

嘉南藥理大學 102 年度教師研究補助計畫成果報告

子計畫二：幼兒園室內細懸浮微粒流佈及數目粒徑分布特性

計畫編號：CN102009

執行期限：民國 102 年 01 月 01 日至 102 年 12 月 31 日

子計畫主持人：蔡瀛逸教授

執行單位：環境資源管理系

參與學生：謝馨儀、辛亭誼、許閔揚、陳億有

摘要

本子計畫配合總計畫，針對高敏感族群聚集的幼兒園室內環境(indoor air)，探討其室內在幼兒遊戲活動區之微粒即時濃度及微粒粒徑分布，以瞭解幼兒園室內微粒空間分布特性。結果發現研究的兩處幼兒園微粒粒徑分布形態有所不同，但共同相似之處乃微粒數目濃度最高的範圍主要在 10-100 nm 的奈米粒徑範圍，86.61 nm 是嘉藥托兒所內的微粒粒徑眾數(mode)，但臺南市區環境之托兒所的室內幼童遊戲活動區白天幼兒活動微粒粒徑眾數為 44.23 nm，臺南市區環境之托兒所白天幼兒活動期間在 10~50 nm 的奈米微粒的數目濃度值為幼兒放學後的同一粒徑範圍數目濃度的 6.838 倍。嘉藥托兒所在 10~200 nm 的粒徑範圍數目濃度遠少於臺南市區環境之托兒所，尤其在 10~50 nm 的粒徑範圍數目濃度，臺南市區環境之托兒所的交通污染源透過門窗傳遞成核峰之奈米微粒，貢獻在 10~50 nm 的粒徑範圍。嘉藥托兒所室內空調開啟，整體室內微粒數目濃度亦遠低於臺南市區環境之托兒所，總微粒數目濃度僅為臺南市區環境之托兒所室內環境的 17.8%。戶外環境因嘉藥托兒所未直接面臨交通繁忙的道路旁，總微粒數目濃度僅為臺南市區環境之托兒所室內環境的 37.2%，顯示嘉南藥理大學附設托兒所戶外活動空間的環境品質亦優於臺南市區環境之托兒所的戶外活動空間。



1. 研究動機與研究問題

大多數國人就各項時間與活動地點分佈而論，每日作息約有 90%，甚至更多的時間比例處在室內環境，多僅由某一室內環境轉換至另一處室內環境，處在室內環境時間相當長，在戶外環境活動的時間短暫。而室內外的建築物設計及空調系統、各種裝潢材料及各類活動，甚至室內芳香療養等型態，均會導引致諸多室內空氣污染物的產生或累積，多種病態大樓症候群(Sick building symptoms, SBS)的症狀導致處在室內的人員舒適感及工作效能下降，甚至不同層面的健康問題的發生，若經長期反覆的接觸暴露在這病態建築內，可能增加罹癌風險。美國環保署(US EPA, 2009)的檔案資料提及早在 1984 年世界衛生組織報告中就已提到全球高達 30% 的新建及改裝的建築物可能與 SBS 有關連，而大部分 SBS 與不良的室內空氣品質有關。其中，室內空氣粒狀污染物對人體健康具有潛在之危害性，較大的粒徑多沉積在鼻腔及上呼吸道，經纖毛捕集而排出體外或溶解吸收，可吸入性粒狀污染物(PM₁₀ 及 PM_{2.5})可經由呼吸系統進入人體後沉積於肺部甚至進入血液，刺激免疫系統而產生不良的健康反應(Hadnagy et al., 1998)，環境空氣中存在可吸入性微粒，將增加心肺功能疾病之發病率和死亡率(Pope et al., 2004)，並對大腦產生不良的影響(Kleinman et al., 2008)，然而，過去的研究在人體暴露於超細微粒(Ultrafine particles)的健康研究相當有限，且多以微粒質量濃度的採集與化學組成為探討焦點 (Kaminsky et al., 2009)，對於微粒數目濃度 (particle number concentration, PNC)及數目微粒分布(Number size distribution, NSD)的瞭解並不多見(Yang et al., 2012)，尤其是室內環境的 PNC 及 NSD 隨所處場所所有變異，對健康的風險亦隨室內地點而有所不同。依照最新公告訂定的室內空氣品質標準，PM₁₀ 及 PM_{2.5} 懸浮微粒的 24 小時標準值分別為 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 及 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，這兩標準值均以質量採樣稱重方式得到，然而微粒收集量測的時間及稱重調理的時間冗長，取得的室內空氣品質 PM₁₀ 及 PM_{2.5} 濃度所代表的室內微粒濃度為一個 24 小時平均濃度，未能有效的提供即時微粒的濃度及微粒粒徑分布



的瞭解，對於尋求改善或降低室內懸浮微粒濃度未產生積極效果，且因未能掌握室內即時微粒的濃度及微粒粒徑分布型態，無法瞭解及釐清室內環境因工作或上課時段與下班或放學的作息變化所導致的微粒濃度與微粒粒徑分布差異及所承受的健康風險。

此外，隨著國人要求的生活品質的提高，對良好的室內空氣品質亦有深切的期望，因應室內空氣品質管理法的正式實施，針對高敏感族群及民眾進出人數較多、面積較大且經常使用場所，如幼兒園、社會福利機構(例如老人安養中心、長期照護機構等)、醫療機構政府機構、圖書館、大眾交通運輸、商場、百貨公司、展覽場等室內環境預列為第一類公告列管對象積極輔導，以期有效改善室內空氣品質，促進環境管理及人體健康，其中本子計畫將針對高敏感族群聚集的幼兒園室內環境(indoor air)，探討其室內在幼兒遊戲活動區之懸浮微粒即時濃度及微粒粒徑分布，以瞭解幼兒園室內懸浮微粒空間分布特性，並藉由採集幼兒園室外環境(outdoor air)的懸浮微粒即時濃度及微粒粒徑分布，比較室內外環境不同微粒粒徑之濃度比值(indoor air/outdoor air, I/O ratio)，以探討來自幼兒園室內可能污染源的污染潛勢及戶外大氣對室內空氣品質的影響潛勢。

