

廢(污)水處理類

食品產業廢水以 UASB 和 BioNET 組合程序之實廠處理

陳致君*、楊凱翔**

摘 要

案例廠為一食品製造公司，由於生產產品之清洗水中，含大量高濃度有機廢水與有機氮以及高濃度懸浮固體物，需要大面積的廢水處理場，然如何在有限可應用的空間上，創造高效率的處理功能。工研院材料與化工研究所，規劃 BioNET，乃以『多孔性生物擔體』為核心之新型生物處理技術，主要以操作簡單、提供廣大表面積作為微生物附著、增值之介質，可累積大量特定族群微生物，接續在可承載高體積負荷、佔地面積小、免供氧且低能源消耗之上流式厭氧生物 UASB 二級生物處理方法的組合程序，前處理有細篩機與浮除單元。實廠廢水量為 180 CMD，pH 從 4.0~11，COD_t 濃度為 1,130~3,520 mg/L，有機氮為 50 mg/L，SS 濃度為 230~1,820 mg/L，為將產生污泥可直接作為堆肥再利用，故浮除單元僅添加凝集劑，又 UASB 厭氧生物處理所產出的顆粒污泥，可做為他廠的植種污泥，縮短厭氧生物系統啟動時間與污泥廢棄處理費用，此處理程序組合實為循環經濟最佳典範。UASB、BioNET 池體為 161 m³、170 m³，UASB 體積負荷為 4 kg COD/m³day，BioNET 水力停留時間為 22 小時，在 3 個月左右的實場試車結果，UASB 出流水 COD_t 濃度大都降解至 200 mg/L 以下，去除率為 88.8~98.4%，BoiNET 出流水 COD_t 濃度小於 50 mg/L 以下，實廠氨氮沒有檢出，SS 出流水濃度小於 10 mg/L 以下，去除率高達 97% 以上。案例廠放流水須符合自行

26 食品產業廢水以 UASB 和 BioNET 組合程序之實廠處理

排放管制標準 CODt 為 100 mg/L，SS 為 30 mg/L，由 UASB 厭氧生物接續 BioNET 喜氣生物處理單元，達到再次降解 COD 濃度又同時具攔截大量 SS 的功效。

【關鍵字】有機廢水、UASB、BioNET、體積負荷、水力停留時間

* 工業技術研究院材料與化工研究所

** 明志科技大學化學工程系

研究員

專題生

一、前言

工研院材料與化工研究所(簡稱材化所)所開發的 UASB(上流式厭氧生物)二級生物處理技術,對高濃度或低濃度產業有機廢水,以上流進水方式,可達到良好進水分配,有效將固、液、氣三項分離的設計且在無須供氧之生物處理(工研院,2002),另一 BioNET(生物網膜)廢水高級處理技術乃針對產業廢水含有氨氮或 COD 物質,將 BioNET 浮動床植入適當 PU 擔體與經馴養之生物污泥,並藉由輸入氧氣使擔體上微生物增殖以進行生物分解作用(陳致君等,2022)。在 BioNET 活性生物處理系統中,可藉由多孔性擔體的特性累積大量的微生物菌群繼續將 UASB 生物系統所殘餘的 COD 進行再分解以及將所流出的 SS 攔截住。食品產業製造為生產各種研磨豆漿類與養生系列飲品。生產產品時所產生之廢水乃以批次性排放,廢水濃度與瞬間水量及 pH 值變動極大,廢水的主要污染來源為生產時產生的高 COD、高 SS 之蒸煮鍋與管線之清洗廢水。規劃設計的廢水處理場處理流程為細節、

調勻池、pH 調整池、膠凝池、浮除槽與 UASB、BioNET 及生物沉澱池組合程序,須達到現行法規之自行放流水排放標準 $COD \leq 100 \text{ mg/L}$, $SS \text{ 濃度} \leq 30 \text{ mg/L}$ 。故,規劃膠凝系統後進入浮除單元,將大量懸浮性豆渣去除後進入上流式厭氧生物處理池,為主要降解高 COD 濃度而且具高體積負荷,減少佔地面積,另 BioNET 生物處理單元接續在後,可再次降解 UASB 厭氧生物處理後所殘餘 COD 濃度、同時又具有攔截懸浮固體物與浮渣功能(陳致君等,2020)。從評估結果得知浮除單元去除大量的 SS, UASB 厭氧生物處理單元擔任降解廢水中大部分的 COD,污泥生長量少且呈顆粒狀,可提供給需要的廠商作為廢水處理場快速啟動之植種污泥來源,縮短啟動期的時間。BioNET 生物處理單元由於具有累積大量特定族群選擇性優勢菌種的功能,可將放流水 COD 濃度維持在 100 mg/L 以下, $SS \text{ 濃度}$ 在 30 mg/L 以下,於此規劃大大減少現場操作人員的困擾,同時也降低了廢棄污泥的處理費用,可謂循環經濟的最佳典範案例。故,以上述組合程序處理高有機物、高 SS 廢水,達到了自行排放之放流水標準又同時具經濟效益及操作簡單之生物處理技術。

二、廢水水質

為達到最佳及最經濟的設計規劃，因此實驗前廢水水質調查工作尤其重要，由水質結果進行實驗室廢水處理程序評估，設計最適實驗與操作參數，經實驗室獲得的結果，作為廢水處理場處理程序規劃設計。

案例廠廢水來自食品製程生產時原料與蒸煮鍋的清洗及週期性鹼洗水，初級以細篩後流入調勻池，廢水水質調查水源以採集調勻水池的廢水，每星期 1~2 次採批次取樣方式，運送至工研院實驗室進行評估。於經過 1 個多月水質調查結果如圖 1，原廢水 pH 值為 4.0~11，圖 2 為 COD_t 濃度為約 1,000~3,700 mg/L；COD_s 濃度為約 600~3,200 mg/L。

