

Session II-1

(13:40~15:00 , B215)

以無機聚合物技術備置石材污泥之抗壓強度探討
Study compressive strength of stone waste sludge by inorganic geopolymeric
technology

陳建洲^{1*} 江呈文² 李韋皞³

Fu-Su Yen^{1*}, Pei-Wen Huang², Wen-Chiao Huang², Chi -Yuan Huang¹

1 國立臺北科技大學 資源所 碩士研究生

Graduate student, Taipei Tech Institute of Mineral Resources Engineering, National Taipei University of Technology

2 國立臺北科技大學 資源所 碩士生

Master, Taipei Tech Institute of Mineral Resources Engineering, National Taipei University of Technology

3 國立臺北科技大學 資源所 助理教授

Assistant professor, Taipei Tech Institute of Mineral Resources Engineering, National Taipei University of Technology

* Corresponding author: juu6323@hotmail.com

摘要

我國石材加工、開採等行業於加工或切割過程產生大量石材污泥及廢料，廢棄石材(包含石材廢料、礦泥、汙泥)申報量約 70 萬公噸，除少部分循環成為水泥生料外，多數成為土方。而地狹人稠、土地資源有限的台灣，面對處置場址難求之困境下，減少廢棄物產量及循環資源化利用，已成為當前處置的重要方向。

現況部分業者使用波特蘭水泥混合石材污泥進行固化，除穩定化石材污泥外，其拌合反應中如石材污泥沉澱劑等造成波特蘭水泥固化的困難與整體強度下降。

然而波特蘭水泥開採至熟化成產品，過程所需造成大量資源與溫室氣體二氧化碳產生本研究使用無機聚合物技術，以不同濃度液鹼(NaOH)、爐石粉拌合石材污泥，經過不同養護時間探討其抗壓強度變化。

本研究期望相對使用波特蘭水泥下，以無機聚合物技術製作高強度固化試體，除可應用在基礎土木工程上或循環為可替代性高強度構件外，有效減少使用波特蘭水泥並方便使用無機聚合配置材料達到真正減碳與循環廢棄物技術。

關鍵詞：石材汙泥、抗壓強度、無機聚合物

壹、前言

近年來台灣經濟蓬勃發展，國人的物質生活水準也隨之提升，但由於產業高度的發展，人口都市化的過度集中，造成大量環境的快速破壞，因此「綠色環保意識」漸漸成為新的主流意識。無機聚合物(Geopolymer)其原意指由地球化學作用形成的鋁矽酸鹽無機聚合物。主要是由矽鋁酸鹽材料、鹼性溶液以及矽酸鈉溶液混合製造而成的非晶質材料。如使用石材污泥含有大量的鋁、矽元素，可經由鹼性溶液的加入而表面溶出大量的矽、鋁離子。矽酸鈉溶液則扮演著初期膠結的重要角色以及提供膠結時大量矽離子，經由硬化成形後就變成有良好性能的無機聚合物。由於無機聚合材料的製備耗能低以及原料來源廣泛，性質上具有絕熱耐燃、高強度、可固化有毒物質與化學抗蝕性的優異特性。因此探討以石材污泥、鹼性溶液和矽酸鈉溶液所製造而成的無機聚合材料性質是非常重要的基礎研究。故本研究期望能找尋最佳的製作配比及製作條件，提高無機聚合材料的各項最終性能，增加其市場未來發展的潛力。

因此我國石材加工、開採等行業於加工或切割過程產生大量石材污泥及廢料，廢棄石材(包含石材廢料、礦泥、汙泥)申報量約 70 萬公噸，除少部分循環成為水泥生料外，多數成為土方。而地狹人稠、土地資源有限的台灣，面對處置場址難求之困境下，減少廢棄物產量及循環資源化利用，已成為當前處置的重要方向。

貳、實驗方法

無機聚合物配置

1. 鹼液(NaOH)

使用氫氧化化鈉定量備製 10M 之鹼液。

2. 爐石粉(calcium silicates)

使用中聯公司產製之轉爐石粉。主要成分組成如下表 1。

表 1 爐石粉主要成分表

主要成分	組成占比
氧化鈣	35~49%
氧化鐵	17~35%
二氧化矽	8~18%
氧化鋁、氧化鎂	1~2%

試體備製

本試驗將所有試驗材料依據拌合後，灌製成 100 mm(直徑)×200 mm(高)，乾試養護 3 天及 28 天。鹼液、爐石粉、石材污泥備製比例如下表 2、圖 1。

表 2 試體備製比例

配比 wt%	試體代號	石材污泥(g)	爐石粉(g)	鹼液(g)
A	10	2400	240	1548
	20	2400	480	1728
	30	2400	720	1872
B	10	2700	300	1500
	20	2400	600	1500
	30	2100	900	1500



圖 1 試體備製與澆置養護

叁、結果與討論

A組備製試體乾式養護 3 天至 28 天如圖 2，以A組備製 20 號養護 28 天(A20-28)為最高抗壓強度 15.48Mpa，3 天乾式養護為A30-3 為 14.03Mpa，A10、20 隨著養護時間抗壓強度逐漸增加，增加強度幅度為(A10)51%、(A20)44%，A30 則無變化。

B組備製試體乾式養護 3 天至 28 天如圖 3，以B組備製 30 號養護 3 天(B30-3)為最高抗壓強度 32.87Mpa，28 天乾式養護為B20-28 為 23.68Mpa，A10、20 隨著養護時間抗壓強度逐漸衰退，衰退強度幅度為(A10)15%、(A30)34%，A20 則無變化。

A與B組共同檢視 3 天乾式養護如圖 4，最高抗壓強度B30-3 為最高抗壓強度 32.87Mpa，A10-3 為最低強度 4.71Mpa，隨著備製試體摻配比例(爐石粉、鹼液)升高抗壓強度成正比增加。

A與B組共同檢視 28 天乾式養護如圖 5，最高抗壓強度B20-28 為最高抗壓強度 23.69Mpa，A10-28 為最低強度 8.39Mpa，在檢視中發現相較於乾式養護 3 天強度，B組 28 天養護隨著時間增加抗壓強度成反比，A組反之，但增加幅度並不明顯。

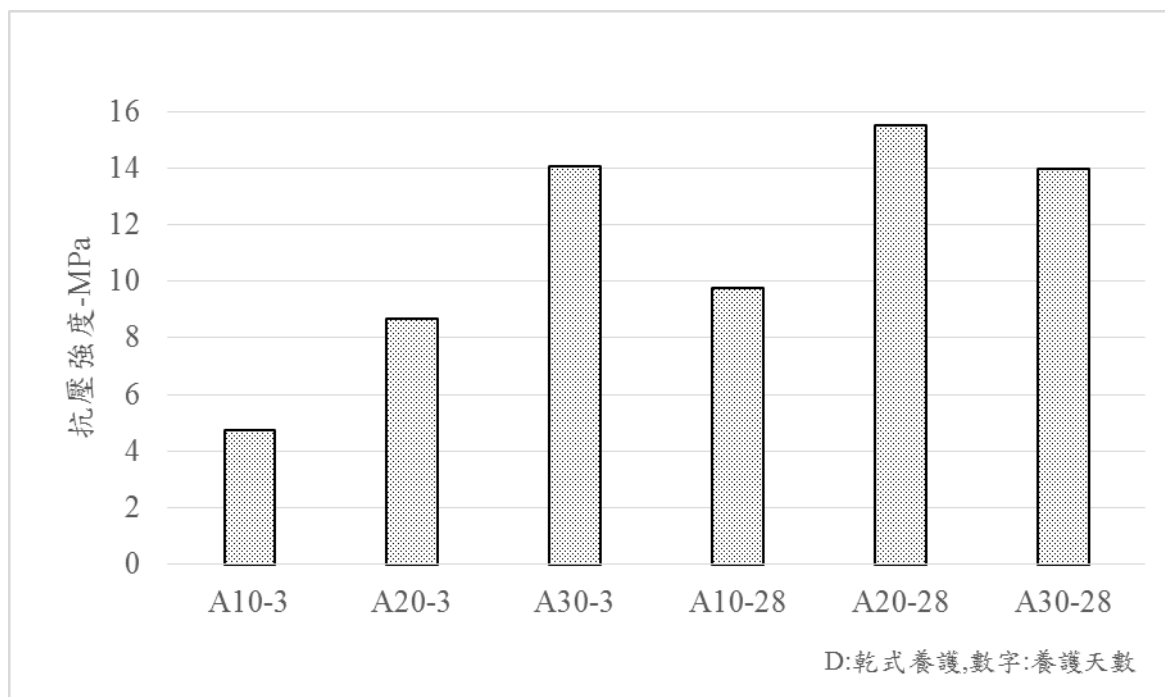


圖 2 備製A 3 天與 28 天抗壓強度

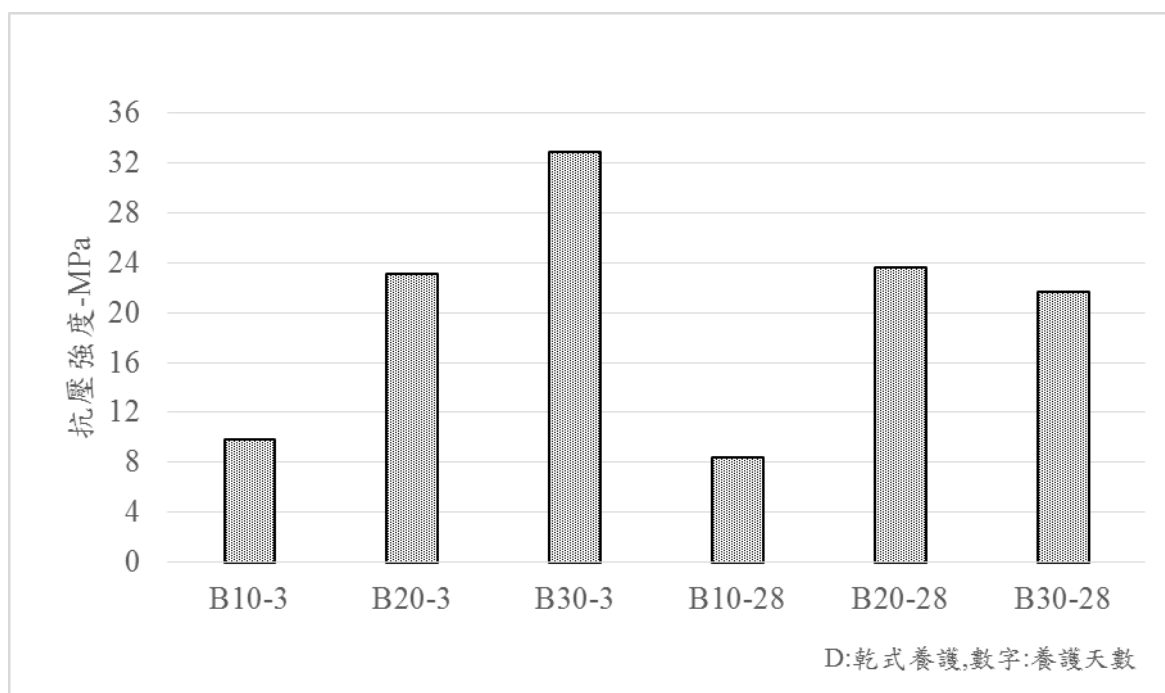


圖 3 備製B 3 天與 28 天抗壓強度

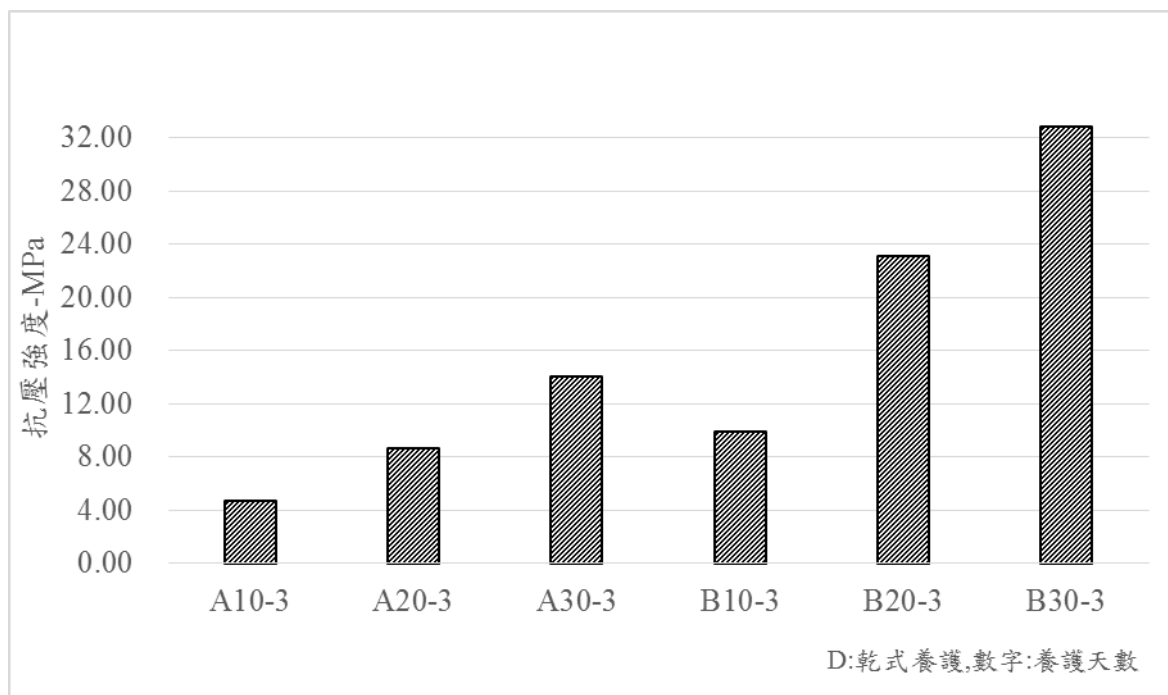


圖 4 備製A與B 3 天抗壓強度

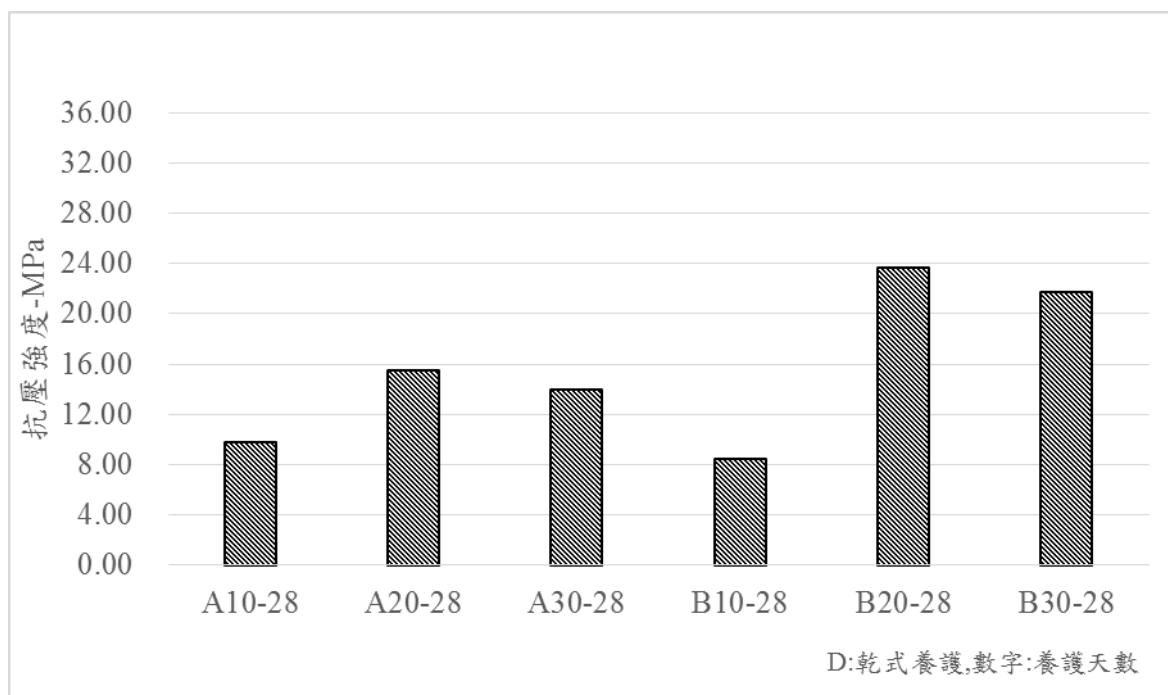


圖 5 備製A與B 28 天抗壓強度

肆、結 論

在固液比固定下的B組，隨著爐石粉增加抗壓增加的成正比走勢，但乾式養護 28 天後所有固液比皆對抗壓強度衰退，固在B組中無機聚合物技術有著早強的趨勢。

A組試驗中，石材污泥重量固定，隨著爐石粉與鹼液提高抗壓程度成正比，由A、B兩組顯示爐石粉與鹼液再增加與抗壓強度正相關，而 28 天乾式養護後全體抗壓強度皆低於 3 天抗壓強度，其原因為盆仍需進一步試驗與分析。

引用文獻[2]共列圖示如圖 6、7，同尺寸卜特蘭水泥試體(III型)(以下簡稱OPC)，3、28 天養護下抗壓強不比較，3 天養護下B30 強度(32.87 Mpa)大於OPC(18.2 Mpa)近 2 倍以上，其抗壓能力表現優異。唯 28 天養護圖 7 比較下，皆遠低於OPC強度。

文獻[3]指出，中國大陸軍方的「軍用機場無機聚合物混凝土道面施工及驗收規範 (GJB 8231-2014)」、「工程搶建搶修無機聚合物膠凝材料技術要求 (GJB 8236-2014)」等，顯示在危急或資源稀缺下無OPC使用進行緊急搶修時，可利用無機聚合材料結合所在地無機廢棄物補強設施或設備，利用其早強抗壓的特性緊急應變使用。

本試驗顯示，固定量體石材污泥下，添加一定比例爐石粉與鹼液可達到高於一般使用OPC，其早強特性優於OPC，可是用在緊急修補或是應用，但 28 天後強度持續衰退，需觀察衰退至何強度平均與其原因。另固液比持續提升至何量體仍可保持其強度需試驗觀察。

