

常見天花板建材之揮發性有機物逸散研究

內政部建築研究所自行研究報告
中華民國 94 年 12 月

屋頂建材隔熱性能實測與其經濟效益分析研究（一）

094301070000G2021

常見天花板建材之揮發性有機物逸散研究

研究人員：林霧霆

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 94 年 12 月

目 次

表次.....	I
圖次.....	I
摘要.....	V
第一章、緒 論.....	1
第一節、研究動機與目的.....	1
第二節、研究範圍與內容.....	3
第三節、研究方法與流程.....	4
第四節、預期研究成果與進度.....	6
第二章、天花板類建材中揮發性有機逸散物探討.....	7
第一節、天花板類建材之種類及特性.....	7
第二節、天花板類建材中揮發性有機化合物種類.....	11
第三節、揮發性有機化合物之健康效應及標準值.....	14
第四節、檢測樣品及指標性污染物彙整.....	16
第三章、天花板類建材揮發性有機逸散物標準檢測試驗法—小型環控箱 法.....	17
第一節、檢測原理與設備.....	17
第二節、建材中甲醛逸散檢測方法—小型環控箱測試方法.....	18
第三節、建材中揮發性有機物質逸散檢測方法—小型環控箱測試方法.....	20
第四章、天花板類建材甲醛逸散檢測結果.....	22
第一節、數據之品保與品管.....	22
第二節、天花板類建材揮發性有機化合物定性分析結果.....	26
第三節、天花板類建材揮發性有機物定量分析結果.....	27

第五章、天花板類建材使用所致之健康風險評估.....	32
第一節、花板類建材甲醛暴露的健康風險評估	32
第二節、天花板類建材 VOCs 暴露的健康風險評估	33
第六章、結論與建議.....	35
一、研究結果	35
二、後續研究建議	35
參考文獻.....	36

表次

表 2-1.1 室內裝修建材分類方式.....	7
表 2-1.2 經濟部標準檢驗局營建類 CNS 族群分類(材料的分類)	8
表 2-1.3 經濟部檢驗局營建類室內裝修耐燃材料分類	9
表 2-2.1 室內有機污染物質分類.....	11
表 2-2.2 建材最常見的 10 種化合物	13
表 2-2.3 建材濃度最高的 10 種化合物	13
表 2-2.4 住宅內常見之揮發性有機物及其濃度	13
表 2-2.5 各建材所釋出之化合物種類	13
表 2-4.1 天花板類建材檢測範圍及試體規格.....	16
表 4-1.1 甲醛濃度值與波峰面積值關係	22
表 4-1.2 甲醛之準確度、精密度及方法偵測下限.....	24
表 4-1.3 環控箱甲醛背景濃度	25
表 5-1.1 模擬室內空間之甲醛風險評估值	33
表 5-2.1 礦纖天花板 VOCs 風險評估	34
表 5-2.2 礦纖水泥板 VOCs 風險評估	34

圖次

圖 1-3.1 研究流程圖	5
圖 2-1.1 礦纖天花板	9
圖 2-1.2 玻纖天花板	9
圖 2-1.3 石膏天花板	10
圖 2-1.4 合板、纖維板	10
圖 2-4.1 礦纖天花板	16
圖 2-4.2 礦纖水泥板	16
圖 2-4.3 合板	16
圖 3-1.1 建材揮發性有機物質逸散研究之系統簡圖	18
圖 3-2.1 甲醛採樣及分析流程圖	19
圖 3-3.1 室內建材檢測分析流程圖	21
圖 4-1.1 甲醛高濃度檢量線	23
圖 4-1.2 甲醛中濃度檢量線	23
圖 4-1.3 甲醛低濃度檢量線	23
圖 4-2.1 天花板建材質譜相似度比對	27
圖 4-3.1 礦纖天花板 TVOC 濃度逸散變化	29
圖 4-3.2 礦纖天花板 TVOC 濃度逸散速率變化	29
圖 4-3.3 礦纖水泥板 TVOC 濃度變化	30
圖 4-3.4 礦纖水泥板 TVOC 濃度逸散變化	30
圖 4-3.5 合板甲醛濃度逸散變化	31
圖 4-3.6 合板甲醛逸散速率變化	31

常見天花板建材之揮發性有機物逸散研究

林霧霆

摘 要

關鍵詞：揮發性有機化合物、天花板類建材、健康風險

本研究為延續本所「室內建材揮發性有機逸散物質檢測標準試驗方法及程序」之研究成果，透過應用研究，擬以建材分類系統為基礎，建立建材揮發性有機化合物逸散資料。因此，規劃本研究作為建築室內建材之健康性能基礎資料，以確保國人健康與本土化建材產業之提升，促進國內建材產業發展。

建築室內空氣品質有關建材逸散揮發性有機物質之研究，延續 VOCs 標準檢測方法(90)、塗料類(91)、地板類(92)及(93)年度接著劑類建材為檢測目標等一系列性研究內容，擬於今年度以天花板為檢測目標，試驗各類天花板類建材所產生 VOC 的種類(定性)，供定量化的檢測指標基準之訂定，做為未來推動健康建材檢測認證體系與推廣綠建築標章之參考依據，對維護國人之健康，有莫大助益。

根據國外綠建材標章、相關研究分析及小尺寸建材逸散模擬實驗的方式，透過室內氣候環境的條件設定，對國內現有天花板類建材揮發性有機物質及甲醛作逸散量檢測，並依此建立完整之國內天花板類建材逸散資料，並依此資料對國內推廣之健康綠建材認證標章，提供標準、完整之檢測管制方式，對國內之建築產業提供良好之國際接軌平台。

*內政部建築研究所環境控制組國防訓儲研究員林霧霆

第一章 緒論

第一節 研究動機與目的

一、研究動機

對大多數人而言，現代生活中各項「時間-活動地點」分布顯示，每天在不同室內地點活動及居處的時間高達90%以上，隨著社會多元化的發展，因應人類不同需求的居住建築環境更是日趨複雜，其中建築型態、建築材料、空調系統之發展，以及室內活動型態之改變，導致許多室內空氣污染物的發生。一般人的觀念中，室內空氣應該比室外清潔乾淨，但根據美國環保署(EPA)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的2~5倍，有時更高達100倍。室內環境污染輕者可引起各種不良反應，重者則可引發癌症。而室內空氣污染物主要包括微生物、揮發性有機物質(volatile organic compounds, VOCs)、環境香煙煙霧(二手煙)(Environmental Tobacco smoke, ETS)、石棉(Asbestos)、臭氧等，這些皆可能透過建築材料、傢具、影印機、室內燃燒物及油煙等進入室內環境中，這些皆使室內空氣品質之調查評估研究成為現今重要議題。

據文獻指出，現今市面上所使用之室內裝飾用的油漆、夾板、天花板、內牆塗料等材料均含有甲醛、苯等有毒物質，對長久處於室內的民眾而言，有一定程度的危害性，其會造成可能引發呼吸道、消化道、神經內科、視力、視覺、高血壓等多種疾病(Klaasen, 1996)。VOCs中被IARC(International Agency for Research on Cancer, IARC)列為Group 1的Benzene會對造血系統產生毒性，導致急性骨髓白血病發生及慢性白血病的發生；而Formaldehyde亦被USEPA及國際癌瘤研究署(IARC)歸類為Group 2A「可能是人類致癌物」，其會產生眼睛及呼吸道之刺激，並會使肺部產生出血情形，並對於肝臟及腎臟產生水腫，但其是否會誘發人類癌症發生頗為引人注意，仍有待證實。另外，雖然一般室內其它常見VOCs並無充分資料證明其具有致癌性，但卻常造成人體產生昏眩、頭痛、眼、鼻及皮膚刺激等統稱為SBS(Sick Building Syndrome)的症狀，影響人類的健康。

在92年度已將「室內評估指標」納入綠建築評估體系中「住宅品質確保法」列入重點推廣項目，為國人已開始重視居住品質及健康舒適等環境因素。另一方面

希望透過健康綠建材的推廣使用以降低室內污染所造成之傷害以增進生活健康。依據本所「綠建築與居住環境科技計畫」，持續推動室內環境品質控制及建材有機逸散物質檢測等議題之研究，並配合行政院核定之「綠建築推動方案」中，研訂綠建材認定及檢測標準項目與標章制度之研究。

二、 研究目的

本研究之目的乃在於促進建築室內環境品質指標基準之訂定，降低室內污染物濃度及減少污染來源，以維護並提升居民健康的室內環境意識，並作為國內檢測認證體系與各種政策研訂、相關法規體系建構之重要參考依據。

本年度之研究將使用小型環控箱檢測法，檢驗國內之天花板類類建材所逸散之 VOCs 的種類、逸散濃度與甲醛的逸散濃度，進一步探討對國人之健康危害風險，從而建立天花板類建材之指標污染物資料檢索系統，作為日後我國建材 VOCs 污染管制及甲醛污染管制之參考規範。透過天花板類建材檢測方法的建立與檢驗結果，研擬出我國之天花板類建材分級評估標準，除可檢驗來自國外之綠色建材性能外，亦可作為國產建材之評估標準，促進產業升級，進而提供國人安全健康之室內環境。

第二節 研究範圍與內容

一、研究範圍

本研究之範圍為裝修建材之天花板類建材，透過評估及國際相關之綠建材標章檢測項目，選定目前我國市場上普遍常見之三種天花板類建材—礦纖天花板、纖維水泥板、合板為研究對象並透過小型環控箱檢測法，檢驗出國內常用之天花板類建材的揮發性有機逸散物質，以完成我國建材揮發性有機逸散物資料之建立。

二、研究內容

依據前年度針對濕式建材之實測經驗，溶劑型塗料中具有大量有機化合物之逸散，長期時間暴露使用危害人體健康甚鉅，然而本年度之研究主題—天花板類建材，其瞬間逸散濃度雖不若溶劑型油漆般嚴重，但根據文獻資料顯示(Schmidt Etkin 1996, O Wilke, 2002 註¹)，其逸散週期長達數年，其影響之嚴重性實不可輕忽，確實值得重視並加以研究管制。

具體研究內容項目如下：

1. 依據建築工程之實作方式，以小型環控箱檢測法及小試體標準檢測試驗方法，進行天花板類建材之採樣分析。
2. 計算天花板類建材 VOCs 逸散之定性、定量化及甲醛逸散之濃度，並分析及計算其逸散率。
3. 針對不同建材，進行 HCHO 及 VOCs 逸散之風險性評估。

¹ O Wilke, O Jann and Brödner, VOC- AND SVOC-EMISSIONS FROM ADHESIVES, FLOOR COVERINGS AND COMPLETE FLOOR STRUCTURES, Indoor Air 2002

第三節 研究方法與流程

一、研究方法

(一) 文獻分析法(Literature Analysis Method)

蒐集主要先進國家有關目前實驗分析所得知的 VOCs 種類、性質及甲醛逸散特性等彙整為未來建立天花板類建材指標污染物資料庫之參考。另外將蒐集國外現行之天花板類分級基準以及評估方式，加以分析檢討。

(二) 實驗分析法

取樣收集所需檢測之天花板類建材，經試驗室分析設備儀器進行定性定量化之分析，試驗結果經比對相關化合物種類、逸散量與對人體健康危害影響，以做為未來建立國內天花板類建材指標污染物資料庫之參考。

(三) 比較分析法

針對文獻探討與所蒐集的實驗數據作比較分析，以彙整現有天花板類建材之 VOCs 整體研究相關實驗成果，瞭解逸散物種類與相關對人體影響危害關係，並逐步比對取樣建材之實驗結果，分析其差異性。

