

# 行政院所屬各機關因公出國人員出國報告書

(出國類別：考察)

## 德國、荷蘭及比利時等國畜牧糞尿沼 液沼渣資源化利用實務考察報告書

服務機關：行政院環境保護署

姓名職稱：吳筱婷 薦任技士

謝惠冰 環境技術師

派赴國家：荷蘭、德國、比利時

出國期間：108年6月17日至6月29日

報告日期：108年9月



## 公務出國報告簡表

出國計畫名稱：參加歐洲世界厭氧消化大會及考察畜牧糞尿資源化利用實務		
出國人姓名/職稱/服務單位：  吳筱婷/薦任技士/行政院環境保護署水質保護處  謝惠冰/環境技術師/行政院環境保護署水質保護處		
出國日期：108 年 6 月 17 日至 6 月 29 日		
出國期間概況紀要：  本次考察藉由拜訪德國、荷蘭禽畜糞尿厭氧消化系統之設備供應商、系統規劃操作商及歐洲沼氣協會，另參加國際水協會於荷蘭戴爾夫特舉辦之「第 16 屆世界厭氧消化研討會」，蒐集世界各國目前厭氧消化技術資訊，瞭解最新厭氧消化技術、設備發展現況與國際趨勢。藉由與拜訪單位討論，瞭解歐盟國家禽畜糞尿處理及能（資）源化政策之制定歷程、方法、成果及其推動過程所遭遇問題與解決對策。此外，亦對歐洲國家之處理畜牧糞尿的現行技術、處理模式、相關規範、沼氣及沼液沼渣利用技術及模式與我國目前現況進行交流討論。		
活 動 日 期	活 動 內 容	活 動 地 點
6 月 17 日	啟程，從臺灣出發至荷蘭阿姆斯特丹，再前往德國丁克拉格	德國丁克拉格
6 月 18 日	1.拜訪德國 Erich Stallkamp ESTA GmbH 總部，瞭解德國豬糞尿厭氧發酵產沼氣概況與沼液沼渣利用方式 2.參訪 Sören Meyer 沼氣廠、Westendorf 沼氣廠	德國丁克拉格
6 月 19 日	1.拜訪荷蘭沼氣系統商 HoSt 總部，瞭解荷蘭豬糞尿厭氧發酵產沼氣概況與沼液沼渣利用方式 2.參訪 Vriezenveen Nederland 農場型沼氣廠	荷蘭恩斯赫德、弗里曾芬

6月20日	參訪 Gebr. Van Eijck Loonbedrijf B.V. 集中處理厭氧消化沼氣廠	荷蘭阿爾芬-哈姆
6月21日	拜訪歐洲沼氣協會(The European Biogas Association, EBA)	比利時布魯塞爾
6月22日	1.整理各廠參訪資料 2.移動路程	荷蘭代爾夫特
6月23日   6月27日	參加「第16屆世界厭氧消化研討會(16 <sup>th</sup> IWA World Conference on Anaerobic Digestion)」	荷蘭代爾夫特
6月28日	返程，自荷蘭阿姆斯特丹出發	荷蘭阿姆斯特丹
6月29日	上午6時抵達臺灣	臺灣

行程成果評估及心得建議：

由於畜牧業所產生之禽畜糞尿為事業廢棄物，應由業者成立共同清理與處理機構，自行處理。目前中小型畜牧戶數多，其對廢水處理設施管理及營運能力不足，且資金不充裕，建議仍以須收取處理費作為優先政策，可由事業目的主管機關參照本署對污染物收取處理基金之模式（資源回收基金、空污基金及水污基金等），採用以畜牧規模收取畜禽糞尿之處理基金，成立共同清運處理機構之方式運作，再透過採用公辦民營或促參方式興建集中化處理場，並於適法性及經濟效益性具可行性。另考量國內能源缺乏，畜禽糞尿處理之產物再利用方式亦可作為基金收益，沼氣利用方式可採用純化作為天然氣後使用，經濟與能源效益更高，而沼液沼渣作為肥料於農地施灌可參考荷蘭模式，依作物所需營養素（氮、磷等）設定土地施用量上限，能（資）源化將畜牧場經濟效益發揮到最大值。

## 摘要

本次考察藉由拜訪德國、荷蘭禽畜糞尿厭氧消化系統之設備供應商、系統規劃操作商及歐洲沼氣協會，另參加國際水協會於荷蘭戴爾夫特舉辦之「第 16 屆世界厭氧消化研討會」，蒐集世界各國目前厭氧消化的技術資訊，瞭解最新厭氧消化技術、設備發展現況與國際趨勢。藉由與拜訪單位討論，瞭解歐盟國家禽畜糞尿處理及能（資）源化政策之制定歷程、方法、成果及其推動過程所遭遇問題與解決對策。此外，亦對歐洲國家處理畜牧糞尿之現行技術、處理模式、相關規範、沼氣及沼液沼渣利用技術及模式與我國目前現況進行交流討論。

目前歐盟國家以沼氣發電與沼氣純化成天然氣之兩大主要應用方式並行。德國現行國家能源政策為提高再生能源發電占比，故德國於沼氣之利用著重於發電與廢熱利用，其以高躉購費率誘導沼氣廠發電後上傳電網售電。荷蘭則為天然氣價格高、沼氣發電躉購費率低，故其沼氣應用以純化後上傳至天然氣管網，作為家用、工業用與車用燃料為主。相較於沼氣發電設施，沼氣薄膜純化裝置雖然初設成本高，但其操作成本及人力需求極低，長期效益與發電各具有不同優勢，對於我國之沼氣利用，亦應對兩種應用方式加以評估，提出具經濟可行型之利用方案，提供產業參考，以增加業者對禽畜糞尿處理產業投入之誘因。

