

教育部教學實踐研究計畫成果報告  
Project Report for MOE Teaching Practice Research Program

計畫編號/Project Number：PEE1080097

學門專案分類/Division：工程

執行期間/Funding Period：2019/08/01-2021/01/31(展延半年)

(計畫名稱/Title of the Project) 讓我們來設計一個再生水處理工程  
(配合課程名稱/Course Name) 專題實作「水處理設計與施工」

計畫主持人(Principal Investigator)：林俊德

共同主持人(Co-Principal Investigator)：陳啟川

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：逢甲大學

環境工程與科學系(林俊德)、航太與系統工程學系(陳啟川)

成果報告公開日期：

立即公開 延後公開(統一於 2022 年 9 月 30 日公開)

繳交報告日期(Report Submission Date)：2021 年 3 月 22 日

## 計畫名稱: 讓我們來設計一個再生水處理工程

Project title: Let's Design A Reclamation Water Treatment Engineering

### 1. 研究動機與目的(Research Motive and Purpose)

在 106-1 學期申請人第一次以 MBR 為主題做為大四終端課程之「專題實作」及 107-1 學期正進行中的課程，申請人觀察到本校環境工程與科學系學生，對程序控制上較難以在課堂講授方式明白其對程序之重要性及許多參數之交互關連。我們以工程專案模式進行，讓同學整合應用過去所學相關的學科及知識，規劃一再生水處理及回收案，聘請專業的環工技師作為本課程之業師，亦補充講解一些簡單的儀控及介紹 P&ID 讓同學明瞭，但申請人觀察到學生對程序控制上之了解略嫌不足。我們每學期均安排參觀實際有使用 MBR 之水資源回收中心或廢水處理廠，但是在程序控制這方面，通常是一班主修環境工程與科學的學生普遍較弱的一環，這是由於程序控制需要有一些電腦程式語言背景，大部分學生限於過去沒有相關經驗或修過相關課程，較難一下子就理解程控。為補足這方面的不足，申請人希望透過此教學實踐研究計畫，建立一套教學示範用之 MBR 控制系統，可以在課堂中展示給學生了解改變那些參數對生物反應之影響及降低薄膜堵塞的不同方式。我們想要建立以 LabVIEW 虛擬儀控於控制與量測一套 MBR 系統中的生物處理水質參數(如: 溶氧 DO、混合液懸浮固體濃度 MLSS、生化需氧量 BOD、化學需氧量 COD 等)、(液位計及流量計)及薄膜操作參數(如: 通量 Flux 及壓力 TMP)。申請人於本計畫課程教學現場試圖解決之問題，如圖 1 所示。

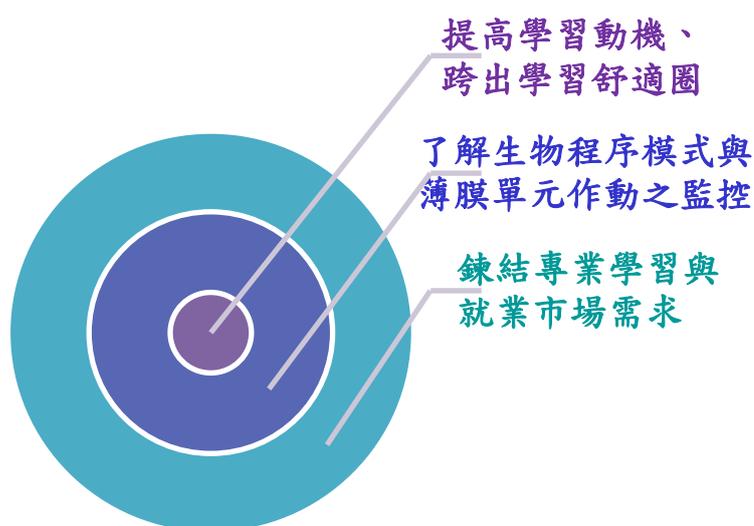


圖 1、申請人於課程教學現場試圖解決之問題

(1)教學實踐研究計畫動機 (如: 研究的發想背景、問題意識、問題重要性、影響及應用層面等)

本計畫動機為解決教育現場遇到的問題，以學生學習為主體進行探討。在去年(106-1 學期)申請人第一次以 MBR 為主題做為環境工程與科學系大四終端課程(Capstone course)之「專題實作」及今年(107-1 學期)正進行中的課程，申請人觀察到本系學生，對程序控制上較難以在課堂講授方式明白其對程序之重要性及許多參數之交互關連，因此在教育部[2]及校內[3]對此計畫之說明會，希望藉此計畫能協助學生多了解工程設計中程序控制及參數與模式之意義與應用，如申請人所繪下圖 5，為本計畫之研究動機。

#### ✓申請人規劃終端課程導入創新教學方法

根據中華工程教育學會(IEET)的說明[4]，“capstone 指建築物最頂層與最後一塊石頭，以穩固建築結構，使順利完工。衍生在大學教育的意義，係指學生最後、最巔峰的學習經驗，讓學生統整、分析、應用並深化其在學科領域和跨學科領域之所學，使學習能夠穩固完成的整合性課程。這也是大學生從教育到職業的轉折點，為學生提供一個對過去學習的總結，又為學生提供一些新主題的探索，幫助其超越現有知識範疇，拓展到工作世界的挑戰”。因應這些要求及願景，逢甲大學環境工程與科學系大四上規劃之專題實作(終端課程)，希望能達成學生自我學習表現之檢視，包括「整合」、「實踐」及「過渡」三個面向，“將學生四年所學到的零碎知識與經驗整合，幫助學生以較宏觀的視野建構知識，形成跨學科的觀點。再將先前所學知識和技能應用在真實的生活場景中，從而培養各種能力，包括溝通能力、獨立決策的能力、團隊合作能力、發現分析並解決問題的能力、自我評估及評價他人的能力與蒐集、分析及綜合資料的能力等，同時並有責任感以及關心自然和人類發展的品質。最後以產出成果的方式，幫助學生瞭解並發展職場工作所需的基本技能，增加學生實際工作經驗，使他們更快、更好的適應未來崗位的需求”，因此申請此相關主題作為終端課程之精進。

沒興趣



講光抄? 背多分?

