

室外型奈米塗料耐久耐候性能之 試驗研究(1/2)

研究人員：曹源暉、厲妮妮

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 99 年 12 月

(國科會 GRB 編號)

PG9904-0377

(本部計畫編號)

099301070000G2033

室外型奈米塗料耐久耐候性能之 試驗研究(1/2)

研究人員：曹源暉、厲妮妮

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 99 年 12 月

目 次

| | |
|--------------------|-----|
| 目次 | I |
| 表次 | III |
| 圖次 | V |
| 摘要 | VII |
| 第一章 緒論 | 1 |
| 第一節 研究緣起與目的 | 1 |
| 第二節 研究內容與方法 | 3 |
| 第二章 文獻回顧與現況探討 | 7 |
| 第一節 奈米材料在塗料之應用 | 7 |
| 第二節 近期研究之彙整與探討 | 10 |
| 第三節 本所材料試驗儀器設備建置現況 | 17 |
| 第三章 奈米塗料檢驗方法與標準 | 25 |
| 第一節 塗料一般檢驗法 | 25 |
| 第二節 奈米塗料特性驗證標準 | 37 |
| 第三節 耐久耐候試驗方法 | 41 |
| 第四章 奈米塗料耐久耐候性能試驗規劃 | 45 |
| 第一節 市售奈米塗料概況 | 45 |
| 第二節 試驗項目與試驗規劃 | 47 |
| 第三節 試驗方法綜整 | 51 |
| 第五章 結論與建議 | 61 |

| | |
|---------------------|-----------|
| 附錄一 期中審查會議紀錄 | 63 |
| 附錄二 期末審查會議紀錄 | 65 |
| 參考書目 | 67 |

表 次

| | |
|----------------------------------|----|
| 表 2-1 CaCO_3 添加量與接觸角之關係 | 10 |
| 表 2-2 戶外曝曬防污耐候試驗結果 | 11 |
| 表 2-3 光觸媒塗層自淨功能之檢驗項目 | 12 |
| 表 2-4 塗膜耐久耐候性試驗相關標準 | 14 |
| 表 3-1 膜厚測定方法 | 29 |
| 表 4-1 試片規劃與編號 | 51 |

圖次

| | |
|---------------------------------|----|
| 圖 1-1 研究計畫流程圖 | 4 |
| 圖 2-1 電磁屏蔽效率量測架構 | 13 |
| 圖 2-2 VO ₂ 顆粒之 SEM 圖 | 16 |
| 圖 2-3 鹽霧複合耐候試驗機 - SUGA CTP-96 | 18 |
| 圖 2-4 氙弧燈式日光模擬機 - SUGA X75SC | 21 |
| 圖 2-5 能量分散式 X 射線螢光光譜分析儀 | 22 |
| 圖 2-6 掃描試電子顯微鏡(SEM) | 23 |
| 圖 2-7 色差計 | 23 |
| 圖 2-7 接觸角計 | 24 |

摘 要

關鍵詞：奈米塗料、耐久耐候試驗、實驗室認證

一、研究緣起

自從奈米科技發展以來，一般認為奈米材料所具備之表面效應、小尺寸效應和量子隧道效應等特性，使其與常規材料之區別不僅是尺度上的不同，更重要的是在物理、化學性能方面的變化。因此，當奈米材料與技術應用於塗料後，應可期望展現出兩種用途目的：一是提升傳統塗料之性能，二是製造出具有新功能的奈米塗料。然而，如何就奈米塗料功能性之提升或新增方面進行驗證，其耐久耐候性能又如何等之產品品質問題，皆需進行探討。由經濟部工業局推動之「奈米標章」制度，目的即在確保奈米產品之品質與形象。奈米標章對奈米技術產品之驗證，主要重點包括產品的奈米性、功能性及其他要求等三部份，另外，產品的耐久性亦須符合產業的一般要求。

台灣屬於海島型氣候，並位處亞熱帶與熱帶交接區域，建築物長期處在高鹽分、高溫、潮濕與日照強烈的條件下，使得建材老、劣化情形加速。國內外目前已研發出的許多功能性奈米塗料，當其應用在台灣地區這樣的氣候條件之下，其耐久耐候性能如何，在長時間的環境作用力下，能保有幾成之功能性，皆值得進行探討與了解。然而，建材戶外曝曬試驗所需之劣化過程往往達數年之久，無法滿足業界研發需求，因此本研究以加速劣化試驗進行探討，藉由劣化前後各種材料特性之差異性分析，評估材料的耐久耐候性能，期能建立奈米塗料耐久耐候性能試驗方法及評估基準，提供產業界進行產品研發之參考，同時亦可逐步建立實驗室之檢測與驗證能力。

二、研究方法及過程

本研究之目的在於搜尋與瞭解國內產學研界在奈米塗料方面之技術發展現況，彙整國內外奈米塗料相關之檢驗方法與評估標準，最後，配合本所材料

實驗中心已建置完成之儀器設備，針對市售用於戶外之奈米塗料進行耐久耐候性能檢驗，除建立材料實驗中心相關試驗之標準程序，做為未來實驗項目認證之基礎外，並藉以初步探討奈米塗料耐久耐候性能評估基準。

本案基於人力之限制，將分為二年進行研究，第一年著重在試驗標準蒐集及試驗規劃與儀器調校整備，第二年將執行試樣製作及試驗執行與分析，並建立標準試驗程序。研究內容綜整如下：

第一年：

- (一) 蒐集、彙整國內奈米塗料之發展與應用現況，了解各種功能性奈米塗料之特性、用途與施工方法。
- (二) 蒐集、彙整國內外適用於塗料之相關試驗方法與檢測標準。
- (三) 規劃本案之耐久耐候試驗計畫，檢討試驗項目與評估方法。
- (四) 試驗相關之儀器設備調校與整備。

第二年：

- (一) 試驗樣品製作。
- (二) 利用本所材料實驗中心相關實驗設備進行檢測，評估奈米塗料之耐久耐候性能。
- (三) 建立奈米塗料耐久耐候性試驗之標準程序，並初步探討奈米塗料耐久耐候性評估基準。
- (四) 規劃與研擬未來本所於創新營建材料領域相關之研發議題。

三、重要發現

- (一) 蒐集國內奈米塗料之發展與應用現況，了解各種功能性奈米塗料之特性、用途與施工方法；並完成國內外適用於塗料之相關試驗方法與檢測標準之彙整。
- (二) 就奈米標章中，有關塗料功能性之要求，完成本所材料實驗中心目前可執行檢驗項目之探討，包括奈米性檢測、耐候性試驗、自潔抗污性檢驗、黏

著性試驗等。

- (三) 有關光觸媒塗料性能之檢測，奈米標章檢驗標準中多採用 UV 燈為光源，能否使用氙弧燈光源替代，尚需於後續之實驗研究過程中，進一步瞭解與探討。
- (四) 現有奈米標章中，已制定之檢驗規範及已取得標章之產品多屬衛生器具、紡織品類，功能性奈米塗料之檢驗規範仍有待加強。而有關塗層產品之檢驗標準多為自潔防污、抗菌除臭等項目，針對市售或研究單位研發具防水、隔熱、控溫等功能性塗料之測試方法仍付之闕如，有待進一步建立檢驗標準。

四、主要建議事項

短期之建議 - 加強實驗人力培育工作、建立儀器設備之檢測與校正能力。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：相關學術團體

本年度之研究已依據 CNS 及 ASTM 等標準，以及奈米標章檢驗標準，完成奈米塗料相關試驗方法之彙整與探討，下年度應即著手進行相關實驗研究工作，藉此培育本所材料實驗中心之實驗人力，並建立實驗中心之檢測技術。

ABSTRACT

Keywords : nano-painting、 durability test、 laboratory Accreditation

1. OVERVIEW

Since nano science and technology was developed in 1980, researchers believe that nano-materials possess some characteristics such as surface effect, small-size effect and quantum tunnel effect. These effects make nano-materials differ from traditional material not only on the content of constitutions; the more important things are the change in physics and chemical properties. When nano technology was applied in painting material, we expect that nano paint could show up two purposes – performance improved and new functions created. However, the improved performance and new functions as well as the durability need to be verified by experiments. In this research we are going to conduct some experiments for the nano paint by using the related instruments of Material Laboratory.

2. METHOD

The purpose of this research lies in searching and understanding the current development of nano paint in domestic industry, and collects the related testing methods and assessment procedures. And then a lot of experiments will be conducted in the laboratory. The whole program will be accomplished in two years. In the first year we have finished collecting testing methods and planning schedule of the experiments. While in the second year we will conduct those experiments and establish the assessment method of nano paint.

3. SIGNIFICANT RESULTS

Collect the development of nano paint in domestic industry and realize the various kinds of functionality and painting method of these so call “nano paint”. Finish gathering together the relevant test methods and standard suitable for the

coating.

4. RECOMMENDATIONS

Direct feasible recommendation: Strengthen training of experiment manpower.

Establish ability of test and calibration technique.

Auspices: the Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior

Collaborator: related associations

第一章 緒論

第一節 研究緣起與目的

奈米科技是 1980 年代末期迅速崛起之前瞻科技，它是一項深刻影響社會經濟發展的重大技術，促使幾乎所有工業領域產生一場革命性的變化，也因此受到各開發國家高度的關注。在 2000 年初，美國著手推動設立「國家奈米科技創新計畫(National Nanotechnology Initiative, NNI)」，進行奈米相關科技的研發，並列為聯邦研發科技重點之一。日本政府於 2001 年的科技基本計畫中，將奈米材料和奈米技術列為科技發展重點項目。大陸地區自 2000 年成立奈米技術中心後，即擬訂「奈米科技發展綱要」五年策略，並已發展出南、北兩大奈米發展中心。歐洲各國對奈米科技的投入更是不遺餘力，結合政府與企業出資合作，從事相關研究發展工作【1】【2】。我國則是在 2002 年由國科會等 25 個單位代表組成奈米國家型科技計畫工作小組，推動為期六年之「奈米國家型科技計畫」，如今已進入第二個六年期計畫。針對奈米國家型科技計畫中，有關傳統產業奈米應用技術發展項目，本所於 2004 年起，在「創新營建材料研發計畫」中，將奈米技術應用於營建產業列為研發重點之一，並已陸續執行多項與奈米塗料(膜)相關之技術研發工作。

塗料通常由成膜物質、顏料、溶劑、助劑等成分組成，塗料的使用有兩個基本目的，即當塗料在被塗物表面形成薄膜後，可對被塗物產生保護作用，其亮麗的光澤與顏色則有美化效果。而所謂功能性塗料係指對某物體進行塗裝後，賦予該物體原先不具備之新功能的塗料，例如耐熱、絕緣、防水等性能，皆可以少量之塗料滿足被塗物特殊功能之需求，一般傳統塗料在經由不同化合物組成及配方後，可適當呈現塗料所需之功能性。而自從奈米科技發展以來，一般認為奈米材料所具備之表面效應、小尺寸效應和量子隧道效應等特性，使其與常規材料之區別不僅是尺度上的不同，更重要的是在物理、化學性能方面的變化。因此，當奈

米材料與技術應用於塗料後，應可期望展現出兩種用途目的：一是提升傳統塗料的性能，二是製造出具有新功能的奈米塗料。然而，就在產業界相繼投入開發奈米塗料之際，如何就奈米塗料功能之提升方面進行驗證，以及針對其耐久耐候性能進行檢測，其驗證、檢測之標準又如何訂定等等之產品品質問題，實亦需作同步之探討。國內在奈米國家型科技計畫的架構下，推動「奈米標章」制度，由經濟部工業局主辦，目的即在確保奈米產品之品質與形象，保障民眾消費權益，進而促成國內奈米產業之健全發展。目前奈米標章推行委員會已制定完成 29 項驗證規範(其中 3 項為塗料之驗證規範)，有 22 家廠商取得奈米標章(其中 4 家為塗料產品)，並有 11 間登錄實驗室(主要為奈米尺寸量測、抗菌率、脫臭率、耐磨耗)。奈米標章對奈米技術產品之驗證，主要重點包括產品的奈米性、功能性及其他要求等三部份，其中奈米性在確認是否為奈米技術產品，功能性在檢驗產品是否有增加新功能或增強原有功能，其他要求則包括產品安全等。另外，產品的耐久性亦須符合產業的一般要求【3】。

由於台灣屬於海島型氣候，並位處亞熱帶與熱帶交接區域，建築物長期處在高鹽分、高溫、潮濕與日照強烈的條件下，加上許多人為的環境污染，使得建材老、劣化情形加速。雖然國內外目前已研發出許多功能性奈米塗料，例如防污性、防水性、隔熱性等奈米塗料，當應用在台灣地區這樣的氣候條件下，其耐久耐候性能如何，在長時間的環境作用力下，能保有幾成之功能性，皆值得進行探討與了解。一般而言，建材之耐久耐候性能評估，最直接的方法為戶外曝曬試驗，將待測材料置於戶外環境中，藉由大自然的日照、降雨、溫溼循環等環境作用力自然劣化，試驗結果可真實反應材料用於當地環境下耐候性能。然而，戶外曝曬試驗所需之劣化過程往往達數年之久，不同區域之氣候與環境條件亦有差異，在材料科技日進千里的今日，無法符合業界實際需求，因而有發展加速劣化試驗的必要性，將待測材料放置於比一般氣候更嚴苛的環境條件中，藉由劣化前後各種材料性質之差異性分析，評估材料的耐久耐候性能，目前國內外之規範標準與文獻

著述均有相關的試驗法則，惟加速劣化的評估結果與該材料在一般氣候環境下的劣化情形，尚無法有明確的對應關係，僅能用於特定測試條件下，不同材料間之耐久耐候性能比較。本所材料實驗中心於 97 年起正式營運，其中建置許多與材料耐久耐候性實驗及奈米性檢測之相關設備，包括鹽霧複合耐候試驗機、氙弧燈式日光模擬機等劣化試驗設備，以及壓汞孔隙量測儀、電子顯微鏡、BET 比表面積分析儀、色差儀、光澤度計、接觸角計等分析設備，此時此刻正可投入此領域之研究與檢測工作，對相關奈米塗料進行測試與驗證，建立奈米塗料耐久耐候性試驗方法及評估基準，提供產業界進行產品研發之參考，同時亦可逐步建立實驗室之檢測與驗證能力。

第二節 研究內容與方法

自奈米技術及奈米材料問世以來，「奈米」象徵著先進科技的產物，市場上各類型的奈米產品日益增多，在塗料相關產品方面也不例外。以奈米的定義而言，奈米塗料應滿足兩個條件：(1)至少有一相顆粒尺寸為 1~100nm；(2)由於奈米晶相的存在，塗料性能能顯著提高或具備新功能。因此需導正的是，並非用了奈米材料的塗料都是奈米塗料，也並非性能很好的塗料就是奈米塗料。

奈米技術及奈米材料應用於塗料之中，一則欲提升傳統塗料之性能，包括施工性、耐候性及力學性等，二則欲製成新功能性塗料，包括隔熱、抗菌、電磁屏蔽等。本研究之目的在於搜尋與瞭解國內產學研界在奈米塗料方面之技術發展現況，彙整國內外奈米塗料相關之檢驗方法與評估標準，最後，配合本所材料實驗中心已建置完成之儀器設備，針對市售用於戶外之奈米塗料進行耐久耐候性能檢測，除建立材料實驗中心相關試驗之標準程序，做為未來實驗項目認證之基礎外，並藉以初步探討奈米塗料耐久耐候性能評估基準。

本案基於人力之限制，將分為二年進行研究，第一年著重在試驗標準蒐集及試驗規劃與儀器調校整備，第二年將執行試樣製作及試驗執行與分析，並建立標

準試驗程序。研究內容綜整如下，計畫工作流程則如圖 1-1 所示。

第一年：

- (一) 蒐集、彙整國內奈米塗料之發展與應用現況，了解各種功能性奈米塗料之特性、用途與施工方法。
- (二) 蒐集、彙整國內外適用於塗料之相關試驗方法與檢測標準。
- (三) 規劃本案之耐久耐候試驗計畫，檢討試驗項目與評估方法。
- (四) 試驗相關之儀器設備調校與整備。

