

# 利用大數據分析建置我國戶外高 氣溫環境熱壓力與體力負荷模式

.....  
**Using Big Data Analysis to Construct a Heat Stress Database  
Framework for Outdoor Workers under High Temperature**





利用大數據分析建置我國戶外高氣溫環境熱壓力與體力負荷模式

**Using Big Data Analysis to Construct a Heat Stress Database Framework for Outdoor Workers under High Temperature**

勞動部勞動及職業安全衛生研究所

# 利用大數據分析建置我國戶外高氣溫環境熱壓力與體力負荷模式

## Using Big Data Analysis to Construct a Heat Stress Database Framework for Outdoor Workers under High Temperature

研究主持人：陳志勇、龍世俊

計畫主辦單位：勞動部勞動及職業安全衛生研究所

研究期間：中華民國 106 年 9 月 13 日至 107 年 12 月 2 日

**\*本研究報告公開予各單位參考\***  
**惟不代表勞動部政策立場**

勞動部勞動及職業安全衛生研究所

中華民國 108 年 6 月

# 摘要

因全球氣候變遷引發國內氣溫屢創新高之現況，高氣溫對我國戶外勞動者可能之影響，建置戶外高氣溫作業場所勞動者之熱危害暴露風險(以下簡稱熱暴險)感測及預警系統有其必要性。

本研究主要目的即是為突破目前戶外熱暴險評估資料及工具不足，建置具時效性及精細時空解析度的熱暴險感測及預警系統，奠定基礎。期為(1)建立以現有氣象觀測資料推衍環境大氣 WBGT 的標準作業流程，俾以建立戶外高氣溫作業場所 WBGT 危害等級；(2)以穿戴式感測裝置進行戶外高氣溫作業場所先趨性 WBGT 個人暴露及生理指標評估；及(3)建置戶外高氣溫管理者資訊平台，作為熱暴險感測及預警系統之基礎。

本研究改善 105 年之先趨研究所發展的熱暴險穿戴裝置，俾更方便勞工於工作場所配戴，並在實驗室及戶外作業現場進行比對及評估，同時加強資料傳輸的穩定性。在研究戶外實測現場，熱暴險穿戴裝置成功地配戴在 51 位戶外高氣溫作業場所勞工身上，以獲得 WBGT 資料。另加強戶外高氣溫管理者資訊平台的選項及功能，呈現高氣溫作業場所熱危害介紹及預防措施等重要訊息，俾利日後事業單位對戶外作業勞工熱危害管理之應用；收集即時戶外高氣溫作業場所勞工 WBGT 數據，以作為熱暴險預警系統之基礎。

在現場實測方面，5 個場址共招募 51 位受測者，其中 2 位為管理人員、工程師及測量員，餘皆為長時間在戶外高氣溫作業場所從事不同作業別的勞工，包括防水工、雜工、模板工、水電工、鋼筋工等。依訪問結果，受測者每週平均執行 6 天之營繕建築工程；所有受測勞工超過各場址受測者一半以上均表示經常或總是覺得熱者，而 51 位受測者工作時最常接觸的高溫物品主要是高溫鋼筋、鋼板或鋼構台。各場址受測者在早上 10 點到下午 3 點日照較強烈的時段中，有超過 70%受測者在室外工作時間達 3 小時以上。

本研究共收集涵蓋市售 BL-500 感測裝置 WBGT、熱暴險穿戴裝置 WBGT、環境大氣 WBGT 觀測、問卷 A-戶外高氣溫作業場所勞動者之熱暴險問卷、問卷 B-活動紀錄表、心率感測器(HRV)所量測生理資料，及離各觀測場址最近之氣象局測站(台北、淡水、板橋)資料等 6 種資料型態。由資料分析顯示，各場址因其場址結構物、工作環境差異、當日氣象條件等不同因素而呈現各場址 WBGT 數

值之差異，其中 BL-500 感測裝置數據推算之平均 WBGT 介於 29.1-35.8°C 間，依熱暴險感測裝置數據推算之平均 WBGT 則在 27.8-37.0°C 之間。

由 BL-500 感測裝置及熱暴險穿戴裝置觀測數據計算所得之 WBGT 於各不同旗幟的百分比分析結果顯示，工作加上休息時段之 WBGT 在黑旗的百分比範圍分別為 0.5%至 100%(BL-500 感測裝置)及 11.9%至 94.7%之間(熱暴險穿戴裝置)。

此外，依現場設置機動式環境大氣測站推算之 WBGT 值，加上工地主建材及場址避熱設施等資料，應可提供因工作型態不便配戴熱暴險穿戴裝置之戶外高氣溫場所作業勞工參考。

綜上分析，應用 BL-500 感測裝置及熱暴險穿戴裝置收集勞工個人實際 WBGT 熱暴險感測、與健康指標感測器同步測量心跳相關數據之可行性及其重要性，結果亦顯示訂定勞工戶外高氣溫作業環境 WBGT 危害等級與即時性熱危害預警之迫切性。

關鍵詞：戶外勞動者、熱浪、WBGT、熱危害暴露風險評估、暴露評估、危害預警

## **Abstract**

Establishing heat-stress exposure sensing and heat-warning systems for workers in outdoor high-temperature workplace is in urgent needs due to the global warming trend and current record-high temperature situations in Taiwan in recent years. Integrating multidisciplinary expertise on heat-stress exposure assessment, environmental sensing, heterogeneous data fusion, and big data analytics, our research team will work together to overcome current data and tool limitations for the purpose of establishing a fast-response and high temporal-spatial resolution heat-stress exposure sensing and heat-warning system for workers in outdoor high-temperature workplace in the future. There are nine major tasks, including literature review, application to institution review board for human subject trials, monitoring strategy planning for exposure assessment, wearable heat-stress exposure sensing system application, environmental monitoring of outdoor high-temperature workplaces, physiological-indicator measurements for workers in outdoor high-temperature workplaces, temperature measurements of materials in workplaces, analysis of relationships of workers' Wet bulb global temperatures (WBGT) and physiological indicators, and an information platform for managers in outdoor high-temperature workplaces. The major outputs of this project are the following: (1) a standard operating procedure to convert meteorological measurements to WBGT in the outdoor workplaces in order to establish WBGT classification in outdoor high-temperature workplace, (2) a wearable sensing system to conduct personal exposure assessment and physiological indicators, and (3) an information platform for managers in outdoor high-temperature workplaces, as foundations for future heat-stress exposure sensing and heat-warning system.

The wearable sensing device for outdoor workers' heat-stress

exposure was improved for the suitability to be worn by outdoor workers. These devices were also evaluated in the laboratory and in the fields. The data transmission function was greatly enhanced. These devices were applied in the workplaces for 51 outdoor workers to assess WBGT. In addition, multiple functions were added to the information platform for managers in outdoor high-temperature workplaces. The real-time personal WBGT measurements can be wirelessly transmitted to the database of this platform. Information regarding the heat-stress and preventive measures have been presented in this platform, as foundations for future heat-stress exposure sensing and heat-warning system.

In the workers' WBGT assessment, 51 construction workers with different job titles and tasks were recruited to wear the sensing devices and physiological sensors. These workers usually work 6 days a week. More than half of the subjects in all five sites feel hot during working hours. Steel is the most frequently encountered high-temperature object. In all five sites, more than 70% of the subjects have to work outdoors for more than 3 hours during the period of 10am-3pm, indicating the long exposure duration of construction workers working directly under the sun.

Six different types of data were collected, including two kinds of wearable device data (commercial BL-500 and wearable sensing device), two kinds of questionnaires, physiological measurements from Rooti Rx system, and ambient meteorological data from on-site weather station and nearby Central Weather Bureau Stations. WBGT were calculated based on these measurements. The average WBGT in five sites varied from 29.1-35.8 °C and 27.8-37.0 °C for BL-500 and wearable sensing devices, respectively, depending on the weather conditions and characteristics of the construction sites. The percentage of time that the subjects experienced WBGT higher than 32.2 °C, i.e. a dangerous zone marked by black flags,



ranged from 0.5-100% and 11.9-94.7% for BL-500 and wearable sensing device, respectively.

Besides wearing the wearable device, another alternative to estimate workers' WBGT is to obtain WBGT from the on-site weather station.

These analysis indicates the feasibility and the importance of applying wearable devices and on-site weather stations for heat-stress monitoring of workers, as well as the urgency of setting appropriate WBGT categories and real-time heat-warning system to protect health of outdoor workers in Taiwan.

Keywords: outdoor worker, heatwave, WBGT, heat-stress exposure assessment, exposure assessment, heat warning system

# 目次

摘要.....	i
Abstract.....	iii
目次.....	vi
圖目次.....	viii
表目次.....	xiv
第一章 背景及目的.....	1
第一節 背景.....	1
第二節 研究目的與架構.....	2
第二章 文獻回顧.....	4
第一節 各國戶外熱危害管理現況.....	4
第二節 熱危害環境與生理感測.....	11
第三章 研究方法與設備.....	23
第一節 個人暴露抽樣策略規劃.....	23
第二節 熱暴險穿戴裝置.....	23
第三節 戶外作業現場環境量測.....	28
第四節 戶外作業勞工熱暴露生理值量測.....	32
第五節 作業現場物料熱能量測.....	35
第六節 「戶外高氣溫管理者平台」架設.....	35
第四章 研究結果.....	40
第一節 個人暴露抽樣策略及觀測.....	40
第二節 現場實測使用之穿戴裝置.....	41
第三節 戶外作業現場環境量測.....	125
第四節 戶外作業勞工熱暴露生理值量測.....	154
第五節 作業現場物料熱能量測.....	156
第六節 戶外高氣溫環境與戶外作業勞工熱暴露生理資料關係性分析.....	164
第七節 「戶外高氣溫作業場所勞工熱危害資訊平台」使用方法說明.....	192
第五章 結論與建議.....	202
第一節 結論.....	202

第二節 建議.....	204
誌謝.....	205
參考文獻.....	206

# 圖目次

圖 1 研究流程圖.....	3
圖 2 全球 1980-2009 最熱月份平均之 WBGT 分佈圖 .....	6
圖 3 以雲端平台為核心的概念物聯網架構.....	18
圖 4 以雲端平台為核心的物聯網框架(其中各方的點到點互動模型).....	19
圖 5 HAR 系統中常用的數據傳遞結構 .....	20
圖 6 Health-IoT 系統模擬應用場景.....	21
圖 7 Health-IoT 系統建議三層架構.....	22
圖 8 資料接收概念圖.....	25
圖 9 固定於安全帽上之 BL500 .....	27
圖 10 氣象觀測資料推衍環境大氣 WBGT 標準作業程序.....	30
圖 11 心率感測器「Rooti Rx System」 .....	32
圖 12 心率感測器「Rooti Rx System」組裝方式 .....	33
圖 13 心率感測器「Rooti Rx System」貼裝位置 .....	34
圖 14 安全教育訓練講師及學員合照.....	34
圖 15 現場實測勞工作業環境之物料溫度照片 .....	35
圖 16 高氣溫作業場所勞動者資訊平台網站.....	39
圖 17 整合氣象局及中研院測站資料後發布於網站.....	39
圖 18 實際場測 Wi-Fi 數據機安裝圖 .....	42
圖 19 4G Wi-Fi 分享器 .....	42
圖 20 4G Wi-Fi 分享器配戴位置 .....	42
圖 21 有無風扇與有無遮光殼之比對.....	44
圖 22 農業觀測網之日射量.....	45
圖 23 有無風扇與有無透光殼溫度折線圖.....	45
圖 24 有無風扇與有無透光殼迴歸分析.....	46
圖 25 Weather station 與 BL500 在 3/30 之溫度折線圖 .....	47
圖 26 Weather station 與 BL500 在 3/30 之溫度散佈圖 .....	47
圖 27 Weather station 與 BL500 在 3/30 之相對濕度折線圖 .....	48
圖 28 Weather station 與 BL500 在 3/30 之相對濕度散佈圖 .....	48

圖 29 Weather station 與 BL500 在 3/30 之風速折線圖 .....	49
圖 30 Weather station 與 BL500 在 3/30 之風速散佈圖 .....	49
圖 31 Weather station 與 BL500 在 3/30 之紫外線折線圖 .....	50
圖 32 Weather station 與 BL500 在 3/30 之紫外線散佈圖 .....	50
圖 33 Weather station 與 BL500 在 7/19 工地現場之溫度折線圖 .....	51
圖 34 Weather station 與 BL500 在 7/19 工地現場之溫度散佈圖 .....	51
圖 35 Weather station 與 BL500 在 7/19 工地現場之相對濕度折線圖 .....	52
圖 36 Weather station 與 BL500 在 7/19 工地現場之相對濕度散佈圖 .....	52
圖 37 Weather station 與 BL500 在 7/19 工地現場之風速折線圖 .....	53
圖 38 Weather station 與 BL500 在 7/19 工地現場之風速散佈圖 .....	53
圖 39 Weather station 與 BL500 在 7/19 工地現場之紫外線折線圖 .....	54
圖 40 Weather station 與 BL500 在 7/19 工地現場之紫外線散佈圖 .....	54
圖 41 熱暴險穿戴裝置.....	56
圖 42 BL-500 裝置.....	56
圖 43 熱暴險穿戴裝置_勞工受測者 7 月 18 日紀錄_場址 6 a:溫度; b:相對濕度	56
圖 44 熱暴險穿戴裝置_勞工受測者 7 月 19 日紀錄_場址 6 a:溫度; b:相對濕度	57
圖 45 熱暴險穿戴裝置_勞工受測者 8 月 7 日紀錄_場址 7 a:溫度; b:相對濕度 ..	58
圖 46 熱暴險穿戴裝置_勞工受測者 8 月 8 日紀錄_場址 7 a:溫度; b:相對濕度 ..	59
圖 47 熱暴險穿戴裝置_勞工受測者 8 月 9 日紀錄_場址 8 a:溫度; b:相對濕度 ..	60
圖 48 熱暴險穿戴裝置_勞工受測者 8 月 10 日紀錄_場址 8 a:溫度; b:相對濕度	61
圖 49 熱暴險穿戴裝置_勞工受測者 8 月 22 日紀錄_場址 9 a:溫度; b:相對濕度	62
圖 50 熱暴險穿戴裝置_勞工受測者 8 月 23 日紀錄_場址 9 a:溫度; b:相對濕度	63
圖 51 熱暴險穿戴裝置_勞工受測者 9 月 3 日紀錄_場址 10 a:溫度; b:相對濕度	64
圖 52 熱暴險穿戴裝置_勞工受測者 9 月 4 日紀錄_場址 10 a:溫度; b:相對濕度	65
圖 53 BL-500 感測裝置_勞工受測者 7 月 18 日紀錄_場址 6 a:溫度; b:相對濕 度; c:風速; d:UV.....	67
圖 54 BL-500 感測裝置_勞工受測者 7 月 19 日紀錄_場址 6 a:溫度; b:UV; c:相 對溼度; d:風速 .....	69
圖 55 BL-500 感測裝置_勞工受測者 8 月 7 日紀錄_場址 7 a:溫度; b:UV; c:相對 溼度; d:風速 .....	71

圖 56 BL-500 感測裝置_勞工受測者 8 月 8 日紀錄_場址 7 a:溫度；b:UV；c:相對溼度；d:風速 .....	73
圖 57 BL-500 感測裝置_勞工受測者 8 月 9 日紀錄_場址 8 a:溫度；b:UV；c:相對溼度；d:風速 .....	75
圖 58 BL-500 感測裝置_勞工受測者 8 月 10 日紀錄_場址 8 a:溫度；b:UV；c:相對溼度；d:風速 .....	77
圖 59 BL-500 感測裝置_勞工受測者 8 月 22 日紀錄_場址 9 a:溫度；b:UV；c:相對溼度；d:風速 .....	79
圖 60 BL-500 感測裝置_勞工受測者 8 月 23 日紀錄_場址 9 a:溫度；b:UV；c:相對溼度；d:風速 .....	81
圖 61 BL-500 感測裝置_勞工受測者 9 月 3 日紀錄_場址 10 a:溫度；b:UV；c:相對溼度；d:風速 .....	83
圖 62 BL-500 感測裝置_勞工受測者 9 月 4 日紀錄_場址 10 a:溫度；b:UV；c:相對溼度；d:風速 .....	85
圖 63 WBGT 與各相關參數分佈 .....	129
圖 64 中央氣象局台北測站位置圖 .....	131
圖 65 中央氣象局淡水測站位置圖 .....	132
圖 66 中央氣象局板橋測站位置圖 .....	133
圖 67 中央氣象局氣象測站溫度及 WBGT 時序圖 .....	136
圖 68 研究場址 10 個觀測日之 BL-500 感測裝置 WBGT 時序圖 .....	138
圖 69 研究場址 10 個觀測日之 BL-500 感測裝置 WBGT 時序圖_小時平均 ....	139
圖 70 研究場址 10 個觀測日之熱暴險穿戴裝置 WBGT 時序圖 .....	140
圖 71 研究場址 10 個觀測日之熱暴險穿戴裝置 WBGT 時序圖_小時平均 .....	141
圖 72 2017 年機動式環境大氣測站與 6 吋黑球測量的黑球溫度同步比較 .....	143
圖 73 營建業 5 個場址之氣象觀測轉換值與 6 吋黑球測量的黑球溫度同步比較 .....	144
圖 74 2018 年機動式環境大氣測站與 6 吋黑球測量的黑球溫度同步比較-(a)十分鐘; (b)1 小時 .....	145
圖 75 臺北測站 WBGT 觀測值與預報值時序與比對圖 .....	149
圖 76 臺北測站 WBGT 觀測值與預報值(其中一種氣象參數預報值以觀測值取	

代)時序與比對圖 .....	150
圖 77 高雄測站 WBGT 觀測值與預報值時序與比對圖.....	151
圖 78 高雄測站 WBGT 觀測值與預報值(其中一種氣象參數預報值以觀測值取 代)時序與比對圖 .....	152
圖 79 測溫槍測量物料溫度-1 .....	159
圖 80 測溫槍測量物料溫度-2 .....	159
圖 81 絕緣膠帶貼於物料上(紅圈處)-1.....	159
圖 82 絕緣膠帶貼於物料上(紅圈處)-2.....	159
圖 83 工作環境中各物料溫度_場址 6 (a)第一天觀測(7 月 18 日) ; (b)第二天觀測 (7 月 19 日).....	161
圖 84 工作環境中各物料溫度_場址 7 (a)第一天觀測(8 月 7 日) ; (b)第二天觀測 (8 月 8 日).....	162
圖 85 工作環境中各物料溫度_場址 8 (a)第一天觀測(8 月 9 日) ; (b)第二天觀測 (8 月 10 日).....	162
圖 86 工作環境中各物料溫度_場址 9 (a)第一天觀測(8 月 22 日) ; (b)第二天觀測 (8 月 23 日).....	163
圖 87 工作環境中各物料溫度_場址 10 (a)第一天觀測(9 月 3 日) ; (b)第二天觀測 (9 月 4 日).....	163
圖 88 工作與休息期間活動程度的差異.....	167
圖 89 輕、中、重工作在工作時間與活動程度的關係.....	167
圖 90 心跳變異率與 WBGT 隨時間變化時序圖_場址 6 a: 7 月 18 日; b: 7 月 19 日.....	170
圖 91 心跳變異率與 WBGT 隨時間變化時序圖_場址 7 a: 8 月 7 日; b: 8 月 8 日 .....	171
圖 92 心跳變異率與 WBGT 隨時間變化時序圖_場址 8 a: 8 月 9 日; b: 8 月 10 日 .....	172
圖 93 心跳變異率與 WBGT 隨時間變化時序圖_場址 9 a: 8 月 22 日; b: 8 月 23 日.....	173
圖 94 心跳變異率與 WBGT 隨時間變化時序圖_場址 10 a: 9 月 3 日; b: 9 月 4 日 .....	174

圖 95 高低頻功率比與 WBGT 隨時間變化時序圖_場址 6 a: 7 月 18 日; b: 7 月 19 日.....	175
圖 96 高低頻功率比與 WBGT 隨時間變化時序圖_場址 7 a: 8 月 7 日; b: 8 月 8 日.....	176
圖 97 高低頻功率比與 WBGT 隨時間變化時序圖_場址 8 a: 8 月 9 日; b: 8 月 10 日.....	177
圖 98 高低頻功率比與 WBGT 隨時間變化時序圖_場址 9 a: 8 月 22 日; b: 8 月 23 日.....	178
圖 99 高低頻功率比與 WBGT 隨時間變化時序圖_場址 10 a: 9 月 3 日; b: 9 月 4 日.....	179
圖 100 工作時與休息時，心跳的差異.....	181
圖 101 休息時與工作時，每五分鐘心跳變異率的差異.....	182
圖 102 休息時與工作時，每五分鐘低頻高頻功率比的差異.....	183
圖 103 低 WBGT 與高 WBGT 時，心跳的差異.....	185
圖 104 高 WBGT 與低 WBGT 時，每五分鐘心跳變異率變化.....	186
圖 105 高 WBGT 與低 WBGT 時，每五分鐘低頻高頻功率比變化.....	187
圖 106 輕、中、重工作型態與 WBGT 高低，對心跳變化的關係.....	188
圖 107 高 WBGT 與低 WBGT 時，輕中重工作與心跳變異率的關係.....	189
圖 108 高 WBGT 與低 WBGT 時，輕中重工作與低頻高頻功率比的關係.....	190
圖 109 「戶外高氣溫管理者平台」首頁之 WBGT 熱點地圖模組.....	192
圖 110 熱點地圖模組之測站資料顯示.....	193
圖 111 熱點地圖模組之溫度分布圖.....	193
圖 112 首頁之即時勞工熱危害與預警建議模組與高溫作業勞工作息時間標準之輕中重度工作定義.....	194
圖 113 「戶外高氣溫管理者平台」之電腦版使用說明.....	195
圖 114 「戶外高氣溫管理者平台」之手機版使用說明.....	196
圖 115 勞動部網站之綜合溫度指數介紹.....	197
圖 116 勞動部網站之綜合溫度熱指數使用方式.....	198
圖 117 勞動部網站之以漫畫介紹綜合溫度指數.....	198
圖 118 勞動部網站之熱中暑介紹與預防方式.....	199



圖 119 工地地圖感測器模組之工地資訊.....	200
圖 120 工地地圖感測器模組之 BL500 市售穿戴式裝置即時呈現畫面 .....	200
圖 121 工地地圖感測器模組之穿戴式裝置即時呈現畫面.....	200
圖 122 工地地圖感測器模組之機動式環境大氣測站即時呈現畫面.....	201
圖 123 BL-500 資料格式範例 .....	201

# 表目次

表 1 各國戶外高氣溫作業場所熱危害指標及熱危害分級.....	8
表 2 物聯網潛在應用.....	17
表 3 Human Activity Classification.....	19
表 4 配戴重量表(單位為公克).....	24
表 5 穿戴式裝置成本(元).....	26
表 6 BL500 所用的感測器感測範圍 .....	27
表 7 機動式環境大氣測站所用的感測器測量項目及其型號與其配件.....	31
表 8 高氣溫作業場所進行觀測日期.....	41
表 9 實際場測傳輸成功率.....	43
表 10 有效時間.....	43
表 11 戶外高氣溫作業場所受測者之(a)基本資料及(b)受熱危害情形.....	87
表 12 戶外高氣溫作業場所受測者之工作性質及接觸高溫物品情形.....	89
表 13 戶外高氣溫作業場所 BL-500 裝置溫度、相對濕度及風速數據統計 .....	93
表 14 戶外高氣溫作業場所受測者熱暴險穿戴裝置溫度及相對濕度數據統計...	96
表 15 勞工受測者 BL-500 裝置不分工作及休息時段換算所得 WBGT 統計 .....	102
表 16 勞工受測者 BL-500 裝置換算 WBGT 各旗幟之百分比(a)不分工作及休息 時段(b)工作時段、及(c)休息時段 .....	105
表 17 勞工受測者 BL-500 裝置換算 WBGT 佔各不同顏色旗幟的百分比 .....	113
表 18 勞工受測者熱暴險穿戴裝置不分工作及休息時段換算所得 WBGT 統計 .....	113
表 19 勞工受測者熱暴險穿戴裝置換算 WBGT 各旗幟之百分比(a)不分工作及休 息時段(b)工作時段、及(c)休息時段 .....	116
表 20 勞工受測者熱暴險穿戴裝置換算 WBGT 佔各不同顏色旗幟的百分比...	124
表 21 機動式環境大氣測站(a)大氣溫度及相對濕度，(b)太陽輻射及風速 .....	126
表 22 研究場址 10 個觀測日之天氣型態.....	127
表 23 由機動式環境大氣測站氣象觀測數據所得之勞工作業環境之 WBGT ....	128
表 24 勞工作業場所環境之 WBGT 佔各不同顏色旗幟的百分比.....	128
表 25 中央氣象局台北測站(a)溫度及 WBGT、(b)相對濕度及風速.....	135

表 26 敏感度分析方法一之方法說明.....	148
表 27 臺北與高雄測站觀測與預報值之敘述統計.....	148
表 28 敏感度分析方法一結果.....	149
表 29 敏感度分析方法二結果(臺北測站).....	153
表 30 敏感度分析方法二結果(高雄測站).....	153
表 31 熱暴露生理值量測描述性統計.....	155
表 32 各場址受測者接觸物料溫度量測.....	160
表 33 各場址工作環境中物料溫度.....	161
表 34-(a) 熱暴險穿戴裝置與生理資料連續性變數描述性統計.....	164
表 34-(b) 熱暴險穿戴裝置與生理資料類別變數描述性統計.....	165
表 35 各場址收案筆數與基本描述性統計.....	168
表 36 連續性變數之間的相關性.....	169
表 37 工作時間與休息時間的心跳變化.....	181
表 38 工作中與休息中心跳變異率的差異.....	182
表 39 休息時與工作時，高低頻功率比的差異.....	183
表 40 高 WBGT 與低 WBGT 之心跳差異.....	184
表 41 高 WBGT 與低 WBGT 時，每五分鐘心跳變異率變化.....	185
表 42 高 WBGT 與低 WBGT 時，每五分鐘低頻高頻功率比變化.....	186
表 43 輕、中、重工作型態與 WBGT 高低，對心跳變化的關係.....	188
表 44 高 WBGT 與低 WBGT 時，輕中重工作與心跳變異率的關係.....	189
表 45 高 WBGT 與低 WBGT 時，輕中重工作與低頻高頻功率比的關係.....	190



# 第一章 背景及目的

## 第一節 背景

2016年6月1日台北颯出氣象站設站120年來6月最高溫攝氏38.7度! 依據衛福部統計,2016年5月,因熱傷害就醫的人數有330人、6月份有527人、7月份再創新高達608人[1]!而2015年夏季,巴基斯坦與印度也分別因熱浪死亡人數均超過兩千人,歐洲多國氣溫也打破歷史高溫紀錄。法國首都巴黎7月初氣溫上升至攝氏39度,為60多年來最高溫,西南部地區更紀錄超過攝氏40度高溫;葡萄牙於2015年夏季亦有200人死於熱浪[2]。

氣候變遷除了帶來環境衝擊,也加劇了人類的健康風險。世界衛生組織(World Health Organization; WHO)在氣候變遷影響下對健康造成之衝擊即指出,氣候能透過不同機制直接造成人類死亡,或間接經由空氣汙染等途徑導致心血管、肺部、腦部損害及癌症,或是透過暖化、水與社會經濟之變化,影響傳染性疾病散布與營養失調(WHO 2009)[3]。政府間氣候變遷委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC)即稱,氣候變遷對健康之危害遠大於益處![4]

依全球氣候變遷趨勢及國內氣溫屢創新高之現況,對我國戶外勞動者的當務之急,是提供適用本國戶外高氣溫作業場所勞動者之熱危害暴露風險(以下簡稱熱暴險)感測及預警系統。為突破目前戶外熱暴險評估資料及工具不足之現況,並為未來建置具時效性及精細時空解析度的熱暴險感測及預警系統,本所105年即規畫進行「戶外高氣溫作業場所勞動者之熱暴險感測及預警系統建立之先導性研究」計畫(以下簡稱105年戶外高氣溫計畫),期整合熱暴險評估、環境感測、異質資訊融合及大數據處理等跨領域,建置本土化之戶外高氣溫作業場所勞動者之熱暴險感測及預警系統。

以全球氣候變遷趨勢及國內現況來說,建置戶外高氣溫作業場所勞動者之熱暴險感測及預警系統,是當務之急,如何利用中央氣象局現有氣象觀測資料推算WBGT,是目前建立戶外高氣溫作業環境熱暴險感測及預警系統所欠缺的關鍵。再者,為了建置最具時效性及精細時空解析度的熱暴險感測及預警系統,需要仰賴新穎的資訊科技,以協助設計適合勞動者之熱暴險穿戴式感測裝置,並將資料匯整入專屬之資訊平台,做為熱暴險感測及預警系統之基礎。

為降低氣候變遷下戶外高氣溫作業場所勞動者之熱危害風險,本研究進行

熱暴險感測及預警系統建置，由於國內目前尚欠缺戶外高氣溫作業場所熱暴險有關資料庫，因此利用中央氣象局現有觀測數據資料推算 WBGT 並進而建立本土夏季戶外高氣溫所之熱危害預警系統，是當務之需。

有鑑於此，本研究著重之重點有三：1. 利用中央氣象局現有氣象觀測資料換算推行本土之 WBGT；2. 運用 105 年度先導性研究計畫所開發之感測裝置進行戶外高氣溫作業場所先趨性 WBGT 個人暴露評估，並增加應用市售之生理感測裝置進行勞工生理指標量測；及 3. 建置戶外高氣溫作業場所管理者資訊平台，融合異質資料建置大數據處理後台，做為熱暴險感測及預警系統之基礎。為達此三項突破，跨領域團隊整合具熱暴險評估、環境感測、異質資訊融合及大數據處理等專長及經驗的成員共同合作是必須的。

## 第二節 研究目的與架構

### 一、研究目的

為突破目前戶外熱暴險評估資料及工具不足，建立以現有氣象觀測資料推行環境大氣 WBGT 的標準作業流程，俾以建立戶外高氣溫作業場所 WBGT 危害等級；及建置具時效性及精細時空解析度的熱危害暴險感測預警系統，奠定基礎。

### 二、研究架構

本研究之架構如圖 1 所示，在 105 年先導性研究基礎下，進行測試勞工溫濕度穿戴式裝置及生理因子穿戴式裝置之作業現場適用性、數據傳輸穩定性及電源持續性，及更新資訊平台。研究依實際現場訪視情形，進行暴露評估策略規劃；同時，進行公開資料收集與異質資料融合，大數據資料庫處理後台設計及測試。戶外高氣溫作業場所現場實測時，所收集之作業環境量測、穿戴式熱暴險及生理感測等數據，匯整至資訊平台資料庫中，再進行資料分析，包括穿戴式 WBGT 感測裝置量測數據分析、穿戴式生理因子感測裝置量測數據分析、工作與休息時之熱暴險與生理變化分析、作業環境量測 WBGT、勞工穿戴式 WBGT 感測與物料溫度之分析、及 WBGT、生理因子、與工作型態之分析。並由現場實測結果滾動式校正及微調熱暴險穿戴感測裝置；最後再進行包括戶外熱暴險感測及 WBGT 危害分級建議、熱暴險穿戴感測裝置適用條件及未來延伸應用、戶外勞工熱危害網站應用性與即時性熱危害預警可行性之整體評估。

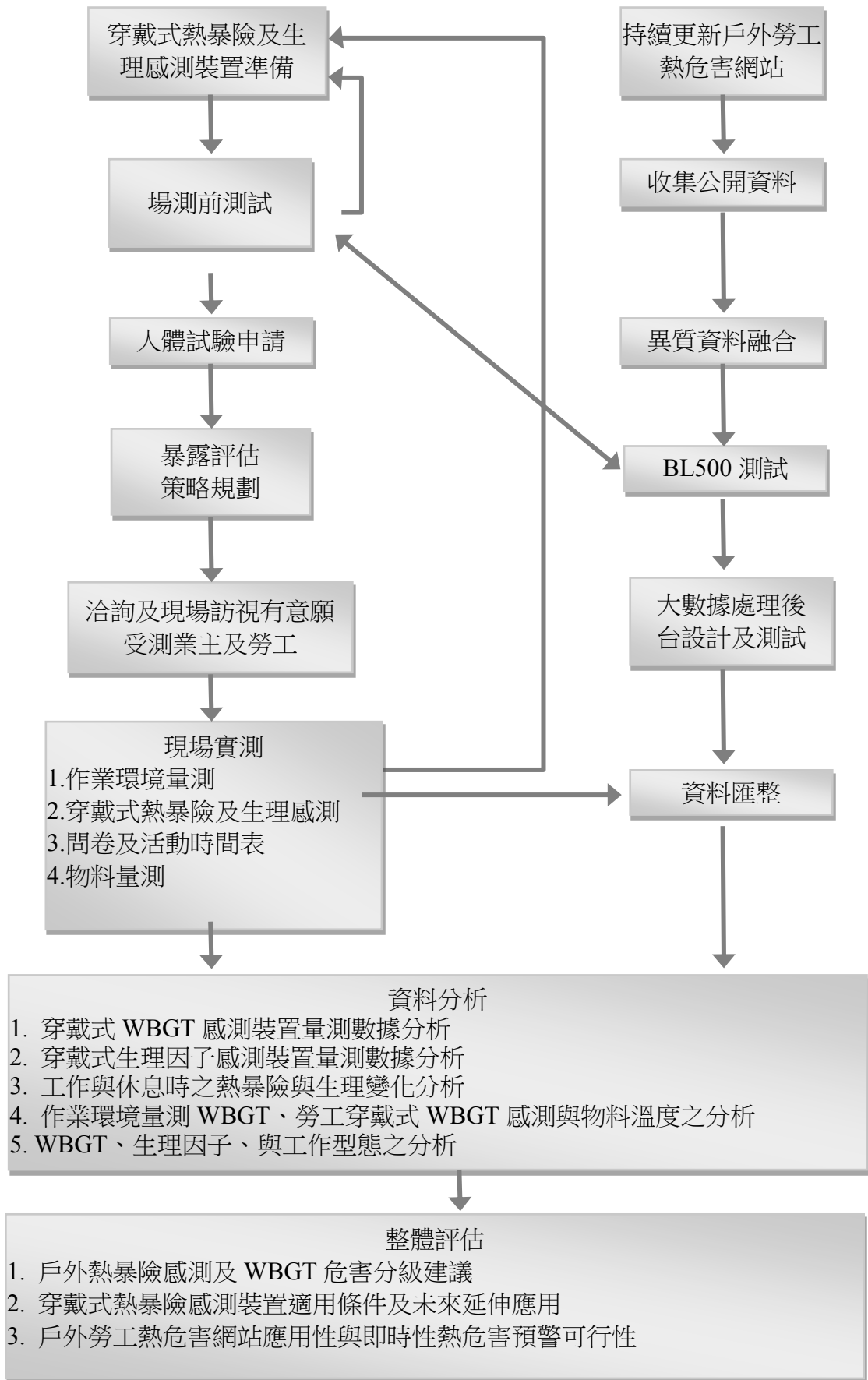


圖 1 研究流程圖

## 第二章 文獻回顧

### 第一節 各國戶外熱危害管理現況

氣候變遷下，近年全球高溫屢破紀錄，戶外勞動場所勞工首當其衝的受到熱危害衝擊。臺灣近年夏季氣溫屢創新高，高濕高熱環境暴露對戶外作業勞工之健康危害挑戰更見嚴峻，引發社會各界及輿論對高氣溫造成熱危害之關注。熱危害相關研究一直係以室內作業環境為主，室內作業環境大多有一特定發熱源，主要研究均以熱源區工作者進行工作時間與工作負荷之測量與評估。而戶外高氣溫環境熱源主要來自陽光，熱源強度會因時間推移造成日照角度差異，致有不同程度的差異，另戶外作業環境可能存在有瀝青、鋼筋、反光板等高熱量發散材料，監測不易，又因行業別眾多、工作型態迥異，致戶外高氣溫相關研究嚴重不足。

目前世界各國較常使用之熱危害指數，有美國職業安全衛生署(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)、日本厚生勞動省、台灣勞動部、新加坡工作場所安全衛生委員會(Workplace Safety and Health Council, WSHC)及中華人民共和國人力資源和社會保障部之 WBGT，美國海洋暨大氣總署國家氣象局(National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), National Weather Service (NWS))之熱指數(Heat index, HI)，及加拿大環境部氣象局之濕熱指數(Humidex)。表 1 為各國戶外高氣溫環境熱危害指標及熱危害分級。

為瞭解現況，就(一)戶外勞工熱危害感測及預警政策需求、(二)各國戶外勞工熱危害指數及熱預警系統及(三)應用資訊科技進行熱危害暴險感測及預警等方面進行探討：

#### 一、戶外勞工熱危害感測及預警之政策需求

氣候變遷是目前全人類面臨的最大挑戰，對健康的衝擊及調適亦是社會、政府單位及學界最重視的議題之一。世界氣象組織(World Meteorology Organization, WMO)在 2015 年 11 月 25 日發布的新聞稿指出 2015 年的全球平均地表溫度高於工業化前 1°C，是一個顯著及具象徵性的里程碑。2011 至 2015 年的 5 年平均溫度已是史上最高的 5 年平均溫度，2014 至 2016 年的全球平均地表溫度已連續三年成為破紀錄，2016 年是有史以來最熱的一年，造成全世界不同地區頻繁之熱浪以及其他極端天氣事件。WMO 亦指出 2015 至 2016 年的暖化現象是由於強聖嬰現象(El Niño)和人類活動所共同引起的[3]。破紀錄的高溫造成災



難，於 2015 年印度及巴基斯坦分別有 2,000 及 1,200 人因熱浪而死亡，其中不乏因工作所需，被迫在戶外高溫環境下工作者，因此高氣溫對戶外勞動者的可能傷害不可小覷。

2014 年政府間氣候變遷委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change, 簡稱 IPCC) 發表最新一期針對氣候變遷對社會衝擊與調適之全世界科研成果綜整與檢視[4]，其中包括至目前為止氣候變遷下異常高溫事件造成對戶外高氣溫場所工作勞工之健康衝擊。IPCC 檢視國際農業發展組織及國際勞工組織報告，總結提出全世界非自雇型之體力勞動者的工時有一半以上是發生在戶外環境中，尤其是從事農業及營造業的勞動者[6-7]。因此，若無適當健康調適策略，氣候變遷下持續的高溫環境會造成勞工熱危害風險顯著增加，尤其是熱帶地區勞工是受到環境熱暴險最高的族群；此外，即使是室內勞工作業環境，若無適當溫度調控，工作者亦會受到環境熱壓力，即使是像美國這類的已開發國家也不例外[4, 7]。

在勞工熱暴險的指標選擇上，大多數國家職業安全衛生主管單位所使用的是 web bulb globe temperature (WBGT, 濕黑球指數，或稱綜合溫度熱指數)[8]。WBGT 同時考量氣溫、相對濕度、輻射及風速，早在 1950 年代即有眾多文獻呈現 WBGT 與勞工熱危害間關係，尤其是美國軍方為了防止軍人在高溫高濕環境之中暑及熱衰竭等致命熱危害效應，很早就使用內部資料研究，考量環境條件及人體生理反應而選擇 WBGT 做為熱危害指標[9]。並以旗幟顏色表達嚴重性，最嚴重的熱危害閾限值是 32.2°C，以黑旗顯示。這一指標後來廣泛為美國及世界各國勞工單位所採用，我國勞動部早在民國六十三年即採用 WBGT 做為熱危害指標，也有相對應的輪班工時規定。

IPCC 圖示全球 1980-2009 最熱月份平均之 WBGT 分佈(圖 2)，並強調在未來最高溫每上升 1°C，WBGT 約上升 0.9°C，將會使超出安全工作範圍的地區面積更大[4]，氣候變遷對勞工健康的衝擊需要主管單位有效的調適策略，以保障戶外勞工健康。而最有效之健康調適策略，便是熱暴險之監測及預警系統。目前全球已有一部份地區超過安全工作的範圍，未來若按照 IPCC 的推斷，將會使超出安全工作範圍的地區面積更大[4, 10]。

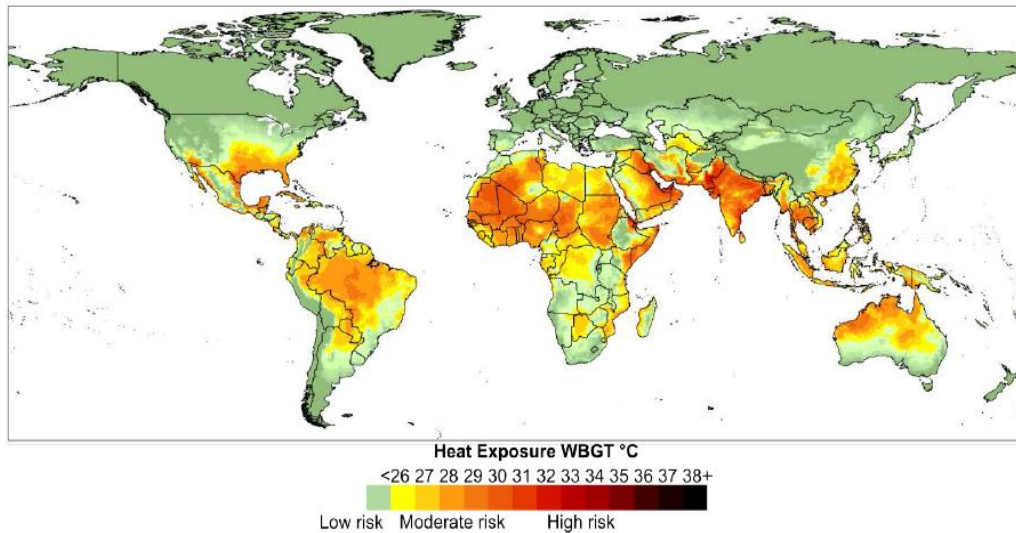


圖 2 全球 1980-2009 最熱月份平均之 WBGT 分佈圖

臺灣位於高溫潮濕的亞熱帶，戶外高氣溫作業環境勞工所受到環境熱暴險的情況也亟需關注[11]。行政院通過「國家氣候變遷調適政策綱領」[12]，其中列出八大優先領域，而「健康」領域是其一，勞工之健康調適策略研擬之主管機關即為勞動部。臺灣近百年的溫度上升速度是其它國家的 2 倍，在 2013 年臺北大都會區更是創上氣象局測量史上最高溫攝氏 39.3 度的紀錄。

有鑒於英美及日本等國皆已針對國情訂定戶外勞工熱預警分級標準及相關指標(見下節文獻探討)，我國身為熱危害高脆弱度國家之一，應及早完成戶外高氣溫作業環境熱暴險感測及預警系統的建置，以妥善保護戶外勞工健康。

本所 102 年「國內高氣溫戶外工作者熱危害預防及檢查作法研究」提及，使用 WBGT 作為戶外高氣溫作業場所熱危害暴險指標，優點是「從各國的文件及經驗來看，WBGT 是較可行的方法，因為 WBGT 便於與現有的法規標準連接，便利勞工安全衛生管理人員之執行...」，而其缺點則是，熱危害預警系統需配合氣象單位提供的預測與觀測資料[13]。由於中央氣象局目前僅能提供大氣氣溫、雨量、風速、相對溼度、隔日紫外線資料、及一週預報資料等，因此該研究建議以氣象局可提供之環境觀測資料推估熱危害指標；同時亦建議，後續相關研究應建立大氣溫度與各種微環境溫度之關係或相關熱模式，俾以建立作業環境預警機制。

因此，現階段最急迫之需求性應是，如何利用現有氣象觀測項目(如大氣氣溫、風速、相對溼度、紫外線資料等)推估 WBGT 值，建立戶外高氣溫作業環境

熱危害暴險感測及預警系統。本研究為因應氣候變遷下戶外高氣溫作業場所勞動者之熱危害，運用 105 年先導性研究計畫所開發完成之穿戴式裝置為基底，加以改進後對熱危害高暴險戶外勞動者進行感測，並應用大數據分析概念建置勞工熱暴險資料庫。

## 二、各國戶外勞工熱危害指數及熱預警系統

目前各國使用熱危害指數者計有美國職業安全衛生署(Occupational Safety and Health Administration, OSHA)、日本厚生勞動省、臺灣勞動部、新加坡工作場所安全衛生委員會(Workplace Safety and Health Council, WSHC)及中華人民共和國人力資源和社會保障部等之 WBGT，美國海洋暨大氣總署國家氣象局(National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), National Weather Service (NWS))之熱指數(Heat index, HI)，及加拿大環境部氣象局之濕熱指數(Humidex)。表 1 介紹各國戶外高氣溫環境熱危害指標及熱危害分級。

因應劇烈的氣候變遷，全球年均溫逐年攀升，熱預警系統的建立儼然已是情勢所趨，依據世界氣象組織 WMO(World Meteorological Organization)及世界衛生組織 WHO(World Health Organization) 2015 所發表的熱浪與健康 Heatwaves and Health: Guidance on Warning-System Development(WMO and WHO 2015) [14]中指出，目前歐洲至少有 13 個國家已使用 Heat-Health Warning Systems (HHWSs)，包括白俄羅斯、比利時、法國、希臘、匈牙利、拉脫維亞、荷蘭、波蘭、葡萄牙、羅馬尼亞、西班牙，瑞士和英國，各國大多使用同一套系統，閾限值則會因地區差異而有些微調整。

表 1 各國戶外高氣溫作業場所熱危害指標及熱危害分級

國家	勞工/工作場所 指標	指標內容/衡量內容	機構	來源 (文獻)
美國	熱指數 (Heat index, HI)及熱危害警示系統；綜合溫度熱指數 (Wet Bulb Globe Temperature, WBGT)	HI:第 I 級為「非常溫暖」，為 80-89 °F (26.7-32.1 °C)。第 II 級為「熱」，為 90-104°F(32.2-40.5°C)。第 III 級為「非常熱」，為 105-129°F (40.6-54.3°C)。第 IV 級為「極熱」，為大於 130°F 以上(大於 54.4°C 以上)。 WBGT:依不同 WBGT 及其工作負荷情形來調整工時	海洋暨大氣總署國家氣象局、美國職業安全衛生署	[15-16]
加拿大	濕熱指數 (Humidex)及危害分級系統	第 I 級為「無不舒適」，其值低於 29°C。第 II 級為「些許不舒適」，其值為 30-39°C。第 III 級為「非常不舒適」，其值為 40-45°C。第 IV 級為「危險」，其值高於 45°C。第 V 級為「具立即中暑之可能」，其值高於 54°C。	環境部氣象局	[17]
日本	綜合溫度熱指數 (Wet Bulb Globe Temperature, WBGT)及危害分級系統	第 I 級為「注意」，其 WBGT < 25°C。第 II 級為「警戒」，其 WBGT 值 ≥ 25°C 但 < 28°C。第 III 級為「嚴重警戒」，其 WBGT 值 ≥ 28°C 但 < 31°C。第 IV 級為「危險」，其 WBGT ≥ 31°C。	厚生勞動省、業餘運動協會、氣象學會	[18-19]
中國	WBGT	1.高溫作業環境:WBGT≥25°C 2.依據體力勞動強度、接觸時間及 WBGT 指數將作業環境區分為輕度、中度、重度及極重度危害作業四級	人力資源和社會保障部	[20-21]
新加坡	WBGT	依據工作強度、WBGT 指數，分別對於有經過及未經過熱調適勞工訂定作息時間比例	工作場所安全及健康委員會	[23]

國家	勞工/工作場所 指標	指標內容/衡量內容	機構	來源 (文獻)
臺灣	熱指數	1.依熱指數表之縱軸「溫度」及橫軸「相對濕度」對應之數值 2.依「溫度」及「相對濕度」所對應之熱指數值對應不同熱危害風險等級找出風險等級	勞動部職業安全衛生署	[85]
國際標準組織	WBGT; 預測熱應變模式	依各國規範而定	國際標準組織	[8, 25]

### 三、應用資訊科技進行熱暴險感測及預警

由於全球暖化及聖嬰現象的影響，環境溫度時創新高，氣溫變化監控的機制因此越發重要。很多國家與研究單位不斷研發更準確的氣溫感測與預測之軟硬體設施，主要目的不外乎希望提供更精確、更高解析度的氣象資訊給相關單位及一般民眾。以我國中央氣象局為例，其氣象資訊發佈最小的地理空間範圍為鄉鎮區域或以測站位置為主，環境溫度的變化常是非常局部性及小區域性的，溫度變化除了受到氣象條件影響，各種不同的環境建築與活動特性，皆有可能造成溫度變化，例如在同一個城市內，熱島效應會造成市中心與市郊的溫度有所差異[30]，在不同戶外作業場所的勞工感受到的氣溫也有所不同，例如在陰影下或在日光直射下之溫度就有所不同。因此，如想持續且準確的監控環境大氣溫度，以現行政府氣象單位或相關研究單位所提供的氣象資訊精細度尚不足夠，尤其針對本研究擬探討之戶外作業勞動者其戶外高氣溫監控與 WBGT 危害等級監控，更是無法提供相對充足的熱危害暴露預警資訊。而微型感測器的發展可突破上述限制，能於不同戶外高氣溫作業場所進行微環境溫度測量，同時亦可以穿戴式裝置在勞工身上進行測量，提供更多數據評量勞工熱危害，藉此降低戶外作業勞動者其可能之健康風險危害。

由於科技的日新月異，各項資訊產品功能日愈強大，且為便利需求，其實體體積更是愈趨小型化，從最早期的大型工作站到桌上型工作站，再到筆記型電腦，掌上型電腦，甚至縮小至穿戴式裝置[31]，將電子運算技術封藏於微小的電路板中，並與衣物或配件做結合，製成可以配戴在使用者身上的產品。

不同於傳統電腦，穿戴式裝置主要搭配微型感測器，可以隨時量測配戴者之各項生理、活動、位置等資訊，並且可以透過震動、聲響和簡單的點擊，和配戴者進行簡單的互動，同時可以利用低功率的無線網路，將資訊傳送至其他裝置或網際網路上的伺服器。

目前常見的穿戴裝置種類有智慧手錶[32]、智慧戒指[33]、智慧手環[34] 和智慧眼鏡[35]等，同時其感測的項目主要包含環境觀測與人體訊息[36-40]。例如，有別於傳統的人工把脈，或目前少數單位使用的大型充氣式把脈機，穿戴式感測可以利用一個智慧戒指[40]，提供精確且長時間連續的脈相追蹤量測。同時，研究人員也已展示未來可以利用穿戴式裝置感測環境中光憑肉眼難以察覺的污染物，進而提昇人們的健康與生活品質[37-38]。

然而，穿戴式感測裝置目前仍有諸多問題尚待克服。例如，穿戴式感測裝置體積如欲做到輕薄短小方便配戴，便無法搭載充裕的電池，因此必須具備高效率的省電技術，始能延長裝置的可用時間[41-42]。其次，穿戴式感測裝置可能紀錄配戴者的個人生理資訊，有關量測資料的隱私與安全問題，必須受到良好的保障[43-44]。最重要的是，穿戴式裝置的成功與否，仍取決於配戴者是否願意長期配戴，在配戴介面的設計上，必須減少負擔，提供良好的人機介面[41, 45]。

隨著環境感測器的微型與行動化、定位系統準確率的提升、適地性服務的興起及資料視覺化技術的進步，這些先進技術的發展，對於環境溫度的感測與資訊理解也有了新的契機。此外，因為公開資料觀念的成熟，政府各級單位也陸續公開各自鑽研與收集的氣象、交通或各類環境品質相關的資料，幫助各研發單位與系統開發者利用這些數據來思考問題的解決方案及開發應用程式。但是，由於這些公開資料來源的多元與異質性，其資料格式的定義差異非常大，不利於使用者收集與操作這些資料庫。隨著巨量資料分析技術的蓬勃發展，以及都市運算中各種感測器的部署，各種巨量資料探勘之研究與應用也正大量的產生並提出卓越的貢獻。Hsieh (2015)等學者利用北京都市的巨量氣候資料，透過類神經網路與深度學習的技巧來分析哪些地區會有較高的建置空氣品質測站的需求[46]。Cao (2015)等學者以資料探勘、機器學習、社群網路分析等技術為基礎，發展了一套 g-Miner 互動式視覺化工具方便使用者探勘資料所隱含的各種關聯性[47]。Karamshuk (2013)等學者透過巨量的適地性服務之資料收集，分析城市內的居民生活型態與氣候影響性，來推薦出較適當的新商店位置，以提高企業的營運與整體的生活品質[48]。Zheng(2015)等學者利用資料

探勘與機器學習之技術來分析與預測城市間不同地區的空氣品質，並以追求更高時空性的準確預測為目標[49]。國際上亦有同時整合微型感測器及政府公開資料的相關研究，其中 Hasenfratz et al. (2014)等學者在瑞士蘇黎世的大眾交通工具上部署其所研發的高品質微型感測器收集空氣品質相關之資料，並整合現有政府公開資料，透過總數超過 250 萬筆資料之厚實基礎與數學推估模式，建置出高精細度的空污地圖，企圖強化各地區對於空氣品質與氣候異常的掌握度能提高[50]。

為了降低戶外高氣溫作業場所勞動者熱危害發生及達到戶外高氣溫作業環境熱危害預警之目的，本研究以 105 年計畫建置之「戶外高氣溫作業場所勞工熱危害資訊平台」為基礎，持續收集戶外勞動微環境 WBGT 與勞動者生理資料，提供未來戶外作業現場管理之體力負荷分級與即時 WBGT 判定基礎，同時整合國內幾個主要的環境公開資料來源，包含中央氣象局、臺北市校園數位氣象、與中研院環變中心資料庫，進一步建置未來可供事業單位使用之管理者平台，期透過熱危害資訊平台，將複雜的環境數據透過簡潔易懂的視覺化暴露預警資訊來提供給戶外作業之勞動者及雇主運用，進而提升國內熱危害暴露預警能力大幅減少勞工受熱危害影響。

## 第二節 熱危害環境與生理感測

### 一、勞工熱危害有關之科學研究文獻

伊朗 Farideh 等學者(2016)招募 53 位男性受測者，職業分別有搬運工人、建築工人以及農民等 9 種從事戶外勞動工作者。其中混凝土製造者、搬運工、農民、道路施工者、建築工人受到熱壓力較大。且他們提及多篇文獻認為監測核心溫度、體溫、舒張壓、收縮壓與心率等生理反應是有助於評估在炎熱環境下工作的健康影響，而心率先對於其他是較為可靠的[51]。且根據 Farideh 等學者(2016)針對監測核心溫度、體溫、舒張壓、收縮壓與心率等生理反應對於 WBGT 的相關性分析，其均為正向相關，且心率有最大的相關性。

美國政府工業衛生師協會(ACGIH, 2014)的報告中亦指出，在受測者心跳超過每分鐘為(180 減去勞工年齡)次的速率持續 3 分鐘，表示目前個人熱壓力過高，應立即停止暴露在該環境下[52]。

香港 Wong 等學者(2014)說明多篇文獻指出鋼筋作業是建築中最具物理要求，勞動密集和長期任務的工作之一。且從事鋼筋作業勞動者通常在施工現場頂層的密

閉空間工作，這使他們在炎熱的環境中工作時非常容易受到熱壓力[53]。根據他們的研究，在 6 個建築工地，共 39 位年齡介於 20-63 歲從事鋼筋作業的勞動者，從事鋼筋作業時，其心率平均可達  $110.8 \pm 18.4$  bpm，觀測到的 WBGT 範圍 27.8–35.7°C，平均為 31.4°C。而世界衛生組織建議，在工作期間的平均心率不應超過 110 次/分[54]。香港 Wong 等學者(2014)亦說明多篇文獻指出在炎熱環境中工人的出汗率可以 > 1 升/小時，且在炎熱環境中工作時散熱的主要機制是流汗[53]，若未及時補充水分，將造成脫水，進而造成血流量減少增加心血管負擔。當透過流汗流失 1% 的體重，為回復血流量會使心率補償性增加約 10 次/分鐘[55]。這可能導致較慢的工作效率。

在亞洲方面，香港 Yi 等學者(2016)的研究指出以主觀感知指數(RPE)及客觀之心率為指標對建築業相關之工人進行預警系統的建置[57]。其使用類神經網路之倒傳遞類神經網路(BPN)將受測者環境之 WBGT、年齡、BMI、飲酒及抽菸習慣、工作時間和工作性質作為自變數推估應變數(RPE)；此研究使用了類神經網路處理資料，雖然解釋起來較不容易，但也顯示這一部份未來可嘗試效法。

在歐洲方面，義大利 Morabito 等學者(2006)在托斯卡納的研究，目的為了解 1998-2003 年間，此地區天氣炎熱和因工作造成意外的關係[58]；研究方法主要是利用體表溫度對人體狀況進行推估，而不同溫度下的工作狀況則用無母數統計方法進行比較。研究發現，勞動者最易發生工作意外並非在當日最高溫的狀況，因為工作前即已知當天的天氣狀況，反而是略低於最高溫的狀態才是工作意外的高峰期。研究結果顯示，在義大利的夏天，體表溫度介在 24.8°C 至 27.5°C 是最容易產生工作意外的高風險時期，且炎熱的天氣狀況對於工作意外是一個相當有風險的因素。

而在美國華盛頓地區 Bonauto 等學者(2007)針對職業熱傷害相關問題做了篇研究，目的為了解 1995-2005 年間，華盛頓地區工作意外產生的索賠是否和天氣狀況有關[59]；研究方法主要是將歷史就醫資料重新交由專業人士審視，並紀錄就醫者的行業及病況，最後觀察所有申請索賠資料及確定賠償資料特徵。研究發現，幾乎所有的索賠風險最高的行業都是暴露於戶外工作環境者，例如建築業、公共管理、屋頂工人等；且結果亦顯示，夏季月份，是相對容易產生工作意外的高風險時期。此研究使用了歷史就醫資料確認兩者之間的關係，更驗證了熱暴險感測及預警系統之重要性。

另外，加拿大學者 Adam-Poupart 等(2014)於魁北克地區針對氣候變遷下熱相關疾病進行研究，研究目的是夏季戶外氣溫造成工作熱疾病間的量化關係 [60]。其



研究方法主要是薈萃分析，先參考歷年熱危害相關之論文，再考量氣候及人口社經條件並透過廣義線性模型配合負二項分配來進行量化。研究結果顯示，高風險比較高的行業有生產業、公共行政、建築業等；且結果亦顯示在平常工作日、男性、年紀介在 24.5-44 歲等因素，是相對容易產生工作意外的高風險時期。此研究結合了各項與熱危害相關文獻之結果，並試圖將兩者的關係量化，可嘗試將此方法應用於本研究中。

綜上，在美國、加拿大、義大利、香港等各國家，皆已開始意識到勞工之熱危害問題，我國亦然。我國早在民國 63 年即採用能綜合考慮人體對熱感受程度的 WBGT 做為熱危害指標，也有相對應的輪班工時規定，訂定「高溫作業勞工作息時間標準」唯當初尚未有氣候變遷造成戶外作業勞工熱危害問題，僅是針對室內高溫作業場所的勞工。有鑒於我國是熱危害高脆弱度國家之一，防範未然，應及早完成戶外高氣溫作業環境熱危害暴險感測及預警系統的建置，以妥善保護戶外勞工健康。故嘗試將本所前驅研究時所開發之穿戴式裝置對戶外作業勞工進行 WBGT 的評估，並藉由市售裝置紀錄生理數據，整體評估建置戶外高氣溫作業場所勞動者之熱暴險感測及預警系統之侷限及可行性。

## 二、大氣環境 WBGT 回歸模式建立

WBGT 指數目前已廣泛應用在勞工、運動員及軍人在工作、活動、操練的熱危害預警上[61-63]。在勞工作業場所現行規範下，熱危害著重於室內熱源所產生，WBGT 指數是使用 QUEST(3MTM, Oconomowoc, WI, USA)等商用儀器直接測量得到，包括乾球溫度(Ta)、黑球溫度(Tg)及濕球溫度(Tw)，再綜合此三種溫度而得。

而為了觀測戶外勞動者所受之熱危害，必須要有能在戶外高氣溫環境連續測量 8 小時之 WBGT 測量儀器，目前市售之 QUEST 等 WBGT 測量儀器，在直接日曬下會有過熱當機的問題，因此無法依傳統測量方法在戶外高氣溫作業環境下進行勞工熱危害暴險評估。

另一替代方案，是使用中央氣象局的氣象資料。目前中央氣象局局屬測站或是簡易測站的氣象儀器可直接獲得的大氣溫度即為乾球溫度，但卻缺乏濕球溫度及黑球溫度資料，因此利用氣象局已有乾球溫度與濕球及黑球溫度相關的測量數據，代入理論推導式計算室外 WBGT 指數，便是可行的替代方案。

在中央研究院「熱浪脆弱度研究與相關調適策略研議」(2012-2014)計畫中，利

用現有氣象局測站之溫度、相對濕度、輻射及風速數據，加上文獻中理論推導式，計算得出 WBGT 推導值。本研究藉由採用 Liljegren 等學者根據商用的 The QUESTemp<sup>o</sup> 36 WBGT 儀器(3MTM, Oconomowoc, WI, USA)的規格所發展的黑球溫度及濕球溫度理論式進行相關計算[64]。以下為相關理論式。

黑球溫度理論式：

$$A\varepsilon_g\sigma T_g^4 + Ah(T_g - T_a) = \frac{A}{2}\varepsilon_g\sigma(\varepsilon_a T_a^4 + \varepsilon_{sfc} T_{sfc}^4) + \frac{A}{2}(1 - \alpha_g)(1 - f_{dir})S + \frac{A}{4}\frac{(1 - \alpha_g)f_{dir}S}{\cos(\theta)} + \frac{A}{2}(1 - \alpha_g)\alpha_{sfc}S$$

A:黑球表面積(m<sup>2</sup>)

$\varepsilon_a$ :大氣輻射率

$\varepsilon_g$ :黑球輻射率

$\varepsilon_{sfc}$ :地表輻射率

$\sigma$ : Stefan-Boltzmann常數(0.000000056696 W/(m<sup>2</sup>K<sup>4</sup>))

$T_{sfc}$ :地表溫度(K)

$\alpha_g$ :地面反照率

S:太陽輻射(W/(m<sup>2</sup>))

$\alpha_{sfc}$ :感測器表面反

$\theta$ :太陽天頂角

$f_{dir}$ :太陽輻射與總太陽輻射比率

濕球溫度理論式：

$$T_w = T_a - \frac{k_x \Delta H M_{H_2O}}{h} \left( \frac{e_w - e_a}{P - e_w} \right) + \frac{\Delta F_{net}}{Ah} \dots \dots (2)$$

其中， $e_a = RH \times e_{sat}(T_a) \dots \dots (3)$

A: 濕球溫度感應器表面積(m<sup>2</sup>)

$\Delta H$ :蒸發熱 (W/kg)

$M_{H_2O}$ : 水汽分子量

$h$ :對流熱傳遞係數(W/(m<sup>2</sup>·K))

P:大氣壓(kPa)

$e_w$ :飽和水汽壓(kPa)

$e_a$ :實際水汽壓(kPa)

RH:相對濕度(%)

$k_x$ :對流質量傳遞係數

$\Delta F_{net}$ :淨輻射熱通量(W/ m<sup>2</sup>)

上述理論式中，經由大氣風速推導出對流熱傳遞係數(h)再回傳至各算式中運算。綜合各項理論計算式後，黑球溫度與濕球溫度可由中央氣象局觀測站的乾球溫度(Ta)、相對濕度(RH)、太陽輻射(S)及風速(WS)4項參數輸入已建置完成之電腦程序中進行計算，獲得濕球溫度、黑球溫度及 WBGT 指數。

中研院研究團隊在臺灣北中南不同社區進行戶外環境現場實測 WBGT 以驗證理論推導值在本土適用性，一方面以移動式氣象觀測站實測之大氣氣溫、相對濕度、太陽輻射及風速，代入理論推導式來獲得 WBGT 推導值，另一方面，以單獨測量乾球溫度、濕球溫度及黑球溫度來計算 WBGT 數據(N=2,063)，此為 WBGT 實測值。由於傳統測量 WBGT 的 QUEST 儀器，在大太陽下會有過熱當機的問題，該研究團隊利用單獨的黑球溫度計以解決問題，而濕球溫度則由所測量之相對濕度及當時乾球溫度計算而得。

在前期研究中發現，實測值與方程式推導值的線性關係相當好，相關性極高( $R^2 > 0.97$ )，且數值相當接近(斜率為 1.0053)，適用範圍相當大，溫度[21.6~38.9 °C]，相對濕度[40~100%]，輻射[0.6~1026.5 W/m<sup>2</sup>]，風速 [0~4.7 m/s]，涵蓋臺灣夏天之氣象條件。顯示以氣象局目前測站觀測數據來計算戶外大氣環境之 WBGT 值，是相當可行的；其他文獻亦指出 WBGT 理論式相當符合實測值[65]。因此，以氣象資料代入理論式是相當適合作為替代實際量測之替代方法。在 105 年研究中也應用於戶外高氣溫作業場所，在此基礎上應用氣象資料搭配現有之 WBGT 推估迴歸模式，進行戶外高氣溫作業場所之 WBGT 換算與推衍，以應用在勞工安全衛生管理上。

### 三、熱曝險穿戴式裝置應用

為瞭解勞工的熱負荷狀態，本研究希望透過市售穿戴式裝置及其內建的感測器來蒐集使用者工作時候的溫、溼度及三軸動作資料，進而分析勞工的熱危害及其負荷。

隨著物聯網與穿戴式裝置的迅速發展，越來越多的學術研究與產業應用針對各式穿戴式裝置探討其潛在的功能研發、穿戴模式、應用場域[66]、電力效能[67]、穿戴舒適度、甚至是使用者意圖[68-70]。多項研究實證穿戴式裝置在運動、工作、健康醫療[71-72]、資訊娛樂、教育[73]等多樣領域皆是不可避免的發展趨勢。

林奕辰學者以 OPPORTUNITY 行為活動識別資料集為原始資料，首先利用資訊獲利、資訊增益比與 oneR 演算法，篩選各行為活動之重要人體部位，透過三軸加速度感測器，與行為活動相互驗證。再以 4 種不同之決策樹演算法：ID3、C4.5、分類迴歸樹、卡方自動交互檢視法與類神經網路建構預測模型及準確率比較，並利用關聯規則演算法 Apriori 找出與行為活動相關之人體部位組合，進一步探究各部位之關聯性[74]。此研究發現右側膝蓋為判別行為活動之最重要部位，針對平躺行為活動而言，其識別準確率為所有行為活動中最高。這些特性對於本研究的工作模式辨識方法的設計皆有很大的啟發。一般來說，辨識系統需要收集足夠多的使用者資料來建造一個分類器，並用這個分類器來判斷使用者的行為模式[75]。

故選擇一個正確的分類器會很大程度影響系統的好壞，學者彭涇湘以規則為基礎的分類器當作核心模組，用以發掘隱藏在特徵點間有價值的合作模式，並應用於人類行為辨識[76]。而針對辨識系統中模型大小的限制和冷啟動的問題，制定一個新的排序規則使模型在限縮大小的情況下仍有優良的表現，而基於新的排序方法其提出 SCCBA 演算法來限制模型規模，另外對於冷啟動問題，提出 CRR 演算法來有效解決冷啟動的延遲現象。

#### 四、資訊平台發展

物聯網的技術自 21 世紀以來長足進步，根據最新的 Garner 新興技術發展週期報告，物聯網只需要 2 至 5 年就可達到技術成熟與大量市場採用。物聯網技術透過部署感測器和致動器在我們生活的周遭，來達到 Context-aware computation，是最終實現智慧生活很重要的一部份。

目前物聯網的應用主要可以分成 4 大類：個人與居家、工廠與零售、智慧電網水網及大眾交通；而在個人居家中最具潛力的就是健康照護，個人健康照護相對於傳統醫療照護有許多優點，首先病人可以受到即時不間斷的照護，其次是社會財務負擔降低，而最重要的是珍貴的醫療資源得以更有效的應用。要達到個人健康照護首先必須解決人類的行為辨識問題，許多研究指出，穿戴式裝置最能有效地解決此問題。以往的穿戴式裝置受限於體積與耗電量，能感測的資訊很有限，使用者的舒適程度也不高，近來惠於電子元件和感測器的進步，已經有不少研究成果能達到同時滿足舒適度和準確度的需求。

下列為重要國際組織相關報告及重要文獻匯整：

(一) 「Internet of Things (IoT) : A vision, architectural elements, and future directions」

具體而言，應用裝置推動了當前物聯網研究的趨勢及幾種跨學科技術融合的必要性。近 10 年計算科學的成熟及普及（ubicomputing），使我們存在一個計算科學無所不在的時代，智慧型手機和其他手持設備正在透過提高互動性來改變我們的環境，而物聯網使個人設備能夠與世界上任何其他設備進行通信，這代表著不同的使用者擁有是無窮無盡的分佈式計算資源和存儲的潛力，物聯網可能應用的潛在趨勢如表 2 示。

而 IoT 平台的實現有 2 種方法，一是以「物聯網」為中心，另一個是以「網際網路（互聯網）」為中心，也就是以雲端為平台核心(圖 3)這不僅可以靈活地以最合乎邏輯的方式劃分相關成本，而且具有高度可擴展性。應用服務提供商可以加入系統網絡中來使用、存儲數據；分析工具開發人員得以分享自己開發的應用程式；人工智能專家可以提供數據挖掘和機器學習工具，將信息轉化為知識，最後設計人員可以提供各種可視化工具，圖 4 示以雲端平台為核心的物聯網框架，其中各方的點到點互動模型。

表 2 物聯網潛在應用

潛在 IoT 應用	
一般公民	
衛生保健	患者監測、人員監測、疾病傳播模型、即時健康狀況和預測、用以協助第一線醫療人員或流感大流行時的政策決定
緊急服務、防禦	遠端人員監控（健康、地點資訊）、資源管理和分配、於建築物基礎設施中的警告裝置，用於指揮緊急情況或災難情況下的急救人員
人群監控	用於臨時不可預測的人群流量監控、有效利用公共和零售空間、商業環境中的工作流程安排
運輸	
交通管理	透過即時交通資訊和路徑優化實現智能交通

潛在 IoT 應用	
基礎設施監控	安裝於基礎設施中的感測器可監控結構疲勞和其他維護上的管理，並協助緊急事務
交通管理	透過即時交通信息和路徑優化實現智能交通
服務	
水	水質監測，水源的洩漏、使用、分配，廢物管理
大廈管理	溫度及濕度控制，能源使用管理的活動監控，大廈通風和空調系統（HVAC）
環境	空氣污染、噪音監測、水路、工業監測

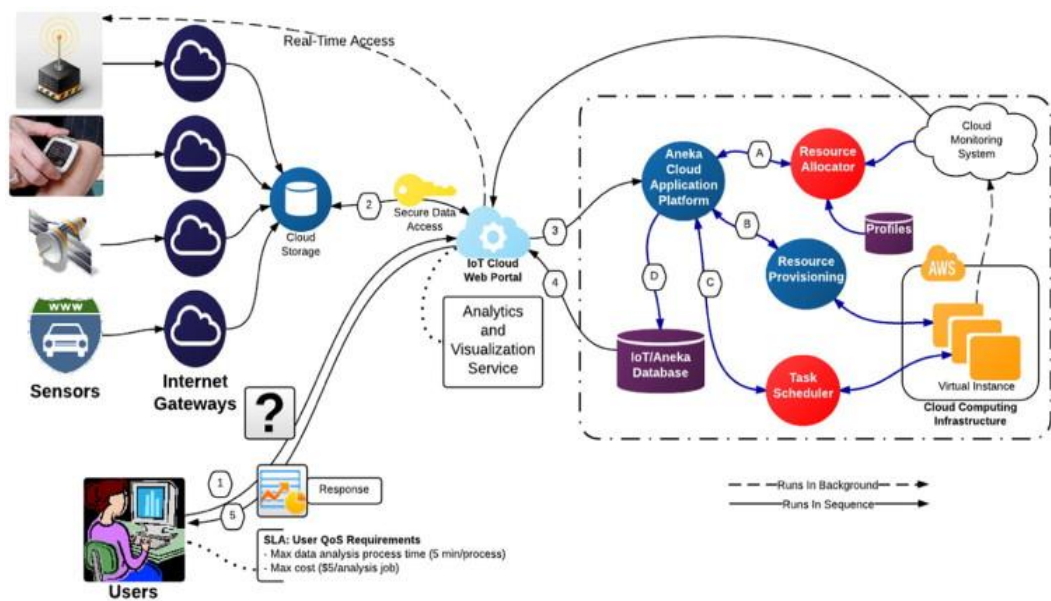


圖 3 以雲端平台為核心的概念物聯網架構



圖 4 以雲端平台為核心的物聯網框架(其中各方的點到點互動模型)

(二) 「A Survey on Human Activity Recognition using Wearable Sensors」

首先將 HAR 進行定義及分類，表 3 總結了活動類別及每個活動。

表 3 Human Activity Classification

Group	Activities
Ambulation	Walking, running, sitting, standing still, lying, climbing stairs, descending stairs, riding escalator, and riding elevator.
Transportation	Riding a bus, cycling, and driving.
Phone usage	Text messaging, making a call.
Daily activities	Eating, drinking, working at the PC, watching TV, reading, brushing teeth, stretching, scrubbing, and vacuuming.
Exercise/fitness	Rowing, lifting weights, spinning, Nordic walking, and doing push ups.
Military	Crawling, kneeling, situation assessment, and opening a door.
Upper body	Chewing, speaking, swallowing, sighing, and moving the head.