聽不懂



沒學過程序控制!  
生物處理程序模型?  
薄膜單元反沖洗?

沒做過



圖片來源:[5]

學而不思→學中做  
思而不學→做中學

圖 2、申請人於課程教學現場觀察到及試圖解決之問題

## 2. 文獻探討(Literature Review)

薄膜生物反應器(Membrane Bioreactor, MBR)在國內的工業廢水及水回收應用已有十多年歷史[6]，從高科技的光電業廢水到含許多難分解有機物之石化業廢水[7]，MBR 已證實是一高效率且節省廢水處理用地之水處理及再生技術。國內公營或公辦民營污水處理廠在觀望多年後，目前亦有許多開始興建、更新或已完工使用，如平鎮工業區污水處理廠之整建、營運及移轉(ROT)案[8]、桃園北區水資源回收中心、台中的水滷水資源回收中心、黎明社區污水處理廠污水設施、臺北大學特定區等地。MBR 已知可得穩定之出流水質，然而在申請人過去參與多處污水處理廠之實際輔導或水資源回收中心實地稽核等工作中發現，國內對於 MBR 之操作仍保持在相對落後的觀念及狀況，廠商(或操作人員)一遇到 MBR 有問題，動輒怪究薄膜堵塞而未好好思考如何搭配生物程序，將整個處理系統作最佳化，使得空有昂貴之薄膜及良好硬體設備，而在操作營運上無法作最有效及省能之利用殊為可惜。對於薄膜堵塞之預防及不同清洗維護，操作人員也未有正確的觀念，均仰賴薄膜供應廠商給定之初始建議參數，以至於無自主能力根據水質變化改善相關操作條件或調整控制系統。因此申請人在 106 年曾寫過科技部計劃書「永續環境及循環經濟之薄膜生物反應器智慧操作模式研究」[9]，這兩年在教學上也是朝向訓練再生水產業相關人才及節能型 MBR 處理回收系統之操作維護訓練為目標。2011 年 Ferrero 等人[10]對中空纖維及平板式兩種 MBR，開發一以“效能為基礎(performance-based)”之自動控制系統，以對 MBR 之曝氣最佳化；透過即時之控制(在每 10 秒回傳之壓力與通量訊號)，其“當下滲透量趨勢(current permeability trend)”可與每日之“參考滲透量趨勢(reference permeability trend)”比較作回饋調整，此模式可降低薄膜曝氣所耗能源高達 21%。2012 年接著 Ferrero 等人[11]回顧生物系統與過濾程序自動控制相關文獻，如圖 5 所示，包括：開放迴路(open-loop)及封閉迴路(closed-loop)等，亦簡略介紹四種可測薄膜堵塞相關之感應器或方法，並在最後做比較及相關模式之評論。2014 年 Gabarrón 等人[12]曾對一實廠 MBR 之節能及操作成本策略進行研究。2016 年 Yusuf 等人[13]則回顧以不同空氣流曝氣、反洗及閒置操作模式 MBR 之薄膜堵塞控制策略。2015 年 Pimentel 等人[14]以商業化電腦軟體(GPS-X)模擬 MBR 系統，利用一簡單動態模型，描述薄膜堵塞及生物降解，對生物質量隨時間在薄膜表面之增加率( $dm/dt$ )、基質利用率( $dS/dt$ )、微生物增長率( $dX/dt$ )及薄膜堵塞之濾餅受到空氣沖刷脫除之容易性( $d\beta/dt$ )四個參數做不同時間尺度之模擬。2017 年他們[15]又以一實驗室規模之迴流水產沉浸式 MBR 實驗，結合各厭氧、缺氧、好氧槽之參數來對相同模式實驗，並以 LabVIEW 蒐集重要參數之數據紀錄如下圖 3 所示，其研究之程序控制系統將作為本研究建構教學工具之參考。

而在生物處理程序之數學模式上，2004年Gernaey [16]曾回顧應用活性污泥法在廢水處理廠相關之模型與模擬。2009年Jiang等人[17]曾將傳統活性污泥法(CAS)常用之數學模型ASM2d應用到MBR上，他們以下三點兩者主要之不同：(1) MBR中消化菌之最大比生長率被低估，這可能是由於溶解性微生物產物(SMP)在高MLSS濃度下之抑制作用；(2) 有發現到生物質(biomass)對氧及氮有較大之親和性，這可能是與MBR之污泥膠羽較小有關；(3) 薄膜可以被簡化為一連續流過點分離器，此簡化對活性污泥模型結果影響不大，但可大大提升模型模擬之速度。Fenu等人[18]曾回顧以原始(unmodified)與修正(modified)過活性污泥模式(ASM)基礎模式在MBR處理廢水之應用，2011年Insel等人[19]則模擬MBR中之同時硝化脫硝作用(simultaneous nitrification and denitrification, SNdN)，特別探討薄膜在氧氣擴散之質傳限制及討論生物質引發氧傳限制(biomass induced oxygen transfer limitations)對去除氮的效果；他們的研究結果指出：藉由模式模擬調控之最佳溶氧設定點，可以在不同MLSS下完全達成氮之去除。2011年Mannina等人[20]提出一整合模型模擬MBR之生物及物理程序。2013年Hauduc等人[21]亦對ASM相關七種活性污泥模式之概念與限制提出關鍵性回顧，其中針對於生物除磷程序之電子接受者及接收條件(即在厭氧An/缺氧Ax/好氧Ox)之機制，考量各項基質：如碳源(以理論需氧量ThOD計)、氮源(N)及磷源(P)參數在不同代謝概念下之交互關係估算，有完整之比較說明。

