

# 健康綠建材對室內甲醛濃度影響之研究

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 105 年 11 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)



105301070000G0048

# 健康綠建材對室內甲醛濃度影響之研究

研究人員：姚志廷

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 105 年 11 月



ARCHITECTURE AND BUILDING RESEARCH INSTITUTE  
MINISTRY OF THE INTERIOR  
RESEARCH PROJECT REPORT

Research of the Impact of Healthy Green  
Building Materials on Indoor Formaldehyde  
Concentration

BY

Dr. YAU JYH-TYNG

November, 2016



## 目次

表次 .....	III
圖次 .....	V
摘要 .....	VII
第一章 緒論 .....	1
第一節 研究緣起與背景 .....	1
第二節 研究目的 .....	2
第三節 研究流程 .....	3
第四節 預期成果 .....	4
第二章 文獻回顧與探討 .....	5
第一節 綠建材標章制度 .....	5
第二節 國內外室內空氣品質管理與發展 .....	11
第三節 污染源逸散模式 .....	22
第三章 實驗方法與設備 .....	27
第一節 建材逸散速率試驗 .....	27
第二節 實驗屋之配置 .....	32
第三節 甲醛特性及偵測器 .....	36
第四章 實驗屋甲醛濃度實測與分析 .....	41
第一節 市售建材甲醛逸散速率檢測結果 .....	41
第二節 實驗屋之建材佈設 .....	46
第三節 儀器檢定及空白試驗 .....	48
第四節 板材甲醛逸散實驗結果 .....	52

第五節 塗料甲醛逸散實驗結果.....	56
第五章 結論與建議 .....	65
第一節 結論 .....	65
第二節 建議.....	66
參考書目 .....	67



## 表次

表 2.1 健康綠建材標章評定項目.....	6
表 2.2 健康綠建材評定基準表.....	7
表 2.3 健康綠建材分級基準表.....	8
表 2.4 歷年核發綠建材標章數統計表.....	10
表 2.5 環保署公告「室內空氣品質標準」.....	18
表 4.1 甲醛逸散速率檢測分析儀器.....	43
表 4.2 甲醛逸散濃度及逸散速率.....	45
表 4.3 不同等級之塗料及逸散速率.....	47
表 4.4 實驗配置表.....	47
表 4.5 甲醛氣體偵測器重複性試驗結果.....	49
表 4.6 實驗屋不同位置之甲醛逸散速率.....	49
表 4.7 六間實驗屋甲醛濃度.....	51
表 4.8 通風後甲醛濃度.....	51
表 4.9 不同時間點甲醛濃度.....	52
表 4.10 置入板材後立即量測之甲醛濃度.....	54
表 4.11 置入板材後 24 小時量測之甲醛濃度.....	55
表 4.12 置入板材後 48 小時量測之甲醛濃度.....	55
表 4.13 塗刷油漆前實驗屋甲醛濃度.....	56
表 4.14 各實驗屋塗佈面積比.....	57
表 4.15 塗刷時立即量測之甲醛濃度.....	58

表 4.16	塗刷完成後即時量測之甲醛濃度 .....	59
表 4.17	塗刷完成後三天的甲醛濃度變化 .....	60
表 4.18	塗刷完成後一個月的甲醛濃度變化 .....	62
表 4.19	塗刷完成後二個月的甲醛濃度變化 .....	63

## 圖次

圖 1.1	研究流程 .....	3
圖 3.1	甲醛逸散速率檢測流程示意圖 .....	32
圖 3.2	實驗屋群外觀 .....	33
圖 3.3	實驗屋玻璃開口部外觀 .....	34
圖 3.4	數位電表的功能和現場安裝照片 .....	34
圖 3.5	室內溫溼度測量設備 .....	35
圖 3.6	室外氣象量測設備 .....	36
圖 3.7	甲醛氣體偵測器 .....	39
圖 3.8	甲醛氣體偵測器軟體畫面 .....	40
圖 4.1	甲醛逸散速率檢測 .....	42
圖 4.2	甲醛低濃度檢量線 .....	43
圖 4.3	甲醛高濃度檢量線 .....	44
圖 4.4	建材甲醛歷時逸散濃度變化 .....	45
圖 4.5	建材甲醛歷時逸散速率變化 .....	46
圖 4.6	室外空曠處進行重複性量測 .....	48
圖 4.7	實驗屋不同位置量測 .....	50
圖 4.8	實驗物置入 E1 綠建材石膏板 .....	54
圖 4.9	室內甲醛濃度變化圖 .....	55
圖 4.10	實驗屋塗刷油漆照片 .....	57
圖 4.11	塗刷時量測甲醛濃度 .....	58
圖 4.12	塗刷油漆時將門扇開啟 .....	59
圖 4.13	塗刷完成後三天的甲醛濃度變化圖 .....	61

圖 4.14 塗刷完成後一個月的甲醛濃度變化圖 .....	62
圖 4.15 塗刷完成後二個月的甲醛濃度變化圖 .....	63

## 摘要

關鍵詞：甲醛濃度、健康綠建材

### 一、研究緣起

由於台灣的建築逐漸朝向密閉化、高層化發展，室內通風幾乎全仰賴機械空調系統，再加上國人的居住空間普遍有過度裝修的現象，而裝修建材及傢俱中可能含有超量的甲醛，因此，室內空氣品質對居住者的健康有著不可忽視的影響，內政部建築研究所於民國 93 年開始推動綠建材標章制度，並於民國 100 年起將健康綠建材評定基準進一步提升，依據甲醛及 TVOC 逸散速率，將建材分為 E1、E2、E3 等 3 個逸散等級。在學理上，室內空氣品質與建材逸散速率、建材使用量、室內通風換氣等三個主要變數相關，但是彼此間的複雜關係目前僅能以推估方式進行初步預測，缺乏實際的量測資料來佐證建材逸散速率與室內空氣品質間，隨時間變化之動態關係。因此，本研究之目的係透過實驗屋室內甲醛濃度的實測，進一步掌握建材對室內甲醛濃度的影響情形，研究設計是以六個完全一致的實驗屋，搭配不同面積、不同逸散速率的建材，並以手持式甲醛偵測器，長期監測室內甲醛濃度。

### 二、研究方法及過程

因此，本研究之目的係透過實驗屋室內甲醛濃度的實測，進一步掌握建材對室內甲醛濃度的影響情形，研究方法是以前述六個完全一致的實驗屋，搭配不同面積、不同逸散速率的建材，並以手持式甲醛偵測器，長期監測室內甲醛濃度。本研究先將每個實驗屋置入八

片 E1 等級的綠建材石膏板，並分別在實驗屋的石膏板上塗刷 E1、E2、E3、非綠建材等四種等級塗料，並在塗布面積上做相關變化，隨後，在不同時間點上量測實驗屋內甲醛濃度的變化情形。

### 三、重要發現

本研究在置入板材過程中，將實驗屋的門開啟約 1.5 小時，實驗屋的甲醛濃度約降低為原來一半，顯示通風是降低室內甲醛濃度最經濟快速的方式，八片石膏板置入後，甲醛濃度持續的上升，兩天後甲醛濃度已回升到通風前之濃度，顯見板材中之甲醛持續逸散至空間中，且證明石膏板等無機板類確實有不可忽視的甲醛逸散速率。

此外，在塗料的實測部分，塗刷當下的量測結果顯示，塗刷進行當中，塗刷非綠建材的實驗屋，甲醛濃度明顯高於塗刷綠建材的實驗屋，且塗刷當天室內處於高甲醛濃度狀態，而塗刷一個月後的量測結果顯示，有 5 個實驗屋甲醛濃度並未高於塗刷當天的濃度，但是塗刷面積最大的一組實驗屋（塗刷面積比例為 46%），即使使用 E1 綠建材，一個月後的濃度已高於塗刷當日的甲醛濃度，另一方面，6 組實驗屋塗刷兩個月後的甲醛濃度值，均高於塗刷一個月後的甲醛濃度值，尤其塗佈面積大者，增幅越大，顯見這段時間內，甲醛濃度持續累積。整體而言，塗刷當天及數天內，塗料本身的逸散速率對於室內甲醛濃度影響較大，但是隨著時間增加，塗刷面積對室內甲醛濃度的影響越為明顯。至於不同等級的綠建材，在不同時間點，對室內甲醛濃度的影響均不顯著。

### 四、主要建議事項

#### 一、立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

內政部建築研究所推動綠建材標章制度已逾十年，本研究<sup>摘要</sup>探討綠建材甲醛逸散速率對室內甲醛濃度之影響，具有重要意義，未來若能在研究結束之後，持續針對實驗屋甲醛濃度進行長期監測，或規劃相關系列研究，則可獲得更大之效益。

## 二、中長期建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：科技部

本研究採用六兩個相同構造、相同材料的實驗屋進行甲醛濃度的實測，故理論上，六個實驗屋的初始甲醛濃度應該一致，但是實際上，六個實驗屋的初始甲醛濃度並不一致，故本研究在相關實驗進行時，先進行通風，降低初始濃度的差異，並且針對初始濃度進行量測，以最為後續實測值比較基準，惟實驗屋本身對於實驗屋甲醛濃度的影響仍無法完全排除，因此，建議未來進行相關研究，應考慮建置無甲醛逸散之虞之實驗屋，以利進行相關研究。





## Abstract

Key words: Formaldehyde Concentration, Healthy Green Building Materials

Since the living space of most people in this country generally have phenomenon of frequent and excessive decoration, and the paint of the decoration building materials and sheets may contain formaldehyde and other carcinogens. In order to explore the impact of building materials have on indoor formaldehyde concentrations, in this study we built six identical full-size experimental houses, and each experimental house were placed in eight E1 grade green building materials, the gypsum board. Then, on the gypsum board of different experimental houses were brushed on E1, E2, E3 and non-green building materials, which were four levels of paint, and make the relevant changes in the coating area, then measure the difference of formaldehyde concentration between each experimental house. Measurement results showed that when the painting was in progress, the experimental house with non-green building materials had a significantly higher formaldehyde concentration than the experimental house with green building materials, and formaldehyde concentration was in the high state indoor on the brushing day. The measurement results one month after the brushing showed that there are five experimental houses with lower formaldehyde concentration than the one of the brushing day, but the experimental house with the largest area of (the ratio of brushing area is 46%), even with E1 green building materials, the concentration has already been higher than that of the brushing day. The measurement results of formaldehyde concentration two months after the brushing showed that the formaldehyde concentration in six experimental houses

were all higher than that of one month after the brushing. In particular, the larger the coating area was, the increase was greater, showing that in this period of time, formaldehyde concentrations continue to accumulate. Overall, on the brushing day and within a few days, the escape rate of the paint itself had a higher influence on the indoor formaldehyde concentration, but as time went by, the impact of brushing area on indoor formaldehyde concentration became more obvious. As for the different levels of green building materials, at different points in time, the impact on indoor formaldehyde concentrations was not significant.

## 第一章 緒論

### 第一節 研究緣起與背景

我國綠建材標章制度自民國 93 年正式受理標章申請，截至 105 年 5 月底，累計已核發 1542 件標章（1170 件健康、6 件生態、133 件再生與 233 件高性能），產品包括塗料、天花板、地板、隔間牆材料、吸音材、磁磚、透水磚、接著劑、節能玻璃、隔音門窗等共 10,739 種系列產品。其中健康綠建材所占比例約達七成五以上，可見健康綠建材之訴求已被消費大眾高度重視，且隨著國內建材產製技術的提升與國人對於健康性能之要求日益提高，本部於 2011 年起將健康綠建材評定基準進一步提升，依據甲醛及 TVOC 逸散速率，將建材分為 E1、E2、E3 等 3 個逸散等級，另一方面，為從源頭加強管制建材之揮發性有機化合物，並與「室內空氣品質管理法」及「室內空氣品質標準」定義之 TVOC 管制項目一致，本部於 2015 年已將「健康綠建材」評定基準中之 TVOC 管制項目擴增為 12 種，期能確保建材不至造成室內空氣品質污染。

## 第二節 研究目的

建材是室內空氣的污染源之一，在學理上，室內空氣品質與建材逸散速率、建材使用量、室內通風換氣等三個主要變數相關，但是彼此間的複雜關係目前僅能以推估方式進行初步預測，缺乏實際的量測資料來佐證建材逸散速率與室內空氣品質間，隨時間變化之動態關係，此係因為影響室內空氣品質的變數繁雜，若非以實驗屋來控制相關變因，實難掌握建材與室內空氣品質之關係，因此，本研究之目的即希望透過全尺寸實驗屋的實際量測，來探討建材逸散速率對於室內空氣品質之影響。

本研究之目的，說明如下：

1. 調查並蒐集國內外有關室內空氣品質之法規、基準及量測方法之文獻。
2. 以實驗組及對照組節能實驗屋作為研究對象，於各組實驗屋分別塗佈不同面積與逸散速率之塗料。
3. 在不同時間點進行實驗屋室內甲醛濃度之量測。
4. 評估健康綠建材使用效益，並探討室內甲醛濃度衰減情形。

### 第三節 研究流程

建築空間中有害物質濃度對人體健康影響甚大，但濃度之影響因子頗為複雜，小尺寸的研究不足以反應真實尺寸的狀況，而真實生活空間的採樣，則不易有兩個相同尺寸、構造、使用行為的空間作為實驗場域，本研究主要以實驗屋進行研究，研究方法如下，研究流程與步驟，詳圖 1.1 所示：

1. 收集國內外有關室內空氣品質標準之法規與文獻，並針對文獻進行回顧及探討。
2. 於市售塗料中購買非綠建材塗料，進行甲醛逸散速率檢測，挑選一組甲醛逸散速率高於綠建材基準之塗料作為對照組。
3. 於實驗屋塗佈綠建材與非綠建材塗料，並塗佈不同之面積。
4. 於不同時間點量測各組實驗屋之甲醛濃度，以探討建材逸散速率、裝修量與室內空氣品質間，隨時間變化之動態關係。

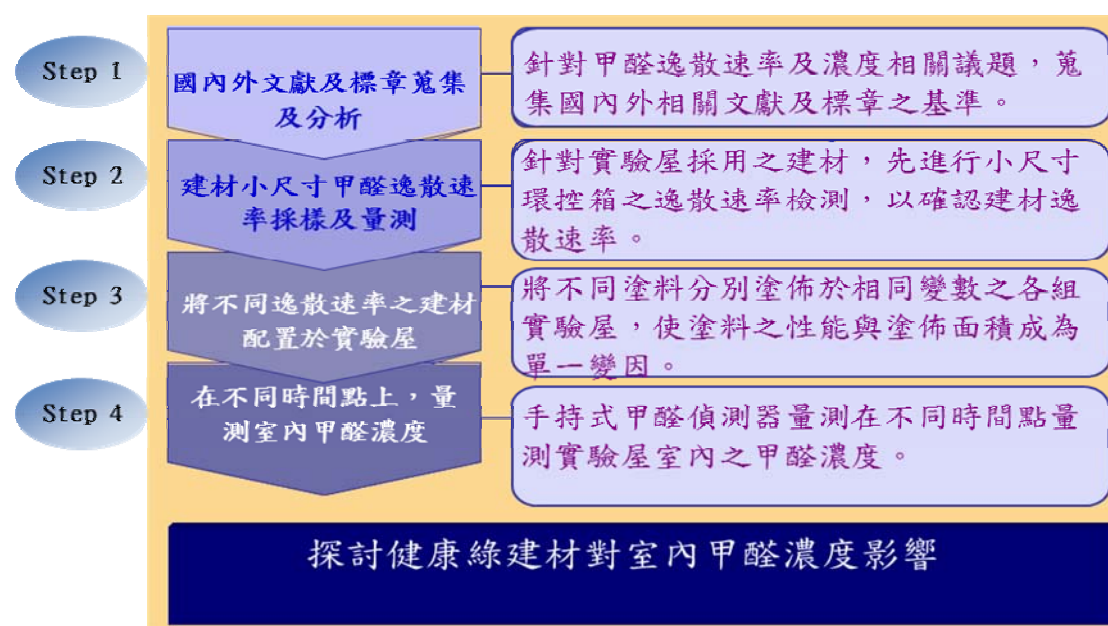


圖 1.1 研究流程

## 第四節 預期成果

本研究之預期成果，說明如下：

1. 完成建材對室內空氣品質影響之相關文獻蒐集與回顧。
2. 針對採用綠建材與非綠建材塗料之實驗屋，完成甲醛濃度之實測與分析，評估健康綠建材使用效益，並與室內空氣品質標準比對。
3. 針對不同塗佈面積之實驗屋，完成甲醛濃度之實測與分析，並檢視綠建築室內空氣品質指標有關裝修量之基準。
4. 完成室內甲醛濃度衰減情形之實測及評估。

