

塗裝材料對水泥質基材耐候性能改善之試驗研究

研究主持人：李玉生 主任秘書

協同主持人：楊仲家 教授

研 究 員：卓世偉、林谷陶

研究助理：翁在龍、江慶堂

內政部建築研究所委託研究期末報告

中華民國 98 年 10 月

摘要

本研究針對塗裝材料對劣化環境中的水泥質材料耐候性能進行試驗研究。藉由力學分析試驗、孔隙結構量測、透水性能與氯離子侵入評估試驗、色差與光澤度量測、及接觸角量測等試驗結果，達到日曬溫度對水泥質材料耐候性質改變的瞭解，以及塗料於加速環境下水泥砂漿基材的防護效果研究。研究於今年二月開始執行至今，已完成各種塗裝試片的製作工作，並依設計之劣化期程，完成各種加速劣化試驗，工作進度良好。

由研究成果發現，試體添加海菜粉會將降低其抗壓與抗拉強度。而未塗裝試體在溫度劣化下，抗拉強度有較明顯的影響，抗壓強度則較不顯著。於日光模擬劣化方面，可以發現色差與光澤度均隨著劣化時間的進行有所變化，但在 200 小時後總色差變化趨緩，以美國國家標準局分類已屬於顏色改變明顯範圍，其中以壓克力漆總色差變化最大。水霧劣化亦以壓克力漆總色差變化最大，但其總色差值依分類僅屬於感覺輕微與感覺明顯之間。光澤度研究上，以使用晴雨漆塗裝的試體光澤度變化較大。在自潔性能方面，除了無機塗料與晴雨漆塗料會因劣化而有接觸角變化外，其他差異並不大。水霧劣化則不會對塗料的自潔性能造成影響。溫度劣化雖對力學性質影響不大，但對透水量與氯離子穩態傳輸係數確有較大的改變，應可反應為溫度造成試體微裂縫成長，此由 MIP 孔隙量測中得到佐證。塗料雖於未劣化時有保護水泥質基材效果，但其耐候耐久性質仍受溫度加速劣化的影響而有變差現象。

目次

摘要	I
目次	II
圖目次	IV
表目次	VIII
第一章 緒論	1
1-1 研究緣起與背景	1
1-2 研究目的	2
1-3 相關國內外研究分析	4
1-4 進度說明	5
第二章 文獻回顧	7
2-1 水泥質材料劣化過程	7
2-2 塗料劣化過程	11
第三章 實驗計畫與方法	13
3-1 實驗試體設計	13
3-1-1 水泥質材料基材設計	13
3-1-2 塗裝設計	15
3-2 試體劣化設計	19
3-3 劣化後試驗分析	28
3-3-1 力學性質分析試驗	28
3-3-2 孔隙結構量測試驗	29
3-3-3 透水性能試驗	30
3-3-4 氯離子性能試驗	31

3-3-5	色差與光澤度量測試驗.....	33
3-3-6	接觸角量測試驗.....	35
第四章	研究結果與討論	37
4-1	力學試驗結果分析	37
4-2	塗裝試體劣化後色差分析	41
4-3	塗料劣化後光澤分析	56
4-4	塗料劣化後接觸角分析	63
4-5	透水試驗結果分析	69
4-5	氯離子性能評估試驗結果分析	79
4-6	孔隙結構量測結果	90
第五章	結論與建議	106
5-1	研究發現與結論	106
5-2	建議事項	108
參考文獻	109

圖目次

圖 1-1	研究流程圖	3
圖 2-1	水泥質材料孔隙結構與水氣傳輸之間的關係	8
圖 2-2	耐久性因子與混凝土相對濕度及腐蝕關係圖	10
圖 3-1	細骨材粒徑分佈圖	14
圖 3-2	試體表面以 200 號砂紙磨平之前處理過程	18
圖 3-3	試體塗裝前表面大孔隙以批土填補	18
圖 3-4	本研究各種形式試體塗裝後情形	19
圖 3-5	我國 1971 年至 2000 年每月平均最高溫度變化圖	21
圖 3-6	我國 1971 年至 2000 年每月溫度大於 30°C 的平均日數變化圖	22
圖 3-7	我國 1971 年至 2000 年每年溫度大於 30°C 平均日數	22
圖 3-8	本研究烘箱加速劣化循環流程圖	23
圖 3-9	本研究試體進行烘箱加速劣化情形	24
圖 3-10	SUGA X75 氬弧燈耐候試驗機外觀	27
圖 3-11	試驗槽內之氬弧燈與試片迴轉框	27
圖 3-12	水泥砂漿試體抗壓強度試驗	28
圖 3-13	水泥砂漿試體抗拉強度試驗	29
圖 3-14	Autopore 9500 壓汞孔隙儀	30
圖 3-15	透水試驗設備	31
圖 3-16	貯鹽試驗	32
圖 3-17	塗料試片顏色差異量測設備	34
圖 3-18	塗料試片光澤度量測設備	35
圖 3-19	FTA 188 接觸角量測試驗設備	36

圖 4-1 50°C 與 75°C 劣化後試體相對於 25°C 室溫狀態抗壓強度比值關係圖	39
圖 4-2 50°C 與 75°C 劣化後試體相對於 25°C 室溫狀態抗壓強度比值關係圖	40
圖 4-3 未塗裝試體 50°C 與 75°C 劣化後對於 25°C 室溫狀態抗壓強度比值關係圖	40
圖 4-4 塗裝試體 25°C 室溫狀態對未塗裝配比強度比值關係圖	41
圖 4-5 未使用海藻粉配比試體各種塗裝日光劣化總色差變化情形	54
圖 4-6 使用海藻粉配比試體各種塗裝日光劣化總色差變化情形	55
圖 4-7 各種塗裝水霧劣化總色差變化情形	55
圖 4-8 未使用海藻粉配比試體各種塗裝日光劣化光澤度變化情形	62
圖 4-9 使用海藻粉配比試體各種塗裝日光劣化光澤度變化情形	62
圖 4-10 各種塗裝水霧劣化光澤度變化情形	63
圖 4-11 各種塗裝日光劣化接觸角變化情形	68
圖 4-12 各種塗裝日光劣化接觸角變化情形	68
圖 4-13 未經烘箱加速劣化試體透水量比較圖（加壓時間：72 小時）	71
圖 4-14 未添加海藻粉配比烘箱加速劣化透水量比較圖（加壓時間：1 小時）	78
圖 4-15 添加海藻粉配比烘箱加速劣化透水量比較圖（加壓時間：1 小時） ..	78
圖 4-16 未塗裝控制組溫度劣化後氯離子含量與深度的關係圖	79
圖 4-17 壓克力漆塗裝試體溫度劣化後氯離子含量與深度的關係圖	80
圖 4-18 環氧樹脂漆塗裝試體溫度劣化後氯離子含量與深度的關係圖	80
圖 4-19 無機漆塗裝試體溫度劣化後氯離子含量與深度的關係圖	81
圖 4-20 晴雨漆塗裝試體溫度劣化後氯離子含量與深度的關係圖	81
圖 4-20 未劣化 CA45 試體迴歸計算氯離子擴散係數.....	82
圖 4-21 未塗裝控制組試體經烘箱溫度劣化後氯離子擴散係數比較圖	87
圖 4-22 壓克力漆塗裝試體經烘箱溫度劣化後氯離子擴散係數比較圖	88

圖 4-23 環氧樹脂漆塗裝試體經烘箱溫度劣化後氯離子擴散係數比較圖	88
圖 4-24 無機漆塗裝試體經烘箱溫度劣化後氯離子擴散係數比較圖	89
圖 4-25 晴雨漆塗裝試體經烘箱溫度劣化後氯離子擴散係數比較圖	89
圖 4-26 CA45 配比 50°C 烘箱劣化孔徑與水銀貫入量關係圖	90
圖 4-27 未塗裝控制組配比烘箱劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖	91
圖 4-28 壓克力塗裝 A 組配比烘箱劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖	92
圖 4-29 壓克力塗裝 B 組配比烘箱劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖	92
圖 4-30 環氧樹脂塗裝 A 組配比烘箱劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖	93
圖 4-31 環氧樹脂塗裝 B 組配比烘箱劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖	93
圖 4-32 無機漆塗裝 A 組配比烘箱劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖	94
圖 4-33 無機漆塗裝 B 組配比烘箱劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖	94
圖 4-34 晴雨漆塗裝 A 組配比烘箱劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖	95
圖 4-35 晴雨漆塗裝 B 組配比烘箱劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖	95
圖 4-36 未塗裝控制組配比烘箱劣化後各孔徑貫入量相對比例比較圖	96
圖 4-37 壓克力漆塗裝配比烘箱劣化後各孔徑貫入量相對比例比較圖	97
圖 4-38 環氧樹脂漆塗裝配比烘箱劣化後各孔徑貫入量相對比例比較圖	97
圖 4-39 無機漆塗裝配比烘箱劣化後各孔徑貫入量相對比例比較圖	98
圖 4-40 晴雨漆塗裝配比烘箱劣化後各孔徑貫入量相對比例比較圖	98
圖 4-41 未塗裝控制組烘箱劣化 10 至 10000 nm 孔徑貫入量相對比例比較圖 ...	99
圖 4-42 壓克力漆塗裝烘箱劣化 10 至 10000 nm 孔徑貫入量相對比例比較圖 .	100
圖 4-43 環氧樹脂漆塗裝烘箱劣化 10 至 10000 nm 孔徑貫入量相對比例比較圖	100
圖 4-44 無機漆塗裝烘箱劣化 10 至 10000 nm 孔徑貫入量相對比例比較圖	101
圖 4-45 晴雨漆塗裝烘箱劣化 10 至 10000 nm 孔徑貫入量相對比例比較圖	101
圖 4-46 無塗裝控制組水霧劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖	102

圖 4-47	無塗裝控制組水霧劣化後孔徑與水銀貫入量關係圖	103
圖 4-48	壓克力塗裝試體水霧劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖	104
圖 4-49	環氧樹脂漆塗裝試體水霧劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖	104
圖 4-50	無機漆塗裝試體水霧劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖	105
圖 4-51	晴雨漆塗裝試體水霧劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖	105

表目次

表 3-1	水泥砂漿配比表(Kg/m ³).....	14
表 3-2	試體變數設計表.....	15
表 3-3	水霧加速劣化過程與參數設定.....	25
表 3-4	日光加速劣化過程與參數設定.....	26
表 4-1	抗壓強度試驗結果 (kgf/cm ²)	38
表 4-2	抗拉強度試驗結果 (kgf/cm ²)	39
表 4-3	日光劣化試驗色差分析之 X、Y、Z 三刺激值量測結果 1.....	42
表 4-4	日光劣化試驗色差分析之 X、Y、Z 三刺激值量測結果 2.....	43
表 4-5	日光劣化試驗色差分析之 X、Y、Z 三刺激值量測結果 3.....	44
表 4-6	日光劣化試驗色差分析之 X、Y、Z 三刺激值量測結果 4.....	45
表 4-7	水霧劣化試驗色差分析之 X、Y、Z 三刺激值量測結果 1.....	46
表 4-8	水霧劣化試驗色差分析之 X、Y、Z 三刺激值量測結果 2.....	47
表 4-9	日光劣化試驗色差分析總色差 ΔE^*_{ab} 計算值 1.....	49
表 4-10	日光劣化試驗色差分析總色差 ΔE^*_{ab} 計算值 2.....	50
表 4-11	日光劣化試驗色差分析總色差 ΔE^*_{ab} 計算值 2 (續表 4-5)	51
表 4-12	日光劣化試驗色差分析總色差 ΔE^*_{ab} 計算值 2 (續表 4-5)	52
表 4-13	水霧劣化試驗色差分析總色差 ΔE^*_{ab} 計算值.....	53
表 4-14	日光劣化試驗光澤度改變值 1.....	56
表 4-15	日光劣化試驗光澤度改變值 2.....	57
表 4-16	日光劣化試驗光澤度改變值 3.....	58
表 4-17	日光劣化試驗光澤度改變值 4.....	59
表 4-18	水霧劣化試驗光澤度改變值 1.....	60

表 4-19	水霧劣化試驗光澤度改變值 2.....	61
表 4-20	日光劣化試驗接觸角量測值 1.....	64
表 4-21	日光劣化試驗光澤度改變值 4.....	65
表 4-22	水霧劣化試驗接觸角改變值 1.....	66
表 4-23	水霧劣化試驗接觸角改變值 2.....	67
表 4-25	試體未經烘箱加速劣化透水試驗結果（加壓時間：72 小時） 2.....	70
表 4-26	溫度加速劣化試體透水試驗結果（加壓時間：1 小時） 1.....	72
表 4-27	溫度加速劣化試體透水試驗結果（加壓時間：1 小時） 2.....	73
表 4-28	溫度加速劣化試體透水試驗結果（加壓時間：1 小時） 3.....	74
表 4-29	溫度加速劣化試體透水試驗結果（加壓時間：1 小時） 4.....	75
表 4-30	溫度加速劣化試體透水試驗結果（加壓時間：1 小時） 5.....	76
表 4-31	溫度加速劣化試體透水試驗結果（加壓時間：1 小時） 6.....	77
表 4-32	各變數試體貯鹽試驗計算之氯離子擴散係數 1.....	83
表 4-33	各變數試體貯鹽試驗計算之氯離子擴散係數 2.....	84
表 4-34	各變數試體貯鹽試驗計算之氯離子擴散係數 3.....	85
表 4-35	各變數試體貯鹽試驗計算之氯離子擴散係數 4.....	86

第一章 緒論

1-1 研究緣起與背景

國內鋼筋混凝土建築物對使用者而言，最常見問題並非結構或外觀上的設計不當，而是室內壁面或樓板出現漏水、壁癌、與白華所導致居住環境健康上的疑慮。通常評估結構物服務年限均以鋼筋開始腐蝕時間做為主要依據，對混凝土保護層而言，混凝土組成材料中的漿體具有大量連通的毛細孔隙，骨材與漿體之間的界面過渡區，因此保護層只能延緩造成鋼筋腐蝕水氣或氯離子到達鋼筋表面的速度，無法完全阻隔水氣的侵入。所以當鋼筋混凝土結構單元需與外在環境直接接觸時，通常會以水泥砂漿進行粉平工作，除較具視覺美觀外，水泥砂漿的緻密性亦較混凝土高。但相關研究建築物於火害後的材料性質文獻亦說明，水泥質材料在 60°C 以上溫度時，便會產生許多肉眼無法觀察到的微裂縫，超過 200°C 以上溫度時更會有大裂縫產生，強度降低的情形。然而我國氣候除較為潮濕外，平均溫度也較高，因此當面臨夏日酷陽照射吸熱時，水泥砂漿表面溫度往往超過 50°C 以上，在長期照射下其所蓄積的膨脹能量相當可觀。因此為微裂縫有其可能性。雖然微裂縫對整體應力行為的影響有可能小到可以被忽略，但微裂縫所交集的連通網路，在雨季時變成水汽入侵內部的極佳路徑，使得外牆或屋頂樓板內部存在大量的水分，久之便會造成漏水、壁癌、與白華等令人不悅的現象產生。若建築物處在空氣汙染或海洋環境中，水泥砂漿內部的混凝土碳化與鋼筋腐蝕亦會更加嚴重，造成結構耐久性的問題。然而水泥基材料在各種溫度環境下的影響，目前大部分的文獻均探討於 100°C 以上的高溫或火害後的影響，對長期處於中溫環境（40°C 至 70°C）的影響研究卻較缺乏，主因也在於此階段所產生的微裂縫較小，常被大家所忽視，然而台灣夏天酷熱時往往超過 35°C，建築物因為蓄熱的影響，表面極容易超過 50°C。因此本研究擬針對室外塗裝材料與日曬溫度對水泥質材料耐候性質的影響進行研究。

傳統上為改善上述的劣化現象，粉刷層外貼覆磁磚為最常見的方式，然而在高潮濕氣候環境下，水氣仍會由勾縫的水泥砂漿與未完全貼覆的磁磚縫隙中進入。因此以塗料封層方式，將水泥砂漿與外界阻隔，可成為保護的考量方式。近

年來由於綠色健康趨勢下，室內裝修所用的塗裝材料均強調其低甲醛與 TVOC 的健康性與色彩的多樣化，卻忽略了室外塗裝材料的重要性。因此塗裝材料除對建築物有視覺上的改善外，也需考量對水泥質基材的耐候性能有改善的作用。然而過去各種塗裝材料系統大多著重於對鋼鐵與木材基材的防腐蝕性能。對水泥質基材耐候性能的研究鮮少以量化方式說明，對塗料防水性能的評估方法也無明確的標準。

建研所已於 97 年度建置完整的耐久耐後實驗設施，包括可模擬各種環境的日光加速劣化與水霧加速劣化設施，亦有自然曝曬架，可做長期劣化監測。劣化後的材料性質分析設備也具備雛形。可利用現有研究基礎設備，著手進行各種塗裝建材對各種建築材料的耐候耐久性能改善評估及材料研發。因此本研究擬藉由實驗研究得到塗裝材料對水泥質基材耐候性能改善以及日曬溫度對水泥質材料耐久性的影響，除此之外亦可做為建立塗裝材料對水泥質基材耐候性能改善本土化評估方法的參考依據。而試驗進行過程，可對所內新購置之設備充分運用，以獲取相關經驗，可對日後耐候耐久實驗室建置與營運有充分之助益。

1-2 研究目的

本研究主要目的在於塗裝材料對劣化環境中的水泥質材料耐候性能改善之機理與成效的試驗研究。相關研究內容分成三個方向進行，分別進行溫度對水泥質材料耐候性質的改變，藉以探討水泥砂漿於長期高溫日照環境下的影響，並利用水霧加速劣化，探討台灣海島型潮濕氣候對塗料保護水泥砂漿基材的效果，以及由光加速劣化，探討塗料本身的抗汙視覺性能。圖 1-1 為本研究之流程圖，相關研究內容如下所。

1. 水泥質材料耐候性質相關文獻彙集整理。
2. 塗裝材料於加速劣化狀況下對水泥砂漿基材的防護效果。
3. 塗裝材料於加速劣化狀況下對視覺防汙性能的影響。
4. 日曬溫度對水泥質材料孔隙結構改變的影響。
5. 日曬溫度對水泥質材料抗氯離子傳輸與透水性能的影響。
6. 探討各種塗裝材料對水泥質基材之保護機理。
7. 模擬磁磚黏著水泥砂漿於日曬溫度下的劣化情形。

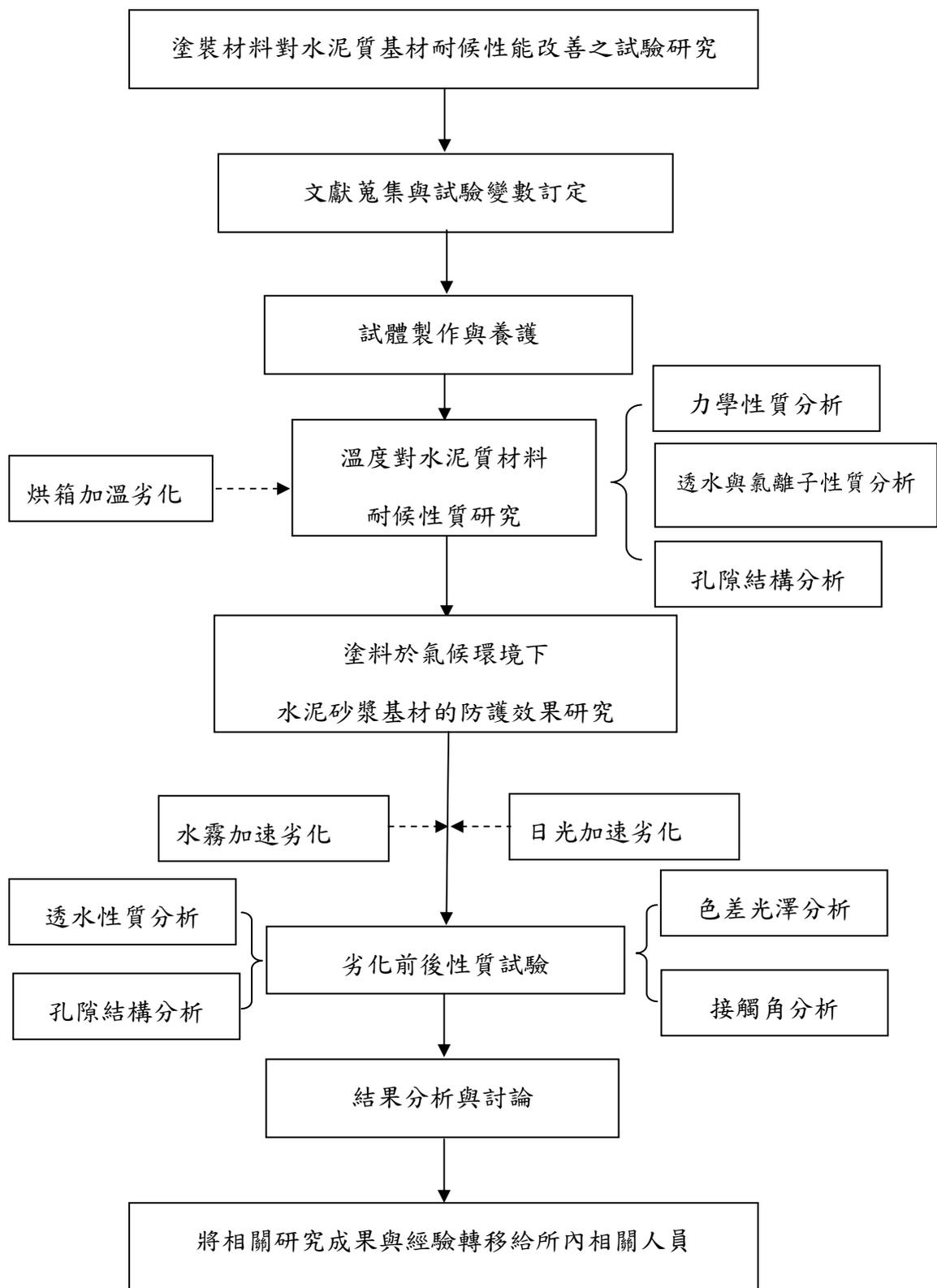


圖 1-1 研究流程圖

(資料來源：本研究自行整理)

1-3 相關國內外研究分析

近年來由於我國對綠建築的積極推廣，使得過去對外牆與樓板單元的研究大多偏向隔熱與節能相關設計方面。但就日照溫度對外牆與樓板材料性質的影響則較少。若探討日照溫度與外牆與及樓板表面的溫度關係，有 Peng 與 Wu [1]於南京夏天針對鋼筋混凝土建築物的量測，當大氣溫度由早晨的 28.2°C 升高至中午 37.8°C 時，外牆水泥砂漿表面可由 28.9°C 升高至 54.0°C。樓板表面水泥砂漿溫度則由 29.0°C 升高至 78.2°C。

若以溫度對水泥基材料影響的相關研究，則大多為探討火害對混凝土力學性質的改變，如美國學者 Noumowe 等[2]之研究指出，混凝土於 200°C 以下的溫度對混凝土的壓力強度只有些微的影響。根據 Dias [3]等提到，水泥漿體受溫度由 20°C 升高至 100°C 時，水泥漿體壓力強度降低，是由於漿體受外來熱能使膠體孔隙膨脹，引起壓力不連續所造成的現象，壓力強度在 100°C 約下降 40%。Poon 等 [4]提出，水膠比 0.5 添加礦物摻料(飛灰及爐石)的混凝土水中養護 28 天後，以加熱速率 2.5 °C/min 加熱至 200°C 溫度並恆溫貯存至 60 天，貯存於 200°C 與室溫的混凝土壓力強度比值大約差異於±10%以內，顯示 200°C 以下的溫度，對於添加礦物摻料的混凝土其壓力強度亦無顯著之影響。而在 Noumowe 等 [1]研究中指出，混凝土孔隙在 100°C 左右並無明顯的變化，但是其 MIP 試驗結果顯示，50nm~100 nm 的孔隙有增加的趨勢，在 100 °C 左右的溫度對總孔隙影響不顯著，而小尺寸孔隙卻有相當程度的增加。Mahaboonpachi 等[5]，亦以加熱板模擬不同溫度下，磁磚下高分子水泥砂漿裂縫成長情形，由實驗發現 100°C 時，磁磚與漿體的界面形成 3mm 的裂縫。105°C 至 120°C 時裂縫已延伸為 20 mm，並說明當磁磚表面 50°C 時，水泥砂漿內部裂縫已開始成長。當考量溫度對水泥基材料耐久性影響時，國內亦有海洋大學[6]針對服務溫度達 95°C 時對混凝土抵抗氯離子入侵能力影響進行研究，並發現混凝土經過 95°C 的溫度效應後，會改變混凝土內部結構，影響孔隙的連通比孔隙的尺寸明顯，而且不論有無添加礦物摻料及改變水膠比都相同結果，無法有效抑制混凝土的劣化。

在塗料相關研究方面，過去建研所藉由曝曬場與耐久耐候實驗室的建置已委託海洋大學團隊進行過「塗裝材料耐久性試驗研究—戶外曝曬與加速劣化試驗方

法之探討」，主要針對塗裝材料於金屬基材上的耐候與防腐性質進行研究 [7]。國內亦有成大蔡文達教授針對不同塗層材料加速劣化之電化學分析 [8]，以及本研究團隊過去之研究。塗裝材料耐光性方面則有台大森林系曾於南投溪頭進行塗裝木材長期曝曬試驗觀察，並與日光加速劣化之結果進行比較 [9]。而林業試驗所亦有一連串木材用塗料耐候性試驗 [10, 11]。長期曝曬試驗部份，國內清大施漢章教授曾對電信材料與鋼材進行長期曝曬試驗觀察 [12]，柏林塗料公司亦於麥寮地區進行 38 個月曝曬試驗 [13]，國外英國與美國曾有 80 年以上之戶外曝曬研究相關資料，國內則較少有此方面之資訊 [14, 15]。

1-4 進度說明

本計畫於今年二月開始進行至今，主要完成之工作為文獻蒐集與試體製作。試體加速劣化工作，則已完成所規劃的劣化期程。相關劣化後性質分析工作，亦已全部完成，計畫執行進度良好。表 1-1 將已執行工作內容與期末報告進行對照，此次期末報告之主要內容係於第一章介紹本計畫之研究背景與目的。第二章針對水泥質材料與塗料劣化原因進行文獻探討。第三章針對本研究實驗設計與劣化後性能分析方法進行說明。第四章針對已完成劣化期程所得到的試驗結果加以分析。最後第五章針對計畫進行所得到的重要發現提出結論與建議。

表 1-1 執行工作內容與期末報告對照表與完成率

工作分項	計畫執行迄今之工作內容	期中報告位置	完成率
研究背景與目的	計畫研究流程與相關背景說明和目的確任	第一章	100%
文獻蒐集	水泥質材料與塗料劣化原因文獻蒐集和整理	第二章	100%
試驗研究	實驗設計與試片製作方式	第三章	100%
試驗研究	加速劣化與性質分析方法	第三章	100%
試驗研究	各種加速劣化進行過程	第三章、第四章	100%
結果分析	劣化前後塗料性質分析	第四章	100%
結論與分析	研究重要成果說明	第五章	100%

(資料來源：本研究自行整理)

第二章 文獻回顧

2-1 水泥質材料劣化過程

水泥質材料的基本組成黏結基材為水泥與水。兩者混合時會進行水化反應，產生 C-S-H ($C_3S_2H_3$)、CH (CaOH，氫氧化鈣)、與 AFM (ettringite, calcium sulfoaluminate, $C_5AS_3H_{32}$ ，硫鋁酸鈣)等三種主要膠體。由於三種生成物並無法完全取代未水化前水與水泥的總合體積，且由於流體固化時由外界引入的空氣，使得水泥漿體存在著部份孔隙，而這些孔隙便是影響水泥質材料劣化的主要原因。根據相關文獻的研究，一般而言水泥漿體的孔隙依其尺寸可分成四大類 [16]：

1. 膠體孔隙 (Gel pores)：尺寸範圍約為 0.5~10 nm。
2. 毛細孔隙 (Capillary pores)：尺寸範圍約為 10~10000 nm。
3. 輸氣孔隙 (Entrained air pores)：尺寸範圍約為 0.05~1.25 nm。
4. 搗實孔隙 (Entrapped air pores)：尺寸大於毛細孔隙，且較無一致性。

上述中，膠體孔隙主要存在於 1.5~2 nm，其分類為小、中型孔隙，文獻[17]指出膠體孔隙存在於 C-S-H 之間的夾層空間，並非為影響混凝土抗壓強度主要因素，但對於乾縮潛變影響甚巨，另一方面由於其間並不連通，因此並非離子傳輸的主要路徑。毛細孔隙為參與水化反應之多餘游離水所產生。因此各毛細孔隙間大多互相連通，進而形成網絡，造成外在水氣侵入的主要路徑。而輸氣孔隙與搗實孔隙為拌合或施工時由外部所引入，雖然尺寸較大，但大多獨立。

另一與骨材有關的孔隙為界面過渡區，其生成的主因係由於骨材表面的緻密性，當混凝土為新拌狀態時，拌合水會堆積在骨材表面上，使得與骨材接觸的漿體水灰比增加，形成界面過渡區。界面過渡區依文獻的定義約為 10 μ m ~50 μ m 厚度 [18,19]，此區域內水灰比遠比基材水灰比高，因此其內部水化生成物所構築的孔隙尺寸與數量也遠大於基材 [19,20]，形成水氣可快速擴散的路徑。