2. 文獻回顧與探討

懸浮微粒粒徑小於 $10\ \mu\text{m}$ 以下的 PM_{10} ，尤其是小於 $2.5\ \mu\text{m}$ 的 $\text{PM}_{2.5}$ 細懸浮微粒的暴露會造成人體呼吸道疾病，如氣喘、氣管炎和支氣管炎等，甚至是誘發肺癌(Samet et al., 1987; Pope et al., 2004; Greene et al., 2006)，但其危害人體健康之嚴重程度則取決於微粒尺寸與表面所附著的成份。 PM 粒徑越小，越易進入人體的氣管或肺泡區，同等質量下，其接觸表面積愈大，易附著較多的物質(Oberdorster et al., 2001)，且微粒表面附著成份複雜，亦有細真菌類的附著(Su et al., 2001a,b; Lin et al., 2013)，大多可區分成含碳組成(Organic carbon 及 elemental carbon)、塵土微粒、金屬、毒性有機物，如多環芳香族碳氫化合物(Polycyclic



aromatic hydrocarbons, PAHs)或戴奧辛(Dioxins)等，鹽類物質如硫酸鹽及硝酸鹽等，因此室內 PM 的物化特性和可能來源，甚至僅以微粒數目濃度的多寡都可為影響健康危害的主要因子，亦為許多研究主要的探究議題。無論 PM_{2.5} 或 PM₁₀，經由一些室內的打掃清潔活動揚起或如烹飪產生的廚房油煙、抽菸、點蠟燭、拜香燃煙等燃燒行為所排放在室內空間，然而即使是室內辦公用的事務設備如傳真機、影印機、雷射印表機的使用、不當的空調內循環環境、室內裝修亦是貢獻來源(See et al., 2007, 2008; Seaman et al., 2009; Tsai et al., 2010)。此外，室內環境若受戶外的污染源如機動車輛廢氣排放或室外空氣品質不良較多影響，易監測到 PM 的 I/O ratio 小於 1.0，然而，室內環境若有較多活動或燃燒行為易有較多的微粒貢獻，PM 的 I/O ratio 多大於 1.0。Ogulei et al. (2006)及 Weichenthal et al. (2007)特別指出燃燒行為為室內 PM_{2.5} 的主要貢獻源。在韓國烤肉店所量測到的 PM₁₀ 及 PM_{2.5} 濃度分別高達 1442 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 1167 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Lee et al., 2001)，PM_{2.5}/PM₁₀ mass ratio 高達 80.9%。而在中式火鍋店的量測，其室內 PM₁₀ 及 PM_{2.5} 濃度分別是 81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 和 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ，PM_{2.5}/PM₁₀ mass ratio 更高達 92.6%，顯示室內燒烤與烹煮熱食及使用加熱設備所產生的大多是細懸浮微粒。Kamens et al. (1991)及 Abt et al. (2000)在無抽菸的居家室內環境中，室內空氣中粒徑小於 100 nm 的奈米微粒主要來源是瓦斯烹調所產生。Seaton et al. (1995)及 Oberdorster et al. (2001)指出奈米微粒因總體表面積大，是造成人體健康危害的原因之一。

學齡前幼兒對環境品質的敏感度較高，但卻無法獨立判斷與選擇或主動避開污染狀況，相較於其他年齡層族群承受更高的暴露風險，多數幼兒在白天時間活動在幼兒園，雖有部份戶外活動，但多數時間是待在室內環境，至多只是空間的轉換，楊(2011)針對幼兒園室內空氣品質所進行的研究指出，幼兒園室內 PM₁₀ 濃度決定因素包括室外的 PM₁₀ 濃度、區位屬性(自然通風： $\beta = 0.40$ and 54.73, $P < 0.05$ and $P < 0.01$)及窗簾裝設(使用空調： $\beta = 0.01$, $P < 0.05$)。在自然通風條件下，除了室內溫度、相對濕度、TVOC 濃度更顯著高於北歐等高緯度國家之托兒所，



戶外環境的 PM₁₀ 較容易滲入室內，室內 PM₁₀ 濃度也較高，而在有空調條件下，室內換氣率較低，室內 CO₂ 及 HCHO 較容易累積室內。

然而，上述的研究並未針對幼兒園室內在不同功能環境如辦公區、幼兒遊戲區或幼兒教室與午休區之懸浮微粒即時濃度及微粒粒徑分布加以探討，對於幼兒園易發生的微粒濃度熱點(Hot spots)及微粒分布型態並未充分瞭解，本研究將針對兩所幼兒園高活動密度的室內區域環境進行懸浮微粒即時濃度及微粒粒徑分布，尤其是超細懸浮微粒(ultrafine particle, dp<100nm)的分布探討，以瞭解幼兒園室內懸浮微粒空間分布特性，並藉由採集幼兒園室外環境(outdoor air)的懸浮微粒即時濃度及微粒粒徑分布，比較室內外環境不同微粒粒徑之濃度比值(I/O ratio)，以探討來自幼兒園室內可能污染源的污染潛勢及戶外大氣對室內空氣品質的影響潛勢。