HAR 系統的通用數據採集架構，如圖 5 所示。首先，將可穿戴式傳感器連接到人體上，以測量諸如運動、位置、溫度及心電圖等屬性。這些感應器會與手機、PDA、筆記型電腦通信。而 ID 的主要目的是預處理來自感測器和其他在某些情況下接收到的數據，並將它們發送到用於及時監控、可視化或分析的應用服務器上。根據可靠性的期望水平，該通信協議可以是 UDP / IP 或 TCP / IP。

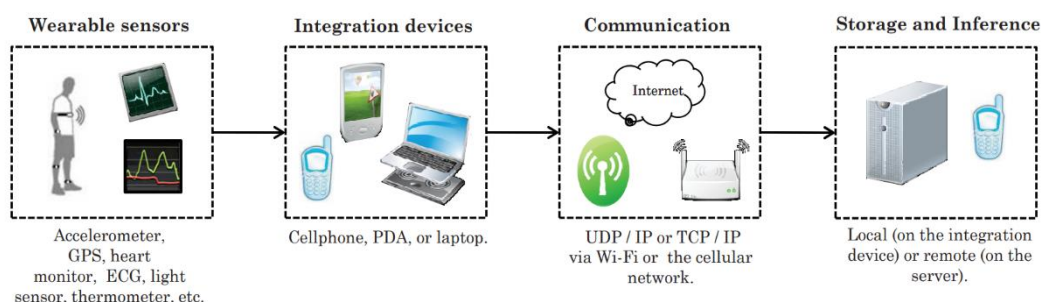


圖 5 HAR 系統中常用的數據傳遞結構

關於識別過程，主要會有包括選擇的環境屬性和感應器、加速、數據收集的協議、識別性能、能量消耗、處理及靈活性等 7 項問題。文獻利用了半監督式以及監督式機器學習，從特徵集中構建識別模型。一旦模型被訓練，可以在識別模型中做評估，從而產生對所執行活動的預測。

而定性評估包括認可的活動、傳感器類型和測量屬性、整合設備、突兀的程度（高、中、低）、數據收集協議的類型、能源消耗（高、中、低）、分類器靈活性級別、特徵提取方法、學習演算法及所有活動的總體準確性等，並個別評估目前線上 28 個系統。



(三) 「A Health-IoT Platform Based on the Integration of Intelligent Packaging, Unobtrusive Bio-Sensor and Intelligent Medicine Box 」

現今，全球老齡化和普遍的慢性病已成為各國極度關注的問題。醫療保健所期望的趨勢是將常規醫療檢查和其他醫療服務從以醫院為中心轉移到以家庭為主（Home-Centric）。如此病患可以在熟悉且舒適的家庭環境中獲得即時的健康照護及建議，且遠程治療亦可大大降低社會的經濟負擔；進而將有限的醫療資源提供給需要更緊急醫護的人。

結合 iMedBox (an open-platform-based intelligent medicine box)、iMedPack(intelligent pharmaceutical packaging)、Bio-Patch (flexible and wearable bio-medical sensor device)，組成一個基本的智慧健康平台，構建一個以病人為中心、自助式、全自動的智慧家居醫療解決方案，圖 6 顯示以 Health-IoT 系統模擬應用場景。

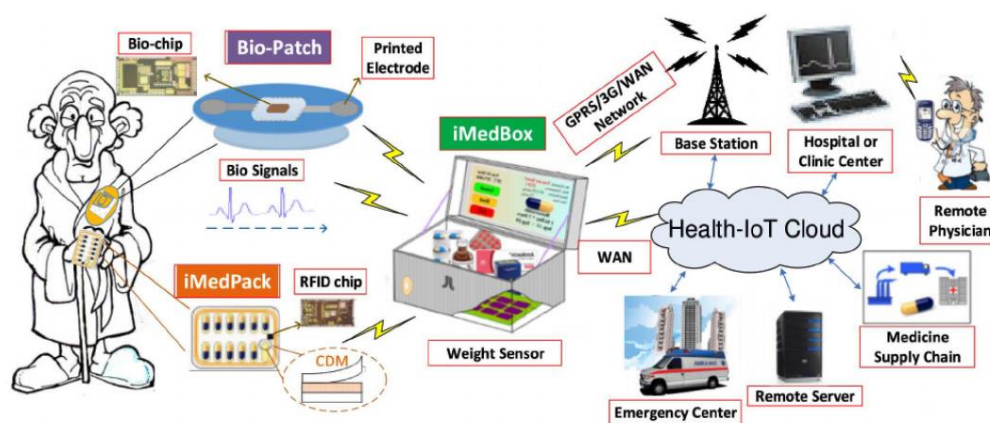


圖 6 Health-IoT 系統模擬應用場景

其傳輸結構分為 3 層，「Smart medical service layer (智能醫療服務層)」、  
「Medical resource management layer(醫療資源管理層)」、  
「Sensor data collecting layer (感測器數據收集層)」(圖 7)。

感測器數據收集層是整個架構的基礎，由穿戴式裝置、實地計算和處理單元、數據存儲設備及傳輸模塊組成。

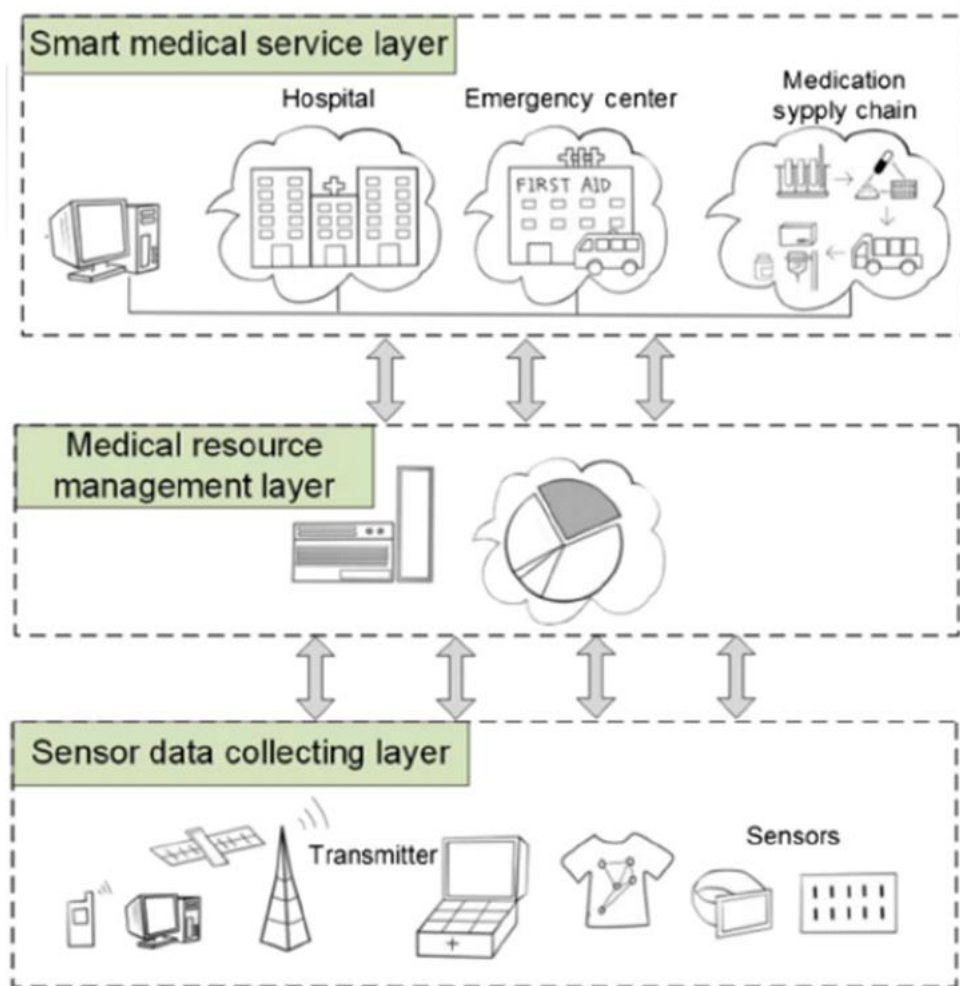


圖 7 Health-IoT 系統建議三層架構

## 第三章 研究方法與設備

### 第一節 個人暴露抽樣策略規劃

戶外作業環境行業別眾多、工作型態迥異，本研究針對台灣勞動環境最有可能受到戶外高氣溫作業環境熱危害之勞動者：營造業勞工[77]，進行勞工個人暴露評估。考慮到實際執行的可行性，進行戶外高氣溫作業環境實測的工地，透過接洽有意願的營造業業主，並選擇正在施工中擁有最多勞工的工地觀測。在實地現場訪查後，依其工作型態，在受到不同日照量、熱危害暴險的差異，區分出高、低熱危害暴險兩組的勞工，並徵求進行穿戴裝置測量的勞工。在一般勞工作業場所進行勞工暴露評估，需要考慮代表性等事項。因本研究主要目的是測試熱暴險穿戴裝置之準確性、實用性、穩定性、資料傳輸可靠性等性能，因此，以熱暴險穿戴裝置的個數決定當日可進行測試的勞工數目，實際施行觀測時，每日有 5 名勞工進行測試，並由實地現場訪查中，在高熱危害暴險組中選擇有最大熱危害可能的勞工，以測試熱暴險穿戴裝置在此情形下之適用性，並討論暴露抽樣策略規劃的適宜性及其限制。

### 第二節 熱暴險穿戴裝置

本研究已於 105 年度完成一套適合戶外高氣溫作業環境勞動者配戴之微型個人熱暴險穿戴裝置，並完成感測器一致性測試、裝置配戴測試及實際場測，以該裝置作為本年度延續性研究之基礎並加以改良，藉此量測戶外氣溫、相對濕度等環境因子，加上機動式環境大氣測站之太陽輻射及風速資料，進一步換算 WBGT，並傳輸至資料平台，下列摘要說明熱暴險穿戴裝置、2016 年實際場測結果、本研究新增測試之市售穿戴裝置及本研究現場實測規劃說明。

#### 一、熱暴險穿戴裝置介紹

##### (一) 設備裝置改善

從 105 年發展之熱暴險穿戴裝置的使用經驗，為避免硬體間碰撞問題，將全部感測零件整合於一塊電路板，電路設計使用 EAGLE 設計軟體，所使用的元件除 pycom 公司的產品在台灣無經銷商外，其餘元件大多是台灣製造及代理商在台灣。本次將 GPS 改為插式設計能穩固輕易替換。現階段有防水腰包及背

心 2 種配戴方式，重量皆低於 500 公克以下如表 4，期能在不增加勞動工作者負擔前提下進行數據量測。

表 4 配戴重量表(單位:公克)

型式	穿戴裝置	行動電源	配件	總重量
腰包(115)	77	140	6	338
背心(171)	77	140	21	409

## (二) 熱暴險穿戴裝置相關比對結果

經比對測試 SHT31 感測元件在每台機器上都能保持資料的一致性。腰包裝置將行動電源移出腰包並在打了更多通氣孔後與 Weather station 比對，得到極大的決定係數，溫度數值最好的 $R^2$ 值落在 0.92 而最低 $R^2$ 值也有 0.86，相對濕度部分最好的 $R^2$ 值落在 0.94 而最低 $R^2$ 值為 0.7。背心裝置蓄熱問題，將放置袋增加大量通氣孔後，迴歸分析有很好的決定係數 (Coefficient of determination)，最好的 $R^2$ 值落在 0.93 而最低 $R^2$ 值也有 0.9，相對濕度部分最好的 $R^2$ 值落在 0.93 而最低 $R^2$ 值為 0.82。從原先因材質或氣孔不足的情況而導致量測溫、濕度不準確，經過一連串改善後，雖然熱暴險穿戴裝置還是存在蓄熱的問題，但與 Weather Station 比對已有非常不錯的決定係數，當係數越接近 1 表示越能將熱暴險穿戴裝置所量測的數值使用迴歸式來進行校正。完成相對濕度公式校正後再加入迴歸分析得到的相對濕度曲線與 Weather Station 幾乎一致，依此方式，腰包的決定係數 (Coefficient of determination)，最好的 $R^2$ 值落在 0.95 而最低 $R^2$ 值也有 0.84，而背心的決定係數 (Coefficient of determination)，最好的 $R^2$ 值落在 0.93，最低 $R^2$ 值也有 0.86，明顯提升熱暴險穿戴裝置溫濕度量測準確性。

透過與 Weather Station 比對後的數值來進行迴歸分析，其中溫度只需透過單純的兩者比較後的迴歸分析即可校正，而相對濕度部分比較複雜，因相對濕度會受溫度所影響，所以必需先透過校正後的溫度值來校正相對濕度值，而校正過程因有感測元件公司提供的公式能使用，免去相對濕度查表之形式，但從查表也驗證公式換算之可行性，最後彙整出兩種熱暴險穿戴方式(腰包及背心)中每個不同裝置的迴歸公式。

### (三) 資料接收方式

在 105 年先導型研究中，熱暴險穿戴裝置利用 LoRa 回傳資料時，因環境因素關係導致回傳數據成功率偏低，本次研究改用 Wi-Fi 做為傳輸資料的方式，使用 1 台數據機搭配 4G 網卡做上傳資料的終端，而其他的數據機選擇 Repeater 模式作為無線訊號延伸，便能使整個實驗場域都涵蓋在一個網路下，而開發板透過連接 Wi-Fi 來上傳資料，如圖 8。使用此模式有優點亦有缺點，優點是在該區域中互相連接皆屬於被涵蓋的網路區域，而缺點是傳輸效率會減半，且所有的傳輸都須依靠終端，在佈建上需多台機器支援。

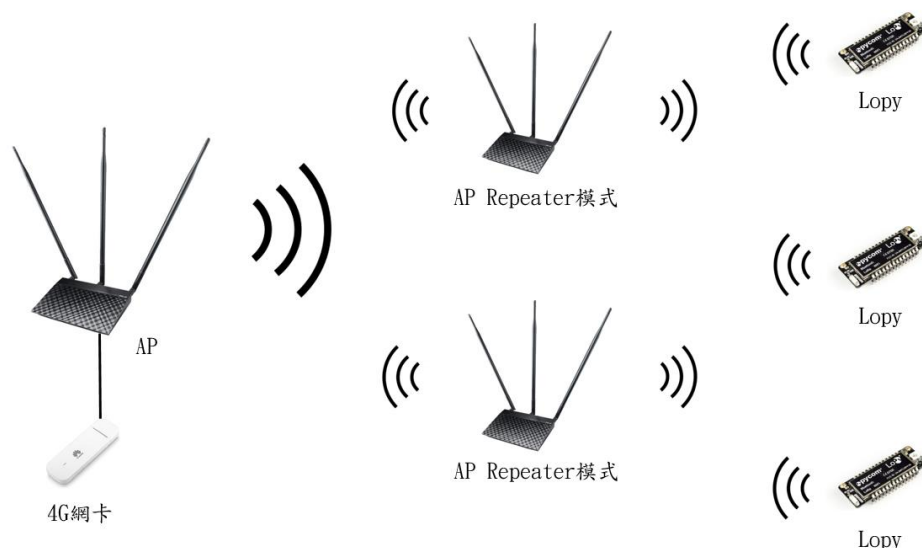


圖 8 資料接收概念圖

### (四) 單一穿戴式裝置成本

本研究執行過程中因熱暴險穿戴裝置所需量並不大，因此許多材料都採買單價，特別是 Titan X1 這顆 GPS，原本廠商提供單零件買賣，但因廠商銷售政策改變致單價由 500 元上升至 1400 元，日後如能大量製作，將可有效降低成本，每個熱暴險穿戴裝置的成本單價即可壓低至 3000 元。表 5 為腰包方式及背心方式兩種熱暴險穿戴裝置之成本費用。

表 5 穿戴式裝置成本(元)

	腰包方式	背心方式
腰包	299	
背心		100
Lopy(開發板)	1381	
SHT31-DIS	325	
MMA8452Q	139	
Titan X1	1400	
MicroSD 插槽	150	
2.4GHz 天線	200	
電阻	10	
電容	5	
發光二極體	16	
MicroUSB 公座	5	
MicroUSB 充電線	199	
MicroSD 卡	169	
PCB 製程(以 30 片平均)	198	
PCB 上件(以 30 片平均)	647	
合計	5143	4944

(五) 新增測試市售穿戴裝置

本研究新增測試之市售穿戴式感測器為 BL-500(以下稱 BL-500)，尺寸為 12.5 cm\*2.5 cm，重量約 58 克，測量風速、溫度、紫外線以及相對濕度，與勞工受測者配戴之工地安全帽做結合，對於穿戴人而言重量輕盈，不會造成額外負擔且配戴較美觀，配戴外觀如圖 9 所示。未來是否能以 BL-500 做為戶外高氣溫作業場所勞工 WBGT 暴險裝置進行評估，將 BL-500 與本研究所開發的熱暴險穿戴裝置(腰包及背心方式)互相比較，其紫外線數據亦與作業環境機動式環境大氣測站之太陽輻射數據比較，評估兩者之關係。將 BL-500 各感測器之感測範圍顯示於表 6，以利比對。



圖 9 固定於安全帽上之 BL500

表 6 BL500 所用的感測器感測範圍

項目(單位)	最小值 Min	最大值 Max	精確度 Accuracy	解析度 Resolution	使用單位 Unit
風速 Wind (m/s,)	0.83m/s	41.7 m/s	± 3%	± 0.028 m/s	m/s
溫度(°C) Temperature	-25	60	± 0.3	± 0.1	°C
相對溼度(%) Humidity	0	100	± 3 (10-90)	± 0.1	%
紫外線指標 UV index	0	15	± 1	± 1	-

#### (六) 現場實測

使用上述 2 種穿戴式熱暴險量測裝備，在 107 年夏季，收集戶外作業現場勞工至少 250 人時的場測實驗。於 5 個不同高氣溫工作環境，依實測場域

特性，徵求有意願配戴之勞工 10 名進行量測，涵蓋高、低熱暴險等不同工作型態。以 1 個工作天計算，扣除用餐、休息及天候狀況不佳提早結束量測等因素，每日每人收集 6 小時資料數據，將所收集之資料傳至資料庫中，同時記載勞工工作描述，包括工作性質與姿勢等。收集之項目及方法列於下：

1. 穿戴式熱危害裝置感測資料收集：使用上述兩種穿戴式熱暴險裝置，在現場實測的當日早上，受測者上工前，請其配戴穿戴式裝置至其下班收回，量測資料同時上傳至資訊平台之資料庫中。資料包含溫度、相對濕度及紫外線，再加上機動式環境大氣測站之太陽輻射及風速，以便於資訊平台中計算 WBGT。
2. 問卷資料收集：請受測者填寫個人基本資料表，包括性別、年齡、職業別、工作型態及工時等資料，以利資料分析。
3. 為了解勞工在何種戶外作業環境易受高熱危害，研究團隊紀錄現場受測者之活動時間表，註明其工作地點、工作內容、所待時間長短、日照情形、周圍是否有瀝青或鋼筋等高熱量發散材料及其數量等資料，以利後續分析。

資料分析方面，進行 3 項分析：(1)以熱暴險穿戴感測裝置之數據計算勞工之 WBGT 值，檢驗其是否超出安全工作的範圍。(2)以穿戴式熱暴險 WBGT 感測數據配合現場作業環境 WBGT、問卷、活動時間表及生理因子量測，進行 WBGT、生理因子與工作型態之分析，釐清何種工作型態易發生高熱暴險。(3)以勞工穿戴裝置所測得之溫度、溼度及紫外線等環境因子數據來分辨工作環境及休息環境。由於工作環境與休息環境之溫度、相對濕度及紫外線應有顯著差異，可藉以區分工作環境與休息環境之差異，瞭解工作環境與休息環境變化下勞工熱暴露與生理反應之情形。

### 第三節 戶外作業現場環境量測

研究團隊在戶外作業現場架設機動式環境大氣測站，配合戶外作業場所 250 人時之勞動者量測數據，透過量測所得之環境參數計算本土 WBGT，評估高氣溫戶外作業場所之 WBGT 變化。

為使機動式環境大氣測站所蒐集到的氣象因子資料能夠充分代表勞工作業時之熱危害指數暴露量，因此架設地點的篩選要件需符合(a)全天不被陰影遮蔽



以量測太陽輻射量；(b)可量測環境大氣風速的通風處；(c)不影響勞工工作執行；(d)可穩定放置儀器的安全處；及(e)代表勞工工作時之熱危害指數暴露量等。為提升大氣測站的機動性，且不受限戶外電源之因素，研究團隊在機動式環境大氣測站配有太陽能板，經過測試確認機動式環境大氣測站所需電量可完全由太陽能板提供。

依據各項說明建置「氣象觀測資料推衍環境大氣 WBGT 的標準作業流程」，執行氣象因子觀測推衍環境大氣 WBGT 時，可參照此標準作業程序執行，同理亦可運用至不同戶外環境大氣 WBGT 推衍。圖 10 為氣象因子推衍環境大氣 WBGT 標準作業程序。

## 一、數據收集

本研究可收集之數據有 3 種：(1)收集戶外高氣溫作業場所勞工之穿戴式感測裝置所測得之氣溫、相對濕度、紫外線等相關數據；(2)收集戶外高氣溫作業場所設置之機動式環境大氣測站所實測之大氣氣溫、相對濕度、太陽輻射及風速 4 種數據；(3) 收集中央氣象局測站之實測大氣氣溫、相對濕度及風速 3 種數據，均將其納入戶外高氣溫作業場所勞工專屬之資訊平台；因氣象局測站之太陽輻射無即時數據，因此需向氣象局申請，始納入此項資料。

在進行戶外高氣溫作業環境現場實測時，於現場架設機動式環境大氣測站。機動式環境大氣測站所使用之感測器列於表 7。由於感測器數目較多，需整合其數據傳輸系統，俾以順利將各項感測器之數據上傳至資訊平台資料庫中。

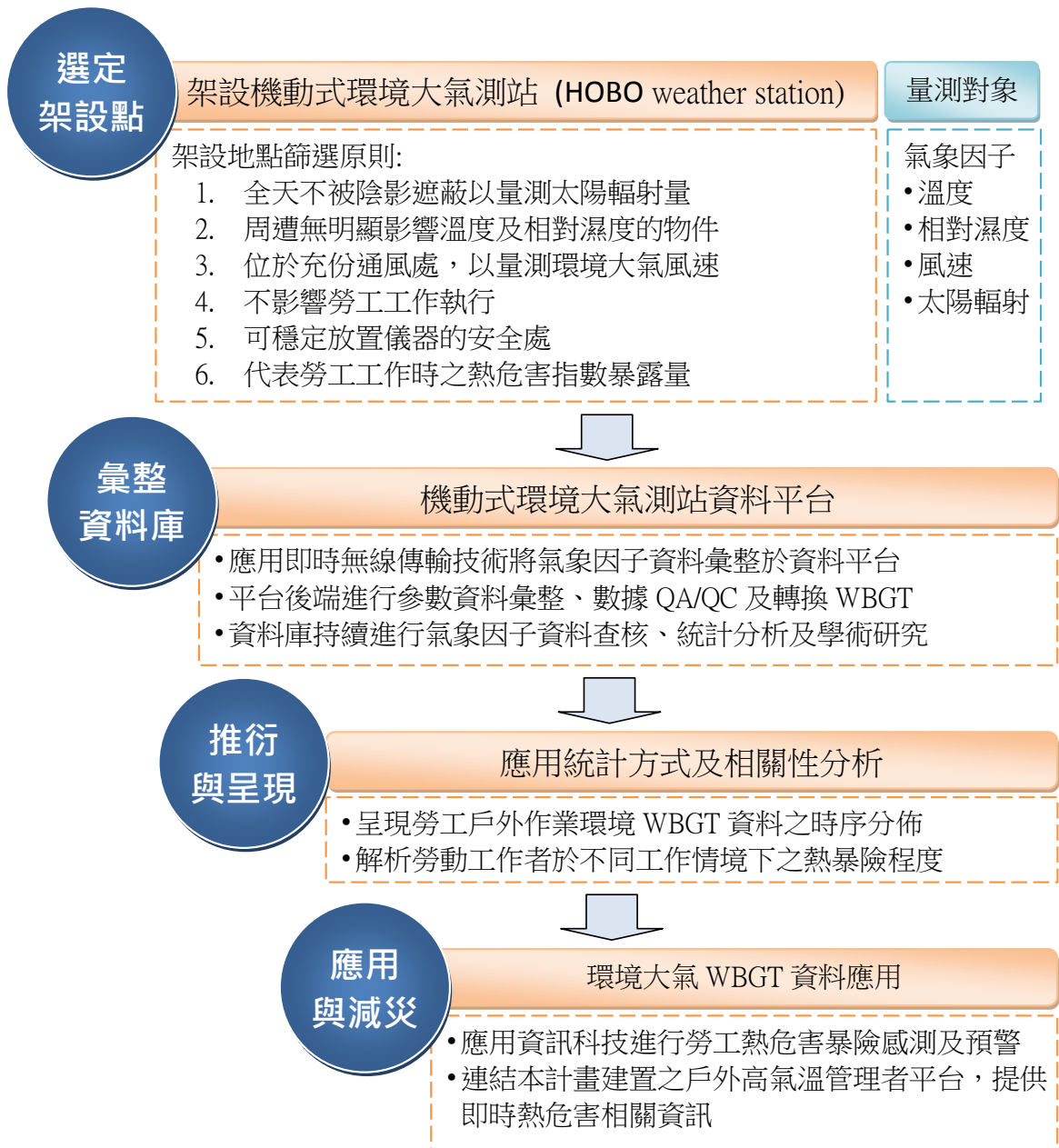


圖 10 氣象觀測資料推行環境大氣 WBGT 標準作業程序

表 7 機動式環境大氣測站所用的感測器測量項目及其型號與其配件

中文名稱	產品型號	功能
RX3003 資料紀錄器(3G)	RX3003-00-01-SP600	資料記錄，另有無線傳輸與記憶儲存可選擇
風速風向感測器	S-WSET-B	測量風速與風向
空氣溫濕度探針	S-THB-M002	測量溫溼度
輻射感測器	S-LIB-M003	測量太陽輻射(W/m <sup>2</sup> )
照度感測器	S-LIA-M003	測量可行光合作用的照度(PAR) (農業用)
光度溫度連續紀錄器	UA-002-64	測量照度(Lux)
雨量筒感測器	S-RGB-M002	測量降雨量
風速風向感測器支架	M-CAA	風速與風向計支架
遮陽罩	RS3	溫溼度計遮罩
照度感測器支臂	M-LBB	太陽輻射計支架
2 米三腳架	M-TPB	腳架
6 瓦太陽能板	SOLAR-6W	太陽能供電(無法持續供電，時間依資料傳輸頻率而定)
U30 電源供應器	AC-U30	直流電供電
水平儀	M-LLA	水平儀

## 二、數據處理

在資訊平台中，將所得氣象資料輸入電腦已建置完成之理論推導式進行計算，以獲得濕球溫度、黑球溫度及 WBGT 指數。由於勞工熱暴險穿戴裝置無法獲得太陽輻射及風速之數據，因此由機動式環境大氣測站取得太陽輻射及風速數據，以計算戶外高氣溫作業環境之勞工 WBGT 指數。

## 三、機動式環境大氣測站資料蒐集與分析

為推算戶外作業環境大氣 WBGT 熱危害指數，研究團隊即於戶外作業環境現場架設機動式環境大氣測站，進行 8 八小時測量溫度、相對濕度、輻射及風速等氣象參數後，上傳至資訊平台資料庫。數據匯整後，進行 1. 作業環境量測與勞工穿戴式 WBGT 感測數據比對與分析；2. 作業環境量測 WBGT 與中央氣象局測站 WBGT 及勞工穿戴式 WBGT 感測之相關性分析。

藉由穿戴裝置數據與環境大氣測站數據比對，搭配現場工作活動表記錄，可輔助受測者所處工作環境實態判讀。在受到某些限制而無法讓勞工配戴熱暴險穿戴裝置的工作場所，若能以環境大氣測站數據代表勞工戶外熱危害暴露，亦是一可行選擇。

## 第四節 戶外作業勞工熱暴露生理值量測

### 一、生理感測穿戴裝置

為了解勞工於戶外熱暴露作業環境中生理值的變化情形及評估勞工受熱危害程度，本研究嘗試使用穿戴式心律變異性分析(heart rate variability, 簡稱 HRV)感測器，來量測勞工於戶外熱暴露環境中之生理值，作為其健康效應指標。HRV 為評估自主神經系統功能的重要指標方法，自主神經系統可分為交感神經系統和副交感神經系統，各自掌管不同身體機能，本研究選定可代表整體自主神經系統功能的關鍵指標 SDNN(正常心跳間期的標準偏差)及 LF/HF(反應交感/副交感神經平衡指標)，做為觀測勞工於戶外高氣溫作業環境下生理指數受影響程度，期能開創一條全新可評估勞工受熱暴露健康風險之途徑。

研究所使用之心率感測器為「Rooti Rx System」，是通過歐盟、美國 FDA 及我國衛福部醫療產品認證之高品質心率量測器，除監測品質受國際組織肯定外，更兼具外觀輕巧、重量輕盈(大小重量僅 6.2cm\*2.25cm\*0.8cm;約 15 克)及配戴美觀等特色，可量測心率、體表溫度以及配戴者三維加速度等資訊，感測器外觀如圖 11 所示。



圖 11 心率感測器「Rooti Rx System」

為瞭解執行過程可能遇到之困難，研究團隊先測試「Rooti Rx System」HRV 穿戴式裝置之作業現場適用性、數據傳輸穩定性及電源持續性，俟可能障礙解決後，再進行現場實測。有關戶外高氣溫作業場所勞工生理因子資料收集，係在通過 IRB 後，獲得志願勞工同意後進行。在現場實測之前，先進行 1 小時的現場說明，讓受測勞工了解穿戴目的及如何正確配戴。現場實測當日早上，受測勞工上工前，讓受測勞工配戴，下班前回收此穿戴式裝置。所得數據皆上傳至資訊平台之資料庫中，用於後續分析。資料分析包括(1)工作時間與休息時間生理變化、(2) WBGT 與生理因子分析、及(3) WBGT、生理因子與工作型態之分析。其中第(2)項資料分析重點是在探討 WBGT 與生理因子間之關係，著重個人 WBGT 與 HRV 指標間關係的分析，作為建立戶外高氣溫作業場所 WBGT 危害等級之基礎。第(3)項資料分析則著重於 WBGT 與生理因子間關係，與不同工作型態之分析。

心跳速率感測器的配戴過程主要參考廠商所提供的配戴方法，經團隊成員實際配戴後微幅修改，貼片本體配戴方式係將貼片本體、Rx 固定軟板、電極片三者依圖 12 方式組裝完成，接著在左胸口找到合適的位置，將功能鍵側對齊人體正中間，另一側水平貼過去，以高於乳頭上方 3cm 處為佳，如圖 13。主要配戴標準作業程序(SOP)詳見附錄二。

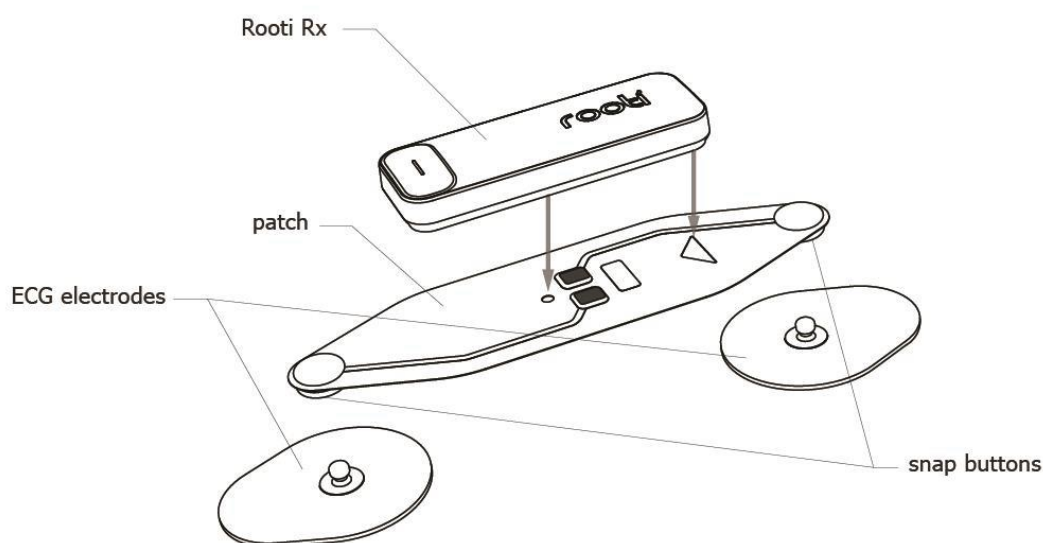


圖 12 心率感測器「Rooti Rx System」組裝方式

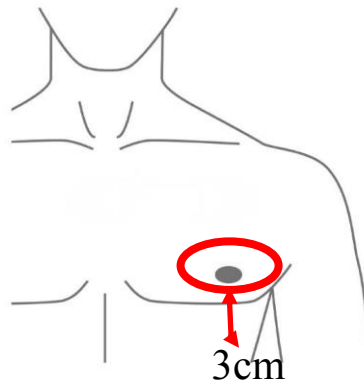


圖 13 心率感測器「Rooti Rx System」貼裝位置

## 二、人體試驗(IRB)申請

執行戶外高氣溫作業環境勞動者配戴熱暴險穿戴裝置，需提出人體試驗申請程序，本研究團隊依規定取得醫學研究倫理委員會(IRB)審查委員會對人體試驗法令程序申請核可，相關內容請見附件一。送審內容包含計畫審查申請表及計畫內容簡要、計畫書、研究對象(勞工受測者)說明同意書、問卷、致贈研究對象(勞工受測者)之禮券、執行人之學經歷資料、執行人醫學研究倫理相關教育訓練證明文件等項目。

由於營建工地屬較危險之工作場址，為避免本研究之所有研究人員在執行觀測過程中受傷，依法規相關規定辦理勞工安全衛生教育訓練(圖 14)。且於研究場址現場觀測前，由各研究場址之安衛人員對該次參與執行觀測人員進行現場注意事項講解，確保不影響各研究場址工作，及研究人員安全無虞。此外，亦為本研究人員添購安全帽、安全鞋及反光背心等，藉此保障研究人員於工作場址觀測時之安全。



圖 14 安全教育訓練講師及學員合照

## 第五節 作業現場物料熱能量測

105 年先導性研究提及，進行場地勘查時，觀察到戶外勞工作業者除了曝曬在太陽輻射下，營建物料持續蓄積的太陽輻射熱，亦是勞工作業現場的主要熱源之一，會影響勞工作業熱危害程度。現場營建物料包括鋼筋、鋼板、模板、浪板及預鑄水泥塊等，溫度皆可達燙手的程度，為瞭解這些物料實際溫度及勞工受熱的情況，使用 Thermocouple Thermometer 牌 TFC-305A 型號之溫度探針，在研究場址負責人同意下，由研究人員量測受測者工作場域中鋼筋、鋼板或鋼構台等之溫度，圖 15 為研究進行物料溫度實際量測照片。



圖 15 現場實測勞工作業環境之物料溫度照片

## 第六節「戶外高氣溫管理者平台」架設

藉由 105 年度完成之雛形資訊平台，本研究再行修正並架設「戶外高氣溫管理者平台」，期提供戶外作業勞動者及雇主可運用之簡潔易懂的熱危害暴露預警資訊，主要完成項目包括網站功能、內容及資料庫充實等，其細項說明及網站平台使用方法說明如下：

### 一、充實網站功能及內容

(一)將氣象局各測站數值(氣象資料及 WBGT) 呈現於地圖上

1. 由台北市勞動局獲得台北市施工工地場址，並標出在網頁地圖上
2. 網頁上建置表單輸入工地相關資料
3. 可在網頁後台加入去年所算之 WBGT 迴歸係數之功能，並可在網頁上

呈現台北市各工地納入 WBGT 值

4. 美化網站
5. 呈現熱危害防護資訊
6. 網頁維護

## (二) 上述功能強化

1. 後台連結氣象局大數據
2. 供給工地管理者使用之管理者平台
3. 提供本所使用之管理者平台

藉由完成這些工作內容使高氣溫管理者平台更趨於完善，能為雇主及勞動者提供更完備熱危害資訊。

## 二、充實資料庫

為使熱暴險資料庫更趨於完善，本研究針對上述氣象局數據資料及 WBGT 量測參數及健康指標係數，持續進行數據更新及擴充。包括機動式環境大氣測站數據、勞工 WBGT 暴險及穿戴式生理指標裝置數據的資料傳輸之相關軟體設計與操作，以利感測裝置數據之即時傳輸及下載。

## 三、網站平台使用方法

戶外高氣溫管理者平台建置，包含資料收集、資訊分析、知識呈現 3 個層級的設計，詳細的研究方法與步驟規劃，包含公開資料與感測資料的收集、勞工熱危害資料分析、預警資訊視覺化呈現。說明如下：

### (一) 公開資料與感測資料的收集

本研究開發一個 ODD 網頁資料爬梳機制，收集中央氣象局、行政院環保署、臺北市校園數位氣象、中研院環境變遷中心所發佈於網站上的公開資料（包含氣溫、雨量、氣壓、風、綜合溫度熱指數 WBGT）。利用 Python, JQuery, Django, HTML5, Scrapy 等技術來開發 ODD 網頁資料爬梳機制之公開資料收集服務。此外，感測資料收集對象主要包括熱暴險穿戴裝置、機動式環境大氣測站及透過生理感測器所取得之勞動者於高氣溫環境下工作的生理值變動情形，透過這些資料收集與彙整，讓網站平台得以使雇主及勞動者獲知最即時之資訊。



## (二) 勞工熱危害資料分析

在勞工熱危害預警系統架構中的熱危害巨量資料分析部分，本研究設計了 3 個功能模組：異質公開資料融合、勞工作業場所自動辨識、即時性熱危害預警。在異質公開資料融合模組中，團隊對不同的公開資料來源格式與內容做整合，透過資料欄位對應與熱危害研究需求，將必要的資料整合後儲存於研究資料庫中。研究分析與整合的資料，可供未來於高氣溫工作環境下的雇主或勞動者，進行機動性氣象環境因子觀測時即時回傳，並可透過本網站平台推估 WBGT 相關資訊，得到勞動者於高氣溫環境工作之最即時的熱危害暴露風險值，藉此調整勞動者工作現況，透過預警系統得以讓勞動者降低熱危害暴露的風險。此外，本網站平台具備了資料量大(Volume)、輸入和處理速度快(Velocity)、資料多樣性(Variety)及真實性(Veracity)等 4 個巨量資料特點，預期未來可以收集眾多戶外高氣溫作業場所之數據，利用巨量資料處理概念建置這些公開資料與感測資料的融合與儲存之架構，有利未來數據之擴充性。

在氣候變遷、空氣污染、永續環境、智慧都市等各種應用領域，資料量正隨著各種感測器與資通訊設備的發展而以極快的速度增長，為了分析和利用這些龐大的資料與資源，必須依賴有別於以往的資料分析技術。而 Apache Spark (TradeMark)是一種開放原始碼處理架構，可執行大規模資料分析應用程式。Spark 是利用記憶體內計算引擎建立而成，最著名的特色是能對巨量資料展現高度的查詢效能。其運用平行資料處理架構，可視需要來將資料永久保存在記憶體內和磁碟中。這讓 Spark 不僅能展現快 100 倍的速度，還提供一個共通執行模式，來對巨量資料進行各種工作，像是訊息溝通、批次處理、互動處理、互動式查詢等等。因此本研究以 Apache Spark 為基礎，導入各項巨量資料前處理、機器學習、計算最佳化、資料視覺化等相關技術工具來有效的實現本研究的目標。

而在系統環境建置方面，團隊規劃了雲端運算環境建設、巨量資料儲存方案、巨量資料計算引擎、巨量資料視覺化 4 大模組。雲端運算環境建設模組主要是描述研究中所使用的基礎硬體與平台架構，而本研究執行主要是使用陳孟彰教授實驗室所建置的雲端運算軟硬體環境，並部署 Apache Mesos [Apache Mesos] 資源管理架構及其相關生態系統於此環境。巨量資料儲存方案模組主

要是描述研究中所使用到的資料儲存工具，而本研究所導入的各項特殊應用資料庫有 HDFS - Hadoop 分散式檔案系統、Hbase - 非關係型分布式資料庫、RethinkDB - 高即時性主動推送式資料庫、PostGIS - 地理資訊系統。巨量資料計算引擎模組主要是描述此研究對於巨量資料分析處理之基礎運算引擎，而本研究所導入的工具為 Apache Spark 叢集運算框架與 Mllib - 機器學習框架。最後，巨量資料視覺化模組主要是描述研究中針對巨量資料如何透過圖形化的視覺設計概念將有意義的資訊呈現給使用者，本研究所導入的相關技術有 D3.js、Gephi、Leaflet、OpenStreetMap 等數值、圖表、與地圖繪圖之運算技術。

### (三) 預警資訊視覺化呈現

本研究最終目的為建置一戶外高氣溫作業場所勞動者資訊平台之網站，提供熱危害相關資訊包含：(1)氣象資料整合與戶外高氣溫作業環境 WBGT 數據、(2)勞工現場環境實際 WBGT 感測值、(3)各國勞工熱危害防護資訊。在 105 年研究中，已經建置一個『戶外高氣溫作業場所勞動者資訊平台』，開放給勞工、一般民眾與各級政府單位使用。日後提供之網站使用者介面圖如圖 16 及圖 17 所示，系統功能主要包含：(1) WBGT 綜合溫度熱指數、(2)顯示臺灣各氣象測站之觀測值。此研究則增加 3 項熱危害服務發布於網站上：(1)氣象資料整合與戶外高氣溫作業環境 WBGT 數據、(2)勞工現場環境實際 WBGT 感測值、(3)各國勞工熱危害防護資訊。

高氣溫平臺資料將不只是氣象相關公開資料的收集與呈現，更是透過 WBGT 熱危害與勞工環境辨識的資料探勘後，將所得的熱危害預警作客製化與情境化的知識呈現，更能幫助勞工們了解當下所處環境的 WBGT 熱危害狀況分析。

以往黑球溫度的測量需要較長的平衡時間，時間解析度通常以 1 小時為限，而機動式環境大氣測站數據與穿戴式熱危害感測裝置數據的時間解析度最細可到每分鐘一筆。若以氣象資料導入方程式計算，則可藉由微型感測器每分鐘一筆的氣象資料，獲得精細時間解析度之數據。而感測器將數據傳回資訊平台後，未來平台甚至可以再發展回傳警告訊息給穿戴感測器的勞工，提醒作業勞工目前的工作狀態是否適合繼續工作，以達到即時保護戶外作業勞工的目的。



圖 16 高氣溫作業場所勞動者資訊平台網站

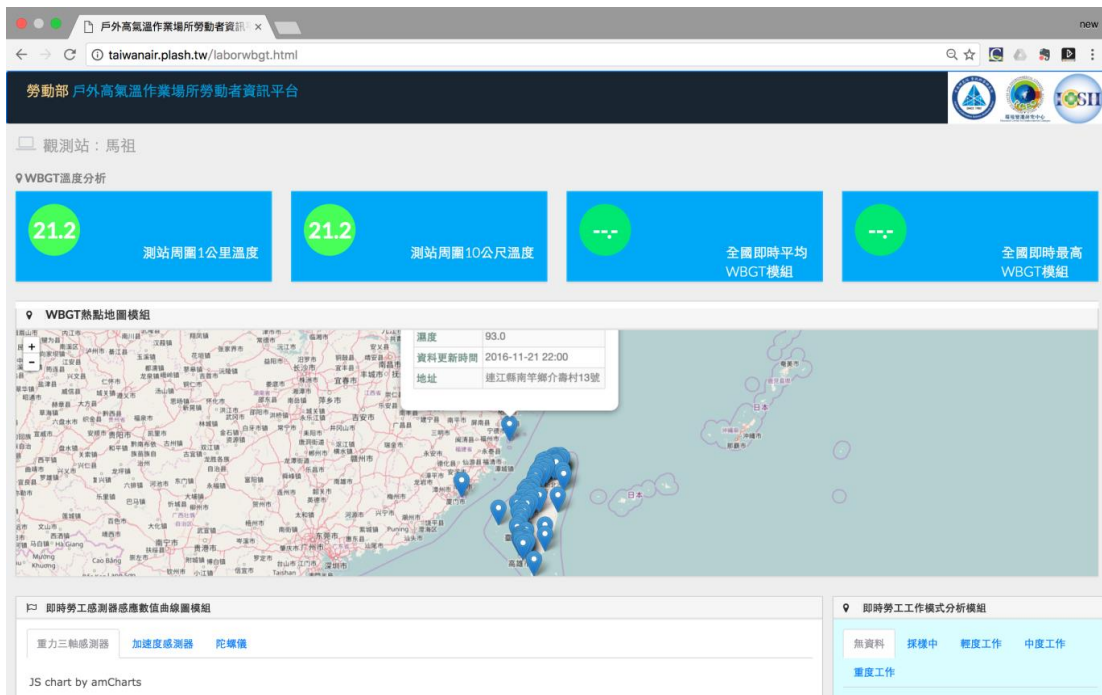


圖 17 整合氣象局及中研院測站資料後發布於網站

## 第四章 研究結果

### 第一節 個人暴露抽樣策略及觀測

在「戶外高氣溫作業場所勞動者之熱危害暴險感測及預警系統建立之先導性研究」觀測時，重體力勞動受測者相對較少，故在本期研究中，重體力勞動者，如鋼筋工及模板工等列為主要受測對象。

本研究共完成 5 個營建工程觀測活動，除第 1 次觀測受測者皆為重體力勞動者外，其他 3 處工程有輕工作 1 至 2 位、中度工作 1 至 2 位、重度工作者則至少 3 位。研究團隊完成 5 處高氣溫作業場所，每一觀測場所皆為第 1 天架設機動式大氣環境測站，第 2 天及第 3 天執行受測者觀測活動，表 8 呈現各高氣溫作業場所之觀測日期。各次場勘抽樣及觀測紀錄詳見附錄三。除了熱暴險穿戴裝置資料收集外，研究團隊也同時量測受測對象之生理因子，現場觀測當日，在受測勞工上工前，研究人員已先為其黏貼 Rooti 心率貼片，完成收集心跳、血壓等生理數值，並詢問有關其工作情形之問題，研究工作人員也進駐於工作現場記錄受測者活動。此外，研究亦以市售穿戴感測裝置 BL-500 與自主研發之熱暴險穿戴裝置進行比對，於現場實測時，在勞工受測者身上配戴內有 BL-500 軟體之手機，輔以藍牙傳輸紀錄資料，並以紅外線測溫槍量測受測對象周遭之物料及建材溫度，研究其差異性。

表 8 高氣溫作業場所進行觀測日期

場址代號	高氣溫作業場所	觀測時間	天氣狀況	測試對象
6	文山區某住宅大樓新建工程	107 年 7 月 17、18、19 日	晴朗	重體力勞動者 5 位鋼筋工
7	中和區某住宅大樓新建工程	107 年 8 月 7、8、9 日	晴朗	5 位鋼筋工、4 位模板工、2 位清潔點工
8	中和區某住宅大樓新建工程	107 年 8 月 10 及 11 日	晴朗	5 位模板工、2 位鋼筋工、1 位搬運工、1 位水電工、1 位監工
9	北投區某住宅大樓新建工程	107 年 8 月 22 及 23 日	8/22 晴時陰 8/23 上午晴時陰，下午雨	3 位模板工、2 位清潔工、2 位監工、1 位鋼筋工、1 位吊裝工
10	三峽區某住宅大樓新建工程	107 年 9 月 3 日及 4 日	晴朗	2 位模板工、2 位鋼筋工、2 位防水工、2 位水電工、1 位雜工、1 位清潔工

## 第二節 現場實測使用之穿戴裝置

### 一、 自主研發之熱暴險穿戴裝置

#### (一) 實際場測資料接收方式

根據場勘結果，決定接收資料方式從無線訊號延伸方式改為單一數據機方式，並在工地每隔約半徑 25 公尺距離內設置一台含有 4G 網卡的 Wi-Fi 數據機，而開發板透過連接最近距離的 Wi-Fi 數據機上傳資料，圖 18 顯示實際場測中將 Wi-Fi 數據機安裝於四周可固定之位置。

實際場測發現因場地太過寬廣涵蓋率不夠或受測者因工作需求移動超出預設範圍，致 Wi-Fi 數據機無法有效接受資料，因此在 8 月 10 日後開始採用在背心上裝配一對一的 4G Wi-Fi 分享器(圖 19)之方式傳送資料，配戴方式如圖 20 紅色箭頭處，重量僅增加 50 公克，尚不會增加作業勞工負重，藉此解決 Wi-Fi 數據機無法有效接受資料的問題。

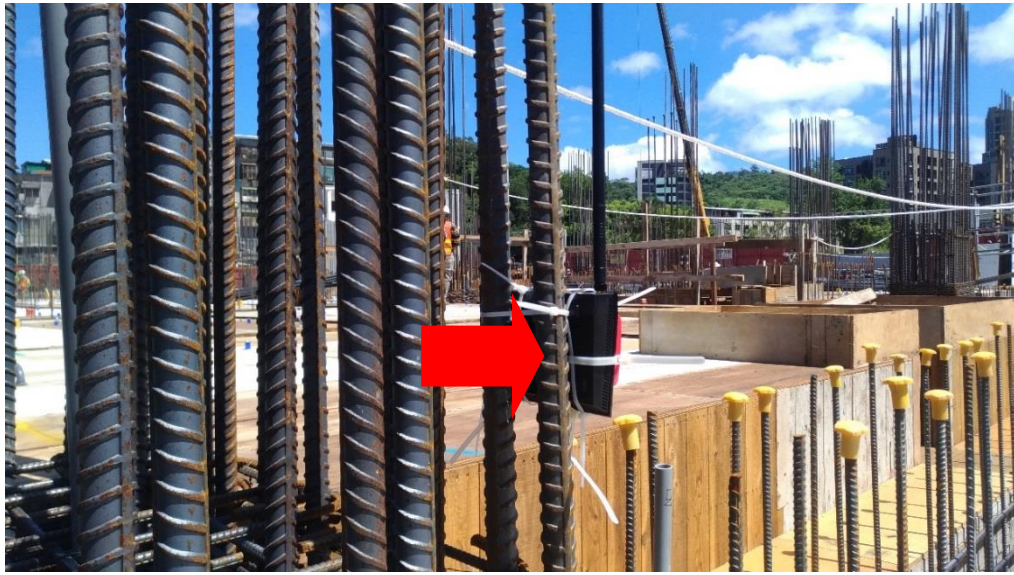


圖 18 實際場測 Wi-Fi 數據機安裝圖



圖 19 4G Wi-Fi 分享器



圖 20 4G Wi-Fi 分享器配戴位置

## (二) 實際場測資料

使用本研究開發之熱暴險穿戴裝置，完成共 51 人次，為期 10 個工作天，超過 250 人時的現場實測。

### 1. 資料傳輸成功率

熱暴險穿戴裝置利用 Wi-Fi 回傳資料時，同時也會使用 SD 卡將資料備份，利用數據相互比對並計算 Wi-Fi 傳輸之成功率(表 9)

有關資料傳輸部分，7 月 18 日伺服器端的資料缺失率較高，是因當天裝在 Wi-Fi 數據機上的 SIM 卡流量用光，導致資料無法上傳至伺服器，其他排除實測過程勞工受測者進入地下室導致收訊不佳，整體而言，使用 Wi-Fi 的資料傳輸成功率極高。

表 9 實際場測傳輸成功率

	7月18日	7月19日	8月7日	8月8日	8月9日	8月10日	8月22日	8月23日	9月3日	9月4日	合計
SD	1326	1803	1806	2771	2466	2542	3174	2775	3156	3033	24852
Server	1172	1241	1660	2491	2235	2510	3124	2537	2913	2841	22724
傳輸成功率	0.883861	0.688297	0.919158	0.898953	0.906326	0.987411	0.984247	0.914234	0.923004	0.936696	0.914373

### 2. 資料有效時間

表 10 呈現勞工受測者配戴熱暴險穿戴裝置所得資料之有效時間。資料有效時間共計 347 小時又 47 分鐘，依照最低要求的 300 小時計算，達標率為 1.159；8 月 10 日後開始採用 4G Wi-Fi 分享器配戴在身上，有效時間大幅提升。

表 10 有效時間

日期	有效分鐘
7 月 18 日	1326
7 月 19 日	1803
8 月 7 日	1956
8 月 8 日	2242
8 月 9 日	2134
8 月 10 日	2271

日期	有效分鐘
8月22日	2446
8月23日	2097
9月3日	2263
9月4日	2324

### (三) 電耗

基於輕量化目標，使用大約 140 公克重，容量為 5200 mAh 的行動電源，額定容量為 2910 mAh，熱暴險穿戴裝置耗電量平均是 0.23 Ah，加上 4G Wi-Fi 分享器約 0.1 Ah，因此，理論上 1 顆行動電源可讓熱暴險穿戴裝置使用近 9 小時，但實際測試可使用時間是 12 小時又 14 分鐘。

### (四) 已改進之問題

熱暴險穿戴裝置原有蓄熱、易受太陽影響及需更輕量化等問題需改善，針對蓄熱與太陽影響等問題嘗試以主動式風扇與不透光外殼解決問題。如圖 21 為熱暴險穿戴裝置放置於太陽直射的狀況圖，圖中紅色箭頭處為排熱風扇。

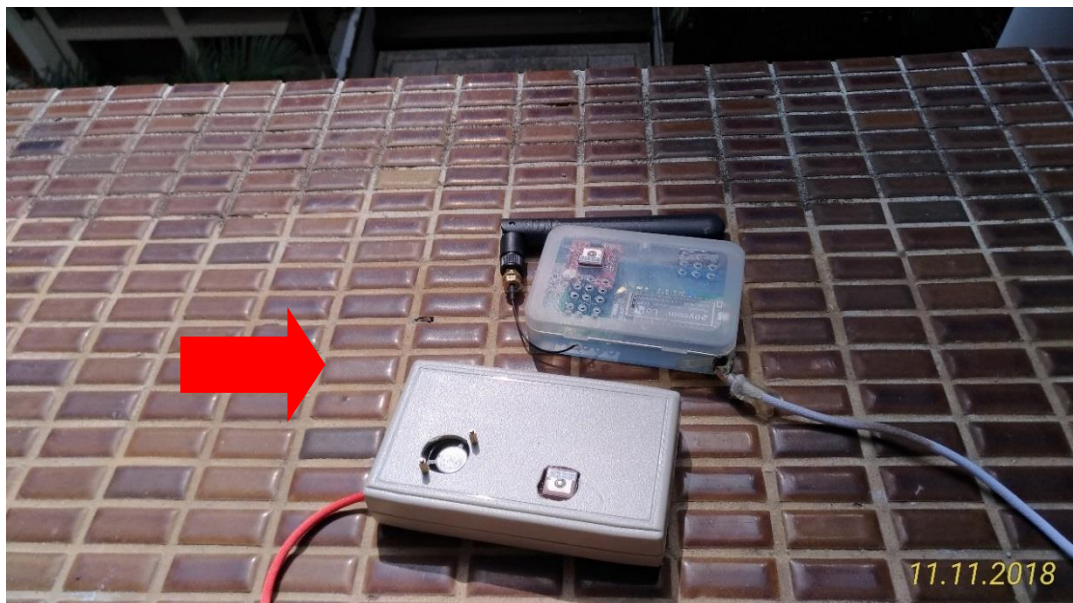


圖 21 有無風扇與有無遮光殼之比對

圖 22 為農業觀測網之日射量，由網站中知 11 月 11 號中午 12:15 日射量為最高，同時段由熱暴險穿戴裝置(有風扇且有遮光殼為 D\_1，無風扇且無遮光殼為 D\_8)比較溫度的折線圖(圖 23)，發現日照量特高時，無風扇且無遮光殼的裝



置溫度比有風扇且有遮光殼的裝置高出 15°C 之多，而無太陽照射的半夜也因為無風扇而導致高出 2°C 左右；整體觀測一致性相當高，從圖 24 之迴歸分析亦能看出兩者相關性極高。

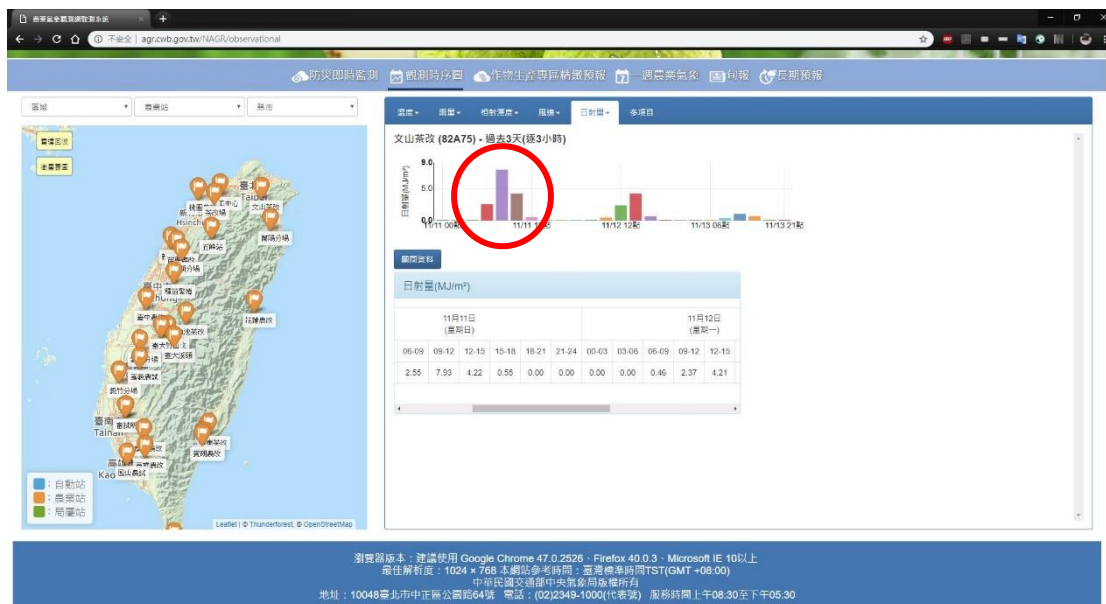


圖 22 農業觀測網之日射量

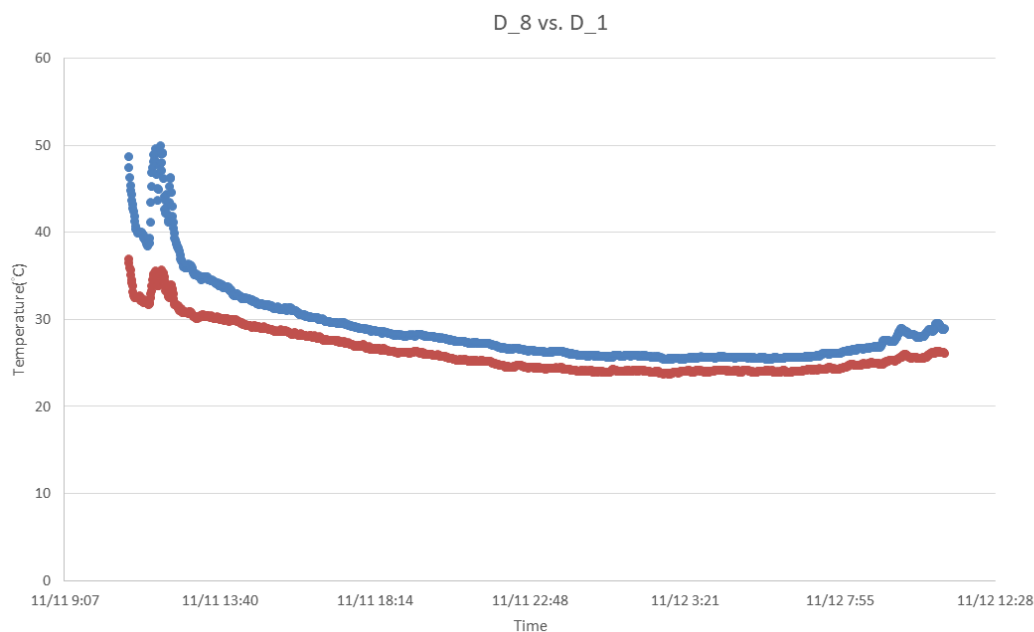


圖 23 有無風扇與有無透光殼溫度折線圖

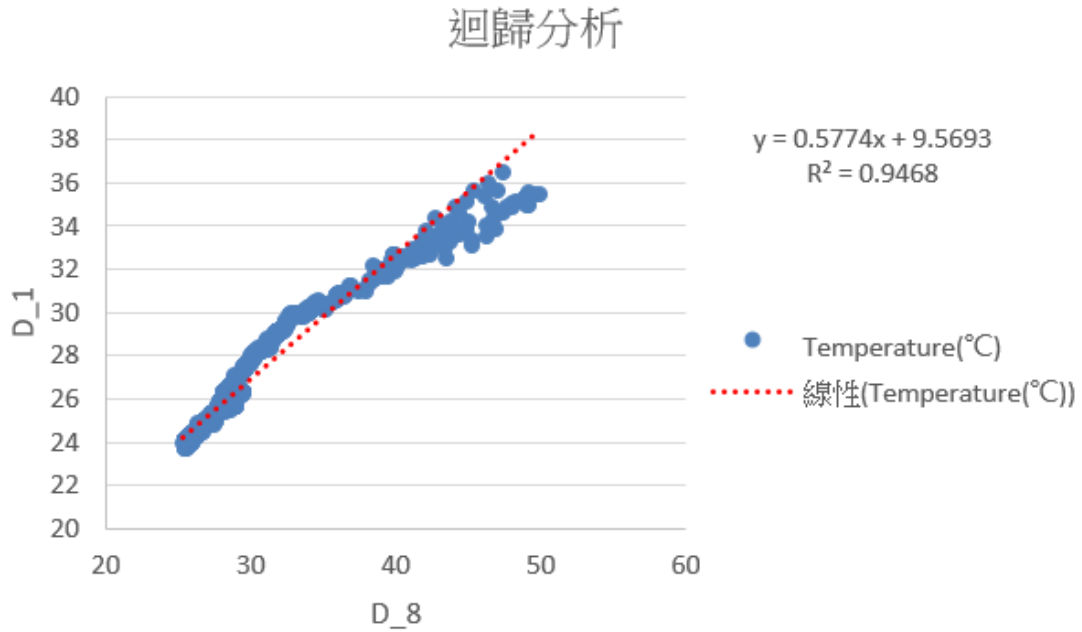


圖 24 有無風扇與有無透光殼迴歸分析

#### (五) 整體評估

前期計畫所開發之熱暴險穿戴裝置，不僅能使用於戶外高氣溫作業場所，在一般室內場所亦能正常使用，與專業儀器比對後也有良好的相關性；通過公式的校正，亦可證實此熱暴險穿戴裝置數值具極高可信度。此外，使用

Wi-Fi 的即時傳輸，能得到即時的數據呈現，如果發現問題便能立即處理。另有關熱暴險穿戴裝置重量方面，勞工受測者回應皆為重量尚可，大多數人比較喜歡腰包的形式，認為背心因悶熱較易造成流汗而導致穿著不適。綜合上述觀察，研究所研發之熱暴險穿戴裝置表現可適用於各類型之勞工及工程。

#### (六) 小結

戶外高氣溫作業場所使用之熱暴險穿戴裝置，為了輕易取得使用元件，大多選擇台灣製造之零件，故製造成本相較於其他市售產品相對便宜許多；為了讓勞工朋友方便穿戴，製作了腰包、背心，兩種穿戴方式供其選擇。此外，為了驗證資料的正確性，與 Weather Station 進行比對，比對結果顯示相關性極高，再透過迴歸分析與相對濕度公式，得到每台裝置的溫濕度校正公式。在實際場測中，資料傳輸成功率高達 91.4%，換算累積有效人時達 347 小時比預計的 300 小時高出甚多。值得一提的是，勞工受測者皆表示，此熱暴險穿戴裝置重量不會太重、配戴上不會造成任何困擾，可知熱暴險穿戴裝置擁有可行性高、運作

時長、資料傳輸穩定及資料正確性高等優點。

## 二、市售穿戴式裝置-BL500

### (一) 測試比對及結果

研究團隊在大晴天情況下將 BL500 帶至某建築物頂樓，與原先就架設的 weather station 測站進行溫度、相對濕度、風速及紫外線指數(圖 25~圖 32)相關性比對，分別有以下為比對結果：

#### 1. 溫度：

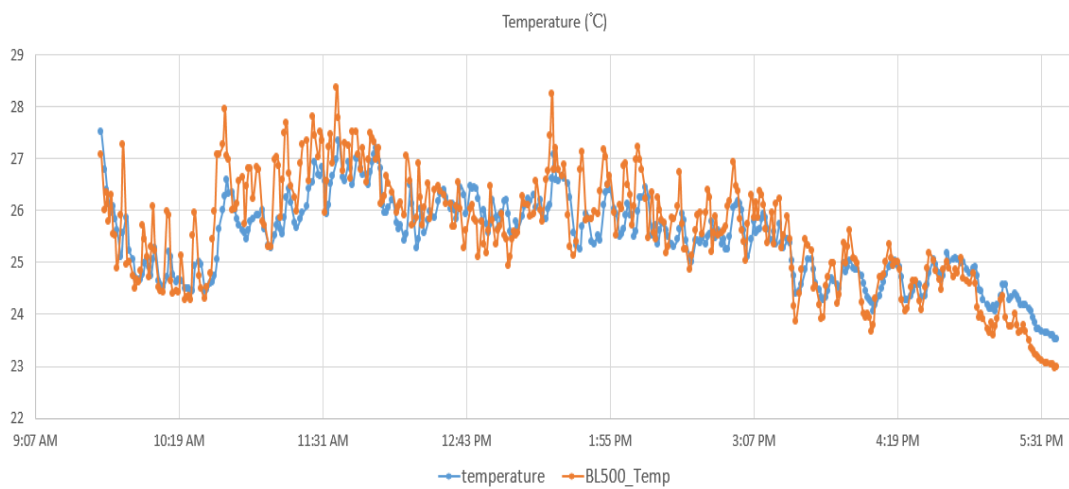


圖 25 Weather station 與 BL500 在 3/30 之溫度折線圖

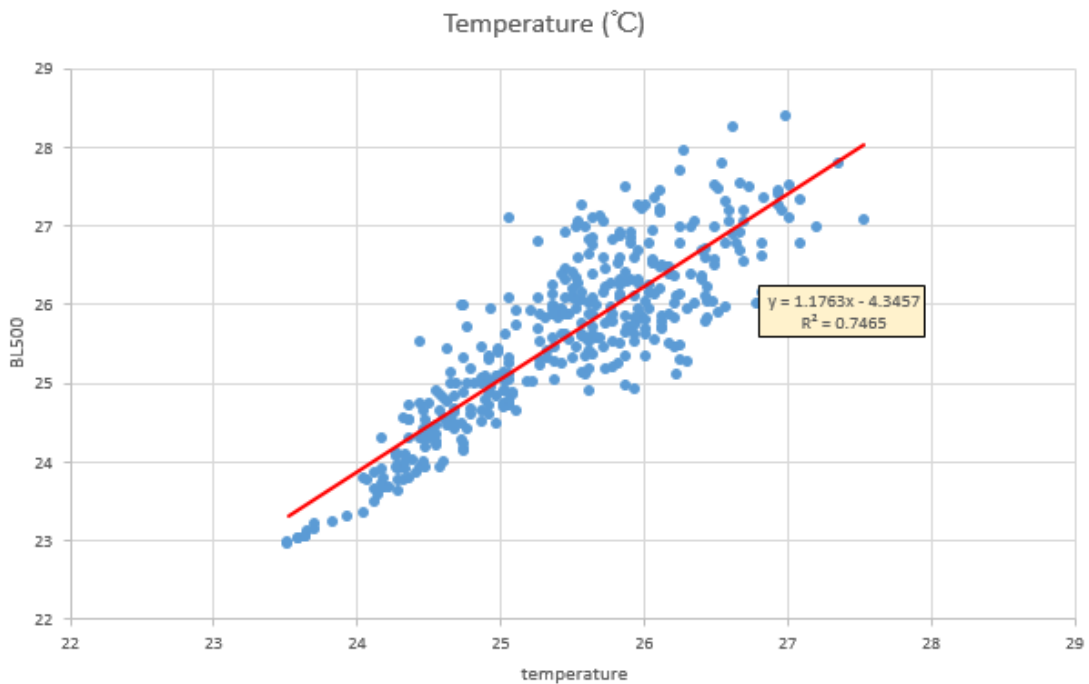


圖 26 Weather station 與 BL500 在 3/30 之溫度散佈圖

## 2. 相對濕度：

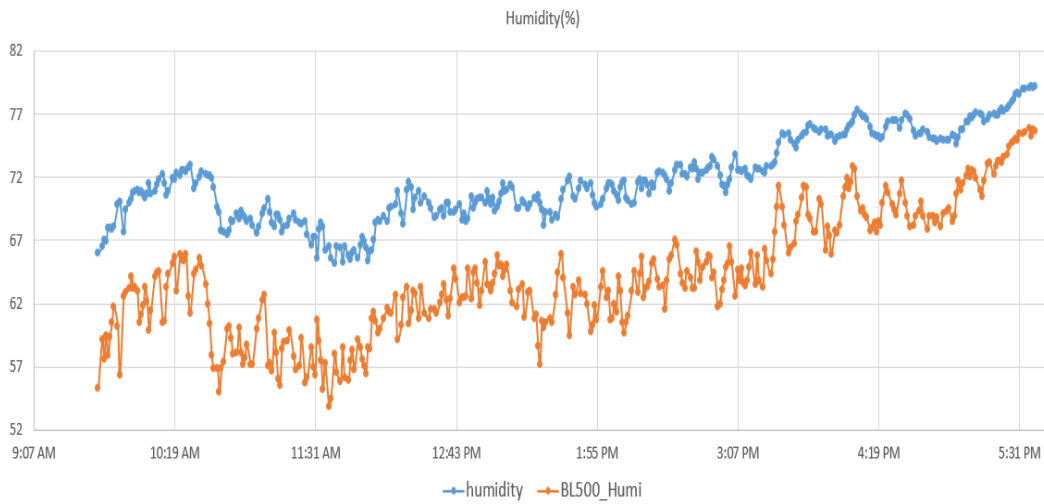


圖 27 Weather station 與 BL500 在 3/30 之相對濕度折線圖

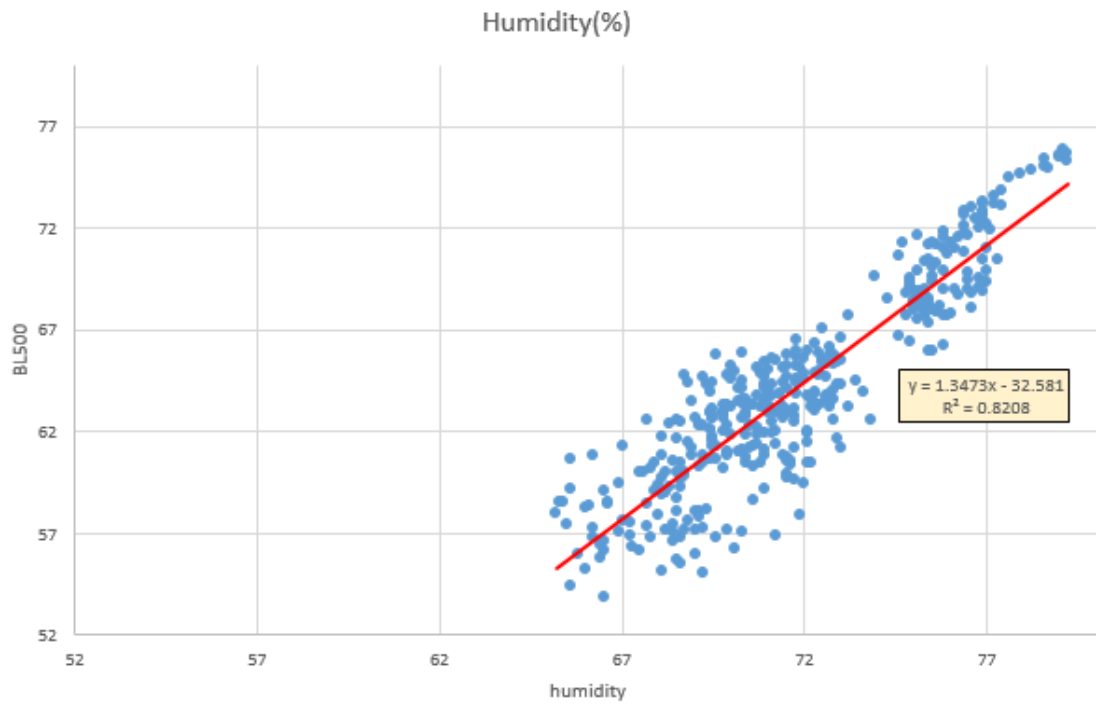


圖 28 Weather station 與 BL500 在 3/30 之相對濕度散佈圖

### 3.風速：

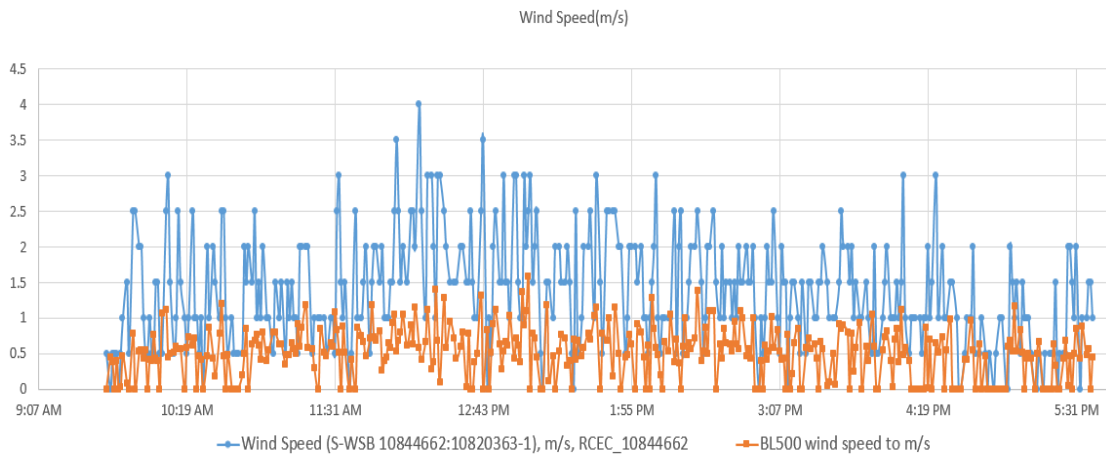


圖 29 Weather station 與 BL500 在 3/30 之風速折線圖

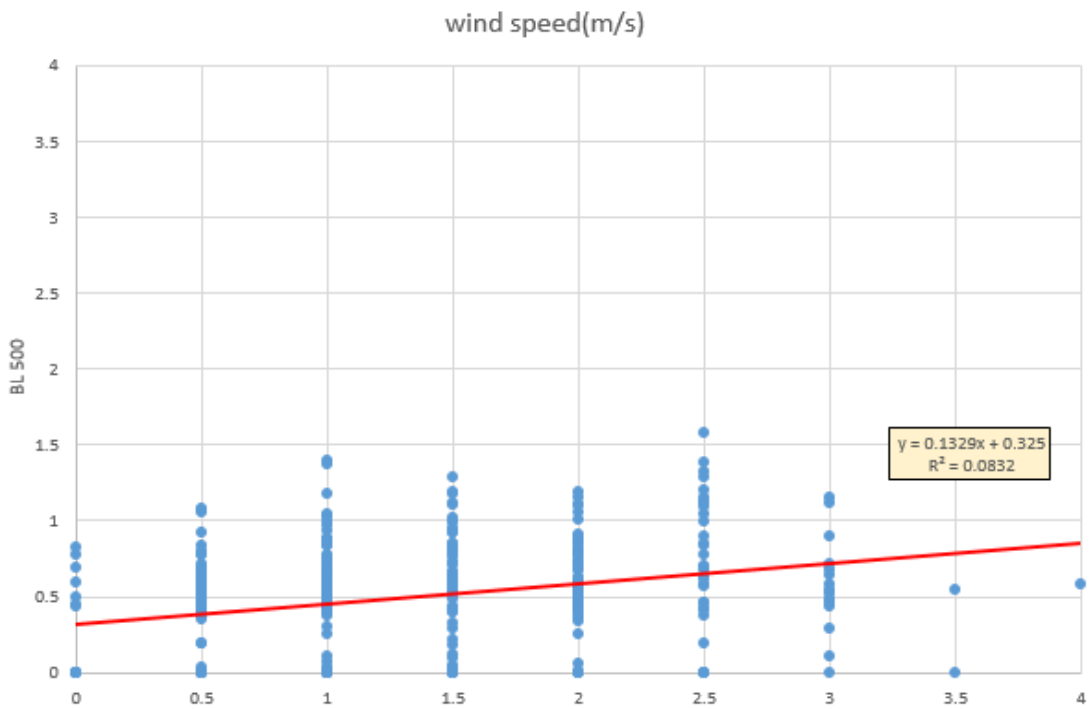


圖 30 Weather station 與 BL500 在 3/30 之風速散佈圖

#### 4. 紫外線：

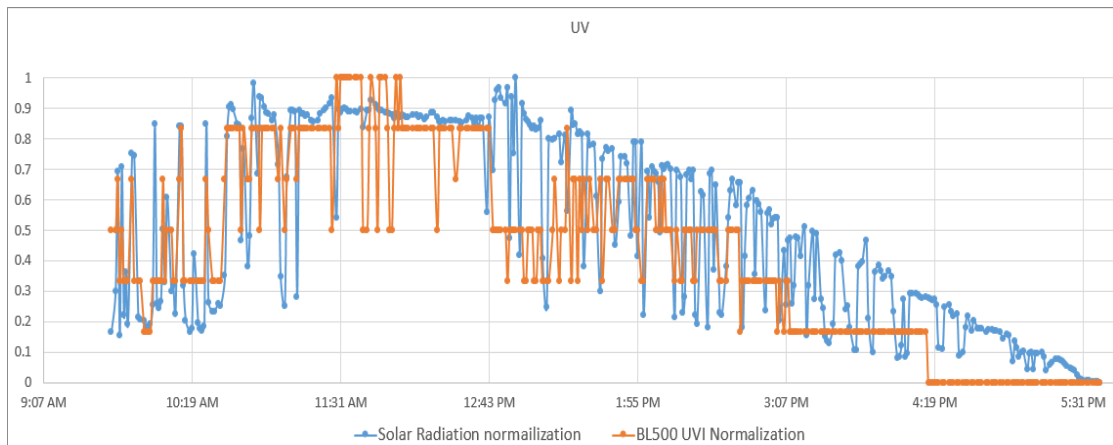


圖 31 Weather station 與 BL500 在 3/30 之紫外線折線圖

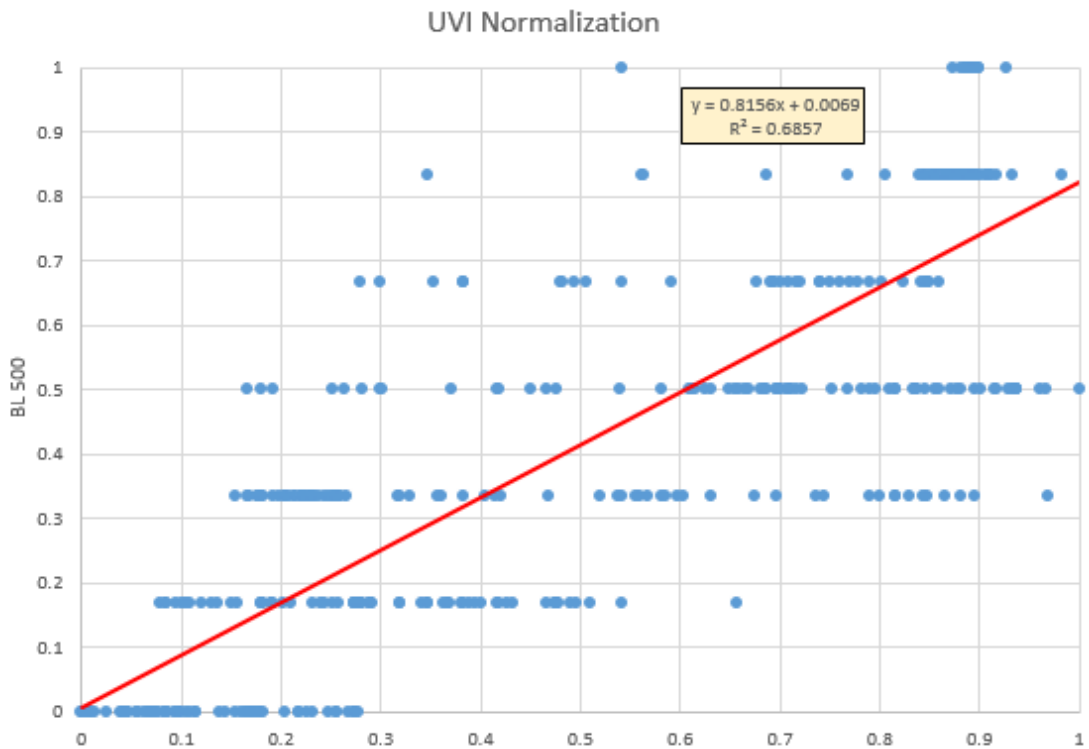


圖 32 Weather station 與 BL500 在 3/30 之紫外線散佈圖

#### (二) BL500 與工地現場 weather station 比對結果

於工地進行實地測量，測量方法將 5 個 BL500 分別配置於 5 位受測勞工之安全帽上，將獲取之數據與 weather station 測得 5 之據相比較；受測時間為 7/18 及 7/19 約 8 小時，以其中 1 個 BL500 數值為例進行說明。

實際測量時間由早上 8 點至下午 4 點 40 分，每分鐘收取 1 次數值，扣除中午休息時間 1.5 小時(12:00~13:30)，預估可收 430 筆資料，實際收得 394 筆

