

建築材料之溴化阻燃劑調查研究

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 106 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

國科會 GRB 編號

建築材料之溴化阻燃劑調查研究

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 106 年 12 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

MINISTRY OF THE INTERIOR
RESEARCH PROJECT REPORT

The Investigation of Biminated Flame Retardant of building materials

BY
WU TING LIN
Dec 12, 2017

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 研究計畫內容.....	4
第三節 研究方法與步驟.....	5
第四節 預期研究成果與進度.....	7
第五節 符號及縮寫.....	7
第二章 室內環境溴化阻燃劑物質來源與類型.....	11
第一節 室內空氣品質影響健康常見化合物.....	11
第二節 阻燃劑物質及溴化阻燃劑物質.....	12
第三節 建材逸散揮發性及半揮發性有機化合物質.....	16
第四節 國內、外室內環境管制阻燃劑現況.....	12
第三章 建材逸散溴化阻燃劑之危害評估.....	33
第一節 室內污染物健康調查.....	33
第二節 室內環境溴化阻燃劑物質危害調查.....	39
第三節 建材逸散溴化阻燃劑健康風險評估文獻回顧.....	40
第四章 健康綠建材標章溴化阻燃劑之篩檢及試驗方法結果.....	45
第一節 健康綠建材標章產品溴化阻燃劑之篩檢調查.....	45
第二節 建材逸散溴化阻燃劑試驗標準調查.....	50
第五章 結論與建議.....	63
第一節 結論.....	63
第二節 建議.....	65

附錄一、期初審查會議紀錄及回應.....	69
附錄二、期中審查會議紀錄及回應.....	71
附錄三、期末審查會議紀錄及回應.....	75
附錄四、毒性化學物質中多溴二苯醚檢測方法.....	79
附錄五、健康綠建材溴化阻燃劑物質篩檢調查表.....	91
參考書目.....	95

表次

表 1-1 預期研究進度表.....	7
表 2-1 法國國家建材逸散分及標示系統.....	10
表 2-2 國際間建材吸附性能標準檢測方法系列及認定範圍.....	11
表 2-3 室內揮發性物質來源分類表(US.EPA/600/F-95/005.....)	12
表 2-4 建築的種類及特性.....	13
表 2-5 建材逸散定量測試試驗參數組合表.....	13
表 2-6 瑞典案例—水性塗料主要 VOCs 逸散濃度值 (MG/M ³).....	15
表 2-7 國內室內空氣品質管制項目.....	17
表 2-8 國際癌症中心分類.....	21
表 4-1 低、高濃度檢量線-濃度值與波峰值關係.....	38
表 4-2 第一年度乾式建材中法定毒性化合物調查結果.....	40
表 4-3 第二年度乾式建材中法定毒性化合物調查結果.....	41
表 4-4 第三年度乾式建材中法定毒性化合物調查結.....	43

圖次

圖 1-1 研究流程圖.....	6
圖 2-1 環控箱長期溫度(25°C)穩定性驗證結果	34
圖 2-2 環控箱長期相對濕度(50%)穩定性驗證結果.....	36

摘要

關鍵詞：溴化阻燃劑、建材逸散、風險評估

一、研究緣起

根據世界衛生組織(WHO)統計「人的一生平均有 90%時間處在廣義室內空間中」，而「每人一日物質攝取量約有 57%來自室內空氣」，室內空氣品質之良窳直接影響人體健康安全及舒適，並間接影響經濟生產效率，近幾年 WHO 積極研議「建築室內空氣品質相關指引」。行政院環境保護署之「室內空氣品質管理法」已於民國 101 年 11 月 23 日正式實施，近年國人對於室內環境品質之健康議題，廣為重視，室內裝修材料中含有甲醛及揮發性有機化物，隨我國將其納入管制而逐漸降低，然而近年在特定化學物質如，塑化劑、殺菌劑和阻燃劑等化學物質添加應用於塑料、電子產品、建材、防火材料及家具，增加材料之特殊性能，而所添加化學物質近期發現不論是對室內環境和民眾健康具潛在影響及健康危害，故須加以重視與把關

建築法規中，為提升建築防火性能要求添加阻燃劑，然而其中阻燃劑種類繁多，如 PBDEs，TBBP-A，PBBs 和 HBCD 阻燃劑，則廣泛關注之持久性有機汙染物。國際間逐步管制禁用，鑒此對於國內廣泛應用室內之健康綠建材標章產品進行含溴化阻燃劑篩檢調查。

二、研究方法與過程

對於綠建材標章中有關健康性能評定項目，依據我國綠建材解說與評估手冊 2015 年更新版本，有關溴化阻燃劑管制，並無溴化阻燃劑檢測項目，僅目前由廠商提出物質安全資料表(SDS)文件，表徵該產品有無添加溴化阻燃劑，本研究篩檢現行有效標章之物質安全資料表，查核現行標章是否含有溴化阻燃劑化合物。另探討國際和國內對建材或相關產品中溴化阻燃劑管制現況調查，並進一步收集彙整建築材料中溴化阻燃劑相關試驗標準方法調查評估，最後研擬探討溴化阻燃劑對室內環境及室內居住之民眾對健康效益評估，研擬未來綠建材標章在溴化阻燃劑議題之推動建議，有效瞭解溴化阻燃劑對民眾居家

環境及健康危害，獲得較佳的室內環境品質。

三、重要發現

完成我國健康綠建材標章產品之溴化阻燃劑篩檢調查分析，實際瞭解健康綠建材之溴化阻燃劑現況，同時彙整國、內外綠建材及環保建材中，有關溴化阻燃劑管制現況調查及相關檢測標準方法，重要有下列結論：

- (一) 本年度彙整國內、外有關建築材料及室內環境中溴化阻燃劑管制及現況資料及相關標準試驗標準之文獻搜集與探討，包括 ISO、NIEA 等標準。
- (二) 本年度完成調查至 106 年 4 月止，現行有效健康綠建材標章之 496 件評定書，健康綠建材標章產品之溴化阻燃劑物質相關篩檢，篩檢調查結果均符合規範，並確保健康綠建材標章產品之品質。
- (三) 溴化阻燃劑包含多種不同項目化合物，完成篩選表製作，可供綠建材評定機構使用，另部分標章評定書之 SDS 過於簡化，無法查核實際添加情況。
- (四) 完成建材逸散溴化阻燃劑試驗方法調查，依據 ISO 16000-25 方法及 NIEA T506.30B 試驗標準，研擬試驗標準草案。
- (五) 溴化阻燃劑對室內環境之健康效益評估，除電子產品等，建材及家具為重要來源，多項溴化阻燃劑物質國際間已經禁用，國內建材確實有必要檢測溴化阻燃劑物質。

四、主要建議事項

本研究已完成國內外有關溴化阻燃劑管制現況調查，及健康綠建材標章產品中溴化阻燃劑篩選。同時也彙整建材逸散溴化阻燃劑性能試驗及溴化阻燃劑等半揮發性有機化合物之檢測標準，並建立「建材之溴化阻燃劑篩選表」、建立「室內環境溴化阻燃劑健康危害」之健康效益資料收集等工作項目，獲得許多具體結論，因此後續研究建議有下列幾點：

□立即可行之建議-建議未來持續調查生態、再生、高性能之綠建材標章產品，部分構造強調防火性能之材料，使綠建材含溴化阻燃劑調查更臻完善

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

□長期性建議-建議未來進行建材逸散溴化阻燃劑試驗標準驗證，進一步實際試驗抽樣建材試驗調查：長期性建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署

本年度已完成溴化阻燃劑之檢測標準方法彙整，提出建材逸散溴化阻燃劑試驗方法草案，未來建議進行試驗方法驗證及精確度準確度確認，俾利提供研究或業界測試需求，使建材逸散特性更臻完善。

ABSTRACT

Keywords : PBDEs, Building Material, Risk assessment

According to the statistics of the World Health Organization (WHO), "human life is 90% of the average time in a generalized indoor space", and "about 57% of the material intake per person per day comes from indoor air". The indoor air quality is good Affect human health and safety and comfort, and indirectly affect the economic productivity, Building codes require the addition of flame retardants to enhance the fire performance of buildings. However, there are a wide range of flame retardants, such as PBDEs, TBBP-A, PBBs and HBCD flame retardants, which are of widespread concern. Internationally step by step the ban on the control, as a result of this widely used indoor indoor green health building materials standard products containing brominated flame retardants screening survey. This study screened the material safety data sheet of the currently valid mark and checked whether the current mark contains brominated flame retardant compound.

Another discussion of international and domestic research on the status of brominated flame retardants in building materials or related products survey and further collect the collection of building materials brominated flame retardants related test standards and methods of investigation and evaluation of the final study to explore the impact of brominated flame retardants indoor Environmental and indoor living people to assess the health benefits to develop future green building materials mark in the brominated flame retardants to promote the proposal to effectively understand the brominated flame retardants on the public home environment and health hazards to obtain a better indoor environment quality.

This research project finished the screening and analysis of brominated flame retardants in our country's health green building materials, and got an understanding of the status quo of brominated flame retardants in healthy green building materials. At the same time, in the national, external green building materials and environmental protection

building materials, The investigation of the status quo and the related testing standards and methods have the following important conclusions

- 1、 Collection and discussion of the literature on the control, status quo and relevant standard test standards for brominated flame retardants in domestic and foreign construction materials and indoor environments, including the standards such as ISO and NIEA.
- 2、 The survey completed in this year ended in April, 106, 496 assessments of the current effective health and green building materials mark and the relevant screening and screening tests of brominated flame retardant substances of the health and green building materials standard products all met the specifications , And to ensure the quality of green building materials products.
- 3、 Brominated flame retardants contain a variety of different project compounds, and the screening table is prepared for use by the green building materials assessment agencies. The SDS of some other mark assessment books is too simplistic to check the actual additions.
- 4、 Complete the building materials to test the escape of brominated flame retardants, according to ISO 16000-25 method and NIEA T506.30B test standards, draft the draft standard.
- 5、 The evaluation of the health benefits of brominated flame retardants to the indoor environment, in addition to electronic products, building materials and furniture as important sources, a number of brominated flame retardants have been banned in the world, the domestic building materials do need to detect brominated flame retardant Agent substances.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

研究緣起

近年來全球暖化、氣候變遷與極端加劇，所造成之環境健康危害等問題，已積極在永續建築(Sustainable Building)、健康建築(Healthy Building)與室內空氣(Indoor Air)廣泛討論，主要是透過「建築與室內」之「健康舒適」(Health)與「節能零碳」(Energy Saving & Zero Carbon)方式因應，尤其在健康室內環境健康室內環境以「源頭管制」(污染源控制)及「通風稀釋」(通風清淨)方式辦理，搭配因地時制宜之健康控制措施進行動態調控。然而近幾年尤其是「歐盟地區國家」特別針對「建材逸散具健康危害之污染物質」進行跨國研究與立法管制，在 2014 年實施「歐盟共用標準」(CEN/TS 16516)「歐盟建材產品之危險物質的釋放評估-逸散至室內空氣測定」，建議使用獲得認證「低逸散建材產品」，有效控制建材逸散污染物截至 2014 年歐盟德國與法國將「低逸散建材產品驗證」納入法規體系實施，比利時 2015 年公告實施。

臺灣自 2012 年 11 月 23 日開始施行室內空氣品質管理法，其中對室內環境中揮發性有機化合物管制除甲醛外，包括苯、四氯化碳、氯仿、1,2-二氯苯、1,4-二氯苯、二氯甲烷、乙苯、苯乙烯、四氯乙烯、三氯乙烯、甲苯及二甲苯(對、間、鄰)等 12 種 VOCs。對於室內環境 VOCs 來源，建材是重要因素之一。臺灣自 2004 年推行綠建材標章，其中健康綠建材標章評定甲醛及 TVOC 逸散性能。過去許多研究證實室內揮發性有機化合物之來源，建材是造成主因之一，有關建材逸散甲醛及 VOCs 性能參數研究及分析方法，發展至今已達技術成熟階段，國際間或個大區域分別有適用分析方法如 ISO 16000 系列和 ASTM D5116 標準。反觀新興污染物如建材逸散塑化劑、阻燃劑及防黴劑等有關分析方法，因化合物特殊化性，目前僅分析方法開發階段，無標準分析方法。同樣的國內可能存在部分建材添加塑化劑或阻燃劑，阻燃劑常應用添加於塑料、電子產品與建材，防火材料。而阻燃劑種類多，如 PBDEs, TBBP-A, PBBs 和 HBCD 阻燃劑則廣泛

關注之持久性有機汙染物。國際間逐步管制禁用，鑒此廣泛應用室內之健康綠建材標章產品進行含阻燃劑調查。

研究目的

本研究之主要目的透過文獻及建材逸散溴化阻燃劑物質之 SVOC 性能的蒐集與分析，瞭解國際評估建材逸散溴化阻燃劑性能的趨勢與差異，並以 ISO16000-25 標準，評估建立本土條件之室內建材逸散溴化阻燃劑半揮發性有機化合物(SVOCs)測定標準方法可行性及實驗室分析設備及研究能力檢視，

- 一、蒐集國內、外低逸散健康綠建材標章與室內空氣品質逸散溴化阻燃劑 SVOC 試驗標準及評定項目相關文獻資料，探討國際和國內對建材或相關產品中溴化阻燃劑管制現況調查，並進一步收集彙整建築材料中溴化阻燃劑相關試驗標準方法調查評估
- 二、進行健康綠建材標章之溴化阻燃劑篩檢調查。
- 三、將依據各國文獻及標準從建材逸散溴化阻燃劑 SVOC 風險評估計算另蒐集室內建材逸散溴化阻燃劑各種暴露途徑對人體健康影響。

第二節 研究計畫內容

統計至 2016 年中取得綠建材標章之產品數量比例(截至 2016 年 1 月止)，以低逸散健康綠建材最高約 76.1%，其次為高性能綠建材佔 15%、再生綠建材佔 8.4%及生態綠建材佔 0.5%，顯示獲得「健康綠建材標章」之產品範圍廣泛，並應用於室內環境中。有關綠建材標章溴化阻燃劑環境荷爾蒙物質之相關規定，管制檢出值不得超過標準值及不應含有行政院環境保護署公告毒性化學物質等規定。

彙整國際上建材逸散溴化阻燃劑 SVOC 測試，ISO 於 2011 年公告「建材逸散半揮發性有機化合物測定-微型容器法」(ISO 16000-25 標準)，而「CNS 國家標準 16000-25(草案)」於 2015 年審查，並於 2016 年公告實施，然而綠建材標章在溴化阻燃劑管制目前由廠商提出物質安全資料表(SDS)為佐證資料，尚未針對建材逸散溴化阻燃劑分析，鑒於提升綠建材標章相關溴化阻燃劑性能評估。

本研究之主要目的係透過文獻及建材逸散溴化阻燃劑 SVOC 性能的蒐集與分析，瞭解國際評估建材逸散溴化阻燃劑 SVOC 性能的趨勢與差異，並以 ISO16000-25，評估建立本土條件之室內建材逸散溴化阻燃劑半揮發性有機化合物(SVOCs)測定標準方法可行性及實驗室分析設備檢可行性。

本年度將建立蒐集國內、外低逸散健康綠建材標章與室內空氣品質逸散溴化阻燃劑 SVOC 試驗標準及評定項目相關文獻資料分析比較，提供作為未來綠建材標章之逸散溴化阻燃劑性能判定之依據，本年度預計執行之工作內容如下：

- (1) 蒐集國內、外綠建材標章與室內空氣品質逸散溴化阻燃劑試驗標準及評定項目相關文獻資料。透過收集分析國際標準規範如 ISO、JIS 及我國 CNS16000 等之標準，瞭解有關建材逸散溴化阻燃劑檢測技術。
- (2) 進行我國線型健康綠建材標章之溴化阻燃劑篩檢調查，另外透過文獻比較各檢測方法之差異性及可行性評估探討。探討本所性能

實驗中心建材逸散實驗室實驗設備，評估分析建材逸散溴化阻燃劑 SVOC 技術與可行性。

- (3) 建立本土條件之室內建材逸散溴化阻燃劑半揮發性有機化合物 (SVOCs)測定標準方法。

第三節 研究方法與步驟

研究方法

(一) 文獻分析法

收集國內外有關室內空氣品質、國際綠建材標章資料及建材逸散溴化阻燃劑 SVOC 試驗標準之法規（如 ISO、CNS、JIS）與文獻，並針對文獻進行回顧及探討。

(二) 比較分析法

探討本所性能實驗中心建材逸散實驗室實驗設備，評估分析建材逸散溴化阻燃劑 SVOC 技術與可行性。

(三) 實驗分析法

建立本土條件之室內建材逸散溴化阻燃劑測定標準方法。並與國外綠建材標章室內建材逸散溴化阻燃劑評估項目進行分析比較評估。

二、研究步驟

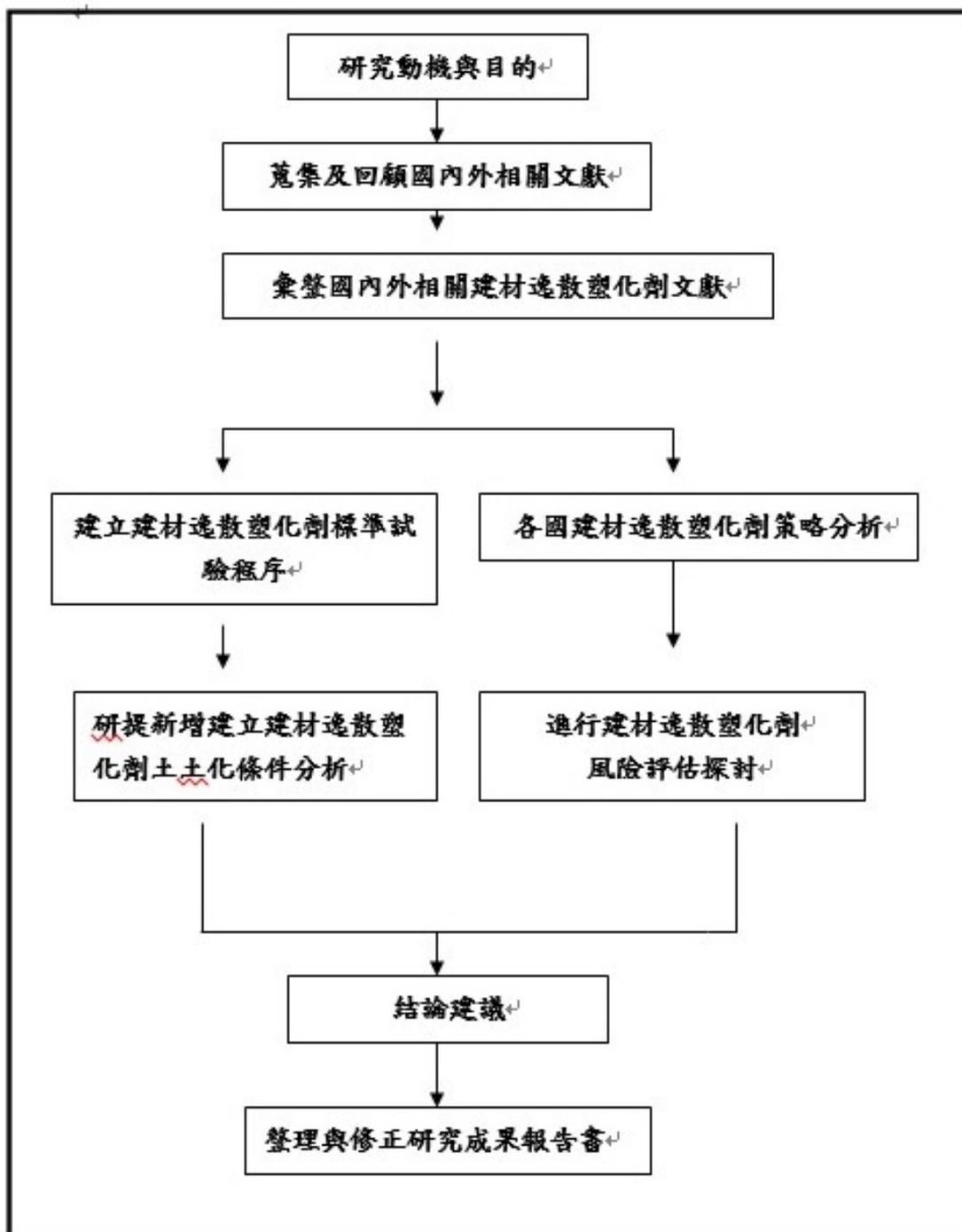


圖 1-1 研究流程圖
(資料來源：本研究整理)

