



經濟部

Ministry of Economic Affairs

經濟部產業發展署 115 年度 「產業綠色智慧技術提升計畫」

水污染防治法規與技術講習會

主辦單位： 經濟部產業發展署

執行單位： 財團法人台灣產業服務基金會

中華民國 115 年 4 月

水污染防治法規與技術 講習會

會議議程表

時間	課程內容	主講人
13：00~13：30	政策宣導影片播放	
13：30~13：35	長官致詞	經濟部產業發展署
13：35~14：45	水污染防治法規修訂 及因應重點 (含 Q&A)	環境部水質保護司
14：45~15：00	休息	
15：00~16：10	AI 技術應用於污水處理系統 實場操作優化方法介紹 (含 Q&A)	逢甲大學 環境工程學研究所 林俊德 教授
16：10~16：30	產業發展署 輔導資源介紹 (含 Q&A)	財團法人 台灣產業服務基金會
16：30~	散會	

水污染防治法規修訂 及因應重點

主講人

環境部水質保護司

水污染防治法規修訂及 因應重點

環境部水保司孫維謙
115年4月27日



簡 報 大 綱

- 01 廢水綠色轉型
- 02 近期修法內容
- 03 結語

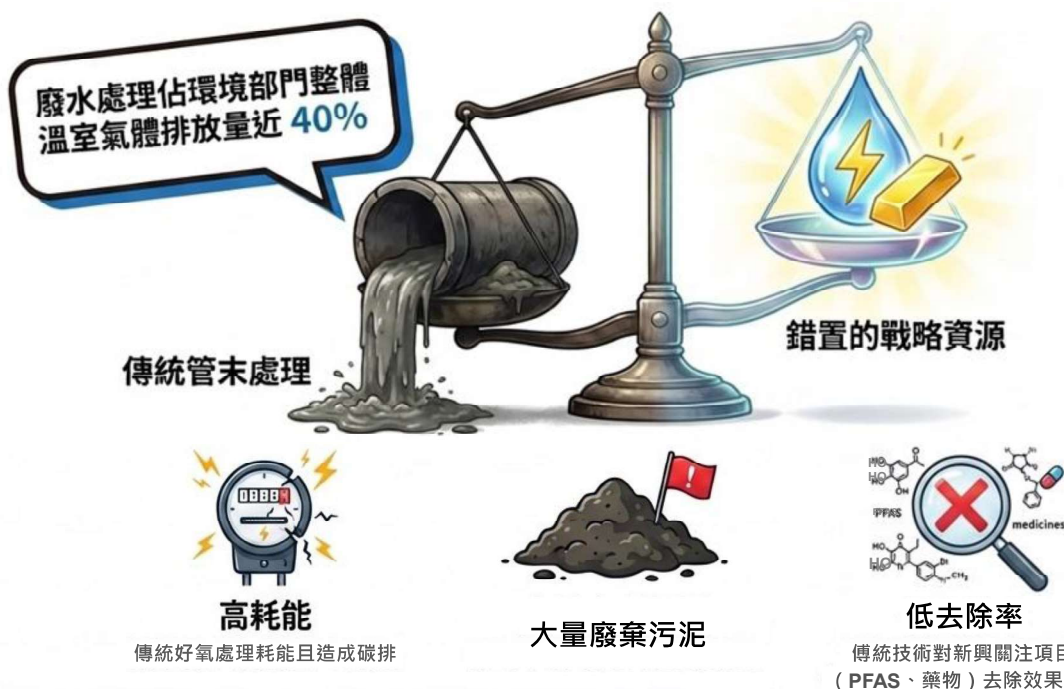


廢水綠色轉型

01

3

痛點：傳統廢水處理的隱藏問題



4

多元措施推動綠色轉型



以法規修正創造市場需求，搭配技術引導降低門檻，並佐以經濟誘因，形成完整的推動生態系統

法制驅動 胡蘿蔔與棍棒雙軌驅動



水污首次

水措管辦導入 BACT概念

特定規模事業優先評估採行厭氧處理及沼氣利用



精進管理

加嚴/增訂 放流水標準

增訂氮、總磷及銅等限值，促使高科技產業改採源頭分流與資源回收



領先亞洲

新興污染物檢測 自主削減

將PFAS、藥物納入檢測申報並推動自主削減管理

加嚴管制推動源頭分流

簡政便民鼓勵循環



畜牧糞尿全量資源化
免檢測申報



採行能資源化設施滿三年
水污費抵減機制

技術引導 補助創新研發 提升本土技術量能



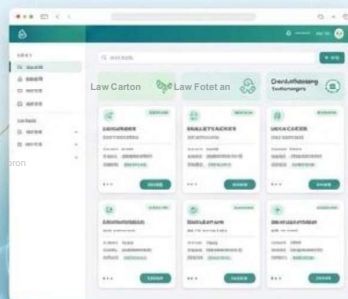
113-114年補助15件技術研發



**運用水污基金補助創新
同時培育人才**

- 流體化床均質結晶技術回收銅
- PFAS 整合處理技術

新興廢水技術應用交流平台



系統化分類16項

低碳、低污染、資源循環
技術提供技術原理、適用
條件、實場案例等資訊

技術有效性認證

事業廢水能源化伙伴網絡

觸及超過130家次企業交流

經濟鼓勵 三重經濟誘因 提高事業轉型意願

- 中小企業信用貸款
- 補導事業取得轉型基金

**水污首次訂定信貸要點
提供產業協助**



- 國發基金投資事業
- 114年媒合6家潛在事業



**環境部首次由稽查管制
轉變為投資媒合角色**

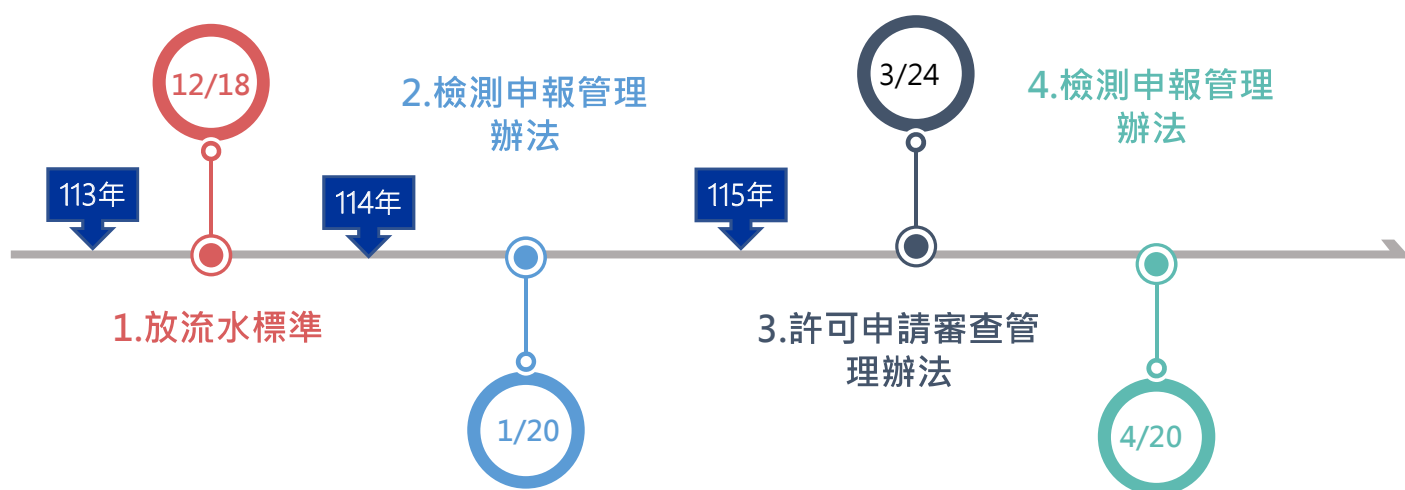
- 1.25億元前瞻特別預算
- 建立15處示範案場推動綠色轉型



近期修法內容

02

近期修法情形



1 116年加嚴標準及新增管制對象



11

106年放流水標準第3階段加嚴標準





配合事項-檢視是否須辦理許可證(文件)變更

業者實際排放水質均已可符合增修標準，惟水質水量平衡圖或原物料使用未依法規管制內容調整

建請業者辦理水措計畫或許可證變更



註：僅摘錄部分處理程序。

電鍍業(核准排水量>150 CMD)銅限值為1.5 mg/L，116年將加嚴為1.0 mg/L

水質水量平衡示意圖

單元序號：T01-18				
進出處理單元之水質資料				
水質項目	進流水流編號：WTB03-18		出流水流編號：WTA03-18	
	濃度	質量	濃度	質量
硝酸鹽氮	50	9.29	50	9.29
氨氮	150	27.86	150	27.86
氰化物	1	0.19	1	0.19
砷	0.35	0.07	0.35	0.07
硼	12	2.23	12	2.23
鎘	0.02	0.004	0.02	0.004
鉛	0.5	0.09	0.5	0.09
總鉻	1.5	0.28	1.5	0.28
六價鉻	0.35	0.08	0.35	0.08
總汞	0.005	0.0009	0.005	0.0009
銅	1.5	0.28	1.5	0.28
鎳	3.5	0.65	3.5	0.65

銅濃度應調整為1.0 mg/L以下



配合事項-檢視是否有功能不足疑慮(1/2)

業者如有自主檢測、定檢申報或稽查水質數據已超過增修標準者

建請業者進行功能測試或工程改善

電鍍業銅定檢申報數據

廢(污)水排放地面水體申報表

二、檢測當日放流水之水質及水量				
檢測日期	113年5月8日			
採樣人員進廠起訖時間：至	：			
採樣人員採樣起訖時間：至	：			
(當次申報月前一年內有違規情事者，應填寫進廠起訖時間、採樣起訖時間)				
項目	數值	環境檢驗測定機構名稱	證號	是否為中央主管機關許可之項目
[00]水量(CMH)	0.5 人工採樣值			是
[65]水溫(攝氏)	25.4 人工採樣值			是
[66]pH值	6.4 人工採樣值			是
[61]化學需氧量(mg/L)	43.8 人工採樣值			是
[62]懸浮固體(mg/L)	3.1 人工採樣值			是
[31]鎳	0.77 人工採樣值			是
[28]銅	2.56 人工採樣值			是

某電鍍業(核准排水量≤150 CMD)
放流水銅超過116年加嚴管制限值(2.0 mg/L)

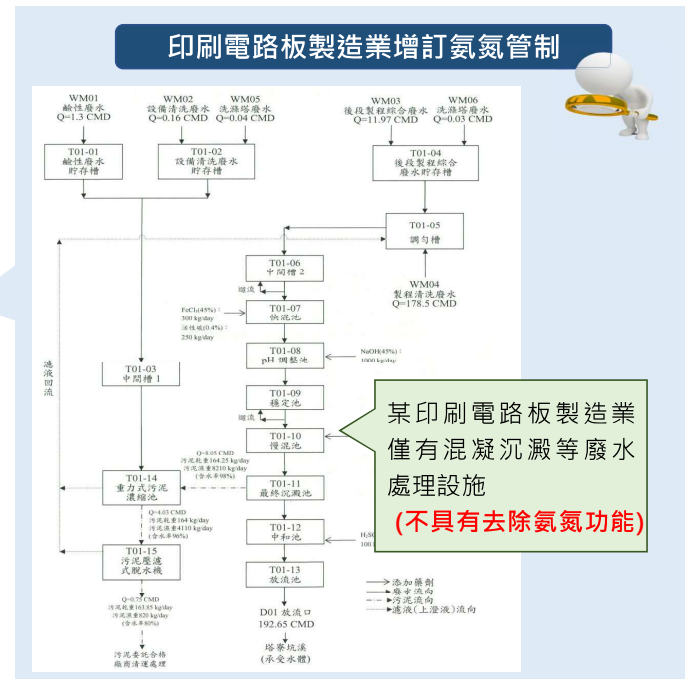


配合事項-檢視是否有功能不足疑慮(2/2)

原處理設施未具備處理增修管制項目之功能，但業者認為可符合標準者



建請業者檢測廢水水質特性，並確實審視原處理設施是否具備處理增修管制項目之功能，且處理後可符合標準，必要時應進行工程改善及辦理許可證變更



無須改善處理設施者，得事後辦理變更，免功能測試



主旨：因應「放流水標準」部分水質項目管制標準將於116年1月1日施行，關於水污染防治許可證（文件）之變更，請依說明二辦理，請查照。

說明：

一、「放流水標準」於113年12月18日修正，氨氮、總磷、銅及自由有效餘氯等管制標準將於明(116)年1月1日施行，請督促轄內業者儘速檢視廢水處理設施功能是否足夠及適時辦理水污染防治許可證（文件）變更。

二、因應前揭放流水標準施行，如廢（污）水處理設施無須進行改善即能符合管制標準，於業者提出具有處理效能之說明資料、符合116年放流水標準之檢測報告或相關佐證資料，經主管機關確認者，得依「水污染防治措施計畫及許可申請審查管理辦法」（以下簡稱許可辦法）第21條規定，於放流水標準116年1月1日施行之翌日起30日內，辦理排放許可證（文件）變更，免進行功能測試；倘廢（污）水處理設施功能不足，須改善始能符合放流水標準者，應依許可辦法第22條、第23條規定辦理工程改善及功能測試。



檢測申報增加水質項目

配合放流水標準新增管制對象者，水污染防治措施及檢測申報管理辦法附表一修正，增加應申報水質項目

- 以醫院、醫事機構為例，原申報水質項目包含pH、水溫、BOD、COD、SS和大腸桿菌群；**配合放流水標準修正，增加自由有效餘氯及氨氮**

事業別	應申報之質項目	檢測頻率			
		原廢(污)水	排放廢(污)水於地面水體之放流水		納管事業排入污水下水道系統之水質
			應設置廢(污)水處理專責單位或甲級廢(污)水處理專責人員者	應設置乙級廢(污)水處理專責人員或免置廢(污)水處理專責人員者	
醫院、醫事機構	氫離子濃度指數、水溫、生化需氧量、化學需氧量、懸浮固體、大腸桿菌群、 自由有效餘氯、氨氮	每六個月檢測一次	每三個月檢測一次	每六個月檢測一次	每六個月檢測一次

註：位於水源水質水量保護區內者，其原廢(污)水及放流水之一般水質項目應增加檢測正磷酸鹽。

17

採樣及檢(監)測資料免事前變更

水污染防治措施計畫及許可申請審查管理辦法第22條第1項「...水措計畫核准文件或許可證(文件)登記事項，應於『變更』前，送核發機關審查...」之規定，不包含因事業或污水下水道系統因應水污染防治措施及檢測申報管理辦法修正，而變更檢測申報項目或廢(污)水採樣檢測地點

標 題：	水污染防治措施計畫及許可申請審查管理辦法第22條第1項「...水措計畫核准文件或許可證(文件)登記事項，應於『變更』前，送核發機關審查...」之規定，不包含因事業或污水下水道系統因應水污染防治措施及檢測申報管理辦法修正，而變更檢測申報項目或廢(污)水採樣檢測地點
發文機關：	環境部
發文字號：	環部水字第1141035641號函
發文日期：	民國 114 年 06 月 16 日
單位業務分類：	水質保護/水污染防治
內 容：	主 旨：水污染防治措施計畫及許可申請審查管理辦法第22條第1項「...水措計畫核准文件或許可證(文件)登記事項，應於『變更』前，送核發機關審查...」之規定，不包含因事業或污水下水道系統因應水污染防治措施及檢測申報管理辦法修正，而變更檢測申報項目或廢(污)水採樣檢測地點，請查照轉知。 說 明：一、為將水質保護辦法於114年1月20日修正發布，有關採樣地點項目或廢(污)水採樣檢測地點未經修正，說明如下： (一)符合第22條第1項第4款但書規定，廢(污)水回收作為製程之用，或回收作為污染防治設備之用且回收使用經設置之處理設施處理者，免檢測申報回收用水之水質與檢測當日之水量。 (二)第91條第1項第2款及第2項規定，含同一有健康物質項目並設置有收集池者得於收集池採樣；未設置收集池者得依序採一級原廢(污)水於進入課內池前適當地點採樣，每次採樣時各點採樣(污)水應輪流採樣；非屬衛生生產與有健康物質有關製程所產生者，得於課內設施合併採樣。 二、因應水質管理辦法修正，涉及水污染防治措施計畫及許可申請審查管理辦法第22條第1項，須變更水污染防治措施計畫或許可證(文件)登載之採樣及檢(監)測資料表或採樣位置圖，得逕行依水質管理辦法修正而變更，免於『變更』前，送核發機關審查，後事業或污水下水道系統有辦理其他變更或展延許可證(文件)必要時，一併辦理即可。 止 本：直轄市環保機關、縣(市)環保機關 副 本：法源資訊股份有限公司、本部法制處



114年6月16日以環部水字第1141035641號函

18

新增原廢（污）水及放流水應申報之水質項目者亦同



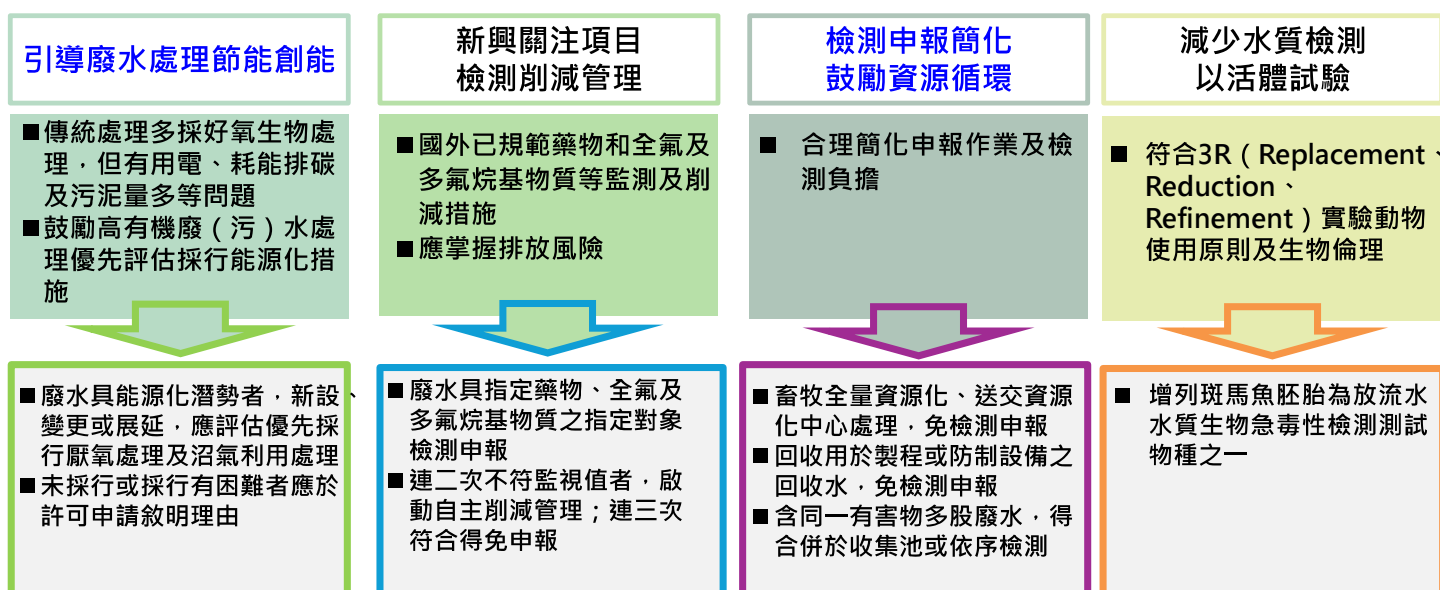
三、配合「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」（以下簡稱水措管理辦法）114年1月20日修正，對於須變更水污染防治措施計畫或許可證（文件）登記之採樣及檢（監）測資料表或採樣位置示意圖者，本部已於114年6月16日以環部水字第1141035641號函釋示如下：「…因應水措管理辦法修正，涉及許可辦法第22條第1項，須變更水污染防治措施計畫或許可證（文件）登載之採樣及檢（監）測資料表或採樣位置示意圖，得逕行依水措管理辦法修正而變更，免於『變更』前，送核發機關審查，俟事業或污水下水道系統有辦理其他變更或展延許可證（文件）必要時，一併辦理即可。」其適用情形，**包括水措管理辦法附表一新增原廢（污）水及放流水應申報之水質項目者，併予補充。**

正本：直轄市環保機關、縣(市)環保機關
副本：

115年4月20日環部水字第1151023931號函

19

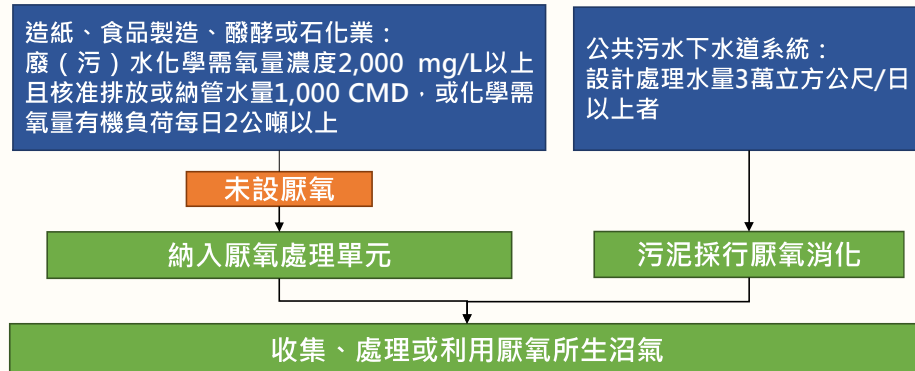
2 水污染防治措施及檢測申報管理辦法





引導廢水處理節能創能

1. 潛力事業於申請、變更或展延水措計畫或許可證（文件）時，其廢（污）水或污泥處理評估優先採行附表五所列之最佳可行控制技術（厭氧處理）



• 評估後未採行或採行有困難者，敘明理由
• 評估結果不涉及水措計畫或許可之准駁。

檢測申報管理辦法第 49 條之 12

2. 事業或污水下水道系統採行厭氧處理者應申報甲烷流量及甲烷回收處理情形，以建立我國溫室氣體排放清冊資料

厭氧處理設施之甲烷氣體回收處理方式	回收處理甲烷氣體流量(m³)
☐ 製程作為燃料使用 ☐ 沼氣回收發電 ☐ 直接燃燒 ☐ 其他_____	

檢測申報管理辦法第 73 條

21



最佳可行控制技術審視指引

未採行或採行最佳可行控制技術有困難之理由或佐證文件說明

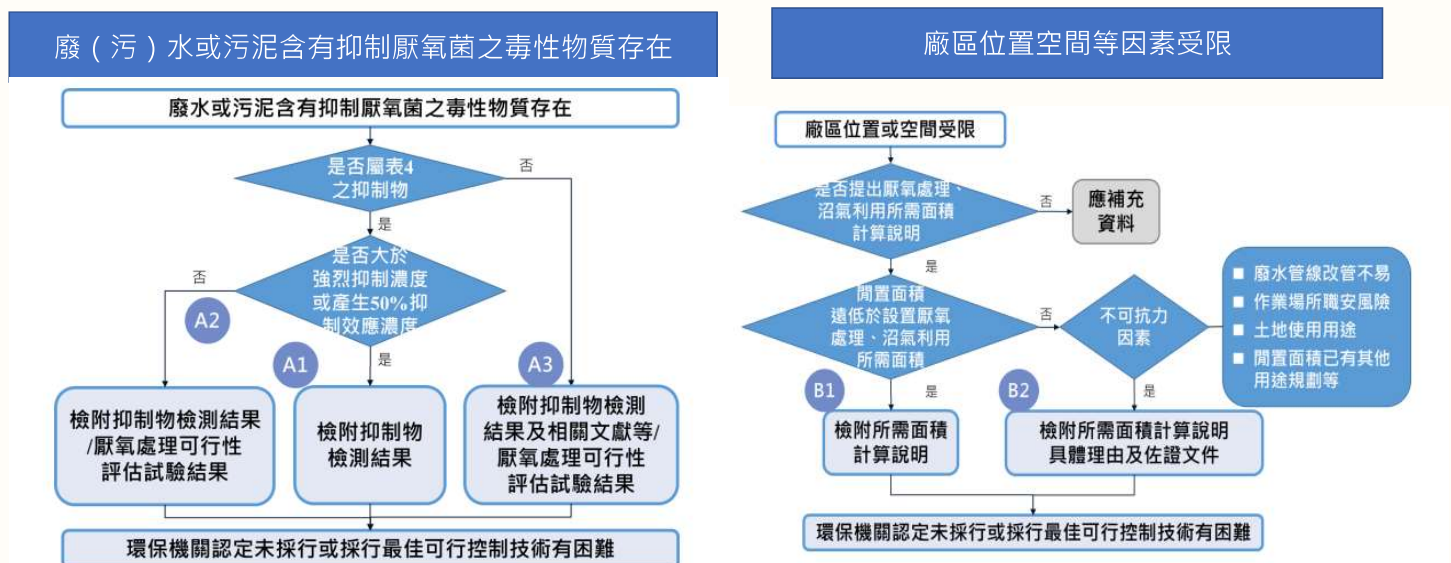


圖 1、廢（污）水或污泥含有抑制厭氧菌之毒性物質存在判定原則

圖 2、廠區位置或空間受限判定原則



許可申請表增列最佳可行控制技術評估結果

申請、變更或展延水措計畫或許可證（文件）時評估

確認是否屬附表五所列業別及規模

評估優先採行附表五最佳可行控制技術（厭氧處理）之評估結果

● 水污染防治措施計畫及水污染防治許可證（文件）申請表

壹、申請項目*（本表不列入核准登記事項）

十、評估優先採行最佳可行控制技術	1. 是否屬水污染防治措施及檢測申報管理辦法第 49 條之 12 附表五所列業別及規模者： ☐ 是，業別及規模（勾選者應填填 2.） ☐ 造紙業、食品製造業、醃製業或石油化學業，原廢（污）水化學需氧量濃度 2,000 mg/L 以上且排放或納管水量 1,000 CMD ☐ 造紙業、食品製造業、醃製業或石油化學業，原廢（污）水化學需氧量有機負荷每日 2 公噸以上 ☐ 公共污水下水道系統，設計處理水量 30,000 CMD 以上 ☐ 否，（勾選者無須填 2.） 2. 事業或污水下水道系統符合水污染防治措施及檢測申報管理辦法第 49 條之 12 附表五所列業別及規模者，評估優先採行附表五最佳可行控制技術之評估結果： ☐ 本次申請前已採行，採行之處理設施單元編號：_____ ☐ 評估可採行： ☐ 納入本次申請內容，採行之處理設施單元編號：_____ ☐ 本次申請內容尚未納入，規劃採行之時間及方式說明：_____ ☐ 評估有採行困難之理由： ☐ 廢（污）水或污泥含有抑制厭氧菌之毒性物質存在 ☐ 廠區位置空間等因素受限 ☐ 其他理由：_____ 說明（請檢附相關證明文件）：_____
------------------	--

