

德國畜牧沼氣資源回收及再利用

行政院農業委員會畜產試驗所◎鄭閔謙



國際沼氣會議舉行地點。

前言

臺灣為海島型國家，缺乏天然資源，又受全球溫室效應、空氣汙染及核能安全等因素影響，發展綠色再生能源為當務之急。而德國早在2000年就通過《再生能源法》(Erneuerbare-Energien-Gesetz, EEG)，並宣示將在2022年全面停止核能發電，因此大力發展綠色再生能源。據統計，2012年德國境內約有8千多座生質沼氣發電廠，發電量占全國總發電量百分之四。筆者在參加2016年於德國紐倫堡舉辦的國際沼氣會議及參訪三間沼氣工廠並蒐集相關資料後，期盼讓更多人瞭解德國畜牧沼氣資源回收及再利用技術，並改善臺灣現有技術與營運模式。

參訪過程與心得

一、國際沼氣會議

德國國際沼氣會議為一年一次由德國農業協會(Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft, DLG)與德國沼氣協會(Fachverband Biogas e. V.)聯合舉辦，今年會議主要重點為德國新的液肥修法重點、沼氣廠營運安全及改善營運效率。

(一) 沼氣廠安全管理

德國目前約有8千多座沼氣廠，發電量為41萬瓩，年發電量為290億度。由於大規模沼氣工廠眾多，因此須有專業化管理避免發生危險。許多沼氣工廠會取得如ISO等認

表 1. 德國沼氣工廠建議取得認證項目

認證項目	安全管理項目
ISO 9001	Quality management according
ISO 14001	Environment management
OHSAS 18001	Health and safety management according

證，且德國政府也有工廠查核制度。德國的沼氣工廠安全管理措施（Technical Safety Management, TSM），不僅每週都須自行檢查工廠運作狀況，更提供沼氣工廠日常操作與維護的自我檢核表，包括人員資格審查、是否符合法律規定之健康和環境保護及措施改善等，更需具備遠端控制能力及緊急應變措施。如有發生機械設備異常，管理現場的沼氣及電工專業人員須於三十分鐘內抵達。此外，工廠內附有警報功能的測定儀器，能連續測定甲烷、硫化氫、二氧化碳及氧氣含量。

（二）法律

德國爲了管理沼液沼渣應用，防止環境汙染而有多種相關管理辦法，以下列舉幾項較重要的規定：

1. 沼液沼渣須儲存九個月以上才能利用。
2. 高地下水水位區的沼液沼渣儲存設施須使用更堅固的防漏設施，如雙牆面設計以防止洩漏而汙染地下水源。
3. 盆地地區不可設置沼液沼渣儲存設施。
4. 依照 91 / 676 / EEC 硝酸鹽指令，須劃設境內硝酸鹽脆弱區，減低硝酸鹽對水源造成的汙染，硝酸鹽脆弱區內每年每公頃可施用總氮量不得超過 170 公斤。
5. 載運機具規格須符合法令規定且駕駛須具備職業駕駛執照。
6. 各項營業須注意是否符合相關稅法規定。

7. 肥料販售須明確標示成分、警語及施用時期等內容。
8. 行駛於道路須符合相關交通法規，避免載運物散落地面造成交通事故。

臺灣雖有類似規定，卻缺乏對全國農業廢棄物、農地與地下水的統整。雖有調查數據，但都分布於各單位做不同用途使用，建議應設立權責部門集中統整資料，補齊缺乏部分並定期更新。藉此釐清臺灣農地與農產廢棄物特性、劃定沼液沼渣可利用區域並計算面積，統一規劃、管理及監控。

（三）沼液沼渣產品利用

畜牧糞肥中含有許多微生物，可能包括動物治療後殘留的抗生素，甚至是有抗藥性基因的微生物，因此確認沼液沼渣安全性爲首要工作。德國學者調查當地以各類動物糞肥作爲料源的沼氣工廠後發現，雖然沼液沼渣含有豐富的微生物族群，卻沒發現有動物或人類的病原性微生物、抗生素殘留及抗藥性基因。德國當地沼氣工廠利用乾燥及濃縮等方式提高沼液沼渣的營養濃度，降低運輸管銷成本，做成各種商品販售。乾燥熱能來源有電熱、發電餘熱及日光能等。沼渣商品則須具備持續性、高有機質含量、方便使用、包裝精美、肥料用途廣、即時取得及營養成分穩定等特點。

（四）改善沼氣發酵效率

1. 建立沼氣發酵料源基本成分資料

由於德國採混合基質發酵方式，將各種有機物質（含各項農業廢棄物）依其特性（碳氮比不同）採不同比例混合發酵，因此建立各項沼氣發酵基質成分特性就有其重要性，德國已有系統地建立每種沼氣發酵材料的成分分析，並研究各項成分如澱粉、醣類、蛋白質或纖維素對沼氣產量的影響，更以電腦模式推估各項材料組合與比例混合發酵後的沼氣產量與成本收益分析。