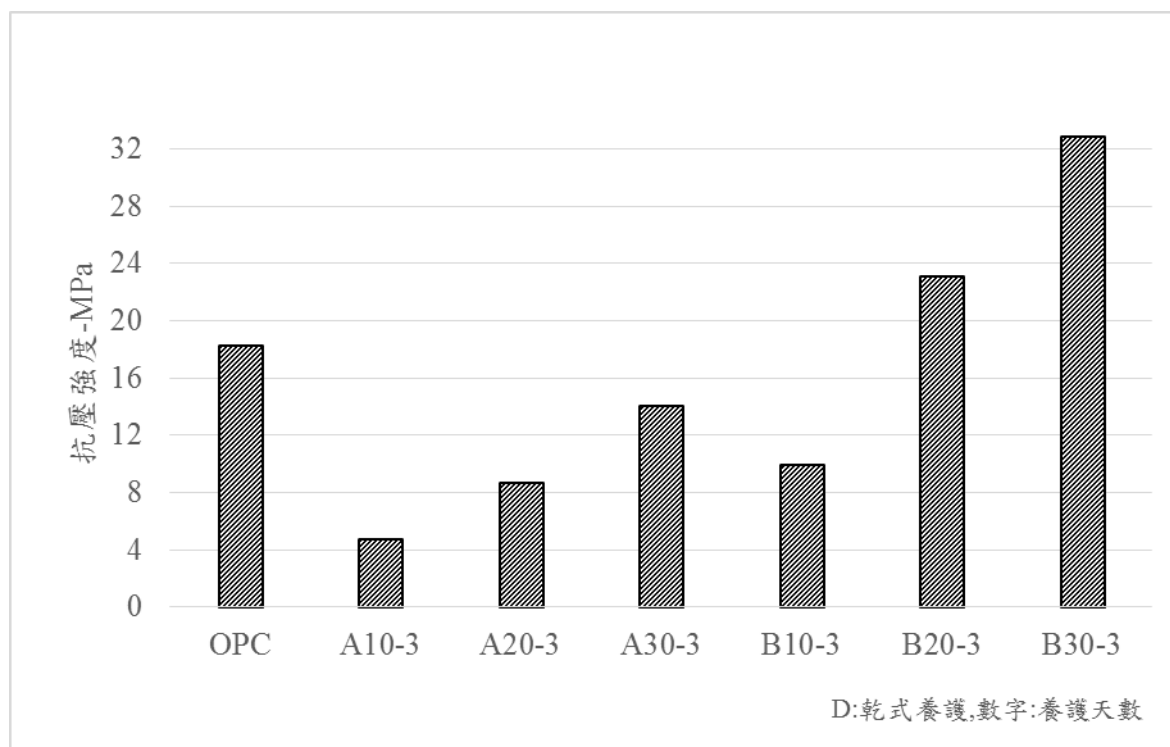


圖 6 卜特蘭水泥(OPC)與 A、B 組 3 天抗壓強度

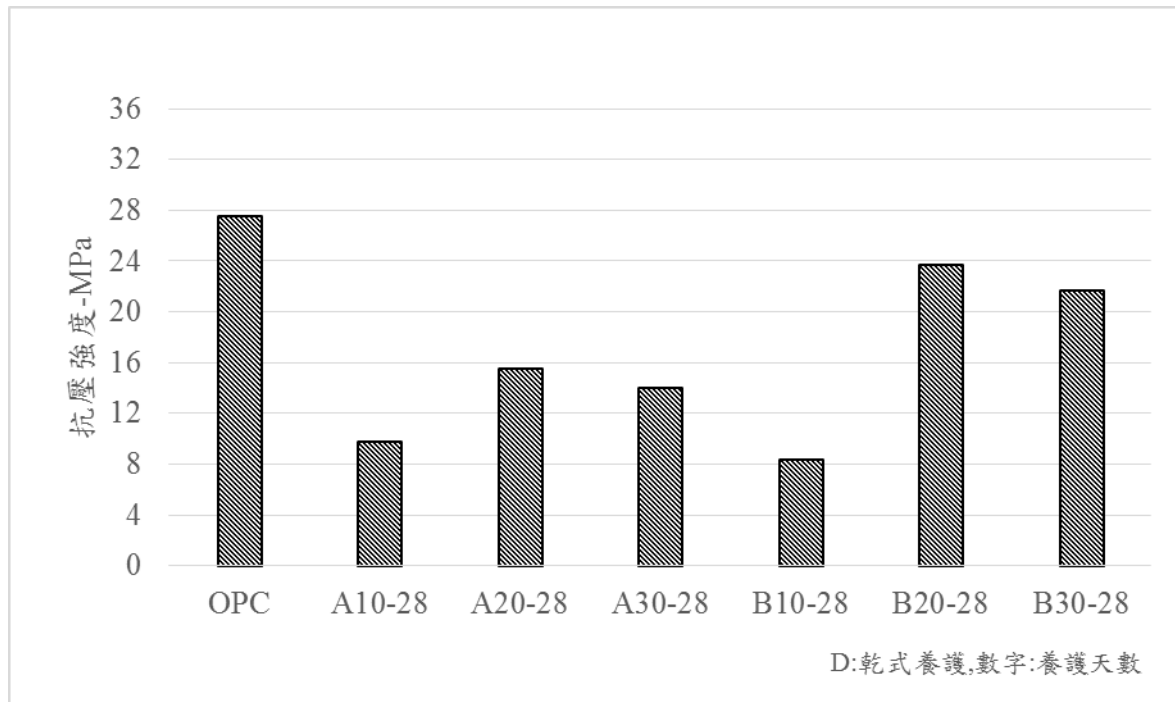


圖 7 卜特蘭水泥(OPC)與 A、B 組 28 天抗壓強度

誌謝

感謝鄭大偉老師、李韋皞老師這四年間的教導與付出，這是學生距離畢業的最後一哩路了。

參考文獻

- [1] 吳冠龍、鄭大偉、翁祖炘(2007)：無機聚合物之特性研究，臺北。
- [2] 江呈文、鄭大偉(2002)：電弧爐氧化矽安定化可行性研究，臺北科技大學資源研究所碩士論文。
- [3] 鄭大偉、蔡志達、李韋皞、吳佳正：「無機聚合混凝土在國內應用的實例」，土木水利期刊:47 卷 2 期 (2020 / 04 / 01)，P36 - 40。

利用甘蔗渣研製生物碳複合材料處理空氣中臭氧之研究 Ozone removal and air quality purification with modified biochar prepared from bagasse

吳易霖^{1*} 張章堂²

Yi-Lin Wu^{1*} Chang-Tang Chang²

1 國立宜蘭大學環境工程學系 研究生

Graduate student, Department of Environmental Engineering, National Ilan University

2 國立宜蘭大學環境工程學系 終身特聘教授

Professor, Department of Environmental Engineering, National Ilan University

* Corresponding author: karta1894270@gmail.com

摘要

近些年來，由於人類活動，特別是工業 VOCs、氮氧化物的排放，導致近地面大氣中的臭氧濃度逐年升高，臭氧對於人類生產、生活危害的嚴重性也日益顯現。我國已將臭氧作為環境空氣品質中的一種監測污染物，人們對臭氧污染也日益關注，臭氧污染在未來幾十年仍會是上升趨勢。由於人們在室內的活動時間佔到 80% 以上，因此有必要對臭氧降解及其淨化材料加以研究，控制進入室內的臭氧，將其維持在一個較低水平。生物碳在污染控制方面顯示出巨大潛力，其具有較大的比表面積、多孔結構與各種官能團，可作為水的吸附劑，以純化或去除污染物(例如金屬、藥品、染料、農藥和多環芳烴)，因此先前的大多數研究都集中在水處理上應用，到目前為止較少研究應用生物碳去除空氣中臭氧。

為有效降低所製作材料成本，本研究擬利用農業廢棄物(例如甘蔗渣)製備生物碳，為提升對空氣中臭氧之吸附能力，亦嘗試製備高性能吸附材料，並對生物碳進行改質，改變生物碳表面之吸附特性，且加入帶磁化學藥品(例如四氧化三鐵)，使得生物碳成為具有磁性的複合材料，且將生物碳回收再利用，重複使用吸附劑。本研究目的在於使用生質廢棄物研製磁性生物碳並處理臭氧，作為其廢棄物再利用與空氣淨化應用的先驅。

研究結果得知當臭氧濃度分別為 5、10、15 與 20 ppm 時，於吸附溫度為 298 K 條件下，貫穿時間分別為 10、11、15 與 64 分鐘，飽和時間分別為 28、37、55 與 101 分鐘，吸附能力分別為 1.72、2.53、3.02 與 4.02 mg g⁻¹，即當臭氧濃度越高時，材料吸附能力會越好，貫穿時間與飽和時間則越短。另生物碳的臭氧去除效率隨熱裂解溫度升高而增加，熱裂解溫度為 550 度以上所製作生物碳對臭氧去除效率接近 100%。

關鍵詞：生物碳；臭氧；甘蔗渣；熱裂解；吸附

壹、前言

臭氧是氧的同素異形體，由三個氧原子構成。它的分子結構呈等腰三角形，夾角為 $116^{\circ}49'$ ，O-O 鍵長為 0.128 nm。臭氧在常溫時是一種淡藍色氣體， -112°C 時冷凝為靛藍色液體， -195°C 時凝固為藍紫色固體。臭氧分子熱力學不穩定，其分解為氧氣的反應為放熱反應，通常在 523 K 以上臭氧自發分解為氧氣。臭氧具有強氧化性，能與元素週期表中除貴金屬、氟和惰性氣體外的所有元素發生反應。

臭氧為常見的工業排放污染物之一，臭氧本身具有強烈的刺激性。吸入過多的臭氧會危害人體健康。臭氧主要為刺激和損害深部呼吸道，並可以損害中樞神經系統，且對眼睛有輕微的刺激作用。臭氧被吸入人體後，可以迅速轉變為高活性的超氧-自由基($\cdot\text{O}_2^-$)，主要氧化不飽和脂肪酸，從而引起細胞損傷。

大氣中的臭氧濃度為 0.1 mg/m^3 時，會刺激鼻腔和喉嚨的粘膜。當臭氧濃度為 $0.1 - 0.2\text{ mg/m}^3$ 時，會引起哮喘發作並加重上呼吸道疾病，同時刺激眼睛，且視覺靈敏度和降低視力。臭氧濃度高於 2 mg/m^3 會引起頭痛、胸痛、思維能力下降，嚴重時會導致肺氣腫和肺水腫。此外，臭氧還可導致阻礙血液中氧氣的輸送，進而導致組織缺氧、損害甲狀腺功能、骨骼鈣化以及潛在的全身性影響，例如誘導淋巴細胞的染色體突變、損害某些酶的活性並產生溶血反應。超過一定濃度的臭氧，除了對人體有毒外，還對某些植物的生長有害。臭氧還會使橡膠製品脆化及破裂。臭氧對孕婦在懷孕期間接觸臭氧可能導致新生兒臉裂狹小發生率增加。

此外，從室外進入室內的臭氧還會引發室內化學反應，造成二次污染。臭氧與一些特定的揮發性或半揮發性有機物分子發生反應生成醛類、有機酸(Apte et al., 2008) [1]，與檸檬烯、萜烯等反應生成超細顆粒物(Fung et al., 2014; Rai et al., 2015) [2] [3]，而這些產物對健康也是有害的。所以久居室內的人群不僅面臨長期暴露於臭氧的風險，還面臨暴露於臭氧副產物的風險。

目前空氣中臭氧處理一般以光催化技術、催化熱解技術與吸附技術為主，如表1所示。但前兩者成本高、耗能、易產生二次污染物、易被其他污染物干擾、操作複雜以及對臭氧的吸附效果有限。當使用活性碳進行處理，吸附後活性碳存在處置成本昂貴與產生固體廢棄物等問題。除此之外，吸附技術的常見問題含(1) 吸附容量容易飽和：活性碳主要是靠孔洞來吸附污染物，且無法針對單一某種污染物進行吸附，所以很容易被其他污染物干擾以及快速達到飽和狀態，造成對臭氧的處理效率降低；(2) 無法有效對臭氧的去除：活性碳無法有效對臭氧的去除。因此本研究控制生物碳中的不同鐵價態，有利於增加氧空穴(Oxygen vacancy)，以提升對臭氧的吸附能力；(3) 難回收再利用：吸附過後的活性碳比較難回收，所以會產生二次污染問題，造成固體廢棄物的處理與運送成本。

表 1 現有室內空氣淨化技術

序號	技術原理	技術特點	技術不足
1	吸附式	活性碳是一種國際公認的高效吸附材料，多孔徑，吸附容量大，吸附效率高。	它的缺點是過濾材料需頻繁更換，維護成本較高。過濾阻力大，運行耗能大，比較難回收再利用。
2	光催化式	適用範圍廣、反應速度快、反應條件溫和、設備簡單、運行成本低、能耗低、二次污染小且催化材料易製造等優點。	僅對化學性和生物性污染物有較好的淨化效果，易受到粒狀物污染而失效，對粒狀物吸附效果不明顯。光催化空氣淨化使用的紫外光對人體也有很大的威脅，且於濕度高時催化劑易失活。
3	催化熱解式	催化熱解技術可將污染物徹底降解，氧化能力強、催化效率高、操作簡單等優點。	易產生中間產物、成本高、穩定性差。
4	複合式		

為有效降低所製作材料成本，本研究擬利用農作物廢棄物(例如甘蔗渣生物質)製備生物碳，為提升對空氣中臭氧之吸附能力，亦嘗試製備高性能吸附材料。不僅降低材料成本，而且增加其應用性。總而言之，本研究目的在於使用生質廢棄物研製可調節改性生物材料，並研發處理臭氧技術，作為其廢棄物再利用與空氣淨化應用的先驅。本研究為應對我國室內空氣品質治理行業有良好的發展，且針對室內環境中的臭氧去除，探討生物碳複合材料對臭氧去除之吸附機制。本研究首次提出的創新技術含：(1) 製作低成本生物碳材料；(2) 建置處理 O₃ 最佳參數；(3) 探討反應機制與反應動力學分析。

貳、實驗方法

Description

2.1 生物碳的製備

本研究採用的生物碳製備方法為慢速熱裂解法。具體的步驟為：將收集得到的甘蔗渣用超純水清洗 2~3 遍後，置於恒溫鼓風乾燥箱中，以 105 °C 恒溫烘乾，並使用塑封袋保存在乾燥處備用，且寫好標記。稱取一定量的乾燥甘蔗渣(SC)，記錄好品質，置於石英管中。利用水平管式爐控制熱裂解溫度，設定溫度參數為升溫速度為 5 °C/min，熱裂解溫度為 350°C (BCS 350)、450°C (BCS 450)、550°C (BCS 550) 及 650 °C (BCS 650)，熱裂解時間為 2 h，將盛有甘蔗渣的石英管置於水平管式爐中進行厭氧熱裂解。待水平管式爐腔內冷卻至室溫，將石英管取出，並將製得的生物碳過 80 目篩，即得原始生物碳。製得的生物碳放置在乾燥器中保存與備用。

2.2 生物碳特性分析方法

本研究以熱裂解法製備之甘蔗渣生物碳材料進行特性分析，所使用儀器與分析項目分別為(1) 氮氣等溫吸/脫附儀(BET)：利用氮氣等溫吸/脫附儀，求出各中孔洞產物的表面積、孔洞大小與孔洞體積；(2) 傅立葉紅外線吸收光譜儀(FT-IR)：利用產生振動-轉動原理，特定官能團有特定的吸收光譜帶，作為鑑定有機物官能團；(3) 熱重分析儀分析(TGA)：在程序控制溫度下，測量物質質量與溫度關係的一種技術，熱重測定可用於測量分解、氧化、還原、蒸發、昇華和其它質量變化；(4) 掃描式電子顯微鏡(SEM)與能量散射光譜儀(EDS)：用來觀測生物碳形狀，另外 EDS 則可探測其固體材料之化學元素組成；(5) 元素分析儀(EA)：利用垂直式燃燒管，將欲分析之物質盛於錫／銀金屬容器內，置於樣品自動供給器上，並置入操作 1150 °C 左右燃燒管，在錫／銀之助燃下使樣品瞬間燃燒溫度高達 1800°C，促使樣品完全燃燒，再經過銅還原處理後，生成之 N_2 、 CO_2 及 H_2O 混合物，並經過分離管分離後，可利用熱傳導偵檢器分別測定其含量，再計算碳、氫、氮及硫之重量百分比。

2.3 O_3 處理性能評估系統

本研究以連續式管柱流反應器處理 O_3 性能測試，為瞭解材料對於 O_3 之吸附能力，本研究使用生物碳對 O_3 進行吸附反應之性能評估分析。先使用 O_3 製造器和空氣鋼瓶(作為稀釋氣體)，經由鐵氟龍管(Polytetrafluoroethylene, PTFE)流入質量流量控制閥(Mass Flow Controller, MFC)，調整流量進入不鏽鋼混合槽混合以模擬實場產生之臭氧，並控制所產生臭氧濃度。將生物碳吸附材料置於玻璃吸附反應管中，玻璃吸附管頭尾兩端用活塞和管線相連形成密閉容器，放置於管式爐(用於調整反應時溫度)中，並以 O_3 偵測器進行監測，每一分鐘分析一次臭氧濃度，並分析處理前之入口臭氧濃度及處理後之出口臭氧濃度。連續式管柱流實驗系統裝置圖，如圖 1 所示。

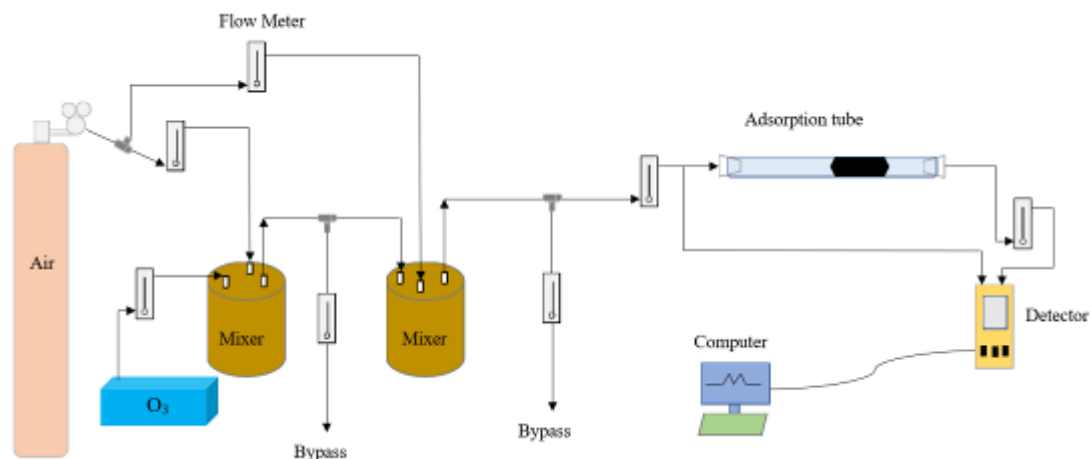


圖 1 實驗設備圖

2.4 吸附性能測試參數

本研究以連續式實驗系統進行處理 O_3 氣體之吸附性能測試，並建立吸附貫穿曲線，以利評估生物碳對 O_3 氣體吸附處理效率以及計算吸附能力。本研究使用 BSC350、BSC450、BSC55 及 BSC650 在乾燥條件下進行 O_3 氣體吸附處理研究，並建置最佳吸附能力的製作條件。另進行不同實驗參數(含不同污染物濃度、不同停留時間及不同操作溫度)對吸附能力之影響，吸附能力計算方式如式(1)所示。本研究亦研求最佳操作條件