## 第二章 文獻回顧與探討

### 第一節 綠建材標章制度

根據統計，人的一生約有 90% 時間生活於室內，因此室內空氣品質對居住者的健康有著不可忽視的影響。尤其台灣的建築逐漸朝向密閉化、高層化發展，室內通風幾乎全仰賴機械空調系統，再加上國人的居住空間普遍有過度裝修的現象，而裝修建材及傢俱中可能含有超量的甲醛、揮發性有機化合物 (TVOC) 等化學物質，導致建築室內環境中有害氣體的濃度往往高於室外環境。室內空氣中常被偵測到的甲醛及 TVOC 中的苯 (Benzene) 已被聯合國轄下的國際癌症研究署 (International Agency for Research on Cancer) 評估為第一級 (Group 1) 人類致癌物，由此可知，室內空氣品質與國人的健康息息相關。

建築材料的品質不僅攸關居住環境的舒適美觀，對居住者的健康更有關鍵性的影響，為提升國人居住舒適性及健康性、降低建材製造或使用階段對環境造成之衝擊，本部於民國 93 年建立綠建材標章制度，期能透過相關檢測與評定程序，對於建材品質與性能予以鑑別及標示，避免劣質及黑心建材魚目混珠，影響國人居住品質。綠建材標章分為 4 大類：健康、生態、高性能及再生綠建材，其中：「健康綠建材」是指低甲醛逸散及低揮發性有機化合物 (TVOC) 逸散之建材；「生態綠建材」是指使用無匱乏危機之天然材料，以低人工處理方式製成之建材；「高性能綠建材」則包括在防音、透水、節能等性能上有高度表現之建材；「再生綠建材」是指將廢棄物依一定摻配比例再利用製成之建材。

### 2.1.1 健康綠建材

「室內空氣品質管理法」係著重於使用端之室內空氣品質檢測與管理，而室內空氣污染物可能的來源包括裝修材料中之塗料、膠合劑、填縫劑、木質板材、合成板材、地毯等，為了從源頭管制室內空氣污染物，本部建築研究所在推動綠建材標章制度之過程中，將低甲醛、低 TVOC 逸散的「健康綠建材」列為最優先推動且最早受理評定之類別，目前健康綠建材標章評定項目包括地板類、牆壁類、天花板類、填縫劑與油灰類、塗料類、接著劑類及門窗類等 7 項，已將室內具甲醛及 TVOC 逸散之虞的建材完整納入評估範圍（詳表 2.1）。

表 2.1 健康綠建材標章評定項目

1	地板類	木質地板、地毯、架高地板、塑膠木材等。
2	牆壁類	合板、纖維板、石膏板、壁紙、防音材、粒片板、木絲水泥板、木粒片水泥板、纖維水泥板、矽酸鈣板等。
3	天花板	合板、石膏板、礦纖天花板、玻纖天花板等。
4	填縫劑與油灰類	矽利康、環氧樹脂、防水塗膜材料等。
5	塗料類	油漆等各式水性、油性粉刷塗料。
6	接著（合）劑	油氈、合成纖維、磚黏著劑、白膠（聚醋酸乙烯樹脂）等。
7	門窗類	木製門窗。

由於甲醛及 TVOC 為建材中常見且健康危害程度較大之有害物質，故健康綠建材評定基準係規範甲醛逸散速率須小於  $0.08 \text{ mg} / \text{m}^2 \cdot \text{hr}$ ，TVOC 逸散速率須小於  $0.19 \text{ mg} / \text{m}^2 \cdot \text{hr}$ （詳表 2.2）。惟隨著國內建材產製技術的提升與國人對於健康性能之要求日益提高，本部於 2011 年起將健康綠建材評定基準進一步提升，依據甲醛及 TVOC 逸散速率，將建材分為 E1、E2、E3 等 3 個逸散等級（詳表 2.3），



其中 E3 逸散等級之門檻為原來之基準，E1、E2 逸散等級則為逸散速率更低之等級。相關分級制度有助於消費者識別及比較建材之逸散等級，並藉由市場良性競爭，引導廠商持續研發逸散速率更低之建材，進一步降低室內空氣污染源。

表 2.2 健康綠建材評定基準表

一、甲醛 (HCHO) 逸散速率		
評定項目	基本性能水準(逸散速率)	說明
地板類、牆壁類、天花板、填縫劑與油灰類、塗料類、接著(合)劑、門窗類(單一材料)	$\leq 0.05 \text{ mg / m}^2 \cdot \text{hr}$	建材樣本置於環控箱中試驗其逸散量，量測甲醛濃度達穩定狀態時之逸散速率。
二、總揮發性有機化合物 (TVOC) 逸散速率		
評定項目	基本性能水準(逸散速率)	說明
地板類、牆壁類、天花板、填縫劑與油灰類、塗料類、接著(合)劑、門窗類(單一材料)	$\leq 0.19 \text{ mg / m}^2 \cdot \text{hr}$	建材樣本置於環控箱中試驗其逸散量，量測總揮發性有機物質(TVOC)濃度達穩定狀態時之逸散速率。
試驗機構：經內政部指定之「綠建材性能試驗機構」		
試驗規定：		
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 測試方法依據內政部建研所標準測試法(計畫編號 MOIS 901014)及參考 ISO 16000 系列 (CNS 16000 系列) 標準方法辦理。甲醛及 TVOC 試驗報告之數值判定，應以測試時間達 48 小時即停止測試之時間點，所測得之實驗數據，做為判定數值；未達 48 小時但實驗數據已穩定低於評估基準值，則以該實驗數據做為判定數值。</li> <li>2. 健康綠建材逸散之總揮發性有機化合物(TVOC)，應檢測包括：苯(Benzene)、四氯化碳 (Carbon tetrachloride)、氯仿 (三氯甲烷)(Chloroform)、1,2-二氯苯 (1,2-Dichlorobenzene)、1,4-二氯苯(1,4-Dichlorobenzene)、二氯甲烷(Dichloromethane)、乙苯 (Ethyl Benzene)、苯乙烯 (Styrene)、四氯乙烯 (Tetrachloroethylene)、三氯乙烯 (Trichloroethylene)、甲苯(Toluene)及二甲苯 (對、間、鄰) (Xylenes)等十二種化合物。</li> </ol>		

表 2.3 健康綠建材分級基準表

「健康綠建材標章」分級制度說明			
逸散分級	逸散速率 (mg/m <sup>2</sup> · hr)		
	TVOC	甲醛	
<b>E1</b>	≤ 0.005	≤ 0.005	
<b>E2</b>	0.005 < TVOC ≤ 0.06	0.005 < 甲醛 ≤ 0.02	
<b>E3</b>	0.06 < TVOC ≤ 0.19	0.02 < 甲醛 ≤ 0.05	
「健康綠建材標章」逸散等級判定			
TVOC 逸散分級 / 甲醛 逸散分級	E1	E2	E3
E1	<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>
E2	<b>E2</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>
E3	<b>E3</b>	<b>E3</b>	<b>E3</b>
【文件審查】申請廠商須檢附相關施工流程、圖說、文件說明，確保日後施做時，工法亦能符合健康性設計及要求。			

基於源頭管制之精神，本部於環保署尚未訂定「室內空氣品質管理法」及「室內空氣品質標準」前，即已將揮發性有機化合物(TVOC)及甲醛逸散速率納入健康綠建材評定基準，原 TVOC 管制項目包括苯、甲苯、對二甲苯、間二甲苯、鄰二甲苯、乙苯等 6 項。至 101 年 11 月環保署發布實施「室內空氣品質標準」，該標準定義之 TVOC 包括：苯(Benzene)、四氯化碳(Carbon tetrachloride)、氯仿(三氯甲烷)(Chloroform)、1,2-二氯苯(1,2-Dichlorobenzene)、1,4-二氯苯(1,4-Dichloro benzene)、二氯甲烷(Dichloromethane)、乙苯(Ethyl Benzene)、苯乙烯(Styrene)、四氯乙烯(Tetrachloroethylene)、三氯乙烯(Trichloroethylene)、甲苯

(Toluene)及二甲苯(對、間、鄰)(Xylenes)等 12 項化合物，為從源頭加強管制建材之揮發性有機化合物，並與「室內空氣品質管理法」及「室內空氣品質標準」定義之 TVOC 管制項目一致，本部已將「健康綠建材」評定基準中之 TVOC 管制項目擴增為 12 種，未來申請健康綠建材評定，均需針對前揭 12 項化合物進行檢測，以確保建材不至造成室內空氣品質污染。

### 2.1.2 綠建材推動成效

綠建材標章自民國 93 年受理評定至 105 年 5 月底止，已累計核發 1,542 件標章，產品包括塗料、天花板材料、地板材料、隔間牆材料、吸音材及構件、磁磚、透水磚、高壓混凝土地磚、填縫劑、接著劑、節能玻璃、隔音門窗等共 10,739 個產品(詳表 2.4)。隨著綠建材標章數量的累積，市場機制將更為健全，進而促使綠建材的品質逐漸提升，而價格趨於平穩，且消費者可以選擇的產品將更為豐富多元。此外，1,542 件標章產品中，具低甲醛、低 TVOC 逸散特性，且與室內空氣品質關係最為密切之「健康綠建材」，共計 1170 件，約占 75.9%，顯見室內裝修材料的健康性能，受到產業界與消費者高度重視，相關標章制度已成功帶動健康綠建材的產製及消費風潮，有助於從源頭改善室內空氣品質。

表2.4 歷年核發綠建材標章數統計表

年度	核發件數	產品總數
94	11 件標章	24
95	40 件標章	386
96	52 件標章	449
97	88 件標章	739
98	91 件標章	1250
99	120 件標章	1052
100	224 件標章	1344
101	135 件標章	606
102	203 件標章	1116
103	255 件標章	1978
104	229 件標章	1170
105 至 5 月	94 件標章	625
總計	1542 件標章	10739

在制度面的部分，本部「建築技術規則」建築設計施工編中有關綠建材之規定，已於 101 年 7 月 1 日修正實施，規定供公眾使用建築物及經內政部認定有必要之非供公眾使用建築物，室內綠建材使用率自 5%、30%再予提升至 45%，並增列戶外地面材料須使用綠建材，使用率應達 10%以上。此一規定，可使綠建材的使用更為普及，進一步保障國人居住環境品質。

另外，為協助臺灣建材業者進一步提升建材商品之國際競爭力，以爭取國際綠色採購商機，本所近年來積極推動綠建材標章國際接軌，已在 2013 年 10 月份輔導臺灣綠建材標章評定專業機構(財團法人臺灣建築中心)與韓國環保標章評定機構「環境產業技術院」(Korea Environmental Industry & Technology Institute, KEITEI)及泰國環保標章評定機構「泰國環境研究院」(Thailand Environment Institute, TEI)共同簽署合作協議，並於 2014 年 10 月進一步與菲律賓環保標章評定機構「環保與永續發展中心」

(The Philippine Center for Environmental Protection and Sustainable Development, Inc., PCEPSDI) 簽署相關協議，相關協議可簡化臺灣廠商申請韓國、泰國、與菲律賓標章之程序，雙方之評定機構將相互承認對方認可之檢測結果與製程查核結果。未來，將持續進行國際接軌之推動工作，協助臺灣綠建材業者逐步將產品行銷至國際市場。

## 第二節 國內外室內空氣品質管理與發展

近代隨著都市密集化，各類活動頻繁造成居住環境充斥噪音干擾；密閉式高層大樓，室內通風需仰賴中央空調系統，使用具人工化學物質之建材及裝修材，致使新建建築物及新裝修室內環境充斥揮發性有機物，這些都可能是室內環境品質不佳的問題所在。其次，台灣室外環境高濕、高熱的氣候特性，使得建築室內環境污染問題更加嚴重。

所謂室內環境品質(Indoor Environment Quality)，係指影響建築物室內居住健康與舒適之各項環境因子，包括音環境、光環境、溫熱環境、空氣環境(通風換氣)及電磁環境五大類，與影響室內環境之裝修材所揮發出之化學物質等範疇。以室內空氣品質(Indoor Air Quality)而言，一般人普遍認為室內空氣應該比室外乾淨，但是根據美國環保署和世界衛生組織(WHO)的研究指出，室內空氣污染物的濃度常為室外環境之 2~5 倍，有時更高達 100 倍。

在部分家戶室內還測出揮發性有機化合物 (VOCs)，如苯、甲苯、乙基苯、二甲苯等，都比室外環境濃度還高；且台灣都會區家庭室內，普遍有來自室外的汽機車及工廠廢氣污染，再加上室內的裝潢、木板、地毯、電腦、印表機、瓦斯爐、熱水器等污染，住戶

致癌風險大大增加。而國人因偏好木質家具，國內曾有研究針對室內環境甲醛濃度之實測結果，進行致癌風險的評估，發現：一般「可接受致癌風險」為百萬分之一(10<sup>-6</sup>)，但高雄地區受測者因暴露在居家環境的高甲醛濃度下，致癌風險高達千分之 2.2，而花蓮地區受測的平均致癌風險更達千分之 5.58，顯示改善室內空氣品質已刻不容緩。

### 2.2.1 室內空氣品質相關建管法規

內政部依「室內空氣品質管理法」第4條規定，係負責建築物通風設施、建築物裝修管理及建築物裝修建材管理相關事項，說明如下：

#### 一、建築物通風設施

為維持建築物通風環境，內政部已於建築技術規則建築設計施工編第43條、第44條、第45條、訂有通風、自然通風設備之構造、開口等規定，另於建築設備編第5章空氣調節及通風設備訂有機械通風及空氣調節設備之相關規定，分述如下

#### 第四十三條

居室應設置能與戶外空氣直接流通之窗戶或開口，或有效之自然通風設備或機械通風設備，並應依左列規定：

- 一、一般居室及浴廁之窗戶或開口之有效通風面積，不得小於該室樓地板面積百分之五，但設置符合規定之自然或機械通風設備者不在此限。
- 二、廚房之有效通風開口面積，不得小於該室樓地板面積十分之一，且不得小於○.八平方公尺，但設置符合規定

之機械通風設備者不在此限。廚房樓地板面積在一〇〇平方公尺以上者，應另設排除油煙設備。

- 三、有效通風面積未達該室樓地板面積十分之一之戲院、電影院、演藝場集會堂等之觀眾席及使用爐灶等燃燒設備之鍋爐間、工作室等，應依建築設備編之規定設置適當之機械通風設備，但所使用之燃燒器具與設備可直接自戶外導進空氣，並能將所發生之廢氣物，直接排至戶外而無污染室內空氣之情形者，不在此限。