2. 預處理

使用不同料源進行發酵都會影響沼氣產量，尤其是富含纖維性的原料分解效率較差，因此可先作預處理，例如細切、粉碎、攪拌、熱分解及化學處理，提高沼氣發酵效率，增加產量。

(五) 二段式發酵

由於單槽發酵後的殘餘物質中營養物質尚未被完全利用，因此使用二段式發酵方式可再增加發酵時間，可使發酵物質充分被分解利用。

(六) 添加微量營養素或氫

在甲烷化階段提供鎳、一氧化碳、鉬、錳及鐵等甲烷菌所需微量營養源或氫可促進沼氣生產。 $\text{CO}_2 + 4\text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$

(七) 降低沼氣廠設備故障率及提高沼氣利用率

降低沼氣廠發電機故障率，減少因發電機故障而無法發電的損失。另一方面，有效控管料源投入、沼氣貯量與發電消耗量之間關係，避免因沼氣生產過多而透過洩壓閥溢散到大氣造成沼氣浪費與環境汙染。

(八) 優良料源管理

青貯玉米是生產沼氣的優良料源，因此須做好玉米青貯管理，避免在過程中因劣質發酵產生不必要的乾物質損失。根據數據指出，青貯玉米經劣質青貯過程，最高可造成四成乾物質損失，相當於每公頃約新臺幣2萬6千元。

(九) 減少沼氣工廠汙染排放

沼氣工廠主要汙染排放為一氧化氮、二

氧化硫及顆粒性物質，透過適當選用過濾系統，減少排放空氣汙染源。

(十) 鼓勵小型畜牧糞肥沼氣工廠設置

由於德國糞肥作為發酵料源利用於沼氣工廠的比例不到三成，加上德國東部農業結構改變及政府躉購費率優惠政策支持下，促使小型沼氣工廠逐漸受到大眾歡迎。而在各項綠能發電補助逐年縮減之下，以禽畜糞為原料的小型沼氣工廠，在2012年的保證收購電價每度電依然高達新臺幣10.78元，比其他料源為主（玉米）之沼氣發電收購電價高兩成，並可維持二十年。同時德國政府更提供生質沼氣設施與熱電共生系統十到二十年的全額優惠貸款，以促進產業發展。小型沼氣工廠可以由一座預混攪拌槽、一座厭氧發酵槽含攪拌設備、一座沼氣貯槽、一座沼渣貯槽、純化系統及發電機組設備組成。雖然投資建造成本較低，但仍須注意衛生管理、沼渣利用規定及利潤成本控制等方面。

二、沼氣工廠參訪

Bio-Energy Furth 沼氣工廠位於德國紐倫堡，2011年正式商轉。總投資金額大約新臺幣8億2千萬元。每日約投入110公噸發酵料源，主要材料為玉米青貯再加上一些禽畜糞肥或其他發酵原料，沼氣產量為每小時7百立方公尺。發電機組設置250瓩，年運轉8千3百小時，換算一年發電量為2百萬度。沼氣工廠由原料貯存區、發酵料源前處理系統、料源輸送系統、數個厭氧發酵槽體、沼氣純化系統及發電機系統組成。其中純化系統利用鹼水洗方式將沼氣純化至含99%之甲烷，目前全部作為發電使用，未來可發展為汽車燃料。該廠的沼液沼渣以槽車行駛至貯槽旁經由管道自動填裝，然後運到附近農地施灌。而該廠因發酵料源關係，較沒有產生明顯臭味。

Natura GmbH & Co.KG 沼氣工廠 2004年



發酵料源-玉米青貯。



發酵料源-廢棄木屑。



灑式施灌槽車。

開始商轉，主要發酵材料為食品垃圾、廢棄木頭及廢肥墊料等。沼氣產量為每小時780立方公尺，沼氣發電機組有844瓩與526瓩各一臺輪流運轉。一年共運轉8,650小時，年發電量約5百萬度。由於食品垃圾來源複雜，且大部分含有包裝物，因此該廠備有垃圾破碎分選裝置，以去除無法被微生物分解的物質。該廠因發酵料源關係，廠區部分垃圾分選空間有異味產生，因此也備有除臭設備。

Ruck Biogas GmbH & Co. KG 沼氣工廠於1995年正式商轉，總投資金額大約新臺幣2千9百萬元。廠區備有兩座9百公噸一次發酵槽及一座2千7百公噸的二次發酵槽，每年發酵基質大約1萬5千公噸，由畜牧糞肥、屠宰場血液、餐飲廢棄物及青貯玉米組成，發酵料源皆使用自動送料系統進入厭氣發酵槽。沼氣產量為每小時150立方公尺，發電機組設置350瓩與250瓩各一臺輪流運轉。該廠沼渣貯存空間為開放式，槽車抽取時再以一輛攪拌車於池邊進行沼渣攪拌。施灌槽車行駛到池邊，以自動對接管道方式抽取沼渣。未進行施灌時，管路收縮至槽體兩旁。當進行施灌時，管路則展開，可進行大面積施灌。沼渣貯存池周圍與施灌全程的異味濃度尚可接受，可能是因為沼渣已經長時間厭氣發酵的關係。