(操作條件如表 2 所示)，為因應勞工作業場所容許 O₃ 暴露標準為 0.1 ppm，本研究於初始 O₃ 濃度控制，採用 5、10、15 與 20ppm(為濃度 0.1ppm 的 50 倍至 200 倍)，以利進行材料於實場應用之性能評估。

$$q_e = \frac{(C_0 - C) \times M_w}{24.5} \times Q \times \Delta T \quad (1)$$

q_e ：反應平衡時的吸附能力(mg g⁻¹)

C_0 ：初始 O₃ 濃度(ppm)

C ：經吸附劑吸附後出口 O₃ 濃度(ppm)

M_w ：臭氧分子量(48 g mol⁻¹)

Q ：氣體進流流量(m³ min)

ΔT ：吸附時間(min)

表 2 吸附材料實驗參數表

Experimental Parameters	Operation Conditions
Concentration(ppm)	5, 10, 15, 20
Retention time(sec)	0.56, 0.70, 0.94, 1.41
Temperature(°C)	25, 35, 45, 55
Material type	BSC350, BSC450, BSC550, BSC650

參、結果與討論

3.1 材料特性分析

3.1.1 熱重損失分析結果

為瞭解不同熱裂解溫度下生物碳之熱穩定性及在高溫下使用可行性，本研究針對 BCS350、BCS450、BCS550 以及 BCS650 進行熱重分析，並分析生物碳材料加熱後重量損失變化，分析結果如圖 2 所示。分析結果顯示出溫度分別為 50 - 100 °C、100 - 300 °C、300 - 500 °C 與大於 500 °C 四個不同階段的重量損失變化。分析結果顯示第一階段(溫度介於 50 - 100°C 之間)，最初重量損失變化是吸附水重量損失，其重量損失約為 3 wt.%。第二階段(溫度介於 100 - 300°C 之間)，重量損失變化是結晶水重量損失，其重量損失約為 5 - 10 wt.%，第三階段(溫度介於 300 - 500°C 之間)的 BCS450、BCS550 以及 BCS650 重量損失變化約 10 wt.% 左右，BCS350 重量損失變化則約 20 wt.% 左右，主要為材料內之高分子有機物分解與揮發性氣體釋放，此結果與 EDS 相符【Cheng et al., 2016】[4]。而第三階段溫度大於 500°C 時，重量損失變化是由於經過中低溫鍛燒後，材料內仍含有少數之高分子有機物與揮發性氣體之分解與釋放【Cheng et al., 2016】[4]。本實驗因欲保留原始材料內部分之有機質以利碳化後形成官能基，因此選定碳化溫度為 550°C 時為製備材料之鍛燒溫度。

且在 800℃ 溫度下 BCS450、BCS550 以及 BCS650 總重量損失變化約 10 wt.% 左右，BCS350 重量損失變化則約 25 wt.% 左右。因此本研究中之操作溫度不會對生物碳材料結構造成影響。BCS550 與 BCS650 皆具有較佳熱穩定性，此結果與 Cheng 等人【2016】[4] 結果類似【Cheng et al., 2016】[4]。

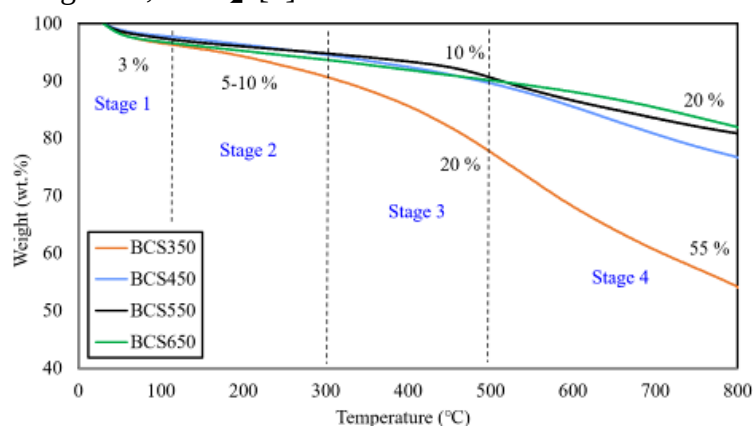


圖 2 不同熱裂解溫度下生物碳穩定性分析結果圖

3.1.2 氮氣等溫吸/脫附儀分析結果

為瞭解吸附劑表面積、孔洞大小與孔洞體積，透過氮氣等溫吸附脫附儀，分析材料之比表面積、孔徑和孔體積，分析結果如表 3 所示。可得知 BCS 350、BCS 450、BCS 550 與 BCS 650 之比表面積分別 196、313、528 及 197 $\text{m}^2 \text{g}^{-1}$ ，孔體積分別為 0.10、0.15、0.27 及 0.10 $\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$ (如表 3)，孔徑分別為 2.08、2.02、2.07 和 2.03 nm (如圖 4)，即比表面積最大材料為 BCS 550，其次為 BCS 450，最小 BCS 350；孔徑最大材料為 BCS 550，其次為 BCS 450，最小 BCS 350 及 BCS 650。

圖 3 為不同熱裂解溫度吸附材料氮氣吸附脫附曲線圖，圖中可得知 BCS 350、BCS 450、BCS 550 與 BCS 650 之 N_2 吸/脫附曲線皆屬於第四型(Type IV)中孔洞材料等溫吸/脫附曲線，此分析結果與何定晏【2009】[5]研究結果相符。而按照遲滯環類型分類，可得知吸附/脫附行為具有四個階段：第一階段為在相對壓力較低時， N_2 吸附能力緩慢增加，符合孔壁單層-多層吸附；第二階段為相對壓力升高時，氮吸附能力急遽增加，表示中孔洞毛細管具有冷凝現象；第三階段為相對壓力升高時(相對壓力較高時)， N_2 吸附能力再度呈現緩慢增加，表示晶體外部具有多層吸附現象。第四階段的特點是，壓力接近飽和時($P/P_0 = 1.0$)， N_2 吸附能力大幅上升，此時 N_2 將其他所有的孔洞填滿【Lyu et al., 2018】[6]。

表 3 不同材料表面積與孔洞分佈分析結果表

Material	Surface Area ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$)	Pore Volume ($\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$)	Pore Size (nm)
BCS 350	195.79	0.10	2.08
BCS 450	312.89	0.15	2.02
BCS 550	528.18	0.27	2.07
BCS 650	196.91	0.10	2.03

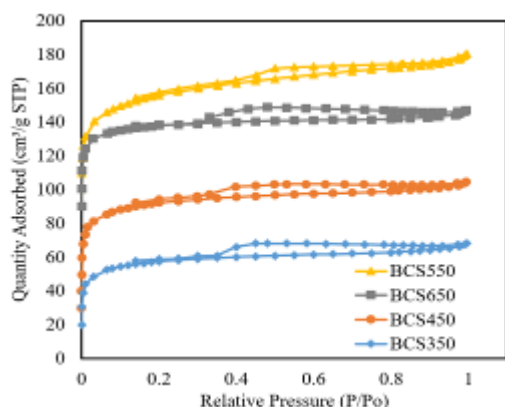


圖 3 不同熱裂解溫度之
氮氣吸附脫附曲線圖

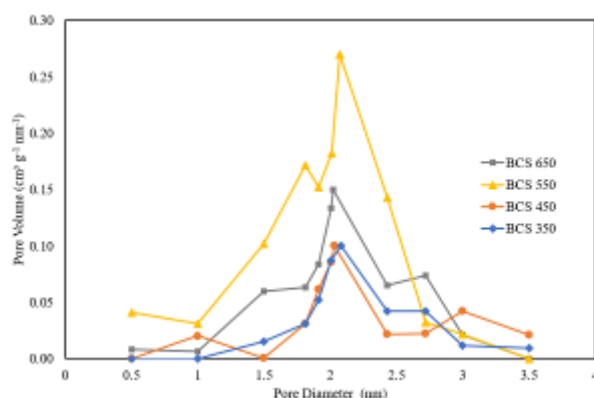


圖 4 各種材料
之孔徑分佈曲線

3.1.3 FT-IR 分析結果

本研究為了解從甘蔗渣製備生物碳之官能基種類，因此利用 FT-IR 進行分析。從圖 5 中可以發現不同熱裂解溫度官能團差異，生物碳在 3400 cm^{-1} 處，對應 O-H 鍵和 N-H 鍵的彎曲振動，分別為水分子與胺基的特徵峰；在 2930 cm^{-1} 以及 2849 cm^{-1} 處，對應 C-H 鍵的彎曲振動為 CH_2 官能團的特性峰；在 1653 cm^{-1} 處對應 C=C 鍵的彎曲振動；在 $1245 - 1155\text{ cm}^{-1}$ 處對應至 O-C-H 鍵；在 1020 cm^{-1} 處，可對應為 C-O 鍵，但因為熱裂解溫度增加峰強度也有增強的趨勢，以 BCS550 較為明顯。本研究的 FT-IR 結果與 Veiga 等人結果【2020】[7]相似。為瞭解生物碳吸附劑對 O_3 吸附前後官能團差異性，乃使用 FTIR 分析吸附 O_3 前後生物碳表面官能團，未經過臭氧吸附的 BCS 550 在 1020 cm^{-1} 處 C-O 鍵較為明顯，但在吸附 O_3 氣體後，致使 C-O 官能團峰值訊號稍微削弱，是因為 C-O 鍵與 O_3 進行反應造成。

從圖 6 中可以發現 SC 特徵峰強度比起其他熱裂解溫度來的弱，SC 經過熱裂解後，隨著熱裂解度增加($350-550\text{ }^{\circ}\text{C}$)特徵峰強度有明顯增強的趨勢，但溫度過高($650\text{ }^{\circ}\text{C}$)的時候，特徵峰隨即減弱，特別是在 1020 cm^{-1} 處的 C-O 鍵，主要是在溫度越高下有機物質被裂解越多，因此 C-O 鍵也隨之降低，此結果與 EA 分析結果相符。

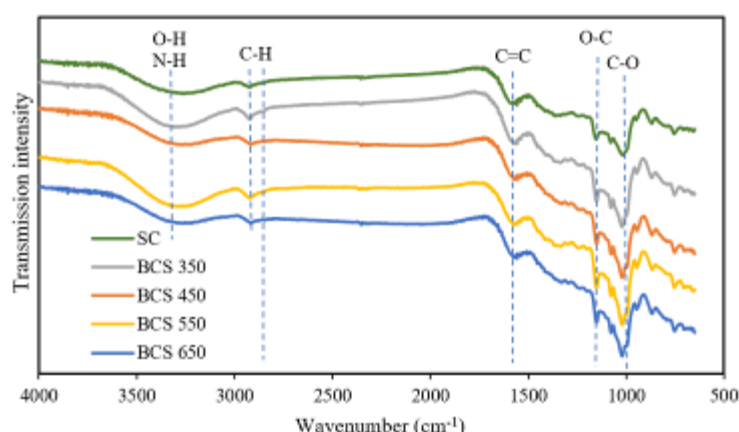


圖 5 不同生物碳吸附 O_3 前之 FT-IR 分析圖

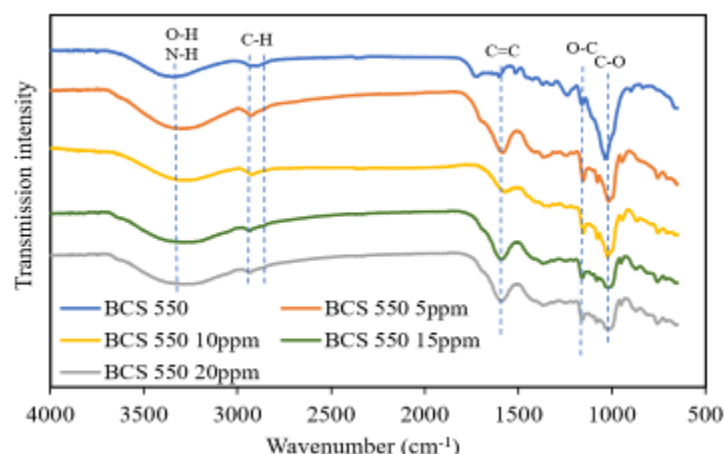


圖 6 BCS550 對 O_3 吸附前與吸附後之 FT - IR 分析圖

3.1.4 SEM-EDS 分析結果

為瞭解原始甘蔗渣與 BCS 之材料表面外觀，本研究利用 SEM 觀察各種材料(SC、BCS 350、BCS 450、BCS 550 與 BCS 650)之外觀形狀。圖 7(a)為未碳化之甘蔗渣，主要為多層不規則的形狀，而且沒有看出任何孔洞存在。

經過熱裂解後的 BCS 材料明顯有孔洞產生如圖 7(b)-(f)，然而熱裂解溫度越高，產生孔洞越多以及分布越均勻，孔洞大小範圍在 $1.0 - 2.1 \mu m$ 之間。但是熱裂解溫度過高會造成材料結構被破壞，引起材料厚度變薄，較容易破碎造成孔體積降低，如圖 7(f)所示，此結果與 BET 趨勢相同【Veiga et al., 2020】[7]。

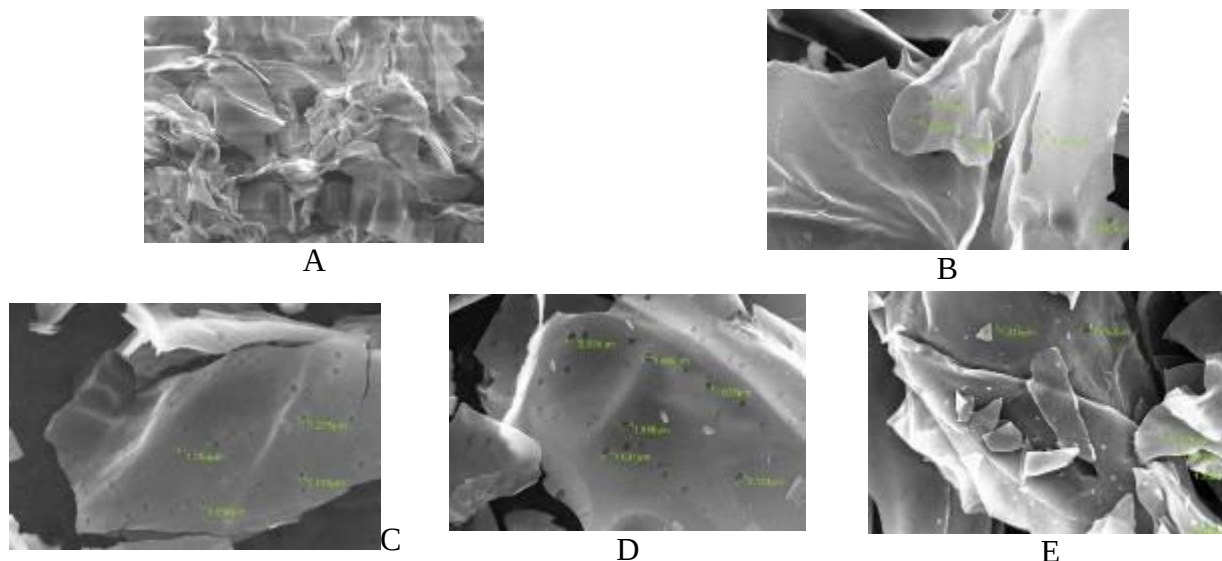


圖 7 原始甘蔗渣圖 7 (A)、BCS 350 圖 7 (B)、BCS 450 圖 7 (C)、BCS 550 圖 7 (D)與 BCS 650 圖 7 (E)之 SEM 圖

為瞭解本研究所製備含鐵與錳觸媒之觸媒所含有元素比例，利用 SEM-EDS 進行觸媒所含有元素分析。其分析結果如圖 8(a)-(e)分別為 SC、BCS 350、BCS 450、BCS 550 與 BCS 650，將各材料中所含元素之重量百分比與原子量百分比整理成表，如表 4 所示，分析結果顯示 BCS550 與 BCS650 所含碳量較 BCS350 及 BCS450 多，主要原因為熱裂解溫度的關係，EDS 中相應檢測到的元素中 C、O、S 及 K，但只有 BCS550 及 BCS650 中檢測到 C、O 和 K，這是因為溫度逐漸升高 S 逐漸消失所導致【Qiu et al., 2019】[8]。

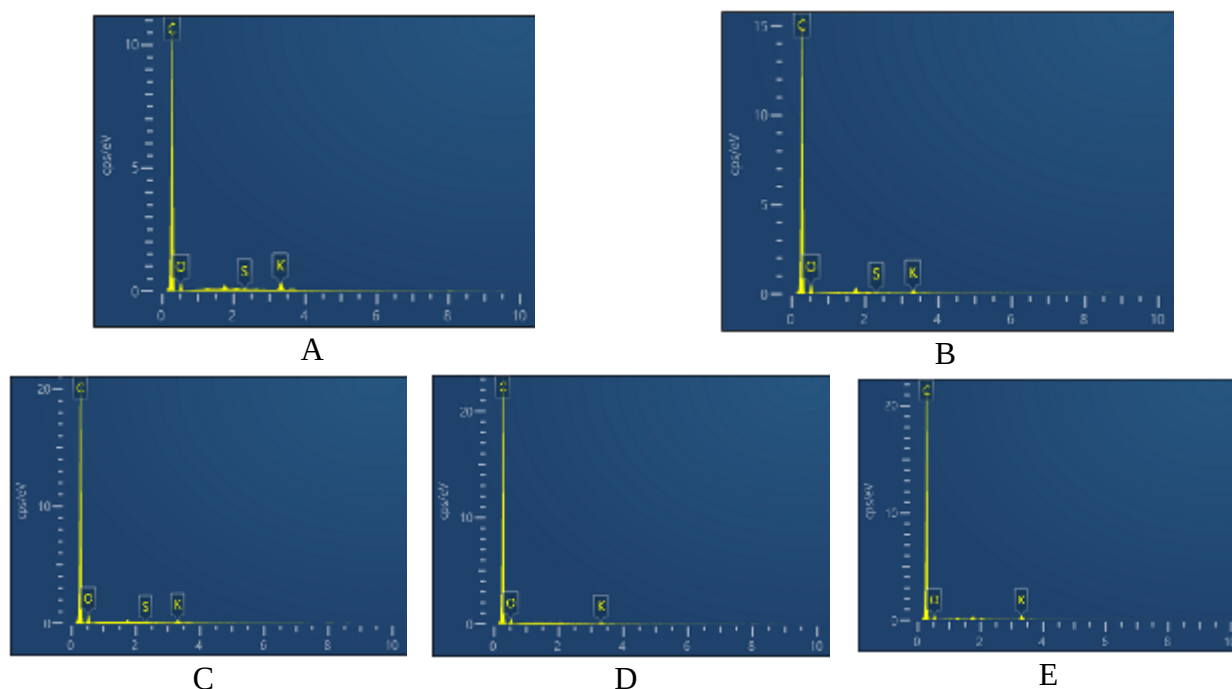


圖 8 原始甘蔗渣圖 8 (A) 、 BCS 350 圖 8 (B)、BCS 450 圖 8 (C)
、BCS 550 圖 8 (D)與 BCS 650 圖 8 (E)之 SEM 圖