圖 2-1 為文獻中將水泥質材料孔隙結構與離子傳輸之間的四種可能形式進行

說明 [21]。其中 a 圖表示各大小孔隙間有毛細孔隙串聯成與連通網絡，孔隙水必須藉由擴散或毛細現象才可使連通網絡飽和，並造成外部離子可藉由水溶液中的濃度差進行擴散移動，此為典型水泥漿體內部的孔隙架構。b 圖為混凝土內有大型裂縫時，水氣便很容易藉由裂縫大量快速移動。c 圖為當較大的搗實孔隙或輸氣孔隙互相獨立不連續時，水氣並無傳輸的路徑，所以滲透性低，甚至不會發生滲透的情形。d 圖為混凝土內部雖無較多的搗實孔隙或輸氣孔隙，但具多條連通的微裂縫，使得水分子容易流通整條路徑，造成滲透性高，一般而言建築物常見的滲水、壁癌、與白華均與微裂縫的多寡有關。

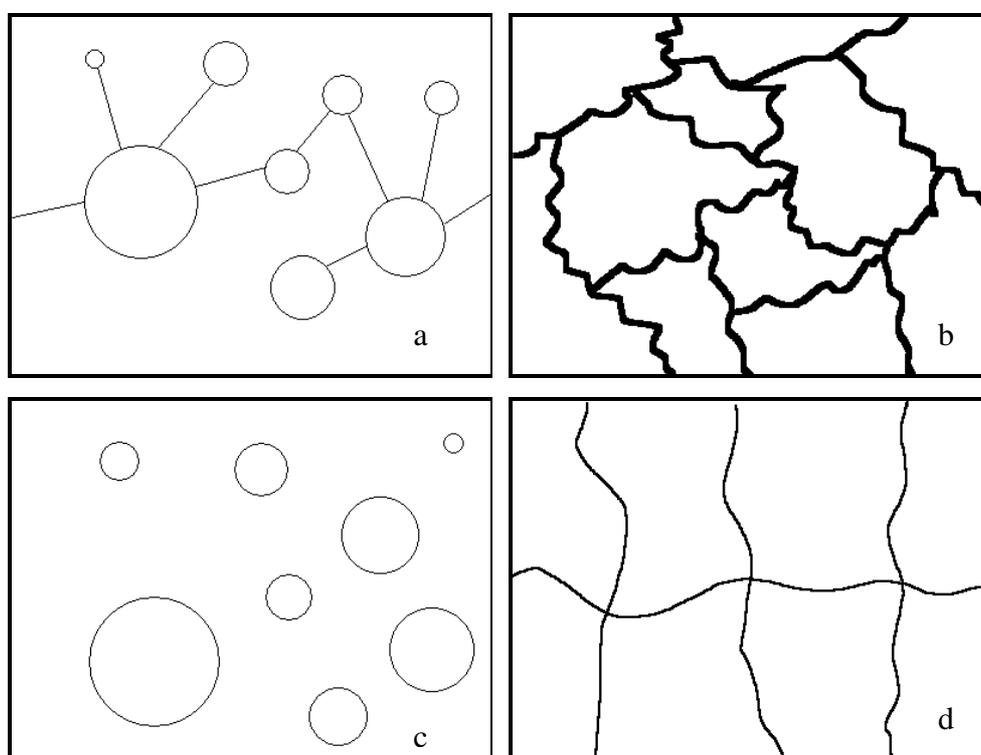


圖 2-1 水泥質材料孔隙結構與水氣傳輸之間的關係 [21]

(資料來源：C. Seng and Z. Min-Hong)

以最常見的水泥質材料—混凝土而言，其在鋼筋混凝土或預力混凝土中除了承受壓應力外，對結構物內部之鋼筋或鋼鍵也提供了一鹼性的保護層，以延緩暴露環境中有害離子的侵入，避免鋼筋或鋼鍵腐蝕。因此連通孔隙結構的多寡決定了混凝土的耐久性。因為連通孔隙結構在潮濕環境下會使混凝土內部充滿孔隙

水，而由外而內近進滲透的孔隙水除會造成水泥中部分水化生成物析出外，亦因為室內塗料的抗水性差，導致壁癌的產生，造成室內環境美觀與健康的影響。另一方面對結構安全觀點而言，連通孔隙水會成為有害離子移動的主要媒介，除可直接造成鋼筋腐蝕的氯離子外，二氧化碳與硫酸根離子會造成混凝土孔隙鹼性環境性質的改變。而這兩者均與水泥漿體中氫氧化鈣（ CaOH_2 , CH）水化生成物的化學反應有關。

二氧化碳改變孔隙結構的方式有兩種。分別為降低混凝土內孔隙水的 pH 值與將水泥水化生成物析出。在改變 pH 值方面，空氣中若含大量的二氧化碳，當滲透入混凝土內部時，會與孔隙水形成酸性的碳酸鹽類，導致避免鋼筋鏽蝕的混凝土鹼性環境喪失。因此部分文獻亦將此現象稱為中性化或碳化（carbonation）[22]。另一方面水泥水化生成物中的氫氧化鈣，極易溶於水，且會析出混凝土表面與空氣中的二氧化碳形成白色的碳酸鈣（ CaCO_3 ），並附著於混凝土表面上，相關文獻亦將此稱為白華（efflorescence）[23]。若白華現象持續發生時，會使混凝土局部裂縫產生。

硫酸根離子改變孔隙結構的方式亦有兩種方式，第一種係因硫酸根離子與水化生成物中的鈣礬石（ $\text{C}_3\text{ASH}_{12}$, ettringite）形成單鋁硫酸鹽化合物（ $\text{C}_6\text{AS}_3\text{H}_{12}$, monosulfoaluminate），並會增加 55% 的體積，所膨脹的體積會導致漿體內部產生擠壓應力而導致裂縫產生或孔隙加大。另一種方式則與水化生成物中的氫氧化鈣有關。由於兩者會產生膨脹的石膏（gypsum），相關文獻指出膨脹的體積為原本的 120% [24]。因此亦會對混凝土內部產生擠壓應力而導致裂縫產生或孔隙加大。對自然環境而言，氯離子與硫酸根離子會大量存在於海水內，其中氯離子高達約 32500 ppm，硫離子則約為 3300 ppm，因此混凝土若處於海域環境，則空氣中所夾帶的潮濕海霧會成為影響混凝土耐久性主要因素；而過量的二氧化碳主要由空氣污染或大量燃煤所造成，因此當混凝土位處高度污染工業區環境時，混凝土遭受碳化的情形便較為嚴重。由於台灣地理環境使然，使得氣候形態屬於潮濕的亞熱帶海島型氣候。加上台灣經濟高度發展，西部沿海地區大型工業區林立。因此沿海地區的鋼筋混凝土或預力混凝土結構體不僅單純面對氯離子與硫酸根

離子的侵蝕，亦處於二氧化碳濃度較高的區域。

Leeming [25]曾將氧氣擴散 (oxygen diffusion)、碳化 (carbonation)、氯離子侵入 (chloride ingress)、與含水量 (water content) 對混凝土內部相對濕度和鋼筋腐蝕之間的關係繪製成關係曲線，如圖 1 所示，由圖中可以明顯知道含水量與氯離子侵入會隨著混凝土相對濕度的增加而上昇。因此對改善混凝土孔隙組織而言，除利用改變混凝土組成材料 (如添加波索蘭材料) 來改變孔隙尺寸與增長連通孔隙路徑 (tortuous) 外，另一個可行的方式就是阻止外在的水氣被混凝土的毛細孔隙所吸附。

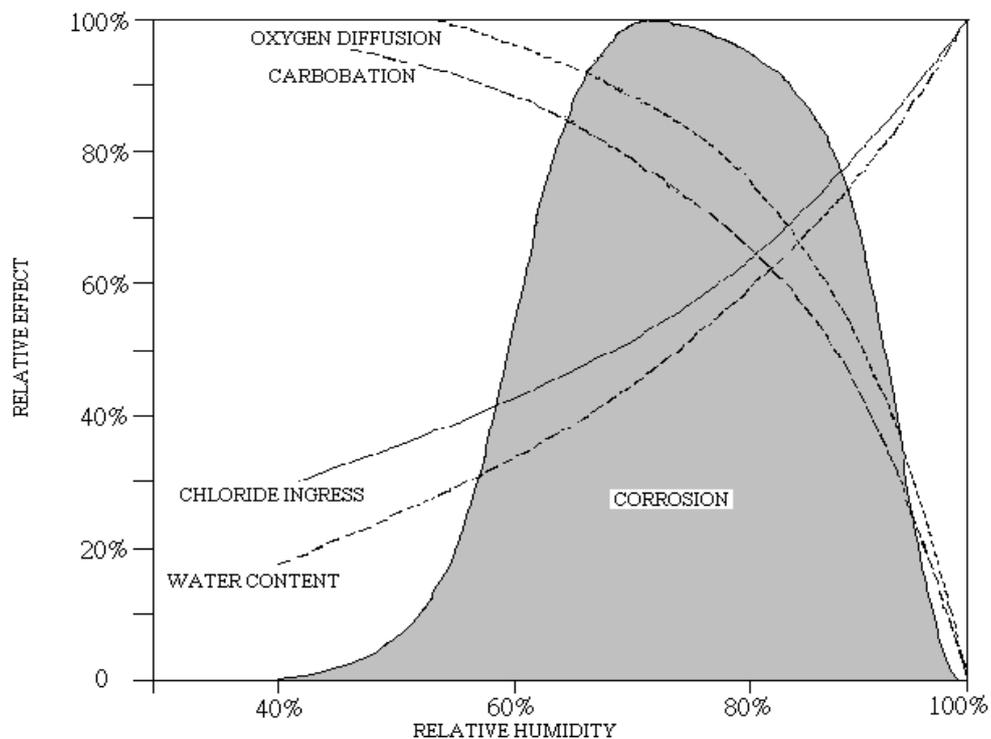


圖 2-2 耐久性因子與混凝土相對濕度及腐蝕關係圖[25]

（資料來源：Leeming）

2-2 塗料劣化過程

塗裝材料主要在基材表面形成塗膜，達到保護基材與美觀之功能。塗料一般由展色劑（vehicle）與顏料所組成。而展色劑又包含揮發的溶劑部分與不揮發的塗膜部分。其中揮發的溶劑部分主要功能在於協助流動與塗佈，因此其組成與塗料之施工性與養護所需時間有關，對最後形成之塗膜性質則較無太大影響。而塗料最大的不同便在於塗膜的組成，也是各家廠商研發的主要重點。

塗料於塗裝設計、塗裝過程、與塗膜硬固後，均有可能因人為或氣候因素產生劣化或缺陷。在塗裝設計過程中最容易發生劣化的情形為不同系統塗料相容性之問題。因此原則上不同類型的塗膜原料，如合成樹脂塗裝於舊有油性塗料表面可能會有不相容之問題產生。當不相容劣化發生時，容易引起漆膜顏色展色不良與層間剝離現象產生。

塗裝過程時發生的缺陷則有刷痕、橘皮、塌凹、垂流、氣泡、滲出、乾燥不良、與顏色分離等現象。其中刷痕與橘皮均為塗裝時黏度過高所產生，可以由增加稀釋劑的方式避免。反撥為塗料表面附著水或油汙染物導致塗面產生凹塗或孔穴。垂流為噴塗量太多或黏度太低所產生。氣泡的缺陷主要是因為混入塗料中的空氣留在漆膜內形成小泡，其原因除了由於塗料黏度過高外，也有可能為攪拌過程所致。滲出則係因為底層漆之顏色被上層塗膜溶化而滲出，主要成因係底層漆乾燥不充分便在上塗裝。塗料未在規定時間應固為乾燥不良的現象，其發生原因為有過分厚塗裝、硬化劑配量不足、或施工時氣溫太低濕度過高等情形。顏色分離則發生於塗料中混有多種色彩顏料，於塗裝時發生顏色分離或不規則斑點現象，其主要成因為稀釋劑用量過多或攪拌不均 [18]。

塗膜硬固後所產生的缺陷有變黃、變色、粉化龜裂、發霧、皺紋、光澤不均、與起泡等現象。變黃為淺色或白色塗膜經日光或高溫照射變黃，其原因為塗膜中的雙鍵脂肪酸與空氣產生氧化或受日光分解產生變黃。變色除有可能受到UV光照射影響外，亦有可能因為塗料中的銅鉛離子與硫化氫接觸變黑。粉化龜裂除因

塗膜太厚或使用過分稀釋塗料所導致外，亦有受到UV光照射失去附著性所引起。發霧則為塗面產生如鏡面霧狀現象。其發生之原因主要為塗裝時在高濕度或化學瓦斯氣體場合中施工。皺紋為漆膜表面走起皺現象，主因除過分厚塗造成表裡乾燥度差異太大之情形，或因為促進乾燥，將塗面直接加熱所致。光澤不均為塗膜表面部分無光澤情形，此與塗膜厚度差異太大或陽光照射有關。起泡為塗膜發生浮腫起泡情形，主因係為水分侵入塗膜中或基材銹蝕所致 [17]。

第三章 實驗計畫與方法

本計畫擬對塗料對劣化環境中的水泥質材料耐候性能改善機理與成效進行試驗研究。計畫進行擬先針對水泥質材料耐候性質相關文獻與各國標準彙集整理。其次針對各種日曬溫度對水泥質材料性質改變進行研究。接下來針對塗裝材料於加速劣化狀況下對水泥砂漿基材防護效果進行探討。試驗進行中亦針對塗裝材料本身的視覺防汙性能（色差、光澤、與接觸角分析）改變進行探討。研究擬以實際試驗方式進行，下述為其相關實驗設計與分析方法說明。

3-1 實驗試體設計

本計畫以水泥砂漿所製作之試體做為研究對象，依據研究計畫，試體除了水泥砂漿基材製作外，亦包含塗裝保護材料設計。相關試體設計如下：

3-1-1 水泥質材料基材設計

本計畫使用兩種水泥質材料做為控制組基材。分別為外牆或樓板粉光常用的水泥砂漿（A 組）與模擬磁磚黏著水泥砂漿（B 組）兩種，砂漿所使用的所使用之細骨材為符合 ASTM C144 圬工用砂級配要求的「川砂」，相關級配分析如圖 3-1 所示，圖中實線段為本研究使用川砂級配，虛線為規範級配限制，細度磨數（fineness modulus, FM）則為 1.83，面乾內飽和比重為 2.55。所使用水泥亦為常用的波特蘭一型水泥，兩種水泥砂漿配比設計之水灰比，細骨材用量均為相同，且以市面上常用之砂漿設計為主，相關配比如表 3-1 所示。兩者差異性在於磁磚黏著水泥砂漿部分係將拌合水內添加成分為甲基纖維素的增稠劑（俗稱海菜粉）來進行研究。其拌合係依照工程實務上使用方法，將海菜粉與水先以 1:80 比例混合成膠體狀液體，並於拌合時依據配比用水量設計加入。

試體配合劣化前後的分析試驗，共製作 5 種形式試體。其中 5 公分之立方試體為抗壓強度性質分析試體。試體厚度為 1 英吋，8 字形狀的抗拉強度性質分析試體。直徑 2 公分，高度 2 公分之圓柱試體為孔隙結構分析試體。以及依 ASTM G50 規範規定的長 70 mm×寬 150 mm×厚 5 mm 之板材試片為視覺防汗分析試體。直徑 10 公分的圓柱試體為透水試驗（高度 4 公分）與貯鹽試驗（高度 10 公分）所使用。相關試體硬固拆模後隨即放入水中養護達設定齡期後開始進行相關試驗。

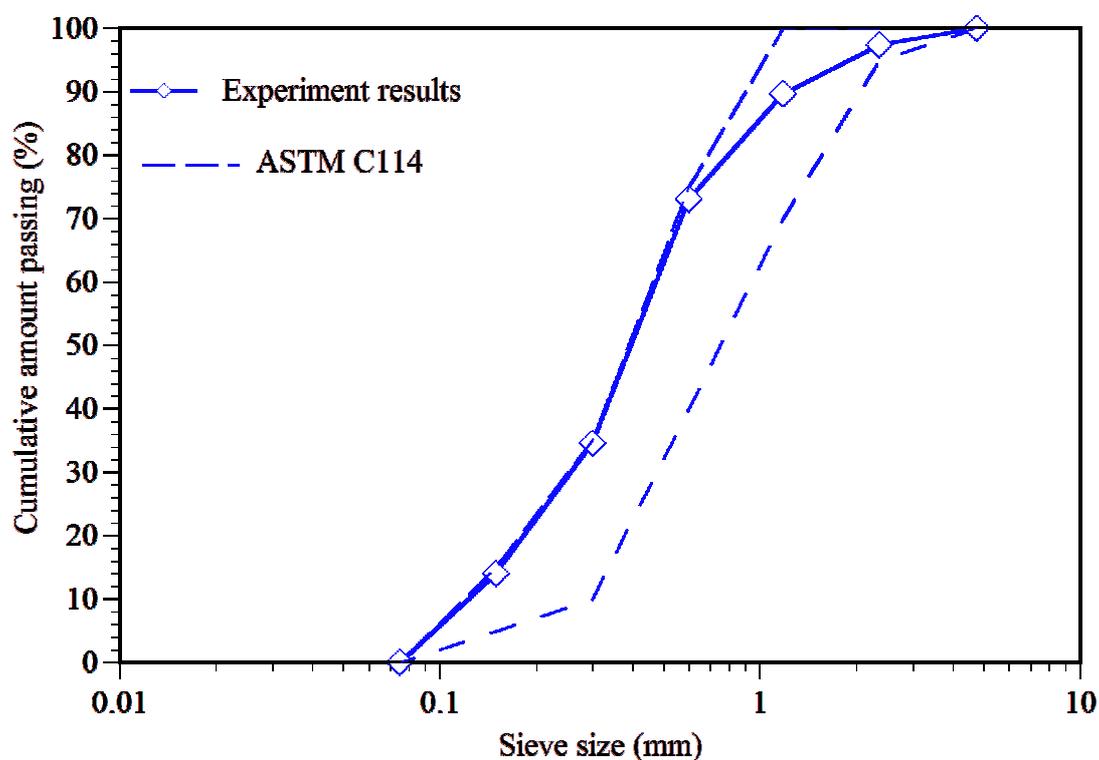


圖 3-1 細骨材粒徑分佈圖

(資料來源：本研究自行整理)

表 3-1 水泥砂漿配比表(Kg/m³)

水灰比 (w/c)	水	水泥	細骨材 (川砂)
0.45	270	599	1326.9

(資料來源：本研究自行整理)

3-1-2 塗裝設計

塗裝設計擬以市面上常見的室外塗料為主分別為目前常用的有機塗料，以及符合健康與環保需求的綠建材塗料進行。其中有機塗料以常見的壓克力樹脂漆與環氧樹脂漆為塗裝設計。綠建材塗料方面分別為無機塗料、矽素與壓克力樹脂混合型的晴雨漆為塗料。因此共使用 4 種類型塗料。

表 3-2 為試體變數設計表，表中編號第一碼代表塗裝設計，分別以 C 代表控制組（無塗裝）、A 為壓克力樹脂漆塗裝、E 為環氧樹脂漆塗裝、I 為無機漆塗裝、S 為晴雨漆塗裝。第二碼則為基材種類，分別以 A 代表外牆或樓板粉光常用的水泥砂漿、B 代表磁磚黏著水泥砂漿。

塗裝方式先將試體表面以 200 號砂紙磨平後，較大孔隙（搗實與輸氣孔隙）再使用批土填補，如圖 3-2 與 3-3 所示。批土硬固後再以手刷方式均勻於試體表面塗裝。塗刷次數為 3 次，每次間隔 12 小時以上。圖 3-4 為試體塗刷後的情形。

表 3-2 試體變數設計表

試體變數設計		粉光用水泥砂漿	磁磚黏著水泥砂漿
控制組（無塗裝）		CA45	CB45
有機塗裝	壓克力樹脂漆塗裝	AA45	AB45
	環氧樹脂漆塗裝	EA45	EB45
健康綠建材	無機漆塗裝	IA45	IB45
	晴雨漆塗裝	SA45	SB45

（資料來源：本研究自行整理）

1.有機塗料塗裝

有機塗料為目前市面上使用最多的塗料，因為其溶劑與塗膜材料均為石化工業副產品，所以取得容易，生產成本便宜，且性質易於掌控。本計畫塗裝係購買市面上常用於外牆塗裝的壓克力樹脂漆與環氧樹脂漆，相關塗料性質說明如下。

A.壓克力樹脂漆

壓克力樹脂於塗料中的運用極早，其學名又稱為聚丙烯酸酯塗料。可區分為常溫硬化型及加熱硬化型，其中常溫硬化型使用溶劑於室溫下自然揮發乾燥塗膜成型。而加熱硬化型則有以加熱方式使塗膜成型，或以硬化劑混合樹脂反應使塗膜成型之方式。在日常運用上，一般的壓克力噴漆（又名拉卡漆，Lacquer）為常溫硬化型產品；汽車烤漆則大多為加熱硬化型產品。在塗膜物理性質上，一般而言，加熱硬化型之耐候性佳與顏色穩定性較常溫硬化型佳 [26]。本研究所採用的壓克力樹脂漆為水性單液型，即一般市面上所謂的「水泥漆」，其展色劑成分為俗名壓克力的丙烯酸樹脂所組成。水性水泥漆用於室內為最常用的塗料，而近年來也有可用於戶外的壓克力樹脂漆，即改良型丙烯酸樹脂，使其在常溫下具有彈性，可避免塗膜產生裂痕，本研究也採用此種壓克力樹脂漆。塗料性質分別為遮蓋力 $8 \text{ m}^2/\text{L}$ 以上；比重約為 1.0；黏度在 25°C 時 70 KU 以上；乾燥時間為 0.5 小時達到指觸；2 小時達到堅結；濕膜約 $85 \mu\text{m}$ ；乾膜約 $35 \mu\text{m}$ 。

B. 環氧樹脂漆

環氧樹脂漆係於一個分子中含有兩個具高反應性的環氧基，環氧樹脂通常無法單獨使用，必須加入交連劑，形成三次元結構後才具有應用價值。因此環氧樹脂塗料均為二劑型產品。而環氧樹脂塗料對基材附著性、耐蝕性、物理性、與絕緣性等性能極佳，因此常用於鋼板防蝕或建材防腐與防水用途上 [27]。本研究

所使用的環氧樹脂漆為水性兩液型，其展色劑成分為環氧樹脂與胺加成物交鏈硬化而成。塗料性質分別為比重約 1.05；黏度在 25°C 時 75 KU 以上；乾燥時間為 2 小時內達到指觸；10 小時內達到堅結；濕膜約 100 μm ；乾膜約 40 μm 。

2. 綠建材塗料塗裝

綠建材塗料係指通過健康綠建材評定並取得標章的塗料。健康綠建材是指此塗料具有低逸散、低污染、低臭氣、低生理危害的「四低特性」。因此其展色劑揮發所釋出的甲醛 (HCHO) 及總揮發性有機化合物 (TVOC：苯、甲苯、對二甲苯、間二甲苯、鄰二甲苯及乙苯) 需低於限制值，目前相關規定為 HCHO 的逸散率小於 0.08 $\text{mg} / \text{m}^2\text{HR}$ ，TVOC 小於 0.19 $\text{mg} / \text{m}^2 \text{HR}$ 。本計畫所採用的為市面上可購得外牆使用之無機塗料與晴雨漆塗料，相關塗料性質說明如下。

A. 無機塗料

以二氧化矽架構的矽膠類為展色劑主體。塗料性質為比重約 1.20~1.25；黏度在 25°C 時 100 KU；乾燥時間為 0.5 小時內達到指觸；2 小時內達到堅結；濕膜約 60 μm ；乾膜約 30 μm 。

B. 晴雨漆塗料

以水性硅烷酮樹脂搭配具彈性的改良型丙烯酸樹脂做為展色劑塗模的組成。塗料性質為比重約 1.0 以上；黏度在 25°C 時 80~110 KU；乾燥時間為 1 小時內達到指觸；3 小時內達到堅結；濕膜約 80 μm ；乾膜約 35 μm 。



圖 3-2 試體表面以 200 號砂紙磨平之前處理過程

(資料來源：本研究自行整理)



圖 3-3 試體塗裝前表面大孔隙以批土填補

(資料來源：本研究自行整理)



圖 3-4 本研究各種形式試體塗裝後情形

(資料來源：本研究自行整理)

3-2 試體劣化設計

評估材料於所處環境下的劣化，傳統是直接於所處環境下進行曝曬評估，但歷經長期間的曝曬過程，往往無法達到工程實務上的需求。因此評估耐久性質時，將材料放置在極差環境中加速劣化以模擬長期曝曬過程有其必要性。本研究在加速劣化設計上以模擬三種惡劣環境情況下進行探討，分別為模擬夏季高溫環境對試體微裂縫影響的烘箱加速劣化，模擬台灣雨季長及濕度高環境對塗膜裂化影響的水霧加速劣化，以及模擬日光照射下對塗膜抗汙與視覺影響的日光加速劣化。相關試驗參數設計如表 3-3 所示。

表 3-3 本計畫試體劣化設計

研究內容	無塗裝基材 (控制組)	塗裝材料	劣化環境	
			劣化方式	劣化條件
模擬夏季 高溫環境 對試體微 裂縫影響	粉刷水泥砂漿、 磁磚黏著水泥 砂漿	無塗裝、 彈性壓克力樹脂漆、 環氧樹脂漆、 矽基類塗料	烘箱加熱 劣化	室溫、50°C、75°C (1344 小時劣化)
模擬台灣 雨季長及 濕度高環 境			水霧加速 劣化	水霧加速劣化 (1344 小時劣化)
模擬長期 日光照射 下影響			日光加速 劣化	日光加速劣化 (672 小時劣化)

(資料來源：本研究自行整理)

1. 烘箱加速劣化

烘箱加速劣化係模擬夏季高溫環境對試體微裂縫的影響，溫度控制變數為室溫、50°C、與 75°C。相關溫度設計係參考 Peng 與 Wu [1] 文獻的量測結果。兩人曾於南京夏天針對鋼筋混凝土建築物的量測，當大氣溫度由早晨的 28.2°C 升高至中午 37.8°C 時，外牆水泥砂漿表面可由 28.9°C 升高至 54.0°C。樓板表面水泥砂漿

溫度則由 29.0°C 升高至 78.2°C。以我國氣候而言，圖 3-5 為氣象局於 1971 年至 2000 年每月平均最高溫度變化圖，由圖中可以發現 5 月至 9 月平均最高溫度均可高於 30°C。圖 3-6 為 1971 年至 2000 年每月溫度大於 30°C 的平均日數變化圖，由圖中亦可以發現 5 月至 9 月平均均有 25 天以上。以年平均而言，台北 1971 年至 2000 年平均每年溫度大於 30°C 約為 133 天，台中約為 163 天，高雄約為 155 天，如圖 3-7 所示。因此其溫度和 Peng 與 Wu 進行實驗的南京夏天相當，甚至因為我國緯度較低，所以高溫影響更大。

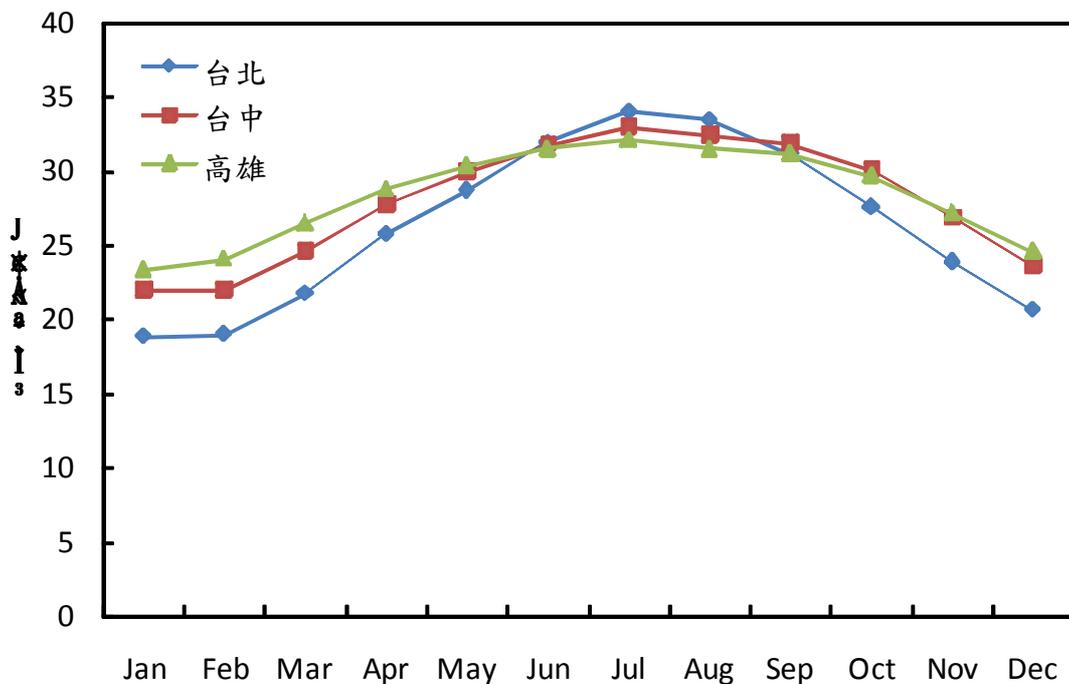


圖 3-5 我國 1971 年至 2000 年每月平均最高溫度變化圖

(資料來源：中華民國氣象局)

