0.17)	0.08	2.1	(1.0—2.5)	1.7
50	Principals, headmasters	6	0.19	(0.08—0.23)	0.15	2.9	(1.9—3.1)	2.5
52	Teachers in theoretical subjects, from primary school to university	13	0.15	(0.11—0.18)	0.13	7.5	(1.8—3.9)	3.1
54	Teachers in practical subjects	6	0.16	(0.07—0.2)	0.14	5.1	(2.0—5.6)	3.7
55	Teachers in vocational subjects	7	0.17	(0.13—0.22)	0.16	9.4	(3.2—20.7)	5.8
56	Preprimary school teachers, child-care workers	4	0.13	(0.08—0.18)	0.12	1.8	(1.0—2.6)	1.6
61	Clergymen, preachers, and others in religious work	4	0.16	(0.1—0.22)	0.14	3.3	(1.0—5.7)	2.3
81	Sculptors, painters, and related artists	4	0.35	(0.2—0.51)	0.30	15.4	(4.2—26.6)	10.4
85	Journalists, editors	4	0.21	(0.13—0.28)	0.19	5.4	(4.5—6.3)	5.3
87	Musicians	4	0.34	(0.13—0.55)	0.22	1.6	(0.8—2.4)	1.3
91	Accountants and auditors	5	0.17	(0.11—0.22)	0.15	2.8	(2.5—2.7)	2.7
92	Social service workers, psychologists	4	0.10	(0.07—0.14)	0.10	7.2	(1.9—12.5)	4.5
94	Economists, statisticians	6	0.10	(0.06—0.13)	0.09	2.0	(1.4—2.6)	1.8
96	Staff department managers and clerks	17	0.20	(0.1—0.25)	0.16	5.7	(2.1—6.5)	3.1
97	Computer systems analysts, programmers	18	0.24	(0.13—0.25)	0.19	5.6	(2.8—7.6)	4.4
101	General public administrative workers	15	0.18	(0.13—0.22)	0.17	8.2	(2.9—8.7)	5.4
111	Managers	8	0.19	(0.06—0.33)	0.13	2.9	(2.0—3.7)	2.7
118	Other business managers, including managers of specific functions	24	0.21	(0.1—0.23)	0.16	3.9	(1.7—4.6)	2.6
201	Bookkeepers, office cashiers	4	0.22	(0.12—0.31)	0.18	2.8	(1.7—3.9)	2.4
290	Secretaries, typists, special clerks	7	0.12	(0.08—0.14)	0.11	2.5	(1.8—4.1)	2.2
292	Bank clerks, cashiers, and tellers	4	0.24	(0.14—0.33)	0.21	3.0	(1.2—4.8)	2.2
294	Shipping and forwarding agents and others	8	0.34	(0.13—0.47)	0.25	4.3	(2.0—6.0)	3.5
295	General managers in real estate, storage, and others	14	0.21	(0.16—0.25)	0.20	7.4	(2.0—7.5)	4.7
296	Insurance representatives, appraisers, and others	4	0.14	(0.12—0.16)	0.13	4.8	(2.3—7.4)	3.9
302	Retail sales and wholesale trade personnel	9	0.29	(0.2—0.41)	0.26	2.7	(1.6—2.5)	2.2
313	Advertising managers and officers	7	0.15	(0.08—0.24)	0.13	2.2	(1.2—3.3)	1.8
331	Commercial travelers, buyers, and salespersons	27	0.16	(0.1—0.19)	0.14	5.9	(1.7—7.0)	3.0
332	Shop managers	6	0.47	(0.28—0.47)	0.36	9.3	(3.4—16.9)	6.8
333	Shop assistants	5	0.21	(0.11—0.31)	0.18	5.4	(2.0—2.6)	3.3
338	Service station managers and attendants	4	0.22	(0.15—0.29)	0.20	2.8	(1.8—3.8)	2.6
401	Farmers, farm and forestry workers, domestic animal keepers	18	0.27	(0.05—0.2)	0.12	75.2	(2.3—20.3)	7.8
412	Gardeners and greenhouse-nursery workers	9	0.41	(0.1—0.13)	0.17	57.3	(1.1—12.2)	5.6
441	Forestry and logging workers	9	2.48	(0.21—4.78)	0.76	48.0	(7.8—66.0)	12.5
632	Railroad conductors, traffic controllers	7	0.57	(0.18—0.88)	0.39	25.0	(1.4—48.8)	9.8
633	Motor vehicle drivers	28	0.12	(0.08—0.14)	0.11	6.4	(2.1—8.1)	4.1
644	Road traffic supervisors	6	0.21	(0.12—0.22)	0.18	3.8	(2.6—5.1)	3.6
661	Postmen and sorting clerks	10	0.43	(0.15—0.64)	0.31	7.8	(2.8—8.2)	4.9
662	Expeditions guards, office messengers	8	0.24	(0.1—0.23)	0.16	30.7	(2.3—4.6)	5.1
735	Blacksmiths	4	0.83	(0.22—1.44)	0.55	78.0	(17.1—139.0)	46.5
738	Other iron workers, metal workers, and foundry workers	5	0.36	(0.13—0.25)	0.23	42.7	(3.6—41.6)	12.8



Bracken 等學者於對美國電力公司員工所進行的暴露研究，將美國電力研究所(Electric Power Research Institute)的大型研究計劃(EPRI EMDEX Study)中所量測之低頻電磁場個人隨身測量資料進行整合。該計劃於 1988 至 1989 年間，針對三間電力公司共 1,980 名自願參與的員工，於工作日與非工作日進行 4,382 與 1,502 人日的個人隨身低頻電磁場測量，並將其職稱整合為 13 個職業類別，例如：「辦事員(clerical)」職業類別包含「行政助理(administrative assistant)」、「秘書(secretary)」、「辦事員(clerk)」、「電腦操作員(computer operator)」、「資料輸入員(data entry)」、「電子記錄員(electronic records)」、「接待員(receptionist)」與「業務員(sales clerk)」，在已經分類的職業類別中，「管理人員(manage supervisors)」、「專業技術人員(professional/technical)」、「辦事員(clerical)」再分為「使用電腦」與「無使用電腦」兩類，結果如表 2 所列[17]。以職業別所建置的暴露矩陣也應用於化學性危害的暴露評估，以英國 1980 年的職業類別(C80)為藍圖，依工作類型歸納可能暴露於內分泌干擾素(endocrine-disrupting chemicals)的職業類別，其中農場工作者、電工、塑膠業工作者、油漆工人、印刷工人、美容師、牙醫、實驗室工作人員、紡織工人和清潔工等皆為極可能暴露於此類危害物質的職業別[18]。

表 2 工作暴露矩陣(二)

TABLE 4. Descriptive Statistics of Daily Mean Magnetic Field Exposures ( $\mu\text{T}$ )

Job classification	N	Percentiles					Arithmetic		
		5%	25%	50%	75%	95%	Mean	S.D.	Geometric mean
Workday means by job classification									
Managers/supervisors									
Without computer	177	0.05	0.08	0.14	0.28	1.62	0.46	1.17	0.18
With computer	135	0.05	0.08	0.12	0.20	0.96	0.36	0.14	0.14
Professional/technical									
Without computer	266	0.04	0.08	0.13	0.38	2.00	0.58	1.96	0.19
With computer	330	0.05	0.08	0.12	0.24	0.85	0.27	0.56	0.15
Clerical									
Without computer	18	0.02	0.05	0.05	0.07	0.20	0.07	0.06	0.06
With computer	147	0.05	0.09	0.12	0.21	0.45	0.18	0.17	0.13
Office workers (all) <sup>a</sup>	1,073	0.05	0.08	0.13	0.25	1.21	0.37	1.22	0.16
Support services	61	0.07	0.13	0.23	0.46	1.58	0.46	0.64	0.26
Outside customer service <sup>a</sup>	103	0.06	0.09	0.12	0.20	0.37	0.17	0.14	0.14
Drivers/equipment operators	32	0.04	0.06	0.11	0.22	1.87	0.32	0.58	0.14
Generation operators	363	0.08	0.18	0.34	0.75	1.93	0.67	1.13	0.37
Generation mechanics	161	0.06	0.11	0.23	1.03	3.76	0.96	1.84	0.34
Generation facility workers (all) <sup>a</sup>	524	0.07	0.16	0.33	0.81	2.72	0.76	1.39	0.36
Electric power line workers <sup>a</sup>	1,102	0.05	0.10	0.25	0.74	3.48	1.13	4.81	0.30
Substation operators <sup>a</sup>	375	0.11	0.35	0.72	1.50	3.62	0.88	7.12	0.72
Electricians <sup>a</sup>	667	0.08	0.24	0.54	1.21	3.40	1.10	2.06	0.54
Welders	42	0.07	0.15	0.25	0.46	2.61	0.54	0.78	0.28
Others	403	0.04	0.10	0.18	0.31	1.26	0.41	1.15	0.19
Nonworkday means for all volunteers									
All	1,502	0.03	0.06	0.09	0.16	0.37	0.15	0.26	0.10

<sup>a</sup>Included in Figure 1.

許多的職業流行病學研究，引用製作完成的工作暴露矩陣進行暴露評估，例如 Savitz 於 2000 年研究美國電力公司員工與癌症及白血病的流行病學研究 [8]，引用 Kromhout 等學者於 1995 年研究的工作暴露矩陣進行暴露評估 [19]，研究者以研究對象過去的職業紀錄資料與工作暴露矩陣進行媒合，並以工作年資加權計算累積暴露量( $\mu\text{T-years}$ )，探討職業低頻電磁場暴露與白血病之相關性與劑量反應效應；2002 年 Håkansson 等學者於瑞典焊接工廠進行的世代研究 [10]，其暴露評估方法是先將研究對象的職業與 Floderus 等學者於 1996 年製作的工作暴露矩陣進行媒合 [4]，再依研究對象估計暴露量的第 25、75、90 百分位為切點分為低、中、高、非常高四個組別，探討暴露低頻電磁場與發生癌症的相對危險性(relative risk)；Forssén 等學者於 2006 年針對職業暴露低頻電磁場與聽神經瘤(Acoustic Neuroma)的病例對照研究 [11]，利用 1996 年 Floderus 等學者與 2004 年 Forssén 等學者製作的工作暴露矩陣分別進行男性與女性的暴露估計 [4,20]，並以其估計數值分為  $<0.12$ 、 $0.12-0.19$ 、 $0.20-0.29$  和  $\geq 0.30 \mu\text{T}$  四組，分別計算罹患聽神經瘤的勝算比(odds ratio)。

工作暴露矩陣進行暴露評估的優點在於研究者僅需得到研究對象的職業名稱與工作年資的資訊，便可利用過去針對該工作性質的工作者進行的個人測量值進行估計，獲得更大的研究個案數，並且可以反映各研究對象在相似機構(如發電廠)從事不同的工作(如工程師、焊接人員、行政助理)低頻電磁場暴露量的差異情形，但仍然不能反映相同職稱下研究對象不同工作任務(work tasks)的暴露差異情形。Brouwers 等學者以工作類別加上工作任務後，針對內分泌干擾素(endocrine-disrupting chemicals)所建構出的工作暴露矩陣，不僅降低了工作類別的不確定性，也提高了此矩陣於暴露評估與健康風險的應用性 [21]。針對作業環境中的工作者的暴露評估，對特定的為害因子而言，完整的暴露分級是應將執行的任務列入考量，以降低誤判暴露情境的可能 [22]。

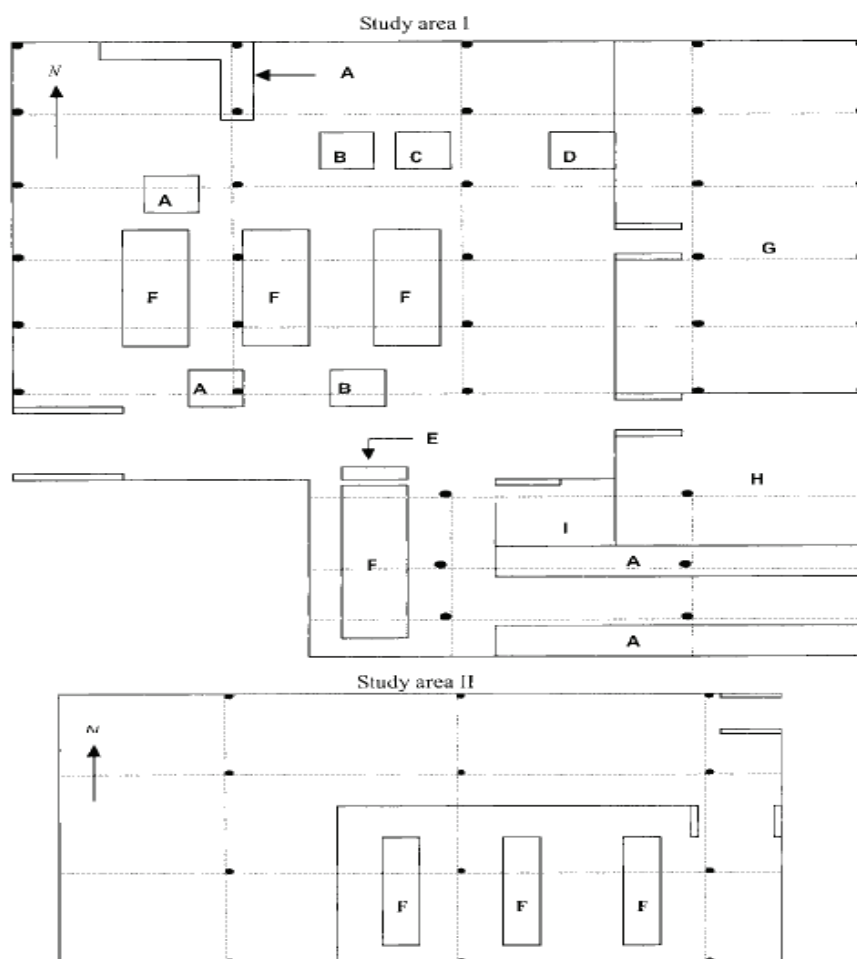
### (三) 作業環境測定(work environmental monitoring)

作業環境測定的暴露評估方法，係測量工作者的工作環境低頻電磁場的分

佈情形作為暴露評估之依據，其方法包含下列兩種暴露評估方式：

1.一般作業環境測量：

一般作業環境測量之目的在於測量作業環境低頻電磁場的分佈情形與背景數值，並間接評估在此工作環境活動的人員暴露低頻電磁場的情形。以 Li 等學者於 2000 年針對醫院藥局的作業環境測量為例[23]，以圖 1 黑點為測量點，在垂直高度一公尺，每 30 秒一次量測的條件下進行六分鐘的測量，並在上午 10:00-11:00 與下午 15:00-16:00 各測量一次，其結果以算術平均數與幾何平均數呈現藥局環境的低頻電磁場的密度變化(表 3)。



**Fig. 1. Scheme of the study area I and the study area II (not to scale)**  
A: visual display terminal and printer; B: elevator; C: air conditioner; D: power room, control panel, and transformer; E: photocopier; F: work tables, closets for drug storage; G: meeting room; H: drug storage room; I: Director's office; •: site where measurement was taken.

圖 1 醫院藥局一般作業環境測量點分佈圖

表 3 一般作業環境測量密度變化

Table 1. 60 Hz magnetic flux densities (mG) in the study areas

Study areas and time of measurements	No. of spatial sites measured	Min.	Max.	Median	AM ± STD	GM ± GSTD
Area I 10–11 am	36	0.27	5.09	1.27	1.78 ± 1.31	1.37 ± 0.03
	36	0.35	6.52	1.40	2.23 ± 2.10	1.50 ± 0.03
Area II 10–11 am	12	0.23	1.62	0.51	0.63 ± 0.44	0.58 ± 0.02
	12	0.29	2.01	0.59	0.75 ± 0.02	0.68 ± 0.51

AM=arithmetic mean; STD=standard deviation; GM=geometric mean; GSTD=geometric standard deviation.

2. 固定發生源測量：

作業場所中若有特定的低頻電磁場發生源(如電焊機、發電機、電纜線)，圖 2 為 Ubeda 等學者於所進行之醫院的作業環境測定示意圖[15]，圖中白色數字圓圈為一般測量點，用以估計該環境的低頻電磁場背景強度，黑色英文圓圈所標示的為產生低頻電磁場的設備為固定發生源測量點，於垂直地面高度一公尺處，每 6 秒一次量測的頻率，進行連續一分鐘的測量。

過去研究[15]利用作業環境測定結果配合工作日誌(work diary)為暴露評估方法與個人隨身量測的 Spearman 相關係數  $r=0.678(p<0.0001)$ ，因此利用作業環境測定作為估計個人低頻電磁波暴露量是非常好的方法，但其研究結果也指出，作業環境測定結果暴露量低於個人隨身測量的結果。

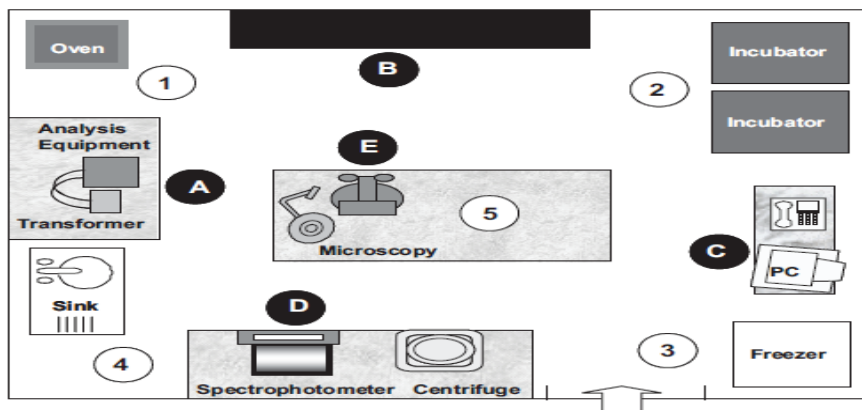


Fig. 1. Schematic representation of a laboratory showing the points where magnetic flux density data were recorded: values at points 1–5 (white circles) in the corners and center of the room were used to estimate the baseline MF level in the room ( $B_b$ ). The exposure levels at the workstations ( $B_s$ ) were calculated after measurements at points A–E (black circles).