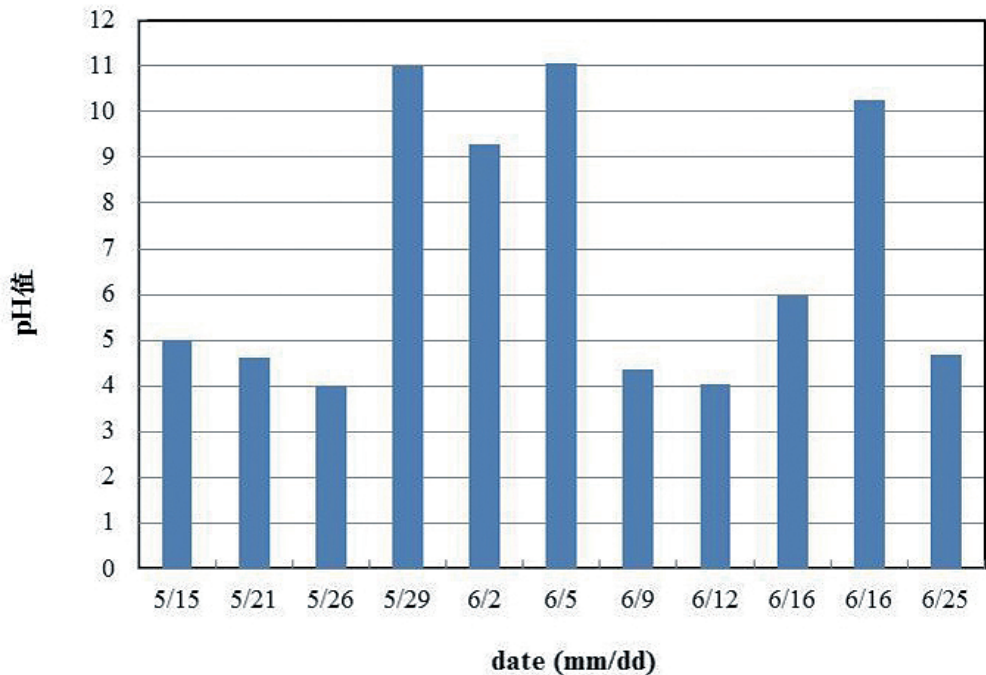


圖 1 原廢水 pH 值

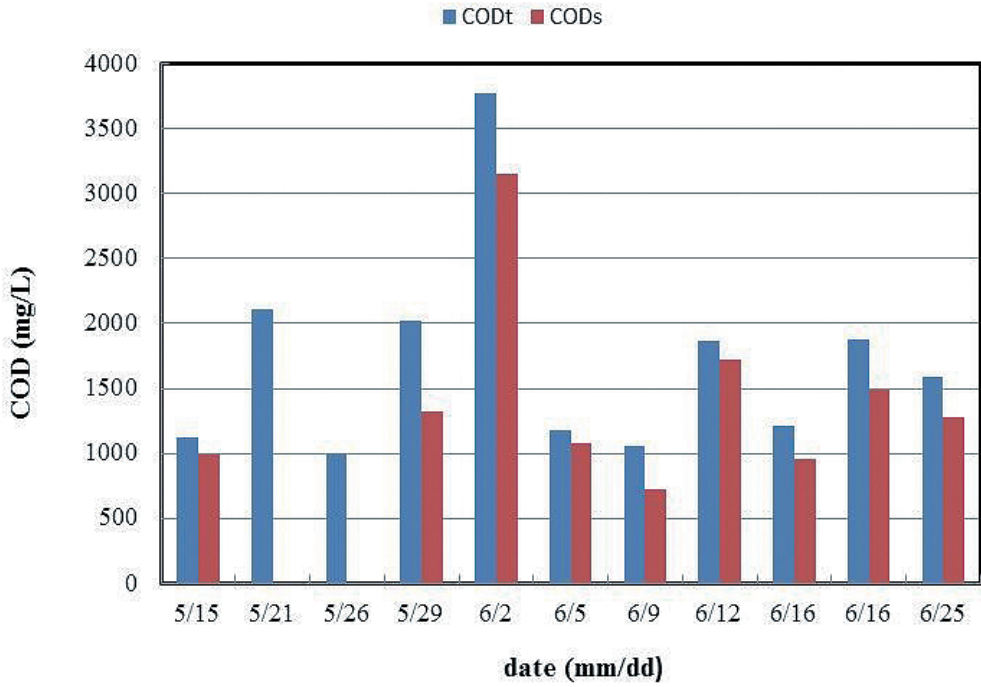


圖 2 原廢水 COD 濃度

三、廢水處理場單元流程規劃

食品產業製程為批式生產，廢水乃瞬間性排放產出，廢水濃度與水量變化極大，且會攜出大量的固體物及懸浮性固體，因此案例廠評估首要目的為先將固體物與懸浮性固體去除，有效降低 COD 濃度，可降低後段生物處理單元 COD 的體積負荷，達到符合放流水自行排放標準，故須在流程規劃上，進入調勻池前以細篩機進行固體物移除，懸浮性顆粒則採用加壓浮除方法將其帶出，上層液進入高體積負荷、占地面積小與高 COD 去除率以及操作簡單的厭氧生物處理單元，BioNET 生物處理單元接續在後，具有累積大量特定族群選擇性的優勢菌種，可將厭氧生物單元所殘餘的 COD 再由喜氣微生物再次降解、又同時具有攔截懸浮性固體物與浮渣的功能，最終至生物沉澱池，做為操作上安全把關之評估處理技術組合，提昇廢水處理場之整體處理效率與穩定性。

上述適用性及水質分析所得評估結果與因應廠商廢水水質的特性，程序單元規劃設計，邁入升級廢水處理場以操作簡單化、經濟效益與提高現場操作人員的信心與成就感，處理流程單元包括細節機、調勻池、pH 調整池、加壓浮除及 UASB 厭氧生物、BioNET 喜氣生物與生物沉澱池等。

四、實驗室處理程序評估結果與討論

案例廠為含高 COD、SS 及有機氮之廢水，首先於實驗室進行可行性評估實驗，高懸浮性固體採用混凝沉澱方法進行去除，再進入 UASB 厭氧生物處理單元，此技術擔任降解大部分 COD 濃度，其出流水再接續 BioNET 喜氣生物處理單元，BioNET 喜氣生物處理技術主要功能具有可攔截大量懸浮性固體物 (SS)，同時又可將 UASB 厭氧生物處理單元所殘餘之 COD 濃度再次進行降解，圖 3 所示為食品廢水於實驗室評估之處理程序。案例廠配合實驗室研究所需的水量，以批式取樣方式將水樣寄送至工研院，廢水來源以採集抽水井廢水做為實驗室評估水源，實驗室評估為連續式 24 小時進流方式操作，期間進行 3 個多月。