經評估有採行困難，應檢附相關佐證文件（附件）及填寫於水污染防治措施計畫及許可申請文件檢核表

23



檢測申報表增列甲烷氣體回收處理情形

依第49條之12廢（污）水評估優先採行最佳可行控制技術之厭氧處理者，應申報厭氧處理設施之甲烷氣體回收處理方式及流量。

廢（污）水（前）處理設施操作申報表【事業、指定地區或場所專用污水下水道系統專用】

壹、各套處理設施操作情形（編號：T _____）（依核准登記編號填寫）^(註1)

七、符合「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」第 49 條之 12 廢（污）水採行厭氧處理（污泥厭氧消化）設施之甲烷氣體回收處理情形	廢（污）水厭氧處理（污泥厭氧消化）設施之甲烷氣體回收處理方式 ☐ 製程作為燃料使用 ☐ 沼氣回收發電 ☐ 直接燃燒 ☐ 未回收處理 ☐ 其他：_____	回收處理之甲烷氣體流量 計量方式： ☐ 流量計實測值（☐ 已脫硫純化；☐ 未脫硫純化）； ☐ 依環境部公告溫室氣體排放係數計算； ☐ 其他：_____ 流量(m³): _____
備註欄		

24



新興關注項目檢測削減管理

指定對象每年申報新興關注項目，連續2次不符監視值，應自主削減管理

事業或污水下水道系統	新興關注項目	檢測頻率及施行日期		放流水數值 (毫克/公升)
		檢測頻率	施行日期	
一、醫院、醫事機構：適用於目的事業主管機關認定之醫學中心、核准排放量每日一千立方公尺以上之醫院。 二、適用於有目的事業主管機關認定之醫學中心、核准排放量每日一千立方公尺以上之醫院納管之公共污水下水道系統。	藥物	廢(污)水及放流水 每年 檢測一次	中華民國 116年 1月1日	4.2
	乙醯胺酚			0.0031
	磺胺甲噁唑			0.009
	紅黴素			0.00095
	克拉黴素			0.0035
	17β-雌二醇			0.0017
	環丙沙星	廢(污)水及放流水 每年 檢測一次	中華民國 118年 1月1日	0.0022
	頭孢他啶			7.8
一、科學工業園區和工業區專用污水下水道系統 二、廢水排放至地面水體且製程有使用光阻劑之晶圓製造及半導體製造業、光電材料及元件製造業 三、廢水排放至地面水體且製程有使用鉻霧抑制劑之電鍍業、金屬表面處理業 四、廢水排放至地面水體且製程有使用撥/撥水劑或具撥/撥水效能化學品之印染整理業、紡織業、製革業、造紙業、化工業	全氟化			0.00012
	全氟辛烷磺酸	廢(污)水及放流水 每年 檢測一次	中華民國 116年 1月1日	0.0017
	全氟辛酸			0.0021
	全氟己烷磺酸			

檢測申報管理辦法第 84 條之 3 25



檢測申報表增列新興關注項目申報資料

基本資料

➔

依「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」第84條之3及附表六應申報原廢(污)水及放流水新興關注項目之申報情形(非附表六所列之事業別或下水道系統免填)

對象 應申報原廢(污)水及放流水藥物、全氟及多氟烷基物質：排放至地面水體應每年檢測申報原廢(污)水及放流水藥物
醫院、醫事機構：醫學中心、核准排放量1,000CMD以上之醫院

今年度檢測申報辦理情形

本次申報之新興關注項目

☒ 乙醯胺酚 (Acetaminophen)
 ☒ 磺胺甲噁唑 (Sulfamethoxazole)
 ☒ 紅黴素 (Erythromycin)
 ☒ 克拉黴素 (Clarithromycin)
 ☒ 17β-雌二醇 (17β-estradiol)

屬半年報者，項目

☒ 乙醯胺酚 (Acetaminophen)
 ☒ 磺胺甲噁唑 (Sulfamethoxazole)
 ☒ 紅黴素 (Erythromycin)
 ☒ 克拉黴素 (Clarithromycin)
 ☒ 17β-雌二醇 (17β-estradiol)

屬季報者，項目

第1季已申報

免申報項目及理由

放流水連續三次以上未超過附表六規定數值，項目

自主削減管理計畫執行期間，執行期間自 年起2年，項目

新增

116年起申報定檢資料時，需填報相關內容(季報者首次申報為116年4月、半年報者首次申報為116年7月)

許可申請表增列是否屬應申報新興關注項目對象

▼ 貳、基本資料表

基本資料

七、是否屬「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」第84條之3及附表六應檢測申報原廢（污）水及放流水新興關注項目之對象
是否屬應申報新興關注項目之對象

是

☒ 排放至地面水體應每年檢測申報原廢（污）水及放流水藥物

☒ 醫院、醫事機構：目的事業主管機關認定之醫學中心、核准排水量1,000CMD以上之醫院

☐ 納管醫學中心、核准納管排水量1000CMD以上之醫院之污水下水道系統

☐ 排放至地面水體應每年檢測申報原廢（污）水及放流水重金屬及多氯烴基物質

☐ 科學工業園區及工業區專用污水下水道系統

☐ 製程有使用光阻劑之晶圓製造及半導體製造業、光電材料及元件製造業

☐ 製程有使用鉻霧抑制劑之電鍍業、金屬表面處理業

☐ 製程有使用撥/撥水劑或具撥/撥水效能化學品之印染整理業、紡織業、製革業、造紙業、化工業

116年起辦理許可申請、變更及展延時，需填報相關內容

回概覽頁 儲存 前往公開與送件

27

簡化檢測申報

簡化分流採樣位置

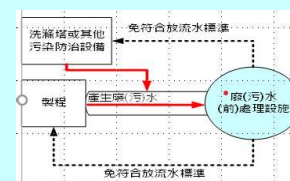
- 簡化多股含有同一有害健康物質之原廢水採樣規定

簡化全量資源化申報

- 向地方主管機關申請核准後，無須辦理檢測申報
- 農業主管機關核准之畜牧糞尿水施灌農作個案再利用許可或作為農地肥分使用之全量施灌者
 - 全量委託畜牧糞尿或生質能資源化處理中心（或沼氣再利用中心）或資源化處理比率達75%以上畜牧場處理者

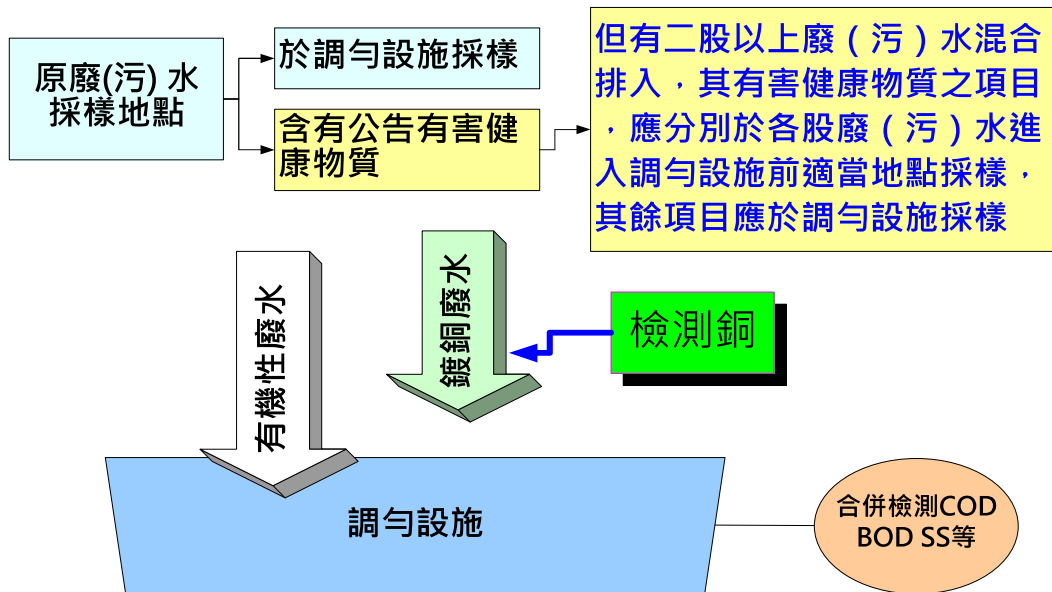
製程等回收免檢測水質

- 回收廢水作為製程及其他污染防治設備之用者，免檢測申報回收水水質與檢測當日之水量



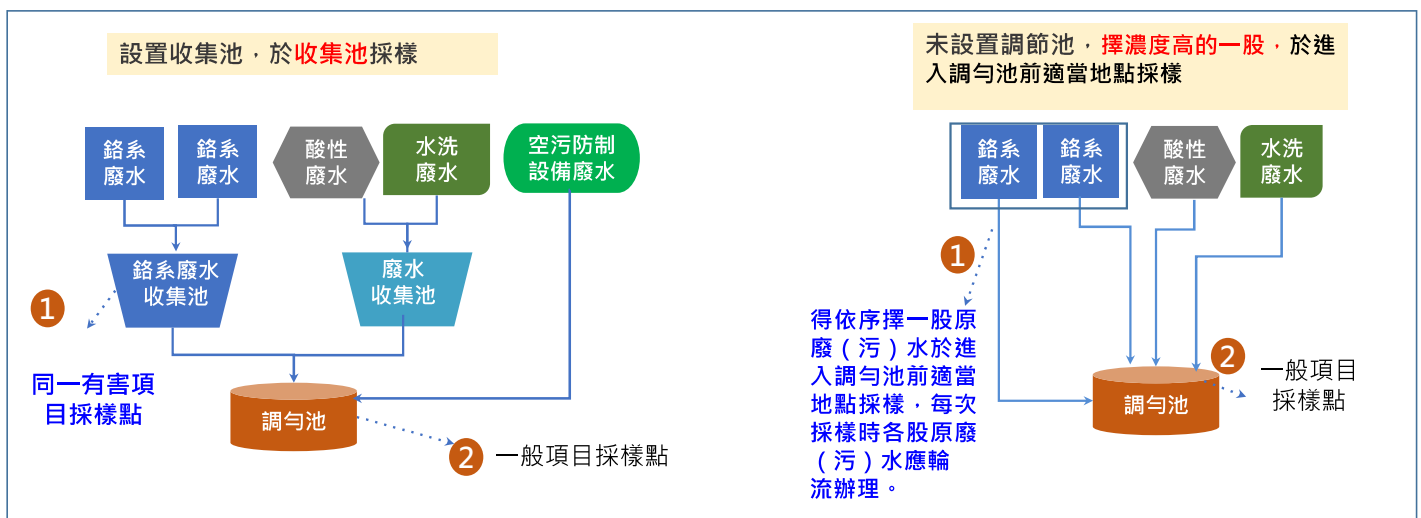
28

原廢水水質採樣地點(原水措管理辦法91)



29

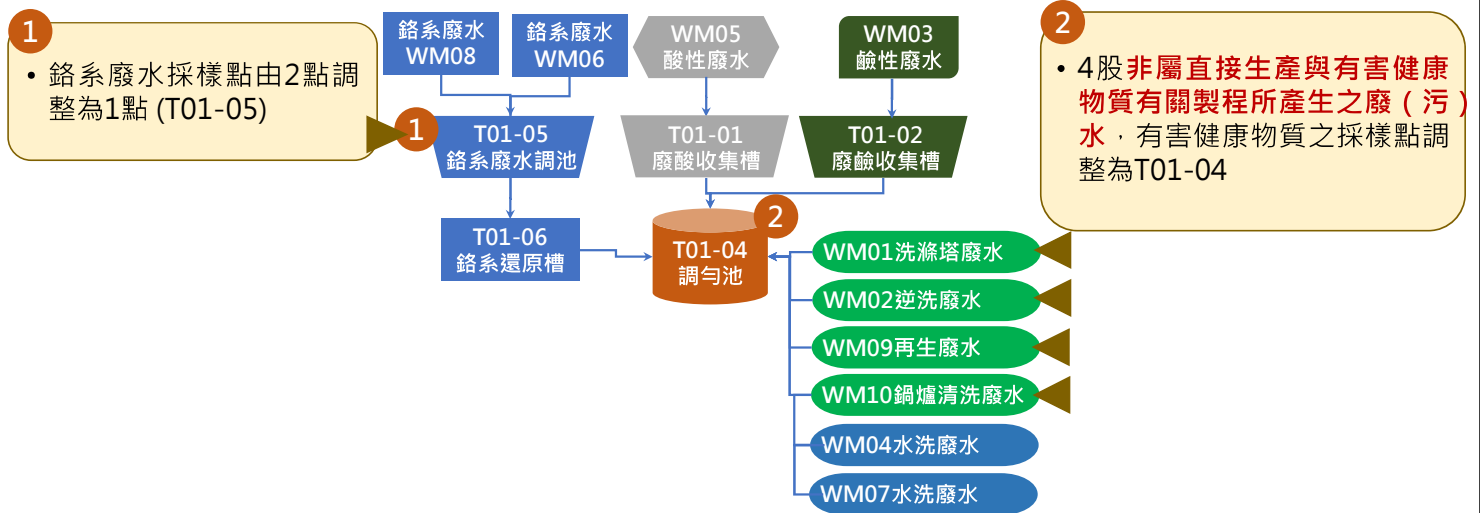
修正後原廢水水質採樣地點 (1/2)



30

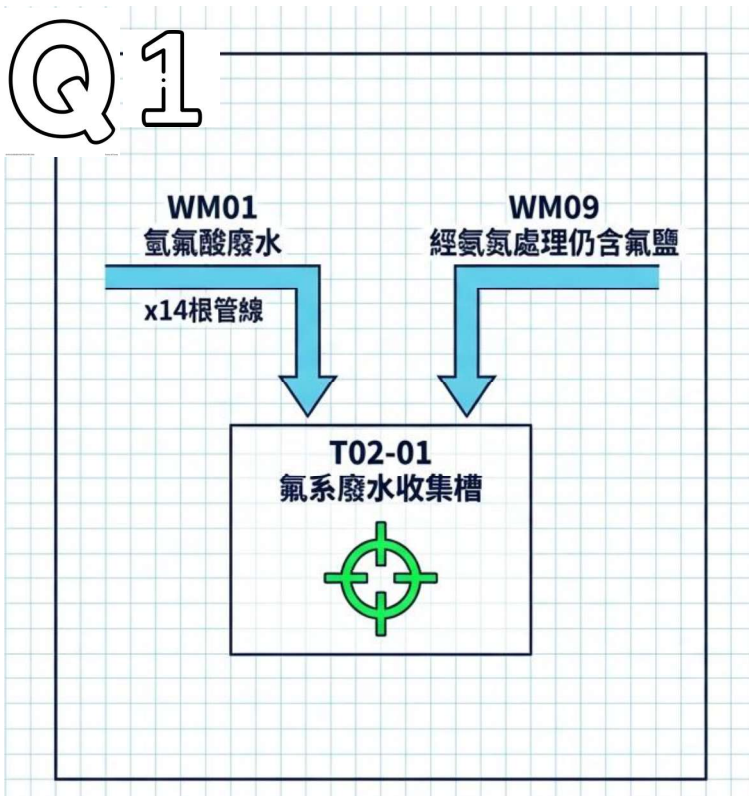
修正後原廢水水質採樣地點 (2/2)

◆ 以某電鍍業為例，廠內有10股原廢水



31

Q 1



情境 A：同一有害物質，不同處理階段匯流

情境描述

WM01 (氫氟酸廢水，由 14 根管線排入且無法完全匯流) 與 WM09 (經氨氮處理後，濃度降低但仍含氟鹽)，兩股廢水共同匯入 T02 氟系廢水收集槽。

核心爭點

為了確保數據代表性，是否必須將 WM01 的原廢水編號強制拆分為 14 股，並輪流辦理採樣？

✓ 合規 — 無須拆分

條件符合：兩股廢水皆含有「同一有害健康物質」(氟鹽)。

設施核可：廠內已依規定設置專屬之「有害健康物質廢水收集池」(T02-01)。

執行準則：得直接於該收集槽 (T02) 進行氟鹽項目之統一採樣。

Q2

情境 B：直接生產 vs. 非直接生產廢水混合

情境描述

WM01 屬「直接生產」且與有害物質有關之製程廢水；WM02 則為空污防制設備產生之洗滌廢水（非直接生產）。兩者共同排入 T02-01 收集槽。

核心爭點

兩股來源性質完全不同的含氟廢水，是否可進入同一收集槽並進行混合採樣？

✗ 不可混合採樣

✓ WM01 (直接生產)

因屬高濃度或高風險直接製程，必須於「進入氟系廢水收集槽前」之適當位置獨立採樣。

✓ WM02 (非直接生產)

得於原調勻池採樣；若經核准進入氟系廢水收集槽，則可於「收集槽內」進行採樣。

Q3

情境 C：兩種以上不同有害物質匯流

1 情境描述

WM01 原廢水含有單一有害物質（氟鹽），而 WM02 原廢水同時含有兩種有害物質（銅、氟鹽）。兩股廢水皆設計排入 T02-01 專屬氟系收集槽。

2 核心爭點

面對多重有害物質交疊，應該在哪裡採樣銅？哪裡採樣氟鹽？

⚠ 分離採樣原則

1. 法規精神：僅「同一有害健康物質」得於其專屬廢水收集池統一採樣。
2. ✓ 銅 (Cu)：非 T02 收集槽之指定物質。必須於 WM02 進入 T02 收集槽前之適當位置進行獨立採樣。
3. ✓ 氟鹽 (F)：屬同一指定物質。得於 T02 氟系廢水收集槽內統一採樣。

3 水污許可審查辦法限縮減許可效期與排放量



施行日期:115年10月1日

35

4 水污染防治措施及檢測申報管理辦法



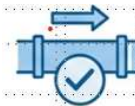
擴大自動監測設施設置範圍

- 每日核准排放量達一萬立方公尺以上之事業及污水下水道系統，應增設自動監測設施傳輸用電、用水及水質數據
- 提供「3+2」緩衝彈性，117年6月30日前提出「廢（污）水數位轉型自主管理計畫」，經核定後即可再獲得延緩2年施行的空間



建立原始數據直接傳輸機制

- 連線傳輸不得安裝未經核定軟體模組，要求原始數據直傳且不得經雲端設備或中介節點處理



建立監測服務機構管理機制

- 事業或污水下水道系統委託之監測服務機構相關資料記載於確認報告書
- 監測服務機構於受託期間有虛偽不實或造假紀錄情事，致事業或污水下水道系統受有處分者，主管機關應於指定網站公開測服務機構資料
- 事業或污水下水道系統設置自動監測（視）設施之連線傳輸資料有虛偽不實或造假情事者，應提高監測（視）設施相對誤差測試查核頻率



修正退場機制

- 重大違規者及強制設置者，其自動監測（視）設施持續正常運作滿一年且無其他重大違規或監測數據虛偽不實、造假紀錄者，得申請免除設施設置

36

結語



因應放流水標準修正，請檢視廢水處理設施功能是否足夠及適時辦理水污染防治許可證（文件）變更



未來以BACT方式逐步推動廢水能資源化，並檢討新興污染物管理



針對河川污染指數(RPI)偏高的受損水體，加嚴該水體排放管理



敬請指教 Thank You

AI 技術應用於污水處理系統 實場操作優化方法介紹

主講人

逢甲大學 環境工程學研究所

林俊德 教授



財團法人台灣產業服務基金會
水污染防治法規與技術講習會



AI技術應用於污水處理系統 實場操作優化方法介紹

1. 污水處理系統AI相關應用技術方法
2. 實務案例分享－ Anaerobic granular sludge (AnGS)
full-scale bioreactors and machine learning modeling

Justin Chun-Te Lin (林俊德)

Department of Environmental Engineering and Science,
Feng Chia University, Taichung 40724, Taiwan



Time : 115年4月27日(一) 15:00~16:10

Venue : 集思台中新烏日會議中心富蘭克林廳
台中市烏日區高鐵東一路26號4樓

Presentation Overview



1. Introduction

- 1-1. Anaerobic bioreactors evolution
- 1-2. Whiskey Distillery Wastewater (DWW)
- 1-3. Synthetic Fiber Manufacturing Wastewater (FWW)
- 1-4. Introduction of Machine learning modeling
- 1-5. 應用人工智慧 (AIoT) 在工業廢水處理

2. Materials and Methods

3. Results and Discussions

- Full-scale ECSB and EGSB bioreactors for whiskey DWW,
- Pilot-scale UASB bioreactor for synthetic FWW,
- Two full-scale ECSB bioreactors for synthetic FWW,
- Machine learning modeling of ECSB and EGSB bioreactors ,

4. Conclusions

- 污水處理系統AI 應用方向

1-1. Introduction

Feng Chia University
環境工程與科學學系
Sustainable
Nanotechnology Lab.

