

國立臺灣大學工學院土木工程學系



碩士論文

Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Taiwan University

Master Thesis

應用熱影像辨識技術於十三溝面磚

劣化診斷基準之研究

Diagnosis of The Thirteen-ditches Tile Deterioration

Using Thermal Image Recognition Technology

石明哲

Ming-Che Shih

指導教授：郭斯傑 教授

Advisor：Sy-Jye Guo,Ph.D.

中華民國 105 年 6 月

June 2016

國立臺灣大學碩士學位論文
口試委員會審定書



應用熱影像辨識技術於十三溝面磚

劣化診斷基準之研究

Diagnosis of The Thirteen-ditches Tile Deterioration
Using Thermal Image Recognition Technology

本論文係石明哲君 (P02521710) 在國立臺灣大學土木工程學系碩士班完成之碩士學位論文，於民國 105 年 6 月 16 日承下列考試委員審查通過及口試及格，特此證明。

口試委員：

郭 斯 傑

(指導教授)

陳 博 亮

黃 榮 堯

謝 孟 勳

呂 良 正

系主任

郭斯傑

陳博亮

黃榮堯

謝孟勳

呂良正

(簽名)

誌謝



服務於國立臺灣大學總務處營繕組至今年已9個年頭，因緣際會在營繕組的同仁鼓勵下，報考了國立臺灣大學土木工程學系營管組，從此重新體驗回到校園的生活，因此，也認識了來自各界社會菁英的同學們，彼此互相打氣下，每個人雖然工作忙碌了一整天，在身心俱疲下，最期待的還是同學們晚上聚在一起上課的快樂時光，在這三年裡有苦有淚，不過，總是撐過去了。

首先，在這三年裡，我最要感謝的是家人的體恤，還有我最親愛的賢內助，沒有她的鼓勵，我不可能報考臺大研究所，有她的支持，讓我可以放心的去上課，真的很謝謝她；再來，我要感謝的就是我的指導教授-郭斯傑老師，雖然很抗拒每周二晚上的 meeting，不過有老師的堅持，學生當然也不敢怠慢，每周二還是乖乖的準時報到，聽了學長們陸續地做論文簡報，說實在地，時間到還真的生出了論文，老師謝謝您，讓我順利地畢業囉！還有一位不能忘記的人，就是江立偉博士，沒有他跟學弟妹陪伴做實驗，可能很難準時畢業，謝謝他幫忙解決實驗階段碰到總總問題，也很謝謝他不斷地鼓勵，謝謝您。

終於畢業了，我們 102 級是最棒的一班，希望畢業後還能夠常常聚在一起，一起遊山玩水，一起聊天說地，讓我們珍惜彼此，讓快樂永遠跟隨著我們。

石明哲謹誌
2016年6月於臺大

中文摘要

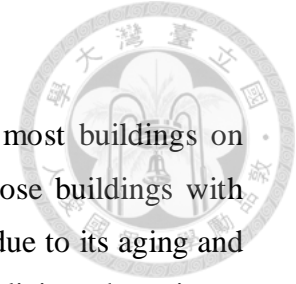
關鍵字：外牆磁磚、劣化標準、診斷方法、公共安全、紅外線熱影像

國立臺灣大學自創校以來，至今多數建築物屋齡已逾 30 餘年，尤其是使用十三溝建物，因老舊及缺乏維護而導致近年來建築物外牆磁磚掉落事件頻傳。然而回顧國內維護管理相關法令後，並無一套完全針對外牆公共安全事件管制的法令，為因應層出不窮的危安事件，校內亟需一套完整的建築物外牆診斷機制與方法防範相關危安事件擴大發生。國內雖有進行磁磚劣化探討文獻，惟多屬單純之試驗探討，尚未出現技術資料之彙編及匯集整理成一完善之分析模擬方式及成效評估準則，以致對於建築物立面檢測的成效無法量化，造成實務上對於部分立面附置物或磁磚仍未有一定參考標準或依據。為有效推動建築物立面更新健診與評估系統之研究，應有相關配合之實證結果方式與評估準則給予實務界參考。本研究期能透過國內外資料匯整及相關實證檢驗研究，提供舊建築物立面更新診斷時參考依據與評估方法。

本研究透過紅外線熱顯像非破壞實驗方法，研擬建築物外牆磁磚公共安全診斷模式，提出建議更新整建內容。本研究透過國立臺灣大學老舊建築物使用十三溝面磚案例實地進行紅外線熱顯像檢測調查，並建立「建築物外牆磁磚紅外線診斷評估方法」，以評估建築物外牆磁磚之劣化程度、劣化範圍以及對既成環境公共安全影響為主要內容，進一步提出劣化磁磚與正常磁磚之溫差值，並訂定劣化檢查時間之標準。

最後紅外線熱影像法之結果顯示，能清楚且具體呈現大範圍及小範圍之黏貼不完整處的範圍及位置，使檢測人員易於判讀，並提供判斷之準則及論證，希望未來能推廣使用紅外線熱影像術檢測老舊建築物之磁磚劣化情形，作為整修補強之依據，應可促進建築物外牆之完整保持，並達到建築物公共安全的要求。

Abstract



Since the establishment of the National Taiwan University, most buildings on campus have been more than 30 years old. In particular, for those buildings with thirteen-ditches tile, the wall tiles have been frequently falling off due to its aging and lack of maintenance. Examining the relevant regulations and policies, there is no legislation to manage and protect the public safety against the wall tile falling. Therefore, the NTU needs a systematic evaluation and diagnosis procedure to prevent it from falling.

Through the infrared imaging non-destructive tests, this research aims to develop a diagnosis procedure for public safety and recommendation for building renovation. Furthermore, this procedure was applied to the aged campus buildings with thirteen-ditches tile as a case study. A handbook entitled “Evaluation and diagnosis of building wall tiles through infrared imaging” was established. It was used to assess the deterioration of the wall tiles, the deteriorated area and the public safety impact. The temperature difference between the deteriorated and normal tiles was identified and used to establish the schedule for deterioration check.

The test results showed that the infrared imaging technique can clearly identify the location and area where the tiles were not properly glued. This technique can assist the staff to evaluate the tile deterioration and provide an evidence for necessary repair. Finally, it can maintain the integrity of the building wall and meet the requirements of public safety for the buildings.

Keywords : external wall tiles 、 deterioration standard 、 diagnosis methodology 、 public safety 、 infrared thermal image

目錄

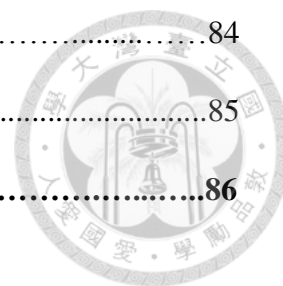


口試委員會審定書.....	i
誌謝.....	ii
中文摘要.....	iii
Abstract.....	iv
目錄.....	v
圖目錄.....	viii
表目錄.....	xiii
第一章 緒論.....	01
1.1 研究背景與動機.....	01
1.2 研究目的.....	04
1.3 研究範圍與限制.....	04
1.3.1 研究範圍.....	04
1.3.2 研究限制.....	04
1.4 研究流程.....	04
第二章 文獻回顧.....	06
2.1 建築物外牆磁磚診斷技術.....	06
2.1.1 外牆磁磚目視檢測方法.....	06
2.1.2 紅外線熱影像法.....	09
2.1.3 打音診斷法.....	11
2.2 建築物外牆檢查制度.....	13
2.2.1 國內檢查制度.....	13
2.2.2 國外檢查制度與補助實施方案.....	18

2.3 建築物外牆磁磚劣化因素分析.....	23
2.4 小結.....	28
第三章 研究方法.....	30
3.1 紅外線熱影像法.....	30
3.1.1 紅外線檢測技術基本原理.....	30
3.1.2 相關重要因素.....	31
3.1.3 儀器介紹.....	33
3.1.4 檢測方法.....	34
3.1.5 實驗對象磁磚.....	36
3.1.6 實驗步驟.....	36
3.1.7 實驗案例調查與分析.....	37
3.1.8 案例現況.....	38
3.2 小結.....	42
第四章 建築物外牆 13 溝磁磚劣化診斷實證研究.....	43
4.1 外牆 13 溝磁磚紅外線熱影像診斷結果分析.....	43
4.2 檢測對象介紹及分析.....	44
4.2.1 原分所.....	44
4.2.2 化工館.....	53
4.2.3 總圖書館.....	61
4.2.4 水工試驗所.....	69
4.3 紅外線熱影像法診斷結果綜合分析.....	77
第五章 研究結論.....	83
5.1 研究結論.....	83



5.2 研究貢獻.....	84
5.3 後續建議.....	85
參考文獻.....	86



圖目錄



圖 1-1 北市外牆磁磚剝落傷小女孩，住戶遭罰 6 萬 (2015)	01
圖 1-2 北市晶華飯店外牆磁磚剝落砸傷孕婦，北市府開罰 30 萬 (2015)	01
圖 1-3 臺灣大學土木大樓，外牆 13 溝面磚嚴重剝落，恐危及師生安全(2012).....	01
圖 1-4 臺灣大學森林館，外牆 13 溝面磚嚴重剝落，恐危及師生安全(2015).....	01
圖 1-5 屋齡 20 年內房屋使用類型分布.....	02
圖 1-6 研究流程.....	05
圖 2-1 雅典機場鋪面檢測結果.....	10
圖 2-2 陳俊菁研究試體熱顯像分析結果.....	10
圖 2-3 磁磚劣化剝離狀況.....	24
圖 2-4 磁磚劣化膨脹狀況.....	24
圖 2-5 磁磚劣化剝落狀況.....	24
圖 2-6 磁磚劣化隆起狀況.....	24
圖 2-7 磁磚劣化拔華狀況.....	25
圖 2-8 外牆磁磚介面.....	25
圖 2-9 外牆磁磚劣化共同因素.....	25
圖 2-10 外牆磁磚劣化因素分類.....	27
圖 3-1 電磁輻射光譜.....	30
圖 3-2 大氣分子對波譜吸收之反應.....	31

圖 3-3 FLIR E6 1.1L 外觀.....	33
圖 3-4 紅外線構成概念圖.....	35
圖 3-5 升溫及降溫示意圖.....	36
圖 3-6 十三溝面磚.....	36
圖 3-7 本試驗流程圖.....	37
圖 3-8 原分所平面圖.....	38
圖 3-9 化學工程館平面圖.....	39
圖 3-10 總圖書館平面圖.....	40
圖 3-11 水工試驗所平面圖.....	41
圖 4-1 十三溝面磚.....	43
圖 4-2 臺灣大學原分所案例紅外線熱影像檢測紀錄.....	44
圖 4-3 原分所檢測位置圖.....	44
圖 4-4 臺灣大學原分所案例東向溫差檢測紀錄結果-1.....	45
圖 4-5 臺灣大學原分所案例東向溫差檢測紀錄結果-2.....	45
圖 4-6 臺灣大學原分所案例東向溫差檢測紀錄結果-3.....	45
圖 4-7 臺灣大學原分所案例南向溫差檢測紀錄結果-1.....	46
圖 4-8 臺灣大學原分所案例南向溫差檢測紀錄結果-2.....	46
圖 4-9 臺灣大學原分所案例南向溫差檢測紀錄結果-3.....	46
圖 4-10 臺灣大學原分所案例西向溫差檢測紀錄結果-3.....	47
圖 4-11 臺灣大學原分所案例北向溫差檢測紀錄結果-1.....	48

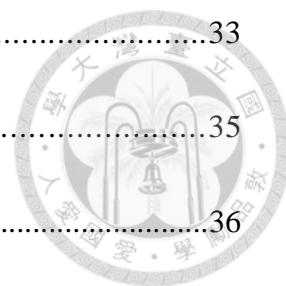


圖 4-12 臺灣大學原分所案例北向溫差檢測紀錄結果-2.....	48
圖 4-13 臺灣大學原分所案例北向溫差檢測紀錄結果-3.....	48
圖 4-14 正常磁磚與正常磁磚記號圖示.....	49
圖 4-15 臺灣大學化學工程館案例紅外線熱影像檢測紀錄.....	53
圖 4-16 化學工程館檢測位置圖.....	53
圖 4-17 臺灣大學化學工程館案例東向溫差檢測紀錄結果-1.....	54
圖 4-18 臺灣大學化學工程館案例東向溫差檢測紀錄結果-2.....	54
圖 4-19 臺灣大學化學工程館案例東向溫差檢測紀錄結果-3.....	54
圖 4-20 臺灣大學化學工程館案例南向溫差檢測紀錄結果-1.....	55
圖 4-21 臺灣大學化學工程館案例南向溫差檢測紀錄結果-2.....	55
圖 4-22 臺灣大學化學工程館案例南向溫差檢測紀錄結果-3.....	55
圖 4-23 臺灣大學化學工程館案例西向溫差檢測紀錄結果-1.....	56
圖 4-24 臺灣大學化學工程館案例西向溫差檢測紀錄結果-2.....	56
圖 4-25 臺灣大學化學工程館案例西向溫差檢測紀錄結果-3.....	56
圖 4-26 臺灣大學化學工程館案例北向溫差檢測紀錄結果-1.....	57
圖 4-27 臺灣大學化學工程館案例北向溫差檢測紀錄結果-2.....	57
圖 4-28 臺灣大學化學工程館案例北向溫差檢測紀錄結果-3.....	57
圖 4-29 臺灣大學總圖書館案例紅外線熱影像檢測紀錄.....	61
圖 4-30 總圖書館檢測位置圖.....	61
圖 4-31 臺灣大學總圖書館案例東向溫差檢測紀錄結果-1.....	62

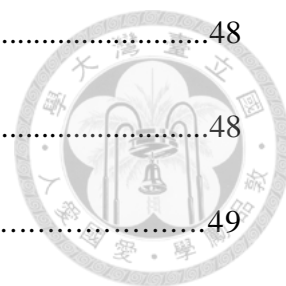


圖 4-32 臺灣大學總圖書館案例東向溫差檢測紀錄結果-2.....	62
圖 4-33 臺灣大學總圖書館案例東向溫差檢測紀錄結果-3.....	62
圖 4-34 臺灣大學總圖書館案例南向溫差檢測紀錄結果-1.....	63
圖 4-35 臺灣大學總圖書館案例南向溫差檢測紀錄結果-2.....	63
圖 4-36 臺灣大學總圖書館案例南向溫差檢測紀錄結果-3.....	63
圖 4-37 臺灣大學總圖書館案例西向溫差檢測紀錄結果-1.....	64
圖 4-38 臺灣大學總圖書館案例西向溫差檢測紀錄結果-2.....	64
圖 4-39 臺灣大學總圖書館案例西向溫差檢測紀錄結果-3.....	64
圖 4-40 臺灣大學總圖書館案例北向溫差檢測紀錄結果-1.....	65
圖 4-41 臺灣大學總圖書館案例北向溫差檢測紀錄結果-2.....	65
圖 4-42 臺灣大學總圖書館案例北向溫差檢測紀錄結果-3.....	65
圖 4-43 臺灣大學水工所案例紅外線熱影像檢測紀錄.....	69
圖 4-44 水工所檢測位置圖.....	69
圖 4-45 臺灣大學水工所案例東向溫差檢測紀錄結果-1.....	70
圖 4-46 臺灣大學水工所案例東向溫差檢測紀錄結果-2.....	70
圖 4-47 臺灣大學水工所案例東向溫差檢測紀錄結果-3.....	70
圖 4-48 臺灣大學水工所案例南向溫差檢測紀錄結果-1.....	71
圖 4-49 臺灣大學水工所案例南向溫差檢測紀錄結果-2.....	71
圖 4-50 臺灣大學水工所案例南向溫差檢測紀錄結果-3.....	71
圖 4-51 臺灣大學水工所案例西向溫差檢測紀錄結果-1.....	72

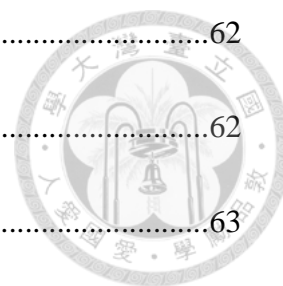
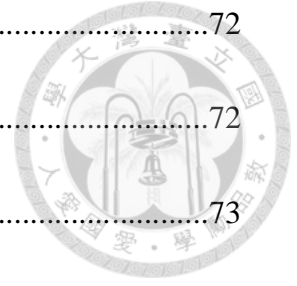


圖 4-52 臺灣大學水工所案例西向溫差檢測紀錄結果-2.....	72
圖 4-53 臺灣大學水工所案例西向溫差檢測紀錄結果-3.....	72
圖 4-54 臺灣大學水工所案例北向溫差檢測紀錄結果-1.....	73
圖 4-55 臺灣大學水工所案例北向溫差檢測紀錄結果-2.....	73
圖 4-56 臺灣大學水工所案例北向溫差檢測紀錄結果-3.....	73



表目錄



表 2-1 建築外牆磁磚診斷方法的使用限制.....	06
表 2-1 建築外牆磁磚診斷方法的使用限制 (續).....	07
表 2-2 目視調查時之注意位置與重點.....	08
表 2-3 建築物外牆公共安全目視診斷評估因子.....	08
表 2-4 建築外牆管理維護與補助相關主管機關與法令名稱.....	14
表 2-5 臺北市老屋健檢外牆安全檢查內容.....	18
表 2-6 香港樓宇管理維修強制驗樓範疇與擬涵蓋項目.....	19
表 2-7 各國整建更新補助計畫內容.....	21
表 2-7 各國整建更新補助計畫內容(續).....	22
表 3-1 主要地物之紅外線熱影像特徵.....	31
表 3-2 FLIR E6 1.1L 相關重要規格及參數.....	33
表 3-3 國立臺灣大學建築物外牆磁磚劣化檢測對象清單.....	37
表 4-1 原分所各面向觀測時間與溫差最大值.....	49
表 4-2 原分所-東向良好磁磚間溫差情形.....	50
表 4-3 原分所-南向良好磁磚間溫差情形.....	50
表 4-4 原分所-西向良好磁磚間溫差情形.....	50
表 4-5 原分所-北向良好磁磚間溫差情形.....	51
表 4-6 最佳觀測時間與溫差判斷值.....	52
表 4-7 化學工程館各面向觀測時間與溫差最大值.....	58

表 4-8 化工館-東向良好磁磚間溫差情形.....	58
表 4-9 化工館-南向良好磁磚間溫差情形.....	58
表 4-10 化工館-西向良好磁磚間溫差情形.....	59
表 4-11 化工館-北向良好磁磚間溫差情形.....	59
表 4-12 最佳觀測時間與溫差判斷值.....	60
表 4-13 總圖書館各面向觀測時間與溫差最大值.....	66
表 4-14 總圖書館-東向良好磁磚間溫差情形.....	66
表 4-15 總圖書館-南向良好磁磚間溫差情形.....	66
表 4-16 總圖書館-西向良好磁磚間溫差情形.....	67
表 4-17 總圖書館-北向良好磁磚間溫差情形.....	67
表 4-18 最佳觀測時間與溫差判斷值.....	68
表 4-19 水工所各面向觀測時間與溫差最大值.....	74
表 4-20 水工試驗所-東向良好磁磚間溫差情形.....	74
表 4-21 水工試驗所-南向良好磁磚間溫差情形.....	74
表 4-22 水工試驗所-西向良好磁磚間溫差情形.....	75
表 4-23 水工試驗所-北向良好磁磚間溫差情形.....	75
表 4-24 最佳觀測時間與溫差判斷值.....	76
表 4-25 各棟各面向門檻值.....	77
表 4-26 原分所東向鑑別率.....	77
表 4-27 化工館東向鑑別率.....	78

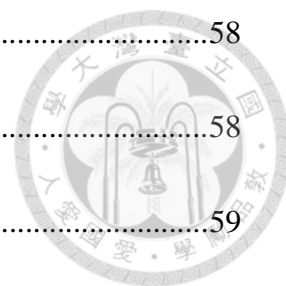
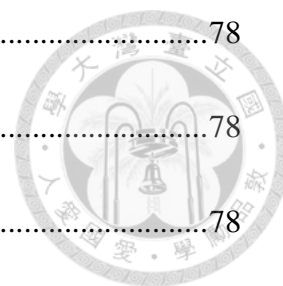


表 4-28 圖書館東向鑑別率.....	78
表 4-29 水工所東向鑑別率.....	78
表 4-30 原分所南向鑑別率.....	78
表 4-31 化工館南向鑑別率.....	79
表 4-32 圖書館南向鑑別率.....	79
表 4-33 水工所南向鑑別率.....	79
表 4-34 原分所西向鑑別率.....	79
表 4-35 化工館西向鑑別率.....	79
表 4-36 圖書館西向鑑別率.....	80
表 4-37 水工所西向鑑別率.....	80
表 4-38 原分所北向鑑別率.....	80
表 4-39 化工館北向鑑別率.....	81
表 4-40 圖書館北向鑑別率.....	81
表 4-41 水工所北向鑑別率.....	81



附錄目錄

附錄一 原分所試驗資料.....	88
附錄二 化學工程館試驗資料.....	91
附錄三 總圖書館試驗資料.....	95
附錄四 水工所試驗資料.....	98



第一章 緒論



1.1 研究背景與動機

近二至三年來，建築物外牆建材剝落危安事件頻傳，國立臺灣大學校內建物採十三溝面磚，亦隨著屋齡增加，四處可見磁磚剝落情形，危害師生生命財產安全。以臺北市而言，包括 2015/3/14 聯合報大樓發生外牆混凝土角嶼處龜裂，導致外牆石材剝落，造成一死一傷的慘痛事件（圖 1-1）；2015/03/23 晶華酒店外牆磁磚剝落，一名年輕孕婦行經被砸傷（圖 1-2）。本人服務於國立臺灣大學總務處營繕組，常見磁磚嚴重剝落造成師生安全問題（圖 1-3、1-4）。然而，在回顧建築物維護管理相關法規後，國內目前尚未明訂法令規定建築物外牆定期維護管理之規範，在外牆危安事件發生頻率不斷擴大，國內又未有制訂法令約束公共安全的現況下，亟需一套完整的建築物外牆診斷機制與方法防範相關社會危安事件擴大發生。



圖 1-1 北市外牆磁磚剝落傷小女孩，住戶遭罰 6 萬（2015）



圖 1-2 北市晶華飯店外牆磁磚剝落砸傷孕婦，北市府開罰 30 萬（2015）



圖 1-3 臺灣大學土木大樓，外牆 13 溝面磚嚴重剝落，恐危及師生安全（2012）



圖 1-4 臺灣大學森林館，外牆 13 溝面磚嚴重剝落，恐危及師生安全（2015）

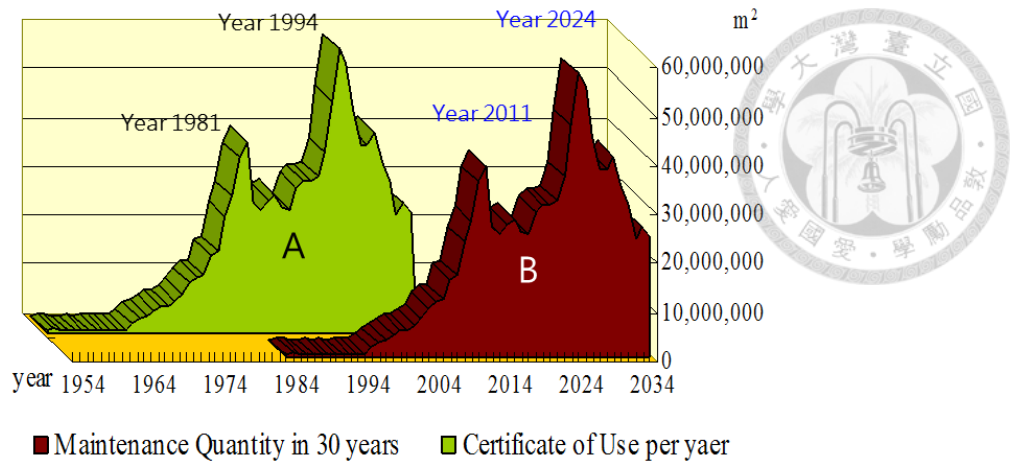


圖 1-5 屋齡 20 年內房屋使用類型分布 資料來源：張智元，2006

根據圖 1-5 相關統計結果顯示國內建築物興建高峰期為 1981 及 1994 年，若以平均使用 30 年為建築物明顯劣化現象產生為分水嶺，則可預測臺灣建築健診高峰需求年度為 2011 及 2024 年（張智元，2006）。依據此推測結果，國內建築物及國立臺灣大學校舍已達老舊建築物健康診斷與整建之高峰期，且剛好與這幾年不斷發生的磁磚剝落社會事件相吻合，因此，磁磚剝落已經成為臺灣非常急迫的公共安全問題。

綜合上述相關新聞及統計後，得知臺灣建築物外牆劣化以及國立臺灣大學校內建物已經造成某種程度的社會影響，適逢臺灣建築物逐漸邁向老化階段，本研究認為需透過研擬相關法令等機制予以規範，降低因建築物外牆年久缺乏維護而引起的公共安全意外疑慮。然而，透過法令規範建築物某部位或空間需定期檢查維護之法令，國內自民國 86 年開始施行「建築物公共安全檢查簽證及申報制度」即具備此一精神。建築物公共安全檢查簽證及申報制度之誕生源於民國 85 年衛爾康西餐廳大火，該災害共造成 64 人死亡、11 人受傷，因此民國 85 年 9 月 25 日內政部頒布「建築物公共安全檢查簽證及申請辦法」，規定建築物使用強度與危險指標分類，於民國 86 年 7 月開始施行。

國內建築物外牆多使用磁磚作為主要建材，開發商的考量不外乎為成本、工期及美觀等評估要點，磁磚雖然剛新施做完成時美輪美奐，但由於施工因素、人為因素、材料因素及其他因素等原因（郭斯傑，2012），導致磁磚使用一定時間後若缺乏定期維護與清潔，發生凸起、隆起甚至剝落的機率將提高，且建築物外牆因面對自然氣候的風吹雨打，磁磚作為表面飾材容易形成表面髒污，影響建築物美觀及都市景觀。

以國立臺灣大學校內建物而言，當時建校時適逢 1937 年「蘆溝橋事變」日本侵華戰爭爆發，日本政府為了因應未來的戰事，鼓勵台灣民眾在建築物外牆上使用具有防空保護作用的「國防色面磚」，這種流行於 1920 年代末至 40 年代初的面磚，有淺綠、土黃和褐色等，為了避免反光引起敵機轟炸，當時北投窯廠還特別生產國防色陶質「13 溝面磚」，將磚面表面作成凹凸摺線，約有 13 條溝痕，當時台北幾棟重要建築，如台北公會堂（現中山堂）、台北高等學校（現師大）、台北帝國大學（現臺大），都是這個時期最具代表性的建築。

上述磁磚因年久未維護容易影響景觀甚至公共安全。若將建築物外牆磁磚類比成人類的皮膚，則皮膚表層發生病變後對於皮下組織將造成影響，換句話說，建築物外牆磁磚若產生剝落、凸起等狀況後，室內容易滋生壁癌、滲水等現象產生，因此，在臺灣的建成環境中，探討磁磚的定期維護、清潔及管理成為建築維護管理重要的課題之一。

在國外制度研究的部份，在日本，國土交通省建築物防災推進協議會以及(財)日本建築防災協會，結合日本許多建築的專業團體，共同推展「建築物如同人一般需要進行健康診斷」的新機制，涉及建築物需要健康診斷的項目，包括建築立面的安全性、特殊建築物的定期調查報告、建築設備的定期調查報告及升降機的定期調查報告。而在發展比臺灣早的香港，由於深受因建築物老舊而導致窗戶掉落、磁磚剝落及混凝土崩落的影響之苦，則採取「強制驗樓計畫」推動建築物外牆強制每 3 年檢查一次私有建築物。在工程技術方面，日本立面檢測技術發展出包括外觀目視法、打音診斷法、紅外線檢測法、超音波檢測法、反彈槌檢測法、內視鏡檢測法等方法，而在國內學術機關部份亦進行包括立面目視檢測法、利用磁磚拉拔器測試立面磁磚強度、紅外線檢測法、立面熱顯像儀檢測等相關文獻與理論研究，惟多屬單純之試驗探討，尚未出現技術資料之彙編及匯集整理成一完善之分析模擬方式及成效評估準則，以致對於建築物外牆檢測的成效無法量化，造成實務上對於部分立面附置物或磁磚仍未有一定參考標準或依據。所以為有效推動建築物外牆更新健診與評估系統之研究，應有相關配合之實證結果方式與評估準則給予實務界參考，所以本研究期能透過國立臺灣大學校內採用十三溝建築物資料彙整及相關實證檢驗研究，提供校內工程單位外牆更新診斷時參考依據與評估方法。



1.2 研究目的

基於上述研究背景與動機，本研究主要研究目的如下：

1. 研議國立臺灣大學建築物外牆十三溝磁磚診斷標準作業流程，並針對建築物外牆磁磚診斷結果提出建議建議檢測時間。
2. 訂定外牆十三溝磁磚劣化劣化判斷基準值，作為檢測者評估劣化程度之參考依據。
3. 開發紅外線熱影像磁磚劣化檢測模式。

1.3 研究範圍與限制

1.3.1 研究範圍

本研究在研究範圍的部分，選擇以國立臺灣大學目前使用十三溝磁磚建築物為基準，尤以劣化情形嚴重者較能顯示差異，範圍為臺大校園等四棟建物，分別為原分所大樓、化學工程館、總圖書館及水工試驗大樓。

1.3.2 研究限制

本研究以建築物外牆磁磚有劣化情形，作為本研究實證操作之對象。透過觀察的方式，對該棟建築物做詳實的診斷記錄。但是畢竟建築類型繁多，本研究僅能以國立臺灣大學採用十三溝面磚建築類型為主要的探討對象。

至於除了磁磚以外的外牆附置物部分，經本研究文獻回顧及與其相關學者討論後，認為外牆附置物多屬於私人財產，凡舉常見之鐵窗、窗型冷氣安裝架、廣告招牌、陽台外推等均為個人所有權之財產，雖然當中涉及多項附置物為違法使用，但由於掉落的情形較為少見，且外牆磁磚為公共財，因此本研究僅對外牆附加物做初步調查，而將研究主軸定位於建築物外牆磁磚。

紅外線熱影像屬非破壞性試驗部分，礙於研究經費與時效性，本研究僅針對低樓層進行紅外線熱影像檢測劣化磁磚資料收集，中高樓層部分本研究則不另進行試驗。本研究建議可利用洗窗機、搭架及吊車燈方式進高樓層資料的收集。

1.4 研究流程

在研究方法上，本研究先以打音診斷法判定劣化位置，再以紅外線熱顯像分

析法測定劣化磁磚與正常磁磚溫度。提出一完整檢測評估標準、判斷基準值與建議的檢測時間。而後以實際建築物案例分析驗證建築物外牆磁磚劣化標準與其評估準則。本研究比對過去相關研究紀錄及外牆磁磚劣化診斷方面所完成之理論分析，及外牆整建修復更新工法等研究成果，進行相關之實驗研究，推導出建築物外牆磁磚劣化標準與劣化等級之量化數據。擬定建築物外牆磁磚健診與評估系統，並期本研究成果可為未來校內工程單位建築物外牆磁磚劣化相關參考規範研擬時之資料依據。

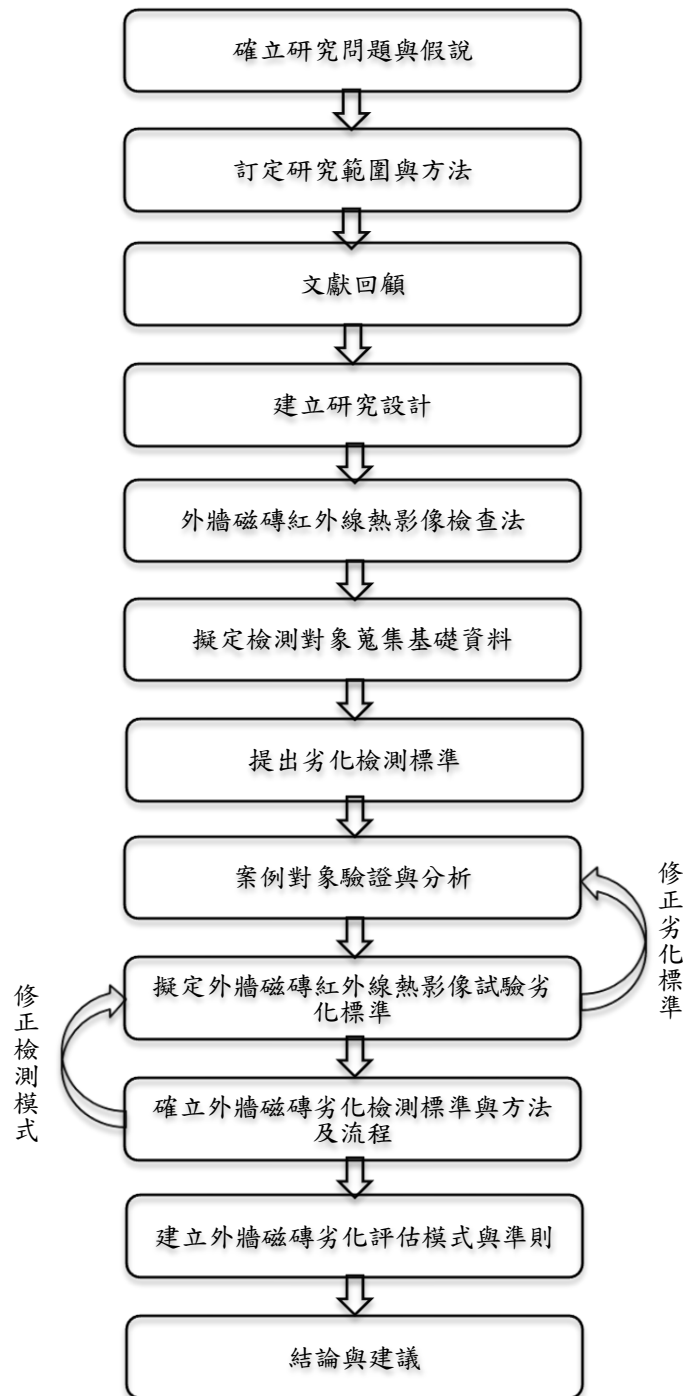


圖 1-6 研究流程

第二章 文獻回顧



2.1 建築物外牆磁磚診斷技術

外牆磁磚診斷技術大概有外觀目視法、打診法、紅外線熱影像裝置法、反彈錘法、超音波法、拉拔試驗法等方法，各有其優缺點，將於以下介紹。

2.1.1 外牆磁磚目視檢測方法

針對建築物健康的實體健康研究，多以土木、建築背景為基礎，探討檢查項目、頻率、標準訂定、劣化度評估、應用技術與管理系統規劃。健康診斷執行技術可區分成實（試）驗檢測與健診專家/建築醫師（Building Doctor）勘查診斷兩個層面。實（試）驗檢測如材料劣化偏光顯微鏡分析、X線回折法、熱分析、走查電子顯微鏡觀察 SEM(Scanning Electron Microscope)與化學分析（小林一輔，1998），或是結構非破壞檢測的放射線透過法、超音波法、電磁誘導法、紅外線法與自然電位法（魚本健人，2000）。健診專家/建築醫師勘查診斷則偏向現場專業性的評估診斷，如同中醫靠四診：望、聞、問、切評估與西醫靠視、聽、觸、扣檢查病患（鄭維理、鄭慧正，2005），國內目前進行的診斷包括建築物防水、耐震、電氣管線等建築物相關診斷。因此如何評定單一構件或整體建築的劣化度、維護優先序位或維護預算，均屬於診斷技術研發一環（王淑芬，2006）。中島和幸(2007)提出不同的外牆磁磚檢查方法有不同的應用對象及應用限制(表 2-1)。

表 2-1 建築外牆磁磚診斷方法的使用限制 資料來源: 中島和幸，2007

診斷方法	使用限制
外觀目視法	1. 可發現外觀上的異常，但無法發現外觀上有無異常浮起。
	2. 雖可發現外觀上的異常，但有可能因光線或遮蔽物而漏掉。
打診法	1. 無法以客觀的數字來表示其測定的結果。
	2. 有時無法測出厚度約 40mm 以上的部位之浮起。
紅外線熱影像裝置法	1. 照相機受季節、天候、時間、氣溫、牆面的方位、照相機距離、裝修材料的色調、建築物冷暖機具發熱等影響。
	2. 在強風或強雨時難以測定。
	3. 若牆面與照相機之間有樹木等障礙物時，無法測定。
	4. 不同的機器、畫面處理方法會造成結果有很大的差異。
	5. 若有陽台或雨庇等突起物時，難以測定。
反彈錘法	1. 有時無法測出厚度約 40mm 以上部位的突起。
	2. 調查牆面的後測狀況不同時，可能會造成誤診。
	3. 採用機器人時，有時無法探知窗戶周圍與凹凸部的周邊。
	4. 採用機器人時，可適用高度有所限制。
	5. 採用機器人時，可能會因為風等因素產生測定的誤差。

表 2-1 建築外牆磁磚診斷方法的使用限制 (續)

超音波法	1. 對於較寬廣的面，難以檢查出浮起。
	2. 不適用於表面粗糙的磁磚。
	3. 難以檢查出較深層處的浮起。
拉拔試驗法	1. 試驗用磁磚需要進行修補。
	2. 不適用於表面有較大凹凸的磁磚。
	3. 僅能測定部份的磁磚。(測定數目受限制)。

外觀目視法是最基本的調查方法，用於日常點檢與類似預備調查第一階段調查中(表 2-2)外觀目視調查為利用肉眼、小型望遠鏡、望遠鏡、經緯儀(transit)來調查立面的裂化狀況。此方法較為簡便，但能讓建築物所有者或管理者早期發現異狀以避免剝落造成事故，可當成第二階段診斷前調查，有效掌握建築物狀況。粘世孟(2008)透過文獻回顧、問卷調查及 Auto CAD 繪圖軟體貼附照片計算方法，提出針對影響公共安全及公共景觀的建築物外牆評估方法。江立偉(2009)提出類比橋樑 D.E.R&U 目視診斷方法，建立建築物外牆目視評估模式(表 2-3)，透過實證操作診斷評方法、劣化等級與修繕原則，判斷損壞程度與提出建議，改正建築物外牆因年久失修、劣化而產生的危險。楊詩弘及黃世孟(2012)選定台北市忠孝東路三至四段之建築物沿街立面為研究範圍，實地調查外牆髒亂及附置物現況、彙整相關文獻、分析現行管理法規及運用 AHP 專家學者問卷等方法，探討目前外牆既存現況問題改善之重要優先序位。該研究針對調查範圍之案例進行評估工具的實用驗證後，藉由既有建築立面樣態的公共安全、市容觀瞻、經濟性能之分級，可清楚地顯示建築外牆維護管理上存在之課題，該研究較屬於都市景觀評估之研究內容。林禮德(2011)藉由外牆磁磚類別的發展歷程與劣化成因、種類及對策、診斷方法，影響項目等文獻回顧與經由現況調查，探討建立外牆磁磚影響安全分級的因子項目。彙整下列外牆磁磚劣化的影響因子：磁磚劣化形式、磁磚劣化範圍、磁磚劣化位置，而造成影響環境安全因子包含於建築物基地內環境與周邊的建築物設置區位、建築物周邊環境、建築物基地配置等因子。

表 2-2 目視調查時之注意位置與重點

調查項目	調查時之重點
剝落、浮起、凸起	當磁磚落而產生缺損時，周邊的磁磚也剝落的危險性很高。另外，產生大面積浮起時會有凸起的動作。發現這些現象便需要進行更進一步的調查與診斷。目視調查最重要的是掌握這些狀況。
髒污	需判斷是附著於表面的髒污，或是因磁磚或水泥後面有水滲入而造成的。若髒污點四周圍有矽質填縫劑，如門窗四周防水填縫、外牆伸縮縫填縫等，需注意髒污是否為因矽質填縫劑變質造成。
潮濕	若是水滲入磁磚或水泥後面而造成磁磚接縫位置產生潮濕的顏色，則有可能已經發生浮起。
生鏽	鋼筋保護層不足所造成之生鏽、開口部鋼製設備的生鏽、廣告塔或招牌固定用鐵件生鏽，這些狀況發生處的周邊磁磚或水泥容易產生浮起的現象，特別要注意磁磚或水泥表面附著了鐵鏽的部份。
白華現象	磁磚表面或接縫處、水泥粉刷表面產生白色析出物時，表示磁磚或水泥後方可能已經產生空隙且有水進入或已經發生浮起的現象。
裂縫	當建築軀體發生變動、或磁磚後方水泥層等處發生變動時，磁磚與其接縫處、水泥粉刷表面有可能產生裂縫。這些裂縫周邊的磁磚容易產生剝落或浮起的狀況。

資料來源：中島和幸，2007

表 2-3 建築物外牆公共安全目視診斷評估因子

決策指標	第一層	第二層
建築物外牆 目視評估指標	外牆吊掛物	冷氣安裝架
		分離式冷氣主機
		遮陽板
		花架
		外牆飾品
		廣告招牌
	外牆管線	電線電纜
		給排水明管
		瓦斯明管
	鐵鋁窗架	平面式鋁窗
		全面式鐵窗
		局部式鐵窗
	外牆窗框	鋁合金窗框
		塑膠窗框
		木質窗框
	外牆磁磚	剝落
		龜裂
		膨脹
		鏽水附著
		白華
髒污		

資料來源：江立偉，2009



2.1.2 紅外線熱影像法

一、紅外線熱影像技術發展緣起

紅外線檢測技術目前已廣泛使用於醫學、工業、軍事等用途上。因其具有而在準確、非破壞及非接觸、大小範圍適用、效率性、經濟性等特性(Malhotra and Carino, 1991)，故能大面向的應用在各種工程上。

紅外線最早在 1800 年英國天文學家霍胥爾 (William Herschel) 於製作眼鏡鏡片時意外發現，其後一百多年之內陸續發明量測光譜與光之波長的偵測器。直至二次大戰期間，德國發明光子及量子型偵測器 (Photon/Quantum Detector)，由於其靈敏度大量提升，反應速度快，遂成為較為廣泛使用之紅外線產品。初期德國研製的紅外線技術裝備多用於軍事與戰爭上，最典型的包括紅外線通信設備和紅外夜視儀，直到 1960 年間才有第一台商務的紅外線攝影機的出現。現時，紅外線已有很久遠的發展歷史與長足的進步，現今更結合許多訊號處理與電腦科技技術，減少人力資源浪費，增進分析的準確性。