3. 研究方法與步驟

本子計畫配合總計畫研究，選擇兩所幼兒園室內區域環境進行其內之高活動密度區域的懸浮微粒即時濃度及微粒粒徑分布測定，室內空氣品質檢測方式通常採兩個階段方式進行，首先，利用可攜式直讀儀進行室內場所之巡檢工作，以輔助判斷何處為室內空氣品質較為不良區域，其次，依據巡檢結果來決定公告標準方法之監測位置，因此，可攜式直讀儀之偵測結果將直接影響後端標準方法檢測數據的代表性。然而本子計畫經費有限，恐無法以標準方法進行比對，唯因儀器均已經 TSI 公司原廠校正，所監測之微粒數目濃度及數目粒徑分布比較具有儀器的一致性。研究的幼兒園一家為嘉南藥理大學附設托兒所，另外再擇臺南市一所幼兒園，訂名為臺南市區環境之托兒所，在幼兒遊戲活動區，以奈米級掃描式微粒電移動分析儀(TSI NanoScan SMPS Nanoparticle Sizer 3910)及光學微粒計數器(TSI Optical Particle Sizer 3330)進行微粒數目濃度及數目粒徑分布探討，每分鐘一筆觀測 10—420 nm 的電移動度直徑(mobility diameter)及 0.3—10 μm 的光學粒



徑(optical diameter)，藉以比較懸浮微粒粒徑小於 10 μm 以下的 PM_{10} ，尤其是小於 2.5 μm 的 $\text{PM}_{2.5}$ 細懸浮微粒的即時空間分布狀態，並藉由奈米及次微米微粒的數目量測，探討其表面積特性，這監測的方式將記錄室內空調開啟與否，以探討空調系統對室內懸浮微粒改善與否的判斷。此外，在兩幼兒園觀測其戶外大氣微粒數目濃度及數目粒徑分布，以比較室內外環境不同微粒粒徑之濃度比值(I/O ratio)，以釐清室內外環境微粒在奈米及次微米尺寸的特性差異。

本子計畫採樣時間配合總計畫研究，原則上在每梯次採樣在每處室內環境採集 20-30 分鐘，在 OPS 可計數的微粒粒徑範圍 0.30—10 μm 的 16 channels，本研究將設定 0.30 μm 、0.35 μm 、0.40 μm 、0.45 μm 、0.50 μm 、0.60 μm 、0.70 μm 、0.8 μm 、1.0 μm 、1.3 μm 、1.6 μm 、2.0 μm 、2.5 μm 、5.0 μm 、6.0 μm 、8.0 μm 、10 μm 的光學粒徑 channels，操作抽氣流量為 1.0 Lpm，數據獲取時間間隔可短至 15 sec，但本研究將以每分鐘取得一組觀測數據，以同步搭配 NanoScan SMPS 的奈米微粒計數每分鐘一組觀測數據，電移動度粒徑範圍自 10—420 nm，設定的粒徑間隔包括 11.5nm、15.4nm、20.5nm、27.4nm、36.5nm、48.7nm、64.9nm、86.6nm、115.5nm、154.0nm、205.4nm、273.8nm、365.3nm，共為 13 channels，操作抽氣流量為 1.0 Lpm。

4. 結果與討論

4.1 嘉南藥理大學附設托兒所之微粒數目分布

嘉南藥理大學附設托兒所之室內幼童遊戲活動區在白天活動時間(on duty in indoor environment)與傍晚放學後(off duty in indoor environment)的微粒數目濃度分布如 Fig. 1 所示，托兒所室內活動區與戶外環境之微粒數目濃度分布與時期比較如 Table 1 所示。白天幼兒活動與幼兒放學後的室內空氣微粒粒徑分布趨勢一致，均在 50-100 nm 粒徑範圍的數目濃度最高，86.61 nm 是嘉南藥理大學附設托兒所內的微粒粒徑眾數(mode)，200 nm 以上至 10,000 nm 粒徑範圍的數目濃度急速的下降，若



以微粒數目濃度而言，粒徑>300nm 的微粒數目濃度已微不足道，總體而言，白天幼兒活動的粒徑數目分布略高於幼兒放學後的室內空氣，在各粒徑範圍的數目濃度 On duty/Off duty ratio 均大於 1，顯示傍晚幼童離開後，室內環境無其他微粒的逸散來源。

嘉南藥理大學附設托兒所之室內幼童遊戲活動區在白天活動時間(on duty in indoor environment)與同期戶外環境的微粒數目濃度分布如 Fig. 2 所示，比較白天微粒各粒徑範圍的 I/O ratio 均小於 1，雖然戶外緊鄰著幼兒園的空間微粒粒徑濃度分布趨勢相似，但戶外大氣粒徑眾數落在 80.98 nm，且明顯地較室內環境的粒徑眾數 86.61 nm 高出甚多，自 10~300 nm 微粒數目較多的粒徑範圍戶外的微粒數目濃度約為室內的 2.12~3.01 倍之間，以>300 nm 更大微粒粒徑，戶外大氣的微粒數目濃度更是室內微粒數目濃度的 3.10~38.9 倍，顯示戶外大氣不僅粒徑<100 nm 的奈米微粒較室內為多，粒徑>300nm 較大的微粒在戶外大氣的濃度尚較室內多出更多。