#### 第四十四條

自然通風設備之構造應依左列規定：

- 一、應具有防雨、防蟲作用之進風口，排風口及排風管道。
- 二、排風管道應以不燃材料建造，管道應儘可能豎立並直通戶外。除頂部及一個排風口外，不得另設其他開口，一般居室及無窗居室之排風管有效斷面積不得小於左列公式之計算值：

$$A_v = \frac{A_f}{250\sqrt{h}}$$

其中 $A_v$ ：排風管之有效斷面積，單位為平方公尺。

$A_f$ ：居室之樓地板面積（該居室設有其他有效通風開口時應為該居室樓地板面積減去有效通風面積二十倍後之差），單位為平方公尺。

$h$ ：自進風口中心量至排風管頂部出口中心之高度，單位為公尺。

- 三、進風口及排風口之有效面積不得小於排風管之有效斷面

積。

- 四、進風口之位置應設於天花板高度二分之一以下部份，並開向與空氣直流通之空間。
- 五、排風口之位置應設於天花板下八十公分範圍內，並經常開放

#### 第四十五條

建築物外牆開設門窗、開口，廢氣排出口或陽臺等，依下列規定：

- 一、門窗之開啟均不得妨礙公共交通。
- 二、緊接鄰地之外牆不得向鄰地方向開設門窗、開口及設置陽臺。但外牆或陽臺外緣距離境界線之水平距離達一公尺以上時，或以不能透視之固定玻璃磚砌築者，不在此限。
- 三、同一基地內各幢建築物間或同一幢建築物內相對部份之外牆開設門窗、開口或陽臺，其相對之水平淨距離應在二公尺以上；僅一面開設者，其水平淨距離應在一公尺以上。但以不透視之固定玻璃磚砌築者，不在此限。
- 四、向鄰地或鄰幢建築物，或同一幢建築物內之相對部分，裝設廢氣排出口，其距離境界線或相對之水平淨距離應在二公尺以上。
- 五、建築物使用用途為H-2、D-3、F-3組者，外牆設置開啟式窗戶之窗臺高度不得小於一·一〇公尺；十層以上不得小於一·二〇公尺。但其鄰接露臺、陽臺、室外走廊、室外樓梯、室內天井，或設有符合本編第三十八條規定



之欄杆、依本編第一百零八條規定設置之緊急進口者，不在此限。

## 二、建築物裝修建材管理

(一) 內政部為推動建築物之室內裝修材料及樓地板面材料採用符合生態性、再生性、環保性、健康性及高性能的建築材料，業於93年3月10日以台內營字第0930082325號令訂定發布建築技術規則建築設計施工編綠建築基準專章，其中第321條訂定綠建材使用率應達5%以上，自95年7月1日施行，並於98年7月1日將使用率由5%修正提高為30%。

(二) 復為確保人類居住健康並減少對地球環境之負荷，並鼓勵綠建材使用多元化，以推動國內綠建材產業發展，爰擴大綠建材適用範圍與提高使用率，修正建築技術規則建築設計施工編第321條規定，針對建築物室內裝修材料、樓地板面材料及窗，其綠建材使用率應達總面積45%以上；另就建築物戶外地面扣除車道、汽車出入緩衝空間、消防車輛救災活動空間及無須鋪設地面材料部分，規定地面材料之綠建材使用率應達10%以上，並自101年7月1日施行。

## 三、建築物裝修管理

(一) 按建築法第77條之2第4項規定：「建築物室內裝修應遵守左列規定：……一、供公眾使用建築物之室內裝修應申請審查許可，非供公眾使用建築物，經內政部認有必要時，亦同。但中央主管機關得授權建築師公

會或其他相關專業技術團體審查。二、裝修材料應合於建築技術規則之規定。三、不得妨害或破壞防火避難設施、消防設備、防火區劃及主要構造。四、不得妨害或破壞保護民眾隱私權設施。……前三項室內裝修申請審查許可程序、室內裝修從業者資格、申請登記許可程序、業務範圍及責任，由內政部定之。」。

(二) 內政部已依上開規定訂有建築物室內裝修管理辦法，依該辦法第2條及第22條規定：「供公眾使用建築物及經內政部認定有必要之非供公眾使用建築物，其室內裝修應依本辦法之規定辦理。」、「供公眾使用建築物或經內政部認定之非供公眾使用建築物之室內裝修，建築物起造人、所有權人或使用人應向直轄市、縣(市)主管建築機關或審查機構申請審核圖說，審核合格並領得直轄市、縣(市)主管建築機關發給之許可文件後，始得施工。」建築物室內裝修自應上開程序辦理並符合相關規定。

## 2.2.2 我國室內空氣品質管理

我國「室內空氣品質管理法」業於100年11月8日三讀通過，11月23日總統公布，使我國成為世界上繼韓國之後，第二個將室內空氣品質管理立法推動的國家。本法的立法將過去室外大氣管制為主的空氣污染防治，延伸到公共場所室內空氣品質的管理，具體展現政府重視民眾室內生活環境的決心。依第24條規定：本法自公布後1年施行。在未來1年內行政院環境保護署(以下簡稱環保署)將陸續完成訂定室內空氣品質管理法施行細則、室內空氣品質標

準、檢驗測定管理辦法、專責人員設置管理辦法、逐批公告公共場所、罰鍰額度裁罰準則等相關子法。未來經中央主管機關公告指定之室內公私場所應符合室內空氣品質標準、應定期委託進行室內空氣品質檢驗、應設置自動連續監測、委由中央主管機關許可之室內空氣品質查證人員查驗及簽證檢驗測定報告及改善與維護管理措施。

依該法第三條：「室內空氣污染物：指室內空氣中常態逸散，經長期性暴露足以直接或間接妨害國民健康或生活環境之物質，包括二氧化碳、一氧化碳、甲醛、總揮發性有機化合物、細菌、真菌、粒徑小於等於十微米之懸浮微粒（PM10）、粒徑小於等於二.五微米之懸浮微粒（PM2.5）、臭氧及其他經中央主管機關指定公告之物質。」而前開污染物之標準值，環保署於民國 94 年 12 月 30 日公布「室內空氣品質標準建議值」，如表 2.5 所示，其內容可區分為「物理性」、「化學性」及「生物性」等項目。

表 2.5 環保署公告「室內空氣品質標準」

項目	標準值		單位
二氧化碳 (CO <sub>2</sub> )	8 小時值	1000	PPM(體積濃度百萬分之一)
一氧化碳 (CO)	8 小時值	9	PPM(體積濃度百萬分之一)
甲醛 (HCHO)	1 小時值	0.08	PPM(體積濃度百萬分之一)
總揮發性有機化合物(TVOC, 包含:十二種苯類及烯類之總和)	1 小時值	0.56	PPM(體積濃度百萬分之一)
細菌(Bacteria)	最高值	1500	CFU/m <sup>3</sup> (落菌數/立方公尺)
真菌(Fungi)	最高值	1000 但真菌濃度室內外比值小於等於一・三者, 不在此限。	CFU/m <sup>3</sup> (落菌數/立方公尺)
粒徑小於等於十微米 (μm) 之懸浮微粒 (PM <sub>10</sub> )	24 小時值	75	μg/ m <sup>3</sup> (微克/立方公尺)
粒徑小於等於二・五微米 (μm) 之懸浮微粒 (PM <sub>2.5</sub> )	24 小時值	35	μg/ m <sup>3</sup> (微克/立方公尺)
臭氧 (O <sub>3</sub> )	8 小時值	0.06	PPM(體積濃度百萬分之一)

註

- 一、一小時值：指一小時內各測值之算術平均值或一小時累計採樣之測值。
- 二、八小時值：指連續八小時各測值之算術平均值或八小時累計採樣之測值。
- 三、二十四小時值：指連續二十四小時各測值之算術平均值或二十四小時累計採樣之測值。
- 四、最高值：指依中央主管機關公告之檢測方法所規範採樣方法之採樣分析值。
- 五、總揮發性有機化合物(TVOC, 包含:十二種揮發性有機物之總和)：指總揮發性有機化合物之標準值係採計苯(Benzene)、

四氯化碳(Carbon tetrachloride)、氯仿(三氯甲烷)(Chloroform)、1,2-二氯苯(1,2-Dichlorobenzene)、1,4-二氯苯(1,4-Dichlorobenzene)、二氯甲烷(Dichloromethane)、乙苯(Ethyl Benzene)、苯乙烯(Styrene)、四氯乙烯(Tetrachloroethylene)、三氯乙烯(Trichloroethylene)、甲苯(Toluene)及二甲苯(對、間、鄰)(Xylenes)等十二種化合物之濃度測值總和者。

- 六、真菌濃度室內外比值：指室內真菌濃度除以室外真菌濃度之比值，其室內及室外之採樣相對位置應依室內空氣品質檢驗測定管理辦法規定辦理。

### 2.2.3 國外室內空氣品質管理與發展

為防治病態建築症候群問題，世界各國紛紛進行室內環境品質管理，美、日等國自 1980 年代即首先注意病態建築之問題，且建築材料之品質管理制度較完備，因此，室內環境品質及空氣品質，大部分是以「鼓勵性」規定來管制。美國環保署自 1993 年起進行名為「建築評估調查及評價(BASE)」研究，針對供公眾使用及商業辦公建築之室內空氣品質，進行特性及使用者認知調查，以利概念推廣(U. S. EPA 2003)。日本病態住宅(Sick house)問題，則由國土交通省、厚生勞動省、及經濟產業省分責管理，並結合民間團體共同推動；國土交通省已完成修訂建築基準法建材化學物質逸散及室內換氣率相關規定，以提升室內空氣品質。厚生勞動省針對揮發性有機化合物，訂定室內污染物濃度標準值，並進行室內污染物實測調查。室內污染物濃度及建材有機物質逸散測定方法之 JIS 標準 ISO 化，則由經濟產業省負責。至於病態住宅之診斷及量測，可委託通過「病態住宅診斷士協會」考試之專業人員辦理(上堀秀和 2006)。

韓國及大陸則以「強制性」的法規管制室內空氣品質。韓國由環境部修訂「室內空氣管理法」，於 2004 年 5 月實施，管制 17 類公

共場所之室內空氣品質，列管 5 種「法定污染物」及 5 種「建議污染物」；並管制建材及黏著劑之甲醛及 VOCs 污染逸散標準。大陸則由質監總局、衛生部和環保總局於 2003 年公布實施適用於住宅和辦公建築物的「室內空氣品質標準」。另外，香港由 1998 年成立一個跨部門的室內空氣品質管理小組，統籌及監督具體措施的施行，並於 2000 年針對辦公室及公眾場所，推行自願性「室內空氣品質認證計畫」，鼓勵業主改善建築室內空氣品質，分二級，管制 12 項室內空氣品質項目。

中國大陸對於室內建材釋放出的有毒物質相當重視，因此早在 2003 年 7 月 1 日首度實施「室內裝飾裝修材料十項有害物質限量」國家標準，規定市場停售不符合該 10 項國家標準的產品。該 10 項強制性國家標準為：《室內裝飾裝修材料 人造板及其製品中甲醛釋放限量》(GB 18580-2001)、《室內裝飾裝修材料 溶劑型木器塗料中有害物質限量》(GB 18581-2001)、《室內裝飾裝修材料 內牆塗料中有害物質限量》(GB 18582-2001)、《室內裝飾裝修材料 膠粘劑中有害物質限量》(GB 18583-2001)、《室內裝飾裝修材料 木家具中有害物質限量》(GB 18584-2001)、《室內裝飾裝修材料 壁紙中有害物質限量》(GB 18585-2001)、《室內裝飾裝修材料 聚氯乙烯卷材地板中有害物質限量》(GB 18586-2001)、《室內裝飾裝修材料 地毯、地毯襯墊及地毯用粘劑中有害物質釋放限量》(GB 18587-2001)、《室內裝飾裝修材料 混凝土外加劑中釋放氫限量》(GB 18588-2001)、《室內裝飾裝修材料 建築材料放射性核素限量》(GB 6566-2001) 以上 10 項國家標準基本上規定了室內裝飾裝修材料中氫、甲醛、揮發性有機化合物(VOC)、苯、甲苯和二甲苯，以及重金屬如：鉛、鎘、鉻、汞、砷等有害元素的限量指標。由於

過往市場充斥不少劣質的產品，為了更全面控制室內裝修產品的品質，減低室內污染物危害人體，中國大陸自 2003 年 7 月 1 日起規定所有上述產品必須提供認可化驗所的報告，證明產品符合標準，方可在市場出售。惟達標產品不等於綠色產品，有關標準公佈後，對大陸本地市場產生引起頗大的沖擊，各生產商紛紛整改生產流程，或研改產品成份。儘管有意見認為新標準過於寬鬆，與國際標準還有差距，但整體而言消費者對新標準的頒布均表歡迎。需特別注意，這些產品只符合了國家設定的最基本要求，不能稱得上是環保產品。以內牆塗料為例，強制性標準對揮發性有機化合物（VOC）的要求是 1 升塗料中含量相等或小於 200 克，而中國環境標誌標準為 1 升塗料 VOC 含量相等或小於 100 克。（參考資料來源：

<http://www.greencouncil.org> )

### 第三節 污染源逸散模式

污染源逸散模式一般為經驗模式(Empirical model)，其模式參數由實驗數據驗證，或係基於質傳過程(Mass transfer process)之物理模式描述(Huang and Haghghat, 2002)。典型經驗模式為一階衰減模式(First-order decay model)及冪定律(Power-law model)模式(Zhu et al., 2001)。至於物理模式之主要理論有二，(1)材料間之濃度、壓力、及溫度梯度等之擴散作用，(2)材料層與空氣間之表面逸散作用，包括蒸發、對流、及擴散等。

在材料中以Fick law 第二定律描述擴散行為，以塗佈層之濕式材料為例，其擴散係數很難決定，在這類研究中表面逸散競爭之過程描述，集中在空氣中之VOC傳輸(Tichenor et al., 1993; Zhang and Niu, 2003; Zhang and Zhang, 2007)。在乾式材料中之擴散一般假設可被忽略(Huang and Haghghat, 2002)。常見之污染源逸散模式：

#### 1. 一階衰減模式

污染源逸散速率常以Dunn及Clausen之一階衰減模式表示(Guo, 2002)：

$$\text{Dunn model } E(t)=E_0e^{-kt} \quad (1a)$$

$$\text{Clausen model } E(t)=M_0ke^{-kt} \quad (1b)$$

其中， $E(t)$ ：逸散速率( $\text{mgm}^{-2}\text{h}^{-1}$ )， $E_0$ ：起始逸散速率( $\text{mgm}^{-2}\text{h}^{-1}$ )， $M_0$ ：單位塗佈面積之起始污染質量 ( $\text{mgm}^{-2}$ )， $k$ ：一階衰減速率常數， $t$ ：時間(h)。  $M_0$ 通常由建材之化學物濃度估計， $K$ 常用於水性



或油性塗料，可根據實驗數據由不同迴歸分析方法求得。本模式適用在逸散過程不同時間之逸散速率(Zhu et al., 2001)，但結果通常不適用實際建築物上(Huang and Haghghat, 2002)。

## 2. 雙對數模式

以雙對數模式(Double-exponential model)表示室內材料 TVOCs 之逸散速率(Guo et al., 2003; Kwok et al., 2003)：

$$E(t) = E_1 + E_2 = E_{10}e^{-k_1t} + E_{20}e^{-k_2t} \quad (2)$$

其中， $E(t)$ ：TVOC 的逸散速率( $\text{mgm}^{-2}\text{h}^{-1}$ )， $E_{10}$  及  $E_{20}$ ：起始逸散速率( $\text{mgm}^{-2}\text{h}^{-1}$ )， $k_1$  及  $k_2$ ：一階衰減速率常數， $t$ ：時間(h)。  $E_1$  是蒸發佔優勢階段之逸散速率， $E_2$  是擴散佔優勢階段之逸散速率，本模式由數據迴歸分析求得。

## 3. 冪定律衰減模式

冪定律衰減模式亦由數據迴歸分析求得，但其參數沒有任何物理意義：

$$E(t) = at - b \quad (3)$$

其中， $E(t)$ ：逸散速率( $\text{mgm}^{-2}\text{h}^{-1}$ )， $a$ ：參數( $\text{mgm}^{-2}\text{h}^{-1}$ )， $b$ ：參數， $t$ ：時間(h)。  $a$  及  $b$  由數據分析求得。本模式較一階衰減模式適用於木材及木質板之 VOC 逸散速率的描述。

## 4. 定額模式

與衰減模式相比較，定額模式(Constant model)為特例，有 3 種類型：

$$\text{定額模式} \quad R(t) = R_0 \quad (4a)$$

$$\text{非面積源定額模式} \quad R(t) = QC \quad (4b)$$

$$\text{面積源定額模式} \quad R(t)=AE_0 \quad (4c)$$

其中， $R(t)$ ： $t$  時間之逸散速率因子( $\text{mgh}^{-1}$ )， $R_0$ ：起始逸散速率因子( $\text{mgh}^{-1}$ )， $Q$ ：通過流量速率( $\text{m}^3\text{h}^{-1}$ )， $C$ ：流量中之污染物濃度( $\text{mgm}^{-3}$ )， $A$ ：污染源面積 ( $\text{m}^2$ )， $E_0$ ：定額逸散速率( $\text{mgm}^{-2}\text{h}^{-1}$ )。