Evolution of Anaerobic Technologies in Wastewater Treatment

- Schematics of anaerobic digester evolutions:

(a) Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR),

(b) Contact process,

(c) Up-flow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), the 1st generation

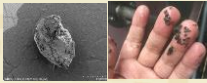
(d) Expanded Granular Sludge (AnGS) Bed (EGSB), the 2nd generation

(e) External Circulation Sludge Bed (ECSB).

The 3rd generation high-rate anaerobic bioreactors

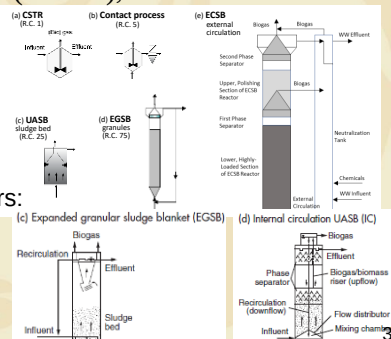
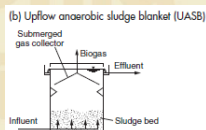
three-phases (gas-liquid-solid, GLS) separators x2

(R.C.: relative capacity)



Granule-based reactors:

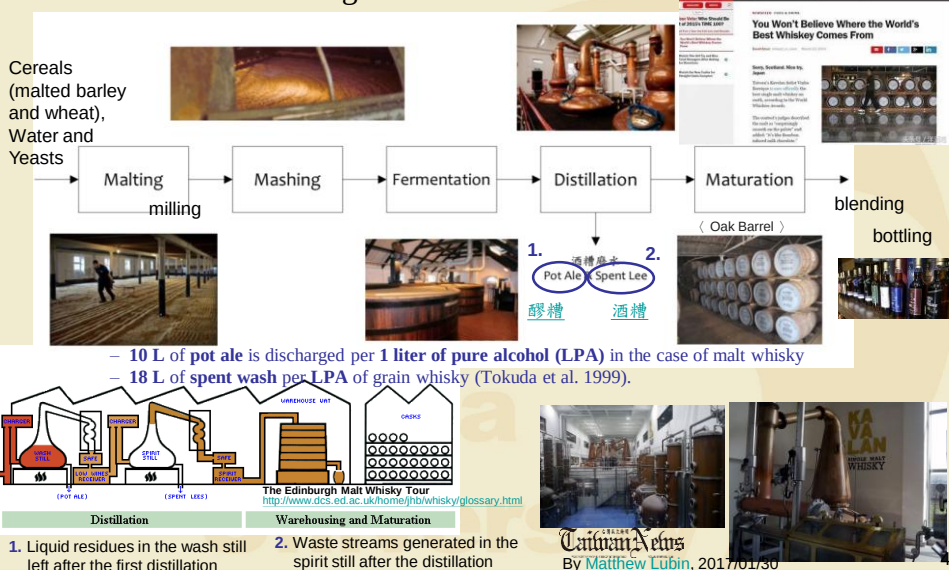
Ref. Wastewater Engineering:
Treatment and Resource
Recovery, 5th Edit, Publisher:
Metcalf & Eddy Inc., (2014),



1-2. Introduction

Feng Chia University
環境工程與科學學系
Sustainable
Nanotechnology Lab.

How whisky was made? and
how the wastewater were generated?



1-2. Introduction

Feng Chia University
環境工程與科學學系
Sustainable
Nanotechnology Lab.

Characteristics of whiskey distillery wastewater (DWW)

- one of “high-strength” wastewaters; from: “spent wash”, “pot ale” and ...
- rich in organics, i.e. **high COD (38.5-62.9 g·L⁻¹)** and **BOD (13.0-35.3 g·L⁻¹)**, as well as **high solid** contents (**23 g·L⁻¹** in pot ale and **17 g·L⁻¹** in spent lee);
- high amounts of wastewater

Spent wash sampled on: 2019/9/27

Constituent	Concentration,[mg/L]
pH	4.0 [-]
Alkalinity	764 (as CaCO ₃)
Total Hardness (TH)	334 (as CaCO ₃)
Ca ²⁺ ion	41.1
Mg ²⁺ ion	105.0
K ⁺ ion	888.0
Na ⁺ ion	25.1
Conductivity	4,110 [μmho/cm]



Constituent	Concentration,[mg/L]
BOD _(5d, 20°C)	1,950
sCOD	37,750
TOC	13,500
TIC	251
TN	330
NH ₄ -N	80
NO ₃ -N	N.D.(<0.005)
NO ₂ -N	0.0153
Urea	1,425
Ethyl carbamate (EC)	1,534
2,4-Dimethylphenol	0.0113

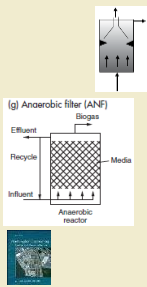
Therefore, DWW is often regarded as a hurdle for conventional biological treatment!

5

1-2. Introduction

Feng Chia University
環境工程與科學學系
Sustainable
Nanotechnology Lab.

Various bioreactors for Whiskey Distillery Wastewater Treatment



biphasic fixed film bioreactor (BFFB)

sequencing batch reactor (SBR)

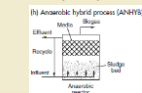


Table 2 Anaerobic systems for treatment of malt whiskey distillery or other high-strength wastewater and biogas production									
System name	Feed type	Scale and capacity	Operation time, HRT, and temp.	Influent water quality	OLR (kg COD m ⁻³ day ⁻¹)	Biogas rate (BPR)	Effluent water quality	Ref.	
UASB	Pot ale from a commercial malt whiskey distillery	Two lab-scale reactors (V=0.5 L, 1.05 L, ID: 62 mm)	327 days, HRT: 2.1 days, 35 °C	COD: 3.5–47.9 g L ⁻¹	1.7–22.8 (15 at stable operation)	BPR: 0.5–12.8 L day ⁻¹	COD: ~90%	Goodwin and Stuart 1994	
UASB	Alcohol distillery wastewater (one-molasses vinasse) diluted with tap water	Two lab-scale reactors (V=140 L, 2.7 m ³ (H=4 m, ID: 20 cm, V _{max} 126 mL) with a G-S separator (V _{max} 1.05 L))	430 days, HRT: 47.1 h, 55 °C	COD: 309–3286 g L ⁻¹	28	BPR: 0.20 Nm ³ ·CH ₄ /kg COD _{max}	BOD: 80%, COD: 39–67%	Harada et al. 1996	
UAF	Non-diluted whiskey pot ale supernatant	Two lab-scale reactors (V=2 m ³ , Q=80 L day ⁻¹)	60 days, HRT < 2 h	COD: 63 g L ⁻¹ in pot ale, 48.2 g L ⁻¹ in the supernatant	20	BPR: 0.75 m ³ /kg COD _{max} , CH ₄ 65–75%	COD: 76%, TN: 70%	Tokuda et al. 1999	
GR ABFB	Diluted whiskey distillery wastewater (DWW)	Lab-scale reactor, V _{max} 35 L, 10 equal compartments inside the reactor	9 months, four HRTs: 10, 7, 4, and 2 days, 37 °C	COD of raw: 16.8–58.0 g L ⁻¹	0.99, 1.33, 2.37, and 4.75	10–22 L day ⁻¹	BOD: 90%, COD: 80%	Akum and Chak 2000	
UASB	Pot ale from an experimental malt whiskey distillery	Two lab-scale reactors (V=1.05 L, 1.05 L, ID: 62 mm)	279 days, HRT: 2.1 days, 35 °C	COD: 2.86–32.86 g L ⁻¹	1.36–10.0 2	5.0→0.3 L day ⁻¹	COD: 80%	Goodwin et al. 2001	
UASB	Wine, fermented and settled grain DWW	Two lab-scale reactors (V=102 mL, ID=12 cm, Q=12 L day ⁻¹)	414 days, 35 °C	1.20–30 g L ⁻¹ , 2.25–30 g L ⁻¹ , 3.20–25	From 4.2 to 21.9	N.A.	COD: > 80%	Laudacher et al. 2001	
BFFB (AR + MR)	Spent wash distillery	Two lab-scale reactors: 1. Rectifying reactor (AR), H=134 cm, ID=9 cm, V _{max} 3 L; 2. Methylogenic reactor (MR), H=152 cm, ID=18 cm, V _{max} 10 L; one aerobic flask (V=10 mL)	HRT of AR: 6 days, HRT of MR: 20 days	BOD: 50–60 g L ⁻¹ , COD: 110–190 g L ⁻¹ , pH 3.0–4.5	OLR of AR: 33.3–80, OLR of MR: 8–19	CH ₄ of MR: 26.9–12.3 m ³ m ⁻³ kg ⁻¹	COD removal of AR: 20–41%, MR: 81.3–91%	Acharya et al. 2011	
UASB	Wine distillation wastewater	Full scale, 1 A	Three periods: 1998, 1999, and 2000	COD (g L ⁻¹): 1.19–6–34.9, 2.14–8–50.9, 3.13–6–35.8	39	0.019–0.020 m ³ kg ⁻¹ COD _{max}	BOD: 99.5%, COD: 98.2%	Wickraman and Vithan 2002	
UASB (An/Ae SBR)	malt whiskey distillery wastewater	Lab scale: two anaerobic UASB columns connected in series (H=50 cm, ID=2.5 cm, V=113 mL), one aerobic flask (V=500 mL)	83 days (anaerobic); 15 days (aerobic); 35 °C	COD: 15.6–22.1 g L ⁻¹ , COD: 30.1–50.7 g L ⁻¹				Ural et al. 2003	
UASB + filter (anaerobic hybrid reactor)	Spent wash distillery	Lab scale: H=150 cm, V=7.5 m ³ , 10×10 cm, a hopper in the bottom	9 months, four HRTs: 4, 5, 6, 7, and 8 days	COD: 134.8 g L ⁻¹	11.13, 4.70, 7.13, 5.73, and 4.53	–6.86 m ³ day ⁻¹ , Yield _{max} 0.334 m ³ COD kg ⁻¹	COD: 60–79%, sulfate: 60–80%	Kumar et al. 2007	

Ref. 1

APPROPRIATE TECHNOLOGIES TO COMBAT WATER POLLUTION

A full-scale study of external circulation sludge bed (ECSB) system for anaerobic wastewater treatment in a whiskey distillery

Yu-Cheng Lin¹, Chen-Hua Ho², Chen-Yi Wu³, Justin Chen-Yu Lin⁴

Environmental Science and Pollution Research, Nanotechnology Lab, Feng Chia University

Ref. 2 Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery, 5th Edit, Publisher: Metcalf & Eddy Inc., (2014),

6

1-2. Introduction

Feng Chia University
環境工程與科學學系
Sustainable
Nanotechnology Lab.

Example of ECSB: for Whiskey Distillery Wastewater Treatment

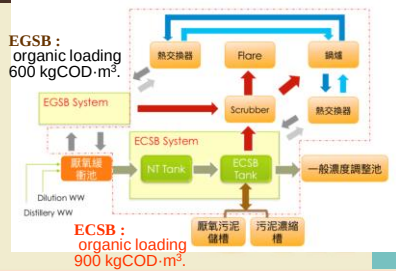
External Circulation Sludge Bed (ECSB)



EGSB : upflow velocity 3 m·h⁻¹

the-3rd generation high-rate anaerobic bioreactors

(D: 6.55 m,
H: 15.9 m,
V: 490 m³)



(neutralization , NT tank)

7

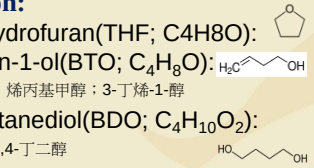
1-3. Introduction

Feng Chia University
環境工程與科學學系
Sustainable
Nanotechnology Lab.

Wastewater Source: Synthetic Fiber manufacturing and Textile chemicals

Composition:

- Tetrahydrofuran(THF; C₄H₈O): 3,500~9,000 mg/L
- 3-Buten-1-ol(BTO; C₄H₈O): 5,000~6,200 mg/L
- 1,4-Butanediol(BDO; C₄H₁₀O₂): 200~350 mg/L



Raw WW Quality:

- pH: 7~9
- COD: 18,000~30,000mg/L
- SS: 20~50mg/L

Chemical Industry Effluent Standards (Abolished Date : 2017-12-25)

- for Synthetic Fibers Manufacturing:
- (a) BOD and SS: 30 mg/L
- (b) COD: 100 mg/L
- (c) Barium (Ba): 2.0 mg/L
- (d) Dichloromethane (CH₂Cl₂): 0.2 mg/L
- (e) Chloroform (CHCl₃): 0.6 mg/L

提高廢水氮管制總量至92%

新增印刷電路板製造、製革業(瀝藍皮)、屠宰業、肉品市場以及醫院為氮管制對象

區分兩階段管制 (75 / 45 mg/L)

110年起加嚴限值 包含(與科學園區相同之)九項元素及其真色色度，但新增管制只有二項元素—錫和鉍(無鈷和銻!)及自由有效餘氯，而有機物則新增四項，包含：「石化業」和「化工業」都有的二項(1,3-丁二烯、丙烯腈)及另外新增二項(硝基苯、三氯乙烷)。

Ref. 化工業放流水水質項目及限值(附表四)

鉍	基本化學原料製造業、人造纖維製造業、合成樹脂、塑膠及橡膠製造業、其他化學材料製造業、塗料、染料及顏料製造業、清潔用品製造業、化妝品製造業、其他化學製品製造業和電池製造業	二·〇
二氯甲烷		〇·二
三氯甲烷		〇·六

8

1-3. Introduction



Full-scale study of ECSB for Chemical Fiber Manufacturing Wastewater Treatment and Biogas production evaluation

Chemical compounds	found counts	mean concentration $\pm$ std. dev.
THF	(n=45)	6689.1 $\pm$ 2621.2
BTO (1-Butanol, 3-buten-1-ol)	(n=45)	5182.2 $\pm$ 1622.7
BDO (1,4-butanediol)	(n=43)	244.7 $\pm$ 141.0
GBL (γ -butyrolactone)	(n=15)	1023.3 $\pm$ 268.9
Methanol	(n=13)	4.9 $\pm$ 7.0
BHT (Di-Butyl Hydroxy Toluene)	(n=3)	46.3 $\pm$ 13.0
Acetone	(n=2)	29.0 $\pm$ 39.6

- 四氫呋喃 (Tetrahydrofuran, THF)
CAS No.109-99-9
- 易燃液體 (第2級)
 - 急毒性物質 (吞食、第4級)
 - 急毒性物質 (皮膚、第5級)
 - 致癌性 (第2級)
 - 皮膚腐蝕 / 刺激 (第2級)
 - 嚴重損傷 / 刺激眼睛 (第2A級)



THF is a polar aprotic solvent, which is called as anthropogenic universal solvent and intensively used in the manufacturing of various bulk chemicals. THF is used commonly as an intermediate in pharmaceutical synthesis or as a monomer intends to produce valuable copolymer products, such as polytetramethylene glycol (PTMEG). The PTMEG is a raw material in the production of polyurethane polymers (Spandex, *a.k.s.* Lycra), which is critical to global flourishing textile industry.

- ◆ 高度易燃液體和蒸氣。
- ◆ 吞食有害。
- ◆ 皮膚接觸可能有害。
- ◆ 造成皮膚刺激。
- ◆ 造成嚴重眼睛刺激。
- ◆ 懷疑致癌。
- ◆ 可能造成呼吸道刺激。
- ◆ 可能造成困倦或暈眩。

9

1-4. Introduction

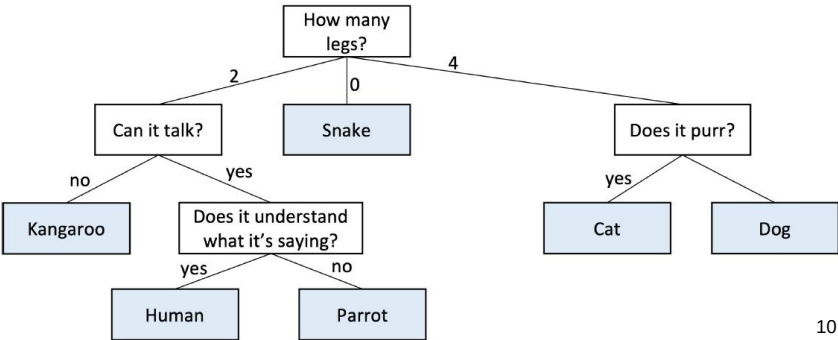
Machine Learning 機器學習



Decision Trees: Classifying Step-by-Step with Questions

What is a Decision Tree?

- A **decision tree** is a simple, intuitive method to classify data.
- It works by answering a series of **yes/no questions**, one at a time.
- Each question splits the data, helping us find the final category.
- **Example:** What animal is this?



10

1-4. Introduction

Machine Learning 機器學習



Decision Trees

- ▶ A **decision tree** is a model for supervised learning represented as a binary tree, where each **internal node** corresponds to a decision rule that partitions the input space, and each **leaf node** corresponds to a predicted output.
- ▶ A decision tree composed of:
 - ▶ a root node (or starting node);
 - ▶ interior nodes;
 - ▶ and leaf nodes (or terminating nodes).
- ▶ Each of the non-leaf nodes (root and interior) in the tree specifies a test to be carried out on one of the query's descriptive features.
- ▶ Each of the leaf nodes specifies a predicted classification for the query.

Decision Trees 決策樹

被廣泛用於機器學習、模型預測當中，由於決策樹直觀且易於掌握，就像一棵樹一樣，是一個強而有力的工具！

11

1-4. Introduction

Machine Learning 機器學習

Random Forest 隨機森林

是一種在機器學習中熱門的演算法，它是由多棵決策樹所組成的模型(model)，我們先生成指定的決策樹個數(ex:100)，再由所有決策樹所估計的結果投票(類別型應變數)或取平均(連續型應變數)來做最後的結果預測。

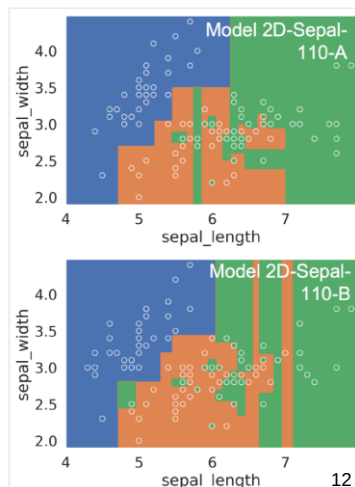
Motivation for Random Forests

Problem with Fully-Grown Decision Trees:

- ▶ They tend to overfit the training data.
- ▶ Characterized by low bias but high variance.
- ▶ Small changes in the dataset can result in drastically different tree structures.
- ▶ Example: Two trees trained on different subsets may produce very different results.

Random Forest Idea

Build many decision trees on different subsets of the data and aggregate their predictions (via voting or averaging).



1-4. Introduction

Machine Learning 機器學習



Random Forests Algorithm

- ▶ Bootstrap training data T times. For each bootstrap sample, build a decision tree as follows:
 - ① Initialize with all data in a single node.
 - ② While there are impure nodes:
 - Select an impure node.
 - Randomly select a subset of k features. Usually $k = \log_2 d$ (Breiman, 2001).
 - Determine the best feature and split threshold to minimize the loss function.
 - Split the node into two child nodes based on the chosen feature and threshold.
- ▶ Prediction is made by majority voting (classification) or averaging (regression) across all T decision trees.

This method introduces two key hyperparameters: the number of trees T and the number of features k considered at each split.

13

1-4. Introduction

Machine Learning 機器學習



Summary

- ▶ Decision trees provide a powerful, non-linear method for classification and regression.
 - ▶ Fundamentally different approach compared to linear models.
 - ▶ Capable of modeling complex decision boundaries.
 - ▶ High risk of overfitting if not controlled.
- ▶ Complexity control often involves heuristic and practical methods rather than purely mathematical formulations:
 - ▶ Imposing hard constraints (e.g., maximum tree depth, minimum samples per leaf).
 - ▶ Employing pruning techniques.
 - ▶ Leveraging ensemble methods:
 - Bagging-based approaches (e.g., Random Forests).
 - Boosting-based approaches (e.g., Gradient Boosted Decision Trees (GBDT), XGBoost).

14

1-5.應用人工智慧 (AIoT) 在工業廢水處理



Feng Chia University
環境工程與科學學系



臥龍智慧環境有限公司

大數據導入A I 專利模型，有助於水處理系統效能提升與精準調控系統

Big Data

AI 專利模組-預測與決策系統

AI System

預測

決策

- 預測薄膜阻塞時間
- 決策操作策略
- 延長薄膜使用壽命
- 系統自動預防與維護
- 節能與最佳操作模式

A.預測性分析：AI 依據『大數據』，預測『薄膜阻塞時間』

1	0.5	0.15	-0.023	0.11	0.18	-0.23	-0.31
-0.5	1	0.17	-0.35	-0.21	-0.31	-0.35	-0.41
-0.15	-0.17	1	0.18	0.062	0.12	-0.22	-0.34
-0.023	-0.35	0.18	1	0.19	-0.34	0.31	0.36
0.11	-0.21	0.062	0.19	1	0.19	-0.21	-0.045
0.18	-0.31	0.12	-0.34	0.19	1	-0.87	-0.53
-0.23	-0.35	-0.22	0.31	0.19	-0.87	1	-0.66
-0.31	-0.41	-0.34	0.36	-0.045	-0.53	-0.66	1

B.處方性操作決策：AI 依據『系統操作』要求，決策最佳操作方式 (以Cost 最低)

predict: -2.8 actual: -3.0
predict: -3.2 actual: -3.3
predict: -2.9 actual: -3.1
predict: -3.0 actual: -2.9
predict: -2.7 actual: -2.8
predict: -3.2 actual: -3.2
predict: -2.9 actual: -2.7
predict: -2.6 actual: -2.2
predict: -3.0 actual: -2.7
predict: -2.9 actual: -2.6
predict: -3.2 actual: -3.2

B.處方性操作決策：水質預測『膜壓』

predict: -2.12 actual: -2.5 diff: 0.38
predict: -2.65 actual: -2.8 diff: 0.15

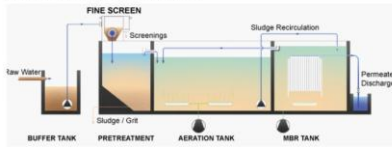
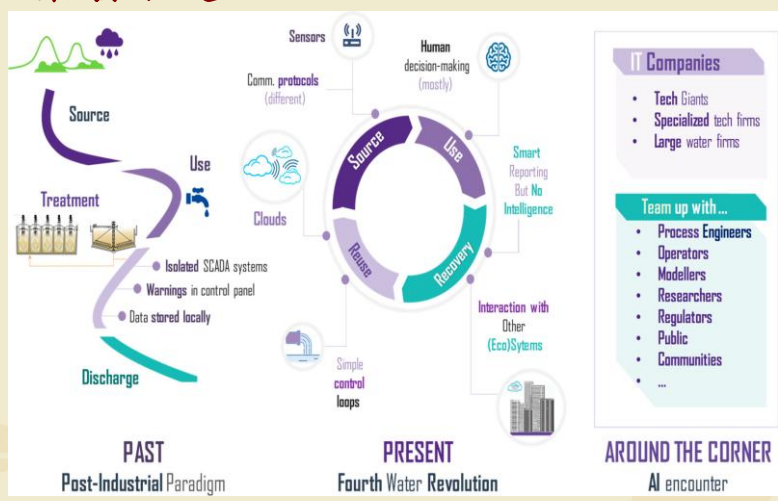


Diagram illustrating the MBR (Membrane Bioreactor) process flow: Raw Water → BUFFER TANK → PRETREATMENT → AERATION TANK → MBR TANK → Permeate Discharge. The MBR TANK includes Sludge / Grit, Sludge Recirculation, and Fine Screen.