資料，收值率約 91%，其對應折線圖與散佈圖如圖 33~40 圖所示：

1. 溫度：

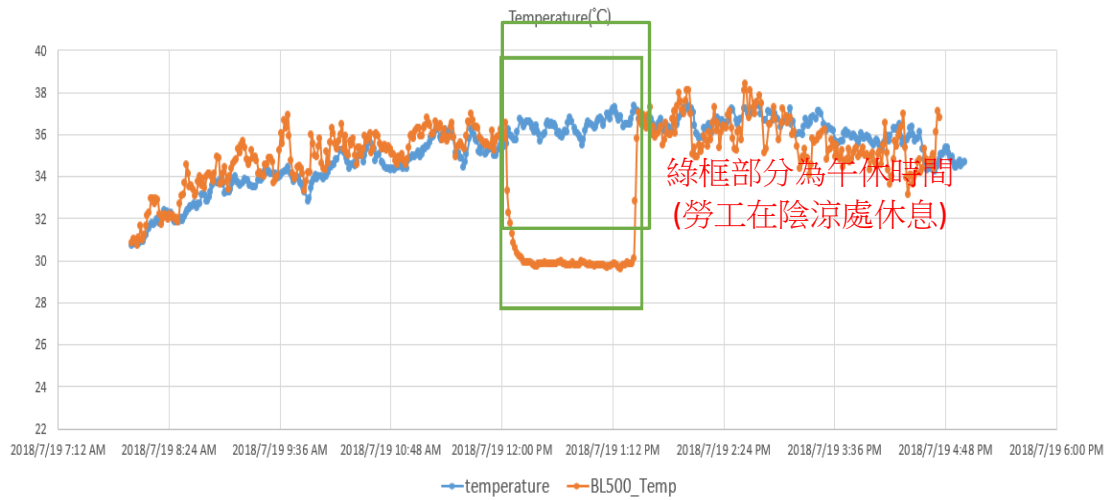


圖 33 Weather station 與 BL500 在 7/19 工地現場之溫度折線圖

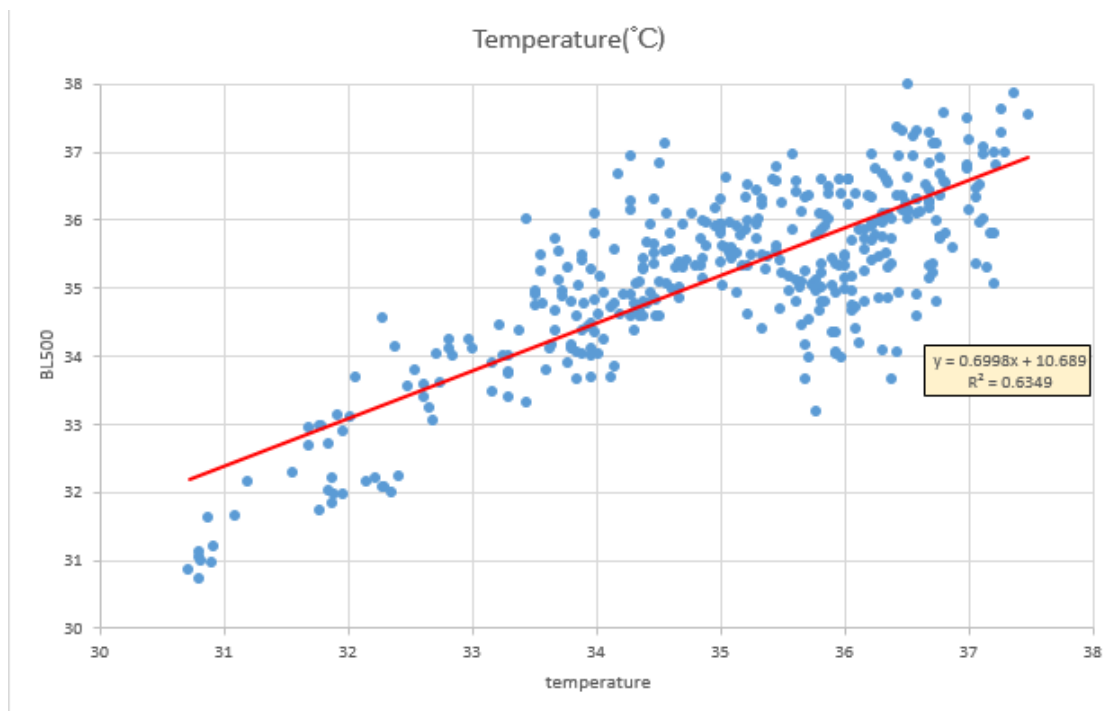


圖 34 Weather station 與 BL500 在 7/19 工地現場之溫度散佈圖

## 2. 相對濕度：

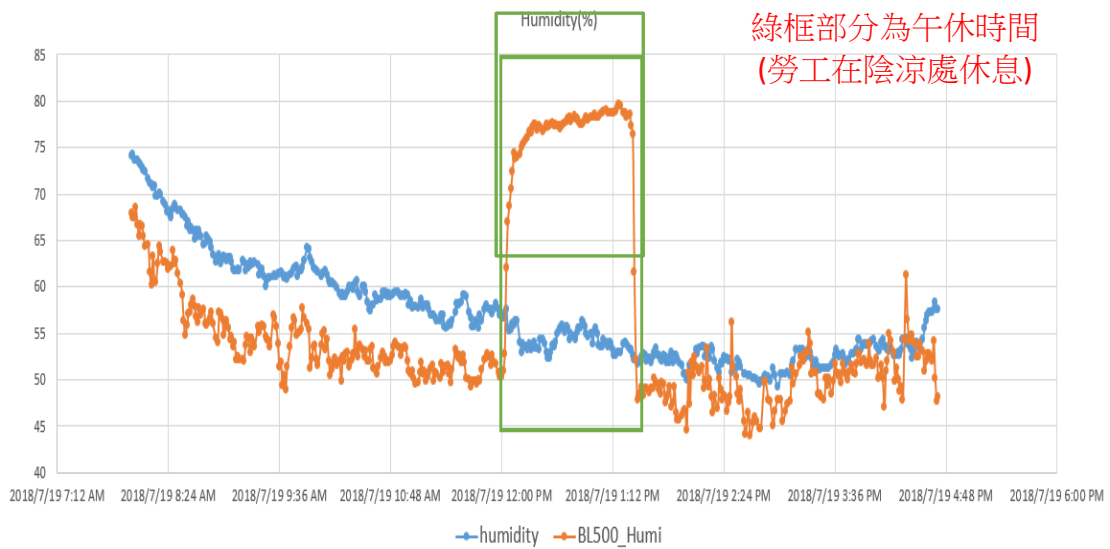


圖 35 Weather station 與 BL500 在 7/19 工地現場之相對濕度折線圖

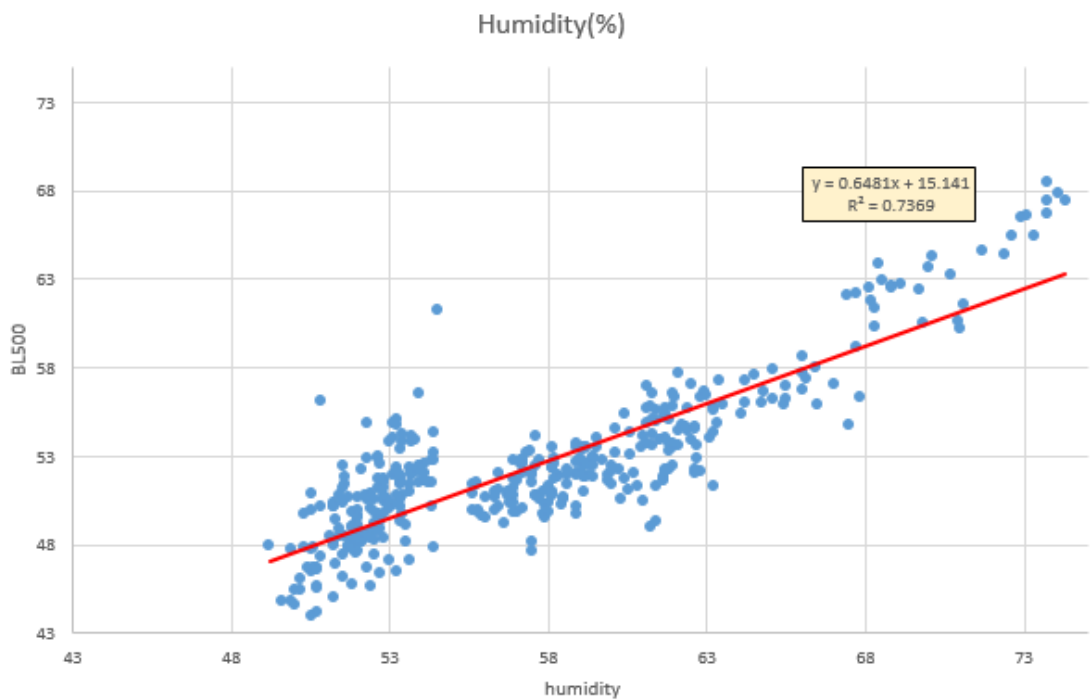


圖 36 Weather station 與 BL500 在 7/19 工地現場之相對濕度散佈圖



3.風速：

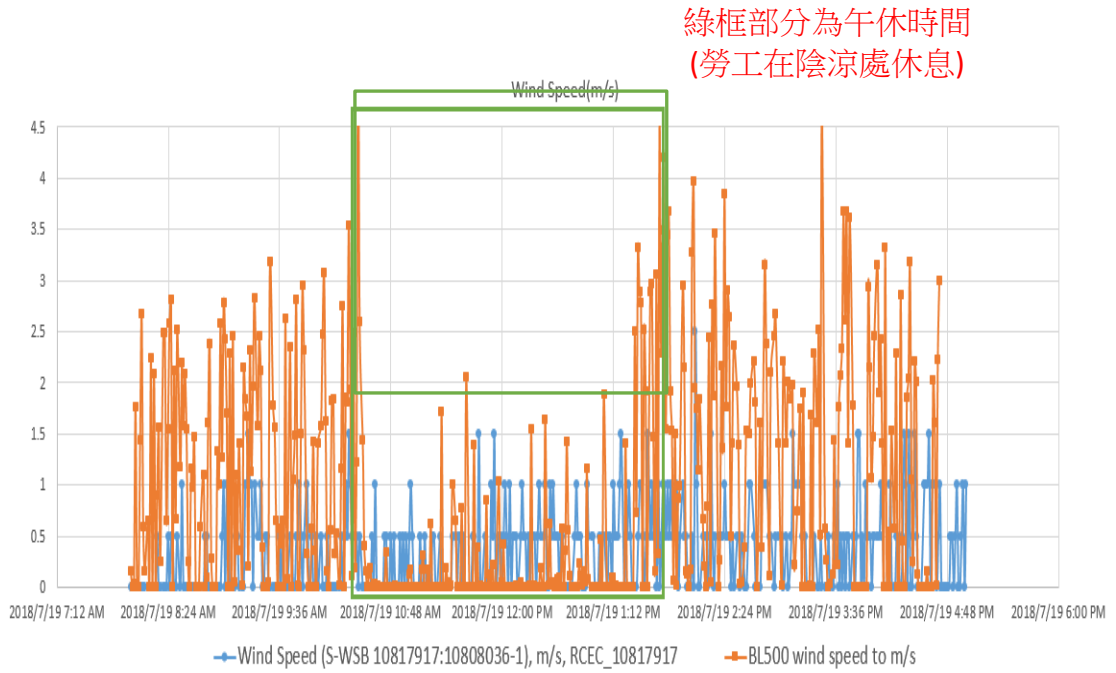


圖 37 Weather station 與 BL500 在 7/19 工地現場之風速折線圖

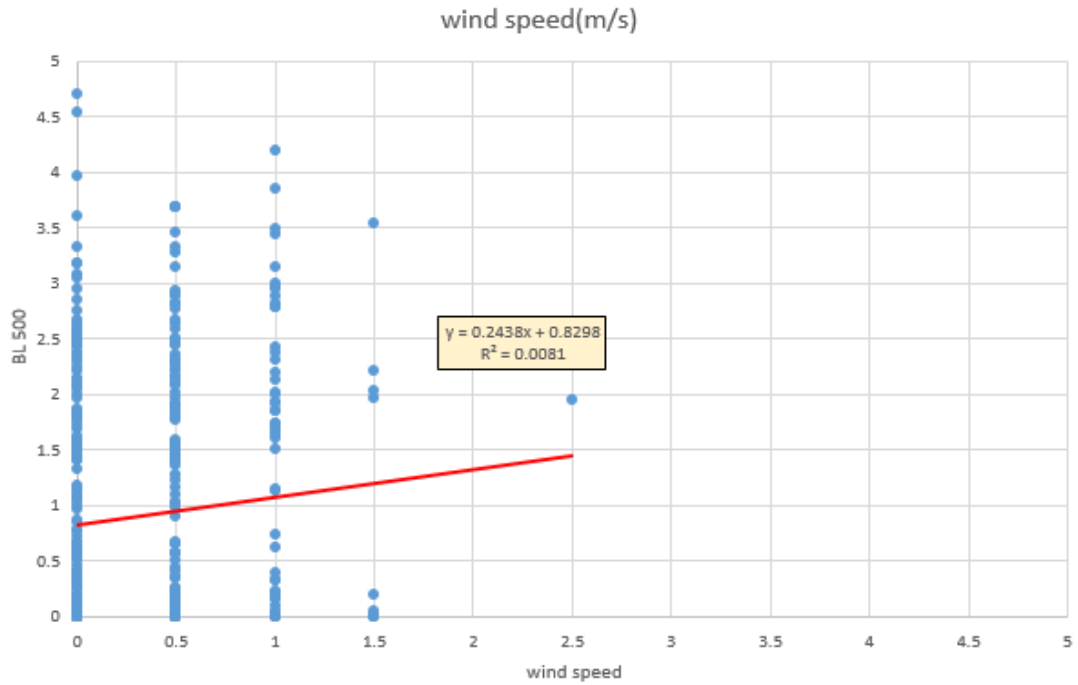


圖 38 Weather station 與 BL500 在 7/19 工地現場之風速散佈圖

4. 紫外線：

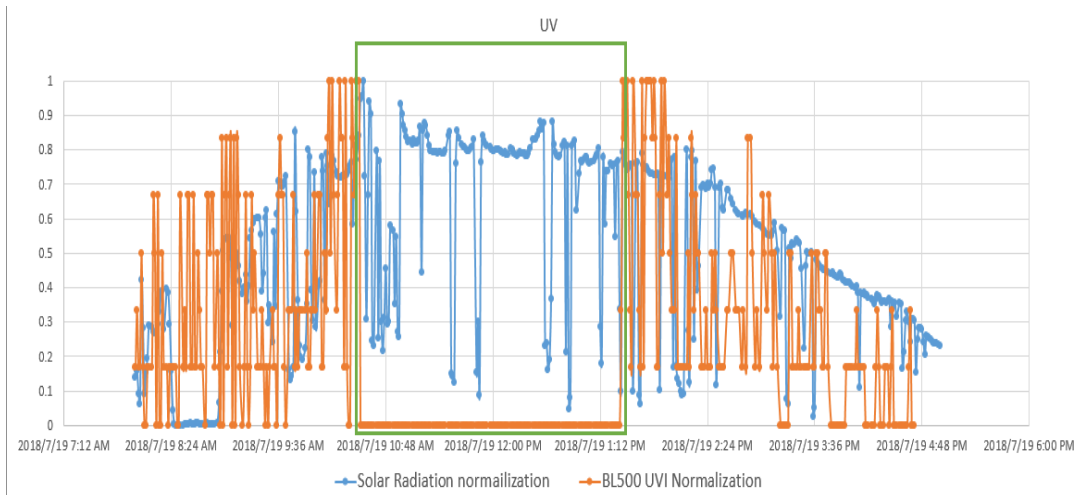


圖 39 Weather station 與 BL500 在 7/19 工地現場之紫外線折線圖

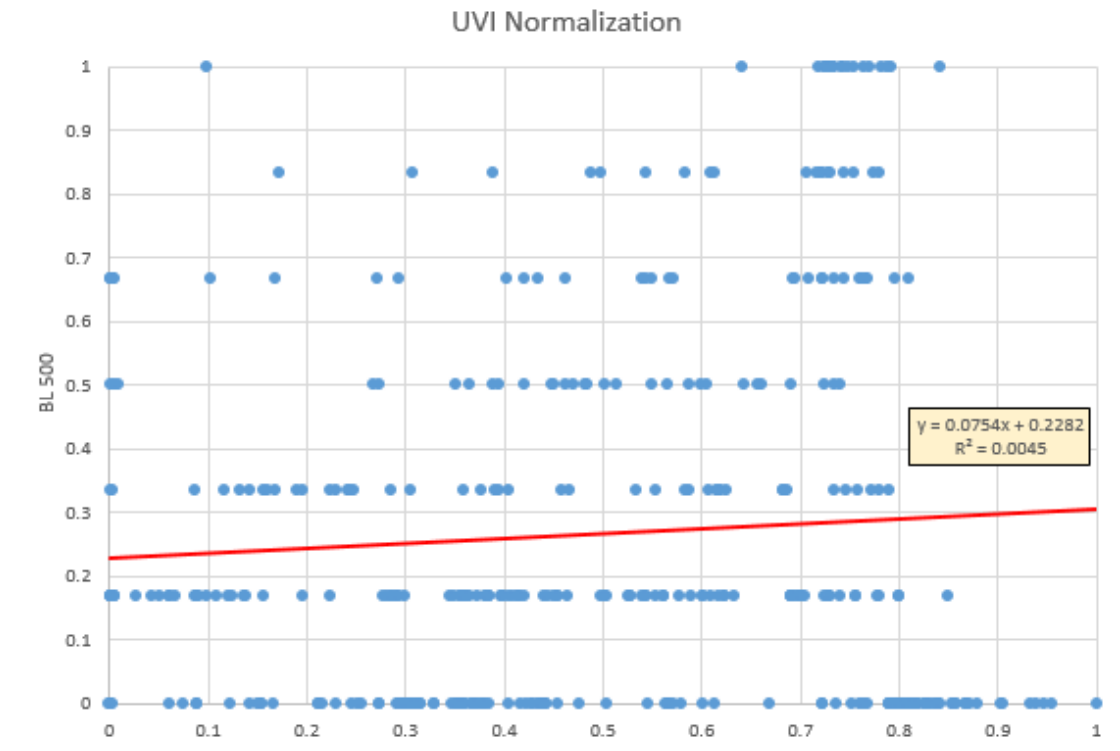


圖 40 Weather station 與 BL500 在 7/19 工地現場之紫外線散佈圖

由折線圖結果可看出，因中午為受測者休息時間，BL500 數值皆與 weather station 有極大落差，為避免影響實驗結果，將中午時段去除；而由散佈圖可看出

溫度(0.6349)跟相對濕度(0.7369)的決定係數有不錯的結果，相較下風速(0.0045)與紫外線(0.0081)的決定係數較低，研判可能是受測者有時會在有遮蔽物(如牆邊、室內)或高度不同環境下工作，導致數據因環境影響產生落差。另有關其他數據分析資料，雖 BL-500 感測裝置可同步觀測 UV 紫外線指數，但因分級方式(分 10 級)與機動式環境大氣測站太陽輻射(Watt/m<sup>2</sup>)資料性質呈現上意義不同，加上受測者在有遮蔽物處工作或休息時，其 UV 指數會降至很低，一旦離開遮蔽物 UV 指數即會瞬間上升，兩者間反差極大，上述兩因素顯示 UV 紫外線指數不適用取代太陽輻射值計算 WBGT，因此後續 WBGT 計算仍舊使用原機動式環境大氣測站太陽輻射資料作為主要參數。

### 三、BL-500 感測裝置及熱暴險穿戴裝置現場觀測

本研究所使用之勞工熱暴險穿戴裝置，其主要量測溫度、相對濕度，及市售裝置 BL-500 主要量測溫度、相對濕度、風速、及 UV 紫外線指數，量測過程中使用 Wi-Fi 穩定的傳輸資料回雲端，研究人員可用筆記型電腦輕易的觀看儀器是否正常運作，且本年度研究於觀測同時於觀測場址加裝數台 Wi-Fi 無線數據機希望能將觀測數據穩定回傳至雲端。而熱暴險穿戴裝置開發設計理念為便於勞工穿戴的裝置，因此主要以斜背方式穿戴於勞工身上，以不影響勞工工作為重點，且熱暴險穿戴裝置所配戴之電池於正常使用下皆可供應一天觀測之電力所需。此外，市售 BL-500 裝置考量到其觀測時所需擺放的角度位置，幾經商討後與勞動者所配帶的工地安全帽做結合，同樣以確保不影響勞工工作為主要考量，使勞工於工作過程中能輕鬆協助計畫執行。

圖 43~圖 52 顯示場址 6-10 熱暴險穿戴裝置觀測時序圖，而 BL-500 感測裝置觀測時序圖則呈現於圖 53 至圖 62；整體而言，就資料收集與回傳大致穩定，但於收集資料中仍可看出有資料遺漏狀況發生，初步推測乃是資料收集與回傳時訊號不穩導致資料漏失，相較之下 BL-500 感測裝置資料缺失率較高，因 BL-500 感測裝置為市售裝置，資料傳輸設定無法做更改，因此無法使用更穩定的資料回傳方式記錄資料，但此部份研究人員已盡力針對問題進行排除，以更趨於完善的資料收集與回傳能力，完成勞動者本身或所處環境之氣象因子觀測。



圖 41 熱暴險穿戴裝置



圖 42 BL-500 裝置

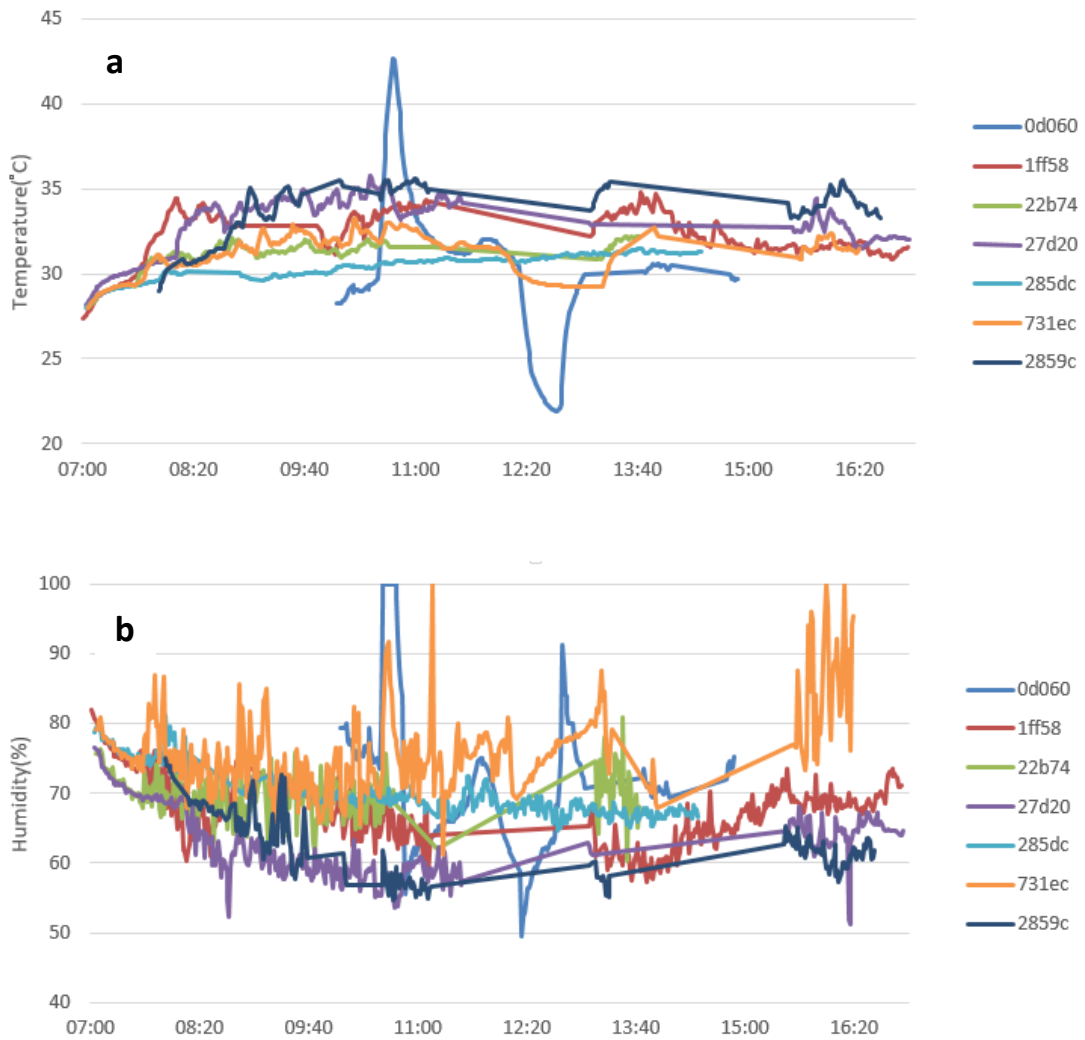


圖 43 熱暴險穿戴裝置\_勞工受測者 7 月 18 日紀錄\_場址 6 a:溫度; b:相對濕度

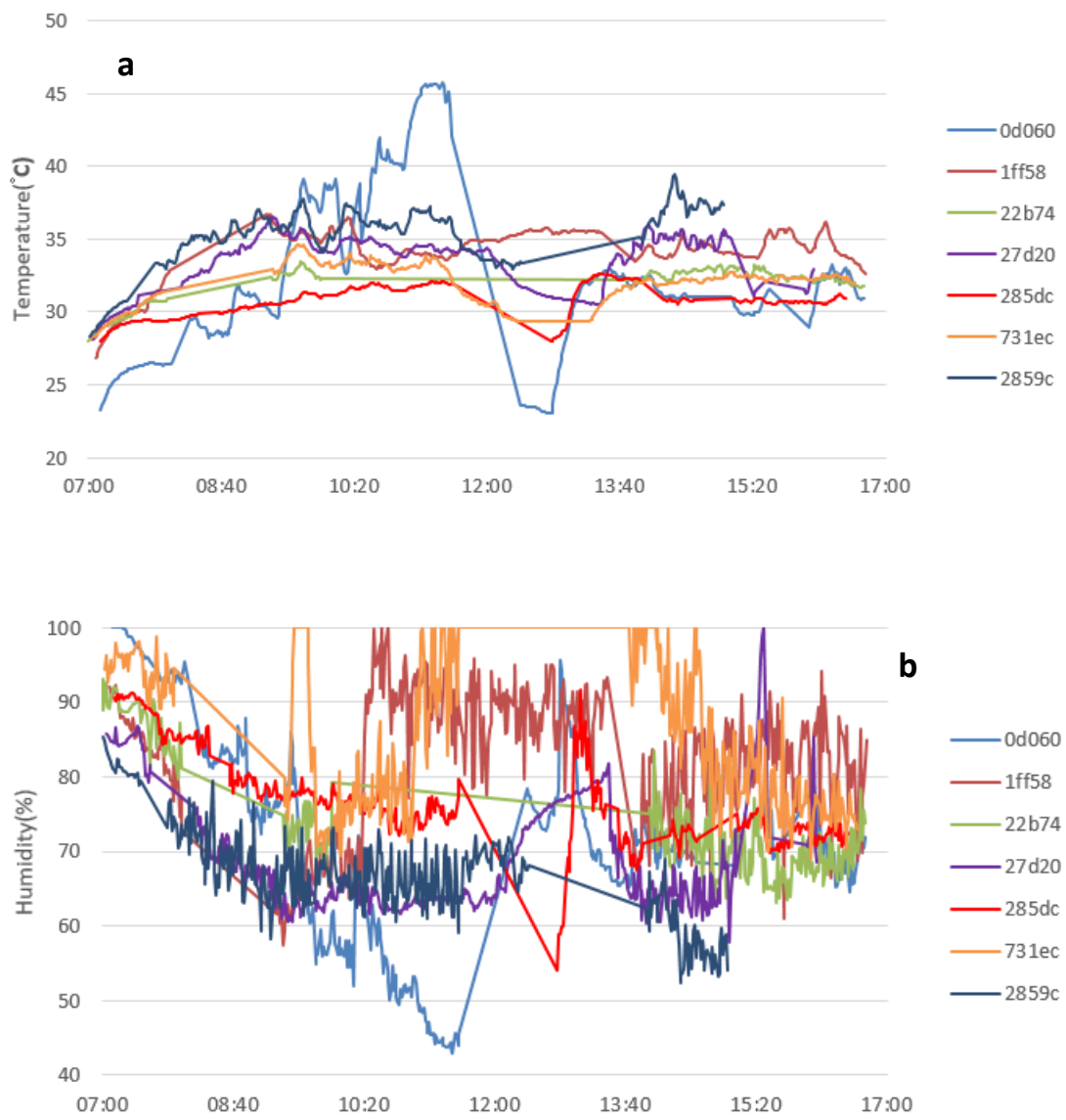


圖 44 熱暴險穿戴裝置\_勞工受測者 7 月 19 日紀錄\_場址 6 a:溫度; b:相對濕度

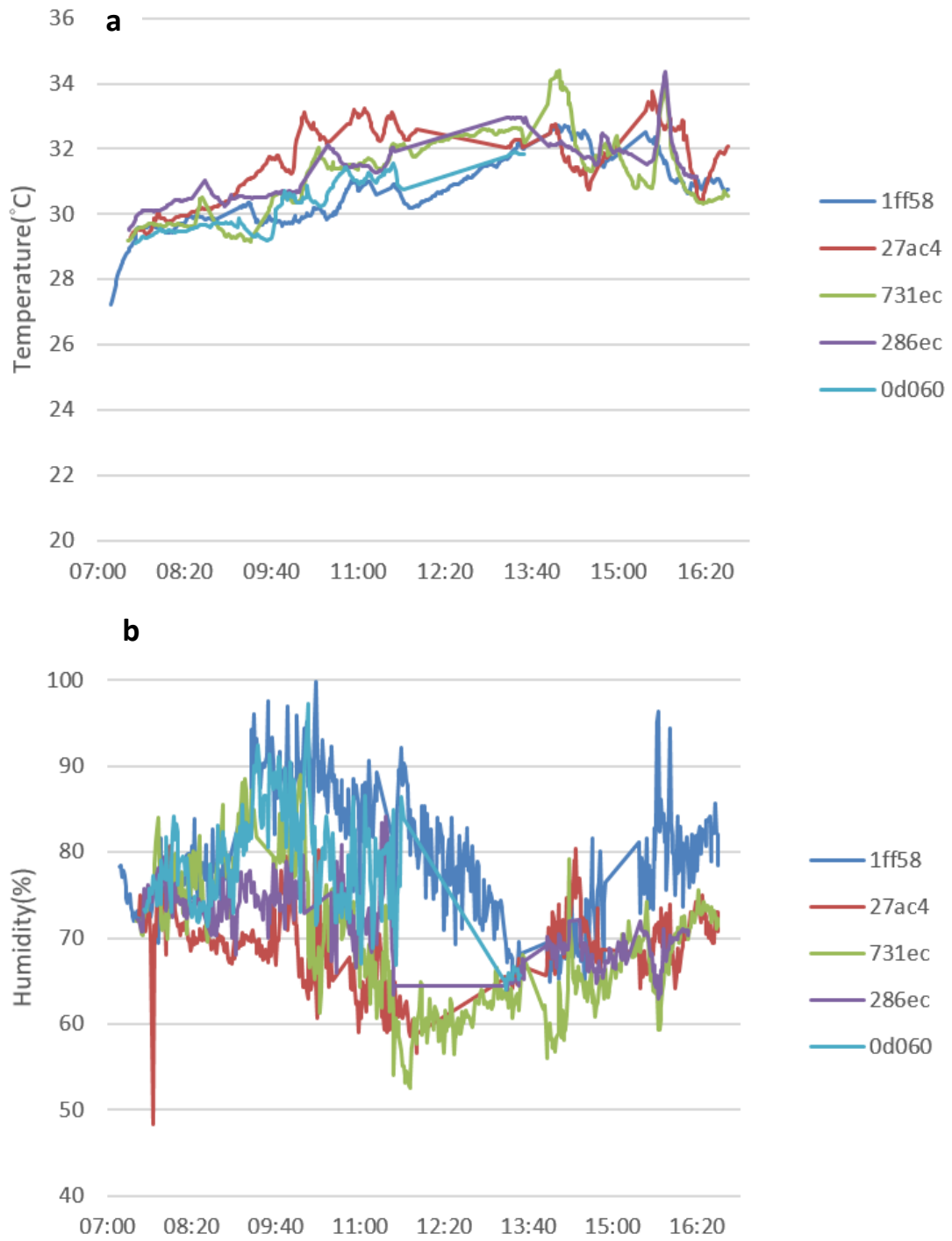


圖 45 熱暴險穿戴裝置\_勞工受測者 8 月 7 日紀錄\_場址 7 a:溫度; b:相對濕度

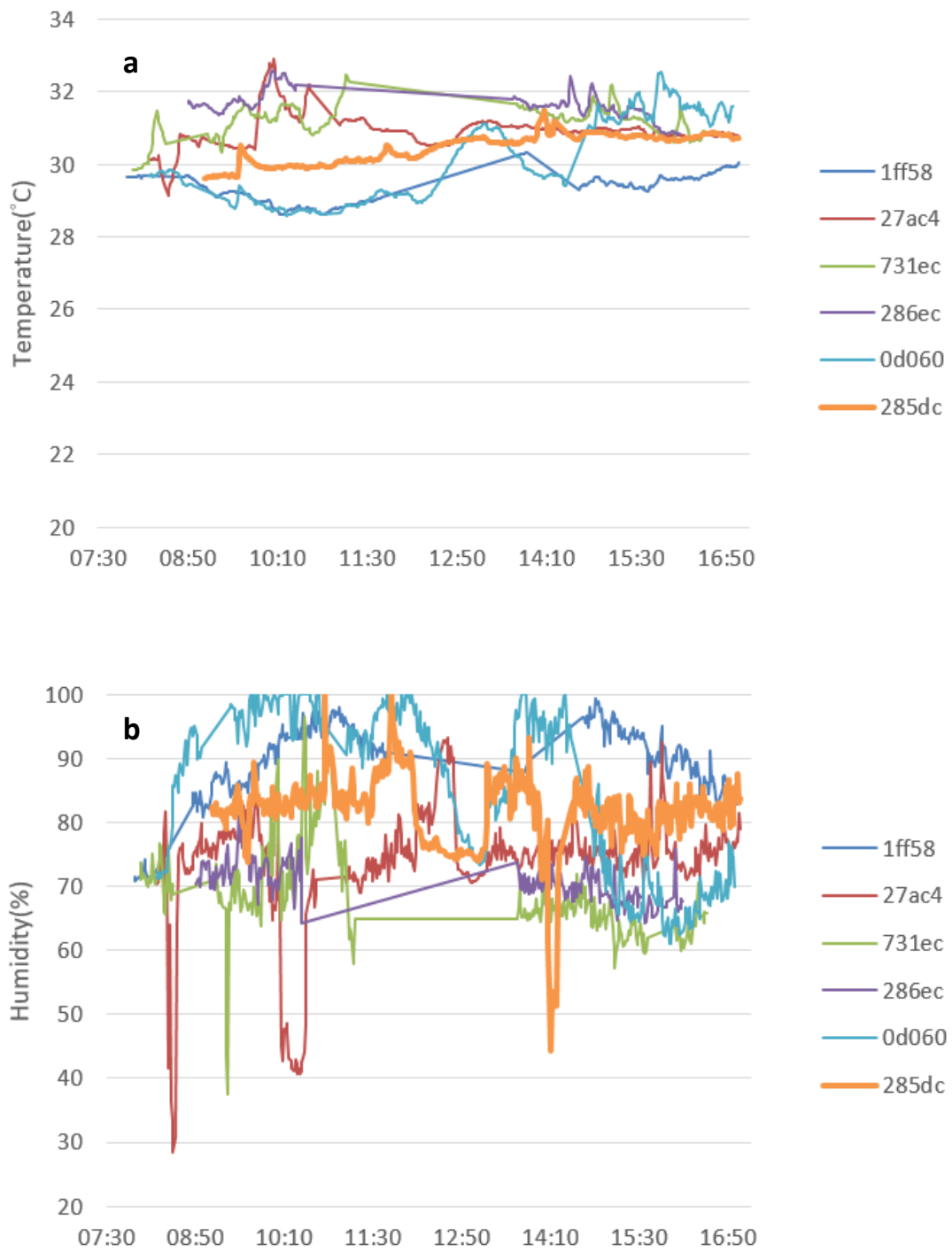


圖 46 熱暴險穿戴裝置\_勞工受測者 8 月 8 日紀錄\_場址 7 a:溫度; b:相對濕度

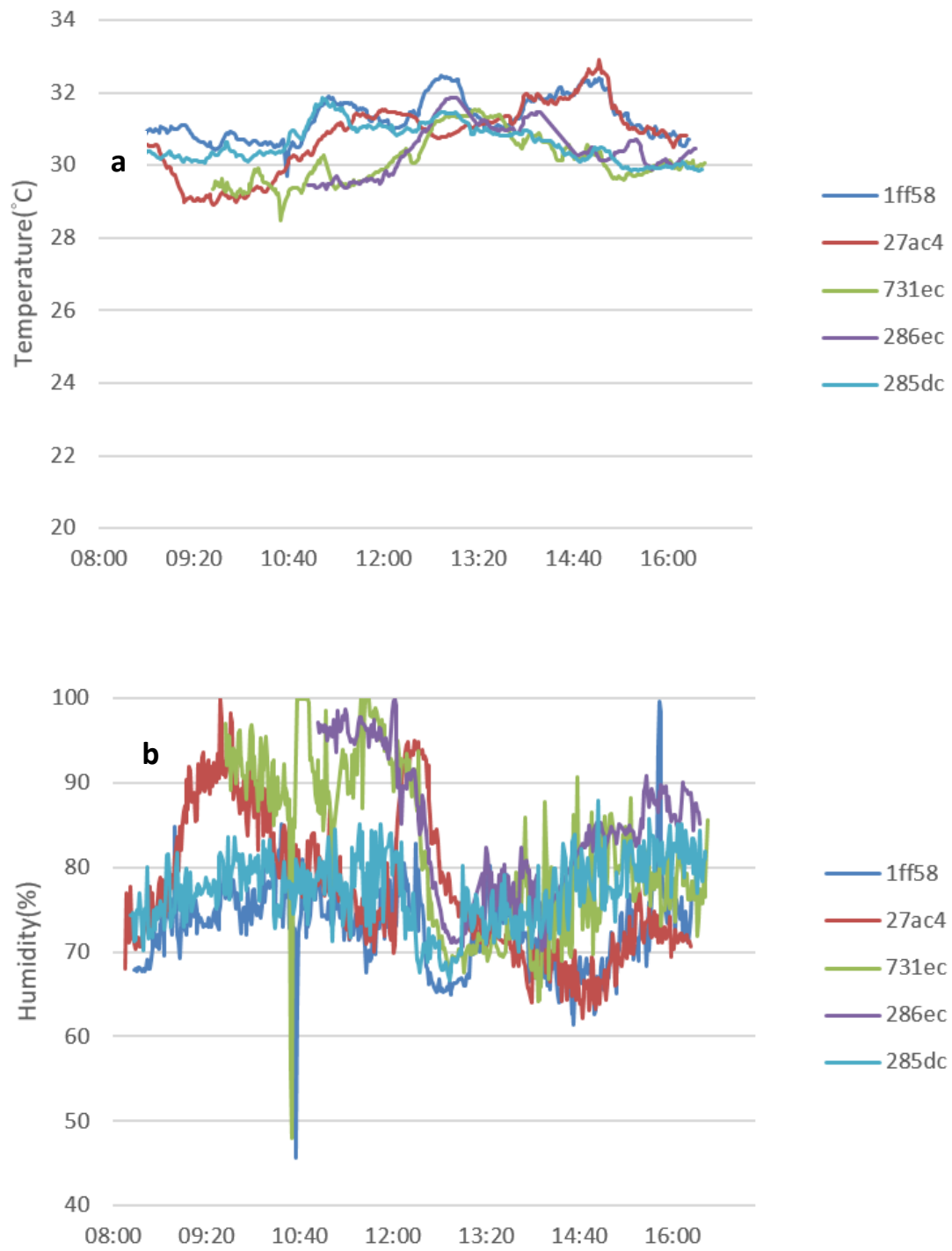


圖 47 熱暴險穿戴裝置\_勞工受測者 8 月 9 日紀錄\_場址 8 a:溫度; b:相對濕度



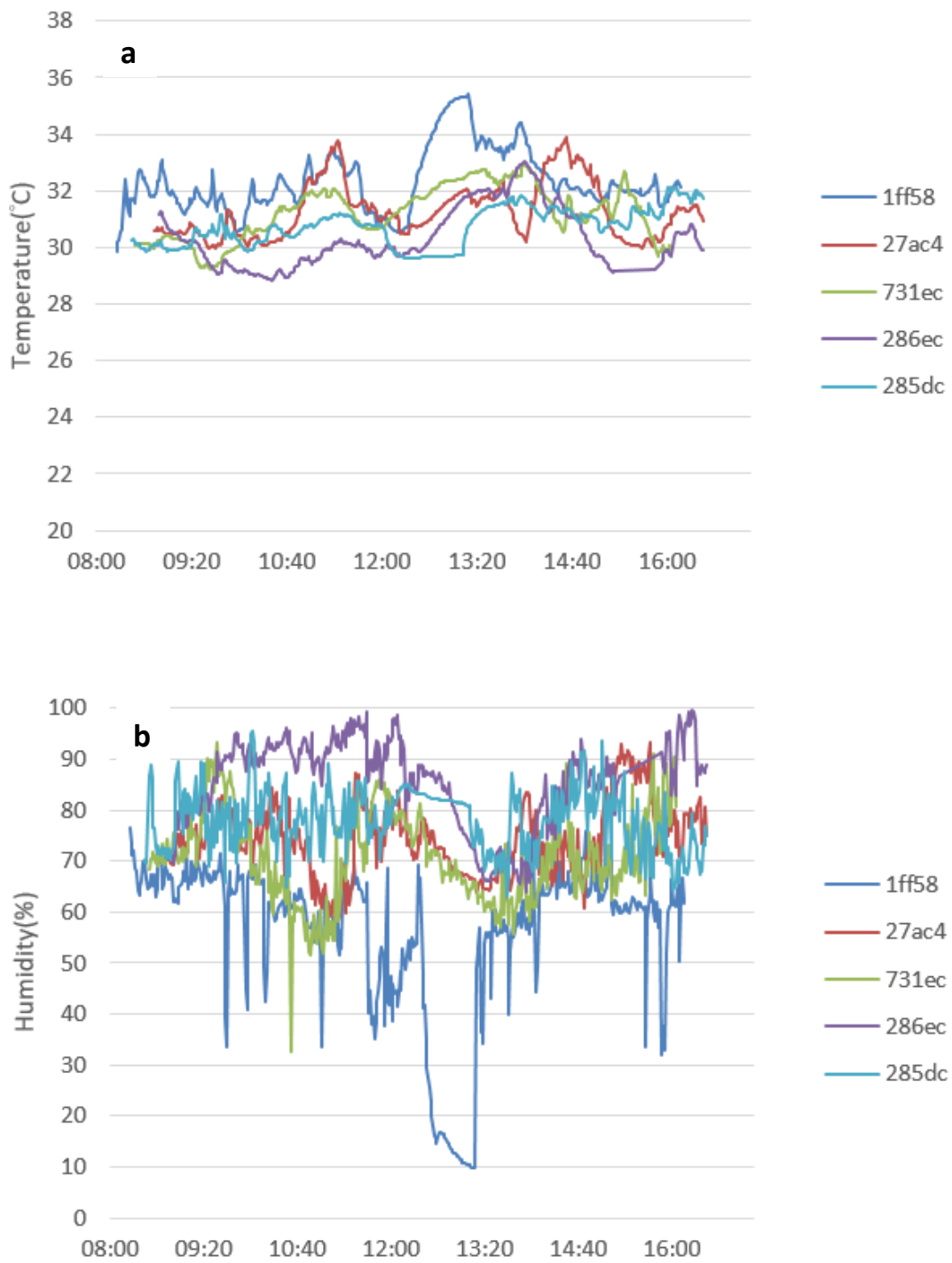


圖 48 熱暴險穿戴裝置\_勞工受測者 8 月 10 日紀錄\_場址 8 a:溫度; b:相對濕度

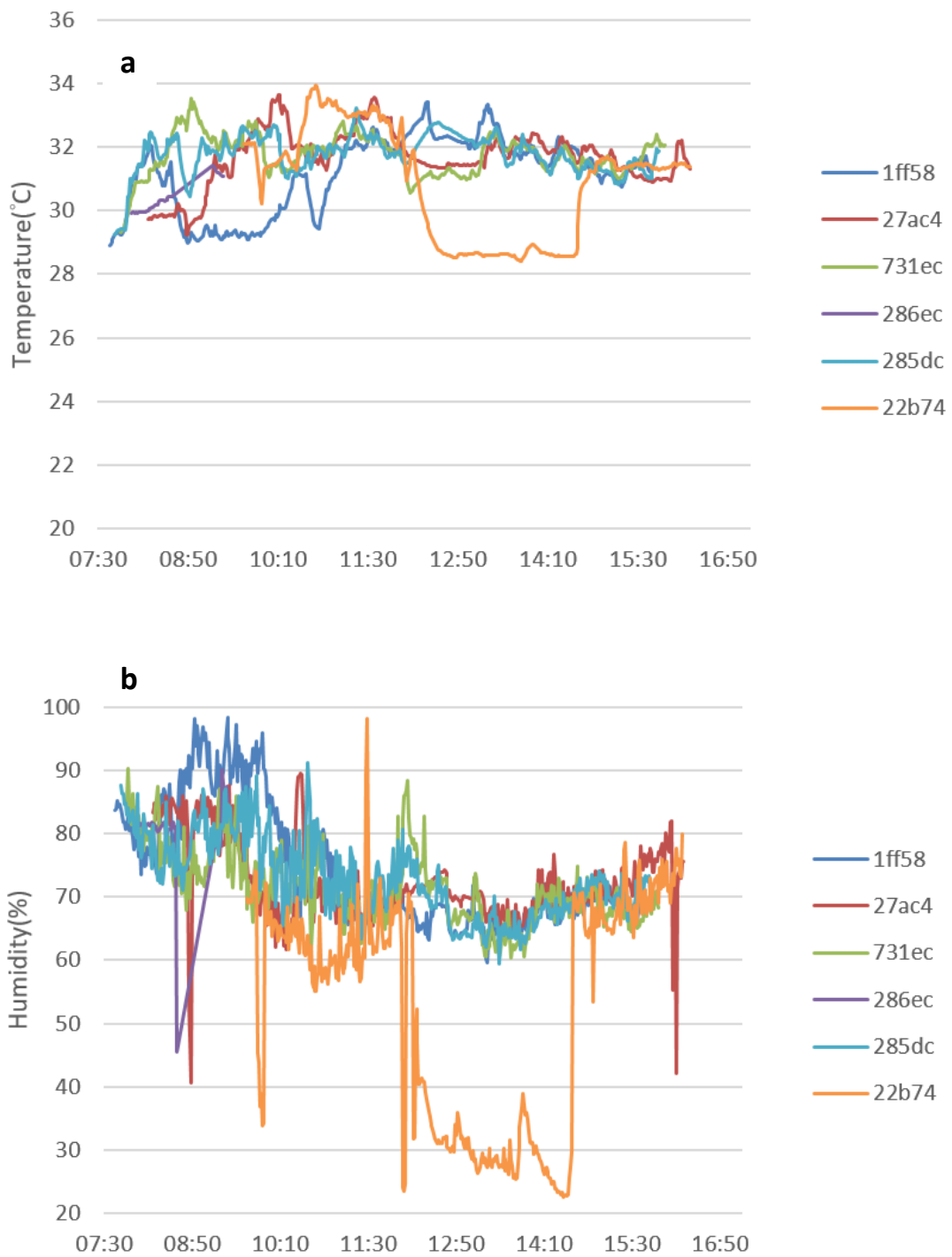


圖 49 熱暴險穿戴裝置\_勞工受測者 8 月 22 日紀錄\_場址 9 a:溫度; b:相對濕度

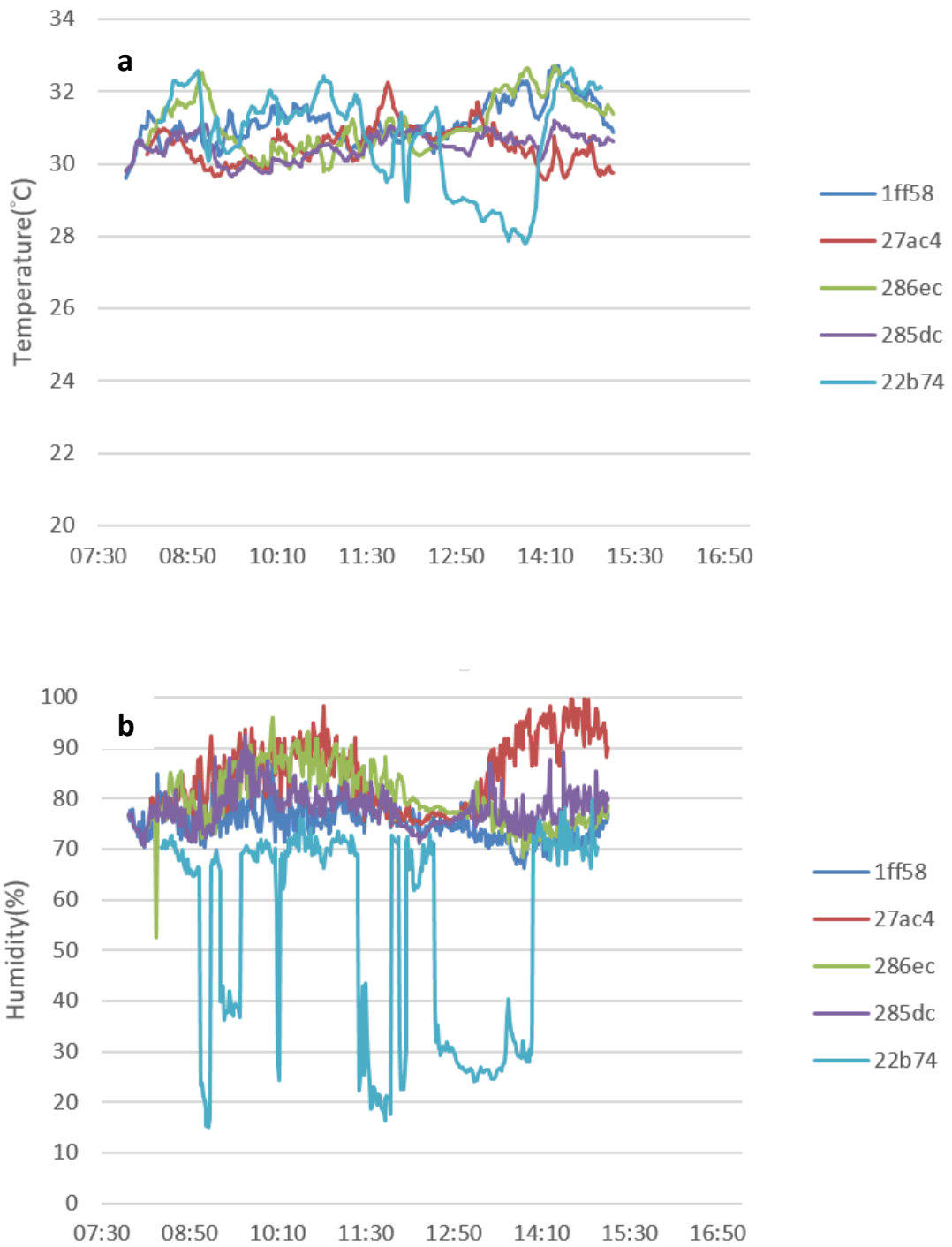


圖 50 熱暴險穿戴裝置\_勞工受測者 8 月 23 日紀錄\_場址 9 a:溫度; b:相對濕度

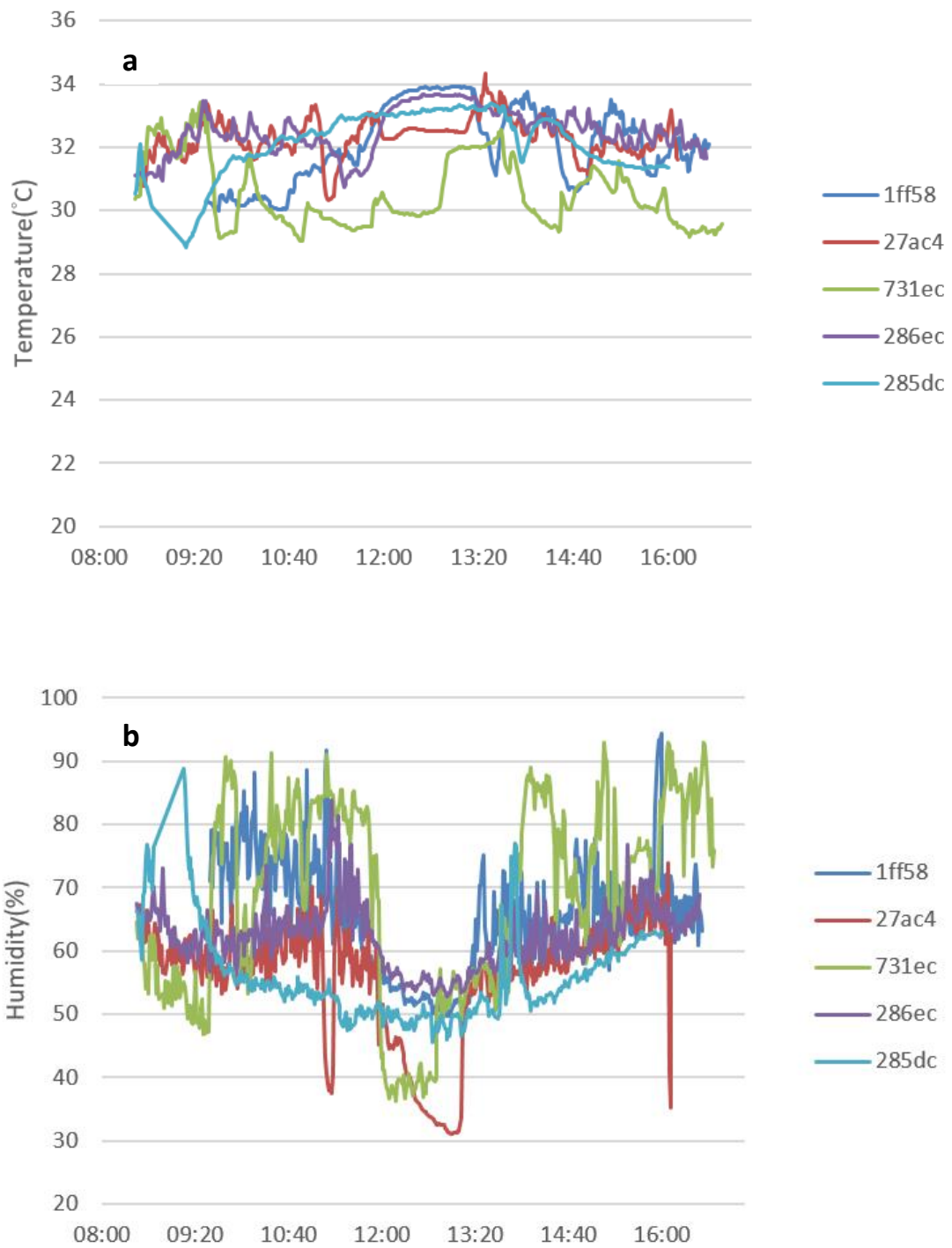


圖 51 熱暴險穿戴裝置\_勞工受測者 9 月 3 日紀錄\_場址 10 a:溫度; b:相對濕度

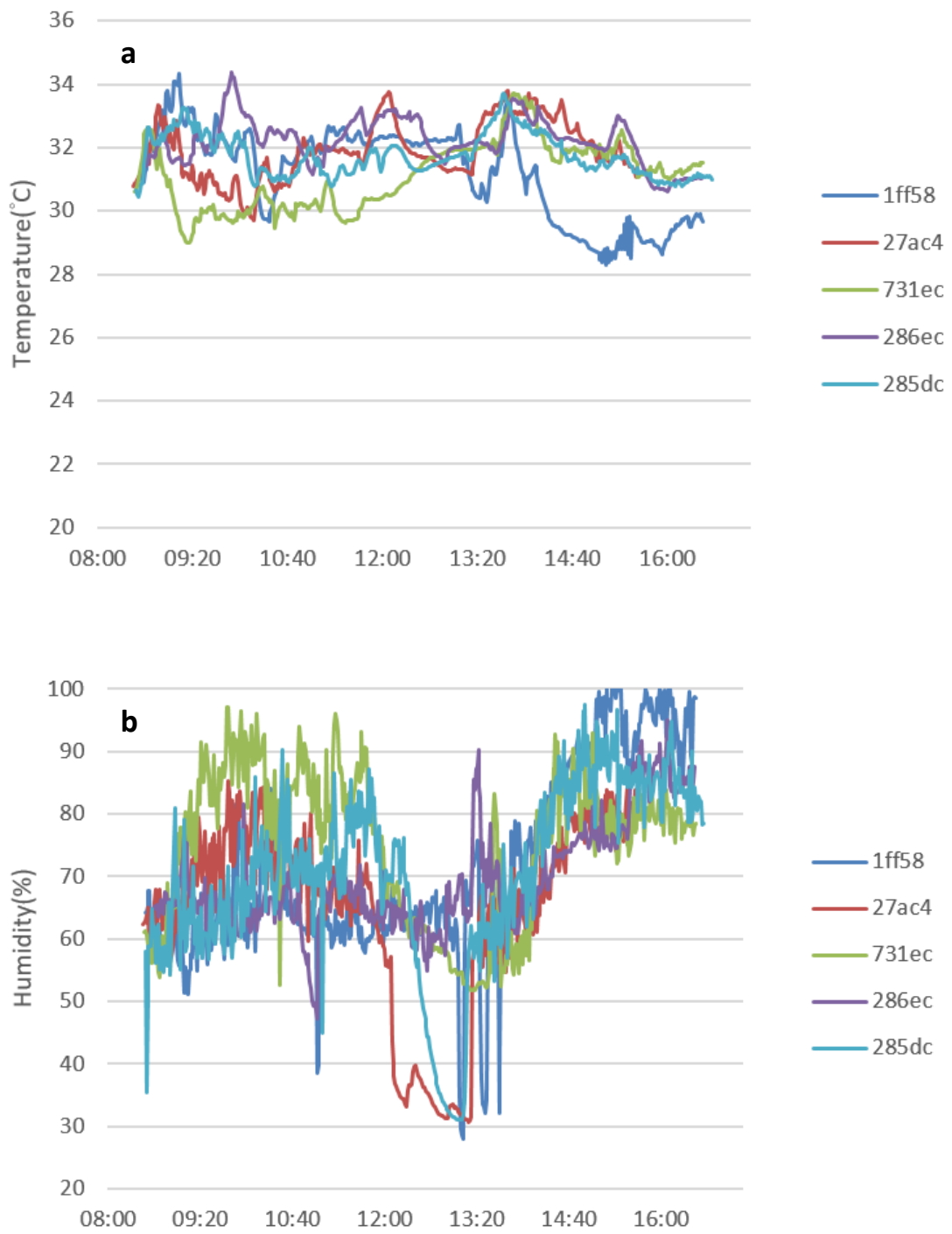
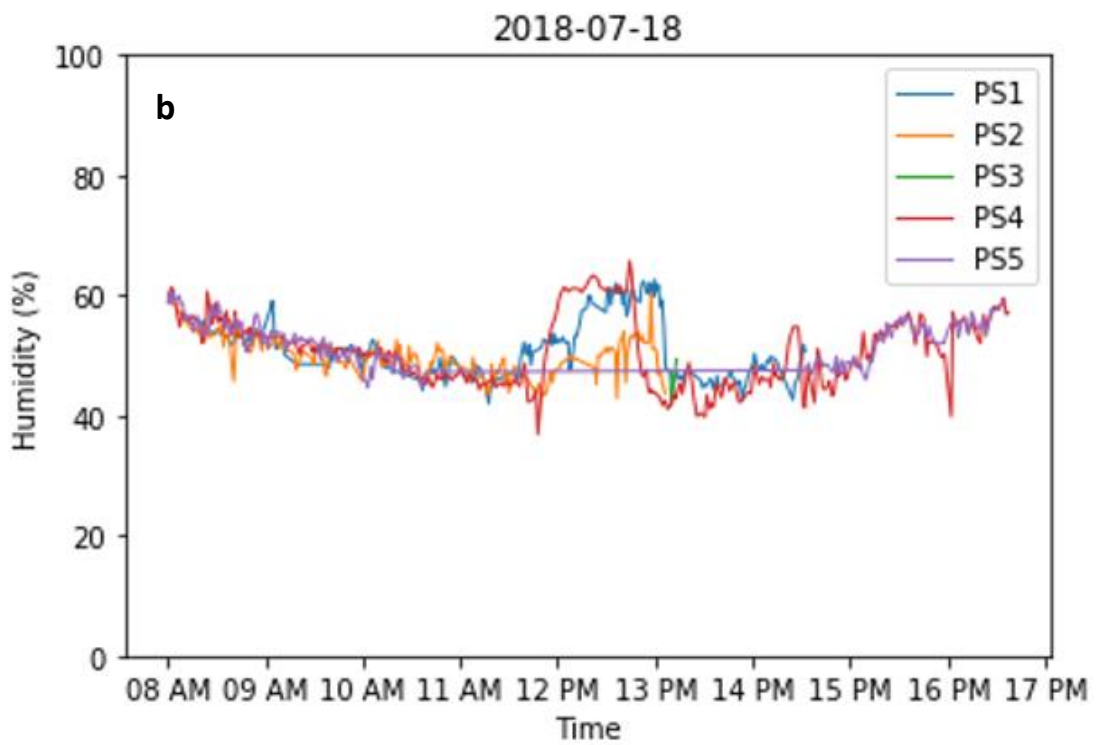
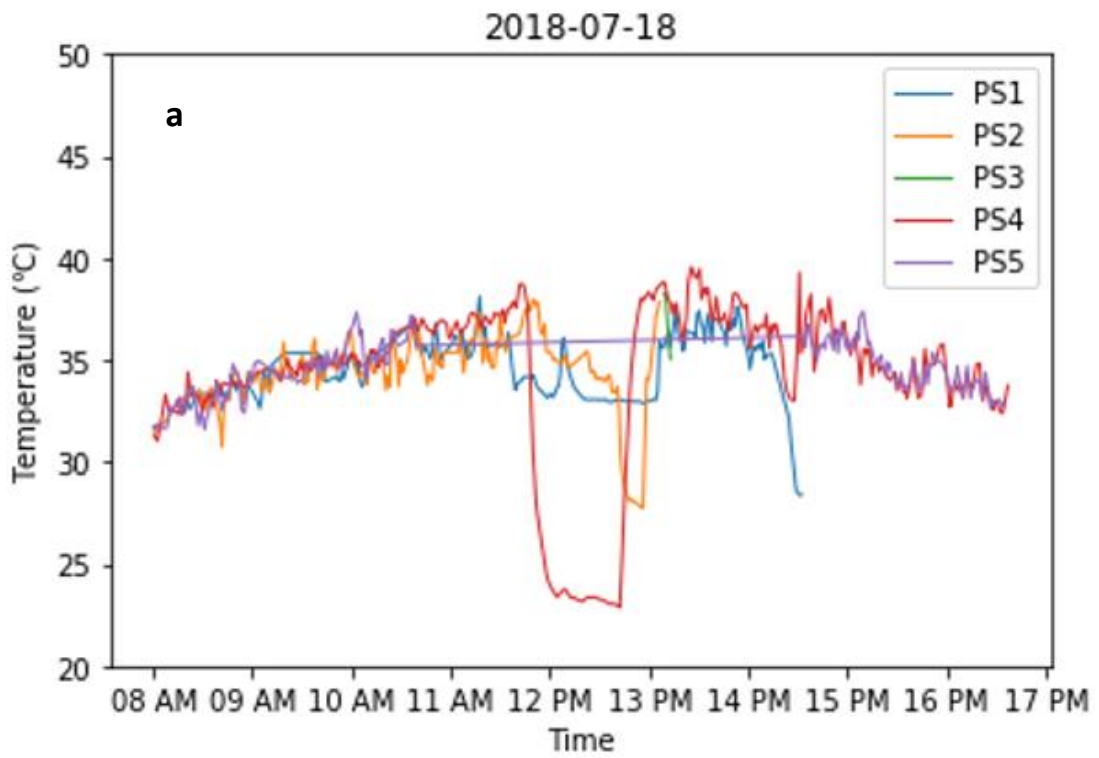


圖 52 熱暴險穿戴裝置\_勞工受測者 9 月 4 日紀錄\_場址 10 a:溫度; b:相對濕度



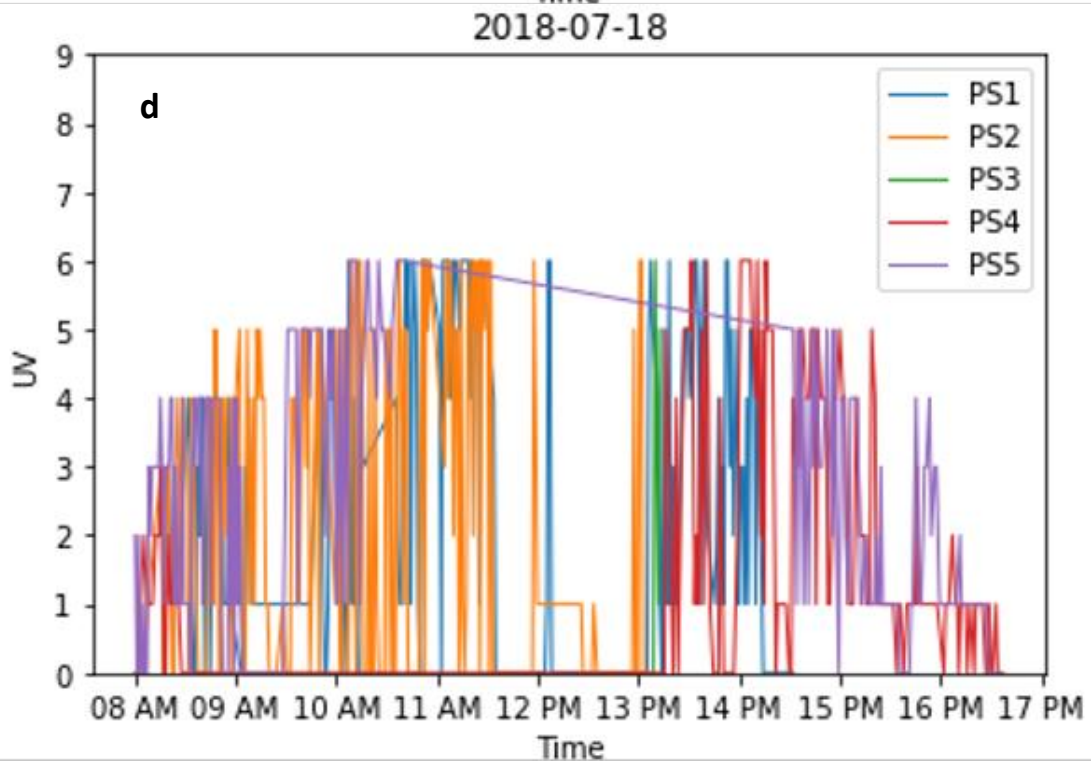
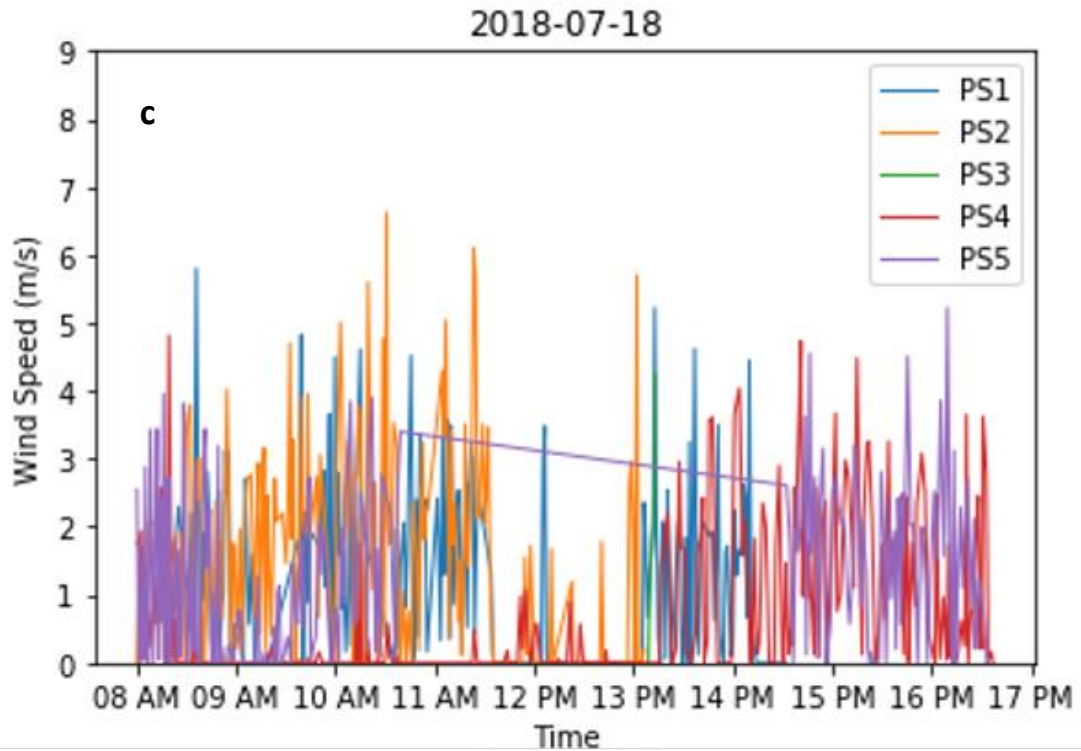
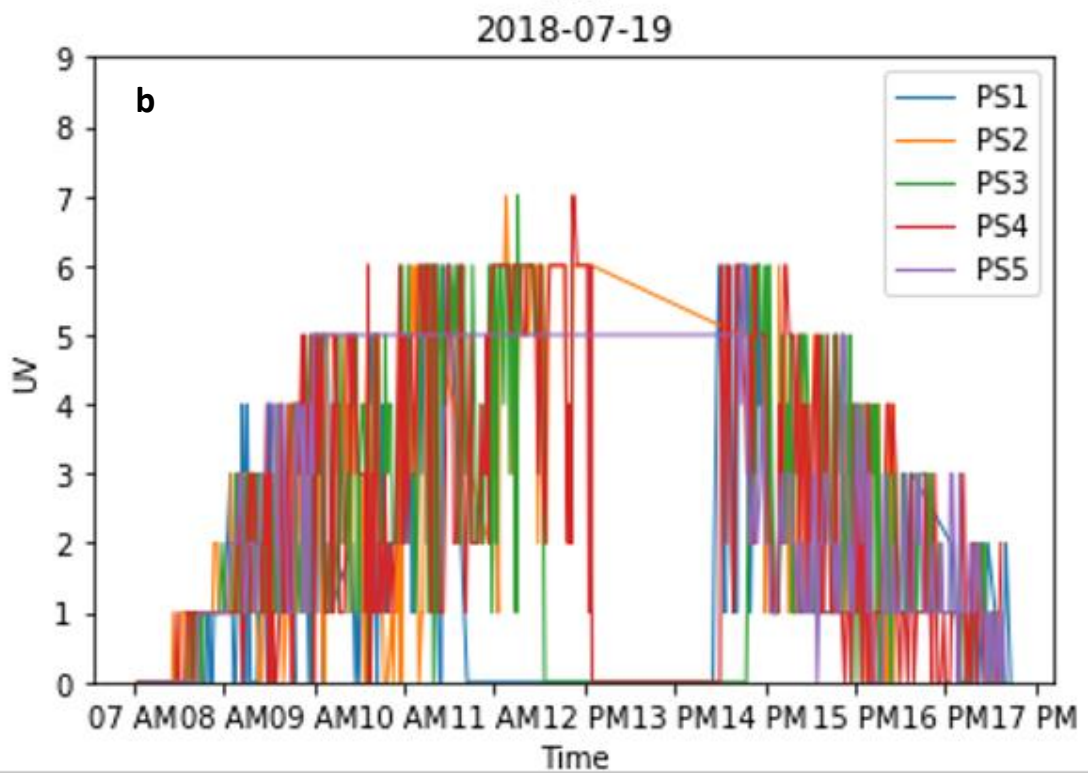
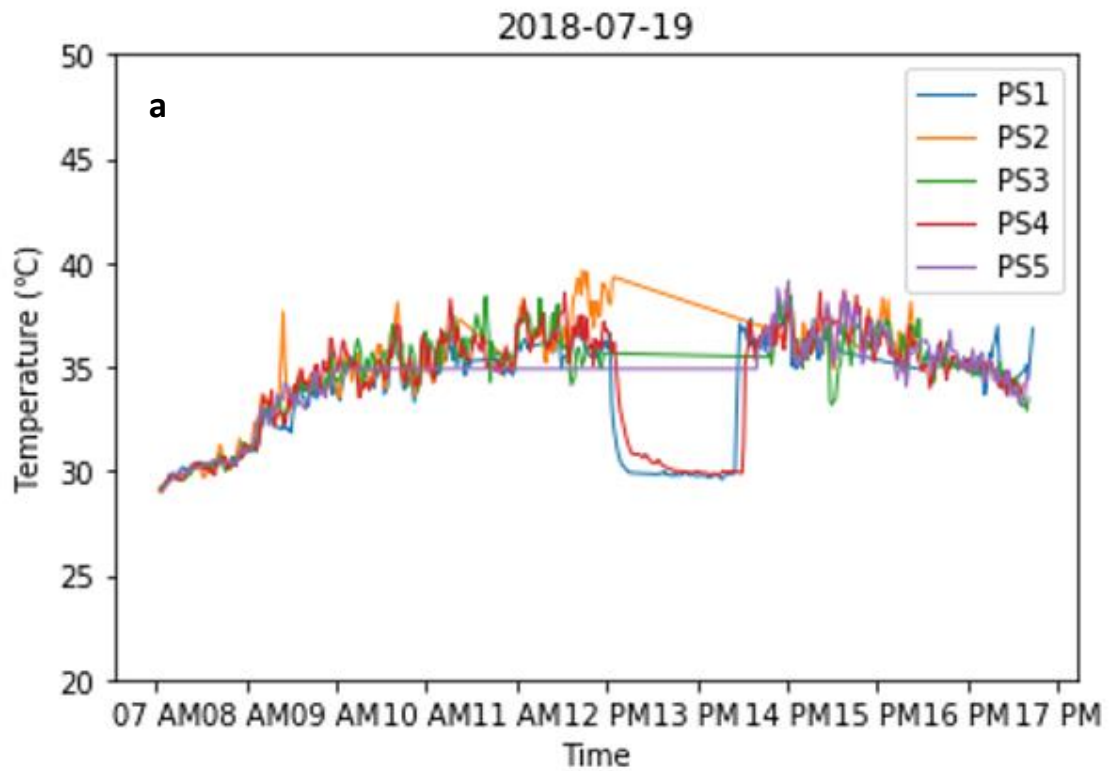


圖 53 BL-500 感測裝置\_勞工受測者 7 月 18 日紀錄\_場址 6 a:溫度；b:相對濕度；c:風速；d:UV





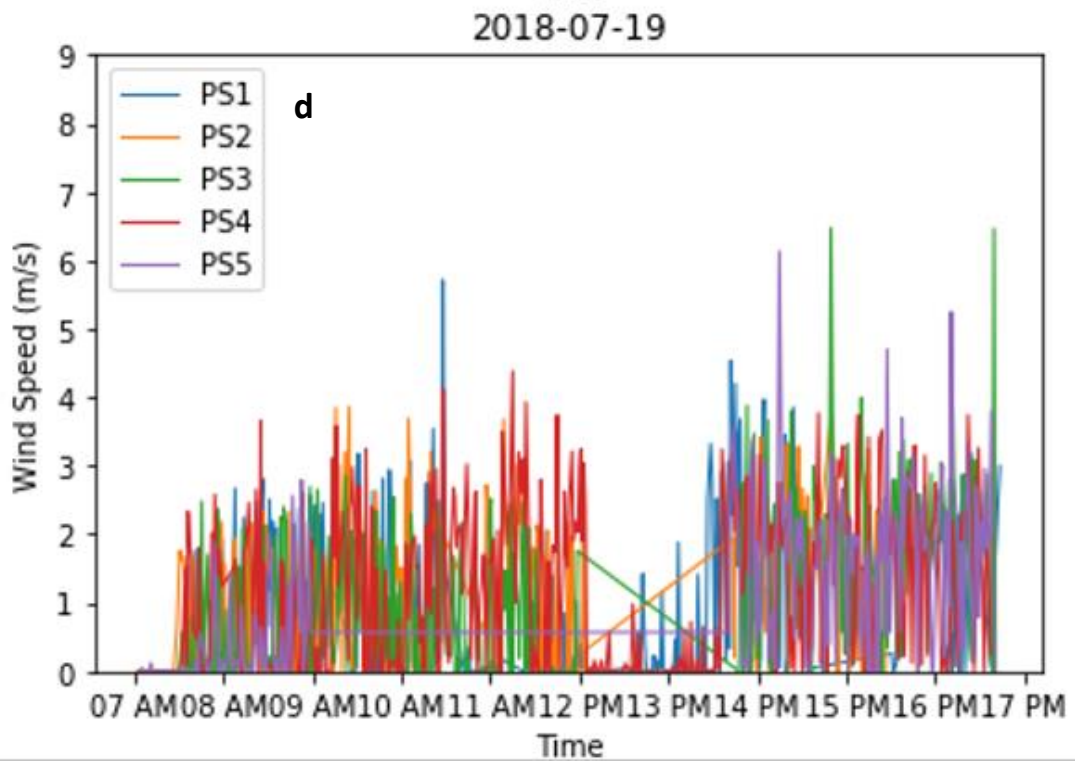
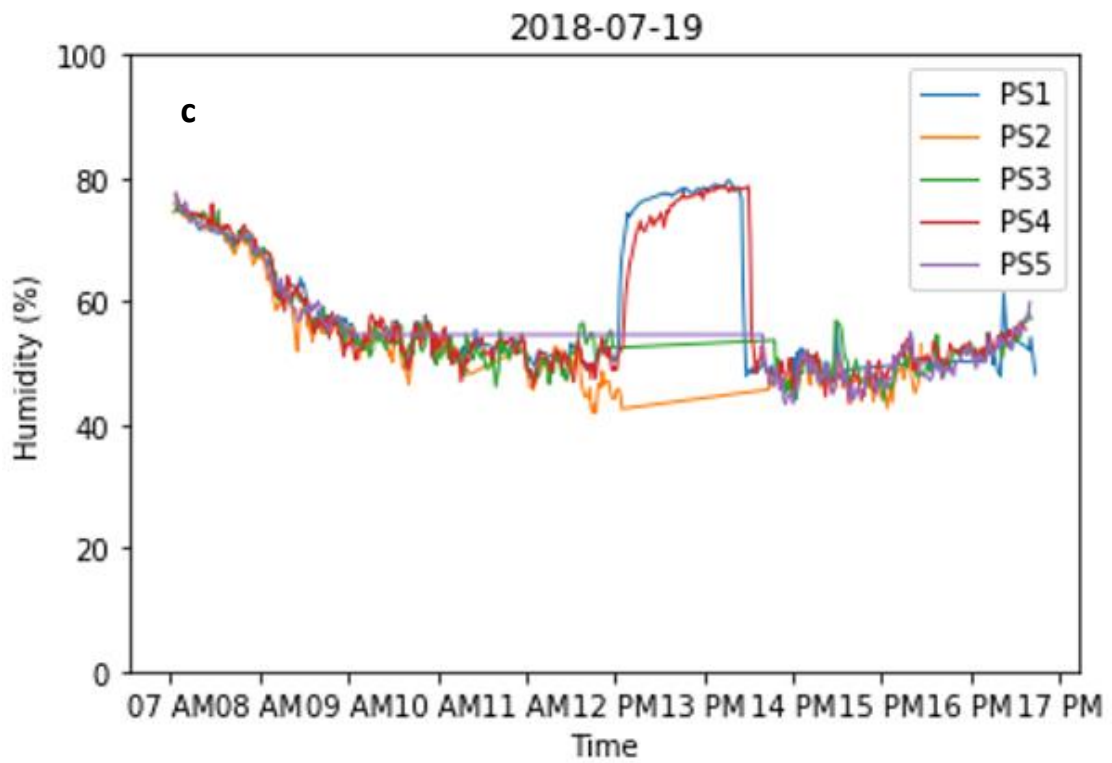
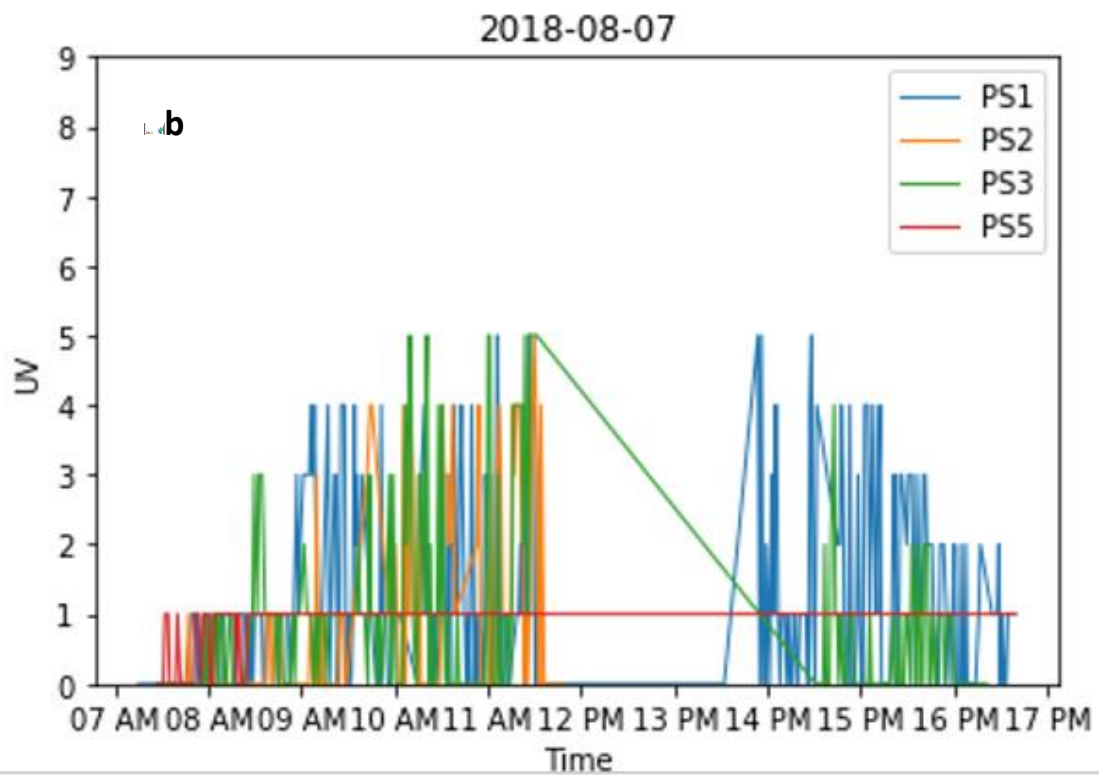
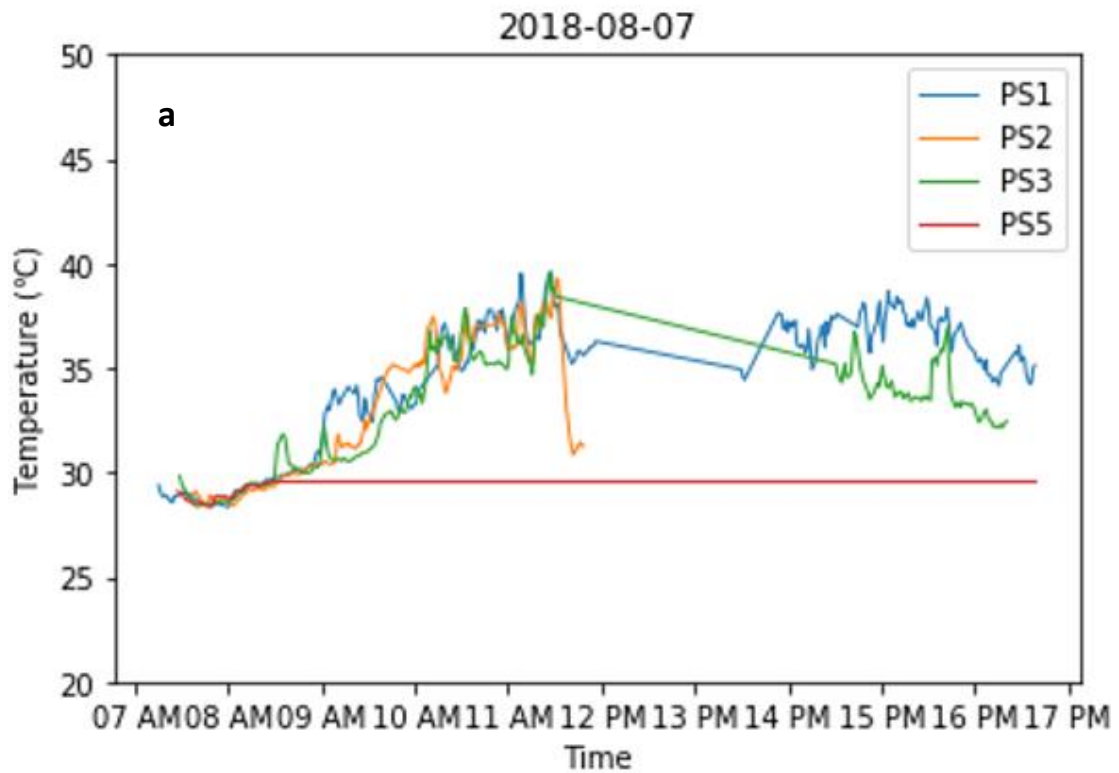


