

計畫編號：10715B0009

內政部建築研究所  
創新低碳綠建築環境科技計畫  
「建築玻璃用隔熱膜性能衰減試驗  
方法研訂之研究」

資料蒐集分析報告

研究主持人：羅時麒 組長

協同主持人：黃國倉 博士

研究員：黃瑞隆、黃恩浩、陳麒任、林招焯

研究助理：陳世禎、賴怡廷

研究期程：中華民國 107 年 3 月至 107 年 12 月

研究經費：新臺幣：96.15 萬元

內政部建築研究所協同研究報告

中華民國 107 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)



## 目次

表次.....	II
圖次.....	III
摘要.....	V
Abstract.....	VII
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與背景 .....	1
第二節 本研究計畫之重要性 .....	2
第三節 玻璃日射熱取得機制 .....	4
第二章 國內外文獻回顧與評析 .....	5
第一節 影響建築用玻璃隔熱膜劣化之因素 .....	5
第二節 材料劣化試驗方法 .....	8
第三節 加速劣化試驗採用光源之種類 .....	10
第四節 各種材料劣化之標準文獻回顧 .....	15
第三章 研究方法 .....	27
第一節 研究流程 .....	27
第二節 隔熱膜性能劣化標準之內容架構 .....	31
第三節 隔熱膜性能劣化前測試驗 .....	32
第四節 隔熱膜光學性能計算方法 .....	36
第四章 隔熱膜性能劣化前測實驗結果 .....	39
第五章 建築玻璃隔熱膜光學性能衰減試驗方法 .....	41
第一節 草案內容 .....	41
第二節 人工加速劣化對比自然劣化時間之等價換算 .....	46
第六章 結論與建議 .....	51
第一節 結論 .....	51
第二節 建議 .....	52
附錄一：期初審查意見回覆表 .....	53
附錄二：期中審查意見回覆表 .....	54
附錄三：期末審查意見回覆表 .....	56
附錄四：專家學者諮詢會議記錄 .....	58
參考書目 .....	59

## 表次

表 2-1 UVA-340 燈之相對紫外光譜輻照度要求 .....	14
表 2-2 國際加速劣化標準與使用燈源整理.....	16
表 2-3 紫外線螢光燈曝光週期表.....	22
表 2-4 摘錄 DIN BS EN15752-1 標準之內容.....	23
表 2-5 摘錄 JIS A5759 標準之內容 .....	25
表 3-1 「建築玻璃隔熱膜性能衰減試驗方法」草案架構內容.....	31
表 3-2 樣品編號與實驗規劃.....	33
表 3-3 樣本性能劣化前之光學性能數據.....	36
表 4-1 二種隔熱膜經過不同程度劣化後之光學與熱性能變化.....	39
表 5-1 建築玻璃隔熱膜光學性能衰減試驗方法草案內容.....	41
表 5-2 玻璃放置於水平面時等價於台北、高雄兩地之自然劣化時間比較表...	50

## 圖次

圖 2-1 太陽光之頻譜範圍.....	6
圖 2-2 自然暴露劣化試驗.....	9
圖 2-3 加速劣化試驗環境因子設定之 ISO 國際標準關聯圖.....	9
圖 2-4 氙弧燈、紫外線螢光燈與日光頻譜特性比較表.....	10
圖 2-5 二種紫外線螢光燈之頻譜特性(a)UVA-340(b)UVB-313.....	12
圖 2-6 碳弧燈之頻譜特性.....	13
圖 2-7 氙弧燈之頻譜特性.....	13
圖 3-1 研究流程圖.....	30
圖 3-2 QUV 耐候劣化試驗機外觀.....	33
圖 3-3 QUV 耐候試驗機之內部構成與控制原理.....	34
圖 3-4 試驗樣本準備與編號.....	34
圖 3-5 試驗樣本安裝於試驗機之夾具(a)夾具劣化曝露面(b)夾具背側固定面.....	35
圖 3-6 樣本夾具安裝於 QUV 試驗機中間位置上準備劣化實驗.....	35
圖 4-1 PR40 劣化前後光學性能變化趨勢.....	40
圖 4-2 RE35 劣化前後光學性能變化趨勢.....	40
圖 5-1 太陽光光譜與 UVA-340 光源光譜之對照圖.....	47
圖 5-2 太陽光譜中，波長 310nm 到 360nm 波段總輻射能量與波長 305nm 到 2800nm 波段總輻射能量之占比.....	48
圖 5-3 UVA-340 光源放大後之光譜圖與原幅照度.....	49



## 摘要

**關鍵詞：**玻璃隔熱膜、光學性能衰減、加速劣化

### 一、研究緣起

近年來玻璃隔熱膜科技逐漸成熟，應用之隔熱原理亦多元。玻璃隔熱膜由於施工簡易且由於無須施工鷹架等假設工程，尤其便於應用在針對既有建築之外殼玻璃之隔熱改善上。過去之研究顯示，在未考量隔熱性能之耐久性下，玻璃隔熱膜確實對減少室內之日射熱得有正面助益。然而，對比於傳統外遮陽版，隔熱膜之隔熱性能會隨時間劣化之情形將影響建築之應用與未來建築實際之節能效果，其節能上的性能劣化情形是建築使用者、建築設計者與產品生產者共同所關心的重要因子。目前業界對於隔熱膜所稱之保固，僅包括隔熱膜本身之物理性劣化，如產生氣泡、隔熱膜變色、脫膠等，對於隔熱性能上之劣化衰減也因為國內目前無相關性能衰減試驗規範，而無從評斷產品之耐久性。本研究之目的在於透過國內外相關文獻之回顧評析，建立建築玻璃用隔熱膜之隔熱性能衰減試驗方式，提供研訂相關標準草案之參考，以量化隔熱膜之性能劣化情形，將有助於建築設計者選用參考，並引導隔熱膜廠商研發高性能與耐久化之產品。

### 二、研究方法及過程

由於國際上目前尚無針對建築玻璃隔熱膜之性能衰減測試標準，而僅有耐候性測試之規範，其目的與本研究所欲探討光學性能上之衰減不同。為建立隔熱膜光學性能衰減之標準，因此本研究首先蒐集國內外有關材料或塗料類建材之標準性能劣化方式標準、規範或文獻，以探討並歸納國際上通用之性能劣化方式，以為本研究研訂草擬 CNS「隔熱膜性能衰減試驗方法」草案之基礎。有鑑於擬定之標準試驗應能有效測得市售隔熱膜之性能隨時間衰減之程度，在國內外無相關文獻探討隔熱膜之性能衰減率下，本研究需事先進行前測試驗，以確定隔熱膜在加速劣化下其性能隨時間衰減之程度，藉以研訂標準測試之時間。因此，本研究借重內政部建築研究所性能實驗室，進行二種主要隔熱膜類型之加速劣化試驗，以及劣化前後隔熱膜光學性能測試，據以針對隔熱膜進行加速劣化時訂定合理之加速劣化光照暴露時間。

### 三、重要發現

1. 完成國內外有關材料劣化試驗方法以及試驗儀器之相關規範回顧蒐集彙整分析。綜觀國內外文獻，目前未見針對玻璃隔熱膜之光學性能劣化之專門規範或標準，大多是針對耐候性之測試之標準。其中比較接近本研究目的者為歐盟與德國之 DIN BS EN15752-1 以及日本 JIS A5759，本研究據此訂定我國之 CNS 草案。
2. 完成挑選反射式與吸熱式等二大分類之隔熱膜共 1800 小時之加速劣化試驗。結果發現，不論是反射式或吸熱式之隔熱膜在劣化 1800 小時後，對於日光輻射取得係數(SHGC)性能之衰減是比較顯著的，分別有 11.0%與 9.7%之衰減情形。而可見光波段之透過率與反射率以及日光波段之反射率則無顯著之變化。
3. 依據國內外文獻回顧與加速劣化之前測實驗數據，確立我國可行之建築玻璃隔熱膜性能劣化方式、使用之設備機器以及劣化操作循環之標準。
4. 完成研擬 CNS「建築玻璃隔熱膜光學性能衰減試驗方法」之草案內容。確立以加速劣化試驗機並使用 UVA-340 紫外線螢光燈管連續照射三個階段之劣化實驗。
5. 建立並完成加速劣化時間與等效自然劣化時間之換算方法。

### 四、主要建議事項

根據本研究成果發現，提出下列具體建議：

#### 建議一

建議轉送本研究成果之產出：「建築玻璃隔熱膜光學性能衰減試驗方法」草案予經濟部標準檢驗局訂定相關 CNS 標準之參考，以推廣綠建築在採用隔熱膜作為節能改善技術之應用：立即可行建議。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：經濟部標準檢驗局



## Abstract

**Keywords:** glazing insulation film, optical performance degradation, accelerated degradation

### 1. Introduction

The technology of thermal insulation glazing films are maturely developed in recent years. The thermal insulation mechanisms of commercial glazing films are diversified. For the reason that the construction of glazing films is relatively simple and do not need scaffoldings, it is especially suitable for insulation upgrade of the fenestration of an existing building case. A previous research has showed that the glazing films are capable of reducing indoor solar radiation heat gains regardless of the films' durability. However, the performance degradation of films, especially for the optical performance, is the primary concern factor for application decision by architects, building investors, or film production companies in perspective of building energy conservation. The scope of the warranty of commercially available glazing film given by the production industry only includes its physical degradations, such as discoloring, losing adhesive capability, or appearing alveoli. There are no existing standards or regulations on how to adequately conduct a degradation experiment for the optical degradation of glazing films. The objective of this study is to propose a draft standard of the test method on the degradation of optical properties of adhesive films for building glass by literature reviews and pilot accelerated degradation experiments. The proposed test method provides a standardized optical performance accelerated degradation method for the application of identifying the commercial films' performance degradation curve.

### 2. Methodology

As there are no existing international standards or regulations of the optical performance degradation test method. Most of these standards are focused on the weather durability testing, which is not sufficiently coincide with the aim of this study. Therefore, an extensive literature reviews were conducted regarding the artificial weathering methods of a variety related materials as fundamental references for formulating the standards of the testing method on the degradation of optical properties of adhesive films for building glass. In view of it lacks definitions on how much degradation exposure time is needed for optical performance degradation test; we planned and conducted a preliminary artificial degradation study. Two major types of the commercially available glazing films were tested using the accelerated weathering/degradation equipment for 1800 hours to understand their sensitivity between the exposure intensity and exposure time. This pilot study is conducted in the

national building material testing laboratory.

### **3. Major findings**

- (1) Literature reviews of international standards on the testing method for material degradation is conducted. It is found that no existing standards are exclusively for glazing film's optical degradation, most of them are for weathering test. The German standard, DIN BS EN15752-1, and the Japanese standard, JIS A5759, are the standards exclusively for building glazing films but still is focused on the weathering test.
- (2) In this study, both solar reflective and absorptive type films were tested using accelerated degradation machine for study the effect of their optical properties degradation against exposure time due by UV light exposure. After 1800 hours testing, we observed that there is circa 11.0% and 9.7% decrease in the solar heat gain coefficient (SHGC). In contrast, there is no evident degradation in the reflectivity and transmissivity of the visible light as well as the reflectivity of the solar radiation.
- (3) By referencing to the existing international and domestic standards, the degradation method, specification of the testing equipment, and the standardize degradation procedure were established.
- (4) A standard for the testing method on the degradation of optical properties of adhesive films for building glass was drafted. The content includes using UVA-340 ultraviolet light as the lighting exposure source to a three steps' degradation procedure utilizing accelerated degradation machine.
- (5) A conversion method of the equivalent exposure time between the natural and artificial degradation was proposed in this study.

### **4. Recommendations**

Base on this research an immediately feasible recommendation is reached: The major results of this project is drafting a standard draft of the testing method on the degradation of optical properties of adhesive films for building glass based on the findings of the degradation experiment. To promote the utilization and application of glazing films on existing buildings as a means of green building renovation, it is suggested to deliver this draft standard to the Bureau of Standards, Metrology and Inspection, Ministry of the Economic Affairs, for further consideration of formulating a formal CNS standard.

## 第一章 緒論

### 第一節 研究緣起與背景

我國既有建築物約占全國總量 97%，數量龐大。這些早期興建之建築物，當時並無建築節能法規，普遍存在耗能、耗水等問題，因改善所需經費龐大，內政部建築研究所針對中央廳舍及國立大專院校建築物，進行節能改造示範計畫，並藉由宣導推廣達到普及節能理念。為擴大公有建築物節能改善效益，內政部建築研究所遂擴大辦理公有之既有建築物節能改善，由政府部門帶頭示範，以引導民間參與建築節能，達成建築節能減碳目標。細究其常用作為外殼節能之技術對策，常採用增設外遮陽之方式，雖可有效阻擋日射熱之取得，但因外遮陽係於建築完工後之事後施工，需考量其建築外殼施工便利性及成本等因素，常讓使用單位於規劃外遮陽改善時難以抉擇，尤以玻璃帷幕大樓之外遮陽增設，工程上更加困難。爰此，於既有建築外殼開口部，應用玻璃貼附隔熱膜之節能改善對策，考量其可由室內側進行施工較為便利迅速，且相對外遮陽改善成本較為低廉等因素，實務上亦可納為改善手法之一。

本研究之主題為「建築玻璃用隔熱膜性能衰減試驗方法研訂之研究」。有鑑於玻璃隔熱膜發展逐漸成熟，有應用於汽車玻璃者亦有專門應用於建築外殼窗玻璃者，市場上之產品多元。然而隔熱膜之隔熱原理不盡相同，金屬系隔熱薄膜以反射日射熱以達減少室內日射熱取得；而陶瓷系列之隔熱膜則透過良好之熱吸收能力減少進入室內之熱能。由於薄膜採用之材料不同，在日後長期使用時受太陽日射紫外線暴露下劣化之情況亦不相同。過去曾有針對建築用玻璃隔熱膜與建築外遮陽之節能效益分析之研究(黃國倉 and 李宜臻 2017)，透過電腦動態模擬計算玻璃隔熱膜之節能效益發現，暫不考慮隔熱膜與遮陽版之壽命下以一典型 10 層樓辦公建築進行二者之節能改善成本分析，顯示隔熱膜之回收年限約落在 31 年至 69 年不等，而外遮陽之回收年限約為 34 至 72 年，似乎隔熱膜在既有建築之外殼改善上對比於外遮陽而言是有競爭力的。然而對於玻璃隔熱膜在隔熱性能隨時間衰減之特性尚未有討論，也無相關數據以茲說明其劣化之情形。為了瞭解玻璃隔熱膜在長期使用下之隔熱性能劣化情況，得知並量化之其隨時間之性能衰減率，有必要建立標準之隔熱膜性能衰減試驗方法，以進行後續之研究，並藉以

建立我國建築用玻璃隔熱膜之應用規範，以確保其節能之品質，可誘導廠商開發耐久與性能優異之建築玻璃隔熱膜產品，同時作為未來推廣既有建築節能改善手法之依據。

● 本計畫所欲達成之預期目標如下：

1. 完成國內外有關玻璃隔熱膜性能衰減之相關研究文獻與檢測規範蒐集彙整分析。
2. 完成性能衰減試驗方法之建立。
3. 完成 CNS 建築玻璃隔熱膜性能衰減試驗方法草案。

## 第二節 本研究計畫之重要性

玻璃隔熱膜之應用隨著研發技術之精進，隔熱原理各異，價格逐漸普及化下，從早期應用於汽車玻璃，逐漸轉為應用於建築大樓之窗玻璃或玻璃帷幕牆上，以減少室內之日射熱取得提升建築開口部之節能性。然而，隔熱膜之隔熱品質隨時間劣化之現象由於無統一之標準試驗方式，因此各家廠商所標稱之性能數據混亂，無法互為比較且無根據，造成建築應用、設計規範擬定與產品選擇上之困擾。本計畫最終成果為提出 CNS 建築玻璃隔熱膜性能衰減試驗方法草案，以供經濟部標準檢驗局作為訂定 CNS 標準之參考。針對隔熱膜性能劣化進行標準化之試驗方式，有助於第三方公正實驗室進行玻璃隔熱膜標準化之性能劣化檢測、認證，更有助於玻璃隔熱膜產業之升級與發展，誘導研發隔熱膜廠商研發生產高品質、高耐候、高節能效益之產品。

「玻璃隔熱膜」仿間常稱為「玻璃隔熱紙」或「玻璃節能膜」，泛指貼附於建築用玻璃外側或內側以作為阻絕或反射太陽日射輻射以達節能與室內熱舒適之產品。隔熱膜是由多層不同物質構成，主要可分為 PET，金屬反射塗層，有機染色塗層，防劃傷層及黏貼劑塗層。由於金屬反射塗層和有機染色塗層會氧化，導致變色和降低隔熱的效果，所以亦有廠商用陶瓷原料作為塗層。隔熱膜是以反射和吸收太陽熱能的原理以達到隔熱效果。含金屬的隔熱膜可反射太陽熱能，例如銀、鈦，鐵，鋁等，直接把日射輻射熱反射至室外。反射雖然可以大幅阻隔太陽熱能，但同時容易導致室內反光。另一種以吸收太陽熱能為主之產品，以較深色之隔熱膜塗料吸收熱能，並將熱能儲存於隔熱膜和玻璃間，產品可選擇的顏色亦較多，然而吸熱效果會隨時間衰減，所以其隔熱的效果日久後會變差。此外，

大部分的建築用玻璃隔熱膜都能阻擋紫外線(UV)，可有效減少因紫外線照射所引起的室內家具褪色與龜裂。

近年來玻璃隔熱膜科技逐漸成熟，應用之隔熱原理亦多元。玻璃隔熱膜由於施工簡易且由於無須施工鷹架等假設工程，尤其便於應用在針對既有建築之外殼玻璃之隔熱改善上。過去之研究顯示，在未考量隔熱性能之耐久性下，玻璃隔熱膜確實對減少室內之日射熱得有正面助益。然而，對比於傳統外遮陽版，隔熱膜之隔熱性能會隨時間劣化之情形將影響建築之應用與未來建築實際之節能效果，其節能上的性能劣化情形是建築使用者、建築設計者與產品生產者共同所關心的重要因子。目前業界對於隔熱膜所稱之保固，僅包括隔熱膜本身之物理性劣化，如產生氣泡、隔熱膜變色、脫膠等，對於隔熱性能上之劣化衰減也因為國內目前無相關性能衰減試驗規範，而無從評斷產品之耐久性。

雖然我國國家標準 CNS12381 (CNS 12381 2011)訂有玻璃之光學性能測試標準，但目前卻未有針對建築用隔熱膜之性能衰減檢測方法，也因此無針對隔熱膜之隔熱衰減率有相關之規範，並無從規範隔熱膜產品之耐久性。目前國際上有關於一般材料耐候測試之方法(如 ASTM G151、ASTM G154 等)以作為進行材料劣化試驗之方法標準，因此本研究擬參考上述這些國際規範，建構以人工實驗室模擬氣候劣化以進行評估玻璃隔熱膜性能劣化之標準化方法，再進行劣化後隔熱膜之光學性能計算，建立一套評估隔熱膜性能劣化率之標準程序架構，以標準化各廠商產品之耐候性能特性，使其得以供各界應用比較之參考。

本研究之目的在於透過國內外相關文獻之回顧評析，建立建築玻璃用隔熱膜之隔熱性能衰減試驗方式，提供研訂相關標準草案之參考，以量化隔熱膜之性能劣化情形，將有助於建築設計者選用之參考。

● 本研究目的包括以下三點：

1. 回顧國內外有關玻璃隔熱膜性能衰減之相關研究文獻與檢測規範蒐集。
2. 參考國際規範建立隔熱膜人工氣候劣化試驗之系統性方法。
3. 研擬 CNS 建築玻璃隔熱膜性能衰減試驗方法草案。