### 2.3.1 環境箱測試法之建材逸散速率

目前健康綠建材標章以「低甲醛」及「低揮發性有機化合物」之逸散速率( $\text{mgm}^{-2}\text{h}^{-1}$ )為評估指標，由於建築裝修建材種類繁多，裝修過程亦有乾式、濕式之分，對於材質之厚度、種類之差異，均有對應的試驗方法及程序，所以健康綠建材測試過程中，對於不同種類的建築材料亦具有不同的分析條件及不同的參數。

內政部建築研究所之揮發性有機物質標準測試方法乃參考 ASTM(American Society for Testing and Material)D5116-97 所規範之小型環控艙測試法，其指標性污染物測試上，優先以甲醛(HCHO)及總揮發性有機化合物(TVOC：苯、甲苯、對二甲苯、間二甲苯、鄰二甲苯及乙苯)為試驗污染物(林霧霆等人，2007)。其原理主要是將小尺寸建材樣品放入小型環境試驗艙中，並針對溫度、濕度、換氣率及風速等因子加以控制，充分混和後再以定流量之採樣 Pump 將艙內的待測空氣樣品抽出，並經由熱脫附儀器，進入 GC/MS 與 GC/FID 系統對所採集空氣，分別進行逸散 VOCs 之定性與定量分析，可得知其化合物之種類與逸散量。

以環境箱測試法求得之逸散速率，一般稱為建材污染源單位面積逸散速率(Area specific emission rate,  $\text{SER}_A$ )：

$$\text{SER}_A=QC/A \quad (5)$$

其中： $SER_A$ ：環境箱中建材污染源單位面積逸散速率( $\text{mgm}^{-2}\text{h}^{-1}$ )，  
 $Q$ ：環境箱之氣體流量速率( $\text{m}^3 \text{h}^{-1}$ )， $C$ ：環境箱中之濃度( $\text{mg}/\text{m}^3$ )，  
 $A$ ：建材表面積( $\text{m}^2$ )。

### 2.3.2 室內空氣品質之簡化質量平衡模式

目前大部分建材逸散速率之研究以質傳模式為主。建築空間中最簡單之室內空氣品質模式，係以質量平衡原理及使用面積逸散率來代表建材之整體逸散速率，室內污染物之平衡受到污染源之逸散量、室外空氣量、及建築通風量之影響。將裝修材料之 TVOC 逸散速率( $\text{mgm}^{-2}\text{h}^{-1}$ )轉換建築室內環境之 TVOC 濃度。IAQ model 視污染源強度、通風速率及室內空間大小而定。一般室內空氣品質之簡化質量平衡模式(Guo et al., 2003; Hakkarainen, 2006)表示如下：

$$VdC/dt = E(t)A + Q(C_{out} - C) - R \quad (6)$$

其中， $V$ ：代表室內空間體積( $\text{m}^3$ )， $C_{out}$ ：代表室外 TVOC 濃度( $\mu\text{gm}^{-3}$ )，  
 $C$ ：代表室內 TVOC 濃度( $\mu\text{gm}^{-3}$ )， $Q$ ：室內通風速率( $\text{m}^3\text{h}^{-1}$ )， $A$ ：室內污染源面積( $\text{m}^2$ )， $E(t)$ ：污染源之 TVOC 單位面積逸散速率( $\mu\text{gm}^{-2}\text{h}^{-1}$ )， $R$ ：TVOC 之沉降(Sink)速率( $\mu\text{gh}^{-1}$ ) (如吸收、吸附)。

公式(6)為一般簡化模式，假設在同一污染源強度及沉降速率，及單一逸散速率函數。公式(6)為線性、非齊性差分方程式。已發表研究指出乾性吸收體如地毯具有吸收容量。假設無高容量之沉降(Sink)來源，可將  $R$  項假設為零。公式(6)再簡化如下：

$$VdC/dt = E(t)A + Q(C_{out} - C) \quad (7)$$

經文獻分析發現室外 TVOC 濃度多皆小於  $5 \mu\text{gm}^{-3}$ ，因此，假設  $C_{\text{out}}$  為零，公式(7)可再簡化如下：

$$dC/dt = (E(t)A - QC)/V \quad (8)$$

在穩定狀態下，公式(8)可簡化如下：

$$C = E(t)A / (NV) = E(t)L / N \quad (9)$$

其中， $N$ ：室內空氣之換氣率( $\text{h}^{-1}$ )( $N=Q/V$ )， $L$ ：室內建材之負荷率( $\text{m}^2\text{m}^{-3}$ ) ( $L = A/V$ )。

影響室內環境之空氣流動的因素相當複雜，除通風量外，室內環境的空氣流動型態亦是影響換氣設備功能的因素之一，室內環境之隔間、設備、人員、空氣進出口位置與風速等都會影響空氣的流動(陳友剛, 2007)。一般空氣污染物之分佈甚少成均勻分佈型態，因此，除考慮上述因子外並考量空間之混合率(Mixing factor) $K$ 。

本研究之簡化質量平衡模式，整合公式(4c)面積源定額模式、公式(5)環境箱測試法求得之逸散速率、及空間之混合率  $K$  等表示如下：

$$C = E(t)AK / (NV) = E(t)LK / N \quad (10)$$

若不同污染源之總 TVOC 濃度，則近似估計值如公式(11)：

$$\text{室內 TVOC 濃度} = \Sigma C \quad (11)$$

## 第三章 實驗方法與設備

### 第一節 建材逸散速率試驗

本研究建材測試方法與實驗步驟主要分為兩部分：(一)依據 ASTM D5116-06、ISO 16000-9、歐盟新測試標準 CEN/TS 16516 規範、CNS 16000-9 之小尺寸環控箱測試法進行模擬試驗；(二)參考內政部建築研究所標準試驗方法(MOIS901014)之建材標準測試流程。其採樣分析方法係依據 ISO 16000-3, 6 及 CNS 16000-3, 6 標準之甲醛(HCHO)檢測程序。

#### 3.1.1 檢測設備

本方法主要利用小型環境控制艙模擬室內環境條件，將欲測試的建材放入，建材中之揮發性有機物質會於環控箱內慢慢逸散至穩定狀態，再以含 Carbotrap 及 Carboxen1000/1003 三種不同吸附劑之吸附管予以定流量捕集濃縮，經熱脫附 (Thermal Desorption) 裝置熱脫附後，分別注入氣相層析質譜儀 (GC/MS) 及氣相層析儀/火焰離子偵測器 (GC/FID)，分別進行甲醛的定性與定量分析 (詳圖 3.1 所示)，使用之檢測設備包括：

1. 環境控制箱：環控箱構造須符合 ASTM D 5116-10 規定，須具有能夠控制溫度、濕度、風速及換氣率等環境變項以模擬欲測試之環境條件，內部構造需應具有非吸附性、具化學惰性和拋光的內部表面，結構上也減少使用填隙劑或吸盤，且具有不漏氣及非吸附性的門；空氣的流動要有適當的出入口，於出風口上也需要有溫度、濕度的監測器，溫溼度控制準確度分別須達到

$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ， $\pm 5\% \text{RH}$ ，本中心建有單艙環控艙（慶聲科技股份有限公司/Lambda 800/900）及艙中艙環控艙（全野環控公司）。

2. 潔淨空氣產生系統：以無油壓式空氣縮機抽取經過除濕器與活性碳過濾過的環境空氣（例如：使用 membrane dryer），以製造潔淨空氣送進環控箱。另外，也可以使用儲氣鋼瓶，或經活性碳過濾的空氣。潔淨空氣所含之有機物質濃度，單一成分揮發性有機物質(VOC)濃度不可超過  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，而總揮發性有機物質(TVOC)濃度則不可超過  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。
3. 流量控制裝置：能將潔淨空氣以定流量方式導入環控箱內部，控制實驗所需之換氣率。
4. 熱脫附裝置：熱脫附裝置須具備熱脫附吸附管的能力，且有溫度控制裝置，能迅速加熱至  $300 \pm 10^{\circ}\text{C}$ ，並通以不含有機物質的氮氣或氦氣者。
5. 採樣幫浦：能抽取環境控制箱內混合均勻的氣體至熱脫附裝置進行捕集。
6. 電子式流量控制器：能控制流量範圍為 0 至  $100 \text{ mL}/\text{min}$  者。
7. 氣相層析儀，附有火焰離子化偵測器及樣品注入器（或自動樣品注入器）。
8. 質譜儀：為四極柱式、離子阱質量選擇器或其他相同功能之質譜儀，具每秒至少可掃描 30 至  $300 \text{ amu}$  一次之質譜者。
9. 層析用積分儀或紀錄器。
10. 分離管柱：
11. GC/FID：參考如毛細管柱編號 90325C，內徑為  $0.32\text{mm}$ ，長度為  $60\text{m}$ ，膜厚  $5.0 \mu\text{m}$ ，或同級品。

12. GC/MS：參考如毛細管柱編號 000425J，內徑為 0.25mm，長度為 60m，膜厚 2.0  $\mu\text{m}$ ，或同級品。

### 3.1.2 檢測流程

#### 1. 採樣與保存

1.1 採樣前準備：採樣所使用之採樣袋、潔淨鋁箔、採樣箱內部等，須於採樣前以去除水分及有機物質之高純度氮氣予以沖洗及置換，清洗完成後應密閉並置放於潔淨處。

1.2 建材樣品收集：收集建材樣品需為製造完成一週內或進口至台灣一個月內，由委託廠商自行採樣進行採樣，乾式建材以潔淨鋁箔包覆置入採樣袋中，切割尺寸為 300 mm×300 mm，收集後放置於 4°C 下之採樣箱中予以保存；乾式建材則在未開啟狀態置入 4°C 下之採樣箱中予以保存，均於三日內進行分析。

1.3 建材樣品保存及運送：建材樣品收集於採樣箱中保存，溫度控制於 4°C 下進行運送，過程不得開啟避免碰撞，直到環控箱中的空白試驗完成後方得以開啟，開啟過程應於環控箱中進行，乾式建材應於排煙櫃中開啟，並於環控箱中進行刷塗製作受測樣品。

1.4 空白試驗：在進行實驗分析前，須以三倍環控箱內部體積之潔淨空氣清洗；清洗完成後，需以氣相層析質譜儀量測環控箱內部有機物質之濃度值，以確保環控箱內部無有機物質殘留；每片建材分析完成也需進行空白分析；當單一揮發性有機物質的濃度大 2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  時，則須分析實驗室空白以確定污染來源。

## 2. 標準氣體配置

當標準品為液態時，可從標準品中分別配製成 1~300  $\mu\text{g/mL}$  不同濃度之液態標準品，可以藉由添加定量之混合各種待測化合物之液態標準品於鐵氟龍材質之採樣袋內方式來製備，這種製備標準氣體方式是當標準品為液體時，可用以下步驟來配製一標準氣體。

2.1 以零級空氣或氮氣沖洗採樣袋，沖洗方法是將零級空氣或氮氣以三倍採樣袋體積置換袋內空氣；置換完後，將採樣袋內空氣完全排出並立刻將採樣袋之入口閥關緊。

2.2 以微量注射針注射預先已配製好的液體標準品於採樣袋內，將採樣袋以紅外線加熱燈加溫直到採樣袋內的液態標準品完全揮發。

2.3 再從採樣袋中抽取標準氣體之前，必需讓它在紅外線加熱燈中平衡至少 20 分鐘，以避免標準氣體凝結下來。

2.4 以下列方程式計算採樣袋內每一個化合物之濃度：

$$\text{濃度}(\mu\text{g} / \text{L}) = (\text{Va}) (\text{C0}) \times 10^{-9} / \text{Vf}$$

此處，Va：液體標準品注入至採樣袋的體積， $\mu\text{L}$

C0：液態標準品濃度， $\mu\text{g/mL}$

Vf：採樣袋體積，L

## 3. 建材樣本測試分析

3.1 設定環境控制箱之環境條件在：溫度 25°C，溼度：50%，換氣率：0.5 ACH。

3.2 空白實驗：在進行建材樣本分析前，須進行環境控制箱內部之空白分析；當環控箱環境條件以達到設定值後，以採樣速



率為 50 mL/min，採樣時間為二小時進行採樣，經熱脫附裝置，以 GC/MS 進行分析，不可分析出有明顯之有機物質存在。

- 3.3 充分混合：空白實驗分析完成後，將測試建材放入環境控制箱內部，建材中所含的揮發性有機物質會於環控箱內部慢慢逸散，利用環控箱內部循環系統，使揮發性有機物質能於環控箱內部充分混合。
- 3.4 定性分析：建材放入 1 小時後，以每分鐘 50 mL/min 進行採樣，採樣時間為一小時，經熱脫附裝置捕集後，以 GC/MS 進行 VOCs 定性分析。
- 3.5 檢量線建立：依上述(一)配製不同濃度之標準氣體，取定量於標準氣體注入口處注入至熱脫附裝置（如圖所示），使特定化學物質進入 GC/FID 進行定量之質量數為介於 5-2000 ng，再由層析圖之尖峰面積與其相對的重量 ( $\mu\text{g}$ ) 做成檢量線，檢量線相關係數須達到 0.995 以上。
- 3.6 定量分析：建材之 VOCs 逸散率會隨時間而呈現衰減現象，因此採樣時間及頻率也須配合其逸散情形做規劃；實驗開始進行 24 小時內，以每分鐘 50mL/min，採樣頻率為每 1 小時進行採樣 1 次，每次採樣時間為 1 小時（採樣體積為 3L）；實驗進行 24 小時後，逸散率會較穩定，流速固定，採樣時間改以每 2 小時採樣 1 次，每次採樣時間為 2 小時（採樣體積為 6L），共進行 48 小時之試驗。
- 3.7 連續監測：至環控箱內部有機物質以達到方法偵測極限以下，或呈現穩定逸散率即可。

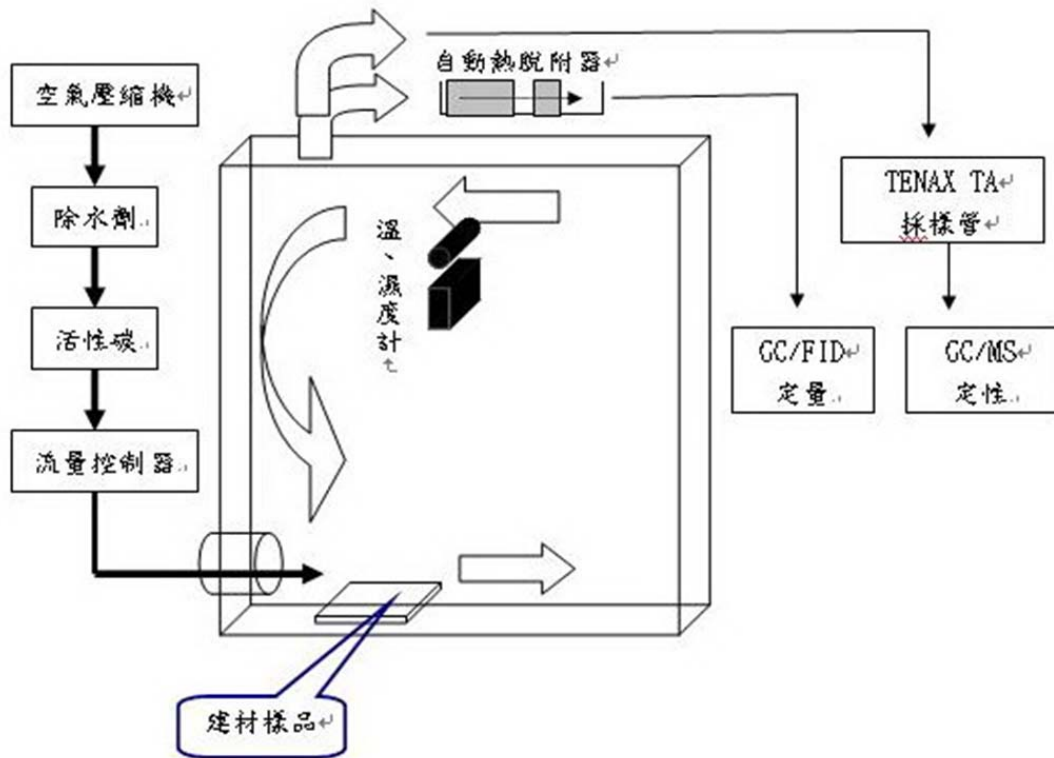


圖 3.1 甲醛逸散速率檢測流程示意圖

## 第二節 實驗屋之配置

建材逸散速率雖可依前節之小型環控箱法進行量測，惟不同的建材依不同面積應用於真實室內空間後的逸散行為，仍缺乏第一手的觀測資料，過去的研究大多使用電腦模擬或數學公式推估室內空氣品質，然而，電腦數值模擬所使用之模式間，亦存在相當不確定性，其結果往往也需要藉由實驗結果來比對印證，故本研究係利用本所位於台南歸仁區之六組實驗屋作為研究場域。

