

出國報告（出國類別：開會）

## 參加國際廢棄物工程研討會

(WasteEng08: 2nd International Conference on  
Engineering for Waste Valorisation)

服務機關：行政院環境保護署

姓名職稱：施純傑 科長

派赴國家：希臘

出國期間：97年6月1日至9日

報告日期：97年7月10日

# 摘 要

各國經濟發展與科技進步，連帶造成地球資源的減少與廢棄物的增加。爲了全球永續發展，物質再使用與資源回收再利用已成爲世界趨勢。此外，有別於石油能源之生質能發展，也是目前新興重要的議題，須予以探討與研究。鑒此，透過學界、工業界與民間團體共同參與及討論有關環境保護、資源回收再利用以及新能源等相關議題，促進全球永續發展，WasteEng Conference 之國際廢棄物工程研討會乃應運而生。第一屆於 2005 年 5 月在法國舉行，本屆則在希臘 Patras 舉辦。

本次廢棄物工程研討會假 U. of Patras 舉行，與會學員約 150 位，課程類型包括有物化處理、熱處理、生物處理、資源回收再利用、健康風險評估與廢棄物管理等內容。參與的課程則多數有關生質能(Biomass)方面，目前各國皆致力開發非食物性生質能，利用農業廢棄物或樹木殘枝製成富含高碳之燃料，除可逐漸替代傳統燃料外，對整體環境之二氧化碳排放量亦有正面之助益。如來自於農業的生質能是目前再生能源的重要來源之一，其主要原因乃在於做爲生質燃料時的二氧化碳中和性，亦即所謂二氧化碳零排放。而生質能經熱裂解(pyrolysis)作用可產生焦炭、裂解油與甲烷氣，具有能源回收的潛能，其中甲烷氣可作爲燃料使用，焦炭可進一步製成活性碳，以作爲吸附材質。對於評估生質能潛在可能之演譯、生質能原料與產品之處理技術比較，以及生質能上、下游供應鏈等議題，皆有深刻瞭解與認知。

此外，目前歐盟在廢棄物管理方面的立法精神，乃鼓勵會員國朝廢棄物資源回收少掩埋之方向而努力。其中有關焚化後底渣或鑄造業廢鑄砂，再利用作爲土木工程再生料使用，對於不同粒徑大小之底渣，探討在酸性情形下的重金屬溶出行爲，以及相關法規與溶出測試方法，皆有詳盡的說明。另對於經安定化/固化處理之有害廢棄物或污染土壤，評估其長時間置於掩埋場曝露在自然環境下之演變情況。試驗結果證實，有害廢棄物經安定化/固化處理後置於掩埋場貯存的整套處理過程是有效的，且固化物經自然環境之沖刷，不會隨著時間的歷程而發生重大的重金屬溶出變動，其結果令人欣慰。

# 目 次

	頁次
一、目的 .....	1
二、過程 .....	1
三、心得及建議 .....	9

## 一、目的

以往廢棄物管理是從搖籃到墳墓，現在廢棄物管理趨勢是從搖籃到搖籃，即由管末處理轉成源頭減量、資源回收，以有效回收資源利用及將資源不斷循環使用，逐步邁向零廢棄社及提升資源化產業發展。

本次國際性廢棄物資源化工程研討會為第2屆辦理，研討會主題包括：物化處理、熱處理、生物處理等方法技術、資源回收再利用新式技術及廢棄物管理與健康風險等評估分析。藉由本次研討會議瞭解國際間對廢棄物回收及資源化技術之方向及程度，得以評估對我國相關技術之貢獻及影響。

## 二、過程

參加本次研討會行程分二個部分：第一個部分是參與論文發表及討論；第二部分為拜訪主辦單位進行意見交流。

所參加之論文發表主題包括有：廢棄物管理策略、資源回收再利用技術、熱處理技術、及物化處理技術四類，內容綜理如下：

### (一) 廢棄物管理策略：

- 1、Valorisation of foundry sand in clay bricks at industrial scale: environmental behaviour of clay/sand mixtures (發表者 Rebeca Alonso-Santurde, Alberto Coz, Natalia Quijorna, Spain)