### 第三節 玻璃日射熱取得機制

經由建築外殼開口部玻璃進入室內之熱得可區分為太陽輻射熱與室內外溫差所引起的傳導熱。其中因為玻璃內外表面溫度差透過玻璃本身以及隔熱膜以傳導熱之方式進入玻璃內表面，最後再以熱對流之方式成為室內之熱取得量。影響傳導熱進入室內之多寡取決於玻璃(膜)之熱傳透係數  $U$  值(單位為  $W/m^2K$ )，擁有愈低之  $U$  值代表該材料有愈佳之隔熱特性，藉由熱傳導進入室內之熱取得量亦愈低。而太陽輻射熱之部分，當日射抵達窗玻璃外表面時，取決於玻璃(膜)之光學性能，而產生日射輻射反射、日射輻射吸收與日射輻射穿透之現象。原有日射輻射被窗玻璃外表面所反射之能量多寡取決於玻璃外表面之日射反射率；由於玻璃為一透光體，描述日射輻射穿透玻璃後直接進入室內之輻射熱量比例之物理量為日射穿透率；而玻璃本身之日射吸收率，則用以表示有多少比例之日射輻射被玻璃本身吸收，而被玻璃吸收之日射輻射隨著時間遞移，一段時間後會再同步向室內與室外以長波放射之形式進入室內而計入室內之熱取得中。整個玻璃系統(含隔熱膜)對室內之熱取得原理如圖 1-1 所示。傳統以外遮陽板作為建築節能改善之原理，即在當日射抵達窗玻璃外表面前，先直接遮蔽掉日射量，以減少進入室內之日射熱。而玻璃隔熱膜之原理，則透過隔熱膜本身之日射反射、吸收與穿透之光學性能，以降低進入室內之日射量，與外遮陽之日射遮蔽原理不同。此外由於隔熱膜係透過對太陽光不同波段之反射、吸收或遮蔽，因此用於描述隔熱膜性能之參數將包括可視光波段與輻射熱波段之參數。一個具高性能且兼顧室內視覺舒適性之隔熱膜產品應具備高可視光穿透率、低輻射熱穿透率，且為顧及戶外或都市環境之反光公害同時必須具備低可視光反射率之特性。

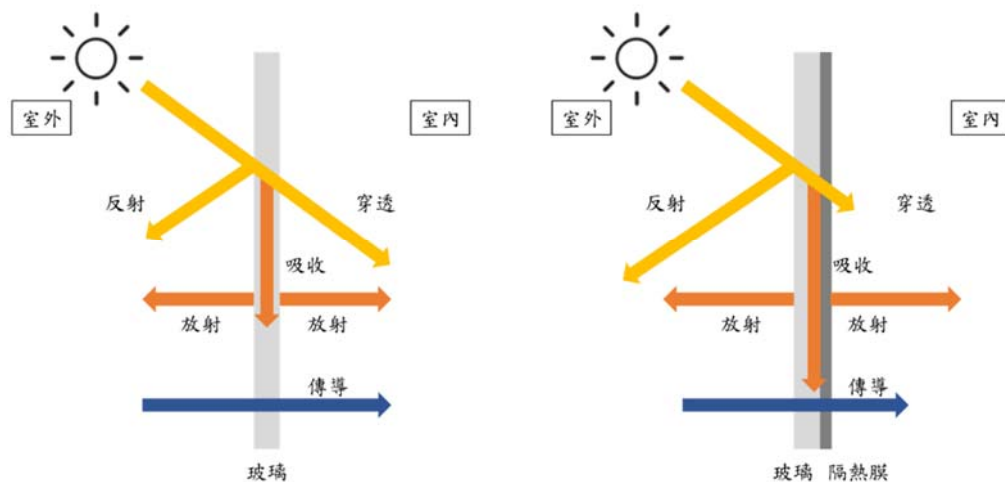


圖 1-1 貼附隔熱膜玻璃之熱取得機制示意

(資料來源：本研究繪製)

## 第二章 國內外文獻回顧與評析

### 第一節 影響建築用玻璃隔熱膜劣化之因素

應用於建築之材料依材質不同其劣化的情形與影響因素即各異。一般影響材料劣化之外界因子包括三項：太陽日射、溫度與濕度，以曝露於室外之建材而言，三種同時作用下其產生劣化之危害更勝於任單一因子之單獨影響。溫度主要影響的是化學反應之速率，愈高溫其劣化反應加速，因此在人工劣化實驗中常以提高溫度之方法來加速劣化之過程；而濕度的影響，主要為在材料表面的結露作用，結露會在材料表層產生露水，濕氣進而被材料吸收，而雨水沖刷引起的物理性侵蝕亦會加速材料發生劣化，如木材塗層因雨水沖洗去除了表面老化層，將未老化的內層曝露於陽光下，而產生進一步劣化。然而，建築隔熱膜之應用多背貼於窗玻璃之室內側，因此較無因濕氣造成劣化之問題。

以事後加工之建築玻璃隔熱膜而言，影響其隔熱性能劣化之主要因素為太陽日射輻射中之紫外線波段(太陽光波段小於 400nm 者)，因此各廠商在隔熱膜之研發上皆會於鄰外側塗佈一層抗紫外線塗層(膠)以防止紫外線破壞實際具隔熱效果之隔熱塗層，紅外線(IR)阻隔層是隔熱膜中擔負隔熱功能之塗層，而抗紫外線膠即是阻隔影響產品耐久性之太陽光譜中紫外線波段。通常此紫外線塗層必須介於玻璃與內側隔熱膜中間，以有效阻隔紫外線對隔熱膜之傷害。

如圖 2-1 太陽光之頻譜範圍所示，太陽光頻譜中波長 315~380nm 者，統稱 UVA 紫外線波段，UVA 可穿過透明的玻璃；而太陽的 UVB 紫外線波長介於 300~315nm 之間，能量比 UVA 更強，日光中含有的 UVB 大部分會被大氣層中之臭氧層所吸收，只有不到 2% 的 UVB 能到達地球表面，在夏天和午後會特別強烈，UVB 部分會被透明玻璃吸收；而最具破壞力的 UVC 紫外線波長為 200~300nm，UVC 無法穿透大部分的透明玻璃，日光中的 UVC 幾乎可被臭氧層完全吸收，鮮少進入大氣內。因此，以隔熱膜熱性能衰減而言，我們所關心的是介於 300-380nm 間之 UVA 與 UVB 的暴露量。

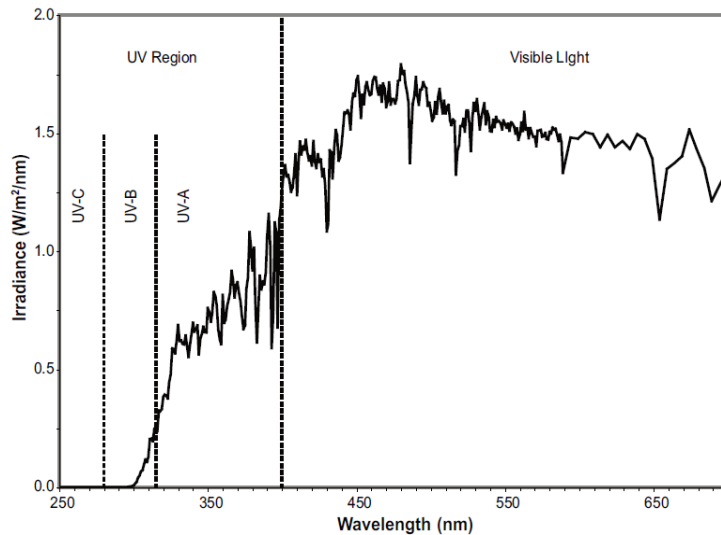


圖 2-1 太陽光之頻譜範圍

(資料來源：(ASTM Standard G154 2016))

在過去的研究中指出有無貼隔熱膜之玻璃對藉由對流與傳導熱進入室內的途徑並無太大影響，隔熱膜最主要的作用在於降低熱輻射進入室內之比例 (Chaiyapinunt, Phueakphongsuriya et al. 2005, 黃國倉 and 李宜臻 2017)。目前最常應用於玻璃隔熱膜的基底材料為聚對苯二甲酸(Polyethylene Terephthalate, PET)，具有透明、強度夠、無方向性、並且具有高度彈性應用於不同表面等優點。而對於隔熱膜中作為阻擋輻射熱的材質，其中 TIM (Transparent Insulation Material) 是目前阻擋熱輻射最有經濟效益的材料之一(Kaushika and Sumathy 2003)，該文統整了 TIM 材料的物理特性、應用等屬性。另外，以三氧化二銦(Indium oxide,  $\text{In}_2\text{O}_3$ )為主要材料的玻璃隔熱膜可以達到降低22%的輻射熱穿透率以及80%的長波輻射發散熱(hemispherical thermal emittance)，以氟化鎂(Magnesium fluoride,  $\text{MgF}_2$ )或氟化鋁(Aluminium fluoride,  $\text{AlF}_3$ )為主要材料的玻璃隔熱膜在輻射熱穿透率以及長波輻射發散熱的表現則為5%與95%(Hamberg and Granqvist 1986)。於台灣的研究，(李訓谷, 陳文亮 et al. 2010)的研究指出玻璃隔熱膜貼附於玻璃外層能夠發揮更好的隔熱效果，但由於直接暴露於紫外線中卻會降低其使用年限，因而研發將二氧化鈦( $\text{TiO}_2$ )材料鍍於隔熱膜之外，除了作為隔熱膜的保護層增加其使用年限，更由於其奈米特性可以發揮自我清潔的效果，大幅降低玻璃維護成本，甚至降低隔熱膜造成的玻璃表面溫差。此外，自1987年起即有人討論以二氧化釩(vanadium(iv) oxide,  $\text{VO}_2$ )作為玻璃隔熱膜的可能性，因此材料所具有的高



度輻射反射性以及高可視光透光性(Babulanam, Eriksson et al. 1987)。在近期的研究中，更研究提出以二氧化鈦(TiO<sub>2</sub>(R))/二氧化鈮(VO<sub>2</sub>(M))/二氧化鈦(TiO<sub>2</sub>(A))複合材料組成之隔熱膜可以有效率的調整太陽輻射進入室內比例(10.2%)與可視光穿透率(30.1%)，同時更可以有防止起霧、自我清潔等附加效益(Zheng, Bao et al. 2015)。

(Mohelnikova 2009)完整的以電腦模擬、實地實驗方式測試高反射率隔熱膜的光學特性。應用金屬在紅外線波段的高反射與低輻射發散率的特性，高紅外線反射的隔熱膜材質通常包含金屬層。此篇研究選用鋁、銀、金、銅四種金屬薄膜實驗其光學特性，發現以銀與金作為鍍膜較適合做為高反射率的隔熱鍍膜，因其有較高的可視光穿透率。大部分的金屬鍍膜除了以金為材質之外，在空氣中均容易逐漸被氧化，需要外加保護層以延緩玻璃膜的壽命，而這些保護膜的材料通常為 TiO<sub>2</sub>, SnO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub> 等。

聚合物材料（如作為基底材之隔熱膜）之光學性能衰退大都由紫外線以及氧化作用造成(Rabek 2012)，其中太陽輻射所提供的能量以及溫度是加速此化學反應速度的影響因子，因此對材料造成開裂、剝離、去光澤、氧化等影響。在所有太陽輻射的波段中對材料之劣化影響最顯著的為 290nm 至 400nm 波段，雖然只佔總太陽輻射的 1%至 5%，卻是所有應用於戶外的材料中最關鍵的劣化因子(Dilara and Briassoulis 2000, Pospíšil, Pilař et al. 2006)。溫度亦為重要的影響因子，因其可以影響化學反應的速度，導致材料加速劣化(Briassoulis and Aristopoulou 2002)。而視隔熱膜材料的不同，其受到環境污染物影響導致性能衰退的嚴重性也不同，例如對於常常應用於玻璃膜的材料低密度聚乙烯(Low-density polyethylene, LDPE)而言，(Dilara and Briassoulis 1998, Dilara and Briassoulis 2000)的研究結果指出 290nm 至 2500nm 波段之總輻射量、環境溫度、相對溼度、所受到的機械壓力、空氣污染均為影響劣化的重要因子，應針對此材料的化學特性發展相對應的減緩劣化策略。在另一研究中發現，常用的玻璃膜材料中，包括不含氟聚合物薄膜材料(non-fluoropolymer thin film materials, PET and PE)與高溫改性聚碳酸酯共聚物(high temperature modified polycarbonate copolym, coPC)等，最常發生的劣化現象均為黃化，導致隔熱膜的效能降低。此外亦常發生表面呈現灰白的現象，或是溫度導致變形或是變色，甚至是冰雹等其他自然現象造成的物理性

破壞(Köhl, Jorgensen et al. 2005)。而本研究所關心的是隔熱膜在隨著物理性劣化後，伴隨在日射輻射阻隔性能上之衰減現象，因為選用隔熱膜之最主要考量因子係因其節能效果，倘其日射阻隔效果因紫外線破壞而隨時間劣化情況顯著時，則無法達到耐久之功能性。因此，本研究有關於隔熱膜之性能衰減之定義，將著重於探討光學性能之衰減。

## 第二節 材料劣化試驗方法

材料劣化試驗是一對材料進行老化過程之總稱，對於老化之過程則有紫外線(UV)試驗、腐蝕性試驗、熱劣化試驗、溫濕度試驗、熱衝擊試驗等。劣化試驗方法可分為自然暴露劣化試驗以及人工劣化試驗兩大類。進行此類劣化試驗時，需充分瞭解受測產品的性質、一般使用狀況、使用期間可能受到的氣候因子以及預期的產品壽命。劣化試驗又可分為自然曝露劣化試驗與人工劣化試驗二種方式。

自然暴露劣化試驗又分為大氣暴露試驗以及以玻璃過濾日光的間接暴露試驗兩種類別，均在自然的環境下進行試驗，如圖 2-2。自然暴露劣化試驗可以獲得最符合實際應用情形的測試結果，然而需要相當久的時間才能得到產品的測試結果。相對的人工劣化試驗在室內以光照、控制溫濕度等等方式模擬戶外的輻射、空氣、溫度、濕度、以及降雨因素等。

以塑膠與塗料為例，相關規範包含德國標準 DIN、歐盟標準 EN、以及國際標準 ISO(Schulz 2009)，各標準間之關係如圖 2-3 所示。德國與歐盟之標準皆直接承襲自 ISO 國際標準，而於標準前冠上 DIN 或 EN。由圖 2-3 之架構可發現由劣化之方式可區分為自然戶外劣化、加速戶外劣化與人工劣化等三種方法，前二種方法對於隔熱膜而言，由於劣化過程相當緩慢，短期間之劣化過程難以獲得性能顯著之衰減，因此本研究將以人工劣化為探討之對象。塑膠或塗料的人工劣化國際標準，分別可遵循 ISO4892 以及 ISO16474 系列，該標準旗下再分別依所使用燈源之不同而分為氙弧燈(ISO4892-2 與 ISO1647-2)、紫外線螢光燈(ISO4892-3 與 ISO1647-3)與碳弧燈(ISO4892-4 與 ISO1647-4)等標準。



圖 2-2 自然暴露劣化試驗  
(資料來源：(Jacques 2000))

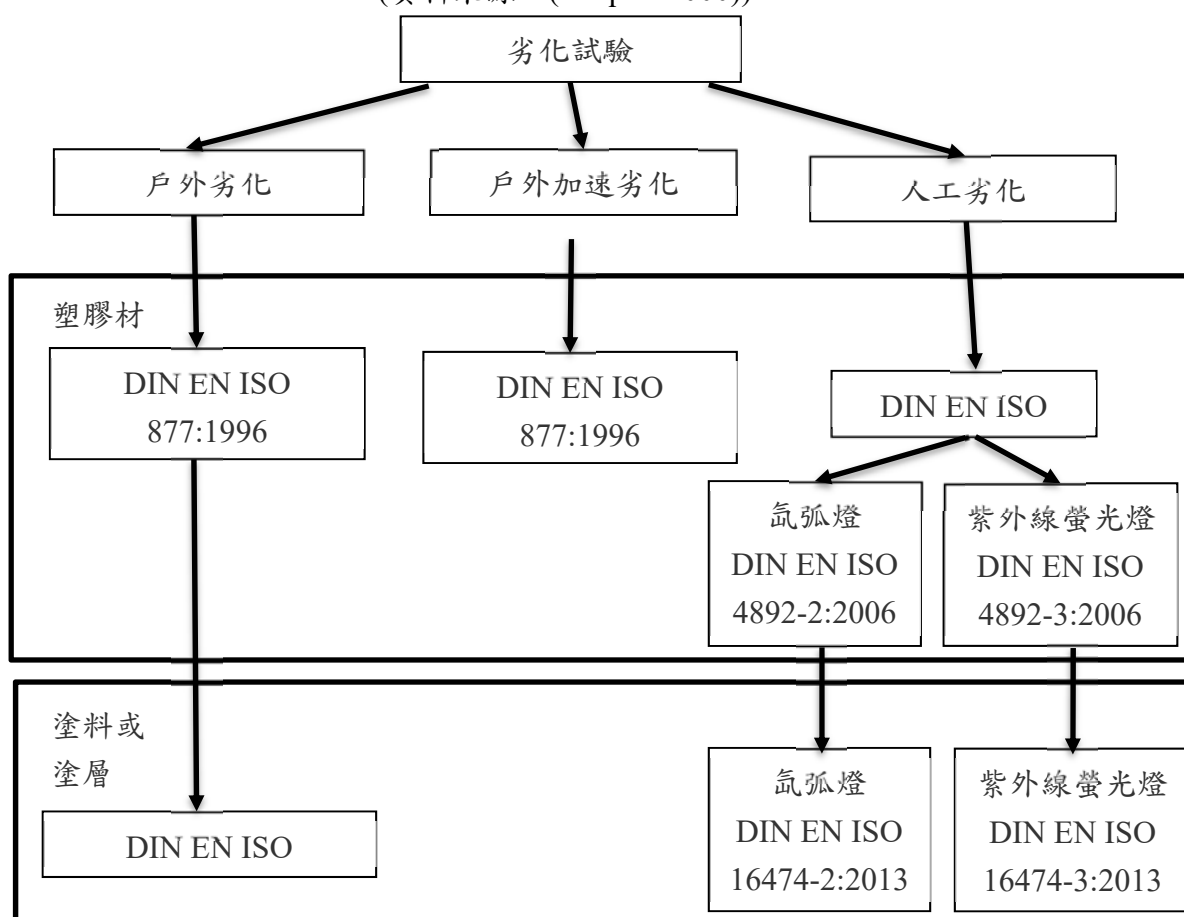


圖 2-3 加速劣化試驗環境因子設定之 ISO 國際標準關聯圖  
(資料來源：(Schulz 2009))

### 第三節 加速劣化試驗採用光源之種類

太陽光是造成隔熱膜材料劣化的主要來源，造成建材的脆化、裂縫、剝落、褪色等現象，材料的劣化現象對於太陽日射中特定波長範圍之劣化敏感度皆不盡相同，且隨材料之不同而各異。油漆類塗料對於較長波之 UV 甚至可視光波段之日光波段亦會產生質變。然而大多數聚合物與塗膜類建材而言，短波紫外線(UV)是造成劣化之主因，本研究探討之玻璃隔熱膜即屬於聚合物塗膜。一般常見作為加速劣化試驗用之光源有氙弧燈(Xenon arc lamp)、碳弧燈(Carvon arc lamp)與紫外線螢光燈(Fluorescent UV light)等。早期使用之碳弧燈由於產生之頻譜在 UVC 波段偏高，許多研究指出並無法模擬自然之日光劣化，因此本研究暫不予討論。圖 2-4 顯示了氙弧燈(Xenon)與紫外線螢光燈(UVA-340)與自然陽光頻譜特性之比較，顯示紫外線螢光燈照射下產生的頻譜特性在短波 UV 波段是較氙弧燈更趨近於日光的，因此本研究之劣化試驗將以使用紫外燈系為照射光源之加速劣化試驗機作為優先選擇之考量。有關使用紫外線螢光燈作為劣化實驗之國際標準可參考(SAE Standard J2020 2003, ISO 16474-3 2013, ASTM Standard G154 2016, ISO 4892-3 2016)等。

