

NAMR-111-014(委託研究)

應用綠色循環技術減緩沿岸生態衝擊之研究

期末報告(成果報告)定稿

中華民國 111 年 11 月

「本研究報告僅供國家海洋研究院施政參考，並不代表該會政策，該會保留採用與否之權利。」

NAMR-111-014(委託研究)

應用綠色循環技術減緩沿岸生態衝擊之研究

期末報告(成果報告)定稿

受委託單位：中原大學

研究主持人：王琳麒

協同主持人：王雅玢、游勝傑

研究助理：杜恩臨、李珊寧、陳柏寓、顏佑庭

研究期程：中華民國 111 年 3 月至 111 年 12 月

研究經費：新臺幣 162.1 萬元

中華民國 111 年 11 月

「本研究報告僅供國家海洋研究院施政參考，並不代表該院政策，該院保留採用與否之權利。」

「本研究報告絕無侵害他人智慧財產權之情事，如有違背願自負民、刑事責任。」

目 次

目 次	I
表 次	III
圖 次	V
提 要	IX
Abstract	XI
第一章 前言	1
第一節 研究緣起與背景	1
第二節 研究目的及研究重點	2
第三節 研究方法及步驟	3
第四節 預期目標	5
第二章 研究背景分析	7
第一節 我國養殖業概況	7
第二節 養殖廢水現況與處理情形	10
第三節 薄膜技術介紹	12
第四節 我國養殖漁業使用太陽能光電之情形	17
第三章 生態衝擊分析	19
第一節 評析國內外對減緩陸域污染源對沿岸生態環境衝擊之相關政策規劃、防範措施 及循環再利用技術規範	19
第二節 研析對減緩沿岸生態環境衝擊之效益	46

第四章 綠色技術研發.....	57
第一節 薄膜蒸餾處理養殖排放水循環系統及最適化操作程序	57
第二節 以循環再利用模組處理集中區域排放水之規模經濟效益及影響因子	102
第五章 結論及建議	113
第一節 結論	113
第二節 建議	115
參考資料.....	117
附錄一 實驗數據	附錄 1-1
附錄二 採購評選會評選委員意見檢核表.....	附錄 2-1
附錄三 期中審查會議委員意見檢核表	附錄 3-1
附錄四 期末審查會議委員意見檢核表	附錄 4-1

表 次

表 1-1	工作項目分類.....	3
表 2-1	2020 年與 2021 年我國魚產量比較.....	7
表 2-2	2021 年我國魚類產量及產值	8
表 2-3	常用之廢水除氨氮程序比較	15
表 3-1	向海致敬 - 「清理乾淨、友善海洋」各部會分工表.....	20
表 3-2	“透過加強全球行動協調保護海洋環境免受陸上污染” 專案.....	31
表 3-3	加拿大《一次性塑膠禁止條例》各項目禁令生效期程.....	36
表 3-4	各國、地區或城市相關減塑政策.....	39
表 3-5	110 年度我國牡蠣養殖方式及戶數	48
表 4-1	薄膜特性資料.....	64
表 4-2	流體之設定參數	66
表 4-3	本報告水質分析所使用之檢測方法	72
表 4-4	水產養殖業放流水標準	73
表 4-5	111/3/16 石斑魚養殖排放水水質	74
表 4-6	111/7/15 石斑魚養殖排放水水質	74
表 4-7	111/8/19 虱目魚養殖排放水水質	75
表 4-8	111/9/12 虱目魚養殖排放水水質	75
表 4-9	不同樣品進行 AGMD 實驗對其他離子的去除效率.....	87
表 4-10	MFC@La(OH) ₃ 動力學模型參數	98

表 4-11	MFC@La(OH) ₃ 等溫線模型參數	99
表 4-12	虱目魚與石斑魚池產 AGMD 處理參數	105
表 4-13	虱目魚池產水成本估算(不含太陽能集熱器)	105
表 4-14	石斑魚池產水成本估算(不含太陽能集熱器)	106
表 4-15	虱目魚與石斑魚池單位產水成本(考量通膨)	106
表 4-16	不同樣品 AGMD 產水水質	107
表 4-17	GWP 值	109
表 4-18	MCFj 甲烷修正因子	110
表 4-19	虱目魚排放水溫室氣體減量效益	111
表 4-20	石斑魚排放水溫室氣體減量效益	111

圖 次

圖 1-1	計畫研究流程圖	4
圖 2-1	石斑魚及虱目魚近五年產量及產值	9
圖 2-2	薄膜蒸餾技術原理圖	12
圖 2-3	薄膜蒸餾操作分類(a: DCMD, b:AGMD, c:SGMD, d:VMD).....	14
圖 2-4	各種氨氮廢水處理方式適用性及技術成熟度	15
圖 3-1	英國監管養魚場排放的新框架	27
圖 3-2	許可證申請流程圖	28
圖 3-3	美國河口廢棄物收集裝置	38
圖 3-4	農業事業廢棄物個案再利用申請流程	43
圖 3-5	沼液沼渣農地肥分使用申請流程	43
圖 3-6	牡蠣養殖方式	47
圖 3-7	廢漁網回收再利用流向	49
圖 3-8	海廢再生製品(a)束口袋(b)環保領帶	52
圖 3-9	廢棄蚵架燒製之(a)竹炭、(b)竹醋液	52
圖 3-10	臺糖牡蠣殼碳酸鈣生技材料廠零廢棄流程圖	54
圖 3-11	臺糖公司與工研院合作開發牡蠣殼再製品流程圖	54
圖 3-12	Greenspot 公司使用鮭魚養殖場退役設備製成的足浴墊[29]	56
圖 4-1	以薄膜蒸餾進行養殖排放水處理之實驗流程圖	58
圖 4-2	砂濾裝置實體	59

圖 4-3	AGMD 實驗系統 P&ID.....	61
圖 4-4	AGMD 模組組立圖	61
圖 4-5	AGMD 熱、冷端冷水板規格.....	62
圖 4-6	冷端冷凝不鏽鋼板與網格墊片規格	62
圖 4-7	薄膜正面(左)及反面(右)實際照片.....	64
圖 4-8	電子顯微鏡探測之薄膜網狀結構.....	65
圖 4-9	平板膜尺寸	65
圖 4-10	不同濾材種類的影響	77
圖 4-11	進料溫度對通量的影響.....	80
圖 4-12	進料酸鹼值對通量的影響	83
圖 4-13	pH 對於氨氮去除率之影響	83
圖 4-14	空隙間隔對通量的影響.....	85
圖 4-15	AGMD 對各類水產養行為之效能.....	87
圖 4-16	氫氧化鋤改質磁鐵(MFC@La(OH) ₃)自備流程	89
圖 4-17	氫氧化鋤改質磁鐵(MFC@La(OH) ₃)吸附流程	89
圖 4-18	未使用與使用後 MFC@La(OH) ₃ 吸附劑的 FT-IR 光譜	92
圖 4-19	複合吸附劑的 SEM 圖像	93
圖 4-20	所製備的 MFC@La(OH) ₃ 複合材料的 X 射線光譜	93
圖 4-21	接觸時間對 MFC@La(OH) ₃ 吸附磷酸鹽的影響	94
圖 4-22	磷酸鹽吸附機制.....	96

圖 4-23	擬一階化學動力學模型.....	97
圖 4-24	擬二階化學動力學模型.....	98
圖 4-25	MFC@La(OH) ₃ 吸附等溫線的 Langmuir 模型	100
圖 4-26	MFC@La(OH) ₃ 吸附等溫線的 Freundlich 模型	100
圖 4-27	MFC@La(OH) ₃ 吸附劑對不同海水養殖廢水的吸附成效.....	101

提 要

關鍵詞：養殖漁業；生態衝擊；綠色循環技術；薄膜蒸餾

一、研究緣起

臺灣沿岸海域長期遭受人類活動衝擊，其中養殖排放水嚴重影響海洋環境生態，也阻礙養殖業永續發展。臺灣養殖排放水未經有效去污處理，逕排放至周遭近岸海域，致使臺灣近岸海域成為水產養殖排放水匯集區，加劇沿岸海域優養化(Eutrophication)引發赤潮(Red tide)和水質劣化等海洋環境問題，甚至因為高密度養殖方式導致用藥量增加與超抽地下水的情形，也造成人體健康危害與地層下陷等隱憂，威脅沿岸居民之財產健康安全，並使近岸海域棲地環境及生態系統受到嚴重衝擊，增加沿岸海洋資源保(復)育難度。另未經有效處理之養殖排放水亦威脅水產品衛生安全，使得水產品品質與衛生都受到影響。為落實永續海洋理念，減緩陸域養殖排放水污染物排入儼然成為改善我國沿近海域環境品質之迫切課題，本計畫延續 110 年循環再利用技術成果，研析結合前置處理單元對提升循環產水之功能，並評估模組化效益。另持續擴展評估分析以循環再利用模組處理集中區域排放水之規模經濟效益，期達到可同時減緩養殖排放水對近岸海域生態環境衝擊及提升海域水環境環境品質，維護生物棲地及生態系統平衡及提供優質循環再生用水，提高養殖產業整體生產力，以創新科技協助達成減少人類活動對近岸海域生態環境破壞與永續海洋發展之目標。

二、研究方法及過程

團隊蒐集整國內外相關政府或民間團體針對減緩陸域污染源對沿岸生態環境衝擊所進行之行動，並盤點國內外養殖廢棄資材態樣、處置規範及資源化技術等，研析對減緩沿岸生態環境衝擊之效益。最後，以前一年度所進行之實驗結果為基礎，於 AGMD 系統前新增砂濾裝置做為前處理單元，進行水樣初步處理，再藉由調整水樣 pH 值、格柵間格及溫度來找尋最佳參數。再依據上述所得知最佳試驗結果進行經濟效益及影響因子分析。

三、重要發現

於評析國內外對減緩陸域污染源對沿岸生態環境衝擊，各國多數主打減塑政策，值得一提的是加拿大在減塑政策的基礎上對塑膠採取循環經濟和生命週期方法，從最初始的源頭做起。美國及蘇格蘭針對水產養殖進行許可證頒發，藉由許可證頒發嚴格控管水產養殖的投入藥物、飼料及魚類捕獲/死亡數量等之控管。針對養殖廢棄資材部分，各國皆已有針對牡蠣殼、

魚鱗、廢棄漁網、浮標等進行再利用，如保養品、服飾、建築材料等，亦針對保麗龍等進行再處理。

AGMD 實驗部分，團隊以石英砂與牡蠣殼作為上下兩層複濾材之過濾系統具有顯的磷酸鹽與化學需氧量降解能力，去除效率分別達到 53.1%以及 51.8%。且經由各項參數試驗得到最佳參數組合為進料溫度 70℃、酸鹼值為 5 以及空隙間隔為 0.6mm，其最高通量為 3.83 kg/m²h，對氨氮、磷酸鹽、懸浮固體以及 COD 之去除效率分別為 70.68%、99.97 %、74.73% 和 95.40%。

以 AGMD 系統對海水養殖廢水進行處理之試驗研究結果顯示，樣品 A、B、C 和 D 中的滲透通量分別為 4.31、4.52、3.82 和 3.65kg/m²h；氨氮的去除效率分別為 44.1%、56.4%、72.3% 和 70.9%；COD 去除效率分別達到 80.7%、93.2%、91.5% 和 93.8%；SS 去除效率分別為 94.6%、98.1%、79.2%和 98.2%；所有樣品之磷酸鹽去除效率均高於 99%。

AGMD 濃排液團隊使用 MFC@La(OH)₃ NPs 進行磷酸鹽之吸附，研究結果發現由 MFC@La(OH)₃ 吸附劑能夠有效吸附海水養殖廢水中的磷酸鹽，其中，以 1 g/L 吸附劑用量在 20 分鐘的反應時間達到最高去除效率(99%)。另根據 MFC@La(OH)₃ 吸附劑的吸附動力學實驗中，擬二階化學動力學模型非常適合用來解釋 MFC@La(OH)₃ 吸附劑的吸附反應，其平衡吸附磷酸鹽達到約 7.904 mg P/ G。而 Freundlich 和 Langmuir 模型都非常適合用來說明 MFC@La(OH)₃ 吸附，最大吸附量為 18.28 mg P/g。再以 MFC@La(OH)₃ 對 A、B、C 以及 D 等不同海水養殖廢水之磷酸鹽之吸附效率，磷酸鹽之去除率分別達到 99.95%、99.86%、99.93%和 99.88%。

此外，本研究最佳參數組合進行產水成本分析，得到每天處理 2,700CMD 之水量虱目魚及石斑魚之每立方公尺的產水成本分別為 35.57 及 42.54 元。效益分析部分，團隊以虱目魚及石斑魚樣品評估每日處理 2,700CMD 之水量，計算處理前後的 COD 水質之溫室氣體減量效益，得到每年分別可以減少 73.46 及 148.48 tCO₂ e/year。

四、 主要建議事項

1. 建議朝提高產水率及精算產水成本方向進行研究。
2. 薄膜蒸餾之產水建議可以進一步研究，提供給養殖魚苗使用。
3. 目前已有許多廢棄資材再利用之方式，建議可以跨部會合作多方推廣媒合平台，提升廢棄資材再利用率。

Abstract

Keywords : Aquaculture 、 ecological backlash 、 green tech based recycling 、
membrane distillation

I Purpose

The coastal waters of Taiwan have been impacted by human activities for a long time, and the discharge water from aquaculture seriously affects the marine environment and ecology, and also hinders the sustainable development of the aquaculture industry. Aquaculture of Taiwan discharge water has not been effectively decontaminated, and is directly discharged to the surrounding coastal waters, resulting in Taiwan coastal waters becoming a collection area for aquaculture discharge water, aggravating the Eutrophication of coastal waters, causing red tides and water quality deterioration. and other marine environmental problems, and even the increased drug dosage and over-pumping of groundwater due to high-density farming methods have also caused hidden concerns such as human health hazards and strata subsidence, threatening the property health and safety of coastal residents, and making coastal waters habitat environment and environmental protection. Ecosystems have been severely impacted, making it more difficult to preserve (restore) coastal marine resources. In addition, the untreated aquaculture effluent also threatens the hygiene and safety of aquatic products, affecting the quality and hygiene of aquatic products. In order to implement the concept of sustainable oceans, slowing down the discharge of water pollutants from terrestrial aquaculture has become an urgent issue to improve the environmental quality of my country's coastal waters. Improve the function of circulating water production and evaluate the benefits of modularization. In addition, the evaluation and analysis will continue to be expanded to recycle and reuse the module to deal with the economies of scale of the discharge water in concentrated areas. It is expected to simultaneously reduce the impact of the

aquaculture discharge water on the ecological environment of the coastal waters, improve the environmental quality of the water environment in the sea area, and maintain the biological habitat and ecological environment. The system balances and provides high-quality recycled water, improves the overall productivity of the aquaculture industry, and uses innovative technology to help achieve the goals of reducing human activities' damage to the ecological environment in coastal waters and sustainable marine development.

II Methods and Procedures

The team had collected the actions taken by relevant domestic and foreign governments or civil organizations to mitigate the impact of land-based pollution sources on the coastal ecological environment, and take stock of domestic and foreign aquaculture waste materials, disposal specifications and recycling technologies, etc. The benefits of environmental impact. Finally, based on the results of the experiments conducted in the previous year, a sand filter was added in front of the AGMD system as a pre-processing unit to perform preliminary water sample treatment, and then adjust the pH value, grid compartment and temperature of the water sample to Find the best parameters. Then, according to the best test results obtained above, the economic benefits and influencing factors were analyzed.

III Results

Based on the analysis of domestic and international efforts to mitigate the impact of land-based pollution sources on the coastal ecological environment, most countries focus on plastic reduction policies. It is worth mentioning that Canada adopts a circular economy and life cycle approach to plastics on the basis of plastic reduction policies, starting from the most initial source. Do it. The United States and Scotland issue licenses for aquaculture, and strictly control the control of aquaculture inputs, feeds, and fish catch/death numbers through license issuance. For the part of aquaculture waste materials, various countries

have reused oyster shells, fish scales, discarded fishing nets, buoys, etc., such as skin care products, clothing, building materials, etc., and also reprocessed styrofoam.

In the experimental part of AGMD, the team used quartz sand and oyster shells as the upper and lower layers of the filter system, which has a significant ability to degrade phosphate and chemical oxygen demand, with removal efficiencies reaching 53.1% and 51.8%, respectively. And through various parameter tests, the best combination of parameters is that the feed temperature is 70 °C, the pH value is 5, and the interstitial space is 0.6 mm, and the maximum flux is 3.83 kg/m²h. And the removal efficiencies of COD were 70.68%, 99.97%, 74.73% and 95.40%, respectively.

The results of the experimental study on the treatment of marine aquaculture wastewater with the AGMD system showed that the permeation fluxes in samples A, B, C and D were 4.31, 4.52, 3.82 and 3.65 kg/m²h ; the removal efficiencies of ammonia nitrogen were 44.1%, 56.4%, 72.3%, and 70.9%; COD removal efficiencies were 80.7%, 93.2%, 91.5%, and 93.8%, respectively; SS removal efficiencies were 94.6%, 98.1%, 79.2%, and 98.2%, respectively; Phosphate removal efficiencies of all samples are higher than 99%.

The AGMD concentrated drainage team used MFC@La(OH)₃ NPs for phosphate adsorption. The results of the study found that the MFC@La(OH)₃ adsorbent can effectively adsorb phosphate in marine aquaculture wastewater. The highest removal efficiency (99%) was achieved with a reaction time of 20 min with the adsorbent dosage. In addition, according to the adsorption kinetic experiment of MFC@La(OH)₃ adsorbent, the pseudo-second-order chemical kinetic model is very suitable to explain the adsorption reaction of MFC@La(OH)₃ adsorbent, and its equilibrium adsorption of phosphate reaches about 7.904 mg P/G. The Freundlich and Langmuir models are both very suitable to illustrate the MFC@La(OH)₃ adsorption, with a maximum adsorption capacity of 18.28 mg P/g. Then, the phosphate adsorption

efficiency of MFC@La(OH)_3 to A, B, C and D of different aquaculture wastewater, the phosphate removal efficiency 99.95%, 99.86%, 99.93% and 99.88%.

In addition, the best parameter combination in this study was used to analyze the water production cost, and the water production cost per cubic meter of milkfish and grouper with a water volume of 2,700 CMD per day was 35.57 NTD and 42.54 NTD, respectively. In the benefit analysis part, the team used milkfish and grouper samples to evaluate the daily treatment of 2,700CMD of water, and calculated the greenhouse gas reduction that 73.46 and 148.48 tCO₂ e/year.

IV Suggestions

1. This study did not actuary the overall water production cost and did not conduct the best water production rate test. It is recommended to conduct research in the direction of improving the water production rate and actuarial water production cost in the future.
2. The water production of the MD can be further studied and provided for the use of fry farming.
3. It is recommended to promote more matching platforms to improve the reuse rate of waste materials.

第一章 前言

第一節 研究緣起與背景

臺灣四面環海，海洋環境生態受污染將直接破壞海洋環境與生態系統之平衡，並間接影響人類健康及海洋資源之獲取。依國際海事組織(International Maritime Organization, IMO)分析結果將海洋污染源歸類為陸域、大氣、廢棄物棄置、船舶、海床探勘與開採等，以陸域污染源(44%)為衝擊海域環境及生態之主要來源，造成近岸海域水質污染，破壞海洋環境及生物棲息地，致使生態系統失衡；根據國際自然保育聯盟(IUCN)紅皮書，近年海洋瀕危物種快速增加，截至 2020 年已累積高達超過 5,000 個物種受到威脅。海洋環境品質之良窳對海域生態環境和人類的經濟發展有密切關聯，已為沿海國和國際間關切的最重要議題之一。

臺灣沿岸海域長期遭受人類活動衝擊，其中養殖排放水嚴重影響海洋環境生態，也阻礙養殖業永續發展。臺灣養殖排放水未經有效去污處理，逕排放至周遭近岸海域，致使臺灣近岸海域成為水產養殖排放水匯集區，加劇沿岸海域優養化(Eutrophication)引發赤潮(Red tide)和水質劣化等海洋環境問題，甚至因為高密度養殖方式導致用藥量增加與超抽地下水的情形，也造成人體健康危害與地層下陷等隱憂，威脅沿岸居民之財產健康安全，並使近岸海域棲地環境及生態系統受到嚴重衝擊，增加沿岸海洋資源保(復)育難度。另未經有效處理之養殖排放水亦威脅水產品衛生安全，使得水產品品質與衛生都受到影響。為落實永續海洋理念，減緩陸域養殖排放水污染物排入儼然成為改善我國沿近海域環境品質之迫切課題，本計畫延續 110 年循環再利用技術成果，研析結合前置處理單元對提升循環產水之功能，並評估模組化效益。另持續擴展評估分析以循環再利用模組處理集中區域排放水之規模經濟效益，期達到可同時減緩養殖排放水對近岸海域生態環境衝擊及提升海域水環境品質，維護生物棲地及生態系統平衡及提供優質循環再生用水，提高養殖產業整體生產力，以創新科技協助達成減少人類活動對近岸海域生態環境破壞與永續海洋發展之目標。

水產養殖業除了養殖排放水之問題外，尚有電能問題，近年來因臺灣的水產養殖業大多數皆為戶外型，且多數聚集在南部沿海，因此政府積極推動漁電共生政策，以「漁業為本、綠能加值」為核心價值，以綠能資源帶動漁業升級、永續發展，創造在地就業經濟、優化養殖技術環境、永續土地發展利用，帶動漁業與綠能共生共榮。

第二節 研究目的及研究重點

本計畫工作內容包含如下：

- 一、蒐彙及評析國內外對減緩陸域污染源對沿岸生態環境衝擊之相關政策規劃、防範措施及循環再利用技術規範。
- 二、針對 110 年成果研析結合前置處理單元對提升循環產水之功能，以及評估模組化效益。
- 三、持續 110 年擴展評估分析以循環再利用模組處理集中區域排放水之規模經濟效益及影響因子。
- 四、盤點國內外養殖廢棄資材態樣、處置規範及資源化技術等，研析對減緩沿岸生態環境衝擊之效益。

第三節 研究方法及步驟

本計畫旨在協助國家海洋研究院評估應用綠色循環技術對處理養殖廢水之效益，以作為後續推動國家沿岸海洋生態復育工作之參考。本團隊參照第二節工作項目，將四項工作項目分成兩大類，分別為：1.生態衝擊分析及 2.綠色技術研發兩大部分，將工項分類如表 1-1 所示。並將工作項目進行研究流程設計如圖 1-1 所示。

於生態衝擊分析部分，隨著氣候變遷及人們生活習慣之改變，無節制地捕撈海洋生物、大量的陸域廢棄物倒入海中等，海洋生態的平衡遭受到破壞，漁獲量逐年減少，世界各國開始仰賴水產養殖業從而取代捕撈漁業，無控管地進行水產養殖亦造成了嚴重的環境破壞，因此藉由本計畫蒐彙及評析國內外對減緩陸域污染源對沿岸生態環境衝擊之相關政策規劃、防範措施及循環再利用技術規範之行動，供政府單位未來政策發展上參考。此外，由於養殖漁業會衍生出許多的養殖廢棄物，因此藉由盤點國內外養殖廢棄資材態樣、處置規範及資源化技術等，研析對減緩沿岸生態環境衝擊之效益。

於綠色技術研發部分，團隊藉由 AGMD 系統進行養殖排放水處理，從而循環再利用，並針對 110 年成果研析結合前置處理單元對提升循環產水之功能，以及評估模組化效益。以前一年度所進行之實驗結果為基礎，於 AGMD 系統前新增砂濾裝置做為前處理單元，進行水樣初步處理，再藉由調整水樣 pH 值、空氣間格距離及溫度來找尋最佳參數。並持續 110 年擴展評估分析以循環再利用模組處理集中區域排放水之規模經濟效益及影響因子。團隊將依據上述所得知最佳試驗結果進行經濟效益及影響因子分析。

表 1-1 工作項目分類

分類	工作項目
生態衝擊分析	蒐彙及評析國內外對減緩陸域污染源對沿岸生態環境衝擊之相關政策規劃、防範措施及循環再利用技術規範。
	盤點國內外養殖廢棄資材態樣、處置規範及資源化技術等，研析對減緩沿岸生態環境衝擊之效益。
綠色技術研發	針對 110 年成果研析結合前置處理單元對提升循環產水之功能，以及評估模組化效益。
	持續 110 年擴展評估分析以循環再利用模組處理集中區域排放水之規模經濟效益及影響因子。

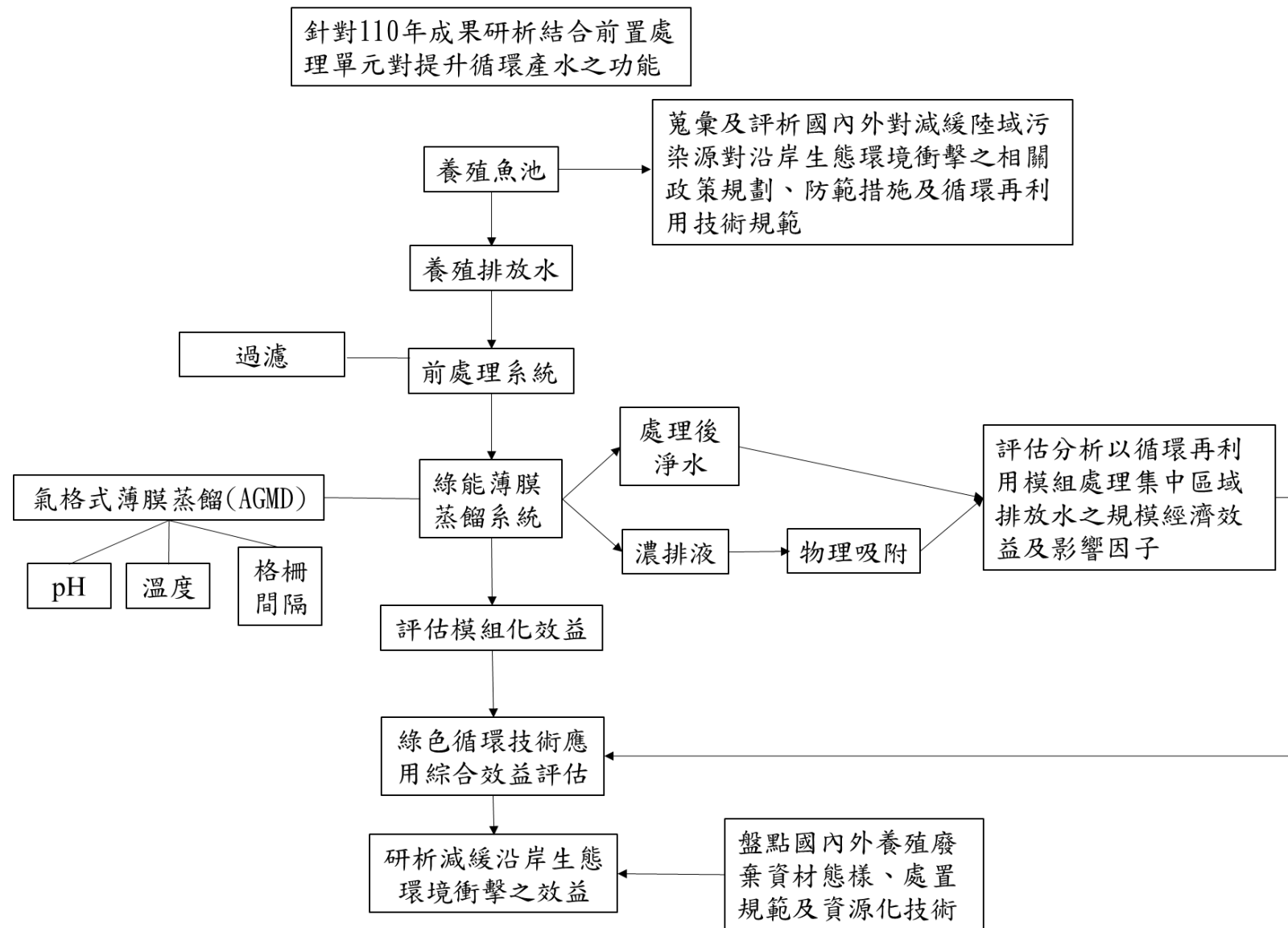


圖 1-1 計畫研究流程圖

第四節 預期目標

- 一、完成減緩陸域污染源對沿岸生態環境衝擊之相關政策規劃、防範措施及循環再利用技術規範評析。
- 二、完成研析結合前置處理單元對提升循環再利用產水功能效益及模組化效益評估。
- 三、完成擴展評估分析以循環再利用模組處理集中區域排放水之規模經濟效益及因子。
- 四、完成盤點國內外養殖廢棄資材態樣、處置規範及資源化技術等及研析對減緩沿岸生態環境衝擊之效益。

第二章 研究背景分析

第一節 我國養殖業概況

我國四面環海，為海島型國家，且位於氣溫適宜之亞熱帶地區，生態環境豐富，使得周邊海域具有豐富的魚類資源。我國從早期的草蝦王國到現今的石斑王國，有賴我國先進的養殖技術，在農業與經濟上皆有卓越的貢獻。面對氣候的變遷與環境永續的挑戰，應著重水資源保護、養殖技術、疾病預防與發展新科技等面向著手，朝向永續經營為目標。

依據行政院農業委員會漁業署 2020 年統計^[1]，我國 109 年底漁戶數共 128,514 戶，其中以海面養殖為主者 8,031 戶，占總養殖戶的 6.2%；以內陸養殖為主者 26,665 戶，內陸養殖約占總養殖戶數的 20.7%。2020 年底養殖面積為 45,481.48 ha，其中海面養殖 9,988.45 ha、鹹水魚塢 21,476.88 ha、淡水魚塢 13,096.5 ha，其他內陸養殖 865.87 ha，箱網養殖 354,500 m³。依統計比較 2019 年與 2020 年我國漁業生產量，如表 2-1 所示。由表 2-1 可知，我國內陸養殖產量占約 29%，占總漁產量的 1/4，可知養殖業對於我國漁產量之重要程度。然而養殖業等人類活動所造成之污染已導致沿岸生態的嚴重衝擊，如內陸漁撈業產量降低超過 95%即可見一斑，養殖廢水亟需妥善處理以降低其生態破壞影響，以協助國家發展永續漁業。

另根據我國行政院農業委員會漁業署 2021 年統計^[1]，2021 年我國魚類總產量及總產值分別為 1,029,951.06 公噸及 761.65 億元，產值前五名分別為鯖科、頭足類、貝類、甲殼類及石斑類，其 2021 年之產值分別為 223.63 億元、111.76 億元、85.12 億元、48.51 億元及 39.20 億元，詳表 2-2 所示。

表 2-1 2020 年與 2021 年我國魚產量比較

年度	總計	遠洋漁業	近海漁業	沿岸漁業	內陸漁撈業	海面養殖業	內陸養殖業
109 年	885,041	431,902	150,013	24,549	56	22,413	256,109
110 年	976,000	531,972	148,374	20,701	143	20,833	253,977
增減%	9.32	18.81	-1.10	-18.59	60.84	-7.58	-0.84

單位：公噸

資料來源：民國 109 年(2020)漁業統計年報^[1]及民國 110 年(2021)漁業統計年報

此外，團隊彙整了近五年石斑魚類及虱目魚產量及產值資料，詳如圖 2-1 所示。根據數據得知石斑魚近五年於 106 年有最高產量及產值分別為 22.49 千噸及 52.74 億元，107 年之產值有些許下降，108 年產量雖有回升之跡象，但產值未上升，且因疫情(新冠病毒)關係，109 及 110 年產量及產值大幅下降，110 年之產值僅剩下 39.2 億元，與 106 年相比產量減少 5.14 千噸(-22.85%)，產值減少 13.54 億元(-25.67%)。

虱目魚近五年於 108 年有最高產量及產值，然於 108 年起虱目魚因疫情(新冠病毒)關係，109 年產量及產值大幅下降，至 110 年之產量持續下降，而產值有上升之趨勢，與最高點 108 年相比 110 年產量減少 6.74 千噸，產值減少 7.78 億元(-17.46%)。

表 2-2 2021 年我國魚類產量及產值

魚類別	產量		價值		魚類別	產量		價值	
	公噸	%	億元	%		公噸	%	億元	%
總和	1,029,951.06	100	761.65	100	鯉科	3,874.00	0.38	2.95	0.39
鯖科	399,088.69	38.75	223.63	29.36	鬼頭刀	3,117.61	0.30	2.44	0.32
頭足類	152,256.78	14.78	111.76	14.67	珊瑚	1.69	0.00	2.36	0.31
貝類	76,425.14	7.42	85.12	11.18	鰲蛋	717.67	0.07	1.85	0.24
甲殼類	21,317.85	2.07	48.51	6.37	魷仔	876.28	0.09	1.29	0.17
石斑類	17,345.90	1.68	39.20	5.15	眼眶魚	3,107.22	0.30	1.14	0.15
虱目魚	51,263.56	4.98	36.79	4.83	刺鰾	391.63	0.04	1.02	0.13
吳郭魚類	59,787.80	5.80	31.05	4.08	鰲	454.25	0.04	0.93	0.12
鱸魚類	22,304.10	2.17	22.41	2.94	蛙類	1,469.56	0.14	0.82	0.11
鰻鱺科	5,279.08	0.51	20.18	2.65	鯉科	1,141.47	0.11	0.70	0.09
馬鮫科	12,330.29	1.20	19.73	2.59	大棘大眼鯛	210.00	0.02	0.68	0.09
鰻科	22,808.05	2.21	14.47	1.90	鰻鰻	188.74	0.02	0.67	0.09
帶魚屬	11,588.92	1.13	13.39	1.76	藻類	612.46	0.06	0.60	0.08
秋刀魚	34,043.20	3.31	13.27	1.74	麥奇鈎吻鮭	193.983	0.02	0.39	0.05
其他海水魚類	16,356.75	1.59	12.86	1.69	單棘魷科	182.76	0.02	0.26	0.03
觀賞魚類	65,641.83	6.37	11.29	1.48	淡水鯰	297.81	0.03	0.22	0.03
旗魚科	7,347.39	0.71	8.08	1.06	其他淡水魚類	378.88	0.04	0.17	0.02
帶鰭科	10,355.28	1.01	6.59	0.86	合齒魚科	322.42	0.03	0.13	0.02
鯛科	2,166.31	0.21	4.82	0.63	其他鯉	218.78	0.02	0.11	0.01
鯊魚類	17,616.67	1.71	4.55	0.60	金線魚	61.82	0.01	0.07	0.01
海鱷	1,335.86	0.13	4.47	0.59	鰻仔	51.39	0.00	0.07	0.01
香魚	1,973.29	0.19	3.75	0.49	日本銀帶鯉	78.59	0.01	0.06	0.01
石首魚科	1,180.74	0.11	3.50	0.46	飛魚卵	4.13	0.00	0.01	0.00
鰻	2,184.44	0.21	3.30	0.43	資料來源：民國 110 年(2021)漁業統計年報				

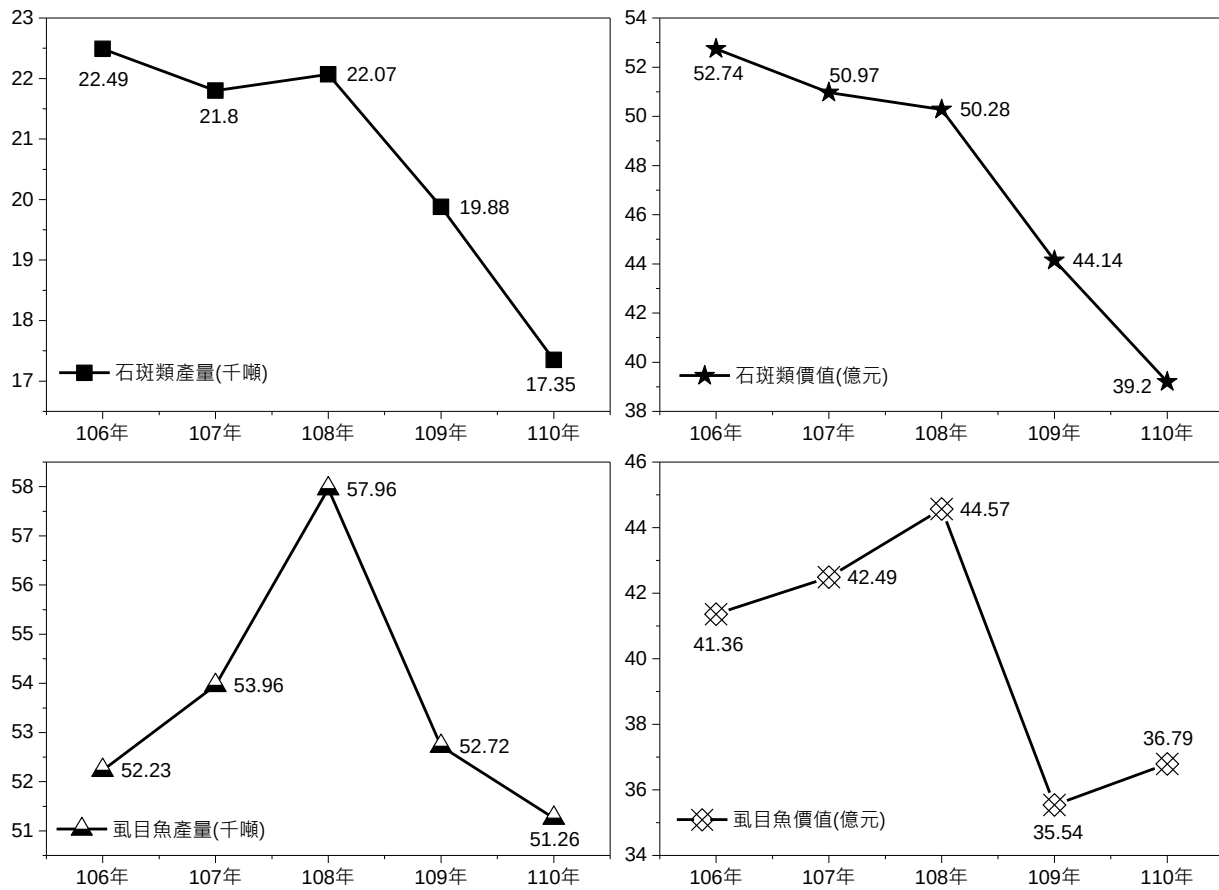


圖 2-1 石斑魚及虱目魚近五年產量及產值

第二節 養殖廢水現況與處理情形

在水資源方面，臺灣即便降雨非常豐沛，但降雨時間及空間上的分配極度不均，降雨時間多集中於 5-10 月，降雨地點多集中於山區，且由於河短流急之特性，蓄水力不佳；再加上全球氣候變遷，在近十年內臺灣曾多次面臨到嚴重的缺水問題。對於需大量用水之養殖業而言，無疑是一大隱憂。

目前我國與各國皆積極開發減緩漁業養殖排放水對海域之環境與生態衝擊和技術，大致可分為生物處理技術、化學處理技術與物理處理技術，以下簡略說明幾種常見之技術：

一、生物處理技術

1. 建置人工濕地，對水產養殖排放出的污水加處理，去除磷、氮、有機物等。如我國循環濕地系統、加拿大的三階段濕地系統。
2. 生物膜技術：一為固定床處理技術，如生物濾池，將污水噴在過濾材料上，隨著時間的增加，微生物亦會增長形成生物膜，並透過生物自淨功能，淨化污水。另一為流動床處理技術，多採用柱式反應器，處理方式與固定床處理技術相似，使污水與生物膜相接觸，達到淨化目的。
3. 固定化微生物技術：將微生物固定於載體，使微生物保持活性，並在適合的環境中快速增殖。如以藻類作為替代性生質能源原料的「微藻生質燃油」研究，一則可提升固碳效率，另則可增加生成藻體的附加價值。
4. 大型藻類：藻類除了在有光照及營養鹽(氨氮、亞硝酸鹽氮及硝酸鹽氮)足夠的條件下可以進行光合作用產生氧氣及吸附氮鹽淨化水質(去除氮鹽)^[2]外，亦會進行呼吸作用降低水中 pH 值。目前已有研究使用大型藻類淨化水產養殖廢水降低水中氮鹽^[3]。大型藻類強大之固碳能力，近年亦成為淨零碳排之熱門話題。

二、化學處理技術

1. 臭氧處理法：用以去除亞硝酸鹽等許多有害物質。
2. 電化學法：用以去除氨、亞硝酸鹽等有害物質。

三、物理處理技術

透過簡單與直接的物理過濾方式，過濾有害物質。過濾材質有多種材料，其中以塑膠材料應用最廣，不僅能夠保證快速地提升水質，還能保證整個水池生物濾池的作用更加明顯。

在新興先進物理處理技術中，近年來薄膜技術發展快速，已廣泛應用至各種產業之廢水處理，其中又以薄膜蒸餾技術被視為最有發展潛力之技術之一，可高效率回收熱能同時進行廢水處理，有效降低處理能耗需求，符合最新綠色技術發展趨勢。若可將太陽能綠能與薄膜蒸餾技術進行結合，則可進一步應用再生能源降低處理系統能源需求，以極低的能耗獲得接近透過逆滲透處理之純水水質。本計畫以養殖業廢水為研究目標，養殖業多數場址位於海邊或是空曠平地，有利於太陽能發電之設置，若再搭配薄膜蒸餾技術，將可妥善處理養殖廢水，降低該產業所造成之生態負荷與衝擊，有助於沿岸生態之復育。

第三節 薄膜技術介紹

薄膜蒸餾是將蒸發和膜技術結合的分離程序，其原理概念如圖 2-2 所示，是利用多微孔疏水性薄膜將兩側不同溫度的流體區隔，因薄膜兩側之溫度差會誘發蒸氣壓差形成驅動力，致使蒸氣分子透過膜孔道擴散至滲透端，再藉由冷流體或其它冷凝裝置冷卻並加以收集，而達到產製純水或進料濃縮之目的。此技術近乎可完全截留進料中之大分子、膠體、細胞、離子和其它非揮發性物質，可以處理極高濃度的廢液。影響 MD 的效能有諸多因素，包括薄膜特性（膜孔徑、孔隙度、膜厚度及孔道彎曲度等）、模組特性（構造、流道設計及填充密度等）及進料液體特性（溫度、溶質濃度及流量等）等。

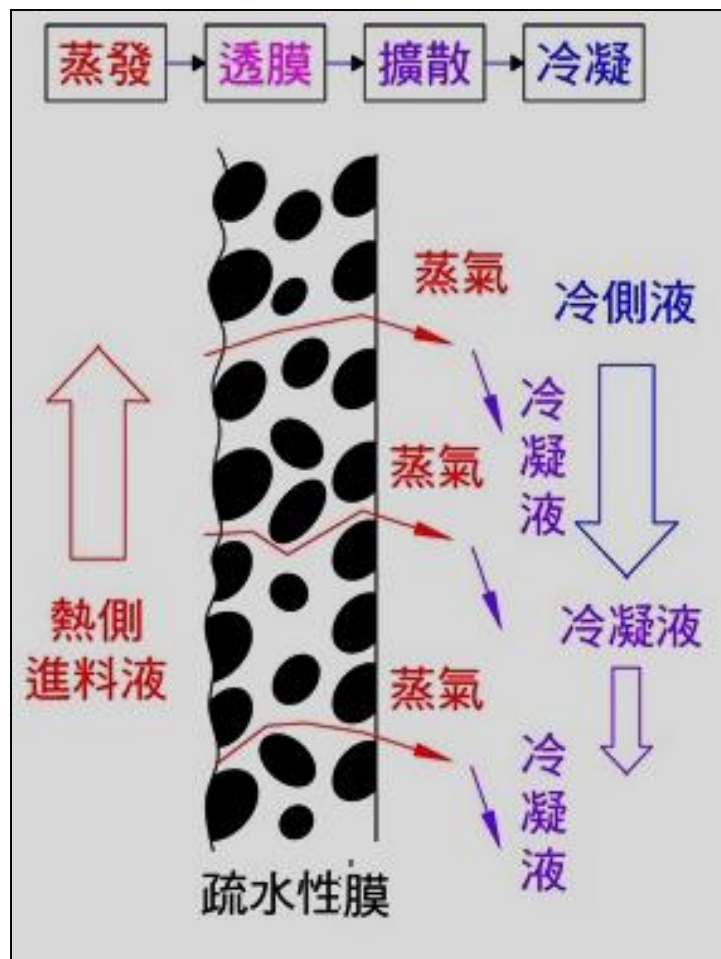


圖 2-2 薄膜蒸餾技術原理圖

依照滲透端冷凝方式的不同，薄膜蒸餾常分為四類型：

一、直接接觸式薄膜蒸餾(direct contact membrane distillation, DCMD)