參考德國作法後對臺灣的建議

一、建立臺灣可施灌農地與畜牧飼養分佈資料

統整目前調查資料，包括臺灣現有可施灌地面積、土壤特性、地形地貌、地下水水位、水質、畜牧飼養動物種類、分布地區、數量及農業種植作物種類等，歸列出臺灣沼氣工廠可設置地點與規模、可作為發酵潛力料源種類、數量及計算出後續沼液沼渣須多少農地面積去化等。

二、成立任務團隊或專責單位輔導沼液沼渣利用

行政院農業委員會自2010年依據《農業事業廢棄物再利用管理辦法》，開放申請畜牧廢水以槽車載運方式到農田進行施灌，畜牧廢水便能合法做為肥料來源施用於農地。接著環保署在2015年11月通過修正《水污染防治措施及檢測申報管理辦法》，設立《沼液沼渣農地肥分使用專章》，沼液沼渣才可以依法使用管線進入農地作為肥分使用。但農民舊有使用習慣難以改變，建議成立任務團隊或專責單位負責輔導農民再利用沼液沼

渣。例如宣導飼料中銅鋅減量、畜舍節水及提高廢水濃度，並負責農地沼液沼渣利用規劃與全國農地與地下水統一汙染監測，更應每年檢討、建立各種類作物、地形地貌、土壤特性的沼液沼渣利用準則。

三、設置專業沼氣工廠並輔導 第三方業者協助載運沼液沼渣

目前臺灣的畜牧場沼氣生產方式仍屬於利用廢水處理過程中產生的副產物，而非以生產沼氣為目的，兩者效益差距甚大，但最大瓶頸還是在沼渣去化困難。農民雖想提高進料濃度，增加沼氣產量，但又怕放流水標準超標。

因此須在畜牧場集中區附近設置專業沼氣工廠，或輔導第三方業者協助載運沼液沼渣，並輔導畜牧場升級厭氣發酵設備，產生沼氣供自場利用。臺灣電力公司目前在臺灣有五座天然氣發電廠，建議沼氣工廠可優先考慮設置在這幾座天然氣發電廠周邊。隨著要求使用乾淨能源的民眾增加，日後天然

氣佔臺灣發電比率勢必提高，但目前臺灣天然氣全部從國外進口，價格起伏易受油價波動。沼氣中含55~75%的甲烷，若經過適當純化，可將甲烷提高至99%，成分和天然氣非常相近，可直接以現有設備進行利用，減少購地、人員及設備設置成本與時間。

四、鼓勵臺灣大型畜牧場 設置小規模發電設備 並應提供全額優惠貸款及協助

經濟部能源局2013年公告《沼氣發電系統推廣計畫補助作業要點》，公告沼氣發電系統設置費補助金額，以發電機組裝置容量核計，每瓩補助金額度以新臺幣3萬5千元為上限，且補助總額不得超過沼氣發電系統設置費的一半。但小規模發電機組加上純化設備的設置成本少則百萬，多則上千萬元，有意願裝設小型機組發電機的業者又大部分是農民，因此大部分應於補助之外再給予十到二十年的全額優惠貸款，減輕初期設置成本壓力。



施灌槽車施灌中。



沼液沼渣開放式貯槽。

五、提高沼氣發電躉購費率

依據經濟部能源局頒布《中華民國 104 年度再生能源電能躉購費率及其計算公式》中沼氣發電之躉購費率為每度電新臺幣 3.3803 元，雖然臺灣每年檢討躉購費率的合理性並做適度調整，但目前成本部分只討論臺灣現行沼氣生產成本。然而臺灣目前的沼氣生產仍屬畜牧廢水處理副產物再利用，而不像國外是以專業沼氣生產工廠成本探討，包括發酵料源成本、沼渣去化成本及管銷成本都無法明確計算。

反觀德國較類似臺灣以糞肥為主原料的小型沼氣工廠，二十年躉購費率為每度電新臺幣 10.127 元。兩者每度電相差將近 7 元，臺灣相對低的躉購電費較難吸引人。另一方面，臺灣住宅與工業電價分別為新臺幣 2.8530 元及 2.927 元，分居全球第三與第四低，如此低的電價較不利各項再生能源發展。2014 年德國每度電費平均為新臺幣 8.51

元，雖比臺灣高出許多，但大部分民衆卻能接受因使用較乾淨再生能源，導致電價必須漲價的事實。目前臺灣要大幅調漲電價可能有困難，不妨建立一套公式，以臺灣每年再生能源的比率做為電費計算基礎，加上政策溝通，為臺灣的綠色能源奠定良好發展基礎。

六、引進良心企業資金 設立專業沼氣工廠

經濟部擬修正《電業法》讓民間自由銷售電力，若通過後可鼓勵民間資金投入電力開發。另一方面，《溫室氣體減量及管理法》正式在 2015 年 6 月通過，並將臺灣減碳目標入法，未來還能衍生碳交易等，可鼓勵企業投入綠色能源開發。透過以上政策誘因，引進良心企業資金設立專業沼氣工廠，不僅可穩定本身企業供電品質、提升企業形象及增進產品出口競爭力，更能減輕政府負擔。