廢鑄砂可作為瓷磚製造業原料摻配使用，為瞭解再生磚對環境之影響，西班牙政府遂訂定三種溶出測試方法。EN 12457 乃使用蒸餾水作平衡溶出測試，WTC-ANC 溶出測試乃使用不同的酸液，以評估在不同的粒徑在不同的再利用或處置情境下，環境對材料之影響。最後，用於建築材料的 NEN 7345 擴散溶出測試，以評估環境對材料之生命週期影響。法規所規範之污染物需要進行後兩法的評估，此外，影響再生磚性質之可溶性鹽類，也須進行測試分析。實驗結果顯示，核心砂與綠砂子可以使用再生磚作為替換黏土材料，並且這些鑄造廠基於沙子的陶瓷改進一些可溶解鹽結

果。然而，在生命週期結束後送至掩埋場掩埋時，其鉛、砷和鉻等重金屬可能成爲另一項環境問題。

2、The heat accumulation and self-ignition of waste storages and piles(發表者 Yoshitada Shimizu, Masahide Wakakura and Mitsuru Arai, Japan)

廢棄物回收再利用物品如垃圾衍生燃料(Refuse Derived Fuel, RDF)之堆積與貯存作業，因熱能蓄積產生放熱反應(如自動氧化)而造成嚴重的火災事故。爲了預防這樣災難發生，廢棄物堆積而造成之熱能產生與累積的機制，乃藉由量熱法和化學發光法(chemiluminescence, CL)研究調查。研究計畫利用 RDF、紙和塑膠當作量測樣品，並藉由量熱法研究 RDF 之自燃溫度約爲 176°C，反應熱爲 34 焦耳/克，意味 RDF 如果累積所有熱，幾乎可達 20K 絕熱溫度。再進一步測量，沒有水的 RDF 沒有發熱，但 RDF 遇水時則顯示了發熱量，且其發熱程度取決於氧氣壓力。當溫度高於 82°C 時，氧化反應則促使 RDF 的熱能蓄積，達到一定量時則發生燃燒現象。根據化學發光法分析 RDF 成分，氧化聚合物包含有會啓動 RDF 氧化作用的過氧化物。結果發現，若 RDF 包含有許多過氧化物，即使在無水條件下，仍然會引起發熱；此時若遇水，更會加速其溫度上升。本文指出，雖然指定每種廢棄物引發危險之重要因素是必要的，然因廢棄物熱能蓄積危險在於其包含的成分、材料而有所不同，仍必須藉由量熱法和化學發光法的組合研究加以評估。

(二) 資源回收再利用技術：

1、Recovery of process water from spent emulsions generated in cable factory(發表者 K. Karakulski, A.W. Morawski, Poland)

銅線工廠在拉線延展過程中需要乳狀延展油以控制磨擦避免斷裂、消除熱並促進銅線表面品質。製程所產生之乳狀油性廢液，因其物化特性較複雜與含銅離子濃度較高(如表 2.1-1)，造成後續廢水處理成效不佳。傳統廢水處理過程首先需採重力方式達到油水分離目的，但廢液呈乳化狀且油分子非常細微( $<1\mu\text{m}$ )，故分離效

果不佳。其次，因其含銅離子濃度較高(約 1850mg/M<sup>3</sup>)，造成二級處理－生物處理效果亦不理想。利用超濾(ultrafiltration (UF))與極微濾(nanofiltration (NF))組成之薄膜過濾系統(如圖 2.1-1)，可有效分離油酯與銅錯合物，並可回收製程水再利用。UF 以筒形膜型式處理製程產出之乳狀油性廢液，在 3.5 大氣壓力下的滲透量可達 45 l/m<sup>2</sup>h，流出液之油含量已小於 10ppm，可有效去除油達 98%。接著進入螺旋狀膜的 NF 設備，流出液可完全去除油，總有機碳(TOC)去除率可達 90%以上，銅離子在經過 NF270 和 NF90 號膜的去除率分別可達 90%和 98%(如表 2.1-2)，回收水可回製程再利用。

表2.1-1 銅線工廠乳狀延展油之成分特性

項 目	單位	A工廠	B工廠
Content of oil and lubricants	mg/M <sup>3</sup>	257	147
Concentration of Cu <sup>2+</sup> ions	mg/M <sup>3</sup>	988	1587
TOC	mg/M <sup>3</sup>	1832	1173
TDS	ppm	2123	2874
Electrical conductivity	μS/cm	3076	3987
Turbidity(NTU)		5145	8108
Suspended solids	mg/M <sup>3</sup>	64	57
Average oil droplets size	μm	0.4	0.1
pH		7.35	7.65