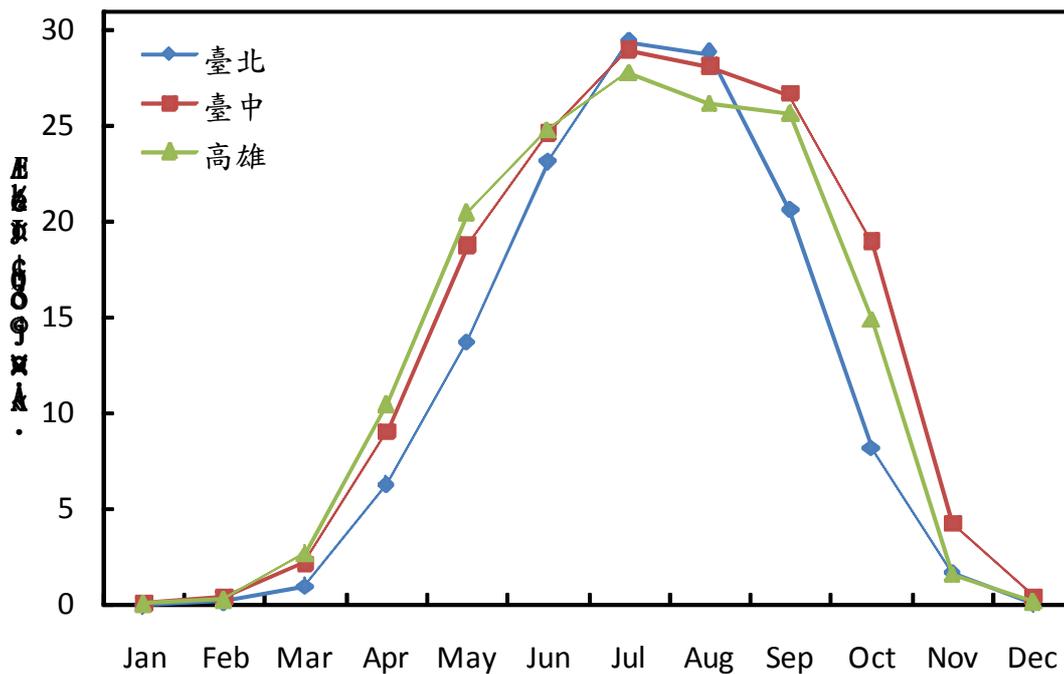


圖 3-6 我國 1971 年至 2000 年每月溫度大於 30°C 的平均日數變化圖

(資料來源：中華民國氣象局)

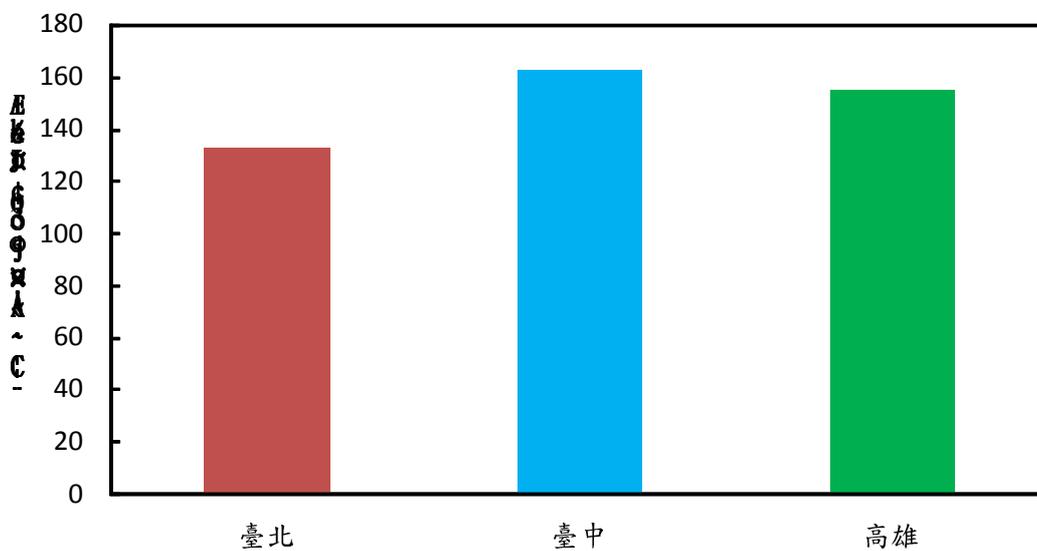


圖 3-7 我國 1971 年至 2000 年每年溫度大於 30°C 平均日數

(資料來源：中華民國氣象局)

放入烘箱劣化時間則為 1344 小時 (56 天)。其劣化方式為 12 小時設定溫度環境與 12 小時室溫環境的循環過程，劣化循環如圖 3-8 所示，圖 3-9 為試體於烘箱內情形。並於劣化後進行力學性質、透水性質、與孔隙結構量測的試驗。所使用的劣化設備為本研究團隊的大型循環式烘箱，可加熱範圍至少可達 200°C，溫度控制精準度可於 100°C 時在 $\pm 0.3^\circ\text{C}$ 以下。

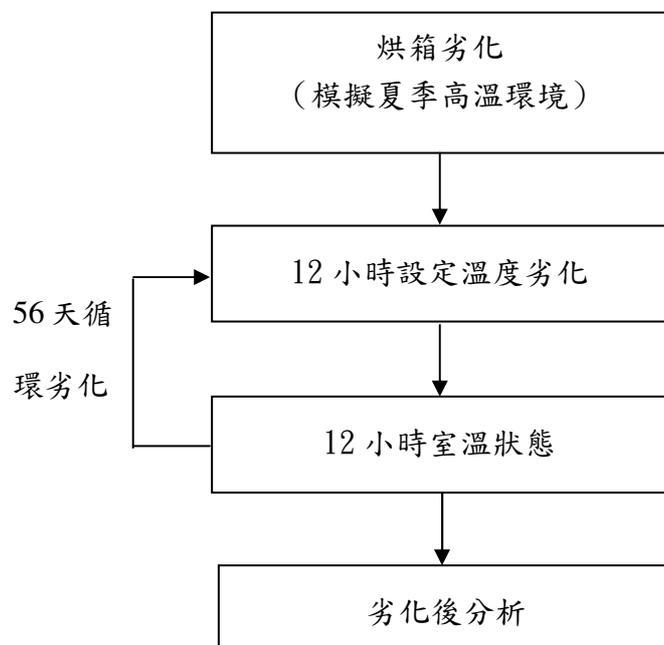


圖 3-8 本研究烘箱加速劣化循環流程圖

(資料來源：本研究自行整理)



圖 3-9 本研究試體進行烘箱加速劣化情形

(資料來源：本研究自行整理)

2.水霧加速劣化

水霧劣化主要在模擬我國高濕的海島型氣候，藉由長時間 100%相對濕度的噴霧下，了解塗裝材料是否容易受到水氣的侵入導致產生壁癌前期的起泡現象。劣化時間於水霧加速劣化過程設定為 1344 小時 (56 天)。相關劣化參數設計如表 3-3 所示，係參考 CNS 11607 標準 3.1 節，與 ASTM B117 中性鹽霧試驗法(NSS) 設定方式，主要差異在於將鹽水換成蒸餾水。所使用的劣化設備為內政部建築研究所設置的日本 SUGA (日本須賀試驗機株式會社) 之 CTP96 鹽霧複合耐候試驗機。除可進行中性鹽霧劣化試驗外，亦具備乾燥功能、濕潤功能、浸漬功能、與外氣導入等試驗功能，相關設備如圖 3-10 所示。

表 3-3 水霧加速劣化過程與參數設定

試驗槽內之相對濕度	99 ~98 %
加濕器之溫度	47±1℃
噴霧用空氣壓力	0.098±0.002MPa { 1.0±0.025kgf /cm ² }
收集水霧所得溶液	於 80 cm ² /1.0 ~2.0mL/ h
pH	6.5~7. 2 (33~35℃)
收集水霧所得溶液密度	1.022~1.036 (於 35℃)
貯水槽水位	須保持一定水位
加濕器水位	保持於水位計之 2 標線間

(資料來源：本研究自行整理)



圖 3-10 CTP96 鹽霧複合耐候試驗機

(資料來源：本研究自行整理)

3.日光加速劣化

日光加速劣化試驗係參考 CNS 11607 第 3.8 節進行，以氙弧燈耐候試驗機對室外用塗膜以照射光與間隔噴水霧方式進行加速劣化。可用來評估塗膜於劣化後的抗汙與視覺影響。本計畫使用內政部建築研究所購置的氙弧燈耐候試驗機 (SUGA X75) 進行，圖 3-10 為其外觀照片。試片尺寸均採長 70 mm×寬 150 mm 尺寸，並固定於試片框內後，再將試片框裝設於迴轉架上。使迴轉架形成一橢圓形狀的物件，並將氙弧燈包覆在中間位置。如圖 3-11 所示。當氙弧燈被點亮後，迴轉架隨即繞著氙弧燈轉動。運轉時的設定方式與 ASTM D6695 標準中的 Cycle 2 方法相同，即於 2 小時劣化週期中包含 18 分鐘的水霧噴灑於塗膜表面上，102 分鐘單純氙弧燈光照射過程，試驗時相關運轉設定如表 3-4 所示。

表 3-4 日光加速劣化過程與參數設定

		運轉條件
放電電壓	範圍中心值	48~52V
		50V (±2%)
放電電流	範圍中心值	58~62V
		60A (±2%)
玻璃濾光器使用時間		須不超過 2000 小時
黑嵌板溫度計之示度		50°C
水之噴射條件	壓力	0.08~0.13MPa { 0.8~1.3kgf/cm ² }
	水量	2100±100mL/min
	噴射時間	120 分鐘照射中，噴射 18 分鐘
	水質	pH6.0~8.0 電導率 200μ S/cm 以下
	水溫	16±5°C

(資料來源：本研究自行整理)



圖 3-10 SUGA X75 氙弧燈耐候試驗機外觀

(資料來源：本研究自行整理)



圖 3-11 試驗槽內之氙弧燈與試片迴轉框

(資料來源：本研究自行整理)

3-3 劣化後試驗分析

本計畫於加速劣化後需進行各種分析試驗。分別為力學性質分析試驗、孔隙結構量測試驗、透水與氣離子性能試驗、色差與光澤度量測試驗、與接觸角量測試驗，下述則為試驗方法與分析方式。

3-3-1 力學性質分析試驗

本計畫擬於烘箱劣化影響改變研究中進行。所進行的試驗分別為抗壓與抗拉強度試驗。抗壓強度試驗係使用 5 公分立方試體，各試體於劣化後，依 CNS 1010 標準將試體於 20 至 80 秒間破壞，以得到其抗壓強度，相關試驗進行如圖 3-12 所示。抗拉強度試驗係使用 8 字形試體，各試體於劣化後，依 CNS 1011 標準將試體放置於試驗機夾具後，以每分鐘 275 ± 10 kg 速度進行單軸向拉力破壞，以得到抗拉強度，相關設備如圖 3-13 所示，設備均為本研究團隊所有。



圖 3-12 水泥砂漿試體抗壓強度試驗

(資料來源：本研究自行整理)



圖 3-13 水泥砂漿試體抗拉強度試驗

(資料來源：本研究自行整理)

3-3-2 孔隙結構量測試驗

本計畫孔隙結構以內政部建築研究所之 Autopore 9500 壓汞孔隙儀進行。Autopore 9500 可量測 0.003 ~375 μm 孔徑範圍的孔隙。儀器具有六個樣品分析埠，含四個低壓埠，二個高壓埠、1 個氮氣鋼瓶 (99.9% , 5 m^3)、1 個調壓表、6 支樣品管。各分析埠可同時進行分析材料孔隙結構變化與分佈，相關儀器照片如圖 3-14 所示。分析方式則利用不同壓力施加水銀進入混凝土孔隙內部。以 Washburn Equation 獲得各混凝土內部在各孔隙尺寸下分佈情形，如下式 3-1 所述：

$$d_p = \frac{-4 * \sigma^{Hg} * \cos(\theta)}{p * k} \quad (3-1)$$

式 3-1 中 d_p 為孔隙尺寸 (μm)， σ^{Hg} 為水銀表面張力 (dynes/cm)， θ 為水銀跟混凝土試體表面的接觸角， p 為所施加的壓力 (psi)， k 為轉換常數 ($10^{-4} \text{ cm}/\mu\text{m} \times 68947 \text{ psi/dynes}\times\text{cm}^{-2}$)。因此可由水銀壓力 0~50 psi 量測孔隙尺寸 375~4 μm 的分佈情形 (低壓埠功能)，由大氣壓力至 60000 psi 量測孔隙尺寸 10~0.01 μm 的分佈情形 (高壓埠功能)。



圖 3-14 Autopore 9500 壓汞孔隙儀

(資料來源：本研究自行整理)

3-3-3 透水性能試驗

透水性能試驗係在試體兩端以墊片密合試體，並以 20kg/cm^2 壓力之定水頭垂直施加於試體面上達 72 小時，藉由進入試體內的水量可評估試體抗水滲入性質，亦可評估塗膜抵抗長期水壓的能力。圖 3-15 為其設備照片。相關設備亦為本研究團隊所有，可同時以氮氣加壓水於 3 個試體面上，並具有數位壓力表與調整閥以維持一定壓力水頭。



圖 3-15 透水試驗設備

(資料來源：本研究自行整理)

3-3-4 氯離子性能試驗

抗氯離子性能係依 ASTM C1543 標準進行貯鹽試驗 (ponding test) 進行評估。貯鹽試驗係將達齡期之直徑 10 cm 圓柱試體側邊使用環氧樹脂塗封 (頂部與底部除外)，頂部上方並以壓克力環形成圍堰，於圍堰中加入 3% 氯化鈉溶液，為使液面不受蒸發影響，以 PE 膜將圍堰開口密封，如圖 3-16 所示。並於每二個月將氯化鈉溶液更換。貯鹽 90 天後，將試體上方的圍堰與貯鹽溶液移除，並刮除試體頂部鹽結晶物。以沖孔機在垂直面鑽出直徑 2 cm 的圓柱體。再使用鑽石鋸片以乾切方式將 2 cm 直徑的圓柱體由浸漬面至底部每隔 0.5 cm 厚度切成薄片，最後利用研磨鉢將薄片磨碎，使其通過 50 號篩得到 3g 之混凝土粉末樣本。並參照 AASHTO T260 規範量測樣本中酸溶性氯離子含量。由氯離子含量與各薄片的相對位置，可以了解 90 天貯鹽試驗後混凝土內部氯離子含量變化情形。



圖 3-16 貯鹽試驗

(資料來源：本研究自行整理)

由於貯鹽試驗為典型非穩態擴散機制的氯離子擴散試驗，主要利用氯離子濃度梯度差，使氯離子侵入混凝土內部。因此試驗後混凝土內部所量測到的各深度氯離子含量變化，可藉由 Fick 第二定律計算氯離子於混凝土內的擴散係數 (diffusion coefficient)。Fick 第二定律對單一方向的擴散行為可由下列方程式表示：

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_p \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (3-2)$$

式中 D_p (m^2/sec) 為貯鹽試驗計算之擴散係數， C 為氯離子之濃度， x 為擴散所到達之距離 (m)， t 為擴散所使用之時間 (sec)。若假定擴散方程式是單一方向的擴散趨動方式，利用一個半無限積分，並設定 m 為總體氯離子擴散量；

擴散過程中沒有任何物質來提供擴散之來源，在由邊界條件： $C_{(x=0,t>0)} = C_o$ ；初始條件： $C_{(x>0,t=0)} = 0$ ；無窮遠處條件： $C_{(x=\infty,t=0)} = 0$ 之條件。與式(3-2)可求得下列方程式

$$C = \frac{m}{\sqrt{\pi D_p T}} \exp\left(\frac{-x^2}{4D_p t}\right) \quad (3-3)$$

式中 m 為總體氣離子擴散量，以下式 (3-4) 計算

$$m = \int_0^{\infty} C dx ; t \geq 0 \quad (3-4)$$

3-3-5 色差與光澤度量測試

依 CNS 10756 第 5 節規定，塗膜劣化前後顏色差異度可以由目視法與計測法進行。其中目視法為定性量測方式。計測法以分光測光儀定量分析。本研究擬採用內政部建築研究所之 SUGA SM-T 分光測光儀進行，此設備可進行反射測定（8 度照明，擴散受光(8/D、8/d)）與透過測定（0 度照明，全透過受光）等光學條件量測。相關設備與量測情形如圖 3-17 所示。量測照明及受光條件以 CNS 11351 第 4.3.1 節條件 a 進行，即在 45 度照明，0 度受光之條件下，以標準光 C 測定三刺激值 X、Y、Z。由三刺激值可轉換 L^* 、 a^* 、 b^* 值，並計算 ΔE_{ab} 值，以比較色彩差異度。相關計算方式如下式(3-5)所述。

$$\Delta E_{ab} = \left[(L^* - L^0)^2 + (a^* - a^0)^2 + (b^* - b^0)^2 \right]^{0.5} \quad (3-5)$$



圖 3-17 塗料試片顏色差異量測設備

(資料來源：本研究自行整理)

光澤度量測係依據 CNS 10756-1 第 7 節規範進行，主要量測入射角與受光角為 60 度時之鏡面反射率。其原理為在入射角射出開口角與入射面內呈 0.75 ± 0.25 度（垂直面為 2.5 ± 0.5 度）的光源，再受到塗膜反射後，進入受光器內（入射面內呈 4.4 ± 0.1 度，垂直面為 11.7 ± 0.2 度）量測反射率，並以基準面光澤度為 100 之百分率表示。所使用設備為內政部建築研究所購置之 BYK 光澤度量測設備。圖 3-18 為光澤度量測情形。



圖 3-18 塗料試片光澤度量測設備

(資料來源：本研究自行整理)

3-3-6 接觸角量測試驗

接觸角分析由內政部建築研究所設置之 FTA 188 接觸角量測設備進行。此設備利用懸滴法量測液體表面張力以及與塗膜的接觸角。試驗方法係依據 ASTM D5725 標準進行。當進行量測時先將水滴以微量滴定管滴在塗膜表面，再利用攝影機拍攝液滴附著於塗膜表面情形，由影像的擷取配合軟體量測功能得到異體與塗膜的接觸角。圖 3-19 為其試驗設備。



圖 3-19 FTA 188 接觸角量測試驗設備

(資料來源：本研究自行整理)

第四章 研究結果與討論

本研究針對塗裝材料對劣化環境中的水泥質材料耐候性能進行試驗研究。藉由力學分析試驗、孔隙結構量測、透水性能與氯離子侵入評估試驗、色差與光澤度量測、及接觸角量測等試驗結果，達到日曬溫度對水泥質材料耐候性質改變的瞭解，以及塗料於加速環境下水泥砂漿基材的防護效果研究。研究於今年二月開始執行至今，已完成各種塗裝試片的製作工作，並依設計之劣化期程，完成各種加速劣化試驗，工作進度良好。下述將所得之試驗結果進行分析討論。

4-1 力學試驗結果分析

本研究力學試驗共進行溫度加速劣化後的抗壓與抗拉強度性質評估，藉以評估溫度加速劣化所引起的微裂縫成長對試體力學行為影響。所設計的劣化溫度為 25 °C、50 °C、與 75 °C，劣化時間均為 1344 小時 (56 天)。目前已完成控制組 (無塗裝) 試體劣化，有機塗裝中的壓克力漆塗裝與環氧樹脂塗裝，以及綠建材的無機漆塗裝。表 4-1 為各種溫度劣化下抗壓強度試驗結果，表 4-2 為各種溫度劣化下抗拉強度試驗結果。表中數據為 3 個試驗結果之平均值。由表中可以發現添加海菜粉之 B 組水泥砂漿配比其抗壓或抗拉強度均遠低於 A 組為添加配比，如為塗裝的 CA45 配比起其平均抗壓強度高於 CB45 約 106 kgf/cm²，平均抗拉強度 CA45 配比起高於 CB45 約 16 kgf/cm²。由於 CB45 拌合時拌合水加入海菜粉導致呈膠體狀，可能導致水化反應不完全，進而強度較低。圖 4-1 將 50 °C 與 75 °C 烘箱劣化後試體相對於 25 °C 室溫狀態的抗壓強度比值關係圖。由圖中可以發現僅未塗裝的 CA45 與 CB45 配比烘箱劣化後的強度值略低於 25 °C 室溫狀態外，其餘表面塗裝試體在溫度劣化後對抗壓強度的影響較少。圖 4-2 為抗拉強度的相對比值關係圖，對表面塗裝試體而言，無論 50 °C 或 75 °C 劣化比值均接近 1。

圖 4-3 以未塗裝配比於 25°C 室溫狀態強度值為基準，50°C 與 75°C 溫度劣化結果的相對比值關係圖，由圖中發現未塗裝的 CA45 與 CB45 配比其 50°C 與 75°C 溫度劣化結果的比值均明顯低於 1，且隨著溫度增加有明顯降低的趨勢。表示溫度劣化對抗拉強度的影響大於抗壓強度。

圖 4-4 以未塗裝配比於 25°C 室溫狀態強度值為基準，各塗裝試體 25°C 室溫狀態強度的相對比值，由圖中可以發現無機漆塗裝與晴雨漆塗裝可略為增加試體抗拉強度 8 % 至 10%，表示無機漆塗裝與晴雨漆塗裝彈性較佳。抗壓強度則較不明顯，於添加海菜粉配比的試體甚有比值低於 1 的情形。

表 4-1 抗壓強度試驗結果 (kgf/cm²)

配比編號	25°C 室溫	50°C 烘箱劣化	75°C 烘箱劣化
CA45	528.63	517.82	512.36
CB45	422.47	412.19	408.29
AA45	521.91	521.44	519.18
AB45	409.20	408.38	408.22
EA45	534.65	531.42	530.35
EB45	401.41	399.89	398.43
IA45	539.29	538.61	537.85
IB45	404.49	403.62	403.50
SA45	532.01	531.85	529.95
SB45	406.78	401.68	399.22

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-2 抗拉強度試驗結果 (kgf/cm²)

配比編號	25°C烘箱劣化	50°C烘箱劣化	75°C烘箱劣化
CA45	52.94	50.61	48.19
CB45	37.34	33.35	30.02
AA45	58.83	57.47	57.25
AB45	40.12	40.01	39.69
EA45	51.76	50.92	50.62
EB45	39.99	39.01	38.50
IA45	56.05	55.72	55.61
IB45	40.39	39.85	39.66
SA45	54.25	52.87	52.12
SB45	41.02	39.88	38.96

(資料來源：本研究自行整理)

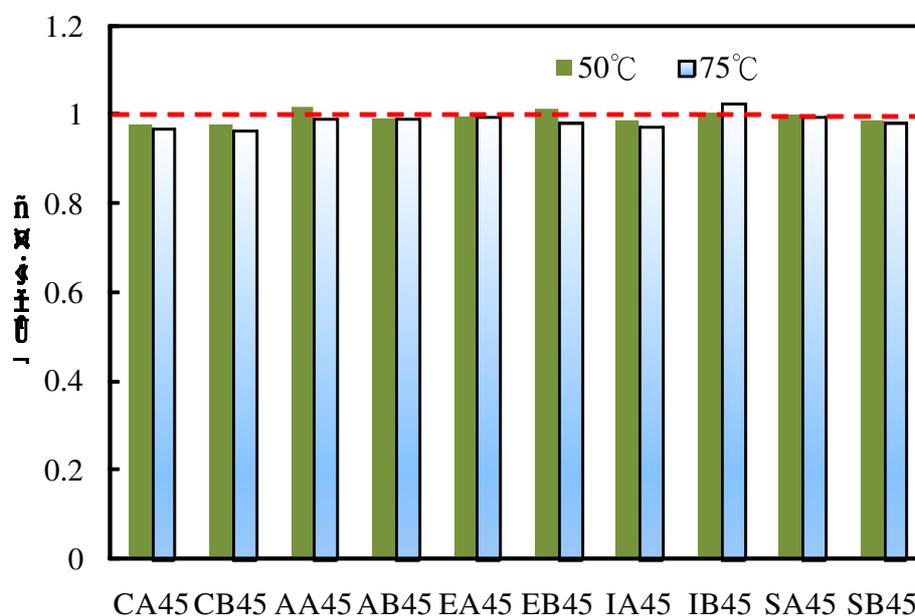


圖 4-1 50°C與75°C劣化後試體相對於25°C室溫狀態抗壓強度比值關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

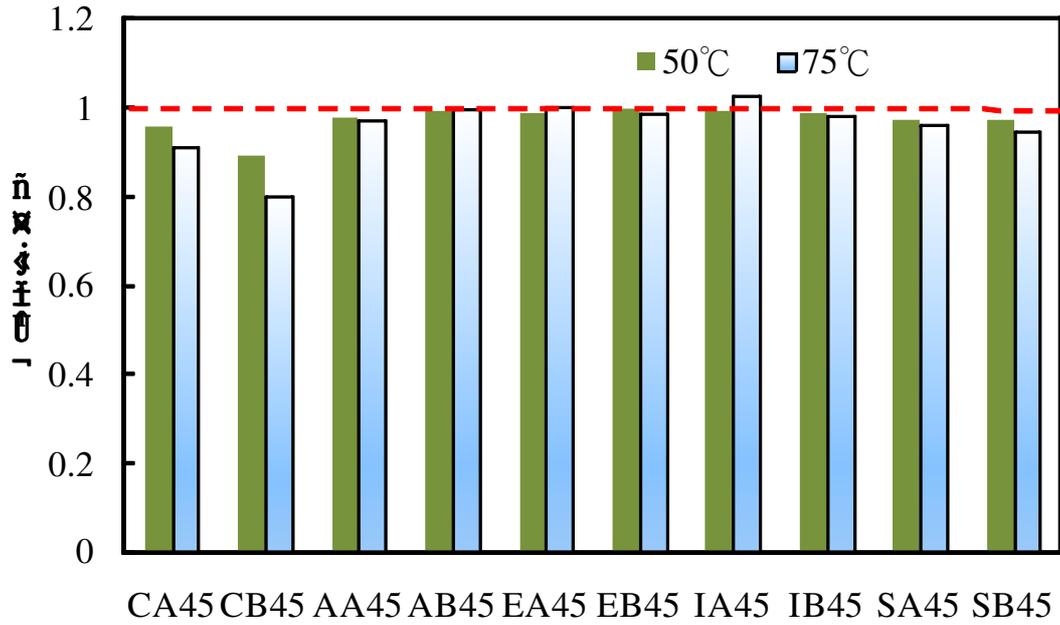


圖 4-2 50°C 與 75°C 劣化後試體相對於 25°C 室溫狀態抗壓強度比值關係圖
 (資料來源：本研究自行整理)

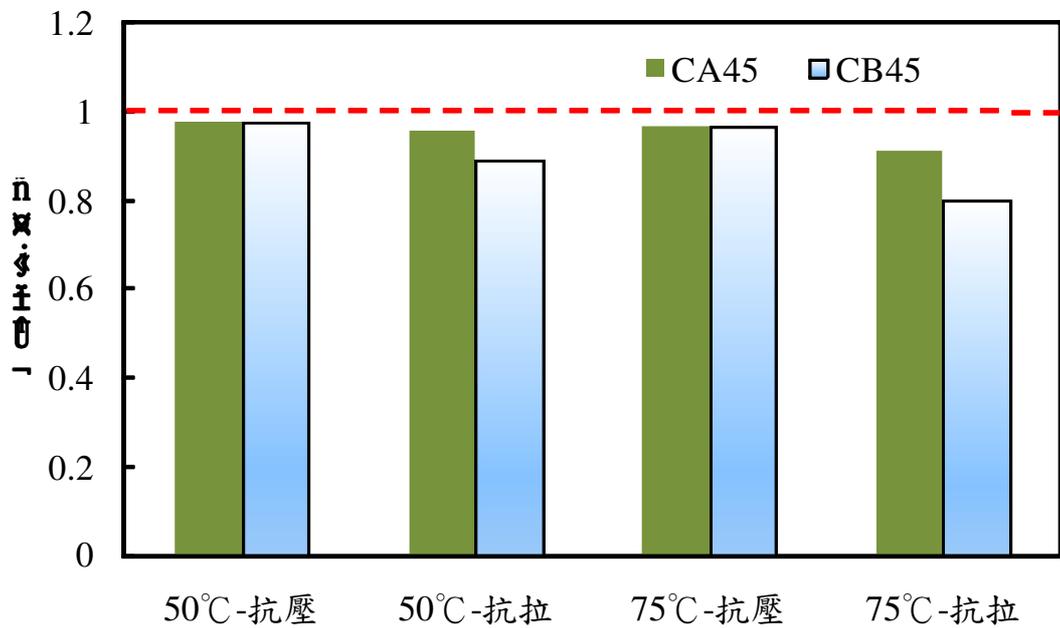


圖 4-3 未塗裝試體 50°C 與 75°C 劣化後對於 25°C 室溫狀態抗壓強度比值關係圖
 (資料來源：本研究自行整理)