圖 2 醫院作業環境測定測量點分佈圖

## 第二節 專家會議

### 一、第一次專家會議

本計劃於 100 年 5 月 27 日召開第一次專家會議，此次會議以討論本計劃之測量對象以及方法為主要之目的，會議委員提問與建議事項：

1. 進行個人測量時，可以考慮請受測者佩戴 RFID 晶片紀錄工作地點，除增加準確性外並可免去受測者填寫『工作日誌』所可能產生的麻煩與錯誤。但由於本所尚未整合 RFID 記錄器與低頻電磁場量測儀器電路，故暫不考慮此執行方法。
2. 測量時，須將受測者的職務、工作流程進行分組與分類。
3. 環境測量若遇電磁場數值有較高的變異情形，必須加以描述。
4. 特定發生源必須有較多次的測量紀錄，以避免僅記錄極端數值。
5. 必須於量測前預先瞭解各種不同職業、職務的工作模式。
6. 低頻電磁波為 30-3,000 Hz 頻段的電磁波，但測量僅包含 40-800 Hz 的頻段，其原因為測量頻段受限於個人隨身測量儀器如 Emdex II 與 Emdex Lite，但由於研究目的在於暴露評估方法建立與兩種暴露評估方法之差異性探討，且低頻電磁場以 60 Hz 為主，因此 40-800 Hz 的頻段足以達成研究目的。

### 二、第二次專家會議

本計劃於 100 年 10 月 18 日召開第二次專家會議，此次會議以討論本計劃之測量對象及方法之修正或改善為主要目的，會議委員提問與建議事項：

1. 進行環境測量時，應記錄設備屬於間歇或是連續型運轉，若屬於間歇型運轉，應註記測量數據是運轉或非運轉狀態。
2. 此計劃以建立測量方法為題，因此須陳述測量原理。
3. 利用環境測量資料估算電磁場暴露值，建議詳述估算方法，且盡可能以公式呈現，以利往後測量方法之建立。



### 第三節 工作環境測量

本計劃所選定 20-30 種不同之工作內容預計將來 4-5 種不同的行業；有關工作環境的測量方法，包括測量點的選擇與測量方法，將以國內過去所發表之電磁場相關研究報告內容為藍本[23-25]，並參考國內化學性危害暴露作業環境測定之相似暴露族群原則評估採樣點規劃[26]，再因地制宜做彈性調整。在製程較複雜之事業單位，先將相似工作區域或相似工作內容之受測者進行歸類並在操作機台之工作位置與發生源設置採樣點；製程較簡單之事業單位或一般辦公室區域，則直接依操作機台之工作位置與發生源設置測量點。測量磁場具體之實施步驟說明如下：

#### 一、測量點選擇

本計劃進行工作場所低頻磁場測量時，測量點的選擇將分為(一)特定測量點，與(二)一般測量點之選擇：

##### (一) 特定測量點

本計劃研究人員抵達現場時，對於工作場所中工作者可接近的(accessible)區域與場所進行現場實地走訪(walk through survey)，確認工作場所中的主要低頻磁場發生源，該特定發生源附近之作業或活動區域即為本計劃特定測量點。

##### (二) 一般測量點

本計劃觀察工作者於工作場所中之作業與活動型態，依此繪製作業環境空間示意圖，並記錄與四周明顯固定物之相關位置。作業場所空間取樣範圍以受測工作者活動範圍為限。測量點的選擇為距離地面高度 1 公尺，平面距離每間隔 1-3 公尺為測量點取樣原則，實際間隔以現場實地走訪所得之低頻磁場強度分佈來決定，原則是測量點的間隔必須以能夠反映出低頻磁場在工作場所中的空間變化(變異)為原則[27]，測量結果之數據在現場記錄於作業環境空間示意圖上。

#### 二、測量方法與程序

### (一) 特定測量點

針對特定測量點，本計劃以磁場發生源設備所測得之最大磁場強度所在空間位置為中心，分別於距離 0、10、30、50 以及 100 公分處記錄低頻磁場磁通量密度讀值。為使現場作業不受測量工作干擾，同時考慮現場場地及發生源設備擺設狀況，此 4 個距離測量點依現場狀況稍做調整。

### (二) 一般測量點：

本計劃所量測的低頻磁場來源包括：高電流使用之設備與機器，以及工作場所之室內配線產生的低頻(40-800 Hz)磁場部分。測量原則與程序如下：

1. 每個室內工作測量點所在空間內部所有物體皆將視為永久性物體，量測點離牆壁以及任何永久性物體之間的水平間隔以大於 1 公尺為原則，目的是避免受牆壁內配線所產生磁場之干擾[28-29]。
2. 室內空間取原則上以使用者正常活動的範圍為限。
3. 所有量測點離地面的高度皆以 1 公尺為原則，考量點是低頻磁場的生物效應目前並未有明確之標的器官(target organs)[2]。
4. 針對每一個空間測量點，其記錄將採瞬間值(spot measurement)，約 3-10 秒後待儀器測量數據穩定後，記錄其數值；設備運行狀態之紀錄，設備若未開啓，則註記為關機，設備開啓但無運作，註記為待機，設備開啓且運作則不另行註記。
5. 本計劃將針對 4-5 種不同的行業的工作場所進行至少共 20 個場次的職場環境測量，為考量職場磁場強度可能隨時間而產生變異，因此每個工作場所將於上午與下午的工作時段內各進行 1 個場次的環境測量。

## 第四節 個人隨身測量

本研究計劃使用的測量儀器 EMDEX II/EMDEX Lite(Enertech Consultants,

Campbell, CA, USA)為一可攜帶式電池操作型之直讀式儀器，具有自動定時取樣與資料儲存功能，測量結果數據可下載至電腦以檔案匯出進行後續統計分析。測量數據的擷取使用 EMCALC 2007 版軟體(Enertech Consultants, Campbell, CA, USA)，儀器詳細規格如附件 1。量測磁場儀器由探針與探測器兩部分組成，由探針感應磁場均方根值(rms, root mean square)並發出信號，再由顯示器顯示磁通量數值。磁場探針是由一種可屏蔽電力的線圈(即單軸探針)組成，磁場探針結合電壓計使用作為量測電源線產生的磁場，量測磁場儀器擁有三個正交軸向的線圈探針(三軸儀)，可同時量測三軸並統計三軸數值( $B_x$ ,  $B_y$ ,  $B_z$ )，統計後的數值即磁通量( $B_R$ )。

受測對象選定 20-30 種不同之工作內容，針對每種工作內容選定 4-6 名工作者，共計 104 名工作者在 8 小時工作中佩戴進行個人職場低頻磁場之連續量測，所有儀器在量測前均經過校正。校正結果之讀值相對誤差在 8.3%以下，此誤差低於國際電機電子工程師學會(Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE)所訂定的 10%測量儀器誤差範圍[30]。

在進行個人測量之前，考量受測者之作業型態、工作區域、操作機台之位置，因地制宜製作工作日誌(附件 2)，日誌之製作以減少受測者填寫次數與難度為優先原則。受測者若屬於固定位置之工作型態，受測者僅需標示工作位置並填寫離開工作位置之時間即可，受測者若屬於移動位置之工作型態，則必須要求其填寫在不同位置停留之時間。

受測工作者於工作期間將被要求佩戴上述低頻磁場測量儀器，儀器將佩戴於腰間(離地約 1 公尺高)測量頻率為每 10 秒鐘記錄 1 個紀錄值，同時，受測工作者也將填寫 8 小時工作期間之日誌，每間隔 1 小時記錄當時之停留地點、操作之機器設備與時間，此日誌所記載之訊息將應用於本計劃後續製作工作者工作暴露矩陣。

## 第五節 個人低頻電磁場暴露估計

受測者之低頻電磁場暴露估計值利用廠區環境測量結果配合受測者所填寫的工作時間記錄表計算。依據受測者於工作時間記錄表中自填的停留地點與停留時間資料，以及該停留地點的環境測量資料(以中午 12 點區分為上午與下午時段)計算所得之磁通量密度，即為受測者在工作期間各時間點之磁場暴露估計值，磁場暴露估計值以與個人隨身量測相同之採樣頻率(每 10 秒 1 次)進行估計。以廠區一之一名受測者磁場暴露估計為範例，09:30-09:59 停留地點為辦公室(2)之測量點，其工作環境測量讀值為 0.11，配合個人隨身測量之採樣頻率(每 10 秒 1 次)，此時段共有 180 筆估計值，其餘時段之估計暴露量依此類推(各時段之估計值與隨身測量值之關係如圖 3)，計算受測者工作期間各暴露統計參數(表 4)。

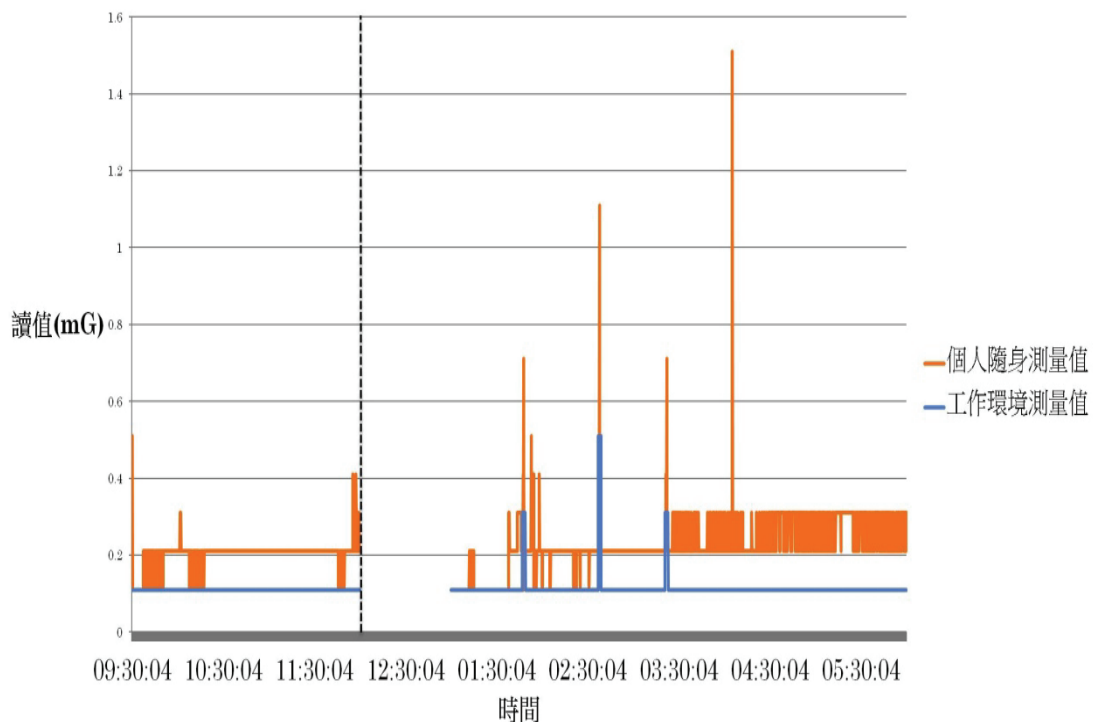


圖 3 個人低頻電磁場估計值參數計算範例

表 4 個人低頻電磁場估計值參數計算範例

廠區一			
工作時間記錄表			工作環境測量值(mG)
時間	停留時間	地點(測量點)	
0900-0959	09:30-09:59	辦公室(2)	0.11
1000-1059	10:00-10:59	辦公室(2)	0.11
1100-1159	11:00-11:59	辦公室(2)	0.11
1200-1259	12:00-12:59	休息	
1300-1359	13:00-13:46	辦公室(2)	0.11
	13:47-13:48	影印室(1)	0.31
	13:49-13:59	辦公室(2)	0.11
1400-1459	14:00-14:36	辦公室(2)	0.11
	14:37-14:38	影印室(3)	0.51
	14:39-14:59	辦公室(2)	0.11
1500-1559	15:00-15:20	辦公室(2)	0.11
	15:21-15:22	影印室(1)	0.31
	15:23-15:59	辦公室(2)	0.11
1600-1659	16:00-16:59	辦公室(2)	0.11
1700-1759	17:00-17:59	辦公室(2)	0.11
暴露估計值參數		暴露估計值(mG)	
算術平均數		0.11	
算數標準差		0.03	
幾合平均數		0.11	
幾合標準差		1.15	
最大值		0.51	
最小值		0.11	
中位數		0.11	
第 1 四分位數		0.11	
第 3 四分位數		0.11	

## 第六節 工作暴露矩陣之製作

本計劃擬結合工作環境測量(包括特定測量點與一般測量點)的數據以及工作者所填寫工作內容、工作場所移動狀態、以及在各作業區域停留時間等資訊，製作工作者工作內容與暴露矩陣。本計劃先將在職場環境測量中所獲得的作業區域一般測量點磁場強度平均值，及在 1 公尺特定測量點範圍內的磁場測量值作為縱軸(Y-axis)，橫軸(X-axis)則是工作者自述於 8 小時工作期間從事各種作業與在各作業區域內所停留的時間。本計劃所欲制訂的工作暴露矩陣，其中一般測量點所測得的磁場強度數據分別來自某工作場所上午與下午所進行的一般環境測量數值；特定測量點(大多為機器設備)的磁場強度則分別記錄其隨距離增加而遞減之磁場強度值。針對一般測量點，本工作暴露矩陣將計算受測



廠區中各作業區域內的一般測量點之磁場強度平均值，而特定測量點方面，如果同一工作場所或不同工作場所中有多個相同的發生源，則本工作暴露矩陣也將考量此多個發生源所測得磁場強度之分佈。

## 第七節 統計分析

### 一、描述性統計

針對特定測量點，本計劃擬呈現磁場強度隨著測量點與機器與設備等磁場發生源距離增加而遞減的情形。針對一般測量點，計算整個工作場所之磁場強度分佈之集中量數與離散量數，包括算術平均數、算數標準差、幾合平均數、幾合標準差、最小值、最大值、中位數以及四分位數。若工作場所的磁場分佈可以按不同作業型態區分，則將分別計算各種作業型態區域之描述性統計量。

### 二、環境測量之效度評估

將以個人隨身測量所得到之低頻磁場強度為效標，用以驗證職場環境測量磁場強度與個人測量磁場強度間之一致性程度。環境磁場強度只考量於一般測量點所測得之磁場強度數值。連續性資料以 Pearson correlation coefficient 及 Spearman's rank correlation coefficient 探討其相關性，並以 paired t-test 探討其差異性，類別性資料則將計算一致性估計指標。

### 三、工作暴露矩陣之效度評估

利用「工作暴露矩陣」估計所得之個人 8 小時累積磁場暴露量的數據，進一步與個人隨身測量所得到的數據進行比較；相同的，當累積暴露量作為連續性變項呈現時，計算 Intra-class Correlation Coefficient (ICC)來表示兩者間數據的一致性，而當累積暴露量作為類別性資料時(如以中位數或其它百分位數區隔時)，則計算 Cohen's Kappa Statistic 或 Weighted Cohen's Kappa Statistic 作為一致性的估計指標。

## 第三章 實施結果

本計劃納入 11 家事業單位的工作廠區並完成 22 場次的環境量測工作，受測事業單位之相關資訊如表 5 所列：

表 5 受測事業單位量測資訊

受測事業單位	量測日期	測量區域數量	受測者人數
1. 行政辦公室(台北市)	100.06.30	2	10
2. 石化工廠(高雄市)	100.07.07	8	10
3. 塑膠原料工廠(彰化縣)	100.07.20	4	10
4. 鋼鐵工廠(台中市)	100.07.29	5	10
5. 行政辦公室(新北市)	100.08.02	1	10
6. 製鞋工廠(雲林縣)	100.09.27	6	10
7. 廣播電台(高雄市)	100.10.20	3	10
8. 運動用品工廠(雲林縣)	100.10.28	5	10
9. 太陽能光電廠(台南市)	100.11.03	4	10
10. 太陽能光電廠(台南市)	100.11.04	2	10
11. 自行車工廠(台中市)	100.11.18	1	4

### 第一節 工作環境測量結果

廠區一的測量環境為辦公室(圖 4)與影印室(圖 5)兩處，受測對象於辦公室的工作位置皆配備一台個人電腦並依其工作位置選取測量點，影印室以受測對象使用印表機、影印機等設備的位置進行測量。測量讀值除辦公室區域測量點 7 之讀值較高外(讀值範圍：1.41-1.51 mG)，其餘測量點讀值皆低於 1.00 mG。

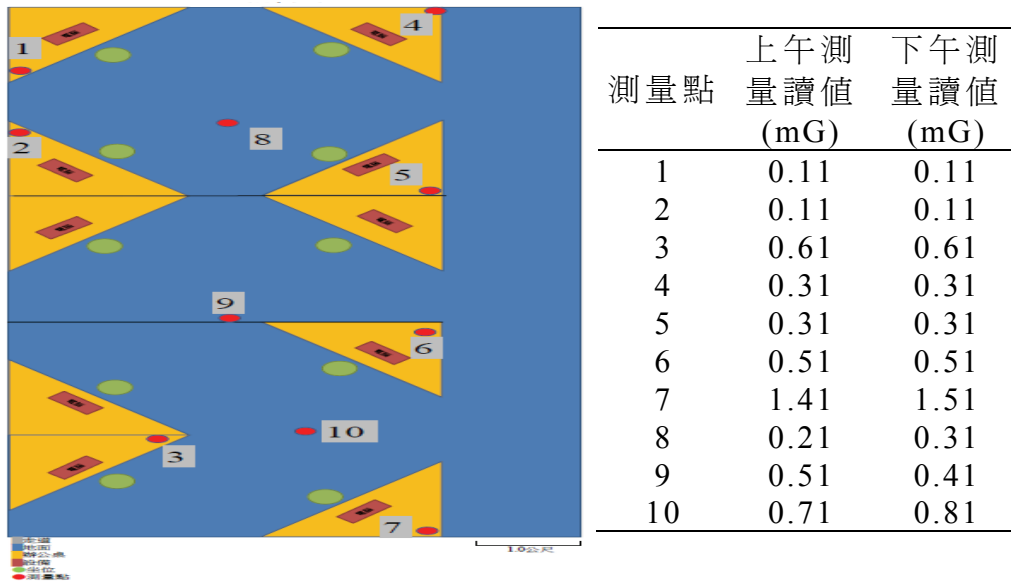


圖 4 廠區一辦公室測量點與讀值分佈

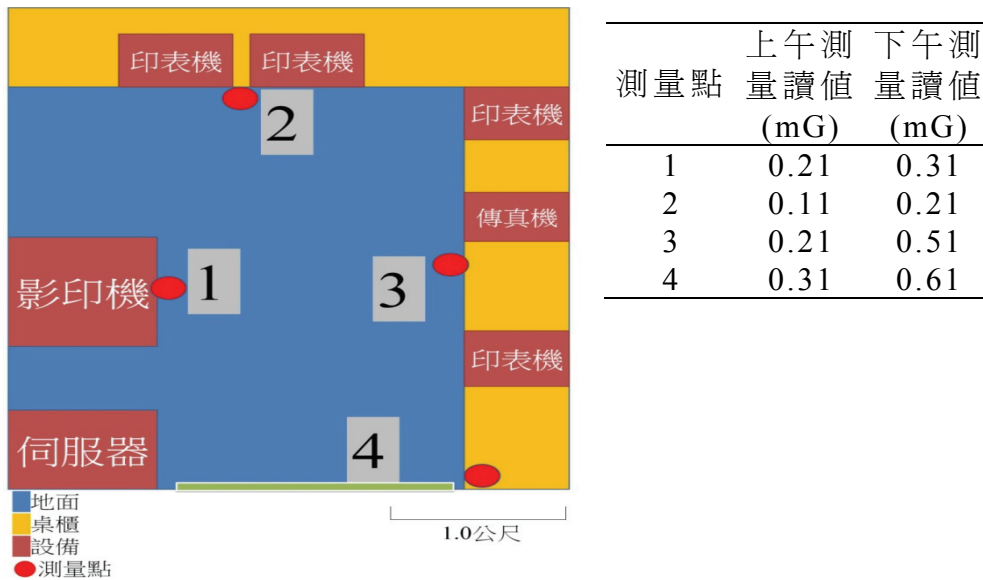


圖 5 廠區一影印室測量點與讀值分佈

廠區二之管理室與警衛室(圖 6 及 7)環境測量，除依受測對象之固定座位設置測量點外，另選擇測量點於電腦、影印機、伺服器、受信總機等周圍，管理室之測量讀值分佈較平均(讀值範圍：1.21-1.51mG)，警衛室則在受信總機周圍有較高的電磁場讀值(讀值範圍：1.61-1.81mG)；控制室(圖 8)之受測者於工作時經常停留於測量點 4、5 監控生產設備情形且較一般辦公室有較高的讀值(讀值範圍：2.01-2.81mG)，必要時會移動至控制盤(測量點 1、2、3)進行操作，且在