表 4 甘蔗渣及 BCS 之 EDS 分析結果

Element	Bagasse		BCS 350		BCS 450		BCS 550		BCS 650	
	W	A	W	A	W	A	W	A	W	A
C (K)	55.87	62.92	81.38	85.98	89.26	92.14	93.09	94.97	92.86	94.57
O (K)	43.64	36.91	17.32	13.59	9.71	7.52	6.33	4.85	6.59	4.83
K (K)	0.38	0.13	1.25	0.37	0.94	0.31	0.58	0.18	0.55	0.6
S (K)	0.11	0.04	0.05	0.06	0.09	0.03	--	--	--	--
Totals	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

W: Weight (%)

A: Atomic (%)

3.1.5 元素分析儀

本研究為探討不同熱裂解溫度之生物碳元素比例組成，因此使用元素分析儀(EA)進行材料之 C、H、N、S 與 O 元素分析，如表 5 所示。不同熱裂解溫度之生物碳 C 之比例分別為 68.12、76.49、80.16 與 77.87%、H 之比例分別為 2.72、2.48、1.032 與 3.32%、N 之比例分別為 0.82、0.82、0.77 與 0.70%、S 之比例分別為 0.58、0.43、0.13 與 0.01%、O 之比例分別為 27.76、19.78、17.90 與 18.1%。隨著熱裂解溫度增加，C 含量越多，熱裂解溫度增加到 550℃ 時 C 含量約為 80.16%；但熱裂解溫度增加到 650℃ 時下降，其原

因是由於經過無氧鍛燒後，材料內非碳元素揮發使得碳含量變高，但溫度至一定程度時，有機物慢慢變少；H、N、S 與 O 元素隨著熱裂解溫度越高而逐漸減少。

在溫度 350 至 500°C，C 比例明顯增加，含量由 68.12% 增加至 80.16%，表示經過無氧鍛燒後甘蔗渣內多數非 C 之元素已被揮發，此現象與林祐璿【2015】[9] 研究結果相同；N 比例由 0.82% 降低至 0.77%，雖只降低 0.05%，但由於此碳化溫度屬於中低溫碳化，因此可以保留較多之 N 元素【林祐璿, 2015】[9]；其他元素如 H 比例由 2.72% 降低至 1.032%；S 比例由 0.58% 降低至 0.13%，差異有限【Zaini et al., 2009】[10]。

表 5 不同熱裂解溫度之生物碳元素分析

Element Material	C(%)	H(%)	N(%)	S(%)	O(%)	C/H	O/C
BCS 350	68.12	2.72	0.82	0.58	27.76	25.0 4	0.41
BCS 450	76.49	2.48	0.82	0.43	19.78	30.8 4	0.26
BCS 550	80.16	1.032	0.77	0.13	17.90	77.6 7	0.22
BCS 650	77.87	3.32	0.70	0.01	18.10	23.4 5	0.23

3.2 材料對空氣中臭氧吸附測試結果

本研究探討相同種類材料在不同臭氧濃度條件下吸附臭氧性能評估，在臭氧濃度、停留時間及溫度下，探討各種條件下對臭氧之吸附能力影響，以利建立最佳吸附條件，以及將材料再生瞭解吸附材料重複使用後吸附能力，以供未來應用產業界之參考。

3.2.1 不同濃度對吸附臭氧影響

為瞭解不同熱裂解的生物碳對 O_3 吸附能力，對 BCS 350、BCS 450、BCS 550 及 BCS 650 吸附材料進行比較，於吸附溫度為 298 K， O_3 進流濃度為 15 ppm，停留時間 0.56 sec 及劑量 0.039 g cm^{-3} 條件下之吸附測試結果，從圖 9 可知 BCS 350、BCS 450、BCS 550 及 BCS 650，貫穿時間($C/C_0 = 0.1$)分別為 10、20、57 以及 10 分鐘，飽和時間($C/C_0 = 0.9$)分別為 37、43、137 與 81 分鐘，吸附能力分別為 0.946、4.234、8.226 與 1.264 mg g^{-1} 如圖 10 所示，其中 BCS550 的吸附效果最好是因為 BCS 550 具有較強的 C-O 鍵、高比表面積、孔洞體積及含碳量高，如 FT-IR、BET 及 EA 結果中所示。謝佩服於 2019 年碩士論文[11]中使用咖啡渣對 O_3 進行吸附，削減 O_3 臭氧濃度分別為 43% 及 56%，論文中發現臭氧吸附能力與含 C 量有關，含 C 量增加，吸附 O_3 能力越好，可證明含碳量低對於 O_3 之吸附能力較差。

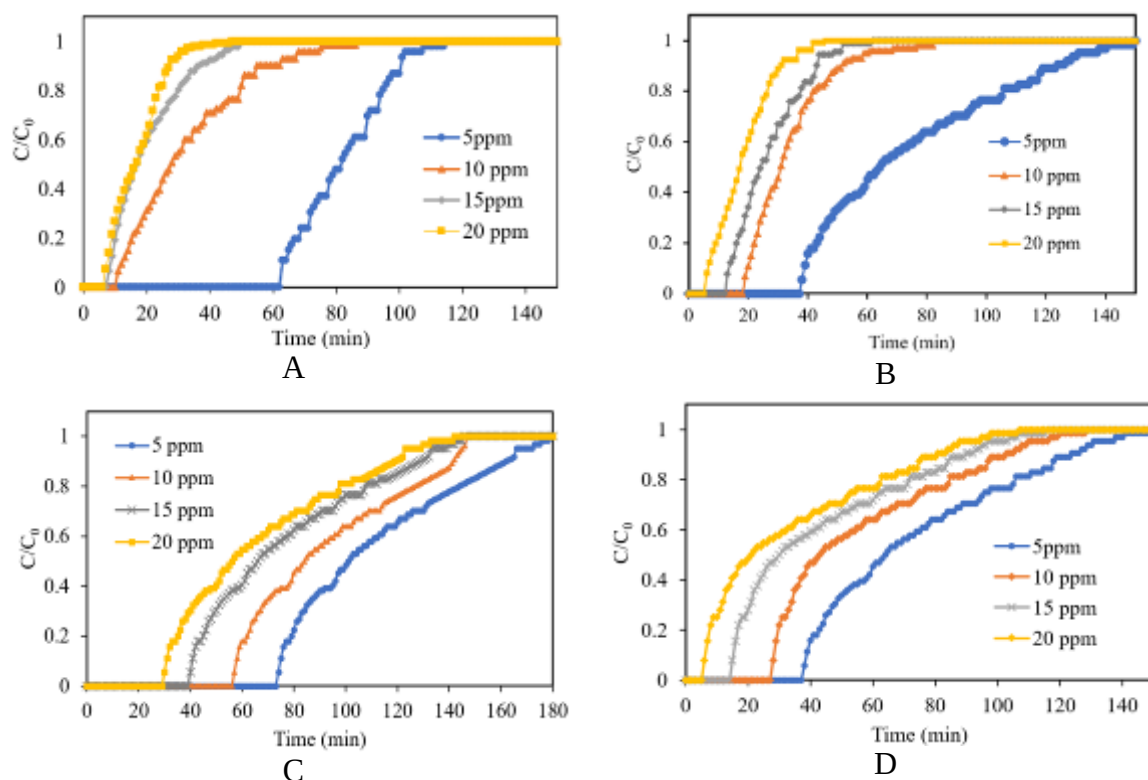


圖 9 BCS 350 圖 8 (A)、BCS 450 圖 8 (B)、BCS 550 圖 8 (C)、BCS 650 圖 8 (D)在不同濃度對吸附臭氣影響

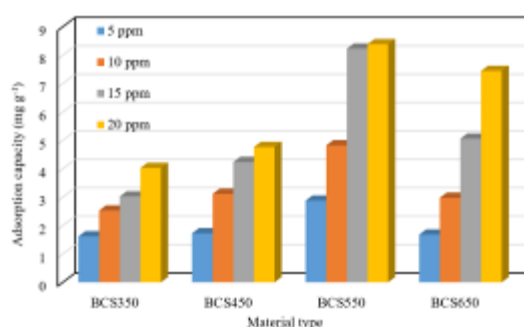


圖 10 不同材料在不同濃度的吸附能力

3.2.2 不同材料種類對吸附臭氣影響

為瞭解不同熱裂解的生物碳對 O_3 吸附能力，對 BCS350、BCS450、BCS550 及 BCS650 吸附材料進行比較，於吸附溫度為 298 K、相對溼度為 50%以及 O_3 進流濃度為 15 ppm 條件下之吸附測試，從圖 11 與圖 12 可知 BCS350、BCS450、BCS550 及 BCS650，貫穿時間($C/C_0 = 0.1$)分別為 10、20、57 以及 10 分鐘，飽和時間($C/C_0 = 0.9$)分別為 37、43、137 與 81 分鐘，吸附能力分別為 0.946、4.234、8.226 與 1.264 mg g^{-1} 。謝佩服於 2019 年碩士論文[11]中使用咖啡渣對 O_3 進行吸附，削減 O_3 臭氣濃度分別為 43%及 56%，可證明含碳量低對於 O_3 之吸附能力較差。

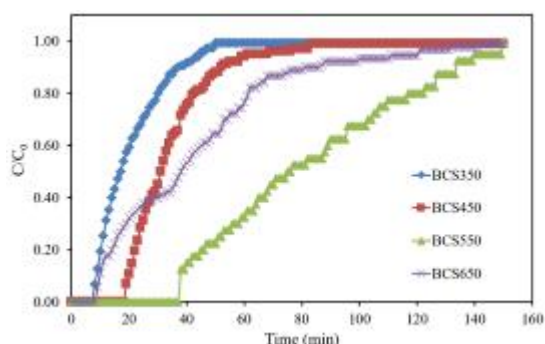


圖 11 不同熱裂解溫度下
生物碳對 O₃ 吸附貫穿曲線圖

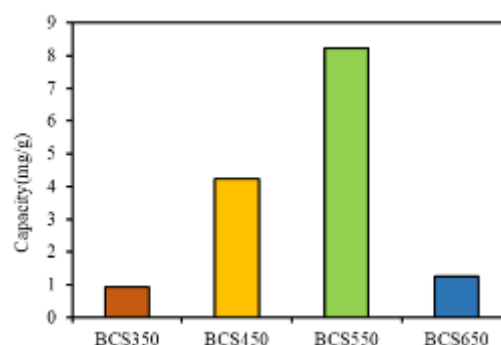


圖 12 不同熱裂解溫度的生物碳
對 O₃ 吸附能力比較

3.2.3 不同吸附溫度的影響

本實驗使用 BCS550 吸附材料以 O₃ 進流濃度 15 ppm 條件下，進行溫度對 BCS550 吸附材料的吸附能力影響，實驗結果如圖 13 與 14 所示，當反應溫度為 298、308、318 與 328 K，隨著溫度的升高，BCS550 吸附材料對 O₃ 的吸附能力逐漸下降，貫穿時間依序為 22、19、12 以及 8 min，吸附能力依序為 8.44、8.02、7.55 以及 7.19 mg g⁻¹。當溫度升高時，貫穿時間提早以及吸附能力降低，主要因為高溫吸附下，O₃ 氣體易產生激烈碰撞，使吸附材料的表面吸附位點無法有效捕捉 O₃ 氣體，易於脫附，導致 O₃ 氣體快速通過吸附材料，因而使貫穿時間提早以及吸附能力下降。與蔡孝鑫於 2015 年的碩士論文[12]研究結果類似，當反應溫度為 25、35、50 與 70°C 時，貫穿時間依序為 350、290、260 以及 180min，吸附量依序為 186、143、107 以及 71 mg g⁻¹，亦於低溫 25°C (298 K) 較利於吸附反應。

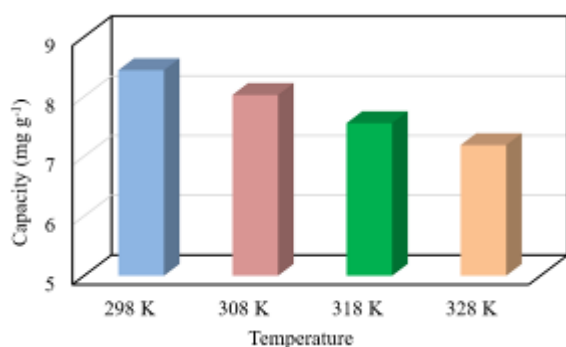


圖 13 不同溫度下生物碳
對 O₃ 吸附之貫穿曲線圖

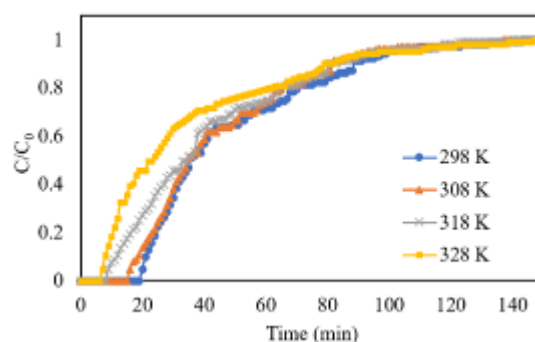


圖 14 不同溫度生物碳
對 O₃ 之吸附能力比較圖

3.2.4 停留時間的影響

本研究為瞭解不同停留時間對於 O₃ 吸附能力之影響，使用 BCS550，於吸附溫度為 298 K 與 O₃ 進流濃度 15 ppm 條件下，進行四種氣體停留時間為 0.56、0.70、0.94 與 1.41 sec 之吸附測試。從圖 15 與圖 16 可知隨著停留時間增加，吸附貫穿時間與吸附飽和時間皆增加。當濃度分別為 0.56、0.70、0.94 與 1.41 sec 時，貫穿時間分別為 31、39、48 與 60 分鐘，飽和時間分別為 117、125、133 與 146 分鐘，吸附能力分別為 8.23、8.16、8.09 與 8.02 mg g⁻¹。由上述中結果可以得知當 O₃ 不同停留越短時，材料吸附能力會越好，但貫穿時間與飽和時間越短，主要原因是材料表面壓力增加，並增加 O₃ 進

入孔洞驅動力，有利於捕捉 O_3 分子，因此 BCS550 材料對 O_3 吸附能力增加。與黃皓瑋於 2018 年的碩士論文[13]研究結果類似，以不同停留時間測試 2M3Z 吸附雙三甲基矽胺的影響，發現當停留時間越短時越不利於 2M3Z 吸附雙三甲基矽胺，與此研究結果類似。

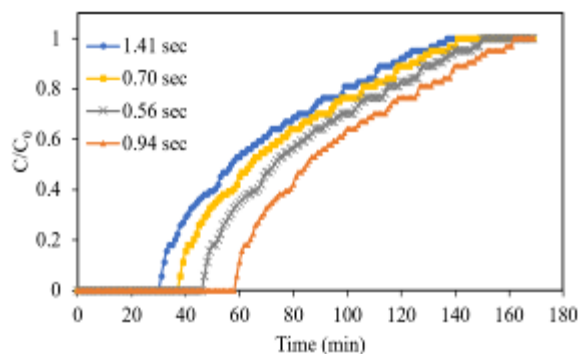


圖 15 不同停留時間
對 O_3 吸附貫穿曲線圖

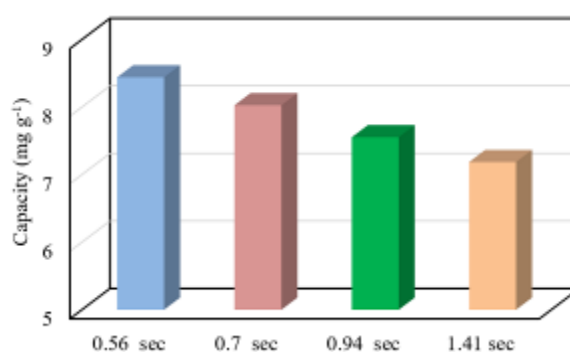


圖 16 不同停留時間
對 O_3 吸能力比較圖

肆、結 論

傳統的甘蔗渣處理方法常被作為燃料，但是其熱效率非常低，然而也加劇環境問題。BCS 作為一種新型生物碳兼具開發及利用，不僅可以廢棄物再利用，還可以作為一種新型的環保材料來處理和修復污染的水和空氣。該實驗發現熱裂解溫度對生物碳中臭氧的去除有顯著影響。甘蔗渣生物碳對低濃度臭氧具有很強的去除性能。作為一種合適的材料，不僅達到了廢料回收去除空氣污染物的目的，而且顯示了簡單的製造方法，具有很高的開發和應用價值。

誌謝

感謝國立宜蘭大學空氣污染實驗室提供之器材以及張章堂教授、學長姐的指導。

參考文獻

- [1]Apte, M.G., Buchanan, I.S.H., Mendell, M.J., Outdoor Ozone and Building-related Symptoms in the BASE Study. *Indoor Air*, Vol.18, pp.156-170, (2008).
- [2]Fung, C.C.D., Shu, S., Zhu, Y., Ultrafine Particles Generated from Coloring with Scented Markers in the Presence of Ozone. *Indoor Air*, Vol.24, pp.503-510, (2014).
- [3]Rai, A.C., Lin, C.H., Chen, Q., Numerical Modeling of Particle Generation from Ozone Reactions with Human-worn Clothing in indoor Environments. *Atmospheric Environment*, Vol.102, pp.145-155, (2015).
- [4]Cheng F., Luo H., Hu L., Yu B., Luo Z., Fidalgo de C. M., Sludge carbonization and activation: From hazardous waste to functional materials for water treatment, *Environmental Chemical Engineering* 4(2016) 4574–4586.
- [5]何定晏，相思木以 $ZnCl_2$ 活化法製備高比表面積活性碳及其應用，國立聯合大學碩士論文，2009。
- [6]Lyu, H., Gao, B., He, F., Zimmerman, A. R., Ding, C., Huang, H., & Tang, J. (2018). Effects of ball milling on the physicochemical and sorptive properties of biochar: Experimental observations and governing mechanisms. *Environmental Pollution*, 233, 54–63.