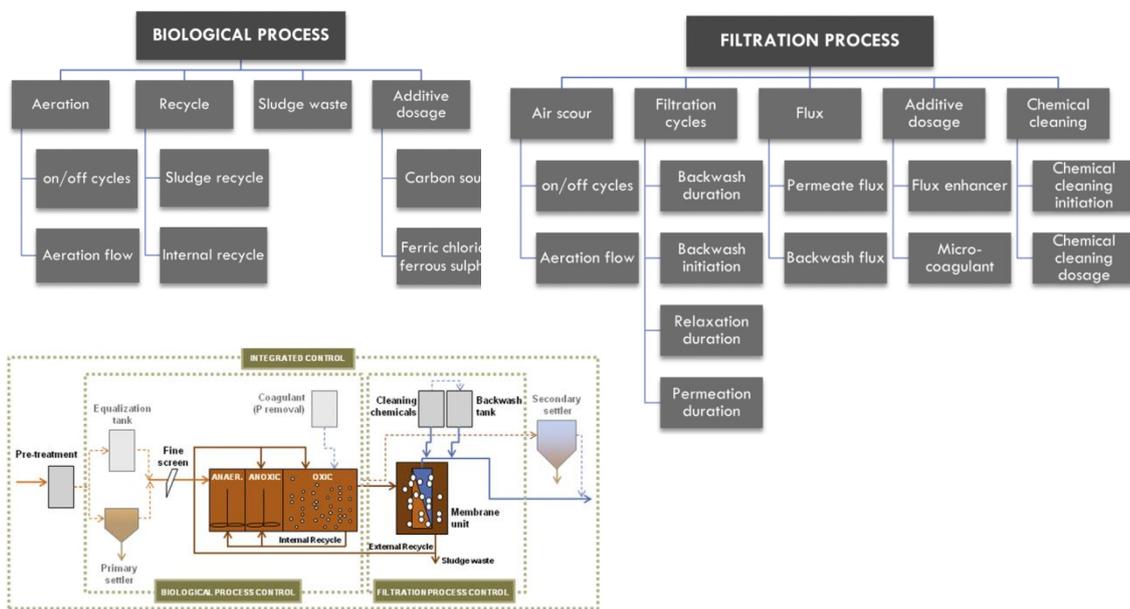


圖3、薄膜生物反應器之生物程序與(膜)過濾程序之各項參數及流程[11]

此外2013年Ozdemir與Yenigun [22]曾以一100 CMD之模廠規模MBR進行兩年研究，在高生質量系統下之能耗、成本分析與污泥產量，發現該模廠每單位立方體積過濾液之能耗為1.03-1.17 kWh，其中65-70%之能耗在薄膜表面空氣沖刷(air scouring)，並與一傳統生物營養去處

(biological nutrient removal, BNR)程序之實廠比較，每單位立方體積處理後放流水之能耗較小(0.45 kWh)，每單位去除COD之污泥產量為0.65 kg<sub>MLSS</sub>/kg<sub>COD</sub>。該模廠在初始期(前21天) MLSS在2500-5000 mg/L之間時，每單位去除COD之污泥產量為0.72 kg<sub>MLSS</sub>/kg<sub>COD</sub>，在62天操作之後MLSS提高到7000 mg/L之濃度，每單位去除COD之污泥產量持續下降，一直到140天操作後MLSS提高到15000 mg/L之濃度，下降到0.25 kg<sub>MLSS</sub>/kg<sub>COD</sub>。國內2013年Atcharapun Nunyabut [23]以一擔體-好氧MBR之程序進行除磷研究，改變污泥回流率、COD/ TP比和SRT三個操作因子，其中第一無氧反應槽使用海綿作為生物載體(biocarrier)，第二好氧薄膜生物反應槽則使用中空纖維之PVDF薄膜(孔徑0.1 μm)，HRT分別為3小時和6小時。結果顯示提高COD/ TP比有助於增加磷的去除率，降低溫度則會影響磷酸鹽(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P)的釋放，而在MBR後過濾液中之磷濃度均極低，未來由污泥中回收磷之潛在空間極大。由以上文獻回顧可知設計一MBR再生水處理工程需要考量諸多程序參數及了解程序模式以掌握操作及設計上各種變數。

### 3. 研究問題(Research Question)

研究「**專題實作**」課程 MBR 系統中上課所需的生物處理水質參數(如: 溶氧 DO、混合液懸浮固體濃度 MLSS、生化需氧量 BOD、化學需氧量 COD 等)、(液位計及流量計)及薄膜操作參數(如:通量 Flux 及壓力 TMP)教學內容之學習成效及調整方向。

### 4. 研究設計與方法(Research Methodology)

在「**專題實作**」課程中業師以講課方式說明 P&FD 及 P&ID，隨後在「**水處理設計與施工(一)**」由申請人帶領各組學生，以小組實作方式蒐集數據，藉由改變操作參數所量得之數據，讓學生理解設計這些操作參數

(如: DO、MLSS、量 BOD、COD、液位及流量及 Flux 及 TMP)及相關所需要之程序控制。

在「**專題實作**」課程中擬採用問卷調查，以及期中、期末專案報告，評估、了解此創新教具對大四學生對**專題**設計上之幫助。在「**水處理設計與施工(一)**」則以小組討論蒐集數據之方式(如圖 7(f))，對本計畫對學生理解程序控制及操作參數的程度進行了解。

### 5. 教學暨研究成果(Teaching and Research Outcomes)

#### (1) 教學過程與成果



圖 4、教學實踐研究計畫研究結構

在 108-1 學期的大四終端課程，期末成果發表簡報及評審老師講評，如下圖 5 照片所示。  
同學在實際模擬中團隊合作、自信表達，並回應評審老師們給予的建議，收穫豐富。



圖 5、108-1 學期的大四終端課程期末發表及評審講評[15]