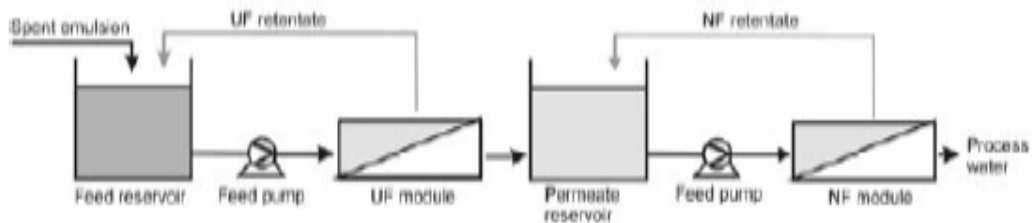


圖 2.1-1 超濾(ultrafiltration (UF))與極微濾(nanofiltration (NF))組成之薄膜過濾系統

表 2.1-2 處理後水質之成分特性

項 目	單位	Nanofiltration	
		NF270-2540	NF90-2540
Concentration of Cu <sup>2+</sup>	mg/M <sup>3</sup>	147	27
TOC	mg/M <sup>3</sup>	73	14
TDS	ppm	671	137
Electrical conductivity	μS/cm	987	223
Turbidity [NTU]		0.63	0.54

2、Experimental study on the influence<sup>3</sup> of particle size on the reuse potential of bottom ash from a sanitary waste incinerator facility(發表者 GiuliaCosta,Emanuele Lategano, Italy)

目前歐盟在廢棄物管理方面的立法精神，乃鼓勵會員國朝廢棄物資源回收少掩埋之方向而修法與落實執行而努力。由於焚化處理仍屬廢棄物處理之主要方法之一，都市垃圾焚化廠焚化後的底渣可再利用做為路基鋪料或製磚等土木工程行為，為目前研究與應用之主流。目前一般再利用之前處理包括有自然放置、加速碳化、熱處理、化學萃取與水洗等方法，其中後者為國內再利用機構或砂石場較常用之方法。焚化後底渣經篩分之粒徑分佈情形如圖 2.2-1 所示，然而進一步探討發現，不同粒徑大小底渣，其物化性質不同，在酸性情形下的重金屬溶出行為相異性大：細小顆粒(< 2 mm)與粗顆粒(> 10 mm)之重金屬含量較中等粒徑值為高(如表 2.2-1)，但就整體而言，其重金屬溶出試驗測值仍低於法規標準。

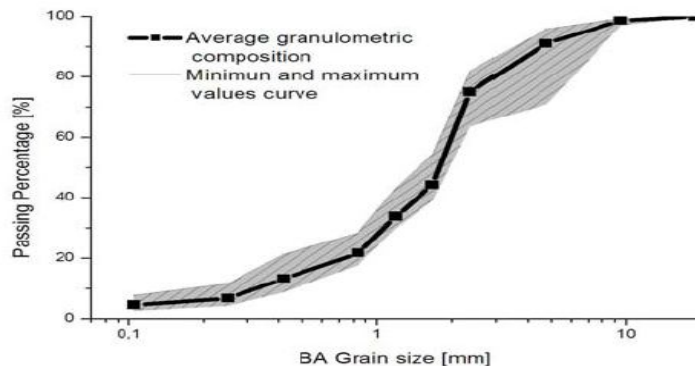


圖 2.2-1 焚化後底渣粒徑分佈情形

表 2.2-1 不同粒徑底渣之重金屬含量

項目	粒徑 >10mm	>4.76mm <10mm	>2.36mm <4.76mm	>1.68mm <2.36mm	>1.19mm <1.68mm	>0.63mm <1.19mm	<0.63mm
Al[mg/kg]	4.82	2.98	3.48	4.87	5.21	7.79	8.78
Ca[mg/kg]	51.21	26.11	22.34	32.57	35.02	71.46	136.74
K[mg/kg]	2.17	0.77	0.81	1.77	2.19	4.61	8.10
Mg[mg/kg]	1.82	0.97	0.81	1.24	1.25	2.15	3.07
Si[mg/kg]	3.48	8.84	15.17	6.56	3.94	3.41	3.22
Zn[mg/kg]	0.41	0.64	0.31	0.67	0.73	0.50	0.69
As[ $\mu$ g/kg]	1.53	0.84	1.08	1.12	1.45	3.18	3.42
Cr[ $\mu$ g/kg]	36.72	13.51	14.65	13.92	18.33	51.89	378.48
Cu[ $\mu$ g/kg]	84.96	191.20	82.15	96.65	54.52	107.15	36.50
Fe[ $\mu$ g/kg]	331.37	325.76	242.20	180.31	125.65	171.32	186.41
Mn[ $\mu$ g/kg]	5.05	4.08	3.45	3.65	3.43	3.81	3.65
Ni[ $\mu$ g/kg]	18.96	19.72	18.80	15.69	9.88	12.72	13.36
Mo[ $\mu$ g/kg]	63.24	22.53	21.72	21.27	22.72	48.14	96.94
Pb[ $\mu$ g/kg]	0.90	1.25	0.69	0.48	0.45	0.51	0.66
Sb[ $\mu$ g/kg]	9.43	5.48	5.40	8.09	10.71	21.16	33.56
V[ $\mu$ g/kg]	1.63	0.93	1.03	1.47	1.81	4.06	6.57

