

利用光聲法偵測揮發性有機物逸散之研究－以甲醛為例

I、前言

現代建築設計多為高氣密性建築物，造成了室內通風不良，就生活中各項活動時間及地點分布而言，大多數人每天在不同室內地點及居處活動的時間高達 90% 以上，因此相對地突顯出室內環境中空氣品質之重要性。建築物室內裝修使用之建材，如塗料、合板、地板等建材是揮發性有機物質 (volatile organic compounds-VOCs) 主要來源，而台灣位處亞熱帶及熱帶區，其氣候終年高溫、高溼，及住屋過度的裝修，造成室內環境有揮發性有機物質（如甲醛）的致命風險高於國外標準 2~17 倍。研究如何偵測及分析室內揮發性有機物質的種類與濃度，特別是對人體健康有潛在危害的有機物質。

現在常用的儀器分析方法，因其操作環境及人員限制條件多所要求下，多只為實驗室內量測之用。為室內揮發性有機物質的研究及建立更有效率的分析方法，提供可即時、經濟、可攜帶、精準之揮發性有機物質分析系統，使可隨時了解室內揮發性有機物質的狀況是必要的。研究以光聲法(photoacoustic)分析建材所逸散之揮發性有機物質，並探討光聲法對建材中揮發性有機物分析之適用性，進而利用光聲法分析建材之逸散特性，特別針對室內環境改變時空氣品質的影響程度，並供未來提出改善策略來降低室內之 VOCs 濃度之基礎，用光聲法分析及時室內之空氣品質分析評估，以滿足未來室內健康與舒適發展的需求、室內數位化設計及學術研究之參考。

II、研究方法

2-1 光聲法理論：

光聲法是電磁波（光）與氣體分子相互作用後所吸收所產生的振動，以聲音的方式表現，利用麥克風量測其聲壓的變化，因此它是光譜技術與聲熱技術的組合（圖 1）。光聲法是

氣體分子會吸收特定頻率的電磁波（光），使得氣體分子本身結構產生共振，此分子之振動及相互摩擦，進而產生熱能造成其週遭空氣壓力的變化，這種壓力變化形成聲波，在利用麥克風加以量測。

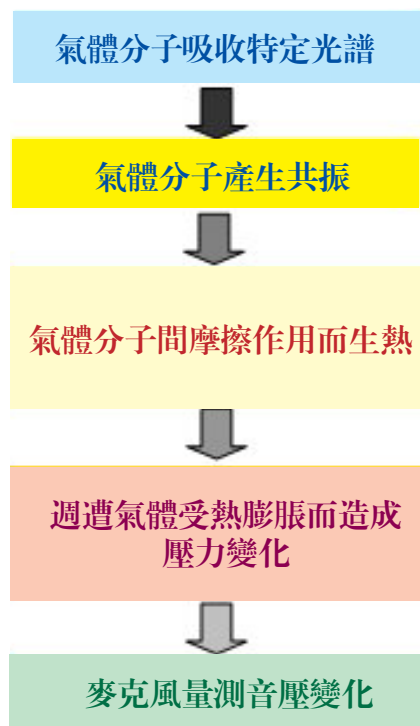


圖 1、光聲法量測原理

因此，光聲法就是利用分子吸收特定光頻率後，產生音壓 (sound pressure) 變化，而此聲音訊號之強弱、雷射光吸收條件及樣品濃度有關，並可應用於分析氣體的種類與濃度。

$$\text{Sound pressure level} \propto \frac{\sigma \cdot \gamma \cdot C_p \cdot \gamma \cdot 1 \cdot m I_0}{\gamma_a}$$

σ = 氣體分子之熱傳導係數

C_p 、 C_v = 壓力、體積之熱傳導係數

m = 氣體濃度

I_0 = 光源強度

ν_a = 光源產生頻率

木材科學與設計系
木材科學優質綠環境研究室
藍浩繁、龍 □、黃耀富

III、材料與設備

設備：

為光聲法實驗量測設備架構與流程(如圖 2)，可分為三部分：雷射光源 (optical parametric oscillation-OPO)、開放式光聲感測器 (open photoacoustic cell)、乾燥皿 (desiccator) 及訊號分析系統 (lock-in amplifier analysis system)。