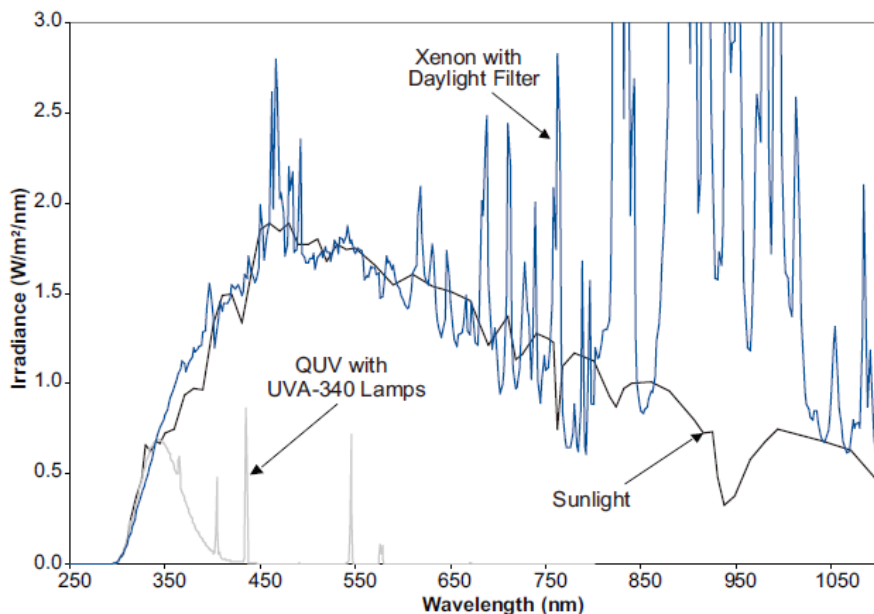


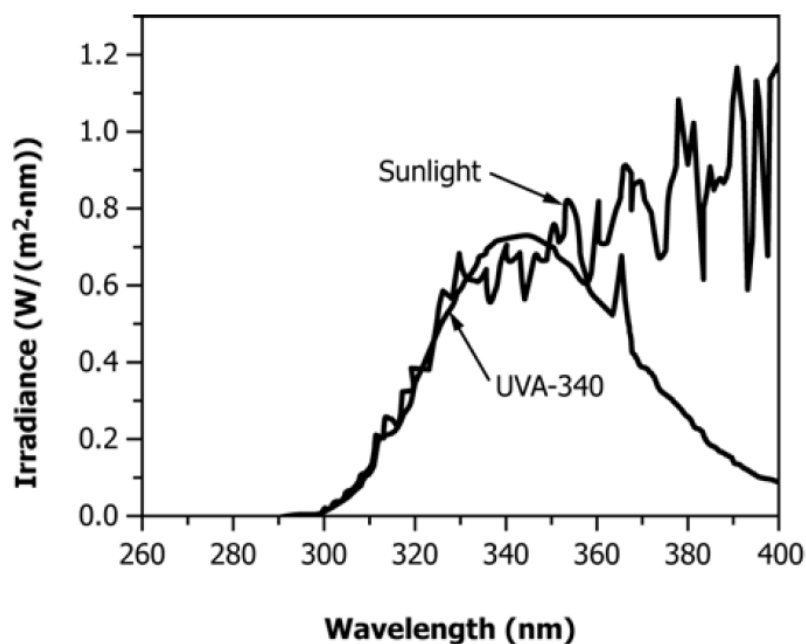
圖 2-4 氙弧燈、紫外線螢光燈與日光頻譜特性比較表  
(資料來源：(Brennan, Fedor et al. 2007))

在日射輻射模擬方面所使用之光源有紫外線螢光燈、氙弧燈、碳弧燈等三種人工光源，其中國際間最常使用配備 UVA-340 燈管之紫外線螢光燈，以燈管內過濾波段的方式以模擬紫外線照射下的環境，UVA-340 燈管因最能夠模擬太陽輻射中的近紫外光分布，可以快速加速反應，然而亦有可能因不自然的引發了光觸發反應導致實驗誤差(Pospíšil, Pilař et al. 2006)。碳弧燈自 1918 年就開始用於模擬氣象之加速劣化試驗，其波段相當集中在 360nm 左右，其劣化加速倍率雖比氙弧燈更高，然而與自然劣化之類比性卻較低(Brennan, Fedor et al. 1988)。

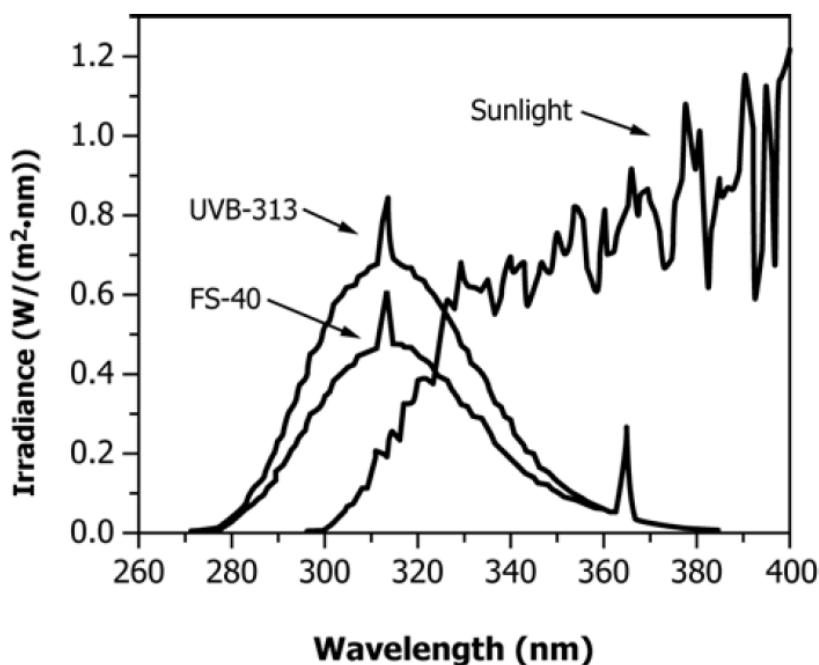
然而加速劣化試驗之試驗結果常常無法與自然劣化試驗結果相符合，主要原因為人工光源的光譜不易與自然光源相同。舉例而言，不同頻率的可視光部份會造成材料黃化的程度不一致，然而紫外光波段不同仍是最主要導致模擬結果與自然劣化產生差異的原因(Johnson and McIntyre 1996)。在各種加速劣化方法下，(Johnson and McIntyre 1996)對不同人工光源在加速劣化試驗中的優缺點做了相當詳細的探討。碳弧燈之頻譜相當集中於 350nm 至 450nm 之間，由於與太陽頻譜之差距較大，故雖然因有高強度的紫外線可以快速將鍍膜材料加速劣化，卻無法良好的模擬自然加速劣化的測試結果(Johnson and McIntyre 1996)。而氙弧燈相對於碳弧燈更接近自然劣化測試的結果。氙弧燈可以發射出比太陽輻射波長更短的光，但這部分通常可以搭配各式之濾鏡解決光源頻譜分布的問題，以模擬不同波段之曝露試驗需求。然而，氙弧燈的問題在於其大量紅外線頻譜會造成環境溫度的上升，導致加速劣化的不確定性因子增加，因此使用時需要密切監測環境，控制環境溫度於近乎定值。此外，氙弧燈還有控制容易的優點，可以配合試驗所需調控明暗之光環境、溫濕度環境等等，因此亦為常用於加速劣化測試的燈源。

螢光燈管為第三種常見之劣化用光源，其相較於氙弧燈的優點在於成本低且不會產生多餘的熱量。最常使用 UVB 及 UVA 燈管，其中 UVB 燈管能量更強其最長的波長在 313nm 左右，大部分介於 270nm 至 290nm 之間。UVB 集中的紫外線波段可以快速加速劣化試驗，然而也會引發其他不自然的化學變化，成為試驗的不確定因素。相對的 UVA 燈管強度最高的波段約為 340nm，較接近太陽輻射的情況，因此加速劣化的試驗結果較接近自然劣化試驗。二種紫外線燈管 UVA-340 與 UVB-313 對太陽光頻譜之比較如圖 2-5 所示，顯示 UVA-340 之頻譜能量分布特性與日光相當，是最能夠類比陽光照射下之劣化效果之光源，因此

本研究也以 UVA-340 作為隔熱膜劣化實驗之光源。使用 UVA 燈管同樣也有產生不必要的熱的問題，實驗時需要做好環境之溫度控制，一般常見之性能劣化機，如 Q-Lab 公司的 QUV、Q-sun 等機器皆有可控溫之調節功能。此外，UVA 燈管與氙弧燈一樣具有控制容易的優點。



(a)



(b)

圖 2-5 二種紫外線螢光燈之頻譜特性(a)UVA-340(b)UVB-313

(資料來源：(ASTM Standard G154 2016))

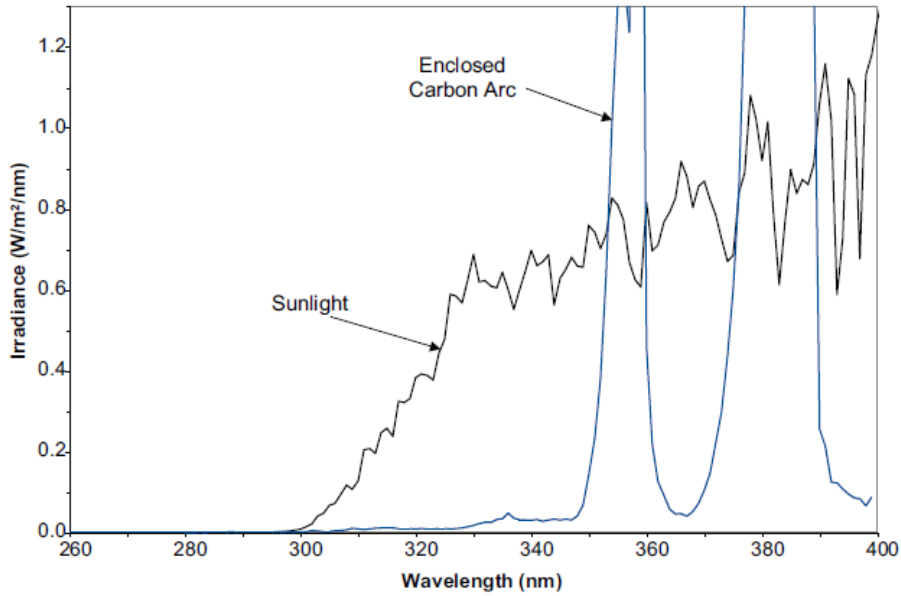


圖 2-6 碳弧燈之頻譜特性

(資料來源：(Brennan, Fedor et al. 2007))

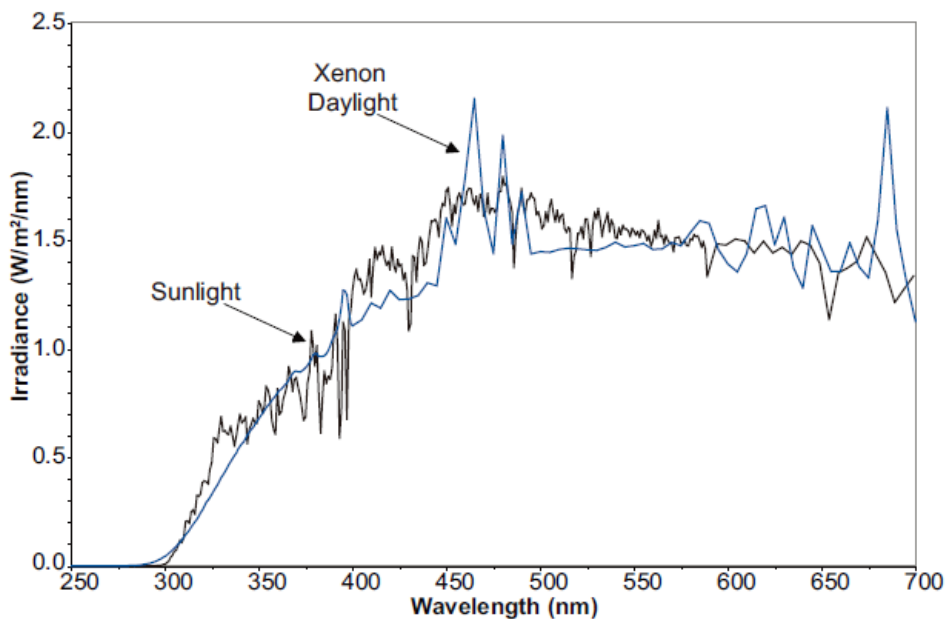


圖 2-7 氙弧燈之頻譜特性

(資料來源：(Brennan, Fedor et al. 2007))

綜上，使用 UVA-340 紫外線螢光燈進行加速劣化是比較可行之隔熱膜性能劣化衰減試驗方式，本研究以下將以此光源進行探討。事實上，在我國之國家標準 CNS15200-7-7 中，針對塗料之加速劣化標準內亦有針對加速劣化用之紫外線螢光燈 UVA-340，同樣參考 ISO16476-3 亦訂有嚴格之光源發射頻譜規範，本研究

將參採沿用該規範內容作為隔熱膜性能劣化有關使用光源之規範，以與國際標準一致。其內容整理如下。

表 2-1 UVA-340 燈<sup>(a)(b)</sup>之相對紫外光譜輻照度要求

譜帶 ( $\lambda$ =波長, nm)	最小 <sup>(c)</sup> (%)	CIE 編號 85:1989, 表 4 <sup>(d)(e)</sup> (%)	最大 <sup>(c)</sup> (%)
$\lambda < 290$	-	0	0.01
$290 \leq \lambda \leq 320$	5.9	5.4	9.3
$320 < \lambda \leq 360$	60.9	38.2	65.5
$360 < \lambda \leq 400$	26.5	56.4	32.8

註

- (a) 本表提供指定譜帶當中之輻照度，以 250nm 至 400nm 的總輻照度之百分率表示。為決定特定第 2 種(UV-340)燈是否符合本表之要求，應量測從 250nm 至 400nm 之光譜輻照度。此通常以 2nm 之增量施行。每一譜帶之總輻照度予以加總，再除以 290nm 至 400nm 之總輻照度。
- (b) 本表中之最小與最大限度係依據不同生產批次與各種齡期的第 2 種(UV-340)燈之 60 種光譜輻照度的量測。光譜輻照度數據係對裝置製造商所建議齡期以內的燈。當更多的光譜度數據可以取得時，就可對限度做小幅度改變。最小與最大限度為所有量測的平均值之 3 sigma( $\sigma$ )以內。
- (c) 最小與最大之欄不必然加總至 100%，此乃因其係代表所用測量數據之最小與最大。對任何個別光譜輻照度分布，本表中譜帶之經計算百分率將加總至 100%。對任何個別第二種(UV-340)螢光燈，每一譜帶中之計算百分率應落於最小與最大限度範圍內。使用光譜輻照度差異大至許可差所容許之第 2 種(UV-340)燈的不同暴露之試驗結果將可預期為不同。對所用第 2 種(UV-340)燈之特定光譜輻照度之數據，諮詢紫外線螢光裝置製造商。
- (d) 從 CIE 刊物編號 85:1989 表 4 之數據為在標準狀態(STP)之相對空氣質量 1.0，臭氧層柱 0.34cm，可降水量為 1.42cm，及在 500nm 的氣膠消光為 0.1 之光譜光學深度，在水平面上之全天空日射輻照度這些數據之提供係僅供參考。
- (e) 對 CIE 編號 85:1989 表 4 所代表的太陽光譜，紫外光輻照度(290nm 至 400nm) 11%，可視光輻照度(400nm 至 800nm)為 89%，以 290nm 至 800nm 之總輻照度之百分率表示。由於紫外線螢光燈之主要發射集中於 300nm 至 400nm 譜帶，可取得的紫外線螢光燈之可視光發射的數據有限。暴露於紫外線螢光裝置的試片上之紫外光輻照度與可視光輻照度的百分率會因為暴露的試片量及其反射性質之不同而異。

(資料來源：(CNS 15200-7-7 2013))

在國內標準方面，經濟部標準檢驗局於 2017 年新修訂了國家標準 CNS 8910 「建築用聚合材料實驗室光源曝露試驗法」(CNS 8910 2017)，該標準針對塑膠與



彈性聚合材之劣化方式訂定標準之試驗方法，其內容提出利用三種不同光源之標準試驗方法：(1)氬弧燈曝露試驗試驗方法，(2)開放式碳弧燈曝露試驗方法，以及(3)紫外線碳弧燈曝露試驗方法。

而為了進行人工加速劣化實驗時所使用試驗儀器的 CNS 標準則可參考：

1. CNS 11231(1985)：日光碳弧燈式耐候性試驗器
2. CNS 11230(1985)：紫外線碳弧燈式耐候試驗器
3. CNS 11232(1985)：氬弧燈式耐光性及耐候性試驗器

#### 第四節 各種材料劣化之標準文獻回顧

國際所使用之各種標準規範中，測定性能劣化之方法種類眾多，而本節主要針對加速劣化中以光照試驗進行文獻探討，對於不同材料暴露在氬弧燈、開放式碳弧燈、密閉式碳弧燈或紫外線螢光燈所產生之加速劣化以及部分材料經重複性之加濕、乾燥，本研究參照美國材料試驗學會(ASTM)、美國汽車工程師協會 (Society of Automotive Engineers, SAE)、國際標準化組織 (International Organization for Standardization, ISO) 以及我國之國家標準 (Chinese National Standards, CNS) 所訂定不同之測試標準，整理其試驗方法、暴露時間以及劣化後所產生之性能衰減或物理變化，並將參考標準所對應之材質和暴露光源整理如表 2-2。然而，回顧國內外相關之材料劣化標準，目前未有針對隔熱膜之標準劣化試驗方法。因此，本研究為訂定建築用玻璃隔熱膜之劣化試驗方法，本節首先整理目前國際上有關各種材料之劣化標準。

##### 2.4.1 不同材料劣化之方法

以下統整合理了目前國際上對於各種材料之加速劣化標準及其所使用燈源之相關規範，包括了黏著材或填縫劑、塑膠聚合材、非金屬材料、塗料類以及由美國汽車工程師協會(SAE International)所制訂的一系列車用材料劣化試驗標準。分別概要簡述如下列各小節。

表 2-2 國際加速劣化標準與使用燈源整理

分類	方式對象	紫外線螢光燈	碳弧燈	氬弧燈
黏著材料	矽膠填縫劑			ASTM C732(2017) (ASTM Standard C732 2017) ASTM C734(2015) (ASTM Standard C734 2015)
	彈性接合和填縫劑	ASTM C793(2017) (ASTM Standard C793 2017)	ASTM C793(2017) [3]	ASTM C793(2017) [3]
	溶劑型填縫劑	ASTM C1257(2015) (ASTM Standard C1257 2015)		ASTM C1257(2015) [4]
	填縫劑	ASTM C1442(2014) (ASTM Standard C1442 2014)		ASTM C1442(2014) [5]
	建築用填縫劑	ASTM C1501(2014) (ASTM Standard C1501 2014) ASTM C1519(2010)		ASTM C1501(2014) [6] ASTM C1519(2010)
	橡膠	ASTM D750(2017)	ASTM D750(2017)	ASTM D750(2017)
	壓力感應膠帶		ASTM D3815(2011)	ASTM D6551(2011)
	瀝青	ASTM D4799(2017)		ASTM D4798(2016)
塑膠聚合材料	塑膠	ISO 4892-1(2016)總則		
		ISO 4892-4(2013) ASTM F1164(2014)	ISO 4892-3(2016)	ISO 4892-2(2013)
非金屬材料	非金屬材料	ASTM G151(2013)總則		
		ASTM G154(2016)	ASTM G152(2013) ASTM G153(2013)	ASTM G155(2013)
塗料	油漆塗料	ISO 16474-3(2013) CNS 15200-7-7(2013)	ISO 16474-4(2013)	ISO 16474-2(2013) CNS 15200-7-6(2013)

車輛材料	汽車室外材料	SAE J2020(2016)	SAE J2019(2012) SAE J1960(2008) SAE J2527(2004)
	汽車內部飾件		SAE J2212(2012)

(資料來源：本研究整理)

● 矽膠填縫劑 (Latex Sealants) 之劣化方法：

ASTM C732 (ASTM Standard C732 2017)為矽膠填縫劑之劣化標準規範，使用輻射量為  $0.51 \text{ W/m}^2/\text{nm}$ 、波長為  $340\text{nm}$  之氙弧燈連續照射 500 小時，並以水沖洗後檢查與未進行曝光之樣本比較是否有陷落、裂痕、顏色變化，或是否對木材、鋁材失去黏著性等情況。此外，ASTM C734 (ASTM Standard C734 2015)採用與 ASTM C732 同樣劣化方法，然二者之相異處在於其檢驗劣化性能之方式。

● 彈性接合填縫劑 (Elastomeric Joint Sealants) 之劣化方法：

ASTM C793 (ASTM Standard C793 2017)為彈性接合填縫劑之劣化標準，對象分為多重成分填縫劑 (Multicomponent sealants) 與單一成分填縫劑 (Single-component sealants)，有相異的樣品準備方法：多重組成分填縫劑為在至少 200 公克之填縫劑中加入凝固劑和一些塗料，單一成分填縫劑則僅有 200 公克之填縫劑，分別將不同之樣本置於密閉之容器中靜置至少 24 小時，之後將其均勻混和。此試驗所使用之燈源可為開放式碳弧燈、紫外線螢光燈或是  $0.51\text{W/m}^2/\text{nm}$ 、 $340\text{nm}$  之氙弧燈，將樣本表面面對暴露裝置，且樣本必須被限制在至少中心區域 90% 輻射量之區域內，樣本放在特定暴露區域之後開始曝光，對於開放式碳弧燈以及氙弧燈，其曝光週期為兩小時之光照接著進行兩小時光照加上樣本表面水噴霧，所有光源持續曝光時間至少 250 小時，當結束光照後，試驗樣本與對照組進行表面觀察之比較，並將其放入冷凍器中，24 小時後將試驗樣本沿軸心處於一秒內彎折 180 度，判斷彎曲面是否有裂痕發生。