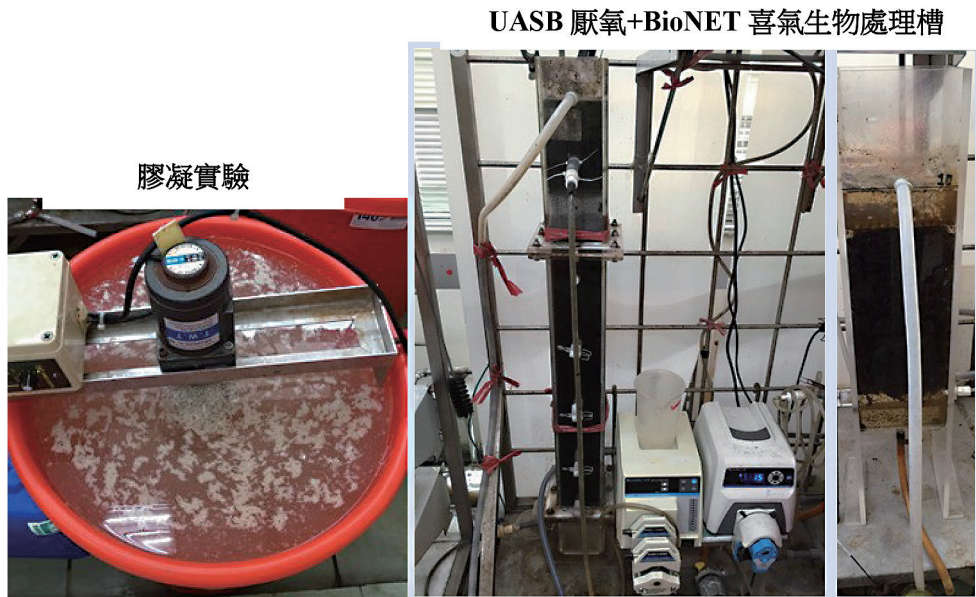


圖 3 實驗室處理程序單元

加壓浮除單元 (DAF) 在實驗室評估時，採用化學混凝方法代替，規劃設計 5 個瓶杯實驗條件，獲取最佳加藥量，每個瓶杯廢水水量為 1 公升，添加不同 PAC 混凝劑添加量，採 0、5、10、20、30 mg/L，每瓶杯固定添加 2 mg/L 凝集劑，實驗結果如圖 4 得知，COD 濃度從 1,176 mg/L 降低為 1,005~526 mg/L，去除率為 14.5~55.3%，另，為了符合堆肥需求規範，於後續化混評估實驗則不再添加 PAC，僅添加 2 mg/L 助凝劑，即可快速沉降懸浮性固體物進而去除之，上清液進入 UASB 厭氧生物系統處理，評估實驗之操作參數，槽中的 pH 值維持在中性範圍 6.7 至 7.8 之間，進流水 COD 濃度為約 610~3,780 mg/L，出流水 COD 濃度於系統穩定其後為約 72~243 mg/L，啟動期經過 55 天水質分析結果得知，UASB 系統處理已呈現穩定狀態，出流水 COD 濃度降解至 400 mg/L 以下，因此逐步提高處理槽內 COD 體積負荷，然因進流水 COD 濃度隨著製程生產的產品不同而有所變化，故體積負荷在 1.5~6.36 kg COD/m³day 之間變動，去除率為 75~94.3%，如圖 5、圖 6 所示。