二、紅外線熱影像技術非破壞性檢測應用

Moropoulou (2001) 針對希臘雅典國際機場瀝青鋪面，利用紅外線熱影像技術對進行缺陷檢測，研究結果發現，缺陷面積與完整面積鋪面溫差至少 0.5°C ，視為缺陷(脫層現象)，此與 ASTM D4788 定義一致。此研究檢測範圍為機場內碎石鋪面、飛機滑行道及主要跑道三部份，以鋪面檢測顯示熱影像上呈現空洞範圍的區域且溫差大於 0.5°C ，現地存有脫層之痕跡，其脫層面積佔 27%，如圖 2-1 所示 (Moropoulou, 2001)。Tommy Y. Lo (2004) 證明紅外線熱影像可在混凝土外牆和建築立面或屋頂系統檢查缺陷。該研究證明若外牆面產生空洞，其空洞處將對熱輻射對流特性造成阻隔，形成空洞處溫度比周圍無空洞位置較高的情形，若要證明則可利用打音 (hammer tapping) 方法確認。此外，在大風或大雨的環境條件下，因空氣中分子顆粒的運動可能會影響熱影像，難以檢測外牆表面劣化位置與正常磁磚的溫度差。該研究並建議熱影像圖像分析時，溫度相差愈大愈好 (如 14°C 以上)。Maldague (2001) 研究表明，如果風速超過 32 公里/每小時，不建議進行室外紅外線熱影像測量。Rossano (2010) 指出，於義大利若要量測實體建築物檢測，建議於凌晨時間進行研究，以避免太陽直接輻射。量測時間的最佳觀測時期為凌晨 3 至 4 點間，研究顯示，該時間建築物內部和外部溫度之間的差值最大。該研究並檢測出，如果風速超過 5m/s ，將對建築物表面溫度

差造成影響。

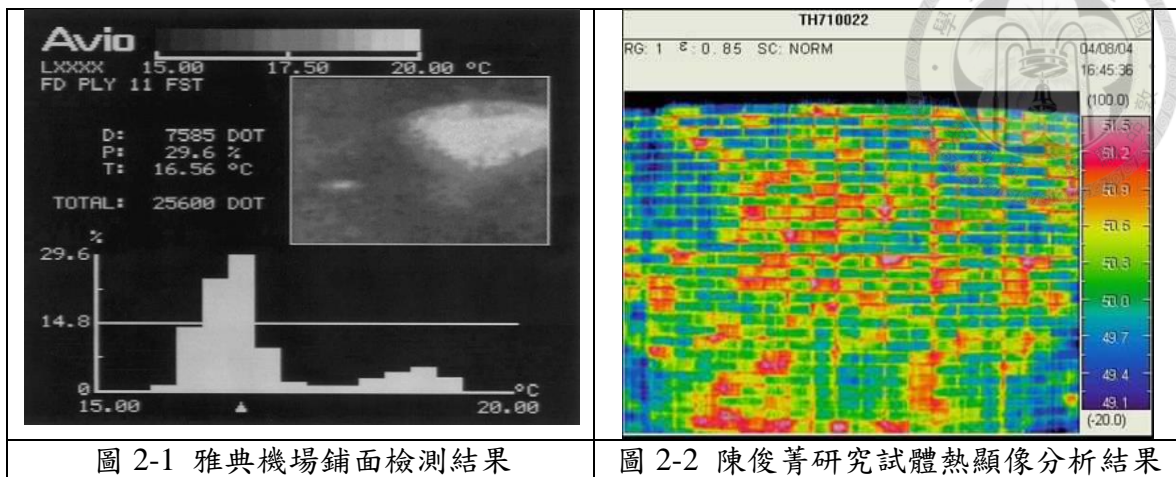


圖 2-1 雅典機場鋪面檢測結果

圖 2-2 陳俊菁研究試體熱顯像分析結果

在國內研究的部分，依日光（1994）提出磁磚與黏結層發生劣化而致剝離，將造成磁磚剝落而。因此建議發展遠距檢測磁磚剝離缺陷處的方式來取代打診法。依據該研究分析，陽光入射會使剝離缺陷處有吸熱的溫度反應，而陽光停止照射時會有冷卻的溫度反應，搭配使用紅外線熱影像儀在遠距離偵測磁磚表面溫度，可觀察溫度異常處以找出缺陷之位置。

陳俊菁（2004）運用紅外線熱影像與打診法(Hammer Tapping)檢驗面磚黏貼是否穩固。該研究利用鹵素燈加熱配合紅外線熱影像拍攝試體面磚溫度，研究發現加熱後面磚黏貼不完整處，呈現相對高溫現象，藉由熱影像圖的不同溫度區判釋面磚黏貼性（圖 2-2）。鄭子揚（2005）運用紅外線熱影像以熱影像分析法及數值模擬，針對室內混凝土缺陷試體進行檢測，主要針對蜂窩及空洞等試體模擬現地情況，藉由鹵素燈以固定週期對試體進行來回加熱，使試體表面達均勻受熱之效果。研究發現無論受測物是否含水，均可以檢測混凝土表面下缺陷，並利用數值分析計算深度。林宏義（2005）運用紅外線熱影像、敲擊回音法及打診法等三種檢測方法進行磁磚黏貼品質檢測，其檢測結果以紅外線熱影像法較可快速及大範圍檢測磁磚缺陷，研究結果建議，紅外線熱影像拍攝角度在 45 度以內，所估算出之試體面積與實際面積誤差皆低於 10%。連韋慶（2008）針對建築物之表面裂縫、內部裂縫、外飾面磚空鼓等現象以非破壞檢測技術檢測之，比較透地雷達、紅外線熱影像儀及超音波檢測儀三種檢測方式對於檢測不同缺陷的適用性及可行性。研究結果發現可運用影像處理技術獲得外飾面磚空鼓及磚牆破壞範圍，但須注意檢測環境之日曬條件。該研究並以成功大學某建築物為例進行對比檢查，其外飾面磚空鼓範圍結果與研究實驗設計結果相近。林谷陶（2011）規劃外牆磁

磚使用不同黏結材料，在不同黏置時間及不同位置條件下，以紅外線熱影像技術對實驗試體進行分析，研究結果發現加熱 37~69 分鐘之間的紅外線熱影像圖中，可觀察出健全部位與試體預埋之脫層缺陷有最大溫度差。該研究於溫度衰減階段，每一溫度擷取點之歷時溫度分佈，分三段擬合之方程式，並獲得三個特徵 m 值。該研究並將三個特徵 m 值做為實驗設計之反應值，再藉由迴歸分析及變異數分析，發現最適合做為代表外牆磁磚系統試體特徵值者為衰減階段初始 5 分鐘之擬合方程式特徵值，最具識別黏結材料、黏置時間及試體位置的規則性。此意味未來實際進行建築物外牆磁磚系統之非破壞性檢測時，若欲偵測脫層缺陷，最好選擇建築物早上受太陽照射之溫度上升階段。

2.1.3 打音診斷法

打音法（打診法）係透過技術熟練者利用測試錘(打診棒)進行打音，依據目的不同分進行部份打音及全面打音。若由技術熟練者來進行，是現階段精度最高的方法(中島和幸，2007)。

在外牆診斷相關研究方面，戴佩宜（2008）建立足尺 RC 牆構造，以不同黏貼方式設置不同外牆磁磚，再應用打音診斷法（Tap Tone Method）進行磁磚黏著情況檢測，欲求得打音診斷法與磁磚黏著強度關係。葉瑞娟(2013) 以釉面丁掛磚試體為研究對象，製作模擬空鼓率為 0%、25%、50%及 75%的實驗組外牆試體，以打音法進行敲音試驗，先以聲音能量法(Acoustic Energy Analysis)做第一階段分析比對區分正常音與異質音；第二階段再以聲紋分析技術(Acoustic Analysis Technique)辨識各空鼓率，提供未來磁磚診斷之人員客觀判斷的基準與方法。顏嘉慶(2012)以時域為基礎之聲音能量面積法(Acoustic Energy Analysis)作為判斷依據，透過聲音分析軟體探討異質音與正常音之聲音能量圖形比對，並將研究結果類比檢傷分類與品質管理法以不同顏色的方式呈現劣化嚴重程度。林宏義（2005）運用紅外線熱影像、敲擊回音法及打診法等三種檢測方法進行磁磚黏貼品質檢測，研究結果發現三種方法中以紅外線熱影像法較可快速及大範圍檢測磁磚缺陷，敲擊回音法須有正確之參數才能準確預估缺陷範圍；打診法無法估計磁磚缺陷範圍，然而可用錢幣及鐵錘等簡易工具即進行檢測。Tong (2008)提出以自動化衝擊試驗的方式對香港外牆磁磚與混凝土間的空隙進行檢測，利用可控制的敲擊裝置試體進行敲擊，研究結果對操作的方式制定了量化、方便且成本低廉的自動偵測系統。Tso & Tong (2003) 開發以機器人為裝置的偵測系統，針對高層建築的外牆檢查、

清潔及即時維修進行應用。Luk (2009) 開發以 ZigBee 和藍牙無線網絡為傳輸形式的外牆檢測機器人，該機器人可透過無線傳輸技術將打音檢測的檢查結果和樣本數據傳送到到地面的資料收集站，並利用類人化神經網絡的分析技術將功率頻譜密度(power spectrum density, PSD)分類評價。



2.2 建築物外牆檢查制度

本研究計畫將針對國內外與外牆整建更新相關的歷史演進、法令制度及申請流程，進行精簡扼要的說明，進而以目前國內現階段的執行狀況與主要推行計畫，包括：1. 臺北市建築物外牆安全診斷及申報管理辦法、2. 中央都市更新基金補助辦理自行實施更新辦法、及 3. 臺北市老屋健檢計畫，深入探討計畫內容並予以綜合比較與分析。

2.2.1 國內檢查制度

國內目前並不像香港、日本與美國等國家，有頒布針對「建築物外牆」特別制定的相關法令，但我們仍能從有關於「外牆維護管理」的相關計畫與法令尋找到一部分的相關內容，國內建築物外牆使用管理與營運維護等相關法令，主要在於內政部營建署的中央都市更新基金補助辦理自行實施更新辦法，臺北市都市更新整建維護實施辦法、臺北市老屋健檢計畫以至各縣市政府相關法令規定與執行計畫（參見表 2-4）。

表 2-1 中營建署主管的「建築物公共安全檢查簽證及申報辦法」內容以及「臺北市建築物外牆安全診斷及申報管理辦法」與本研究最直接相關。「建築物公共安全檢查簽證及申報辦法」為中央法，但其檢查項目僅包含「防火避難設施類」與「設備安全類」，缺少檢查影響公共安全、市容觀瞻的外牆附置物類。「臺北市建築物外牆安全診斷及申報管理辦法」為地方法，但才剛公告尚未實施。由於臺灣地處地震帶，颱風或地震等天災影響，容易造成建築物外牆磁磚、外牆附置物等設施物剝落，造成人員生命財產安全遭受不必要的損傷，目前缺乏相關法令規範，須定期評估診斷其安全性之規定；其次，對於一般大樓管理人員或非建築管理專業的行政事務人員，多事業主管機關、多專業性區別的法令特性，無論是在建築物檢查申報、使用維護專業資訊或法令諮詢的過程中，很容易因資訊、專業或時間不足，進而降低管理人員依法維護與管理的意願。因此，如何有效整合建築物外牆健診與定期檢查的機制與法令，就顯的相當重要。

表 2-4 建築外牆管理維護與補助相關主管機關與法令名稱

主管機關		法令名稱	管理說明
內政部	營建署	建築法、中央都市更新基金補助辦理自行實施更新辦法、建築物公共安全檢查簽證及申報辦法、國民住宅社區管理維護辦法、公寓大廈管理條例、住宅法、景觀法(草案)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 景觀法草案：公共設施設備、廣告招牌、屋頂、外牆附置設施、違章建築 2. 住宅法係 100 年 12 月 30 日公布，一年後實施。
臺北市政府		臺北市都市更新整建維護實施辦法、臺北市建築物外牆安全診斷及申報管理辦法(草案)、臺北市老屋健檢計畫	<ol style="list-style-type: none"> 1. 北市整建維護俗稱老屋拉皮 2. 老屋健檢計畫包含結構、防火、逃生、設備及外牆安全等 5 大項 3. 臺北市建築物外牆安全診斷及申報管理辦法係 104 年 6 月 10 號公告，刻正審查中
高雄市政府		高雄市建築風貌營造整建裝修及經營補助實施計畫、高雄市加強建築物公共安全管理自治條例(104 年底通過三讀)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 僅補助鼓山區哈瑪星地區、旗津區旗後地區、岡山區平和老街區 2. 外牆部分每棟補助最高新臺幣 35 萬元(不含內裝) 3. 加強建築物公安條例針對 15 年以上建物進行外牆檢查。
新北市政府		新北市政府辦理都市更新整建維護補助要點	<ol style="list-style-type: none"> 1. 屋齡 15 年以上之老舊建物 2. 可併同申請立面修繕及耐震補強工程之費用補助
桃園市政府		桃園縣都市更新整建維護補助辦法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 屋齡 20 年以上老舊建築物 2. 補助金額以不逾核准補助項目總經費百分之四十五及 1000 萬為限
臺中市政府		臺中市都市更新整建維護補助	<ol style="list-style-type: none"> 1. 編列 200 萬元，每案補助上限為補助項目總經費百分之 25
臺南市政府		安平舊聚落歷史風貌維持更新計畫、臺南市獎勵老舊發展地區整建維護補助辦法	<ol style="list-style-type: none"> 1. 安平計畫已於 2010 年 4 月結束 2. 補助計畫每案補助額度不超過新台幣一百萬元為原則

資料來源：本研究整理

一、國內建築外牆檢查內容與整建更新補助計畫及獎勵措施

1. 臺北市建築物外牆安全診斷及申報管理辦法(草案)

由於臺灣位處於環太平洋地震帶天然災害頻傳，再加上近年來氣候變遷，造成溫度劇烈變化，導致建築物外牆飾面容易因熱漲冷縮而剝落，造成公安意外。臺北市有感於人口密度為全國第一，且不斷發生外牆附置物剝落事件，因此著手訂定「臺北市建築物外牆安全診斷及申報管理辦法」，明確規定領得使用執照建築物達一定年限以上或外牆飾面較具風險之建築物，應定期委託專業診斷機構

(人員)、檢查人員辦理外牆安全診斷檢查及申報。重點內容本研究整理如下:

(一) 診斷結果之定義

共區分為 A 級(良好)、B 級(尚可)、C 級(需注意)、D 級(有潛在危險)及 E 級(有明顯剝落)等五種等級,經判認屬 D 級或 E 級者,專業診斷人員應於現場明顯處所張貼警告標示外,並應會同申報人提具改善計畫書,於都發局之限期內輔導申報人改善。

(二) 建築物外牆安全診斷之頻率

- (1) 建築物年限在十五年以上未達三十年者,每六年診斷一次。
- (2) 建築物年限超過三十年以上者,每三年診斷一次。
- (3) 建築物外牆飾面於地面三層以上採用石材、帷幕牆,其屋齡十年以上未達三十年者,每六年診斷一次。
- (4) 建築物經診斷判認屬第十一條之 D 級或 E 級者,若僅進行局部修繕,每三年診斷一次。

(三) 診斷人員資格

專業診斷人員,為參加臺北市都發局委託之機關(構)、學校或團體舉辦之講習訓練,領得講習證書之開業建築師或土木、結構執業技師,職司建築物外牆現況之安全診斷、改善計畫書及改善完成確認報告書之簽署等事項。前項人員,應參加講習訓練達七小時以上並經測驗合格,始得核發講習證書。講習證書有效期限為四年,逾期失其效力。專業診斷人員應於期限屆滿前三個月重新參加講習訓練。

(四) 罰則

申報人未依規定辦理外牆安全診斷申報,或在診斷人員提具改善計畫書後遲不依限改善者,臺北市都發局得依建築法、公寓大廈管理條例、行政執行法、本自治條例第三十一條第二項有關規定處理。

2. 中央都市更新基金補助辦理自行實施更新辦法

中央都市更新基金補助辦理自行實施更新辦法主要針對重建及整建維護所成立之更新團體或更新事業機構,其擬訂都市更新事業計畫有關費用(重建及整建維護)或實施工程有關費用(整建維護)使用,其補助案之受理申請窗口為直轄市、縣(市)主管機關。依據不同的都市更新實施方式,該辦法提供不同的規定與上限金額補助,在補助實施工程經費部分更有明確規定補助的項目,本研究針對補助整建維護的內容詳列如下:



(一) 補助費用計算方式

- (1) 地面層以上總樓地板面積五千平方公尺以下者，補助額度為新臺幣五十萬元以下。
- (2) 地面層以上總樓地板面積超過五千平方公尺，一萬平方公尺以下部分，每增加一百平方公尺，再加計新臺幣一萬元。
- (3) 地面層以上總樓地板面積超過一萬平方公尺部分，每增加一百平方公尺，再加計新臺幣五千元。

(二) 補助實施工程經費之項目

- (1) 老舊建築物立面及屋頂突出物修繕工程。
- (2) 老舊招牌、鐵窗及違建拆除。
- (3) 空調、外部管線整理美化。
- (4) 建築基地景觀綠美化。
- (5) 屋頂防水及綠美化。
- (6) 增設或改善無障礙設施。
- (7) 提高建物耐震能力。
- (8) 增設升降機設備。
- (9) 其他因配合整體整建或維護工程之完整性，經審查同意之必要或特殊工程項目。

前項補助項目，採用綠建材、綠色能源或綠建築工法進行整建或維護工程者，得優先列為補助。除此之外，為因應臺灣多地震之特性，中央都市更新基金補助辦理自行實施更新辦法特別針對提高建物耐震能力部分再增加補助金額，並依照不同的基地條件有不同的增額補助費用。

3. 臺北市老屋健檢計畫

臺北市政府為使臺北市民瞭解房屋之安全資訊，辦理老屋健檢費用補助事宜，針對補助對象及補助標準訂定規範，在 2014 年提出老屋健檢計畫，目標在 2014 年補助 200 棟建築物，2015 年補助 50 棟建築物，成效良好，本研究茲就計畫重點節錄如下：



(一) 補助對象：

領有使用執照或營造執照，且屋齡達二十年以上（以使用執照或營造執照發照日期為準）之民間興建建築物，且屬地上三層樓以上之集合住宅，作為住宅使用之戶數比例達全棟二分之一以上之建築物。

(二) 補助費用金額：

- (1) 申請戶數為一戶至十戶時，健檢費用補助一案新臺幣一萬五千五百元整。
- (2) 申請戶數為十一戶至二十戶時，健檢費用補助一案新臺幣一萬八千五百元整。
- (3) 申請戶數為二十一戶至二百戶時，健檢費用補助一案新臺幣二萬一千元整。
- (4) 申請戶數為二百零一戶至五百戶時，健檢費用補助一案新臺幣二萬六千元整。
- (5) 申請戶數為五百零一戶以上時，健檢費用補助一案新臺幣三萬二千元整。

(三) 判定內容

老屋健檢計畫針對建築物之「結構安全」、「防火安全」、「避難安全」、「設備安全」及「外牆安全」進行檢查。明定各大項之檢查內容，區分為 ABCDE 五種等級，並針對每一「分項」之評定等級，採從嚴認定方式評定（即分項分別有 D、E 等級時，該項目評定為 E 等）。

表 2-5 臺北市老屋健檢外牆安全檢查內容

項目	分項	評定內容	評定等級	評判勾選	細項等級	分項等級	
外牆安全	外牆構造	外牆面飾材料剝落、鼓脹現象	4 處以下且面積合計未超過 5 m ²				
			5 處以上或面積合計達 5 m ² 以上				
		外牆有明顯裂縫、混凝土塊剝落或鋼筋裸露鏽蝕情形	2 處以下				
			3 處以上				
		共用部分之窗框或窗扇呈現嚴重變形現象、啟閉困難					
	外牆呈現嚴重滲漏水白華現象						
	外牆附掛物	欄杆花槽	固定端之膨脹螺栓斷裂、嚴重鏽蝕或混凝土開裂	2 處以下			
				3 處以上			
			支架彎曲、變形、斷裂、嚴重鏽蝕	2 處以下			
				3 處以上			
		空調設備	固定端之膨脹螺栓斷裂、嚴重鏽蝕或混凝土開裂	2 處以下			
				3 處以上			
固定架變形、傾斜、嚴重鏽蝕			2 處以下				
			3 處以上				
雨遮棚架	支架嚴重鏽蝕、固定端混凝土開裂						
備註	1、表列每一「細項」之評定等級，採從嚴認定方式評定（即單項分別有 D、E 等級時，從嚴評定為 E 等）。 2、無表列 D、E 等級情形者，分項等級評定為 C 等 。 3、符合 C 等，外牆面無設置任何附掛物，或依公寓大廈規約統一規範設置標準並落實管理者，評定為 B 等 。 4、符合 B 等，且定期清洗外牆，有顯著管理成效者，評定為 A 等 。						

資料來源:臺北市政府建管處，2014

2.2.2 國外檢查制度與補助實施方案

一、香港

據香港房屋及規劃地政局（2005）調查顯示，香港約有 39,000 幢私人樓宇，其中 13,000 幢樓齡達 30 年以上。在未來 10 年，這個數字會增至 22,000。因此，香港屋宇署全面推動「強制驗樓計劃」（表 2-6），對象包括屋齡 30 年以上住宅、多用途建築物；檢查項目包涵外牆附建構件、結構性構件、排水系統、樓宇建築物消防安全構件違建等，檢查週期為屋齡達 30 年以上者每 7 年檢查一次。除此之外，由於窗戶掉落事件頻傳，香港政府另外擬定針對窗戶的強制檢查機制，以

因應逐年劣化的香港建築物與設備。

表 2-6 香港樓宇管理維修強制驗樓範疇與擬涵蓋項目

範疇	擬涵蓋項目
外牆附建構件	主要指非結構性構件，包含樓宇外牆上的固定裝置、其他安裝工程或附建物，而不論是由所有業主共同擁有或個別業主私人擁有，例如： <ol style="list-style-type: none"> 1. 外牆飾面，例如外牆磁磚及粉刷，包括窗台及窗簷的飾面 2. 百葉窗板（只限於公用地方）及外牆覆蓋層 3. 支架、遮蓬、花槽、冷氣機支撐平台、屋簷、裝飾條子、伸出物、建築裝飾、晾衣架、欄杆、招牌等
結構性構件	<ol style="list-style-type: none"> 1. 外牆、外牆表面的結構柱、公用地方的結構柱及牆 2. 外牆表面及公用地方的橫樑及樓板 3. 樓宇公用地方範圍內的天台、傳力板及檔土構件 4. 公用外牆表面的懸臂式構件 5. 公用地方範圍內的水缸
樓宇消防安全構件	<ol style="list-style-type: none"> 1. 公用地方範圍內的火警逃生通道 2. 公用地方範圍內的滅火及救援通道 3. 公用地方範圍內的耐火構件及隔火間
排水系統	<ol style="list-style-type: none"> 1. 室外排水管，包括總喉管及接駁至由私人擁有的個別單位的支喉管 2. 樓宇公用地方範圍內的地下排水系統
其他構件	<ol style="list-style-type: none"> 1. 樓宇外部：主體樓宇分開的公用地方 2. 樓宇內部：公用範圍的內牆及地面飾面、天花飾面、五金工程、門
違建物	所有私人或侵佔樓宇公用地方的違建物，而該工程對佔用人或公眾構成明顯或迫切危險

資料來源：房屋及規劃地政局，2005

二、日本

日本對於轄下公有建築物營運與維護管理蒐集各類資料，建立設施維護、更新活用與資產評價的基準或指標，並建立資產維護與評價管理綜合性資訊系統，如日本的仙台市役所的「公共設施保全系統」，內容包含設施登記簿管理、工程履歷管理、劣化度履歷表、優先序位決定、維護管理預算製作等管理層面。制訂法律建立「住宅性能表示制度」，除保障購屋時的性能相互比較，還可將要求的性能，傳達給設計者、施工者，達成如意如願的購屋。從一系列制度，可窺探出許多關於「建築物健診」事項，值得臺灣當前的營建業界之參考（黃世孟，2010）。

日本民間建築業由於新建業務日漸萎縮，已開始把業務重心轉向使用診斷維護的事業方向，出版相當多建築物診斷維護參考書籍（飯塚裕，1997），尤其是

建築物性能管理為基礎的「建物診斷」(中村茂, 2005)。關於建築物診斷專業資格部分, 一般狹義的解釋為「判斷建築物的狀態之行為」, 但是廣義的建築診斷則可包括「維護管理計畫及改善維修技術方法的提案、不動產於耐震性能及殘餘壽命鑑定後之對應方針的測定」等範圍, 馬場(2002)提出新的臨床建築學之新概念, 並討論診斷的組織論。認為診斷施行者必須站在一種超然的立場來進行, 避免牽扯到利益之關係(馬場明生, 2002)。

國土交通省建築物防災推進協議會及(財)日本建築防災協會, 結合日本許多建築專業團體, 包括日本建築設備升降機中心、日本建築中心、日本建築士會聯合會、日本建築士事務所協會聯合會、日本建築設備維護保全推進協會、日本建築行政會議、日本建築防火協會等, 共同推展「建築物如同人一般需要進行健康診斷」的新機制。涉及建築物需要健康診斷的項目, 包括建築外牆的安全性、特殊建築物的定期調查報告、建築設備的定期調查報告、升降機的定期調查報告。尤其, 對於地震災害的事前預防與事後診斷, 提出許多的策略與辦法, 包括任何人均可能執行的耐震診斷(問診表)、建築門窗的耐震對策、建築基地圍牆的耐震對策、豪雨時地下室的防災對策(黃世孟, 2010)。

三、美國

在美國各地的城市中, 有 15,000 座以上的建築物受地方市政法律管轄, 需要定期進行建築物外牆面狀況的檢查。美國 ASTM E06.55「外牆系統性能」審查通過了關於牆面檢查技術要求和程式的標準(Petermann & Erdly, 2003)。該標準意在提供示範建築法規、供地方市政當局或大學等擁有眾多建築的私人業主採用。目前在美國並未有經過一級認可的外牆檢查員考試和資質憑證授權。除持開業築師和專業工程師外, 美國現有的法規中並無其他關於外牆檢查員的資格規定, 但針對外牆檢查的工作項目部份, 則有設立專業外牆檢查員之培訓, 因應複雜且細膩的檢查工作。在檢查內容與流程部份, 首先需複閱記載外牆原有檢查報告或修理記錄的外牆維修史料, 如果缺乏現有立面圖的話, 則可能還要繪製立面圖。而後執行檢查, 包括在合適的光照條件下進行目測勘察和對所選定的外牆部分進行近距離檢查。目測檢查通常用望遠鏡進行, 也可以用遠攝鏡頭照相機拍攝材料老化的跡象和徵兆, 如: 裂縫、水漬、剝落(材料風化剝落部分)、位移(通常是外牆單元的向外位移)。所以檢查員需要對外牆的類型有豐富的知識, 才能判斷材料老化的潛在原因。進而協助檢查員能夠直接觸摸外牆表面, 並對選定的外牆部分

進行探針探測，查明肉眼看不到的老化現象。最後分析檢查發現的情況和結果，並準備提交給建築物業主和地方房產管理部門的報告(Petermann & Erdly, 2003)。在芝加哥市則規定樓高 80 呎或 6 層的建築物，屋主均須向建管單位提交臨街牆身的勘察及維修周年報告(黃世孟，2008)。

四、國外法令制度與計畫實施內容

本研究計畫透過一系列的相關文獻蒐集，針對推廣外牆整建更新工作行之有年且已有初步顯著成果的國家，包括【亞洲地區】：日本(大阪市)、香港；【美洲地區】：美國(洛杉磯市、紐約市及格蘭岱爾市)、加拿大；【歐洲地區】：英國，將各補助計畫的對象與內容，進行綜合比較與分析(表 2-7)。

表 2-7 各國整建更新補助計畫內容

國家	地區/ 計畫名稱	補助對象	補助內容
美國	洛杉磯市	空間有劣化跡象處或外牆附大量違建物或設施	擬定建築物需修繕工程內容和性質 解釋維修保養工程涉及的技術問題 若業主或財團無法在時間內實行工程，將依照法令採取處罰 協助業主解決問題，促使維護整建工程完成
	紐約市	中低收入戶、高齡者、殘障者	住家公共環境修繕或住宅內部有礙人身安全及健康的設施 總借貸不超過 150 萬元為限且應立借貸契約
	紐約市	住宅大規模修繕者、特定地區	施工期間最高可減免兩年地價稅 備齊相關申請文件向主管機關提出申請 中央政府訂定相關法源，地方政府提供獎助
	格蘭岱爾市	高齡者(62 歲以上) 殘障者(永久殘障)	補助項目包括安全、方便、美觀 補助金由市政府負擔，屋主不可收取任何現金，經屋主同意，補助金直接支付立約廠商
英國	直接補助、融資及稅制優惠計畫	於內城地區法中劃定優先發展區或企業分區	經地方政府審議通過後核撥補助 補助額度視規模而定 補助項目包括建物整建或公共設施改善
	社區計畫基金	社區組織或專業團體	皇家建築師協會社區建築組進行核撥補助 協助研擬地區改造計畫的研究經費為主

表 2-7 各國整建更新補助計畫內容(續)

國家	地區/ 計畫名稱	補助對象	補助內容
日本	大阪市/ 直接補助	高齡者(60歲以上) 重度身心殘障者 現行耐震規定不合格	備齊相關申請文件向健康福祉局、住宅局提出申請 對高齡者、重度身心殘障者提供25~30NTD/萬的補貼 耐震診斷費用的1/2以內補助限額
	大阪市/ 融資貸款	避難道路進深30M 之範圍內依耐震修理計畫所指定、老舊住宅屋齡20年以上	修繕完成後本金和利息均按月繳款償還 不同類型給予不同融資貸款限制與額度
加拿大	住宅整建計畫	低收入戶屋主、殘障屋主及一般屋主	依屋主型態、整建動機與氣候條件區分 低收入戶 352,000~528,000NTD/每單位； 殘障屋主 352,000~792,000NTD/每單位； 一般屋主 16,000~36,000NTD/每單位
香港	樓宇維修統籌計畫/ 貸款計畫	樓齡二十年以上 大廈沒有收到政府部門發出的修葺令或勸諭信 住宅或綜合用樓宇 願意承擔長期維修管理、聘請認可人士落實維修大廈	改善建物結構問題 維修破損的立面磁磚或外牆油漆 消防安全設備改善 改善建築設備及衛生設施 斜坡及擋土牆的維修或改善工程 工程勘測及專業服務 清除違章建築物或相關的附帶或跟進工程
	樓宇維修統籌計畫/ 物料資助	樓齡二十年以上 已列入屋宇署名單內或接獲法定命令 住宅或綜合用樓宇 願意承擔長期維修管理	提供免費專業技術支援意見，協助策劃復修 內/外牆油漆、排污及沖廁、公共水管、天台防水材料、防火材料及環保推廣物料

資料來源：郭斯傑，2011

2.3 建築物外牆磁磚劣化因素分析



林世堂(1993)指出，造成外牆瓷磚剝落、鼓脹及剝離等損傷原因可歸納下列原因：

- 一、包括外牆牆體與磁磚間內外之溫差造成之剝離、鼓脹或斷裂。因為外牆磁磚由於直接貼著於建築物的外表牆面，經年累月的直接與風、雨、陽光、濕氣、露水，大自然等現象所接觸，並且伴隨著氣候因素(濕度、溫差、日照西曬)、施工品質、維護管理，於日常使用期間均可能會產生剝(掉)落、膨拱、剝離的狀況。
- 二、施工不良導致。外牆牆面體施工完成時間與磁磚之貼著施工時間相距過短，此常見於趕工之工地中。另外包括打底粉刷時未予清理完全及打底粉刷表面之灰屑未確實清除、打底粉刷層過分乾燥，都有可能導致磁磚在完工後剝落。
- 三、材料問題。磁磚吸水率過大、背鈎太淺或沒有背鈎、黏著膠泥保水性差、磁磚顏色等問題。

本研究綜整上述文獻內容中所提及的現象、狀況，以及本研究自行觀察所得結果進行因素分析與探討。

一、劣化程度(Degree)因素分析

本研究依據建築物外牆磁磚的劣化標準，針對劣化程度予以區分，包括，D0：正常(於本研究中則不予討論)；D1：膨脹、色差、白華、吐黑；D2：磁磚剝落可見外牆粉刷層；D3 粉刷層已破壞保護層未破壞；D4：保護層已破壞，並進行劣化因素之分析與探討，經本研究計劃團隊配合所蒐集案例並透過一系列之文獻檢索、現地踏勘、專家訪問後，另本研究計劃團隊特此感謝南星副董林世堂提供相關參考文獻，予以補強本研究計劃的闕漏處。

綜合上述並依據劣化程度(Degree)可歸納出其劣化的常見因素，D1：常見的劣化因素有(1)磁磚材質可區分為自然吸水與不吸水，過分乾燥或吸水性過大，均會導致黏著劑水分被吸收而失去接著強度、(2)磁磚與水泥砂漿間未完全黏貼、(3)外牆牆體混凝土的內外溫度差、(4)外牆磁磚嵌入不充分、(5)磁磚品質差異、(6)外牆填縫劑吐油污漬。

D2：常見的劣化因素有(1)外牆黏著劑選用不當導致保水性較差、(2)混凝土

打底粉刷表面灰屑未確實清除、(3)外牆鋁窗開口位置四週塗抹防水材料導致附著力不良打底材脫層、(4)窗開口位置四個角產生剪力裂縫導致磁磚剝落或窗開口位置四週塗覆的防水材料老化而造成剝落、(5)伸縮勾縫未妥善預留、(6)粉刷層水泥砂漿配比不當、(7)水泥砂漿氯離子含量偏高、(8)磁磚抹縫施工不確實，可能產生勾縫之抹縫隙縫，將使水分滲入磁磚及粉刷層，長期亦造成壁癌、白華。

D3：常見的劣化因素有(1)黏著劑與水泥砂漿間的問題，水泥砂漿快速風乾，縮短凝結時間，造成磁磚不易黏貼外牆、(2)打底水泥砂漿未分層施作或一次補過厚、(3)外牆噴漿速度快、局限外牆鷹架動線限制；造成噴塗不均勻、品質不易控制，11-12年出現大面積剝落、(4)噴漿水泥砂材料的配比瑕疵、噴漿水泥砂材料添加不當輸送。潤滑劑(洗衣粉)、(5)黏著劑塗佈厚度不足。

D4：常見的劣化因素有(1)鋼筋或固定鐵件受雨、潮導致鋼筋生銹爆裂使磁磚剝落、(2)R.C.外牆牆體的水電配管線不當。

另本研究為配合說明上述所探討的外牆磁磚劣化常見狀況(圖 2-2~圖 2-6)，並使一般使用者易於理解，本研究繪製外牆磁磚的介面(圖 2-7)，作為輔助說明參考，自外牆牆體至所貼附磁磚，依序分別為混凝土(保護層)、水泥砂漿(粉刷層)、黏著劑、磁磚。



圖 2-3 磁磚劣化剝離狀況



圖 2-4 磁磚劣化膨脹狀況



圖 2-5 磁磚劣化剝落狀況



圖 2-6 磁磚劣化隆起狀況



圖 2-7 磁磚劣化拔華狀況

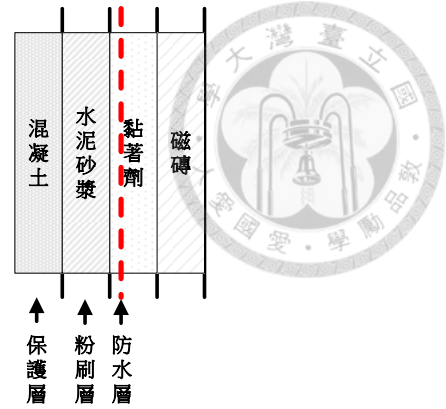


圖 2-8 外牆磁磚介面

二、外牆磁磚劣化共同因素

承上所述，已針對劣化程度(Degree)進行因素分析，除此之外，本研究發現仍有些許會造成外牆磁磚劣化的共同因素(圖 2-8)，共計以下七點：(1)磁磚的勾縫、大小、重量；(2)磁磚形式材質過重，例如：山形磚；(3)天氣的影響，研究發現於夏季、冬季時的影響則較大，而於春季、秋季的影響相對則較小；(4)溫溼度的變化；(5)熱脹冷縮效應；(6)水泥及黏著劑材質；(7)施工人員的經驗等，綜上所述的現象或情況均會對建築物外牆的磁磚產生不同程度的劣化影響。

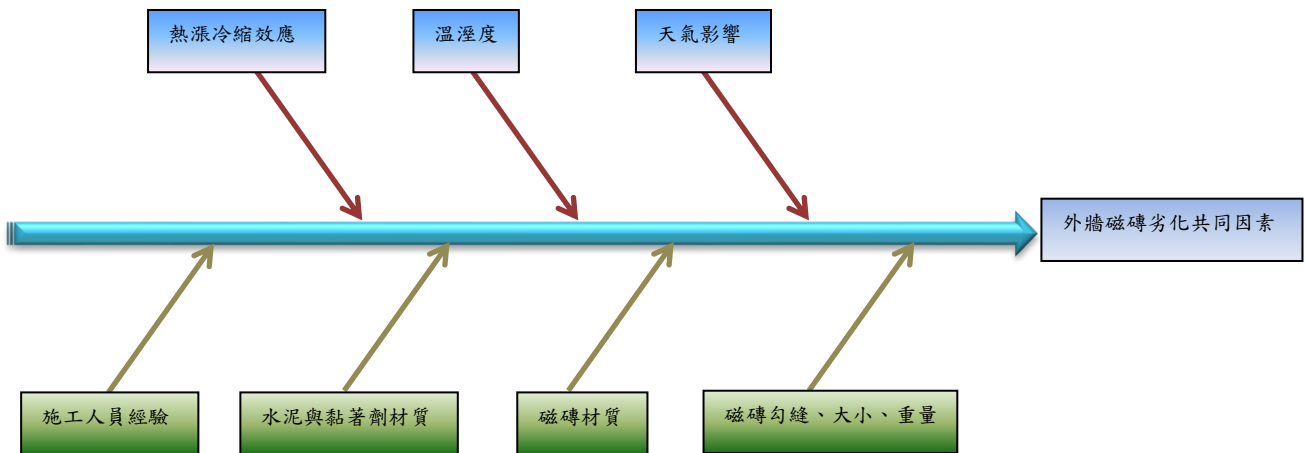


圖 2-9 外牆磁磚劣化共同因素

資料來源：本研究繪製

三、外牆磁磚劣化因素綜合分析

承上所述，本研究針對建築物外牆磁磚的劣化因素，而依據影響建築物外牆磁磚劣化因素之面向，本研究大致可歸納區分為，包括：人為因素、施作工法、磁磚材料、環境因素及其他因素，等共計五大面向，其特性要因可參考圖 2-9；另本研究進而依據各影響面向的內容進行更細部之探討與分析，簡要分析如下。

1. 人為因素

依據本研究所蒐集之案例進行探討與分析後，可得知針對人為因素面向所致影響外牆磁磚劣化的因子，包括：A.屋頂防水施工不良導致水(雨水)滲入外牆內部；B.拌合黏著劑施工人員於拌合後置放時間過久而導致黏著力降低；C.外牆牆體施工完成時間與外牆磁磚黏貼時間相距過短；D.外牆磁磚黏貼時機未妥善掌握；E.貼磚施工人員的拌合黏著劑一次塗抹至打底牆面積過大；F.為利於促使水泥砂漿、易膠泥的施工性則於拌合劑中摻入水。

另外，本研究透過實地調查後，觀察建築結構設計與外牆磁磚劣化，導致剝落或裂縫等現象產生，有其相關聯性，包括高樓結構之反曲點附近樓層變位、剪力牆常見之剪力裂縫、窗台短柱剪力效應、伸縮縫間距不足、外牆開口四周剪力裂縫等狀況。

2. 施工因素

依據本研究所蒐集之案例進行探討與分析後，可得知針對施工因素面向所致影響外牆磁磚劣化的因子，包括：A.粉刷工法鏟刀未用橫縫，將橫縫與磁磚橫貼併用；B.外牆面積過大，未有分割收縮縫導致產生熱膨脹造成脫層；C.選用不適當的磁磚黏貼工法；D.外牆磁磚黏貼施工完成後未妥善養護，導致黏貼強度降低，易造成磁磚剝落；E.女兒牆與樓板相接處防水設計不良易造成漏水，進而導致磁磚含水量高材質劣化；F.外牆角隅補強筋不足易造成磁磚裂縫。

3. 磁磚材料因素

依據本研究所蒐集之案例進行探討與分析後，可得知針對磁磚材料因素面向所致影響外牆磁磚劣化的因子，包括：A.磁磚背溝深度不足導致附著力不足；B.磁磚材質過於光滑導致附著力不足；C.磁磚材料變形翹曲導致黏著劑無法完全黏著；D.磁磚材質可區分為磁質、陶質、石質，而不同材質各有不同的吸水率；E.磁磚顏色不一導致吸熱性能有所差異。

4. 環境因素

依據本研究所蒐集之案例進行探討與分析後，建築物所在區位條件、座向，其所產生的環境影響，與外牆磁磚劣化之間存有部分關連性。尤以在臨海高鹽害風化環境、鄰近空氣中、重度污染工業區之週遭地區(如煉鋼場、石化煉油廠等)、高低海拔或溫濕度變化高地區，對於磁磚本身或黏著劑化學性質的破壞相對明顯。除此之外，關於建築物自身部位亦與磁磚劣化存有相關聯性。如迎面面受風壓之

風頭壁等。其產生的現象包括：A.溫差較大之西曬牆易產生磁磚劣化；B.溫濕度變化產生膨拱現象；C.臨海地區鹽害或中性化導致磁磚龜裂；C.工業區週遭地區排放廢氣與酸雨現象磁磚產生游離石灰；E.海拔氣壓的大小及含氧量造成磁磚裂縫；F.風頭壁受風壓大易造成裂縫。

5. 其他因素

依據本研究所蒐集之案例進行探討與分析後，可得知針對其他因素面向所致影響外牆磁磚劣化的因子眾多，其中受自然因素、天候影響乃至於其他因素的影響，而所產生的現象包括：A.外牆結構設計扭力集中於某些特定樓層；B.因地震導致產生剪力效應；C.因地震導致產生磁磚剝落；D.茲因地震導致產生裂開、剝落、擠壓的現象；E.地層下陷所致；F.天氣過熱造成牆體內外溫度差、結構面吸水過多導致材料產生失水乾縮現象；G.打底粉刷施工後，打底面層因遭受下雨導致造成泥漿流失；H.酸雨所致造成水泥中性化；I.結構混凝土因氯離子過高造成磁磚膨脹剝。

