



國立交通大學
National Chiao Tung University

出國報告（出國類別：學研訪問）

103 年國際百大合作計畫-奈米微粒的 物化特性研究

服務機關：環境工程研究所

姓名職稱：蔡春進教授

派赴國家：美國 明尼亞波利市 明尼蘇達大學

出國期間：103/10/15-10/25

報告日期：103/10/29

摘要

此次訪問美國明尼蘇達大學機械系微粒技術實驗室(PTL，particle technology laboratory)的主要目的，是了解其設立的微粒過濾研究中心(CFR，center of filtration research)之研究進展及成果。訪問結果發現 CFR 在氣體與液體的過濾技術、潔淨室與微污染控制、基礎氣膠及奈米微粒技術的研究與設備研發等，均有很大的進展，在世界上占有一席之地。本次訪問中並與 CFR 的人員討論本人進行中的微粒特性量測理論與控制技術，充份達到全面交流的目的，可提升本校在國內、外的學術水準及國際競爭力。

目次

一、 目的	4
二、 過程	5
三、 心得及建議	9

本文

一、目的

此次訪問美國明尼蘇達大學機械系微粒技術實驗室(PTL, particle technology laboratory)的主要目的,是了解其設立的微粒過濾研究中心(CFR, center of filtration research)之研究進展及成果。美國明尼蘇達大學機械系微粒技術實驗室(PTL, particle technology laboratory)是美國當地專門研究微粒的領導中心之一,研究領域包括空氣、氣體與液體的過濾控制、通風與生物氣膠研究、潔淨室與微汙染控制、空氣與環境汙染研究、基礎氣膠研究與設備研發和奈米微粒技術等。PTL 設立了微粒過濾研究中心(CFR, center of filtration research),在世界上占有一席之地,中心的會員有 16 個之多,含 3M, Boeing, Cummings Filtration, Donaldson Company Inc., Samsung Electronics, Shigematsu Works Co., Ltd., Entegris Inc., Ford Research and Innovation Center, H.B. Fuller, BASF Corp., W. L. Gore & Associates, Inc., Hollingsworth & Vose, Mann+Hummel GMBH, MSP Corp., TSI Inc., NIOSH, Xinxiang Shengda Filtration Technology Co., Ltd.。這些公司均為全球之過濾器材,奈米材料,電子,微粒儀器等世界級大廠及研究單位,年產值高達 130 億美金之多,為了維持世界之競爭力而參加 CFR。

本次訪問藉由微粒特性量測理論與控制技術層面的交流,以提升本校及本人的研究團隊在國內、外的學術水準及國際競爭力。目前國內對於奈米微粒的物理化學特性研究仍尚嫌不足,本團隊和與美國 PTL 均在進行不同形貌的奈米微粒進行物化特性的量測與分析,分析項目包括質量、表面積與數目濃度分布、影像觀測等,另外過濾技術、PM_{2.5} 的量測及控制等也是本次交流之重點項目,期望藉此了解不規則微粒的基本特性,以對後續微粒的過濾控制技術有所助益,研究成果在國內將會有相當大的獨佔性。

訪問結果發現 CFR 在氣體與液體的過濾技術、潔淨室與微汙染控制、基礎氣

膠及奈米微粒技術的研究與設備研發等，均有很大的進展，在世界上占有一席之地。本次訪問中並與 CFR 的人員討論本人進行中的微粒特性量測理論與控制技術，充份達到全面交流的目的，可提升本校在國內、外的學術水準及國際競爭力。