第二年：

- (一) 試驗樣品製作。
- (二) 利用本所材料實驗中心相關實驗設備進行檢測，評估奈米塗料之耐久耐候性能。
- (三) 建立奈米塗料耐久耐候性試驗之標準程序，並初步探討奈米塗料耐久耐候性評估基準。
- (四) 規劃與研擬未來本所於創新營建材料領域相關之研發議題。

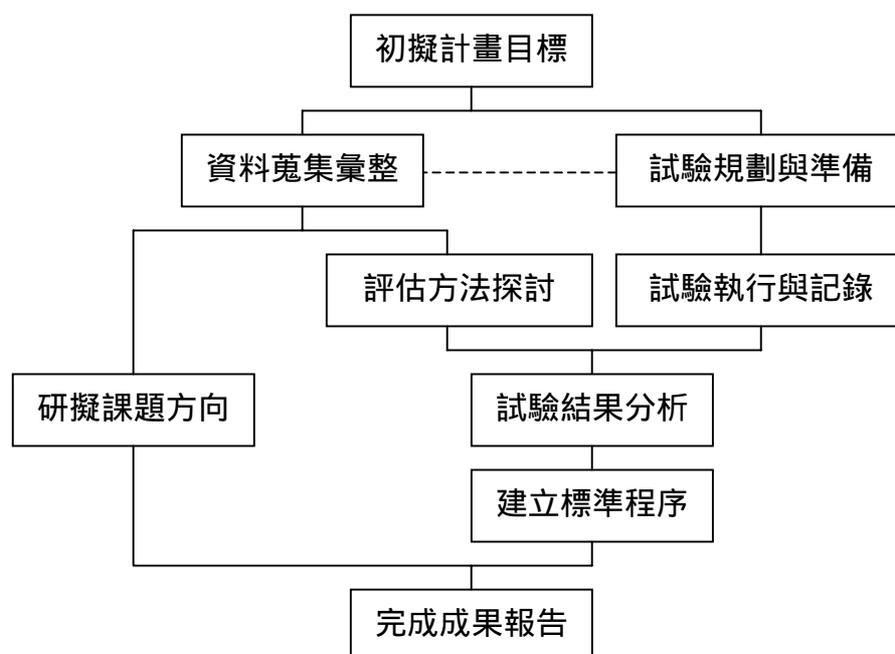


圖 1-1 研究計畫流程圖

(資料來源：本研究繪製)

在文獻資料收集方面，首先針對奈米材料之應用及奈米塗料之功能性進行說明；並參考塗料一般檢驗方法與奈米標章驗證規範之要求，彙集成本研究所需之試驗方法與標準，做為後續試驗之參考；另外，匯集本所歷年來在奈米材料與技術方面與相關耐久耐候試驗方面之執行成果，以及國內相關之研究內容，闡述目前國內之研究現況，最後就本所現有耐久耐候試驗相關儀器設備之性能進行說明。

在耐久耐候試驗之規劃與執行上，先就本研究擬採用之試驗規範或標準進行說明，其次規劃試驗內容、步驟與試件數量，藉由試驗之執行，建立本實驗中心耐久耐候性能之試驗能力，並初步探討建材耐久性試驗評估指標。

在試驗標準程序之建立方面，依循實驗室認證之相關規範，將試體準備、試驗過程、劣化前後之分析工作、以及試驗報告之產出等試驗內容予以文件化，建立標準作業程序；另針對試驗設備之維護保養與校正作業等，建立適宜之履歷制度。

最後，因本所從民國 100 年起，將執行「建築先進技術創新開發與推廣應用計畫」中程科技計畫，其中將廣續推動創新營建材料研發子計畫，故在本研究案執行過程中，將蒐集國內外近年來在奈米科技方面之研發概況，用以規劃與研擬未來營建材料相關之研發議題。

本研究計畫之預期成果與效益如下：

- (一) 瞭解奈米塗料之產製與應用現況，以及各項功能性之研發進程。
- (二) 建立室外型奈米塗料之耐久耐候性能試驗及評估方法。
- (三) 提升本所在建材耐久耐候性試驗之技術與能力，並以建立材料實驗中心耐久耐候性試驗方法為目標。

第二章 文獻回顧與現況探討

第一節 奈米材料在塗料之應用

1.1 奈米塗料定義

奈米(nanometer, nm)為長度單位, $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ 。在奈米尺度中, 物質因量子尺寸效應及表面效應, 而展現出許多特殊的物理與化學性質, 而如何將物質微小化到奈米尺度, 讓它產生很好應用的特性與機能, 就是所謂的「奈米技術」。奈米塗料主要是由奈米材料與有機塗料合成之複合材料, 一般而言, 在定義上應具備兩個基本條件: (1)至少有一相之顆粒尺寸為 $1\sim 100\text{nm}$; (2)由於奈米晶相的存在, 塗料性能能顯著提高或具備新的功能。廣義上, 奈米塗料還包括材料中含有奈米晶相的金屬奈米塗層材料, 以及經奈米粒子之間的熔融、燒結複合得到的無機奈米塗層材料。惟當奈米材料與技術應用於塗料後, 應可期望展現出兩種用途目的: 一是提升傳統塗料之性能, 二是製造出具有新功能的奈米塗料。奈米塗料有許多種類, 性能也有許多不同之處, 奈米技術因其獨到的性能而備受關注, 世界各國也都投入相當經費進行塗料技術的創新研發, 國內奈米塗料則主要集中在建築外牆塗料的耐候性及內牆塗料的抗菌性、耐沾汙等功能。奈米粒子所具備的特殊性能, 可能使塗層的光學性能、磁性能、電性能、力學性能等大大提升, 因此奈米塗料的研究可望成為塗料研究的重點。

1.2 奈米材料

由於奈米材料顆粒極小, 比表面積甚大, 導致奈米材料具有傳統材料所不具備之特殊性質, 例如表面效應、小尺寸效應和量子隧道效應等特性, 從而使奈米材料具有微波吸收性能、高表面活性、特殊光學性質、催化性質等。然而, 並非所有的粉體粒子達到奈米化就能產生此特殊之功能性, 且不同的奈米材料混入不同成份的塗料中, 因極性、表面狀況不同, 亦會有不同之影響。以下簡述幾種應

用於塗料之奈米材料特性，包括：奈米碳酸鈣粉體、奈米矽氧化物、奈米二氧化鈦、奈米氧化鋅等【1】。

(一) 奈米碳酸鈣(CaCO_3)粉體

奈米碳酸鈣係指化學合成碳酸鈣的粒徑在 1~100nm 範圍內的產品，為 1920 年代開發出的新型超細固體材料，其晶體結構和表面電子結構因奈米化而發生變化，在磁性、催化性、光熱阻等方面與常規材料相比之下，顯現出優越之性能。在塗料工業中，奈米碳酸鈣不僅可做為增白的填料，還具有補強作用。

(二) 奈米矽氧化物(SiO_x)

奈米 SiO_x ($x=1.2\sim 1.6$)係由矽或有機矽的氯化物高溫水解生成的白色超細微粉末，表面帶有羥基，粒徑通常為 20~60nm，化學純度高、分散性好、比表面積大，是一種無毒、無味、無污染的無機非金屬材料，具有很高的活性，以及獨特的光學特性，對中波紫外光(UVB, 280~320nm)及短波紫外光(UVC, 200~280nm)之反射率在 70~85%之間。在塗料應用中，奈米 SiO_x 可提供防結塊、防流掛、乳化、消光性、觸變性等功能，提升塗料之耐刷洗性及耐候性，亦可大幅提高塗膜與被塗物之結合強度、增加塗膜硬度，同時提升表面自潔能力。

(三) 奈米二氧化鈦(TiO_2)

TiO_2 有板鈦礦、金紅石和銳鈦礦等三種晶型，其中金紅石型和銳鈦礦型 TiO_2 應用較廣泛。奈米 TiO_2 的粒徑為普通鈦白粉的 1/10，與常規材料相比，奈米 TiO_2 具有比表面積大、磁性強、光吸收性佳、表面活性大、熱導性好、分散性佳等優點，用於塗料工業時，能提高塗料的抗老化性能，且因具有光半導體性質，能進行各種光催化反應，以及殺菌、除臭等功效。

(四) 奈米氧化鋅(ZnO)

奈米氧化鋅對紫外線的防護功能比奈米二氧化鈦要強，同時具有殺菌、抑菌的功能，性能穩定、對人體無害。

1.3 奈米塗料之功能性

奈米材料在塗料工業之應用可分為兩方面說明：(1)做為塗料之改質助劑，利用奈米粒子之高比表面積及高表面活性，改良塗料之流變性；利用奈米粒子與基材間之強大結合力，改良塗層之力學性能；利用奈米粒子之光吸收性，改良塗層之耐候性。(2)開發特殊功能性塗料，利用奈米材料之光吸收性、反射性、催化性等特質，賦予塗料自潔防污、防霉抗菌、隔熱調溫、電磁屏蔽等新功能【4】。以下簡要說明奈米塗料之幾項主要功能。

(一) 力學性能

塗料中加入奈米 SiO_2 、 CaCO_3 等助劑，可以大幅提高塗層的耐磨性、硬度、強度及韌性等力學性能，可用於易磨損、易腐蝕金屬部件等的保護，有效延長產品的使用壽命。

(二) 耐候性能

一般戶外用塗料因紫外光破壞基材之鍵結，導置發生褪色、失去光澤及粉化之耐候性問題，將對於紫外線有較強吸收能力的奈米粒子，例如奈米 TiO_2 、 SiO_x 、 ZnO 等顆粒，填充於塗料之中，可顯著提高塗料的紫外線吸收性，從而提高戶外用塗料的耐候性能。

(三) 自潔防污

材料疏水性的高低可藉由接觸角的大小來判別，一般疏水性材料與水的接觸角約在 90~115 度之間。研究學者藉由微觀觀察蓮葉構造後，發現形成超疏水自潔表面，除包含疏水性化學物質外，更重要的是具備物理性之微細起伏的粗糙構造，與水的接觸角可達 150 度，此即一般所稱之「蓮花效應」。採用奈米技術可製成奈米介面塗料，其塗膜介面為既疏水又避油的超雙疏性介面，將其塗在建築材料上，任何油質、水、灰塵等都不會存留於表面【5】。

(四) 隔熱調溫性能

利用奈米粒子對紅外線反射性能可製成隔熱塗料，用於玻璃幕牆、金屬牆板等的隔熱效能。而另一方面，研究學者亦發現二氧化鈮(VO_2)可利用溫

度差異來調節近紅外光(Near Infrared Ray, NIR)的穿透量，使得夏天溫度升高時，能阻擋紅外線的繼續射入，而在冬天溫度降低時，則不反射紅外光，達到控溫之目的。

第二節 近期研究之彙整與探討

為使本計畫案之研究方向明確，成果具體可行，彙整本所近年來在奈米塗料技術及耐久耐候試驗方面之研究成果，以及國內學業界在相關領域之研究與論述，摘要說明如下：

一、奈米自潔塗層技術與應用【5】

本研究以蓮花效應為基礎，利用奈米粒子表面改質技術及有機/無機混成技術，增加塗層之耐磨程度及其與基材之附著強度，以達到高耐久、高防污、超疏水性之奈米塗料。

由微觀蓮葉構造得知，當粗糙微結構加入疏水物質中時，將使塗層表面達到超疏水現象。粗糙微結構之形成，係根據顏料體積濃度(Pigment Volume Concentration, PVC)之變化來控制其表面結構，其中 PVC 代表粉體佔全部(粉體與樹脂)體積的比例。當 PVC 增加(即粉體量增加)至臨界值時，代表粉體粒子正要突出塗層表面，當 PVC 超過臨界值後，即可製造出粗糙微結構表面，此時塗層物性便產生重大變化。文中以 CaCO_3 粉體為例，當添加於 PU-silicone 樹脂中，調整 CaCO_3 含量，其接觸角之變化如表 2-1 所示，顯見 PVC 超過臨界值(約 6/4~7/3 之間)後，接觸角快速跳升，達到高疏水表面。

表 2-1 CaCO_3 添加量與接觸角之關係

| | | | | | | | | | |
|---------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|
| CaCO_3/PU | 0/10 | 1/9 | 2/8 | 3/7 | 4/6 | 5/5 | 6/4 | 7/3 | 8/2 |
| 接觸角 | 97° | 96° | 97° | 97° | 97° | 99° | 100° | 137° | 140° |

(資料來源：參考書目【5】)

文中以人工合成方式製作超疏水性自潔塗料，藉由奈米粉體化學改質方法，形成所需的表面有機官能化，接著將此奈米粒子進行微結構控制，形成所需的奈米-微米表面，最後經由加入低表面能樹脂、壓克力或是環氧樹脂、添加劑，並進行自組裝製程，仿造出如蓮葉般的特性，水接觸角高達 160 度、耐刷洗超過 2000 次。

在自潔性測試上，採用三種塗料分別為自製塗料、市售水性乳膠漆、油性水泥漆，以碳黑做為污染物，並以灑水方式進行測試，結果顯示自製塗料經由 20ml 水噴灑後，碳黑污物可完全被帶走，而水性乳膠漆及油性水泥漆經由 100ml 水噴灑後仍有許多碳黑殘留。

在防污功能及耐候性能試驗方面，選取自製雙疏型自潔塗料與數種市售塗料，以戶外曝曬方式進行檢驗。防污功能方面，以亮度差 L 做為量測指標，曝曬前後亮度差距越大，代表塗料附著較多之髒污。於耐候性能方面，則以色差 E 做為量測指標，若塗料之耐候性較差，易產生黃變或光澤下降現象，造成色差 E 值上升。經過 6 個月之戶外曝曬，試驗結果如表 2-2 所示，由亮度差 L 值之差異，可證實該自製雙疏型自潔塗料確有自潔防污能力，且優於市售塗料；色差 E 值之差異，亦證實該自製雙疏型自潔塗料之耐候性能優於市售塗料，具有長時間自潔防污效果。

表 2-2 戶外曝曬防污耐候試驗結果

| 產品名稱 | 試驗前接觸角 | 戶外曝曬 6 個月後 | | |
|-----------|--------|------------|---------|--------|
| | | 接觸角 | 亮度差 L | 色差 E |
| MCL 雙疏型塗料 | >155 | >155 | 0.4 | 0.9 |
| 市售自潔塗料 | 144 | 150 | 10.2 | 10.4 |
| 市售乳膠漆 | 90 | 10 | 8.2 | 8.2 |
| 市售油性水泥漆 | 82 | 58 | 4.6 | 7.2 |
| 市售水性水泥漆 | 80 | 80 | 7.7 | 8.3 |

(資料來源：參考書目【5】)

二、奈米技術應用於建築物表面自淨功能【6】

本案研擬光觸媒塗層自淨功能之檢驗項目，包括檢驗項目訂定、標準檢驗法及耐久性要求，以提供業界做為品質控制之參考。另一方面，於本所台南性能實驗中心之玻璃帷幕及鋁板牆實作塗佈光觸媒塗層，記錄施工前狀況及現地噴塗過程，並於完工後半年進行抗污檢驗、親水性檢驗及現地色差檢驗，以評估光觸媒塗層之效能。

文中擬訂之室內檢驗項目計有 6 項，如表 2-3 所示，並述明檢驗目的及檢驗步驟。現地檢驗則包括：長期抗污檢驗、親水性檢驗及色差檢驗。

表 2-3 光觸媒塗層自淨功能之檢驗項目

| 項目 | 檢驗名稱 | 主要儀器設備及耗材 | 檢驗目的 |
|----|--------|--------------|------------|
| 1 | 接觸角 | 接觸角量測儀 | 檢驗塗層接觸角之變化 |
| 2 | 色差 | 色差量測儀 | 檢驗塗層自淨功能 |
| 3 | 耐酸性 | 濃度 5%硫酸溶液 | 檢驗塗層之耐酸性 |
| 4 | 耐鹼性 | 濃度 5%無水碳酸鈉溶液 | 檢驗塗層之耐鹼性 |
| 5 | 耐鹽水性 | 濃度 3%氯化鈉溶液 | 檢驗塗層之耐鹽水性 |
| 6 | 耐反覆升降溫 | 烘箱 | 檢驗塗層之耐溫性 |