測量點 1 有最高的讀值(讀值範圍：3.21-3.31mG)；辦公室(一)(圖 9)除依受測對象之固定座位設置測量點外，另選擇測量點於印表機、影印機，其讀值分佈較平均(讀值範圍：0.61-1.01mG)；辦公室(二)(圖 10)因受測者工作位置與周圍設備較為接近，且現場實地測量電磁場並無差異，因此僅於受測者位置設置一測量點(讀值範圍：0.41-0.51mG)；辦公室(三)(圖 11)為該場區的裝卸區辦公室，測量點除受測對象之固定座位設置測量點外，另選擇測量點於伺服器、配電盤周圍(讀值範圍：0.31-0.71 mG)；辦公室(四)與辦公室(五)(圖 12、圖 13)為一相連區域，辦公室(四)為一高壓電設備的監控中心，依受測對象之固定座位設置測量點，測量點 2 之讀值(讀值範圍：2.31-4.11mG)較測量點 1 讀值稍高(讀值範圍：1.71-1.91mG)，高壓配電盤(測量點 3)進行特定發生源測量結果，其讀值範圍為 12.5-55.1mG，辦公室(五)的受測對象為該廠區維修技師因此經常離開辦公室區域，受測對象之固定座位設置測量點外，另選擇測量點於伺服器周圍(讀值範圍：0.61-1.01mG)。

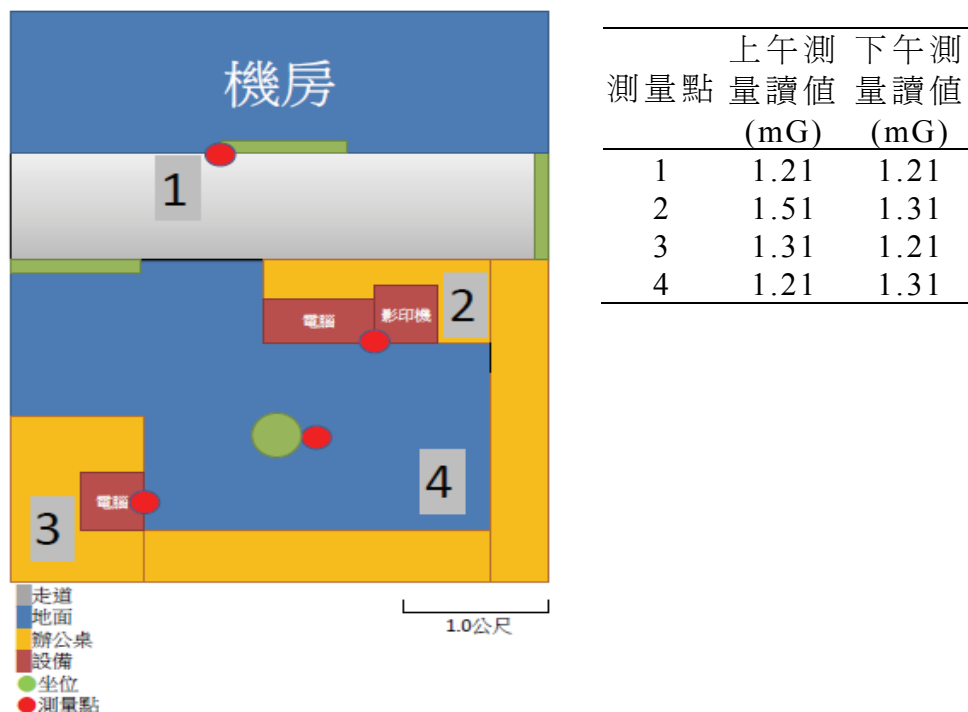
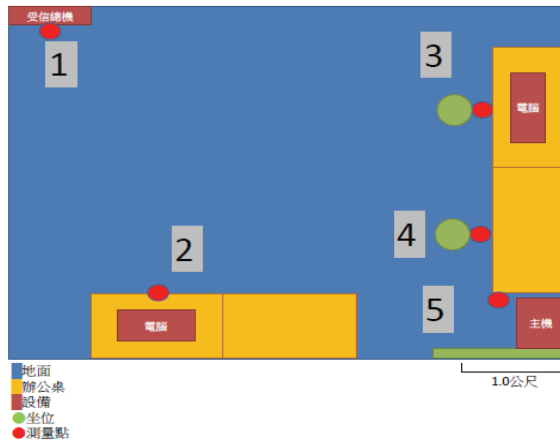
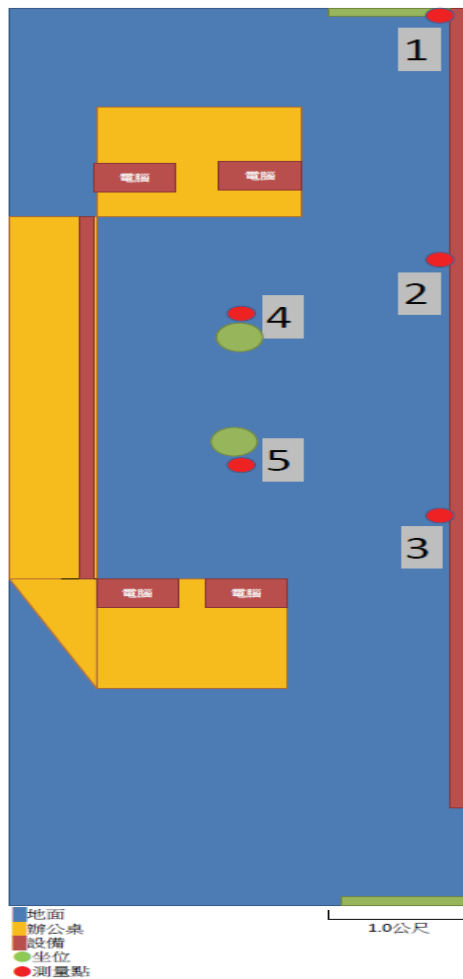


圖 6 廠區二管理室(詢問台)測量點與讀值分佈



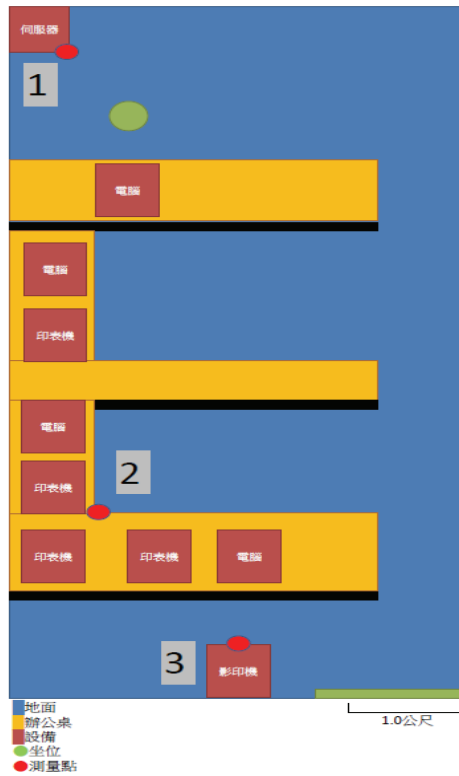
測量點	上午測 量讀值 (mG)	下午測 量讀值 (mG)
1	1.81	1.61
2	0.81	0.61
3	1.11	1.11
4	0.91	0.91
5	1.21	0.91

圖 7 廠區二警衛室測量點與讀值分佈



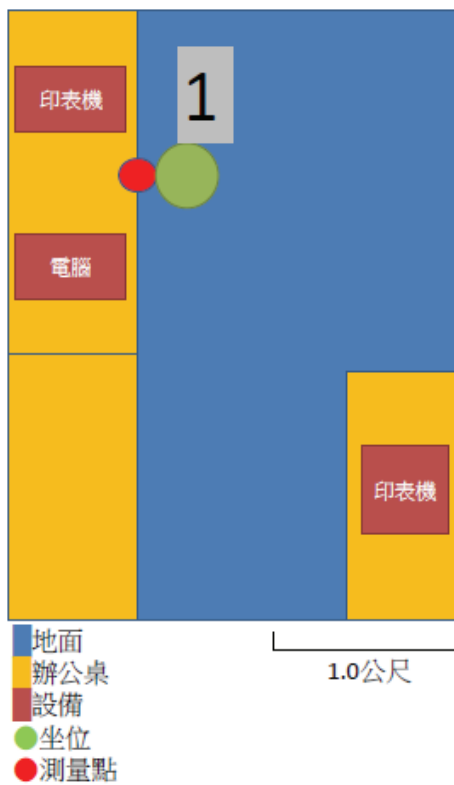
測量點	上午測 量讀值 (mG)	下午測 量讀值 (mG)
1	3.21	3.31
2	1.21	1.31
3	1.71	1.51
4	2.71	2.81
5	2.11	2.01

圖 8 廠區二控制室測量點與讀值分佈



測量點	上午測	下午測
	量讀值 (mG)	量讀值 (mG)
1	0.71	0.71
2	0.91	1.01
3	0.61	0.61

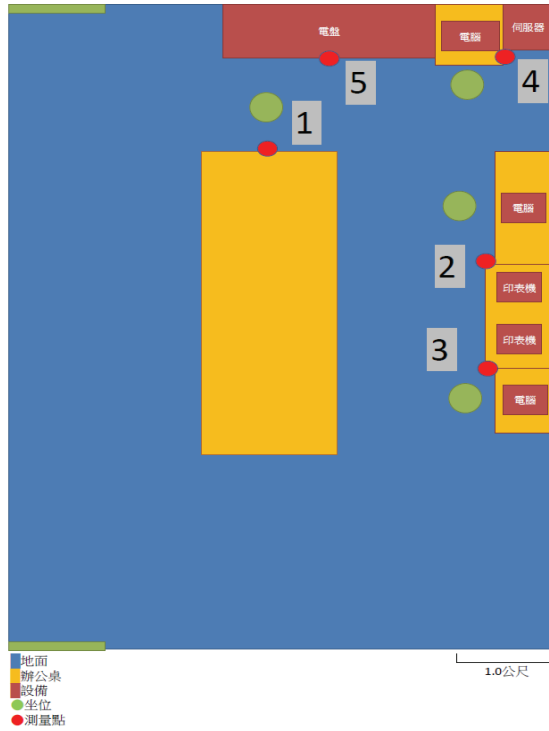
圖 9 廠區二辦公室(一)測量點與讀值分佈



測量點	上午測	下午測
	量讀值 (mG)	量讀值 (mG)
1	0.41	0.51

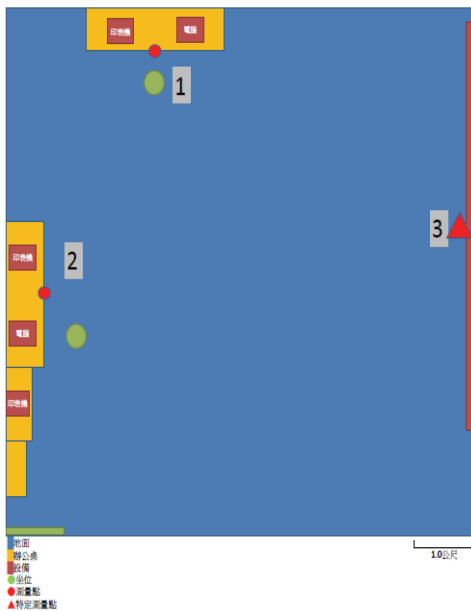
圖 10 廠區二辦公室(二)測量點與讀值分佈





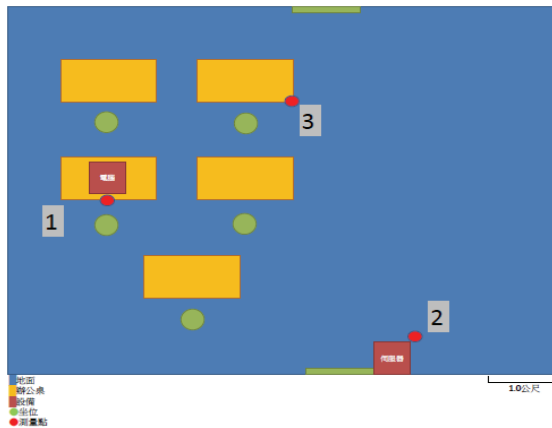
測量點	上午測量讀值 (mG)	下午測量讀值 (mG)
1	0.31	0.31
2	0.31	0.31
3	0.71	0.71
4	0.31	0.31
5	0.61	0.31

圖 11 廠區二辦公室(三)測量點與讀值分佈



測量點	上午測量讀值 (mG)	下午測量讀值 (mG)
1	1.91	1.71
2	4.11	2.31
3	44.9	55.1
測量點 3-0 公分	44.9	55.1
測量點 3-10 公分	36.1	34.5
測量點 3-30 公分	28.7	25.3
測量點 3-50 公分	22.9	19.7
測量點 3-100 公分	14.9	12.5

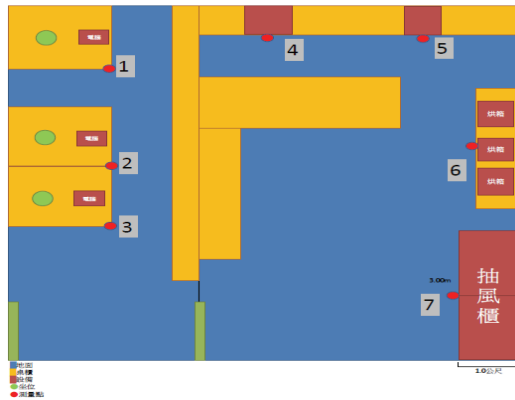
圖 12 廠區二辦公室(四)測量點與讀值分佈



測量點	上午測	下午測
	量讀值 (mG)	量讀值 (mG)
1	1.01	0.71
2	0.61	0.71
3	0.91	0.91

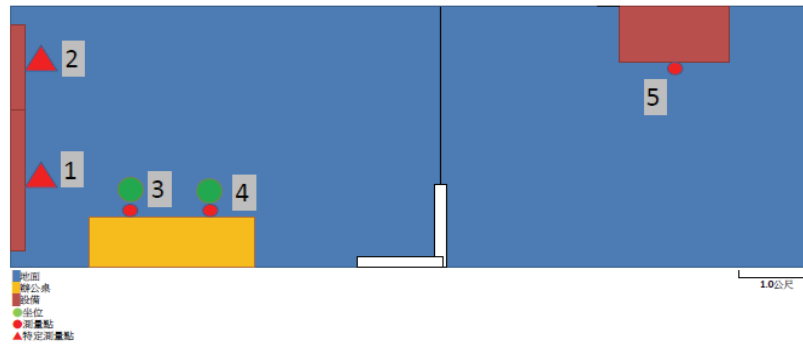
圖 13 廠區二辦公室(五)測量點與讀值分佈

廠區三之研究室(圖 14)以辦公室與實驗室構成，除依受測對象之固定座位設置測量點外，另選擇測量點於實驗室設備周圍，其讀值範圍皆低於 1mG(讀值範圍：0.11-0.67mG)；控制室(圖 15)以控制室與實驗室構成且受測對象經常離開控制室，測量點除受測對象之固定座位(測量點 3、4)(讀值範圍：0.72-2.12mG)與實驗室抽風櫃外(測量點 5)(讀值範圍：0.11-0.18mG)，另於配電盤與控制盤(測量點 1、2)設置特定發生源前設置測量點(讀值範圍：8.1-21.5mG)；品管實驗室(圖 16)由三個實驗區域構成，除依受測對象之固定座位設置測量點，另選擇測量點於實驗室設備周圍，其測量點讀值範圍較廣(0.11-49.9mG)，並在電磁攪拌器(測量點 10)設置特定發生源(讀值範圍：0.73-153.5mG)；該廠區之生產線(圖 17)為生產塑膠射出原料之設備，受測對象並無固定之座位，因此選擇於各設備之周圍或下方量測，同時定義配電箱(讀值範圍：2.49-35.3mG)與切割機設備(讀值範圍：0.52-11.21mG)設置為特定發生源之測量點。



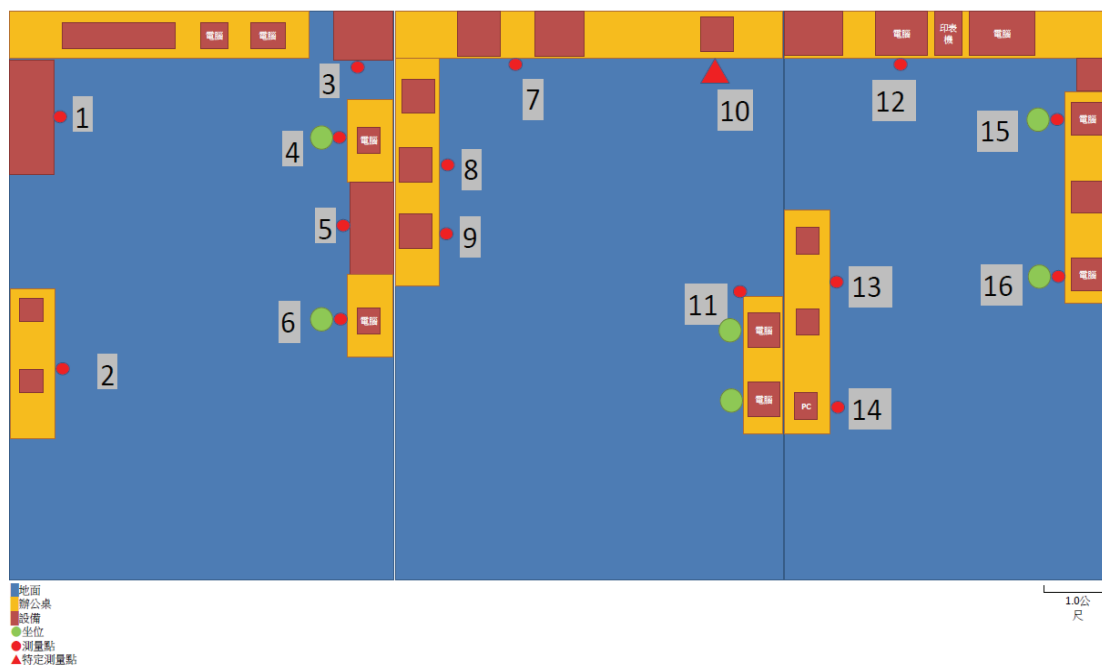
測量點	上午測量讀值 (mG)	下午測量讀值 (mG)
1	0.56	0.23
2	0.14	0.26
3	0.11	0.31
4	0.67	0.26
5	0.11	0.14
6	0.46	0.47
7	0.32	0.26

圖 14 廠區三研究室測量點與讀值分佈



測量點	上午測量讀值(mG)	下午測量讀值(mG)
1	20.9	21.5
2	15.9	13.82
3	2.12	0.72
4	0.76	1.71
5	0.11	0.18
測量點 1-0 公分	20.9	21.5
測量點 1-10 公分	17.3	19.5
測量點 1-30 公分	8.7	11.7
測量點 1-50 公分	5.38	6.39
測量點 1-100 公分	2.58	2.46
測量點 2-0 公分	15.9	13.82
測量點 2-10 公分	13.1	12.82
測量點 2-30 公分	8.1	7.71
測量點 2-50 公分	6.06	5.54
測量點 2-100 公分	3.57	2.91

圖 15 廠區三控制室測量點與讀值分佈



測量點	上午測量讀值 (mG)	下午測量讀值 (mG)
1	0.26	0.18
2	0.11	0.18
3	5.87	4.29
4	0.71	0.83
5	3.17	2.83
6	0.26	0.26
7	0.11	0.14
8	0.99	0.54
9	2.38	2.07
10	49.9	43.5
11	0.14	0.18
12	0.38	0.61
13	1.87	1.99
14	1.11	0.38
15	6.41	6.24
16	0.48	0.52
測量點 10-0 公分	49.9	43.5
測量點 10-10 公分	153.5	29.5
測量點 10-30 公分	20.3	7.61
測量點 10-50 公分	5.81	2.83
測量點 10-100 公分	0.88	0.73

