

高思懷 用陶瓷濾膜鍍金飛灰

趨勢巨流河

水環系教授高思懷

學歷：國立台灣大學土木工程系研究所博士

專長：廢棄物處理、資源再生利用、廢水處理全回收、生命週期評估

經歷：環保署企業環保獎委員、考選部技師審議委員會委員、台北市政府研考、會計畫作業室約聘研究員、日本京都大學工學部衛生工學教室招聘學者、淡江大學水資源及環境工程學系系主任、教授

學術專書

1. 高思懷著，《準好氧性衛生掩埋垃圾滲出水之特性》，淑馨出版社，民77年7月出版。

期刊論文

1. Shih CY Gau SH Hwang KJ (2014, Sep) .A Study of Rotational Ultrafiltration System for Fructose Recovery from Glucose Fermentation Process, Journal of Food Processing & Technology 6(10), pp.1-6

研究計畫

1. 垃圾焚化飛灰循環利用生產廢水陶瓷濾膜之全回收清潔製程，民107年
2. 產學合作計畫—回收焚化飛灰燒製高價值陶瓷膜之研發，民106年
3. 產學合作計畫—垃圾焚化飛灰配合坡縷石吸附研磨穩定燒製高價值調濕陶瓷 之研究，民105年

文／丁孟暄、攝影／潘劭愷

研究緣起

人們一天當中丟進垃圾桶的垃圾不計其數，衛生紙、早餐塑膠袋、免洗筷、喝完的手搖杯..... 這些垃圾後來都送進了掩埋場或焚化廠裡，不僅花費高昂的成本、耗費大量的能源，還造成滲出水及有害灰渣等環境汙染。水資源及環境工程學系教授高思懷長期關注垃圾處理問題，期許可以研發出解決改善環境的技術，「我們一直覺得如果有機會，就要針對現有問題，將技術落實在實際應用上。」

高思懷提到，臺灣大約於30年前開始出現垃圾問題，當時就讀中央大學土木工程系的他受到熱衷環境議題的任課老師影響，啟發了對環境的關懷。在許多同學仍投入水、空氣汙染的時候，喜好挑戰、立志走出不一樣道路的他，偶然獲得在臺北市府研考會計畫作業室擔任約聘研究員的工作機會，自此一腳踏入廢棄物處理的領域，觀察垃

圾掩埋的實際狀況，並自行在實驗室操作模擬，為該領域中的先驅。藉此高思懷逐漸熟悉政府環保相關單位，也曾在考選部擔任技師審議委員會委員，協助審查工程技師國家考試，接觸實際案例的機會增多，這些都轉化成課堂內容與學生分享，對教學有相當的幫助。經過一次次的體察環境現況，高思懷將眼光落在垃圾焚化飛灰所帶來的環境問題，帶領團隊展開長達2、30年的研究之路。

研究領域與歷程

高思懷擁有豐富研究經驗，深耕於固體廢棄物處理、資源回收利用、永續發展及廢水處理等領域，他自認比較好動，比起單純的學術研究，更喜歡能夠將其實際應用。他更覺得身為一個工學院的教授，除了傳授課本的理論以外，更要創新、研發知識，並將理論與實務做結合，跟上社會現況。

高思懷的研究最早從垃圾掩埋處理著手。垃圾掩埋過程中，由於氣體發酵、有機物分解、雨水沖淋等因素會產生多種代謝物質，形成「垃圾滲出水」，對環境造成二次污染，在過去一直是難以解決的問題，他花費1、20年的時間持續尋找與研發相關技術，結合國內、外如「電化學法」、「Fenton氧化法」，使滲出水能夠回收再利用，達到「資源化」，因此累積不少技術經驗，在臺灣開始建置垃圾焚化廠的時候，得以支持其進行後續關於底渣、飛灰的研究。

垃圾在焚化爐燃燒完成後會留下「底渣」與附著於鍋爐、熱交換器和空污控制設備的「飛灰」，在「底渣」的處理上，高思懷有效將底渣篩選，製成輕質骨材，他以市面上最常見的公共工程舉例，「馬路管線施工後，多會使用底渣再製的低強度混凝土來回填。」

「現在的垃圾經過焚化後，掩埋滲出水或是底渣的問題都解決了，就剩下飛灰最令人頭痛，全世界一直沒有更好的技術。」高思懷說明，垃圾焚燒後的重金屬物逸散到空氣中，與飛灰混合，甚至產生戴奧辛等化合物，使飛灰被視為有害廢棄物，「過去一直都是加水泥做固化掩埋，但是這個方法會有再溶出的疑慮，而且臺灣地狹人稠，難以新蓋掩埋場。」由於飛灰固化需要大量的水泥和螯合劑，成本十分昂貴，為減少成本，偷工減料、作業不當的狀況屢見不鮮，同時也造成土壤及地下水重金屬污染疑慮，為此高思懷以「焚化飛灰達到資源循環零廢棄」為目標，積極尋求再利用方法。