1-5.應用人工智慧 (AIoT) 在工業廢水處理



Feng Chia University
環境工程與科學學系

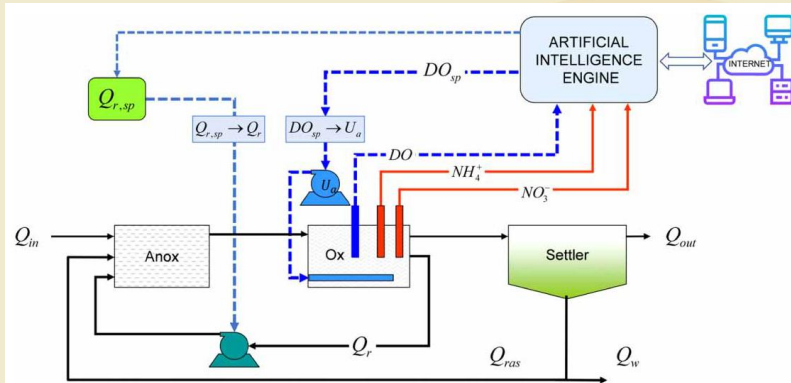


The diagram illustrates the evolution of water management from the Past to the Present and Future. It shows a circular flow of Source, Use, Recovery, and Reuse. The Past (Post-Industrial Paradigm) includes Source, Treatment, Discharge, and Use, with isolated SCADA systems, warnings in control panels, and locally stored data. The Present (Fourth Water Revolution) includes Source, Use, Recovery, and Reuse, with sensors, different communication protocols, cloud integration, human decision-making, smart reporting, and interaction with other systems. The Future (AI encounter) includes IT Companies (Tech Giants, Specialized tech firms, Large water firms) and a team of experts (Process Engineers, Operators, Modellers, Researchers, Regulators, Public, Communities).

Artificial Intelligence (AI) as a Sustainable tool in WWT using MBRs [Review]__Chem. Eng. J. (2021)

Environ. Sci. Technol. 2020, 54, 8, 4698-4705

1-5.應用人工智慧 (AIoT) 在工業廢水處理



ment of AI for modeling WW heavy
removal__ State of the art,
n Assessment and possible future
Clean. Prod. (2020)

WWTP@北塞浦路斯(Nicosia) performance
Analysis using AI – an Ensemble
Approach__ Water Sci. Technol. (2018)

1-5.應用人工智慧 (AIoT) 在工業廢水處理



1-5.應用人工智慧 (AIoT) 在工業廢水處理



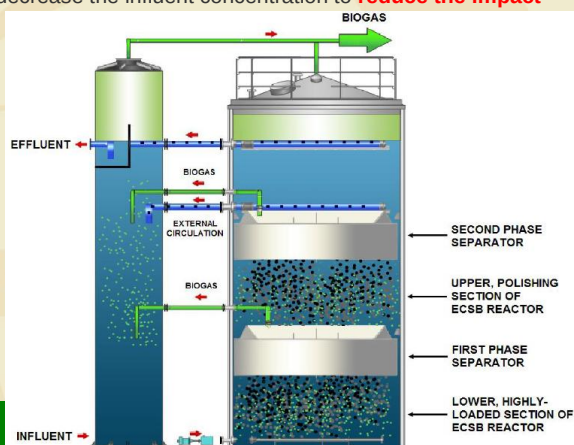
19

2. Materials and Methods (1/5)

Full-scale treatment process

◆ Product Features

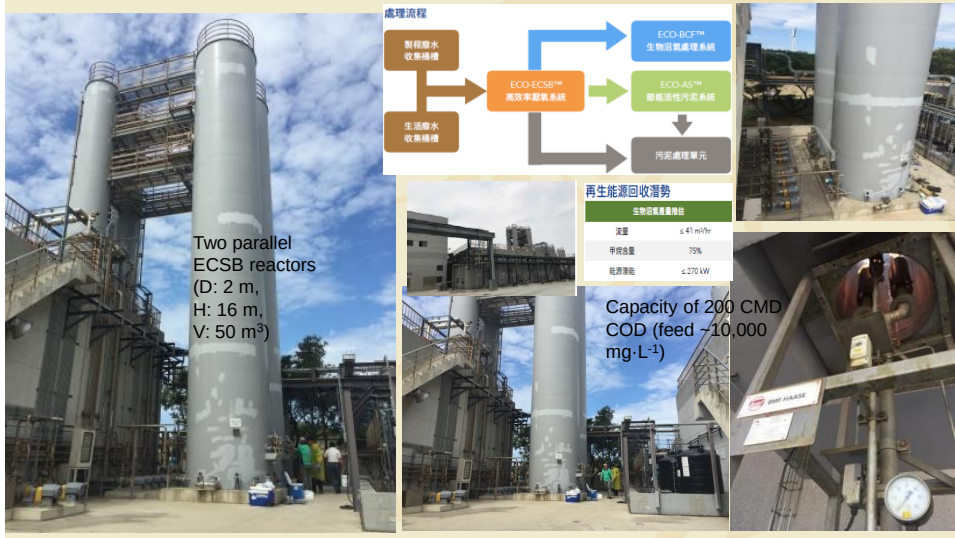
- ✓ One of the most advanced up-flow anaerobic sludge blanket systems in the world.
- ✓ **High organic loading (10~35 KgCOD / m³-day)**, minimal land required.
- ✓ A separation of the conditioner is designed to facilitate the pH value and the addition of microbial nutrients, to help granulate anaerobic sludge.
- ✓ Adopt **external circulation** mode to decrease the influent concentration to **reduce the impact of toxic or inhibition substances**.
- ✓ **Capable of recovery effluent alkalinity** to reduce the addition of agent for adjusting pH
- ✓ A patent on **high efficiency double-layer three-phase separator**, effectively reduces the outflow of anaerobic granulated sludge by the exhausting biogas under high rate operating .
- ✓ Designed with a closed over pressure system to **solve the odor exhaust problem**.



www.eigengreen.com

2. Materials and Methods (2/5)

Full-scale study of ECSB for Chemical Fiber Manufacturing Wastewater Treatment and Biogas production evaluation



2. Materials and Methods (3/5)

Molecular biotechnological methods for microorganism analysis — Next Generation Sequencer (NGS)

- Why not traditional microbiology (based on culture method)?
→ Slowly and most bacteria can't grow.
 - Molecular biotechnology (based on DNA)
→ culture independent method
 - Understand the composition of microbial communities in bio-system can clarify the biological role of microorganisms and its possible function.
- ✓ Ultra High throughput sequencer, up to several GBs
 - ✓ Reduce the sequencing cost
 - ✓ Several companies are commercialization:



MiSeq System
from Illumina



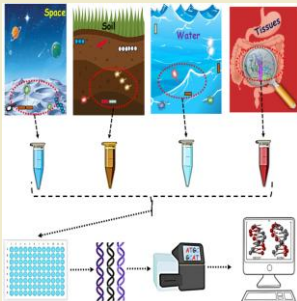
MinION system -
Oxford Nanopore

2. Materials and Methods (4/5)

Molecular biotechnological methods for microorganism analysis — Next Generation Sequencer (NGS)



Metagenomics from environment samples



Primer information – 16S rDNA

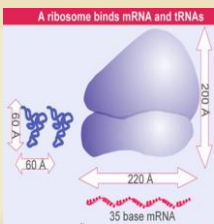


CONSERVED REGIONS: unspecific applications
VARIABLE REGIONS: group or species-specific applications

Primer	(5'-3')
SD0341	CCTACGGGNGGCWGCAG
SD0785	GACTACHVGGGTATCTAATCC

Universal prokaryotic primer: Ribosomal DNA

Organelle from bacteria to human:
Ribosomes (The Protein Factory)



2. Materials and Methods (5/5)



Analytical methods and instruments for wastewater

Items	Instruments	Company	Model	MDL
2-Methylphenol, and other Phenols	GC/MS	Agilent	GC6890N/5973MSD	- 0.00204
Total organic carbon (TOC)/ Total inorganic carbon (TIC)	TOC Analyzer	OI	1030W	0.16, -
Total Kjeldahl nitrogen (TKN)	UV	GBC	Cintra6	0.018
Ammonium nitrogen (NH ₄ -N) / Nitrite nitrogen (NO ₂ -N) / Nitrate nitrogen (NO ₃ -N)	FIA	OI	FS3100	0.011, 0.005, 0.001
Urea and Ethyl carbamate (EC)	HPLC pump Controller	Shmadzu	LC-10ADvp SCL-10Avp	0.0078
	Detector-FLD	Shmadzu	RF-10A	0.00071
	Column Oven	Shmadzu	CTO-10ASvp	
	Auto-sampler	Shimadzu	SIL-10ADvp	
	Column	Sharpsil	SHARPSIL -U C18 S-5μm,100Å 250(L)×4.6mm I.D.	
Calcium / Magnesium ions	ICP	Agilent	ICP-OES 5110	-
pH	pH meter	WTW	InoLab pH7110	-
Conductivity	Cond. meter	WTW	LF330	-
Hardness			NIEA W208.51A	1.88

3. Results and Discussions (1/22)



Two full-scale anaerobic reactors (ECSB and EGSB)
from Jan. 2017 to Dec. 2020 (3 years)

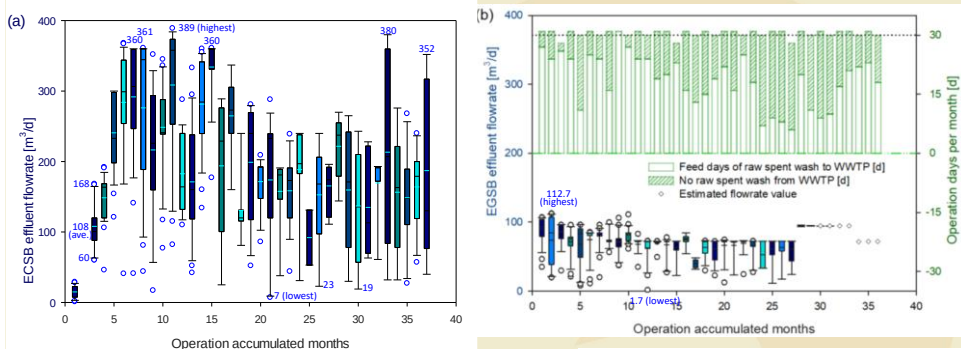


Figure (a) Box plot of ECSB effluent flowrate,
(b) box plot of EGSB effluent flowrate, bar chart of operation days per month.



3. Results and Discussions (2/22)

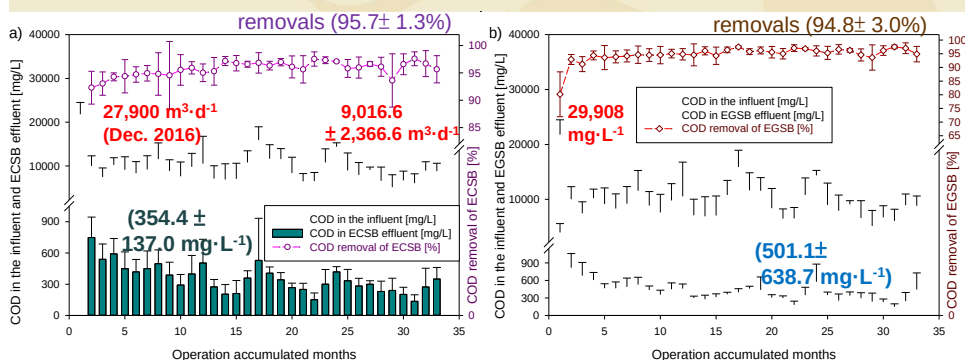


Two full-scale anaerobic reactors (ECSB and EGSB)
from Jan. 2017 to Dec. 2020 (3 years)

• Variations of COD in

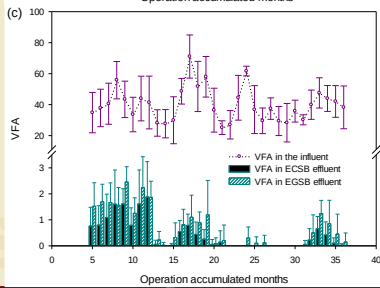
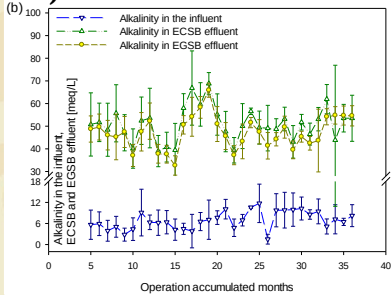
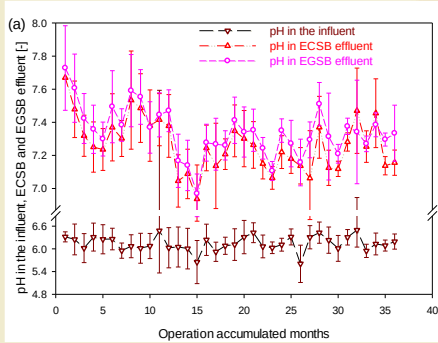
(a) the influent, effluent of ECSB [mg/L] and removal [%],

(b) the influent, effluent of EGSB [mg/L] and removals [%].



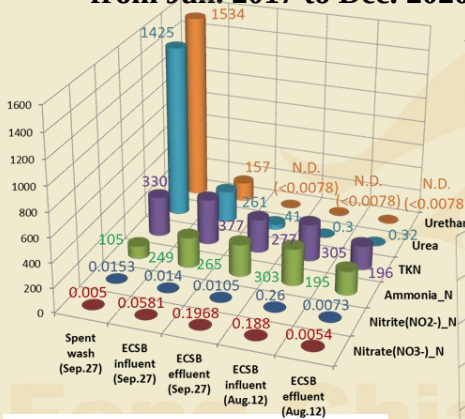
3. Results and Discussions (3/22)

Two full-scale anaerobic reactors (ECSB and EGSB)
from Jan. 2017 to Dec. 2020 (3 years)

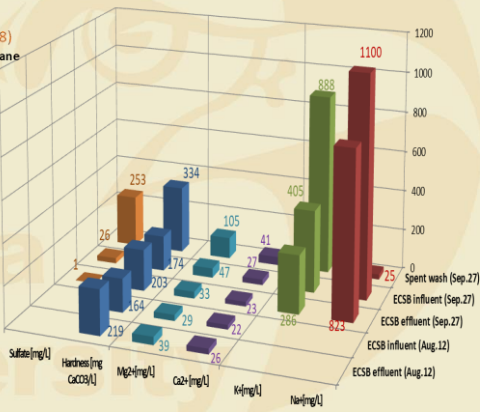


3. Results and Discussions (4/22)

Two full-scale anaerobic reactors (ECSB and EGSB)
from Jan. 2017 to Dec. 2020 (3 years)

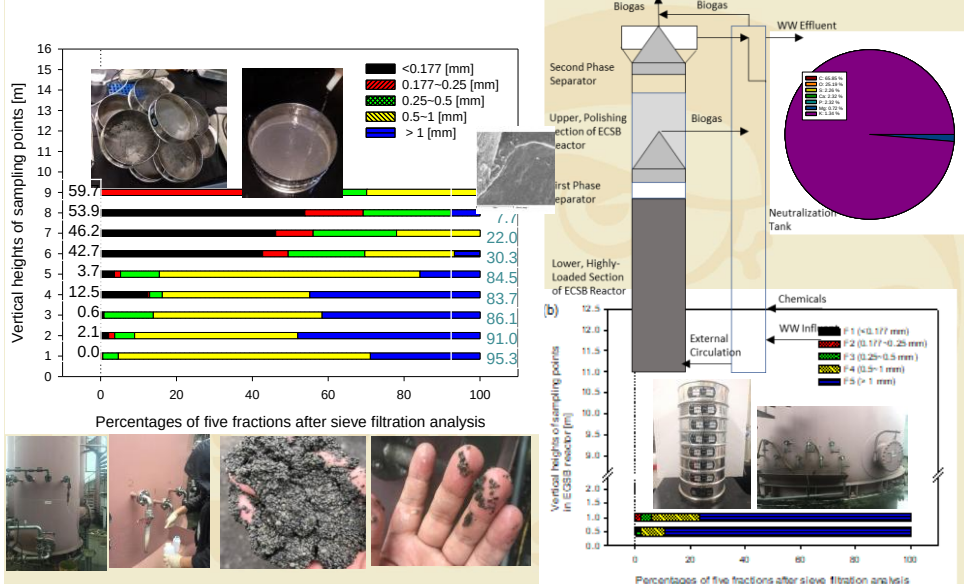


Water analytical results of (a) nitrogen related items, (b) sulfates, hardness and cations detected in the raw spent wash, influent, and effluent of ECSB.



3. Results and Discussions (5/22)

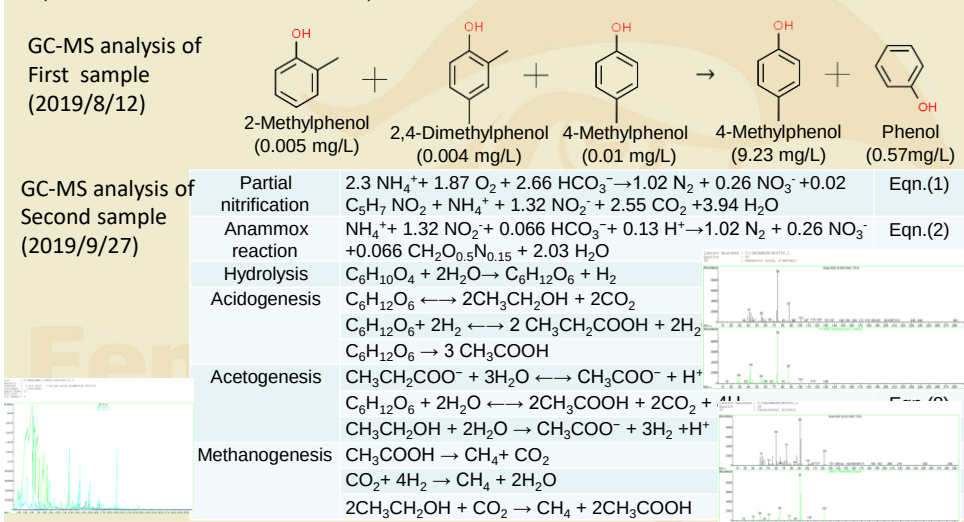
Size fractionation of ECSB granular sludge

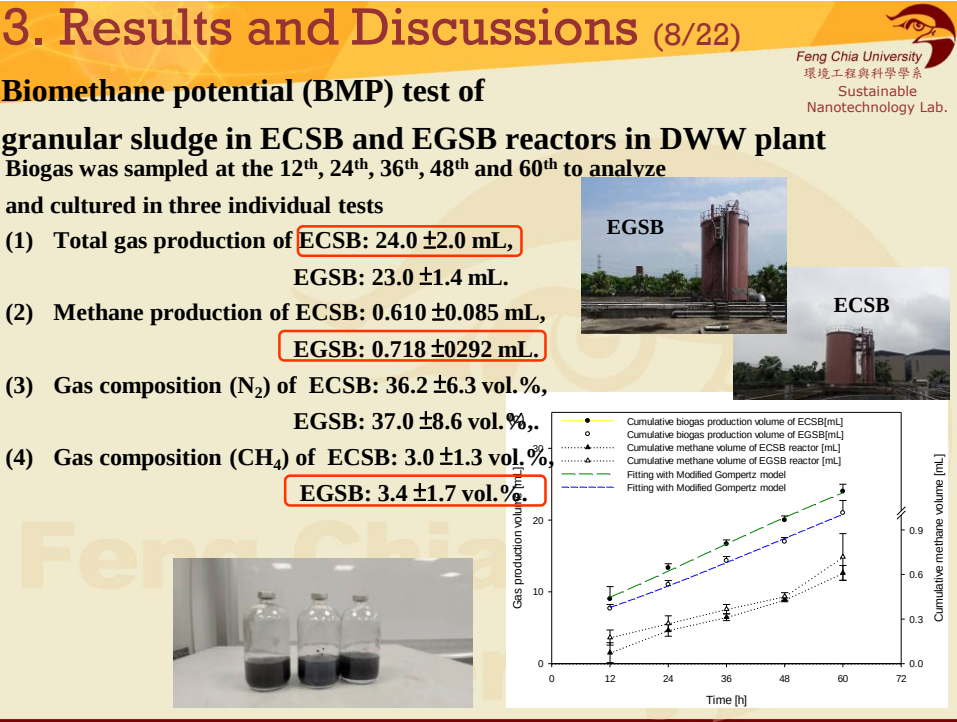
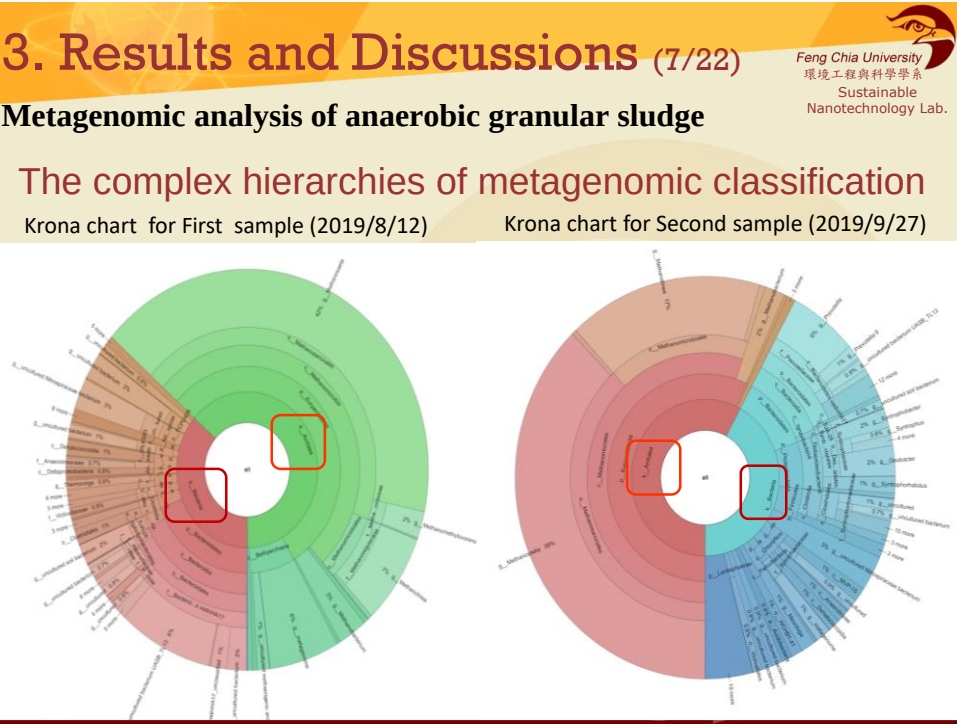


3. Results and Discussions (6/22)

GC-MS analysis of Influent and Effluent of ECSB reactor

- Possible anaerobic degradations of phenol derivatives in the ECSB reactor (not stoichiometric balance!)





3. Results and Discussions (9/22)

Feng Chia University
環境工程與科學學系
Sustainable
Nanotechnology Lab.