(資料來源：參考書目【6】)

三、建築物屋頂奈米級防水塗膜材料之開發應用【7】

本案選用水溶性聚合材為研究對象，以奈米技術研發製造用於建築物屋頂及外牆防水之創新奈米級防水材料，並檢測其各項性能，而由於塗料與基材間之附著力為塗料之重要性質之一，研究內容中亦針對防水塗料與基材界面之性質進行理論分析與測試，探討廣義附著力破壞現象。

由於水性塗料存在一些缺點，使其無法被廣泛應用，例如：懸浮穩定性差、觸變性差、不耐老化等，而新功能之提升，包括抗菌、防污、耐洗刷性等亦較溶劑型塗料差，因此，本案針對奈米矽氧顆粒進行表面改性，研發出水性奈米塗料之製造方法，藉此增進防水塗層之自潔性、防霉抗菌、耐刷洗、抗老化等性能。另外，文中針對水溶性之高分子防水材料，歸納出建築物屋

頂及外牆防水塗料之功能性質及相關試驗規範，並選擇主要功能性質進行測試，包括力學性質、耐光性與耐候性、鹽水噴霧試驗、以及附著性與附著強度等，藉以比較本案研發之奈米塗料與一般市售防水塗料之差異性。

本案研發之水性奈米級防水塗料經過測試後，結果顯示已達預期特性者，包括：斥水性、低表面能、耐鹼性、吸水率、附著強度、耐冷熱反覆性等，需改善之性質則為：伸長率、抗拉強度、撕裂強度、耐酸性等。

四、改質奈米塗料油漆對電磁波屏蔽之研究【8】

由於通訊系統操作頻率越來越高，電磁波輻射的問題日益嚴重，困擾著人們的健康與生活，而抵抗電磁波的材料可分為兩種：屏蔽材料及吸波材料，其中屏蔽材料是目前有效的阻隔或衰減電磁波的方法，可以避免電磁干擾問題。本研究便以奈米碳管(CNT)為電磁屏蔽複合材料的基材，將其混入油漆塗料裡，並參雜加入活化劑(SDS)，使奈米碳管在油漆塗料中能夠更均勻的分散，進而探討此複合塗料在電磁屏蔽方面的效果。

當材料屏蔽的輻射源為遠場平面電磁波時，電場與磁場在空間中的分佈比值一定，故依照電場或磁場量測的屏蔽效果相同。本研究遂以材料對電場強度的屏蔽效率來表示電磁屏蔽效率(SE)。量測設備包括：網路分析儀、50 歐姆阻抗匹配電纜線兩條、夾具一組，如圖 2-1 所示。

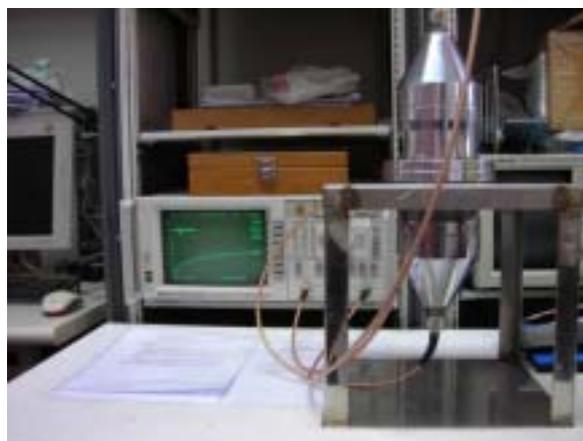


圖 2-1 電磁屏蔽效率量測架構
(資料來源：參考書目【8】)

當奈米碳管/油漆(CNT/paint)之複合材料加入 SDS 且有液態球磨下，由 SEM 圖可以看出奈米碳管的分散性有明顯改善，經由網路分析儀量測得知，能夠大幅提升電磁波屏蔽效應，且當奈米碳管的比例越高時，所測得的電磁波屏蔽效應越好。

五、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【9】

本計畫主要在進行塗裝材料耐久耐候性之試驗研究。研究內容包括：(1)塗裝材料文獻之蒐集與整理，除對塗裝材料分類與常見劣化情形進行說明，亦整理分類各種塗裝材料之試驗標準；(2)塗裝材料耐久耐候試驗，將常見的壓克力樹脂漆、環氧樹脂漆、PU 樹脂漆、與防火漆四種塗裝材料運用於碳鋼、水泥砂漿、與木材基材上，進行 2000 小時的鹽霧與日光加速劣化試驗及 6 個月的自然曝曬劣化試驗，探討塗裝材料的耐久耐候性。

CNS 11607 中規範了塗膜硬固後的耐久耐候性質試驗，包含了加速劣化的鹽水噴霧試驗、利用氬弧燈或碳弧燈照射塗膜的加速耐候性試驗、長期自然曝曬耐候性試驗等。表 2-4 為耐久耐候性質相關標準與名稱。

表 2-4 塗膜耐久耐候性試驗相關標準

| 試驗項目 | CNS 中國國家標準 | ASTM 美國材料試驗 學會標準 | 其他國際組織 試驗標準 |
|-------------|------------------------|------------------------|---------------------------------------|
| 中性鹽霧劣化試驗 | CNS 11607 CNS 8886 | ASTM B117 | JIS K5600-7-1 ISO 7253 ISO 9227 |
| 自然曝曬試驗 | CNS 11607 | ASTM D1006 | JIS K5600-7-6 ISO 2810 |
| 加速耐候性及耐光性試驗 | CNS 11607 CNS 11232 | ASTM D6695 | JIS K5600-7-7 ISO 11341 |

(資料來源：參考書目【9】)

塗裝材料耐久耐候試驗規劃方面，摘要如下：

(一) 試件規劃

1. 塗料種類：採用壓克力樹脂漆、環氧樹脂漆、PU 樹脂漆、防火漆。
2. 基材：(1)碳鋼 - ASTM A36，鹽霧及自然曝曬試驗採用 100×150×6 mm 之試片，日光模擬試驗採用 70×150×6 mm 之試片；(2)水泥砂漿 - 水灰比 0.45，水泥與砂之比為 1：3，自然曝曬試驗與氯離子試驗採用直徑 10cm、高 20cm 之圓柱試體，日光模擬與鹽霧劣化試驗採用 70×150×6 mm 之平板試片；(3)木材 - 選用杉木，試片尺寸 70×150×6 mm。

(二) 試件處理：(1)碳鋼 - 噴砂除銹、編碼、秤重、塗裝；(2)水泥砂漿 - 以手刷方式均勻於試體表面塗刷 3 次；(3)木材 - 砂紙磨平後，進行手刷塗裝及乾燥後砂紙砂磨共 3 次。

(三) 試驗方法：(1)鹽霧加速劣化試驗 - CNS 11607 第 3.1 節、ASTM B117 中性鹽霧試驗，試驗時間共 2000 小時；(2)日光加速劣化試驗 - CNS 11607 第 3.8 節、ASTM D6695 Cycle 2 試驗法，試驗時間共 2000 小時；(3)自然曝曬試驗 - CNS 11607 第 3.9 節、ASTM G50 開放式曝曬架

(四) 劣化分析：(1)鹽霧試驗 - 每 200 小時進行光澤度(CNS 10756-1 第 7 節)與色差(CNS 10756 第 5 節)分析，每 1000 小時進行腐蝕速率量測試驗(ASTM G1 重量損失法與電化學之交流阻抗法)與塗膜接觸角試驗(ASTM D5725)，水泥砂漿試體每 1000 小時進行氯離子侵入深度與透水試驗；(2)日光加速劣化試驗 - 每 200 小時進行光澤度與色差量測，每 1000 小時進行塗膜接觸角試驗；(3)自然曝曬試驗 - 於第 3 個月與 6 個月進行上述量測實驗。

(五) 試驗結果：(1)由鹽霧試驗發現，經 200 小時劣化後，裸鋼試片已嚴重腐蝕，其他塗料對基材仍具有良好的保護性能，惟防火漆碳鋼試片表面已有剝離龜裂現象。(2)於日光模擬劣化試驗中，未塗裝及防火漆塗裝的木材試片經 200 小時劣化後，已從木紋處開裂，顯示防火漆已失去保護木板的功能；(3)試驗前環氧樹脂塗膜的光澤度最佳，但經 200 小時日光模擬劣化後，其光澤度驟降至 30%以下，2000 小時後，表面有粗糙情形產生。

六、使用奈米二氧化鈮於建築材料中調溫性能之研究【10】

根據調查，在住宅及商業用電所消耗的電力中，近 80-90%是來自空調與照明系統的耗損，因此，開發一種能有效阻隔近紅外線，並具有高可見光穿透率的功能性塗料，將可達成節能與美觀的雙重指標。本案旨在製備二氧化鈮(VO_2)粉末(如圖 2-2)，將其摻入透明塗料並塗佈於玻璃基材上，使於特定溫度能達到「抵抗紅外線」之效用。

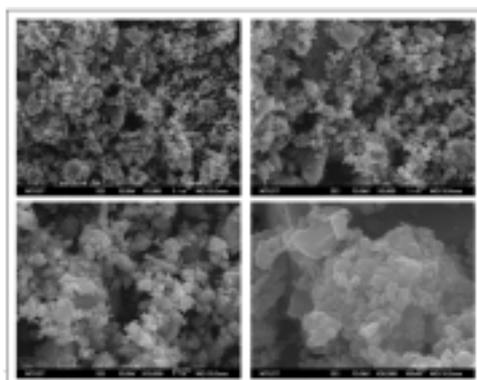


圖 2-2 VO_2 顆粒之 SEM 圖
(資料來源：參考書目【10】)

VO_2 為一種具有金屬-絕緣體轉換 (Metal-insulator Transition, MIT) 變化的材料，這種 MIT 的性質會在特定的溫度時，晶體結構發生變化，使其由半導體變成導體， VO_2 正屬於此類物質，其相轉變溫度 T_c 為 68°C 。在溫度低於 T_c 時為半導體材料，其電子雲分佈較稀疏，紅外光 (Infrared Ray, IR) 可以穿透，當溫度高於 T_c 時為導電相，其電子雲分佈較緊密，以致 IR 光無法有效穿透。惟 VO_2 的相轉變溫度 T_c 距離室溫還有一段距離，藉由加入其他金屬離子 (例如 W^{6+})，可使 VO_2 的 T_c 降至室溫附近。

實驗結果顯示，塗有本案配製 VO_2 之玻璃片的實驗環境箱可降低溫度約 15°C ，未來期望 VO_2 塗料可運用在玻璃表面或其他建築材料，經由控溫功能可使建築物達到節能效果。

第三節 本所材料試驗儀器設備建置現況

為能執行奈米塗料耐久耐候試驗，達到試驗室認證需求，本所現有試驗儀器與設備之性能必須符合相關試驗標準之要求。

一、鹽霧複合耐候試驗機 - SUGA CTP-96 (如圖 2-3)

- (一) 功能用途：模擬海域氣候環境，進行各種材料之加速劣化試驗，具備鹽水噴霧、乾燥、濕潤、浸漬及外氣導入等功能，以觸控式螢幕設定自動循環運轉程序。
- (二) 性能規格：CNS 8886 鹽水噴霧試驗法 ASTM B117 Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus、ASTM G85 Standard Practice for Modified Salt Spray (Fog) Testing。

| 裝置項目 | 試驗規範要求 (CNS 8886 鹽水噴霧試驗) | SUGA CTP-96 |
|----------|--|--|
| 噴霧室 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 噴霧裝置能在試片上均勻噴霧。 2. 容積 0.2m³ 以上。 3. 不得使用對腐蝕有影響之材料。 4. 噴霧以自由落下為原則，不直接朝向試片。 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 噴霧方式：噴霧塔，鹽霧於試片表面分佈均勻。 2. 試驗槽淨尺寸為長 96×寬 61×高 86 cm。 3. 槽內部採不銹鋼板片。 4. 噴霧方向可調整。 |
| 試片支架 | 試片應能固定於所定角度(例如與垂直線成 20±5°)。 | 具備固定試片之支架。 |
| 噴霧液取樣容器 | 取樣面直徑 10cm、面積約 80cm ² 之容器，至少兩處；每小時平均收集 0.5~1.5 mL。 | 噴霧量：1~2ml/80cm ² /h。 |
| 溫度調節設備 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 溫度測定位置須距槽壁 100mm 以上。 2. 保溫設備，精確度±2 。 3. 溫溼度由外面讀取。 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 控制溫度範圍+10 ~70，精度±1 以內。 2. 濕度設定範圍 0~95%、精度±5%以內。 |
| 壓縮空氣供給設備 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 壓力 0.07~0.17 MPa，最適壓力 0.098±0.010 MPa。 2. 噴霧噴出時之相對溼度為 95~98%。 | 1. 噴霧壓力：0.098±0.0025 MPa。 |
| 空氣飽和器 | 去除水及空氣中的不純物。 | |
| 其他 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 排氣及排水裝置。 2. 試驗用含鹽液貯槽 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 具排氣及排水裝置。 2. 具噴霧液槽約 20L。 |



圖 2-3 鹽霧複合耐候試驗機 - SUGA CTP-96
(資料來源：本研究拍攝)

二、氙弧燈式日光模擬機 - SUGA X75SC (如圖 2-4)

(一) 功能用途：模擬建材在日光照射環境下之加速劣化試驗，具備照射、照射及降雨、黑暗、黑暗及結露等功能，以觸控式螢幕設定自動循環運轉程序。

(二) 性能規格 - CNS 11232 氙弧燈式耐光性及耐候性試驗器、ASTM G155 Practice for Operating Xenon-Arc Light Apparatus for Exposure of Nonmetallic Materials。

| 裝置項目 | 試驗規範要求 (CNS 11232 氙弧燈式耐光性及 耐候性試驗器) | SUGA X75 Super Xenon |
|------|--|---|
| 試驗槽 | 內壁材料應採用 304 不銹鋼或 經耐蝕處理之 A1100P 鋁板。 | |
| 發光部份 | 1. 氙弧燈：詳附註表 1。 2. 光學濾光罩：詳附註表 2。 | 1. 氙弧燈為 7.5KW, 水冷式。 2. 內部濾光片為石英玻璃、外部濾光片為 # 275(與硼矽玻璃相當)。 3. 波長範圍 300nm~400 nm, 照度設定範圍為 40~80 W/m ² 。 |

| | | |
|---------|---|--|
| 弧光安定裝置 | 能以手動或自動方式調節弧燈之電力，使放射照度保持一定。 | 具安定裝置。 |
| 氬弧燈點量裝置 | 於 0.1~0.5 秒內產生點亮氬弧燈所需之高電壓脈波。 | |
| 試片固定裝置 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 試片架繞光源旋轉，詳附註表 3。 2. 採用 304 不銹鋼或經耐蝕處理之 A1100P 鋁板等具耐蝕性材料。 3. 旋轉機構以電動機驅動，並能以手動旋轉。 | 試片迴轉架為三段式傾斜型可放置 150 mm×70 mm 試片共 63 個，迴轉速度為 1 rpm。 |
| 噴霧裝置 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 週期開關：每 120 min 噴霧 18 min、每 60 min 噴霧 12 min、無噴霧，精度±0.5 min。 2. 減壓閥：供給水壓於 1.5~3.0 kgf/cm² 時，噴霧壓力 0.8~1.3 kgf/cm²。 3. 水壓計：最高刻度 3~6 kgf/cm²，最低刻度 0.2 kgf/cm² 以下。 4. 電磁閥 5. 噴霧嘴：自正向試片固定面之噴嘴，作圓錐狀且均勻之連續噴霧，詳附註表 4。 | 雨水產生器之壓力調整範圍為 0~4 kgf/cm ² ，有 3 個 SUS 304 不鏽鋼噴嘴。 |
| 冷卻裝置 | 視需要，裝置 2 個以上噴嘴，向試片背面或槽內壁噴水霧冷卻。 | |
| 溫溼度調節裝置 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 黑嵌片溫度：50~70 °C，設定於 63 °C 時，變動範圍±3 °C。 2. 在波長 400~700nm 內，黑嵌片之分光反射率在 7%以下。 3. 黑嵌片溫度計之最高刻度為 80~100 °C，最小刻度為 1 °C。 4. 溼度調節：黑嵌片溫度在 63 ±3 °C 時，可調節試驗槽空氣出口處之相對溼度為 50±5%。 5. 點燈時黑嵌板溫度 63±3 °C，相對溼度 35±5%；熄燈時相對溼度 90±5%。 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 連續照射試驗，在黑板溫度 63±3 °C 時，溼度調節範圍 50~60% RH，精度為±5%RH。 2. 晝光照射試驗，黑板溫度在 63~95±3 °C 時，溼度調節範圍 50~60% RH，精度為±5% RH。 3. 暗黑試驗，黑板溫度在 30~50±3 °C 時，溼度調節範圍 95% RH 以上，精度為±5% RH。 |
| 儀表 | <ol style="list-style-type: none"> 1. 電壓計：刻度範圍 0~300V(或 250V)，最小刻度 5V 或 10V。 2. 電流計：刻度範圍 0~30A(或 60A)，最小刻度 2A 以下。 3. 瓦特計：刻度範圍 0~10KW，最小刻度 0.25KW 以下。 | |

| | | |
|------|---|--------------|
| | 4. 累積計時器：最高標示 9999.9 小時以上。 5. 定時開關：設定範圍 0~24 小時，最小刻度 30 分鐘以下。 | |
| 安全裝置 | 1. 水冷式氙弧燈試驗器於冷水不足時，應能切斷電源。 2. 發生停電、溫度過度上升、過電流時之安全裝置。 3. 艙門開啟時，應使氙弧燈點亮裝置不動作。 | |
| 其他 | | 1. 放射照度量測系統。 |