本次實地訪查德國、荷蘭兩國共 4 座不同處理模式（集中型處理廠與農場型處理廠）與不同沼氣利用模式之禽畜糞尿處理廠，蒐集實際操作模式、原物料進料組成、營運成本及經濟效益等。目前歐盟對於沼液沼渣之後續利用皆採作為肥料，施灌於農田，本次亦參訪相關施灌機具及瞭解施灌規範。

荷蘭為歐盟國家中，沼液沼渣再利用體制最為健全之國家，其農業政府部門鼓勵農場使用沼液沼渣作為肥料，秉持 Farm waste recycle 之原則，將禽畜糞尿發酵後之沼液沼渣直接於現地農場使用。另一方面亦嚴格控管施灌量，施灌車輛需配備 GPS、流量計與氮含量分析儀，即時監控各農地施用量。

本次參訪中，最具規模之處理廠位於荷蘭阿爾芬哈姆，由 Gebr. Van Eijck Loonbedrijf B.V. 經營之畜牧糞尿集中處理廠，採收集畜牧糞尿、厭氧消化與沼液沼渣施灌之一體式操作模式。該公司為農務操作公司，其主要營業項目包含代

耕、代收割、農地施肥、農業廢棄物處理等業務，收受涵蓋距離 100 公里內之農場畜牧糞尿。其沼氣處理廠每年可處理超過 35,000 公噸畜牧糞尿，每年生產 220 萬 Nm<sup>3</sup> 生物甲烷氣，純化處理後上傳天然氣管網，可提供相當於每年 1,450 戶家庭天然氣使用量，另沼液沼渣亦可作為肥料銷售。該公司具有專業沼液沼渣施灌車隊，高效能施灌車售價約 35 萬歐元，均配有 GPS 與即時監控系統，可準確監控其施灌量與位置。

禽畜糞尿厭氧消化處理產生沼氣再利用之相關設備與技術在歐盟國家已發展成熟，並依各個國家不同國情建立完整之商業模式。目前歐盟針對生質廢棄物以厭氧消化產沼氣應用具有統一之指令，並視各國之能源政策有不同規範與應用方式。鑒於我國目前禽畜糞尿處理推行主要困難在於無可行之經濟模式，於獲利不佳之狀態下無法誘使廠商投入資金採用成熟有效之設備與技術，而沼液沼渣作為肥料目前無相關施用與品質規範，造成接受程度低，沼液沼渣去化不易。本報告彙整本次出國考察資料，針對我國未來厭氧發酵技術、沼氣利用模式、沼液沼渣澆灌設備與規範及相關政策誘因進行探討，期望能提供為未來畜牧廢水能(資)源化政策擬定之參考。為能縮短推動期程，建議未來可結合本署推行畜牧糞尿資源化工作，參照歐盟整體規範，引進成熟設備與技術輔導地方政府設置集中處理示範廠，依示範廠運作經驗配合增修相關規範。此外，配合農政單位之循環農業政策，針對產出沼液沼渣肥料之相關品質規範與施用管理辦法，建議作為後續跟農政單位研商議題，以健全去化管道，達成禽畜糞尿妥善處理及能(資)源化之目標。

# 目次

壹、前言.....	1
貳、考察目的.....	1
參、出國行程與內容概要.....	1
肆、參訪結果.....	3
伍、心得.....	21



## 壹、前言

我國目前針對禽畜糞尿處理之規劃方針係藉由資源化等方式妥善處理，以降低廢水排放對水體污染之衝擊，同時提升能（資）源再利用率。為能瞭解先進國家對於禽畜糞尿處理及能（資）源化之政策歷程、方法、成果及其推動過程所遭遇問題與解決對策，進而規劃此次參訪。本次計畫藉由實地參訪德國及荷蘭等 2 國家之厭氧消化處理廠以及拜訪歐洲沼氣協會(The European Biogas Association, EBA)，瞭解歐洲國家處理禽畜糞尿的技術、設備、處理方法及水體環境改善績效，考察其設備種類、適用條件、效益及可供國內參考應用之處，並了解原物料收集模式、沼液沼渣取代化學肥料作為農地肥分使用之相關案例與成果。

此外，藉由參加國際水協會舉辦之「第 16 屆世界厭氧消化研討會(16<sup>th</sup> IWA World Conference on Anaerobic Digestion)」，蒐集世界各國目前厭氧消化之技術資訊，瞭解最新厭氧消化技術與設備發展現況。藉由參與厭氧處理與再利用技術和設備的大型展覽活動，掌握最新發展趨勢及其成本效益，並評估引進國內應用之可行性。

## 貳、考察目的

考察歐洲德國、荷蘭與比利時等 3 個先進國家之畜牧糞尿資源化推動經驗，並掌握國際間有關畜牧糞尿經厭氧發酵後之沼液沼渣再利用最新科技及成功案例，做為規劃我國推動畜牧糞尿資源化政策與制度之參考。

## 參、出國行程與內容概要

本次行程參訪 3 個國家(德國、荷蘭、比利時)，共計拜訪 2 家設備與系統廠商 (Erich Stallkamp ESTA GmbH、HoSt)、1 個相關組織(歐洲沼氣協會)，並現地訪查 4 座沼氣廠，其中包含 3 座農場型 (Sören Meyer 沼氣廠、Westendorf 沼氣廠、Vriezenveen nederland 農場型沼氣廠) 與 1 座集中型處理廠 (Gebr. Van Eijck Loonbedrijf B.V. 集中處理厭氧消化沼氣廠)，並參與第 16 屆世界厭氧消化研討會(16<sup>th</sup> IWA World Conference on Anaerobic Digestion)。行程如表 1，重點介紹如下列：