- [7]Veiga, P. A. da S., Cerqueira, M. H., Gonçalves, M. G., Matos, T. T. da S., Pantano, G., Schultz, J., Andrade, J. B.de, &Mangrich, A. S.(2021). Upgrading from batch to continuous flow process for the pyrolysis of sugarcane bagasse: Structural characterization of the biochars produced. *Journal of Environmental Management*, 285, 112145.
- [8]Qiu, Q., Zhou, M., Cai, W., Zhou, Q., Zhang, Y., Wang, W., Liu, M., &Liu, J. (2019). A comparative investigation on direct carbon solid oxide fuel cells operated with fuels of biochar derived from wheat straw, corncob, and bagasse. *Biomass and Bioenergy*, 121, 56–63.
- [9]林祐璿，木屑堆肥碳化材料對重金屬吸附之探討，明志科技大學碩士論文，2015 年。
- [10]Zaini, M. A. A., Okayama, R., &Machida, M. (2009). Adsorption of aqueous metal ions on cattle-manure-compost based activated carbons. *Journal of Hazardous Materials*, 170(2–3), 1119–1124.
- [11]謝佩服，利用廢棄咖啡豆進行吸附臭氣效能評估，國立臺灣科技大學碩士論文，2019 年。
- [12]蔡孝鑫，利用廢棄氟化鈣研製中孔洞材料與觸媒處理含矽烷光阻劑與丙酮之研究，國立宜蘭大學碩士論文，2015 年。
- [13]黃皓瑋，使用孔洞複合材料對於廢氣中 HMDS 和丙酮處理之研究，國立宜蘭大學碩士論文，2018 年。

機械洗車廢水之過濾處理

柯力維¹、林志榮¹、吳盛忠²、羅仁鈞²、張莉珣²、孫維謙²、胡景堯³、

官文惠¹、吳容銘^{1,*}

1 明志科技大學環境與安全衛生工程系

2 行政院環保署水質保護處

3 台北醫學大學公共衛生學系

摘要

近幾年來全球環保意識高漲、環境的議題也日漸受到重視，而且都會地區人口大量集中，因人類生活而產生的污染或是垃圾也大幅增加，洗車的需求即是一例，清洗車輛所使用之清潔劑可能隨廢水排入側溝，造成水體一定程度之污染。而洗車場約略可概分為機械式洗車以及人工或自助洗車，目前以最大日廢水產生量作為區隔，20 CMD以上須設置污水處理設備。

與傳統一入一出的過濾方式不同，旋濾乃是一入兩出的過濾方式，兩出口流體，一股為濾液，一股為利用流體旋轉造成的離心力將顆粒帶離濾芯，並回流入桶槽，因而提升濾速。

本研究以旋濾方式，針對機械洗車廢水進行處理，量測的指標有懸浮固體物濃度(suspended solid, SS)、化學需氧量(Chemical Oxygen Demand, COD)、陰離子界面活性劑(anionic surfactant, AS)、油脂(Oil)，採樣的地點為新北市泰山區中油加油站之伴隨機械洗車，進行 10 次的實際採樣測試，採樣原廢水水質，SS介於 66~183 mg/L之間，COD介於 36~237 mg/L之間，AS介於 8.2~18.5 mg/L之間，Oil介於 0.5~10.2 mg/L之間；結果顯示經過過濾處理之後，SS平均降幅為 76.2%，COD平均降幅為 33.0%，AS平均降幅為 24.0%，Oil平均降幅為 86.7%。顯示過濾處理機械洗車之廢水可達一定之處理效果。

關鍵詞：洗車廢水、機械洗車、SS、COD、過濾

壹、前言

洗車廢水中主要的污染物為洗滌劑以及污物，若未經妥善處理就排放至雨水下水道中或其他水體中，會產生大量泡沫造成民眾的觀感不佳。國內仍有許多縣市污水下水道普及率偏低，洗車使用之泡沫洗劑直接流入下水道，恐污染河川生態。現行法令規定的是有自動(機械)洗車設備，且廢水產生量一天達 20 噸以上之自動洗車業者，才需要申請排放許可證，使得現階段此新興行業無法可管。因此本研究擬開發廢水處理設備回收中小洗車業者產生的洗車廢水，希望能夠解決用地不足的問題並以回收產生的經濟效益減少廢水處理成本，進而推廣輔導中小洗車業者使用該技術，以解決目前中小洗車業者產生的洗車廢水無法納管的問題。

針對洗車污水怎麼處理的問題，洗車污水因含有油污、泥沙、表面活性劑及其他可溶性有機物，所以洗車規模大小不同，洗車廢水處理回收技術也存在很大的差別，按照洗車行功能的不同，可以分為單純洗車行的洗車廢水和兼具有修車功能洗車行的洗車廢水。前者的洗車廢水水質中泥砂、洗滌劑類物質較多，油類物質相對較少，而後者由於在修車時採用潤滑油類物質，使水中的含油量大大增加，同時水中其他污染物質的濃度也明顯增加。按清洗方式的不同，分為機械清洗的洗車廢水和人工清洗的洗車廢水。一些已開發國家較多採用機械洗車，洗車時所採用的石油類產品比較多，因此含油量較高；採用人工高壓水沖洗洗車，洗車廢水中含有的洗滌劑類物質相對較多。

根據聯合國所提出的永續發展目標(sustainable development goals, SDGs)中，潔淨水資源被列為永續發展的重點目標，環保署積極推出總量管制策略，依據民國 106 年 12 月 25 日發布放流水標準之修正總說明及條文對照表，目前廢水產生量 20 CMD 以上之放流水標準如表 1 所示。

表 1 洗車場廢水管制放流水標準

管制項目	最大限值	檢測方法
化學需氧量	100 mg/L	密閉式重鉻酸鉀迴流法 (NIEA W517.53B)
懸浮固體	50 mg/L	水中總溶解固體及懸浮固體檢測方法 — 103~105°C 乾燥 (NIEA W210.58A)
陰離子界面活性劑	10 mg/L	甲烯藍比色法 (NIEA W525.52A)
油脂	10 mg/L	水中油脂檢測方法—固相萃取重量法 (NIEA W507.51C)

針對於污水處理，主要的方法可分為四大類，包含(1)凝結吸附[1]、(2)膜過濾法[2]、(3)電化學法[3]、(4)綜合型[4]等。在國際間，對洗車產業從各方面都展開了細緻的研究，包含洗車技術、洗車材料、廢水處理及回收等。與此同時，通過制定完善的用水及廢水處理之相關法律制度及規範，以期能加強行業監管功能。如美國對污水排量嚴格限制，美國洗車業的污水排放近乎於零，洗車大都採用高氣霧清洗機，用水量大約 300 升/車，而且配備吸水設備，回收廢水從而不污染環境。德國政府運用價格槓桿對水的使用嚴格限制。日本政府在加大廢水處理力度的同時大力普及中水管道，使用“雜用水”指下水道再生水與雨水，可供沖廁所、冷卻、洗車、街道灑水、澆樹木等，同時鼓勵使用雨水。

貳、實驗方法

圖 1 為旋濾系統示意圖，圖 2 為旋濾系統設備圖，儲槽中的水樣透過泵加壓打出，部分水樣透過分流端回到儲槽內以避免壓力過高，其餘之較低壓水樣打入過濾槽內，過濾槽的入口端與回流端皆採切線設計，使水樣從入口端進入後，液體與受到離心力作用的固體往離心方向流動，以提高過濾效果，部分水樣通過濾材得到濾液，藉由將顆粒阻擋在濾材上以達過濾之效果，其餘水樣則由回流端回到儲槽內，形成一循環系統。實驗過程改變操作壓力，其餘變因固定。過濾 2 小時後，測量濾出液的水流量、懸浮固體物濃度、化學需氧量、陰離子界面活性劑、油脂。

實驗步驟如下：

1. 架設管線並且注意管件內部是否乾淨且固定。
2. 開啟所有閥件，確認儲存槽和過濾裝置中之水已排出，再關上所有閥件。
3. 置備工作流體，開啟分流閥(c)，開啟泵進行攪拌，攪拌 5 分鐘後取液體為原液。
4. 關閉泵、分流閥(c)，開啟濾出閥(b)，回流閥(a)視實驗目的及濾出端濾速判斷開關，保持完整通路後再開啟泵。
5. 確保管件中充滿工作流體後觀察是否異常，一分鐘後開始測量過濾水流量。
6. 2 小時後，取原液和濾出液至樣品瓶，對懸浮固體物濃度、化學需氧量、陰離子界面活性劑、油脂分析之。

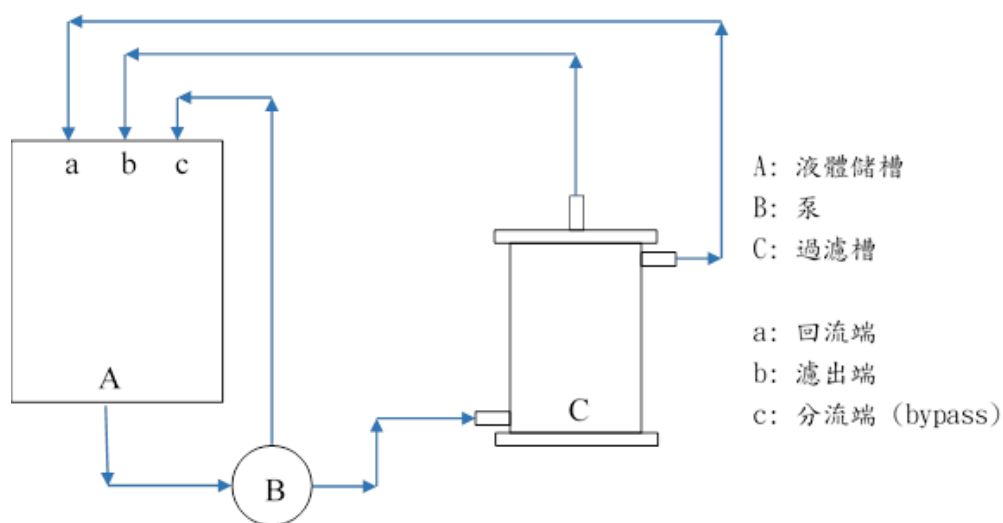


圖 1 旋濾系統示意圖



圖 2 旋濾設備圖
叁、結果與討論

3.1 過濾水流量

如圖 3 與圖 4 所示，傳統過濾與旋濾之過濾水流量分別可得 188 g/s 與 450 g/s，以大略 250 g/s 而言，設備操作兩小時可得近 1 噸的水。

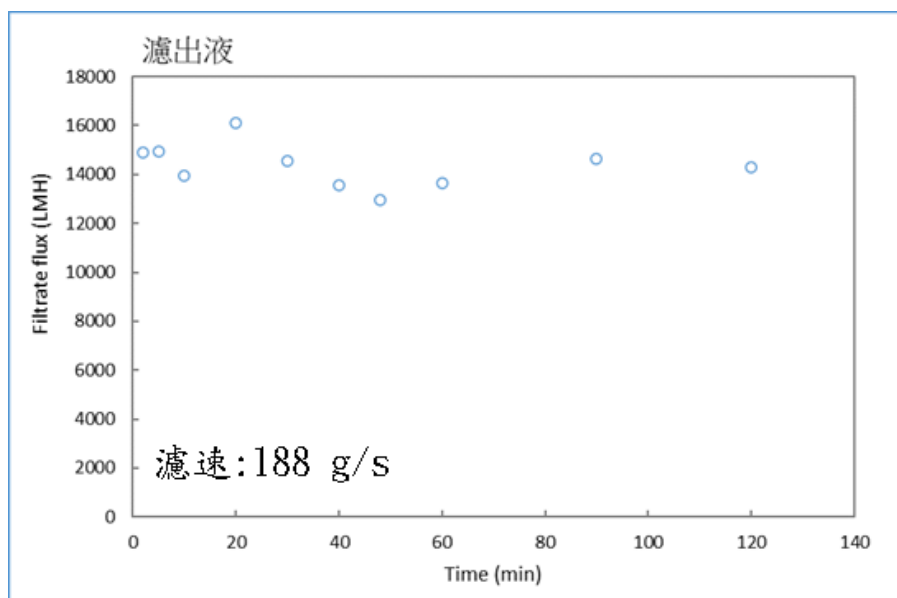


圖 3 傳統過濾技術之過濾水流量

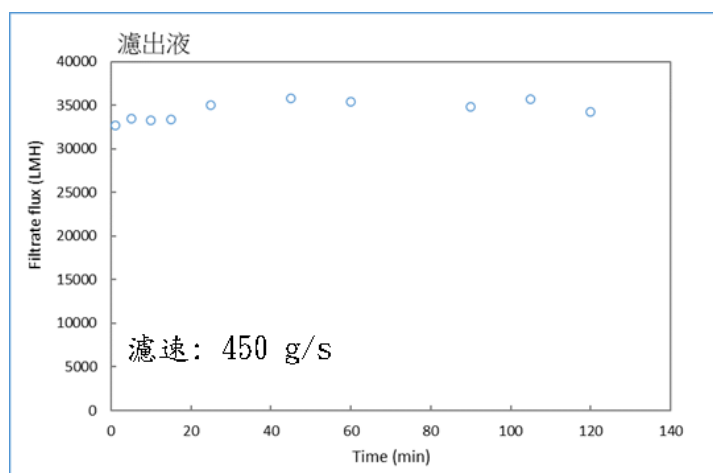


圖 4 旋濾技術之過濾水流量

3.2 能耗量

在旋濾設備開啟後 2 小時所測得能耗量如下表所示，平均每小時耗電約 1 度。

表 2 設備使用之能耗

實驗設備	碳排放量(kg)	電壓 (V)	用電總時間 (min)	每小時耗電量 (kw/h)	功率 (Watt)	電流 (m/A)	每小時耗電費 (元/h)
旋濾設備	0.56	109.53	138	1.02	445	3.61	5.1

3.3 去除效果

10 次實驗結果顯示經過過濾處理之後，懸浮固體平均降幅為 76.2%，COD 平均降幅為 33.0%，陰離子界面活性劑平均降幅為 24.0%，油脂平均降幅為 86.7%。顯示過濾處理機械洗車之廢水可達一定之處理效果。

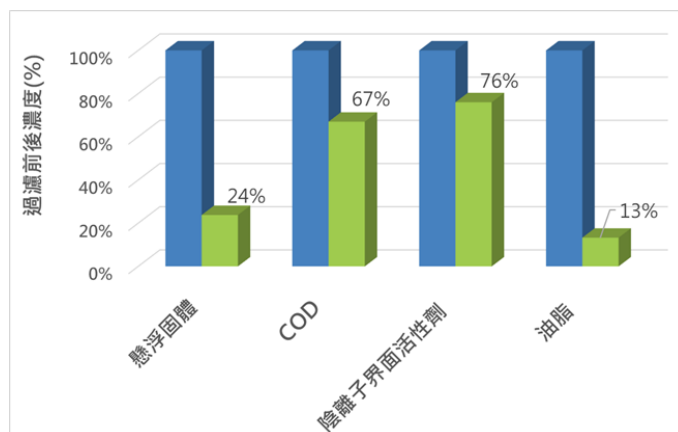


圖 4.2 旋濾技術之去除效果

肆、結 論

本研究以旋濾技術為基本原理，針對洗車廢水，開發一較低成本、設備空間佔地小、又能有效處理洗車廢水之技術，並開發相關之設備。研究顯示過濾SS、COD、AS、Oil有一定之去除效果，以達到排放標準，也能回收再利用。

誌謝

感謝中華民國行政院環境保護署計畫編號 109A339 為這項研究提供支持。

參考文獻

- [1] Mohammad S., Maryam F., Hossein N.S., Daryoush S, Amin A.Z., Mina G. and Edris B. (2020) Efficient technologies for carwash wastewater treatment: a systematic review, Environmental Science and Pollution Research, 27, 34823–34839.
- [2] O'sullivan A, Smalley D, Good J (2011) Quantifying the impact of car washing on water quality and assessing simple treatment strategies. Christchurch, New Zealand
- [3] Li T, Xue-Jun T, Fu-yi C, Qi Z, Jun Y (2007) Reuse of carwash wastewater with hollow fiber membrane aided by enhanced coagulation and activated carbon treatments. Water Sci Technol 56:111–118
- [4] Panizza M, Cerisola G (2010a) Applicability of electrochemical methods to carwash wastewaters for reuse. Part 1: anodic oxidation with diamond and lead dioxide anodes. J Electroanal Chem 638:28–32

投幣式洗車場之洗車廢水過濾處理

林志榮¹、吳家瑋¹、戴韶瑩¹、柯力維¹、吳盛忠²、羅仁鈞²、張莉珣²、
孫維謙²、胡景堯³、官文惠¹、吳容銘^{1*}

1 明志科技大學環境與安全衛生工程系

2 行政院環保署水質保護處

3 台北醫學大學公共衛生學系

摘 要

近些年來自助或人工洗車行業興起，但因其洗車規模相對較小。故大多未設置廢污水處理設施，且國內污水下水道系統接管率尚待提升，致使清洗車輛使用之清潔劑、泡沫未經妥善處理即溢流至路面妨礙市容觀瞻，或是排入側溝後進入雨水下水道系統污染水體水質，根據網路資料統計，國內目前營運中之自助洗車場約有 317 家。

若是粗略以 5 CMD 之廢水量來推估，一年下來，產生之廢水量約為 60 萬噸，相當於一座新竹寶山水庫之蓄水量，而這僅是新興投幣式洗車行業所產生，若能有效處理，可為水資源保護循環略盡棉薄之力。

本研究以旋濾方式，與傳統一入一出的過濾方式不同，乃是一入兩出的過濾方式，一股為濾液，一股為利用流體旋轉造成的離心力將顆粒帶離濾芯，提升濾速，針對投幣式洗車廢水進行處理，量測的指標有懸浮固體物濃度(suspended solid, SS)、化學需氧量(Chemical Oxygen Demand, COD)、陰離子界面活性劑(anionic surfactant, AS)、油脂(Oil)，採樣的地點為新北市泰山區之投幣洗車場，進行 5 次的實際採樣測試，採樣原廢水水質，SS 介於 38~244 mg/L 之間，COD 介於 56~189 mg/L 之間，AS 介於 0.2~1.3 mg/L 之間，Oil 介於 14~36.8 mg/L 之間；結果顯示經過過濾處理之後，SS 平均降幅為 88.3%，COD 平均降幅為 33.2%，AS 平均降幅為 17.7%，Oil 平均降幅為 27.5%。顯示過濾處理投幣式洗車車之廢水可達一定之處理效果。以此去除率而言，可將原洗車廢水處理至放流水標準之水質為 SS 最高 416 mg/L，COD 最高 150 mg/L，ABS 最高 12 mg/L，Oil 最高 13.8 mg/L。