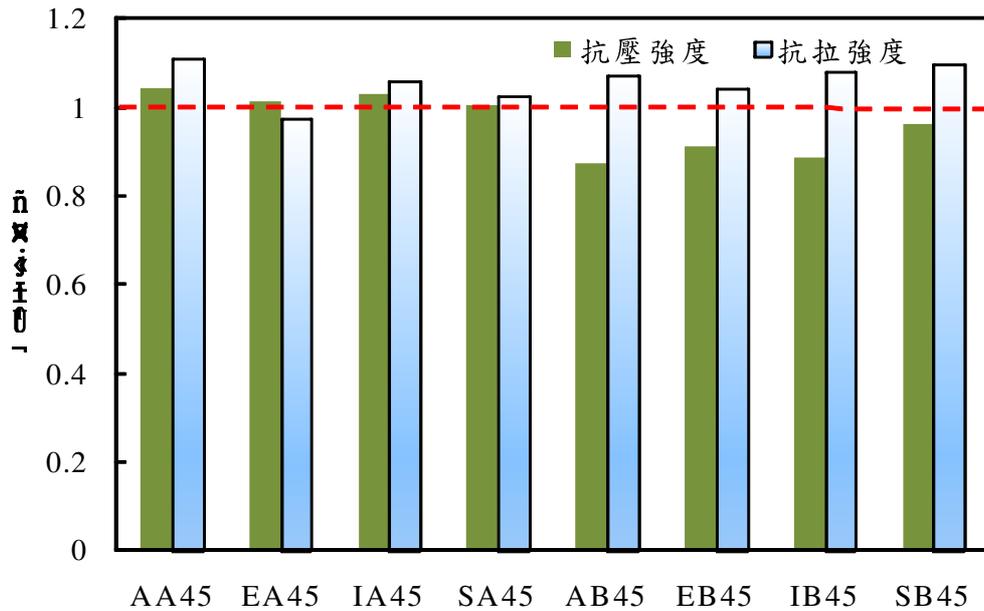


圖 4-4 塗裝試體 25°C 室溫狀態對未塗裝配比強度比值關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

4-2 塗裝試體劣化後色差分析

本計畫塗裝試片經日光與水霧加速劣化後進行色差量測工作。其中日光加速劣化因考量過去經驗，可能對色差影響較大，故於 672 小時劣化過程中，較原計畫增加 66 小時、200 小時、與 400 小時之量測工作。水霧加速劣化則量測 1344 小時後試片色差變化情形。

色差量測係依 CNS 10756-1 第 5.2 節以分光測光儀量測標準光 C 之 X、Y、Z 三刺激值。表 4-3 至表 4-6 為各塗裝試片日光模擬劣化試驗色差量測結果。表 4-7 與表 4-8 為水霧試驗劣化前後色差量測結果。

表 4-3 日光劣化試驗色差分析之 X、Y、Z 三刺激值量測結果 1

試體 編號	放置 位置	0 小時			66 小時			200 小時		
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
AA45	上	81.99	84.31	87.21	81.49	83.87	86.13	77.57	79.20	82.01
	中	82.53	84.78	87.34	81.49	83.87	86.07	77.83	79.46	82.11
	下	80.26	82.59	85.59	81.42	83.76	85.96	76.87	78.48	80.91
AB45	上	82.47	84.73	87.28	81.86	84.19	86.31	78.16	79.74	82.65
	中	82.33	84.53	87.03	80.80	83.14	85.03	76.92	78.57	80.99
	下	82.14	84.40	86.92	81.08	83.40	85.43	77.19	78.78	81.43
EA45	上	78.51	80.85	86.19	78.11	80.63	85.40	74.21	76.03	81.26
	中	78.71	81.08	86.53	77.90	80.39	85.25	74.22	76.04	81.39
	下	78.69	81.04	86.41	77.67	80.08	84.96	73.28	75.03	79.94
EB45	上	78.89	81.27	86.76	78.03	80.59	85.60	73.95	75.84	81.50
	中	78.51	80.88	86.56	77.91	80.46	85.54	73.95	75.81	81.19
	下	77.73	80.07	85.43	78.07	80.59	85.87	73.85	75.69	81.07

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-4 日光劣化試驗色差分析之 X、Y、Z 三刺激值量測結果 2

試體 編號	放置 位置	400 小時			672 小時		
		X	Y	Z	X	Y	Z
AA45	上	77.66	79.22	82.54	77.52	79.05	82.78
	中	77.54	79.09	82.07	77.12	78.68	82.09
	下	76.49	78.07	80.78	76.72	78.23	81.46
AB45	上	77.96	79.47	82.83	77.89	79.34	83.09
	中	76.55	78.11	80.99	75.28	76.75	79.90
	下	76.5	78.08	80.84	76.33	77.82	80.93
EA45	上	74.01	75.77	81.34	74.03	75.76	81.48
	中	74.07	75.82	81.54	74.05	75.79	81.57
	下	73.3	74.74	79.89	73.10	74.80	80.14
EB45	上	70.08	71.81	76.59	69.91	71.56	76.47
	中	73.69	75.48	81.22	73.66	75.41	81.30
	下	73.56	75.34	81.11	73.61	75.36	81.30

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-5 日光劣化試驗色差分析之 X、Y、Z 三刺激值量測結果 3

試體 編號	放置 位置	0 小時			66 小時			200 小時		
		X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
IA45	上	72.99	75.09	72.06	73.41	75.61	72.80	69.67	71.22	68.95
	中	72.58	74.63	71.61	72.90	75.10	72.21	69.54	71.08	68.65
	下	72.90	74.97	72.00	72.76	74.94	72.00	68.52	70.04	67.09
IB45	上	73.30	75.40	72.49	73.49	75.70	73.03	70.36	71.93	69.87
	中	73.14	75.28	72.55	72.81	75.06	72.67	69.47	71.08	69.09
	下	72.82	74.91	71.97	72.63	74.91	72.53	68.82	70.46	68.13
SA45	上	78.32	80.44	81.98	78.19	80.37	81.81	74.58	76.11	78.25
	中	78.25	80.40	81.93	77.98	80.15	81.60	74.28	75.76	77.88
	下	78.31	80.44	81.98	78.08	80.29	81.78	74.08	75.57	77.66
SB45	上	78.12	80.29	82.04	78.27	80.48	82.04	72.55	74.04	76.42
	中	77.36	79.51	80.85	77.80	80.00	81.58	73.99	75.49	77.80
	下	77.86	79.99	81.76	77.75	79.94	81.40	73.79	75.27	77.32

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-6 日光劣化試驗色差分析之 X、Y、Z 三刺激值量測結果 4

試體 編號	放置 位置	400 小時			672 小時		
		X	Y	Z	X	Y	Z
IA45	上	69.90	71.10	69.07	69.95	71.44	69.85
	中	69.41	70.91	68.68	69.63	71.08	69.25
	下	68.33	69.82	66.93	68.35	69.83	67.18
IB45	上	70.33	71.86	70.02	70.69	72.19	70.80
	中	69.35	70.94	69.07	69.74	71.31	69.94
	下	68.41	70.03	67.63	68.67	70.26	68.15
SA45	上	74.54	75.98	78.34	74.56	75.96	78.46
	中	73.86	75.30	77.51	73.82	75.17	77.51
	下	73.56	74.99	77.19	73.65	75.06	77.34
SB45	上	71.88	73.25	75.87	72.86	74.21	76.89
	中	73.81	75.28	77.70	73.77	75.15	77.63
	下	73.35	74.89	76.97	73.35	74.73	76.97

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-7 水霧劣化試驗色差分析之 X、Y、Z 三刺激值量測結果 1

試體 編號	試體 編號	0 小時			1344 小時		
		X	Y	Z	X	Y	Z
AA45	1	78.94	80.22	82.95	78.88	80.51	82.92
	2	78.90	80.42	83.91	78.82	80.50	83.08
	3	78.66	80.39	84.01	78.27	79.93	82.56
AB45	1	78.53	79.83	82.27	78.34	79.98	82.19
	2	79.85	81.91	85.02	79.66	81.34	84.74
	3	78.65	79.99	82.02	78.30	79.95	81.96
EA45	1	74.26	76.02	80.94	74.19	75.92	80.88
	2	75.98	77.63	84.01	75.71	77.50	83.99
	3	73.02	75.10	82.42	72.94	75.09	82.20
EB45	1	72.41	74.13	79.48	72.39	74.08	79.41
	2	75.01	76.88	82.65	74.99	76.79	82.57
	3	76.66	78.63	84.30	76.54	78.34	84.19

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-8 水霧劣化試驗色差分析之 X、Y、Z 三刺激值量測結果 2

試體 編號	試體 編號	0 小時			1344 小時		
		X	Y	Z	X	Y	Z
IA45	1	70.22	71.74	69.41	70.12	71.66	69.24
	2	69.42	70.84	68.26	69.28	70.79	68.11
	3	70.16	71.55	69.00	69.94	71.47	68.97
IB45	1	70.76	72.19	70.48	70.58	72.17	70.30
	2	69.24	70.76	68.39	69.12	70.63	68.17
	3	69.34	70.76	68.36	69.22	70.75	68.18
SA45	1	74.30	75.72	77.91	74.21	75.71	77.86
	2	73.99	75.67	77.61	73.88	75.37	77.39
	3	74.01	76.02	77.84	73.75	75.88	77.62
SB45	1	74.60	76.29	78.37	74.54	76.04	78.26
	2	75.96	77.70	80.29	75.91	77.52	80.19
	3	75.56	76.95	79.59	75.02	76.59	79.49

(資料來源：本研究自行整理)

由上述表中 X、Y、Z 三刺激值試驗結果，可轉換成具考量亮度的 CIE L*a*b* 座標系統，L* 為顏色的亮度，其中 L*=0 代表為純黑色，L*=100 代表為純白色。a* 代表顏色於紅色和綠色之間所佔的位置，負值表偏綠，正值表偏紅。b* 代表顏色於黃色和藍色之間所佔的位置，負值表偏黃，正值表偏藍。其轉換公式如下 [24]。

$$\begin{aligned}
 L^* &= 116(Y/Y_0)^{1/3} - 16 \\
 a^* &= 500 \left[\left(\frac{X}{X_0} \right)^{1/3} - \left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{1/3} \right] \\
 b^* &= 200 \left[\left(\frac{Y}{Y_0} \right)^{1/3} - \left(\frac{Z}{Z_0} \right)^{1/3} \right]
 \end{aligned}
 \tag{4-1}$$

式中 X₀、Y₀、與 Z₀ 為標準照明體 C 光之 X、Y、Z 三刺激值。C 光為代表色溫為 6774 K 的平均日光，光色近似陰天的日光，其 X₀ 為 98.07；Y₀ 為 100.00；Z₀ 為 118.18 [24]。由 L*a*b* 座標值，可進行總色差 ΔE*_{ab} 計算，其計算公式如下。

$$\begin{aligned}
 \Delta L^* &= L^*_1 - L^*_2 \\
 \Delta a^* &= a^*_1 - a^*_2 \quad \Delta b^* = b^*_1 - b^*_2 \\
 \Delta E^*_{ab} &= \left[(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2 \right]^{1/2}
 \end{aligned}
 \tag{4-2}$$

式中 ΔL* = L*₁ - L*₂ 為明度差，即試片 L* 值與初始量測值差距。Δa* 與 Δb* 為色度差。表 4-9 至 4-12 為日光模擬劣化試驗之總色差 ΔE*_{ab} 計算值，表 4-13 為水霧劣化試驗之總色差 ΔE*_{ab} 計算值。

表 4-9 日光劣化試驗色差分析總色差 ΔE^*_{ab} 計算值 1

試體編號	放置位置	66 小時		200 小時	
		ΔE^*_{ab}	平均值	ΔE^*_{ab}	平均值
AA45	上	0.481	0.606	2.534	2.440
	中	0.530		2.567	
	下	0.807		2.219	
AB45	上	0.390	0.570	2.519	2.678
	中	0.775		2.778	
	下	0.546		2.738	
EA45	上	0.539	0.541	2.354	2.571
	中	0.548		2.464	
	下	0.536		2.895	
EB45	上	0.571	0.519	2.623	2.414
	中	0.573		2.440	
	下	0.414		2.180	

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-10 日光劣化試驗色差分析總色差 ΔE^*_{ab} 計算值 2

試體編號	放置位置	400 小時		672 小時	
		ΔE^*_{ab}	平均值	ΔE^*_{ab}	平均值
AA45	上	2.649	2.621	2.821	2.778
	中	2.821		3.062	
	下	2.394		2.452	
AB45	上	2.770	2.965	2.971	3.334
	中	3.080		3.759	
	下	3.046		3.273	
EA45	上	2.549	2.603	2.601	2.644
	中	2.656		2.686	
	下	3.283*		3.058*	
EB45	上	4.463*	2.533	4.620*	2.613
	中	2.662		2.741	
	下	2.434		2.485	

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-11 日光劣化試驗色差分析總色差 ΔE^*_{ab} 計算值 2 (續表 4-5)

試體編號	放置位置	66 小時		200 小時	
		ΔE^*_{ab}	平均值	ΔE^*_{ab}	平均值
IA45	上	0.341	0.315	2.198	2.246
	中	0.373		2.001	
	下	0.231		2.540	
IB45	上	0.310	0.425	2.044	2.226
	中	0.376		2.306	
	下	0.590		2.329	
SA45	上	0.143	0.152	2.308	2.455
	中	0.131		2.500	
	下	0.181		2.556	
SB45	上	0.183	0.237	2.182	2.336
	中	0.276		2.356	
	下	0.253		2.470	

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-12 日光劣化試驗色差分析總色差 ΔE^*_{ab} 計算值 2 (續表 4-5)

試體編號	放置位置	400 小時		672 小時	
		ΔE^*_{ab}	平均值	ΔE^*_{ab}	平均值
IA45	上	2.611	2.477	2.405	2.488
	中	2.157		2.373	
	下	2.664		2.688	
IB45	上	2.180	2.370	2.277	2.409
	中	2.411		2.449	
	下	2.519		2.502	
SA45	上	2.492	2.698	2.576	2.782
	中	2.737		2.901	
	下	2.865		2.870	
SB45	上	3.657*	2.538	3.287*	2.731
	中	2.496		2.653	
	下	2.580		2.809	

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-13 水霧劣化試驗色差分析總色差 ΔE^*_{ab} 計算值

配比 編號	試體 編號	1344 小時		試體 編號	試體 編號	1344 小時	
		ΔE^*_{ab}	平均值			ΔE^*_{ab}	平均值
AA45	1	0.732	0.724	IA45	1	0.092	0.204
	2	0.723			2	0.212	
	3	0.718			3	0.307	
AB45	1	0.691	0.700	IB45	1	0.362	0.244
	2	0.797			2	0.095	
	3	0.613			3	0.274	
EA45	1	0.082	0.199	SA45	1	0.267	0.314
	2	0.307			2	0.410	
	3	0.209			3	0.267	
EB45	1	0.066	0.198	SB45	1	0.212	0.318
	2	0.145			2	0.276	
	3	0.383			3	0.465	

(資料來源：本研究自行整理)

圖 4-5 為日光加速劣化未使用海藻粉 A 組配比試體各種塗裝總色差變化情形。圖 4-6 則為使用海藻粉 B 組配比試體日光加速劣化變化情形。由圖中可以發現隨著日光劣化時間的進行總色差 ΔE^*_{ab} 變化有明顯增加之情形，但於 200 小時劣化時間後則有趨緩之現象。未使用海藻粉 A 組配比以壓克力與晴雨漆總色差變化最大，使用海藻粉 B 組配比則以壓克力漆總色差變化最大。圖中於總色差 1.5 與 0.5 處均繪製虛線，代表美國國家標準局對色差差別感覺程度的分類線，由此可區分為三級，分別為 $\Delta E^*_{ab} < 0.5$ 的顏色改變感覺輕微， $0.5 < \Delta E^*_{ab} < 1.5$

的感覺輕微與感覺明顯之間，與 $\Delta E^*_{ab} > 1.5$ 的顏色改變明顯。因此在 100 小時以前的劣化時間，總色差變化較不明顯，但 200 小時後，所有塗料均有明顯的顏色改變。圖 4-7 為水霧劣化各種試體塗裝總色差變化情形，由圖中可以發現無論有否添加海菜粉之配比，壓克力漆塗料均為色差變化較高可以大於 0.5。而差異次高的為晴雨漆，但仍低於 0.5 的顏色改變界限，表示水霧劣化對塗裝材料顏色的改變差異不大，除此之外晴雨漆係壓克力漆的改良產品，由此亦可得到驗證。若將圖 4-4 與圖 4-5 日光劣化的 66 小時與 200 小時的總色差變化視為線性，則水霧劣化 1344 小時總色差變化會相當於使用海菜粉配比試體日光劣化的 119 小時與未使用海菜粉配比試體的 111 小時。

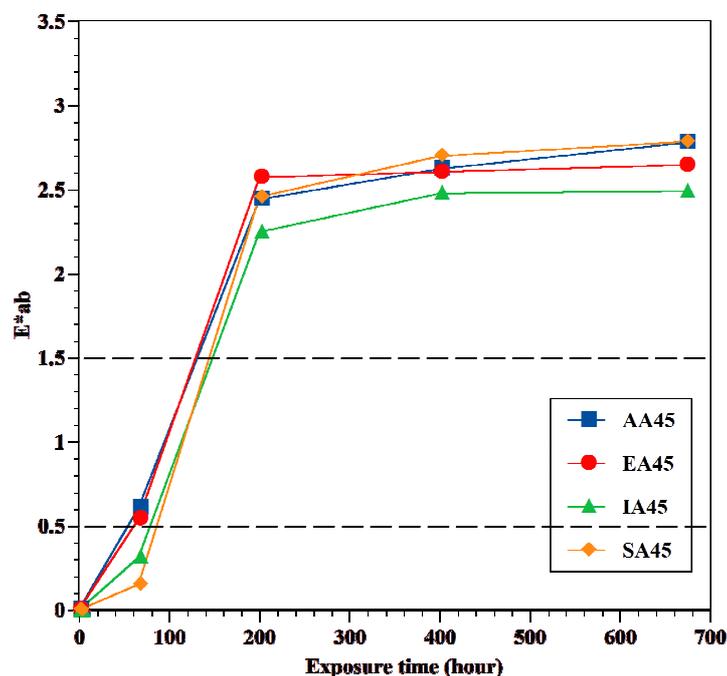


圖 4-5 未使用海菜粉配比試體各種塗裝日光劣化總色差變化情形

(資料來源：本研究自行整理)

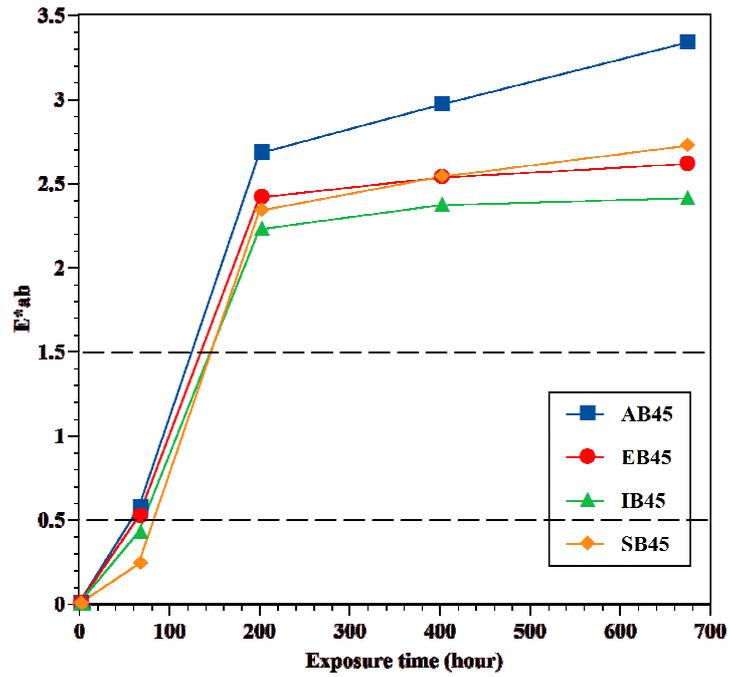


圖 4-6 使用海菜粉配比試體各種塗裝日光劣化總色差變化情形

(資料來源：本研究自行整理)

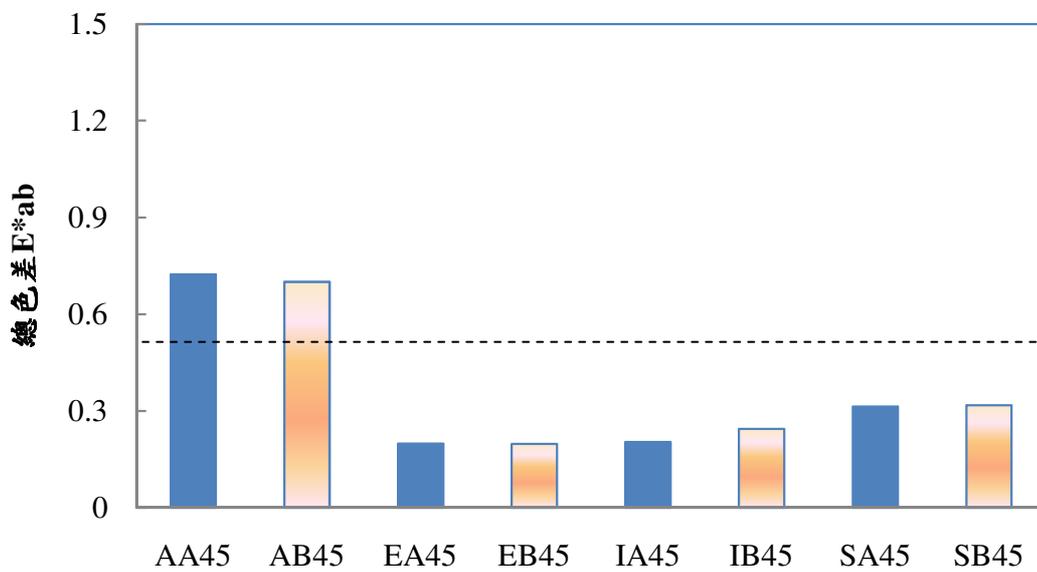


圖 4-7 各種塗裝水霧劣化總色差變化情形

(資料來源：本研究自行整理)

4-3 塗料劣化後光澤分析

視覺性質除分析塗膜於劣化前後顏色差異度外，亦進行 60 度入射角光澤度分析工作。表 4-14 至 4-17 為日光劣化試驗後塗膜光澤度分析結果，表 4-18 為水霧劣化後塗膜光澤度分析結果，表中數據均為 2 次量測值進行平均。由表中可以發現塗膜未劣化前，以環氧樹脂塗料的光澤度最高，其次為晴雨漆塗裝的試體，但剩下的壓克力漆塗裝與無機漆塗裝的光澤度極低，其值均小於 3 以下，於 200 小時日光劣化後以有部分試體讀數為 2，已接近儀器可偵測範圍的下限值。

表 4-14 日光劣化試驗光澤度改變值 1

試體 編號	放置 位置	0 小時		66 小時		200 小時	
		光澤度	平均值	光澤度	平均值	光澤度	平均值
AA45	上	2.6	2.67	2.5	2.50	2.4	2.57
	中	2.8		2.4		2.6	
	下	2.6		2.6		2.7	
AB45	上	2.6	2.60	2.4	2.47	2.3	2.47
	中	2.6		2.5		2.5	
	下	2.6		2.5		2.6	
EA45	上	12.8	12.97	12.0	12.77	12.4	12.50
	中	13.4		13.6		13.2	
	下	12.7		12.7		11.9	
EB45	上	12.5	12.40	9.2	10.53	10.1	10.53
	中	12.7		12.6		11.4	
	下	12.0		9.8		10.1	

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-15 日光劣化試驗光澤度改變值 2

試體編號	放置位置	400 小時		672 小時	
		光澤度	平均值	光澤度	平均值
AA45	上	2.3	2.5	2.1	2.3
	中	2.5		2.3	
	下	2.6		2.4	
AB45	上	2.2	2.5	2.1	2.3
	中	2.6		2.4	
	下	2.6		2.3	
EA45	上	11.8	12.0	11.0	11.0
	中	12.3		11.6	
	下	11.8		10.4	
EB45	上	9.4	10.3	9.0	9.5
	中	11.5		10.9	
	下	10.0		8.7	

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-16 日光劣化試驗光澤度改變值 3

試體 編號	放置 位置	0 小時		66 小時		200 小時	
		光澤度	平均值	光澤度	平均值	光澤度	平均值
IA45	上	2.2	2.20	2.0	2.03	2.0	2.00
	中	2.2		2.1		2.0	
	下	2.2		2.0		2.0	
IB45	上	2.2	2.20	2.1	2.02	2.0	2.00
	中	2.2		2.0		2.0	
	下	2.2		2.0		2.0	
SA45	上	10.0	10.12	9.0	9.13	8.2	8.90
	中	9.7		8.5		8.6	
	下	10.7		9.9		9.9	
SB45	上	11.1	11.33	7.8	9.00	7.6	7.93
	中	11.1		10.4		7.6	
	下	11.8		8.8		8.6	

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-17 日光劣化試驗光澤度改變值 4

試體編號	放置位置	400 小時		672 小時	
		光澤度	平均值	光澤度	平均值
IA45	上	2.0	2.0	2.0	2.0
	中	2.0		2.0	
	下	2.0		1.9	
IB45	上	1.9	1.9	1.9	1.9
	中	1.9		1.9	
	下	2.0		1.9	
SA45	上	7.9	7.8	5.3	6.1
	中	7.8		5.4	
	下	7.7		7.6	
SB45	上	7.5	7.2	5.6	5.2
	中	7.1		4.9	
	下	7.1		5.1	

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-18 水霧劣化試驗光澤度改變值 1

試體編號	放置位置	0 小時		1344 小時	
		光澤度	平均值	光澤度	平均值
AA45	上	2.5	2.6	2.4	2.4
	中	2.7		2.3	
	下	2.6		2.6	
AB45	上	2.6	2.5	2.1	2.3
	中	2.4		2.3	
	下	2.7		2.6	
EA45	上	10.2	9.9	9.0	9.3
	中	9.7		9.6	
	下	9.8		9.5	
EB45	上	11.3	11.5	11.8	11.0
	中	11.4		9.3	
	下	12.0		11.9	

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-19 水霧劣化試驗光澤度改變值 2

試體編號	放置位置	0 小時		1344 小時	
		光澤度	平均值	光澤度	平均值
IA45	上	2	2.1	2.0	2.0
	中	2.1		2.0	
	下	2.1		2.0	
IB45	上	2.2	2.2	2.2	2.2
	中	2.2		2.2	
	下	2.2		2.1	
SA45	上	9.5	9.5	9.2	9.1
	中	9.1		9.0	
	下	10		9.1	
SB45	上	10.1	10.1	9.5	9.4
	中	10.1		9.4	
	下	10.0		9.2	

(資料來源：本研究自行整理)

圖 4-8 為使用海菜粉 A 組配比試體各種塗裝光澤度變化情形。圖 4-9 則為使用海菜粉 B 組配比試體變化情形。由圖中可以發現隨著日光劣化時間的進行光澤度變化有略微下降之情形，其中以晴雨塗裝光澤度變化較大，於 672 小時劣化後，光澤度的損失分別為使用海菜粉配比的 39.7%，與未使用海菜粉配比的 54.1%。圖 4-10 為水霧劣化光澤度變化情形，由圖中可以發現各種塗料水霧劣化前後差異均不大，環氧樹脂漆差異略大，但僅會較沒劣化前光澤度減少 4.5%至 6.1%。

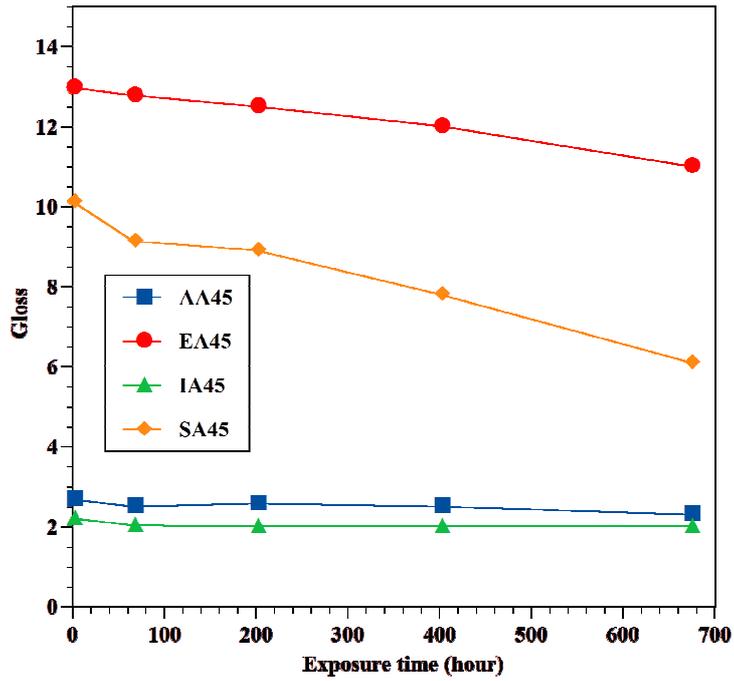


圖 4-8 未使用海菜粉配比試體各種塗裝日光劣化光澤度變化情形

(資料來源：本研究自行整理)