圖 54 BL-500 感測裝置\_勞工受測者 7 月 19 日紀錄\_場址 6 a:溫度；b:UV；c:相對溼度；d:風速



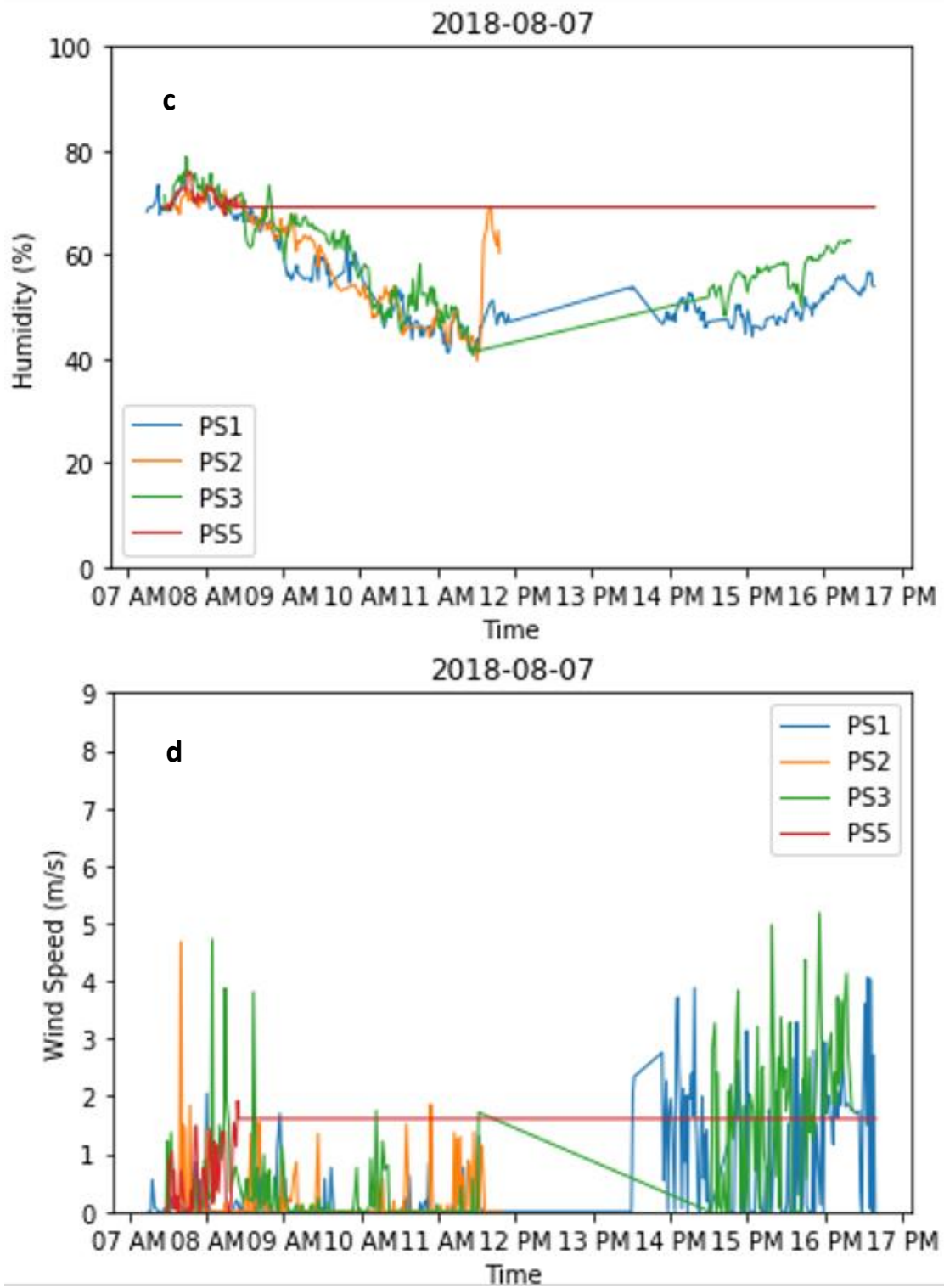
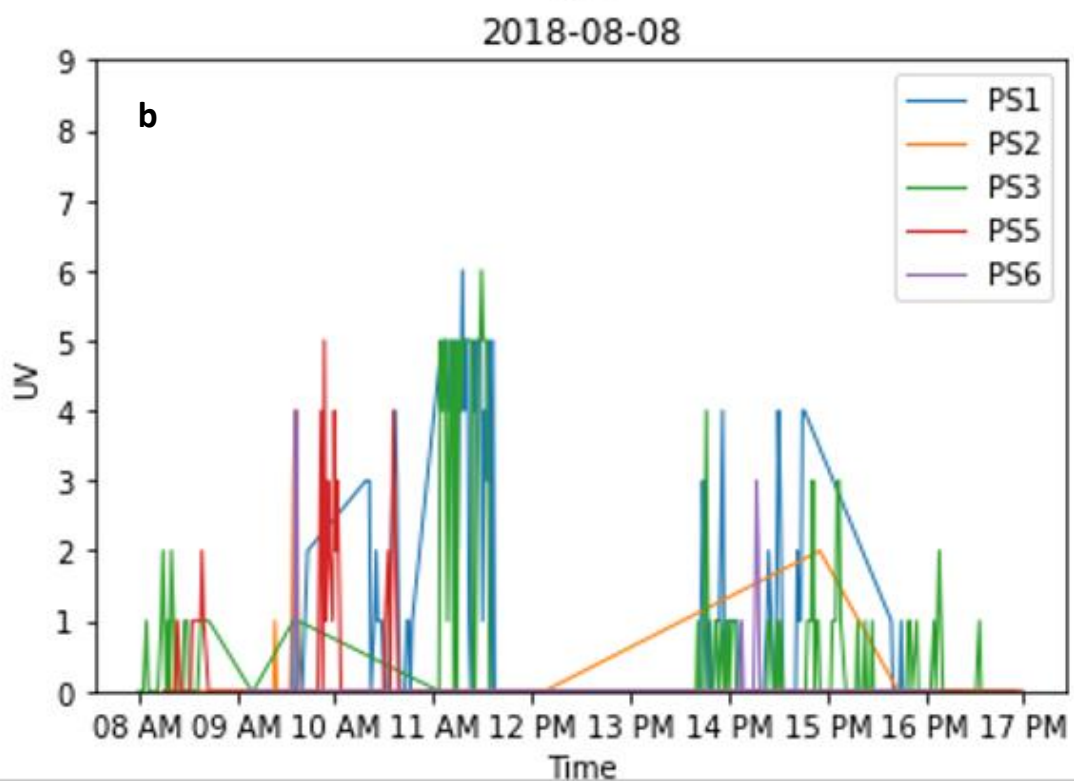
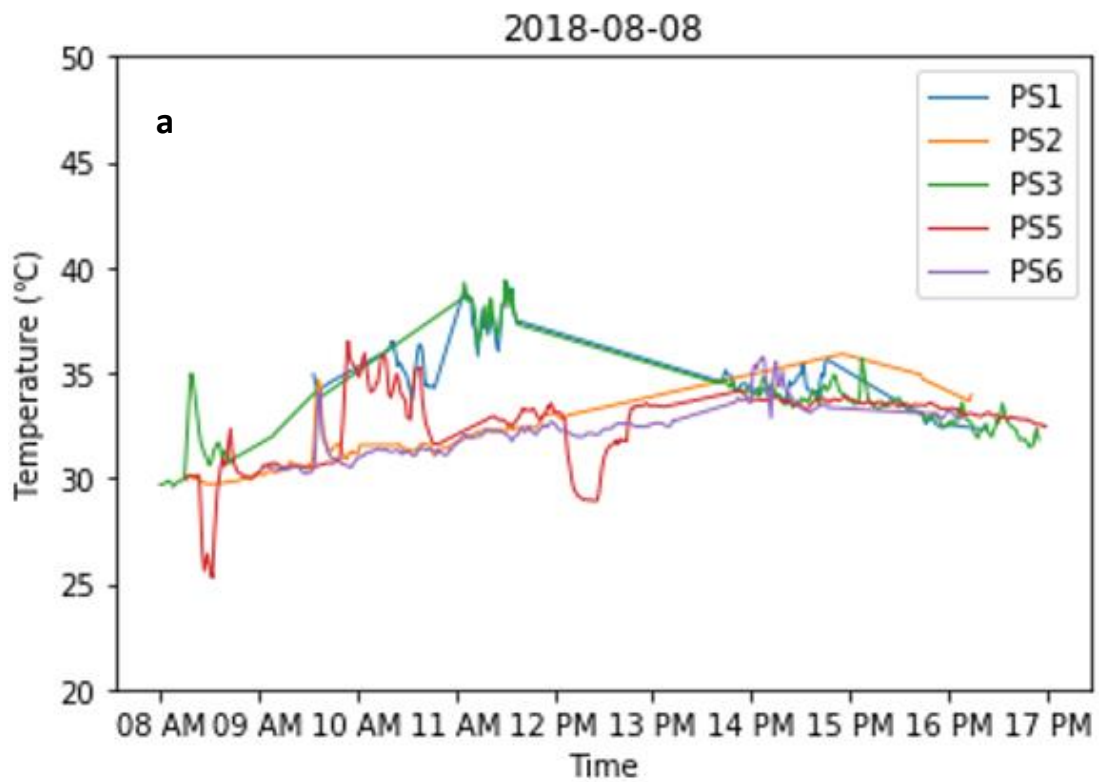


圖 55 BL-500 感測裝置\_勞工受測者 8 月 7 日紀錄\_場址 7 a:溫度；b:UV；c:相對溼度；d:風速



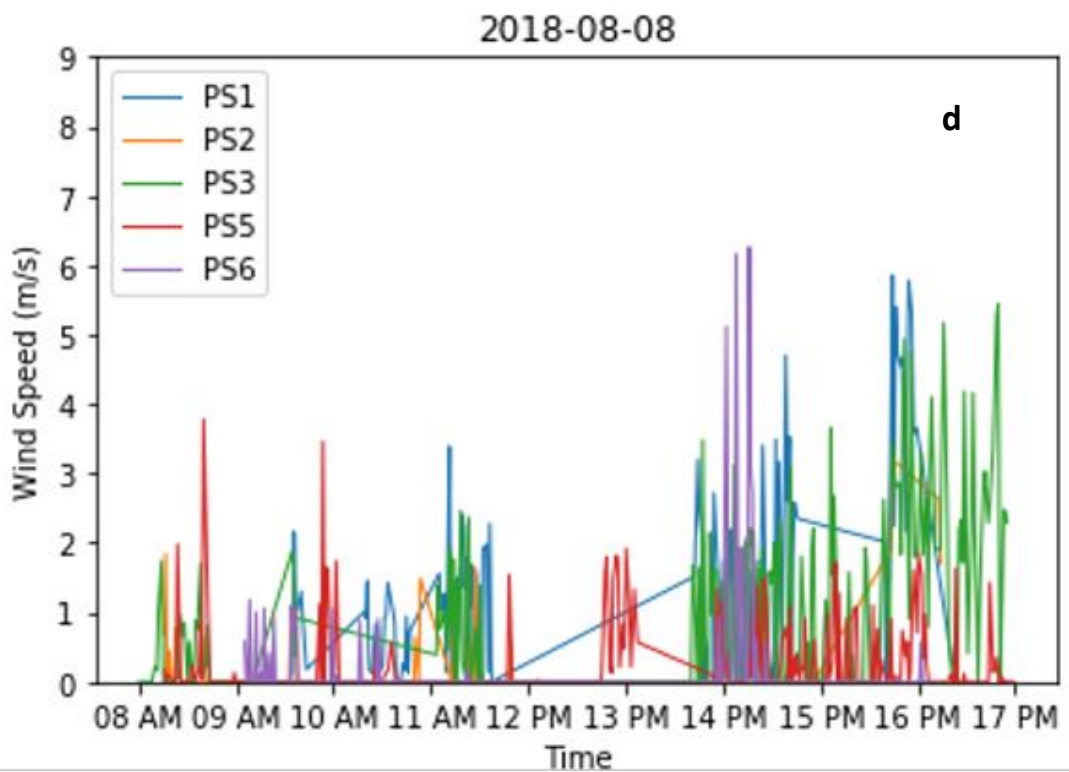
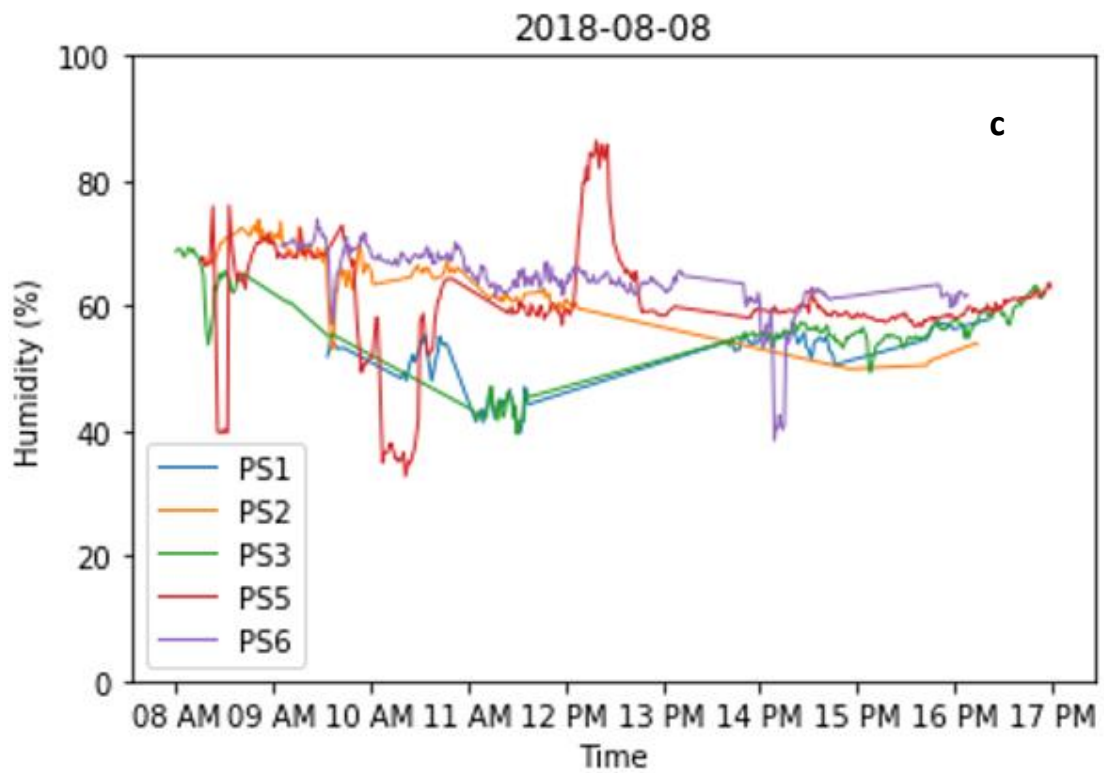
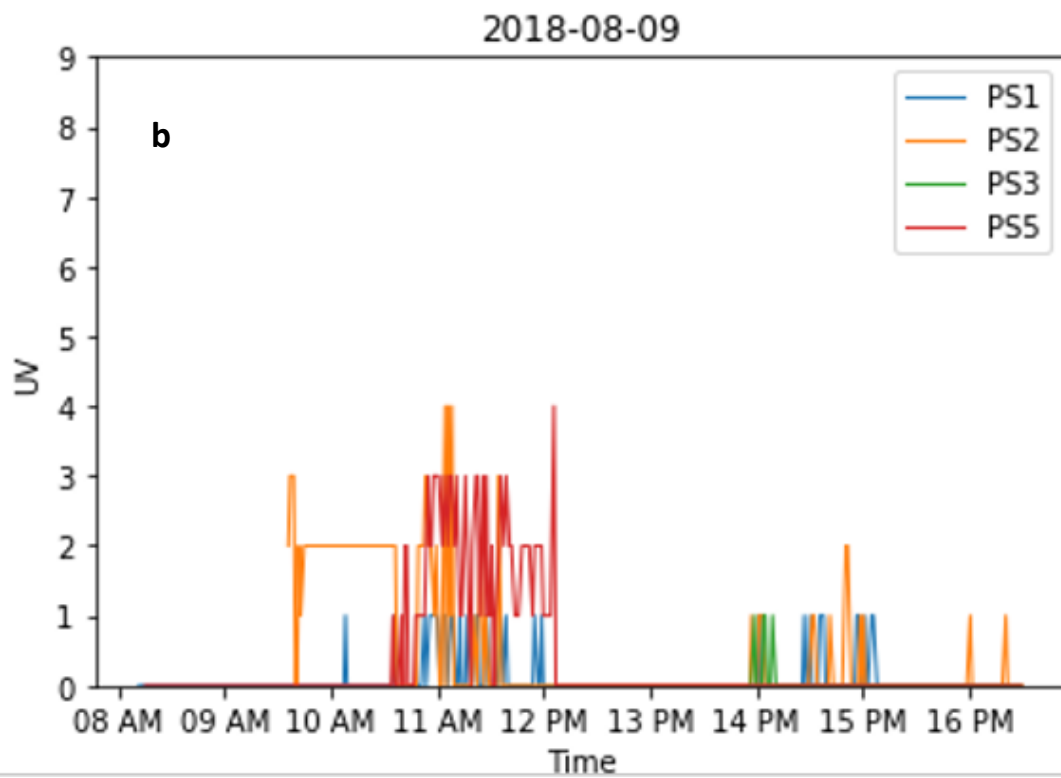
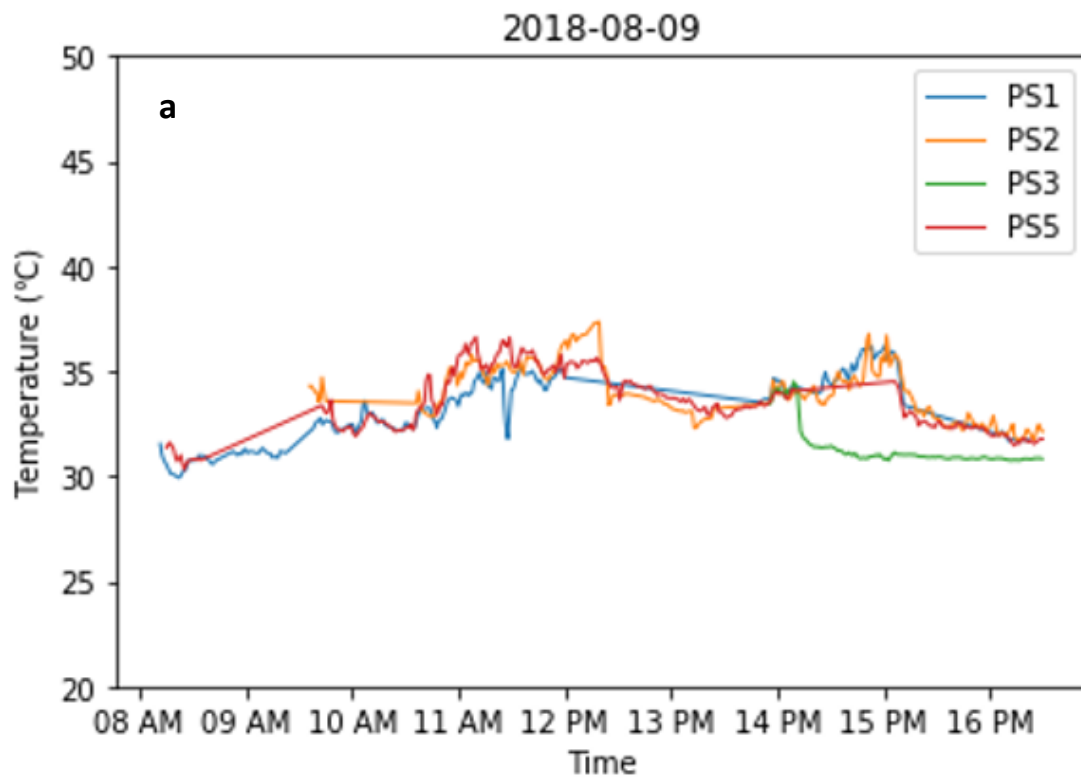


圖 56 BL-500 感測裝置\_勞工受測者 8 月 8 日紀錄\_場址 7 a:溫度；b:UV；c:相對溼度；d:風速



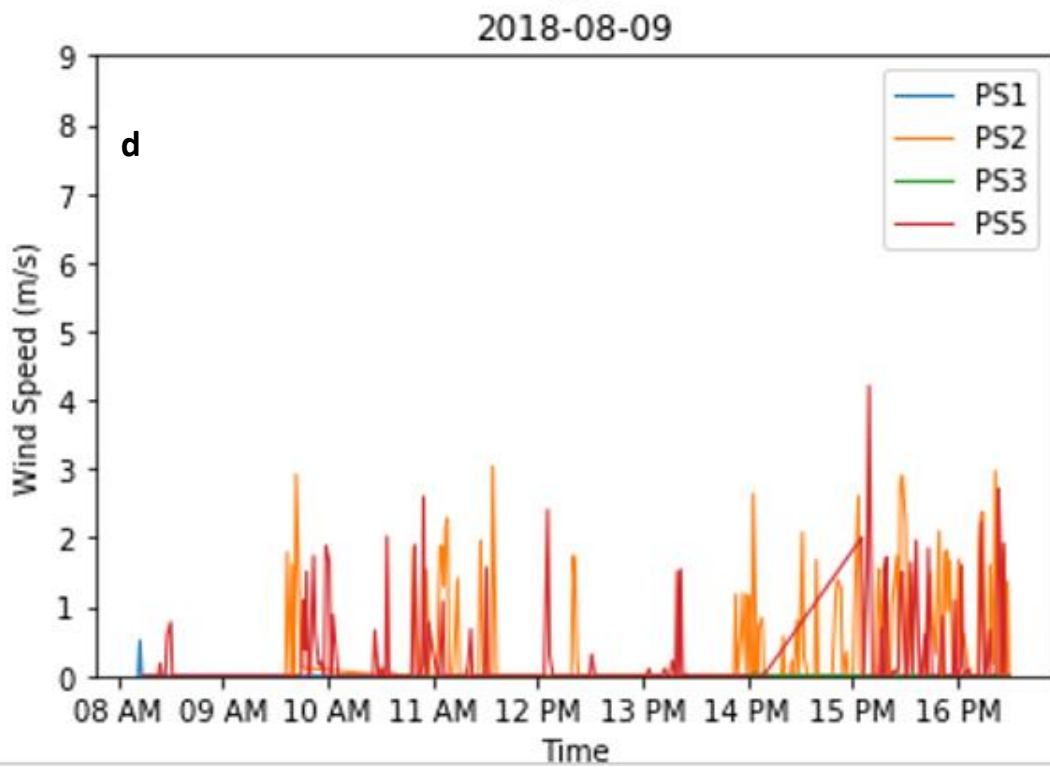
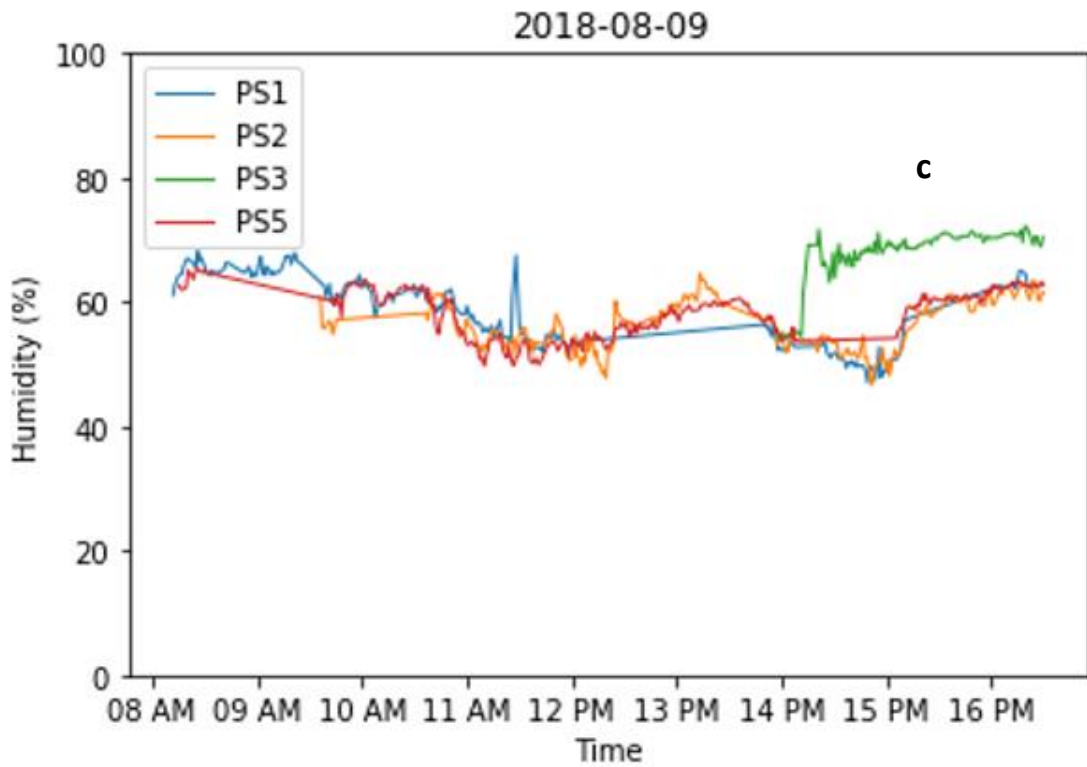
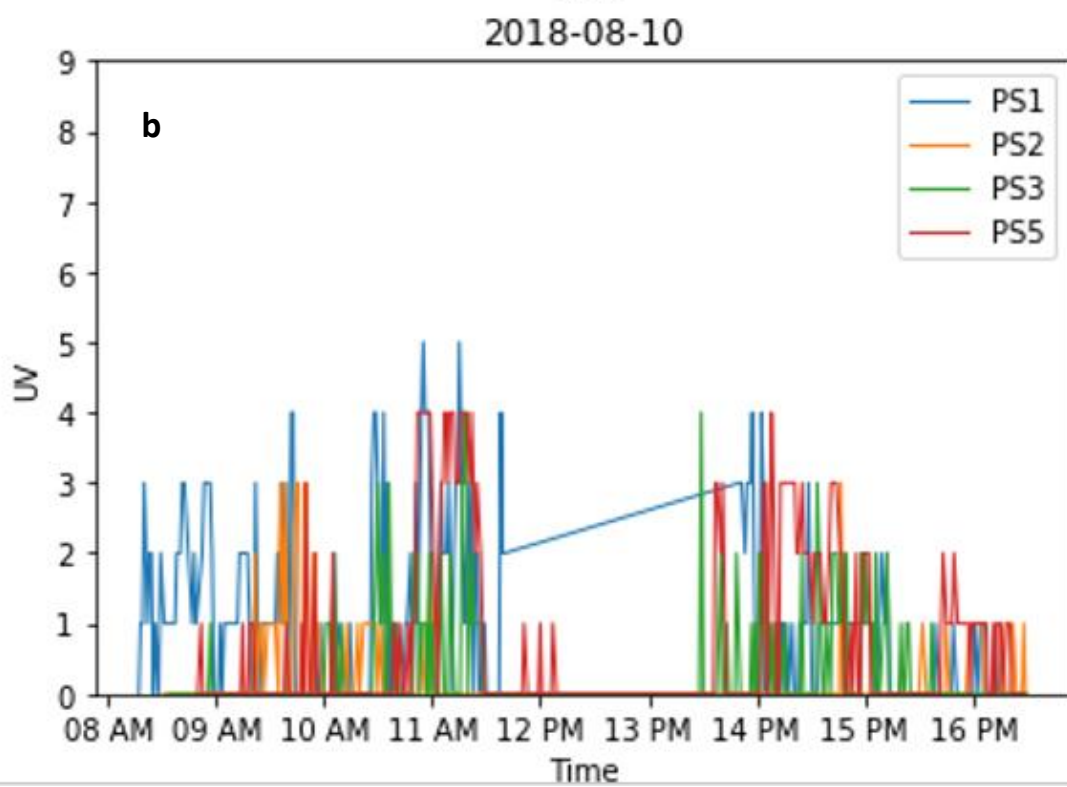
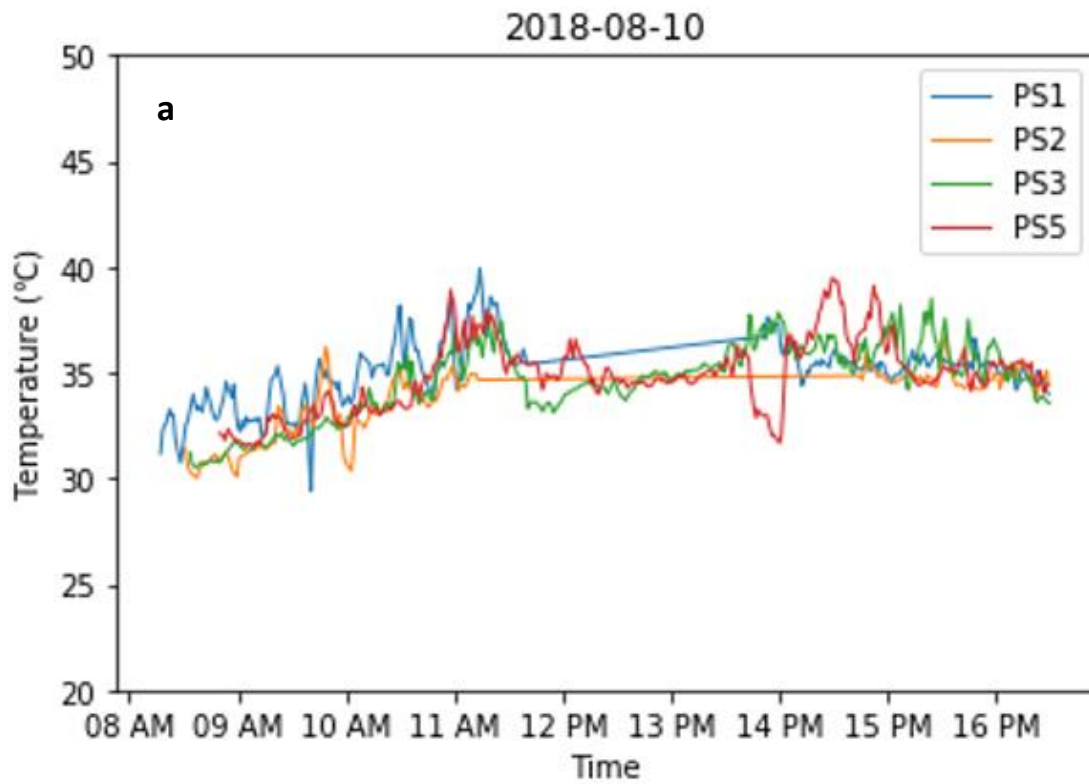


圖 57 BL-500 感測裝置\_勞工受測者 8 月 9 日紀錄\_場址 8 a:溫度；b:UV；c:相對溼度；d:風速





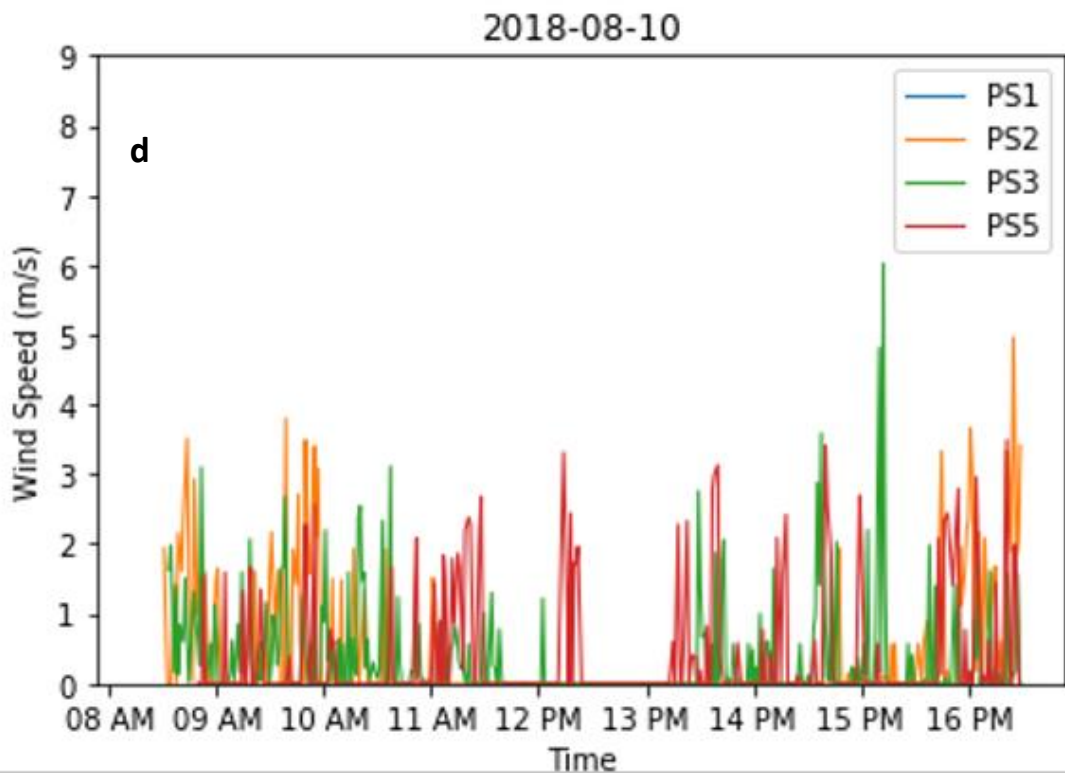
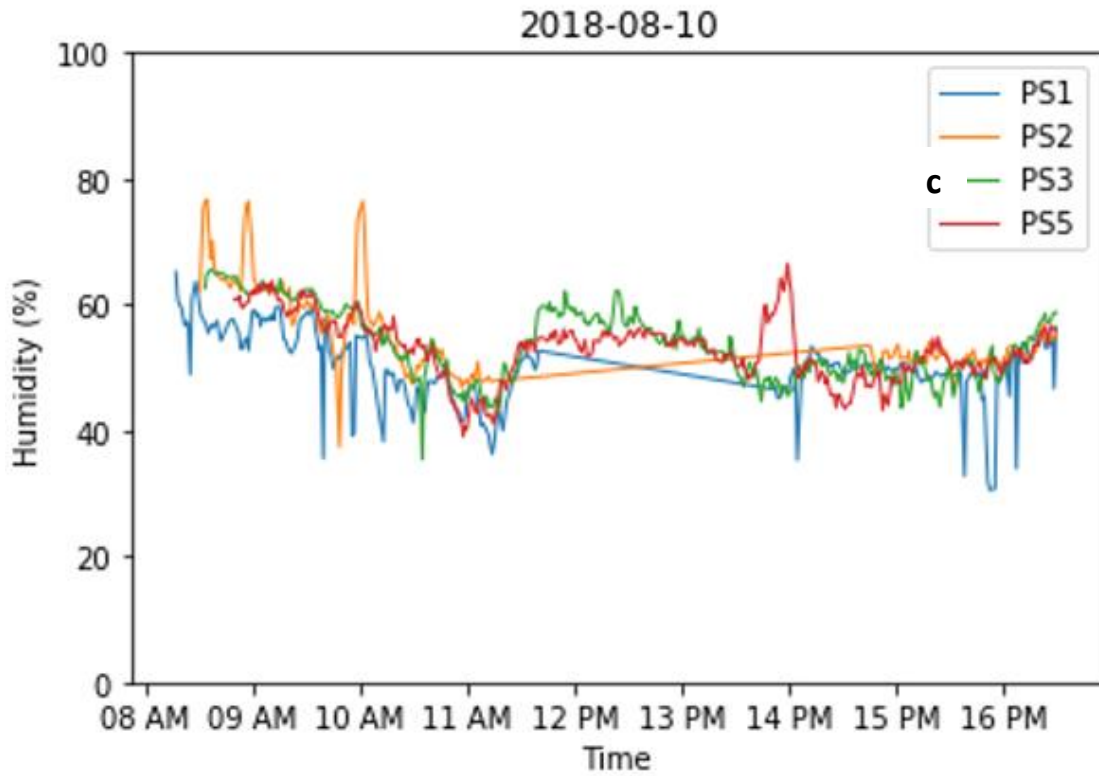
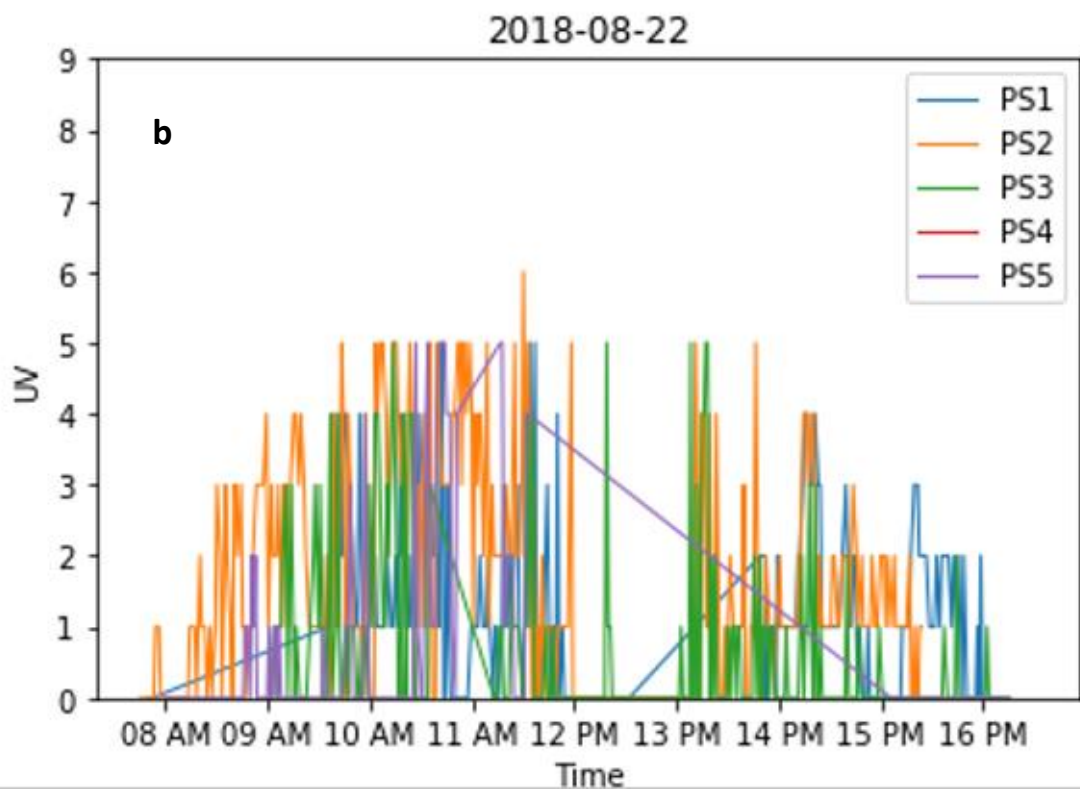
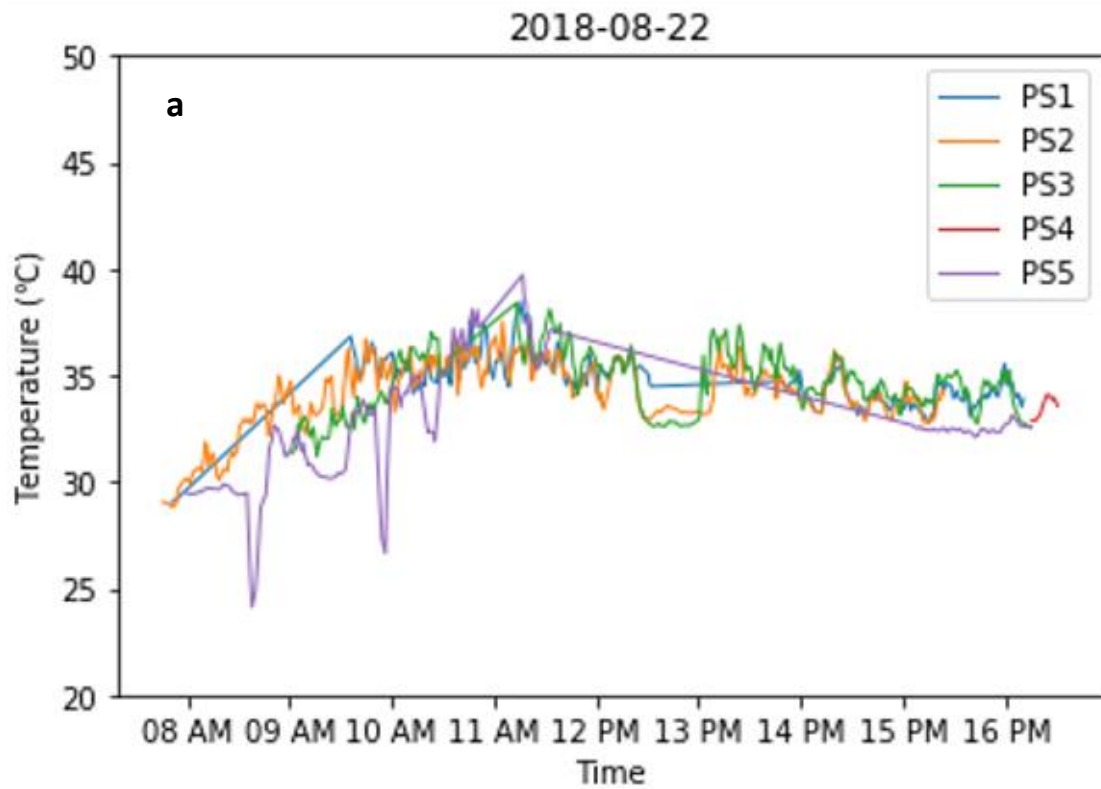


圖 58 BL-500 感測裝置\_勞工受測者 8 月 10 日紀錄\_場址 8 a:溫度；b:UV；c:相對溼度；d:風速



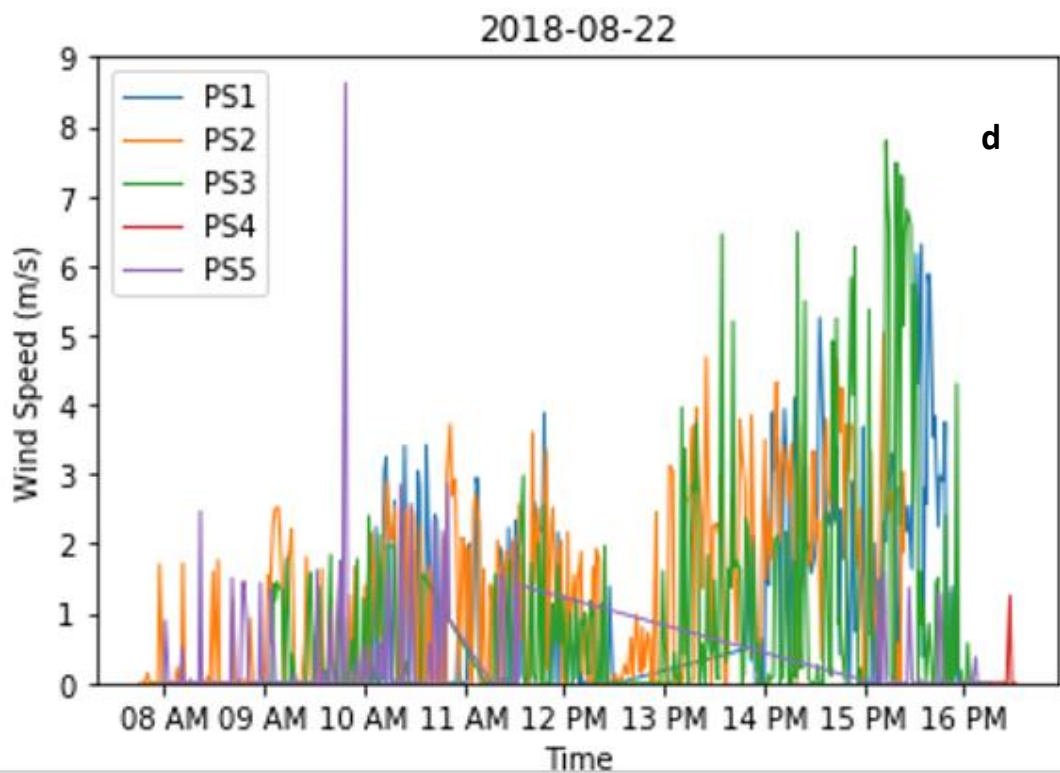
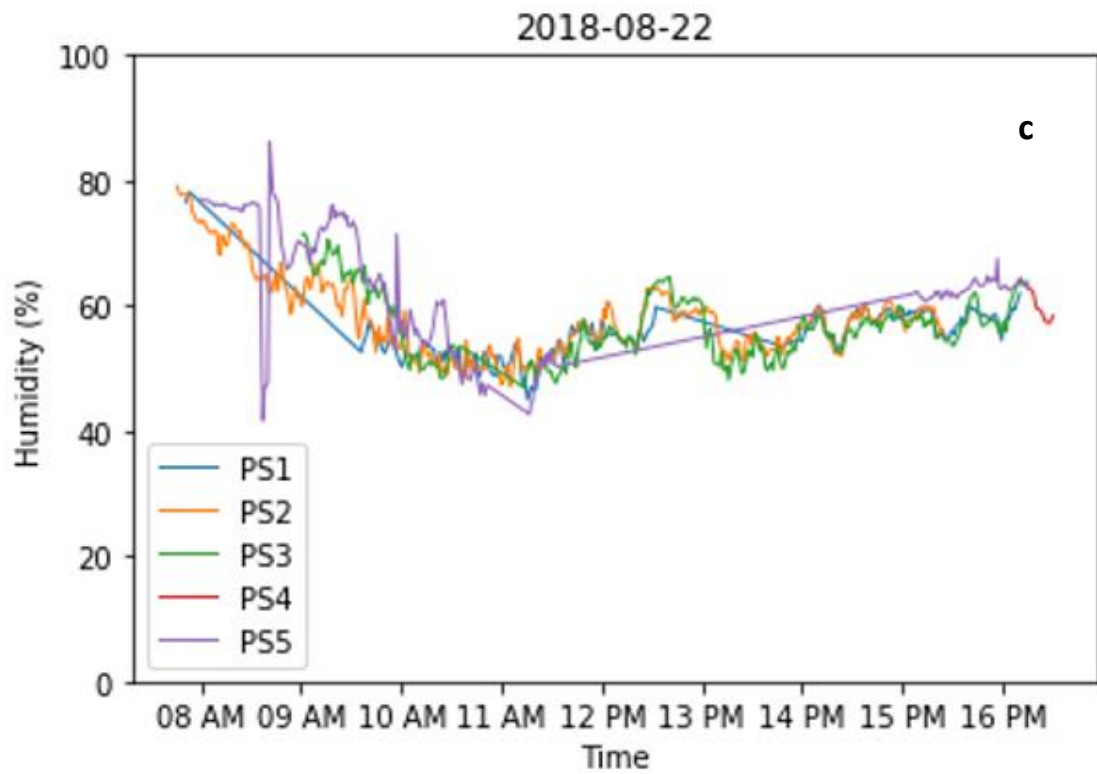
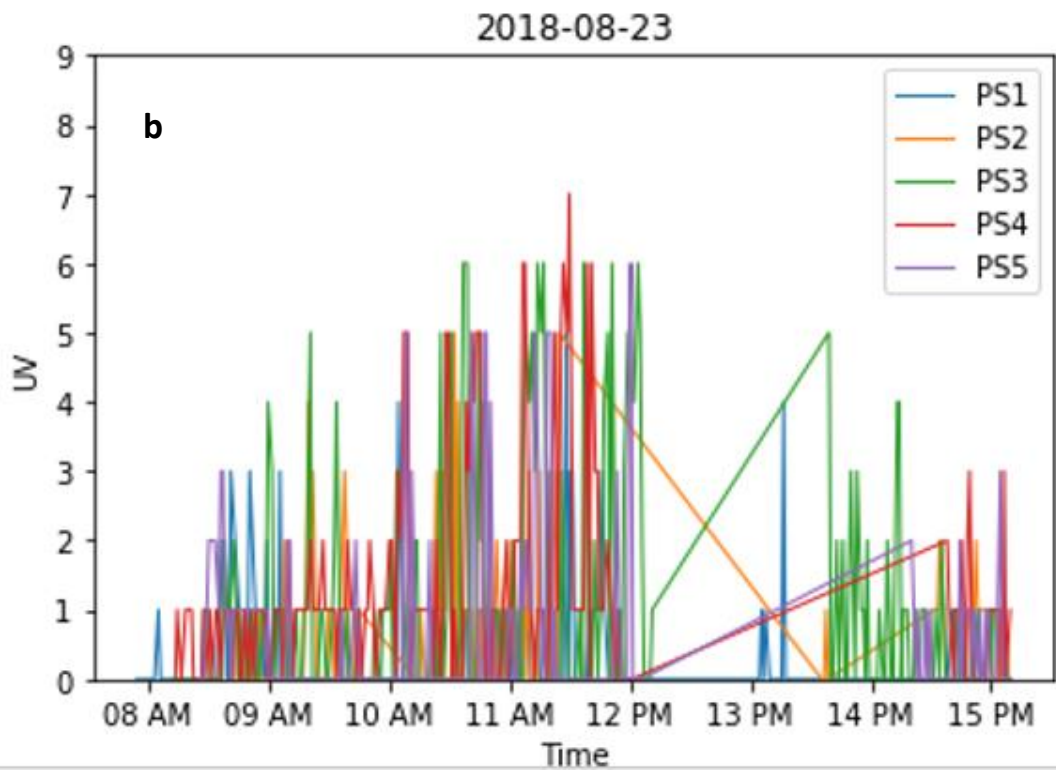
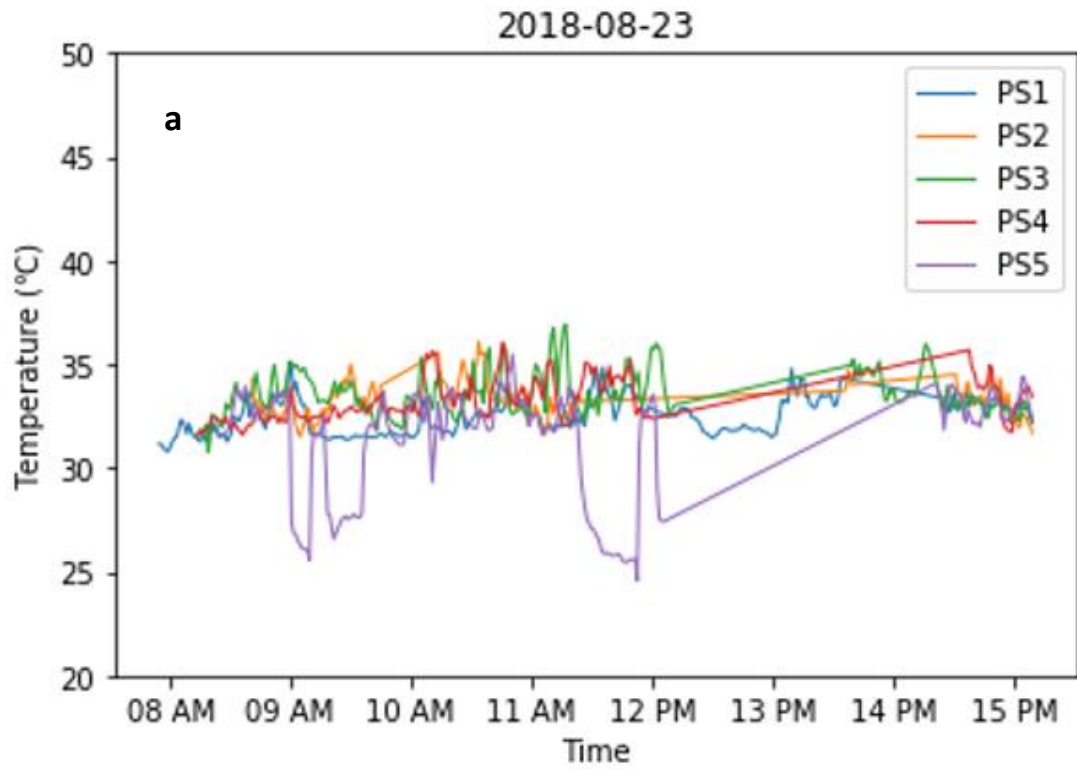


圖 59 BL-500 感測裝置\_勞工受測者 8 月 22 日紀錄\_場址 9 a:溫度；b:UV；c:相對溼度；d:風速



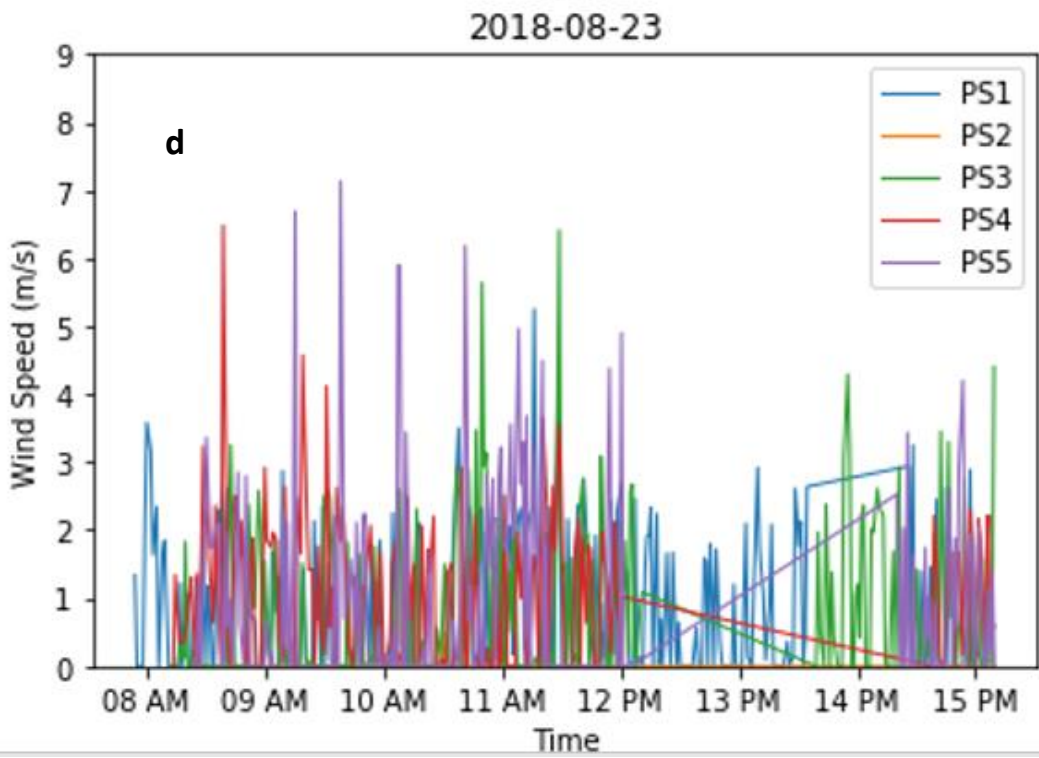
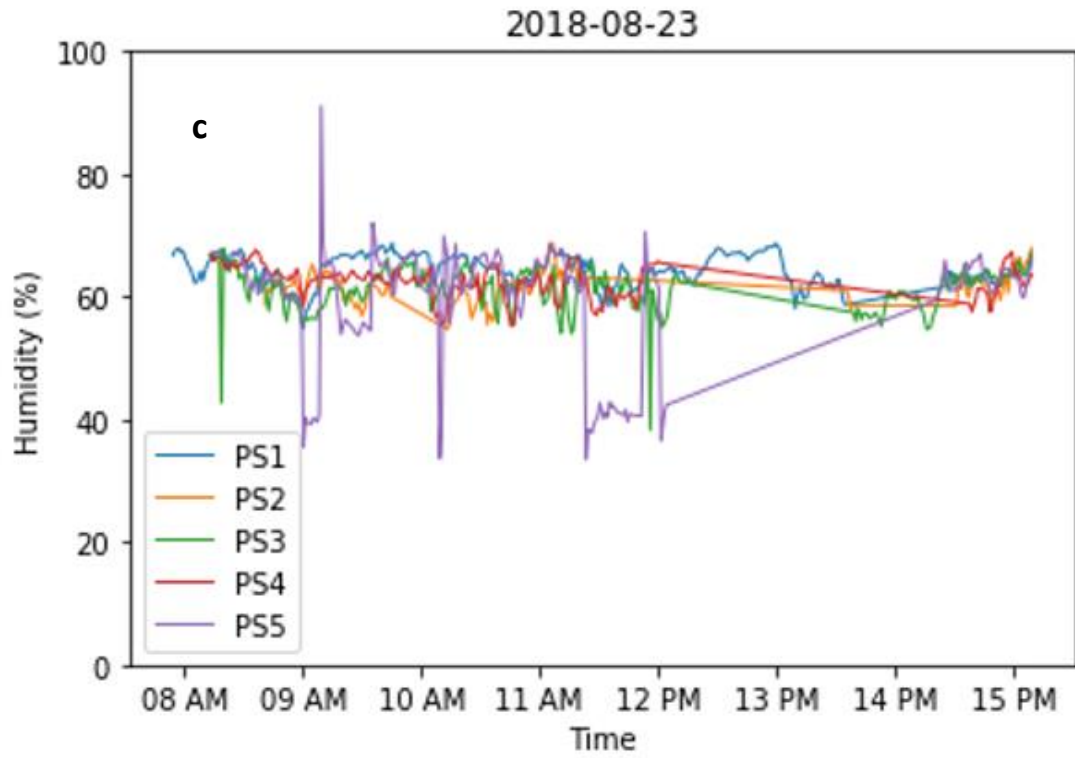
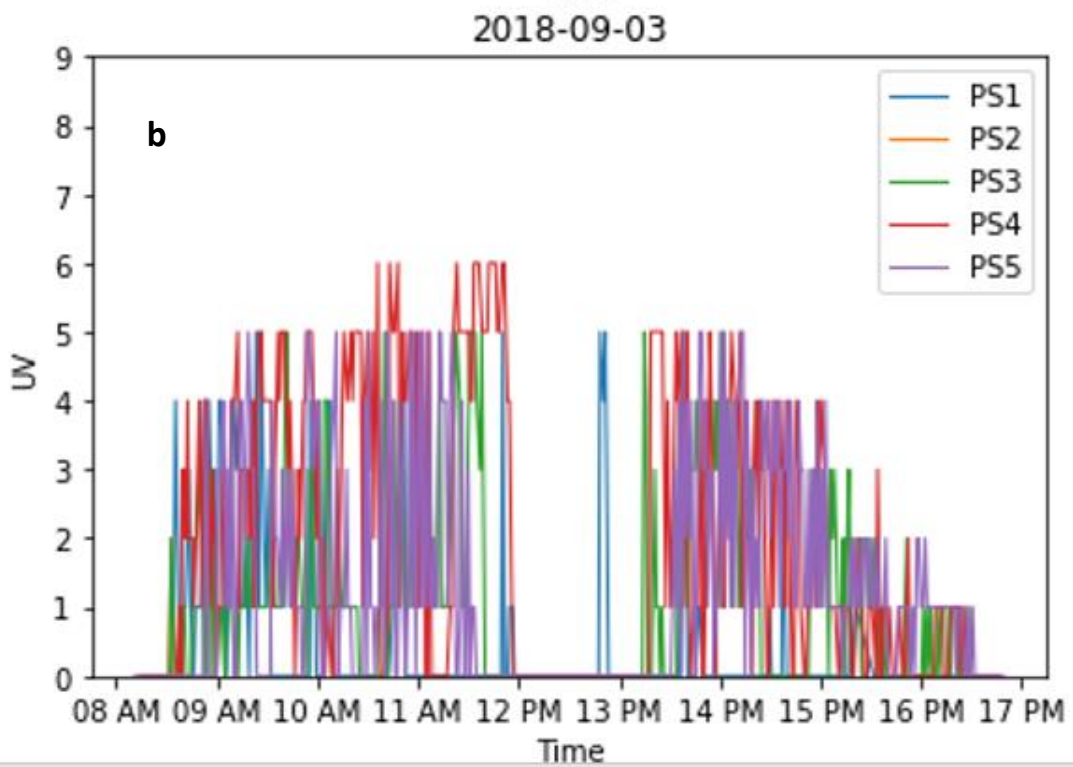
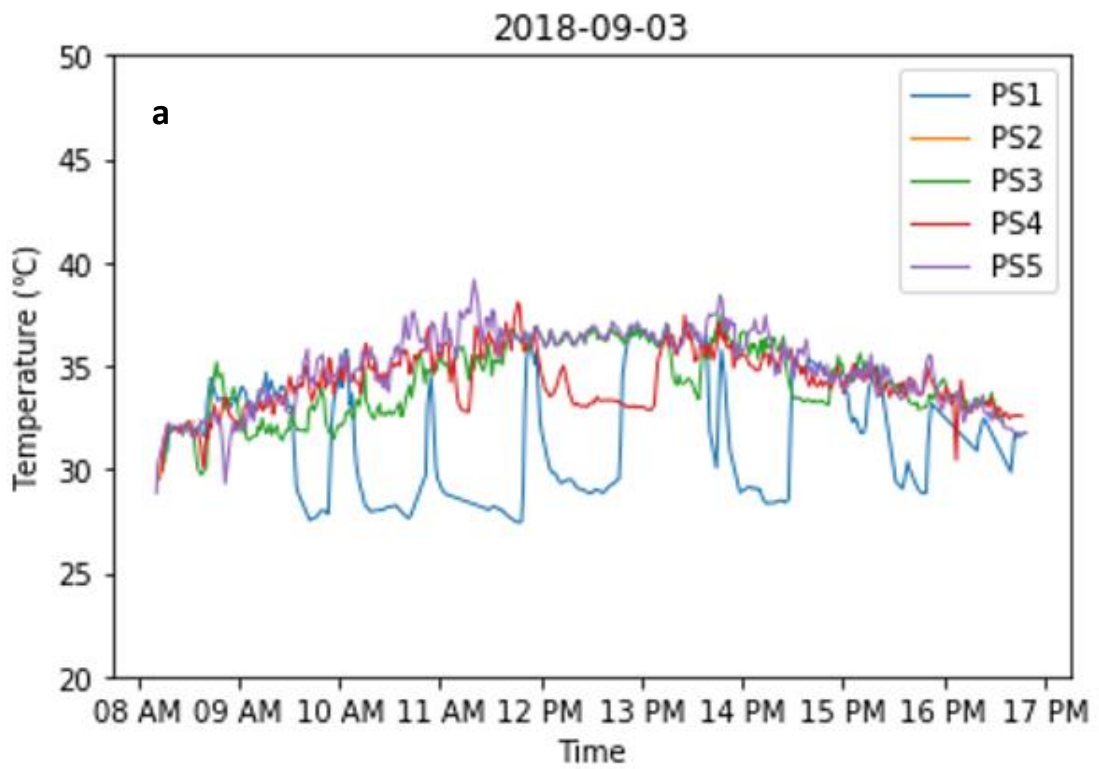


圖 60 BL-500 感測裝置\_勞工受測者 8 月 23 日紀錄\_場址 9 a:溫度；b:UV；c:相對溼度；d:風速



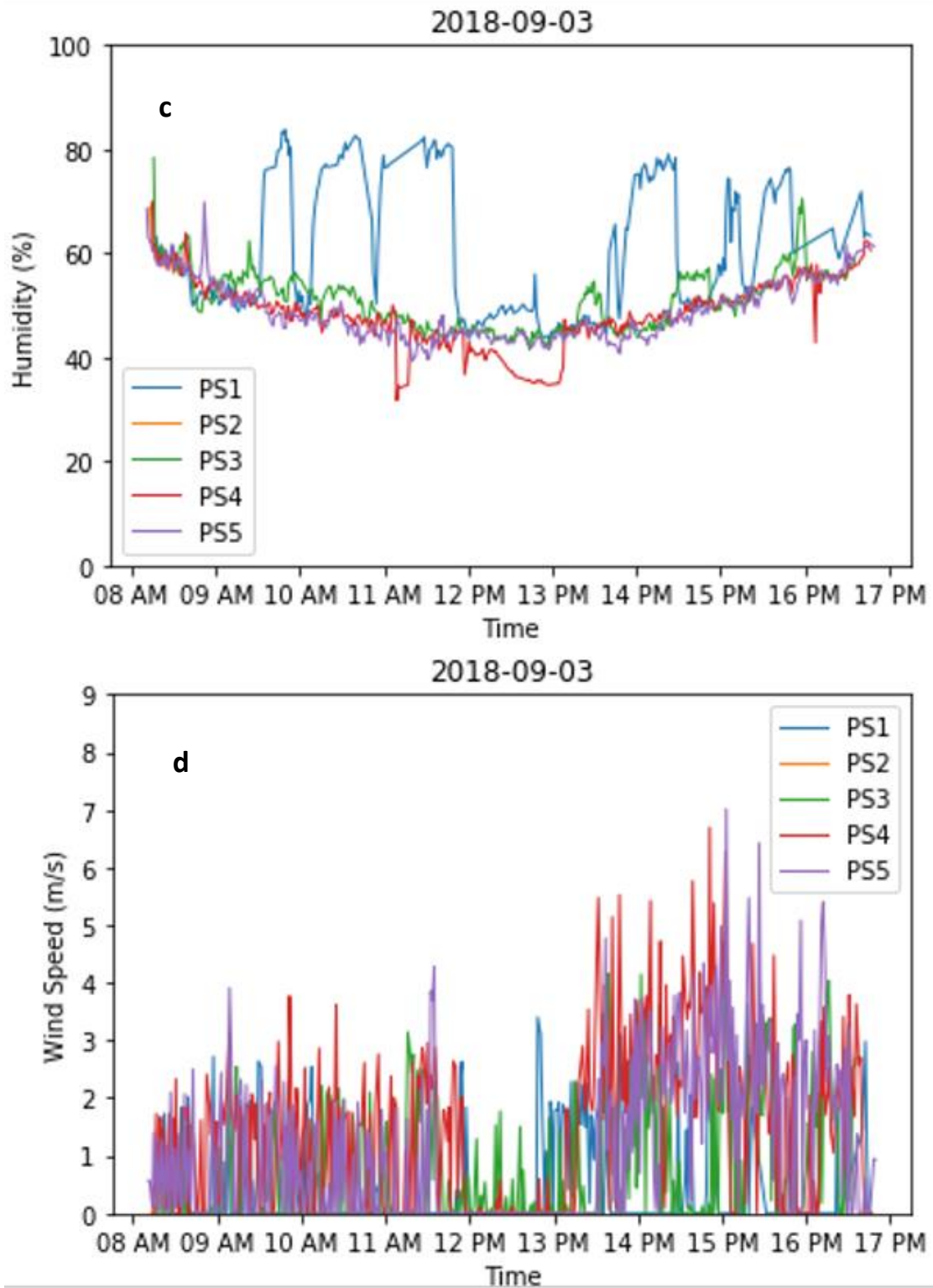
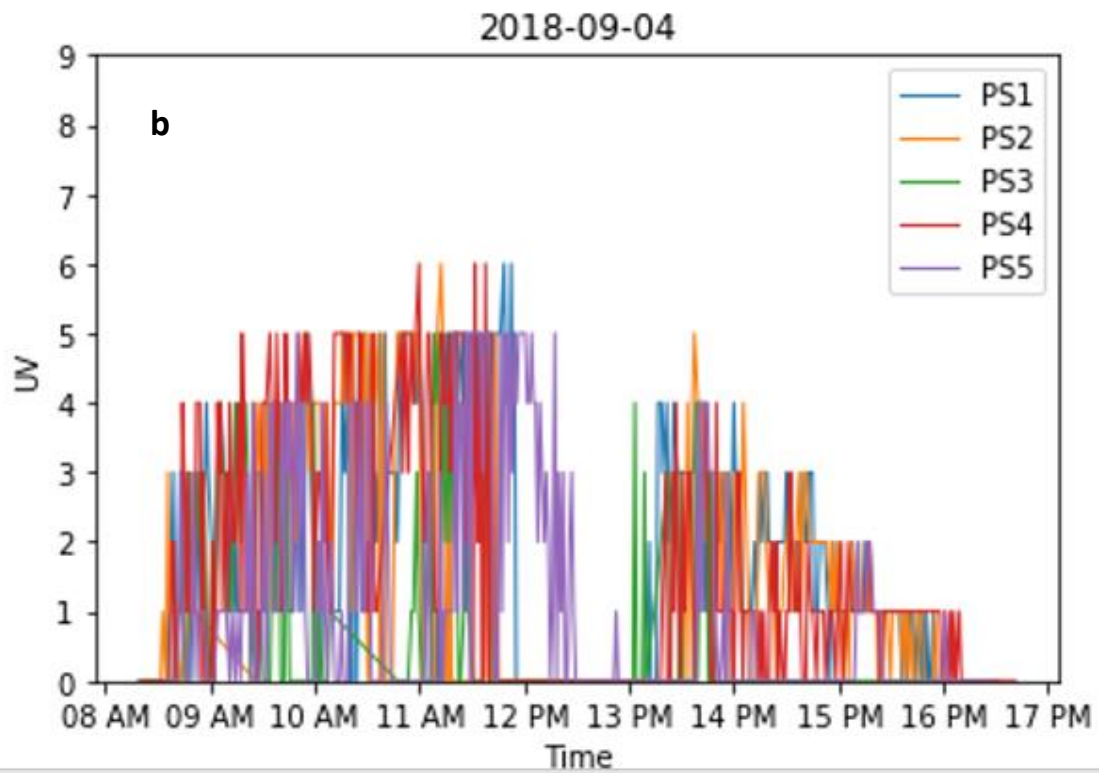
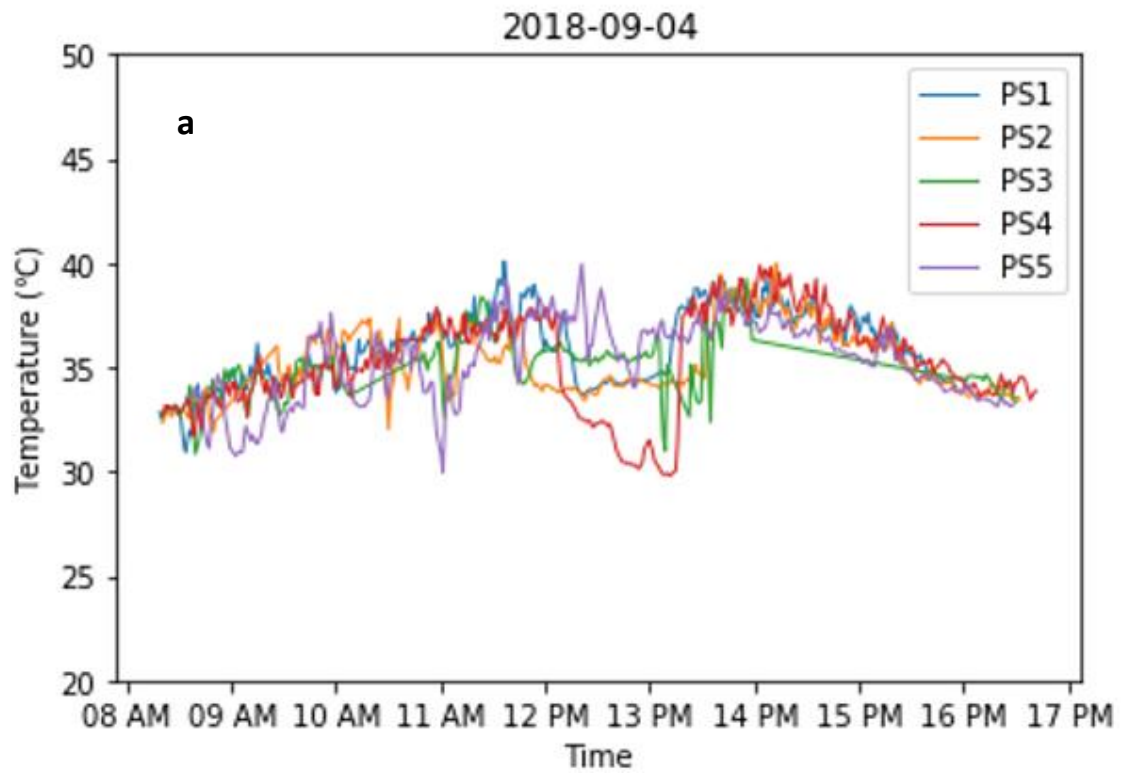


圖 61 BL-500 感測裝置\_勞工受測者 9 月 3 日紀錄\_場址 10 a:溫度；b:UV；c:相對溼度；d:風速





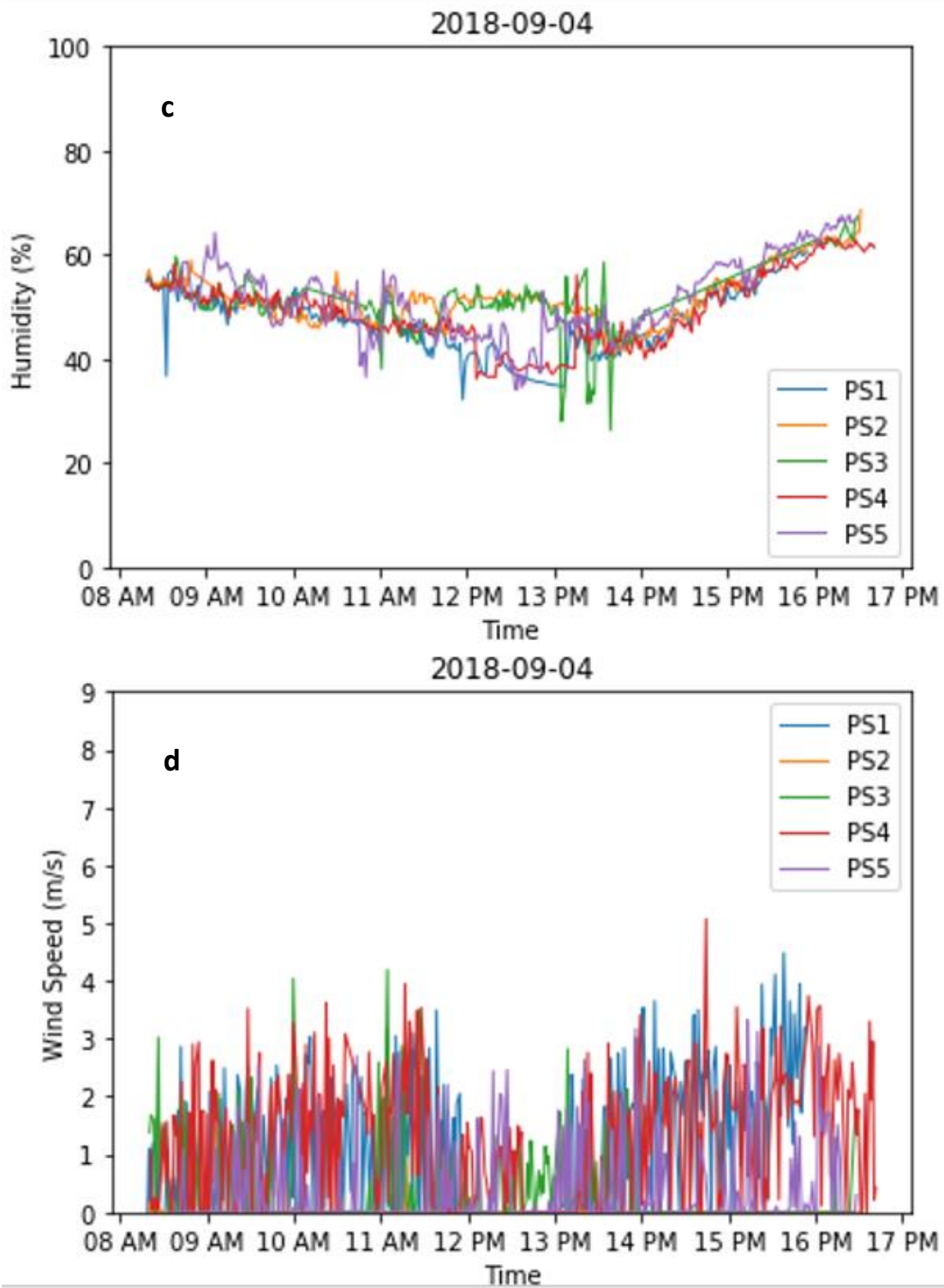


圖 62 BL-500 感測裝置\_勞工受測者 9 月 4 日紀錄\_場址 10 a:溫度；b:UV；c:相對溼度；d:風速

## 四、綜合資料分析

### (一) 51 位受測者問卷 A：戶外高氣溫作業場所勞動者之熱暴險問卷

於每日觀測活動執行前，由研究人員詢問受測者戶外高氣溫作業場所勞動者之熱暴險問卷(以下簡稱為問卷 A)，該問卷包括四大題組：工作特質、工作熱危害情形、高溫作業安全防護及個人特質，總計 48 小題，平均每份問卷的有效答題率達 90%以上，盼藉由該問卷分析得知受測者對於熱暴險的感知。

彙整各研究場址之個人特質資料如表 11。51 位受測者大多為男性，其中 12 位為女性，涵蓋年齡範圍廣；平均年資為 10.5-22.3 年；最近一個月，平均每週 6 天營繕建築工程。

以身體質量指數(body mass index, BMI，以下簡稱 BMI)指數用作評定成年人體位，BMI 指數是將體重(公斤)除以身高(公尺)平方得到身體質量指數(BMI)，體位等級可分成過輕 ( $BMI < 18.5$ )；健康體位 ( $18.5 \leq BMI < 24$ )；過重 ( $24 \leq BMI < 27$ )；輕度肥胖 ( $27 \leq BMI < 30$ )；中度肥胖 ( $30 \leq BMI < 35$ )；重度肥胖 ( $BMI \geq 35$ )。問卷結果顯示，有 14 位受測者為健康體位、16 位過重、5 位輕度肥胖、8 位中度肥胖、2 位中度肥胖及 1 位重度肥胖。值得注意的是，其中研究場址 6 的勞工受測者體位略高，在 10 位受測者中，全數屬於過重體位，其他場址 7-10 也有超過 50%的受測者屬於過重、輕度、中度或重度肥胖。因為在相同 WBGT 環境下，BMI 高者(中度及重度肥胖者)可能感受的熱壓力較大。

在所有研究場址中，經常或總是覺得熱的受測者皆超過該場址 10 位受測者一半以上，分別有 9(場址 6)、7(場址 7)、7(場址 8)、7(場址 9)及 7(場址 10)位(表 24)，其中以場址 6 的 9 位占最多數，經常或總是因為天氣熱而影響到做事效率的人數在各研究場址中分別為 4(場址 6)、4(場址 7)、2(場址 8)、2(場址 9)及 1(場址 10)位。在 51 位受測者中，共有 5 位會經常因為天氣熱而感到身體不適，更有 18 位受測者發生過中暑現象，其中有 6 位更因為中暑而就醫。問卷 A 中還調查易受高溫影響或加重病情的病症，這些病症包括高血壓、心臟病、肝疾病、消化性潰瘍、內分泌失調、無汗症、腎疾病。5 個場址中約有半數以上受測者皆回答皆無這些病症，病症數最多者為高血壓(12 位)、心臟病(3 位)、肝疾病(3 位)、消化性潰瘍(2 位)。

表 11 戶外高氣溫作業場所受測者之(a)基本資料及(b)受熱危害情形

(a)