3、Reuse of municipal solid waste incineration furnace ash in a percolation scenario：Multiple-scale assessment of the leaching behaviour(發表者 Crest Marion, Blanc Denise, Brons-Laot Gwenaëlle, France)

無機廢物再利用於土木工程時，須評估其對環境的潛在影響。歐洲標準 EN 12-920 乃依據再利用環境條件下，預測廢棄物的溶出行為提供評估方法，可作為一預先警戒措施。都市垃圾焚化爐底渣與沙子混合後進行滲出實驗，估計最低程度的錯合物以測試能正確地代表溶出行為。這項研究突顯出，若進行太過簡單的溶出試驗，也許會錯估錯合物實際溶出情況而引發錯誤的評估結果。

EN 12-920 的方法包括以下步驟：(1)問題(關於廢棄物及其情景)的定義與尋求解決的方法；(2)情景的描述(正常及例外情況)；(3)廢棄物的描述及其特性；(4)挑選出影響溶出行為的參數(例如：化



學、物理、地質條件、機械與生物等相關性質)；(5)模式化溶出行爲；(6)行爲模式檢驗(藉由模擬測試、現場證明或與自然物質比較)，以及(7)結論(問題解決或缺乏數據而終)。

### (三)熱處理技術：

#### 1、Use of biogenic solids for carbon material via pyrolysis (發表者 Ourania A. Ioannidou, Greece)

來自於農業的生質能是目前可再生能源的重要來源之一，其主要原因乃在於做爲生質燃料時的二氧化碳中和性，亦即所謂二氧化碳零排放。而農業廢棄物，如玉米穗，經 800°C 與缺氧狀態下之熱裂解(pyrolysis)作用可產生焦炭、裂解油與甲烷氣，具有能源回收的潛能。其中焦炭由於多孔性、比表面積大以及低灰分等特性，可進一步做爲活性碳，用以廢氣與廢水污染防治之吸附材。

#### 2、CharSpyd\_From non-food biomass to high grade clean charcoal(發表者 Mateos David, Fardet Edith, Desmoulins Sophie, France)

Thermya 公司投資生產”綠能”富含高碳的木炭，取自於農業廢物或林業殘枝等非食物性生質能。此木炭不含焦油，能使用作爲原物料以產生燃料。這項遠景使 Thermya 公司開發出”CharSpyd”：根據 Chartherm princip 理論所開發的一種新的熱處理製程。CharSpyd 製程核心，反應柱體，爲一個連續性倒流反應，生質能從上方進料，壓縮熱空氣(約 650°C)則自底部注入。當導入時，壓縮空氣與接觸之有機物發生快速的氧化作用，並引起快速的放熱反應，同時引起快速的溫度增加與大量的氧氣消耗。一旦通過這個氧化區，氣流失去其含氧量，熱能轉到生質能上，反應柱體同時能消弭揮發性有機物與水分。在底部，則可取出富含高碳的木炭。CharSpyd 熱處理製程與傳統加熱分解或散熱作用的過程不同，CharSpyd 製程允許快速和連續生產，”綠能”\_富含高碳的木炭，並可在非食物性生質能生長區設置生產點，以解決運輸問題。

### (四)物化處理技術

#### 1、Printed circuit boards (PCBs) treatment by electrodeposition process for

the production of copper powder (發表者 I. Masavetas, A. Moutsatsou, E. Nikolaou, S. Spanou, Greece)