薄膜兩側具有溫差的液體皆和薄膜表面直接接觸，兩股液體以同向或逆向方式流動，如圖 2-3 (a)所示，蒸氣分子由熱進料端透過薄膜擴散至滲透端，蒸氣分子直接在冷流體中冷凝。此模組構造簡單且容易操作，但因液體皆直接與薄膜接觸，進料端與透過液端之熱傳與質傳阻力較小，所以其通量較高，但也因有較大熱傳導損失的缺點，故熱效率值較低。

二、氣隔式薄膜蒸餾(air-gap membrane distillation, AGMD)

此程序是薄膜一側直接與熱進料液體接觸，而另一側設置冷凝熱交換介面，如圖 2-3(b)所示，蒸氣分子通過薄膜後，須再通過一段氣體間隙之擴散，最後於冷凝板上凝結成液滴並收集的程序。由於薄膜之一側沒有與液體直接接觸，薄膜熱傳導所損失的熱量將減少，且凝結液體因沒有和冷卻液混合，所以可以直接收集利用，故適用範圍較廣如氨氮脫除濃縮產製氨水，但空氣間隙使蒸氣分子擴散的質傳阻力增加，因此通量相對低於 DCMD 者。

三、空氣掃掠式薄膜蒸餾(sweeping-gas membrane distillation, SGMD)

此程序是將 DCMD 的滲透端流動之液體改為氣體，一般使用空氣或惰性氣體，如圖 2-3 (c)所示，蒸氣分子通過薄膜後，藉由惰性氣體將蒸氣分子帶到系統外部冷凝後收集。由於此程序滲透端為流動氣體，相對於 AGMD 可以降低質傳阻力，因此通量較高，但須設置外部冷卻系統，設計較為複雜。

四、真空式薄膜蒸餾(vacuum membrane distillation, VMD)

此程序與 SGMD 類似，不同處在於滲透端是藉由真空幫浦抽真空，如圖 2-3(d)所示，可提高膜兩側之蒸氣壓差，且降低蒸氣分子於薄膜孔道中的質傳阻力，因此可達到較高的通量如用於氨氮脫除產製氨水。

MD 技術應用開發目前大多以水及廢水處理為主，而在許多農業以及工業的排放廢水中，氨氮是其中主要的污染物，當水中氨氮化合物濃度太高時，會造成所謂的優養化現象。整體而言，氨氮廢水處理方式可分為生物處理、物化處理、化學加藥處理等三大方式，使用較普遍的氨氮處理程序有折點加氯(chlorination breakpoint)、生物硝化脫氮之生物

(biological denitrification)、氣提(stripping)及離子交換(ion-exchange)等，這些程序比較如表 2-3 所示。但近幾年來，因應氨氮廢水組成、處理效率以及佔地面積發展的另一方式為薄膜蒸餾，雖然薄膜蒸餾之技術成熟度尚未發展至非常成熟，加上其具有薄膜積垢及副產物可能需要委外處理等問題，然其占地面積小，且可以處理較高濃度之氨氮廢水，相較於其他氨氮處理技術之適用性及技術成熟度處於較中等之位置，詳如圖 2-4 所示。

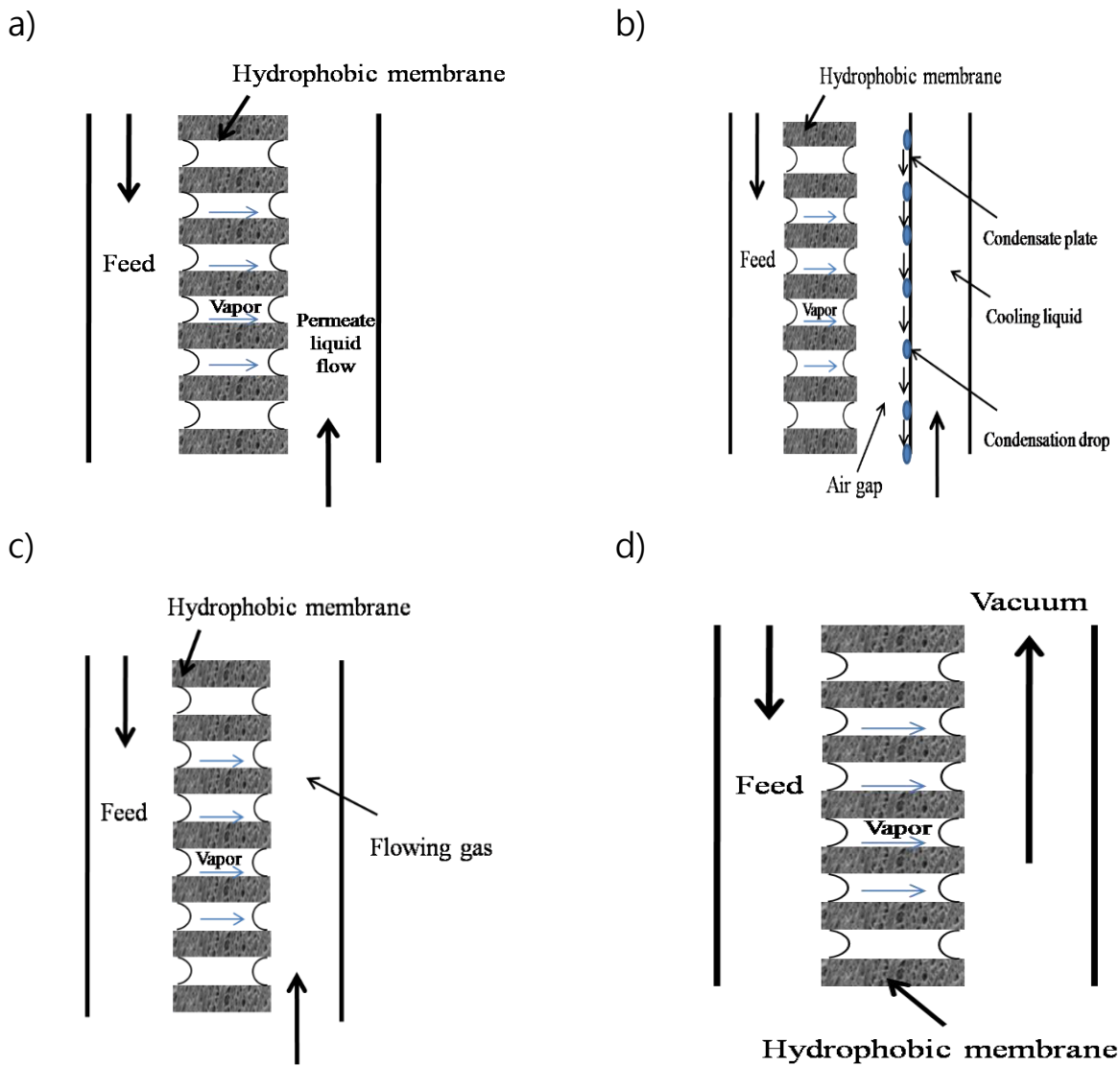
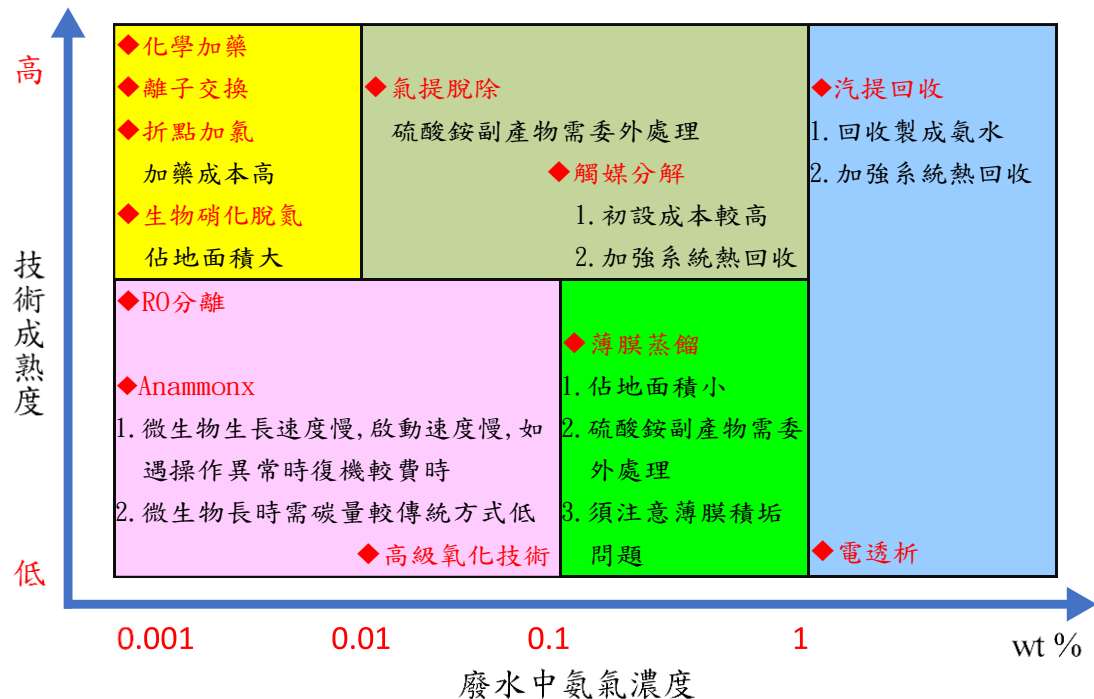


圖 2-3 薄膜蒸餾操作分類(a: DCMD, b:AGMD, c:SGMD, d:VMD)

表 2-3 常用之廢水除氨氮程序比較

處理方法	原理	去除氨氮型態	去除效率 (%)	氨最終型態	停留時間	優點	缺點
氣提法	提高 pH 轉化成氨氮吹除	氨氮	60-95	氨氮	0.5(hr)	● 建設管理費低 ● 程序簡單 ● 適用高濃度氨氮廢水	● 產生氨氮逸散，二次污染 ● 易產生水垢 ● 低溫下效能低
離子交換	利用選擇性陽離子吸附	氨氮	90-97	銨離子	0.2-0.4 m ³ /m ² -min	● 去除效率高 ● 水溫影響小	● 再生時產生高濃度廢液 ● 操作維護費高
折點加氯	加次氯酸達折點後，產生作用形成氨氮	氨氮	90-100	氨氮	-	● 建設費低 ● 具安定性 ● 水溫影響小	● 操作維護費高 ● 恐產生有害氣體
生物脫氮	由細菌進行硝化脫硝	各種型態氮	70-95	氨氮	4.5-8.5 (hr)	● 所有型態氮都可去除 ● 去除效率高且穩定 ● 無二次污染	● 操作運轉複雜 ● 溫度影響效能 ● 易受毒性物質影響
薄膜蒸餾	物理蒸餾與微細孔隙分離氨氮	各種型態氮	80-90	氨氮	-	● 所有型態氮都可去除 ● 去除效率高且穩定 ● 可回收能源能耗低	● 需高溫廢水 ● 操作維護成本高



資料來源:傅正貴, 創新氨氮廢水資源化[4]

圖 2-4 各種氨氮廢水處理方式適用性及技術成熟度

根據 Altaf Hussain 等人(2022) 彙整近幾年的薄膜蒸餾研究項目中，總結了 MD 可以生產出優質的蒸餾水，但能源效率仍然是未來 MD 部署的關鍵瓶頸。由於進水中的高鹽度和有機物的存在，膜潤濕和結垢也對海水淡化提出了關鍵挑戰，目前薄膜蒸餾除了應用於海水淡化外，亦廣泛的工業應用，如去除硫化氫、製藥廢水處理、金屬精加工行業、含油廢水以及紡織廢水中回收水等，為了克服能耗的問題，目前薄膜蒸餾應用於會產製高溫廢水的產業，如紡織廢水等。

第四節 我國養殖漁業使用太陽能光電之情形

為配合國家再生能源政策，經濟部、農委會及內政部三個部會聯合推動「漁電共生」政策，並委託水產試驗所在台南七股與雲林台西兩大養殖漁業重鎮成立「漁電共生試驗創育基地」，提供土地開放太陽光電廠商與養殖業者申請進駐。

此外，為確保推動方向符合「漁業為本、綠電加值」，特訂定綠能設施覆蓋面積不可逾土地座落面積百分之四十，使養殖戶保有養殖場域，盼透過綠能資源導入，促成技術環境提升，降低養殖成本，達到綠能、養殖、環境多贏^[5]。經濟部能源局表示，全台漁電共生規劃於 2050 年達 4.4GW 為推動目標，並已公告 1 萬 7963 公頃為漁電共生專區（包括 2020 年雲、彰、嘉、南、高、屏等六縣市的「先行區」4,702 公頃及後續公告的 13,261 公頃「非先行區」），主要分布在彰化縣、雲林縣、嘉義縣、臺南市、高雄市、屏東縣等 6 個縣市，其中臺南市為先行區面積占比最大的縣市，目前各縣市政府皆在積極推動。

第三章 生態衝擊分析

第一節 評析國內外對減緩陸域污染源對沿岸生態環境衝擊之相關政策規劃、防範措施及循環再利用技術規範

一、政策規劃

1. 國內

行政院於民國 109 年 5 月核定之「向海致敬-海岸清潔維護計畫」（下稱向海致敬計畫）^[6]，該計畫期程自 109 年至 112 年，行政院整合行政院農業委員會、交通部、經濟部、國防部、內政部、財政部、行政院海洋委員會、教育部及環保署共 9 個中央部會，共同訂定「清理乾淨、友善海洋」、「源頭減量、根本做起」、「去化回收、循環利用」、「資訊透明、擴大參與」及「海洋教育、自我管理」等 5 大政策，並以「清理」、「減量」、「去化」、「透明」及「教育」5 項原則分工執行，共同維持與守護海岸環境與海洋資源，同時兼顧海洋保護與相關產業發展。明確界定全國 1,988 公里海岸權管機關，並由地方政府成立府層級整合協調平臺，同時推動多項「源頭減量」措施，包括漁業廢棄物源頭管理、河面廢棄物攔除及濱海垃圾掩埋場監控等，透過跨部會合作機制，全力維護我國海岸環境之整潔。

(1) 「清理乾淨、友善海洋」

「清理」為「確保乾淨，友善海洋」：各部會明確權責分工，就臺灣海岸髒亂現況加以分析，包括漂流木、廢漁網漁具及其他各項海岸廢棄物，進而提出清理計畫，編列預算進行清理，並且持續滾動檢討。各機關分工以「屬地原則」進行環境維護分工，並由土地管理單位負責編列預算，定期清理：

1. 劃設為國家公園範圍內（包括未登記土地）之土地，由內政部營建署（下稱營建署）統籌環境維護清理工作，或協調園區內相關單位及當地直轄市、縣（市）政府，建立環境維護管理機制，共同清理。
2. 劃設為國家風景特定區範圍內（包括未登記土地）之土地，由觀光局統籌環境維護清理工作，或協調特定區內相關單位及當地直轄市、縣（市）政府，建立環境維護管理機制，共同清理。
3. 目的事業主管機關劃設管理區域
 - (1) 一般性及經濟部轄管事業性海堤範圍，由經濟部負責。
 - (2) 漁港範圍，由農委會漁業署（下稱漁業署）負責。
 - (3) 軍港及軍用海灘範圍，由國防部負責。
 - (4) 商港範圍，由交通部負責。
4. 其他未劃入國家公園或風景特定區或目的事業主管機關劃設管理區域範圍之未登記土地，由財政部國有財產署（下稱國產署）負責環境維護管理；另清查沿海岸線未登記土地中，宜

撥用或納入相關主管機關管理之土地，儘速完成撥用及移交管理程序。 5. 海域範圍之海漂底廢棄物及油污染清理，由海委會統籌。

表 3-1 向海致敬 - 「清理乾淨、友善海洋」各部會分工表

部會別	權責範圍	分工辦理事項
內政部	國家公園	1. 規劃不同清潔頻率維護國家公園海岸環境 2. 建立土地權屬機關聯繫通報機制相互分工
交通部	國家風景區、商港	1. 規劃不同清潔頻率維護國家風景區及商港海岸環境 2. 辦理轄管海岸環境清潔監督作業
經濟部	一般性海堤、事業性海堤、河川廢棄物	1. 辦理一般性海堤所在海岸環境定期及不定期維護工作 2. 辦理工業局事業性海堤所在海岸環境定期及不定期維護工作 3. 辦理台電及中油公司事業性海堤所在海岸環境定期及不定期維護工作 4. 中央管區域排水垃圾攔除
國防部	軍港	1. 平時進行港區環境維護及海污防治作業 2. 汛期進行港區漂流木、海漂（廢）垃圾處理
財政部	國有非公用土地、未登記土地	1. 規劃定點巡管、重點機動及協調機關統籌 3 種清理工作 2. 主動媒合認養意願 3. 加強宣導源頭管理
農委會	漂流木、漁港	1. 天然災害後海岸漂流木清理 2. 海岸保安林環境維護 3. 刺網實名制 4. 漁港暫置區設置及漂流木清除 5. 養殖廢棄物清理及替代浮具取代保麗龍
海委會	海洋廢棄物	1. 海洋廢棄物調查及海洋污染監控與預防 2. 補助或委託地方進行海污應變及海洋廢棄物清理 3. 主動清除海漂底廢棄物 4. 海洋廢棄物回收認證
教育部	海洋教育	1. 部屬海岸環境清理 2. 學校海洋教育
環保署	計畫控管、地方政府管理土地	1. 管制考核機制建立 2. 補助地方進行海岸環境維護 3. 濱海河垃圾掩埋場設施效能提升 4. 河面垃圾攔除

(2) 「源頭減量、根本做起」

對於海岸廢棄物來源進行源頭管理，包括上游倒木處、理、廢漁網漁具管理、陸域如河川上游垃圾攔阻、濱海垃圾場監控一次性塑膠產品源頭減量等。具體措施包括：

- A. 漂流木：各林管處加強巡視經管國有林地及野溪溪床將倒木、漂流木等進行固定或先行集運。
- B. 海岸保安林環境維護：藉由定期維護及不定期巡查方式，確保海岸保安林環境清潔。
- C. 漁業廢棄物：推動刺網具標示，加強回收。漁業署透過輔導地方政府訂定自治條例，對蚵棚架及浮具等養殖廢棄物自主回收管理，並海保署研議建立漁船進出港攜帶物品之檢查機制，藉以向漁民宣導及釋出政府重視海洋環境的訊息，使漁民自主管理。
- D. 河川廢棄物攔截：經濟部水利署（下稱水利署）與環保署共同推動河川攔除廢棄物作業，河面垃圾攔除為河川污染整治措施，亦可避免因垃圾影響防洪設施之操作。水利署辦理中央管區域排水設置攔污索並攔除廢棄物；環保署辦理「全國水環境清淨河面計畫」，補助地方政府辦理清除河面垃圾等工作，並建立地面水體垃圾攔除考核機制，考核對象為水利署所屬各河川局、各直轄市及縣（市）政府及各農田水利會。
- E. 濱海垃圾掩埋場監控：環保署持續列管改善掩埋場設施。
- F. 推動一次性塑膠產品源頭減量：環保署對於各項一次用非必要塑膠產品採取禁止、限制運作或鼓勵減量等管理方式推動，引導業者改變產品設計、民眾改變消費與生活習慣。

(3) 「去化回收、循環利用」

強化回收再利用管道，尤其針對漁網漁具，設置暫存場地，加強回收及去化處理；另提升塑膠容器回收率。具體措施包括：

- A. 海漂（底）廢棄物之處置：海洋委員會海洋保育署（下稱海保署）透過環保艦隊將海漂（底）垃圾送至暫置區後，由海保署編列預算，交由漁業署協調漁港主管機關辦理暫置區之設置、維護管理及廢棄物去化。
- B. 廢棄漁網具如能有效回收再利用，對環境有正面幫助並可減少各地焚化爐的負擔，優先鼓勵，並請經濟部工業局（下稱工業局）及環保署分別就業管事項予以個案協助。無法再利用部分，送地方政府焚化廠協助處理。

提升塑膠容器回收率：環保署透過補貼部分塑膠容器，刺激回收率；至於未獲補貼的項目，希望能以試辦計畫改善製程，減少處理成本，提高業者回收意願。

(4) 「資訊透明，擴大參與」

建立海岸環境清理資訊平台，民眾可通報海岸髒亂點；也提供海岸認養及淨灘資訊，鼓勵企業及民間團體認養海岸、舉辦淨灘活動，擴大參與。

(5) 「海洋教育，自我管理」

社會教育及學校教育雙管齊下，教導並鼓勵大眾及學生親近海洋、淨化海洋。

2. 國外

(1) 美國

美國於 1948 年頒布了《清潔水法》(CWA) 建立了規範向美國水域排放污染物和規範地表水質量標準的基本結構。該法在 1972 年進行了重大重組和擴展。“清潔水法”成為該法的通用名稱，並於 1972 年進行了修訂。

美國國家環境保護局(US EPA) 根據《清潔水法》實施了污染控制計畫，例如為工業製定廢水標準。US EPA 還針對地表水中的污染物製定了國家水質標準建議。其中該法禁止任何通過“點源”將“污染物”排放到“美國水域”中之行為，除非擁有國家污染物排放消除系統(NPDES)許可證^[7]。

NPDES 許可證將包含排放限制、監測和報告要求，以及確保排放不會損害水質或人們健康的其他規定。從本質上講，該許可證將《清潔水法》的一般要求轉化為針對每個排放污染物之行為具體規定。

※“美國水域”指的是可航行水域、可航行水域的支流、州際水域、200 英里以外的海洋和州內水域。使用：由州際旅行者出於娛樂或其他目的，作為州際貿易中出售的魚或貝類的來源，或從事州際貿易的行業用於工業目的。

此外，根據美國環保署§ 122.24 集中水生動物生產設施(CAAP)條文^[5] (40 CFR Part 122.24)中提到「集中水產動物生產設施是受 NPDES 許可計畫約束的點源」。

- A. 由 EPA (40 CFR 122.25) 定的滿足以下標準 (40 CFR Part 122 附錄 C) 的“孵化場、養魚場或其他設施”
 - a. 在每年至少排放 30 天的池塘、水道或其他類似結構中飼養冷水魚類或其他冷水水生動物的設施，但不包括：
 - i. 每年生產少於 9,090 公斤 (20,000 磅) 水生動物的設施；和
 - ii. 在最大餵食的日曆月內餵食少於 2,272 公斤 (5,000 磅) 食物的設施。
 - b. 每年至少排放 30 天的池塘、水道或其他類似結構中的溫水魚類或其他溫水水生動物，但不包括：
 - i. 僅在徑流過多期間排放的封閉池塘；或者
 - ii. 每年生產少於 45,454 公斤 (100,000 磅) 水生動物的設施。
- B. 由許可當局根據具體情況指定為 CAAP 的水生動物生產設施，在確定其是美國水域污染的主要貢獻者後 (40 CFR 122.24(c)) 。

NPDES 許可證可由已獲得 EPA 批准頒發許可證的州或未經此類批准的州的 EPA 地區頒發，其需要制定一個「最佳管理實踐(BMP)計畫」內容需要說明如何達到(40 CFR 451.11 或§ 451.21(a)至(h)的要求。

由於條文內容廣泛，團隊僅節錄 40 CFR 451.11 及§ 451.21 內文出來。本條文共分兩個部分，分別為「子部分 A - 流通和再循環系統子類別」及「子部分 B - Net Pen Subcategory」，而條文 451.10 及 451.11 屬「子部分 A，條文 451.20 及 451.21 屬子部分 B。

A. 子部分 A - 流通和再循環系統子類別

- a. § 451.10 適用性。

本子部分適用於在流通或再循環系統中每年生產 100,000 磅或更多水生動物的集中水生動物生產設施的污染物排放。

- b. § 451.11 通過應用當前可用的最佳可行控制技術 (BPT) 可達到的排放限制。
 - i. 固體控制
 - 採用有效的飼料管理和飼餵策略，將飼料投入限制在實現生產目標和維持水生動物生長目標所需的合理最低量，以盡量減少未食用的飼料和廢物向美國水域的潛在排放。

- 為了盡量減少沉澱池、沉澱池和生產系統中累積固體的排放，確定並實施飼養單元和離線沉澱池的日常清潔程序，以及在盤點、分級和生產過程中盡量減少累積固體排放的程序。在生產系統中捕撈水生動物。
- 定期妥善清除和處置水生動物屍體，以防止排放到美國水域，除非許可當局授權此類排放以造福水生環境。
- ii. 材料儲存
 - 確保藥物、殺蟲劑和飼料的正確儲存方式旨在防止可能導致藥物、殺蟲劑或飼料排放到美國水域的溢出
 - 實施適當容納、清潔和處置任何溢出材料的程序。
- iii. 維護
 - 定期檢查生產系統和廢水處理系統，以發現並及時修復任何損壞。
 - 對生產系統和廢水處理系統進行定期維護，以確保它們正常運行。
- iv. 記錄
 - 為了計算有代表性的飼料轉化率，保存水生動物飼養單位的記錄，記錄飼料量以及水生動物數量和重量的估計值。
 - 保留記錄清潔、檢查、維護和修理頻率的記錄。
- v. 訓練
 - 為了確保正確清理和處置溢出材料，對所有相關設施人員進行充分培訓，以防止溢出以及在發生溢出時如何應對。
 - 培訓員工正確操作和清潔生產和廢水處理系統，包括進料程序培訓和正確使用設備。
- c. § 451.12 通過應用經濟上可實現的最佳可用技術（BAT）達到的排放限制。
- d. § 451.13 應用最佳常規技術（BCT）可達到的排放限制。
- e. § 451.14 新源性能標準（NSPS）。
- B. 子部分 B - Net Pen Subcategory
 - a. § 451.20 適用性。

本子部分適用於在網欄或水下網箱系統中每年生產 100,000 磅或更多水生動物的集中水生動物生產設施的污染物排放，但飼養本地物種的網欄設施在生長期不再超過 4 個月，以補充商業和運動漁業。

b. § 451.21 通過應用當前可用的最佳可行控制技術（BPT）可達到的排放限制。

i. 飼料管理

採用有效的飼料管理和飼餵策略，將飼料投入限制在合理必要的最低量，以實現生產目標和維持水生動物的目標生長率。這些策略必須通過使用主動飼料監測和管理實踐來最大限度地減少圍欄下未吃食物的積累。這些做法可能包括以下一項或多項：使用實時飼料監控，包括攝像機、數字掃描聲納和上升流系統等設備；監測圍欄下方的沉積物質量；監測圍欄下的底棲群落質量；收集廢物飼料和糞便；或許可當局批准的其他良好飼養實踐。

ii. 廢物收集和處置。

收集、返回岸上並妥善處理所有飼料袋、包裝材料、廢繩和網。

iii. 運輸或收穫排放

盡量減少與運輸或捕撈水生動物（包括血液、內臟、水生動物屍體）或運輸含有血液的水相關的任何排放。

iv. 屍體清除。

定期妥善清除和處置水生動物屍體，以防止排放到美國水域

v. 材料儲存。

- 確保藥物、殺蟲劑和飼料的正確儲存方式旨在防止可能導致藥物、殺蟲劑或飼料排放到美國水域的溢出

- 實施適當容納、清潔和處置任何溢出材料的程序。

vi. 維護

- 定期檢查生產系統，以識別並及時修復任何損壞。
- 對生產系統進行定期維護，以確保其正常運行。

vii. 記錄

- 為了計算有代表性的飼料轉化率，保持水生動物網欄的記錄，記錄飼料量以及水生動物數量和重量的估計值。
- 保留淨變化、檢查和維修的記錄。

viii. 訓練

- 為了確保正確清理和處置溢出材料，對所有相關設施人員進行充分培訓，以防止溢出以及在發生溢出時如何應對。
- 培訓員工正確操作和清潔生產系統，包括進料程序培訓和正確使用設備。

c. § 451.22 通過應用經濟上可實現的最佳可用技術可達到的排放限制（BAT）。

d. § 451.23 應用最佳常規技術可達到的排放限制 (BCT).

e. § 451.24 新資源性能標準(NSPS).

NPDES 許可證有效期限為五年，NPDES 許可證可以在許可證持有人申請後隨時更新（重新頒發）。此外，如果設施在許可證到期前 180 天以上重新申請，並且 EPA 或頒發原始許可證的州監管機構在許可證到期日之前沒有因被許可人的過錯而續簽許可證，則 NPDES 許可證可以行政延期。

(2) 蘇格蘭

蘇格蘭各地的海洋有鰭魚養殖使用開網圍欄進行。眾所周知，養殖漁業將面臨到魚類排泄物、食物殘渣、藥劑的殘留和其他化學品會通過網擴散到海洋環境中。剩餘的藥物會附著在有機顆粒上沉積在海底。隨著時間的推移，自然生物過程會分解和吸收廢物。從農場釋放的溶解化學物質，包括一些藥物殘留物和氮化合物，以及從沉積廢物中重新懸浮的化學物質，分散在海中，直到分解或同化。

為保護海洋環境，有鰭魚類養殖場排放的廢物數量必須與海洋的分散和同化能力相匹配，以免達到危害海洋生物的水平。國家環保總局作為環境監管機構的職責是確保這一點^[8]。決定養魚場的廢物是否被充分稀釋的兩個主要因素為：

A. 排放的廢物數量(取決於農場的大小)。

B. 海洋驅散廢物的能力。這根據潮汐的強度以及在較小程度上的風而變化。

釋放的藥物數量部分取決於農場規模，但也取決於場地對疾病和感染的脆弱性；農場使用非化學技術來幫助控制疾病和感染；以及這些技術的有效性。

目前蘇格蘭的水產養殖主要涉及以下 1. 鮭魚和海鱒魚放在海圍欄裡養殖；2. 淡水圍欄中的鮭魚和鱒魚養殖；3. 貝類（牡蠣和貽貝）在海中的木筏和線路上養殖。國家環保總局通過頒發限制魚類排放到水環境中的污染物水平的許可證來規範魚類養殖場的排放。農場使用淡水的地方蘇格蘭環境保護署(Scottish Environment Protection Agency, SEPA)頒發許可證以控制可提取的水量(SEPA 不規範貝類的生長)。

SEPA 對許可證的監管有以下幾個部分：申請前工作；申請和頒發許可證；遵守；和執法。這些都在魚類養殖業計畫、公司計畫以及我們與其他監管機構的合作範圍內，詳圖 3-1 所示。

A. 申請前之準備

在申請許可證之前需要收集以下幾點：

- a. 了解提案可能如何影響當地社區。（通過與可能受到影響的社區接觸來完成這一項工作，需與 SEPA 討論如何辦理這場會議以及邀請對象）
- b. 水深測量和當前數據，以了解材料將如何從農場分散
- c. 建模以了解海洋物種或棲息地如何受到影響
- d. 了解當前環境狀況並確認重要物種或棲息地的存在或範圍

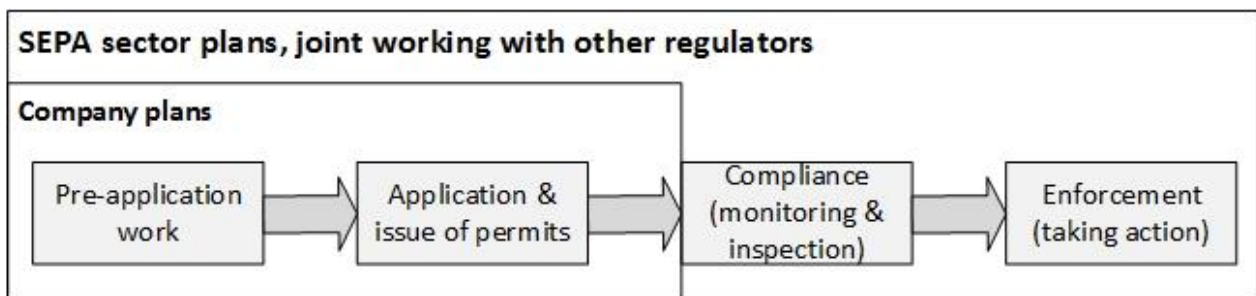


圖 3-1 英國監管養魚場排放的新框架

B. 申請許可證

在提交許可證申請之前，請遵循預申請流程，以確保您已收集適當的信息來支持您的申請。未能提交適當的信息可能意味著我們將退回未處理的申請。

申請過程會與法定諮詢者（例如 SNH 和 Marine Scotland 等機構）以及一些認為此案件會影響到自身利益的個人或組織進行協商，然此後者多數已於(1)申請前準備事項 A. 進行了溝通，可由此步驟的溝通過程來進行提案的調整。民眾可以於預申請及申請過程中所公布的資訊向 SEPA 進行陳述，這些陳述將會再申請過程中納入考量。許可證申請流程如圖 3-2 所示。

除了上述許可證申請外，在取得許可證後尚須受到「魚類的最大重量」、「休耕期」、「藥品和化學品的控制」等管制，且需要進行藥物投放量、藥物的投放時間、每月同一物種收穫總重量、每月飼料投放總量、每月總死亡重量等紀錄。

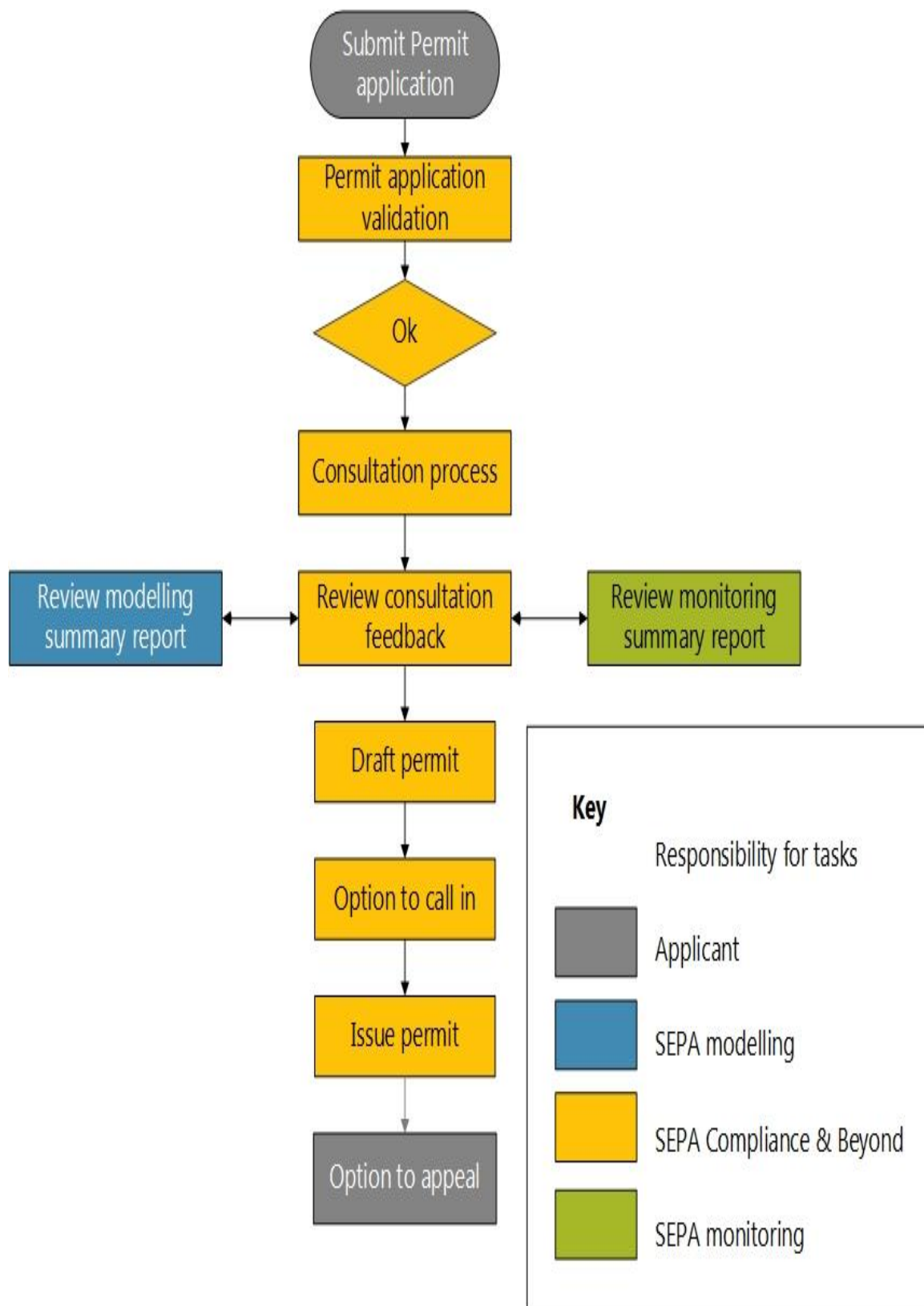


圖 3-2 許可證申請流程圖

二、 防範措施

1. 國內

(1) 水環境巡守隊

各民眾成立水環境巡守隊邀請民眾參與水污染防治工作的具體作為，落實河川巡守政策，行政院環境保護署於 93、95、91 年分別於北、中、南 3 區設立水環境保育中心，作為水環境巡守隊與政府部門溝通的平臺，提供污染舉發及巡檢工作技術支援，也結合各地環保局開始辦理水環境巡守隊教育訓練，加強巡守隊員巡守的技巧及污染通報流程。並輔導各巡守隊建立「巡檢路線」及「照顧區」，由環保單位劃定流域中重要的水源水質區、遊憩區或污染熱區，再由巡守隊員進行定期的巡檢及淨溪淨川活動，藉此維護水質健康。

水環境巡守隊定期至該管轄範圍進行巡檢、淨溪、水質檢測等活動，若有發現轄區內水質狀況不佳或疑似受到污染，則會通報環保單位，請環保單位協助處理，減緩水環境污染次數，藉此減緩污染源對沿岸生態環境之衝擊。

(2) 水污染防治措施

為防治水污染，確保水資源之清潔，以維護生態體系，改善生活環境，增進國民健康，特制定〈水污染防治法〉，於六十三年七月十一日訂定發布，並於於一百零七年六月十三日修正發布

行政院環境保護署於於九十五年十月十六日訂定發布〈水污染防治措施及檢測申報管理辦法〉迄今，歷經七次修正，最近一次於一百零八年三月八日修正發布，已奠定各項水污染防治措施之管理制度，並維護我國水體環境。

於〈水污染防治措施及檢測申報管理辦法〉中規範了各污（廢）水之處置方式，並訂定放流水排放標準，從而減緩污（廢）水對於水環境生態之污染。

根據〈水污染防治法〉之附件 水污染防治法事業分類及定義之第 54 項水產養殖業之定義為從事漁牧綜合經營、淡水或鹹水漁塭水產生物養殖之事業。適用於以下產所：

A. 位於自來水水質水量保護區：

a. 漁牧綜合經營養殖面積達〇·二五公頃以上者。

b.一般淡水魚塭養殖面積達一・五公頃以上者。

c.鹹水魚塭養殖面積達三公頃以上者。

B.非位於自來水水質水量保護區：

a.漁牧綜合經營養殖面積達〇・五公頃以上者。

b.一般淡水魚塭養殖面積達三公頃以上者。

c.鹹水魚塭養殖面積達六公頃以上者。

2. 國外

(1) 保護海洋環境免受陸源污染全球行動計畫

聯合國環保署於 1995 年(民國 84 年)在美國華盛頓與 108 國政府及歐洲聯盟委員會所召開之政府間會議上通過“保護海洋環境免受陸源污染全球行動計畫”(The Global Programme of Action for the Protection of the Marine Environment from Land-based Activities, GPA)^[9]，並發表了《華盛頓宣言》。旨在應對人類陸地活動所引起的對海洋及沿海環境的健康、繁殖及生物多樣性的威脅。“保護海洋環境免受陸源污染全球行動計畫”提出在由地方、國家、區域到全球各級參與的基礎上採取統一的跨領域的行動舉措，它是全球唯一明確提出處理淡水、沿海及海洋水環境相互間問題的機構。全球行動計畫使世界上很多國家建立了相應制度，檢查立法框架和環境政策以保護海洋和沿海地區環境的可持續發展。2001 年全球 100 餘國家參加了聯合國環境署在加拿大蒙特利爾召開的第一次全球行動計畫實施情況政府間審查會議(IGR-1)，此次會議主要是審查在行動計畫的時期內各國的進展情況，提出新的工作目標和措施，會議通過了《蒙特利爾宣言》。對全球行動計畫的發展起到了有利的作用，被公認為是推動海岸、海洋和島嶼的生態系統管理的有效途徑。

《保護海洋環境免受陸上活動污染全球行動綱領》(GPA)：

- A. 確定了九種海洋和沿海污染源類別：污水、永續性有機污染物 (POP)、放射性物質、重金屬、油 (碳氫化合物)、營養鹽、沉積物移動、垃圾以及棲息地的物理改變和破壞
- B. 提出問題評估、優先順序設定、管理策略、評估和融資的邏輯順序，以解決這些污染源
- C. 建立資訊交換機制，以改善對每個來源類別的資訊和專業知識的獲取
- D. 全球夥伴關係

《保護海洋環境免受陸上活動污染全球行動綱領》（GPA）與聯合國環境規劃署的科學和法律司一起制定了一個名為“透過加強全球行動協調保護海洋環境免受陸上污染”專案。該專案於 2019 年 1 月啟動為期五年，旨在透過全球夥伴關係的關鍵作用，包括全球海洋垃圾夥伴關係（GPML）、全球營養鹽管理夥伴關係（GPNM）和全球廢水倡議（GW2I），加強應對陸源污染，加強合作，並促進行動，以解決與廢水污染、營養鹽管理和海洋垃圾有關的問題。

該專案分為六大重點，旨在提供技術和政策支援，以加強政府間的政策方向、以全球協調應對陸源污染。簡要描述如表 3-2 所示。

表 3-2 “透過加強全球行動協調保護海洋環境免受陸上污染”專案

No.	內容	簡述
A	技術和政策支持，以加強全球協調響應的政府間進程	將建立一個改進的監督機制，以加強各國的直接投入，並引導聯合國大家庭機構參與 GPA 的全球治理。這個過程將在制定戰略指示、監測和報告方面與聯合國環境規劃署大會（UNEA）建立明確的職能和協同關係。
B	政策支援、技術援助、示範點，以支援治理框架，解決海洋垃圾和微塑膠問題	這將有助於 UNEA 推進全球治理安排時，以解決海洋垃圾和微塑膠問題方面的任務。它將通過各國協助監測和評估與 SDG14.1 目標報告相關的海洋垃圾和河流輸入來支持。該組件還將支持良好做法的示範。
C	加強可持續營養鹽管理的工具、方法、框架和示範點	該組成部分將著重於提高海洋環境影響有關的營養鹽挑戰能見度，促進地理區域額外成本效益評估方法，並有助於為全球協調應對建立更好的舞台。將投資協助各國根據可 SDG 14.1 目標監測沿海營養鹽污染，並透過應用工具和最佳實踐能力建設做出貢獻。
D	技術援助、指導、示範點和知識，以支援加強可持續廢水管理	本部分將著重於複製工具和方法，以加強應用創新方法進行可持續廢水管理的能力。該部分還將著重於促進私營部門對可持續廢水管理的投資和夥伴關係，以及加強全球廢水倡議（GW ² I）。該項目亦將重點監測與 14.1 指標相關的 SDG 6.3-營養素和微塑膠，以及新興污染物，包括廢水中的內分泌干擾物和藥物。

表 3-2 “透過加強全球行動協調保護海洋環境免受陸上污染” 專案(續)