多年來，高思懷的研究始終遵循著「使廢棄物再利用技術走向低成本、高價值」的方向，過程中難免遭遇瓶頸，如水洗飛灰會產生廢水、重金屬物溶出等問題，但他始終努力不懈，期許開發一個可以妥善解決所有衍生問題的產品，確保對環境友善。期間曾運用團隊每個人的專業，嘗試將飛灰製作成紅磚、人工骨材及輕質骨材作為建築材料，但這些產品相對價值較低，不符成本效益，因而將目標轉向日本製造用來吸收水氣和濕氣的「調濕陶瓷」，他觀察到調濕陶瓷的基本原料與焚化飛灰均具有「多孔特

性」，於是利用飛灰多孔透水、透濕與透氣的特性，燒製多孔性陶瓷，以飛灰替代原有的陶土原料。

高思懷過去十幾年均擔任「聯合國巴塞爾公約亞太區域中心國際研討會」籌備委員，看過許多國際案例，他發現焚化飛灰再利用的技術在國際上幾乎沒有人研發，因此相信團隊研究成果足以解決這個問題，不料在科技部價創計畫的提案過程中卻跌跌撞撞，首次提案時甚至連初審都沒有通過，均被審查委員以「缺少可行性」、「市面接觸度不高」或「廢棄物不安全」予以否定，研究技術沒有充足的經費得以實際應用，使得工程公司也不願意進行投資。

儘管如此，高思懷仍然沒有放棄任何可能讓研究技術實際應用的機會，他將研究方向導向自己最擅長的廢水處理領域，由於近代廢水處理普遍使用的高分子濾膜不耐清洗且汰換率高，陶瓷濾膜雖然能克服上述缺點，但價格昂貴難以推廣，因此飛灰的多孔特性便成為合適濾材的選擇。團隊去除飛灰中有害的重金屬污染物，改變燒陶過程中的「燒結條件」，將氧化熔出的金屬鉛、金屬鉻等還原，穩定在陶瓷中，將其製成濾膜，此項研究終於受到肯定，獲得教育部107年度「教育部補助大學產業創新研發計畫」補助1,400萬。

研究之餘，高思懷也擔任本校大學社會責任實踐計畫「淡水好生活」指導老師，帶領學生進行「社區自主堆肥」專業知能服務學習課程，他認為環境工程這項專業的意義，就在改善環境、造福社會，所以推廣環保理念是他長期一直在做的事情，只要是相關邀請，他都樂於參與。他指出堆肥廚餘在處理上較為困難，因為沒有妥善的設施，反而容易造成環境污染，「市面的堆肥產品如堆肥機和菌種酵素都需要大量的成本，且走向商業化，所以我們透過專業知識，帶學生著手嘗試，教導社區民眾自己動手堆肥，達到低成本、無臭味，這樣除了有效解決廚餘問題，還能慢慢改善環境。」

對我們所處生活環境充滿關懷的高思懷，強調人生以服務為目的，始終希望將自己的專業知識與經驗持續傳承、貢獻，利益大眾，對他來說，這是完成自我生命的一種提升，生命將因此更有意義。

研究展望

由於目前政府於廢棄物處理政策存在偏差，高思懷長期鏗而不捨的準備、等待機會，希望協助將方向導正，研發真正改善環境的技術落實在實際應用上。直到近2、3年來技術進入熟成階段，藉由這次教育部產業創新研發計畫補助的機會，終於有機會建置模型廠，使其研發的產品進一步邁向市場。除了技術的開發，未來更規劃與焚化廠配合，串聯上、中、下游，從飛灰處理、陶瓷燒製到操作應用全面承包，透過信譽佳的工程公司合作推廣到國、內外，預計可以帶來龐大的經濟效益。高思懷也期許團隊能持續提升，他希望結合老師、學生、以及同業的團隊力量，共同改善環境並創造產