場址代號	6		7		8		9		10	
統計值	平均數	標準差	平均數	標準差	平均數	標準差	平均數	標準差	平均數	標準差
民國 107 年時，足歲年齡(歲)										
	48.8	9.3	46.2	11.6	40.9	14.3	46.1	15.2	42.3	13.6
從事營建工程的年資(年)										
	22.3	21.5	16.5	8.7	17.4	14.7	12.7	11.9	10.5	5.4
最近一個月，平均每個禮拜做了幾天營繕建築工程(天)										
	5.0	1.5	4.9	1.6	5.6	1.6	5.5	1.1	6.0	0.7
身高(公分)										
	161.3	7.6	163.3	9.1	163.1	7.0	171.5	9.3	172.5	7.8
體重(公斤)										
	65.1	11.3	67.2	9.6	66.5	8.5	70.5	13.2	79.7	17.4
身體質量指數 BMI=體重(公斤)/身高(公尺) <sup>2</sup>										
	25.1	4.3	25.2	2.8	24.9	2.4	23.9	3.3	26.7	5.4

(b)

場址代號 統計值	6		7		8		9		10	
	個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	個數	%
性別										
男性	7	70	7	63.6	8	80	8	80	9	90
女性	3	30	4	36.4	2	20	2	20	1	10
身體質量指數(BMI)										
健康體位 18.5<=BMI<24	0	0%	3	27.3	4	40	4	40	3	30
過重 24<=BMI<27	0	0	5	45.5	4	40	4	40	3	30
輕度肥胖 27 <= BMI < 30	0	0	3	27.2	2	20	0	0%	3	30
中度肥胖 30 <= BMI < 35	0	0%	0	0	0	0	2	20	0	0
重度肥胖 BMI >= 35	10	100%	0	0	0	0	0	0	1	10
資料缺值	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
這個建案的工作場所常不常覺得熱？										
(01)從來沒有	1	10	0	0	1	10	0	0	0	0
(02)很少	0	0	1	9.0	0	0	1	10	0	0
(03)有時	0	0	3	27.3	1	10	2	20	3	30
(04)經常	3	30	3	27.3	1	10	2	20	3	30
(05)總是	6	60	4	36.4	6	60	5	50	4	40
拒答或漏答	0	-	0	-	1	10	0	0	0	0
常不常因為天氣熱而影響到做事效率										
(01)從來沒有	1	10%	1	9%	1	10%	1	10	2	20

場址代號 統計值	6		7		8		9		10		
	個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	
(02)很少	1	10	2	18.2	2	20	3	30	3	30	
(03)有時	4	40	4	36.4	5	50	4	40	4	40	
(04)經常	4	40	3	27.3	1	10	1	10	1	10	
(05)總是	0	0	1	9	1	10	1	10	0	0	
拒答或漏答	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	
常不常因為天氣熱而感到身體不適											
(01)從來沒有	2	20	1	9	2	20	1	10	4	40	
(02)很少	2	20	7	63.7	3	30	5	50	3	30	
(03)有時	4	40	3	27.3	4	40	2	20	3	30	
(04)經常	1	10	0	0	0	0	1	10	0	0	
(05)總是	1	10	0	0	1	10	1	10	0	0	
拒答或漏答	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-	
曾經因高溫作業而發生中暑											
(01)無	3	30	5	45.5	6	60	8	80	5	50	
(02)有，但並未就醫	6	60	5	45.5	3	30	1	10	3	30	
(03)有，且有就醫	1	10	1	9	1	10	1	10	2	20	
目前是否有以下病症(選項 01-07 為可複選題)											
(08)以下都沒有(單選)	4	36.4	7	77.8	6	66.7	6	50	8	80	
(01)高血壓	5	45.5	2	22.2	2	22.2	1	8.3	2	20	
(02)心臟病	1	9.1	0	0	0	0	2	16.7	0	0	
(03)肝疾病	1	9.1	0	0	0	0	2	16.7	0	0	
(04)消化性潰瘍	0	0	0	0	1	11.1	1	8.3	0	0	
(05)內分泌失調	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
(06)無汗症	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
(07)腎疾病	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

表 12 顯示 51 位受測者中，僅有 2 位為管理人員、工程師及測量工，其餘皆為長時間在戶外高氣溫作業場所從事不同工作的勞工，包含防水工、雜工、模板工、水電工、鋼筋工等。51 位受測者工作時最常接觸的高溫物品主要是高溫鋼筋、鋼板或鋼構台，其次是瓦斯爐、加熱燈及探照燈，其中一位屬於鋼筋工的受測者提到會接觸到塊塊，有別於其他受測者。在「接觸高溫物品或設備的頻率」題項中，各場址皆有高於 27% 以上受測者的回答「每週 3 次或以上」。各研究場址接觸的情況並不一致，其中研究場址 7 及 9，有超過 33% 以上的受測者表示並無接觸的情況；其他場址 6、8 及 10 則有相對較低比例的受測者回覆無接觸，可見每個工種在各別的工作場址是否接觸高溫物品或設備是有明顯差異性的。

同時，為了解戶外溫度及太陽輻射值最高時段中受測者的戶外工作情形，也詢問受測者「早上 10 點到下午 3 點室外工作時間」，並特別說明需要扣除休息時間。表 12 顯示各場址有高於 70% 的受測者在日照較強烈的時段中，皆有 3 小時以上時間在室外工作，其中場址 9 更是所有受測者皆達 3 小時以上時間在室外工作。在工作場所降溫設備方面，場址 6-9 備有電風扇，但仍分別有 3(場址 6)、3(場址 7)、2(場址 8)及 2(場址 9)位勞工表示並無法吹到電風扇。場址 8、9 及 10，各有 1、1 及 2 位受測者可享受到冷氣設備。另外，有 60% 及 80% 的受測者在場址 8 及 10 享受到噴霧器、涼水毛巾等降溫設備，場址 6、7 及 9 只有 30、36.4 及 40% 的受測者享受到。大部份研究場址雇主皆有提供充足的飲用水，也有少部分受測者會自備飲用水。

表 12 戶外高氣溫作業場所受測者之工作性質及接觸高溫物品情形

場址代號 統計值		6		7		8		9		10	
		個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	個數	%
勞工受測者人數		10	-	11	-	10	-	10	-	10	-
工作性質											
	管理人員、工程師測量工	0	0	0	0	0	0	2	20	0	0
	其他勞動較多者	10	100	11	100	10	100	8	80	10	100
工作時高溫物品接觸情況(選項 1-11 為可複選題)											
0	並無接觸(單選)	1	9.1	4	33.3	2	18.2	5	45.5	1	6.3
1	高溫瀝青	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6.3
2	高溫鋼筋、鋼板或鋼構台	8	72.7	7	58.3	6	54.5	5	45.5	8	50
3	瓦斯爐、加熱燈	1	9.1	0	0	1	9.1	1	9.1	4	25
4	探照燈	1	9.1	0	0	2	18.2	0	0	1	6.3
5	電弧爐	0	0	0	0	0	0	0	0	1	6.3
6	其它	0	0	1	8.3	0	0	0	0	0	0
接觸高溫物品或設備的頻率											
	(01)從來沒有	1	10	3	27.3	2	20	5	45.5	1	12.5
	(02)每月少於 1 次	0	0	2	18.2	0	0	0	0	0	0
	(03)每月 1_3 次	0	0	0	0	1	10	1	9.1	2	25
	(04)每週 1_2 次	0	0	0	0	2	20	2	18.2	2	25
	(05)每週 3 次或以上	9	90	5	45.5	5	50	3	27.3	3	37.5
	(06)每次上班時都會接觸	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	拒答或漏答	0	0	1	9.1	0	-	0	-	0	-
早上 10 點到下午 3 點室外工作時間											

場址代號 統計值		6		7		8		9		10	
		個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	個數	%
勞工受測者人數		10	-	11	-	10	-	10	-	10	-
1	從來沒有	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	少於 1 小時	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1 小時以上；不滿 2 小時	0	0	0	0	0	0	0	0	1	10
4	2 小時以上；不滿 3 小時	2	20	1	9.1	2	20	0	0	2	20
5	3 小時以上；不滿 4 小時	3	30	4	36.4	3	30	3	30	3	30
6	4 小時以上	4	40	6	54.5	5	50	7	70	4	40
7	不清楚，不固定	1	10	0	0	0	0	0	0	0	0
8	拒答或漏答	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
工作場所有使用以下降溫設備(選項 1-3 為可複選題)											
1	冷氣	0	-	0	-	1	-	1	-	2	-
2	冷風扇	0	-	0	-	0	-	0	-	1	-
3	電風扇	7	-	8	-	8	-	7	-	2	-
4	都沒有這些設備(單選)	3	-	3	-	2	-	2	-	6	-
工作場所有無提供噴霧器、涼水毛巾等降溫設備											
	(01)無	7	70	7	63.6	4	40	5	50	2	20
	(02)有	3	30	4	36.4	6	60	4	40	8	80
	(03)不需要	0	0	0	0	0	0	1	10	0	0
	拒答或漏答	0	-	0	-	0	-	0	-	0	-
雇主或自己充足的飲用水											
	(01)無	1	10	0	0	0	0	0	0	0	0
	(02)有，雇主準備	7	70	6	54.5	7	70	9	90	7	70
	(03)有，自己準備	2	20	5	45.5	3	30	1	10	3	30

## (二) 問卷 B-活動紀錄表

除使用「問卷 A：戶外高氣溫作業場所勞動者之熱暴險問卷」，分析勞工受測者於工作過程中可能受到的熱危害影響外，亦透過研究人員紀錄勞工受測者活動紀錄的方式，了解受測者在工作及休息期間的地點、活動性質、熱危害項目、降溫設備、工作衣著、天氣及通風狀態等 7 項情況。而本研究重點在於了解勞工受測者於工作過程中可能受到的熱暴險情形，因此將針對場址 6~10 受測者問卷 B 中的熱危害項目及降溫設備進行說明。

依據場址 6 活動紀錄表得知，10 位受測者於工作場所及休息區皆無降溫設

備，僅受測者 I 於 7 月 19 日下午 1 點 34 分於工作場所有接觸到灑水降溫設備，整體而言，因大多數受測者皆無接觸到降溫設備，此情況可能增加勞工受測者在工作過程中受到熱危害的風險。

場址 7 活動紀錄結果顯示，大多數受測者於工作期間接觸到的熱危害項目包含鋼筋、水泥及木棧板，經由現場物料溫度量測可得知，3 種物料經過日曬後所產生的高溫可能是受測者熱暴險來源之一，此外，大多受測者並無接觸到降溫設備，僅受測者 D 及 H 於部分工作時間接觸到電風扇，受測者 G 接觸到冷氣。

由場址 8 受測者活動紀錄表得知，該場址與場址 7 相同，受測者於工作期間接觸到的熱危害項目為鋼筋、水泥及木棧板，而 10 位受測者於工作及休息場所皆無降溫設備。

場址 9 勞工受測者工作期間會接觸的熱危害項目主要為鋼筋及水泥，場址 9 大多數勞工於工作及休息區皆無降溫設備，僅受測者 E、F 及 J 於工作及休息部分時間接觸到電風扇降溫設備。

至於場址 10 受測者最常接觸的熱危害項目為鋼筋，其次是水泥及木棧板，約有半數受測者其工作場所有配置電風扇；值得注意的是，址 10 有 2 位受測者(受測者 A 及 B)於工作期間會接觸運作中的噴霧器，此降溫設備有別於上述各場址。

綜合場址 6-10 活動紀錄表得知，絕大多數受測者於工作期間所接觸到的熱危害項目不外乎鋼筋、水泥及木棧板，這些物料經由高溫日曬即成為增加勞工受測者熱危害風險的主要來源之一；而在降溫設備方面，大多數受測者的工作及休息環境無降溫設備，僅少數受測者工作區及休息區有提供電風扇，屬於管理階級的受測者才能享有休息區冷氣，由此可知，在長時間接觸熱危害項目加上無足夠的降溫設備，易使勞工受測者受到熱暴險機率增加。

### (三) BL-500 及熱暴險穿戴裝置量測資料及受測者 WBGT

本研究共有 5 個研究場址，每個研究場址招募 10 位受測者(僅場址 7 例外，有 11 位受測者)。在同一場址進行 2 天現場實測，每天 5 位受測者，共計 51 位受測者使用穿戴式裝置。5 個觀測場址於 7 月 18 日至 9 月 3 日間完成觀測，其中有 4 位配戴 BL-500 感測裝置時發生資料傳輸問題，及 1 位資料遺失未進行

補測，另有 1 位因身體不適無法繼續配戴導致無資料，加上場址 7 增加 1 位受測者(該場址有 11 位)因此，該裝置有效量測人次為 45 人次。

BL-500 感測裝置主要觀測受測者溫度、相對濕度及風速，而熱暴險穿戴裝置則觀測受測者溫度及相對濕度，表 13 及表 14 為不分工作與休息時段，受測者 BL-500 感測裝置及熱暴險穿戴裝置有效之溫度、相對濕度及風速數據的平均值、標準差、最大及最小值、與有效資料數。

受測者 BL-500 感測裝置觀測結果顯示，平均溫度範圍介於 29.5~36.1°C 間；平均相對濕度部分因觀測日多為晴朗無雨的天氣，因此其相對濕度範圍 46.8~69.4% 普遍較低；而平均風速因觀測日多是晴朗無雲，所以平均風速介於 0~1.5 m/s 間，接近靜風狀態。扣除受測者無 BL-500 感測資料外，其餘 45 位受測者資料有效數大多達 150 分鐘以上，僅 2 位受測者觀測時間低於 90 分鐘。

就熱暴險穿戴裝置溫濕度觀測結果顯示，平均溫度範圍介於 29.3-35.4°C 之間，與 BL-500 感測裝置觀測結果接近；平均相對濕度則在 53.7-95.7% 間，相對濕度變異範圍較廣，但大多屬於高溫炎熱的天氣型態，熱暴險穿戴裝置則完全掌握 51 位受測者觀測資料，且觀測時間資料有效數皆達 150 分鐘以上，最多達到 511 分鐘，平均觀測時數可達 400 分鐘以上，即受測者每日皆配戴超過 6 小時，以平均每日總觀測時間 450 分鐘而言(8 點半~4 點)，資料掌握度可達 8 成以上。



表 13 戶外高氣溫作業場所 BL-500 裝置溫度、相對濕度及風速數據統計

受測者 編號	場址 代號	受測 日期	溫度 (攝氏 °C )			相對濕度 (RH%)			風速(m/sec)			有效 數目			
			平均數	標準差	最大值	最小值	平均數	標準差	最大值	最小值	平均數		標準差	最大值	最小值
1	6	7月18日	34.6	2.1	38.0	27.7	49.0	2.8	60.5	42.9	1.5	1.6	6.6	0	180
2	6	7月18日	BL-500 裝置無法順利紀錄、儲存及傳輸資料												
3	6	7月18日	34.9	1.1	37.4	32.7	51.5	3.3	59.3	44.7	1.3	1.2	5.2	0	149
4	6	7月18日	34.7	1.7	38.1	28.4	50.7	5.3	62.6	42.0	1.1	1.3	5.2	0	208
5	6	7月18日	BL-500 裝置無法順利紀錄、儲存及傳輸資料												
6	6	7月19日	34.7	2.3	38.7	29.9	56.3	9.6	78.7	43.4	1.2	1.2	4.4	0	384
7	6	7月19日	35.1	1.1	39.1	31.1	53.2	4.1	68.0	43.4	1.0	1.0	6.1	0	321
8	6	7月19日	34.1	2.4	38.1	29.6	57.7	10.4	79.6	44.6	0.9	1.1	5.7	0	313
9	6	7月19日	35.9	1.7	39.6	31.1	50.9	5.0	67.7	42.0	1.2	1.1	3.9	0	249
10	6	7月19日	35.5	1.3	38.4	30.9	52.2	4.2	68.8	43.8	1.2	1.1	6.5	0	325
11	7	8月8日	受測者沒有接受補測												
12	7	8月7日	受測者位於地下室，BL-500 裝置無法順利紀錄、儲存及傳輸資料												
13	7	8月7日	29.5	0.2	29.6	28.4	69.4	0.9	75.9	67.5	1.5	0.4	1.9	0	443
14	7	8月8日	35.2	1.8	39.2	32.3	51.2	5.0	57.9	39.5	1.4	1.4	5.9	0	125
15	7	8月7日	32.8	3.4	39.3	28.4	58.8	10.1	73.3	39.6	0.2	0.5	4.7	0	182
16	7	8月7日	33.1	2.8	39.5	28.4	59.1	8.7	78.8	41.1	0.7	1.1	5.2	0	274
17	7	8月8日	32.6	1.8	36.5	25.3	60.3	8.8	86.4	32.7	0.2	0.5	3.8	0	336
18	7	8月8日	31.4	1.2	35.9	29.7	65.1	4.9	73.8	49.9	0.1	0.5	3.2	0	160
19	7	8月8日	32.2	1.2	35.8	30.2	64.2	5.1	73.8	38.5	0.1	0.7	6.3	0	325
20	7	8月7日	34.6	3.1	39.6	28.4	54.1	8.6	74.5	40.7	0.6	0.9	4.1	0	317
21	7	8月8日	33.7	2.1	39.4	29.6	55.8	6.3	69.3	39.5	1.1	1.3	5.4	0	210
22	8	8月9日	31.3	0.9	34.5	30.8	67.7	4.7	72.2	53.8	0.0	0.0	0.1	0	123

受測者 編號	場址 代號	代號	受測 日期	溫度 (攝氏 °C )			相對濕度 (RH%)			風速(m/sec)			有效 數目			
				平均數	標準差	最大值	最小值	平均數	標準差	最大值	最小值	平均數		標準差	最大值	最小值
23	8	B	8月9日	BL-500 裝置無法順利紀錄、儲存及傳輸資料												
24	8	C	8月9日	33.1	1.7	36.3	29.9	58.5	5.7	68.2	47.1	0.3	0.6	2.6	0	232
25	8	D	8月9日	33.5	1.4	36.6	30.3	58.2	3.9	65.5	49.8	0.2	0.6	4.2	0	289
26	8	E	8月9日	34.0	1.4	37.4	31.8	56.3	4.0	64.6	46.7	0.4	0.8	3.0	0	253
27	8	F	8月10日	34.7	1.8	38.5	30.5	53.5	5.6	65.6	35.4	0.4	0.7	6.0	0	413
28	8	G	8月10日	35.0	1.6	39.9	29.4	50.1	5.8	65.2	30.6	0.5	0.8	4.0	0	280
29	8	H	8月10日	33.6	1.6	36.8	30.0	55.4	6.9	76.7	37.4	0.7	1.1	5.0	0	198
30	8	I	8月10日	受測者身體不適，於休息區休息，該時段無觀測資料												
31	8	J	8月10日	34.8	1.7	39.5	31.5	53.1	5.1	66.5	39.0	0.4	0.8	3.5	0	361
32	9	A	8月22日	34.6	1.4	38.4	31.2	56.6	5.0	71.6	47.0	1.0	1.6	7.8	0	320
33	9	B	8月22日	34.9	1.1	38.5	32.8	55.0	3.3	62.0	44.9	1.2	1.4	6.3	0	239
34	9	C	8月22日	33.5	0.5	34.1	32.9	59.5	2.1	63.0	57.3	0.1	0.4	1.3	0	11*
35	9	D	8月22日	34.1	1.6	37.5	28.8	57.9	6.4	79.1	47.1	1.2	1.3	5.0	0	341
36	9	E	8月22日	32.4	2.6	39.7	24.1	63.7	9.4	86.2	41.7	0.3	0.8	8.6	0	210
37	9	F	8月23日	32.4	0.9	35.1	30.8	64.5	2.7	68.8	54.9	0.9	1.0	5.3	0	259
38	9	G	8月23日	33.3	0.9	36.1	31.5	61.4	2.6	68.8	54.7	0.0	0.0	0.5	0	114
39	9	H	8月23日	33.7	1.1	36.9	30.8	60.7	3.6	67.8	38.3	0.9	1.2	6.4	0	209
40	9	I	8月23日	33.2	1.0	36.1	31.6	62.6	2.6	67.6	55.2	1.1	1.1	6.5	0	159
41	9	J	8月23日	31.0	2.8	35.5	24.6	58.3	10.5	91.1	33.5	0.9	1.5	7.1	0	180
42	10	A	9月3日	34.7	1.5	37.5	31.5	50.1	5.2	70.5	41.6	0.9	1.1	4.4	0	333
43	10	B	9月3日	31.8	3.0	37.0	27.4	60.1	13.1	83.8	43.0	0.5	0.9	3.6	0	300
44	10	C	9月3日	32.2	0.1	32.3	32.1	56.9	1.1	58.2	56.1	0.0	0.0	0.0	0	3*
45	10	D	9月3日	34.3	1.3	38.1	30.1	47.7	6.2	63.9	31.7	1.5	1.4	6.7	0	359

受測者 編號	場址 代號	代號	受測 日期	溫度 (攝氏 °C )			相對濕度 (RH%)			風速(m/sec)			有效 數目			
				平均數	標準差	最大值	最小值	平均數	標準差	最大值	最小值	平均數		標準差	最大值	最小值
46	10	E	9月3日	35.2	1.7	39.2	29.3	48.1	4.9	69.8	39.3	1.2	1.4	7.0	0	371
47	10	F	9月4日	35.2	1.5	39.2	30.9	50.1	6.1	67.4	26.3	0.5	0.8	4.2	0	217
48	10	G	9月4日	35.4	1.6	40.0	31.9	51.7	5.2	64.3	40.2	0.0	0.1	0.9	0	307
49	10	H	9月4日	36.1	1.7	40.1	31.0	46.8	6.2	60.8	32.2	1.2	1.2	4.5	0	335
50	10	I	9月4日	35.3	2.4	39.9	29.8	48.6	6.7	63.5	36.2	1.3	1.1	5.1	0	369
51	10	J	9月4日	35.4	1.9	40.0	30.0	51.0	7.3	67.7	34.0	0.4	0.7	3.3	0	355

註: 1. 受測者 6-B、6-E、7-B 及 8-B 受測者因資料傳輸異常無觀測數據；受測者 7-A 未接受補測無觀測數據；受測者 8-I 身體不適該時段無觀測數據

2. \*表示 BL-500 裝置之配戴勞工工作加休息時間之有效數據未達 90 分鐘者

表 14 戶外高氣溫作業場所受測者熱暴險穿戴裝置溫度及相對濕度數據統計

受測者 編號	場址 代號	代號	受測 日期	溫度 (攝氏 °C)			相對濕度 (RH%)			有效數目
				平均數	標準差	最大/最小值	平均數	標準差	最大/最小值	
1	6	A	7月18日	33.8	0.9	35.8 / 31.4	60.4	3.2	68.1 / 51.3	222
2	6	B	7月18日	31.4	1.1	33.2 / 29.2	76.3	6.3	100.0 / 61.1	320
3	6	C	7月18日	33.6	2.0	35.6 / 29.6	62.1	5.2	72.9 / 54.8	154
4	6	D	7月18日	32.3	0.6	33.4 / 30.3	54.8	9.1	70.1 / 33.3	216
5	6	E	7月18日	32.5	1.0	34.8 / 31.1	65.5	3.5	73.6 / 57.3	284
6	6	F	7月19日	32.3	0.8	33.4 / 29.7	72.3	6.3	90.3 / 63.0	219
7	6	G	7月19日	34.6	1.1	36.8 / 30.0	82.5	9.2	100.0 / 57.4	431
8	6	H	7月19日	33.7	1.6	36.5 / 30.2	68.0	6.5	100.0 / 57.8	437
9	6	I	7月19日	35.4	1.7	39.5 / 28.9	66.4	5.3	80.4 / 52.4	364
10	6	J	7月19日	32.0	1.4	34.7 / 29.3	88.2	11.1	100.0 / 69.0	426
11	7	A	8月8日	29.3	0.4	30.3 / 28.6	89.9	5.7	99.4 / 70.7	331
12	7	B	8月7日	31.5	1.1	33.7 / 29.3	69.0	4.4	81.5 / 48.2	379
13	7	C	8月7日	31.3	1.2	34.4 / 29.2	68.7	7.7	89.0 / 52.6	497
14	7	D	8月8日	31.6	0.4	32.6 / 30.8	70.6	3.1	83.2 / 64.2	226
15	7	E	8月7日	30.2	0.8	31.9 / 29.1	78.6	6.5	97.3 / 64.0	257
16	7	F	8月7日	31.3	0.9	34.4 / 29.5	71.6	4.0	84.2 / 62.9	342
17	7	G	8月8日	30.9	0.5	32.9 / 29.1	73.8	9.0	93.2 / 28.4	492
18	7	H	8月8日	30.1	1.1	32.5 / 28.6	85.5	12.7	100.0 / 61.1	448
19	7	I	8月8日	30.4	0.4	31.5 / 29.6	81.8	5.9	100.0 / 44.4	452
20	7	J	8月7日	30.7	1.0	32.7 / 27.2	79.4	7.3	99.8 / 63.8	479
21	7	K	8月8日	31.2	0.5	32.5 / 29.8	68.8	7.1	96.4 / 37.5	287
22	8	A	8月9日	30.4	0.7	31.9 / 29.4	85.3	8.0	99.9 / 70.2	278

受測者 編號	場址 代號	代號	受測 日期	溫度 (攝氏 °C)			相對濕度 (RH%)			有效數目		
				平均數	最大值	最小值	平均數	標準差	最大值		最小值	
23	8	B	8月9日	31.3	0.6	32.5	29.7	72.8	5.0	99.7	45.7	475
24	8	C	8月9日	30.8	0.9	32.9	28.9	77.1	8.4	100.0	62.2	492
25	8	D	8月9日	30.6	0.5	31.9	29.8	77.2	4.1	87.9	66.7	480
26	8	E	8月9日	30.1	0.7	31.5	28.5	82.0	9.8	100.0	48.0	403
27	8	F	8月10日	31.2	0.9	32.9	29.3	71.0	9.0	93.3	32.5	448
28	8	G	8月10日	32.3	1.1	35.4	29.9	56.3	15.4	84.9	9.8	470
29	8	H	8月10日	30.7	0.7	32.2	29.6	78.0	6.0	95.5	62.9	476
30	8	I	8月10日	30.4	1.1	33.0	28.8	85.6	8.5	99.5	63.9	419
31	8	J	8月10日	31.3	1.0	33.9	30.0	74.4	7.1	93.3	58.3	458
32	9	A	8月22日	31.2	1.2	33.4	28.9	74.1	9.2	98.4	59.7	511
33	9	B	8月22日	31.7	0.7	33.5	29.3	71.7	5.8	90.3	60.4	443
34	9	C	8月22日	31.7	0.9	33.6	29.2	72.3	6.3	89.5	40.6	493
35	9	D	8月22日	31.8	0.6	33.2	29.2	72.8	6.2	91.2	59.5	500
36	9	E	8月22日	30.8	1.7	33.9	28.4	55.4	19.6	98.2	22.6	442
37	9	F	8月23日	30.5	0.4	31.2	29.6	78.0	3.7	92.3	70.5	431
38	9	G	8月23日	31.2	0.6	32.7	29.6	75.0	3.2	86.9	66.3	433
39	9	H	8月23日	31.1	0.7	32.7	29.8	80.4	5.7	95.9	52.6	415
40	9	I	8月23日	30.5	0.5	32.3	29.6	85.2	6.9	100.0	74.8	413
41	9	J	8月23日	30.8	1.3	32.7	27.8	53.7	20.8	79.8	15.1	394
42	10	A	9月3日	32.1	1.2	33.9	30.0	65.7	9.0	94.4	49.6	418
43	10	B	9月3日	30.6	1.1	33.4	29.0	68.0	15.5	93.0	36.2	483
44	10	C	9月3日	32.2	1.0	33.4	28.8	55.5	6.8	88.8	45.5	421
45	10	D	9月3日	32.3	0.6	34.3	30.3	55.9	9.3	74.0	31.1	453

受測者 編號	場址 代號	代號	受測 日期	溫度 (攝氏 °C)			相對濕度 (RH%)			有效數目	
				平均數	最大值	最小值	平均數	標準差	最大值		最小值
46	10	E	9月3日	32.5	33.7	30.7	62.2	5.0	83.9	52.8	478
47	10	F	9月4日	31.3	34.3	28.3	70.8	15.1	100.0	28.0	457
48	10	G	9月4日	31.1	33.7	29.0	74.8	12.1	97.2	51.7	475
49	10	H	9月4日	31.7	33.7	30.5	70.2	14.6	97.4	31.0	482
50	10	I	9月4日	31.9	33.8	29.7	64.3	15.0	85.3	30.7	424
51	10	J	9月4日	32.2	34.4	30.6	69.6	8.6	95.1	47.1	465

運用受測者 BL-500 感測裝置之每分鐘溫濕度與風速資料，搭配機動式環境大氣測站每分鐘太陽輻射資料，及熱暴險穿戴裝置每分鐘溫濕度資料，搭配機動式環境大氣測站每分鐘太陽輻射及風速資料，代入「戶外高氣溫作業場所勞動者之熱危害暴險感測及預警系統建立之先導性研究」所使用之本土 WBGT 資料運算方程式計算，可分別得出經由 BL-500 感測裝置及熱暴險穿戴裝置觀測之受測者 WBGT，藉此 WBGT 數值分析勞工受測者於工作中受到熱危害的潛在危險。

表 15 為勞工受測者 BL-500 裝置換算不分工作及休息時段之 WBGT，不分工作及休息時段與各別工作與休息時段之受測者 WBGT 在不同旗幟的百分比則顯示於表 16，表 16 中陳述 WBGT 平均值、標準差、最大及最小值、與有效資料數統計資料。

值得注意的是，原 BL-500 感測裝置可同步觀測 UV 紫外線指數，但因分級方式(分 10 級)與機動式環境大氣測站太陽輻射(Watt/m<sup>2</sup>)資料性質呈現上截然不同，無法將其作為太陽輻射值計算 WBGT，因此 WBGT 計算仍使用原機動式環境大氣測站太陽輻射資料作為關鍵參數。依據表中結果顯示，BL-500 裝置換算之 WBGT，不分工作及休息時段之最大值為 44.9°C，發生在 7 月 19 日場址 6 的受測者 J，且大多數受測者 WBGT 最大值皆高於 40°C 以上，其 WBGT 平均值的範圍為 29.1(8 月 7 日受測者 C)至 35.8°C(8 月 7 日受測者 E)；整體結果顯示，大多受測者的平均 WBGT 皆高於 30°C 以上，足見戶外工作環境對於勞工所造成的熱危害不容小覷。

表 16 涵蓋工作與休息時段之受測者 WBGT 在各不同旗幟的百分比，表中呈現 BL-500 感測裝置之 WBGT 分析資料共 45 位受測者。結果得知，工作加上休息時段 WBGT 在黑旗的百分比範圍為 0.5%至 100%之間，黑旗最高占比出現於受測者 C(9 月 3 日)，其次是 8 月 22 日的受測者 C(90.9%)，值得注意的是，這 2 位受測者觀測時數皆不足 90 分鐘，如排除這 2 位受測者不看，則以 8 月 7 日受測者 E(74.7%)為最高。進一步比較工作時段與休息時段黑旗所占百分比，黑旗出現比例較高多集中於工作時段，因此推估勞工受測者處於高溫炎熱又接近靜風的環境，導致受測者受到熱危害比例大幅提升；相較於工作時段，休息時段受測者皆回到遮陽棚下休息，不直接曝曬於大太陽下，致黑旗比例大幅降低，其中有多

位受測者黑旗比例皆為 0%。若彙整 10 個觀測日，分析勞工受測者 BL-500 裝置換算 WBGT 佔各不同顏色旗幟的百分比(表 17)，可看出 10 個觀測日觀測所得受測者 BL-500 之 WBGT，大多呈現在黑旗比例範圍約 27.5-64.5%間，以 8 月 8 日之 64.5%所佔比例最高，且有 4 個觀測日黑旗統計佔 50%以上，相較其他旗幟，所占比例較低，再次驗證勞工在戶外作業受熱暴險影響著實不容忽視。

表 18 則為勞工受測者熱暴險穿戴裝置換算所得之不分工作及休息時段 WBGT，表中陳述各 WBGT 平均值、標準差、最大及最小值、與有效資料統計資料。以熱暴險穿戴裝置換算之 WBGT 解析，不分工作及休息時段之最大值為 47.2°C，發生在 7 月 19 日的受測者 J，且大多受測者所量測到最高溫 WBGT 皆高於 40°C，此結果與 BL-500 感測裝置觀測結果雷同，而 WBGT 平均值範圍則介於 27.8(8 月 23 日受測者 J)至 37.0°C(7 月 19 日受測者 G)；值得注意的是，結果顯示 90%以上受測者平均 WBGT 高於 30°C，此與前述 BL-500 分析結果一致，皆意味著勞工在工作過程中受到熱危害的機率極高。

涵蓋工作與休息時段之受測者 WBGT 在各不同旗幟的百分比顯示於表 19，從熱暴險穿戴裝置觀測數據計算所得之 WBGT 於各不同旗幟的百分比可看出，所有受測者 WBGT 黑旗比例比 BL-500 感測裝置計算所得之 WBGT 還高，其工作加上休息時段 WBGT 在黑旗的百分比範圍為 11.9%(8 月 9 日受測者 D)至 94.7%之間(7 月 19 日受測者 G)，值得關注的是整體 51 位受測者中共有 3 位 WBGT 黑旗比例達 80%以上(7 月 19 日受測者 G、8 月 7 日受測者 E 及 8 月 8 日受測者 I)，由於熱暴險穿戴裝置為直接穿戴於勞工受測者身上，因此觀測數值所計算出之 WBGT 應較為客觀。

此外，同樣彙整 10 個觀測日，將勞工受測者熱暴險穿戴裝置換算 WBGT 佔各不同顏色旗幟的百分比統整於表 20，結果呈現 10 個觀測日每日黑旗所佔比例介於 14.0-75.5%，其中 7 月 19 日黑旗比例最高(75.5%)，10 個工作日中有 5 個工作日黑旗所佔比例達 50%以上，與 BL-500 之 WBGT 彙整相較有更高的黑旗比例，然而其他旗幟佔比仍舊較低。

值得一提的是，本研究場址之勞工受測者，涵蓋輕、中、重 3 種不同工作屬性，經由資料分析上可看出，WBGT 在各不同旗幟的百分比分佈範圍，皆多處



於黑旗，由此可知勞工於戶外工地工作所受到的熱危害不容輕忽。

表 15 勞工受測者 BL-500 裝置不分工作及休息時段換算所得 WBGT 統計

受測者 編號	場址 代號	代號	受測 日期	WBGT(攝氏°C)				資料有 效筆數	有效資料 (小時數)	
				平均數	標準差	最大值	最小值			
1	6	A	7月18日	30.4	3.5	40.5	22.4	180	3.0	
2	6	B	7月18日	BL-500 裝置無法順利紀錄、儲存及傳輸資料						
3	6	C	7月18日	32.9	2.9	41.4	28.4	149	2.5	
4	6	D	7月18日	31.2	3.4	41.2	27.5	208	3.5	
5	6	E	7月18日	BL-500 裝置無法順利紀錄、儲存及傳輸資料						
6	6	F	7月19日	32.2	3.7	43.7	27.4	343	5.7	
7	6	G	7月19日	33.2	2.9	42.2	28.7	276	4.6	
8	6	H	7月19日	32.2	4.4	43	27.3	289	4.8	
9	6	I	7月19日	33.1	3.4	43.4	28.3	249	4.2	
10	6	J	7月19日	33.8	3.8	44.9	28.6	274	4.6	
11	7	A	8月8日	受測者沒有接受補測						
12	7	B	8月7日	受測者位於地下室，BL-500 裝置無法順利紀錄、儲存及傳輸資料						
13	7	C	8月7日	29.1	1.6	32.9	26.2	443	7.4	
14	7	D	8月8日	34.0	3.7	43.3	28.7	125	2.1	
15	7	E	8月7日	35.8	4.3	43.7	26.7	182	3.0	
16	7	F	8月7日	34.8	4.5	43.7	27.5	274	4.6	
17	7	G	8月8日	33.8	4.2	41.8	26.8	336	5.6	
18	7	H	8月8日	35.2	4.0	41.5	28.3	160	2.7	
19	7	I	8月8日	35.4	4.8	41.7	27.9	325	5.4	
20	7	J	8月7日	35.2	4.1	43.9	27.3	317	5.3	
21	7	K	8月8日	33.7	4.0	43.4	27.4	210	3.5	
22	8	A	8月9日	31.7	2.4	36.5	28.7	123	2.1	

受測者 編號	場址 代號	代號	受測 日期	WBGT(攝氏°C)			資料有 效筆數	有效資料 (小時數)	
				平均數	標準差	最大值			最小值
23	8	B	8月9日	BL-500 裝置無法順利紀錄、儲存及傳輸資料					
24	8	C	8月9日	31.5	3.4	40.2	26.9	232	3.9
25	8	D	8月9日	30.6	2.9	41.5	27.6	289	4.8
26	8	E	8月9日	31.2	3.0	40.9	27.8	253	4.2
27	8	F	8月10日	33.0	3.7	43.0	28.2	413	6.9
28	8	G	8月10日	34.1	3.5	43.0	28.3	280	4.7
29	8	H	8月10日	33.0	3.2	40.6	27.9	198	3.3
30	8	I	8月10日	受測者身體不適，於休息區休息，該時段無觀測資料					
31	8	J	8月10日	33.3	3.7	41.6	28.5	361	6.0
32	9	A	8月22日	32.5	3.7	43.6	28.2	320	5.3
33	9	B	8月22日	33.3	4.2	43.7	28.8	239	4.0
34*	9	C	8月22日	33.5	1.0	34.1	30.6	11	0.2*
35	9	D	8月22日	31.6	3.6	42.2	26.9	341	5.7
36	9	E	8月22日	32.4	4.6	43.7	20.1	210	3.5
37	9	F	8月23日	31.0	3.3	41.3	27.5	259	4.3
38	9	G	8月23日	35.0	4.2	42.3	29.2	114	1.9
39	9	H	8月23日	32.6	3.7	43.3	25.7	209	3.5
40	9	I	8月23日	31.8	3.4	41.7	28.4	159	2.7
41	9	J	8月23日	29.7	5.7	42.2	18.9	180	3.0
42	10	A	9月3日	32.4	3.5	40.8	27.8	333	5.6
43	10	B	9月3日	32.3	4.8	39.8	23.1	300	5.0
44*	10	C	9月3日	34.7	0.1	34.8	34.6	3	0.1*
45	10	D	9月3日	31.0	3.6	41.2	24.5	359	6.0

受測者 編號	場址 代號	代號	受測 日期	WBGT(攝氏°C)				資料有 效筆數	有效資料 (小時數)
				平均數	標準差	最大值	最小值		
46	10	E	9月3日	32.6	3.7	42.1	28.2	371	6.2
47	10	F	9月4日	33.0	4.2	42.2	23.2	217	3.6
48	10	G	9月4日	35.1	4.7	42.4	27.9	307	5.1
49	10	H	9月4日	32.5	3.9	41.6	26	335	5.6
50	10	I	9月4日	31.8	4.2	41.8	22.5	369	6.2
51	10	J	9月4日	34.4	4.1	42.9	26.1	355	5.9

註: 1. 受測者 6-B、6-E、7-B 及 8-B 受測者因資料傳輸異常無觀測數據；受測者 7-A 未接受補測無觀測數據；受測者 8-I 身體不適該時段無觀測數據

2. \*表示 BL-500 裝置之配戴勞工工作加休息時間之有效數據未達 90 分鐘者

表 16 勞工受測者 BL-500 裝置換算 WBGT 各旗幟之百分比(a)不分工作及休息時段(b)工作時段、及(c)休息時段

(a)不分工作及休息時段

受測者 編號	場址 代號	代 號	受測 日期	黑旗		紅旗		黃旗		綠旗		白旗		總計 個數
				個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	
1	6	A	7月18日	37	20.6	27	15.0	44	24.4	57	31.7	15	8.3	180
2	6	B	7月18日	BL-500 裝置無法順利紀錄、儲存及傳輸資料										
3	6	C	7月18日	83	55.7	32	21.5	18	12.1	16	10.7	0	0.0	149
4	6	D	7月18日	70	33.7	22	10.6	17	8.2	99	47.6	0	0.0	208
5	6	E	7月18日	BL-500 裝置無法順利紀錄、儲存及傳輸資料										
6	6	F	7月19日	158	46.1	32	9.3	79	23.0	74	21.6	0	0.0	343
7	6	G	7月19日	169	61.2	32	11.6	29	10.5	46	16.7	0	0.0	276
8	6	H	7月19日	127	43.9	14	4.8	64	22.1	84	29.1	0	0.0	289
9	6	I	7月19日	129	51.8	45	18.1	60	24.1	15	6.0	0	0.0	249
10	6	J	7月19日	167	60.9	33	12.0	56	20.4	18	6.6	0	0.0	274
11	7	A	8月8日	受測者沒有接受補測										
12	7	B	8月7日	受測者位於地下室，BL-500 裝置無法順利紀錄、儲存及傳輸資料										
13	7	C	8月7日	2	0.5	30	6.8	200	45.1	139	31.4	72	16.3	443
14	7	D	8月8日	79	63.2	18	14.4	18	14.4	10	8.0	0	0.0	125
15	7	E	8月7日	136	74.7	26	14.3	13	7.1	6	3.3	0	0.0	182
16	7	F	8月7日	161	58.8	34	12.4	61	22.3	18	6.6	0	0.0	274
17	7	G	8月8日	218	64.9	18	5.4	25	7.4	75	22.3	0	0.0	336
18	7	H	8月8日	115	71.9	8	5.0	27	16.9	10	6.3	0	0.0	160
19	7	I	8月8日	214	65.8	20	6.2	28	8.6	63	19.4	0	0.0	325

受測者 編號	場址 代號	代 號	受測 日期	黑旗		紅旗		黃旗		綠旗		白旗		總計 個數
				個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	
20	7	J	8月7日	233	73.5	26	8.2	49	15.5	9	2.8	0	0.0	317
21	7	K	8月8日	120	57.1	28	13.3	33	15.7	29	13.8	0	0.0	210
22	8	A	8月9日	50	40.7	10	8.1	51	41.5	12	9.8	0	0.0	123
23	8	B	8月9日	穿戴式裝置無法順利紀錄、儲存及傳輸資料										
24	8	C	8月9日	80	34.5	18	77.6	49	21.1	85	36.6	0	0.0	232
25	8	D	8月9日	46	15.9	18	62.3	117	40.5	108	37.4	0	0.0	289
26	8	E	8月9日	71	28.1	26	10.3	73	28.9	83	32.8	0	0.0	253
27	8	F	8月10日	206	49.9	26	6.3	116	28.1	65	15.7	0	0.0	413
28	8	G	8月10日	179	63.9	31	11.1	56	20.0	14	5.0	0	0.0	280
29	8	H	8月10日	96	48.5	25	12.6	59	29.8	18	9.1	0	0.0	198
30	8	I	8月10日	受測者身體不適，於休息區休息，該時段無觀測資料										
31	8	J	8月10日	186	51.5	30	8.3	93	25.8	52	14.4	0	0.0	361
32	9	A	8月22日	131	40.9	34	10.6	104	32.5	51	15.9	0	0.0	320
33	9	B	8月22日	107	44.8	23	9.6	88	36.8	21	8.8	0	0.0	239
34*	9	C	8月22日	10	90.9	0	0.0	1	9.1	0	0.0	0	0.0	11*
35	9	D	8月22日	105	30.8	24	7.0	110	32.3	102	29.9	0	0.0	341
36	9	E	8月22日	102	48.6	5	2.4	29	13.8	69	32.9	5	2.4	210
37	9	F	8月23日	70	27.0	24	9.3	62	23.9	103	39.8	0	0.0	259
38	9	G	8月23日	75	65.8	15	13.2	23	20.2	1	0.9	0	0.0	114
39	9	H	8月23日	83	39.7	30	14.4	70	33.5	24	11.5	2	1.0	209
40	9	I	8月23日	53	33.3	18	11.3	49	30.8	39	24.5	0	0.0	159
41	9	J	8月23日	48	26.7	25	13.9	32	17.8	35	19.4	40	22.2	180

受測者 編號	場址 代號	代 號	受測 日期	黑旗		紅旗		黃旗		綠旗		白旗		總計 個數
				個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	
42	10	A	9月3日	133	39.9	42	12.6	84	25.2	74	22.2	0	0.0	333
43	10	B	9月3日	163	54.3	19	6.3	30	10.0	34	11.3	54	18.0	300
44*	10	C	9月3日	3	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	3*
45	10	D	9月3日	99	27.6	53	14.8	105	29.2	56	15.6	45	12.5	359
46	10	E	9月3日	146	39.4	43	11.6	134	36.1	48	12.9	0	0.0	371
47	10	F	9月4日	109	50.2	9	4.1	57	26.3	33	15.2	9	4.1	217
48	10	G	9月4日	216	70.4	7	2.3	12	3.9	72	23.5	0	0.0	307
49	10	H	9月4日	187	55.8	31	9.3	57	17.0	22	6.6	37	11.0	335
50	10	I	9月4日	177	48.0	44	11.9	90	24.4	4	1.1	54	14.6	369
51	10	J	9月4日	225	63.4	16	4.5	91	25.6	21	5.9	2	0.6	355

\*表示 BL-500 裝置之配戴勞工工作加休息時間之有效數據未達 90 分鐘者

(b)工作時段

受測者 編號	場址 代號	代 號	受測 日期	黑旗		紅旗		黃旗		綠旗		白旗		總計 個數
				個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	
1	6	A	7月18日	37	43.0	27	31.4	22	25.6	0	0.0	0	0.0	86
2	6	B	7月18日	BL-500 裝置無法順利紀錄、儲存及傳輸資料										
3	6	C	7月18日	83	55.7	32	21.5	18	12.1	16	10.7	0	0.0	149
4	6	D	7月18日	70	72.2	22	22.7	5	5.2	0	0.0	0	0.0	97
5	6	E	7月18日	BL-500 裝置無法順利紀錄、儲存及傳輸資料										
6	6	F	7月19日	158	64.5	30	12.2	48	19.6	9	3.7	0	0.0	245
7	6	G	7月19日	169	69.5	32	13.2	29	11.9	13	5.3	0	0.0	243
8	6	H	7月19日	127	65.1	14	7.2	33	16.9	21	10.8	0	0.0	195

受測者編號	場址代號	代號	受測日期	黑旗		紅旗		黃旗		綠旗		白旗		總計個數
				個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	
9	6	I	7月19日	129	60.0	28	13.0	43	20.0	15	7.0	0	0.0	215
10	6	J	7月19日	167	66.8	33	13.2	34	13.6	16	6.4	0	0.0	250
11	7	A	8月8日	受測者沒有接受補測										
12	7	B	8月7日	受測者位於地下室，BL-500 裝置無法順利紀錄、儲存及傳輸資料										
13	7	C	8月7日	2	0.5	30	8.1	200	53.9	139	37.5	0	0.0	371
14	7	D	8月8日	79	63.2	18	14.4	18	14.4	10	8.0	0	0.0	125
15	7	E	8月7日	136	74.7	26	14.3	13	7.1	6	3.3	0	0.0	182
16	7	F	8月7日	161	59.2	33	12.1	60	22.1	18	6.6	0	0.0	272
17	7	G	8月8日	218	76.0	18	6.3	25	8.7	26	9.1	0	0.0	287
18	7	H	8月8日	115	75.7	8	5.3	27	17.8	2	1.3	0	0.0	152
19	7	I	8月8日	214	80.8	20	7.5	28	10.6	3	1.1	0	0.0	265
20	7	J	8月7日	233	78.2	26	8.7	34	11.4	5	1.7	0	0.0	298
21	7	K	8月8日	120	57.1	28	13.3	33	15.7	29	13.8	0	0.0	210
22	8	A	8月9日	50	40.7	10	8.1	51	41.5	12	9.8	0	0.0	123
23	8	B	8月9日	穿戴式裝置無法順利紀錄、儲存及傳輸資料										
24	8	C	8月9日	80	38.3	18	8.6	40	21.0	67	32.1	0	0.0	209
25	8	D	8月9日	46	23.6	18	9.2	80	4.1	51	26.2	0	0.0	195
26	8	E	8月9日	71	41.5	22	12.9	42	24.6	36	21.1	0	0.0	171
27	8	F	8月10日	206	66.7	26	8.4	60	19.4	17	5.5	0	0.0	309
28	8	G	8月10日	179	66.1	31	11.4	47	17.3	14	5.2	0	0.0	271
29	8	H	8月10日	96	48.5	25	12.6	59	29.8	18	9.1	0	0.0	198
30	8	I	8月10日	受測者身體不適，於休息區休息，該時段無觀測資料										



受測者 編號	場址 代號	代 號	受測 日期	黑旗		紅旗		黃旗		綠旗		白旗		總計 個數
				個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	
31	8	J	8月10日	186	69.1	30	11.2	48	17.8	5	1.9	0	0.0	269
32	9	A	8月22日	131	53.5	33	13.5	61	24.9	20	8.2	0	0.0	245
33	9	B	8月22日	107	55.7	23	12.0	48	25.0	14	7.3	0	0.0	192
34*	9	C	8月22日	10	90.9	0	0.0	1	9.1	0	0.0	0	0.0	11*
35	9	D	8月22日	105	38.7	24	8.9	81	29.9	61	22.5	0	0.0	271
36	9	E	8月22日	102	49.3	5	2.4	26	12.6	69	33.3	5	2.4	207
37	9	F	8月23日	70	37.6	24	12.9	56	30.1	36	19.4	0	0.0	186
38	9	G	8月23日	75	65.8	15	13.2	23	20.2	1	0.9	0	0.0	114
39	9	H	8月23日	83	47.4	30	17.1	54	30.9	7	4.0	1	0.6	175
40	9	I	8月23日	53	38.4	18	13.0	39	28.3	28	20.3	0	0.0	138
41	9	J	8月23日	48	32.2	25	16.8	32	21.5	28	18.8	16	10.7	149
42	10	A	9月3日	133	56.1	42	17.7	49	20.7	13	5.5	0	0.0	237
43	10	B	9月3日	163	79.1	19	9.2	14	6.8	10	4.9	0	0.0	206
44*	10	C	9月3日	3	100.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	3*
45	10	D	9月3日	99	36.9	53	19.8	95	35.4	21	7.8	0	0.0	268
46	10	E	9月3日	146	51.6	43	15.2	77	27.2	17	6.0	0	0.0	283
47	10	F	9月4日	109	83.2	9	6.9	12	9.2	1	0.8	0	0.0	131
48	10	G	9月4日	216	96.9	7	3.1	0	0.0	0	0.0	0	0.0	223
49	10	H	9月4日	187	77.3	27	11.2	27	11.2	0	0.0	1	0.4	242
50	10	I	9月4日	177	64.8	44	16.1	52	19.0	0	0.0	0	0.0	273
51	10	J	9月4日	225	87.5	11	4.3	21	8.2	0	0.0	0	0.0	257

\*表示BL-500裝置之配戴勞工工作加休息時間之有效數據未達90分鐘者

## (C) 休息時段

受測者 編號	場址 代號	受測 日期	黑旗		紅旗		黃旗		綠旗		白旗		總計 個數
			個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	
1	6	7月18日	0	0.0	0	0.0	22	23.4	57	60.6	15	16.0	94
2	6	7月18日	BL-500 裝置無法順利紀錄、儲存及傳輸資料										
3	6	7月18日	休息時段無數據，故不分時段等於工作時段										
4	6	7月18日	0	0.0	0	0.0	12	10.8	99	89.2	0	0.0	111
5	6	7月18日	BL-500 裝置無法順利紀錄、儲存及傳輸資料										
6	6	7月19日	0	0.0	2	2.0	31	31.6	65	66.3	0	0.0	98
7	6	7月19日	0	0.0	0	0.0	0	0.0	33	100.0	0	0.0	33
8	6	7月19日	0	0.0	0	0.0	31	33.0	63	67.0	0	0.0	94
9	6	7月19日	0	0.0	17	50.0	17	50.0	0	0.0	0	0.0	34
10	6	7月19日	0	0.0	0	0.0	22	91.7	2	8.3	0	0.0	24
11	7	8月8日	受測者沒有接受補測										
12	7	8月7日	受測者位於地下室，BL-500 裝置無法順利紀錄、儲存及傳輸資料										
13	7	8月7日	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	72	100.0	72
14	7	8月8日	休息時段無數據，故不分時段等於工作時段										
15	7	8月7日	受測者提早下班，無休息時段資料										
16	7	8月7日	0	0.0	1	50.0	1	50.0	0	0.0	0	0.0	2
17	7	8月8日	0	0.0	0	0.0	0	0.0	49	100.0	0	0.0	49
18	7	8月8日	0	0.0	0	0.0	0	0.0	8	100.0	0	0.0	8
19	7	8月8日	0	0.0	0	0.0	0	0.0	60	100.0	0	0.0	60
20	7	8月7日	0	0.0	0	0.0	15	78.9	4	21.1	0	0.0	19
21	7	8月8日	休息時段無數據，故不分時段等於工作時段										
22	8	8月9日	休息時段無數據，故不分時段等於工作時段										

受測者編號	場址代號	代號	受測日期	黑旗		紅旗		黃旗		綠旗		白旗		總計個數	
				個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	個數	%		
23	8	B	8月9日	休息時段無數據，故不分時段等於工作時段											
24	8	C	8月9日	0	0.0	0	0.0	5	21.7	18	78.3	0	0.0	23	
25	8	D	8月9日	0	0.0	0	0.0	37	39.4	57	60.6	0	0.0	94	
26	8	E	8月9日	0	0.0	4	4.9	31	37.8	47	57.3	0	0.0	82	
27	8	F	8月10日	0	0.0	0	0.0	56	53.8	48	46.2	0	0.0	104	
28	8	G	8月10日	0	0.0	0	0.0	9	100.0	0	0.0	0	0.0	9	
29	8	H	8月10日	休息時段無數據，故不分時段等於工作時段											
30	8	I	8月10日	受測者身體不適於休息區休息											
31	8	J	8月10日	0	0.0	0	0.0	45	48.9	47	51.1	0	0.0	92	
32	9	A	8月22日	0	0.0	1	1.3	43	57.3	31	41.3	0	0.0	75	
33	9	B	8月22日	0	0.0	0	0.0	40	85.1	7	14.9	0	0.0	47	
34*	9	C	8月22日	休息時段無數據，故不分時段等於工作時段											
35	9	D	8月22日	0	0.0	0	0.0	29	41.4	41	58.6	0	0.0	70	
36	9	E	8月22日	0	0.0	0	0.0	3	100.0	0	0.0	0	0.0	3	
37	9	F	8月23日	0	0.0	0	0.0	6	8.2	67	91.8	0	0.0	73	
38	9	G	8月23日	休息時段無數據，故不分時段等於工作時段											
39	9	H	8月23日	0	0.0	0	0.0	16	47.1	17	50.0	1	2.9	34	
40	9	I	8月23日	0	0.0	0	0.0	10	47.6	11	52.4	0	0.0	21	
41	9	J	8月23日	0	0.0	0	0.0	0	0.0	7	22.6	24	77.4	31	
42	10	A	9月3日	0	0.0	0	0.0	35	36.5	61	63.5	0	0.0	96	
43	10	B	9月3日	0	0.0	0	0.0	16	17.0	24	25.5	54	57.4	94	
44*	10	C	9月3日	休息時段無數據，故不分時段等於工作時段											

受測者 編號	場址 代號	代 號	受測 日期	黑旗		紅旗		黃旗		綠旗		白旗		總計 個數
				個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	
45	10	D	9月3日	0	0.0	0	0.0	10	11.0	35	38.5	45	59.5	91
46	10	E	9月3日	0	0.0	0	0.0	57	64.8	31	35.2	0	0.0	88
47	10	F	9月4日	0	0.0	0	0.0	45	52.3	32	37.2	9	10.5	86
48	10	G	9月4日	0	0.0	0	0.0	12	14.3	72	0.0	0	0.0	84
49	10	H	9月4日	0	0.0	4	4.3	30	32.3	22	0.0	36	38.7	93
50	10	I	9月4日	0	0.0	0	0.0	38	39.6	4	0.0	54	56.3	96
51	10	J	9月4日	0	0.0	5	5.1	70	71.4	21	0.0	2	2.0	98

表 17 勞工受測者 BL-500 裝置換算 WBGT 佔各不同顏色旗幟的百分比

場址 代號	觀測 日期	黑旗		紅旗		黃旗		綠旗		白旗		總計 個數
		個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	
6	7月18日	190	35.4	81	15.1	79	14.7	172	32.0	15	2.8	537
	7月19日	750	52.4	156	10.9	288	20.1	237	16.6	0	0	1431
7	8月7日	532	43.8	116	9.5	323	26.6	172	14.1	72	5.9	1216
	8月8日	746	64.5	92	8.0	131	11.3	187	16.2	0	0	1156
8	8月9日	247	27.5	72	8.0	290	32.3	288	32.1	0	0	897
	8月10日	667	53.3	112	8.9	324	25.9	149	11.9	0	0	1252
9	8月22日	455	40.6	86	7.7	332	29.6	243	21.7	5	0.4	1121
	8月23日	329	35.7	112	12.2	236	25.6	202	21.9	42	4.6	921
10	9月3日	544	39.8	157	11.5	353	25.8	212	15.5	99	7.2	1366
	9月4日	914	57.7	107	6.8	307	19.4	152	9.6	102	6.4	1583

表 18 勞工受測者熱暴險穿戴裝置不分工作及休息時段換算所得 WBGT 統計

受測者 編號	場址 代號	代號	受測 日期	WBGT(攝氏 °C)				資料有 效筆數	有效資料 (小時數)
				平均數	標準差	最大值	最小值		
1	6	A	7月18日	34.5	3.0	41.9	29.1	222	3.7
2	6	B	7月18日	32.9	4.1	42.3	26.5	320	5.3
3	6	C	7月18日	34.1	3.4	41.9	27	154	2.6
4	6	D	7月18日	32.0	2.9	38.5	27	216	3.6
5	6	E	7月18日	34.2	3.2	41.6	28.8	284	4.7
6	6	F	7月19日	34.4	3.0	42.2	28.9	219	3.7
7	6	G	7月19日	37.0	3.6	46	30.2	431	7.2

受測者 編號	場址 代號	代號	受測 日期	WBGT(攝氏 °C)				資料有 效筆數	有效資料 (小時數)
				平均數	標準差	最大值	最小值		
8	6	H	7月19日	34.3	4.5	45	28.3	437	7.3
9	6	I	7月19日	36.3	4.3	46.5	29	364	6.1
10	6	J	7月19日	35.2	4.5	45.9	29.2	427	7.1
11	7	A	8月8日	33.8	3.7	41	28.3	331	5.5
12	7	B	8月7日	34.1	3.6	41.9	27.5	379	6.3
13	7	C	8月7日	32.8	4.0	41.3	26.4	497	8.3
14	7	D	8月8日	33.6	3.2	40.9	29.1	226	3.8
15	7	E	8月7日	36.1	3.1	42.3	30.3	257	4.3
16	7	F	8月7日	34.5	3.2	41.9	27.9	342	5.7
17	7	G	8月8日	32.8	3.6	41.5	26	492	8.2
18	7	H	8月8日	33.0	3.8	42	27.7	448	7.5
19	7	I	8月8日	34.0	3.3	41.4	27.6	452	7.5
20	7	J	8月7日	33.3	3.7	42.4	27.5	479	8.0
21	7	K	8月8日	33.3	3.7	42.5	27	287	4.8
22	8	A	8月9日	30.2	2.0	39.2	28.2	278	4.6
23	8	B	8月9日	29.9	2.0	39.4	25.9	475	7.9
24	8	C	8月9日	29.8	1.9	38.9	27.8	492	8.2
25	8	D	8月9日	29.7	2.0	39.6	27.3	480	8.0
26	8	E	8月9日	29.7	1.9	37	24.1	403	6.7
27	8	F	8月10日	31.4	3.0	41.3	24.3	448	7.5
28	8	G	8月10日	30.4	4.4	40.7	21.3	470	7.8
29	8	H	8月10日	31.9	3.1	40.9	27.5	476	7.9
30	8	I	8月10日	32.0	3.2	41.5	27.5	419	7.0

受測者 編號	場址 代號	代號	受測 日期	WBGT(攝氏 °C)				資料有 效筆數	有效資料 (小時數)
				平均數	標準差	最大值	最小值		
31	8	J	8月10日	31.7	3.2	42.2	27.2	458	7.6
32	9	A	8月22日	31.7	3.6	42	27.6	511	8.5
33	9	B	8月22日	32.0	3.9	42.2	27.2	443	7.4
34*	9	C	8月22日	32.2	3.8	42.9	23.2	493	8.2
35	9	D	8月22日	32.2	3.8	42.3	27.9	500	8.3
36	9	E	8月22日	29.5	5.8	42.7	20	442	7.4
37	9	F	8月23日	30.4	2.3	40.5	27.5	431	7.2
38	9	G	8月23日	30.7	2.4	40.8	27.3	433	7.2
39	9	H	8月23日	31.4	2.4	41.1	27.4	415	6.9
40	9	I	8月23日	31.3	2.5	41.4	28.1	413	6.9
41	9	J	8月23日	27.8	4.5	40.5	18.6	394	6.6
42	10	A	9月3日	31.8	3.0	41.7	27.3	418	7.0
43	10	B	9月3日	30.5	3.9	40	22.2	483	8.1
44*	10	C	9月3日	30.6	3.1	39.1	26.4	421	7.0
45	10	D	9月3日	30.8	3.7	40.8	23.5	453	7.6
46	10	E	9月3日	31.8	3.0	41.1	26.9	478	8.0
47	10	F	9月4日	31.4	3.2	40.1	21.9	457	7.6
48	10	G	9月4日	31.7	3.3	40.6	26.2	475	7.9
49	10	H	9月4日	31.7	3.6	40.6	22.8	482	8.0
50	10	I	9月4日	31.4	4.3	40.2	22.3	424	7.1
51	10	J	9月4日	32.1	2.8	40.3	26.6	465	7.8

表 19 勞工受測者熱暴險穿戴裝置換算 WBGT 各旗幟之百分比(a)不分工作及休息時段(b)工作時段、及(c)休息時段

(a)不分工作及休息時段

受測者 編號	場址 代號	代 號	受測 日期	黑旗		紅旗		黃旗		綠旗		白旗		總計 個數
				個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	
1	6	A	7月18日	170	76.6	19	8.6	26	11.7	7	3.2	0	0.0	222
2	6	B	7月18日	195	60.9	13	4.1	22	6.9	66	20.6	12	3.8	320
3	6	C	7月18日	108	70.1	20	13.0	17	11.0	9	5.8	0	0.0	154
4	6	D	7月18日	103	47.7	37	17.1	33	15.3	43	19.9	0	0.0	216
5	6	E	7月18日	208	73.2	21	7.4	43	15.1	12	4.2	0	0.0	284
6	6	F	7月19日	160	73.1	35	16.0	22	10.0	2	0.9	0	0.0	219
7	6	G	7月19日	408	94.7	18	4.2	5	1.2	0	0.0	0	0.0	431
8	6	H	7月19日	263	60.2	26	5.9	72	16.5	76	17.4	0	0.0	437
9	6	I	7月19日	287	78.8	31	8.5	42	11.5	4	1.1	0	0.0	364
10	6	J	7月19日	299	70.0	21	4.9	52	12.2	55	12.9	0	0.0	427
11	7	A	8月8日	189	57.1	39	11.8	72	21.8	31	9.4	0	0.0	331
12	7	B	8月7日	261	68.9	52	13.7	36	9.5	30	7.9	0	0.0	379
13	7	C	8月7日	264	53.1	53	10.7	70	14.1	104	20.9	5	1.0	497
14	7	D	8月8日	135	59.7	42	18.6	44	19.5	5	2.2	0	0.0	226
15	7	E	8月7日	233	90.7	19	7.4	5	1.9	0	0.0	0	0.0	257
16	7	F	8月7日	247	72.2	64	18.7	27	7.9	4	1.2	0	0.0	342
17	7	G	8月8日	259	52.6	58	11.8	81	16.5	92	18.7	2	0.4	492
18	7	H	8月8日	240	53.6	49	10.9	57	12.7	102	22.8	0	0.0	448
19	7	I	8月8日	362	80.1	27	6.0	2	0.4	61	13.5	0	0.0	452



受測者 編號	場址 代號	代 號	受測 日期	黑旗		紅旗		黃旗		綠旗		白旗		總計 個數
				個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	
20	7	J	8月7日	284	59.3	49	10.2	58	12.1	88	18.4	0	0.0	479
21	7	K	8月8日	146	50.9	65	22.6	42	14.6	34	11.8	0	0.0	287
22	8	A	8月9日	54	19.4	11	4.0	82	29.5	131	47.1	0	0.0	278
23	8	B	8月9日	68	14.3	21	4.4	118	24.8	267	56.2	1	0.2	475
24	8	C	8月9日	66	13.4	25	5.1	121	24.6	280	56.9	0	0.0	492
25	8	D	8月9日	57	11.9	31	6.5	102	21.3	290	60.4	0	0.0	480
26	8	E	8月9日	52	12.9	29	7.2	108	26.8	212	52.6	2	0.5	403
27	8	F	8月10日	143	31.9	70	15.6	80	17.9	154	34.4	1	0.2	448
28	8	G	8月10日	156	33.2	61	13.0	100	21.3	56	11.9	96	20.4	470
29	8	H	8月10日	185	38.9	82	17.2	108	22.7	101	21.2	0	0.0	476
30	8	I	8月10日	179	42.7	44	10.5	85	20.3	111	26.5	0	0.0	419
31	8	J	8月10日	170	37.1	69	15.1	88	19.2	131	28.6	0	0.0	458
32	9	A	8月22日	169	33.1	49	9.6	109	21.3	184	36.0	0	0.0	511
33	9	B	8月22日	154	34.8	36	8.1	116	26.2	137	30.9	0	0.0	443
34*	9	C	8月22日	198	40.2	36	7.3	137	27.8	119	24.1	3	0.6	493
35	9	D	8月22日	185	37.0	48	9.6	139	27.8	128	25.6	0	0.0	500
36	9	E	8月22日	123	27.8	33	7.5	55	12.4	93	21.0	135	30.5	442
37	9	F	8月23日	106	24.6	30	7.0	123	28.5	172	39.9	0	0.0	431
38	9	G	8月23日	119	27.5	42	9.7	112	25.9	160	37.0	0	0.0	433
39	9	H	8月23日	136	32.8	49	11.8	142	34.2	88	21.2	0	0.0	415
40	9	I	8月23日	134	32.4	55	13.3	115	27.8	109	26.4	0	0.0	413
41	9	J	8月23日	64	16.2	30	7.6	89	22.6	68	17.3	135	34.3	394

受測者 編號	場址 代號	代 號	受測 日期	黑旗		紅旗		黃旗		綠旗		白旗		總計 個數
				個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	
42	10	A	9月3日	197	47.1	58	13.9	67	16.0	96	23.0	0	0.0	418
43	10	B	9月3日	152	31.5	87	18.0	105	21.7	59	12.2	76	15.7	483
44*	10	C	9月3日	105	24.9	72	17.1	107	25.4	105	24.9	22	5.2	421
45	10	D	9月3日	152	33.6	88	19.4	91	20.1	47	10.4	74	16.3	453
46	10	E	9月3日	208	43.5	86	18.0	64	13.4	120	25.1	0	0.0	478
47	10	F	9月4日	183	40.0	54	11.8	96	21.0	110	24.1	14	3.1	457
48	10	G	9月4日	240	50.5	48	10.1	66	13.9	80	16.8	36	7.6	475
49	10	H	9月4日	261	54.1	51	10.6	65	13.5	55	11.4	47	9.8	482
50	10	I	9月4日	238	56.1	53	12.5	13	3.1	49	11.6	70	16.5	424
51	10	J	9月4日	239	51.4	64	13.8	55	11.8	106	22.8	1	0.2	465

(b)工作時段

受測者 編號	場址 代號	代 號	受測 日期	黑旗		紅旗		黃旗		綠旗		白旗		總計 個數
				個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	
1	6	A	7月18日	170	78.0	19	8.7	24	11.0	5	2.3	0	0.0	218
2	6	B	7月18日	195	84.4	13	5.6	20	8.7	3	1.3	0	0.0	231
3	6	C	7月18日	108	70.1	20	13.0	17	11.0	9	5.8	0	0.0	154
4	6	D	7月18日	103	47.7	37	17.1	33	15.3	43	19.9	0	0.0	216
5	6	E	7月18日	208	73.2	21	7.4	43	15.1	12	4.2	0	0.0	284
6	6	F	7月19日	160	73.1	35	16.0	22	10.0	2	0.9	0	0.0	219
7	6	G	7月19日	295	93.4	16	5.1	5	1.6	0	0.0	0	0.0	316

受測者 編號	場址 代號	代 號	受測 日期	黑旗		紅旗		黃旗		綠旗		白旗		總計 個數
				個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	
8	6	H	7月19日	263	83.0	26	8.2	28	8.8	0	0.0	0	0.0	317
9	6	I	7月19日	285	91.1	21	6.7	6	1.9	1	0.3	0	0.0	313
10	6	J	7月19日	296	96.4	9	2.9	2	0.7	0	0.0	0	0.0	307
11	7	A	8月8日	189	57.1	39	11.8	72	21.8	31	9.4	0	0.0	331
12	7	B	8月7日	261	73.3	52	14.6	36	10.1	7	2.0	0	0.0	356
13	7	C	8月7日	264	64.9	53	13.0	70	17.2	20	4.9	0	0.0	407
14	7	D	8月8日	135	59.7	42	18.6	44	19.5	5	2.2	0	0.0	226
15	7	E	8月7日	233	90.7	19	7.4	5	1.9	0	0.0	0	0.0	257
16	7	F	8月7日	247	73.1	64	18.9	27	8.0	0	0.0	0	0.0	338
17	7	G	8月8日	259	60.1	58	13.5	67	15.5	45	10.4	2	0.5	431
18	7	H	8月8日	240	61.9	49	12.6	57	14.7	42	10.8	0	0.0	388
19	7	I	8月8日	362	92.3	27	6.9	2	0.5	1	0.3	0	0.0	392
20	7	J	8月7日	284	73.0	49	12.6	53	13.6	3	0.8	0	0.0	389
21	7	K	8月8日	146	50.9	65	22.6	42	14.6	34	11.8	0	0.0	287
22	8	A	8月9日	54	31.4	11	6.4	76	44.2	31	18.0	0	0.0	172
23	8	B	8月9日	68	19.2	21	5.9	117	33.0	148	41.7	1	0.3	355
24	8	C	8月9日	66	17.6	25	6.7	91	24.3	192	51.3	0	0.0	374
25	8	D	8月9日	57	15.5	31	8.4	95	25.9	184	50.1	0	0.0	367
26	8	E	8月9日	52	18.3	29	10.2	83	29.2	118	41.5	2	0.7	284
27	8	F	8月10日	143	43.5	70	21.3	75	22.8	40	12.2	1	0.3	329
28	8	G	8月10日	156	44.6	61	17.4	99	28.3	27	7.7	6	1.7	350
29	8	H	8月10日	185	47.8	82	21.2	104	26.9	16	4.1	0	0.0	387

受測者 編號	場址 代號	代 號	受測 日期	黑旗		紅旗		黃旗		綠旗		白旗		總計 個數
				個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	
30	8	I	8月10日	179	59.7	44	14.7	70	23.3	7	2.3	0	0.0	300
31	8	J	8月10日	170	50.3	69	20.4	76	22.5	23	6.8	0	0.0	338
32	9	A	8月22日	169	40.1	49	11.6	107	25.4	96	22.8	0	0.0	421
33	9	B	8月22日	154	43.6	36	10.2	109	30.9	54	15.3	0	0.0	353
34*	9	C	8月22日	198	49.1	36	8.9	122	30.3	44	10.9	3	0.7	403
35	9	D	8月22日	185	45.1	48	11.7	121	29.5	56	13.7	0	0.0	410
36	9	E	8月22日	123	35.0	33	9.4	52	14.8	59	16.8	81	23.1	351
37	9	F	8月23日	106	31.1	30	8.8	123	36.1	82	24.0	0	0.0	341
38	9	G	8月23日	119	34.7	42	12.2	112	32.7	70	20.4	0	0.0	343
39	9	H	8月23日	136	41.8	49	15.1	131	40.3	9	2.8	0	0.0	325
40	9	I	8月23日	134	41.5	55	17.0	105	32.5	29	9.0	0	0.0	323
41	9	J	8月23日	64	21.1	30	9.9	89	29.3	43	14.1	73	24.0	304
42	10	A	9月3日	197	60.1	58	17.7	67	20.4	6	1.8	0	0.0	328
43	10	B	9月3日	152	41.8	87	23.9	105	28.8	20	5.5	0	0.0	364
44*	10	C	9月3日	105	34.9	72	23.9	107	35.5	17	5.6	0	0.0	301
45	10	D	9月3日	152	45.6	88	26.4	91	27.3	1	0.3	1	0.3	333
46	10	E	9月3日	208	58.1	86	24.0	64	17.9	0	0.0	0	0.0	358
47	10	F	9月4日	183	54.3	54	16.0	96	28.5	4	1.2	0	0.0	337
48	10	G	9月4日	240	67.6	48	13.5	66	18.6	1	0.3	0	0.0	355
49	10	H	9月4日	261	72.1	51	14.1	50	13.8	0	0.0	0	0.0	362
50	10	I	9月4日	238	78.3	53	17.4	13	4.3	0	0.0	0	0.0	304
51	10	J	9月4日	239	69.3	63	18.3	43	12.5	0	0.0	0	0.0	345

## (c) 休息時段

受測者編號	場址代號	代號	受測日期	黑旗		紅旗		黃旗		綠旗		白旗		總計個數
				個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	
1	6	A	7月18日	0	0.0	0	0.0	2	50.0	2	50.0	0	0.0	4
2	6	B	7月18日	0	0.0	0	0.0	2	2.2	63	70.8	12	13.5	89
3	6	C	7月18日	穿戴式裝置無法順利紀錄、儲存及傳輸資料										
4	6	D	7月18日	穿戴式裝置無法順利紀錄、儲存及傳輸資料										
5	6	E	7月18日	穿戴式裝置無法順利紀錄、儲存及傳輸資料										
6	6	F	7月19日	穿戴式裝置無法順利紀錄、儲存及傳輸資料										
7	6	G	7月19日	113	98.3	2	1.7	0	0.0	0	0.0	0	0.0	115
8	6	H	7月19日	0	0.0	0	0.0	44	36.7	76	63.3	0	0.0	120
9	6	I	7月19日	2	3.9	10	19.6	36	70.6	3	5.9	0	0.0	51
10	6	J	7月19日	3	2.5	12	0.1	50	41.7	55	45.8	0	0.0	120
11	7	A	8月8日	穿戴式裝置無法順利紀錄、儲存及傳輸資料										
12	7	B	8月7日	0	0.0	0	0.0	0	0.0	23	100.0	0	0.0	23
13	7	C	8月7日	0	0.0	0	0.0	0	0.0	84	93.3	5	5.6	90
14	7	D	8月8日	穿戴式裝置無法順利紀錄、儲存及傳輸資料										
15	7	E	8月7日	受測者提早下班										
16	7	F	8月7日	0	0.0	0	0.0	0	0.0	4	100.0	0	0.0	4
17	7	G	8月8日	0	0.0	0	0.0	14	23.0	47	77.0	0	0.0	61
18	7	H	8月8日	0	0.0	0	0.0	0	0.0	60	100.0	0	0.0	60
19	7	I	8月8日	0	0.0	0	0.0	0	0.0	60	100.0	0	0.0	60
20	7	J	8月7日	0	0.0	0	0.0	5	5.6	85	94.4	0	0.0	90

受測者 編號	場址 代號	代 號	受測 日期	黑旗		紅旗		黃旗		綠旗		白旗		總計 個數	
				個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	個數	%		
21	7	K	8月8日	穿戴式裝置無法順利紀錄、儲存及傳輸資料											
22	8	A	8月9日	0	0.0	0	0.0	6	5.7	100	94.3	0	0.0	106	
23	8	B	8月9日	0	0.0	0	0.0	1	0.8	119	99.2	0	0.0	120	
24	8	C	8月9日	0	0.0	0	0.0	30	25.4	88	74.6	0	0.0	118	
25	8	D	8月9日	0	0.0	0	0.0	7	6.2	106	93.8	0	0.0	113	
26	8	E	8月9日	0	0.0	0	0.0	25	21.0	94	79.0	0	0.0	119	
27	8	F	8月10日	0	0.0	0	0.0	5	4.2	114	95.8	0	0.0	119	
28	8	G	8月10日	0	0.0	0	0.0	1	0.8	29	24.2	90	75.0	120	
29	8	H	8月10日	0	0.0	0	0.0	4	4.5	85	95.5	0	0.0	89	
30	8	I	8月10日	0	0.0	0	0.0	15	12.6	104	87.4	0	0.0	119	
31	8	J	8月10日	0	0.0	0	0.0	12	10.0	108	90.0	0	0.0	120	
32	9	A	8月22日	0	0.0	0	0.0	2	2.2	88	97.8	0	0.0	90	
33	9	B	8月22日	0	0.0	0	0.0	7	7.8	83	92.2	0	0.0	90	
34*	9	C	8月22日	0	0.0	0	0.0	15	16.7	75	83.3	0	0.0	90	
35	9	D	8月22日	0	0.0	0	0.0	18	20.0	72	80.0	0	0.0	90	
36	9	E	8月22日	0	0.0	0	0.0	3	3.3	34	37.4	54	59.3	91	
37	9	F	8月23日	0	0.0	0	0.0	0	0.0	90	100.0	0	0.0	90	
38	9	G	8月23日	0	0.0	0	0.0	0	0.0	90	100.0	0	0.0	90	
39	9	H	8月23日	0	0.0	0	0.0	11	12.2	79	87.8	0	0.0	90	
40	9	I	8月23日	0	0.0	0	0.0	10	11.1	80	88.9	0	0.0	90	
41	9	J	8月23日	0	0.0	0	0.0	0	0.0	25	27.8	62	68.9	90	
42	10	A	9月3日	0	0.0	0	0.0	0	0.0	90	100.0	0	0.0	90	

受測者 編號	場址 代號	代 號	受測 日期	黑旗		紅旗		黃旗		綠旗		白旗		總計 個數
				個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	
43	10	B	9月3日	0	0.0	0	0.0	0	0.0	39	32.8	76	63.9	119
44*	10	C	9月3日	0	0.0	0	0.0	0	0.0	88	73.3	22	18.3	120
45	10	D	9月3日	0	0.0	0	0.0	0	0.0	46	38.3	73	60.8	120
46	10	E	9月3日	0	0.0	0	0.0	0	0.0	120	100.0	0	0.0	120
47	10	F	9月4日	0	0.0	0	0.0	0	0.0	106	88.3	14	11.7	120
48	10	G	9月4日	0	0.0	0	0.0	0	0.0	79	66.4	36	30.3	119
49	10	H	9月4日	0	0.0	0	0.0	15	12.5	55	45.8	47	39.2	120
50	10	I	9月4日	0	0.0	0	0.0	0	0.0	49	40.8	70	58.3	120
51	10	J	9月4日	0	0.0	1	0.8	12	10.0	106	88.3	1	0.8	120

表 20 勞工受測者熱暴險穿戴裝置換算 WBGT 佔不同顏色旗幟的百分比

場址 代號	觀測 日期	黑旗		紅旗		黃旗		綠旗		白旗		總計 個數
		個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	
6	7月18日	784	65.6	110	9.2	141	11.8	137	11.5	12	1.0	1196
	7月19日	1417	75.5	131	7.0	193	10.3	137	7.3	0	0.0	1878
7	8月7日	1289	66.0	237	12.1	196	10.0	226	11.6	5	0.3	1954
	8月8日	1331	59.5	280	12.5	298	13.3	325	14.5	2	0.1	2236
8	8月9日	297	14.0	117	5.5	531	25.0	1180	55.5	3	0.1	2128
	8月10日	833	36.7	326	14.4	461	20.3	553	24.4	97	4.3	2271
9	8月22日	829	34.7	202	8.5	556	23.3	661	27.7	138	5.8	2389
	8月23日	559	26.8	206	9.9	581	27.9	597	28.6	135	6.5	2086
10	9月3日	814	36.1	391	17.4	434	19.3	427	19.0	172	7.6	2253
	9月4日	1161	50.4	270	11.7	295	12.8	400	17.4	168	7.3	2303



### 第三節 戶外作業現場環境量測

#### 一、研究場址機動式環境大氣測站數據

本研究透過觀測場址實際架設機動式環境大氣測站，實際觀測勞工戶外作業環境的溫度、相對濕度、風速及太陽輻射等氣象資料，用以推衍環境大氣 WBGT，提供某些受到限制無法讓勞工配戴熱暴險穿戴裝置的工作場所，能參考用以代表勞工戶外熱危害暴露程度。下列氣象資料蒐集分析乃至環境大氣 WBGT 轉換，皆依圖 10 氣象觀測資料推衍環境大氣 WBGT 標準作業程序流程執行。