附註表 1

| 氙弧燈種類 | 電流(A) (容許範圍) | 電壓(V) (容許範圍) | 電力(KW) | 冷卻方式 |
|----------|-----------------|-----------------|--------|------|
| 水冷 6.0KW | 45±2 | 135±11 | 6.0 | 水冷 |
| 水冷 6.5KW | 35±2 | 190±15 | 6.5 | 水冷 |

附註表 2

| 分 光 透 過 率 % | | | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| 波長 濾光罩種類 | 275nm | 300nm | 320nm | 400nm | 700nm | 1000nm |
| 石英玻璃 | 90 以上 | 85 以上 |
| 紫外線遮斷用 玻璃製濾光罩(I) | 2 以下 | 35 以上 | 75 以上 | 90 以上 | 90 以上 | 90 以上 |
| 紫外線遮斷用 玻璃製濾光罩(II) | 0 | 0 | 20 以下 | 90 以上 | 90 以上 | 90 以上 |
| 紅外線遮斷用 玻璃製濾光罩 | 2 以上 | 30 以上 | 65 以上 | 80 以上 | 70 以下 | 5 以下 |

附註表 3

| 試驗器種類 | 旋轉架外徑(mm) | 轉數(rpm) | 試片固定板安裝片數 |
|--------------------------|-----------|---------|-----------|
| 水冷 6KW 氙弧燈式 耐光(候)性試驗器 | 960±5 | 1 | 38 |
| | | | 76 |

附註表 4

| 試驗器種類 | 噴嘴數 | 合計水量(l/min) | 噴霧壓力(kgf/cm ²) |
|--------------------------|-----|-------------|----------------------------|
| 水冷 6KW 氙弧燈式 耐光(候)性試驗器 | 4 | 2.1±0.1 | 水壓 1.0 |



圖 2-4 氬弧燈式日光模擬機 - SUGA X75SC
(資料來源：本研究拍攝)

三、能量分散式 X 射線螢光光譜分析儀(EDXRF) - Skyray, EDX3600B(如圖 2-5)

(一) 功能用途：分析塊狀、粉狀、與液態材料組成元素與特定元素之定量分析（至少可在大氣中分析原子序 Na 至 U 之元素），亦可提供特定元素之快速定量檢測要求（如 Cd/Pb/Hg/Cr/Br 分析）。

(二) 性能規格：

1. X 射線管與產生器

(1) 最大額定輸出功率達 50W，電壓調整為 5~ 50KV，最小設定刻度 1KV，電流調整可包含 0~1 mA 範圍。

(2) 靶材為銠金屬靶（Rh Target）。

(3) 測量點尺寸為 1.0、2.0、3.0、4.0、6.0、8.0mm 直徑圓孔

2. X 射線偵測器

(1) 為高純度矽偵測器，解析度可達小於 145 eV。

(2) 可檢出元素範圍為 Na 至 U。

3. 定量分析最低濃度

- (1) 針對 Cd、Pb、Hg、Br、Cr 等五種元素建立檢量線後，可分析固體（如塑料）最低濃度為小於 5ppm。
 - (2) 針對 Cl 與 As 兩種元素建立檢量線後，可分析液體最低濃度 Cl 100ppm，As 10ppm。
4. 試樣室尺寸可放置 150mm 直徑×150mm 高度之試樣。



圖 2-5 能量分散式 X 射線螢光光譜分析儀
(資料來源：本研究拍攝)

四、掃描試電子顯微鏡(SEM) - Hitachi, S-4300 w/ EMAX(如圖 2-6)

- (一) 功能用途：進行材料組成、結構之定性與定量之微觀分析
- (二) 性能規格：
 1. 解析度：5 nm at 1 kV and 1.5 nm at 15 kV。
 2. 放大倍率：20x~500,000x
 3. 鏡台 X 向移動：0~100mm、Y 向移動：0~50mm、Z 向移動：5~35mm、
旋轉：360°、傾斜：-5°~60°。
 4. 配備能量散佈光譜分析儀(EDS)，可進行材料成分之定量分析。



圖 2-6 掃描試電子顯微鏡(SEM)
(資料來源：本研究拍攝)

五、色差計 - SUGA, SM-T(如圖 2-7)

(一) 功能用途：材料劣化前後之顏色度差異分析設備

(二) 性能規格：

1. 可進行反射測定 (8° 照明, 擴散受光(8/D、8/d)) 與透過測定 (0° 照明, 全透過受光) 等光學條件量測。
2. 可以直接讀取色的明暗度差、彩度差、色相差的分解, 色的三屬性 HV/C、染色度等級(BLUE SCALE 值)等。
3. 積分球直徑為 150mm。



圖 2-7 色差計
(資料來源：本研究拍攝)

六、 接觸角計 - FTA188(如圖 2-8)

(一) 功能用途：利用懸滴法量測表面張力及接觸角

(二) 性能規格：

1. 水平式光學設計，可調整傾斜角度 0~6 度。
2. 定量滴定：容量 2.0ml、最小刻度 0.002ml。
3. 表面張力量測範圍；0~2000mN/m、精度 $\pm 0.5\%$ 、解析度 0.1%。

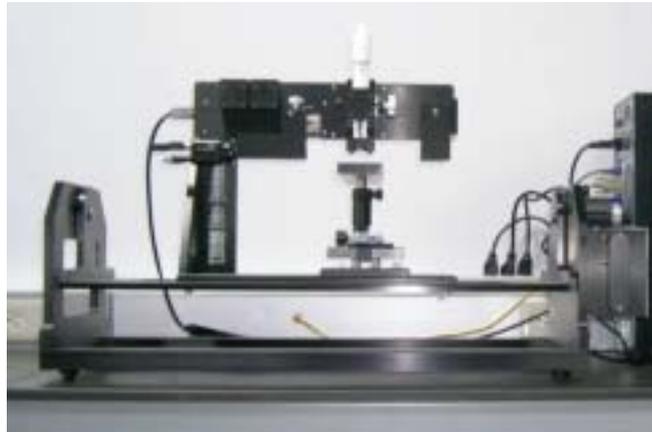


圖 2-8 接觸角計
(資料來源：本研究拍攝)

第三章 奈米塗料檢驗方法與標準

塗料通常由成膜物質、顏料、溶劑、助劑等成分組成，塗料的使用有兩個基本目的，即當塗料在被塗物表面形成薄膜後，可對被塗物產生保護作用，其亮麗的光澤與顏色則有美化效果。而所謂功能性塗料係指對某物體進行塗裝後，賦予該物體原先不具備之新功能的塗料，例如耐熱、絕緣、防水等性能。而當奈米材料與技術應用於塗料後，應可期望展現出兩種用途目的：一是提升傳統塗料之性能，二是製造出具有新功能的奈米塗料。因此，塗料試驗可概分為兩類，其一為針對塗料製品本身的成分、性狀與安定性等進行檢驗，另外一類則針對塗裝後之塗膜性能進行測試。

由於本研究的目的在於探討奈米塗料塗裝後之塗膜，經過長期外在天候環境外力作用後，其原有之奈米塗料功能性是否產生變化，藉以瞭解奈米塗料之耐久耐候性能，並藉此建立本所材料實驗中心在相關領域之實驗量能。因此本章僅針對塗膜的性能測試，彙整與探討相關之檢驗方法與標準。

第一節 塗料一般檢驗法

塗料塗膜之性能檢測項目種類繁多，主要可分類為成膜機能、視覺特性、物理與化學抗性、以及耐久性試驗等，現行的中國國家標準(CNS)中即將前述檢測項目分別規定於 CNS 10756、CNS 10756-1、CNS 10757 及 CNS 11607，而為使各實驗室間之檢測條件趨於一致，以獲得相同之檢測結果，中國國家標準另於 CNS 13658 及 CNS 9007 訂定塗料用試驗板、取樣及試驗一般條件等方面之規定。相關標準名稱及主要項目條列如下：

■ CNS 9007 塗料一般檢驗法 – 取樣及試驗一般條件 (84/01/26)

主要項目：(1)取樣、(2)試驗之一般條件，包括試驗場所、共同事項、試片之

製備、塗料層之厚度測定、塗膜厚度之測定。

■ CNS 10756 塗料一般檢驗法(有關塗料的塗膜形成機能試驗法) (83/11/02)

主要項目：(1)髹塗作業性、(2)塗佈面積、(3)坪坦性、(4)垂流性、(5)乾燥時間、(6)研磨容易性、(7)上塗適合性、(8)重塗適合性、(9)滲出性。

■ CNS 10756-1 塗料一般檢驗法(有關塗膜之視覺特性之試驗法) (83/11/02)

主要項目：(1)塗膜外觀、(2)隱蔽率、(3)遮蓋力、(4)顏色、(5)視感反射率、(6)鏡面光澤度。

■ CNS 10757 塗料一般檢驗法(有關塗膜之物理、化學抗性之試驗法) (84/11/30)

主要項目：(1)耐屈曲性、(2)擠壓值、(3)耐衝擊性、(4)硬度(鉛筆法)、(5)附著性、(6)附著安定性、(7)附著強度、(8)抗拉強度及伸長率、(9)耐磨耗性、(10)耐污染性、(11)耐洗淨性、(12)不黏著性、(13)塗膜之加熱安定性、(14)耐過熱烘烤性、(15)阻抗、(16)透水度、(17)水蒸氣透過度、(18)氯離子透過度、(19)耐水性、(20)耐沸騰水性、(21)耐鹼性、(22)耐酸性、(23)耐鹽水性、(24)耐揮發油性。

■ CNS 11607 塗料一般檢驗法(有關塗膜之長期耐久性之試驗法) (84/11/30)

主要項目：(1)耐鹽水噴霧試驗、(2)耐濕性、(3)耐冷熱反覆性、(4)耐濕冷熱反覆性、(5)加速黃色度、(6)粉化度、(7)耐光性、(8)加速耐候性、(9)耐候性、(10)防銹性。

■ CNS 13658 塗料用試驗板 (85/05/23)

主要項目：(1)鋼板、(2)鍍鋅鋼板、(3)鍍錫鋼片(馬口鐵)、(4)鋁板、(5)玻璃板、(6)可撓板(平行石棉水泥板)、(7)水泥砂漿板、(8)石棉水泥珍珠岩板、(9)石膏板、(10)木材單板、(11)木材合板、(12)瀝青砌塊。

民國 96 年以後，經濟部標準檢驗局又陸續編修制定了一套有關塗料檢驗之中國國家標準，編號為 CNS 15200「塗料一般試驗法」，共分為六大部份，條列如下。(前述之舊標準尚未廢止)

- 第 1 部 通則：CNS 15200-1-1~ CNS 15200-1-8 (96/10/12)
 - 第 1-1 部：一般試驗(條件與方法) - 包括(1)一般試驗條件，包括試驗場所、通則、試片之製作、(2)一般試驗方法，包括容器內狀態、塗裝作業性、乾燥時間、塗膜外觀。
 - 第 1-2 部：取樣 - 規定塗料、清漆及其原料之人工取樣方法。
 - 第 1-3 部：試驗用試樣之檢查與製備
 - 第 1-4 部：試驗用標準試驗板 - 包括(1)鋼板、(2)鍍錫鐵皮(馬口鐵)、(3)鍍鋅鋼板、(4)鋁板、(5)玻璃板、(6)硬質纖維板、(7)紙面化妝石膏板、(8)纖維強化水泥板、(9)可撓水泥板、(10)水泥砂漿板、(11)鐵碳合金薄板(珠鐵薄板)、(12)木材單板及木材合板、(13)瀝青塊。
 - 第 1-5 部：試驗板之塗裝(刷塗)
 - 第 1-6 部：調節與試驗之溫度及濕度
 - 第 1-7 部：膜厚測定 - 包括濕膜厚之評定、乾膜厚之測定。
 - 第 1-8 部：參比樣品
- 第 2 部 塗料性狀與安定性：CNS 15200-2-1~ CNS 15200-2-6 (97/07/21) (略)
- 第 3 部 塗膜形成性：CNS 15200-3-1~ CNS 15200-3-6 (98/06/17) (略)
- 第 4 部 塗膜視覺特性：CNS 15200-4-1~ CNS 15200-4-6 (99/05/10)
 - 第 4-1 部：遮蓋力
 - 第 4-2 部：顏色之目視比較
 - 第 4-3 部：測色(原理)
 - 第 4-4 部：測色(量測)
 - 第 4-5 部：測色(色差計算)
 - 第 4-6 部：鏡面光澤度
- 第 5 部 塗膜機械性質：CNS 15200-5-1~ CNS 15200-5-11 (99/05/18)
 - 第 5-1 部：屈曲試驗(軸棒法)
 - 第 5-2 部：凹壓試驗

第 5-3 部：衝擊試驗

第 5-4 部：刮痕硬度(鉛筆法)

第 5-5 部：刮痕硬度(載重針法)

第 5-6 部：附著試驗(方格法)

第 5-7 部：附著試驗(拉脫法)

第 5-8 部：耐磨耗性(覆蓋砂紙之研磨輪法)

第 5-9 部：耐磨耗性(研磨輪法)

第 5-10 部：耐磨耗性(試片往復法)

第 5-11 部：耐擦洗性及耐洗淨性

■ 第 6 部 塗膜化學性質：CNS 15200-6-1~ CNS 15200-6-3 (99/09/02)

第 6-1 部：耐液體性

第 6-2 部：耐水性

第 6-3 部：耐加熱性

現行中國國家標準(CNS)中，有關塗料一般試驗方法之新舊版本內容存在許多差異，本節僅針對塗膜試驗方面，摘要說明幾項與建材塗料有關且較重要之試驗項目與內容（相同項目之新舊版本內容有差異時，以新版本為主）。

(一) 試驗場所

- ◆ 標準狀態：溫度 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相對濕度 $65\pm 5\%$ 、不受日光直射，無影響試驗之氣體、蒸氣、塵埃等存在之室內。(CNS 9007)
- ◆ 一般狀態：在常溫($5\sim 35^{\circ}\text{C}$)、不受日光直射，氣體、蒸氣、塵埃等不影響試驗之室內。
- ◆ 噴塗場所：溫度 $25\pm 5^{\circ}\text{C}$ 、相對濕度在 78%以下、風速為 0.7 m/s 以下之場所，每次施行試驗應記錄溫濕度。