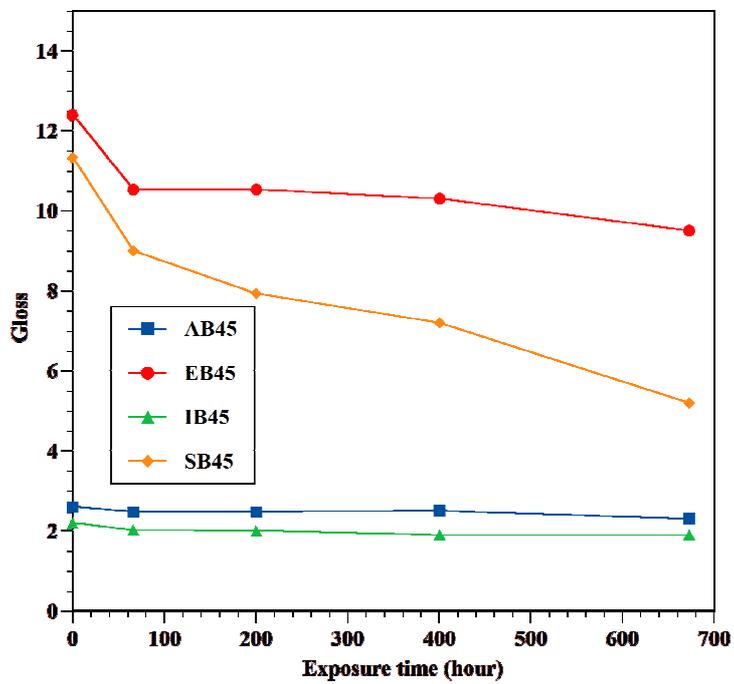


圖 4-9 使用海菜粉配比試體各種塗裝日光劣化光澤度變化情形

(資料來源：本研究自行整理)

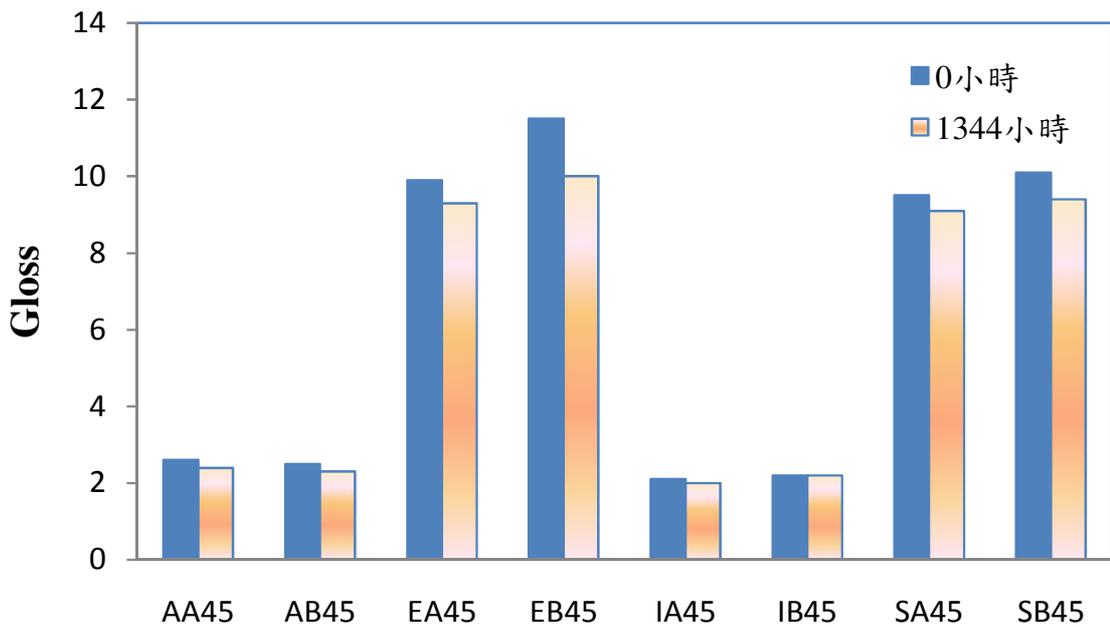


圖 4-10 各種塗裝水霧劣化光澤度變化情形

(資料來源：本研究自行整理)

4-4 塗料劣化後接觸角分析

接觸角分析係力用量測水與塗膜之間的接觸角來評估塗料的自潔能力。當接觸角大時，表示當戶外雨水沾道塗膜時不易被附著，並且容易帶走原本沾附於塗料上的灰塵。表 4-20 至表 4-21 為日光劣化試驗後塗膜接觸角分析結果，表 4-22 與表 4-23 為水霧劣化結果。由表中未劣化試體發現，壓克力塗料的接觸角介於 84 度至 89 度之間。環氧樹脂塗料為 61 度至 71 度。無機漆為 87 度至 102 度。晴雨漆為 79 至 85 度。由於晴雨漆係壓克力塗料的改良產品，因此兩者接觸角所反應的數據略為相同。

表 4-20 日光劣化試驗接觸角量測值 1

試體編號	放置位置	0 小時		672 小時	
		接觸角度	平均值	接觸角度	平均值
AA45	上	88.27	86.18	87.69	85.99
	中	84.67		84.42	
	下	85.61		85.86	
AB45	上	84.65	85.56	89.14	86.06
	中	85.28		82.49	
	下	86.74		86.54	
EA45	上	63.36	62.45	68.52	64.18
	中	61.26		63.76	
	下	62.73		60.25	
EB45	上	67.72	66.07	63.12	66.87
	中	64.23		66.48	
	下	66.27		71.00	

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-21 日光劣化試驗光澤度改變值 4

試體編號	放置位置	0 小時		672 小時	
		接觸角度	平均值	接觸角度	平均值
IA45	上	99.39	100.28	93.70	90.35
	中	101.55		87.37	
	下	99.89		89.98	
IB45	上	101.86	101.65	87.60	88.02
	中	103.82		86.32	
	下	99.27		90.15	
SA45	上	84.64	81.71	68.71	68.66
	中	80.27		70.81	
	下	80.21		66.47	
SB45	上	79.32	81.45	69.95	67.48
	中	83.77		65.86	
	下	81.25		66.64	

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-22 水霧劣化試驗接觸角改變值 1

試體編號	放置位置	0 小時		1344 小時	
		接觸角度	平均值	接觸角度	平均值
AA45	1	87.85	85.93	86.69	85.95
	2	83.91		84.10	
	3	86.02		87.06	
AB45	1	85.29	85.30	85.46	84.85
	2	84.97		84.09	
	3	85.63		85.01	
EA45	1	62.74	62.77	62.66	62.51
	2	62.89		62.70	
	3	62.68		62.18	
EB45	1	66.93	66.35	65.99	66.36
	2	65.02		66.08	
	3	67.09		67.00	

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-23 水霧劣化試驗接觸角改變值 2

試體編號	放置位置	0 小時		1344 小時	
		接觸角度	平均值	接觸角度	平均值
IA45	1	100.49	99.52	100.21	99.31
	2	98.81		99.06	
	3	99.27		98.67	
IB45	1	100.29	100.06	100.08	99.77
	2	100.06		99.97	
	3	99.84		99.26	
SA45	1	83.98	81.69	83.69	81.37
	2	80.44		80.26	
	3	80.64		80.15	
SB45	1	80.68	81.74	80.57	81.47
	2	80.26		80.16	
	3	84.29		83.69	

(資料來源：本研究自行整理)

圖 4-11 為各配比試體日光劣化前後接觸角度變化情形，由圖中可以發現除了無機塗料與晴雨漆塗料會因光劣化而有所變化外，其他差異並不大，均在 1 度以內。對劣化程度而言，無機塗料經過 672 小時日光劣化後，接觸角小了約 12%~14%；晴雨漆塗料則為 16%~17%。圖 4-12 為水霧劣化 1344 小時後接觸角度變化情形。由圖中可以發現變化趨近於無，代表水霧劣化並不會對塗料的自潔性能造成影響。

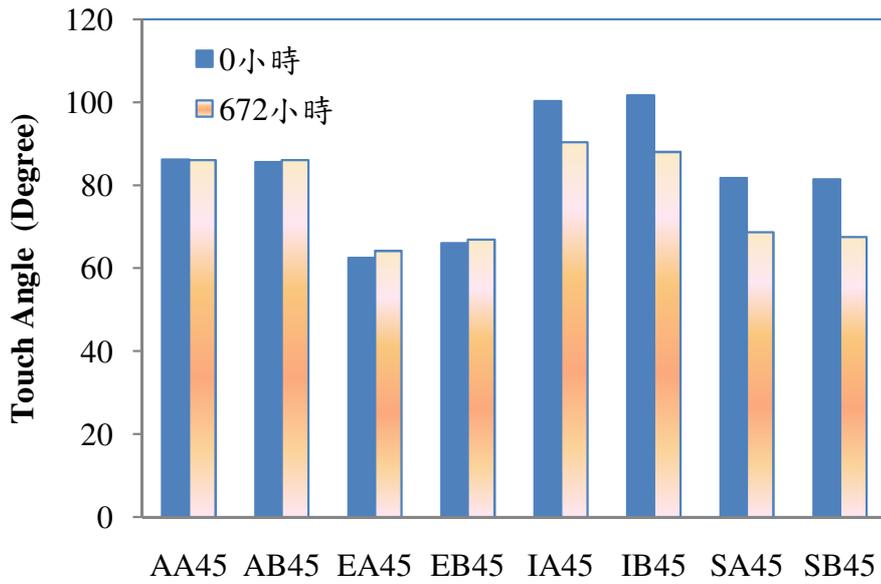


圖 4-11 各種塗裝日光劣化接觸角變化情形

(資料來源：本研究自行整理)

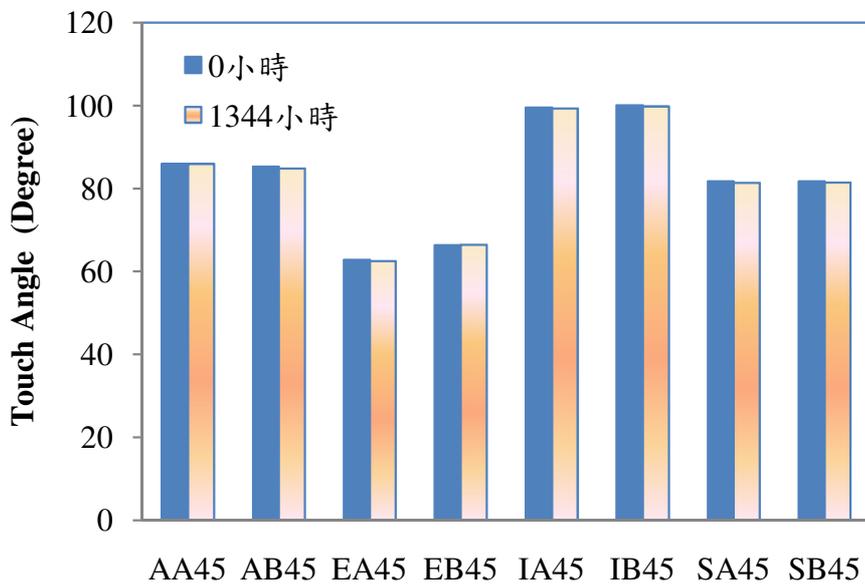


圖 4-12 各種塗裝日光劣化接觸角變化情形

(資料來源：本研究自行整理)

4-5 透水試驗結果分析

本研究試體經溫度加速劣化後需進行透水性能分析。相關試體表面以定水頭力量持續加壓，由進入試體的水量評估其透水性能。原計畫設定之定水頭壓力為 20 kgf/cm^2 ，加壓時間為 72 小時。但於進行 50°C 烘箱劣化試體透水試驗，發現加壓 2 小時後，壓力便會把水穿透 4 公分厚的試體，造成試驗失敗，因此本計畫將加壓時間調整為 1 小時。表 4-24 與表 4-25 為所有試體未經烘箱加速（即 25°C 室溫）且加壓時間為 72 小時的試驗結果。

表 4-24 試體未經烘箱加速劣化透水試驗結果（加壓時間：72 小時）1

配比編號	劣化狀態	試體重量(g)			
		加壓前	加壓後	重量差	平均值
CA45	未劣化	630.4	636.8	6.4	6.6
CA45	未劣化	647.4	654.6	7.2	
CA45	未劣化	653.4	659.6	6.2	
CB45	未劣化	537.6	551.4	13.8	13.5
CB45	未劣化	563	577.8	14.8	
CB45	未劣化	583	596.4	13.4	
AA45	未劣化	640.0	640.8	0.8	0.8
AA45	未劣化	638.8	639.5	0.7	
AA45	未劣化	640.1	641.0	0.9	
AB45	未劣化	563.3	565.4	2.1	2.0
AB45	未劣化	560.2	562.2	2.0	
AB45	未劣化	558.4	560.3	1.9	

（資料來源：本研究自行整理）

表 4-25 試體未經烘箱加速劣化透水試驗結果（加壓時間：72 小時） 2

配比編號	劣化狀態	試體重量(g)			
		加壓前	加壓後	重量差	平均值
EA45	未劣化	622.4	624.4	2.0	2.0
EA45	未劣化	617.0	618.9	1.9	
EA45	未劣化	632.4	634.4	2.0	
EB45	未劣化	570.4	572.6	2.2	2.2
EB45	未劣化	600.8	603.1	2.3	
EB45	未劣化	591.6	593.7	2.1	
IA45	未劣化	669.4	671.2	1.8	2.1
IA45	未劣化	647.8	650.2	2.4	
IA45	未劣化	655.5	657.5	2.0	
IB45	未劣化	540.4	544.4	4.0	4.1
IB45	未劣化	598.2	602	3.8	
IB45	未劣化	585.0	589.4	4.4	
SA45	未劣化	631.5	632.4	0.9	0.7
SA45	未劣化	642.9	643.5	0.6	
SA45	未劣化	639.8	640.6	0.8	
SB45	未劣化	566.7	568.8	2.1	2.1
SB45	未劣化	559.5	561.7	2.2	
SB45	未劣化	574.1	576.0	1.9	

（資料來源：本研究自行整理）

圖 4-13 為試體未經烘箱加速劣化時，72 小時透水試驗結果比較圖。由圖中可以發現在相同塗裝下，添加海菜粉的試體透水量均高於未添加試體，於未塗裝的控制組試體甚至高達 2 倍透水量，表示添加海菜粉基材的抗透水性質較差，此與力學性質所得結果相忽應。以塗料性能而言，由試驗可發現晴雨漆塗膜較可抵抗水壓，壓克力漆次之，但兩者相差不大。而無機漆的透水性較高。

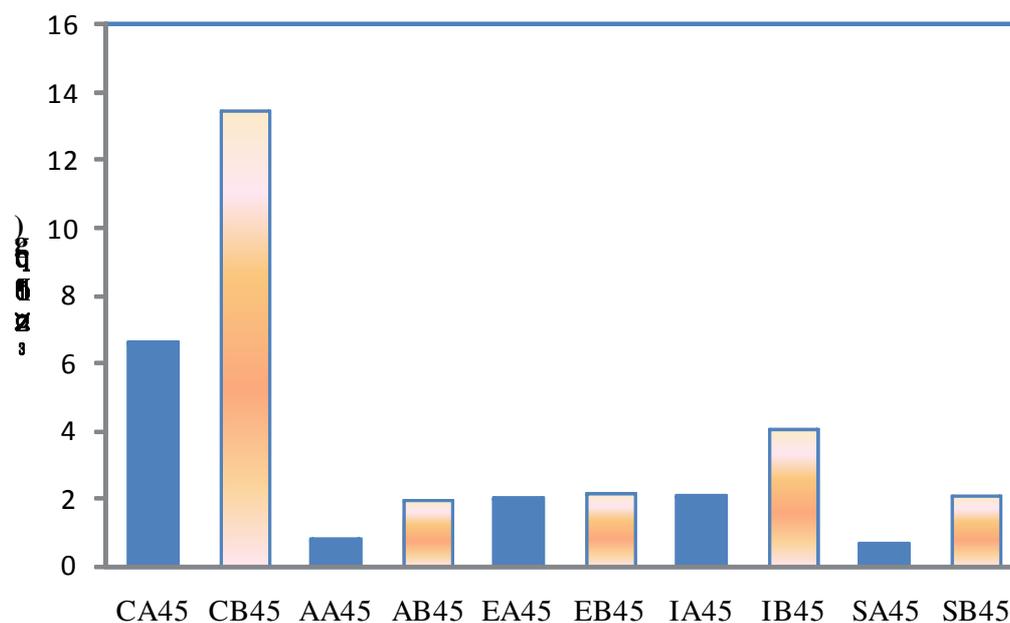


圖 4-13 未經烘箱加速劣化試體透水量比較圖（加壓時間：72 小時）

（資料來源：本研究自行整理）

表 4-26 至表 4-28 則為烘箱加速劣化後試體透水試驗結果，其加壓時間受限於試體品質改為 1 小時。其中表 4-26 與表 4-27 為未劣化（即 25°C 室溫）1 小時透水試驗結果。表 4-28 與表 4-29 為 50°C 烘箱劣化 1 小時透水試驗結果。表 4-30 與表 4-31 為 75°C 烘箱劣化 1 小時透水試驗結果。

表 4-26 溫度加速劣化試體透水試驗結果（加壓時間：1 小時）1

配比編號	劣化狀態	試體重量(g)			
		加壓前	加壓後	重量差	平均值
CA45	未劣化	642.5	643.0	0.5	0.5
CA45	未劣化	648.3	648.7	0.4	
CA45	未劣化	642.9	643.4	0.5	
CB45	未劣化	541.5	542.5	1	1.1
CB45	未劣化	552.8	554.1	1.3	
CB45	未劣化	563.0	564.1	1.1	
AA45	未劣化	647.8	647.8	0	0.2
AA45	未劣化	649.2	649.5	0.3	
AA45	未劣化	639.8	640.2	0.4	
AB45	未劣化	564.0	564.3	0.3	0.3
AB45	未劣化	561.6	561.9	0.3	
AB45	未劣化	559.3	559.7	0.4	
EA45	未劣化	627.0	627.1	0.1	0.1
EA45	未劣化	636.8	636.9	0.1	
EA45	未劣化	645.4	645.6	0.2	
EB45	未劣化	572.8	573.0	0.2	0.2
EB45	未劣化	598.6	598.9	0.3	
EB45	未劣化	599.4	599.5	0.1	

（資料來源：本研究自行整理）

表 4-27 溫度加速劣化試體透水試驗結果（加壓時間：1 小時） 2

配比編號	劣化狀態	試體重量(g)			
		加壓前	加壓後	重量差	平均值
IA45	未劣化	670.2	670.3	0.1	0.1
IA45	未劣化	670.0	670.1	0.1	
IA45	未劣化	681.9	681.9	0	
IB45	未劣化	553.4	553.8	0.4	0.3
IB45	未劣化	592.6	592.7	0.1	
IB45	未劣化	597.4	597.7	0.3	
SA45	未劣化	629.4	629.6	0.2	0.1
SA45	未劣化	641.6	641.6	0	
SA45	未劣化	642.8	642.9	0.1	
SB45	未劣化	571.6	571.7	0.1	0.1
SB45	未劣化	560.8	560.9	0.1	
SB45	未劣化	576.8	577.0	0.2	

（資料來源：本研究自行整理）

表 4-28 溫度加速劣化試體透水試驗結果（加壓時間：1 小時）3

配比編號	劣化狀態	試體重量(g)			
		加壓前	加壓後	重量差	平均值
CA45	50°C 烘箱	618.2	624.2	6.0	5.7
CA45	50°C 烘箱	633.9	639.1	5.2	
CA45	50°C 烘箱	660.2	666.1	5.9	
CB45	50°C 烘箱	512.8	527.6	14.8	14.2
CB45	50°C 烘箱	531.4	544.9	13.5	
CB45	50°C 烘箱	540.6	555.0	14.4	
AA45	50°C 烘箱	622.2	623.0	0.8	0.8
AA45	50°C 烘箱	660.7	661.3	0.6	
AA45	50°C 烘箱	629.8	630.7	0.9	
AB45	50°C 烘箱	531.8	532.6	0.8	0.9
AB45	50°C 烘箱	546.8	547.5	0.7	
AB45	50°C 烘箱	544.7	545.9	1.2	
EA45	50°C 烘箱	608.0	609.2	1.2	1.0
EA45	50°C 烘箱	612.4	613.3	0.9	
EA45	50°C 烘箱	637.5	638.5	1.0	
EB45	50°C 烘箱	530.6	532.0	1.4	1.3
EB45	50°C 烘箱	528.4	529.8	1.4	
EB45	50°C 烘箱	543.7	544.8	1.1	

（資料來源：本研究自行整理）

表 4-29 溫度加速劣化試體透水試驗結果（加壓時間：1 小時）4

配比編號	劣化狀態	試體重量(g)			
		加壓前	加壓後	重量差	平均值
IA45	50°C 烘箱	596.4	599.0	2.6	2.4
IA45	50°C 烘箱	591.4	593.6	2.2	
IA45	50°C 烘箱	578.5	580.8	2.3	
IB45	50°C 烘箱	554.4	556.4	2.0	2.5
IB45	50°C 烘箱	539.0	541.7	2.7	
IB45	50°C 烘箱	535.7	538.5	2.8	
SA45	50°C 烘箱	607.2	608.1	0.9	0.7
SA45	50°C 烘箱	613.2	613.8	0.6	
SA45	50°C 烘箱	642.8	643.5	0.7	
SB45	50°C 烘箱	556.0	557.3	1.3	0.9
SB45	50°C 烘箱	571.6	572.1	0.5	
SB45	50°C 烘箱	576.8	577.8	1.0	

（資料來源：本研究自行整理）

表 4-30 溫度加速劣化試體透水試驗結果（加壓時間：1 小時）5

配比編號	劣化狀態	試體重量(g)			
		加壓前	加壓後	重量差	平均值
CA45	75°C 烘箱	616.4	634.8	18.4	14.8
CA45	75°C 烘箱	636.5	649.9	13.4	
CA45	75°C 烘箱	648.7	661.4	12.7	
CB45	75°C 烘箱	509.0	522.6	13.6	17.9
CB45	75°C 烘箱	512.5	533.2	20.7	
CB45	75°C 烘箱	539.4	558.9	19.5	
AA45	75°C 烘箱	598.0	599.6	1.6	1.5
AA45	75°C 烘箱	604.6	606.1	1.5	
AA45	75°C 烘箱	636.8	638.2	1.4	
AB45	75°C 烘箱	510.2	512.0	1.8	1.8
AB45	75°C 烘箱	521.0	522.7	1.7	
AB45	75°C 烘箱	505.9	507.8	1.9	
EA45	75°C 烘箱	571.0	572.0	1.0	1.0
EA45	75°C 烘箱	556.8	557.9	1.1	
EA45	75°C 烘箱	576.9	577.8	0.9	
EB45	75°C 烘箱	535.0	536.8	1.8	1.6
EB45	75°C 烘箱	568.4	570.1	1.7	
EB45	75°C 烘箱	529.5	530.9	1.4	

（資料來源：本研究自行整理）

表 4-31 溫度加速劣化試體透水試驗結果（加壓時間：1 小時）6

配比編號	劣化狀態	試體重量(g)			
		加壓前	加壓後	重量差	平均值
IA45	75°C 烘箱	624.2	630.4	6.2	5.1
IA45	75°C 烘箱	631.5	635.7	4.2	
IA45	75°C 烘箱	658.2	663.1	4.9	
IB45	75°C 烘箱	537.2	542.4	5.2	5.7
IB45	75°C 烘箱	541.4	547.2	5.8	
IB45	75°C 烘箱	565.1	571.1	6.0	
SA45	75°C 烘箱	619.8	620.9	1.1	0.9
SA45	75°C 烘箱	660.2	661.2	1.0	
SA45	75°C 烘箱	635.0	635.9	0.9	
SB45	75°C 烘箱	517.8	519.0	1.2	1.6
SB45	75°C 烘箱	546.8	548.5	1.7	
SB45	75°C 烘箱	546.8	548.6	1.8	

（資料來源：本研究自行整理）

圖 4-14 為未添加海菜粉配比烘箱劣化後透水試驗結果，由圖中可以發現隨著溫度的增加，透水量有上升的趨勢，其中以未塗裝試體最高，無機漆試體次之，壓克力塗料、環氧樹脂塗料、與晴雨漆較不受影響。圖中虛線為未塗裝且未劣化試體於 72 小時加壓過程的透水量。由圖中可以明顯看到，未塗裝試體於 1 小時加壓過程即以超過未 72 小時加壓過程的透水量。圖 4-15 為添加海菜粉配比烘箱劣化後透水試驗結果，亦以虛線表示未塗裝且未劣化試體於 72 小時加壓過程的透水量。圖中亦有與圖 4-14 相同趨勢，且未塗裝試體於 1 小時加壓過程即已超過 72 小時加壓過程的透水量。

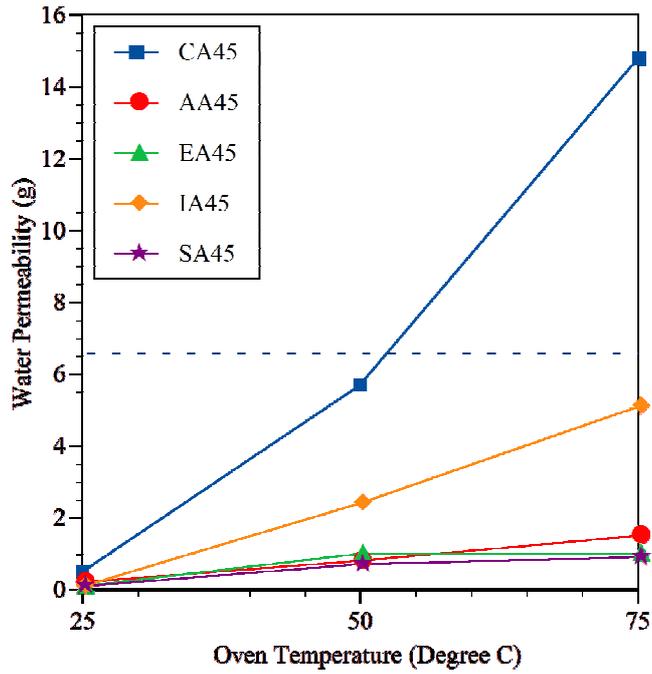


圖 4-14 未添加海菜粉配比烘箱加速劣化透水量比較圖 (加壓時間：1 小時)

(資料來源：本研究自行整理)

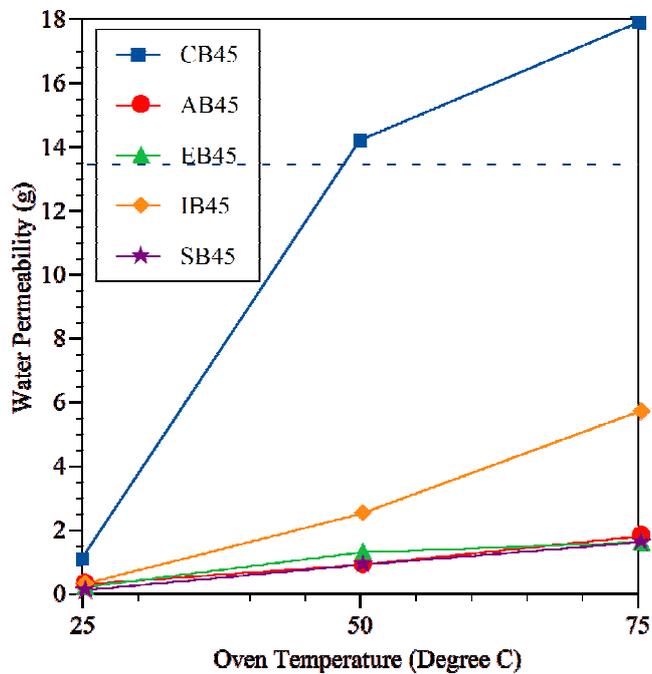


圖 4-15 添加海菜粉配比烘箱加速劣化透水量比較圖 (加壓時間：1 小時)

(資料來源：本研究自行整理)

4-5 氯離子性能評估試驗結果分析

本計畫氯離子評估試驗係依 ASTM C1543 標準進行貯鹽試驗 (ponding test)。於試體於烘箱各溫度加速劣化後進行 90 天貯鹽過程，並於貯鹽後進行試體各深度的氯離子含量分析。圖 4-16 為未塗裝控制組溫度劣化後氯離子含量與深度的關係圖。由圖中可以發現未劣化 B 組試體的氯離子含量與深度關係曲線明顯高於 A 組，且溫度劣化後亦有相同的現象，表示添加海藻粉配比耐久性確實高於未添加者。而隨著烘箱劣化溫度的增加，曲線亦有上抬的趨勢。圖 4-17 至圖 4-20 則分別代表各種塗裝試體氯離子含量與深度關係曲線。