關鍵字：洗車廢水、投幣式洗車、SS、COD、過濾

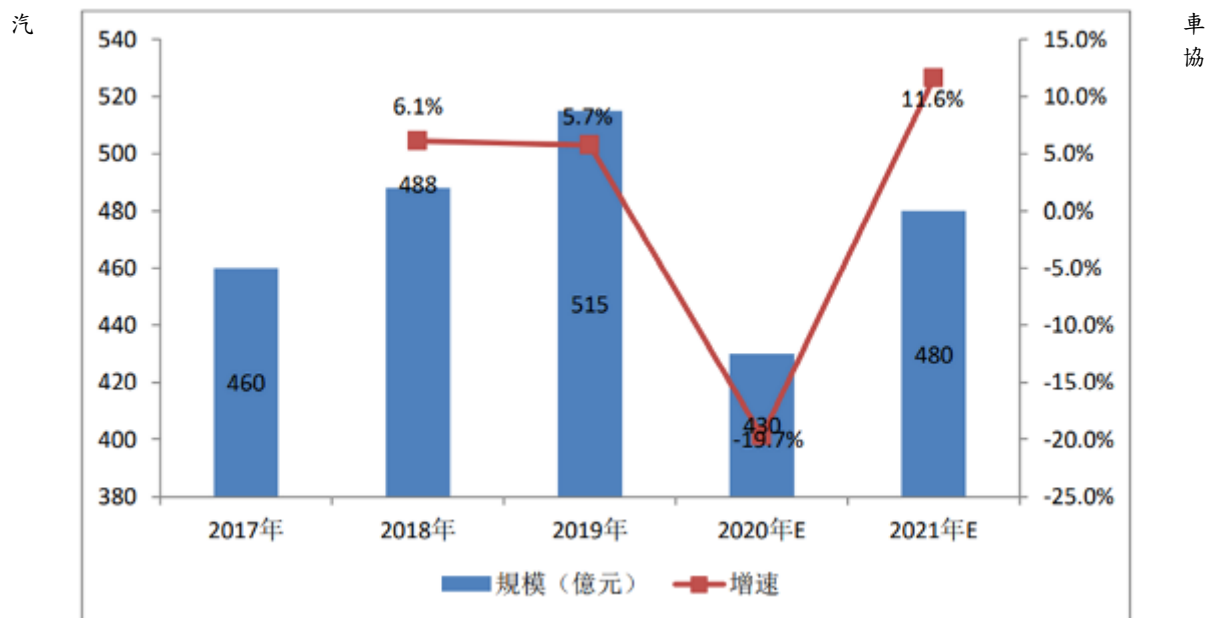
壹、前言

隨著社會經濟發展，全球汽車保有量增長迅速。洗車用水量大，污染嚴重，對汽車服務業的洗車廢水進行回用處理，已成為當前迫切需要解決的問題。車輛的污染主要來自於汽車在行駛過程中很容易受污染，車體和玻璃所黏附的污垢主要是塵埃，燃料燃燒不完全的油煙和空氣中漂浮的各種微粒等。底盤和車輪黏附的污垢主要是泥沙，路面瀝青，煤焦油和燃燒油等。

根據 OICA(世界汽車工業國際協會)資料，2010-2019 年全球汽車保有量呈穩步增長態勢，截止 2019 年全球汽車保有量為 14.7 億輛，預計 2020 年全球新車銷售下降 20% 以上，則 2020 年全球汽車保有量約為 15.1 億輛。截止 2020 年末，中國汽車保有量約 2.41 億輛，美國汽車保有量約 2.86 億輛。資料顯示，預計 2020 年全球汽車保有量增至 15 億輛，同比增長 2.7%。

保守估計，假設全球汽車每輛每月清洗 1 次，全球每年洗車耗水量約 9 億噸，大約是 13 座石門水庫的蓄水量。預計 2020-2026 年期間全球洗車廢水處理市場複合年增長率為 4.8%，到 2026 年市場規模達 31 億美元(圖 1)。

目前，中小型洗車場所廢水處理較大型/連鎖洗車場所廢水處理相對滯後，大量未經處理的洗車廢水直接排入城市污水管道中，成為主要的城市水污染源之一。由於洗車場所地理位置較為分散，難以通過集中式模式進行廢水處理。根據市場調查，目前洗車可以分為人工清洗和機械自動清洗，其中機械自動化洗車廢水迴圈利用率較高，廢水處理裝置率約在 30% 左右。而人工洗車廢水迴圈利用率較低，廢水處理裝置率約在 15% 左右(圖 2)。



會、協力廠商資料

圖 1 2017-2021 年全球汽車美容市場規模預測

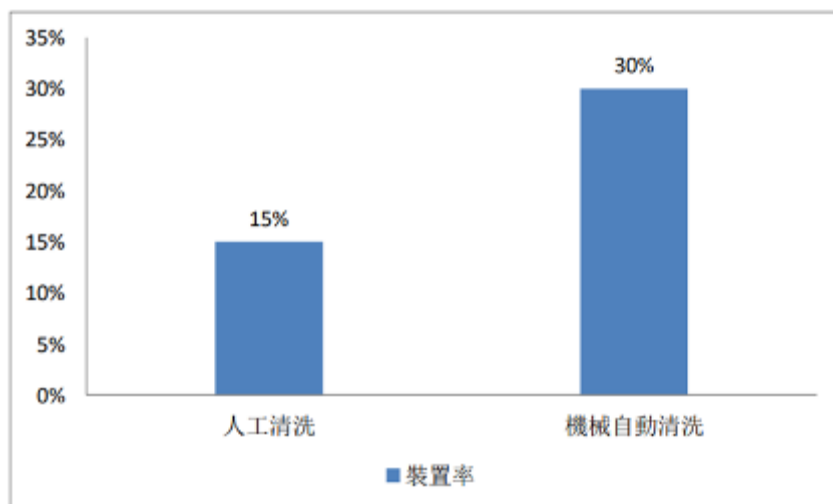


圖 2 2020 年全球城市洗車廢水處理裝置率情況

本研究參考各種針對污水處理方法，如凝結與(或)吸附型法[1][2]、膜過濾法[3][4]、電化學法[5]，為了實現佔地小、低耗能、低設備成本，最後選用了旋濾方式進行過濾。

貳、實驗方法

一般傳統過濾的 power source 主要提供壓力差產生濾液，但也因為這壓力差造成濾材容易堵塞。旋濾技術提供的動能，主要是讓流體旋轉產生離心力，將顆粒帶離濾芯，因此較不易產生濾材堵塞。

傳統過濾操作方式是一進口一出口，進口的是待處理液，也就是待處理的洗車廢水，出口的是濾出液。旋濾操作方式則是一進口二出口(圖 3)，進口的同樣是待處理液，出口的則是濾液以及回流液。

旋濾實驗每次以 2 小時進行，過程中會進行濾出液的水流量測量，結束後會測量懸浮固體物濃度、化學需氧量、陰離子界面活性劑、油脂，與原液進行比較。

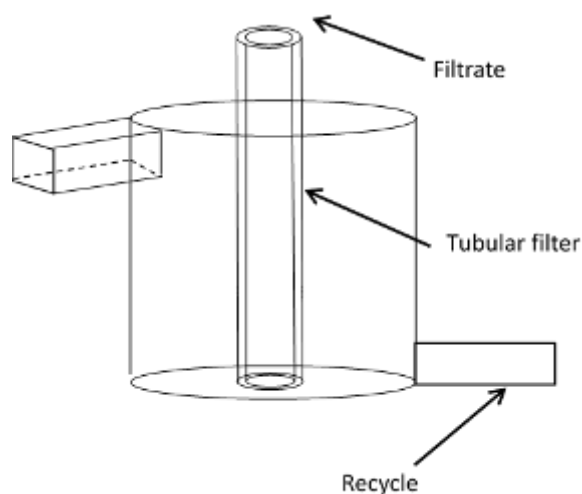


圖 3 旋濾機



圖 4 旋濾設備圖

叁、結果與討論

3.1 去除效果

進行 5 次的實際採樣測試，結果顯示經過過濾處理之後，SS 平均降幅為 88.3%，COD 平均降幅為 33.2%，AS 平均降幅為 17.7%，Oil 平均降幅為 27.5%。以此去除率而言，可將原洗車廢水處理至放流水標準之水質為 SS 最高 416 mg/L，COD 最高 150 mg/L，AS 最高 12 mg/L，Oil 最高 13.8 mg/L。

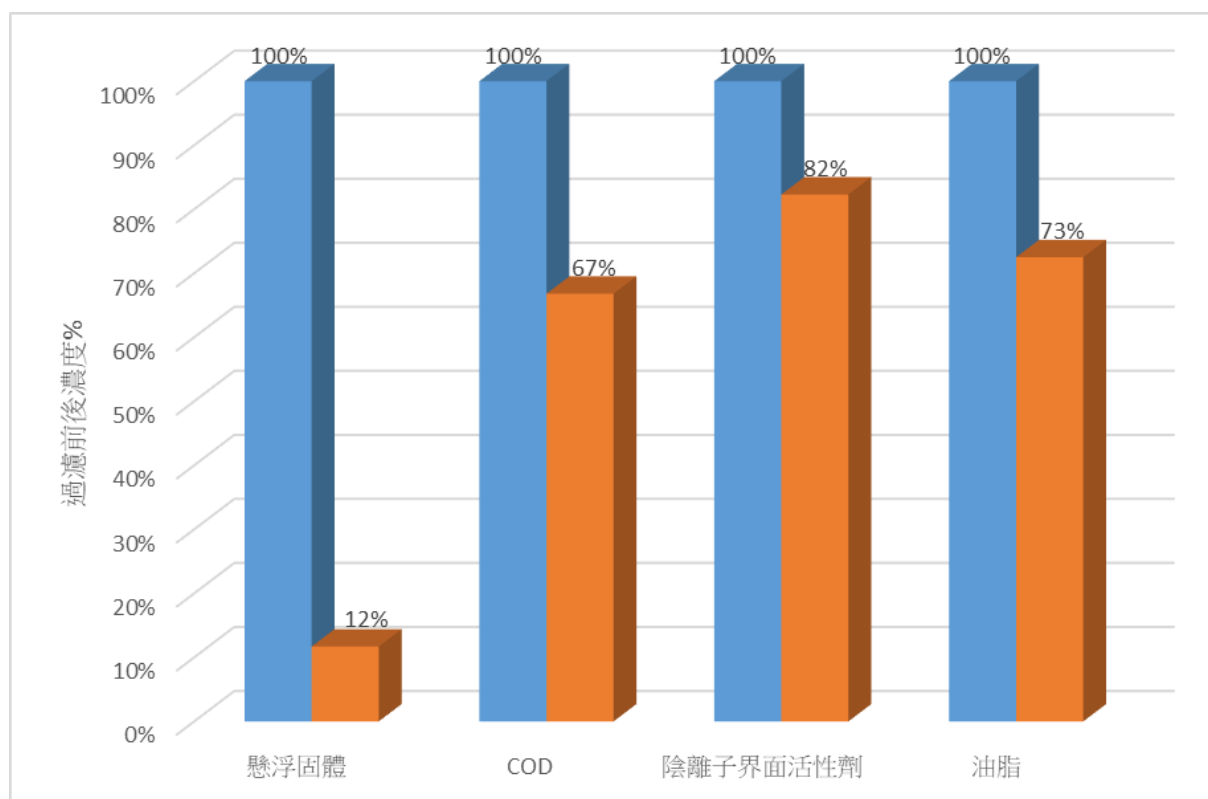


圖 5 旋濾技術之去除效果

3.2 能耗量

由表 1 所示，使用功率計算器測得每小時平均耗電量約 1 度。

表 1 實驗使用之能耗

實驗	碳排放量 (kg)	電壓 (V)	用電總時間(min)	每小時耗電量(kw/h)	功率 (Watt)	電流 (mA)	每小時耗電費 (元/h)
旋濾設備	0.55	110	124	1.00	461.39	3.735	5

3.3 過濾水流量

傳統過濾水流量測得 198 g/s(圖 6)，旋濾技術水流量測得 254 g/s(圖 7)，旋濾技術明顯濾出量較多。

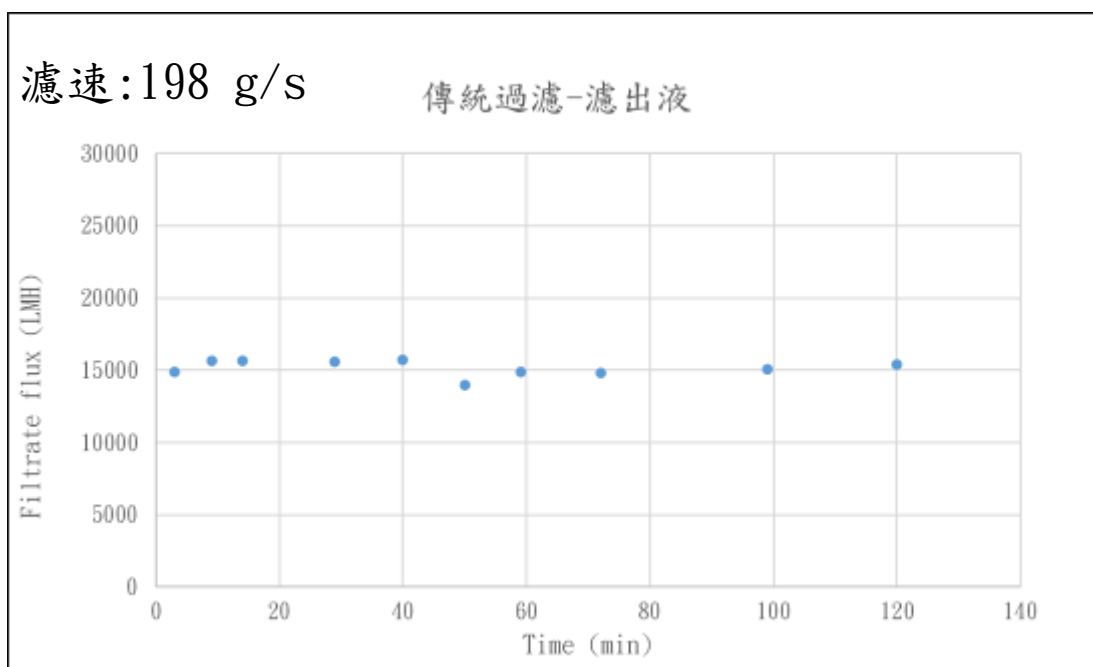


圖 6 傳統過濾技術之過濾水流量

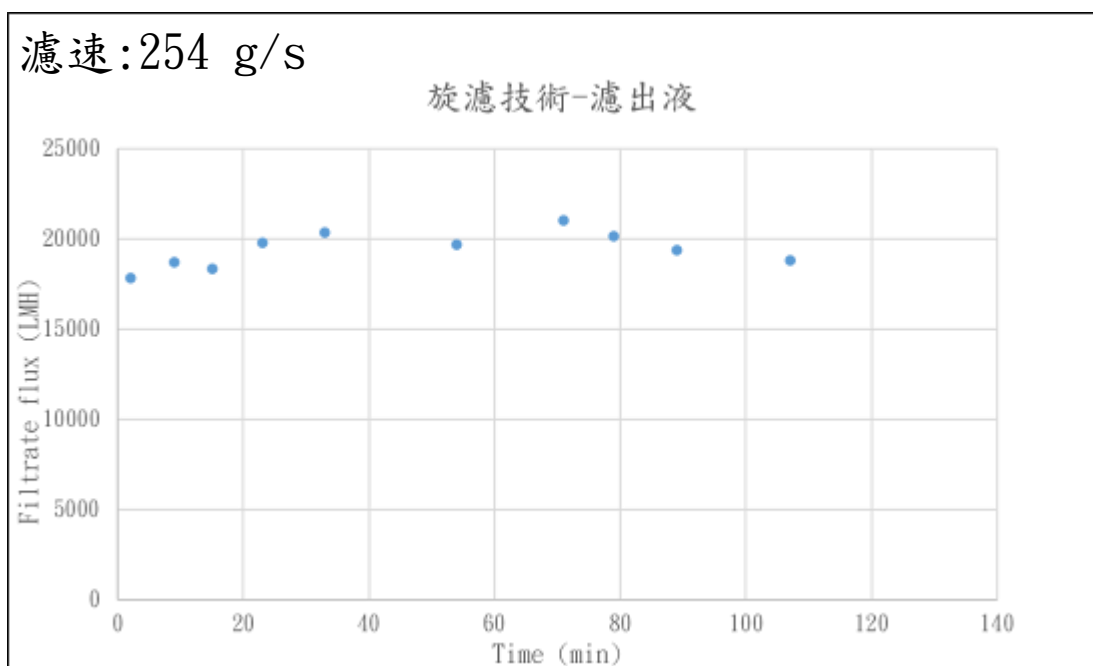


圖 7 旋濾技術之過濾水流量

肆、結 論

本研究以旋濾方式進行實驗，洗車廢水主要的 4 項指標，懸浮固體物、COD、陰離子界面活性劑、油脂在過濾 2 小時後，大部分都能符合法規規範。希望以低成本、低耗能、低設備空間、高去除效率進行洗車廢水回收再利用。

誌謝

感謝中華民國行政院環境保護署計畫編號 109A339 為這項研究提供支持。

參考文獻

- [1] Mohammad S., Maryam F., Hossein N.S., Daryoush S, Amin A.Z., Mina G. and Edris B. (2020) Efficient technologies for carwash wastewater treatment: a systematic review, *Environmental Science and Pollution Research*, 27, 34823–34839.
- [2] Mohamed R., Saphira R.M., Kassim M., Hashim A. (2014) *Moringa Oleifera* and *Strychnos Potatorum* Seeds as natural coagulant compared with synthetic common coagulants in treating car wash wastewater: case study 1. *Asian J Appl Sci* 2, 693–700.
- [3] Khondee N, Tathong S, Pinyakong O, Powtongsook S, Chatchupong T, Ruangchainikom C, Luepromchai E (2012) Airlift bioreactor containing chitosan-immobilized *Sphingobium* sp. P2 for treatment of lubricants in wastewater. *J Hazard Mater* 213:466–473
- [4] Boussu K, Kindts C, Vandecasteele C, Van der Bruggen B (2007) Applicability of nanofiltration in the carwash industry. *Sep Purif Technol* 54:139–146
- [5] Tony MA, Purcell PJ, Zhao Y, Tayeb AM, El-Sherbiny M (2009) Photocatalytic degradation of an oil-water emulsion using the photofenton treatment process: effects and statistical optimization. *J Environ Sci Health Part A* 44:179–187

Session II-2

(13:40~15:00 , B204)

運用環境治理區塊鏈私鏈節點案例式導向雲端系統編程實例化(Instantiate) 抽象技術特性之研究

A case-oriented study to instantiate the abstract technical characteristics of an
Environmental Governance Blockchain by Programming a Private Node of Blockchain
in Cloud-based System

張益誠^{1*} 李妍安^{2*} 余泰毅³ 蔡承儒² 潘奉琪² 李林伶² 許展榮²

I-Chang Chang^{1*} Yan-an Li^{2*} Cheng-Ju Tsai² Feng-Chi Pan² Lin-Ling Li² Chan-Jung Hsu² Tai-Yi Yu³

1 國立宜蘭大學 環境工程學系(所) 副教授

Associate Professor, Department of Environmental Engineering, National Ilan University