(二) 膜厚測定：包括濕膜厚及乾膜厚測定，測定方法如表 3-1 所示。

表 3-1 膜厚測定方法

| 編號 | 種類 | 測定技術 | 精密度 |
|----|-------------------|--------------|---|
| 1 | 濕膜厚之評定 | A.梳形濕膜厚計 | |
| | | B.轉輪形濕膜厚計 | 偏差： $\pm 2.5\% + 1\mu\text{m}$ |
| | | C.質量測定 | 再現性： $\pm 15\mu\text{m}$ |
| 2 | 乾膜厚之測定 | 質量對面積之比 | |
| 3 | 乾膜厚之測定 (機械式接觸) | A.測微計 | 偏差： $\pm 2\mu\text{m}$ 再現性： $\pm 30\%$ (薄塗膜) $\pm 20\%$ (厚塗膜) |
| | | B.針盤計量器 | 再現性： $\pm 10\%$ 測定下限： $2\mu\text{m}$ |
| 4 | 乾膜厚之測定 | 塗膜輪廓測量法 | 再現性： $\pm 10\%$ 測定下限： $2\mu\text{m}$ |
| 5 | 乾膜厚之測定 (顯微鏡法) | A.剖面之顯微鏡觀察 | 偏差： $2\mu\text{m}$ 再現性： $\pm 10\%$ |
| | | B.楔形切削法 | 再現性： $\pm 10\%$ 測定下限： $2\mu\text{m}$ |
| | | C.表面輪廓測定法 | 再現性： $\pm 10\%$ |
| 6 | 乾膜厚之測定 (磁力法) | A.磁感應或電磁感應原理 | 偏差： $\pm 2\% + 1\mu\text{m}$ 再現性： $\pm 10\%$ |
| | | B.永久磁鐵拉脫原理 | 偏差： $\pm 5\% + 1\mu\text{m}$ |
| 7 | 乾膜厚之測定 (渦流法) | 渦流原理 | 偏差： $\pm 2\% + 1\mu\text{m}$ 再現性： $\pm 10\%$ |
| 8 | 乾膜厚之測定 (非接觸法) | A. 粒子反散射原理 | 再現性： $\pm 10\%$ |
| | | B.X 線螢光原理 | 再現性： $\pm 10\%$ |
| 9 | 乾膜厚之測定 | 重量分析法 | |

(資料來源：CNS 15200-1-7)

(三) 塗膜視覺特性

1. 顏色測定

- (1) 色座標量測：依下列方法之一，量測三刺激值 X_{10} 、 Y_{10} 及 Z_{10} ，再計算色度座標 x_{10} 、 y_{10} ，或由該三刺激值計算近似均勻($L^* a^* b^*$)色度空間座標值。

- (a) 以分光光度計量測塗膜光譜測光特性（光譜反射率或光譜反射係數），並計算其三刺激值。
 - (b) 以三刺激值色彩計量測三刺激值。
- (2) 色差計算：由在CIE 1976($L^* a^* b^*$)色空間之色座標，計算待測試樣與參比標準塗膜間之顏色差異，亦即明度、彩度及色相之差異，而明度差、彩度差及色相差的平方和，即等於色差之平方；兩顏色之總色差 E_{ab}^* 為其在CIE 1976($L^* a^* b^*$)色空間之位置間的幾何距離。
- (a) 若要量測待測試樣與參比標準間色差，而其色差起因於其著色材料時（例如因暴露於屋外所引起顏料之顏色變化），則須由包括鏡面反射所量測之三刺激值計算($L^* a^* b^*$)色座標。
 - (b) 若欲量測著色材料色差及表面反射之差異所引起之待測試樣及參比標準間色差（例如目視比較顏色時，可約略地感覺色差），($L^* a^* b^*$)色座標須排除鏡面反射量測之。

2. 光澤度測定

- (1) 概述：使用幾何條件 20° 、 60° 或 85° 之反射率計，量測塗膜鏡面光澤度之試驗方法；鏡面光澤度定義為依所規定光源及受光器角度，在鏡面方向之對象所反射之光束，與在鏡面方向之玻璃（折射率1.567）所反射之光束比。
- (a) 幾何條件 60° 可適用於所有塗膜，惟對於非常高光澤度及接近無光澤之塗膜，應採用幾何條件 20° 或 85° 。
 - (b) 幾何條件 20° 為使用較小受光器開口，予以辨別高光澤度塗膜之差異（即幾何條件 60° 之鏡面光澤度大於約70單位時使用）。
 - (c) 幾何條件 85° 為予以辨別低光澤塗膜間之差異（即幾何條件 60° 之鏡面光澤度小於約10單位時使用）。
- (2) 方法：量測前，光澤度計應先行校正；在每一系列之量測後，用高光澤度工作標準件實施查核，以確認校正後並無漂移。

- (a) 塗膜之光澤度量測：針對玻璃板上之待測塗膜，在與塗布方向平行之不同位置讀取3次，讀取值差距小於5單位時，以平均值作為鏡面光澤度，差距5單位以上時，再讀取3個值，報告總共6個值之平均值及全距。玻璃板以外之底材上塗膜的量測，係在互相直角之兩個方向各讀取3個值，共獲得6個讀取值，報告其平均值及全距。
- (b) 底材之光澤度量測：與(a)同樣操作，在表面上之不同部分或不同方向共讀取6個值，並計算其平均值，若相差最大之兩個值間的變動幅度小於10單位或小於平均值之20%，則報告其平均值及全距。否則，該試驗板為無效，需予以丟棄。

(四) 塗膜機械性質

1. 硬度測試

- (1) 概述：將已知硬度之鉛筆在塗膜上推動，以測定塗膜硬度之方法。適用於塗料類單一塗膜或多層塗膜之上層膜。
- (2) 方法：使鉛筆與塗膜面成 45° 夾角，並於筆尖施加750 g載重壓在塗膜面上推動，測定其鉛筆硬度。逐漸增加鉛筆硬度直至塗膜產生刮痕。
- (3) 步驟：於溫度 $23\pm 2^\circ\text{C}$ 及相對濕度 $50\pm 5\%$ 之條件下進行試驗。
 - (a) 自鉛筆前端削除木質部分，使光滑筆心露出5~6 mm，並以砂紙將筆心前端研磨成平整之圓形截面。
 - (b) 將試片置於堅固平坦之水平面，使筆心前端接觸塗膜表面後，以0.5~1 mm/s之速度，推進至少7 mm之距離。
 - (c) 以目視檢查塗膜是否產生刮痕。若未產生刮痕，提高鉛筆硬度反覆施行試驗，直至產生長度至少3 mm之刮痕，惟試驗部位不得重疊。若已產生刮痕，降低鉛筆硬度反覆施行試驗，直至不再產生刮痕。不使塗膜產生刮痕之最硬鉛筆硬度為所謂之鉛筆硬度。
 - (d) 施行本試驗兩次。若兩次之結果相差1個鉛筆硬度單位以上時，則應予以捨棄並重新試驗。

2. 附著性試驗

- (1) 概述：以方格圖形切割並貫穿塗膜至底材時，評定塗膜自底材剝離之抵抗性的試驗方法。
- (2) 方法：塗膜上之方格圖案各方向切割數為6條，方格上貼以透明感壓性黏膠帶後，撕開膠帶以檢測塗膜之剝離抵抗性。於試片上至少3處不同位置施予試驗。若結果相差超過1級時，另外在3處以上不同位置反覆實施試驗，必要時使用不同試片。
- (3) 步驟：於溫度 $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ 及相對濕度 $50\pm 5\%$ 之條件下進行試驗。
 - (a) 放置試片於堅硬之平坦面上，以固定切割速率在塗膜上製作協議數目之切割。所有之切割應貫穿至底材表面。
 - (b) 於切割痕之垂直方向製作相同數目之平行切割，形成方格圖案。
 - (c) 切取黏膠帶約75 mm長，將黏膠帶中心以平行於切割方向置於方格上，並至少超過20 mm之長度，以手指使黏膠帶貼平。
 - (d) 黏膠帶黏著約5分鐘，以約 60° 角抓住膠帶端，在0.5~1.0秒內撕開。
 - (e) 以表3-2所示之分級記錄結果。

表 3-2 附著試驗結果分級

| 級別 | 說明 | 產生剝落之交叉切割部分表面狀態(6種互行切割之示例) |
|----|--|---|
| 0 | 切割端部完全平滑，無任何剝離。 | — |
| 1 | 在切割交叉點之處有小薄片剝離。 交叉切割部分所受之影響不太於5%。 |  |
| 2 | 沿切割端部及/或在切割交叉點，有塗膜剝落。 交叉切割部分所受之影響明顯大於5%，但不太於15%。 |  |
| 3 | 沿切割端部塗膜產生一部分或全部之大剝落，及/或在不同小方格有部分或全部之塗膜剝落。交叉切割部分所受之影響明顯大於15%，但不太於35%。 |  |
| 4 | 沿切割端部塗膜產生大剝落及/或若干小方格產生一部分或全部剝落。交叉切割部分所受之影響明顯大於35%。 |  |
| 5 | 甚至於以第4級法分類之任何剝落程度。 | — |

(資料來源：CNS 15200-5-6)

3. 耐洗刷性試驗

(1) 概述：規定塗膜耐擦洗性之加速試驗方法。而有關塗膜之洗淨性，僅規定其試驗方法而未規定沾污劑。本標準依據限定之底材、一定之塗布方法，規定乾燥條件及明確定義刷洗方法。

(2) 方法：

(a) 耐擦洗性：使用施膜器以規定縫隙間隔塗布待測塗料於試驗板。在乾燥及狀態調節之後，將塗布試驗板秤重並以擦洗試驗裝置施予200週期之擦洗。然後予以洗滌、乾燥並秤重以測定質量損失，再算出塗膜厚度平均損失量，即可評定塗膜之耐擦洗性等級。

(b) 耐洗淨性：為了洗淨性之測定，塗布沾污劑於同樣製備之試片。使所規定之沾污劑與塗膜接觸之情形下放置規定時間。然後對塗布並沾污之試片實施200週期之擦洗。目視已將所塗布之沾污劑去除且塗膜為耐擦洗性時，可稱該塗膜對所使用沾污劑為可洗淨。

(五) 塗膜化學性質

1. 耐液體性

(1) 概述：規定塗料之單一塗膜或多層塗膜系，對水以外之液體或糊狀製品（統稱為試驗液）之抵抗性的一般測定方法。可測定試驗液對塗膜之影響，且可評定對底材之損害。

(2) 方法：將塗裝試片浸漬於試驗液中之一定時間並使其暴露，依當事人協議評定暴露結果。除另有協議外，應使用一種以上之試驗液，並實施本試驗2次。

(3) 評定：

(a) 試驗期終了後，以流水清洗試片，並立即評定試片與試驗液接觸之部份，是否有起泡及任何可視變化之等級。

(b) 使試片在乾燥條件下平衡24小時後，再評定暴露表面。

(c) 可實施試片之暴露及未暴露部份的進一步試驗，例如附著性試驗、

硬度試驗等。

2. 耐水性

- (1) 概述：規定以部分或完全浸漬法，測定塗料之單一塗膜或多層塗膜對水作用的抵抗性。可測定水對塗膜之影響，且可評定對底材之損害。
- (2) 方法：將塗裝試片浸漬於水（視塗膜使用情形，亦可使用海水）中之一定時間，水溫維持在 $40\pm 1^{\circ}\text{C}$ ，依當事人協議評定浸漬之影響。除另有協議外，實施本試驗2次。
- (3) 評定：
 - (a) 試驗期間中，若有中間檢查的規定，在適當時期由浸漬槽取出各個試片，以吸水紙將試片水分吸乾。在1分鐘以內，檢查試片之起泡或其他損傷，檢查後立即將試片歸還浸漬槽內。
 - (b) 試驗期終了後，由浸漬槽取出各試片，以吸水紙將試片水分吸乾，乾燥1分鐘後，檢查各試片之整個試驗表面的起泡或其他塗膜損傷狀態。亦可在此階段實施附著力之評定。
 - (c) 於室溫下，將試片放置24小時，並再檢查試驗表面之附著性降低、生銹所引起之污染、顏色變化、脆化或所規定之其他特性。
 - (d) 若有規定，以非腐蝕性塗料剝離劑自試片小心剝離150 mm×50 mm之塗膜，並檢查金屬面腐蝕程度。。

(六) 塗膜之長期耐久性(CNS 11607)

1. 耐鹽水噴霧試驗

- (1) 概述：將試片置於鹽水噴霧試驗裝置內，保持所規定之時間，以目視檢查塗膜受鹽水噴霧作用後，有無發生銹污及塗膜之膨脹、剝離等現象。
- (2) 方法：
 - (a) 以美工刀刀尖於塗膜上刻劃2條交叉線，刻痕深度達試驗板底材。
 - (b) 鹽水噴霧之條件設定如下表所示。

| 項 目 | 條 件 |
|--------------|--------------------------------------|
| 試驗槽內之溫度 | 35±1°C |
| 試驗槽內之相對濕度 | 99~98% |
| 加濕器之溫度 | 47±1°C |
| 鹽水濃度(35°C) | 5±0.5 W/V% |
| 噴霧用空氣壓力 | 0.098±0.002 Mpa |
| 收集鹽水霧所得溶液量 | 1.0~2.0 mL/h (於 80 cm ²) |
| 收集鹽水霧所得溶液 pH | 6.5~7.2 (33~35°C) |
| 收集鹽水霧所得溶液密度 | 1.022~1.036 (35°C) |

2. 耐濕性

(1) 概述：將試片置於恆溫恆濕箱中，維持一定之溫度與相對濕度，經過規定時間後，觀察塗膜有無皺紋、膨脹、龜裂、剝離等現象，以及有無霧化、白化及變色等。

(2) 方法：

(a) 將試片置於恆溫恆濕箱中，恆溫恆濕箱之溫度維持在50±2°C、相對濕度為95%以上，並應防止結露現象發生。

(b) 經試驗規定時間後，取出試片立即與原狀試片比對，檢查塗膜有無皺紋、膨脹、龜裂、剝離等現象。

(c) 試片靜置於室內2小時後，再與原狀試片比對，檢查塗膜有無霧化、白化及變色等現象。

3. 粉化度

(1) 概述：將施以耐光性、加速耐候性、耐候性等試驗而粉化的塗膜試樣，用濕潤的印相紙以一定之載重加壓於塗膜面，評定印相紙由粉化塗膜粉受污染之程度。

(2) 方法：

(a) 將印相紙浸漬於水中約15分鐘後取出，以紗布輕壓吸收紙面水份。

- (b) 將印相紙黑面朝下覆蓋在塗模試樣上，並將粉化度試驗器置於印相紙上垂直施壓196 N之載重約5秒鐘。
- (c) 移除試驗器及印相紙，利用下圖以目視評定印相紙污染程度。



4. 加速耐候性

- (1) 概述：使用碳弧燈或氙弧燈光照射在室外用塗膜上進行加速耐候性試驗，並以一定時間間隔對試樣噴水霧，經過規定時間後，取出塗膜試樣與參比標準進行比對檢查。
- (2) 評定：總計照射時間達試樣產品標準所規定的時間後，取下試片靜置1小時後，對試樣及參比標準之個別試片與原狀試片，施行試樣產品標準所規定之項目的試驗，檢查由光照射的塗面變化程度。

5. 耐候性

- (1) 概述：將塗膜試樣與參比樣品置於試驗架上進行戶外曝露試驗，以檢測自然環境對塗膜之影響。試驗期間，依一定時間間隔觀查塗膜並施行試驗，紀錄塗膜變化及試驗結果。
- (2) 方法：
 - (a) 戶外曝露試驗場需無妨礙日光直射、通風、降雨等情形，年平均日照時間為2000小時以上，年平均日射量4000 MJ/m²。
 - (b) 試驗期間，應依一定時間間隔觀查塗膜並施行必要之試驗，評定方法包括目視評定及數值評定，評定項目包括顏色、光澤之變化，龜裂、剝離、膨脹、粉化等大小程度。