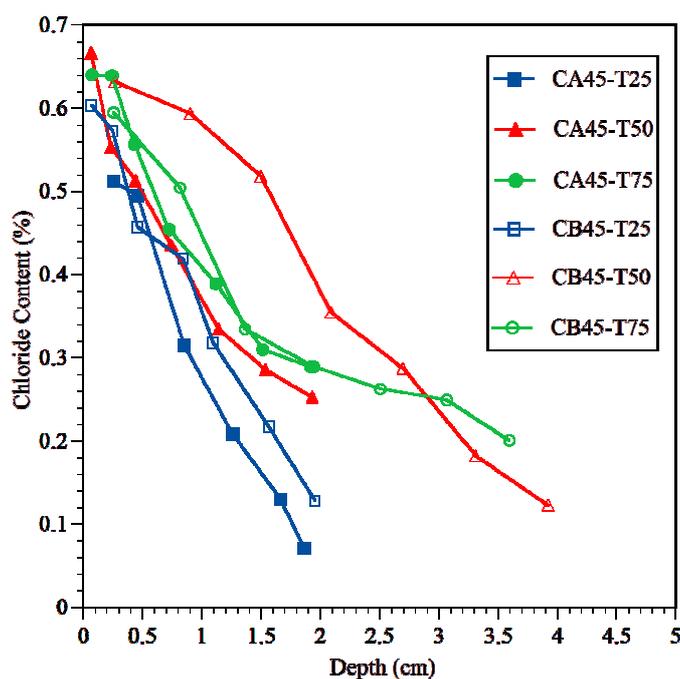


圖 4-16 未塗裝控制組溫度劣化後氯離子含量與深度的關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

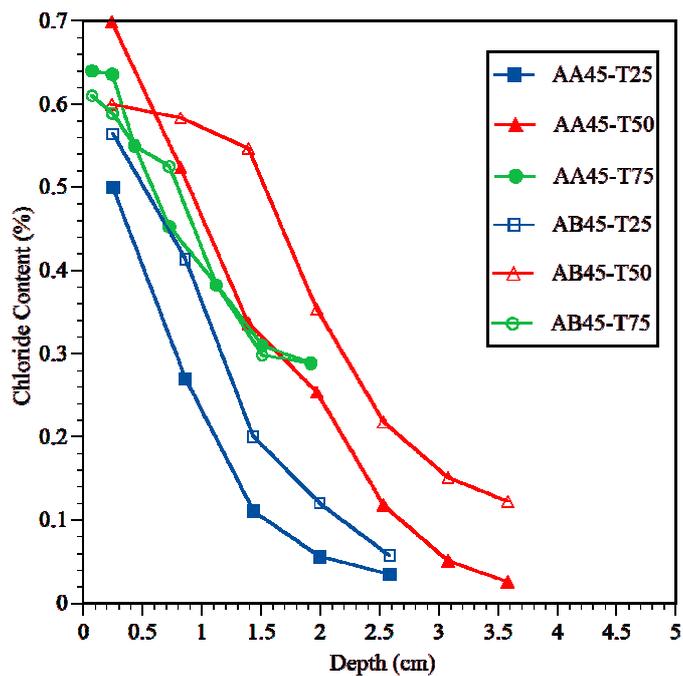


圖 4-17 壓克力漆塗裝試體溫度劣化後氯離子含量與深度的關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

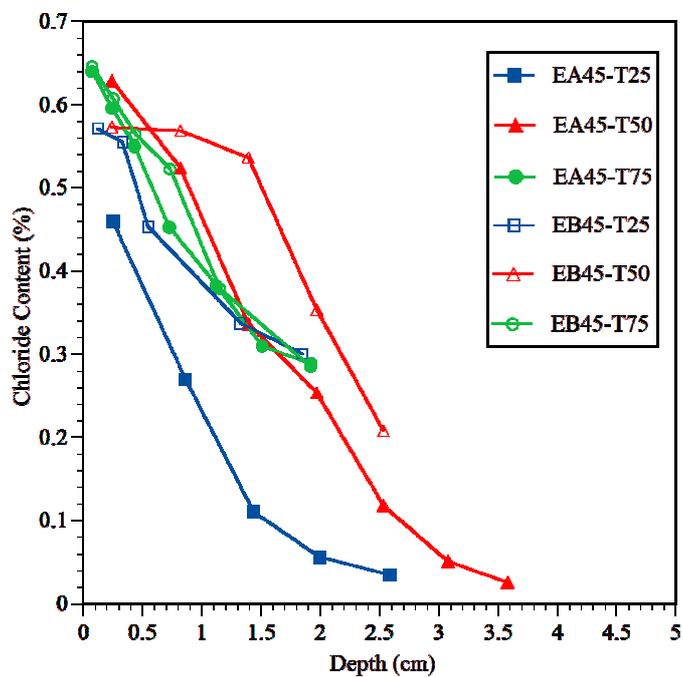


圖 4-18 環氧樹脂漆塗裝試體溫度劣化後氯離子含量與深度的關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

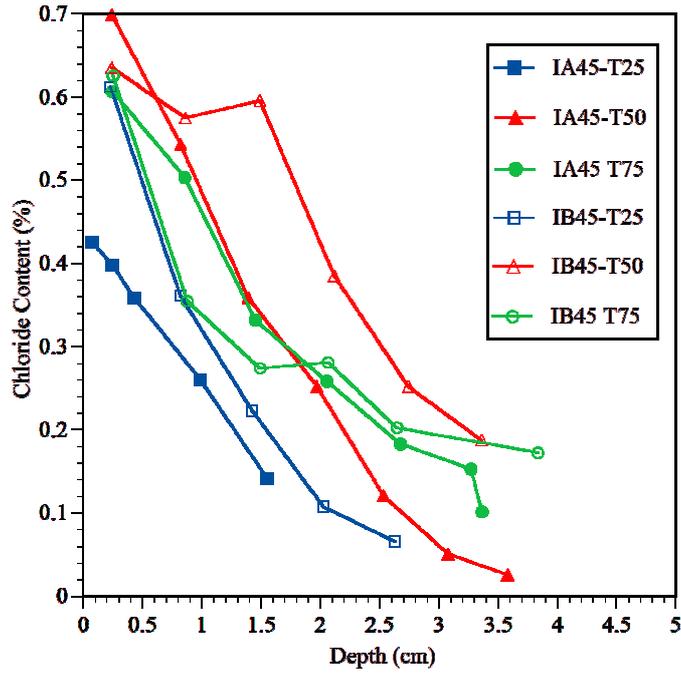


圖 4-19 無機漆塗裝試體溫度劣化後氯離子含量與深度的關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

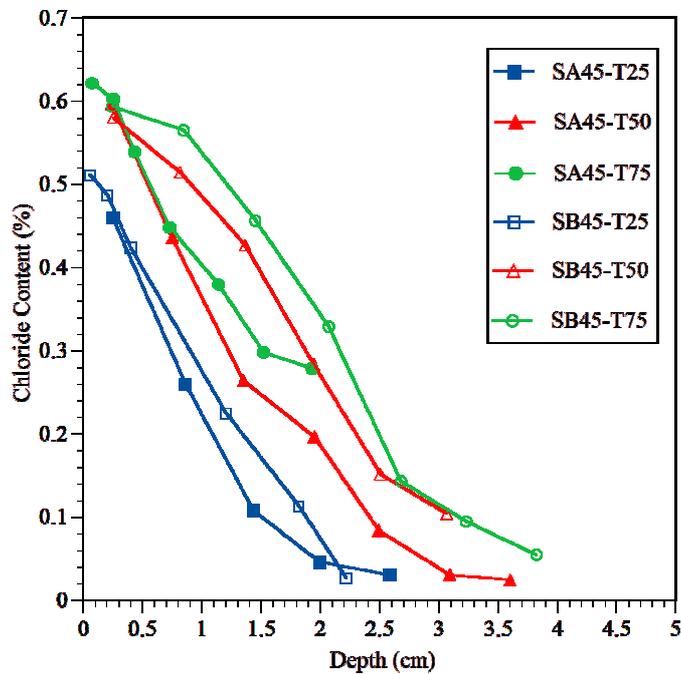


圖 4-20 晴雨漆塗裝試體溫度劣化後氯離子含量與深度的關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

由各試體的氯離子含量與深度的關係圖，配合式 3-4 的 Fick 第二定律，迴歸計算氯離子擴散係數，圖 4-21 為本研究未劣化的 CA45 試體迴歸計算氯離子擴散係數情形。

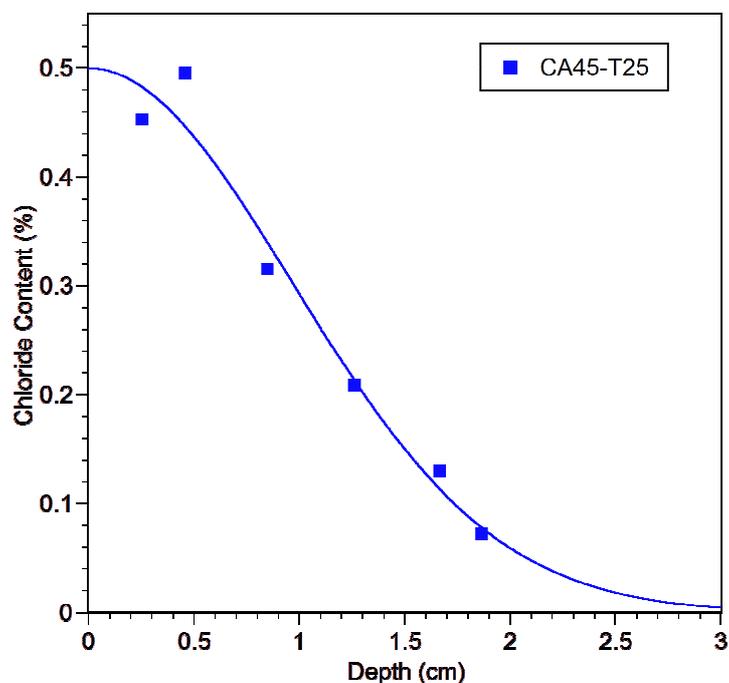


圖 4-20 未劣化 CA45 試體迴歸計算氯離子擴散係數

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-32 至表 4-35 為各變數試體經迴歸計算後的氯離子擴散係數。若以單一劣化溫度而言，無論有無添加海菜粉的配比，均以晴雨漆塗裝試體的氯離子擴散係數較低，表示未劣化時晴雨漆對試體表面提供較佳的保護模。而於 50°C 與 75°C 劣化溫度下，晴雨漆亦比未塗裝試體的氯離子擴散係數低，亦說明了晴雨漆較其他塗裝劣化狀況小。

表 4-32 各變數試體貯鹽試驗計算之氯離子擴散係數 1

試體編號	烘箱劣化溫度	試樣編號	氯離子擴散係數 ($10^{-8} \text{ cm}^2/\text{sec}$)	
			計算值	平均值
CA45	25°C	1	5.76	5.99
		2	6.22	
CA45	50°C	1	10.97	10.92
		2	10.88	
CA45	75°C	1	23.11	22.30
		2	21.49	
AA45	25°C	1	4.67	4.66
		2	4.66	
AA45	50°C	1	10.69	10.60
		2	10.52	
AA45	75°C	1	21.19	21.38
		2	21.57	
EA45	25°C	1	4.99	5.01
		2	5.04	
EA45	50°C	1	11.76	11.47
		2	11.18	
EA45	75°C	1	21.00	20.16
		2	19.32	

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-33 各變數試體貯鹽試驗計算之氯離子擴散係數 2

試體編號	烘箱劣化溫度	試樣編號	氯離子擴散係數 ($10^{-8} \text{ cm}^2/\text{sec}$)	
			計算值	平均值
IA45	25°C	1	4.82	4.68
		2	4.54	
IA45	50°C	1	12.05	11.60
		2	11.15	
IA45	75°C	1	19.01	19.45
		2	19.88	
SA45	25°C	1	3.80	3.63
		2	3.45	
SA45	50°C	1	10.00	9.80
		2	9.60	
SA45	75°C	1	19.25	18.96
		2	18.68	

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-34 各變數試體貯鹽試驗計算之氯離子擴散係數 3

試體編號	烘箱劣化溫度	試樣編號	氯離子擴散係數 ($10^{-8} \text{ cm}^2/\text{sec}$)	
			計算值	平均值
CB45	25°C	1	8.65	8.51
		2	8.37	
CB45	50°C	1	16.98	17.23
		2	17.48	
CB45	75°C	1	40.39	40.22
		2	40.06	
AB45	25°C	1	8.26	8.00
		2	7.74	
AB45	50°C	1	18.10	17.32
		2	16.54	
AB45	75°C	1	40.99	40.61
		2	40.22	
EB45	25°C	1	8.49	8.38
		2	8.28	
EB45	50°C	1	17.00	16.73
		2	16.46	
EB45	75°C	1	40.06	39.43
		2	38.80	

(資料來源：本研究自行整理)

表 4-35 各變數試體貯鹽試驗計算之氯離子擴散係數 4

試體編號	烘箱劣化溫度	試樣編號	氯離子擴散係數 ($10^{-8} \text{ cm}^2/\text{sec}$)	
			計算值	平均值
IB45	25°C	1	7.88	7.91
		2	7.94	
IB45	50°C	1	17.21	17.03
		2	16.84	
IB45	75°C	1	41.06	40.77
		2	40.49	
SB45	25°C	1	6.99	6.24
		2	5.50	
SB45	50°C	1	16.02	15.86
		2	15.71	
SB45	75°C	1	36.41	35.94
		2	35.47	

(資料來源：本研究自行整理)

圖 4-21 為未塗裝控制組試體經烘箱溫度劣化後氯離子擴散係數比較圖。由圖中可以發現 50°C 約為未劣化的 1.8~2.0 倍。75°C 亦約為未劣化的 2.2~4.7 倍。圖 4-22 為壓克力漆塗裝試體經烘箱溫度劣化後氯離子擴散係數比較圖。圖中亦將未塗裝且未劣化控制組配比以方格花紋表示，由圖中可以發現，壓克力漆塗裝的試體其氯離子擴散係數均略低於未塗裝且未劣化控制組試體。但 50°C 與 75°C 烘箱劣化後的試體均高於未塗裝且未劣化控制組試體，表示經烘箱溫度加速劣化後已破壞塗膜本身的保護機制，使得氯離子可以侵入試體內。圖 4-23 至圖 4-25 分別為環氧樹脂漆、無機漆、與晴雨漆塗裝試體氯離子擴散係數比較圖。由圖中亦可發現相同的現象。

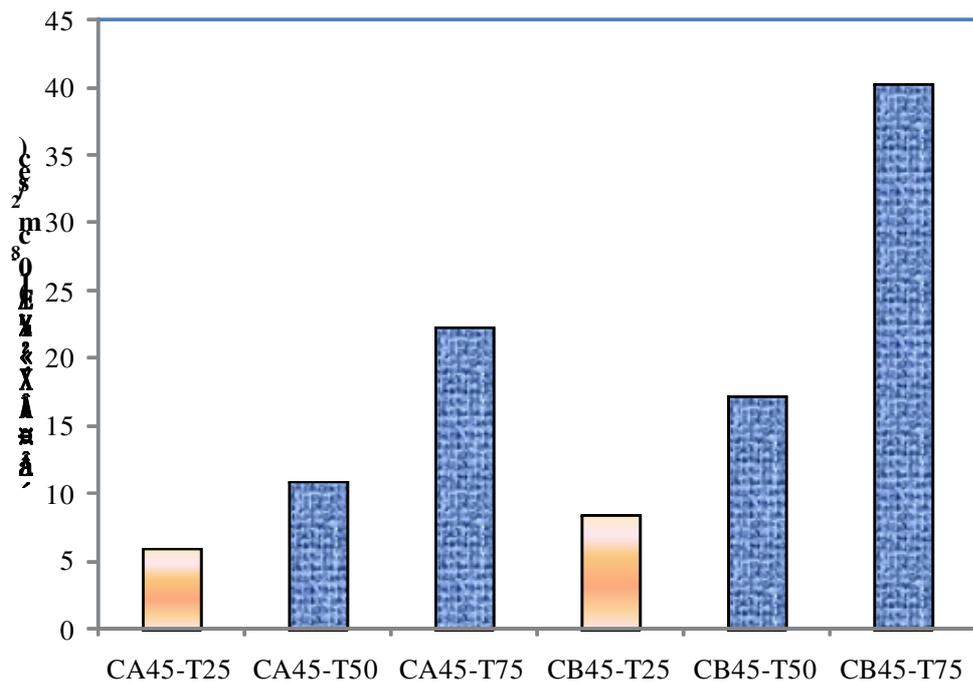


圖 4-21 未塗裝控制組試體經烘箱溫度劣化後氯離子擴散係數比較圖

(資料來源：本研究自行整理)

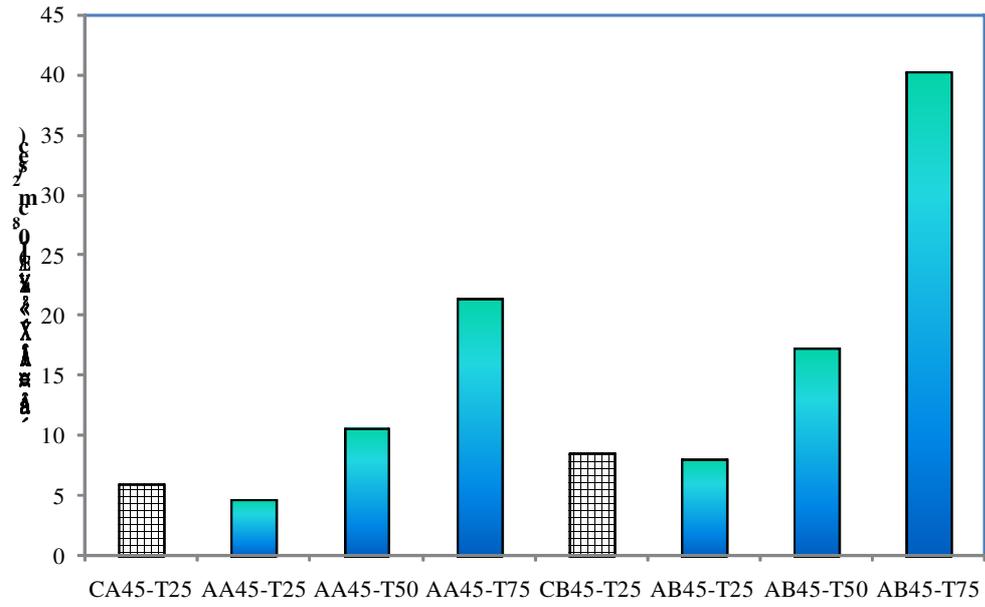


圖 4-22 壓克力漆塗裝試體經烘箱溫度劣化後氯離子擴散係數比較圖

(資料來源：本研究自行整理)

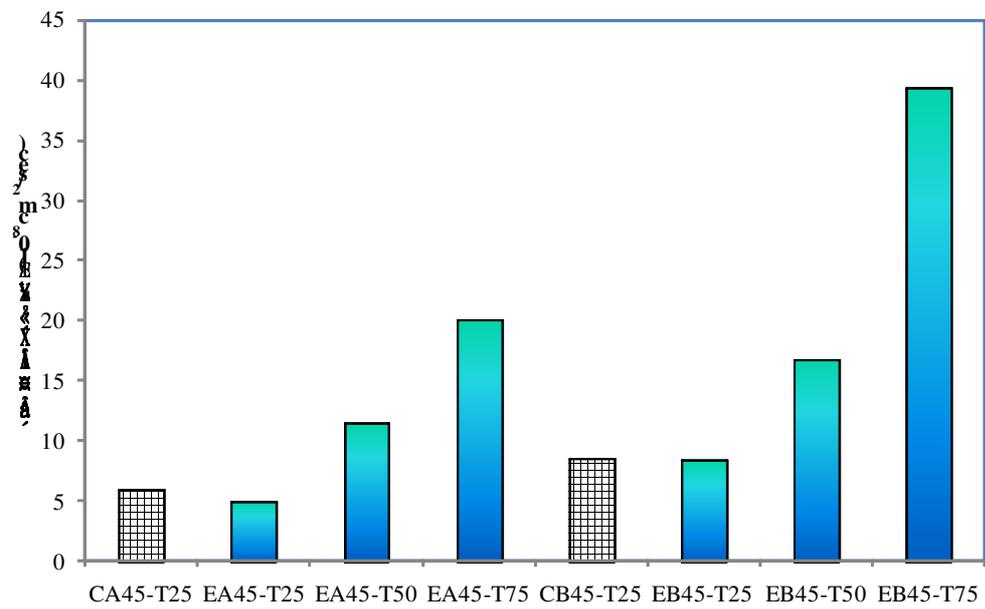


圖 4-23 環氧樹脂漆塗裝試體經烘箱溫度劣化後氯離子擴散係數比較圖

(資料來源：本研究自行整理)

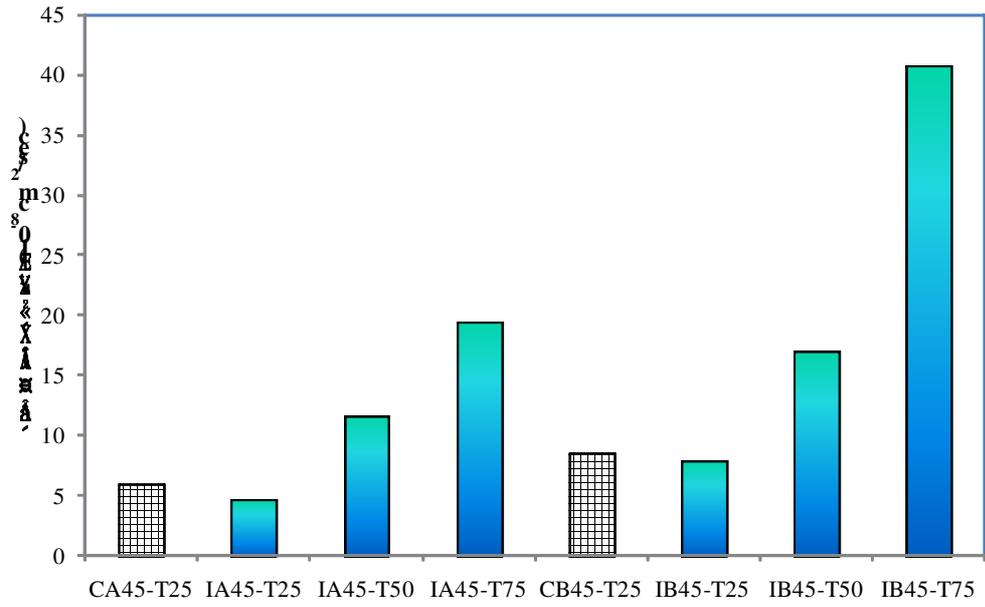


圖 4-24 無機漆塗裝試體經烘箱溫度劣化後氯離子擴散係數比較圖

(資料來源：本研究自行整理)

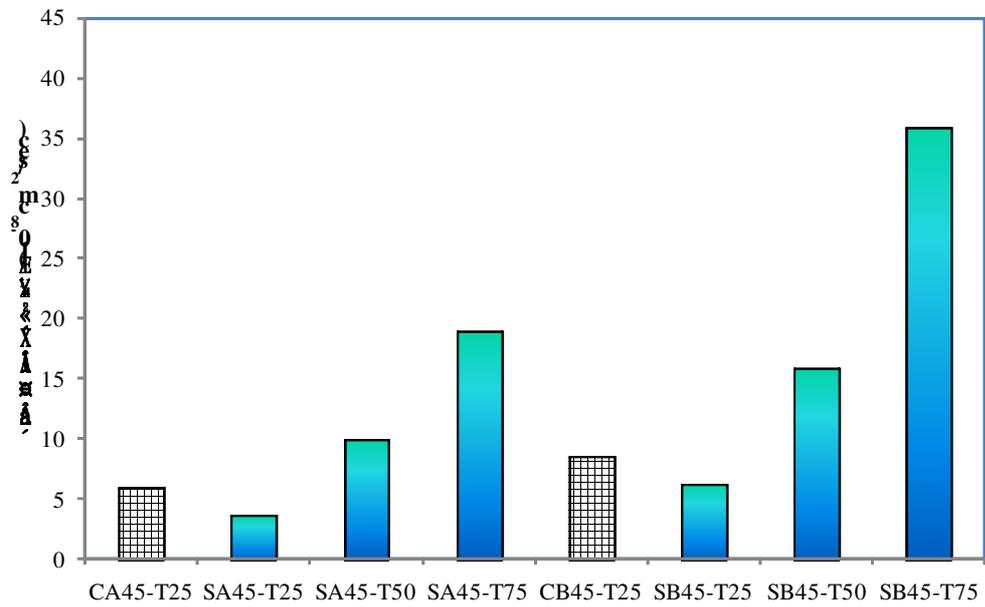


圖 4-25 晴雨漆塗裝試體經烘箱溫度劣化後氯離子擴散係數比較圖

(資料來源：本研究自行整理)

4-6 孔隙結構量測結果

本計畫將經烘箱溫度與水霧加速劣化試體，以壓汞孔隙儀（Mercury Intrusion Porosimetry, MIP）量測其孔隙結構變化。本研究每組變數均進行 2 個試體 MIP 量測，圖 4-26 為本計畫 CA45 配比 50°C 烘箱劣化後，孔隙結構的量測結果，圖中以實線與虛線分別代表 2 個試體量測結果，由圖中可以發現重疊性良好，代表 MIP 試驗的再現性頗佳。而綠色線段代表每個壓力量測點所得到的每克試體水銀貫入量，由此可了解試體孔隙分布情形。藍色粗線段將每個壓力量測點轉換成孔隙直徑後，所對應的累積水銀灌入量。

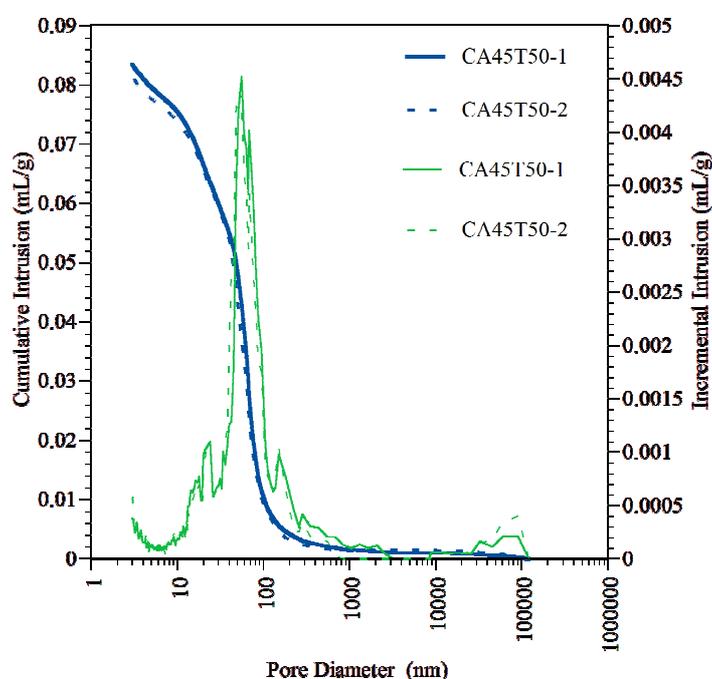


圖 4-26 CA45 配比 50°C 烘箱劣化孔徑與水銀貫入量關係圖

（資料來源：本研究自行整理）

圖 4-27 為未塗裝控制組各種溫度劣化 MIP 試驗量測結果。由圖中可以發現添加海藻粉配比之累積水銀灌入量曲線遠高於未添加者，代表試體內部的總孔隙量較多，且大孔隙孔徑於試體內的分布也較多。而隨著溫度劣化增加，累積水銀灌入量累積曲線亦有隨著往上情形。

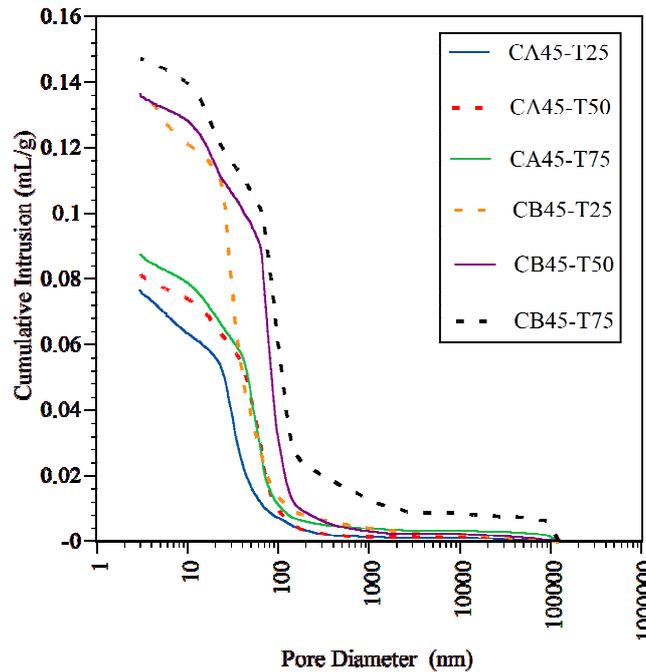


圖 4-27 未塗裝控制組配比烘箱劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

圖 4-28 為壓克力漆塗裝未添加海菜粉試體經烘箱劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖。圖中亦將未經劣化的 CA45 配比加入比較，由圖中可以發現，在未劣化前，壓克力漆塗裝的曲線低於 CA45 配比，表示確可發揮保護效果，使得水銀貫入量減少。但在 50°C 與 75°C 烘箱劣化後，壓克力漆塗裝均明顯失去保護功能。圖 4-29 為添加海菜粉試體試驗結果，同樣的亦將未經劣化的 CB45 配比加入比較，由圖中雖可得到類似與 A 組配比相同的結果，但 50°C 與 75°C 烘箱劣化有部分孔徑的水銀貫入量相近。圖 4-30 至圖 4-35 分別為環氧樹脂漆、無機漆、與晴雨漆塗裝的試驗結果，由圖中可以發現環氧樹脂漆塗裝於未溫度劣化時，雖在大孔徑範圍有所差異，但較影響耐久性的小孔隙差異不太大。而於劣化後雖 75°C 烘箱劣化總孔隙大於 50°C，但其內部孔隙最多的範圍均大略相同。無機漆與晴雨漆塗裝均有大略相同的趨勢。