二、研究流程

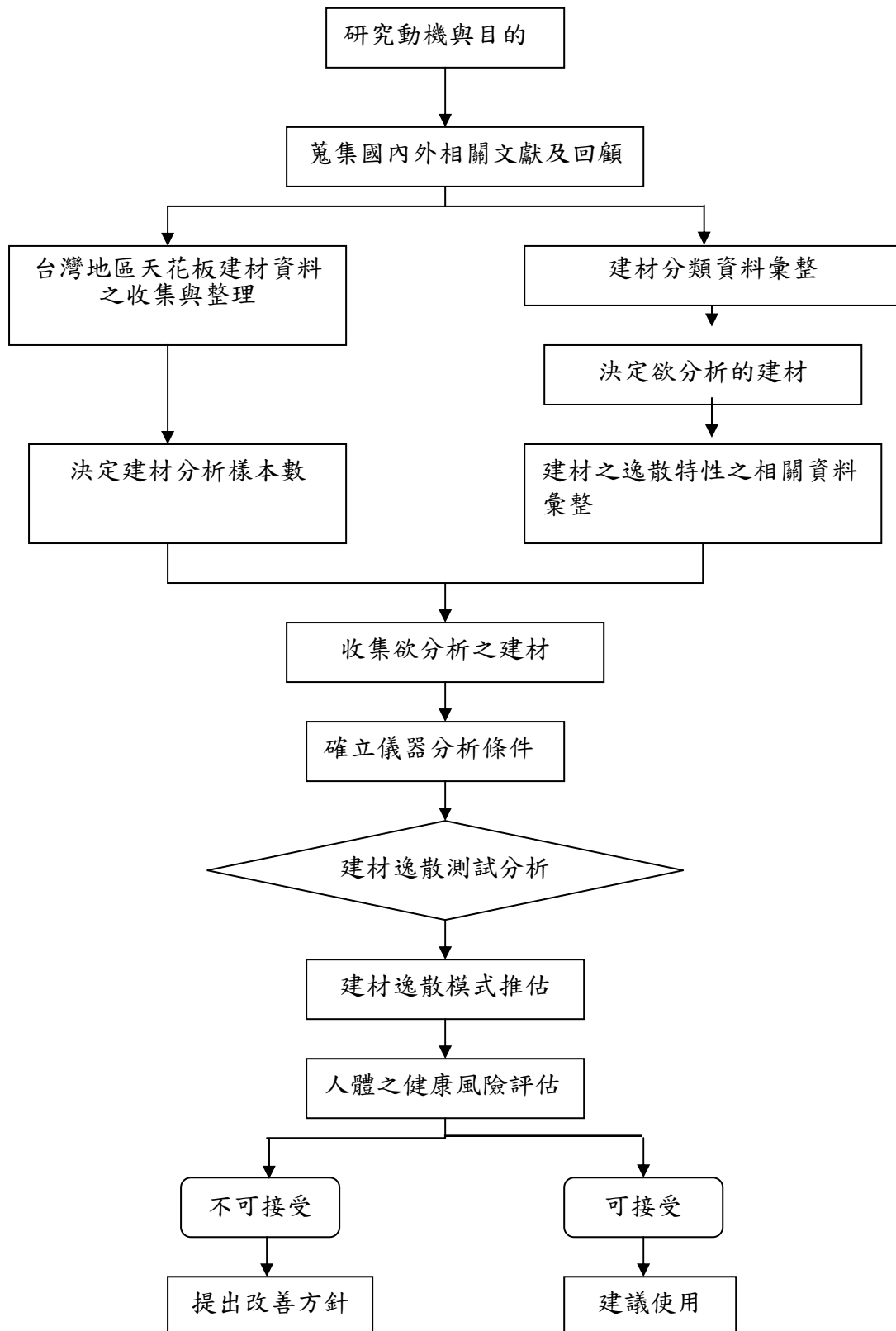


圖 1-3.1 研究流程圖

第四節 預期研究成果與進度

本年度研究主題為天花板類建材，未來將依據建材揮發性有機逸散物衰減資料庫之分類方式，逐年逐步進行檢測建構，累積資料，配合國家實驗室之完成，台灣地區之相關實驗研究與認證制度將同時完備，一方面可銜接「綠建築推動方案」及「綠建材標章認證」之時程，另一方面，則將實驗所得數據轉換為可推算、預測之模擬方程式，並在未來結合相關研究領域制訂室內空氣品質（IAQ）的建材逸散指標基準，以作為 CNS 檢測認證體系之一環與 ASTM 等標準同為國際間認可之試驗方式。

一、本研究預期具體研究成果如下：

1. 取樣分析天花板類建材之有機逸散物質，測試件案例數合計三種。
2. 建立天花板類建材之甲醛及 VOCs 成分之種類及逸散率。
3. 研訂天花板類建材之甲醛及 VOCs 逸散率分級評估方式及基準值。
4. 完成建立本土性建材 HCHO 及 VOCs 逸散資料，提供日後檢測室內建材逸散所需排放資料。
5. 針對建材依不同類別，進行 HCHO 及 VOCs 逸散之風險性評估。

二、預期效益：

1. 確立天花板類建材實驗方法及數據資料並提供未來推估之應用。
2. 為建立綠建材標章之依據基礎。
3. 確保天花板類建材使用之健康性。
4. 推動綠色天花板建材，減少室內空氣污染，維護國人健康。

第二章 天花板類建材中揮發性有機逸散物探討

第一節 天花板類建材之種類及特性

一、國內天花板類建材之種類

目前國內有關建材 VOCs 逸散物質檢測研究，為內政部建築研究所推動綠色建材分類基準、綠色建材標章與綠色建材資料庫之建立，依相關研究建議將室內裝修建材依部位及材料性質分為九大類如表 2-1.1 所示。

表 2-1.1 室內裝修建材分類方式

項次	材料部位分類	主要物質
第一類	地板類	地毯(捲型鋪面地毯、方塊組合地毯、活動軟質地毯)、木質地板(合成板材、木質地坪、木條地、木塊地、拼花木質地、木質複合地、彈性木質地系統)、架高地板、塑膠地磚、橡膠地板、 <u>網路地板</u> 、樹脂地、 <u>氯化鎂地</u> 、 <u>環氧樹脂地</u> 、 <u>彈性液體塗層地</u> 、 <u>膠結式填灌地</u> 、 <u>壓克力地</u> 、特殊地、磁磚(崗石地、止滑磚)、磨石子等
第二類	牆壁類	美耐板、夾板、纖維板、石膏板、聚合板、防音建材、防潮板、貼面磚、 <u>隔熱磚</u> 、 <u>壁紙壁布</u> 、牆壁粉刷(水泥粉刷、石膏粉刷、磚土粉刷、桎石粉刷)等
第三類	天花板類	礦纖天花板、玻纖天花板、 <u>木石纖維板</u> 、 <u>金屬天花板</u> 、 <u>吸音天花板</u> 、特殊天花板等
第四類	填縫劑與油灰類	矽利康、環氧樹脂、 <u>接口密封劑</u> 、 <u>聚硫填縫膠</u> 、 <u>封口膠</u> 、 <u>填縫膠</u> 、 <u>變性矽質填縫劑</u> 、 <u>PU 填縫材</u> 、 <u>防火填縫膠</u> 、 <u>磁磚填縫泥</u> 、 <u>磁磚石材黏著膠泥</u> 、 <u>矽酮填縫劑</u> 、 <u>球土</u> 等
第五類	塗料類	調和漆、塑膠漆、油性水泥漆、水性水泥漆、環氧樹脂漆、PU 漆、纖維素塗料、著色劑、封水塗料、凡立水、防火塗料、木器漆、紅丹底漆、石質塗料、混凝土保護塗料、特殊塗料、 <u>壁面塗料</u> 、 <u>抗磨損塗裝</u> 、 <u>厚絨面塗裝</u> 、 <u>水泥質塗裝</u> 、 <u>彈性聚合物塗層</u> 、 <u>膨脹性塗料</u> 、 <u>化學阻抗塗層</u> 等室內外油漆
第六類	接著(合)劑	油氈、合成纖維/聚氯乙炔.等
第七類	門窗類	木製門窗、 <u>金屬門</u> 、 <u>透光塑膠板</u> 等
第八類	傢俱類	木作樓梯及扶手、櫥櫃、衣櫃及用具、窗簾等
第九類	其他材料	塑膠結構材

本研究擬以國內常用之天花板建材，作為探討檢測的對象。

目前國內的建材分類的方式，經由經濟部標準檢驗局認證通過的建材，依其營建類 CNS 族群分類，有關材料的分類方式有二種，一為依材料方式分類，另一為依工程方式分類，彙整如表 2-1.2。

表 2-1.2 經濟部標準檢驗局營建類 CNS 族群分類(材料的分類)

(一)結構材料	(二)裝修材料			
	(A)地面	(B)內裝	(C)外裝	(D)一般材料
水泥	石材製品	木質板	石材	石材製品
砂石、粒料	木板	合板	木板	混凝土製品
混凝土	磁磚	纖維板	纖維板	板類
模板	金屬材料	石膏板	石膏板	合板
基樁	其他	其他裝飾板	磁磚	纖維板
鋼筋及鋼料		粉刷材料	塗料	其他裝飾板
熔接及接合		壁紙	其他	嵌板
木材		磁磚		金屬類
其他		塗料		陶磁類、磁磚
		其他		玻璃
				塗料
				其他

依經濟部標準檢驗局對室內裝修耐燃材料的方法，依室內裝修耐燃材料方式分類，共分為 11 種類如表 2-1.3：

表 2-1.3 經濟部檢驗局營建類室內裝修耐燃材料分類

項次	材料分類	主要內容
第一類	礦物纖維板	具有隔熱、隔音或吸音作用之礦物混合物製品。包含 1、岩棉裝飾吸音板 2、岩棉襯板
第二類	有機纖維水泥板	植物纖維、草或木刨片、木碎屑、木粒、鋸末或其他廢木與水泥、石膏或其它膠合性礦物凝結而製成之嵌板、板、瓦、磚及類似品。包含 1、耐燃木絲水泥板 2、木片水泥板
第三類	石膏板	其他膠泥板、片、嵌板、瓦和類似品、僅以紙或紙板貼其表面或加強者。石膏板(包括石膏板、裝飾石膏板、防潮石膏板、粉刷基層石膏板、強化石膏板)
第四類	纖維水泥板	1、棉水泥板【波形板】 2、其他板、嵌板、瓦及類似品，石棉水泥、纖維水泥及類似製品(限檢驗。 3、纖維水泥板 4、其他板、嵌板、瓦及類似品，石棉水泥、纖維水泥及類似製品(限檢驗石棉水泥板【平板】) 5、珍珠岩板 6、矽酸鈣板

		7、氧化鎂板 8、他板、嵌板、瓦及類似品，石棉水泥、纖維水泥及類似製品(限檢驗碳酸鎂板) 9、其他板、嵌板、瓦及類似品，石棉水泥、纖維水泥及類似製品(限檢驗爐渣石膏板)
第五類	碳酸鎂板	
第六類	其他石製品及礦物製品	1、其他石製品及礦物製品 2、建築用防火門高3公尺乘寬3公尺以下(包含玻璃製建築用防火門)
第七類	耐然合板及防焰合板	暗紅柳桉、淺紅柳桉、白柳桉木素面合板，每層厚度不超過6公厘
第八類	防火塗料	油漆或磁漆，以聚酯料為基料者(限檢驗 3208.10.10.00-0-A 一項)
第九類	纖維板	纖維板，密度超過0.8公克/立方公分，未經機械加工或未經數面者
第十類	壁紙	其他聚氣乙烯製成捲或磚形之地面覆蓋物，不論是否為自粘性；作為牆壁或天花板之覆蓋物
第十一類	粒片	木製方薄片型粒片板，包括定向粒片板，不論是否用樹脂或其他有機膠合者〔限檢驗耐燃木粒板〕