□

第四節 預期研究成果與進度

研究內容之工作項目

本研究之工作項目包含下列：

完成國內、外綠建材逸散逸散溴化阻燃劑半揮發性有機化合物(SVOCs)測試標準、試驗項目調查。

評估本土條件之室內建材逸散溴化阻燃劑半揮發性有機化合物(SVOCs)測定標準方法建立可行性。

進行健康綠建材標章產品含阻燃劑之調查

研究之具體成果

本研究之具體成果將有下列：

- 一、完成國內、外綠建材含溴化阻燃劑半揮發性有機化合物(SVOCs)文獻及管制現況調查。
- 二、進行健康綠建材標章產品含阻燃劑之調查。
- 三、進行阻燃劑對室內環境之健康效益評估，研擬未來推動建議。

研究進度及預期完成之工作項目

表 1-1 預期研究進度表

工作項目	月次											備註
	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月		
彙整分析國內外相關文獻	■											
比較國外建材逸散溴化阻燃劑性能檢測項目程序	■											
各國建材逸散溴化阻燃劑策略分析		■										
建立建材逸散溴化阻燃劑性能檢測項目程序				■								
健康綠建材之溴化阻燃劑篩選					■							
建材逸散溴化阻燃劑條件分析					◎	◎	◎					
建材逸散溴化阻燃劑策略建議參數						■						
溴化阻燃劑風險評估探討						■						
整理與修正報告書						■						
期中期末報告					◎				◎			
預定進度 (累積數)	15%	20%	33%	45%	55%	60%	80%	90%	95%	100%		
說明：												
1 工作項目請視計畫性質及需要自行訂定，預定研究進度以粗線表示其起訖日期。												
2 預定研究進度百分比一欄，係為配合追蹤考核作業所設計。請以每一小格粗組線為一分，統計求得本計畫之總分，再將各月份工作項目之累積得分(與之前各月加總)除以總分，即為各月份之預定進度。												
3 科技計畫請註明查核點，作為每一季所預定完成工作項目之查核依據。												

(資料來源：本研究整理)

第五節 符號及縮寫

本研究內文有關化合物中文名稱、符號及縮寫如下：

2,2',4,4'-tetrabromodiphenyl ether：2,2',4,4'-四溴二苯醚

2,2',4,4',5,5'-hexabromodiphenyl ether：2,2',4,4',5,5'-六溴二苯醚

2,2',4,4',5,6'-hexabromodiphenyl ether：2,2',4,4',5,6'-六溴二苯醚

2,2',3,3',4,5',6-heptabromodiphenyl ether：2,2',3,3',4,5',6-七溴二苯醚

2,2',3,4,4',5',6-heptabromodiphenyl ether：2,2',3,4,4',5',6-七溴二苯醚

BBP：鄰苯二甲酸丁基苯甲酯

BFR：溴化阻燃劑

DBP：鄰苯二甲酸二丁酯

deca-BBs：十溴聯苯

DecaBDE：十溴二苯醚

DEHP：鄰苯二甲酸二辛酯

DEP：鄰苯二甲酸二乙酯

DIDP：鄰苯二甲酸二異癸酯

DINP：鄰苯二甲酸二異壬酯

DMP：鄰苯二甲酸二甲酯

DNOP：鄰苯二甲酸二辛酯

EPS：發泡聚苯乙烯 (Expanded Polystyrene)

HBCD：六溴環十二烷(hexabromocyclododecane)

hexa-BBs：六溴聯苯

octa-BBs：八溴聯苯

Octa-BDEs：八溴二苯醚混合物

PAEs：鄰苯二甲酸酯類

PBBs：多溴聯苯(polybrominated biphenyls, PBB)

PBDEs：多溴二苯醚(polybrominated diphenyl ethers, PBDEs)

PCB：多氯聯苯

Penta-BDEs：五溴二苯醚混合物

POPs：持久性有機污染物

SVOC：半揮發性有機化合物 (Semi-volatile organic compound)

TBBP-A：四溴雙酚 A (tetrabromobisphenyl A , TBBPA)

TVOC：總揮發性有機化合物(Total volatile organic compound)

VOC：揮發性有機化合物(Semi-volatile organic compound)

XPS：聚苯乙烯 (Extruded Polystyrene)

Xylene：二甲苯

第二章 室內環境溴化阻燃劑物質來源與類型

第一節 室內空氣品質影響健康常見化合物

目前國際針建材逸散揮發性有機物質有不同的整合新趨勢，主要是由「室內空氣品質」及「人員健康風險」進行評估與管制，在歐盟地區(EU)早期由北歐丹麥、芬蘭提出「建材逸散管制」，而德國亦同時限制塗料類建材揮發性有機物質含量，並進行廣泛建材逸散測試與理論研究，著重在建材逸散管制與室內空氣污染物濃度降低。近年來因 ISO 16000 及 16814 之標準之頒佈，由德國 AgBB 研擬，歐盟(EU)2013 年發佈「建材逸散新測試標準」(CEN/TS 16516)，更擴大整合以「人體健康」及「人體舒適」兩面相進行管控，並逐漸建立整合作為歐洲各國逸散測試標準與基準。國際上相關綠建材標準包括：

法國建材逸散分級強制標示系統，標章如圖 2-1 所示。



圖 2-1 歐盟研究中心與德國 AgBB 委員會
(資料來源：2015 AgBB)

2004-2008 法國國家食品、環境暨勞動衛生署(the French Agency for Food, Environmental and Occupational Health Safety)(AFSSET)開始進行「建材逸散評估計畫」，並進行發佈於法國法規中，然而法國法規對於 VOC 的排放限制並未將法國市場上的高排放產品排除在外，但強制要求總揮發性有機化合物 (TVOC) 含量及 10 種單一揮發性有機化合物 (其中包括甲醛) 含量，需明顯標示 VOC 的排放量分級於產品外包裝，其規範如表 2-1 所示。

表 2-1 法國國家建材逸散分及標示系統

Substances	CAS	standard	emission classes			
			C	B	A	A+
formaldehyde	50-00-0	ISO 16000-3	> 120	< 120	< 60	< 10
acetaldehyde	75-07-0	ISO 16000-3	> 400	< 400	< 300	< 200
toluene	108-88-3	ISO 16000-6	> 600	< 600	< 450	< 300
tetrachlorethylene	127-18-4	ISO 16000-6	> 500	< 500	< 350	< 250
xylene	1330-20-7	ISO 16000-6	> 400	< 400	< 300	< 200
1,2,4-trimethylbenzene	95-63-6	ISO 16000-6	> 2000	< 2000	< 1500	< 1000
1,4-dichlorobenzene	106-46-7	ISO 16000-6	> 120	< 120	< 90	< 60
ethylbenzene	100-41-4	ISO 16000-6	> 1500	< 1500	< 1000	< 750
2-butoxyethanol	111-76-2	ISO 16000-6	> 2000	< 2000	< 1500	< 1000
styrene	100-42-5	ISO 16000-6	> 500	< 500	< 350	< 250
TVOC		ISO 16000-6	> 2000	< 2000	< 1500	< 1000

(資料來源：2008 法國國家食品、環境暨勞動衛生署)

美國 Green Guard/UL 建材逸散分級驗證制度

2011 年開始美國 Green Guard 標章與 UL (Underwriters Laboratories) 美國保險商實驗室-產品安全認證機構合作，共同推出「低逸散建材分級驗證制度」，將產品之逸散進行分級，區分為黃金級(Gold)、一般認證兩級。主要應用於 LEED 標章評估系統及高性能學校 CHPS 認證使用，其評估項目分為 TVOC、甲醛、4-PC、懸浮微粒 PM10、

33 種單一 VOCs 等，基準區分兩級(Gold、一般)，如表 2-2 所示。

表 2-2 美國 Green Guard 標章建材性能評定化合物項目

Criteria	CAS Numbers	Maximum Allowable Predicted Concentrations GREENGUARD Tier Compliance Criteria		Units
		Certified	Gold	
TVOC ^a	-	500	220	µg/m ³
Formaldehyde	50-00-0	61.3 (50 ppb)	9 (7.3 ppb)	µg/m ³
Total Aldehydes ^b	-	100	43	ppb
Individual VOCs ^c	-	1/10th TLV	1/100th TLV	
4-Phenylcyclohexene	4994-16-5	6.5	6.5	µg/m ³
Particle Matter less than 10 µm ^d	-	50	20	µg/m ³
Individual VOC Criteria^e				
Acetaldehyde	75-07-0	-	70	µg/m ³
Benzene	71-43-2	-	16 ^f	µg/m ³
Carbon disulfide	75-15-0	-	310 ^f	µg/m ³
Carbon tetrachloride	56-23-5	-	20	µg/m ³
Chlorobenzene	108-90-7	-	460 ^f	µg/m ³
Chloroform	67-66-3	-	150	µg/m ³
Dichlorobenzene (1,4-)	106-46-7	-	400	µg/m ³
Dichloroethylene (1,1)	75-35-4	-	35	µg/m ³
Dimethylformamide (N,N-)	68-12-2	-	40	µg/m ³
Dioxane (1,4-)	123-91-1	-	720 ^f	µg/m ³
Epichlorohydrin	106-89-8	-	1.5	µg/m ³
Ethylbenzene	100-41-4	-	1,000	µg/m ³
Ethylene glycol	107-21-1	-	200	µg/m ³
Ethylene glycol monoethyl ether	110-80-5	-	35	µg/m ³
Ethylene glycol monoethyl ether acetate	111-15-9	-	150	µg/m ³
Ethylene glycol monomethyl ether	109-86-4	-	30	µg/m ³
Ethylene glycol monomethyl ether acetate	110-49-6	-	45	µg/m ³
Hexane (n-)	110-54-3	-	1,760 ^f	µg/m ³
Isophorone	78-59-1	-	280 ^f	µg/m ³
Isopropanol	67-63-0	-	3,500	µg/m ³
Methyl chloroform	71-55-6	-	500	µg/m ³
Methylene chloride	75-09-2	-	200	µg/m ³
Methyl t-butyl ether	1634-04-4	-	1,800 ^f	µg/m ³
Naphthalene	91-20-3	-	4.5	µg/m ³
Phenol	108-95-2	-	100	µg/m ³
Propylene glycol monomethyl ether	107-98-2	-	3,500	µg/m ³
Styrene	100-42-5	-	450	µg/m ³
Tetrachloroethylene	127-18-4	-	17.5	µg/m ³
Toluene	108-88-3	-	150	µg/m ³
Trichloroethylene	79-01-6	-	300	µg/m ³
Vinyl acetate	108-05-4	-	100	µg/m ³
Xylenes (m-, o-, p- combined)	-	-	350	µg/m ³
1-Methyl-2-pyrrolidinone ^g	872-50-4	-	160	µg/m ³

(資料來源：2010、Green Guard)

我國行政院環境保護署「室內空氣品質管理法」於 100 年 11 月 23 日總統公布，並於 101 年 11 月 23 日正

式實施，同時訂定發布「室內空氣品質管理法施行細則」、「室內空氣品質標準」、「室內空氣品質維護管理專責人員設置管理辦法」、「室內空氣品質檢驗測定管理辦法」及「違反室內空氣品質管理法罰鍰額度裁罰準則」等 5 項相關法規。行政院環境保護署於 103 年 01 月 23 日公告「應符合室內空氣品質管理法之第一批公告場所」，規定公告場所所有人、管理人或使用人應於 104 年 12 月 31 日前訂定「室內空氣品質維護管理計畫」，於 105 年 6 月 30 日前實施「定期室內空氣品質檢驗測定」及「公布檢驗測定結果、作成紀錄」。其中「室內空氣品質標準」之總揮發性有機化合物 TVOC 共管制 12 種 VOCs (苯、四氯化碳、氯仿、1,2-二氯苯、1,4-二氯苯、二氯甲烷、乙苯、苯乙烯、四氯乙烯、三氯乙烯、甲苯及二甲苯)，我國室內空氣品質管制項目及其數值如表 2-3 所示。

室內環境中的揮發性有機物質主要來自裝修中使用的膠、漆、塗料和有機溶劑，不論是氣態或粒狀污染物，當濃度過高或化合物本身毒性強時，可能會影響呼吸器官的功能，甚至身體感覺不適，此外若長期暴露於化合物下，即使濃度不足以產生立即危害，但仍有可能產生慢性中毒或病變，此種慢性中毒是長期在低濃度的 VOCs 中暴露，而引起之各種病變，如呼吸道、中樞神經、末梢神經病變以及肝、腎等器官病變等。IRIS 亦指出醇、醚、醛及酮類等溶劑會損害人體的神經系統，此外，室內常見的 Toluene、Xylene 會導致中樞神經方面的疾病。在室內空氣品質的相關規範基準，日本厚生勞動省針對 13 種特定 VOCs 之室內空氣環境濃度基準值，主要考量室內裝修建材及其施工材料之添加物。該基準值表示人體在不同化學物質濃度的

暴露下，身體健康所遭受的影響，規範中的濃度值對人體產生的影響會因個人狀況而有所差異。

表 2-3 國內室內空氣品質管制項目

項目	標準值		單位
	八小時值	一小時值	
二氧化碳 (CO ₂)	八小時值	1000	ppm (體積濃度百萬分之一)
一氧化碳(CO)	八小時值	九	ppm (體積濃度百萬分之一)
甲醛 (HCHO)	一小時值	0.08	ppm (體積濃度百萬分之一)
總揮發性有機化合物 (TVOC, 包含：十二種揮發性有機物之總和)	一小時值	0.56	ppm (體積濃度百萬分之一)
細菌(Bacteria)	最高值	1500	CFU/m ³ (菌落數/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 ³ (菌落數/立方公尺)
粒徑小於等於十微米 (μm) 之懸浮微粒 (PM ₁₀)	二十四小時值	75	μg/m ³ (微克/立方公尺)
粒徑小於等於二·五微米 (μm) 之懸浮微粒 (PM _{2.5})	二十四小時值	35	μg/m ³ (微克/立方公尺)
臭氧 (O ₃)	八小時值	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、24 小時值：指連續 24 小時各測值之算術平均值或 24 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。

（資料來源：行政院環境保護署）

而我國遂於 2011 年 2 月由經濟部標準檢驗局將 16 種 ISO 16000 系列標準轉換為 CNS 16000 標準，包括檢測室內空氣污染物之一般要求，及特定污染物或污染物群組(如甲醛或揮發性有機化合物等)之測定(採樣與分析)及採樣策略，並作為規劃室內空氣污染量測時之參考依據，對於製造廠商、建築商及消費者而言，則可參考本系列標準，評估建築相關產品對室內空氣品質的衝擊，以及促進改良產品之發展。本研究「室內建材環境關鍵因子影響半揮發性有機物質逸散模式之研究」，已參考 ISO 16000、ASTM、JIS 標準，研究成果可協助國內建築室內空氣品質健康應用，包括 CNS 16000 草案標準未來公告後供學界及產業界直接參考使用。

第二節 阻燃劑物質及溴化阻燃劑物質

而現今防火安全之需求，消耗性電器產品塑膠外殼、傢俱、電線外皮及建築材料依法規標準需要添加用來阻擋火焰蔓延、增加逃亡時間及撲滅火勢的阻絕材料，這種材料稱阻燃劑，其種類包括溴化阻燃劑、氯化阻燃劑、含磷阻燃劑、含氮阻燃劑以及無機阻燃劑等。過去使用最多者為具熱穩定性高、低揮發性和高火焰阻燃性之氯化阻燃劑，其中以多氯聯苯(PCB)為最大宗，但此種阻燃劑具高生態毒性並在環境中大量被發現而停止使用，近年來替代改由毒性較低之溴化阻燃劑來取代，主要原因是溴具有極佳阻燃效果，在燃燒過程可捕捉自由氧原子基，再者加上價格便宜，進而提高應用於市場之價值，其產量約占現今火焰阻燃劑市場約 40%。

阻燃劑依照化學成分區分為無機阻燃劑與有機阻燃劑二大類，同時按阻燃劑在聚合物中存在的形態分為反應型阻燃劑與添加型阻燃劑。溴化阻燃劑種類主要包括：四溴雙酚 A (tetrabromobisphenyl A ,TBBPA)、六溴環十二烷(hexabromocyclododecane, HBCD) 和多溴二苯醚(polybrominated diphenyl ethers, PBDEs)、多溴聯苯(polybrominated biphenyls, PBB)等 4 類。以下就 4 種溴化阻燃劑分別說明：

多溴二苯醚 PBDEs：最主要溴化阻燃劑化合物就是 PBDEs，其基本結構為兩個中間以酯鍵連結的苯環，結構上有十個可供溴原子取代位置，依照它取代數目及位置的不同分為 209 種異構物。圖 2-2 為多溴二苯醚的基本結構模式，其結構與 PCB 非常相似。

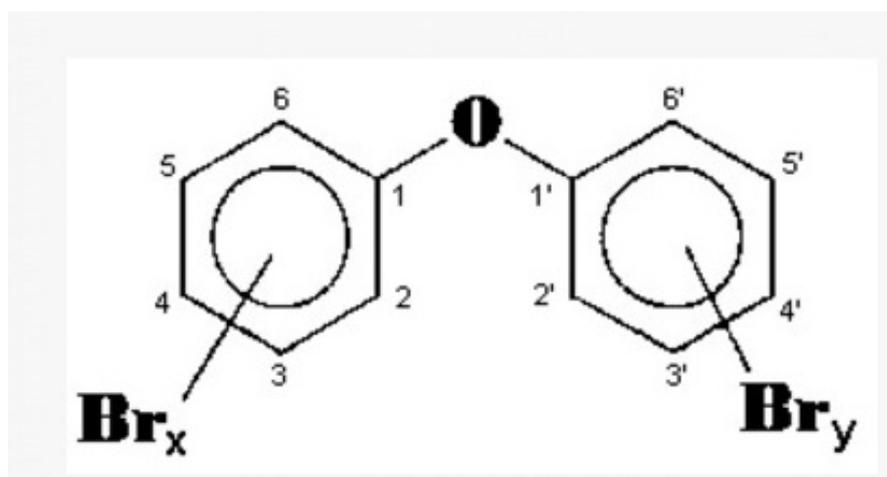


圖 2-2 多溴二苯醚結構式
(資料來源:毒物及化學管理局)

目前市場中主要使用三種不同溴數之混合物，包括五溴二苯醚混合物(pentabrominated BDE)、八溴二苯醚混合物(octabrominated BDE)及十溴二苯醚(decabrominated BDE)，其中 DecaBDE 是由二苯基氧在 Friedel-Crafts 觸媒存在下進行溴化反應而得，為粉末狀，經常添加於如高密度耐衝擊塑膠 (high-impact polystyrene) 之工業原料中，分子式為 $C_{12}Br_{100}$ ，CAS 化學註冊碼為 1163-19-5。相較其他不同溴數混合物型阻燃劑，使用 DecaBDE 所需成本較低，占總 PBDE 使用量 83%，電器用品(如電視外殼)及電纜約消耗 80% DBDE 總產量，其餘 20%則運用在家具及紡織工業。由 USEPA 毒性物質排放清單中顯示 1988-2004 年間美國所有工業平均每年釋放超過 500 公噸的 DBDE 至環境中，使得 PBDE 的環境中逐漸受到重視。