在 108-1 及 109-1 兩學期的大四終端課程，期末成果亦均發表海報，如下圖 6 照片所示。

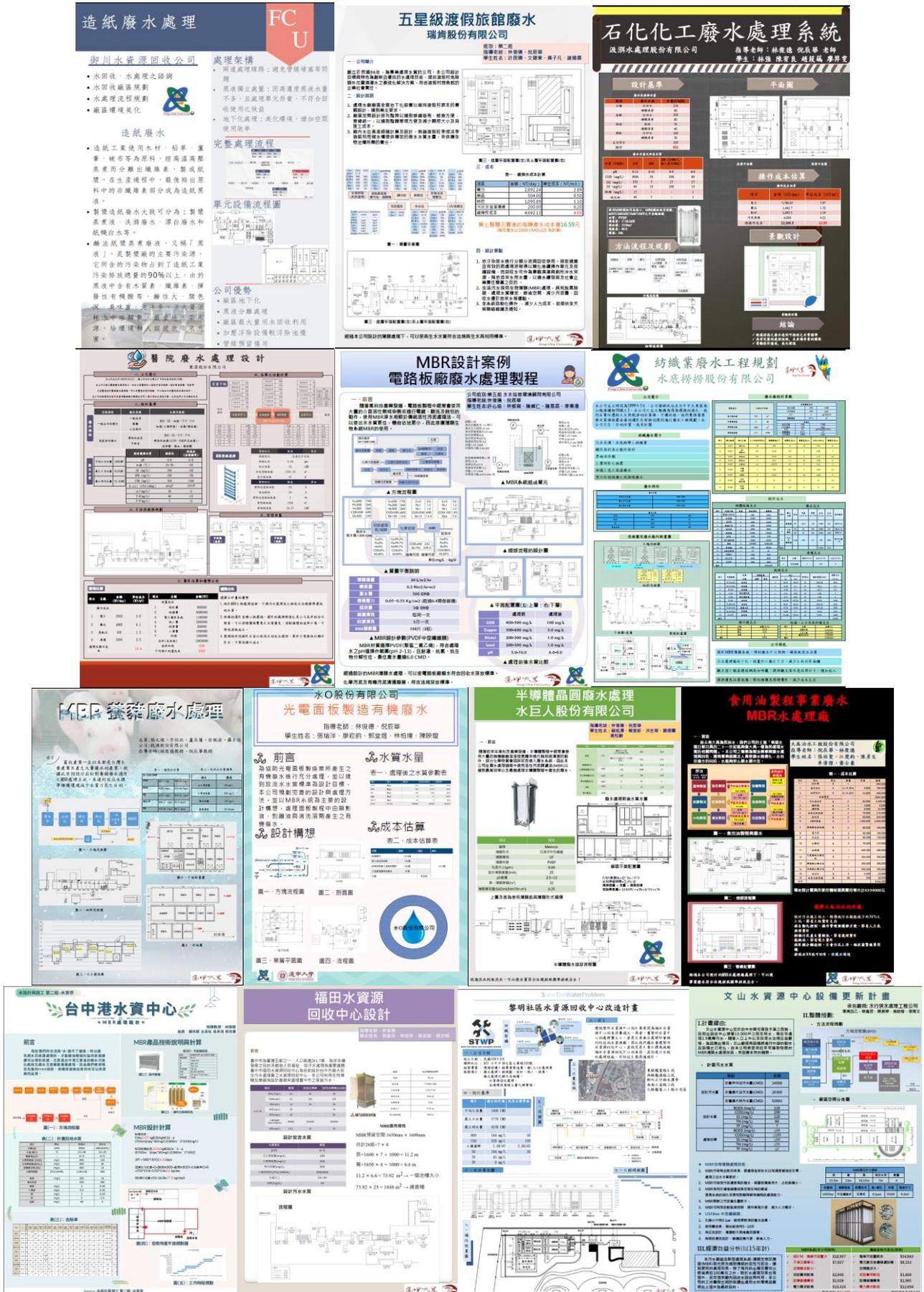


圖 6、108-1 及 109-1 兩學期的大四終端課程期末成果發表海報

□ 學習基本程序控制系統及程序參數監測與訊號傳輸之概念

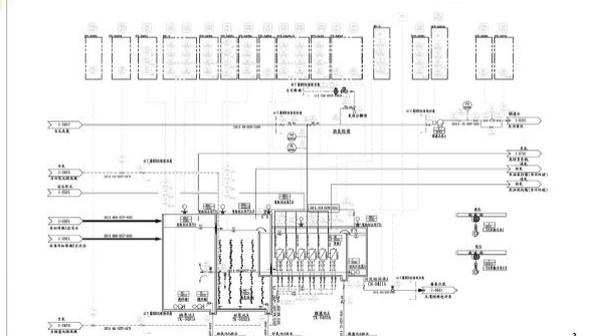
在 108-1 學期的大四終端課程，老師在上課中講授程序及儀表圖(P&ID)及 PLC。在 109-1 學期的大四終端課程，邀請環工技師擔任業師，花兩周時間講解。



## 管線、閥類、量水設施及貯槽

講師：許振峯

### P&ID圖(Piping and Instrumentation Diagram/drawing)



### 前言

- 廢水處理藉由管線輸送及閥類控制，將各處理單元功能加以聯結，以完成廢水處理淨化目的。
- 教學目標
  - 管線材質與目的
  - 閥類用途
  - 量水設施/流量計
  - 槽體材質

### 管線

- 金屬管:多用於壓力管線、製程廢水、有機廢水、高溫廢水等。
- 混凝土管:大口徑重力流收集管線
- 塑化管:小口徑重力流收集管線、酸鹼廢水、壓力管。







圖 7、業師上課內容及問題討論情形

□ 校外實習場域(包含業界、社區、與學校進行產學合作場域或合作夥伴場域)

在 106-1 學期曾搭遊覽車參觀「台中水滴水資源回收中心」及「潭子加工區廢水處理廠」兩處之薄膜生物反應器(membrane bioreactor, MBR)，107-1 之後則到本校附近步行距離內可走到之「台中水滴水資源回收中心」做校外實習場域。此教學參觀均安排在期中之後，在初步講

解讓同學已對水再生工程及設計目標有點概念後，再進行實地參觀以更體會了解工程相關需要解決之問題。在本研究計畫時間內(108-1 及 109-1 兩學期)之課程，所進行之校外實習場域(台中水滴水資源回收中心)如下圖 8 照片所示。



圖 8、本研究計畫時間內(108-1 及 109-1 兩學期)之課程所進行之校外實習場域照片。

另外，本人亦應邀至參觀場域—台中市水滷水資源回收中心，做教育訓練(109年5月29日及109年10月15日)，如下圖照片所節錄之兩次教學投影片，協助產學進行多元合作與在職學習增進MBR系統原理及維護保養相關知識。