### 3.2.1 貨櫃屋尺寸

實驗屋採 20 英尺貨櫃(20 英尺長×8 英尺寬×8.5 英尺高)構成一個全尺度實驗屋，本所共設置 7 座實驗屋(圖 3.2、3.3)，其中 1 座作為實驗控制與儀器設備室，其餘 6 座實驗屋可同時進行 6 種室

內裝修的比對性研究，實驗屋的外窗尺寸為由兩片 1mx2m 的玻璃組成，窗戶玻璃淨面積為 14.4m<sup>2</sup>。窗戶朝向正西方，窗外無樹木及其它建築物遮擋太陽輻射。六間實驗屋的面積與室內佈置完全一致，窗戶的大小、位置也相同，房間的熱學性能及空氣動力性能基本上是一致。。此外，為因應未來實驗之需要，於戶外建置一小型氣象站可作為未來實驗時戶外氣候條件之逐時記錄使用；而於各棟實驗屋室內配有變頻分離式空調搭配用電記錄器，可供建築空調耗能之實證研究使用。於室內物理量量測研究設備方面，則建置了溫濕度記錄感知器，以作為室內舒適性研究用途。至於，選擇設置多個實驗屋之原因在於能在相同的控制條件下，進行不同裝修策略的比對實驗，呈現實時(real time)的室內環境量化值，由於 6 組實驗屋之控制條件均一致，所得之結論無需進行相關假設或修正，可提高研究之正確性與信賴度。



圖 3.2 實驗屋群外觀



圖 3.3 實驗屋玻璃開口部外觀

### 3.2.2 實驗屋的儀器設備

實驗屋的儀器設備主要分為數位電表、室內溫溼度測量設備以及戶外氣候測量系統。各項儀器的規格說明如下：

1. 數位電表：在 6 個實驗屋裡都各裝設一台數位電表，用以記錄冷氣的即時耗電量。數位電表如圖 3.4 所示：



圖3.4 數位電表的功能和現場安裝照片

2. 室內溫溼度測量設備：在 6 個實驗屋裡都各裝設二個無線溫度感測器和一個濕度感測器。二個溫度感測器其中一個做為記錄乾球溫度，而且這個溫度感測器與濕度感測計結合成單一個感測器，以減少占用記錄器的接點。另一個採用單獨的溫度感測器，預留作為後續接上標準黑球後以測量室內黑球溫度。另有一台無線記錄器，用以儲存記錄的溫溼度數據（圖 3.5）。



圖 3.5 室內溫溼度測量設備



(三)戶外氣候測量系統包括溫溼度感測器、風向風速感測器、日照感測器、數據記錄儀以及相關的配件。其組成與規格詳參考圖 3.6。



圖 3.6 室外氣象量測設備

### 第三節 甲醛特性及偵測器

#### 3.3.1 甲醛特性

甲醛 (Formaldehyde) 分子式  $\text{HCHO}$ ，為無色有刺激性之有毒氣體，分子量約  $30\text{g/mole}$ ，濃度達  $0.04\text{ppm}$  時即可能可聞到甲醛的味

道，台灣 IAQ 標準為 0.08ppm，甲醛易溶於水及甲醇中，有消毒防腐作用。甲醛是一種刺激性毒物，對黏膜有刺激作用，當刺激眼、鼻及喉部時，會發生咳嗽、疲倦、起疹及過敏等現象，並可造成結膜炎、鼻炎、喉炎等，依據美國環保署資料顯示，甲醛是屬於很可能致癌之人類致癌物。甲醛進入人體之途徑有吸入、皮膚吸收及食入。吸入會造成呼吸道刺激及肺功能減弱，為弱的肺過敏源，且會造成皮膚刺激及過敏，敏感者對非常低濃度亦會過敏，過敏包括皮膚刺痛、發紅、濕疹、紅疹、龜裂。濕疹可能產生在手肘、腳及部分或全部的臉、頸處。甲醛廣泛使用在人造板材、塑料地板、化纖材料、塗料和黏著劑中，甲醛的主要室內排放源是壓製木產品、黏合膠、粒片板、中等密度纖維板，及其他裝修物料，如發泡絕緣物料、紡織物、地毯及地台織物等。此外，燃燒中的香煙及其他燃燒源，例如燃氣爐具、火水採暖裝置，或某類消費品如紙品及化妝品等亦會散發甲醛。室內裝修材如發泡膠、隔熱層、黏著劑、織物、地毯及樓版面材中亦含有甲醛，因此，試驗建材之甲醛逸散量為判定健康建材之重要項目之一。甲醛廣泛地應用於生活環境中，台中榮民總醫院列出以下可能含有甲醛的物質：(1)黏膠、漿糊、橡膠接合劑。(2)防腐劑：各種用途的防腐劑，有些防腐劑可釋出甲醛。(3)各種合成樹脂及松脂。(4)感光紙、安定劑、顯影劑。(5)化粧品：牙膏、漱口水、除臭劑、洗髮精、潤絲精、泡浴用品、指甲油及硬劑。(6)農業用燻蒸消毒器、用於蔬菜、農地作物、種子及根部處理。(7)清香劑及消毒劑、如家用噴灑劑及擦拭品。(8)清潔用品：如一般家用品清潔液。(9)磨光粉和打亮品：用於汽車、地板、水泥地、鞋子、傢俱。(10)汽車用品：清潔劑、防鏽品。(11)油漆及漆器、

防蝕塗料、乳狀塗料。(12)紙張處理。(13)許多對甲醛敏感者不能穿用甲醛樹脂處理的衣物。

根據隸屬世界衛生組織(WHO)之國際癌瘤研究署(International Agency for Research on Cancer, IARC)的分類, Group 1 為「具人類致癌性」, Group 2 為「可能是人類致癌物」, Group 3 為「無適當證據其與致癌相關」, Group 4 為「無致癌性」。IRAC 將甲醛歸類為第一類致癌物:確定為人體致癌物。而根據美國環境保護署(U. S. Environmental Protection Agency; U. S. EPA)的資料,甲醛則被歸類為 B1 致癌物:可能的人類致癌物,人類致癌證據有限,動物致癌證據充分。

### 3.3.2 甲醛偵測器

本研究用來量測實驗屋甲醛氣體濃度之儀器為英國 PPM Technology 公司生產之「PPM Formaldemeter™ htV-m」甲醛氣體偵測器,其規格如下

1. 感應器原理:採電化學式。
2. 分析範圍:介於 0-10ppm。
3. 反應時間:高準確率模式為 1 分鐘,低準確率為 8 秒。
4. 解析度:可達 0.001ppm。
5. 準確度:2ppm 為 10%。
6. 形式:可更換式的數位 CMOSens。
7. 採樣方式:內建採樣幫浦。
8. 校正:需原廠提供的校正標準管溫濕度感應器。
9. 可連續儲存達 2000 筆資料、另具有即時時鐘。



10. 每筆採樣後具有自我清潔功能，及使用 USB 及下載軟體槍數據下載至電腦。



圖 3.7 甲醛氣體偵測器

本儀器操作溫度為 0~40°C，且甲醛逸散濃度對於溫度非常敏感，應盡量避免在溫度變化很大的環境中檢測，另此儀器的測值為瞬間的讀值，不能代表個人長時間的甲醛暴露值，且應避免使用於菸害場所，因為此場所中含有乙醛，若不可避免，必須使用酚過濾器，每一酚類過濾器不可使用超過 5 次，使用過的過濾器不可與未使用的過濾器一起放在試管中。除相關干擾物之外，要注意使否會有液體或灰塵進入偵測器中，因液體與灰塵會對儀器的感應器產生危害，此儀器可以每天使用，但是要避免儀器受到激烈的碰撞，且

要定期對此儀器做校正，尤其誤差超過 $\pm 10\%$ 時須校正。儀器可連結至電腦下載資料（畫面如圖 3.8），並透過軟體修改儀器相關設定。

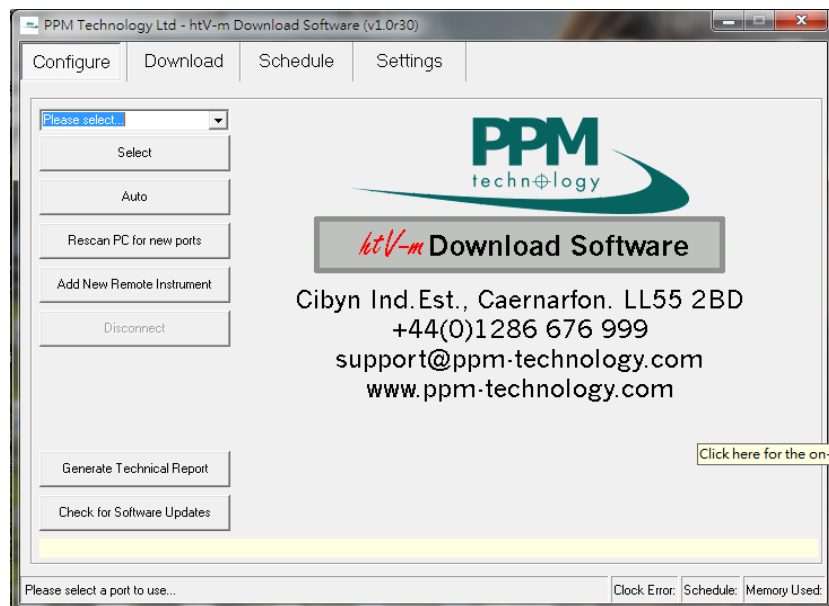


圖 3.8 甲醛氣體偵測器軟體畫面

## 第四章 實驗屋甲醛濃度實測與分析

本研究目的係於條件相同之實驗屋，分別以綠建材塗料與非綠建材塗料塗佈，再進行空間中甲醛濃度的觀測，以瞭解綠建材對室內空氣品質的影響。綠建材部分，目前在綠建材網頁中已可查詢綠建材的產品及其甲醛逸散速率，因此研究所使用的綠建材塗料取得並無問題。但非綠建材塗料部分，必須在市場上選購無標章之塗料，然而，本研究面臨的一個問題是，無標章之塗料，其甲醛逸散速率不可知，故本研究於市場上挑選一無標章之塗料，進行甲醛逸散速率之檢測。

### 第一節 市售建材甲醛逸散速率檢測結果

本研究以小型環控箱方法（流程圖詳圖 4.1）進行市售建材甲醛逸散速率檢測，所使用之分析儀器詳表 4.1 所示，並依據 ISO 16000-3（室內空氣-甲醛及其他羰基之偵測-主動採樣方法）方法建立甲醛檢量線，甲醛之高濃度檢量線以 5 種標準品濃度抽取  $1\mu\text{L}$  注入 DNPH 吸附管內，其高濃度範圍  $4.752\sim 47.30\mu\text{g/mL}$ ，檢量線判定係數  $R^2=0.9957>0.995$  合於規範標準，甲醛之低濃度檢量線亦以 5 種標準品濃度抽取  $1\mu\text{L}$  注入 DNPH 吸附管內，其低濃度範圍  $0.473\sim 4.752\mu\text{g/mL}$ ，檢量線判定係數  $R^2=0.9981>0.995$  合於規範標準，如圖 4.2、4.3 所示。

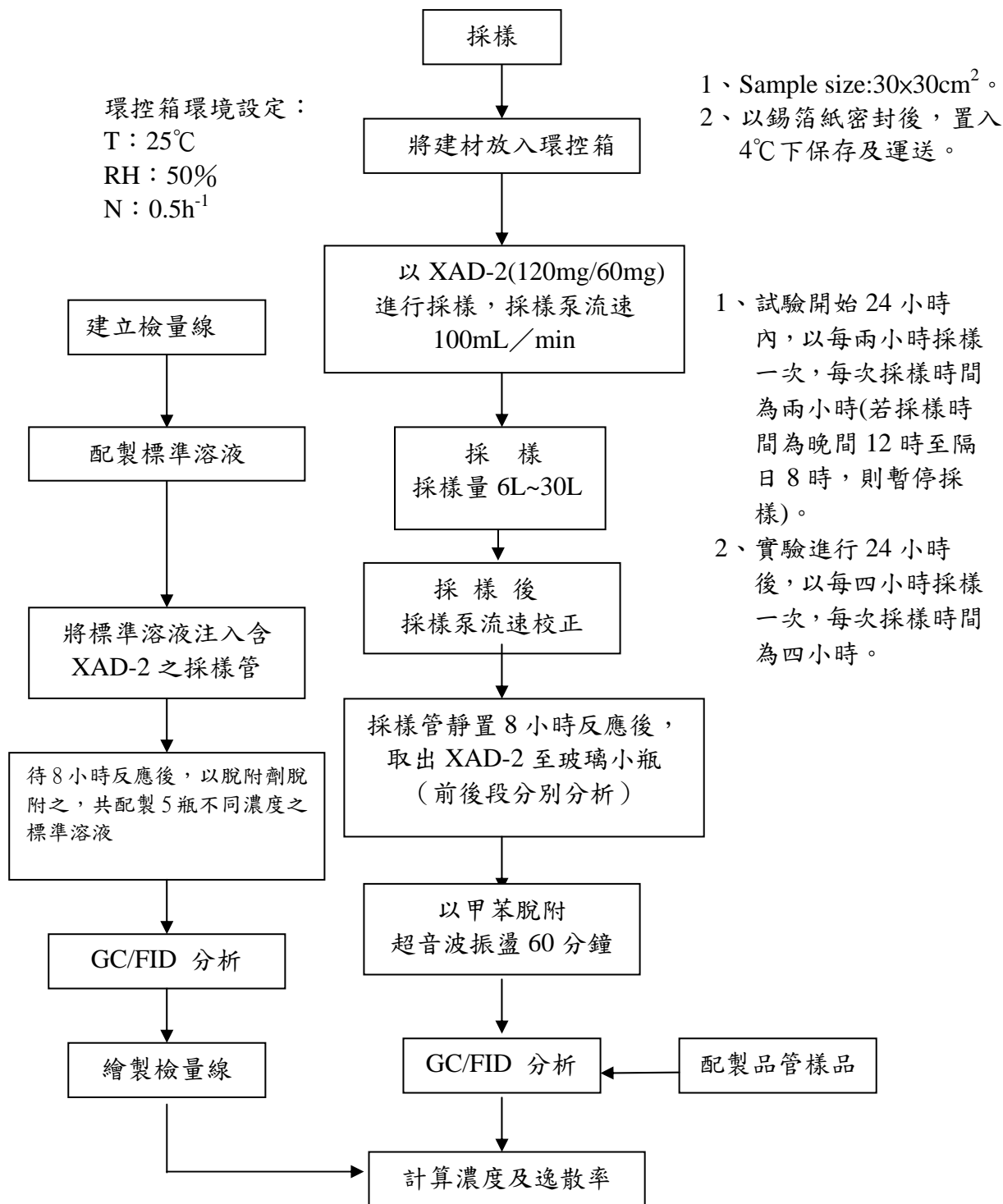


圖 4.1 甲醛逸散速率檢測

表 4.1 甲醛逸散速率檢測分析儀器

項次	設備名稱	廠牌/型號	量測範圍
1	環境控制艙	慶聲科技股份有限公司/Lambda 800/900	10°C~95°C 20%RH~98%RH
2	氣相層析儀/火焰離子偵測器 GC/FID	Agilent /Technologies 6890N	100°C~450°C
3	氣相層析儀/質譜儀 GC/MS	Agilent / Agilent 5973 MASS 6890N	2~800 a.m.u
4	氣相層析儀/火焰離子偵測器 GC/FID	Thermo /Trace GC 2000/	100°C~450°C
5	自動熱脫附儀 ATD	PerkinElmer/ Turbo Matrix ATD-50	50°C~400°C