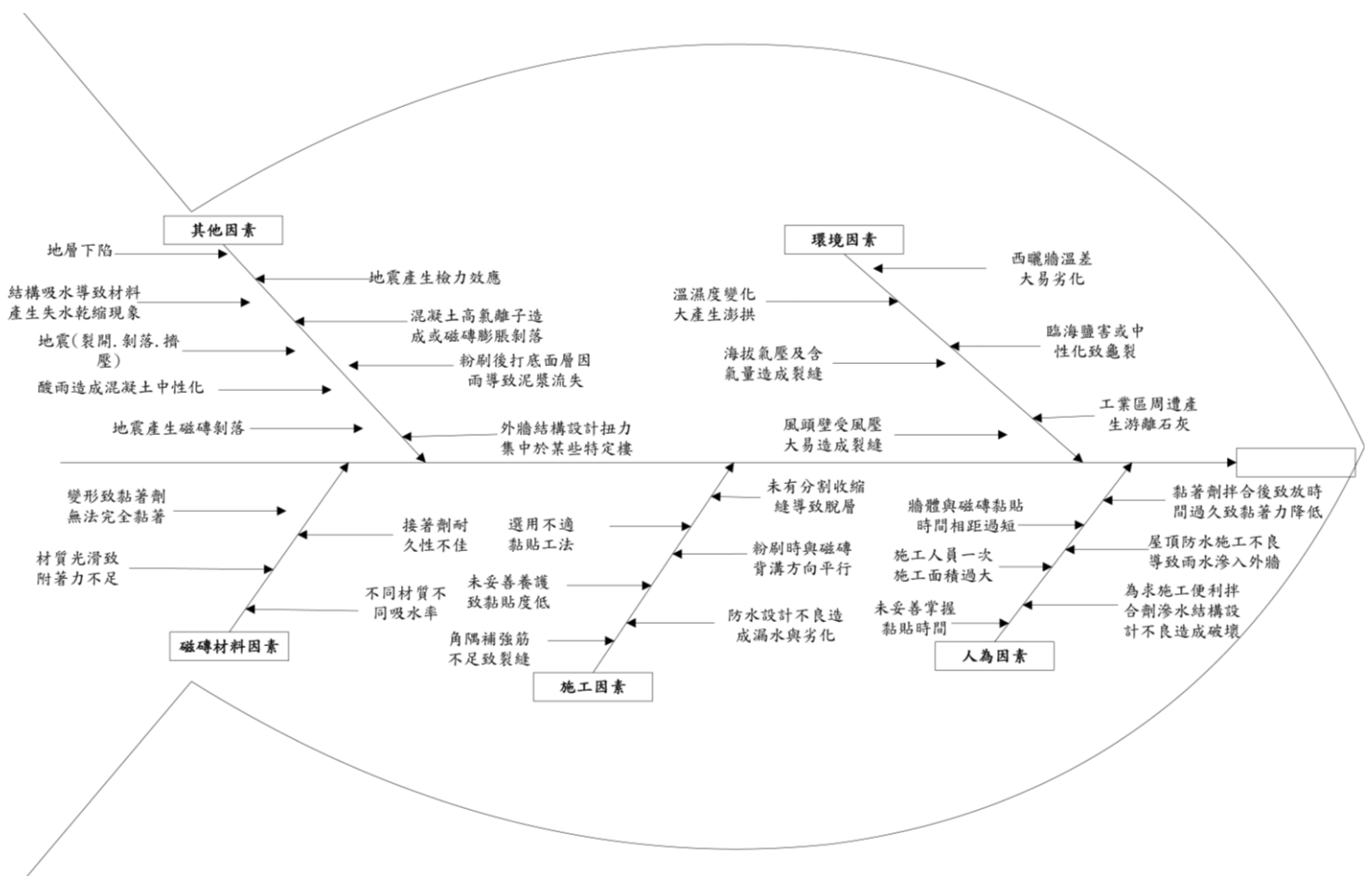


圖 2-10 外牆磁磚劣化因素分類

2.4 小結

有關於建築物外牆相關文獻回顧至今，可發現國內針對建築物外牆磁磚各項研究多屬單項技術資料之彙編或單純之試驗探討，除未能確立整體立面之劣化標準及評估準則外，亦未有針對建築物外牆完整診斷評估之完善之分析方式及成效評估準則，以致對於判斷劣化程度產生認知上之落差。對於如何評估修補的成效亦無法量化，造成實務上對於部分構件有提前更換或過度補修之可能性。且國內雖具相關研究針對劣化磁磚進行評估，然而多數為針對室內建物，或以試體模擬外牆磁磚劣化情形，少以實體建築物進行評估與診斷。本研究認為，應以室內試體實驗邏輯及原理為依據，對室外實體建築物進行評估驗證，並修正室內評估時未考量之評估值。以實務應用為先決的進行建築物外牆診斷及評估整建模式，提供相關配合之分析方式與評估準則提供實務界進行診斷補修時的參考。所以本研究期能透過國內外資料的匯整及相關試驗的進行，提出建築物外牆劣化診斷標準及整建模式評估之分析方式與評估準則。

目前各國對於建築物強制健診的概念與推動程度不一，在香港房屋及規劃地政局 2005 年 10 月公布的「樓宇管理及維修強制驗樓」指出，屋齡 30 年以上之建築物經指定須於 6 個月內檢查。美國紐約市及芝加哥市則有分別規定：紐約所有政府建築物每 4 年勘察及維修一次，另外所有屋主每 5 年須聘請建築師或工程師定期檢查建築物外牆及其上之附置物。芝加哥市則規定樓高 80 呎或 6 層的建築物，屋主均須向建管單位提交臨街牆身的勘察及維修周年報告(黃世孟, 2008)。新加坡則規定大樓所有權人須聘請結構工程師勘察，非住宅建築每 5 年一次，住宅建築每 10 年一次(陳春英, 2008)。日本規定所有辦公大樓及多層大廈的逃生通道及外牆磁磚，每 3 年由合格建築師勘察一次(黃世孟, 2008)。本研究發現，上述的案例皆為發展成熟國家所制訂的政策。反應出一個國家發展到一定程度時，對於都市發展所採取的策略，不是大規模的拆除重建，而是以嚴格的法律規定延長建築物使用壽命。反觀臺灣，經歷 1981 與 1994 年兩波興建的高峰期，須儘早進行建築物健診維護各項供需調查、法令修訂與執行機制之研討(張智元, 2007)。

上述國內研究多是在實驗室內製作磁磚有缺陷之試體方式進行研究，較少針對實體建築物外牆磁磚進行長時間的量測與追蹤，對於實務在進行外牆磁磚紅外線熱影像檢測時的溫差標準以及最佳量測時間較少探討。本研究即是透過不同實

體建築物長時的追蹤欲探討出建議的量測時間與溫差門檻值。



第三章 研究方法

由於目前國內對於建築物外牆公共安全或公共景觀相關研究著墨較少，本研究彙整國內有關於建築物外牆磁磚之公共安全、公共景觀等的相關研究進行分析與比較，並提出國內建築物外牆磁磚完整的診斷評估架構，另外，也將進一步蒐集國外的研究成果與相關設計準則作為本研究之參考。由於本研究試圖突破缺乏建築物外牆劣化評估準則與標準之問題，因此需針對跟我國民情與習慣較接近之國家執行過的相關研究進行彙整、分析與比較，分析出的量化數據作為訂定我國建築物磁磚之劣化標準依據參考，改善因檢測者評估標準不一，造成判斷劣化程度認之上之落差的問題。

3.1 紅外線熱影像法

3.1.1 紅外線檢測技術基本原理

紅外線影像介於可見紅光和微波之間的電磁波，波長範圍(0.76~1000 μm)，依波長大小更分區成近紅外線(0.75 μm ~1.5 μm)、中紅外線(1.5 μm ~4.0 μm)、遠紅外線(4.0 μm ~1000 μm)，如圖 3-1 所示整個電磁輻射光譜。

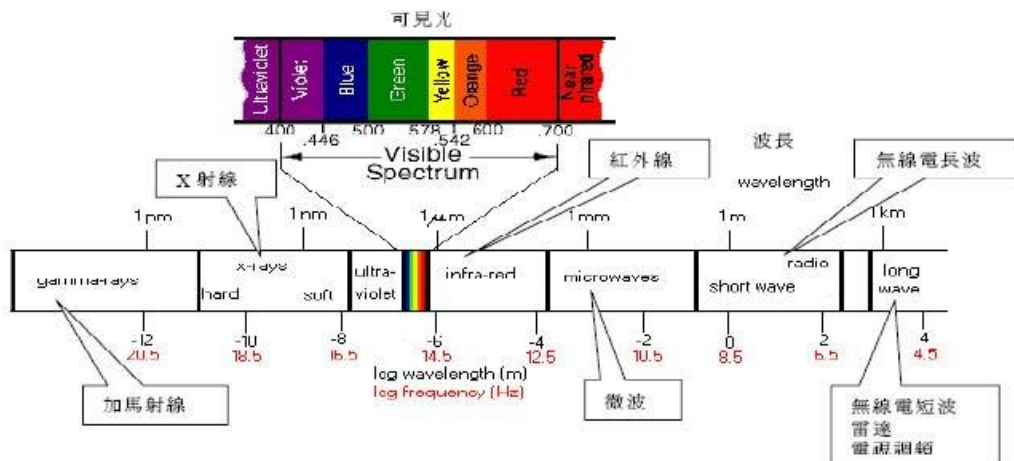


圖 3-1 電磁輻射光譜

紅外線系統按工作原理，可分為主動式和被動式兩類。主動式系統需自紅外線光源照射目標，約略可分為脈波熱影像法、逐步加熱法、鎖相熱影像法、振動熱影像法、脈波相位熱影像法等等。被動式系統則直接探測目標的紅外線輻射，主要是佔主導地位的軍用紅外線系統，如熱成像系統、搜索跟蹤系統、紅外線輻射計和警戒系統等。按信息提供方式，可分為成像和點源系統。按工作方式，還可分為掃瞄和非掃瞄系統，掃瞄系統又分為光機和電子掃瞄系統。



3.1.2 相關重要因素

一、大氣影響

大氣層對熱系統所記錄的能量強度及波譜組成有很大的影響，大氣窗影響了量測熱能訊號最佳波譜波帶的選擇，大氣層中的二氧化碳、水氣及臭氧等對熱紅外線有選擇性的吸收特性，但在 3 至 5 μm 及 8 至 14 μm 此兩個窗口可讓熱紅外線通過（圖 3-4）。

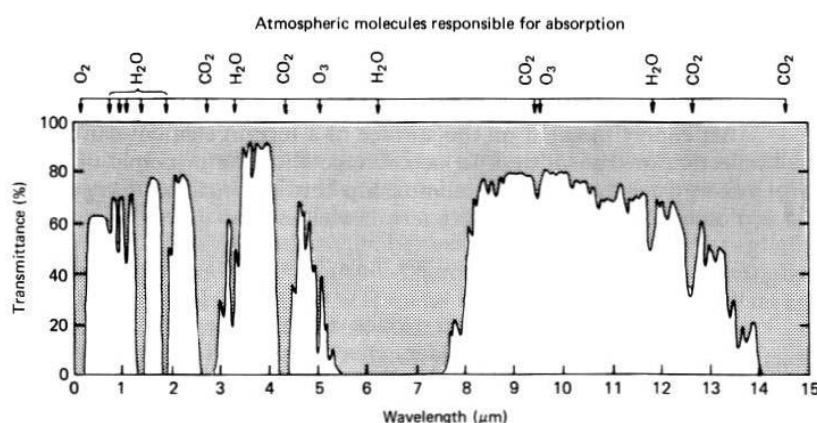


圖 3-2 大氣分子對波譜吸收之反應 資料來源：Lillesand，2004

二、熱惰性

熱惰性對進行熱紅外線影像判釋工作很有幫助，物體的熱惰性表示該物體對外界溫度變化的反應靈敏度，在決定熱惰性的三個參數中，以密度最為重要。對大多數物體而言，熱惰性係隨著密度的增加而呈近乎線性增加。在其他條件相同的情況下，白天受太陽加熱升溫時，熱惰性高的物體表面溫度上升較慢、上升幅度也較小。相反地，熱惰性低的物體表面溫度上升較快，下降幅度也較大。到了夜間太陽下山降溫時，熱惰性高的物體表面溫度下降較慢，下降幅度也較小；熱惰性低的物體表面溫度下降較快，下降幅度也較大。

表 3-1 主要地物之紅外線熱影像特徵 資料來源：潘國梁，2006

地物	熱紅外線影像特徵
水體	晝涼夜暖，白天呈現深色調，夜晚比岩石及土壤還暖；但地熱及溫泉區在晝夜都高溫
濕地	不論晝夜都比乾燥的地面為冷；地下水滲出及充水不斷層晝夜也都低溫，但冬天的滲出地下水比水體還暖和
植被	晝涼夜暖，但草地則晝夜皆涼
岩石	晝暖夜涼，但須視岩性而定
道路	水泥或瀝青路面，白天呈現灰色調，夜晚為淺色調
金屬	晝夜都涼，夜晚呈現黑色

三、物體表面影響

由於紅外線熱影像所測得溫度為受測物體的表面溫度，而物體表面溫度的變化主要受下列三項因素影響(Weil, 1991)：

- (1) 材料表面條件：各種材料的輻射係數與表面的粗糙程度有關，粗糙表面物體的輻射係數，較光滑表面物體來的大。
- (2) 材料內部結構組織：傳導係數係隨材料內部結構組織情形而異。就混凝土結構而言，混凝土的孔隙率愈大，導熱能力愈低。
- (3) 周圍環境條件：

大氣溫度：其實大氣溫度影響並不大，但是如果有水分存在時，則其溫度不可低於 0°C (32°F) 以下，因水可能會結冰。

太陽輻射：施測的時間應選擇在吸收或釋放輻射最快速的時候，譬如日出及日落後 2~3 小時。

雲層：雲層過多時會反射紅外線輻射而減慢熱送，雲層過多時須停止施測。

風速：風速會加速表面溫度的下降，所以量測時，風速應在 25 km/hr 以下。

受測物表面潮濕：會降低表面溫度影響準確性。

四、空間輻射體系

紅外線熱影像儀所測定對象物體表面放出而到達感測器的輻射能，乃物體表面放出的能量與包圍該面的周圍所有面入射於物體表面而在表面反射的能量之和(依日光, 2001)。周邊壁並非黑體，由有任意輻射率及反射率的材料構成時，因構成周邊的面配置形狀所致的溫度等而受複雜的多重反射作用影響，決定熱影像圖上的表面輻射溫度。

3.1.3 儀器介紹

本研究所使用之紅外線熱影像儀為 FLIR 公司製造，其型號為 E6 1.1L。此熱影像儀為一非接觸式及高靈敏度的紅外線放射溫度計，外觀如圖 3-5 所示，其中包括紅外線熱影像儀、內建式螢幕。被量測物體所放射的紅外線射線被吸收，並且以二維非冷卻式平面陣列感測器轉換成為一電氣訊號，此類比訊號被放大後再轉換成為數位訊號。最後此訊號以彩色、鐵色及黑白的方式被顯示在螢幕上。



圖 3-3 FLIR E6 1.1L 外觀

FLIR E6 系列是一款“即瞄即拍”型熱像儀，可帶來全維度體驗。FLIR E6 系列熱像儀經濟實惠，是點溫儀的替代產品。它拍攝的熱圖像包括各個像素點的溫度信息。圖片存儲將全新多波段動態成像(MSX)、熱圖像與可視圖像多種格式相結合，讓 FLIR E6 熱像儀使用起來極其方便。

表 3-2 FLIR E6 1.1L 相關重要規格及參數

紅外分辨率	160×120 像素
MSX 分辨率	320×240 像素
熱靈敏度	0.06°C
空間分辨率	5.2 毫弧度
圖像模式	紅外圖像，可視圖像，MSX®，畫中畫，縮略圖庫
視場角 (FOV) /最近對焦距離	45°×34° / 0.5 米
波長範圍	7.5 - 13µm 的
對象溫度範圍	-20°C 至 +250°C
精度	±2°C 或讀數的±2%，環境溫度 10°C -35°C，對象溫度 0°C 以上
發射率表	預定義材料的發射率表
反射表象溫度校正	自動，基於反射溫度輸入值
工作溫度範圍	-15°C - +50°C

資料來源：FLIR E6 1.1L 操作說明



3.1.4 檢測方法

於建築物外牆磁磚檢測使用熱影像基本條件，是為內外溫差需達 20°K 以上。意涵建築物是否合理的檢查，需考量建築內部的溫度，外部風，雨，或太陽等大氣條件，以及外牆條件(如通風)都會影響曝光的結果。雖然很多檢測案例，都可於外部呈現熱橋現象，而內部則是相反的呈現明顯的冷橋現象。尤其是寒冷地區明顯地出現在外牆上或窗框等處，故本研究挑選夏秋季，溫度相較其他季節來的穩定；此外，設置地板和牆壁上加熱器，以及空調機組，其更明顯影響紅外線熱影像結果，本研究將排除或避免任何發熱源，避免影響實測結果。一般而言，若混凝土無缺陷位置（磁磚與混凝土間之空洞現象），紅外線熱顯像儀將顯示一致的表面顏色和機理。但若有任何的裂縫或混凝土表面脫層，而太陽所照的這些區域將增熱得很快，熱點也會在熱影像紀錄中觀察到，這些區域因此可以更近地檢查，並且可在結構上作記號以供顯著識別和進一步的調查。根據相關文獻，此方法已證明可作為快速評估的大型建築物，特別是高層公寓大廈有效，此亦為本研究動機，解決高層公寓大廈磁磚剝落公安問題。

建築物紅外線熱影像檢測係以自然日照方式使待測建築物產生溫度變化，檢測時間採每 30 分鐘紀錄表面輻射溫度一次，自 09:00 開始收集資料至 17:00，本研究以此時間為基礎分別對受測建築物進行表面輻射溫度量測，而後繪製溫度歷時曲線，進而探討最佳量測時間。當檢測面內部有空鼓等缺陷現象時，一天當中升溫時段熱惰性低之空鼓區（空氣）相較於其他完整區將產生相對高溫的情形；降溫時段熱惰性高之空鼓區相較於其他完整區將產生相對低溫的情形，藉此論點可監測出面磚空鼓位置，最後再以打音診斷方法，對紅外線熱顯像位置進行雙重確認，及更精準的劣化範圍確定。

根據林宏義（2005）提出紅外線熱影像拍攝角度在 45 度以內，所估算出之試體面積與實際面積誤差低於 10%。由此可知，拍攝角度在 45 度以內時，檢測面積將不受影響，本研究將以 45 度作為取樣位置。

由於磁磚黏貼的缺陷（浮起）部位與完整部位之熱傳導不同，透過紅外線裝置可利用其溫差量測判斷有無剝離現象之方法。紅外線法是由紅外線照相機、處理器、TV 螢幕、記錄器所組成，其構成概念如圖 3-6 所示。

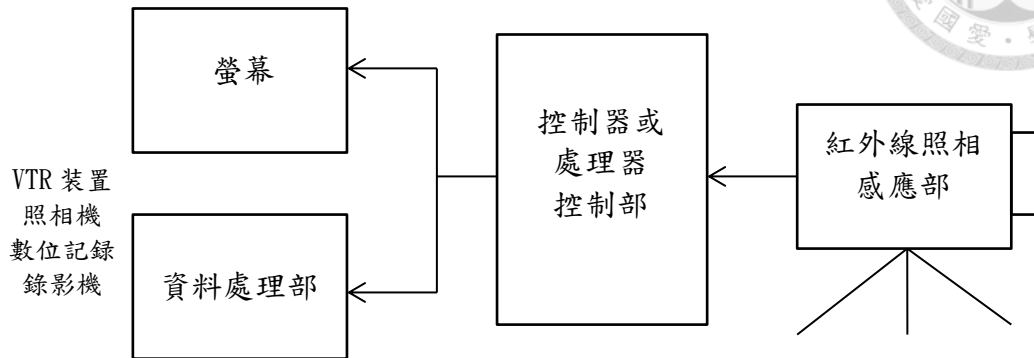


圖 3-4 紅外線構成概念圖

資料來源：中島和幸，2007

目前市售紅外線熱像儀波段分為 3~5 μm 及 8~12 μm 二種，根據感測器的操作溫度再分為室溫與非室溫二種。基本上 3~5 μm 或 8~12 μm 在熱診斷方面的應用上，待測物處於室溫或比室溫略高的環境下，皆可作為檢測工具，兩者並無明顯的差異；但是待測物在高溫的狀況下，3~5 μm 波段熱像儀成像性較佳，反之若處於低溫條件下，則應選用 8~12 μm 波段者，其影像清晰度較佳。在價格方面，通常 3~5 μm 波段之熱像儀應用的材料比採用 8~12 μm 波段者便宜。

目前室溫型與非室溫型的差異，幾乎只在於感測器像素大小的差別，一般室溫型感測器的像素大小約 50 μm 左右，而非室溫型感測器的像素大小約在 30 μm 左右，在近距離的熱診斷應用上，二者差別不大，在較遠距離(大於 100m 以上)的觀測效果才會有明顯的差異。本研究對象為對公安影響較大之公寓大廈，是為鄰大馬路邊之高層建築，本研究檢測方式以行走人行道並使用目視結合紅外線熱顯像儀方式進行，故儀器選用上本研究以室溫型感測器為主。

文獻告訴我們說，當外界氣溫上升時，空洞部位的溫度比健全部位的溫度來得高。當日曬減少或外界氣溫下降時，空洞部位的溫度就會比健全部位的溫度來得低，觀察的重點在於磁磚表面溫度的時間變化在脫層部位與健全部位間的差異，剝離部位背面產生空氣層，產生絕熱效果。當外界氣溫上升脫層部位的溫度比健全部位的溫度來得高，相對地，當日曬減少或外界氣溫下降脫層部位的溫度就會比健全部位的溫度來得低，其概念如圖 3-4 所示。

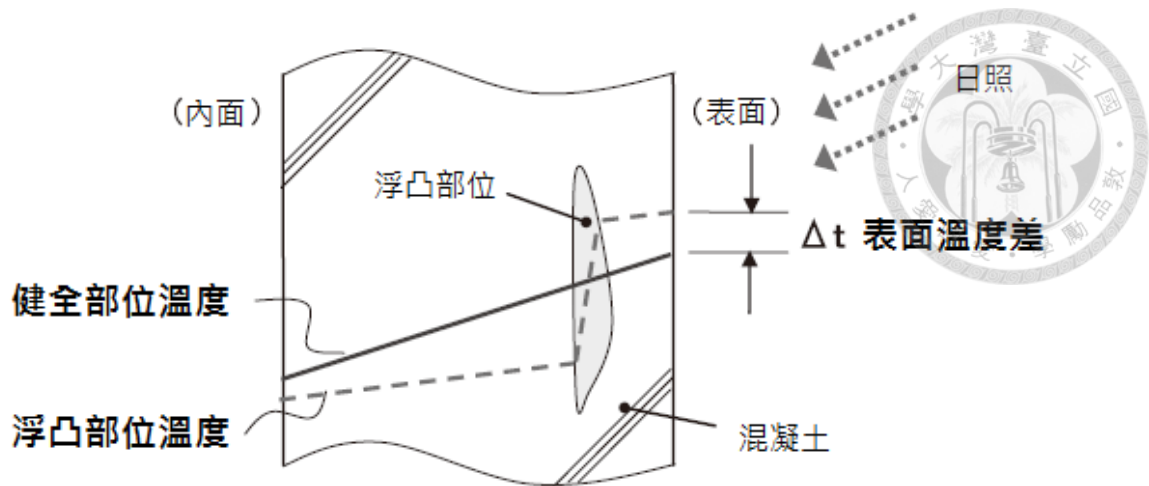


圖 3-5 升溫及降溫示意圖

資料來源：依日光「紅外線遙感測熱法」，復漢出版社，臺北（2001）

3.1.5 實驗對象磁磚

適逢 1937 年「蘆溝橋事變」日本侵華戰爭爆發，日本政府為了因應未來的戰事，鼓勵台灣民眾在建築物外牆上使用具有防空保護作用的「國防色面磚」，這種流行於 1920 年代末至 40 年代初的面磚，有淺綠、土黃和褐色等，為了避免反光引起敵機轟炸，當時北投窯廠還特別生產國防色陶質「13 溝面磚」，將磚面表面作成凹凸摺線，約有 13 條溝痕，如圖 3-5 所示。



圖 3-6 十三溝面磚

3.1.6 實驗步驟

先以打音法確認十三溝面磚正常及劣化位置，以麥克筆繪製記號，再使用紅外線熱像儀，自 09:00-17:00 每 30min 紀錄一筆資料，分別記錄東、西、南、北座向，以 FLIR Tools 判斷劣化位置溫度，最後紀錄與分析，流程如圖 3-6。

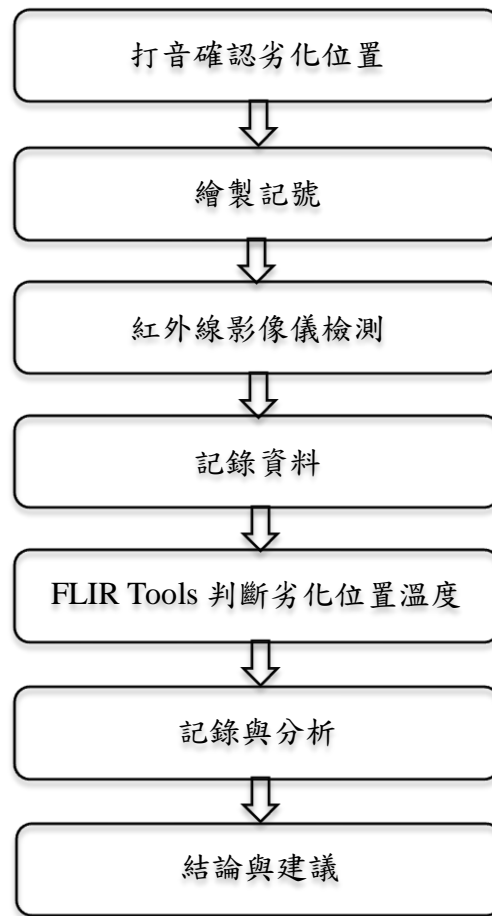


圖 3-7 本試驗流程圖

3.1.7 實驗案例調查與分析

本研究以國立臺灣大學建築物外牆磁磚劣化狀況之案例共 4 棟，其蒐集的外牆劣化案例清單如表 3-3 所示，包括：（1）原分所大樓（2）化學工程館（3）總圖書館（4）水工試驗大樓。共計 4 件的外牆劣化案例進行分類與探討。

表 3-3 國立臺灣大學建築物外牆磁磚劣化檢測對象清單

編號	建物名稱	編號	建物名稱
1	原分所大樓	3	總圖書館
2	化學工程館	4	水工試驗大樓

3.1.8 案例現況

原分所

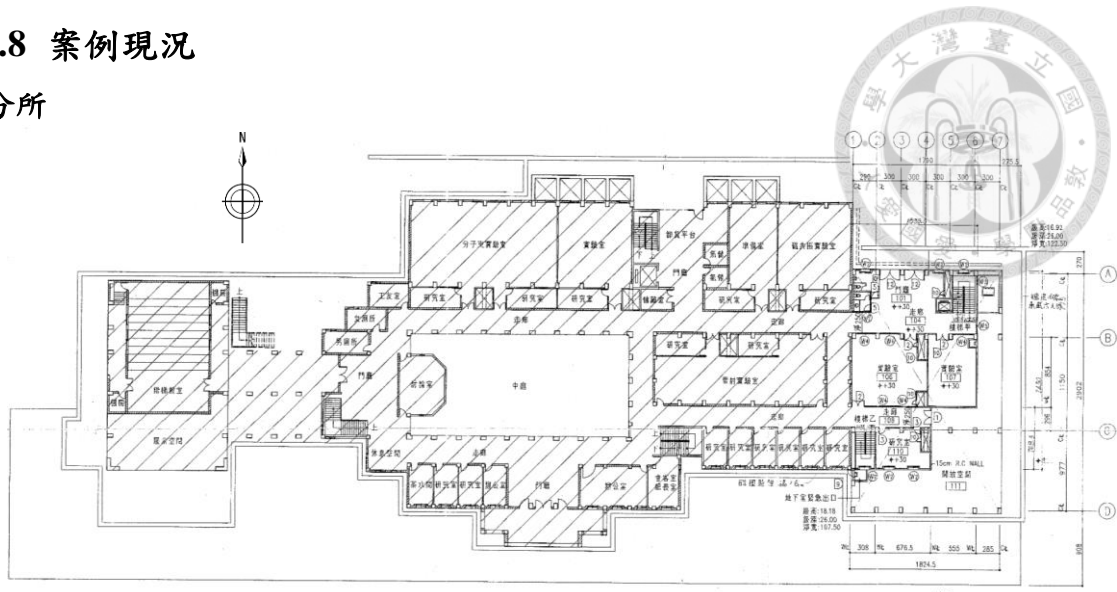
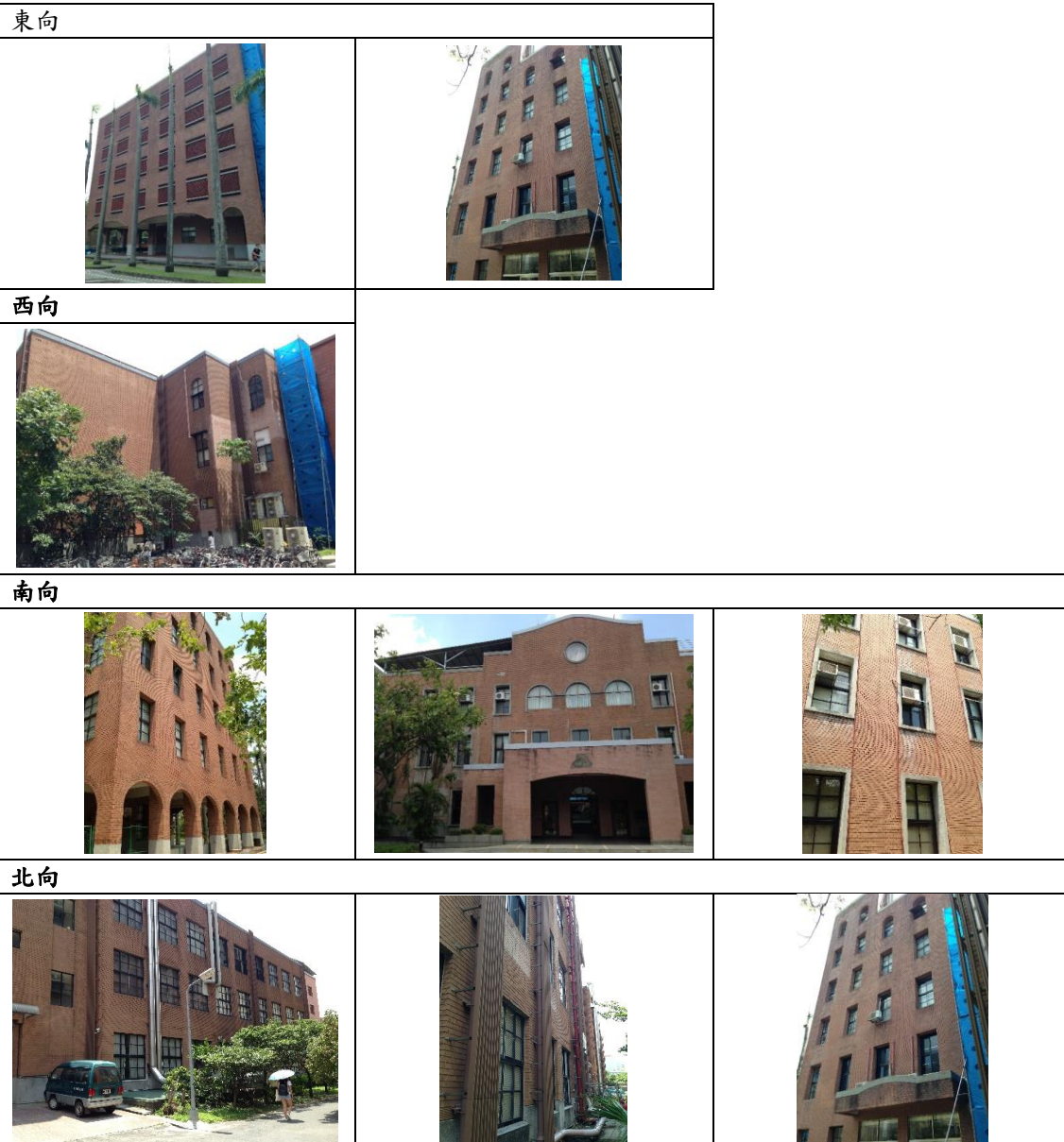


圖 3-8 原分所平面圖



化學工程館

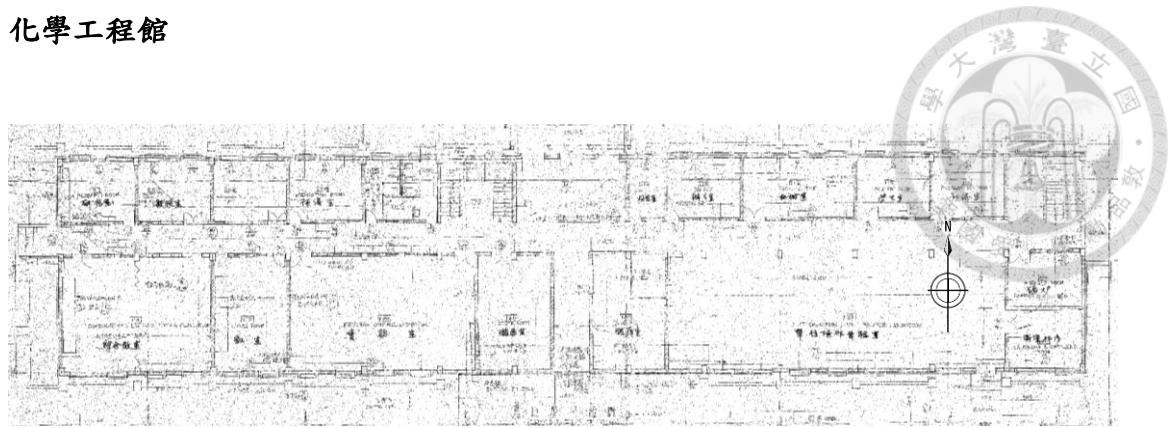
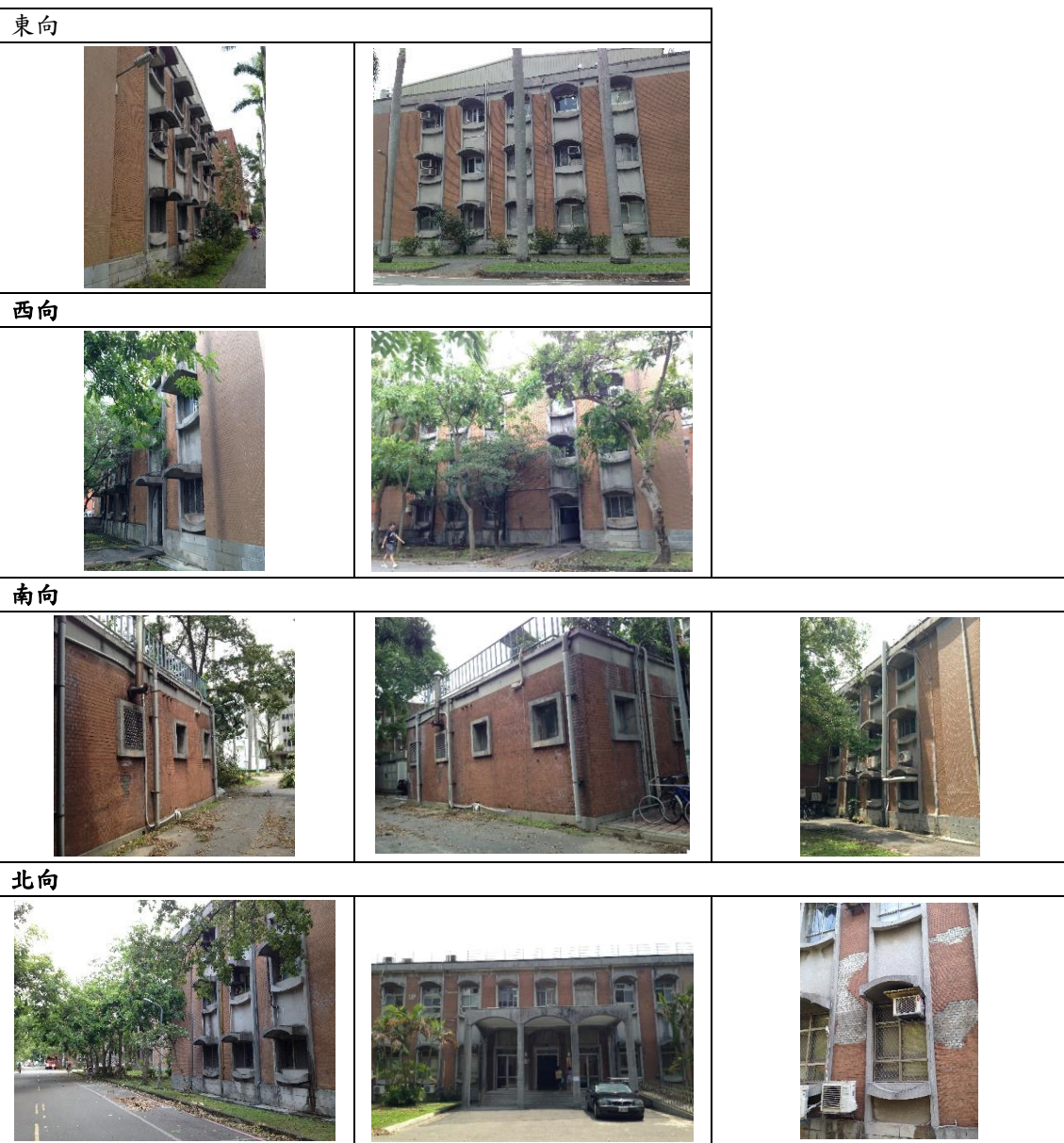


圖 3-9 化學工程館平面圖



總圖書館

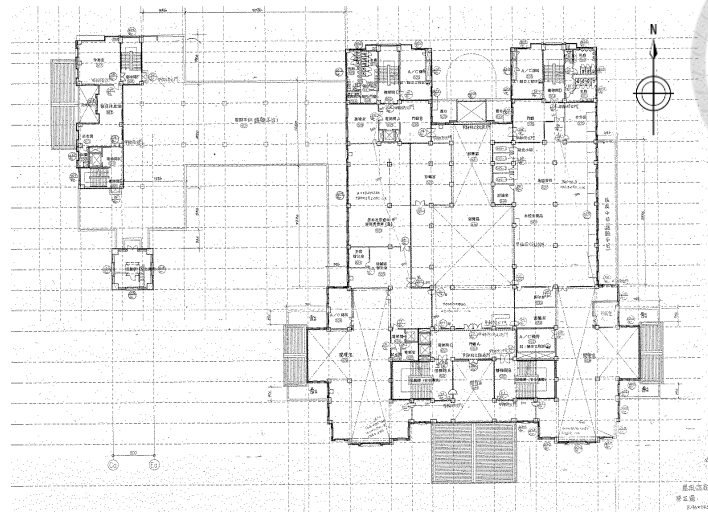


圖 3-10 總圖書館平面圖

東向



西向



南向



北向



水工試驗所

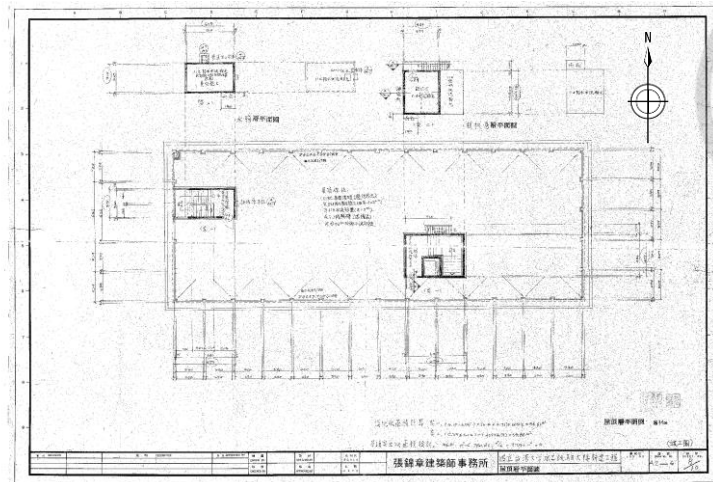
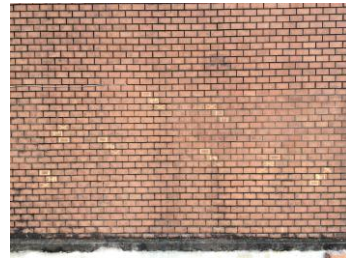


圖 3-11 水工試驗所平面圖

東向



西向



南向

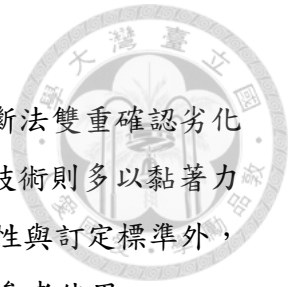


北向



3.2 小結

本研究採非破壞性檢測技術紅外線熱影像法，先以打音診斷法雙重確認劣化狀況與範圍，在外牆磁磚劣化診斷時較為常使用，破壞性檢測技術則多以黏著力試驗常見，故本研究採用此種方法，除透過實證研究證明其可行性與訂定標準外，後續將擬訂外牆磁磚劣化診斷標準作業流程，方便未來使用者參考使用。



第四章 建築物外牆 13 溝磁磚劣化診斷實證研究

4.1 外牆 13 溝磁磚紅外線熱影像診斷結果分析

本研究以國立臺灣大學為對象，共針對 4 棟建築物進行分析，並對外牆劣化案例進行探討。

經紅外線熱影像處理辨識後，本研究再針對當中影像分析結果判定為劣化者進行打音診斷，雙重確認紅外線熱影像判讀正確，及更精準的劣化範圍確定。因本研究目前尚未能精確分類有劣化或無劣化，但仍能以套裝軟體影像處理方式簡易判斷。本研究初步發現，劣化（空洞）磁磚在建築物立面受熱後（約 09:00~10:00），顯示比周遭正常磁磚溫度較高，故本研究以目前發現進行簡易分析。