● 溶劑型填縫劑 (Solvent-Release-Type Sealants) 之劣化方法：

ASTM C1257 (ASTM Standard C1257 2015)為溶劑型填縫劑之劣化標準規範，將填縫劑注入清洗並乾燥過之 U 型管中，並以膠帶封住開口使其凝固，隨後將樣本放置於加速劣化器中，樣本面朝光源，進行以下兩種加速劣化方式：

- (1) 使用 UVA-340 紫外線螢光燈對樣本進行劣化，如果樣本厚度不足 20mm 厚，則曝光週期為在  $60(\pm 2.5)^{\circ}\text{C}$  黑色面板溫度下曝光 8 小時，接著在  $50(\pm 2.5)^{\circ}\text{C}$  未絕緣背板溫度下進行 4 小時之結露；若樣本厚度超過 20mm，則其曝光週期為在  $60(\pm 2.5)^{\circ}\text{C}$  黑色面板溫度下曝光 5 小時，接著進行一小時曝光加樣本表面水噴霧，水溫不得高於  $40(\pm 2.5)^{\circ}\text{C}$ 。
- (2) 使用  $0.51\text{W}/\text{m}^2/\text{nm}$ 、340nm 之氬弧燈照射 1000 小時。取出樣本後在標準狀態下靜置 2 小時，並判斷曝光後之樣本是否有粉化、碎裂，或是溶劑釋放型膠是否有黏著力、凝聚力之不足之情形。

● 一般填縫劑 (Sealants) 之劣化方法：

ASTM C1442 (ASTM Standard C1442 2014) 為一般填縫劑之劣化標準規範，將試體在標準狀態下放置 21 天使其凝固後，將試體面朝光源並放置於適當距離，樣本必須被限制在至少中心區域 90% 輻射量之區域當中，當試驗溫度及相對溼度達穩定狀態時，開始進行以下任三種方式之連續曝光：

- (1) 以裝有日光過濾器 (daylight filter) 之氬弧燈進行光照，輻射量不得低於  $0.35(\pm 0.02)\text{W}/\text{m}^2/\text{nm}$  亦不得高過  $0.51(\pm 0.02)\text{W}/\text{m}^2/\text{nm}$ ，其循環週期為在  $50(\pm 10)\%$  相對溼度、 $70(\pm 2.5)^{\circ}\text{C}$  溫度下光照 102 分鐘，接著 18 分鐘光照加上在樣本表面進行  $21(\pm 5)^{\circ}\text{C}$  之水噴霧。
- (2) 使用 UVA-340 紫外線螢光燈對樣本進行劣化，如果樣本厚度不足 20mm 厚，則曝光週期為在  $60(\pm 2.5)^{\circ}\text{C}$  黑色面板溫度下曝光 8 小時，接著在  $50(\pm 2.5)^{\circ}\text{C}$  溫度下進行 4 小時之結露；若樣本厚度超過 20mm，則其曝光週期為在  $60(\pm 2.5)^{\circ}\text{C}$  溫度下曝光 5 小時，接著進行一小時曝光加樣本表面水噴霧，水溫不得高於  $40(\pm 2.5)^{\circ}\text{C}$ 。
- (3) 使用裝有日光過濾器之開放式碳弧燈，其循環週期為在  $50(\pm 10)\%$  相對溼度、 $70(\pm 2.5)^{\circ}\text{C}$  溫度下光照 102 分鐘，接著 18 分鐘光照加上在樣本表面進行  $21(\pm 5)^{\circ}\text{C}$  之水噴霧。

在此標準內，所有劣化光源並無規範所需測試時間之長短，而是決定特定之輻射量或是曝光量，而特定之輻射量則是取決於使用者自行定義之性能衰減程度，比起規定一個標準時間更能精確的決定自己需要之劣化程度。

● 建築用填縫劑 (Building Construction Sealants) 劣化之方法：

ASTM C1501 (ASTM Standard C1501 2014)為建築用填縫劑劣化之標準規範，該標準使用 UVA-340 型紫外線螢光燈或輻射量為  $0.35 \text{ W/m}^2/\text{nm}$ 、 $340\text{nm}$  與  $0.51 \text{ W/m}^2/\text{nm}$ 、 $340\text{nm}$  間之氬弧燈照射，樣本必須被限制在至少中心區域 90%輻射量之區域當中，連續曝光 1000 小時後，將樣本置於標準狀態下 2 小時，隨後判斷每一個曝光樣本之顏色變化。而，ASTM C1519 (ASTM Standard C1519 2010) 同為建築用填縫劑劣化之標準規範，所使用之燈源一樣是  $0.51 \text{ W/m}^2/\text{nm}$  之氬弧燈或 UVA-340 型紫外線螢光燈，但暴露時間為期四週，並在曝光後進行六次之壓縮循環，目的在於檢測樣本是否有裂縫、碎裂或黏著力以及凝聚力等問題。

- 橡膠 (Rubber) 劣化之方法：

ASTM D750 (ASTM Standard D750) (ASTM Standard D750 2017) 針對橡膠 (Rubber) 劣化之標準規範，樣本必須被限制在至少中心區域 90%輻射量之區域當中進行曝光，連續曝光所使用之光源為以下三種：

- (1) 使用開放式碳弧燈，其光照週期為在 60%相對濕度、 $63^\circ\text{C}$  絕緣黑色面板溫度下光照 102 分鐘，接著在樣品之前表面上進行 18 分鐘之照光和水噴霧。
- (2) 使用  $0.55 \text{ W/m}^2/\text{nm}$ 、波長  $340\text{nm}$  之氬弧燈，在實驗室溫度維持  $44^\circ\text{C}$  之穩定溫度時，其光照週期為在 60%相對濕度、 $63^\circ\text{C}$  絕緣黑色面板溫度下光照 102 分鐘接著在樣品之前表面上進行 18 分鐘之照光和水噴霧。
- (3) 使用輻射量為  $0.77 \text{ W/m}^2/\text{nm}$ 、波長  $340\text{nm}$  之 UVA-340 型紫外線螢光燈，其光照週期為在  $60^\circ\text{C}$  未絕緣黑色面板溫度為下光照 8 小時，接著在  $50^\circ\text{C}$  未絕緣黑色面板溫度下進行 4 小時結露黑暗。劣化時間並無一定，直到樣本表面開始出現裂縫，或是張力強度、極限伸長率有改變時即停止光照。

- 針對壓力感應膠帶 (Pressure-Sensitive Tapes) 劣化之方法：

ASTM D3815 (ASTM Standard D3815 2011)為針對壓力感應膠帶之劣化標準規範，此標準使用開放式碳弧燈進行樣本之連續照射，曝光週期為在  $63^\circ\text{C}$  溫度下光照 102 分鐘，接著進行 18 分鐘光照與水噴霧於樣品之前表面上，直至物理性能出現衰退即停止。ASTM D6551 (ASTM Standard D6551 2011)亦為壓力感應

膠帶之劣化標準，其使用之燈源為  $0.35 \text{ W/m}^2/\text{nm}$ 、波長  $340\text{nm}$  之氙弧燈，光照週期為進行連續曝光 102 分鐘，接著再進行 18 分鐘之光照與水噴霧於樣品之前表面上，若無特別規定則持續照射 2000 小時，當結束曝光後，測試樣本是否有物理性能上之衰變。

● 瀝青 (Bituminous Materials) 劣化之方法：

ASTM D4798 (ASTM Standard D4798 2016) 為瀝青 (Bituminous Materials) 劣化之測試標準方法，使用  $0.35 \text{ W/m}^2/\text{nm}$  氙弧燈作為劣化燈源時，樣本必須被限制在至少中心區域 90% 輻射量之區域當中進行以下兩種曝露循環：

- (1) A-1 循環：為穩定狀態時，在  $60^\circ\text{C}$  溫度下光照 51 分鐘，接著進行 9 分鐘之光照加上水噴霧於樣品之正面；A-2 循環與 A-1 差別在於水噴霧噴灑位置改為樣本之正面與反面同步進行水噴霧。
- (2) B-1 循環：為在試樣正面進行 60 分鐘水噴霧，接著光照 90 分鐘，再進行 120 分鐘光照和水噴霧於樣本正面，接續進行 990 分鐘純光照，最後在  $-18^\circ\text{C}$  下持續 180 分鐘之冷暴露。B-2 循環與 B-1 差別在於水噴霧噴灑位置改為樣本正、反面。

劣化時間時持續至出現最小可辨識裂縫即停止。

ASTM D4799 (ASTM Standard D4799 2017) 同為瀝青劣化之標準測試規範，但所使用之燈源為 UVA-340 型紫外線螢光燈，有六種循環方式：

- (1) 在  $60 (\pm 2.5)^\circ\text{C}$  下照射 4 小時 UV，與在  $50 (\pm 2.5)^\circ\text{C}$  下 4 小時結露輪流進行。
- (2) 在  $60 (\pm 2.5)^\circ\text{C}$  下照射 20 小時 UV，與在  $50 (\pm 2.5)^\circ\text{C}$  下 4 小時結露輪流進行。
- (3) 在  $80 (\pm 2.5)^\circ\text{C}$  下照射 20 小時 UV，與在  $50 (\pm 2.5)^\circ\text{C}$  下 44 小時結露輪流進行。
- (4) 在  $60 (\pm 2.5)^\circ\text{C}$  下照射 4 小時 UV 及 15 分鐘水噴霧，與在  $50 (\pm 2.5)^\circ\text{C}$  下之 3.75 小時結露輪流進行。
- (5) 在  $60 (\pm 2.5)^\circ\text{C}$  下照射 20 小時 UV 及水噴霧 15 分鐘，與在  $50 (\pm 2.5)^\circ\text{C}$  下 3.75 小時結露輪流進行。
- (6) 在  $80 (\pm 2.5)^\circ\text{C}$  下照射 20 小時 UV 及水噴霧 15 分鐘，與在  $50$

( $\pm 2.5$ ) °C 下之 3.75 小時結露輪流進行。

當樣本曝光至開始出現裂縫時，即停止曝光。

● 塑膠 (Plastic) 劣化之方法：

ASTM F1164 (ASTM Standard F1164 2014) 為對塑膠所訂定之標準規範，將樣本暴露於 UVB-313 型紫外線螢光燈下，在工作溫度為 48.89°C 下以 7 小時之 UV 照射與 5 小時之結露為一循環，總共進行 14 個循環，結束曝光後，將樣本貼上高黏著性膠帶，並快速以 180 度反向撕開，檢查膠帶上是否有樣本脫落之物。

除了上述多屬 ASTM 之標準外，美國汽車工程協會之 SAE J2212 (SAE Standard J2212 2012) 也有針對汽車內部飾件暴露於氙弧燈中造成劣化訂定標準規範；SAE J1960 (SAE Standard J1960 2008)、SAE J2019 (SAE Standard J2019 2012) 以及 SAE J2020 (SAE Standard J2020 2003) 則是對汽車外部配件暴露於氙弧燈以及紫外線螢光燈中進行劣化所訂定的國際標準。ISO 4892-2 (ISO 4892-2 2016)、ISO 4892-3 (ISO 4892-3 2016) 以及 ISO 4892-4 (ISO 4892-4 2016) 則以碳弧燈、氙弧燈以及紫外線螢光燈對塑膠進行劣化，並訂定標準方法；ISO 16474-2 (ISO 16474-2 2013) 使用氙弧燈對油漆塗料訂定了標準方法，讓樣本產生性能及外觀上之變化。而我國之 CNS 8910 (CNS 8910 2017) 亦對建築用聚合材料(塑膠)訂定了一套加速劣化標準方法。以上整理將為本研究後續建立隔熱膜劣化標準之重要參考。

#### 2.4.2 劣化光照燈源相關標準規範

本節說明用於加速劣化之光照儀器相關之國際標準規範，本研究參照美國材料試驗學會 (American Society for Testing and Materials, ASTM) 用於訂定氙弧燈 (Xenon arc lamp)、開放式碳弧燈 (Open flame carbon arc lamp)、密閉式碳弧燈 (Enclosed carbon arc lamp) 以及紫外線螢光燈 (Fluorescent UV lamp) 之標準方法，並整理以紫外線螢光燈標準方法中所使用之曝光週期 (Exposure cycle) 及劣化環境溫度 (Black panel temperature) 之規範內容。

ASTM G151 (ASTM Standard G151 2010) 為氙弧燈、開放式碳弧燈、密閉式碳弧燈以及紫外線螢光燈，應用於照射非金屬材料時之通用規定。其中載明進行標準測試流程時，倘使用光源進行單一暴露時段，選擇之時間或是曝光量需造成測試材料與對照材料之間產生最大性能差異，而所使用之最低曝露時間或是最小

曝光量應是該待測材料產生實質性能變化所需之時間。而對於各別燈源所制定之詳細使用標準，ASTM 將其獨立敘述於不同標準之中：ASTM G152 (ASTM Standard G152 2013)為開放式碳弧燈之標準作業流程；ASTM G153 (ASTM Standard G153 2013)制定密閉式碳弧燈之標準操作流程，其與開放式碳弧燈僅在放射波長上相異，曝露週期也有明顯區分；而 ASTM G154 (ASTM Standard G154 2016)則針對不同類型之紫外線螢光燈訂定標準之曝露週期，整理於表 2-3 紫外線螢光燈曝光週期表；而 ASTM G155 (ASTM Standard G155 2013)則為當使用氙弧燈時之多種曝光週期規範。其中，以 ASTM G154 應用紫外線螢光燈為光照光源為例，該標準定義了八種試驗循環，包含二種不同波長之紫外線螢光燈管 UVA-340 與 UVA-313 之應用。其中以循環 1 與較高照射強度之循環 4 是較為常用之試驗循環。

表 2-3 紫外線螢光燈曝光週期表

循環	類型	輻照度	波長	暴露週期
1	UVA-340	0.89 W/m <sup>2</sup> /nm	340 nm	在 60 (±3) °C 之黑板溫度下照光 8 小時，接著在 50 (±3) °C 黑色面板溫度下進行 4 小時結露
2	UVB-313	0.71 W/m <sup>2</sup> /nm	310 nm	在 60(±3)°C 黑色面板溫度下照光 4 小時，接著在 50 (±3) °C 黑色面板溫度下進行 4 小時結露
3	UVB-313	0.49 W/m <sup>2</sup> /nm	310 nm	在 70(±3)°C 黑色面板溫度下照光 8 小時，接著在 50 (±3) °C 黑色面板溫度下進行 4 小時結露
4	UVA-340	1.55 W/m <sup>2</sup> /nm	340 nm	在 70(±3)°C 黑色面板溫度下照光 8 小時，接著在 50 (±3) °C 黑色面板溫度下進行 4 小時結露
5	UVB-313	0.62 W/m <sup>2</sup> /nm	310 nm	在 80 (±3) °C 黑色面板溫度下照光 20 小時，接著在 50 (±3) °C 黑色面板溫度下進行 4 小時結露
6	UVA-340	1.55 W/m <sup>2</sup> /nm	340 nm	在 60(±3)°C 黑色面板溫度下照光 8 小時，接著在 50 (±3) °C 黑色面板溫度下進行 4 小時結露
7	UVA-340	1.55 W/m <sup>2</sup> /nm	340 nm	在 60(±3)°C 黑色面板溫度下照光 8 小時，再進行 0.25 小時水噴霧（無照明且溫度未控制），接著在 50 (±3) °C 黑色面板溫度下進行 3.75 小時結露
8	UVB-313	28 W/m <sup>2</sup>	270 to 700 nm	在 70(±3)°C 黑色面板溫度下照光 8 小時，接著在 50 (±3) °C 黑色面板溫度下進行 4 小時結露

(資料來源：ASTM Standard G155)



### 2.4.3 德國之玻璃劣化標準(DIN BS EN 15752-1)

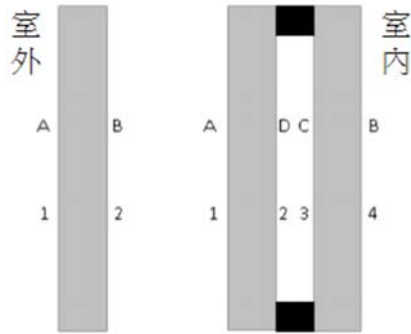
在針對玻璃之光學性能劣化標準方面，經廣泛蒐集資料之結果發現國際上無直接對應於光學性能劣化之標準，比較類似的規範有歐盟採用的 DIN BS EN15752-1 以及日本的 JIS A5759，則有針對貼附聚合塑膠膜的玻璃所制訂之一般加速劣化方法，但並非針對光學性能之衰減，整理如下。DIN BS EN15752-1 標準同時被德國、英國與歐盟共同採用，以下摘錄該規範內有關加速劣化測試方法之內容，如下表 2-4，該內容呈現於標準之第七節中。

表 2-4 摘錄 DIN BS EN15752-1 標準之內容

<p>7.2 加速劣化測試方法</p> <p>7.2.1 一般事項</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 參照 EN ISO 4892-1 以及 EN ISO 4892-2</li> <li>• 使用氙弧燈照射，照射面(玻璃面或是貼膜面)取決於實驗所需</li> <li>• 比較劣化前與劣化後膜的性質差異</li> </ul> <p>7.2.2 試樣準備</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 測試膜的材質必須要具代表性</li> <li>• 在距離膜底端 3m 內以及距離膜邊 75mm 內的膜並不適用於製作樣本</li> <li>• 聚合塑膠膜必須貼於 4mm 無塗層浮製玻璃(在 5.1.2 中描述)</li> </ul> <p>7.2.3 試樣的大小與數量</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 需準備兩套試驗樣本，第一套含 6 個(測試用)，第二套含 3 個(對照用)</li> <li>• 試樣大小需參照 EN ISO 4892-1 製備</li> </ul> <p>註：為了確保附著強度，試樣長度至少須為 35mm</p> <p>7.2.4 聚合塑膠膜玻璃試驗樣本的事前清理</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 使用軟刷清理玻璃表面微粒</li> <li>• 使用廠商推薦的清潔劑清理貼膜面，並風乾</li> <li>• 使用無絨布以及異丙醇擦拭兩面，並風乾 30 分鐘</li> </ul> <p>7.2.5 測試試樣與對照試樣的狀態</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 在測試前 24 小時，測試試樣之溫度需在(23 ± 5)°C，相對溼度需在(80 ± 5)%</li> <li>• 對照試樣須保存在溫度(23 ± 5)°C，相對溼度 50%的密閉式黑色封箱中</li> <li>• 對照組不可受光照或其他相似的能量源</li> </ul>
---

7.2.5 測試方法

- A 型試樣應將聚合塑膠膜面面向氙弧燈
- B 型試樣應將玻璃面面向氙弧燈
- C 型試樣(雙層玻璃)應將隔熱膜面面向氙弧燈
- D 型試樣(雙層玻璃)應將玻璃面面向氙弧燈



7.2.7 加速劣化過程

- 參照 EN ISO 4892-2 的方法 A 之第一周期

暴露階段	輻射照度		背景溫度 °C	測試空間溫度 °C	相對溼度 %
	全波段輻射量 W/m <sup>2</sup>	單一波段輻射量 W/(m <sup>2</sup> nm)			
102 分鐘光照 18 分鐘水淋	60±2	0.51±0.02	65±3	38±3	50±10

7.2.8 劣化時間與樣品測試

貼膜方式	測試試樣	最小數量
所有型態 (A、B、C、D 型)	劣化前 0 小時	2
	1500 小時	2
	3000 小時	2

- 須在試驗樣本準備完成後的 4 小時內開始加速劣化測試
- 需在劣化後 4 小時內測試試樣
- 如在測試時試樣潮濕，需用軟布將其擦乾
- 如在劣化期間量測或替換測試裝備，則試驗樣本閒置時間不可超過 1 小時

(資料來源：DIN BS EN15752-1)

#### 2.4.4 日本之玻璃劣化標準(JIS A5759)

日本亦無直接針對玻璃隔熱膜光學性能衰減之標準，但有針對玻璃隔熱膜之標準 JIS A5759，該標準定義了玻璃隔熱膜之光學性能、耐候性試驗等，其中亦針對隔熱膜之耐候試驗進行了標準化方法之規定，見於該標準之第 6.9 節中，摘錄如下表 2-5。