第二節 奈米塗料特性驗證標準

奈米標章對奈米塗料相關之驗證標準，主要重點為產品的奈米性、功能性及其他要求等三部份，其中奈米性在確認材料是否為奈米技術產品，功能性在檢驗產品是否有增加新功能或增強原有功能，其他要求則包括產品安全及耐久性等之產業一般要求。

一、奈米性

奈米性試驗主要在檢測產品是否符合驗證標準奈米性之要求，即其奈米之粒徑尺度需小於 100 nm，或具有奈米結構者。檢測材料奈米尺度之儀器設備有許多種類，主要包括：掃描式電子顯微鏡(Scanning Electron Microscope, SEM)/能量散射光譜儀(Energy Dispersive Spectrometer, EDS)、光子相關法(Photon Correlation Spectroscopy)、穿透式電子顯微鏡(Transmission Electron Microscope, TEM)。

(一) 掃描式電子顯微鏡(SEM)/能量散射光譜儀(EDS)

1. 概述：電子顯微鏡主要是利用高加速電壓之入射電子束打擊在試片後，產生相關二次訊號來分析各種特性，這些訊號由檢測器接收，經放大器放大後，送到顯像管上成像，可藉此量測、分析奈米材料粒徑大小、分布及型態等特性，並可廣泛應用於粒徑分布從數奈米至數微米大小的材質。EDS 的機制則是當原子的內層電子受到外來能量(如電子束等)的激發而脫離原子時，原子的外層電子將很快的遷降至內層電洞，並釋放出兩能階差能量。被釋出的能量可能以 X 光的形式釋出，或者轉而激發另一外層電子，使其脫離原子。由於各元素之能階差不同，因此分析此 X 光的能量或波長即可鑑定試樣的組成元素。

2. 操作說明：

- (1) 將試樣裁切成適當大小，以導電碳膠固定於樣品座，表面鍍導電層後

進行分析。

- (2) 本檢測法為乾式量測法，毋須浸泡於溶液中。
- (3) 系統須抽真空，易污染真空室者，應作特殊處理。
- (4) 檢測設備須使用具追溯性的標準樣本先行驗證，以確認檢測設備的準確性。

3. 參考規範：

- (1) ISO 16700:2004(E) Microbeam Analysis — Scanning Electron Microscopy – Guidelines for Calibrating Image Magnification
- (2) ISO 22309:2006 : Microbeam Analysis — Quantitative Analysis Using Energy - Dispersive Spectrometry (EDS)

(二) 光子相關法

1. 概述：本檢測法又稱為動態光散射法(Dynamic Light Scattering, DLS)或準彈性光散射法(Quasi-Elastic Light Scattering, QELS), 為目前最常用的奈米級粒徑量測方法之一。本檢測法可快速的提供試樣平均粒徑尺寸與粒徑分布的資訊，同時軟硬體設備建置成本相對較低，已有多種商用機型可供選擇，量測範圍從 1 nm 至 5,000 nm。
2. 操作說明：
 - (1) 本檢測法為濕式量測法，樣本約為0.01~10%濃度的溶液，置於1 cm × 1 cm的方形檢測槽內。
 - (2) 測定溫度須控制在±0.3°C以內。
 - (3) 測試前須使用0.2 μm的過濾器過濾後再進行檢測。
 - (4) 檢測時須註明浸泡溶液的種類、黏度與折射率。
 - (5) 檢測設備須使用具追溯性的標準樣本先行驗證，以確認檢測設備的準確性。
3. 參考規範：ISO 13321:1996 Particle Size Analysis - Photon Correlation Spectroscopy

(三) 穿透式電子顯微鏡(TEM)

1. 概述：量測原理乃利用高能量的電子(200 keV)與樣品產生交互作用，而獲得樣品的微結構影像。在其基本成像原理中，低、中倍率(倍率範圍為 2,500X ~ 150 kX)主要是利用穿透式電子束成像，因而形成明視野像，此種影像主要源自於振幅對比。而高倍電子顯微影像成像(倍率範圍為 200 kX ~ 1.0 MX)則是利用穿透電子束與繞射電子束交互干涉而成週期性條紋或晶格影像，其成像原理來自於各電子束間的相位差，所產生的對比稱為相位對比。

2. 操作說明：

- (1) 試樣須先經過前處理，製備成厚度小於150 nm之薄片，之後須放置在 3 mm TEM用之碳膜銅網上，以利於穿透式電子顯微鏡之觀察。
- (2) 實驗室環境條件須達到溫度 $20\pm 1^{\circ}\text{C}$ 、相對濕度為 $50\pm 10\%$ 。
- (3) 若試樣導電性不佳，可將試樣表面鍍金，以增加系統的判讀性。
- (4) 檢測設備須使用具追溯性的標準樣本先行驗證，以確認檢測設備的準確性。

二、功能性

目前奈米標章針對奈米塗料之功能性驗證標準，主要為抗污性、自潔性、耐久性、耐蝕性等，相關之檢驗項目說明如下。

(一) 污染殘留試驗

1. 試驗準備與試片製作：

- (1) 將污染劑（苯胺紅色料）調製成重量百分比1/10000濃度之水溶液。
- (2) 試片應從產品本身選取或以相同材質、工序製作而成，相同基材試片經奈米處理與未經奈米處理之 5×5 cm試片各三個。
- (3) 試片先以清水沖洗乾淨，放入烘箱中以 $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ 烘乾40分鐘後，取出試片於室溫中冷卻備用。

2. 操作說明：

- (1) 將每一試片垂直置於紅墨水溶液中，立刻取出，離開液面後垂直乾燥10秒。
- (2) 檢視紅墨水污染殘留附著面積之比例。

(二) 水滴接觸角量測

1. 試驗準備與試片製作：

- (1) 實驗室環境條件為溫度 $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ ，相對濕度 $50\pm 10\%$ 。
- (2) 提供經奈米處理與未經奈米處理之相同基材試片，切取適當尺寸大小之試片各三個。
- (3) 將試片以蒸餾水洗淨，或用酒精、丙酮和超音波洗淨器等合併使用，確保試片表面之清潔，之後將試片於標準狀態下乾燥24小時。

2. 操作說明：

- (1) 將已乾燥的試片置放於接觸角量測儀器之樣品台，並將蒸餾水液滴滴落於試片上，量測水滴切線與試片間的夾角(即接觸角)大小。
- (2) 在已乾燥的試片中，各量測五點的接觸角，求取平均值。

(三) 表面光澤度測試

1. 試驗準備與試片製作：

- (1) 光澤度計須符合CNS 7773第5.3節之要求。
- (2) 測量光澤度所須之條件應符合CNS 7773第5.3節方法2之要求。
- (3) 鏡面光澤度之標準面應符合CNS 7773第5.4節規定之要求。
- (4) 光澤度係以 60° 角測得之鏡面光澤度，其方法原理參照CNS 7773第5.2節之方法2。

2. 操作說明：

- (1) 啟動光澤度計，並使用拭紙擦拭標準面，使其表面無髒污或波紋。
- (2) 光澤度計預熱完成後，將光澤度計量測口緊貼於標準面，進行光澤度

計標準值校正。

- (3) 用拭紙擦拭試樣表面，依標示位置進行光澤度量測，每片試樣量測5點。量測時，光澤度計須平貼試樣表面。
- (4) 計算所有測量值的平均值。

(四) 百格黏帶密著性試驗

1. 試驗準備與試片製作：

- (1) 參考CNS 10757 [塗料一般檢驗法(有關塗料之物理、化學抗性之試驗法)]第6.2節方格黏帶法。
- (2) 試片尺寸為80 mm × 60 mm至150 mm × 70 mm，厚度為0.4 mm至1.0 mm。

2. 操作說明：

- (1) 利用導切規與切割刀，將試片中央處切割成100個方格。切割時，切割刀必須貫穿塗層至基材。
- (2) 將黏膠帶黏貼於方格上，長約50 mm，並以橡皮擦輕輕擦拭，使膠帶完全黏貼於塗膜上。
- (3) 膠帶黏貼後約1~2分鐘，將膠帶一端保持與塗面垂直，然後瞬間撕開。
- (4) 觀察試片塗面之方格狀態，進行評點；如屬多層膜，且有剝離現象，應記錄其剝落層。

第三節 耐久耐候試驗方法

為期本所材料實驗中心之儀器設備能妥善、有效且正確運作，本節綜整國內外有關加速劣化試驗標準之建議方法，將材料實驗中心可執行之加速劣化試驗方法彙整如下：

一、鹽霧複合耐候試驗機

(一) CNS 8886 鹽水噴霧試驗法

1. 適用範圍：金屬材料或施以表面被覆、表面改質之金屬材料之耐蝕性試驗。其中表面被覆如電鍍、熱浸鍍鋅、塗漆等；表面改質如滲碳、滲氮、表面合金化、離子植入等。
2. 試驗方法：中性鹽水噴霧試驗(濃度 5%鹽液，pH=6.5~7.2)
醋酸鹽水噴霧試驗(濃度 5%鹽液，pH=3.1~3.3)
含銅加速醋酸鹽水噴霧試驗(濃度 5%鹽液 1 公升 + 0.205 公克氯化亞銅，pH=3.1~3.3)。

(二) ASTM B117 Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus

1. 適用範圍：利用鹽霧機噴霧室所設定之腐蝕環境條件，獲取金屬及具被覆層金屬試體之耐蝕性資料。單獨使用鹽水噴霧試驗所得之結果無法預測該材料於自然環境中之耐蝕性能。
2. 試驗方法：中性鹽水噴霧試驗(濃度 5%鹽液，pH=6.5~7.2)。

(三) ASTM G85 Standard Practice for Modified Salt Spray (Fog) Testing

1. 適用範圍：提供與一般鹽水噴霧試驗不同或更惡劣之腐蝕環境條件，進行含鐵與非鐵金屬，以及具有機或無機被覆層材料之耐蝕性試驗。
2. 試驗方法：A1 - 醋酸鹽水噴霧試驗(濃度 5%鹽液，pH=3.1~3.3)
A2 - 循環醋酸鹽水噴霧試驗(濃度 5%鹽液，pH=2.8~3.0)，
0.75 小時噴霧→2 小時氣乾→3.25 小時高濕環境；週期循環。
A3 - 循環酸性海水噴霧試驗(濃度 2.6%海水鹽液，
pH=2.8~3.0)，0.5 小時噴霧→1.5 小時高濕環境；週期循環。
A4 - 二氧化硫(SO₂)與鹽水噴霧複合試驗(濃度 5%鹽液，

pH=2.5~3.2), 5 小時噴霧→1 小時噴霧 + SO₂; 週期循環, 或, 0.5 小時噴霧→0.5 小時 SO₂→2 小時高濕環境; 週期循環。

A5 - 稀釋電解液循環噴霧試驗(0.05%氯化鈉 + 0.35%硫酸銨, pH=5.0~5.4), 1 小時噴霧→1 小時乾燥; 週期循環。

二、氙弧燈式日光模擬試驗機

(一) CNS 11232 氙弧燈式耐光性及耐候性試驗器

1. 適用範圍：適用於為測試各種工業材料及製品之耐光性及耐候性，所用之氙弧燈式耐光性及耐候性試驗器。

(二) ASTM D6695 Standard Practice for Xenon-Arc Exposures of Paint and Related Coatings

1. 適用範圍：利用氙弧燈設備之加速暴露試驗，獲取油漆及被覆層材料等對於日光、熱及潮氣等環境之耐劣化性資料。
2. 試驗方法：Cycle 1 - 102 分鐘照射 18 分鐘照射 + 水霧；週期循環。
Cycle 2 - 18 小時照射(102 分鐘照射 18 分鐘照射 + 水霧)
6 小時黑暗；週期循環。
Cycle 3 - 4 小時照射 4 小時黑暗 + 水霧；週期循環。
Cycle 4 - 12 小時照射 12 小時黑暗 + 水霧；週期循環。
Cycle 5 - 8 小時照射 10 小時照射 + 水霧 6 小時黑暗 + 水霧；週期循環。
Cycle 6 - 40 分鐘照射 20 分鐘照射 + 水霧 60 分鐘照射
60 分鐘黑暗；週期循環。
Cycle 7 - 3.8 小時照射 1 小時黑暗；週期循環。

(三) ASTM D5894 Standard Practice for Cyclic Salt Fog/UV Exposure of Painted Metal, (Alternating Exposures in a Fog/Dry Cabinet

and a UV/Condensation Cabinet)

1. 適用範圍：利用交替週期性的暴露於 UV 箱及鹽霧機，獲取金屬塗料對於 UV 光、乾濕循環、溫度循環、腐蝕性大氣等環境之耐劣化性資料。任何單一的加速曝曬試驗皆無法代表戶外自然曝曬環境。
2. 試驗方法：1 週置放於 UV 箱(UVA-340 燈泡，4 小時 UV 照射 4 小時冷凝)，1 週置放於鹽霧機(0.05%氯化鈉 + 0.35%硫酸銨，1 小時噴霧→1 小時乾燥)；週期循環。

第四章 奈米塗料耐久耐候性能試驗規劃

本研究除蒐集與瞭解市售奈米塗料之奈米性與功能性外，並配合本所材料實驗中心目前已建置完成之儀器設備，利用加速劣化試驗及戶外曝曬試驗，探討奈米塗料塗模在經過長期外在天候環境外力作用後，其原有之功能性產生多少變化，藉此瞭解奈米塗料之耐久耐候性能，並初步探討奈米塗料耐久耐候性能評估基準，同時也為實驗室認證預做準備。

第一節 市售奈米塗料概況

自奈米議題延燒以來，許多產品冠上「奈米」二字，似乎即成為高科技、高品質的象徵，奈米塗料也不例外，因此經濟部工業局著手推動「奈米標章」制度，目的即在確保奈米產品之品質與形象。然而，奈米標章實施以來，與塗料相關之驗證規範已制定三項，而獲得奈米標章的產品僅有 4 件，包括木質防火塗料及光觸媒脫臭塗料，而市面上多數標榜奈米塗料之產品，皆尚未能取得奈米標章，原因之一應為驗證規範尚未完備，許多塗料功能性尚未建立評估標準。

本節彙整、介紹國內目前通路可尋獲且標榜奈米塗料之產品，其中產品描述與特性係依據各該產品之網站資訊或簡介中節錄，純供參考。本研究將針對其功能性選取數項產品做為本研究耐候性試驗之塗料樣品，選取之塗料樣品將以 A、B、C 等代號表示。

一、X 寶奈米水性環保塗料

產品描述與特性：(1)適用於混凝土、磚石、矽酸鈣板等之內外牆面；(2)水性、無毒、環保；(3)耐燃、耐高溫、隔熱效果佳；(4)防潮、防黴、防苔蘚；(5)耐久耐候性佳；(6)耐污染、易刷洗；(7)塗膜不變色、不脫落；(8)滲透性優異、可強固構造表面、保護鋼筋。

二、荷 X 王硅樹脂外牆塗料

產品描述與特性：來自大自然荷葉的靈感，具荷葉般「出淤泥而不染」的自潔效果，讓外牆長久下保持如新，具有極佳抗污自潔、耐候、防水、透氣、防霉效果，可應用至新建建物、舊建物外牆翻新(外牆拉皮)及外牆節能系統，讓牆體更具有抗裂性及耐衝撞性。

三、金 X 猴奈米系列塗料

1. 超抗污彈性透明面漆

產品描述與特性：引進國外專利原料，具有超強的抗污性與耐候性，對於各種底材，如彈性防水層、砂岩、壓克力耐磨地坪等，有良好的接著性與超強的耐污性，非常適合做為室外的面漆。

2. 水性無機環保抗污奈麗漆

產品描述與特性：(1)耐候性、附著性佳，持久耐用，適用於各類材質；(2)防潮、防霉，永保如新；(3)耐污染、易刷洗；(4)防霉、保潔、無毒性揮發；(5)水性、無毒、不含有機揮發物質，不會對人體產生損害；(6)無閃火點、不具引火危險。

四、N 牌奈米水性塗料

產品描述與特性：(1)防水性佳，可保護混凝土及木材等之腐蝕與劣化；(2)撥水性佳，可阻斷水分侵入；(3)安全性高，不會產生 VOC 與甲醛類氣體；(4)耐候性佳，不易變形、變色、劣化；(5)接著性佳，不需底漆，能夠塗佈於所有素材；(6)塗模高硬度且堅韌；(7)耐熱性佳；(8)低污染性；(9)具防霉、防銹、耐鹽水噴霧性。