針對談臺灣大學建築物外牆採用十三溝部分佔大多數，近年來隨著屋齡增加，亦造成磁磚掉落及突起之危險，本研究十三溝面磚如下圖示（圖 4-1）：



圖 4-1 十三溝面磚

4.2 檢測對象介紹及分析

4.2.1 原分所

在原分所的部分，本研究調查 7/22, 7/23, 7/24, 7/25, 7/26 共計五日，分別在不同的位置，從每日早上 9 點，至下午 5 點為止，先進行打音來判斷劣化與良好磁磚，再分別以麥克筆作記號後的位置進行紅外線熱影像分析，透過連續五日的紀錄來分析劣化與良好磁磚之溫差，以及各向外牆最明顯溫差的觀測時間觀察時間。以下為觀察位置及觀察記錄結果。

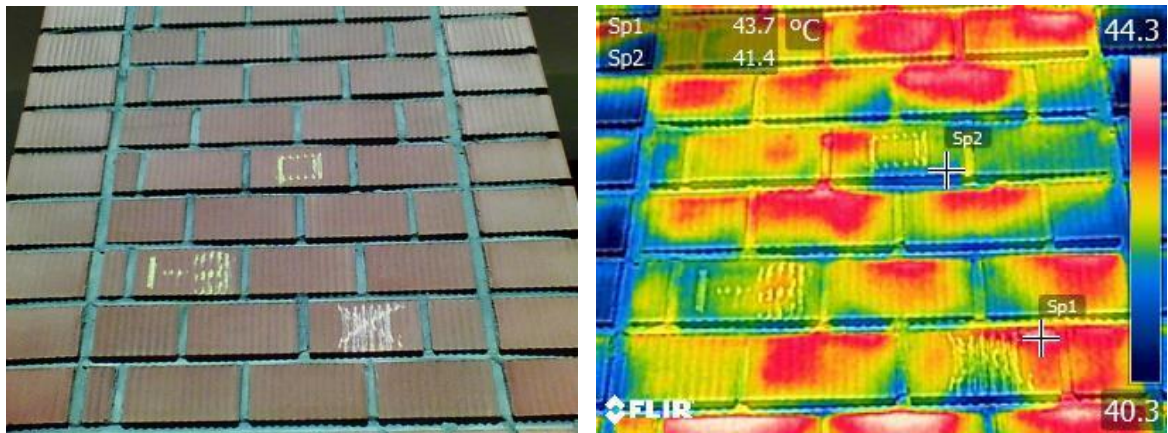


圖 4-2 臺灣大學原分所案例紅外線熱影像檢測紀錄

SP1: 劣化位置
SP2: 良好位置

原分所檢測位置圖：



圖 4-3 原分所檢測位置圖

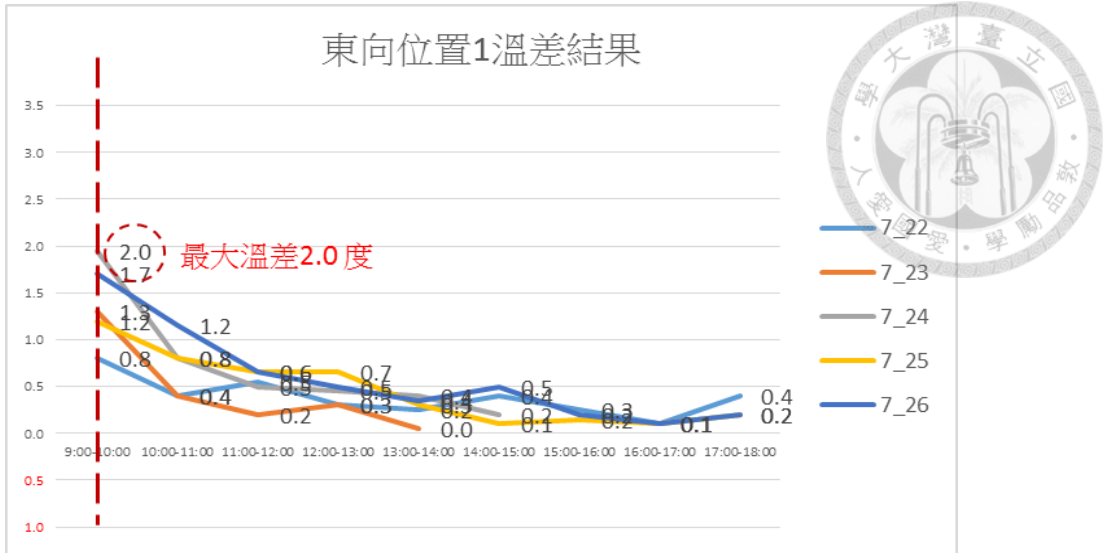


圖 4-4 臺灣大學原分所案例東向溫差檢測紀錄結果-1

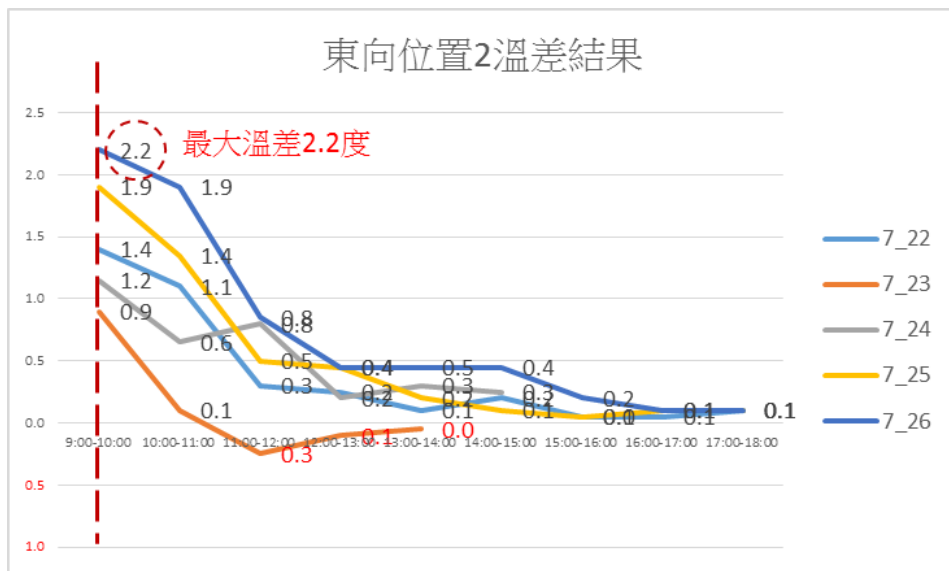


圖 4-5 臺灣大學原分所案例東向溫差檢測紀錄結果-2

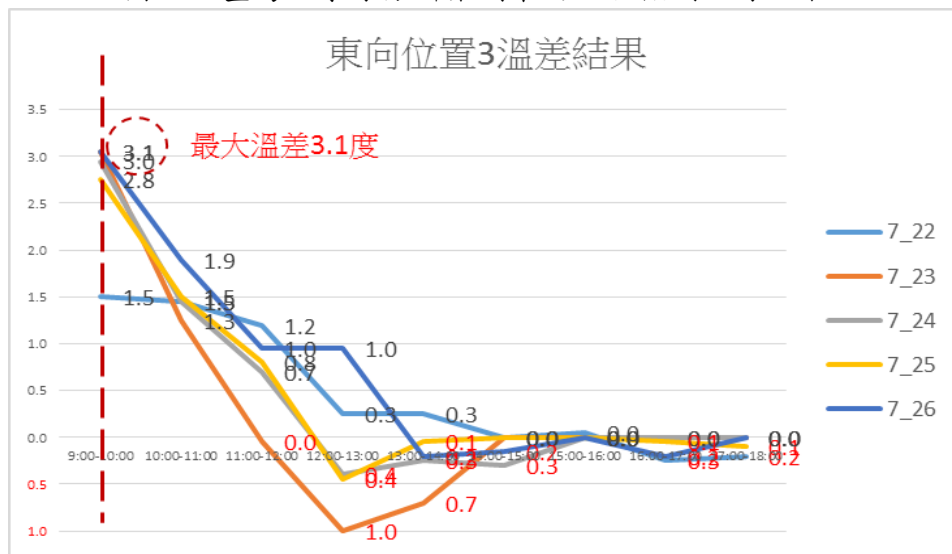


圖 4-6 臺灣大學原分所案例東向溫差檢測紀錄結果-3

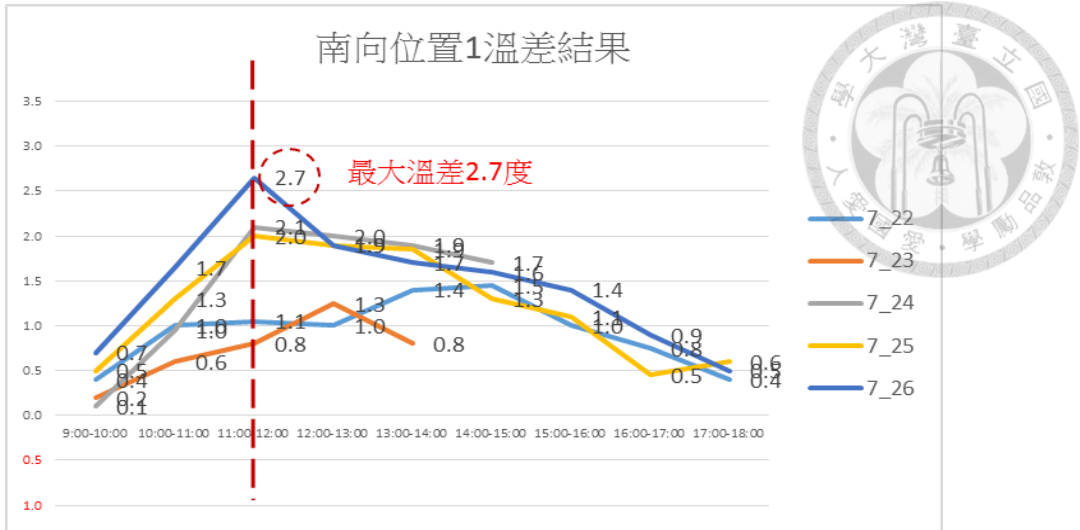


圖 4-7 臺灣大學原分所案例南向溫差檢測紀錄結果-1

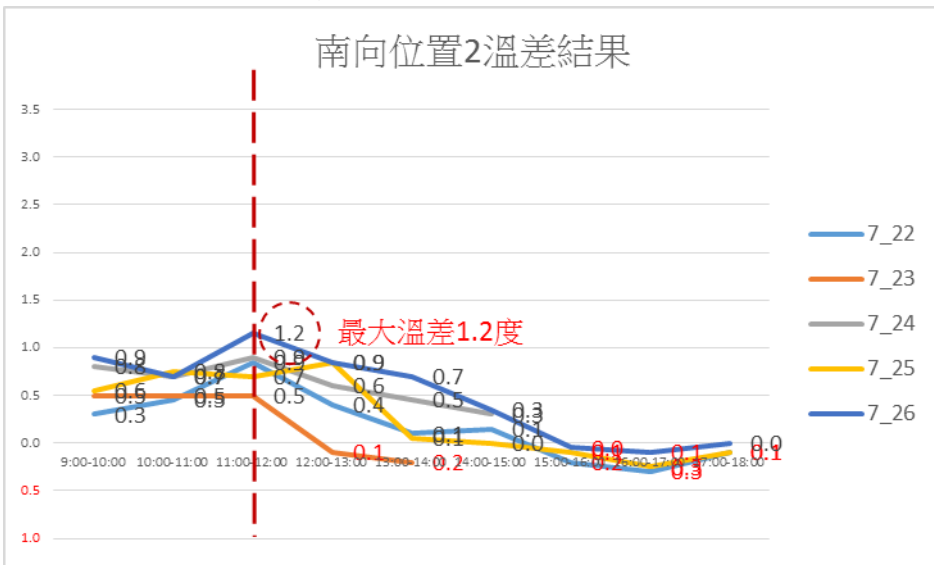


圖 4-8 臺灣大學原分所案例南向溫差檢測紀錄結果-2

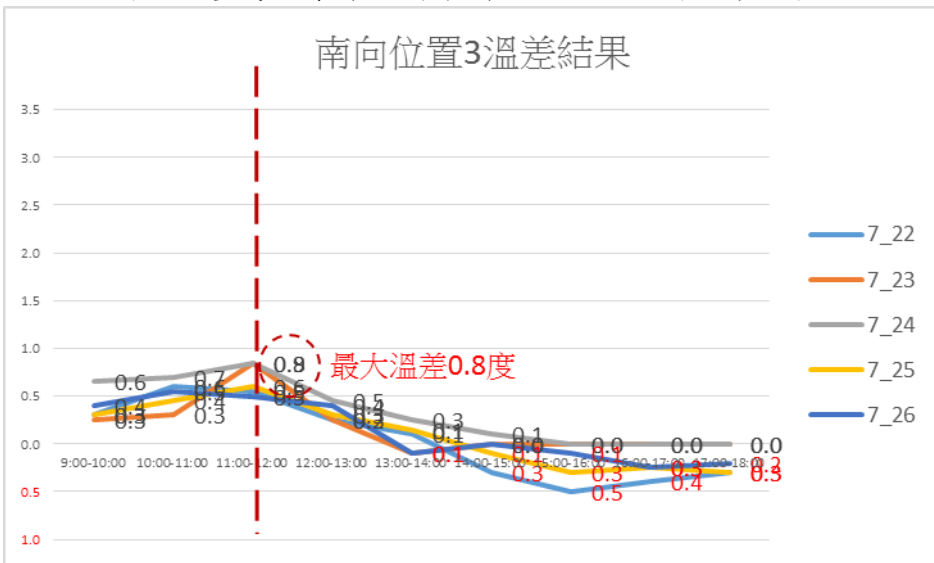


圖 4-9 臺灣大學原分所案例南向溫差檢測紀錄結果-3

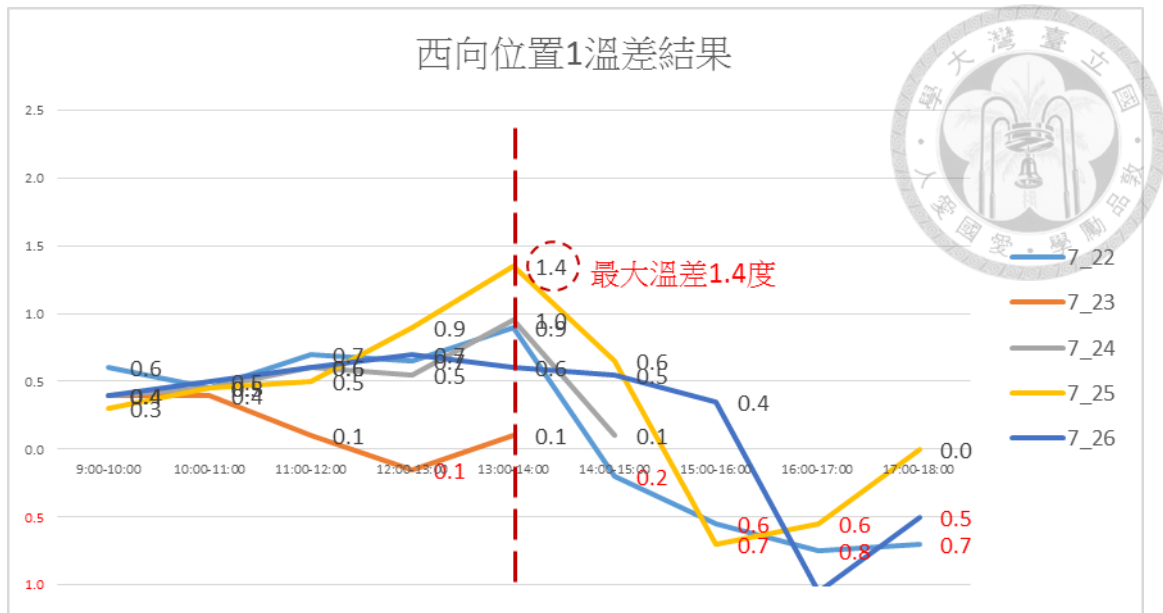


圖 4-10 臺灣大學原分所案例西向溫差檢測紀錄結果

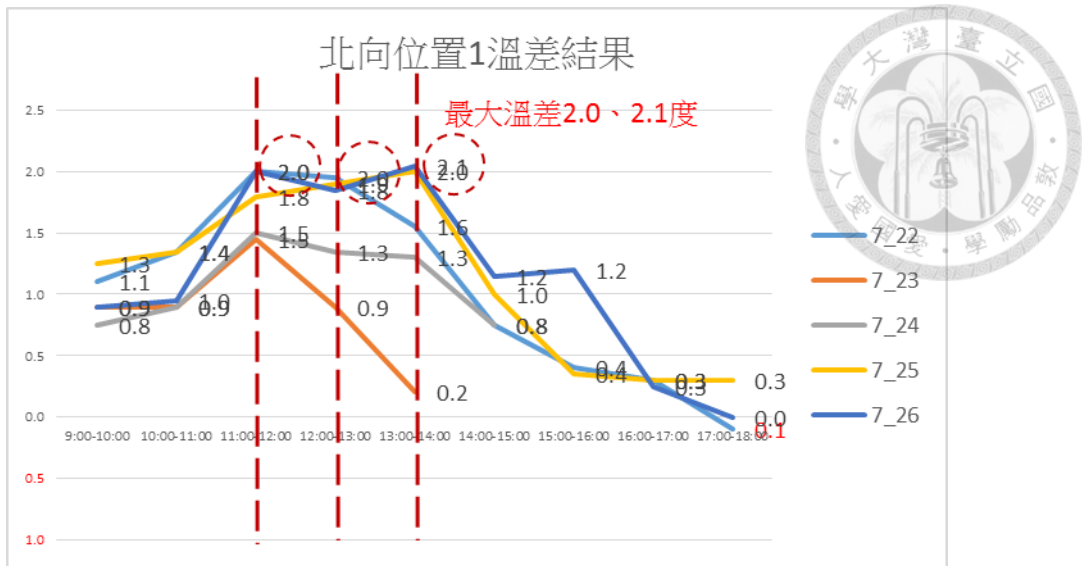


圖 4-11 臺灣大學原分所案例北向溫差檢測紀錄結果-1

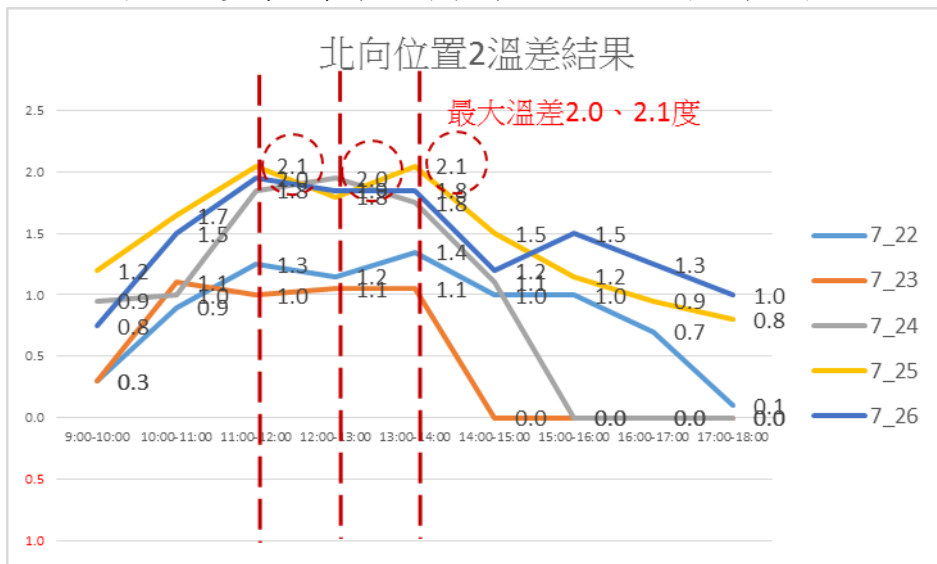


圖 4-12 臺灣大學原分所案例北向溫差檢測紀錄結果-2

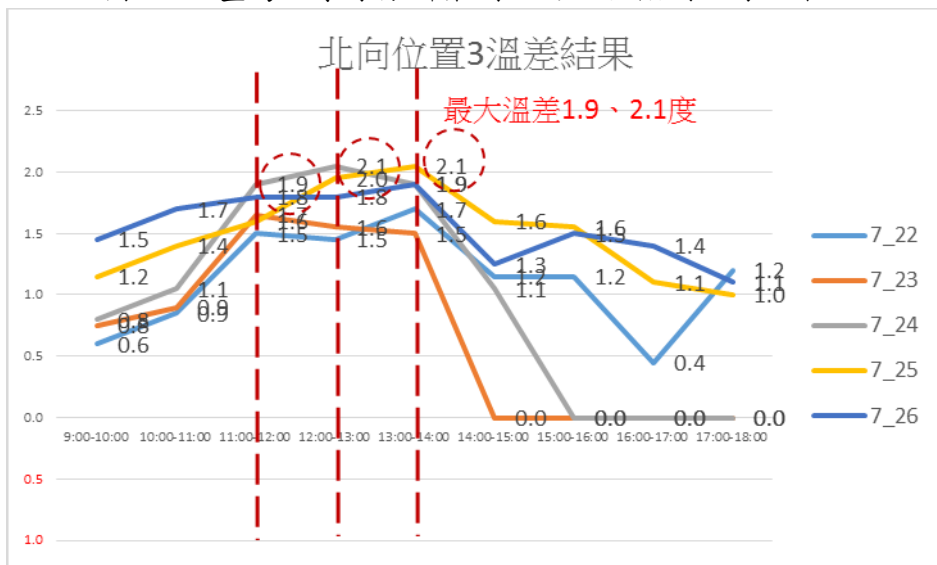


圖 4-13 臺灣大學原分所案例北向溫差檢測紀錄結果-3

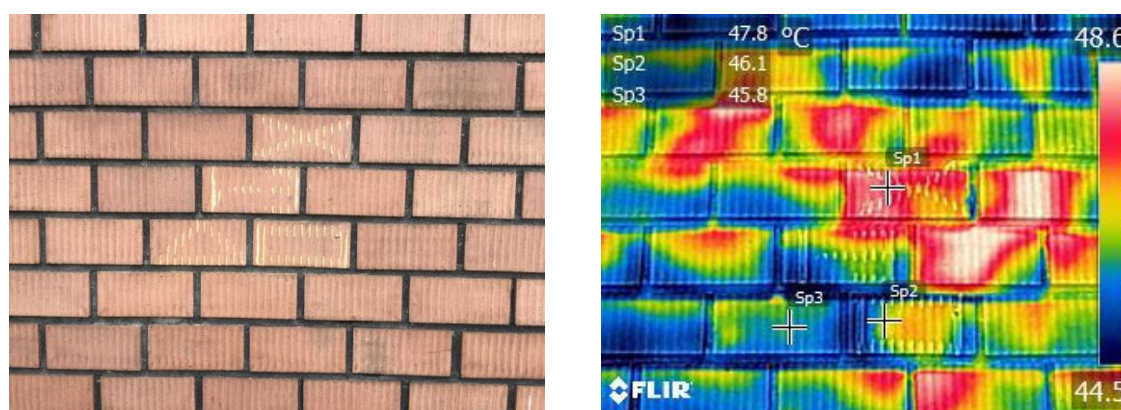
根據上述圖像統計結果，可初步判定東向良好與劣化磁磚最大溫差約在 3.1 度，發生於 09:00。南向良好與劣化磁磚最大溫差約在 2.7 度，發生於 11:00。西向良好與劣化磁磚最大溫差時間約在 1.4 度，發生於 13:00。北向良好與劣化磁磚溫差，經觀察因無太陽照射，觀測時間範圍較廣，磁磚最大溫差時間約在 2.1 度，發生於 11:00-13:00。本研究整理溫差時間發生的順序後，因部分日期當日最高溫差並非定時出現，故本研究按照調查期間每日出現最高溫差的結果推論，東向建議觀測時間為 09:00，西向建議觀測時間為 13:00，南向建議觀測時間為 11:00，北向建議觀測時間為 11:00-13:00。整理如表 4-1 所示。

表 4-1 原分所各面向觀測時間與溫差最大值

建築面向	觀測期間溫差最大值	觀測期間溫差最大值發生時間	備註
東	3.1	09:00	
南	2.7	11:00	
西	1.4	13:00	
北	2.1	11:00-13:00	

本研究針對觀測期間每日最大溫差的平均值分析，發現有溫差超過一定溫度且發生於本研究建議之最佳觀測時間，則可推測有劣化的磁磚產生，再觀察良好磁磚與良好磁磚之間溫差情形，發現良好磁磚隨溫度變化彼此之間仍有溫差值，藉此於原先定義之良好磁磚附近，再取樣一良好磁磚做為判斷彼此之最高溫差值，以不同符號註記（如圖 4-2）所示，並量測其溫度變化情形（以下其他各棟將不再重複說明）。

圖 4-14 正常磁磚與正常磁磚記號圖示



針對良好磁磚溫差值統計結果，紀錄良好磁磚之間各面向溫差變化，如下表
統計結果：

表 4-2 原分所-東向良好磁磚間溫差情形

原分所-東向-0900 (空白為未觀測點位)						取最大值
點位	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	0.9
07_22	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	
07_23	0.3	0.6	0.1	0.1	0.3	
07_24	0.7	0.3	0.3	0.3	0.4	
07_25	0.5	0.1	0.3	0.7	0.7	
07_26	0.7	0.3	0.6		0.9	

表 4-3 原分所-南向良好磁磚間溫差情形

原分所-南向-1100								取最大值
點位	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	0.2
07_22	0.4	0.1	0.2	0.1	0.4	0.1	0.2	
07_23	0.5	0.2	0.1	0.4	0.4	0.3	0.2	
07_24	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	0.3	0.0	
07_25	0.5	0.1	0.2	0.2	0.3	0.1	0.2	
07_26	0.3	0.2	0.2	0.1	0.0	0.3	0.2	

表 4-4 原分所-西向良好磁磚間溫差情形

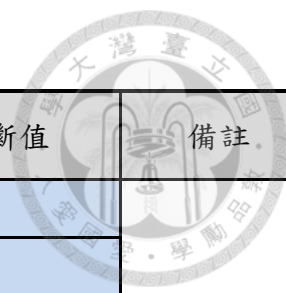
原分所-西向-1300						取最大值
點位	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	0.8
07_22	0.2	0.1	0.3	0.6	0.1	
07_23	0.3	0.3	0.1	0.7	0.3	
07_24	0.3	0.4	0.2	0.2	0.1	
07_25	0.3	0.8	0.5	0.1	0.2	
07_26	0.4	0.5	0.4	0.3	0.5	

表 4-5 原分所-北向良好磁磚間溫差情形

原分所-北向-1100-1300 (空白為未觀測點位)										取最大值
點位	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	4-6	4-7	4-8	4-9	
07_22	0.2	0.4	0.5		0.3	0.1	0.1	0.3		0.7
	0.1	0.1	0.4	0.4	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	
	0.2	0.2	0.7	0.3	0.4	0.0	0.1	0.2	0.0	
07_23	0.2	0.1	0.2	0.4	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	
	0.1	0.1	0.1	0.2	0.0	0.0	0.1	0.2	0.1	
	0.1	0.3	0.3	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.3	
07_24	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.0	0.6	0.2	0.1	
	0.0	0.2	0.3	0.1	0.1	0.0	0.5	0.1	0.0	
	0.1	0.3	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.1	0.2	
07_25	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.4	0.4	0.1	
	0.1	0.5	0.2	0.2	0.2	0.1	0.4	0.3	0.2	
	0.1	0.3	0.3	0.4	0.2	0.1	0.5	0.2	0.4	
07_26	0.3	0.6	0.4	0.1	0.1	0.1	0.3	0.1	0.3	
	0.1	0.6	0.5	0.1	0.2	0.3	0.6	0.1	0.1	
	0.2	0.5	0.5	0.1	0.1	0.0	0.7	0.3	0.0	

綜上，為免誤判為良好磁磚，取良好磁磚之最大值為分界，根據統計結果，各面向小於良好磁磚最大值，將視為磁磚本身誤差或儀器誤差或人為失誤，接下來，檢視東向最佳觀測時間 09：00 測得良好磁磚溫差最大值為 0.9 度，故東向溫差值在 0.9 度(含)以下視為良好磁磚，由此訂定東向溫差判斷值在 1.0 度(含)以上視為劣化磁磚；檢視南向最佳觀測時間 11：00 測得之良好磁磚溫差最大值為 0.5 度，故南向溫差值在 0.5 度(含)以下視為良好磁磚，由此訂定南向溫差判斷值在 0.6 度(含)以上視為劣化磁磚；檢視西向最佳觀測時間 13：00 測得良好磁磚溫差最大值為 0.8 度，故西向溫差值在 0.8 度(含)以下視為良好磁磚，由此訂定西向溫差判斷值在 0.9 度(含)以上視為劣化磁磚；檢視北向最佳觀測時間 11：00-13：00 測得良好磁磚溫差最大值為 0.7 度，故北向溫差值在 0.7 度(含)以下視為良好磁磚，由此訂定北向溫差判斷值在 0.8 度(含)以上視為劣化磁磚，整理如下表(表 4-6)：

表 4-6 最佳觀測時間與溫差判斷值



建築面向	最佳觀測時間	最佳觀測時間溫差 最大值 (良好)	溫差判斷值	備註
東	09 : 00	0.9	1.0	
南	11 : 00	0.5	0.6	
西	13 : 00	0.8	0.9	
北	11 : 00-13 : 00	0.7	0.8	

4.2.2 化學工程館

在化學工程館部分，本研究調查 7/27, 7/28, 7/29, 7/30, 7/31 共計五日，分別在不同的位置，從每日早上 9 點，至下午 5 點為止，先進行打音來判斷劣化與良好磁磚，再分別以麥克筆作記號後的位置進行紅外線熱影像分析，透過連續五日的紀錄來分析劣化與良好磁磚之溫差，以及各向外牆最明顯溫差的觀測時間觀察時間。以下為觀察記錄結果。