二、天花板類建材之特性

根據國內外各標章檢測項目分析得知，天花板類建材主要可分為礦纖天花板、玻纖天花板、夾板、水泥板等項目，根據天花板之材料、製程及施工方式，個別探討其特性：

(一) 礦纖天花板

礦纖板其製成主要區分為：乾式抄板法及濕式抄板法兩種。國內之現有天花板市場，以礦纖天花板(圖 2-1.1)為主要裝修建材，其次玻纖天花板(圖 2-1.2)，其特性吸音及耐燃性佳，質地輕巧，故該類於是內裝修時運用最廣，礦纖天花板使用時，60cm×寬 60cm×厚 1 cm 為最多：



圖 2-1.1 礦纖天花板

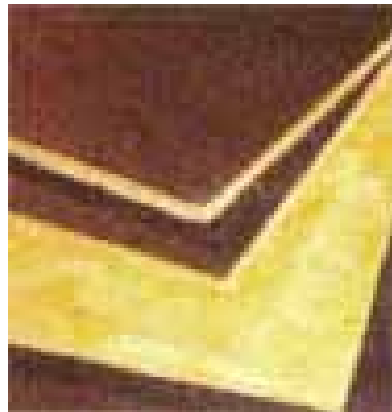


圖 2-1.2 玻纖天花板

(二) 纖維水泥板

依據營建國家標準，所謂纖維水泥板亦於水泥、纖維類及無機物混合材料為主要原料和清水混合壓製而成之建築用纖維水泥板。而業界所售纖維水泥板主要以無機強化纖維為主，經過高壓及高溫高濕處理，品質堅固穩定，其特性耐潮性佳、吸音及耐燃效果好，此外亦有石膏天花板(圖 2-1.3)。

(三) 合板

合板為一般居家間常用之天花板建材，主要是透過金屬支撐結構及合板或纖維板上覆面材或塗表面材等組合而成，其板材多為木製合板類、纖維板類而成(圖 2-1.4)。



圖 2-1.3 石膏天花板

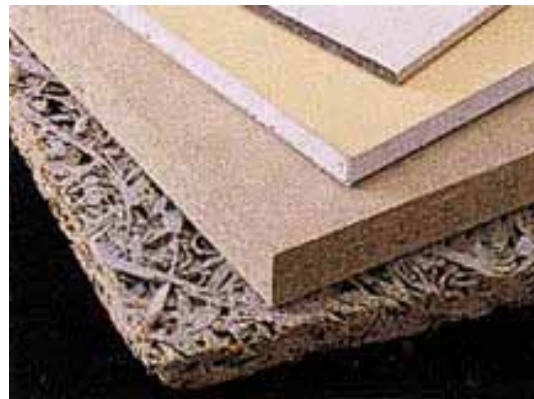


圖 2-1.4 合板、纖維板

第二節 天花板類建材中揮發性有機化合物種類

一、揮發性有機化合物 (VOCs, Volatile Organic Compounds) 概述

揮發性有機物之定義為在標準狀態下 (20°C, 1 atm), 蒸汽壓大於 0.1 mmHg 以上之有機化合物。揮發性有機化合物依世界衛生組織(WHO)所定義為沸點在 50-260°C 之物質, 且依其沸點的不同尚分為半揮發性有機化合物(semi-volatile organic compounds)及極易揮發性之有機化合物(very volatile organic compounds) (WHO,1989) ; 再更進一步分類, 則可依沸點的不同而做分類, 根據世界衛生組織 (WHO) 1989 年對室內有機污染物的分類指出, 依據沸點範圍的不同可將有機污染物質分為四類 (如表 2-2.1 所示) 註², 但同樣具有高揮發性之醛類並不屬於在此定義。

表 2-2.1 室內有機污染物質分類

描述	縮寫	沸點範圍
極易揮發有機化合物	VVOC	0°C 至 50~100°C
揮發性有機化合物	VOC	50~100°C 至 240~260°C
半揮發性有機化合物	SVOC	240~260°C 至 380~400°C
粒狀有機化合物或附著於粒狀物上的有機化合物	POM	> 380°C

(Maroni, 1995;WHO, 1989)

二、室內揮發性有機物探討

承前章所述, 室內空氣污染物來源可分為進入外氣、室內人員、燃燒器具與用品、室內有機物質、空調系統及建築材料等六大類。其中揮發性有機物 (以下簡稱 VOCs) 為空氣污染的主要來源之一。據研究指出, 一般室內的 VOCs 濃度高於室外的濃度值^{3,4,5}, 這種情形在新建或新裝修的建築物中最为嚴重。

在新建以及重新裝潢的建物中, 所使用的建材、家具等, 都會大量釋出 VOCs, 然而不管是乾式或濕式建材, 其中的 VOCs 則多半來自建材的製造過程或裝修過程

² Maroni, M., B. Seifert and T. Lindvall, 1995, "Indoor Air Quality - a Comprehensive Reference Book", Elsevier, Amsterdam.

³ Molhave, L., Moller, S.J., 1978, The atmospheric environment in modern Danish dwellings-measurement in 39 flats, indoor climate", (eds) P.O Fanger, O. Valbjorn, Danish Building Research Institute, Horsholm, Denmark, p.171-186.

⁴ Johansson, I., "Determination of organic compound in indoor air with potential reference to air quality", Atmospheric Environment, 12, p1371-1377.

⁵ Seifert, B. and Abraham, H.J. 1982, "Indoor air concentrations of benzene and some other aromatic hydrocarbons", Ecotoxicology and Environmental safety, 6 p.190-192

中所使用的有機溶劑、黏著劑以及填縫劑等；待建材實際裝修於室內空間後，再慢慢逸散出來，造成室內空氣品質的污染，並間接影響人體健康。國外的研究報告中指出，一般室內建材逸散出的揮發性有機化合物主要可分為五種：脂肪族碳氫化合物 (Aliphatic hydrocarbons)、芳香族碳氫化合物(Aromatic hydrocarbons)、鹵素化合物(Halogen derivatives)、極性化合物(polar compound)非極性化合物(non-polar compound) (Berglund, 1989; Tichenor, 1989; Toker, 1991)。雖然目前已有 900 種以上的 VOCs 被發現於室內空氣中⁶，然而令人驚訝的是其中更有 50~300 種被發現經常存在於非工業用的室內空間，亦即住宅及一般公共空間的空氣中⁷。在早期對室內 VOCs 濃度的研究中顯示，大部分的污染物是屬於烷苯類化合物，而濃度值介於 0.03~2.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，而在 1994 年的研究中，結果顯示大部分的 VOCs 濃度低於 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。但是根據 1993 年在英國調查 179 個家庭中的 TVOC，結果顯示，平均 TVOC 濃度介於 200~500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間，而最高濃度為 11401 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，發生濃度最高的地點為主臥室，其次為其他臥房。

如前所述，建材中所釋出的 VOCs 是一般建築中主要之 VOCs 來源之一。雖然並非所有 VOCs 都是來自於建材中的逸散，但從 Molhave 對 42 種建材所做的 VOCs 逸散研究⁸中指出，平均有 22 種化合物從各建材中逸散出來，總濃度為 0.01~1410 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 之間。表 2-2.2、2-2.3 所示為 Molhave 研究中的 42 種建材周圍出現頻率最高及平均濃度值最高的 VOCs。

⁶ Brooks, B.O., G.M. Utter, J.A. Debory and R.D. Schimke, 1991, Indoor air pollution: an edifice complex”, Clinical Toxicology.

⁷ Seifert, B. “Organic Indoor Pollutant: Source, Species and Concentrations”, Chemical and Environment Science Volume 4: Chemical, Microbiological, Health and Comfort Aspects of Indoor Air Quality—State of the Art in SBS, Ed. Knoppel H. and Wolkoff, p.25-36.

⁸ Molhave L., 1982, “Indoor Air Pollution Due To Organic Gases and Vapors of Solvents in Building Materials”, Environment International, Vol.8, p.117-127.

表 2-2.2 建材最常見的 10 種化合物(Molhave,1982) 表 2-2.3 建材濃度最高的 10 種化合物

污染物種類	平均濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	出現頻率	污染物種類	平均濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	出現頻率
Toluene	39.7	22	Toluene	39.7	22
n-Decane	14.9	20	o-Xylene	23.0	16
1,2,4-trimethy benzene	0.56	18	C ₁₀ H ₁₆ (Terpene)	20.8	6
n-Undecane	1.00	17	n-Butylacetate	15.2	1
o-Xylene	23.0	16	n-Butanol	9.4	5
m-Xylene	3.81	14	n-Hexane	8.8	5
n-propyl benzene	0.20	13	p-Xylene	7.3	8
Ethyl benzene	1.79	12	Ethoxyethylacetate	5.9	1
n-Nonane	1.05	11	n-Heptane	5.0	2
1,3,5- trimethy benzene	0.36	11	m-Xylene	3.8	14

然而從 Molhave 的研究結果比對家庭中常見之 VOCs 種類⁹即可發現，住宅室內常見的 VOC 種類與建材周圍空氣中最常見的 10 種 VOCs 的確具有相當程度的重複性，亦即由建材中所逸散出 VOCs 確實對住宅室內空氣品質造成一定程度的影響。

表 2-2.4 住宅內常見之揮發性有機物及其濃度

污染物種類	平均濃度 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Toluene	80
Limonene	30
n-Decane	20
Benzene	10
1,3,5- trimethy benzene	5
m,p-Xylene	2
1,2,4-trimethy benzene	1
1,1,1-trichlorothone	1
Undecane	1
o-Xylene	1

(Jones,1999)

表 2-2.5 各建材所釋出之化合物種類

建材	主要化學物質
塗料	有機溶劑 (甲苯、二甲苯等)
合板等	甲醛、有機溶劑等
膠合劑	甲醛、有機溶劑等
壁紙	可塑劑等
木材	木材保存劑
席墊	殺蟲劑等

(盧昆忠, 2002)

三、天花板類建材揮發性有機物探討

天花板類建材根據台灣南部地區辦公大樓室內空氣品質研究顯示，該第 10 樓辦公空間，石膏天花板裝修面積為 347.3m²，經實地量測結果顯示，甲醛平均逸散速率:0.13mg/m²hr，VOCs 平均逸散速率：1.07mg/m²hr。

第三節 揮發性有機化合物之健康效應及標準值

一、揮發性有機化合物之健康效應與標準值

揮發性有機物例如苯是常見的室內污染物，主要來自裝修中使用的膠、漆、塗料和建築材料的有機溶劑。VOCs 嚴重危害人體的健康，不論是氣態或粒狀的污染物，當濃度高、量多或毒性強時，可能會影響呼吸器官的正常功能，甚至傷害其他器官而使身體感到不適；即使其濃度或量沒有高到足以產生立即危害，但長期曝露下，仍可能產生慢性病變，有時肺功能亦會受到影響。

而室內建材的 VOCs 逸散污染物多源自於建材原料及施工中所施用的溶劑。若長期處於 VOCs 氣體的環境中，會造成人體視覺、聽覺、記憶受損；VOCs 中的醇類、醚類、醛類、酮類等溶劑損害人體的神經系統 (IRIS, 2000)；苯、甲苯對腎、肝、血液系統和神經系統有損害 (klaassen, 1996)；羥基甲酯、甲酸酯類使肺中毒 (Welch, 1993)；乙二醇類損害人的腎臟 (Smith, 1984)；氯乙烯、苯已被國際癌症研究中心定為人的致癌物 (IARC, 1994)。若在通風不良的環境中，短時間吸入高濃度苯蒸氣可引起中樞神經系統，而其他化合物即使並非毒性物質，但仍足以對過敏性體質者造成相當程度之影響，因此室內建材所造成之 VOCs 污染，著實對室內使用人員的健康帶來極大的威脅。

甲醛為無色易溶的刺激性氣體，可經呼吸道吸收，其水溶液"福馬林"則可經消化道吸收。若長期接觸低劑量甲醛可引起慢性呼吸道疾病、女性月經紊亂、妊娠綜合症，引起新生兒體質降低、染色體異常，甚至引起鼻咽癌 (Morgan, 1986)。高濃度甲醛對神經系統、免疫系統、肝臟等都有毒害。甲醛還有致畸、致癌作用。長期接觸甲醛的人，可能引起鼻腔、口腔、鼻咽、咽喉、皮膚和消化道的癌症。