表 2-5 摘錄 JIS A5759 標準之內容

<b>6.9 耐候性試驗</b>		
<b>6.9.1 樣品準備</b>		
將 50mm X 250mm 的隔熱膜貼在厚度為 3mm，寬度為 50mm，長度為 125mm 的平板玻璃上。以與 6.8 相同的方式完成膠片的黏附。應準備三個相同的樣品。		
<b>6.9.2 試驗前處理</b>		
將樣品在室溫下放置 4 天或是更長的時間。		
<b>6.9.3 試驗方法</b>		
使用 JIS B 7753 中規定的日光碳弧燈耐候試驗機，在下表所示的試驗條件下進行加速耐候性試驗。光致電變色之陽光控制膜應連續劣化測試 1000 小時，而防爆玻璃膜以及玻璃滲透防止膜應連續劣化測試 2000 小時，樣品之玻璃表面應面向光源進行測試。		
碳弧燈耐候性試驗條件表		
項目	條件	
光源	碳弧燈需搭配濾光片 在 275nm 處之光譜透射率小於 2% 在 400nm 處之光譜透射率大於 90%	
電源電壓	200V ± 20V 交流電	
照射條件	平均放電電壓電流	50V ± 1V, 60A ± 1.2A
	背景溫度	63°C ± 3°C
	相對溼度	(50 ± 5)%
	測試片表面放射照度	255(±10%)W/m <sup>2</sup> (300nm~700nm)
水淋	階段	光照 120 分鐘，水噴霧 18 分鐘
	水淋方式	在玻璃光照面上進行水噴霧
隔熱膜	分光透過率 在 275nm 處之光譜透射率小於 2% 在 400nm 處之光譜透射率大於 90%	
試樣光照方向	將玻璃表面面向光源	

**測試過程**

在預定劣化時間之後，讓試樣靜置 24 小時或更長時間，並在此試樣上進行以下測試。

- A. 觀察膜是否有膨脹、裂縫、邊緣撥離等異常狀況
- B. 遮蔽係數由 6.4 計算而得
- C. 在通過平板玻璃中心將樣品的薄膜切割成寬 25mm、長 250mm 的大小來進行黏附力測試

(資料來源：JIS A5759)

### 第三章 研究方法

透過初步之文獻蒐集回顧後發現，目前尚缺針對玻璃隔熱膜之相關檢測規範。因此，本研究首先進行國內外有關建材耐久、耐候性檢測規範之彙整，藉以研訂玻璃隔熱膜之性能衰減規範草案。整個研究之流程如圖 3-1 所示。建築玻璃貼覆隔熱膜之主要目的在於減少室內日射熱之取得以達建築節能與提升室內熱舒適，由過去之研究(黃國倉 and 李宜臻 2017)指出隔熱膜作為影響建築節能與熱舒適之主要物理因子為隔熱膜之日光輻射熱取得係數(Solar heat gain coefficient, SHGC)；而可視光穿透率(Visible light transmittance,  $T_{vis}$ )是影響室內視覺舒適性以及建築晝光利用之影響因子，亦會間接影響室內之熱取得。因此，本研究定義玻璃隔熱膜劣化所必要檢測之性能因子定義為 SHGC 與  $T_{vis}$  二者，是影響建築節能、熱舒適以及視覺舒適性最重要之關鍵因子。後續有關性能衰減劣化之檢測皆以試驗隔熱膜之 SHGC 與  $T_{vis}$  之衰減為研究討論對象。

以下針對本計畫各項研究內容，說明採用之研究方法：

1. 在國內外有關玻璃隔熱膜性能衰減之相關研究文獻與檢測規範蒐集彙整分析方面，本研究擬蒐集國際上 ISO、美國 ASTM、美國汽車工程師協會 SAE 等以及國內 CNS 既有有關耐候性、性能衰減試驗方法之相關規範上之探討分析。參考國際之規範之架構，探討規範本土化應用之可行性，據以訂定國內之隔熱膜性能衰減規範。
2. 有關於建立性能衰減試驗方法部分，可區分為二(1)隔熱膜性能衰減試驗標準方法(加速劣化方法)之建構，以及(2)為了於標準方法內訂定合理的隔熱膜加速劣化時試體之曝露時間，本研究透過加速劣化實驗進行建築玻璃隔熱膜之劣化，蒐集光學性能隨時間劣化之數據，藉以訂定之。
3. 研擬 CNS 建築玻璃隔熱膜性能衰減試驗方法草案：經由上述之前測實驗過程搭配既有國際規範之回顧，本研究最終擬提出「建築玻璃隔熱膜性能衰減試驗方法草案」之內容，以提供我國未來研訂 CNS 規範之參考。

#### 第一節 研究流程

本計畫之研究流程如圖 3-1 所示，為了建立玻璃隔熱膜之性能衰減試驗方法，首先透過文獻收集相關之研究成果，同時針對國際上有關材料劣化試驗方式

與標準之文獻回顧與比較分析，以確立劣化試驗之方式及使用光源之種類作為草擬試驗方法標準之參考。第二部分為定義何種性能之衰減，此部分本研究將定義為隔熱膜玻璃之日光輻射熱取得係數(Solar heat gain coefficient, SHGC)與可視光透過率( $T_{vis}$ )，原因係此二者是影響貼附隔熱膜之玻璃對室內節能與舒適性之關鍵因子。

日光輻射熱取得係數(SHGC)之定義為日光垂直照射到 3mm 厚之玻璃表面後直接透射玻璃板的輻射熱，再加上被玻璃吸收並傳導至窗玻璃室內側之傳導熱之和與入射之總日光輻射之比值。因此 SHGC 為一介於 0 至 1 無因次之物理量，其值越大代表透過玻璃開口部進入室內之日射熱取得越大。而可視光透過率( $T_{vis}$ )之定義為日光中波長範圍介於 380nm 至 780nm 的日光輻射穿透玻璃後同樣波段下之日光輻射佔入射總可視光輻射之比值，其亦為一介於 0 至 1 無因次之物理量，其值越大代表玻璃越清澈透明。

第三部分，是本研究之重點在於建立劣化方法之標準程序。此標準程序應包括從標準樣品尺寸之製作、劣化使用儀器設備之規範、劣化曝露時間之長短、劣化過程使用之光源、劣化之循環等。其中有關隔熱膜產品之「劣化曝露時間之長短」一項，由於透過文獻分析後目前國內外尚無有關隔熱膜之劣化標準，因此亦無應有之曝露時間可供參考。因此，本研究擬規劃隔熱膜樣本之長期連續劣化實驗，並於過程中反覆進行其光學性能衰減之量測，藉以訂定隔熱膜之標準劣化曝露時間。此一過程敘述如下：

為了瞭解加速劣化試驗後玻璃隔熱膜之熱性能變化，於加速劣化之各階段過程中隨時間劣化過程，需逐步量測隔熱膜光學性能之劣化之數據，藉以繪製日射透過性能與可視光透過性能之劣化時間序列曲線，以呈現產品隨時間劣化之程度。為將製作樣品劣化曲線之方式標準化，事先需予以標準化其加速劣化過程，目前定義每一人工加速劣化階段之暴露量以 UVA-340 燈管於 QUV 試驗機中以  $1.55 \text{ W/m}^2$  之能量在試驗環境溫度  $70^\circ\text{C}$  下以 600 小時之暴露時間為一階段，樣品接受每一階段之劣化後皆進行一次光學性能之量測，透過比對劣化前之數據藉以得知每一階段之性能衰減率  $\zeta$ ，其公式如(1)與(2)，繪製性能劣化曲線，以為訂定劣化後性能變化之量測次數參考。有鑑於目前市售常見玻璃隔熱膜產品之隨時間自然曝曬下劣化特性未知，因此本研究擬選擇數種產品透過樣品反覆進行劣化

實驗，藉以瞭解目前市售產品隨時間劣化之性能，再予訂定之以建立劣化前後分析方法之標準程序。

$$\zeta_{SHGC} = \frac{SHGC_{before} - SHGC_{after}}{SHGC_{before}} \times 100\% \quad (1)$$

與

$$\zeta_{Tvis} = \frac{Tvis_{before} - Tvis_{after}}{Tvis_{before}} \times 100\% \quad (2)$$

其中：下標 *before* 為未劣化前之性能；下標 *after* 為劣化後之性能

樣品試片暴露於輻射能量與曝露時間之關係，可由以下公式求得。

$$H = \int Edt \quad (3)$$

式中，E：輻射照度(W/m<sup>2</sup>)；t：曝露時間(s)；H：輻射曝露量(J/m<sup>2</sup>)

如果在整個曝露期間，輻射照度為恆定，則總輻射曝露量H即為E與t之乘積。

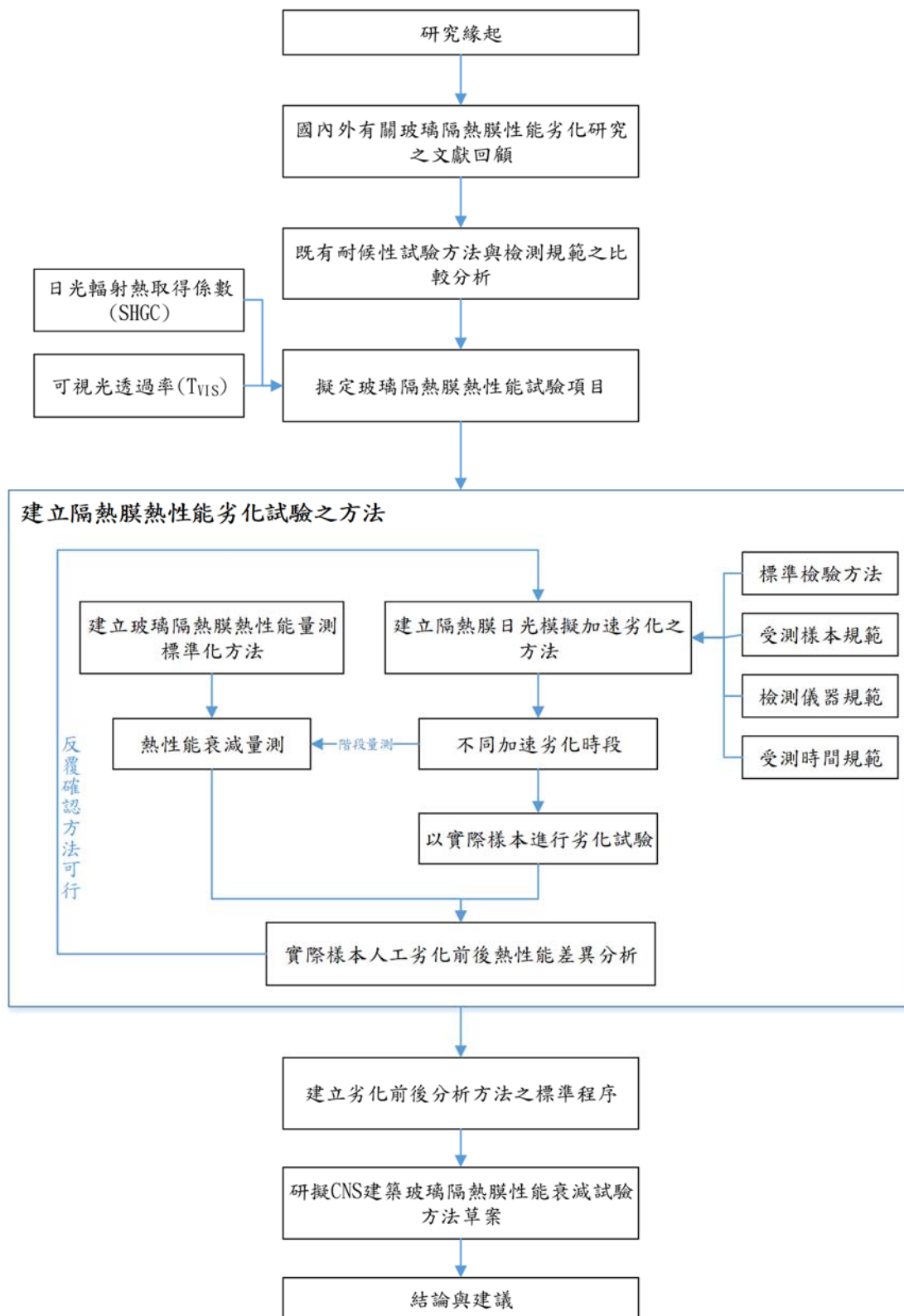


圖 3-1 研究流程圖  
(資料來源：本研究整理)



## 第二節 隔熱膜性能劣化標準之內容架構

在尚未完成隔熱膜性能劣化前測實驗前，本研究暫先參考CNS15200-7-2(2013)「塗膜之長期性能-加速耐候性」之架構，擬定「建築玻璃隔熱膜性能衰減試驗方法」CNS草案各節架構內容與說明如下表 3-1。

表 3-1 「建築玻璃隔熱膜性能衰減試驗方法」草案架構內容

章節	說明
1.適用範圍	表明應用之適用範圍為建築玻璃用隔熱膜。
2.引用標準	表明本草案所參考之國內外相關規範。
3.用語與定義	標準中專有名詞解釋與定義說明，以及描述性能衰減之物理量及其定義說明。
4. 光學性能衰減試驗	說明加速劣化試驗所採用之方法與標準。
4.1 樣品準備	表明試體製作時之規格、被貼標準玻璃規格之規定，及試體安裝於劣化試驗儀器之方式。載明使用於模擬加速劣化試驗之儀器，及儀器性能與規格應符合之規定。
4.2 劣化試驗方法與過程	載明標準試驗方式，包括試驗環境、試驗時間長短、試驗步驟與流程規定。
5. 光學性能檢測試驗	載明經劣化後所需評估之性能項目與評估方法。
5.1 一般事項	本節說明試體在劣化前、後熱性能試驗項目與方法。以及採用之儀器設備規定。
5.2 可視光透過率實驗	描述可視光透過率( $T_{vis}$ )之實驗室量測方法與標準計算方式。
5.3 日射透過率實驗	描述日射透過率之實驗室量測方法與標準計算方式。
5.4 日光輻射熱取得係數	描述日光輻射熱取得係數(SHGC)之標準計算方式。
6.劣化後分析報告	描述隔熱膜性能衰減試驗後，標準之報告產出格式與載明事項規定。

(資料來源：本研究整理)

### 第三節 隔熱膜性能劣化前測試驗

為了擬定建築用玻璃隔熱膜之性能衰減測試標準時訂定所需進行待測隔熱膜樣品之紫外線劣化曝露時間之長短。在國內外尚無文獻探討有關玻璃隔熱膜產品之光學性能隨時間衰減之研究下，本研究首先需進行隔熱膜樣品之試測實驗，透過耐候試驗機進行一系列之連續性劣化試驗，同時於試驗過程中透過反覆量測其光學性能以計算樣品隨時間之衰減率曲線，以瞭解隔熱膜產品預期之劣化曝露時間長短，以達到有效劣化之數據。

本計畫借重內政部建築研究所位於台南歸仁之性能實驗群之性能劣化設備，QUV Basic 耐候試驗機，進行劣化試驗。該設備由 Q-Panel Lab 實驗室製造其規格完全符合 ASTM G154、ASTM D4587、ASTM D4329、ASTM D4799、ISO 4892 以及 SAE J2020 等之國際規範，可在國際標準建議之方法下操作於對材料之加速劣化試驗。設備外觀如圖 3-2 所示。QUV 耐候試驗機之內部構成剖面如圖 3-3 所示，內部包括八支紫外線螢光燈管同時進行照射，測試樣本夾置於 QUV 之兩側透過夾具上之曝露孔進行人工劣化。

在測試樣品的選擇上，依據 106 年之研究報告(黃國倉 and 李宜臻 2017)指出隔熱膜依其隔熱之原理可區分為紅外線反射式(金屬膜系)與吸熱式(非金屬膜系)二種主流產品。因此，本研究在有限之實驗經費下挑選同樣可視光透過率約為 40% 之同廠牌(3M)隔熱膜產品，產品編號 PR40 與 RE35 分別代表非金屬膜與金屬膜二類進行劣化試驗，二種隔熱膜皆統一背貼於 3mm 之台玻公司清玻璃上，每一型號準備二組樣品藉以試驗隔熱膜貼於室內與室外側之結果。此外，另準備一無貼膜之台玻 3mm 清玻璃作為對照樣本，一共五組樣本同步進行加速劣化試驗，如圖 3-4 所示。樣品編號與實驗規劃表如表 3-2。各測試樣本使用獨立之單一個夾具，統一放置於位於夾具上方之劣化曝露窗格中(如圖 3-5 所示)，並放置於 QUV 耐候試驗機之中央位置(如圖 3-6)，以使各樣本接受到均勻之紫外光曝露照射。PR40 與 RE35 二樣本在未劣化前首先進行光學性能之測試，其結果如表 3-3 所示，二者之 SHGC 分別為 0.3821 與 0.4677；而可視光透過率則分別為 39.60% 與 36.65 %。

為了在有限時間內取得性能劣化數據，劣化試驗之規劃參考 ASTM G154 之試驗規範，以 UVA-340 紫外線螢光燈進行樣本同步連續性照射之方式進行，同

時為了加速劣化反應，同樣參考 ASTM G154 之標準，將 QUV 耐候試驗機之環境溫度控制在 70°C 下進行 UVA 之曝露劣化。第一階段擬先連續照射 600 小時後進行各樣本第二次之光學性能試驗，評估其 SHGC 與  $T_{vis}$  之衰減情形，以供後續訂定我國之標準參考。

表 3-2 樣品編號與實驗規劃

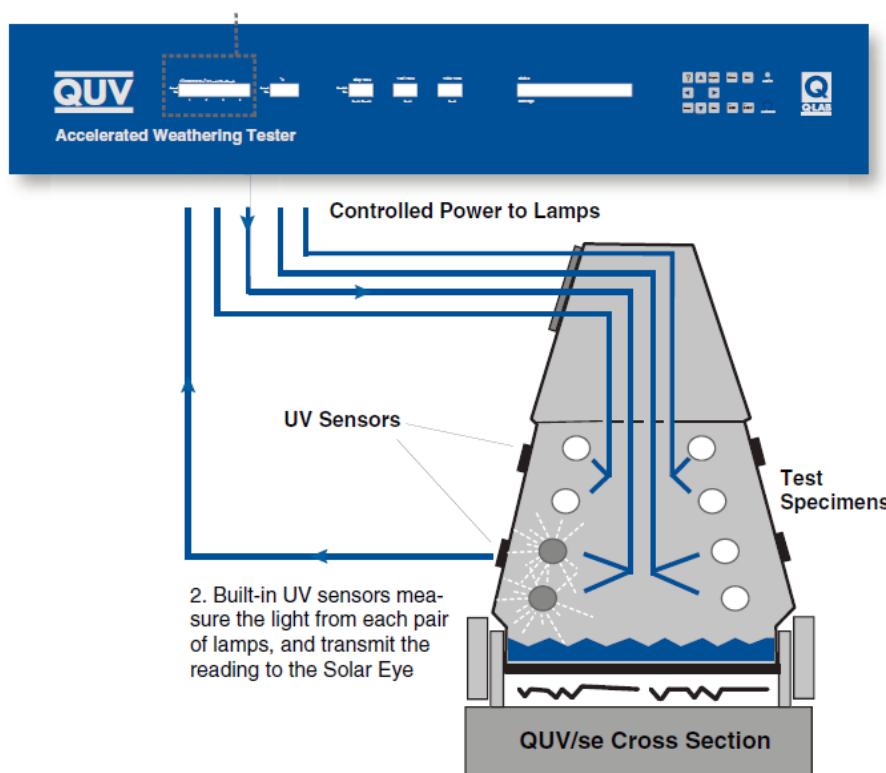
樣本編號	樣本型號	試驗情境	夾具位置編號
#1	PR40(1)	隔熱膜貼於室內側	5
#2	RE35(1)	隔熱膜貼於室內側	6
#3	3mm 清玻璃	-	7
#4	PR40(2)	隔熱膜貼於室外側	8
#5	RE35(2)	隔熱膜貼於室外側	9

(資料來源：本研究整理)



圖 3-2 QUV 耐候劣化試驗機外觀

(資料來源：本研究整理)



之內部構成與控制原理

(資料來源：Q-Lab 2006)



圖 3-4 試驗樣本準備與編號

(資料來源：本研究整理)



圖 3-5 試驗樣本安裝於試驗機之夾具上(a)夾具劣化曝露面(b)夾具背側固定面  
(資料來源：本研究整理)