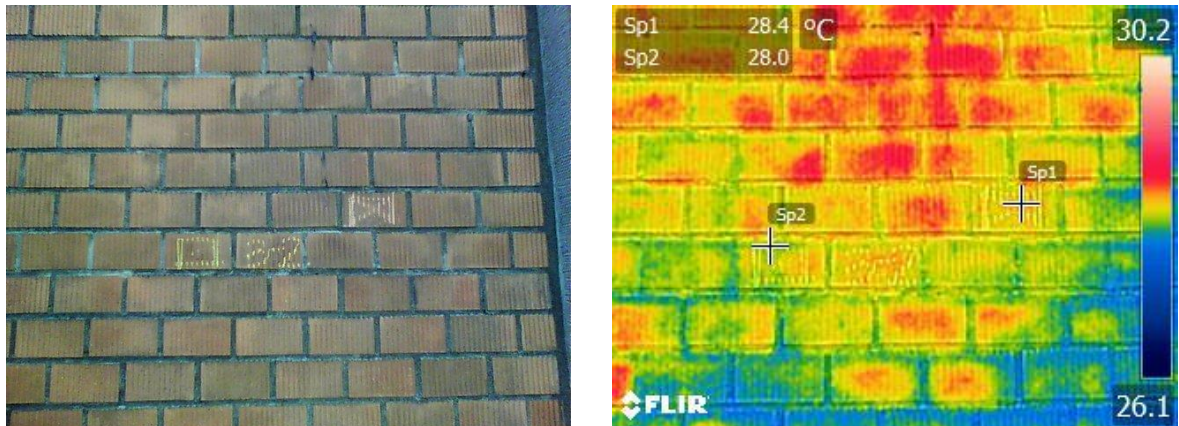


圖 4-15 臺灣大學化學工程館案例紅外線熱影像檢測紀錄

SP1: 劣化位置
SP2: 良好位置

化學工程館檢測位置圖：



圖 4-16 化學工程館檢測位置圖

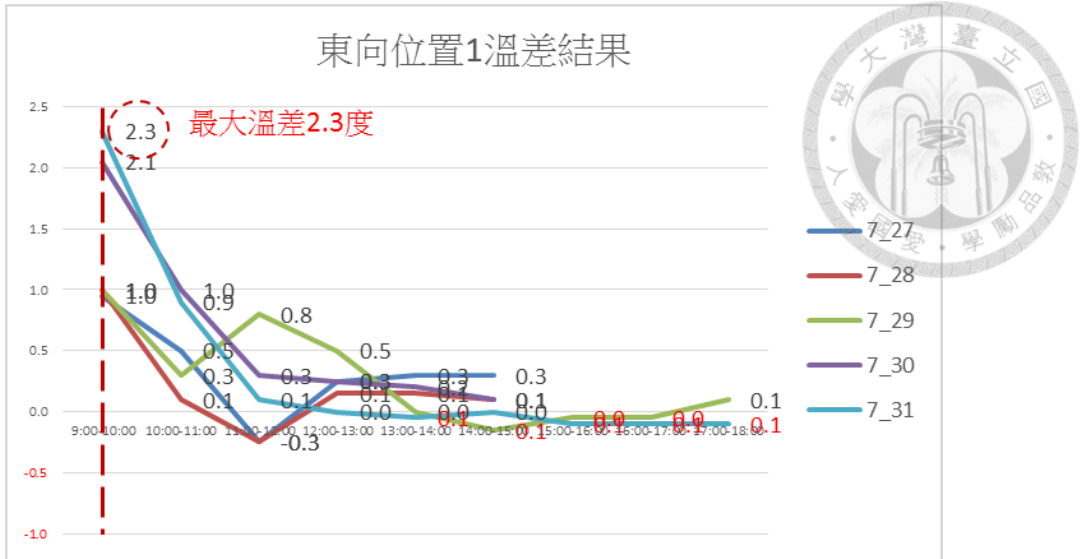


圖 4-17 臺灣大學化學工程館案例東向溫差檢測紀錄結果-1

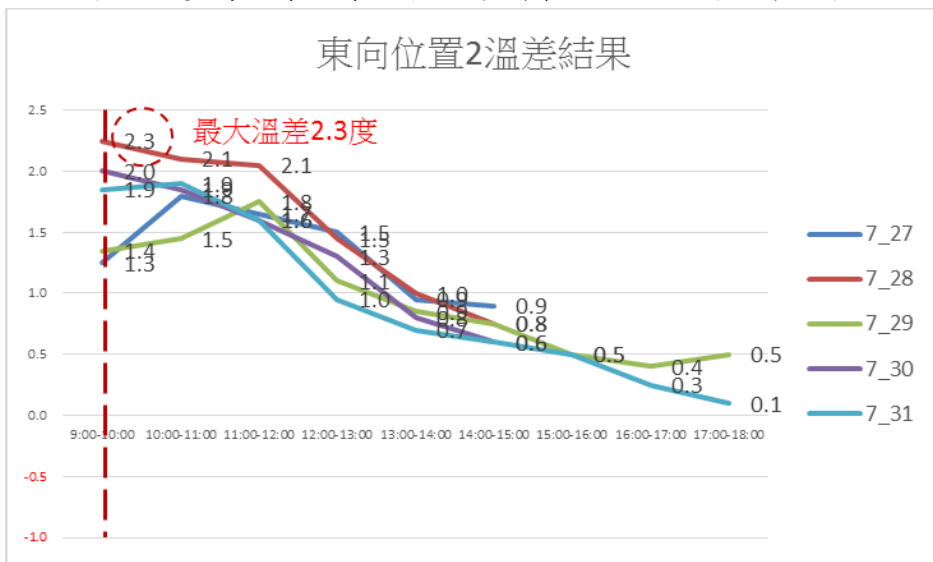


圖 4-18 臺灣大學化學工程館案例東向溫差檢測紀錄結果-2

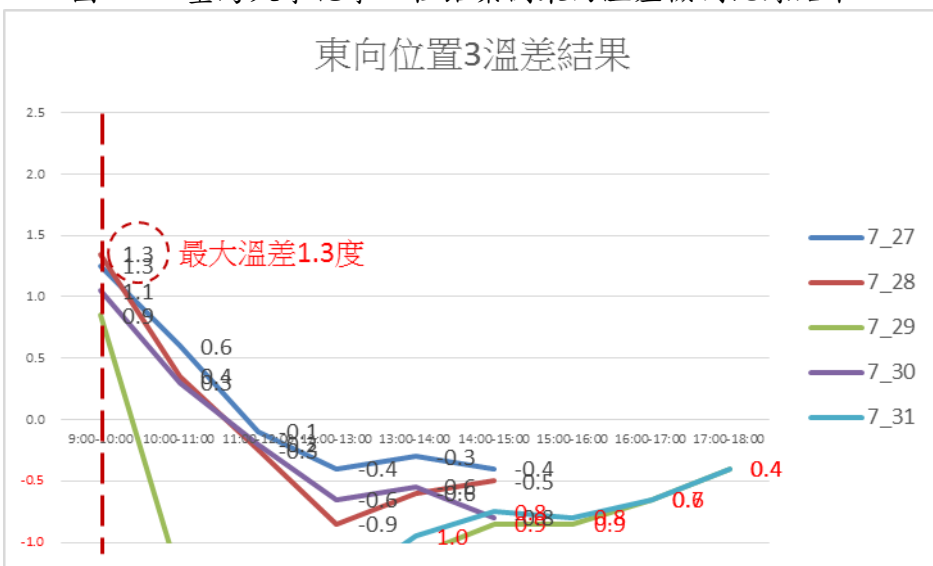


圖 4-19 臺灣大學化學工程館案例東向溫差檢測紀錄結果-3

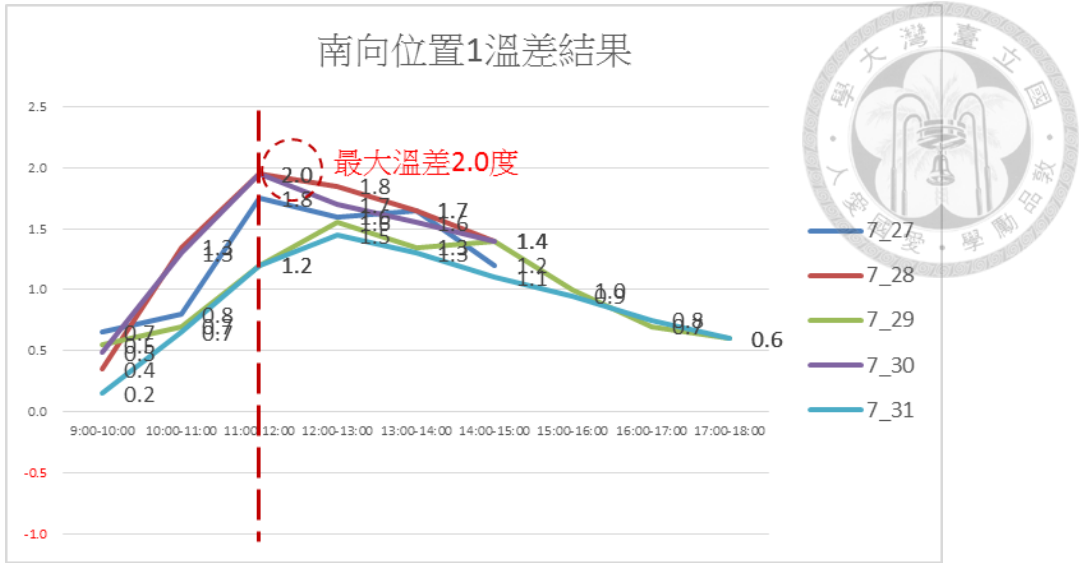


圖 4-20 臺灣大學化學工程館案例南向溫差檢測紀錄結果-1

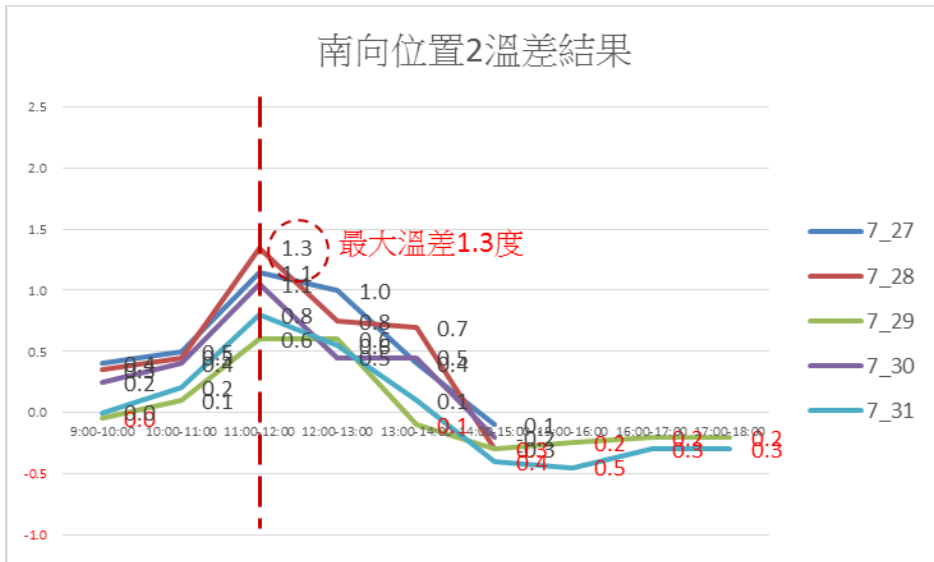


圖 4-21 臺灣大學化學工程館案例南向溫差檢測紀錄結果-2

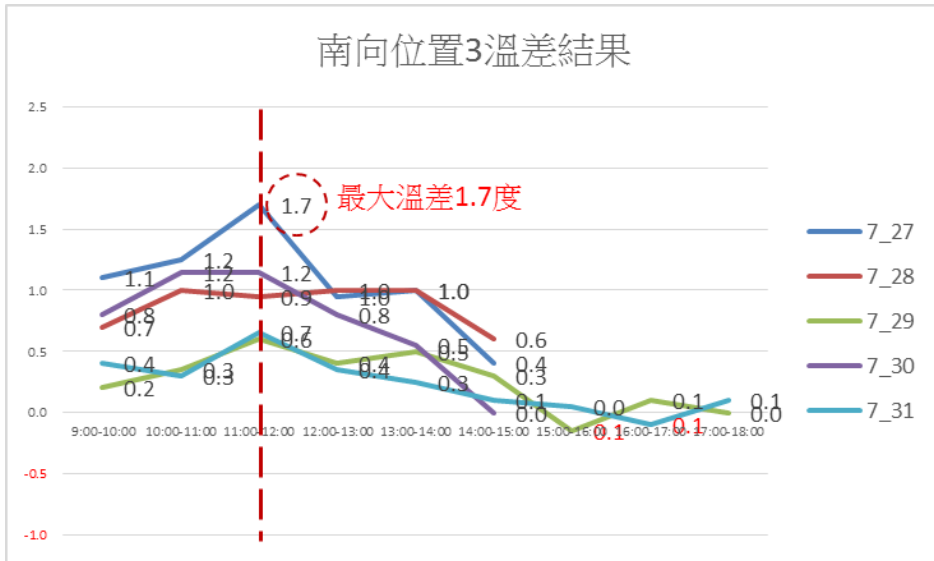


圖 4-22 臺灣大學化學工程館案例西向溫差檢測紀錄結果-3

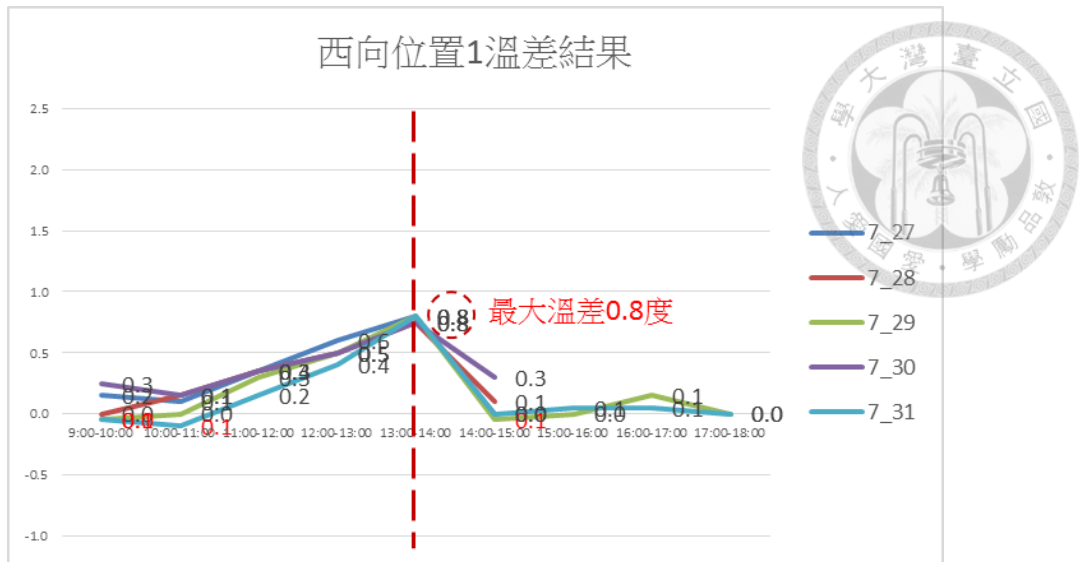


圖 4-23 臺灣大學化學工程館案例西向溫差檢測紀錄結果-1

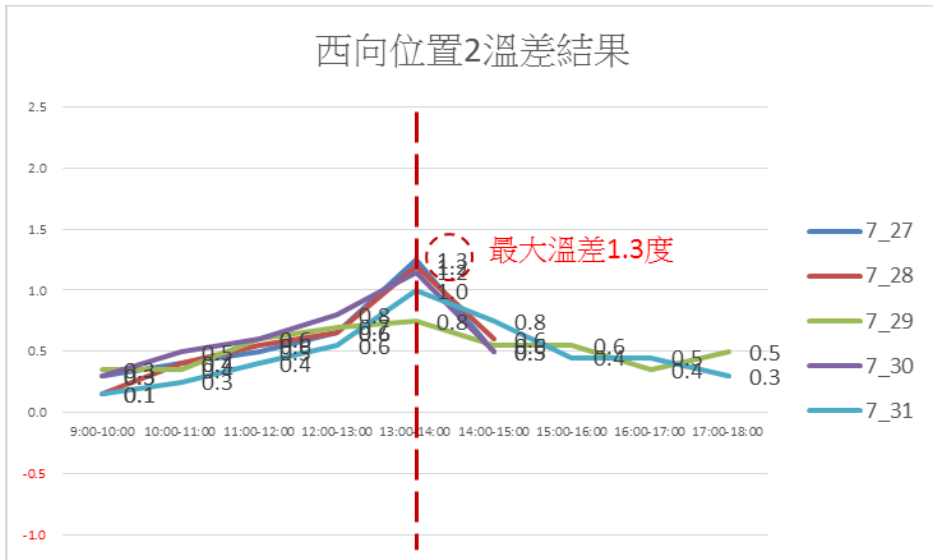


圖 4-24 臺灣大學化學工程館案例西向溫差檢測紀錄結果-2

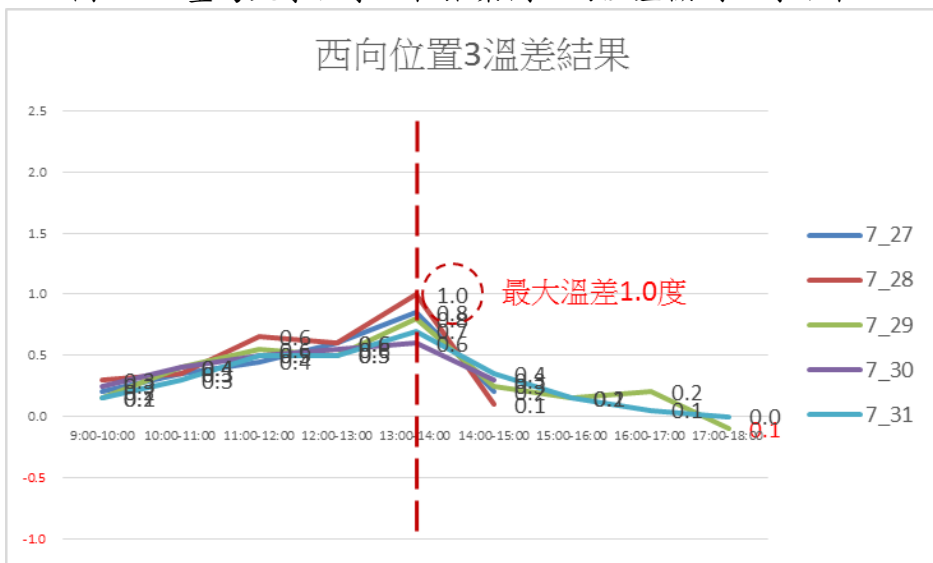


圖 4-25 臺灣大學化學工程館案例西向溫差檢測紀錄結果-3

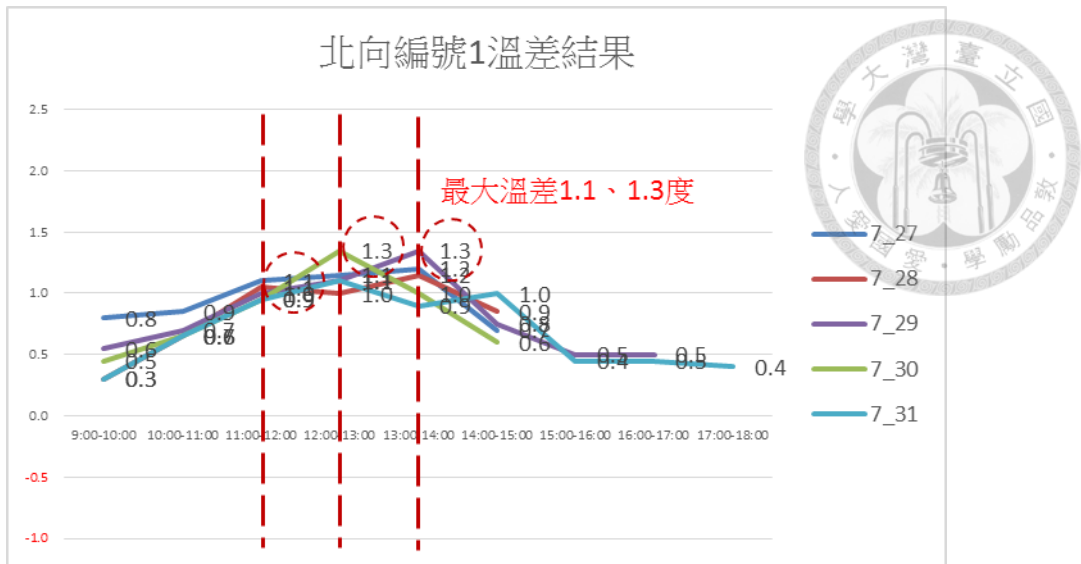


圖 4-26 臺灣大學化學工程館案例北向溫差檢測紀錄結果-1

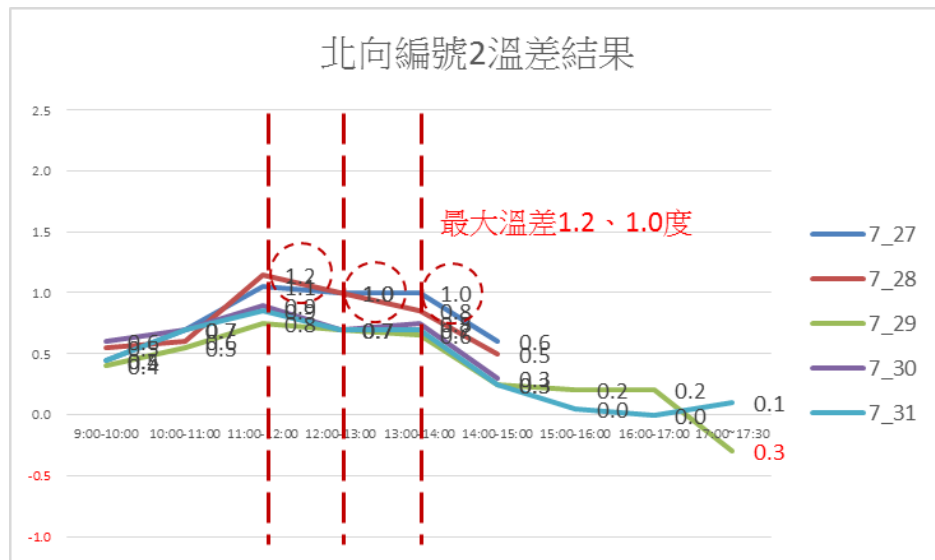


圖 4-27 臺灣大學化學工程館案例北向溫差檢測紀錄結果-2

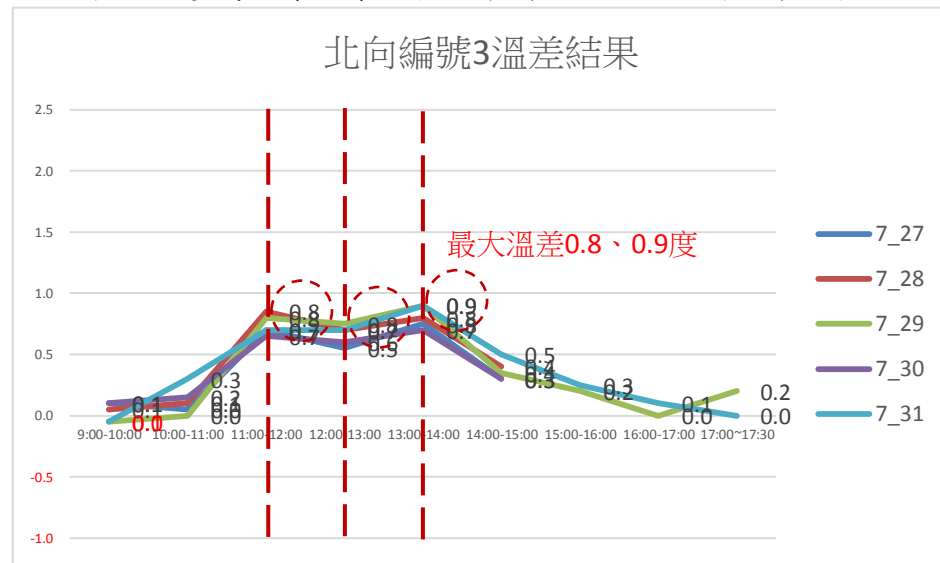


圖 4-28 臺灣大學化學工程館案例北向溫差檢測紀錄結果-3

根據上述圖像統計結果，可初步判定東向良好與劣化磁磚最大溫差約在 2.3 度，發生於 09:00。南向良好與劣化磁磚最大溫差約在 2.0 度，發生於 11:00。西向良好與劣化磁磚最大溫差時間約在 1.3 度，發生於 13:00。北向良好與劣化磁磚溫差，經觀察因無太陽照射，觀測時間範圍較廣，磁磚最大溫差時間約在 1.3 度，發生於 11:00-13:00。本研究整理溫差時間發生的順序後，因部分日期當日最高溫差並非定時出現，故本研究按照調查期間每日出現最高溫差的結果推論，東向建議觀測時間為 09:00，西向建議觀測時間為 13:00，南向建議觀測時間為 11:00，北向建議觀測時間為 11:00-13:00。整理如表 4-7 所示。

表 4-7 化學工程館各面向觀測時間與溫差最大值

建築面向	觀測期間溫差最大值	觀測期間溫差最大值發生時間	備註
東	2.3	09:00	
南	2.0	11:00	
西	1.3	13:00	
北	1.3	11:00-13:00	

針對良好磁磚溫差值統計結果，紀錄良好磁磚之間各面向溫差變化，如下表統計結果：

表 4-8 化工館-東向良好磁磚間溫差情形

化工-東向-0900							取最大值
點位	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	0.9
07_27	0.1	0.4	0.7	0.1	0.6	0.1	
07_28	0.7	0.2	0.6	0.2	0.8	0.3	
07_29	0.5	0.1	0.9	0.6	0.6		
07_30	0.3	0.6	0.6	0.3	0.6	0.5	
07_31	0.5	0.2	0.7	0.6	0.6	0.2	

表 4-9 化工館-南向良好磁磚間溫差情形

化工-南向-1100								取最大值
點位	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	0.4
07_27	0.3	0.4	0.3	0.2	0.1	0.0	0.3	
07_28	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.2	0.4	
07_29	0.3	0.4	0.1	0.2	0.3	0.2	0.4	
07_30	0.4	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2	0.2	
07_31	0.4	0.3	0.2	0.1	0.3	0.1	0.4	

表 4-10 化工館-西向良好磁磚間溫差情形

化工-西向-1300								取最大值
點位	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6	3-7	0.9
07_27	0.9	0.3	0.2	0.5	0.2	0.4	0.1	
07_28	0.7	0.3	0.3	0.5	0.2	0.6	0.3	
07_29	0.9	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	
07_30	0.5	0.6	0.4	0.0	0.1	0.2	0.2	
07_31	0.1	0.4	0.3	0.4	0.4	0.1	0.3	

表 4-11 化工館-北向良好磁磚間溫差情形

化工館-北向-1100-1300											取最大值
點位	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	4-6	4-7	4-8	4-9	4-10	0.7
07_27	0.0	0.2	0.1	0.3	0.5	0.1	0.1	0.3	0.2	0.2	
	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.0	0.1	0.1	0.3	
	0.1	0.1	0.2	0.5	0.4	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	
07_28	0.1	0.2	0.3	0.2	0.4	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	
	0.1	0.2	0.1	0.5	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	
	0.1	0.2	0.2	0.5	0.4	0.2	0.1	0.3	0.1	0.3	
07_29	0.0	0.1	0.1	0.6	0.5	0.1	0.2	0.1	0.2	0.3	
	0.0	0.1	0.3	0.6	0.4	0.2	0.1	0.3	0.1	0.2	
	0.1	0.4	0.3	0.6	0.6	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	
07_30	0.1	0.1	0.1	0.3	0.6	0.2	0.1	0.2	0.1	0.2	
	0.3	0.1	0.3	0.5	0.5	0.2	0.1	0.1	0.2	0.2	
	0.3	0.0	0.1	0.4	0.5	0.1	0.0	0.1	0.2	0.2	
07_31	0.1	0.1	0.0	0.4	0.5	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	
	0.1	0.1	0.1	0.5	0.6	0.2	0.2	0.4	0.1	0.4	
	0.3	0.3	0.1	0.7	0.6	0.2	0.2	0.0	0.1	0.3	

綜上，為免誤判為良好磁磚，取良好磁磚之最大值為分界，根據統計結果，各面向小於良好磁磚最大值，將視為磁磚本身誤差或儀器誤差或人為失誤，接下來，檢視東向最佳觀測時間 09：00 測得良好磁磚溫差最大值為 0.9 度，故東向溫差值在 0.9 度(含)以下視為良好磁磚，由此訂定東向溫差判斷值在 1.0 度(含)以上視為劣化磁磚；檢視南向最佳觀測時間 11：00 測得之良好磁磚溫差最大值為 0.4 度，故南向溫差值在 0.4 度(含)以下視為良好磁磚，由此訂定南向溫差判斷值在 0.5 度(含)以上視為劣化磁磚；檢視西向最佳觀測時間 13：00 測得

良好磁磚溫差最大值為 0.9 度，故西向溫差值在 0.9 度(含)以下視為良好磁磚，由此訂定西向溫差判斷值在 1.0 度(含)以上視為劣化磁磚；檢視北向最佳觀測時間 11：00-13：00 測得良好磁磚溫差最大值為 0.7 度，故北向溫差值在 0.7 度(含)以下視為良好磁磚，由此訂定北向溫差判斷值在 0.8 度(含)以上視為劣化磁磚，整理如下表(表 4-12)：

表 4-12 最佳觀測時間與溫差判斷值

建築面向	最佳觀測時間	最佳觀測時間溫差 最大值(良好)	溫差判斷值	備註
東	09：00	0.9	1.0	
南	11：00	0.4	0.5	
西	13：00	0.9	1.0	
北	11：00-13：00	0.7	0.8	

4.2.3 總圖書館

在總圖書館部分，本研究調查 1/26, 2/10, 2/13, 3/2, 3/3 共計五日，分別在不同的位置，從每日早上 9 點，至下午 5 點為止，先進行打音來判斷劣化與良好磁磚，再分別以麥克筆作記號後的位置進行紅外線熱影像分析，透過連續五日的紀錄來分析劣化與良好磁磚之溫差，以及各向外牆最明顯溫差的觀測時間觀察時間。以下為觀察記錄結果。

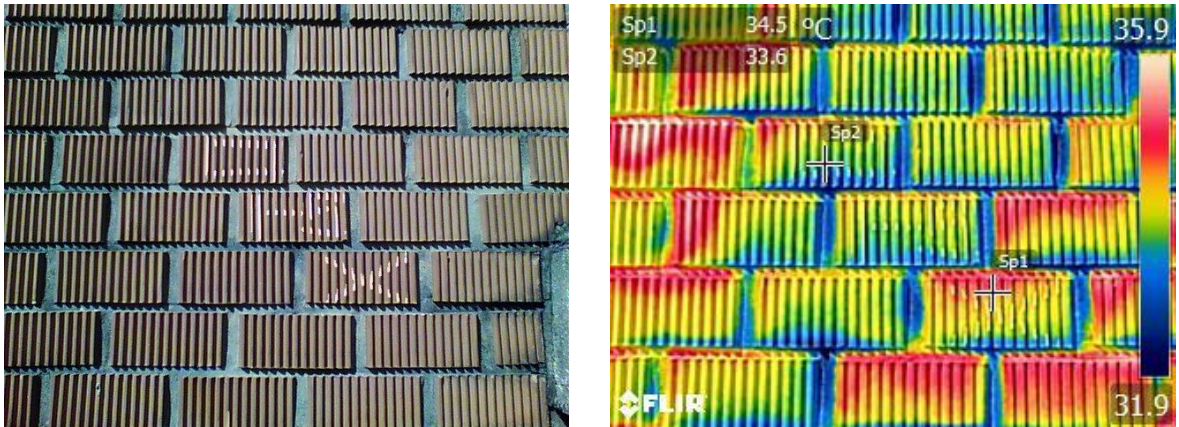


圖 4-29 臺灣大學總圖書館案例紅外線熱影像檢測紀錄
 SP1: 劣化位置
 SP2: 良好位置

總圖書館檢測位置圖：

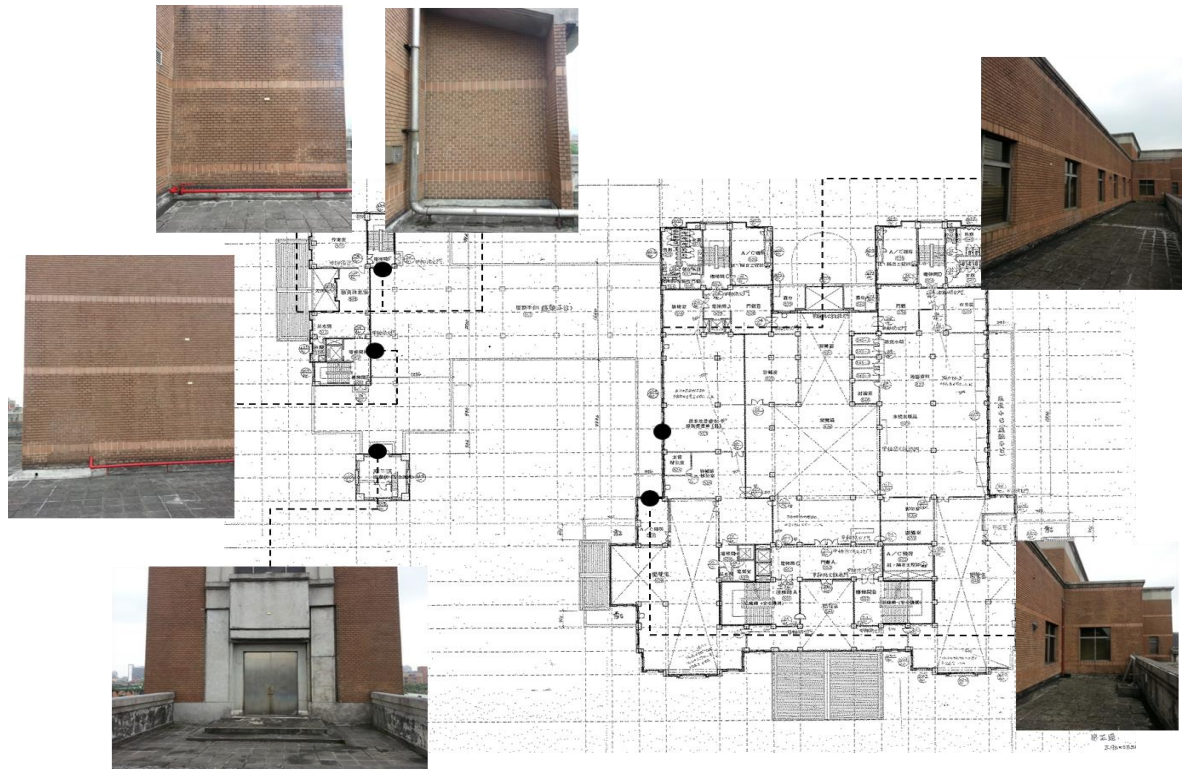


圖 4-30 總圖書館檢測位置圖

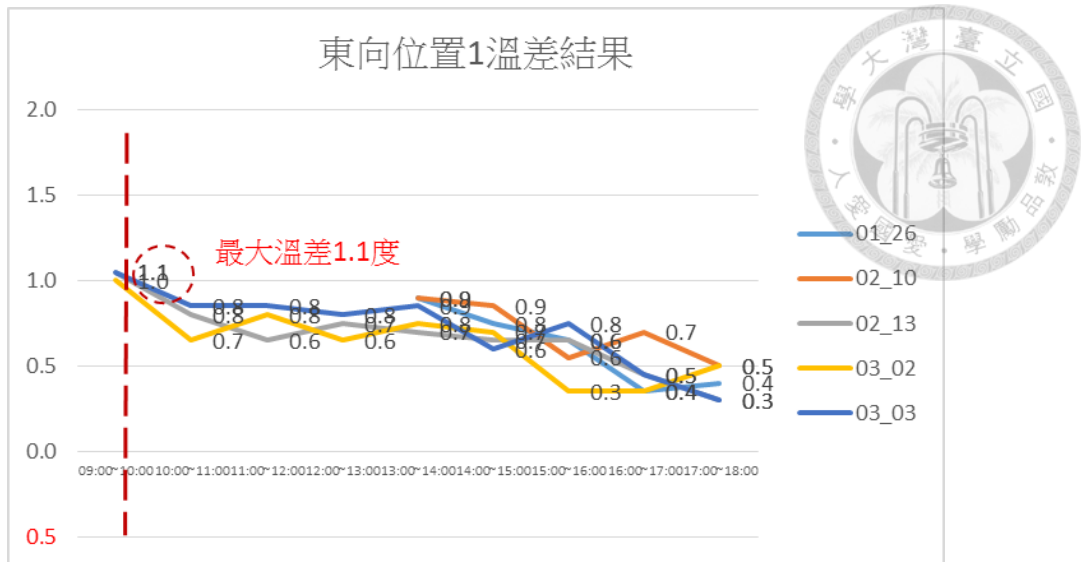


圖 4-31 臺灣大學總圖書館案例東向溫差檢測紀錄結果-1

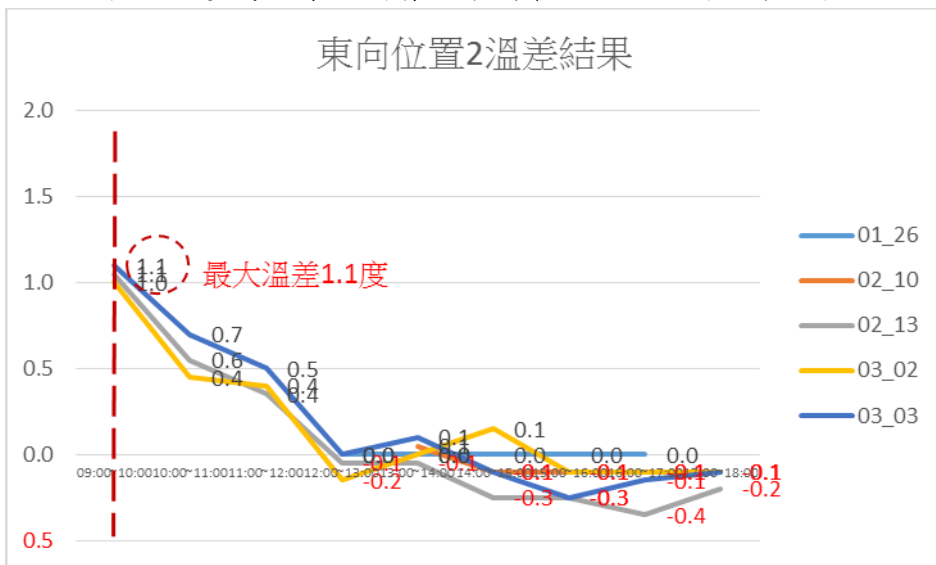


圖 4-32 臺灣大學總圖書館案例東向溫差檢測紀錄結果-2

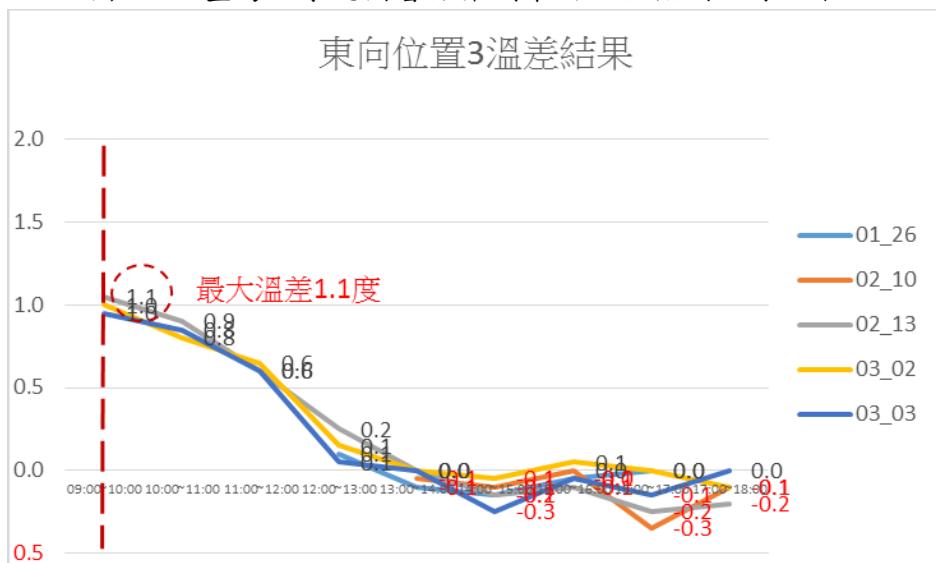


圖 4-33 臺灣大學總圖書館案例東向溫差檢測紀錄結果-3

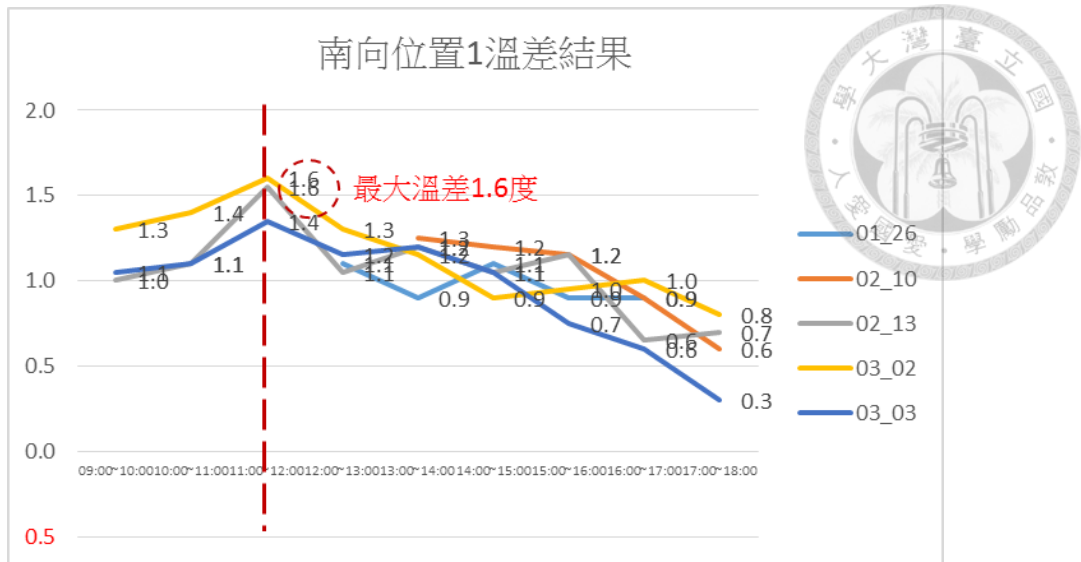


圖 4-34 臺灣大學總圖書館案例南向溫差檢測紀錄結果-1

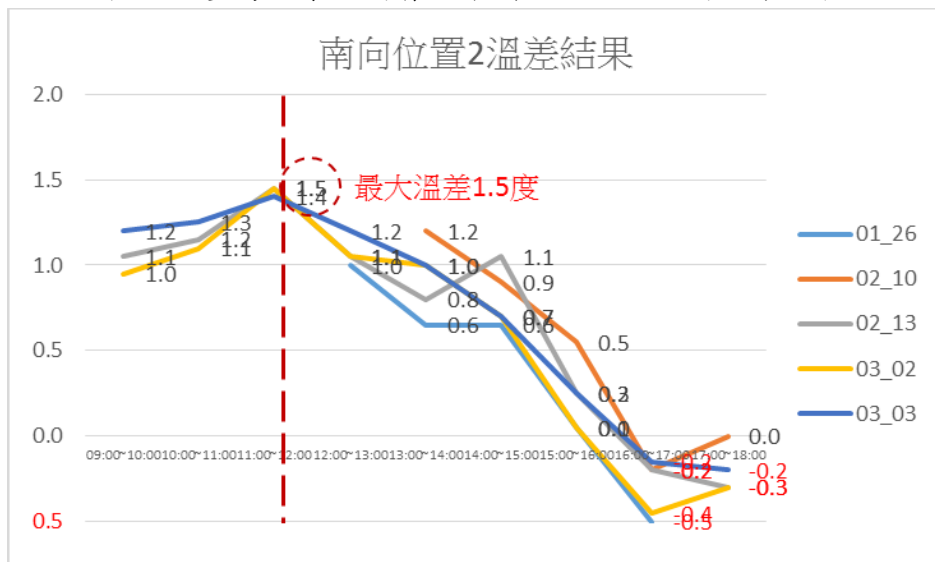


圖 4-35 臺灣大學總圖書館案例南向溫差檢測紀錄結果-2

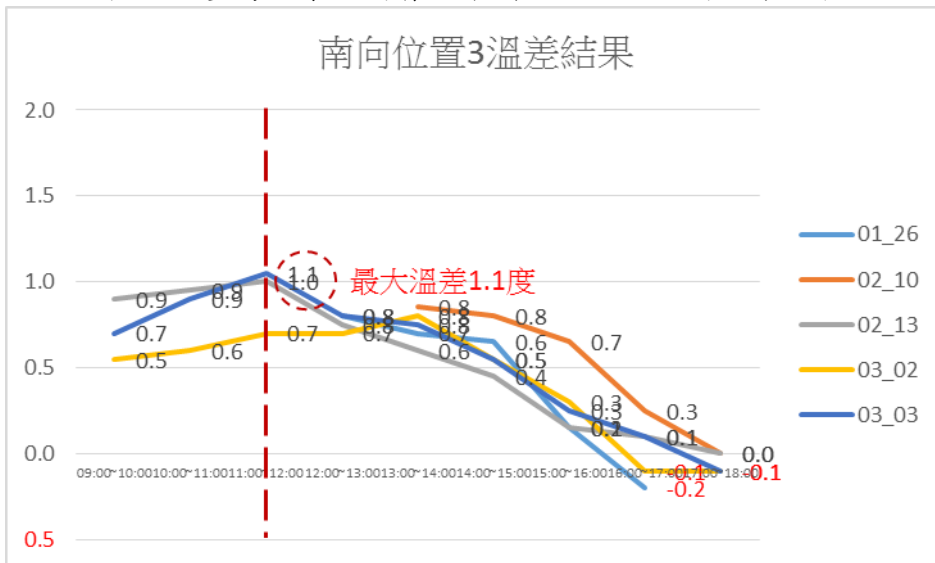


圖 4-36 臺灣大學總圖書館案例南向溫差檢測紀錄結果-3

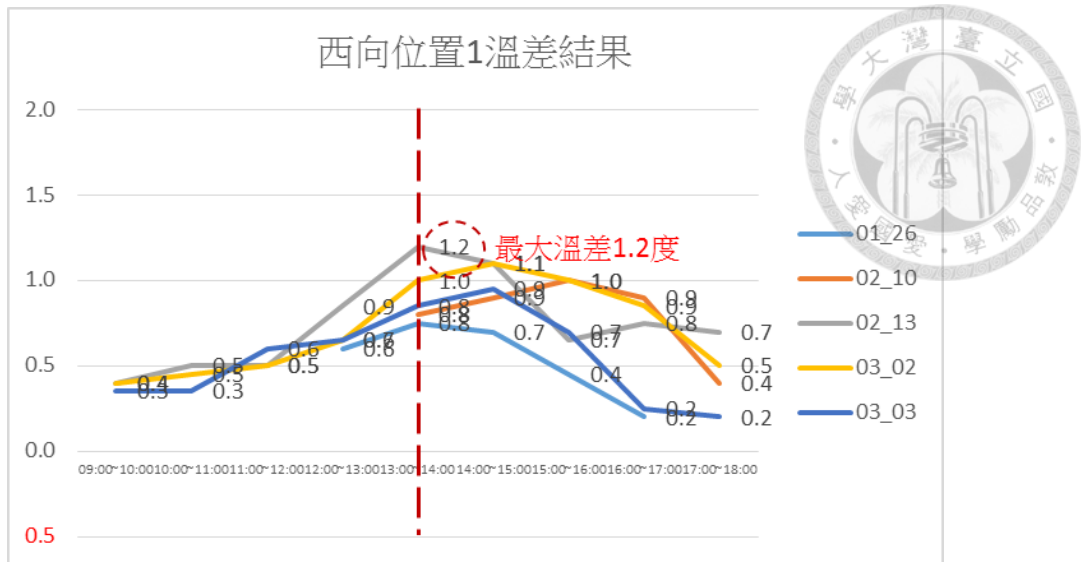


圖 4-37 臺灣大學總圖書館案例西向溫差檢測紀錄結果-1

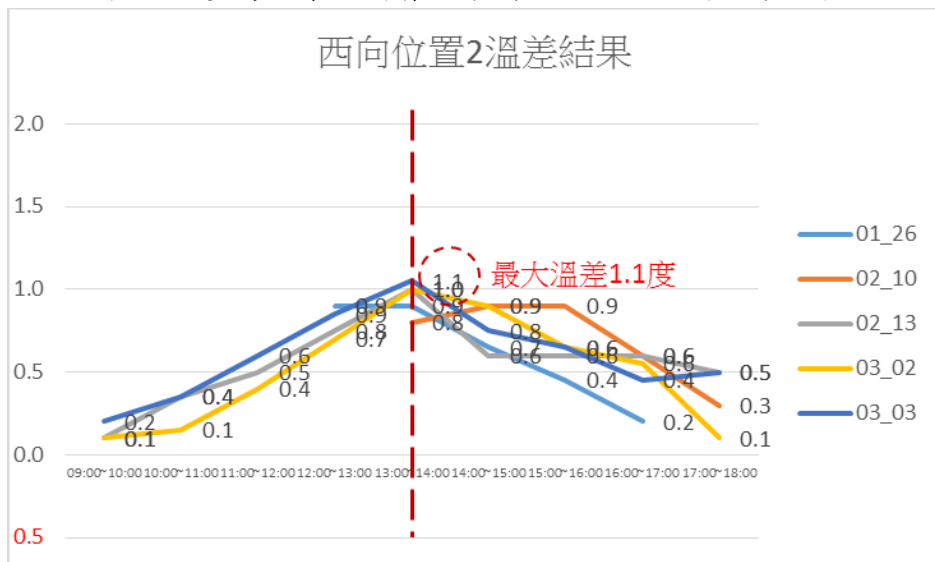


圖 4-38 臺灣大學總圖書館案例西向溫差檢測紀錄結果-2

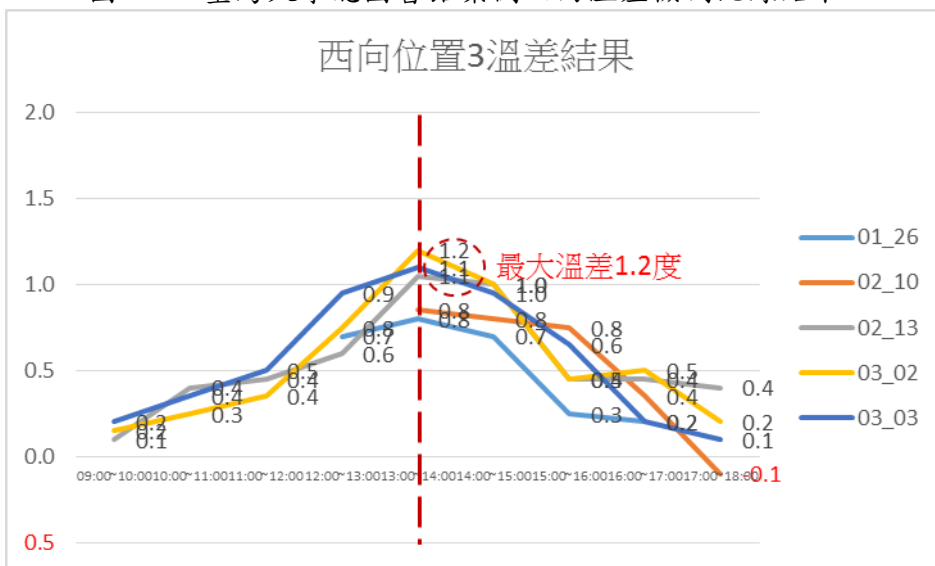


圖 4-39 臺灣大學總圖書館案例西向溫差檢測紀錄結果-3

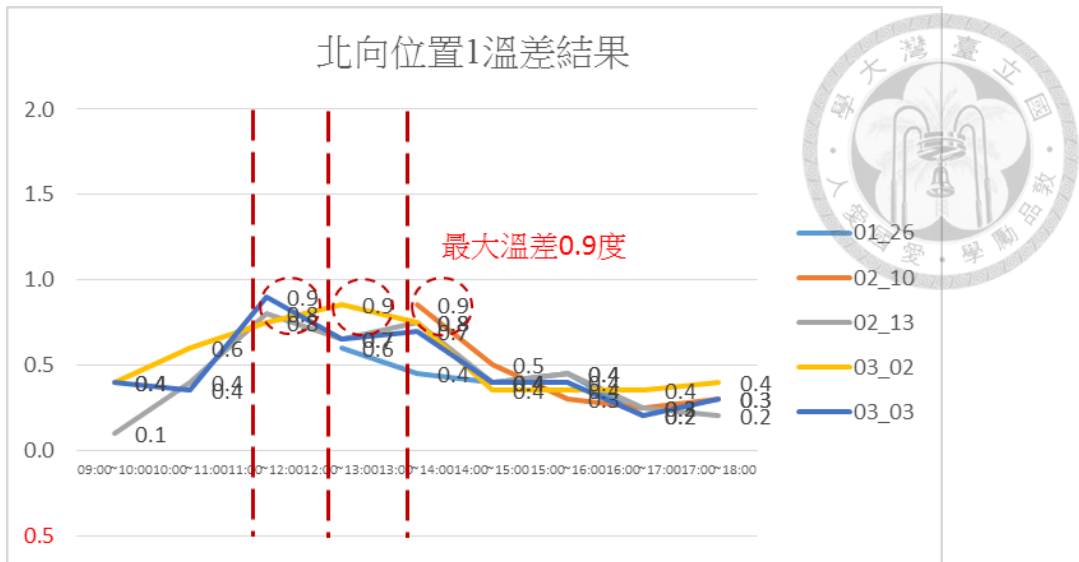


圖 4-40 臺灣大學總圖書館案例北向溫差檢測紀錄結果-1

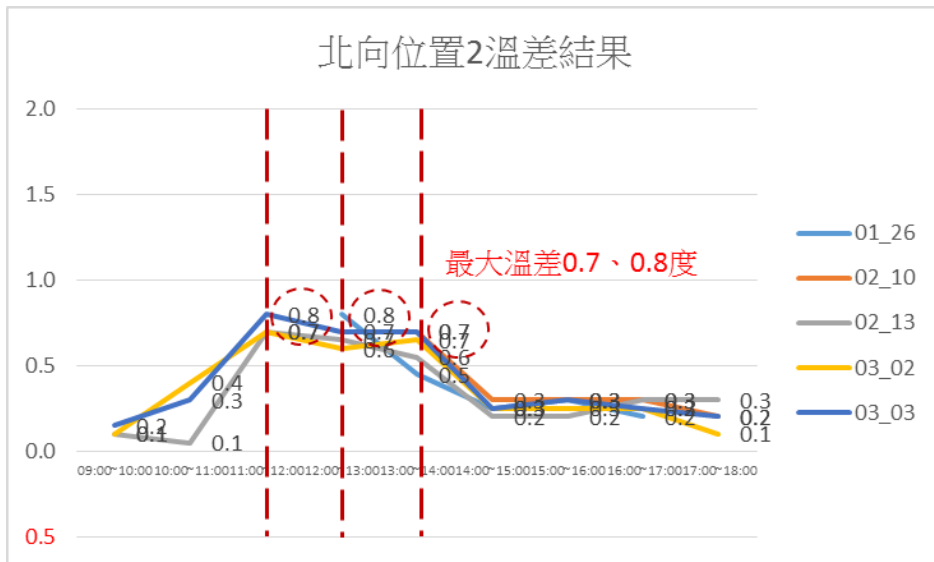


圖 4-41 臺灣大學總圖書館案例北向溫差檢測紀錄結果-2

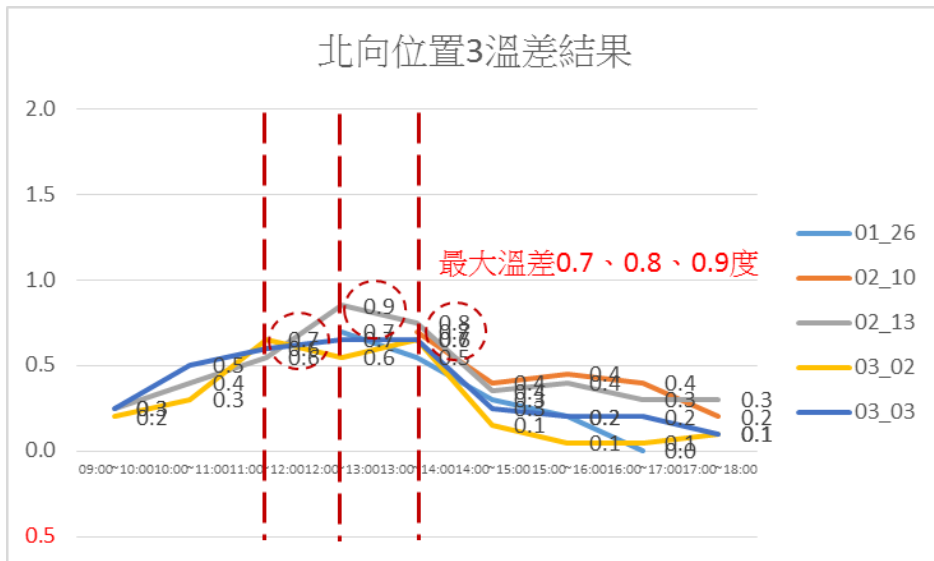


圖 4-42 臺灣大學總圖書館案例北向溫差檢測紀錄結果-3

根據上述圖像統計結果，可初步判定東向良好與劣化磁磚最大溫差約在 1.1 度，發生於 09:00。南向良好與劣化磁磚最大溫差約在 1.6 度，發生於 11:00。西向良好與劣化磁磚最大溫差時間約在 1.2 度，發生於 13:00。北向良好與劣化磁磚溫差，經觀察因無太陽照射，觀測時間範圍較廣，磁磚最大溫差時間約在 0.9 度，發生於 11:00-13:00。本研究整理溫差時間發生的順序後，因部分日期當日最高溫差並非定時出現，故本研究按照調查期間每日出現最高溫差的結果推論，東向建議觀測時間為 09:00，西向建議觀測時間為 13:00，南向建議觀測時間為 11:00，北向建議觀測時間為 11:00-13:00。整理如表 4-13 所示。