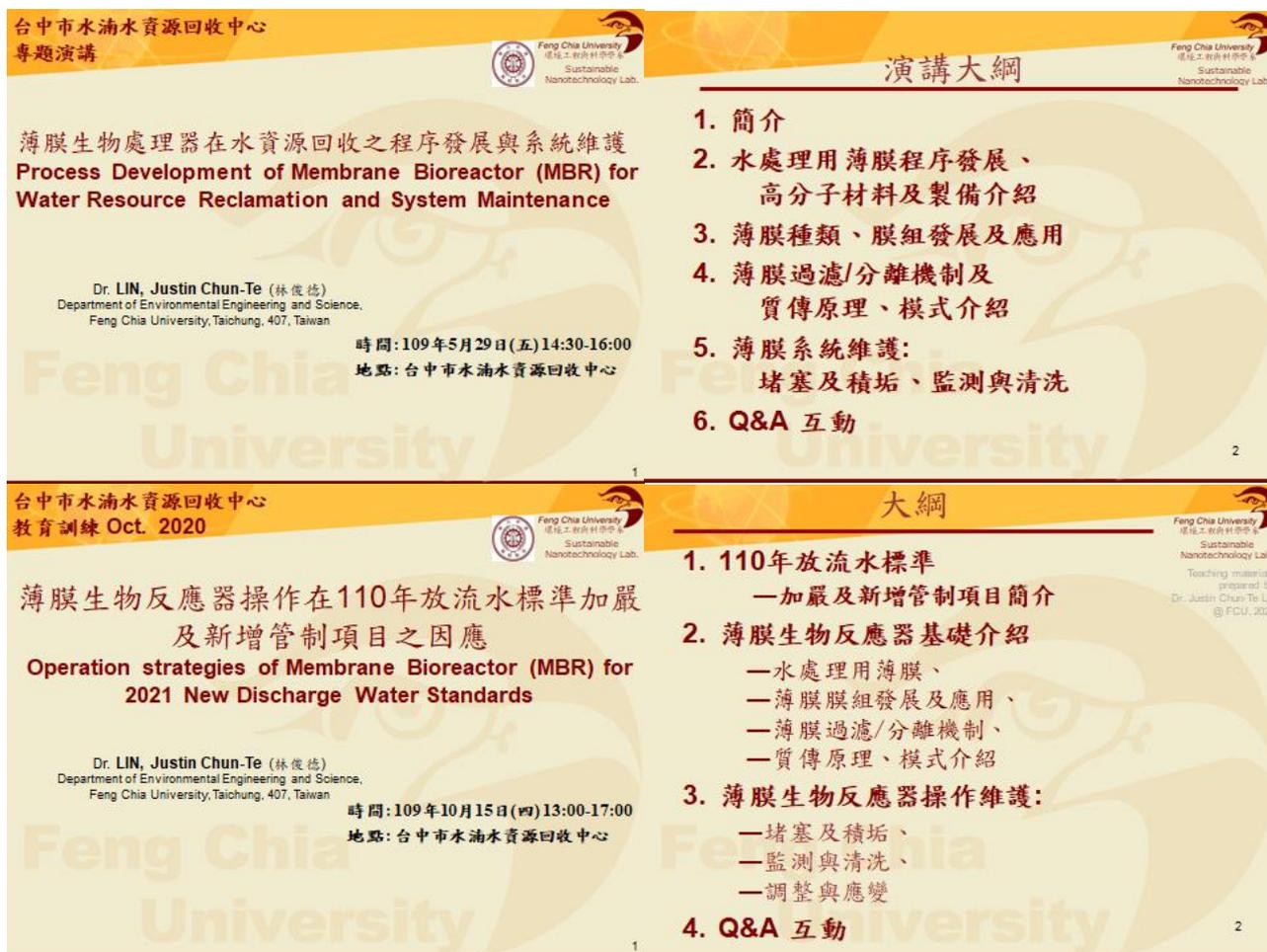


圖 9、應邀至參觀場域—台中市水滷水資源回收中心，做教育訓練(109年5月29日及109年10月15日)兩次之教學投影片節錄。

### (1) 教師教學反思

在 108-1 及 109-1 兩年的大四終端課程，選修課程分組同學對了解程序控制等基本概念均有增加，除了知道相關應用在水處理工程上之重要性，也意識到自身之不足及未來終身學習之必要。有的同學畢業後到水處理公司上班更是有體會到，當初壓力大的課程要求是有幫助的。本課程內容有的同學抱怨內容很多，質量平衡的概念是環工系學生較缺乏的，而選修的「環工單元操作」課程是在大四上(有很多同學也沒選)，因此期初花大部分時間幫同學回想以前大一到大三學過的「工程圖學」、「流體力學」、「水文學」、「水質分析」、「給水工程」、「污水工程」等相關知識，串聯同學們過去在水處理這方面的知識，之後則強調應用質能平衡在單元程序設計上，並補充專案進行所需各項資料。