No.	內容	簡述
E	提高國家和區域能力的監測和評估工具和方法	在更高的計畫層面，該項目將與區域海洋計畫密切協調並透過區域海洋計畫，在 SDG 框架內（在主題領域下）的協調評估工作，以提高各國監測和報告陸地污染的能力。這將包括與科學司(the Science Division)和淡水股(the Freshwater Unit)的內部合作；以及與相關合作伙伴的外部合作。
F	建立知識中心、傳播工具、提高認識和能力以改變行為和推動行動	該項目有助於擴大知識產出對利益相關者之影響，可透過各種可用的媒體、工具和學習方法為決策和行動提供資訊。該組成部分將包括建立一個海洋源頭學院，以整合能力建設資源，並為發展知識庫和傳播提供途徑。

(2) 日本

日本於 2020 年 7 月 1 日起減塑政策上路，全面實施塑膠袋收費制度，實施範圍包括日本各大零售業者、便利商店等。政策上路後，百貨公司亦開始以紙袋取代塑膠袋，店家可以視情況自訂塑膠袋費用，但至少需要收取 1 日元(未稅)。於 2021 年 6 月 11 日頒布了《塑料資源循環促進法》(プラスチック資源循環促進法案)^[10]。該法案規定含塑料產品的不同階段（從設計、製造、銷售和回收到回收利用）循環塑料資源的措施，以促進塑料廢物的減少、收集和循環利用。另於 2022 年 4 月起要求日本大公司減少使用 12 種一次性塑料物品，如餐具和吸管，作為在海洋污染日益關注的情況下保護環境的一部分^[11]。

日本制定了海洋塑料垃圾國家行動計畫，以實現一個沒有塑料垃圾額外污染的世界。行動計畫中的措施包括^[12]：

- A. 促進適當的廢棄物管理系統
- B. 防止亂扔垃圾、非法傾倒和無意洩漏到海洋中
- C. 收集陸地上的零散廢物
- D. 從海洋中回收塑膠垃圾
- E. 創新發展替代材料

- F. 與利益相關者的合作
- G. 國際合作以促進發展中經濟體的措施
- H. 調查實際情況和積累科學知識

除此之外，日本政府、私人機構和公眾之間也建立了夥伴關係和共同努力，以改善對海洋垃圾污染的預防。例如，成立了海洋塑料公私創新夥伴關係，以支持替代材料等創新的發展。與日本財團聯合組織的一場經濟範圍內的清掃活動“海見零週”記錄了超過 400,000 人參與減少海洋垃圾的情況。海洋垃圾監測是根據《關於促進處理影響保護良好沿海景觀和環境以保護自然美景和海洋環境的海洋垃圾處理法》實施。除了沙灘垃圾，日本還監測海洋中的漂浮垃圾和海底垃圾。作為該法案的一部分，中央和地方政府必須努力對海洋垃圾的情況和原因進行定期調查，以促進控制海洋垃圾產生所需的有效政策。

(3) 法國

法國於 2016 年 7 月起規定，速食業者須進行 5 種項目之垃圾分類，分類項目有紙/紙板、金屬、塑料、玻璃和木材。此外，2020 年 1 月 1 日起禁止使用一次性塑膠用品(如一次性杯子、玻璃杯和盤子)，2021 年 1 月 1 日起禁用塑膠吸管、一次性餐具、塑料五彩紙屑或發泡聚苯乙烯盒（三明治盒）。並為製造商設定減量目標，至 2025 年必須淘汰 45 萬噸一次性塑料包裝。循環經濟反廢物法設定的目標是到 2040 年實現零塑料包裝。從 2023 年 1 月 1 日起，快餐店將禁止使用一次性包裝：所有在現場用餐的餐點都必須放在可重複使用的盤子中。並簽署《海洋塑料憲章》，承諾 2030 年前實現 100% 可重複使用、可回收或在無可行替代品的情況下，提高可回收塑膠的成分佔比^[13]。

此外，法國於 2022 年 1 月起禁止幾乎所有水果和蔬菜的塑膠包裝，且公共場所必須提供飲水機，以減少寶特瓶的使用；新聞和宣傳出版物必須在沒有塑膠包裝的情況下運送，而快餐店不再提供免費的塑膠玩具^[14]。

(4) 義大利

義大利從 2019 年 1 月 1 日起，禁止生產、販售及使用塑膠棉花棒，只有可以生物降解及可堆肥的棉花棒是合法的，且製造商必須在包裝上明確說明如何正確處理棉花棒。自 2020 年 1 月 1 日起禁止生產和銷售含有塑膠微粒的可水洗化妝品，其定義為 5 毫米以下的不溶性塑

膠產品。兩項規定均處以 2,500 至 25,000 歐元的罰款。如果包含的產品數量很大，或者其價格超過違法者總銷售額的 20%，則可以大幅增加罰款。

(5) 德國

德國自 1991 年已立法要求提供塑膠袋的零售商店應繳稅或徵稅，零售商店則透過對每袋商品收取 5 至 10 歐元的費用減少塑膠袋使用量。並因應歐盟的一次性塑膠指令(2020 年 11 月)，自 2021 年 7 月起限制多種一次性塑膠製品在市面上銷售，包括一次性塑膠餐具、餐盤、攪拌棒、棉花棒、以及保麗龍製的外帶飲料杯和各式食物容器。自 2022 年起全國範圍禁止銷售塑膠袋^[13]。

(6) 澳大利亞

根據澳大利亞環境保護和生物多樣性保護法，海洋垃圾被列為威脅海洋生物的關鍵過程，並且已經制定了一項〈Threat Abatement Plan〉，以了解塑膠微粒污染的影響並發現新的廢棄物管理技術。〈Threat Abatement Plan〉根據以下目標為預防海洋垃圾的行動提供指導^[12]：

- A. 長期預防海洋垃圾的發生。
- B. 了解海洋塑膠和塑膠微粒對關鍵物種、生態群落和地點的影響程度。
- C. 清除現有的海洋垃圾。
- D. 監測海洋垃圾的數量、來源、類型和有害化學污染物，並評估減少海洋垃圾的管理安排的有效性。
- E. 提高公眾對有害海洋廢棄物（包括塑膠微粒和危險化學污染物）的原因和影響的了解，從而帶來行為改變。

〈Threat Abatement Plan〉是對澳大利亞 2018 年國家廢棄物政策的補充，旨在通過從源頭上解決海洋垃圾、改進廢物減少和回收利用以及鼓勵行業為其產品建立生產者擴展責任來減少海洋垃圾。

此外，澳大利亞承諾 2025 年包裝實現 100%可回收、可堆肥或可重複使用的目標。澳大利亞包裝公約是管理減少消費包裝對環境影響的主要經濟手段。該公約制定了一項戰略計畫，致力於開發可持續包裝和設計，通過消費者教育和包裝處置標籤將包裝從垃圾填埋場轉移，並通過跨行業的研究和知識共享來提高包裝的可持續性績效。

澳大利亞參與了海洋垃圾預防工作，包括太平洋垃圾項目（Pacific Ocean Litter Project，POLP）和 APEC 在這個問題上的倡議。POLP 旨在減少一次性塑料的來源，並專注於減少和拒絕（非回收）太平洋島嶼經濟體的廢棄物管理方法。澳大利亞的主要補救行動是在許多地方定期清理海灘和水道，即使是在偏遠和受污染的地區也是如此。收集到的海洋垃圾記錄在澳大利亞海洋垃圾數據庫中，其中包含有關海洋垃圾的數量、類型、清理頻率以及一個地區隨時間變化的信息。這些數據將有助於識別針對特定區域定制的解決方案。還為大堡礁等更大規模的清理工作提供資金。

(7) 加拿大

加拿大在 2018 年擔任 G7 主席國期間倡導了《Ocean Plastics Charter》，將主要政府、企業和民間組織聚集在一起，承諾採取行動減少塑料污染，並在陸地和陸地上採取更節約資源和生命週期的方法來管理塑膠。加拿大為了支持《Ocean Plastics Charter》宣布撥款 1 億加元用於解決海洋塑料垃圾問題，其中 600 萬加元用於世界經濟論壇全球塑料行動夥伴關係（GPAP），6500 萬加元通過世界銀行 PROBLUE 基金用於解決海洋塑料垃圾問題。發展中國家的塑料廢物和 2000 萬加元用於國際塑料創新挑戰^[12]。

2018 年 11 月加拿大推出了全國零塑膠垃圾戰略，其戰略以《Ocean Plastics Charter》為基礎，對塑膠採取循環經濟和生命週期方法，並為加拿大的行動提供框架。其中概述了 10 個行動領域，以使所有塑膠保持在經濟中，遠離垃圾填埋場和環境。該戰略側重於通過加強預防、收集和價值回收的生命週期方法，以發展更加循環的塑料經濟並減少塑料污染。“零塑膠垃圾行動計畫”分為兩個階段，加拿大環境部長於 2019 年發布了“第 1 階段將確定了改善塑膠在經濟中的循環性並進行必要的系統變革以減少塑料廢物的行動。第 2 階段將於 2020 年推出，將確定以下行動：提高消費者、企業和機構的意識；減少水生活動產生的廢物和污染；推進科學；捕獲和清理環境中的碎片；並為全球行動做出貢獻。

2022 年 6 月 22 日，加拿大政府在《加拿大公報》第二部分發布了《一次性塑膠禁止條例》（Single-use Plastics Prohibition Regulations）^[15]。該條例禁止製造、進口和銷售 6 類一次性塑膠（SUP）物品，出口暫時豁免，詳表 3-3 所示。

表 3-3 加拿大《一次性塑膠禁止條例》各項目禁令生效期程

項目	禁止製造和進口	禁止銷售	禁止出口
一次性塑膠購物袋 (B.1 Single-use plastic checkout bags)	2022 年 12 月 20 日	2023 年 12 月 20 日	2025 年 12 月 20 日
一次性塑膠餐具(叉子、刀子、勺子、叉子或筷子) (B.2 Single-use plastic cutlery)	2022 年 12 月 20 日	2023 年 12 月 20 日	2025 年 12 月 20 日
一次性塑膠餐盒(盒子、杯子、盤子或碗等) (B.3 Single-use plastic foodservice ware)	2022 年 12 月 20 日	2023 年 12 月 20 日	2025 年 12 月 20 日
一次性塑膠杯架 (B.4 Single-use plastic ring carriers)	2023 年 6 月 20 日	2024 年 6 月 20 日	2025 年 12 月 20 日
一次性塑膠攪拌棒 (B.5 Single-use plastic stir sticks)	2022 年 12 月 20 日	2023 年 12 月 20 日	2025 年 12 月 20 日
一次性塑膠吸管 (B.6 Single-use plastic straws)	2022 年 12 月 20 日	2023 年 12 月 20 日 ※禁止銷售再飲料包裝上的吸管 2024 年 12 月 20 日	2025 年 12 月 20 日

資料來源:Single-use Plastics Prohibition Regulations - Technical guidelines^[15]

(8) 智利

智利有多項關於妥善管理陸上垃圾的法律法規，包括一般生活垃圾的收集、分類、回收、儲存、運輸和處置，這些可能間接導致海洋垃圾污染。處理海洋垃圾污染的具體法律和法規包括防止將廢物（例如來自船舶或水產養殖設施）非法傾倒到水道或海灘。智利已通過多項國際公約，包括 MARPOL、倫敦公約和聯合國海洋法公約來管理海洋垃圾。智利還成立了一個國家工作組來解決海洋垃圾及塑膠微粒之問題。智利陸域污染源之海洋垃圾的主要來源是生活垃圾。智利針對海洋垃圾的主要預防措施是一項禁止在其沿海地區出售塑膠袋，從而減少最終進入海洋的塑膠數量。另一項措施是提高對海洋垃圾對環境影響的認識。這是通過由非政府組織（NGO）或在政府支持下的私人組織組織的活動來完成的^[12]。

智利對海洋垃圾的一項關鍵補救措施是其海灘清理計畫。最受認可的是由海洋領土和商船總局（DIRECTEMAR）組織的國際海岸清潔活動期間舉辦的經濟範圍內的活動。智利採取的其他補救措施包括：

- A. 制定智利沿海海洋垃圾識別和繪圖計畫
- B. 促進私人、公共和學術界之間在監測和收集海洋垃圾方面的合作
- C. 加強 MARPOL 附則 V 的執行（例如，標記和處理漁具）
- D. 提高水產養殖、漁業和航運業的意識（即智利海洋垃圾方面的最大污染者）
- E. 提供足夠的陸上廢棄物接收設施
- F. 制定自願計畫減少船上的塑膠包裝。

從 2019 年開始，智利海事局在海洋環境保護科學方面聯合專家組（GESAMP）的海洋生物學家和環境工程師的支持下，一直在監測 13 個海灘的人為垃圾。

智利的塑膠垃圾與其他生活垃圾將一起被收集、運輸和處置，主要是在垃圾填埋場進行處置。除了上述之外，還有自願交付系統，通過綠色點或清潔點，可以將聚對苯二甲酸乙二醇酯（PET）塑料丟棄以進行後續回收。智利已公開承諾邁向“新塑料經濟”，並於 2018 年 10 月簽署了《塑料新經濟全球承諾》，以實施可衡量的政策並報告到 2025 年取得實際的進展

(9) 韓國

韓國有關於適當廢棄物管理的立法，包括收集、儲存、運輸、處理和處置。其專門針對海洋垃圾的立法包括關於防止廢物排放入海的法規。韓國立法中的一些措施取自 MARPOL 等國際公約。韓國加入的其他國際公約包括《聯合國海洋法公約》和《倫敦公約》。韓國陸域污染源之海洋垃圾的主要來源是旅遊和沿海休閒活動，而海洋垃圾主要來自漁業活動。海洋塑料廢棄物管理戰略於 2019 年 5 月制定，旨在到 2030 年將當前海洋塑料量減少 50%。這一目標將通過制定行動計畫來實現，包括通過針對海洋塑膠廢棄物之源頭減量物；改進從船上收集海洋塑膠；加快海洋塑膠的加工和回收；加強塑膠垃圾管理的基礎，提高社會對海洋垃圾的認知（意識培訓）。例如，韓國引入了可回收廢物管理綜合戰略，以改進產品生命週期規劃，包括製造、分銷、收集和回收利用。實施的主要預防措施包括^[12]：

- A. 限制使用塑膠包裝（以及主要分銷公司自願減少包裝）

- B. 防止在百貨公司、零售店、大型購物場所出售塑膠袋
- C. 減少一次性產品使用，從而盡量減少廢棄物的產生和韓國主要河流的垃圾收集

(10) 美國

美國環境保護署 (EPA) 開發了可持續材料管理方法 (Sustainable Materials Management, SMM) ^[12]，該方法在材料的整個生命週期內有效地利用和再利用材料。SMM 方法旨在：

- A. 以最高效的方式使用材料，並強調使用更少。
- B. 在整個材料生命週期中減少有毒化學品和環境影響。
- C. 確保我們有足夠的資源來滿足今天和未來的需求。

EPA 還專注於通過減少源頭、再利用、回收、堆肥和能源回收來管理廢物。為了防止海洋垃圾污染，美國環保署還在整個經濟體和國際範圍內實施了無垃圾水域 (Trash Free Waters) 計畫 (TFW) ^[13]。TFW 的運作方式是將當地以及城市、州和地區各級的利益相關者聚集在一起，以發現問題並優先考慮低技術、低成本的解決方案，以防止和減少海洋垃圾和垃圾。美國主要清除陸地源海洋廢棄物的手段是於河口建造各種廢棄物收集設備。工作人員會針對不同地形及用途挑選不同設備類型，如圖 3-3 所示。目前在海灣區 60 多個管轄區安裝了 4000 多個中小型垃圾收集裝置、42 個大型垃圾處理設備和創建了一個有密碼保護的線上程式，以幫助市政當局跟踪垃圾收集裝置的維護情況。

此外，根據綠色和平 2018 年所彙整之各國、地區或城市相關減塑政策^[13]，團隊並將所收集到資料更新至表中，詳如表 3-4 所示。



圖 3-3 美國河口廢棄物收集裝置

表 3-4 各國、地區或城市相關減塑政策

政策	實施的國家、地區或城市
完全或部分禁用塑膠袋	非洲：貝寧、布吉那法索、卡麥隆、維德角、剛果、查德、象牙海岸、東非、埃及、厄利垂亞、衣索匹亞、加朋、甘比亞、幾內亞比索、肯亞、馬拉威、馬利、馬達加斯加 Malagasy、茅利塔尼亞、摩里西斯、摩洛哥、莫三比克、尼日、奈吉利亞、盧安達、蒲隆地、賽內加爾、賽席爾、索馬利亞、索馬利蘭、南非、南蘇丹 Bor Town、蘇丹 Khartoum、坦尚尼亞、烏干達、辛巴威
完全或部分禁用塑膠袋	亞洲：柬埔寨、不丹、中國吉林省、印度、印尼 Banjarmasin 與 Bandung、馬來西亞 Penang 州與聯邦領地、馬爾地夫 Maalhoi、Bodufolhudhoo 與 Ukulhas；蒙古、孟加拉；緬甸 Mandalay、Nay Pyi Taw 與仰光；尼泊爾、巴基斯坦 Punjab、Sindh、伊斯蘭馬巴德首都與 Khyber Pakhtunkhwa、菲律賓 27 城市、斯里蘭卡、科威特、阿曼、沙烏地阿拉伯、阿拉伯聯合大公國 中南美洲：安地瓜與百慕達、阿根廷布宜諾斯艾利斯與 Cordoba、貝里斯、巴西聖保羅、智利、厄瓜多拉加拉帕哥斯群島、瓜地馬拉部分城市、圭亞納、海地、牙買加、洪都拉斯三城市、墨西哥 Queretaro、巴拿馬、聖文森
完全或部分禁用塑膠袋	歐洲：比利時 Wallonia 與布魯賽爾；法國、西班牙加泰隆尼亞、斯洛維尼亞、德國 北美：加拿大四城市；美國德州奧斯汀、紐約、加州、西雅圖 大洋洲：美屬薩摩亞、美國夏威夷；澳洲 Coles Bay、南澳洲、首都領地、北領地、塔斯馬尼亞、昆士蘭；紐西蘭、巴布亞新幾內亞、萬那杜、馬紹爾群島、帛琉
塑膠袋收費	非洲：波茲瓦那、莫三比克、南非、烏干達 亞洲：柬埔寨、香港、印尼 23 城市、以色列、南韓首爾、敘利亞、臺灣、土耳其、越南、日本 中南美：巴西里約熱內盧、烏拉圭 歐洲：比利時、保加利亞、克羅埃西亞、賽普勒斯、捷克、丹麥、愛沙尼亞、德國、希臘、匈牙利、愛爾蘭、拉脫維亞、立陶宛、盧森堡、馬爾他、荷蘭、波蘭、葡萄牙、羅馬尼亞、斯洛伐克、西班牙 Andalusia、瑞典、北愛爾蘭、蘇格蘭、英格蘭、威爾斯 北美：美國華盛頓 DC、芝加哥 大洋洲：斐濟

表 3-4 各國、地區或城市相關減塑政策(續)

政策	實施的國家、地區或城市
結合禁用與收費	非洲：突尼西亞 亞洲：中國、以色列 中南美：哥倫比亞、墨西哥市 歐洲：義大利 北美：舊金山
禁用塑膠吸管、餐具與保麗龍	哥斯大黎加、牙買加（吸管與保麗龍）、萬那杜、印度、法國、斯里蘭卡、美國加州（刪去馬里布市，現在加州已通過不得主動提供吸管法案）與西雅圖、蘇格蘭（吸管）、美國 15 城市（吸管）、加拿大溫哥華（吸管）、南韓（內用不用塑膠杯）；歐盟（十項一次用塑膠的減塑計畫）、英國（25 年內禁用）

資料來源：綠色和平組織，全球減塑政策大彙整！歐盟、韓國政策值得參考（2021.01.21 更新），團隊重新製表及新增部分國家

三、循環再利用技術規範

1. 國內

(1) 循環水養殖設施

為改善養殖漁業對水土資源的依賴度，減少對環境造成衝擊，並提升養殖生產效能與減少用水量。目前政府推廣室外綜合養殖循環系統，利用數個養殖池循環調度養殖用水，將輪流休養的水池當作蓄水池，依養殖狀況將各池的水引回蓄水池中沉澱，再將淨化的水由蓄水池引回各養殖池，達到不排養殖廢水又節水利用成效。

行政院農業委員會於 2021 年 10 月 14 日公告「一百十一年度至一百十三年度循環水養殖設施補助要點」，於要點中三定義本要點定義了循環水養殖設施，指於魚塭增設物理過濾設備、微生物過濾設備或其他可節水之相關設施或設備。並於第四點說明了補助基準：

- A. 室外循環水養殖設施及工程：補助實際施作總價二分之一，每戶最高補助上限新臺幣（以下同）一百萬元。
- B. 室內自動化循環水養殖系統設備及工程：補助實際施作總價二分之一，每戶最高補助上限二百萬元。

(2) 畜牧廢水再利用

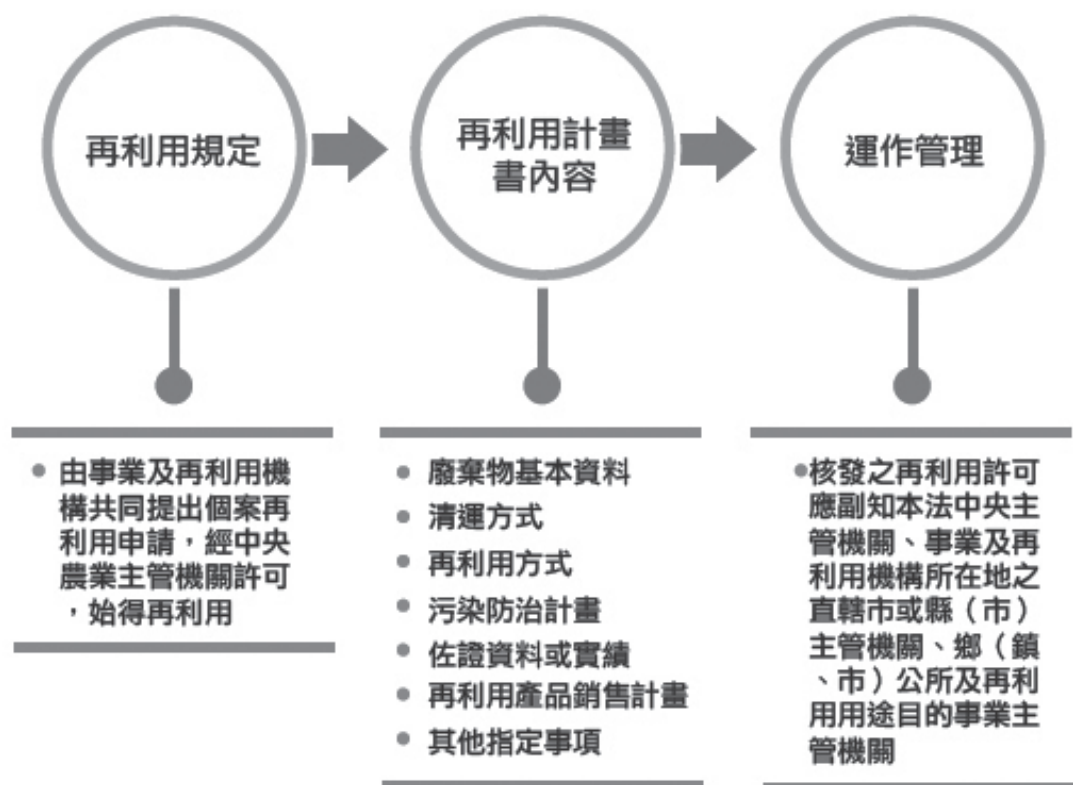
畜牧廢水經三段式處理後仍有富含有機成分及氮、磷、鉀等植物可利用之養分，這些可用的資源若直接排放至河川水體，則會造成河川水體污染及衍生資源錯置問題；因此我國已將畜牧糞尿水資源化利用已納入「水污染防治法」及「廢棄物清理法」相關規定，畜牧糞尿或廢水可依據「農業事業廢棄物再利用管理辦法」申請個案再利用，沼液沼渣依「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」申辦「沼液沼渣作為農地肥分使用」；或經處理至符合放流水標準，作為植物灌溉之水源使用

根據行政院環境保護署民國 106 年 6 月 14 日修訂公告之「廢棄物清理法」第三十九條授權訂定之，推動畜牧糞尿水施灌農作之個案再利用申請輔導。申請個案另根據行政院農業委員會民國 108 年 2 月 27 日修訂公告之「農業事業廢棄物再利用管理辦法」第 4 條申請個案再利用許可，由事業（畜牧場）及再利用機構（耕作農民）雙方同意後，共同檢具再利用申請表及再利用計畫書，向農委會提出申請。再利用計畫書內容應包括：（一）廢棄物基本資料、

(二) 清運方式、(三) 再利用方式、(四) 污染防治計畫，包含再利用後賸餘廢棄物之清理計畫、(五) 其他經中央農業主管機關指定事項。經農委會完整性審查（符合申請資格及文件完整性）及實質審查後通過後由農委會核發許可。許可期限，如為首次申請通過為 2 年，展延申請則須視個案監測結果核予 1 ~ 5 年不等之期限。取得再利用許可後，事業機構（畜牧場）應變更水污染排放相關文件，倘登記飼養豬 2,000 頭以上或牛 250 頭以上者，則尚應變更事業廢棄物清理計畫書；再利用機構若屬廢棄物清理法第 31 條第 1 項列管再利用機構者，應變更事業廢棄物清理計畫書，若為農民則免。變更完成後，雙方訂定契約書並送農委會備查，即可開始施灌，申請流程詳圖 3-4 所示。

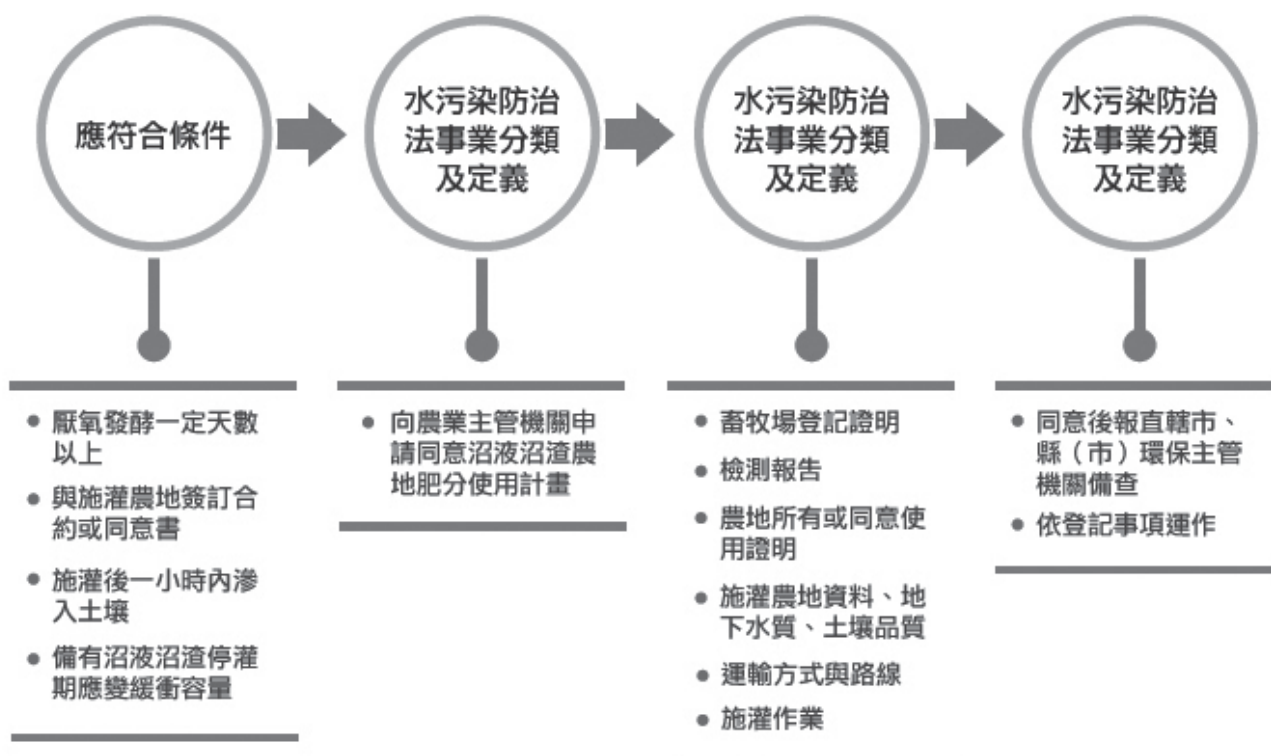
此外，「水污染防治措施及檢測申報管理辦法」在 104 年 11 月 24 日增訂「沼液沼渣作為農地肥分使用」專章，符合該辦法第 70 條之 1 規定之畜牧業，可依照第 70 條之 2 規定，檢具沼液沼渣肥分使用計畫向地方農業主管機關提出申請，將畜牧糞尿由放流水管制轉化為肥分資源使用。經地方農業主管機關審查同意後，並報直轄市、縣（市）環保主管機關備查，依登記事項運作，申請流程如圖 3-5 所示。沼液沼渣作為肥分使用，應符合下列規定：

- A. 畜牧糞尿排入厭氧發酵設施，應能妥善收集沼氣，厭氧發酵天數如為非草食性動物必須在 10 天以上、草食性動物則需 5 天以上，並應定期排出沼液、沼渣。但地方農業主管機關可依照個別計畫審查另核定厭氧發酵天數。
- B. 施灌農地非沼液沼渣農地肥分使用者所有，應與施灌農地所有人、管理人或使用人簽訂共同執行沼液沼渣農地肥分使用計畫之合約或出具同意書，沼液、沼渣應於施灌後 1 小時內，完全滲入土壤，施灌農地表面不得積留沼液。但以灌溉水混合溝灌或漫灌，不在此限。
- C. 厭氧發酵後或再經曝氣處理後產生之沼液、沼渣，全量施灌於農地，作為農地肥分者，應備有暫停施灌期間之應變緩衝容量。該應變緩衝容量 10 天以上，得由厭氧發酵設施、曝氣處理設施（以採再經曝氣處理者為限）或其他貯存設施提供，厭氧發酵設施容量超出規定之容量（厭氧發酵天數非草食性動物 10 天以上、草食性動物 5 天以上），得計入應變緩衝容量。
- D. 沼液沼渣農地肥分使用計畫核准的有效期限 5 年，期滿仍繼續使用者，應自期滿 6 個月前起算 3 個月之期間內，向地方農業主管機關申請展延，每次展延，不得超過 5 年。



圖片來源：行政院環境保護署水質保護網。

圖 3-4 農業事業廢棄物個案再利用申請流程



圖片來源：行政院環境保護署水質保護網。

圖 3-5 沼液沼渣農地肥分使用申請流程

2. 國外

丹麥^[16]於 1980 年代環境部和農民工會同意啟動“良好農業規範”(good agricultural practice)計畫，旨在通過提高氮利用效率和減少化肥氮進口來減少氮損失。這對排放沒有影響或影響有限，並且在 1980 年代後期，引入了關於糞肥儲存容量、生長季節糞肥施用和每公頃農田動物數量限制的強制性規定(Harmony Rules)。1985 年早期引入的和諧規則防止了當地非常高的氮和磷過剩。

丹麥在法規裡針對養殖場必須在中央畜牧管理登記處登記，在新設、擴建或變更畜舍、糞尿及青貯廢液貯存設施時必須事先報告，有效地防止了畜禽排泄物的環境污染。

丹麥亦針對施肥方式作出明確規定。糞肥必須通過直接深施到土壤中的方式施放到土地中，以便將氨氣的排放量降到最低並且有利於保證衛生。規定糞肥施放不能因融雪或降雨等原因會引起糞肥溢流到湖或河中的危險。因此，在實際生產中必須考慮到天氣條件，有效規劃施放糞肥的時間，以避免將糞肥施放到凍土、融雪的土壤或在降雨前施放。

丹麥將畜牧業及農業進行結合，將畜牧養殖業所產生的糞肥供給農業單位進行施肥，從而減少化學肥料的使用，在減少經營成本的同時，保持了種養平衡。在生態補償機制方面，尊重農民的意願，提供豐厚的經濟補貼，讓農民不僅願意配合政府，還能夠積極響應政府的號召。

丹麥透過嚴格的法律規定，針對農業及畜牧養殖業對於氮的管控，不僅限制了單位土地面積的牲畜產量，從而降低了運輸和肥料施用成本，並有助於有效和正確地使用肥料和礦物肥料。且為了提高植物對所施氮的吸收並減少氮向沿海水域的淋溶和排放，要求農民對糞肥的高利用效率來管理糞肥。這必須與改進糞便管理技術的實施相結合。並針對礦物肥料的吸收效果進行評估，有效確保農民不會過度施肥。

藉由農業及畜牧養殖業對於氮的管控，不僅有效解決農業過度施肥及畜牧養殖業所帶來的廢棄物直接排放至大自然中，使氮鹽流入河川、滲入土壤中，破壞水環境平衡，導致水中生物受到威脅。

由本節可知美國及蘇格蘭針對養殖漁業之規範係頒發許可證之方式進行控管，且在許可證申請過程進行了多方面的資料收集及與利害關係人進行溝通。且進行藥物投放量/投放時

間、飼料投放量及藥物種類等之控管，美國上規定需要對所有相關設施人員進行充分培訓。由於人們生活習慣改變，近年無節制地使用塑膠產品及產生大量的垃圾，大多數的垃圾流入海洋水體，然而這些生命週期極長之垃圾隨著洋流漂向至世界各國污染整個地球，並造成海洋生物棲地危害，因此團隊亦於本節彙整了世界各國減塑政策及如何防範陸域污染源進入海洋。

第二節 研析對減緩沿岸生態環境衝擊之效益

本工作計畫內容為：盤點國內外養殖廢棄資材態樣、處置規範及資源化技術等，研析對減緩沿岸生態環境衝擊之效益。

一、國內外養殖廢棄資材態樣

養殖廢棄資材有養殖過程中所產生之用品-廢棄漁具 (derelict fishing gear, DFG)，人類在烹飪過程中丟棄之部分，如魚鱗、甲殼動物之殼等，其中廢棄漁具的種類包括各種漁網、漁線、繩索、魚簍、浮具、籠具、篩網和集魚器 (fish aggregation devices, FADs) 等。

我國養殖漁業主要廢棄物以牡蠣與文蛤為主，由於海上養殖竹架及浮體支撐簡易設施解體隨沿岸流進岸堆積等所產生之廢棄物，如浮具 (保麗龍等)、蚵條、竹棚、延繩及牡蠣殼等。我國牡蠣養殖方式可以分成五大類，分別為「插筴式」、「棚架垂下式 (垂下式)」、「棚架平掛式 (平掛式)」、「浮筏垂吊式 (浮筏式)」和「浮筒延繩式 (延繩式)」。其中「插筴式」、「棚架垂下式 (垂下式)」、「棚架平掛式 (平掛式)」適合於潮間帶區域養殖，而「浮筏垂吊式 (浮筏式)」和「浮筒延繩式 (延繩式)」則適合於近海上進行養殖，「浮筏垂吊式 (浮筏式)」多半係用竹子搭成格子狀，竹子下方墊保麗龍使其能夠浮在近海，並在竹子下方垂直懸掛牡蠣；「浮筒延繩式 (延繩式)」為使用粗繩水平連接保麗龍浮球，再延粗繩下方掛上好幾串蚵殼，然而以「浮筏垂吊式 (浮筏式)」及「浮筒延繩式 (延繩式)」進行養殖所架設之蚵棚使用期限約為 1 至 2 年，於第三年時蚵棚上之保麗龍會被生物附生，導致浮力變差被淘汰，同時因其附著的生物會造成回收業者處理難度增加。牡蠣養殖方式照片如圖 3-6 所示。

根據我國漁業署養殖漁業放養查詢平臺統計數據 110 年牡蠣養殖方式，以平掛式養殖之有 1,341 戶共有 8,245 組、以插筴式養殖之有 2 戶共有 8 組、以垂下式養殖之有 49 戶共有 824 組、以插筴式養殖之有 2 戶共有 8 組、以浮筏式養殖之有 479 戶共有 14,896 組、以延繩式養殖之有 59 戶共有 1,150 組，合計全國養殖牡蠣之設施共計 2,523 組。由表 3-5 顯示，我國養殖牡蠣之方式以浮筏式最大宗，整體設施佔了 59.29%，其次為平掛式，佔了 32.82%。

此外，根據〈西海岸漁業廢棄物圖鑑〉^[17]指出，我國蚵棚每年所使用 12-20 萬顆之保麗龍，且每年遺失或遺棄約 3 萬 6 千到 6 萬顆，除了保麗龍外，每年所產生之蚵繩約有 1,375 噸，其原料主要為耐綸 6(Nylon-6)。



(A)插筴式



(B)垂下式



(C)平掛式



(D) 浮筏式和延繩式

圖片來源: <https://fsjh21802.weebly.com/3448520180303403917827542.html>

圖 3-6 牡蠣養殖方式

表 3-5 110 年度我國牡蠣養殖方式及戶數

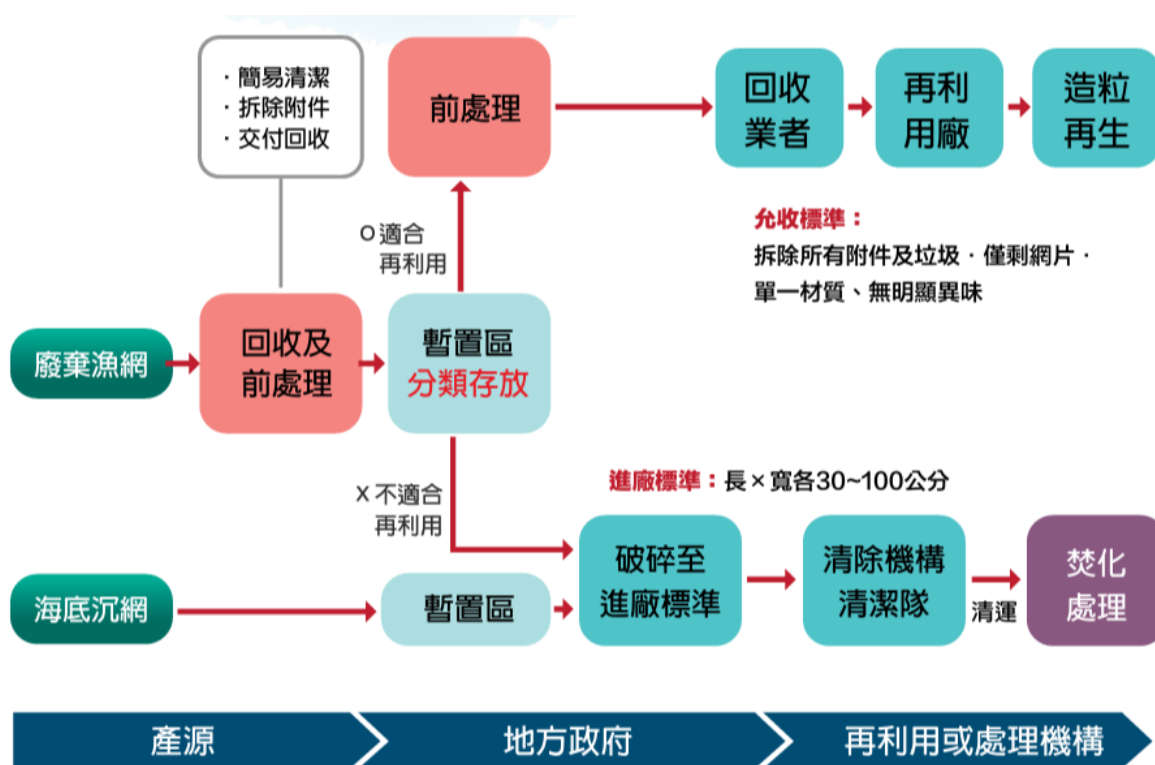
縣市別	平掛式		插筴式		垂下式		浮筏式		延繩式		申報 (調查)
	設施 (組)	養殖 (戶)	設施 (組)	養殖 (戶)	設施 (棚)	養殖 (戶)	設施 (棚)	養殖 (戶)	設施 (組)	養殖 (戶)	總戶數
總計	8,245	1,341	8	2	824	49	14,896	479	1,150	59	1,784
臺南市	3,100	362	0	0	69	6	8,800	187	0	0	597
彰化縣	1,462	489	4	1	0	0	0	0	0	0	490
嘉義縣	817	232	0	0	0	0	4,458	186	0	0	337
雲林縣	2,863	234	4	1	746	41	1,638	102	0	0	283
澎湖縣	0	16	0	0	0	0	0	4	1,014	54	61
連江縣	3	8	0	0	9	2	0	0	136	5	16
臺北市	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
臺中市	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
基隆市	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
高雄市	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
新北市	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
宜蘭縣	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
桃園市	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
嘉義市	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
新竹縣	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
苗栗縣	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
南投縣	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
新竹市	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
屏東縣	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
花蓮縣	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
臺東縣	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
金門縣	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

資料來源：行政院農業委員會漁業署，養殖漁業放養查詢平臺，2022 年 01 月 13 日

二、國內外養殖廢棄資材處置規範

1. 國內

海洋保育署於 2021 年製作了廢魚網回收參考手冊供漁民下載，提供廢氣漁網回收的重要性及再利用管道給漁民參考及學習，廢漁網回收再利用流向如圖 3-7 所示。此外，為提高漁民回收意願，已有多個地方政府訂有廢漁網回收措施，且部分縣市提供廢棄漁網回收獎勵，如以廢棄漁網兌換日常生活用品，或透過發放獎勵金來鼓勵漁民回收廢漁網。因各地區之回收獎勵方式可能隨時調整或限制收受時程，須依各地方政府現有規定為準，漁民可就近洽詢各地區漁會及各地方政府。



註 1:廢漁網附件拆除程度可視回收再利用業者需求·或各縣市政府規定予以調整。

註 2:部分縣市不適用焚化處理。

資料來源：海洋保育署，廢魚網回收參考手冊(2021 年)^[18]

圖 3-7 廢漁網回收再利用流向

為落實浮筏式蚵棚管理，臺南市政府於 103 年以地方自治法規訂定『臺南市浮筏式牡蠣養殖漁業管理規範』以源頭管控方式規範漁民須向漁會申報登載所屬人及數量，並放置辨識標誌，禁養期前須將蚵棚送至指定地點處理，未回收者每棚處 3 千元罰鍰，並以每棚 250 元及保麗龍每顆 40 元獎勵金制度增加回收誘因。且將依蚵棚回收率限制漁業人可核准放養棚數，進行產銷（漁事）班評核成績，以此鼓勵漁業人可互相督促^[19]。

為解決沿岸牡蠣浮棚管理問題，臺南市漁港及近海管理所於 108 年起與成功大學海洋科技與事務研究所合作，成功研發出牡蠣浮棚智慧管理系統，同時運用無人飛行載具與無線射頻辨識系統(Radio Frequency Identification, RFID)等先進技術，進行棚架實名制定位技術，有效解決牡蠣棚架大範圍監測難題，提升地方政府管理效率^[20]。

環保署與臺南市政府在地環保團體於 2018 年共同發布的臺灣海洋廢棄物治理行動方案中，針對廢棄漁具的管理，已提出養蚵替代浮具、獎勵漁民成立環保艦隊攜回海面垃圾與漁具、建立漁具回收的獎勵制度方案。依據 2018 年 9 月公告修正自治條例第六條及第十七條修正案，浮具以保麗龍或易破損材質製作者，其外層應有包覆或保護結構等內容，已於 2019 年 10 月施行，並預定於 2022 年全面禁用保麗龍浮具，試圖全面解決保麗龍污染問題。

基隆市政府與「海湧工作室」合作，推動屠「龍」（保麗龍）計畫^[21]，運用有機溶劑溶解技術，就地進行保麗龍溶解作業，克服因運送體積龐大的保麗龍而產生的人力和運輸成本，及避免戴奧辛危害環境等情形，再將被溶解的素材做成手機殼等，賦予保麗龍新的實用價值。