場址 6-10 共 5 個研究場址於觀測期間均設置機動式環境大氣測站，觀測得到有效解析度 1 分鐘的溫度、相對濕度、太陽輻射及風速的平均值、標準差、最大及最小值、與有效資料數皆彙整於表 21。觀測期間環境溫度最高值為 39.7°C 發生在 8 月 8 日，平均值範圍為 32.5 到 36.0°C；相對濕度平均值範圍為 50.6 到 66.5%，太陽輻射平均值範圍為 283-754 瓦特/平方公尺，風速平均值範圍從 0.3 到 1.0 公尺/秒。工作場址於戶外開放式空間平均風速皆處於 1.0 公尺/秒以下接近靜風狀態，此工作環境對於營建業勞工而言，高溫下的排汗或舒適度並無太大幫助。

綜整氣象觀測數據及當天本研究工作人員的天氣紀錄，所有觀測場址於觀測期間主要天氣型態列於表 22，皆為高溫晴朗無雲無風的天氣型態，僅 8 月 23 日天氣型態為多雲、軟風、午後雷陣雨，為台灣夏季常見的 3 種天氣型態之一，其餘觀測日天氣相近。

表 21 機動式環境大氣測站(a)大氣溫度及相對濕度，(b)太陽輻射及風速

(a)

場址代號	觀測日期	大氣溫度(T) 攝氏(°C)				相對濕度(Relative Humidity) RH (%)				有效資料數
		平均數	標準差	最大值	最小值	平均數	標準差	最大值	最小值	
6	7月18日	35.0	0.9	37.4	32.8	54.0	2.6	59.6	47.9	451
	7月19日	35.3	1.5	37.6	30.7	57.0	5.5	74.3	49.2	511
7	8月7日	35.1	3.0	38.6	27.8	57.3	8.5	78.4	46.5	581
	8月8日	36.0	2.3	39.7	30.6	53.5	6.2	69.4	44.4	527
8	8月9日	33.3	1.4	36.7	30.2	61.7	4.5	70.5	50.4	501
	8月10日	34.5	1.8	38.1	30.5	56.7	5.5	71.6	47.7	494
9	8月22日	33.9	1.4	36.7	30.9	61.4	6.4	74.5	53.4	514
	8月23日	32.5	0.6	34.3	31.1	66.5	2.2	75.0	60.6	457
10	9月3日	35.2	1.6	37.9	31.3	50.6	4.2	61.3	43.1	451
	9月4日	35.8	1.5	38.4	32.2	54.2	5.3	66.8	45.0	481

(b)

場址代號	觀測日期	太陽輻射(Solar Radiation) 瓦特/平分公尺 (Watt/m <sup>2</sup> )				風速(Wind Speed) 公尺/秒 (m/sec)				有效資料數
		平均數	標準差	最大值	最小值	平均數	標準差	最大值	最小值	
6	7月18日	748	255	1103	131	0.5	0.4	2.0	0	451
	7月19日	660	307	1204	47	0.3	0.4	2.5	0	511
7	8月7日	689	225	1054	68	0.6	0.7	2.5	0	581
	8月8日	666	280	1073	41	0.9	1.0	5.5	0	527
8	8月9日	283	238	898	62	1.0	0.7	3.0	0	501
	8月10日	548	226	1023	133	0.8	0.6	2.5	0	494
9	8月22日	515	356	1092	31	0.4	0.5	2.0	0	514
	8月23日	453	317	1134	38	1.0	0.6	3.0	0	457
10	9月3日	754	148	933	371	0.9	0.6	3.0	0	451
	9月4日	660	222	1001	167	0.8	0.6	2.5	0	481

表 22 研究場址 10 個觀測日之天氣型態

場址代號	觀測日期	天氣型態
6	7 月 18 日	晴朗無雲、無風和軟風
	7 月 19 日	晴朗無雲、無風和軟風
7	8 月 7 日	晴朗少雲、無風和軟風
	8 月 8 日	晴朗多雲、軟風和輕風
8	8 月 9 日	晴朗少雲、無風和軟風
	8 月 10 日	陰天多雲、無風和軟風
9	8 月 22 日	晴朗多雲、無風和軟風
	8 月 23 日	多雲、軟風、午後雷陣雨
10	9 月 3 日	晴朗無雲、無風和軟風
10	9 月 4 日	晴朗少雲、無風和軟風

由氣象觀測資料代入 105 年之「戶外高氣溫作業場所勞動者之熱暴險感測及預警系統建立之先導性研究」所使用之本土 WBGT 資料運算方程式計算可得勞工戶外現場作業環境 WBGT 值，結果顯示勞工現場作業環境 WBGT 最大值為 44.9°C，發生在 7 月 19 日及 8 月 8 日，WBGT 的平均值範圍為 30.9 到 36.3°C (表 23)。若以美國海軍陸戰隊的旗幟顏色來分類(表 24)，於一天近 8 小時的工作時數中，WBGT 佔黑旗的比例為 25.9%到 87.3%，超過 50%觀測數據其黑旗比例高於 80%，推測可能觀測日天氣皆屬高溫晴朗無雲無風的天氣型態，導致勞工作業環境的 WBGT 呈現較為極端的分佈型態。

場址 6~10 中觀測天氣型態大多一致，因此 WBGT 分佈亦十分雷同，旗幟顏色大多呈現黑旗。由該觀測資料顯示，勞工受測者於 10 個觀測日中的確長時間處於高溫作業環境。圖 63 呈現觀測場址 6~10 勞工現場作業環境 WBGT 與各相關參數之分佈圖，由結果顯示，當日環境大多趨近於靜風狀態，加上天空無雲層遮蔽又太陽直射下，導致 WBGT 溫度上升，且值得關注的是，WBGT 與當時的環境溫度及機動式氣象站所測得之濕球與黑球溫度皆呈現正相關趨勢。

表 23 由機動式環境大氣測站氣象觀測數據所得之勞工作業環境之 WBGT

場址代號	觀測日期	WBGT 攝氏(°C)				有效資料數
		平均數	標準差	最大值	最小值	
6	7月18日	35.6 <span style="color: black;">■</span>	3.2	43.4 <span style="color: black;">■</span>	29.8 <span style="color: yellow;">■</span>	451
	7月19日	36.3 <span style="color: black;">■</span>	3.8	44.9 <span style="color: black;">■</span>	28.6 <span style="color: green;">■</span>	511
7	8月7日	35.8 <span style="color: black;">■</span>	3.6	44.0 <span style="color: black;">■</span>	26.2 <span style="color: black;">■</span>	581
	8月8日	35.7 <span style="color: black;">■</span>	3.9	44.9 <span style="color: black;">■</span>	27.7 <span style="color: green;">■</span>	527
8	8月9日	30.9 <span style="color: yellow;">■</span>	2.4	40.1 <span style="color: black;">■</span>	27.7 <span style="color: green;">■</span>	501
	8月10日	33.5 <span style="color: black;">■</span>	3.0	42.4 <span style="color: black;">■</span>	28.7 <span style="color: green;">■</span>	494
9	8月22日	34.0 <span style="color: black;">■</span>	4.1	43.1 <span style="color: black;">■</span>	28.6 <span style="color: green;">■</span>	514
	8月23日	31.5 <span style="color: red;">■</span>	2.2	41.1 <span style="color: black;">■</span>	28.2 <span style="color: green;">■</span>	457
10	9月3日	34.2 <span style="color: black;">■</span>	2.3	41.5 <span style="color: black;">■</span>	29.9 <span style="color: yellow;">■</span>	451
	9月4日	34.8 <span style="color: black;">■</span>	2.3	42.4 <span style="color: black;">■</span>	30.8 <span style="color: yellow;">■</span>	481

表 24 勞工作業場所環境之 WBGT 佔各不同顏色旗幟的百分比

		0		25		50		75		100		
場址代號	觀測日期	黑旗 <span style="color: black;">■</span>		紅旗 <span style="color: red;">■</span>		黃旗 <span style="color: yellow;">■</span>		綠旗 <span style="color: green;">■</span>		白旗 <span style="color: gray;">■</span>		總計個數
		個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	個數	%	
6	7月18日	387	85.8	36	8	28	6.2	0	0	0	0	451
	7月19日	446	87.3	20	3.9	34	6.6	11	2.2	0	0	511
7	8月7日	485	83.5	51	8.8	37	6.4	6	1	2	0.3	581
	8月8日	440	83.5	36	6.8	21	4	30	5.7	0	0	527
8	8月9日	130	25.9	33	6.6	186	37.1	152	30.3	0	0	501
	8月10日	300	60.7	95	19.2	84	17	15	3	0	0	494
9	8月22日	304	59.1	42	8.2	94	18.3	74	14.4	0	0	514
	8月23日	165	36.1	54	11.8	167	36.5	71	15.5	0	0	457
10	9月3日	388	86	48	10.6	15	3.3	0	0	0	0	451
	9月4日	419	87.1	51	10.6	11	2.3	0	0	0	0	481

### HOBO\_WBGT(site 6-10)

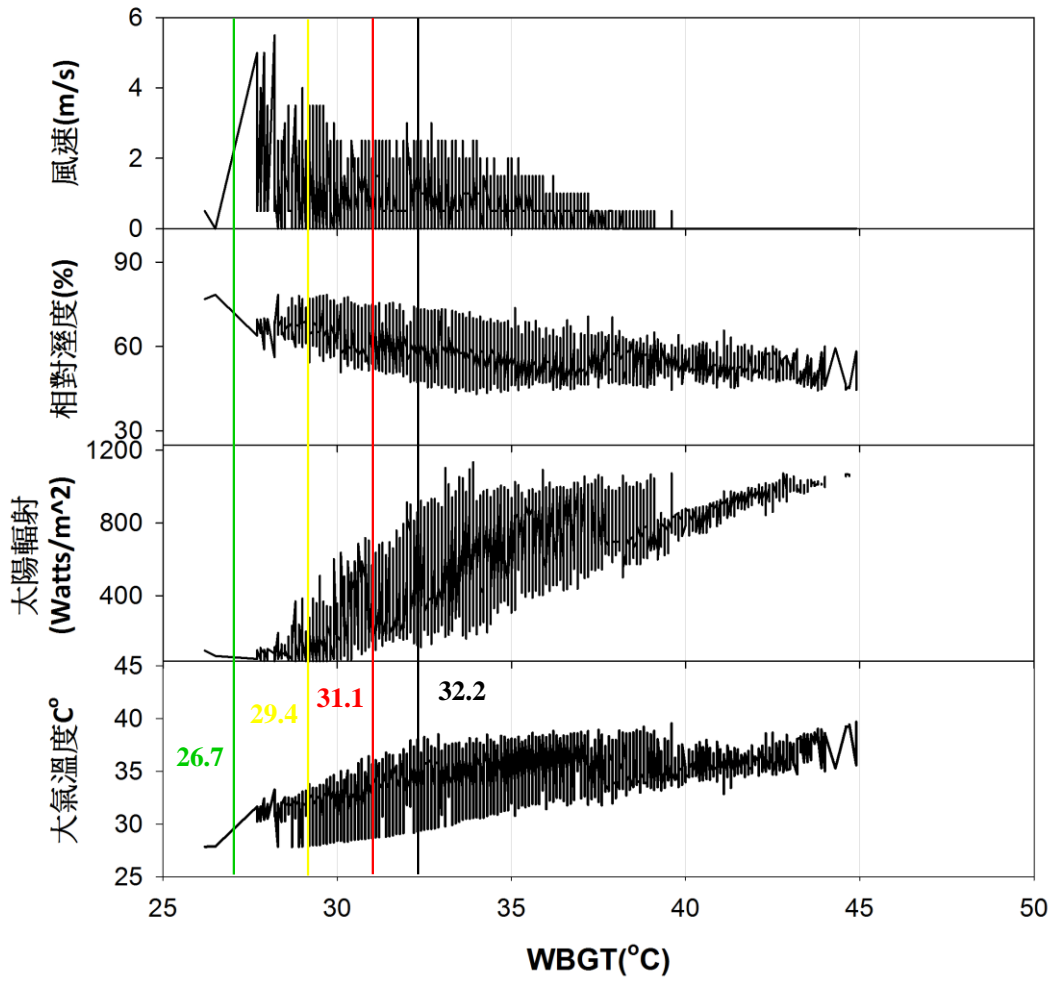


圖 63 WBGT 與各相關參數分佈

## 二、中央氣象局 10 個觀測日溫濕度資料

為探討中央氣象局氣象測站資料與研究場址勞工作業環境氣象觀測資料之關係，選取中央氣象局台北、淡水及板橋測站資料，相關位置圖及測站基本資料如圖 64~圖 66 所示，配合研究場址之觀測時段，選取大氣溫度、相對濕度及風速資料，該資料時間解析度皆為 1 小時一筆，進一步計算每日平均值、標準差、最大值及最小值，各觀測日的溫度、相對濕度、WBGT 及相對濕度彙整於表 38，另中央氣象局氣象測站溫度及 WBGT 時序圖顯示於圖 67，藉由圖示可清楚呈現觀測日溫度與 WBGT 之間關聯性。

觀測期間氣象測站溫度的最高值 36.1°C 發生在 8 月 10 日，低於研究場址勞工作業環境所當日測得之 42.4°C (8 月 10 日)。溫度平均值的範圍為 31.9 到 34.1°C，與勞工作業環境所測得之 32.5 到 36.0°C 範圍相近但稍窄；相對濕度平均值的範圍為 52.0 到 65.4%，與勞工作業環境所測得之 50.6 到 66.5% 範圍幾乎一致；風速的平均值範圍為 1.6-5.0 公尺/秒，明顯高於勞工作業環境所測得之風速 (0.3(接近靜風)- 1.0 公尺/秒)。推測可能因環境週遭有其他障礙物而導致區域間風速差異。

由此可知，由氣象局台北、淡水及板橋測站之氣象資料推估勞工作業環境大氣狀況，會明顯高估風速。由於風速大，WBGT 會較低，因此會低估 WBGT。


中央氣象局		網址: <a href="http://www.cwb.gov.tw/V7/earthquake/acsta.htm">http://www.cwb.gov.tw/V7/earthquake/acsta.htm</a>	
站號	測站英文名稱		
466920	Central Weather Bureau		
TSMIP 分區	TSMIP 對應站	對應站代碼	
台北	-	466920	
經度	緯度	測站高程	
121.5138	25.0376	6	
郵遞區號	縣市	鄉鎮	
100	台北市	中正區	
地址：公園路 64 號			
			

圖 64 中央氣象局台北測站位置圖

中央氣象局		網址: <a href="https://www.cwb.gov.tw/V7/google/gmap.php?id=46690">https://www.cwb.gov.tw/V7/google/gmap.php?id=46690</a>	
站號	測站英文名稱		
466900	Central Weather Bureau		
TSMIP 分區	TSMIP 對應站	對應站代碼	
新北	-	466900	
經度	緯度	測站高程	
121.4489	25.1649	19	
郵遞區號	縣市	鄉鎮	
251	新北市	淡水區	
地址：中正東路 42 巷 6 號			

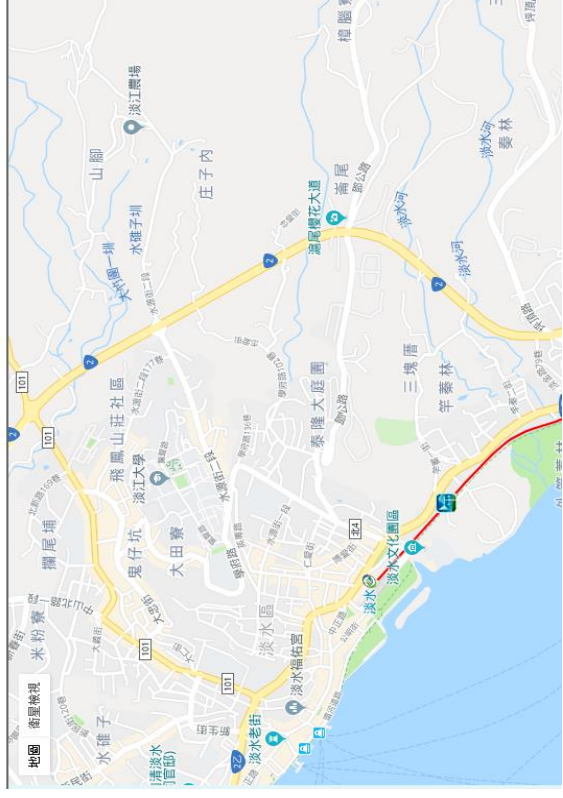


圖 65 中央氣象局淡水測站位置圖



中央氣象局		網址: <a href="https://www.cwb.gov.tw/V7/google/gmap.php?id=46690">https://www.cwb.gov.tw/V7/google/gmap.php?id=46690</a>	
站號	測站英文名稱		
466880	Central Weather Bureau		
TSMIP 分區	TSMIP 對應站	對應站代碼	
新北	-	466880	
經度	緯度	測站高程	
121.4420	24.9976	9.7	
郵遞區號	縣市	鄉鎮	
220	新北市	板橋區	
地址：大觀路二段 265 巷 62 號			

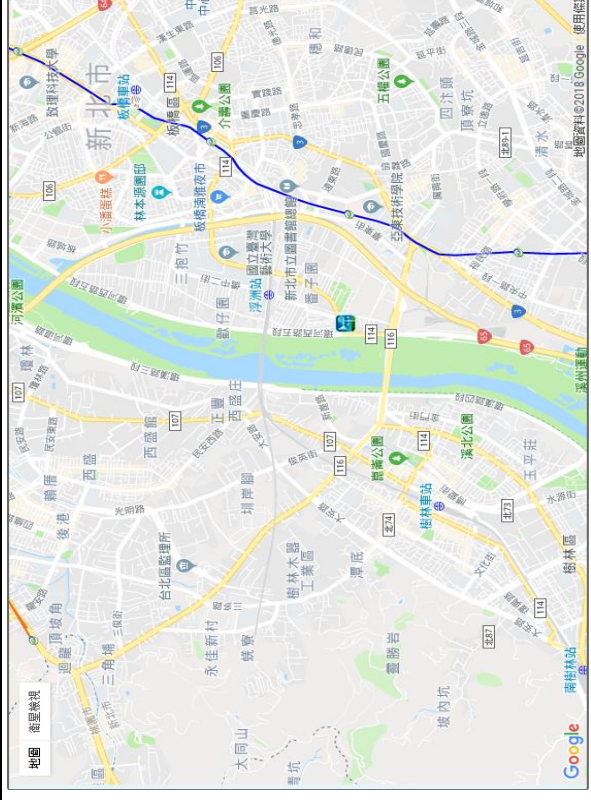


圖 66 中央氣象局板橋測站位置圖

由於中央氣象局之氣象測站目前並無即時太陽輻射資料，因此以機動式環境大氣測站的太陽輻射觀測值作為計算 WBGT 的依據。所推算得出之 WBGT 列於表 25 (a)，最大值為 34.0°C，發生於 8 月 10 日，而 WBGT 平均值的範圍為 29.1 至 31.3°C。無論是平均值範圍或最大值，皆比勞工作業環境所測得之 WBGT 數值低，推測如前述討論，可能是因風速高估所致。圖 67 是氣象測站之溫度及 WBGT 比較之時間序列圖，可見大部分的時間溫度皆高於 WBGT，僅在某些時段呈現 WBGT 較高或與溫度相近之情況。經比對詳細數據，WBGT 較高與溫度相近可能是因當時風速降低、且輻射及相對濕度仍高所導致。

表 25 中央氣象局台北測站(a)溫度及 WBGT、(b)相對濕度及風速

(a) 場址 代號	觀測 日期	大氣溫度(T) 攝氏(°C)				WBGT (攝氏 °C )				有效 資料數
		平均數	標準差	最大值	最小值	平均數	標準差	最大值	最小值	
6	7月18日	33.2	1.3	34.7	30.9	29.1	1.3	30.5	26.6	10
	7月19日	32.9	1.0	34.0	31.0	29.9	1.5	31.6	27.0	10
7	8月7日	33.6	1.4	35.7	31.5	30.4	1.9	32.5	26.3	10
	8月8日	32.9	1.4	34.5	30.6	29.7	1.8	32.6	26.5	10
8	8月9日	32.4	0.9	33.9	30.9	29.5	2.2	32.4	26.2	10
	8月10日	34.1	2.0	36.1	31.2	31.2	2.5	34.0	26.5	10
9	8月22日	32.8	1.1	34.3	31.0	31.3	2.0	33.7	27.5	10
	8月23日	31.9	1.3	33.3	29.4	31.2	0.6	31.7	30.8	2
10	9月3日	32.8	1.6	34.7	30.5	30.2	1.9	32.3	26.8	10
	9月4日	33.8	1.6	35.7	31.2	31.3	1.8	33.6	28.2	10
(b) 場址 代號	觀測 日期	相對濕度(Relative Humidity) RH (%)				風速(wind speed) 公尺/秒 (m/sec)				有效 資料數
		平均數	標準差	最大值	最小值	平均數	標準差	最大值	最小值	
6	7月18日	52.0	3.8	59.0	47.0	5.0	0.7	6.2	4.0	10
	7月19日	58.7	1.9	61.0	56.0	4.4	0.7	5.6	3.3	10
7	8月7日	53.6	4.1	62.0	47.0	3.2	1.4	4.6	0.8	10
	8月8日	54.1	3.9	60.0	50.0	3.3	1.5	4.7	0.2	10
8	8月9日	58.1	2.5	63.0	54.0	2.1	1.4	4.1	0.3	10
	8月10日	52.7	5.1	60.0	47.0	1.6	1.1	4.1	0.7	10
9	8月22日	65.4	7.7	79.0	59.0	1.6	0.7	3.1	0.7	10
	8月23日	63.5	0.7	64.0	63.0	1.9	0.8	2.7	0.2	2
10	9月3日	58.0	3.9	64.0	53.0	3.2	0.5	4.0	2.5	10
	9月4日	60.3	5.1	68.0	53.0	2.4	0.9	4.3	1.4	10

註:場址 6、7 及 8 選擇台北氣象站資料；場址 9 選擇淡水氣象站資料；場址 10 選擇板橋氣象站資料。

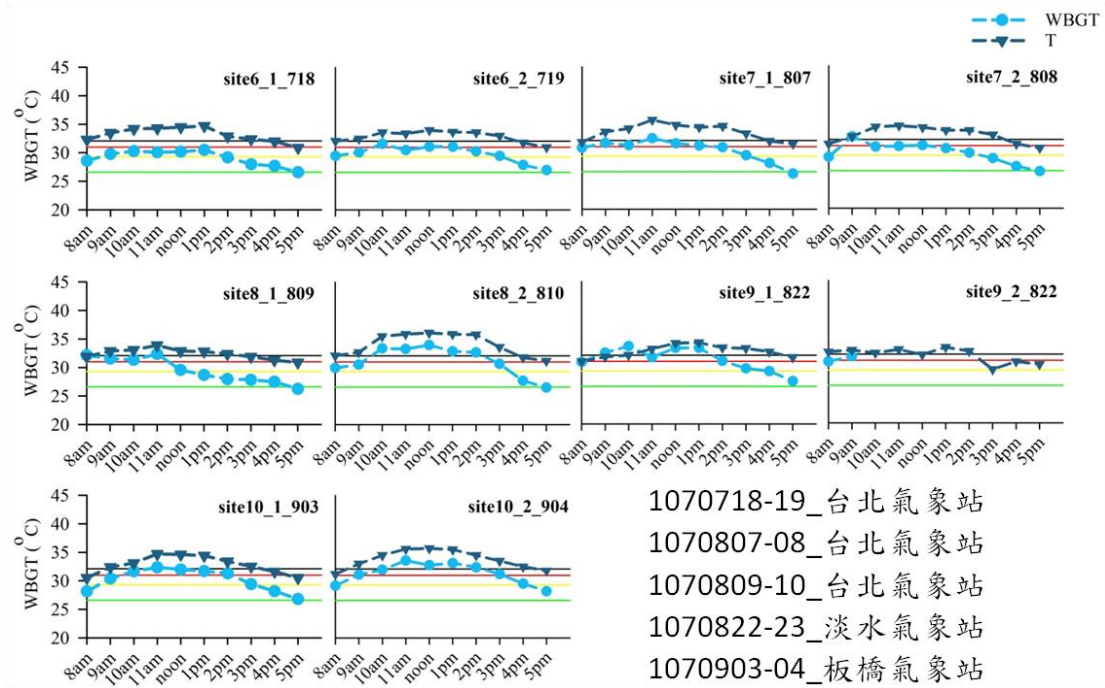


圖 67 中央氣象局氣象測站溫度及 WBGT 時序圖

### 三、大氣環境、勞工作業環境及勞工受測者 WBGT 之綜合比較

為探討中央氣象局氣象測站氣象資料所換算得到之大氣環境 WBGT、研究場址現場機動式環境大氣測站測得之勞工作業環境 WBGT、與受測者 BL-500 感測裝置及熱暴險穿戴裝置得出之受測者 WBGT 者之關係，將勞工作業環境及受測者 1 分鐘解析度之 WBGT，與同樣的觀測日期 1 小時一筆之大環境 WBGT 進行同步比較。

圖 68 及圖 69 顯示研究場址 10 個觀測日之 BL-500 感測裝置及熱暴險穿戴裝置 WBGT 時序圖，大氣環境以圖例 CWB\_TP 呈現，勞工作業環境以圖例 on site 呈現，而每日受測者 WBGT 以圖例 A、B、C、D 及 E 呈現。圖中黑色標線是指 WBGT 黑旗最低值，其它紅、黃及綠色線依次推之，綠色以下即為白旗的範圍。由時序圖可清楚看出，各勞工受測者其 WBGT 與機動式環境大氣測站及中央氣象局測站計算所得的 WBGT 之間差異性，結果顯示，大多受測者的 WBGT 皆高於機動式環境大氣測站及中央氣象局測站計算所得的 WBGT，此結果亦指出，受測者實際受到的熱危害的風險比大氣環境環境因子預估高，且熱暴險穿戴裝置因緊貼近受測者，因此藉由觀測所得之參數較貼近受測者所處環境，其所換算之 WBGT 較具一定程度之參考價值，此外，由此圖亦明顯看出受測者之 WBGT 經常在紅旗及黑旗範圍內。

另將研究場址 10 個觀測日之 BL-500 感測裝置及熱暴險穿戴裝置 WBGT 時序圖彙整為小時平均呈現於圖 70 及圖 71，同樣與 CWB\_TP(大環境)及 on site(勞工作業環境)比較，可藉由「小時平均值」更清楚了解勞工受測者各時段的 WBGT 分佈，並清出得知何時段是勞工受測者承受最高熱危害風險。

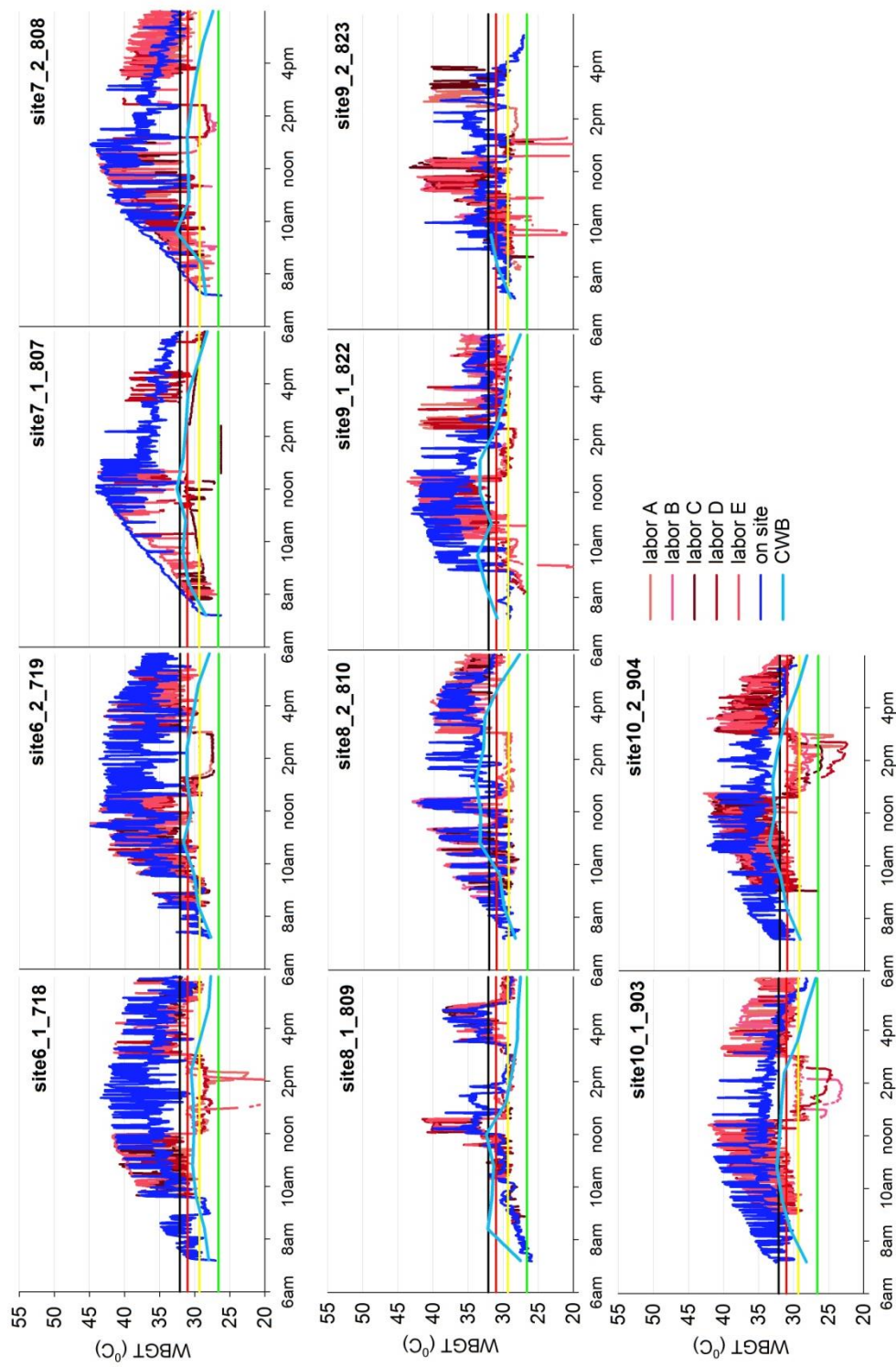


圖 68 研究場址 10 個觀測日之 BL-500 感測裝置 WBGT 時序圖

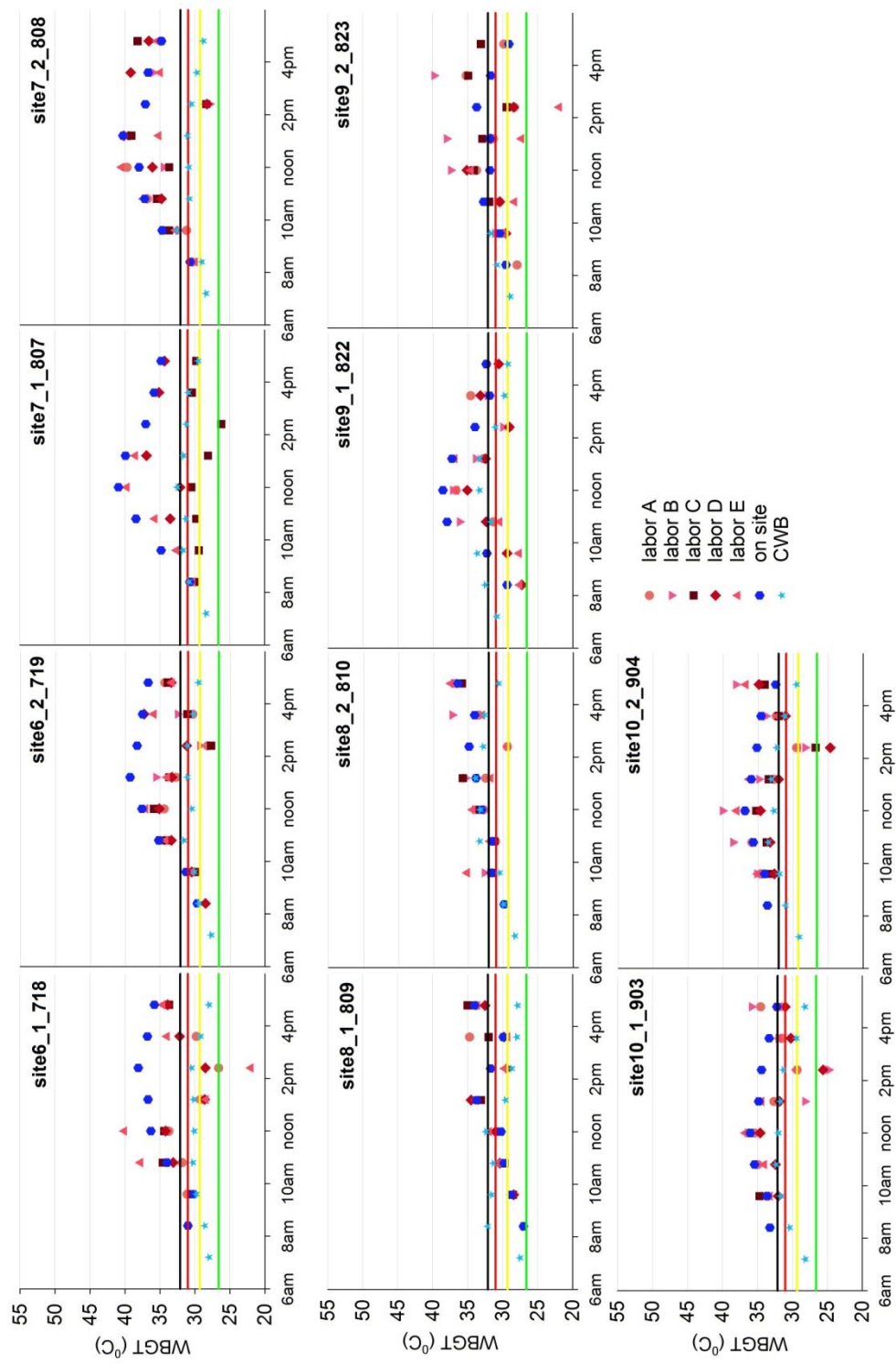


圖 69 研究場址 10 個觀測日之 BL-500 感測裝置 WBGT 時序圖\_小時平均

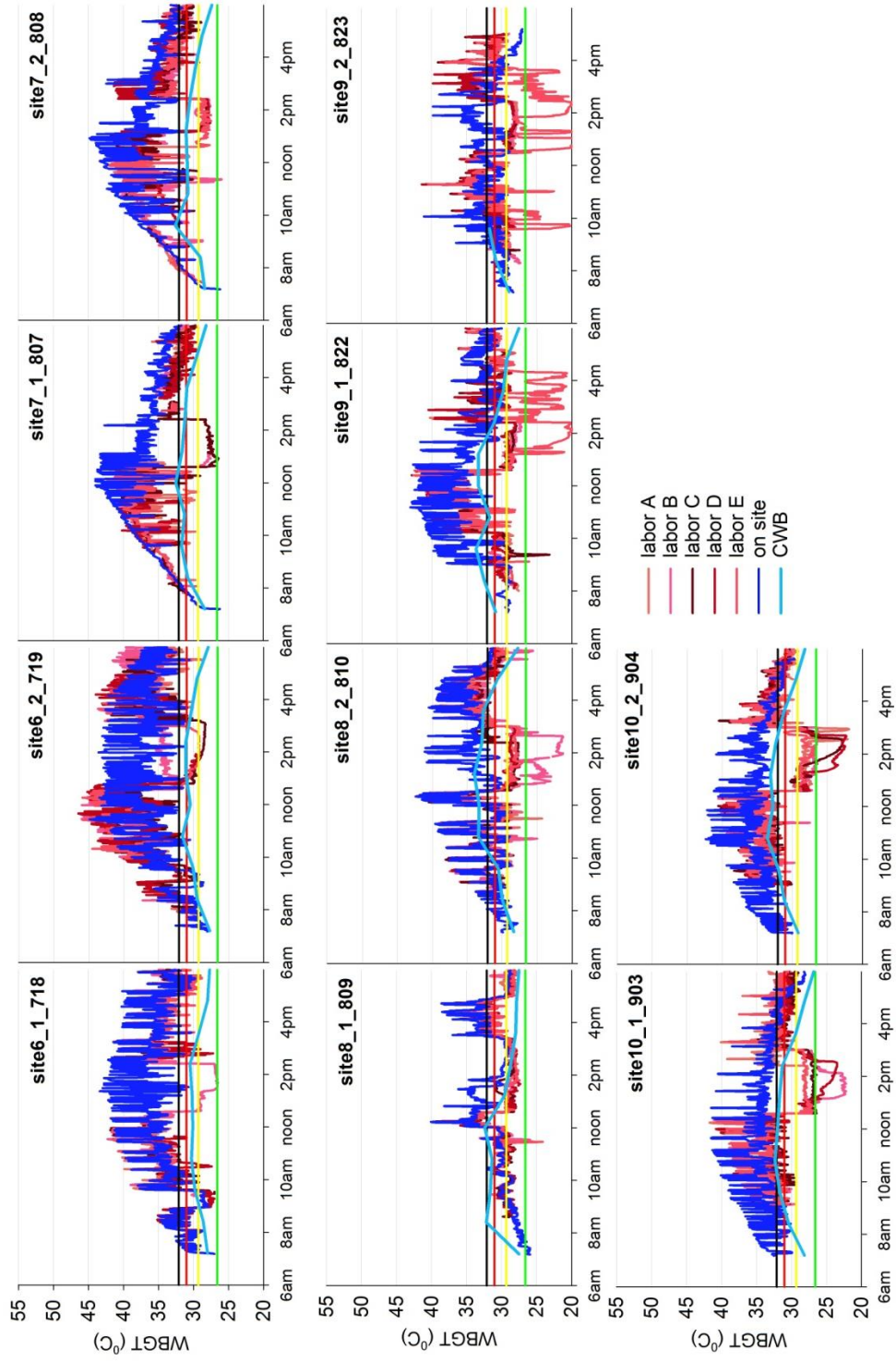


圖 70 研究場址 10 個觀測日之熱暴險穿戴裝置 WBGT 時序圖



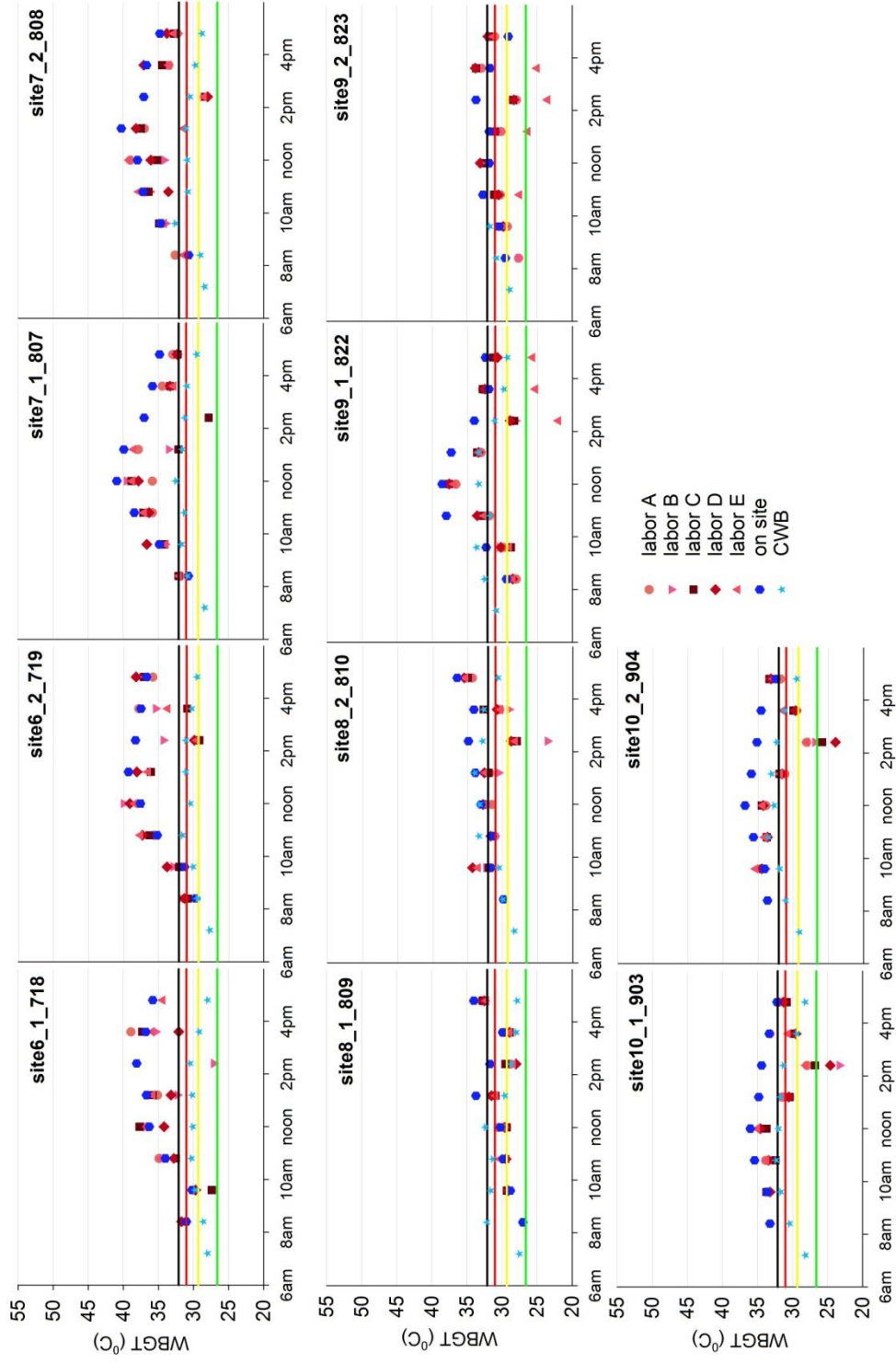


圖 71 研究場址 10 個觀測日之熱暴測日之熱暴險穿戴裝置 WBGT 時序圖\_小時平均

#### 四、氣象觀測轉換值與與 6 吋黑球測量的黑球溫度比較

2017 年 6 月 5 日至 7 月 3 日連續 657 小時，將機動式環境大氣測站與 6 吋黑球進行同步比對。以機動式環境大氣測站的氣象觀測結果經理論式轉換後所得之黑球小時溫度與 6 吋黑球測量的黑球小時溫度相比較，結果顯示，其  $R^2$  相當高(0.9845,  $N=657$ )，其斜率為 0.95 如圖 72。若以平均絕對偏差(mean absolute error)看，其 MAE 為 1.1；在上午 10 點至中午間易有較大偏差。而以氣象觀測轉換值減去 6 吋黑球測量值的整體平均值則為 $-0.5^{\circ}\text{C}$ ，標準差為  $1.3^{\circ}\text{C}$ 。換言之，其平均偏誤相當小，此 2 者所得之黑球溫度相當接近。

在 2018 年 7 月及 8 月的 5 次營建業場址實際觀測時，以機動式環境大氣測站與 6 吋黑球進行同步比對。HOBO 氣象觀測轉換的黑球小時溫度與 6 吋黑球測量的黑球小時溫度進行比較，結果顯示， $R^2$  相當高(0.89,  $N=226$ )，其斜率為 0.72、截距為 10.0，如圖 73，其 MAE 為 2.9，同樣在上午 10 點至中午期間較易有較大偏差。而以氣象觀測轉換值減去 6 吋黑球測量值的平均值則為 $-0.02^{\circ}\text{C}$ ，標準差為  $4.1^{\circ}\text{C}$ 。換言之，其平均偏誤相當小，但個別偏差的變異度比 2017 年測量的變異度數值大。推測可能是因營建業場址內有較多會反光吸熱之材質，致輻射量變動較大，造成黑球溫度隨時間的變動較大，而傳統 6 吋黑球因需要較長時間才能達到平衡。但在實際輻射量隨時間變動較大之處，如營建業場址，傳統 6 吋黑球無法快速反應，因此可能會低估實際勞工所感受到的黑球溫度。但其整體的平均偏誤相當小( $-0.02^{\circ}\text{C}$ )，因此整體來說，兩者所得之黑球溫度相當接近。

此外，在 2018 年 10 月 26 日至 10 月 29 日，再次將機動式環境大氣測站與 6 吋黑球進行同步比對。採樣頻率為 1 分鐘/筆，並將所得數值平均為 10 分鐘及 1 小時進行比較，以機動式環境大氣測站的氣象觀測結果經理論式轉換後所得之黑球 10 分鐘溫度與 6 吋黑球測量的黑球十分鐘溫度相比較的結果顯示，其  $R^2$  相當高(0.9415,  $N=399$ )，斜率為 0.97，如圖 74a；另將機動式環境大氣測站的氣象觀測結果經理論式轉換後所得之黑球小時溫度與 6 吋黑球測量的黑球小時溫度相比較，結果顯示， $R^2$  亦相當高達 0.9665( $N=67$ )，斜率為 0.99，如圖 74b，結果顯示出，無論將比對值換算成 10 分鐘或小時值，兩者間呈現相當好的線性關係，意謂機動式環境大氣測站與 6 吋黑球兩者觀測溫度十分接近。

值得注意的是，因黑球接受太陽輻射後需較長時間才能達到平衡進而量測溫

度，因此其時間解析較粗略，僅能使用小時觀測值，然勞工於戶外環境工作常短時間內即遭受熱危害，因機動式環境大氣測站具較細時間解析的優點，可得到以分鐘為解析度的觀測值，如使用其進行溫度量測再經由公式轉化為黑球溫度計算 WBGT，應能準確掌握勞工受測者於短時間內可能遭受到的熱暴險程度，因此建議使用機動式環境大氣測站進行溫度觀測。

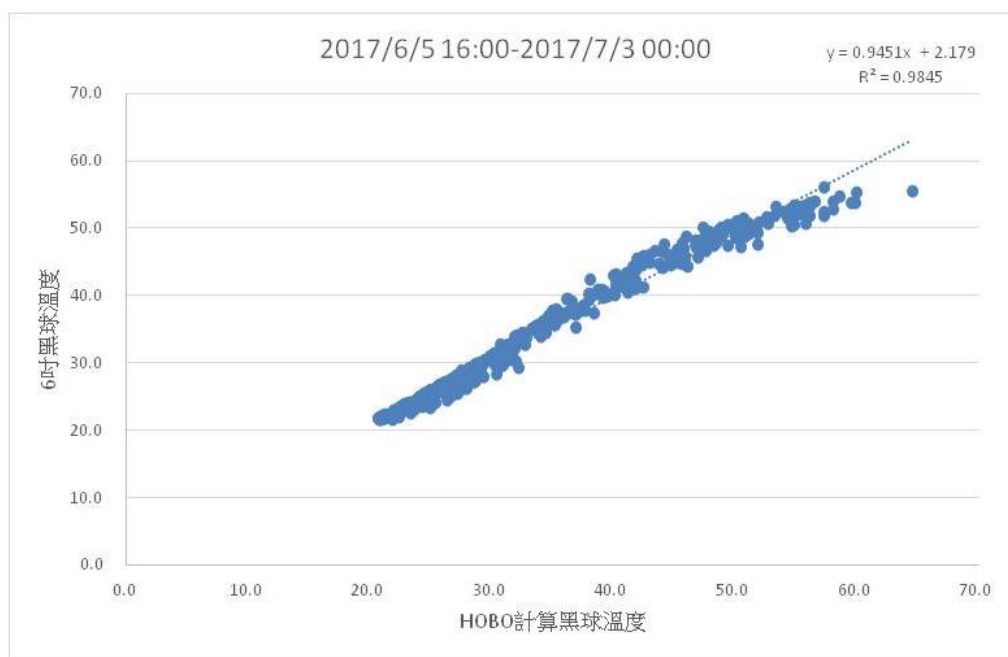


圖 72 2017 年機動式環境大氣測站與 6 吋黑球測量的黑球溫度同步比較

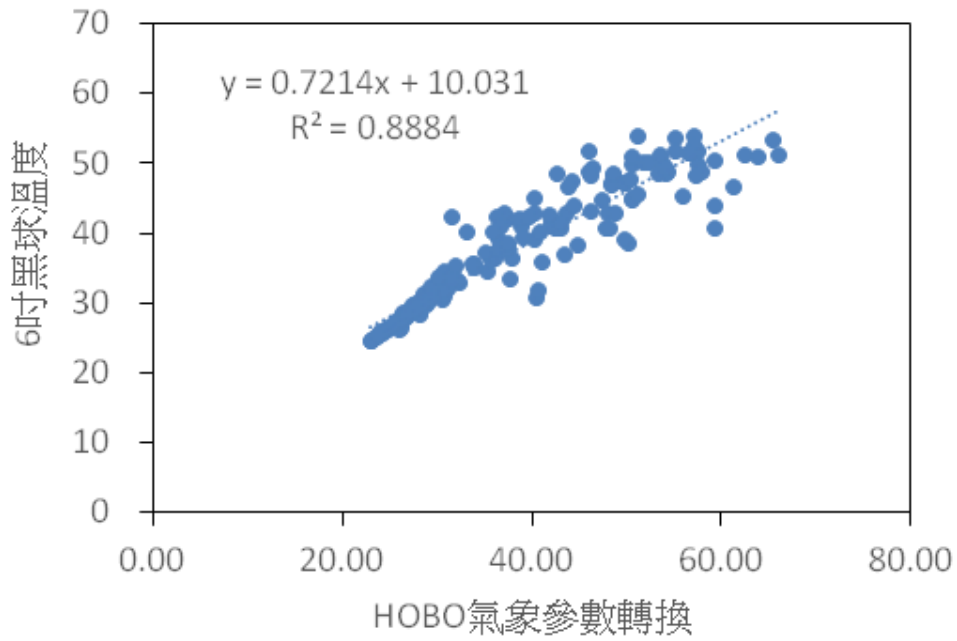
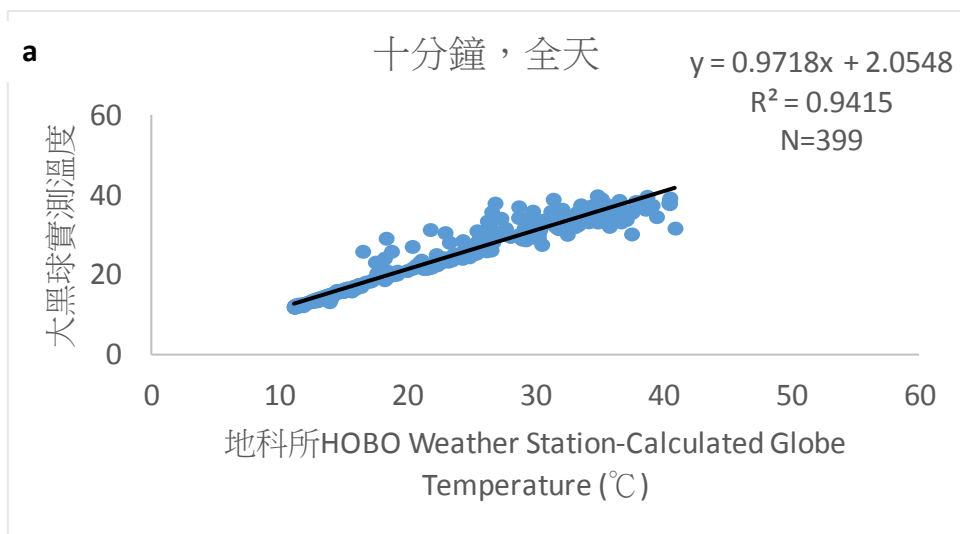


圖 73 營建業 5 個場址之氣象觀測轉換值與 6 吋黑球測量的黑球溫度同步比較



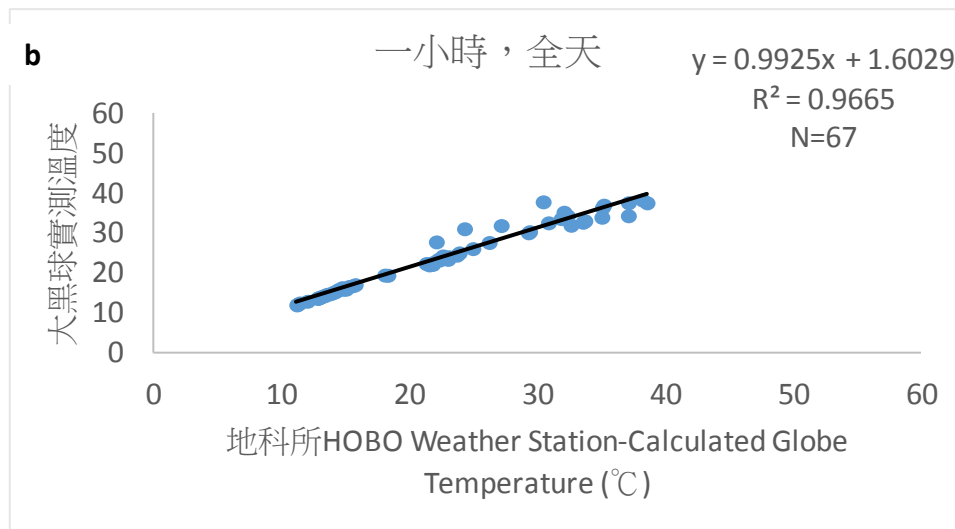


圖 74 2018 年機動式環境大氣測站與 6 吋黑球測量的黑球溫度同步比較-(a)十分鐘;  
(b)1 小時

## 五、WBGT 觀測與預報敏感度分析

針對戶外高氣溫環境 WBGT 預報部分，研究團隊商請中央氣象局提供高氣溫網站預報所需要之氣象資料進行測試。而氣象局亦建議研究團隊從不同測站之差異性、模式敏感度了解誤差來源，並比較不同觀測地點對 WBGT 觀測值之影響。

WBGT 係使用大氣溫度、相對濕度、風速以及太陽輻射等 4 種氣象參數進行轉換，本研究利用氣象局臺北測站及高雄測站 2017 年 6-8 月的觀測與預報資料，並以 2 種方式測試 WBGT 與 4 種氣象參數的敏感度。

第一種方法為氣象參數預報值以觀測值取代(以下簡稱敏感度分析方法一)，將其中 1 種氣象參數預報值以觀測值取代，再與其他 3 種氣象參數預報值轉換為 WBGT，並利用相關係數( $r$ )、百分比差異(%diff)、均方根差異(RMSE)、平均偏差(MBE)、平均絕對偏差(MAGE)、分數偏差(MFB)、絕對分數偏差(MFE)、及判定係數( $R^2$ ) 計算與觀測值轉換 WBGT 間之差異，再觀察相對於與 4 種氣象參數均為預報值所轉換的 WBGT 結果比較。表 26 為氣象參數預報值以觀測值取代比較方法說明。以下係百分比差異(% diff)、均方根差異(RMSE)、分數偏差(MFB)、絕對分數偏差(MFE)、平均偏差(MBE)以及平均絕對偏差(MAGE)公式。

百分比差異(Percentage Different, %diff)：

$$\%diff = \frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N \left| \frac{P_{i,k} - O_{i,k}}{(P_{i,k} + O_{i,k})/2} \right|$$

均方根差異(Root-Mean-Square error, RMSE) :

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N (P_{i,k} - O_{i,k})^2}$$

平均偏差(Mean Biased Error, MBE) :

$$MBE = \frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N (P_{i,k} - O_{i,k})$$

平均絕對偏差(Mean Absolute Gross Error, MAGE) :

$$MAGE = \frac{1}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N |P_{i,k} - O_{i,k}|$$

分數偏差(Mean Fractional Bias, MFB) :

$$MFB = \frac{2}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N \left( \frac{P_{i,k} - O_{i,k}}{P_{i,k} + O_{i,k}} \right)$$

絕對分數偏差(Mean Fractional Error, MFE) :

$$MFE = \frac{2}{M \times N} \sum_{k=1}^M \sum_{i=1}^N \left| \frac{P_{i,k} - O_{i,k}}{P_{i,k} + O_{i,k}} \right|$$

其中 M 為所有測站數，N 為所有模擬小時數， $P_{i,k}$  為第 i 天、第 k 測站之預報值， $O_{i,k}$  為第 i 天、第 k 測站之觀測值。

第二種方法為氣象參數調整±10%(以下簡稱敏感度分析方法二)，則是將 WBGT 轉換所使用的 4 種氣象參數，大氣溫度、相對濕度、風速及太陽輻射 6-8 月的平均值，分別對其中一氣象參數調整±10%，再與其他 3 種氣象參數轉換 WBGT，並與 4 種氣象參數均未調整之 6-8 月平均值轉換之 WBGT 比較。比較方式採絕對誤差 (Absolute Error) 與誤差百分比 (Percentage Error, %error)。

(一) 敏感度分析方法一：象參數預報值以觀測值取代

由 2017 年 6-8 月的觀測與預報值之敘述統計(表 27)可知，臺北測站 WBGT 觀測值最大值為 36.9，最小值 20.6，平均值 27.0，標準差為 3.1；WBGT 預測值最大值為 33.9，最小值 20.6，平均值 27.0，標準差為 2.0。若將其中 1 種氣象參數預報值以觀測值取代，WBGT 預測值最大值介於 32.3-39.9，最小值介於 19.3-20.6，平均值為 25.1-28.9，標準差為 1.6-3.8。高雄測站 WBGT 觀測值最大值為 34.7，最小值 22.7，平均值 28.2，標準差為 2.5；WBGT 預測值最大值為 33.9，最小值 24.3，平均值 27.7，標準差為 1.2。若將其中一種氣象參數預報值以觀測值取代，WBGT 預測值最大值於 33.2-37.6，最小值 22.3-24.3，平均值 27.0-28.9，標準差為 1.1-2.7。

根據敏感度分析方法一之時序與比對圖及其結果(表 28、圖 75 至圖 78)，2 個測站均分別以大氣溫度及相對濕度，2 種氣象參數預報值以觀測值取代後，所轉換的 WBGT 相對於 4 種氣象參數均為預報值所轉換的 WBGT 結果差異最大。以決定係數( $R^2$ )與平均偏差(MBE)為例，大氣溫度預報值以大氣溫度觀測值取代，臺北測站決定係數( $R^2$ )由 0.44 上升至 0.87，高雄測站 0.63 上升至 0.91。臺北測站平均偏差(MBE)由 0.08 上升至 1.90，高雄測站-0.51 上升至 0.68。相對濕度預報值以相對濕度觀測值取代，臺北測站決定係數( $R^2$ )由 0.44 下降至 0.09，高雄測站 0.63 下降至 0.29。而臺北測站平均偏差(MBE)由 0.08 下降至-1.82，高雄測站-0.51 下降至-1.17。由上述結果推測 4 個氣象參數對於 WBGT 影響程度，大氣溫度及相對濕度影響較大。

(二) 敏感度分析方法二：氣象參數調整±10%

敏感度分析方法二的結果如表 29 至表 30 顯示，2 個測站大氣溫度絕對誤差落在±2.8-2.9 間，相對濕度為±0.8，風速與太陽輻射為±0-0.1 間。大氣溫度誤差百分比為±9.9-10.7%，相對濕度誤差百分比為±2.8-3.0%，而風速與太陽輻射為±0-0.4 之間。由結果可知，WBGT 受到大氣溫度的影響最大，其次為相對濕度，而 WBGT 受到風速及太陽輻射的影響較小。

表 26 敏感度分析方法一之方法說明

比較方法名稱	說明
臺北測站	四種氣象參數均為預報值
Temp. TPE	大氣溫度預報值以大氣溫度觀測值取代
RH. TPE	相對濕度預報值以相對濕度觀測值取代
Wind Speed. TPE	風速預報值以風速觀測值取代
Solar Radiation. TPE	太陽輻射預報值以太陽輻射觀測值取代
高雄測站	四種氣象參數均為預報值
Temp. KHC	大氣溫度預報值以大氣溫度觀測值取代
RH. KHC	相對濕度預報值以相對濕度觀測值取代
Wind Speed. KHC	風速預報值以風速觀測值取代
Solar Radiation. KHC	太陽輻射預報值以太陽輻射觀測值取代

表 27 臺北與高雄測站觀測與預報值之敘述統計

名稱	obs.max	obs.min	obs.mean	obs.sd	pre.max	pre.min	pre.mean	pre.sd
臺北測站	36.9	20.6	27.0	3.1	33.9	20.6	27.0	2.0
Temp. TPE					39.9	19.3	28.9	3.8
RH. TPE					32.3	19.8	25.1	1.6
Wind Speed. TPE					37.1	20.5	27.6	2.5
Solar Radiation. TPE					32.5	20.6	26.8	1.8
高雄測站	34.7	22.7	28.2	2.5	33.9	24.3	27.7	1.2
Temp. KHC					37.6	23.0	28.9	2.7
RH. KHC					33.2	22.3	27.0	1.2
Wind Speed. KHC					33.5	24.2	28.0	1.4
Solar Radiation. KHC					33.8	24.3	27.6	1.1



表 28 敏感度分析方法一結果

名稱	r	%diff	RMSE	MBE	MAGE	MFB	MFE	slope	intercept	R <sup>2</sup>	Number
臺北測站	0.66	6.63	2.28	0.08	1.81	0.65	6.63	1.04	-1.08	0.44	1953
Temp.TPE	0.93	7.09	2.41	1.90	2.04	6.54	7.09	0.74	5.51	0.87	
RH. TPE	0.30	9.68	3.51	-1.82	2.60	-6.56	9.68	0.57	12.65	0.09	
Wind Speed. TPE	0.78	5.97	2.03	0.62	1.62	2.47	5.97	0.94	1.15	0.60	
Solar Radiation. TPE	0.66	6.74	2.31	-0.14	1.85	-0.12	6.74	1.12	-3.03	0.43	
高雄測站	0.79	4.93	1.79	-0.51	1.41	-1.52	4.93	1.66	-17.74	0.63	2010
Temp.KHC	0.95	2.90	1.08	0.68	0.84	2.34	2.90	0.87	3.04	0.91	
RH. KHC	0.54	6.73	2.41	-1.17	1.90	-3.97	6.73	1.08	-0.94	0.29	
Wind Speed. KHC	0.78	4.57	1.66	-0.26	1.30	-0.67	4.57	1.34	-9.12	0.60	
Solar Radiation. KHC	0.84	5.01	1.78	-0.64	1.43	-1.98	5.01	1.87	-23.31	0.71	

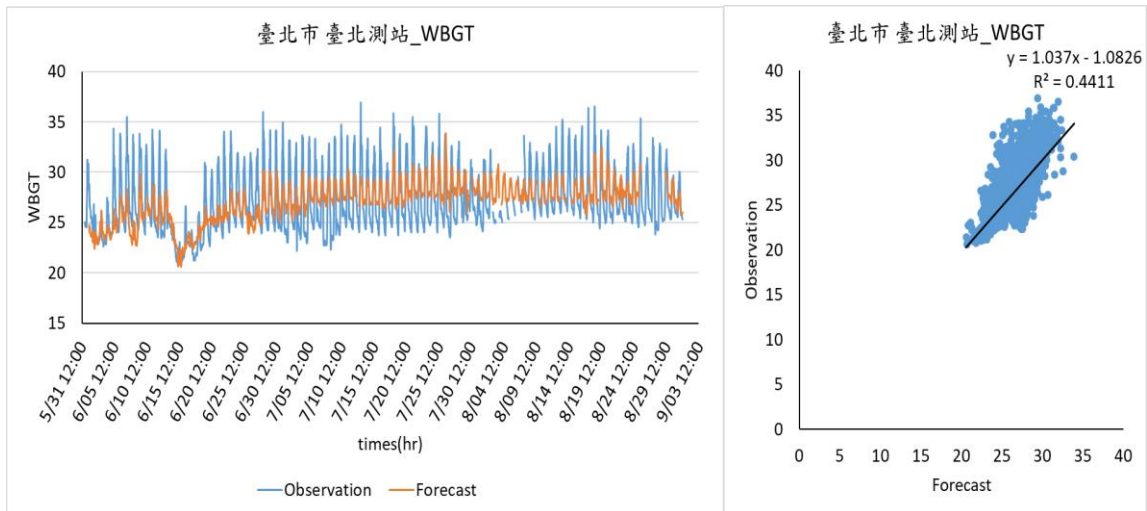


圖 75 臺北測站 WBGT 觀測值與預報值時序與比對圖

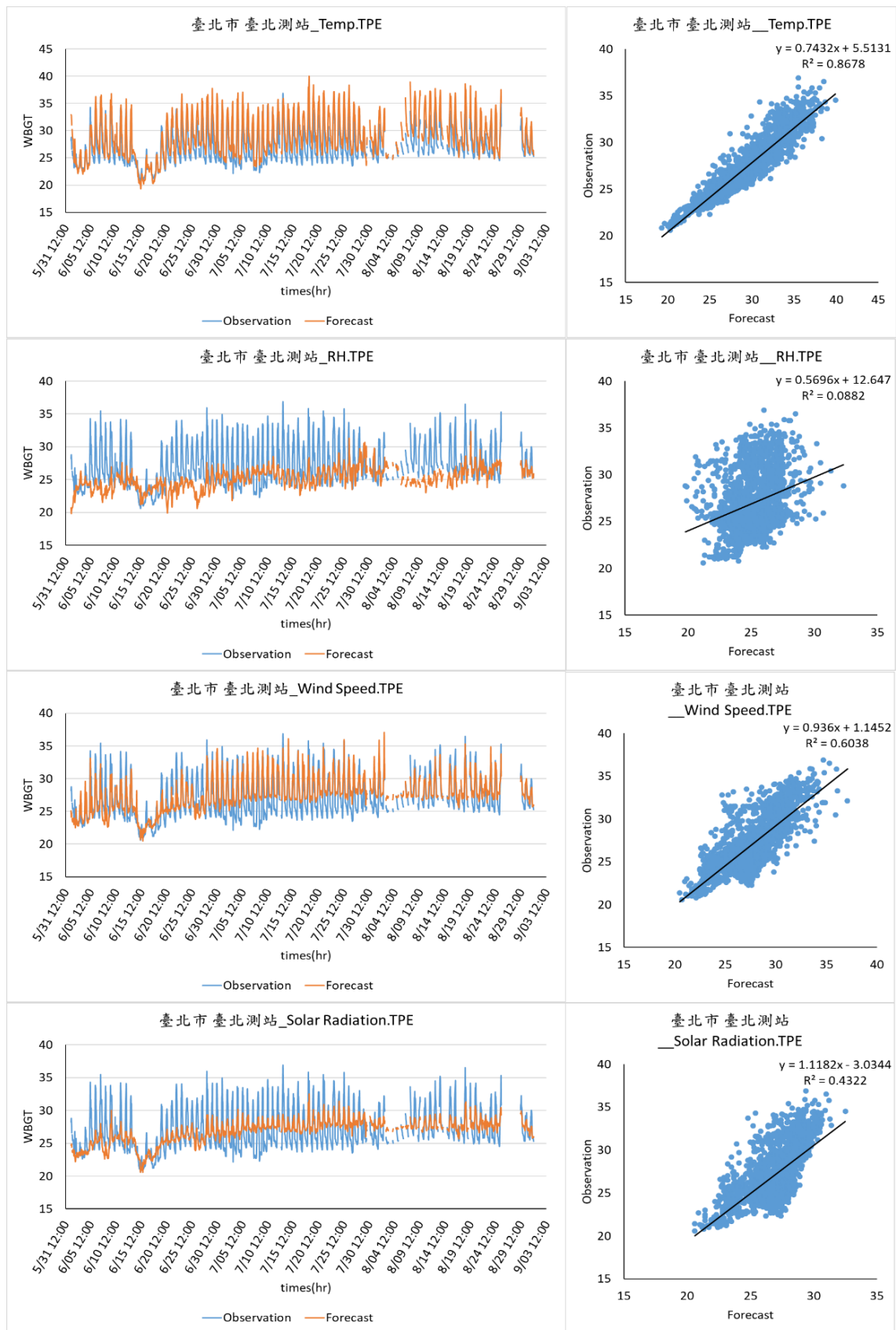


圖 76 臺北測站 WBGT 觀測值與預報值(其中一種氣象參數預報值以觀測值取代)時序與比對圖

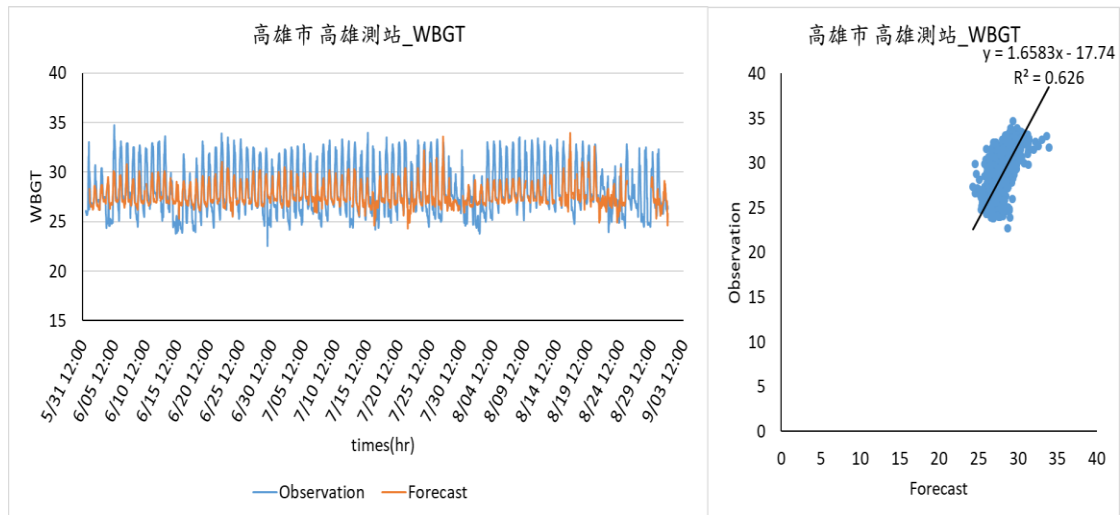


圖 77 高雄測站 WBGT 觀測值與預報值時序與比對圖

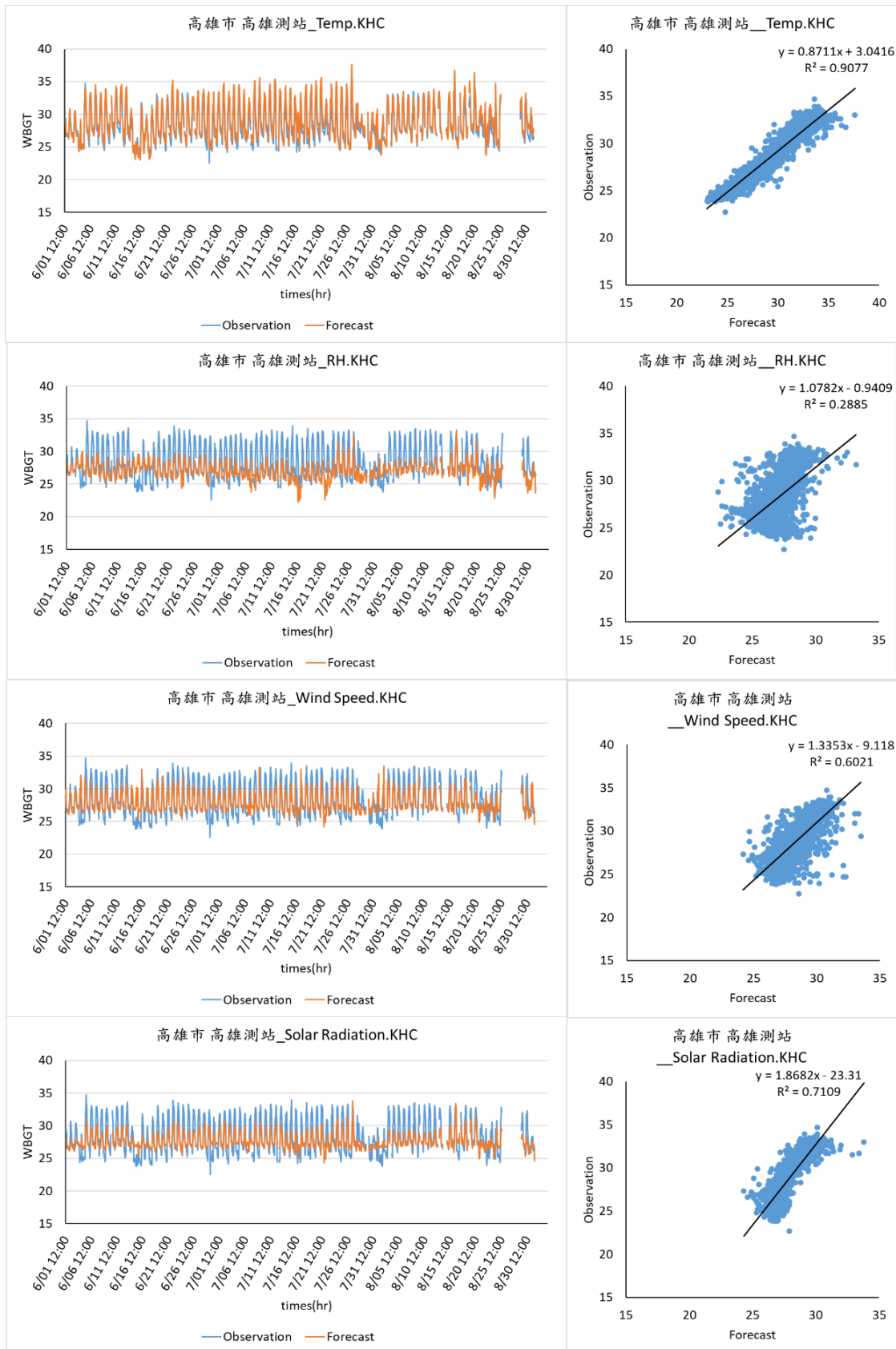


圖 78 高雄測站 WBGT 觀測值與預報值(其中一種氣象參數預報值以觀測值取代)時序與比對圖

表 29 敏感度分析方法二結果(臺北測站)

	Temp	RH	WS	SR	Wet Bulb Temperature	Globe Temperature	WBGT	Absolute Error	%error
臺北測站	29.8	67.7	1.8	184.3	25.264	32.395	27.144		
Temp+10%	32.8	67.7	1.8	184.3	27.967	35.556	29.968	-2.9	-10.7
Temp-10%	26.8	67.7	1.8	184.3	22.586	29.263	24.343	2.8	10.3
RH+10%	29.8	74.5	1.8	184.3	26.356	32.501	27.929	-0.8	-3.0
RH-10%	29.8	60.9	1.8	184.3	24.126	32.279	26.324	0.8	3.0
WS+10%	29.8	67.7	2.0	184.3	25.240	32.304	27.109	0.0	0.0
WS-10%	29.8	67.7	1.6	184.3	25.292	32.518	27.188	-0.1	-0.4
SR+10%	29.8	67.7	1.8	202.7	25.298	32.714	27.232	-0.1	-0.4
SR-10%	29.8	67.7	1.8	165.9	25.229	32.093	27.059	0.0	0.0

表 30 敏感度分析方法二結果(高雄測站)

	Temp	RH	WS	SR	Wet Bulb Temperature	Globe Temperature	WBGT	Absolute Error	%error
高雄測站	30.1	74.3	2.3	232.3	26.624	33.332	28.313		
Temp+10%	33.1	74.3	2.3	232.3	29.395	36.486	31.184	-2.9	-10.2
Temp-10%	27.1	74.3	2.3	232.3	23.881	30.192	25.465	2.8	9.9
RH+10%	30.1	81.7	2.3	232.3	27.773	33.430	29.137	-0.8	-2.8
RH-10%	30.1	66.9	2.3	232.3	25.424	33.226	27.452	0.8	2.8
WS+10%	30.1	74.3	2.5	232.3	26.605	33.224	28.278	0.0	0.0
WS-10%	30.1	74.3	2.1	232.3	26.646	33.435	28.349	0.0	0.0
SR+10%	30.1	74.3	2.3	255.5	26.660	33.699	28.412	-0.1	-0.4
SR-10%	30.1	74.3	2.3	209.1	26.588	32.966	28.215	0.1	0.4

## 第四節 戶外作業勞工熱暴露生理值量測

本研究以市售 Rotti 心率貼片來收集戶外現場勞工之心跳等生理資料，以提供本研究有關戶外高氣溫勞工微環境量測資料與個人生理監測資料關係性分析，瞭解從勞工受測者配戴之熱暴險穿戴裝置觀測值計算所得之 WBGT 與 Rotti 觀測所得之心跳數據兩者間相關性，俾了解勞工受測者工作期間可能受到熱危害程度及風險。

熱危害及空氣污染對人體造成的影響甚鉅[7, 78-79]。其中心跳速率(Heart Rate)被認為是衡量人體健康的重要指標之一[80]。心跳變異率(The Standard Deviation of All Normal to Normal R-R Intervals)則被認為與整體自律神經有關，過低的心跳變異率被認定是對心跳調節能力不足所致，換言之，即心跳變異率與自律神經對心跳的調節能力呈現正相關[81]。而高低頻功率比則被認為與交感神經興奮呈現正相關，大於 1 顯示交感神經興奮，反之，小於 1 則為副交感神經興奮[82]。因此，本研究使用心跳速率感測器作為評估本研究健康效應的標準。

本研究已順利完成 5 個場址共 50 位受測者的熱暴露生理值量測，所量測到的生理值包括平均心跳數、每 5 分鐘心跳變異率、每 5 分鐘低頻高頻功率比及每 5 分鐘活動程度，資料筆數總共 4441 筆，達到 370 人時，資料描述性統計可見表 31。分析結果顯示，5 個場址的平均心跳數都介於 87~120 下間，高於一般人休息時平均心跳 72 下，推測可能因工作運動量大導致心跳數上升。各場址受測者的平均 5 分鐘心跳變異率都在 44~130 間、平均 5 分鐘低頻高頻功率比介於 1.92~4.47 間，數據皆屬正常範圍，變數「活動程度」是使用受測者配戴於胸口的三維加速度測量器，測得三個維度各自的加速度後，將 5 分鐘內三軸最大加速度幾何平均所得到的統計量，由分析數據可看出男女間活動程度的差異性。

表 31 熱暴露生理值量測描述性統計

變數	場址 1 男/女平均 值 (標準差)	場址 2 男/女平均 值 (標準差)	場址 3 男/女平均 值 (標準差)	場址 4 男/女平 均值 (標準 差)	場址 5 男/女平均 值 (標準差)	總合 男/女平均 值 (標準差)
平均 心跳 數	106/118 (16.3/14.0)	105/99.7 (13.3/11.0)	104/91.5 (13.7/12.8)	104/無 (13.1/ 無)	104/87.5 (18.1/10.2)	104/103 (15.0/16.8)
每 5 分鐘 心跳 變異 率	82.7/57.5 (77.0/72.8)	46.5/75.2 (32.8/68.1)	76.1/129 (50.5/97.0)	44.7/無 (35.2/ 無)	52.3/77.8 (37.0/28.1)	59.6/77.8 (50.4/77.4)
每 5 分鐘 低頻 高頻 功率 比	3.11/3.40 (2.65/2.68)	4.38/2.54 (3.77/2.26)	2.56/3.70 (1.93/2.23)	4.47/無 (3.01/ 無)	4.07/1.92 (3.47/1.13)	3.74/2.95 (3.13/2.38)
活動 程度	2417/2355 (520/520)	2314/2245 (430/333)	2423/2296 (478/378)	2265/無 (471/ 無)	2362/2044 (484/421)	2353/2269 (480/423)
資料 筆數	587/290	692/398	733/173	759/0	718/91	3489/952

## 第五節 作業現場物料熱能量測

在 105 年計畫中，物料熱能量測所使用的溫度探針，必須靠近物料將探針接觸物料才能測得其實際溫度，但工地因安全考量，大多數場址只讓研究團隊待在地點，無法靠近物料；為此，本次研究使用紅外線測溫儀 Fluke 62 MAX 迷你紅外線測溫儀，藉以測量無法靠近之物料溫度，如圖 79 及圖 80 所示，主要包含木棧板、鋼構台、鋼筋及水泥塊等 4 種，量測距離與受測者約距 1-5 公尺之間，同時也針對受測者工作環境中存在的物料進行溫度量測，此大環境物料溫度量測，可與受測者接觸到的物料溫度做一比較，有助於提升受測者熱暴險資料分析。