圖 3-6 樣本夾具安裝於 QUV 試驗機中間位置上準備劣化實驗  
(資料來源：本研究整理)

表 3-3 樣本性能劣化前之光學性能數據

測試項目	PR40-1	RE35-1
1. 可見光穿透率(380nm~780nm) (visible light transmittance)	39.60%	36.65 %
2. 可見光反射率(380nm~780nm) (visible light reflectance)	6.37%	18.29 %
3. 日光穿透率(300nm~2500nm) (solar radiation transmittance)	23.41 %	34.09 %
4. 日光反射率(300nm~2500nm) (solar radiation reflectance)	19.26 %	16.61 %
5. 日光輻射熱取得率 SHGC (solar heat gain coefficient)	0.3821	0.4677
6. 遮蔽係數 SC (Shading Coefficient)	0.4391	0.5375
7. 紫外線穿透率(300nm~380nm) (UV transmittance)	0.00	0.97
8. 紫外線反射率(300nm~380nm) (UV reflectance)	4.72 %	5.18 %
9. 總熱傳係數 U (thermal transmittance)	5.832	5.812
10. 紅外線阻隔率 (780nm~2500nm) (100- Infrared direct transmittance)	90.46 %	66.36 %
11. 總熱穿透量 W/m <sup>2</sup>	322.47	384.40
12. 總太陽能量阻隔率	61.79 %	53.23 %
13. 光效因子	1.04	0.78

(資料來源：本研究整理)

#### 第四節 隔熱膜光學性能計算方法

在確認了隔熱膜之加速劣化試驗方法後，另一個步驟即是量測性能的劣化。以建築用玻璃隔熱膜而言，其對於節能與提升室內熱舒適之功能是建築使用者與設記者所關心的。依過去之研究，評估隔熱膜之節能與熱舒適效益可以日光輻射熱取得係數(SHGC)與可視光透過率( $T_{vis}$ )二者來評斷。SHGC 是一綜合之指標，用以描述有多少比例之日射輻射折減效果；而可視光透過率則可以表達材料物理性之劣化結果，如變色、混濁等皆會反應於可視光透過率之變化上。因此，在經加速劣化後，隔熱膜所必須量測實驗之性能指標為(1)SHGC 與(2)可視光透過率，

此二光學性能指標可透過 CNS12381 所建議之標準方式透過分光光度計量測各不同頻譜下之透過性能，經標準公式換算而得，如下：

$n$  片 ( $n \geq 1$ ) 平板玻璃構成之複層玻璃構成體內，第  $j$  片平板玻璃之分光吸收率，依照公式 4 求得。 $n$  片平板玻璃構成體的日射透過率  $\tau_e$  依照公式 1，日射反射率  $\rho_e$  依照公式 2，構成體內各片平板玻璃分光吸收率  $\alpha_{ej}$  依照公式 3，其分光透射率  $\tau_{1n}(\lambda)$  分光反射率  $\rho_{1n}(\lambda)$  及構成體內各平板玻璃之分光吸收率  ${}_n\alpha_j(\lambda)$ ，係以各光源頻譜之權重係數加權平均而得。

$$\tau_e = \frac{\sum_{\lambda} E\lambda \times l\lambda \times \tau_{1n}(\lambda)}{\sum_{\lambda} E\lambda \times l\lambda} \quad (1)$$

$$\rho_e = \frac{\sum_{\lambda} E\lambda \times l\lambda \times \rho_{1n}(\lambda)}{\sum_{\lambda} E\lambda \times l\lambda} \quad (2)$$

$$\alpha_{ej} = \frac{\sum_{\lambda} E\lambda \times l\lambda \times {}_n\alpha_j(\lambda)}{\sum_{\lambda} E\lambda \times l\lambda} \quad (3)$$

式中， $E\lambda$ ：直接入射之日光標準分光分布

$\tau_{1n}(\lambda)$ 、 $\rho_{1n}(\lambda)$ ： $n$  片平板玻璃所構成之構成體的分光透射率。

${}_n\alpha_j$ ： $n$  片平板玻璃構成之構成體內，第  $j$  片平板玻璃之分光吸收率，依公式 5 求得。

$${}_n\alpha_j(\lambda) = \frac{\tau_{1,j-1}(\lambda) \times \alpha_j(\lambda)}{1 - \rho_{j,n}(\lambda) \times \rho'_{j-1,1}(\lambda)} + \frac{\tau_{1,j}(\lambda) \times \rho_{j+1,n}(\lambda) \times \alpha'_j(\lambda)}{1 - \rho'_{j,1}(\lambda) \times \rho_{j+1,n}(\lambda)} \quad (4)$$

由上述之方法計算玻璃之光學性能時，需要取得涵蓋整個太陽光譜範圍相對應之參數值使能帶入計算，這些不同波段的分光吸收率、反射率、透過率等資料可透過分光光度儀之實測分析而取得。





## 第四章 隔熱膜性能劣化前測實驗結果

由於從過去之文獻回顧上鮮少針對隔熱膜之光學性能隨時間衰減之文獻，為了瞭解隔熱膜在加速劣化下之光學性能衰減情形，本研究規劃了以實際樣本進行加速劣化之前測實驗，以概略得到光學性能之衰減率並藉以訂定合適之標準加速劣化時間，以提供作為研訂 CNS 建築玻璃隔熱膜光學性能衰減試驗方法之參考。本研究自 107 年 5 月 28 日始針對二種不同熱阻絕原理之隔熱膜(型號為 PR40 與 RE35)，每一型號各準備二個樣本同步進行加速劣化試驗，下表 4-1 呈現了截至目前為止一共完成二階段之劣化實驗之結果。試驗時以環境背景溫度 70°C 使用 UVA-340 紫外線螢光燈管在 1.55W/m<sup>2</sup>.nm 之強度照射下連續進行光照實驗。表中各項數據以同樣型號之二個樣本取其平均值，以減少隔熱膜因人為貼附不均勻之誤差。第一階段之加速劣化實驗共為期 600 小時，爾後進行各樣本之光學性能測試；第二階段之加速劣化實驗於 107 年 7 月 10 日開始共為期 1200 小時(樣本累計劣化 1800 小時)，第二階段劣化後同樣進行所有樣本之光學性能檢測。自 107 年 9 月 18 日始進行第三階段之劣化試驗為期 1200 小時(樣本累計劣化 3000 小時)，預計 11 月 7 日結束實驗。

以 PR40 而言由圖 4-1 各項光學性能數據之劣化後變化情形可得知，日光輻射取得係數(SHGC)有比較顯著之變化，在 1800 小時之紫外線螢光燈加速劣化後，SHGC 由原本的 0.383 增加至 0.425，共增加了 11.0%，意即隔熱膜對日射阻絕性能效果下降，意即劣化後增加了總日射熱取得約 11%。其餘有關可見光與日光之在穿透率與反射率之改變上變化不大，僅於可見光穿透率稍微下降了 1.1%。

表 4-1 二種隔熱膜經過不同程度劣化後之光學與熱性能變化

樣本編號	PR40	PR40	PR40	RE35	RE35	RE35
劣化經歷時間(小時)	0	600	1800	0	600	1800
1.可見光穿透率(380~780nm)	0.397	0.380	0.386	0.367	0.369	0.376
2.可見光反射率(380~780nm)	0.062	0.068	0.069	0.182	0.179	0.181
3.日光穿透率(300~2500nm)	0.233	0.224	0.234	0.341	0.343	0.348
4.日光反射率(300~2500nm)	0.185	0.199	0.204	0.166	0.163	0.168
5.日光輻射熱取得率 SHGC	0.383	0.371	0.425	0.468	0.471	0.513
6.遮蔽係數 SC	0.440	0.427	0.488	0.538	0.541	0.590
7.總熱傳係數 U(W/(m <sup>2</sup> K))	5.832	5.764	5.853	5.821	5.840	5.889

(資料來源：本研究整理)

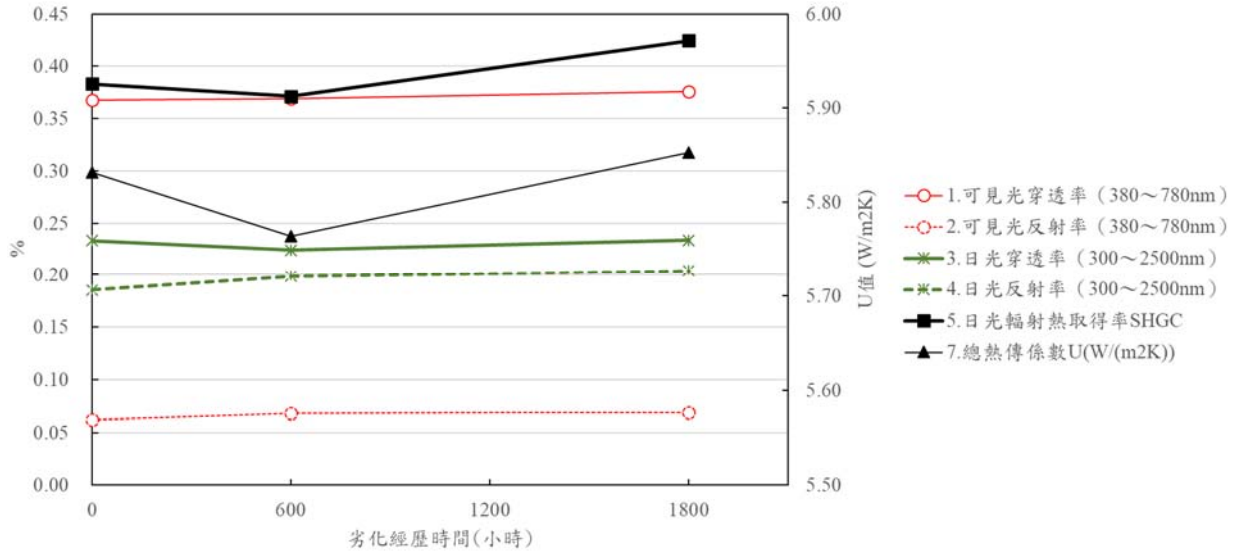


圖 4-1 PR40 劣化前後光學性能變化趨勢  
(資料來源：本研究整理)

以 RE35 而言由圖 4-2 之變化趨勢可知，同樣是 SHGC 值在 1800 小時劣化前後變化較巨，SHGC 由原本的 0.468 增加至 0.513，共增加了 9.7%代表隔熱膜對日射阻絕性能效果下降。其餘有關可見光與日光輻射穿透與反射性能之變化不大。

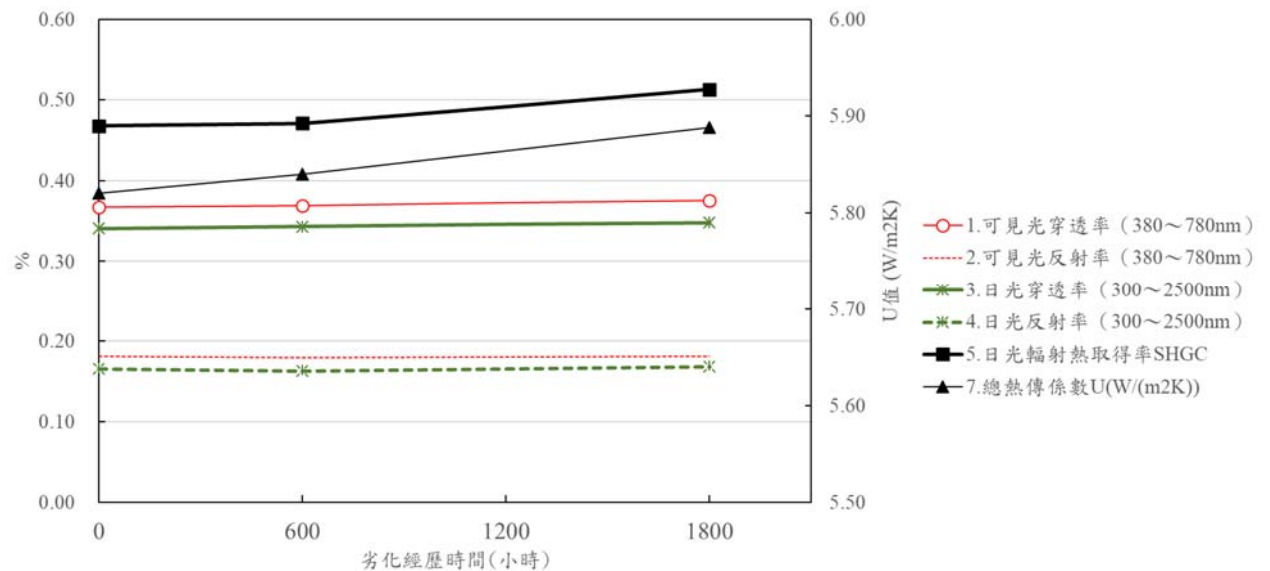


圖 4-2 RE35 劣化前後光學性能變化趨勢  
(資料來源：本研究整理)

綜上初步之結果可知，不論是反射式或吸熱式之隔熱膜在劣化 1800 小時後，對於 SHGC 性能之衰減是比較顯著的，分別有 11.0%與 9.7%之衰減情形。

## 第五章 建築玻璃隔熱膜光學性能衰減試驗方法

### 第一節 草案內容

以下綜合前述各章之文獻回顧內容以及隔熱膜劣化試驗實測之結果，草擬建築玻璃隔熱膜光學性能衰減試驗方法草案內容如下表 5-1。

表 5-1 建築玻璃隔熱膜光學性能衰減試驗方法草案內容

<p>中華民國國家標準(CNS)</p> <p>名稱：建築玻璃隔熱膜光學性能衰減試驗方法</p> <p>Title: Test method on the degradation of optical properties of adhesive films for building glass</p>	
1	<p>適用範圍</p> <p>本標準適用於建築物外殼門窗或開口部之玻璃上所使用之玻璃貼合薄膜(以下稱為隔熱膜)。</p>
2	<p>引用標準</p> <p>以下引用標準構成本標準條文之一部份。</p> <p>CNS 12381：平板玻璃透射率、反射率、放射率日光輻射熱取得係數試驗法</p> <p>CNS 8910：建築用聚合物材料實驗室光源曝露試驗法</p> <p>CNS 2442：浮式玻璃及磨光平板玻璃</p> <p>CNS 2925：規定極限值之有效位數指示法</p> <p>ISO 9050：Glass in building -- Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors.</p> <p>ISO 4892-3：Plastics--Methods of Exposure to Laboratory Light Sources--Part 3, Fluorescent UV lamps.</p>

ISO 16474-3 Paints and varnishes -- Methods of exposure to laboratory light sources -- Part 3: Fluorescent UV lamps.

ASTM Standard G154 : Standard Practice for Operating Fluorescent Ultraviolet (UV) Lamp Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials.

### 3 用語與定義

本標準使用的主要用語和定義如下。

#### 3.1 平板玻璃

依 CNS 2442 之規定。

#### 3.2 日光輻射(Solar Radiation)

從太陽輻射出來包含從範圍 300nm 到 2500nm 之電磁波。

#### 3.3 可視光(Visible Light)

可由視覺器官看見的光波段，波長範圍介於 380nm 至 780nm 的日光輻射熱。

#### 3.4 日光輻射熱取得係數(Solar Heat Gain Coefficient)

日光垂直照射到 3mm 厚之貼膜玻璃表面直接透射玻璃板的輻射熱，加上被玻璃吸收並傳導至窗玻璃室內側之傳導熱之和與入射之總日光輻射熱之比值。

#### 3.5 透過率(Transmittance)

定義為透射光的光通量和入射光的光通量之比值。

#### 3.6 反射率(Reflectivity)

定義為反射光的光通量和入射光的光通量之比值。

#### 3.7 隔熱膜光學性能

包括可視光透過率、可視光反射率、日光輻射熱透過率、日光輻射熱反射率與日射輻射熱取得率。

### 4 光學性能劣化試驗

#### 4.1 樣品準備

#### 4.1.1 環境條件

樣品製作之環境條件：溫度 $(23\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 、相對濕度 $(80\pm 5)\%$ 。

#### 4.1.2 試體製作與安裝

作為試驗用之樣品應準備二份，將隔熱膜平整且均勻貼附於 3mm 厚、長 140mm、寬 70mm 之浮式明板清玻璃上，使其表面不可有氣泡。明板玻璃應符合 CNS 2442 之規定。試驗前需先將備妥之樣品靜置於 4.1.1 節之環境條件下至少 24 小時，使隔熱膜與玻璃之黏著達穩定狀態。樣品需先以水洗滌，使用軟布擦拭後風乾 30 分鐘，使其表面無灰塵污漬殘留，並需於 4 小時內進行劣化試驗。

#### 4.1.3 試驗儀器規格

- (a) 作為光學性能劣化試驗之設備應符合 ISO 16474-3 中有關紫外線螢光燈耐候試驗機之規定。
- (b) 將試驗樣本安裝與光照方向在模擬室內側貼膜之情況下，將測試片的玻璃表面面向試驗機之光源方向，如圖 1 所示；模擬隔熱膜貼附於室外側之情況下，將測試片貼附隔熱膜之表面面向試驗機之光源方向進行劣化試驗，如圖 2 所示。
- (c) 作為光學劣化試驗之光源，其使用之螢光燈管應符合 UVA-340 之波段(250nm 至 400nm)。

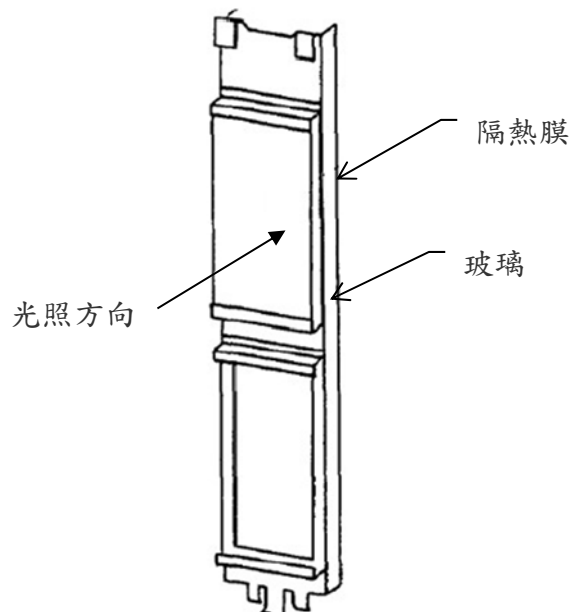


圖 1 光學性能劣化之樣品安裝方式與夾具(模擬窗玻璃室內側貼膜之情況)

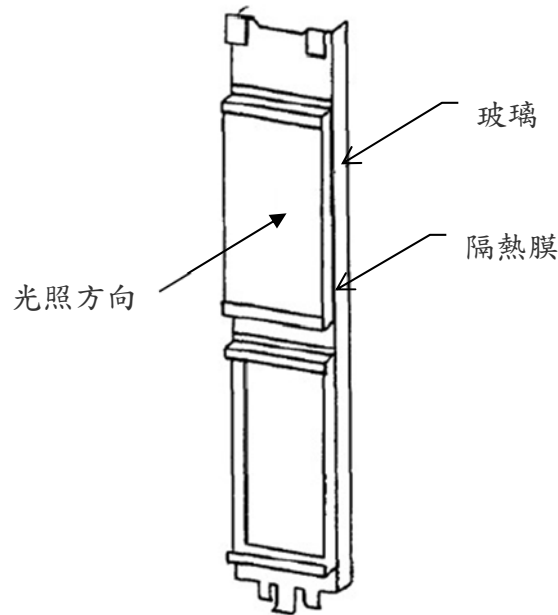


圖 2 光學性能劣化之樣品安裝方式與夾具(模擬窗玻璃室外側貼膜之情況)

## 4.2 劣化試驗方法與過程

### 4.2.1 劣化環境條件

劣化試驗之環境條件：試驗機黑板溫度控制在 $(70\pm 3)^{\circ}\text{C}$ ，相對濕度 $(50\pm 10)\%$ ，以 UVA-340 光源在照射強度  $1.55 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{nm})$  下進行劣化試驗。

### 4.2.2 劣化試驗時程

在 4.2.1 之劣化試驗機環境設定下，以每 1000 小時光照為一階段，重複三次，共進行光照 3000 小時之三階段劣化。並於每一階段結束後 4 小時內以 5.1 之方法進行光學性能檢測。每一劣化階段結束至下一階段劣化開始前之時間間隔應小於 120 小時，且需將樣本儲置於非曝露於日光下。