- 一、拜訪德國 Erich Stallkamp ESTA GmbH 總部、荷蘭 HoSt 總部：瞭解德國、荷蘭等 2 個國家對於禽畜糞尿厭氧發酵產沼氣概況與沼液沼渣利用方式。
- 二、拜訪歐洲沼氣協會(The European Biogas Association, EBA)：瞭解歐盟國家對於禽畜糞尿厭氧發酵產沼氣概況與沼液沼渣利用方式。
- 三、參訪 Sören Meyer 沼氣廠、Westendorf 沼氣廠、Vriezenveen Nederland 農場型沼氣廠及 Gebr. Van Eijck Loonbedrijf B.V. 集中處理厭氧消化沼氣廠：參觀禽畜糞尿用於厭氧消化之實際操作方式，包含收集及輸送方式、厭氧發酵設備大小與操作方式、發電或純化天然氣之設備維護需求、沼液沼渣回歸農地運輸方式等。
- 四、參加第 16 屆世界厭氧消化研討會(16<sup>th</sup> IWA World Conference on Anaerobic Digestion)：蒐集世界各國目前厭氧消化之技術資訊，瞭解最新厭氧消化技術與設備發展現況。

表 1、參訪行程

日期	參訪內容	活動地點
6 月 17 日	啟程，從臺灣出發至荷蘭阿姆斯特丹，再前往德國丁克拉格。	德國丁克拉格
6 月 18 日	1.拜訪德國 Erich Stallkamp ESTA GmbH 總部 2.參訪 Sören Meyer 沼氣廠、Westendorf 沼氣廠	德國丁克拉格
6 月 19 日	1.拜訪荷蘭沼氣系統商 HoSt 總部 2.參訪 Vriezenveen Nederland 農場型沼氣廠	荷蘭恩斯赫德、弗里曾芬
6 月 20 日	參訪 Gebr. Van Eijck Loonbedrijf B.V. 集中處理厭氧消化沼氣廠	荷蘭阿爾芬-哈姆
6 月 21 日	拜訪歐洲沼氣協會(The European Biogas Association, EBA)	比利時布魯塞爾
6 月 22 日	1.整理各廠參訪資料 2.移動路程	荷蘭代爾夫特
6 月 23 日   6 月 27 日	參加「第 16 屆世界厭氧消化研討會(16 <sup>th</sup> IWA World Conference on Anaerobic Digestion)」	荷蘭代爾夫特

6 月 28 日	返程，自荷蘭阿姆斯特丹出發。	荷蘭阿姆斯特丹
6 月 29 日	上午 6 時抵達臺灣	臺灣

## 肆、參訪結果

### 一、德國 Erich Stallkamp ESTA GmbH

德國 Erich Stallkamp ESTA GmbH 為厭氧消化設備製造商，具有 40 年設計、製造和組裝高品質不銹鋼產品（如厭氧消化槽、泵、攪拌器和分離器等產品）的專業經驗，且具有豐富的設備製造與建廠經驗，Erich Stallkamp ESTA GmbH 公司具有興建大型生物甲烷煉製廠（Biomethane Refinery Können – Stallkamp）之實績。本次參訪由該公司業務部經理 Mr. Jan Sloot 與市場部 Miss Hanna Richter 負責接待，分享德國與歐盟國家沼氣應用現況、禽畜糞尿厭氧消化處理設施之概念，並參觀工廠及產品介紹。

與其他歐盟國家相比，由於德國政策著重於能達成提高再生能源發電占比之目標，故沼氣之利用著重於發電。沼氣發電後掛網售予電力公司之價格為 0.25 EUR/kWh (約新臺幣 8.73 元/度電)，極具有商業誘因。發酵後之沼液沼渣再經過固液分離，固體直接作為固態肥料或原料，沼液則作為液肥直接施用於農田。德國對於沼液之澆灌量及時間均有嚴格限制，僅能於每年 3 月到 9 月配合植物生長期間澆灌於農田，其餘時間產出之沼液需暫存於儲槽內，不得施灌。



圖 1、與 Mr. Jan Sloot 及 Miss Hanna Richter 討論德國與歐盟國家之沼氣設施發展與現況



圖 2、Erich Stallkamp ESTA GmbH 總公司

由於設置禽畜糞尿厭氧消化處理廠採用密閉式處理，集中收集並抑制臭味逸散，有效降低對周遭環境衝擊。為獎勵畜牧業新建禽畜糞尿厭氧消化處理設施，德國政府針對設有厭氧消化處理設施之畜牧場允許其增加養殖禽畜數量。

對於沼氣發電後之廢熱使用，由於我國畜牧業集中於中南部地區，對於熱能之需求低，Erich Stallkamp ESTA GmbH 人員建議可採用廢熱製冷作為畜牧場之空調使用，以提升能源利用率及豬舍養殖環境。



圖 3、Erich Stallkamp ESTA GmbH 生產之固液分離機與攪拌機

## 二、Sören Meyer 沼氣發電廠

Sören Meyer 沼氣廠興建於西元 2010 年，為 Erich Stallkamp ESTA GmbH 與 Sören Meyer Biogas GmbH 兩家公司合資興建之農場型處理廠。Sören Meyer Biogas GmbH 為豬隻畜牧場，全廠配合自動化豬舍、空氣淨化系統及地下式全自動化氣密式糞尿輸送管系統，以防止異味擴散，環境管理極佳，地面整潔，無臭味。

處理廠具有 2 座厭氧消化槽及 1 座大型沼液沼渣儲存槽，其沼氣利用採電熱聯產

(combined heat and power, CHP)，並配有沼氣純化（脫硫）裝置（淋洗塔）、2 部沼氣發電機及廢熱利用裝置。沼氣發電後之餘熱則作為木料乾燥使用。

該廠主要處理禽畜糞尿為自場產出之豬糞，並收集他場之馬糞及雞糞混和後作為發酵之主要原料，另外添加及 5% 農業資材（麥稈）及氧化鐵。鐵離子對厭氧消化過程中的氣體產生有重要影響，鐵離子可做為細胞氧化還原反應之載體負責電子轉移，並可通過促進酶的合成和活化酶催化來影響發酵甲烷的產生。故保持消化液中一定濃度的鐵離子可促進細胞合成，並改變產甲烷菌的微生物群落結構來提高產甲烷菌的活性，進而增加沼氣產率。厭氧消化過程中產生之硫化物會抑制甲烷產生，添加鐵離子產生硫化鐵沈澱可降低厭氧消化中可溶性硫化物對產甲烷菌的毒性。