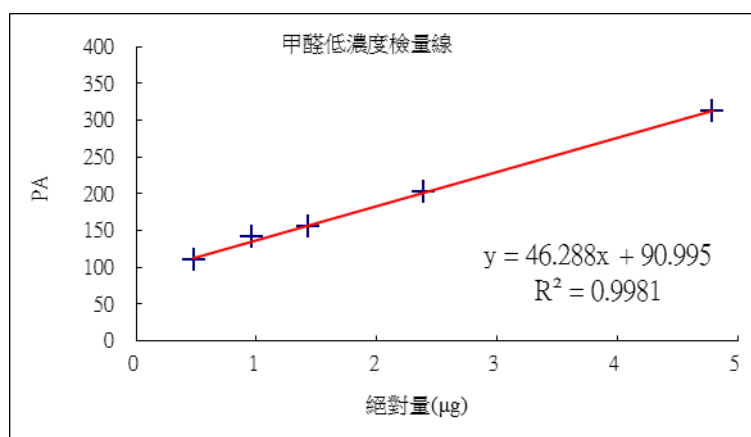


圖 4.2 甲醛低濃度檢量線

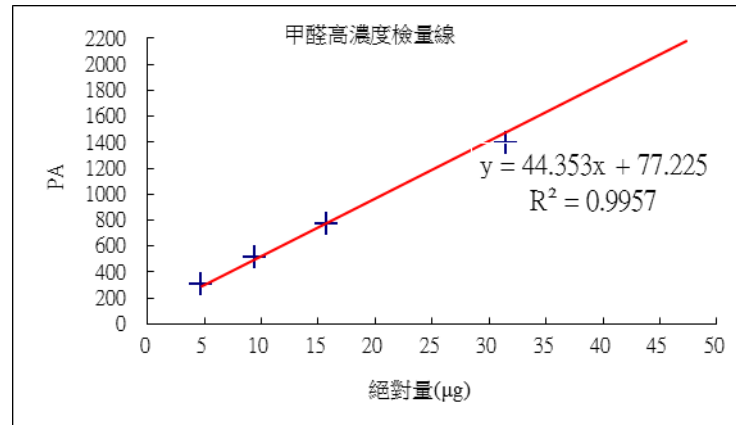


圖 4.3 甲醛高濃度檢量線

市售塗料甲醛逸散速率，以 25°C、50%及 0.5ACH 基準進行 48 小時逸散試驗。檢測結果顯示，甲醛濃度起始逸散最高濃度濃度出現在第 6 小時，濃度為 0.022 mg/m<sup>3</sup>，逸散速率為 0.027 mg/m<sup>2</sup>.h，48 小時之逸散濃度濃度 0.014mg/m<sup>3</sup>（詳表 4.2），逸散速率為 0.018 mg/m<sup>2</sup>.h，其逸散性能過程如圖 4.4、圖 4.5 所示。以該逸散速率和綠建材基準比較，其等級為健康綠建材 E2 等級。

表 4.2 甲醛逸散濃度及逸散速率

歷時逸散濃度 (單位: mg/m <sup>3</sup> )		歷時逸散速率 (單位: mg/m <sup>2</sup> *h)	
小時	甲醛	小時	甲醛
2	0.016	2	0.021
4	0.016	4	0.020
6	0.022	6	0.027
8	0.016	8	0.020
10	-	10	-
12	-	12	-
14	-	14	-
16	-	16	-
18	-	18	-
20	0.012	20	0.015
22	0.016	22	0.020
24	0.016	24	0.020
28	0.014	28	0.018
32	0.012	32	0.014
36	0.011	36	0.014
40	0.012	40	0.015
44	0.014	44	0.017
48	0.014	48	0.018

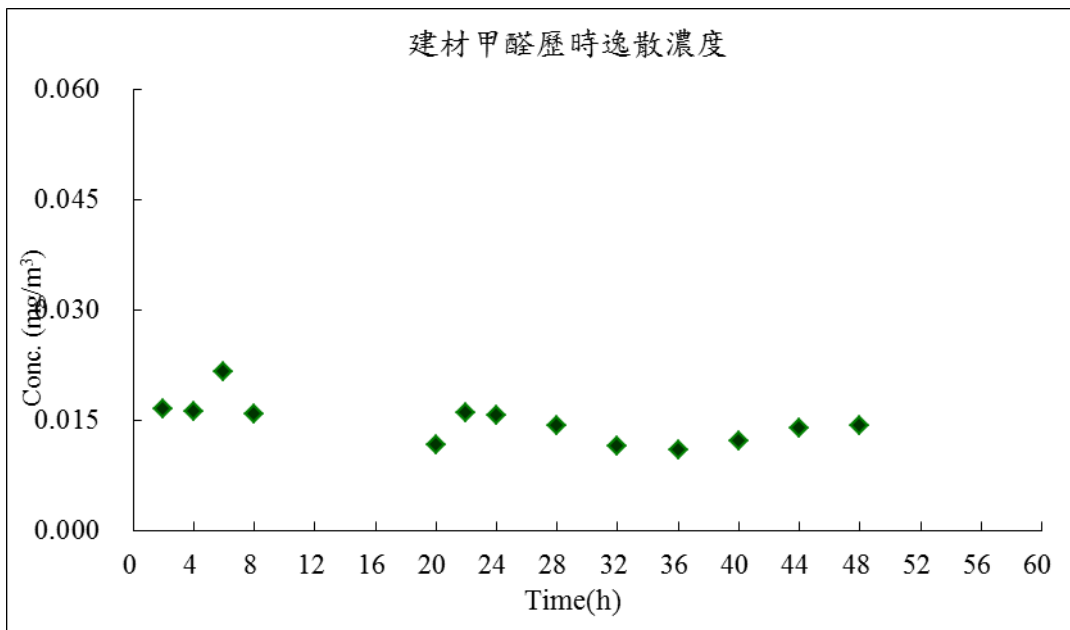


圖 4.4 建材甲醛歷時逸散濃度變化

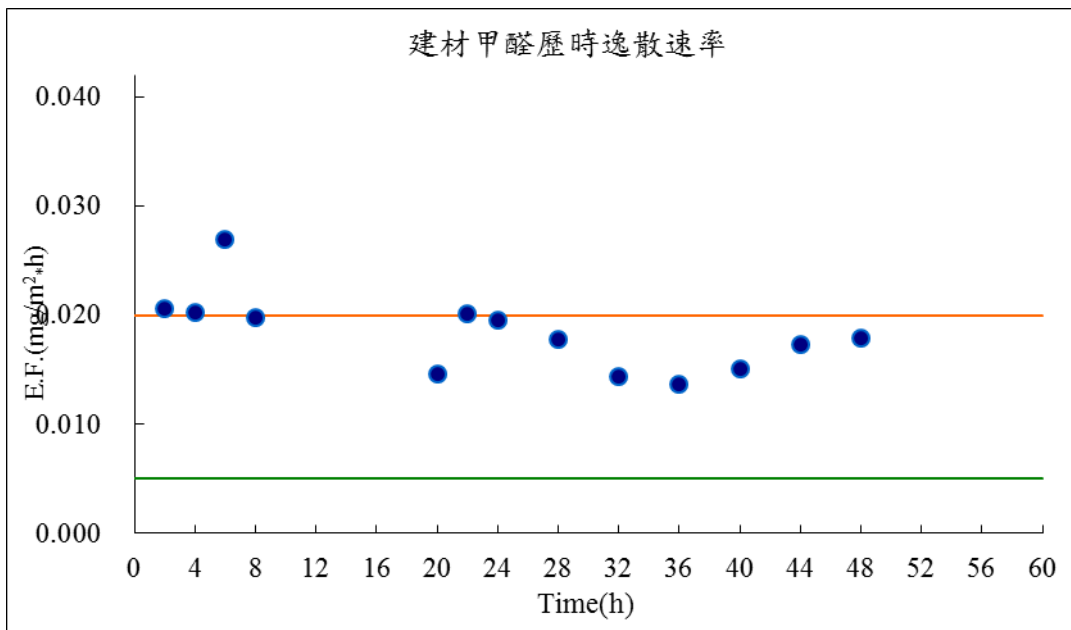






圖 4.5 建材甲醛歷時逸散速率變化

## 第二節 實驗屋之建材佈設

前節提及市售非綠建材塗料測定結果為 E2 等級，換言之，雖其非綠建材，但實際上其甲醛逸散速率達到健康綠建材 E2 之等級，因此非綠建材部分，必須從本所建材逸散資料庫的歷史資料中搜尋非綠建材產品，本研究選取一件產品其甲醛逸散速率 0.50，另外 E2 綠建材則為前節試驗之塗料，其甲醛逸散速率為 0.018，至 E1 及 E3 則從綠建材標章資料庫中選取甲醛逸散速率落在 E1 及 E3 等級之塗料，其中 E1 甲醛逸散速率為 N.D. (未檢出，低於偵測極限)，E3 甲醛逸散速率為 0.071，本研究共採四個等級之塗料進行試驗 (詳表 4.3)。



表 4.3 不同等級之塗料及逸散速率

等級	E1	E2	E3	非綠建材
塗料				
甲醛逸散速率	N. D.	0.018	0.071	0.5

本實驗場域共有 6 間相同之實驗屋，而塗料等級僅 4 種等級，本研究規劃 4 個等級之塗料均在實驗屋的 8 片板材上塗佈 5 片，以比較室內甲醛濃度值，另低逸散之 E1 塗料則加測一組塗佈 8 片之實驗，以瞭解低逸散速率之塗料，塗佈面積較高時的甲醛濃度表現，另外，高逸散速率之非綠建材塗料亦加測一組塗佈 2 片之實驗，以瞭解高逸散速率塗料塗佈量較低時的甲醛濃度表現。此一實驗設計之目的係比較建材逸散速率及建材負荷率（使用量）對室內甲醛濃度的影響情形。整體實驗配置如表 4.4 所示，

表 4.4 實驗配置表

實驗屋序號	R1	R2	R3	R4	R5	R6
塗料等級	E1	E1	E2	E3	非綠建材	非綠建材
塗佈面積	5 片	8 片	5 片	5 片	5 片	2 片

### 第三節 儀器檢定及空白試驗

#### 4.3.1 儀器重複性測試

本研究採用本年度新購之手持式甲醛氣體偵測器進行量測，在實際量測前，先進行儀器重複性(Repeatability)之試驗，所謂重覆性就是在短時間內，同一個人用相同方法，在相同位置用相同的儀器，測量同一工件的同一特性多次，相互比較後所得之變異值，變異值越小代表儀器的可信度越高，至於再現性(Reproducibility)則是不同人使用同一量測系統，量測同一工件的同一特性多次所得之變異值，其代表人為差異所帶來的實驗變異，然而，本儀器由於操作簡單，不同的人操作幾不會造成差異，因此，儀器本身造成的實驗變異是確認的重點，故為瞭解本儀器之重複性，本研究分別於室外空曠處量測十筆數據（詳圖），其甲醛濃度平均值為 0.0086，其標準差為 0.00025，另外在六號實驗屋室內，同樣量測十筆數據，其甲醛濃度平均值為 0.0694，其標準差為 0.0031，整體而言，儀器的重複性，有令人滿意的表現。



圖 4.6 室外空曠處進行重複性量測

表 4.5 甲醛氣體偵測器重複性試驗結果

筆數	R6	室外
1	0.069	0.01
2	0.067	0.012
3	0.073	0.01
4	0.063	0.005
5	0.067	0.008
6	0.073	0.008
7	0.07	0.012
8	0.072	0.009
9	0.071	0.006
10	0.069	0.006
平均	0.0694	0.0086
標準差	0.0031	0.00025

為了解實驗屋不同位置的甲醛濃度，分別在實驗屋中間高處（距屋頂約 3 公分）、中間點、低處（距地板約 3 公分）、離牆約 3 公分處，及三牆面交會的屋角處，共量測五點數據（詳圖 4.7），其甲醛濃度度介於 0.057 至 0.066，其中壁面處及高處濃度稍高，但整體差異不大，相關數據詳表 4.6 所示。

表 4.6 實驗屋不同位置之甲醛逸散速率

R1 位置	高	中	低	離牆 3cm	屋角
測值	0.066	0.057	0.058	0.065	0.057

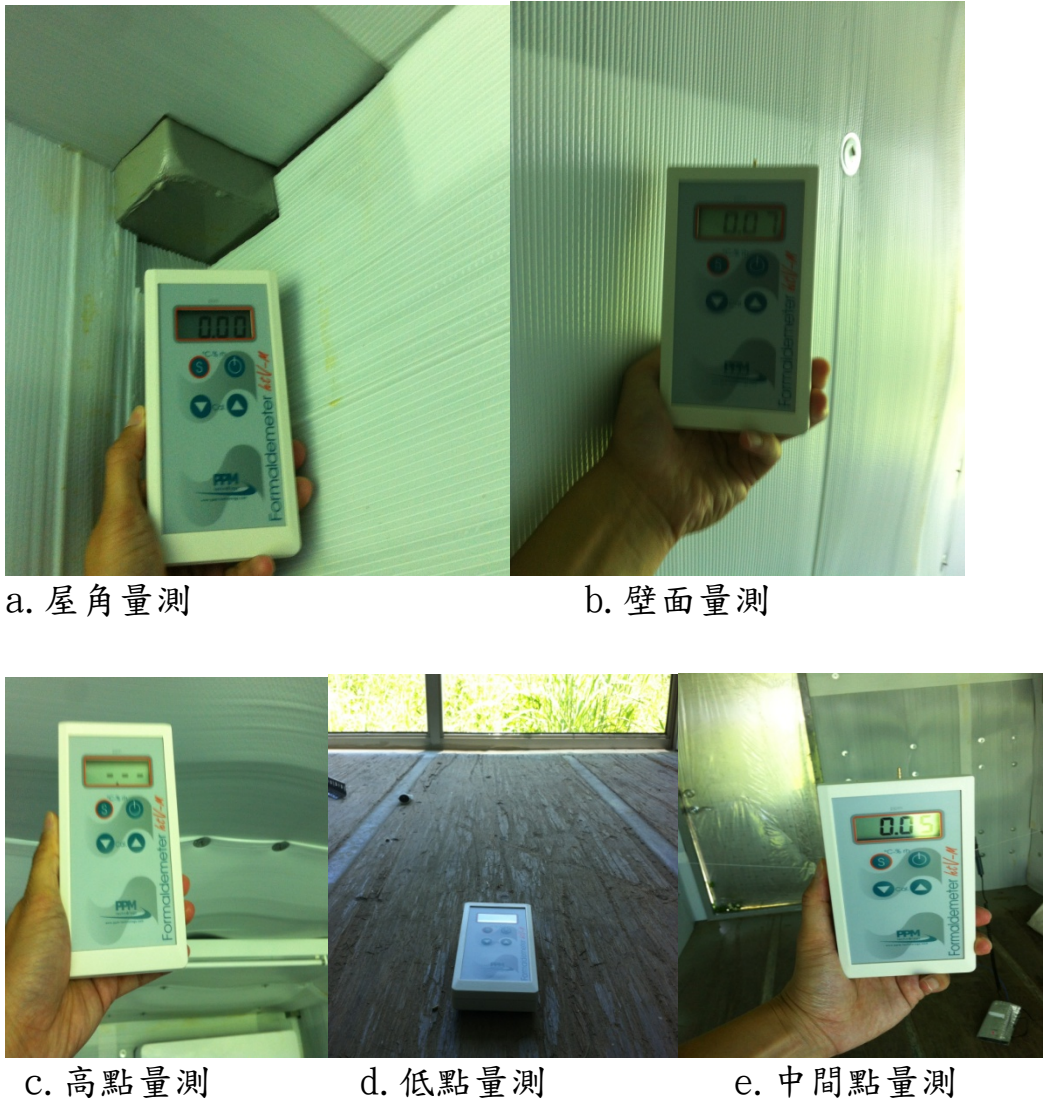


圖 4.7 實驗屋不同位置量測

#### 4.3.2 實驗屋空屋空白試驗

本研究之實驗屋外殼為鐵皮貨櫃，但為了模擬一般建築的隔熱性能，鐵皮內仍有板材及隔熱材等建材，且實驗前，實驗屋幾乎為密閉狀態。為瞭解實驗屋現況之甲醛逸散速率，本研究在裝修前，先對六間實驗屋（以下簡稱 R1、R2……R6），依高、中、低各進行三筆甲醛濃度之量測，檢測結果 R1 甲醛濃度為 0.060ppm、R2 甲醛