圖 16 廠區三品管實驗室測量點與讀值分佈

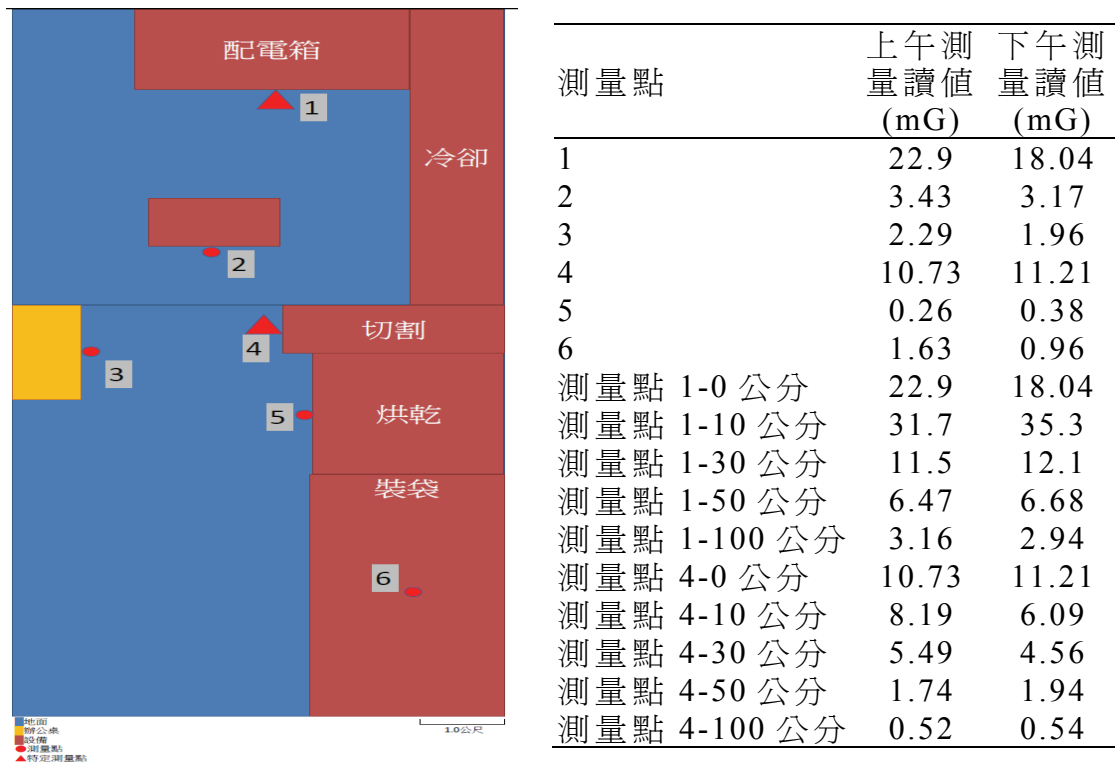
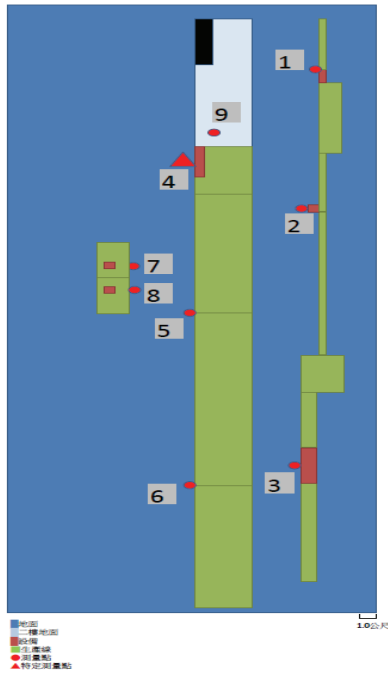


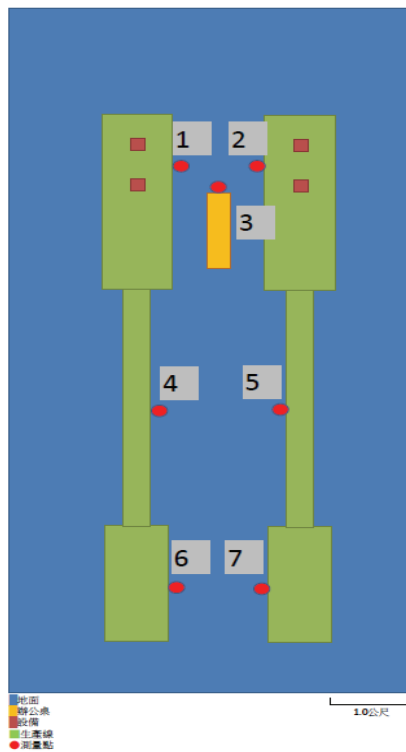
圖 17 廠區三生產線測量點與讀值分佈

廠區四為鋼鐵材料工廠，生產線(一)(圖 18)共有三條生產線，受測對象並無固定之座位，人員主要停留於放置原料與收集成品之區域(測量點 1、3、4、6)，左方之生產線處於修繕保養狀態，但馬達仍持續運轉，且有受測對象進行維修工作，因此設置也為測量點(測量點 7、8)，此外，控制電腦設置測量點(測量點 2)與配電箱(測量點 4)設置特定發生源測量點(讀值範圍：7.81-12.21mG)，在下料區域(測量點 1、6)有較高之讀值(讀值範圍：3.71-4.81mG)；產生線(二)(圖 19)為一成品處理之區域，於受測對象經常停留之地點設置測量點(測量點 3、4、5)，同時馬達周圍也個別設置測量點(測量點 1、2、6、7)，此區域之讀值分佈較一致(讀值範圍：1.31-2.21mG)；生產線(三)與生產線(四)(圖 20、圖 21)為成品處理、包裝之區域，受測對象無固定之座位，測量點設置於馬達周圍與工作台前方，讀值皆低於 2mG(讀值範圍：1.11-3.61mG)；該廠區之辦公室(圖 22)除依受測對象之固定座位設置測量點外，另選擇測量點於影印機周圍，除測量點 1 測得最大之讀值 2.61mG 外，其於測量點之讀值皆低於 2mG(讀值範圍：0.71-1.11mG)。



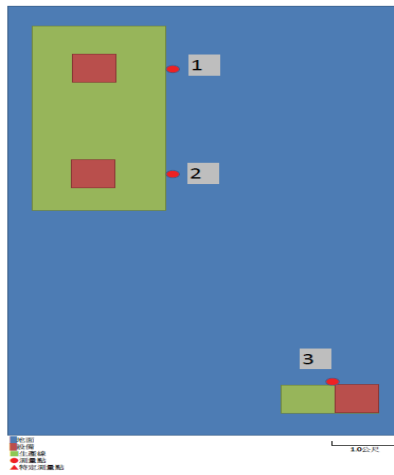
測量點	上午測	下午測
	量讀值 (mG)	量讀值 (mG)
1	3.71	4.81
2	1.41	1.81
3	0.21	2.01
4	10.41	10.61
5	2.41	2.31
6	3.71	3.71
7	1.21	1.81
8	1.41	1.41
9	1.91	1.81
特定發生源 4-0 公分	10.41	10.61
特定發生源 4-10 公分	11.3	12.21
特定發生源 4-30 公分	9.41	10.11
特定發生源 4-50 公分	8.81	9.11
特定發生源 4-100 公分	8.41	7.81

圖 18 廠區四生產線(一)測量點與讀值分佈



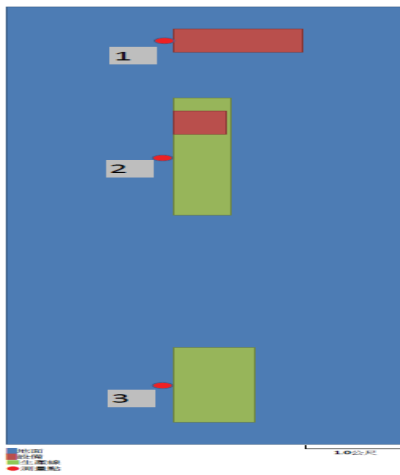
測量點	上午測	下午測
	量讀值 (mG)	量讀值 (mG)
1	1.51	1.61
2	1.41	1.81
3	1.31	2.21
4	2.21	2.21
5	1.91	1.91
6	2.11	2.01
7	1.91	1.91

圖 19 廠區四生產線(二)測量點與讀值分佈



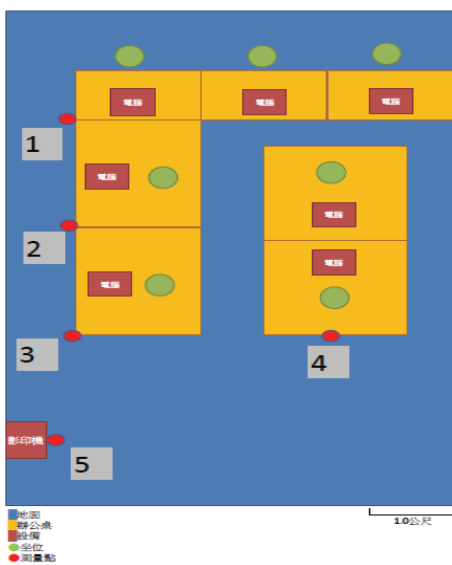
測量點	上午測 量讀值 (mG)	下午測 量讀值 (mG)
1	1.91	1.31
2	1.31	1.31
3	1.51	1.51

圖 20 廠區四生產線(三)測量點與讀值分佈



測量點	上午測 量讀值 (mG)	下午測 量讀值 (mG)
1	1.21	1.11
2	3.61	3.61
3	1.81	2.01

圖 21 廠區四生產線(四)測量點與讀值分佈



測量點	上午測 量讀值 (mG)	下午測 量讀值 (mG)
1	2.61	2.11
2	0.71	1.01
3	1.01	1.01
4	1.01	0.91
5	1.11	0.91

圖 22 廠區四辦公室測量點與讀值分佈



廠區五的測量環境為辦公室(圖 23)，除受測對象之固定座位設置測量點外，另選擇測量點於影印機、印表機、冰箱周圍(讀值範圍：0.68-5.39mG)。

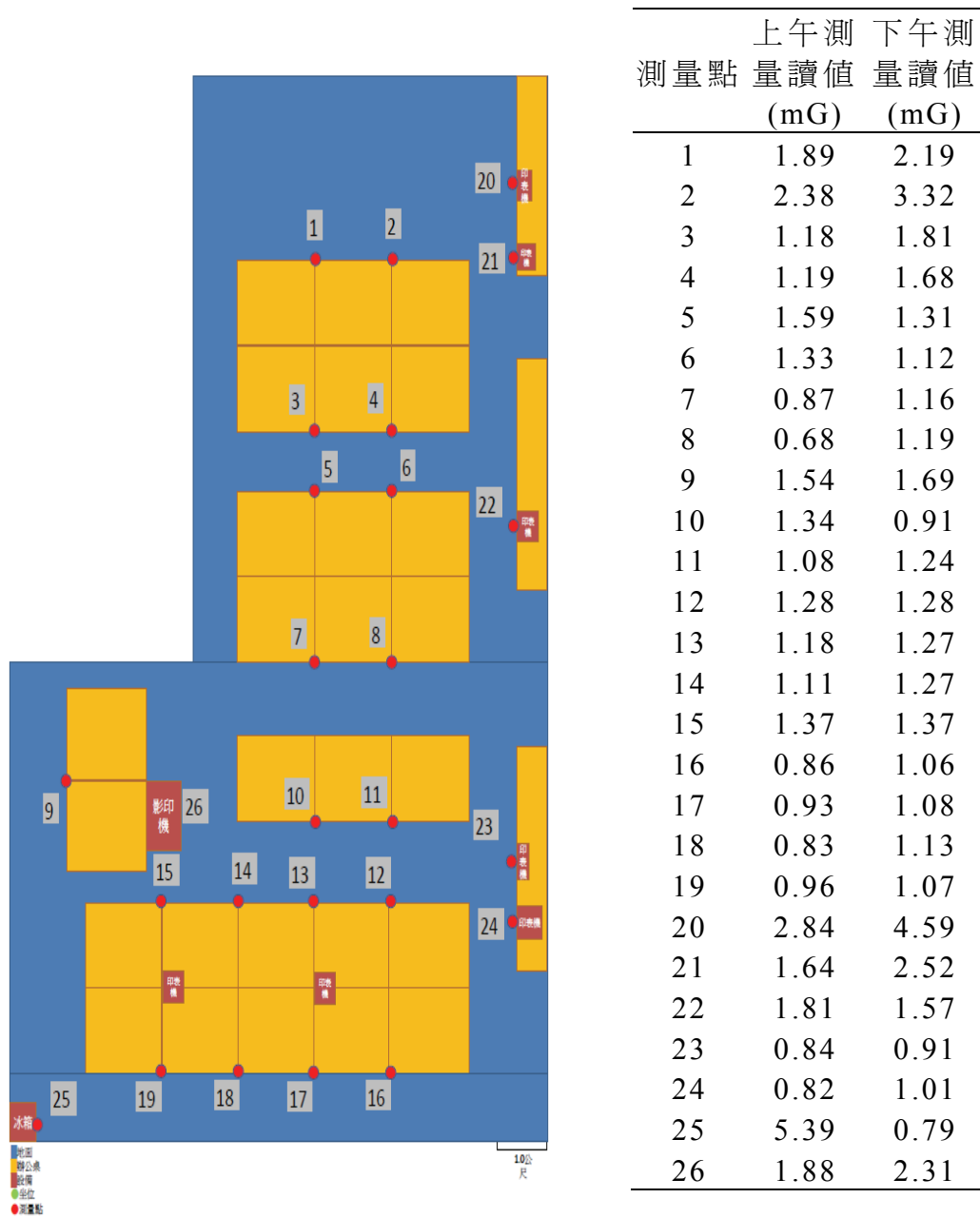
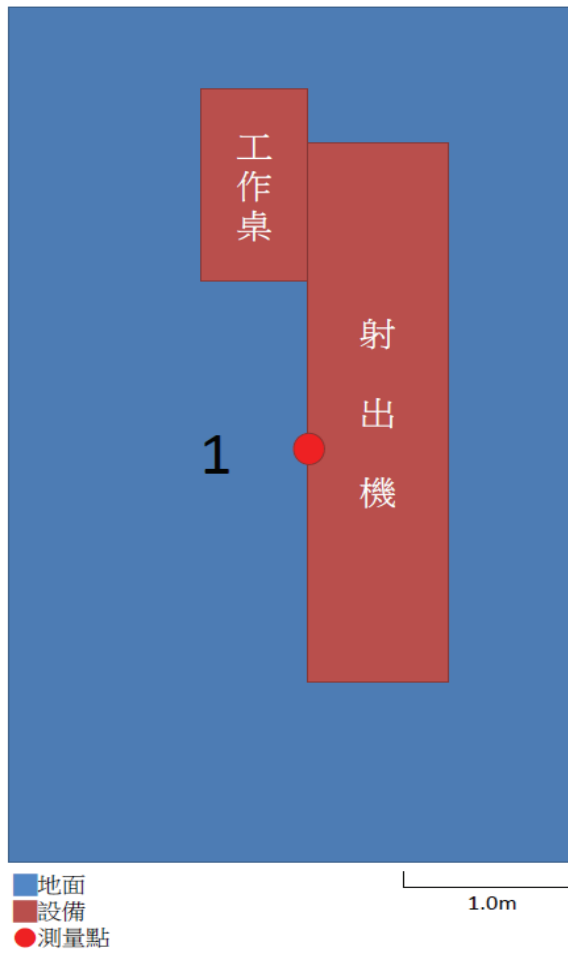


圖 23 廠區五辦公室測量點與讀值分佈

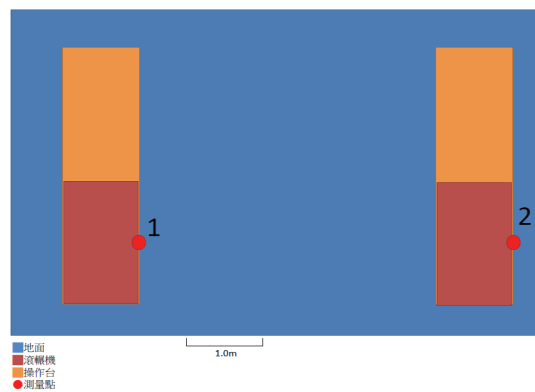
廠區六為一製鞋工廠，以受測對象操作生產設備所在之位置為測量點，測量讀值範圍為 0.14-10.61mG。射出機(圖 24 及 26)用於製作品牌標誌與鞋身塑膠配件(讀值範圍：0.59-1.061mG)，使用電熱設施製作鞋底材料的熱壓成型機(圖 27)與 PU 灌注機(圖 28)，讀值範圍為 1.76-6.78mG。圖 29 為該廠區製作鞋底模

具的 CNC 車床設備區，測量點選擇各機台之開口，讀值範圍為 0.14-1.29mG。



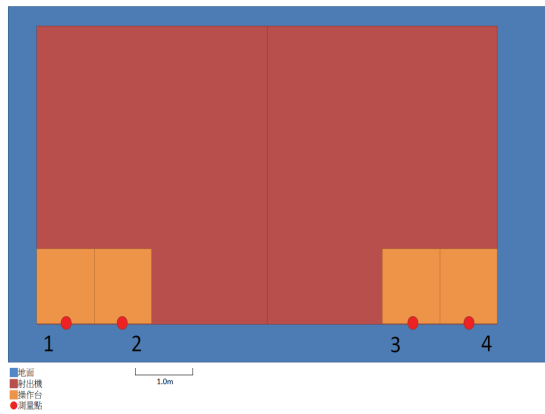
測量點	上午測 量讀值 (mG)	下午測 量讀值 (mG)
1	1.28	1.43

圖 24 廠區六小型射出成型機測量點與讀值分佈



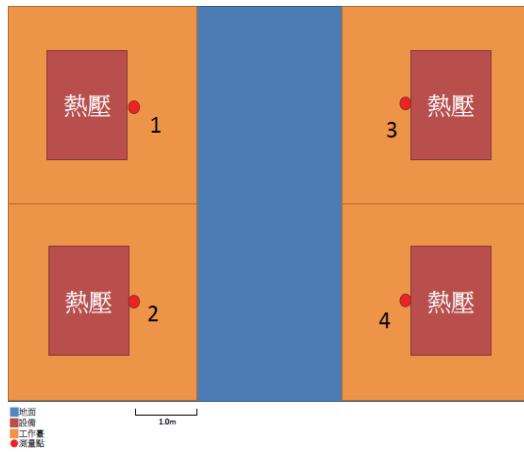
測量點	上午測 量讀值 (mG)	下午測 量讀值 (mG)
1	2.08 (待機)	3.21
2	2.07 (待機)	3.14 (待機)

圖 25 廠區六滾軋機測量點與讀值分佈



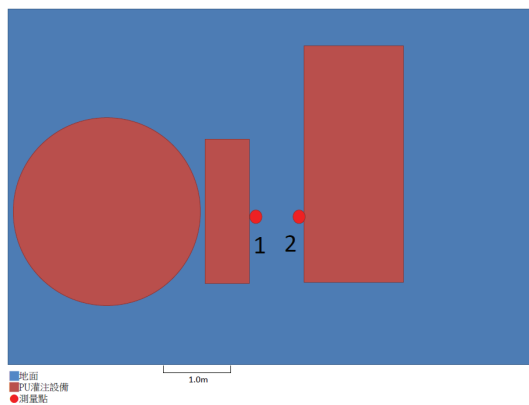
測量點	上午測 量讀值 (mG)	下午測 量讀值 (mG)
1	1.33	1.53
2	2.02	10.61
3	0.59	1.24
4	0.87	8.26