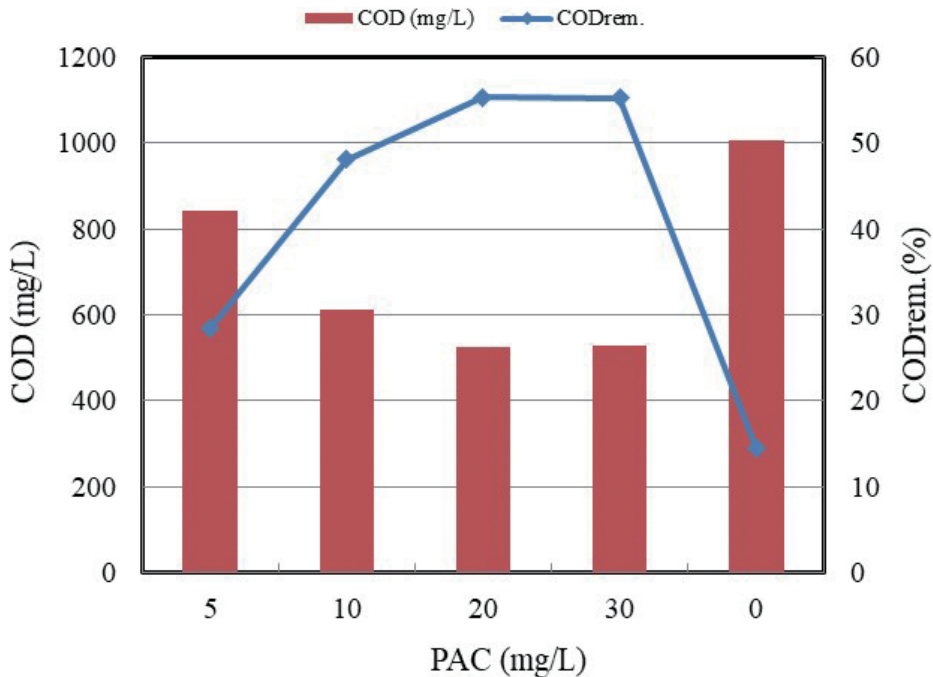


圖 4 化學混凝實驗結果

32 食品產業廢水以 UASB 和 BioNET 組合程序之實廠處理

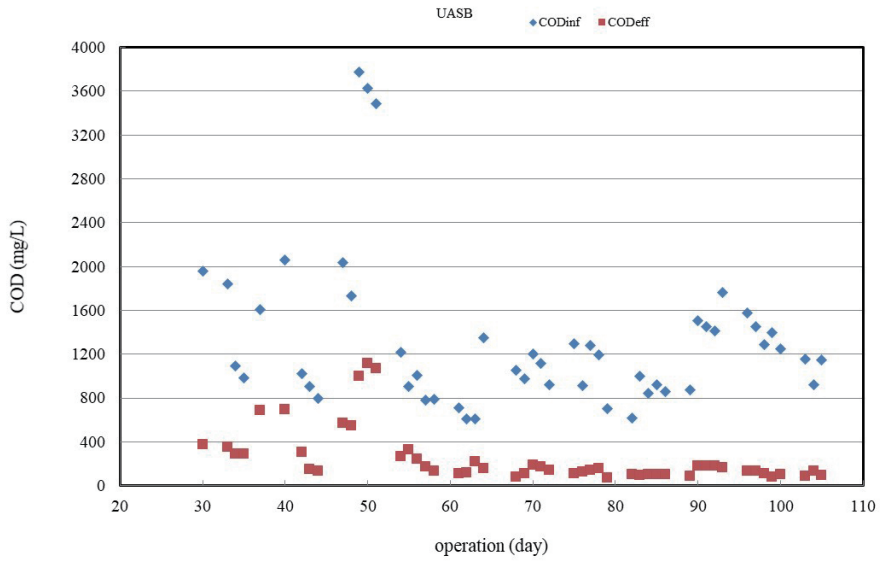


圖 5 實驗室 UASB 進出流水評估結果

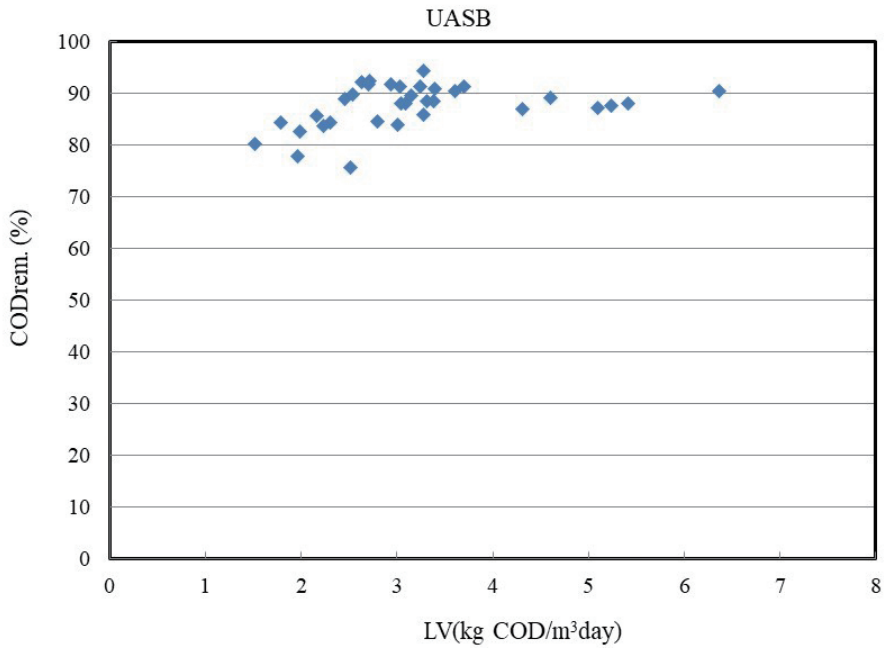


圖 6 實驗室 UASB 體積負荷與 COD 去除率

BioNET 喜氣生物處理單元，規劃 3 階段不同水力停留時間，探討水力停留時間於 9.6、6.7 與 10.2 小時之處理結果，由圖 7、圖 8 瞭解，UASB 出流水再經 BioNET 喜氣生物處理，出流水 COD 濃度降低至 9~50 mg/L，且大部分 COD 濃度均於 40 mg/L 以下，去除率為 70~97% 之間，SS 出流水濃度為 25 mg/L 以下，大都小於 15 mg/L，如圖 9 顯示。另由圖 10 與 11 得知，食品清洗廢水氨氮濃度從 0.01~16.19 mg/L，經 UASB 厭氧生物處理之出流水，氨氮濃度增加為 0.2~32.95 mg/L，接續 BioNET 喜氣生物單元處理，氨氮濃度降低至 3.05 mg/L 以下。食品清洗廢水中硝酸鹽氮濃度幾乎都在 1.0 mg/L 以下，僅 1 次硝酸鹽氮濃度為 3.67 mg/L。從 UASB 厭氧生物處理結果明確得知有機氮水解轉化成氨氮，氨氮在厭氧系統中無法進行硝化反應，硝酸鹽氮濃度並無明顯增加，故得知硝化反應是由 BioNET 喜氣生物處理系統進行，進流硝酸鹽氮濃度為 0.07~1.07 mg/L，於系統硝化反應後出流水硝酸鹽氮濃度增加為 5.22~34.20 mg/L 同時氨氮濃度降低為 0.02~3.05 mg/L，去除率為 25~99 %，如圖 12。