4.2 臺南市區環境之托兒所之微粒數目分布

臺南市區環境之托兒所的室內幼童遊戲活動區在白天活動時間(on duty in indoor environment)與傍晚放學後(off duty in indoor environment)的微粒數目濃度分布如 Fig. 3 所示，托兒所室內活動區與戶外環境之微粒數目濃度分布與時期比較亦如 Table 1 所示。白天幼兒活動與幼兒放學後的室內空氣微粒粒徑分布趨勢不同，白天幼兒活動期間微粒粒徑眾數為 44.23 nm，但在幼兒放學後的室內空氣微粒粒徑眾數移轉 shifted 到 86.61 nm，且數目濃度變化很大，白天幼兒活動期間有大量的 10~50 nm 的奈米微粒存在其內，其粒徑區間的數目濃度值為幼兒放學後的同一粒徑範圍數目濃度的 6.838 倍，在白天幼兒活動期間 50~100 nm 粒徑區間的數目濃度略多於幼兒放學後的同一粒徑範圍數目濃度，其比值為 1.108，但微粒的粒徑>100nm 以上，在 100~200 nm 之粒徑範圍數目濃度，在白天幼兒



活動期間該區間的數目濃度卻僅有幼兒放學後的同一粒徑範圍數目濃度的 32.5%，隨著更大的微粒粒徑，白天幼兒活動期間該區間的數目濃度更僅有幼兒放學後的同一粒徑範圍數目濃度的 6.8~14.3%，顯示傍晚幼童離開後，室內環境無其他微粒的逸散來源，但卻有微粒聚合的粒徑增長的趨勢，以致幼兒放學後室內環境較大粒徑範圍數目濃度逐漸多於白天幼兒活動期間的室內環境。

臺南市區環境之托兒所的室內幼童遊戲活動區在白天活動時間(on duty in indoor environment)與同期戶外環境的微粒數目濃度分布如 Fig. 4 所示，比較白天微粒僅在 10-50 nm 粒徑範圍的 I/O ratio 均小於 1，其他粒徑範圍的 I/O ratio 均大於 1，戶外大氣粒徑眾數落在 33.80 nm，且明顯地較室內環境的粒徑眾數 44.23 nm 高出甚多，顯示都市環境的幼兒園外之戶外空氣存在眾多的奈米微粒，且由戶外較繁忙的交通要道，這些奈米微粒原生自交通排放生成，而室內微粒粒徑在 >50 nm 以上呈現數目濃度較多的聚合現象，導致粒徑 >50 nm 的室內環境有較戶外為多的數目濃度。

4.3 兩托兒所之微粒數目分布比較

嘉南藥理大學附設托兒所與臺南市區環境之托兒所室內環境白天活動時間(on duty in indoor environment)的微粒數目濃度分布比較如 Fig. 5 所示，此外兩托兒所的各粒徑範圍數目濃度比(CNU/Urban Indoor ratio)如 Table 1 所示，兩托兒所白天活動時間的戶外環境的微粒數目濃度分布比較如 Fig. 6 所示，兩托兒所的戶外環境各粒徑範圍數目濃度比(CNU/Urban Outdoor ratio)亦如 Table 1 所示。嘉南藥理大學附設托兒所在 10~200 nm 的粒徑範圍數目濃度遠少於臺南市區環境之托兒所，尤其在 10~50 nm 的粒徑範圍數目濃度，近交通源的臺南市區環境之托兒所遠多於嘉南藥理大學附設托兒所，且臺南市區環境之托兒所的室內環境粒徑眾數 44.23 nm，顯示出這些奈米成核峰的微粒多來自交通污染源直接排放，戶外大氣對室內空氣品質的影響潛勢較大，而嘉南藥理大學附設托兒所室內環境的粒



徑眾數 86.61 nm，較少直接來自交通污染，透過奈米微粒聚合成較大粒徑的微粒。在戶外環境微粒數目濃度的比較，嘉南藥理大學附設托兒所在 10~50 nm 的粒徑範圍數目濃度遠少於臺南市區環境之托兒所，顯示臺南市區環境之托兒所的交通污染源透過門窗傳遞成核峰之奈米微粒，貢獻在 10~50 nm 的粒徑範圍。

另外，因臺南市區環境之托兒所室內環境白天活動期間並未開啟空調系統，室內較為悶熱，導致微粒數目濃度較高，而嘉南藥理大學附設托兒所室內空調開啟，整體室內微粒數目濃度亦遠低於臺南市區環境之托兒所，總微粒數目濃度僅為臺南市區環境之托兒所室內環境的 17.8%，室內環境維持在舒適乾淨的良好狀態。而戶外環境因嘉南藥理大學附設托兒所未直接面臨交通繁忙的道路旁，總微粒數目濃度僅為臺南市區環境之托兒所室內環境的 37.2%，顯示嘉南藥理大學附設托兒所戶外活動空間的環境品質亦優於臺南市區環境之托兒所的戶外活動空間。

5. 結論與建議

5.1 結論

本研究選擇嘉南藥理大學附設托兒所及臺南市區環境之托兒所兩所幼兒園室內區域環境進行其內之高活動密度區域的懸浮微粒即時濃度及微粒粒徑分布測定，獲致以下結論：

1. 嘉南藥理大學附設托兒所白天幼兒活動與幼兒放學後的室內空氣微粒粒徑分布趨勢一致，均在 50-100 nm 粒徑範圍的數目濃度最高，86.61 nm 是嘉藥托兒所內的微粒粒徑眾數(mode)。
2. 嘉南藥理大學附設托兒所室內空氣微粒各粒徑範圍的數目濃度 On duty/Off duty ratio 均大於 1，顯示傍晚幼童離開後，室內環境無其他微粒的逸散來源。
3. 臺南市區環境之托兒所的室內幼童遊戲活動區白天幼兒活動與幼兒放學



後的室內空氣微粒粒徑分布趨勢不同，白天幼兒活動期間微粒粒徑眾數為 44.23 nm，但在幼兒放學後的室內空氣微粒粒徑眾數移轉 shifted 到 86.61 nm，且數目濃度變化很大。

