



國立臺北科技大學
環境工程與管理研究所
碩士學位論文

水資源回收中心能源及資源技術整合
績效評估之研究

A Study on Performance Evaluation of Energy and
Resource Integration in Water Reclamation Center

研究生：吳積承

指導教授：張添晉 博士

中華民國一百零八年六月

摘要

論文名稱：水資源回收中心能源及資源技術整合績效評估之研究

頁數：九十四頁

校所別：國立臺北科技大學環境工程與管理研究所

畢業時間：一百零七學年度第二學期

學位：碩士

研究生：吳積承

指導教授：張添晉 博士

關鍵詞：水資源回收中心、再生資源、能資源整合、績效指標、循環經濟

氣候變化多端及高耗水產業發達為世界重要議題，為了維持產業穩定發展及民生基本需求，全球各地皆將水資源取得及再利用作為國家治理之重要議題，各國間水資源之爭奪與貿易活動日益頻繁，水資源回收中心不僅可將污水處理至符合放流水標準以降低環境負荷，更可將放流水重新再利用來補足自來水供給不足，然而水資源回收中心需要高度消耗能源來產生再生水，且隨著下水道普及，污水量增加之情況下，污泥去化管道也將成為重要議題。有鑑於此，本研究藉由文獻蒐集及比較分析，彙整國內外水資源回收中心能資源創新應用及整合現況，藉由分析國內能資源再利用潛勢，提出能源及各項再生資源再利用發展策略，最後提出評估能資源現況之績效評估指標，以利瞭解各水資源回收中心現況及未來提升之目標。

水資源回收中心蔚為區域能資源整合之重要核心，利用各水資源回收中心之區位特性落實循環經濟之成功要素在於政府與廠方相互配合，藉由政府建立績效評估系統及國外政策研析與水資源回收中心積極配合並藉政府資金補助更新設備，以促進區域性能資源利用極大化，並打造節能創水之水資源回收中心，打破過去被視為是鄰避設施的不良印象。

Abstract

Title : A Study on Performance Evaluation of Energy and Resource Integration in Water Reclamation Center

Pages : 94

School : National Taipei University of Technology

Department : Institute of Environmental Engineering and Management

Time : June, 2019

Degree : Master

Researcher : Ji-Cheng Wu

Advisor : Tien-Chin Chang

Keywords : Water Reclamation Center, Renewable resource , Integration energy and resources, Efficiency indicators , Circular economy.

Changing of climate and developing of the high water consumption industry is important issues all over the world, maintain the stable development of the industry and fulfill people's livelihood. Water resources acquired and reused is key issue in national governance. Therefore, water resources competition and trade among countries get more and more frequent. Water reclamation centers can not only treat sewage to discharge with effluent standards to reduce environmental load, but also reuse the effluent to support the lack of tap water. However, it will be high consumtion of energy to produce reclaimed water in Water reclamation centers. Besides, with the increase of sewers and sewage volume, sewage sludge decontamination ways will also become an important issue. In the light of this, the study try to synthesize the innovative applications of energy resources at home and abroad by literature collection and comparative analysis. After getting the

current situation and evaluating by sustainable cycle efficiency indicators(SCI), the study will help every water reclamation center understanding the current status and future aims.

The water reclamation center is an important core for the integration of energy resources in regional. The success factor of implementing the circular economy by using the location characteristics in every water reclamation center is cooperation between the government and water reclamation center. It's impotant to bulid the system of efficiency indicators and analysis foreign policy by the government. By cooperating with the water reclamation center and help it to upgrade the equipment to promote the maximization of recycling energy and resources.Finally,let water reclamation center turn into energy conservation and water production, breaking the bad impression that was considered as a NIMBY facility in the past.



誌 謝

隨著論文撰寫完成，研究所求學也隨之告一段落，非常有幸接受指導教授張添晉博士不辭辛勞的教導，使學生不僅在學業上吸收無比知識，更在待人處事及做事態度獲得更多的啟發，雖在北科大僅短短兩年，而所獲得之成長卻是無比巨大，在此致上最誠摯的敬意及感激。

由衷感謝口試委員張廣智組長與張簡水紋教授於百忙之中撥空蒞臨指導，且不吝提供寶貴建議，使得本論文得以更加完善，

感謝研究室同學佳駿、毅翔、思瑋、俊翰及鈞翔，在研究所求學過程中，無論是課業上的共同努力及平常生活物中酸甜苦辣的同舟共濟，成為漫漫求學路上彼此之依靠，在此致上無比感激。

最後，感謝父母親及家人們關懷及支持，從小到大給予我自由的發展空間，從不設限我求學之方向，並給予適當之建議使我有心理建設得知未來可能面臨之挑戰，謹以此論文獻給所有關心我的師長與親友們。

目錄

摘要	i
Abstract.....	ii
誌謝	iv
目錄	v
表目錄	vii
圖目錄	viii
第一章 前言	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究流程.....	2
第二章 文獻回顧	4
2.1 再生能源技術發展及應用	4
2.1.1 國內再生能源技術現況	5
2.1.2 國外再生能源應用參考	9
2.1.3 能源自給率提升作為	16
2.2 資源回收發展及應用	18
2.2.1 循環技術發展	19
2.2.2 氮及磷資源回收	24
2.2.3 再生水再利用現況	26
2.3 能資源整合技術推動現況	28
2.3.1 國內能資源整合現況	28
2.3.2 國外整合技術	30
2.3.3 能資源整合之前瞻	34
2.4 能資源整合績效評估指標	37
2.4.1 國外整合績效指標參考	37
2.4.2 國內績效指標設立	41
2.4.3 績效指標推廣步驟	45
第三章 研究方法	48
3.1 研究方法分析.....	48
3.2 研究內容與流程	49
第四章 結果與討論	51
4.1 能源發展剖析	51
4.1.1 再生能源發展模式評估	51
4.1.2 國外案例可行性評估	57

4.1.3 再生能源最適化發展	60
4.2 再生資源利用研析	64
4.2.1 資源循環模式評估	64
4.2.2 再生水提升使用之作為	67
4.2.3 資源循環利用之困境分析	71
4.3 能資源整合發展策略	74
4.3.1 區域能資源整合	74
4.3.2 循環經濟思維強化	77
4.3.3 永續發展措施	79
4.4 績效提升之作為	80
4.4.1 政策推廣	81
4.4.2 管理措施	83
4.4.3 綜合評析	85
第五章 結論與建議	87
5.1 結論	87
5.2 建議	89
參考文獻	90



表目錄

表 2.1-1 南韓首爾四座水資中心能源概況	11
表 2.1-2 各國消化瓦斯產量	13
表 2.1-3 日本示範廠之再生能源供給量	15
表 2.1-4 運轉設備之基本概要	17
表 2.1-5 各處理流程節能建議	18
表 2.2-1 日本污泥再利用技術現況	19
表 2.2-2 水資中心再生水計畫水量及標的	26
表 2.3-1 我國各項環保法規及其效益	35
表 2.3-2 日本 B-DASH 各年度計畫項目	36
表 2.4-1 水資源管理排行	38
表 2.4-2 該造紙廠各項資料月平均	40
表 2.4-3 該造紙廠循環經濟指標分數	40
表 2.4-4 水循環指標細項	42
表 2.4-5 能源利用指標細項	43
表 2.4-6 資源循環指標細項	44
表 2.4-7 我國各廠指標試算	47
表 4.1-1 我國潛力水資源回收中心基本資料	52
表 4.1-2 各規模風力發電機性質比較	53
表 4.1-3 我國水資源回收中心風力發電潛勢	53
表 4.1-4 各水資中心太陽能潛勢評估	54
表 4.1-5 各水資中心生質能潛勢	55
表 4.1-6 各水資中心再生能源發電量	56
表 4.1-7 再生能源及影響因子分析	60
表 4.1-8 各水資中心平均風速	61
表 4.2-1 再利用去處特點及現況	66
表 4.2-2 各行業別所關心之水質項目	70
表 4.2-3 各國水價負擔比例	71
表 4.2-4 資源循環之困境及解決方案	72
表 4.3-1 中鋼公司區域能資源發展項目	75
表 4.3-2 水資中心區域能資源整合發展效益	76
表 4.3-3 我國社會議題及永續發展措施之關係	79
表 4.4-1 各潛力水資源回收中心績效指標之成績	80
表 4.4-2 各關注能資源策略推動參考	81
表 4.4-3 電能管理系統預期效益	84

圖目錄

圖 1.3-1 研究方法流程圖	3
圖 2.1-1 我國 2017 年再生能源使用比例	5
圖 2.1-2 全球風機裝置容量	6
圖 2.1-3 臺灣歷年風力發電量	6
圖 2.1-4 近年已開發市場太陽能光電成本趨勢	7
圖 2.1-5 臺灣歷年太陽光電發電量	8
圖 2.1-6 各國陸域發電成本曲線	10
圖 2.1-7 全國太陽能容量趨勢	12
圖 2.1-8 首爾 Seonam 太陽能設置情形	12
圖 2.1-9 惠庭市水資中心共消化之流程	15
圖 2.2-1 宮城縣縣南中心乾燥裝置	20
圖 2.2-2 高效率固液分離裝置概要	22
圖 2.2-3 共消化流程及產物	23
圖 2.2-4 阿姆斯特丹西部處理廠氮足跡	25
圖 2.2-5 阿姆斯特丹西部處理廠氮回收最佳化路徑	25
圖 2.2-6 新加坡利用 FO-RO 結合產新生水	27
圖 2.3-1 臨海工業區能資源整合利用	29
圖 2.3-2 多元化廢棄物處理廠及再生水廠位置	31
圖 2.3-3 新加坡區域能資源整合流程	31
圖 2.3-4 智慧城市各項目鏈結	33
圖 2.3-5 岩木川淨化中心新技術流程	33
圖 2.4-1 各國接管率及處理率分布	38
圖 2.4-2 永續循環效率(SCI)架構	41
圖 2.4-3 污泥多元化再利用管道	45
圖 3.2-1 本研究流程	50
圖 4.1-1 美國 ACUA 水資中心空拍	57
圖 4.1-2 首爾市政府太陽能投資運作模式	59
圖 4.1-3 我國太陽能發電效益	62
圖 4.2-1 我國地層下陷顯著範圍	68
圖 4.3-1 政府扮演循環經濟管道之作為	78
圖 4.4-1 水資中心耗能分佈	84
圖 4.4-2 政策與管理措施之關係	86

第一章 前言

本研究之主旨旨在於探討國內外水資源回收中心能源及資源技術整合之績效評估，本章首先針對研究動機進行闡述，其次說明研究目的，最後提出本論文之研究流程，以下將依序說明上述所呈現之項目。

1.1 研究動機

隨著科技與工業的不斷進步，國人生活品質穩定發展下，隨之而來增加許多廢棄物處置及去化的問題，導致萬物生存遭受巨大之衝擊。水資源回收中心蔚為城市發展之重要依據，許多已開發國家為打造智慧城市之觀念，遂將水資源回收中心列為智慧城市之主要核心，其主因不僅是水資源回收中心能解決廢水問題，更能從中獲取各項能源及資源使用，進而打破過去廢水處理多以電換水傳統觀念。

我國總統蔡英文於就職典禮宣示：「我們也不能再像過去，無止盡地揮霍自然資源及國民健康。所以，對各種污染的控制，我們會嚴格把關，更要讓臺灣走向循環經濟的時代，把廢棄物轉換為再生資源。」由此可知，循環經濟之理念將於我國內蓬勃發展，因此將此思維帶入水資源回收中心內也成為政府積極投入之方向，本研究將調查各國水資源回收中心為提升能源自給率及資源循環再利用所做各項管理制度及技術演進現況，藉發展我國永續循環效率指標以瞭解我國水資源回收中心能資源整合現況及潛能，進而研擬我國水資源回收中心最適發展模式，提出污泥再利用管道及再生能源應用措施，期望可使水資源回收中心可將二氧化碳減量以減少環境負荷，更可達到完全能源自給並將原先被認為是廢棄物完全循環成有效資源，使水資源回收中心以循環經濟理念朝向能資源整合發展。【1】

1.2 研究目的

我國雖降雨量龐大，然而旱澆季明顯導致常有缺水之風險，因此發展水量穩定且水質良好之再生水為我國重要前瞻發展，冀望再生水不僅只作為未來我國缺水之備援用水，更可舒緩自來水之使用比例。

本研究採取「文獻分析法」及「比較分析法」，藉由探討國內外水資中心創新應用技術發展及管理措施與我國績效評估指標創立現況並作為我國能資源整合績效之重要依據，根據文獻分析後研擬能源發展剖析、再生資源利用研析、能資源整合發展策略及績效提升之作為，期望研究成果可作為國內水資源回收中心能資源整合發展之重要參考，並冀望達成以下目標：

1. 蒐集國內外能資源整合成功案例
2. 分析我國永續循環效率指標設立步驟
3. 研析我國能資源整合發展策略
4. 探討我國水資中心提升績效評估之作為
5. 強化循環經濟思維及找尋永續發展措施

1.3 研究流程

本研究先就各國一座具有能資源整合實際案例之高潛力水資源回收中心蒐集資料，最後以各國區域能資源整合政策及管理措施就整理，期望作為我國水資源回收中心落實能資源整合、稀有資源完全再利用及穩定水源供給作為目標，本研究流程如圖 1.3-1 所示，架構內容說明如下：

1. 確立研究方向及目的。
2. 國內外文獻蒐集及彙整，探討國內外水資中心於能資源整合現況及循環經濟提升之作為。
3. 採取「文獻分析法」及「比較分析法」，蒐集國外政策、研究論文及期刊內相關資料，其內容主要包含創新能源及稀有資源回收等案例。

4. 探討國外能資源整合技術及管理模式現況及我國發展前瞻思維。
5. 蒐集國外能資源整合績效指標及我國設立現況，並研擬我國水資源回收中心績效提升之方式。

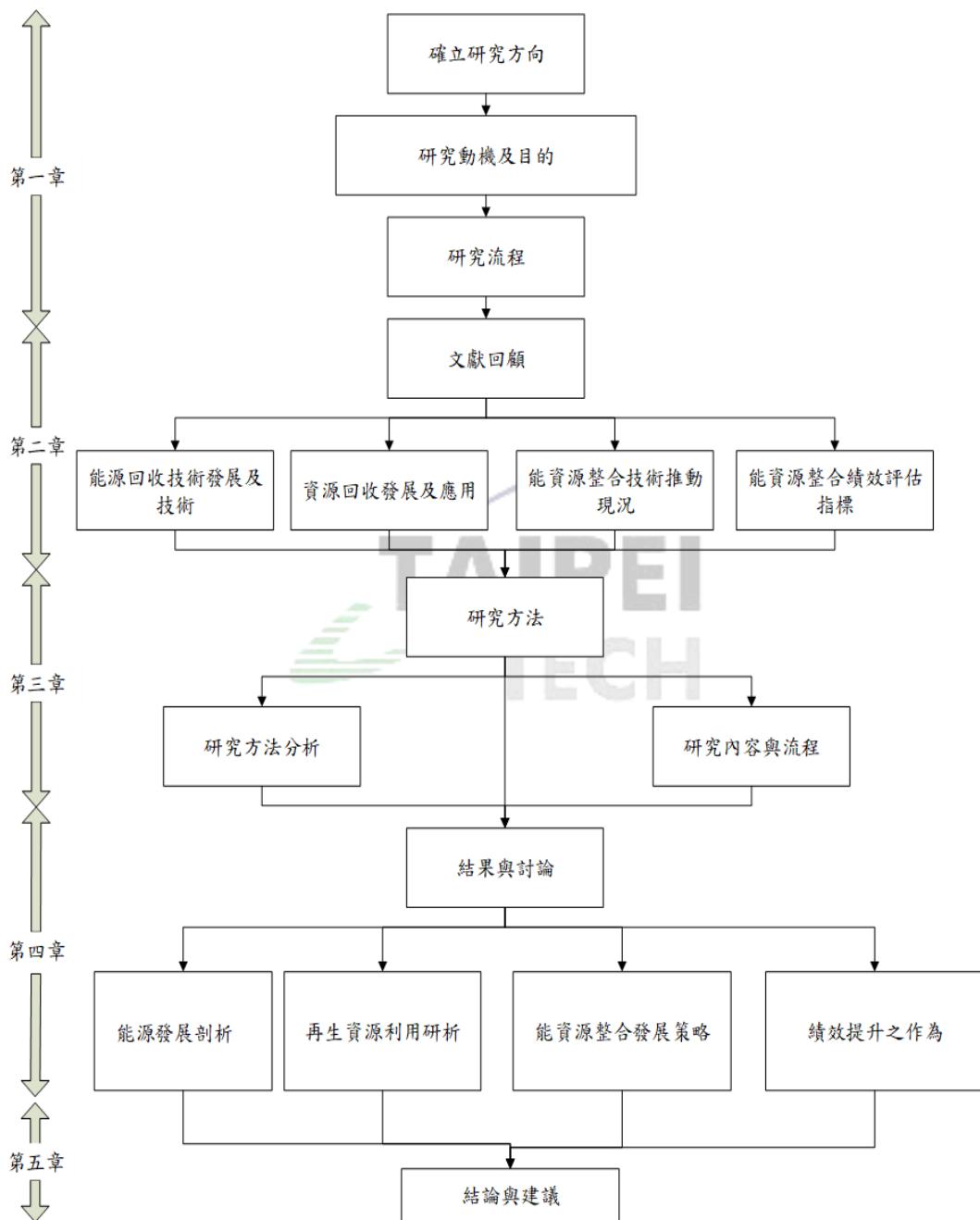


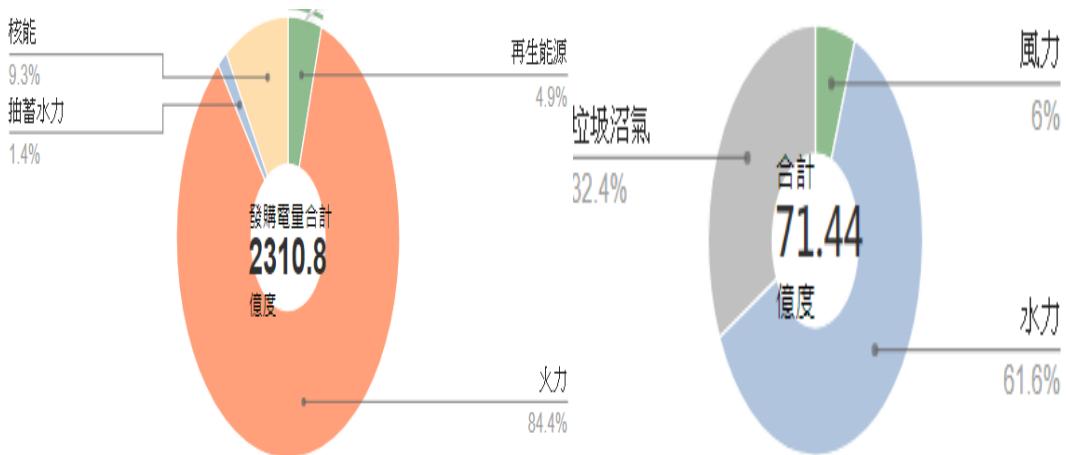
圖 1.3-1 研究方法流程圖

第二章 文獻回顧

欲調查水資源回收中心能資源整合情形及績效評估指標，需先透過蒐集全球水資源回收中心現況及發展態勢，並熟稔各國評估循環經濟之績效指標，本研究主要透過國外相關期刊、報告、碩博士論文及各相關網站獲取各國資訊，故於文獻回顧中主要分為四大章節進行探討，包括能源回收發展與應用、資源回收發展與應用、能資源整合技術推動現況及能資源整合績效評估指標，以做為本研究後續研究之理論基礎。

2.1 再生能源技術發展及應用

在工業革命後，能源之使用逐漸成熟使得經濟蓬勃發展，但同時也造成許多環境問題，如：全球暖化便是現今世界潛在的嚴重風險之一，進而促使再生能源技術蓬勃發展之主要因素，再生能源雖取之不盡用之不竭，相較燃煤產能低污染，也無核能擁有潛在危險性，然根據圖 2.1-1 所示，再生能源目前各有不同產能劣勢使得我國再生能源發電率尚不及總用電量之 10 %【2】，如何管理能源之使用來適應現今環境及維持經濟穩定發展是現今社會關鍵議題，有此可知，輔助再生能源之發展並促進經濟發展是國家尤為重要的政策，本研究調查我國近年水資源回收中心再生能源技術現況，蒐集擁有高再生能源使用率之國家發展及應用，以便瞭解我國未來再生能源技術之展望，供本研究後續之參考。



資料來源:【2】

圖 2.1-1 我國 2017 年再生能源使用比例

2.1.1 國內再生能源技術現況

水資源回收中心為了使再生水可送回製程，必須使用 MBR 或 RO 等高耗能設施來提升水質，故常有以電換水的負面印象【3】，本研究建議水資源回收中心可同時從處理設施中節能並開發再生能源產能，達到開源節流之效，並冀望能與水資源回收中心之高耗能達到平衡，目前我國再生能源最高比例依序為水力、風力、太陽能及生質能【4】，因水力發電通常為水壩等水資源設施所使用，本研究主要討論水資源回收中心內再生能源現況，故以後三者做為文獻蒐集之主要對象。

一、風能應用現況

根據世界風能協會(World Wind Energy Association ; WWEA)統計(如圖 2.1-2)，全球風力發電裝置容量於 2017 年已達 1,050,662 MW，較 2016 年增加約 11%【5】，風力發電產業之前景備受矚目，臺灣為海島國家，具有良好風力發電條件，我國歷年風力發電累積裝置容量如圖 2.1-3 所示，由文獻可瞭解近年陸域裝置容量日益穩定成熟【2】，值得水資源回收中心投入成本營運。

風能與太陽能最大之差異為風能無論晝夜晴雨皆能運用，然而建置風力發電機組所需興建成本非常高，每組 2 MW 之風機需 1.2 億新台幣【6】，多半需要國外廠商及台電之配合，且臺灣夏季用電高峰卻是風能發電量較少的季節，對於相較缺電的夏季電能供給較小，恐遭輿論批評，目前我國水資源回收中心風力發電較未普及。期待透過後續國外文獻蒐集後，便隨我國風力發電技術成熟後，找尋合適發展條件之廠址進行評估。

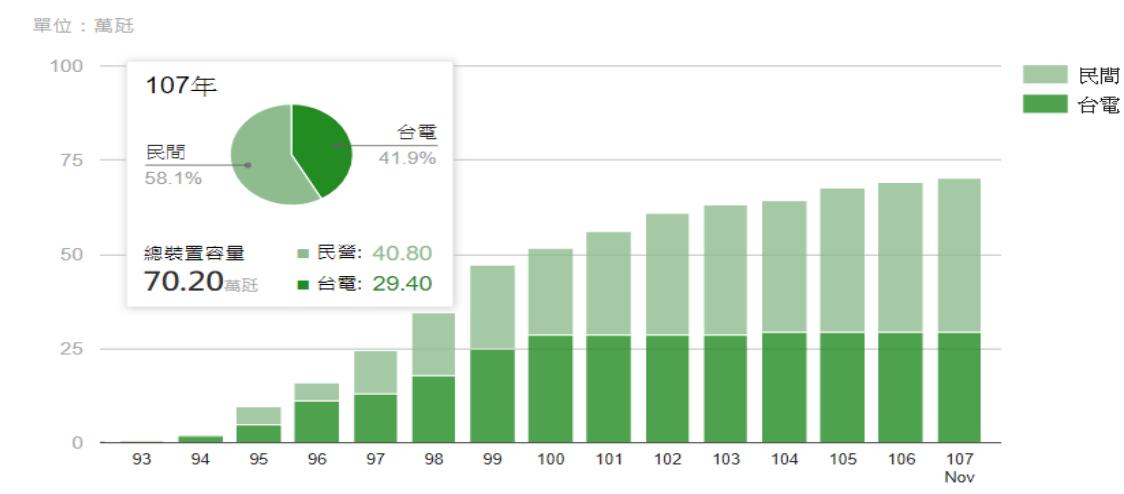
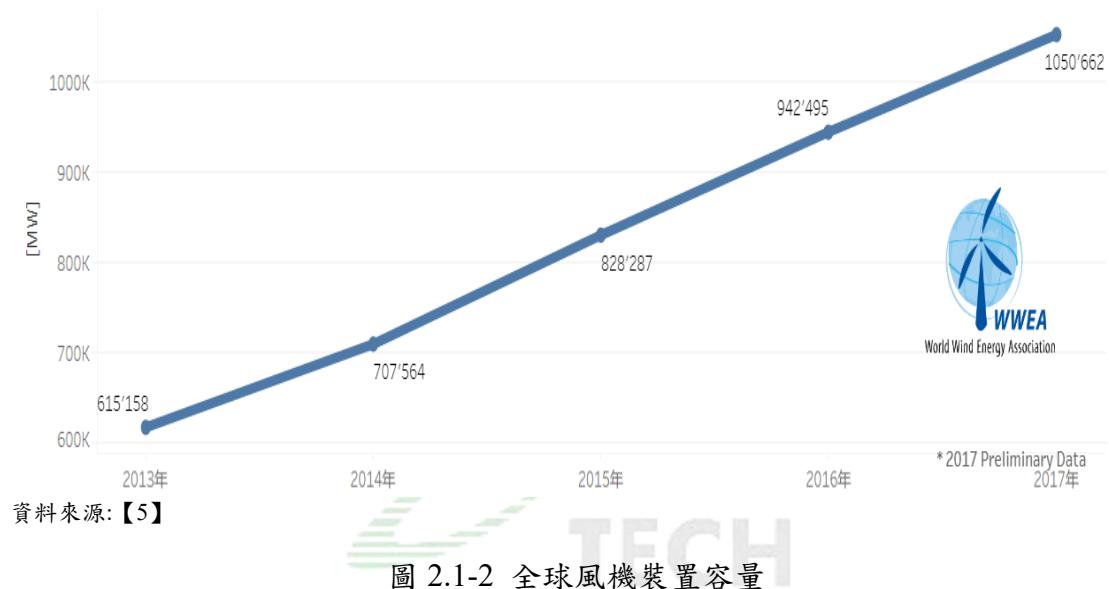