2. 國外

國際間管理廢棄漁具的案例有：歐盟推動的 Fishing for Litter 計畫，以捕撈進行海洋垃圾方式，民眾（漁民）自願參與該計畫，主辦單位提供大而耐磨的袋子，漁民於工作期間於隨著漁獲物捕獲上來之任何廢棄物帶回港口^[22]；美國部分則推行陷阱籠具移除計畫與 Fishing for Energy 計畫，截至 2020 年 3 月，Fishing for Energy 已在 13 個州的 56 個港口提供收集箱，收集超過 400 萬磅漁具。該計畫係先進行金屬回收，剩餘不可回收材料則在 Covanta 工廠轉化為能源^[23]。

美國多個州政府也訂有廢棄漁具的管理措施，如：華盛頓州建立廢棄漁具通報平臺 (Report Derelict Gear Sightings) 及漁具丟失回報系統，由執行單位聘用當地漁民，一同

合作追蹤並移除廢棄籠具。挪威也有民間研究單位舉辦工作坊，透過淨灘、訪談，分析廢棄漁具的種類、源自何種漁業與成因，並進一步研究再利用的可能性^[22]。

韓國採行整合性管理措施，包括：移除、海上浮動收容器、糾纏性漁具買回計畫、大型圍網漁具標示等。在管理水產養殖保麗龍浮具的廢棄物，則採取補貼替代浮具的研發、補貼漁民購買替代浮具、補貼地方政府購買保麗龍壓實機，與逐步強制漁民回收廢棄的保麗龍浮具。且頒布「漁具管理法」，以產品生命週期的角度，全方面管理漁具的製造、銷售、使用以及廢棄物處理等面向^[22]。

根據郭柏秀(2018)文獻得知^[22]，日本廣島縣農林水產局年會公告「廣島牡蠣生產銷售準則」，裡面詳列漁協與蚵農應配合漁場管理及漁業廢棄物處理的事項包括：漁協應輔導蚵農作浮筏標誌、依漁業權核准的棚數放養、遵守浮筏規格與牡蠣串的數量規範、發展環境友善的養殖產業、依「廢掃法」處理漁業廢棄物、依「循環型社會基本法」再利用漁業資材、改用環境友善的替代浮具、防止漁具流出、加強回收與再利用。

三、國內外養殖廢棄資材資源化技術

1. 國內

根據行政院環境保護署公告漁業廢棄漁網處理及再利用方式中，廢棄漁網可透過水洗、破碎、熱處理及押出等處理程序，將其製成再生塑膠粒，尼龍可抽絲製成紡織紗，再製成相關紡織品，如：衣服、帽子、背包等。

農委會水試所於 2004 年自虱目魚和吳郭魚魚鱗中，萃取出純度高達 90% 膠原蛋白。亦公告魚鱗的成分及功用：魚鱗中含有極為豐富的卵磷脂，還含有多種不飽和脂肪酸及抗癌物質。魚鱗為可營養大腦、延緩智力衰退的重要物質。魚鱗可加入適量清水煮沸後過濾去廢渣，待湯水冷卻凝結成塊，再拌入各種調味料成為鹹、酸、甜的小吃，作為零食或下酒菜均可。

海保署 2020 年起委託嘉義縣政府與臺化合作，將去年回收的 25 噸尼龍蚵繩，投入臺化在嘉義新港的再生尼龍原料廠，以「化學回收」技術成功還原回為「尼龍 6」的主要原料「己內酰胺」，此外臺化已於 2019 年起和 Patagonia 合作，從智利進口廢棄漁網至越南廠再利用，加上目前嘉義廠處理廢漁網和蚵繩的回收再製。兩廠的回收尼龍料產能約為每月 500 噸。

海洋保育署網站亦公告了海廢再生製品，利用屏東漁港回收之廢魚網，製成「海廢再生雙色束口袋」及「環保領帶」，詳如圖 3-8 所示。

臺南市龍崎區農會與臺南市區漁會執行「蚵架廢棄物再利用之可行性研究」，於 2020 年龍崎區農會土窯燒製廢棄蚵架竹炭 8 公噸，以 500 度燒制的廢棄蚵架竹炭，經過檢驗分析得知其竹碳孔隙特性吸附表面積及可吸附分子多寡遠優於原材料孟宗竹燒製產品，如圖 3-9(a) 所示。亦使用廢棄蚵架製成竹醋液。竹醋液在高濃度下具有抗菌作用，在低濃度下可促進微生物活性，可作為除臭劑、土壤消毒劑、堆肥發酵劑、植物生長促進劑、減少病蟲害及畜產動物飼料添加劑等農業用途，如圖 3-9(b) 所示^[20]。



資料來源：海洋保育署，海廢再生製品溯源示範專區

圖 3-8 海廢再生製品(a)束口袋(b)環保領帶



圖片來源：臺南市浮筏式牡蠣養殖漁業廢棄物管理與去化，414 期《漁業推廣》月刊^[20]。

圖 3-9 廢棄蚵架燒製之(a)竹炭、(b)竹醋液

臺灣化學纖維股份有限公司（簡稱臺化）與金洲海洋科技股份有限公司合作進行漁網回收再利用，除了可擴大回收尼龍漁網去化管道，消除海洋廢棄物，也是更高值化再利用，提升地球廢棄資源使用。

屏東科技大學材料工程系將牡蠣殼與燃煤飛灰合成「再生長石」^[24]。合成的再生長石為粉末狀，大小約 20 μm ，可取代碳酸鈣做多種應用，如：應用於廢水處理之重金屬吸附劑及濾水材、做成防滑骨材應用於人行步道上、作為釉料之長石主要成分等諸多用途。亦結合黏土製成環保磚塊，不僅降低紅磚燒結溫度，還能提高磚頭緻密性，減少燃料成本，也讓牡蠣殼廢棄物有效再利用。

財團法人塑膠工業技術發展中心-永續設計組將 2017 年度活動與過往資料蒐集之廢棄漁網進行再製處理：產出再生尼龍粒子，再製成臺灣第一款海廢再生眼鏡。2018 年與 60 年的老品牌 SKB 合作，導入再生寶特瓶(R-PET)、海廢保麗龍(R-HIPS)製作鋼筆筆桿，製造出訴求環保愛地球的學生鋼筆。

光寶科技企業與臺灣澎湖縣政府合作，將澎湖蒐集到之海廢保麗龍，再生之塑膠粒料做成鍵盤及滑鼠。

陳雅雯(2019)^[25]使用微波電漿系統處理養殖廢保麗龍，根據結果顯示以氬氣作為載體進行養殖廢保麗龍處理，相較於使用焚化爐燃燒，氬氣電漿能解決保麗龍燃燒後產物黏滯於焚化爐造成焚化爐壽命降低問題，與同時可產生能源氣體的效益。

臺糖公司於臺南永康工業區成立臺糖牡蠣殼碳酸鈣生技材料廠於 2020 年 6 月竣工，預估每年可處理約 5 萬公噸廢棄牡蠣殼，生產 4 萬公噸碳酸鈣，將牡蠣殼轉化成資源，提升全臺灣牡蠣殼利用率，不再有隨意丟棄及降低對環境造成污染的情形發生，流程圖如圖 3-10。並與工研院合作進行牡蠣殼高值化再利用研究，如加熱包研究計畫、特殊紡織保冷抗保溫粉末、抗菌材料、過濾材料等，未來評估設食品級（食品添加物）及藥品級（醫藥賦形劑、人工骨材）碳酸鈣與檸檬酸鈣廠可行性，以提升產業技術與資源價值，如圖 3-11 所示^[26]。



資料來源: 臺糖企業永續發展，特輯：牡蠣殼轉製碳酸鈣-實現循環經濟^[26]

圖 3-10 臺糖牡蠣殼碳酸鈣生技材料廠零廢棄流程圖



資料來源: 臺糖企業永續發展，特輯：牡蠣殼轉製碳酸鈣-實現循環經濟^[26]

圖 3-11 臺糖公司與工研院合作開發牡蠣殼再製品流程圖

2. 國外

廣島縣的江田島市漁業振興協議會購置保麗龍壓實機免費供當地漁民自行操作處理淘汰的浮具，電力及運輸等成本則係由使用者自行支付，壓實機可將保麗龍體積減少剩十分之一，成為固態保麗龍錠，其可供電、熱水及暖氣之燃料。

Thamyres H. Silva 等人(2019)^[27]，該研究利用牡蠣殼約有 96%的成分為碳酸鈣，可用於各種領域如，建築行業作為水泥的石灰石骨料，甚至製藥行業作為富含鈣的補充劑等，該研究使用牡蠣殼進行破碎再與不飽和聚酯樹脂混合製成人造石，從而製成工作臺或桌面。

Imen Hamed 等人(2016)^[28]綜述了甲殼類副產品（甲殼素、殼聚醣和殼寡糖）的工業應用，由於蝦、蟹、龍蝦和磷蝦的甲殼類動物殼廢物含有大量甲殼素，這是一種多醣，可從外骨骼中去蛋白和脫礦質後提取，一般來說，外骨骼含有約 30-40% 的蛋白質、30-50% 的礦物質（主要是碳酸鈣）和 20-30% 的幾丁質。目前幾丁質被廣泛運用在藥品、生物醫學、化妝品、食品、紡織品、農業和造紙等。

新加坡南洋理工大學團隊利用廢棄的鱧魚鱗片和美國牛蛙皮，創造出新材料，可利用此材料來填補人體骨頭缺口，其可以在人體轉化為有助骨骼再生之材料。近年亦有研發單位將魚鱗製成膠原蛋白、溶入衣物纖維中製成衣物^[29]。

智利 Greenspot 公司於 2020 年 6 月份利用鮭魚養殖場退役下來的設備（磨損的浮標和退役後浮標的集裝箱）製作足浴墊（靴浸墊），這款墊子專為農場和加工廠工人消毒鞋子，如圖 3-12 所示^[30]。

氣候的變遷、海洋的污染、漁獲量的減少，世界各國或多或少皆發展了養殖漁業，然而養殖漁業發展初期，養殖漁業所衍生出廢棄資材未得到有效的再利用，使得這些廢棄資材成為了廢棄物被隨意丟棄，造成環境的破壞，然而近年來人們環保意識的抬頭，這些廢棄資材所帶來的環境影響受到了重視，各國政府或企業針對這些廢棄資材（如魚鱗、漁網、殼等）進一步的加工再利用成為新的一個產品（如製成化妝品、環保產品、建材、竹炭等）。

這些再利用提升廢棄資材的生命週期，雖然開發出許多再利用方式，然目前廢棄資材尚未有一個主要的媒合平台，形成產業鏈，可以讓廢棄資材快速媒合，有效的提高養殖廢棄資材的再利用率。為使廢棄資材再利用率提升，海保署積極建立「海廢回收再利用業者名單」

及「海廢再生製品溯源示範專區」，期望這一平台之建立可以加速廢棄資材找到再生父母幫助再生。



圖 3-12 Greenspot 公司使用鮭魚養殖場退役設備製成的足浴墊^[30]

第四章 綠色技術研發

第一節 薄膜蒸餾處理養殖排放水循環系統及最適化操作程序

團隊根據前一年度實驗結果，發現雖然本實驗進料溫度設定為 40℃，於各項水質皆有不錯去除效率，但其產水率不高，這將使得產水成本提高，加上其產水水質中氨氮之去除效率不佳，然氨氮對於魚類來說是毒性物質，因此建議後續若要持續進行研究時，可事先進行水樣 pH 值調整，降低 pH 值，使水中分子氨轉換成離子氨，減少分子氨通過薄膜，從而提高氨氮之去除效率。

一、研究方法及步驟

團隊規劃採用薄膜蒸餾系統進行養殖排放水之處理，並於薄膜蒸餾系統前增設一個前處理系統，以砂濾方式進行水樣前處理，再進入到薄膜蒸餾系統中進行養殖排放水處理水質。而經由該系統處理會產生乾淨的產水及濃排液，團隊規劃其可進行魚苗養殖，而濃排液之處理程序，規劃以物理吸附之方式進行處理，從而降低濃排液中懸浮固體、磷及氨氮濃度，再進行排放。

團隊期望於本計畫更深入探討以薄膜蒸餾系統進行養殖排放水之研究，團隊規劃之實驗變數如下：(1)調整 5 種酸鹼值、(2)4 種進料溫度、(3)3 個空氣間隙格網寬度，因此團隊共採集了虱目魚及石斑魚兩個養殖排放水作為實驗標的。於實驗室透過 MD 試驗系統進行水質試驗與分析。整體實驗流程圖，如圖 4-1 所示。

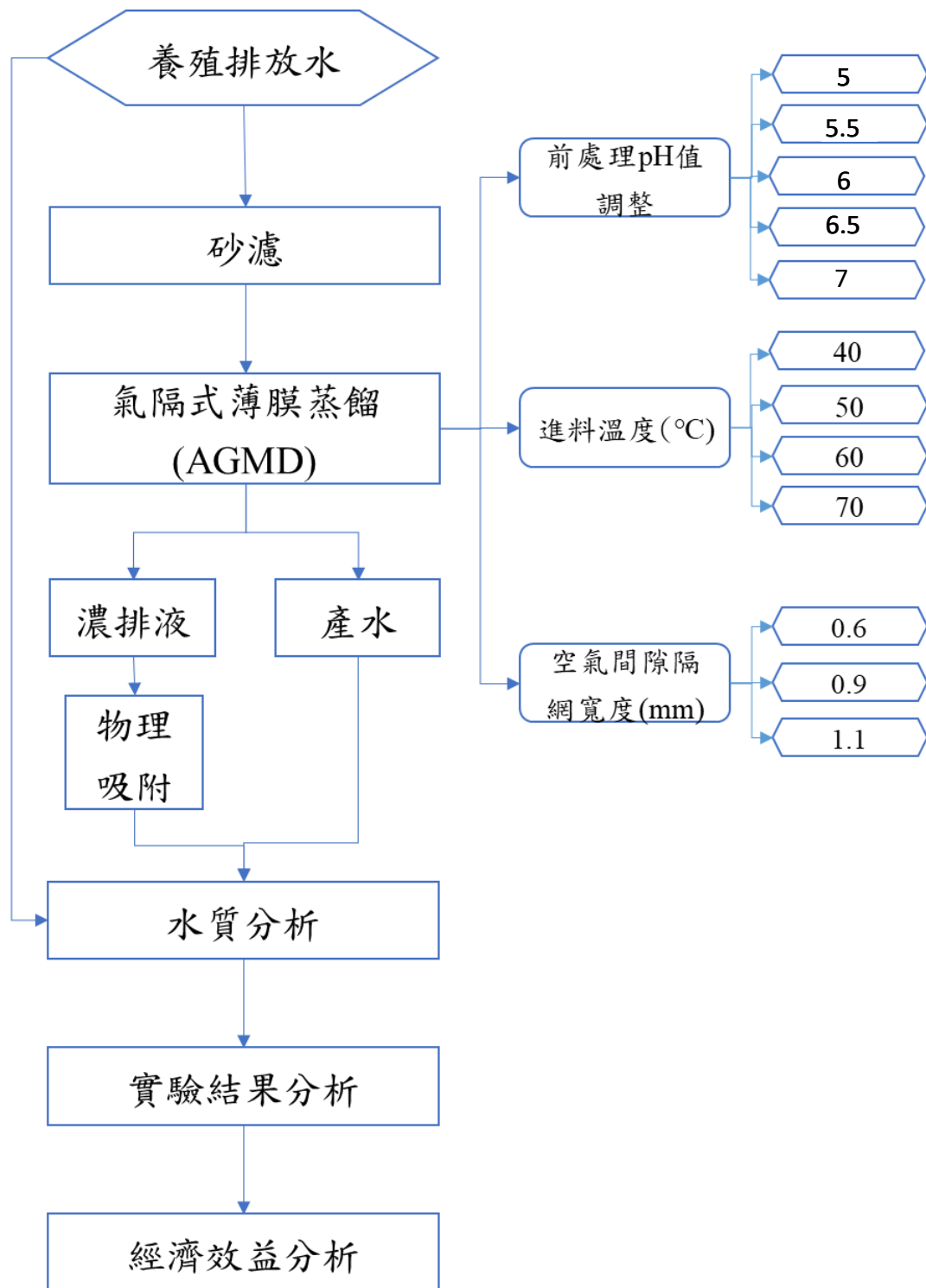


圖 4-1 以薄膜蒸餾進行養殖排放水處理之實驗流程圖

本次所使用之設備如下所述：

1. 砂濾裝置

由上述實驗流程圖可知本計畫今年度建置一砂濾裝置，作為前處理單元，裝置圖如圖 4-2 所示。藉由幫浦將水樣打入砂濾裝置中，濾材選用石英砂及牡蠣殼進行研究。

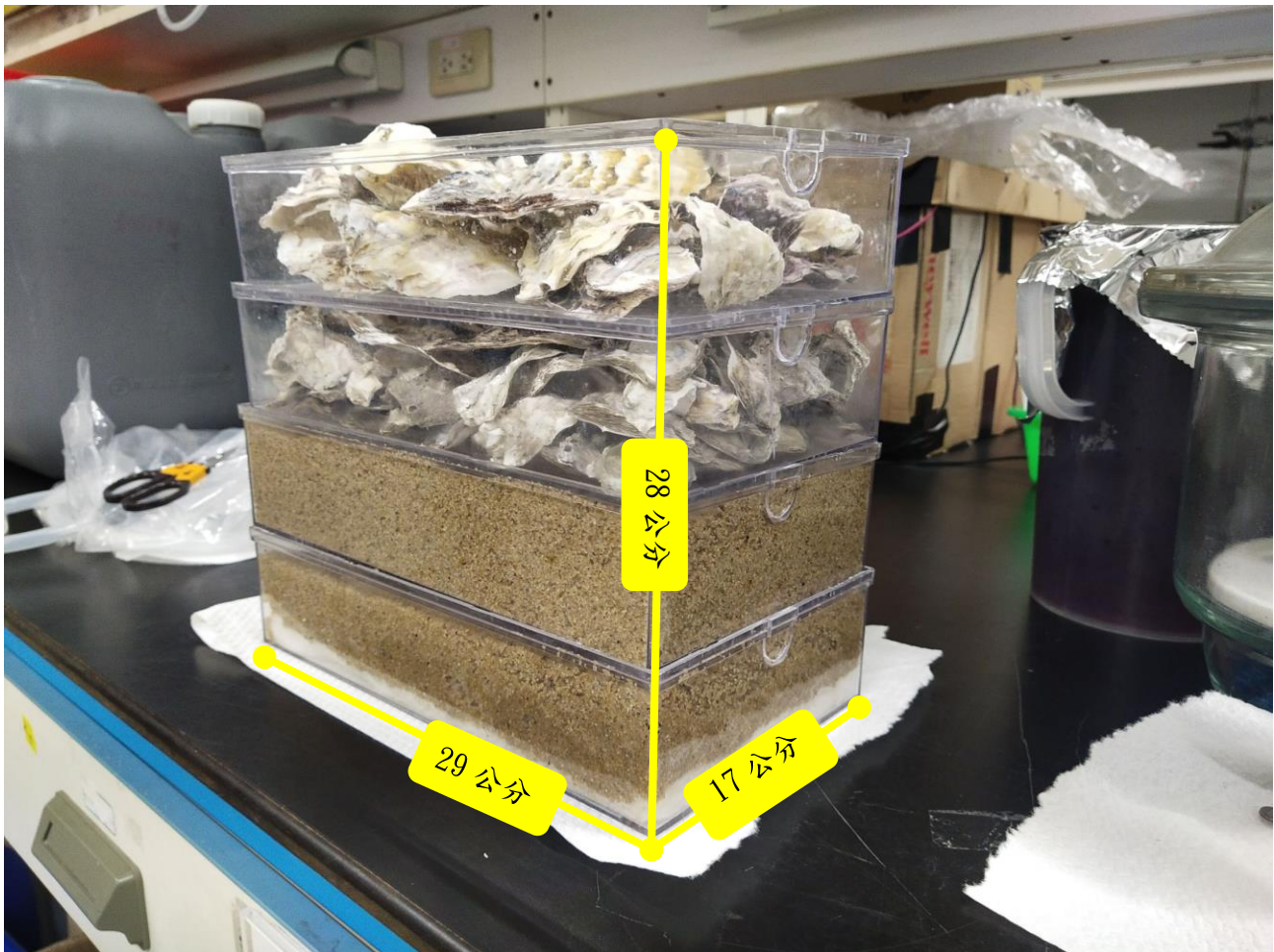


圖 4-2 砂濾裝置實體

2. 氣隔式薄膜蒸餾實驗系統架構

本系統共安裝一支實驗用酒精溫度計、四支溫度感應器與兩個壓力表，實驗用酒精溫度計設置於熱端放置水樣之 6L 白鐵鍋量測水樣初始溫度，四支溫度感應器分別設置於氣隔式薄膜蒸餾 (AGMD) 板框模組之熱端進出口兩處與冷端進出口兩處，該四處溫度感應器可於實驗進行時即時監控並連接至顯示器顯示數值，而壓力表則監測熱端及冷端之進流壓力，確保壓力皆小 3~4 bar，不會發生被水貫穿薄膜之狀況。本實驗架設系統以 AGMD 板框模組為主要薄膜反應區，由熱端進料裝置及冷端冷卻裝置之管線連接於 AGMD 板框模組之冷、熱端板，該熱端及冷端之進出口流率、溫度與壓力由 AGMD 機臺顯示之。本實驗熱端進料流體流向與冷端冷卻流體之流向採用非同向流之方式進行操作。實驗之 P&ID 如圖 4-3 所示。

(1) 實驗室氣隔式薄膜蒸餾板框模組

AGMD 板框模組使用 POM 材料之平板式板框，熱端板框及冷端板框之水流通道區域均勻散佈直徑 3mm 與高度 3 mm 之圓柱型凸起狀，以提升通過該區之流體擾動力及作為隔網支撐，並使用兩層矽膠圈以防止流體洩漏。冷凝用交換面採用冷凝鋼板，其中空氣間隙可依不同厚度之間隔網 (0.6mm / 0.9mm / 1.1mm) 進行調整。AGMD 板框模組共安裝四隻溫度感應器，分別設置於該模組之熱端進出口兩處與冷端進出口兩處，該四處溫度感應器可於實驗進行時即時監測。

AGMD 板框模組之組合方式從下至上順序為冷端板框、冷凝鋼板、調整式空氣間隙用薄鋼板、空氣間隙間隔網、薄膜(薄膜方向為活性層面向熱端進流)、熱端板框，組立圖如圖 4-4 所示，熱端熱水板及冷端冷水板詳細規格如圖 4-5 所示，冷端冷凝不鏽鋼板與網格墊片規格如圖 4-6 所示。

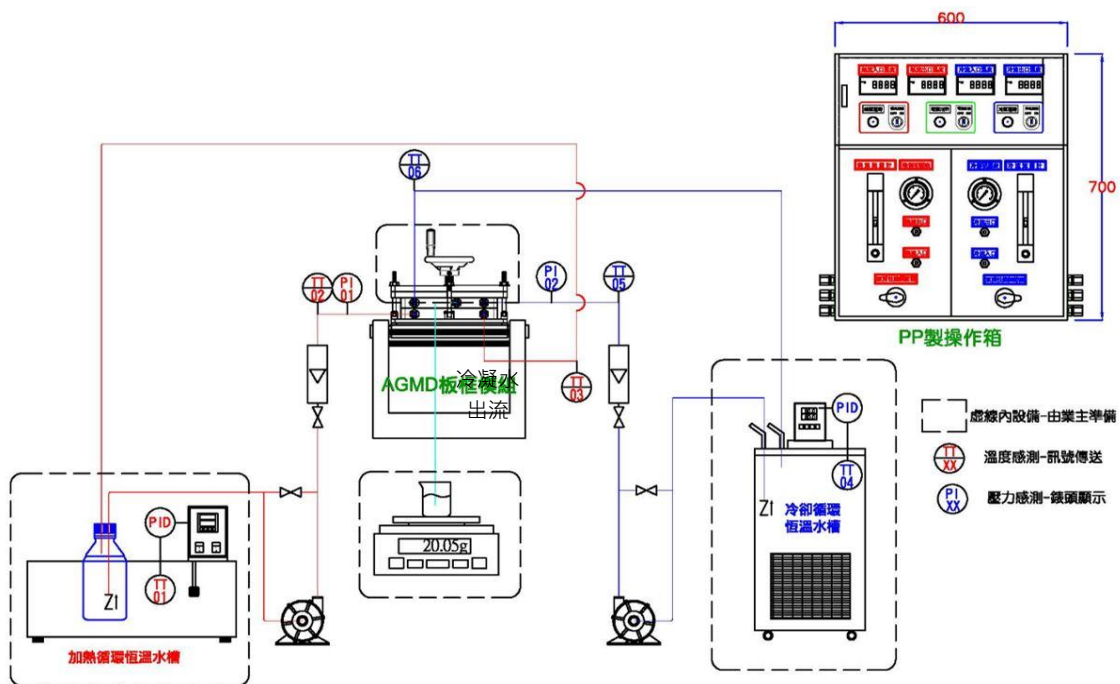


圖 4-3 AGMD 實驗系統 P&ID



圖 4-4 AGMD 模組組立圖

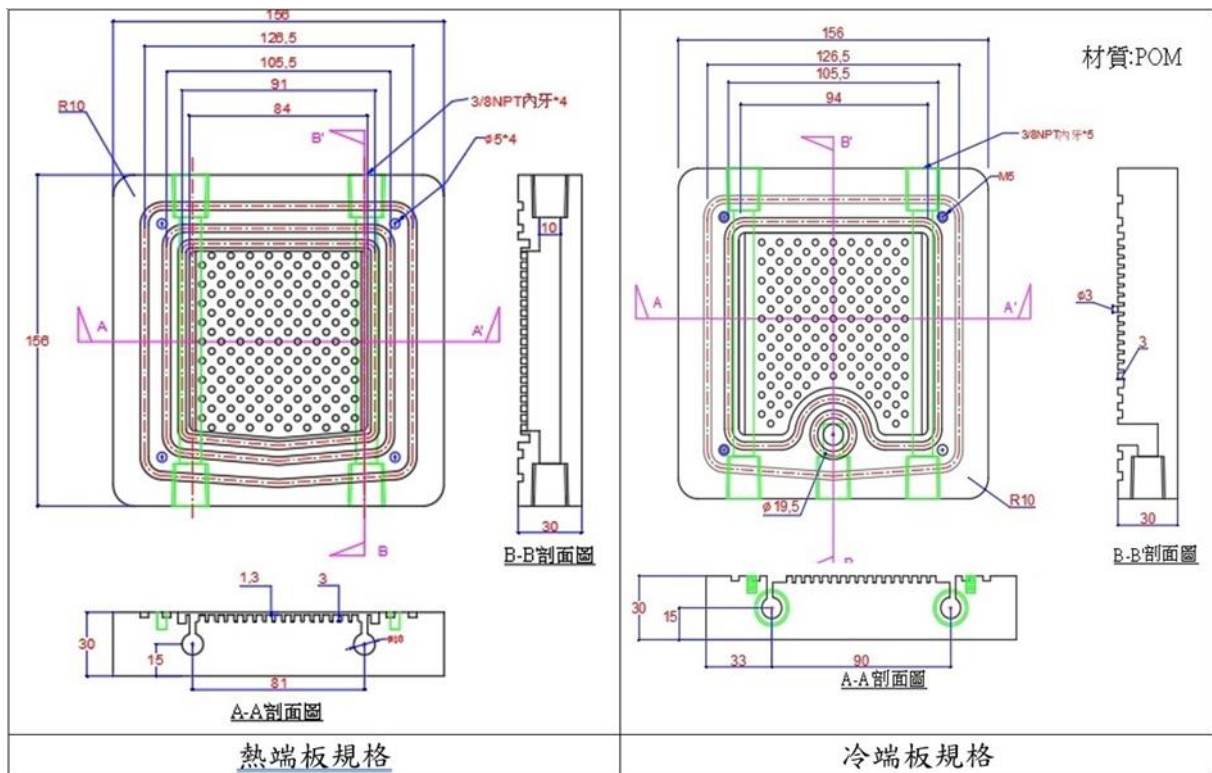
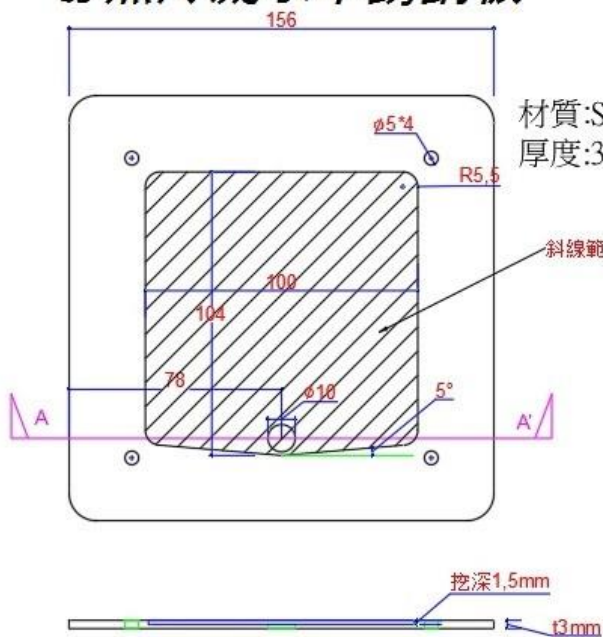


圖 4-5 AGMD 熱、冷端冷水板規格

導熱冷凝水不銹鋼板



網格墊片 材質:SUS316 厚度:0.3mm

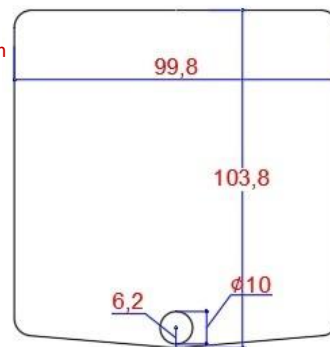


圖 4-6 冷端冷凝不銹鋼板與網格墊片規格

(2) 熱端進料裝置

系統之熱端進料流體以 6L 白鐵鍋盛裝置於恆溫水槽 (KANSIN INSTRUMENTS CO., LTD model:WB201-B2) 加熱與控制，由架設於恆溫水槽裝置之內置一盛裝水樣之 6L 白鐵鍋控制該進料流體之溫度，並以實驗進行時該熱端進流之溫度表顯示值為設計參數值為標準。使用蠕動泵作為熱端進料泵，熱端之進料流體經蠕動泵從 6L 白鐵鍋抽引至 AGMD 板框模組進行 AGMD 系統操作後，再經 AGMD 板框模組之熱端出流管線回至 6L 白鐵鍋。熱端流率透過蠕動泵進行控制，流量通過熱端進料管線經過之面積以浮子流量計確認並記錄之，熱端進流之壓力與熱端溫度則由機械式壓力表及熱端進出流之 PT100 溫度感測器紀錄之。

(3) 冷端進料裝置

系統之冷端冷卻流體使用低溫恆溫水槽 (FIRSTEK model:B403H) 控制並以冷端進流之溫度表設定參數值為標準，冷端之冷卻流體藉由抽水機從恆溫水槽送至無軸封型進水泵後，與熱端程序相同，先經冷端之面積式流量計紀錄該流量，再由冷端進流管線進入 AGMD 板框模組，最後冷卻流體經冷端出流管線回流至冷端恆溫水槽，AGMD 系統產生之冷凝液體藉由冷凝出流管線流出並收集，經微量天平紀錄產出冷凝液體之重量。冷端流率由抽水機固定之，冷端進流量之確認則採用冷端進料管線流量通過面積以浮子流量計進行確認並紀錄之，冷端進流壓力與冷端溫度則由機械式壓力表與經確效之 PT100 溫度感測器感測連接至顯示器以進行確認並紀錄之。

3. 膜材之準備

實驗使用之薄膜為疏水性多微孔之聚四氟乙烯 (ePTFE) 平板膜，由疏水性多微孔聚之四氟乙烯作為活性層，PP 材質不織布作為支撐層，係複合性疏水薄膜。疏水性多微孔之聚四氟乙烯之活性層厚度為 $36\ \mu\text{m}$ 、平均孔徑為 $0.2\ \mu\text{m}$ 、孔隙度 85 %，接觸角為 120° ，PP 材質不織布支撐層厚度為 $177\ \mu\text{m}$ ，活性層接支撐層之薄膜總厚度為 $213\ \mu\text{m}$ ，彙整如表 4-1 所示，其實際照片如圖 4-7 所示，而圖 4-8 為中原大學薄膜中心使用電子顯微鏡探測之薄膜微孔呈現多層次之網狀結構，該薄膜孔隙平均分布。本實驗所採用平板膜尺寸如圖 4-9 所示。

表 4-1 薄膜特性資料

多孔疏水層材質	Doped PTFE/PP
平均孔徑(d_p)	0.2 μm
孔隙度(ϵ)	85 %
接觸角(θ)	120 °
活性層厚度	36 μm
支撐層厚度	177 μm
總膜厚(δ)	213 μm

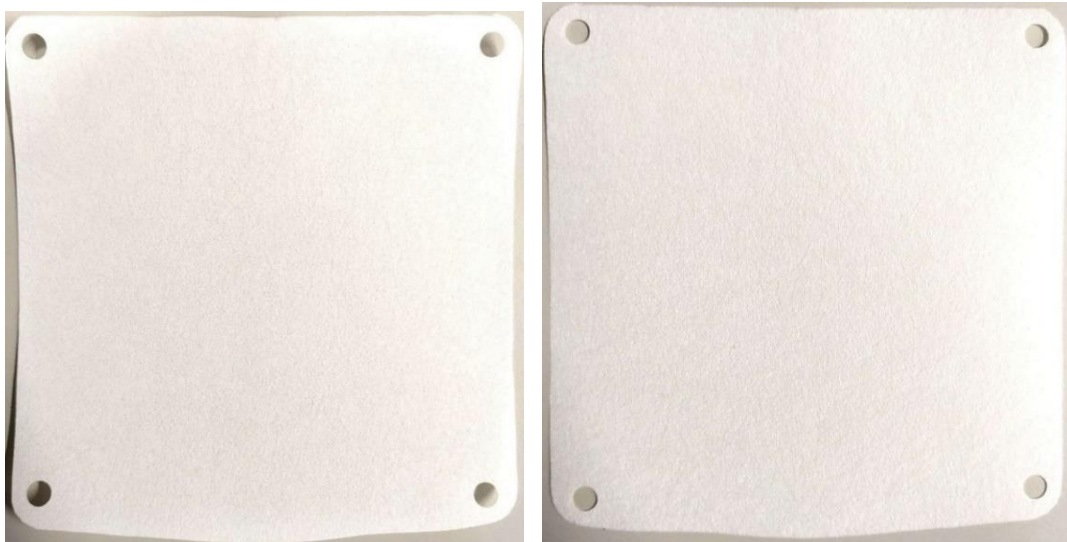


圖 4-7 薄膜正面(左)及反面(右)實際照片

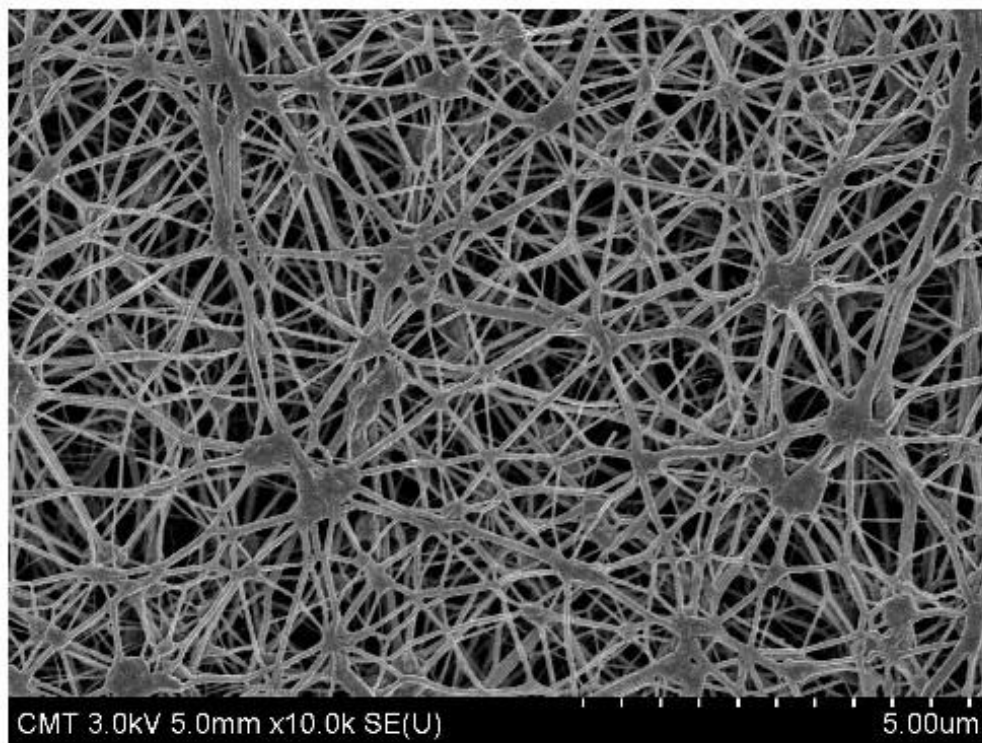


圖 4-8 電子顯微鏡探測之薄膜網狀結構



圖 4-9 平板膜尺寸

4. 實驗之操作條件

(1) 實驗之操作條件設定

由上述提及前期成果因於實驗前未進行 pH 調整，且五種標的養殖排放水 pH 值介於 7.90-8.54，其養殖排放水屬於鹼性，水中含有較多之分子氨 (NH_3)，導致氨氮、凱氏氮的去除效率不佳，因此團隊規劃於薄膜蒸餾前架設前處理設備，預計使用鹽酸(HCl)進行 pH 值調整，目前規劃調整 pH 之參數為 5.0、5.5、6.0、6.5 及 7.0 共五種參數，探討薄膜蒸餾產水之氨氮濃度變化。

此外，本計畫沿用 110 年所使用之平板型 AGMD 模組進行水樣測試，其熱端之進料成分為本計畫之標的水樣、進料溫度設定為 40℃、50℃、60℃、70℃、進流流速為 4.0 L/min；冷端之進料成分為自來水、進料溫度設定為常溫、進流流速為 2.0 L/min，熱端進料流體與冷端冷卻流體之設定參數如表 4-2 所示，熱端流率與冷端流率之設定參數為符合實驗設備限制與紊流條件進行設定，確保熱端進料流體與冷端冷卻流體於實驗過程中壓力皆小 0.2 kg/cm^2 ，不會發生膜壓受損之狀況。

表 4-2 流體之設定參數

設定參數 \ 成分		進料流體	冷卻流體
		養殖排放水	自來水
pH		5.0、5.5、6.0、6.5、7.0	-
進流溫度	℃	40、50、60、70	25
出流溫度	℃	30	-
進流流率	L/min	4.0	2.0
空氣間隙格網寬度	mm	0.6、0.9、1.1	

團隊規劃藉由改變進料水之酸鹼值、進料溫度、空氣間隙格網寬度等三個變數，探討氮氮去除效率變化及最佳產水率找尋最佳產水效率，最後於本章第三節利用最適參數及最佳產水率進行經濟效益分析。

為方便後續經濟效益計算，於實驗過程中將進行產水量計算，並利用產水量進行產水率計算。

$$\text{產水率} = \left(\frac{\text{產水量}}{\text{原水量}} \right) \times 100\%, \text{單位為 } \%$$

(2) 注意事項

- A. 實驗開始前須將熱端進料流體使用之水樣放置區固定，本實驗固定於 2.5L 進行測試，初期冷凝液體倒回熱端進料白鐵鍋，確認通量穩定後再進行收集。
- B. PT100 溫度感測器於模組使用過久或實驗時顯示異常時，須重新將四隻溫度感測器放置於同一溫度之燒杯中，並放置實驗用酒精溫度計於同一燒杯確認該溫度，再校正所有溫度感測器於同一溫度下即為校正完畢。
- C. 針對複雜性廢水，除去揮發性成分情況下，若無法得知該廢水特性是否影響薄膜，須將水樣滴入薄膜表面，測試該水樣是否會將薄膜活性層破壞，若薄膜保持完整可進行實驗，若水樣直接破壞薄膜之活性層，則不可貿然操作，避免管線、AGMD 模組及冷凝管均受水樣無過濾滲透薄膜導致之污染。
- D. 實驗開始時啟動熱端進料液泵與冷端冷卻水後須確認浮子流量計視窗及實驗設備管線中之空氣已經排出再進行參數之調整，避免空氣影響實驗進行。
- E. 安裝薄膜時應注意薄膜選擇層擺放方向及板框零配件裝配順序，避免不正確安裝造成設備受損與人員操作之不安全性。

5. 實驗中水質分析方法

此外，本團隊將實際採集之九種標的水樣帶回實驗室進行原水之水質分析及 MD 試驗，其分析項目有：水中氫離子濃度指數(pH)、導電度、濁度、溶解性總固體(TDS)、鹽度、總有機碳(TOC)、生化需氧量(BOD)、化學需氧量(COD)、懸浮固體(SS)、氨氮(NH_4^+ -N)、總凱氏氮(TKN)、亞硝酸鹽氮(NO_2^- -N)、硝酸鹽氮(NO_3^- -N)、氯鹽(Cl^-)、硫酸鹽(SO_4^{2-})、總磷(TP)、正磷酸鹽(PO_4^{3-} -P)及微量元素(Br⁻、F⁻、Al、B、Ba、Ca、Cu、K、Mg、Mn、Na、Sr)等，其所使用之分析方法，如表 4-3 所示。

(1) 水中氫離子濃度指數(pH 值)

水樣 pH 值之量測，使用攜帶式 pH (WTW, pH 3110 ,德國)。pH 計於每次使用前均用酸鹼標準溶液進行校正。(NIEA W424.52A)

(2) 鹽度

水樣鹽度量測，使用 WTW 手提式導電度計量測水中導電度，再利用儀器內部公式換算水中鹽度濃度(WTW, Cond 3310, 德國)。(NIEA W447.20C)

(3) 導電度

將標準氯化鉀溶液及待測定之水樣置於室溫或水浴中保持恆溫，此時水溫應在 25 ± 0.5 °C，測定水樣時，電極先用充分之去離子蒸餾水淋洗，然後用水樣淋洗，再使用攜帶式導電度計 (WTW, Cond 3310, 德國)測其導電度。水樣多時，應於測定過程中，以標準氯化鉀溶液校正之。(NIEA W203.51B)

(4) 濁度

使用濁度計先以適當之標準濁度懸浮液於各濁度範圍校正。若儀器已經過刻度校正時，則需使用適當的標準濁度懸浮液驗證其準確度。測定濁度時先搖動水樣使固態顆粒均勻分散，待氣泡消失後，將水樣倒入樣品試管中，直接從濁度計 (WTW, Turb 430 IR, 德國) 讀取濁度值。(NIEA W219.52C)

(5) 溶解性總固體

水樣溶解性總固體量測，使用 WTW 手提式導電度計量測水中導電度，再利用儀器內部公式換算水中溶解性總固體濃度(WTW, Cond 3310, 德國)

(6) 氯鹽

水中氯鹽量測，取 2 mL 水樣，或適量水樣稀釋至 2 mL，使用離子層析儀(Thermo Fisher, Dionex™ Aquion™ 離子色譜 (IC) 系統, 美國)搭配自動進料器(Thermo Fisher, acc 3000, 美國)進行水中氯鹽分析。(NIEA W415.54B)

(7) 硫酸鹽

水中硫酸鹽量測，取 2 mL 水樣，或適量水樣稀釋至 2 mL，使用離子層析儀(Thermo Fisher, Dionex™ Aquion™ 離子色譜(IC)系統,美國)搭配自動進料器(Thermo Fisher, acc 3000, 美國)進行水中硫酸鹽分析。(NIEA W415.54B)