- (1) 五溴二苯醚混合物(Penta-BDEs)：五溴二苯醚阻燃劑產品主要構成部分為 2,2',4,4'-四溴二苯醚(BDE-47)和 2,2',4,4',5-五溴二苯醚(BDE-99)。

苯醚阻燃劑主要用於環氧樹脂、酚類樹脂、聚酯、聚氨酯泡沫以及纖維中。為增加傢俱的防火安全性，大部分添加五溴二苯醚的聚亞胺酯和聚氨酯泡沫用於室內裝潢和傢俱製作，其添加含量為10%~30%。

- (2) 八溴二苯醚混合物(Octa-BDEs)：白色粉末，主要由六溴二苯醚單體、八溴二苯醚單體組成，熔點約為200°C，可在>330°C時分解，在水中溶解度低，可溶於丙酮(20g L^{-1})、苯(200 g L^{-1})和甲醇(2 g L^{-1})中。Octa-BDEs 主要用於丙烯晴丁二烯-苯乙烯樹脂、聚碳酸酯和熱固塑膠，作為電話、傳真機、檯燈等小家電外殼、電器接外掛程式、汽車零部件和一些辦公用具生產的原材料，添加量範圍為12%~18%。
- (3) 十溴二苯醚(DecaBDE)：白色至淡白色結晶粉末，是一種目前使用最廣泛的高效添加型溴化阻燃劑，主要由九、十溴二苯醚單體組成，具有添加量少，阻燃性強、熱穩定性高等特點。Deca-BDEs 主要添加於各種紡織品和電路板聚酯中(電視、電腦等電子產品)。

多溴聯苯 PBB：

PBB 的生產堯使用及釋放，PBBs 作為添加型溴代阻燃劑，具有阻燃效率高，熱穩定性好，價格便宜等優點而被廣泛生產和使用，如在聚合物材料 ABS 中的添加等，PBBs 的商業生產在 1970 年始於美國，到 1976 年，美國約生產 6100 噸的 PBBs，主要類別是六溴聯苯(hexa-BBs)，八溴聯苯(octa-BBs)和十溴聯苯(deca-BBs)。

四溴雙酚 ATBBPA：

四溴雙酚 A 為白色粉末，用作塑料製品添加劑，是常用的溴化阻燃劑之一。四溴雙酚 A 是雙酚 A 的衍生物，製造四溴雙酚 A 時，雙酚 A 也是原料之一。大部份商業上使用的四溴雙酚 A 純度不高，是由許多溴化程度不同的化合物混合而成。不過這不影響商業上的使用，因為這物質大多數是作為阻燃劑，而其關鍵是其平均的含溴量。因此商業上使用的四溴雙酚 A 不需純化，即可作為一種低價、有效的阻燃劑。

六溴環十二烷(HBCD)：

六溴環十二烷（HBCD）是具持久性，在環境中不易分解且易生物蓄積的內分泌干擾物質。工業界自 1970 年代起開始生產 HBCD 作為阻燃劑，並且添加在各種生活商品中。由於價格便宜、阻燃效果好，加上多種溴化阻燃劑已被列管禁用，因此 HBCD 是目前全球工業最常用的溴化阻燃劑之一。商業上 HBCD 屬於添加型阻燃劑，通常添加在發泡聚苯乙烯（Expanded Polystyrene, EPS）和射出成形聚苯乙烯（Extruded Polystyrene, XPS），以延緩或抑制火災的發生。這些產品常用在建築業的隔熱板與嵌入夾層，其他如紡織品、電子產品、傢具、黏著劑及塗料等產品也會使用許多含 HBCD 的相關材料製品。

2013 年 5 月斯德哥爾摩公約通過將六溴環十二烷公告為持久性有機污染物(Persistent Organic Pollutants, POPs)；新版的歐盟電子電機設備中危害物質禁用指令 2011/65/EU (RoHS 2.0) 也將 HBCD 列為優先考量的有害物質，評估是否列入禁用指令；我國環保署則已將 HBCD 公告為第一

類毒性化學物質進行列管其他如表 2-4。雖然世界各國的調查結果均發現，在環境、食物和人體中都可檢測出微量的 HBCD，不過以目前全球及我國衛生福利部食品藥物管理署所完成的健康風險評估顯示，經由食物途徑暴露的 HBCD 暴露劑量遠低於科學上認定的可接受之風險，不會引起人體健康上的問題。

表 2-4 行政院環境保護署公告電子產品禁用之多溴二苯醚

列管編號	序號	中文名稱	英文名稱	化學文摘
091	02	八溴二苯醚	Octabromodiphenyl ether	32536-52-0
091	03	五溴二苯醚	Pentabromodiphenyl ether	32534-81-9
091	04	2,2',4,4'-四 溴二苯醚	2,2',4,4'-tetrabromodiphenyl ether (BDE-47)	40088-47-9
091	05	2,2',4,4',5,5'- 六溴二苯醚	2,2',4,4',5,5'-hexabromodiphenyl ether (BDE -153)	68631-49-2
091	06	2,2',4,4',5,6'- 六溴二苯醚	2,2',4,4',5,6'-hexabromodiphenyl ether (BDE -154)	207122-15-4
091	07	2,2',3,3',4,5', 6-七溴二苯 醚	2,2',3,3',4,5',6-heptabromodiphenyl ether (BDE-175)	446255-22-7
091	08	2,2',3,4,4',5', 6-七溴二苯 醚	2,2',3,4,4',5',6-heptabromodiphenyl ether (BDE -183)	207122-16-5

(資料來源：行政院環境保護署)

SVOC主要增塑劑，阻燃劑和抗微生物劑，被添加於許多建材和電子產品，如乙烯基地板、壁紙、食品包裝和玩具含有鄰苯二甲酸酯，對人體健康危害主要內分泌干擾。於1999年，全世界在PBDEs需求量高達約 7×10^4 噸。研究調查顯示美國75%的PBDEs產品用於電氣和電子產品。1999年，英國將1500噸/年之PBDEs裝璜傢俱，85噸用於電氣產品。日本使用PBDEs的主要領域是家用電氣設備和辦公自動化設備、電氣和電子產品。中國則為PBDEs生產、使用和出口大國，以山東和江蘇為生產中心。主要生產DeBDE、OBDE、四溴雙酚A、六溴環十二烷等，其中DeBDE生產使用量最大，年生產量超過2500噸。

第三節 建材逸散揮發性及半揮發性有機化合物質

室內半揮發性有機化合物（Semi-volatile organic compounds，簡稱SVOC）污染嚴重影響人們身體健康。SVOC包括多環芳烴、鄰苯二甲酸酯類增塑劑（Phthalate Esters，簡稱PAE）和多溴聯苯醚類阻燃劑等，易黏附在包括細微粒子PM2.5在內的多種介質，研究指出可誘發癌症、引發呼吸系統疾病、損害生殖系統和導致內分泌系統紊亂等。

持久性有機污染物（Persistent Organic Pollutants，簡稱POPs）係具難分解性或蓄積性之化學物質，其長期累積於環境中，會經由食物鏈造成對人體之危害。聯合國環境規劃署已將其中26種POPs列為管控重點，並推動國際公約(即斯德哥爾摩公約)，要求各國必須採取行動，減少環境中該等物質之殘留量確保安全。此26種POPs包括阿特靈(Aldrin)、可氯丹(Chlordane)、滴滴涕(DDT)、地特靈(Dieldrin)、安特靈(Endrin)、飛佈達(Heptachlor)、六氯苯(Hexachlorobenzene)、滅蟻樂(Mirex)、毒殺芬(Toxaphene)、 α -六氯環己烷(α -HCH)、 β -六氯環己烷(β -HCH)、十氯酮(Chlordecone)、靈丹(Lindane)、五氯苯(Pentachlorobenzene)、安殺番(Endosulfan)、戴奧辛(Dioxin)、呋喃(Furans)、多氯聯苯(PCBs)、六溴二苯醚和七溴二苯醚(HexaBDE & HeptaBDE)、四溴二苯醚和五溴二苯醚(TetraBDE & PentaBDE)、六溴聯苯(Hexabromobiphenyl)、全氟辛烷磺酸(PFOS)及其鹽類和全氟辛烷磺醯氟(PFOF)，及2015年5月召開第7次締約方大會新增列管之3種物質，六氯丁二烯(Hexachlorobutadiene)、氯化萘(Chlorinated naphthalenes)及五氯酚(Pentachlorophenol)及其鹽、酯類。

各國管制建材逸散溴化阻燃劑及管制略有差異，目前歐盟管制之「鄰苯二甲酸酯類」「半揮發性有機化合物」(SVOCs)，在產品

含量(重量)管制上，是以「DEHP(鄰苯二甲酸二辛酯)、DBP(鄰苯二甲酸二丁酯)、DMP(鄰苯二甲酸二甲酯)、BBP(鄰苯二甲酸丁基苯甲酯)、DINP(鄰苯二甲酸二異壬酯)、DIDP(鄰苯二甲酸二異癸酯)、DEP(鄰苯二甲酸二乙酯)、DNOP(鄰苯二甲酸二辛酯)」為指標污染物，藉以降低人體攝入或吸入過量「鄰苯二甲酸酯類」物質，其總鄰苯二甲酸酯類以不超過0.1%重量為原則。

我國而行政院環境保護署已公告列管為毒性化學物質DEHP、DBP為第一類及第二類毒性化學物質管理；DMP從為第一類毒性化學物質管理；並將原來禁止使用於製造3歲以下的兒童玩具之DNOP，調整為禁用於14歲以下之兒童玩具及兒童用品，加嚴管理。衛生福利部並跨部整合，將仿照美國、歐盟、日本等基準(歐盟的每人每日每公斤體重容忍攝取值為：DBP十微克、DEHP五十微克、DIDP一百五十微克、DINP一百五十微克、BBP五百微克)，擬訂定出國人的溴化阻燃劑每日最大容忍攝取值(TDI)。

第四節 國內、外室內環境管制阻燃劑現況

鑑於阻燃劑等物質對人體健康危害及環境衝擊之影響，各國對此開始訂定相關管制策略，依序說明如下：

(一)、歐盟：歐洲化學總署(EU ECHA)更新限制附錄17新增塗料、建材與紡織品，常用之限制雙(五溴苯基)醚(DecaBDE)，或稱用十溴二苯醚、十溴聯苯醚，自2019年3月2日起，DecaBDE的物質，或作為混合物成分不得用於進行製造或置於市場，且成品或其零件之含量重量百分濃度不得大於或等於0.1%。歐盟執委會並針對航空業者放寬適用日期。電子電機設備，由於ROHS已規範禁用DecaBDE，故不適用這項限制令。目前EU REACH附錄17限制清單共列有67項物質。

歐盟於2016年3月2日公布一新規範 (EU) 2016/293，對「持久性有機污染物」(Persistent Organic Pollutants, POPs) 法規 (EC) No 850/2004進行修訂，將HBCDD (六溴環十二烷) 正式納入POPs附錄I禁用物質清單，即含量超過100mg/kg的物質、混合物、成品或成品中阻燃劑部件禁止進入歐盟市場。該法於2016年3月22日生效，並在生效後的3年內進行審查。

針對HBCDD置於市場上販賣及使用，不論是單獨存在或存在於混合物中，允許使用至2019年11月26日或授權裡指定更早的過期日。如HBCDD已依據REACH 規定取得授權，做為單獨使用或用於混合物中，可依照REACH規定允許被使用。

特定條件使用於「建築」之發泡聚苯乙烯(expanded polystyrene articles)及擠塑聚苯乙烯成品(extruded polystyrene articles)，在2016年3月22日前生產含有HBCDD作為組成成分的則允許投放市場及使用直至2016年6月22日。如HBCDD作為「成品」的組成成份，2016年3月22日前(含)已經有在使用的也許可以繼續使用，甚至進一步投入市場。

聯合國《關於持久性有機污染物的斯德哥爾摩公約》於2013年投票一致通過在全球範圍內禁止使用六溴環十二烷 (HBCDD)。《斯德哥爾摩公約》是有關環境保護的國際公約，目的在禁用或限制生產持久性有機污染物。過去已發表的研究顯示，廣泛使用在聚苯乙烯泡棉製成之建築隔熱產品中的HBCDD，對海洋生物具有毒性，實驗室證明也會干擾動物的甲狀腺激素分泌，在自然環境中也不易分解消失。因此，聯合國日內瓦會議中，各國政府將HBCDD列入為斯德哥爾摩公約要求全球努力消除的物質名單中。公約簽約國也同意給予HBCDD全球全面禁用的緩衝期；新法規 (EU) 2016/293 的修訂為加強實際應用並與國際執法一致。

(二)我國相關管制

行政院環境保護署：加嚴管制多溴二苯醚類物質（列管編號 091，序號02至08）自105年1月1日起禁止使用於製造電子產品之阻燃劑，大量降低多溴二苯醚於國內使用量。

環保標章：「地毯」環保標章規格標準說明

地毯為非常常見的鋪地材料，廣泛用於居家、公共辦公區域之房屋裝潢、地板鋪設、飯店辦公區域裝飾等，其主要用途除可美觀裝飾環境外，亦可降低音量、保溫及止滑。由於技術發展迅速，地毯的織造方式已與過去人工綿紗織品不同，在工業製程中，可能使用清潔劑、染劑、阻燃劑及防污劑，且鋪設時須搭配使用黏著劑，皆可能包含了許多致癌化學物與環境賀爾蒙，如甲醛、鹵素溶劑、揮發性有機化合物、塑化劑和染色重金屬等，特研訂「地毯」環保標章規格標準，促進廠商生產環保產品，降低本產品對環境之衝擊。

經評估產品於原料取得、生產製造、使用及廢棄過程之環境因素及健康考量，主要管制項目包括產品不得含有重金屬、有機錫、塑化劑等環境荷爾蒙物質，以及不得使用歐盟指令有害風險警語物質，並管制產品甲醛及揮發性有機物逸散速率與使用材料之黏著劑等規定等規定如表2-5。爰擬具「地毯」環保標章規格標準，管制重點如下：

- 一、說明本產品適用範圍為符合 CNS 13591、13592、13924之地毯，不包括聚氯乙烯塑膠。
- 二、管制產品中不得含有重金屬、有機錫、塑化劑等環境荷爾蒙物質，以及不得使用歐盟指令有害風險警語物質，並管制產品甲醛及揮發性有機逸散速率與使用材料之黏著劑規定。
- 三、檢測項目對應之參考檢測方法。
- 四、產品標示相關規定

表2-5 「地毯」環保標章規格標準

規定	說明
<p>1.適用範圍</p> <p>本標準適用符合 CNS 13591梭織地毯、CNS 13592植簇地毯、CNS 13924方塊地毯之產品，但不包括 CNS 3216聚氣乙烯塑膠地毯。</p>	<p>一、明定本規格標準之適用範圍。</p> <p>二、本點廠商應備文件為：</p> <p>(一)產品相片。</p> <p>(二)產品型錄或使用方式說明</p>
<p>2.特性</p> <p>2.1 產品不得含有銻、砷、鉛、鎘、總鉻、六價鉻、鈷、銅、鎳、汞、鋅、三苯基錫、三丁基錫、殺蟲劑總量、禁用之偶氮染料、全氟辛酸、全氟辛磺酸、多溴聯苯類、多溴二苯醚類、含10-13個碳原子之含氯鏈狀烴類化合物且氯含量重量比為50%以上者及各項鄰苯二甲酸酯類塑化劑，其檢出含量應符合管限制值，其中鄰苯二甲酸酯類塑化劑包含鄰苯二甲酸二(2-乙基己基)酯(Di(2-ethylhexyl) phthalate,DEHP)、鄰苯二甲酸二辛酯(Di-n-octylphthalate,DNOP)、鄰苯二甲酸二甲酯(Dimethyl phthalate,DMP)、鄰苯二甲酸二丁酯(Dibutylphthalate,DBP)、鄰苯二甲酸丁基苯甲酯(Benzyl butyl phthalate,BBP)、鄰苯二甲酸二異壬酯(Di-isononylphthalate,DINP)、鄰苯二甲酸二異癸酯(Di-isodecylphthalate,DIDP)、鄰苯二甲酸二乙酯(Diethyl phthalate,DEP)。</p> <p>2.2. 產品甲醛及總揮發性有機化合物逸散速率應符合管限制值。</p> <p>2.3. 產品中不得使用歐盟指令 67/548/EEC 判定具有下列風險警語 (Risk Phrases) 代碼之有害物質：R23、R24、R25、R26、R27、R28、R33、R39、R40、R42、R45、R46、</p>	<p>一、參考同類型環保標章規格標準明訂產品之重金屬、有機錫、殺蟲劑、偶氮、塑化劑、甲醛、總揮發性有機化合物、有害物質及黏著劑之管制項目。</p> <p>二、本點廠商應備文件為：</p> <p>(一)產品之重金屬、有機錫、殺蟲劑、偶氮、全氟辛酸、全氟辛磺酸、多溴聯苯類、多溴二苯醚類、含10-13個碳原子之含氯鏈狀烴類化合物且氯含量重量比為50%以上者及各項鄰苯二甲酸酯類塑化劑等各項檢測報告。</p> <p>(二)產品甲醛與總揮發性有機化合物逸散速率之證明，可檢具至少尚有6個月以上有效期限之低逸散健康綠建材使用證書，或檢具有效之檢測報告。</p> <p>(三)廠商切結保證及產品完整成分清單、比例與各成分物質安全資料表。</p> <p>(四)產品黏著劑之使用方式或型錄</p> <p>(五)產品是否附帶銷售黏著劑之說明，如有附帶銷售之黏著劑，應提供黏著劑類型說明、黏著劑環保標章證書或鹵性溶劑、甲醛及總揮發性有機化合物檢測報告。黏著劑甲醛與總揮發性有機化合物之證明可檢具至少尚有6個月以上有效期限之低逸散健康綠建材使用證書替代測試報告。</p> <p>(六)廠商回收機制之說明與再利用或</p>

<p>R48、R49、R60、R61、R62、R63、R68、R50/53、R51/53、R52/53，並提供申請產品各成分及各添加劑清單、比例與物質安全資料表以供查核。物質安全資料表應詳細說明其內含之化學成分、化學摘要註冊登錄號(CAS NO.)與依歐盟指令 67/548/EEC 判定之風險警語或代碼。</p> <p>2.4 產品如有附帶銷售之黏著劑應為水基型或壓感型黏著劑，並符合下列要求：</p> <p>(1) 不得含有鹵性溶劑，其檢出含量應符合管制限值。</p> <p>(2) 置於環境控制箱中，量測甲醛及總揮發性有機化合物濃度達穩定狀態時之逸散速率應符合管制限值。</p> <p>2.5 申請者應具備產品之回收機制，對於產品廢棄後進行再利用或以環境友善方式進行處置。</p>	<p>處置方式說明。</p>																												
<p>3. 管制限值及檢測方法</p> <p>本標準管制項目與管制限值如下表所示：</p>	<p>明定管制項目管制限值及參考檢測方法。</p>																												
<table border="1"> <thead> <tr> <th>基質</th> <th>管制項目</th> <th>管制限值</th> <th>參考檢測方法</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>地毯</td> <td>銻</td> <td>< 30 ppm</td> <td>NIEA M353 US EPA 3050B US EPA 3051A</td> </tr> <tr> <td>地毯</td> <td>砷</td> <td>< 0.2 ppm</td> <td>NIEA M353 US EPA 3050B US EPA 3051A</td> </tr> <tr> <td>地毯</td> <td>鉛</td> <td>< 0.8 ppm</td> <td>NIEA M353 US EPA 3051A US EPA 3050B</td> </tr> <tr> <td>地毯</td> <td>鎘</td> <td>< 0.1 ppm</td> <td>NIEA M353 US EPA 3050B US EPA 3051A</td> </tr> <tr> <td>地毯</td> <td>總鉻</td> <td>< 2 ppm</td> <td>NIEA M353 US EPA 3051A US EPA 3050B</td> </tr> <tr> <td>地毯</td> <td>六價鉻</td> <td>< 3 ppm*</td> <td>NIEA T303 US EPA 3060A US EPA 7196A</td> </tr> </tbody> </table>	基質	管制項目	管制限值	參考檢測方法	地毯	銻	< 30 ppm	NIEA M353 US EPA 3050B US EPA 3051A	地毯	砷	< 0.2 ppm	NIEA M353 US EPA 3050B US EPA 3051A	地毯	鉛	< 0.8 ppm	NIEA M353 US EPA 3051A US EPA 3050B	地毯	鎘	< 0.1 ppm	NIEA M353 US EPA 3050B US EPA 3051A	地毯	總鉻	< 2 ppm	NIEA M353 US EPA 3051A US EPA 3050B	地毯	六價鉻	< 3 ppm*	NIEA T303 US EPA 3060A US EPA 7196A	
基質	管制項目	管制限值	參考檢測方法																										
地毯	銻	< 30 ppm	NIEA M353 US EPA 3050B US EPA 3051A																										
地毯	砷	< 0.2 ppm	NIEA M353 US EPA 3050B US EPA 3051A																										
地毯	鉛	< 0.8 ppm	NIEA M353 US EPA 3051A US EPA 3050B																										
地毯	鎘	< 0.1 ppm	NIEA M353 US EPA 3050B US EPA 3051A																										
地毯	總鉻	< 2 ppm	NIEA M353 US EPA 3051A US EPA 3050B																										
地毯	六價鉻	< 3 ppm*	NIEA T303 US EPA 3060A US EPA 7196A																										