2 國立宜蘭大學環境工程學系 專題生

Undergraduate student, Department of Environmental Engineering, National Ilan University

3 銘傳大學 風險管理與保險學系(所) 教授

Associate Professor, Department of Risk Management and Insurance, Ming Chuan University

* Corresponding author: d2507002@gmail.com; C0724012@ms.niu.edu.tw

摘要

區塊鏈(Blockchain)為源自加密貨幣(Cryptocurrency)之底層技術，Cryptocurrency 被視為是利用密碼學(Cryptography)、雜湊演算法(Hash)，以俾作為安全交易之創新通貨憑證媒介。Blockchain 概念為由 Nakamoto Satoshi 於 2008 年所提出一種應用現代 Cryptography、Distributed ledger technology (DLT)、P2P 傳輸形式，透過 Block、Chain、Node、Network 等 Bottom Up 元件，來實現前揭 Cryptocurrency 之生產及轉移，進而建立不需依賴第三方中介機構，又可在彼此不信任的狀況下、Decentralization 且願意共同管理共享資料的創新式交易機制。

Blockchain 技術之運行特性、主要包含 Decentralization、DLT、P2P、透明可溯源可匿名(Transparency with traceability and pseudonymity)、紀錄無法更改(不可竄改性 Irreversibility and immutability)、不可否認性(Substantive evidence)、資料加密安全性(data security and cryptography)等等。近年來，Blockchain 集體參與、共同維護資料之運作機制與方式，已逐漸發展為一種新興網路平臺與資訊基礎設施技術，國外早已針對其不同範疇或官產學不同型態應用之可能性，以及可能面對的問題與挑戰，進行廣泛討論與研究發展(R&D)，以改變傳統政府、組織與產業治理樣貌，特別是在公共治理領域之創新服務應用。

爰此，本研究擬基於前揭研究動機與文獻基礎，嘗試將 Blockchain 3.0 技術之主要應用特性、運作機制(例如共識演算、礦工挖礦)於環境治理課題之應用框架，透過案例編程(Programming)過程，來加以掌握與理解，以及透過雲端系統框架之建構芻議，拋磚後續於此應用課題研究量能之投入。

關鍵詞：區塊鏈 (Blockchain)、實例化(Instantiate)、分散式的記帳技術 (DLT)、環境治理、雲端系統編程(Programming)、系統發展生命週期(SDLC)

壹、前言

「區塊鏈(Blockchain)」技術是一種不依賴第三方，僅透過網絡-鏈(Network-Chains)上之 P2P 節點(Nodes)共享，來達到資訊或資料數據紀錄之儲存、驗證、傳遞與交流。自 2008 年比特幣白皮書發布迄今，Blockchain 已透過包含私鏈(Private Chain)、公鏈(Public Chain)、聯盟鏈(Consortium chain)等方式，被廣泛發展與應用；且近年來於資通、金融、投資、保險等相關產業上，興起一股 Blockchain Boom(鏈熱潮)，並創造過去無法想像的可能性，因而其應用也從 P2P 電子現金系統之數位貨幣交易(即 Blockchain 1.0)、智能合約之自動化運作(即 Blockchain 2.0)，廣續開啟諸多新型多元(即 Blockchain 3.0)應用的可能情境，例如在政府公共治理(governance)方面的創新服務，已視為可改變民眾對政府數位服務處理效率與運作信任度之未來應用方向。Linux 基金會「超級帳本(Hyperledger)」執行主任 Brian Behlendorf 認為 Blockchain 技術應視為一項治理技術，是社群、市場和社會自動調節機制，無論是用於貨幣、源頭追蹤(溯源)、身份管理等，儘管各種各樣使用案例不同，但使用 Blockchain 技術之角色功能性是一致的，即包含透明(公開)性、不變性(不可竄改性)、去中心化、不可否認性(存證)和安全性等等。易言之，Blockchain 技術一般包含以下兩項基本要素原則，其一為分散式帳本(Distributed ledger)或資料庫，可透過公共或私人網絡共享，而在網絡中的每個節點(Node)都持有帳本的副本，此外分散式帳本也可通過「智能合約(SC, Smart Contract)」進行編碼，在 Blockchain 上記錄一系列條件，以便在符合條件時自動觸發特定契約行為，例如保險賠付自動化；其二為數位加密(簽章 Hash)、共識演算(Consensus algorithm)及去中心化(decentralize)機制，即區塊(block)內的資料或資訊，都經過密碼學進行不可逆但可驗證之加密運算處理，並作為新「區塊(Block)」添加到歷史記錄鏈之依據，且在此之前須使用各種共識協議或演算法(例如 POW)來驗證與其他參與者的新區塊，因不需要通過第三方(中央)監控，也能夠防止欺詐或雙花(Double spending)狀況發生。因此，如前述 Blockchain 類似一種分散式、分散儲存功能的網路大型記帳本，任何人於何時、何地只要擁有網路，即可掌握帳本中的交易訊息與足跡。

Blockchain3.0 技術於公共治理範疇之應用利機或可能性，以存證、溯源可視為當前較具發展潛力的應用方向，例如產品經由外國進口、報關、清關、輸入、配銷、分銷與零售等複雜流程，其來源早已幾乎不可辨識或資料本身的記錄並不完全，也因為如此，導致近年來常發生諸如食安問題、管制品管理時，無法追蹤其流向。而目前各級政府之數位服務資訊內容或庫存，在縱向或橫向部門間仍然缺乏良好流通性，不利於資料溯源且對於一般公眾仍缺乏即時可及性、信任性。而前揭於溯源應用方向之挑戰，理論或實務上應可透過 Blockchain 技術基本要素原則之公共記帳的模式及不可竄改特性，透過其自身鏈上參與成員的節點共享，即可解決上述問題，從源頭基礎建設改善此類資料公開性(去中心化)、不變性(不可竄改性)、不可否認性(存證)與安全性等等，進而提高跨部門間數位服務運作效率且具可溯源性(traceability)。2016 年起國內已開始針對 Blockchain 技術於食安、醫療照護等領域之如何導入應用，進行先期性、策略性討論。另外，儘管針對 Blockchain 應用研究，在國內近年已開始累積部分量能與案例，但國內針對環境治理(Environmental governance)之數位服務應用仍屬初發階段；因此，在環境治理課題在於如何理解 Blockchain 技術抽象特性與導入應用可能性，就研究時機點應屬前瞻、必要，

爰此，本研究主要目的擬基於前揭研究動機與文獻基礎，透過案例式(以毒化物大大運作行為中之運送行為案例對象)私鏈節點雲端系統編程(Programming)、佈署(Deploy)之實作過程(implementation)，來實例化(Instantiate) Blockchain 抽象技術應用特性，並以此案例系統作為初探 Blockchain 於環境公共治理領域之應用契機與框架議，進

而拋磚後續於此應用課題研究量能之投入。

貳、文獻探討與回顧

2.1 毒性化學物質運送管理沿革

行政院環保署(TEPA)化學局統計國內每年大約有 700 萬公噸的列管毒性化學物質(簡稱毒化物)進行申報運送，為有效減少毒化物在運送過程造成環境的污染或危害人體健康，依據民國 96 年 1 月 3 日修正公布之「毒性化學物質管理法(簡稱毒管法)(2019 年元月修正更名為毒性及關注化學物質管理法)」，強制要求全國運送第一類、第二類及第三類毒性化學物質的車輛應裝設即時追蹤系統(簡稱 GPS)，同年會同交通部修訂「毒性化學物質運送管理辦法」，以全面監控毒性化學物質運送車輛即時運送狀況，爾後再結合運送聯單申報管理，運送聯單制度，以企有效發揮管理實質成效，掌握國內運輸動線與運送整體安全，以及毒化物流向。目前國內約有 1,700 臺車輛裝設 GPS，納管運送業者約有 200 家。

而「毒性化學物質運送管理辦法」自民國 80 年 2 月 8 日發布施行後，已歷數次檢討修正，107 年年底(12 月 18 日)進行第七次修正，而此次修法重點為運送聯單申報改以網路傳輸方式申報為主要原則。另外，本研究依據 TEPA 針對該辦法修正總說明[1]，將其中修正方向與本研究命題相關內容，歸納列舉如下：(1)運送聯單簡化分為一般運送聯單及簡易運送聯單，並依淨重數量申報使用、(2)申報方式以網路申報為主要原則、(3)運送聯單改為一式一聯單格式，減少業者重覆填寫資料。

國內毒化物八大運作行為(製造、輸入、輸出、運送、販賣、使用、貯存、廢棄)，係依據前揭毒理法來給予監管，而依據前述 700 萬公噸列管毒化物，相當於平均每天有將近 2 萬公噸列管毒化物在國內進行流通，因此本研究認為，或可借鏡食安治理應用之研究經驗，嘗試將 Blockchain 技術導入毒化物運作行為管理系統中，以裨於管理去中性化以及流量流向溯源機制，可視為將 Blockchain 導入當前環境公共治理應用範疇之一可行案例。

2.2 區塊鏈 (Blockchain)

區塊鏈(Blockchain)是由一套嚴謹的加密演算法演變而來的技術，Blockchain 技術是一種不依賴第三方、透過分散式節點進行網路數據的存儲、驗證、傳遞和交流的一種技術方案。這個概念最早是由比特幣之父中本聰在 2008 年發表論文時，首次提及「Bitcoin：A Peer-to-Peer Electronic Cash System」。其核心是用於記錄和儲存交易記錄的分散式系統，在 Blockchain 系統中，沒有所謂的中央權威；相反的，記錄被儲存於所有的網絡參與者中。Blockchain 的原理可以使用比特幣交易的概念來解釋。為了能夠在 Blockchain 上進行交易，需要一個錢包帳戶(Wallet Address)以儲存和交換比特幣。在比特幣系統裡，有一本帳本，它是一個電子檔案記錄著所有的交易紀錄，帳本本身以區塊紀錄，每個區塊包含一部分的交易，而每個區塊記著前面區塊的 id (hash)，形成一種鏈狀的資料結構，所以稱之為 Blockchain，如圖 1 所示。這帳本不是存放在一個中央機構，像是銀行，或是一個資料庫，它是擁有著無數份的複本，散佈存放在 Blockchain 網絡上的每一台電腦裡，而每台電腦我們稱為「節點(node)」。當某一個節點要發起交易時，會先將此交易廣播給其他節點，此時所有節點都可以經由共識演算法來決定誰可以驗證這筆交易，也就是「解題」，之後就有礦工將交易訊息包成一個新的區塊放上 Blockchain，此時交易就算確認完成(Confirmed)[2]。而世界經濟論壇(WEF)創辦人施瓦布(Klaus Schwab)認為 Blockchain 將帶動繼蒸汽機、電力和電腦發明而來的第四次工業革命，俄羅斯聯邦儲蓄銀行(Sberbank)副主席夏洛夫(Andrey Sharov)預言，Blockchain 技術將會讓銀行在 10 年內消失[3]。



圖 1 Blockchain 示意圖 [4]

2.3 Blockchain 結構與分類

Blockchain 顧名思義就像是由無數個區塊所組成，以下將比特幣之的 Blockchain 結構為例。即每一個區塊(block)是由區塊頭(block header)和區塊體(block body)所組成，如圖 2 所呈現的樣子。區塊頭主要紀錄區塊的特徵，紀錄的內容包括區塊的版本、前一個區塊的 hash 值、莫克爾樹的根、時間戳、困難值和臨時值。其中，區塊體主要紀錄區塊的實體數據，例如交易紀錄等等。前一個區塊的 hash 值(previous block hash value)，紀錄上一個區塊的哈希值，目的是為了創造是鏈(chain)的依據，可以讓區塊與區塊之間產生連結。時間戳(Unix timestamp)係用來記錄區塊創建的時間，單位以秒來計算，從 1970 年 1 月 1 日開始算起。困難值(difficulty)目的是為了計算出來的哈希值必須小於由困難度這個欄位所計算出來的困難度指數(difficulty index)，這個設定讓計算哈希值不再只是一個計算，而是為了滿足困難值條件參數(condition parameter)的要求，此外，困難值每產生 2016 個區塊會調整一次。若計算出來哈希值不能小於計算出來的困難度指數，則必須再調整欄位中臨時值的值，直到找到一個臨時值做完 Hash 之後，可以小於困難度指數。臨時值(nonce 或 proof)從 0 開始做 hash，直到計算出來的哈希值小於困難度指數，因此臨時值可以說是「工作量證明 (Proof Of Work, POW)」演算法進行的次數。總而言之，在比特幣 Blockchain 底下，每一個區塊的產生都是經過龐大的運算計算出來的，若出來的哈希值並不小於困難度指數，則必須將臨時值加一，再重新將區塊頭裡的資料全部運算一次，直到找到一個哈希值滿足小於困難度指數這個條件。而一般常聽到的挖礦，就是指尋找臨時值(nonce 或 proof)，並計算出該區塊的哈希值，而挖礦的礦指的就是符合困難度條件的哈希值 [5]。

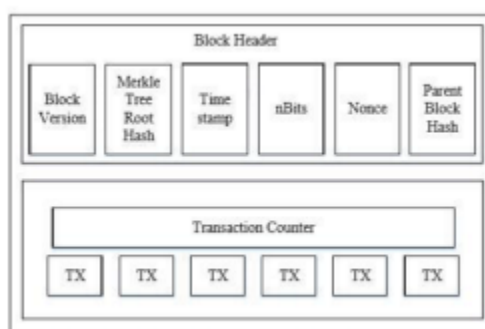


圖 2 Blockchain 之區塊結構[5]

Vitalik 係依照其開放權限將 Blockchain 分成以下三種類型：公鏈(Public blockchains)、聯盟鏈(Consortium blockchains)、私鏈(Private blockchain)或完全私鏈(Fully private blockchains)等 [6]。在公鏈底下，每一筆資料每個人都可以閱讀，此外，也都可以參與共識決，共識決是指哪一個節點擁有產生區塊的權力，相反的聯盟鏈是指在一個

團體裡，只有少數被事先選擇的人可以參與共識決，最後，私鏈是指只有特定的節點可以參與共識決，通常是由某個組織或特定團體所掌控的。表 1 為依據共識決的決定、閱讀的權限、不變性、效率、共識決的過程等面向，針對此三種 Blockchain 進行差異比較之歸納 [7][5]。

表1 Blockchain類別差異性比較歸納 [7][5]

特性	公鏈	聯盟鏈	私鏈
共識決的決定	所有人	特定被選擇的人	特定組織
閱讀的權限	完全公開	可被公開或限制	可被公開或限制
不變性	幾乎不可能被竄改	可被竄改(但有難度)	可被竄改(但有難度)
效率	低	高	高
共識決的過程	不須被允許	需要事先被允許	需要事先被允許

2.4 Blockchain 技術與特性

Blockchain 技術的最大特性之一，就是不可變更，任何記錄都會永遠留存，而且擁有四大構成要素包含共享帳簿、安全隱私、共識及智能合約。Blockchain 並非單一創新技術，而是集合眾多跨領域技術，包括密碼學、數學、演算法與經濟模型，並結合點對點網路關係，利用數學基礎建立信任，成為一個不需基於彼此信任、也不需仰賴單一中心化機構就能夠運作的分散式系統。Blockchain 的關鍵核心技術，包括用 Hashcash 演算法來進行工作量證明(POW)，且交易過程採用數位簽章演算法來確保交易安全，並在每筆交易與每個區塊中使用多次 Hash 函數以及 Merkle Tree，同時也使用時間戳來確保區塊序列。其關鍵技術有以下五項：(1)採用工作量證明達到去中心化及公正性。(2)密鑰的生成、數位簽章與每筆交易採橢圓曲線數位簽章演算法(ECDSA, Elliptic Curve Digital Signature Algorithm,)加密。(3)Hashcash 演算法及多種 Hash 函數確保資料不被竄改。(4)經由 Merkle Tree 將大量訊息縮短成一個 Hash 值。(5)用時間戳伺服器(Timestamp Server) 確保區塊序列 [7]。Blockchain 產生區塊的過程中會經過複雜的密碼學運算，而複雜的密碼學一般運用 SHA-256 (Secured Hash Algorithm- 256)演算法，該演算法可以有效杜絕紀錄被篡改。而 SHA-256 是一個單項函數，給定一個輸入值就會輸出一個結果，但要從結果推算輸入幾乎是不可能的，因此在每一個區塊被成功產生之後是難以被破解並修改內容的。而 Blockchain 產生區塊的過程稱為挖礦(mining)，負責產生區塊的人被稱為礦工，負責產生區塊的機器稱為挖礦機。如前階 Blockchain 是分散式的資料庫，去中心化主要透過所有的節點(node)共同維護整份資料庫，共同維護著整份資料庫代表著沒有人可以說自己產生的區塊是合法有效的區塊，需要由多數人驗證過的區塊才是合法有效的區塊，驗證的方法是要由超過 50%的人驗證過的才是合法區塊。在 Blockchain 底下的每個節點必須要儲存所有的區塊，每一個節點都可以協助驗證區塊有效性，一旦任何一筆資料被竄改，都會破壞 Blockchain 的完整性，因此要更改任何一筆資料的可能性幾乎是微乎其微[4]。中本聰認為 POW 能夠解決所謂「拜占庭將軍問題(Byzantine Generals Problem)」[8][9]。

易言之 Blockchain 就是多個區塊組成的鏈。孫智麗等人[10]歸納 Blockchain 具有以下五種特性：(1)分散式資料庫(Distributed Database)、(2)點對點傳輸(Peer-to-Peer Transmission)、(3)透明但匿名(Transparency with Pseudonymity)、(4)紀錄無法更改(Irreversibility of Records)、(5)可運算式的邏輯(Computational Logic)。因此，Blockchain 內的資料安全性是足夠的，而張嘉云[11]將 Blockchain 之應用特性歸納如表 2。

表2 Blockchain特性歸納 [11]

特性	詳述
分佈式數據	Blockchain上的每一方都可以參與整個資料庫及其完整歷史記錄。沒有一個節點或電腦管理它包含的資訊，每一節點都能驗證Blockchain的記錄，這一切都是沒有集中權限或服務器管理的情況 下存在，並且可以透過資料庫複製和計算來維護其資料。
點對點傳輸	它是一系列“區塊(block)”。一旦區塊達到一定數量已批准交易，就會形成新區塊，每個區塊包含透過節點串接到下一個新區塊的數據，相接而成就是Blockchain。這種情況下，訊息直接發生在對等體之間，而不是透過某個中心節點。有關Blockchain發生情況的資訊記錄在每個節點上，之後傳遞給相鄰節點，又每個節點都有一個Blockchain的副本，如此一來訊息便可透過整個網路傳遞。
公開透明化	有權訪問系統的任何人都可以看到每個事項及其相關值。可藉由每一鏈上的節點或用戶中唯一符號去識別，交易發生在Blockchain位址之間，用戶可選擇保持匿名性或是向他人提供身份證明。資訊一旦交易記錄在Blockchain上並且Blockchain已經更新之後，便不可再更改該交易的記錄。這是由於特定的交易記錄會連結到前一個記錄。
不可竄改性	在資料庫中輸入業務並更新帳戶後，記錄即不能改變，因其會與先前的每個交易記錄相關聯，因此稱“鏈”(chain)，運用之計算算法和方法確保資料庫上的記錄是永久性的，按時間順序 排列並且可用對網路上的所有其他節點使用。
計算邏輯	Blockchain的節點在邏輯上是集中的。分類帳的數字性質意味著Blockchain交易可以與相關聯之項目計算邏輯，因此用戶可以設置計算方法及規則，以自動觸發節點之間的連帶效應。