圖 2.1-3 臺灣歷年風力發電量

二、太陽能應用現況

根據世界能源協會(WEC)統計至 2013 年第二季之資料顯示，如圖 2.1-4 所示，矽晶太陽能光電成本與 2009 年相比已降至一半【7】，相較過去，已非常適合量產，我國許多水資源回收中心常於屋頂及空地設置太陽能板以落實綠能發電及節能減碳之願景，台中市終年陽光普照，更是非常適合發展太陽能發電，配合 2016 年台中市政府放寬建築法令標準，另增設「臺中市建築物設置太陽光電發電設備辦法」將屋頂設置太陽能板免記容積【8】，間接造就福田及石岡壩水資源回收中心於 2017 年三月完成屋頂型太陽能發電系統，於餘裕空間設置近 4,000 片太陽能板，此系統年發電量可達 150 萬度，約占兩座水資源回收中心年度總用電量之 20%，年減碳量約 800 噸，並期許透過公家單位做為領頭羊，帶領符合條件之建物可配合加裝此系統，完全落實綠色能源政策，並有效改善空氣品質【9】。

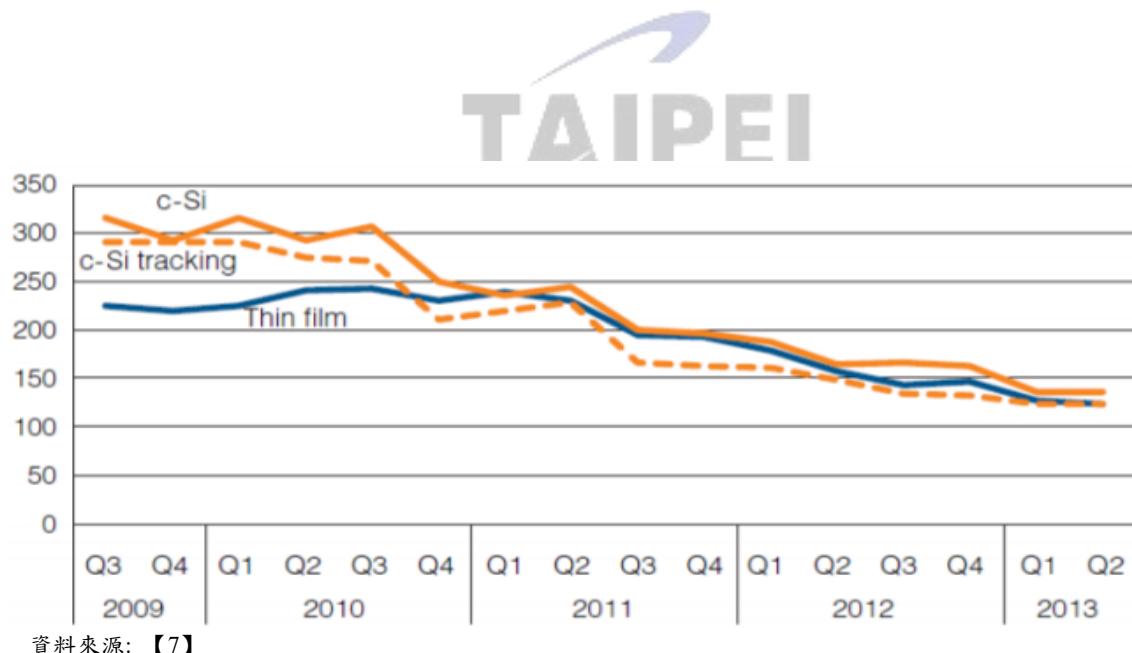
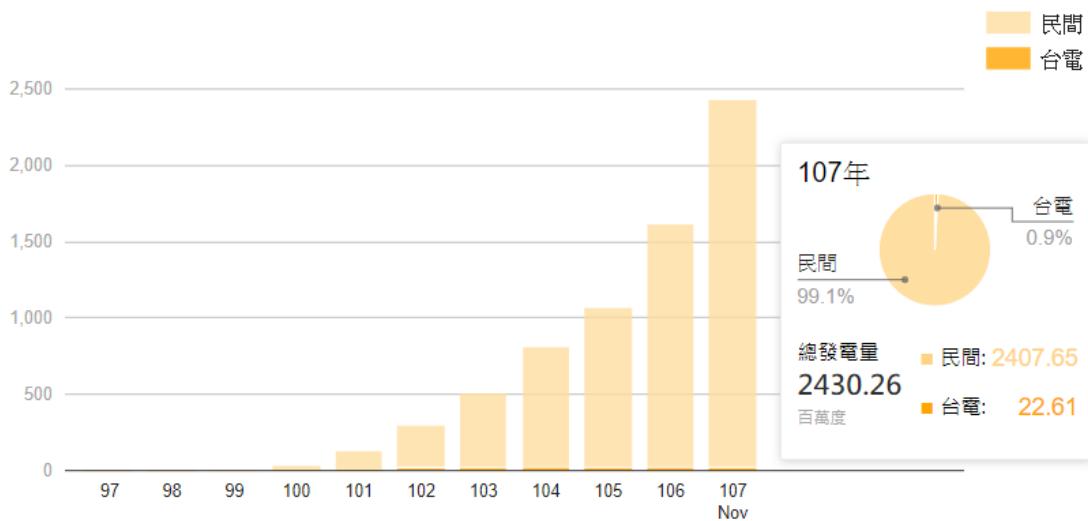


圖 2.1-4 近年已開發市場太陽能光電成本趨勢

單位：百萬度



資料來源:【2】

圖 2.1-5 臺灣歷年太陽光電發電量

三、生質能應用現況

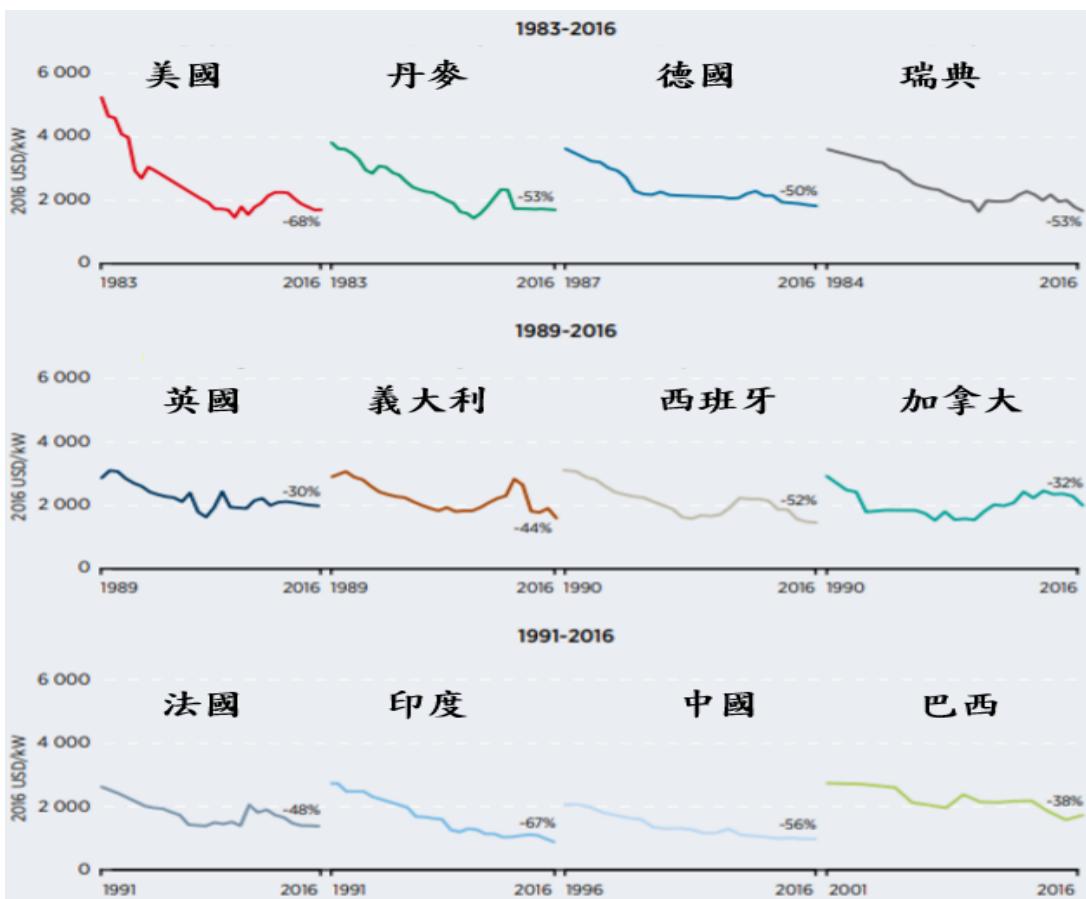
生質能泛指利用有機物製成燃料或工業原料之碳循環技術，水資源回收中心主要利用污泥厭氧消化後產生之沼氣產能，利用厭氧消化技術儼然成為世界趨勢，然而目前我國僅有少數水資源回收中心有再利用，其中以迪化污水處理廠較具規模，迪化廠每日廢棄活性污泥約 $13,000\text{ m}^3$ ，可產生 $20,000\text{ m}^3/\text{d}$ 之生質瓦斯，其中甲烷占 64%【10】。近年我國生質能電力供給比例較無提升，然而 2019 年初，為了因應非洲豬瘟，廚餘去化成燙手山芋，為解決此問題並順應世界趨勢，高雄市環保局與業者合作，可望打造全國首座結合再生水、污泥處理之生質能源廠，目前高雄鳳山水資源回收中心上有兩座厭氧消化槽未使用，可直接提供並期望每日可處理約 200 噸之廚餘，並可望提升【11】。

2.1.2 國外再生能源應用參考

目前我國再生能源使用率不及 10 %【4】，本研究期望能提高水資源回收中心能源自給率並做為其他公共設施及民間機構之領頭羊，藉由參考於水資源回收中心已有豐富經驗之先進國家，參酌我國人文氣候及法令等條件，將我國未來可實施或值得參考之技術或管理制度進行研析，並依我國水資源回收中心較有開發潛力之再生能源：風力、太陽能及生質能進行分類探討。

一、國外風能應用參考

我國屬於海島國家，擁有龐大風力資源可以利用，且因地狹人稠之關係，我國許多水資中心座落於臨海地區，風力發電勢必成為廠內能源自給之關鍵，根據【12】統計，全球陸域風力發電安裝成本大幅降低如圖 2.1-6 所示，於 1983 至 2016 年間，美國陸域發電成本以降至原先之 68 %，為全球調幅最明顯之國家，美國陸域發電均化成本已低於 2,000 美元/千瓦，非常適合建置風力電廠，且美國政府非常重視再生能源開發，研究各處可發展再生能源之可能，因而造就美國紐澤西州 ACUA 水資源回收中心開發風力電廠，該水資中心位處臨海地區，擁有許多天然資源可以利用，在天時地利人和皆具備之情況下，藉由企業投資下，打造全紐澤西州第一座風力電廠，共建造 5 組 7.5 MW 之風力發電機，其產生之能源足以提供約 2,500 個家庭使用，從 2005 年啟用至 2018 年已為該水資源回收中心節省約 5.6 百萬美金之能源消耗，並減少超過 45,000 噸之 CO₂ 之生成【13】，在成本持續降低之情況下，未來在更新舊有機組及增加發電規模將提升更大的誘因，值得我國臨海地區之水資源回中參考。



資料來源:【12】、【本研究自行彙整】

圖 2.1-6 各國陸域發電成本曲線

二、國外太陽能應用參考

從 2010 年至今，隨建置原料普及與設置技術成熟，太陽能發電之單位發電成本以降至原先的 73 %，全球太陽能總裝載容量提升幅度甚大如圖 2.1-7 所示，且 2017 年太陽能之安裝量以超過化石燃料及核能淨新增量之和，【14】可知太陽能蔚為全球再生能源發電之重要關鍵，然而我國太陽能使用有相當大的進步空間，本研究參考澳洲漢米爾頓及南韓首爾地區水資源回收中心太陽能利用現況。

澳洲漢米爾頓水資源回收中心藉民間水務公司協助下，於處理設施頂端安裝了一個 100 kw 之大型太陽能系統，此系統在風光明媚的天氣下足以使該廠 100 % 能源自足，使得該廠對於電網需求減少 25 %，每年更可使 CO₂ 減少 150 噸之排放，若能使此系統受到其他水資中心之重視，可使澳洲 2050 年零排放之計畫得以實現，此創新思維不僅為廠內節省成本，更可為環境及周遭住戶帶來多重利益【15】。

南韓首爾位處中高緯度地區，日照時間相對我國還低，然而南韓政府以政策配合水資源回收中心之空間，使得南韓水資源回收中心能源自給率大幅提升，如下表 2.1-1 所示，比較 2011 年及 2015 年能源自給率之情況，過去首爾水資源回收中心僅以廠內消化氣體產生能源，故能源自給率僅有 25 %，2015 年間各廠能源消耗量因處理設施增設有小幅提升，而隨各單位循環經濟之觀念提升，各廠除了將廠內消化氣體及廢熱進行利用外，更藉於民間企業投資約 46.6 百萬美金，以不影響廠內運作之情況下於設施屋頂增設約 10,770 kw 之太陽能板如圖 2.1-8 所示，使得首爾市區內四座水資源回收中心之總能源自給率提升至 50 %【16】，非常值得我國水資源回收中心參考。

表 2.1-1 南韓首爾四座水資中心能源概況

年度	2011	2015
能源自給率	25 %	50 %
能源耗損量	129,842 TOE/Year	140,436 TOE/Year
能源產生量	39,079 TOE/Year	80,626 TOE/Year

資料來源:【16】、【本研究自行彙整】

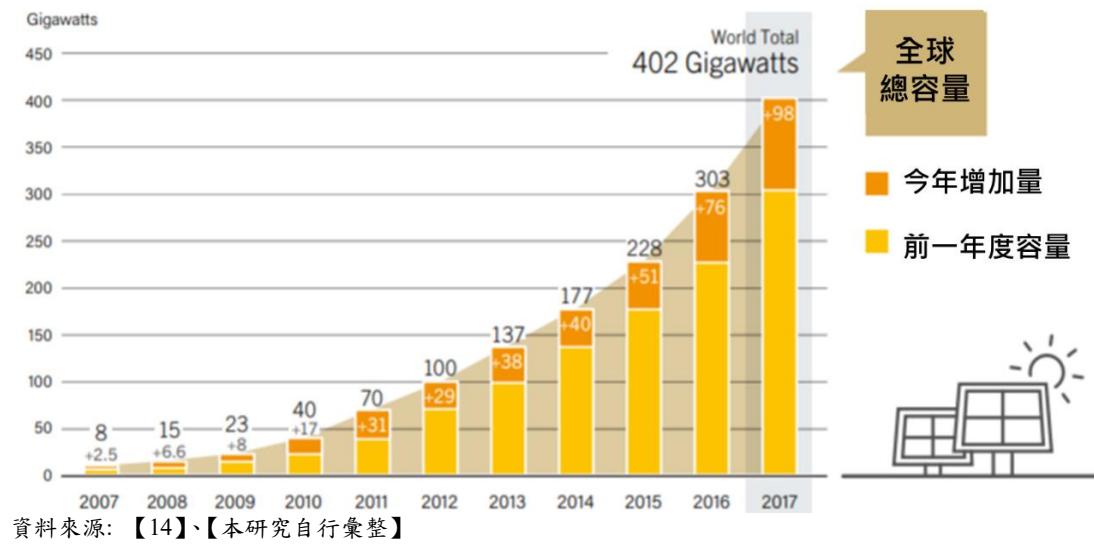


圖 2.1-7 全國太陽能容量趨勢



資料來源：【16】

圖 2.1-8 首爾 Seonam 太陽能設置情形

三、國外生質能應用參考

厭氧消化在污水處理中屬於成熟且常用的一種技術，在厭氧消化期間，微生物會分解污泥中有機物質並且將其轉化為沼氣，進而用於發電及供熱，因此生質能可謂水資源回收中心最容易取得及使用之再生能源。

本小節調查國外生質能利用現況，據 IEA Bioenergy Task 37 調查會員國消化瓦斯使用現況如表 2.1-2 所示，由表可知，消化瓦斯在水資中心之產生量約為 25%，在人口日益增長的情況下，能源需求將會越來越攀升，水資中心未來將扮演非常重要的角色【17】。

表 2.1-2 各國消化瓦斯產量

國家	消化瓦斯產生量	水資中心 消化瓦斯產生量	
	GWh/year	GWh/year	%
巴西	613	42	7
丹麥	1,218	250	21
芬蘭	567	126	22
法國	1,273	97	8
德國	41,550	3,050	7
挪威	500	164	33
南韓	2,578	969	38
瑞典	1,686	672	40
瑞士	1,129	550	49
荷蘭	3,631	711	20
英國	6,637	761	11

資料來源:【17】、【本研究自行彙整】

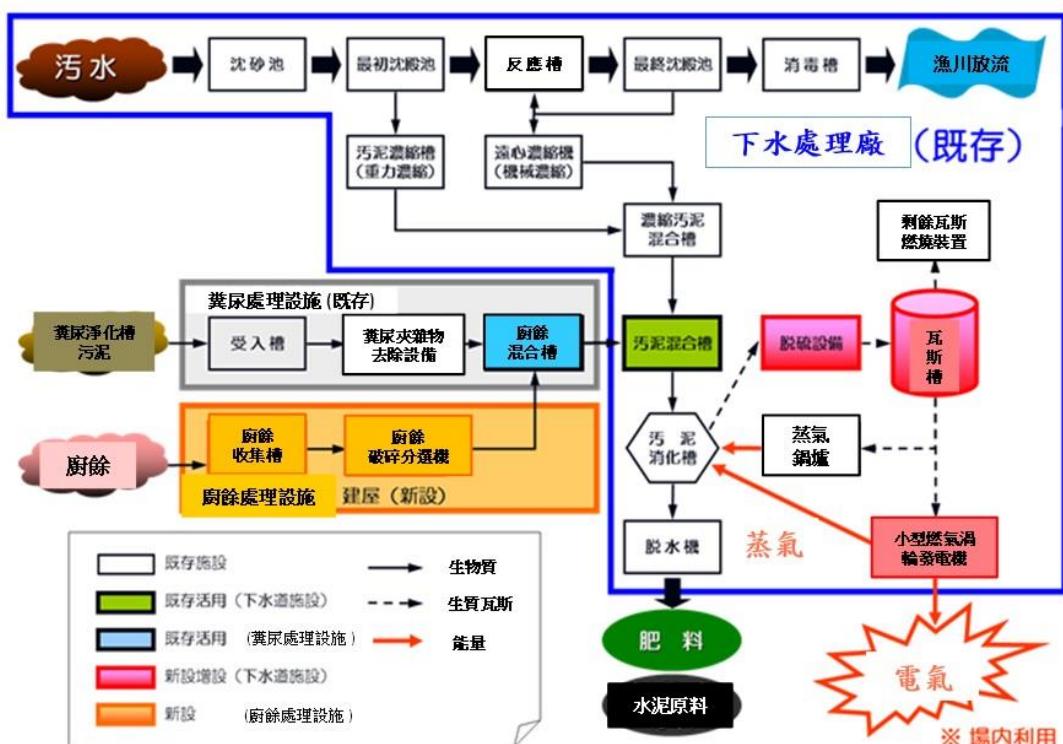
以會員國內與我國地理位置及風土民情較相似的南韓作為研究對象，據南韓政府統計，全南韓有 39 座水資中心污水處理量超過 100,000 CMD，因此有非常大之潛力可以發展生質能，有鑑於此，南韓政府近年來致力於提升消化瓦斯品質以便後續再利用管道多元化，特別引進瑞典消化瓦斯水洗技術(water scrubbing)，將消化瓦斯內硫化氫吸收，使得甲烷體積百分濃度由原先不超過 70 %，透過此技術已可超過 95 %，瑞典也因此技術獲得一穩定之燃料【18】，2017 年瑞典汽車所使用之天然氣已有 80 % 是來自生物甲烷，當地政府並期許於 2030 年地面交通工具將不會使用石油，此能源自給之案例值得我國參考【19】。

根據日本發表「下水道ビジョン 2100」，將水再生中心能夠資源自給自足做為主要目標，並期望以沼氣發電、廚餘及廢木材等生質發電以平衡水再生中心之高耗能，如下表 2.1-3 所示【20】，若以 50,000 CMD 之水再生中心為例，搭配標準活性污泥法及現有技術進行假設，可研析出一中小型水資源回收中心之沼氣產生占廠內自給率重要的角色，以北海道惠庭水資源回收中心為例，過去因污水處理量較低，使得厭氧消化槽使用效率不彰，此外為延長衛生掩埋場之壽命，惠庭市嚴格針對廚餘及屎尿進行回收，並與水資中心內污泥共同處理，提升生質瓦斯之產量如圖 2.1-9 所示【3】，並將其用來維持廠內溫度及作為廠內補助電力之使用，不僅提供再生能源來增加能源自給率，更能活用廠內既有之設施並降低相關設備之維護成本。

表 2.1-3 日本示範廠之再生能源供給量

再生能源項目	供給量(kWh/day)	占比(%)
消化瓦斯	6,600	39.61
太陽能及風能	5,396	32.39
廚餘及廢木材	4,620	27.73
合計	16,661	

資料來源:【20】



資料來源:【3】

圖 2.1-9 惠庭市水資中心共消化之流程

2.1.3 能源自給率提升作為

為使水資源回收中心可達到完全能源自給，在參考上節國外再生能源技術後，可得知若需提升水資中心能源自給率，不僅是提升循環經濟思維及引進創新技術，擁有得天獨厚的廠址位置並配合有利的政府政策將會是重要關鍵，然而廠內可獲取的能源必然有限，如何在不影響再生水水質之情況下減少能耗，也成為提高能源自給率之重要因素，本小節彙整國外節能措施，期望可舒緩探索新興再生能源之壓力。

若要找尋某一水資中心最適節能對策，需先對該廠進行評估，參考美國針對科羅納多 Crested Butte 水資中心之評估，先調查進流水流量在不同季節及每日峰值與谷值，以為該地區打造量身訂做的運行策略，再整理污水處理設備基本資料如表 2.1-4 所示，據統計結果，該廠用電量最大之設施為機械曝氣機，建議可從該設施作為節能重點，應會有較大之成效【21】。



表 2.1-4 運轉設備之基本概要

設備	數量	馬力 (hp)	運轉時間	控制
機械曝氣機	1	75	連續性運轉	(1) 可手動調整 (2) 變頻器
離心分離機	1	40	10-20 小時/周	(1) 變頻器 (2) 定速
進流幫浦 (1 號)	1	4.7	連續性運轉	(1) 變頻器 (2) 速度取決於流量
進流幫浦 (2.3 號)	2	17.5	2 號:連續性 3 號:備用	(1) 變頻器 (2) 速度取決於流量
鼓風機	3	15	間歇性運轉	定速
混合器	3	4	連續性運轉	定速
UV 系統	2 池	7.3kW	連續性運轉	固定兩池

資料來源:【21】、【本研究自行彙整】

經流量調查後，因流量差別將一年分成三季，低馬力的幫浦可以用在流量較低的時期，避免過多的耗電，此外，因廠內管線老舊，建議可適當更換管線，此舉可減少單位處理水之能耗，進流水在進入該廠後會直接進入用來去除 BOD 及氨氮之氧化渠，並藉由運轉 1 台 75hp 之曝氣機獲取氧氣，然而經過調查後，氧化渠內側得之溶氧量與其他數據一致，主要原因可能出自於曝氣機有到了汰換壽命，使得效率不彰，建議更換更節能的設備，並導入監控設備提高自動化運作之可能，目前該廠最大流量為設計流量一半，而 UV 消毒系統卻已達到設計流量規模，可考慮先使用一池來節能，其他設備建議截能作為如表 2.1-5 所示【21】，由調查到最後各設施節能作為非常值得我國參考。

表 2.1-5 各處理流程節能建議

處理流程	建議	節能效率 (kwh-%-\$/year)
進流幫浦	(1) 滴流量階段使用 1 號幫浦 (2) 進行防漏工程 (3) 供換高效幫浦	(1) 4,300-10 %-\$150 (2) 14,000-35 %-\$550 (3) 8,700-20 %-\$350
氧化渠	(1) 曝氣槽開啟時，關閉混合器 (2) 取代容氧檢測器 (3) 將新的檢測器導入自動化監控及數據蒐集系統	(1) 45,900-90 %-\$1,750 (2) 19,800-10 %-\$750 (3) 123,000-40%-\$4,700
UV 消毒	停用一座 UV 消毒系統	32,000-50 %-\$1,200
污泥處理	將污泥直接從污泥濃縮池輸送至離心機	23,500-100 %-\$1,000