業機會，「我們絕不能停在某個位置被超越，要永遠不斷持續改善，創新、突破，走在最前面，才有辦法在產業裡站得住腳。」

合作單位回饋

祥泰綠色科技有限公司

環境工程技師林正祥

公司主要業務日本陶瓷濾膜的代理，但成本昂貴難以推銷，偶然看到高思懷老師廢水陶瓷濾膜的研究，經過設計與測試，認為焚化飛灰製成的陶瓷是個很好的濾材，更有效節省成本，於是決定與高思懷老師合作研發。目前已經開始著手開發實際產品，我們很感謝高老師能提供這樣一個廢棄物循環經濟、本土研發的概念，使環境問題得以解決，又能降低製造成本，對時間、經濟與環保均有很大助益，我們十分看好他的前景。

全盛環境科技有限公司

環境工程技師陳政綱

公司使用的濾膜材料以有機物為主，近年想要使用陶瓷進行製作，卻一直找不到願意負擔高昂成本的臺灣企業主，個人從事廢棄物處理研究多年，覺得沒辦法把研究端實際應用十分可惜，直到高教授找公司配合，尋求商品化的機會，老闆看過研究成果後表示支持，並安排我協助將其實廠化。高思懷老師的實務經驗豐沛，看過許多國內、外案例，對公司在相關業務的推行有相當的助益。廢水陶瓷濾膜是非常有潛力的產品，未來只要能夠持續發展，預估將能帶來龐大的經濟效益。

用研究改善環境 用熱忱服務社會

我就讀大學時參加了社會服務社，擔任社長時曾帶隊到偏鄉的南投縣仁愛鄉信義村服務，關懷原住民弱勢族群，宣導家庭計畫並帶領學童進行團康活動，後來發現當時幾位前後屆社團的幹部在社會上都有優異的成就。因此，我在淡江任教期間，經常鼓勵學生參加服務社會的社團，主動爭取擔任社長與幹部的機會，我自己也先後擔任本校大地環保工作團以及正智佛學社指導老師，長達二十餘年。

早期的環境工程學者研究多偏重於廢水及空氣污染問題的研究，民國71年我就讀博士班期間，獲得在臺北市研考會擔任約聘研究員的機會，當時臺灣開始出現垃圾問題，臺北市正規劃第一座垃圾衛生掩埋場，我便著手在實驗室模擬垃圾掩埋的操作，開始投入廢棄物處理與資源化領域的研究。相較其他環境工程學者，我是較早接觸廢棄物處理與資源化領域者，自此，我便經常獲得中央與地方政府機關的邀請，擔任有關廢棄物的審查會議、考選部技師審議委員會委員，甚至曾經受環保署委辦計畫指派我出席由北京清華大學與聯合國巴塞爾公約亞太區域中心主辦的國際廢棄物管理研討會，討論全球面臨的廢棄物問題，該會議在過去十年持續邀我擔任籌備委員。透過這些

經歷，我有機會不斷地學習、開拓視野，同時觀察各國環境面臨的狀況，最後將實務經驗落實在教學與研究上。

過去三十年進行許多相關研究，目標都在於環境棘手問題的改善，希望研發的成果能夠真正落實於解決問題。由於現實問題有時與學術性研究並不一致，申請科技部一般研究計畫常常未被接受，然而產學合作計畫要能找到願意提供資金的企業並不容易，還好長期下來朝向多管道申請補助經費，仍陸陸續續有相關計畫支持進行這些研究。所幸多年來始終有多數學生有興趣加入我的研究團隊，使得研究成果逐漸累積，終能突破困境獲得不錯的成果；除了獲得幾項發明專利之外，在國際學術研討會發表也經常受到矚目，甚至在某些研究成果上領先全球。

在教學方面我希望不僅只有傳授知識，更要將理論與實務結合，並且傳授學生正向的人生觀，鼓勵學生具備服務的熱忱，以及貢獻社會胸襟。近年來學校推行專業知能服務學習課程，希望將專業課程與社會服務結合，我毅然同意在我的課堂上實施。經過多年不斷地改善修正課程的執行方式，已經能夠將當今環境上面臨棘手的廚餘堆肥問題找出解決方案；一年前教育部推出「大學社會責任(USR)」計畫，在本校學務處的邀請之下，也毅然加入陣容，推展無臭味低成本在地堆肥技術。

許多親友都勸我到了接近退休的年紀，應該盡量縮減教學研究負荷，甚至提前退休轉向修身養性或遊山玩水，讓年輕的教授去衝刺就好；我卻認為累積了這麼多專業知識，年紀到了就退休去，其實十分可惜，畢竟社會上還有很多環境問題尚待解決。我以為「人生以服務為目的」，老年人能將自己的經驗持續傳承、貢獻，藉以造福社會改善環境，同時從中達到自我心性的提升，如此生命才算有意義、才是漂亮的。