地毯	鈷	< 4 ppm	NIEA M353 US EPA 3051A US EPA 3050B
地毯	銅	< 25 ppm	NIEA M353 US EPA 3051A US EPA 3050B
地毯	鎳	< 4 ppm	NIEA M353 US EPA 3050B US EPA 3051A
地毯	汞	< 0.02 ppm	NIEA M317 NIEA M318 US EPA 7471B US EPA 7473
地毯	鋅	< 50 ppm	NIEA M353 US EPA 3050B US EPA 3051A
地毯	三苯基 錫	< 2 ppm	NIEA T504 CNS 13105
地毯	三丁基 錫	< 2 ppm	NIEA T504 CNS 13105
地毯	殺蟲劑 總量	< 5 ppm	NIEA M618 NIEA T206 NIEA W660 NIEA W635 § 64 LFGB L 00.0034
地毯	禁用之 偶氮染料	< 5 ppm*	LMBG 82.02
地毯	全氟辛 酸	< 10ppm	US EPA 3540C US EPA 3550 NIEA W542
地毯	全氟辛 烷磺酸	< 10ppm	US EPA 3540C US EPA 3550 NIEA W542
地毯	多溴聯 苯類	< 10 ppm*	CNS 15050 US EPA 8270D IEC 62321
地毯	多溴二 苯醚類	< 10 ppm*	CNS 15050 US EPA 8270D IEC 62321
地毯	10-13 個碳原 子之含 氯鏈狀 烴類化 合物	< 10 ppm	US EPA 3540C US EPA 8081B US EPA 8081A US EPA 8082 US EPA 8270C US EPA 8270D IEC 62321
地毯	各項鄰 苯二甲 酸酯類	< 10 ppm*	NIEA T801 NIEA M731 US EPA 3550C CNS 15138-1

	塑化劑		
地毯/ 黏著劑	甲醛逸散速率	<0.08 mg/m ² ·hr	內政部建研所標準測試法(計畫編號 MOIS 901014) 及參考 ISO 16000標準方法，測試時間達48小時或已達到規格標準限值者即停止測試。
地毯/ 黏著劑	總揮發性有機物逸散速率	<0.19 mg/m ² ·hr	內政部建研所標準測試法(計畫編號 MOIS 901014) 及參考 ISO 16000標準方法，測試時間達48小時或已達到規格標準限值者即停止測試。
黏著劑	鹵性溶劑	<15 ppm*	US EPA 8260 US EPA 5021

*檢測報告應提供該項方法偵測極限值低於管制限值1/3以下之證明。

4. 標示

4.1. 標章使用者的名稱、地址與消費者服務專線電話應清楚記載於產品或包裝上。

4.2. 產品或包裝上應標示「低污染」。

一、明定相關標示要求。

二、本點廠商應備文件為：

(一)申請換發新證產品應檢附已標示環保標章之產品包裝相片。

(二)新申請產品應檢附環保標章及相關標示方式之設計稿。

(資料來源:行政院環保署)

美國自2004年就已禁止五溴聯苯醚和八溴聯苯醚使用，韓國2002年開始宣導使用多溴聯苯醚的替代品，而中國2007年才開始禁止低溴聯苯醚的使用，對十溴聯苯醚的使用至今未做任何限制，這也顯示中國環境介質PBDEs 的濃度居高不下的因素，同理中國在室內量測PBDEs濃度亦高於其他國家。

第三章 建材逸散溴化阻燃劑危害評估

第一節 室內污染物健康調查

2014年07月07日-12日於香港(Hong Kong)舉辦之「室內空氣 Indoor Air, The 13th international conference on indoor air quality and climate 2014」國際學術研討會，本次會議主題包含四大部分：「室內空氣科學的基礎、室內空氣科學的應用、在室內空氣科學與工程新出現的問題、新技術的室內氣候和空氣品質」。

本次大會共 983 篇論文發表，發表數量最多為：溫熱舒適(9.5%)、室內空氣預測和測量(8.4%)、通風換氣(8.1%)、室內環境控制(7.9%)、健康與室內空氣流行病學(6.5%)、低耗能建築(6.1%)、過濾和空氣淨化(5.9%)，台灣團隊共發表 47 篇，而其中「室內空氣預測和測量(8.4%)及室內空氣污染來源(4.48%)及建築的新化學物質(1.12%)」廣泛討論「鄰苯二甲酸酯類」(Phthalate Esters, PAEs)(溴化阻燃劑)等「半揮發性有機化合物(SVOCs)」之研究。影響室內污染物說明如下：

(一) 揮發性有機化合物

室內空氣中主要污染源之一為建材中所逸散出之揮發性有機化合物。根據(Brown S.K., 1994)研究指出室內空氣中揮發性有機化合物(TVOC)主要來源為新建建築物中之乾式建材(塗料、接著劑及填縫劑)；根據台灣省塗料公會統計，塗料的製造及塗裝過程中 TVOC 排放量顯然居於所有建材中的首位，對室內施工人員及使用人員的健康造成危

害 D.Norback²⁴ 於 1995 年針對瑞典從事住宅油漆的工人暴露於水基型塗料(water-based paints,WBP)之化合物進行探討，經分析水基型塗料發現其逸散揮發性有機物質有 13 種，包括：Toluene、Xylene、Ethylbenzene、Octane、Nonane、Decane、Undecane、alpha-Pinene、delta-Karene、Limonene、n-Butanol、Iso-butanol、2-ethyl-1hexanol，表 2-14 為水性塗料之主要 VOCs 逸散濃度值。

表2-6 瑞典案例－水性塗料主要VOCs 逸散濃度值（單位： $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ）

化合物	塗料A			塗料B		
	平均	幾何平均	最大值	平均值	幾何平均	最大值
Toluene	109	54(3.9)	290	216	73(3.3)	2120
Xylene	107	94(1.7)	290	132	72(3.1)	620
Ethylbenzene	56	52(1.5)	104	49	31(2.8)	170
Octane	5	2(3.5)	36	24	16(2.6)	150
Nonane	74	38(5.2)	254	200	44(6.3)	2240
Decane	29	9(6.0)	130	380	98(4.5)	4670
Undecane	29	13(4.7)	114	202	65(4.8)	2030
alpha-Pinene	9	4(4.6)	28	60	21(6.0)	400
delta-Karene	19	6(5.1)	94	8	3(3.9)	70
Limonene	44	25(3.1)	146	237	72(3.9)	2770
n-Butanol	103	67(2.8)	324	302	69(5.3)	2500
Iso-butanol	750	236(5.8)	3600	380	33(5.0)	6570
2-ethyl-1hexanol	7	4(3.9)	18	31	9(5.8)	210

(資料來源：1995,D.Norback等人文獻)

鄰苯二甲酸酯類和多溴聯苯醚均皆屬於半揮發性有機化合物，PAEs 研究調查室內暴露之 SVOCs，可能來自建材、家電及室內用品等，建材中可能添加之 SVOCs，主要包括：鄰苯二甲酸可塑劑、含溴阻燃劑、膠合劑、防腐劑等。

有關人體暴露 PBDEs 研究，最初海鮮及魚類等食物來源認為人體主要暴露來源，考量開發國家與高度工業化國家之民眾以室內生活型態(家庭、辦公室、學校、汽車)為主，則須評估其他暴露來源。家中室內環境 PBDEs 來源包括：電子產品、家具、地毯、窗簾、家電。

在室內環境 PAEs 及 PBDEs 相關研究，主要調查室內空氣中或「室內環境 SVOCs-PAEs 調查量測結果」：根據 X.Q. Pei 等人於2013年發表，針對 SVOCs-PAEs 源自於室內污染物，研究調查10棟裝修之公寓以及內部各空間，室內 SVOCs-PAEs 之濃度、定性、致癌風險之結果如圖 2-3，SVOCs-PAEs 總濃度為 12096.4ng/m^3 ，而 DEP、BBP、DEHP 為偵測最多之化合物，分別為2290、3975、2437 ng/m^3 ，占整體72%，不同空間有不同之濃度測值，最高為 17363 ng/m^3 (客廳)，緊接著為 11389.5 ng/m^3 ，最低為 9739.1 ng/m^3 ，特別對1-2歲孩童影響較高，致癌風險為 3.912×10^{-5} ，比較國內外室內灰塵 PAEs 如表2-3所示。

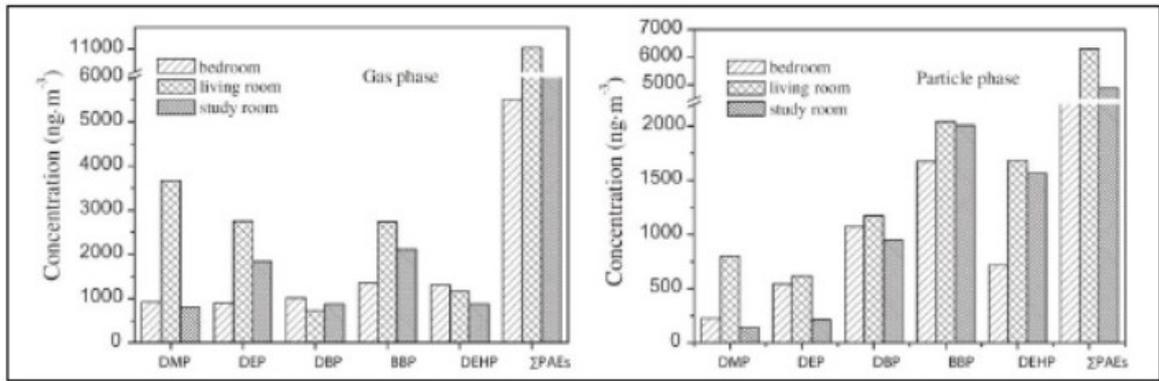


圖2-3室內環境 SVOC 於氣態及懸浮微粒中濃度變化

(資料來源：)

表2-3-2-1國內外室內灰塵 PAEs 分布

國家	樣本數	樣本特性	DMP	DEP	DBP	BBP	DEHP
台灣	48個	住家客廳地板及沙發之灰塵，包含地板、踏墊及椅上之抱枕	0.12 (0.12-1)	1 (0.07-121.4)	34.4 (6.13-256.3)	4.3 (1-312.5)	1643.6 (755.6-5098.3)
	49個	住家小孩房間地板之灰塵，包含地板及地墊	0.12 (0.12-4.3)	1 (0.075-88.2)	38.1 (4.67-984.7)	4.16 (1-185)	1366.3 (460.9-6161.1)
	49個	住家小孩床鋪之灰塵，包含床鋪、棉被、枕頭及床上玩具	0.12 (0.12-2.12)	1 (0.075-86.6)	21.5 (5.64-86.6)	3.1 (1-82.9)	834.7 (252.8-1868.1)
	48個	住家地板以上之灰塵，包含窗簾、櫥櫃窗棧及冷氣等	0.12 (0.12-12.6)	1 (0.075-45.4)	25.6 (5.56-834.3)	3.03 (1-14.7)	964.2 (161.7-5637.9)
挪威	38個	表面灰塵及其各空間地板灰塵	-	-	-	110	640
丹麥	23	表面灰塵及其各空間地板灰塵	-	-	-	-	858
德國	30個	住家各空間之灰塵	-	-	-	29.7 (5-816)	703.4 (231-1763)
美國	120個	住家地毯、家具及窗台之灰塵	-	4.98 (ND-111)	20.1 (ND-352)	45.5 (3.87-1310)	340 (16.7-7700)
德國	65個	住家地板及其物品表面之灰塵	-	-	-	19	600
瑞典	346個	收集住家地板以上之灰塵	-	0 (0-2425)	150 (0-5446)	135 (0-45549)	770 (0-40459)

(資料來源：)

依據 Wilford 等人研究 [22]指出，室內環境空氣中 PBDEs 濃度高於室外，主要因素為室內裝修材料家具和電器用品添加阻燃劑，隨著溫度變化等不同因素，造成 PBDEs 逸散至室內環境。根據歐盟統計，2001年歐洲區域 PBDEs 整體使用量高，penta-BDE 和 octa-BDE 分別為150610噸及7600噸，由於使用量高造成室內環境分析測得高濃度 PBDEs，鑒此歐盟自2006年禁用五溴聯苯醚和八溴聯苯醚於電子產品，並進一步於2008年禁用

十溴二苯醚，歐洲地區室內灰塵中 PBDEs 調查結果發現以 BDE-209 佔室內灰塵中 PBDEs 含量最高，經統計研推一部分來自老舊建築所用建材而致，彙整各國室內灰塵中 PBDEs 分布，如表 2-3-2-2 所示。

表 2-3-2-2 各國室內灰塵中 PBDEs 分布情形

Country	N	BDE-47			BDE-99			BDE-153			BDE-209			Ref
		Mean	Med.	Range	Mean	Med.	Range	Mean	Med	Range	Mean	Med.	Range	
Poland	129	21	<2	<2-950	33	<2	<2-1370	2.6	<2	<2-24	5580	270	36-336000	[23]
Sweden	27		21	6.5-460		17	<0.7-300		19	<0.3-77		310	143-310000	[24]
Denmark	42	63	17	3.3-962	78	14	2.7-1764	10	2.5	0.5-182	1920	332	56-58000	[25]
Germany	20	12	5.7	13-52	20	9.2	1.7-80	4.5	2.1	0.2-26	1230	950	10-3750	[26]
UK	28	20	13	1.2-160	47	23	2.8-320	14	5.5	0.6-110	45000	2800	120-520000	[27]
Canada	64		300			430			49			630		[28]

單位 ng/g

第二節 室內環境溴化阻燃劑物質危害調查

室內SVOC主要二大類，其一為塑化劑，室內塑化劑調查及危害已相當證據顯示，「溫度對SVOCs-PAEs影響結果」：M. Fujii等人於2003年發表，PAES常被用於增速劑中，不少文獻也證明其毒性，容易導致健康風險，研究主要「溫度」獨立性對於不同鄰苯類的逸散狀態，以及評估在不同溫度的健康風險，以「被動的取樣裝置器」從塑性建材中取樣，包括合成的皮革、壁紙、乙基烯地板，觀察到的diethyl phthalate, dibutyl phthalate, diethylhexyl phthalate (DEHP)在20°C分別為0.89,0.77,14 $\mu\text{m}^2/\text{h}$ ，在80°C為2.8,450,1500 $\mu\text{m}^2/\text{h}$ ，結果顯示「溫度」獨立性主要影響為PAES的逸散，而對材質的組成影響較小，這也顯示在高溫陽光曝曬的車體內或高溫室內環境，可能會超出日本厚生勞動省規範濃度值。「濕度對SVOCs-PAEs影響結果」：丹麥學者：Per Axel Clausen等人2007發表，在「潮濕」和「鄰苯二甲酸酯類」的建築物常會出現孩童氣喘的事件，研究使用「FLEC法」去探討「濕度和鄰苯二甲酸酯類濃度」之關係，含有17% (w/w)的DEHP之乙基烯地板被置放於6個測試FLEC內於22度的狀況下，相對濕度在三個槽中分別為10%、30%、50%、70%，其中50%的其中二個在經過248天後濕度會變化為10%和70%，結果顯示「濕度」對於DEHP溢散速率影響不大。

其二為溴化阻燃劑，而溴化阻燃劑中在PBDEs的毒性研究，動物實驗相對較多，針對職業人群的研究趨多現象，但目前積累的資料對於解釋現象尚未充分。體內和體外實驗初步顯示，PBDEs的健康危害包括肝臟毒性、內分泌干擾作用、生殖和神經發育毒性、致癌等。不同PBDEs同源物的健康危害差異性很大。商業產品中五溴聯苯醚毒性最大，在很低的劑量下就可以引起毒性，而十溴聯苯醚則需很大劑量才能表現出毒性。老鼠和兔子的敏感性研

究發現，五溴聯苯醚的影響主要是對神經系統的損害，濃度在0.6~0.8 mg/kg 表現出毒性，濃度在6~10 mg/kg 呈現對後代的甲狀腺激素的破壞；八溴聯苯醚濃度大於2 mg/kg開始會引起對胎兒的毒性和致畸性，濃度越大，引起毒性危害也越大；十溴聯苯醚濃度大於80mg/kg時對成熟動物的甲狀腺、肝和腎都會引起形態的改變。

截至目前，PBDEs對人類的箭是建立在動物模型基礎上的，人體組織中PBDEs濃度是否已達到對人類健康造成危害的水準，仍處在不確定階段。人體每天攝入PBDEs的量遠低於對動物產生影響的最低劑量，相差106倍。由於研究PBDEs在人體內的毒理動力學的資料很少，如果基於人體的承受水準或PBDEs在某個器官中的濃度來評價，可能對於人體的真正的安全限值會更低。同時，高溴化的聯苯醚降解為低溴化的聯苯醚或其它溴代有機物時，毒性可能會增大或產生其他毒性效應也是非常難以確定和敏感的問題。

以對化性穩定的溴化阻燃劑如BDE-47，這類化合物主要通過食物進入人體，然後在體內沉積，當累積到一定量，就可能對人體健康產生影響。相對較不穩定化性的溴化阻燃劑如TBBPA等，其不易在體內累積，因此也不會所謂生物放大作用，它們主要通過呼吸吸入進入人體。若長期暴露在含有這些溴阻燃劑環境，可能對人體產生影響疑慮。此外，在室內或家庭環境空氣，如果有化學性質穩定的溴阻燃劑存在，它們對人體產生的影響也是不可忽略的，同時須考量透過皮膚也會吸收溴阻燃劑途徑的影響。

總體而言，就3種主要PBDEs 產品，PeBDE 的毒性最強、OBDE其次、DeBDE毒性較弱。實驗研究使用的劑量明顯高於人類實際暴露量的劑量，故對低劑量暴露PBDEs 毒性瞭解仍有限。

第三節 建材逸散溴化阻燃劑健康風險評估文獻回顧

近年來，隨著現代化科學技術的發展，各類高分子材料的應用越來越廣泛，全球阻燃劑使用量亦呈增長趨勢，2007 年的全球總消費量約 170 萬噸，2008 年為 195 萬噸，2010 年為 230 萬噸，2011 年達到 241 萬噸，2007~2011 年的年增長速度達 9.12%。2016 年的一份報告指出 2014 年底全球阻燃劑的使用量及銷售額分別達到 262 萬噸及 61 億美元。而隨著使用量的增加，這些阻燃劑透過環境流布，造成居住環境及生活環境當中可發覺常有組
V
燃劑之蹤跡。