4. 臺南市區環境之托兒所白天幼兒活動期間在 10~50 nm 的奈米微粒的數目濃度值為幼兒放學後的同一粒徑範圍數目濃度的 6.838 倍。傍晚幼童離開後，室內環境無其他微粒的逸散來源，但卻有微粒聚合的粒徑增長的趨勢，以致幼兒放學後室內環境較大粒徑範圍數目濃度逐漸多於白天幼兒活動期間的室內環境。
5. 嘉南藥理大學附設托兒所在 10~200 nm 的粒徑範圍數目濃度遠少於臺南市區環境之托兒所，尤其在 10~50 nm 的粒徑範圍數目濃度，臺南市區環境之托兒所的交通污染源透過門窗傳遞成核峰之奈米微粒，貢獻在 10~50 nm 的粒徑範圍。
6. 嘉南藥理大學附設托兒所室內空調開啟，整體室內微粒數目濃度亦遠低於臺南市區環境之托兒所，總微粒數目濃度僅為臺南市區環境之托兒所室內環境的 17.8%，室內環境維持在舒適乾淨的良好狀態。
7. 戶外環境因嘉南藥理大學附設托兒所未直接面臨交通繁忙的道路旁，總微粒數目濃度僅為臺南市區環境之托兒所室內環境的 37.2%，顯示嘉南藥理大學附設托兒所戶外活動空間的環境品質亦優於臺南市區環境之托兒所的戶外活動空間。

5.2 建議

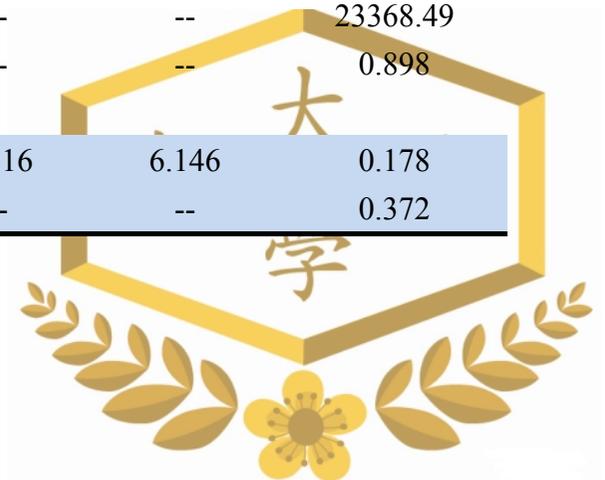
本子計畫在極有限的經費下完成預期工作項目，考量室內空氣品質對健康的重要性，建議在未來可擴大幼兒園監測的場所數並帶入其他監測設備，更完整探討室內空氣品質的影響因子。此外，運用另一採樣設備 MOUDI 所使用的氣動相當粒徑(d_a)與電移動度相當粒徑(d_b)之關連，更可進一步瞭解室內奈米微粒組成，其分析的化學組成將有助提供健康效應的評估依據。



Table 1. 托兒所室內活動區與戶外環境之微粒數目濃度分布與時期比較

| Activity pattern | Number concentration (#/cm ³) | | | | | | | |
|--------------------------------------|---|--------|---------|---------|-----------|------------|-----------------------|----------------|
| | Particle size range (nm) | | | | | | | All size range |
| | 10-50 | 50-100 | 100-200 | 200-300 | 300-1,000 | 1000-2,500 | 2500-10,000 | |
| CNU kindergarten | | | | | | | | |
| Indoor environment (I) | | | | | | | | |
| On duty | 556.1 | 1829.5 | 1160.5 | 165.3 | 32.59 | 0.0060 | 2.36*10 ⁻⁷ | 3743.88 |
| Off duty | 462.0 | 1751.0 | 1131.0 | 149.5 | 26.13 | 0.0027 | 5.13*10 ⁻⁸ | 3519.66 |
| On duty/off duty | 1.204 | 1.045 | 1.026 | 1.106 | 1.247 | 2.222 | 4.600 | 1.064 |
| Outdoor environment (O) | | | | | | | | |
| On duty | 1672.4 | 4055.9 | 2459.2 | 402.6 | 100.9 | 0.0561 | 9.19*10 ⁻⁶ | 8690.94 |
| I/O ratio on duty | 0.332 | 0.451 | 0.472 | 0.411 | 0.323 | 0.107 | 0.026 | 0.431 |
| Urban kindergarten | | | | | | | | |
| Indoor environment (I) | | | | | | | | |
| On duty | 11950.5 | 7462.2 | 1464.7 | 89.6 | 10.92 | 0.00095 | 3.84*10 ⁻⁸ | 20977.85 |
| Off duty | 1747.6 | 6737.4 | 4506.3 | 624.8 | 114.5 | 0.01402 | 3.2*10 ⁻⁷ | 13730.52 |
| On duty/off duty | 6.838 | 1.108 | 0.325 | 0.143 | 0.095 | 0.068 | 0.120 | 1.528 |
| Outdoor environment (O) | | | | | | | | |
| On duty | 19012.8 | 4245.5 | 109.8 | 0.393 | -- | -- | -- | 23368.49 |
| I/O ratio on duty | 0.629 | 1.758 | 13.340 | 227.990 | -- | -- | -- | 0.898 |
| CNU/Urban Indoor ratio ^a | 0.047 | 0.245 | 0.792 | 1.845 | 2.984 | 6.316 | 6.146 | 0.178 |
| CNU/Urban Outdoor ratio ^a | 0.088 | 0.955 | 22.40 | -- | -- | -- | -- | 0.372 |