Metagenomic analysis of anaerobic granular sludge

The microbial composition from ECSB sludge	First sample (2019/8/12)	Second sample (2019/9/27)	Possible biological function
Archaea	63.50%	57.83%	
Methanosaeta	41.85%	37.66%	methanogenesis
Methanolinea	7.31%	16.56%	methanogenesis
Bathyarchaeia	6.27%		Methanogenesis (產氫)
Methanobacterium	2.58%	1.74%	methanogenesis
Methanomethylovorans	2.27%		methanogenesis
Bacteria	36.50%	42.27%	
Bacteroidetes	18.90%	11.60%	OM decomposition; fermentation
Nitrospiraceae	2.56%	2.83%	OM decomposition; fermentation
Geobacteraceae		2.46%	OM decomposition; fermentation
Clostridiales		2.98%	OM decomposition; fermentation
Synergistaceae	1.65%		OM decomposition; fermentation
Total OTUs	306	327	(Note. OM=organic matter)
Total sequence number	64728	73882	

3. Results and Discussions (10/22)

Feng Chia University
環境工程與科學學系
Sustainable
Nanotechnology Lab.

Pilot study of high-rate UASB for Synthetic Fiber Wastewater (SFWW) Treatment and Biogas production evaluation

from Jan 19 to May 5, 2016 (~5 months)

International Biodeterioration & Biodegradation 143 (2019) 104698

Contents lists available at ScienceDirect

International Biodeterioration & Biodegradation

journal homepage: www.elsevier.com/locate/bioid

ELSEVIER

Simultaneous biodegradation of tetrahydrofuran, 3-buten-1-ol and 1,4-butanediol in real wastewater by a pilot high-rate UASB reactor

Chen-Hua Ni^a, Chia-Yuan Chang^b, Yu-Chung Lin^c, Justin Chun-Te Lin^{d,*}

^a Eco-digital Technology Inc., Taipei city, 10463, Taiwan

^b Department of Environmental Engineering and Science, Chia Nan University of Pharmacy and Science, Taiwan, 71710, Taiwan

^c Agriculture International Inc., Taipei city, 10463, Taiwan

^d Department of Environmental Engineering and Science, Feng Chia University, Taichung, 40724, Taiwan

- UASB reactor volume: 10 L
- Feed flow: 7 ml/min
- Recirculation: 21 ml/min
- Hydraulic retention time: 24 hrs

- ◆ 原廢水COD: 30,258 mg/L
- ◆ 調配不同初始COD濃度 (3000, 5000, 7000, 9000 mg/L)
- ◆ 測試產氣(CH₄+CO₂)量

Biogas production volume (L) vs. COD initial concentration (mg/L)

COD initial concentration (mg/L)	Biogas production volume (L)
3000	~1.5
5000	~2.5
7000	~3.5
9000	~4.5

3. Results and Discussions (11/22)



Pilot study of high-rate UASB for Synthetic Fiber

Wastewater (SFWW) Treatment and Biogas production evaluation

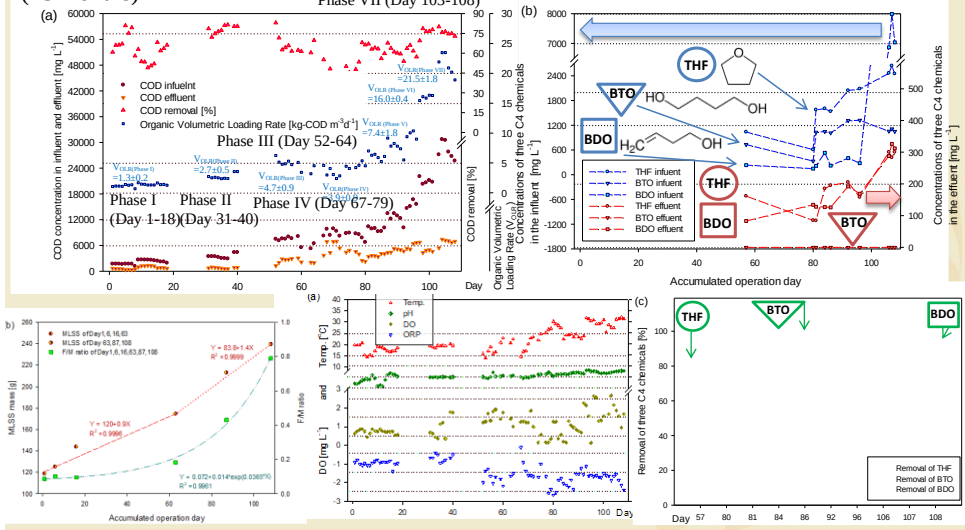
from Jan 19 to May 5, 2016

Phase V (Day 80-96),

Phase VI (Day 97-102)

(~5 months)

Phase VII (Day 103-108)



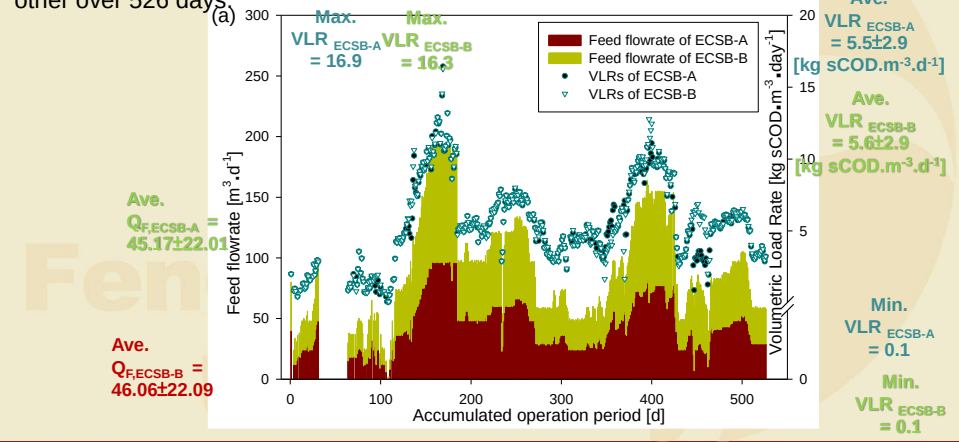
3. Results and Discussions (12/22)



Feed flowrates and VLR of two full-scale anaerobic reactor

from Oct. 2017 to Mar. 2019 (17 months)

- Feed from raw wastewater flowrates are fluctuated with respect to time (S.D.~ 22 m³·d⁻¹), but constant flowrates for both ECSB reactors were fixed at 25 m³·h⁻¹.
- This is in order to maintain high upflow velocity inside the two reactors (5.10 m·h⁻¹)
- Volumetric organic loading rates (VLRs, kg sCOD·m⁻³·d⁻¹) were controlled close to each other over 526 days

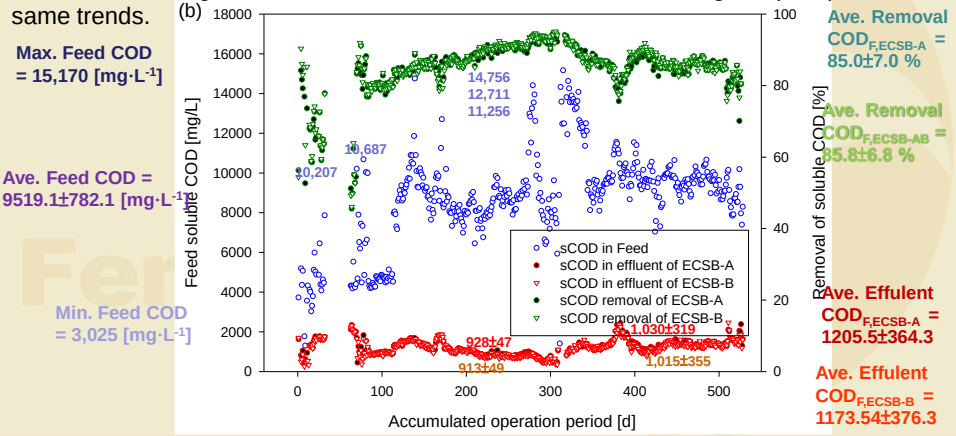


3. Results and Discussions (13/22)



Monitoring COD of two full-scale anaerobic reactors from Oct. 2017 to Mar. 2019 (17 months)

- Feed COD in raw wastewater are highly fluctuated ($3025\sim15170\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) w.r.t time, and changed from time to time.
- However, effluent COD of the two reactors are both stable ($\text{S.D.}\sim 360\text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) and robust, even high COD in the feed.
- As a result, average COD removals of the two ECSB reactors are good (85%) and on the same trends.

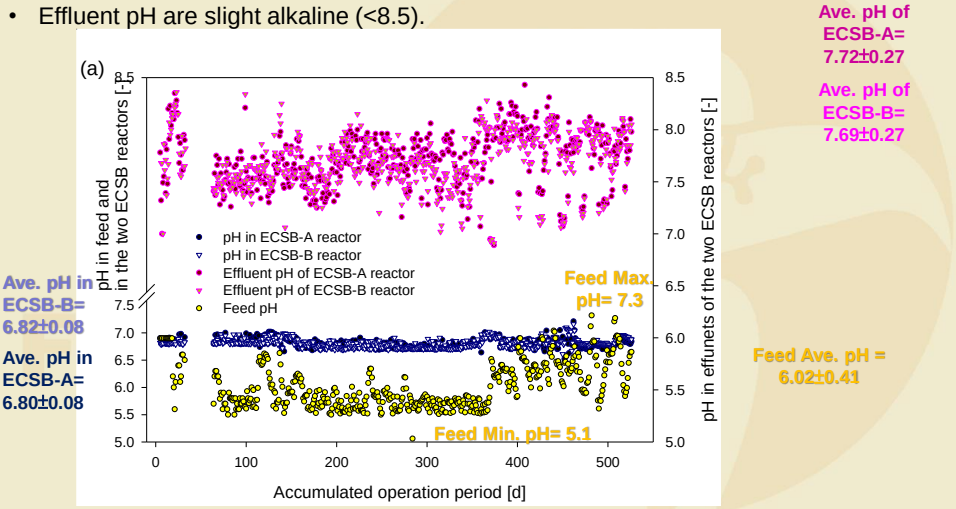


3. Results and Discussions (14/22)



Monitoring pH of two full-scale anaerobic reactors from Oct. 2017 to Mar. 2019 (17 months)

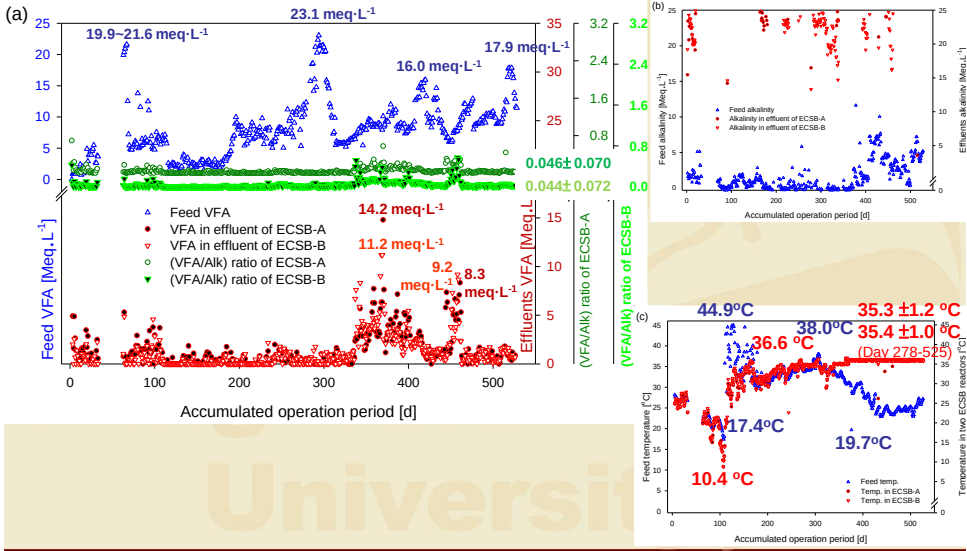
- Feed pH are acidic and fluctuated with respect to time (between 5.1 and 7.3).
- pH in the two ECSB reactors are controlled well (S.D. are both 0.08 only!).
- Effluent pH are slight alkaline (<8.5).



3. Results and Discussions (15/22)

Feng Chia University
環境工程與科學學系
Sustainable
Nanotechnology Lab.

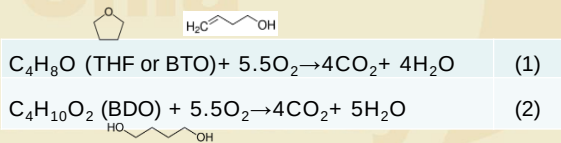
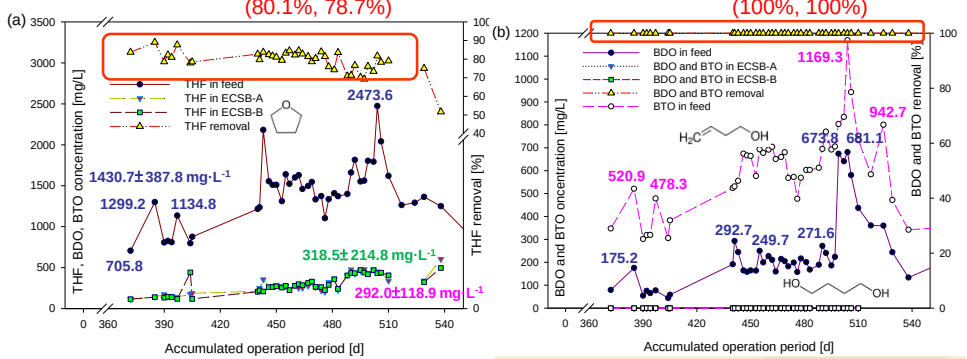
Monitoring VFAs, Alk, and temperatures of two full-scale anaerobic reactors from Oct. 2017 to Mar. 2019 (17 months)



3. Results and Discussions (16/22)

Feng Chia University
環境工程與科學學系
Sustainable
Nanotechnology Lab.

Concentrations of THF, BDO and BTO in feed and in two full-scale anaerobic reactors, and removals from Oct. 2017 to Mar. 2019 (17 months)



3. Results and Discussions (17/22)

Characteristics of Synthetic Fiber wastewater (SFWW)

Two ECSB reactors, sampled on: 2019/10/25

Constituent	Influent conc. of ECSB-A	Effluent conc. of ECSB-A	Influent conc. of ECSB-B	Effluent conc. of ECSB-B	Unit	M.D.L
pH	6.33	7.17	6.4	7.2	-	-
Conductivity	3,470	3,760	3,500	3,940	μmho/cm	-
BOD _(5d, 20°C)	559	107	553	94	mg/L	<1
sCOD	5,970	1,570	5,910	1,670	mg/L	-
TOC	1,550	228	1,560	204	mg as C/L	0.16
TIC	22.5	138	24.0	123	mg as C/L	0.16
TN	129	133	129	139	mg as N/L	-
TKN	129	133	129	139	mg as N/L	0.018
NO ₃ -N	0.0394	0.0203	0.034	0.0236	mg as N/L	0.005
NO ₂ -N	0.0286	0.0079	0.0467	0.0029	mg as N/L	0.001
Org-N	25	34	21	23	mg as N/L	-
Inorg-N	104	99	108	116	mg as N/L	-
Alkalinity	627	1,026	727	1,175	mg as CaCO ₃ /L	-
Sulphate	113.06	ND	111.8	ND	mg as S/L	0.805
Phosphate	44.3	42.6	45	44.2	mg as P/L	-

3. Results and Discussions (18/22)

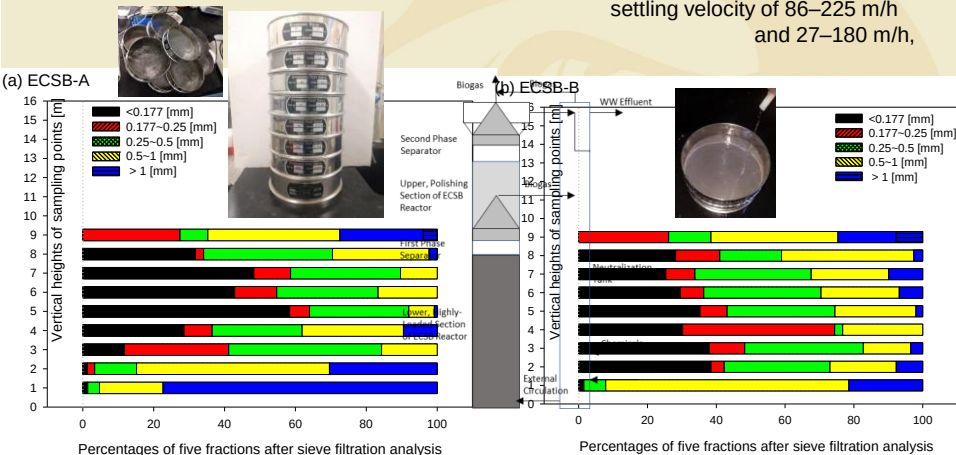
Size fractionation of granular sludges in two ECSB reactors

Typical sizes of anaerobic granules are in the range of 0.5–5mm (Bhunja and Ghangrekar, 2007)

ECSB upflow velocity (5.1 m/h)

UASB upflow velocity (~1.1 m/h)

settling velocity of 86–225 m/h and 27–180 m/h,



3. Results and Discussions (19/22)

Biomethane potential (BMP) test of granular sludge in ECSB-A and ECSB-B with different heights (1m and 9m)

Feng Chia University
環境工程與科學學系
Sustainable Nanotechnology Lab.

28hr 產氣量變化(mL/hr)

28 hr甲烷產氣變化(mL/hr)

Biogas was sampled at the 4th, 8th, 16th, 20th, 24th and 28th

3. Results and Discussions (20/22)

The microbial composition from ECSB sludge for chemical fiber manufacturing wastewater (FMW) treatment

Feng Chia University
環境工程與科學學系
Sustainable Nanotechnology Lab.

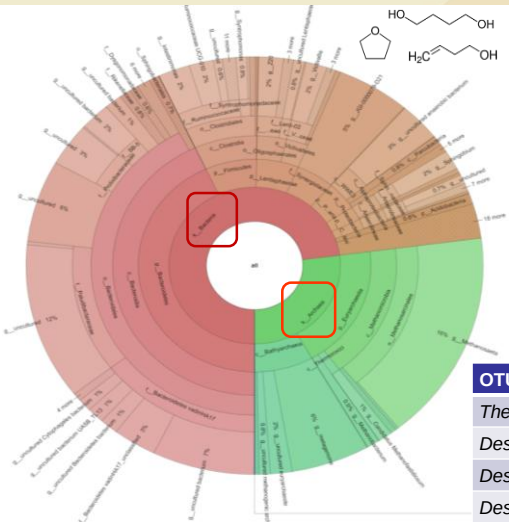
	First	Possible biological function
Archaea	27.09%	
Methanosaeta	18.90%	methanogenesis
Bathyarchaeia	8.17%	methanogenesis
Bacteria	72.90%	
Bacteroidetes (Paludibacteraceae, Marinilabiliaceae)	43.13%	OM decomposition; fermentation
Firmicutes (Clostridiales)	7.15%	OM decomposition; fermentation
Lentisphaerae (Oligosphaeraceae, Victivallaceae)	5.85%	OM decomposition; fermentation
Synergistetes (Synergistaceae)	5.29%	OM decomposition; fermentation
Patescibacteria	4.37%	OM decomposition; fermentation
Proteobacteria (Sphingomonadaceae)	2.06%	OM decomposition; fermentation
Total OTUs	290	(Note. OM=organic matter)
Total sequence number	54991	

3. Results and Discussions (21/22)

Feng Chia University
環境工程與科學學系
Sustainable
Nanotechnology Lab.

The complex hierarchies of metagenomic classification

Our results: Krona cart



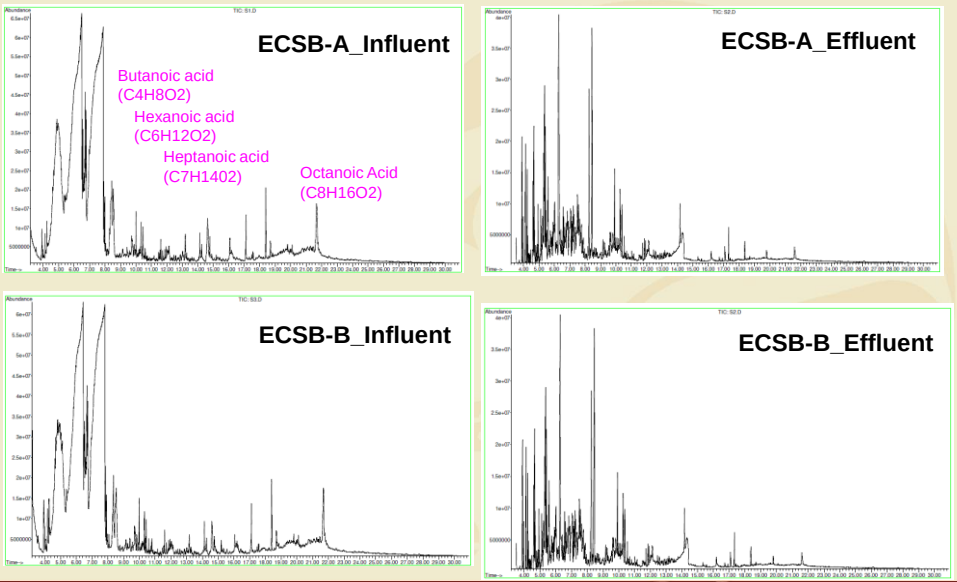
- **Sulfate-reducing microorganisms (SRM)** are a group composed of bacteria and archaea, can perform **anaerobic respiration** utilizing sulfate (SO_4^{2-}) as terminal electron acceptor.
- From our **ECSB sludge**, several **sulfate-reducing bacteria (SRB)** were found

OTU	Percentage
<i>Thermodesulfovibronia</i> (Nitrospiraceae)	0.13%
<i>Desulfurellales</i>	0.06%
<i>Desulfuromonadales</i> (Geobacteraceae)	0.02%
<i>Desulfovibrionaceae</i> (Desulfovibrio)	0.01%

3. Results and Discussions (22/22)

Feng Chia University
環境工程與科學學系
Sustainable
Nanotechnology Lab.

The complex hierarchies of metagenomic classification



3. Results and Discussions

Feng Chia University
環境工程與科學學系
Sustainable
Nanotechnology Lab.

3.4 Developing machine learning models of two AnGS bioreactors for whiskey distillery wastewater treatment

Collaboration with Prof. Cheng-Shu You,
Department of Applied Mathematics, Feng Chia University

Introduction

- High-strength wastewater from malt whisky production
 - COD: 38.5-62.9 g·L⁻¹
 - BOD: 13.0-35.3 g·L⁻¹
 - Solid contents: Up to 23 g·L⁻¹ in pot ale, 17 g·L⁻¹ in spent lee
- High-rate bioreactors with anaerobic granular sludges (AnGS)
 - AnGS: Aggregated clusters of multiple microorganisms
 - Benefits: Tolerate high organic loading, enhance biodegradation
- We will focus on **EGSB (2nd generation)** and **ECSB (3rd generation)** bioreactors
- Study location: Full-scale bioreactors at a whisky distillery in Taiwan

47

3. Results and Discussions

Feng Chia University
環境工程與科學學系
Sustainable
Nanotechnology Lab.

3.4 Developing machine learning models of two AnGS bioreactors for whiskey distillery wastewater treatment

Collaboration with Prof. Cheng-Shu You,
Department of Applied Mathematics, Feng Chia University

Characteristics of Bioreactor and wastewater

AnGS bioreactors	EGSB	ECSB
Hight	14 m	15.9 m
Diameter	6.5 m	6.5 m
GLS separators	1	2
Upflow velocity	2 m·h ⁻¹	5 m·h ⁻¹

the 2nd generation

EGSB

the 3rd generation

ECSB

1 Data collection period

January 2017 to April 2023

2 Water Parameters monitored

- Chemical Oxygen Demand (COD)
- Volatile Fatty Acids (VFA)
- Alkalinity (Alk)

48

3. Results and Discussions

Feng Chia University
環境工程與科學學系
Sustainable
Nanotechnology Lab.