二、過程

本交流計畫由環境工程研究所的蔡春進教授(即本人)執行。本計畫已於 103 年 8 月 25 日在新竹科學工業園區舉行國立交通大學環工所與美國明尼蘇達大學聯合研討會，主題為”潔淨室及環境前趨氣體污染物、奈米微粒及 PM2.5 的監控技術 (Monitoring and control of precursor gaseous pollutants , nanoparticles and PM2.5 in clean room and ambient air)”，邀請美國明尼蘇達大學的 Dr. Shawn Chen 和 Mr. Chang Hynk Kim，分別針對空氣及液態中奈米顆粒的分離以及利用 X-射線進行 AMCs 的檢測及應用做介紹。另外將於今年 11 月 6 日至 10 日邀請明尼蘇達大學 PTL 中心主任 Prof. David Y. H. Pui，進行微粒研究技術成果的交流，舉行二場公開演講，一為中國的 PM2.5 的機會及挑戰(PM2.5 in China: Challenges and Opportunities)，另一為潔淨室 AMC 及奈米微粒監測與控制，同時我們將與 Prof. David Y. H. Pui 討論未來具前瞻性的研究的方向。

此次本人訪問 PTL 的主要目的是因為它是美國當地專門研究微粒的領導中心之一，研究領域包括空氣、氣體與液體的過濾控制、通風與生物氣膠研究、潔淨室與微汙染控制、空氣與環境汙染研究、基礎氣膠研究與設備研發和奈米微粒技術等，所設立的微粒過濾研究中心 CFR 在世界上占有一席之地。本次訪問藉由微粒特性量測理論與控制技術層面的交流，以提升本校及本人的研究團隊在國內、外的學術水準及國際競爭力。目前國內對於奈米微粒的物理化學特性研究仍尚嫌不足，

本團隊和與美國 PTL 均在進行不同形貌的奈米微粒進行物化特性的量測與分析，分析項目包括質量、表面積與數目濃度分布、影像觀測等，另外過濾技術、PM2.5 的量測及控制等也是本次交流之重點項目，期望藉此了解不規則微粒的基本特性，以對後續微粒的過濾控制技術有所助益，研究成果在國內將會有相當大的獨佔性。

我於 10 月 15 日晚上搭機由桃園機場飛往明尼蘇達州的明尼亞波利市，並於次日清晨抵達，並於當日即進行交流訪問，晚上進住旅館。本次行程由 Dr. Sheng-Chieh Chen 負責安排，期間並與國際氣膠儀器公司 TSI 的 Dr. Ryan Han 交流。全程於 10 月 23 日結束，並於當日搭機返臺，於 10 月 25 日抵臺。此行深覺收獲及受益良多。每日的行程如下：

10 月 15 日---由桃園機場飛往明尼蘇達州的明尼亞波利市。

10 月 16 日---當日上午抵達，隨即參訪明尼蘇達大學機械系微粒技術實驗室 (PTL)，由 Dr. Sheng-Chieh Chen 負責安排，在 PTL 舉行 CFR 的全組人員會議，由實驗室主任 Dr. David Y. H. Pui 主持會議檢討各 CFR 參加廠商提出的研究課題，參加的人員有博士後研究人員 Dr. Sheng-Chieh Chen，Dr. Qi Sheng Qu，Dr. Shigeru Kimoto，訪問學者 Deqiang Chang，博士生 Drew Thompson，Chang Hyuk Kim，Leo Cao，T. Thajudeen，Y. Hu，Qiang Wang，Qingfeng Cao，Seungkoo Kang，Handol Lee 及碩士生 Swathi Satish。晚上住進旅館。

10 月 17 日---參訪明尼蘇達大學機械系微粒技術實驗室(PTL)，由 Dr. Sheng-Chieh Chen 負責安排實驗室參觀及討論，主題 Using an Electrostatic Precipitator to Develop a Geometric Particle Surface Area Monitor 及 Airborne and liquid-borne nanoparticle separation，參加者另有博士後 Shigeru Kimoto，研究生 Qingfeng Cao 等。當日住進旅館。

10 月 18 日---參訪明尼蘇達大學機械系微粒技術實驗室(PTL)，由 Dr. Sheng-Chieh Chen 負責安排實驗室參觀及討論，主題 Nanoparticle mass measurement accuracy by the APM，參加者另有博士後 Shigeru Kimoto。研究 CFR 的第 46 次審查報告，並撰寫報告。當日住進旅館。