## 5 光學性能檢測試驗

### 5.1 一般事項

貼附隔熱膜之玻璃光學性能測試，應依據 CNS12381 中 4.3.1 之規定以分光光譜儀進行測量。在測量室內側貼膜之情況下，應使測試片之玻璃表面面對光源；在測量室外側貼膜之情況下，應使測試片之貼膜表面面對光源進行。

#### 5.2 可視光透過率實驗

- (a) 依據 CNS 12381, 4.3 進行測量，再依據 CNS 12381, 5.2 對測量所得之數據計算，以求得可視光透過率。
- (b) 依據 CNS 12381, 4.3 進行測量，再依據 CNS 12381, 5.2 對測量所得之數據計算，以求得可視光反射率。

#### 5.3 日射透過率實驗

- (a) 依據 CNS 12381, 4.3 進行測量，再依據 CNS 12381, 6.2 對測量所得之數據計算，以求得日光輻射熱透過率。
- (b) 依據 CNS 12381, 4.3 進行測量，再依據 CNS 12381, 6.2 對測量所得之數據計算，以求得日光輻射熱反射率。

#### 5.4 日光輻射熱取得係數

依據 CNS 12381, 4.3 進行測量，再依據 CNS 12381, 8.4 之方法換算日光輻射熱取得係數(SHGC)。

### 6 劣化後分析報告

依照 CNS 2925 規定之計算表示法，性能劣化分析報告需將二份樣本各三個階段之性能劣化數據呈現，所需呈現之光學性能特性值包括室外側可視光透過率、室外側可視光反射率、室外側日光輻射熱反射率、室內側日光輻射熱透過率與日光輻射熱取得係數，以百分比計算至小數點以下第 2 位表示之。使用標準值計算日光輻射熱取得係數時，需加註該數值之計算是依循 CNS 12381 之 8.2.2 及 8.3 所列之夏季或冬季標準值計算而得。

(資料來源：本研究整理)

## 第二節 人工加速劣化對比自然劣化時間之等價換算

為測定隔熱膜之光學性能隨著使用時間的衰退情形，本研究利用加速劣化機加速其劣化以較短時間獲致劣化之結果。以使用 UVA-340 光源進行為時 3000 小時之光照測試為例，透過加速劣化的方式類比其實際使用情形。然而，每個人對劣化 3000 小時的看法不盡相同，對於其所對應的自然劣化時間也無從根據。為了讓吾人能理解劣化 3000 小時所代表之自然劣化時間，本節將利用曝曬能量等價之方式換算相當於實際自然劣化時間之估計。以下說明其方法：

太陽光譜之波段範圍很廣(305nm-2800nm)，而其中具破壞隔熱膜性能之波段主要為紫外光波段，但並非所有 UVA-340 光源輻射波段之幅照度皆與太陽光之紫外線波段幅照度相同。為使估計值更加準確，本節參照 ASTM G154 (ASTM standard G154 2016) 中太陽光光譜與 UVA-340 光源光譜之對照圖 (圖 5-1)，並找出幅照度相似的波段範圍 (310nm 到 360nm)，利用此波長範圍內太陽光全年幅照度所造成的能量，比較 UVA-340 在同一波段中 3000 小時累積的能量，將加速劣化之時間轉換為實際自然劣化時間。可用公式 5-1 進行說明：

$$TSUNe = TUV Ae \quad (5-1)$$

式中：

$TSUNe$ ：波長 310nm 到 360nm 波段之太陽光譜在對等自然劣化時間內的總輻射能量 (J)

$TUV Ae$ ：波長 310nm 到 360nm 波段之 UVA-340 光源光譜在 3000 小時內的總輻射能量 (J)

此次等價換算試以我國南北兩大代表性都市：台北以及高雄為例，利用兩地之標準氣象年 TMY3，以預估兩地相對應之自然劣化時間。



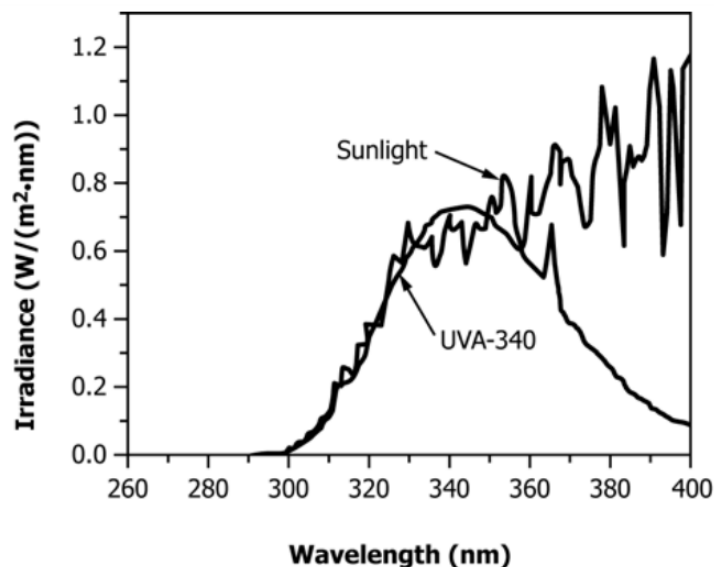


圖 5-1 太陽光光譜與 UVA-340 光源光譜之對照圖

(資料來源：ASTM standard G154 2016)

### 5.2.1 波長 310nm 到 360nm 波段之太陽光譜在對等自然劣化時間內的總輻射能量 ( $TSUN_e$ )

太陽光光譜會受到雲層遮蔽、太陽角度、緯度等影響，導致各地逐時水平全天空輻射量不同。不過，即使光譜強度不同，仍可運波形相同的特性計算特定波長波段所累積的能量。當太陽光光譜波形相同時，波長 310nm 到 360nm 波段總輻射能量對應波長 305nm 到 2800nm 波段總輻射能量之比例  $R$  依照公式 5-2 求出。

$$R = \frac{\sum_{\lambda=310}^{\lambda=360} S \times d\lambda}{\sum_{\lambda=305}^{\lambda=2800} S \times d\lambda} \quad (5-2)$$

式中，

$R$ ：太陽光光譜中，波長 310nm 到 360nm 波段總輻射能量對應波長 305nm 到 2800nm 波段總輻射能量之比例

$\lambda$ ：波長 (nm)

$S$ ：太陽光光譜幅照度 ( $W/m^2/nm$ )

註：一般而言全天空日射計為量測波長 305nm 至 2800nm 之太陽輻射量，故以此波長範圍累積太陽之輻射能量。

圖 5-2 參照 ASTM G173 (ASTM standard G173 2012) 中，太陽光譜之水平全天空輻射數值所繪製而成的太陽光光譜圖，圖中顯示了波長 310nm 到 360nm 波段總輻射能量與波長 305nm 到 2800nm 波段總輻射能量之占比關係。將 ASTM G173 之數值帶入公式 2 後可計算出二者之比例( $R$  值)約為 0.022。藉由此數值及台北、高雄兩地 TMY3 內之全年逐時水平全天空輻射，即可利用公式 5-3 求得波長 310nm 到 360nm 波段之太陽光譜在對等年數內的總輻射能量 ( $TSUNe$ )。

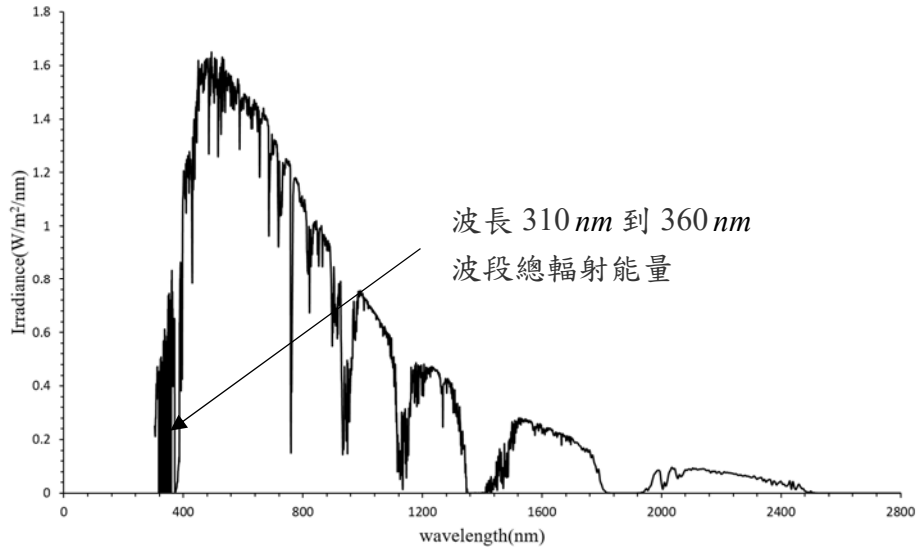


圖 5-2 太陽光譜中，波長 310nm 到 360nm 波段總輻射能量與波長 305nm 到 2800nm 波段總輻射能量之占比

(資料來源：ASTM standard G173 2012)

$$TSUNe = N \times \sum GHI \times R \times 3600 \quad (5-3)$$

式中：

$TSUNe$ ：波長 310nm 到 360nm 波段之太陽光譜在對等自然劣化時間內的總輻射能量 ( $j$ )

$N$ ：自然劣化時間 (年)

$GHI$ ：某地一年當中逐時水平全天空日射 ( $W/m^2$ )

$R$ ：太陽光光譜中，波長 310nm 到 360nm 波段總輻射能量對應波長 305nm 到 2800nm 波段總輻射能量之比例=0.022

### 5.2.2 波長 310nm 到 360nm 波段之 UVA-340 光源光譜在 3000 小時內的總輻射能量

根據 Q-Lab LU0819，劣化試驗機 (QUV) 在 UVA-340 燈管滿載的情況時，可產生在波長 340nm 下  $1.55 W/m^2/nm$  之最大幅照度，依照公式 5-4 之換算比例，計算出所有 UVA-340 光源光譜波長依等比例放大後之幅照度。

$$r = \frac{1.55}{I} \quad (5-4)$$

式中，

$r$ ：幅照度放大比例

$I$ ：單一 UVA-340 光源在波長為 340nm 下之幅照度

利用 Q-Lab 所量測之 UVA-340 光源光譜數據，可得之單一 UVA-340 光源在波長為 340 nm 下之幅照度為  $0.7435 \text{ W/m}^2/\text{nm}$ ，帶入公式 5-4 中可得幅照度放大比例  $r$  為 2.085。圖 5-3 顯示 UVA-340 光源光譜放大前與放大後幅照度之差別。

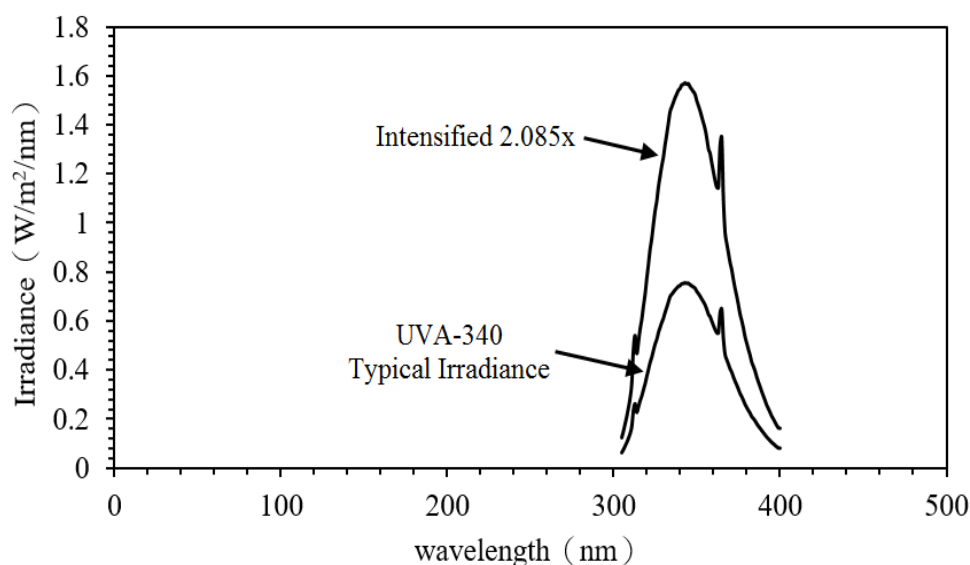


圖 5-3 UVA-340 光源放大後之光譜圖與原幅照度

(資料來源：本研究整理)

在此幅照強度下，利用公式 5 累積波長 310nm 到 360nm 之幅照度，並帶入 3000 小時之劣化時間，即可得到波長 310nm 到 360nm 波段之 UVA-340 光源光譜在 3000 小時內的總輻射能量 ( $TUVAe$ )

$$TUVAe = \sum_{\lambda=310}^{\lambda=360} (UVA \times d\lambda) \times 3000 \times 3600 \quad (5-5)$$

式中，

$TUVAe$ ：波長 310nm 到 360nm 波段之 UVA-340 光源光譜在 3000 小時內的總輻射能量 (J)

$UVA$ ：增強 2.085 倍之 UVA-340 光源幅照度 ( $\text{W/m}^2$ )

$\lambda$ ：波長 (nm)

將公式 5-3 與公式 5-5 代入公式 5-1 後，可得公式 5-6，代表波長同為 310nm 到 360nm 波段之太陽光譜與 UVA-340 光源光譜之能量等價換算式，藉此推算對應的自然劣化時間。

$$N \times \sum GHI \times R \times 3600 = \sum_{\lambda=310}^{\lambda=360} (UVA \times d\lambda) \times 3000 \times 3600 \quad (5-6)$$

式中，

N：自然劣化時間（年）

GHI：某地一年當中逐時水平全天空日射（W/m<sup>2</sup>）

R：太陽光光譜中，波長 310nm 到 360nm 波段總輻射能量對應波長 305nm 到 2800nm 波段總輻射能量之比例

TUVAe：波長 310nm 到 360nm 波段之 UVA-340 光源光譜在 3000 小時內的總輻射能量（J）

UVA：增強 2.085 倍之 UVA-340 光源幅照度（W/m<sup>2</sup>）

λ：波長（nm）

以台北與高雄為例，經過公式 5-6 之運算後，表 5-1 顯示將台北、高雄兩地之逐時水平全天空日射量與對等之自然劣化時間，得知加速劣化 3000 小時時相當於在台北放置於水平面上之天窗相當於進行了 8.82 年(約 3220 日)之自然劣化；在高雄所對應之自然劣化時間則為 6.14 年(約 2242 日)。此乃因台北地區之總水平全天空日射量較高雄低，因此所推算出之自然劣化時間會較長。

表 5-2 玻璃放置於水平面時等價於台北、高雄兩地之自然劣化時間比較表

項目	台北	高雄
劣化 3000 小時，波長 310nm 到 360nm 之 UVA-340 光源總能量（J）	651506840.6	
一年中，波長 310nm 到 360nm 之太陽幅照總能量（J）	73858371.1	106073103.0
預估相當之自然劣化年數（年）	8.82	6.14
預估相當之自然劣化日數（日）	3219.7	2241.9

(資料來源：本研究整理)

## 第六章 結論與建議

### 第一節 結論

本計畫獲致以下成果：

1. 完成國內外有關材料劣化試驗方法以及試驗儀器之相關規範回顧。綜觀國內外文獻，目前未見針對玻璃隔熱膜之光學性能劣化之專門規範或標準，大多是針對耐候性之測試之標準。這些國際規範中，比較接近本研究建築玻璃隔熱膜者之國際規範為歐盟與德國之 DIN BS EN15752-1 以及日本 JIS A5759 等二規範。本研究據此訂定我國之 CNS 草案。
2. 完成挑選反射式與吸熱式等二大分類之隔熱膜，共 1800 小時之加速劣化試驗。初步結果發現，不論是反射式或吸熱式之隔熱膜在劣化 1800 小時後，對於 SHGC 性能之衰減是比較顯著的，分別有 11.0%與 9.7% 之衰減情形。其餘包括可見光與日光波段之透過率與反射率則無顯著之變化。
3. 依據國內外文獻回顧與加速劣化之前測實驗數據，確立我國可行之建築玻璃隔熱膜性能劣化方式、使用之設備機器以及劣化操作循環之標準。
4. 完成研擬 CNS「建築玻璃隔熱膜光學性能衰減試驗方法」之草案內容。確立以加速劣化試驗機並使用 UVA-340 紫外線螢光燈管連續照射三個階段之劣化實驗，整個劣化時程共 3000 小時，同時規定劣化試驗機之環境溫度保持在  $70 \pm 3^{\circ}\text{C}$  以加速劣化過程。
5. 建立並完成加速劣化時間與等效自然劣化時間之換算方法。

## 第二節 建議

### 建議一

建議轉送本研究成果之產出：「建築玻璃隔熱膜光學性能衰減試驗方法」草案予經濟部標準檢驗局訂定相關 CNS 標準之參考，以推廣綠建築在採用隔熱膜作為節能改善技術之應用：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：經濟部標準檢驗局

本研究透過國內外文獻回顧以及玻璃隔熱膜之加速劣化前測試驗，初步瞭解隔熱膜在一定加速劣化條件下之光學性能衰減趨勢，藉以研訂了「建築玻璃隔熱膜光學性能衰減試驗方法」之草案。此標準之內容有助於我國建立建築玻璃隔熱膜在性能隨時間衰減上量測之標準方法，提供後續作為隔熱膜標稱光學性能衰減之標示，可確保隔熱膜產品之品質以及有助於建築設計者選用具高品質低衰減率之隔熱膜產品，有助於綠建築在建築開口部設計對策上之採用，同時確保其應有之建築節能效益。

附錄一：期初審查意見回覆表

委員	委員評選意見	廠商回應
羅委員時麒	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究涉及建築玻璃用隔熱膜 CNS 國家標準草案之研擬，請注意研訂過程需與 CNS 主管機關聯繫溝通以利後續之制定。</li> <li>2. 有關隔熱膜之性能衰減，服務建議書提到劣化、老化測試等名詞或方法，請補充說明其差異。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究將密切與相關主管機關溝通。</li> <li>2. 劣化或老化意思相同，此差異為英文翻譯之結果，未來將統一用詞。</li> </ol>
陳委員麒任	<ol style="list-style-type: none"> <li>3. 請說明規劃採用市面上常用之建築玻璃隔熱膜種類，如何兼顧或取捨各大廠牌或型號之產品材料及其特性？</li> <li>4. 請說明若以氙弧燈加速劣化進行試驗約需多久？另若該方式取得之劣化數據對劣化特徵不甚明顯時，是否尚有足夠時間改採以高強度紫外線照射方式進行試驗？</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>3. 本研究隔熱膜之選取擬依照貴所去年之研究成果，取性能相異之樣本實驗。</li> <li>4. 劣化時間目前未知，需視實測現況後而定。</li> </ol>
李委員榮泰	<ol style="list-style-type: none"> <li>5. 本計畫切實可行，有用加速老化測試之國際規範？例如 DIN、CEN 或 ISO？研擬 CNS 草案</li> <li>6. 樣本數(測試比較)為何？</li> <li>7. 貼附玻璃厚度、玻璃材質是否造成劣化差異？</li> <li>8. 第一次與第二次專家會議擬邀請對象是否包含相關業界代表如公會等？</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>5. 本案將參考國際相關規範據以擬定 CNS 草案。</li> <li>6. 樣本數將視測試費用以及經費許可而定。</li> <li>7. 本案草擬之規範將統一規定標準化測試樣品之背貼玻璃規格。</li> <li>8. 專家會議擬將邀請業界相關產業與會討論。</li> </ol>
詹委員	<ol style="list-style-type: none"> <li>9. 本研究擬建立玻璃帷幕牆隔熱膜劣化衰減之試驗規範，提供政府及業界檢測規範參考，耐久性試驗目前只對不同波常光源模擬曝曬，建議考慮台灣多雨潮濕氣候，增加不同溫度與濕度影響。</li> <li>10. UV 試驗與不同波段之比較是否納入變項，請參考</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>9. 本研究將視測試機器之規格功能，探討溫濕度試驗之可行性。</li> <li>10. 本研究旨在訂定標準化之劣化測試方法，應會統一規定 UV 試驗之波段，以期試驗結果之一致。</li> </ol>