3.4 Developing machine learning models of two AnGS bioreactors for whiskey distillery wastewater treatment

Collaboration with Prof. Cheng-Shu You,
Department of Applied Mathematics, Feng Chia University

Data Analysis & Feature engineering

Table 1 Statistical analyses of the dataset

	ECSB (the 3 rd generation)				EGSB (the 2 nd generation)			
	Influent COD	Influent VFA	Influent ALK	Effluent COD	Influent COD	Influent VFA	Influent ALK	Effluent COD
mean	8871.06	39.91	9.16	535.85	9110.27	40.65	9.18	447.72
std	3490.71	15.99	5.14	442.34	3334.27	15.14	4.87	294.87
minimum	800.00	0.00	-6.80	6.50	1140.00	0.00	-8.80	40.00
median	8837.00	40.10	8.80	377.00	9087.00	41.30	8.80	360.00
maximum	20000.00	83.70	46.40	3030.00	19568.00	82.60	32.00	1689.00
skewness	0.19	0.22	1.18	1.80	0.16	0.12	0.51	1.81

1 Table 1 shows statistical analyses for both systems, indicating slight **positive skewness** in **influent Alk** and **effluent COD for ECSB and EGSB**.

2 A **robust scaling** to standardize the influent features and power transformation was used to make the effluent COD data towards normal distribution.

49

3. Results and Discussions

Feng Chia University
環境工程與科學學系
Sustainable
Nanotechnology Lab.

3.4 Developing machine learning models of two AnGS bioreactors for whiskey distillery wastewater treatment

Collaboration with Prof. Cheng-Shu You,
Department of Applied Mathematics, Feng Chia University

Data Analysis & Feature engineering

3 **Outliers** in effluent COD for both ECSB and EGSB could negatively impact ML model performance.

4 Use an **isolation forest algorithm** to detect outliers and created a **new feature** marking their indices.

The isolation forest works by randomly selecting a feature and a split value between its minimum and maximum to isolate observations.

Box Plot of ECSB Effluent COD (the 3rd generation)

Box Plot of EGSB Effluent COD (the 2nd generation)

The box plot of effluent COD for ECSB(top) and EGSB(bottom)

50

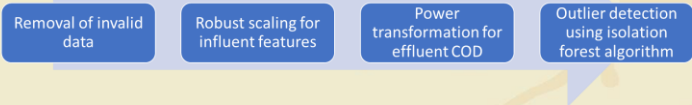
3. Results and Discussions

3.4 Developing machine learning models of two AnGS bioreactors for whiskey distillery wastewater treatment

Collaboration with Prof. Cheng-Shu You,
Department of Applied Mathematics, Feng Chia University

Data Analysis & Feature engineering

Data preprocessing



Split data into training and testing sets



- Dataset size after cleaning:
 - ECSB: **569 data points** (the 3rd generation)
 - EGSB: **501 data points** (the 2nd generation)
- Model **input variables**:
 - Influent COD
 - VFA
 - Alkalinity
 - Outlier indices (new feature)
- Model **output variable**: Predicted effluent COD
- Data split: 80% training, 20% testing

51

3. Results and Discussions

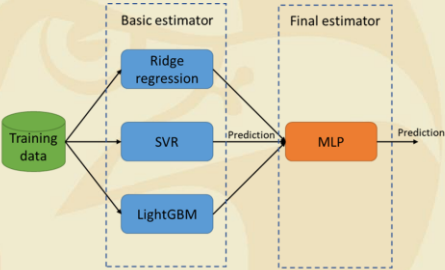
3.4 Developing machine learning models of two AnGS bioreactors for whiskey distillery wastewater treatment

Collaboration with Prof. Cheng-Shu You,
Department of Applied Mathematics, Feng Chia University

Machine Learning Model Development

Model Architecture: Stacked model with three base estimators

- **Ridge Regression**
 - Linear regression with L2 regularization to prevent overfitting
 - Suitable for datasets with high correlation between features
- **Support Vector Regression (SVR)**
 - Non-linear regression method based on support vector machines
 - Effective in capturing complex, non-linear relationships in data
- **LightGBM Regressor**
 - Gradient boosting framework using tree-based learning algorithms
 - Handles large datasets with high dimensionality effectively



- Stacking Methodology**
- Base estimators are trained on the original dataset
 - Their predictions are used as input features for the **final estimator (MLP)**
 - This approach leverages the strengths of different algorithms **to improve overall prediction accuracy**

52

3. Results and Discussions



3.4 Developing machine learning models of two AnGS bioreactors for whiskey distillery wastewater treatment

Collaboration with Prof. Cheng-Shu You,
Department of Applied Mathematics, Feng Chia University

Evaluation Metrics:

- **Root Mean Square Error (RMSE):** Measures the square root of the average squared differences between the predicted and actual values. Lower values indicate better performance.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2},$$

- **Mean Absolute Error (MAE):** Measures the average magnitude of the errors between predicted and actual values. Again, lower values are better.

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i|,$$

- **R² value:** Proportion of variance in the dependent variable explained by the model; ranges from 0 to 1, with values closer to 1 indicating better fit.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2},$$

53

3. Results and Discussions



3.4 Developing machine learning models of two AnGS bioreactors for whiskey distillery wastewater treatment

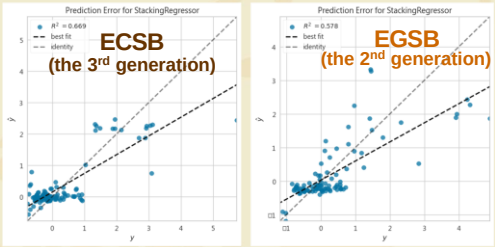
Collaboration with Prof. Cheng-Shu You,
Department of Applied Mathematics, Feng Chia University

Results

Table 2 Statistical performance metrics for the proposed model

	Train			Test		
	RMSE	MAE	R ²	RMSE	MAE	R ²
ECSB	0.5656	0.3919	0.7164	0.6109	0.3919	0.6693
EGSB	0.8444	0.5512	0.5981	0.7465	0.5512	0.5777

- **ECSB** performs better than EGSB overall, as evidenced by its higher R² values in both training and testing.
- **ECSB** model also has lower RMSE and MAE values compared to EGSB, indicating more accurate predictions for ECSB.
- The R² value for the **test set** of ECSB is **0.6693**, higher than that of EGSB, which is **0.5777**, showing a **better fit in the testing phase**.
- **Outliers** present significant challenges for both models, potentially **due to operational fluctuations or measurement errors**.



Error plots of the proposed model for ECSB(left) and EGSB(right)

54

3. Results and Discussions

3.4 Developing machine learning models of two AnGS bioreactors for whiskey distillery wastewater treatment

Collaboration with Prof. Cheng-Shu You,
Department of Applied Mathematics, Feng Chia University

Conclusions and Future Work

The stacked machine learning model demonstrates potential in predicting effluent COD for AnGS bioreactors, with better performance observed in the ECSB system. However, significant room for improvement exists. Future research should:

- Address challenges associated with high data variability
- Exploration of advanced **deep learning techniques** for better handling of **outliers** and **non-linear relationships**.
- Development of **real-time** prediction and control systems for **optimizing** bioreactor performance.

55

3. Results and Discussions

3.4 Predicting Effluent COD in Wastewater Treatment: A Comparative Study of Machine Learning Models for ECSB Systems

Collaboration with Prof. Cheng-Shu You 逢甲大學 數據科學碩士學位學程

Data Description

Data Count: 1259

Input Variables:

- **T-301 Influent:** pH, VFA, Alkalinity, COD, Temp
- **ECSB-A Effluent:**
 - Measured twice with average: pH, VFA, Alkalinity
 - Daily Flow

Output Variable:

- **ECSB-A and ECSB-B Effluent:** COD

Two parallel ECSB reactors
(D: 2 m,
H: 16 m,
V: 50 m³)



56

3. Results and Discussions

3.4 Predicting Effluent COD in Wastewater Treatment:

A Comparative Study of Machine Learning Models for ECSB Systems

Collaboration with Prof. Cheng-Shu You 逢甲大學 數據科學碩士學位學程

Machine Learning Model Development

We employ three base estimators for the modeling process:

- **Extra Trees Regressor:**

A tree-based ensemble method that aggregates the results of multiple decision trees to reduce variance and improve robustness. Constructs trees using **randomly** selected features and split points, providing **faster computation** and potentially better noise handling.

- **Random Forest Regressor:**

Another type of tree-based ensemble model that combines predictions from multiple decision trees. Each decision tree selects **optimal** splits from random feature subsets at each node, providing robust performance at the cost of higher computation.

- **Linear Regression**

A simple yet powerful method that models the relationship between the input features and the target by fitting a linear equation. It's useful for understanding the contribution of each feature and serves as a baseline in the ensemble.

57

3. Results and Discussions

3.4 Predicting Effluent COD in Wastewater Treatment:

A Comparative Study of Machine Learning Models for ECSB Systems

Collaboration with Prof. Cheng-Shu You 逢甲大學 數據科學碩士學位學程

Evaluation Metrics:

- **Root Mean Square Error (RMSE):** Measures the square root of the average squared differences between the predicted and actual values. Lower values indicate better performance.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2},$$

- **Mean Absolute Error (MAE):** Measures the average magnitude of the errors between predicted and actual values. Again, lower values are better.

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y_i - \hat{y}_i|,$$

- **R² value:** Proportion of variance in the dependent variable explained by the model; ranges from 0 to 1, with values closer to 1 indicating better fit.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^N (y_i - \bar{y})^2},$$

58

3. Results and Discussions

Feng Chia University
環境工程與科學學系
Sustainable
Nanotechnology Lab.

3.4 Predicting Effluent COD in Wastewater Treatment: A Comparative Study of Machine Learning Models for ECSB Systems

Collaboration with Prof. Cheng-Shu You 逢甲大學 數據科學碩士學位學程

Results

- Extra Trees Regressor:**
Best performance for ECSB-A and ECSB-B COD predictions, with lower errors and higher R^2 values.
- Random Forest Regressor:**
Strong performance, slightly less accurate than Extra Trees.
- Linear Regression:**
Underperforms compared to tree-based models, failing to capture complex relationships in the data.

Model performance comparison for ECSB-A Effluent COD

Model	MAE	RMSE	R^2
Extra Trees Regressor	157.3884	225.3099	0.8746
Random Forest Regressor	167.4854	235.0360	0.8634
Linear Regression	246.7525	316.3391	0.7521

Model performance comparison for ECSB-B Effluent COD

Model	MAE	RMSE	R^2
Extra Trees Regressor	158.5538	216.4700	0.8798
Random Forest Regressor	167.6882	232.8699	0.8605
Linear Regression	252.3271	322.9200	0.7321

Using ensemble-based methods is highly effective for this type of regression task

59

3. Results and Discussions

Feng Chia University
環境工程與科學學系
Sustainable
Nanotechnology Lab.

3.4 Predicting Effluent COD in Wastewater Treatment: A Comparative Study of Machine Learning Models for ECSB Systems

Collaboration with Prof. Cheng-Shu You 逢甲大學 數據科學碩士學位學程

Prediction Error Plot for ECSB-A COD

Prediction Error for ExtraTreesRegressor

$R^2 = 0.889$

Legend: $\bullet$ best fit, $-$ identity

Prediction Error for RandomForestRegressor

$R^2 = 0.870$

Legend: $\bullet$ best fit, $-$ identity

Prediction Error for LinearRegression

$R^2 = 0.743$

Legend: $\bullet$ best fit, $-$ identity

- Extra Trees Regressor** is the best-performing model, with the highest R^2 value and predictions closely aligned with actual values.
- Random Forest Regressor** also performs well but has slightly more error than Extra Trees.
- Linear Regression** performs poorly in comparison, unable to capture the underlying relationships in the data as effectively as the ensemble tree-based models.

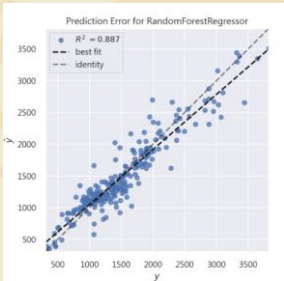
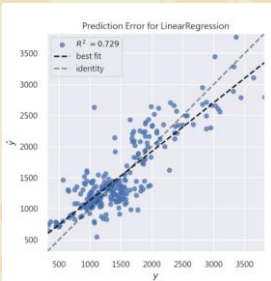
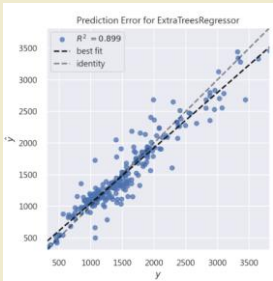
60

3. Results and Discussions

3.4 Predicting Effluent COD in Wastewater Treatment: A Comparative Study of Machine Learning Models for ECSB Systems

Collaboration with Prof. Cheng-Shu You 逢甲大學 數據科學碩士學位學程

Prediction Error Plot for ECSB-B COD



As the results are similar to the previous analysis

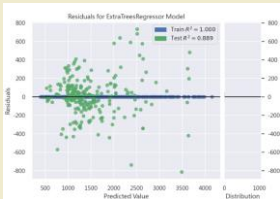
61

3. Results and Discussions

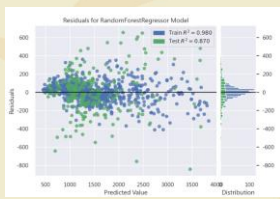
3.4 Predicting Effluent COD in Wastewater Treatment: A Comparative Study of Machine Learning Models for ECSB Systems

Collaboration with Prof. Cheng-Shu You 逢甲大學 數據科學碩士學位學程

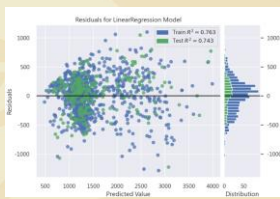
Residual plots Analysis for ECSB-A COD



Most residuals are clustered around zero, indicating that the model's predictions are very close to the actual values. There are a few outliers, but the overall distribution is well-centered.



The residuals show more spread than Extra Trees, with a wider range of errors. However, most residuals still cluster around zero, indicating solid prediction accuracy.



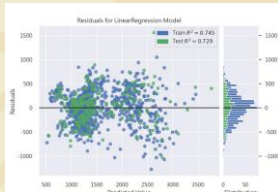
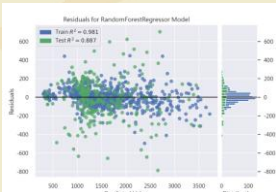
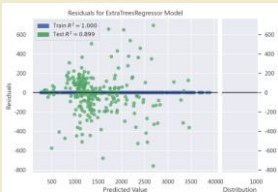
The residuals are spread out more widely, especially for larger predicted values, indicating that the model struggles to predict accurately as the target values increase.

62

3. Results and Discussions

3.4 Predicting Effluent COD in Wastewater Treatment: A Comparative Study of Machine Learning Models for ECSB Systems Collaboration with Prof. Cheng-Shu You 逢甲大學 數據科學碩士學位學程

Residual plots Analysis for ECSB-B COD



As the results are similar to the previous analysis

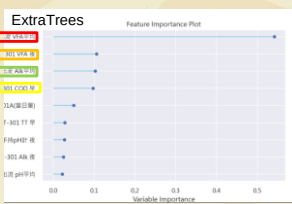
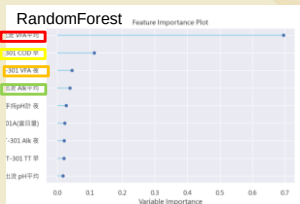
Extra Trees Regressor performs best, with lowest residuals and highest R^2 values, capturing data complexity most effectively. Random Forest Regressor follows closely. Linear Regression underperforms, showing larger residuals and lower R^2 values, less suitable for this task than ensemble tree-based models.⁶³

63

3. Results and Discussions

3.4 Predicting Effluent COD in Wastewater Treatment: A Comparative Study of Machine Learning Models for ECSB Systems Collaboration with Prof. Cheng-Shu You 逢甲大學 數據科學碩士學位學程

Feature Importance Analysis for ECSB-A COD



While all models recognize VFA as a key factor, the tree-based models offer a more balanced use of features such as COD and Alkalinity, suggesting these models are better at capturing the complexity of the data. Linear Regression, on the other hand, focuses primarily on pH, which may explain its lower performance in earlier analysis.

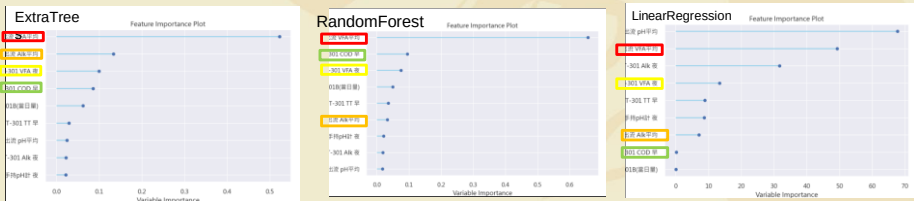
64

3. Results and Discussions

3.4 Predicting Effluent COD in Wastewater Treatment: A Comparative Study of Machine Learning Models for ECSB Systems

Collaboration with Prof. Cheng-Shu You 逢甲大學 數據科學碩士學位學程

Feature Importance Analysis for ECSB-B COD



The tree-based models provide more balanced importance across features, with VFA dominating the predictions but still accounting for COD and Alkalinity. Linear Regression, on the other hand, tends to distribute importance more evenly but underperforms in capturing the complex relationships present in the dataset.

65

3. Results and Discussions

3.4 Predicting Effluent COD in Wastewater Treatment: A Comparative Study of Machine Learning Models for ECSB Systems

Collaboration with Prof. Cheng-Shu You 逢甲大學 數據科學碩士學位學程

Conclusions and Future Work

- Extra Trees Regressor consistently provides the best performance for predicting ECSB-A and ECSB-B COD
- Linear Regression underperforms significantly compared to the tree-based models, showing larger errors and failing to capture the complex relationships in the data.
- Volatile Fatty Acids (VFA) is the most critical feature across all models for predicting COD, with Alkalinity and COD also playing significant roles in the tree-based models.
- Future Work
 - Skewness in some data needs further processing in future steps to improve model performance.
 - Include Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS), Suspended Solids (SS), and Sludge Volume Index (SVI) as essential features in future analyses.

66

3. 污水處理系統AI 應用方向

目的性 整體性 相關性 複雜性 適應性 動態性 (dynamic)

即時 (real time)

遠端操控 (remote control)

Feng Chia University
環境工程與科學學系
Sustainable
Nanotechnology Lab.
Teaching materials prepared by
Prof. Justin Chun-Te Lin

全球廢(污)水處理耗能與排碳高

Source: 環境部水保司113年9月27日

污水處理耗能與排碳日漸重視

- 國際能源署(IEA)估計，全球約有4%電力用於泵送和處理水和廢(污)水，未來25年水處理業的電力消耗量預計將增加80%。
- 污水處理目前正向資源回收和零碳淨排的新模式轉變。據估計，污水處理廠(WWTPs)造成全球近5%的非CO2溫室氣體(GHG)排放。



67

3. 污水處理系統AI 應用方向

Feng Chia University
環境工程與科學學系
Sustainable
Nanotechnology Lab.
Teaching materials prepared by
Prof. Justin Chun-Te Lin

廢(污)水綠色轉型內容

Source: 環境部水保司113年9月27日

能源化



高濃度有機廢水事業
設置廢水厭氧處理，
沼氣發電



公共污水廠設置污泥厭
氧消化、沼氣回收利用

資源化



印刷电路板等事業
含銅廢水經電解還
原，產製再生銅管
或再利用機構收廢
液提濃再製



半導體業氮氣廢水經吸
收、純化及精煉等，產
製為硫酸銨或液氮等化
學品或再利用機構收廢
液提濃再製

低碳智慧化



廢污水處理廠以IoT及
AI智能監控減少加藥量
或控制最適曝氣量

68

問題情境與痛點分析

鐔詳科技有限公司
張逢源 博士/研發協理



- 問題情境:為何要以pH/COD/SS為參考指標?
 - 因為工業區之廢水處理計價是以COD、SS為計價基礎。
 - 生物處理單元之pH異常，將導致處理效能不佳，放流水之COD過高。
 - 進流之COD因製程變化，進流濃度會隨之大幅變化。
- 痛點:
 - 生物處理單元雖設有pH控制系統與加藥機，但仍無法有效提升廢水處理效能及降低放流水COD與SS之濃度。
 - 為達放流水標準，需啟動多種處理設施，增加異常處理成本。

Feng Chia University

69

需求分析及目標

鐔詳科技有限公司
張逢源 博士/研發協理



- 問題分析NS Confidential © 2022
 - 因聚合之廢水含有醇類，於厭氧消化過程中易產生有機酸而導致系統酸化、處理效率不佳。
 - 利用pH/VFA/ORP監測(本公司自有設備)可隨時瞭解問題，進而利用AI系統建模找出最佳處理流程。
 - 活性污泥法部分因聚合屬化工廢水，導致BOD/COD比率過低。利用放流槽前的監測點可得知好氧段之處理效率，進而適當地調整BOD/COD比率，可以得到良好之處理效率。
 - 建模時需要考量水利停留時間所造成之誤差。
- 需求分析
 - 透過AI能提前在多站處理站點，即能預測出排放指標，以便提前預知處理，包括前溯與後溯控制。
 - 針對不同的生物處理單元區要有更適合的監測指標，方能對症下藥達成目標。
- 目標
 - 提升人員工作效率，降低異常處理成本
 - 提升生物處理單元之效率，降低後續處理成本。

Feng Chia University

Ref.1 黃炳友，臺大化工所碩士論文(2007)，揮發性脂肪酸(VFAs)對上流式厭氧污泥床反應器(UASB)表現之影響，指導教授:李萬中。

Ref.2 王瑋翔，逢甲應數所碩士論文(2019)，以數學模型探討薄膜生物處理之薄膜堵塞機制與回收生質能分子滲析過濾程序模擬，指導教授:洪子倫、林俊德。

70

2-3 解題提案時程及階段任務說明

1. 數據擷取階段

◆ 現有IWA國際水協BSM2水質模式(Benchmark Simulation Model No.2 第2號標準模擬模型) 改良、開發成「XX國際 高雄廠」客製化之AloT廢水處理廠，水質智慧預警及程序回饋控制。

2. 資料挖掘

3. 建模

◆ 整合好氧污泥模式 ASM1 (Activated Sludge Model No1) 及厭氧消化模式 ADM1 (Anaerobic Digestion Model) ,



鐔詳科技
有限公司

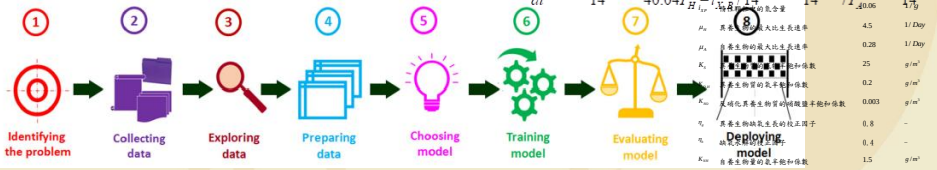
$$\frac{dS_i}{dt} = -\frac{1}{Y_H} p_1 - \frac{1}{Y_H} p_2 + p_7$$
$$\frac{dX_i}{dt} = (1-f_p)p_4 + (1-f_p)p_5 - p_7$$

$$\frac{dX_{B,H}}{dt} = p_1 + p_2 - p_4$$
$$\frac{dX_{B,A}}{dt} = p_3 - p_5$$
$$\frac{dX_P}{dt} = f_p p_4 + f_p p_5$$

$$\frac{dS_O}{dt} = -\frac{1-Y_H}{Y_H} p_1 - \frac{4.57-Y_A}{Y_A} p_3$$
$$\frac{dS_{NO}}{dt} = -\frac{1-Y_H}{2.86Y_H} p_2 + \frac{1}{Y_A} p_3$$
$$\frac{dS_{NH}}{dt} = -i_{X,B} p_1 - i_{X,B} p_2 - (i_{X,B} + \frac{1}{Y_A}) p_3 + p_6$$

$$\frac{dS_{ND}}{dt} = -p_5 + p_3$$
$$\frac{dX_{ND}}{dt} = (i_{X,B} - f_p i_{X,P}) p_4 + (i_{X,B} - f_p i_{X,P}) p_5 - p_8$$

4. 實場驗證



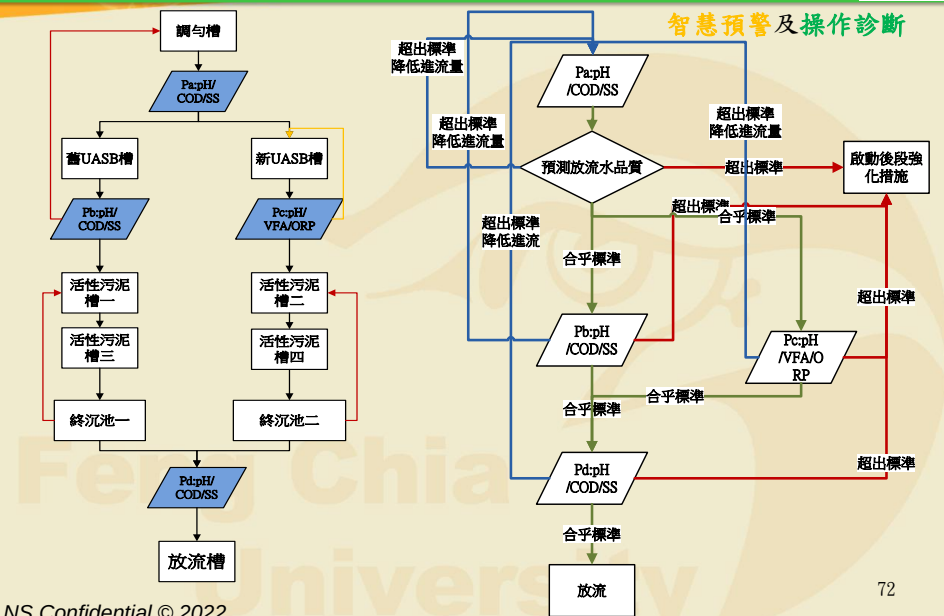
NS Confidential © 2022

Ref. Taoufik et al., The state of art on the prediction of efficiency and modeling of the processes of pollutants removal based on machine learning. Sci. Total Environ. 807 (2022) 150554.