研究顯示 PBDE 最主要的暴露來源是飲食及室內灰塵。飲食部分以魚類、肉類及乳製品所含 PBDE 濃度最高，特別是食入脂肪含量較高的魚種，其貢獻量約佔整體攝入量的 2/3。在美國以魚類之 PBDE 含量最高，其次為肉類及乳製品。考量飲食習慣，仍以肉類攝取為主要暴露 PBDE 的來源，在歐洲則以魚類為當地人每日飲食最主要暴露來源。環保署調查臺灣地區亦發現南崁溪、東港溪、頭前溪、林邊溪、淡水河、大安溪魚體中之 PBDE 較高。

另一個 PBDE 的主要來源為室內灰塵，有研究分析寵物貓血清中 PBDE 濃度比美國成人高出 20-100 倍，推測是由於貓科動物經攝食室內灰塵攝入大量 PBDE 所導致。另外，長期處於室內時間較長的幼童，其每日 PBDE 暴露量有 80% 來自灰塵，多溴聯苯醚暴露量比成年人高出 3 至 4 倍，且有大於 80% 是由室內灰塵而來(Janice et al., 2008)，此外加拿大亦有研究針對家庭中不同成員血清中之 PBDE 濃度進行分析，發現 1.5 歲幼童體內濃度為 651 ng/g lipid，父親體內濃度為 87 ng/g lipid。PBDE 和 PCB 等持久性有機污染物不同，它們在人體脂肪組織內的濃度不會隨著暴露者年齡而增加，相對的，由於嬰兒或幼童暴露灰塵或是經由母乳而

接觸 PBDE 使得其在組織中的濃度較一般成年人高(Lucio et al., 2008)。

此外，PBDE 的暴露和職業明顯相關，特別是直接與含 PBDE 產品與廢棄物接觸之職業工人，如電腦及電子產品拆解業、橡膠製造業及電腦製造技師，主要以吸入含 PBDE 粉塵為主要暴露途徑。發現電腦拆解工廠員工血液中的 PBDE 總含量，較電腦辦公室員工及清潔工高出 10 倍，主要成份為七溴二苯醚，其餘以四溴二苯醚居多；電腦工程師及橡膠工人血清中的 DBDE 含量，為一般工作族群的 5~10 倍，但四溴二苯醚濃度與一般人無異，顯示高溴數 PBDE，容易藉由特殊的工作環境累積於人體中。

除上述暴露途徑之外，研究發現 PBDE 可穿過胎盤障壁，因此在胎兒血液中的濃度與母體相似，胎兒肝臟中 PBDE 濃度為 4-98.5 ng/g lipid 之間，其中又以 BDE-47、BDE-99 和 BDE-153 濃度較高 (Schechter et al., 2007)。出生嬰兒以攝食母乳為主要暴露來源，研究指出過去 20-30 年內母乳中 PBDE 含量亦逐漸增加，有文獻以母乳作為測試物，並由實驗結果發現 PBDE 含量每五年會增加一倍 (Meironyte et al., 1999)。1972~1997 年間，瑞典地區人體母乳中 PBDE 濃度每五年成長達到兩倍，2001 年調查發現北美及加拿大地區人類母乳的 PBDEs 濃度，高出瑞典地區達 40 倍。2002-2005 年由母乳中分析到不同地區 PBDE 平均濃度：歐洲 3.7 ng/g lipid、日本 1.57 ng/g lipid，美國 73.9 ng/g lipid (Inoue et al., 2006)，進而推估得知美國哺乳中嬰兒平均每天約攝取 1500 ng 的 PBDE (Schechter et al., 2006)。

表台灣室內環境 SVOC-PAE 於灰塵中濃度及國外研究比對

國家	樣本數	樣本特性	DMP	DEP	DBP	BBP	DEHP
台灣	48個	住家客廳地板及沙發之灰塵，包含地板、踏墊及椅上之抱枕	0.12 (0.12-1)	1 (0.07-121.4)	34.4 (6.13-256.3)	4.3 (1-312.5)	1643.6 (755.6-5098.3)
	49個	住家小孩房間地板之灰塵，包含地板及地墊	0.12 (0.12-4.3)	1 (0.075-88.2)	38.1 (4.67-984.7)	4.16 (1-185)	1366.3 (460.9-6161.1)
	49個	住家小孩床鋪之灰塵，包含床鋪、枕頭、枕頭及床上玩具	0.12 (0.12-2.12)	1 (0.075-86.6)	21.5 (5.64-86.6)	3.1 (1-82.9)	834.7 (252.8-1868.1)
	48個	住家地板以上之灰塵，包含窗簾、櫥櫃窗簾及冷氣管	0.12 (0.12-12.6)	1 (0.075-45.4)	25.6 (5.56-834.3)	3.03 (1-14.7)	964.2 (161.7-5637.9)
	挪威	38個	表面灰塵及其各空間地板灰塵	-	10	100	110
丹麥	23	表面灰塵及其各空間地板灰塵	-	-	-	-	858
德國	30個	住家各空間之灰塵	15	29.7	47.0	29.7 (5-816)	703.4 (231-1763)
美國	120個	住家地毯、家具及窗台之灰塵	-	4.98 (ND-111)	20.1 (ND-352)	45.5 (3.87-1310)	340 (16.7-7700)
德國	65個	住家地板及其物品表面之灰塵	-	-	-	19	600
瑞典	346個	收集住家地板以上之灰塵	-	0 (0-2425)	150 (0-5446)	135 (0-45549)	770 (0-40459)

在中國研究調查顯示過去 30 年，環境中與人體內的 PBDEs 濃度不斷增高。實驗研究資料顯示，PBDEs 具內分泌干擾作用，影響甲狀腺激素和性激素。PBDEs 具有肝臟毒性、神經毒性、生殖毒性、發育毒性，但毒作用機制不明確。人類研究資料同樣非常匱乏。

第四章 健康綠建材標章溴化阻燃劑之篩檢及試驗方法結果

第一節 健康綠建材標章產品溴化阻燃劑之篩檢調查

本研究首先收集國內相關溴化阻燃劑輸入，及製造量現況調查，可初步評估國內溴化阻燃劑使用情形。係因溴化阻燃劑為毒性化學物質，可透過行政院環境保護署毒物及化學管理局申報系統，檢視國內使用毒化物輸入及製造現況。針對溴化阻燃劑包含各類項目，至 106 年 2 月為止，申報量如下表所示，其中以六溴環十二烷輸入量最高達 369 公噸，其餘為極少量，另可發現國內目前均無製造單位製造所查核項目之阻燃劑物質。

表 4-1 溴化阻燃劑國內製造及輸入量調查

毒化物編號	毒化物名稱	製造量(單位：公噸)	輸入量(單位：公噸)
09101	十溴二苯醚	0	0.00000002
09101	十溴二苯醚	0	0.00000052
09102	八溴二苯醚	0	0.00000001
09103	五溴二苯醚	0	0.00000004
09104	2,2',4,4'-四溴二苯醚	0	0
09105	2,2',4,4',5,5'-六溴二苯醚	0	0
09106	2,2',4,4',5,6'-六溴二苯醚	0	0
09107	2,2',3,3',4,5',6-七溴二苯醚	0	0
09108	2,2',3,4,4',5',6-七溴二苯醚	0	0
17101	六溴聯苯	0	0
17401	六溴環十二烷	0	369.500025
17401	六溴環十二烷	0	101.0000003
17402	α -六溴環十二烷	0	0
17403	β -六溴環十二烷	0	0
17404	γ -六溴環十二烷	0	0

(資料來源：本研究整理)

本年度研究計畫針對國內已現行有效之健康綠建材標章產品為主，調查之溴化阻燃劑化合物透過研究文獻收集，及設計之綠建材標章溴化阻燃劑調查表（附錄四），並每一標章查核物質安全資料表（SDS），比對廠商所附 SDS 中是否含有化阻燃劑物質。

本研究篩檢對象以截至 106 年 4 月底止，有效標章為 669 件，其中健康綠建材標章為 496 件各類比例如圖：

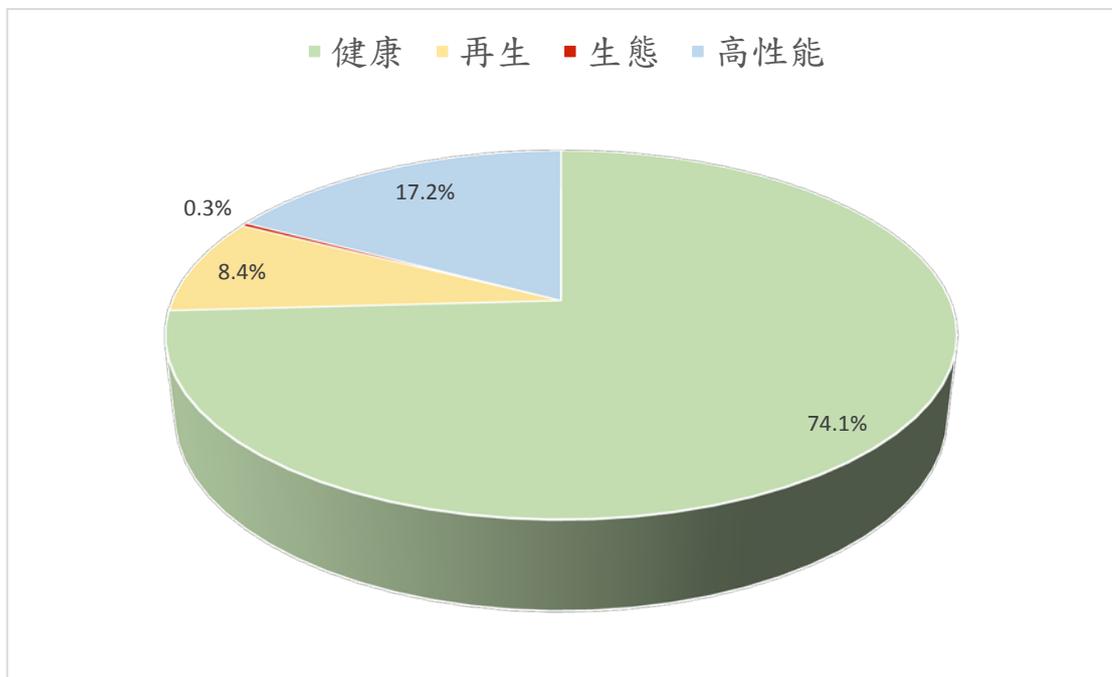


圖 4-1 綠建材標章中 4 類別比例圖

(資料來源：本研究整理)

而本研究著重於健康綠建材標章，以受理類別共區分 6 大類：共地板類 66 件(13.3%)、牆壁類 120 件(24.2%)、天花板 30 件(6.0%)、填縫劑 25 件(5%)、塗料 234 件(47.2%)、接著劑 21 件(4.2%)等 6 大類建材產品。

本研究設計綠建材標章之宿化阻燃劑篩選調查表，依溴化阻燃劑定義，選定 16 項調查篩選之化合物包括：四溴雙酚 A、六溴環十二 HBCD、 α -六溴環十二烷、 β -六溴環十二烷、 γ -六溴環十二烷、多溴二苯醚 PBDE、四溴二苯醚、五溴二苯醚、六溴二苯醚 (BDE-47)、六溴二苯醚 (BDE-153)、六溴二苯醚 (BDE-154)、七溴二苯醚 (BDE-175)、七溴二苯醚 (BDE-183)、八溴二苯醚、十溴二苯醚及多溴聯苯 PBB。

確認調查化合物後針對本研究對象現行有效健康綠建材標章之評定書檢視廠商評定書中檢附之物質安全資料表(SDS)範例如圖 4-4 所示

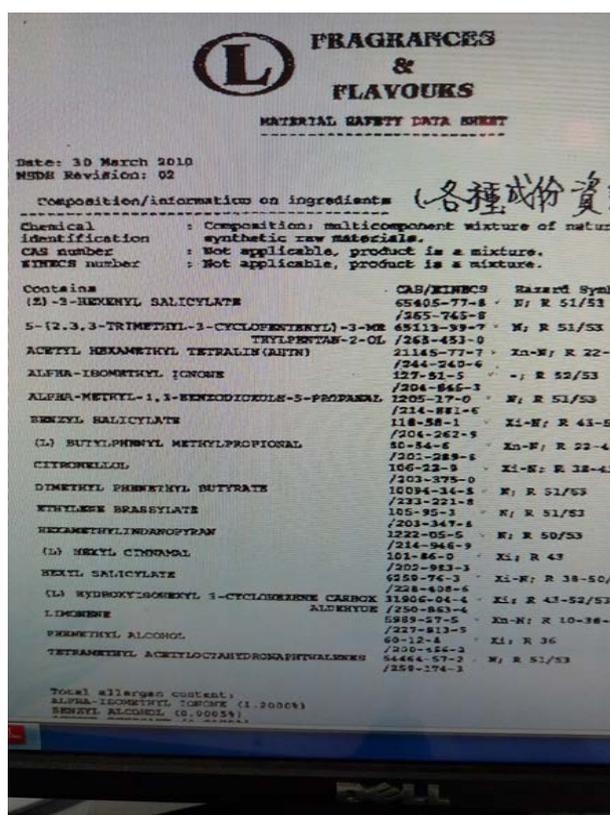


圖 4-2 健康綠見評定書中廠商檢附 SDS
(資料來源：本研究拍攝)

溴化阻燃劑調查結果，透過如圖分析 SDS 是否含溴化阻燃劑物質，累計本年度共完成 496 件健康綠建材標章篩選調查，在 6 大類別之項下，健康綠建材標章產品透過廠商提供物質安全資料表 SDS 顯示，並無發現含有溴化阻燃劑物質，顯示健康綠綠建材品質穩定。

然而透過調查篩選過程，發現部分缺失及疑慮，說明如下：

(一)、SDS 文件簡略：部分廠商提供健康綠建材標章廠商所檢附 SDS 過於簡略無法判讀。

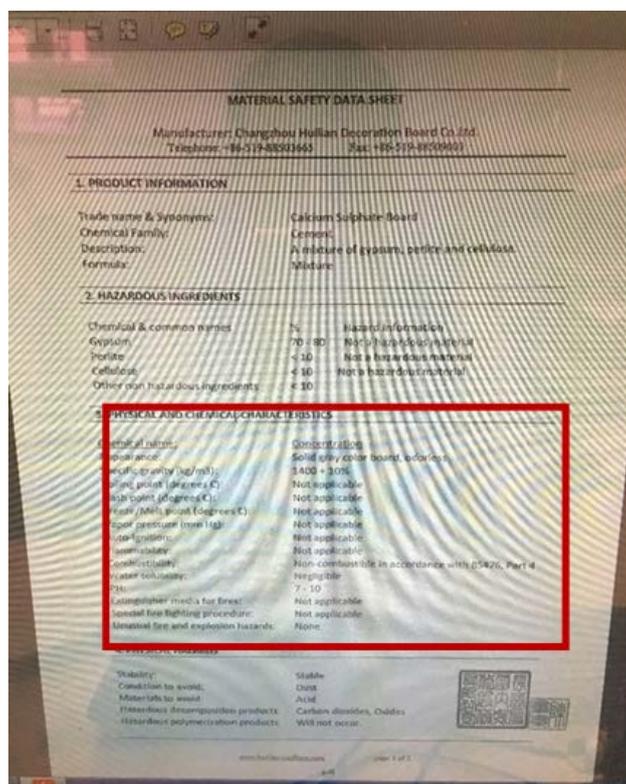


圖 4 廠商提供之 SDS 提供不明確訊息之案例

(資料來源:本研究彙整)

建築材料之溴化阻燃劑調查研究

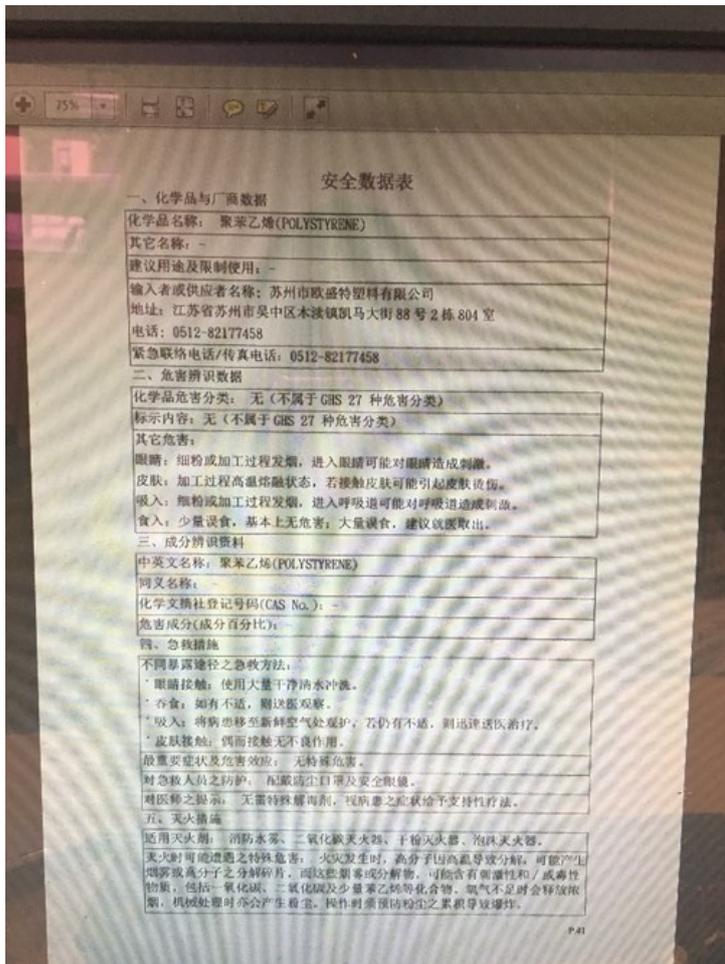


圖 SDS 提供不明確訊息之案例
(資料來源:本研究彙整)

第二節 建材逸散溴化阻燃劑試驗標準調查

國際間建材逸散溴化阻燃劑之試驗標準，至今尚無統一國際標準，目前可供參考部分主要為 ISO-16000-25 Indoor air-Part 25 : Indoor air -- Part 25: Determination of the emission of semi-volatile organic compounds by building products -- Micro-chamber method 及我國行政院環境保護署公告之毒性化學物質中多溴二苯醚檢測方法-氣項層析質譜儀法 NIEA T506.30B

本研究建材測試方法與實驗步驟主要本標準係依據 2011 年發行 ISO16000-25 Indoor air-Part 25 : Indoor air -- Part 25: Determination of the emission of semi-volatile organic compounds by building products -- Micro-chamber method

簡介

適用範圍

本標準規定使用微型容器，在規範氣候條件下，測定從新製建築產品或家具之半揮發性有機化合物(SVOCs)的單位面積逸散率之試驗方法，本方法原則亦可適用舊的產品。

本量測方法適用於產品與材料，如：板材，壁紙，地板材料，隔熱材料，接著劑油漆及其組合。

待測材料之採樣運送及儲存，以及試片製備說明於 ISO 16000-11，測定 SVOC 之空氣採樣與分析方法規範於 ISO 16000-6 及 ISO 16017-1。

引用標準

ISO 16000-6 Indoor air -- Part 6: Determination of volatile organic compounds in indoor and test chamber air by active sampling on Tenax TA sorbent, thermal desorption and gas chromatography using MS or MS-FID

ISO 16000-11 Indoor air -- Part 11: Determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing -- Sampling, storage of samples and preparation of test specimens

ISO 554 Standard atmospheres for conditioning and/or testing -Specifications

ISO 16017-1 Indoor, ambient and workplace air -- Sampling and analysis of volatile organic compounds by sorbent tube/thermal desorption/capillary gas chromatography -- Part 1: Pumped sampling

用語及定義

3.1 微型容器之換氣率(air change rate for micro-chamber)(n)

每小時引進微型容器之乾淨空氣體積與相同單位量測之由微型容器容積之比例

3.2 微型容器空氣流率(air flow rate for micro-chamber)

單位時間進入微型容器之空氣體積

3.3 空氣流速(air velocity)

流過試片表面之空氣流速

3.4 單位面積空氣流速(area specific air flow rate)