因此在國內健康建材的推廣上，應優先排除含有致癌物質之建材(IARC 訂定之 Group 1 物質)，並以高濃度或高逸散量之揮發性化合物(如 IARC Group 2A、2B、3 之物質)，作為限制逸散的指標污染物，本研究優先以高危害、高濃度及高逸散物質作為指標性污染物。

二、揮發性有機物逸散機制

影響揮發性有機物逸散行為的因子中，在溫度的部分，ASTM D5116-97 指出溫度會影響受測物表面的蒸汽壓、脫附速率和有機化合物的擴散係數，因此，溫度確實影響著物體表面的質傳（無論是汽化或脫附）和物料內部進行的擴散質傳。根據 Tichenor¹² 的研究報告中指出，溫度上升，則 VOCs 的逸散速率亦相對提升。另在 Ven Der Wal¹³ 氏對溫度影響 VOCs 的研究中，選用地毯、地板鋪設物及水性油漆做為目標物，發現隨著溫度上升，初始逸散速率、逸散衰減常數也都跟著上升，另外，也有部分污染源的總逸散量會因產生化學變化而增加逸散的總質量。

在國內的文獻部分，陳新智君註¹⁴、陳鎮宇君註¹⁵以溫度、濕度及換氣率為變因，探討建築板材中甲醛濃度與該三項環境因子之間的變化關係，結果證明甲醛的濃度逸散速率因子（Emission Rate Factor）會隨溫度的上升而上升，而換氣率的上升則導致最高濃度發生時間提前，以及逸散速率因子上升等情形，然而在濕度的影響方面則呈不穩定狀態；黃冠仁君¹⁶以黏著劑探討環境因子對 VOCs 逸散模式的影響，亦得到相同的結論。

根據上述文獻理論分析，本研究擬透過小尺寸環控箱模擬建築空間環境，利用國內之溫度、濕度、通風換氣及裝修負荷率等氣候、環境條件控制，對國內外之天花板類建材作危害物質之定性定量分析，透過資料庫的建立，對國內裝修建材作一健康品質控管的機制。

¹² Tichenor, B. A., 1989, "Measurement of Organic Compound Emissions Using Small Scale Chamber", Environment International, Vol.15, p.389-396.

¹³ Ven Der Wal and Hoogeveen and Wouda, 1997, "The Influence of Temperature on the Emission of Volatile Organic Compound", Indoor Air, Vol7, p.215-221.

¹⁴ 陳新智，2000，室內木質建材揮發性有機物逸散之研究，台大環工所碩士論文。

¹⁵ 陳震宇，2001，室內木質建材甲醛逸散之研究，台大環工所碩士論文。

¹⁶ 黃冠仁，1999，室內建材逸散揮發性有機物之研究－黏著劑之揮發性有機物逸散因子，台大環工所碩士論文。

第四節 檢測樣品及指標性污染物彙整

由上述文獻及國外標章制度對天花板類建材作選樣分析，並配合我國天花板類建材使用現況後，規劃出本研究欲測試之檢測樣品，如下表所示：

表 2-4.1 天花板類建材檢測範圍及試體規格

天花板類建材	材料性質	規格	備註
礦纖天花板	礦纖板	中國大陸進口建材	未含黏著劑
		60cm×60cm×1cm 取 30cm×30cm×1cm 試體	未含黏著劑
礦纖水泥板	水泥板	30cm×30cm×1.5cm 試體	未含黏著劑
合板	木板	30cm×30cm×0.15cm 試體	未含黏著劑



圖 2-4.1 礦纖天花板



圖 2-4.2 礦纖水泥板



圖 2-4.3 合板

根據本章對天花板類建材揮發性有機逸散物之探討，得知國外天花板類建材顯著性較高之逸散物，依此分析作為檢測試驗指標性污染物的文獻參考，在指標性污染物上優先以 IARC 所定之致癌物質及高逸散量物質為定性檢測之標準污染物，指標性污染物選定上，擬透過本研究之定性分析選定後，再做量化的分析步驟。

第三章 天花板類建材揮發性有機逸散物 標準檢測試驗法—小型環控箱法

第一節 檢測原理與設備

一、分析原理

本研究所採用之小型環控箱測試法主要用於建材中揮發性有機物質之逸散評估；利用小型環境控制箱模擬室內環境條件，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持續逸散，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）裝置熱脫附後注入氣相層析質譜儀（GC/MS）或氣相層析儀（GC/FID），進行揮發性有機物質的定性與定量分析。

二、檢測系統

本研究所採用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 所規範之小型環控箱測試法，及加拿大國家實驗室所提出之濕式建材測試法¹⁷，內政部建築研究所建立之室內建材有機逸散物質標準試驗方法及程序¹⁸等。其原理主要是將待測建材樣品放入可橫溫恆濕環境控制箱中，並針對溫度、濕度、換氣率及風速等因子加以控制，然後再以一定流量之採樣 Pump 將箱體內的待測污染物抽出，並經熱脫附儀器後，再以特定分析儀器對該污染物進行定性及定量的分析研究。

本測試系統包括下列四大部分，分別是環境控制箱（Test Chamber）、清淨空氣產生系統（Clean Air Generation System）、環境監測及控制系統（Monitoring and Control Systems）及採樣與分析設備（Sample Collection and Analysis Equipment）等。其系統架構概要如圖 3-1.1 所示：

¹⁷ J.P. Zhu, R.J. Magee, J.S. Zhang and C.Y. Shaw, 1999, "A Small Scale Chamber Test Method for Measuring Volatile Organic Compound Emissions from Wet Building Materials" CMEIAQ Final report 1.3.

¹⁸ 江哲銘、李俊璋，2000，室內建材揮發性有機物質標準檢測方法及程序之研究，內政部建研所。

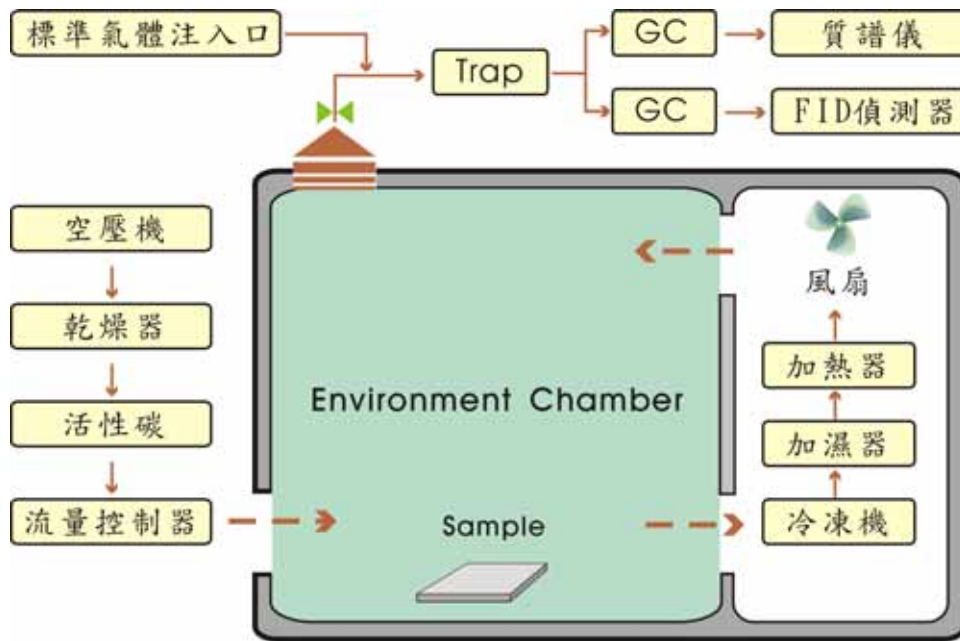


圖 3-1.1 建材揮發性有機物質逸散研究之系統簡圖

第二節 建材中甲醛逸散檢測方法—小型環控箱測試方法

一、方法概要

本方法主要用於室內建材中甲醛(Formaldehyde)之逸散評估；利用小型環境控制箱模擬室內環境條件，將欲測試的建材放入，其所含之甲醛會於環控箱內慢慢逸散至穩定狀態，再以 XAD-2(coated with 2-HMP (2(Hydroxymethyl) piperidine))，連接採樣幫浦以流量 100 mL 進行採樣，採樣完成後經 1mL 甲苯脫附後，以 GC/FID 進行分析。