a. On duty data



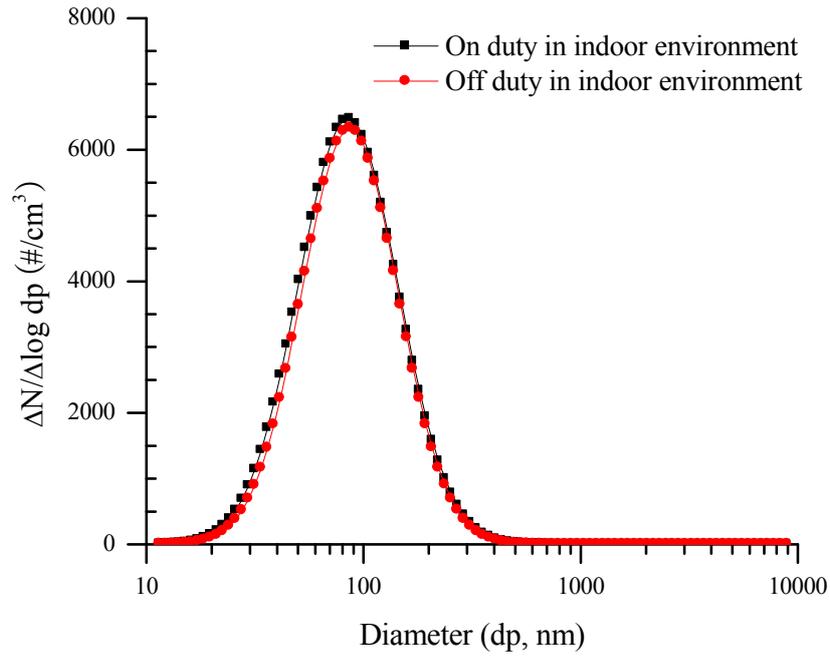


Fig. 1 嘉南藥理大學附設托兒所之室內環境白天活動時間(on duty in indoor environment)與放學後(off duty in indoor environment)的微粒數目濃度分布

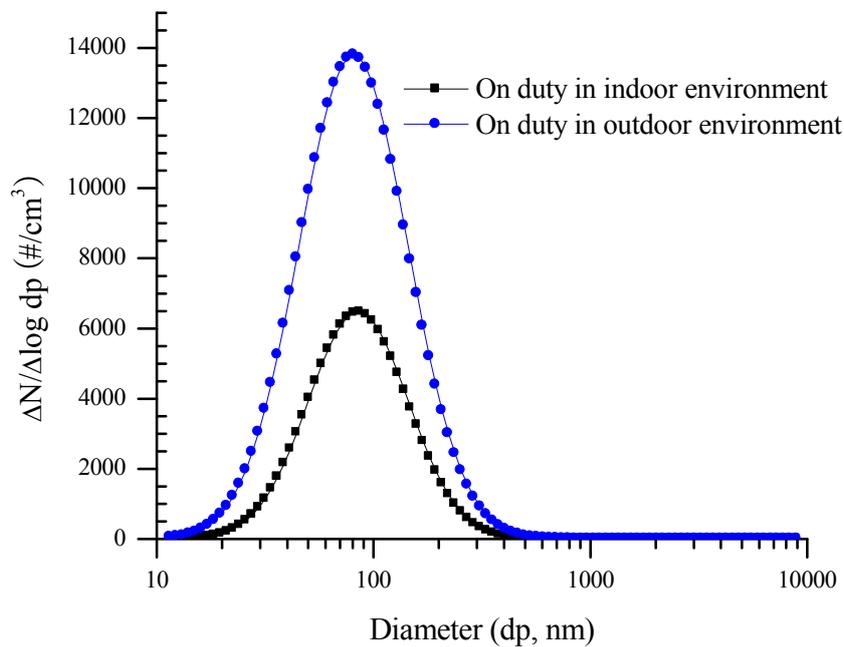


Fig. 2 嘉南藥理大學附設托兒所之室內環境白天活動時間(on duty in indoor environment)與同期戶外環境的微粒數目濃度分布



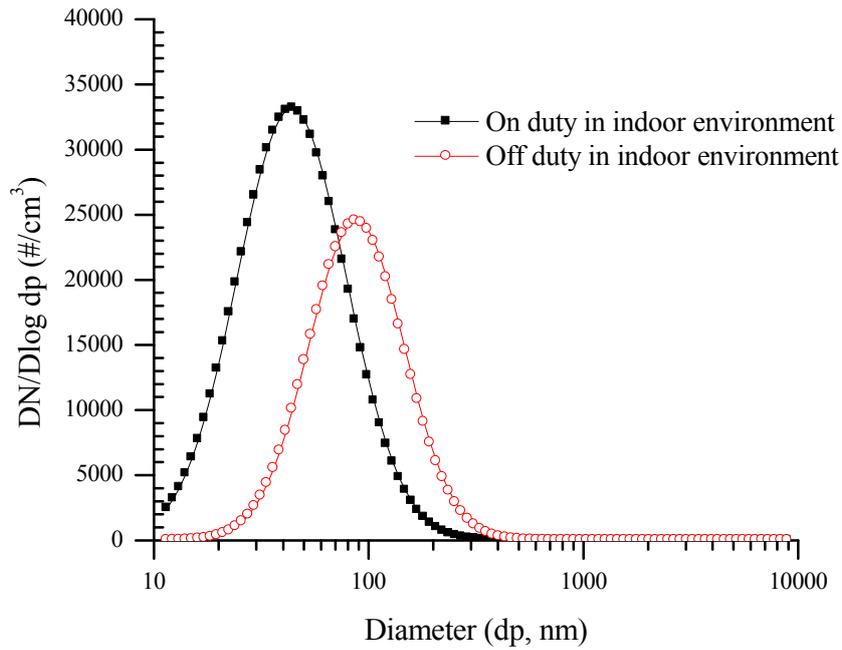


Fig. 3 臺南市區環境之托兒所室內環境白天活動時間(on duty in indoor environment)與放學後(off duty in indoor environment)的微粒數目濃度分布