開放式光聲感測器 (multi-pass acoustically open photoacoustic detector-MOPAD)：

MOPAD 為由二片音反射鏡，一為平面鏡，另一為拋物面鏡相互平行(圖 3)，並在二面鏡上鍍上金屬膜，雷射光在此二面鏡來回振盪，利用多反射之光路徑將音能聚焦於拋物面中心即麥克風位置。

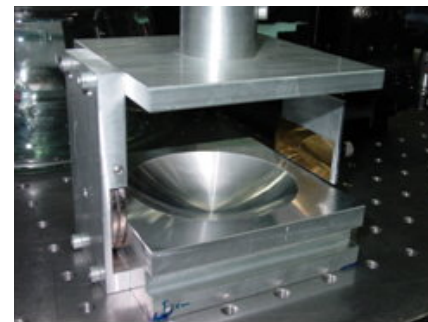


圖 3、為光聲法實驗之開放式光聲感測器量測設備

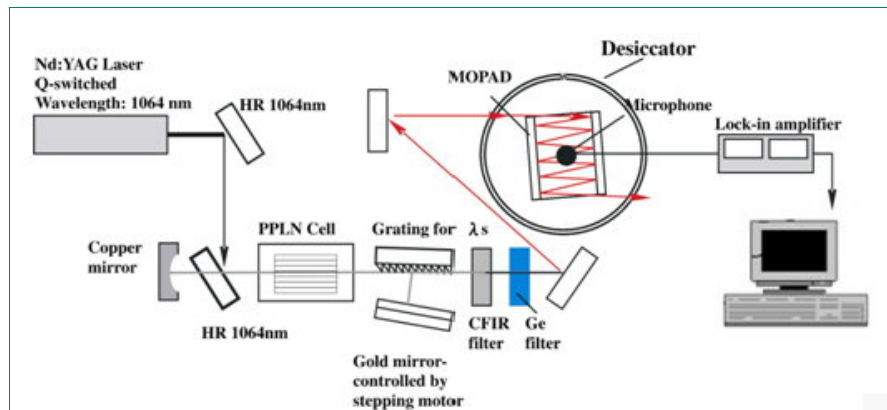


圖 2、光聲法實驗量測設備架構與流程

IV、結果

光聲法量測之光譜的頻寬為 $2796\text{ cm}^{-1} \sim 2806\text{ cm}^{-1}$ ，圖 4 示甲醛與水分子之頻譜圖中甲醛分子有 3 個特徵頻率，分別為 2801.5 cm^{-1} 、 2802.9 cm^{-1} 及 2805 cm^{-1} ，以甲醛的第 3 個特徵峰值頻率 2805 cm^{-1} 不會受水汽影響，因此可以由特徵頻譜確認在此光聲量測上對甲醛做定性分析，作為選擇量測甲醛濃度的重要依據標準。