附錄二：期中審查意見回覆表

委員	委員評選意見	廠商回應
林委員憲德	1. 研究方法可嚴謹，結論可期待。	1. 感謝委員意見
梁委員漢溪	2. 性能測試之 500 小時劣化，600 小時所對應之實際劣化時程效果可否獲得推估(以 ASTM G154 與實際時間劣化之關係為何)? 3. 實測結果之可見光透過率、SHGC 數值代表之意義為何，可否有正規化的概念予以比較。	2. 擬新增一小節說明劣化試驗類比於實際情況之劣化時間。 3. 擬將 SHGC 之定義會在文中詳細說明。
陳委員俊芳	4. 考量實際，建議考量於建物現地做隔熱衰減測試，於後續計畫進行。	4. 現地進行隔熱衰減之實驗，所需時間過久，並不可行。因此才以加速劣化試驗進行。
黃委員秀莊	5. 目前市面上汽車玻璃用隔熱膜性能很好，雖然面積比建築物窗戶小很多，建議能找製造隔熱膜廠商研究可能更快有效果。	5. 感謝委員建議。
楊委員欽富	6. 隔熱膜的加速劣化曲線對應到實際劣化對照。 7. 隔熱膜內貼、外貼與玻璃厚度之間的關係要比較。實驗的標準條件再說明。未來規範之試體要量化，實驗方法也要有 SOP。 8. 對於貼隔熱膜後吸入屋內的輻射熱可否評估。	6. 擬新增一小節說明劣化試驗類比於實際情況之劣化時間。 7. 未來 CNS 草案將統一以貼附於 3mm 之標準玻璃進行劣化試驗之比較。擬補充於 CNS 草案中。 8. 進入屋內之輻射熱在去年之所內之研究成果已有評估，請見 106 年「既有建築外殼開口部應用玻璃隔熱膜節能改善對策」研究報告。
○委員○○	9. 期初報告審查提及之意見:貼附玻璃厚度、玻璃材質是否造成劣化差異?一節，研究單位回應:本案草擬之規範將統一規定標準化測試樣品之背貼玻璃規格。本人以為，既為建築玻璃，則建議遍查目前各不同類型建物有哪些不同材料、	9. 感謝委員建議，然而就試驗標準而言，需統一背襯之玻璃種類、厚度等，劣化試驗之結果始得以比較。



	厚度，包括玻璃帷幕等加列研究範圍。	
王委員榮吉	<p>10. 本研究之檢測、資料文獻蒐集彙整分析詳盡務實。</p> <p>11. CNS 建築玻璃隔熱膜草案建議邀請建築玻璃加工、施工設計之業者、專家、學者參與座談，藉以增加整體共識，對草案的修訂可達到事半功倍的效果。</p>	<p>10. 感謝委員建議。</p> <p>11. 感謝委員建議。</p>
饒委員允政	<p>12. 針對材料的名稱統一為「隔熱膜」表示認同。</p> <p>13. 隔熱膜如貼在室內側，建議考量甲醛以及 TVOC 的逸散對人體的傷害。因應循環經濟議題，此材料使用後的回收機制可納入研究。建築玻璃用隔熱膜有高性能及減廢的意涵，值得研究。</p> <p>14. 除性能衰減外，建議可評估 UV 長期照射後有無脫膠問題。</p>	<p>12. 感謝委員意見。</p> <p>13. 甲醛、TVOC 逸散與回收機制等議題非本研究探討之範圍。</p> <p>14. 本研究之性能定義為光學性能之劣化。</p>
陳委員瑞鈴	<p>15. 本研究收集了 ISO、EN、DIN 及 ASTM 國際標準有關性能衰減之試驗方法，結果發現大都屬於材料老化、劣化或黏著力、張力強度降低等物理性能之衰減變化，並非光學性能衰減之試驗，是否可逕為引用為車輛試驗方法之參用。</p> <p>16. 有關玻璃光學性能、日射熱取得係數，可見光穿透率、遮蔽係數等，LOW-E 玻璃或膠合玻璃的性能試驗(如果有性能衰減更佳)比較貼近本研究的需求，建議可再收集相關國際標準參數運用。另外 JIS 或 JAS 的標準亦請納入收集。</p>	<p>15. 感謝委員建議，經文獻查找有關全球最大之國際汽車工程師學(SAE)之規範，亦無針對光學性能衰減之試驗標準。本計畫之議題是屬此類研究之前研。</p> <p>16. 感謝委員建議，另已補充日本 JIS 與德國 DIN 之相關規範於報告中。</p>
彭委員宏益	<p>17. 文獻參考部分建議新增 JIS 日本國家標準(例:JIS A5759:2016)。</p> <p>18. 建議新增 SHGC、Tvis 之定義及計算。</p> <p>19. 測試條件中未提及相對濕度</p> <p>20. 研究之隔熱膜有許多種類型及用途，其測試時間相同?</p> <p>21. 草案架構部分，有關品質之要求(例:性能項目)，建議至於試驗方法前。</p>	<p>17. 感謝委員建議，另已補充於報告中。</p> <p>18. SHGC 與 Tvis 之計算可引用 CNS12381 之計算法，已補充其定義於文中。</p> <p>19. 參考德國與歐盟 DIN BS EN 15752-1 之規範定義環境相對濕度應維持在 50%±10%之範圍。</p> <p>20. 測試時間需一致，所得之劣化結果始可作為相互基準比較 (benchmarking)。</p> <p>21. 感謝委員意見，遵照辦理。</p>

附錄三：期末審查意見回覆表

委員	委員評選意見	廠商回應
陳委員俊芳	<p>1. 第六章結論，現地隔熱膜性能衰減試驗困難，建議補充說明使用中之隔熱膜宜進行熱性能衰減試驗之簡明判斷徵兆及隔熱膜之汰換條件建議？</p>	<p>1. 感謝委員建議，使用中之隔熱膜性能衰減判斷分本計畫之研究範圍，依目前之研究結果，尚無法提出使用階段之判斷建議。</p>
彭委員宏益	<p>2. 建議研究報告中之 SHGC 與 Tvis 之中文名稱統一(P.30 之圖一)。</p> <p>3. 建議說明實驗之條件(ex:光源之選擇、時間等)所參考之標準及理由。</p> <p>4. 建議評估該試驗所需之試驗樣本數才具代表性。</p> <p>5. 為何表 4-1(P.39)中 PR40 於 600 小時其 SHGC 反而較 0 小時為小。而，表 4-1(P.40)中數值其誤差值為多少才算合理接受範圍。</p> <p>6. 圖 4-1 及 4-2 之 x 軸(劣化經歷時間)兼具建議修正為等比例軸，以顯示隨時間長短而造成之變化。</p> <p>7. 為問 P.44 之劣化試驗時程，是以每 1000 小時光照為一階段，而非以 600，1800，3000 小時為區分。</p> <p>8. P.51 之 4.環境溫度為 <math>70\pm 2^{\circ}\text{C}</math>，建議修正為 <math>70\pm 3^{\circ}\text{C}</math>。</p>	<p>2. 遵照辦理。</p> <p>3. 遵照辦理。</p> <p>4. 參考德國之規範，建議之試驗樣本數至少需製備三個以上同步測試。</p> <p>5. 其差異量甚微，研判應為儀器測試之系統誤差所致。其差異量應大於儀器量測精度之 50%以上始可判斷為有差異。</p> <p>6. 遵照辦理。</p> <p>7. 以 1000 小時規範之係參考自德國與日本之相關劣化規範。</p> <p>8. 遵照辦理。</p>
楊委員欽富	<p>9. 有關本研究具體成果，研究結果(劣化)與隔熱膜更換是否有對應關係。</p>	<p>9. 本研究目的在於確立隔熱膜性能衰減之劣化方式規範，對於與隔熱膜更換間之關係未予探討。</p>
陳委員麒任	<p>10. 請於報告書(如摘要、研究背景等)加強說明國際上隔熱膜耐候性測試規範之檢測項目，與本研究隔熱膜性能衰減試驗內容有何不同，以避免產生誤解。</p> <p>11. 一般市售之隔熱膜保固年限為 5 年或 10 年，且僅針對物理性質(如起泡或是變色等)予以保固。依本研究實驗結果，是否能反推出於 5 年，10 年時，其等價之隔熱性能衰減幅度以利外界方便參考評估。</p>	<p>10. 感謝委員意見，遵照辦理。</p> <p>11. 隔熱膜性能隨時間衰減之關係似非呈線性關係，不同廠商之隔熱膜其衰減之程度也不盡相同，由本研究實驗結果反推可能會與實際情況有所誤差。</p> <p>12. 已更正。</p> <p>13. 遵照辦理。</p>

	<p>12. 報告書中，P.23 文字請修正 JISA5759、P.40 圖 4-1 請再檢查 U 值趨勢資料是否有誤繪。</p> <p>13. P.51 結論 2 請勿說明隔熱膜廠牌，以代碼即可。</p>	
<p>張 委 員 矩 墉</p>	<p>14. 本計畫的隔熱膜，是指單純的膜的部分，但實際上使用的時機是玻璃+膜，是否會因為載具的不同而使得膜的性能衰減產生不同的結論。</p> <p>15. 是否有依本試驗方法所做出的實例做為訂定日後實行的參考。</p>	<p>14. 本計畫草擬之試驗規範以 3mm 清玻璃為隔熱膜之載體，是為了統一各測試樣本受測時之狀態以求均一性，未來才得以據此另定衰減之基準。回顧國際之相關規範亦皆以此玻璃規格為受測樣本之載體，實際應用時當隔熱膜貼附於不同的玻璃上，將會呈現不同的衰減情形。</p> <p>15. 由於本研究目的在於確立隔熱膜性能衰減之劣化方式規範，目前尚無實例可供參考。</p>

#### 附錄四：專家學者諮詢會議記錄

- 一、時間：107 年 05 月 28 日(一)下午 2 時 30 分
- 二、地點：內政部建築研究所 13 樓會議室一
- 三、主席：黃國倉 副教授
- 四、出/列席者：陳麒任、黃恩浩、彭宏益、邱皇森、王婉芝、陳海曙、黃國倉、賴怡廷、陳世禎、王海涯
- 五、主席致詞：(略)
- 六、計畫簡報：(略)
- 七、專家意見：
  - 邱皇森經理
    1. 建議考量增加訂定保固年限與隔熱性能衰退標準。
    2. 建議參照現有 ASTM G154 標準
  - 陳海曙教授
    1. 本研究試驗包含「隔熱性能」與「透光性能」建議性能衰減試驗須說明為「光學性能」衰減試驗，以加強試驗之完整性。
    2. 隔熱膜是以應用在外側或外側為設定之對象，須說明選定之理由與條件。
    3. 加速劣化循環標準之選用應考慮材質劣化與光學性能與光學性能之差異。
  - 陳麒任副研究員
    1. 本研究規劃採用之測試樣本，其挑選是否具相當之代表性?若換為其他廠牌，是否有很大之差別?另測試樣本之組數是否僅兩組?是否需增加組數?
    2. 採 50 個週期(1200 小時)加速劣化測試後，若仍未達劣化現象，是否有和替代方案或是後續因應方案?
  - 王婉芝副執行長
    1. 針對台灣隔熱膜的施工方法請研究團隊先說明，了解目前施工方式的主流作為草案架構適用範圍依據。
    2. 研究團隊提出劣化程序，有別於國際標準，但針對結露、雨淋排除於暴露週期因子之原因請說明。
  - 彭宏益先生
    1. 草案架構之第 4 節隔熱膜的定義部分建議移到第 3 節，另第 4 節之內容建議為品質性能要求為宜。
    2. 實驗條件之參數為何選擇 60°C，而非 60°C 與 70°C。

## 參考書目

1. ASTM Standard C732 (2017). Standard Test Method for Aging Effects of Artificial Weathering on Latex Sealants. ASTM International. Philadelphia, USA.
2. ASTM Standard C734 (2015). Standard Test Method for Low-Temperature Flexibility of Latex Sealants After Artificial Weathering. ASTM International. Philadelphia, USA.
3. ASTM Standard C793 (2017). Standard Test Method for Effects of Laboratory Accelerated Weathering on Elastomeric Joint Sealants. ASTM International. Philadelphia, USA.
4. ASTM Standard C1257 (2015). Standard Test Method for Accelerated Weathering of Solvent-Release-Type Sealants. ASTM International. Philadelphia, USA.
5. ASTM Standard C1442 (2014). Standard Practice for Conducting Tests on Sealants Using Artificial Weathering Apparatus. ASTM International. Philadelphia, USA.
6. ASTM Standard C1501 (2014). Standard Test Method for Color Stability of Building Construction Sealants as Determined by Laboratory Accelerated Weathering Procedures. ASTM International. Philadelphia, USA.
7. ASTM Standard C1519 (2010). Standard Test Method for Evaluating Durability of Building Construction Sealants by Laboratory Accelerated Weathering Procedures. ASTM International. Philadelphia, USA.
8. ASTM Standard D750 (2017). Standard Practice for Rubber Deterioration Using Artificial Weathering Apparatus. ASTM International. Philadelphia, USA.
9. ASTM Standard D3815 (2011). Standard Practice for Accelerated Weathering of Pressure-Sensitive Tapes by Open-Flame Carbon-Arc Exposure Apparatus. ASTM International. Philadelphia, USA.
10. ASTM Standard D4798 (2016). Standard Practice for Accelerated Weathering Test Conditions and Procedures for Bituminous Materials (Xenon-Arc Method). ASTM International. Philadelphia, USA.
11. ASTM Standard D4799 (2017). Standard Practice for Accelerated Weathering Test Conditions and Procedures for Bituminous Materials (Fluorescent UV, Water Spray, and Condensation Method). ASTM International. Philadelphia, USA.
12. ASTM Standard D6551 (2011). Standard Practice for Accelerated Weathering of Pressure-Sensitive Tapes by Xenon-Arc Exposure Apparatus. ASTM International. Philadelphia, USA.
13. ASTM Standard F1164 (2014). Standard Test Method for Evaluation of Transparent Plastics Exposed to Accelerated Weathering Combined with Biaxial Stress. ASTM International. Philadelphia, USA.
14. ASTM Standard G151 (2010). Practice for Exposing Nonmetallic Materials in Accelerated Test Devices That Use Laboratory Light Sources. ASTM International. Philadelphia, USA.
15. ASTM Standard G152 (2013). Standard Practice for Operating Open Flame Carbon Arc Light Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials. ASTM International. Philadelphia, USA.
16. ASTM Standard G153 (2013). "Standard Practice for Operating Enclosed Carbon Arc Light Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials." ASTM International.

17. ASTM Standard G154 (2016). Standard Practice for Operating Fluorescent Ultraviolet (UV) Lamp Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials. ASTM International. Philadelphia, USA.
18. ASTM Standard G155 (2013). Standard Practice for Operating Xenon Arc Light Apparatus for Exposure of Non-Metallic Materials. ASTM International. Philadelphia, USA.
19. Babulanam, S. M., T. S. Eriksson, G. A. Niklasson and C. G. Granqvist (1987). "Thermochromic VO<sub>2</sub> films for energy-efficient windows." *Solar Energy Materials* **16**(5): 347-363.
20. Brennan, P., C. Fedor and G. Pausch (1988). "Sunlight, UV and accelerated weathering." *Paint and Resin* **58**: 17.
21. Brennan, P., C. Fedor and G. Pausch (2007). "Sunlight, Weathering and Light Stability Testing." Q-Lab Technical Bulletin LU-0822.
22. Briassoulis, D. and A. Aristopoulou (2002). A modified artificial ageing procedure for low density polyethylene (LDPE) agricultural films. Proceedings of the International Conference of Agricultural Engineers, AgEng.
23. Chaiyapinunt, S., B. Phueakphongsuriya, K. Mongkornsaksit and N. Khomporn (2005). "Performance rating of glass windows and glass windows with films in aspect of thermal comfort and heat transmission." *Energy and Buildings* **37**(7): 725-738.
24. CNS 8910 (2017). "建築用聚合材料實驗室光源曝露試驗法." 經濟部標準檢驗局.
25. CNS 12381 (2011). "平板玻璃透射率、反射率、放射率及日光輻射熱取得係數試驗法." 經濟部標準檢驗局.
26. CNS 15200-7-7 (2013). "塗料一般試驗法第 7-7 部：塗膜之長期性能-家數耐候性(紫外線螢光燈及水)." 經濟部標準檢驗局.
27. Dilara, P. and D. Briassoulis (2000). "Degradation and stabilization of low-density polyethylene films used as greenhouse covering materials." *Journal of Agricultural Engineering Research* **76**(4): 309-321.
28. Dilara, P. A. and D. Briassoulis (1998). "Standard testing methods for mechanical properties and degradation of low density polyethylene (LDPE) films used as greenhouse covering materials: a critical evaluation." *Polymer Testing* **17**(8): 549-585.
29. Dilara, P. A. and D. Briassoulis (2000). "Degradation and Stabilization of Low-density Polyethylene Films used as Greenhouse Covering Materials." *Journal of Agricultural Engineering Research* **76**(4): 309-321.
30. Hamberg, I. and C. G. Granqvist (1986). "Evaporated Sn-doped In<sub>2</sub>O<sub>3</sub> films: Basic optical properties and applications to energy-efficient windows." *Journal of Applied Physics* **60**(11): R123-R160.
31. ISO 4892-2 (2016). *Plastics - Methods of exposure to laboratory light sources - Part 2: Xenon-arc lamps.* International Organization for Standardization.
32. ISO 4892-3 (2016). *Plastics - Methods of exposure to laboratory light sources - Part 3: Fluorescent UV lamps.* International Organization for Standardization.
33. ISO 4892-4 (2016). *Plastics - Methods of exposure to laboratory light sources - Part 4: Open-flame carbon-arc lamps.* International Organization for Standardization.

34. ISO 16474-2 (2013). Paints and varnishes -- Methods of exposure to laboratory light sources -- Part 2: Xenon-arc lamps. International Organization for Standardization.
35. ISO 16474-3 (2013). Paints and varnishes -- Methods of exposure to laboratory light sources -- Part 3: Fluorescent UV lamps. International Organization for Standardization.
36. Jacques, L. F. E. (2000). "Accelerated and outdoor/natural exposure testing of coatings." *Progress in Polymer Science* **25**(9): 1337-1362.
37. Köhl, M., G. Jorgensen, S. Brunold, B. Carlsson, M. Heck and K. Möller (2005). "Durability of polymeric glazing materials for solar applications." *Solar Energy* **79**(6): 618-623.
38. Kaushika, N. D. and K. Sumathy (2003). "Solar transparent insulation materials: a review." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **7**(4): 317-351.
39. Mohelnikova, J. (2009). "Materials for reflective coatings of window glass applications." *Construction and Building Materials* **23**(5): 1993-1998.
40. Pospíšil, J., J. Pilař, N. C. Billingham, A. Marek, Z. Horák and S. Nešpůrek (2006). "Factors affecting accelerated testing of polymer photostability." *Polymer Degradation and Stability* **91**(3): 417-422.
41. Rabek, J. F. (2012). *Photodegradation of polymers: physical characteristics and applications*, Springer Science & Business Media.
42. SAE Standard J1960 (2008). *Accelerated Exposure of Automotive Exterior Materials Using a Controlled Irradiance Water-Cooled Xenon Arc Apparatus*. SAE International.
43. SAE Standard J2019 (2012). *Highlight Keywords Accelerated Exposure of Automotive Exterior Materials Using a Controlled Irradiance Air-Cooled Xenon-Arc Apparatus*. SAE International.
44. SAE Standard J2020 (2003). *Accelerated Exposure of Automotive Exterior Materials Using a Fluorescent UV and Condensation Apparatus*. SAE International.
45. SAE Standard J2212 (2012). *Accelerated Exposure of Automotive Interior Trim Components Using a Controlled Irradiance Air-Cooled Xenon-Arc Apparatus*. SAE International.
46. Schulz, U. (2009). *Accelerated testing: nature and artificial weathering in the coatings industry*, Vincentz Network GmbH & Co KG.
47. Zheng, J., S. Bao and P. Jin (2015). "TiO<sub>2</sub>(R)/VO<sub>2</sub>(M)/TiO<sub>2</sub>(A) multilayer film as smart window: Combination of energy-saving, antifogging and self-cleaning functions." *Nano Energy* **11**: 136-145.
48. 李訓谷, 陳文亮, 黃尊澤, 王佑萱 and 陳瑞鈴 (2010). "玻璃鍍膜面位置對玻璃熱學性能之影響." *建築學報*(72\_S): 73-86.
49. 黃國倉 and 李宜臻 (2017). "既有建築外殼開口部應用玻璃隔熱膜節能改善對策評估." 內政部建築研究所協同研究報告.

**建築玻璃用隔熱膜性能衰減試驗方法研訂之研究**

出版機關：內政部建築研究所

電話：(02) 89127890

地址：新北市新店區北新路3段200號13樓

網址：<http://www.abri.gov.tw>

編者：羅時麒、黃國倉、黃瑞隆、陳世禎、賴怡廷

出版年月：107年12月

版次：第1版

ISBN：978-986-05-7464-7（平裝）