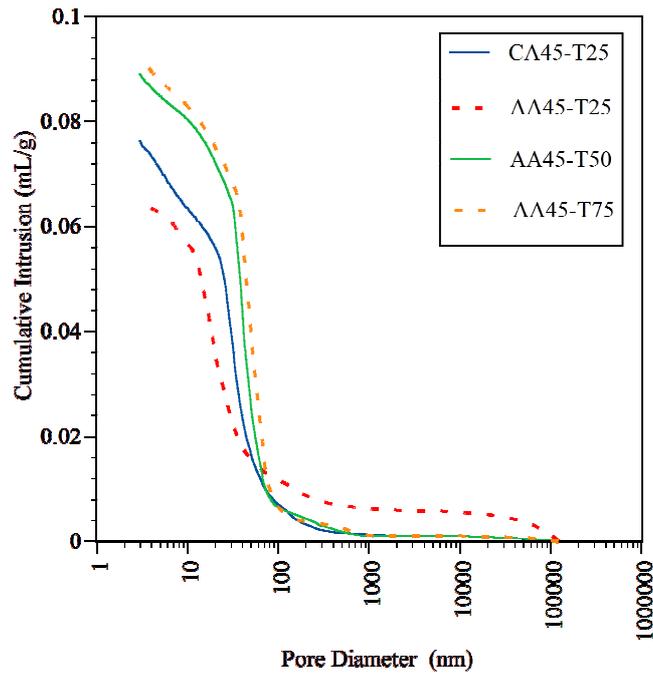


圖 4-28 壓克力塗裝 A 組配比烘箱劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

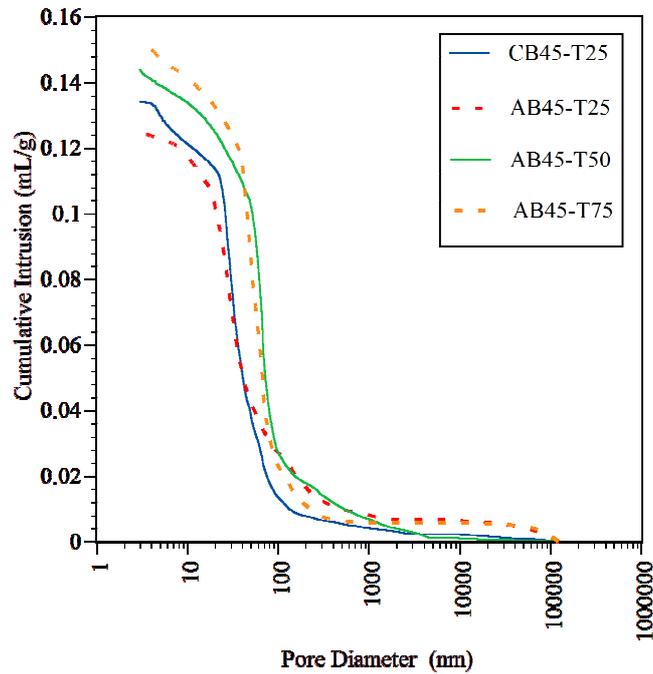


圖 4-29 壓克力塗裝 B 組配比烘箱劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

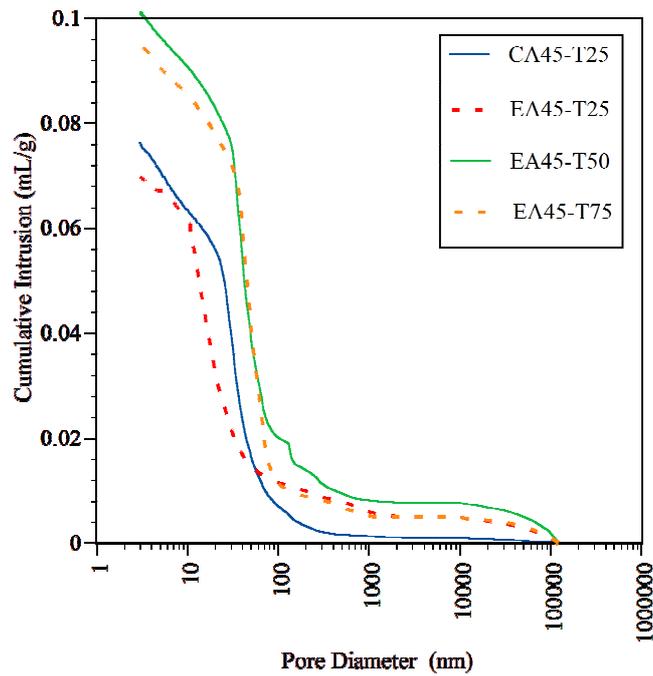


圖 4-30 環氧樹脂塗裝 A 組配比烘箱劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

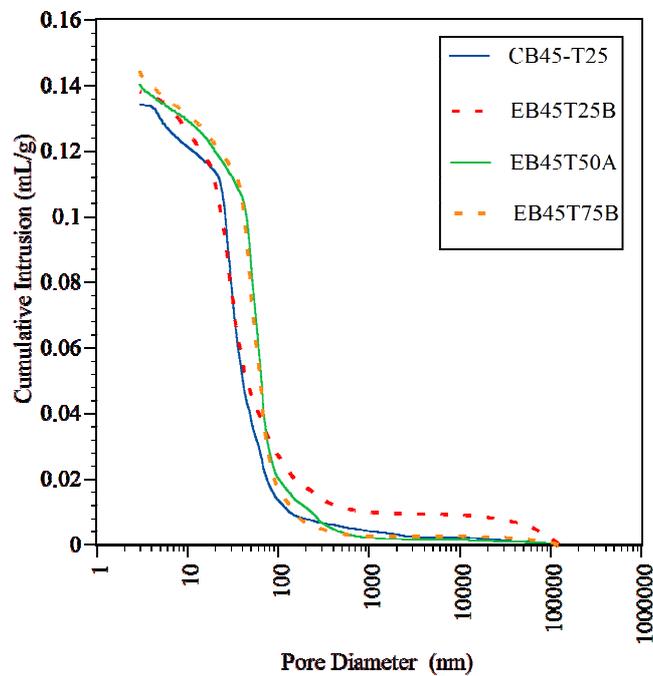


圖 4-31 環氧樹脂塗裝 B 組配比烘箱劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

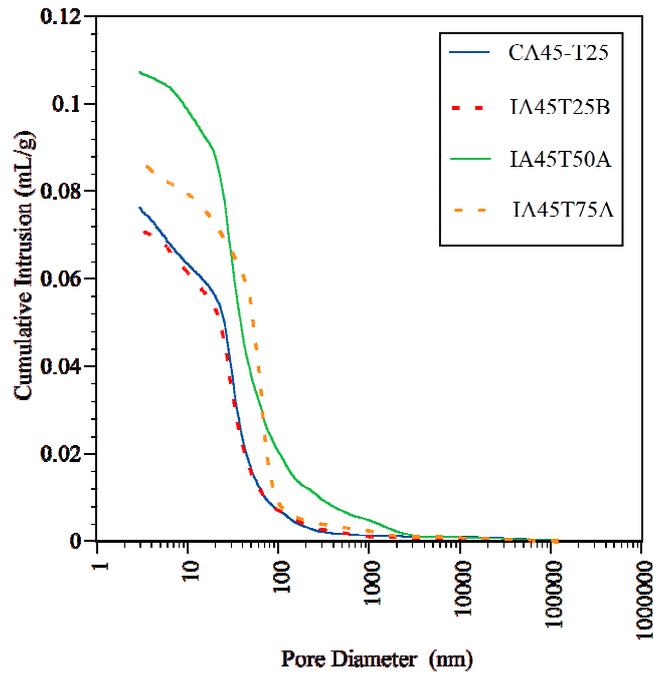


圖 4-32 無機漆塗裝 A 組配比烘箱劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

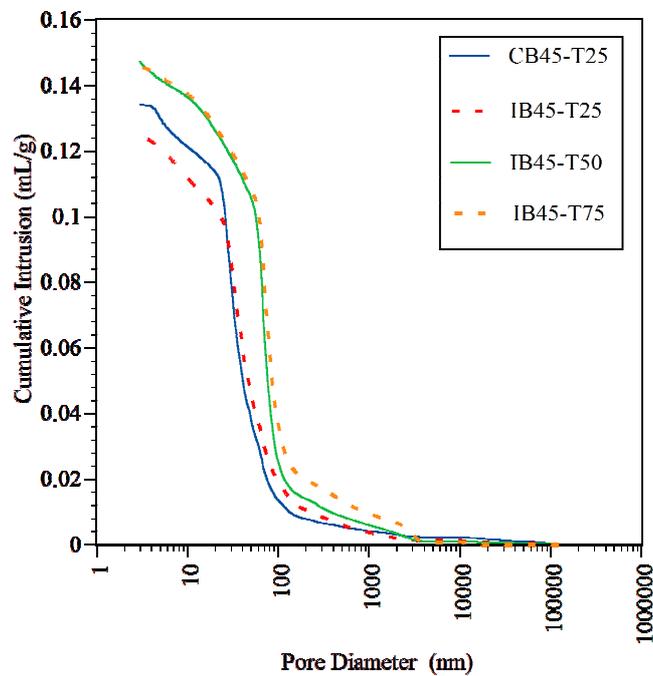


圖 4-33 無機漆塗裝 B 組配比烘箱劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

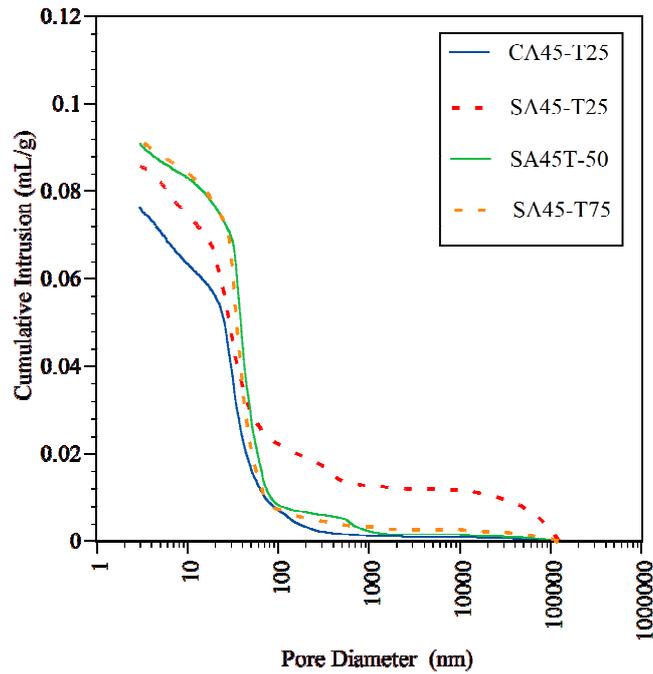


圖 4-34 晴雨漆塗裝 A 組配比烘箱劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

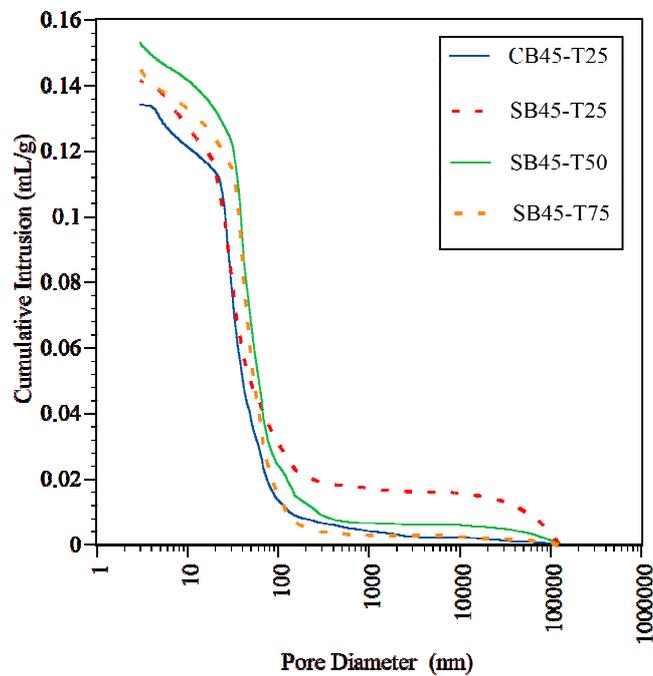


圖 4-35 晴雨漆塗裝 B 組配比烘箱劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

若將各配比的累積貫入孔隙體積與孔徑關係曲線加以區分成各種孔徑尺度範圍的分類，則可細分為>10000 nm、1000~10000 nm、500~1000 nm、100~500 nm、50~100 nm、10~50 nm、與<10 nm 共 11 種的孔徑範圍區間，則各變數在不同孔徑範圍的貫入孔隙體積比例分別如圖 4-36 至圖 4-40 所示。由圖 4-36 控制組配比中可以發現為劣化前孔隙約有 98% 集中於 500 nm 孔徑以下。但經過劣化後，A 組配比<10 nm 孔徑的孔隙比例由 16.9% 縮小至 9.4%，B 組配比的孔隙比例由 9.7% 縮小至 5.4%，顯示較大孔徑的孔隙有增加之趨勢，其中 50°C 的劣化溫度以 50~100 nm 孔徑增加趨勢最大，75°C 的劣化溫度以大於 100 nm 孔徑增加趨勢最大。而以塗料塗裝的試體均以 50 至 500 nm 孔徑增加趨勢最大，而此恰與影響耐久性的毛細孔隙孔徑範圍重疊。

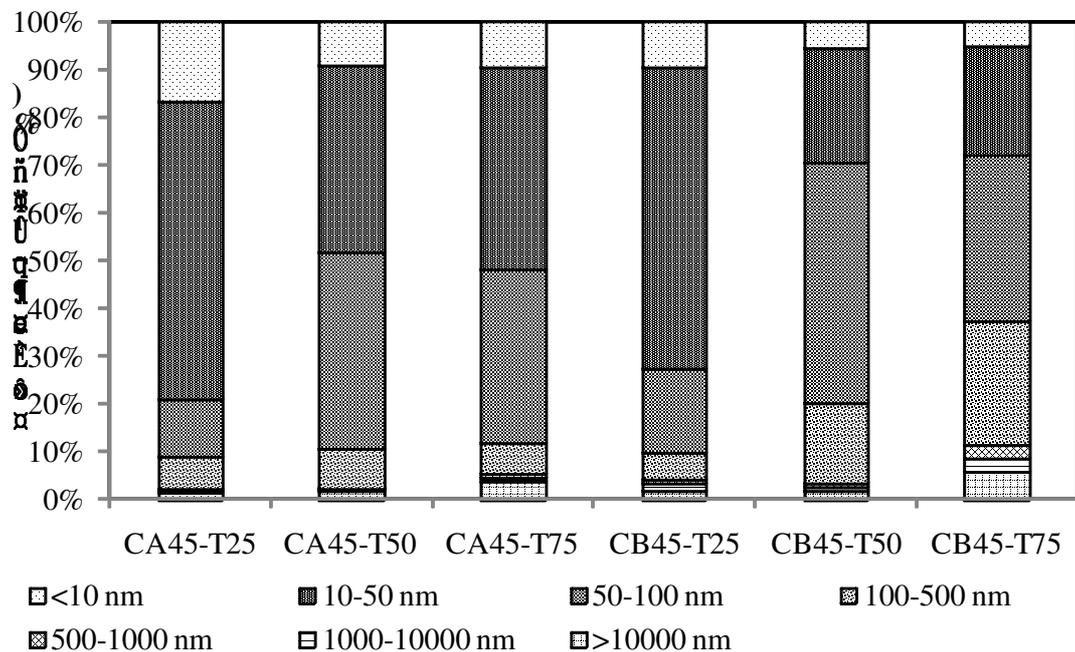


圖 4-36 未塗裝控制組配比烘箱劣化後各孔徑貫入量相對比例比較圖

(資料來源：本研究自行整理)

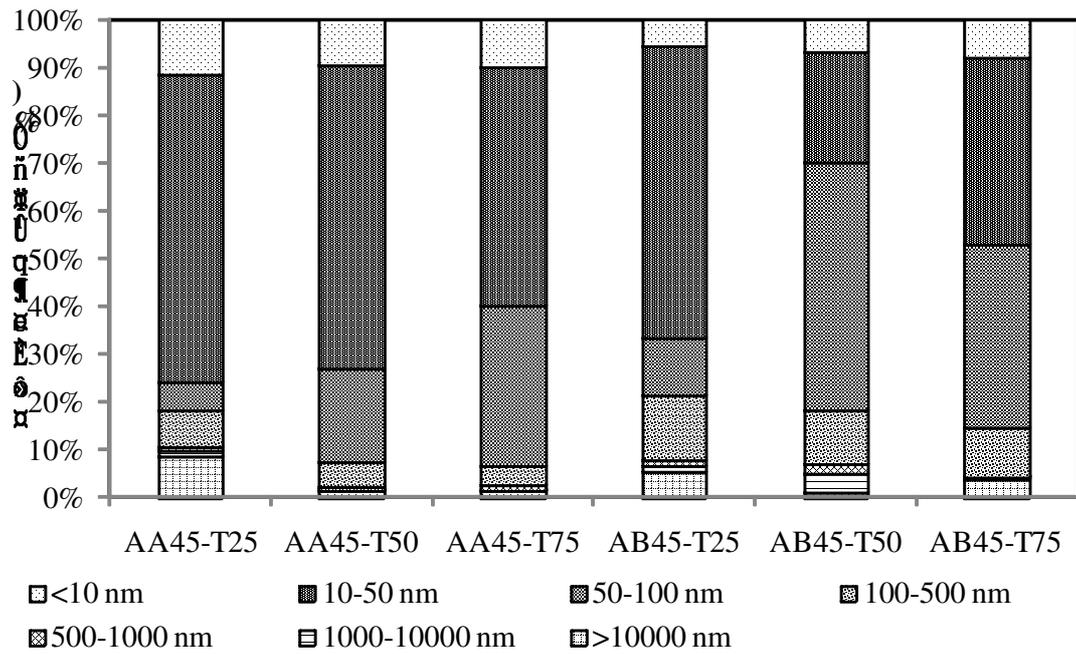


圖 4-37 壓克力漆塗裝配比烘箱劣化後各孔徑貫入量相對比例比較圖

(資料來源：本研究自行整理)

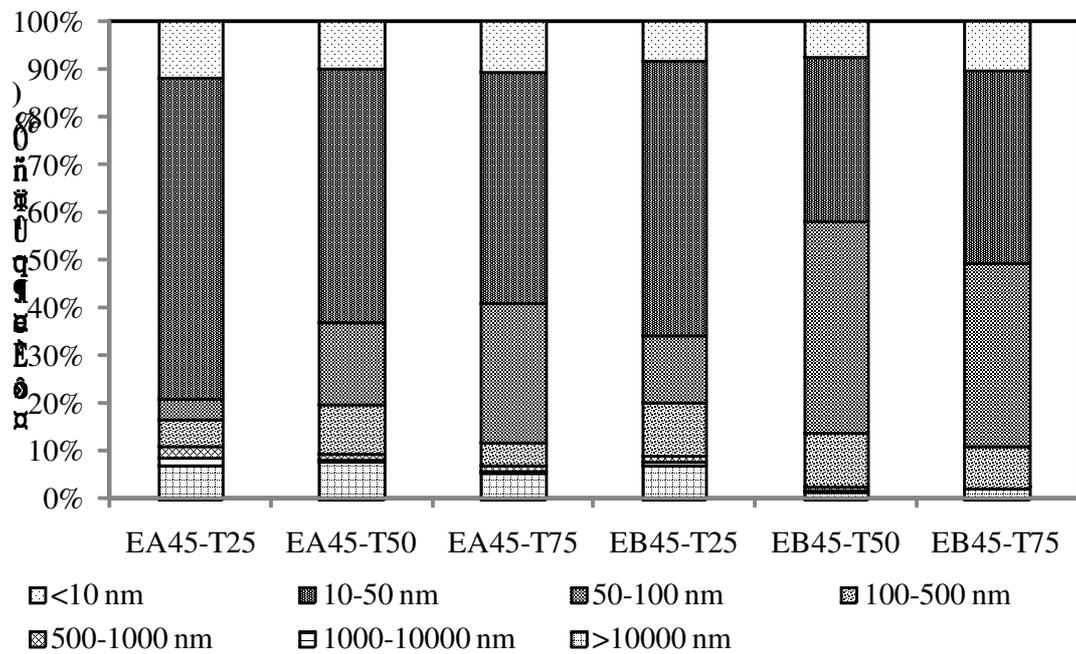


圖 4-38 環氧樹脂漆配比烘箱劣化後各孔徑貫入量相對比例比較圖

(資料來源：本研究自行整理)

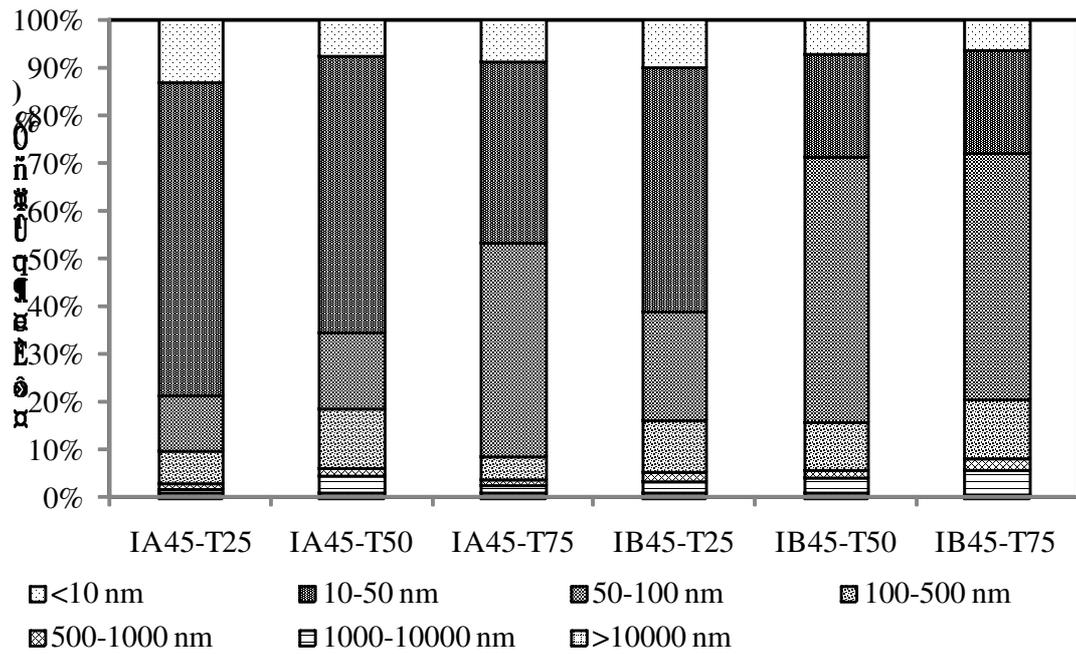


圖 4-39 無機漆配比烘箱劣化後各孔徑貫入量相對比例比較圖

(資料來源：本研究自行整理)

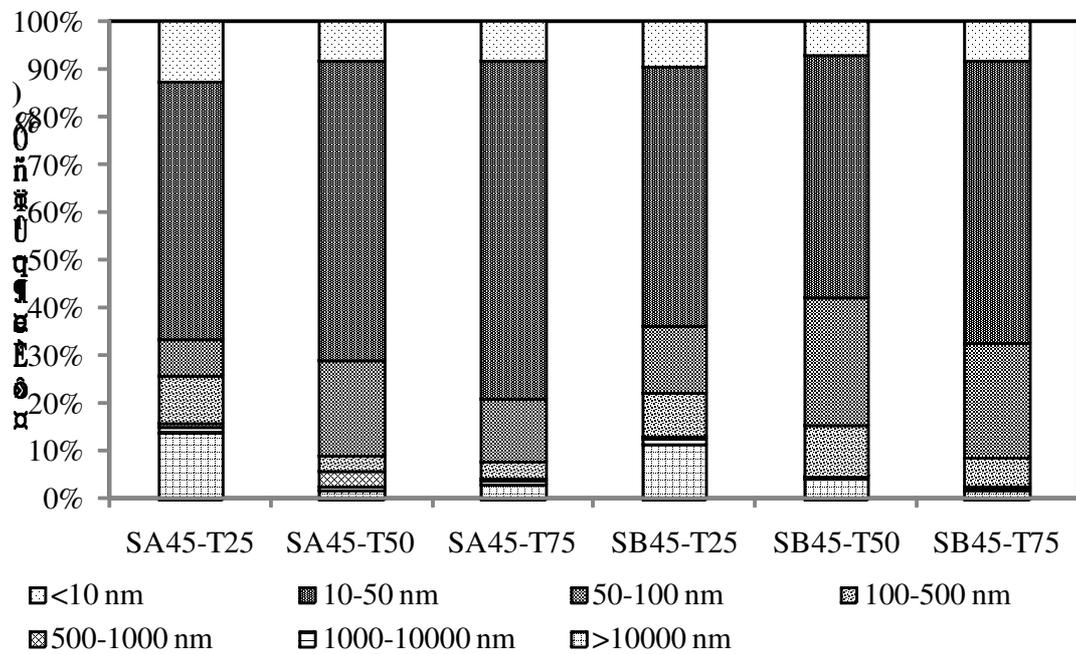


圖 4-40 晴雨漆配比烘箱劣化後各孔徑貫入量相對比例比較圖

(資料來源：本研究自行整理)

若以文獻對毛細孔隙孔徑的定義，將每組變數 10 至 10000 nm 孔徑的孔隙所占百分比進行分析，圖 4-41 為控制組烘箱溫度加速劣化比較圖，由圖中可以發現 50°C 與 75°C 於均 10 至 10000 nm 孔徑的孔隙比例均較未劣化者有增加趨勢，其中 75°C 溫度劣化雖低於 50°C，但若考量大於 10000 nm 孔徑的孔隙，則其值會略高於 50°C。圖 4-42 至圖 4-45 為各種塗料溫度劣化比較圖，圖中亦以方格紋代表未劣化與未塗裝控制組的孔隙比例關係。由圖中可以發現當未劣化時，除 A 組無機漆外，其餘塗裝均可使 10 至 10000 nm 孔徑範圍的水銀貫入量減低，顯示具有相當保護效果，由以晴雨漆塗裝保護效果較佳，顯示晴雨漆塗膜較緻密。但當開始烘箱加速劣化後，所有塗料均已失去保護效果，甚至 A 組有超過 B 組未塗裝與未劣化試體的情形。

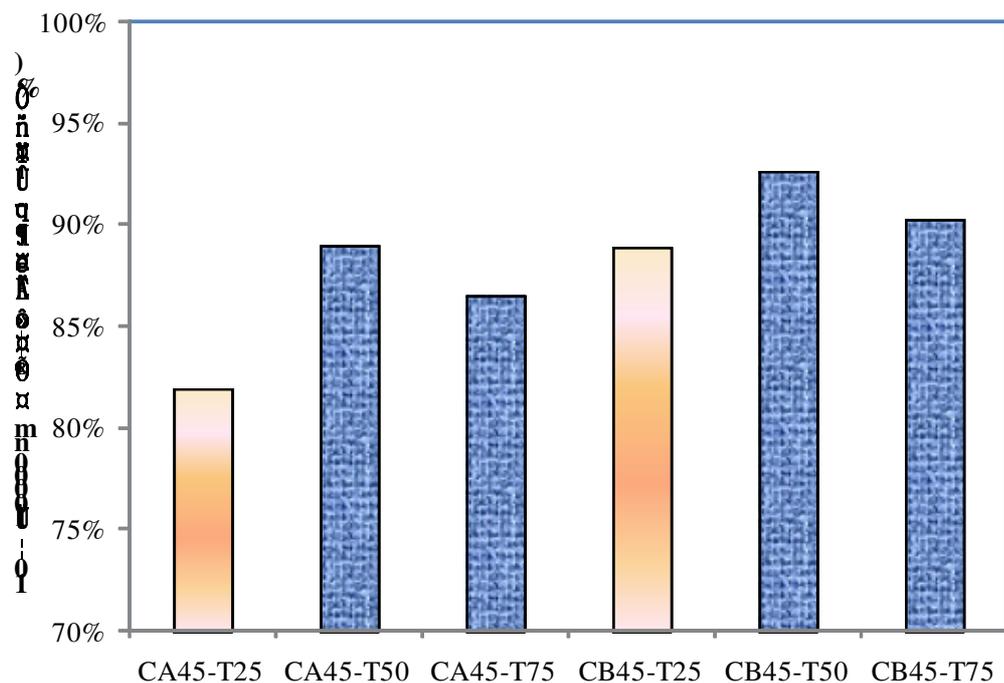


圖 4-41 未塗裝控制組烘箱劣化 10 至 10000 nm 孔徑貫入量相對比例比較圖

(資料來源：本研究自行整理)