濃度為 0.088ppm、R3 甲醛濃度為 0.060ppm、R4 甲醛濃度為 0.067ppm、R5 甲醛濃度為 0.077ppm、R6 甲醛濃度為 0.066ppm (詳表 4.7)，此外，以位置而言，中間處六組平均值為 0.0678，略低於高處及低處，推估係因為高處與低處距離天花板及地板較近，甲醛濃度略高。

表 4.7 六間實驗屋甲醛濃度

序號 位置	R1	R2	R3	R4	R5	R6	平均
高	0.066	0.090	0.064	0.069	0.076	0.070	0.0725
中	0.057	0.086	0.061	0.066	0.077	0.060	0.0678
低	0.058	0.089	0.054	0.067	0.079	0.069	0.0693
平均	0.060	0.088	0.060	0.067	0.077	0.066	

由於實驗屋現況是幾乎密閉狀態，因此室內甲醛濃度介於 0.060 至 0.088，本研究實驗時，將 R1 之門扇開啟 1.5 小時後，再進行量測，量測結果發現 R1 實驗屋高中低三個位置之甲醛濃度分別降低為 0.024、0.032、0.033，平均為 0.030，相較於初始濃度之平均值 0.060，甲醛濃度在 1.5 小時的時間中，降低為一半，顯見，通風後，蓄積的甲醛濃度快速消散 (詳表 4.8)。

表 4.8 通風後甲醛濃度

序號 位置	R1	R1(開門 通風 1.5hr)
高	0.066	0.024
中	0.057	0.032
低	0.058	0.033
平均	0.060	0.030

除了 R1 實驗屋通風外，其他 5 間實驗室在完成初始濃度量測後，仍關上門窗，僅人員盡出時短暫開關，在經過兩個小時後，再予量測一次。量測結果顯示，間隔兩小時的兩次量測，差異不大，初始濃度平均為 0.0716，兩個小時後，平均濃度為 0.0692，其差距推測為人員進出開門時，產生局部的換氣作用，但由於門窗仍為禁閉，因此甲醛濃度維持相當穩定。實驗完 R1~R6 均維持密閉，隔日同時段（24 小時後）再量次各組實驗屋，量測結果顯示，六組實驗屋初始量測濃度平均為 0.0716，2 小時後平均為 0.0692，24 小時後為 0.0702，大致上濃度變化不大（詳表 4.9）。

表 4.9 不同時間點甲醛濃度

序號 位置	R1	R2	R3	R4	R5	R6	平均
平均 (6 月 23 日)	0.0603	0.088	0.060	0.067	0.077	0.066	0.0716
2H 後 (6 月 23 日)	- (開門 通風試 驗)	0.080	0.053	0.065	0.079	0.069	0.0692
24H 後 6 月 24 日	0.063	0.088	0.066	0.058	0.078	0.07	0.0705

#### 第四節 板材甲醛逸散實驗結果

六間實驗屋目前之外殼構造為 2mm 鐵板內加 2cm 的隔熱 PE，為了在實驗屋上塗佈不同塗料，並模擬實際建築常用的隔間材料，本研究在六組實驗屋內置入八片某廠牌之耐然一級強化石膏



板(GB-F)，該石膏板是E1等級綠建材，每片石膏板是122X244公分，厚度為1.5公分(詳圖4.8所示)。

在置入板材當天，必須開啟實驗屋的門，開啟時間約為1.5個小時，因此置入後，分別量測六間實驗屋的甲醛濃度，量測結果顯示，R1 甲醛濃度降低至0.0340; R2 甲醛濃度降低至0.0420; R3 甲醛濃度降低至0.0363; R4 甲醛濃度降低至0.0420; R5 甲醛濃度降低至0.04530; R6 甲醛濃度降低至0.0443(如表4.10所示)。

置入板材後，將實驗屋門關閉，24小時及48小時後，分別再予量測甲醛濃度，量測結果發現置入板材後，濃度持續上升，到了第48小時，R1 甲醛濃度升高至0.0623; R2 甲醛濃度升高至0.0940; R3 甲醛濃度升高至0.0637; R4 甲醛濃度升高至0.0817; R5 甲醛濃度升高至0.0957; R6 甲醛濃度升高至0.0907(如表4.11、4.12所示)。六間實驗屋濃度，均較置入板材當天升高了約兩倍，且均高於實驗屋初始狀態(參考詳表4.9)，相關結果顯示，室內甲醛因室內換氣率增加而濃度降低，但是關閉門窗後，建材中甲醛又持續釋放至空氣中，大約兩天時間，室內濃度即回復到通風前狀態，另外，雖然本研究置入之板材為E1等級之綠建材石膏板，但是，兩天後，室內甲醛濃度即高於初始狀態，顯示板材中仍有部分甲醛逸散至室內環境，導致空氣中甲醛濃度高於未置入板材時之室內濃度，實驗屋甲醛濃度變化繪製如圖4.9。



圖 4.8 實驗物置入 E1 綠建材石膏板

表 4.10 置入板材後立即量測之甲醛濃度

序號 位置	R1	R2	R3	R4	R5	R6	平均
高	0.034	0.043	0.036	0.045	0.044	0.043	0.0408
中	0.036	0.039	0.036	0.043	0.046	0.045	0.0408
低	0.032	0.044	0.037	0.038	0.046	0.045	0.0403
平均	0.0340	0.0420	0.0363	0.0420	0.0453	0.0443	



表 4.11 置入板材後 24 小時量測之甲醛濃度

序號 位置	R1	R2	R3	R4	R5	R6	平均
高	0.076	0.076	0.039	0.037	0.088	0.077	0.0655
中	0.062	0.073	0.036	0.047	0.084	0.085	0.0645
低	0.05	0.067	0.029	0.044	0.066	0.074	0.055
平均	0.0627	0.0720	0.0347	0.0427	0.0793	0.0787	

表 4.12 置入板材後 48 小時量測之甲醛濃度

序號 位置	R1	R2	R3	R4	R5	R6	平均
高	0.065	0.1	0.068	0.093	0.094	0.087	0.0845
中	0.067	0.102	0.063	0.089	0.095	0.09	0.0843
低	0.055	0.08	0.071	0.063	0.098	0.095	0.077
平均	0.0623	0.0940	0.0673	0.0817	0.0957	0.0907	

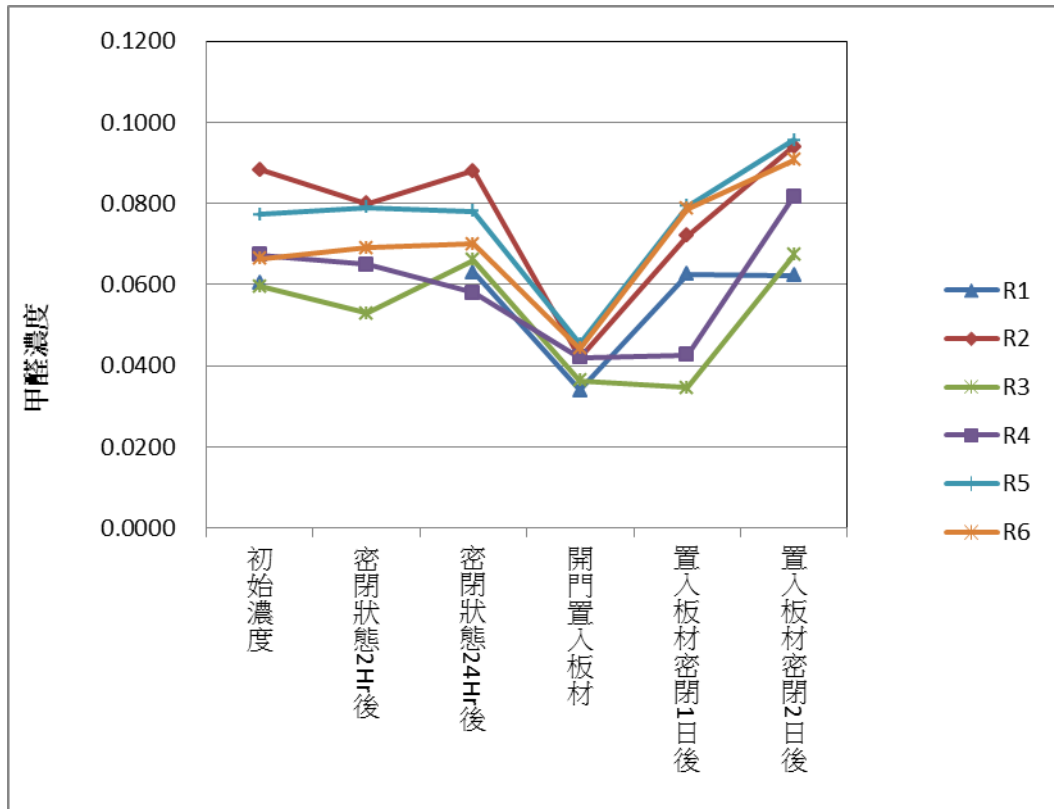


圖 4.9 室內甲醛濃度變化圖

## 第五節 塗料甲醛逸散實驗結果

由前面幾節之研究結果顯示，未置入任何材料的實驗屋，在進行空白實驗時，甲醛濃度已略有不同，置入板材後，雖然每個實驗屋置入的板材數量和性能均為一致，但置入板材後，實驗屋甲醛濃度亦無法完全一致，為消除實驗屋本身及板材可能造成的甲醛濃度影響，讓實驗屋初始濃度較為接近，塗刷前將實驗屋的門打開，讓實驗屋通風 2 個小時，再量測甲醛濃度，量測結果如表 4.13 所示，實驗屋濃度介於 0.035 至 0.046 間。

表 4.13 塗刷油漆前實驗屋甲醛濃度

序號 位置	R1	R2	R3	R4	R5	R6	平均
高	0.033	0.037	0.032	0.048	0.048	0.038	0.039
中	0.032	0.045	0.041	0.043	0.043	0.040	0.041
低	0.040	0.047	0.039	0.044	0.047	0.043	0.043
平均	0.035	0.043	0.037	0.045	0.046	0.040	

量測完，依據表 4.13 之比例，在實驗屋進行塗料塗佈，E1、E2、E3、非綠建材各有一組塗佈 5 片板材（實驗屋內共有 8 片板材），另為探討低甲醛逸散速率之塗料塗佈面積較大之情況，及高甲醛逸散速率之塗料塗佈面積較小之情況，E1 另有一組是塗刷 8 片，E6 有一組是塗刷 2 片，相關配置如表 4.13 所示，塗刷過程照片如圖 4.9 所示。

表 4.14 各實驗屋塗佈面積比

實驗屋序號	R1	R2	R3	R4	R5	R6
塗料等級	E1	E1	E2	E3	非綠建材	非綠建材
塗佈面積	5 片	8 片	5 片	5 片	5 片	2 片
塗佈面積比	29%	46%	29%	29%	29%	11.5



圖 4.10 實驗屋塗刷油漆照片

#### 4.5.1 塗料塗刷時甲醛濃度

在 E1 及非綠建材塗料塗刷過程中，以甲醛偵測器距離板材 1 公分、30 公分及 1 公尺的位置進行量測(詳圖 4.11)，量測結果發現，距離塗刷面 1 公分之位置，使用非綠建材塗料之甲醛濃度明顯高於 E1 綠建材，距離 30 公分時，雖然濃度降低，但是仍高於使用 E1 綠建材的實驗屋約 0.25ppm，但由於塗刷時係將實驗屋之門扇開啟(圖 4.12)，故距離牆面 100 公分時，濃度明顯降低，兩者間之差異亦持

續縮小，且甲醛濃度尚比未塗刷前密閉狀態之甲醛濃度為低。惟實測結果顯示，E1 綠建材與非綠建材之塗料比較，至少在塗刷時，濃度明顯較低，尤其距離塗刷面越近之位置，差異越大，因此，E1 綠建材有助於避免油漆塗刷工作人員暴露於高濃度甲醛環境中。

表 4.15 塗刷時立即量測之甲醛濃度

位置 建材	距牆面 1 公分	距牆面 30 公分	距牆面 100 公分
E1 綠建材 塗料(R1)	0.090	0.070	0.037
	0.088	0.077	0.035
非綠建材 塗料(R6)	0.146	0.093	0.050
	0.181	0.094	0.060



圖 4.11 塗刷時量測甲醛濃度



圖 4.12 塗刷油漆時將門扇開啟

#### 4.5.2 塗料塗刷後不同時間點甲醛濃度

在每一個實驗屋塗刷完成後，立即針對實驗屋進行甲醛濃度量測，量測結果如表 4.16 所示，此時實驗屋的濃度已有顯著差異，其中 R5（非綠建材，塗刷五片）之濃度最高，達到 0.092，最低為 R1（E1 建材，塗刷五片），濃度為 0.058。

表 4.16 塗刷完成後即時量測之甲醛濃度

序號 位置	R1	R2	R3	R4	R5	R6	平均
高	0.045	0.075	0.089	0.054	0.094	0.063	0.070
中	0.069	0.072	0.081	0.059	0.09	0.066	0.073
低	0.061	0.075	0.067	0.066	0.092	0.07	0.072
平均	0.058	0.074	0.079	0.060	0.092	0.066	

##### 1. 塗刷後三天之甲醛濃度變化

在塗刷過後，將實驗屋的門關閉（僅量測時人員進出時短暫打開），然後在塗刷的前三天，逐日進行量測，表 4.17 及圖所示圖 4.13

顯示塗刷前、塗刷當天及塗刷後三天的連續監測結果，從圖表中可以看出塗刷前 6 實驗屋的濃度甚為接近，但因每個實驗屋塗刷的油漆等級及塗刷面積不同，塗佈完成當天，6 實驗屋濃度即已出現明顯差異，其中 R5(使用非綠建材，塗刷 5 片)之濃度最高，達到 0.092，最低為 R1 (使用 E1 綠建材，塗刷 5 片)，濃度為 0.058。R2 (使用 E1 綠建材，塗刷 8 片) 濃度為 0.074，R4 雖然為 E3 綠建材，但是其濃度卻較 R3 (使用 E2 綠建材) 為低，至於 R6 雖然使用非綠建材，但僅塗刷兩片，其甲醛濃度僅 0.066。置於塗刷後的三天，6 實驗屋的濃度均較塗佈當天降低，且濃度有趨於集中之趨勢，其中 R2 濃度降低較少，推測其塗佈面積較大 (塗佈 8 片)，因此，濃度衰減較慢，至於 R1、R3、R4，分別是 E1、E2、E3 塗佈 5 片，由於塗佈面積一樣，而 E1、E2、E3 的逸散速率實際上差異甚小，因此，塗刷三天後之濃度，差異微小。至於 R5、R6 則為非綠建材塗佈 5 片及 2 片板材，略高於 R1、R3、R4，但低於 R2。顯示塗佈初期，塗佈面對積甲醛濃度的影響，似大於塗料本身逸散速率的影像。

表 4.17 塗刷完成後三天的甲醛濃度變化

序號 位置	R1	R2	R3	R4	R5	R6
塗刷前	0.035	0.043	0.037	0.045	0.046	0.040
塗刷後 (當天)	0.058	0.074	0.079	0.060	0.092	0.066
1 天後	0.048	0.060	0.082	0.046	0.079	0.054
2 天後	0.040	0.078	0.049	0.049	0.052	0.050
3 天後	0.047	0.066	0.046	0.048	0.053	0.055