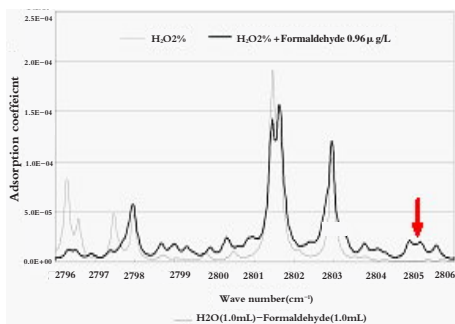


圖 4、光聲量測頻率 $2796\text{ cm}^{-1} \sim 2806\text{ cm}^{-1}$ 之甲醛與背景環境頻譜圖

依據之甲醛採樣分析方法在製作上分別配製 7 個不同濃度 $0.05 \sim 1.5\text{ mg/mL}$ 之甲醛標準溶液建立濃度檢量線(圖 5)。

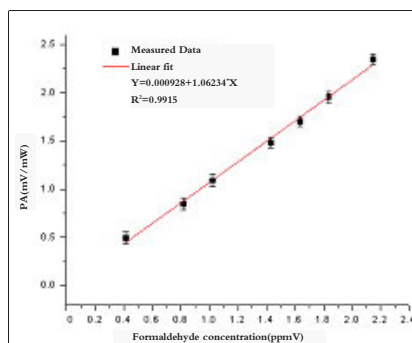
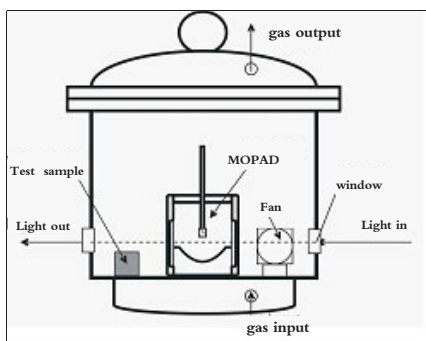


圖 5、光聲法量測在小型環境控制箱內甲醛定量分析之濃度檢量線。

木質材料之甲醛釋出分析

進一步將光聲法使用在一般木質材料的甲醛逸散濃度量測上。圖 6 示單板層積材與中密度纖維板兩種試材逸散甲醛之頻譜圖，甲醛逸散自 LVL、MDF 兩種試材，LVL 由光聲法量測為 9.2 mg/L 與 MDF 為 0.185 mg/L 。

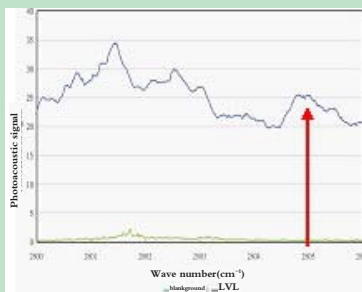


圖 6、木質材料試樣游離甲醛量測之玻璃乾燥皿 (a) 單板層積材 (LVL) (b) 中密度纖維板 (MDF)

竹炭材之甲醛吸附分析

光聲法即時監測 500°C 、 700°C 和 900°C 竹炭的吸附歷程(圖 7)。由光聲法可深入探討氣體分子通過竹炭的微孔(Micropore)或中孔(Macropores)的擴散到達吸附位置，與其孔隙構造、物理及表面化學性質間相互作用。

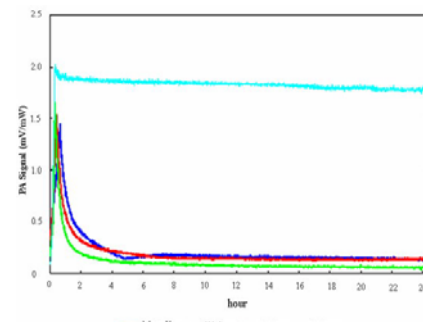


圖 7、不同溫度處理之竹炭，在小型環控箱內對定濃度甲醛(1.8 ppmV)氣體之吸附歷程

V、結論

本研究利用光聲法使用 OPO 雷射激光源，在一般常壓環境下，以開放式光聲感測器，以玻璃乾燥皿來控制環境影響，成功的分析揮發性有機物的種類(甲醛)、濃度之定性分析。光聲量測對甲醛特徵頻譜做定性、定量分析。進一步根據光聲法應用於揮發性有機物質之定性及定量量測程序與分析步驟，可以區分各種各樣材料

的逸散與吸附特性，作為綠色材料分級或改善室內空氣品質之用途。然而在揮發性有機物質之分析選定上，對健康危害度高、及逸散濃度較高之揮發性有機物質將為本研究後續探討之室內空氣品質污染物。

VI、致謝

感謝中央研究院原分所固態雷射實驗室孔慶昌博士及其團隊所提供的協助及指導，使本研究得以完成，將此研究成果與其研究團隊分享之。

VII、後續研究

將結合光聲法與其他微環境因子(空氣、聲音、光、溫度、溼度與通風

等)量測，即時數位建立綠色建材(木質材料)建構室內空間環境其特色，實地監控空間物理環境之動態變化分析，做為未來舒適的健康環境規劃、推動永續林產發展與推廣中小徑木建材(綠色建材)利用的參考。

