

醫院廢水及污泥現地處理整體改善與產氫能源回收 先期模廠現場試驗結果

林正祥^{1,*}，呂晃志²，劉柏賢³，林秋裕⁴

1 * 祥泰綠色科技有限公司 環工技師

2 逢甲大學綠色能源發展中心 博士

3 逢甲大學綠色能源發展中心 碩士

4 逢甲大學綠色能源發展中心 主任

Tel: 02-27339033, e-mail: frank@awg.com.tw

摘要

本試驗之目的有兩項，一是模擬現有系統加掛「多孔生物陶瓷材料」接觸材，使系統成為「多孔生物陶瓷生物反應器(PCBR)」，增加原有系統的水力負荷強度，並於系統後方增加生物濾床系統(BAF)，降低出流水的COD、氨氮及SS濃度等，同時在同步進流條件下與現有系統，以及與加掛繩狀濾材下，作處理效果之比較分析；二是在污泥處理部分則增加高溫好氧消化槽(AwG)串聯生物厭氧產氫醱酵槽(AGSB)，進行污泥減量及後續產氫模廠測試。以整體改善(Total Solution)之思維，進行廢水處理模廠試驗。

模場是直接併聯於某醫院廢水處理系統現場中獨立運作，並架設一組對照組模廠，可於試驗過程中模擬各項水質變化所需的測試對照；原水會自動連續補注入儲水槽，然後再並連同步連續以進流泵供應各別模場所需水樣。污泥消化系統之污泥取自於實廠終沈池底部之污泥，抽取部分至儲留槽內，再以獨立馬達送至污泥消化模廠系統內。

系統操作過程中，分別採取實廠進、放流、模廠進放流及各生物單元中的水樣進行各項水質分析實驗，並比較實廠、模廠及對照組模廠各單元間的水質處理情況，用以驗證系統升級PCBR串聯BAF對廢水處理系統效能提升效果，以及系統增加AwG系統後的污泥減量效果與後續產氫能源回收之效益。

【關鍵詞】醫院廢水、廢水處理功能提升、現場模廠試驗、污泥減量、產氫試驗

<http://setsgev.ncu.edu.tw/環保簡訊/第21期/tabid/621/Default.aspx> 2013/12/13

一、前言

根據環保署 97 年調查，全國有 22 間醫學中心，另由文獻瞭解，全國約 821 家醫院，約 90,000 床，推估年廢水量可達 32,400,000 噸廢水及有機污泥年產生量 5,000 公噸(乾基重)。由於近年來 SARS 大量流行、及 H7N9、

H6N1 等病毒變異，且未來有更多潛在變異危機，導致醫院大流行疫情防疫上之巨大壓力。相對的，也影響到醫院污水及污泥之是否能妥善處理之憂慮，再則，醫院廢水污泥也不免讓人有強烈之感染性色彩，大部分清除業者均裹足不前，或高成本處理，但國內由於地窄人稠，可用於作為廢棄物衛生掩埋之廠址，不但缺乏，設置與興建過程，又常遭受居民強烈抗爭；且工廠近年來所設置之污泥焚化爐，也將面臨嚴格之戴奧辛空污管制，增加運轉困難。醫院廢水污泥也常發生清除業者不妥善處理，造成亂倒，被迫取消資格，而陷於將過多污泥堆積於醫院內之困境。為因應日益嚴格之法規要求（放流水氮氮、污泥減量及進入下水道前處理等），以整體改善（Total Solution）之思維，進行廢水處理功能提升，為妥善處理之必須要件。本模場試驗即依此原則，並考量試驗之對象醫院預算不足下，廢水處理功能提升部分採用曝氣槽接觸材加裝，且後續增設 BAF 之方式，污泥部分則進行高溫菌污泥水解減量（其也有作用於殺死致病菌）。另，進行污泥水解後之產氫能源回收技術研發。

二、模場試驗概要

系統操作過程中，分別採取實廠進、放流、模廠進放流及各生物單元中的水樣進行各項水質分析實驗，並比較實廠、模廠及對照組模廠各單元間的水質處理情況，用以驗證系統升級 PCBR 串聯 BAF 對廢水處理系統效能提升效果，以及系統增加高溫菌水解（AwG）系統後的污泥減量效果。相關模廠系統程序圖及各水質分析取樣點如圖 1 所示。

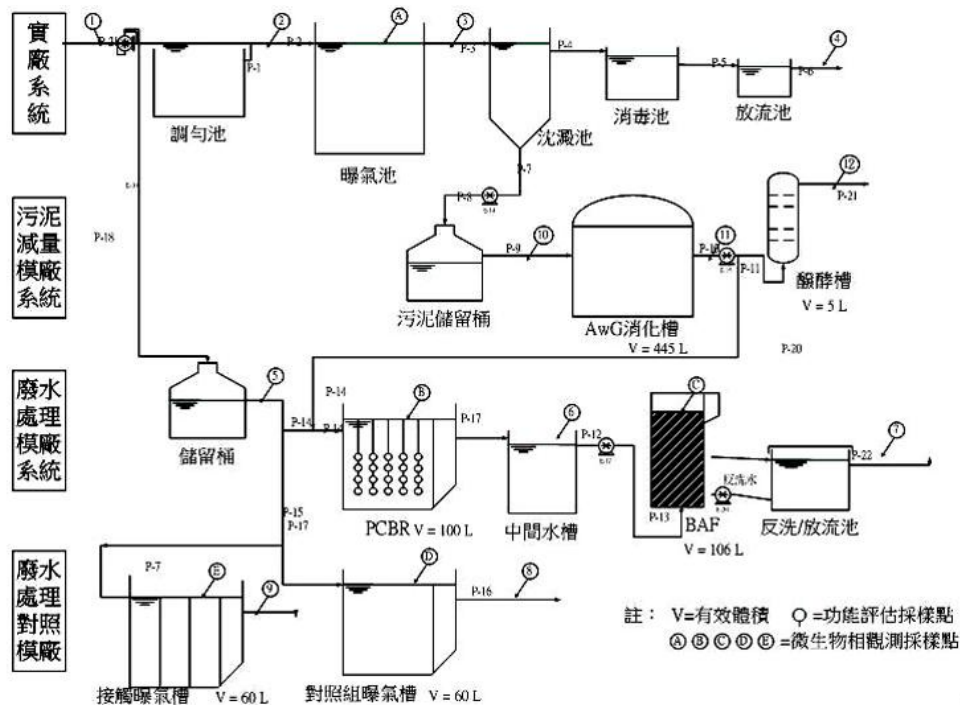


圖 2.1 模廠試驗流程簡圖

三、主要設備介紹

設備列表

| 設備名稱 | 數量 | 物件組成及功能說明 | 備註 |
|-------------------|------------------------------|--|----|
| 進流系統 | 1 | <ul style="list-style-type: none"> ● 組件包含沈水馬達 x1 及儲留桶 x1。 ● 利用沈水馬達，自動將原水廠調勻池中污水抽入儲存桶內，維持一定的蓄水量。 ● 儲存槽底部設置單浮球液位開關一只，用以控制進流泵運作，並在控制面板上，顯示低液位警示燈號。 | |
| 多孔陶瓷生物反應系統 (PCBR) | 1 | 組件包含曝氣槽(有效體積 100L) x1、曝氣機、添加生物陶瓷接觸濾材並利用氣泡石曝氣。 | |
| 生物濾床(BAF)系統 | 1 | <ul style="list-style-type: none"> ● 組件包含生物濾床槽體(有效體積 106 L) x1、散水/氣盤、多孔陶瓷濾料、反洗水槽 x1、反洗馬達 x1。 ● 槽體添加多孔陶瓷濾料，並於底部安裝散水/氣盤，使水流及曝氣氣體能均勻的流入系統中。 ● 出流水儲留在反洗水槽內，並每週固定時間對濾床進行反沖洗，以維持濾床的通透性。 | |
| 曝氣槽模廠 | 2 組 (1 組為控制組，另 1 組為繩狀濾材組) | 組件包含曝氣槽(有效體積 60L) x1、曝氣機並利用氣泡石曝氣，其操作條件如實廠。 | |
| 污泥儲留桶 | 1 | 抽取實廠終沈池底部之污泥，並進流至污泥儲留桶進行污泥濃縮，儲存槽底部設置單浮球液位開關一只，用以控制進流泵運作，並在控制面板上，顯示低液位警示燈號。 | |
| 高溫好氧消化系統(AwG) | 1 | <ul style="list-style-type: none"> ● 組件包含污泥濃縮機 x1、主槽體(435 L)x1、無油式馬達、外循環槽、加熱器、厭氧發酵槽(有效體積 5L) x1 等。 ● 污泥取至於污泥儲留桶，進入高溫好氧消化系統進行污泥消化，消化水解後之污泥在流入厭氧發酵槽內進行發酵，出流之污泥迴流至 PCBR 系統模擬實廠效果。 | |
| 蠕動式馬達 | 3 | 水體輸送用 | |
| 控制系統 | 1 | 包含遠近端圖控系統 | |
| 錄影監控系統 (DVR) | 1 | 系統操作全程錄影，並可進行遠端監看。 | |