10 月 19 日---研究 CFR 的第 46 次審查報告，撰寫報告。當日住進旅館。

10 月 20 日---參訪 PTL，由 Dr. Sheng-Chieh Chen 負責安排實驗室參觀及討論，主題為 The competitive adsorption between gas molecules and ultrafine particles 及 A new detection method for airborne molecular contaminations (AMCs) using soft X-ray，參加者另有博士生 Chang Hyuk Kim。住進旅館。

10 月 21 日---參訪 PTL，由 Dr. Sheng-Chieh Chen 負責安排實驗室參觀及討論，主題為 Effect of relative humidity on filter loading，參加者另有博士後 Qisheng Ou，博士生 Leo Cao。當日住進旅館。

10 月 22 日-----參訪 PTL，與國際氣膠儀器公司 TSI 的同仁作 DustTrak 作為 PM2.5 FEM 監測器之技術交流，由 Dr. Sheng-Chieh Chen 及 TSI Dr. Ryan Han 負責安排和接待。當日住進旅館。

10 月 23 日-----由明尼蘇達州的明尼亞波利市飛往桃園機場。在飛機上過夜。

10 月 24 日-----在飛機上過夜。

10 月 25 日-----抵臺。

交流訪問內容如下：

2.1 主題 Using an Electrostatic Precipitator to Develop a Geometric Particle Surface Area Monitor

目前商用的奈米微粒表面積分析儀的電流—粒徑關係方程式與微粒的直徑不是呈現平方的關係，本項研究主題在氣膠充電器之後增加一個小型的靜電集塵器，可以使得電流—粒徑關係呈現平方的方程式，與表面積相關。本研究具有創意，但仍有微粒充電效率不足之問題，仍持續在研究改進之中。

2.2 主題 Airborne and Liquid-borne Nanoparticle Separation

近十年來小於 10nm 顆粒的分離在半導體及各高科技產業日趨重要，目前人們對於氣相的奈米微粒過濾機制的了解較為深入，應用技術也較為成熟，然由於液體介質、濾材表面及奈米微粒間有複雜的交互作用，液相過濾的機制較難以理解，也

是全世界研究的焦點。在此研討會中 Dr. Shawn Chen 除了將報告各項過濾技術的研究成果及應用外，將特別介紹微小的奈米微粒 CFR 進行粒徑在 1.5~12nm 的微粒液相過濾研究，所使用具有代表性的奈米顆粒共有三種，含極小的硫化鋅量子點 (1.5~2nm，界達電位=-15mV)，中型的氧化鋅量子點(3~7nm，界達電位=-17mV)，及稍大一點的金奈米微粒(12nm，界達電位=-60mV)。

2.3 主題 Nanoparticle mass measurement accuracy by the APM

APM (aerosol particle mass analyzer，Kanomax 3601)以離心力及靜電力之不衡原理，測量奈米微粒之質量，研究發現在 30nm 以上之奈米微粒可以測量得很準確，但是 30-40nm 以下時會低估，本次的訪問發現，CFR 的研究數據也是呈現此現象，但是仍無法解釋造成此現象之可能原因。本人的研究團隊正在以數值模擬之方法，研究是否奈米微粒之對流及擴散損失是造成此質量低個之原因，並持續與 CFR 的同仁討論研究進度。

2.4 主題 The competitive adsorption between gas molecules and ultrafine particles

CFR 的研究同仁發現，奈米微粒會在氣體污染物(VOC)的多孔活性碳吸附材內或表面上沈積，造成了 3-10 nm 的奈米微粒之穿透率比一般的密實性填充床低，主要的原因推測為比表面積之差異，活性碳吸附材比表面積大，奈米微粒之穿透率較低或沈積率較高。但是確實之原因以及是否會造成 VOC 氣體之競爭性吸附，仍要進一步進行研究，且將奈米微粒之尺寸降至 1 nm 左右。

2.5 主題 Effect of relative humidity on filter loading

CFR 的研究發現，KCl 微粒在相對濕度 RH 小於 60%時，低效率之濾材之壓損隨微粒負荷量之增加率會下降，在高濕度時高效率之 HEPA 濾材也有此現象。然而當使用 soot 微粒作測試時，在 15-60%相對濕度時，並未發現微粒負荷量有重大影響。此研究結果對濾材效率之預測有重要的影響，將來本項研究會再將濕度增至 80%，並觀察微粒在濾材內形成之 dendrites 結構。