圖 4、Sören Meyer 沼氣發電廠與養豬場之鳥瞰圖



圖 5、Sören Meyer 厭氧消化槽與沼液沼渣儲槽



圖 6、廠外共消化物進料混合槽



圖 7、沼氣脫硫塔



圖 8、沼氣發電機組



圖 9、廢熱利用裝置

### 三、Westendorf 沼氣廠

Westendorf 養豬場興建於西元 1500 年，養殖規模為 6,000 頭豬隻(包含仔豬與成豬)，前身為養雞場。該場所屬之沼氣廠建廠至今操作營運已有 9 年，沼氣廠厭氧消化設施建設費用為 200 萬歐元，土建及地下管線埋設費用為 250 萬歐元。

厭氧消化設備有 2 座厭氧消化槽與 1 座沼液沼渣儲存槽（容積 5,440 m<sup>3</sup>），每天投入 30 公噸豬糞（地下管線運送）、20 公噸玉米穗軸及 10 公噸雞糞等混和料，並添加 40 公斤氧化鐵，進而增加沼氣產量。消化完後之沼液沼渣再經過固液分離，固體沼渣乾燥後作為固態肥料，沼液則於儲槽儲存，待每年 3 月到 9 月配合農作物生長期間澆灌於農田。

沼氣每日產量為 2,300 m<sup>3</sup>，甲烷濃度 50~55%。沼氣發電後上傳電網以躉購費率售予電力公司，其發電量為 550 kWh，產生熱能為 600 kW。



圖 10、厭氧消化槽與餘熱利用裝置



圖 11、沼液沼渣固液分離機與分離後之沼渣



圖 12、中控室與沼氣發電機房

#### 四、HoSt 沼氣系統公司

HoSt 於 1991 年成立，由 Holec Projects 和兩家知名能源系統供應商 Stork 合資。從 1999 年開始，HoSt 為完全獨立的企業，其業務主要集中在廢物能源系統的技術開發上，用於生物質和廢棄物的處理以及生物質和廢棄物可持續發電系統的供應。

HoSt 在處理來自食品加工業的各種廢物料以及秸稈、穀殼和草屑等農業副產品方面積累了豐富的經驗。HoSt 已成為歐洲主要的生物能源系統供應商，擁有超過 27 年的經驗，遍布歐洲的大型服務團隊以及 120 多名工程師團隊，負責設計、建造和安裝先進的生物能源系統。

本次參訪由 Mr. Ben Olde Keizer 負責接待與解說荷蘭之沼氣應用現況。與德國不同之處，荷蘭之沼氣發電躉購費率低，而沼氣純化後之天然氣價格高，故荷蘭於沼氣之應用係以純化後上傳至天然氣管網為主，相較於沼氣發電設施，沼氣純化裝置雖然初設成本較高，但其後續操作、維護成本及人力需求極低，長期經濟效益較發電具有優勢。

荷蘭為歐盟國家中，沼液沼渣再利用體制最為健全之國家，其農業政府部門鼓勵農場使用沼液沼渣作為肥料，秉持 Farm waste recycle 之原則，將禽畜糞尿發酵後之沼液沼渣直接於現地農場使用。另一方面亦嚴格控管施灌量，施灌車輛需配備 GPS、流量計與氮含量分析儀，即時監控各農地施用量，達到使用量上限者即停止施灌。荷蘭於沼液沼渣施灌之作法值得我國借鏡學習。



圖 13、與 HoSt 人員討論荷蘭厭氧消化及沼液沼渣之利用

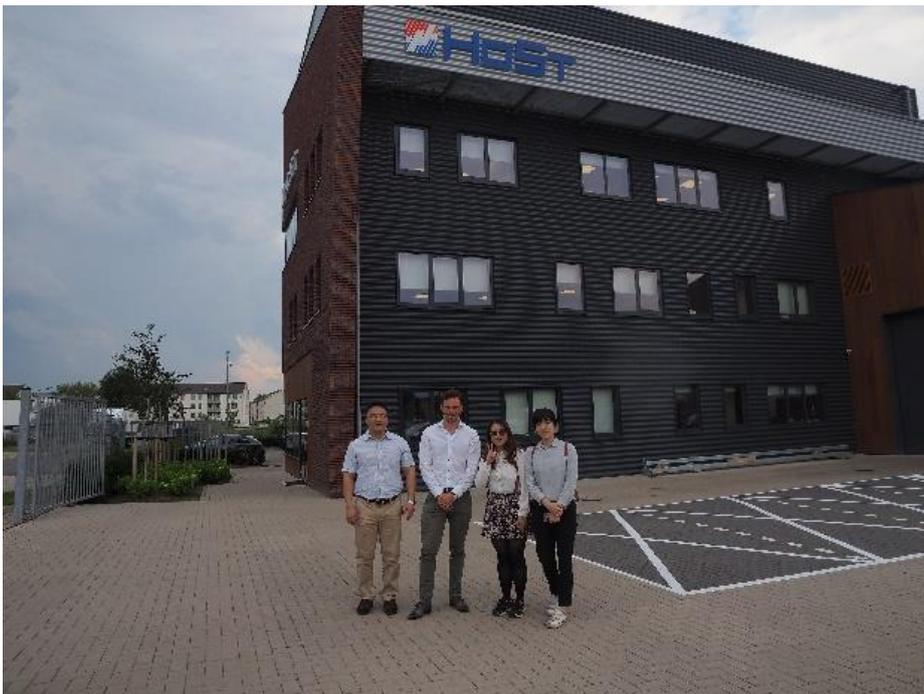


圖 14、HoSt 公司外觀合影

## 五、Vriezenveen 農場型沼氣廠

荷蘭 Vriezenveen 沼氣廠由 HoSt 公司設計和建造，屬於農場型之沼氣廠。該廠每年處理超過 12,000 公噸牛糞，每小時生產 40 Nm<sup>3</sup> 天然氣生物甲烷，每年生產 32 萬 Nm<sup>3</sup> 天然氣生物甲烷，可供給約 400 個荷蘭家庭作為暖氣使用。