表 4-13 總圖書館各面向觀測時間與溫差最大值

建築面向	觀測期間溫差最大值	觀測期間溫差最大值發生時間	備註
東	1.1	09:00	
南	1.6	11:00	
西	1.2	13:00	
北	0.9	11:00-13:00	

針對良好磁磚溫差值統計結果，紀錄良好磁磚之間各面向溫差變化，如下表統計結果：

表 4-14 總圖書館-東向良好磁磚間溫差情形

總圖-東向-0900 (空白為未觀測點位)						取最大值
點位	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	0.9
01_26						
02_10						
02_13	0.2	0.7	0.9	0.7	0.2	
03_02	0.1	0.3	0.7	0.6	0.5	
03_03	0.2	0.8	0.3	0.4		

表 4-15 總圖書館-南向良好磁磚間溫差情形

總圖-南向-1100 (空白為未觀測點位)								取最大值
點位	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	0.7
01_26								
02_10								
02_13	0.4	0.7	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	
03_02	0.3	0.6	0.4	0.3	0.2	0.3	0.2	
03_03	0.3	0.5	0.5	0.1	0.1	0.6	0.3	

表 4-16 總圖書館-西向良好磁磚間溫差情形

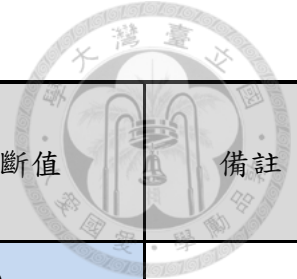
總圖-西向-1300 (空白為未觀測點位)								取最大值
點位	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6	3-7	0.8
01_26								
02_10	0.2	0.4	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	
02_13	0.1	0.3	0.4	0.4	0.8	0.2	0.2	
03_02	0.1	0.2	0.2	0.2	0.4	0.1	0.1	
03_03	0.1	0.3	0.4	0.3	0.1	0.1	0.1	

表 4-17 總圖書館-北向良好磁磚間溫差情形

圖書館-北向-1100-1300 (空白為未觀測點位)								取最大值
點位	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	4-6	4-7	0.4
02_10	0.2		0.4	0.2	0.1	0.1	0.1	
02_13	0.2		0.1	0.3	0.1	0.2	0.0	
	0.1		0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	
	0.3		0.3	0.1	0.3	0.2	0.0	
03_02	0.1		0.1	0.1	0.0	0.0	0.1	
	0.2		0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	
	0.3		0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	
03_03	0.1		0.1	0.1	0.1	0.0	0.2	
	0.1		0.2	0.0	0.1	0.0	0.2	
	0.3		0.2	0.0	0.2	0.0	0.2	

綜上，為免誤判為良好磁磚，取良好磁磚之最大值為分界，根據統計結果，各面向小於良好磁磚最大值，將視為磁磚本身誤差或儀器誤差或人為失誤，接下來，檢視東向最佳觀測時間 09：00 測得良好磁磚溫差最大值為 0.9 度，故東向溫差值在 0.9 度(含)以下視為良好磁磚，由此訂定東向溫差判斷值在 1.0 度(含)以上視為劣化磁磚；檢視南向最佳觀測時間 11：00 測得之良好磁磚溫差最大值為 0.7 度，故南向溫差值在 0.7 度(含)以下視為良好磁磚，由此訂定南向溫差判斷值在 0.8 度(含)以上視為劣化磁磚；檢視西向最佳觀測時間 13：00 測得良好磁磚溫差最大值為 0.8 度，故西向溫差值在 0.8 度(含)以下視為良好磁磚，由此訂定西向溫差判斷值在 0.9 度(含)以上視為劣化磁磚；檢視北向最佳觀測時間 11：00-13：00 測得良好磁磚溫差最大值為 0.4 度，故北向溫差值在 0.4 度(含)以下視為良好磁磚，由此訂定北向溫差判斷值在 0.5 度(含)以上視為劣化磁磚，整理如下表(表 4-18)：

表 4-18 最佳觀測時間與溫差判斷值



建築面向	最佳觀測時間	最佳觀測時間溫差最大值 (良好)	溫差判斷值	備註
東	09 : 00	0.9	1.0	
南	11 : 00	0.7	0.8	
西	13 : 00	0.8	0.9	
北	11 : 00-13 : 00	0.4	0.5	

4.2.4 水工試驗所

在水工所部分，本研究調查 3/31, 4/6, 4/7, 4/20, 4/21 共計五日，分別在不同的位置，從每日早上 9 點，至下午 5 點為止，先進行打音來判斷劣化與良好磁磚，再分別以麥克筆作記號後的位置進行紅外線熱影像分析，透過連續五日的紀錄來分析劣化與良好磁磚之溫差，以及各向外牆最明顯溫差的觀測時間觀察時間。以下為觀察記錄結果。

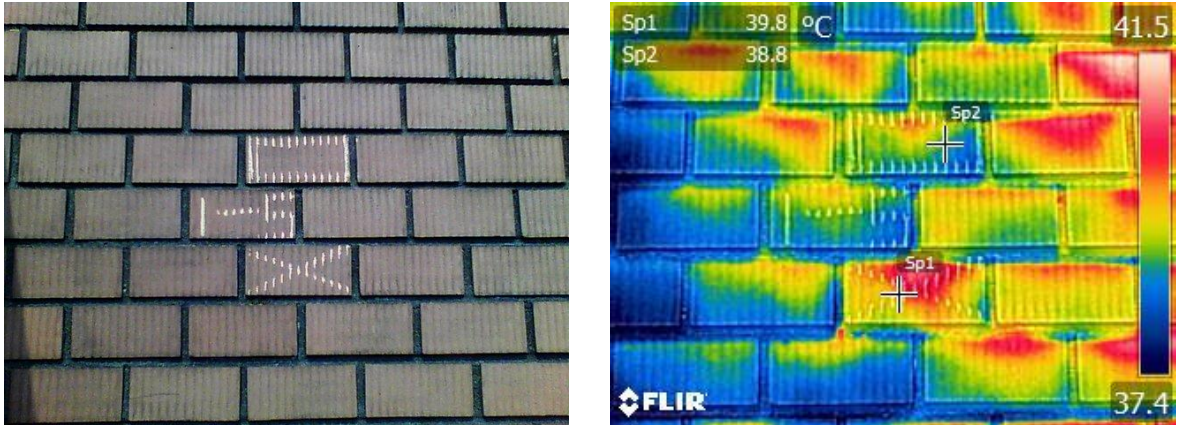


圖 4-43 臺灣大學水工所案例紅外線熱影像檢測紀錄

SP1: 劣化位置
SP2: 良好位置

水工所檢測位置圖：

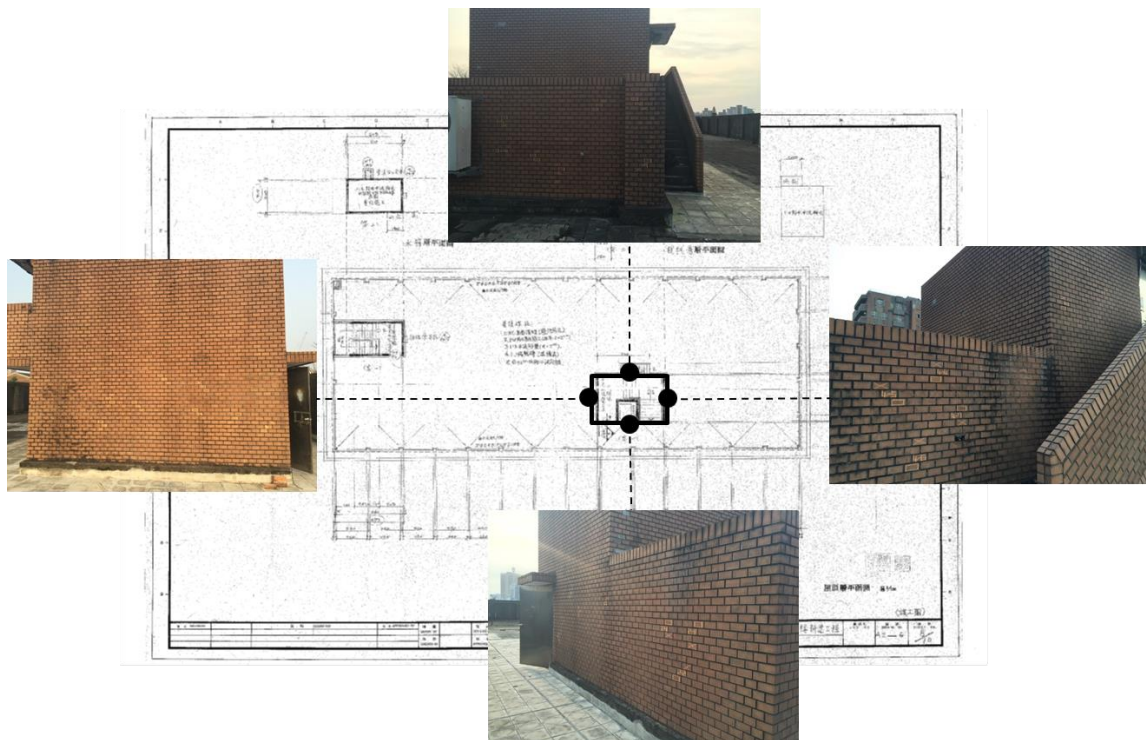


圖 4-44 水工所檢測位置圖

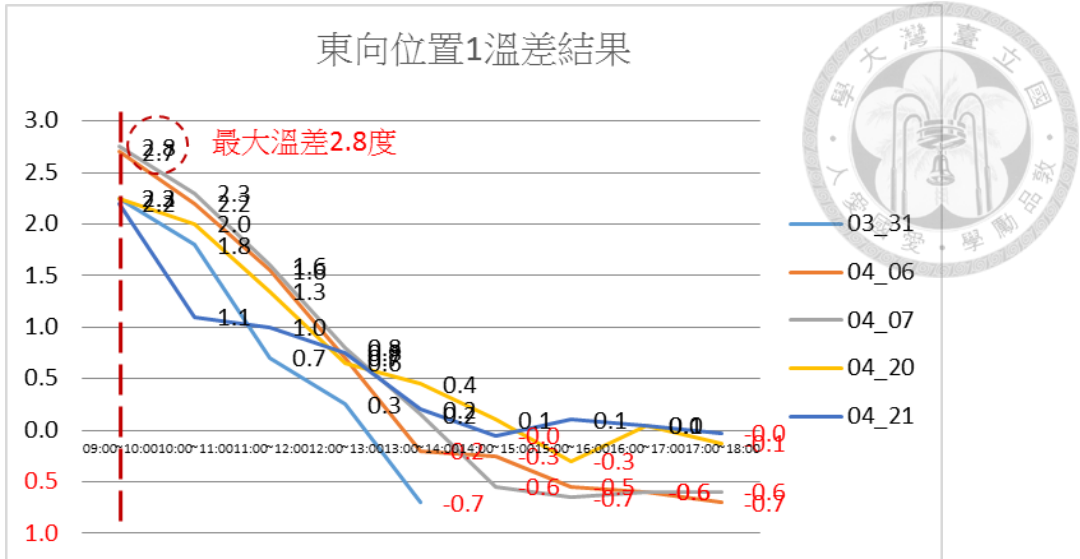


圖 4-45 臺灣大學水工所案例東向溫差檢測紀錄結果-1

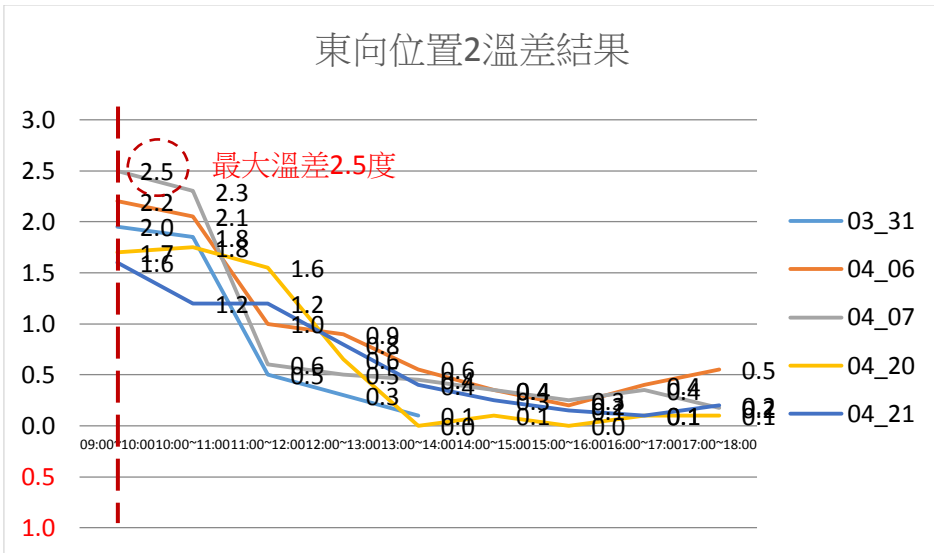


圖 4-46 臺灣大學水工所案例東向溫差檢測紀錄結果-2

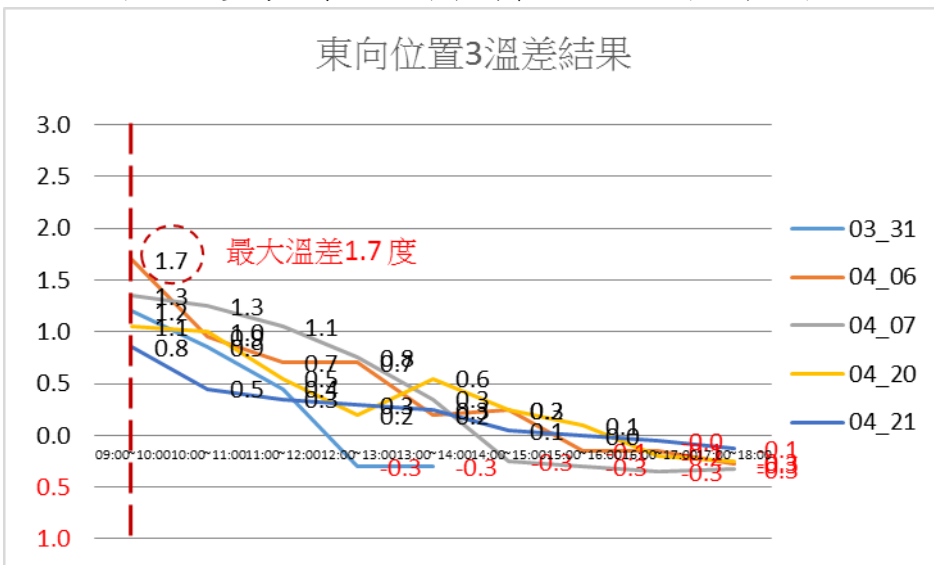


圖 4-47 臺灣大學水工所案例東向溫差檢測紀錄結果-3

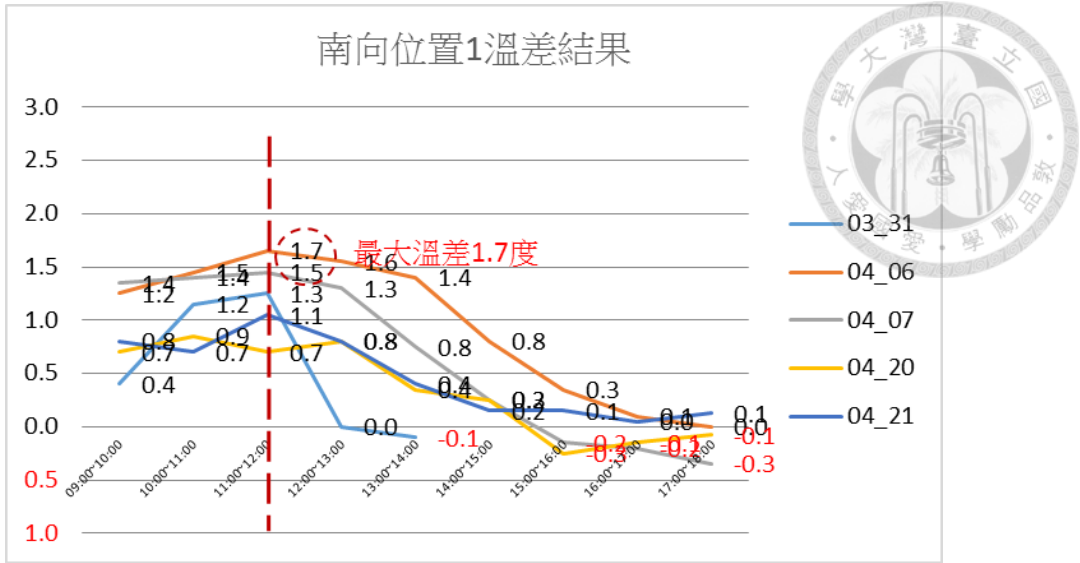


圖 4-48 臺灣大學水工所案例南向溫差檢測紀錄結果-1

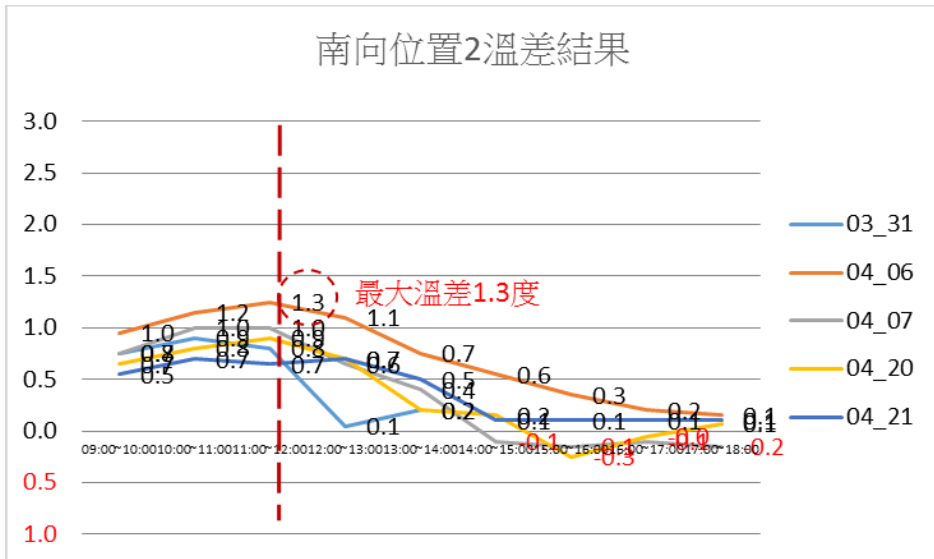


圖 4-49 臺灣大學水工所案例南向溫差檢測紀錄結果-2

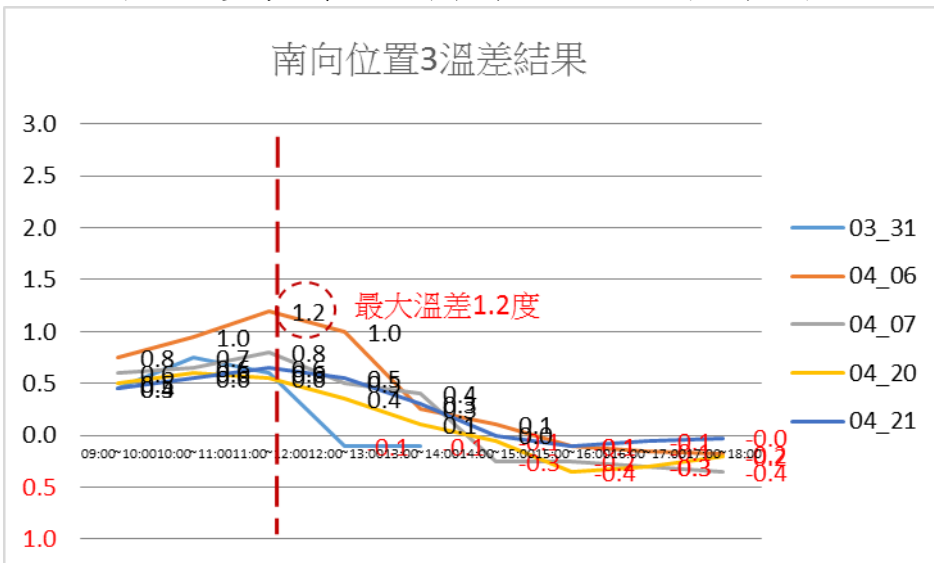


圖 4-50 臺灣大學水工所案例南向溫差檢測紀錄結果-3

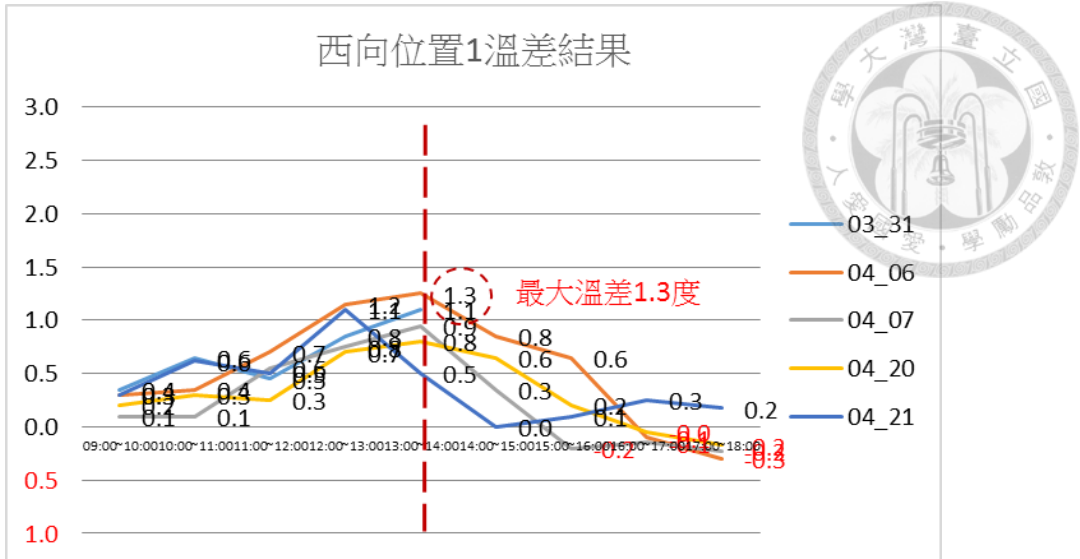


圖 4-51 臺灣大學水工所案例西向溫差檢測紀錄結果-1

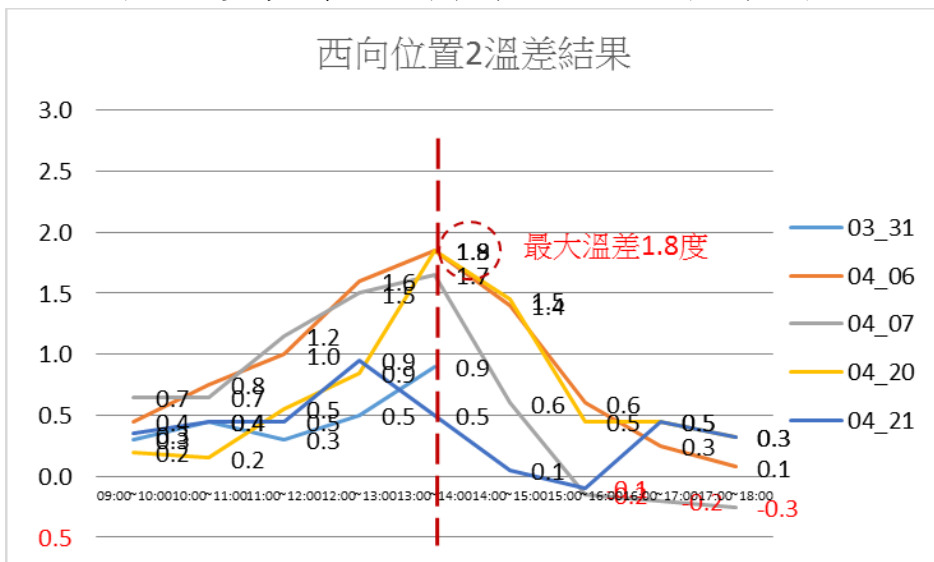


圖 4-52 臺灣大學水工所案例西向溫差檢測紀錄結果-2

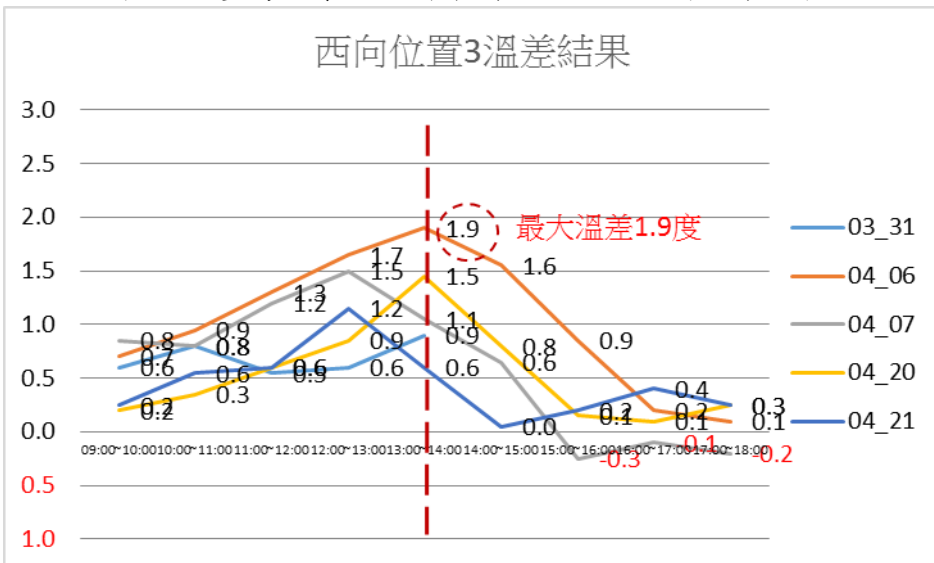


圖 4-53 臺灣大學水工所案例西向溫差檢測紀錄結果-3

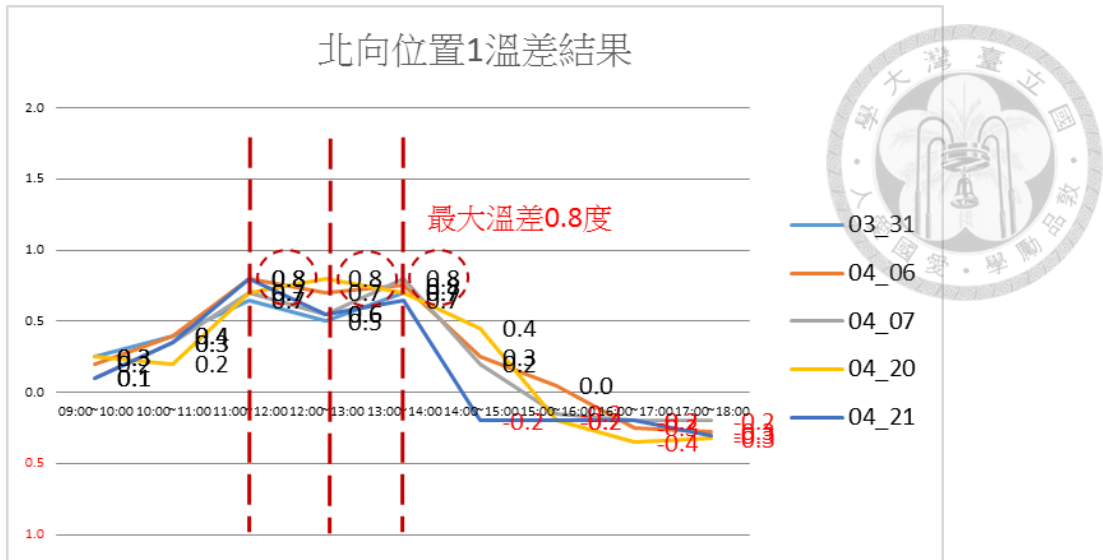


圖 4-54 臺灣大學水工所案例北向溫差檢測紀錄結果-1

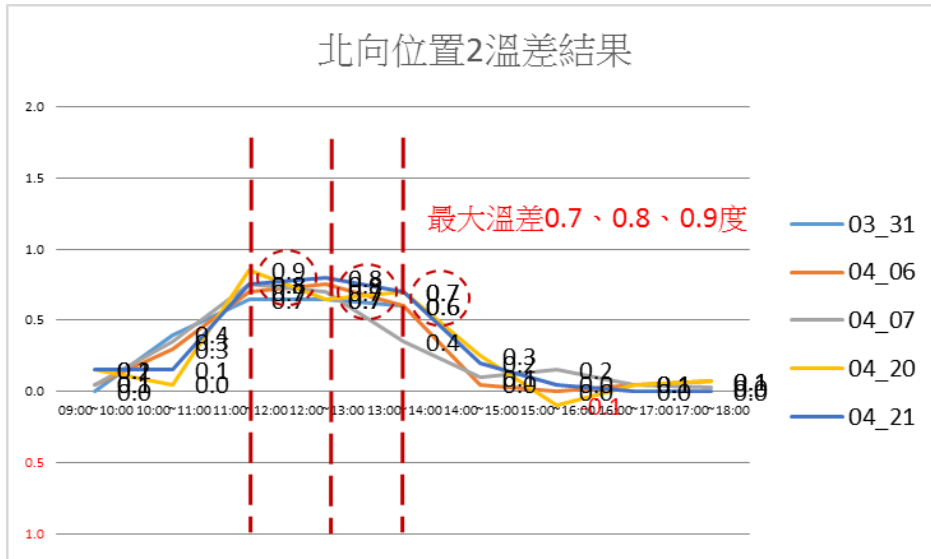


圖 4-55 臺灣大學水工所案例北向溫差檢測紀錄結果-2

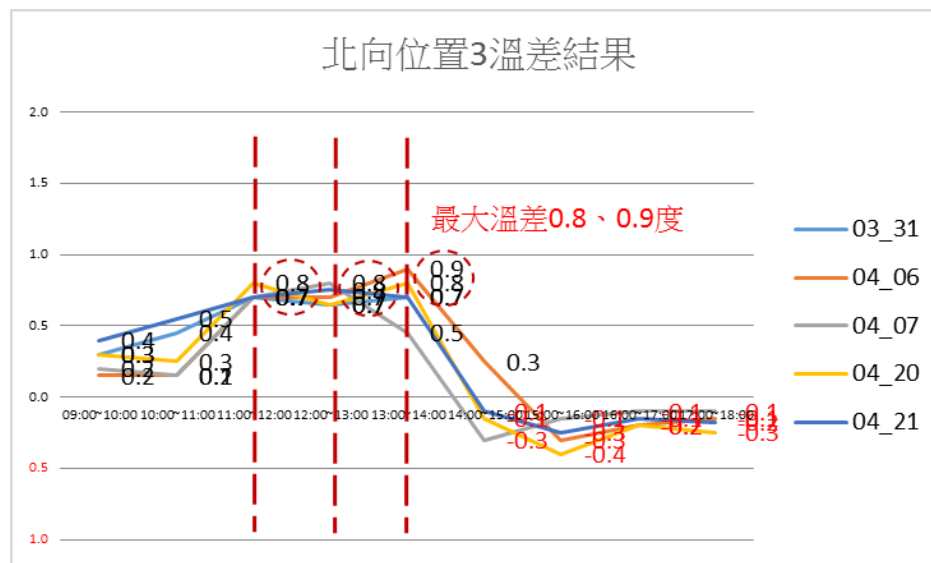


圖 4-56 臺灣大學水工所案例北向溫差檢測紀錄結果-3

根據上述圖像統計結果，可初步判定東向良好與劣化磁磚最大溫差約在 1.1 度，發生於 09:00。南向良好與劣化磁磚最大溫差約在 1.6 度，發生於 11:00。西向良好與劣化磁磚最大溫差時間約在 1.2 度，發生於 13:00。北向良好與劣化磁磚溫差，經觀察因無太陽照射，觀測時間範圍較廣，磁磚最大溫差時間約在 0.9 度，發生於 11:00-13:00。本研究整理溫差時間發生的順序後，因部分日期當日最高溫差並非定時出現，故本研究按照調查期間每日出現最高溫差的結果推論，東向建議觀測時間為 09:00，西向建議觀測時間為 13:00，南向建議觀測時間為 11:00，北向建議觀測時間為 11:00-13:00。整理如表 4-19 所示。

表 4-19 水工所各面向觀測時間與溫差最大值

建築面向	觀測期間溫差最大值	觀測期間溫差最大值發生時間	備註
東	2.8	09:00	
南	1.7	11:00	
西	1.9	13:00	
北	0.9	11:00-13:00	

針對良好磁磚溫差值統計結果，紀錄良好磁磚之間各面向溫差變化，如下表統計結果：

表 4-20 水工試驗所-東向良好磁磚間溫差情形

水工-東向-0900								取最大值
點位	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1.1
03_31	0.2	0.9	0.1	1.1	0.7	0.3	0.5	
04_06	0.4	0.7	0.3	0.2	0.5	0.5	0.1	
04_07	0.6	0.8	0.1	0.1	0.6	0.0	0.8	
04_20	0.2	0.4	0.2	0.4	0.7	0.1	0.3	
04_21	0.4	0.6	0.2	0.3	0.4	0.1	0.1	

表 4-21 水工試驗所-南向良好磁磚間溫差情形

水工-南向-1100								取最大值
點位	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	0.8
03_31	0.2	0.5	0.3	0.3	0.5	0.2	0.4	
04_06	0.2	0.3	0.2	0.1	0.5	0.2	0.2	
04_07	0.1	0.5	0.1	0.4	0.2	0.3	0.4	
04_20	0.2	0.1	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	
04_21	0.2	0.1	0.4	0.4	0.2	0.1		

表 4-22 水工試驗所-西向良好磁磚間溫差情形

水工-西向-1300									取最大值
點位	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5	3-6	3-7	3-8	
03_31	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.5
04_06	0.2	0.3	0.1	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	
04_07	0.4	0.4	0.3	0.1	0.3	0.8	0.2	0.5	
04_20	0.5	0.5	0.4	0.2	0.6	0.4	0.4	0.4	
04_21	0.3	0.7	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.3	

表 4-23 水工試驗所-西向良好磁磚間溫差情形

水工所-北向-1100-1300 (空白為未觀測點位)								取最大值
點位	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	4-6	4-7	
03_31	0.2	0.2	0.3	0.3	0.1	0.1	0.0	0.7
	0.1	0.2	0.2					
	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	
04_06	0.3	0.4	0.2	0.4	0.4	0.2	0.2	
	0.3	0.2	0.5	0.3	0.2	0.3	0.3	
	0.1	0.0	0.5	0.3	0.2	0.1	0.0	
04_07	0.2	0.2	0.3	0.1	0.3	0.2	0.1	
	0.3	0.3	0.7	0.2	0.2	0.2	0.1	
	0.2	0.0	0.3	0.3	0.1	0.1	0.1	
04_20	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	
	0.1	0.2	0.5	0.2	0.3	0.1	0.1	
	0.2	0.1	0.6	0.3	0.3	0.2	0.2	
04_21	0.1	0.1	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	
	0.1	0.3	0.6	0.3	0.2	0.3	0.3	
	0.1	0.2	0.4	0.2	0.1	0.1	0.3	

綜上，為免誤判為良好磁磚，取良好磁磚之最大值為分界，根據統計結果，各面向小於良好磁磚最大值，將視為磁磚本身誤差或儀器誤差或人為失誤，接下來，檢視東向最佳觀測時間 09：00 測得良好磁磚溫差最大值為 1.1 度，故東向溫差值在 1.1 度(含)以下視為良好磁磚，由此訂定東向溫差判斷值在 1.2 度(含)以上視為劣化磁磚；檢視南向最佳觀測時間 11：00 測得之良好磁磚溫差最大值為 0.8 度，故南向溫差值在 0.8 度(含)以下視為良好磁磚，由此訂定南向溫差判斷值在 0.9 度(含)以上視為劣化磁磚；檢視西向最佳觀測時間 13：00 測得良好磁磚溫差最大值為 0.5 度，故西向溫差值在 0.5 度(含)以下視為良好磁磚，

由此訂定西向溫差判斷值在 0.6 度（含）以上視為劣化磁磚；檢視北向最佳觀測時間 11：00-13：00 測得良好磁磚溫差最大值為 0.7 度，故北向溫差值在 0.7 度（含）以下視為良好磁磚，由此訂定北向溫差判斷值在 0.8 度（含）以上視為劣化磁磚，整理如下表（表 4-24）：

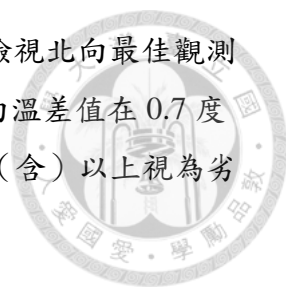


表 4-24 最佳觀測時間與溫差判斷值

建築面向	最佳觀測時間	最佳觀測時間溫差最大值（良好）	溫差判斷值	備註
東	09：00	1.1	1.2	
南	11：00	0.5	0.6	
西	13：00	0.8	0.9	
北	11：00-13：00	0.7	0.8	

4.3 紅外線熱影像法診斷結果綜合分析

經實驗結果顯示，透過紅外線熱影像儀檢測外牆，可於影像中檢視良好磁磚與劣化磁磚之溫差，進而判定最佳觀測時間，定義溫差最高時間點即為最佳觀測時間；至於溫差門檻值部分，則尚需考量良好磁磚之間之溫差情形，由前面分析結果，將各棟各面向之判斷值取平均後，訂定各面向門檻值，整理如下表（表 4-25）。

表 4-25 各棟各面向門檻值

	原分所 溫差判斷值	化工館 溫差判斷值	圖書館 溫差判斷值	水工所 溫差判斷值	平均值	各面向 門檻值
東	1.0	1.0	1.0	1.2	1.05	1.0
南	0.6	0.5	0.8	0.6	0.63	0.6
西	0.9	1.0	0.9	0.9	0.93	0.9
北	0.8	0.8	0.5	0.8	0.73	0.7

求得各面向門檻值後，再以此門檻值比較各面向最佳觀測時間內劣化磁磚溫差之鑑別率：

原分所東向平均鑑別率為 86.7%（表 4-26），化工館東向平均鑑別率為 93.3%（表 4-27），圖書館東向平均鑑別率為 100%（表 4-28），水工所東向平均鑑別率為 93.3%（表 4-29），將四棟東向鑑別率加以平均，總平均為 93.3%。

表 4-26 原分所東向鑑別率

原分所-東向-0900						鑑別率 (≥ 1.0)	平均
點位/日期	07_22	07_23	07_24	07_25	07_26		
1-1	0.8	1.3	2.0	1.2	1.7	80.0%	86.7%
1-2	1.4	0.9	1.0	1.9	2.2	80.0%	
1-3	1.5	3.0	3.0	2.8	3.1	100.0%	

表 4-27 化工館東向鑑別率

化工館-東向-0900						鑑別率 (≥ 1.0)	平均
點位/日期	07_27	07_28	07_29	07_30	07_31		
1-1	1.0	1.0	1.0	2.1	2.3	100.0%	93.3%
1-2	1.3	2.3	1.4	2.0	1.9	100.0%	
1-3	1.3	1.3	0.9	1.1	1.3	80.0%	