2-4 解決方案情境規劃

鐔詳科技有限公司

張逢源 博士/研發協理



3. 污水處理系統AI 應用方向

Feng Chia University
環境工程與科學學系
Sustainable
Nanotechnology Lab.

廢(污)水綠色轉型 投資標的內容

Source: 環境部水保司113年9月27日

深度節能

- AIoT智能低碳設備
- 高效節能低碳設備

Source: Teaching materials prepared by Prof. Justin Chun-Te Lin



淨零創能

- 生質沼氣發電技術
- 小水力發電

資源循環

- 化學品回收技術
- 重金屬回收技術
- 液氨回收技術
- 磷回收技術

設備賦能
程控智聯
精準控制
智能巡檢

73

3. 污水處理系統AI 應用方向

Feng Chia University
環境工程與科學學系
Sustainable
Nanotechnology Lab.

Teaching materials prepared by Prof. Justin Chun-Te Lin

改變進行式---廢(污)水綠色轉型

Source: 環境部水保司113年9月27日

技術升級驅動力

- 放流水標準加嚴
- 水措管理辦法(BACT)
- 水污費減免
- 各部門減碳計畫

技術轉型內容

- 節能、創能減碳
- 資源化
- 數位化

技術轉型對象

- 事業
- 工業區、科學園區
- 污水處理廠
- 公共污水處理廠

生成式 (Generative) AI

決策式/判別式/分辨式 (Discriminative) AI

設備賦能

故障預測與健康管理 (PHM)

74

37

3.

Concepts of **Prognostics** and **Health Management**

故障預測與健康管理 概念 (PHM)

Feng Chia University
環境工程與科學學系
Sustainable
Nanotechnology Lab.
Teaching materials prepared by
Prof. Justin Chun-Te Lin

故障預測是一種利用**數據分析**、**統計模型**和**機器學習技術**來**預測**設備或系統**潛在故障**的過程。其主要目的是在設備故障**發生之前**識別出問題，以便採取適當的維護措施，從而減少停機時間、降低維護成本並提高整體運營效率。

健康管理是一種系統化的過程，旨在**確保**設備和系統在**最佳狀態下運行**，透過**監測**、**分析**和**評估**其**性能**和**健康狀況**，**預防**潛在故障並**延長其壽命**。這一概念在工業和工程領域中被廣泛應用，特別是在設備維護和運營管理方面。

Source: <https://prognosistech.com/phm/>

Source: <https://de.mathworks.com/discovery/prognostics-and-health-management.html>

75

3.

Concepts of **Prognostics** and **Health Management**

故障預測 與 健康管理 概念 (PHM)

Feng Chia University
環境工程與科學學系
Sustainable
Nanotechnology Lab.
Teaching materials prepared by
Prof. Justin Chun-Te Lin

專注於通過數據分析和建模，預測設備何時可能會發生故障。它主要依賴於“**歷史**”數據和“**實時監測**”數據，尋找潛在故障的跡象，目的是在故障發生之前進行干預。

更加注重整體系統的狀態和性能，目的是確保設備在最佳狀態下運行。健康管理涉及**定期監測和評估**設備的運行狀況，並根據分析結果制定**維護策略**。

Source: <https://prognosistech.com/phm/>

PHM六大步驟是故障預測與健康管理實施過程中的關鍵流程。這六個步驟幫助企業有效地監測設備健康狀態、進行故障預測和實施預測性維護。

PHM六大步

Source: <https://prognosistech.com/phm/>

Health Management Review for Fuel Cells: Focus on Action phase, Renew. Sustain. Energy Rev. (2024)

76

3. 污水處理系統 AI 應用方向

雙軸轉型：相輔相成

廢(污)水綠色轉型案例

數位轉型 X 能源轉型
深度節能

數位轉型 X 淨零轉型
淨零創能

數位轉型 X ESG轉型
資源循環

AI智能低碳廢水處理

- 智慧化技術廠商提供服務，協助事業導入廢水AIoT智慧管理，達到節能及減碳效益

潛在效益

- 廢水處理約占全國4%能耗，預計導入AIoT可節省10%~20%用電

畜牧糞尿循環創能

- 能源業者提供服務，整合區域畜牧場糞尿集中處理沼氣發電，發揮綠能創能效益

潛在效益

- 全國560萬頭豬，目前厭氧處理沼氣發電僅約16%，尚有部分可推動

高有機廢水轉廢為能

- 將具能源化潛勢之污水廠整建轉型為綠能中心，將廢污水轉化為沼氣並減少碳排

潛在效益

- 目前具高有機潛勢事業，採用厭氧沼氣利用約僅1成，轉廢為能尚有空間

廢水資源化轉製及高值化利用

- 科技業含氮廢水精煉產製電子級液氮回製程使用
- 含氟廢水轉製為冰晶石或高純度螢石等產品再利用
- 廢硫酸回收利用

潛在效益

- 每年預估可轉換1.5萬噸液氮，回收價值超過6億元

ESCO模式

集中處理設置者模式

Source: 環境部水保司113年9月27日

77

3. 應用人工智慧在工業廢水處理

AI empowerment (賦權；培力；增能；給力)

APPLICATION OF AI EMPOWERMENT IN WASTEWATER TREATMENT

FIGURE: AI-POWERED OPTIMIZATION LANDSCAPE

78

39

產業發展署輔導資源介紹

主講人

財團法人台灣產業服務基金會

產業發展署 產業污染防治(制) 輔導資源說明

主辦單位：經濟部產業發展署
執行單位：財團法人台灣產業服務基金會
115年4月

產業輔導及資源說明

產業輔導及資源說明

諮詢服務

透過電話、傳真或網路提供即時性的環保技術及法規相關問題諮詢

訪視宣導

協助掌握環保法規稽查重點及相關技術訊息，降低環保違規風險

技術輔導

結合專業團隊到廠服務，導入綠色技術、空污減量，強化環保體質，符合環保法規

宣導推廣

- 辦理講習會/工程實務研討會
- 發行工業污染防治刊物，提供技術資訊

服務項目

輔導源頭污染減量推動綠色技術



導入綠色技術提升污防設施效能



辦理污染防治技術與環保法規宣導



3

產業輔導及資源說明- 諮詢服務-技術及法規諮詢服務

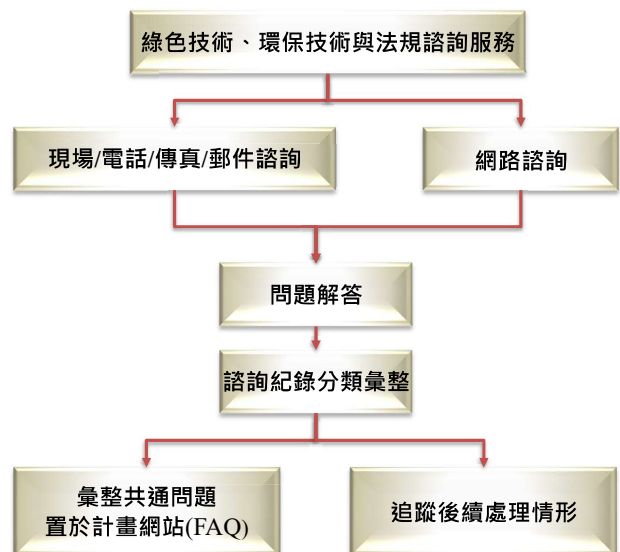
輔導重點

- **快速及多元服務**：產業在遭遇**綠色技術**或**環保法規**相關問題時，透過**最便利**之方式，獲得**即時改善**或**最新資訊**

服務項目



作業流程



4

產業輔導及資源說明- 提升環保知能-法規與技術訪視

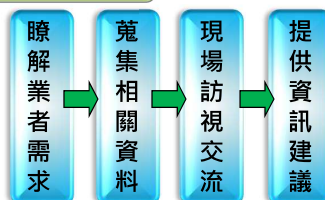
輔導重點

- 提供法規與技術現場訪視：針對法規可能加嚴之高風險行業、遭稽查取締、陳情工廠，進行法規與技術訪視

服務項目



作業流程



輔導效益

- 協助掌握最新環保資訊動態
- 精準提升產業環保認知
- 結合環保法令規定，建議正確實務作為
- 降低工廠環保違規風險
- 強化產業鏈環保運作，降低供應失衡風險



製程及
污防設
施現勘
討論



加強廢水分
流管理，降
低廢水單元
處理負荷

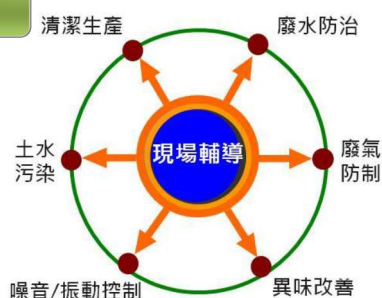
5

產業輔導及資源說明- 強化環保體質-污染改善技術輔導

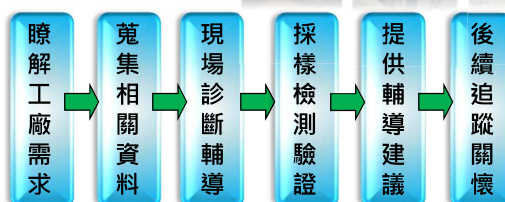
輔導重點

- 自主管理：輔導建置重要處理單元之監測設備，協助參數與操作維護程序建立
- 強化污染防治（制）技術：提供綠色技術與環保技術輔導（廢氣、廢水、噪音、土水污染預防等）

服務項目



作業流程



輔導效益

- 建立適當操作維護程序及管理，提升污染預防成效
- 建立製程污染物與處理設施單元自動控制系統，穩定處理目標，降低超標風險
- 強化產業綠色技術，提升法規符合度
- 提供典範學習，解決產業環保問題，扭轉產業形象

輔導案例

建置監測設備

檢討操作參數及
建立自主管理表單



監測設備、操作參數表	
✓	空污、水污制設施自主管理 操作參數範圍
✓	臺式洗滌塔設備的檢查要 項及檢查頻率
✓	靜電集塵器之故障排除

6

產業輔導及資源說明- 以空氣污染物輔導面向為例



技術輔導(符合法規) ➡ 產業升級(風險控管) ➡ 國際接軌(碳中和)

輔導亮點



結合減碳與循環經濟

- 因應全球減碳趨勢，進一步協助業者建立**兼顧低碳排放**之**空污防制技術**



延續性產業服務

- 追蹤輔導對象，提供**長期諮詢**服務
- 提供公協會國內外法規、技術資訊



推廣新興空污防制技術

- **綠色溶劑**或**管末回收**技術
- **低溫氧化**及**低溫脫硝**設備設備



提升企業永續實力

- 強化企業專業與企業永續知識，並協助彙整改善成果
- 提升**企業對於環境永續之論述能力**，有利企業營造社會形象

7

產業輔導及資源說明- 土壤及地下水污染預防管理輔導

輔導對象

- **土污法第8、9條指定公告事業及土水污染潛勢對象**
- **環境部事業土地污染預防管理納管工廠**

常見問題

常見污染樣態	以製程區、廢水處理區為主要污染熱區	污染預防作為	完善隔絕設施，避免污染物直接觸土壤
 鍍件帶出槽液污染地面	 廢水漫流易造成土水污染	 濕製程地坪Epoxy防漏	 設置地上型管線收集廢水以利管理
 廢水加藥機接頭洩漏	 廢藥藥桶棄置	 藥液貯槽設置防溢堤及收集設施(示意圖)	



8

由產發署輔導好處多

免費資源

- 全程免費諮詢
- 提供輔導報告

公信力

- 目的事業主管機關
- 扶植產業發展
- 資料保密協議

為何要找 產發署輔導？

全面診斷

- 法規諮詢
- 導入綠色技術
- 污染減量技術

專業性

- 專家顧問團隊
- 評估改善技術

產業輔導及資源說明- 擴大宣導-環保技術與法規推廣

<https://sdd.nat.gov.tw/eta/index.aspx>



編輯工業污染防治刊物

工業污染
防治刊物

計畫網站
提供資源



提供歷年
電子文宣品



提供產業環保文宣品

綠色技術與
工程實務
研討會



產官學研技術交流

環保技術與
法規講習會



針對空污、水污、噪音、
土污等辦理講習會

申請方式-工廠主動申請、團隊直接聯繫

申請對象

凡屬**合法登記**營運之事業單位，需綠色技術或環保法規諮詢輔導者

輔導內容

於受理工廠申請後，即依產業特性、申請類別及問題屬性，邀請相關領域專家顧問與專業工程師進行輔導，並提供改善建議方案

申請方式

請至本計畫網站下載申請表，或電洽聯繫窗口，詳填**申請表格**及**工廠基本資料**，並**加蓋公司章**，以郵寄、傳真或E-mail方式回傳，將有專人聯繫安排輔導事宜

綠色技術
服務申請

聯繫窗口

- 台灣產業服務基金會 黃嘉平 先生
電話：(02)7704-5165

產業綠色技術資訊網：<https://sdd.nat.gov.tw/eta/index.aspx>

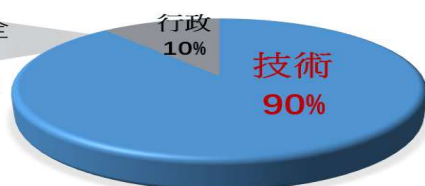
11

產業輔導案例說明

12

產業違規樣態分析

- ◆ 未依許可內容設置或操作
- ◆ 未依規定申報或申報不完全
- ◆ 未依規定設置專責人員
- ◆ 採樣設施未符合規範(空污)



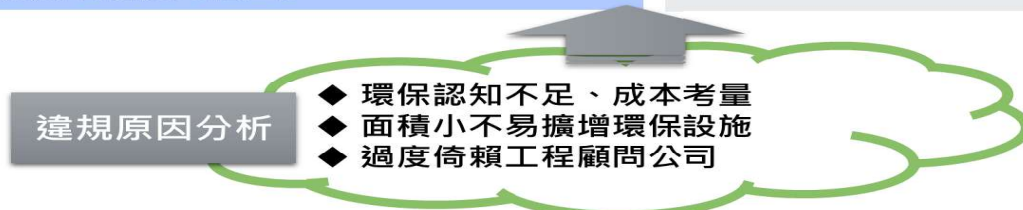
違規案件以技術類為主，具有技術輔導需求

水污違規樣態

- ◆ 廢水未完全收集處理
- ◆ 排放水超過放流水標準
- ◆ 加藥機或管線阻塞、pH計/ORP計故障
- ◆ 沉澱池累積污泥量多

空污違規樣態

- ◆ 廢氣收集效果不佳
- ◆ 排放超過標準
- ◆ 連續自動監測設施不符規定
- ◆ 操作技巧不嫻熟



13

產業廢水處理趨勢

製程改善

高濃度廢液處理

廢水處理功能

回收再利用

環保事件社會成本
高且重創產業形象

國內環保法規嚴峻
國際環保規範制約

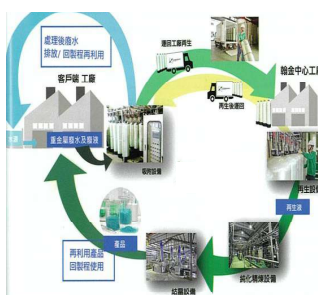
朝「4L + C」
方向發展



廢水妥善分流處理，
利於回收與處理



低能耗機械式蒸發
濃縮設備(MVR)
處理化學鎳廢液



應用離子交換樹脂塔回
收鎳離子，飽和後由資
源化工廠再生回收，達
到循環經濟目的



應用UF + RO高級處理
設施回收廢水再利用

14

產業廢氣處理趨勢

廢氣處理功能

空污防制與減碳

熱回收再利用

維護空氣品質標準
降低陳情稽查案件

行業別法規加嚴
國際減碳議題

- ✓ 應用高效控制技術
- ✓ 整合廢熱回收技術
- ✓ 空氣污染防制方案



高效能集塵裝置



雙槽蓄熱式高溫氧化系統(RTO)處理揮發性有機廢氣



處理設備廢熱回收再利用

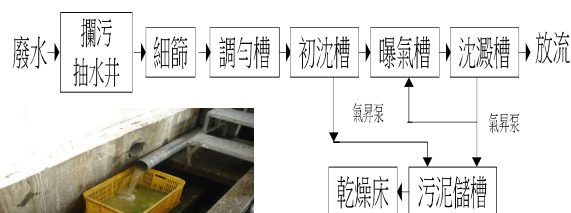
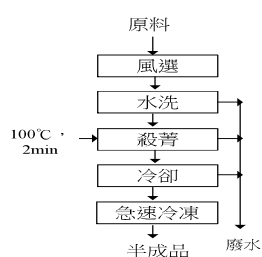


推動工業鍋爐改善，使用低污染燃料，降低空氣污染排放量

15

輔導案例1-食品廢水功能提升

- 食品業廢水處理功能提升：診斷製程用水管理、廢水處理及水質狀況、操作方式等



- ✓ 設置細篩機，提升固體物去除功能
- ✓ 降低曝氣槽BOD/COD濃度

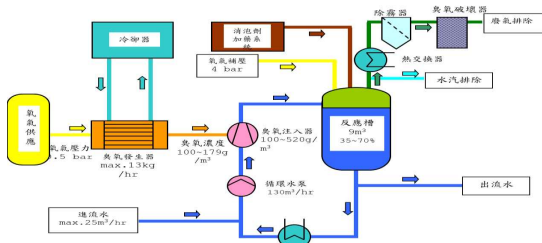


- ✓ 增加沉澱槽排泥頻率以降低污泥厭氧上浮

16

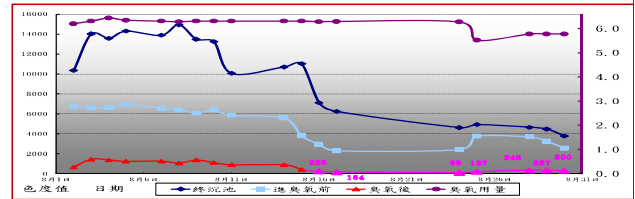
輔導案例2-廢水COD及色度處理

- 臭氧技術降低廢水色度及COD：應用臭氧氧化發色團官能基、鍵解有機物，降低化工業、染整業及造紙業廢水的COD及色度



臭氧處理廢水流程及臭氧發生器

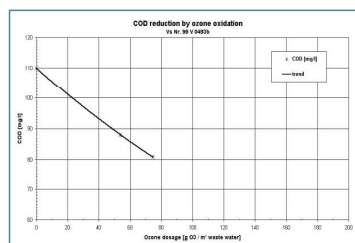
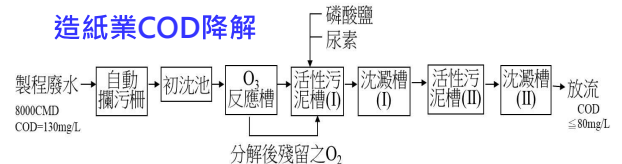
化工業臭氧量與色度關聯



✓ 設備折舊與人事費：65.2元/m³

✓ 耗氧與電費：27.0元/m³

造紙業COD降解



✓ 使用劑量：70g臭氧/m³廢水(2.4g臭氧/gCOD消耗)

✓ COD由100降至80mg/L

✓ 因臭氧對於污染物鍵解效應，BOD增加4mg/L，但易被微生物分解

17

輔導案例3-切削油廢水COD減量

- 工廠廢切削油污染改善：工廠廢切削油液產生高濃度COD廢水，造成廢水處理成效不佳。將廢切削油液先經減壓蒸餾，再以油水分離設施、混凝沉澱浮除等程序處理，大幅降低COD及油脂濃度

水性廢切削油液



水質	濃度 (mg/L)
COD	282,000
油脂	36,600

減壓蒸餾分離



濃度 (mg/L)	去除率 (%)
5,020	98.2
98.3	99.7

油水分離、混凝沉澱



濃度 (mg/L)	去除率 (%)
80	98.4
8	91.9

18

輔導案例4-工廠異味陳情及噪音改善

■ 飼料工廠異味、廢水及噪音整體調整建議

面臨問題

- 面對居民異味陳情，需主動即刻改善
- 放流水懸浮固體(SS)處理效果不穩定
- 尋求廠區製程設備噪音對從業人員傷害減輕對策

改善效益

- 減少民眾異味陳情，促進敦睦親睦
- 提升放流水水質，進一步友善環境
- 降低現場從業人員噪音傷害

輔導方案

- 空污異味改善：自袋濾式集塵機後段至採樣口管線予以更新並加強清掃，減少飼料積垢及受潮衍生之異味逸散源。
- 放流水質改善：提供以縮短現場接觸氧化池鼓風機停機時段、多管濾袋過濾單元提高清洗頻率，或增加備援濾袋備品、污泥曬乾床清空等方式確保廢水處理成效。
- 噪音保護機制：受限作業特性，作業空間及設備管線配置，不易由音源、傳播路徑改善，建議短期由受音者改善，除外語標示、教育訓練、執勤排班調控及體檢外，以護具發放及配戴宣導為主，並建議於噪音熱區購買配置工業用防噪音耳罩。