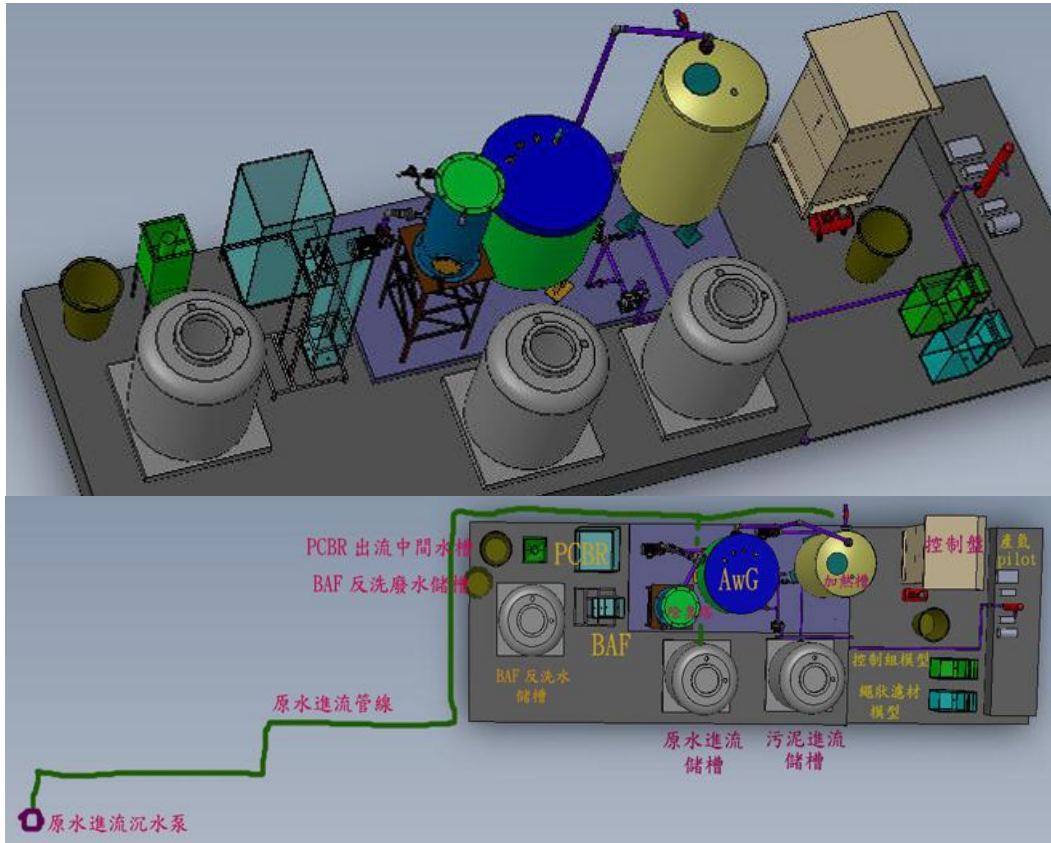


圖 3.1 模場設備及平面配置圖

四、實驗方法

1. 廢水處理系統模廠驗證實驗

PCBR 及 BAF 串聯模廠啟動時期，直接植入實廠曝氣槽內部污泥至反應槽內，並由原實廠調勻池出流水直接進流至系統中，進行污泥及附著相生物膜馴養，馴養期約 15-30 天；期間系統流量為 0.18 CMD，PCBR 的操作 HRT 為 8 hr，BAF 的操作 HRT 為 2 hr。模廠驗證取樣點如圖 1 中所示，採樣位置為點 5 至 9，分別為進流、PCBR 出流及 BAF 系統出流，分析 COD、TSS、DO 及 pH，每週分析 TN、TP 及 BOD₅。模廠生物相檢測採樣點為分別採取 PCBR 及 BAF 槽內的污泥(採樣點 B 及 C)，進行 MLSS、pH、ORP 分析，必要時微生物相鏡檢。

馴養期結束後，進入實際驗證階段，水樣分析項目包含 COD、TSS、DO 及 pH，生物相分析項目為 MLSS、pH、ORP、SV30、TN、TP、BOD₅ 及進行生物相鏡檢分析。

上述分析實驗乃依照中華民國行政院環境保護署環境檢驗所公告的標準分析方法。

2. 對照組與實廠實驗

為了驗證模廠效能，取樣原實廠中廢水，採樣點如圖 1 中點 1 至 4 及 A，水質分析項目及方法如表 1 所示；此外架設一 60 L 之模廠作為實廠及模廠系統的對照組，操

作條件如同實廠系統，並取樣點 8 及 D，分析水質及生物相。

上述實驗將對照模廠系統，並驗證模廠系統所能提升之污水處理效能。另一 60L 模廠將設置繩狀濾材進行不同濾材之比較試驗。PCBR 模廠將增加容量 100L，以配合後續之 BAF 模廠。

3. 水中大腸桿菌群分析

需評估廢水系統對於水中致病菌消滅情形，故針對採樣點 4、7、8、9、10 至 11 點，進行大腸桿菌及總菌落數分析。

4. 污泥減量模廠系統驗證實驗

生物性污泥乃取至於實廠系統的終沈池中濃縮污泥分流，階段性控制每日流量 0.145 至 0.218 CMD，直接進流於 AwG 污泥高溫好氧消化系統中，系統設置體積為 435 L，操作 HRT 為 2 至 3 天，消化後污泥取 0.9 L 迴流至 PCBR 系統，以模擬實廠污泥經消化系統並全數迴流至 PCBR 的實況；實驗過程分馴養期 15-30 天及穩定操作期，模廠驗證取樣點如圖 1 中的點 8 至 11 及 B，於馴養時期分析 COD、TSS (總懸浮固體物)、VSS (揮發性懸浮固體物)、TN、DO、ORP、pH 及污泥情況鏡檢，於穩定操作時期分析 TN。