表 4-28 圖書館東向鑑別率

圖說館-東向-0900						鑑別率 (≥ 1.0)	平均
點位/日期	01_26	02_10	02_13	03_02	03_03		
1-1	未檢測	未檢測	1.1	1.0	1.1	100.0%	100.0%
1-2	未檢測	未檢測	1.1	1.0	1.1	100.0%	
1-3	未檢測	未檢測	1.1	1.0	1.0	100.0%	

表 4-29 水工所東向鑑別率

水工所-東向-0900						鑑別率 (≥ 1.0)	平均
點位/日期	03_31	04_06	04_07	04_20	04_21		
1-1	2.2	2.7	2.8	2.3	2.2	100.0%	93.3%
1-2	2.0	2.2	2.5	1.7	1.6	100.0%	
1-3	1.2	1.7	1.3	1.1	0.8	80.0%	

原分所南向平均鑑別率為 80% (表 4-30)，化工館南向平均鑑別率為 100% (表 4-31)，圖書館南向平均鑑別率為 100% (表 4-32)，水工所南向平均鑑別率為 100% (表 4-33)，將四棟南向鑑別率總平均，總平均為 95%。

表 4-30 原分所南向鑑別率

原分所-南向-1100						鑑別率 (≥ 0.6)	平均
點位/日期	07_22	07_23	07_24	07_25	07_26		
2-1	1.1	0.8	2.1	2.0	2.7	100.0%	80.0%
2-2	0.9	0.5	0.9	0.7	1.2	80.0%	
2-3	0.5	0.8	0.9	0.6	0.5	60.0%	

表 4-31 化工館南向鑑別率

化工館-南向-1100						鑑別率 (≥ 0.6)	平均
點位/日期	07_27	07_28	07_29	07_30	07_31		
2-1	1.8	2.0	1.2	2.0	1.2	100.0%	100.0%
2-2	1.1	1.3	0.6	1.1	0.8	100.0%	
2-3	1.7	0.9	0.6	1.2	0.7	100.0%	

表 4-32 圖書館南向鑑別率

圖書館-南向-1100						鑑別率 (≥ 0.6)	平均
點位/日期	01_26	02_10	02_13	03_02	03_03		
2-1	未檢測	未檢測	1.6	1.6	1.4	100.0%	100.0%
2-2	未檢測	未檢測	1.5	1.5	1.4	100.0%	
2-3	未檢測	未檢測	1.0	0.7	1.1	100.0%	

表 4-33 水工所南向鑑別率

水工所-南向-1100						鑑別率 (≥ 0.6)	平均
點位/日期	03_31	04_06	04_07	04_20	04_21		
2-1	1.3	1.7	1.5	0.7	1.1	100.0%	100.0%
2-2	0.8	1.3	1.0	0.9	0.7	100.0%	
2-3	0.6	1.2	0.8	0.6	0.6	100.0%	

原分所西向平均鑑別率為 80% (表 4-34)，化工館西向平均鑑別率為 86.7% (表 4-35)，圖書館西向平均鑑別率為 86.7% (表 4-36)，水工所南向平均鑑別率為 80% (表 4-37)，將四棟西向鑑別率總平均，總平均為 83.4%。

表 4-34 原分所西向鑑別率

原分所-西向-1300						鑑別率 (≥ 0.9)	平均
點位/日期	07_22	07_23	07_24	07_25	07_26		
3-1	0.9	0.1	1.0	1.4	0.6	80.0%	80.0%

表 4-35 化工館西向鑑別率

化工館-西向-1300						鑑別率 (≥ 0.8)	平均
點位/日期	07_27	07_28	07_29	07_30	07_31		
3-1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	100.0%	86.7%
3-2	1.3	1.2	0.8	1.2	1.0	100.0%	
3-3	0.8	1.0	0.8	0.6	0.7	60.0%	

表 4-36 圖書館西向鑑別率

圖書館-西向-1300						鑑別率 (≥ 0.8)	平均
點位/日期	01_26	02_10	02_13	03_02	03_03		
3-1	0.6	0.8	1.2	1.0	0.8	80.0%	86.7%
3-2	0.9	0.8	1.0	1.0	1.1	100.0%	
3-3	0.7	0.8	1.1	1.2	1.1	80.0%	

表 4-37 水工所西向鑑別率

水工所-西向-1300						鑑別率 (≥ 0.8)	平均
點位/日期	03_31	04_06	04_07	04_20	04_21		
3-1	1.1	1.3	0.9	0.8	0.5	80.0%	80.0%
3-2	0.9	1.8	1.7	1.9	0.5	80.0%	
3-3	0.9	1.9	1.1	1.5	0.6	80.0%	

原分所北向平均鑑別率為 97.8% (表 4-38)，化工館北向平均鑑別率為 93.3% (表 4-39)，圖書館北向平均鑑別率為 78.8% (表 4-40)，水工所北向平均鑑別率為 84.4% (表 4-41)，將四棟北向鑑別率總平均，總平均為 88.6%。

表 4-38 原分所北向鑑別率

原分所-北向-1100-1300						鑑別率 (≥ 0.7)	平均
點位/日期	07_22	07_23	07_24	07_25	07_26		
4-1	2.0	1.5	1.5	1.8	2.0	93.3%	97.8%
	2.0	0.9	1.3	1.9	1.8		
	1.6	0.2	1.3	2.0	2.1		
4-2	1.3	1.0	1.8	2.1	2.0	100.0%	
	1.2	1.1	2.0	1.8	1.9		
	1.4	1.1	1.8	2.1	1.8		
4-3	1.5	1.7	1.9	1.6	1.8	100.0%	
	1.5	1.6	2.1	2.0	1.8		
	1.7	1.5	1.9	2.1	1.9		

表 4-39 化工館北向鑑別率

化工館-北向-1100-1300						鑑別率 (≥ 0.7)	平均
點位/日期	07_27	07_28	07_29	07_30	07_31		
4-1	1.1	1.1	1.0	0.9	0.9	100.0%	93.3%
	1.1	1.0	1.1	1.3	1.1		
	1.2	1.2	1.3	1.0	0.9		
4-2	1.1	1.2	0.8	0.9	0.9	93.3%	
	1.0	1.0	0.7	0.7	0.7		
	1.0	0.8	0.6	0.8	0.7		
4-3	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	86.7%	
	0.5	0.7	0.8	0.6	0.7		
	0.8	0.8	0.9	0.7	0.9		

表 4-40 圖書館北向鑑別率

圖書館-北向-1100-1300						鑑別率 (≥ 0.7)	平均
點位/日期	01_26	02_10	02_13	03_02	03_03		
4-1	未檢測	未檢測	0.8	0.8	0.9	90.9%	78.8%
	未檢測	未檢測	0.7	0.9	0.7		
	0.6	0.9	0.8	0.8	0.7		
4-2	未檢測	未檢測	0.7	0.7	0.8	81.8%	
	未檢測	未檢測	0.7	0.6	0.7		
	0.8	0.7	0.6	0.7	0.7		
4-3	未檢測	未檢測	0.6	0.7	0.6	63.6%	
	未檢測	未檢測	0.9	0.6	0.7		
	0.7	0.7	0.8	0.7	0.6		

表 4-41 水工所北向鑑別率

水工所-北向-1100-1300						鑑別率 (≥ 0.7)	平均
點位/日期	03_31	04_06	04_07	04_20	04_21		
4-1	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8	80.0%	84.4%
	0.5	0.7	0.6	0.8	0.6		
	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7		
4-2	0.7	0.7	0.8	0.9	0.8	80.0%	
	0.7	0.8	0.7	0.7	0.8		
	0.6	0.6	0.4	0.7	0.7		
4-3	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7	93.3%	
	0.7	0.7	0.8	0.7	0.8		
	0.7	0.9	0.5	0.8	0.7		

綜上，各面向鑑別率均達 80% 以上，因此，本研究按照調查期間每日出現最高溫差的結果推論，東向建議觀測時間為 9:00，發現有溫差超過 1.0 度且發生於本研究建議之最佳觀測時間，則可推測有劣化的磁磚產生；南向建議觀測時間為 11:00，發現有溫差超過 0.6 度且發生於本研究建議之最佳觀測時間，則可推測有劣化的磁磚產生；西向建議觀測時間為 13:00，發現有溫差超過 0.9 度且發生於本研究建議之最佳觀測時間，則可推測有劣化的磁磚產生；北向則因無日照，最佳觀測時間較長為一間距 11:00-13:00，發現有溫差超過 0.7 度且發生於本研究建議之最佳觀測時間，則可推測有劣化的磁磚產生。

第五章 研究結論

本研究透過文獻理論回顧及實證研究後，提出建築物外牆磁磚公共安全紅外線熱影像評估診斷的模式，並實際驗證本研究所設計之評估模式與提出對於劣化狀況相關的對策與建議；而後透過紅外線熱影像診斷分析試驗，確認外牆磁磚診斷模式與方法，最後提出建築物外牆磁磚劣化標準程度、評估準則及更新建議，茲將本研究執行後所獲致之結果說明如下：

5.1 研究結論

一、研議國立臺灣大學建築物外牆十三溝磁磚診斷標準作業流程，並針對建築物外牆磁磚診斷結果提出建議建議檢測時間

本研究透過國立臺灣大學現有採用十三溝磁磚建築物外牆檢測，發現熱影像圖能具體呈現磁磚黏貼不完整處位置及範圍，提供判斷之準則及論證，紅外線攝溫影像術進行檢測時不需破壞及接觸磁磚，其檢測的範圍是以面為單位。

本研究針對臺灣大學 4 棟老舊建築物，進行紅外線熱影像診斷分析。經紅外線熱影像處理後發現，在劣化位置周圍磁磚磁磚溫度比普通磁磚溫度來的高，可推論劣化位置周圍磁磚，可能具有肉眼無法觀測之空洞劣化現象，進而評估修繕整建之必要性。

研究結果發現，東向良好與劣化磁磚最明顯的觀測時間發生於 09:00。西向良好與劣化磁磚最明顯的觀測時間發生於 13:00。南向良好與劣化磁磚最明顯的觀測時間發生於 11:00。北向良好與劣化磁磚則因無太陽照射，觀察時間亦拉長，比較明顯的觀測時間發生於 10:00-14:00。

二、訂定外牆十三溝磁磚劣化劣化判斷基準值，作為檢測者評估劣化程度之參考依據

本研究針對十三溝磁磚整理溫差時間發生的順序後，因此綜合本研究針對觀測期間溫差平均值分析，建議溫差超過 0.5 度且發生於本研究歸納之觀測時間，可推測有劣化的磁磚產生。

5.2 研究貢獻

本研究實務貢獻，提出建築物外牆磁磚劣化紅外線熱影像診斷分析方法，對於既有非破壞性，或從事破壞性檢測業者提供參考標準評估數據與業務方向。在本研究實證研究中，外牆劣化觀測時間點即判斷基準值可做為老舊建築診斷工程實務上參考，並可參照本研究所建議之診斷流程架構，針對建築物外牆磁磚進行檢測診斷。

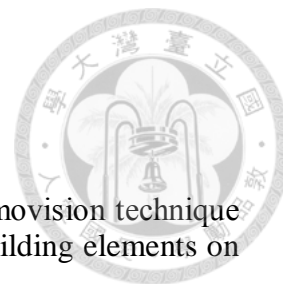
5.3 後續建議

根據本研究所得到的經驗，幾點建議供後續深入探討參考：

- 1、本研究僅針對十三溝磁磚來探討，後續研究者可針對更多類型磁磚做檢測，並定義最佳觀測時間及門檻值。
- 2、本研究僅取四棟為研究對象，未針對屋齡狀況加以分類，屋齡是否影響門檻值，可於後續研究增加案例來分析。
- 3、四棟雖同為 13 溝面磚，然而如果針對不同時期、不同廠商製作之產品，是否因而材質有些變化，而導致有不同門檻值，值得後續研究探討。
- 4、本研究未考慮季節、溫溼度及氣候環境影響因子，是否因而影響門檻值，可於後續研究加以分類探討，



參考文獻



英文部分

1. Albatici Rossano & Arnaldo M. Tonelli (2010), "Infrared thermovision technique for the assessment of thermal transmittance value of opaque building elements on site", *Journal of Energy and Buildings*, Vol.42, pp.2177-2183.
2. Brit Kayan (2012), "Building Maintenance in Old Buildings Conservation Approach: An Overview of Related Problems," *Journal of design and built environment*, Vol. 2, Issue 1, pp. 41-56.
3. C.W. Ho, S.M. Lo, C.Y. Yiu (2005), "The causes of external wall tiling defects in Hong Kong, *Structural Survey*, "Vol. 23, Issue 5, pp. 386-402.
4. Danny Lomas (1997), "External wall tiling defects in Hong Kong buildings: three defects diagnosis options examined," *Structural Survey*, Vol. 15 Issue 1, pp. 39-41.
5. T. Y. Lo & K.T.W. Choi (2004), "Building defects diagnosis by infrared thermography", *Structural Survey*, Vol. 22, No.5, pp.259-263.
6. Xavier P. Maldague (2001), "*Theory and Practice of Infrared Technology for Nondestructive Testing*", pp. 265-70 & 453-525. New York: Wiley-Interscience.

簡體中文部份：

1. 王立久、姚少臣，建筑病理学—建筑物常见病害诊断与对策，中国电力出版社，北京（2002）。
2. 房屋及规划地政局，楼宇管理及维修公众咨询报告书(2005年1月)，香港特别行政区政府房屋及规划地政局，中國香港（2005）。
3. 房屋及规划地政局，楼宇管理及维修—强制验楼公众咨询，香港特别行政区政府房屋及规划地政局，中國香港（2005）。
4. 屋宇署，楼宇维修全书，第 64-65 頁，香港特别行政区政府屋宇署，中国香港（2002）。

繁體中文部份：

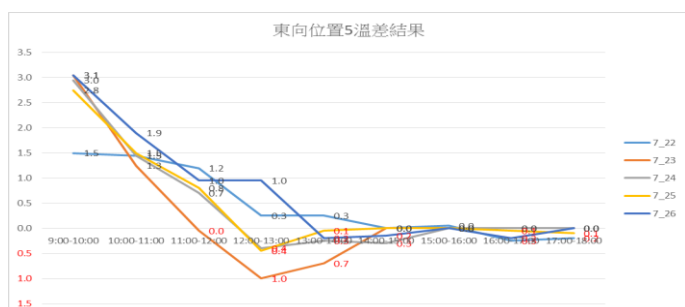
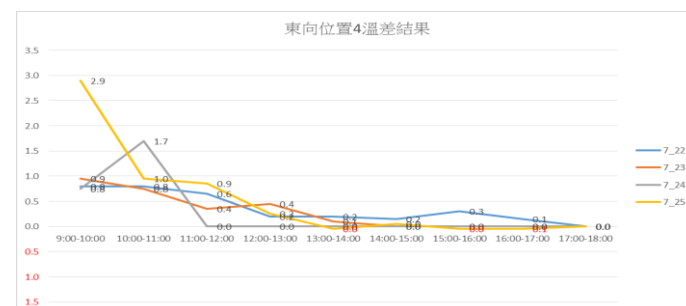
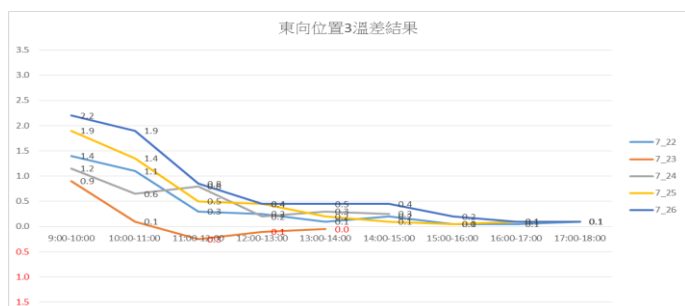
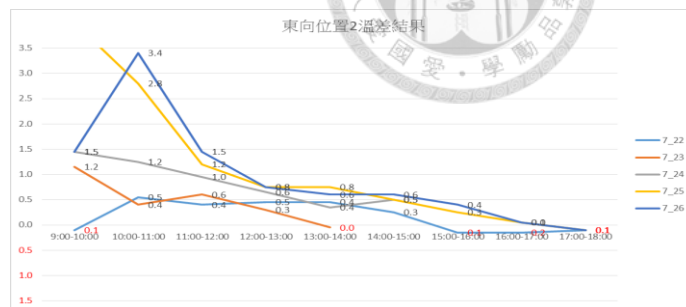
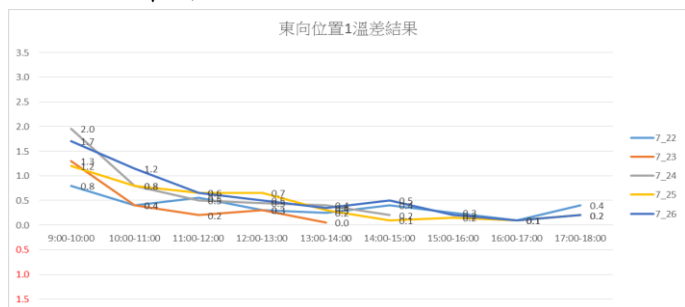
1. 內政部營建署，住宅整建技術研究，內政部營建署，臺北（2006）。
2. 內政部營建署，中華民國八十七~九十五年臺閩地區營建統計年報，內政部營建署，臺北（2004）。
3. 內政部營建署，振興經濟擴大公共建設投資計畫：建築風貌環境整建示範計畫，建築風貌整建部分之經費補助及執行管考要點（2009）。
4. 江立偉，「建築物外牆公共安全目視診斷評估方法之研究」，碩士論文，國立高雄大學都市發展與建築研究所，高雄（2009）。
5. 杜功仁，「臺灣住宅整建需求之特性」，建築學報，NO.39，第 87-100 頁(2002)。
6. 依日光，「紅外線遙感測熱法」，復漢出版社，臺北（2001）。
7. 林世堂，「外牆磁磚剝落原因及對策探討」，空間雜誌特別增刊，第 284-291 頁（1993）。
8. 林宏義，建築物外飾材施工品質之非破壞檢測，朝陽科技大學營建工程所碩士論文（2005）。

9. 林谷陶，紅外線熱影像法於外牆磁磚表面溫度檢測特性之實驗研究，內政部建築研究所自行研究報告（2011）。
10. 施建志、蘇家慶，「建築物劣化問題及其修復」，工業材料雜誌，第 123 期，第 117-125 頁（1997）。
11. 連韋慶，非破壞檢測技術於建築物缺陷檢測，國立成功大學土木工程研究所碩士論文（2008）。
12. 陳俊菁，應用紅外線攝溫影像術檢測磁磚黏貼完整性，朝陽科技大學營建工程所碩士論文（2004）。
13. 郭斯傑、黎昌憲、李育陞，「建築物外牆整建更新之法令制度與關鍵因素分析」，物業管理學報，第 2 卷,第 1 期,第 1-12 頁（2011）。
14. 郭斯傑、黃世孟、張智元、江立偉，「建築立面更新健診與評估系統之研究」，內政部建築研究所研究報告，新北市（2011）。
15. 曾志煌等，「路面缺陷影像辨識技術之研發」，交通部運輸研究所研究報告，臺北（2010）。
16. 張耀祖，建築物外牆磁磚劣化檢測診斷應用之研究-以臺灣大學校園建築物為例，碩士論文，國立臺灣大學土木工程學研究所，臺北（2013）。
17. 楊詩泓、粘世孟，「臺北市建築物外牆維護管理評估指標制定之研究」，建築學報，第 82 期，第 1-20 頁（2012）。
18. 廖洪鈞等，「坡地災害緊急搶修與復建整合技術研究」，交通部運輸研究所研究報告，臺北（2007）。
19. 鄭子揚，建築物之紅外線熱影像法檢測，朝陽科技大學營建工程所碩士論文（2005）。
20. 臺北市政府，臺北好好看之系列計畫三：好區位新風貌清理老舊牆面（2009）。
21. 譯以德、楊松裕，「建築外部鐵窗之探討」，中華民國建築學會第八屆建築研究成果發表會論文集，臺北，第 609-616 頁（1995）。

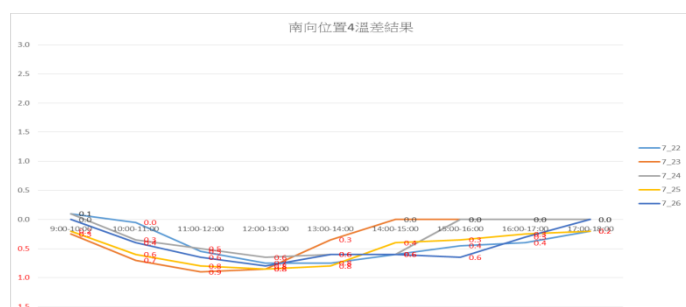
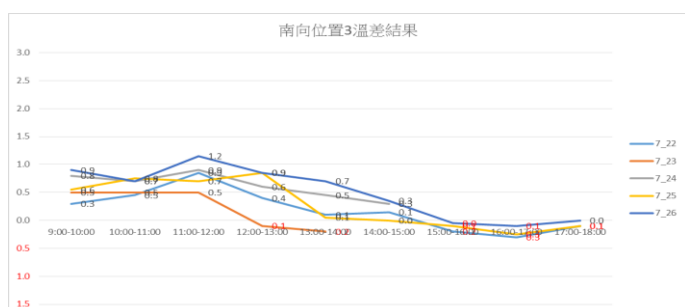
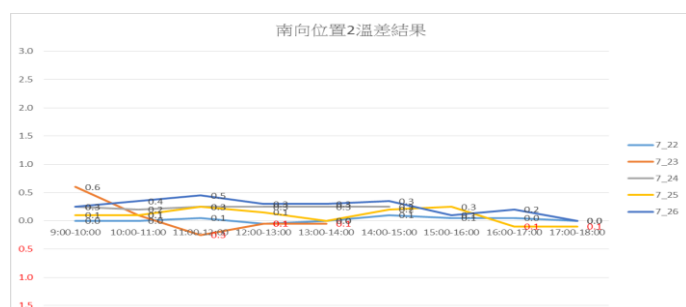
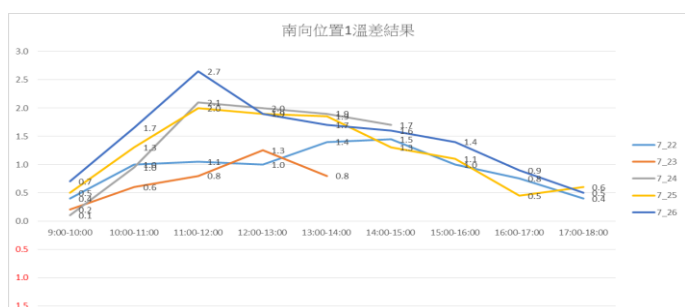
附錄

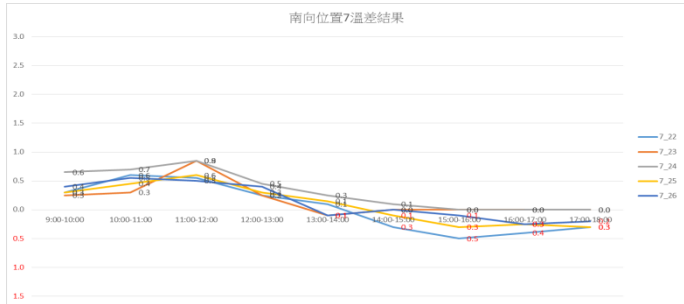
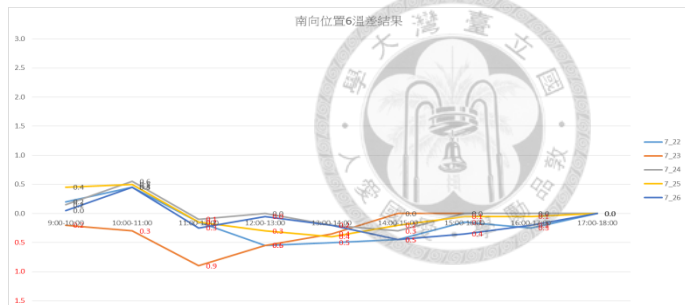
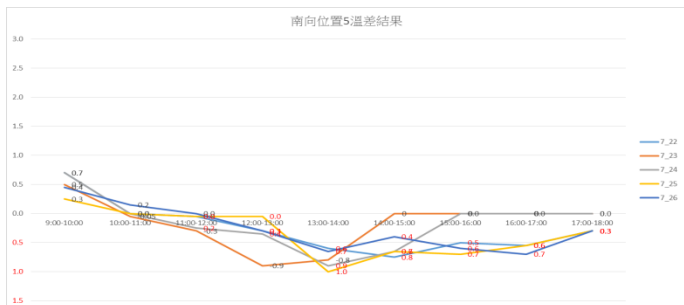
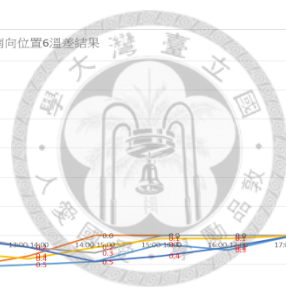


附錄一 原分所試驗資料 東向

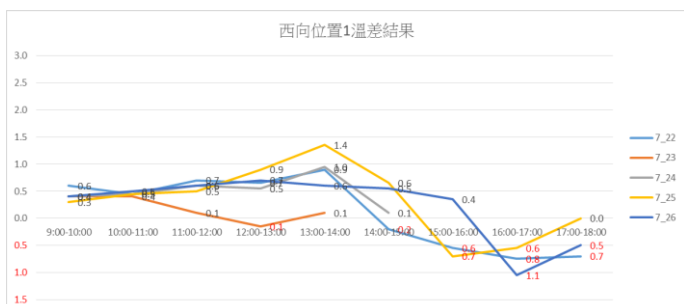


南向

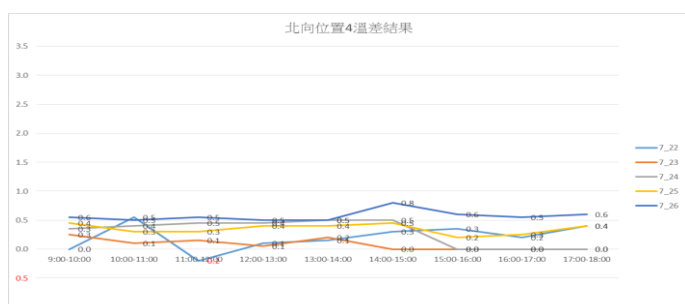
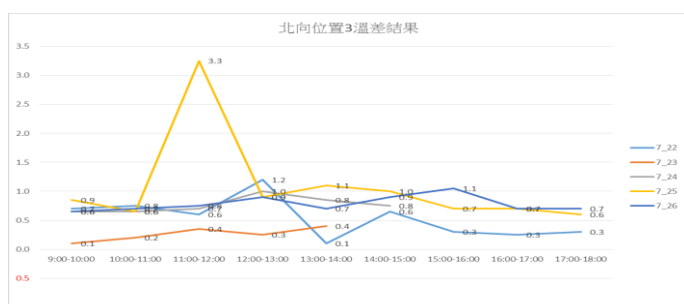
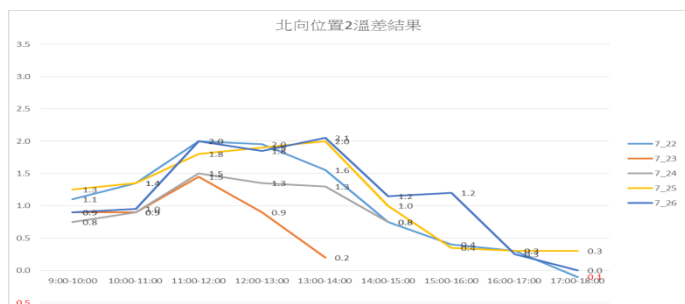
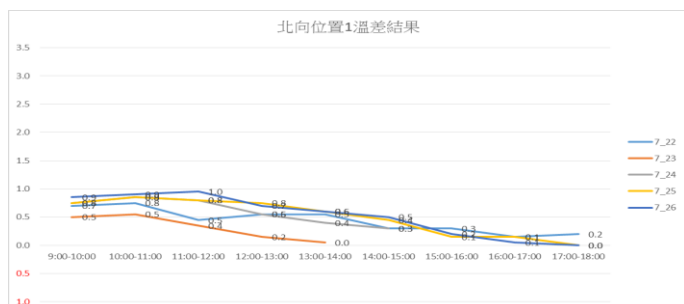


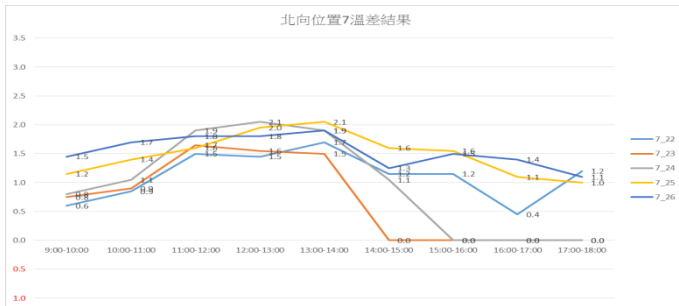
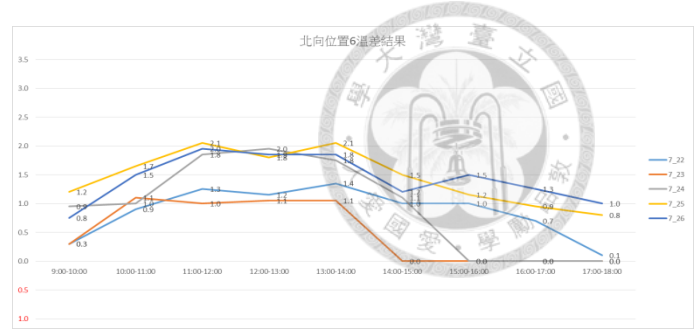
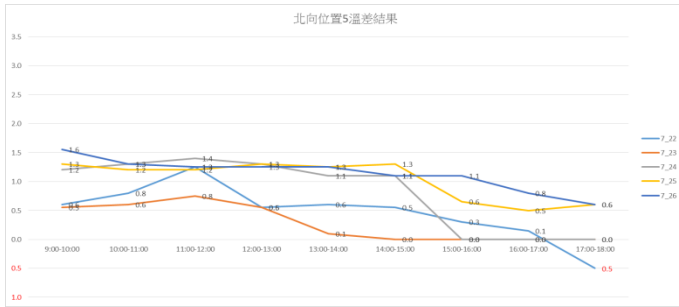


西向



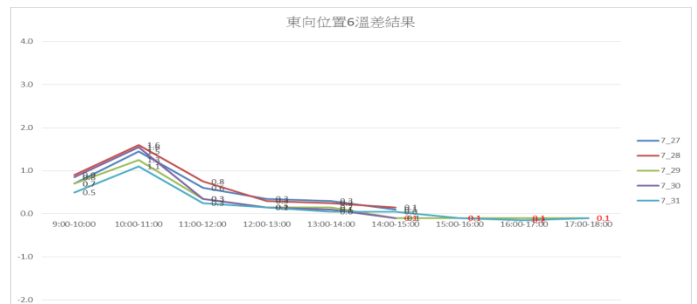
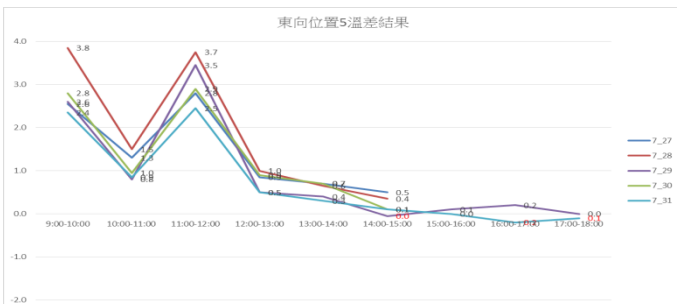
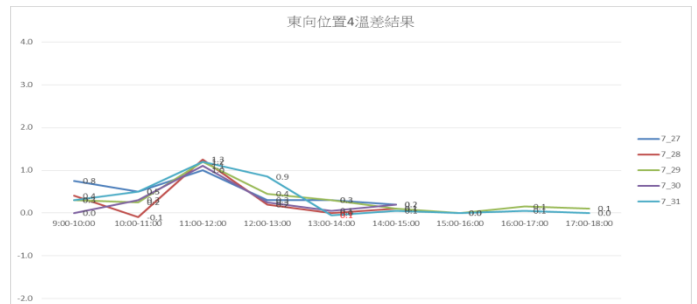
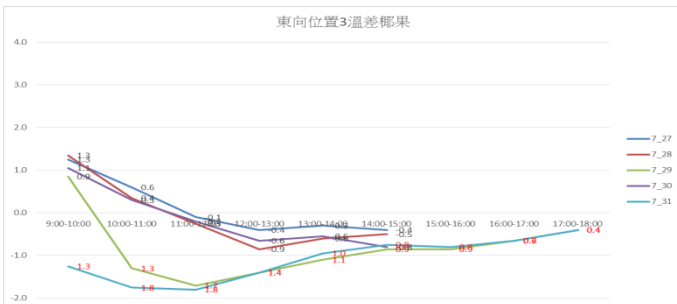
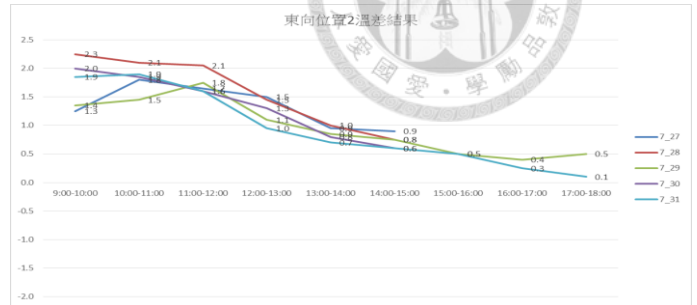
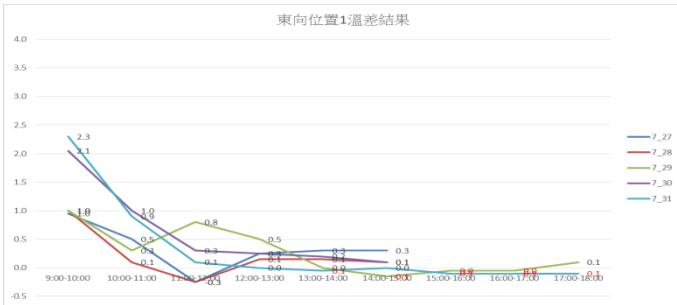
北向



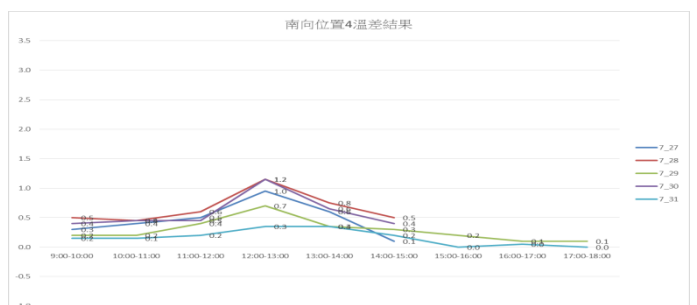
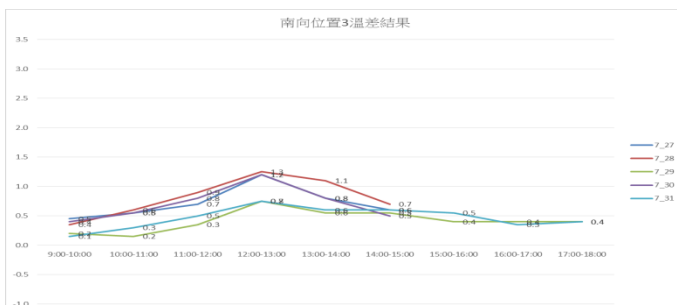
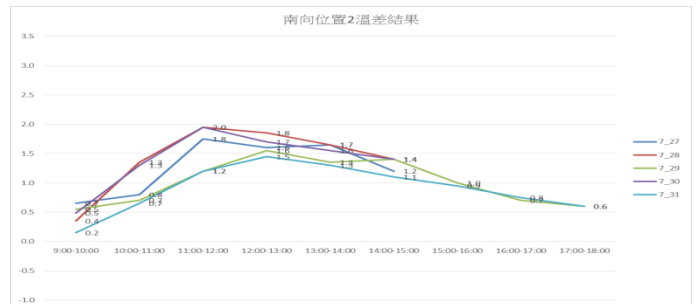
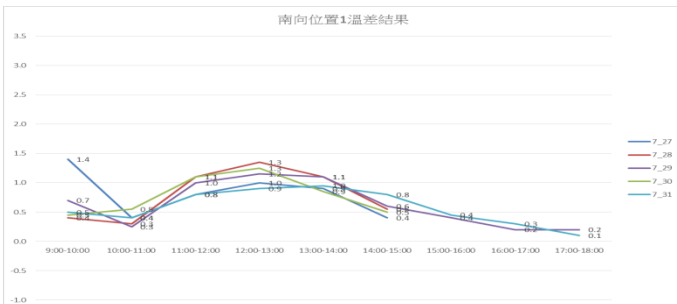


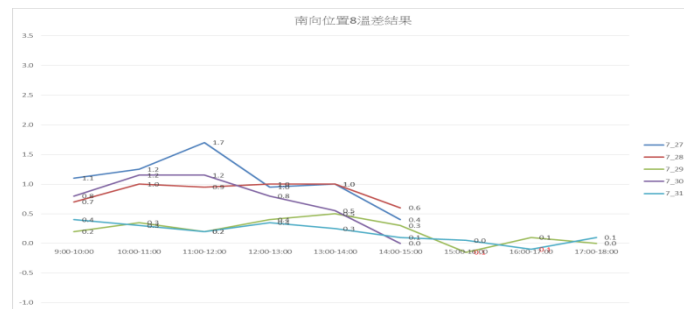
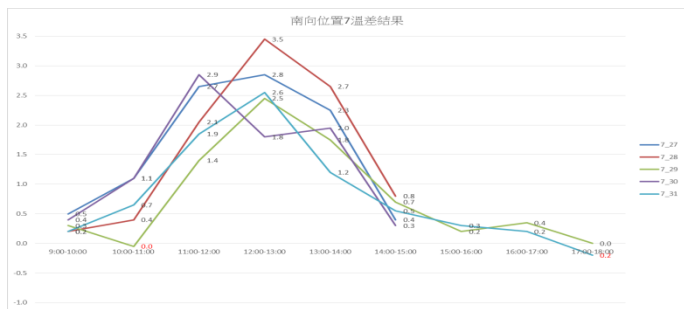
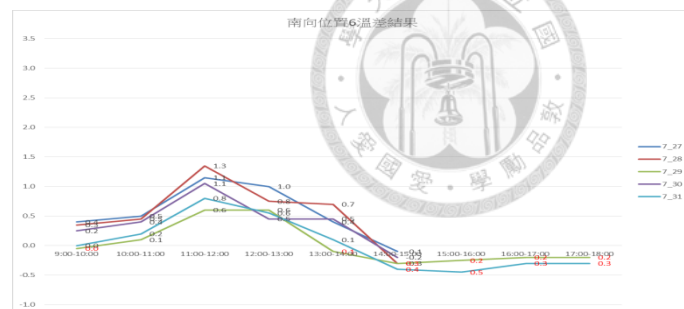
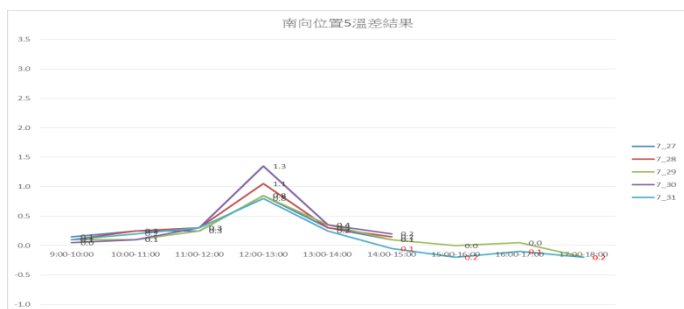
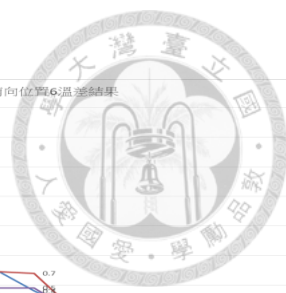
附錄二 化學工程館試驗資料

東向

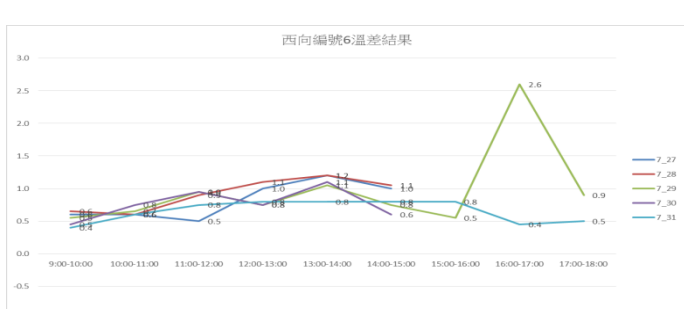
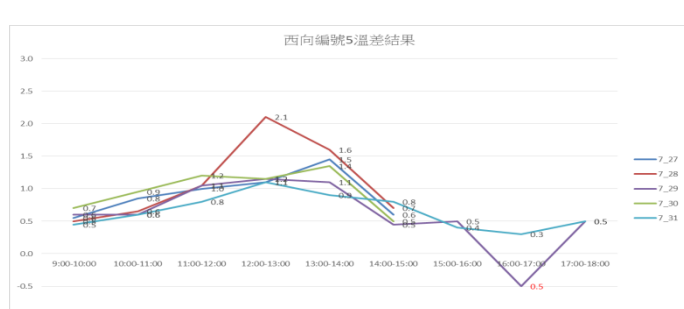
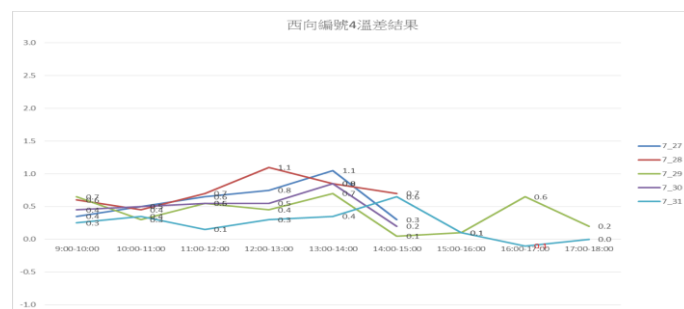
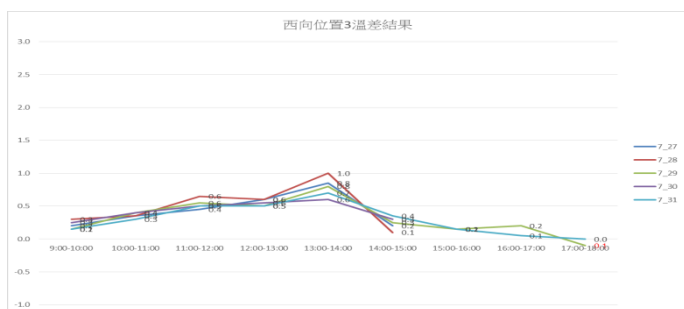
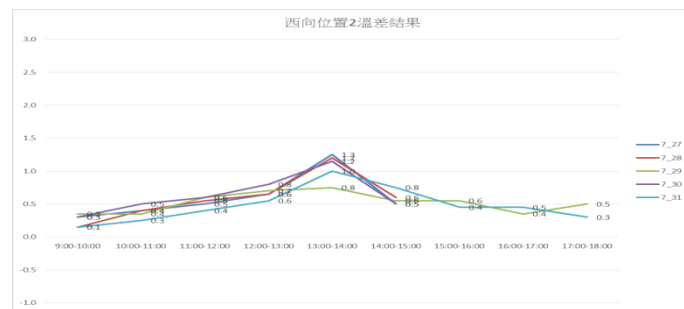
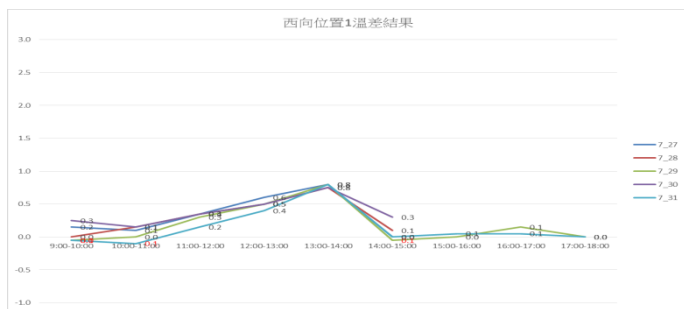