廢氣風管更新改善清掃口



廢水廠多管濾袋過濾機
提高清洗頻率

19

輔導案例5-外牆鋁複合板VOCs減量

- 為減少塗裝製程中，塗料所含的揮發性有機物排放，邀請專家團隊，為工廠進行全方位規畫診斷，針對金屬複合板製造過程產生的廢氣加強收集與末端處理。

- 改善前：製程區以集氣罩集氣，後端採洗滌塔處理

- 改善方式：

- 複合板塗佈及烘乾區增設負壓集氣系統
- 以沸石轉輪+RTO處理高濃度VOCs廢氣

- 改善成效：

- 製程區認定密閉收集，收集效率100%
- 排氣濃度降至 30ppm以下
- 減少VOCs排放 20公噸/年以上



沸石轉輪+RTO



現場安裝狀況

20

輔導案例6-土壤及地下水污染預防輔導

- 某工廠主要從事半導體與光電、太陽能等產業設備機台維護、零件清洗，屬環境部規劃之污染預防管理對象

- ◆ 製程流程：脫脂、酸洗、化學清洗/拋光、陽極處理、噴砂等
- ◆ 主要原物料：包含丙酮、硝酸、氟化氫、鋁、鎳等
- ◆ 製程廢水：化學清洗廢水、電解陽極廢水
- ◆ 廢水處理流程：調整、氨系/銨系處理、化學混凝、活性碳吸附

現況分析

- 1樓設表面處理區(有廢水排放)
- 廢水廠經檢視地坪有破損的情形，且因地面潮濕，倘有槽體破損將導致廢水洩漏不易察覺
- 廠區使用陰井收集廢水，污染潛勢較高

改善建議

- 製程區以明管線蒐集廢水
- 應立即修補廢水廠破損地坪
- 建立廢水蒐集陰井定期檢視管理作為



廢水收集陰井土水污染潛勢高
應定期檢視



廢水處理廠地板有破損
應立即修復

21

輔導申請方式-產業綠色資訊網



網址：
<https://reurl.cc/zq0bxV>



申請輔導管道 →

方法一（強烈建議）



22

簡報結束 謝謝聆聽

經濟部 AI 數位轉型輔導：政府出資、專家帶路，啟動企業升級

⚠️ 企業常見轉型痛點

⚠️ 數據價值難轉化 ⚠️ AI工具選擇困難 ⚠️ 缺乏專業技術人才

🏭 適用對象：具工廠登記證之製造業

✓ 優先支持欲推動智慧製造、節能減碳或優化現有 AI 系統之企業。

AI 輔導三部曲：轉型加速引擎



第一部：現場診斷與建議

專家進廠診斷，政府補助 19 萬元，企業優需自籌 1 萬

政府補助
19 萬元

企業自籌
1 萬



第二部：導入與培訓

導入工具與培訓最高補 22 萬

工具最高
10 萬

培訓最高
12 萬



第三部：研發升級

研發升級個案最高補助 500 萬元，聯盟最高 4,000 萬

500萬 4,000萬

各階段政府補助額度與資源

輔導階段	補助金額 / 資源
(1) 現場診斷	政府補助 19 萬元 (企業自籌 1 萬)
(2) 導入與培訓	工具最高 10 萬 + 培訓最高 12 萬
(3) 研發升級	個案最高 500 萬 / 聯盟最高 4,000 萬



申請方式與聯絡資訊



申請方式：文件寄送

下載並填寫基本資料與 AI 成熟度量表，Email 寄至窗口即有專人聯繫。



聯絡資訊 (Call to Action)

執行單位：財團法人台灣產業服務基金會 (FTIS)
窗口：張敬嚴 研究員 (#5214)、王仕奇 工程師 (#5258)
電話：02-23255223
Email：danny@ftis.org.tw / dack@ftis.org.tw

宣導資料

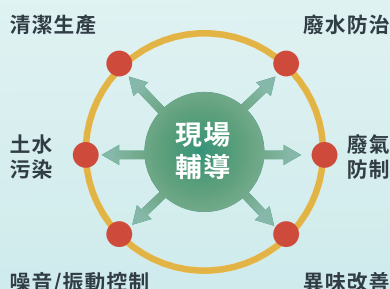
經濟部產業發展署辦理「產業綠色智慧技術提升計畫」(以下簡稱本計畫)，藉由輔導、宣導與推廣作業，將綠色技術的觀念和實務作法推廣至產業界，協助業者提升環保體質、減少污染排放，減輕對環境的衝擊，同時提升企業形象及競爭力，兼顧環境保護與經濟發展的雙贏目標。

計畫內容說明



1. 現場輔導

由專業輔導團隊到廠服務，依工廠現況及實際需求，提供現場污染檢測診斷、綠色技術及管末處理等多元化整合性輔導，協助工廠建立預防管理與緊急應變能力，以符合環保法規。



本計畫現場輔導可協助工廠：

- 精準提升產業環保認知，降低環保違規風險
- 建立適當操作維護程序及管理，提升污染預防成效
- 提供典範學習，解決產業環保問題，扭轉產業形象



洽詢窗口

- 財團法人台灣產業服務基金會
黃嘉平資深工程師
- E-mail : hu5868@ftis.org.tw
- 電話 (02) 7704-5165 • 傳真 (02) 2784-4186

申請須知

- 輔導資源均為**免費**。
- 申請對象須為依法辦理工廠登記之製造業。
- 透過本計畫網頁(掃描下方 QR code)，或工業區服務中心、公協會提出申請，以郵寄、傳真或 email 擲回本計畫受理。
- 受輔導廠商應協助提供相關資料(如工廠環境基線數據等)，並秉持誠信原則與輔導單位配合。



產業綠色智慧技術資訊網
<https://sdd.nat.gov.tw/eta/index.aspx>



經濟部產業發展署
Industrial Development Administration
Ministry of Economic Affairs



現場輔導

由專業團隊臨廠輔導工廠導入綠色技術、強化環保體質
(儀器輔助污染檢測)



諮詢服務

透過電話/傳真/網路提供即時性的環保技術及法規問題諮詢

輔導資源



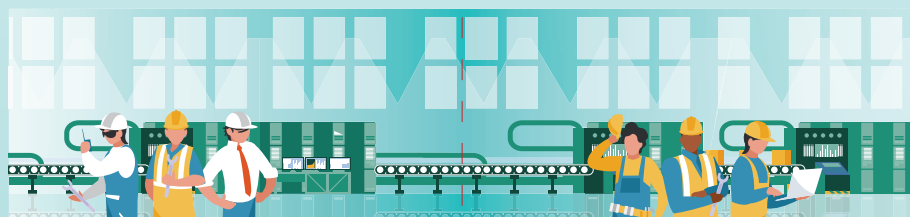
法規協助

針對法規合宜性，辦理會議蒐集產業意見，爭取合理管制規範



宣導推廣

辦理講習會/研討會、發行刊物，提供環保法規與綠色技術資訊



- 透過本計畫提供專業且免費的污染檢測資源，協助工廠精準掌握污染現況，瞭解環保風險，洞燭改善先機，以穩定污染防治設施效能。



專業儀器輔助污染檢測項目

- 水質檢測儀 (pH、DO、TDS、ORP)
- 分光光度計 (COD、氨氮、鎳、銅、六價鉻...)
- 手持式氣膠量測儀 (細懸浮微粒PM_{2.5})
- 熱顯儀 (VOCs或異味洩漏)
- 噪音計



2. 法規協助

為針對增修訂法規合宜性蒐集產業意見，本計畫與中華民國全國工業總會(工業總會)合作，建立產業環保法規溝通平台，辦理會議協助產業與環保單位溝通，爭取產業合理管制規範。

工業總會聯絡窗口：吳俊 先生
電話：(02) 2703-3500#171
E-mail : chiwu@cni.org.tw



3. 諮詢服務

透過電話、傳真或網路管道，由專業輔導團隊進行協助，提供廠商即時性環保技術及法規相關問題的諮詢服務。



4. 宣導推廣

工業污染防治刊物



- 結合產學研的理論基礎與實務經驗，提供產業自主改善的技術與實務方法，協助產業因應各項規範、提升各項環保技術。

產業綠色智慧技術資訊網

- 提供綠色技術、環保技術及法規資訊，各式出版品(如：工業污染防治刊物、研討會論文集、技術叢書)、教育訓練等豐富資料，歡迎各界下載參考 (<https://sdd.nat.gov.tw/eta/index.aspx>)。

講習會/研討會

- 辦理環保法規與技術講習會/綠色技術與工程實務研討會，提供產業最新法規訊息、綠色技術及因應各項規範作法。



經濟部產業發展署

產業綠色智慧技術提升計畫

輔導資源簡介



主辦單位：經濟部產業發展署
Industrial Development Administration
Ministry of Economic Affairs

執行單位：財團法人台灣產業服務基金會
Taiwan Industrial Service Foundation

徵稿

工業污染防治刊物



經濟部產業發展署
Industrial Development Administration, MOEA



財團法人台灣產業服務基金會
FOUNDATION OF TAIWAN INDUSTRY SERVICE



「工業污染防治」刊物自民國71年發刊至今，提供產業界各類工業污染防制之技術及管理工具，據以改善製程及提升管末處理設施效能，透過學術研究與實務技術發表，提供產、官、學、研技術交流之機會。本刊物竭誠歡迎**不限期徵稿**，惠請各界踴躍投稿。

本刊特點



1. 為國內歷史最悠久之環保期刊之一，至113年已發行162期，專業論著已逾1,880篇。
2. 列入國內重要專業期刊，專業技師投稿將取得60分之積分。
3. 納入國家圖書館期刊文獻資訊網，各期紙本刊物於國家圖書館永久保存。

徵稿範疇與方向



1. **空氣污染與噪音**：空污防制及案例、減碳議題
2. **水處理與資源再利用**：節水及廢水回收再利用、再生水系統化(如都市生活污水再利用，以供產業用水)、廢水及重金屬處理技術
3. **資源循環與再利用**：資源循環及減碳行動
4. **土壤處理與綠色永續化學**：土壤與地下水整治及調查技術、綠色永續韌性整治、毒性化學物質管理
5. **環境管理規劃**：再生能源發展與應用、永續發展策略、生命週期評估

投稿辦法



1. 投稿稿件，請以電子郵件寄至工業污染防治刊物編輯組
2. 檔案下載：徵稿啟事、撰寫格式及範例、著作權讓與同意書
3. 稿件請勿一稿多投，來稿將依收件情況及範疇分期審查刊載

聯絡窗口



陳靖瑜 助理工程師

專線電話：(02)7704-5156

E-mail：watch8630@ftis.org.tw



全氟及多氟烷基物質

Per-and polyfluoroalkyl substances

PFAS為一群人工合成化合物

- 特性** 高穩定性、持久性及生物蓄積性
又稱為「**永久性化學物質**」
- 優點** 抗污、防潑水、耐熱、耐磨
- 應用** 紡織品、食品包材、廚具、消防泡沫、電鍍業、半導體業等
- 暴露** 飲食、**飲用水**、灰塵及消費產品，
可能致癌風險...



- 部分特定種類的PFAS具有在生物體內累積與濃縮之特性，並可能經由食物鏈逐級傳遞。
- 目前已有較多毒理研究的物質，例如PFOA、PFOS等，具高疏水性、分子量較大，並且會在人體及環境中長期累積。
- 這些物質與某些健康風險（如癌症、免疫系統干擾）之間的關聯已經有較明確的科學證據。
- 產業可上環境部化學署網站，掌握禁限用規定，以即時因應

國際公約源頭禁限用



斯德哥爾摩公約：消除、限制及減少POPs釋放於環境

2009	PFOS及其鹽類、PFOSF 列入公約附件B (予以限制)
2019	PFOA及其鹽類與相關化合物 列入公約附件A (予以消除)
2022	PFHxS及其鹽類與相關化合物 列入公約附件A (予以消除)
2023	建議將長鏈全氟羧酸(Long-chain perfluorocarboxylic acids, LC-PFCAs) 及其鹽類與相關化合物列入候選審議



不可不知的持久性有機污染物(POPs)

斯德哥爾摩公約概要



2004年5月17日生效



旨在消除、限制及POPs



公約列入附件A、B和C

斯德哥爾摩公約附件



POPs 危害與特徵



具毒性、生物累積與半揮發性



長時間、跨國傳輸危害



環境荷爾蒙危害



健康影響

(自閉、退動、代謝干擾、系統受損)

產業可上環境部化學署網站，掌握禁限用規定，以即時因應。

環境部化學署
持久性有機污染物(POPs)資訊網



發生在日本熊本水俣市的神秘疾病

約從1950年開始，水俣市沿岸的水俣灣以及八代海（又名不知火海）出現神秘疾病「水俣病」。

資料來源：
行政院環境保護署 毒物及化學物質局汞水俣公約資訊網站
<https://topic.epa.gov.tw/hg/cp-40-72-612a2-3.html>



魚貝類莫名死亡



貓出現走路顛簸、狂奔甚至死亡的「貓舞蹈病」



患者失智、手足麻痺，有運動、聽力及言語障礙。



幼兒發育遲緩，不會說話、走路不穩、無法進食。」

這些，其實都是「水銀中毒」也就是「汞中毒」的症狀！

全面禁用汞的「汞水俣公約」，有哪些內容？

2017年8月16日汞水俣公約正式生效，截至2018年8月計有128個締約國，主要公約內容包括：



✗ 產品全面禁用

將各種產品材料更換為無汞材質，並由2020年起禁止含汞產物的進出口。



! 降低工業污染

禁止新汞礦開採，並規範小規模黃金開採。

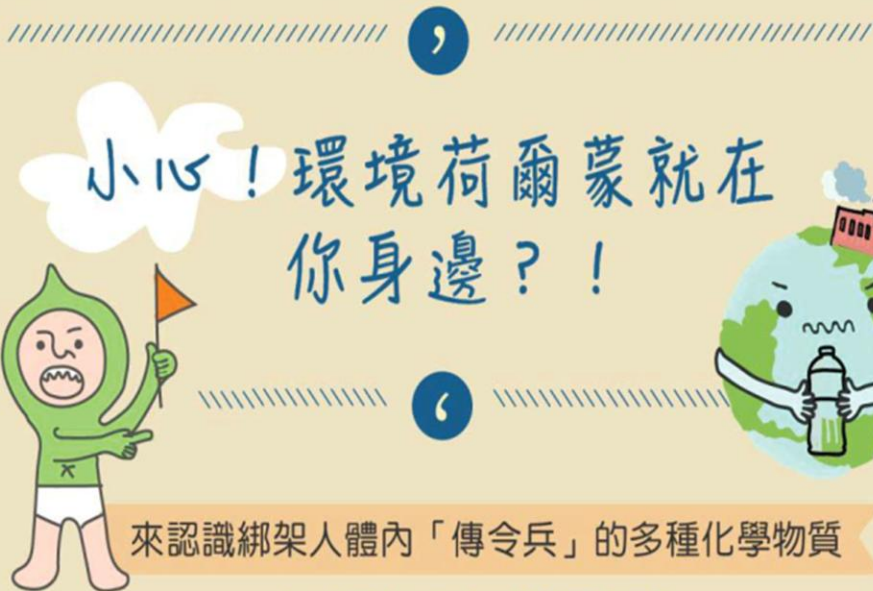


! 規範礦業

使用技術盡可能降低工業污染源如燃煤電廠、工業鍋爐、鋼鐵業的汞排放。

要避免汞的危害，在日常生活中還可以注意什麼呢？



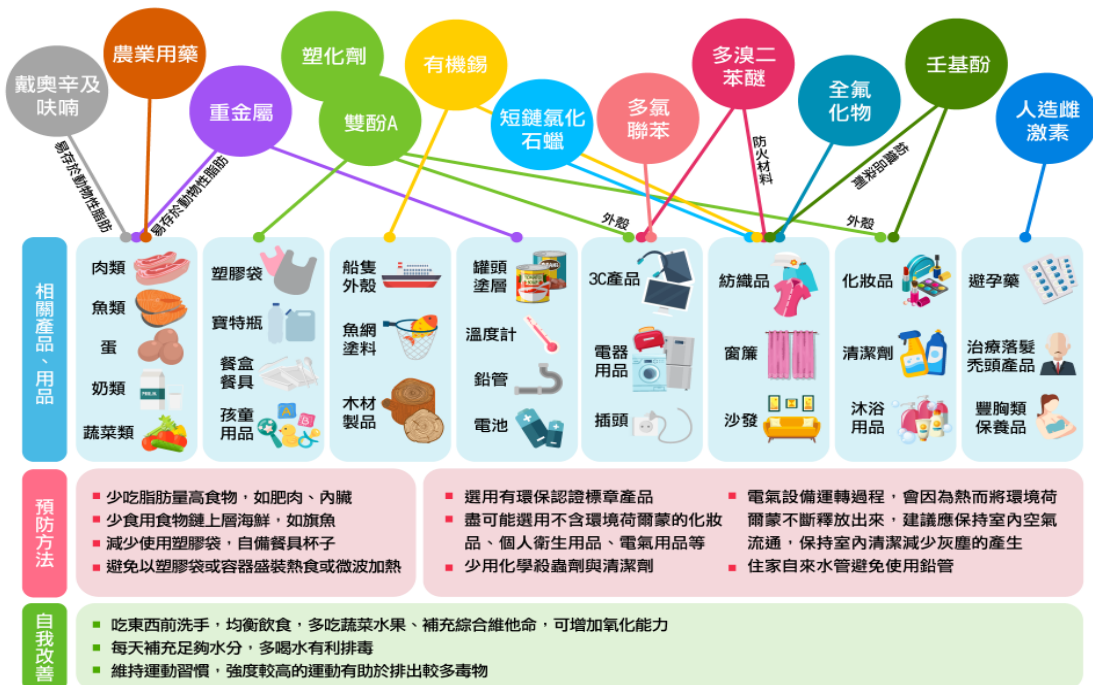


資料來源：環境部化學物質管理署 環境賀爾蒙資訊網站
<https://topic.moe.gov.tw/chemiknowledgemap/cp-243-7798-c4c9f-5.html>

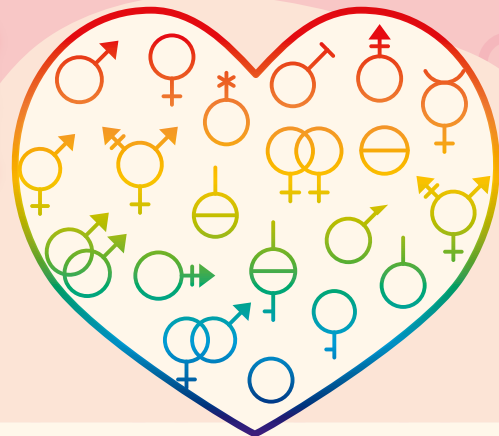
環境荷爾蒙對人體的危害：

環境荷爾蒙達一定濃度會危害動物的甲狀腺與生殖系統，可能會造成：

1. 自閉、過動症
2. 甲狀腺癌機率增加
3. 干擾代謝、免疫系統
4. 神經系統受損
5. 肝及腎功能受損
6. 肥胖與第2型糖尿病的發生率遽增



性別主流化 與性別平權



重視性別意識 消除性別歧視

性別主流化

- ♥ 看見性別差異，正視弱勢性別的需要，拒絕「性別盲」。「性別主流化」強調於各領域皆融入性平觀點，彌平差異、滿足需要，以達成性別的實質平等為終極目標。

性別平權

- ♥ 消除社會中對婦女及性別一切形式的歧視。
- ♥ 促使大眾檢視生活週遭的性別不平等情況。
- ♥ 落實任一性別不少於三分之一之政策規定，不因性別影響升遷，僱用身心障礙及原住民等，促進多元及共榮之決策參與。
- ♥ 建立尊重多元性別的態度及平等相處的互動。

性別暴力零容忍暨性騷擾防治

- ♥ 親密關係受暴者可撥打110或113保護專線。
- ♥ 呼籲重視防治數位/網路性別暴力之情形。
- ♥ 關注弱勢性別、身心障礙者、兒童及少年、高齡者及不利處境者免受歧視及受暴之處遇。
- ♥ 防治性騷擾之政策宣示。
- ♥ 舉辦性騷擾防治教育訓練。
- ♥ 建立職場性騷擾及反霸凌申訴系統。
- ♥ 女性夜間工作安全措施（交通或住宿安排）。
- ♥ 宣導對網路或數位性別暴力之認識與反霸凌措施。

性別平等相關政策與法規

國外

消除對婦女一切形式歧視公約 (CEDAW) 及兩公約

國內

- ※消除對婦女一切形式歧視公約施行法
- ※性別平等政策綱領
- ※性別平等工作法
- ※性騷擾防治法
- ※跟蹤騷擾防治法
- ※刑法
- ※兒童及少年性剝削防制條例
- ※性侵害犯罪防治法
- ※犯罪被害人權益保障法

關懷e起來



家暴案件線上通報

113線上諮詢

<https://ecare.mohw.gov.tw>

杜絕職場上的#MeToo 什麼是「性騷擾」？

違反他人意願而向他人實施與性或性別有關之行為，若造成對方的嫌惡，不當影響其正常生活進行的，都算是「性騷擾」。



經濟部產業發展署
Industrial Development Administration
Ministry of Economic Affairs

產業發展署性別主流化專區
掃描QRcode了解更多資訊
網址 <https://pse.is/5axvx4>



如有性別相關問題
可查詢行政院性別平等處
網址 <https://gec.ey.gov.tw/>



營造友善家庭 職場環境

員工工作安穩 企業形象升等
力行家務分工 家庭和樂升溫



珍視員工價值

性別平權 幸福升等

讓職場員工平等發揮實力、實現自我，促進各類性別及身心障礙之工作者均受益。

- ♥ 鼓勵企業推動友善家庭方案，提供員工兼顧工作及家庭之彈性工時與休假制度，並鼓勵家庭成員分擔家務，促進工作與家庭之平衡。
- ♥ 協助員工家庭照顧，如托兒設施、哺(集)乳室、育兒津貼規定等，營造友善育兒環境。
- ♥ 鼓勵企業僱用二度就業婦女及中高齡勞工，營造中高齡友善之再就業環境。

員工協助方案 (EAPs)

員工在工作與家庭間取得平衡，照顧員工身心靈健康，考量設立心理諮商專線，提升員工生產力，組織整體受益，創造員工與企業「雙贏」。

工作面

- ♥ 增進員工對工作之適應、職位轉換、職涯發展、退休規劃及危機處理之輔導。
- ♥ 留住優秀的員工、減少員工後顧之憂。
- ♥ 倡導彈性工時之友善家庭措施方案，實施工作再設計，發揚工作兼顧家庭照護之精神。

生活面

- ♥ 提供員工有關財務、法律、稅務、繼承、交通事故、醫療糾紛及性騷擾與性平等資訊與知識。
- ♥ 避免員工因育兒、長照等問題帶來的心理與生活之干擾。

健康面

- ♥ 提供員工生涯發展教育訓練、適當身心健康管理方案以及心理諮商服務。
- ♥ 穩定員工工作情緒、紓解工作壓力、減少離職率及曠職率，並提高復職率。



經濟部產業發展署
Industrial Development Administration
Ministry of Economic Affairs

產業發展署性別主流化專區
掃描QRcode了解更多資訊
網址 <https://pse.is/5axvx4>



如有性別相關問題
可查詢行政院性別平等處
網址 <https://gec.ey.gov.tw/>



 經濟部產業發展署

地址：台北市大安區信義路三段 41-3 號

電話：(02)2754-1255

傳真：(02)2704-3753

網址：<https://www.ida.gov.tw>



財團法人台灣產業服務基金會

地址：台北市大安區四維路 198 巷 39 弄 14 號 1 樓

電話：(02)2784-4188

傳真：(02)2784-4186

網址：<https://www.ftis.org.tw>