資料來源:【21】、【本研究自行彙整】

2.2 資源回收發展及應用

隨自然資源開採不易的情況之下，開發再生資源已成為現今趨勢，我國資源多為國外進口為主，在資源匱乏的背景下，購買成本勢必提升，而進口原料部分可從水資中心獲得，若提升我國資源循環技術後，將可不必任由開採國哄抬價格，變相降低獲取原料的支出；本章節依序蒐集國外新興循環技術發展，並瞭解國外資源及水資源再利用現況及管道，以供本研究後續參考。

2.2.1 循環技術發展

本小節就水資中心污水處理後所產生之各項資源循環技術發展概況，將依序探討國外污泥再利用、氮磷與稀有資源回收及再生水再利用管道，並研析其成功因素。

一、污泥再利用

目前我國污泥再利用多以製磚及水泥原料為主，然而目前我國再利用管道趨近飽和，如何使污泥從原先被定義為廢棄物，經過各項技術發展後，從中獲得經濟效益，成為高經濟價值之產品，並解決污泥去化問題是我國重要議題之一，故本研究蒐集日本水資源回收中心目前污泥再利用創新技術，為了找尋我國污泥再利用之最佳機會，本研究彙整如表 2.2-1 所示，整理之廠域包括宮城縣南淨化中心、日本秋田臨海處理中心及愛知縣豐橋水再生中心，整理各廠技術後可得知日本目前污泥多以降低含水率為主要目標，主要包含污泥碳化、污泥乾燥造粒、高效率固液分離及污泥共消化後脫水製成燃料以提供多元再利用管道，詳細敘述如下：

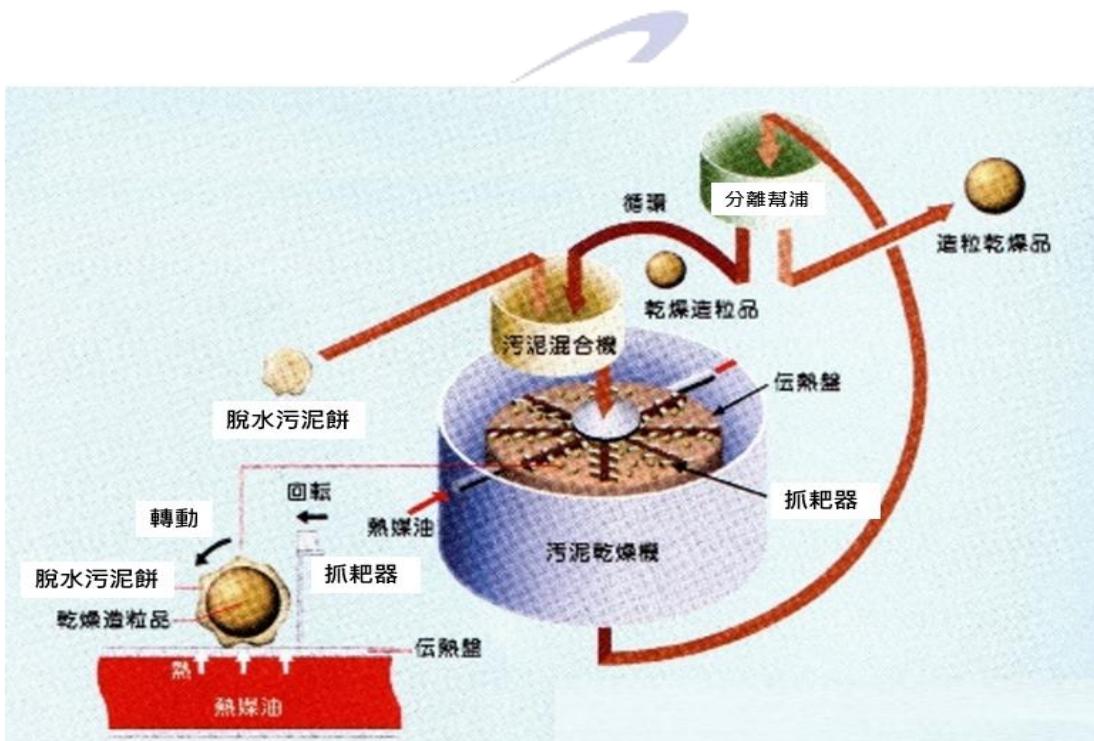
表 2.2-1 日本污泥再利用技術現況

廠域	亮點技術	技術特點	效益
宮城縣南淨化中心	間接加熱式污泥乾燥造粒裝置	已特殊比例調配後採乾燥造粒	乾燥污泥具高熱值 低含水率，屬高效燃料
秋田臨海處理中心	超高效率固液分離	利用軸滑動式螺旋壓榨脫水機	將殘渣與污泥同時脫水，省去預處理步驟
愛知縣豐橋生質能利用中心	污泥糞尿共消化後碳化	將發酵污泥脫水除臭後碳化加工	利用該技術月產約 60 萬 kWh，碳化燃料 300 噸

資料來源：【22】、【本研究自行彙整】

1. 日本宮城縣南淨化中心

日本宮城縣南淨化中心為 311 大地震重災戶地區，雖面臨地震及海嘯摧殘導致廠區滿目瘡痍，然後這並沒有將當地居民擊潰，在廠方與日立造船合作之下，短時間內不僅恢復原本運作規模，甚至改良新設備，並藉由特殊比例混合脫水污泥及乾燥污泥，加強污泥乾燥能力，該成品符合日本工業規格，可做為替代燃料，該廠以每噸 10 日圓低價售出提供鄰近廠商使用已降低工業對環境之負荷而厭氧消化後之消化瓦斯因該廠需要將污泥含水率降至 10 % 以下需要大量能源【23】，故消化瓦斯提供廠內使用來減少重油使用，廠內自行利用可減少瓦斯運送管線開挖與維護及其他燃料大量使用的昂貴成本，可謂開源節流之利益，縣南淨化中心不僅將廢棄物妥善利用，更提供完善能源及資源循環鏈結，符合能資源整合之理念，該裝置流程如圖 2.2-1 所示。



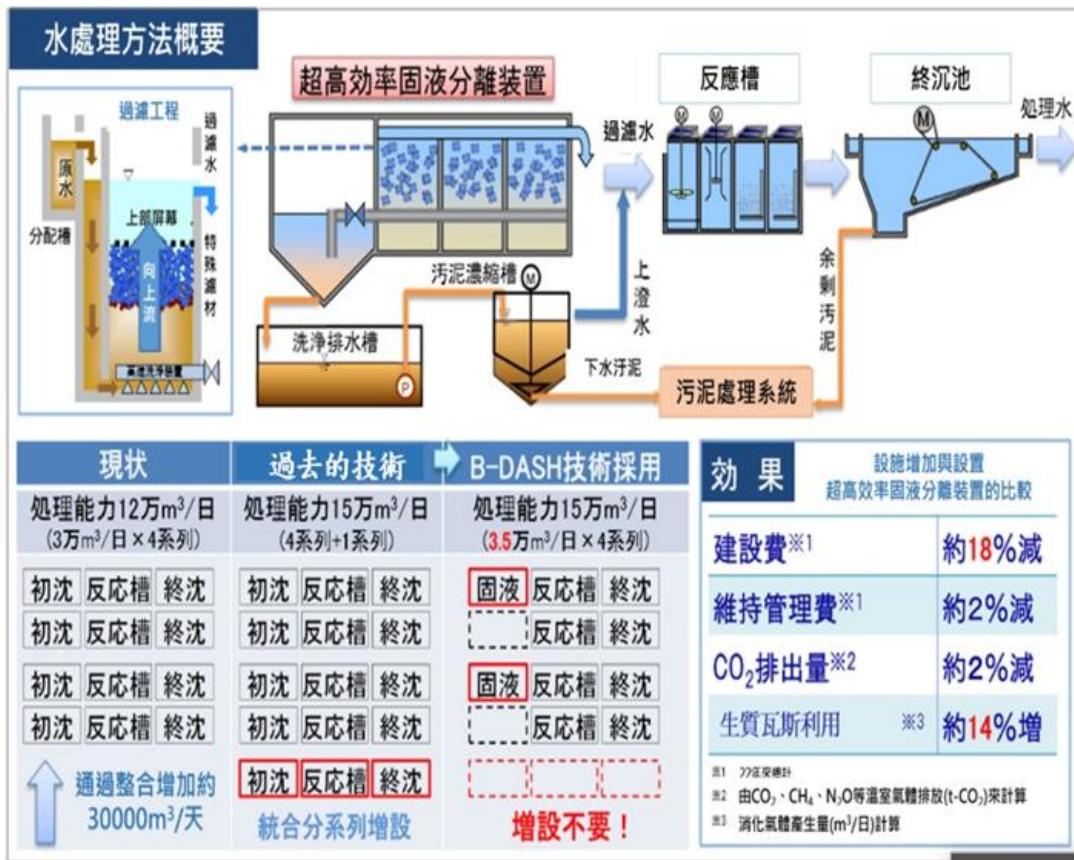
資料來源: 【22】、【23】

圖 2.2-1 宮城縣縣南中心乾燥裝置

2. 日本秋田市臨海處理中心

秋田臨海處理中心鄰近污泥再生中心，近年來因污水處理量降低，若單處理一廠之污水可能不符合經濟效益，因此該政府規劃以臨海處理中心為中心將鄰近水資源回收中心進行整合，透過縣府統一委託外包廠商可提升處理效率及降低維護管理成本，預估該管理方式可使未來 50 年內節省 120 億日圓，該廠在導入 B-DASH 計畫內固液分離之設備與技術後，可降低生物處理程序處理負荷，再將污泥送往污泥再生處理中心，利用脫水設備生產污泥餅，提供附近造紙廠做為燃料或是肥料使用【24】。

該超高效固液分離裝置概要如圖 2.2-2 所示，此裝置可取代過去初沉池之用途，未來該廠因應整合將增加 30,000 CMD，因該裝置污水處理能力可達 35,000 CMD，在搭配軸滑動式螺旋壓榨脫水機可將渣與固體物同時脫水去除，省略前處理之步驟使該廠可不必增加廠區面積的情況下達到最佳化之利用，我國因人口密度甚高，因此土地寸土寸金，如何以最小土地面積完成最大化污水處理是我國關鍵議題之一，因此該處理設施值得我國效仿。

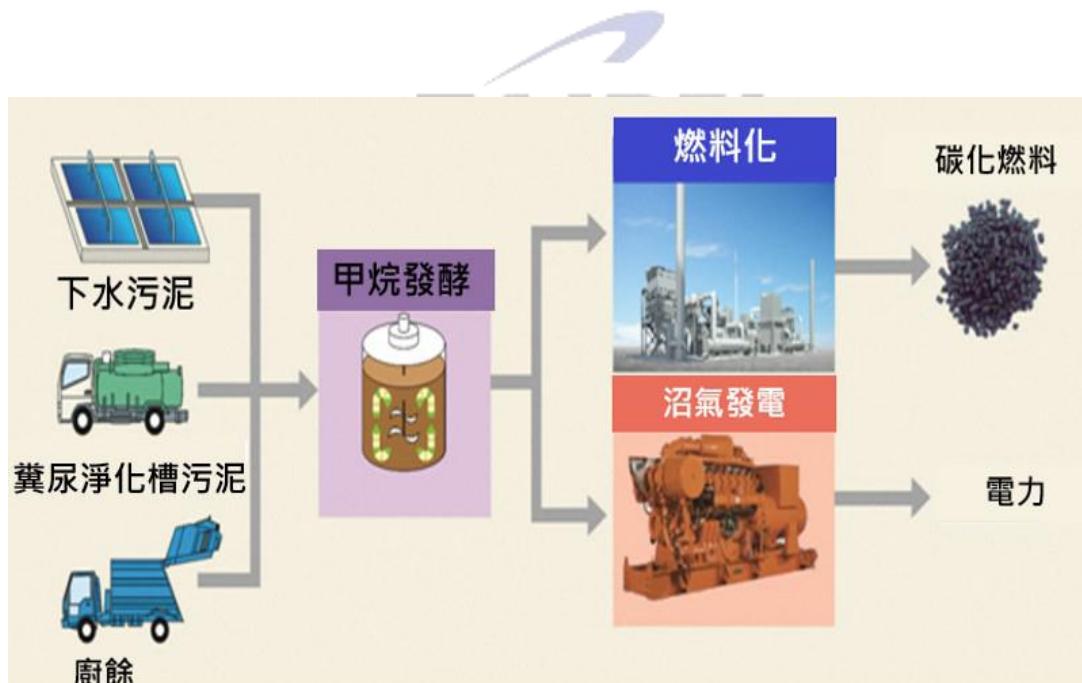


資料來源:【22】、【24】

TAIPEI
TECH
圖 2.2-2 高效率固液分離裝置概要

3. 日本愛知縣豐橋生質能利用中心

豐橋生質能利用中心為日本最大生質能發電廠，該廠利用污泥處理所得到之消化瓦斯產電與空地建置太陽能板後，藉由公有民營企業以固定價格進行買賣，豐橋生質能利用中心以共消化聞名，其消化流程如圖 2.2-3 所示，每日可處理污泥約 472 m^3 及廚餘 59 噸進行甲烷發酵後成為生質能，搭配太陽能發電每日共有 3 MW 之電力產生，每年可販售電量達 680 萬度，換算成家戶用電可供 1,890 家戶一年用電量，其消化後產物經由加工碳化後可做為燃料供廠內及鄰近工業區使用，可實現廢棄物完全再利用，該廠為政府、民間企業及廠方三方合作中非常成功之案例，不僅將許多過去因去化問題苦惱的廢棄物找到合適的管道，且可獲得再生能源及資源使用，在計畫實施後每年更可減碳 4,455 噸【24】，我國可利用共消化達到資源再利用且完成政府期許能於 2025 年減碳 10 % 之願景，可謂一石二鳥。



資料來源: 【22】、【24】

圖 2.2-3 共消化流程及產物

2.2.2 氮及磷資源回收

氮及磷是植物生長及食品加工不可或缺的重要元素，我國磷資源目前完全仰賴進口【25】，然而磷資源因掌握在少數國家，故有任意哄抬價格之可能，因此價格起伏不定，與我國一樣屬於農業出口大國之荷蘭，氮及磷資源需求極大且皆需仰賴進口，荷蘭政府嚴格把關稀有資源足跡，分析出污水處理過程中氮磷資源有極大潛能進行回收，荷蘭阿姆斯特丹西部污水處理廠在資源再利用方面已做得非常突出，廠內已符合荷蘭政府一項名為“*The Energy and Raw Materials Factory*”計畫內所提到工廠內需積極設計生產沼氣及磷與纖維素回收設備與管理制度，而氮回收並不屬於計畫內之要求，該廠仍積極投入，並以不影響上述資源回收為重要依歸，圖 2.2-4 為荷蘭阿姆斯特丹西部污水處理廠針對廠內氮足跡之評估，並引進如鳥糞石沉澱、氣提法及尿液處理等管理制度與技術，不僅可回收廠內氮氣，更不會對於原先廠內已進行之沼氣生產、磷及纖維素回收產生影響，其主要原因為上述技術作用位置與原先技術不重疊，部分技術如鳥糞石回收更可同時回收氮及磷，圖 2.2-5 為該廠針對氮回收之最佳化路徑，可得知單獨蒐集尿素並處理是非常可行之選擇，氮需要全新的廢水收集系統及處理設施，並同時新增其他氮回收技術，可大幅提升永續發展潛能【26】。

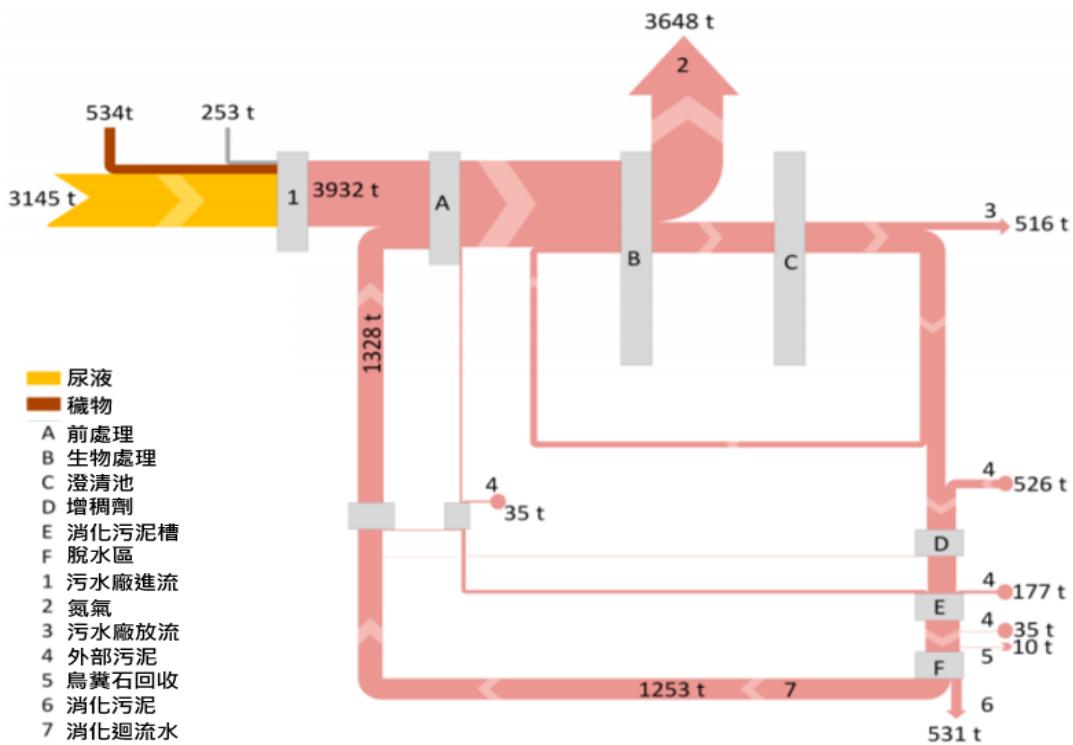
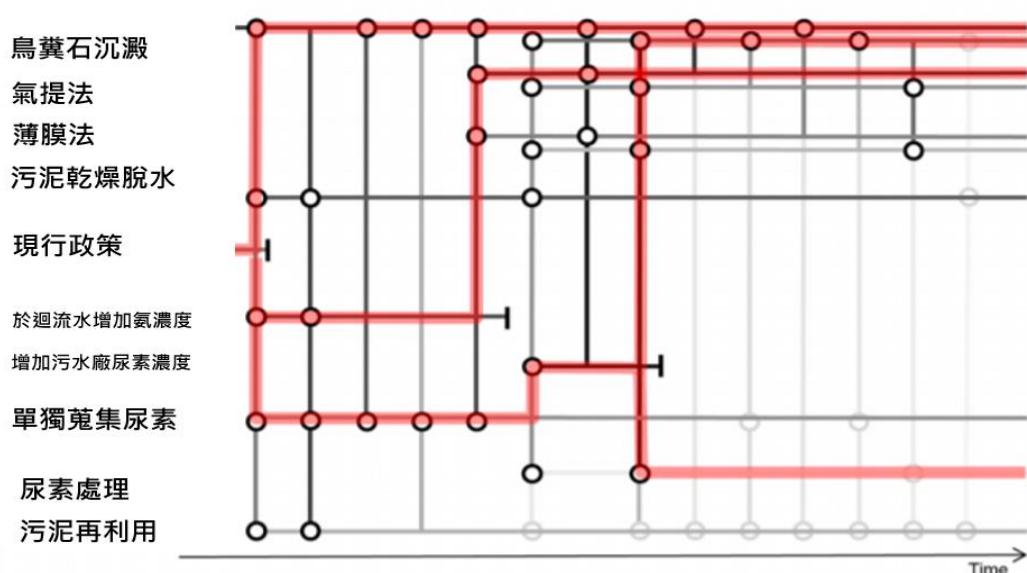


圖 2.2-4 阿姆斯特丹西部處理廠氮足跡



資料來源:【26】、【本研究自行彙整】

圖 2.2-5 阿姆斯特丹西部處理廠氮回收最佳化路徑

2.2.3 再生水再利用現況

我國水處理技術成熟，再生水水質與其他國家類似並符合放流水標準，再生水回收再利用之管道仍具高度開發潛力，期盼成為我國推動主軸，本研究彙整我國再生水利用現況及新加坡 NEWATER 成功因素。

1.我國再生水利用現況

為增加我國再生水使用量，內政部營建署積極推動公共污水處理廠放流水回收再利用，經調查現有處理廠現況及潛在使用者評估後，訂定六座公共污水處理廠作為示範推動如下表 2.2-2 所示，其中高雄鳳山水資源回收中心已啟用，獨具承先啟後之意義【27】。

鳳山水資源回收中心為我國第一座再生水廠，於 2018 年九月通水，每日可供應約 25,000 噸再生水提供高雄臨海工業區使用【28】，該廠完工使得我國加入全球再生水運行的行列，期望該廠成為我國先例後，再生水使用之通路也可如雨後春筍般普及，高雄市未來污水處理設施將增設再生水廠並期望四年內可提供每日 145,000 噸之再生水給予產業使用，相當於該工業區使用量的一半，使得民生用水可更加充分無虞【29】。

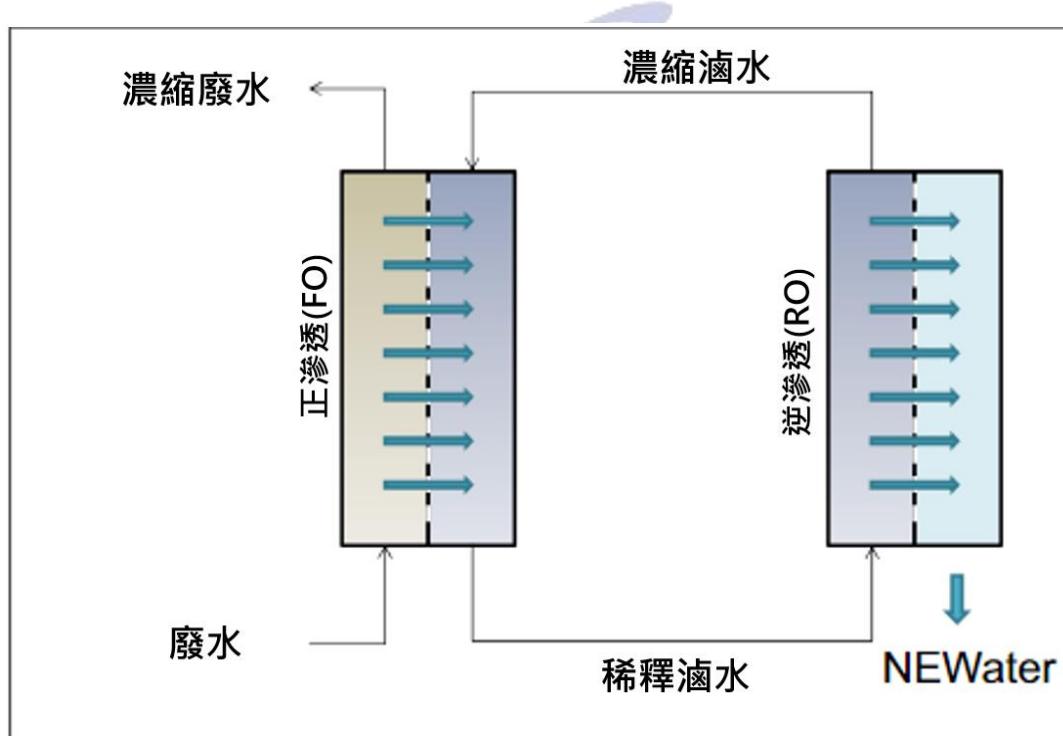
表 2.2-2 水資中心再生水計畫水量及標的

廠址	計畫再生水量 (CMD)	供水標的
福田水資源回收中心	130,000	台中港工業專區
安平水資源回收中心	60,000	南部科學工業園區
鳳山水資源回收中心	45,000	臨海工業區
豐原水資源回收中心	20,000	中部科學工業園區
永康水資源回收中心	15,000	南部科學工業園區
臨海水資源回收中心	10,000	臨海工業區

資料來源：【27】【本研究自行彙整】

2. 新加坡 NEWATER 成功因素

新加坡因人口密度及經濟發展高的情況下，必須與馬來西亞購水，早於 1960 年代新馬兩國便簽訂長達 99 年之購水協議【30】，目前新加坡逾 60 % 用水皆由馬來西亞運送【31】，為避免對於鄰國之過度依賴，新加坡政府不安逸於現況，積極投入再生水發展，期望 2060 年時合約結束後，NEWATER 供水可占總體約 55 %，為了提高 NEWATER 水質以取得民眾信任，各新生水廠之原水皆為污水處理廠經二級處理後之放流水，且該污水處理廠所處理之原水必須有 90 % 以上為生活污水，在進入新生水廠後，將透過 MF 及 RO 等薄膜處理程序，最後在以 UV 殺菌以達到國際飲用水質標準，為降低水處理單位能耗，新生水使用 FO 結合 RO 的設計如下圖 2.2-6 所示，透過 FO 可以自然滲透壓作用，提供高濃度提取液至逆滲透系統，藉此減少能耗【32】【33】。



資料來源: 【32】【本研究自行彙整】

圖 2.2-6 新加坡利用 FO-RO 結合產新生水

2.3 能資源整合技術推動現況

本研究藉調查國內能源及資源整合現況，並蒐集國外整合技術期望可提供我國規劃能資源整合鏈結系統，藉此以最低環境衝擊及負荷下，來創造水資源回收中心最大效益。

2.3.1 國內能資源整合現況

我國水資源回收中心目前多與焚化廠進行單向線性鏈結，故循環經濟之理念較無法彰顯，建議水資中心可配合政府規劃及各類企業支持，打造資源循環及能源再生之多面向循環工業區，本研究探討高雄臨海工業區及台中工業區發展現況。