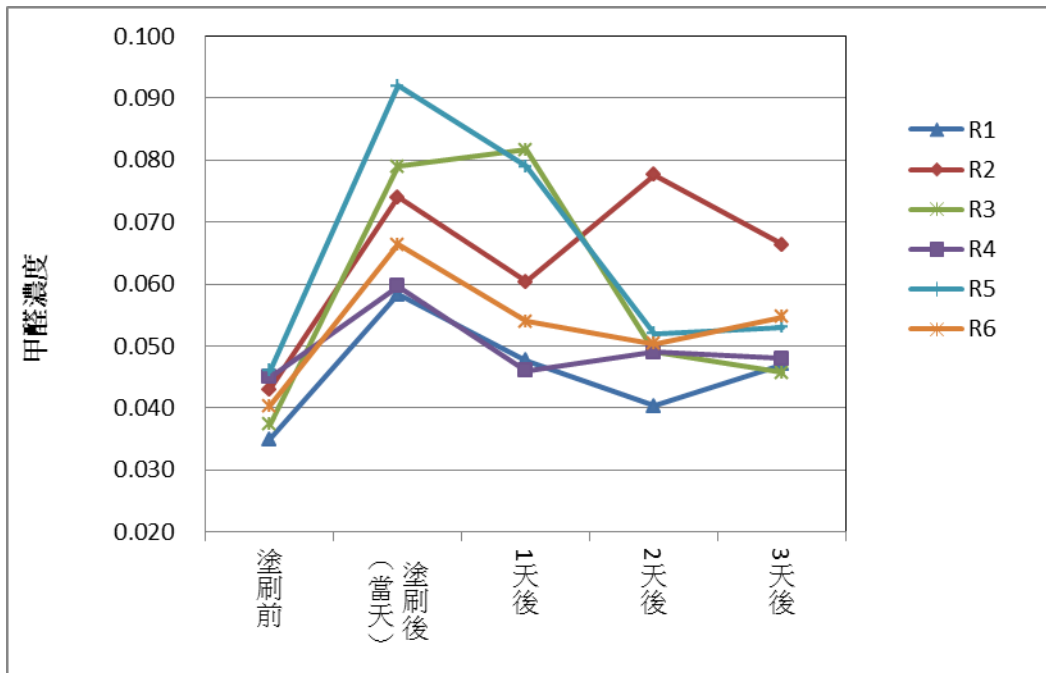


圖 4.13 塗刷完成後三天的甲醛濃度變化圖

## 2. 塗刷後 1 個月之甲醛濃度變化

在塗刷後的一個月內，每週量次一次實驗屋甲醛濃度，量測結果如表 4.18 及圖 4.14 所示，在這段時間內，濃度變化趨於發散，並無明顯趨勢，一週後，濃度最高的是 R2，濃度最低的是 R3；兩週後，濃度最高的是 R5，濃度最低的是 R1；三週後，濃度最高的是 R5，濃度最低的是 R2；四週後，濃度最高的是 R2，濃度最低的是 R3；大致上而言，R2 與 R5 各有兩週濃度最高。



表 4.18 塗刷完成後一個月的甲醛濃度變化

序號 位置	R1	R2	R3	R4	R5	R6
塗刷前	0.035	0.043	0.037	0.045	0.046	0.040
塗刷後 (當天)	0.058	0.074	0.079	0.060	0.092	0.066
1 週後	0.045	0.079	0.032	0.055	0.072	0.060
2 週後	0.035	0.066	0.058	0.063	0.074	0.057
3 週後	0.067	0.049	0.060	0.064	0.075	0.053
4 週後	0.058	0.091	0.041	0.052	0.052	0.037

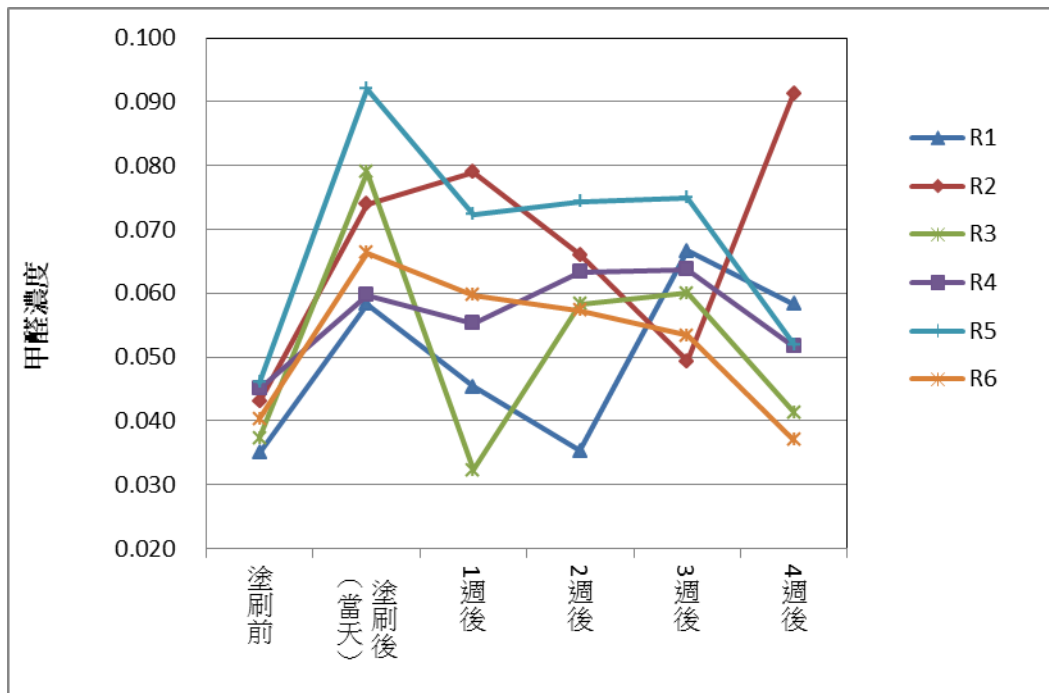


圖 4.14 塗刷完成後一個月的甲醛濃度變化圖

### 3. 塗刷後 2 個月之甲醛濃度變化

在塗刷後的 1 個月及 2 個月後，分別進行量測，量測結果如表 4.19 及圖 4.15 所示，在這段時間內，趨勢較為顯著，除了 R2 之外，



其他 5 組的濃度在一個月後，均較塗刷當時濃度為低，但在一個月到兩個月這段期間內，六組濃度均呈現上升趨勢，在六組實驗屋中，R2（使用 E1 綠建材，塗刷 8 片）的濃度在一個月後及兩個月後，均是最高，R6（使用非綠建材，塗刷 2 片）濃度均是最低，顯見塗佈面積對於室內甲醛濃度影響，較塗料等級為高，其他 4 組之差異並不顯著。

表 4.19 塗刷完成後二個月的甲醛濃度變化

序號 位置	R1	R2	R3	R4	R5	R6
塗刷前	0.035	0.043	0.037	0.045	0.046	0.040
塗刷後（當天）	0.058	0.074	0.079	0.060	0.092	0.066
1 個月	0.058	0.091	0.041	0.052	0.052	0.037
2 個月	0.072	0.130	0.074	0.078	0.082	0.054

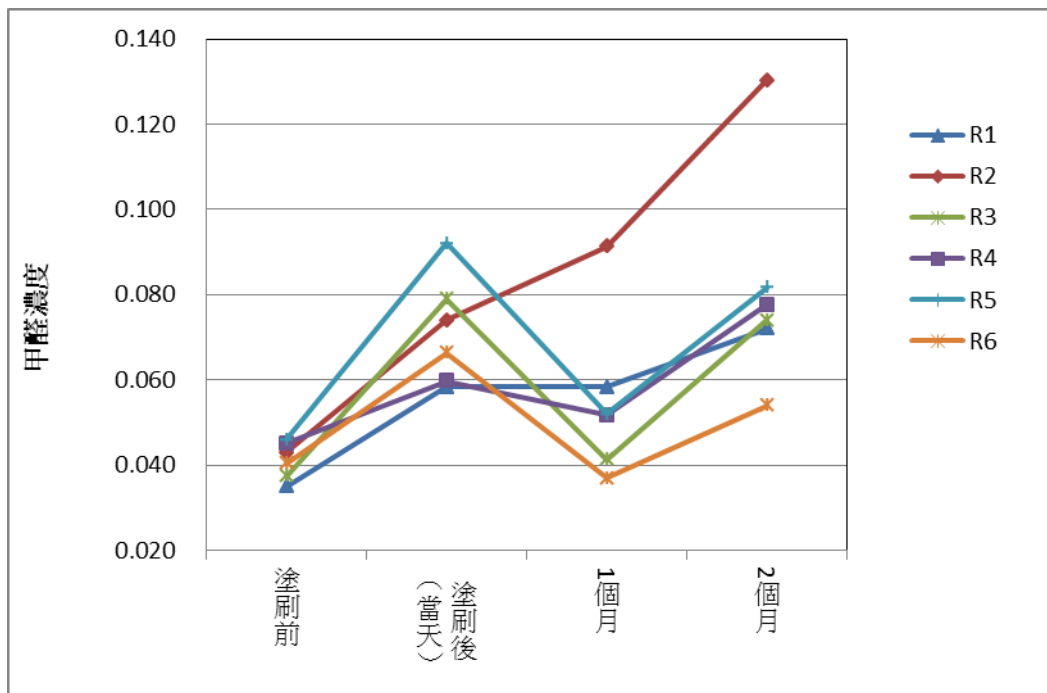


圖 4.15 塗刷完成後二個月的甲醛濃度變化圖



## 第五章 結論與建議

### 第一節 結論

研究結果顯示，將實驗屋的門開啟約 1.5 小時後，實驗屋的甲醛濃度約可降低為一半，且本研究在搬運板材及油漆過程需將門扇開啟，量測結果亦發現板才搬運過程，實驗屋甲醛濃度快速快速下降，即使隨後置入板材，但是由於蓄積在室內的甲醛分子快速逸散至室外，但從板材中逸散至空間之甲醛，其速率較低，因此，置入板材後，立即進行量測，室內甲醛濃度仍較原本為低，由此可知通風是降低室內甲醛濃度經濟快速的方式。

而當實驗屋置入八片 E1 等級的綠建材石膏板後，但將實驗屋之門關閉 24 小時及 48 小時後，分別再予量測甲醛濃度，量測結果發現置入板材後，濃度持續上升，到了第 48 小時，六間實驗屋甲醛均高於實驗屋置入板材前之初始狀態，顯見板材中之甲醛持續逸散至空間中，且證明石膏板等無機板類確實有不可忽視的甲醛逸散速率。

在塗料部分，本研究在相同的六個實驗屋分別塗刷 E1、E2、E3、非綠建材等四種等級塗料，並在塗布面積上做相關變化。在塗刷時於現場進行甲醛濃度實測，實測結果顯示，塗刷 E1 綠建材塗料之實驗屋甲醛濃度，明顯低於塗刷非綠建材塗料之實驗屋甲醛濃度，尤其距離塗刷面越近之位置，差異越大，因此，E1 綠建材有助於避免油漆塗刷工作人員暴露於高濃度甲醛環境中。但塗料在塗布後連續量測三天，量測結果顯示，三天後的甲醛濃度相較於施工當天，略

有降低，且塗刷不同等級塗料的實驗屋甲醛濃度差異並不大，但是塗布面積較大的實驗屋，濃度明顯較高，換言之，塗刷後初期（三天），塗布面積對室內甲醛濃度的影響大於塗料逸散等級。

在塗刷後一個月內，每週量測一次甲醛濃度，在這段時間內，各實驗屋甲醛濃度的變化並無明顯規律，但在第四週時，除了塗布面積最大的實驗屋以外，其他五組實驗屋的甲醛濃度仍低於塗刷當天的甲醛濃度，而塗刷面積最大的一組（R2）實驗屋，在第四週之甲醛濃度已高過塗刷當天之濃度。

在塗刷後的第二個月，再進行甲醛濃度的量測，結果顯示塗刷後一個月到兩個月間這段時間內，六組實驗屋之甲醛濃度均為上升，換言之，塗刷後兩個月後的甲醛濃度高於塗刷一個月後的甲醛濃度，顯示，實驗屋內甲醛分子並無隨時間消散，反而有累積的現象。且塗刷兩個月後，濃度最高者為塗刷 E1 塗料、塗布面積 8 片的實驗屋（R2），濃度最低者為塗刷非綠建材塗料、塗布面積 2 片的實驗屋（R6），故實測結果顯示，塗布面積對於室內甲醛濃度的影響明顯大於塗料本身逸散速率。

## 第二節 建議

### 建議一

持續針對實驗屋甲醛濃度進行長期監測：立即可行建議

主辦機關：內政部建築研究所

內政部建築研究所推動綠建材標章制度已逾十年，本研究對於探討綠建材甲醛逸散速率對室內甲醛濃度之影響，具有重要意義，未來若能在研究結束之後，持續針對實驗屋甲醛濃度進行長期監測，或規劃相關系列研究，則可獲得更大之效益。

## 參 考 書 目

1. 何明錦，室內環境品質診斷及改善技術指引，內政部建築研究所補助計畫，2012。
2. 許銘文，102年度健康室內環境品質推廣計畫，內政部建築研究所補助計畫，2013年。
3. 蘇慧貞、江哲銘，室內空氣品質檢測方法之研究，行政院環保署環境檢驗所，2003.7。
4. 許銘文，100年度健康室內環境診斷諮詢服務計畫，內政部建築研究所補助計畫，2011年。
5. 日本厚生勞動省，室內空氣中化學物質についての相談マニュアル作成の手引き。  
<http://www.mhlw.go.jp/houdou/0107/h0724-1d.html>
6. Fransson, N., D. Vastfjall, and J. Skoog (2007), In search of the comfortable indoor environment: a comparison of the utility of objective and subjective indicators of indoor comfort, *Building and Environment*, Vol.42, 1886-1890.
7. 世界衛生組織 (World Health Organization ; WHO) FORMALDEHYDE <http://whqlibdoc.who.int/hq/2002/a73769.pdf>
8. Guo, H., F. Murray and S.C. Lee (2003) The development of low volatile organic compound emission house-a case study, *Building and Environment*, Vol.38:1413-1422.
9. 陳友剛(2007)〈第五章第二節 整體換氣技術〉《勞工衛生研究相關技術資料彙編》，勞工安全衛生研究所。
10. 林霧霆、吳明達、梁嘉麟(2007)〈木質建材之甲醛及VOC逸散測試方法CNS化之研究〉《建築學報》，第62期專刊：149-162。
11. Guo, Z. (2002) Review of indoor emission source models –Part 1.Overview, *Environment Pollution*, Vol.120(3):533-549.
12. Hakkarainen, H. (2006) Effect of building structure on indoor air quality measurements and modelling of emissions from fibrous thermal insulation, thesis, Helsinki university of technology,.

13. Huang, H. and F. Haghghat (2002) Modelling of volatile organic compounds emission from dry building materials, *Building and Environment*, Vol.37:1127-1138.
14. Kwok, N., S.C. Lee H., Guo, and W. Hung (2003) Substrate effects on VOC emissions from an interior finishing varnish, *Building and Environment*, Vol.38:1019-1026.
15. Tichenor, Z., L. Guo and E. Sparks (1993) Fundamental mass transfer model for indoor air emissions from surface coatings, *Indoor Air*, Vol.3(4):263–268.
16. Zhang, L Z. and J. L. Niu (2003) Effects of substrate parameters on the emissions of volatile organic compounds from wet coating materials, *Building and Environment*, Vol.38:939-946.
17. Zhang, Q. and G. Zhang (2007) Study on TVOC concentration distribution and evaluation of inhaled air quality under a re-circulated ventilation system, *Building and Environment*, Vol.42:1110-1118.
18. Zhu, J. P., Zhang, J. S. and C.Y. Shaw (2001) Comparison of models for describing measured VOC emissions from wood-based panels under dynamic chamber test condition, *Chemosphere*, Vol.44:1253-1257.