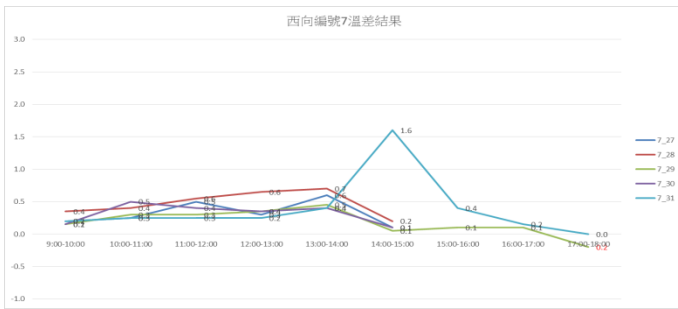
南向



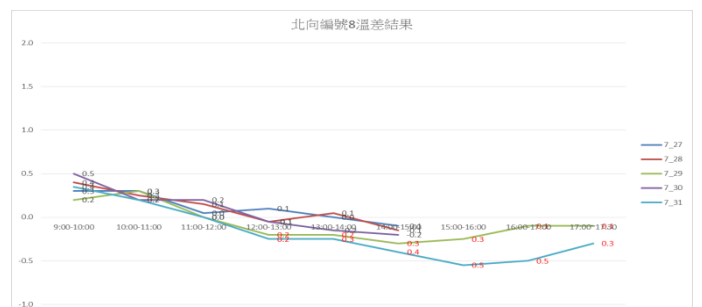
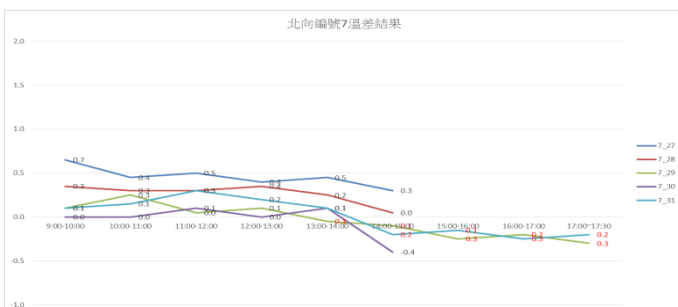
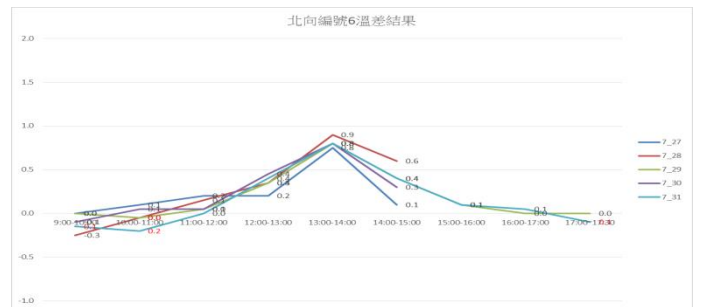
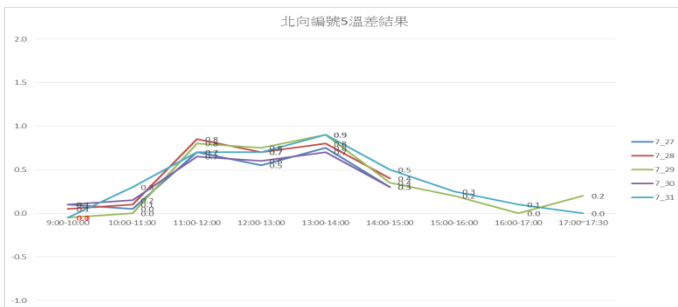
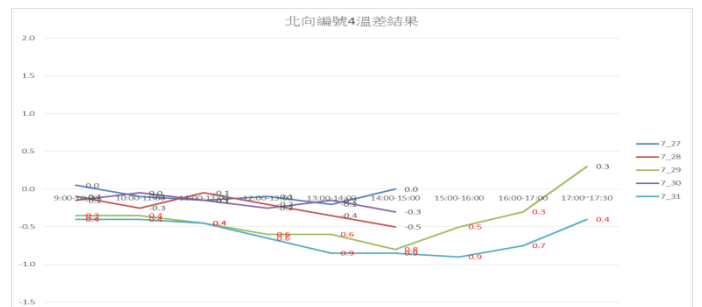
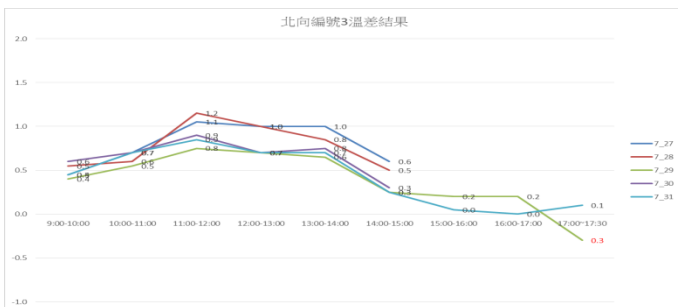
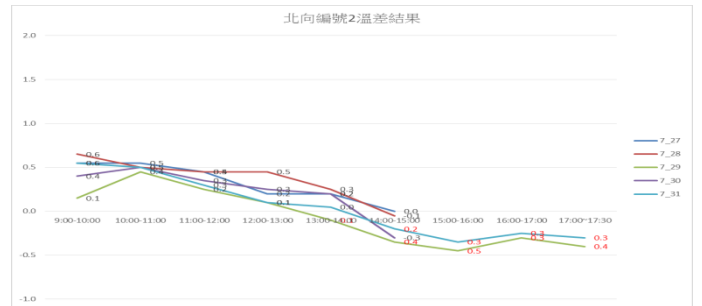
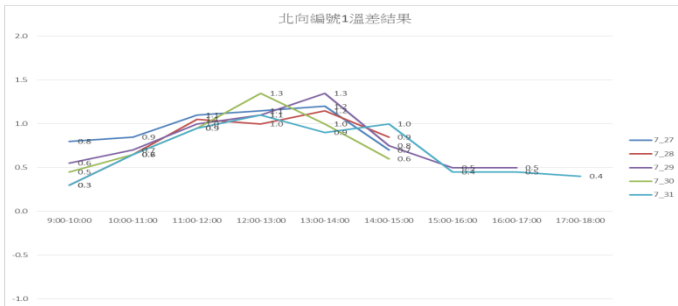


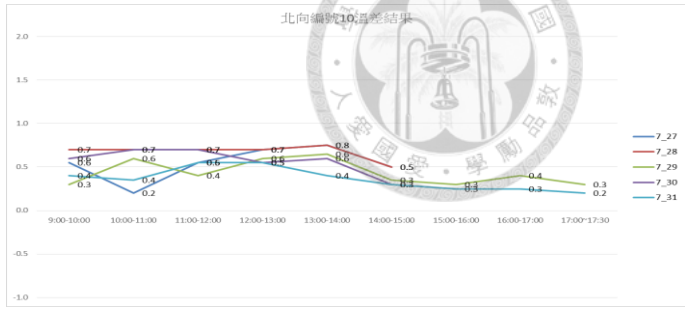
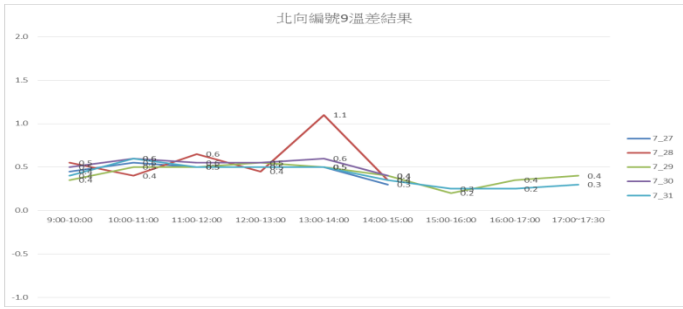
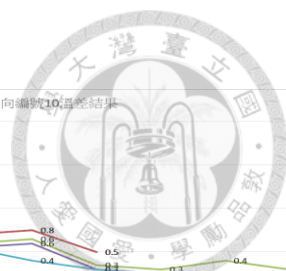
西向





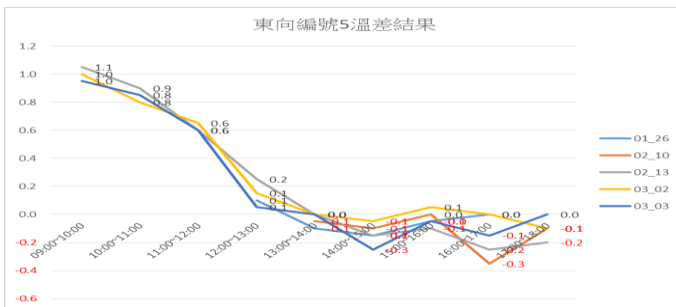
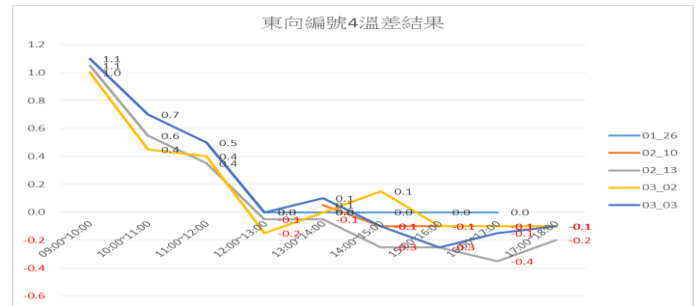
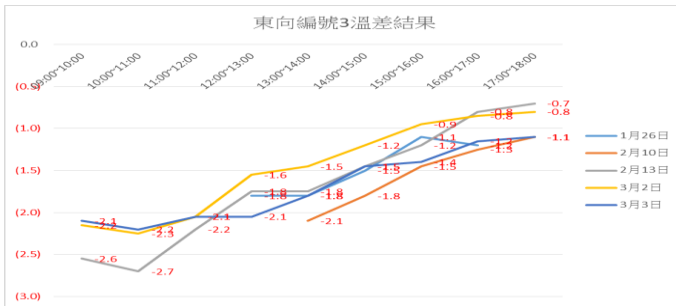
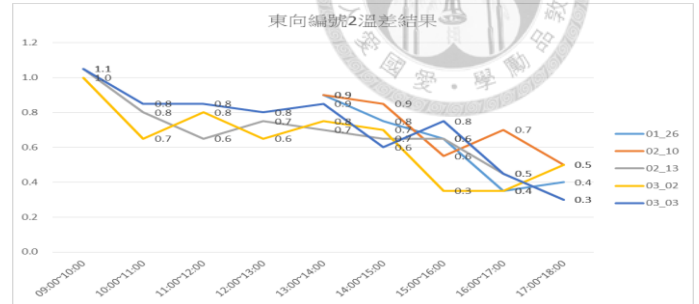
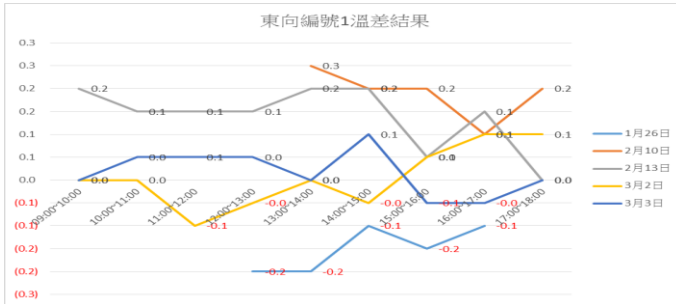
北向



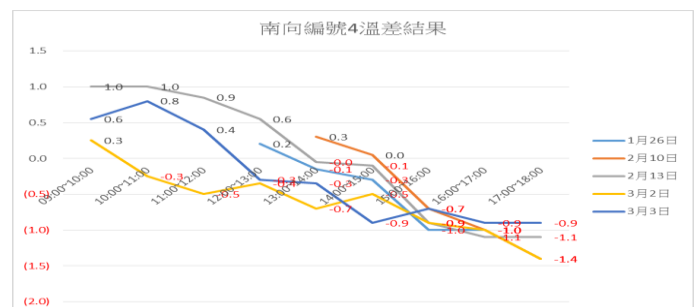
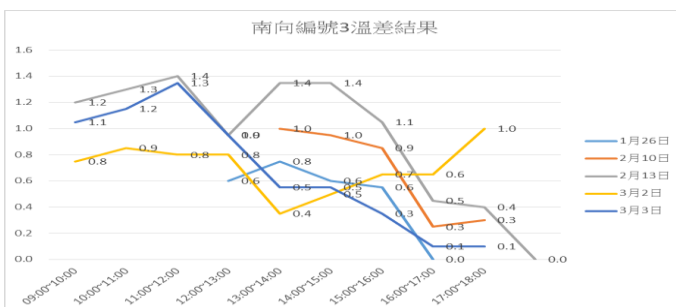
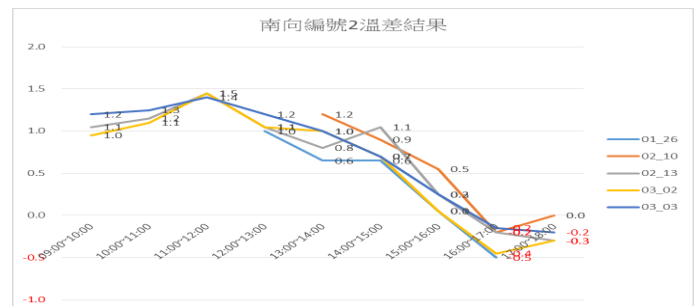
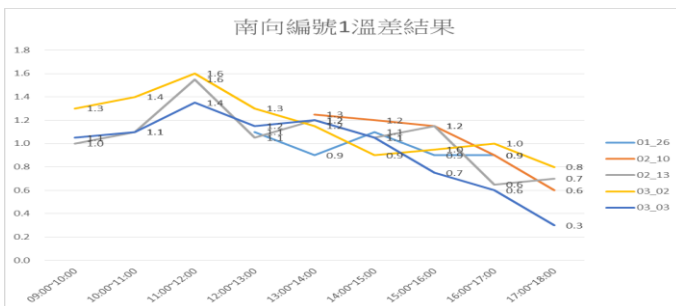


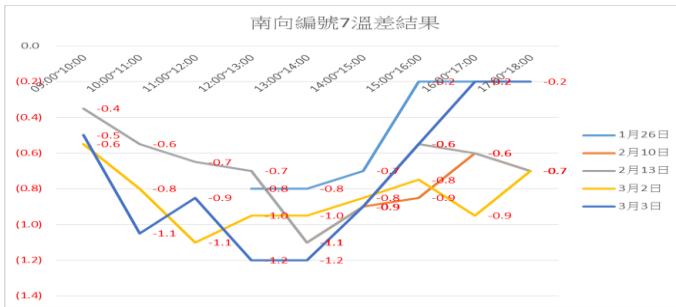
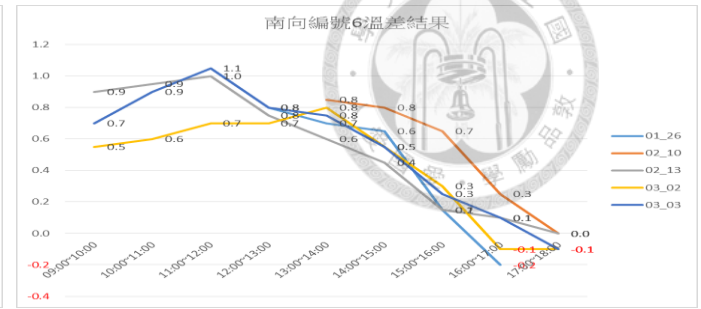
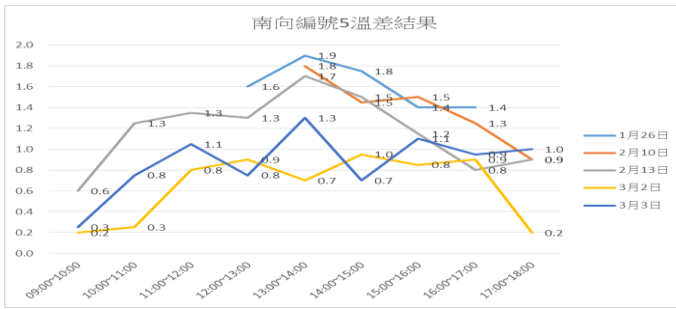
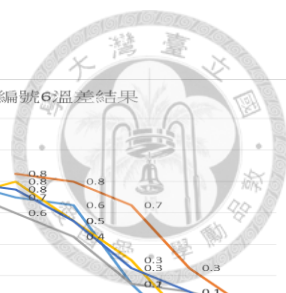
附錄三 總圖書館試驗資料

東向

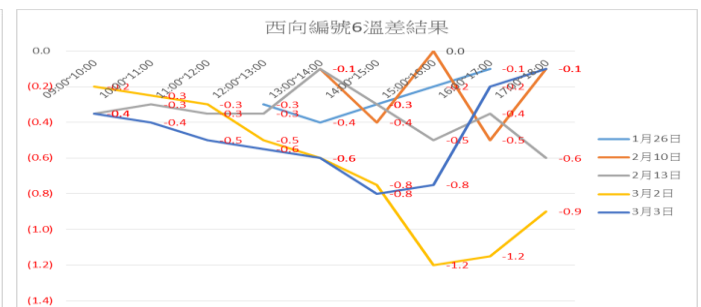
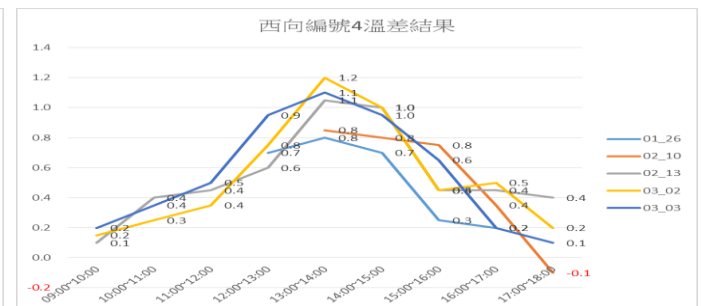
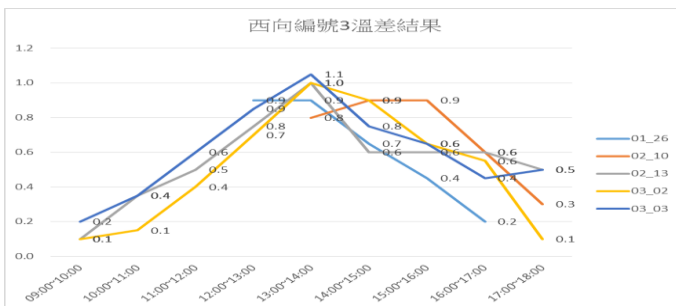
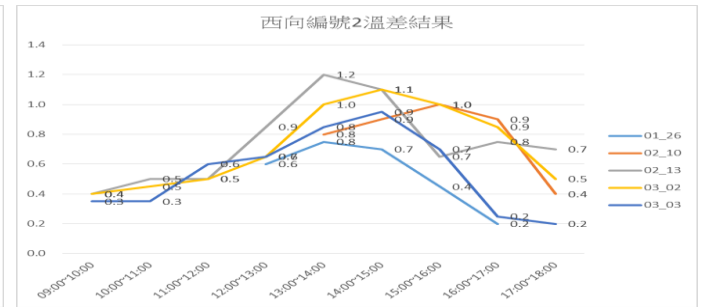
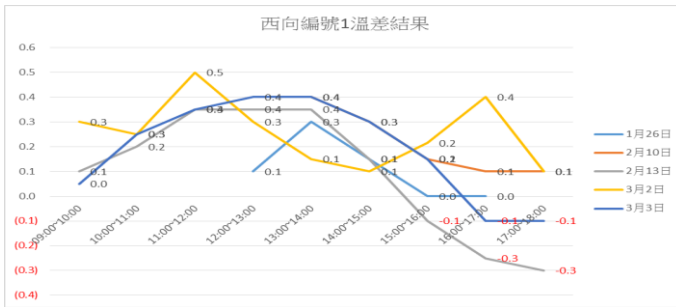


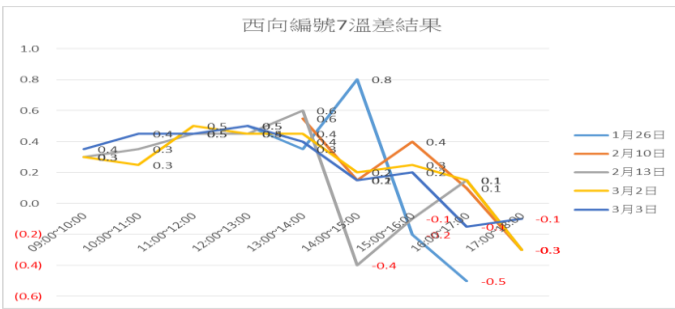
南向



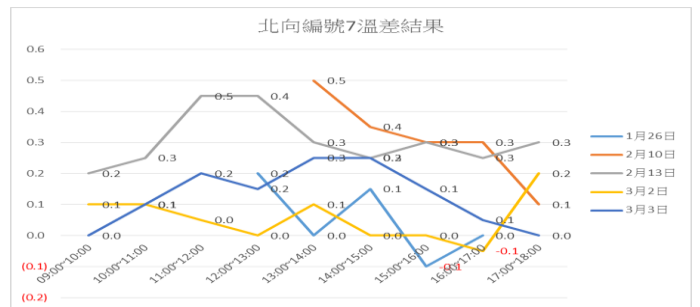
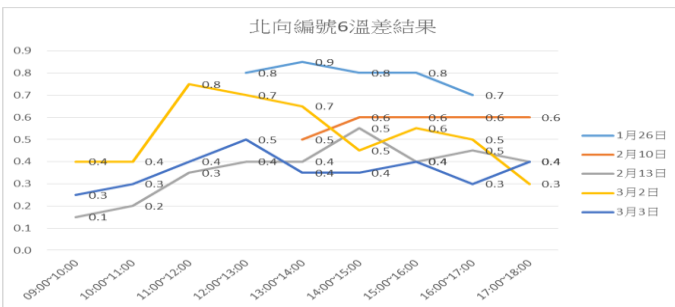
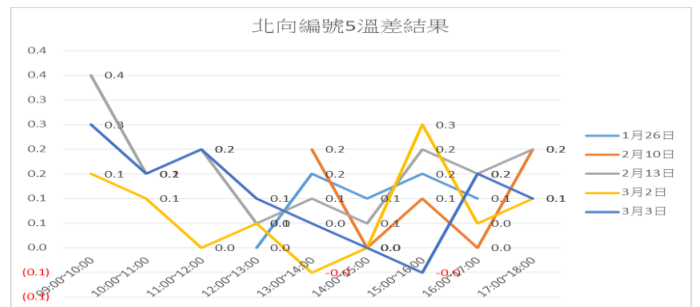
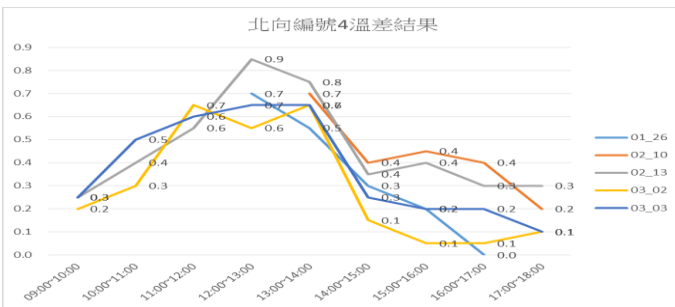
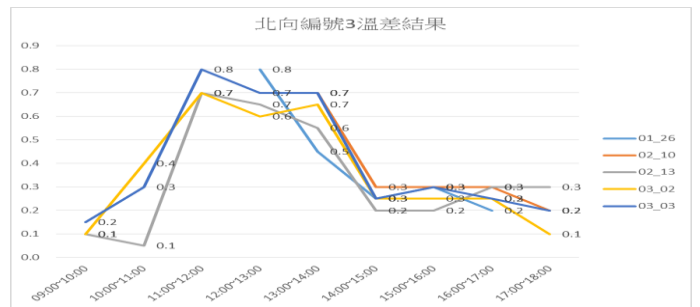
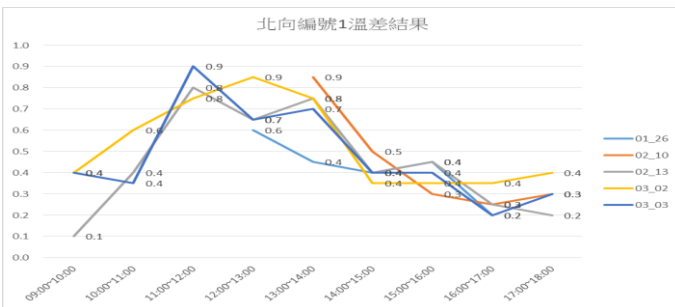


西向



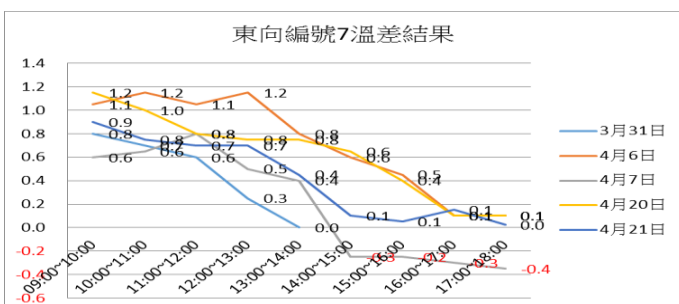
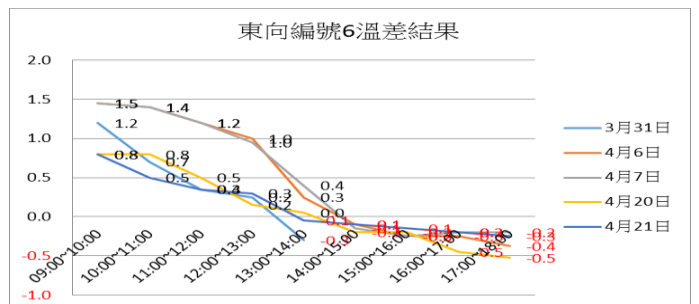
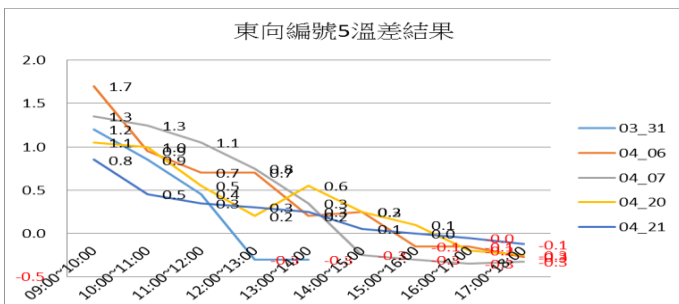
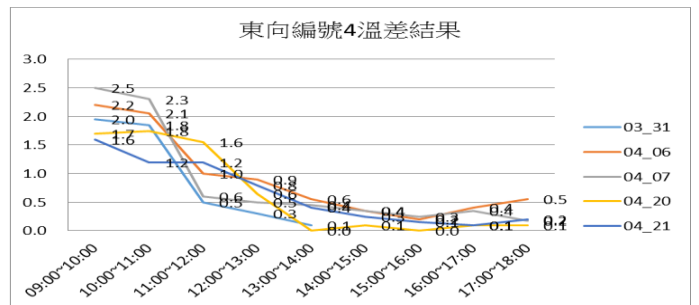
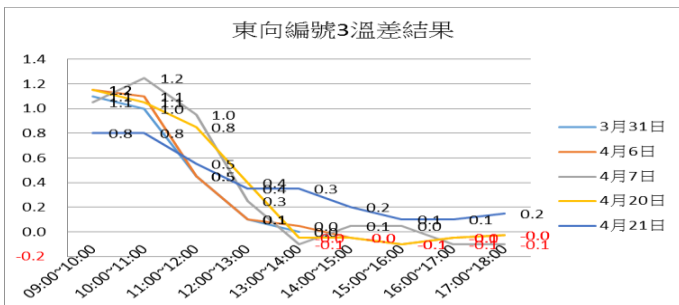
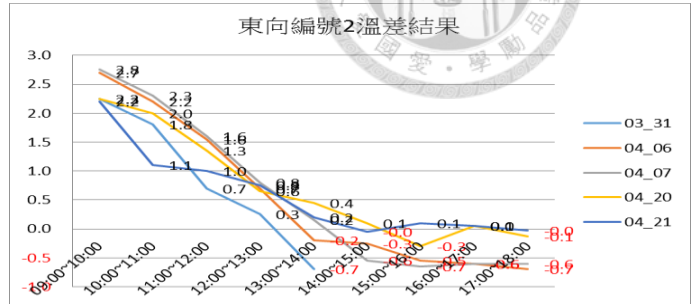
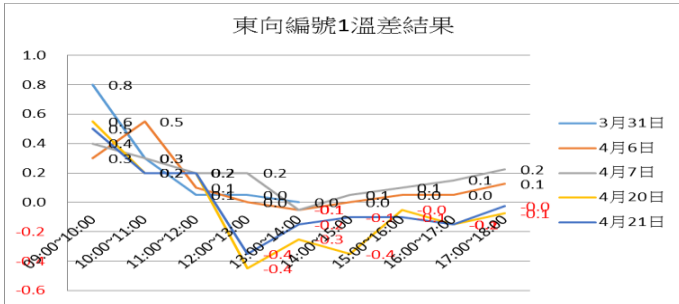


北向

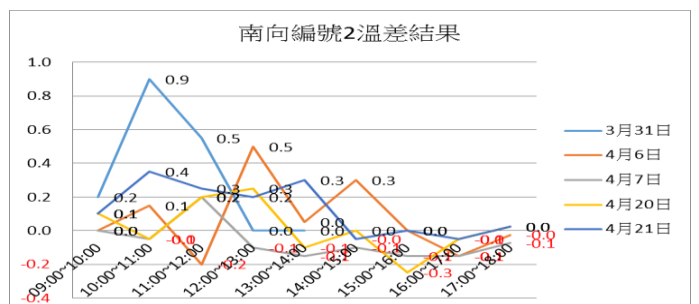
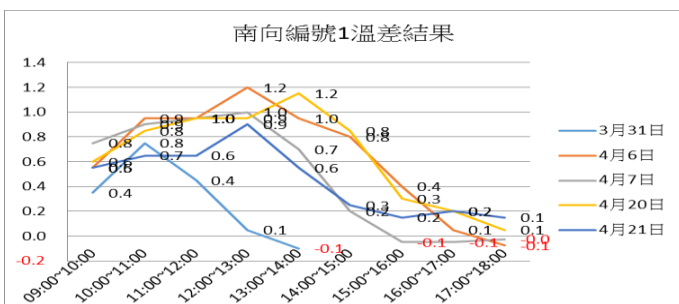


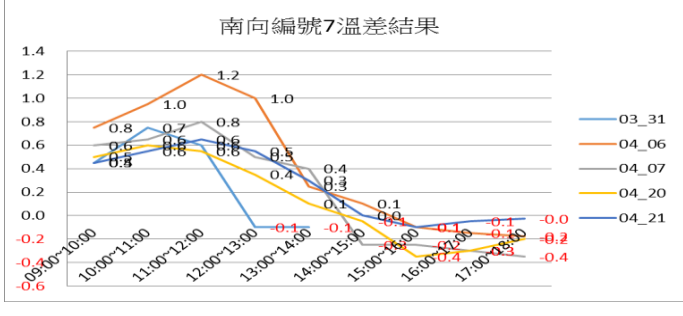
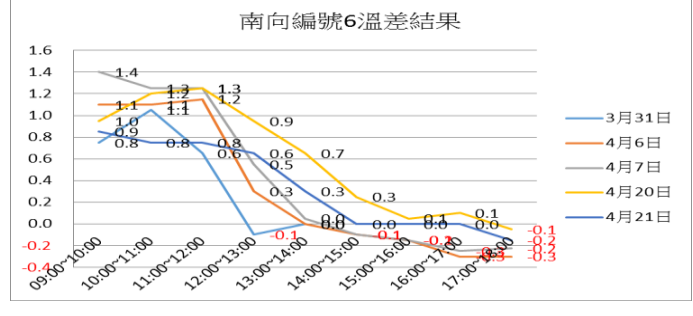
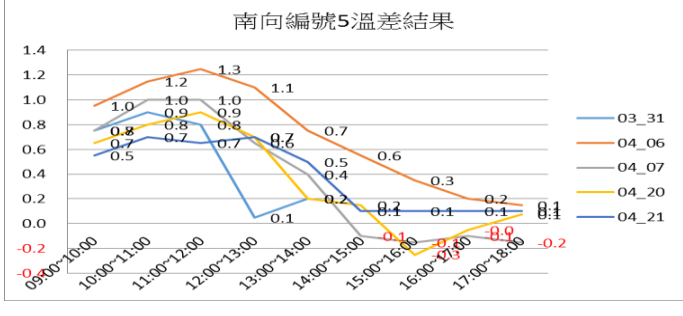
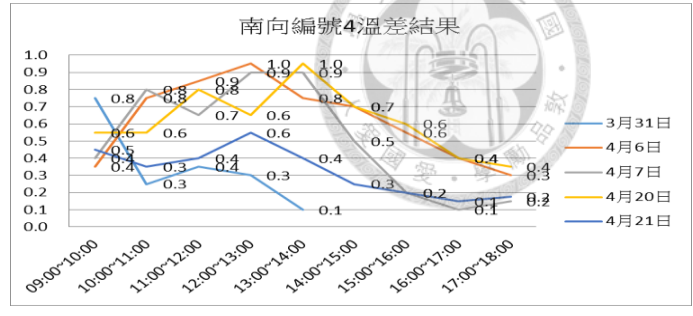
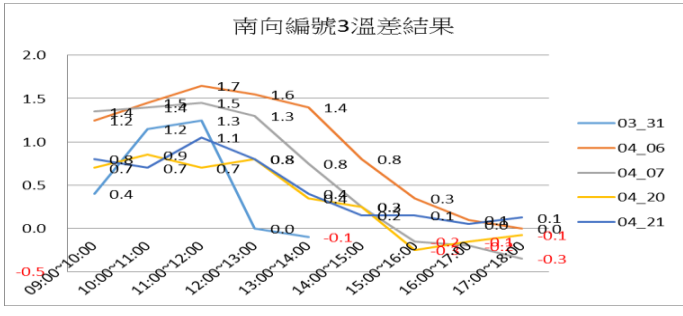
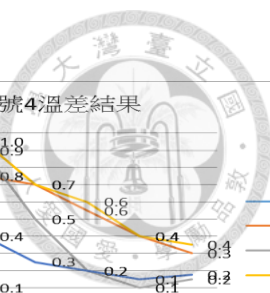
附錄四 水工所試驗資料

東向

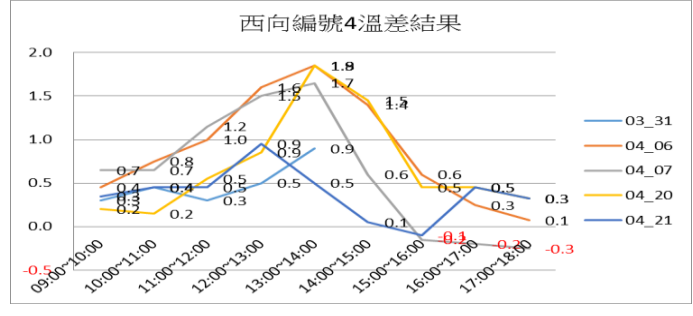
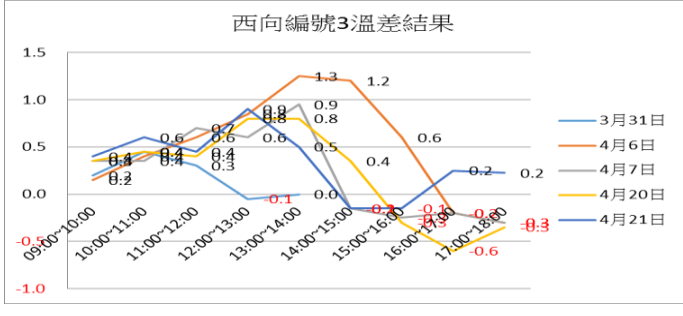
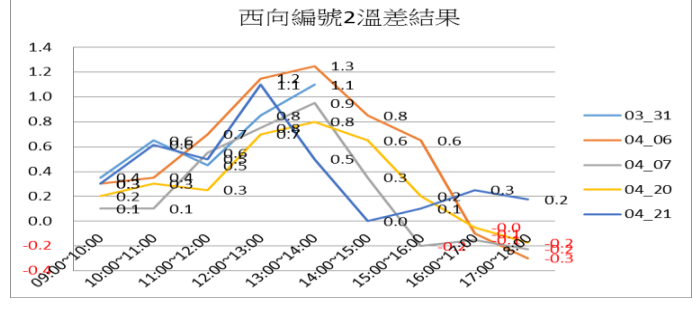
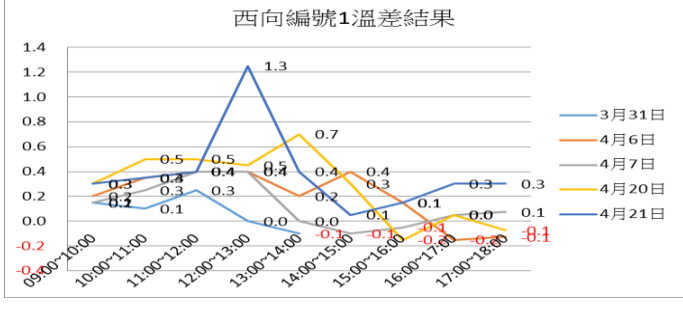


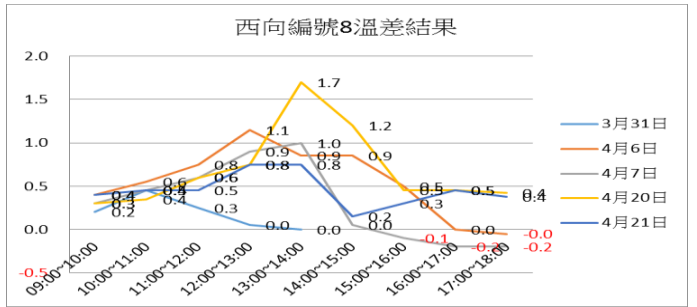
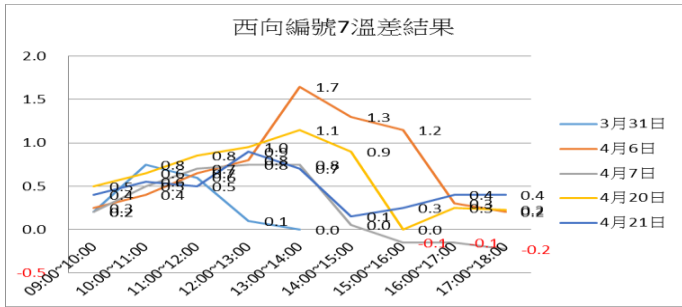
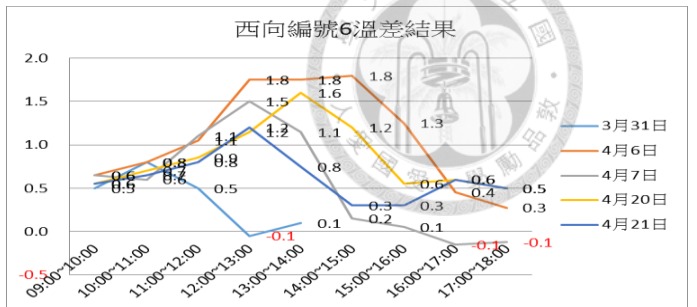
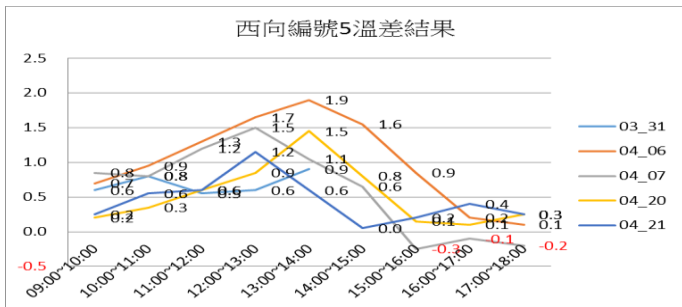
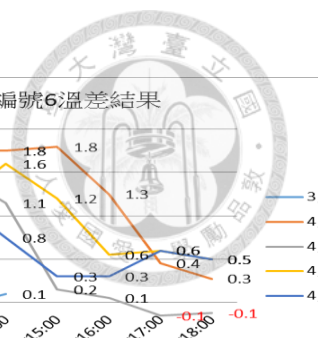
南向





西向





北向