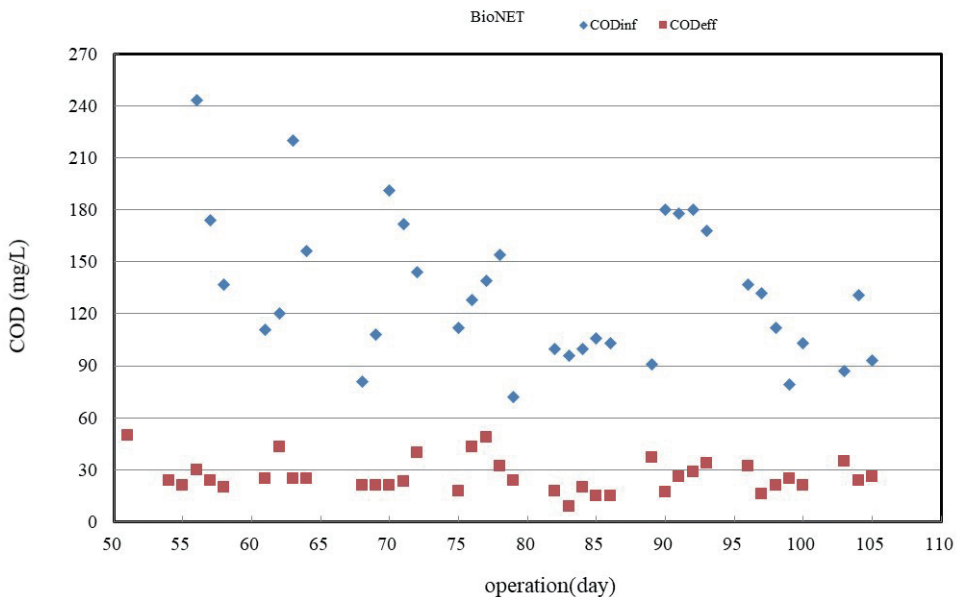


圖 7 實驗室 BioNET 進出流水處理結果

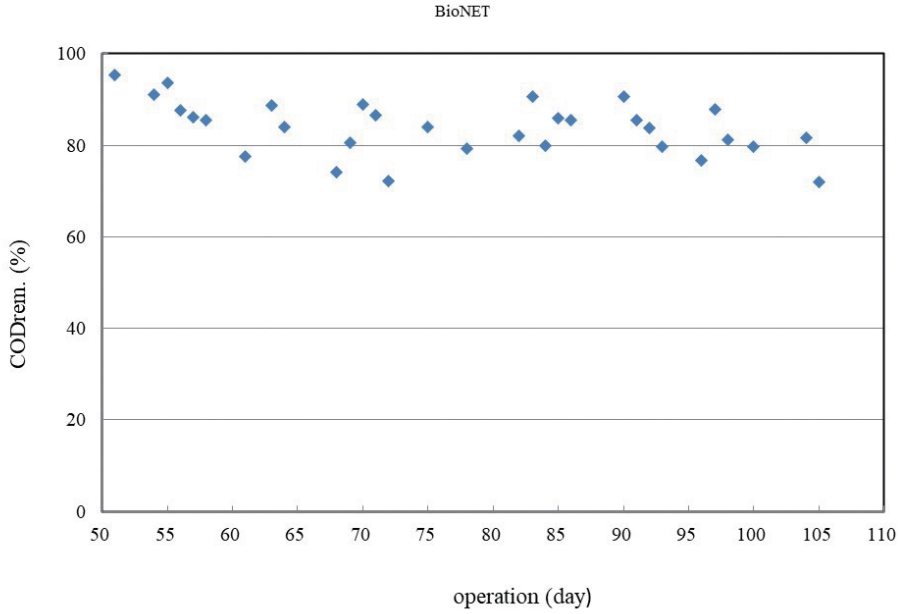


圖 8 實驗室 BioNET-COD 去除率

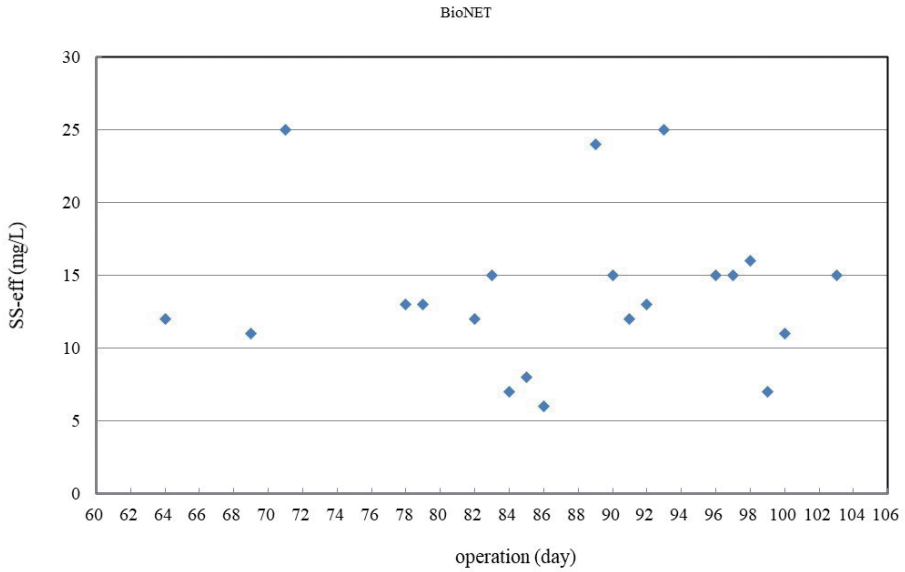


圖 9 實驗室 BioNET 出流水 SS 評估結果

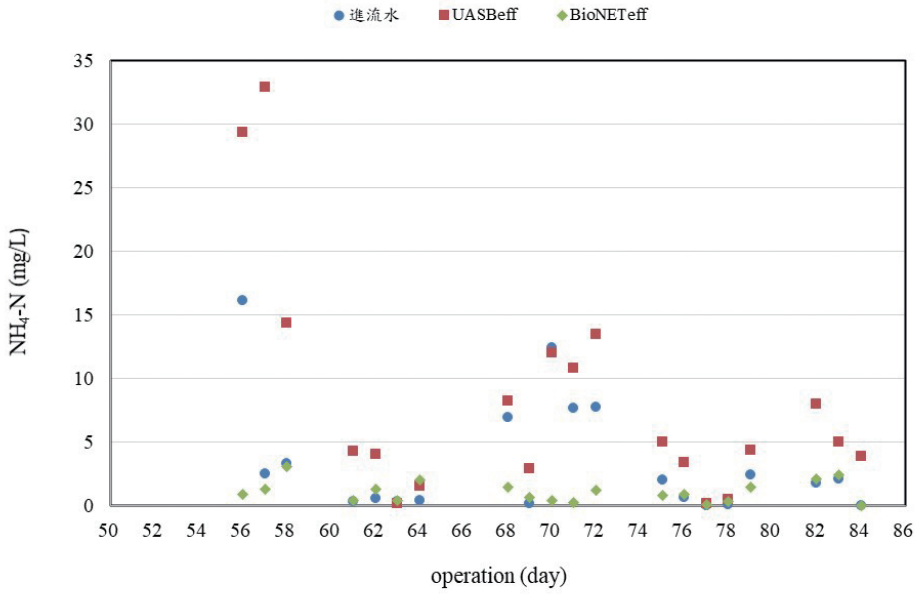


圖 10 實驗室氨氮處理結果

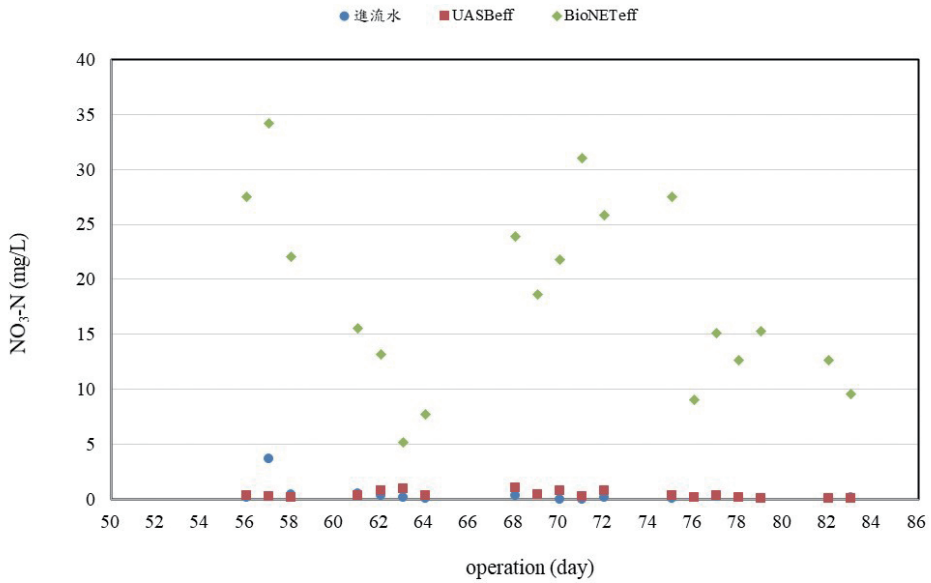


圖 11 實驗室硝酸鹽氮處理結果

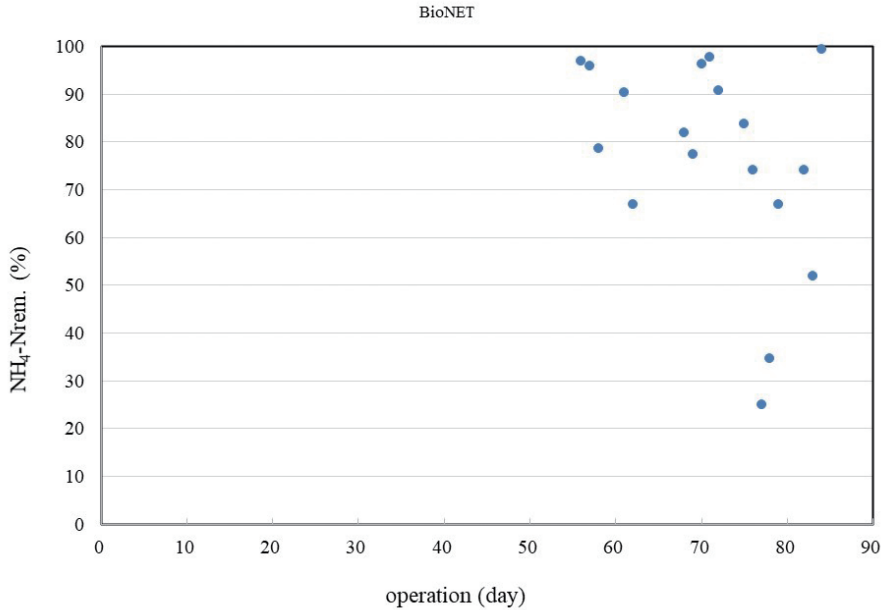


圖 12 BioNET 氨氮去除率

五、廢水場設計理念與流程

1. 廢水處理場設計

規劃處理流程：由細篩機除去大顆粒固體物，讓進入調勻池批式產出之有機物廢水達到完全混合調勻功能，進行 pH 調整，所含懸浮性固體採用添加 polymer 以加壓浮除法進行去除，接續應用 UASB 厭氧生物技術降解大部分 COD，所殘餘 COD 則由 BioNET 喜氣生物技術接力進行降解達到符合法規規定放流水自行排放的標準。

設計理念：

- 以生物處理為主，降低對環境衝擊。
- 調勻池將批式產出的有機廢水達到完全混合功能，穩定廢水水質提供給處理系統。

- pH 調整池可機動性調整食品廢水因鹼液清洗而造成廢水 pH 值偏鹼及食品廢水容易酸化的困擾，讓生物處理系統處於穩定最適 pH 值下操作，避免因異常造成對生物處理系統的衝擊。
- 前處理以細篩機及加壓浮除單元，目的為去除大顆粒固體物與懸浮性固體降低對生物系統的負荷及減少占地面積。
- UASB-BioNET 生物處理單元組合程序，可有效降解有機物生物分解效率與經濟效益。
- 生物沉澱池，主要預防現場操作異常，進而造成廢水進入生物處理系統的負荷突增，保障放流水符合自行排放標準。

2. 廢水處理場處理流程與主要單元槽體設計及操作參數