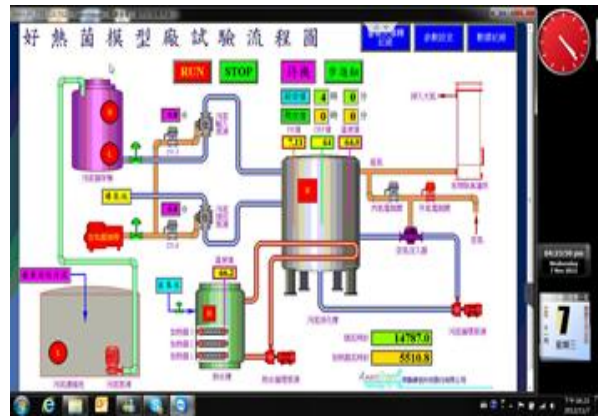
照片 1，模場設置於廢水處理廠現場



照片 2，設置於現場之連續厭氧產氫模場



照片3，模場近端自動控制圖控畫面



照片4，遠端監控之畫面



照片5，現場作水樣及污泥樣顯微觀察
與遠端數位影像傳輸



照片6，遠端監視模場設備運轉是否正常

五、試驗結果

5.1 模廠之污水處理各單元水質分析

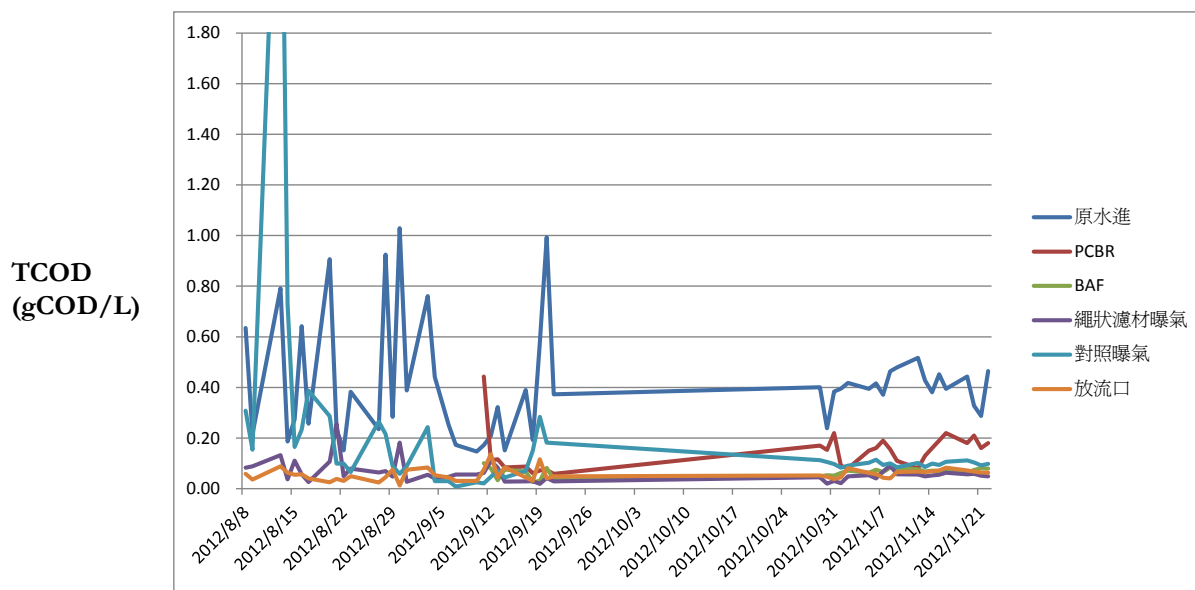


圖 5.1 污水處理廠及模廠出流水總 COD (TCOD) 水質檢測狀況

由於原水進流 8/8 至 10/31 均不甚穩定，故僅能以 10/31 起至 11/21 作評估。發現 PCBR 之 COD 處理後出水不理想。

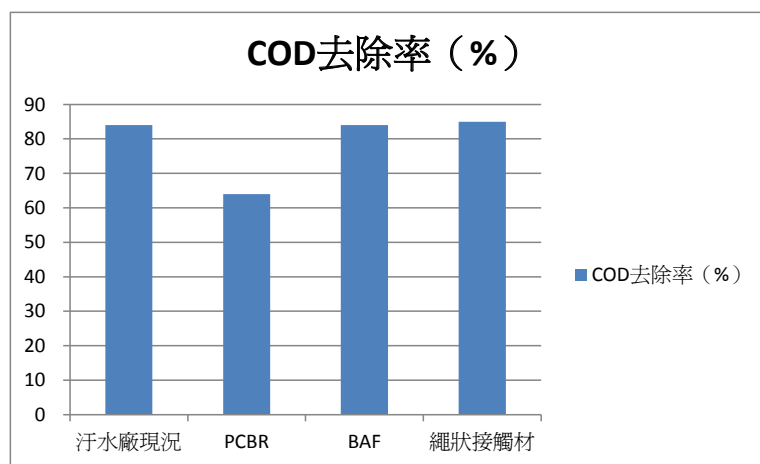


圖 5.2 COD 去除率也證實 PCBR 不理想

表 5.1，污水廠曝氣槽現況是操作在缺氧或無氧狀態，可由 ORP 再確認

| DO(mg/L) | 曝氣 | 原水進 | PCBR | BAF | 總狀濾材曝氣 | 對照曝氣 | SV30(mL/L) | 曝氣 | SVI(mL/g) | 曝氣 |
|------------|------|-------|------|------|--------|------|------------|-----|------------|--------|
| 2012/10/30 | 0.00 | 6.90 | 4.33 | 6.19 | 2.71 | 6.89 | 2012/10/30 | 560 | 2012/10/30 | 171.25 |
| 2012/10/31 | 0.75 | 4.08 | 5.02 | 6.88 | 2.61 | 7.02 | 2012/10/31 | 540 | 2012/10/31 | 152.33 |
| 2012/11/1 | 0.00 | 5.26 | 5.41 | 6.49 | 1.52 | 6.64 | 2012/11/1 | 530 | 2012/11/1 | 146.41 |
| 2012/11/2 | 0.00 | 12.19 | 5.27 | 6.37 | 1.22 | 5.61 | 2012/11/2 | 540 | 2012/11/2 | 116.76 |
| 2012/11/5 | 0.00 | 10.83 | 3.25 | 6.47 | 2.12 | 6.37 | 2012/11/5 | 560 | 2012/11/5 | 118.64 |
| 2012/11/6 | 0.00 | 5.36 | 3.03 | 6.83 | 5.33 | 6.86 | 2012/11/6 | 690 | 2012/11/6 | 149.19 |
| 2012/11/7 | 0.00 | 5.34 | 4.44 | 7.64 | 4.62 | 7.06 | 2012/11/7 | 700 | 2012/11/7 | 154.87 |
| 2012/11/8 | 0.00 | 7.35 | 4.60 | 7.86 | 0.39 | 6.05 | 2012/11/8 | 680 | 2012/11/8 | 117.24 |
| 2012/11/9 | 0.00 | 9.74 | 4.15 | 7.04 | 2.62 | 6.43 | 2012/11/9 | 690 | 2012/11/9 | 127.31 |
| 2012/11/12 | 0.00 | 9.19 | 3.82 | 5.98 | 1.97 | 5.93 | 2012/11/12 | 510 | 2012/11/12 | 90.57 |
| 2012/11/13 | 0.00 | 7.14 | 5.88 | 7.10 | 2.80 | 7.43 | 2012/11/13 | 630 | 2012/11/13 | 114.55 |
| 2012/11/14 | 0.00 | 6.41 | 5.71 | 6.69 | 3.44 | 7.87 | 2012/11/14 | 970 | 2012/11/14 | 159.54 |
| 2012/11/15 | 0.00 | 5.49 | 5.33 | 6.51 | 2.30 | 6.84 | 2012/11/15 | 790 | 2012/11/15 | 132.33 |
| 2012/11/16 | 0.00 | 5.12 | 5.34 | 6.97 | 3.75 | 7.05 | 2012/11/16 | 910 | 2012/11/16 | 156.63 |
| 2012/11/19 | 0.00 | 4.98 | 5.41 | 7.23 | 3.21 | 7.35 | 2012/11/19 | 940 | 2012/11/19 | 153.85 |
| 2012/11/20 | 0.00 | 5.80 | 5.30 | 7.53 | 3.61 | 7.24 | 2012/11/20 | 950 | 2012/11/20 | 144.38 |
| 2012/11/21 | 0.00 | 5.30 | 5.43 | 7.11 | 3.79 | 7.10 | 2012/11/21 | 910 | 2012/11/21 | 143.31 |
| 2012/11/22 | 0.00 | 5.75 | 4.19 | 6.83 | 2.15 | 6.93 | 2012/11/22 | 900 | 2012/11/22 | 145.40 |