五、隔熱防水奈米 3 合 1 塗料

產品描述與特性：(1)安全，無重金屬及有毒物質；(2)隔熱、遮熱性佳；(3)減音，可有效降低音量，提供室內更安靜的空間；(4)防水率極高，減少屋

內滲水機會且提升建築物使用壽命；(5)奈米原料之天然耐久性，適合各種氣候環境使用。

六、奈米透明隔熱塗料

產品描述與特性：為環保水性塗料，具有高度隔熱、長時間保溫、透明度高、高度防紫外線等效能，可廣泛應用於玻璃材料。塗層具有極佳的耐水性，較高的表面硬度，超強附著力，良好耐酸鹼性、耐鹽霧、抗潮濕黴變、耐溫差性、耐候性。

七、冰 X 漆

產品描述與特性：(1)高效斷熱，有效降低室內溫度；(2)環保無毒，不會對人體及環境造成負擔；(3)耐候性佳，持久有效；(4)防水抗蝕，形成保護層，保護物體不受侵蝕；(5)具彈性及韌性，適用於金屬、石材、木材、塑膠等多種材質。

八、明星奈米環保面漆

產品描述與特性：(1)耐水性及耐鹽水性優良；(2)耐磨耗及耐水洗性良好；(3)耐酸鹼性優良；(4)硬度佳、耐候性佳、不易粉化；(5)殺菌性卓越顯著；(6)經光觸媒作用後可分解有機物，達到淨化空氣脫臭效果；(7)經日光燈、紫外線光照射，可分解有機污物，達到自潔效果；(8)低甲醛、低 TVOC 含量，不危害人體健康。

第二節 試驗項目與試驗規劃

基於本所材料實驗中心現有與塗料檢測相關之實驗設備，可執行塗料之分析項目包括奈米性、接觸角、光澤度、色差、附著性等，劣化設備則包括鹽霧試驗機、氙弧燈式耐候試驗機、以及南北兩處戶外曝曬架。本節據此設備設置現況，

針對室外型奈米塗料之耐久耐候性實驗進行實驗規劃，藉由戶外曝曬與加速劣化試驗探討各項劣化過程對奈米塗料性能之影響，並期望能整合試驗過程的各種經驗，研擬奈米塗料奈米性、功能性及耐候性試驗之標準作業程序，做為本所材料實驗中心實驗室認證之技術文件。

一、基材規劃

本研究以常見之建築材料做為塗料之基材，包括金屬材料(碳鋼)、水泥質材料(水泥砂漿)及玻璃材料等，由於本研究並非以基材保護為重點，亦非探討基材材質之變數，而係以塗料本身耐久耐候能力為探討目標，因此基材之選用將僅考量其與塗料之匹配性。

1. 碳鋼基材：採用 A36 一般結構用碳鋼，試片尺寸為 150×70×3mm。
2. 水泥砂漿基材：考量鋼筋混凝土建築物大多以水泥砂漿抹平後才進行塗裝作業，因此水泥質材料以水泥砂漿為代表，並將以市售調配好之水泥砂漿乾料直接加水製作試片，試片尺寸為 150×70×6mm。
3. 玻璃基材：採用一般清玻璃，試片尺寸為 150×70×3mm。

二、塗料規劃

由前節所尋獲標榜奈米塗料之產品中發現，其產品功能性多強調耐久耐候性、防污自潔性、附著性、防水性、隔熱性、防霉、硬度等。本研究將選取 3~5 種市售奈米塗料進行探討。另外，市面上亦有多種塗料產品具有上述之功能，因此亦將選取 1~2 種一般塗料進行比對，藉此可瞭解「奈米」技術或材料是否提升塗料之功能性，亦可建立評估奈米塗料之指標。

三、劣化試驗規劃

我國 CNS 11607 中規定了許多塗膜硬固後的耐久耐候性試驗，包括耐鹽水噴霧試驗、耐濕性試驗（50% RH；RH > 95%）、耐乾與濕冷熱反覆性試驗、加速黃色度試驗、評估塗膜牢固性質的粉化度試驗、探討塗膜光變性質的耐光性試驗、

利用氬弧燈或碳弧燈照射的加速耐候性試驗、以及自然曝曬耐候性試驗等。其中最常使用於評估塗膜耐久耐候性質的試驗方法為耐鹽水噴霧試驗、加速耐候性試驗、及自然曝曬耐候性試驗。本研究亦由這三種劣化試驗過程進行塗料之耐久耐候性能評估，試驗規劃如下：

1. 耐鹽水噴霧試驗：

- (1) 目的：評估試片在受鹽水噴霧作用之劣化過程中，塗膜對基材之保護能力，觀察試片表面有無發生銹污及塗膜膨脹、剝離等現象。
- (2) 劣化期程：約 1000 小時。

2. 加速耐候性試驗：

- (1) 目的：評估試片在模擬日光之氬弧燈光源照射及噴水霧之劣化過程中，塗膜性質之變化，並與參比標準進行比對檢查。
- (2) 劣化期程：約 2000 小時。

3. 戶外自然曝曬試驗：

- (1) 目的：評估自然環境(包括日照、降雨、鹽分、溫度、溼度等)對塗膜之影響。曝曬地點為台北景美及台南歸仁，曝曬期間，依一定時間間隔觀查塗膜並進行檢測，紀錄塗膜變化及檢測結果。
- (2) 劣化期程：10 個月以上。

四、評估項目規劃

本研究目的係利用加速劣化試驗及戶外曝曬試驗，探討奈米塗料塗膜在經過長期外在天候環境外力作用後，其原有之功能性產生多少變化，藉此瞭解功能性奈米塗料之耐久耐候性能，並初步探討奈米塗料耐久耐候性能評估基準。目前國內奈米標章針對塗料所訂定之驗證規範，包括奈米性、脫臭功能、抗污(防污)功能、親水性、耐燃功能、附著性、硬度、耐刷洗性、鹵素含量、耐候性等，本案依據本所材料實驗中心現階段可執行之檢測與驗證項目，針對其劣化前後之性能指標進行探討，內容將包括：

1. 奈米性：利用微觀量測，評估奈米塗料是否為奈米技術產品，亦即塗料塗膜表面結構任一維尺度需小於 100nm。
2. 功能性：
 - (1) 防污自潔性：利用接觸角量測，評估塗料塗膜表面是否具有蓮花效應，能藉由雨水將塗膜表面髒污帶走，達到自我潔淨效果。
 - (2) 親水性：利用紫外線照射及接觸角量測，檢驗塗料塗膜表面之親水化時間，藉以評估其親水能力。
 - (3) 附著性：利用百格刀及感壓性膠帶，評估塗料塗膜自基材剝離之抵抗性。
 - (4) 硬度：利用已知硬度之鉛筆在塗膜上推動，評估塗料塗膜之硬度。
 - (5) 隔熱效能：利用白熾燈泡及熱耦線，量測試件正、背面之溫度，評估塗料塗膜之隔熱效果。
 - (6) 老化：利用光澤度計、色差計等設備，量測比較劣化前後之差異，藉以評估塗料塗膜之抗老化性能。

五、試片規劃

本案試片依據基材種類、塗料種類、劣化試驗等進行編號。試片編號之第一位數字為基材種類，以 S 代表碳鋼試片，M 為水泥砂漿試片，G 為玻璃試片；第二位數字為劣化試驗方法，以 S 代表耐鹽水噴霧試驗，X 為加速耐候性試驗，O 為戶外自然曝曬試驗；第三位數字為塗料種類，以 A、B、C 編碼；最後的數字則為試片序號(數量)。表 4-1 依據評估項目需求，彙整統計本研究所需之試片編號與數量。

表 4-1 試片規劃與編號

| 評估項目 | 碳鋼試片 | 水泥砂漿試片 | 玻璃試片 |
|-------|----------------------------|----------------------------|--------------------|
| 奈米性 | - | MS 1~6 MX 1~9 MO 1~4 | - |
| 防污自潔性 | SS 1~3 SX 1~3 SO 1~3 | MS 1~3 MX 1~3 MO 1~3 | GS 1~3 |
| 隔熱效能 | | | GX 1~3 |
| 老化 | | | GO 1~3 |
| 親水性 | | | |
| 附著性 | SS 1~12 SX 1~18 | MS 1~12 MX 1~18 | GS 1~12 GX 1~18 |
| 硬度 | SO 1~8 | MO 1~8 | GO 1~8 |

(資料來源：本研究整理)

第三節 試驗方法綜整

綜合前述相關之試驗標準與驗證規範，本研究擬採用之劣化程序、檢測項目與方法說明如下。

一、劣化程序

(一) 加速耐候性試驗

1. 試驗設備：氙弧燈式耐候試驗機 (SUGA, X75SC)
2. 試件處理：
 - (1) 取試件尺寸為 150×70mm；
 - (2) 試件之塗料塗膜依產品標準進行塗裝，試件置於溫度 23 ± 2 、相對溼度 $50\pm 5\%$ 之條件下養護 7 天以上；
 - (3) 每項測試項目所準備之相同試件至少 3 件，其中 1 件做為未劣化之參比試件；

- (4) 試件編碼；
- (5) 以膜厚計量測塗膜厚度。

3. 加速劣化執行程序：

- (1) 依操作手冊檢查試驗機各單元，例如冷卻水、溼度產生器水位、濕球水等。
- (2) 正式試驗前，以照度計校正試驗機之放射照度量測單元，以校驗用黑板溫度計校驗試驗機溫度量測單元。
- (3) 必要時進行噴水水質檢驗。
- (4) 將試件固定於試驗機之樣品架上，待測面朝內；無試件之空間以不銹鋼板封閉。
- (5) 設定試驗條件、週期與總試驗時間：
 - (a) 102 min 照射，照度 $41.5 \pm 2.5 \text{ W/m}^2$ ，黑板溫度 63 ± 2 ，相對溼度 $50 \pm 5\%$ ；
 - (b) 18 min 照射 + 噴水，照度 $41.5 \pm 2.5 \text{ W/m}^2$ ，艙溫 38 ± 2 ；
 - (c) 重複(a)~(b)，循環 9 次(共 18 小時)；
 - (d) 6 小時黑暗，溫度 24 ± 1.5 ，相對溼度 95%；
 - (e) 重複(a)~(d)，循環 80 次，總試驗時間為 1920 小時。
- (6) 每 240 小時取出試件進行檢測。
- (7) 試驗期間因須將試件取出檢測，而檢測後再將試件放回試驗機時，其間斷試驗機運轉時間不得超過 24 小時。

4. 參考標準：ASTM D6695 Standard Practice for Xenon-Arc Exposures of Paint and Related Coatings

(二) 耐鹽水噴霧試驗

- 1. 試驗設備：鹽水噴霧試驗機 (SUGA, CTP-96)
- 2. 試件處理：

- (1) 取試件尺寸為 150×70mm；
- (2) 試件之塗料塗膜依產品標準進行塗裝與養護，試件之切口以石臘保護；
- (3) 以塗料被覆之試件，試驗前不可作洗淨處理，惟應清除附著物或塵埃等；
- (4) 以美工刀刀尖於塗膜上刻劃 2 條交叉線，刻痕深度達試驗板底材；
- (5) 每項測試項目所準備之相同試件至少 3 件，其中 1 件做為未劣化之參比試件；
- (6) 試件編碼；
- (7) 以膜厚計量測塗膜厚度。

3. 加速劣化執行程序：中性鹽水噴霧試驗

- (1) 依操作手冊檢查試驗機各單元，例如冷卻水、鹽水槽水位等。
- (2) 調配鹽液，鹽濃度為 $50\pm 5\text{g/L}$ ，比重為 1.029~1.036(25 時)，pH 值為 6.5~7.2(25±2 時)。
- (3) 正式試驗前，調節噴霧空氣壓力為 $0.098\pm 0.010\text{MPa}$ ，並進行噴霧液取樣，確認取樣面積在 80cm^2 時，噴霧量每小時收集 0.5~1.5mL。
- (4) 將試件放入試驗機中，試件角度與垂直線約為 $20\pm 5^\circ$ ；試件之位置與間隔不得妨礙鹽霧之自由落下；試件滴下之鹽水不可落在其他試件上。
- (5) 設定試驗條件、週期與總試驗時間：連續噴霧，試艙溫度 35 ± 2 ，總試驗時間 1000 小時。
- (6) 每 200 小時取出試件進行檢測，試件取出後乾燥 0.5~1.0 小時，試件若有鹽粒附著，以清水洗淨後乾燥之。

4. 參考標準：CNS 8886 鹽水噴霧試驗法。

(三) 戶外曝曬試驗

1. 試驗設備：開放式曝曬試驗架
2. 試件處理：
 - (1) 取試件尺寸為 150×70mm；
 - (2) 試件之塗料塗膜依產品標準進行塗裝與養護；
 - (3) 每項測試項目所準備之相同試件至少 3 件，其中 1 件做為未劣化之參比試件；
 - (4) 試件編碼；
 - (5) 以膜厚計量測塗膜厚度。
3. 曝曬條件：
 - (1) 曝曬地點為台北市文山區本所材料實驗中心屋頂及台南縣歸仁鄉本所風雨風洞實驗室屋頂。
 - (2) 曝曬架位置距離女兒牆 2m 以上，試件放置以 45 度傾角面對赤道方向，以獲得充分之日照。
 - (3) 試件放置位置與間距需避免造成劣化生成物或含有其物質之雨水滴至另一試件上，並避免雨水由地面回濺至待測試件上。
 - (4) 試件以 Nylon 或 PP 材質之螺絲固定於試驗架上，試件與試驗架間並置放絕緣墊片或夾板。
 - (5) 試驗開始日應為陰天或晴天。
 - (6) 每 3 個月取下試件進行檢測，必要時，試件以清水洗淨後乾燥。
 - (7) 定期記錄曝曬場或其所在地之氣象(可利用曝曬場鄰近之氣象台資訊)，內容包括天氣、氣溫、溼度、降雨量、日照時間及日射量。
4. 參考標準：CNS 11607 塗料一般檢驗法(有關塗膜之長期耐久性之試驗法)

二、檢測項目與方法

(一) 奈米性檢測

1. 檢測設備：掃描試電子顯微鏡 (Hitachi, S-4300 w/ EMAX)
2. 試件處理：
 - (1) 裁取試件尺寸小於 20×20mm；
 - (2) 以導電碳膠帶將試件黏著於樣品台上，清除試片表面塵屑，試件不得有鬆動的粉末或碎屑，並避免以手指直接碰觸試件表面；
 - (3) 將樣品台置入濺鍍機內，在試件上鍍一層白金薄膜協助試件導電；
 - (4) 將樣品台置於樣品座上，量測樣品座及試件總高度，不可超過限制高度。
3. 檢測方法：
 - (1) 依據儀器廠商提供之操作手冊，開啟系統及電腦。
 - (2) 依據儀器廠商提供之操作步驟，將樣品座置入樣品室內。
 - (3) 依據儀器廠商提供之操作程序，進入控制軟體進行影像觀察。
 - (4) 影像觀察步驟：(a)加速電壓設定；(b)影像亮度調整；(c)焦距調整；(d)選擇觀察區域；(e)選擇放大倍率；(f)像差調整；(g)焦距微調；(h)量測奈米尺度；(i)擷取及儲存影像。
4. 參考標準：掃描試電子顯微鏡使用手冊。

(二) 接觸角量測

1. 檢測設備：接觸角計 (FTA188)
2. 試件處理：
 - (1) 以壓縮空氣清除試樣表面之塵埃等；
 - (2) 試樣表面不可直接以手指碰觸或其他會造成表面污染之行為；
 - (3) 必要時，試樣表面以蒸餾水洗淨，置於室溫下乾燥。
3. 檢測方法：
 - (1) 實驗室溫度應控制在 23 ± 2 ，相對溼度應控制在 50%以上。
 - (2) 依據接觸角計廠商所提供之操作指南，設定接觸角計之運作條