## (2) 學生學習回饋

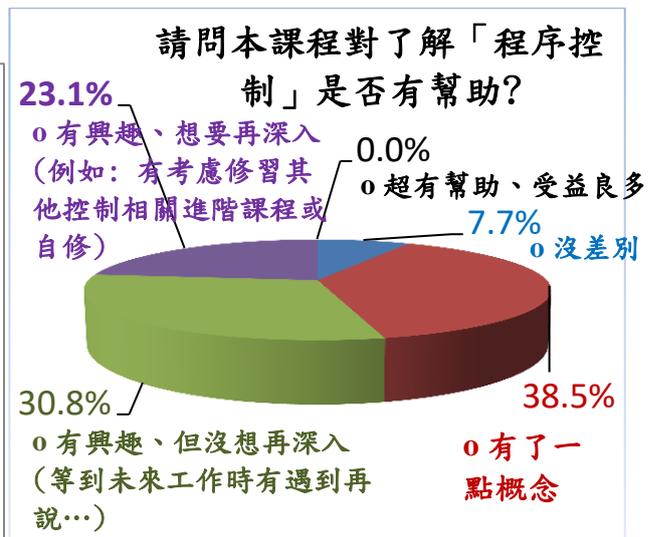
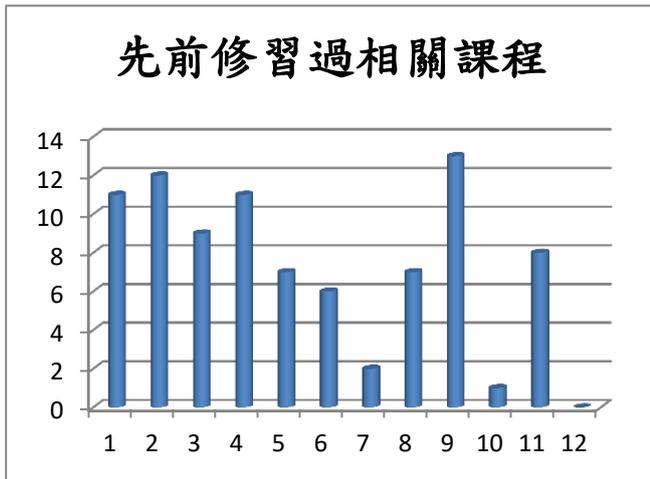
108-1 學期環科系之終端課程採雙軌制(兩班混合、有兩個主題)，此一課程有 47 位同學選修，分為十個設計題目(每組約 4-5 人，共分十組)，期末系上針對「課程」相關所做的問卷調查結果，修課同學反應如下：

- 此課程非常有助於我們了解產業的需求，也可以讓我們參與與設計。
- 本課程可以學到許多的水處理知識，但有些部分為較專業的相關計算，對於大四上學期某些同學需要升學的有部分課業壓力，課程雖然有趣，但仍建議是否把課程往前排併加長課程時間，讓同學有更多的時間學習。
- 有助於提升課程組織能力，報告能力，團隊合作，對於實廠水處理也有更深的認識。
- 老師能將實例的部份能清楚完整的紙本作為額外教材，有助於同學們在學習及模仿可以更了解。
- (1)希望能將"實例的部分"能清晰完整的紙本資料作為講義之外的隨手教材有助於同學們再模仿學習及計算筆記(工程計算)能齊全及料了解。  
(2)我覺得在講課內容當中可以再增加更多實際的問題。  
(3)提高維持週期性報告，並由上述紙本模仿部分進行個案的報告缺失及優缺點。  
(4)真心感謝。
- 沒有特別感觸，課程有點短。

109-1 學期本系之終端課程採四軌制(兩班混合、有四個主題可以選)，此一課程有 16 位同學選修，分為四個設計題目(每組 4 人，共分四組)，期末系上針對「課程」相關所做的問卷調查結果，修課同學亦有如下反應：

- 有學到很多設計污水處理的細節，一些設計的重點，還有一些要注意的地方，蠻值得。
- 希望老師能將時間做更好的利用，準備時間太短，無法應付如此廣的題目。
- 過程中學習到許多實務的問題，但在時間的規劃上須多注意，以避免課程不夠完整，在課程的說明上希望能更加完整。

本研究亦在 109-1 學期的課程期末時，進一步針對「程序」相關學習成效進行問卷調查(如附件一所示)，內容業經過「研究倫理審查委員會」審核通過(如附件二所示，同意研究證明書編號: CCUREC108071002)，十個題目結果之質性分析如下：



對問題 1 之調查(1.工程圖學、2.流體力學、3.水文學、4.水質分析、5.環境微生物、6.環境化學、7.儀器分析、8.給水工程、9.污水工程、10.環工單元操作、11.水處理設計與施工、12.其他)繪圖如上，問題 3 中 92.3% (十二位學生)表示過去未曾用過或聽過任何軟體與「程序控制」有關，而問題 4 學生反應與「程序」相關的部分覺得比較難的地方，分成四類如下：

- 「程式碼」(Excel?)、「流力計算」、「流體力學、給水工程」
- 「軟體不熟」(Excel?)、「設計&規劃，軟體的應用」
- 「設備」、「設計、設備、理論」、「設計」
- 「好像沒有課程有關」、「需要整合先前修習過的課程，程序要注意前後單元有無連接錯誤，單元設計和細部設計，參數設計較難」

對問題 5 及問題 9，回答「是」均佔 92.3%(十二人)、回答「否」則佔 7.7%(一人)；對問題 6，參與調查十三位同學均回答「是」(100%)，並有以下回饋：

- 可以讓學生知道設計參數的適用性等
- 有，發現現有知識沒辦法實際應用於工作上
- 結合不同學科的認知

對問題 7，回答「是」均佔 76.9%(十人)、回答「否」則佔 7.7%(一人)、回答「沒差別」則佔 7.7%(一人)；對問題 8 有 84.6%(十一位同學)回答「是」均佔 84.6%、回答「否」及「沒差別」均佔 7.7%(各一人)；對問題 10 則有 92.3%(十二人)回答「是」覺得對個人未來之專業技能與職涯發展有否助益、回答「否」則有一人。

## 6. 建議與省思(Recommendations and Reflections)

建議未來有心想要再深入的同學可以選修化工系「程序控制」課程或是本校自動控制系相關課程，雖然修完時間只剩大四下一學期，但是可以利用還在學校的時間及資源(如:學校所訂購之程控軟體)學習使用或多去旁聽，未來有終身學習的概念才可持續增進職場上的競爭力。個人在課程設計及執行上之省思，則是先了解學生過去大一到大三在相關領域學習狀況，在每周檢視不同組別學生完成設計專案之困難點及落差，再個別加強輔導，並配合學校跨領域場域及邀請業師在課堂上補充實際案例，可提高同學之學習動機及拓展畢業後工作專業能力之視野，並檢討每學期學生上完課程之反應，調整難易度及課程設計之進度安排。