供應空氣兩勢片面積之比例

3.5 SVOC 之單位面積逸散率(area specific air emission for SVOC)

自試驗開始經某一段時間，每單位面積自暴露區逸散物質之質量

備註 1.本標準忠義散物係由 SVOC 所組成。

備註 2.單位面積逸散率逸散因子併用。

3.6 建築產品(building product)

建築工程中長久構建之產品。

3.7 現場空白試驗(field blank)。

執行除空氣採樣外所有操作時，吸附劑管中 SVOC 質量(從建築產品之 SVOC 逸散)。

3.8 惰性氣體(inert gas)

不含活性化學品或其他性質之氣體

備註:一般而言氦氣(He)或氮氣(N₂)係為吸附於微型容器的 SVOC 之熱脫附作用氣體

3.9 對照試驗質量(mass collected in control test)

無試片時試驗第一階段與第二階段之質量總和。

3.10 第一階段質量(mass collected in first step)

逸散但不吸附於微型容器內，在微型容器出口捕集量測之 SVOC 質量。

3.11 第二階段質量(mass collected in second step)

執行熱脫附時，在微型容器出口捕集量測之 SVOC 質量。

3.12 微型容器(micro-chamber)

能控制從建築材料的 SVOC 逸散務之量測條件的容器。

3.13 回收率(recovery)

在熱脫附期間離開微型容器之標的 SVOC 之量測質量，除以加至微型容器之標的 SVOC 質量。

備註 1.回收率以百分率表示(%)。

備註 2.回收率提供有關試驗方法績效資訊。

3.14 試件(sample)

可以代表製造的建築產品之一部分或一片。

3.15 採樣期間(sample period)

試件被採取之持續時間。

備註:採樣期間為使用吸附管或其他裝置從微型容器出口捕集空氣之時間。

3.16 半揮發性有機化合物(semi-volatile organic compound, SVOC)

沸點範圍(240 至 260)至(380400)之有機化合物。

備註 1.本分類為世界衛生組織所定義。

備註 2.因部分有機化合物在大氣壓力於沸點前就分解因此不易或無法測定其沸點。蒸氣壓為化合物揮發性分類之另一準則，SVOC 之蒸氣壓在 10⁻²mPa 與 10Pa 之間。

3.17 吸附劑空白(sorbent tube blank)

空氣採樣前吸附管本身內之 SVOC 值。

3.18 標的半揮發性有機化合物(target semi-volatile organic compound)

產品特定的半揮發性有機化合物

3.19 試片(test specimen)

為模擬待測材料或產品得逸散行為而特別製備，以供用於微型容器中逸散試驗之試件的一部分。

3.20 試驗開始(test start)

將試片製入微型容器內之時間

3.21 第一階段與第二階段總質量(total mass collected in first and second step)

試驗第一階段與第二階段期間所收集之質量總和。

符號

符號	意義	單位
A	試片表面積	m^2
A_c	微型容器內表面積	m^2
S_L	表面積之比例(等於 A_c / A)	m^2 / m^2
m_0	對照試驗所收集之質量	μg
m_1	第一階段收集之質量	μg
m_2	第二階段收集之質量	μg
m_{1+2}	第一階段和第二階段收集之質量	μg
m_{t0}	現場空白試驗	μg
n	微型容器之換氣率	h
q_{mA}	單位面積逸散率	$\mu g/m^2 \cdot h$

q_{vA}	單位面積換氣率(等於 q_{vc}/A)	$m^3/m^2 \cdot h$
q_{vc}	微型容器空氣流率	m^3/h
t	第一階段之持續時間	h
V	微型容器之空氣體積	m^3

原理

本試驗方法之原理係用以測定由產品試片表面逸散的 SVOC 單位面積逸散率，雖然 SVOC 在微型容器內逸散出，大部分逸散物在溫度 40 以下容器中吸附，因此在試驗中，建築材料的 SVOC 單位面積逸散率(標的化合物)係從第一階段與第二階段所收集質量測得。試驗結果在 24 小時期間從產品的 SVOC 平均逸散速率。另為特定目的，改變第一階段期間內，在不同時間期間之逸散率可以使用相同步驟予以測定。

微型容器系統

6.1 一般

用以測定從建築產品逸散 SVOC 之單位面積逸散率之微型容器系統應包含下列:微型容器，乾淨空氣產生與增濕系統及監測與控制系統，以確保試驗能依規定條件執行。

微型容器之設計可以使具有平滑表面的固態產品能至於微型容器內或上面(或下面)，使得試件本身成為微型容器外壁。此與 ISO 16000-9 及 ISO 16000-10 方法類似。在此情形中，試件表面必須對著微型容器加以密封，使試件的邊緣及背面得以排除。為確保氣密性，其他產品應放置在特殊得試件座。本標準所有類型的微型容器一般規範與要求，參照 6.2 至 6.7。

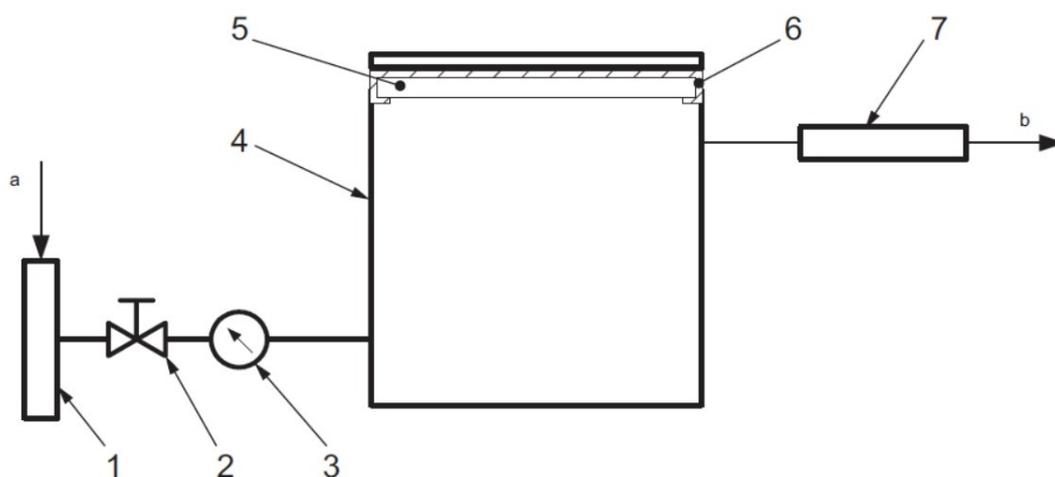
微型容器

適當的體積大小與尺度比例已試驗過，如表 B.1 所示。微型容器與逸散 SVOC 接觸的採樣系統部分(所有管與接頭)通常係由玻璃或惰性非脫氧材料，例:惰性塗覆之不鏽鋼與磨光不銹鋼所製

成。惟在所有情形中，應滿足 6.3 與 6.7 所規定的要求。依微型容器材料(例:部分玻璃類型)，可能需要表面處理以協助熱脫附。

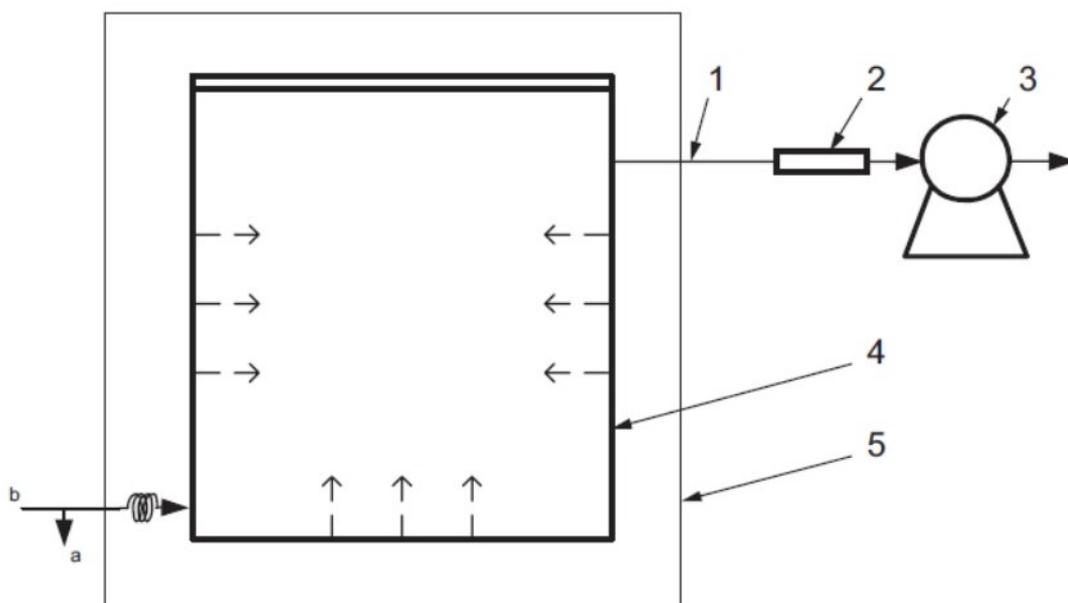
備註:磨光不銹鋼會催化某些 SVOC 之裂解。

放置試件的密封材料應具低逸散性與低吸附性，且應不會增加微型容器之背景濃度。微型容器裝置之簡圖如圖 1 圖 2 所示。



- 1 乾淨空氣供應
- 2 空氣流量調節器
- 3 空氣流量計
- 4 微型容器
- 5 試件
- 6 密封材料
- 7 空氣採樣管(吸附管)
- a 空氣入口
- b 排氣出口

圖 1 試驗第一階段微型容器裝置圖例



- 1 轉移線路
- 2 吸附劑管
- 3 採樣幫浦
- 4 微型容器
- 5 容器加熱裝置
- a 排氣管路
- b 惰性氣體入口

圖 2 試驗第二階段之微型容器裝置圖例

(資料來源：本研究提供彙整)

6.3 表面積比例

試件表面積與微型容器內表面積之比例應為 0.15 ± 0.0075 。

備註：此範圍外之表面積比例可能會產生不同的量測結果。

6.4 氣密性

微型容器應有氣密條件，使其與未控制的外部空氣間換氣降至最低。

逸散試驗容器在比大氣壓力稍高的壓力下操作，以避免受到實驗室大氣之影響。

備註:在試驗期間將實驗室空氣之進入降至最低之方法之一為確保微型容器的些微正壓。達此方式之一為比離開微型容器抽氣採樣率快約 50% 的速率將空氣供應製微型容器。如遵照此方法，可以在空氣正要進入微型容器時，安裝排氣線路，使得可以從緊鄰試驗場所排出適量的空氣。

6.5 空氣供應裝置

微型容器應配備流率控制裝置等，使得可以連續控制通風率製設定的數值。

6.6 試片之密封

之邊緣及背面應加以密封，應使用低逸散低吸附的材料做密封物。

6.7 回收率及弱減效應(recovery and sink effect)

準確度 $\pm 10\%$ 以內之標的 SVOC 的標準溶液予以製備，且應注入已知質量的此液於微型容器中。微型容器應加熱至 200 至 220，且應以類似於試驗的第二階段之步驟將已脫附化合物捕集於吸附管內。應將相同質量的標準溶液直接注入另一吸附管中。吸附於吸附管之標的化合物應以熱脫附與氣相層析-質譜儀(TD-GC/MS)加以測定。從標準品加入微型容器與直接注入所得結果之比例應作為回收率，回收率應大於 80%。回收率試驗的結果應於試驗報告中應敘明預期濃度對量測濃度。

備註:減弱效應，洩漏或差的校正會使最低要求難以達成。減弱效應與吸附特性相當容易受到逸散化合物類型影響。使用具不同分

子量及極性之標的 SVOC 之額外回收率試驗可以用來增加對此等效應之了解。

6.8 空氣鈍化裝置

應使用空氣鈍化裝置或乾淨氣體鋼瓶，以提供乾淨空氣，使得供應至微型容器之空氣盡可能純淨。8.3 規定其污染程度。

6.9 溫度及濕度控制裝置

為控制溫度，應將微型容器至於試驗場中，如恆溫烘箱，其可將微型容器維持於所需溫度。

6.10 流量計

應於微型容器出口安裝流量計，以量測微型容器正確通風率。

6.11 恆溫烘箱

溫度範圍 23°C 至 250°C 之間。

恆溫烘箱的溫度需控制於 0.5°C 準確度之內，且溫度分布之準確度為 2°C。

6.12 採樣幫浦

幫浦控制於 10% 準確度之內，如使用轉移線路，長度應盡可能短，以維持與微型容器相同之溫度，出口線路應使用低吸附性材料。

6.13 微型容器加熱用烘箱

為防止 SVOC 之氧化，需使用惰性氣體。加熱裝置應能維持微型容器之溫度於約 250°C。

空氣供應線路也應維持於規定溫度。

裝置及材料

為執行逸散試驗所需設備如下列所示：

- A. 微型容器，依 6.2 規定
- B. 空氣供應裝置，
- C. 密封試件之背面及邊緣之材料，
- D. 空氣鈍化裝置，
- E. 流量計，

- F.溫度及濕度控制裝置，
- G.加熱微型容器之裝置，
- H.吸附劑及試樣管
- I.分析儀器，滯留在吸附管之 SVOC 應使用 ISO16000-6 與 ISO16017-1 所規範的熱脫附裝置與氣相層析儀與以分析。

精密度與準確度

檢量線：線性係數（ R^2 值）不得小於 0.995，其檢量線配置並依據『CH-06 建材中揮發性有機物質逸散檢測方法查核程序』之規定執行分析。

準確度：標準溶液中間濃度的配製值和量測值的平均相對誤差（relative error），需小於 15%。

相對誤差 = $(\text{量測濃度} - \text{配製濃度}) / \text{配製濃度} \times 100\%$

精密度：檢量線濃度中間點連續測定七次，求其變異係數，其值不可超過 15%。

變異係數 $C.V = \bar{X} / S.D$

\bar{X} ：量測七次所得之平均濃度值。

S.D：分析七次所求的之平均標準偏差。

方法偵測極限：其方法偵測極限配置並依據『CH-06 建材中揮發性有機物質逸散檢測方法查核程序』之規定執行分析。

(一)方法偵測極限之製作：

方法偵測極限(method detection limit, MDL)定義為：一包含待測物的樣品基質中，99% 的信賴度極限(confidence limit)內，可偵測到待測物的最低且大於零的濃度。方法偵測極限(MDL)主要是參考環檢所公告之規範，配製檢量線最低點之濃度，進行重複 7 次測定，計算重覆測試的變異數(S2)和標準偏差(S)如下：

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n X_i^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2}{n} \right]$$

$$S = (S^2)^{1/2}$$

其中， X_i ： $i=1$ 到 n ，第 i 個樣品經過完整的分析步驟後，最後的量測結果。

Σ 表示 $i = 1$ 到 n ，所有 X 值的和。

MDL 的計算如下：

$$MDL = 3S$$

(二)方法偵測極限之確認

以計算得到的 MDL 濃度添加至樣品基質內，重覆進行 7 次測試，利用最近一次 MDL 重覆測試之變異數 (S^2) 值及前次 MDL 重覆測試之 S^2 值，計算 F 比例。F 比例之計算是將較大之 S^2 值作為分子，稱為 SA^2 ；另一個 S^2 作為分母，稱為 SB^2 ，先計算 F 比例再與 3.05 做比較，若 $SA^2/SB^2 < 3.05$ ，利用下述公式計算共同的標準偏差 (Spooled standard deviation, Spooled)：

$$S_{pooled} = \left[\frac{6S_A^2 + 6S_B^2}{12} \right]^{1/2}$$

若 $SA^2/SB^2 > 3.05$ ，重新添加最近計算得到之待測物 MDL 濃度，自步驟(4)開始測試。若樣品在添加最近之 MDL 濃度後仍不能夠定性，則出具報告之 MDL 濃度應介於此次與前次計算得到的 MDL 濃度之間，且此濃度可用於定性。(c)利用 7(b)計算得到之 Spooled 值，依下述公式計算最後的 MDL 值

$$MDL = 2.681 \times (S_{pooled})$$

目前國際上「室內建材逸散半揮發性有機化合物(SVOCs)測定標準方法」以「建材逸散半揮發性有機化合物測定-微型容器法」(ISO 16000-25標準)作為主要檢測方法，然而在測試條件上不論國際組織ISO、日本JIS、歐盟EU等先進國家，皆以自身「在地化條件」進行研究，例如，歐盟之吸附建材測試溫度為18°C及23°C，相對濕度為25%、50%、75%，日本為測試溫度為28°C，明顯與國內環境條件不同。

因此，本研究計畫考量臺灣地處亞熱帶氣候區，本島氣候多為高溫高濕，故以「本土化研究」以「25°C及35°C」為測試溫度、以「50%、80%」為測試濕度作為測試條件研擬，透過「建材逸散SVOC試驗」及「SVOC脫附試驗」等二階段歷時測定，瞭解台灣室內常見建材逸散「半揮發有機化合物」(SVOCs)之污染物質種類及逸散量，可作為建材逸散污染物質定性及定量之「本土建材物質資料庫」，以建立符合「本土氣候條件」與「建材逸散特性」之測定標準方法，提供國家標準制定、綠建材標章制度、環境荷爾蒙管制計畫、溴化阻燃劑每日最大容忍攝取值制定等政策標準制度參考。

第五章 結論與建議

第一節 結論

本研究於今年度（106 年）欲完成建材逸散溴化阻燃劑國內外試驗標準現況調查分析，實際瞭解建材逸散溴化阻燃劑國際執行現況並進行溴化阻燃劑檢測試驗比較分析，並本研究篩檢現行有效標章之物質安全資料表，查核現行健康綠建材標章是否含有溴化阻燃劑化合物。另探討國際和國內對建材或相關產品中溴化阻燃劑管制現況調查，並進一步收集彙整建築材料中溴化阻燃劑相關試驗標準方法調查評估，最後研擬探討溴化阻燃劑對室內環境及室內居住之民眾對健康效益評估。

完成我國健康綠建材標章產品之溴化阻燃劑篩檢調查分析，實際瞭解健康綠建材之溴化阻燃劑現況，同時彙整國、內外綠建材及環保建材中，有關溴化阻燃劑管制現況調查及相關檢測標準方法，重要有下列結論：

- (一)本年度彙整國內、外有關建築材料及室內環境中溴化阻燃劑管制及現況資料及相關標準試驗標準之文獻搜集與探討，包括 ISO、NIEA 等標準。
- (二)本年度完成調查至 106 年 4 月止，現行有效健康綠建材標章之 496 件評定書，健康綠建材標章產品之溴化阻燃劑物質相關篩檢，篩檢調查結果均符合規範，並確保健康綠建材標章產品之品質。
- (三)溴化阻燃劑包含多種不同項目化合物，完成篩選表製作，可供綠建材評定機構使用，另部分標章評定書之 SDS 過於簡化，無法查核實際添加情況。
- (四)完成建材逸散溴化阻燃劑試驗方法調查，依據 ISO 16000-25 方法及 NIEA T506.30B 試驗標準，研擬試驗標準草案。

(五)溴化阻燃劑對室內環境之健康效益評估，除電子產品等，建材及家具為重要來源，多項溴化阻燃劑物質國際間已經禁用，國內建材確實有必要檢測溴化阻燃劑物質。

第二節 建議

本研究已完成國內外有關溴化阻燃劑管制現況調查，及健康綠建材標章產品中溴化阻燃劑篩選。同時也彙整建材逸散溴化阻燃劑性能試驗及溴化阻燃劑等半揮發性有機化合物之檢測標準，並建立「建材之溴化阻燃劑篩選表」、建立「室內環境溴化阻燃劑健康危害」之健康效益資料收集等工作項目，獲得許多具體結論，因此後續研究建議有下列幾點：

建議一

建議未來持續調查生態、再生、高性能之綠建材標章產品，部分構造強調防火性能之材料，使綠建材含溴化阻燃劑調查更臻完善-立即可行之建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：財團法人台灣建築中心