件，使用蒸餾水做為測試液體。

- (3) 將試樣置於接觸角計之樣品台上，調整樣品台傾斜度，使試樣表面近似於水平狀態。
- (4) 調整樣品台高度，使試樣表面距離液滴注射針頭約 3mm。
- (5) 擠壓液滴注射管，使液滴量恰由針頭滴落於試樣表面。
- (6) 待液滴於試樣表面穩定後，即以接觸角計之攝影裝置拍攝液滴與試樣接觸之影像，並利用接觸角計之內建軟體量測液滴兩側之接觸角；拍攝影像時應留意焦距，使影像清晰。
- (7) 選取試樣不同測點 3 處，重複步驟(5)~(6)，以各測點量測值之平均值代表該試樣之接觸角。

4. 參考標準：ASTM D7334-08 Standard Practice for Surface Wettability of Coatings, Substrates and Pigments by Advancing Contact Angle Measurement

(三) 附著試驗

1. 檢測設備：百格刮刀及透明感壓性膠帶
2. 試件處理：
 - (1) 以壓縮空氣清除試樣表面之塵埃等；
 - (2) 試樣表面不可直接以手指碰觸或其他會造成表面污染之行為；
 - (3) 必要時，試樣表面以蒸餾水洗淨，置於室溫下乾燥。
 - (4) 塗膜總厚度應小於 250 μ m。
3. 檢測方法：
 - (1) 實驗室溫度應控制在 23 \pm 2 ，相對溼度應控制在 50 \pm 5%以上。
 - (2) 檢查刮刀刀刃狀態。
 - (3) 將試片平放，以百格刮刀在試片表面 3 處不同位置切割出方格網，切割深度須達基材面。
 - (4) 切取約 75mm 長之膠帶，黏貼於方格網上，並超出方格網範圍至

少 20mm，以手指施壓，使其有良好之黏著。

- (5) 黏著後約 5 分鐘，抓住膠帶之一端，以約 60 度角、在 0.5~1.0 秒內將膠帶拉開。
- (6) 保留撕下的膠帶(例如黏在透明紙上)，做為參照比對之用。
- (7) 依方格網剝離程度評定等級。

4. 參考標準：

- (1) CNS 15200-5-6 塗料一般試驗法 - 第 5-6 部：塗膜機械性質：附著試驗(方格法)
- (2) ASTM D3359 Standard Test Methods for Measuring Adhesion by Tape Test

(四) 硬度試驗

1. 檢測設備：鉛筆硬度計

2. 試件處理：

- (1) 以壓縮空氣清除試樣表面之塵埃等；
- (2) 試樣表面不可直接以手指碰觸或其他會造成表面污染之行為；
- (3) 必要時，試樣表面以蒸餾水洗淨，置於室溫下乾燥。

3. 檢測方法：

- (1) 實驗室溫度應控制在 23 ± 2 ，相對溼度應控制在 $50\pm 5\%$ 以上。
- (2) 削除鉛筆前端木質部分，使筆芯露出 5~6mm。
- (3) 將鉛筆以 90 度角在砂紙上研磨，使筆芯端部平整。
- (4) 將試片平放，並將鉛筆置入試驗儀，使筆芯前端接觸試件表面後，以 0.5~1.0mm/s 之速度推進至少 7mm 之距離。
- (5) 以目視檢查是否有刮痕產生。
 - (6-1) 若無刮痕產生，提高鉛筆硬度，重複(2)~(5)，直至產生長度至少 3mm 之刮痕，但試驗位置不可重疊。
 - (6-2) 若有刮痕產生，降低鉛筆硬度，重複(2)~(5)，直至不產生刮痕。

(7) 不使塗膜產生刮痕之最硬鉛筆硬度為該試片之鉛筆硬度。

4. 參考標準：

(1) CNS 15200-5-4 塗料一般試驗法 - 第 5-4 部：塗膜機械性質：刮痕
硬度(鉛筆法)

(2) ASTM D3363 Standard Test Method for Film Hardness by Pencil Test

(五) 光澤度分析

1. 檢測設備：光澤度計 (BYK, micro-gloss 60°)

2. 試件處理：

(1) 以壓縮空氣清除試樣表面之塵埃等；

(2) 試樣表面不可直接以手指碰觸或其他會造成表面污染之行為；

(3) 必要時，試樣表面以蒸餾水洗淨，置於室溫下乾燥。

3. 檢測方法：

(1) 以標準片執行校正作業。

(2) 將試件平放、置於光澤度計下，塗膜之塗佈方向應與光澤度計光源同方向。

(3) 於試件之不同位置讀取 3 次讀數，讀值差距小於 5 單位時，取其平均值為該試件之鏡面光澤度；讀值差距在 5 單位以上時，再於不同位置讀取 3 次讀數，取 6 次平均值為該試件之鏡面光澤度。

4. 參考標準：

(1) CNS 15200-4-6 塗料一般試驗法 - 第 4-6 部：塗膜視覺特性：鏡面
光澤度

(2) ASTM D523 Standard Test Method for Specular Gloss

(六) 色差分析

1. 檢測設備：色差計 (SUGA, SM-T) - 分光測光儀

2. 試件處理：

(1) 以壓縮空氣清除試樣表面之塵埃等；

- (2) 試樣表面不可直接以手指碰觸或其他會造成表面污染之行為；
- (3) 必要時，試樣表面以蒸餾水洗淨，置於室溫下乾燥。

3. 檢測方法：

- (1) 以標準色片執行校正作業。
- (2) 依 CNS 11351 第 4.3.1 節規定，設定測試條件，即 45 度照明，0 度受光之條件，並選擇標準光源 C 光。
- (3) 將試件置於測試孔，測定三刺激值 X、Y、Z。
- (4) 依 CNS 10136 之規定，由三刺激值可轉換為 L^* 、 a^* 、 b^* 值，並計算 E_{ab} 值，以比較色彩差異度。

4. 參考標準：CNS 10756-1 塗料一般檢驗法(有關塗膜之視覺特性之試驗法)

第五章 結論與建議

第一節 結論

本研究之目的旨在利用本所材料實驗中心已建置完成之儀器設備，針對室外型奈米塗料進行耐久耐候性能檢驗，除瞭解一般奈米塗料在長時間的環境作用力下，能保有幾成之功能性，並可藉此建立材料實驗中心相關試驗之量能。本案分為二年進行研究，第一年著重在試驗標準蒐集及試驗規劃與儀器調校整備，獲致之結論說明如下：

- (一) 蒐集國內奈米塗料之發展與應用現況，了解各種功能性奈米塗料之特性、用途與施工方法；並完成國內外適用於塗料之相關試驗方法與檢測標準之彙整。
- (二) 就奈米標章中，有關塗料功能性之要求，完成本所材料實驗中心目前可執行檢驗項目之探討，包括奈米性檢測、耐候性試驗、自潔抗污性檢驗、黏著性試驗等。
- (三) 有關光觸媒塗料性能之檢測，奈米標章檢驗標準中多採用 UV 燈為光源，能否使用氬弧燈光源替代，尚需於後續之實驗研究過程中，進一步瞭解與探討。
- (四) 現有奈米標章中，已制定之檢驗規範及已取得標章之產品多屬衛生器具、紡織品類，功能性奈米塗料之檢驗規範仍有待加強。而有關塗層產品之檢驗標準多為自潔防污、抗菌除臭等項目，針對市售或研究單位研發具防水、隔熱、控溫等功能性塗料之測試方法仍付之闕如，有待進一步建立檢驗標準。

第二節 建議

短期之建議 - 加強實驗人力培育工作、建立儀器設備之檢測與校正能力。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：相關學術團體

本年度之研究已依據 CNS 及 ASTM 等標準，以及奈米標章檢驗標準，完成奈米塗料相關試驗方法之彙整與探討，下年度應即著手進行相關實驗研究工作，藉此培育本所材料實驗中心之實驗人力，並建立實驗中心之檢測技術。

附錄一 期中審查會議紀錄

內政部建築研究所

99 年度協同研究案「鹼活化爐石混凝土應用於營建材料之研究」暨
自行研究案「混凝土包覆纖維複合材料補強之高溫性能研究(1/3)」、
「室外型奈米塗料耐久耐候性能之試驗研究(1/2)」等 3 案
期中審查會議紀錄

一、時 間：99 年 8 月 25 日（星期三）上午 9 時 30 分

二、地 點：本所簡報室

三、主持人：林組長建宏 記錄：蔡煒銘、曹源暉、厲妮妮

四、出席人員：（如簽到單）

五、主席致詞：（略）

六、承辦單位報告：（略）

七、研究單位簡報：（略）

八、出席人員審查意見（依發言順序）：

（三）「室外型奈米塗料耐久耐候性能之試驗研究(1/2)」案：

邱顧問昌平：

1. 本計畫之主要目的在充分了解並應用建研所實驗室設備與人力，在連續二年研究規劃之第一年中，其工作流程尚屬適當，惟有關試驗方面，可能僅能摘要執行數小項而已。
2. 參考書目中，對於歐、美、日、中等之資料仍需加強蒐集，並整理出一些要點。

林教授文山：

1. 本研究以建立材料實驗中心耐久耐候試驗方法為目的，利用現有之設備，以市場常用之奈米塗料為試材，並依據現有試驗標準進行試驗。
2. 針對現有試驗設備，因其功能不同，檢測方法亦不同，建議能檢討比較不同之試驗方法。
3. 除材料之組成成分外，建議以功能性測試為主。

4. 本案符合預期成果需求。

中華民國結構工程技師公會全聯會 陳技師正平：

1. 奈米塗料可提升防蝕之耐久性，對節能減碳應有相當大之助益，建議以鋼材之防蝕為優先研究項目。

台灣省建築材料商業同業公會聯合會 王總幹事榮吉：

1. 經濟部工業局及工研院所推動之「奈米標章」制度，其範圍已從衛生、磁磚、紡織品、塗料等產品項目，擴增至木材製品及其他類，請蒐集最新「奈米標章」相關之研究議題。
2. 有關奈米產品之檢測及驗證等事項，建議建研所規劃購置先進之儀器設備，藉以提升國內奈米建材之檢測技術與能力。

研究單位回應：

1. 由於奈米塗料係以提升或增加傳統塗料之功能性為標的，本計畫除將瞭解奈米塗料性能之檢測方法外，並以加速劣化試驗來檢討該類性能之耐久耐候能力。
2. 與會專家學者所提建議事項將於後續研究參採辦理。

九、會議結論：

- (一) 研究團隊針對各位審查委員之意見，除於本會議中作綜合性回應外，並請於期末報告時，依詳實記錄之與會專家學者及機關團體代表意見，提出詳細回復。
- (二) 請將研究進度納入報告書中，並將已完成事項及待完成事項等條列說明。
- (三) 本會議審查通過「鹼活化爐石混凝土應用於營建材料之研究」、「混凝土包覆纖維複合材料補強之高溫性能研究(1/3)」及「室外型奈米塗料耐久耐候性能之試驗研究(1/2)」等三項研究計畫之期中報告。

十、散會：中午 12 時整。

附錄二 期末審查會議紀錄

內政部建築研究所

99 年度自辦研究計畫「室外型奈米塗料耐久耐候性能之試驗研究(1/2)」、「碳纖維複合材料包覆混凝土補強之高溫性能研究(1/3)」及「紅外線熱影像法於水泥砂漿材料老化溫度特性之檢測研究」等 3 案
期末審查會議紀錄

一、時 間：98 年 11 月 26 日（星期五）下午 2 時 30 分

二、地 點：討論室(一)

三、主持人：林組長建宏

記錄：曹源暉、厲妮妮、林谷陶

四、出席人員：(詳出席簽到單)

五、主席致詞：(略)

六、報告人簡報：(略)

七、綜合討論：(依發言先後順序)

(一)「室外型奈米塗料耐久耐候性能之試驗研究(1/2)」

台灣省建築材料商業同業公會聯合會 王總幹事榮吉：

1. 本研究案對國內奈米塗料之現況與應用，以及檢測標準、試驗等之研究，均已具成果。
2. 奈米標章目前由經濟部及工研院執行，貴所所屬實驗室是否已取得「奈米塗料」試驗室之認證？
3. 奈米之功能包括自潔、防污、抑菌等效果，並無「殺菌、抗菌」效用，請詳查，以做為研究敘述之參考。

邱顧問昌平：

1. 本案配合建研所在景美及台南歸仁之實驗室進行以 2 年為期之試驗研究計畫，採用奈米塗料為對象，目前已蒐集相關文獻及必要之試驗項目與試驗儀器與方法等。
2. 本年度應完成之第四章耐久耐候試驗計畫之規劃，已於簡報中列出，惟仍應擇要列表說明哪些項目是廠商執行或提供之資料，哪些是本案預計

執行之項目。

石建築師正義：

本研究中已有對近期研究之彙整與探討，因此建議在耐久耐候性研究的對象，可以貴所彙整之研究內容為依據，例如自潔性、自淨性、防水材、以及電磁波屏蔽塗料等 4 類進行研究，若有時間再增加智能等性質之奈米材質耐久耐候性探討。然後以所得之試驗結果，再與奈米標章及貴所彙整的研究案之成果進行比較。

中華民國全國建築師公會 陳建築師昶良：

1. 建議本案能針對奈米塗料耐久耐候性能中，有關奈米塗料之性能、規範、標準、使用儀器等列表整理陳述，以利第 2 年試驗規劃之依據。
2. 建議耐候性能之劣化方式能考量 UV 耐候及溫濕交替。
3. 部分塗料具有「透氣、不透水」之功能，故塗料透氣性能是否列入考量。
4. 試體製作時，其平整性非常重要，對於水滴接觸角、色差計、輝度計等之數據影響很大。

林組長建宏：

1. 期末報告內容尚有未完成之部分，應於成果報告中補齊。
2. 為利於執行下年度之耐久耐候劣化試驗，應於年底前完成試體之製作。

意見回覆情形：

1. 專家學者建議事項將參採納入本年度成果報告及下年度計畫執行。
2. 報告內容尚未完成部分，將於成果報告中補齊；年底前將完成試體之規劃製作。

八、結論：

1. 綜合討論之建議事項，請各案主持人參採辦理或妥予回應，納入最後之成果報告；有關期中與期末報告審查會議之審查意見，應以回應表之方式逐項回覆，並詳實呈現於期末成果報告之附錄中。
2. 本次 3 案之期末報告審查原則通過，請掌握後續之研究期程，確實完成各項計畫之執行，充實研究內容，完成成果報告書之撰寫與印製。

參考書目

1. 咸才軍編著，奈米建材，五南圖書出版股份有限公司，2004。
2. 邱光博，「奈米 漫談奈米」，塗料與塗裝技術，第 100 期，p.28~38。
3. 經濟部工業局奈米標章網頁，<http://proj3.moeaidb.gov.tw/nanomark/>。
4. 曹學勤，「奈米塗料之現況與問題點」，高分子工業，第 124 期，2006，p.70~74。
5. 黃元昌、沈永清、簡淑雲，「奈米自潔塗層技術與應用」，台灣奈米會刊，No.9, July, 2007, p.25~29。
6. 楊錦懷，「奈米技術應用於建築物表面自淨功能」，行政院國家科學委員會專題研究計畫，93 年。
7. 葉世文、劉明仁等，「建築物屋頂奈米級防水塗膜材料之開發應用」，內政部建築研究所，93 年。
8. 王榮進、高麒等，「改質奈米塗料油漆對電磁波屏蔽之研究」，內政部建築研究所，97 年。
9. 楊仲家、卓世偉，「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，97 年。
10. 陳瑞鈴、陳建光等，「使用奈米二氧化鈦於建築材料中調溫性能之研究」，內政部建築研究所，98 年。
11. 魏璞強，「建築物常用高分子防水材料耐久性之研究」，國立成功大學建築研究所碩士論文，84。
12. 張上鎮、蕭雅方，「塗膜耐久性試驗方法間之相關性」，塗料與塗裝技術，第 70 期，p.22~27。
13. 周明發，「塗料檢驗方法一二三」，塗料與塗裝技術，第 67 期，p.8~17，第 68 期，p.8~16。