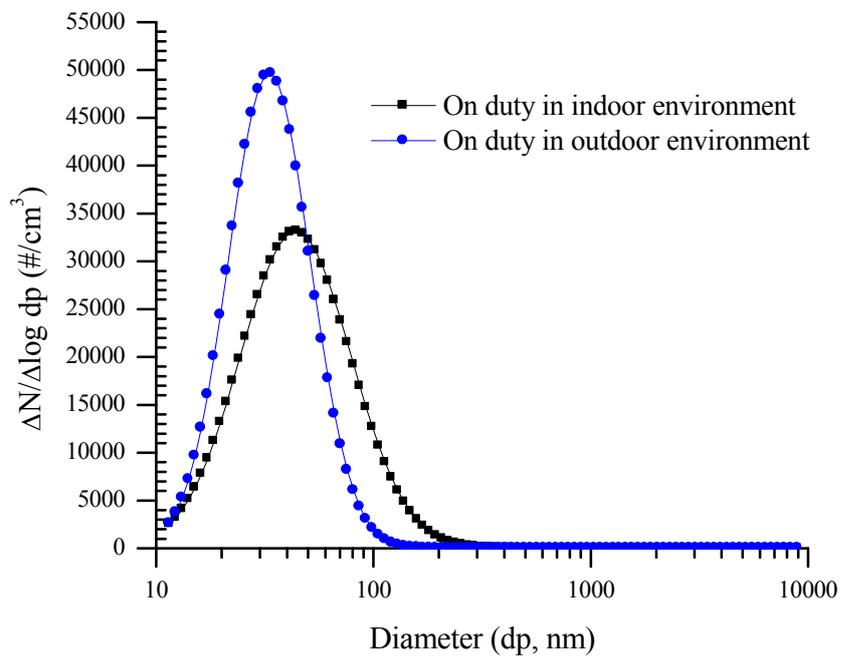


Fig. 4 臺南市區環境之托兒所室內環境白天活動時間(on duty in indoor environment)與同期戶外環境的微粒數目濃度分布



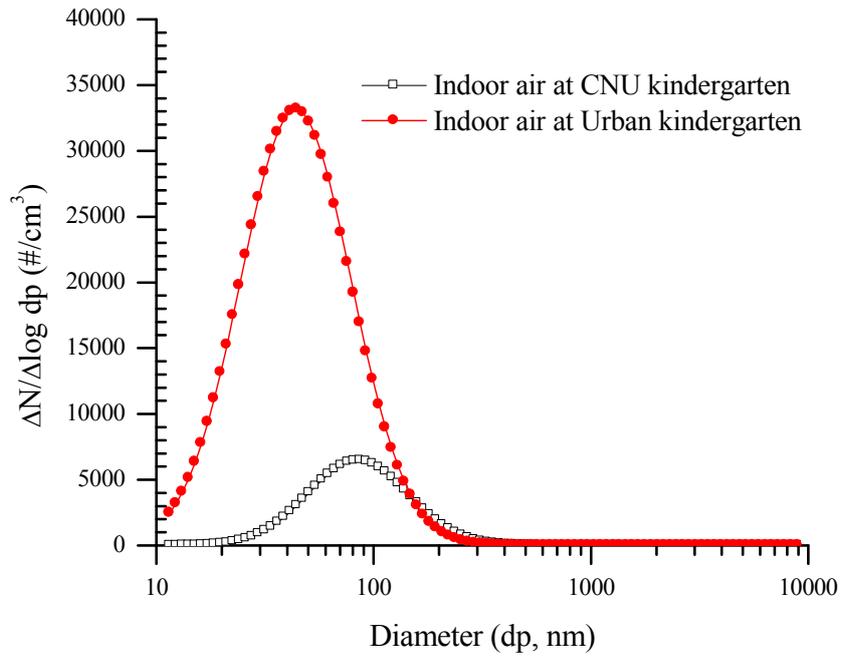


Fig. 5 嘉南藥理大學附設托兒所與臺南市區環境之托兒所室內環境白天活動時間(on duty in indoor environment)的微粒數目濃度分布

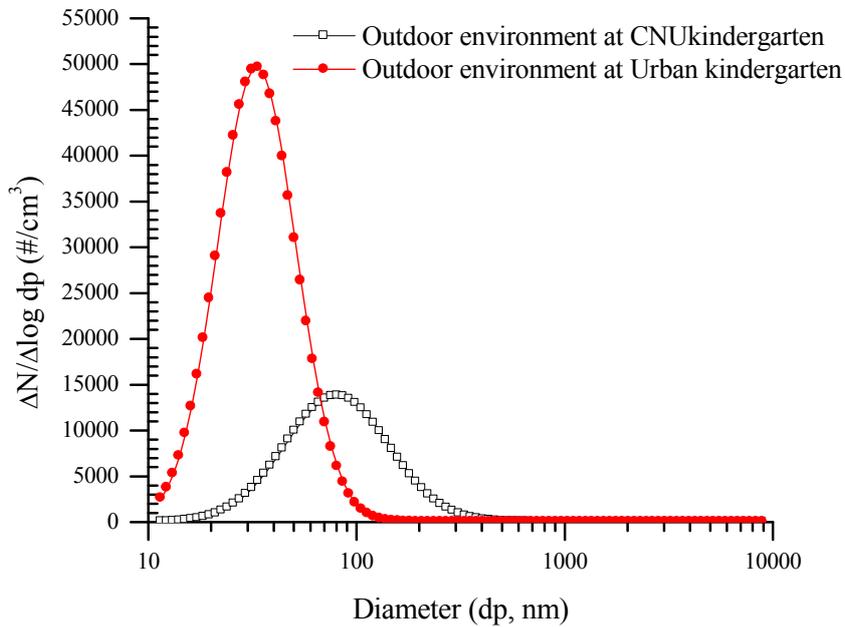


Fig. 6 嘉南藥理大學附設托兒所與臺南市區環境之托兒所戶外環境的白天活動時間(on duty in indoor environment)的微粒數目濃度分布



致謝

本計畫承蒙嘉南藥理大學計畫編號 CN102009 的經費支持得以順利完成，藉表謝忱。

參考文獻

- Abt, E., Suh, H.H., Allen, G., Koutrakis, P., 2000. Characterization of indoor particle sources: a study conducted in the metropolitan Boston area. *Environmental Health Perspectives* 108, 35-44.
- Greene, N.A., Morris, V.R., 2006. Assessment of public health risks associated with atmospheric exposure to PM_{2.5} in Washington, DC, USA. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 3, 86-97.
- Hadnagy, W., Stiller-Winkler, R., Kainka, E., Ranft, U., Idel, H., 1998. Influence of urban particulate air pollution (PM₁₀; PM_{2.5}) on the immune system of children. *Journal of Aerosol Science* 29, Supplement 2, S997-S998.
- Kamens, R., Lee, C.T., Weiner, R., Leith, D., 1991. A study to characterize indoor particles in three non-smoking homes. *Atmospheric Environment* 25, 939-948.
- Kleinman, M.T., Araujo, J.A., Nel, A., Sioutas, C., Campbell, A., Cong, P.Q., Li, H., Bondy, S.C., 2008. Inhaled ultrafine particulate matter affects CNS inflammatory processes and may act via MAP kinase signaling pathways. *Toxicology Letters* 178, 127-130.
- Lee, S.C., Li, W.M., Chan, L.Y., 2001. Indoor air quality at restaurants with different styles of cooking in metropolitan Hong Kong. *The Science of the Total Environment* 279, 181-193.
- Lin, C.-J., Wang, Y.-T., Hsien, K.-J., Tsai, Y.I., Kung, P.-Y., Chyan, J.-M., 2013. In situ rapid evaluation of indoor bioaerosols using an ATP bioluminescence assay. *Aerosol and Air Quality Research* 13, 922-931.
- Morawska, L., 2006. Droplet fate in indoor environments, or can we prevent the spread of infection? *Indoor Air* 16, 335-347.
- Oberdorster, G., 2001. Pulmonary effects of inhaled ultrafine particles. *International Archives of Occupational and Environmental Health* 74, 1-8.
- Ogulei, D., Hopke, P.K., Wallace, L.A., 2006. Analysis of indoor particles size distributions in an occupied townhouse using positive matrix factorization. *Indoor Air* 16, 204-15.