(8) 氨氮

加入 500 mL 已去氯樣品或適當量樣品以試劑水稀釋至 500 mL，當氨氮含量低於 0.1 mg/L 時，樣品體積宜使用 1000 mL，以每分鐘 6 至 10 mL 速率蒸餾，收集氨蒸餾液至 500 mL 定量瓶，上述量瓶內須置放 50 mL 0.02 M 的硫酸溶液以洗滌冷凝器及輸送管線至蒸餾液約 300 mL，再以試劑水稀釋定量至 500 mL，取 25.0 mL 樣品或蒸出液，於 50 mL 之附蓋三角錐瓶或其它適用樣品反應瓶中。以靛酚比色法(NIEA W448.52B)，即可由檢量線求得水樣中氨氮之濃度。

(9) 硝酸鹽氮

水中硝酸鹽氮量測，取 2 mL 水樣，或適量水樣稀釋至 2 mL，使用離子層析儀(Thermo Fisher, Dionex™ Aquion™ 離子色譜(IC)系統,美國)搭配自動進料器(Thermo Fisher, acc 3000, 美國)進行水中硝酸鹽氮分析。(NIEA W415.54B)

$$\text{NO}_3^- \text{ (mg/L)} \times 0.226 = \text{NO}_3^- - \text{N (mg/L)}$$

(10) 亞硝酸鹽氮

水中亞硝酸鹽氮量測，取 2 mL 水樣，或適量水樣稀釋至 2 mL，使用離子層析儀(Thermo Fisher, Dionex™ Aquion™ 離子色譜(IC)系統,美國)搭配自動進料器(Thermo Fisher, acc 3000, 美國)進行水中亞硝酸鹽氮分析。(NIEA W415.54B)

$$\text{NO}_2^- \text{ (mg/L)} \times 0.304 = \text{NO}_2^- - \text{N (mg/L)}$$

(11) 凱氏氮

量取經去氯後之水樣 250 mL，或適量經去氯後水樣稀釋至 250 mL，將樣品移入 1000 mL 燒瓶中。同時以試劑空白、查核、重複、添加等品保品管樣品，執行所有包括前處理消化及蒸餾，將前處理完成之樣品，依照水中氨氮檢測方法測定，求得的氨氮即稱為凱氏氮。(NIEA W451.51A)

(12) 總磷

取 50 mL 水樣或適量水樣稀釋至 50 mL，置於三角燒瓶中，加入一滴酚酞指示劑，如水樣呈紅色，滴加 11 N 硫酸溶液至顏色剛好消失，再加入 1 mL 11N 硫酸溶液。加入 0.4 g 過硫酸銨。置於已預熱之加熱裝置上，緩慢煮沸 30~40 分鐘或直至殘留約 10 mL 液體（注意勿使水樣乾涸）；加入 1 滴酚酞指示劑，以 1 N 或適當濃度之氫氧化鈉溶液，調整樣品至淡粉紅色出現後，再以試劑水定量至 50 mL，取經消化後 50.0 mL 樣品或適量樣品稀釋至 50.0 mL，置於三角燒瓶中，加入 8 mL 混合試劑，混合均勻後，在 10~30 分鐘內以分光光度計 (Thermo, Genesys10S UV-VIS, USA) 於波長 880 nm 處讀取吸光度，並由檢量線求得磷濃度 (mg P/L)。(NIEA W427.53B)

(13) 正磷酸鹽

取 50.0 mL 經調整過 pH 之水樣或適量經稀釋之水樣 50.0 mL，置於三角燒瓶中，加入 8 mL 混合試劑，混合均勻後，在 10~30 分鐘內以分光光度計 (Thermo, Genesys10S UV-VIS, USA) 於波長 880 nm 處讀取吸光度，並由檢量線求得磷濃度 (mg P/L)。(NIEA W427.53B)

(14) 生化需氧量

首先準備稀釋水取適量體積之養殖排放水於適當容器中，每 1 L 原水中，加入磷酸鹽緩衝溶液、硫酸鎂溶液、氯化鈣溶液及氯化鐵溶液各 1 mL。

一般可由水樣測得之 COD 值來推算其 BOD 值及稀釋濃度，稀釋完後依序加入碘化鈉溶液、硫酸錳溶液、硫酸並且搖晃均勻。使用 200 mL 定量瓶取 200 mL 水樣再重新倒入 BOD 瓶中，接著將稀釋水樣、重複分析水樣、植菌控制、稀釋水空白及葡萄糖-麩胺酸溶液等樣品依照碘定量法 (NIEA W422.53B)

(15) 化學需氧量

取 1.5 mL 之重鉻酸鉀標準溶液及 3.5 mL 硫酸-硫酸銀試劑放入消化管中，混合後冷卻。將水樣沿管壁小心地加入上述消化管中，使水樣留在上層，蓋妥蓋子，並倒轉數次直至完全混合。將消化管放進已事先預熱至 $150^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ 的加熱板塊或烘箱中，加熱迴流 2 小時。加熱反應完成後，取出試管置於試管架上，冷卻至室溫。打開蓋子，將溶液倒入三角瓶中，以試劑水淋洗消化管數次，將淋洗液一併收集於三角瓶中，並於瓶內置入小磁石。加 2 滴至 3 滴菲羅啉試劑，在磁石攪拌下以 0.025 M 的硫酸亞鐵銨溶液滴定。滴定終點會有明顯的顏色變

化，由藍綠色改變成紅棕色。同時以試劑水進行空白試驗。最後依照化學需氧量公式計算水樣之化學需氧量。(NIEA W517.53B)

(16) 總有機碳

使用(Shimadzu, TOC-L, Japan)測定水樣，取 10 至 15 mL 之樣品置於 30 mL 燒杯中，加濃磷酸或濃硫酸至 pH 等於或小於 2，再通以吹氣氣體 10 分鐘去除無機碳，殘留水樣即再加入過氧焦硫酸鹽溶液，將有機碳氧化轉換為二氧化碳，檢測出水樣中總有機碳的濃度。(NIEA W532.52C)

(17) 懸浮固體

將攪拌均勻之水樣置於已知重量之蒸發皿中，移入 103~105°C 之烘箱蒸乾至恆重，所增加之重量即為總固體重。另將攪拌均勻之水樣以一已知重量之玻璃纖維濾片過濾，濾片移入 103~105°C 烘箱中乾燥至恆重，其所增加之重量即為懸浮固體重。將總固體重減去懸浮固體重或將水樣先經玻璃纖維濾片過濾後，其濾液再依總固體檢測步驟進行，即得總溶解固體重。(NIEA W210.58A)

(18) 微量元素分析

取 10 mL 水樣，使用感應耦合電漿原子發射光譜儀(shimadzu, ICPE-9820, 日本)，進行溴、氟、鋁、硼、鋇、鈣、銅、鉀、鎂、錳、鈉、鋇之濃度分析。樣品先經霧化器霧化後形成霧狀細粒藉由載流氣體送入電漿焰炬，再經由高頻無線電波感應耦合電漿的加熱，使霧狀樣品受熱而起一系列的去溶劑、分解、原子化／離子化及激發等反應。(NIEA M104.02C)

上述提及濃排液要進行物理吸附後，再將其濃排液排放自然中。本團隊過去已進行「以氫氧化鏷改質磁性材料除磷之研究」，該材料除能有效吸附磷之外，亦能以磁鐵進行回收。預計以這個技術去除濃排液中營養鹽，從而改善濃排液中高營養鹽之問題。

表 4-3 本報告水質分析所使用之檢測方法

水質項目	環檢所公告之檢測方法	海洋保育署公告之檢測方法
pH	NIEA W424.53A	OCA W403.50C
導電度	NIEA W203.51B	
濁度	NIEA W219.52C	
TDS	使用 WTW 手提式電導度計 Cond 3310 量測	
Salinity	NIEA W447.20C	
TOC	NIEA W532.52C	
BOD	NIEA W422.53B	OCA W401.50C
COD	NIEA W517.53B	OCA W501.50C
SS	NIEA W210.58A	
$\text{NH}_4^+ - \text{N}$	NIEA W448.52B	
TKN	NIEA W451.51A	
$\text{NO}_2^- - \text{N}$	NIEA W415.54B	
$\text{NO}_3^- - \text{N}$	NIEA W415.54B	
Cl^-	NIEA W415.54B	
SO_4^{2-}	NIEA W415.54B	
TP	NIEA W427.53B	
$\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$	NIEA W427.53B	
微量元素分析	NIEA M104.02C	

二、薄膜蒸餾實驗結果

1. 養殖排放水水質

團隊已於民國 111 年 3 月 16 日、111 年 7 月 15 日、111 年 8 月 19 日及 111 年 9 月 12 日至屏東採集石斑魚之養殖排放水作為本實驗之實驗標的。

根據環保署公告中華民國 103 年 1 月 22 日修正之環署水字第 1030005842 號令修正發布第二條條文-放流水標準，團隊擷取適用於水產養殖業之放流水排放標準，僅規範了生化需氧量、化學需氧量及懸浮固體之排放標準，如表 4-4 所示。

團隊將所測得知石斑魚及虱目魚養殖排放水水質與水產養殖業放流水排放標準進行比對，四個樣品於生化需氧量(BOD)部分，除 111 年 8 月 19 日虱目魚養殖排放水(54.36 mg/L)未符合放流水排放標準(30 mg/L)，其餘三個樣品皆符合排放標準；於化學需氧量(COD)部分，除 111 年 9 月 12 日虱目魚養殖排放水(65.04 mg/L)符合放流水排放標準(100 mg/L)，其餘三個樣品皆未符合排放標準；於懸浮固體(SS)部分，四個樣品皆未符合放流水排放標準(30 mg/L)，詳如表 4-5 至表 4-8 所示。

表 4-4 水產養殖業放流水標準

適用範圍	項目	最大限值
水產養殖業	生化需氧量	三〇
	化學需氧量	一〇〇
	懸浮固體	三〇

單位：mg/L

資料來源：中華民國 103 年 1 月 22 日行政院環境保護署環署水字第 1030005842 號令修正發布第二條條文-放流水標準

表 4-5 111/3/16 石斑魚養殖排放水水質

水質項目	單位	濃度	是否符合放流水排放標準	水質項目	單位	濃度	是否符合放流水排放標準
水溫	℃	26	-	PO ₄ ³⁻ -P	mg/L	8.49	-
pH	-	7.06	-	SS	mg/L	158.00	未符合
導電度	mS/cm	34.30	-	SO ₄ ²⁻	mg/L	455.93	-
濁度	NTU	3.16	-	Cl ⁻	mg/L	889.16	-
TDS	g/L	34.30	-	Al	mg/L	0.24	-
鹽度	PSU	21.60	-	B	mg/L	5.30	-
TOC	mg/L	59.81	-	Ba	mg/L	11.70	-
BOD	mg/L	24.16	符合	Ca	mg/L	604.00	-
COD	mg/L	202.49	未符合	Cu	mg/L	0.72	-
NH ₄ ⁺ -N	mg/L	0.48	-	K	mg/L	537.00	-
TKN	mg/L	4.64	-	Mg	mg/L	1,770.00	-
NO ₂ ⁻ -N	mg/L	20.76	-	Mn	mg/L	0.61	-
NO ₃ ⁻ -N	mg/L	31.94	-	Na	mg/L	10,900.00	-
TP	mg/L	5.844	-	Sr	mg/L	7.33	-

表 4-6 111/7/15 石斑魚養殖排放水水質

水質項目	單位	濃度	是否符合放流水排放標準	水質項目	單位	濃度	是否符合放流水排放標準
水溫	℃	32	-	PO ₄ ³⁻ -P	mg/L	9.64	-
pH	-	7.63	-	SS	mg/L	198.00	未符合
導電度	mS/cm	31.6	-	SO ₄ ²⁻	mg/L	528.61	-
濁度	NTU	58.9	-	Cl ⁻	mg/L	10,956.4	-
TDS	g/L	31.6	-	Al	mg/L	N.D.	-
鹽度	PSU	19.1	-	B	mg/L	4.23	-
TOC	mg/L	109.80	-	Ba	mg/L	N.D.	-
BOD	mg/L	21.75	符合	Ca	mg/L	462.67	-
COD	mg/L	274.43	未符合	Cu	mg/L	N.D.	-
NH ₄ ⁺ -N	mg/L	1.48	-	K	mg/L	394.33	-
TKN	mg/L	5.78	-	Mg	mg/L	1,146.67	-
NO ₂ ⁻ -N	mg/L	6.94	-	Mn	mg/L	N.D.	-
NO ₃ ⁻ -N	mg/L	8.15	-	Na	mg/L	6,863.33	-
TP	mg/L	5.54	-	Sr	mg/L	5.35	-

表 4-7 111/8/19 虱目魚養殖排放水水質

水質項目	單位	濃度	是否符合放流水 排放標準	水質項目	單位	濃度	是否符合放流水 排放標準
水溫	°C	33.5	-	PO ₄ ³⁻ -P	mg/L	6.11	-
pH	-	8.2	-	SS	mg/L	260.00	未符合
導電度	mS/cm	38.7	-	SO ₄ ²⁻	mg/L	102.91	-
濁度	NTU	19.9	-	Cl ⁻	mg/L	2191.28	-
TDS	g/L	38.7	-	Al	mg/L	0.45	-
鹽度	PSU	25.0	-	B	mg/L	5.44	-
TOC	mg/L	37.19	-	Ba	mg/L	0.05	-
BOD	mg/L	54.36	未符合	Ca	mg/L	849.33	-
COD	mg/L	187.18	未符合	Cu	mg/L	0.01	-
NH ₄ ⁺ -N	mg/L	0.55	-	K	mg/L	824.67	-
TKN	mg/L	6.71	-	Mg	mg/L	2,536.67	-
NO ₂ ⁻ -N	mg/L	2.02	-	Mn	mg/L	0.93	-
NO ₃ ⁻ -N	mg/L	2.98	-	Na	mg/L	16,766.67	-
TP	mg/L	4.78	-	Sr	mg/L	6.99	-

表 4-8 111/9/12 虱目魚養殖排放水水質

水質項目	單位	濃度	是否符合放流水 排放標準	水質項目	單位	濃度	是否符合放流水 排放標準
水溫	°C	25.6	-	PO ₄ ³⁻ -P	mg/L	5.87	-
pH	-	7.96	-	SS	mg/L	138.50	未符合
導電度	mS/cm	39.90	-	SO ₄ ²⁻	mg/L	910.95	-
濁度	NTU	18.35	-	Cl ⁻	mg/L	19721.55	-
TDS	g/L	39.90	-	Al	mg/L	0.07	-
鹽度	PSU	25.70	-	B	mg/L	4.63	-
TOC	mg/L	34.89	-	Ba	mg/L	0.03	-
BOD	mg/L	28.33	符合	Ca	mg/L	732.00	-
COD	mg/L	65.04	符合	Cu	mg/L	N.D.	-
NH ₄ ⁺ -N	mg/L	1.84	-	K	mg/L	225.33	-
TKN	mg/L	9.48	-	Mg	mg/L	2380.00	-
NO ₂ ⁻ -N	mg/L	10.94	-	Mn	mg/L	0.76	-
NO ₃ ⁻ -N	mg/L	9.80	-	Na	mg/L	13766.67	-
TP	mg/L	15.20	-	Sr	mg/L	0.08	-

2. 過濾介質類型之影響

本研究所選用之濾材為石英砂(有效粒徑為 0.6-0.8 mm)以及牡蠣殼,設計以單一濾材(石英砂以及牡蠣殼)以及複濾材(牡蠣殼在上層,石英砂在下層)的形式進行過濾,每一層過濾層厚度均為 20 公分,進料流速為 0.6 公升/分鐘,過濾時間總長為 1 個小時,並於過濾完成後分析磷酸鹽(Phosphate, PO_4^{3-}) 以及化學需氧量(Chemical Oxygen Demand, COD),並計算每一種過濾方式對磷酸鹽以及化學需氧量的去除效率。

影響過濾系統對海水養殖廢水去除效率的參數可歸納為海水養殖廢水特性、濾材性質、水力停留時間(Hydraulic Retention Time, HRT)以及濾材尺寸。水體中的有機物主要以溶解態、懸浮固體與顆粒物等樣態存在,或是吸附於固體顆粒上,若以過濾的方式將海水養殖廢水以不同濾材進行過濾,水中的顆粒將截流於濾材中,進而減少水中化學需氧量的濃度^[31]。此外,水體中的有機物會隨著時間被水體中的氧、微生物所消耗,導致水體中 COD 濃度在經過一段時間後其濃度會有所減少^[32]。在過濾的過程中,濾材的尺寸、反應表面積以及濾材與濾材之間間隙影響水體經過過濾層的流速、過濾效率以及污染物質的去除效率,在足夠的水力停留時間下,海水養殖廢水中的有機物能有效的被吸附於濾材介質間^[33],本研究中所使用之石英砂尺寸為 0.6 ± 0.05 mm,吸附表面積大,能夠有效減少產水中污染物的濃度^[33]。然而,在較短的 HRT 下,水力負荷增加,導致濾材表層沖刷能力增大,表層生物量減少,造成 COD 去除效率能力降低^[34]。

研究結果顯示,以單一濾材石英砂、牡蠣殼以及複濾材(石英砂+牡蠣殼)對 COD 的去除效率分別為 34%、15%以及 51.8%,對磷酸鹽的去除效率分別為 74.4%、7.5%以及 53.1%,不同濾材對海水養殖廢水之磷酸鹽以及化學需氧量去除效率如圖 4-10 所示。根據不同濾材對海水養殖廢水濾液之化學需氧量以及磷酸鹽分析結果顯示,以牡蠣殼作為過濾濾材對 COD 以及 PO_4^{3-} 的去除效率並不顯著,而以石英砂作為濾材對海水養殖廢水中對 COD 以及 PO_4^{3-} 的去除效率分別為牡蠣殼的 2 倍以及 10 倍以上,最主要的原因是磷酸鹽的降解機制涉及物理反應以及化學反應,如吸附以及沉澱,在實驗過程中,海水養殖廢水中有機物未能與牡蠣殼之成分產生反應,進而產生磷酸鈣沉澱^[35],COD 則受濾材與濾材間的間隙所影響,石英砂所製成之濾層之間隙小於牡蠣殼之間之隙,因此以石英砂過濾之濾液 COD 去除效率高於牡蠣殼。

若以石英砂與牡蠣殼作為上下兩層之複材料過濾層進行過濾,Liu 等人提到當水力停留時間大於 4 小時較具有顯著的去除效率,若水力停留時間小於 4 個小時則會影響過濾系統對

海水養殖廢水的淨化成效。有分析濃度數據圖來看，雖然以複材料進行雙層過濾之 COD 去除效率小於單一濾材-石英砂，但是其卻仍高於以單一濾材-牡蠣殼，磷酸鹽去除效率的部分則均高於使用單一濾材進行過濾，顯示以石英砂與牡蠣殼上下兩層組合之過濾系統對 COD 以及磷酸鹽具有較為顯著的去除成效。

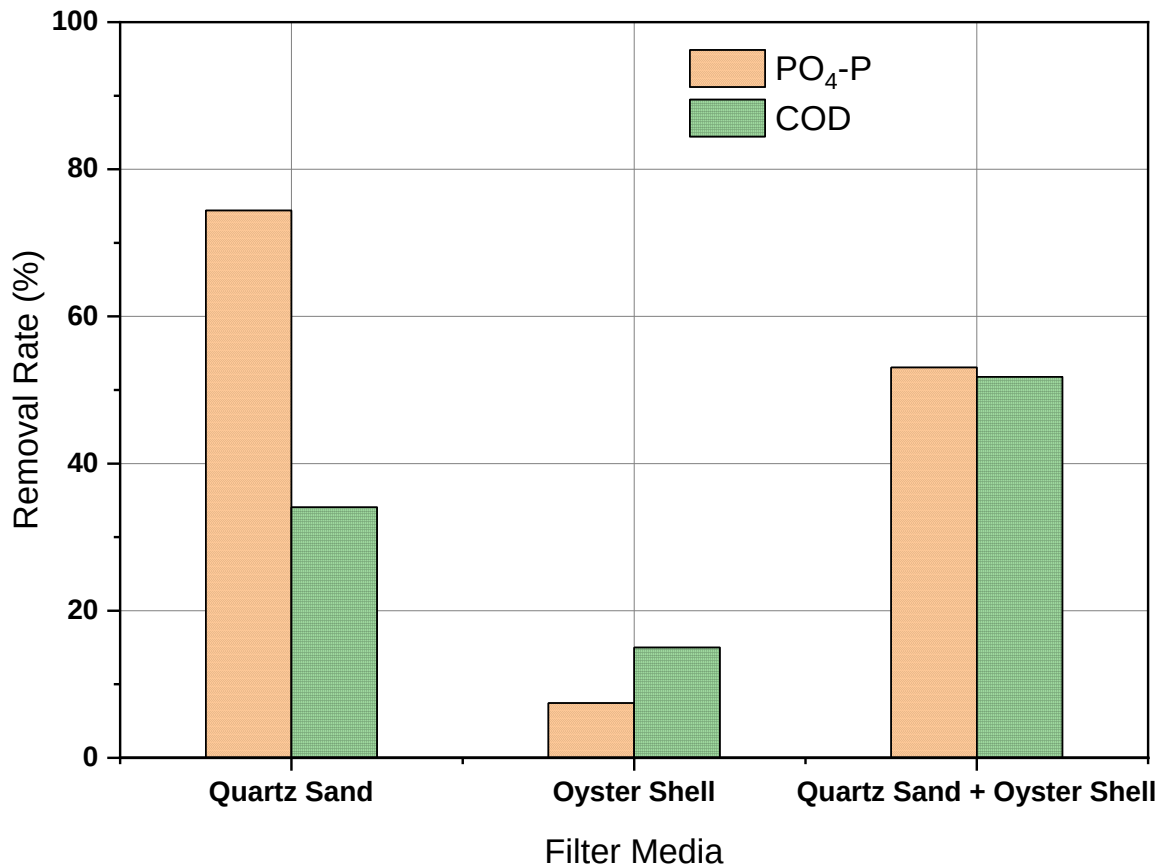


圖 4-10 不同濾材種類的影響

3. 不同實驗參數氣隔式薄膜蒸餾性能之影響

本研究以氣隔式薄膜蒸餾系統(Air Gap Membrane Distillation, AGMD)進行海水養殖廢水之污染物降解之研究，系統以 AGMD 板框模組為主要薄膜反應區，由熱端進料裝置及冷端冷卻裝置之管線連接於 AGMD 板框模組之冷、熱端板，並對系統操作溫度與壓力進行實時監測。實驗過程中以恆溫水槽 (KANSIN INSTRUMENTS CO.,LTD modle:WB201-B2)對熱端進料裝置進行加熱，冷端進料裝置以低溫恆溫水槽 (FIRSTEK model:B403H)使冷端進料裝置使中保持低溫，並藉由管線與板框模組相接，由蠕動幫浦輸送熱端及冷端進料。於板框模組間熱端進料所產生之蒸氣穿過膜孔，並擴散穿過薄膜和冷凝器表面之間，而金屬板藉由低溫恆溫水槽保持低溫滲透側，蒸氣於滲透側之冷凝板上冷凝，板框模組所蒸餾出液體藉由模塊間隙下部的端口進行回收收集。其中，影響 AGMD 系統產出通量之影響因子為酸鹼值、系統操作溫度以及空隙間隔，因此本研究以牡蠣殼與石英砂組合而成之上下兩層過濾系統產出之濾液作為進料液，並以五種不同酸鹼值、四種不同進料溫度以及三種間隙進行實驗，並評估最佳參數對樣品進行實驗，計算 AGMD 系統應用於海水養殖廢水回收之成本效益以及對污染物質的去除成效，研究將分析系統對氨氮、磷酸鹽、化學需氧量以及懸浮固體之初始濃度、產出濃度，並計算其去除效率。

(1) 進料溫度對滲透通量的影響

本研究以 40、50、60 和 70℃ 等四個溫度點進行 AGMD 試驗，研究進料溫度差異對 AGMD 系統處理海水養殖廢水污染物去除效率的影響，如圖 4.2 所示。研究中使用 PTFE/PP 薄膜支撐以及 0.6 mm 的空隙墊片，進料端以 2L 之過濾後海水養殖廢水濾液，以流速 4 L/min 進料到 AGMD 模板中，冷端則以流速為 3 L/min，保持於 25℃。由溫度之間的變化(ΔT)所造成的蒸氣壓差異(ΔP)，為 AGMD 系統帶來 MD 模板之間的滲透驅動力，由實驗就結果顯示，當進料溫度為 40、50、60 和 70℃ 時的通量分別達到 1.49、2.40、3.41 和 3.86 kg/m²h，在每次溫度的升高時，通量都會有所增加（圖 4-11 的紅線），因此對 AGMD 過程的傳質係數有明顯的影響^[36]。

在 AGMD 系統的操作中，隨著系統操作時間的增加，溫度極化效應的發生，導致薄膜表面發生過飽和的現象，進而降低原本預期的傳質係數，當溫度差異逐漸增大時，由於停滯的水蒸氣擴散係數增加，影響擴散因子，導致水蒸氣通量增加^[37]，速度的下降導致施密特數減少。此外，如 Antoine 方程所預測，水蒸氣壓與溫度呈指數關係，當溫度升高時，蒸氣壓亦呈指

數增加^[38]，同時，進料溫度升高亦會影響薄膜網絡的大小和密度，導致滲透通量增加^[39]，與低溫膜組件相比，高溫膜組件較可以產出更多餾出物。由於整個薄膜的蒸氣淨壓力呈指數級顯著增加，因此在 70°C 的進料溫度可實現最高的水回收率，從而導致餾出物生成增加^[40]。

由實驗結果顯示^[41]，當進料溫度增加時，促使銨離子 (NH_4^+) 揮發成氨氣 (NH_3)，導致其傳質係數增加，促進 NH_3 在溶液體和膜孔中的擴散^[42]，從而導致氨氣 (NH_3) 通過疏水膜，降低海水養殖廢水之氨氮濃度。此外，進料廢水中的氨氮溶解量可以藉由提高溫度進而降低液中濃度，並且應減少溶解氨揮發成氨氣蒸發，增加氨氮的截留率^[43]，因此其具有出色的污染物去除效率以及水回收率，70°C 的進料溫度為最佳溫度參數。

如 Zhang 等人(2021)研究結果，在偏酸的測試環境下，磷酸鹽與鈣將以化合的方式結合成二水合磷酸二鈣(DCPD)沉澱於進料液中，進而減少磷酸鹽在空氣間隙式薄膜蒸餾系統操作過程中於薄膜上結垢之發生機率。因此，在研究中進料在溫度為 40、50、60 和 70°C 等四個不同溫度點以酸鹼值為 5 進行 AGMD 試驗，隨著進料溫度的升高，磷酸鹽濃度的去除效率分別達到 99.91%、99.95%、99.98%、99.99%，薄膜上結垢的情形被有效地抑制。此外，若以進料 pH 值為 4 時使用以直接接觸式蒸餾薄膜(Direct Contact Membrane Distillation, DCMD)進行試驗模擬，則可以最大限度地減少薄膜結構所帶來的污染，進而達到去除效率大於 99% 的穩定性能。

在高溫操作 AGMD 系統下，薄膜可能會發生膜孔潤濕的情況，導致有機污染物從進料溶液滲透到蒸餾液中^[44, 45]，導致蒸餾液污染物濃度增加，以進料溫度為 40、50、60 和 70°C 等進行試驗之懸浮固體分析濃度如圖 4-11 所示，在進料溫度為 40、50 和 60°C 下懸浮固體去除效率均達於 95%，然而，在 70°C 的進料溫度下，SS 的去除效率僅達到 72.66%。

化學需氧量在不同溫度進料的 AGMD 試驗下，其去除效率在不同溫度均有高的去除效率，當進料溫度升高時，COD 濃度的去除效率在 40、50、60、70°C 的進料溶液分別為 98.13%、98.22%、97.42%、97.72%。此外，根據 PTFE/PP 膜的特性，即使在操作過程中以高溫進行 AGMD 仍可以有效地分解去除海水養殖廢水中的 COD 含量，並使有機污染物能夠通過滲透側去除，進而達到卓越的 COD 去除效率。

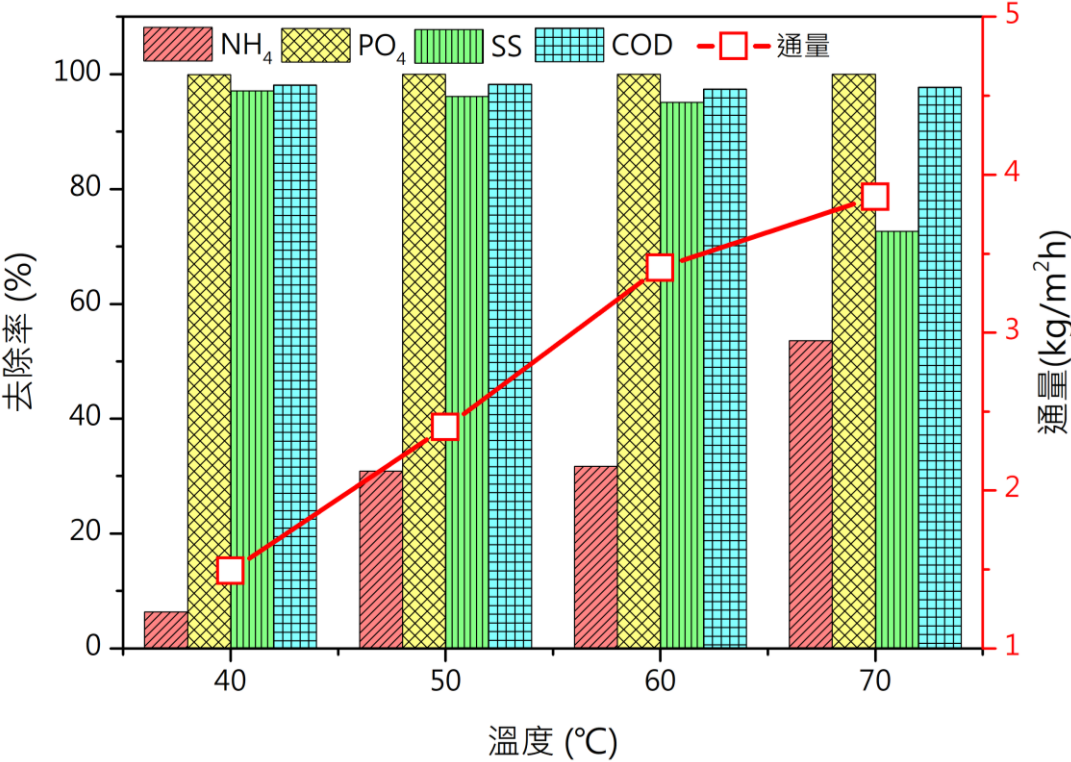


圖 4-11 進料溫度對通量的影響

(2) 進料酸鹼值對通量的影響

本研究以牡蠣殼與石英砂組合而成之上下兩層過濾系統產出之濾液，在進料端以流速為 4 L/min，恆定溫度 70°C，冷端溫度保持在 25°C，流速為 3 L/min。將 2 L 的濾液導入 MD 模板中，模板中以 PTFE/PP 支撐膜為主，空隙間隔為 0.6 mm，並分析 pH 值在 5.0、5.5、6.0、6.5 和 7.0 等不同酸鹼值對 AGMD 系統對海水養殖廢水污染物去除效率的影響。

如圖 4-12 所示，滲透通量隨實驗酸鹼值變化而有所不同，在 pH 值為 5 時具有最高的通量，達到 3.86 kg/m²h，然而在酸鹼值為 5.5 以及 6 時，通量則分別下降至 3.10 及 2.58 kg/m²h，Charfi 等人(2021)^[46]之研究亦提出相同結論，在較低的酸鹼值具有較高的滲透通量。此外，膜通量在 pH 值為 6.5 是增加至 3.01 kg/m²h，其主要原因可能為氨和水蒸氣對傳輸通道的競爭^[47]，並在 pH 值為 7 時減少至 2.21 kg/m²h。

當 pH 值為 6 以及 7 時，兩者之膜通量則幾乎沒有差異，其主要影響原因可能為，由於當 pH 從 5 提高到 8 時，較高的酸鹼值促進薄膜表面的有機結垢層發生沉澱反應(Yan et al., 2019)，且由於進料溫度升高導致水蒸氣增加，擴大系統內蒸氣壓差，提高系統內蒸氣及濾液更高的流動性，進而導致更多的結垢物質聚集於薄膜表面，造成薄膜表面的結垢層增厚，膜通量下降。而在 pH 值為 6 時，由於氨和水蒸氣對傳輸通道的競爭，導致回收率從 3.10 降至 2.58kg/m²h^[47]。

根據實驗結果顯示，不同酸鹼值 pH 5.0、5.5、6.0、6.5 和 7.0 對海水養殖廢水之 COD 去除效率分別為 97.72%、97.96%、97.58%、98.39%和 98.18%，每一種 pH 值對 COD 去除效率均大於 97%，且相對穩定，表明薄膜表面上有機物所造成的結垢現象並不明顯，因此在 COD 的去除上有極高的成效，將絕大多數的有機物攔截於濃縮液中。此外，由於薄膜表面不存在大量有機物的結垢或沉積，相似於以硫酸鈣去除薄膜表面上結垢之成效，提高了 AGMD 系統的水回收率^[48]。

圖 4-12 中顯示在酸鹼值在 5 ~ 7 之間 5 個酸鹼值對懸浮固體去除效率的影響，由結果顯示在這個區間內酸鹼值變化對 SS 具有高穩定性的去除成效，然而在 pH 為 5 時對 SS 之去除效率最低，其可能係薄膜發生潤濕導致進料中的懸浮固體滲透到蒸餾液種。在不同酸鹼值對磷酸鹽去除效率的影響，由結果顯示當提高海水養殖廢水進料的酸鹼值，顯示酸鹼值的變化對磷酸鹽的去除影響並不顯著，AGMD 系統對磷酸鹽具有極高的去除效率，且去除磷酸鹽的成效極為穩定，均達到 99%以上，由此可知薄膜蒸餾技術對含有磷酸鹽的海水養殖廢水進行磷

酸鹽的回收係最為合適的技術方法。其去除機制如 Bae 和 Kim(2020)^[43]研究中所提到，在薄膜蒸餾系統的操作中，海水養殖廢水進料中的磷酸根離子(PO_4^{3-})可能與進料液中的鎂和鈣離子化合形成無機沉澱，如 $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ 、 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 或 NH_4MgPO_4 ，這一機制為薄膜蒸餾技術帶來優異之磷酸鹽去除效率，此外，在 pH 為 5.5~7.2 之間的酸鹼值範圍為水中游離的磷酸根離子提供了合適的生存環境，進而誘發後續與其他離子化合產生沈澱^[49]。

而不同酸鹼值對氨氮去除效率及其影響如圖 4-12 所示，當 pH 值為 5 時具有較高的氨氮去除效率，達到 53.61%。與先前實驗相比，當酸鹼值不斷提升時，較高的酸鹼值導致氨氮去除效率降低，甚至呈現「負」去除效率如圖 4-13。造成去除效率為負最主要的影響可能係酸鹼值的提高，改變了薄膜蒸餾系統中銨-氨(酸鹼)之間的平衡，高酸鹼值的環境有利於海水養殖廢水中的氨氮蒸發成可以通過薄膜的游離氨^[41]或氨氣氣體分子(亨利定律)，並通過薄膜傳輸到空隙間隔之間，並在冷凝板上冷凝，進而再轉化為液態 NH_4^+ ，與水蒸氣發生反應後生成氨氮流入蒸餾液中，亦可能係因為海水養殖廢水中沒有足夠的酸性物質將氨氣轉化為銨離子留存於進料中，導致蒸發的氨氣仍然存在於空隙間隔中，進而造成蒸餾液中的氨氮濃度增加，得到「負」去除效率。在海水養殖廢水進料中，添加酸液降低進料的 pH 值，在較低酸鹼值環境的進料中，酸液將吸附水樣中的氨氮形成化合物產生結晶或是沈澱，進而減少氨氮轉化為氨氣，導致只有部分氨氣可以穿過薄膜膜孔到達滲透側，降低蒸餾液中氨氮的濃度，達到有效地氨氮去除成效。在 Zhang 等人(2015)^[50]的研究中亦提到相同理念，當薄膜蒸餾系統中的進料端維持在較低的酸鹼值時，氣化的氨氣將最大限度地減少氨氣通過膜孔擴散到蒸餾液中，並回流於海水養殖廢水進料溶液中。此外，適當的空隙間隔可以減少 AGMD 系統中模塊中薄膜的污染以及結垢等問題，並讓氨氣隨蒸發氣體逸散至大氣中，進而增加系統對養殖廢水中氨氮的去除效率^[51]。

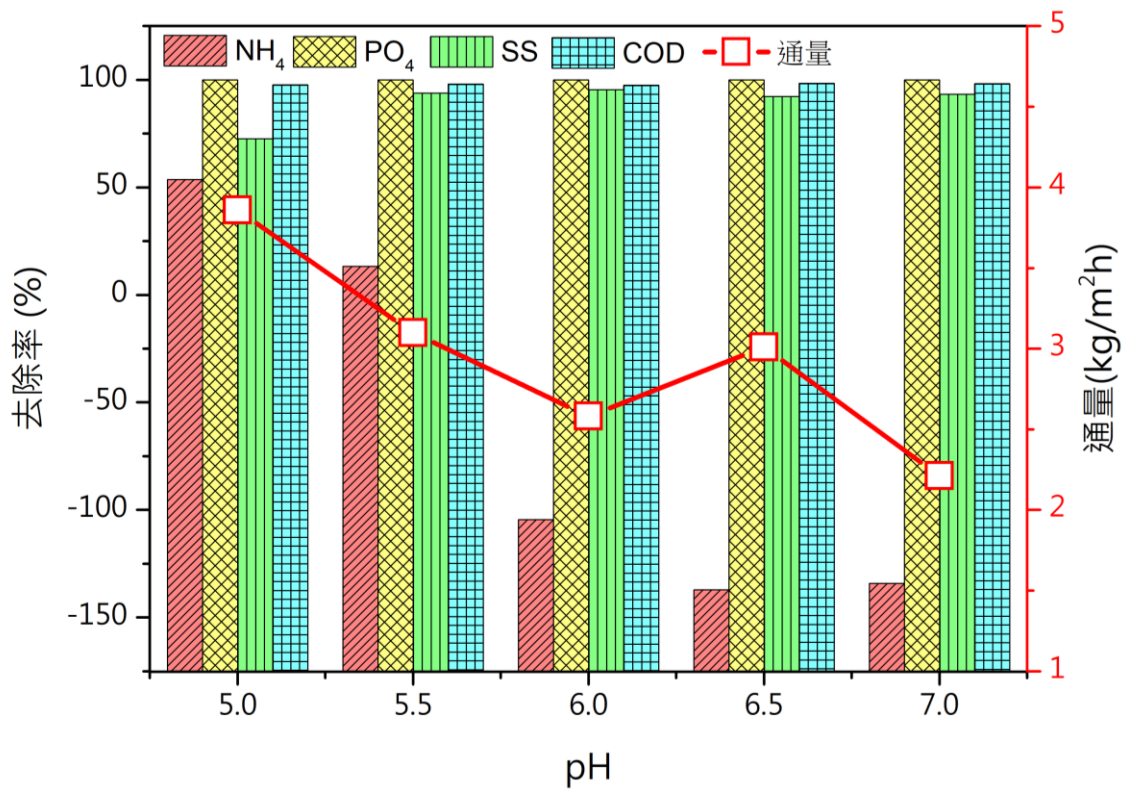


圖 4-12 進料酸鹼值對通量的影響

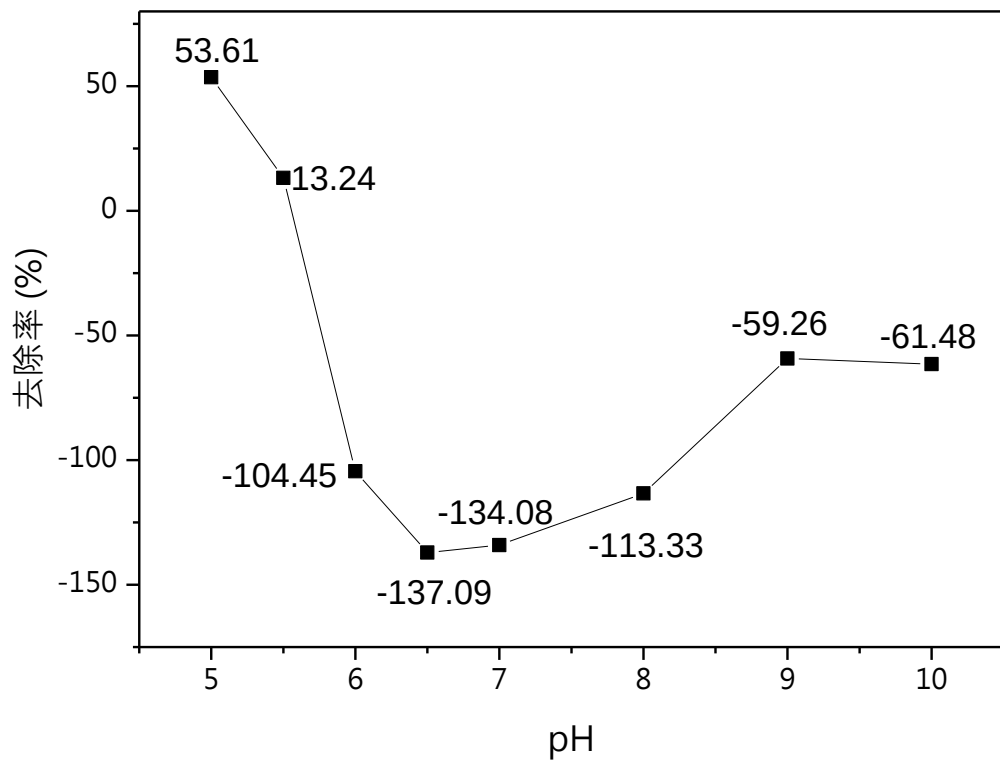


圖 4-13 pH 對於氨氮去除率之影響

(3) 空隙間隔對通量的影響

本研究亦對空隙間隔對 AGMD 系統去除 COD、SS、氨氮以及磷酸鹽影響進行實驗研究。實驗過程以海水養殖廢水經過牡蠣殼與石英砂組成上下兩層之過濾系統過濾產出之濾液，約兩公升，以酸鹼值恆定為 pH 5，流速為 4 L/min，進料溫度恆定為 70°C，冷端流速為 3 L/min，冷端溫度保持在 25°C，通過以 PTFE/PP 支撐膜組成之 AGMD 模板，對 0.6、0.9 和 1.1 mm 等三種不同空隙間隔進行研究，實驗結果通量及對每一項污染物之去除效率如圖 4-14 所示。

根據實驗結果顯示，當空隙間隔為 0.6 mm 時具有較高的滲透通量，為 3.86 kg/m²h，而隨著空隙間隔的加大，其滲透通量亦逐漸降低，在空隙間隔分別為 0.9 mm 和 1.1 mm 時，滲透通量分別為 3.48 kg/m²h 以及 3.39 kg/m²h。其主要原因為水回收過程中需要許多的潛伏汽化熱，較低的溫度梯度有助於降低系統內熱邊界層的厚度，亦影響到薄膜滲透通量，而在 0.6 mm 的空隙間隔，其薄膜表面的溫度梯度低於 0.9 mm 和 1.1 mm，因此在 0.6 mm 的空隙間隔時具有較佳的滲透通量^[52, 53]。