生物甲烷送入低壓天然氣管網中，從 2018 年 3 月正式啟用，此廠建置消化沼氣槽大小為 791 立方公尺、2 座 50 立方公尺儲存槽，消化後產生沼氣中之甲烷濃度為 55~60 vol% 經純化可提升到 89 vol%。Host 公司簽下為期 12 年的維護合約，確保長期沼氣製造廠的運作，增加生物質能源化之利用途徑與穩定性。



圖 15、Vriezenveen 農場型沼氣廠



圖 16、沼氣純化裝置

#### 六、Gebr. Van Eijck Loonbedrijf B.V. 集中處理沼氣廠

由 Gebr. Van Eijck Loonbedrijf B.V. 公司經營之牛糞集中處理廠位於荷蘭阿爾芬-哈姆，為 HoSt 公司設計和建造之最新沼氣廠。Gebr. Van Eijck Loonbedrijf B.V. 為農務操作公司，主要營業項目包含代耕、代收割、農地施肥、農業廢棄物處理等業務，禽畜糞尿係向附近畜牧場收集處理，且偏好中小型畜牧場，可分散營運風險，另載運距離視區域特性而訂，該公司最遠可至 100 公里。

該廠於今(2019)年 6 月中開始進行商轉，操作 3 週內即可全量運轉並產沼氣達到 100%。每年將可處理超過 60,000 公噸牛糞、生產 220 萬  $\text{Nm}^3$  天然氣生物甲烷。生物甲烷送入天然氣網絡後使用，相當於 1,450 戶家庭的年平均天然氣消費量。該廠獨特之處在於其高效熱回收系統，通過使用熱泵，幾乎不會損失任何熱量，能源利用效率高。

為了防止氣味擴散，牛糞於密閉區域中卸載，並儲存在封閉空間。密閉空間內之空氣會經過先進的空氣淨化處理後，才釋放至室外，故無環境污染問題。

該廠除生產生物甲烷外，亦生產優質肥料，於當地的農業部門銷售。該公司亦擁有專業之沼液沼渣農地澆灌車隊，車輛均配有 GPS 與即時監控系統，可準確監控施灌量與位置。



圖 17、Gebr. Van Eijck Loonbedrijf B.V. 集中處理沼氣廠



圖 18、液體（尿液）進料



圖 19、乾牛糞與固體物進料混合槽



圖 20、沼氣純化裝置與即時濃度監控設備



圖 21、澆灌車輛與施灌口近照

## 七、歐洲沼氣協會 (European Biogas Association, EBA)

歐洲沼氣協會成立於 2009 年 2 月，總部位於比利時布魯塞爾，為非營利組織，且是歐洲可再生能源論壇 (European Forum for Renewable Energy Sources, EUFORES) 的成員。致力於促進歐洲厭氧消化和生質氣化 (biomass gasification) 的可持續生物氣 (biogas)，與生物甲烷之生產與使用，藉由本次拜訪瞭解歐洲厭氧消化發展沿革、現況及未來規劃。



圖 22、拜訪歐洲沼氣協會，瞭解歐盟沼氣發展策略與現況

歐洲沼氣協會的成員聚集來自全歐洲 26 個國家的國家沼氣和生物甲烷協會、研究所與私人公司。歐洲沼氣協會聯合歐洲大量經驗最豐富的沼氣和生物甲烷專家，擁有經驗豐富、技術嫻熟的員工，提供政策諮詢，技術指導和相關資訊提供，以促進相關領域的立法和建立制度。

目前歐盟針對沼氣生質廢棄物於沼氣應用具有統一方針，並視各國能源政策有不同之規範與應用方式。目前歐盟國家沼氣係以發電與純化成天然氣之兩大主要應用方式併行。目前沼氣純化之應用除一般家庭供暖及作為工業用燃料外，另有專管設置於加氣站提供車輛使用。

## 八、第 16 屆世界厭氧消化研討會

第 16 屆世界厭氧消化研討會 (16<sup>th</sup> IWA World Conference on Anaerobic Digestion) 為國際水協會 (International Water Association, IWA) 每年厭氧消化應用之重要活動，其為國際間最新穎的禽畜糞尿資源化技術及實廠成功案例，主題包括：目前最先進技術、生物經濟與環境永續發展現況、實務經驗分享、創新做法及最新研究方向。本次會議主題包含：

- (一) 厭氧 MBR 研究與應用
- (二) 生物電化學系統/微生物燃料電池
- (三) 顆粒污泥床技術
- (四) 新型厭氧高速反應器/先進的污泥保留系統
- (五) 污泥和泥漿消化 (廢物活化污泥、能源作物、共消化、污泥脫水等)
- (六) 發展中國家之低技術解決方案
- (七) 模組化系統建立與控制
- (八) 前處理技術 (物理化學、生物學)
- (九) 與厭氧消化相關的營養素去除、恢復
- (十) 後處理厭氧消化沼液、沼渣
- (十一) 厭氧消化沼液農業應用
- (十二) 硫循環技術
- (十三) 沼氣升級和管理
- (十四) 厭氧消化/(meta)基因組和微生物學研究
- (十五) 使用厭氧系統生產生物聚合物
- (十六) 資源回收
- (十七) 微污染物之厭氧生物轉化
- (十八) 環境管理和政策 (生命週期評估, 清潔發展機制)

本次會議出席人員針對禽畜糞尿厭氧消化實廠案例、沼氣純化技術、沼氣利用方式與經濟可行性等資料進行收集並與與會人員進行意見交流，攜回相關論文資料可提供我國厭氧處理技術發展之參考。