歐盟電子與電子設備因其成長迅速，每年約產生 600 萬公噸之廢電子與電子設備(Waste electrical & electronic equipment, WEEE)，成爲目前世上主要的廢棄物之一。其中廢電路板(PCBs)經破碎、溶蝕後，需進一步採電析處理(Electrodeposition)以回收銅。在本研究利用三種不同的酸性蝕刻液溶蝕 PCBs，以回收銅金屬，回收率可達 98%以上。

實驗過程先將 PCBs 破碎後，送入 500°C 熔爐焚燒 1 小時作預處理，以燒掉非金屬物。再經研磨 5 分鐘後成爲能通過 90 μm 篩網之粉末，此時銅含量約佔 17%。接著再利用濃度 2M 之 HNO<sub>3</sub>(aq), HCl(aq) and H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>(aq)三種酸液分別作爲蝕刻液，在 40~80°C 的溫度範圍下攪拌後，溶出液再進行電析處理。結果顯示，前述三種酸液之銅回收率分別爲 97.5%、65%以及 76.5%，以硝酸回收率最佳。

2、Stabilisation/Solidification for treatment of hazardous waste and polluted soils: a first large scale assessment study (發表者 M.A. Aubry,France, M.C. Magnié, United Kingdom, P. Urso, C. Hills, USA)

繼歐洲在法規上採變革後，英國格林威治大學對於受污染廢棄物、土壤的處理，展開對於安定化/固化處理技術使用評估的研究計劃。鑑此，它與使用這些技術多年的夥伴國—美國和法國合作，這項計畫明確集中地查驗十餘座實際運轉之掩埋場，以瞭解其固化物掩埋情形。

Passify 是項少有針對掩埋場固化物採樣檢測的計畫，顯示其爲取得樣品代表的重要性而須克服採樣工作的困難，所得到的實驗結果也與處理期望值一致。與可利用的歷史數據相比，交叉測試(長時間溶出測試、礦物特性觀察)結果顯示並無異常現象(如表 4.2-1)。

表4.2-1 掩埋場固化物於2000年與2004年經溶出試驗檢測結果

項目	試驗方法								標準	
	DIN38414-S4				TCLP1311				DIN38414-S4	TCLP1311
	試體2		試體3		試體2		試體3			
	2000年	2004年	2000年	2004年	2000年	2004年	2000年	2004年		
Zinc(mg/L)	0.02	N.D.	0.03	0.01	N.D.	0.03	N.D.	N.D.	5 <sup>*1</sup>	5 <sup>*3</sup>
Lead(mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0.05 <sup>*1</sup>	5 <sup>*2</sup>
Copper(mg/L)	0.92	0.96	0.94	0.54	0.59	0.85	0.57	N.D.	5 <sup>*1</sup>	1 <sup>*3</sup>

註：\*1引|用英國England and Wales,2000年,The Water Supply (Water Quality) Regulations

\*2引|用美國RCRA toxicity characteristic (40 CFR 261.24)

\*3引|用美國US National Secondary Drinking Water Legislation

3、Stabilisation/Solidification (S/S) of hazardous waste: Feedback on a real site based study(發表者 M.A. Aubry, France, M.C. Magnié,United Kingdom, P. Urso, C. Hills, USA)

由法國、英國與美國之學者專家執行之國家型 PASSIFY 計畫(2005~2008 年)，其目標乃對於經安定化/固化處理之有害廢棄物或污染土壤，評估其長時間置於掩埋場曝露在自然環境下之演變情況。實驗方法為自二座法國垃圾掩埋場選取代表性的樣本進行溶出測試，並與其過去執行的研究情形作比較。溶出測試包括 Standard AFNOR X31-211, Soxhlet type Leaching Tests、ANC Tests、Dynamic Leaching Tests、Equilibrium Tests 等方法，礦物特性檢測包括紅外線與 XRD 等方法。法國在這個項目的部分，得到的以下結論：

(1).目前法規仍允許有害廢棄物經安定化/固化處理後置於掩埋場掩埋。

(2).由礦物學角度觀察，儘管樣品組成內容不一，安定化/固化物雖經長年久月老化，對礦物(如氯化物與硫酸鹽)特性影響有限。此外，可溶解礦物如岩鹽和鉀鹽總是存在其中，表示安定化/固化

物送到掩埋場掩埋，不會隨著時間的歷程而發生重大的變動。

(3).批次式溶出測試結果顯示，安定化/固化之重金屬物(如高濃度的鉛與鋅)在其自然環境 pH 條件下，不致有溶出超出標準問題發生，且 pH 值需低於 4.5 以下，始發生移動現象。此外，溶出之鹽類不受 pH 值影響，此結果與 INERTEC 和 SITA 之文獻資料與先前數據相符。