當系統操作溫度保持在高溫(70 °C)的狀態下，其產生之溫度梯度更為顯著，使在 AGMD 系統中具有比網狀交叉對角隔板的器件更高的熱通量，從而導致更高的水回收率。此外，當有理想的空隙間隔存在於薄膜蒸餾系統中，其對溫度極化效應具有很好的緩解成效，進而增加系統薄膜滲透通量，提高系統產水率。另外，Castillo(2019)^[54]、Ho(2017)^[55]以及 Phattaranawik(2001)^[56]等人之研究以提到，當 DCMD 模塊使用墊片時，其系統內增加的空隙間隔對溫度極化係數顯著增加，產生較高的傳熱係數。在 Phattaranawik 等人(2001)^[56]的研究，在 DCMD 系統中放置填充有間隔物的通道與沒有間隔物的情況相比，其溫度極化係數導致的滲透通量增量顯著提高，促使滲透通量增加了 31 到 41%。

由實驗結果顯示，在酸鹼值較低的環境下，不同空隙間隔對磷酸鹽以及 COD 的去除效率相當穩定，去除效率分別均大於 99%以及 97%，表示以 AGMD 處理海水養殖廢水幾乎可以有效地去除廢水中的磷酸鹽和 COD，顯示薄膜蒸餾技術為處理海水養殖廢水最佳的處理技術。而不同空隙間隔對懸浮固體去除的影響，當空隙間隔逐漸增加，其對應之去除效率亦逐漸提高，當空隙間隔為 0.6 mm、0.9 mm 和 1.1 mm 時，其分別的去除效率為 72.7%、84.4% 和 91.2%，而對氨氮的去除成效則相反，在空隙間隔分別為 0.6 mm、0.9 mm 和 1.1 mm 時，氨氮去除效率分別為 53.6%、39.87% 和 6.37%。在薄膜蒸餾去除氨氮的機制中，當通量增加時，其造成系統內熱能的傳遞困難，因此對氨氮的去除影響並不顯著，與之相比，濃度梯度以及薄膜傳

質係數對氨氮的去除較具有影響性。另，由實驗結果顯示，當薄膜蒸餾系統中具有空隙間隔時，其增強了系統內進料端氨傳質的動力，增加了氨氮的通量。此外，進料速度的提升對氨氮通量以及氨氮選擇性亦有加強的現象，由此可證，在 MD 模板之間空隙間隔的設計對薄膜蒸餾系統對氨氮去除具有直接的影響^[57]。

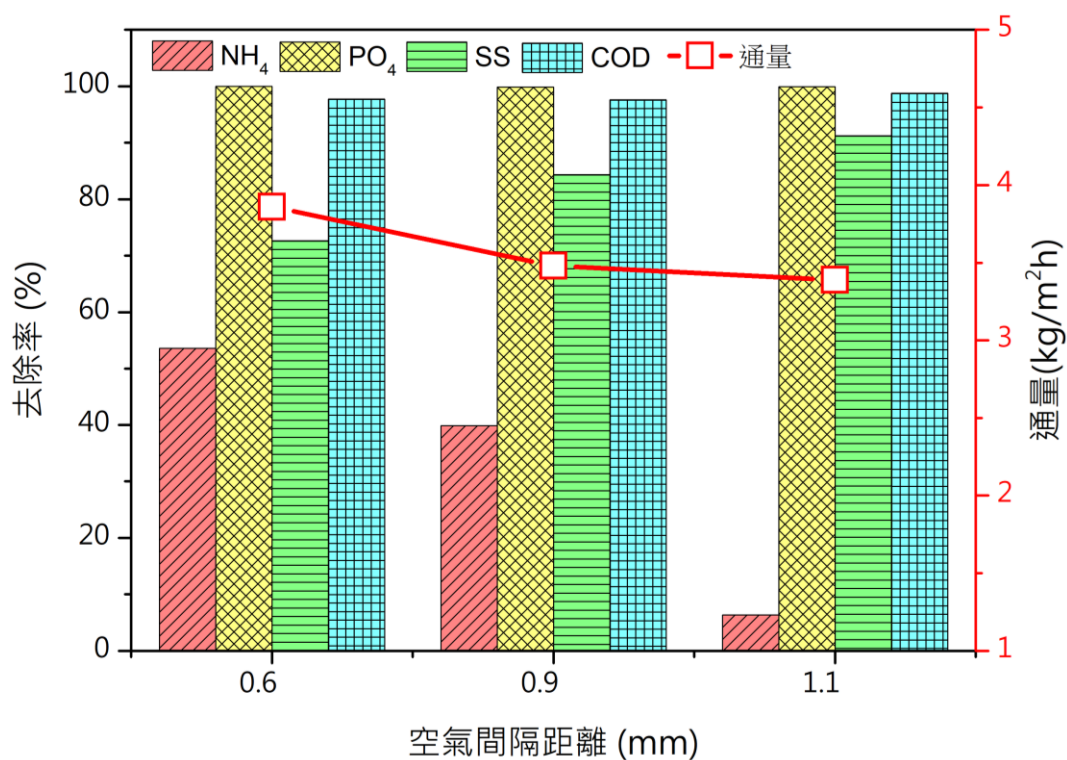


圖 4-14 空隙間隔對通量的影響

(4) 氣隔式薄膜蒸餾對各類水產養行為之效能

經過上述對進料溫度、進料酸鹼值以及空隙間隔等不同參數對海水養殖廢水以牡蠣殼與石英砂組成之上下兩層複材料過濾系統產出之濾液進行 AGMD，其最佳參數為進料溫度 70 °C、進料酸鹼值 pH 5 以及空隙間隔為 0.6 mm。因此，本研究將以此最佳參數條件對不同樣品進行實驗研究，針對不同樣品分別為 A：虱目魚、B：虱目魚、C：石斑魚和 D：石斑魚等海水養殖廢水，其所養殖水產及採樣時間均不相同，採樣時間點分別為 9 月、8 月、7 月和 3 月。

實驗結果對每一種樣品之通量及其污染物去除效率如圖 4-15 所示，樣品 A、B、C 和 D 的滲透通量分別達到 4.31、4.52、3.82 和 3.65 kg/m²h。其中，樣品 C 和 D 的滲透通量低於 A 和 B，其主要原因可能為海水養殖廢水濾液進料中懸浮固體濃度高，導致絮狀物粘在膜孔上造成堵塞，因此在薄膜表面發生結垢，使滲透通量減少。不同樣品對氨氮的去除效率分別為 44.08%、56.36%、72.26% 和 70.87%。對磷酸鹽之去除效率與前述實驗據有相似的結果，證明 MD 技術對海水養殖廢水中的磷酸鹽去除具有極為優良的成效，使其去除效率均達到 99.9%。對 COD 的去除效率在 A 樣品時去除效率最低，為 80.69%，這可能是由於有機污染物的滲透，水分子穿透膜並在滲透側冷凝。此外，樣品 C 的 SS 去除效率由於膜潤濕，使懸浮固體通過薄膜並進入滲透側而造成去除效率偏低。另，與其他樣品相比，SS 濃度的增加有助於降低懸浮固體通過薄膜的能力。

此外，本研究除了對 NH₄-N、PO₄-P、SS 和 COD 等污染物進行分析外，亦對其他參數，如：硼(B)、鉀(K)、鋰(Li)、鎂(Mg)、鈉(Na) 和銦(Sr)等進行去除效率的計算，如表 4-9 所示。大部分污染物的去除效率均達到 99%以上，僅鋰的去除效率較低，在蒸餾液中仍殘留濃度約 0.08 mg/L。顯示以 AGMD 系統應用於海水養殖廢水的回收具有不可限量的潛能，其不僅可以增加廢水的回收率，亦有助於廢水中的污染物去除。

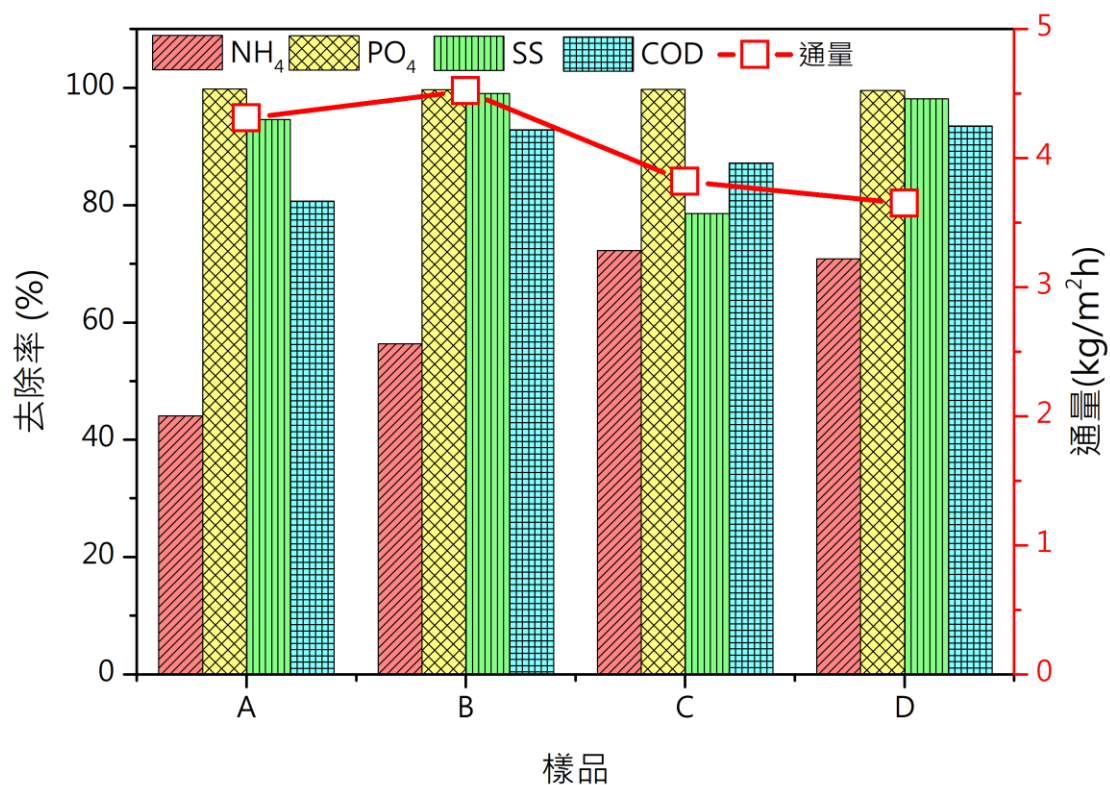


圖 4-15 AGMD 對各類水產養行為之效能

表 4-9 不同樣品進行 AGMD 實驗對其他離子的去除效率

樣品名稱	去除效率 (%)					
	B	K	Li	Mg	Na	Sr
A：9月虱目魚	99.07	99.85	25.23	100	99.99	100
B：8月虱目魚	99.28	99.80	43.63	100	100	100
C：7月石斑魚	99.39	99.83	41.85	99.99	100	100
D：3月石斑魚	99.39	99.85	43.25	99.99	99.98	100

4. MFC@La(OH)_3 吸附劑的吸附效能

團隊規劃以自備氫氧化鏷改質磁鐵(MFC@La(OH)_3)作為吸附劑，進行濃排液之物理吸附，自備方式如圖 4-16 所示，吸附流程圖如圖 4-17 所示。

以共沉法合成之吸附劑 MFC@La(OH)_3 具有操作簡單、成本低、效率高等諸多優點。共沉法可以使亞鐵離子與鐵離子在水溶液中與鏷金屬進行化合，在水溶液中同時發生生長、成核和聚集可以同時發生^[58]，使作為核心材料的負載型金屬氧化物（例如三氧化二鐵），被結合到鏷金屬上，以降低鏷金屬的聚集行為，因此亦可以從水中回收和去除鏷金屬。以下說明吸附過程的詳細方法，包括 MFC@La(OH)_3 的合成複合材料和吸附過程。

(1) 吸附劑材料製備

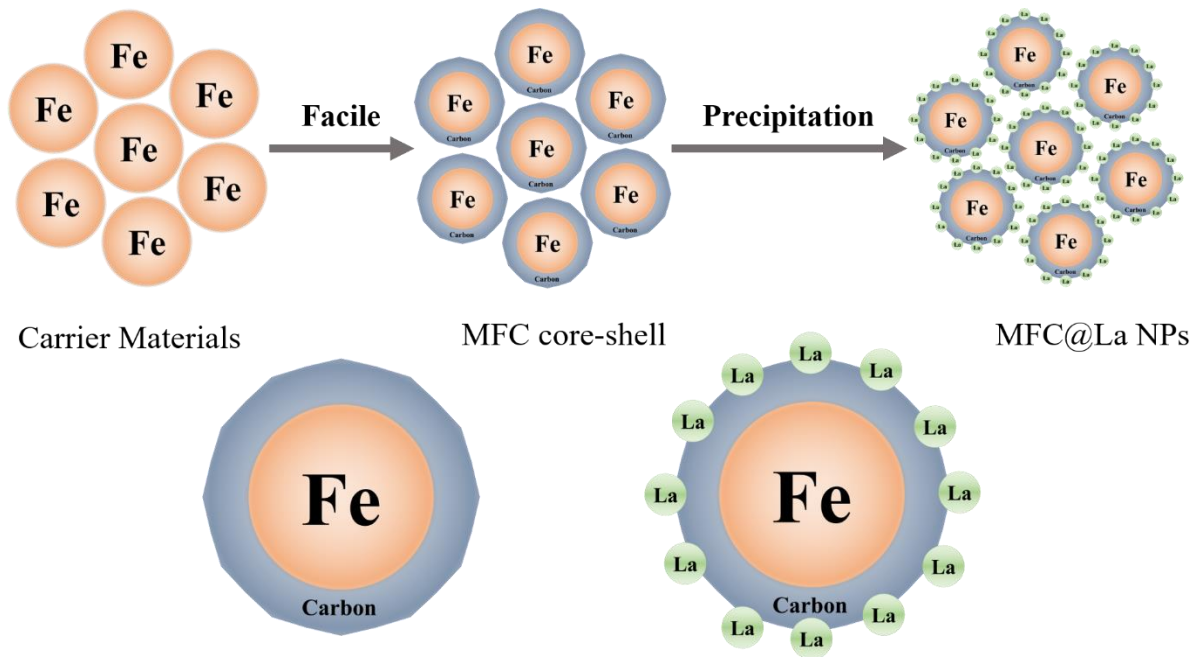
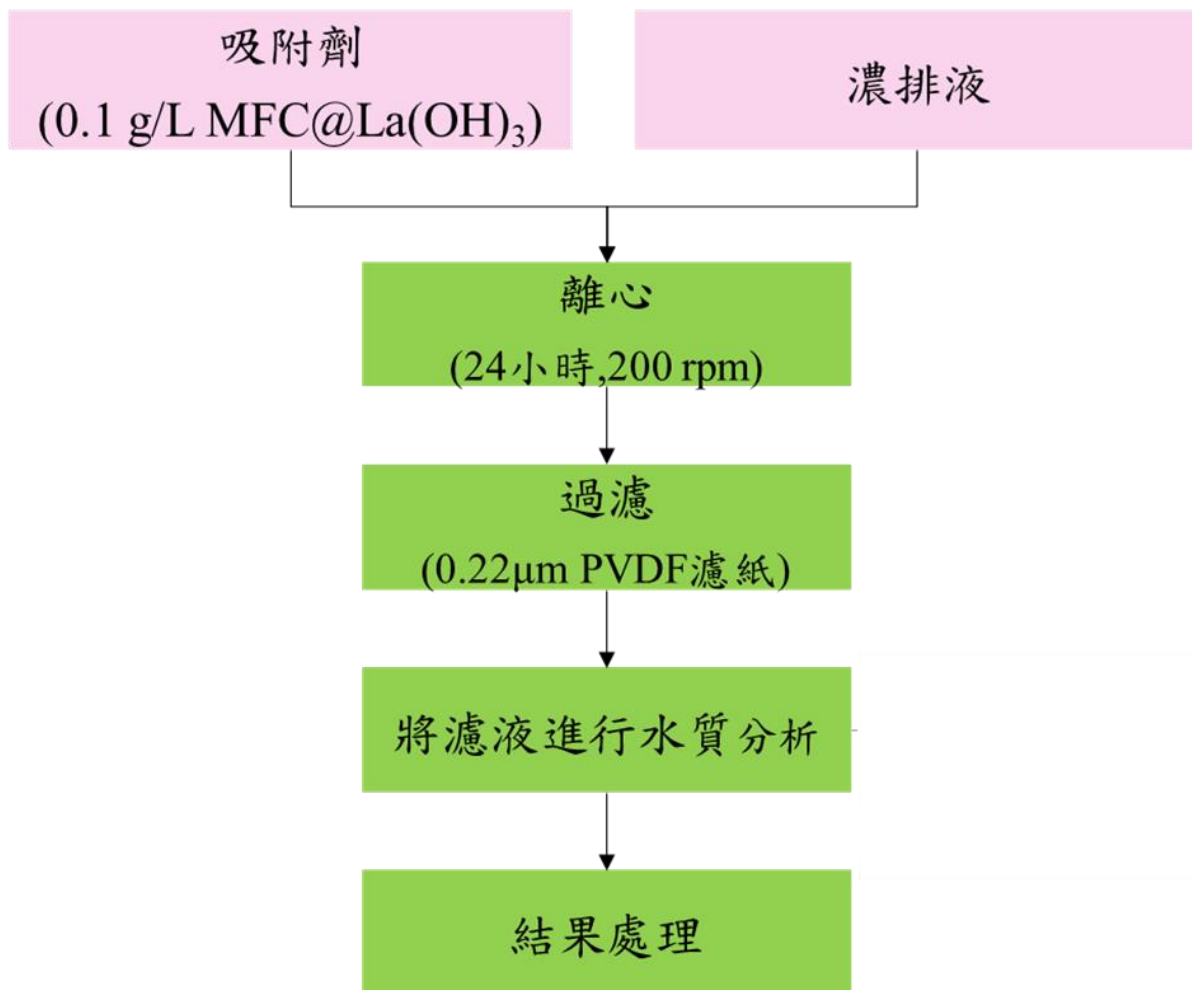
MFC@La(OH)_3 吸附劑分成兩部分進行自備：A. 合成磁性 Fe_3O_4 碳殼(MFC)複合材料、B. 合成 MFC@La(OH)_3 奈米複合材料，相關合成方法如下：

A. 磁性 Fe_3O_4 碳殼(MFC)複合材料合成

首先，將 0.006 mol 六水合氯化鐵($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)、0.01 mol 葡萄糖($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$)和 0.1 mol 尿素($\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$)加入 40 ml 去離子(DI)水中，同時使用磁力攪拌器攪拌 15 分鐘，使其完全溶於水中。接著，將前述溶液轉移並密封在聚四氟乙烯密封的水熱高壓釜反應器中，在 180°C 下反應 14 小時後，自然冷卻至室溫，再將所得的沉澱物離心，並用乙醇及去離子水多次洗滌後，放入烘箱以 60°C 下乾燥 12 小時，最終得到磁性 Fe_3O_4 碳殼 (MFC) 複合材料。

B. MFC@La(OH)_3 奈米複合材料合成

首先，將 MFC 奈米複合材料分散在 100mL 去離子水中，然後將所需量的無水氫氧化鏷加入質量比 La:MFC 為 2:1 的 MFC 溶液中，使用磁力攪拌器攪拌使其溶解成鏷鹽。並於溶液中滴加 0.5N 氫氧化鈉溶液調節 pH，以避免交替強鹼性溶液破壞 MFC 奈米複合材料的碳外層。最後，產品通過離心進行分離，並用去離子水徹底清洗，最後放入烘箱以 60°C 下乾燥 12 小時，得到 MFC@La(OH)_3 奈米複合材料。

圖 4-16 氫氧化鑰改質磁鐵(MFC@La(OH)₃)自備流程圖 4-17 氫氧化鑰改質磁鐵(MFC@La(OH)₃)吸附流程

(2). 吸附方法

吸附動力學實驗，將 1 g/L 的吸附劑材料倒入 50 mL 濃排液中，共製作 4 個樣品，並在定軌搖床上以 150-200 rpm 的速度用力攪拌。在每個時間間隔(30、60、120、240 min)分別取出 50mL 上清液過濾，用 UV-Vis 測定溶液中殘留的磷酸鹽。

對於等溫線實驗，將 1 g/L 吸附劑注入 50 mL 濃排液中，並置於 150-200 rpm 的定軌振盪器上 24 小時以達到絕對平衡。然後除去上清液，過濾，並測量磷酸鹽殘留物。將合適的吸附劑用量 1 g/L 引入 50 mL 濃排液中，反應 24 小時達到平衡，然後過濾並定量殘留的磷酸鹽。

(3) MFC@La(OH)_3 吸附劑的特徵分析

研究中以傅立葉轉換紅外光譜(Fourier-transform infrared spectroscopy, FTIR)進行分析，由光譜通過相應化學鍵的拉伸或彎曲顯示奈米材料的組成，如圖 4-18 所示。由分析結果顯示，FTIR 光譜呈現了 MFC@La(OH)_3 在未使用的狀態以及使用不同反應時間（20 至 120 分鐘）後的狀態，具有相似的表面官能基模式。在 3300 和 3500 cm^{-1} 之間有一穩定的波峰，促成了 $-\text{OH}$ 伸縮振動峰^[59, 60]。而在 1142 至 1125 cm^{-1} 範圍內，不同接觸時間的樣品間發現了一個新的波峰，代表磷酸鹽中 HPO_4^{2-} 和 H_2PO_4^- 物種內 P-O 基團的不對稱伸縮振動，顯示奈磷酸鹽在表面的米複合材料的吸附作用^[61-64]。

圖 4-19 為 MFC@La(OH)_3 吸附劑的掃描式電子顯微鏡(Scanning Electron Microscope, SEM)影像，其中包括：(a) MFC、(b) MFC@La(OH)_3 、(c) 以 MFC@La(OH)_3 吸附劑反應 20 分鐘以及(d) 以 MFC@La(OH)_3 吸附劑反應 120 分鐘。由圖 4-19(a)顯示，簡單的製備方法製成鐵載體材料之磁鐵碳(MFC)核殼，並與鐵、尿素和葡萄糖成功地合成載體材料上的碳外層，圖中亦顯示在 MFC 的表面為一個粗糙的外表，且呈現不對稱的形式，表面亦沒有任何雜質，亦即擁有一個巨大的比面積和孔徑；在圖 4-19(b)中顯示與 MFC 共沉法製成之 MFC@La(OH)_3 上的鏽金屬與鐵金屬複合氫氧化物顆粒呈現散佈不規則形態，而鏽金屬作為催化劑的存在，進一步加強了 MFC 去除磷酸鹽的能力。由 SEM 影像顯示，在共沉法的製備下，鐵與鏽金屬同時發生各種反應，如生長、成核和聚集，形成任意大小以及形狀不均勻的納米顆粒^[58, 65]；在吸附劑 MFC@La(OH)_3 進行 20 分鐘和 120 分鐘的反應後，其 SEM 影像如圖 4-19(c)以及圖 4-19(b)所示，由影像可見在吸附劑的活性點位上吸附了磷酸鹽，從而增加了顆粒的大小。在反應時間為 20 分鐘時，可以明顯看到 MFC@La(OH)_3 表面形成了新的不規則晶體狀結構（紅色圓圈）。此

外，與 120 分鐘的反應時間相比，由於磷酸鹽幾乎覆蓋了整個活性位點，晶體在其表面聚集和衰老。

未使用以及經過反應的 MFC@La(OH)_3 吸附劑的 X 射線衍射(X-ray Diffraction, XRD)圖如圖 4-20 所示。未使用的 MFC@La(OH)_3 NPs 的結構與經過反應的 MFC@La(OH)_3 相比有明顯的不同。 MFC 在與鎳金屬化合後，在 $2\theta = 35.61^\circ$ 出現了(311)平面的尖銳和強大的峰值，這與立方氧化鐵一致(JCPDS card 19e0629)^[66]。此外，在 14.64° 、 27.9° 和 29.42° 處觀察到了 La(OH)_3 的特徵峰，這些特徵峰來自於六角形 La(OH)_3 的(100)、(110)和(101)平面的反射而被增強^[67]。對於 La(OH)_3 混合體來說，這些特徵峰適合作為 La(OH)_3 的六角形相(JCPDS 36e1481)^[68]。 MFC@La(OH)_3 的特徵峰解釋了成功化合的納米複合材料吸附劑，與所使用的吸附劑相比，還有其他的特徵峰出現。由於在吸附機制中的離子交換器， LaCl_3 晶體出現在使用過的吸附劑中，它在 31.79° (111)； 45.50° (211)； 56.4° (131)；和 75.46° (203) 出現，特徵峰適合用於六方相 (ICSD 22267)。

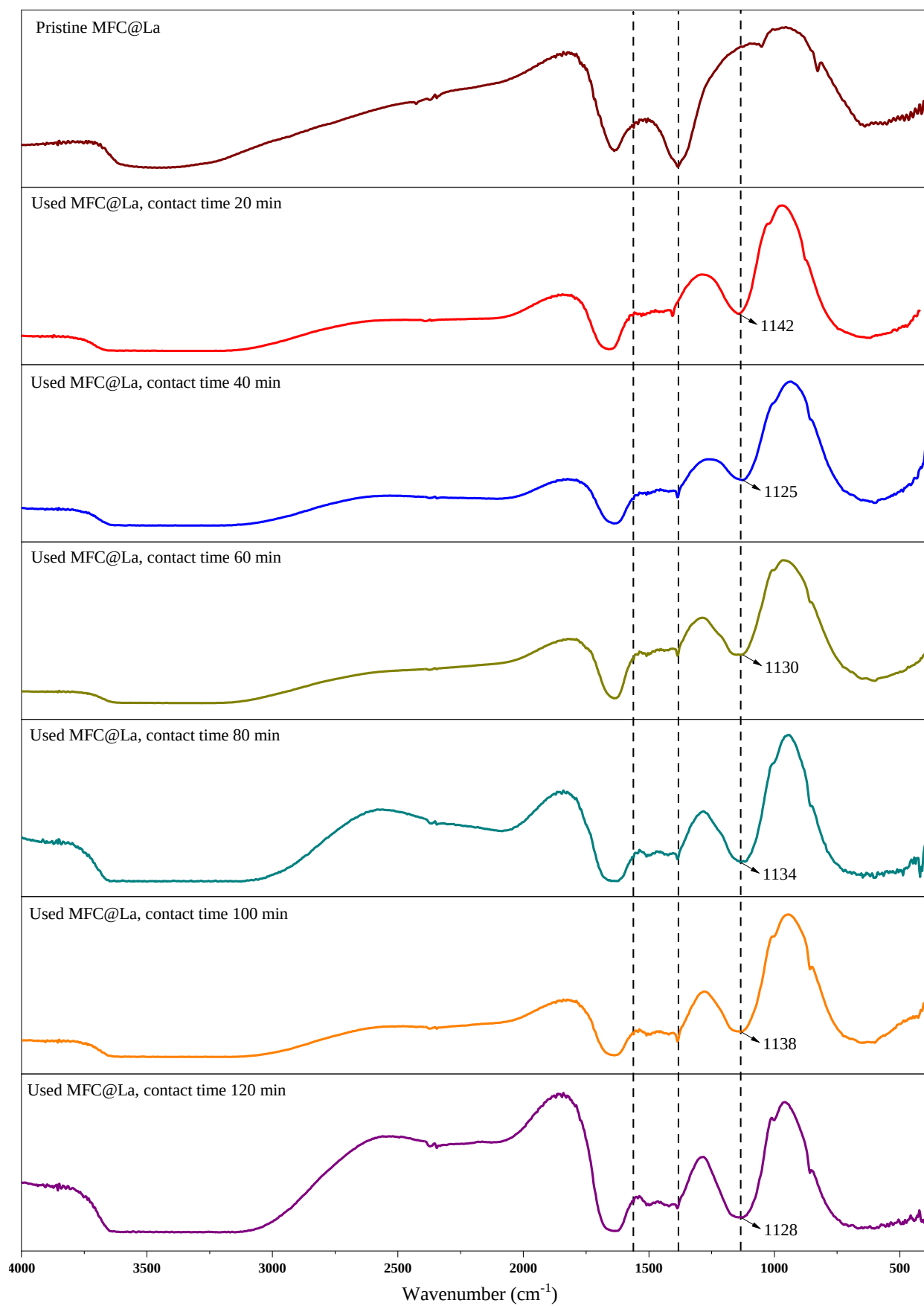


圖 4-18 未使用與使用後 MFC@La(OH)₃ 吸附劑的 FT-IR 光譜

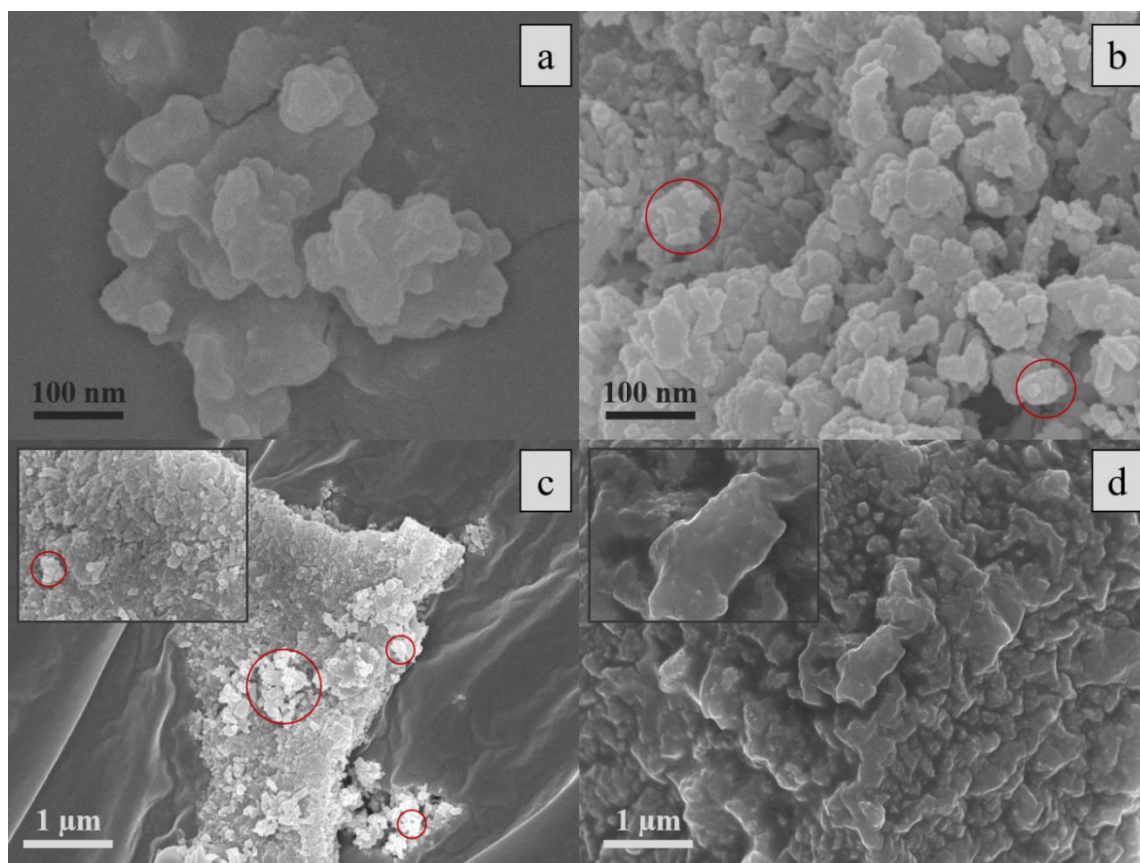
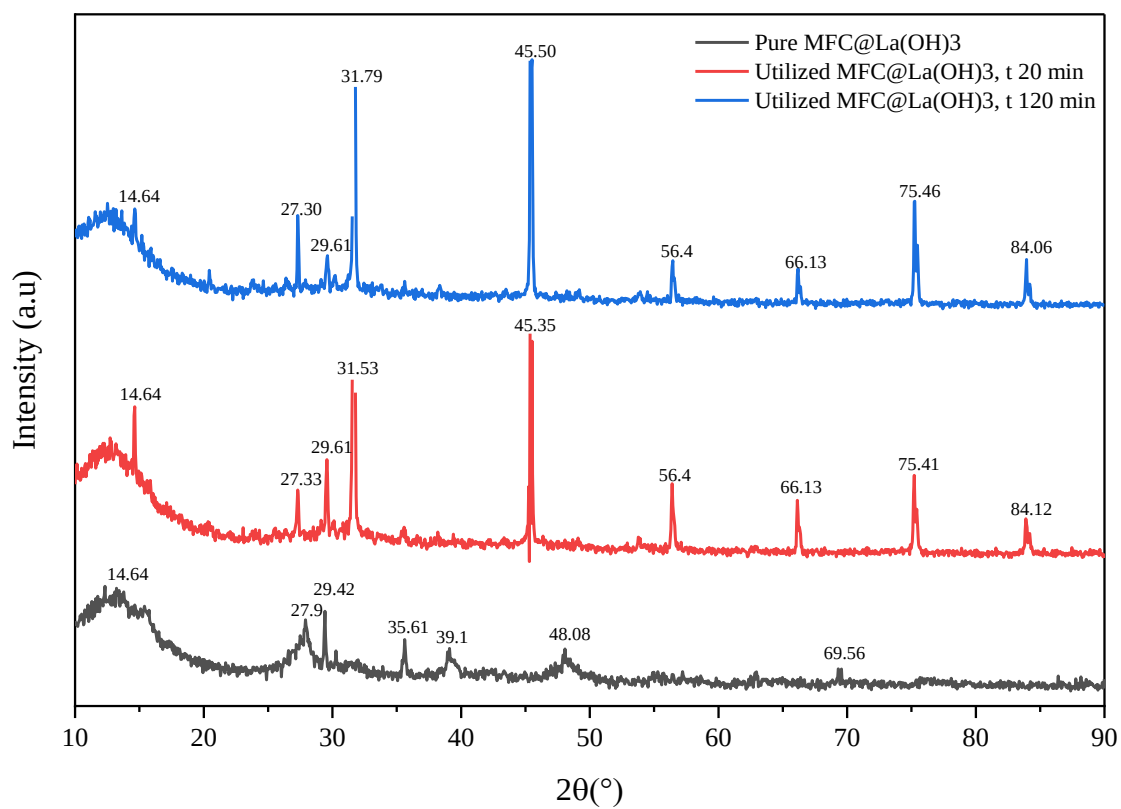
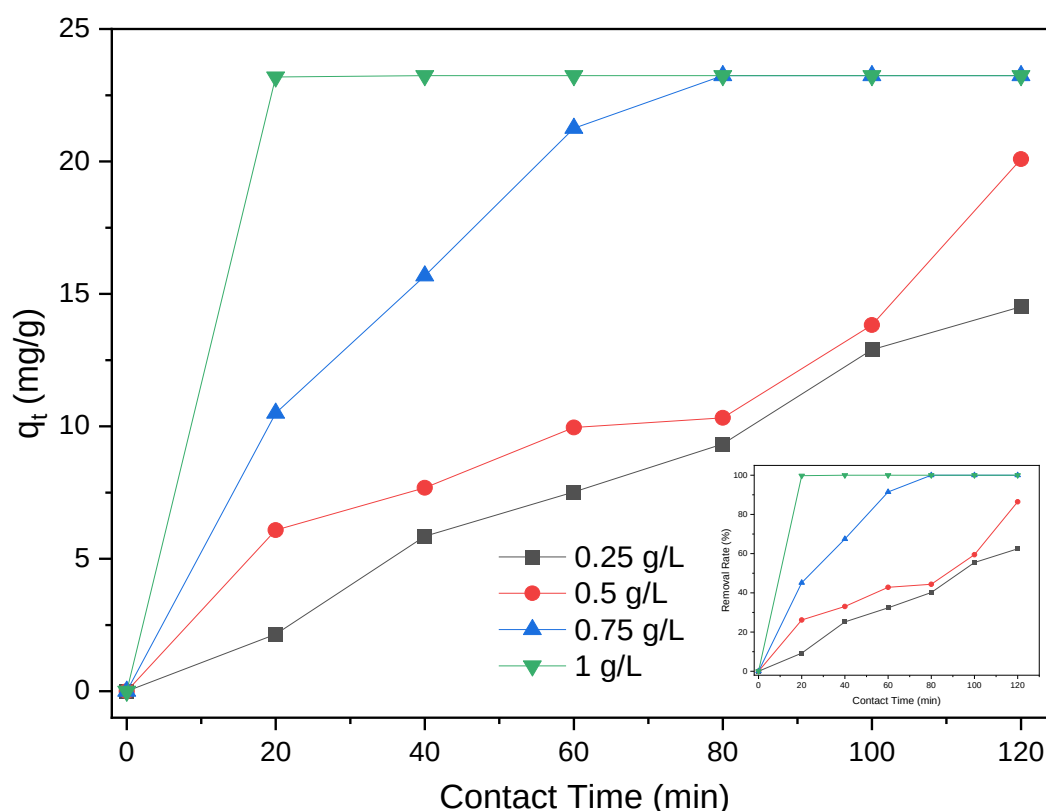


圖 4-19 複合吸附劑的 SEM 圖像

圖 4-20 所製備的 MFC@La(OH)₃ 複合材料的 X 射線光譜

(4) 奈米複合材料 MFC@La(OH)_3 吸附劑對磷酸鹽的去除效率

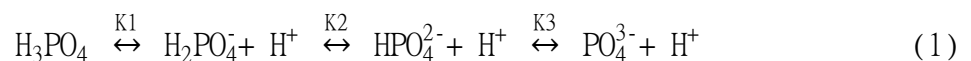
本研究使用來自 MD 實驗的濃排液吸附過程中的吸附物溶液。製備了一種主要由不同形式的金屬氧化物礦物組成的 MFC@La(OH)_3 奈米複合材料，用於去除濃排液中的磷化合物。 MFC@La(OH)_3 複合納米材料吸附過程中的 P 去除率如圖 4-21 所示。結果表明吸附容量與去除率相似。吸附的磷酸鹽的高吸附效率等於高去除率。1 g/L 的吸附劑劑量在 20 分鐘的接觸時間達到 23.19 mg/g，並且在每個接觸時間都達到穩定的條件，去除效率達到 >99%。高性能表明 MFC@La(OH)_3 NPs 擅長回收吸附劑並通過吸附劑再生進一步回收磷酸鹽^[64]。另一方面，0.75 g/L 的吸附劑用量從 20-80 分鐘提高，然後從 80-120 分鐘的接觸時間顯示出不顯著的趨勢。然而，0.5 g/L 和 0.25 g/L 的吸附劑用量隨著接觸時間的增加表現出較小的改善。0.25 g/L 和 0.5 g/L 劑量的 MFC@La(OH)_3 NPs 在 120 分鐘時獲得 14.52 和 20.09 mg/g 的最高吸附容量。根據圖 4-21 所示，1 g/L 吸附劑用量在 20 分鐘的接觸時間有最高的吸附容量和優異的磷酸鹽去除率，從而被選為最佳參數。

圖 4-21 接觸時間對 MFC@La(OH)_3 吸附磷酸鹽的影響

在過去的諸多研究中，磷酸鹽和納米鏽系材料之間可能存在相互作用的機制，而磷酸鹽的吸附機制是由於 MFC@La(OH)_3 表面的靜電和離子交換作用^[69]。磷酸鹽在金屬氧化物中的吸附分為兩個步驟進行，首先是形成單核表面絡合物，然後是形成雙核或二核表面絡合物^[70]。此外 Nazarian 等(2021)^[71]還提出了對磷酸鹽吸附的熱圖的解釋，發現化學吸附和表面複合物的形成具有很高的吸附焓，特別是靜電吸引和物理吸附。此外，在第二個峰值中檢測到了單齒形複合物的形成和雙齒形複合物的形成--單齒形和雙齒形內球複合物的產生以及通過靜電作用產生外球複合物。

在圖 4-21 中清楚地顯示吸附劑 MFC@La(OH)_3 在前 20 分鐘內明顯地將磷酸鹽進行吸附，在隨後的反應時間則略有波動地增加。吸附過程分為兩個階段^[72]：在初期迅速的吸附廢水中的磷酸鹽，在之後由於吸附劑表面的吸附點減少，導致 MFC@La(OH)_3 吸附劑對磷酸鹽的吸附速度則放緩。儘管如此，中孔結構允許相對快速地吸收磷酸鹽，使磷酸鹽進入其孔道並被複合材料上的活性吸附點收集^[62]。由此可知，在反應時間為 20 分鐘之試驗具有最好之成效，因此，在其他條件下將進行相同操作參數的後續吸附實驗。

此外，溶液的 pH 值對磷酸鹽的吸附性能有深遠的影響，改變了複合材料表面的鏽量和溶液中磷酸鹽的化學形式。本研究初始在 pH 值為 7 時進行吸附實驗，而這直接影響磷酸鹽的吸收，在過去眾多的研究中 pH 值溶液與吸附能力之間的因果關係與磷酸鹽質子解離平衡有關，磷酸鹽的種類在不同的 pH 值下是不同的，如以下公式所示：



其中分別為 $\text{pK} = 2.13$, $\text{pK} = 7.20$ and $\text{pK} = 12.33$ ^[69]

原始 MFC@La(OH)_3 吸附劑的 SEM 影響與經過吸附反應的 MFC@La(OH)_3 吸附劑的 SEM 影像相比，經過吸附反應之 MFC@La(OH)_3 NPs 吸附劑明顯與磷酸鹽有附著的情形發生，在吸附劑的表面上有磷酸鹽化合物的覆蓋，如圖 4-22(a)與圖 4-22(b)所示。在圖 4-22(c)中說明了磷酸鹽與 MFC@La(OH)_3 NPs 之間可以以各種吸附機制，如：絡合、靜電吸引、通過配體交換進行離子交換和表面沉澱等相互作用。靜電吸引的產生為帶負電的磷酸鹽離子被 La-NMs 的正表面電荷吸引，鏽系金屬-NMs 吸附劑表面以 M-OH_2^+ 的形式質子化而帶正電，提高其對磷酸鹽的吸附效果，而配體交換以及隨後的內球絡合與磷酸根離子與吸附劑表面的 La 陽離子建立共價化學鍵有關，導致其他後續發展離子的釋放，如之前與 La 陽離子結合的 OH 離子；表面沉澱的發

生則為在吸附劑上形成 LaPO_4 化合物，作為對 LaPO_4 結晶度不足的反應。此外，表面絡合是通過合成 La-O-P 內球絡合後的配體交換，內球絡合由 La-OH 的 OH 交換形成的。在過去的研究中不斷提到，由於鑰離子對一價磷酸二氫鹽的高親和力，當溶液呈酸性時，其吸附能力將急劇增加。然而，在鹼性情況下，由於其不溶於水的形式 $\text{La}(\text{OH})_3$ ，只能稀少地形成 $\text{La}(\text{PO}_4)_3$ ，造成吸附能力下降。如上面的公式所述，此種情況表明在中性 pH 值下顯示 H_2PO_4^- 的親和力比 HPO_4^{2-} 強，這一結果與過去的研究一致；當 pH 值在 2 到 7.20 的範圍內，ACF-LaFe 對一價 H_2PO_4^- 的主要磷酸鹽物種具有出色的性能^[61]。其中，質子化機制很可能是形成活性金屬點的原因：



M-OH_2^+ 是一個帶正電荷的表面基團，在低 pH 值的環境下比羥基更容易從金屬結合位移開，可以促進配體之間的交換過程。此外， $\text{MFC@La}(\text{OH})_3$ 吸附劑在酸鹼值為中性的條件下對廢水中磷酸鹽有較為突出的去除效率，以支持其吸附劑中較好的機械強度和高溶解度^[58]。 $\text{MFC@La}(\text{OH})_3$ 的吸附機制主要由離子交換、靜電吸引、配體交換、表面外球複合和表面內球複合組成。靜電吸引是由鑰-NPs 的正電荷吸引帶負電荷的磷酸鹽離子而引起的。鑰系金屬吸附劑對磷酸鹽的靜電吸引機制可以表示如下：