一、高雄臨海工業區

高雄臨海工業區內鋼鐵及石化工廠等高耗能產業林立，中鋼公司善盡社會責任及循環經濟理念，持續配合工業局「工業區能資源整合推動計畫」，擴大臨海工業區各產業能資源再利用鏈結並期望可成為最佳生態化工業區如下圖 2.3-1 所示，根據統計，該工業區能資源鏈結量可達每年 200 萬噸，節省燃料油耗每年 12.1 萬公秉，CO₂ 排放量每年減少 36.2 萬噸，其中工業區內水資源回收中心扮演區域用水供需之重要角色，在廢水處理方面為 55,000 CMD 並可提供 33,000 CMD 再生水供應工業區工廠作為冷卻水使用，廠內污泥依規定含水量需低於 40 %【34】，以利後續可規劃為輔助燃料給其他廠商，減少天然氣等熱能燃料使用，並期待未來各企業可針對廢水、廢氣及廢料可進一步媒合，在不影響產業量能之情況下，尋找能資源整合應用之機會。



資料來源:【34】

圖 2.3-1 臨海工業區能資源整合利用

二、台中工業區

台中工業區佔地為 580 公頃，為台中市區最大工業區，目前台中工業區生產中廠商共千餘家並已接近完全納管，目前該工業區已完成包括含銅汙泥、廢溶劑及蒸氣等能資源整合實質鏈結，其連結量達 6.1 萬噸，台中工業區污水處理廠進流水量約 16,800 CMD，為提供良好再生水質，台中工業區於下水道系統設置自動水質水量連續監測傳輸設施，將數據即時傳送至環保中心，並實施計畫強制工業廠商依比例使用再生水進入製程，污泥部分該廠改良廠內污泥曬乾床，以 PU 做濾床搭配重力及日曬風乾與傳統相比可解決濾水阻塞及污泥清除困難等問題，脫水效率以處理每 100 噸污泥計算，PU 濾床比傳統濾床多去除 25 噸水，實質清運量可減少 62.5%，該工業區將持續推動污水廠污泥用於廠區內其他產業使用，提高能資源整合鏈結【35】。

2.3.2 國外整合技術

目前我國水資源回收中心僅有脫水污泥送至焚化廠之單向鏈結，本章節將探討國外能資源整合技術，如新加坡結合再生水廠與廢棄物處理廠之區域性能資源整合及弘前市智慧城市概念。

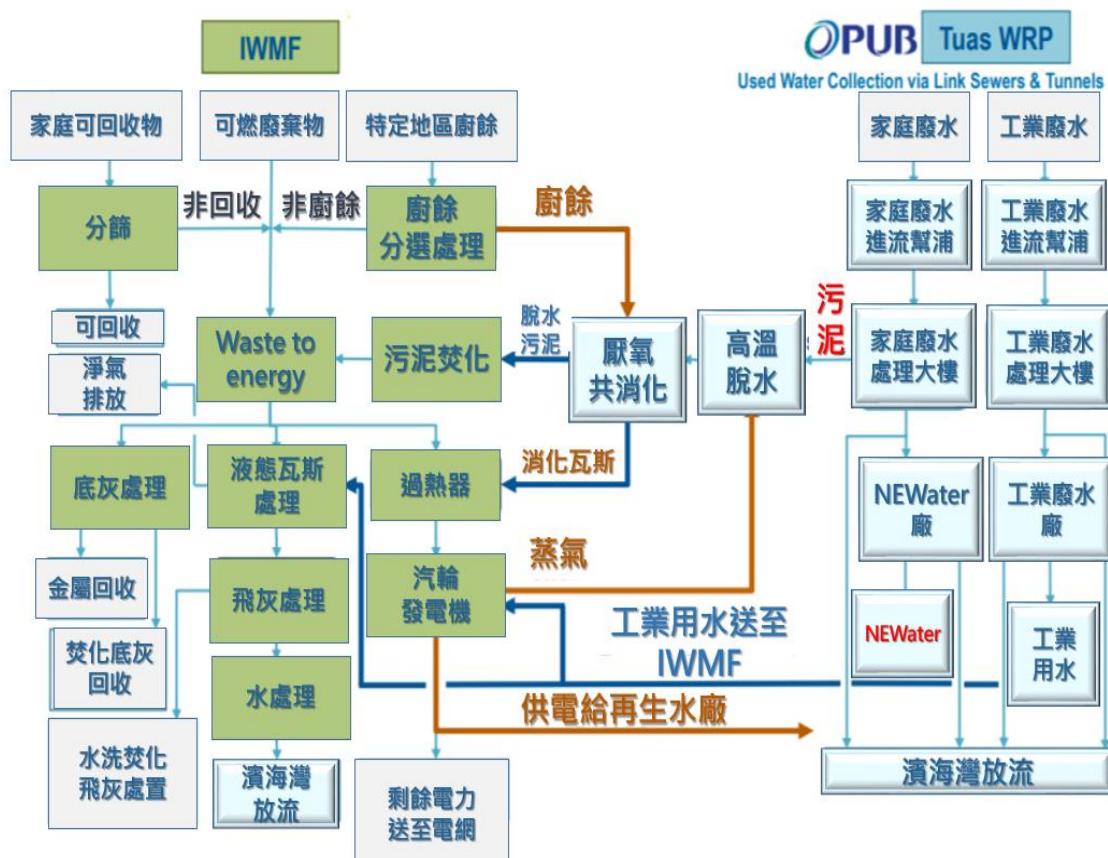
一、新加坡區域能資源整合案例

新加坡西部地區計畫結合既有再生水廠(Tuas WRP)以區域能資源整合概念打造一座全方位廢棄物處理廠(IWMF)，預計可處理可燃廢棄物 5,800 噸、家庭回收物 250 噸、脫水污泥 800 噸及廚餘 400 噸【36】，相關設施配置如圖 2.3-2 所示，設計目標包含最大化能資源回收、最佳化土地利用、最適化區域性整合及最小化環境衝擊，如下圖 2.3-3 所示，再生水廠依照放流水來源做區分，工業廢水經處理後回到工業製程或送至 IWMF 進行再利用，家庭用水則作為 NEWater 之主要進流水源，此舉可有效避免居民對於再生水之疑慮進而提升再生水使用率，而全方位廢棄物處理廠將收集來之可燃性廢棄物、特定來源之廚餘及再生水廠之污泥進行共消化後，所產生之沼氣利用氣輪發電機產生蒸氣及電力供廠內及再生水廠使用，剩餘之電力則送至新加坡電網供居民使用，統整雙向交換之能資源如下：由 Tuas 再生水廠送至全方位廢棄物處理廠之可利用能資源共有脫水污泥、脫水後沉沙及再生水，反之可從全方位廢棄物處理廠獲得廚餘、電力及蒸氣，不僅廢棄物皆有去處，更可將能資源再利用最佳化，達到物盡其用之效果【37】。



資料來源:【37】【本研究自行彙整】

圖 2.3-2 多元化廢棄物處理廠及再生水廠位置



資料來源:【37】【本研究自行彙整】

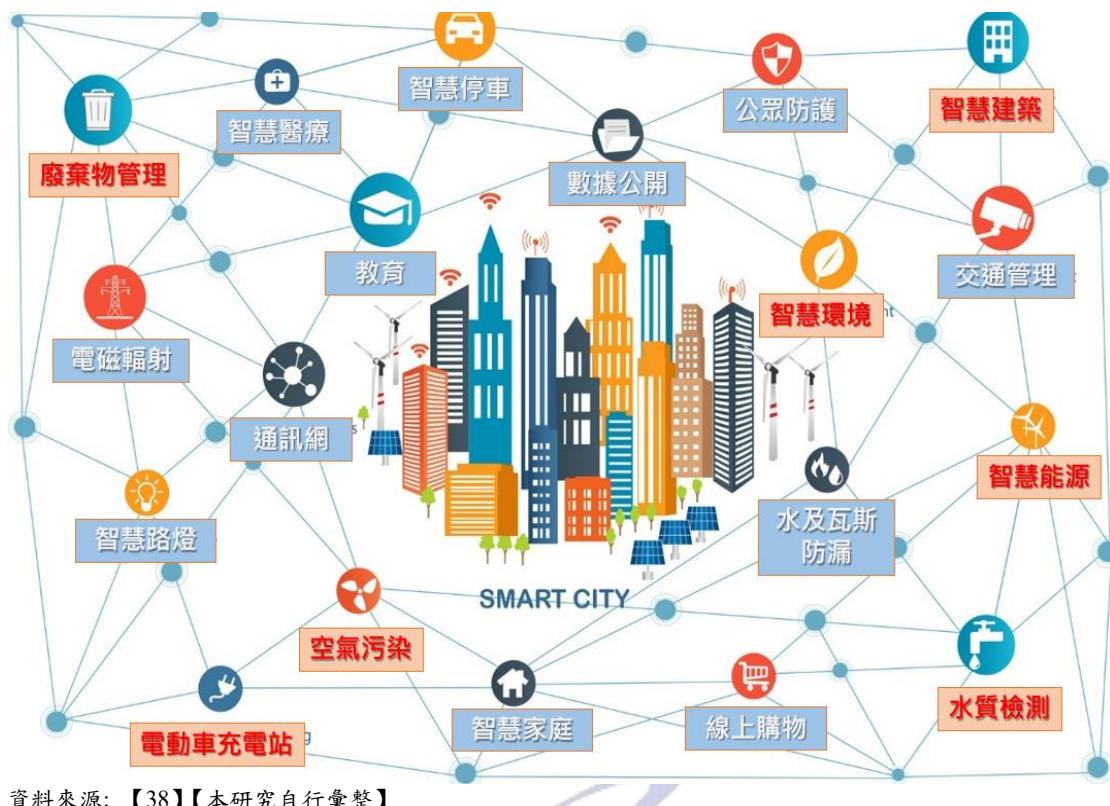
圖 2.3-3 新加坡區域能資源整合流程

二、青森縣弘前市智慧城市概念

智慧城市指運用各種資訊科技及創新整合，建構都市系統性服務，來提升資源使用效率及改善生活品質，各項目之鏈結如圖 2.3-4 所示，其中圖內粗體項目如智慧能源等為水資中心相關之項目，政府可藉此利用網路及遠距監控技術掌握各項資訊後，從中調節或善用各項資源，以達到節能減碳及永續發展【38】。

青森縣弘前市瞭解智慧城市帶來之效益及其發展重要性，目前正致力於打造低碳循環型智慧城市，其中市區內岩木川淨化中心便成為此概念之核心，為了更有效產能，岩木川淨化中心將傳統發酵產氫之程序加以改良，改利用回收觸媒及廢料並透過加熱產氫【39】，不僅將廢棄資源回收，更可減少流程及生產時間如圖 2.3-4 所示，此外，燃料電池車是日本汽車發展主流，燃料電池具高能量密度及高效等優勢，日本政府目標於 2020 年建置 160 座加氫站及 4 萬輛燃料電池車，間接成為該產氫技術發展之助力【40】【41】。

岩木川淨化中心不僅處理該市家庭污水及再利用工業腳料，且廠內能源擁有其他非降雪國家沒有的用途，如：融雪、家戶暖氣等，為配合智慧城市計畫，岩木川淨化中心積極推動再生能源及 ICT(智慧及通訊科技)，冀望在高齡化社會下可減少人力需求並達到能源完全自給，並藉由政府統計及調配區域用電及用熱需求，建立智慧電網技術將多餘之能源輸送至電網，減少發電燃料用量，進而解決全球暖化、能源危機等其他重要社會議題，建構防災永續發展城市，故可得知水資源回收中心是建立智慧城市的主軸。



資料來源：【38】【本研究自行彙整】

圖 2.3-4 智慧城市各項目連結



資料來源：【40】【本研究自行彙整】

圖 2.3-5 岩木川淨化中心新技術流程

2.3.3 能資源整合之前瞻

為打造成可整合各項能資源並創造綠色能源及產出各項可再利用資源之水資源回收中心，本小節將探討我國目前發展能資源整合之未來發展方向，包含我國現行法規及未來可推動之作為。

一、我國現行法規

水資源回收中心目前推動方面有許多困境仍需解決，如：再生水價過高、污泥再利用法規嚴謹及再生能源不穩定等因素，為使我國水資源回收中心能資源整合可以發展順暢，政府建立許多有利提升能資源整合之法規及誘因輔助各水資源回收中心提升其意願，我國相關環保法規及其效益如表 2.3-1 所示【42】，基於溫室氣體減量法要求，我國環境部門 2020 年溫室氣體管制量為 3.496 百萬公噸 CO₂e，主要策略為加強廢棄物掩埋場及廢水之甲烷回收，2020 年全國污水處理率達 60.8%【43】，此二項與水資中心息息相關，惟仍須配合相關法規適度修正如：再生能源使用方面，目前再生能源發展條例第八條規定再生能源發電後應由台電躉購，此條例恐導致因售價不符合期待使得廠商發展再生能源的意願降低【44】；再生水方面，再生水成本目前遠高於自來水價，低水價可能吸引企業使用，目前我國依再生水資源發展條例規定用水大戶依比例使用再生水，若未來針對水價進行調整，可促使企業由強制規定轉由自願使用，使得再生水使用比例將提升【45】。

表 2.3-1 我國各項環保法規及其效益

法規	效益
環境基本法	提升環境品質，增進國民健康與福祉，維護環境資源，追求永續發展
溫室氣體減量法	實現環境政策法治化，促使保護及經濟發展，期望 2020 年二氧化碳當量可較基準年(2005 年)減量 2 %
能源管理法	加強管理能源，促進能源合理及有效使用，考量能源供應穩定及安全，並兼顧環境衝擊與經濟發展
再生能源發展條例	推廣再生能源利用，增進能源多元化，改善環境品質，並提供再生能源電價及設備補助
資源回收再利用法	節約自然資源使用，減少廢棄物產生，促進物質回收再利用，減輕環境負荷
再生水資源發展條例	媒合工業使用水資中心放流水，提高再生水使用比例

資料來源:【41】【本研究自行彙整】

二、國外推動策略參考

為使我國可更健全發展水資源回收中心能資源整合，本小節參考日本交通省執行 B-DASH(Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project)計畫，以推動能資源整合、減少耗能與營運成本及創新技術應用作為該計畫主要效益，表 2.3-2 為日本 B-DASH 補助之項目，以政府與民間合作模式，建立該年度示範場域，期望於推動污水下水道污泥能源轉化率由原先的 15 %增加至 35 %；污泥再利用率由 63 %增加至 85 %若我國可參考此計畫針對各項技術進行資金補助，增加創新技術實廠驗證之機會，可望提升技術發展速度【46】。

表 2.3-2 日本 B-DASH 各年度計畫項目

年度	B-DASH 計畫項目	國土交通省計畫補助 (日圓)
2011	利用超高效率固液分離技術能源管理系統技術	11 億
2011	再生能源生產新技術	11 億
2012	次世代污泥固體燃料化技術	6 億
2012	低成本污泥固體燃料化技術	6 億
2012	去除營養鹽及資源再生(磷)革新技術	4.5 億(去除營養鹽) 6 億(磷)
2012	管路內設置熱回收污水熱利用	4 億
2013	污水下水道生質能電力生成系統	15 億
2013	革命性的污泥能源轉換系統	15 億
2014	利用生質氣體製成氫氣能源技術	14 億
2015	從數個污水處理廠有效率蒐集生質能氣體技術	3 億
2015	生質氣體的 CO ₂ 分離回收利用與利用污泥脫水液於微藻類培養	10 億
2016	污泥肥料化燃料化技術	6 億(肥料化) 5 億(燃料化)
2016	熱幫浦高效率污泥乾燥技術	3 億
2017	藉由高效率消化系統形成自產自消能源活用技術	9 億
2017	污泥焚化發電技術	8 億
2018	利用 ICT 智能操作高級處理技術以省空間及節能	14.5 億
2018	雲端 AI 智能高效污水下水道幫浦管理技術	4 億
2018	AI 數據高效分析管內異常檢測技術	3 億

資料來源:【46】【本研究自行彙整】

2.4 能資源整合績效評估指標

循環經濟之推動為我國前瞻計畫的重要課題，政府以軟硬兼施方式帶動無論工業區或水資源回收中心可將能資源進行整合並提高能源自給率及資源再生率，惟目前國內尚未推廣指標或依據可得知某一水資源回收中心目前能資源整合之現況及未來改善重點，本章節探討國外

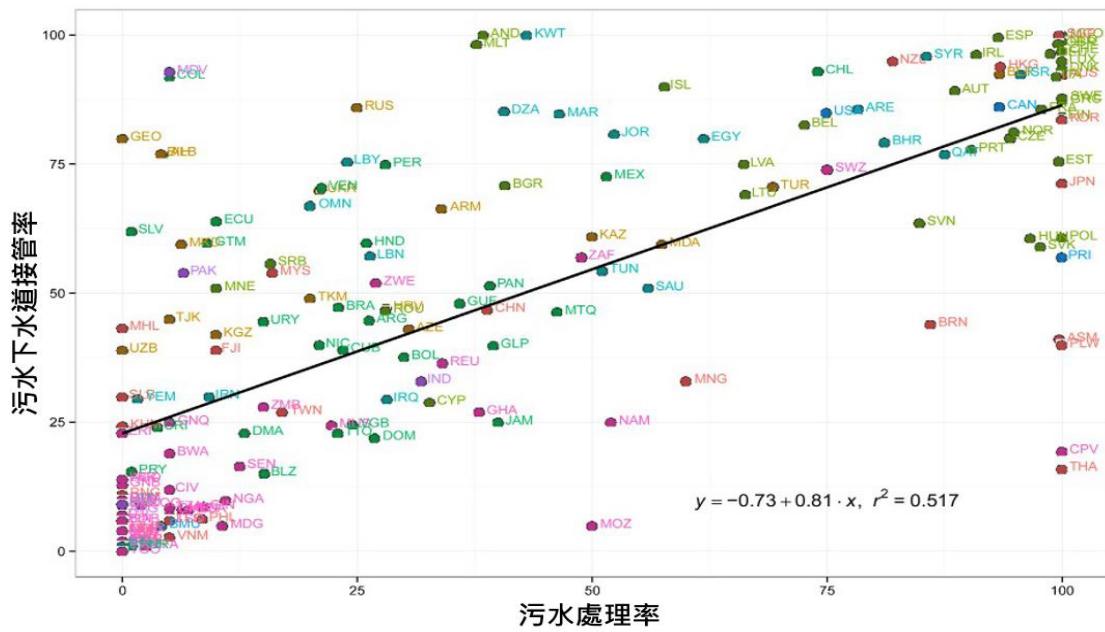
2.4.1 國外整合績效指標參考

世界各地皆有能資源整合相關績效指標，本小節彙整之績效指標所使用對象廣泛，期望可藉多元化指標設立之方向，作為我國設立指標之重要參考。

一、環境表現指標(EPI)

為了實現聯合國於 2015 年訂定永續發展目標(SDG)及巴黎氣候協定書內之目標，各國需要在一系列的污染控制及獲取自然資源中設立一項綜合績效指標，以使各國可更容易發現問題並進行優化政策與管理措施，故 EPI(Environmental Performance Index)在此背景下誕生，該指標內共分為十大項目，包括：農林漁牧、氣候與能源、空氣污染、重金屬及水資源等，在 2018 年包含我國共有 180 國提供資料供指標作評估，因本研究所需，本小節僅撰寫該指標水資源訂定之方式，以提供後續研究使用【47】。

EPI 在確立各國水資源指標時，將各國污水處理比例及污水下水道連接率列為重要依據，統計各國資料如圖 2.4-1 所示，可發現污水處理比例及污水下水道連接率屬於正相關，將兩數據相乘可得該指標分數，其排名如表 2.4-1 所示。目前該指標所遇困境為因污水收集部分國家可能有些管線並非為國家所有，污水收集量統計上有困難，建議各國可加強污水收集管路之資料統計及彙整，可提高該指標準確性並減少污水處理上之負擔【47】【48】。



資料來源:【48】【本研究自行彙整】

圖 2.4-1 各國接管率及處理率分布

表 2.4-1 水資源管理排行

排名	國家	分數
1	馬爾他	100
2	新加坡	100
3	荷蘭	99.90
4	英國	99.82
5	盧森堡	99.76
6	西班牙	99.71
7	瑞士	99.67
8	德國	99.65
9	以色列	99.49
10	澳洲	99.44

資料來源:【48】【本研究自行彙整】

二、造紙廠污水處理循環經濟指標

經由【49】研究指出，造紙廠被視為全球最重要之產業，而其耗水量為所有工業第三高，僅次於化工及金屬工業，近年來由於日益嚴格的環境法規設立，造紙業在廢棄物處理上面臨許多挑戰，且若沒有適當處理，廢水可能暴露毒性、熱及色度等不利環境之問題，針對廢水進行分析可發現廢水具有豐富元素及資源是可以再利用的，廠內陸續將廠內自行處理後的再生水及污泥重新回到製程，此作為使造紙廠成為循環經濟典範，為評估各造紙廠循環再利用情況，在歐洲已有屬於造紙廠之循環經濟指標，該指標針對造紙廠污水處理後產生之再生水使用及污泥處理情形進行評估，目標以最大限度減少廢棄物產生並提高資源再利用比例。

在再生水指標方面，該指標訂定在造紙過程中再生水之使用量，可瞭解投入再生水可減少自來水使用量情形如 Eq(1) 所示，也可計算每噸成品內共有多少比例為再生水如 Eq(2) 所示：

$$Eq(1): I_{w,CE,r} = \frac{\text{再生水再利用量}}{\text{造紙過程總耗水量}} \times 100$$

$$Eq(2): I_{w,CE,p} = \frac{\text{再生水再利用量}}{\text{成品總重}}$$

在污泥處理指標方面，該指標訂定污泥重新回到製成質量占總污泥產生量之比如 Eq(3) 所示，且污泥再利用量占成品總重之比例如 Eq(4) 所示：

$$Eq(3): I_{SG,CE,r} = \frac{\text{污泥再利用量}}{\text{污泥產生量}} \times 100$$

$$Eq(4): I_{SG,CE,p} = \frac{\text{污泥再利用量}}{\text{成品總重}}$$

該指標以西班牙某廠作為示範，首先統計該廠月平均指標內所需資料如表 2.4-2 所示，最後將數據套入後可得知該廠每公噸成品可回收 6.3 m^3 再生水及 4.7 噸的

污泥如表 2.4-3 所示，若以此回收量估算減少成本，每年減少污泥處理費用可達 119,756 歐元，因再生水回收可減少水費 20,000 歐元，該指標為造紙業第一個以循環經濟及再生資源使用績效評斷標準，期望作為各行業之典範，並廣泛運用至全世界。

表 2.4-2 該造紙廠各項資料月平均

月份	再生水使用量	製程用水量	污泥再利用量	污泥總產量	成品總質量
1	4341 ± 335	5158 ± 220	2587 ± 324	7529 ± 935	631 ± 77
2	4679 ± 361	5403 ± 230	2631 ± 329	5953 ± 740	601 ± 74
3	4677 ± 360	5422 ± 230	2457 ± 308	8012 ± 990	630 ± 75
4	4287 ± 330	5096 ± 220	2792 ± 350	6404 ± 795	695 ± 80
5	4115 ± 320	4991 ± 215	3161 ± 396	8089 ± 995	727 ± 90
6	4262 ± 330	5015 ± 214	3273 ± 405	7343 ± 915	699 ± 85
7	4299 ± 332	5152 ± 220	4342 ± 540	9730 ± 1150	707 ± 85
8	4471 ± 340	5258 ± 225	3191 ± 400	7765 ± 965	710 ± 80
9	3927 ± 300	4809 ± 205	3435 ± 425	9262 ± 1070	710 ± 85
10	3953 ± 305	4659 ± 199	2931 ± 365	7467 ± 930	699 ± 83
11	3747 ± 290	4609 ± 197	4532 ± 560	9734 ± 1170	671 ± 81
12	3297 ± 250	3404 ± 140	2165 ± 270	6888 ± 855	518 ± 63