圖 26 廠區六大型射出成型機測量點與讀值分佈



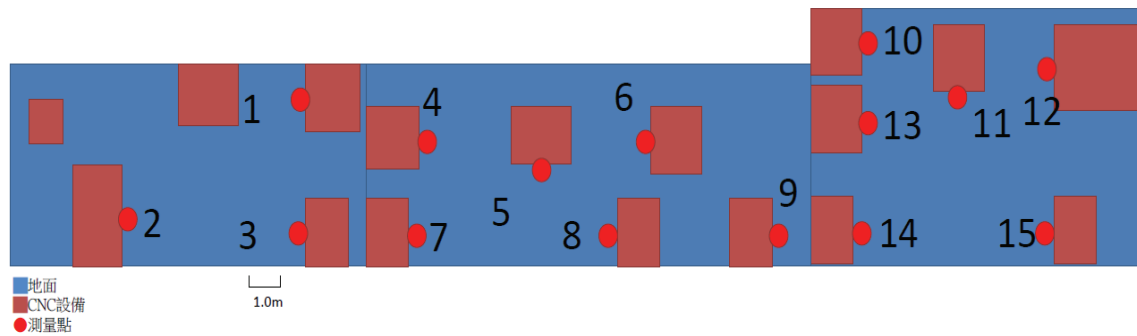
測量點	上午測 量讀值 (mG)	下午測 量讀值 (mG)
1	3.77	4.34
2	1.76	2.79
3	3.51	4.41
4	1.84	2.71

圖 27 廠區六熱壓成型機測量點與讀值分佈



測量點	上午測 量讀值 (mG)	下午測 量讀值 (mG)
1	3.66	3.54
2	4.22	6.78

圖 28 廠區六 PU 灌注機測量點與讀值分佈

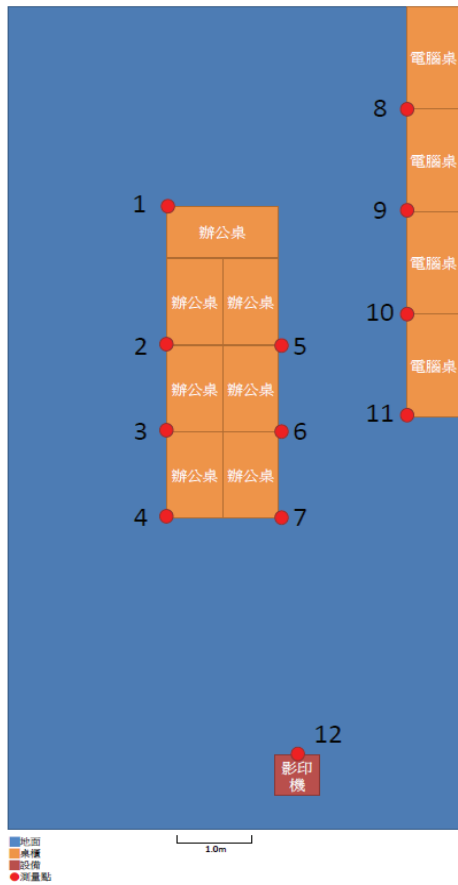


測量點	上午測	下午測
	量讀值 (mG)	量讀值 (mG)
1	1.01	0.18
2	0.18	1.09
3	0.23	0.21
4	0.42	0.38
5	0.64	0.72
6	0.72	0.64
7	0.54	0.37
8	0.14	0.43
9	0.18	0.79
10	0.38	0.47
11	0.18	0.18
12	0.32	0.76
13	0.64	0.61
14	1.18	0.23
15	1.29	1.29

圖 29 廠區六 CNC 車床機測量點與讀值分佈

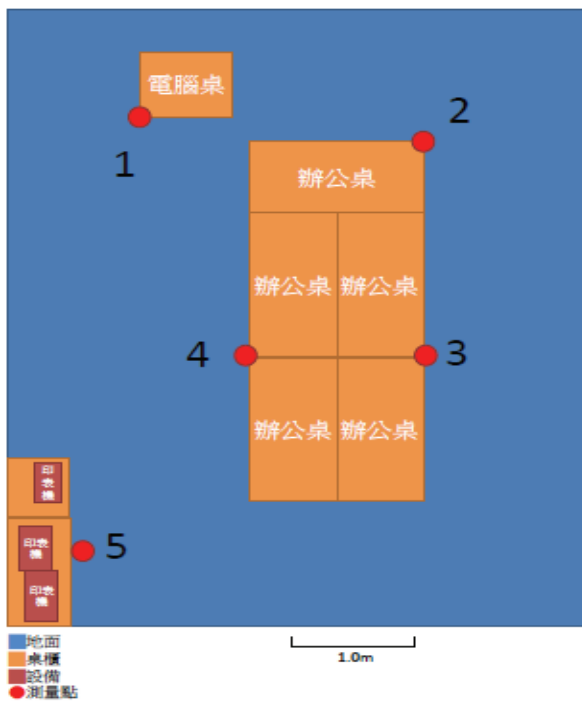
廠區七為一廣播電台，廣播訊號發射器距離該建築物約 20 公尺，建築物內為一般辦公室與錄音、播音室，測量點選擇受測對象工作之固定位置以及其它辦公室設備，無特別較高之低頻電磁場發生源，讀值範圍為 0.11-2.09 mG。

廠區八為一運動用品工廠，以生產高爾夫球為主。測量點選擇受測對象操作生產設備之位置，球殼射出機(圖 34)有較高之讀值(讀值範圍：5.14-7.54 mG)，使用電熱設備之熱壓成型機(圖 36)與廠區六之熱壓成型機(圖 27)相比並無較高之讀值。



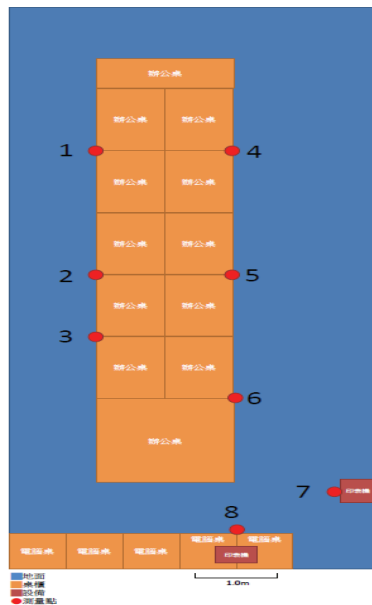
測量點	上午測	下午測
	量讀值 (mG)	量讀值 (mG)
1	0.18	0.11
2	0.24	0.11
3	0.23	0.23
4	0.18	0.14
5	0.11	0.11
6	0.38	0.37
7	0.11	0.26
8	0.18	0.18
9	0.26	0.23
10	0.18	0.23
11	1.48	2.09
12	0.18	0.31

圖 30 廠區七辦公室(一)測量點與讀值分佈



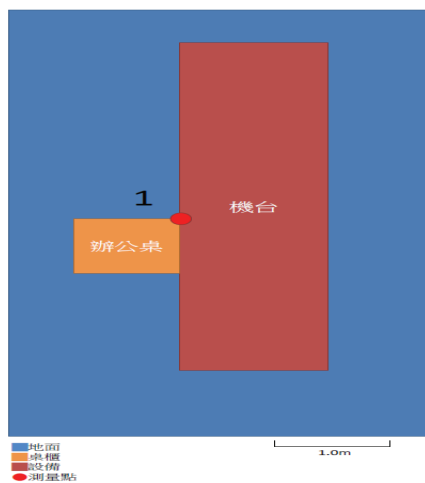
測量點	上午測	下午測
	量讀值 (mG)	量讀值 (mG)
1	0.29	0.29
2	0.31	0.18
3	0.38	0.36
4	0.29	0.29
5	0.34	0.31

圖 31 廠區七辦公室(二)測量點與讀值分佈



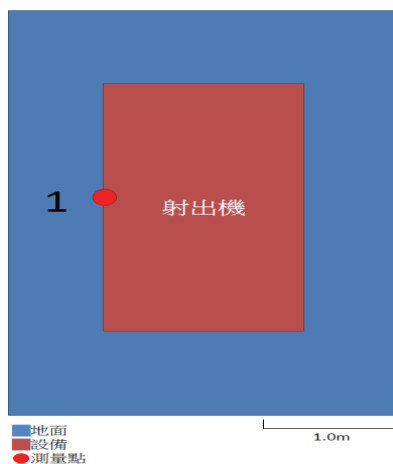
測量點	上午測 量讀值 (mG)	下午測 量讀值 (mG)
1	0.62	0.71
2	0.66	0.47
3	0.62	0.52
4	0.51	0.62
5	1.08	0.94
6	0.49	0.44
7	0.66	0.53 (待機)
8	0.38 (待機)	0.42 (待機)

圖 32 廠區七辦公室(三)測量點與讀值分佈



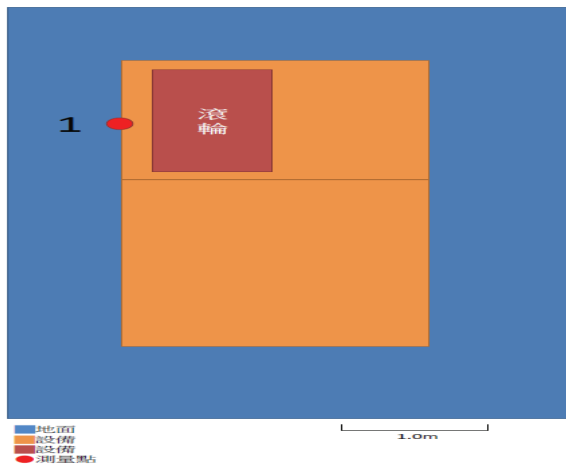
測量點	上午測 量讀值 (mG)	下午測 量讀值 (mG)
1	1.66	1.57

圖 33 廠區八射出成型機(一)測量點與讀值分佈



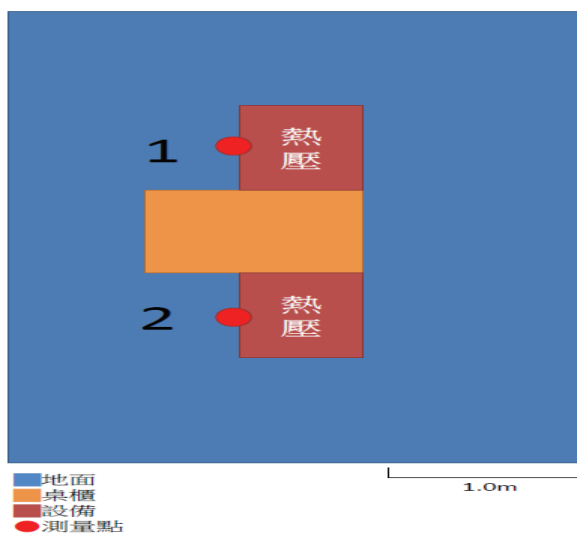
測量點	上午測 量讀值 (mG)	下午測 量讀值 (mG)
機台 1		
1	5.71	7.54
機台 2		
1	7.01	5.14

圖 34 廠區八射出成型機(二)測量點與讀值分佈



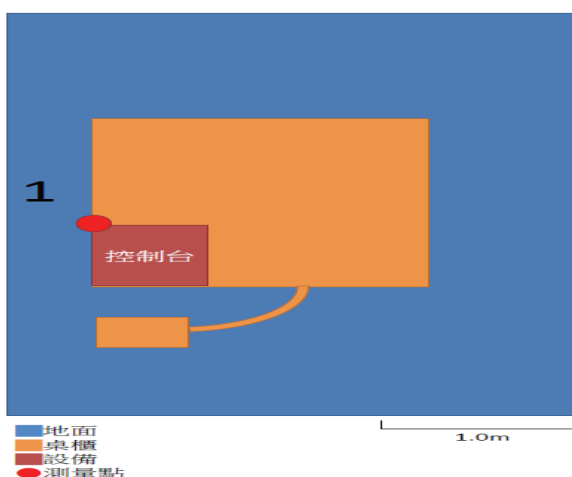
測量點	上午測 量讀值 (mG)	下午測 量讀值 (mG)
1	1.84	1.32

圖 35 廠區八滾輾機測量點與讀值分佈



測量點	上午測 量讀值 (mG)	下午測 量讀值 (mG)
1	2.97	2.06
2	2.37	1.36

圖 36 廠區八熱壓成型機測量點與讀值分佈



測量點	上午測 量讀值 (mG)	下午測 量讀值 (mG)
機台 1		
1	2.27	7.74
機台 2		
1	3.84	4.44

圖 37 廠區八修邊機測量點與讀值分佈

廠區九為一生產太陽能電池之工廠，由於廠區內為一無塵環境，因此無法測量生產設備的長寬尺寸與測量點位置，僅能以相對位置表示測量點位置(圖



38-41)。測量點選擇受測對象操作設備或收整成品、半成品之位置。鍍膜機橫向排列於廠區中(圖 38)，工作者大部分時間於作業區(測量點 1)進行半成品的加工或是收整(讀值範圍：1.53-15.18 mG)；濕蝕刻機用於處理太陽能電池之電路結構(圖 39)，圖中箭頭方向為製程生產方向，在廠區中以直向排列，工作者以監控機台為主，選擇一操作控制面板位置為測量點；讀值最高之區域為以電熱設備使產生太陽能電池之塗料熱擴散之機台(圖 40)，工作者大部分時間於作業區(測量點 1)進行半成品的加工或是收整(讀值範圍：7.19-29.9 mG)；電路印刷機(鏈路燒結)之機台橫列於廠區中，製程分為兩部分，製程前段(測量點 1 及 2)為電路印刷，須人員監控，製程後段(測量點 3 及 4)為鏈路燒結，有人員監控設備並收集成品，測量點 3 有使用電熱之設備，因此讀值較高(讀值範圍：0.76-12.66)。

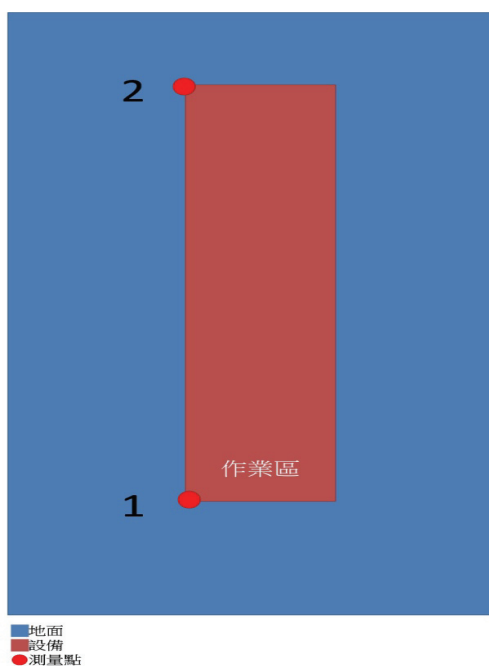


圖 38 廠區九鍍膜機測量點與讀值分佈

測量點	上午測量讀值 (mG)	下午測量讀值 (mG)
機台 1		
1	4.39	5.73
機台 2		
1	3.19	3.32
機台 3		
1	6.51	5.11
2	11.41	15.18
機台 4		
1	1.67	1.81
2	2.03	2.26
機台 5		
1	1.68	2.01
2	3.99	4.19
機台 6		
1	2.56	3.17
2	2.58	1.99
機台 7		
1	2.33	2.19
2	3.37	4.37
機台 8		
1	1.34	1.53
2	3.22	3.97

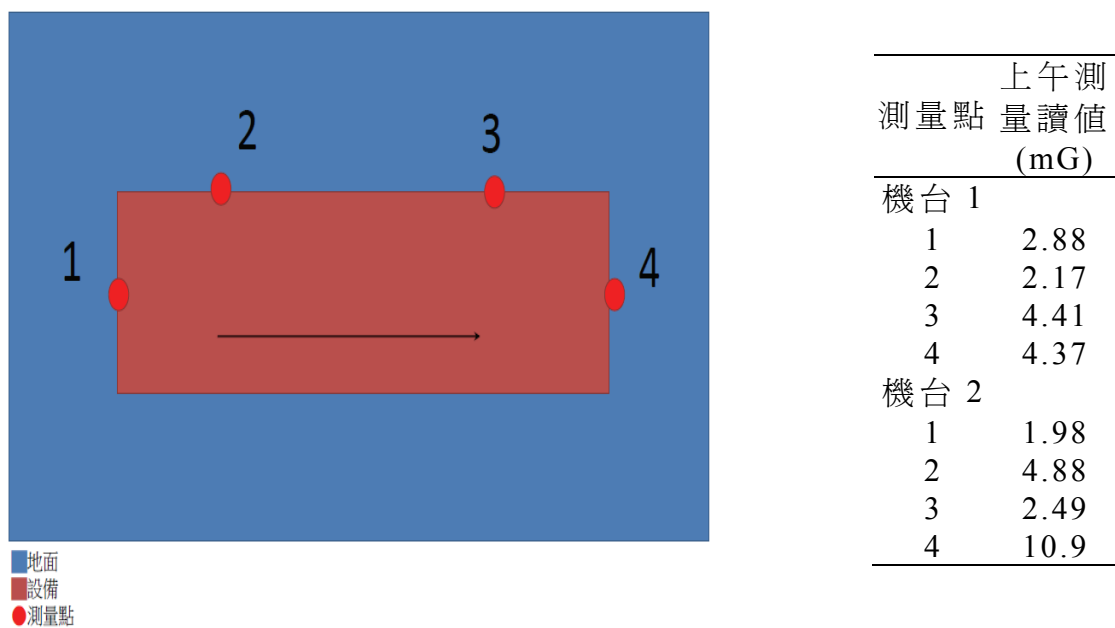


圖 39 廠區九濕蝕刻機測量點與讀值分佈

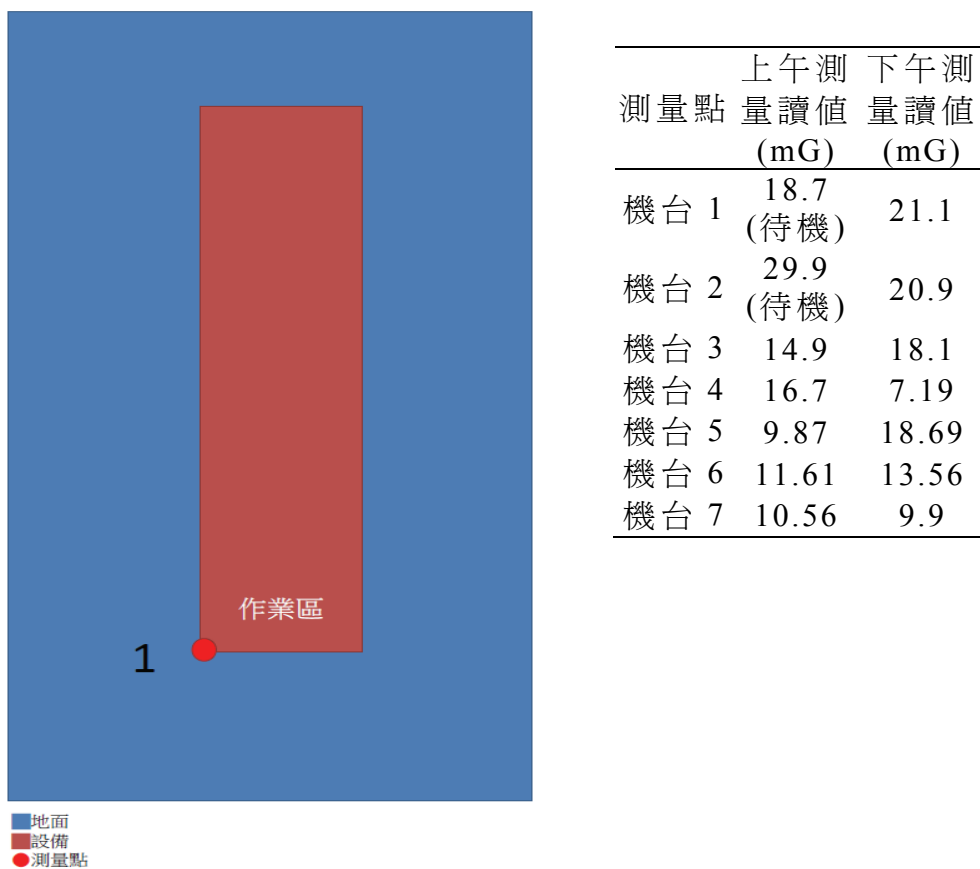
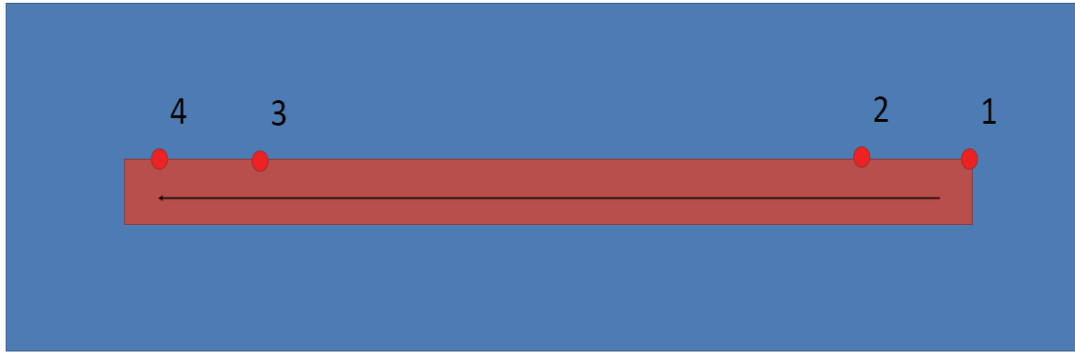