案例廠廢水處理場規劃之處理流程如圖 13，先經細篩機再流入調勻池、pH 調整池、膠凝池、DAF、UASB、BioNET、生物沉澱池、污泥貯池、污泥脫水、放流水池。

主要單元槽體設計規劃為：調勻池 174 m^3 ，水力停留時間為 19 小時，快混池與膠凝池池體體積為 2.4 m^3 ，水力停留時間為 19 分鐘，DAF 槽體面積 10 m^2 ，UASB 池體體積為 161 m^3 池體體積負荷為 $4 \text{ kg.COD/m}^3.\text{day}$ ，BioNET 池體體積為 170 m^3 ，水力停留時間為 22 小時，沉澱池面積規劃為 11.6 m^2 。

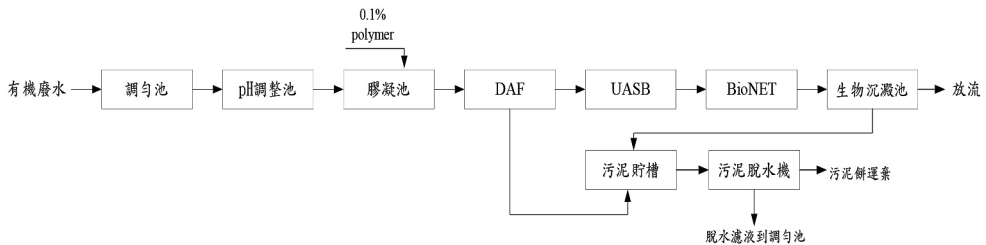


圖 13 廢水場處理流程

六、實場試車結果與討論

食品產業廢水為高 COD、SS 且含有機氮之廢水，實驗室評估所規劃之處理流程中以採用工研院開發的上流式厭氧生物處理 (upflow anaerobic sludge bed, UASB) 技術，主要將廢水之高濃度 COD 利用最小占地面積達到承載高體積負荷且污泥產率小於 0.1 kg SS/kg COD 與生物網膜 (Biological New Environmental Technology, BioNET) 三級喜氣生物處理技術接續二級生物處理所殘留之 COD 進行再次降解且同時具有攔截大量懸浮性固體的組合程序。前處理以細篩機篩除固體物再應用加壓浮除法將懸浮性固體去除，實驗室評估結果所獲得的參數，作為實廠廢水處理場各單元工程建置基本設計參數的依據。實廠廢水場之試車結果由圖 14 得知，進流水 COD 濃度最大值為 3,520 mg/L，平均值為 2,400 mg/L 經由細篩與 DAF 單元處理，把固體物與懸浮性固體物先去除，COD 濃度降低至最高為 2,900 mg/L，平均 COD 濃度為 1,880 mg/L，於圖 15 瞭解，DAF 進流水 SS 濃度為 233~1,820 mg/L，浮除後出流水 SS 濃度為 62~448 mg/L。