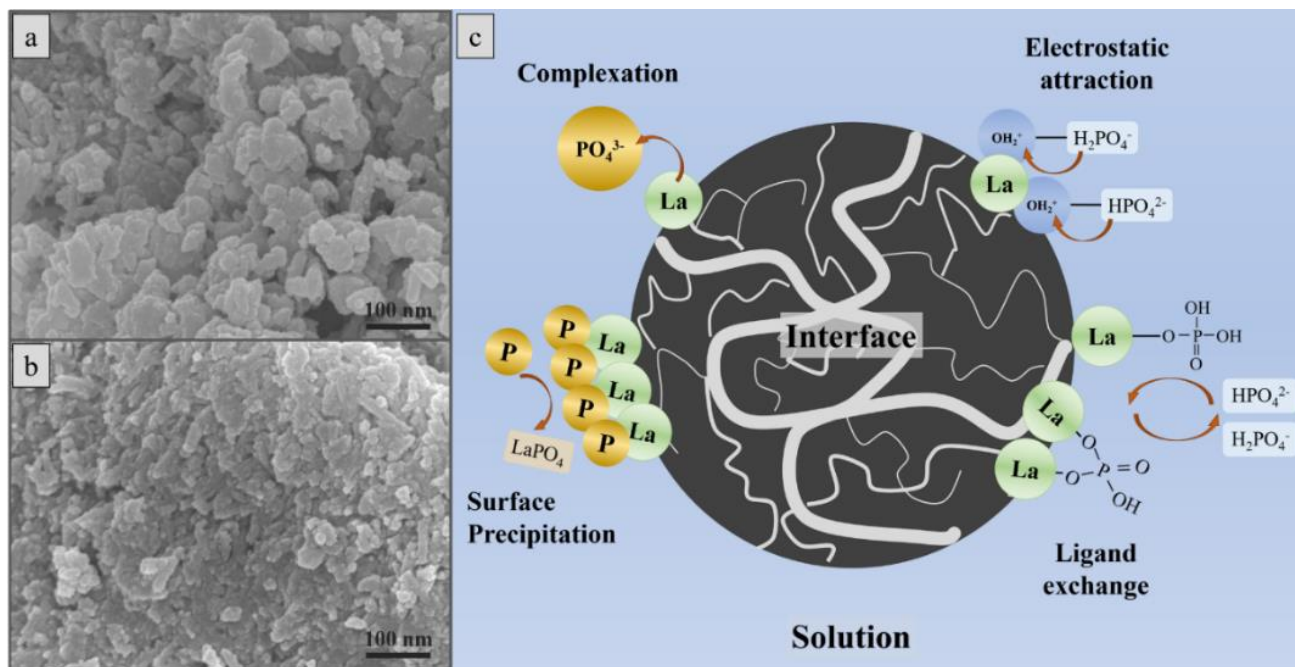


圖 4-22 磷酸鹽吸附機制



在吸附劑表面，與磷酸根離子相連的配體交換和隨後的內球絡合與鏷系金屬的陽離子建立共價化學鍵，導致其他潛在的決定性離子（如之前與鏷系金屬陽離子相關的 OH 離子）的釋放。由於磷酸鹽與 La-NPs 表面的 H 鍵接受基團之間的弱 H 鍵作用，磷酸鹽可能很容易從鏷系金屬-NPs 中解吸附^[58]。

(5) MFC@La(OH)₃ 吸附劑的吸附動力學分析

擬一階化學動力學模型以及擬二階化學動力學模型可以用來說明 MFC@La(OH)₃ 吸附劑的吸附動力學，在圖 4-23 以及圖 4-24 中說明了重要的擬合參數。其中，擬二階化學動力學模型產生了比擬一階化學動力學模型更高的相關係數(R²)，為 0.99996，平衡容量為 7.904 mg P/g，如表 4-10 所示。這亦說明在擬二階化學動力學模型對 MFC@La(OH)₃ 吸附劑的吸附過程動力學的解釋更具可信度，因此，在 MFC@La(OH)₃ 吸附劑的吸附過程可能為化學吸附，其對磷酸鹽的吸附亦觀察到類似的結果^[62, 64, 71-73]。

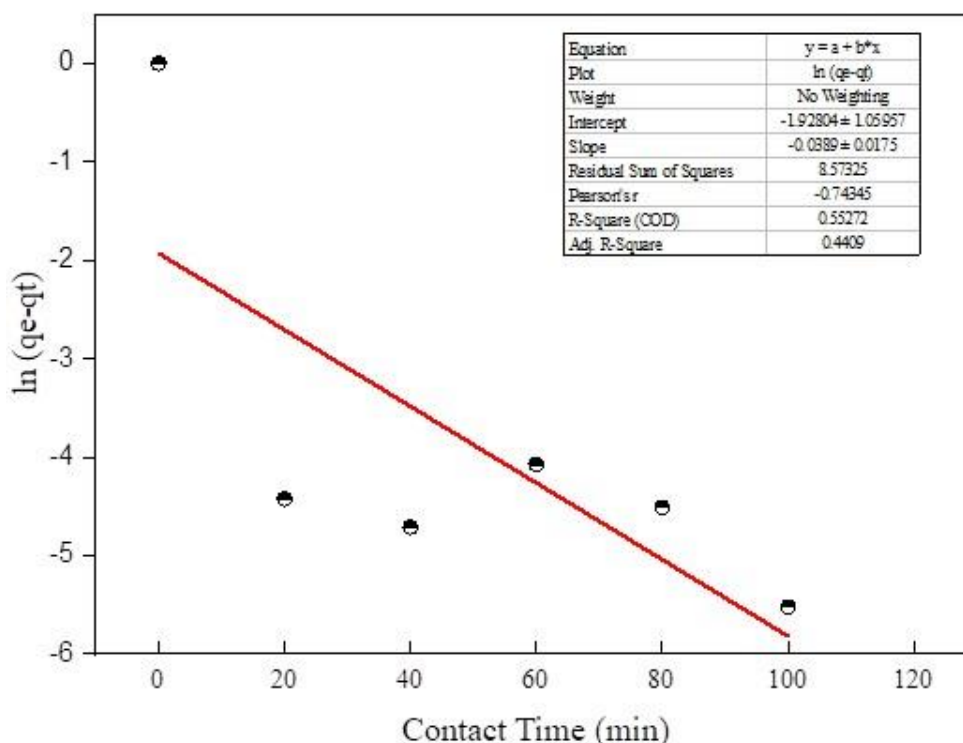


圖 4-23 擬一階化學動力學模型

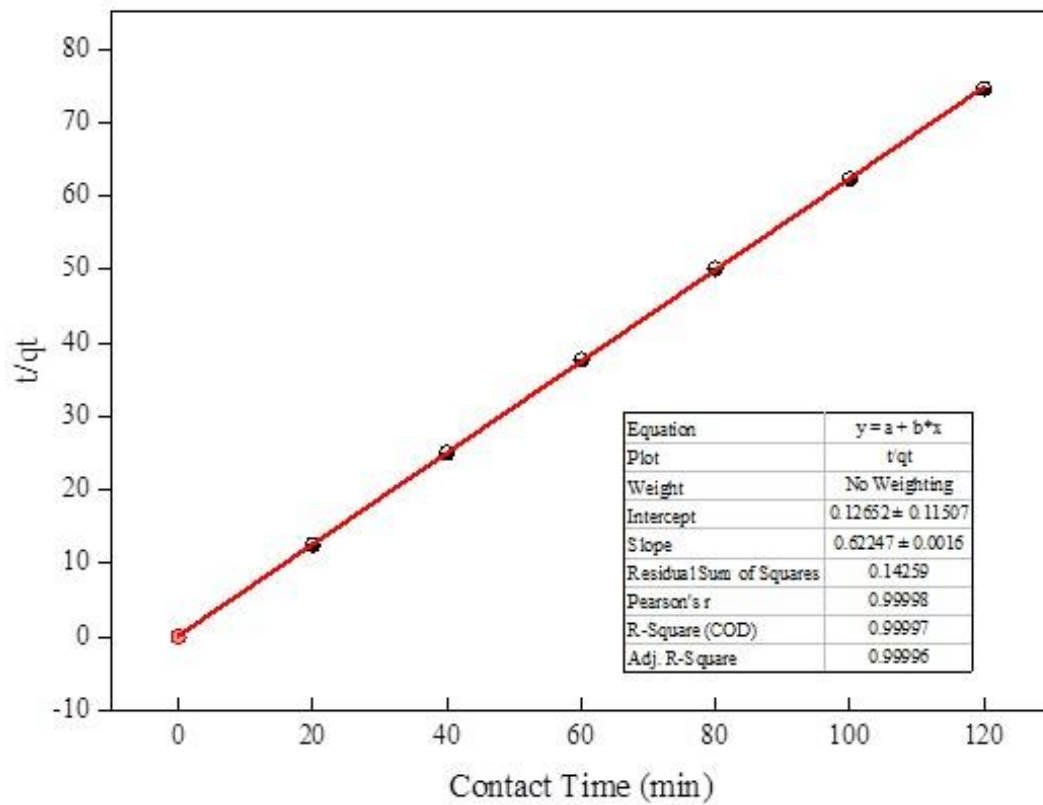


圖 4-24 擬二階化學動力學模型

表 4-10 MFC@La(OH)₃ 動力學模型參數

	Pseudo first order			Pseudo second order		
	q _e	k	R ²	q _e	k	R ²
MFC@La(OH) ₃ 1:2	-0.52	-95.56	0.4409	7.904	0.026	0.99996

(6) MFC@La(OH)_3 吸附劑的吸附等溫分析

在 MFC@La(OH)_3 吸附劑的吸附等溫線實驗中，在濃度 1 ~ 20 ppm 的不同濃度的磷酸鹽溶液各取 50 毫升，並添加 MFC@La(OH)_3 吸附劑於溶液中，以 150 ~ 200 rpm 的轉速下於震盪機上持續混合 24 小時，使磷酸鹽與 MFC@La(OH)_3 吸附劑充分混合於水溶液中，然後去除上層溶液後行過濾，並測量磷酸鹽的殘留量。

在特定的參數下，使用固定數量的 MFC@La(OH)_3 (1:2) 研究吸附等溫線，溶液（液體）和固相中的吸附劑濃度在恆溫下發生吸附反應，反應時間維持 24 小時，以確保 MFC@La(OH)_3 吸附劑與溶液中充分融合反應。其中，Langmuir 和 Freundlich 模型可以被用來解釋吸附動力學，其說明了重要的擬合參數，如圖 4-25 和圖 4-26 所示。Freundlich 等溫線模型產生的相關係數比 Langmuir 等溫線模型高，說明 Freundlich 等溫線吸附模型在 MFC@La(OH)_3 (1:2) 吸附劑的吸附過程動力學較具有優勢，亦說明 MFC@La(OH)_3 具有多層的外層，使其吸附機制是多層的。另一方面， MFC@La(OH)_3 1:2 的 R^2 值為 0.82，也是可以接受的，也意味著可以用 Langmuir 模型解釋吸附過程，其最大吸附量達到 18.28mg P/g，如表 4-11 所示，在 Liu(2022)^[62] 以及 Nazarian (2021)^[71] 等人對磷酸鹽吸附的研究中也觀察到在高劑量的 MFC@La(OH)_3 增加了磷酸鹽附著的表面積和吸附點。

表 4-11 MFC@La(OH)_3 等溫線模型參數

	Langmuir				Freundlich		
	Q_m	K_L	R_L	R^2	$1/n$	K_f	R^2
MFC@La(OH)_3 1:2	18.28	0.22	0.18	0.82	0.47	4.04	0.97

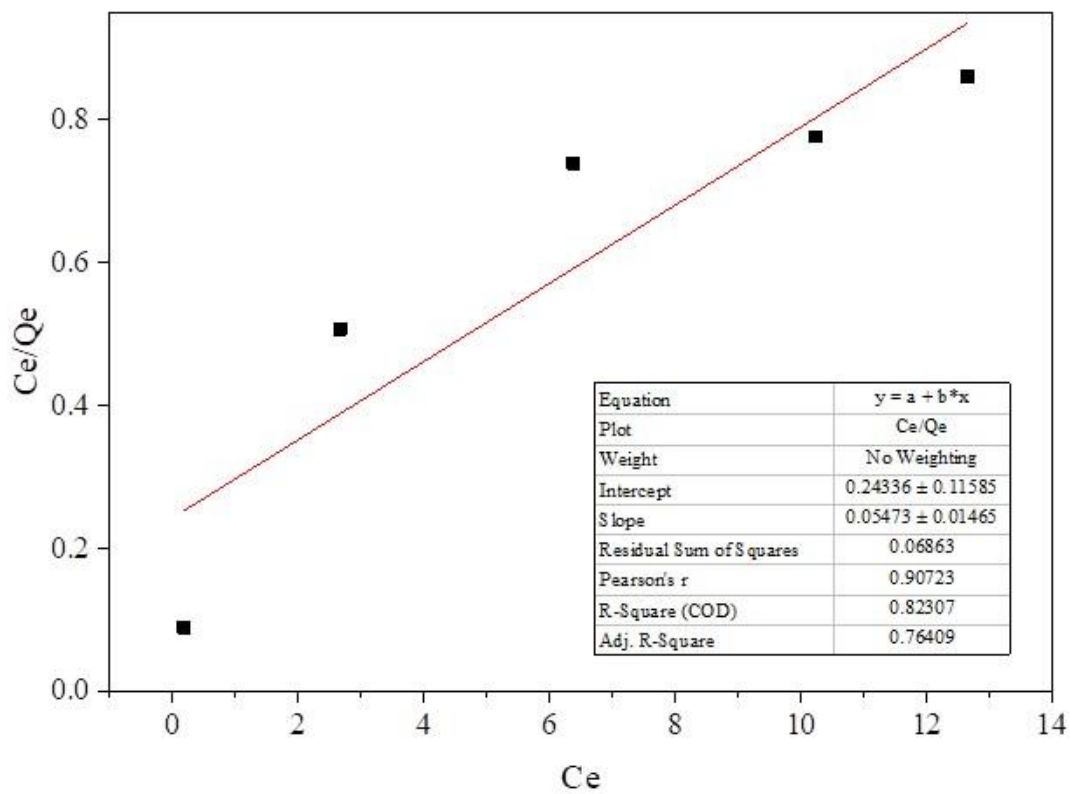


圖 4-25 MFC@La(OH)₃ 吸附等溫線的 Langmuir 模型

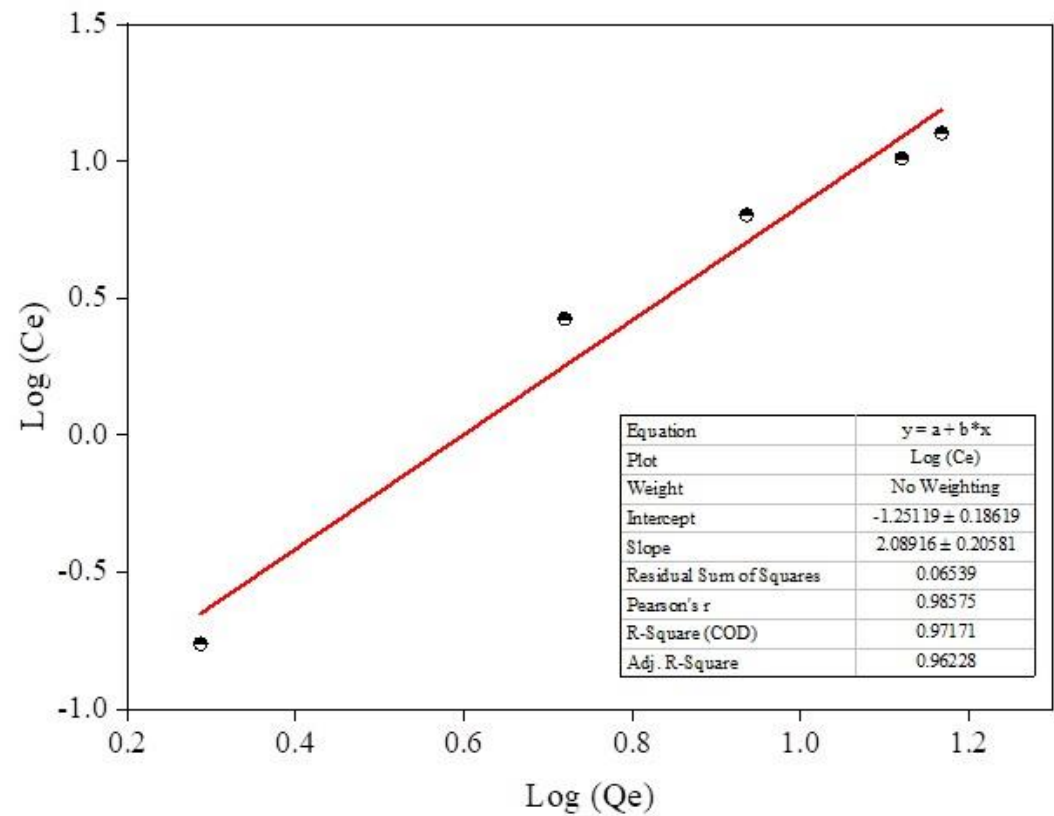


圖 4-26 MFC@La(OH)₃ 吸附等溫線的 Freundlich 模型

(7) MFC@La(OH)_3 吸附劑對不同海水養殖廢水的吸附成效

由前述的研究瞭解到 MFC@La(OH)_3 吸附劑在適當的反應時間對廢水中的磷酸鹽具有良好的吸附成效，因此在本研究中亦將對不同樣品 A、B、C、D，以進料溫度為 70°C ，進料酸鹼值為 5 以及空隙間隔為 0.6 mm 的最佳參數進行 AGMD 之試驗，其中 A、B、C 和 D 等四種樣品係為四種不同水產之海水養殖廢水，並分別在 9 月、8 月、7 月和 3 月進行採樣，並在 AGMD 系統中添加 MFC@La(OH)_3 吸附劑的應用。

實驗結果如圖 4-27 所示，A、B、C 以及 D 等四種不同海水養殖廢水在經過 AGMD 系統後以 MFC@La(OH)_3 吸附劑進行磷酸鹽的去除研究。由於磷酸鹽與 La-NPs 表面的 H 鍵受體基團之間存在弱的 H 鍵作用，磷酸鹽能夠輕易地從 MFC@La(OH)_3 中吸附，其吸附性能針對磷酸根離子進行吸附，達到去除磷酸鹽的目的，用以處理海水養殖廢水中的磷酸鹽污染^[58]。根據實驗研究結果顯示，各樣品對海水養殖廢水中的磷酸鹽去除效率分別達到 99.95%、99.86%、99.93% 和 99.88%。

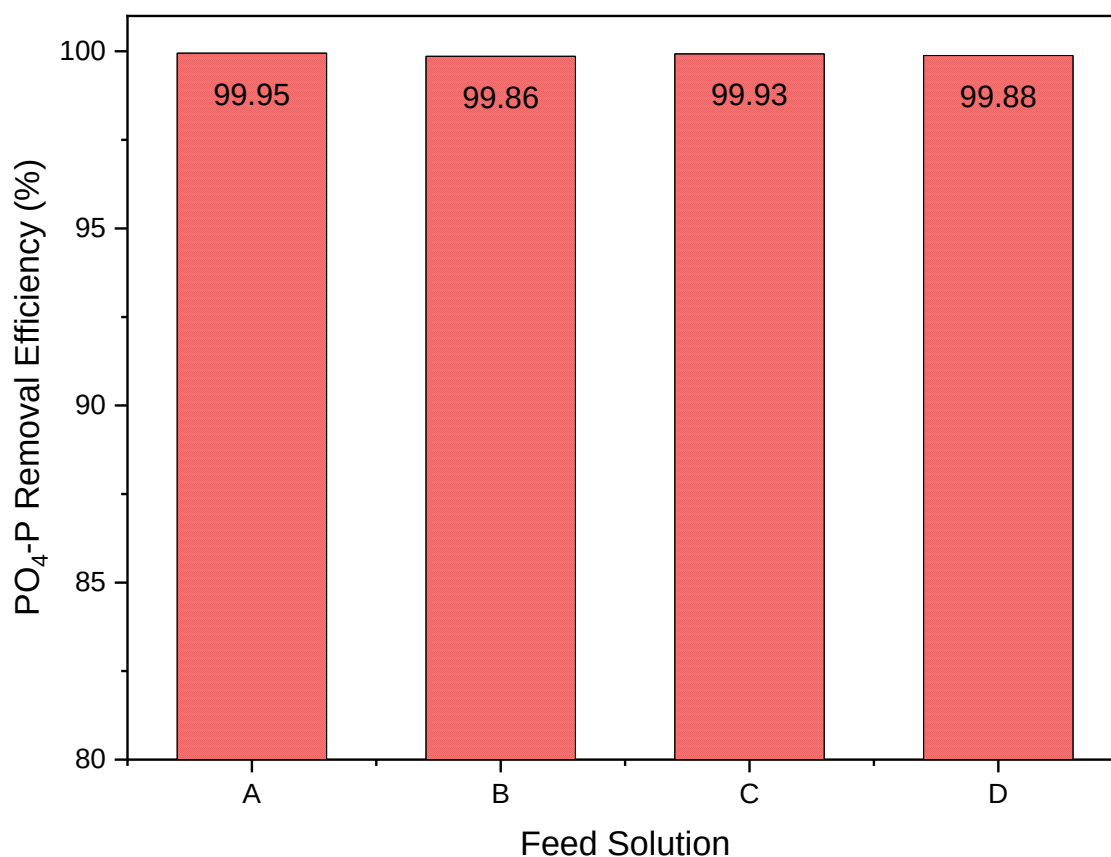


圖 4-27 MFC@La(OH)_3 吸附劑對不同海水養殖廢水的吸附成效

第二節 以循環再利用模組處理集中區域排放水之規模經濟效益及影響因子

一、經濟效益公式

薄膜蒸餾產製每立方公尺之水量所需成本及濃排液廢水處理之成本。其產水成本計算公式參考如下：

1. 模組產水量

依據得知產水率乘以設定之處理量，單位為 CMD。

2. 薄膜面積

利用產水量與通量可估算出所需薄膜面積，單位為 m^2 。

3. 設備成本

依據中原大學化工系莊清榮教授研究室設定廠區之膜組單價為 1,500 NT\$ / m^2 ，而設備成本係參考(Khayet and science 2011)，其約為膜組成本之兩倍，單位為 NT\$。

4. 資本成本

資本成本=薄膜成本+設備成本

5. 年化資本成本

參考 Kesime 等人報告中所提及之年化資本成本公式，將資本成本換算為年化資本成本，資本成本攤提 10 年，年折現率設定 3 %計算，單位為 NT\$ / year。

$$\text{年化資本成本} = \text{總資本成本} \times \left(\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right)$$

式中 i：折現率 (interest rate)，n：攤提年限

6. 電能成本

依據電價 NT\$ 3.5 / 度計算，使用實驗結果所得之最佳參數(進料溫度 70°C，pH：5 及空氣間隔 0.6mm)之狀態下所得到之能耗數據進行計算。

7. 薄膜更換成本

假設每年膜組更換 20 %，故薄膜面積乘以膜組單價 NT\$ 1500 / m^2 ，再乘上更換率，單位為 NT\$ / year。

8. 操作及維護成本

依據 Sirkar 等報告數據顯示，薄膜更換成本與電能成本約占操作及維護成本之 55 %，單位為 NT\$ / year。

9. 年產水成本

年產水成本為年化資本成本與操作及維護成本之總和，單位為 NT\$ / year。

10. 藥品成本

每公升添加的藥品量乘上藥品單價乘上使用天數，單位為 NT\$ / year。

二、實際模廠規模的經濟成本效益評估

本研究之成本效益評估以實驗室規模模組為基準對實廠應用進行評估，根據本研究所採集之魚塭總佔地面積為 10000 m^2 ，魚塭池深約 0.9 公尺，預估總養殖水量為 9000 噸，每日換水量約 2700 噸。

在研究中，本實驗因針對氨氮之去除於樣品中，每兩公升添加了 29 毫升 0.5N 鹽酸進行 pH 調整，為考量成本及資源再利用，將以廢鹽酸液進行酸鹼值調整，因此可將鹽酸成本排除成本計算。此外，由於海水養殖廢水中上有磷酸鹽離子之存在，為一可資源再利用之資源，因採在研究將以 MFC@La(OH)_3 吸附劑進行吸附，將磷酸鹽離子從養殖廢水中去除。 MFC@La(OH)_3 吸附劑具有穩定的吸附功能，且可經由酸液或是鹼液進行脫附再生，因此本研究對虱目魚養殖標的以及石斑魚養殖標的 MFC@La(OH)_3 吸附劑生產成本計算分別為 28,894.86 元/year 以及 28,894.86 元/year，考量其損耗及再生所需之成本， MFC@La(OH)_3 吸附劑每年更換量假設約為生產成本之三成，再生所需酸液或是鹼液則以廢酸液或是廢鹼液使用，所需電力則假設為生產成本之 5%。因此，根據上述說明，將實驗室設備擴大至大型模廠之處理量，假設每日可處理 2700 CMD 廢水，則該 2 個養殖標的根據實驗得到之相關數據，代入上述說明中計算年產水

成本，並換算成每日 1 m^3 水回收成本，單位為 NT\$ / m^3 ，根據上述說明得到單位產水成本，如表 4-12~表 4-15 所示。

在各類魚塭應用 AGMD 系統之設備成本計算公式為 2011 年資料，為考量到時間內可能產生的物價波動，假設通膨率為每年 2%計算經濟成本效益。在虱目魚養殖標的之通量為 4.47 LMH，換算其產水量為 62.64 CMD，設備所需薄膜面積為 583.82 m^2 ，其設備成本需要 2,221,255.27 元，資本成本為 3,403,665.19 元，從而得到年化資本成本為 399,013.39 元/year，每年所需電能成本為 44,067.41 元/year，每年的薄膜更換成本為 175,144.46 元/year，其操作及維護成本分別 414,327.87 元/year。進一步計算年產水成本為 813,341.26 元/year，產水成本為 35.57 元/ m^3 。石斑魚養殖標的之通量為 3.80 LMH，換算其產水量為 52.92 CMD，設備所需薄膜面積皆為 580.77 m^2 ，其設備成本需要 2,209,680.28 元，資本成本為 3,387,526.79 元，從而得到年化資本成本為 397,121.48 元/year，每年所需電能成本為 50,573.88 元/year，每年的薄膜更換成本為 174,231.78 元/year，其操作及維護成本為 424,498.41 元/year。進一步計算年產水成本為 821,619.89 元/year，產水成本為 42.54 元/ m^3 。

若將經濟成本效益分為資本門、能源、運維(O&M)等三大類別進行整理，經濟成本分析如表所示。由各類魚塭計算之經濟成本效益來看，虱目魚養殖標的的資本門成本約為 3,403,665.19 元，其中包含薄膜成本、設備成本、過濾系統建置成本以及吸附劑製造成本；能源類別之成本約為 44,067.41 元，能源使用包含吸附劑製造之電能損耗、吸附劑再生紙電能成本、過濾系統幫浦之能耗以及 AGMD 系統操作時之電力使用；運維(O&M)部分則約為 414,327.87 元，然而本研究所計算之經濟成本效益估算係以單位魚塭面積進行評估，並不適合直接將人力成本納入計算，因此本研究將以單位產水之 3 成進行人力成本評估計算。由此而得年產水成本為 813,341.26 元，不含人力成本之單位產水成本為 35.57 元/ m^3 。由於 AGMD 操作系統設定操作年限為 10 年，以利率每年 3%，通膨率每年 2%，攤提年數為 10 年進行攤提，計算之每年單位產水成本如表 4-15 所示，包含人力成本之平均年產水成本為 49.77 元/ m^3 。

石斑魚養殖標的的資本門成本約為 3,387,526.79 元，其中包含薄膜成本、設備成本、過濾系統建置成本以及吸附劑製造成本；能源類別之成本約為 50,573.88 元，能源使用包含吸附劑製造之電能損耗、吸附劑再生紙電能成本、過濾系統幫浦之能耗以及 AGMD 系統操作時之

電力使用；運維(O&M)部分則約為 424,498.41 元，然而本研究所計算之經濟成本效益估算係以單位魚塭面積進行評估，並不適合直接將人力成本納入計算，因此本研究將以單位產水之 3 成進行人力成本評估計算。由此而得年產水成本為 821,619.89 元，不含人力成本之單位產水成本為 42.54 元/m³。由於 AGMD 操作系統設定操作年限為 10 年，以利率每年 3%，通膨率每年 2%，攤提年數為 10 年進行攤提，計算之每年單位產水成本如表 4-15 所示，包含人力成本之平均年產水成本為 59.54 元/m³。

表 4-12 虱目魚與石斑魚池產 AGMD 處理參數

項目	單位	虱目魚	石斑魚
處理量	CMD	2,700.00	2,700.00
產水率	%	2.32	1.96
通量	LMH	4.47	3.80
產水量	CMD	62.64	52.92
薄膜面積	m ²	583.81	580.77

表 4-13 虱目魚池產水成本估算(不含太陽能集熱器)

項目	細項	金額	單位	總計	單位
資本成本	薄膜成本	875,722.31	NTD	3,403,665.19	NTD
	設備成本	2,221,255.27	NTD		
	過濾系統	17,739.00	NTD		
	吸附劑	288,948.60	NTD		
年化資本成本				399,013.39	NTD/year
電能成本	吸附劑製作電能成本	5,173.88	NTD/year	44,067.41	NTD/year
	吸附劑再生電能成本	517.39	NTD/year		
	AGMD 電能成本	36,651.52	NTD/year		
	過濾系統電能成本	1,724.63	NTD/year		
O&M 成本	薄膜更換成本	175,144.46	NTD/year	414,327.87	NTD/year
	吸附劑更換成本	8,668.46	NTD/year		
年產水成本				813,341.26	NTD/year
產水成本				35.57	NTD/m ³

表 4-14 石斑魚池產水成本估算(不含太陽能集熱器)

項目	細項	金額	單位	總計	單位
資本成本	薄膜成本	871,158.91	NTD	3,387,526.79	NTD
	設備成本	2,209,680.28	NTD		
	過濾系統	17,739.00	NTD		
	吸附劑	288,948.60	NTD		
年化資本成本				397,121.48	NTD / year
電能成本	吸附劑製作電能成本	5,173.88	NTD/year	50,573.88	NTD/year
	吸附劑再生電能成本	517.39	NTD/year		
	AGMD 電能成本	43,158.00	NTD/year		
	過濾系統電能成本	1,724.63	NTD/year		
O&M 成本	薄膜更換成本	174,231.78	NTD/year	424,498.41	NTD/year
	吸附劑更換成本	8,668.46	NTD/year		
年產水成本				821,619.89	NTD/year
產水成本				42.54	NTD/m ³

表 4-15 虱目魚與石斑魚池單位產水成本(考量通膨)

說 明	虱目魚		石斑魚	
	產水成本 (不含人力)	產水成本 (含人力)	產水成本 (不含人力)	產水成本 (含人力)
單 位	NT\$/m ³	NT\$/m ³	NT\$/m ³	NT\$/m ³
第一年	35.57	46.25	42.54	55.30
第二年	35.97	46.97	43.01	56.17
第三年	36.37	47.72	43.50	57.08
第四年	36.78	48.49	44.00	58.00
第五年	37.20	49.28	44.50	58.95
第六年	37.62	50.09	45.02	59.93
第七年	38.06	50.92	45.54	60.93
第八年	38.50	51.77	46.08	61.96
第九年	38.95	52.65	46.63	63.02
第十年	39.42	53.55	47.19	64.10
平 均	37.44	49.77	44.80	59.54

三、效益分析

1. AGMD 產水水質

於第一節有提到樣品 A、B、C、D 四個排放水之原水水質(如表 4-5 至表 4-8)，並與水產養殖水質放流水標準(如表 4-4)進行對照，發現四個樣品多數的化學需氧量(COD)及懸浮固體(SS)未符合放流水排放標準，因此團隊將經由 AGMD 處理過後之產水再次進行比較，發現 4 個樣品之化學需氧量(COD)及懸浮固體(SS) 皆符合放流水排放標準，詳表 4-16 所示。

表 4-16 不同樣品 AGMD 產水水質

樣品編號	水質項目	單位	濃度	是否符合放流水排放標準
A	NH ₄	mg/L	1.03	—
	COD	mg/L	12.56	符合
	PO ₄	mg/L	0.014	—
	SS	mg/L	7.5	符合
B	NH ₄	mg/L	0.24	—
	COD	mg/L	13.41	符合
	PO ₄	mg/L	0.02	—
	SS	mg/L	2.5	符合
C	NH ₄	mg/L	0.41	—
	COD	mg/L	35.18	符合
	PO ₄	mg/L	0.027	—
	SS	mg/L	42.5	符合
D	NH ₄	mg/L	0.14	—
	COD	mg/L	13.14	符合
	PO ₄	mg/L	0.04	—
	SS	mg/L	3.0	符合

2. 溫室氣體減量分析

為瞭解使用 AGMD 系統處理海水養殖廢水過程中對環境所產生的影響，包括養殖廢水處理後所帶來的經濟效益、處理後的養殖廢水可減少廢水之潛在二氧化碳排放量，本研究參考經濟部工業局所公告之污水處理碳盤查作業流程對海水養殖廢水之二氧化碳排放進行估算，用以瞭解 AGMD 處理海水養殖廢水對環境所帶來的環境成本效益。

根據經濟部工業局所公告之估算方式，本研究將估算未經處理以及經處理之海水養殖廢水排入環境中之潛在二氧化碳排放量，進而計算得知使用 AGMD 系統處理海水養殖廢水可減少養殖廢水原水直接排放之二氧化碳排放量。此外，由於經 AGMD 系統產生之濃排液均以集中納管處理或是在資源化利用，因此在研究中將不計算濃排液潛在之二氧化碳排放量。根據公告之公式，所需之計算資料包括未經處理之海水養殖廢水排放量、經處理之海水養殖廢水排放量、未經處理之海水養殖廢水之 COD 濃度、經處理之海水養殖廢水之 COD 濃度以及 AGMD 系統操作之能耗，並參照 ICPP AR6 公告之 GWP 值做為溫室氣體的轉換因子(表 4-17)進行換算，以及 MCF 甲烷修正因子(表 4-18)計算海水養殖廢水 CH₄ 排放因子。能耗之二氧化碳排放量估算則參考經濟部於 2022 年公告之最新電力排碳係數 0.509 kg CO₂e/kWh 進行計算。參考 IPCC AR6 以及經濟部公告之計算方式後，本研究海水養殖廢水排放二氧化碳估算公式調整如下：

$$CH_4 \text{ 排放量}(\text{ton } CH_4/\text{year}) = \sum i((E \times COD) - S) \times (B_o \times MCF_j) - R_i$$

其中，E 為海水養殖廢水排放量，單位為 m³/year；COD 為排放海水養殖廢水之化學需氧量，單位為 kg COD/m³；S 為處理過程中污泥產生之有機物含量，單位為 kg COD/year；B_o 最大甲烷產生量，IPCC AR6 建議值為 0.25 kg CH₄/kg COD；MCF_j 甲烷修正因子參照表 4-18；R_i 為回收量，單位為 kg COD/year。

經由上述說明，團隊以虱目魚排放水(樣品 A、B)及石斑魚排放水(樣品 C、D)評估每日處理 2,700CMD 之水量，計算處理前後的 COD 水質之溫室氣體減量效益。虱目魚部分，若 2,700CMD (每年共 985,500 m³/year) 之養殖排放水皆未處理直接排放，COD 濃度為 126.11 mg/L，經由計算每年將會產生 87.00 噸的二氧化碳排放量，若經由 AGMD 系統每年共處理 985,500 m³ 的水量僅會產生 22,863.6m³ 的水量(虱目魚產水率 2.32%)，而 COD 濃度降至 12.99mg/L，經由計算每年將會產生 0.21 噸的二氧化碳排放量，電能部分將產生 13.33 噸的二氧化碳排放量，由此可知虱目魚可減少 73.46 tCO₂ e/year，如表 4-19 所示。

石斑魚部分，若 2,700CMD（每年共 985,500 m³/year）之養殖排放水皆未處理直接排放，COD 濃度為 238.46 mg/L，經由計算每年將會產生 164.50 噸的二氧化碳排放量，若經由 AGMD 系統每年共處理 985,500 m³的水量僅會產生 19,315.8m³的水量(石斑魚產水率 1.96%)，而 COD 濃度降至 24.16mg/L，經由計算每年將會產生 0.33 噸的二氧化碳排放量，電能部分將產生 15.69 噸的二氧化碳排放量，由此可知石斑魚可減少 148.48 tCO₂ e/year，如表 4-20 所示。

表 4-17 GWP 值

元素	SAR 1995	TAR 2001	AR4 2007	AR5 2013
CO ₂	1	1	1	1
CH ₄	21	23	25	28
N ₂ O	310	296	298	265
HFCs	140~11700	12~12000	124~14800	1~12400
PFCs	6500~9200	5700~11900	7390~17700	1~17400
SF ₆	23900	22200	22800	23500
NF ₃	-	10800	17200	16100

表 4-18 MCF_j 甲烷修正因子

處理和排放途徑或系統的類	備註	MCF	範圍
未處理的系統			
海洋、河流和湖泊排放	有機物含量高的河流會變成厭氧的。	0.1	0-0.2
不流動的下水道	露天而溫和	0.5	0.4-0.8
流動的下水道(露天或封閉)	快速移動，清潔源自抽水站的少量 CH ₄	0	0
已處理的系統			
集中耗氧處理廠	必須管理完善。一些 CH ₄ 會從沉積池和其他料袋排放出來。	0	0-0.1
集中耗氧處理廠	管理不完善。超載。	0.3	0.2-0.4
污泥厭氧浸化槽	此處未考慮 CH ₄ 回收。	0.8	0.8-1.0
厭氧反應堆	此處未考慮 CH ₄ 回收。	0.8	0.8-1.0
淺厭氧化糞池	深度不足 2 米，採用專家判斷。	0.2	0-0.3
深厭氧化糞池	深度不足 2 米。	0.8	0.8-1.0
化糞系統	半分 BOD 沉降到厭氧池。	0.5	0.5
廁所	乾燥氣候、地下水位低於小家庭(3-5 人)的廁所	0.1	0.05-0.15
廁所	乾燥氣候、地下水位低於公共廁所(多用戶)	0.5	0.4-0.6
廁所	潮濕氣候/流溢的水用途，接地水面高於廁所	0.7	0.7-1.0
廁所	化肥的常規污泥清除	0.1	0.1

資料來源：Michiel R. J. Doorn, Sirintornthep Towprayoon etc., 《2006 年 IPCC 国家温室气体清单指南》

表 4-19 虱目魚排放水溫室氣體減量效益

排放水源：原水			
項目	數值	CH ₄ 排放量	CO ₂ 排放量
處理量(m ³ /year)	985500	3.107	86.997
進料 COD 濃度(kg COD/m ³)	0.126		
MCF _j	0.100		
排放水源：MD 產水			
項目	數值	CH ₄ 排放量	CO ₂ 排放量
處理量(m ³ /year)	22863.6	0.007	0.208
進料 COD 濃度(kg COD/m ³)	0.013		
MCF _j	0.100		
電力(kWh)	26181.77	0.476	13.327
以 AGMD 系統應用養殖廢水碳排減量效益			
碳排減量(ton CO ₂ e/year)	73.463		

表 4-20 石斑魚排放水溫室氣體減量效益

排放水源：原水			
項目	數值	CH ₄ 排放量	CO ₂ 排放量
處理量(m ³ /year)	985500	5.875	164.502
進料 COD 濃度(kg COD/m ³)	0.238		
MCF _j	0.100		
排放水源：MD 產水			
項目	數值	CH ₄ 排放量	CO ₂ 排放量
處理量(m ³ /year)	19315.8	0.012	0.327
進料 COD 濃度(kg COD/m ³)	0.024		
MCF _j	0.100		
電力(kWh)	30829.26	0.560	15.692
以 AGMD 系統應用養殖廢水碳排減量效益			
碳排減量(ton CO ₂ e/year)	148.483		

第五章 結論及建議

第一節 結論

一、生態衝擊分析

1. 於評析國內外對減緩陸域污染源對沿岸生態環境衝擊，各國多數主打減塑政策，值得一提的是加拿大在減塑政策的基礎上對塑膠採取循環經濟和生命週期方法，從最初始的源頭做起。
2. 美國及蘇格蘭針對水產養殖進行許可證頒發，藉由許可證頒發嚴格控管水產養殖的投入藥物、飼料及魚類捕獲/死亡數量等之控管。
3. 針對養殖廢棄資材部分，各國皆已有針對牡蠣殼、魚鱗、廢棄漁網、浮標等進行再利用，如保養品、服飾、建築材料等，亦針對保麗龍等進行再處理。

二、綠色技術研發

1. 以石英砂與牡蠣殼作為上下兩層複濾材之過濾系統具有顯的磷酸鹽與化學需氧量降解能力，去除效率分別達到 53.1%以及 51.8%。
2. 本研究最佳參數組合為進料溫度 70℃、酸鹼值為 5 以及空隙間隔為 0.6mm，其最高通量為 3.83 kg/m²h，對氨氮、磷酸鹽、懸浮固體以及 COD 之去除效率分別為 70.68%、99.97%、74.73% 和 95.40%。
3. 以 AGMD 系統對海水養殖廢水進行處理之試驗研究結果顯示，樣品 A、B、C 和 D 中的滲透通量分別為了 4.31、4.52、3.82 和 3.65kg/m²h；氨氮的去除效率分別為 44.1%、56.4%、72.3%和 70.9%；COD 去除效率分別達到 80.7%、93.2%、91.5% 和 93.8%；SS 去除效率分別為 94.6%、98.1%、79.2%和 98.2%；所有樣品之磷酸鹽去除效率均高於 99%。
4. 在各種水產養殖廢水中執行 AGMD 性能，研究結果顯示 MFC@La(OH)₃ NPs 具有良好的吸附成效，能夠有效地藉由 MFC@La(OH)₃吸附劑吸附海水養殖廢水中的磷酸鹽，其中，以 1 g/L 吸附劑用量在 20 分鐘的接觸時間有最高的吸附容量和優異的磷酸鹽去除率達 99%。
5. 根據 MFC@La(OH)₃吸附劑的吸附動力學實驗中，擬二階化學動力學模型非常適合用來解釋

MFC@La(OH)₃ 吸附劑的吸附反應，其平衡吸附磷酸鹽達到約 7.904 mg P/ G。而 Freundlich 和 Langmuir 模型都非常適合用來說明 MFC@La(OH)₃ 吸附，最大吸附量為 18.28 mg P/g。

6. 以 MFC@La(OH)₃ 對 A、B、C 以及 D 等不同海水養殖廢水之磷酸鹽之吸附效率，磷酸鹽之去除率分別達到 99.95%、99.86%、99.93%和 99.88%。
7. 本研究最佳參數組合進行產水成本分析，得到每天處理 2,700CMD 之水量虱目魚及石斑魚之每立方公尺的產水成本分別為 35.57 及 42.54 元。
8. 團隊以虱目魚及石斑魚樣品評估每日處理 2,700CMD 之水量，計算處理前後的 COD 水質之溫室氣體減量效益，得到每年分別可以減少 73.46 及 148.48 tCO₂ e/year。

第二節 建議

1. 建議朝提高產水率及精算產水成本方向進行研究。
2. 薄膜蒸餾之產水建議可以進一步研究，提供給養殖魚苗使用。
3. 目前已有許多廢棄資材再利用之方式，建議可以跨部會合作多方推廣媒合平台，提升廢棄資材再利用率

參考資料

1. 養殖漁業放養查詢平臺. 2022: 行政院農業委員會漁業署.
2. 藻類的主要生態作用(2015).
檢自: <http://eportfolio.lib.ksu.edu.tw/~T093000095/blog?node=000000106>
3. Marinho-Soriano, E., et al. (2011). *Bioremediation of aquaculture wastewater using macroalgae and Artemia*. International Biodeterioration & Biodegradation. **65**(1): p. 253-257.
4. 傅正貴, et al., 創新氮氮廢水資源化. 科學工業園區廠務技術研討會, 2016.
5. 臺南市政府農業局漁電共生資訊網, 漁電共生政策由來.
6. 向海致敬-海岸清潔維護計畫, 行政院環境保護署, Editor. 2020.
7. Agency, U.S.E.P. *National Pollutant Discharge Elimination System (NPDES)-Aquaculture NPDES Permitting*. Available from: <https://www.epa.gov/npdes/aquaculture-npdes-permitting>.
8. Agency, S.E.P. *SEPA 水產養殖法規*. Available.
檢自: <https://www.sepa.org.uk/regulations/water/aquaculture/>.
9. *Governing the Global Programme of Action*. Available from: <https://www.unep.org/explore-topics/oceans-seas/what-we-do/addressing-land-based-pollution/governing-global-programme>.
10. プラスチックに係る資源循環の促進等に関する法律. 法律第六十号.
檢自: <https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=503AC0000000060>
11. KYODO(2022,.Jan 14,). *Japan to cut plastic waste from April via new Cabinet ordinance*.
檢自: <https://www.japantimes.co.jp/news/2022/01/14/national/plastic-waste-cabinet-ordinance/>
12. APEC Secretariat (2019). *Compendium of Policies and Preventive Measures to Reduce Land-based Marine Debris in APEC Economies*.
13. 綠色和平, G. 全球減塑政策大彙整! 歐盟、韓國政策值得參考 (2021.01.21 更新). 2018.檢自: <https://www.greenpeace.org/taiwan/update/1617/>
14. GV De Clercq(2021, Oct 12). *New law in France will save 1 billion pieces of single-use plastic annually*. 檢自: <https://www.weforum.org/agenda/2021/10/how-france-plans-to-significantly-reduce-its-plastic-waste-from-2022>
15. Canada, E.a.C.C. (2022), *Single-use Plastics Prohibition Regulations-Technical Guidelines*, E.a.C.C. Canada, Editor. .
16. Sommer, S.G. and L. Knudsen. (2021) *Impact of Danish Livestock and Manure Management Regulations on Nitrogen Pollution, Crop Production, and Economy*. Frontiers in Sustainability. **2**.
17. 黑潮海洋文教基金會, 西海岸漁業廢棄物圖鑑. 2021.
18. 海洋保育署(2021), 廢漁網回收參考手冊. 海洋環境管理組: 海洋保育署.