實際場測時，研究團隊在每小時前往尋找受測者並記錄行為模式時，即帶上記錄板與測溫儀，在找到受測者後，盡可能靠近，先瞭解 Rooti 心率貼片是否因異常閃爍紅燈，確認後以測溫儀測量距離其最近之物料溫度後於工作紀錄表上記錄；若受測者所在位置難以攀爬或者無法接近，便計算與受測者之距離後測量附近相同之物料記錄溫度。

除受測者附近物料溫度外，團隊在取得工地同意後，在其暫時不會使用之物料區上放置小型環境因子感測器(UA)，取得光照及溫度，於記錄受測者行為模式後，前往物料區測量並記錄溫度，每個觀測地點會放置 2 至 5 台；因測溫儀係以紅外線測量溫度，依說明書指示，在反光物料，例如鋼板、鋼構平台等平滑鐵製物料上貼上黑色的絕緣膠帶(如圖 81、82)測量其溫度。

表 32 顯示場址 6-10 受測者所接觸的物料溫度量測，從物料種類來看，各場址受測者所接觸到的物料大多相同，以場址 6 而言，受測者接觸物料種類有木棧板、鋼構台、水泥塊及鋼筋，平均溫度約介於 33-53.4°C 間，其中木棧板量測到最高溫 66.8°C，是所有場址及物種量測之最高溫，可見木棧板受到長時間日曬，其升溫程度不亞於鋼筋這種高吸熱物料，且值得注意的是木棧板、水泥塊及鋼筋 3 種物料皆量測到出現 60°C 以上的高溫。另外，場址 7-10 受測者接觸到的物料皆為木棧板、水泥塊及鋼筋，相較於場址 6 少了鋼構台，此乃因各場址工程進度不同所造成之影響。

場址 7 溫度量測資料顯示，3 種物料平均溫度介於 32.7-39.3 間，是所有場址最低，推測可能與當時量測時天氣多為陰天，物料未一直受到太陽直射所致；此場址量測到最高溫是鋼筋物料的 56.5°C。



場址 8 物料平均溫度則介於 34.2-45.6 間，最大溫度出現於木棧板的 56.9°C。

場址 9 物料量測平均溫度範圍為 37.2-38.2 間，量測物種最高溫是水泥塊 47.1°C。

場址 10 物料量測溫度則介於 33.8-46.3°C 間，值得關注的是，此場址的鋼筋溫度為 5 個場址之最，達到 63°C。

綜合 5 個場址的物種溫度觀測資料可得知，受測者在烈日環境下工作除了受到高氣溫之熱暴險影響外，工作過程中所接觸到的物料所產生的高溫亦可能是勞工受測者另一熱危害威脅，要降低戶外高氣溫作業勞工熱暴險的危害程度，此觀測資料具有實質之參考價值。

有別於受測者近距離 1-5 公尺間接觸到的物料溫度量測，本研究亦規劃同時針對場址 6-10 大環境中所存在的物料進行溫度量測，並同時放置小型環境因子感測器(UA)，長時間觀測該物料溫度變化，表 33 顯示工作環境中物料溫度，這些物料雖非受測者長時間接觸的物料，卻存在於受測者工作環境中，其溫度亦可能對作業勞工造成熱暴險威脅，不容小覷！

存在各觀測場址大環境的物料種類相當多，涵蓋鋼筋(立柱鋼筋、圓橫鋼筋、彎鋼筋及方鋼筋等)、木材、圍牆、鷹架、水管、鋼骨、鐵板、木板、風機及鋼管等 10 餘種，綜合比較分析，可發現這些物料的平均溫度介於 32.5-55.4 間，最低溫物料出現於場址 9 的鐵板，最高溫則出現於場址 10 的風機。值得注意的是，大多數物料溫度的最高溫皆達 50°C 以上，其中場址 6 木材、場址 10 風機及木板甚至達 65°C 以上，如不慎直接碰觸到這些高溫物料，將可能增加受測者熱危害風險。實際量測物料溫度有助釐清勞工受測者在工作過程中可能遭受到的熱危害來源，對避免戶外作業勞工受到熱暴險有正面助益。

圖 83 至圖 87 顯示工作場址 6-10 大環境中各物料溫度隨時間變化之趨勢，場址 6 針對大環境中的木材及鋼筋(包含立柱鋼筋、圓橫鋼筋、彎鋼筋及方鋼筋等 5 種)進行溫度監測，結果顯示木材量測到最高溫約 60°C，最低溫則為立柱鋼筋，約 40°C 左右，結果亦顯示，在中午 12 點至下午 2 點間各物料皆觀測到最高溫，推測可能是中午時段日曬充足大氣溫度較高所致。

場址 7 觀測物料選定圍牆、鷹架及水管，3 種物料以水管呈現最高溫，可達 55°C 左右，值得注意的是，3 種物料在 8 月 8 日上午 10 點半至 11 點間有明顯降溫現象，降幅達 10°C 以上，對照研究人員天氣型態記錄資料得知，該時段天氣屬於陰

天，因此物料溫度有明顯下降之趨勢。

場址 8 主要針對鷹架及鋼骨 2 種物料進行量測，結果顯示鋼骨溫度高於鷹架溫度，最高溫可達 50°C 以上；值得注意的是，在 8 月 9 日中午 12 點至下午 2 點間，2 種物料出現明顯降溫現象，比對紀錄得知當時天氣型態屬於陰天，且物料受到烏雲遮蔽未直接受到太陽照射，因而導致物料溫度下降。

場址 9 則是選定鐵板、鋼筋及木板 3 種物料進行溫度量測，結果顯示，木板最高溫可達接近 60°C，且出現時間集中於中午前，其中 8 月 22 日更出現劇烈升溫現象，對照當時研究紀錄發現，該時段僅木板未受到遮蔽陽光直射於該物料上，相對鐵板及鋼筋則無太明顯升溫現象，其溫度隨時間並無太明顯起伏，僅下午 2 點過後有微幅上升。

場址 10 則針對風機、鋼管及木板進行溫度觀測，結果顯示 9 月 3 日觀測於中午前 3 種物量溫度變化趨勢接近，最高溫約 60°C，下午約 2 點後，因物料受到遮蔽，溫度下降。9 月 4 日觀測，風機及木板於上午約 10 點左右溫度有明顯下降現象，係物料受到遮蔽所致，隨後溫度便一路攀升至下午 2 點過後，3 種物料同時降溫，此結果應是該時段雲量增多，物料受遮蔽所造成。此外，值得注意的是，當日中午約 12 點時，木板量測到最高溫達 70°C，若直接碰觸可能有燙傷之虞。

綜合上述觀察，當各種物料受到日曬後，皆易產生高溫，因此，為預防戶外作業勞工受到熱危害，避免直接接觸物料是有必要的，建議此類勞工應適時戴用工地手套施工。

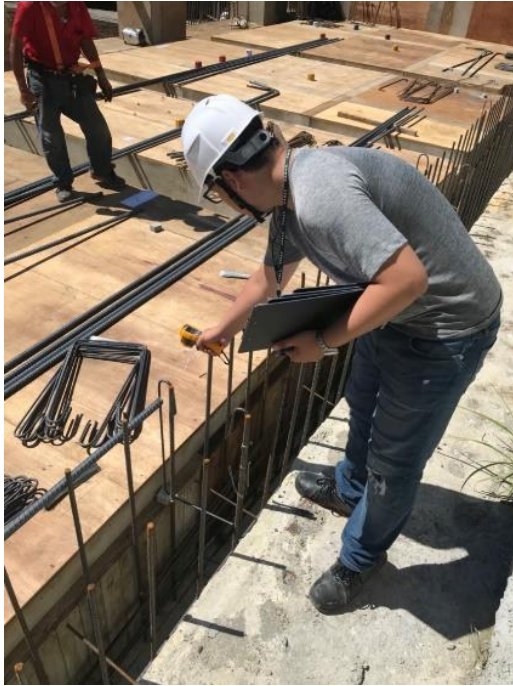


圖 79 測溫槍測量物料溫度-1

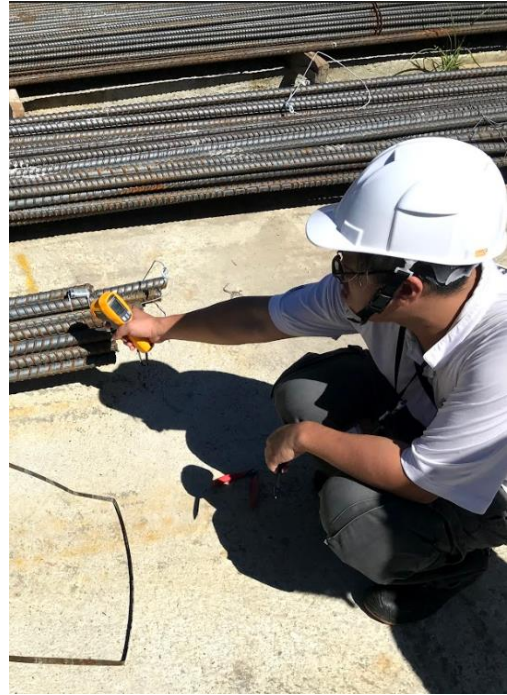


圖 80 測溫槍測量物料溫度-2



圖 81 絕緣膠帶貼於物料上(紅圈處)-1



圖 82 絕緣膠帶貼於物料上(紅圈處)-2

表 32 各場址受測者接觸物料溫度量測

物料	溫度(T)最大值	溫度(T)最小值	平均數	標準差	
場址 6	木棧板	66.8	33	56.9	9.3
	鋼構台	36.8	36.8	36.8	-
	水泥塊	61.5	53.4	57.5	5.7
	鋼筋	62.7	31.8	43.8	9.9
場址 7	木棧板	44.6	30.1	32.7	3.9
	水泥塊	46.5	28.5	35.2	5.9
	鋼筋	56.5	26	39.3	8.3
場址 8	木棧板	56.9	29.3	45.6	11.6
	水泥塊	49.3	28.2	36.9	6.1
	鋼筋	36.5	32	34.2	1.4
場址 9	木棧板	37.7	36.8	37.3	0.6
	水泥塊	47.1	29.1	37.2	4.9
	鋼筋	38.2	38.2	38.2	0.0
場址 10	木棧板	50.2	25.8	35.6	13.1
	水泥塊	48.9	24.7	33.8	7.4
	鋼筋	63	25.6	46.3	8.9

溫度單位:°C

表 33 各場址工作環境中物料溫度

物料		溫度(T)最大值	溫度(T)最小值	平均數	標準差
場址 6	鋼筋	56.1	24.5	42.6	6.7
	木材	65	32.4	50.0	9.3
場址 7	圍牆	46	29.8	39.9	4.7
	鷹架	41	24.2	34.3	3.7
	水管	53.2	26.4	42.4	7.1
場址 8	鷹架	45.6	33	38.1	3.8
	鋼骨	50.9	31.9	42.2	5.9
場址 9	鐵板	34.5	30.8	32.5	1.9
	鋼筋	43.3	30.4	35.0	3.8
	木板	50	33.5	37.2	5.0
場址 10	風機	69.3	30.9	55.4	13.6
	木板	67.3	33.6	54.8	10.8
	鋼管	63.8	31.1	49.9	10.8

註:1.場址 6 鋼筋包含立柱鋼筋、圓橫鋼筋、彎鋼筋及方鋼筋  
2.溫度單位:°C

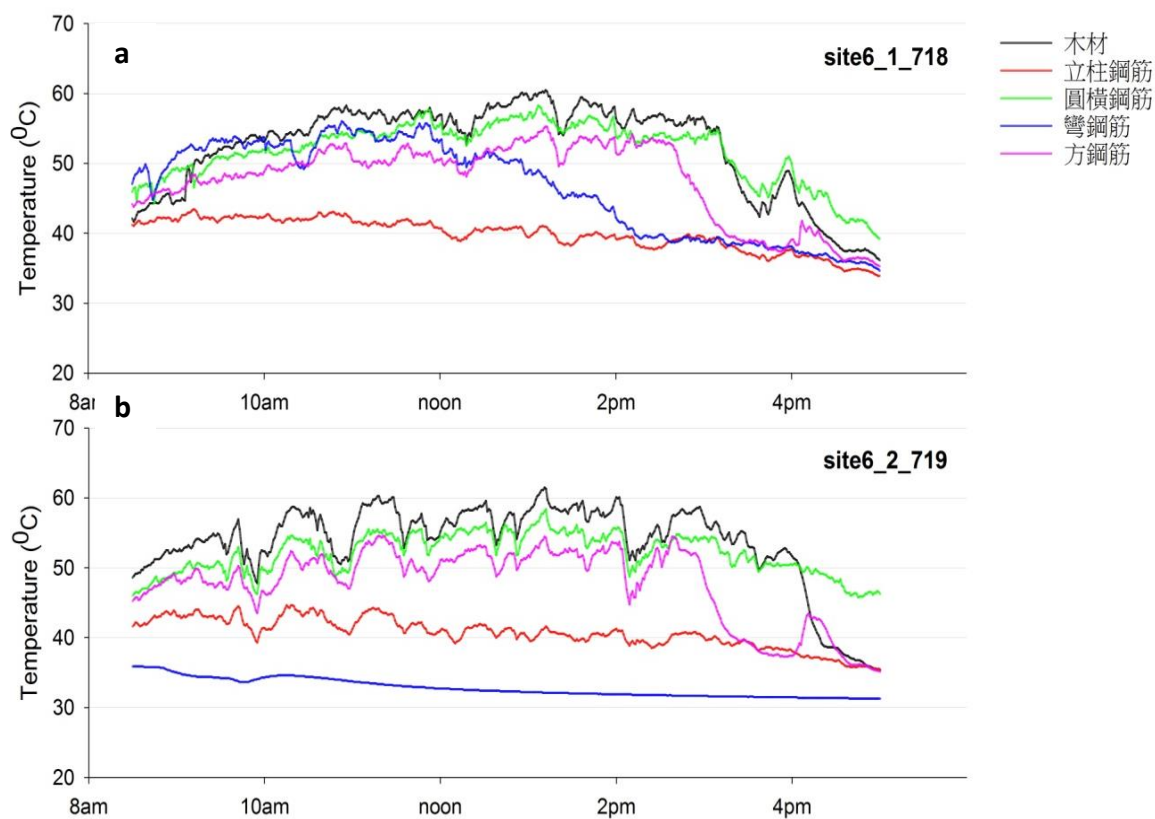


圖 83 工作環境中各物料溫度\_場址 6 (a)第一天觀測(7 月 18 日) ; (b)第二天觀測(7 月 19 日)

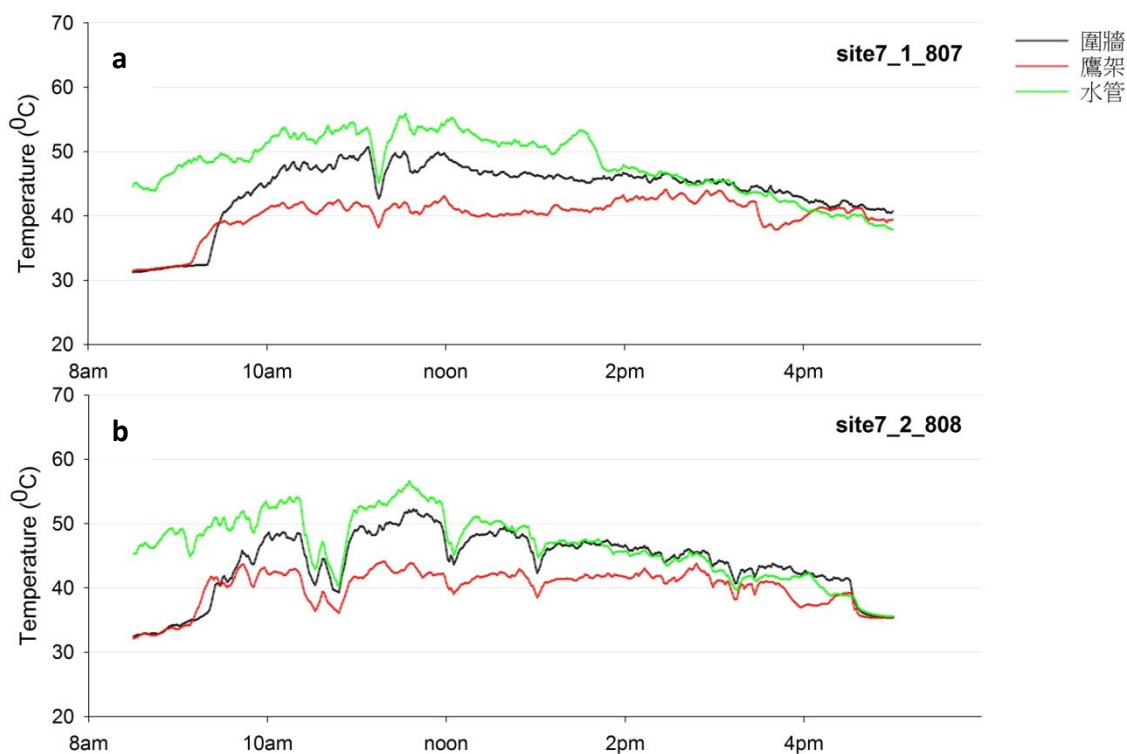


圖 84 工作環境中各物料溫度\_場址 7 (a)第一天觀測(8 月 7 日) ; (b)第二天觀測(8 月 8 日)

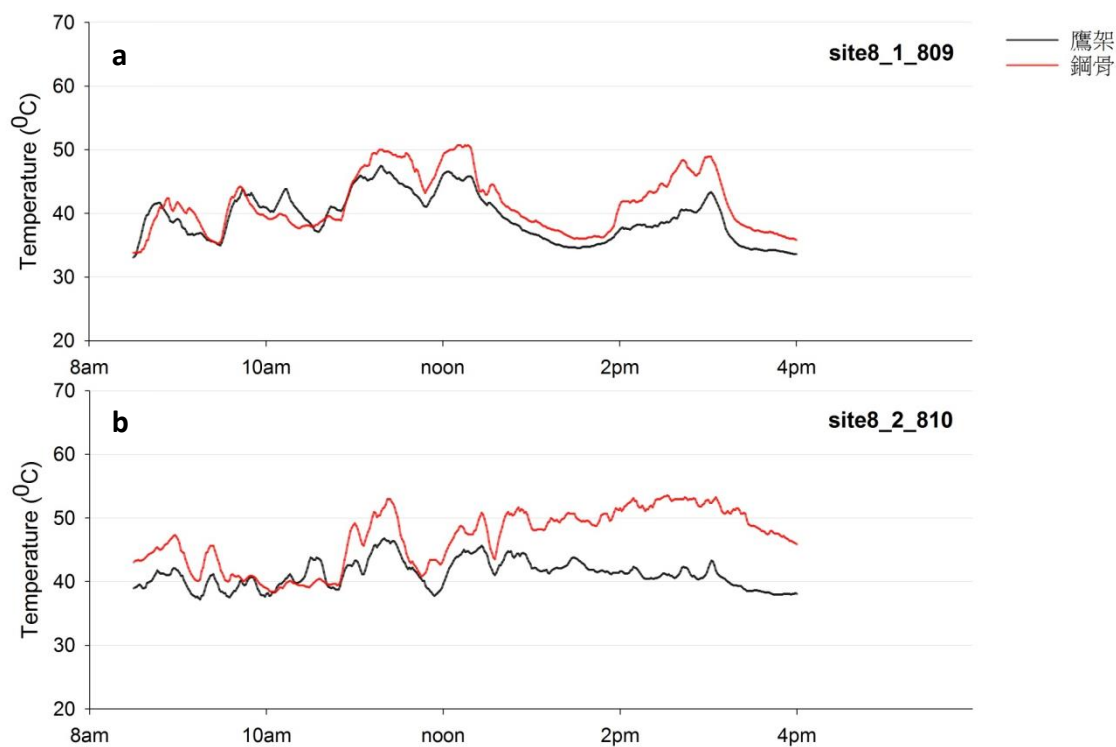


圖 85 工作環境中各物料溫度\_場址 8 (a)第一天觀測(8 月 9 日) ; (b)第二天觀測(8 月 10 日)

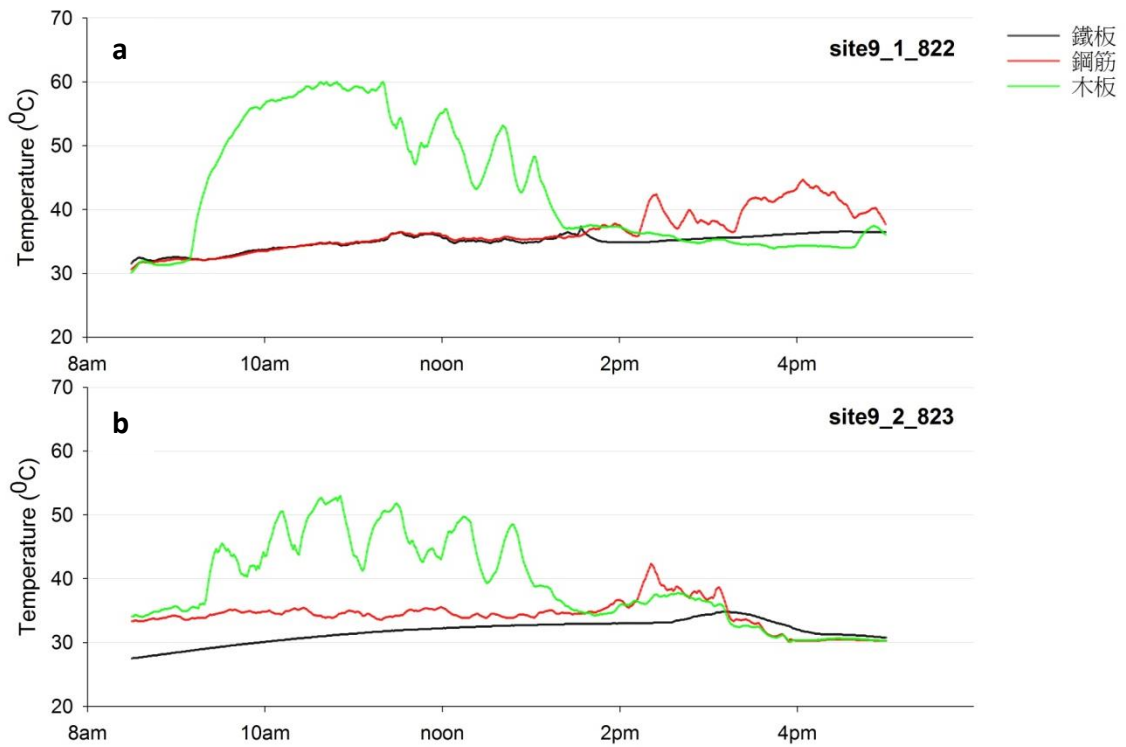


圖 86 工作環境中各物料溫度\_場址 9 (a)第一天觀測(8 月 22 日) ; (b)第二天觀測(8 月 23 日)

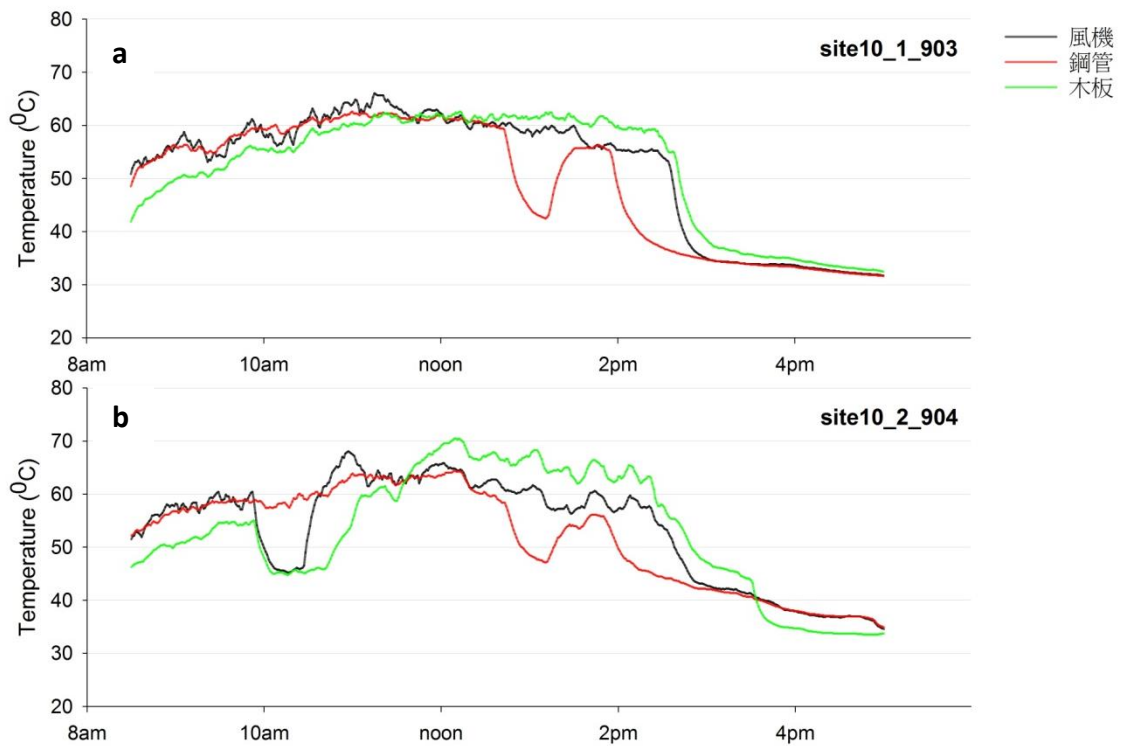


圖 87 工作環境中各物料溫度\_場址 10 (a)第一天觀測(9 月 3 日) ; (b)第二天觀測(9 月 4 日)

## 第六節 戶外高氣溫環境與戶外作業勞工熱暴露生理資料關係性分析

### 一、基本描述性統計

本研究共 51 位受測者配戴熱暴險穿戴裝置及心率感測器「Rooti Rx System」，心率感測器及熱暴險穿戴裝置收集到量測資料共有 3610 筆。熱暴險穿戴裝置與生理資料連續性變數描述性統計分析顯示於表 34。心跳低於 40 次/每分鐘或高於 200 次/每分鐘、心跳變異率等於 0 或是大於 400、低頻高頻功率比低於 0.01 的資料，判定為接觸不良的異常值，因此將這些資料排除。異常值排除後，受測者的年齡、BMI、活動程度、WBGT、心跳、5 分鐘心跳變異率及 5 分鐘低頻高頻功率比的數值都落在生物學上合理範圍內。

表 34-(a) 熱暴險穿戴裝置與生理資料連續性變數描述性統計

變數	平均值(標準差)	範圍
年齡(歲)	44.2(12.5)	20~67
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	25.2(3.84)	18.4~40.1
活動程度	2325(465)	1107~3547
WBGT	32.3(3.74)	19.1~43.8
心跳(次/分鐘)	104(15.3)	54.0~148
5 分鐘心跳變異率	62.4(55.9)	5.00~361
5 分鐘高頻低頻功率比	3.61(3.05)	0.140~24.7



表 34-(b) 熱暴險穿戴裝置與生理資料類別變數描述性統計

變數	資料筆數(百分比) ，共 3610 筆
<b>性別</b>	
男	2859(79.2)
女	751(20.8)
<b>工作/休息</b>	
工作	2424(67.1)
休息	1186(32.9)
<b>工作內容</b>	
<b>輕工作</b>	
清潔工	154(4.27)
清潔點工	197(5.46)
監工	227(6.29)
<b>中工作</b>	
水電工	263(7.29)
吊裝工	64(1.77)
防水工程	161(4.46)
搬運工	91(2.52)
<b>重工作</b>	
模板工	1041(28.8)
鋼筋工	1412(39.1)
<b>工作類型</b>	
輕	578(16.0)
中	579(16.0)
重	2453(68.0)

變數之一「活動程度」使用受測者配戴於胸口的三維加速度測量器，測得三個維度各自加速度後，將 5 分鐘內三軸最大加速度幾何平均得到的統計量。從圖 88 可見，受測者在工作與休息時其「活動程度」有明顯差異，顯示「活動程度」變數可確實反應受測者實際活動程度。

變數「工作類型」的分類，使用法規對輕、中、重工作的定義，輕工作的定義指僅以坐姿或立姿進行手臂部動作以操縱機器者，如清潔工、清潔點工及監工被歸類為輕工作者；中工作的定義則是指於走動中提舉或推動一般重量物體者，水電工、吊裝工、防水工程及搬運工被歸類為中工作者；重工作的定義為鏟、掘、推等全身運動之工作者，模板工及鋼筋工則被歸類為重工作者。圖 89 顯示輕、中、重工作在工作時間與活動程度之關係，結果顯示，輕、中、重工作並不能完全反應在活動程度中，可推論輕、中、重工作不能以活動程度來表示。

表 35 顯示各場址收案數與基本描述性統計，表中顯示受測者的基本資料無論是年齡、BMI、活動程度、WBGT、心跳、5 分鐘心跳變異率及 5 分鐘低頻高頻功率比的數值都在合理範圍，因此，5 個場址的資料皆納入分析。連續性變數間的相關性於表 36 中呈現，各變數間無出現相關性大於 0.7 者，未發現變數間可能的共線性關係。

此外，由圖 90 至圖 94 場址 6-10 心跳變異率與 WBGT 隨時間變化之時序圖中，無異常值發現。而場址 6-10 的高低頻功率比與 WBGT 隨時間變化的時序圖，顯示於圖 95 至圖 99，從中亦無發現異常值，因此分析中，無特別排除任何變項。

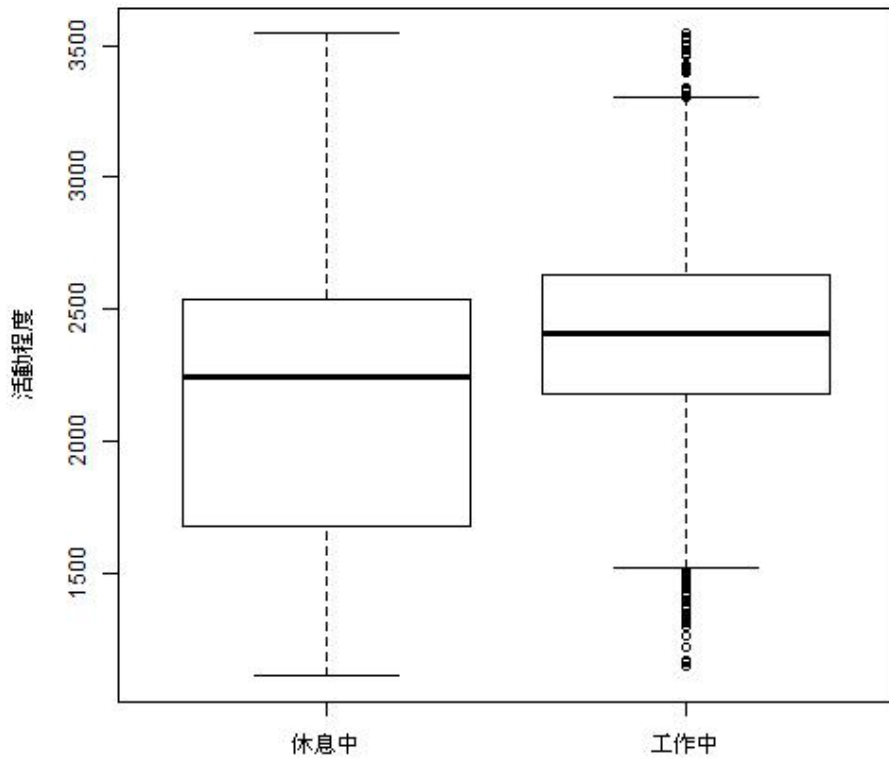


圖 88 工作與休息期間活動程度的差異

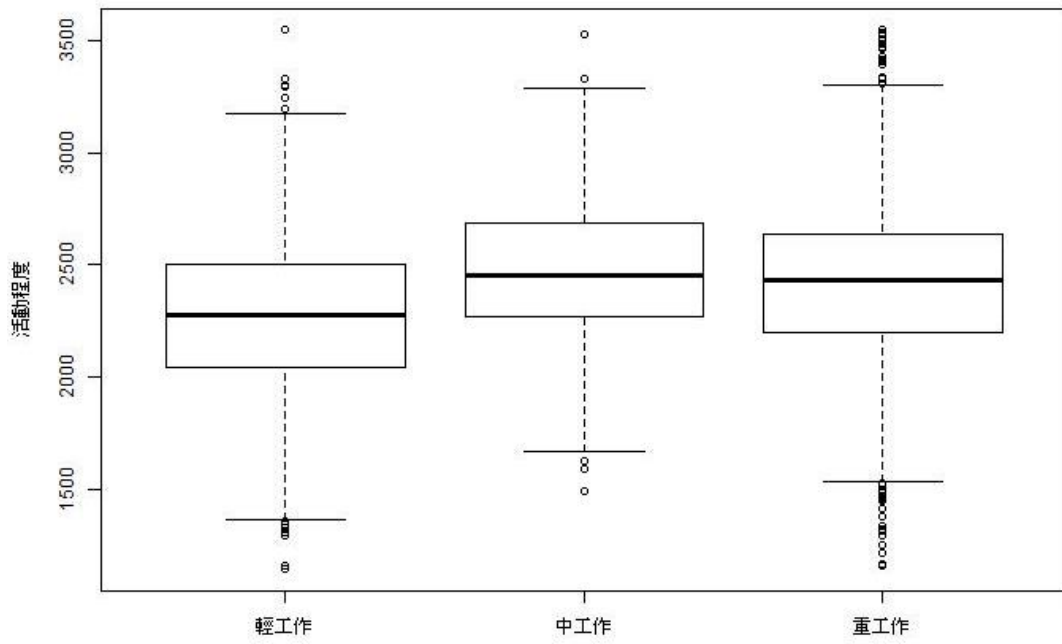


圖 89 輕、中、重工作在工作時間與活動程度的關係

表 35 各場址收案筆數與基本描述性統計

變數	場址 1 (n=541)	場址 2 (n=799)	場址 3 (n=815)	場址 4 (n=700)	場址 5 (n=755)
年齡(歲)	49.7(8.22)	46.0(10.2)	41.7(13.7)	45.5(14.9)	39.9(11.5)
BMI(kg/m <sup>2</sup> )	25.4(4.30)	25.5(2.77)	24.6(2.50)	23.8(3.48)	26.9(5.07)
活動程度	2371(519)	2301(371)	2382(466)	2248(471)	2324(496)
WBGT	34.9(3.65)	33.9(3.43)	30.8(2.83)	30.9(3.89)	31.6(3.21)
心跳(次/分鐘)	112(15.3)	103(12.7)	100(14.3)	103(13.4)	102(18.2)
5 分鐘	70.4(75.0)	56.5(50.7)	88.4(66.1)	43.7(32.1)	52.3(35.9)
心跳變異率					
5 分鐘	3.22(2.65)	3.84(3.58)	2.76(2.03)	4.45(3.06)	3.76(3.36)
高頻低頻功率比					
<b>性別 n(%)</b>					
男	320(59.1)	514(64.3)	656(80.5)	700(100)	669(88.6)
女	221(40.9)	285(35.7)	159(19.5)	0(0)	86(11.4)
<b>工作/休息 n(%)</b>					
工作	407(75.2)	712(89.1)	262(32.1)	538(76.9)	505(66.9)
休息	134(24.8)	87(10.9)	553(67.9)	162(23.1)	250(33.1)
<b>工作內容 n(%)</b>					
<b>輕工作</b>					
清潔工	-	-	-	154(22.0)	-
清潔點工	-	110(13.8)	-	-	87(11.5)
監工	-	-	87(10.7)	140(20.0)	-
<b>中工作</b>					
水電工	-	-	89(10.9)	-	174(23.0)
吊裝工	-	-	-	64(9.1)	-
防水工程	-	-	-	-	161(21.3)
搬運工	-	-	91(11.2)	-	-
<b>重工作</b>					
模板工	-	322(40.3)	389(47.7)	166(23.7)	164(21.7)
鋼筋工	541(100)	367(45.9)	159(19.5)	176(25.1)	169(22.4)
<b>工作類型 n(%)</b>					
輕	-	110(13.8)	87(10.7)	294(42.0)	87(11.5)
中	-	-	180(22.1)	64(9.1)	335(44.4)
重	541(100)	689(86.2)	548(67.2)	342(48.9)	333(44.1)

表 36 連續性變數之間的相關性

	心跳	心跳變異率	低頻高頻功率比	WBGT	年齡	BMI	活動程度
心跳	-	-0.180	-0.0289	0.182	0.000559	0.0629	0.395
心跳變異率	-	-	-0.199	0.0222	0.00753	-0.0396	0.143
低高頻功率比	-	-	-	-0.00589	-0.0319	0.0822	-0.0324
WBGT	-	-	-	-	0.127	0.0798	0.0942
年齡	-	-	-	-	-	-0.0106	-0.137
BMI	-	-	-	-	-	-	-0.00251
活動程度	-	-	-	-	-	-	-

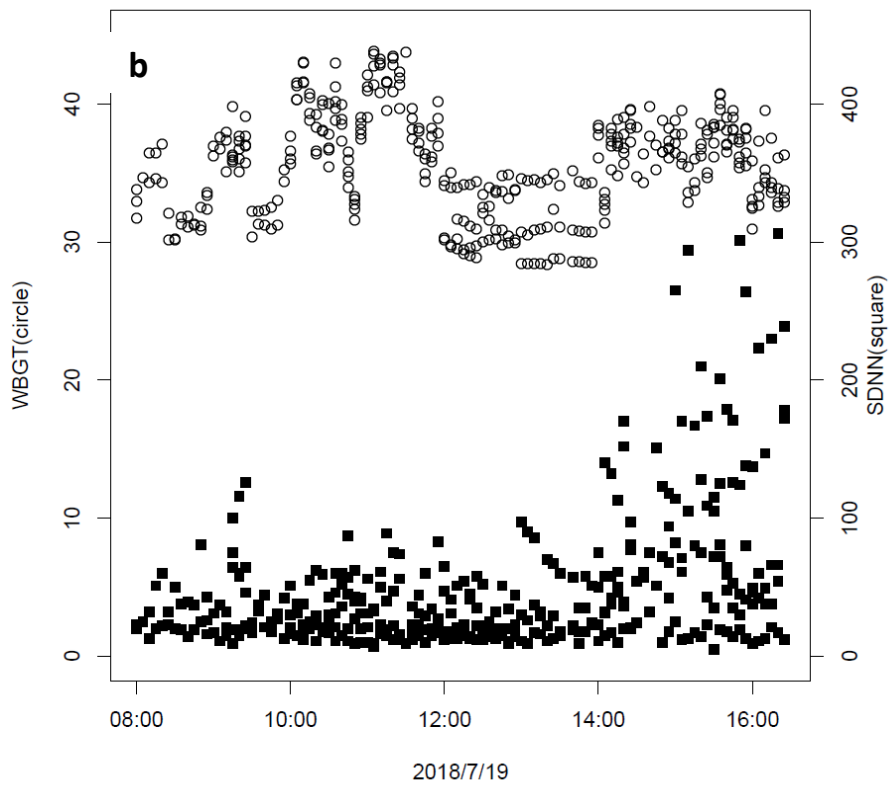
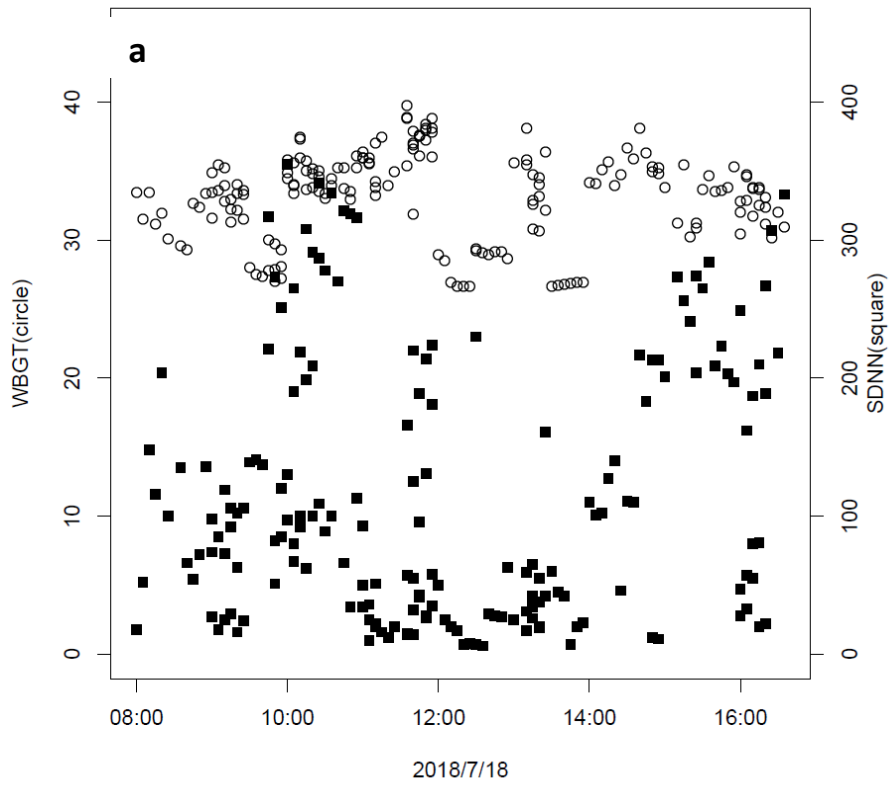


圖 90 心跳變異率與 WBGT 隨時間變化時序圖\_場址 6 a: 7 月 18 日;b: 7 月 19 日

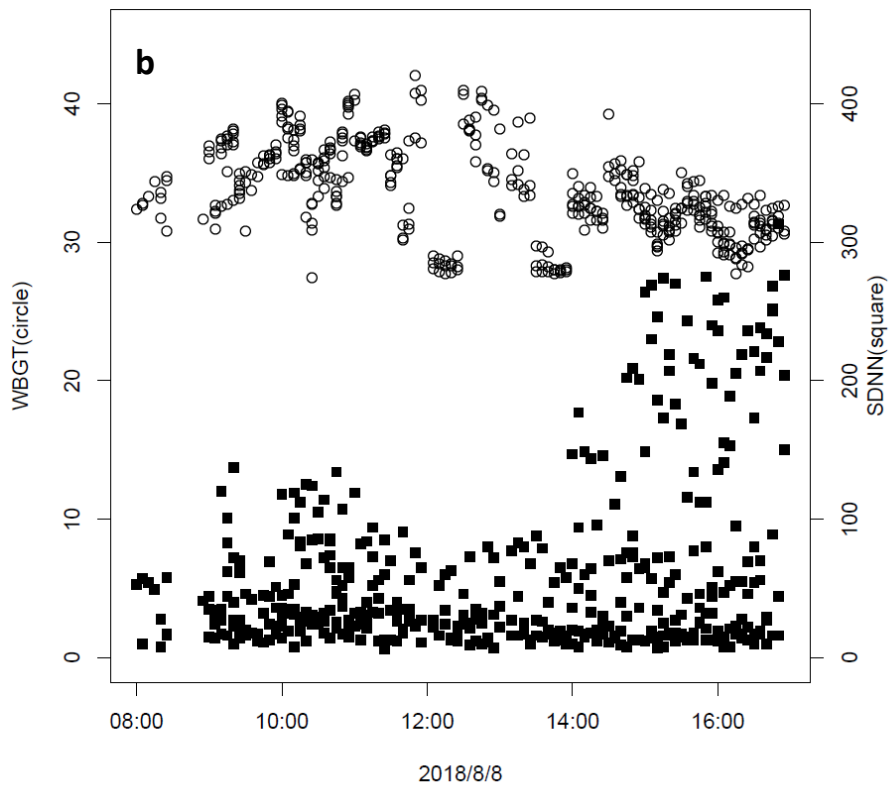
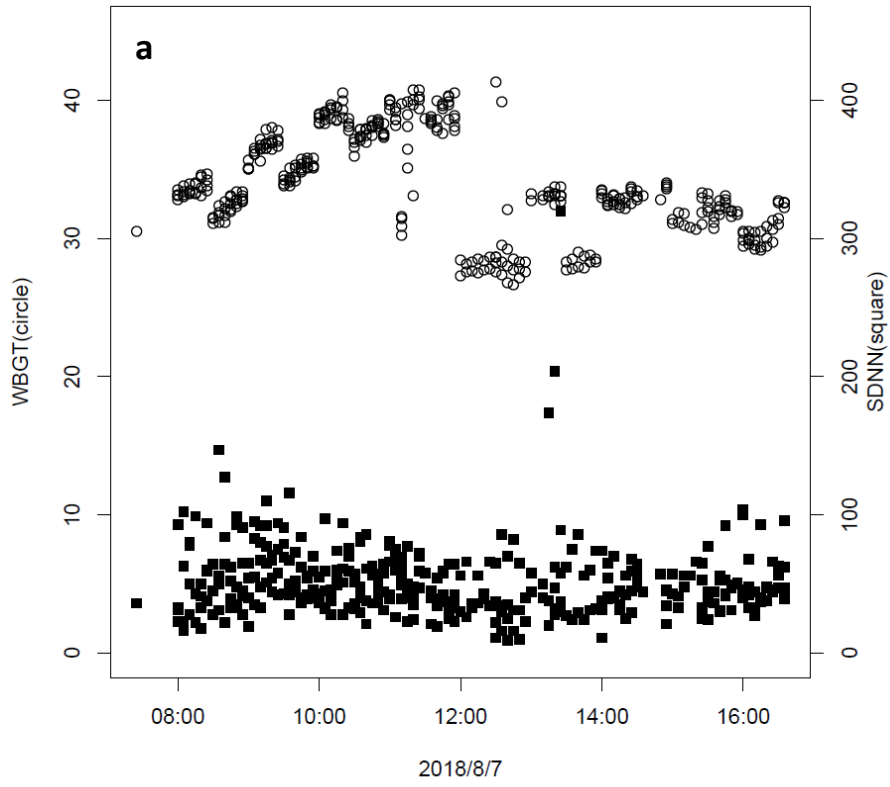


圖 91 心跳變異率與 WBGT 隨時間變化時序圖\_場址 7 a: 8 月 7 日; b: 8 月 8 日

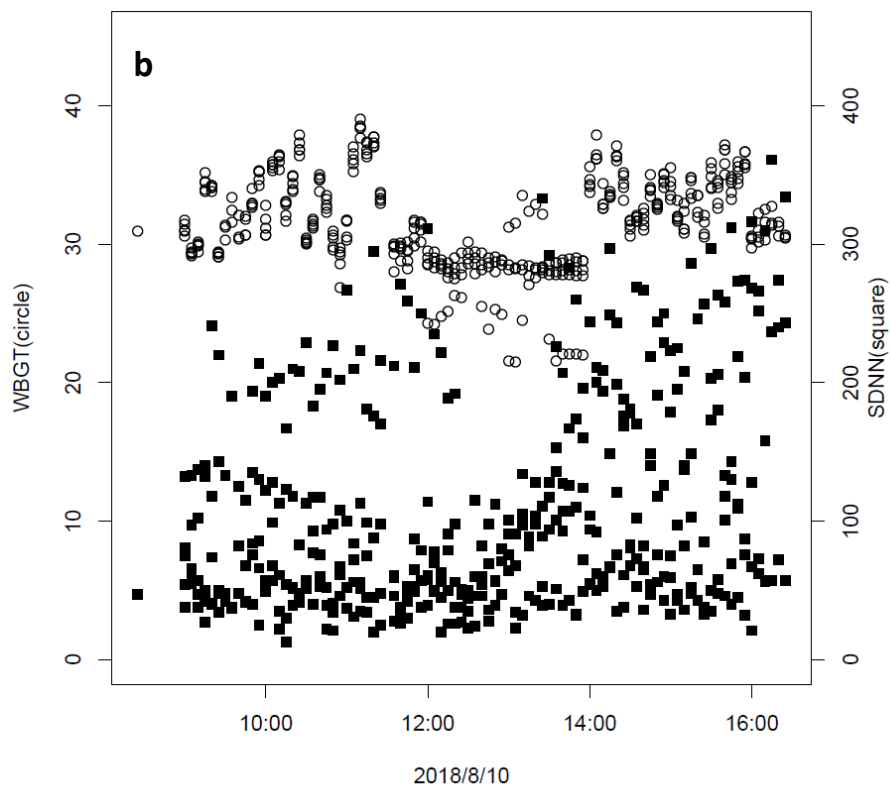
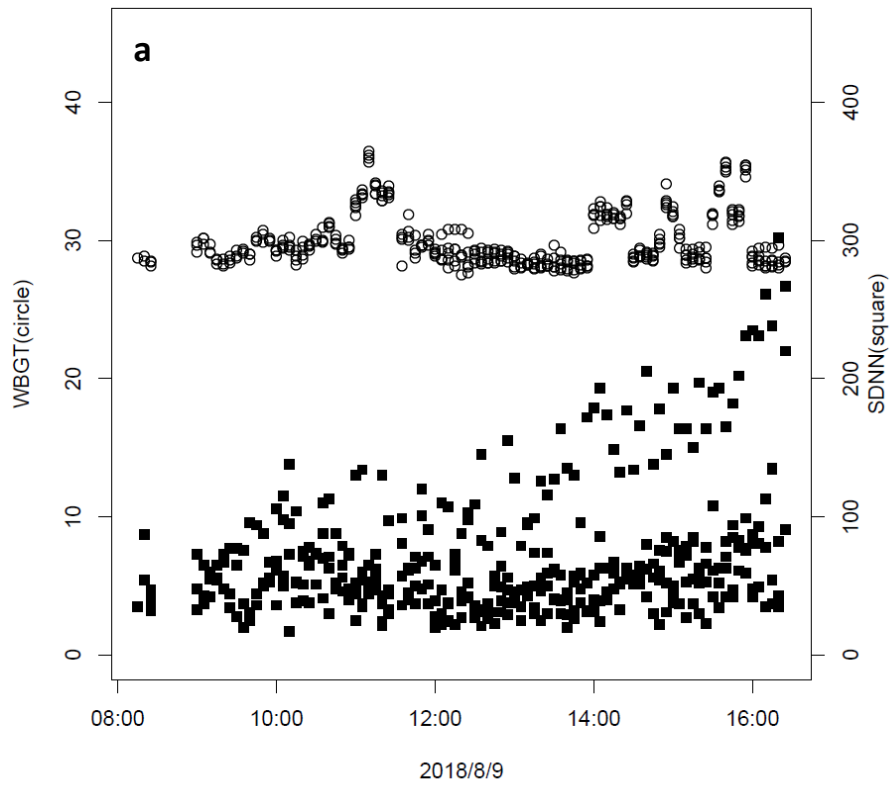


圖 92 心跳變異率與 WBGT 隨時間變化時序圖\_場址 8 a: 8 月 9 日; b: 8 月 10 日



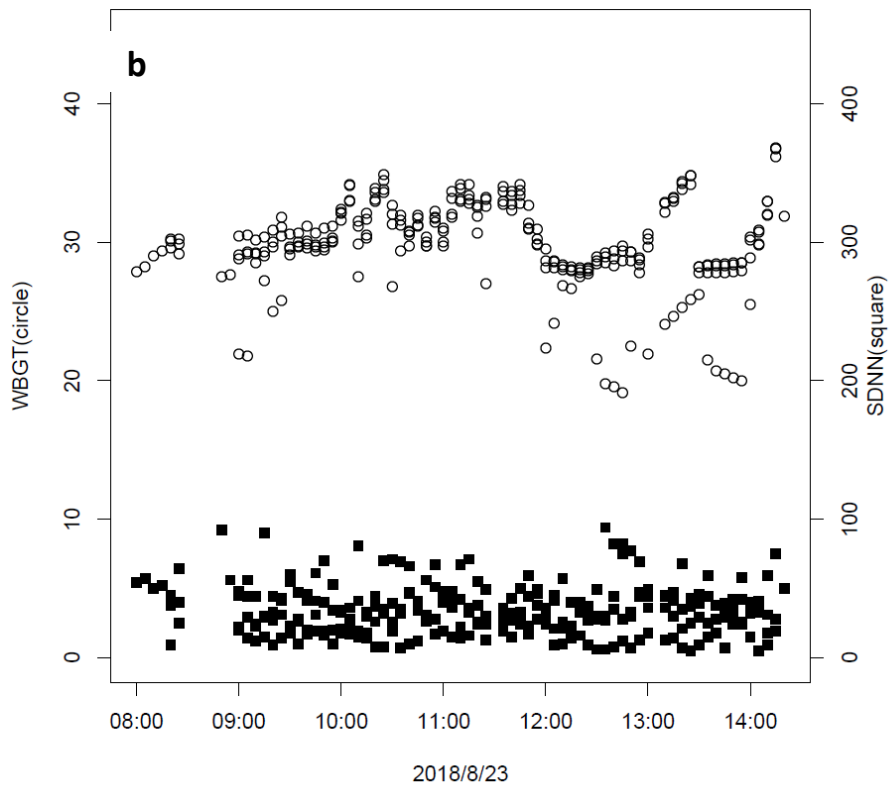
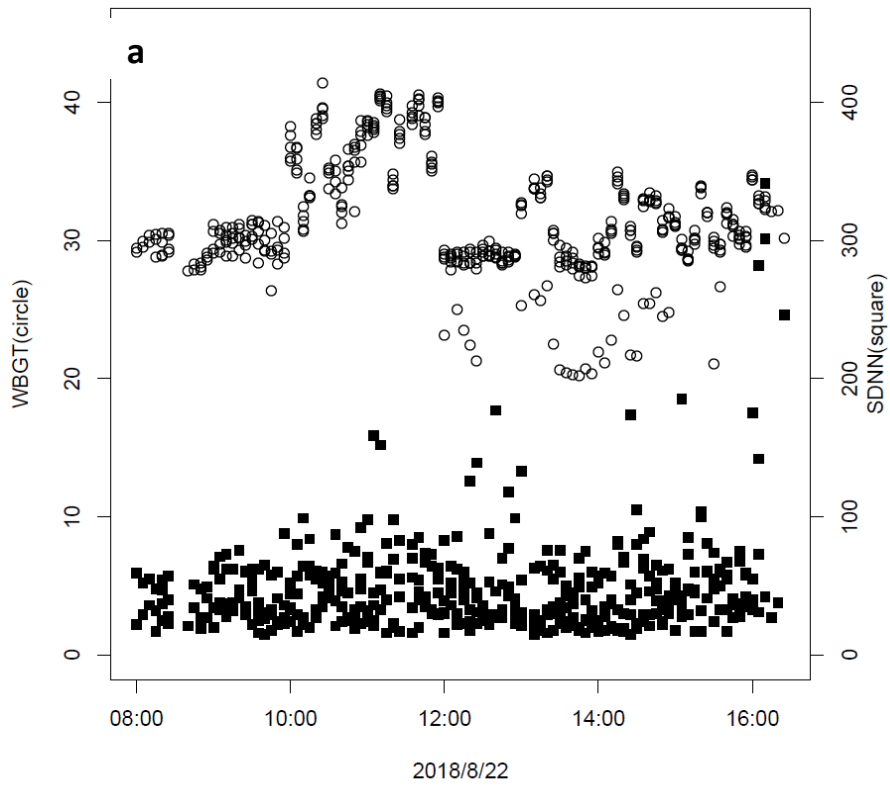


圖 93 心跳變異率與 WBGT 隨時間變化時序圖\_場址 9 a: 8 月 22 日; b: 8 月 23 日

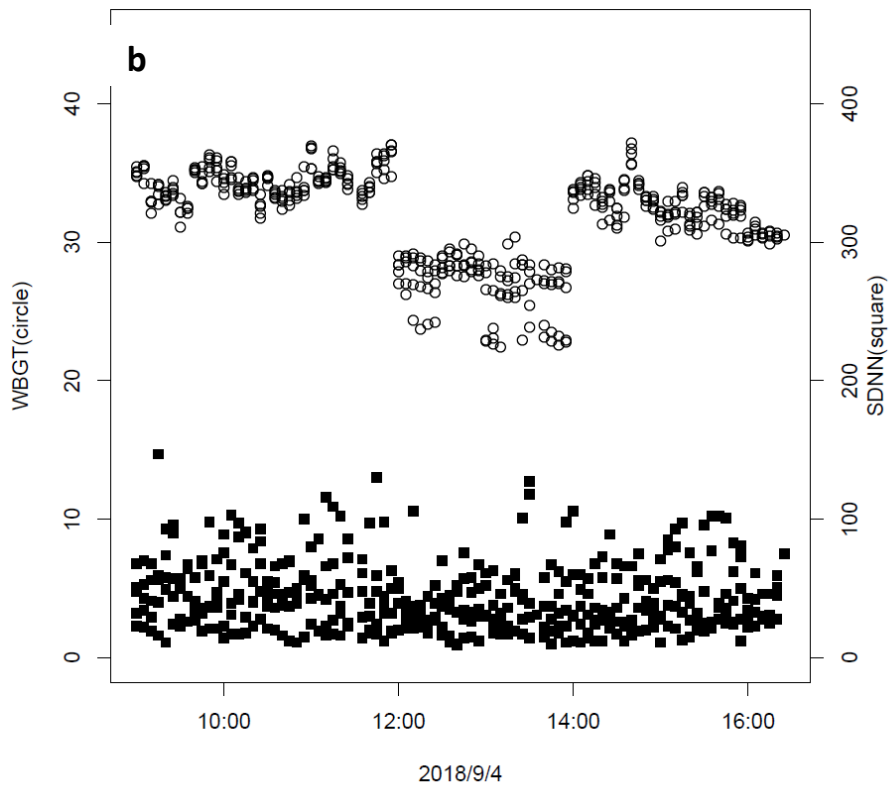
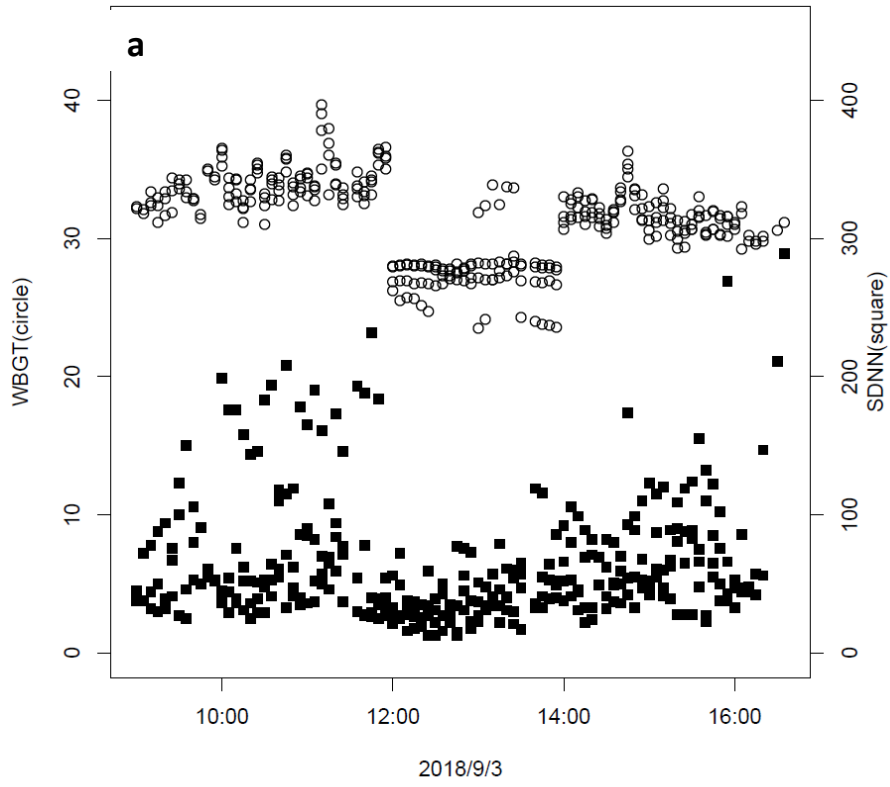


圖 94 心跳變異率與 WBGT 隨時間變化時序圖\_場址 10 a: 9 月 3 日; b: 9 月 4 日

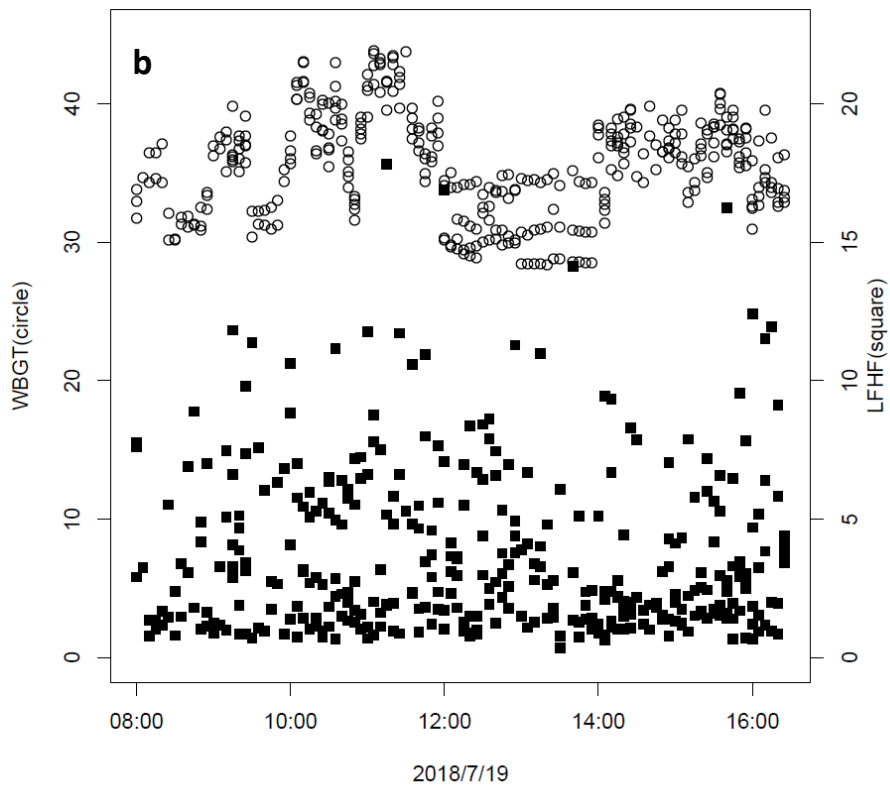
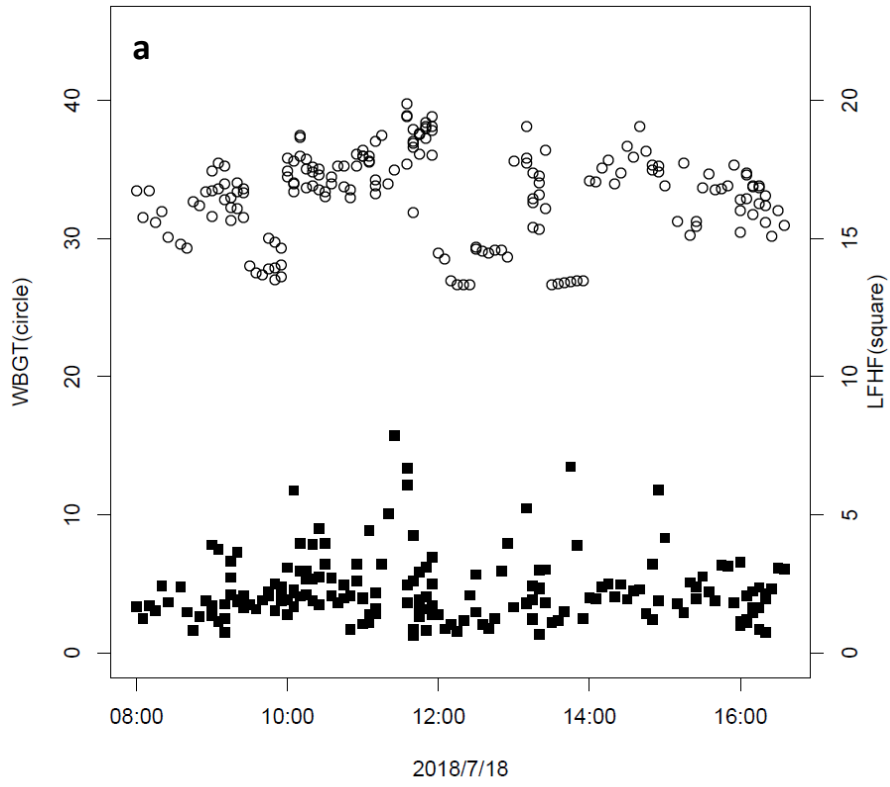


圖 95 高低頻功率比與 WBGT 隨時間變化時序圖\_場址 6 a: 7 月 18 日; b: 7 月 19 日

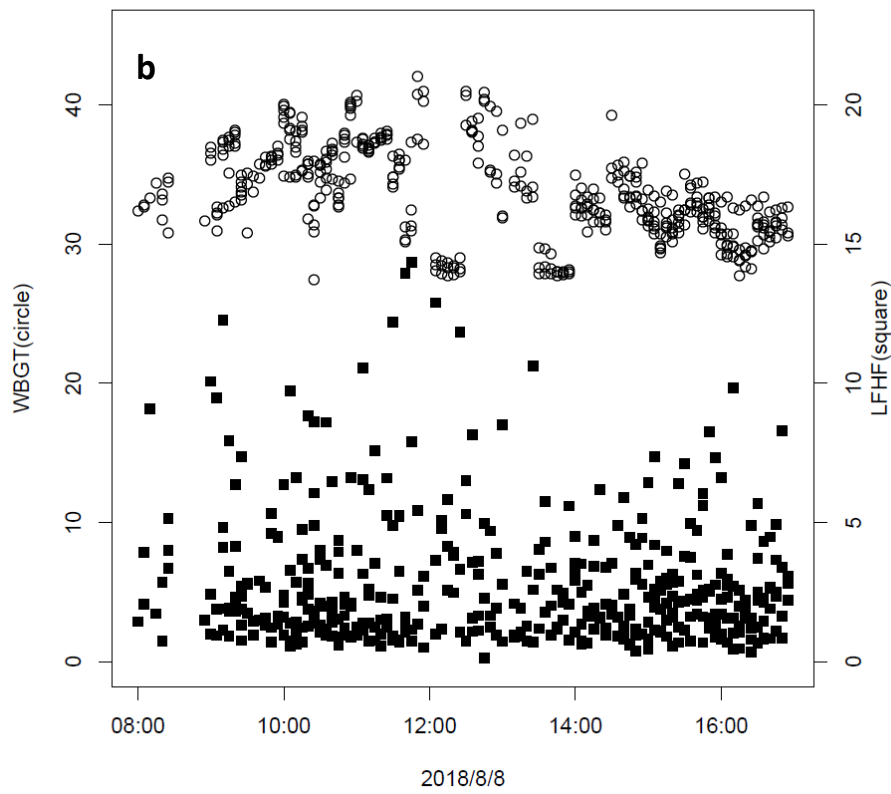
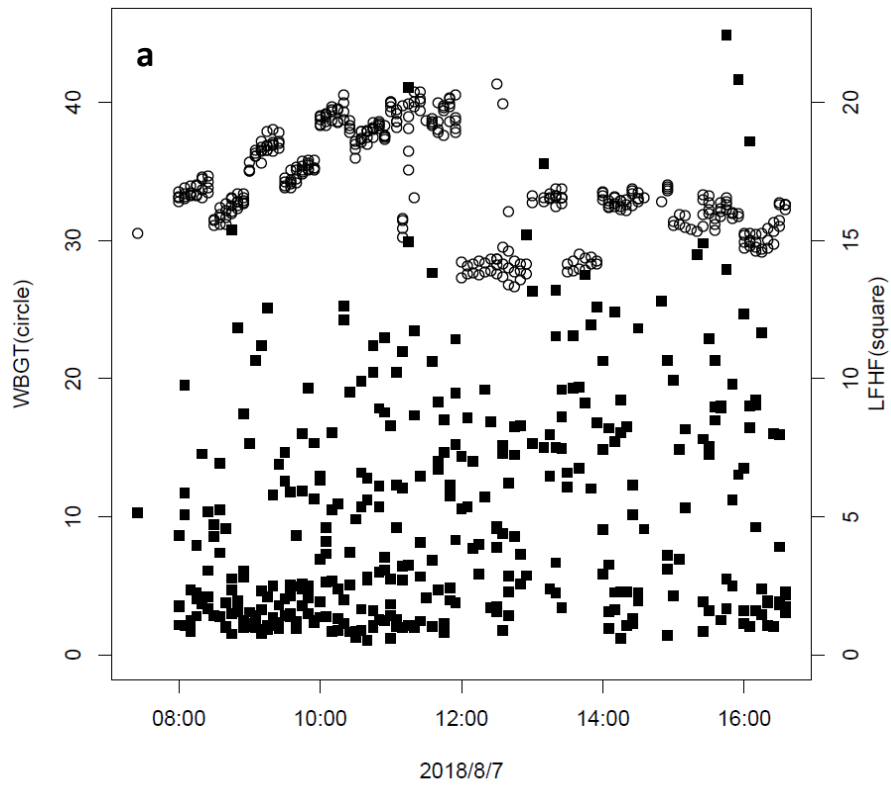


圖 96 高低頻功率比與 WBGT 隨時間變化時序圖\_場址 7 a: 8 月 7 日; b: 8 月 8 日

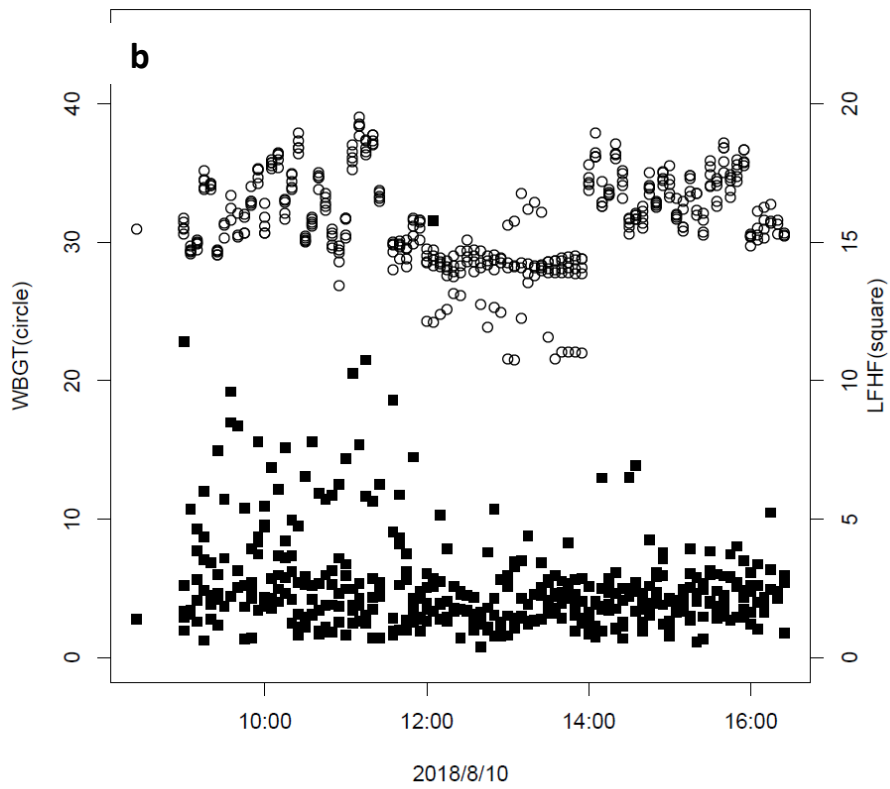
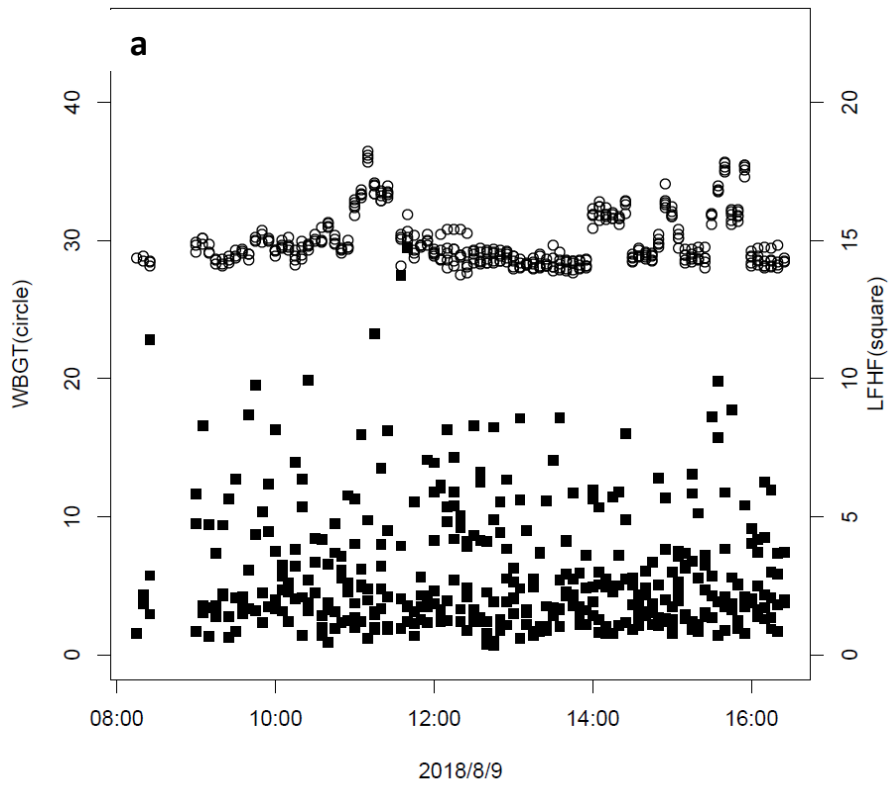


圖 97 高低頻功率比與 WBGT 隨時間變化時序圖\_場址 8 a: 8 月 9 日; b: 8 月 10 日

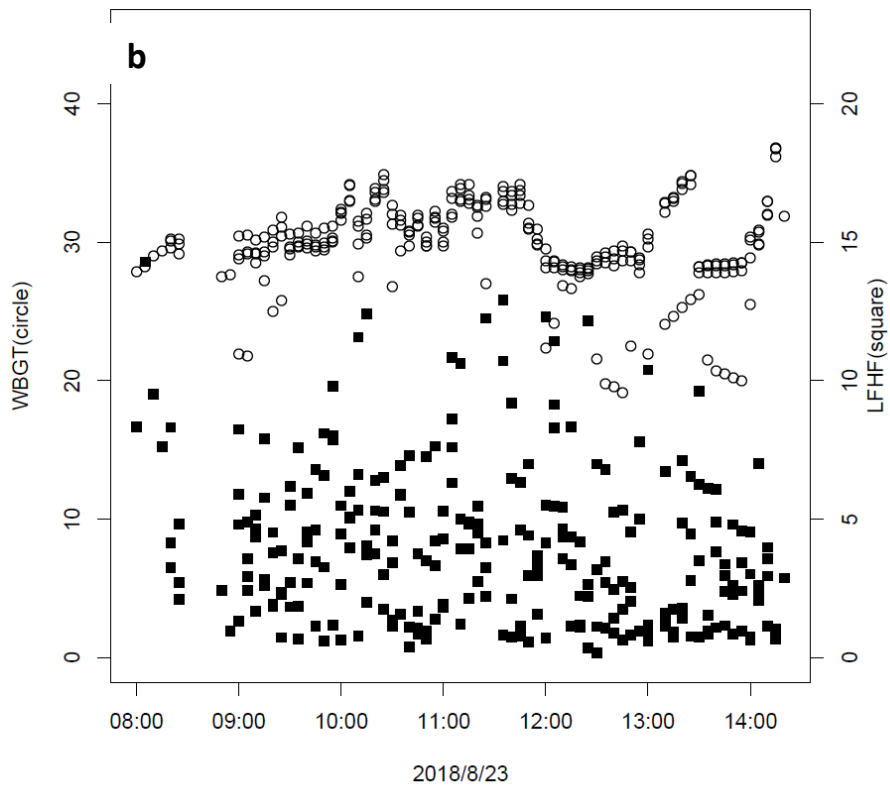
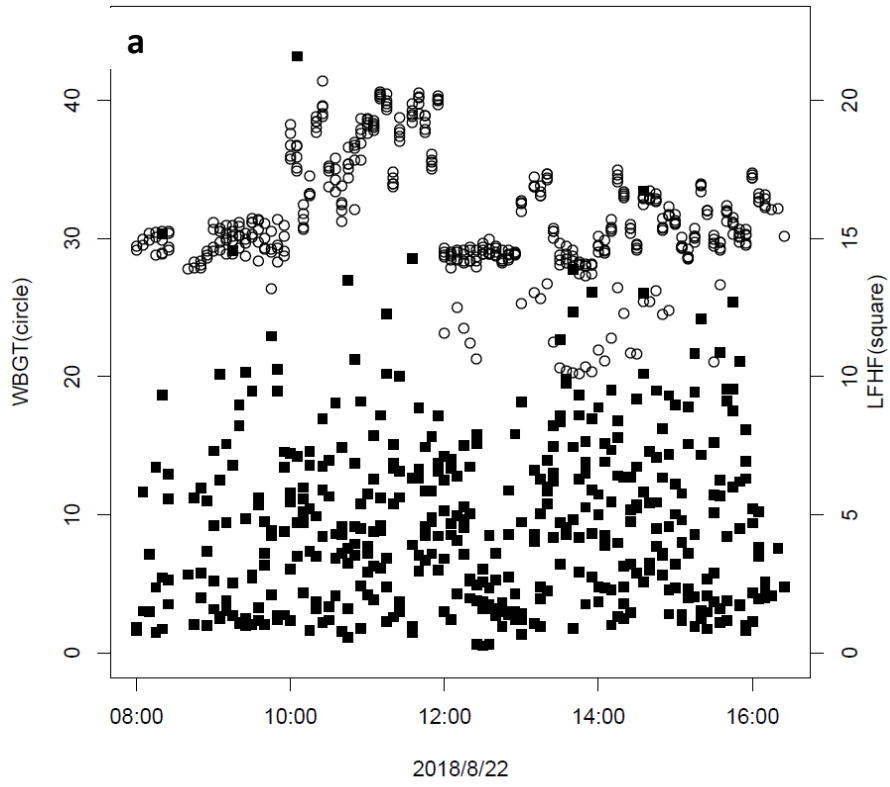