二、適用範圍

本方法適用於分析建材中甲醛逸散評估。樣品氣體體積為 10L 時，有效分析濃度範圍在 0.24~16 ppm(0.3~20 mg/m³)。

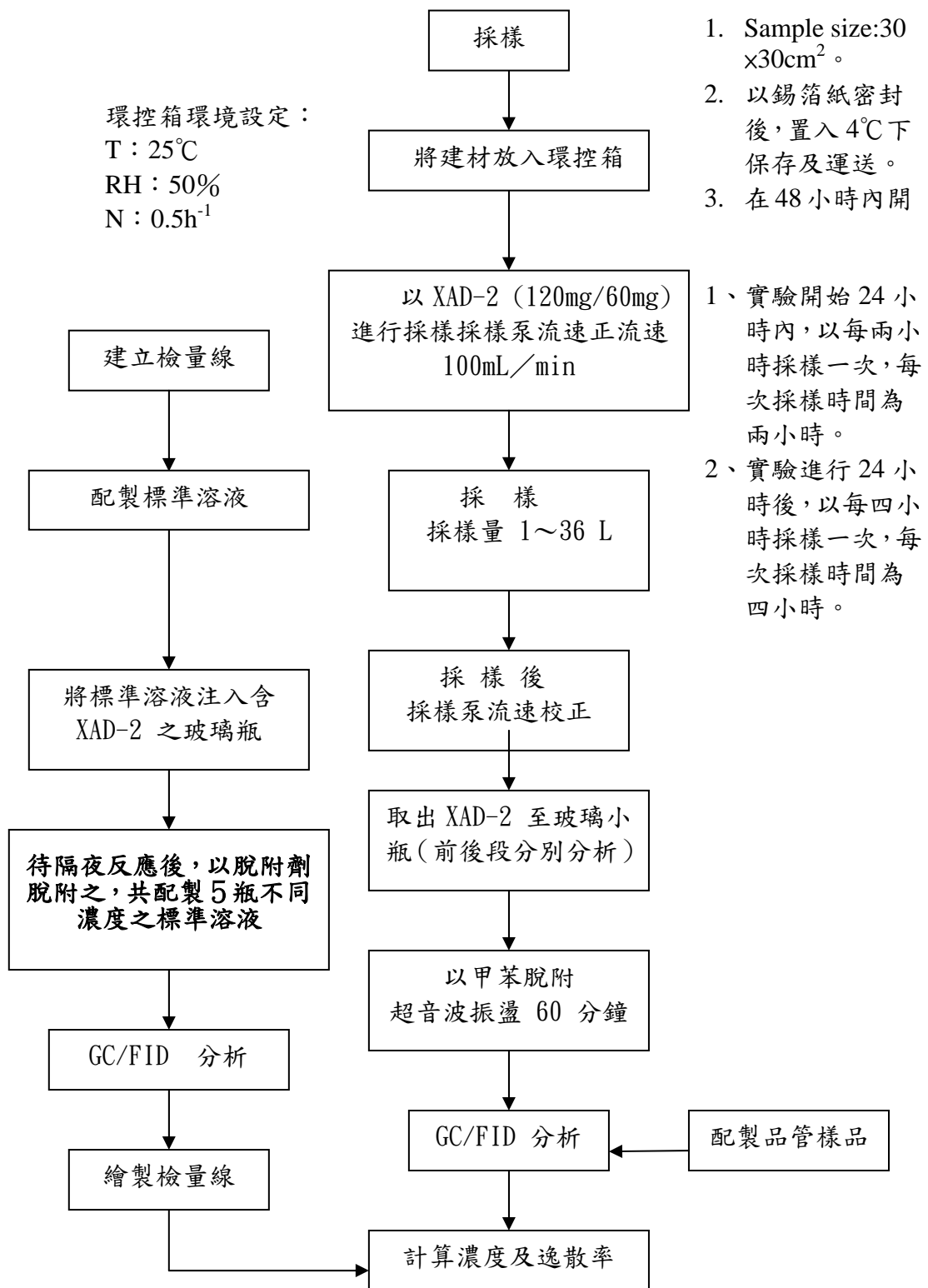


圖 3-2.1 甲醛採樣及分析流程圖

第三節 建材中揮發性有機物質逸散檢測方法 法一小型環控箱測試方法

一、測試原理：

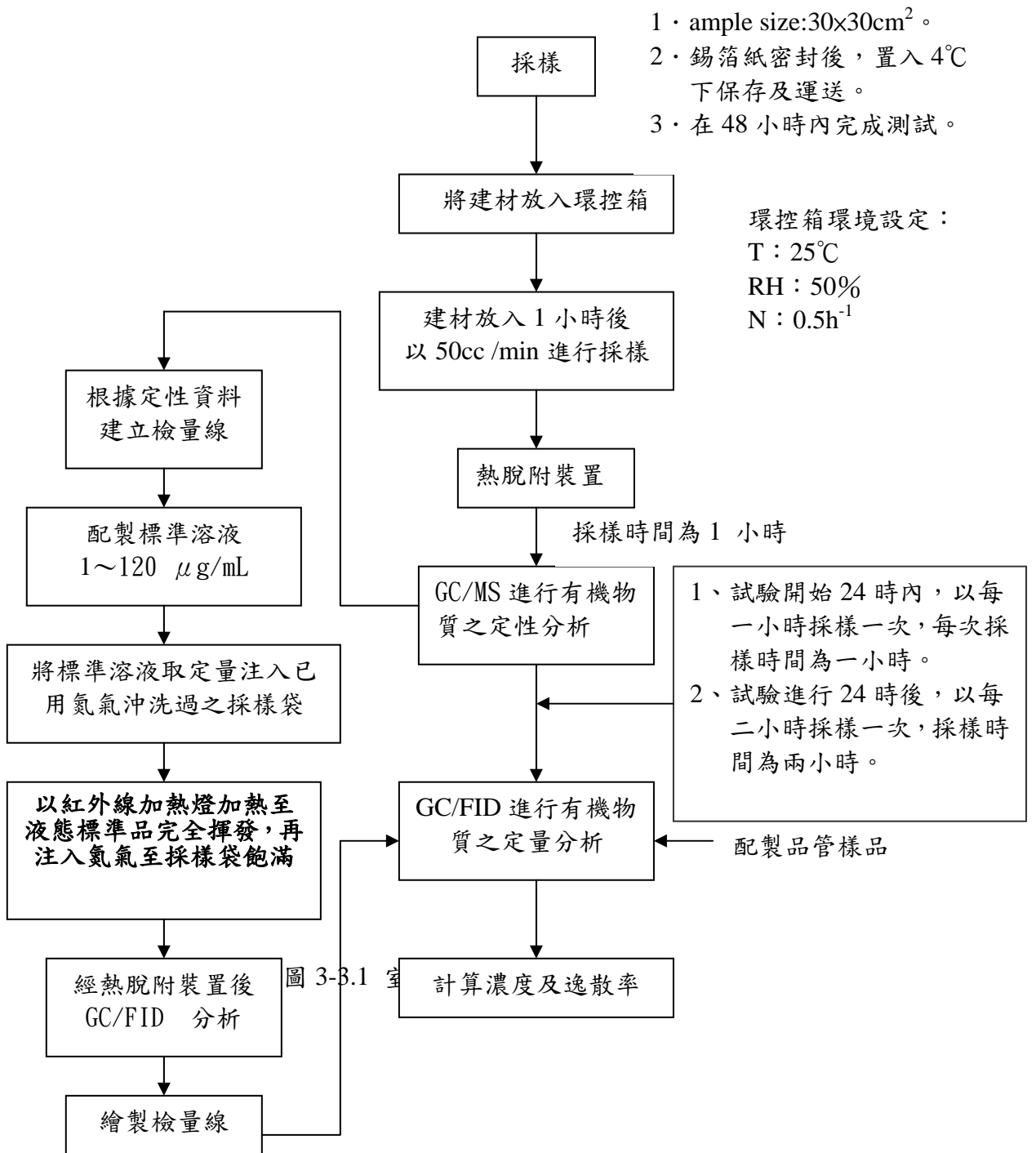
本方法主要用於室內建材中揮發性有機物質（ Volatile Organic Compounds, VOCs）之逸散評估；利用小型環境控制箱模擬室內環境條件，將欲測試的建材放入，建材中之揮發性有機物質會於環控箱內慢慢逸散至穩定狀態，再以含 Carbotrap 及 Carboxen1000/1003 三種不同吸附劑之吸附管予以定流量捕集濃縮，經熱脫附（Thermal Desorption）裝置熱脫附後注入氣相層析質譜儀（GC/MS）及氣相層析儀/火焰離子偵測器（GC/FID），分別進行揮發性有機物質的定性與定量分析。

二、適用範圍

本方法適用於常見室內建材中揮發性有機物質之逸散濃度測試，以計算其逸散率與衰減情形。適用範圍受限於樣品收集時揮發性有機化合物在吸附管可能的穿透效應，檢測濃度範圍將在後續實驗中訂定。

三、干擾

- （一） 建材所含揮發性有機物質於建材製造完成後慢慢逸散於空氣中，為精準的評估 VOCs 的逸散量，須於建材製造完成後一週內進行採樣分析，以避免儲放過程中因有機物質逸散或受其他污染源污染而產生誤差。
- （二） 建材樣品於採樣及運送過程中，須避免接觸其他有機物質污染源，而使建材對特定有機物質產生吸附或脫附之現象，對於分析結果產生干擾；樣本在採樣及運送過程中須置放於 4°C 之密閉空間下進行保存。



第四章 天花板類建材甲醛逸散檢測結果

第一節 數據之品保與品管

一、檢量線之建立與製作

甲醛之檢量線建立，先分別配製 23.97 ng、239.7ng 及 7990 ng 之甲醛標準溶液，濃度範圍約為 47.94ng~0.0479 ng，共分為高濃度檢量線(1.9176~47.94ng)、中濃度檢量線(0.2397~7.99ng)及低濃度檢量線(0.0479~0.2397ng)，每一濃度之檢量線至少配置五種不同濃度之標準溶液，並以 10 μ l 之氣密針定量注入 XAD-2(coated with 2-HMP (2-Hydroxymethyl Piperidine)，待靜置隔夜後(8 小時)再以 1ml 之甲苯 (Toluene) 脫附，並以 GC/FID 進行分析，再由層析圖之尖峰面積與其絕對質量(ng) 做成高濃度、中濃度及低濃度檢量線，其檢量線之 R^2 須高於 0.995 以上，以符合檢量線規範，其甲醛濃度值與波峰面積值之關係如表 4-1.1 所示。

表 4-1.1 甲醛濃度值與波峰面積值關係

Formaldehyde 低、中、高質量數對波峰面積之關係					
低質量數		中質量數		高質量數	
Weight(ng)	Peak Area	Weight(ng)	Peak Area	Weight(ng)	Peak Area
1.9176	70496396	0.2397	52187857	0.04794	24160727
7.99	302842456	0.4794	68975315	0.09588	43025308
15.98	631892280	0.9588	84795302	0.14382	59597624
31.96	1288449282	1.9176	109244094	0.19176	75299913
47.94	2009828710	7.99	280682598	0.2397	98955549

(1) 甲醛高濃度檢量線

甲醛之高濃度檢量線分別以 1.9176、7.99、15.98、31.96、47.94 (ng) 等五種濃度注入吸附管內，並以甲苯(Toluene)脫附後，以 GC/FID 分析，其檢量線 $R^2=0.9971>0.995$ 合於規範標準，準確度之標準以回收率表示，其平均回收率為 102.12%，合於規範 85~115%，如圖 4-1.1。

(2) 甲醛中濃度檢量線

甲醛之中濃度檢量線分別以 0.2397、0.4794、0.9588、1.9176、7.99 (ng) 等五種

濃度注入吸附管內，其檢量線 $R^2=0.9975>0.995$ 合於規範標準，準確度之標準以回收率表示，其平均回收率為 96.51%，合於規範 85~115%，如圖 4-1.2。

(3) 甲醛低濃度檢量線

甲醛之低濃度檢量線分別以 1.9176、7.99、15.98、31.96、47.94 (ng) 等五種濃度注入吸附管內，並以甲苯(Toluene)脫附後，其檢量線 $R^2=0.9993>0.995$ 合於規範標準，準確度之標準以回收率表示，其平均回收率為 100.32%，合於規範 85~115%，如圖 4-1.3。

圖 4-1.1 甲醛高濃度檢量線

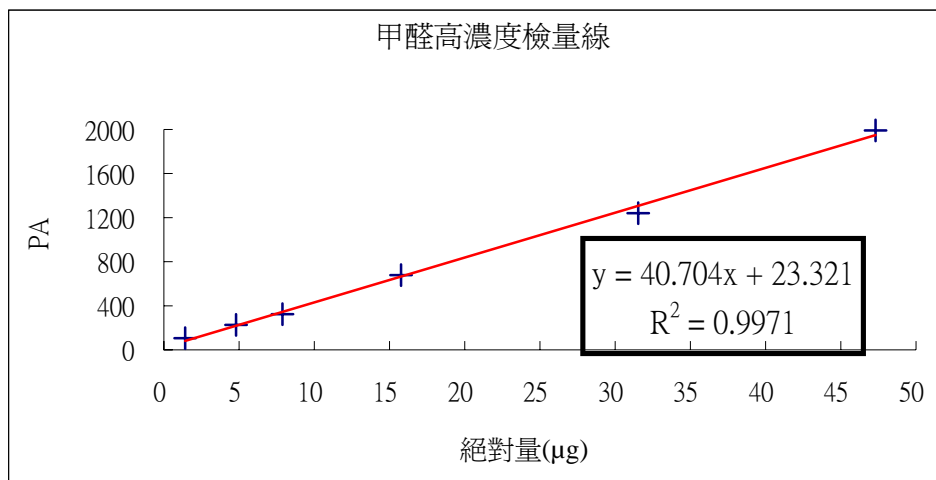


圖 4-1.2 甲醛中濃度檢量線

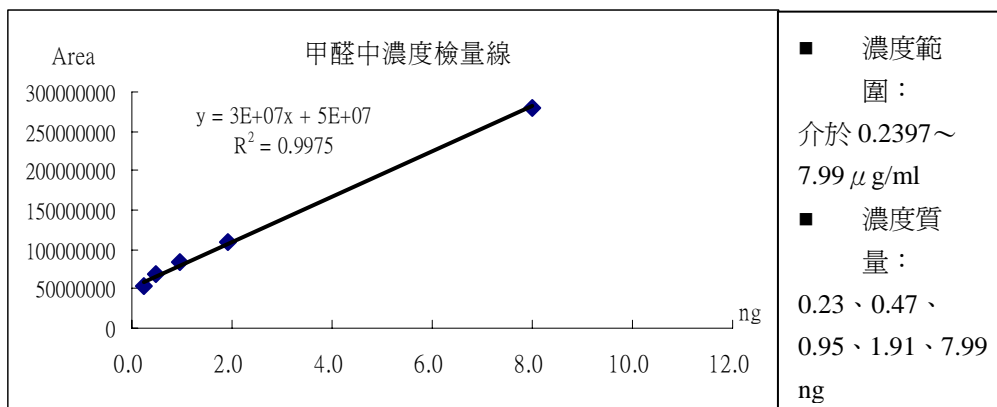
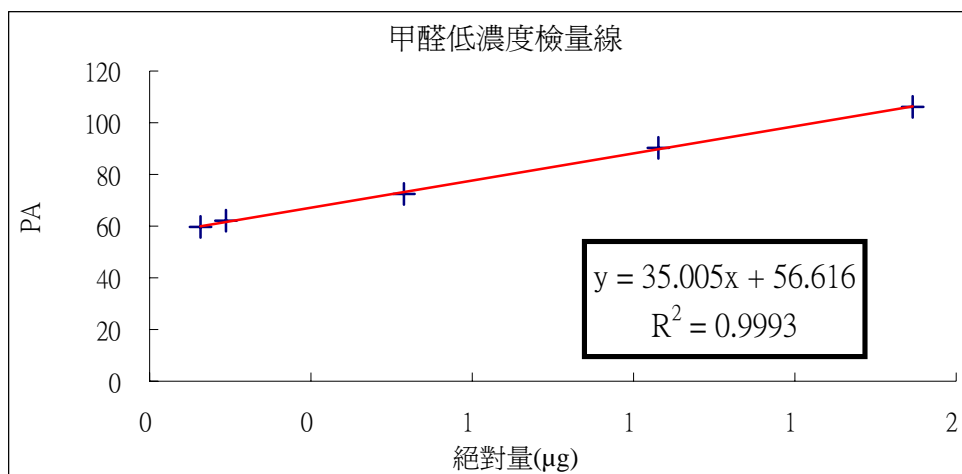