圖 40 廠區九擴散機測量點與讀值分佈



■地面  
■設備  
●測量點

測量點	上午測量讀值 (mG)	下午測量讀值 (mG)	測量點	上午測量讀值 (mG)	下午測量讀值 (mG)
機台 1			機台 2		
1	1.89	1.53	1	2.39	2.21
2	2.23	2.77	2	1.98	2.63
3	2.19	4.08	3	1.93	2.48
4	1.63	1.46	4	1.76	1.54
機台 3			機台 4		
1	3.66	3.43	1	5.94 (待機)	5.96
2	7.47	3.93	2	3.28 (待機)	3.23
3	6.14	7.06	3	4.81 (待機)	5.56
4	6.09	4.63	4	5.92 (待機)	4.02
機台 5			機台 6		
1	2.79	2.48	1	6.87	4.96
2	2.94	4.19	2	2.91	3.56
3	0.76	4.43	3	1.84	1.64
4	0.76	0.71	4	0.91	0.77
機台 7			機台 8		
1	8.04	11.99	1	4.32	3.93
2	2.33	2.84	2	3.16	2.68
3	8.58	8.44	3	1.78	1.72
4	2.58	2.58	4	1.28	1.16
機台 9			機台 10		
1	6.09	4.43	1	0.58	0.62
2	3.07	4.49	2	2.11	1.87
3	6.06	5.74	3	1.76	1.57
4	2.89	2.93	4	2.09	1.96

測量點	上午測量讀值 (mG)	下午測量讀值 (mG)	測量點	上午測量讀值 (mG)	下午測量讀值 (mG)
機台 11			機台 12		
1	0.87	2.41	1	1.36	1.01
2	1.86	1.63	2	1.21	0.99
3	0.98	1.01	3	12.66	12.5
4	1.89	1.84	4	1.21	3.19
機台 13			機台 14		
1	0.98	0.86	1	1.32	1.59
2	1.21	1.48	2	1.28	1.58
3	3.32	3.17	3	3.44	3.87
4	1.36	1.29	4	1.03	0.74
機台 15			機台 16		
1	1.24	0.98	1	1.87	1.83
2	2.97	1.89	2	5.31	3.34
3	3.99	3.71	3	4.23	2.78
4	0.84	0.72	4	1.31	0.74
機台 17			機台 18		
1	2.52	1.88	1	1.67	1.44
2	4.69	3.17	2	2.41	1.78
3	1.89	1.68	3	2.56	1.64
4	0.99	0.99	4	1.01	0.72
機台 19					
1	1.69	1.77			
2	2.08	0.88			
3	8.52	5.52			
4	0.72	0.47			

圖 41 廠區九電路印刷機(鏈路燒結)測量點與讀值分佈

廠區十為生產太陽能電池原料之工廠，由於廠區內為一無塵環境，因此無法測量生產設備的長寬尺寸與測量點位置，僅能以相對位置表示測量點位置(圖 42-43)，測量點選擇受測對象操作設備或收整半成品之位置。切片機橫向排列於廠區中，該設備用於將矽晶體切片，測量點 1 為機台操作區域，測量點 2 及 3 為放入或收整半成品的開口區域，測量點 1 之讀值較高(讀值範圍：0.74-7.31mG)；長晶爐橫向排列於廠區中，該設備利用高熱使矽原料結合為矽晶體(圖 43)，測量點 1 及 3 為長晶爐控制閥，測量點 2 為電力供應設施，因此在運作中之長晶爐區域，讀值皆非常高(讀值範圍：26.5-1979.2 mG)。

廠區十一為自行車工廠，量測之區域為該事業單位之品管實驗室，測量點選擇受測對象操作設備或辦公室固定之位置。測量點 1 為辦公室座位區域(讀值範圍：6.31-10.34 mG)，測量點 2-11 為品管測試設備(讀值範圍：1.69-10.34 mG)。

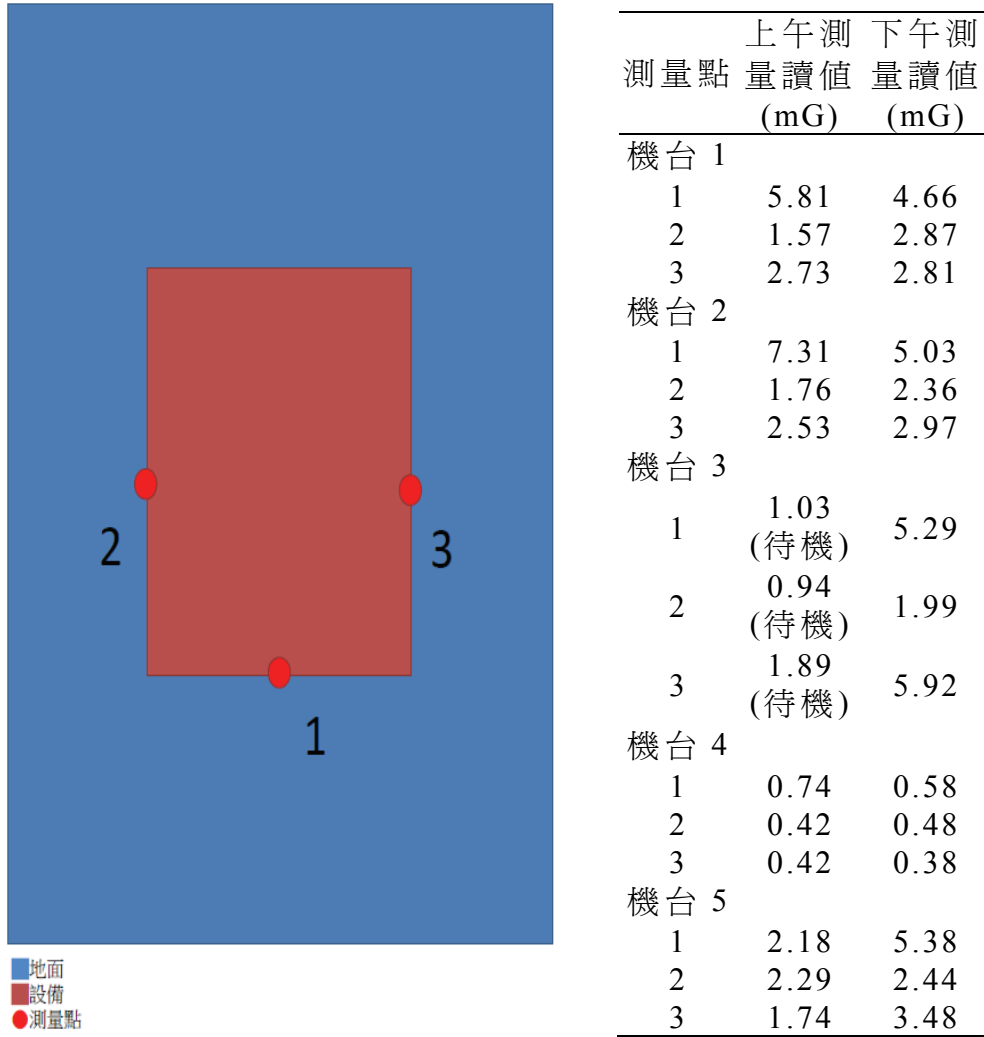
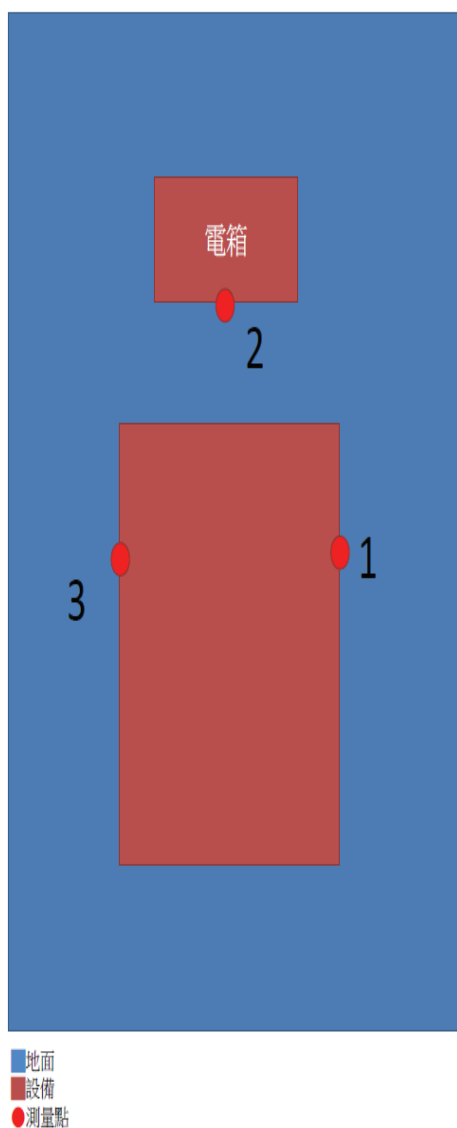


圖 42 廠區十切片機測量點與讀值分佈



測量點	上午測量讀值 (mG)	下午測量讀值 (mG)
機台 1		
1	18.3 (待機)	19.9 (待機)
2	23.3 (待機)	21.7 (待機)
3	17.5 (待機)	22.3 (待機)
機台 2		
1	51.9 (待機)	49.5 (待機)
2	30.5 (待機)	27.9 (待機)
3	22.1 (待機)	21.5 (待機)
機台 3		
1	254.4	228.8
2	1038.4	936.0
3	133.7	119.5
機台 4		
1	43.9 (待機)	13.29 (待機)
2	18.5 (待機)	10.17 (待機)
3	24.5 (待機)	30.8 (待機)
機台 5		
1	105.1	88.5
2	52.1	46.5
3	26.5	28.9
機台 6		
1	219.2	209.6
2	1979.2	1691.2
3	193.6	180.8

圖 43 廠區十長晶爐測量點與讀值分佈

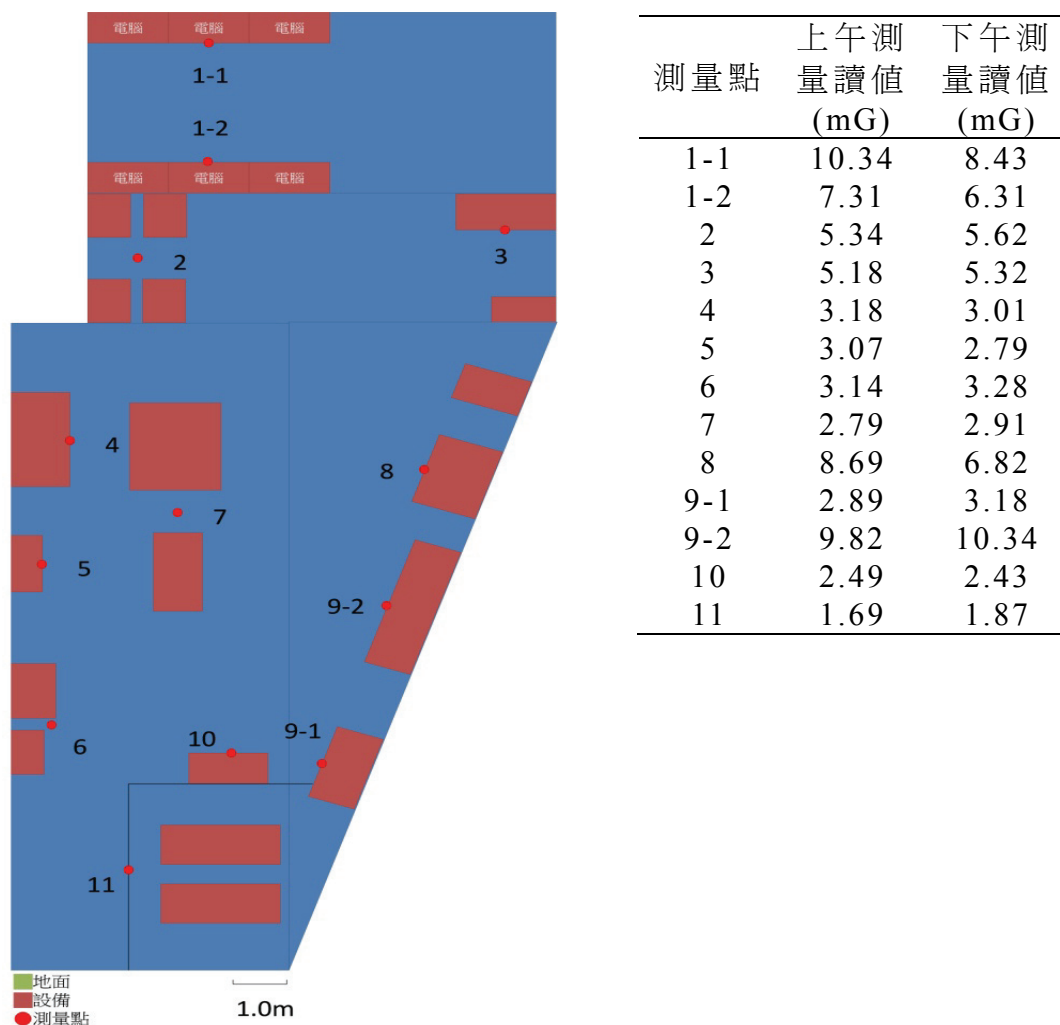


圖 44 廠區十一實驗室測量點與讀值分佈

## 第二節 個人隨身測量結果

表 6 為本研究計劃收集 104 名受測者之低頻電磁場隨身測量資料各項統計參數之描述性統計結果，各項統計參數係利用受測者所填寫之工作時間日誌，刪去受測者離開其工作場域期間之測量值進行計算，並統計測量期間測量值高於 2 mG、4 mG、10 mG 所佔之次數百分比。表 7 至表 17 分別呈現各廠區之受測者各項統計參數之分佈情形。



表 6 個人隨身測量結果描述性統計(n = 104)

統計參數	平均值	±	標準差	最大值	最小值
測量記錄次數	2891.78	±	560.32	4219.00	1727.00
測量時間 (分鐘)	481.96	±	93.39	703.17	287.83
納入分析測量次數	2025.06	±	635.33	3234.00	516.00
納入分析測量時間 (分鐘)	337.51	±	105.89	539.00	86.00
算術平均數 (mG)	2.78	±	3.92	30.09	0.14
算數標準差 (mG)	5.21	±	18.38	180.67	0.05
最大值 (mG)	85.05	±	221.08	1312.20	0.72
最小值 (mG)	0.25	±	0.26	1.33	0.00
中位數 (mG)	1.94	±	2.48	17.08	0.13
百分位數 (mG)					
25%	1.34	±	1.66	9.82	0.08
75%	2.84	±	3.60	26.83	0.13
幾何平均數 (mG)	1.87	±	2.17	14.08	0.14
幾何標準差 (mG)	2.02	±	0.91	6.70	1.06
≥ 2 mG 次數百分比	0.32	±	0.35	1.00	0.00
≥ 4 mG 次數百分比	0.15	±	0.25	0.98	0.00
≥ 10 mG 次數百分比	0.04	±	0.10	0.74	0.00

表 7 廠區一之個人隨身測量結果描述性統計(n = 10)

統計參數	平均值	±	標準差	最大值	最小值
測量記錄次數	3223.80	±	59.03	3284.00	3079.00
測量時間 (分鐘)	537.30	±	9.84	547.33	513.17
納入分析測量次數	2566.80	±	255.61	2988.00	2160.00
納入分析測量時間 (分鐘)	427.80	±	42.60	498.00	360.00
算術平均數 (mG)	0.39	±	0.20	0.84	0.14
算數標準差 (mG)	0.13	±	0.07	0.27	0.06
最大值 (mG)	4.01	±	3.47	10.27	1.27
最小值 (mG)	0.08	±	0.03	0.14	0.01
中位數 (mG)	0.38	±	0.21	0.83	0.13
百分位數 (mG)					
25%	0.35	±	0.19	0.79	0.13
75%	0.41	±	0.22	0.88	0.13
幾何平均數 (mG)	0.38	±	0.20	0.82	0.14
幾何標準差 (mG)	1.28	±	0.13	1.60	1.16
≥ 2 mG 次數百分比	0.06	±	0.08	0.20	0.00
≥ 4 mG 次數百分比	0.02	±	0.03	0.08	0.00
≥ 10 mG 次數百分比	0.01	±	0.02	0.04	0.00

表 8 廠區二之個人隨身測量結果描述性統計(n = 10)

統計參數	平均值	±	標準差	最大值	最小值
測量記錄次數	2882.10	±	90.30	2995.00	2745.00
測量時間 (分鐘)	480.35	±	15.05	499.17	457.50
納入分析測量次數	1988.40	±	824.02	2880.00	534.00
納入分析測量時間 (分鐘)	331.40	±	137.34	480.00	89.00
算術平均數 (mG)	1.34	±	0.58	2.38	0.58
算數標準差 (mG)	4.18	±	8.28	26.97	0.11
最大值 (mG)	114.58	±	281.79	909.40	2.33
最小值 (mG)	0.21	±	0.20	0.63	0.01
中位數 (mG)	0.92	±	0.57	2.21	0.36
百分位數 (mG)					
25%	0.73	±	0.57	2.11	0.26
75%	1.27	±	0.78	2.81	0.48
幾何平均數 (mG)	0.91	±	0.49	2.16	0.47
幾何標準差 (mG)	2.00	±	0.93	3.56	1.12
≥ 2 mG 次數百分比	16.41	±	27.84	89.88	0.07
≥ 4 mG 次數百分比	1.88	±	4.35	14.06	0.00
≥ 10 mG 次數百分比	0.91	±	2.30	7.40	0.00

表 9 廠區三之個人隨身測量結果描述性統計(n = 10)

統計參數	平均值	±	標準差	最大值	最小值
測量記錄次數	2563.20	±	178.18	2704.00	2306.00
測量時間 (分鐘)	427.20	±	29.70	450.67	384.33
納入分析測量次數	1966.80	±	265.72	2424.00	1488.00
納入分析測量時間 (分鐘)	327.80	±	44.29	404.00	248.00
算術平均數 (mG)	0.92	±	0.53	1.98	0.28
算數標準差 (mG)	1.54	±	1.24	3.70	0.20
最大值 (mG)	37.13	±	43.90	133.32	4.03
最小值 (mG)	0.07	±	0.04	0.11	≤ 0.01
中位數 (mG)	0.66	±	0.44	1.63	0.18
百分位數 (mG)					
25%	0.41	±	0.29	0.97	0.11
75%	1.06	±	0.72	2.53	0.23
幾何平均數 (mG)	2.09	±	1.28	4.18	0.41
幾何標準差 (mG)	0.62	±	0.42	1.59	0.21
≥ 2 mG 次數百分比	2.24	±	0.57	3.32	1.55
≥ 4 mG 次數百分比	9.07	±	11.80	37.15	0.22
≥ 10 mG 次數百分比	2.26	±	2.23	6.20	0.05
測量記錄次數	0.50	±	0.62	1.67	0.00