本年度已完成溴化阻燃劑之檢測標準方法彙整，提出建材逸散溴化阻燃劑試驗方法草案，未來建議進行試驗方法驗證及精確度準確度確認，

建議二

建議未來進行建材逸散溴化阻燃劑試驗標準驗證，進一步實際試驗抽樣建材試驗調查：長期性建議

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部營建署

本年度完成溴化阻燃劑之檢測標準方法彙整，提出建材逸散溴化阻燃劑試驗草案，未來建議進行試驗方法驗證及精確度準確

度確認，俾供研究或業界測試需求，使建材逸散特性更臻完善。

附錄一、期初審查會議紀錄及回應

項目	審查意見	意見回覆
1	阻燃劑添加於建材係為提升防火性能，而阻燃劑之使用對健康及防火性能為兩面向，是否能兼顧兩者性能？本研究案預期成果將阻燃劑納入健康綠建材標章，須審慎評估其妥適性。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 阻燃劑過去議題重視於提升防火性能，對於健康性能近期逐漸受到重視此議題，兼顧兩者性能可由阻燃劑種類及避免使用毒性較高之阻燃劑。 2. 本年度前期調查及各國文獻蒐集為首要目標，是否納入健康綠建材標章，本研究提供策略及建議，將審慎評估之。
2	建議收蒐集彙析各國綠建材標章阻燃劑之管制標準及管制項目，評估結果整合去年塑化劑研究結果，提供國內綠建材標章參考應用。	感謝委員意見，將於研究報告彙整去年度有關塑化劑研究成果，一併納入。
3	阻燃劑應用層面廣泛包括：窗簾、沙發、家具及防火材料等，有關研究產品對象，建請考量研究執行可行性和研究內容；另說明阻燃劑和溴化阻燃劑兩者是否	<ol style="list-style-type: none"> 1. 有關窗簾、沙發、家具及防火材料等，將收集國內外相關文獻及資料進行探討。 2. 阻燃劑和溴化阻燃劑兩者包含項目種類有

	差異？本計畫應將擬研究之阻燃劑種類詳細定義和說明。	異，相關定義及說明已完成於期中報告第二章第三節。
4	避免題目造成誤解與研究內容聚焦及相符，本研究題目修正為「建築材料之溴化阻燃劑調查研究」。	感謝委員意見，已修正題目。

附錄二、期中審查會議紀錄及回應

項目	審查意見	意見回覆
洪教授明瑞	<ol style="list-style-type: none"> 1. 報告書之章節、架構、內容及格式，建議依貴所需求辦理，俾提升研究成果之可讀性。 2. 建材、家電及事務設備之溴化阻燃劑於室內逸散或揮發與溫度相對濕度息息相關，應有相關研究成果方能掌握其基本性質。 3. 計畫研究成果與目前室內空氣品質管理標準，評估是否進一步統合之可行性。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員意見將修正果報告.阻燃劑過去議題重視於提升防火性能,對於健康性能近期逐漸受到重視此議題,兼顧兩者性能可由阻燃劑種類及避免使用毒性較高之阻燃劑。 2. 家具及家電確實與室內環境條件息息相關,有關溫溼度效應呈現於報告書第三章。 3. 研究成果及合室內空氣品質之統合可行性,惟目前無管理溴化阻燃劑,毒彙整國際上室內空氣品質管理相關
張建築師矩墉：	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究涉及諸多有機化學專有名詞，為易於閱讀，建議報告書中專有名詞進行彙整說明，並釐清其從屬關係。 2. 部分章節如報告書 P.5，部分文字疏漏未完整，建議補充修正。 3. 本研究已說明 SVOC 存在範圍、溫度升高濃度增加，以及何種工作類型存在高濃度污染物。建議概述其危害狀況，且是否有 	<p>感謝委員意見，專有名詞進行彙整，已製作符號表。</p>

	低危害替代產品，較為周全。	
陳委員伯勳	<ol style="list-style-type: none"> 1. 建議對於健康綠建材標章有可能含溴化阻燃劑之項目提供說明，或說明哪些綠建材項目有可能含溴化阻燃劑之虞，恐對綠建材標章造成不良影響，可使本計畫更具說服力。 2. 有關綠建材標章未來是否全面禁止含溴化阻燃劑或僅健康綠建材標章禁用，建議一併探討分析，或邀集業界專家共同研議後在提出相關建議，較為妥適。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 有關窗簾、沙發、家具及防火材料等，將收集國內外相關文獻及資料進行探討。 2. 阻燃劑和溴化阻燃劑兩者包含項目種類有異，相關定義及說明已完成於期中報告第二章第三節。
邵教授文政(書面意見):	<ol style="list-style-type: none"> 1. 報告書第三章，討論溴化阻燃劑內容較為薄弱，引用多屬塑化劑研究，建議加強文獻與論述。 2. 報告書誤植處，如表 2-1 之分「級」，表 2-7 表頭重覆及備註項次誤繕，P.22 圖面模糊未編號，建請一併修正。 3. 附錄一.2.阻燃劑含溴化阻燃劑說明，應為第二章第二節，請釐清修正。 	感謝委員意見將修正果報告
中華民國全國建築師公會(龔建築師文信):	建議說明溴化阻燃劑目前建材使用現況及危害性。	溴化阻燃劑因防火性能常添加於防火材料,相關使用現況及壞建如第三節
臺灣省建材商業同	1. 鑑於目前綠建材標章之產品，相當比例來自中國大	感謝委員意見將修正果報告

<p>業公會(王總幹事榮吉):</p>	<p>陸，建議後續新增中國大陸及日本相關溴化阻燃劑管制現況及調查。並請台灣建築中心提供完整資料及資訊，提供本研究參考應用。</p> <p>2. 相關研擬未來推動建議，建議擬分短、中、長期推動規劃。</p>	
<p>羅組長時麒:</p>	<p>1. 建議蒐集國內何種建材可能添加阻燃劑，以及是否有國際已認定之建材添加阻燃劑之資料，透過建材產品類別進一步調查篩檢，俾本研究調查結果具意義。</p> <p>2. 有關溴化阻燃劑篩檢，建議蒐集及分析我國進出口資料，以驗證國內是否使用溴化阻燃劑及其流向。</p>	<p>1. 有關溴化阻燃劑我國進出口資料，已透過進行行政院環境保護署毒物及化學管理局之毒性化學物質公開資訊收集</p>
<p>王副所長安強</p>	<p>1. 本研究以 669 件綠建材標章，調查其中 496 件健康綠建材標章，有關其他類別 173 件標章之溴化阻燃劑如何處理？建請補充說明。</p> <p>2. 研究內容提及建立本土條件之溴化阻燃劑測定標準方法，並進行溴化阻燃劑風險評估計算，兩者相關性及連結性應與予說明。</p>	<p>1 本年度調查篩選作業，因綠建材標章數量龐大，及資訊安全等作業，僅能現場查核及篩選，極度耗時，致 173 件其他類別綠建材標章材料，已提出建議納入後續研究辦理</p>

附錄三、期末審查會議紀錄及回應

項目	審查意見	意見回覆
江教授哲銘：	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究已完成國內外綠建材含溴化阻燃劑半揮發性有機化合物之文獻及其管制現況調查。 2. 針對健康綠建材標章產品之溴化阻燃劑有詳細調查，利於國內基準之建立。另對於室內環境之健康效益評估亦有詳盡分析，利於未來推動建議方案。 3. 研究成果與預期成果尚無不符。 4. 建議修正研究報告內文編排方式及誤植部分。 	感謝委員意見將修正果報告
陳委員伯勳：	<ol style="list-style-type: none"> 1. 報告書整體架構邏輯性較不足，建議加強架構部分及章節敘述方式進行整理，以利閱讀。另圖表建議加註資料來源，第三章、第四章及第五章之標題與最上方標頭不一致，摘要之預期成果3文字未完整，建議一併修正。 2. 建議對於本文有關之化 	感謝委員意見將修正果報告

	<p>合物及相關英文名詞，依英文字母詳列於報告書 P.8 之表第四章、俾利閱讀參考。</p> <p>3. 報告書 P.16 敘述之圖 1，並無呈現於報告書，報告書 P.25 第四章敘述綜合各國及我國溴化阻燃劑管制項目等文字，建議補充推論此項結論之相關佐證資料，報告書整體呈現及完整性尚需強化。另第二章呈現「地毯」環保標章，所列各項塑化劑管制限值係其規格標準草案，惟章節內容並未清楚說明，建議文字需相關連結。</p>	
<p>陸 建 築 師 建 華：</p>	<p>若能於本研究範圍內，對各種有害物質，彙整清單總表（包括濃度值多少以上，對人體影響），說明這些物質對人體危害之醫學研究成果，在未來推動應用會有較大助益。</p>	<p>感謝委員意見將修正果報告</p>
<p>臺 灣 省 建 材 商 業 同 業 公 會 (王 榮 總 幹 事 吉)：</p>	<p>1. 本研究對文獻及管制現況調查可供參考。</p> <p>2. 未來國內健康綠建材標章產品之溴化阻燃劑調查，擬更有深入調查分</p>	<p>感謝委員意見將修正果報告</p>

	析及評估。	
羅組長時麒：	<ol style="list-style-type: none"> 1. 有關本研究探討之溴化阻燃劑係歸類半揮發性有機化合物質，報告書中許多生硬化學專有名詞，建議敘述清楚。 2. 對於國內、外溴化阻燃劑管制現況，除我國行政院環境保護署之環保標章、歐盟及美國華盛頓之無毒兒童家庭法之外，建議蒐集包括美國 LEED 等，國際綠建築、綠建材之溴化阻燃劑相關規範。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 化學專有名詞，將詳細敘述說明，及相關英文縮寫，將完整彙表供查詢閱讀。 2.
王副所長安強	<ol style="list-style-type: none"> 1. 報告書有關健康綠建材溴化阻燃劑篩選調查完成之案件數量，與投影片不一致，請說明。 2. 針對溴化阻燃劑試驗方法，有關本土化試驗之溫、濕度條件設定依據為何？建議補充說明。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本研究健康綠建材標章之溴化阻燃劑篩檢共完成 496 件調查，報告呈現為前期數量，將依委員意見修正。 2. 另本土化試驗溫、濕度條件，係考量臺灣高溫高濕亞熱帶氣候，設定之依據將補充於成果報告。

附錄四 毒性化學物質中多溴二苯醚檢測方法-氣相層析質譜儀法

NIEA T506.30B

一、方法概要

本方法使用氣相層析質譜儀（GC/MS）分析液態與固態的「毒性化學物質」或「毒性有害事業廢棄物」（註1）中十溴二苯醚（Decabromobiphenyl ether, CAS. NO: 1163-19-5）、八溴二苯醚（Octabromobiphenyl ether, CAS. NO: 32536-52-0）及五溴二苯醚（Pentabromobiphenyl ether, CAS. NO: 32534-81-9）（註2），樣品依「毒性化學物質中有機化合物檢測方法—樣品製備法（NIEA T704）」進行樣品製備後，以GC/MS檢測十溴二苯醚、八溴二苯醚及五溴二苯醚之濃度。

二、適用範圍

本方法適用於檢測液態與固態的「毒性化學物質」或「毒性有害事業廢棄物」中十溴二苯醚、八溴二苯醚及五溴二苯醚。

三、干擾

(一) 試藥、溶劑或玻璃器皿所含之雜質，可能污染並干擾分析結果，為確保試藥或溶劑之適用性，必須執行空白試驗。玻璃器皿使用完畢，應立即以最後使用之溶劑淋洗，然後以清潔劑清洗，以水沖洗，繼之以去離子蒸餾水淋洗、晾乾，再以二氯甲烷淋洗，晾乾後以鋁箔紙封口，放置於乾淨地點，避免污染。

(二) 處理分析數據時，必須對空白、樣品及重複分析所得之原始數據仔細評估，確認樣品在前處理過程中，並未遭到污染，若發現可能有污染的情況，必須執行修正措施以解決污染的問題。

(三) 樣品中之干擾物隨來源之不同而異。若被溶解或稀釋後的樣品，因干擾而無法分析時，樣品稀釋液需先淨化。可參考矽酸鎂淨化法（NIEA M182）或其他公告方法進行。

四、設備及材料

(一) 氣相層析／質譜儀 (GC/MS) 系統

氣相層析儀：具升溫程式系統及進樣分流裝置

質譜儀可選擇符合下列規範之一：

1、具每秒掃瞄 35 至 800 amu 及使用 70 電子伏特能量撞擊的質譜儀，建議使用 decafluorotriphenyl phosphine (DFTPP) 作為質譜儀校正標準溶液，注入質譜儀後可產生符合表一質量強度規範，且注射 5 至 50 ng 十溴二苯醚標準品，可產生符合表二之質量強度規範。

2、具每秒掃瞄 35 至 1000 amu 及使用 70 電子伏特能量撞擊的質譜儀，建議使用 decafluorotriphenyl phosphine (DFTPP) 作為質譜儀校正標準溶液，注入質譜儀後可產生符合表一質量強度規範，且注射 5 至 50 ng 十溴二苯醚標準品，可產生符合表二及表三質量強度規範。

建議層析管柱可選用下列之一或同級品：

1、UAPBDE-15M-0.05F，15 m (長度) × 0.25 mm (內徑)；0.05 μm (膜厚)；100% dimethylpolysiloxane for high temperature use 的毛細管柱。

2、DB-5HT，30 m (長度) × 0.25 mm (內徑)；0.1 μm (膜厚)；(5%-Phenyl)-methylpolysiloxane 的毛細管柱。

(二) 氦氣 (He)：純度為 99.999% 以上，並需使用去水及去氧裝置淨化。

(三) 數據處理：氣相層析質譜儀應有檢測數據處理及定量的軟體。

(四) 微量注射針：5 μL，10 μL。

(五) 定量瓶：褐色瓶，適當大小並具磨砂口瓶塞。

(六) 分析天平：可精秤至 0.0001 g。

五、試劑

(一) 甲苯：殘量級。

(二) 正壬烷：殘量級。

(三) 內標準溶液：購買或配製含 perylene - d₁₂ 的內標準溶液，其濃度應在 2,000 至 4,000 mg/L 之間。

(四) 十溴二苯醚標準品：CAS. NO: 1163-19-5，IUPAC Name 1, 2, 3, 4, 5-pentabromo-6-(2, 3, 4, 5, 6 - pentabromophenoxy) benzene，同系物編號 BDE209。

(五) 八溴二苯醚標準品：CAS. NO: 32536-52-0，IUPAC Name 1, 2, 3, 4, 5-pentabromo-6-(2, 4, 5 - tribromophenoxy) benzene，同系物編號 BDE203。化學結構如圖一所示。

(六) 五溴二苯醚標準品：CAS. NO: 32534-81-9，IUPAC Name 1, 2, 4-tribromo-5-(2, 4 -dibromophenoxy) benzene，同系物編號 BDE99。化學結構如圖二所示。

(七) 質譜儀參數校正標準溶液：decafluorotriphenyl phosphine (DFTPP) 溶液。可配製 5,000 µg/mL 的 DFTPP 溶液每次注射 50ng 以調整質譜儀參數，使用較靈敏儀器則可降低濃度。

(八) 檢量線標準溶液：選購純度 98% 以上之標準品（內含單一 Isomer），以正壬烷配製適當濃度之儲備標準溶液。製作檢量線時，以儲備標準溶液，混合置於量瓶中，以正壬烷配製 5 種以上不同濃度之標準溶液，並添加適量內標準品。本方法分析建議檢量線濃度範圍為濃度介於 10 至 250 µg/mL 之間。

(九) 檢量線查核標準溶液：以正壬烷配製檢量線濃度範圍之所有待測物標準品之標準溶液。上述所有以有機溶劑配製之標準溶液，均應保存於附鐵氟龍墊片螺旋蓋棕色瓶中，並防止光線照射，同時定期查核其濃度之變化情況。

六、採樣及保存

(一) 參照「毒性化學物質中有機化合物檢測方法—樣品製備法(NIEA T704)」第六節。

(二) 安全注意事項：採樣及分類人員在實地作業前，應參照待測物之物質安全資料表 (material safety data sheet, MSDS)，再確認安全防護及作業步驟。

(三) 液態樣品收集於經清洗乾淨之褐色廣口玻璃樣品瓶，常溫保存，送至實驗室處理。

(四) 樣品應於完成萃取後 45 天內完成分析，完成製備後至完成分析期間，應將萃取液妥為存放，避免破損。

(五) 本方法所使用各項藥品之毒性或致癌性並未完全確定，故每一化合物均應被視為潛在危害健康之危險物質，儘量減少暴露於其中。實驗室須具備方法中所使用之化學藥品相關之安全處理資料，物質安全資料表應置於分析人員易取得之處。分析人員須注意避免直接接觸、吸入和攝入受十溴二苯醚、八溴二苯醚及五溴二苯醚污染之樣品。人員需穿戴實驗衣、安全眼鏡及拋棄式無塵手套，配戴活性碳口罩，並在密閉區如抽氣櫃或手套箱中操作，以避免吸入粉塵及逸散氣體。

七、步驟

(一) 建議氣相層析質譜儀條件如下：

氣相層析儀操作條件：

- 1、 注射口：300°C。
- 2、 載流氣體：氦氣，約 1 mL/min。
- 3、 管柱溫度：15 m UAPBDE-15M-0.05F，管柱升溫程式：160°C (3 min) 以 10°C/min 升溫至 300°C (10 min)。
- 4、 分流比：1:10

質譜儀操作條件：

- 1、 離子化模式：電子撞擊式 (EI; 70 eV)。
- 2、 離子源溫度：300°C。
- 3、 監測模式：掃描(scan)或選擇離子監測(selected ion monitoring, SIM)。十溴二苯醚、八溴二苯醚及五溴二苯醚之監測離子如表四及表五所列。
- 4、 掃瞄速率：> 1 次/秒

(二) 檢量線製作

1、 適當調整層析質譜儀各項參數，注射十溴二苯醚標準品，依質譜儀質量檢測範圍，所得質譜必須符合表二或表三規範，才能進行檢量線的建立及樣品分析工作，在分析樣品過程中，至少每隔 12 小時，須重複此步驟一次。

2、 確認質譜儀調整校正合乎要求後，將至少 5 種以上不同濃度的檢量線標準溶液及固定濃度之內標準品溶液，注入氣相層析質譜儀分析。

3、 分析完成後，依照表四或表五，所列化合物定量離子及其對應內標準品，以下列公式計算各化合物，在五種不同濃度中的感應因子（Response factor, RF）。

$$RF = \frac{A_x \times C_{is}}{A_{is} \times C_x}$$

其中

A_x ：化合物定量離子尖峰面積

A_{is} ：對應之內標準品定量離子尖峰面積

C_x ：化合物在溶液中的濃度（ $\mu\text{g/mL}$ ）

C_{is} ：內標準品在溶液中的濃度（ $\mu\text{g/mL}$ ）

由上述求得之 RF 再算出每一化合物的平均感應因子（ \overline{RF} ）、RF 值標準偏差（SD）及相對標準偏差（RSD%），其計算如下：

$$\overline{RF} = \frac{\sum_{i=1}^n RF_i}{n}$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (RF_i - \overline{RF})^2}{n-1}}$$

$$RSD\% = \frac{SD}{\overline{RF}} \times 100\%$$

RSD% 必須 $\leq 20\%$ ，才能視為一有效檢量線。如果無法達到上述需求，則應檢查氣相層析質譜儀，找出問題來源，作適當修正後，重新建立檢量線，直到符合要求為止。

4、 檢量線製備完成即應以第二來源標準品配製接近檢量線中點濃度之標準溶液或獨立配製之標準溶液，進行分析確認，其分析結果相對誤差值應在 $\pm 20\%$ 以內。