註：原水進流DO偏高之原因為採樣點位置在V形堰下方之跌落處，有曝氣作用

表 5.2 污水廠各單元及模廠檢測 ORP 數據表

| ORP | 原水進 | 曝氣進 | 終沉進 | AwG進 | AwG出 | PCBR | BAF | 總狀濾材曝氣 | 對照曝氣 | 放流口 | 曝氣池 |
|------------|-----|-----|-----|------|------|------|-----|--------|------|-----|-----|
| 2012/10/30 | 82 | 85 | -19 | -304 | -210 | 35 | 78 | 88 | 98 | 208 | -28 |
| 2012/10/31 | 63 | 54 | -27 | -293 | -176 | 47 | 72 | 79 | 104 | 274 | 7 |
| 2012/11/1 | 89 | 68 | -3 | -311 | -204 | 61 | 81 | 61 | 82 | 298 | -19 |
| 2012/11/2 | 104 | 59 | 23 | -286 | -183 | 57 | 93 | 74 | 93 | 305 | -3 |
| 2012/11/5 | 78 | 62 | -11 | -203 | -82 | 58 | 66 | 47 | 81 | 315 | -48 |
| 2012/11/6 | 26 | 32 | -39 | -224 | -66 | 38 | 40 | 79 | 90 | 341 | -42 |
| 2012/11/7 | 32 | 59 | -32 | -3 | -12 | 49 | 54 | 32 | 93 | 330 | -40 |
| 2012/11/8 | 18 | 64 | -58 | 12 | 18 | 43 | 50 | 72 | 103 | 325 | -46 |
| 2012/11/9 | 10 | 47 | -13 | 56 | 30 | 50 | 67 | 50 | 61 | 303 | -17 |
| 2012/11/12 | 51 | 59 | 17 | -192 | -84 | 51 | 47 | 63 | 75 | 337 | -26 |
| 2012/11/13 | 98 | 95 | -57 | -255 | -150 | 45 | 71 | 102 | 111 | 336 | -10 |
| 2012/11/14 | 15 | 17 | -57 | -163 | -93 | 35 | 73 | 30 | 83 | 295 | -77 |
| 2012/11/15 | 48 | 43 | 17 | -196 | -79 | 57 | 43 | 70 | 59 | 330 | -55 |
| 2012/11/16 | -4 | 36 | -31 | -198 | -120 | 31 | 40 | 52 | 55 | 302 | -19 |
| 2012/11/19 | 18 | 26 | -32 | -231 | -108 | 25 | 43 | 54 | 57 | 319 | -27 |
| 2012/11/20 | 12 | 9 | -53 | -237 | -99 | 20 | 49 | 61 | 62 | 317 | -33 |
| 2012/11/21 | 7 | 12 | -40 | -221 | -152 | 27 | 38 | 50 | 51 | 307 | -26 |
| 2012/11/22 | 15 | 18 | -42 | -229 | -124 | 21 | 41 | 57 | 61 | 324 | -25 |

由表 5.2 現場曝氣槽 ORP 約在 7~-55mV，證實現場之曝氣槽是操作在缺氧狀態，這是因為現場操作人員為了減少污泥大量產生，故以間歇曝氣之方式操作，此種方式在水質不穩定及異常時，將有超標及致病菌過高之風險，以醫院廢水之操作是屬不正

常之操作模式。繩狀濾材曝氣池具較高之好氧狀態，污水廠現場放流口前有添加次氯酸鈉，ORP 約在 300mV 左右。

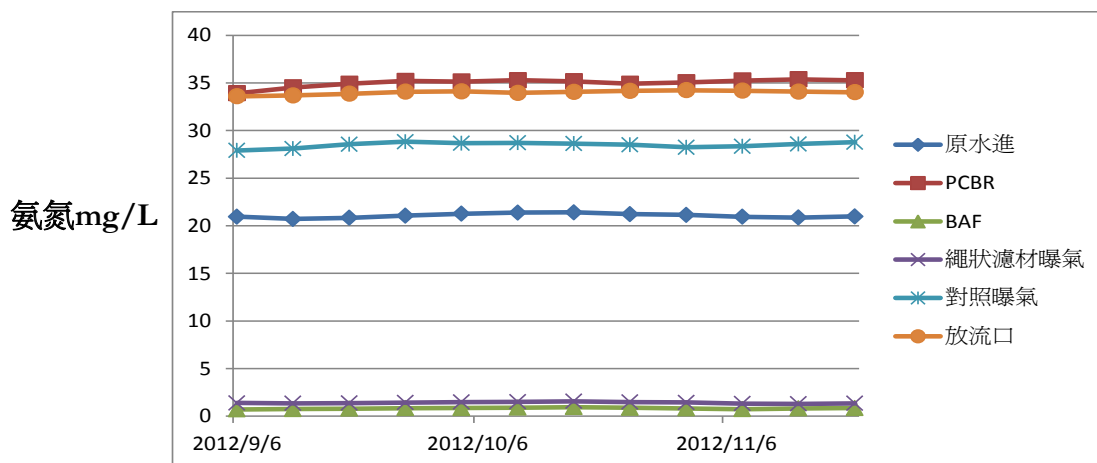


圖 5.3 污水處理廠及模廠出流水氨氮水質檢測狀況

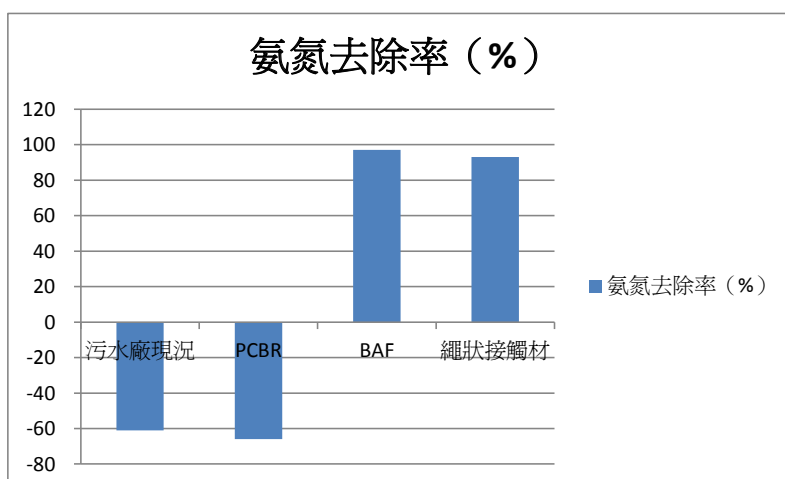


圖 5.4 污水處理廠及模廠氨氮去除率比較

由圖 5.3 及 5.4 可看出 BAF 之氨氮去除率最好，其次為繩狀濾材。

PCBR 低去除率之原因探討：

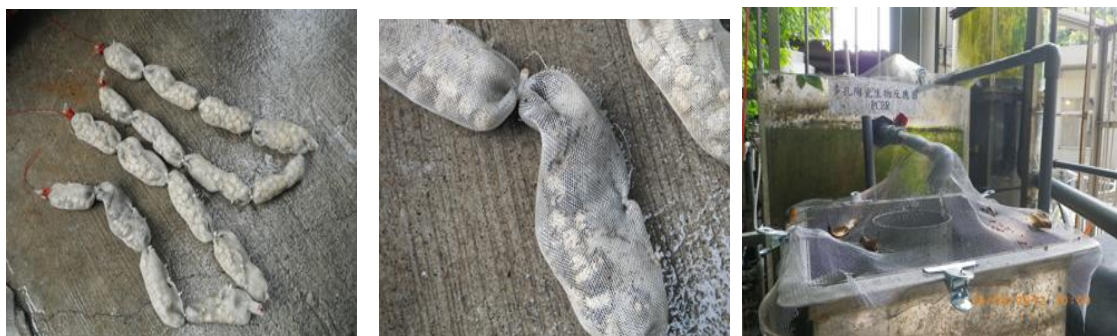


圖 5.5. PCBR 模廠濾材填充率僅 0.4%，數量少，且以細網包住陶瓷濾材，堵塞嚴重，功能無法發揮

繩狀濾材效果較佳之原因：



圖 5.6 繩狀濾材填充率 40%，效果良好

5.2 水質分析結果研判與歸納：

1. 現場曝氣池之ORP控制約在-77~13間，但平均在-27mv，顯示現場曝氣狀態為缺氧狀態，不利於生物處理。最主要原因為曝氣系統老舊，傳氧效率不佳，導致功能不足。而，模場廢水處理單元均控制在好氧之正常操作範圍。AwG污泥水解單元除初期狀態外，則控制在-150~30mv正常操作狀態。
2. 由TCOD數據來看，PCBR之去除僅29%，其後續連接之BAF去除為57%，而繩狀接觸曝氣槽則可達87%去除率，略高於現場之85%。這是由於PCBR模場於製作時，誤以細密網包覆陶瓷擔體，導致外層細網阻塞後，無法讓陶瓷擔體發揮比表面積大之功能。
3. 由氨氮數據發現，BAF去除率可高達97%，繩狀接觸曝氣槽可達93%去除率，但對照組曝氣槽去除率為-35%，現場生物曝氣池去除率更為-62%，顯示BAF及繩狀接觸曝氣槽有良好之安但去除效果。然而，值得注意的是醫院廢水經過曝氣，會有氨氮提升之現象，這可由現場曝氣池內之氨氮含量比原水高出3倍，而比調勻池出水高出2倍證實，此點值得再進行後續探討。