表 10 廠區四之個人隨身測量結果描述性統計(n = 10)

統計參數	平均值	±	標準差	最大值	最小值
測量記錄次數	3234.60	±	183.60	3373.00	2734.00
測量時間 (分鐘)	539.10	±	30.60	562.17	455.67
納入分析測量次數	2200.20	±	389.67	2760.00	1620.00
納入分析測量時間 (分鐘)	366.70	±	64.94	460.00	270.00
算術平均數 (mG)	3.61	±	1.87	7.16	1.94
算數標準差 (mG)	5.49	±	3.70	12.36	1.18
最大值 (mG)	115.93	±	108.31	383.00	10.67
最小值 (mG)	0.33	±	0.14	0.52	0.03
中位數 (mG)	2.62	±	1.00	4.82	1.42
百分位數 (mG)					
25%	1.72	±	0.50	2.77	1.04
75%	4.06	±	2.56	10.30	1.88
幾何平均數 (mG)	2.64	±	1.13	5.00	1.60
幾何標準差 (mG)	1.91	±	0.33	2.42	1.52
≥ 2 mG 次數百分比	57.24	±	19.84	88.95	21.27
≥ 4 mG 次數百分比	18.03	±	18.42	52.68	1.97
≥ 10 mG 次數百分比	5.92	±	9.31	25.29	0.05

表 11 廠區五之個人隨身測量結果描述性統計(n = 10)

統計參數	平均值	±	標準差	最大值	最小值
測量記錄次數	3041.40	±	35.21	3089.00	2959.00
測量時間 (分鐘)	506.90	±	5.87	514.83	493.17
納入分析測量次數	2526.60	±	232.58	2700.00	2112.00
納入分析測量時間 (分鐘)	421.10	±	38.76	450.00	352.00
算術平均數 (mG)	0.94	±	0.10	1.09	0.77
算數標準差 (mG)	0.23	±	0.17	0.66	0.05
最大值 (mG)	7.36	±	8.24	29.48	1.17
最小值 (mG)	0.54	±	0.12	0.71	0.43
中位數 (mG)	0.92	±	0.09	1.08	0.77
百分位數 (mG)					
25%	0.86	±	0.10	1.02	0.72
75%	0.99	±	0.12	1.21	0.82
幾何平均數 (mG)	0.92	±	0.09	1.07	0.76
幾何標準差 (mG)	1.15	±	0.05	1.22	1.06
≥ 2 mG 次數百分比	0.43	±	0.59	1.70	0.00
≥ 4 mG 次數百分比	0.06	±	0.08	0.23	0.00
≥ 10 mG 次數百分比	0.01	±	0.02	0.05	0.00

表 12 廠區六之個人隨身測量結果描述性統計(n = 10)

統計參數	平均值	±	標準差	最大值	最小值
測量記錄次數	2321.80	±	67.97	2418.00	2212.00
測量時間 (分鐘)	386.97	±	11.33	403.00	368.67
納入分析測量次數	1421.40	±	194.92	1704.00	1188.00
納入分析測量時間 (分鐘)	236.90	±	32.49	284.00	198.00
算術平均數 (mG)	1.58	±	1.52	5.70	0.66
算數標準差 (mG)	1.51	±	1.49	5.71	0.65
最大值 (mG)	15.26	±	6.26	27.30	6.28
最小值 (mG)	0.20	±	0.20	0.68	0.03
中位數 (mG)	1.14	±	1.00	3.56	0.43
百分位數 (mG)					
25%	0.72	±	0.53	1.58	0.23
75%	1.90	±	2.10	7.51	0.63
幾何平均數 (mG)	1.20	±	0.96	3.54	0.44
幾何標準差 (mG)	2.28	±	0.74	4.01	1.34
≥ 2 mG 次數百分比	0.19	±	0.21	0.70	0.04
≥ 4 mG 次數百分比	0.07	±	0.14	0.46	0.01
≥ 10 mG 次數百分比	0.02	±	0.05	0.18	0.00

表 13 廠區七之個人隨身測量結果描述性統計(n = 10)

統計參數	平均值	±	標準差	最大值	最小值
測量記錄次數	2718.80	±	82.29	2800.00	2598.00
測量時間 (分鐘)	453.13	±	13.71	466.67	433.00
納入分析測量次數	1656.60	±	329.34	2022.00	1194.00
納入分析測量時間 (分鐘)	276.10	±	54.89	337.00	199.00
算術平均數 (mG)	0.87	±	0.69	2.56	0.17
算數標準差 (mG)	0.71	±	0.52	1.96	0.07
最大值 (mG)	7.63	±	3.78	13.43	0.72
最小值 (mG)	0.14	±	0.07	0.28	0.03
中位數 (mG)	0.67	±	0.70	2.53	0.18
百分位數 (mG)					
25%	0.55	±	0.69	2.48	0.13
75%	0.92	±	0.89	2.68	0.18
幾何平均數 (mG)	0.70	±	0.67	2.47	0.16
幾何標準差 (mG)	1.77	±	0.39	2.35	1.32
≥ 2 mG 次數百分比	0.17	±	0.30	0.95	0.00
≥ 4 mG 次數百分比	0.01	±	0.02	0.07	0.00
≥ 10 mG 次數百分比	0.00	±	0.00	0.00	0.00

表 14 廠區八之個人隨身測量結果描述性統計(n = 10)

統計參數	平均值	±	標準差	最大值	最小值
測量記錄次數	1806.40	±	46.25	1870.00	1727.00
測量時間 (分鐘)	301.07	±	7.71	311.67	287.83
納入分析測量次數	1231.20	±	302.86	1434.00	516.00
納入分析測量時間 (分鐘)	205.20	±	50.48	239.00	86.00
算術平均數 (mG)	5.00	±	2.41	9.62	2.01
算數標準差 (mG)	2.89	±	1.19	5.11	0.99
最大值 (mG)	31.64	±	12.67	54.53	13.43
最小值 (mG)	0.24	±	0.12	0.48	0.08
中位數 (mG)	4.33	±	2.62	9.47	1.63
百分位數 (mG)					
25%	3.28	±	2.24	8.02	0.93
75%	5.98	±	2.87	10.93	2.33
幾何平均數 (mG)	4.33	±	2.41	9.12	1.38
幾何標準差 (mG)	1.80	±	0.40	2.51	1.35
≥ 2 mG 次數百分比	0.78	±	0.24	0.99	0.36
≥ 4 mG 次數百分比	0.49	±	0.35	0.98	0.06
≥ 10 mG 次數百分比	0.09	±	0.13	0.41	0.00

表 15 廠區九之個人隨身測量結果描述性統計(n = 10)

統計參數	平均值	±	標準差	最大值	最小值
測量記錄次數	3933.90	±	330.16	4219.00	3330.00
測量時間 (分鐘)	655.65	±	55.03	703.17	555.00
納入分析測量次數	2514.60	±	851.21	3234.00	1176.00
納入分析測量時間 (分鐘)	419.10	±	141.87	539.00	196.00
算術平均數 (mG)	6.23	±	5.30	20.49	1.54
算數標準差 (mG)	8.60	±	7.95	22.99	0.60
最大值 (mG)	128.87	±	143.38	463.00	5.28
最小值 (mG)	0.33	±	0.39	1.23	0.01
中位數 (mG)	3.96	±	4.73	17.08	0.98
百分位數 (mG)					
25%	2.57	±	2.75	9.82	0.08
75%	6.68	±	7.37	26.83	1.53
幾何平均數 (mG)	3.78	±	3.81	14.08	1.01
幾何標準差 (mG)	2.85	±	1.65	6.70	1.17
≥ 2 mG 次數百分比	0.66	±	0.32	1.00	0.16
≥ 4 mG 次數百分比	0.31	±	0.26	0.88	0.00
≥ 10 mG 次數百分比	0.15	±	0.22	0.74	0.00

表 16 廠區十之個人隨身測量結果描述性統計(n = 10)

統計參數	平均值	±	標準差	最大值	最小值
測量記錄次數	3064.40	±	65.69	3131.00	2946.00
測量時間 (分鐘)	510.73	±	10.95	521.83	491.00
納入分析測量次數	1982.40	±	600.23	2514.00	846.00
納入分析測量時間 (分鐘)	330.40	±	100.04	419.00	141.00
算術平均數 (mG)	5.11	±	8.83	30.09	0.52
算數標準差 (mG)	27.69	±	54.96	180.67	0.75
最大值 (mG)	412.90	±	536.88	1312.20	7.79
最小值 (mG)	0.08	±	0.13	0.43	0.01
中位數 (mG)	1.32	±	0.55	1.92	0.14
百分位數 (mG)					
25%	0.75	±	0.39	1.23	0.11
75%	2.48	±	1.08	3.78	0.51
幾何平均數 (mG)	1.33	±	0.60	2.23	0.20
幾何標準差 (mG)	3.06	±	0.87	4.59	1.88
≥ 2 mG 次數百分比	0.31	±	0.15	0.47	0.04
≥ 4 mG 次數百分比	0.11	±	0.08	0.22	0.00
≥ 10 mG 次數百分比	0.02	±	0.02	0.08	0.00

表 17 廠區十一之個人隨身測量結果描述性統計(n = 4)

統計參數	平均值	±	標準差	最大值	最小值
測量記錄次數	3210.25	±	73.47	3271.00	3113.00
測量時間 (分鐘)	535.04	±	12.25	545.17	518.83
納入分析測量次數	2514.00	±	12.00	2520.00	2496.00
納入分析測量時間 (分鐘)	419.00	±	2.00	420.00	416.00
算術平均數 (mG)	7.36	±	0.38	7.81	6.89
算數標準差 (mG)	2.89	±	0.89	4.11	1.98
最大值 (mG)	22.91	±	18.50	50.63	12.88
最小值 (mG)	0.91	±	0.31	1.33	0.68
中位數 (mG)	8.07	±	0.90	9.07	7.01
百分位數 (mG)					
25%	5.11	±	1.49	6.33	2.93
75%	9.64	±	1.09	11.02	8.43
幾何平均數 (mG)	6.57	±	0.76	7.04	5.44
幾何標準差 (mG)	1.67	±	0.31	2.10	1.35
≥ 2 mG 次數百分比	0.97	±	0.06	1.00	0.88
≥ 4 mG 次數百分比	0.76	±	0.14	0.93	0.58
≥ 10 mG 次數百分比	0.17	±	0.17	0.39	0.01

本研究計劃另探討短時間個人隨身測量與 8 小時個人隨身測量各統計參數間之相關性與一致性，以了解未來進行個人隨身測量時，是否能夠以較低的時間成本進行個人暴露評估。將個人隨身測量開始後 1、2、3 小時磁場測量數據

之各項統計參數與 8 小時測量之各項統計參數進行相關性與一致性分析(表 18)，結果發現，無論是以 1、2、3 小時的個人隨身測量時間，與 8 小時個人隨身測量時間之統計參數間皆有高相關性( $r>0.7$ )，而在一致性方面，1 小時個人隨身測量與 8 小時個人隨身測量之最小值之一致性較差( $ICC = 0.331$ )，其餘參數之 ICC 皆大於 0.7 以上，而 2、3 小時個人隨身測量與 8 小時個人隨身測量在各項統計參數間皆發現高一致性。此分析結果顯示，未來進行個人隨身量測時，若在時間成本較為有限的情形下，可選擇以佩戴 2 或 3 小時的方式為個人電磁場暴露評估方法。

表 18 受測對象短時間個人隨身測量值與 8 小時個人隨身測量值之統計參數一致性檢定

8 小時個人隨身測量值統計參數									
個人暴露估計值 統計參數	算術平 均數	算數標 準差	最大值	最小值	中位數	25% 百分位 數	75% 百分位 數	幾何平 均數	幾何標 準差
Pearson's correlation coefficient									
1 小時	0.821*	0.834*	0.794*	0.505*	0.942*	0.949*	0.941*	0.956*	0.717*
2 小時	0.835*	0.841*	0.830*	0.926*	0.950*	0.852*	0.949*	0.954*	0.896*
3 小時	0.798*	0.839*	0.835*	0.956*	0.987*	0.965*	0.980*	0.984*	0.889*
Spearman's rank correlation coefficient									
1 小時	0.911*	0.805*	0.762*	0.859*	0.917*	0.952*	0.921*	0.957*	0.878*
2 小時	0.960*	0.889*	0.853*	0.933*	0.966*	0.979*	0.964*	0.977*	0.906*
3 小時	0.973*	0.936*	0.915*	0.975*	0.976*	0.986*	0.973*	0.980*	0.931*
Intraclass correlation coefficient									
1 小時	0.804*	0.867*	0.764*	0.331*	0.942*	0.948*	0.942*	0.956*	0.715*
2 小時	0.782*	0.716*	0.813*	0.885*	0.949*	0.853*	0.946*	0.951*	0.882*
3 小時	0.744*	0.636*	0.820*	0.928*	0.987*	0.964*	0.979*	0.984*	0.856*

\*: p value < 0.05



### 第三節 工作環境測量之效度評估

利用廠區環境測量結果配合工作時間日誌計算受測者之低頻電磁場暴露估計值統計參數，並以受測者之隨身測量值通計參數為黃金標準，以 Pearson correlation coefficient 進行環境測量之效度評估僅在算術平均數( $r = 0.437$ )與最大值( $r = 0.721$ )發現顯著正相關(表 18)，另以 Spearman's rank correlation coefficient 無母數統計分析方法探討其它統計參數之相關性，皆達顯著正相關( $p < 0.05$ )，其中算術平均數( $r = 0.751$ )與中位數( $r = 0.729$ )的相關性最強(表 19)，此結果與過去研究以環境測量資料配合工作暴露矩陣的估計暴露量與個人隨身測量平均數間，Spearman's rank correlation coefficient 相關係數為 0.678 的結果一致[14]。進一步以 Intraclass correlation coefficient 探討各參數間之一致性，在最大值發現顯著相關性( $ICC = 0.258$ )(表 20)。通常相關係數必須大於 0.7 代表高度之相關性，本研究所發現之個人連續測量數值與工作內容暴露矩陣估計得到的數值其相關係數大多小於 0.7，因此以連續型資料估計個人隨身測量資料並未發現高度相關性存在[31]。

本研究亦利用成對 t 檢定分析個人隨身測量值與暴露估計值間各暴露統計參數之差異性(表 21)，結果發現在最大值、最小值以及第 75 百分位數有顯著差異存在，以估計方法進行個人暴露評估將可能低估最大值，但卻可能高估最小值與第 75 百分位數之統計參數。

表 19 受測對象個人暴露估計值與個人隨身測量值之統計參數 Pearson correlation coefficient 相關性檢定(n = 104)

個人隨身測量值統計參數		25%	75%	幾何平 均數	幾何標準差				
個人暴露估計值 統計參數	算術平 均數	算數標 準差	最大值	最小值	中位數	25% 百分位 數	75% 百分位 數	幾何平 均數	幾何標準差
算術平均數	0.437*	0.696*	0.816*	-0.049	-0.006	-0.007	0.042	0.014	0.193
算數標準差	0.120	0.163	0.182	-0.070	-0.003	-0.009	0.035	0.022	0.095
最大值	0.392*	0.618*	0.721*	-0.066	-0.010	-0.012	0.045	0.017	0.189
最小值	0.436*	0.702*	0.828*	-0.041	-0.009	-0.009	0.036	0.008	0.185
中位數	0.437*	0.701*	0.825*	-0.035	-0.003	-0.003	0.039	0.013	0.183
25%百分位數	0.437*	0.701*	0.826*	-0.035	-0.005	-0.004	0.038	0.012	0.184
75%百分位數	0.394*	0.619*	0.725*	-0.067	-0.006	-0.009	0.045	0.018	0.188
幾何平均數	0.439*	0.704*	0.827*	-0.037	-0.005	-0.005	0.039	0.012	0.187
幾何標準差	-0.014	-0.018	-0.035	-0.113	-0.046	-0.067	-0.017	-0.029	0.136

\*: p value < 0.05

表 20 受測對象個人暴露估計值與個人隨身測量值之統計參數 Spearman's rank correlation coefficient 相關性檢定(n = 104)

個人隨身測量統計參數									
個人暴露估計值 統計參數	算術平 均數	算數標 準差	最大值	最小值	中位數	25% 百分位 數	75% 百分位 數	幾何平 均數	幾何標準差
算術平均數	0.751*	0.628*	0.538*	0.193*	0.676*	0.590*	0.730*	0.704*	0.347*
算數標準差	0.437*	0.435*	0.390*	0.042	0.358*	0.295*	0.434*	0.389*	0.349*
最大值	0.663*	0.553*	0.463*	0.171	0.591*	0.519*	0.653*	0.622*	0.317*
最小值	0.752*	0.523*	0.418*	0.271*	0.715*	0.637*	0.739*	0.735*	0.198*
中位數	0.773*	0.589*	0.488*	0.242*	0.729*	0.649*	0.772*	0.750*	0.270*
25%百分位數	0.767*	0.588*	0.487*	0.230*	0.715*	0.624*	0.757*	0.729*	0.277*
75%百分位數	0.744*	0.640*	0.550*	0.167*	0.665*	0.577*	0.722*	0.691*	0.376*
幾何平均數	0.767*	0.617*	0.522*	0.207*	0.700*	0.612*	0.751*	0.724*	0.319*
幾何標準差	0.029	0.103	0.101	-0.056	0.016	-0.029	0.075	0.021	0.199*

\*: p value < 0.05

表 21 個人暴露估計值與個人隨身測量值之統計參數 Intraclass correlation coefficient—一致性檢定(n = 104)

個人暴露估計值		個人隨身測量值統計參數							
統計參數	算術平均數	算數標準差	最大值	最小值	中位數	25% 百分位數	75% 百分位數	幾何平均數	幾何標準差
算術平均數	0.088	0.544*	0.245*	-0.001	-0.001	-0.001	0.008	0.002	0.009
算數標準差	0.077	0.141	0.016	-0.003	-0.001	-0.003	0.021	0.009	0.016
最大值	0.065	0.423*	0.258*	-0.001	-0.001	-0.001	0.007	0.002	0.007
最小值	0.096	0.580*	0.229*	-0.001	-0.001	-0.001	0.007	0.001	0.009
中位數	0.085	0.535*	0.257*	<0.001	<0.001	<0.001	0.007	0.001	0.008
25%百分位數	0.096	0.579*	0.228*	-0.001	-0.001	<0.001	0.008	0.001	0.009
75%百分位數	0.066	0.426*	0.259*	-0.001	-0.001	-0.001	0.007	0.002	0.007
幾何平均數	0.090	0.557*	0.244*	<0.001	-0.001	<0.001	0.007	0.001	0.009
幾何標準差	-0.006	-0.002	<0.001	-0.023	-0.030	-0.059	-0.008	-0.021	0.116

\*: p value < 0.05

表 22 受測對象個人暴露估計值與個人隨身測量值之統計參數成對樣本 t 檢定(n = 104)

統計參數	平均值差異 (個人隨身測量值 - 個人暴露估計值)	p value
算術平均數(mG)	-6.76	0.06
算數標準差(mG)	3.08	0.11
最大值(mG)	72.24	<0.01
最小值(mG)	-7.29	0.04
中位數(mG)	-7.15	0.07
百分位數(mG)		
25%	-6.58	0.06
75%	-9.20	0.04
幾何平均數(mG)	-6.81	0.06
幾何標準差(mG)	0.57	<0.01