圖 23、參加 16th IWA World Conference on Anaerobic Digestion



圖 24、16<sup>th</sup> IWA World Conference on Anaerobic Digestion 開幕演說與研討會現況

## 伍、心得

禽畜糞尿能（資）源循環模式以歐盟國家發展較早，制度與技術亦較為成熟。主要架構仍為以厭氧發酵技術為核心，產生能源化產物「沼氣(biogas)」，並將厭氧發酵後之資源化產物「沼液沼渣」作為肥料使用於農地施灌。

歐盟國家沼氣係以發電與純化成天然氣之兩大主要應用方式併行，整體應用模式如圖 25 所示。

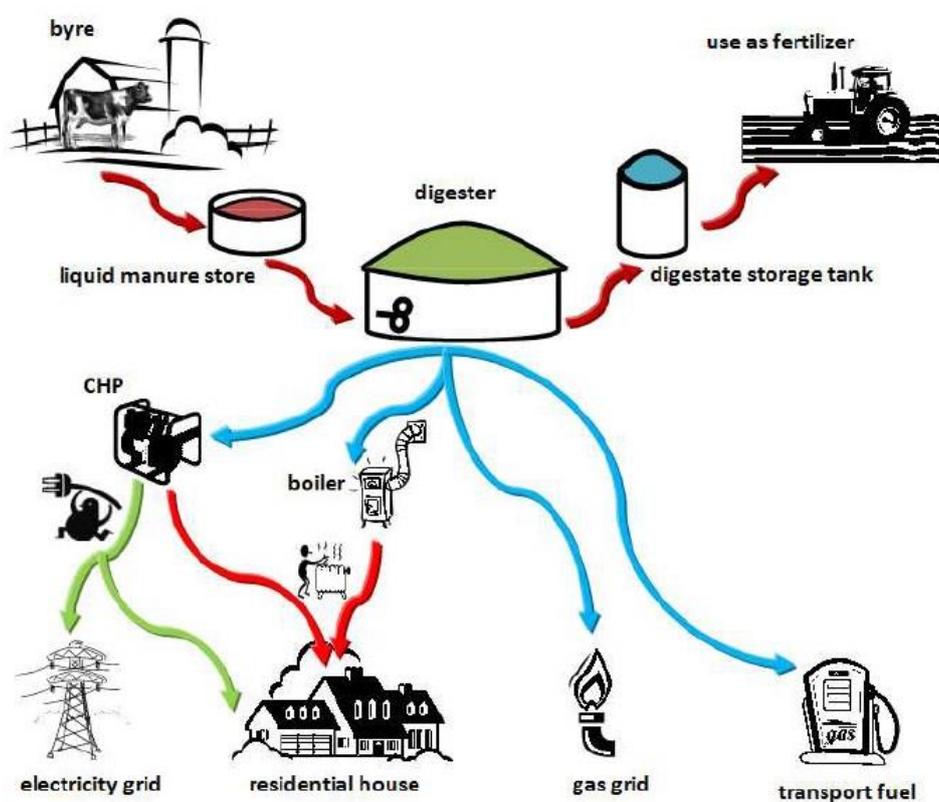


圖 25、 歐洲禽畜糞尿能（資）源化模式 (Source: Narodowa Agencja Poszanowania Energii, NAPE)

綜合前述參訪案例，各項比較列表如表 2 所示。依據歐洲沼氣協會所提供的統計資料顯示，目前歐盟國家中以德國之沼氣廠數目最多，共計有 10,971 座，遠超過排名第二的義大利之 1,655 座，為歐盟國家中之最（圖 26），且其沼氣利用配合能源政策以發電為主。歐盟歷年之以沼氣發電之統計如圖 27 所示，包含農業廢棄物、污水處理與掩埋場，其中以農業廢棄物厭氧消化為沼氣產生之最主要來源。

表 2、集中式與分散式厭氧消化設施案例比較

案例	地點	模式	禽畜糞尿來源	設備與技術	收入來源	沼液沼渣再利用	比較
Sören Meyer 沼氣廠	德國 丁克拉格	分散式 (農場型)	90% 自有豬糞、 10% 鄰近地區馬 糞與雞糞	1. 厭氧消化設備：混合進料機 1 台、消化槽 2 座、後消化槽 (儲槽) 1 座、沼液沼渣固液 分離機 1 座 2. 沼氣利用設備：脫硫塔 1 座、 CHP 2 座 (含發電與乾燥機)	鄰近地區馬糞 處理費、銷售電 力及肥料	鄰近地區 農田澆灌	優點：沼氣利用發電 設備初設成本低。 缺點：發電設備保養 頻繁、熱利用為自廠 利用無收益、能源利 用率低。
Westendorf 沼氣廠	德國 丁克拉格	分散式 (農場型)	50% 自有豬糞 (10,950 公噸/ 年)、33.33% 鄰近 地區雞糞 (7,300 公噸 / 年) 與 16.67% 玉米穗軸 (3,650 公噸/年)	1. 厭氧消化設備：混合進料機 1 台、消化槽 2 座、後消化槽 (儲槽) 1 座、沼液沼渣固液 分離機 1 座 2. 沼氣利用設備：脫硫塔 1 座、 CHP 1 座 (含發電與乾燥機)	鄰近地區雞糞 處理費、銷售電 力 (其發電量為 550 kWh) 及肥 料，並產生 600 kW 之熱能 (自 用)	鄰近地區 農田澆灌	優點：沼氣利用發電 設備初設成本低。 缺點：發電設備保養 頻繁、熱利用為自廠 利用無收益、能源利 用率低。
Vriezenveen 農場型厭氧 消化沼氣廠	荷蘭 弗里曾芬	分散式 (農場型)	95% 自有牛糞 (12,000 公噸/ 年)、5% 鄰近地區 農業廢棄物	1. 厭氧消化設備：混合進料機 1 台、消化槽 1 座、後消化槽 (儲槽) 1 座、沼液沼渣固液 分離機 1 座 2. 沼氣利用設備：脫硫塔 1 座、 沼氣濃縮裝置 1 套	銷售純化後沼 氣 (32 萬 Nm <sup>3</sup> / 年) 及肥料	鄰近地區 農田澆灌	優點：沼氣純化設備 自動化程度高、人力 成本低。 缺點：沼氣純化設備 初設成本高。