- Pope III, C.A., Burnett, R.T., Thurston, G.D., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Godleski, J.J., 2004. Cardiovascular mortality and longterm exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. *Circulation* 109, 71-77.
- Salthammer, T., Mentese, S., Marutzky, R., 2010. Formaldehyde in the indoor environment. *Chemical Reviews* 110, 2536-2572.
- Samet, J.M., Marbury, M.C., Spengler, J.D., 1987. Health effects and sources of indoor air pollution: Part I. *American Review of Respiratory Disease* 136, 1486-1508.
- Schaeffer, V.H., Bhoosham, B., Chen, S.B., Sonenthal, J.S., Hodgson, A.T., 1996. Characterization of volatile organic chemical emissions from carpet cushions. *Journal of the Air & Waste Management Association* 46, 813-820.



- Seaman, V.Y., Bennett, D.H., Cahill, T.M., 2009. Indoor acrolein emission and decay rates resulting from domestic cooking events. *Atmospheric Environment* 43, 6199-6204.
- Seaton, A., MacNee, W., Donaldson, K., Godden, D., 1995. Particulate air pollution and acute health effects. *Lancet* 345, 176-178.
- See, S.W., Balasubramanian, R., 2008. Chemical characteristics of fine particles emitted from different gas cooking methods. *Atmospheric Environment* 42, 8852-8862.
- See, S.W., Balasubramanian, R., Joshi, U.M., 2007. Physical characteristics of nanoparticles emitted from incense smoke. *Science and Technology of Advanced Materials* 8, 25-32.
- Su, H.J., Wu, P.C., Chen, H.L., Lee, F.C., Lin, L.L., 2001a. Exposure assessment of indoor allergens, endotoxin, and airborne fungi for homes in southern Taiwan. *Environmental Research* 85, 135-144.
- Su, H.J.J., Wu, P.C., Lee, 2001b. Fungal exposure of children at homes and schools: a health perspective. *Archives of Environmental Health* 56, 144-149.
- Tsai, Y.I., Wu, P.-L., Hsu, Y.-T., Yang, C.-R., 2010. Anhydrosugar and sugar alcohol organic markers associated with carboxylic acids in particulate matter from incense burning. *Atmospheric Environment* 44, 3708-3718.
- United States Environmental Protection Agency (US EPA), 2009. Sick Building Syndrome. Retrieved 2009-02-19.
- Weichenthal, S., Dufresne, A., Infante-Rivard, C., Joseph, L., 2007. Indoor ultrafine particle exposures and home heating systems: a cross-sectional survey of Canadian homes during the winter months. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* 17, 288-297.
- 楊武泰(2011)，台灣地區公立托兒所室內空氣品質及其決定因素，成功大學建築學系博士論文，臺南，臺灣。