2.6 主題 A new detection method for airborne molecular contaminations

(AMCs) using soft X-ray

氣態分子污染物(AMCs)的監控一直是高科技產業的重要議題，但目前只有少數幾種量測 AMCs 的方法。CFR 研究一個創新的方法，利用軟性 X-射線(9.5keV)將氣態的 AMCs 轉化為微粒，並透過精密的微粒測量儀器 UCPC 和 SMPS 來測量 AMCs。此技術已應用於潔淨室 AMCs 相關問題的研究，如潔淨室建築材料(如膠黏劑)釋出有機化合物的偵測。

2.7 以 DustTrak 作為 PM2.5 FEM 監測器之技術交流

國際氣膠儀器公司紛紛推出以光學散儀器作為 PM2.5 Federal Equivalent Method monitor 的可行性，TSI 有一臺 DustTrak aerosol mass monitor，因此 TSI 的同仁很有興趣想在此方面有些進展，因此與本人討論在大氣中進行其準確度之實驗，所使用之標準有 FRM PM2.5 sampler，及本實驗室所發展的 PM2.5 denuder sampler，我們會與 TSI 保持此方面之合作關係。

三、心得及建議

3.1 國外之研究多能配合國際產業及技術之發展需求，而訂下研究題及目標，而我國的研究資源仍以政府單位之計畫為主，與產業需求有時會出現落差。合作對象美國明尼蘇達大學 PTL 與 CFR 長期投入氣體及液體中的微粒過濾，及微粒監測與控制設備的研究，CFR 的會員來自美國大企業的成員高達近 20 間公司之多，且與明尼蘇達大學 PTL 合作近 20 年，這對於大學研究資源的挹注十分有助益。我校對於將來可以參照 CFR 之運作模式，以產業配合款之方式申請政府之資源，並長期投入，以發展可用的工程技術及設備儀器為主。

3.2 本人透過本次的百大合作計畫，辦理多場的交大-明大聯合研討會，除邀請

明大的 David Pui 及其團隊成員來交大及科學園區辦理公開演講外，本人的研究團隊也介紹自己研發的微粒監測及採樣設備，且也邀請日本 Kanomax 公司來臺講述其先進的質譜儀 InfiTOF 及奈米微粒監測設備，以增加我國的製程氣體及尾氣，潔淨室的污染監測能力。本人的合作廠商也在聯合研討會中介紹其技轉之設備，可增加其銷售機會。唯一美中不足的是，百大合作計畫之業務費並無法用於辦理聯合研討會所需之場地費，茶水費，誤餐費，影印資料費等，只能用於邀請國外的貴賓的機票及日支生活費，應該改進。

3.3 目前國內各大學實驗室對於 PM2.5 及奈米微粒的監測與控制，以及 PM2.5 採樣誤差，奈米微粒的物理化學特性研究仍尚嫌不足，本團隊和與美國 PTL 在此微粒技術之研究方向類似，對於產業需求之研究也較重視。我期望將來能持續與 PTL 的 CFR 合作，以增強 PM2.5 及奈米微粒監測及控制設備之研究及開發能力，如過濾技術，靜電集塵技術，表面積監測技術，氣體污染物監測技術，靜電濾材的應用技術等。

3.4 與美國相比，我國之高級研究人力明顯的不足，研究生也普遍缺少努力之動機，往往只以取得學位為主但所研發之技術並未能在世界上領先。將來本校及我國應提出優良工作機會及待遇之誘因，增加全世界之博士生及博士研究人員來臺之機會，我國發展的科技才能迎頭趕上世界先進國家。

本次的交流攜回很寶貴的 2014 年 10 月份 CFR 的最先研究報告及 ppt 檔，其中有許多為尚未發表之文章，尚無法對外公開，但可作為我們研究團隊的參考之用。