圖 98 高低頻功率比與 WBGT 隨時間變化時序圖\_場址 9 a: 8 月 22 日; b: 8 月 23 日

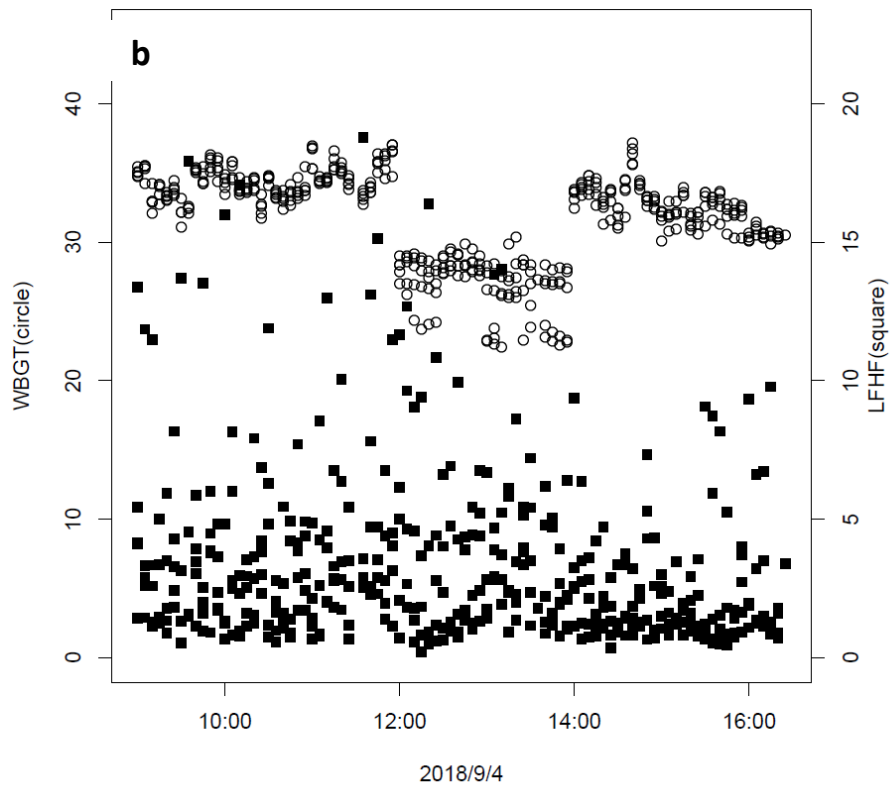
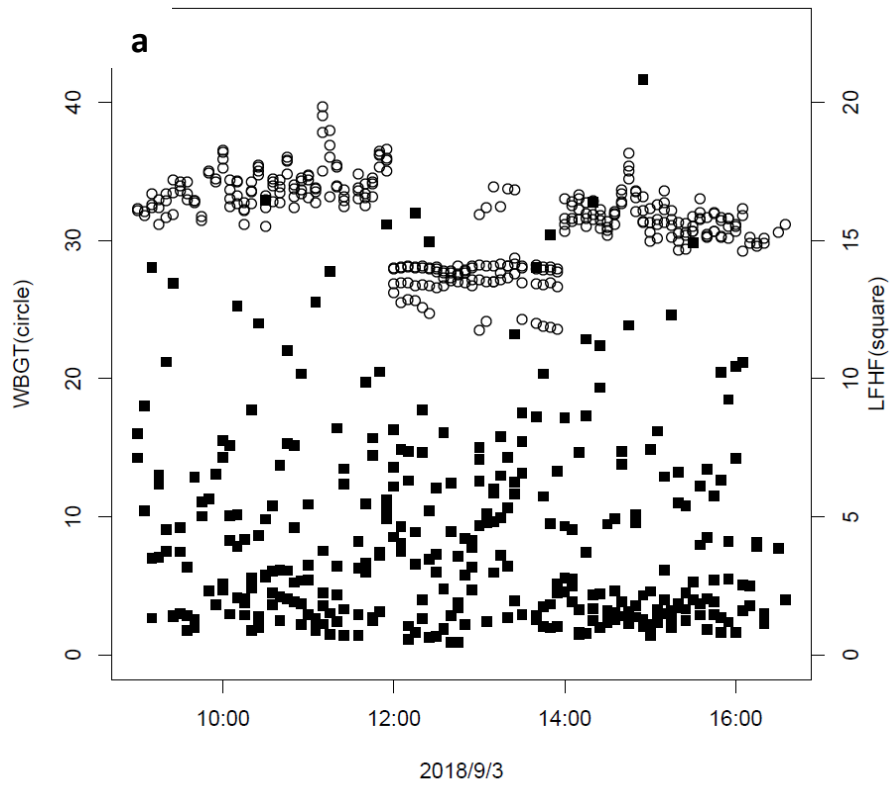


圖 99 高低頻功率比與 WBGT 隨時間變化時序圖\_場址 10 a: 9 月 3 日; b: 9 月 4 日

## 二、工作時間與休息時間生理變化

工作時間與休息時間生理變化分析使用 T test 作為統計方法。使用 Students' t-tests，必須先符合分組間變異數相等的假設。如果分組間變異數相差大，且樣本數差距也大，會產生型 1 誤差(Type 1 error)。因組間樣本數差異皆達 160 以上，且組間標準差並不相等，因此本研究採用 Welch's t-test 作為統計分析的方法。Welch's t-test 的統計分析需藉方程式計算而得，不能直接透過分組間樣本標準差平均概算出信賴區間。Welch's t-test 的 T 統計量的公式如下[83-84]:

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}, \quad \text{自由度則為 } df = \frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{\frac{\left(\frac{s_1^2}{n_1}\right)^2}{n_1 - 1} + \frac{\left(\frac{s_2^2}{n_2}\right)^2}{n_2 - 1}}$$

工作時間與休息時間的心跳變化如表 37，結果顯示，以每 5 分鐘心跳數來看，工作時心跳數比休息時還要高，且達到 T-檢定統計上顯著差異。推測工作時受測勞工運動量較大，也有較高的熱暴險，因而導致工作時每 5 分鐘心跳數較休息時高的現象，造成較高的身體負荷，工作時與休息時的心跳變化從圖 100 可清楚呈現。工作時間與休息時間的每 5 分鐘心跳變異率變化見表 38，結果顯示，工作時每 5 分鐘心跳變異率比休息時還低，未達到統計上顯著差異，就目前數據顯示，無法多做推論，圖 101 可看出工作與休息時的心率變異性差異。



表 37 工作時間與休息時間的心跳變化

	工作中 (n=2424)	休息中 (n=1186)	t.test(p.value)
最小值	54	62.2	
第 1 百分位數	73.7	69.6	
第 25 百分位數	96.6	88.2	
中位數	107	97.2	
平均數	107	97.5	19.14169
標準差	15.0	13.8	(<0.001)
第 75 百分位數	117	107	
第 90 百分位數	127	115	
第 95 百分位數	133	120	
第 99 百分位數	142	132	
最大值	149	147	

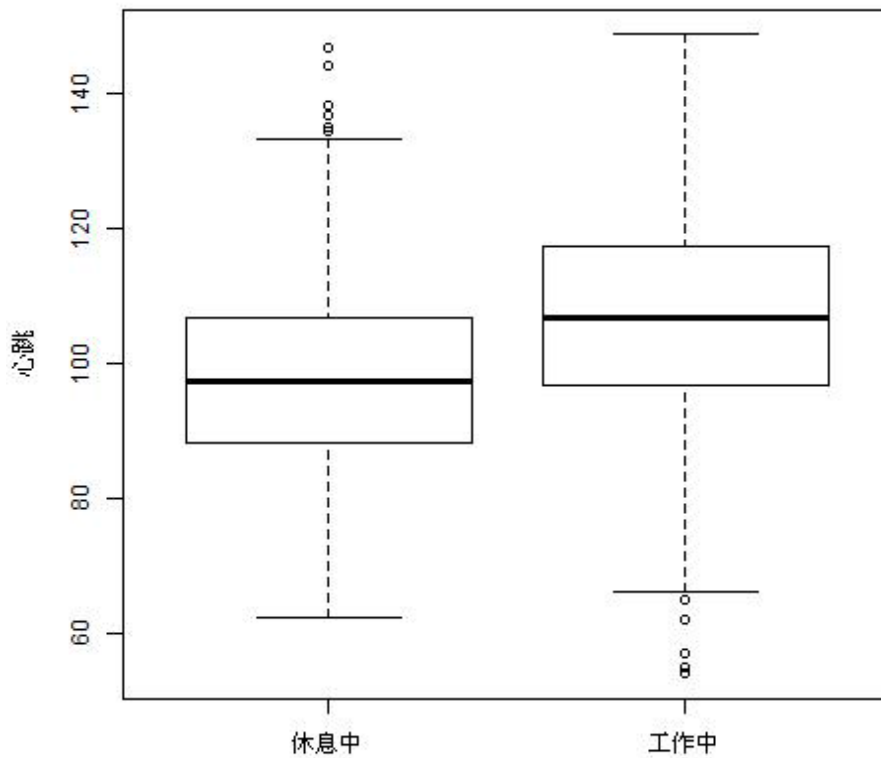


圖 100 工作時與休息時，心跳的差異

表 38 工作中與休息中心跳變異率的差異

	工作中	休息中	t.test(p.value)
最小值	5	6	
第 1 百分位數	9	9	
第 25 百分位數	29	29	
中位數	46	45	
平均數	61.1	65.0	-1.88
標準差	53.8	60.0	(0.0608)
第 75 百分位數	70	73	
第 90 百分位數	118	149	
第 95 百分位數	189	211	
第 99 百分位數	278	283	
最大值	355	361	

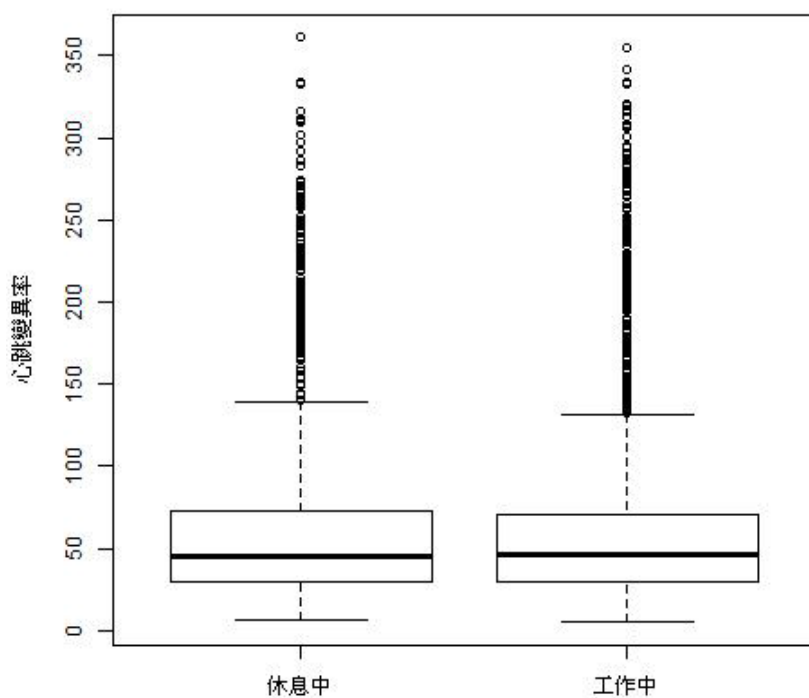


圖 101 休息時與工作時，每五分鐘心跳變異率的差異

除比較工作與休息時的心跳與心率變異性差異外，亦探討兩者間的心率低頻及高頻變化情形，表 39 顯示工作時與休息時每 5 分鐘低頻高頻功率變化情形，分析結果顯示，工作時每 5 分鐘低頻高頻功率變化幅度比休息時還高，且達到 T-檢定之統計上顯著差異，推測可能工作時因受測者全神貫注，使交感神經興奮，進而影響每 5 分鐘低頻高頻功率的變化；在醫學上，每 5 分鐘低頻高頻功率與交感神經興奮呈現正相關。工作與休息時的低頻高比工率變化從圖 102 中清楚可看出其差異。

表 39 休息時與工作時，高低頻功率比的差異

	工作中 (n=2424)	休息中 (n=1186)	t.test(p-value)
最小值	0.350	0.140	
第 1 百分位數	0.625	0.437	
第 25 百分位數	1.484	1.48	
中位數	2.52	2.47	
平均數	3.72	3.38	3.29
標準差	3.18	2.75	(0.00102)
第 75 百分位數	5.07	4.41	
第 90 百分位數	8.07	7.01	
第 95 百分位數	10.1	8.58	
第 99 百分位數	14.4	13.9	
最大值	24.7	18.8	

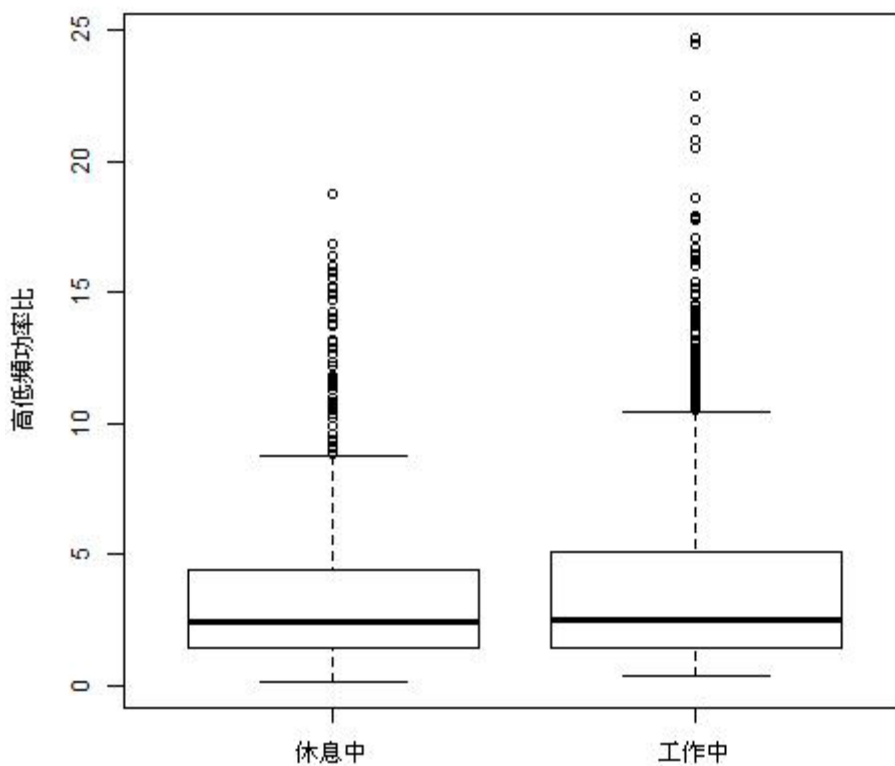


圖 102 休息時與工作時，每五分鐘低頻高頻功率比的差異

### 三、WBGT 與生理因子分析

本分析以 WBGT 的 75 百分位數 35 度為基準，WBGT 大於 35 以上者，視為高 WBGT，反之，WBGT 小於 35 以下者，視為低 WBGT。表 40 呈現高低 WBGT 與心跳變化差異，分析顯示，高 WBGT 時每 5 分鐘心跳數比低 WBGT 時還高，且達到 T-檢定統計上之顯著差異，推測高 WBGT 時受測者擁有較高的熱暴險，因此高 WBGT 時每 5 分鐘心跳數較低 WBGT 時來的高，顯示較高的身體負荷。WBGT 高低與每 5 分鐘心跳變化間之關係，由圖 103 呈現。此外，WBGT 與每 5 分鐘心跳變異率變化如表 41，結果指出，勞工受測者在高 WBGT 時每 5 分鐘心跳變異率比低 WBGT 時還低，此結果未達到統計上之顯著差異，就目前分析，無明確推論，高 WBGT 與低 WBGT 相比，每 5 分鐘心跳變異率變化可從圖 104 中得知。表 42 顯示 WBGT 與每 5 分鐘低頻高頻功率變化情形，分析顯示，高 WBGT 每 5 分鐘心跳變異率比低 WBGT 還高，然亦未達到統計上之顯著差異，因此就目前分析亦無明確推論，圖 105 顯示受測者在高 WBGT 與低 WBGT 時，每 5 分鐘低頻高頻功率比變化情形。

表 40 高 WBGT 與低 WBGT 之心跳差異

	低 WBGT	高 WBGT	t.test(p-value)
最小值	54	62	
第 1 百分位數	69.8	74.4	
第 25 百分位數	92.2	97.0	
中位數	103	107	
平均數	103	107	6.34
標準差	15.4	14.4	(<0.001)
第 75 百分位數	113	116	
第 90 百分位數	124	126	
第 95 百分位數	130	133	
第 99 百分位數	140	145	
最大值	149	149	

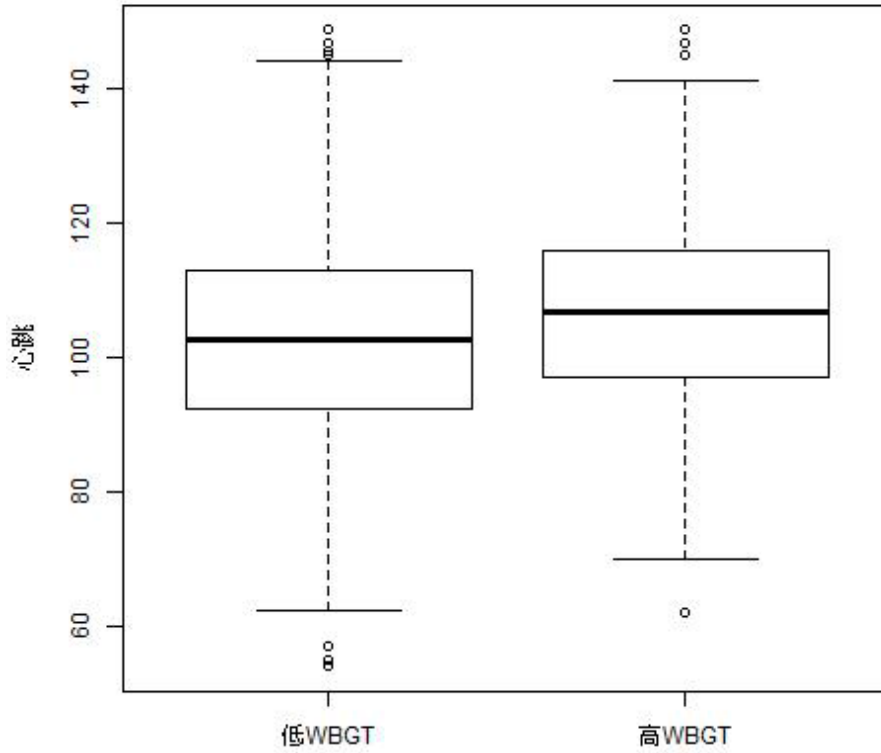


圖 103 低 WBGT 與高 WBGT 時，心跳的差異

表 41 高 WBGT 與低 WBGT 時，每五分鐘心跳變異率變化

	低 WBGT (n=804)	高 WBGT (n=2806)	t.test(p-value)
最小值	5	5	
第 1 百分位數	9	9.03	
第 25 百分位數	29	27.8	
中位數	46	44.5	
平均數	63.3	59.3	-1.90
標準差	56.9	52.1	(0.0583)
第 75 百分位數	71	70.3	
第 90 百分位數	133	113	
第 95 百分位數	202	181	
第 99 百分位數	283	273	
最大值	361	355	

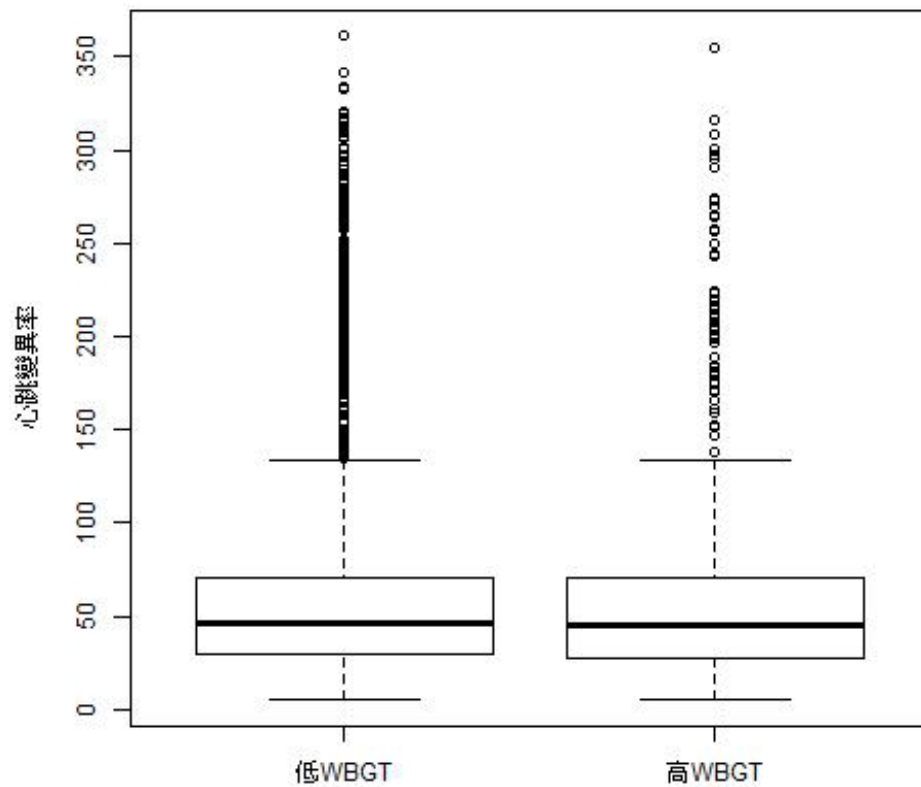


圖 104 高 WBGT 與低 WBGT 時，每五分鐘心跳變異率變化

表 42 高 WBGT 與低 WBGT 時，每五分鐘低頻高頻功率比變化

	低 WBGT (n=804)	高 WBGT (n=2806)	t.test(p-value)
最小值	0.183	0.140	
第 1 百分位數	0.564	0.602	
第 25 百分位數	1.49	1.43	
中位數	2.51	2.48	
平均數	3.60	3.63	0.214
標準差	3.05	3.06	(0.830)
第 75 百分位數	4.81	5.00	
第 90 百分位數	7.65	7.67	
第 95 百分位數	9.60	10.1	
第 99 百分位數	14.3	14.1	
最大值	24.7	21.6	

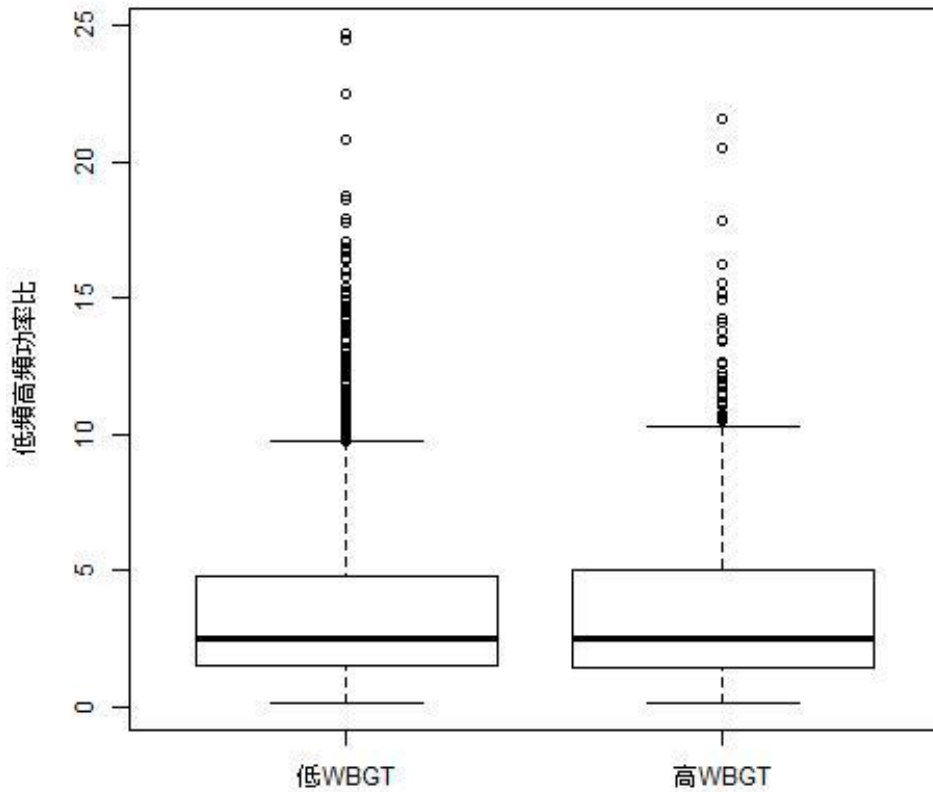


圖 105 高 WBGT 與低 WBGT 時，每五分鐘低頻高頻功率比變化

#### 四、WBGT 與生理因子之關係及與不同工作型態之分析

表 43 顯示輕、中、重工作型態與 WBGT 高低，對心跳變化的影響，重工作的受測者，在高 WBGT 時每 5 分鐘心跳數較低 WBGT 時還高，且達 T-檢定統計上之顯著差異，推測高 WBGT 時受測者面臨較高的熱暴險，因此高 WBGT 時每 5 分鐘心跳數高於低 WBGT。此外，在中工作與輕工作受測者中，WBGT 高低對心跳的影響均未達統計上顯著差異，推測可能是重工作會增加身體運動量及負荷，使得熱危險因子對人體的影響加劇，圖 106 顯示輕、中、重工作型態與 WBGT 高低，對心跳變化的關係。

表 43 輕、中、重工作型態與 WBGT 高低，對心跳變化的關係

	輕工作		中工作		重工作	
	低 WBGT (n=489)	高 WBGT (n=89)	低 WBGT (n=526)	高 WBGT (n=53)	低 WBGT (n=1791)	高 WBGT (n=662)
最小值	74.4	79.6	72	71.6	54	62
第 1 百分位數	76.0	80.3	73.5	71.912	68.0	75.4
第 25 百分位數	95.8	92.4	91.8	92	91.7	98.3
中位數	107	105	99.8	98.2	102	107
平均數	106.9	104	102	103	102	107
第 75 百分位數	117	113	112	118	112	116
第 90 百分位數	129	119	125	126	122	126
第 95 百分位數	134	126	129	127	129	133
第 99 百分位數	140	137	134	133	142	145
最大值	147	137	138	134	149	149
標準差	15.4	13.6	14.6	15.9	15.5	14.3
t-test(p-value)	1.80(0.0746)		-0.328(0.744)		-7.80(<0.001)	

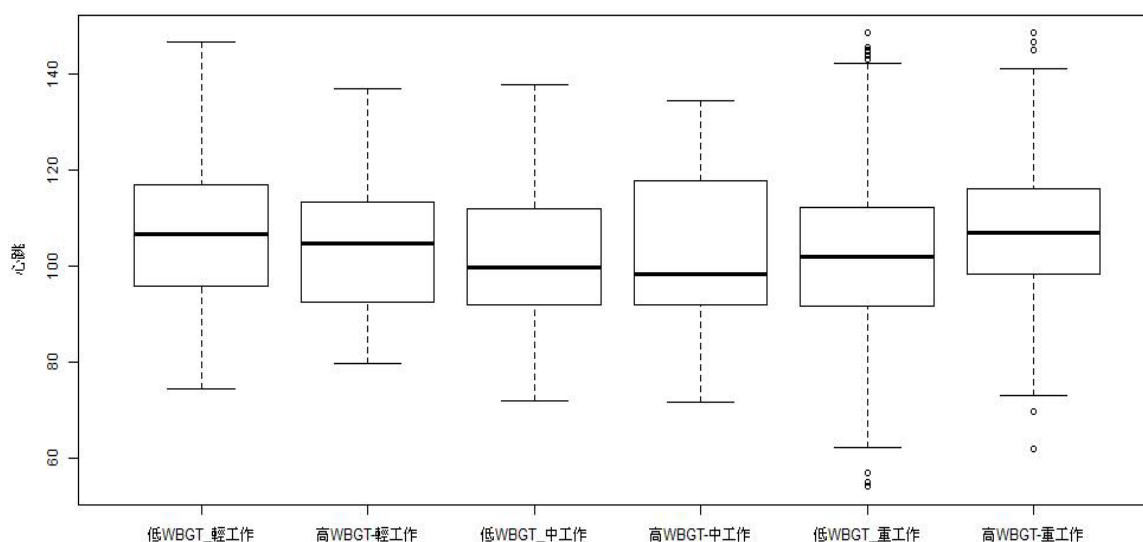


圖 106 輕、中、重工作型態與 WBGT 高低，對心跳變化的關係

輕、中、重工作型態與 WBGT 高低，對心跳變異率的影響於表 44 中呈現，重工作受測者在高 WBGT 時每五分鐘心跳變異率低於低 WBGT 時，且達到 T-檢定統計上顯著差異。在醫學上較低的心跳變異率與健康呈現負相關，因此可以推測高 WBGT 時，受測者擁有較高的熱暴險，導致每五分鐘心跳變異率調節能力較低。此外，在中工作與輕工作受測者中，WBGT 高低對心跳變異率的影響沒有達到統計上顯著差異，推測中工作與輕工作在體力身體能力負荷上無明顯不同，導致兩者間心率變異性無明顯差異，高 WBGT 與低 WBGT 與輕中重工作及心跳變異率的關係可從圖 107 中清楚看出其差異。



表 44 高 WBGT 與低 WBGT 時，輕中重工作與心跳變異率的關係

	輕工作		中工作		重工作	
	低 WBGT (n=489)	高 WBGT (n=89)	低 WBGT (n=526)	高 WBGT (n=53)	低 WBGT (n=1791)	高 WBGT (n=662)
最小值	5	11	9	12	6	5
第 1 百分位數	7	16.3	11	14.1	9	9
第 25 百分位數	24	32	28.3	27	32	27
中位數	36	45	45	45	49	44
平均數	48.6	47.3	53.5	57.9	70.2	61.0
第 75 百分位數	54	60	62	71	82	72
第 90 百分位數	83.2	74.4	86.5	108	155	123
第 95 百分位數	149	84.6	139	131	219	199
第 99 百分位數	247	87.8	235	211	301	281
最大值	341	101	334	219	361	355
標準差	46.7	20.1	41.5	43.7	62.0	55.5
t-test(p-value)	0.427(0.670)		-0.703(0.485)		3.54(<0.001)	

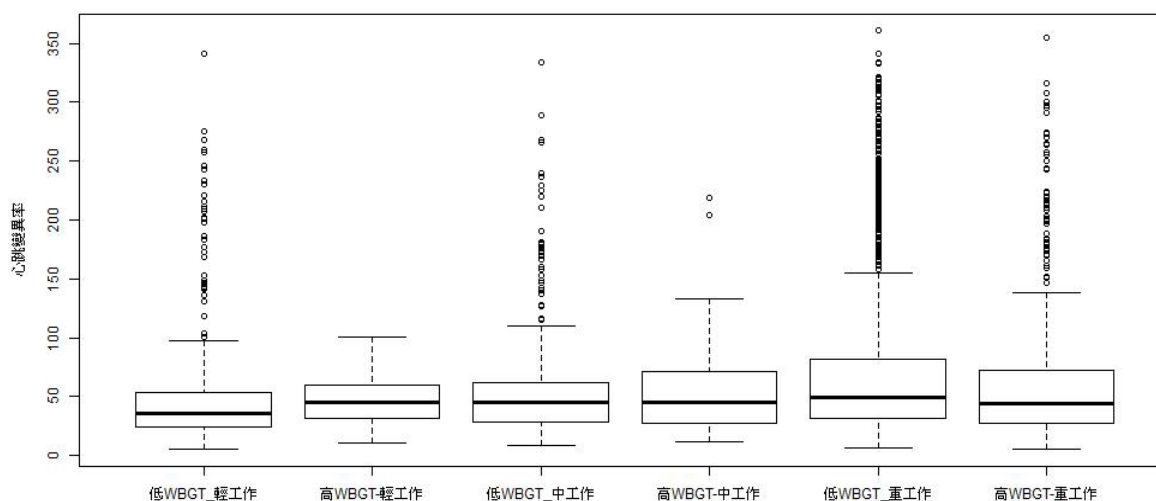


圖 107 高 WBGT 與低 WBGT 時，輕中重工作與心跳變異率的關係

表 45 呈現輕、中、重工作型態與 WBGT 高低，對低頻高頻功率比的影響。結果指出，無論輕、中或重工作者，在 WBGT 高與低的情況下，與低頻高頻功率比的變化量皆未達統計上顯著差異。醫學上，低頻高頻功率比被認為與交感神經興奮呈現正相關，受測者如處於亢奮狀態下，低頻高頻功率比會一直呈現在高值，因此推測，工作中的受測者因一直處在精神亢奮狀態下，受到 WBGT 高與低的影響無法顯現於低頻高頻功率比中，圖 108 可清楚呈現受測者處於高 WBGT 與低 WBGT 時，輕中重工作與低頻高頻功率比之間的關係。

表 45 高 WBGT 與低 WBGT 時，輕中重工作與低頻高頻功率比的關係

	輕工作		中工作		重工作	
	低 WBGT (n=489)	高 WBGT (n=89)	低 WBGT (n=526)	高 WBGT (n=53)	低 WBGT (n=1791)	高 WBGT (n=662)
最小值	0.466	0.577	0.205	0.673	0.183	0.140
第 1 百分位數	0.604	0.599	0.470	0.678	0.605	0.620
第 25 百分位數	1.54	1.23	1.36	1.85	1.51	1.43
中位數	2.70	2.93	2.62	3.14	2.43	2.40
平均數	3.60	3.58	4.05	4.50	3.47	3.57
第 75 百分位數	4.81	4.43	5.88	6.09	4.50	4.97
第 90 百分位數	7.01	6.59	8.74	10.3	7.50	7.57
第 95 百分位數	9.33	8.99	11.5	11.4	9.17	9.81
第 99 百分位數	14.1	15.9	16.0	14.4	13.3	13.6
最大值	24.7	21.6	20.8	15.6	24.5	20.5
標準差	3.01	3.37	3.58	3.59	2.88	2.97
t-test(p-value)	0.0549(0.956)		0.956(0.389)		-0.867(0.481)	

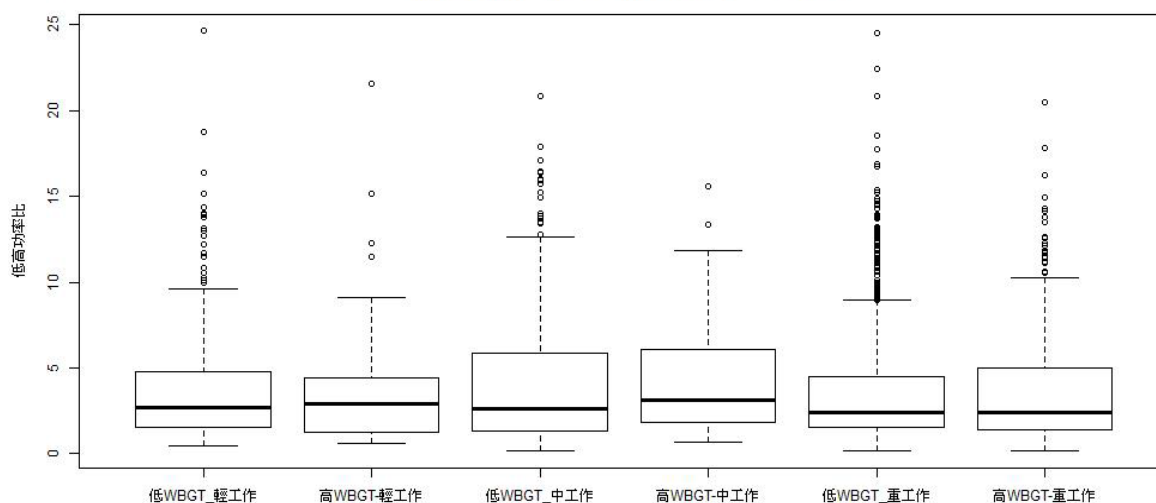


圖 108 高 WBGT 與低 WBGT 時，輕中重工作與低頻高頻功率比的關係

綜合上述，從「工作時間與休息時間生理變化」分析可知，受測者處於工作或休息時段與平均心跳數、每 5 分鐘低頻高頻功率變化有統計上顯著的正相關，推測可能受測者在工作時增加生理負擔所導致。從「WBGT 與生理因子分析」結果得知，高低 WBGT 與平均心跳數亦有統計上顯著正相關，推測受測者熱暴險增加時亦會增加生理負擔。另從「WBGT 與生理因子間關係，與不同工作型態之分析」結果顯示，高低 WBGT 對重工作者而言，與平均心跳數有統計上顯著正相關、與 5 分鐘心跳變異率有統計上顯著負相關，合理推測乃因重工作受測者在熱暴險增加之情況下致生理負擔所致。

## 第七節 「戶外高氣溫作業場所勞工熱危害資訊平台」使用方法說明

「戶外高氣溫作業場所勞工熱危害資訊平台」以 105 年「戶外高氣溫作業場所勞動者之熱危害暴險感測及預警系統建立之先導性研究」所架設「戶外高氣溫管理者平台」為基底，為讓使用者更便利的瀏覽網站，新增電腦版網站使用說明以及手機版網站使用說明等功能。

「戶外高氣溫管理者平台」架設目的是讓使用者可以理解高氣溫對人體的影響並提供相關資訊，平台分為 2 部分，一是「勞安所管理者平台」，係針對民眾提供多項功能之平台，使用者點擊進入後，會看到首頁、綜合溫度熱指數、熱中暑、預防與應對方法及參考資料等 5 個頁面，首頁頁面顯示 WBGT 熱點地圖模組、即時勞工熱危害與預警建議模組及高溫作業勞工作息時間標準之輕中重度工作定義模組等 3 個模組，圖 109 為熱點地圖模組，使用者如提供所在位置資訊，即可由網頁得知離其最近之氣象局測站資訊，並顯示其所在位置自身周圍 1 公里之 WBGT。網頁同時提供全國即時平均 WBGT 及全國即時最高 WBGT，讓使用者可以得知全國即時最高測量溫度及所有測站的平均溫度，此外，為方便民眾使用，地圖特別使用熱溫圖並將 WBGT 以色塊方式顯示，並在右下角將色塊分級，以進階版視覺呈現方式讓民眾可以迅速掌握目前台灣的 WBGT 分布情況。



圖 109 「戶外高氣溫管理者平台」首頁之 WBGT 熱點地圖模組

網頁之地圖使用免費互動式地圖函式庫 Leaflet，使用者可對地圖進行放大縮小的移動或進行站點的查詢，研究團隊利用 ODD 爬梳機制連結氣象局大數據，讓使用者能藉由點選網頁的大頭針來顯示台灣氣象站之詳細資訊，包含顯示測站名稱、所在縣市、其 WBGT 值、相對濕度等資料，如圖 110 所示。

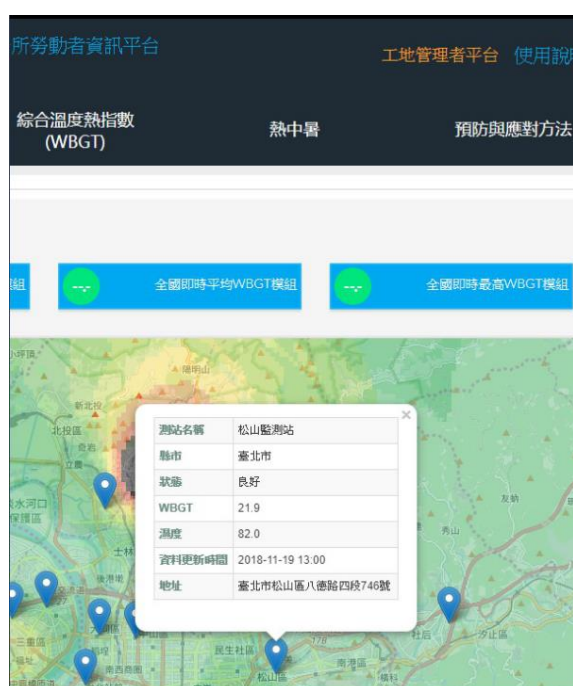


圖 110 熱點地圖模組之測站資料顯示

除提供 WBGT 的分層色塊呈現外，也提供了溫度的分層色塊，使用者如想知道當下溫度分布狀況，點選右邊的溫度，地圖即從 WBGT 分布顯示變換為溫度分布顯示，如圖 111 所示。

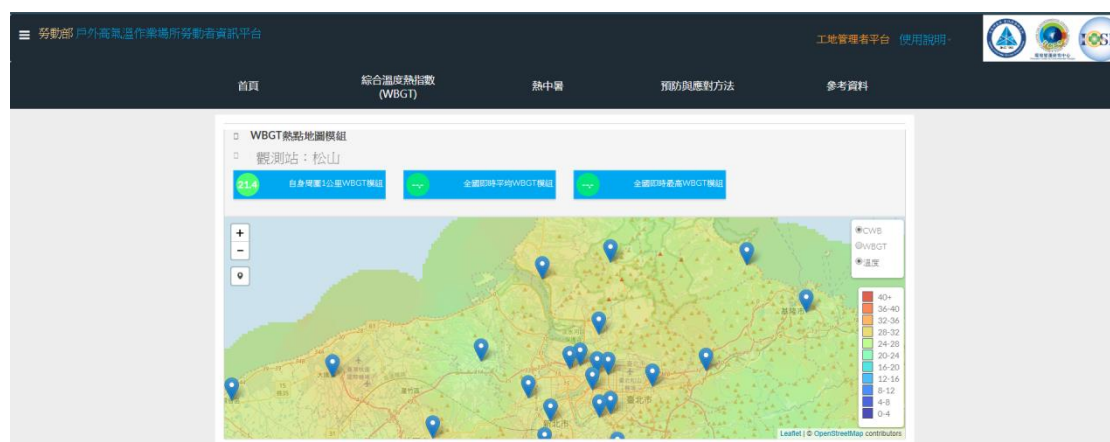


圖 111 熱點地圖模組之溫度分布圖

而在勞工即時熱危害與預警建議部分，根據美國海軍標準，網站將 WBGT 分為 5 個等級，如圖 112，每個等級所代表之意義註記於下，方便使用者了解其差異性；在了解旗幟顏色意義後，也能由自己所在環境 WBGT 做出相對應的作業調整；在「高溫作業勞工作息時間標準之輕中重度工作定義」區塊部分，顯示法規對輕中重度工作之定義，讓閱覽者可以了解自己的工作屬性。



參訪人次: 1576

圖 112 首頁之即時勞工熱危害與預警建議模組與高溫作業勞工作息時間標準之輕中重度工作定義

為方便閱覽者利用，網頁也提供了電腦版及手機版之使用說明，使用者點選說明即可得知網頁使用方法，如圖 113 及圖 114 所示

## 網站元件說明

電腦版：

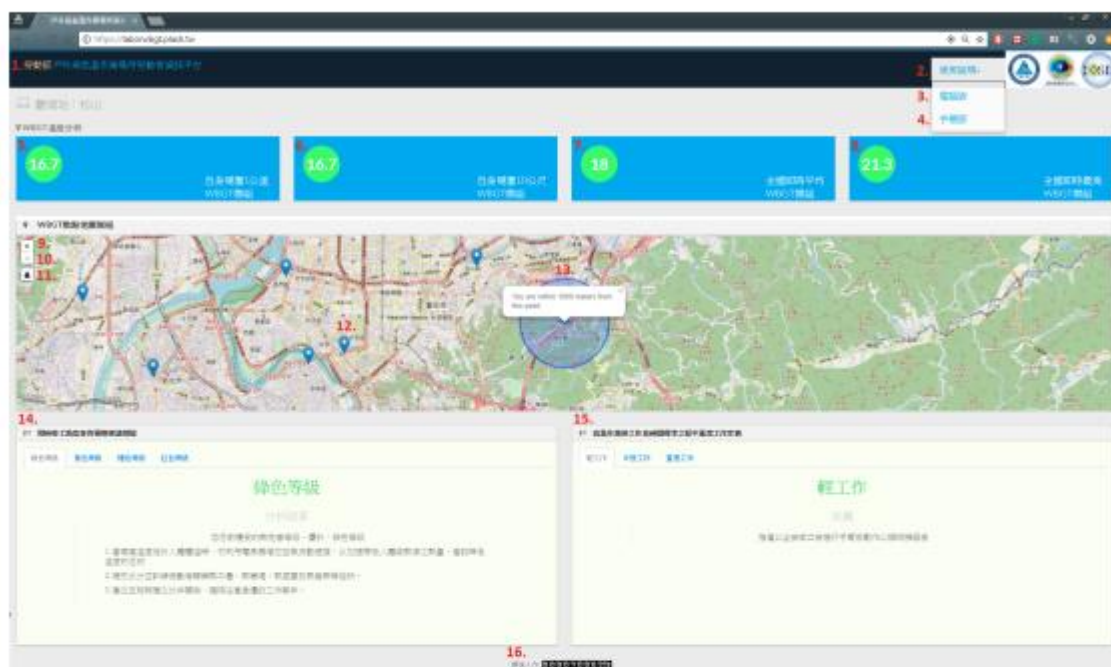


圖 4-9-2 戶外高氣溫作業場所勞工熱危害資訊平台-網站元件說明圖(電腦版)

1. 首頁按鍵：按下可回到最初頁面
2. 使用說明：按下會出現電腦版及手機版的說明連結
3. 電腦版說明按鍵：按下會出現電腦版說明的頁面
4. 手機版說明按鍵：按下會出現手機版說明的頁面
5. 自身周圍一公里 WBGT 模組：顯示使用者周圍一公里的 WBGT 觀測值
6. 自身周圍十公尺 WBGT 模組：顯示使用者周圍十公尺的 WBGT 觀測值
7. 全國即時平均 WBGT 模組：顯示當前全國觀測站的 WBGT 觀測值的平均
8. 全國即時最高 WBGT 模組：顯示當前全國觀測站之中最高 WBGT 觀測值
9. 地圖左上角的+號：放大地圖
10. 地圖左上角的一號：縮小地圖
11. 地圖左上角的人型符號：以使用者座標所在位置為中心點，重新定位地圖

圖 113 「戶外高氣溫管理者平台」之電腦版使用說明

## 網站元件說明

手機版：



圖 4-9-3 戶外高氣溫作業場所勞工熱危害資訊平台-網站元件說明圖(手機版 1)

1. 首頁按鍵：按下可回到最初頁面
2. 清單按鈕：按下會出現使用說明
3. 使用說明：按下會出現電腦版及手機版的說明連結
4. 觀測站：顯示離你目前位置最近的觀測站名稱
5. 自身周圍一公里 WBGT 模組：顯示使用者自身周圍一公里的 WBGT 觀測值
6. 自身周圍十公尺 WBGT 模組：顯示使用者自身周圍十公尺的 WBGT 觀測值

圖 114 「戶外高氣溫管理者平台」之手機版使用說明



於首頁部分，新增綜合溫度熱指數、熱中暑、預防與應對方法及參考資料頁面，主要目的是讓閱覽者了解熱危害的防護資訊，研究團隊恰詢日本熱中症網站，經其同意翻譯並刊登，原網站以漫畫方式讓使用者可輕鬆了解綜合溫度熱指數等資訊，期藉以達到宣導熱危害相關知識之目的，如圖 115 至 118 所示。

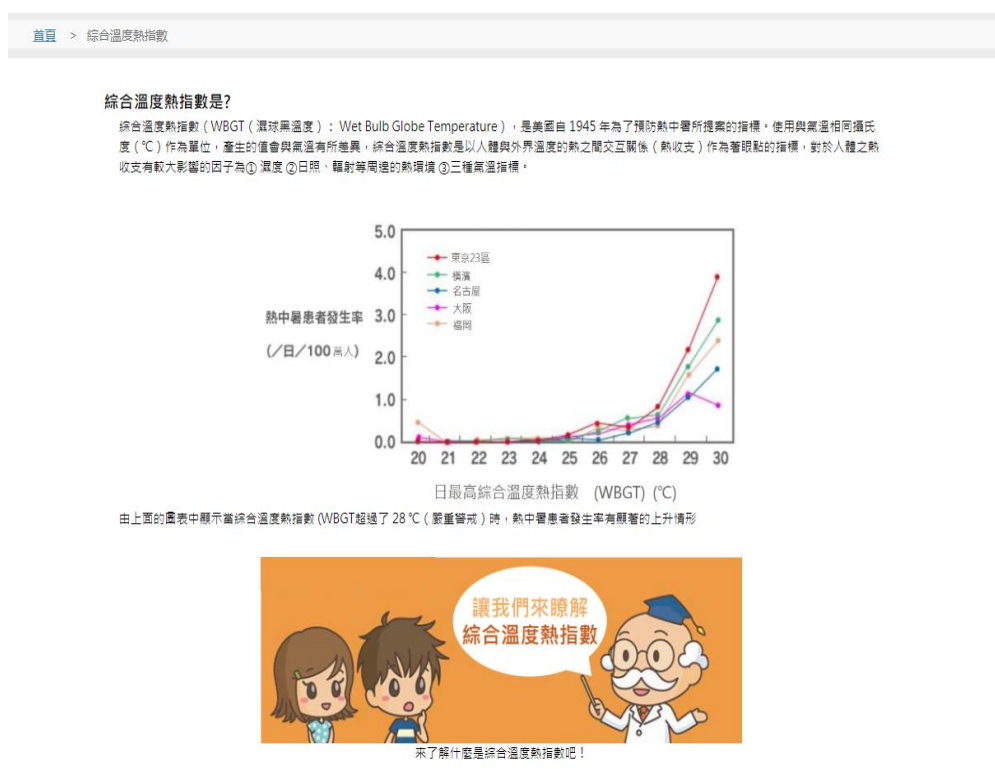


圖 115 勞動部網站之綜合溫度指數介紹

### 環境溫度熱指數 (WBGT) 使用方式

環境溫度熱指數 (WBGT) 是被認可為對勞動及運動環境有效的指標，並經過ISO國際性規格化，(公財)日本體育協會使用「熱中暑預防運動指南」、日本生業學會使用「與日常生活相關指南」，分別列於下面表格。勞動環境則有國際性的ISO7243、以及日本國內的JIS Z 8504「以WBGT (濕球黑球溫度) 指數為基礎建立作業者對暑熱環境中之熱壓力的分級評價」來加以規格化。

### 與日常生活相關的指標

溫度標準 (WBGT)	需要注意的日常生活事項	注意事項
危險 (31°C以上)	所有的日常活動均有危險性	年長者即使處於非活動環境下仍然有發生熱中暑之危險性，應盡量避免外出，並往較涼快的室內移動。
嚴重警戒 (28~31°C※)		外出時應避免暴露在炎熱天下，在室內則要注意室溫的增加。
警戒 (25~28°C※)	中等程度以上之日常活動具有危險性	在運動較激烈的作業環境下應定期並充分的休息。
注意 (未達25°C)	高強度日常活動具有危險性	雖然危險性較低但激烈運動及繁重勞務時仍有發生熱中暑的危險性

※ (28~31°C) 及 (25~28°C) 係指28°C以上未滿31°C，以及25°C以上未滿28°C。  
取自日本生業學會「給予常活中的熱暑預防指南ver.3」(2013)

### 與運動相關的指標

氣溫 (參考)	熱指數 (WBGT)	熱中暑預防運動指南	
35°C以上	31°C以上	原則上停止運動	WBGT31°C以上時，中止特殊場合外的運動，特別是小孩在的場合必須中止。
31~35°C	28~31°C	嚴重警戒 (停止激烈運動)	WBGT28°C以上時，熱中暑發生的危險性較高，應避免激烈運動或如長跑等促使體溫上升的運動，運動時須配合頻繁的休息以及水分、鹽分的補給，體力較低、較不耐熱的人建議中止運動。
28~31°C	25~28°C	警戒 (增加休息頻率)	WBGT25°C以上時，會增加熱中暑發生的危險性，多加休息取適宜並補充水分及鹽分，進行激烈運動時，應每30分鐘休息。
24~28°C	21~25°C	注意 (積極的補充水分)	WBGT21°C以上時，仍有熱中暑甚至因此發生死亡事故的可能性，有熱中暑預兆時需要多加注意，運動過程中也須隨時補充水分及鹽分。
未達24°C	未達21°C	幾乎安全 (適當的補充水分)	未達21°C時，通常發生熱中暑的機會較小但適當的水分及鹽份補給是必須，市民馬拉松之類的運動還是會有發生熱中暑可能性，需要注意。

取自(公財)日本體育協會「運動、活期間熱中暑預防指南書」(2013)

圖 116 勞動部網站之綜合溫度熱指數使用方式

首頁 > 綜合溫度熱指數 > 認識何謂綜合溫度熱指數 (WBGT) ?



### 認識何謂綜合溫度熱指數 (WBGT) ?

藉由日本環境省熱中暑預防情報中宣導資料之解說，可以讓我們知道如何利用勞動部勞動及職業安全衛生研究所所製為民服務專區中「高熱環境」之WBGT指數率內容囉！來吧！！

### 綜合溫度熱指數 (WBGT) 是？

綜合溫度熱指數 (WBGT：濕球黑球溫度)，是取自對人體的熱平衡有很大的影響的氣溫、濕度、熱輻射<sup>※1</sup>這三大要素所做的溫度指標<sup>※2</sup>。作為判斷熱中暑危險性的數值，日本環境省自平成18年(2006年)開始提供相關情報。綜合溫度熱指數 (WBGT) 分別使用乾球溫度計、濕球溫度計、黑球溫度計來計算。

※1 熱輻射為物體表面的溫度導致物體表面產生熱度，本體溫度較高的物體也會產生較大的熱輻射。  
※2 正確來說，除上述三項之外，還會加上風(氣流)作為影響指標。

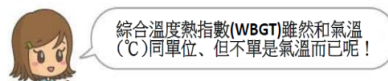
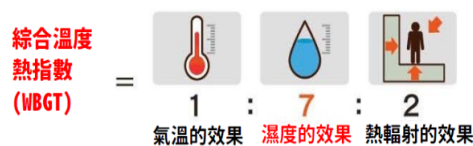


圖 117 勞動部網站之以漫畫介紹綜合溫度指數

### 熱中暑會在什麼情形下引發呢？

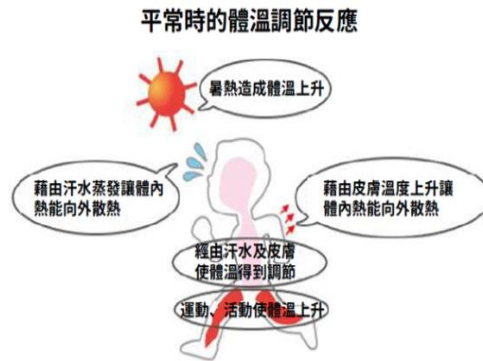
引發熱中暑的條件會以「環境」、「身體」以及「活動」做為考量因素。

「環境」的主要因素有：高溫、高濕以及風力較弱的環境

「身體」的主要因素是由於激烈的勞動或運動後於體內產生熱能時，身體在暑熱環境下無法對應調適的狀況。

上述的狀況在最後都有引發熱中暑的可能性。

平常時，人類的身體在體溫上升的狀態下會藉由流汗或提高皮膚溫度讓體溫向外散熱的機能，讓體溫產生自然調節。



### 引發熱中暑的三項主要因素

第一個主要因素：環境

- 高溫
- 高濕
- 弱風
- 強烈的日照
- 封閉的室內
- 沒有空調的房間
- 突然轉為暑熱的天氣
- 熱浪的侵襲

圖 118 勞動部網站之熱中暑介紹與預防方式

有關「工地管理者平台」設置之目的，是期可使工地管理者能監控自身工地的狀況進而可迅速處理相關熱危害事宜，研究團隊使用 leaflet 地圖函式庫，設計工地管理者平台雛型頁面，管理者進入管理者頁面後即能看到以其工地地址為中心的工地地圖感測器模組，點擊工地圖示即可看到工地名稱及最近的氣象測站 WBGT 數值(圖 119)等相關資訊；此外，模組也結合顯示 BL-500、熱暴險穿戴裝置與機動式環境大氣測站(分別見圖 120、121、122)的最新數值，讓使用者能以地圖方式即時看到勞工所在之環境資訊，讓工地管理者在不同時間，皆可即時查詢所在位置之 WBGT 是否已到達停止戶外工作的標準。



圖 119 工地地圖感測器模組之工地資訊



圖 120 工地地圖感測器模組之 BL500 市售穿戴式裝置即時呈現畫面



圖 121 工地地圖感測器模組之穿戴式裝置即時呈現畫面



圖 122 工地地圖感測器模組之機動式環境大氣測站即時呈現畫面

資料收集部分，研究團隊利用 ODD 爬梳機制收集公開的氣象資料以提供網站使用，此外，亦收集機動式環境大氣測站、穿戴式裝置與 BL-500 的數值以每分鐘 1 次的更新頻率更新至線上及資料庫，抓取資料中的環境資訊（經度、緯度）放置於地圖上，俾以顯示測量數值（溫度、相對濕度、風速、紫外線），爬取資料格式為 json 檔，如下圖 123 範例所示。

```
{
  localId: "15212",
  sensorType: "bluetooth",
  sensorId: "00:a0:50:42:5a:69",
  installationId: "b2f92e0f-5ac1-426c-877b-a167ef9efef8-1514950896271",
  nickname: "Plashsinica",
  trackingId: "f58f8eef-b091-4ad9-bc33-cc1442e6e55c-1531985452135",
  wind: 3,
  temperature: 36.83,
  humidity: 48.19,
  pressure: 100223.1,
  uvIndex: 0,
  orientation: 96.33300018310547,
  accuracy: 10,
  altitude: -14.737951798857246,
  speed: 0,
  measuredAt: "2018-07-19T08:43:50.595Z",
  measuredAtOffset: 28800000,
  preferredSpeedUnit: "mps",
  preferredTemperatureUnit: "c",
  preferredPressureUnit: "hpa",
  preferredAltitudeUnit: "m",
  shared: true,
  activityCategory: "Sports",
  activityName: "Archery",
  createdAt: "2018-07-19T08:43:56.143Z",
  id: "300ded8d-172e-4467-8a83-b77a82c0b4bb",
  longitude: 121.55647311,
  latitude: 25.0019338
},
```

圖 123 BL-500 資料格式範例

## 第五章 結論與建議

### 第一節 結論

本研究利用前趨研究「戶外高氣溫作業場所勞動者之熱危害暴險感測及預警系統建立之先導性研究」中所開發之穿戴式裝置為基底，更新為具備穿戴可行性、系統防水性、電力持續性、及資料傳輸穩定性的熱暴險穿戴裝置，搭配市售 BL-500 感測裝置，完成 5 個營造業工作場址受測者的連續觀測，觀測因子包含溫度、相對濕度、風速等，同時亦使用機動式大氣環境測站完成戶外高氣溫作業場所現場環境大氣 WBGT 實測，利用目前現有之 WBGT 推估模式換算與推衍本土戶外高氣溫作業場所現場 WBGT 數據。

現場觀測涵蓋台灣夏季常見的 3 種天氣型態，一是午後雷陣雨的天氣型態，二是高溫晴朗無雲無風的天氣型態，三則是高溫輕風有雲的狀況，各觀測日以高溫晴朗無雲無風的天氣型態為主，因此獲得之勞工 WBGT 數據應可代表台灣夏季戶外勞工可能遇到之天氣條件之 WBGT 實測值，這些觀測數據及用來辨識勞工工作模式之手機感測器分析數值，皆彙整至高氣溫作業場所勞動者資訊平台網站，呈現其變化趨勢。此外，亦使用心率感測器(HRV)觀測受測勞工工作時段之生理值變化，用以建立戶外高氣溫勞工微環境量測資料與個人生理監測資料分析，期可建立其關係性，俾供戶外高氣溫相關政策研擬參考。

本研究共招募 51 位受測者，大多為男性，其中 12 位為女性；僅有 2 位為管理人員、工程師及測量工，其餘皆為長時間在戶外高氣溫作業場所從事不同工作別之勞工，包含防水工、雜工、模板工、水電工、鋼筋工等，涵蓋年齡範圍廣，平均年資為 10.5-22.3 年；最近一個月，平均每週做了近 6 天營繕建築工程。在所有研究場址中，經常或總是覺得熱的受測者皆超過該場址 10 位受測者的 50%以上，51 位受測者工作時最常接觸的高溫物品主要是高溫鋼筋、鋼板或鋼構台，其次是瓦斯爐、加熱燈及探照燈，其中有位鋼筋工的受測者提到會接觸到塊塊有別於其他受測者，各場址皆有高於 27%以上受測者接觸到高溫物品或設備，頻率達每週 3 次或以上。各場址有高於 70%的受測者在早上 10 點到下午 3 點日照較強烈的時段中，皆有 3 小時以上時間在室外工作，其中場址 9 更是所有受測者皆達 3 小時以上時間在戶外工作。大部份研究場址雇主皆提供充足的飲用水，但提供降溫設備者較少，即

使提供，也僅限某些地點的勞工才能享受。因此，營造業工作場所之勞工會長時間直接曝曬在太陽下。

本研究共收集 6 種型態資料，包括市售 BL-500 感測裝置 WBGT、熱暴險穿戴裝置 WBGT、環境大氣 WBGT 觀測、問卷 A-戶外高氣溫作業場所勞動者之熱危害暴險問卷、問卷 B-活動紀錄表及心率感測器(HRV)所量測生理資料，並收集最近之氣象局測站(台北、淡水、板橋)資料。

資料分析結果顯示，各場址因其場址之結構物、工作環境差異、當日氣象條件而呈現各場址勞工 WBGT 數值之差異；場址依 BL-500 感測裝置數據推算之平均 WBGT 在 29.1-35.8°C 間；而各場址依熱暴險感測裝置數據推算之平均 WBGT 在 27.8-37.0°C 間，結果顯示，配戴 BL-500 感測裝置及熱暴險穿戴裝置的大多受測者平均 WBGT 皆高於 30°C 以上，可見戶外工作環境對於勞工受測者所造成的熱危害不容小覷。

BL-500 感測裝置分析 WBGT 結果顯示，工作加上休息時段 WBGT 在黑旗的百分比範圍為 0.5%至 100%間，進一步比較工作時段與休息時段黑旗所占百分比，黑旗高出現比例多集中於工作時段，推估勞工受測者處於高溫炎熱又近靜風的環境，導致受測者受到熱危害比例大幅提升。

從熱暴險穿戴裝置觀測數據計算所得之 WBGT 於各不同旗幟的百分比比例結果顯示，其工作加上休息時段 WBGT 在黑旗的百分比範圍為 11.9%(場址 8 受測者 D)至 94.7%之間(場址 6 受測者 G)，且 51 位受測者中有 3 位 WBGT 黑旗比例達 80%以上(場址 6 受測者 G、場址 7 受測者 E 及場址 7 受測者 I)。

以上分析說明係應用 BL-500 感測裝置及熱暴險穿戴裝置收集勞工個人實際 WBGT 暴險感測以保障勞工健康之重要性，亦顯示訂定勞工戶外高氣溫作業環境 WBGT 危害等級及即時性熱危害預警之迫切性。

此外，以現場設置機動式環境大氣測站來推算 WBGT 值，再加上工地主建材及場址避熱設施等資料，可供因工作型態不便配戴熱暴險穿戴裝置之勞工受測者參考，另可參考本所建立以氣象資料推估之 WBGT，作為其工時輪替之依據，降低勞工可能之熱危害。

本研究運用穿戴式心率感測器(HRV)進行觀測，分析戶外高氣溫環境與戶外作業勞工熱暴露生理資料關係性，結果顯示，從「WBGT 與生理因子間關係，與不

同工作型態之分析」中得知，高低 WBGT 對重工作者而言，與平均心跳數有統計上顯著正相關、與 5 分鐘心跳變異率有統計上顯著負相關，合理推測為重工作的受測者在熱暴險增加的情況下導致生理負擔所致。

## 第二節 建議

在氣候變遷衝擊下，台灣確有建立戶外高氣溫作業環境熱暴險感測及預警系統的急迫政策需求，本研究利用台灣先進的資訊科技，發展適合勞工的微型感測器及建置「戶外高氣溫管理者平台」，並進行戶外高氣溫作業環境熱危害的環境大氣及勞工 WBGT 實測。未來可運用本研究開發具備穿戴可行性、系統防水性、電力持續性、及資料傳輸穩定性的熱暴險穿戴裝置，進行不同工作型態之勞工 WBGT 測量，搭配戶外高氣溫作業場所現場環境大氣 WBGT 實測，並將各方面熱危害資訊整合於「戶外高氣溫作業場所勞動者資訊平台」，一般民眾、勞工與管理者皆可藉由該平台了解高氣溫相關資訊，更能藉由工地管理者平台了解各工地的氣溫狀況與熱危害影響。並可持續應用此資訊平台，收集更多現場數據並提供即時預警，以建置戶外高氣溫作業場所勞動者之熱危害暴險評估及預警系統，以達到妥善保護戶外勞工健康之目的。



## 誌謝

本研究感謝中央研究院環境變遷研究中心龍世俊研究員及資訊科學研究所陳孟彰研究員、陳伶志副研究員團隊於夏季戶外高氣溫下全力協助相關實測工作之進行。同時感謝協助安排研究實測場址之職安署鄒署長子廉、游主任逸駿、陳科長永哲。並特別感謝提供實測場址之 5 個營建工地負責人、聯絡人及協助安排受測人員之工地主管及所有協助受測勞工。

## 參考文獻

- [1] 「熱傷害」就醫全台 5 月比去年高出 93%。風傳媒電子報。  
[https://www.storm.mg/article/442978?srcid=7777772e73746f726d2e6d675f36343762633965356632613130386362\\_1557123961](https://www.storm.mg/article/442978?srcid=7777772e73746f726d2e6d675f36343762633965356632613130386362_1557123961)
- [2] 歐陸熱爆各地高溫颯破 40 度  
<https://www.chinatimes.com/newspapers/20150703000526-260108?chdtv>
- [3] WMO. 2015 likely to be warmest on record, 2011-2015 warmest five year period. Press Release N° 13; [Online 2016-01-08]; 2015.
- [4] IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Summary for policymakers. (Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability Part A: Global and Sectoral Aspects Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the IPCC). Cambridge, UK and New York, NY, USA:Cambridge University Press; 2014.
- [5] IFAD. Rural poverty report 2011: New realities, new challenges: New opportunities for tomorrow's generation. Rome: International Fund for Agricultural Development (IFAD); 2010.
- [6] ILO. Global employment trends 2013: Recovering from a second jobs dip. Geneva, Switzerland: International Labor Organization (ILO); 2013.
- [7] Luginbuhl RC, Jackson LL, Castillo DN, Loring KA. Heat-related deaths among crop workers - united states, 1992-2006 (reprinted from mmwr, vol 57, pg 649-653, 2008). *Jama-Journal of the American Medical Association* 2008; 300:1017-1018.
- [8] ISO. Hot environments - estimation of the heat stress on working man, based on the wbgt-index (wet bulb globe temperature)-iso 7243 standard. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization; 1989.
- [9] USA. Air force pamphlet 48-151 thermal injury; 2002.
- [10] Lemke B, Kjellstrom T. Calculating workplace wbgt from meteorological data: A tool for climate change assessment. *Ind Health* 2012; 50: 267-278.
- [11] 陳俊瑋. 全台颯高溫 熱危害勿近身! 勞工安全衛生簡訊; 2014; 126: 2-11.
- [12] 國家發展委員會. 國家氣候變遷調適政策綱領; 2002.
- [13] 陳振華, 黃彬芳, 陳旺儀. 國內高氣溫戶外工作者熱危害預防及檢查作法研究. (IOSH102-H303). 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所; 2014.

- [14] WMO, WHO. Heatwaves and health: Guidance on warning-system development. World Meteorological Organization and World Health Organization; 2015.
- [15] NOAA. Heat safety. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), National Weather Service; 2015.
- [16] OSHA. Chapter 4: Heat stress, section iii: Health hazards. OSHA Technical Manual, Directive Number: TED 01-00-015: Occupational Safety and Health Administration (OSHA); 2015.
- [17] CCOHS. Humidex rating and work. Ontario, Canada; 1997.
- [18] 日本厚生労働省. 職場における熱中症の予防について. 基発第 0619001 号; 2009.
- [19] 日本生気象学会. 「日常生活における熱中症予防指針」 ver.2 作成の経過報告 .<http://www.mhlw.go.jp/stf/shingi/2r9852000002f13datt/2r9852000002f1n8.pdf> [accessed 2012 年 6 月 29 日; 2012.
- [20] 中華人民共和國. 中華人民共和國國家職業衛生標準: 工作場所有害因素職業接觸限值, 第二部分: 物理因素. 2007a; Vol. GBZ 2.2.
- [21] 中華人民共和國. 中華人民共和國國家職業衛生標準: 工作場所物理因素測量-高溫. 2007b; Vol. GBZ/T 189.7.
- [22] 中華人民共和國. 中華人民共和國國家職業衛生標準: 工作場所職業病危害作業分級, 第三部分: 高溫. 2010; Vol. GBZ/T 229.3.
- [23] Singapore. Workplace safety and health guidelines: Managing heat stress in the workplace; 2002.
- [24] 労働部. 高温作業労働者休息時間標準; 2014.
- [25] ISO. Ergonomics of the thermal environment -- analytical determination and interpretation of heat stress using calculation of the predicted heat strain. Available: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:7933:ed-2:v1:en> [accessed 2004-08-15]; 2004.
- [26] ACGIH. Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices; 1992.
- [27] Tonouchi M, Ono M. Estimation of wbgt with jma products and information web site for heat stroke in japan. (91st American Meteorological Society (AMS) Annual Meeting). 341. Seattle, WA, USA; 2011.
- [28] Ono M, Tonouchi M. Estimation of wet-bulb globe temperature using generally measured meteorological indices. Jpn J Biometeor 2014; 50: 147-157.

- [29] ISO. Ergonomics of the thermal environment—analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the pmv and ppd indices and local thermal comfort criteria. 2005.
- [30] Wu CD, Lung SCC, Jan JF. Development of a 3-d urbanization index using digital terrain models for surface urban heat island effects. *Isprs Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 2013; 81:1-11.
- [31] Mukhopadhyay SC. Wearable sensors for human activity monitoring: A review. *Ieee Sensors Journal* 2015; 15: 1321-1330.
- [32] Bieber G, Kirste T, Urban B. Ambient interaction by smart watches. In: *The 5th International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments*; 2012.
- [33] Rhee S, Yang BH, Chang K, Asada HH. The ring sensor: A new ambulatory wearable sensor for twenty-four hour patient monitoring. In: *Proceedings of the Engineering in Medicine and Biology Society, 1998, 29 Oct-1 Nov 1998 1998, Vol. 4, 1906-1909*.
- [34] Guzman R, Blanco J, Higuera G, Andres MF, las Jd. Safety wristband for active security network. In: *Smart Objects, Systems and Technologies (Smart SysTech), 2014 European Conference on, 1-6; 2014*.
- [35] Elder S, Vakaloudis A. A technical evaluation of devices for smart glasses applications. In: *Internet Technologies and Applications (ITA); 2015; 98-103*.
- [36] Lukowicz P, Junker H, Stäger M, Büren Tv, Tröster G. Wearnet: A distributed multi-sensor system for context aware wearables. In: *Proceedings of the UbiComp 2002: Ubiquitous Computing, 05 September 2002 2002, Vol. 2498Springer, 361-370*.
- [37] McIlwraith DG, Pansiot J, Thiemjarus S, Lo BPL, Yang GZ. Probabilistic decision level fusion for real-time correlation of ambient and wearable sensors. In: *in Medical Devices and Biosensors, 2008 ISSS-MDBS 2008 5th International Summer School and Symposium on 117-120; 2008*.
- [38] Nakamura M, Nakamura J, Shuzo M, Warisawa S, Yamada I. Collaborative processing of wearable and ambient sensor system for health monitoring application. In: *in Applied Sciences in Biomedical and Communication Technologies (ISABEL), 2010 3rd International Symposium on, 1-5; 2010*.

- [39] Pantelopoulos A, Bourbakis NG. A survey on wearable sensor-based systems for health monitoring and prognosis. *Ieee Transactions on Systems Man and Cybernetics Part C-Applications and Reviews* 2010; 40: 1-12.
- [40] Wu YC, Chen PF, Hu ZH, Chang CH, Lee GC, Yu WC. A mobile health monitoring system using rfid ring-type pulse sensor. In: *Dependable, Autonomic and Secure Computing, 2009 DASC '09 Eighth IEEE International Conference on*, 317-322; 2009.
- [41] McAdams E, Krupaviciute A, Gehin C, Grenier E, Massot B, Dittmar A, et al. Wearable sensor systems: The challenges. In: *IEEE Annual International Conference of the Engineering in Medicine and Biology Society*; 2011.
- [42] Rault T, Bouabdallah A, Challal Y, Martin F. Energy-efficient architecture for wearable sensor networks. In: *IFIP Wireless Days*; 2014.
- [43] Intille SS, Intille AM. New challenges for privacy law: Wearable computers that create electronic digital diaries. (MIT Dept of Architecture House\_n Project Technical Report). Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA; 2003.
- [44] Motti VG, Caine. K. Users' privacy concerns about wearables: Impact of form factor, sensors and type of data collected. In: *Financial Cryptography and Data Security Workshop*; 2015.
- [45] McAdams E, Gehin C, Massot B, McLaughlin J. The challenges facing wearable sensor systems. In: *Studies in Health Technology and Informatics*; 2012; Vol. 177: IOS press, 7.
- [46] Hsieh HP, Lin SD, Zheng Y. Inferring air quality for station location recommendation based on urban big data. In: *ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD'15)*. Sydney, Australian; 2015.
- [47] Cao N, Lin YR, Li L, Tong H. G-miner: Interactive visual group mining on multivariate graphs. In: *Proceedings of the The 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '15)*; 2015. Seoul, Korea, 279-288.
- [48] Karamshuk D, Noulas A, Scellato S, Nicosia V, Mascolo C. Geo-spotting: Mining online location-based services for optimal retail store placement. In: *Proceedings of the The 19th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining*; 2013. Chicago, 793-801.

- [49] Zheng Y, Yi X, Li M, Li R, Shan Z, Chang E, et al. Forecasting fine-grained air quality based on big data. In: Proceedings of the The 21th SIGKDD conference on Knowledge Discovery and Data Mining (KDD 2015); 2015.
- [50] Hasenfrazt D, Saukh O, Walser C, Hueglin C, Fierzy M, Thiele L. Pushing the spatio-temporal resolution limit of urban air pollution maps. IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom):9; 2014.
- [51] 裴善康, 鄭進順, 鄒子廉. 台北市營造業戶外高溫作業安全促進策略. 工業安全衛生月刊; 2013; 289: 82-91.
- [52] Golbabaei F, Monazzam MR, Aval MY, Allahyari T, Taban E, Shendi MAR. Investigation of heat stress and heat strain in outdoor workers: a case study in Iran. Journal of Paramedical Sciences (JPS) 2016; 7(4): 30-38.
- [53] ACGIH. Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices; 2014.
- [54] Wong DP-l, Chung JW-y, Chan AP-c, Wong FK-w, Yi W. Comparing the physiological and perceptual responses of construction workers (bar benders and bar fixers) in a hot environment. Applied Ergonomics 2014; 45: 1705-1711.
- [55] WHO, Health factors involved in working under conditions of heat stress. World Health Organization; 1969.
- [56] Hargreaves M. Physiological limits to exercise performance in the heat. Journal of Science and Medicine in Sport 2008; 11(1): 66-71.
- [57] Corlett EN, Wilson JR, Corlett N. Evaluation of Human Work, 2nd Edition; 1995. p. 660.
- [58] Yi W, Chan APC, Wang XY, Wang J. Development of an early-warning system for site work in hot and humid environments: A case study. Automation in Construction 2016; 62: 101-113.
- [59] Morabito M, Cecchi L, Crisci A, Modesti PA, Orlandini S. Relationship between work-related accidents and hot weather conditions in tuscany (central italy). Industrial Health 2006; 44: 458-464.
- [60] Bonauto D, Anderson R, Rauser E, Burke B. Occupational Heat Illness in Washington State, 1995-2005, American Journal of Industrial Medicine 2007; 50: 940-950

- [61] Adam-Poupart A, Smargiassi A, Busque MA, Duguay P, Fournier M, Zayed J, et al. Summer outdoor temperature and occupational heat-related illnesses in quebec (canada). *Environmental Research* 2014; 134: 339-344.
- [62] Aragon-Vargas LF, Wilk B, Timmons BW, Bar-Or O. Body weight changes in child and adolescent athletes during a triathlon competition. *Eur J Appl Physiol* 2013; 113: 233-239.
- [63] Budd GM, Wet-bulb globe temperature (WBGT)--its history and its limitations. *Journal of science and medicine in sport / Sports Medicine Australia* 2008; 11: 20-32.
- [64] Mazloumi A, Golbabaie F, Mahmood Khani S, Kazemi Z, Hosseini M, Abbasinia M, et al. Evaluating Effects of Heat Stress on Cognitive Function among Workers in a Hot Industry. *Health Promot Perspect* 2014; 4: 240-246.
- [65] Liljegren JC, Carhart RA, Lawday P, Tschopp S, Sharp R. Modeling the wet bulb globe temperature using standard meteorological measurements. *Journal of occupational and environmental hygiene* 2008; 5: 645-655.
- [66] Lemke B, Kjellstrom T. Calculating workplace wbgt from meteorological data: A tool for climate change assessment. *Ind Health* 2012; 50: 267-278.
- [67] Boesen, Vincent P. Vehicle with interaction between vehicle navigation system and wearable devices. U.S. Patent Application No 15/356,978; 2016.
- [68] Tikekar M, Sze V, Chandrakasan A. A Fully-Integrated Energy - Efficient H. 265/HEVC Decoder with eDRAM for Wearable Devices; 2017.
- [69] 王智民, 個人創新性、資訊特質與穿戴式裝置行為意圖之關係研究, 國立雲林科技大學資訊管理系碩士論文; 2017.
- [70] 楊雅荃, 影響使用者持續使用穿戴式裝置意圖之研究, 國立臺灣科技大學企業管理系碩士論文; 2017.
- [71] 謝薇瑩, 應用解構式計畫行為理論探討穿戴式裝置使用意圖之影響因素-以 Apple Watch 為例, 朝陽科技大學休閒事業管理系碩士論文; 2017.
- [72] Salvo P, Calisi N, Melai B, Dini V, Paoletti C, Lomonaco T, et al. Temperature-and pH-sensitive wearable materials for monitoring foot ulcers. *International journal of nanomedicine* 2017; 12: 949-954.
- [73] 謝宗憲, 從遠程醫療的運作看中國大陸醫療改革- 以穿戴式裝置引入為例, 國立政治大學國家安全與大陸研究碩士在職專班論文; 2016.

- [74] 許修誠, 應用穿戴式裝置量化生活樣態數據與學習成效的關係-以大學生為例, 元智大學資訊管理學系碩士論文; 2017.
- [75] 林奕辰, 應用機器學習與關聯演算法於行為活動識別智慧模型之建立, 國立中興大學資訊管理學系所碩士論文; 2016.
- [76] Albert MV, Toledo S, Shapiro M, Kording K. Using Mobile Phones for Activity Recognition in Parkinson's Patients. *Frontiers in Neurology*; 2012; 3: 158.
- [77] 彭涇湘, 基於關聯式分類法在手機上進行人類行為活動辨識, 國立交通大學資訊科學與工程研究所碩士論文; 2013.
- [78] Azhar GS, Mavalankar D, Nori-Sarma A, Rajiva A, Dutta P, Jaiswal A, et al. Heat-related mortality in india: Excess all-cause mortality associated with the 2010 ahmedabad heat wave. *Plos One* 9; 2014.
- [79] Li M, Gu S, Bi P, Yang J, Liu Q. Heat waves and morbidity: Current knowledge and further direction-a comprehensive literature review. *International journal of environmental research and public health* 2015; 12: 5256-5283.
- [80] Draghici AE, Taylo JA. The physiological basis and measurement of heart rate variability in humans. *J Physiol Anthropol* 2016; 35: 22.
- [81] Berntson GG, Thomas Bigger J, Eckberg DL, Grossman P, Kaufmann PG, Malik M, et al. Heart rate variability: origins, methods, and interpretive caveats. *Psychophysiology* 1997; 34(6): 623-648.
- [82] Acharya UR, Joseph KP, Kannathal N, Min LC, Suri JS. Heart rate variability *Advances in cardiac signal processing*: Springer; 2007; 121-165.
- [83] Delacre M, Lakens D, Leys C. Why psychologists should by default use Welch's t-test instead of Student's t-test. *International Review of Social Psychology*, 2017; 30(1).
- [84] Lee AF. Optimal sample sizes determined by two-sample welch's t test. *Communications in Statistics-Simulation and Computation* 1992; 21(3): 689-696.
- [85] 勞動部職業安全衛生署. 高氣溫戶外作業勞工熱危害預防指引; 2019.



國家圖書館出版品預行編目資料

利用大數據分析建置我國戶外高氣溫環境熱壓力  
與體力負荷模式 / 陳志勇, 龍世俊著. -- 1  
版. -- 新北市 : 勞動部勞研所, 民 108. 06  
面 ; 公分  
ISBN 978-986-05-9631-1(平裝)

1. 勞工衛生 2. 職業衛生

412.53

108011095

利用大數據分析建置我國戶外高氣溫環境熱壓力與體力負荷模式  
著(編、譯)者: 陳志勇、龍世俊

出版機關: 勞動部勞動及職業安全衛生研究所  
22143 新北市汐止區橫科路 407 巷 99 號  
電話: 02-26607600 <http://www.ilosh.gov.tw/>

出版年月: 中華民國 108 年 6 月

版(刷)次: 1 版 1 刷

定價: 400 元

展售處:

五南文化廣場  
台中市中區中山路 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「研究成果／各年度研究報告」，網址為：  
<https://laws.ilosh.gov.tw/ioshcustom/Web/YearlyReserachReports/Default>
- 授權部分引用及教學目的使用之公開播放與口述，並請注意需註明資料來源；有關重製、公開傳輸、全文引用、編輯改作、具有營利目的公開播放行為需取得本所同意或書面授權。

GPN: 1010801319

ISBN: 978-986-05-9631-1





勞動部勞動及職業安全衛生研究所

INSTITUTE OF LABOR, OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH, MINISTRY OF LABOR



地址：新北市汐止區橫科路407巷99號

電話：(02) 26607600

傳真：(02) 26607732

網址：<http://www.ilosh.gov.tw>

ISBN 978-986-05-9631-1



GPN:1010801319

定價：新台幣400元