5.3 污泥減量及後續產氫試驗

5.3.1 菌種馴養

AWG 菌種馴養

先於 36L 反應槽內植入 20L 生活污水，並植入乾燥體積約 200mL 之內湖污水污泥，批次操作進行 8 天，於 ORP 高於-100 mV、水溫 55°C 的環境下進行培養，透過 TS 及 VSS

的測量檢視菌體生長情形，顯示反應槽菌體濃度呈現增長趨勢。

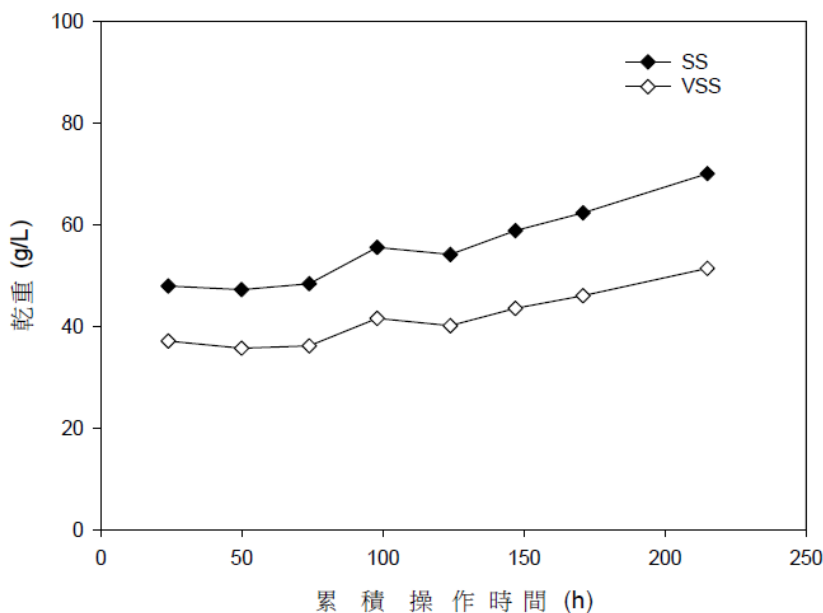


圖 5.7 AWG 馴養操作時間與 SS、VSS 關係圖

產氫菌馴養

產氫菌使用現地污泥終沉池污泥，經 90°C 熱篩一小時後，植入 10% 總反應體積量，以飲料工廠廢水及 Endo 營養鹽配方，於 pH 值 5.5、溫度 35°C 的環境下馴養 4 天，平均產氫濃度約達 40%，即達穩定狀態。

5.3.2 批次式操作

AWG 系統的實驗操作上先使用批次方式，於 ORP 高於 -100 mV、水溫 55°C 的環境下進行。

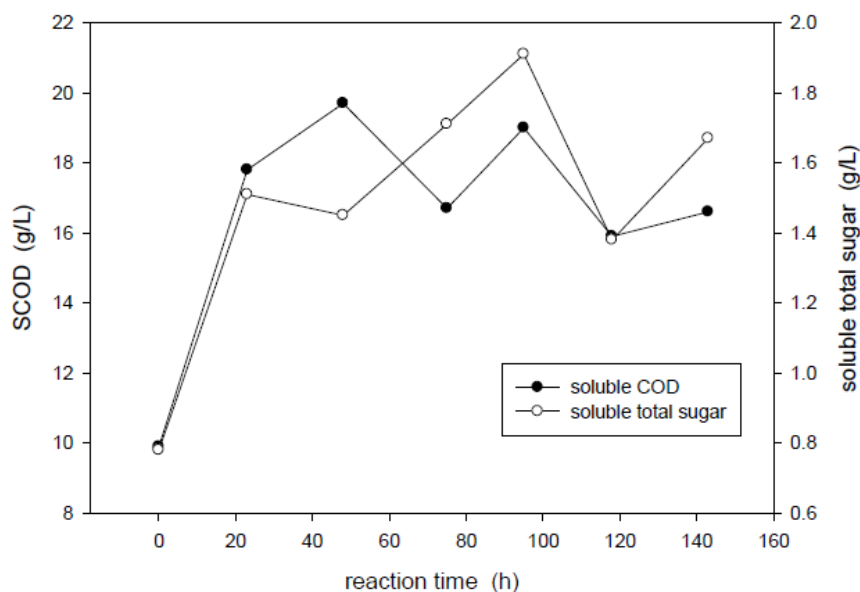


圖 5.8 AWG 馴養操作時間與 SCOD 和 S 糖關係圖

經 AwG 處理，水中的 SCOD 和 S 醣含量明顯上升，經過 24 小時的消化處理，醣類與 COD 皆上升了 70~80%。

為進一步分析 AWG 系統之菌相，污泥樣本自系統取出後立刻萃取 DNA，並利用通用性 PCR 引子、專一性引子分別進行 PCR-DGGE 分析，以瞭解完整的菌群結構；同時以多重引子對結合 Real-Time PCR 技術，分析各微生物族群的數量。結果顯示主要為產生孢子之高溫菌屬 *Geobacillus*, G⁺，屬嗜中性菌種。

在批次式產氫操作上，實驗同上，使用批次方式操作產氫系統，進行條件如下：

批次產氫培養條件

| | | |
|--------|------------------|------|
| 菌種 | 暗醱酵連續流反應槽之出流液 | 20mL |
| 基質 | AwG 消化出流液 | 30mL |
| 營養鹽 | Endo 配方(濃縮 12 倍) | 5mL |
| pH 值控制 | 5.5 | 5mL |
| 培養溫度 | 35 | - |
| 總反應體積 | 60mL | - |

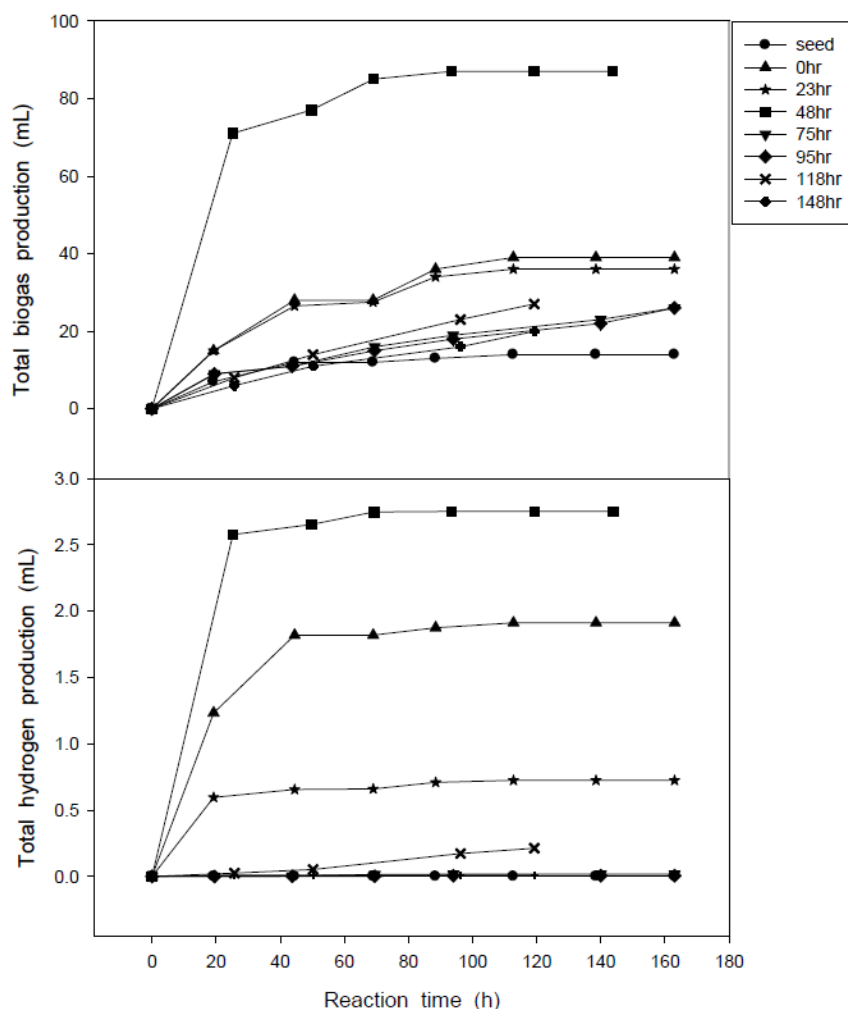


圖 5.9 批次產氫時操作時間與生物氣、生物氫產製關係圖

經上述批次實驗，所得重要結果如下：

- (1) 批次產氫過程中同時有甲烷生成，應為反應槽溫度介於 45~55 度間，無法熱篩去除甲烷菌。且隨著 AwG 消化時間拉長，甲烷化速度增加
- (2) 數據中只有 AwG 消化 48 小時的污泥能提升產氫效果
- (3) 經 AwG 處理 2 天後的污泥，相較與未經 AwG 消化處理的污泥產氫結果，增加約 50~60% 產量的氫氣
- (4) 污泥消化的時間超過三天以上，氫氣產量並沒有提升，不但產量低於未經處理的污泥產氫結果，還有可能加快甲烷化的時間
- (5) 為瞭解產氫醱酵槽操作期間的菌相變化，污泥樣本自串聯系統取出後立刻萃取 DNA，並利用通用性 PCR 引子、*Clostridium sp.* 專一性引子及 Archaea 專一性引子分別進行 PCR-DGGE 分析，以瞭解完整的菌群結構；同時以多重引子對結合 Real-Time PCR 技術，分析各微生物族群的數量。