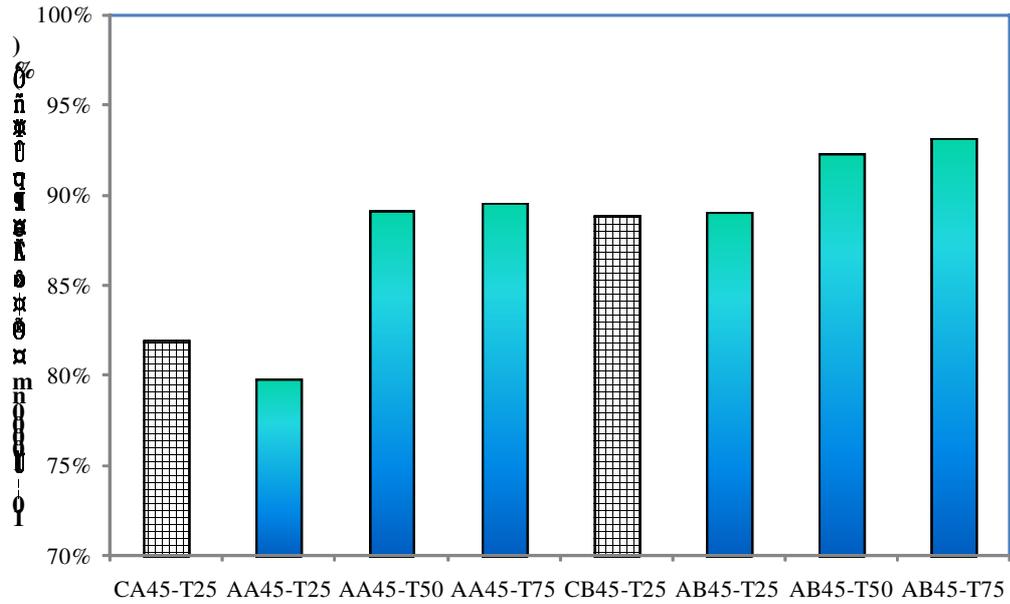


圖 4-42 壓克力漆塗裝烘箱劣化 10 至 10000 nm 孔徑貫入量相對比例比較圖

(資料來源：本研究自行整理)

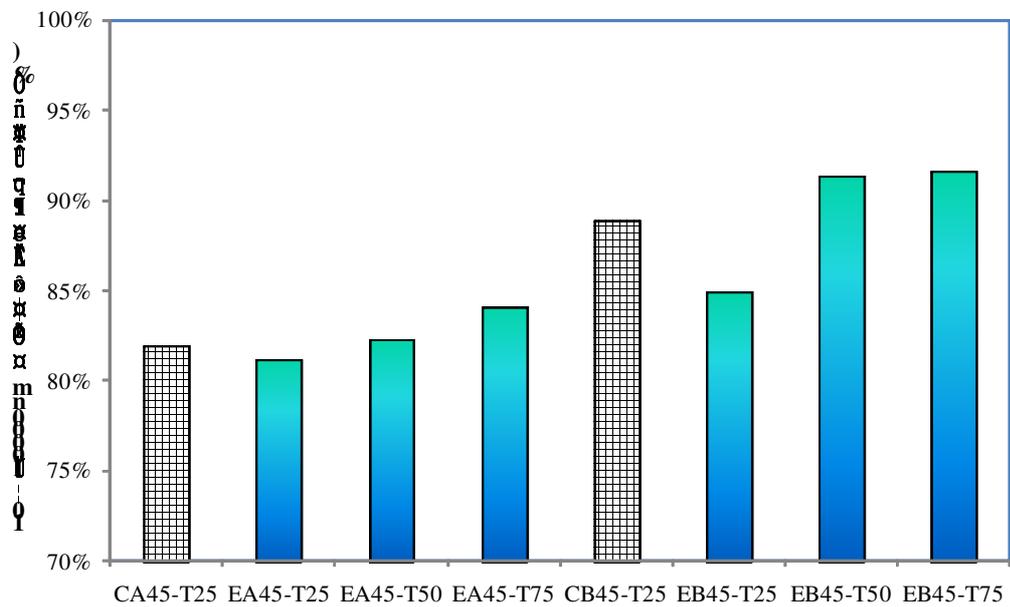


圖 4-43 環氧樹脂漆塗裝烘箱劣化 10 至 10000 nm 孔徑貫入量相對比例比較圖

(資料來源：本研究自行整理)

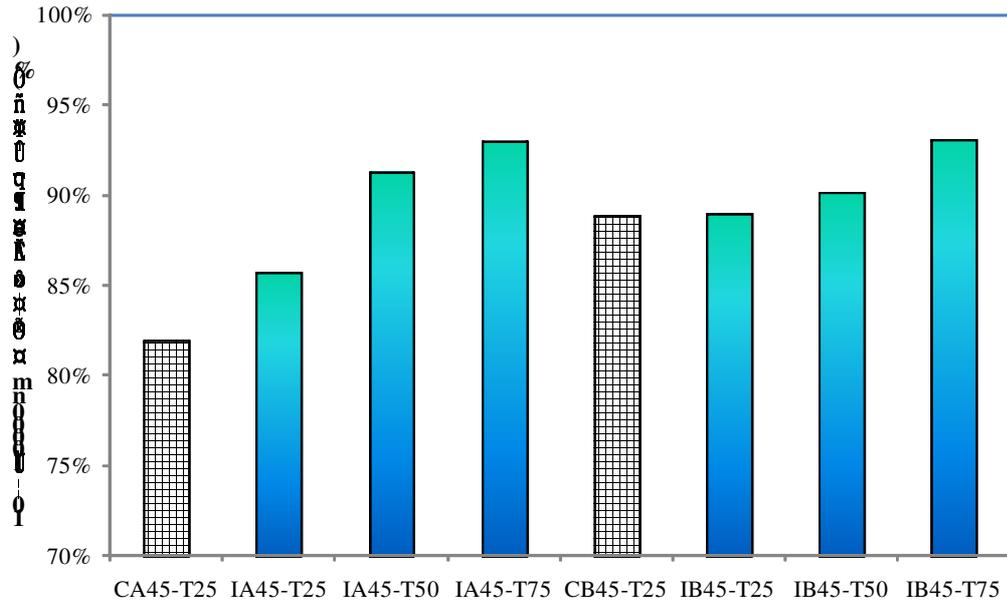


圖 4-44 無機漆塗裝烘箱劣化 10 至 10000 nm 孔徑貫入量相對比例比較圖

(資料來源：本研究自行整理)

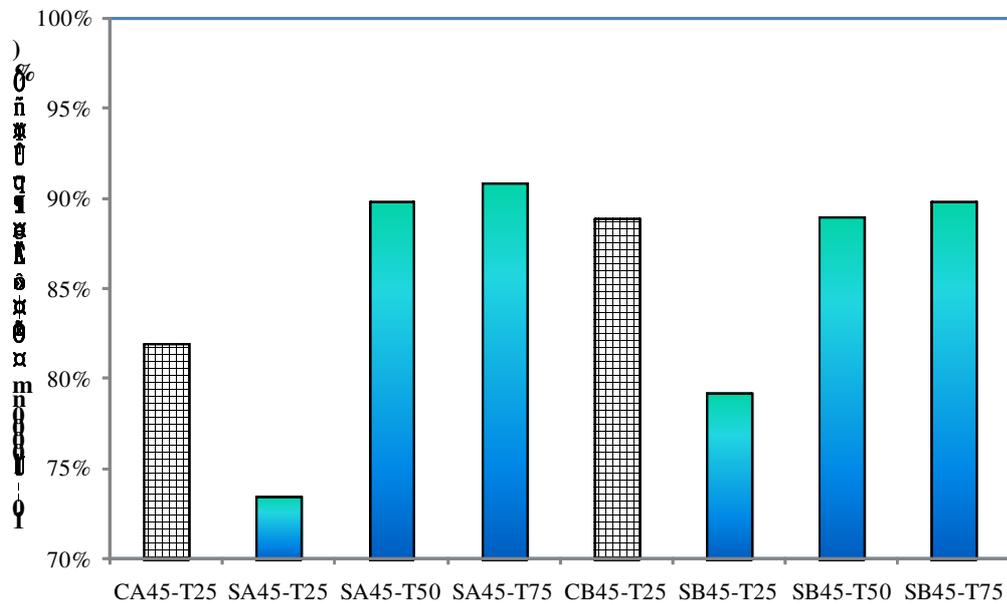


圖 4-45 晴雨漆塗裝烘箱劣化 10 至 10000 nm 孔徑貫入量相對比例比較圖

(資料來源：本研究自行整理)

若將本研究水霧劣化後試體進行 MIP 量測，則圖 4-46 為控制組孔徑與累積水銀貫入量關係圖。圖中虛線部分代表水霧劣化後之試體，由圖中可以明顯發現於 1000 至 15000 nm 孔徑範圍內，水銀貫入量有明顯增加之趨勢，而 10 至 100 nm 亦與未劣化試體相同有水銀貫入量有明顯增加之趨勢。圖 4-47 為控制組孔徑與水銀貫入量關係圖。由圖中可發現水霧劣化後試體孔隙以 13950 nm 與 15 nm 孔徑最多，但未劣化試體則以 36 nm 與 24 nm 孔徑最多，表示水霧劣化除了使得大孔徑增加外，亦影響小孔徑孔隙。由於水霧劣化為在室溫下持續以水噴霧於試體表面，試體長時間於高濕度環境中可能使得試體內氫氧化鈣晶體 (CH) 溶解析出，導致原本受氫氧化鈣填充的位置變成孔隙。另一方面，小孔徑孔隙變小，可能因為濕氣使得部分未水化的水泥顆粒，繼續水化成 CSH 膠體。

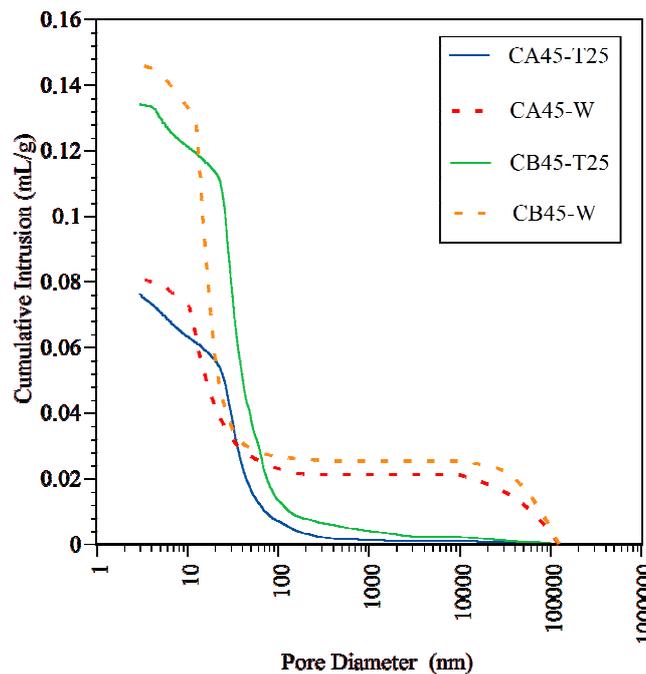


圖 4-46 無塗裝控制組水霧劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

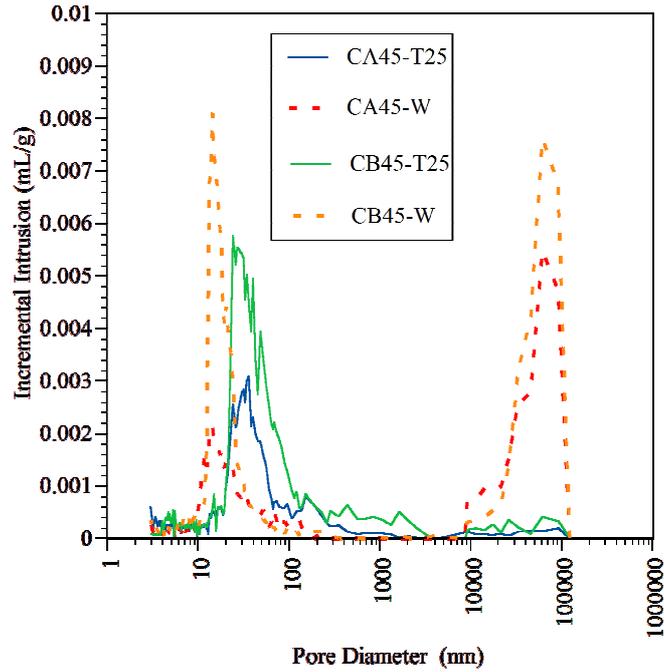


圖 4-47 無塗裝控制組水霧劣化後孔徑與水銀貫入量關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

圖 4-48 與圖 4-49 為壓克力塗裝與環氧樹脂塗裝水霧劣化後 MIP 試驗結果。由圖中可以發現有相似的結果，表示壓克力塗裝與環氧樹脂塗裝在長期水霧下無法阻擋氫氧化鈣的析出。圖 4-50 與圖 4-51 為無機漆塗裝與晴雨漆塗裝水霧劣化後 MIP 試驗結果。由圖中可以無機漆 B 組試體，於大孔徑區域並無氫氧化鈣析出現象。晴雨漆部分則 A 組亦無影響甚至有總孔隙變少的情形。B 組試體則大孔徑區域孔隙略高於未劣化試體。小孔徑孔隙亦較未劣化試體少。由此可發現晴雨漆塗膜較緻密，於水霧過程可減緩氫氧化鈣析出現象發生，此結果亦與烘箱溫度劣化結果相呼應。

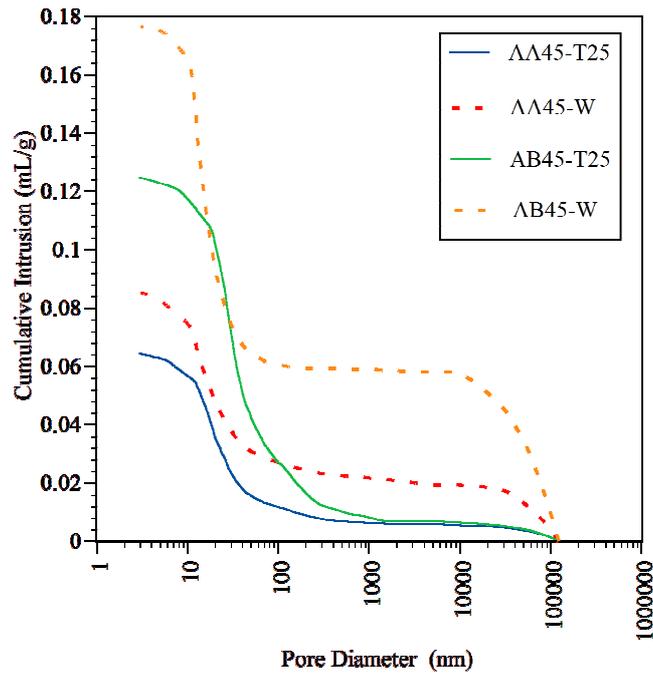


圖 4-48 壓克力塗裝試體水霧劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

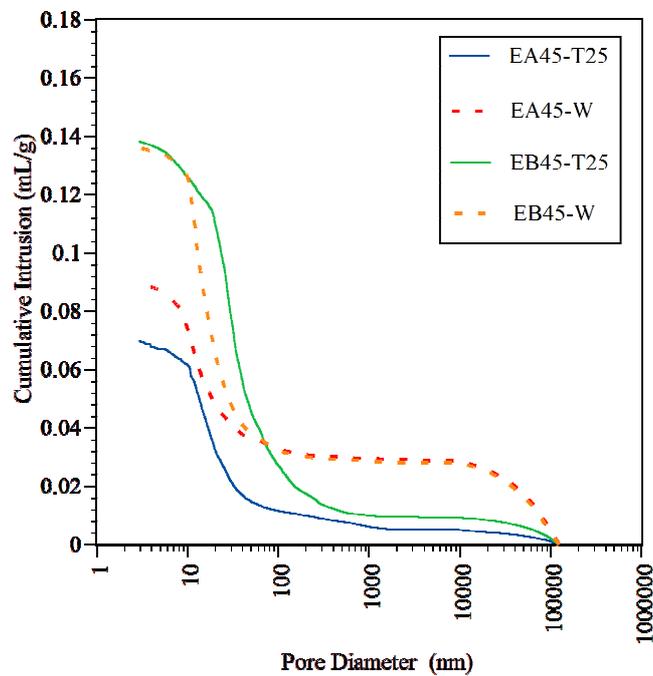


圖 4-49 環氧樹脂漆塗裝試體水霧劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

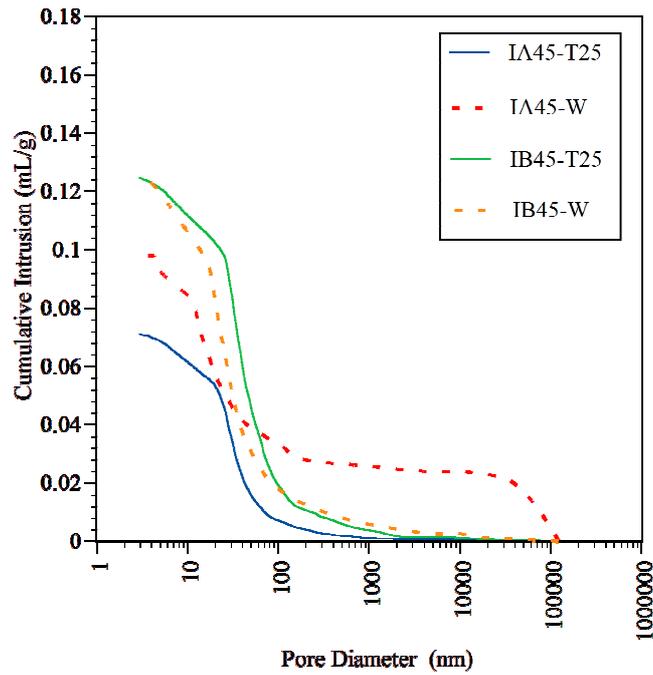


圖 4-50 無機漆塗裝試體水霧劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

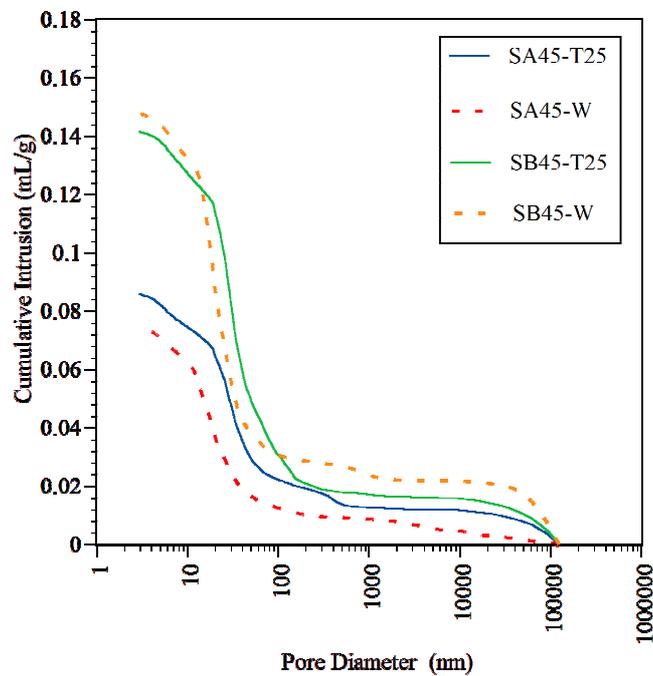


圖 4-51 晴雨漆塗裝試體水霧劣化後孔徑與累積水銀貫入量關係圖

(資料來源：本研究自行整理)

第五章 研究結論與建議

本研究針對塗裝材料對劣化環境中的水泥質材料耐候性能改善成效進行試驗研究。希望藉由力學分析試驗、孔隙結構量測、透水性能與氯離子侵入評估試驗、色差與光澤度量測、及接觸角量測等試驗結果，達到日曬溫度對水泥質材料耐候性質改變的瞭解，以及塗料於加速環境下水泥砂漿基材的防護效果研究。研究於今年二月開始執行至今，已完成各種塗裝試片的製作工作，並依設計之劣化期程，完成各種加速劣化試驗，工作進度良好，並已獲得許多試驗結果，相關結論與如下。

5-1 研究發現與結論

1. 由力學性質分析工作得知，添加海菜粉之 B 組水泥砂漿配比其抗壓或抗拉強度均遠低於 A 組為添加配比，推估水化反應受到增加黏度海菜粉的影響。而表面塗裝試體在溫度劣化後對抗壓與抗拉強度的影響較少。未塗裝試體在溫度劣化下，抗拉強度有比較明顯的影響，會隨著溫度上升有下降之趨勢，但在抗壓強度則較不顯著。
2. 日光模擬劣化方面，總色差初期會隨著日光模擬加速劣化時間增加而有明顯上揚之趨勢。但在 200 小時後，總色差變化趨緩，以美國國家標準局分類已屬於顏色改變明顯範圍，其中以壓克力漆總色差變化最大。水霧劣化亦以壓克力漆總色差變化最大，但其總色差值界於 0.6 至 0.8 之間，依分類屬於感覺輕微與感覺明顯之間。
3. 於光澤度分析研究上，可以發現隨著日光劣化時間的進行光澤度變化有略微下降之情形。其中以使用晴雨漆塗裝的試體光澤度變化較大。水霧劣化前後光澤度差異均不大，環氧樹脂漆差異略大，但僅會較沒劣化前光澤度減少 4.5%

至 6.1%。

4. 在評估自潔性能方面，除了無機塗料與晴雨漆塗料會因光劣化而有接觸角變化外，其他差異並不大，均在 1 度以內。對劣化程度而言，無機塗料經過 672 小時日光劣化後，接觸角小了約 12%~14%；晴雨漆塗料則為 16%~17%。水霧劣化則不會對塗料的自潔性能造成影響。
5. 由透水試驗發現，當試體經 50°C 烘箱劣化後，於定水頭壓力為 20 kgf/cm²，加壓時間為 72 小時的試驗過程，壓力便會把水穿透 4 公分厚的試體，造成試驗失敗，因此將加壓時間調整為 1 小時。而由試驗發現以未塗裝試體最高，無機漆試體次之，壓克力塗料、環氧樹脂塗料、與晴雨漆較不受影響。
6. 烘箱溫度加速劣化可以發現未塗裝試體的氯離子穩態傳輸係數 50°C 約為未劣化的 1.8~2.0 倍。75°C 亦約為未劣化的 2.2~4.7 倍。未劣化前，各種塗裝試體氯離子穩態傳輸係數均略小於未塗裝試體。但於烘箱溫度加速劣化後卻高於未塗裝且未劣化控制組試體，表示經烘箱溫度加速劣化後已破壞塗膜本身的保護機制，使得氯離子可以侵入試體內。
7. 由 MIP 孔隙量測結果可以發現，未劣化時除 A 組無機漆外，其餘塗裝均可使 10 至 10000 nm 孔徑範圍的水銀貫入量減低，顯示具有相當保護效果，而以晴雨漆塗裝保護效果較佳。50°C 與 75°C 烘箱劣化於 10 至 10000 nm 孔徑的孔隙比例均較未劣化者有增加趨勢，顯示所有塗料均已失去保護效果。
8. 水霧劣化後試體 MIP 試驗結果，可以發現於 1000 至 15000 nm 與 10 至 100 nm 兩個孔徑範圍內，水銀貫入量有明顯增加之趨勢。表示試體長時間於高濕度環境中可能使得試體內氫氧化鈣晶體 (CH) 溶解析出，導致原本填充位置變成孔隙。另一方面亦可能因為濕氣，使得部分未水化的水泥顆粒，繼續水化成 CSH 膠體。導致小孔徑孔隙變小。

5-2 建議事項

經由上述研究，可以發現溫度劣化雖對力學性質影響不大，但對透水量與氣離子穩態傳輸係數確有較大的改變，應可反應為溫度造成試體微裂縫成長，此由MIP孔隙量測中得到佐證。塗料雖於未劣化時有保護水泥質基材效果，但其耐候耐久性質仍受溫度加速劣化的影響而有變差現象。針對此研究發現，提出下列建議，說明如下。

1. 添加海菜粉的試體透水性高於未添加者，建議未來進行水泥質材料耐久性討論時需將此部分加以考量。
2. 當未劣化時，以晴雨漆進行塗裝可達到保護水泥基材之效果。但若考量長時間日曬時，需考慮有相關隔熱措施，如於表面再加一層泡沫隔熱漆，可使水泥基材達到保護與耐候效果。

參考文獻

1. C. Peng, Z. Wu, “In situ measuring and evaluating the thermal resistance of building construction”, Energy and Buildings, 40, pp. 2076-2082, 2008.
2. A. N. Noumowe, P. Clastres, G. Debicki, J. L. Costa, “Transient heating effect on high strength concrete,” Nuclear Engineering and Design, pp. 99-108, 1996.
3. P. S. Dias, G. A. Khoury and P. J. E. Sullivan, “Mechanical properties of hardened cement paste exposed to temperatures up to 700°C,” ACI Material Journal, PP. 160-165, 1990.
4. C. S. Poon, S. Azhar, M. Anson, Y. L. Wong, “Comparison of strength and durability performance of normal-and high-strength pozzolanic concrete at elevated temperatures,” Cement and Concrete Research pp. 1291- 1300, 2001.
5. T. Mahaboonpachi, Y. Kuromiya, and T. Matsumoto, “Experiment investigation of adhesion failure of the interface between concrete and polymer-cement mortar in an external wall tile structure under a thermal load”, Construction and Building Materials, 22, pp. 2001-2006, 2008.
6. 游琮聖, “以氯離子加速試驗探討氯離子於水泥基複合材料中之傳輸行為”, 博士論文, 指導教授：楊仲家, 2008。
7. 楊仲家、卓世偉、翁在龍, “塗裝材料耐久性試驗研究—戶外曝曬與加速劣化試驗方法之探討”, 內政部建築研究所委辦研究案報告, 2008。
8. 林筵進, 「不同塗層在乾溼循環環境中之電化學阻抗性質研究」, 國立成功大學材料工程與科學研究所碩士論文, 指導教授：蔡文達教授, 2002。
9. 蕭亞方, 「塗裝木材人工加速與自然劣化相關性之探討」, 國立台灣大學森林學研究所碩士論文, 指導教授：張上鎮教授, 1996。

10. 李鴻麟、鄒哲宗、夏滄淇、顧文君，「木材用塗料耐候性之研究－塗料耐候性之比較」，林業試驗所研究報告季刊，Vol. 8, pp.321-330, 1993.
11. 鄒哲宗、夏滄淇、陳啟榮、顧文君，「木材用塗料耐候性之研究－塗料之耐候性與耐光性」，林業試驗所研究報告季刊，Vol. 10, pp.153-160, 1995.
12. 洪耀宗，「**電信材料**之大氣腐蝕及其防治研究」，國立清華大學材料工程研究所博士論文，指導教授：施漢章教授，2003。
13. 陳哲生、吳忠民，「耐候型塗料於麥寮地區曝曬行為研究」，中國工程師學會工程季刊，Vol. 80, pp.39-46, 2007.
14. ATLAS Weathering Services Group, 「Natural Weathering Testing – Asian Sites」, <http://www.atlas-mts.com/products/natural-weathering-testing-new/sites>, 2008。
15. Paint Research Association Company, 「Introduction of PRA」, <http://www.pra-world.com/technical/testing.htm>, 2008.
16. J. Arsenault, J. P. Bigas, J. P. Ollivier, “Determination of chloride diffusion coefficient using two different steady-state methods: influence of concentration gradient”, Chloride Penetration into Concrete, Proceedings of the International RILEM Workshop, pp.150-160 (1995).
17. C. L. Page, N. R. Short, and A. E. Tarras, “Diffusion of Chloride ions in hardened cement paste”, Cement and Concrete Research, Vol. 11, pp.395-406 (1981).
18. P. K. Mehta, and P. J. M. Monteiro, “Concrete-structure, properties, and materials”, Prentice Hall, pp.17-29 (1993).
19. P. Simeonov, and S. Ahmad, "Effect of Transition Zone on the Elastic Behavior of Cement-based Composites", Cement and Concrete Research, Vol.25, No.1, pp.165-176 (1995).
20. C. C. Yang, S. W. Cho, “Approximate migration coefficient of percolated

- interfacial transition zone by using the accelerated chloride migration test”,
Cement and Concrete Research, Vol.35, pp.344–350 (2005).
21. C. Seng, Z. Min-Hong, “Water permeability and chloride penetrability of high-strength lightweight aggregate concrete”, Cement and Concrete Research, Vol.32, pp. 639-645 (2002) .
 22. R. Zdenek, “Carbonation of Porous Concrete and Its Main Binding Components”, Cement and Concrete Research, Vol.6, pp.645-662 , 1971.
 23. F. Yan, D. Jian, Ding, and J. J. Beaudoin, “Effect of different calcium aluminate hydrates on ettringite formation and expansion of high alumina cement-based expansive cement pastes”, Cement and Concrete Research, Vol.26, pp.417-426 , 1996.
 24. S. M. Mindess, J. F. Young, D. Darwin, “Concrete”, second edition, Prentice Hall, pp.305, 2002.
 25. M. Leeming, Surface treatments for the protection of concrete, Protection of concrete (1990), E. & F. N. Spon, 135-148.
 26. 陳劉旺、童欽文，「塗料製造化學」，高立圖書有限公司，1993。
 27. 梁復中，「塗料製造配方」，高立圖書有限公司，1986。