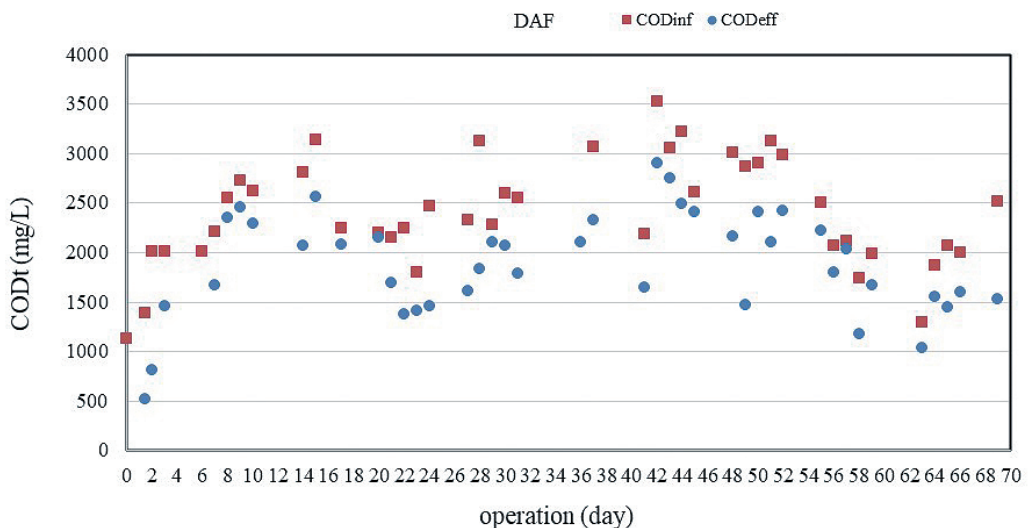


圖 14 實廠 DAF 處理結果

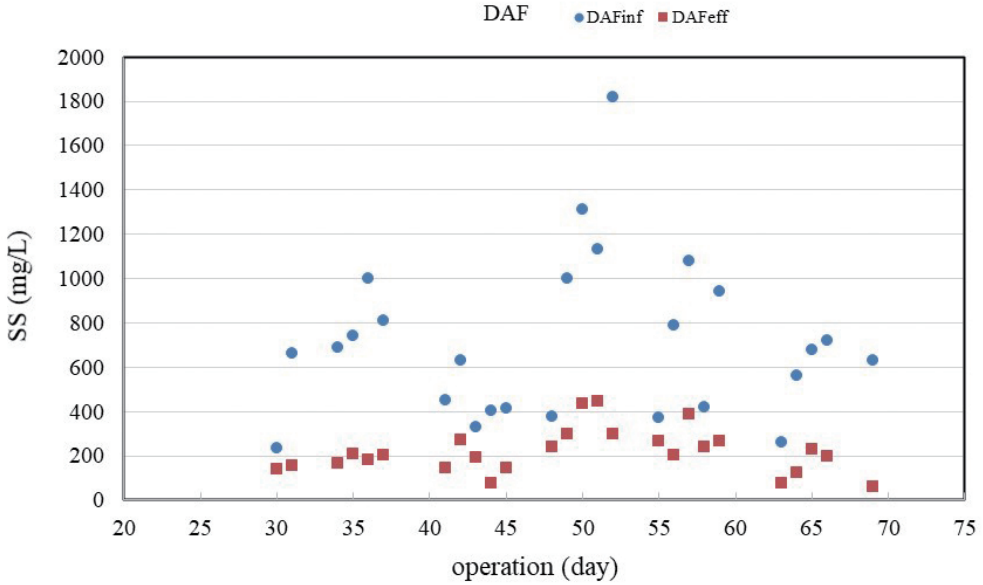


圖 15 實廠 DAF 進出流水 SS 處理結果

二級生物處理以 UASB 厭氧生物處理技術來進行承載高 COD 體積負荷，尤對食品之高濃度有機物廢水降解效率優，從圖 16 結果顯示，UASB 出流水的 COD 濃度降低至 26~198 mg/L，其進流水為 DAF(加壓浮除)的出流水，因隨著進流水濃度變化，COD 去除率為 88.8~98.4%，另相同地，BioNET 喜氣生物處理之進流水為 UASB 厭氧生物處理單元的出流水，於圖 17 得知，BioNET 喜氣生物處理出流水 COD 濃度降解至 1.0~53 mg/L，遠低於自行排放濃度 100 mg/L，去除率最高達 95.5%。放流水 SS 濃度為 1~9 mg/L，如圖 18 所示，仍遠低於自行排放標準濃度 30 mg/L，另，放流水氨氮濃度則沒有檢出。