以通用性引子 968f-gc/1392r 分析產氫槽之菌體污泥，其菌群變化如下圖所示。產氫醱酵系統於不同有機負荷操作時，微生物族群組成並無太大變動；產氫槽的微生物主要為 *Lactobacillus sp.*、*Bifidobacteria miumum*、*Corynebacterium glueamicum*、*Clostridium sp.* 以及少數未知菌種。

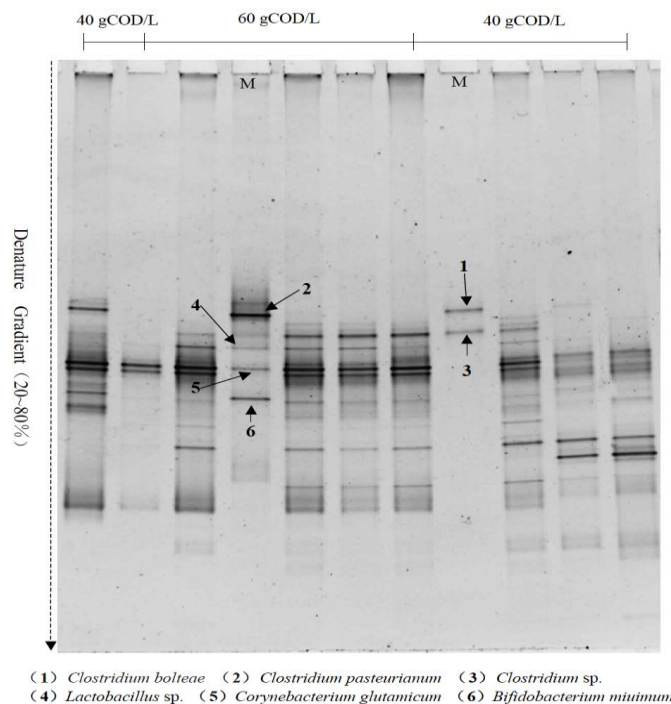


圖 5.10 產氫醱酵系統菌群變化圖

5.3.3 模廠操作

本研究在批次操作後接續進行模廠操作，架設 AWG 槽 0.5 噸、產氫槽 5L，占地約 10 坪，設計平面圖如下示：

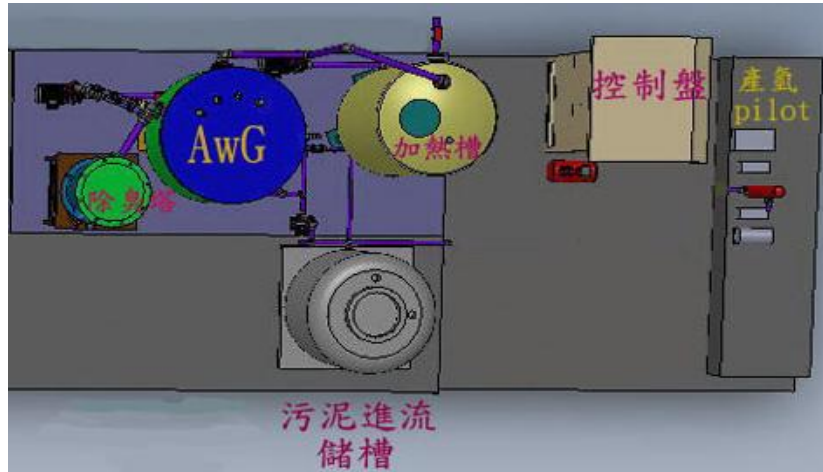


圖 5.11 AWG 及產氫模廠配置圖

建置系統完成後經運轉測試完畢，於現地進行 AwG 質種菌種馴養，並採用實驗室試驗之最佳產氫的消化天數，2 天，進行 AwG 污泥消化處理，其出流液供後端產氫使用。對於 AWG 系統進出流分析部分，結果如下：

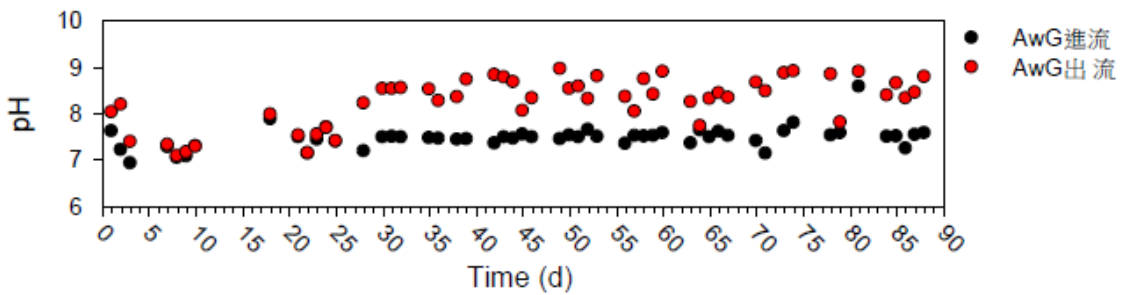
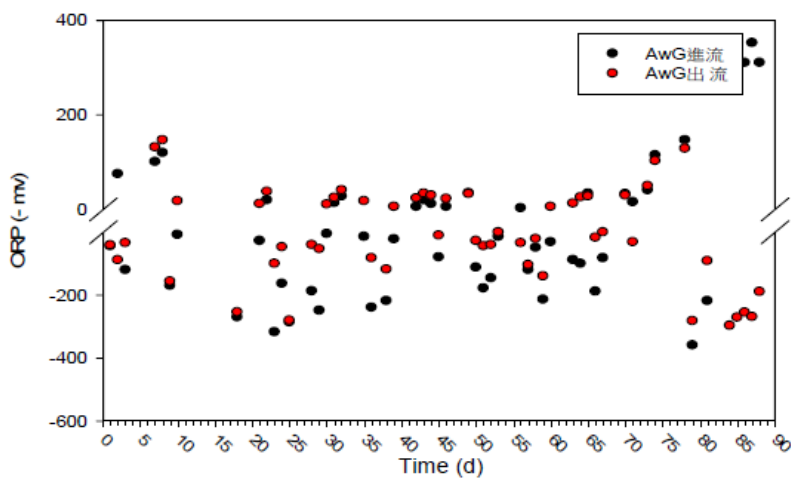