### 一. 參考文獻(References)

- [1] 逢甲大學教學發展中心(Center for Teaching and Learning Resource)全球資訊網，<http://www.ctrl.fcu.edu.tw/>，檢索日期:2018年12月2日。
- [2] 教育部教學實踐研究計畫，中部場—台中靜宜大學，2018年10月5日。
- [3] 108學年度教學實踐研究計畫(逢甲大學)校內說明會，第四國會議廳(人言大樓 B1)，2018年10月11日。
- [4] 中華工程教育學會(IEET)網站，<https://www.ieet.org.tw/>，知識庫·Capstone Course，2018，檢索日期:2018年12月2日。
- [5] 開一門讓培訓效益最大化的團隊課程，<http://www.asia-learning.com/>，亞太培訓顧問，檢索日期:2018年12月2日。
- [6] 倪辰華、林俊德，薄膜反應器在工業廢水處理與回收的應用-台灣近十二年來的發展經驗，「工業污染防治」期刊，第125期103年6月。
- [7] Justin C.T. Lin (contributor), Ch. 5 Case studies: Ch. 5.2.2 Formosa, Yunlin, Taiwan, Membrane bioreactors for industrial wastewater treatment, Simon Judd (author), Judd and Judd Ltd (publisher), UK (2014), 160 pages.
- [8] 林俊德，主持人，產學研究計畫：『平鎮污水處理廠薄膜生物反應器模廠分析』，100年6月至101年7月。
- [9] 林俊德，永續環境及循環經濟之薄膜生物反應器智慧操作模式研究，106年度科技部計畫書，106年12月31日。
- [10] G. Ferrero, H. Monclús, G. Buttiglieri, J. Comas, I. Rodriguez-Roda, Automatic Control System for Energy Optimization in Membrane Bioreactors, *Desalination* 268 (2011) 276–280.
- [11] G. Ferrero, I. Rodriguez-Roda, J. Comas, Automatic Control System for Energy Optimization on Membrane Bioreactors, *Water Res.* 46 (2012) 342–3433.
- [12] S. Gabarrón, G. Ferrero, M. Dalmau, J. Comas, I. Rodriguez-Roda, Assessment of Energy-Saving Strategies and Operational Costs in full-scale MBRs, *J. Environ. Manage.* 134

(2014) 8–14.

- [13] Z. Yusuf, N.A. Wahab, S. Sahlan, Fouling Control Strategy for Submerged Membrane Bioreactor Filtration Processes using Aeration Airflow, Backwash, and Relaxation: a Review, *Desalin. Water Treat.* 57 (2016) 17683-17695.
- [14] G.A. Pimentel, A.V. Wouwer, J. Harmand, A. Rapaport, Design, Analysis and Validation of a simple dynamic model (GPS-X) of a submerged MBR, *Water Res.* 70 (2015) 97-108.
- [15] G.A. Pimentel, P. Almeida, A.-L. Hantson, A. Rapaport, A.V. Wouwer, Experimental validation of a simple dynamic model of a laboratory scale recirculating aquaculture system fitted with a submerged membrane bioreactor. *Biochem. Eng J.* 122 (2017) 1–12.
- [16] K.V. Gernaey, M.C.M van Loosdrecht, M. Henze, M. Lind, S.B Jørgensen, Activated Sludge wastewater treatment plant Modelling and Simulation: State of the Art, *Environ. Model. Softw.* 19 (2004) 763-783.
- [17] T. Jiang, G. Sin, H. Spanjers, I. Nopens, M.D. Kennedy, W. van der Meer, H. Futselaar, G. Amy, P.A. Vanrolleghem, Comparison of the Modeling Approach between Membrane Bioreactor and Conventional Activated Sludge Processes, *Water Environ. Res.* 82 (2009) 432– 440.
- [18] A. Fenu, J. Roels, T. Wambecq, K. De Gussem, C. Thoeye, G. De Gueldre, B. Van De Steene, Energy Audit of a Full Scale MBR system, *Desalination* 262 (2010) 121–128.
- [19] G. Insel, S.M. Hocaoglu, E.U. Cokgor, D. Orhon, Modelling the effect of biomass induced oxygen transfer limitations on the nitrogen removal performance of membrane bioreactor, *J. Membr. Sci.* 368 (2011) 54–63.
- [20] G. Mannina, G. Di Bella, G. Viviani, An integrated model for biological and physical process simulation in membrane bioreactors (MBRs), *J. Membr. Sci.* 376 (2011) 56–69.
- [21] H. Hauduc, L. Rieger, A. Oehmen, M.C.M. van Loosdrecht, Y. Comeau, A. Héduit, P.A. Vanrolleghem, S. Gillot, Critical Review of Activated Sludge Modeling: State of Process Knowledge, Modeling Concepts, and Limitations, *Biotechnol. Bioeng.* 110 (2013) 24–46.
- [22] B. Ozdemir, O. Yenigun, A Pilot Scale Study on High Biomass Systems: Energy and Cost analysis of Sludge production, *J. Membr. Sci.* 428 (2013) 589–597.
- [23] Atcharapun Nunyabut, 碩士論文, 嘉南藥理大學環境工程與科學系(2013), 利用擔體-好氧 MBR 程序除磷之研究。
- [24] E. Morgenroth, E. Arvin, P. Vanrolleghem. The use of mathematical models in teaching wastewater treatment engineering. *Water Sci. Technol.* 45 (2002) 229-33.
- [25] M.A. Butkus, M.B. Kelley. Approach for integrating professional practice issues into undergraduate environmental engineering design projects. *J. Prof. Issues Eng. Educ. Pract.* 130 (2004) 166-172.
- [26] A.S. Hanna, K.T. Sullivan. Bridging the gap between academics and practice: A capstone design experience. *J. Prof. Issues Eng. Educ. Pract.* 131 (2005) 59-62.
- [27] J.C. Dunlap, Problem-based learning and self-efficacy: How a capstone course prepares students for a profession, *ETR&D-Educ. Tech. Res. Dev.* 53 (2005) 65-85.
- [28] T. Hug et al., Wastewater treatment models in teaching and training: the mismatch between

education and requirements for jobs. *Water Sci. Technol.* 59 (2009) 745-753.