案例	地點	模式	禽畜糞尿來源	設備與技術	收入來源	沼液沼渣再利用	比較
Gebr. Van Eijck Loonbedrijf B.V. 沼氣廠	荷蘭 阿爾芬-哈姆	集中式 處理廠	95%各廠牛糞尿 (35,000 公噸)、 5%農業廢棄物	1.厭氧消化設備：混合進料機 1 台、消化槽 3 座、後消化槽（儲槽）1 座、沼液沼渣固液分離機 1 座 2.沼氣利用設備：脫硫塔 2 座、沼氣濃縮裝置 2 套	各養殖場之糞尿處理費、銷售純化後沼氣（220 萬 Nm <sup>3</sup> /年）及肥料	荷蘭全境 施灌	優點：集中處理經濟規模、沼氣純化設備自動化程度高、人力成本低。 缺點：沼氣純化設備初設成本高。

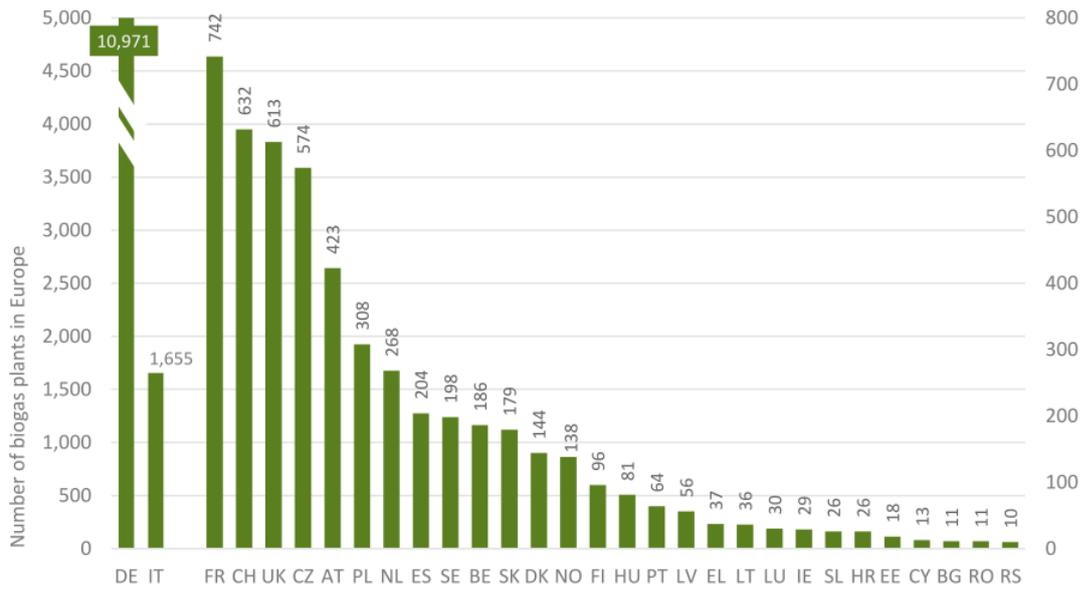


圖 26、歐盟國家沼氣廠數(EBA, 2018)

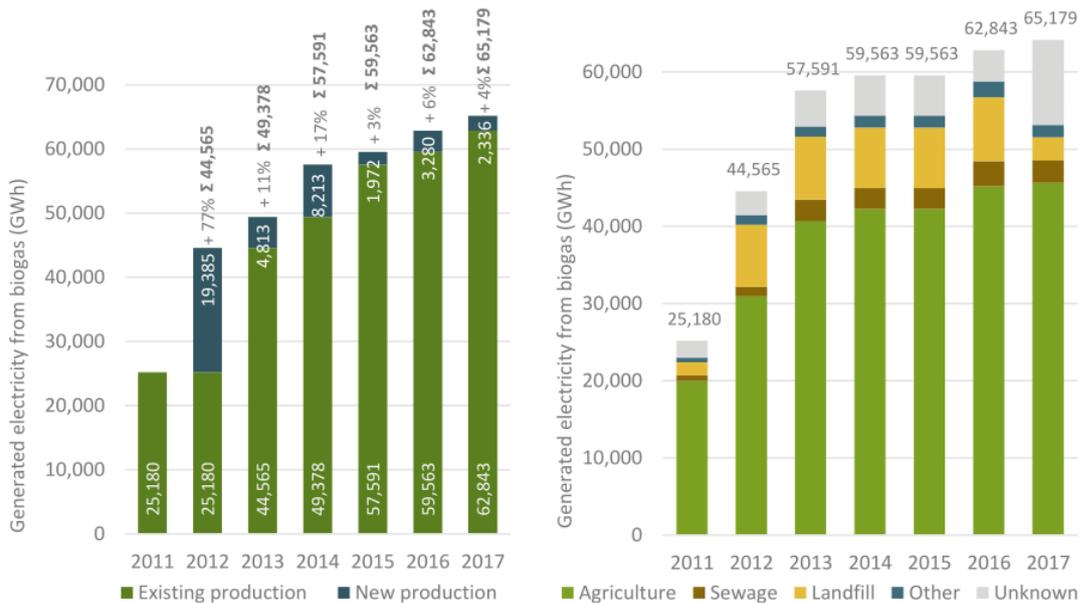


圖 27、歐盟國家歷年沼氣發電量統計(EBA, 2018)