圖 4-1.3 甲醛低濃度檢量線



二、準確度、精密度與方法偵測下限

準確度為標準溶液測量值與實際配製濃度值之比，需介於 85~115% 範圍，精密度是將檢量線濃度最低點連續測定 7 次，求其變異數，其值不可超過 15%，本次實驗測試之精密度以中間濃度值 0.143、0.958 及 15.98(ng) 各測七次，在高、中、低檢量線中，其精密度分別為 2.45%、6.45% 及 6.27%，皆符合精密度規範，如表 4-1.2。

表 4-1.2 甲醛之準確度、精密度及方法偵測下限

化合物種	準確度(%)	精密度(%)	偵測下限(ppb)
高濃度甲醛	102.12%	2.45%	-
中濃度甲醛	96.51%	6.45%	-
低濃度甲醛	100.32%	6.27%	2ppb

方法偵測下限則是以檢量線濃度最低點連續測定七次，求其標準偏差，其標準偏差值的三倍為偵測下限。每一批次實驗均會進行回收率、精密度等評估，以確保實驗過程具有良好之品質管制。

三、環境箱之空白分析

環境箱之空白分析必須在建材測試之前，利用潔淨空氣(VOCs $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以下)進行三倍環控箱體積之置換，以確保環控箱內並無殘留有機物質，避免對建材分析產生干擾，根據 ASTM D-5116-97 之規定，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)濃度不可超過 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 。

甲醛於天花板建材分析過程中，環境箱背景濃度值均小於 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，符合規範，如表 4-1.3。

在背景實驗結果可以發現，各片建材測試其揮發性有機化合物濃度均在 $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ 以內，達到測試基本規範，但多數測試並沒有達到 $2\mu\text{g}/\text{m}^3$ 的濃度範圍內，因此本研究將原本 3 倍體積潔淨空氣置換時間延長至 12 小時，以 6 倍環控箱體積置換方式，降低環控箱背景濃度，其中合板測試之環控箱背景濃度降至 1.97 ppb，符合國際測試標準。其運送空白及實驗室空白分析均低於偵測下限，在分析過程中均無受到其他污染源之污染。

表 4-1.3 環控箱甲醛背景濃度

測試建材	環控箱甲醛背景濃度
礦纖天花板	$6.69 \mu\text{g}/\text{m}^3$
礦纖水泥板	$6.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$
合板	$1.97 \mu\text{g}/\text{m}^3$

第二節 天花板類建材揮發性有機化合物定性分析結果

本研究計畫針對國內常用之天花板類建材作揮發性有機化合物逸散測試，主要是針對礦纖天花板、礦纖水泥板、及合板等建材作逸散測試，在測試上先透過揮發性有機化合物「定性」分析的方式，訂出天花板類建材中揮發性有機化合物之指標性污染物，透過「定性」測試的方式，選出天花板類建材中濃度最高、具健康危害性及 IARC 訂定之致癌物質為逸散化合物分析對象。

目前在「定性」測試上，主要是透過 GC/MS 質譜儀、不鏽鋼吸附管(依據 NIOSH TO-17 規定)、及 ATD-400 熱脫附儀，以採樣幫浦連接不鏽鋼吸附管，於環控箱頂空 Head Space 部分採集混合均勻之氣體後，於 ATD-400 熱脫附儀中進行冷凍補集及熱脫附動作，並將採集之氣體注入 GC/MS 中分析。

(一) 定性流程說明

天花板類建材中揮發性有機化合物種類之定性作業，在使用 GC/MS 系統分析後可得一圖譜，並可利用圖譜上之分析結果與資料庫做比對 (Library Search) 以瞭解化合物之種類，如圖 4-2.1。

為求慎重起見，在與資料庫做比對得到初始化合物種類資料後，尚須依據化合物於毛細管柱中之滯留時間 (Retention Time, RT)、廠商配方、化合物市場成本與常用原料資料庫等做交叉比對，以求更精確的定性結果。

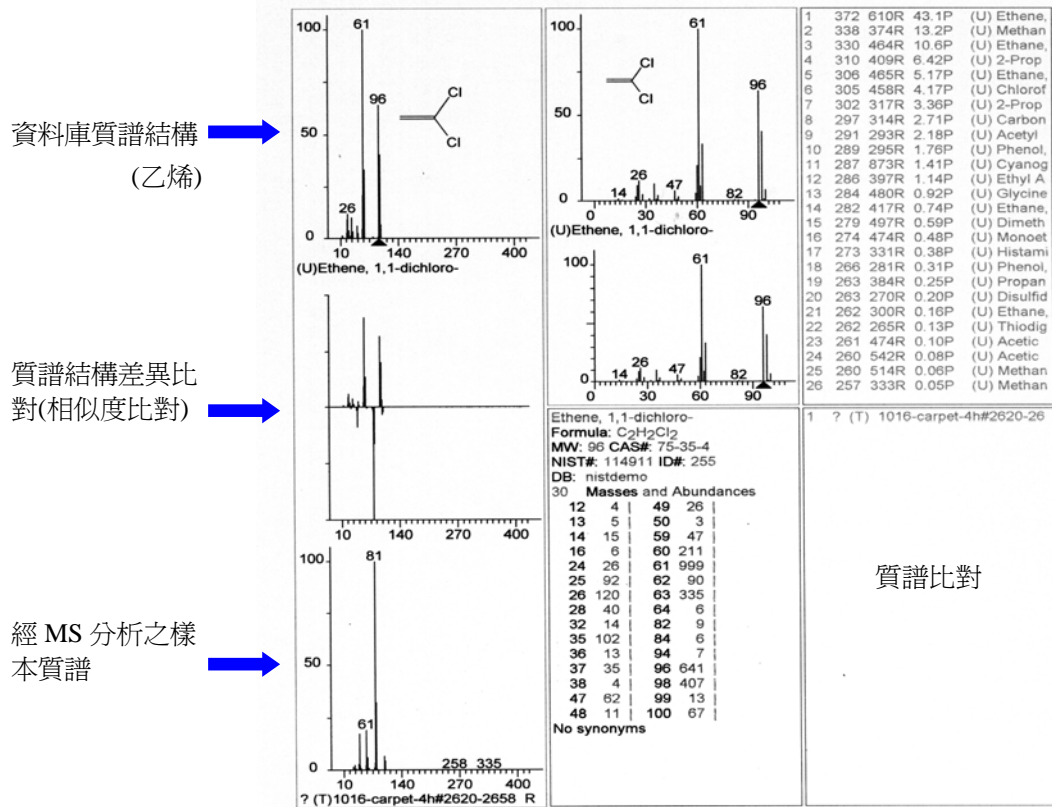
(二) 揮發性有機化合物定性結果

1. 礦纖天花板定性結果

經由 GC/MS 系統對天花板類建材的定性作業，可以發現礦纖天花板中含有相當多種的揮發性有機化合物，如圖 4-2.1 之圖譜所示；將圖譜結果透過上述之定性作業流程，經圖譜分析可以得到該建材之化合物種類，並根據質譜分析之相似度比對，得知該建材逸散之化合物種類及滯留時間，並以此作定性分析時之依據。

在質譜相似度比對上透過 Library Search 的方式，比對出逸散物質之分子量及結構性，並以分子量之差值，判斷其質譜相似度。

圖 4-2.1 天花板建材質譜相似度比對



天花板類建材經過 GC/MS 之質譜分析及前期測試分析結果得知，目前在建材的定性上，由於天花板建材具有低逸散量、逸散速率低、逸散變化大、逸散時間長等特性，因此在定性作業上，須優先考量環控箱之穩定度、採樣時間之延長性、採集效益之提高等問題。

在礦纖天花板定性上，本研究主要測試一種礦纖天花板建材，該種礦纖天花板進行 48 小時之甲醛及揮發性有機物之定性、定量，在礦纖天花板之定性測試上，主要是在連續監測中取前期、中期、後期三階段作定性測試，每次測試均透過不鏽鋼吸附管吸附 4 小時，再經由 ATD-400 熱脫附後分析採集物質，由前期測試結果得知，天花板定性測試主要可以分析出下列幾項物質：甲苯(Toluene)、苯(Benzene)、乙基苯(Ethyl Benzene)、間、對二甲苯(m,p-Xylene)及鄰二甲苯(o-Xylene)，其中以 VOC 之逸散量最大、甲醛之逸散最微量，因此在礦纖天花板揮發性有機化合物測試上，優先以顯著性高、逸散量大且具健康危害性之「VOCs」物質為主要測試指標污染物。

2. 礦纖水泥板定性結果

礦纖水泥板在「定性」分析上，由於具有低逸散、多孔質表面的特性，因此容易產生吸附沈積(Sink)作用，影響定性之準確度，因此在定性分析上，以延長採樣吸附時間、增加採集濃度的方式，增加定性分析之可信度。

在礦纖水泥板定性上，本研究主要測試礦纖水泥板，該種礦纖水泥板分別進行48小時之甲醛及揮發性有機物之定性、定量，在礦纖水泥板之定性測試上，主要是在連續監測中取前期、中期、後期三階段作定性測試，每次測試均透過不鏽鋼吸附管吸附4小時，再經由ATD-400熱脫附後分析採集物質，由前期測試結果得知，礦纖水泥板板定性測試主要可以分析出下列幾項物質：甲苯(Toluene)、二甲苯(Xylene)、等化合物。在礦纖水泥板類建材定性及定量上，優先以甲苯及二甲苯等化合物作為測試之指標性污染物。

第三節 天花板類建材揮發性有機物定量分析結果

在完成檢量線之製作及物質「定性」後，比對 GC/FID 偵測自天花板類建材測試樣本所逸散之化合物訊號值換算為濃度值。以下各化合物之定量結果，將分別依各指標污染物之初始逸散濃度、甲醛歷時濃度及歷時總揮發性有機化合物 (TVOC) 逸散濃度三種形式呈現之。

在「定量」測試建材上，主要測試礦纖天花板、礦纖水泥板及合板類建材。

1. 礦纖天花板定量結果

VOC-(以 TENXA-TA 吸附管吸附)