資料來源:【49】【本研究自行彙整】



表 2.4-3 該造紙廠循環經濟指標分數

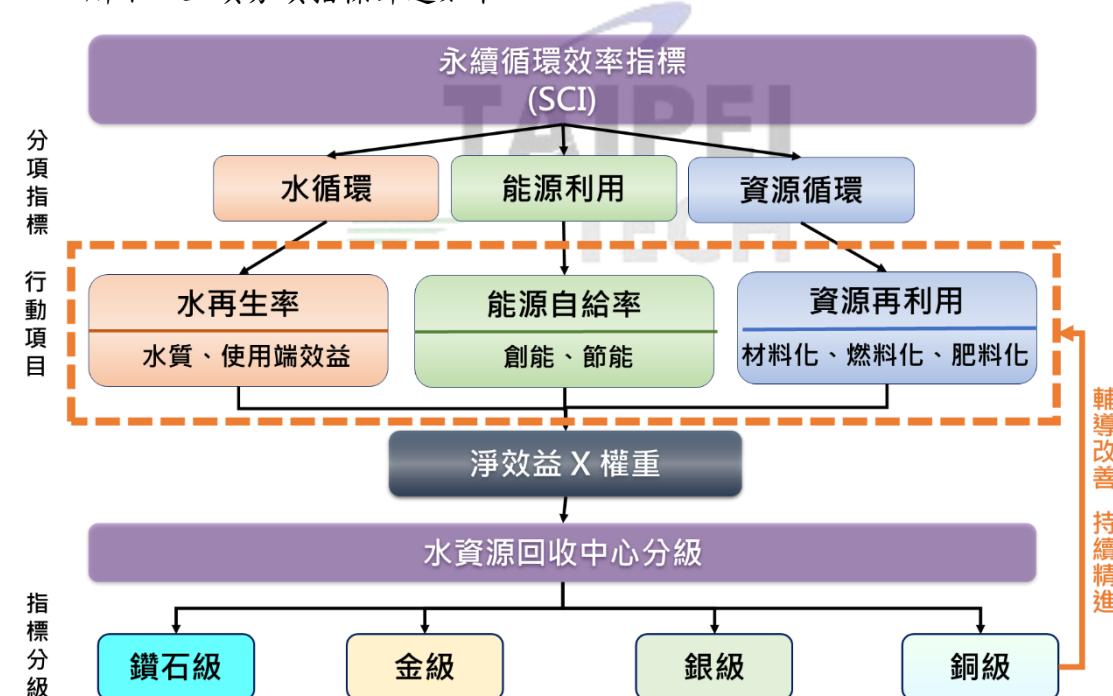
循環經濟指標	分數
再生水	
$I_{w,CE,r}(\%)$	85.1 ± 4
$I_{w,CE,p}(m^3 \text{ 再生水/每噸成品})$	6.3 ± 0.7
污泥	
$I_{SG,CE,r}(\%)$	39.7 ± 5.4
$I_{SG,CE,p}(kg \text{ 污泥/每噸成品})$	4.7 ± 0.9

資料來源:【49】【本研究自行彙整】

2.4.2 國內績效指標設立

參考經濟部水利署於 2018 年資源整合循環型水資源回收中心規劃之研究，為研析國內水資源回收中心於水資源、能源及資源永續循環之現況，建置一項指標作為水資中心持續改善之機制【50】，此指標稱為永續循環效率指標(SCI)，衡量各廠在污水回收處理過程中，水資源、能源及資源方面邁向永續循環所做之努力，並可作為各廠未來邁向能資源整合循環的參考方向。

SCI 指標設計理念是以「聯合國世界水資源發展報告 2017」內水資源利用效率及各項資源循環計算項目【51】，分類成水循環指標、能源利用指標及資源循環指標，各廠計算完各項指標後，乘上對應之權重，相加即為該廠永續循環效率指標之值，SCI 總分為 100 分，並依分數依序分為鑽石、金、銀、銅級，SCI 架構如圖 2.4-2 所示，三項分項指標詳述如下：



資料來源:【50】

圖 2.4-2 永續循環效率(SCI)架構

一、水循環指標

水循環指標項目及條件如表 2.4-4 所示，項目包含水再生率、再生水值及使用端效益，再生水值之條件，若使用程序符合需求端，表示再生水沒有因過度處理水質，而導致過度浪費能源，再生水有償提供使得水資源回收中心提升再生水水質之意願提高，也符合使用者付費需求，為鼓勵廠區提升再生水使用，水再生率級距以 30 % 以上、20 %~30 %、10 %~20 與 1 %~10 % 區別【50】，得分其中水再生率公式如下：

$$\text{水再生率} = \frac{\text{再生水量(CMD)}}{\text{實際放流水量(CMD)}}$$

表 2.4-4 水循環指標細項

分項指標	項目	條件	分數
水循環(w)	水再生率	30 % 以上	55
		20 % ~ 30 %	50
		10 % ~ 20 %	45
		1%~10%	40
	再生水質	使用程序符合需求端	25
		使用程序優於需求端	10
	使用端效益	有償提供	20
		無償提供或自行使用	5

資料來源: 【50】

二、能源利用指標

能源利用指標中有能源自給率、CO₂ 減量效益及再生能源開發等項目如表 2.4-5，能源自給率可分別由節能與創能手段來提升，水資源回收中心節能方式在於加裝智慧電能管理系統掌握各項設備使用狀態，並從檢討操作運轉方法、更新節能設備等進行改善，而創能來源主要為因應各廠現地狀況，進行廢熱回收與再生能源之開發，能源自給率為評估水資源回收率在能源利用之重要項目，故為該指標重要標準，CO₂ 減量效益需透過碳盤查及量化，計算可進行碳排放減量值，提出各種減量

措施，無法減量之排碳量則透過購買碳權等方案進行抵換，鼓勵提升水資源回收中心之 CO₂ 減量效益，進而協助達成碳中和之最終目標。能源自給率、CO₂ 減量效益及再生能源開發率估算公式如下所示：

$$\text{能源自給率(評估年)} = \frac{\text{年再生能源躉售電電量(kwh) + 年再生能源自發自用電量(kwh)}}{\text{年耗電量(台電查表度數)(kwh) + 年再生能源自發自用電量(kwh)}}$$

$$\text{CO}_2 \text{ 減量效益} = \frac{\text{基準年年耗電量(台電查表度數)(kwh) - 評估年年耗電量(台電查表度數)(kwh)}}{\text{基準年年耗電量(台電查表度數)(kwh)}}$$

$$\text{再生能源開發率} = \frac{\text{評估年年再生能源發電量(kwh)}}{\text{年再生能源潛勢(kwh)}}$$

表 2.4-5 能源利用指標細項

分項指標	項目	條件	分數
能源利用(e)	能源自給率	30 % 以上	50
		20 % ~ 30 %	40
		10 % ~ 20 %	35
		1 % ~ 10 %	30
	CO ₂ 減量效益	較基準年少10 %以上	20
		較基準年少5 % ~ 10 %	15
		較基準年少2 % ~ 5 %	10
	再生能源開發	30 % ~ 50 %	25
		20 % ~ 30 %	20
		10 % ~ 20 %	15
		1 % ~ 10 %	10
廠區智慧電能管理系統(不含管理大樓)			5

資料來源:【50】

三、資源循環指標

資源循環指標分為污泥含水率及污泥再利用率如表 2.4-6，因含水率 85~90 % 之污泥運送及後續處理成本較高，故給予較低分數值，該指標鼓勵各廠處理至 85 % 以下較為合適，污泥再利用部分，配合我國內政部營建署提倡污泥多元化再利用，將污泥材料化、燃料化及肥料化列為重要關鍵，有利達到減量化、穩定化、無害化和資源化的目標，污泥多元化再利用如圖 2.4-3 所示。污泥材料化應用廣泛，許多

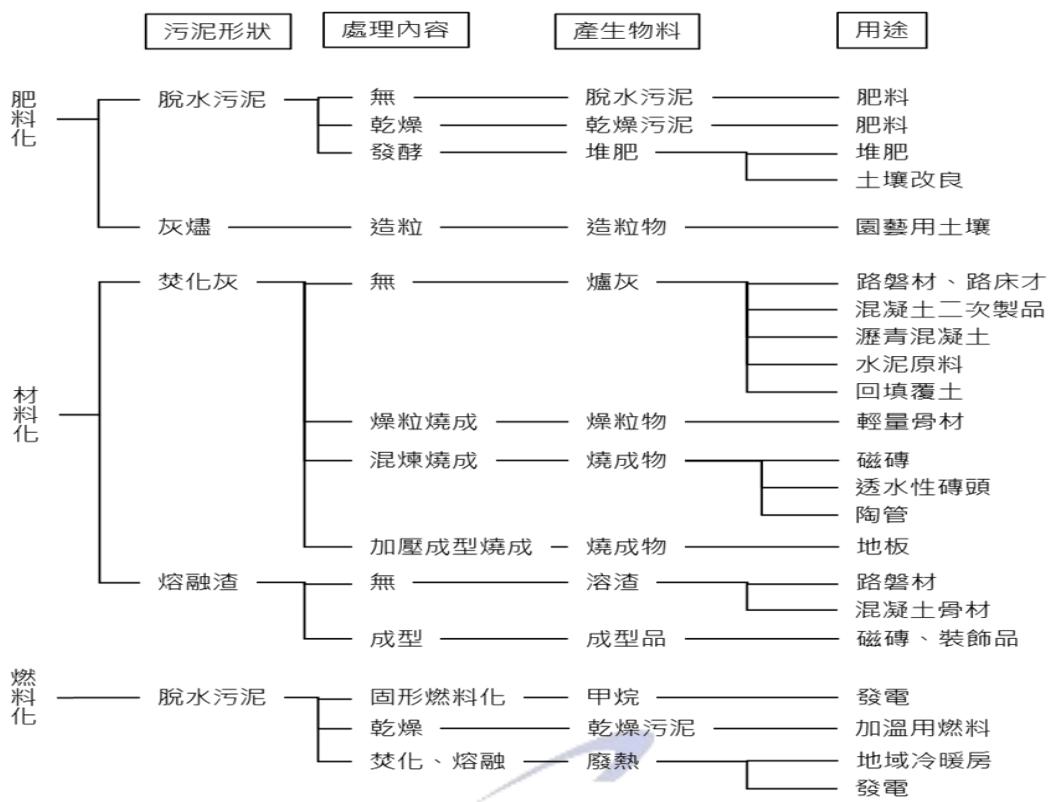
工業如：水泥業、造紙業等皆可將污泥乾燥化成品再利用；污泥燃料化包含脫水污泥固形燃料化、乾燥、焚化及熔融，做為燃料或發電用途，不包含濃縮污泥消化後產生的甲烷燃燒；污泥肥料化則因污水污泥尚不屬農委會認定之「可利用廢棄物」因此在國內尚未廣泛利用，該指標仍將此項放入資源循環指標中，而污泥焚化與掩埋棄置為較不符合循環經濟理念，故給予較低之評分【50】。

我國可利用該指標詳細評估各廠目前能資源整合概況後，於北中南各選出在指標內成績較亮眼之廠址，供鄰近廠址參考學習，以攜手提升我國水資源回收中心能資源整合之效率。

表 2.4-6 資源循環指標細項

分項指標	項目	條件	分數	
資源循環(r)	污泥含水率	70 % 以下	50	
		70% ~ 85%	40	
		85% ~ 90%	30	
	污泥再利用率 (依比例得分)	項目 (可 複 選)	污泥材料化比率	50
			污泥燃料化比率	50
			污泥肥料化比率	50
			污泥焚化比率	15
			污泥掩埋或棄置比率	0

資料來源: 【50】



資料來源：【52】

圖 2.4-3 污泥多元化再利用管道

2.4.3 績效指標推廣步驟

循環經濟為全球矚目之議題，且水資源回收中心為該理念核心，惟目前我國尚缺乏針對水資中心完善績效指標提供各廠評估現況，因此經濟部水利署所擬定之永續循環效率指標(SCI)變成重要之角色，本研究蒐集於不同領域下各種指標之推廣步驟，如自來水水質水量保護區環境指標建構步驟與我國學校環境教育指標推動之過程，擬定 SCI 指標建議績效指標推廣步驟依序為找尋示範廠址並持續精進指標；建立全國水資中心資料彙整平台；教育訓練推廣指標能見度，詳細敘述如下【53】【54】。

一、找尋示範廠址並持續精進指標

為推廣我國 SCI 之能見度，建議以單一廠址進行多次指標試算，邀請實廠管理人員輔助填寫表單以瞭解指標內是否有填寫困難之項目，經實際驗算指標是否合乎實廠運轉情況，最後藉由駐廠人員與指標研究團隊交流及分析國外相關指標參考後進行精進檢討後，達到指標推廣及精進之效。

二、建立全國水資中心資料彙整平台

經濟部水利署為推廣 SCI 指標，已建立一份屬於水資源回收中心之表單，該表單內容以廠內在處理污水時能源消耗、再生水使用端現況及再生能源發展現況等能資源使用狀況以利進行後續探討，建議後續可參考【55】【56】建議一網頁平臺，將各廠污水處理相關資料填報至網路上，以便後續 SCI 指標可更方便做整合統計。

三、辦理教育訓練及座談會

最後 SCI 指標可藉由政府單位或媒體宣導提升知名度，辦理教育訓練及座談會進行指標填寫說明與教學，目前經濟部水利署已完成多場教育訓練會議及實廠參訪，參與單位包含實廠管理單位、代操作人員及政府單位如：水利署、營建署、地方環保局，藉由指標分享及試算，再與各單位進行探討，並藉各單位回饋瞭解該指標未來運用走向。

目前 SCI 指標已粗略完成該推廣步驟，目前獲得之回饋多為希望指標可以再更精簡使廠方能輕易完成表單，因此該團隊目前致力於完成線上表單填寫平台，此平台最大優勢為各廠可隨時更新系統資料並且即時更新，最後利用一計算系統可將各廠數據輸入後直接計算該廠 SCI 指標，目前水利署已完成國內部分水資中心之評分如表 2.4-7 所示，目前資料取得不易，未來可參考 Environmental Performance Index 資料蒐集之作法，建議政府可研究製作一循環經濟資料彙整平台，使各廠各項資料公開已提供各廠比較，且以利各項研究發展沒有阻礙，在建立國內水資源回收中心永續效率指標(SCI)資料庫後，初期以輔導方式，促進廠區提升永續效率指

標，後期則將永續效率指標(SCI)列入水資源回收中心評鑑項目，並適度投入相關獎懲制度，如未來新設計之水資中心完工後一年必須至少符合銅質指標，否則限期改善；各廠完成 SCI 指標之金牌指標，可獲得類似於日本 B-DASH 計畫之政府研究資金投入，可做為廠方積極發展能資源應用及節能領域之誘因。

表 2.4-7 我國各廠指標試算

污水處理系統名稱	水循環資料得分				能資源利用資料得分						資源循環資料得分			SCI 得分			
	水再生率 (%)		再生水 質	使用端 效益	分數 合計	能源自給率 (%)		CO2減量效益 (%)		電能管理 系統	再生能源開發 (%)		分數 合計	污泥含水 率(%)	污泥再利 用率	分數 合計	
	數據產出	分數	分數	分數		數據產出	分數	數據產出	分數	分數	數據產出	分數					
福田	1.53%	40	25	20	85	13%	35	11%	20	0	32.70%	25	80	40	0	40	77
楠梓	2.60%	40	25	20	85	17%	35	4%	10	0	60.00%	25	70	40	0	40	73
安平水資源回收中心	1.54%	40	25	20	85	2%	30	-20%	0	0	8.00%	10	40	40	0	40	63
鳳山溪	19.90%	45	25	20	90	0%	0	10%	20	0	0.00%	0	20	40	0	40	58
和平島	9.96%	40	25	20	85	0%	0	2%	0	0	0.00%	0	0	60	0	60	50
桃北	2.40%	40	25	20	85	0%	0	-102%	0	5	0.00%	0	5	40	0	40	49
迺化	1.39%	40	25	5	70	0%	0	18%	20	0	0.00%	0	20	40	0	40	48
內湖污水處理廠	1.09%	40	25	20	85	0%	0	-22%	0	0	0.00%	0	0	0	0	0	43
水湳經貿園區水資源回收中心	20.78%	50	25	5	80	0%	0	0%	0	0	0.00%	0	0	0	0	0	40
高雄中區	0.02%	0	25	20	45	0%	0	75%	20	0	0.00%	0	20	50	0	50	37
花蓮	0.56%	0	25	20	45	0%	0	0%	0	0	0.00%	0	0	50	0	50	30
六塊厝污水處理廠	0.00%	0	25	20	45	0%	0	-6%	0	0	0.00%	0	0	40	0	40	29
仁德水資源回收中心	0.86%	0	25	20	45	0%	0	-148%	0	0	0.00%	0	0	0	0	0	23

資料來源：【52】

第三章 研究方法

本章節針對本研究之研究方法進行介紹，前章節本研究已選定水資源回收中心能源回收技術與資源回收發展應用、能資源整合技術推動及能資源整合績效評估指標作為本研究主要蒐集之案例，並以此為本章節及後續成果之基礎，本章節先說明研究方法並界定研究對象及範疇，並研擬本研究資料蒐集流程、蒐集之文獻整理及研究範圍相關探討及分析，最後瞭解利用能資源整合績效評估指標定義水資源回收中心能資源整合現況及未來發展效益之可行性。

3.1 研究方法分析

本研究採用「文獻分析法」和「比較分析法」進行研究，藉此探討水資源回收中心再生能源潛勢與最適化利用；各項氮磷等稀有資源及再生水資源再利用現況及發展趨勢；區域能資源整合及永續發展措施；提升能資源整合績效評估指標之作為，結合我國經濟部水利署與工業局、行政院環保署、內政部營建署及其他相關部會調查我國水資中心現況，並藉由蒐集國外實廠案例後研析導入我國之可行性措施，提升我國水資中心得以落實循環經濟之最終目的，而經文獻蒐集後可得知現今技術需高資金投入新設備以確保未來可以維持水資中心內高效能及高能源自給，因此本研究研析對象以我國六大直轄市之水資源回收中心為優先，主因冀望藉由直轄市高資金編算以更新設備，並可作為各水資中心之示範廠址。

一、文獻分析法

文獻分析法 (document analysis) 是指根據一定的研究目的或課題，透過蒐集有關政府政策、調查報告、污水處理產業動態等文獻資料，從全面且精準地掌握研究問題的方法。蒐集內容儘量要求豐富及廣博，再將搜集來資料經過分析後歸納統整，再分析高潛力水資中心背景、技術或設備對於環境之影響及其意義等。文獻資料可以是政府部門的報告、工商業界的研究、文件記錄資料庫、學術研究與書籍、

論文與期刊、報章新聞等等，其文獻分析分有四大步驟，分別為閱覽整理、描述、分類及詮釋。【57】

二、比較分析法

比較分析法是將客觀事物加以比較，以達到認識事物本質及規律並做出正確之評價，通常是將兩個相互聯繫之數據進行比較，說明所蒐集之文獻與研究對象規模大小、效率高低、資金及其他各種關係【58】，本研究比較擁有高再生水回收率及再生資源循環率之高度發展國家所訂定政策與我國之差異作為本研究之依據，進而探討我國能資源整合發展目標，提供建言以作為本研究未來參考。

3.2 研究內容與流程

本研究內容主要流程規劃如下:(一)蒐集國外水資源回收中心能資源整合現況及未來發展模式(二)彙整我國高潛力之水資中心能資源整合應用及現況，並與國外進行分析比較(三)利用永續循環效率指標探討我國能資源整合現況並研析導入國外能資源整合創新技術及管理模式可提升之效率，研析對象以我國六都直轄市(台北市、新北市、桃園市、台中市、臺南市及高雄市)之水資源回收中心為主。

本研究彙整「文獻分析法」和「比較分析法」之資料，比對國外成功應用之要素包含政府政策及廠址管理措施與設備運作方式，評估我國水資源回收中心與政府相互合作之模式，進而藉由雙方互利之方式落實循環經濟之理念，本研究流程如圖 3.2-1 所示。

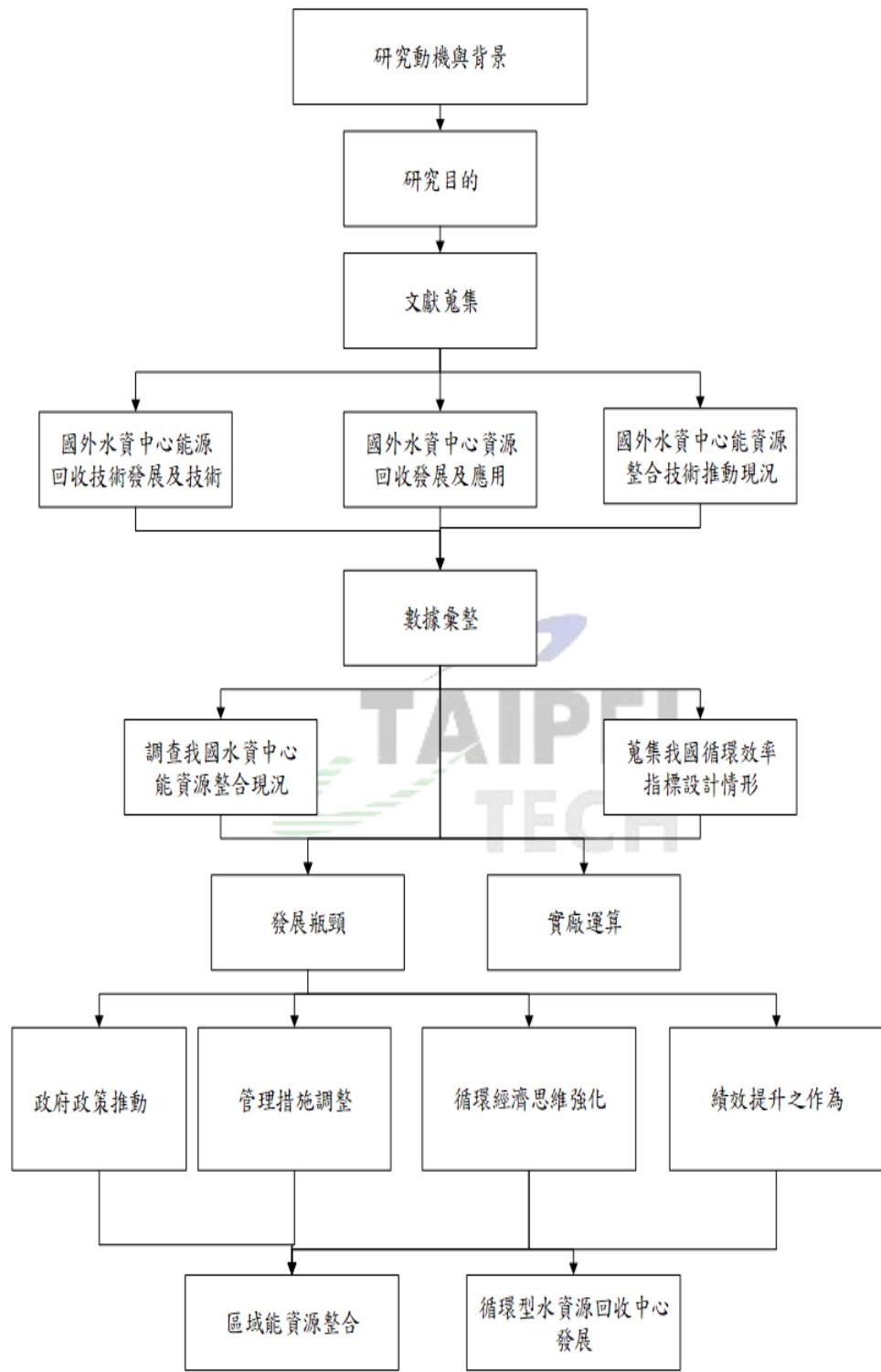


圖 3.2-1 本研究流程

第四章 結果與討論

本章節依據前述所彙整國內外各項能資源回收技術發展及能資源整合推動現況與指標建立步驟後，依文獻蒐集順序分為四小節：4.1 節剖析再生能源發展潛勢、國外案例可行性評估及最適化發展；4.2 節研析各項再生資源循環模式及困境分析；4.3 節擬定能資源整合發展之策略及循環經濟思維強化；最後 4.4 節分析能資源整合績效提升之法令政策、管理措施及技術評估等作為。

4.1 能源發展剖析

近年來為了提升水資源回收中心能源自給率及減緩氣候變遷之觀念下，世界各國之水資中心皆致力於發展再生能源，本章節依序探討各項再生能源潛勢，透過研析國外案例可行性評估及我國再生能源最適化發展，本章節以我國六大直轄市內較具規模之水資中心作為研究對象，以利評估及比較。

4.1.1 再生能源發展模式評估

為評估我國水資源回收中心發展潛力，本研究針對六直轄市內較有高潛力能資源整合之水資中心作為研究對象，包含：新北市淡水、台北市迪化、台中市福田、臺南市安平及高雄市鳳山水資源回收中心，其基本資料如表 4.1-1 所示，此六廠與他廠較為亮眼之處在於穩定水量及水質處理，彙整各廠資料後依文獻蒐集之順序依序評估各廠於風能、太陽能及生質能發展之可能，並藉再生能源發電功率、效率與操作時間的乘積總和作為再生能源潛勢，以評估各廠最適化發展以提升各廠能源自給率。

表 4.1-1 我國潛力水資源回收中心基本資料

廠址	廠區面積(m ²)	處理水量(CMD)	污水處理等級	再生能源發展現況
新北淡水	48,000	42,000	三級處理	生質能
台北迪化	46,000	500,000	二級處理	生質能
桃園桃北	153,000	50,000	三級處理	太陽能
台中福田	13,600	76,000	二級處理	太陽能 生質能
台南安平	103,000	151,900	二級處理	太陽能 生質能
高雄鳳山	10,000	87,000	二級處理	生質能

資料來源:【本研究自行彙整】

一、風能潛勢評估

風力發電機之發電原理，是由強勁且正確方向的風吹葉片而帶動轉軸產生機械能，轉軸再帶動發電機發電產生電能，最後透過電力轉換與電網連結或儲能最佳調控方式，以期有效運用電能，本研究調查之對象多位處於寸土寸金之市區，中大型風力發電機組大多設置於沿海空曠地區，故較無發展機會，相反地，小型風力發電機不僅用地較小且高度較低，在經專業技術評估後更可安裝於大樓屋頂，相對適合推廣於都市水資源回收中心，兩者比較如表 4.1-2 所示。鑑於此，本研究以總高 8 公尺旋轉直徑 4 公尺及額定風速 12 m/s 之堆疊式小型風力發電機作為計算對象，並假設各廠以建設 15 座小型風力發電機為目標，經由中央氣象局之風速資料並參考台電自有風力發電每月發電量後，以每年運轉 180 日進行估算，其結果顯示六座都市水資源回收中心之中較具發展風能潛力為桃園北區水資源回收中心。