圖 5.12 AWG 模廠操作時間與 pH 關係圖

(2)ORP：ORP 變化性不大



(3)TCOD：可發現 AWG 系統對醫院廢水具削減 COD 功能

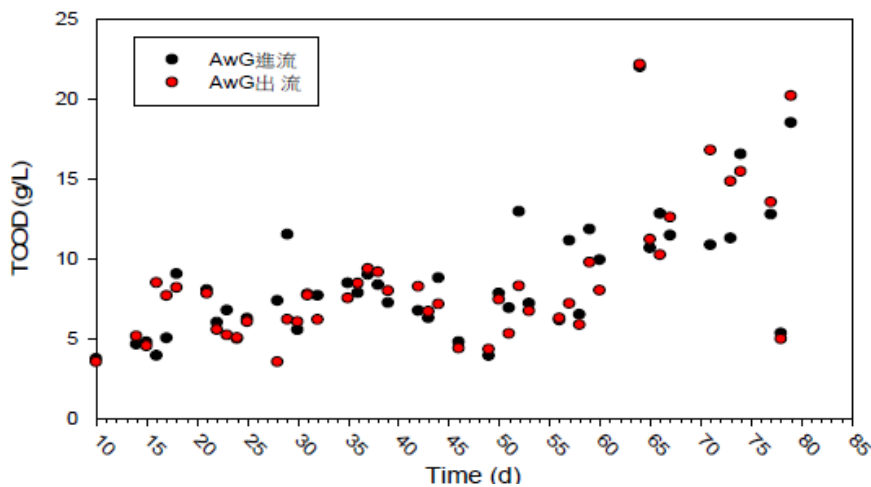


圖 5.14. AwG 模廠操作時間與 TCOD 關係圖

(4)TS：可發現 AwG 系統對醫院廢水具削減 TS 功能

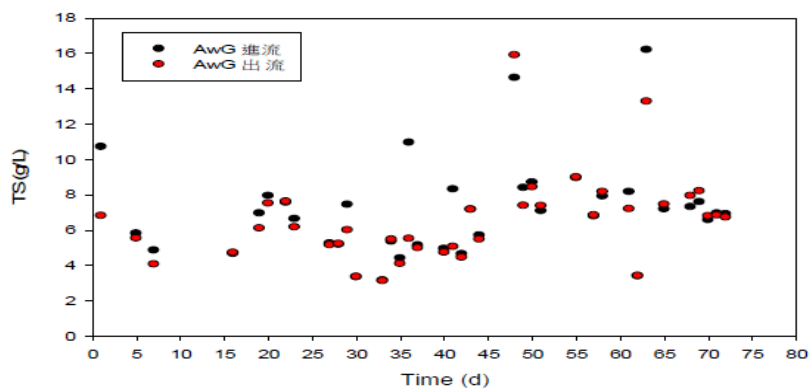


圖 5.15 AwG 模廠操作時間與 TS 關係圖

(5)SS/VSS：可發現 AwG 系統對醫院廢水具削減 SS/VSS 功能

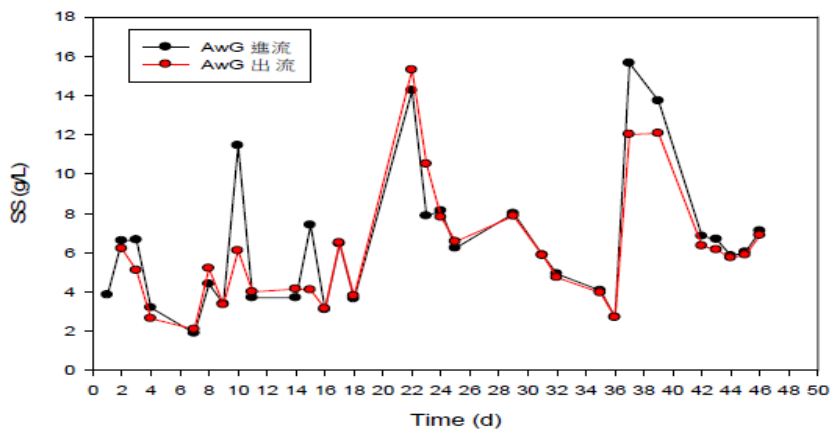


圖 5.16 AwG 模廠操作時間與 SS 關係圖

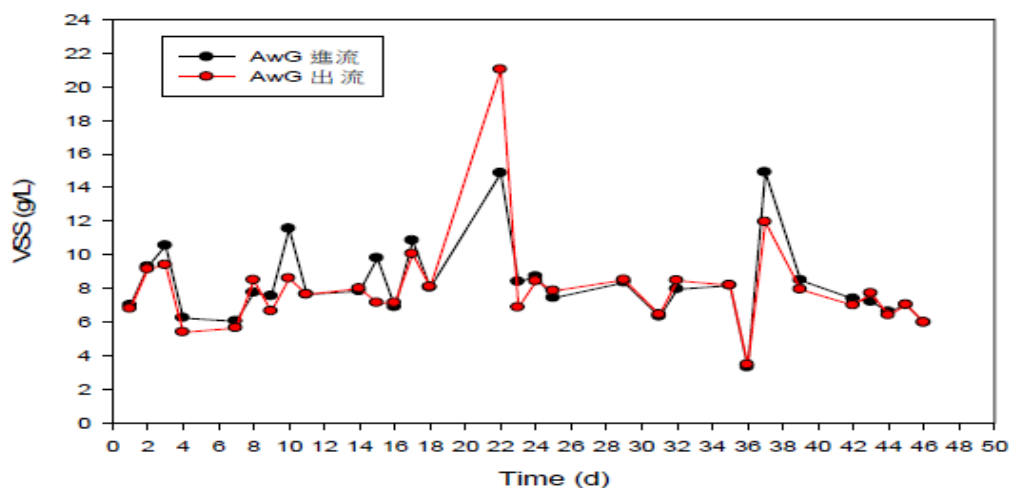


圖 5.17 AWG 模廠操作時間與 VSS 關係圖

(6) TP: 可發現 AWG 系統對醫院廢水削減 TP 功能不穩定

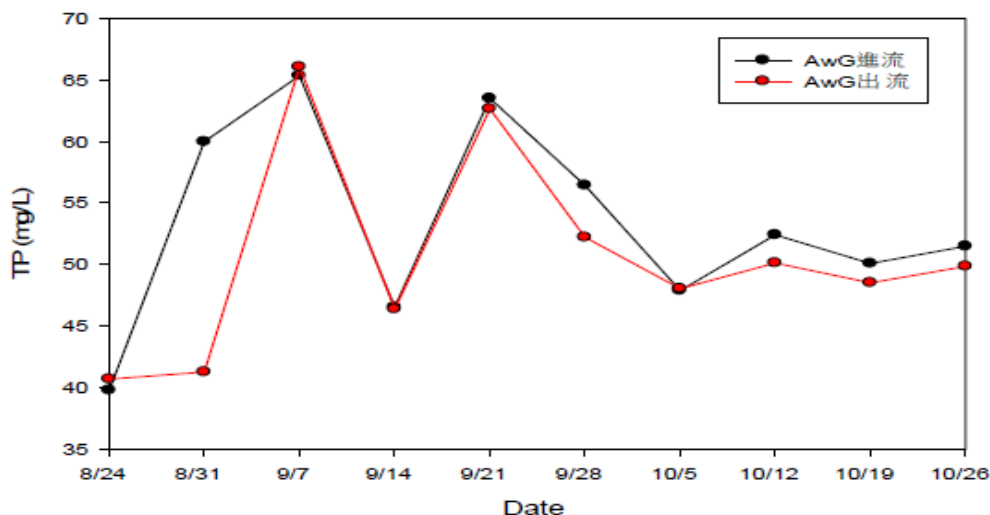


圖 5.18 AWG 模廠操作時間與 TP 關係圖

本次產氫槽之操作，採用經中心溫度 90°C 熱篩過後之現場終沉池污泥作為植種菌種，先以含糖廢水馴養 2 天進行系統啟動，在以 AwG 高溫好氧消化處理 2 天的污泥作為基質進料，控制固定 pH 值以及恆溫的狀況下培養。產氫系統操作先以 HRT 24 小時連續式進料進行試驗，於啟動後兩週的結果觀察，發現並未帶來實質的產氫效益。

由於連續式產氫對本研究之效率不好，於第 15 天後的操作，根據實驗室試驗結果，針對進料速率以及基質調配作出以下調整。其一，將系統改為針對難分解基質常採用的批次式進料，基質進料量為總反應槽體積的 80%，每 2~3 天進料一次，每次進料時間為一小時。其二，針對模廠現地的水質分析結果，初期經 AwG 處理後的終沉池污泥，TCOD 濃度皆在 10 g/L 以下，產氫效益較不明顯，因此在基質調配上，酌量添加成分含醣的液態廚餘將濃度升致 40 gCOD/L。於系統啟動後第 16 天起，總產氫量提升至平均 100~180 mL/L/d，並於操作第 32 天將實驗室營養鹽測試結果納入基質調配，增添 Endo 營養鹽配方中的氮源，提供產氫菌生長，於目前可達平均產量約為 300 mL/L/d。產氫結果由下圖所示。