圖 4-3.1 礦纖天花板 TVOC 濃度逸散變化

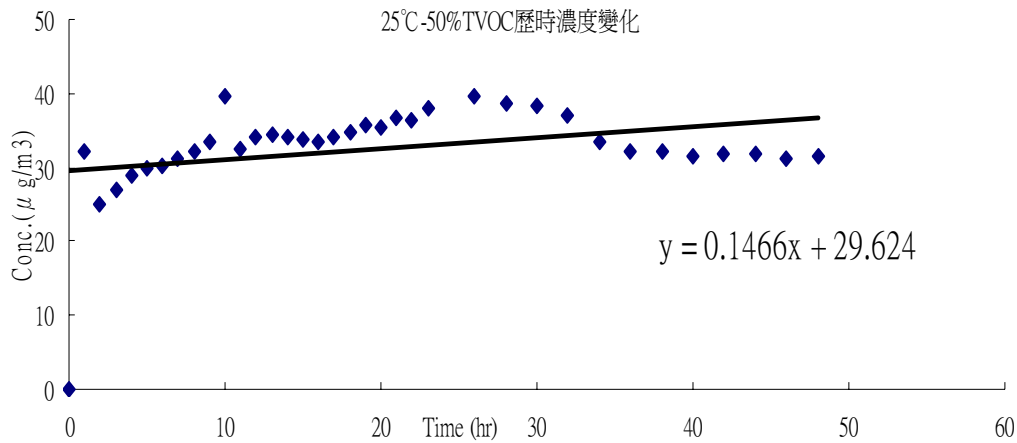
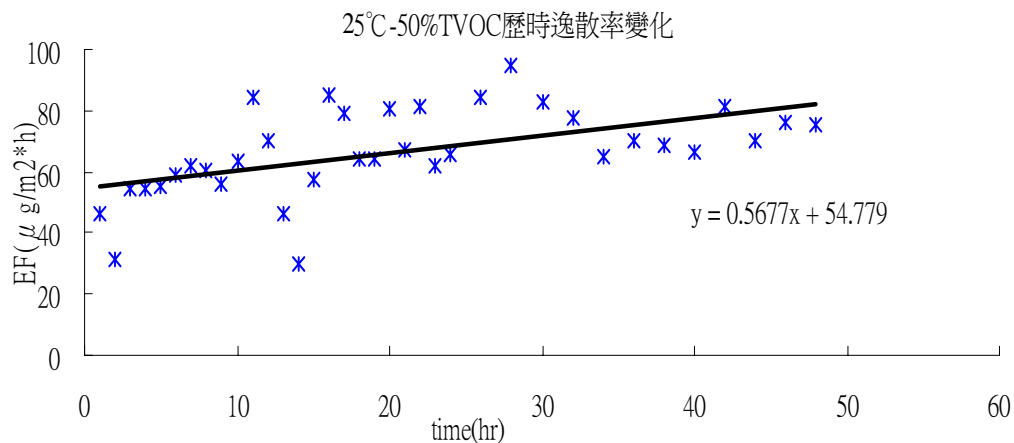


圖 4-3.2 礦纖天花板 TVOC 濃度逸散速率變化



2. 礦纖水泥板定量結果

VOCs-(以 TENXA-TA 吸附管吸附)

圖 4-3.3 礦纖水泥板 TVOC 濃度變化

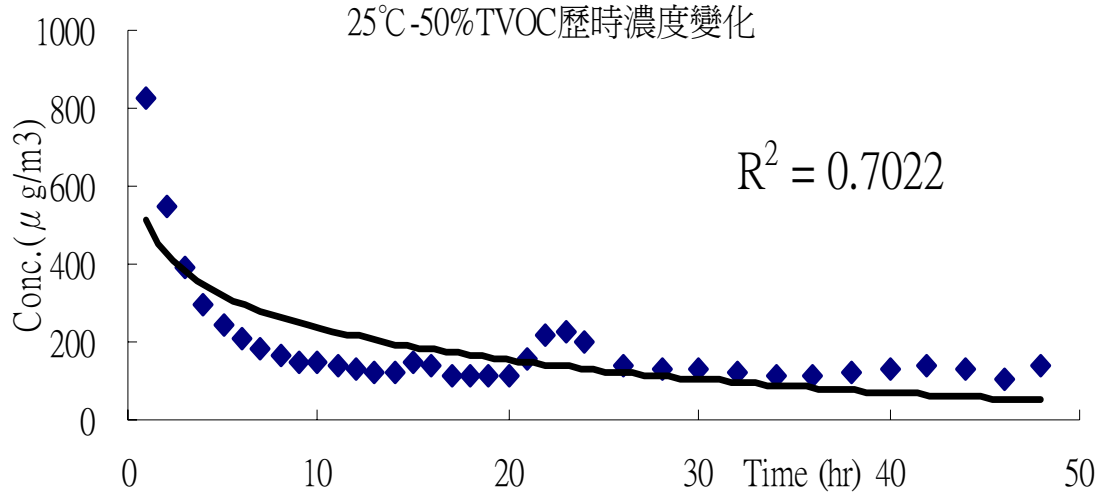
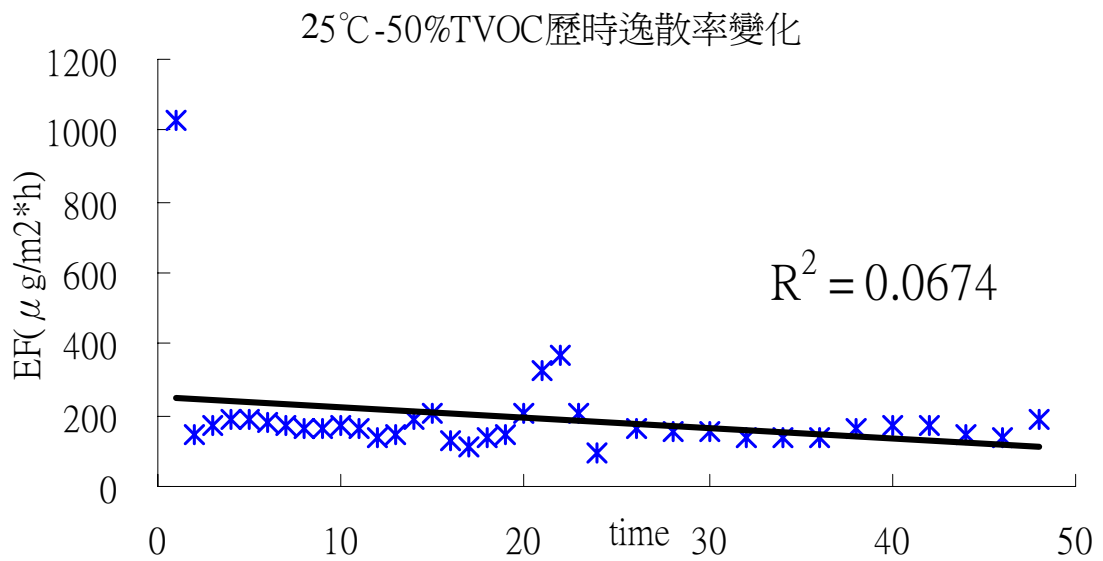


圖 4-3.4 礦纖水泥板 TVOC 濃度逸散變化



3.合板定量結果

甲醛-(以 XAD-2 吸附管吸附)

圖 4-3.5 合板甲醛濃度逸散變化

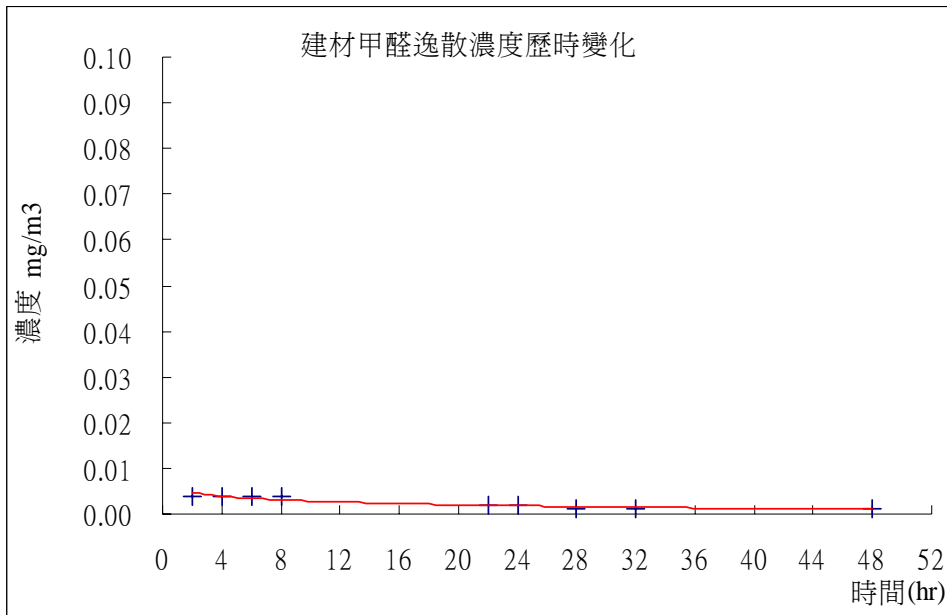
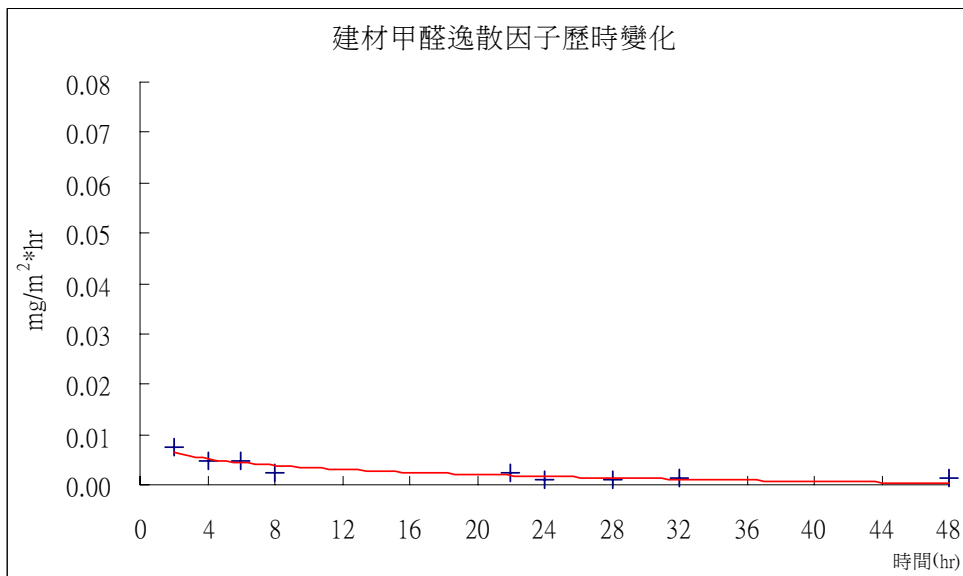


圖 4-3.6 合板甲醛逸散速率變化



第五章 天花板類建材使用所致之健康風險評估

第一節 天花板類建材甲醛暴露的健康風險評估

根據小型環控箱所量測出各建材間逸散速率結果，希望能將其推估於實際之室內空間，以求得風險評估值。本研究模擬室內環境長、寬為 3m，高度為 2.5m，假設此室內空間中只分別放入面積為 9m² 之礦纖天花板、礦纖水泥版、合板平鋪於天花板，環境條件為溫度 25°C，相對溼度 50%，換氣率為 0.5ACH 下，探討室內環境中甲醛濃度變化情形，進而進行風險度推估；而甲醛的健康風險評估主要利用下列公式求得：

$$\text{Risk} = C \times \text{Unit Risk}$$

假設該環境空間(3m×3m×2.5m)的甲醛濃度為 C(μg/Nm³)，而甲醛的 Unit Risk 依據 USEPA 建立之 IRIS 所載為 1.3×10⁻⁵(μg/Nm³)⁻¹。由於 Unit Risk 推估係假設每人每天的呼吸量為 20 m³/day，一天中有 24 小時的暴露，一生暴露時間為 70 年，體重 70 公斤，此情況與國內實際暴露情形有異，因此需進行校正。依據國人暴露情形修正為每人每天的呼吸量為 12m³/day，一天中大約有 16 小時的時間處於室內，一年當中約有 50 週的時間在居家住宅，平均壽命 76 歲，體重 60 公斤，根據本計畫所測得的礦纖天花板、礦纖水泥版、合板甲醛實驗數據推估室內空間甲醛的濃度值，代入甲醛健康風險評估之公式如下：

$$\begin{aligned} \text{Risk} &= C \times \text{Unit Risk} \\ &= C(\mu\text{g}/\text{Nm}^3) \times (16/24) \times (12/20) \times (70/60) \times (50/52) \times (70/76) \times (1.3 \times 10^{-5}) \end{aligned}$$