表 4.1-2 各規模風力發電機性質比較

	小型風力發電機	大型風力發電機
發電功率	< 100 kW	>20 MW
競爭對象	柴油發電機及市電價格	傳統發電成本
設置成本	量產時將具競爭性	成熟技術已達競爭力
適用對象	水資源回收中心及住家	公/私營發電廠
場所選定	相較容易	需專業評估

資料來源:【60】【本研究自行彙整】

表 4.1-3 我國水資源回收中心風力發電潛勢

廠址	風速(m/s)	每座發電量 (kwh/每年每座)	年發電量(kwh)
新北淡水	4.0-4.5 (以 4.25 估算)	4,590	68,850
台北迪化	<4.0 (以 3 估算)	3,240	48,600
桃園桃北	6.5-7.0 (以 6.75 估算)	7,290	109,350
台中福田	4.0-4.5 (以 4.25 估算)	4,590	68,850
台南安平	4.5-5.0 (以 4.75 估算)	5,130	76,950
高雄鳳山	<4.0 (以 3 估算)	3,240	48,600
假設一組風力發電機額定功率 3 kW、額定風速 12 m/s，每廠設置 15 座			

資料來源:【61】【62】【本研究自行彙整】

二、太陽能潛勢評估

在評估太陽能發電潛勢時，需考量該廠方位角、傾斜角及等效日照時數，鋪設面積方面，考量各水資中心在空地使用上皆各有規劃，恐不易規劃成再生能源用地，本研究以目前各水資中心建物屋頂作為考量重點，以鋪設建物屋頂面積之 15 %作為鋪設目標進行試算，惟部分水資中心無建物面積相關資料，參考他廠提供資料後，以總面積 30 %假設各廠建物面積，此外，桃園北區水資中心因目前仍處第一期完工，故建物面積以總面積 7.5 %作為估算，並參考永燭綠能有限公司試算系統，以坪數除以 2 評估裝置容量，每 1 kw 之裝置容量每等效日照時數的發電量為 1 度，最後評估年發電量後統計如下表 4.1-4 所示，根據統計結果，可得知我國中南部地區擁有高潛力進行設置太陽能板，尤以台南安平水資源回收中心，該水資中心不僅擁有廣闊土地，且可高達 2491 小時，且目前安平廠已建置 494 kW 之太陽能板，年發電量可達 65 萬度，減碳量每年可減少約 412 噸，為我國最早設置太陽能光電板計畫之水資中心。【63】

表 4.1-4 各水資中心太陽能潛勢評估

廠址	等效日照 時數(hr)	建物面積 (m ²)	鋪設面積 (m ²)	年發電量 (kwh)
新北淡水	2.5	16,000(預估)	2,400	331,238
台北迪化	2.5	14,656	2,198.4	303,406
桃園北區	2.5	11,475(預估)	1,721.3	237,250
臺中福田	3.5	30,325	4,598.9	878,920
台南安平	4	30,900(預估)	4,635	1,023,460
高雄鳳山	4	3,000(預估)	450	99,280

資料來源:【3】【64】

三、生質能潛勢評估

污泥消化產生沼氣進行發電為我國水資源回收中心再生能源重要來源之一，本研究所整理之高潛力水資中心皆設有厭氧消化槽，皆具有生產甲烷之潛力，根據文獻蒐集其污泥產量及沼氣產生量如表 4.1-5 所示，部分水資中心因厭氧消化槽內無流量計無法測得沼氣產生量，本研究依文獻資料統計後，利用下列參數試算桃北、安平及鳳山水資中心之沼氣產生量，計算參數如下：每日污泥量(ton/day)×固體濃度(TVS)×100 %×沼氣轉換率(m³/kg-TVS)=沼氣產量。

首先假設污泥內含有 4 % 之總固體(TVS)，且污泥轉換率為 0.2，即可求出該廠理論沼氣產生量，參考文獻經驗，水資中心實際沼氣產氣量通常為理論值之 60 %，故本研究以此作估算各廠沼氣量，最後將沼氣產生量與發電效率 30 % 相乘，可估算各廠沼氣發電量，其中高雄鳳山污泥量偏高之主因為該水資中心污水處理設備內污泥淤積導致污泥排出量過多，待後續污泥量穩定後，沼氣產量預估將持續下修以符合實際值。



表 4.1-5 各水資中心生質能潛勢

廠址	污水處理量 (CMD)	污泥產生量 (ton/day)	沼氣產生量 (m ³ /day)	年發電量 (kwh)
新北淡水	42,000	5	1,800	197,100
台北迪化	500,000	6.7	5,000	547,500
桃園北區	50,000	4.3	2,064(估算)	226,008
臺中福田	76,000	5.8	2,000	219,000
台南安平	151,924	10	4,800(估算)	525,600
高雄鳳山	87,000	20	9,600(估算)	1,051,200

資料來源：【本研究自行彙整】

統整六座高潛力水資源回收中心再生能淵發展潛勢如下表 4.1-6 所示，可得知位於中南部地區因占地較大且日照時間較充足，故再生能源發展較有潛力；而北部地區因日照時數不足及降雨時間較長，發展太陽能之潛力較低，建議搭配廠內節能裝置以提升各水資中心能源自給率，未來在發展水資源回收中心再生能源時，可就各廠區位特性及規模進行探討，並以能源完全自給作為水資中心之核心目標。

表 4.1-6 各水資中心再生能源發電量

廠址	風能 (kWh/年)	太陽能 (kWh/年)	生質能 (kWh/年)	總發電量 (kWh/年)
新北淡水	68,850	331,238	197,100	597,188
台北迪化	48,600	303,406	547,500	899,506
桃園北區	109,350	237,250	226,008	572,608
臺中福田	68,850	878,920	219,000	1,166,770
台南安平	76,950	1,023,460	525,600	1,626,010
高雄鳳山	48,600	99,280	1,051,200	1,199,080

資料來源:【本研究自行彙整】

4.1.2 國外案例可行性評估

針對本研究所彙整之文獻內，各國水資源回收中心為提高能源自給率有許多管理模式及創新應用，惟並非各項技術皆適合我國各水資中心，本章節期望將國外成功案例以區位特性方式與我國水資中心進行連結，依序由風力、太陽能及生質能進行探討。

一、美國紐澤西州 ACUA 水資源回收中心風力電廠

ACUA 水資源回收中心利用風能產生約占該廠污水處理能源總消耗之 60%，可得知風力發電為該廠提升能源自給之關鍵再生能源【65】，而風力發電可成為該廠重要能源之主要因素為設廠位置及合適氣候，首先，該廠設置於海岸旁，如圖 4.1-1 所示，可得知鄰近無住家及其他公共設施，使得水資中心在設置大型風力發電機組上較不會因噪音而受居民抗議，在氣候方面，當地位處強勁之風廠，終年風速介於 5.2 至 8.4 m/s 之間【66】，非常適合建立風力發電系統。



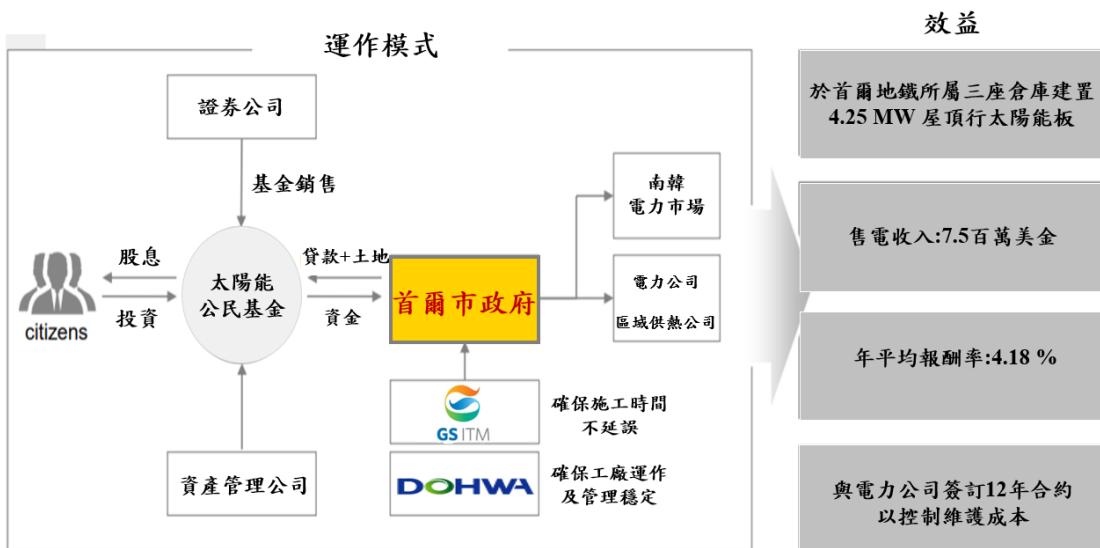
資料來源:【67】

圖 4.1-1 美國 ACUA 水資中心空拍

風力發電系統在建置上需要龐大資金，ACUA 水資源回收中心與州及市政府簽訂風力發電計畫，在建置設備方面共花費了新台幣 3.7 億元，其中 0.5 億元由紐澤西州政府提供；0.6 億為該市區電力公司提供，該計畫共簽訂 20 年，合約內容明訂每年該水資中心所產生之電力於廠內自給後尚需提供 950 萬度電給電力公司，使用端可於合約效力期間以每度電新台幣 2.5 元購買(2019 年紐澤西州公用電網電力為每度 4.3 元)，經過計算該水資中心在運作期間前五年共節省新台幣 7,400 萬元，該合約簽訂後，使用端可降低未來 20 年內因競爭對手增加而削價競爭之風險，更可以高於成本價來販售補貼水資中心內其他成本；在使用者端可獲得較低之購電成本外，更可減少缺電風險，可謂互利之合約。

二、南韓 Seonam 水資源回收中心建置太陽能系統

南韓政府為了提升新興及再生能源，於 2012 年開始執行 RPS 計畫(Policies for Deploying New and Renewable Energies)，計畫目標於 2030 年將再生能源產電量達總產電量之 20 %，計畫執行期間，政府提供 70 %補貼於基礎設施上生產之再生能源，且政府強制 13 座電力公司需購買 2 %再生能源以增加使用率，因此太陽能產電量由 2011 年產 917 GWh 爬升 2016 年之 5,122 GWh，此外，藉由民間、政府及企業合作，市民以投資方式獲取股息，由政府提供土地及交由知名企業建造及營運，減少投資風險，該運作模式可使年報酬率達 4.18 %，且因與電力公司簽訂 12 年合約，可有效控制維護成本，該合作模式及效益如圖 4.1-2 所示，Seonam 水資源回收中心便以此模式與南韓太陽光電公司 Hanwha Q Cells Co.簽訂 10 年合約，憑藉政府融資支持及政策演進可獲得更大競爭力(HANWHA Q CELLS CO., LTD.)，將廠內曝氣池上方或善用閒置空間增設 3.6 MW_p 之太陽能發電系統並於 2014 年順利完成，使 Seonam 水資中心不僅擁有 2 百萬 CMD 之處理規模並提升能源自給率【16】。



資料來源:【16】【本研究自行彙整】

圖 4.1-2 首爾市政府太陽能投資運作模式

三、北海道惠庭污水終末處理廠污泥共消化

因氣候條件關係下，能源及熱能獲取成為北海道政府十分重視之問題，因此當地具規模之水資中心通常設有可兼顧污水處理及生產沼氣之厭氧消化槽，然而北海道為日本人口密度最低之地區，厭氧消化槽餘裕量過高造成空間上之浪費，因此當地政府設法將居民產生之廚餘與水資中心污泥進行共消化，以達到產氣產能最佳化，我國過去曾於八里污水廠試辦廚餘沼氣發電計畫以活化蛋型消化槽，然而因許多層面問題導致計畫停辦，最主要原因為廚餘運送過程所發出氣味問題，故建議我國未來在發展此項目時，可先就當地生質能利用現況及可能面對之問題進行瞭解，減少運輸問題，並參考各國面對廚餘氣味問題所作之調整，並以建立未來良好形象之願景，辦理各項環境教育宣導及相關里民活動減少鄰避效應，最後藉由地方補助減少維護成本之負擔，廠方也可將產生電力以固定價販售電力公司，未來災害發生也可作為當地居民之緊急電源，以備不時之需。

4.1.3 再生能源最適化發展

整理國外案例後，彙整各再生能源發展合適度與水資中心之地點及規模之影響程度如表 4.1-7 所示，可得知再生能源發展主要影響因子為水資中心所在地點之氣候條件，可提供未來新建水資中心若要提升能源自給率，所需之區位特性及相關條件，本小節接續 4.1.2 小節之評估，探討我國最適發展策略。

表 4.1-7 再生能源及影響因子分析

類別 影響因子	風能	太陽能	生質能
廠址地點	風速為風能發展最主要之因素，故適合鄰海等風速較大之地區	廠址經緯度為確立該廠建立太陽能系統可行性之主要依據	與廠址所收集之污水種類有關，建議高總固體含量之地區(通常為鄉村)，較為適合發展生質能
廠址規模	廠址規模較不影響系統設計	處理規模較為影響系統設計，與該廠空地及建物面積有關	污水處理規模越大越適合發展，然而能有多少能源回收率會是各廠所注重之問題

資料來源：【本研究自行彙整】

一、風能最適發展廠址及策略

參考國外風力發電案例後，調查我國是否擁有與 ACUA 水資中心類似區域特性之廠址，根據表 4.1-8 統計，若以風速作為評斷標準後，我國最適合建置大型發電系統為竹北、客雅及台中港特定區水資中心，而客雅水資中心因為處於新竹空軍航空管制區，建築高度不得超過 60 公尺，故建議以小型風力發電系統作為發展目標，其餘若空地面積較廣且暫時無下一期建設計畫，可作為風力發電系統用地，不僅增加能源自給率，更可作為當地觀光景緻，提升水資中心能見度。

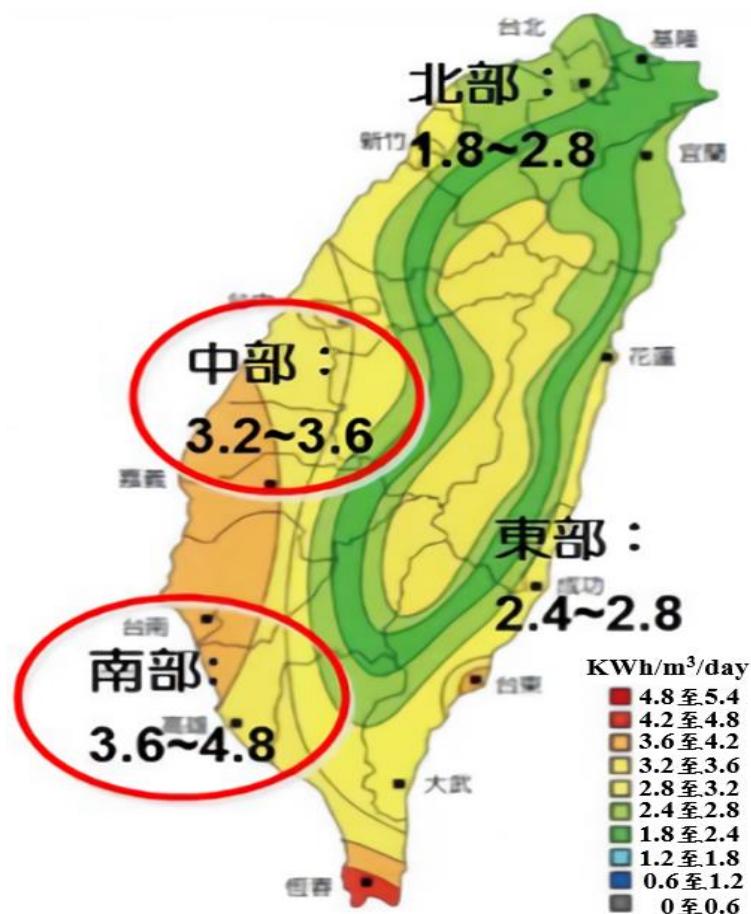
表 4.1-8 各水資中心平均風速

風速(m/s)	水資源回收中心
<4.0	鳳山溪、大樹、旗美、林口、福田
4.0-4.5	福田、仁德、楠梓、淡水
4.5-5.0	安平、虎尾寮、官田、柳營、永康、臨海
5.0-5.5	石岡壩、水湳、豐原、鹽水、中區
5.5-6.0	石門、大溪、竹東
6.0-6.5	龜山、中壢
6.5-7.0	桃園北區、楊梅
7.5-8.0	竹北
>8.0	客雅、臺中港特定區

資料來源:【61】【本研究自行彙】

二、太陽能最適發展廠址及策略

經文獻蒐集後及本研究彙整之六座具潛力水資源回收中心發展模式評估後，參考經濟部水利署針對我國日照時間之研究如圖 4.1-3 所示，我國平均日照時間達 1,300 小時，而我國中南部地區日照時間較為充足美日每平方公尺可產生超過 3 度電，建置效益較大，故本研究建議從安平水資源回收中心作為此模式之發展示範，最大原因不僅是氣候條件，更重要的是安平水資中心為目前我國太陽能發電量最大之水資中心，建議當地政府可依循首爾市政府之模式，媒合當地具規模之建設公司及管理業者，增加太陽能發電系統穩定性，減少廠方維護成本，並與用電大戶討論合約適切性，並從售電價格及數量上給予保證作為誘因，進而提升投資方意願。



資料來源:【68】【本研究自行彙整】

圖 4.1-3 我國太陽能發電效益

三、生質能最適發展廠址及策略

本研究建議可由各水資中心厭氧消化槽餘裕量、污泥產生量及當地居民日均廚餘量進行考量，本研究以高雄鳳山水資中心為例，該水資中心消化槽共有三槽，總容積達 $14,334\text{ m}^3$ 且每日可進料量為 $791\text{ m}^3/\text{day}$ ，而目前進料量僅約 $100\text{ m}^3/\text{day}$ ，消化槽約有 87 % 餘裕量，高雄市每年共回收約 250 噸廚餘，若以 5 % 廚餘作為共消化目標，並以每噸生廚餘產約 142 度電作估算，每日可增加約 1,775 度電力，惟目前我國尚未執行生熟廚餘分類，產電效能仍需依實際運作為主。



4.2 再生資源利用研析

隨下水道普及後，污泥去化管道將逐漸受到重視，水資源回收中心可利用之再生資源包括污泥、氮磷及再生水，污泥再利用之用途多為骨材及水泥；氮磷目前較無相關再利用管道；而再生水多為廠內自行利用，於再生資源再利用方面，我國仍有許多可利用之空間，故本研究利用該節探討資源循環模式及困境分析。

4.2.1 資源循環模式評估

目前我國再生資源再利用因使用端飽和使得目前水資中心污泥去化仍多以委外處理為主，導致控管難度較高，且增加委外處理費用，為遏止此惡性循環，建議於水資中心內進行減量減積，並找尋再利用管道，本研究評估各國減量策略後，研析污泥及氮磷再利用可行性，提升廠內能資源整合之機會。

一、污泥減量研析

污泥減量不僅可降低運輸成本，於脫水處理後更可提升熱值及脫臭，根據實驗結果得知，污泥含水率 35 %時，乾基熱值約為 2,354 kcal/kg，為含水率 80 %之乾燥熱值 3 倍高，當乾基熱值高於垃圾焚化設計熱值時(多設計為 1,900 kcal/kg)便可充當輔助燃料以降低原有輔助燃料之用量，在運輸方面，若含水率降至 30 %以下，污泥將呈粉狀並產生揚塵問題，造成運輸困難，經考慮需求及污泥乾燥後性狀，若以污泥乾燥而言，最適宜含水量約介於 40 至 50 %。

該小節研析文獻回顧內污泥碳化可行性，污泥碳化係以加溫加壓方式去除污泥內水分，並以最大限度保留污泥內碳值，大幅提升熱值及可利用性，目前宜蘭水資源回收中心計畫打造全國首創污泥碳化爐，在打造前經過一系列試驗及並針對碳化後產品之使用通路進行市場調查，其中考量地緣及規模，較有意願之事業機構為臺灣水泥蘇澳廠、臺灣電力公司及中龍鋼鐵，而較無意願之廠商也提出具體原因，以便後續可進行探討，如：廠區鍋爐動線固定若加入碳化產品恐進行大範圍更動造成成本增加；擔心灰份過高使得運輸成本增加；期望後續通過 CNS 國家標準，以提升使用意願，因此，為提高使用端之意願及周遭居民認可，建議處理過程以全

程密閉避免異味產生，並隨時保留樣品提供檢測以獲得使用端信任，最後於工程設計至產品運輸及使用上皆以循環經濟思維進行規劃，以作為典範提供國內各水資中心參考。

二、污泥再利用評估

污泥再利用管道分為材料化、燃料化及肥料化，而肥料化本研究至下一段落與氮磷資源合併討論，評估我國再利用去處特點及現況如表 4.2-1 所示，目前最廣泛被運用為材料化，其比例約 15%【69】，其用途主要為環保水泥、骨材、環保磚及路基等，惟目前污泥材料化仍受 CNS 法規未明確納入污泥作為原料，導致廠商及民眾在使用方面可能有所疑慮，且因產品成本及目前接受度較低，難與天然原料所製造之產品競爭，建議可先由輕質化骨材作為優先推動方向，初估未來市場用量及接受度提升，每年將約增加 3,000 噸污泥去化量；燃料化方面，經過 2.2 章節所調查國外案例，可得知目前各國皆以燃料化作為污泥去化之主要研究項目，過去各國皆以焚燒或掩埋作為污泥去化管道，在土地面積不足及焚化廠老化與循環經濟思維提升，掩埋之作法逐漸式微，各國為了以既有設施創造最大能資源整合價值，未來計畫推動污泥碳化產品作為輔助燃料，廣泛運用至各水資中心周遭事業，不僅減少水資中心污泥運輸成本，更可達到區域能資源整合效果；最後在綠地農用方面，與肥料化不同之處在於改變土壤吸水特性而非給予養份，然而再利用方面仍受「肥料登記證申請及核發辦法」相關規定恐不易通過，惟目前我國污泥重金屬含量以符合園藝作物施肥標準，可避免施肥對於土壤造成污染，建議先以園藝使用作為推動方向，待後續驗證及合乎規定後再另行發展以提高去化量。

表 4.2-1 再利用去處特點及現況

再利用去處	特點	現況	推動方向
材料化	應用廣泛且技術成熟，可因使用需求調整含水率	為目前污泥去化管道之大宗，包含水泥製品、景觀粒料、輕質混凝土	符合 CNS 之標準，提升市場接受度而優先作為強度要求較低之輕質骨材
燃料化	碳化污泥之高熱質及多孔隙性質適合作為輔助燃料，可望達 10,000 噸之去化量	我國多送至焚化爐焚燒，近期規劃於各事業進行利用	找尋使用管道並將產品設計為符合各類鍋爐之進料規格進而提升接受度
綠地農用	污泥碳化後因比表面積大可用來保留水分及維持營養素	國內較無使用案例，美國華盛頓州已有作為土壤保水材之案例	基於擔心食安及土污問題，建議先以園藝用地作為推動方向

資料來源:【本研究自行彙整】

三、氮磷再利用評估

我國氮磷等民生所需之稀有金屬皆需進口，然而我國目前並未有流佈分析及再利用管道，主要因素為氮磷回收通常利用於肥料使用，惟污泥於我國被列為事業廢棄物，根據「肥料登記證申請及核發辦法」第 5 條有關重金屬規定（如雜項堆肥 5-11，有機肥料類），以目前法規規定若肥料為污泥所製作無法核發肥料登記證【70】，故本研究建議參考國外技術後製成園藝用肥料，待循環模式穩定後可參考荷蘭嚴格把關稀有資源流佈，探討氮磷資源有效循環之途徑，進而減少稀有資源進口量。