(4).經由礦物學角度觀察顯示，掩埋場實際操作過程中較少與水接觸，故鹽類重大溶解的情形不會發生。這項研究顯示，法國對於有害廢棄物經安定化/固化處理後置於掩埋場貯存的整套處理過程是有效的。所有目前觀察現地貯存安定化/固化物之穩定情形，與早先實驗室研究的結果證實一致。

另於大會結束後，拜訪本次研討會之主辦單位主席-Dr. Gerasimos Lyberatos，其為 Patras 大學生化工程與環境工程研究所所長。Dr. Lyberatos 表示，各國經濟發展與科技進步，連帶造成地球資源的減少與廢棄物的增加。為了全球永續發展，物質再使用與資源回收再利用已成為世界趨勢。此外，有別於石油能源之生質能發展，也是目前新興重要的議題，須予以探討與研究。鑒此，透過學界、工業界與民間團體共同參與及討論有關環境保護、資源回收再利用以及新能源等相關議題，促進全球永續發展，WasteEng Conference 之國際廢棄物工程研討會乃應運而生。第一屆於 2005 年 5 月在法國舉行，本屆則在希臘舉辦。

### 三、心得及建議

(一)目前歐盟在廢棄物管理方面的立法精神，乃鼓勵會員國朝廢棄物資源回收少掩埋之方向而努力。由於焚化處理仍屬廢棄物處理之主要方法之一，焚化後的底渣可再利用做為路基鋪料或製磚等為目前研究主流。其中不同粒徑大小底渣，在酸性情形下的重金屬溶出行為，以及法規與使用方法，都需進一步的研究與探討。

- (二) 來自於農業的生質能是目前可再生能源的重要來源之一，其主要原因乃在於做為生質燃料時的二氧化碳中和性，亦即所謂二氧化碳零排放。而農業廢棄物經熱裂解(pyrolysis)作用可產生焦炭、裂解油與甲烷氣，具有能源回收的潛能。其中焦炭由於多孔性、比表面積大以及低灰分等特性，可進一步做為活性碳，用以廢氣與廢水污染防治之吸附材。
- (三) 薄膜過濾去除油脂製程，因尚在實驗室階段，對成本效率較未提及。薄膜滲透屬高級廢水處理，薄膜於處理製程中易弄髒受到污染，生命週期短期，也會造成水頭損失大、滲透量減小，以及壓力增加等問題。
- (四) 目前各國皆致力開發非食物性生質能，利用農業廢棄物或樹木殘枝製成富含高碳之燃料，除可逐漸替代傳統燃料外，對整體環境之二氧化碳排放量亦有正面之助益。反觀國內農業廢稻草，因農民多採就地燃燒方式，造成空氣污染，影響交通順暢。環保署雖欲以焚化爐焚化方式解決短期廢稻草問題，惟其收集與運輸仍需投入大量資金與人力，亦需其他相關行政配合措施方可治標。以國內尚在研發中之稻草切碎與擠壓成燃料棒之設備，並參考國外於生質能產地設置多處機組設備，以節省運輸成本之策略而言，只待國內處理技術與設備成熟，並配合政策宣導，應可有效解決廢稻草就地燃燒問題，並可導向生質燃料發展。
- (五) 英、法、美聯合進行 PASSIFY 計畫(2005~2008 年)，其目標乃對於經安定化/固化處理之有害廢棄物或污染土壤，評估其長時間置於掩埋場曝露在自然環境下之演變情況。試驗結果證實，有害廢棄物經安定化/固化處理後置於掩埋場貯存的整套處理過程是有效的，且固化物經自然環境之沖刷，不會隨著時間的歷程而發生重大的重金屬溶出變動。此安定化/固化處理方法固然可行，惟固化製程中水泥之添加量為主要關鍵，對於國內公民營廢棄物處理機構採固化處理者，亦須不定期查核以督促業者確實執行。
- (六) 可燃廢棄物堆積需注意其熱能累積而引發自燃危險，環保主管機關應針對 RDF 廠或資源(如廢紙、廢木材)回收機構，加以規範貯存設施及貯存

量。

- (七)藉由本次研討會可瞭解國際間目前有關廢棄物處理與資源化再利用等較新技術與方法，並蒐集相關資料與汲取國外經驗，可作為日後執行相關計畫之技術諮詢及參考。