以一階衰減模式推估平衡時之逸散率，推估至室內空間濃度值，代入上式所得之風險值如表 5-1.1 所示。由表可知，合板 (risk=1.39E-06) 的甲醛終生致癌風險值略大於百萬分之一，而礦纖天花板與礦纖水泥板的甲醛終生致癌風險值則小於百萬分之一。結果顯示合板是屬於較具危害性的建材，應儘量避免使用，而台灣是屬於高溫高濕的氣候，若溫度和溼度升高，人們所暴露到甲醛的致癌風險值(Risk)相對提高，對室內空氣品質的影響及人體的危害性也就相對的增加了。

表 5-1.1 模擬室內空間之甲醛風險評估值

	礦纖天花板	礦纖水泥板	合板
穩定逸散率 ($\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$)	0.2	0.2	1.3
模擬室內空間濃度 ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	0.04	0.04	0.26
終生致癌風險(risk)	2.15E-07	2.15E-07	1.39E-06

第二節 天花板類建材 VOCs 暴露的健康風險評估

本研究之 VOCs 量測主要以 BTEX 為主，以礦纖天花板、礦纖水泥版、合板於溫度為 25°C，相對溼度為 50%，換氣率皆為 0.5 ACH 之實驗結果進行 VOCs 之致癌性及非致癌性風險度(吸入性)評估。而根據合板所量測的定性結果顯示，並無 BTEX 為主之逸散，因此，無需針對合板做致癌性健康風險評估之探討。而在 VOCs 之非致癌性風險度(吸入性)評估方面（單一物質暴露），主要根據下式求得：

$$HI \text{ (Hazard index)} = \text{Exposure concentration} / RfC \text{ or } RfD$$

$$RfC \text{ or } RfD = NOAEL / UF$$

其中：

HI：危害物指標

Exposure concentration：暴露濃度(劑量) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

RfD or RfC：參考劑量 或 參考濃度

NOAEL:無毒性作用劑量 ($\text{mg}/\text{kg}/\text{day}$)

UF：不確定度(一般為 10)

危害評估標準：Hazard index >1

假設該環境空間 (3m×3m×2.5m) 之 VOCs 各個化合物濃度為 C($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)，根據 toluene 之參考濃度 (RfC) 為 0.4mg/m³，ethyl benzene、Xylene (meta and para)、Xylene (ortho)之參考劑量 (RfD) 分別為 0.286，0.0857，0.2 mg/kg/day，假設每日有 80%的時間暴露在此濃度下，代入上式即可求得 HI 值。

於溫度為 25°C，相對溼度為 50%，換氣率皆為 0.5 ACH 所得之實驗結果，推估室內空間 VOCs 的濃度值所得之 HI 值，礦纖天花板及礦纖水泥板結果如表 5-2.1 至表 5-2.2 所示，礦纖天花板及礦纖水泥板經過 48 小時的平衡濃度值相當的低，推估至實際空間濃度值更低，因此其各個化合物及多種物質同時暴露之 HI 值小於 1，代表礦纖天花板及礦纖水泥板之 toluene、ethyl benzene、Xylene (meta and para)、

Xylene (ortho) 對人體的健康危害程度是輕微的。

表 5-2.1 礦纖天花板 VOCs 風險評估

化合物	穩定逸散率 ($\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$)	模擬室內空間濃 度($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	終生非致癌風險 (HI)
toluene	9.30	1.86	0.02
ethyl benzene	0.38	0.08	0.00
m,p-xylene	4.69	0.94	0.01
o-xylene	25.18	5.04	0.02
總 HI 值	-	-	0.05

表 5-2.2 礦纖水泥板 VOCs 風險評估

化合物	穩定逸散率 ($\mu\text{g}/\text{m}^2\cdot\text{h}$)	模擬室內空間濃 度($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$)	終生非致癌風險 (HI)
toluene	116.8	23.35	0.05
ethyl benzene	1.2	0.024	0.00
m,p-xylene	4.43	0.89	0.01
o-xylene	60.91	12.18	0.06
總 HI 值	-	-	0.12

第六章 結論與建議

第一節 研究結果

本研究延續九十年研究計畫一室內建材揮發性有機逸散物質檢測標準試驗方法及程序之研究中所擬定之標準試驗法，完成今年度天花板類建材之揮發性有機化合物逸散之檢測，並建立我國天花板類建材之指標揮發性有機化合物。初步研究結論如下：

- (一) 由檢測結果得知一般室內常用之礦纖天花板及礦纖水泥板，其甲醛之逸散量較低，在測試 48 小時內，皆符合室內環境甲醛濃度標準 0.08ppm 之內，其逸散速率在 48 小時之穩態逸散時，符合國內綠建材標準，但合板類甲醛含淚相對前述板類則較高，但仍是可接受範圍。
- (二) 另檢測結果得知一般室內常用之礦纖天花板及礦纖水泥板，其 TVOC 之逸散量較多，在測試 48 小時內，皆符合室內環境 TVOC 濃度標準之內，其逸散速率在 48 小時之穩態逸散時，符合國內綠建材標準，而在合板未量測出 BTEX。
- (三) 風險值推估部分：合板 (risk=1.39E-06) 的甲醛終生致癌風險值略大於百萬分之一，而礦纖天花板與礦纖水泥板的甲醛終生致癌風險值則小於百萬分之一。結果顯示合板是屬於危害性較高的建材，應儘量避免使用，而台灣是屬於高溫高濕的氣候，若溫度和溼度一升高，人們所暴露到甲醛的致癌風險值(Risk)也就相對的提高，對室內空氣品質的影響及人體的危害性也就相對的增加。
- (四) 雖然本研究中，TVOCs 最高之 HI 值皆小於 1，但因只選取 Toluene、Ethyl-benzene、m,p-Xylene 及 o-Xylene 進行 TVOCs 定量分析，導致 TVOCs 之濃度質有較低的現象，為確保其建材使用之安全性，未來應針對其他物種進行分析

第二節 後續研究及建議

在完成天花板類建材之檢測和初步建立揮發性有機逸散物質檢索資料後，本年度之研究成果為基礎提出以下後續研究及相關改善建議：為求與國際之研究成果接軌，以驗證本檢測系統之操作信賴度，建議後續研究者可將環境因子設定為我國之氣候條件，以使研究成果更適於我國相關產業與標準之應用，並加強對進口建材商品之管制。

主要參考文獻

中文部分

1. 江哲銘、李俊璋，「塗料類建材有機逸散物資料庫之建立」，內政部建築研究所，(2002)
2. 江哲銘、李俊璋，「室內建材揮發性有機逸散物質檢測標準試驗方法及程序之研究」，內政部建築研究所，(2001)
3. 何明錦、江哲銘，「建築室內建材揮發性有機化合物衰減總表之研究」，內政部建築研究所，(2000)
4. 張志成，「建築室內逸散物質檢測分析研究(一)建築室內環境揮發性有機物檢測實驗室建置」，內政部建築研究所，(1999)
5. 江哲銘等，「建築室內環境保健控制綜合指標之研究」，內政部建築研究所，(1999)
6. 林君穎，「環境因子對室內建材 VOCs 及 Formaldehyde 逸散率之影響研究」，成功大學環境醫學研究所，(2003)

外文部分

1. ASTM D6670-01. 2001. Standard Practice for Full-Scale Chamber Determination of Volatile Organic Emissions from Indoor Materials/Product.
2. ASTM D5116-97. 1997. Standard Guide for Small-Scale Environmental Chamber Determinations of Organic Emissions from Indoor Materials/Products.
3. Berglund, B. et al, Effect of Indoor Pollution on Human Health, Indoor Air (1992)
4. C C Lee. 1997. Cancer Risk, Assessment of Occupational Exposure to Benzene in Taiwan, American Industrial Hygiene Conference & Exposition, Dallas, Texas.
5. C. M. Chiang, P. C. Chou, and W. A. Wang, et al. 1996. A study of the impacts of outdoor air and living behavior patterns on indoor air quality - case studies of apartments in Taiwan, INDOOR AIR '96, Vol. 3, pp. 735-740.
6. Chuck Yu, Derrick Crump. 1998. A Review of the Emission of VOCs from Polymeric Materials used in buildings. Building Environment, Vol. 33, No.6, pp. 357-374.
7. C. M. Chiang, and W.A. Wang, 1994. Empirical study on post-occupancy evaluation of housing indoor air environment in Taiwan, J. Housing Studies, No. 2, Jan, Research, pp. 107-132., (in Chinese)
8. C.M. Chiang, C.M. Lai, P.C. Chou and Y.Y. Li, 1998. Predicted Improvement of Indoor Air Environment in the Conventional Residential Kitchens in Taiwan, Proceeding of Second International Conference on Human-Environment System, Yokohama, Japan, p.626-632.
9. Chuck Yu, Derrick Crump, 1998. A Review of the Emission of VOCs from Polymeric

- Materials used in buildings, *Building Environment*, VOL.33, No.6, pp.357-374.
10. De Bortoli, M., Knoppel, H., Colombo A., and Kefalopoulos, S. 1996. Attempting to Characterize the Sink Effect in a Small Stainless Steel Test Chamber, *American Society for Testing and Materials*, pp. 307-320.
 11. Dr. Dagmar Schmidt Etkin. 1996. *Volatile Organic Compounds in Indoor Environments*.
 12. Fariborz Haghighat, Lisa De Bellis, 1998. Material Emission Rates: Literature Review, and the Impact of Indoor Air Temperature and Relative Humidity " *Building Environment*, VOL.33, No.5, pp.261-277.
 13. Fariborz Haghighat, Ying Zhang, 1999. Modelling of Emission of Volatile Organic Compounds from Building Materials –Estimation of Gas –phase Mass Transfer Coefficient, *Building and Environment*, 34, pp. 377-389.
 14. Guo Z., Tichenor, B. A., Krebs, K. A., and Roache, N. F. 1996. Considerations on revisions of emissions testing protocols, *ASTM Special Technical Publication 1287*, (May) 44905: 225-235.
 15. J. S. Zhang, and C.Y. Shaw, 1996. Material emission and indoor air quality modeling. *Proceedings of Indoor Air '96, Nagoya: Japan Vol. 1*, pp. 913-918.
 16. Molhave L. and Thorsen M. 1991. A Model for Investigations of Ventilation Systems As Sources for Volatile Organic Compounds in Indoor Climate, *Atmospheric Environment*, 25A : 2, 241-249.
 17. O. Jann, O. Wilke, D. Brodner, 1998. Procedure For The Determination And Limitation Of VOC-Emissions From Furnitures And Coated Wood Based Products , *IAQ*.
 18. Peder Wolkoff. 1998. Impact Of Air Velocity, Temperature, Humidity, And Air On Long-Term VOC Emission From Building Products, *Atmospheric Environment*, Vol. 32, No. 14/15, pp. 2659-2668.
 19. P.O. Fanger, 1989. The new comfort equation for indoor air quality, *ASHRAE J.* Oct.
 20. Zhang, J. S., J. M. Kanabus-Kaminska, and C. Y. Shaw. "A full-scale test chamber for material emission studies and indoor air quality modeling" *Characterizing Sources of Indoor Air Pollution and Related Sink Effects*, ASTM STP 1287, Ed. Bruce A. Tichenor, American Society for testing and Materials. pp.58-66.