4.2.2 再生水提升使用之作為

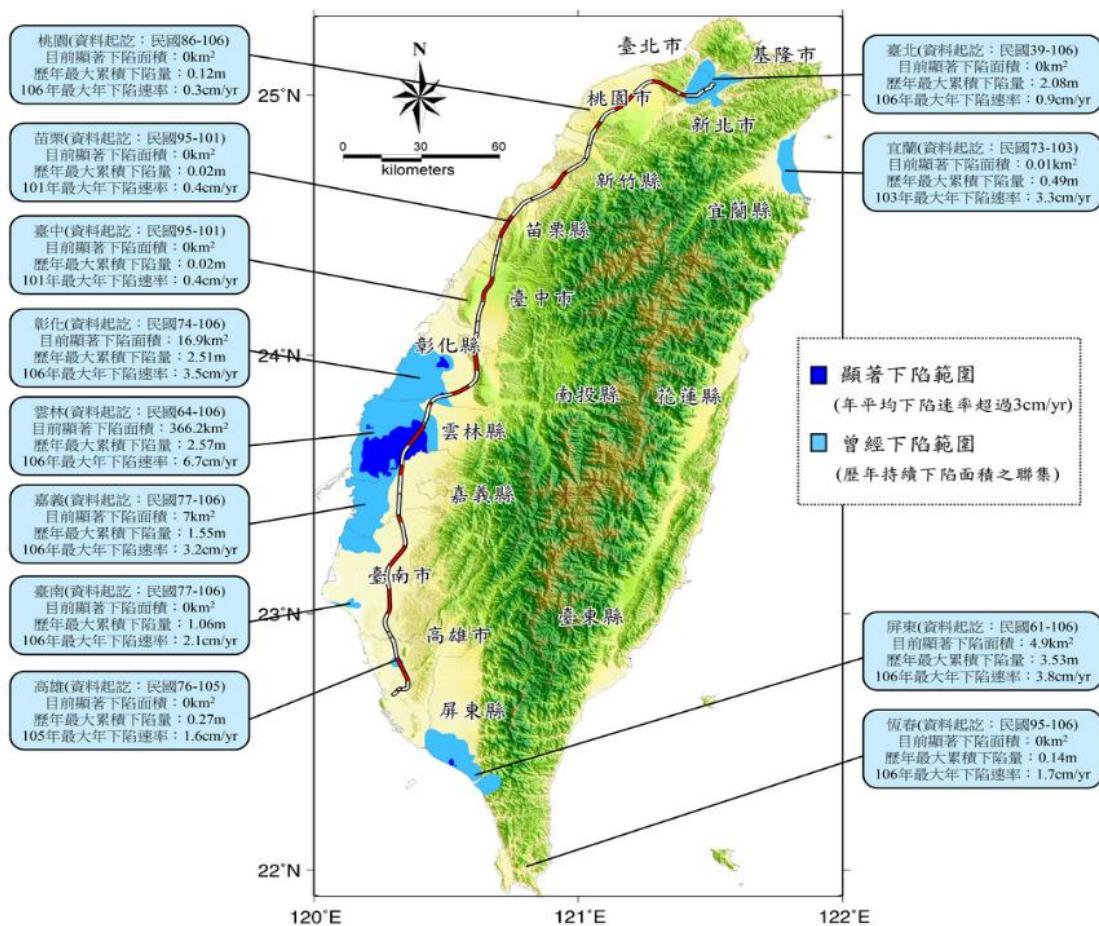
我國經濟部水利署將再生水利用視為重要的水源開發措施，目標於 2031 年再生水利用可達每日 132 萬噸之使用量，此使用量相當於各水資源回收中心污水處理量之 10 %，目前我國再生水使用管道多為水資中心內使用、消防用水及清洗街道等，我國再生水水質大部分已符合工業區用水使用標準，惟再生水需求端較少及水價問題使得再生水回收率偏低，本研究就此二問題進行研析，建議解決方案如下所述。

一、找尋再生水之創新出路

我國中南部沿海地區因過度抽取地下水而導致地層下陷，根據水利署調查 2017 年度我國地層下陷概況如圖 4.2-1 所示，可得知地層下陷最為嚴重之地區集中於彰化、雲林及嘉義，該年度已下陷 3 至 7 公分，累積下陷深度達 2.5 公尺，為補足地下水層避免持續下陷，建議雙管齊下，一方面提高再生水水質，增加再生水使用之管道，另一方面可參考美國利用再生水補注地下水層之方式，同時解決再生水使用管道過於單一及地層下陷之問題。

本研究以位處於地層下陷警戒區之斗六水資源回收中心為例，目前該水資中心可提供再生水 2,500 CMD，且目前已通過放流水標準，惟目前僅提供廠內澆灌及居民自取所使用，較無完整再生水配套措施，建議藉由多元監測設備如:GPS、

INSAR 及磁環分層式地層下陷監測井，搭配地下水位變化之數值，瞭解該地區地下水層之狀況，進而找尋下陷中心設立地下水位井，以提供最合適之補注位置，根據國外學者研究【71】，若將再生水內過高之鹽度及氮含量控制，再生水用於灌溉上將產生顯著效益，而建議可以與原先灌溉用水作一定比例之條配，進而減少原先農業用水之比例，並適當用於其他用水標的，更可使地下水超抽問題得以解決，目前我國再生水使用於灌溉上除離島地區因缺水問題嚴重外，尚無此應用，而此創新應用已成熟運用於美國、日本及以色列，而我國中南部作為農業大縣，適當利用再生水更可舒緩用水之壓力。



資料來源:【68】

圖 4.2-1 我國地層下陷顯著範圍

二、媒合潛在用水戶

若以經濟部水利署所訂定之每日 132 萬噸作為再生水利用目標，各水資中心仍有許多進步之空間，惟潛在用水戶不足，導致再生水最後僅放流至鄰近排放源，無法妥善運用，目前我國皆以區域能資源整合之概念，結合水資中心及鄰近工業區以提倡再生水廣泛運用，水資中心負責維持良好水質及提供穩定水量，避免旱季缺水時工業區無水可用；工業區及科學園區負責管理各廠商放流水水質及再生水利用比例，以促進循環經濟發展，目前於工業區內擁有較高意願使用再生水之產業多為石化業、印刷業及電路板製造等，其用途多做為冷卻使用，部分產業因製程較不需要良好水質方可投入製成。

然而許多大型水資中心周遭並無工業區等用水大戶可做再利用，取而代之的是農業及畜牧業等與居民食品安全息息相關之重要產業，本研究研析並彙整各類別產業對於再生水之應用及其所重視之水質細項如表所示，各廠可先行探討鄰近產業別組成，藉由此表瞭解該產業對於再生水質之要求，以達到放流水為基本要求下，針對鄰近大廠進行客製化淨水方針，避免水資中心浪費過多能源成本於對環境無害且廠商較不在乎之水質項目，進而找尋再生水處理之方向，最後透過政府協助雙方進行媒合，以達到該區位內能資源整合之可行性，減少過多運輸成本並且可避免水資中心將污水處理至遠低於水體涵容能力卻因無再利用管道而只能選擇放流。

表 4.2-2 各行業別所關心之水質項目

行業別	用途	關切水質項目
農業	澆灌	與飲用水相同
畜牧業	養殖	與飲用水相同
石化產業	冷卻	鈣硬度、總硬度、鎂鹼度、導電度、pH、COD
印刷業	製成	真色色度、導電度、總硬度、pH
電路板製造	製程	pH、COD、導電度、氯鹽、重金屬(需符合自來水水質)
半導體封裝及測試	製程	自來水水質一致
其他光電產業	製程、冷卻	導電度

資料來源:【72】【本研究自行彙整】

三、水價調整及獎勵機制

根據實廠計算及統計，我國再生水處理成本約為 18 元，而若用水大戶直接使用自來水之售價約為 12 元，若以不使水資中心因處理再生水而導致虧損，再生水售價不得低於 18 元，但以廠商而言，使用水質穩定之自來水，不僅不需擔心因水質問題所產生之風險，更可以利用較低成本獲取最大利益，根據本研究蒐集各國水價及各國國內生產總值，以每人每年使用 100 度自來水進行試算如表 4.2-3 所示，我國在負擔自來水之占比遠低於各國，仍有許多空間進行調整，若自來水價無法將實際成本反應出來，將導致我國在再生水發展及下水道普及上出現困難，我國將再生水納入我國用水主力視為重要施政重點，首要任務便是以不增加民怨並有效率提高自來水售價，以平衡兩者之價差，以提供更加完善之產業環境。

我國目前仍以立法強制廠商一定比例使用再生水，此作法雖短期內看見成效，然而卻非長久之計，建議我國以「再生水發展條例」規定各廠再生水使用量外，可

提供相關獎勵機制如：綠色標章、節稅及缺水時優先給水等誘因，並藉由政府確立供需雙方權責包含維護費用及穩定水質、需水量與水價。

表 4.2-3 各國水價負擔比例

國家	平均年水費(US\$)	國內生產總值(GDP)	水費占 GDP(%)
臺灣	39.53	24,577	0.1608
日本	124.1	38,440	0.3228
新加坡	203	57,713	0.3517
澳洲	241.6	55,707	0.4337
德國	221.5	44,550	0.4972
美國	146.46	59,501	0.2461

資料來源：【本研究自行彙整】

4.2.3 資源循環利用之困境分析

經上述評估水資中心內各項資源循環之可能性，瞭解到我國目前資源循環之困境分別為廠商與民眾對產品接受度低導致通路不足；天然原料價格低廉，導致市場價格上污泥再製品難以競爭；我國法規上未完整將下水污泥作明確定義，使得再製品使用管道萎縮，針對因目前我國現況所導致各資源面臨之困境，本研究列出各困境可能之解決辦法如表 4.2-4 所示，詳細討論如下：

表 4.2-4 資源循環之困境及解決方案

面臨困境	現況	解決方案
通路不足	製造端及利用端鏈結較低 再製品案例過少，導致廠商信心不足	完成強度驗證，提升廠商信心 將使用此再製品之建築可獲頒綠色標章等獎勵機制
市場價格激烈	原先市場價格過低，導入污泥再製品恐因售價過高難以競爭	若要以污泥去化及落實循環經濟為主要利益，勢必調整產品售價以提升再利用率 調整自來水價格，提升再生水於市場競爭力
法規標準	不符合既有相關肥料標準 未明確將下水污泥納入 CNS 之原料	嚴格控管進流水水質，使重金屬含量控管至與已成熟利用下水污泥製肥料之國家相同 藉各項強度及硬度驗證，確認其穩定性，建議可將污泥納入 CNS 國家標準內合格原料

資料來源:【72】【本研究自行彙整】

一、再利用通路不足

我國無論在再生水及污泥品質皆與先進國家接近，然而目前我國污泥再利用上實際案例較少，使得各產業業者有疑慮不敢大量使用，此外，再利用端方面目前與水資中心鏈結較不明顯，導致在運輸及質與量上較無完整合約及模式探討，使得許多合乎再利用標準之再生資源僅可以放流或掩埋做為去化管道，本研究研析此

問題探討其解決辦法，認為提升各產業對於再製品之強度信心為首要關鍵，建議可配合政府政策，提倡使用再製品建造之建築或使用再製品之產業可獲頒綠色標章，不僅可做為周遭居民環境教育場域，更可利用此標章向政府申請綠色基金，提升綠色生產力，且可使去化管道更多元且流暢。

二、市場價格激烈

根據本研究資料蒐集，可得知再生資源在價格上仍無法與市場上既有主流產品抗衡，以污泥為例，因污泥燒結成本較高，作為道路基底之經濟價值較低，然而卻是目前污泥去化主要來源之一，建議政府可建立輔助機制，進而降低製作成本，壓低其售價，此外，經過文獻研究，污泥經過燒結作為 CLSM 材料並取代骨材量 30% 之內時，最具經濟價值，且經濟效益較顯著。

新加坡為極度缺水國家，自來水需藉由馬來西亞輸水以維持民生經濟，然而因政治因素及水資源重要性逐漸提升，使得馬國政府傾向提升運輸費用，因此新加坡政府致力於開發 NEWATER 減少對於馬國之依賴，為提升 NEWATER 在市場上競爭性，新加坡水價 2017 年至今以提升 30%，並依照使用量提升污水處理費用及稅費，然而新加坡政府不只提升水費，以節約用水作為獎勵仍然持續給予，因此提升水費也間接使得節約重要性獲得重視，我國同樣作為缺水國家，再生水發展仍在起步階段，水價問題同樣為我國困境之一，新加坡政府在價格及獎勵制度上並行之方式值得我國參考。

三、法規標準較不明確

污泥肥料化在許多重視農業之國家以成熟使用，污泥內含有豐富大量氮磷等提供植物生長的再生資源，可減少該項資源大量進口之窘境，而目前我國尚未利用在農業上主因為我國在製肥原料內含事業廢棄物之肥料登記申請下較為嚴格，登記證申請上較為困難，導致我國在污泥肥料化上案例稀少，而造成法規上如此嚴謹之因素為我國許多工廠為了節省污水處理相關費用，將廠內污水直接排入下水道，導致水資中心污泥在重金屬檢驗時常有異常超標之情形，使得我國行政院農委會

為了鞏固我國民眾對於農產品之信心，始終無法開放此類肥料申請，為維護我國環境永續及提升循環經濟之發展穩定性，建議我國對於工業偷排之情事可嚴格執法並加重刑責，減少類似情事發生，間接提升法規鬆綁之可能。

4.3 能資源整合發展策略

能資源整合為循環經濟發展之第一步，在零廢棄及永續循環發展之思維下，我國工業發展漸漸由線性經濟發展轉為循環經濟，並由單一工廠進行能資源循環演變成區域性能資源整合，本章節探討我國未來在能資源整合發展上之策略及永續發展措施，最後研析強化循環經濟思維之可能性。

4.3.1 區域能資源整合

為瞭解我國以水資中心作為區域能資源整合之核心可能性，本研究於 2.3 節探討各國於區域能資源整合之規劃，以我國現況研擬國外管理技術導入之可能性。

一、工業區區域能資源整合展望

根據文獻蒐集新加坡在工業區區域能資源整合之成功案例，可得知不僅在工業區內產業觀摩龐大及多元化，最重要之成功因素在於公共設施區位上相互鏈結及法規上獎懲並行，使得原先會大量消耗能源及資源之工業區順利轉型成零廢棄及完全能源自給之高經濟價值場域。

參考我國目前工業區發展，據本研究研析新加坡成功因素後，較具有發展區域能資源整合之工業區為高雄臨海工業區現況，參考其現況，目前進駐廠商接近 500 家，產業類型超過 20 種屬於綜合型工業區，且不乏大型企業如台糖、中油及中鋼等，此大型企業進駐不僅可成為該市經濟發展重要支柱，提高工業區在全球知名度，更因大型企業十分注重企業形象，在參與政策上可能會較為積極，且若大廠願意將再生資源投入製程，將會提升各廠對於再生資源品質之信心。

區域能資源之核心在於將各廠認為不需要之廢棄物轉移至其他廠商轉變成該廠商不可或缺的重要資產，以工業區內中鋼公司為例，如表 4.3-1 所示，中鋼擁有

許多可再利用資源，然而在單一工廠內發展恐不易，建議覓尋其他產業作為再利用端，其帶來效益可觀，不僅中鋼因電能需求甚高，積極發展汽電共生系統，然而對於熱源需求不高，若將熱能由冷卻水塔釋出恐導致更大的耗電，因此找尋需要熱能之廠商進行鏈結，不僅減少本身耗電量及耗材損失更可使得下游廠商可節省許多燃料。

表 4.3-1 中鋼公司區域能資源發展項目

過去廢棄能資源項目	可再利用端	效益
餘熱	石化相關產業	中鋼減少冷卻成本 再利用端減少燃料使用
水淬爐石	中聯資源公司 永觀公司	再利用端製程爐石粉供後續材料化(水泥預拌料及 AC 骨材)
蒸氣	紡織、染整相關產業、水資中心	中鋼以低價販售廢蒸氣， 再利用端可節省成本
工業氣體(氰氣、氮氣)	化學相關產業	中鋼以低價販售廢蒸氣， 再利用端可節省成本

資料來源:【本研究自行彙整】

本研究研析工業區內水資中心與各產業發展區域能資源整合所帶來之效益如表 4.3-2 所示，可得知水資源回收中心在工業區之區域能資源整合扮演非常重要之角色，不僅作為廢水處理設施，水資中心可適時利用各廠不需要之廢蒸氣或廢熱進行厭氧消化，且水資中心內乾燥污泥可作為產業內輔助燃料及其他材料之原料(如:水泥預拌料及 AC 骨材等)，更可使得各產業在原料來源及水資源運輸成本降低，而工業區內有許多用水量龐大之產業，若可將再生水作為一股穩定水源來降低在中南部地區容易缺水之風險，可提升各產業駐廠之意願，另一方面，區域能資源整合也解決過去水資中心再生水使用量過低及污泥去化管道問題，惟目前問題除水價之外，工業區內尚未埋設再生水管線，且目前施工費用及管理職責仍未順利商討，待政府進行協調，此外，各廠所需水質也不一，導致水資中心對於各廠水質需求仍不夠瞭解，可由問卷調查瞭解後並依水質分配管線，以達到能資源循環最大化並適度降低環境負荷。

表 4.3-2 水資中心區域能資源整合發展效益

效益	效益說明
降低再生資源運輸成本	1.埋設再生水管線線路較短，節省建設及維護成本 2.再生資源運輸距離短，減少環境衝擊
部分設備共同使用減少餘裕	可藉由污水共同處理來減少各廠增設污水處理設施所浪費之空間
能資源妥善循環	水資中心厭氧消化所產沼氣除廠內自用，多餘之能資源也可運送至鄰近廠商使用，使得能資源循環最大化
善用再生水以降低缺水風險	許多工廠內水資源使用龐大，若將再生水作為冷卻等水質需求相對較低之用途，可減少自來水用量，並可將再生水視為緊急用水

資料來源:【本研究自行彙整】

二、智慧城市發展可能

隨著科技進步及高齡化社會下，人口大量移至都市，使得都市內交通、醫療及教育各方面之負荷已超乎過去，全球各高人口密度之城市紛紛引進 AI、物聯網等分析城市內各項資料，透過大數據分析作為輔助市政決策時使用，使得智慧城市之發展迅速。桃園市為全國工業聚落最為密集之城市，環境負荷理應相對較重，然而在政府及企業努力下仍可以獲得環保署評比中拿下良好成績，成績斐然主要歸功於桃園市政府提高企業廢水排放標準，並以廢水全回收作為發展政策，其所利用之技術不僅包含過去淨水回收程序，更導入「桃園市智慧地下水管理系統-揭開地下水神秘面紗」及「桃園市下水道雲端智慧管理系統」，藉由與企業合作裝置電子水錶及水位計瞭解地下水水位變化，提供水務局地下水監測之重要依據，且運用物聯網(IoT)、地理資訊系統(GIS)並透過擴增實境(AR)瞭解污水下水道設施的位置，透過 IoT 管理各處理廠狀況，包括處理水質監測及設施狀況，能夠協助未來全市在下水道系統進行智慧化管理【73】，透過智慧城市發展後，可提升水資中心對於進流及放流水管理效能，並透過智慧水網發展找尋破損管路，避免消耗大量能源之再生水因此漏損，此外，藉天羅地網環境資訊及污染預警監控系統將全面 E 化管理，可結合水質監測站，完成放流水自動連續監測系統建置，以監控全市放流水量，降低環境負荷。

4.3.2 循環經濟思維強化

世界各國對於循環經濟皆十分重視，在歐盟及美國等先進國家皆陸續建立循環經濟相關平台及研究中心，彙整各國循環經濟思維及實際案例提供官方及非官方產業進行參考，我國在推動循環經濟上也不遺餘力，在蔡總統就職演說後受討論程度更達到高峰，為維持討論熱度，建議可進行以下措施，以強化國內循環經濟思維。

一、彙整各國循環經濟案例

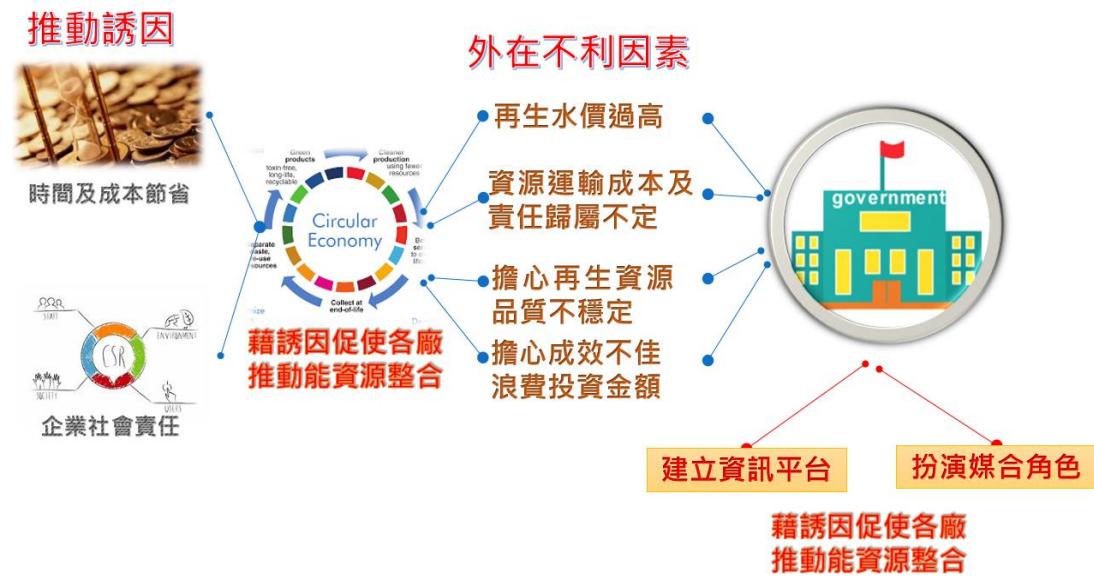
循環經濟理念在各國皆有實際案例，包含水資中心廠內能資源整合及各廠循環經濟皆有我國可參考之典範，建議可參考經濟部水利署彙整日本水再生中心廠內能資源整合現況及亮點，該彙編蒐集遍佈日本全國 28 座具代表性創新技術應用之水再生中心能資源整合相關資訊，代操作業者將節省成本以提升公司獲利作為節省能耗與提升能源自給之發展動力，間接促進水資源回收中心能資源整合效率提升，藉由該彙整得知日本為落實循環經濟及能資源整合所做管理制度，透過與各企業合作產生鏈結以獲得資金投資來減少水資中心之負擔，此外透過彙編瞭解日本水再生中心內對於能源自給及提高生產效能之重視，建議可透過各類循環經濟成功案例彙編做為我國參考，配合產官學研多方合作之模式，促進循環經濟體之發展，以落實我國政府對於前瞻計畫之期許。

二、辦理教育訓練，深植思維於各廠

完成各國循環經濟實際案例彙整後，可藉由實際訪查我國高潛力水資源回收中心目前能資源整合現況，並給予推動上之建議，此外，辦理相關教育訓練分享案例彙整，將國外成功經驗同步導入我國實廠，使得較為基層之民眾也可以瞭解循環經濟之價值，期望我國未來可不必靠法律規定來進行能資源整合，取而代之的是由各廠自動自發提升能源自給率及資源循環再利用，落實循環經濟之理念。

三、創造政府與民間企業循環經濟鏈結管道

循環經濟鏈結管道如圖 4.3-1 所示，經由辦理相關教育訓練後，企業可能會因藉由循環經濟而獲得效益(如:時間及資金成本降低、企業社會責任等)所吸引，然而仍然有許多外在因素(運輸管線責任歸屬、品質及成效)造成阻擋，此時須仰賴政府作為鏈結管道，藉由建立資訊平台提供水質水量資訊、使用端需求及國外最新管理技術等，並扮演雙方媒合角色，利用簽訂互利契約解決再生水管線及再生能源歸屬責任，避免擔心未來職責歸屬不清楚影響循環經濟發展，最後利用資金補貼制度增加各產業投資風險，以利循環經濟發展上可以更加順暢。



資料來源:【本研究自行彙整】

圖 4.3-1 政府扮演循環經濟管道之作為

4.3.3 永續發展措施

永續發展之定義為「滿足當代發展的需求，又不損害後代人的發展需求」，將跨世代之公平正義及外部性作為發展重點，因此可得知永續發展所涉及層面不單單只是環境面，而是擴及環境、經濟及社會面並且三者息息相關，因此若要研析水資中心未來可發展之永續循環措施，須從現今重要社會議題及經濟發展進行探討，本研究針對我國近年較為嚴重之社會議題，研析水資中心可研擬之永續發展策略如表 4.3-3 所示，冀望藉由各項永續發展措施，可使水資中心不僅可以處理廢水，更使水資中心為各項社會問題盡一份心力。

表 4.3-3 我國社會議題及永續發展措施之關係

社會議題	永續發展措施	效益
少子化	廠內增設智慧管理系統以減少人力	廠內減少人力資源 補足其他人力需求
城鄉差距大	偏鄉地區水資中心 污泥共同處理，減少能源浪費	污泥共同處理可增加沼氣產生量及節省土地面積以做其他用途
空氣污染嚴重	善用水資中心區位特性發展再生能源	減少火力發點所造成空氣污染
供電不穩定		提供多元化發電管道 舒緩既有發電設施
用水標的分配問題	強化利用再生水 減少自來水使用	解決缺水問題並 落實循環經濟

資料來源:【本研究自行彙整】

4.4 績效提升之作為

利用上節強化基層之循環經濟思維及研析永續發展策略後，經由經濟部水利署所設計之永續循環效率指標評斷各水資中心目前能資源整合現況，利用本計畫所研析之六座水資中心做為試算對象，依照固定權重所計算，其分數如表 4.4-1 所示，可得知目前各廠非常接近或已大於銅牌(大於 65 分)之分級標準，其實質意涵為該廠具有能資源整合之潛力，故本研究建議可藉由法令政策、管理措施及技術評估以提升各廠能資源整合之實質成果，並做為鄰近水資中心參考之示範，提升我國整體水資中心能資源整合之效能【50】。

表 4.4-1 各潛力水資源回收中心績效指標之成績

廠址	水循環指標分數				能源利用分數				資源利用分數			SCI 總分	
	水 再 生 率	再 生 水 質	使 用 端 效 益	總 計	能 源 自 給	CO ₂ 減 量	電 能 管 理 系 統	再 生 能 源 開 發	總 計	污 泥 含 水 率	再 利 用 率	總 計	加權 成績
淡水	40	25	5	70	0	0	5	0	5	50	0	50	44.25
迪化	40	25	5	70	0	20	0	0	20	40	0	40	48
桃北	40	25	20	85	0	0	5	0	5	40	0	40	49
福田	40	25	20	85	35	20	0	25	80	40	0	40	77
安平	40	25	20	85	30	0	0	10	40	40	0	40	63
鳳山	40	25	20	90	0	20	0	0	20	40	0	40	58