整體操作皆伴隨著微量甲烷生成，濃度約在 1~5%，此外，隨著廠區現地終沉池污

泥的處理狀況不同，高濃度污泥經由 AwG 消化後的產氫進料基質，於黏稠度和氣味上有明顯的差異，應用於後端產氫系統上亦造成抑制作用。於較高濃度污泥下的操作，槽體顏色也較容易由暗褐色轉為純黑色，經由文獻比對可推測為硫化物，而產氫活性受抑制程度會隨硫化物(S²⁻)濃度的增加而增加，濃度累積到最高的時候發生於第 24~ 48 小時，於操作第 40 天後的結果亦有此現象發生。

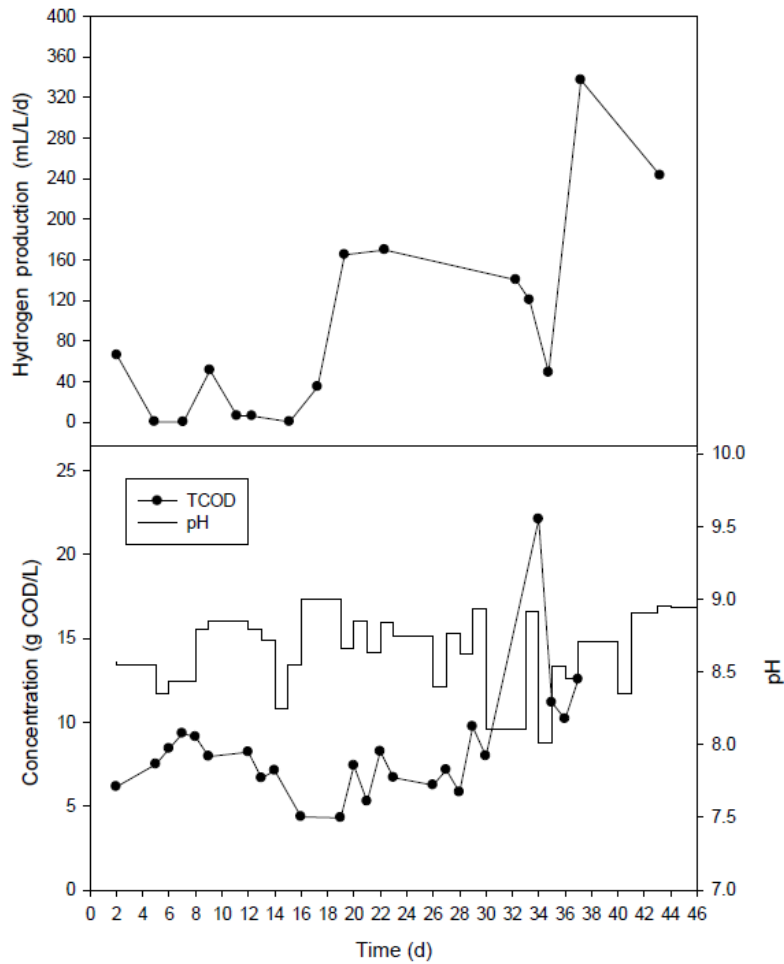


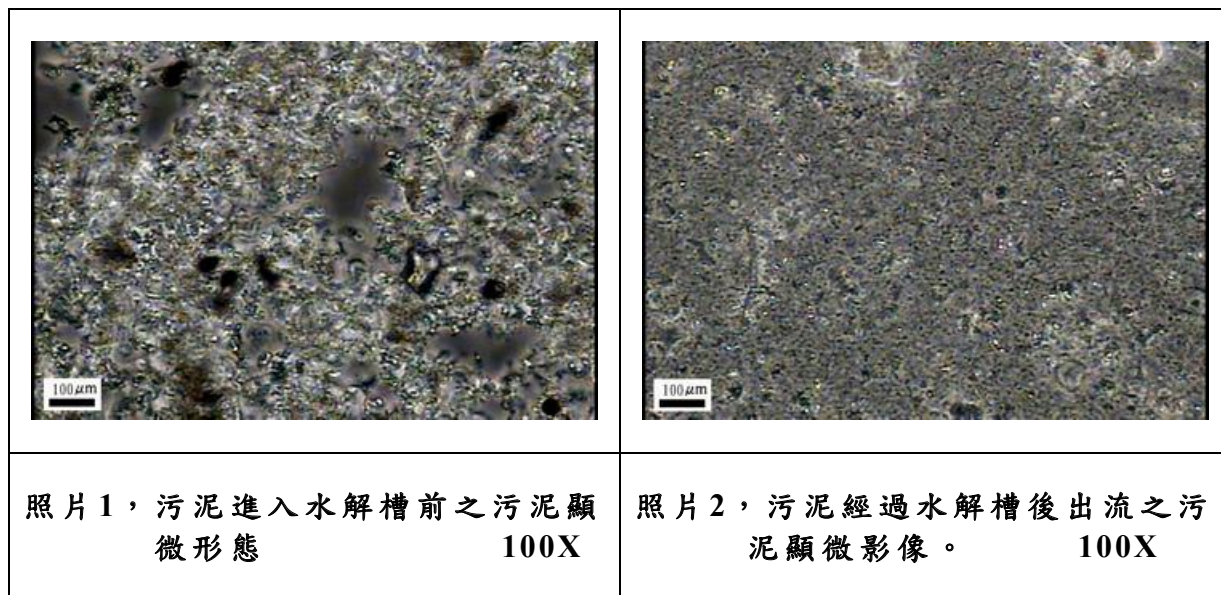
圖 5.19 產氫模廠操作時間與生物氫產製、COD 變化關係圖

污泥部分由於進流之污泥會平均經過 2 天之停留時間出流，在 60°C 控制下，會有水分蒸發現象，以委外環保合格檢測業檢測 101.9.17 污泥批次進流及 101.9.19 污泥水解後出流為計算基準，現場抄錄相對應之用電瓦時量，列表統計如下：

| 日期 | 污泥進流 MLSS (mg/L) | 污泥出流 MLSS (mg/L) | 污泥進流量 m ³ /d | 污泥出流量 m ³ /d | 加熱耗電量 KwH |
|------|------------------------|---------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|
| 9/17 | 10200 | | 0.73 | | 112.6 |
| 9/19 | | 1840 | | 0.65 | |

由上表算出：55.6 g 乾 SS/KwH 0.018 KwH/g 乾 SS

處理成本估算：1200 KwH/噸 SS 85%含水率 約 2400元/噸 SS 85%含水率污泥



六、結 語

1. 目前大多數醫院廢水處理功能已屆必須功能提升之階段，建議可在曝氣池加裝繩狀接觸材，以提升生物處理功能。另，為因應氨氮之去除，可後續增設 BAF，以有效達到未來之要求。若空間更侷限，則需考量更高效之系統（如 MBR 系統）。
2. 醫院廢水污泥處理部分則建議增設高溫菌污泥水解減量單元，不但能進行污泥有效減量，更可以較低成本之方式附帶進行殺死致病菌之作用。

七、致 謝

感謝經濟部工業局支持本模廠部分試驗費用（101年生物技術研發成果產業化技術推廣計畫「醫院及生技產業廢水污泥高溫菌污泥減量及現地產氫能源回收模廠試驗計畫」計畫編號：10121101033-10110

參考文獻

1. 林正祥、陳志國、葉精執、張一葦、林佩玉、陳忠義，「優養化水源氨氮及錳前處理模廠試驗及實廠驗證探討」，經濟部工業局「2011 產業永續發展聯合成果發表」之「清潔生產暨環保技術研討會」，台大醫院國際會議中心，100 年 11 月 25 日。
2. 林正祥、張宏義、吳明峰、薛勝豐、楊萬發，「高溫菌好氧污泥減量技術之溫室氣體減量效益」，2007 產業綠色技術研討會，經濟部工

業局，96年11月16日(榮獲論文優等獎)。

3. M.N. Layden, D.C. Mavinic, H.G. Kelly, R. Moles, Autothermol thermophilic aerobic digestion (ATAD)–Part I: review of origins, design, and process operation, *J. Environ. Eng. Sci.* 6 (2007) 665–678.
4. USEPA, Autothermal thermophilic aerobic digestion of municipal wastewater sludge, Environmental Protection Agency, Washington, Report EPA/625/10- 90/007, 1990.
5. S.G. Liu, N.W. Zhu, Z.Y. Lou, Analysis of microbial diversity in thermophilic aerobic digestion of sewage sludge, *Acta Scientiae Circumstantiae* 30 (2009) 990–995.