比較德國、荷蘭與比利時之畜牧糞尿能資源化制度如表 3 所示。除德國外，其餘 2 國沼氣應用皆以純化為天然氣為主。

在於禽畜糞尿能（資）源化處理仍須秉持污染者付費原則，故歐盟國家針對禽畜糞尿處理仍以收取處理費，以支持整體處理體系之營運，整體之經濟模式如圖 28 所示，

處理費、沼液沼渣作為肥料及沼氣銷售（發電或天然氣）為主要收入來源。沼氣之利用不論是高躉購費率或高天然氣收購費率，皆是短期鼓勵投資之方案，長期還需要回歸能源價格考量，唯有收取處理費，並將沼液沼渣資源化才為長期穩定永續經營之正確模式。

表 3、德國、荷蘭與比利時 3 國之禽畜糞尿能（資）源化制度比較

項目	德國	荷蘭	比利時
畜牧糞尿處理	收費處理	收費處理	收費處理
處理方式	厭氧消化 能資源化處理	厭氧消化 能資源化處理	厭氧消化 能資源化處理
沼氣利用方式	發電為主	產天然氣為主	產天然氣為主
沼液沼渣利用方式	農地澆灌	農地澆灌	農地澆灌

以荷蘭為例，禽畜糞尿處理價格因地點不同而異。南方之處理費用高於北方，市場價格在每公噸 5 到 20 歐元之間。荷蘭躉購費率制度稱為 SDE+，可再生能源的生產並不總是有利可圖，因為可再生能源的成本價格高於市場價格，SDE + 根據所使用的技術，補償再生能源業者。SDE + 可用於補貼：

- （一）再生電力
- （二）可再生氣體燃料
- （三）可再生熱能或可再生熱電聯產（CHP）

荷蘭目前沼氣利用以純化為天然氣後上傳管網為主要利用方式。沼氣純化成為天然氣(CNG)之能源利用率與經濟價值高於發電。

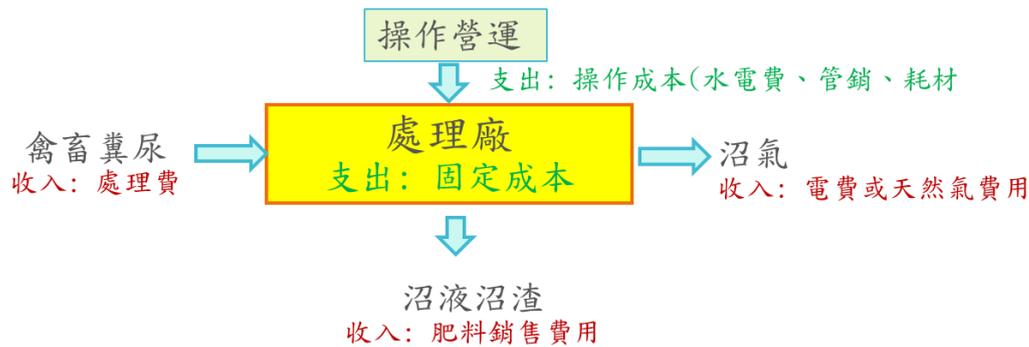


圖 28、禽畜糞尿沼氣廠之經濟模式

德國沼氣利用以發電為主，德國再生能源發電躉購費率稱為 EEG，其沼氣發電之躉購費率如下：

- (一) 生質廢棄物產生沼氣：0.1305 – 0.1488 歐元/ kWh（根據工廠規模）。來自畜牧糞尿沼氣：對於小於裝置容量 75 kW 的電廠，0.232 歐元/ kWh
- (二) 垃圾掩埋沼氣：5.66 - 8.17 歐元/ kWh
- (三) 污水廠沼氣：5.66 - 6.49 歐元/ kWh

若不考量躉購費率，僅考慮能源效益比較沼氣純化為天然氣與發電計算如下：

(一) 沼氣純化

假設沼氣產量為 100 Nm<sup>3</sup> /小時，沼氣含量為 58%，利用薄膜將沼氣濃縮升級到 CNG 時（將甲烷濃度提升至 97%），將獲得：

$$100 \times 0.58 / 0.97 = 58.9 \text{ Nm}^3 \text{ CNG (97\% CH}_4\text{) /小時}$$

將沼氣升級為 CNG（97% CH<sub>4</sub>）將獲得：

$$58.9 \times 10.723 = 630.5 \text{ kW / h 的能量}$$

(二) 沼氣熱電共生(CHP)

- 產生的電功率大約是沼氣流量× 2.2
- 因此，對於 100Nm<sup>3</sup> / h 沼氣產生 100 × 2.2 = 220 kWh 電量
- CHP 的效率大致如下：  
產電= 42%的能量

熱量= 45%的能量

損失= 13%的能量。

因此產生  $220 \text{ kW/h} \times 0.42 / 0.45 = 205.3 \text{ kWh}$  熱量

由上述計算可知產生沼氣純化為天然氣於燃燒裝置中使用之能源效率遠高於 CHP，亦可以列為未來應用之考量。

綜上，由於畜牧業所產生之禽畜糞尿為事業廢棄物，應由業者成立共同清理與處理機構，自行處理。目前中小型畜牧戶數多，其對廢水處理設施管理及營運能力不足，且資金不充裕，建議仍以須收取處理費作為優先政策，可由事業目的主管機關參照本署對污染物收取處理基金之模式（資源回收基金、空污基金及水污基金等），採用以畜牧規模收取畜禽糞尿之處理基金，成立共同清運處理機構之方式運作，再透過採用公辦民營或促參方式興建集中化處理場，並於適法性及經濟效益性具可行性。另考量國內能源缺乏，畜禽糞尿處理之產物再利用方式亦可作為基金收益，沼氣利用方式可採用純化作為天然氣後使用，經濟與能源效益更高，而沼液沼渣作為肥料於農地施灌可參考荷蘭模式，依作物所需營養素（氮、磷等）設定土地施用量上限，能（資）源化將畜牧場經濟效益發揮到最大值。