資料來源: 【50】【本研究自行彙整】

4.4.1 政策推廣

各國對於提升循環經濟作為皆有針對各項能資源所推動之策略，如表 4.4-1 所示，本研究彙整各國對於水、能源及廢棄資源所推動之政策提供我國作為參考，

表 4.4-2 各關注能資源策略推動參考

項目	國家	政策參考	效益
水	荷蘭	循環城市再生計畫	找尋再生水穩定去處
	南韓	水循環城市計畫	
	美國	回收水資源主要計畫	
能源	法國	氣候與能源行動計畫	加速能源與氣候的轉型，落實「巴黎協定」的長期目標
	荷蘭	食物、能源、廢棄物再生計畫	提高再生能源比例暨處理廢棄物及廚餘
	日本	城市能源行動計畫	達成國際減碳承諾，加速社會轉型
資源	荷蘭	park20 20 資材銀行推動	結合資源回收與商業模式的概念
	英國	蘇格蘭零廢棄計畫	改善供應鏈的運作模式，朝向更循環的方向發展。

資料來源：【74】

我國水資中心在進行能資源合之推動上逐漸成熟，惟須一組具有實質效益之績效指標來評估各廠能資源利用現況，以便各廠在完成階段性能資源成果後，可評析該創新技術或管理模式所帶來之效益及進步之幅度，建議政府可將經濟部水利署所設立之永續循環效率指標作為評估工具，期望藉由下述步驟提升該指標內各項數據可更趨實廠化，使得水資中心填寫該表後可完整顯示現況及未來發展重點，最後冀望水資中心因瞭解指標受政府受到重視，進而帶動各廠發展各項能資源整合策略以提升指標之分數。

一、試算及修改

永續循環效率指標目前仍處草創階段，已藉由多次表單發放進行內部試算部分廠址之加權分數，惟目前指標內項目並非適合我國各廠，為將此指標作為我國水資中心能資源整合之主要發展指標，建議可以政府名義發放表單使其獲得各廠重視，再由研究團隊藉試算後針對各界認為具有發展能資源整合潛力然而所得分數卻偏低之水資中心進行訪視，瞭解分數偏低之可能原因，如：指標設計上疏漏，導致該廠所做之發展策略未能彰顯於指標上，設計團隊可藉由討論後修改，使得指標可更貼近實廠情況，表單填寫也可更平易近人。

二、建立績效指標資料庫

隨著大數據分析時代來臨，資料分析與探勘便成為顯學，建議完成指標建立及表單發放後，將各廠回傳之資料進行彙整並將資料透明化，給予各廠進行參考並提供一公平競爭之平台，此外，透過歷史資料彙整可瞭解推動政府政策及各廠努力下能資源整合之進步幅度，並提供他廠探討相同技術發展帶來效益之重要參考依據。

三、設立獎勵制度

在完成初步規劃後，建議政府可藉由辦理循環經濟輔助計畫，將永續循環效率指標作為審查依據，此外，成立審查團隊針對符合資格之水資中心進行訪查確保資料完整及準確，此獎勵機制可使高潛力廠址可藉政府補助提升能資源整合效率。

四、規劃示範廠址

在循環經濟推動上有許多可行性策施及技術提供我國水資中心參考，然而目前仍有許多技術尚未於實廠進行應用，許多代操作業者擔心過多的投資無法換來實際效益，導致公司嚴重虧損，故代操作業者大部分以維持現況為主要經營原則，使得水資中心在能資源整合方面進步幅度不大，因此本研究建議獲得政府補助之廠址進行彙整，將創新技術及管理觀念提供各廠參考，提升投資新設備及技術之心。

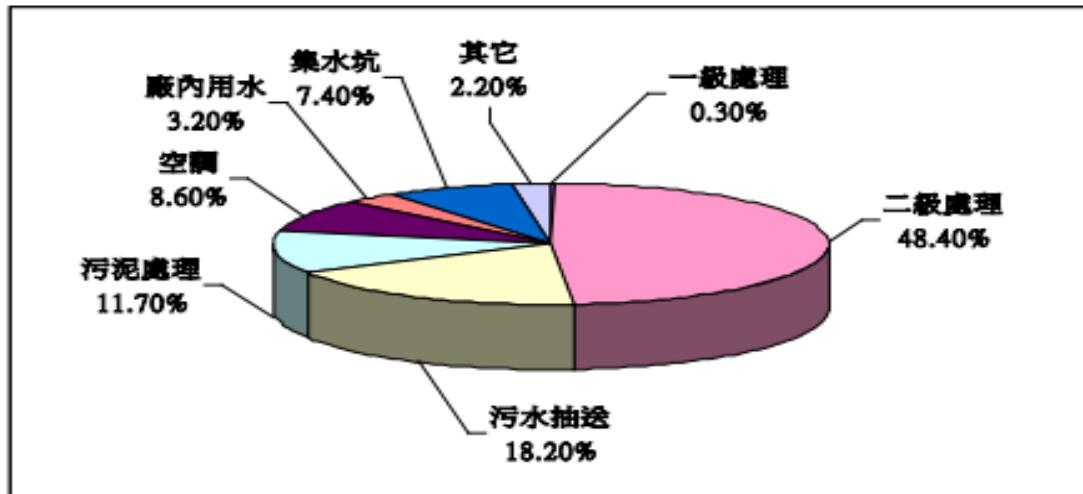
總結以上步驟，若需提升能資源整合績效並鼓勵民間機構擴大產業基礎，建議政府可建立完善產業發展獎勵制度、綠色融資貸款及綠色服務採購之機制，提升資本風險承擔之意願及能力，達到共享整體經濟與社會轉型之效益。

4.4.2 管理措施

為了落實循環經濟，有效的節省能源及資源管理是十分重要之管理措施，本研究研析水資中心可行性之節能及資源管理措施，提供各單位參考。

一、節能管理措施

根據圖 4.4-1 所示，水資中心內耗能較高之處理單元皆屬於污水處理部分，若以能源完全自給作為發展目標，節省污水抽送及二級處理單元消耗之能源所創效益龐大且較不因區位特性影響，建議水資中心可利用 ICT(資訊及通訊科技)建置智慧型電能管理系統，有效監控各單元用電情況，所帶來效益不僅可達到合理化用電成本之目的，更可找尋異常用電設備並進行更新，本研究研擬水資中心建置智慧型電能管理系統之主要功能及預期效益如表 4.4-3 所示；此外，廠內廣泛使用鼓風機及泵來運送污水及污泥，尤其以鼓風機曝氣系統所消耗電力最為龐大，建議水資中心可增設變頻器調節不同水質水量及處理階段之風量，避免造成不必要之浪費，期望藉由導入智慧節能系統及設備更新並配合拓展再生能源可提升水資中心能源自給率，進而增加永續循環效率指標之績效。



資料來源:【75】

圖 4.4-1 水資中心耗能分佈

表 4.4-3 電能管理系統預期效益

	主要功能	預期效益
ICT(資訊及通訊科技) 建置智慧型電能 管理系統	自動抄表	
	電力品質監控	1.用電負載之需求量及排成控制，可節約流動電費及減少超過合約電量的機會
	狀態監視及電腦監控	2.藉由電力監控的自動化資料蒐集，合理反映各單位用電成本，提高節電動機
	用電監視及記錄	3.完整用電紀錄，作為用電管理與決策依據
	電力需求量監測及控制	4.找尋異常用電

資料來源:【75】

二、資源管理措施

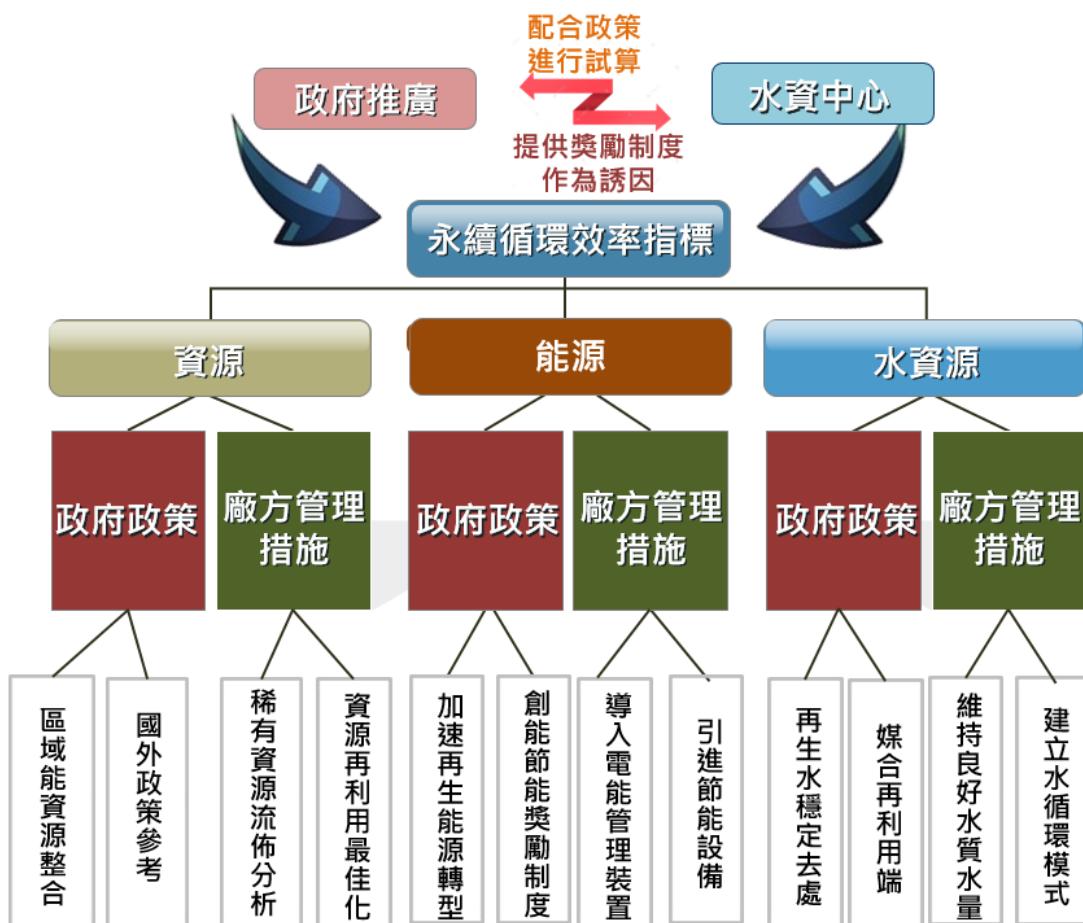
位處高風險缺水且十分仰賴進口稀有資源之國家，水資中心內再生水及資源具有回收之潛力，因此我國水資中心在資源循環上扮演重要角色，惟目前我國對於資源流佈尚無相關整理，故無法完整統計及瞭解資源去向及再利用比例，進而導致目前我國於稀有資源再利用比例偏低，廠方可成立相關團隊，調查水資中心內擁有較高回收潛力之資源如：水及氮磷，後續可藉由流佈分析研擬各資源再利用可行性措施，以落實循環經濟。

污泥再利用方面多以材料化及燃料化為主，然而部分位處於都市之水資中心若將污泥送至工業區進行再利用其效益不大，故目前都市水資中心仍多以焚化或掩埋作為主要去化管道，而掩埋對於環境之影響較為嚴重，且在考量運輸成本後，焚化對於都是水資中心污泥去化而言仍可能是較為經濟性之作為，建議各廠可先以乾燥或碳化之方式降低污泥含水率及體積，避免熱值過低影響焚化爐之運作及維持焚化爐之合理餘裕量；而其他鄰近工業區或水泥產業之水資中心，仍建議以低價或無償販售至產業鏈，並參考美國政府污泥管理系統，藉由 National Biosolids Partnership (NBP) 等第三方進行品質管理認證，並利用 ISO 14001 評估其對於環境之衝擊，提升企業對於廢棄物再利用之信心【76】。

4.4.3 綜合評析

為將永續循環效率指標作為我國水資中心能資源整合之績效評估，本研究將確立指標完善度作為首要目標，期望藉由本研究經研析政府政策及水資中心管理措施後，針對兩者連結進行研擬，冀望提供良好合作關係及高效率能資源整合管理模式，本研究針對政府及廠方對於各項能資源整合項目所進行整理如圖 4.4-2 所示，可研析出無論是政策推動或管理制度之策略，兩者皆相輔相成，政府藉由廠方配合政策宣導提升政府執行效能；廠方藉由政府推廣有利循環經濟政策及資金補助，落實廠內能源自給及能資源整合，可望打破過去水資中心以電換水及鄰避設施之不良印象，最後期望以高效率能資源整合之公共設施作為典範，帶動其他如焚化

爐、海水淡化廠及發電廠等過去視為鄰避公共設施，也可將循環經濟思維納入營運策略，雖究短期成本觀點作為考量，因增設設備導致成本提升甚至初期產能效率並未能符合預期，然而後續經濟效益及環境友善程度將無可限量。



資料來源:【本研究自行彙整】

圖 4.4-2 政策與管理措施之關係

第五章 結論與建議

本研究藉由文獻蒐集及比較分析法瞭解我國水資源回收中心能資源整合發展現況，研究方向包含節能與創能措施、再生資源循環及能資源整合推動策略等，亦探討我國能資源整合績效評估設立狀況與未來推動策略，冀望導入國外政府政策及新興設施與技術後，以績效評估指標作為比較現況及未來發展後之工具，並使得我國各水資源回收中心可瞭解中心內可發展之前瞻，創造經濟效益及降低環境負荷，經本研究彙整分析後獲得結論及建議如下：

5.1 結論

1. 我國設定於 2025 年再生能源發電量可占 20 %之政策目標，然而目前我國再生能源發電量僅占 5 %，仍有努力之空間，根據本研究計算，我國中南部地區之大型水資源回收中心若發展太陽能及生質能，年平均發電量可超過一百萬度以上，若未來下水道普及率提升，生質能發電量將超出原先預期，冀望藉由水資源回收中心發展再生能源以提高我國再生能源使用比例，進而落實我國所設定之發展目標。
2. 為達到永續發展之標的，需瞭解我國重要民生議題，我國因少子化及都市人口密度過高，許多城市致力於發展下水道普及與自動化監測，以減少青壯年工作人力與環境負荷，冀望提升污水處理能力外，可藉由自動化監測掌握各單位用電情形進而減少不必要之耗能，使其達到能源使用效益最大化。
3. 污泥去化管道隨下水道普及後更受到重視，以都市為例，都市內水資源回收中心所產生污泥送至水泥廠恐因運送成本過高無法符合經濟效益，可參考日本將鄰近水資源回收中心所產生污泥共同處理，並配合廢棄物清運單位將廚餘送至厭氧消化槽進行共消化，最後將沼渣乾燥脫水提高熱值後，送至焚化爐作為輔助燃料。

4. 新加坡致力於發展 NEWATER 擺脫鄰國供水之依賴，為了獲得民眾對於水質之信任，進流水在進入 NEWATER 水廠需為民生用水且需完成二級以上污水處理，此外，為提倡 NEWATER 之使用比例，政府調漲自來水價且工廠若使用 NEWATER 將免去繳納污水費及節水費，使得工廠共節省約 40 %水費，並為新加坡境內再生水找尋穩定出路，值得我國研析。
5. 水資源回收中心為能資源整合之重要核心，其在區域能資源整合所扮演角色不僅處理廢水及污泥，更可藉由收受工業區內工廠廢熱維持厭氧消化槽之溫度，也可將水資中心內所產生之再生能源及污泥再製品送至工業區內相關產業進行再利用，落實區域能資源整合之理念。
6. 藉深耕循環經濟思維後，決策者在發展再生能源及找尋再生資源出路將更為投入，間接提升我國水資源回收中心能資源整合之成果，然而仍需政府適時提供經費補助與政策決議之配合，藉此提升政府聲望，更可使得水資源回收中心有足夠技術及經費發展多元化能資源整合設施，冀望循環經濟可擴展至全臺水資源回收中心。

5.2 建議

1. 我國在發展水資源回收中心再生能源時，常有投資金額過高且效率不彰等問題導致投資信心低落，進而無法提升能源自給率。有鑑於此，建議政府可參考首爾市政府發展太陽能之政策決議，首先經由專業人員評估該廠發展潛力；藉由政府向民眾提撥發展基金後，給予高潛力水資回收中心適度補貼，最後強制其年產電量並要求鄰近大型企業使用部分再生能源以增加再生能源產電量。
2. 水資源回收中心發展再生水時所面臨重要困境在於再利用端使用意願不足，其主要因素為自來水價遠低於再生水處理價格，目前政府為了完成 2031 年再生水利用達 132 萬噸之目標，已完成鳳山再生水廠建置並媒合許多大型企業使用該廠再生水，若政府未來可適度調整自來水價並建立更加完善之節費或獎勵制度，我國再生水使用率將符合政府之願景。
3. 若政府計畫將永續循環效率指標列為水資源回收中心能資源整合之重要評鑑指標，建議可藉由試算、建立各廠資料庫、設立獎勵制度及選定示範廠址作為發展順序，冀望提升指標度之餘更可將指標內細項調整至最佳化。
4. 本研究調查各國能資源整合之實際案例後，許多成功之創新技術及管理模式值得我國參考，且順應我國總統將循環經濟列為重要發展之趨勢下，建議我國可彙整各國水資源回收中心重要案例及法規制度創新，藉由舉辦教育訓練將彙整國外最新資訊分享至基層，並探討目前各廠發展困境，最後創造政府及民間企業鏈結試圖解決各廠面臨之問題，以落實循環經濟之理念。

參考文獻

- 【1】 蔡英文就職演說全文，天下雜誌，2016 年
- 【2】 臺灣電力公司，<https://www.taipower.com.tw/tc/page.aspx?mid=204>
- 【3】 經濟部水利署，能資源整合循環型水資中心規劃之研究，國立臺北科技大學，2017 年。
- 【4】 用數據看臺灣，<https://www.taiwanstat.com/statistics/renewable-energy/>
- 【5】 World Wind Energy Association，<https://wwindea.org/>
- 【6】 Windustry，http://www.windustry.org/how_much_do_wind_turbines_cost
- 【7】 world energy council，<https://www.worldenergy.org/>
- 【8】 經濟部能源局，太陽光電推動方案，2017 年
- 【9】 張菁雅，台中福田水資中心太陽能電場啟用年發電量 150 萬度，自由時報，2017
- 【10】 鄭幸雄，兩段式高溫厭氧生物共消化程序開發應用，中工高雄會刊 第 22 卷 第 2 期
- 【11】 陳文嬅，全國首座生質能源廠+再生水廠高雄催生，自由時報，2019 年
- 【12】 The International Renewable Energy Agency (IRENA), *Renewable Power Generation Costs in 2017,2018*
- 【13】 W.A.M. Ghoneim, A.A. Helal, M. G. Abdel Wahab, *Renewable Energy Resources and Recovery Opportunities in Wastewater Treatment Plants*, 2016 3rd International Conference on Renewable Energies for Developing Countries (REDEC)
- 【14】 REN21, Renewable 2018 Global Status Report,2018
- 【15】 Australian Water Association, *Renewable energy system powers wastewater treatment plant*,2017
- 【16】 Hunmo Jeong , *Sewerage Treatment System in Seoul*, Seoul Metropolitan Government ,2013

- 【17】 IEA Bioenergy Task 37, *Sustainable biogas production in municipal wastewater treatment plants*,2015
- 【18】 Ho Kang, *South Korea Country Report*,2013
- 【19】 Cozma Petronela, *Modeling and simulation of high pressure water scrubbing technology applied for biogas upgrading*, Clean Technologies and Environmental Policy in May 2014
- 【20】 社團法人日本下水道協會,下水道ビジョン 2100,2005
- 【21】 J. Daw, K. Hallett J. DeWolfe I. Venner ,*Energy Efficiency Strategies for Municipal Wastewater Treatment Facilities*,2012
- 【22】 經濟部水利署，日本水再生中心能源資源整合創新技術彙編，2019
- 【23】 宮城縣縣南淨化中心下水污泥燃料化施設，<http://www.sato-kensetsu.co.jp/works/seisan/clean-center>
- 【24】 秋田臨海處理設施概要，<https://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/1962>
- 【25】 馬鴻文，臺灣地區磷資源流佈現況及議題討論簡報，2011
- 【26】 Hoek, Jan Peter; Duijff, Rogier; Reinstra, Otto ,*Nitrogen recovery from wastewater Possibilities, competition with other resources, and adaptation pathways*，2014
- 【27】 內政部營建署，公共污水處理廠放流水回收再利用示範推動方案，2013
- 【28】 吳怡萱，鳳山水再生水啟用提升用水效率，高雄市政府水利局，2018
- 【29】 許立明，鳳山水資源中心通水創造污水價值，高雄市政府新聞局，2018
- 【30】 許祖菱，星馬打水戰 供水 99 年馬國喊加價 星國：須按協議行事，2018
- 【31】 蔣亞岑，星國逾 5 成用水都依賴大馬，馬哈迪為何 16 年來兩度想毀約?，2018
- 【32】 Olivier Lefebvre,*Beyond NEWater: An insight into Singapore's water reuse prospects*,2018
- 【33】 Hannah Lee, Thai Pin Tan, *Singapore's experience with reclaimed water: NEWater*,2015
- 【34】 陳良棟，能資源整合循環新趨勢，2018

- 【35】 經濟部工業局台中工業區，
<https://www.moeaidb.gov.tw/iphw/taichung/index.do?id=32>
- 【36】 National Environment Agency Singapore, *An Overview of the IWMF*,2016
- 【37】 National Environment Agency Singapore, *Integrated Waste Management Facility(IWMF)*,2018
- 【38】 Smart Cities World,*Smart cities MOOC open for registration*,2017
- 【39】 弘前市政府，弘前型智慧城市構想，2017
- 【40】 東北綠化環境保全株式会社，下水道資源を活用した水素製造・販売・供給体制整備検討調査，2013
- 【41】 張凱喬，日本燃料電池車發展現況，財團法人車輛研究測試中心，2018
- 【42】 全國法規資料庫，<https://law.moj.gov.tw/>
- 【43】 行政院環境保護署，環境部門溫室氣體排放管制行動方案及中央地方協力事項說明簡報，2018
- 【44】 高銘志，高銘志觀點：看不到臺灣轉型未來的再生能源修法案，2017
- 【45】 張廣智，我國再生水推動整體政策與展望，經濟部水利署，2017
- 【46】 日本國土交通省，<http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/index.html>
- 【47】 Omar A. Malik, Angel Hsu, Laura A. Johnson, Alex de Sherbinin , *A global indicator of wastewater treatment to inform the Sustainable Development Goals (SDGs)*,2015
- 【48】 Environmental Performance Index, <https://epi.envirocenter.yale.edu/2018-epi-report/water-resources>
- 【49】 Emiliano Molina-Sánchez , Juan Carlos Leyva-Díaz , Francisco Joaquín Cortés-García , Valentín Molina-Moreno ,*Proposal of Sustainability Indicators for the Waste Management from the Paper Industry within the Circular Economy Model*,2018
- 【50】 經濟部水利署，能資源整合循環型水資中心規劃之研究(2/2)服務建議書，2018
- 【51】 2017 UN World Water Development Report, *Wastewater: The Untapped Resource*,2017

- 【52】財團法人中興工程科技研究發展基金會，臺灣下水道發展策略，2002
- 【53】林鎮洋，翁煥廷，闢蓓德，自來水水質水量保護區環境指標建構與應用，2000
- 【54】晏涵文、馮嘉玉、劉潔心，我國學校環境教育指標之研究，2006
- 【55】OECDstat,https://stats.oecd.org/Index.aspx?DataSetCode=WATER_TREAT
- 【56】UN.stat, <https://unstats.un.org/unsd/environment/wastewater.htm>
- 【57】Bowen, G. A. , Document analysis as a qualitative research method,2009
- 【58】James Wilkinson, *Comparison Analysis Definition*,2013
- 【59】陳文卿、陳文欽、郭文健，推動廚餘與污泥共發酵策略，財團法人環境與發展基金會，2015
- 【60】新高能源科技有限公司，http://www.hivawt.com.tw/tw/tw_welcome.html
- 【61】經濟部水利署，污(廢)水與廢熱之能資源整合盤查及研析期末報告書，2016
- 【62】交通部中央氣象局，<https://www.cwb.gov.tw/V7/forecast/>
- 【63】台南市政府水利局，水資源回收中心發展能資源整合教育訓練經驗分享簡報，2018
- 【64】永燭綠能有限公司，<http://www.yy-energy.com.tw/try.php>
- 【65】Tom Lauletta, *Energy Efficiency and Renewable Energy at ACUA*,2011
- 【66】gaisma,<https://www.gaisma.com/en/>
- 【67】google map,<https://www.google.com.tw/maps/place/ACUA>
- 【68】經濟部水利署全國資訊網，
<https://www.wra.gov.tw/6950/7170/7356/7498/7499/13387/>
- 【69】內政部營建署，公共下水道污水處理廠事業廢棄物減量與再利用，2018
- 【70】行政院農委會主管法規查詢系統，
<https://law.coa.gov.tw/glsnewsout/LawContent.aspx?id=FL014418>
- 【71】Wei-ping, Chen Si-dan,Lu, Reclaimed water: *A safe irrigation water source?*,2013
- 【72】經濟部水利署，建置再生水媒合與稽核系統及產業推動服務，2018
- 【73】程鏡明，應用物聯網揭開地下水神秘面紗 桃市府第三度榮獲智慧城市

創新應用獎，2019

- 【74】 台北市政府產業發展局，台北市循環經濟政策方案與實踐，2018
- 【75】 New York State Energy Research And Development Authority ,*Municipal Wastewater Treatment Plant Energy Evalution*，2006
- 【76】 wefcom, http://biosolidsresources.org/OE/?page_id=265