將個人隨身測量值與暴露估計值以 2 mG 與 4 mG 為切點，分析個人隨身測量值與暴露估計值間之一致性 Kappa 值，平均值之一致性以 2 mG 作切點為 56.7%、4mG 作切點為 58.9%，敏感度(sensitivity)與特異度(specificity)分別為 78.6%與 79.0%以及 76.2%與 88.0%，最大值之一致性以 2 mG 作切點為 15.9%、4 mG 作切點為 9.4%，敏感度與特異度分別為 55.2%與 100.0%以及 33.3%與 92.9%，一致性皆達到統計上顯著意義(表 22 及 23)；在最大值方面，隨身測量值與暴露估計值達統計上顯著差異，顯示利用估計方式將顯著低估受測對象低頻磁場暴露最大值(表 23)。

表 23 受測對象個人暴露估計值與個人隨身測量值之「算數平均數」一致性 (n = 104)

<u>暴露估計值</u>	<u>隨身測量值</u>		合計
	<2 mG	≥ 2 mG	
< 2 mG	49	9	58
≥ 2 mG	13	33	46
合計	62	42	104

Kappa = 56.7%\*  
 McNemar test p value = 0.523  
 Sensitivity =78.6%  
 Specificity =79.0%

<u>暴露估計值</u>	<u>隨身測量值</u>		合計
	<4 mG	≥ 4 mG	
<4mG	73	5	78
≥ 4mG	10	16	26
合計	83	21	104

Kappa = 58.9%\*  
 McNemar test p value = 0.302  
 Sensitivity =76.2%  
 Specificity =88.0%

\*:p value < 0.05

表 24 受測對象個人暴露估計值與個人隨身測量值之「最大值」一致性(n = 104)

<u>暴露估計值</u>	<u>隨身測量值</u>		合計
	<2 mG	≥ 2 mG	
< 2 mG	8	43	51
≥ 2 mG	0	53	53
合計	8	96	104

Kappa = 15.9%\*

McNemar test p value < 0.001 =55.2%

Sensitivity =100.0%

Specificity

<u>暴露估計值</u>	<u>隨身測量值</u>		合計
	<4 mG	>=4 mG	
< 4 mG	13	60	73
≥ 4 mG	1	30	31
合計	14	90	104

Kappa = 9.4%\*

McNemar test p value < 0.001 =33.3%

Sensitivity =92.9%

Specificity

\*:p value < 0.05

## 第四節 工作暴露矩陣

本研究計劃之工作暴露矩陣係將各測量點進行分類，探討受測對象操作不同設備時的磁場暴露估計，所有統計參數的計算僅納入該設備為運轉狀態時的測量讀值(表 24)。辦公室之工作環境分為無電腦作業與使用電腦等電子設備作業之環境，一般常見於辦公室之影印機、印表機、電信網路設備(伺服器、網路集線器、受信總機等)分別進行計算；廠區生產線或控制室常見之配電箱、配電盤、控制盤合併為電力供應設備計算測量值，大型馬達、塑膠射出成型機、熱壓成型機、CNC 車床機台之生產設備亦分別進行計算，若遇極低頻電磁場較高之特定發生源，考量實際使用距離取 50 公分測量值為代表。



表 25 工作暴露矩陣

統計參數	算術平均數	算數標準差	最大值	最小值	中位數	25% 百分位數	75% 百分位數	幾何平均數	幾何標準差
辦公桌(無電腦)									
上午(n = 9)	1.21	0.70	2.29	0.31	1.21	0.91	1.54	0.99	2.08
下午(n = 9)	1.13	0.71	2.21	0.18	0.91	0.72	1.69	0.88	2.33
辦公桌(有電腦)									
上午(n = 76)	1.14	1.61	10.34	0.11	0.71	0.31	1.21	0.67	2.74
下午(n = 76)	1.12	1.39	8.43	0.11	0.71	0.31	1.27	0.69	2.69
影印機									
上午(n = 5)	0.80	0.71	1.88	0.18	0.61	0.21	1.11	0.55	2.78
下午(n = 5)	0.89	0.83	2.31	0.31	0.61	0.31	0.91	0.66	2.32
印表機(n = 7)									
上午(n = 9)	1.11	0.85	2.84	0.11	0.84	0.66	1.64	0.80	2.64
下午(n = 8)	1.52	1.44	4.59	0.21	1.01	0.76	1.81	1.01	2.76
電信網路設備									
上午(n = 5)	0.83	0.67	1.81	0.21	0.61	0.31	1.21	0.61	2.46
下午(n = 5)	0.81	0.50	1.61	0.31	0.71	0.51	0.91	0.70	1.85
電力供應設備									
上午(n = 12)	259.87	617.07	1979.20	0.61	5.72	1.59	30.20	10.81	13.58
下午(n = 12)	226.64	532.79	1691.20	0.31	5.97	1.46	26.40	9.86	13.83

統計參數	算術平均數	算數標準差	最大值	最小值	中位數	25% 百分位數	75% 百分位數	幾何平均數	幾何標準差
大型馬達									
上午(n = 14)	1.78	0.92	3.71	0.21	1.51	1.34	1.91	1.52	1.96
下午(n = 15)	2.05	1.03	4.81	1.11	1.81	1.37	2.01	1.87	1.52
塑膠射出成型機									
上午(n = 8)	2.56	2.41	7.01	0.59	1.50	1.18	2.94	1.81	2.36
下午(n = 8)	4.67	3.75	10.61	1.24	3.36	1.51	7.72	3.31	2.50
熱壓成型機									
上午(n = 6)	2.70	0.85	3.77	1.76	2.67	1.97	3.38	2.59	1.38
下午(n = 6)	2.95	1.22	4.41	1.36	2.75	2.22	3.95	2.72	1.57
CNC 車床									
上午(n = 15)	0.54	0.38	1.29	0.14	0.42	0.21	0.68	0.42	2.09
下午(n = 15)	0.56	0.33	1.29	0.18	0.47	0.30	0.74	0.47	1.89

## 第五節 量測方法檢討與建議

- 一. 不同的事業單位與作業型態，廠區的設備分佈有非常大的差異，實際進行工作環境測量時不一定能夠接近發生源或是人員操作的位置，故若發生上述之情形，建議在可測量之設備周圍空間，取設備與人員間相似水平距離並以垂直地面 1 公尺之高度進行測量，並且記錄測量位置。
- 二. 進行工作環境測量時，發生源不一定來自人員操作之設備，可能來自於地面或牆面之電路配線設備，因此在實際測量前之現場實地訪查時應記錄有電路配線等設備之位置。若該廠區有其它同型設備，可一併量測，以了解干擾之程度，並作為工作環境量測時決定測量點之參考。
- 三. 工作時間記錄表可依受測者之工作型態、工作區域進行內容調整，以減少記錄次數與簡化記錄內容為原則，減少受測者記錄工作時間與位置的困擾，可獲得較完整且準確的工作紀錄，得以較精確估算其暴露量。
- 四. 增加環境瞬間測量的頻率，將有助於提高暴露工作矩陣與連續測量間之一致性。

## 第四章 結論與建議

### 第一節 結論

本計劃整合過去低頻電磁場之個人暴露測量(評估)方法之相關文獻，擬定以工作環境測量配合工作時間記錄表估計個人低頻磁場暴露量，並實際進行 22 場次之環境測量且納入 104 位受測者，結果顯示本研究計劃以環境測量值估算個人暴露值之評估方法中：

- 一. 估計個人暴露算術平均數與最大值有很好的相關性。往後研究可依據本計劃之測量方法進行環境量測並輔以個人工作日誌評估工作者在各種不同的職業環境低頻電磁場之暴露平均數與最大值情形。
- 二. 可能低估最大值但高估最小值。因連續測量與瞬間測量方法之不同，且受測者填寫工作時間記錄表之完整性也是重要之因素，因此無法即時測量到較極端的最大值與最小值的結果是可預期的。

### 第二節 建議

- 一. 本計劃並未特別選定產業或是選定高發生源場所，建議未來可選定特定的使用大量電流傳輸或大量電力消耗設備之高發生源產業如電力、電銲、鍋爐等事業單位，除可了解高暴露族群之低頻電磁場暴露情形，同時探討可能產生之相關健康危害。
- 二. 本計劃所擬定之個人低頻磁場暴露估計方法，未來可利用在不同頻段如高頻、雷達等作業場所之電磁場環境，以了解不同作業場所不同頻段之電磁場暴露情形。
- 三. 針對較高之低頻電磁場發生設備，建議提供改善或降低電磁場暴露之設備或方法，以保護在相關場所作業之工作者可能之潛在健康風險
- 四. 受測者填寫工作日誌之內容可能會發生草率之情形，建議未來之研究者設計日誌須以減少填寫文字內容並降低填寫難度為優先原則，且必須在測量開始前對於填表進行教育訓練，並示範填表之方式，確保受測者填表之內容與品質。

## 誌謝

本研究計劃參與人員除本所林副研究員桂儀外，另包括國立成功大學李教授中一與天主教輔仁大學公共衛生學系林副教授瑜雯，謹此敬表謝忱。

## 參考文獻

- [1] Wertheimer N, Leeper E. Electrical wiring configurations and childhood cancer. *Am J Epidemiol.* 1979;109:273-284.
- [2] Kheifets L, Monroe J, Vergara X, Mezei G, Afifi AA. Occupational electromagnetic fields and leukemia and brain cancer: an update to two meta-analyses. *J Occup Environ Med.* 2008;50:677-688.
- [3] Milham S Jr. Mortality in workers exposed to electromagnetic fields. *Environ Health Perspect* 1985; 62: 297-300.
- [4] Floderus B, Persson T, Stenlund C. Magnetic-field Exposures in the Workplace: Reference Distribution and Exposures in Occupational Groups. *Int J Occup Environ Health.* 1996;2:226-238.
- [5] Thériault G, Goldberg M, Miller AB, Armstrong B, Guénel P, Deadman J, et al. Cancer risks associated with occupational exposure to magnetic fields among electric utility workers in Ontario and Quebec, Canada, and France: 1970-1989. *Am J Epidemiol.* 1994;139:550-572.
- [6] Miller AB, To T, Agnew DA, Wall C, Green LM. Leukemia following occupational exposure to 60-Hz electric and magnetic fields among Ontario electric utility workers. *Am J Epidemiol.* 1996;144:150-160.
- [7] Guenel P, Nicolau J, Imbernon E, Chevalier A, Goldberg M. Exposure to 50-Hz electric field and incidence of leukemia, brain tumors, and other cancers among French electric utility workers. *Am J Epidemiol.* 1996;144:1107-1121.
- [8] Savitz DA, Cai J, van Wijngaarden E, Loomis D, Mihlan G, Dufort V, Kleckner RC, Nylander-French L, Kromhout H, Zhou H. Case-cohort analysis of brain cancer and leukemia in electric utility workers using a refined magnetic field job-exposure matrix. *Am J Ind Med.* 2000;38:417-25.
- [9] Villeneuve PJ, Agnew DA, Miller AB, Corey PN, Purdham JT. Leukemia in electric utility workers: The evaluation of alternative indices of exposure to 60 Hz electric and magnetic fields. *Am J Ind Med.* 2000a;37:607-617.
- [10] Håkansson N, Floderus B, Gustavsson P, Johansen C, Olsen JH. Cancer incidence and magnetic field exposure in industries using resistance welding in Sweden. *Occup Environ Med.* 2002;59:481-6.

- [11] Forssén UM, Lönn S, Ahlbom A, Savitz DA, Feychting M. Occupational magnetic field exposure and the risk of acoustic neuroma. *Am J Ind Med.* 2006;49:112-8.
- [12] 張振平：職場環境電磁場暴露現況調查(IOSH90-H325)，2001。
- [13] 張振平，林桂儀：職業場所低頻電磁場（波）現場量測與評估。勞工安全衛生研究所(IOSH99-H305)，2010。
- [14] IARC. Static and extremely low frequency electric and magnetic fields. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, Vol. 80, International Agency for Research on Cancer, Lyon; 2001.
- [15] Ubeda A, Martínez MA, Cid MA, Chacón L, Trillo MA, Leal J. Assessment of occupational exposure to extremely low frequency magnetic fields in hospital personnel. *Bioelectromagnetics* 2011; 32: 378-87.
- [16] Pira E, Turbiglio M, Maroni M, Carrer P, La Vecchia C, Negri E, Iachetta R. Mortality among workers in the geothermal power plants at Larderello, Italy. *Am J Ind Med* 1999; 35: 536-9.
- [17] Bracken TD, Rankin RF, Senior RS, Alldredge JR, Sussman SS. Magnetic field exposure among utility workers. *Bioelectromagnetics* 1995; 16: 216-26.
- [18] Martie Van Tongeren, Mark J. Nieuwenhuijsen, Kerry Gardiner, Ben Armstrong, Martine Vrijheid, Helen Dolk, Beverly Botting. A Job-Exposure Matrix for Potential Endocrine-disrupting Chemicals Developed for a Study into the Association between Maternal Occupational Exposure and Hypospadias. *Ann Occup Hyg* 2002; 46 (5): 465-477.
- [19] Kromhout H, Loomis DP, Mihlan GJ, Peipins LA, Kleckner RC, Iriye R, Savitz DA. Assessment and grouping of occupational magnetic field exposure in five electric utility companies. *Scand J Work Environ Health* 1995; 21: 43-50.
- [20] Forssén UM, Mezei G, Nise G, Feychting M. Occupational magnetic field exposure among women in Stockholm County, Sweden. *Occup Environ Med* 2004; 61: 594-602.
- [21] M.M. Brouwers, M.V. Tongeren, A.A. Hirst, R.W. Bretveld, N. Roeleveld. Occupational exposure to potential endocrine disruptors: further development of a job exposure matrix. *Occup Environ Med* 2009; 66: 607-614.

- [22] Neil C. Hawkins, Samuel Kent Norwood, and James C. Rock: A strategy for Assessing and Managing Occupational Exposures. 3rd Edition. Fairfax: AIHA Press; 2006.
- [23] Li CY, Lin RS, Wu CH, Sung FC. Occupational exposures of pharmacists and pharmaceutical assistants to 60 Hz magnetic fields. *Ind Health* 2000 ; 38: 413-9.
- [24] Huang SM, Lin YW, Sung FC, Li CY, Chang MF, Chen PC. Occupational exposure of dentists to extremely-low-frequency magnetic field. *Journal of Occupational Health*. (Accepted & In Press)
- [25] 劉立文：紅外線及低頻電磁場量測方法建立研究。初版。台北縣：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所 1998；51-4。
- [26] 李聯雄、闕妙如：化學性危害暴露作業環境測定指引及落實執行之研究。勞工安全衛生研究所（IOSH98-A322） 2009。
- [27] 行政院環保署。環境中(架空高壓線路、變電所、落地型變壓器)電場與磁場檢測方法(NIEA P202.90C) 2003。
- [28] Ger WJ, Chang WP, Sung FC, Li CY. Accuracy of short-term residential measurement in the prediction of 72-hr exposure to power frequency magnetic field in households very close to high-tension transmission lines. *J Expo Sci Environ Epidemiol* 2007; 17: 69-75.
- [29] Moriyama K, Yoshitomi K. Apartment electrical wiring: a cause of extremely low frequency magnetic field exposure in residential areas. *Bioelectromagnetics* 2005; 26: 238-241.
- [30] ANSI/IEEE Std 644-1994, "IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields From AC Power Lines," IEEE, New York; 1995.
- [31] Harrabi I, Rondeau V, Dartigues J-F, Tessier JF, Filleul L. Effects of particulate air pollution on systolic blood pressure: A population-based approach. *Environmental Research* 2006; 101: 89-93.



## 附件

附件 1 低頻磁場測量儀器詳細規格

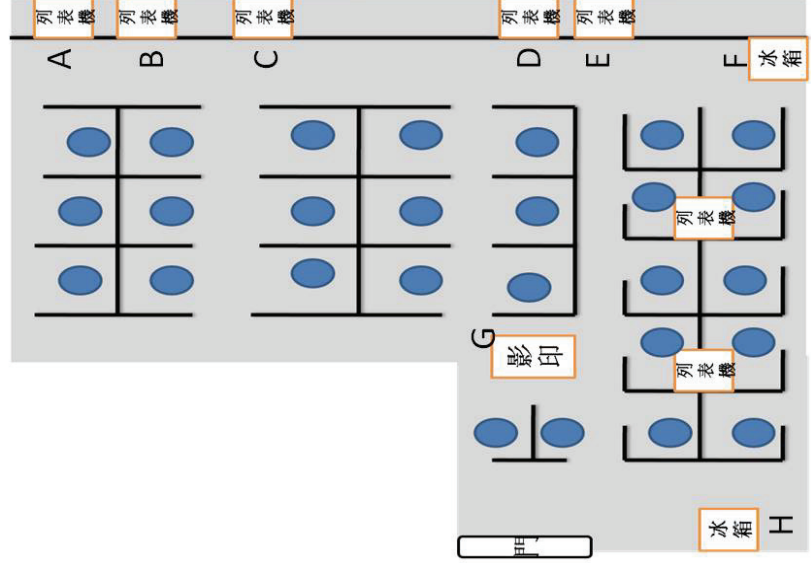
儀器	EMDEX Lite	EMDEX II
量測頻段	40 – 1,000 Hz	40 – 800 Hz
量測範圍	- 700 mG	0.1 – 3,000 mG
分辨率	0.1 mG	0.1 mG
準確性	±2%	±1%
測量方法	True RMS	True RMS
尺寸規格	12 x 6 x 2.5 cm	16.8 x 6.6 x 3.8 cm
重量	170 g	341 g

附件 2 工作時間紀錄表

# 工作時間紀錄表

編號：\_\_\_\_\_ 職稱：\_\_\_\_\_

時間	地點	停留時間	時間	地點	停留時間
08:00	—	08:—~08:—	13:00	—	13:—~13:—
	—	08:—~08:—		—	13:—~13:—
	—	08:—~08:—		—	13:—~13:—
	—	08:—~08:—		—	13:—~13:—
	—	08:—~08:—		—	13:—~13:—
09:00	—	09:—~09:—	14:00	—	14:—~14:—
	—	09:—~09:—		—	14:—~14:—
	—	09:—~09:—		—	14:—~14:—
	—	09:—~09:—		—	14:—~14:—
	—	09:—~09:—		—	14:—~14:—
10:00	—	10:—~10:—	15:00	—	15:—~15:—
	—	10:—~10:—		—	15:—~15:—
	—	10:—~10:—		—	15:—~15:—
	—	10:—~10:—		—	15:—~15:—
	—	10:—~10:—		—	15:—~15:—
11:00	—	11:—~11:—	16:00	—	16:—~16:—
	—	11:—~11:—		—	16:—~16:—
	—	11:—~11:—		—	16:—~16:—
	—	11:—~11:—		—	16:—~16:—
	—	11:—~11:—		—	16:—~16:—
12:00	—	12:—~12:—	17:00	—	17:—~17:—
	—	12:—~12:—		—	17:—~17:—
	—	12:—~12:—		—	17:—~17:—
	—	12:—~12:—		—	17:—~17:—
	—	12:—~12:—		—	17:—~17:—



國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

職業低頻電磁(波)之個人暴露評估方法比較 / 林佳儀, 李中一研究主持. -- 1版. -- 新北市 : 勞委會勞安所, 民101.03

面 ; 公分

ISBN 978-986-03-1884-5(平裝)

1. 勞工衛生 2. 電磁波

412.53

101003501

職場低頻電磁場(波)之個人暴露評估方法比較

著(編、譯)者：林佳儀、李中一

出版機關：行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

22143 新北市汐止區橫科路 407 巷 99 號

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

出版年月：中華民國 101 年 3 月

版(刷)次：1 版 1 刷

定價：300 元

展售處：

五南文化廣場

台中市區中山路 6 號

電話：04-22260330

國家書店松江門市

台北市松江路 209 號 1 樓

電話：02-25180207

本書同時登載於本所網站之「出版中心」，網址為  
[http://www.iosh.gov.tw/Book/Report\\_Publish.aspx](http://www.iosh.gov.tw/Book/Report_Publish.aspx)

- 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】**

ISBN：978-986-03-1884-5

GPN：1010100410