19. 張懿, 崔雅婷, and 蔡尚航, 臺南市浮筏式牡蠣養殖漁業廢棄物管理與去化. 《漁業推廣》月刊, 2021. 414.
20. 臺南市漁港及近海管理所(2019). 浮棚智慧管理系統 市府管理牡蠣蚵棚新利器, 檢自: https://www.tainan.gov.tw/news_content.aspx?n=13371&s=4228064
21. 海湧工作室. 屠「龍」(保麗龍)計畫. 2018; Available from: <https://hiinstudio.com>.
22. 郭柏秀(2018), 【你來報報】國際間廢棄漁具管理與臺灣經驗的對話. 環境資訊中心, 檢自: <https://e-info.org.tw/node/212134>.
23. PICO, M. (2020). *Fishing for Energy*. Available from: <https://www.nfwf.org/programs/fishing-energy>.
24. 李英杰 and 詹振豪(2021). 燃煤飛灰與牡蠣殼的創新應用. 2021; Available from: <https://www.materialsnet.com.tw/DocView.aspx?id=47563>.
25. 陳雅雯, 王雅玢, and 游勝傑(2019), 利用微波電漿系統處理臺灣養殖廢棄保麗龍. 中原大學環境工程研究所.
26. 臺糖企業永續發展. 特輯: 牡蠣殼轉製碳酸鈣-實現循環經濟. Available from: <https://www.taisugar.com.tw/CSR/cp2.aspx?n=12237>.
27. H. Silva, T., et al.(2019), *The Potential Use of Oyster Shell Waste in New Value-Added By-Product*. Resources, 8(1): p. 13.
28. Hamed, I., F. Ozogul, and J. Regenstein(2016), *Industrial applications of crustacean by-products (chitin, chitosan, and chitooligosaccharides): A review*. Trends in Food Science & Technology. 48: p. 40-50.
29. 新加坡科學家利用水產養殖廢棄物進行人體組織修復. 2021; Available from: <https://agritech-foresight.atrri.org.tw/article/contents/3644>.
30. Waycott, B.(2021) *Repurposed: Adding value to aquaculture via recycling*.檢自: <https://www.globalseafood.org/advocate/repurposed-adding-value-to-aquaculture-via-recycling/>.
31. Sabara, Z., et al.(2022). *Activated Carbon and Coconut Coir with the Incorporation of ABR System as Greywater Filter: The Implications for Wastewater Treatment*. Sustainability, 14, DOI: 10.3390/su14021026.
32. Prasad, G., R. Rajput, and A. Chopra (2006), *Sand intermittent filtration technology for safer domestic sewage treatment*. Journal of Applied Sciences and Environmental Management. 10(1).
33. Affam, A. and M.N. Adlan(2013), *Operational performance of vertical upflow roughing filter for pre-treatment of leachate using limestone filter media*. Journal of Urban and Environmental Engineering. 7: p. 117-125.
34. Liu, Y.-X., et al.(2010), *Study of municipal wastewater treatment with oyster shell as biological aerated filter medium*. Desalination. 254(1): p. 149-153.
35. Bali, M. and M. Gueddari (2019), *Removal of phosphorus from secondary effluents using infiltration-percolation process*. Applied Water Science.

- 9(3): p. 54.
36. Duong, H.C., et al.(2016), *Membrane scaling and prevention techniques during seawater desalination by air gap membrane distillation*. Desalination. **397**: p. 92-100.
 37. Qtaishat, M., et al.(2008), *Heat and mass transfer analysis in direct contact membrane distillation*. Desalination. **219**(1): p. 272-292.
 38. Santos, P.G., et al.(2021) , *Membrane Distillation: Pre-Treatment Effects on Fouling Dynamics*. Membranes. **11**(12): p. 958.
 39. Nouri Alavijeh, H., et al.(2017), *Integrated Ultrafiltration Membranes and Chemical Coagulation for Treatment of Baker' s Yeast Wastewater*. Journal of Membrane Science & Technology.
 40. Alawad, S.M. and A.E. Khalifa (2019), *Analysis of water gap membrane distillation process for water desalination*. Desalination. **470**: p. 114088.
 41. Xu, B. and Z. He (2021), *Ammonia recovery from simulated anaerobic digestate using a two-stage direct contact membrane distillation process*. Water Environment Research, . **93**(9): p. 1619-1626.
 42. Qu, D., et al.(2013) , *Experimental study of ammonia removal from water by modified direct contact membrane distillation*. Desalination. **326**: p. 135-140.
 43. Bae, W. and J. Kim (2020), *Permeate Flux and Rejection Behavior in Submerged Direct Contact Membrane Distillation Process Treating a Low-Strength Synthetic Wastewater*. Applied Sciences. **10**(2): p. 677.
 44. Duong, C.C., et al. (2020), *A novel thermophilic anaerobic granular sludge membrane distillation bioreactor for wastewater reclamation*. Environmental Science and Pollution Research. **27**(33): p. 41751-41763.
 45. Manzoor, K., et al. (2022), *Assessment of anaerobic membrane distillation bioreactor hybrid system at mesophilic and thermophilic temperatures treating textile wastewater*. Journal of Water Process Engineering. **46**: p. 102603.
 46. Charfi, A., et al. (2021) , *Organic Fouling Impact in a Direct Contact Membrane Distillation System Treating Wastewater: Experimental Observations and Modeling Approach*. Membranes. **11**(7): p. 493.
 47. Tun, L.L., et al. (2016), *Dewatering of source-separated human urine for nitrogen recovery by membrane distillation*. Journal of Membrane Science. **512**: p. 13-20.
 48. Villalobos García, J., et al. (2018). *Membrane Distillation Trial on Textile Wastewater Containing Surfactants Using Hydrophobic and Hydrophilic-Coated Polytetrafluoroethylene (PTFE) Membranes*. Membranes. **8**, DOI: 10.3390/membranes8020031.
 49. Cerozi, B.d.S. and K. Fitzsimmons (2016), *The effect of pH on phosphorus*

- availability and speciation in an aquaponics nutrient solution*. Bioresource Technology. **219**: p. 778-781.
50. Zhang, Q., et al. (2015), *Analysis of microbial community composition in a lab-scale membrane distillation bioreactor*. Journal of Applied Microbiology. **118**(4): p. 940-953.
51. Wen, L., L.E. Peng, and X.-y. Li. (2021). *Contactless membrane distillation for effective ammonia recovery from waste sludge: A new configuration and mass transfer mechanism*. Journal of Membrane Science. **638**: p. 119733.
52. Ho, C.-D., et al. (2021). *Distillate Flux Enhancement of Direct Contact Membrane Distillation Modules with Inserting Cross-Diagonal Carbon-Fiber Spacers*. Membranes. **11**, DOI: 10.3390/membranes11120973.
53. Phattaranawik, J., R. Jiraratananon, and A.G. Fane. (2003). *Effect of pore size distribution and air flux on mass transport in direct contact membrane distillation*. Journal of Membrane Science. **215**(1): p. 75-85.
54. Castillo, E.H.C., et al. (2019). *3D printed spacers for organic fouling mitigation in membrane distillation*. Journal of Membrane Science. **581**: p. 331-343.
55. Ho, C.-D., et al. (2017). *Distillate flux enhancement in the air gap membrane distillation with inserting carbon-fiber spacers*. Separation Science and Technology. **52**(18): p. 2817-2828.
56. Phattaranawik, J., et al. (2001). *Mass flux enhancement using spacer filled channels in direct contact membrane distillation*. Journal of Membrane Science. **187**(1): p. 193-201.
57. Scheepers, D.M., et al. (2020). *Vacuum membrane distillation multi-component numerical model for ammonia recovery from liquid streams*. Journal of Membrane Science. **614**: p. 118399.
58. Razanajatovo, M.R., et al. (2021). *Selective adsorption of phosphate in water using lanthanum-based nanomaterials: A critical review*. Chinese Chemical Letters. **32**(9): p. 2637-2647.
59. Luo, Y., et al. (2019). *Preparation and regeneration of iron-modified nanofibres for low-concentration phosphorus-containing wastewater treatment*. Royal Society Open Science. **6**(9): p. 190764.
60. Zhang, J., et al. (2019). *Depletion of VOC in wastewater by vacuum membrane distillation using a dual-layer membrane: mechanism of mass transfer and selectivity*. Environmental Science: Water Research & Technology. **5**(1): p. 119-130.
61. Liu, J., et al. (2013). *Phosphate adsorption on hydroxyl-iron-lanthanum doped activated carbon fiber*. Chemical Engineering Journal. **215-216**: p. 859-867.
62. Liu, S., et al. (2022). *Magnetically separable and recyclable lanthanum/iron*

- co-modified attapulgite: A sustainable option to efficiently control phosphate loading*. Journal of Cleaner Production. **348**: p. 131294.
63. Liu, T., et al. (2018). *Highly effective wastewater phosphorus removal by phosphorus accumulating organism combined with magnetic sorbent MFC@La(OH)₃*. Chemical Engineering Journal. **335**: p. 443-449.
 64. Wu, B., et al. (2017). *Highly efficient and selective phosphate removal from wastewater by magnetically recoverable La(OH)₃/Fe₃O₄ nanocomposites*. Water Research. **126**: p. 179-188.
 65. Galbraith, S.C. and P.A. Schneider (2014). *Modelling and simulation of inorganic precipitation with nucleation, crystal growth and aggregation: A new approach to an old method*. Chemical Engineering Journal. **240**: p. 124-132.
 66. Fang, L., B. Wu, and I.M.C. Lo. (2017). *Fabrication of silica-free superparamagnetic ZrO₂@Fe₃O₄ with enhanced phosphate recovery from sewage: Performance and adsorption mechanism*. Chemical Engineering Journal. **319**: p. 258-267.
 67. Li, G., et al. (2010). *Facile synthesis, growth mechanism and luminescence properties of uniform La(OH)₃ : Ho³⁺/Yb³⁺ and La₂O₃ : Ho³⁺/Yb³⁺ nanorods*. CrystEngComm. **12**(12): p. 4208-4216.
 68. Hu, C.G., et al. (2007). *La(OH)₃ and La₂O₃ Nanobelts—Synthesis and Physical Properties*. Advanced Materials. **19**(3): p. 470-474.
 69. Zhang, J., et al. (2011). *Adsorption behavior of phosphate on lanthanum(III)-coordinated diamino-functionalized 3D hybrid mesoporous silicates material*. Journal of Hazardous Materials. **186**(1): p. 76-83.
 70. Shin, E.W., et al. (2004). *Phosphate Adsorption on Aluminum-Impregnated Mesoporous Silicates: Surface Structure and Behavior of Adsorbents*. Environmental Science & Technology. **38**(3): p. 912-917.
 71. Nazarian, R., R.J. Desch, and S.W. Thiel (2021). *Kinetics and equilibrium adsorption of phosphate on lanthanum oxide supported on activated carbon*. Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects. **624**: p. 126813.
 72. Chen, N., et al. (2012). *Preparation and characterization of lanthanum(III) loaded granular ceramic for phosphorus adsorption from aqueous solution*. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers. **43**(5): p. 783-789.
 73. Fang, L., et al. (2018). *Magnetite/Lanthanum hydroxide for phosphate sequestration and recovery from lake and the attenuation effects of sediment particles*. Water Research. **130**: p. 243-254.

附錄一 實驗數據

附表 1-1 砂濾單元前後 PO₄ 及 COD 數據及去除率

水質 \ 樣品編號		A1 (石英砂)	A2 (牡蠣殼)	A3 (石英砂+牡蠣殼)
原液 (mg/L)	PO ₄	10.76	10.76	10.76
	COD	131.61	131.61	131.61
濾液 (mg/L)	PO ₄	2.75	9.95	5.05
	COD	86.79	111.86	63.45
去除率 (%)	PO ₄	74.43	7.49	53.05
	COD	34.06	15.01	51.79

附表 1-2 最佳參數實驗之 AGMD 系統前後水質數據及去除率

水質項目		進料液 pH					空氣間隔(mm)			進料液溫度(°C)			
		5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	0.6	0.9	1.1	70	60	50	40
原始水質 (mg/L)	NH ₄	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16
	PO ₄	10.76	10.76	10.76	10.76	10.76	10.76	10.76	10.76	10.76	10.76	10.76	10.76
	SS	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128	128
	COD	131.61	131.61	131.61	131.61	131.61	131.61	131.61	131.61	131.61	131.61	131.61	131.61
AGMD 產水(mg/L)	NH ₄	0.54	1.01	2.38	2.76	2.73	0.54	0.7	1.09	0.54	0.8	0.81	1.09
	PO ₄	0.002	0.008	0.004	0.003	0.002	0.002	0.013	0.008	0.002	0.003	0.006	0.009
	SS	35.00	8.00	6.0	10.00	8.50	35.00	20.00	11.25	35.00	6.25	5.00	3.75
	COD	3.00	2.68	3.19	2.12	2.40	3.00	3.13	1.66	3.00	3.40	2.35	2.47
去除率 (%)	NH ₄	53.61	13.24	-104.45	-137.09	-134.08	53.61	39.87	6.37	53.61	31.71	30.85	6.37
	PO ₄	99.99	99.93	99.96	99.97	99.99	99.99	99.88	99.93	99.99	99.98	99.95	99.92
	SS	72.66	93.75	95.31	92.19	93.36	72.66	84.38	91.21	72.66	95.12	96.09	97.07
	COD	97.72	97.96	97.58	98.39	98.18	97.72	97.62	98.74	97.72	97.42	98.22	98.13
平均通量(Kg/m ² h)		3.86	3.1	2.58	3.01	2.21	3.86	3.48	3.39	3.86	3.41	2.4	1.49

附表 1-3 不同樣品之最佳參數試驗

樣品編號		A	B	C	D
平均通量(Kg/m ² h)		4.31	4.52	3.82	3.65
原液	NH ₄	1.84	0.55	1.48	0.48
	COD	65.04	187.18	274.43	202.49
	PO ₄	5.87	6.11	9.64	8.49
	SS	138.50	260	198	158
AGMD	產水	NH ₄	1.03	0.24	0.41
		COD	12.56	13.41	35.18
		PO ₄	0.014	0.02	0.027
		SS	7.5	2.5	42.5
	去除率 (%)	NH ₄	44.08	56.36	72.26
		COD	80.69	92.84	87.18
		PO ₄	99.76	99.67	99.72
		SS	94.89	99.04	78.54

附表 1-4 不同樣品之濃排液

樣品編號		A	B	C	D
AGMD 濃排液	NH ₄	1.62	0.42	0.50	0.46
	COD	207.86	197.67	293.53	176.57
	PO ₄	10.62	8.00	6.45	5.53
	SS	195.00	173.00	176.00	136.00
吸附後	NH ₄	21.58	2.66	3.85	3.51
	COD	166.29	238.03	180.61	260.44
	PO ₄	0.01	0.01	0.01	0.01
	SS	350.00	205.00	235.00	285.00
吸附效率 (%)	NH ₄	-1232.24	-534.12	-670.27	-662.95
	COD	20.00	-20.42	38.47	-47.50
	PO ₄	99.95	99.90	99.92	99.86
	SS	-79.49	-18.50	-33.52	-109.56

附錄二 採購評選會評選委員意見檢核表

「應用綠色循環技術減緩沿岸生態衝擊之研究」案採購評選會

評選委員意見檢核表

委員意見	處理情形	工作計畫書修正定稿	
		章節/圖/表	頁次
審查委員一			
1. 水溫之設定，請再參考文獻後進行設定。	謝謝委員意見，實驗中相關水溫設定將會在參考文獻進行評估。	-	-
2. pH 之設定亦同。	謝謝委員意見，實驗中相關 pH 設定將會在參考文獻進行評估。	-	-
審查委員二			
1. 前期研究五種魚、蝦類，為何今年僅以虱目魚為研究對象。	謝謝委員意見，前期實驗係以廣度選擇較多養殖標的進行研究，而今年度團隊規劃以深度方式進行實驗設計，其實驗變數如下(1)於前處理時調整 5 種酸鹼值、(2)4 種進料溫度、(3)3 個空氣間隙格網寬度，因本次實驗變數較多，所以規劃以 1 個養殖標的進行研究。	4.2.2	P.20
2. 說明薄膜淨水的低衝擊優勢。	薄膜蒸餾可去除所有型態氨，對於其他水質之去除效率高且穩定，且其占地面積小。	-	-
3. 淨水前濃排的回收如何提升利用價值。	由於濃排液中含有大量的氮及磷之營養鹽，因此可以利用此特性進行藻類養殖及固碳。	-	-
4. 有關後續海廢如竹製品（竹酢或竹炭）之再利用，請注意”產地+加工”是否會產生額外碳足跡。	謝謝委員意見，團隊於後續進行資料蒐集時將會在特別確認。	-	-
5. 後續利用及廢水取得是否有鹽度限制。	謝謝委員意見，薄膜蒸餾系統沒有鹽度之限制。	-	-
6. 淺水志工=>潛水志工	謝謝委員意見，已進行修正。	4.1	P.13
審查委員三			
1. 本計畫之成果應可有效提升循環水之功能，並提升排放	1. 謝謝委員意見，團隊將以這個目標前進。	-	-

水之水質，達到減緩陸域污染源對沿岸生態環境衝擊之目標。			
2. 後續可評估將技術放大之效益，並評估減碳效益及水足跡。	謝謝委員意見，團隊將視後續實驗成果進行評估。	-	-
審查委員四			
1. P.32 5.3 節中是否選定受試魚苗種類?養成效率如何評估(如存活率?成長率)?餌料及魚苗排泄物之氨氮等廢物如何計算(需對照組?)參數設計?	謝謝委員意見，團隊規劃之實驗主要係以淨化養殖排放水之水質，其流程圖中所繪製之淨水到魚苗養殖部分有誤，所提及之淨水可進行魚苗養殖，係指說後續可朝該方向前進。已修正工作計畫書中實驗流程圖。	圖 4.1	P.12
2. 濃排液再處理後，除了排放自然中，還有什麼資源能利用或技術發展?(110 年蒙重處理，雖然初步評估不符合經濟效益成本)	謝謝委員意見，由於濃排液中含有大量的氮及磷之營養鹽，因此可以利用此特性進行藻類養殖及固碳。	-	-
審查委員五			
1. P-11，未有圖 3.3 「各種氨氮廢水處理方式適用性及技術成熟度」之內容。	謝謝委員意見，團隊已補充圖 2.3 中內容說明。	-	P.8
2. P-14~P-15，5.1 節之論述，偏向垃圾之陸源影響，建議增加陸源水污染影響(如養豬廢水、工業廢水)之內容。	謝謝委員意見，後續於計畫執行時，將新增相關內容於報告內。	-	-
3. P-21~P-31，5.2.2 本年度實驗方法： (1) 進料水於薄膜蒸餾前增設前處理設備，包括那些程序？進料水之規範如何？以免造成薄膜污染及利於後續系統之推廣應用。另預計以 HCl 進行 pH 調整，探討氨氮濃度變	謝謝委員意見，相關意見回復如下： (1)薄膜蒸餾之前處理為過濾系統進行懸浮固體去除，並將進料水進行酸鹼值調整，研究其氨氮之去除效率變化，團隊於水樣之水質分析有氨氮及 pH 監測，冷凝液出流位置詳如工作計畫書中圖 4.8，P.23。	(1)圖 4.8	(1)P.23

化，則進料水及冷凝液之氨氮分析應有其必要性，另建議於進料槽增加 pH 監測，以了解 pH 值變化情形。圖 5.8，建議增加冷凝液出口示意位置。 (2) 表 5.3 流體之設定參數，冷卻流體為自來水且進流溫度為室溫，進流流率為 2.0 L/min，對於不同進料廢水溫度 (40~70℃)，如何維持處理廢水出流溫度為 30℃？請確認。 (3) 系統採 batch 方式操作，處理量有限，未來在實際應用上，可否為連續式操作？ (4) 濃排液要經過濾、物理吸附及折點加氯處理後才排放，此過濾及物理吸附方式為何？濃排液產生量多少，且需符合放流水標準才可排放，經濟效益應考量。	(2)謝謝委員意見，此部分團隊將於實驗過程中進行修正。 (3)謝謝委員意見，目前先以批次實驗確認最佳實驗參數，每次之實驗約為 12 小時，未來在實際應用時，可選擇適合之蠕動幫浦即可連續操作。 (4)謝謝委員意見，濃排液之處理流程已更正為物理吸附，處理完之廢水將會進行質分析，從而評估是否符合放流水排放標準。		
4. P-33~P-34，折點加氯之處理成本，處理 1000 L 含有 100 mg/L 之氨氮廢水需要 2640 元 (非 2640 元/kg)，成本太高。建議應考量濃排液產生量及氨氮濃度狀況，方能評估折點加氯法是否適當。	謝謝委員意見，團隊已刪除折點加氯之程序。	圖 4.1、 圖 4.7	P.12、20-21、31、33
5. P-36，「西海岸漁業廢棄物圖鑑」，此資料來源為何？	「西海岸漁業廢棄物圖鑑」為黑潮海洋文教基金會 2021 年出版之刊物。	-	-

6. P-38，國內外養殖廢棄物資材處置規範，有關海廢處理方式，建議增加海保署之作法。另 P-40 之廢保麗龍處理，建議可增加光寶公司之減容貨櫃處理成效。	謝謝委員意見，團隊將於後續報告中新增相關內容。	-	-
7. 成本估算方面，建議增加薄膜模組之使用壽命評估(如一個模組可處理多少量養殖廢水)。	謝謝委員意見，團隊將於後續報告中新增相關內容。	-	-
審查委員六			
1. 本案延續先前的研究，增加一個前置處理。入流水的溫度提高不同的變化，過程中是否有廢氣的逸出?而處置後是否仍有廢液須排放?這些處理的成本是否須納入經濟效益中估算?	1.(1)謝謝委員意見，廢水加熱過程中沒有廢氣產出。 (2)濃排液之處理流程已規劃採用物理吸附進行處理，處理完之廢水將會進行水質分析，從而評估是否符合放流水排放標準，其處理成本將於未來實驗結果進行估算。	-	-
2. 經濟效益的估算，其中的電能成本仍以綠能成本來估算嗎?	謝謝委員意見，電能成本仍以綠能為原則進行估算	-	-
審查委員七			
1. 第一項工作目前是收集海廢平台資料，未來是否可強化?	謝謝委員意見團隊將持續蒐集其他政府單位之「陸域污染源對沿岸生態環境衝擊之相關政策規劃、防範措施及循環再利用技術規範」放入後續報告中。	-	-
2. 前處理水質目標為何?	目前前處理僅係將水質進行過濾，去除水樣中之懸浮固體，再進行水中酸鹼值調整。	-	-
3. 資源化技術收集，是否可作經濟分析?	謝謝委員意見，資源化技術收集將嘗試進行經濟分析。	-	-

附錄三 期中審查會議委員意見檢核表

「應用綠色循環技術減緩沿岸生態衝擊之研究」案期中審查會議委員意見檢核表

委員意見	處理情形	期中報告修正定稿	
		章節/圖/表	頁次
審查委員一			
1. 有關養殖業概況應將表 2.1(P.6)更新至 109 年，甚至於期末報告中應更新至 110 年；此外，內容中應增加近海漁業中石斑魚部分資訊，以配合本計畫石斑魚養殖廢水處理。	謝謝委員意見，團隊已將我國漁產量表更新至 2020 年(目前最新版)。並於報告中新增 2020 年我國魚類產量及產值，並提到石斑魚為 2020 年暫我國總產值 12.72%，為第二名。	第二章第一節 表 2-1 表 2-2	7-8
2. 有關砂濾裝置，應說明其規格、尺寸等資料，以及濾料石英砂之資訊(例如：粒徑)。依計畫主題，何以不採用蚵殼為濾料？	謝謝委員意見，目前團隊所使用之砂濾裝置管柱大小為直徑 6 cm，高度 39 cm，截面積 28.26 cm ² ，另石英砂之有效粒徑為 0.6-0.8 mm，此外團隊將嘗試使用石蚵殼搭配石英砂進行試驗。	第四章第一節 圖 4-3 第四章第二節	31-32 49
3. 表 4-4 資料引用有誤，應更正，且中文應定義(參考「地面水體分類以及水質標準」)一些名詞。	謝謝委員意見，已修正表 4-4 海域水體水質標準，引用海洋委員會所公告之《海域環境分類及海洋環境品質標準》(107 年 2 月 13 日修正)	第四章第二節	46-48
4. 依表 4-6 前處理後水質，以 BOD 為例去除效率可大於 90%，此時水質已符合環境基準。	謝謝委員意見，經由 20 公分厚度之石英砂進行過濾，BOD 已符合甲級海域水體水質標準。	表 4-6	50
5. 有關氨氮水質經處理後反而增加，其原因為何？	謝謝委員意見，氨氮於水中會以 2 種型態存在，分別為離子銨(NH ₄ ⁺)與分子氨(NH ₃)，此 2 種型態之比例受水中 pH 值及水溫之影響最大。根據文獻顯示當 pH 值 10.0，溫度 40℃時，NH ₃ 之比例可達 99%。而這些 NH ₃ 會隨著蒸氣一起通過薄膜至產水端，因此目前氨氮經薄膜蒸餾後，產水端之氨氮增加之原因，亦是團隊今年一大挑戰之一。	—	—

6. 廢水採樣數量應增加，以取得較完整基線資料，以利後續廢水處理模場設計。	謝謝委員意見，團隊將會在增加樣品數量進行分析，提高樣品基數。	-	-
7. 有關物理吸附劑方面，似乎過於新穎，可從一些較便宜之廢料(例如碳材)著手。	謝謝委員意見，團隊將會納入參考。	-	-
8. 模場處理單元規劃應先確認設計處理量、廢水水質、處理後水質目標等，始可計算其成本。	謝謝委員的意見，團隊將於期末報告補充更完整信息進去。	-	-
9. 海廢資訊可多參考海洋保育署所建立的海廢回收再利用資訊交流平台。	謝謝委員意見，團隊將持續查詢資料，並於期末報告中補充。		
10. 圖 2-3 所述各技術適用性與氨氮濃度關聯性，若以原水水質(表 4-5)判之，似乎薄膜蒸餾不合適。	謝謝委員意見，圖 2-3 所提及之氨氮處理技術方面係針對工業廢水，團隊將於期末報告中重新檢視資料進行修正。	-	-
審查委員二			
7. P.6 關於我國漁產量之比較，應依照漁業統計年報更新至最新的漁產量。	謝謝委員意見，團隊已將我國漁產量表更新至 109 年(目前最新版)。	第二章第一節	7
8. 本研究主要應用薄膜蒸餾技術，應於研究背景收集其應用情形。由於未來可能結合太陽能，應蒐集國內水產養殖使用太陽能光電之情形。	謝謝委員意見，團隊將蒐集國內水產養殖使用太陽能光電之情形，並於期末報告中進行補充。	-	-
9. P.12 收集各種廢水除氨之技術，應論述本研究薄膜蒸餾在各種技術中針對除氨之優勢。	謝謝委員意見，團隊將收集薄膜蒸餾在各種技術中針對除氨之優勢並於期末報告中補充。	-	-
10. 第三章關於向海致敬之政策說明，對海委會執行之項目應詳細再說明。	謝謝委員意見，有關向海致敬之政策說明，團隊將針對海委會所執行之項目成果進行收集，並於期末報告中補充。	-	-
11. P.17, Nutrient 譯成養分、營養素，請統一。沉積物動員之翻譯不適當，請更正。	謝謝委員意見，已將報告中養分、營養素統一修正為營養鹽。另原 sediment	第三章第二節	19

	mobilization 譯成沉積物動員，以修正為沉積物移動。		
12. P. 43，原水水溫為何應說明。試驗溫度為 40~70 度，實際廢水處理甚少加溫，實場如何升溫及是否具經濟效益宜審重考慮。	謝謝委員意見，團隊已將原水水溫補充至表 4-5 中，另因目前團隊係將樣品採回來後放置冰箱中保存，每次進行實驗時，會先取所需樣品量放置至室溫，因此溫度大約為 25 度左右。實廠部分，團隊係規劃結合太陽能進行加熱控制。	第四章第二節 表 4-5	48
13. 前處理是否有考慮雙層濾料並分析其去除效率？	謝謝委員意見，團隊將結合其他委員意見嘗試使用石蚶殼搭配石英砂進行試驗。	-	-
14. 系統之優化成果未說明。	謝謝委員意見，探討效益章節因尚未完成空氣間格隔柵試驗及吸附劑試驗，因此尚未進行探討，將於期末報告補充。	-	-
15. P. 54 濃排液吸附劑似乎並非商用材料，是否具經濟效益應考慮。	本吸附劑中鏽元素係從廢棄燈管中所提取，再藉由簡單合成方法所製備出吸附劑，具有綠色循環之意涵。	-	-
16. 報告應附上結果與建議。	謝謝委員意見，已將初步結論及建議補充於期中報告修正訂稿第七章。	第七章第一節 第七章第二節	78
審查委員三			
1. 計畫內容撰寫各主題間的連接性須加強，以文獻匯整爬梳，以永續精神釐清各工作之關聯。(陸源→養殖→廢棄物；陸源→綠色技術)	謝謝委員意見，團隊將於期末報告重新整理報告邏輯。	-	-
2. P. 56 全文內資料之來源、有關文獻引內，如各國保育方法，列舉請加註。	謝謝委員意見，已將相關資料來源加註於報告內文中。	全文	-
3. 有關不同方法的薄膜技術經濟費用的「比較」，是否僅能支持高價的石斑魚？	使用薄膜蒸餾系統進行水質淨化，期望使用淨化後之水質進行魚苗養殖。		
4. 濃排的使用時吸附減氨，說明不詳，後續是否有降解的方法。	謝謝委員意見，本吸附劑主要係要吸附磷，非吸附氨。	-	-

5. 各圖照片的圖示說明不清楚，如尺寸(單位)說明、比例尺、縮寫表示。	謝謝委員意見，團隊已於報告中進行補充。	—	—
6. 初步結論加入報告內。	謝謝委員意見，已將初步結論補充於期中報告修正訂稿第七章。	第七章第一節	74
7. 石英砂的規格大小「粒徑」，有厚度。	謝謝委員意見，目前團隊所使用之石英砂有效粒徑為 0.6-0.8 mm。	第四章第二節	49
8. 金門的石蚵是否有紀錄。	謝謝委員意見，團隊就漁業生產量統計資料顯示，金門地區 109 年有 154 公噸石蚵之產量，然重新確認行政院農業委員會漁業署「養殖漁業放養查詢平臺」所公告之資訊，無相關數據，可能是漁民無申報，另金門石蚵養殖主要為石條式。	-	-
9. 國內水試所亦有完成虱目魚膠原蛋白。	謝謝委員意見，團隊將收集此資料納入期末報告中。	-	-
10.P.21 各國的策略是否能「再整理」出大方向。	謝謝委員意見，團隊已初步將各國策略彙整成表，後續會再將其他政策進行整理。	第三章第二節 表 3-4	27-28
11.P.7 字體大小不一致。	謝謝委員意見，團隊已進行修正。	全文	-
審查委員四			
1. 工作項目一應為蒐集評析「養殖廢水」、「循環利用」相關的國內外資訊。以作為未來提供海保署海資處引用之依據。(特別是與 GPA 中的污水、養分(P.17)、GPNM、GW21(P.17-18)有關的部分)	謝謝委員意見，團隊將持續查詢資料，並於期末報告中補充。	-	-
2. P.18 表 3-2 描述內容中文翻譯須確認。	謝謝委員意見，團隊已重新審視文中翻譯。	第三章第二節 表 3-2	20
3. 第五章有關規模經濟效益及影響因子，依表 7-1(P.68)，自 6 月開始，目前尚未有結果，請留意時程。	謝謝委員提醒，團隊將加速辦理。	-	-

4. 評選時以虱目魚為研究對象，實際進行以石斑魚？	謝謝委員意見，因計畫初期虱目魚尚在休池中，因此改由經濟價值較高之石斑魚養殖排放水進行實驗參數建立，後續將使用該參數針對虱目魚養殖排放水進行試驗。	-	-
審查委員五			
1. 報告內文的編排須再審視，第七章研究預定進度通常須置於前面章節，同時須標示目前的進度。	謝謝委員意見，已經第七章研究進度移至第一章第五節，並新增目前進度。	第一章第五節	6
2. 章節的標題須符合該章節的內容，或是在前面章節須說明，哪些章節可能尚未完全作完。	謝謝委員意見，已於報告中重新修正章節標題及補充說明。	第三章 第四章	15 29
3. 本計畫以砂濾配合薄膜蒸餾處理是否為最有效率與經濟的做法。國內外對於河川水質淨化大多採用人工濕地與礫間處理，且在設計規劃上已有對應的理論基礎與經驗式去計算與評估。反觀本計畫的處理方式以實驗的尺度是否能推估到實務的效益。	謝謝委員意見，砂濾裝置主要是作為前處理單元，主要是簡易調整薄膜蒸餾系統進料液的水質濃度，避免薄膜蒸餾因水質濃度太高而受損。使用薄膜蒸餾系統進行水質淨化，期望使用淨化後之水質進行魚苗養殖。	-	-
4. 在探討效益的章節內容尚未清楚說明。	謝謝委員意見，探討效益章節因尚未完成空氣間格隔柵試驗及吸附劑試驗，因此尚未進行探討，將於期末報告補充。	-	-
委員六			
1. 期中報告初稿請計畫執行團隊依委員等意見修正，並提送修正後期中報告予承辦單位辦理後續作業。	謝謝委員意見，詳如期中報告修正訂稿附錄二。	附錄二	附錄 2-1
2. 修正處請附上檢核對照表。	謝謝委員意見，詳如期中報告修正訂稿附錄二。	附錄二	附錄 2-1

附錄四 期末審查會議委員意見檢核表

「應用綠色循環技術減緩沿岸生態衝擊之研究」案期末審查會

委員意見檢核表

委員意見	處理情形	期末(成果報告)定稿	
		章節/圖/表	頁次
審查委員一			
1. 表 2-2 更新為 2021，並說明近年來虱目魚與石斑魚產量及產值變化(來配合本計畫水樣採集對象)	謝謝委員意見，已經表 2-2 更新為 2021 年之資料，並新增了圖 2-1 虱目魚及石斑魚產量及產值變化。	第二章第一節	9
2. 前處理雖增加濾料牡蠣殼，因未碾碎，致其對廢水水質項目之去除率偏低。此外另一濾料石英砂之規格(如粒徑)，亦請提供	謝謝委員意見，於實驗設計因考量大型模廠要破碎大量之牡蠣殼不易，因此未將牡蠣殼進行破碎；石英砂之有效粒徑為 0.6-0.8 mm 已放入報告中。	第四章第一節	76
3. 有關表 4-5~4-8 中，未符合海域水體水質標準，其適用性似不妥，也許應引用放流水標準，項目包括 BOD 30 mg/L，COD 100 mg/L，SS 30 mg/L，硝酸鹽 50 mg/L 等。	謝謝委員意見，已將海域水體水質標準修正為水產養殖業放流水排放標準，項目 BOD 30 mg/L，COD 100 mg/L，SS 30 mg/L。	第四章第一節	73
4. 本計畫之廢水處理前後水質數據，建議置於附錄，可為參考	謝謝委員意見，已將相關水質數據放置附件一中。	附錄一	附錄 1-1
5. 提供奈米複合材料之孔洞特性表。至於使用此高貴吸附劑似乎不實用於水產養殖廢水處理上	謝謝委員意見，MFC@La(OH) ₃ 吸附劑中之高貴金屬鐳(La)係從廢棄燈管中回收鐳元素在進行合成。	-	-
6. 有關所製複合吸附材之吸附實驗，建議於第四章增加其實驗條件、分析方法等資訊	謝謝委員意見，已於報告中納入吸附實驗之實驗方法。	第四章第一節	90
7. 有關表 5-1 所估算之成本，顯示產水成本極高，尤其是藥品(HCl)成本，考慮以廢鹽酸液	謝謝委員意見，已於成本計算部分將藥品 HCl 改由廢 HCl 進行計算。	-	-

取代，用於 PH 調整			
8. 由於以 AGMD 對磷酸鹽去除可達 99.97%，是否需要以物理吸附劑再次去除磷酸鹽？	謝謝委員意見，物理吸附劑系針對濃排液之磷酸鹽進行吸附，而”以 AGMD 對磷酸鹽去除可達 99.97%”，中所針對之樣品為 AGMD 之產水。	-	-
審查委員二			
1. 針對本研究之薄膜蒸餾技術，應於第二章說明其在國外商業化應用情形，包括其能耗狀況與所適用之產業。	謝謝委員意見，已將薄膜蒸餾商業化情形放入報告中。	第二章第三節	16
2. 第二章第二節之資料收集，有些屬於排放水之規定、有些屬於廢棄物之管理規定，應清楚分類以免分析上過於雜亂。其中我國水污染防治法早期參酌美國潔淨水法，可針對兩法在養殖循環水排放之管控制度做一比較。	謝謝委員意見，美國與我國之水污染防治法規針對水產養殖排放水規範部分，目前團隊僅找到水產養殖排放水之定義及我國針對水產養殖放流水標準，美國目前僅找到使用 BMPs 進行管制。	-	-
3. 圖 4-25 之砂濾裝置，牡蠣殼為何並未粉碎至均勻之粒徑，其過濾效果之濾除機制為何？	謝謝委員意見，於實驗設計因考量大型模廠要破碎大量之牡蠣殼不易，因此未將牡蠣殼進行破碎。	-	-
4. 圖 4-11~4-15 中，濾液之通量與產水率之關係應說明清楚。圖 4-11 未說明 pH。	謝謝委員意見，由報告中 p.66 說明了產水率公式計算， $\text{產水率} = (\text{產水量} / \text{原水量}) \times 100\%$ 。本研究皆為批次研究，未進行長效性研究，因此產水率皆較低。 原報告中圖 4-11 主要說的是不同溫度的差異，非 pH 值。	-	-
5. 一般氣提法 pH 高時 $\text{NH}_4\text{-N}$ 去除效率越高，但圖 4-12 中 pH 越低 $\text{NH}_4\text{-N}$ 去除效率越高，其去除機制為何？	謝謝委員意見，一般氣提法系想要去除原水的 $\text{NH}_4\text{-N}$ ，而本計畫係想要去除產水中的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 。	-	-

	氨氮於水中會以 2 種型態存在，分別為離子銨(NH_4^+)與分子氨(NH_3)，此 2 種型態之比例受水中 pH 值及水溫之影響最大。根據文獻顯示當 pH 值 10.0，溫度 40℃時，NH_3之比例可達 99%。而這些 NH_3 會隨著蒸氣一起通過薄膜至產水端。		
6. 第五章進行成本分析時，應將成本分為資本門、能源、運維(O&M)等三項討論。設備成本參考來源為 2011，是否需考慮物價變動？薄膜蒸餾實驗時有考慮溫度影響效率，高溫效果較佳，為何能源成本計算不考慮升溫條件？O&M應考慮操作人事成本，藥品成本是否有單價？第四章之吸附劑成本是否有納入？	謝謝委員意見，已將成本分析依委員意見修正。	第四章第二節	103-106
7. p91，台灣之牡蠣養殖不僅四類，尚包括延繩式牡蠣養殖等五大類，適用於風浪較大之海域養殖。各類養殖方式適用情形及其產生之廢棄物態樣，可進一步說明。	謝謝委員意見，已將報告中牡蠣養殖之分類進行更詳細的劃分。	第三章第二節	46
審查委員三			
3. 本計畫執行成果豐碩，且報告書整理合宜，對執行團隊的努力值得予以肯定	謝謝委員的肯定	-	-
4. 本報告書的目次需有一致的標準，如：章、節、一、1、…等	謝謝委員的意見，已修正整本報告書之排序標準。	-	-
5. 章節等的名稱建議均以中文來敘述，如：P65「三不同實驗參數 AGMD 性能之影響」中的	謝謝委員意見，已將章節標題中英文簡寫皆改為中文名稱。	-	-

AGMD 以中文來取代			
6. P23 開始的引註方式值得商榷，是否做此調整?如 1.美國 ^[5] ，該引註[5]是否應至於持續內文的適當位置。	謝謝委員意見，已將報告中的引註方式修正為放置內文中。	-	-
7. P30 提到該專案分為五大重點，但表 3-2 中似乎有六點	謝謝委員意見，團隊已重新修正說明。	第三章第一節	31-32
8. 內文提到 4 個養殖排放水中有些未達符合水體水質標準；而結論中提及去除效率百分比，其意義如何?未有聯結?	謝謝委員意見，已將 4 個養殖排放水的產水水質放入報告中，並與水產養殖放流水標準進行比對說明。	第四章第二節	107
審查委員四			
3. (P1)研究緣起與背景(ex:劉老師提到水利署的魚電共生政策)	謝謝委員意見，已將相關內容放入報告中。	第一章第一節	1
4. (P2)「研究內容與工作項目」共有四項，報告書內容順序與項目順序一致，然簡報時不同，若團隊欲修正報告書內容、順序及結構調整，並無不可	謝謝委員意見，已重新進行報告撰寫順序。	-	-
5. (P9)「養殖廢水處理情形」「一、生物處理技術」可適當簡述以大型藻作為水質淨化及未來淨零減碳的可能適用趨勢	謝謝委員意見，已將大型藻內容新增至報告中。	第二章第二節	10
6. (P44)「砂濾裝置」中的牡蠣殼處理單元為何無破碎呢?	謝謝委員意見，於實驗設計因考量大型模廠要破碎大量之牡蠣殼不易，因此未將牡蠣殼進行破碎	-	-
7. (P103)「建議」未來除提高產水率，如何降低產水成本(或精算成本)為重點	謝謝委員意見，已修正研究報告之建議。	第五章第二節	115
審查委員五			
1. 期末報告初稿請計畫執行團隊依委員等意見修正，並提送修正後期末報告予承辦單位辦理後續作業。	謝謝委員意見，遵照辦理。	-	-

2. 修正處請附上檢核對照表。	謝謝委員意見，已將期末報告審查意見回復對照表納入報告中。	附錄四	附錄 4-1
-----------------	------------------------------	-----	--------