40 食品產業廢水以 UASB 和 BioNET 組合程序之實廠處理

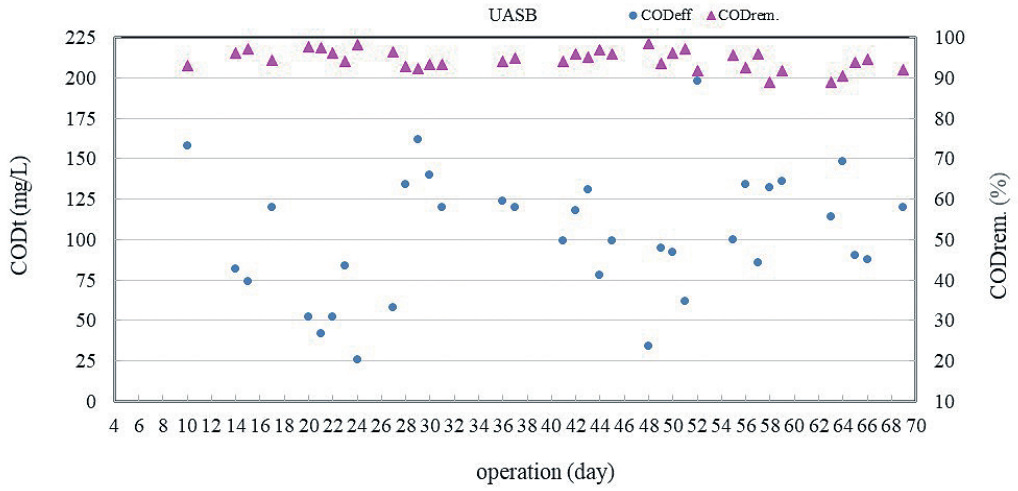


圖 16 實廠 UASB 出流水與 COD 去除率

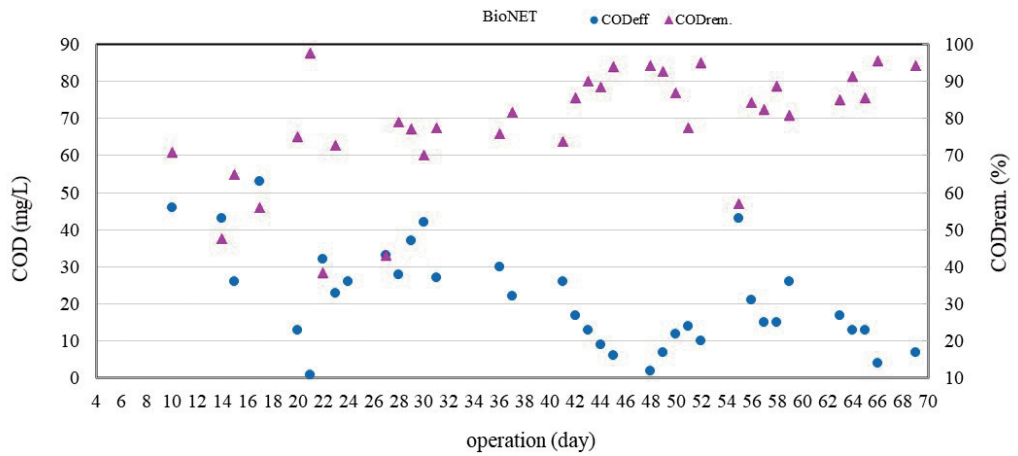


圖 17 實廠 BioNET 處理結果

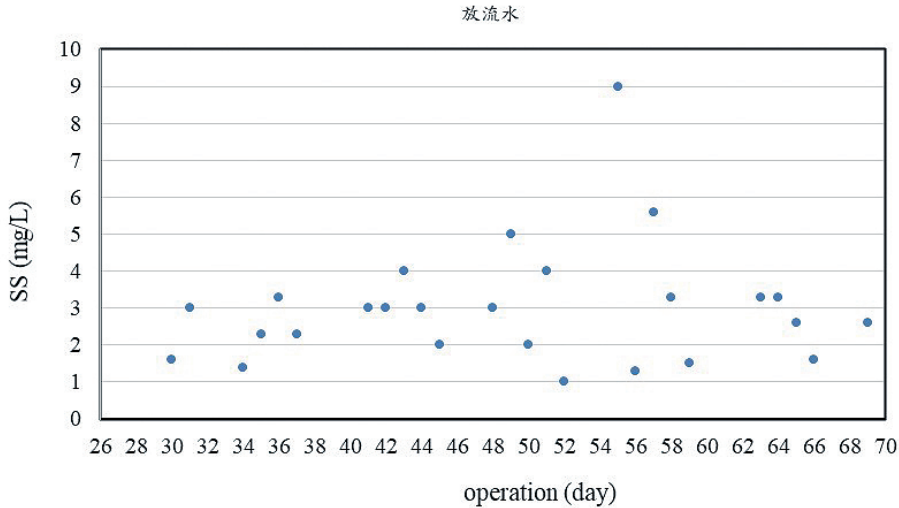


圖 18 實廠放流水 SS 濃度

七、結論

綜觀上述實驗室評估果再經實廠試車結果驗證，工研院規劃設計之廢水場 - 處理流程單元，完全解決了食品產業廢水高濃度 COD、SS 及高有機氮廢水，UASB 厭氧生物處理系統降解大部分有機物，出流水 COD 濃度為 26~198 mg/L，去除率在進流水水質穩定操作的情況下可高達 98.4% 以上，其所殘餘之 COD 濃度接續由 BioNET 喜氣生物處理單元進行再次降解 COD，出流水 COD 濃度在 1.0~53 mg/L 去除率最高達 97% 且可攔截大量的 SS，進流水 SS 濃度從 230~1,820 mg/L，放流水 SS 濃度降低至 10 mg/L 以下，遠低於放流水排放標準 30 mg/L，去除率高達 98% 以上，放流水 COD 濃度亦遠低於自行排放標準的 100 mg/L 以下，去除率可高達 99% 以上。

浮除單元僅添加凝集劑所產生的污泥可直接作為堆肥再利用，UASB 厭氧生物處理所產出的顆粒污泥，可做為他廠的植種污泥，縮短厭氧生物系統啟動時間與污泥廢棄處理費用，此處理程序組合實為循環經濟最佳典範。另廢水處理場處理流程規劃之最終目標，主要考量亦以現場工作人員於執行上必須操作簡單，同時具有高效率處理功能及減少佔地使用，達到最大經濟效益利用為主要目的。

參考文獻

工業技術研究院 (2002)，上流式厭氣污泥床處理系統設計及應用手冊。

陳致君、洪仁陽、姜榮煌、洪政偉、陳威全、廖啟鐘、鄒文源 (2015)，氮氮與正磷酸鹽廢水以 BioNET® 和化學混凝組合程序之實場處理，環保技術與工程實務研討會，p 67-82。

陳致君、洪仁陽、蔡松均、梁德明、黃志彬 (2020)，以 UF/EDR 回收 PCB 產業廢水：BioNET 前處理評估，環境工程學會廢水處理研討會。

陳致君、王鈞逸 (2022)，化工產業廢水以 SBR 和 BioNET 組合程序之實廠處理，工業污染防治，第 155 期，p 59-72。