- [29] N. Hotaling, B.B. Fasse, L.F. Bost, C.D. Hermann, C.R. Forest, A quantitative analysis of the Effects of a Multidisciplinary Engineering Capstone Design Course. *J. Eng. Educ.* 101 (2012) 630–656.
- [30] M.S. Stanford et al., Evaluating student and faculty outcomes for a real-world capstone project with sustainability considerations. *J. Prof. Issues Eng. Educ. Pract.* 139 (2013) 123-133
- [31] K. Leahy, D. Phillips, E. Debartolo, P. Brackin, S. Chenoweth, A. White, Encouraging Creativity in Capstone Design. *Int. J. Eng. Educ.* 33 (2017) 1468-1484.
- [32] S. Howe. Cultivating the Capstone Ecosystem to Educate the Engineer of 2020. *Int. J. Eng. Educ.* 34 (2018) 653–658.
- [33] A. Regueiro, D. Patiño, C. Míguez, M. Cuevas. A Practice for Engineering Students Based on the Control and Monitoring an Experimental Biomass Combustor using LabVIEW. *Comput. Appl. Eng. Educ.* (2017) 392–403.
- [34] N.J. Delson, Increasing Team Motivation in Engineering Design Courses, *Int. J. Engng Ed.* 17 (2001) 359±366.
- [35] 劉佳霖，化工系程序控制課程實踐問題導向學習接軌化工廠控制實務，教學實踐與創新 (2020年3月)第3卷第1期。

**二. 附件(Appendix)**與本研究計畫相關之研究成果資料，可補充於附件，如學生評量工具、訪談問題等等。

### 附件一、問卷調查

計畫名稱：“讓我們來設計一個再生水處理工程”(108 教育部教學實踐研究計畫)

計畫主持人：\_\_林俊德\_\_老師 (逢甲大學環境工程與科學系)

問卷目的及聲明：

- 本教學實踐研究計畫之目的在促使同學了解水處理工程設計中之程序控制及對單元參數(如：液位、流量與水力停留時間)、操作條件範圍(如：溶氧量與好氧/厭氧、pH 值控制及酸鹼加藥量)、處理效果(水質、溶氧量)之影響與因果關係有更清楚直接之，未來可對學生進入職場實際面對一工程設計案或建置相關系統之程序控制等有所幫助。
- 本問卷調查係針對導入新開發教材設備前後，對學生學習成效之問卷調查，請配合上課時老師說明此一新教材設備之使用方式，在課堂中以組為單位依序使用進行相關“實作”，問卷內容不會涉及個人隱私及影響學期成績。
- 本問卷結果僅提供(108 教育部教學實踐研究計畫)研究「水處理工程設計及程序控制」學習效果之影響，施測同學同意以組別(匿名)在期末成果發表公開、或以統計方式呈現在課堂上或課後之學習成果(包含：設計、書寫或實作等資料)。

問卷內容

1. 請勾選先前修習過那些課程與「水處理工程設計及程序控制」有關(不論有過或沒過均可填答)?

- 工程圖學   流體力學   水文學   水質分析  
環境微生物   環境化學   儀器分析

給水工程 污水工程 環工單元操作 水處理設計與施工 其他

2. 請問先前修習過相關課程，與「程序」相關的部分覺得比較難的地方在哪裡?  
答:\_\_\_\_\_
3. 請問過去曾用過或聽過任何軟體與「程序控制」有關?  
有 無
4. 請問使用過本課程程控軟體之人機介面，對了解「程序控制」是否有幫助?  
沒差別  
有了一點概念  
有興趣、但沒想再深入 (等到未來工作時有遇到再說...)  
有興趣、想要再深入(例如: 有考慮修習其他控制相關進階課程或自修)  
超有幫助、受益良多(例如:想以此主題作為學士或碩士論文研究之方向)
5. 請問對於在課程中或教學現場導入此類新開發教材設備，覺得是否增加學習動機或引發興趣、幫助學生了解教師除了一般講課以外之學習體驗?  
是 否 沒差別
6. 請問對於在課程中或教學現場導入此類新開發教材設備，覺得是否彌補過去所學之不足或拓展對相關控制程序之認知?  
是 否 沒差別 請說明:\_\_\_\_\_
7. 請問對於在課程中或教學現場導入此類新開發教材設備，覺得是否獲得問題解決經驗與能力?  
是 否 沒差別 請說明:\_\_\_\_\_
8. 請問對於在課程中或教學現場導入此類新開發教材設備，覺得是否在各種情境中結合既有知識想出解決問題的有效策略?  
是 否 沒差別 請說明:\_\_\_\_\_
9. 請問導入此新開發教材設備及在實作課程中之體驗後，可將所學的專業知識應用於實際場合?  
是 否 沒差別
10. 請問導入此新開發教材設備及在實作課程中之體驗後，對個人未來之專業技能與職涯發展有否助益? 並瞭解到終身學習的重要性  
是 否 沒差別

附件二、研究倫理審查同意證明書

國立中正大學人類研究倫理審查委員會

Tel: 886-5-2720411 ext:22236 嘉義縣民雄鄉大學路一段 168 號

同意研究證明書

計畫名稱：讓我們來設計一個再生水處理工程  
送審編號：CCUREC108071002  
計畫書版本及日期：第 1 版，108 年 7 月 11 日  
研究參與者同意書版本及日期：第 1 版，108 年 7 月 11 日  
計畫主持人：逢甲大學環境工程與科學系林俊德副教授  
計畫主持人計畫起訖時間：108 年 8 月 1 日至 108 年 7 月 31 日  
通過日期：108 年 8 月 14 日  
核准有效期間：108 年 8 月 14 日至 109 年 7 月 31 日  
結案報告繳交截止日期：109 年 10 月 30 日

依照本委員會規定，凡研究期間超過一年之計畫，研究計畫每屆滿一年，送本委員會進行期中審查。請於有效期限到期一個月前檢送期中報告至本會。

計畫在執行期間計畫內容若欲進行變更，須先向本委員會提出變更申請。倘若計畫主持人於非核准有效期間收案，此同意研究證明書視同無效。若研究參與者在研究期間發生嚴重不良事件，計畫主持人須立即向本委員會提出書面說明。

國立中正大學人類研究倫理審查委員會

主任委員



王雅玄

中華民國一〇八年八月十四日