(三) 檢量線查核

確認十溴二苯醚標準品質譜符合表二或表三規範後，以檢量線查核標準溶液確認檢量線的適用性，其方法是將檢量線中間濃度標準品注入氣相層析質譜儀，以上述方法計算待測化合物的感應因子（RF），再以下列公式計算其相對誤差值（%）。

$$\text{相對誤差值(\%)} = \frac{RF - \overline{RF}}{\overline{RF}} \times 100\%$$

其中 \overline{RF} 為化合物在檢量線建立時的平均感應因子

RF 為化合物在查核分析時的感應因子

(四) 樣品分析

1、量取適量經「毒性化學物質中有機化合物檢測方法—樣品製備法（NIEA T704）」製備後的樣品溶液，加入適量內標準化合物，使其濃度維持約 40 $\mu\text{g/mL}$ ，使樣品和檢量線標準品中內標準品濃度相同。

2、使用與檢量線建立時相同的儀器條件來分析樣品，建議由大稀釋倍數樣品先分析。

3、以上述的方法來定性及計算待測物的濃度，如果樣品製備溶液中待測物濃度超出檢量線範圍，則必須將樣品稀釋，以使溶液濃度落在檢量線範圍內最高濃度 20%~80% 為佳。

4、若樣品中含干擾物，致使化合物無法以原設定之定量離子定量時，應以其他較強且不受干擾之次要離子重新計算其感應因子，再加以定量；若樣品所含物質嚴重干擾分析，造成待測物無法定性與定量時，則樣品需經適當淨化步驟以去除干擾物，再重新分析。淨化方法可參考矽酸鎂淨化法（NIEA M182）、多溴二苯醚檢測方法—氣相層析／高解析質譜法（NIEA M802）或其他公告方法淨化，樣品分析時內標準品回收率須介於 50%~150%，方可繼續進行檢驗工作。

八、結果處理

(一) 定性分析

樣品中待測物的認定可經由比較其相對滯留時間和質譜後確認。標準質譜應該以使用者的質譜儀掃描而得，或是從檢量線標準品的分析取得，以作為樣

品定性的依據。圖三、圖四及圖五為單一實驗室對十溴二苯醚、八溴二苯醚標準溶液及五溴二苯醚標準溶液之總離子層析圖。八溴二苯醚及五溴二苯醚須先以質譜資訊判定其含溴數，才能確定檢量線製作。樣品中待測物確認的取捨標準如下：

1、 樣品中待測物的相對滯留時間（Relative retention time, RRT）必須在標準品 RRT 的 ± 0.06 單位之內，滯留時間則應以 12 小時內和樣品分析同一批次的檢量線查核分析為基準來比較。若樣品中有干擾物質存在，以致無法由總離子層析圖中得到待測物正確的滯留時間時，必須以待測物質中較為特殊的質量數，作一離子層析圖譜，並由其中得出該待測物的滯留時間。相對滯留時間的計算方式如下：

$$RRT = \frac{RT_x}{RT_{is}}$$

其中

RT_x ：待測物滯留時間

RT_{is} ：相對應內標準品滯留時間

2、 以樣品之質譜判別樣品之含溴數，判別方式參照待測物之定性離子相對強度需符合表四（適用於最大質量數檢測範圍 800 amu 之質譜儀）或表五（適用於最大質量數檢測範圍 1000 amu 之質譜儀）的 $\pm 20\%$ 之間。

(二) 定量分析

1、 當待測物定性確認後，該化合物必須依據其定量離子層析圖，以內標準品檢量法進行定量。

2、 計算樣品中每一個待測物濃度 C (%) 如下：

$$C(\%) = \frac{A_s \times C_{is} \times V \times D_f}{A_{is} \times RF \times W \times 10^4} \times 100\%$$

其中

A_s = 待測物之定量離子尖峰面積

C_{is} = 注入內標準品濃度 ($\mu\text{g/mL}$)

V = 樣品定量體積 (mL)

D_f = 稀釋倍數

A_{is} = 內標準品的定量離子尖峰面積

\overline{RF} = 待測物的平均感應因子

W = 樣品取樣量 (g)

九、品質管制

(一) 空白樣品，須進行與真實樣品相同的處理及分析步驟。其值應小於檢量線最低濃度 1/10。

(二) 於進行任何樣品之分析步驟前，分析人員須進行試劑空白分析，以確認所有玻璃器皿及試劑中無干擾。執行每批樣品分析時，須同時進行一空白樣品分析，以確認實驗室內無例行的污染。

(三) 所有品質管制數據，併樣品檢測數據備查。

(四) 檢量線至少包含 5 個不同濃度標準液。感應因子之相對標準偏差(RSD%) 應小於或等於 20%。

(五) 每 12 小時，必須以中間濃度標準溶液查核檢量線，若其相對誤差值在 $\pm 20\%$ 以內，則可使用原檢量線分析，若超過 $\pm 20\%$ ，則應重新製備檢量線。

(六) 每批樣品 (至多 20 個樣品) 分析時，必須執行一個空白樣品分析及一個重複樣品分析。

十、精密度及準確度

表六為單一實驗室，十溴二苯醚以真實樣品、八溴二苯醚及五溴二苯醚以基質添加方式，測試所得的準確度及精密度資料。

十一、參考資料

(一) 「研訂毒性化學物質中有機物質前處理方法及有機物質檢測方法」，EPA-95-1401-02-02，行政院環境保護署環境檢驗所，中華民國 95 年 12 月。

(二) 「研訂毒性化學物質中有機物質前處理方法及有機物質檢測方法（第二年）」，EPA-96-1401-02-01，行政院環境保護署環境檢驗所，中華民國 96 年 12 月。

(三) 行政院環境保護署，事業廢棄物檢測方法總則（NIEA R101.00C），中華民國 88 年 2 月。

(四) 行政院環境保護署，半揮發性有機物檢測方法—毛細管柱氣相層析質譜儀法（NIEA M731.00C），中華民國 91 年 3 月。

(五) 行政院環境保護署，毒性化學物質中有機化合物檢測方法—樣品製備法（NIEA T704.20B），中華民國 96 年 10 月。

(六) 行政院環境保護署，毒性化學物質中有機化合物檢測方法—氣相層析質譜儀法（NIEA T706.20B），中華民國 96 年 10 月。

(七) 行政院環境保護署，矽酸鎂淨化法（NIEA M182.00C），中華民國 91 年 3 月。

(八) 行政院環境保護署，多溴二苯醚檢測方法—氣相層析／高解析質譜法（NIEA M802.00B），中華民國 96 年 5 月。

(九) USEPA, Draft EPA Method-1614: Brominated diphenyl ethers in water, soil, sediment, and tissue by HRGC/HRMS, August 2003, Draft.

(十) Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences 2389. A comprehensive multiresidue ultra-trace analytical method, based on HRGC/HRMS, for the determination of PCDDs, PCDFs, PCBs, PPBDEs, and organochlorine pesticides in six different environmental matrices. 2001.

(十一) USEPA, SW-846, Method 8270C, Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/ Mass Spectrometry (GC/MS): Capillary Column Technique, 1995.

(十二) USEPA, Contract Laboratory Program, Statement of Work for Organics Analysis, OLM3.0, 1995.

註 1：本方法所稱之『毒性化學物質』或『毒性有害事業廢棄物』，係指依環保法規所定義者。

註 2：本方法所稱之十溴二苯醚、八溴二苯醚及五溴二苯醚，係指依環保法規所列管毒性化學物質定義者。

表一 DFTPP 質量強度要求標準

質量數	強度標準
51	質量 198 的 30~60%
68	小於質量 69 的 2%
70	小於質量 69 的 2%
127	質量 198 的 40~60%
197	小於質量 198 的 1%
198	最大尖峰，100%相對強度
199	質量 198 的 5~9%
275	質量 198 的 10~30%
365	大於質量 198 的
441	存在但小於質量 443
442	大於質量 198 的 40%
443	質量 442 的 17~23%

表二

以十溴二苯醚標準品之六溴離子群 (hexabromo ion group) 調校質譜儀之質量強度要求標準 (適用於最大質量數檢測範圍 800 amu 之質譜儀)

質量數 (註)	強度標準
635.9 (H+2)	質量 639.9 的 37.1 % 至 23.1 % 之間
637.9 (H+4)	質量 639.9 的 79.3 % 至 70.9 % 之間
639.9 (H+6)	最大尖峰，100% 相對強度
641.9 (H+8)	質量 639.9 的 79.3 % 至 70.9 % 之間
643.9 (H+10)	質量 639.9 的 37.1 % 至 23.1 % 之間

註：質量數標準為 ± 0.3 amu

表三

以十溴二苯醚標準品之十溴離子群 (molecular ion group) 調校質譜儀之強度要求標準 (適用於最大質量數檢測範圍 1000 amu 以上之質譜儀)

質量數 (註)	強度標準
955.8 (M+8)	質量 959.8 的 50.9 % 至 44.5 % 之間
957.8 (M+10)	質量 959.8 的 85.7 % 至 82.9 % 之間
959.8 (M+12)	最大尖峰, 100% 相對強度
961.8 (M+14)	質量 959.8 的 85.7 % 至 82.9 % 之間
963.8 (M+16)	質量 959.8 的 50.9 % 至 44.5 % 之間

註：質量數標準為 ± 0.3 amu

表四

以十溴二苯醚之六溴離子群 (hexabromo ion group) 調校質譜儀, 適用於最大質量數檢測範圍 800 amu 之質譜儀, 其十溴二苯醚、八溴二苯醚及五溴二苯醚之主要離子與次要離子比值表

列管 編號	序號	化合物名稱	主要 離子	次要離子 1 強度 (%)	次要離子 2 強度 (%)	次要離子 3 強度 (%)
		perylene-d ₁₂ (I.S.)	264	260	265	-----
091	01	十溴二苯醚	639.9	637.9 (75.1%)	641.9 (75.0%)	643.9 (30.2%)
091	02	八溴二苯醚	641.9	639.9 (75.1%)	643.9 (75.0%)	645.9 (30.2%)
091	03	五溴二苯醚	563.9	565.9 (99.9%)	561.9 (50.1%)	567.9 (50.1%)

表五

以十溴二苯醚之十溴離子群 (molecular ion group) 調校質譜儀, 適用於最大質量數檢測範圍 1000 amu 之質譜儀, 其十溴二苯醚、八溴二苯醚及五溴二苯醚之主要離子與次要離子比值表

列管 編號	序號	化合物名稱	主要 離子	次要離子 1 強度 (%)	次要離子 2 強度 (%)	次要離子 3 強度 (%)
		perylene-d ₁₂ (I.S.)	264	260	265	-----
091	01	十溴二苯醚	959.8	957.8 (83.4%)	961.8 (83.4%)	963.8 (47.7%)

091	02	八溴二苯醚	801.9	799.9 (80.1%)	803.9 (80.0%)	805.9 (40.1%)
091	03	五溴二苯醚	563.9	565.9 (99.9%)	561.9 (50.1%)	567.9 (50.1%)

表六

列管編號 091-01 以真實樣品執行 3 種三濃度 (10 µg/mL, 100 µg/mL, 250 µg/mL) 7 次重複分析之準確度及精密度 (註) 結果

十溴二苯醚	10 µg/mL	100 µg/mL	250 µg/mL
平均值 (µg/mL)	9.09	98.95	251.88
標準偏差 (µg/mL)	0.33	2.40	6.26
準確度 ^A (%)	90.9% ± 7.3%	98.9% ± 4.9%	100.8% ± 5.0%
精密度 ^B (%)	7.3%	4.9%	5.0%
八溴二苯醚	10 µg/mL	100 µg/mL	250 µg/mL
平均值 (µg/mL)	9.65	100.13	252.26
標準偏差 (µg/mL)	0.35	5.70	4.96
準確度 ^A (%)	96.5% ± 7.3%	100.1% ± 11.4%	100.9% ± 3.9%
精密度 ^B (%)	7.3%	11.4%	3.9%
五溴二苯醚	10 µg/mL	100 µg/mL	250 µg/mL
平均值 (µg/mL)	9.83	104.55	247.53
標準偏差 (µg/mL)	0.29	3.43	5.63
準確度 ^A (%)	98.3% ± 5.9%	104.5% ± 6.6%	99.0% ± 4.5%
精密度 ^B (%)	5.9%	6.6%	4.5%

註：準確度及精密度之計算公式如下所示。

$$A: \text{準確度} \% = \frac{\text{平均值}}{\text{實際配製濃度}} \times 100\% \pm 2 \times \frac{\text{標準差}}{\text{平均值}} \times 100\%$$

$$B: \text{精密度} \% = \frac{2 \times \text{標準差}}{\text{平均值}} \times 100\%$$

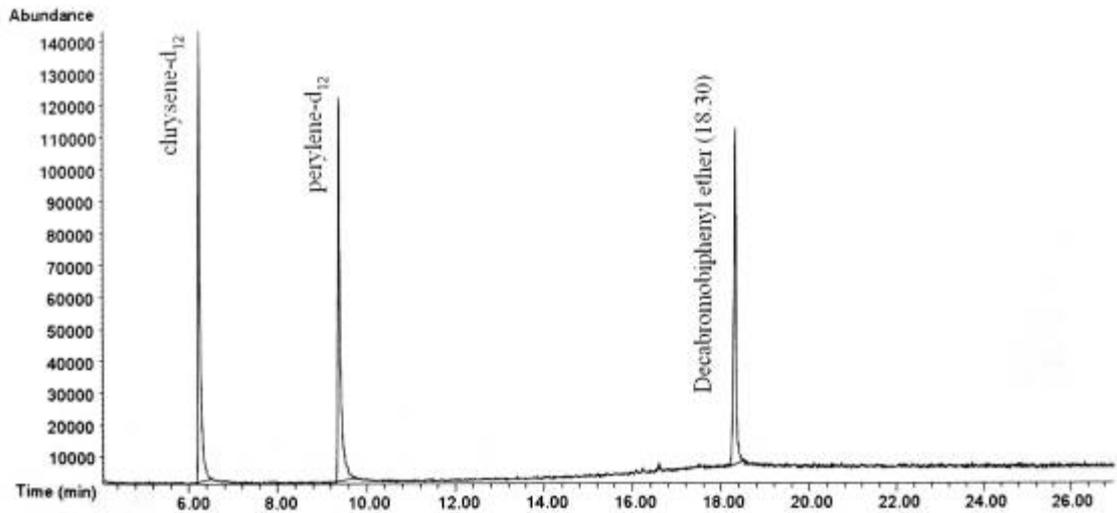
附錄四、毒性化學物質中多溴二苯醚檢測方法-氣相層析質譜儀法



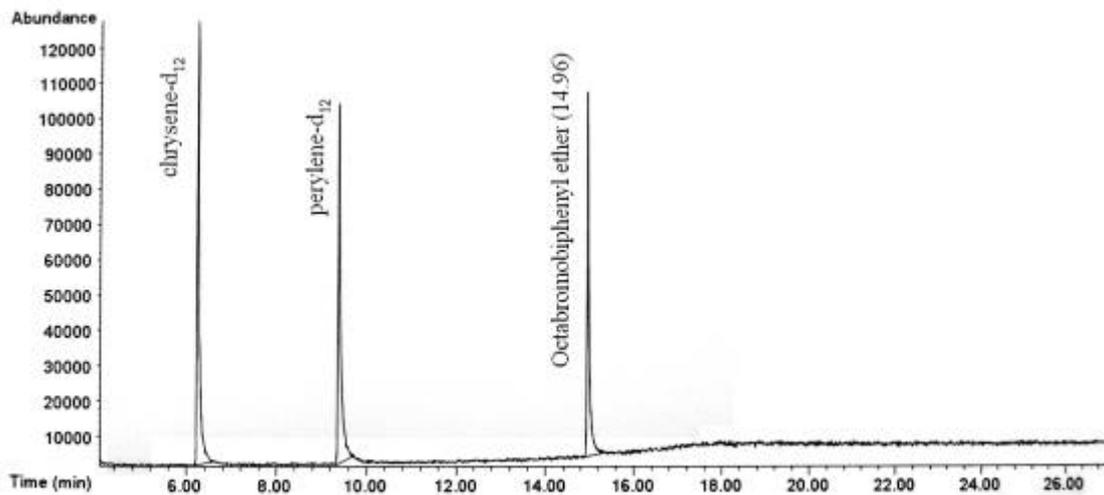
圖一 1, 2, 3, 4, 5-pentabromo-6-(2, 4, 5-tribromophenoxy) benzene 之化學結構



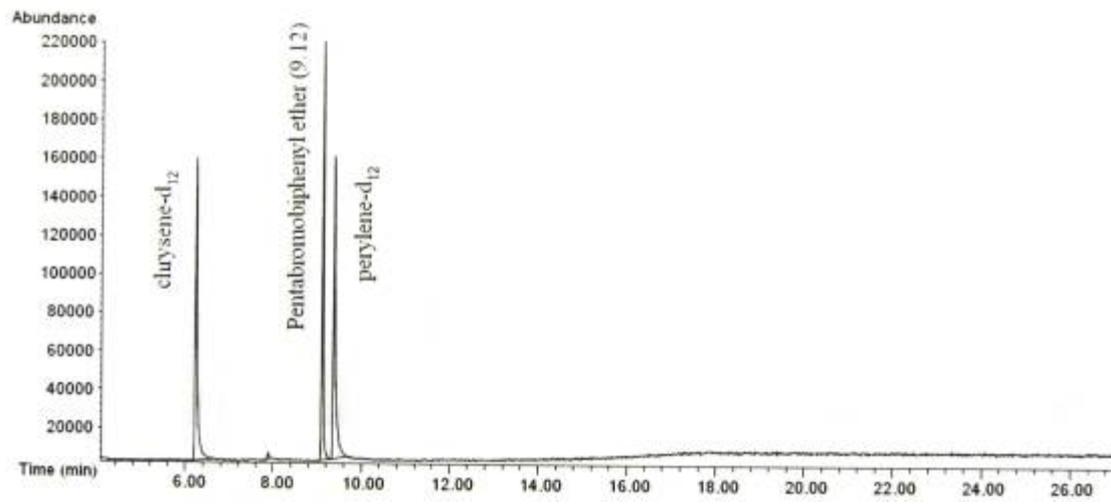
圖二 1, 2, 4-tribromo-5-(2, 4-dibromophenoxy) benzene 之化學結構



圖三 採自工業用原料十溴二苯醚稀釋 5000 倍之總離子層析圖



圖四 以標準品添加於基質（甲苯）方式進行驗證之八溴二苯醚（濃度為 200 $\mu\text{g/mL}$ ）之總離子層析圖



圖五 以標準品添加於基質（甲苯）方式進行驗證之五溴二苯醚（濃度為 200 µg/mL）之總離子層析圖

參考書目

中文部分

1. 羅時麒，「綠建材標章產品含環境荷爾蒙物質調查之研究(3/3)」，內政部建築研究所研究成果報告，2012。
2. CNS15200-1-1，「塗料一般試驗方法—第 1—1 部：通則—一般試驗（條件與方法）」，經濟部中央標準局，2007 年。
3. 江哲銘、邵文政，「擴大健康綠建材性能與效益評估計畫」，內政部建築研究所，2009 年。
4. 陳振誠，台灣本土氣候下換氣率影響建材有機物質逸散特性之研究-以合板及清漆為例，國立成功大學建築研究所碩士論文，2004 年
5. 林霧霆，濕式建材中總揮發性有機化合物法定毒性總類之調查研究，內政部建築研究所研究成果報告，2014。
6. 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 年
7. 林君穎，環境因子對室內建材 VOCs 及 Formaldehyde 逸散率之影響研究，國立成功大學建築研究所碩士論文，2004 年。

外文部分

1. ISO-16000-25 I Indoor air – Part 25: Determination of the emission of semi-volatile organic compounds by building products --Micro-chamber method (2011).
2. JIS A 1904 建築材料の準揮發性有機化合物（SVOC）の放散測定方法—マイクロチャンバー法(2015)
3. Improved Method for Measuring and Characterizing Phthalate Emissions from Building Materials and Its Application to Exposure Assessment. *Environmental Science & Technology*. (48), (2014) .
4. Detection of 34 plasticizers and 25 flame retardants in indoor air from houses in Sapporo, Japan. *Science of the Total Environment*. (37) 2014