2.5 系統分析方法論 (SLCD)

系統發展生命週期(SDLC, System Development Life Cycle)，亦稱軟體(件)生命週期，主要運用於系統工程、資訊系統和軟體工程之資訊系統或軟體開發過程，為涉獵軟體或資訊系統從產生到停用的整個生命週期(LC)，一般涵蓋問題定義、可行性分析、總體描述、系統設計、編程(Programming)、調試和測試、驗收與運行、維護升級到停用等階段[12]。易言之，SDLC 係用於擘劃描述軟體或資訊系統，從規劃、建立、測試到最終完成部署的全過程的一種系統化開發思維或原則，其廣義思維在於系統開發過程，由一系列明確定義的不同工作階段組成，此有助於系統開發人員利用對系統的設計、構建、測試和交付進行有序擘劃，就像任何在生產裝配線上製造的東西一樣的。而系統分析與設計(SAD)，在於透過有效地使用所擁有包含硬體、軟體、資料、流程、和人力等資源，來完成系統開發目標，亦為開發高效資訊系統的一個重要過程。因此，SDLC 與 SAD 的共同思維邏輯一致，都在透過按部就班、逐步推進 (其中包括時間和成本估計) 過程中，提升軟體或資訊系統開發品質。因系統開發與管理要求之與時俱進與複雜化，典型瀑布式 (Waterfall) 或螺旋式(Spiral)等 SDLC 開發模型或方法，似已無法符合需求或不適用，因而被其他新創或優化模型、方法論所取代，例如敏捷軟體開發(Agile/Scrum)、瀑布式敏捷開發(Water-Scrum-Fall1)、安全軟體發展生命週期(SSDLC)模

型等等。惟，本研究認為，不論使用何種軟體開發方法論或模型，廣義的 SDLC 概念仍然於 IT 領域中，被廣泛使用軟體或資訊系統開發上，其最終目的皆在根據使用者需求，提升軟體或資訊系統開發品質，以滿足或超越使用者期望的高品質的系統為目標，且沒有一種方法是完美的，因此調適運用適用模型來解決開發問題，以符合廣義 SDLC 精神，視為系統分析之成功關鍵。

而本研究將廣義 SDLC 運行思維，劃分為以下 5 個 Phases，並調適運用於本研究系統開發過程中：(i) 規劃評估階段 (問題定義及規劃)、(ii) 需求分析階段、(iii) 設計開發與程式編碼(編程 Programming)階段、(iv) 系統或模組程式碼測試驗證或稽核演練階段、(v) 佈署運行維護階段(維護和變更管理)。而其對應步驟內容或策略歸納如下：(1) 新系統功能評估，包含系統架構、系統輸入輸出和系統 interface、存取控制、加密選項，並設計安全功能等(i)、(2) 需求收集並確定新系統的使用者功能要求 (ii)、(3) 設計與編程開發新系統 (iii)、(4) 系統測試檢測並且糾正程式撰寫問題(iv)、(5) 新系統投入使用，並進行維護，以及運行一段時間後，進行優化或升級評估 (v)。

叁、研究設計與方法流程

本研究命題目的為企透過編程、佈署環境治理 Blockchain 私鏈節點案例之雲端系統，一方面企作為實例化(instantiate) Blockchain 抽象技術特性之用，另一方面企能以此案例系統作為初探 Blockchain 於環境公共治理領域之應用契機與框架議，進而拋磚後續於此應用課題研究量能之投入。而研究本研究命題之主要研究流步驟與方法，歸納如圖 2 所示，並分項摘錄敘明如下：



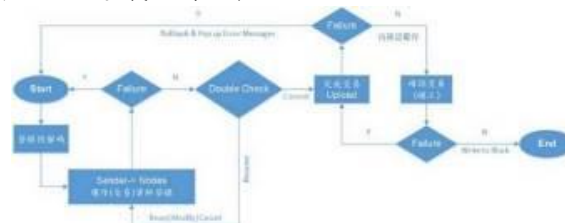
圖 3 研究流程與方法

- (一) 研究範疇界定：本研究系統係以私鏈節點為佈署(Deoloy)依據，並以毒化物運送行為聯單作業運作模式，作為研究案例對象，再於界定研究範疇內與透過系統分析過程，將以下 Blockchain 技術特性，於環境公共治理課題之應用可能框架加以勾勒，包含(a)資料去中心化：因資料分散保存在不同節點(nodes)，可減少主管機關(例如 TEPA/EPB)在資料庫管理系統資料與軟硬體設備之備份，升級與維運管理成本，確保 24/7 不中斷服務；(b)資料開放性：可提高資料的透明度、及時性，降低對公部門公開資料之不信任；(c)資料安全性：資料分散儲存與網路上不同節點上，可減少天災人為而導致資料完全毀損可能性；(d)資料不可竄改性：Blockchain 區塊內資料一經上存，便極難更改，更改需要改變一半資料持有者手上的資料，因此難以造假或詐欺不實；(e)簡化流程：透過 Blockchain 節點技術整合雲端資服系統 UI，預期可裨於簡化整個運作行為交易、申報流程與信任度。

(二) 主要編程(Coding)語言工具：Python 程式語言是一種物件導向(OO)、直譯式的跨平臺電腦程式語言，迄今已累積功能完備的開源碼(Open source)標準程式庫(模組)和套件生態系。正因 Python 具有容易撰寫、功能強大、跨平臺、容易擴充等特性，目前已被視為全球重要開源編程(Programming)語言工具之一。因此，本研究系統係將基礎 Blockchain 技術特性學理，應用 Python 語言，以及整合包含 .Net C#、Javascript、JQuery、HTML5、CSS 等，進行 Blockchain 技術特性運行實體化與 RWD Cloud-based 資服雲系統編程、佈著作業。

(三) 系統分析：盱衡本研究系統內容與現階段適用屬性，係依據廣義 SDLC 軟體開發模式、方法論，針對本研究命題單節點私鏈系統框架進行編程、測試與佈著作業。而以下擬針對本研究擘劃攸關業者端(運作行為出貨方為申報 Sender)、鏈資訊提供(公眾)、挖礦作業(礦工機制)等三個次系統，列舉歸納本研究進行雲端系統框架編程之前置系統分析與演算流程規劃作業準據。

- (1) 業者端：如圖 4(a)所示，即 Sender 端與 Blockchain node 完成彼此間之運作或交易行為資料填(申)報作業後，Sender 需進行再確認 (Double checks)程序後，才能完成運作或交易申報作業。因為交易數據一旦上傳至 Blockchain 後，所有區塊資料將無法修改，以俾實現 Blockchain 資料之不可竄改特性與不可否認性(存證、詐欺杜絕)。
- (2) 鏈資訊提供：如圖 4(b)所示，即本系統將當前私鏈資訊 JSON Raw data 提供予業者或任何有興趣的公眾，透過點擊按鍵，審視或列印當前 Blockchain 所有區塊資訊，亦可透過複製/貼上或將目前鏈內容下載方式，針對鏈內容進行後續進階性分析 (例如自行編程處理或透過 GUI 雲端示範資服系統 Parser 功能進行交易資料解譯、下載或列印)，可實現 Blockchain 資料之資料透明(公開)性、信任度、去中性化和資料安全性等。
- (3) 挖礦作業：圖 4(c)所示。本系統擬於 Sender 端完成每一筆運作或交易行為後，Blockchain 可經由內部礦工於 Node 伺服器進行挖礦作業，以俾 Confirmed 交易紀錄或新增交易區塊，增加鏈長度，增加 Blockchain 資料之不可竄改性、安全性。而內部礦工可透過取得註冊帳號(錢包帳號)與密碼後進行挖礦作業，並取得適當回饋或獎勵。惟，針對前揭礦工之獎勵機制，涉獵諸多技術與非技術問題(例如適法性問題)。爰此，本研究現階段於此私鏈系統框架內，建議以予擱置。



(a)



(b)

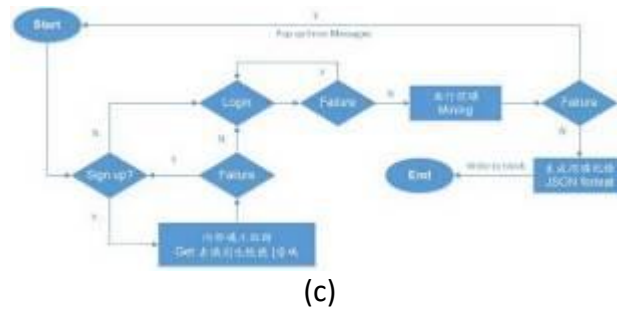


圖 4 系統預演算作業流程示意圖(本研究繪製)

肆、結果與討論

本研究命題目的內容，係以不涉獵虛擬貨幣交易之任務導向私鏈節點（自行編程 Blockchain），作為擘劃與佈署 P2P Blockchain 網絡(Networks)雲端資服系統框架，以俾藉由編程與佈署應用過程，來實例化(instantiate) Blockchain 包含去中心化、不可否認、不易竄改、共識演算、礦工確認交易等抽象應用特性，以及揭櫫 Blockchain 於環境治理課題之可能導入應用框架範例。而本研究之研究成果，分節歸納敘明如下：

4.1 Back-end Blockchain Node Server 與 Paired Front-end RWD 雲端資服系統框架

如於研究方法乙章節中所揭櫫，本研究以 Python 作為本研究階段主要編程語言，將其應用並作為開發本研究任務導向單鏈 RESTful API Blockchain Node Server 之核心架構，並採用 HTTPs 作為進行安全通訊之網路傳輸協定。啟動此 Node Server 後即可針對前端瀏覽器之 Request 提供 Response (in JSON format)，且可作為多節點網絡實作(implement)測試與共識驗證之用，以俾於將抽象 Blockchain 底層技術轉譯為易理解之實作體驗。如圖 5(a)，為本研究 Paired Front-end RWD 雲端資服系統框架，採用 HTTPs 作為進行安全通訊之網路傳輸協定，主要依據 PC 與手持裝置之使用者習慣或經驗(UX)，採 Top-down 分區方式進行 UI layout，並透過 Step-by-Step Guide、Fool-proof Design 與 Double Checks 方式，以俾簡明化使用者進行交易資料輸入與網鏈資料查詢過程。其中，RWD Web UI Layout 由上而下依序為有效節點顯示區、交易資料輸入 POST 區、鏈資料 GET 查詢區、模擬礦工挖礦紀錄區，主要透過非同步方式，與後端 Blockchain Node Server 進行連動。

4.2 Paired Front-end RWD 雲端資服系統 UI

(一) 有效節點顯示區與系統 Exception error 回應機制

如圖 5(a)為前端 RWD 雲端服務系統 UI，透過瀏覽器啟動後，會顯示目前可及有效網路節點(Nodes)清單。圖 5(b)為前端 RWD 雲端服務系統與後端 Blockchain node 伺服器，發生 Node exception error 時之 Alert 訊息情境截圖，以作為提醒使用者之用。



(a)



(b)

圖5 Paired-前端使用者 RWD 雲端服務系統框架

(二) 交易資料輸入 POST 區

交易資料輸入 POST 區，係使用 Step-by-Step Guide、Fool-proof Design 與 Double

Checks 機制，如圖 6(a)為當瀏覽器啟動或 Reload 後，若使用者未正確完成交易資料輸入與檢核作業前，確認交易 Button 與模擬挖礦 Button 無法執行 Click (i.e. Disable)。即使用者須依據導引步驟 1、2、3、4，依序完成交易資料輸入、POST 作業。除交易數量欄位，須由使用者進行手動 Typing 輸入量值外，其餘輸入欄位係由使用者透過下拉選單方式，選取對應資料，但仍可由使用者直接手動使用智慧提醒輸入方式，進行交易資料輸入作業(例如使用者輸入 A，會顯示以 A 開頭的選項清單供使用者選取)。為使用者完成步驟 1 交易資料輸入後，Click 步驟 2 交易檢核 Button 後，系統將針對輸入交易資料進行檢核作業時之錯誤樣態情境截圖，例如：未輸入欄位、數值<0 或數值欄位非數值等，圖 6 (b)為系統針對輸入交易資料進行正確檢核作業後之第一階 Double Checks 情境截圖，並俟使用者 Click 確定 Button 後，進入確認交易階段。進入確認交易階段後，如圖 6 (b)步驟 3 確認交易 Button 將可以被執行 Click (ie. Enable)，且於下方 Reminder message 中提醒使用者，進行第二階 Double ChecksClick，俟使用者 Click 確認交易 Button 後，將由本系統確認將使用者輸入交易資料 POST 至當前 Blockchin node server；若系統成功將當前交易資料成功 POST 至前 Blockchin node server 後，下方 Reminder message 將顯示當前交易資料寫入 Blockchain 訊息(例如區塊編號)，以及提醒此筆交易資料，將等待礦工進行挖礦作業後，才能被確認(Confirmed)成功完成當前交易訊息(例如 Reminder: Transaction will be added to Block 14 ,however it is not be Confirmed by Miners.)。此後，如圖 6(c)步驟 4 模擬挖礦 Button 將可以被執行 Click (ie. Enable)，讓使用者進行模擬礦工挖礦作業，以俾完成當前交易紀錄被礦工進行挖礦確認作業；當使用者 Click 模擬挖礦 Button 後，將於當前 Blockchin node server，啟動進行礦工挖礦作業 (i.e. 進行 POW 驗證)，同時 Reminder message 將顯示挖礦作業 Pending 或 Confirmed 訊息，而此時模擬挖礦 Button 將無法再被執行 Click (ie. Disable)。圖 6(d)當前交易紀錄輸入、POST 至 Blockchin node server，且已被礦工確認(Confirmed)後之系統情境截圖，該圖示中 Reminder message 將顯示為 Reminder : Done ...，且將更新鏈內容、礦工挖礦紀錄，同步顯示於以下鏈資料 GET 查詢區、模擬礦工挖礦紀錄區內；而使用者可 Click RestAlll Button reload 此系統，重新執行下一筆交易 POST 或查詢作業。

毒化物交易流(Transation Flow)區塊鏈私鑰實作模擬應用平台 (for Windows & Android)

Available online Nodes (2 個節點) [1] <https://win10.hopto.org/5008> [2] <https://win10.hopto.org/5009>

欲選擇 可連接的節點(Node) : <https://win10.hopto.org/5008/> <https://win10.hopto.org/5009/>

<https://win10.hopto.org/5008/>

1. 請輸入您的交易資料(*Required):

出貨方(Sender)	收貨方(Receiver)	物流方(Freight)
毒化物名稱編號(Chemi)	交易數量(Amount)	$\text{Kg} \odot \text{m}^3 \odot \text{g}(\text{派}) \odot \text{L}(\text{公升})$
出貨日期時間(Date&Time)		年 / 月 / 日 -- --:--

2. 交易檢核 3. 確認交易 4. 模擬挖礦 Reset All

Reminder: Done...

(a)

毒化物交易流(Transation Flow)區塊鏈私鑰實作模擬應用平台 (for Windows & Android)

Available online Nodes (2 個節點) [1] <https://win10.hopto.org/5008> [2] <https://win10.hopto.org/5009>

欲選擇 可連接的節點(Node) : <https://win10.hopto.org/5008/> <https://win10.hopto.org/5009/>

<https://win10.hopto.org/5008/>

1. 請輸入您的交易資料(*Required):

A-001	A-002	L-003
Z-004	88.88	$\text{Kg} \odot \text{m}^3 \odot \text{g}(\text{派}) \odot \text{L}(\text{公升})$
出貨日期時間(Date&Time)		2021/04/19 上午 12:13

2. 交易檢核 3. 確認交易 4. 模擬挖礦 Reset All

Reminder: Done...

(b)

毒化物交易流(Transation Flow)區塊鏈私鑰實作模擬應用平台 (for Windows & Android)

Available online Nodes (2 個節點) [1] <https://win10.hopto.org/5008> [2] <https://win10.hopto.org/5009>

欲選擇 可連接的節點(Node) : <https://win10.hopto.org/5008/> <https://win10.hopto.org/5009/>

<https://win10.hopto.org/5008/>

1. 請輸入您的交易資料(*Required):

A-001	A-002	L-003
Z-004	88.88	$\text{Kg} \odot \text{m}^3 \odot \text{g}(\text{派}) \odot \text{L}(\text{公升})$
出貨日期時間(Date&Time)		2021/04/19 上午 12:13

2. 交易檢核 3. 確認交易 4. 模擬挖礦 Reset All

Reminder: Done...

(c)

1. 請輸入您的交易資料(*Required):

A-001	A-002	B-003
Z-004	88.88	* Kg ☐ m³ ☐ g(兩) ☐ 以公升

出賣日期時間(Date&Time): 2021/04/19 上午 12:13

Buttons: 上一步, 下一步, 清除, Reset All

Remember Data:

2. All Raw Data over Blockchain in the Chain Data Format (鏈資料查詢):

Buttons: Go Fetching, Search

Download CSV, Chain Parser, Parser Printer

(d)

圖6交易資料輸入 POST 區確認交易 UI

(三) 鏈資料 GET 查詢區

如圖 7(a)使用者可透過點擊(Click) Go Fetching Button 查詢當前網絡節點之 Blockchain 內容(in JSON Foramt); 並 Click Download2CSV Button, 將當前網絡節點內容下載為副檔名 csv 檔案, 且系統同時於 Reminder message 中提醒使用者下載狀態, 檔名係依據下載日期時間命名, 檔案內容為 JSON 字串格式(或 JSON 交易資料解譯內容), 以作為使用者進行後續加值分析使用(例如進行流向追蹤與溯源等)。而使用者 Click Chain Parser、Parser Printer Button 後, 可透過 GUI 雲端示範資服系統 Parser 功能進行 JSON 交易資料解譯(如圖 7(b))或列印(如圖 7(c)); 此外, Click Reset Button, 可 Clear 該區 TextArea 檢視內容。

2. All Raw Data over Blockchain in the Chain Data Format (鏈資料查詢): Buttons: Go Fetching, Search Download CSV, Chain Parser, Parser Printer Clear... (a)	Google Chrome 列印 1 張紙 EPSON AL-MKT4 範圍: 全部 份數: 1 配置: 橫向 顯示更多設定 列印 取消 (c)
2. All Raw Data over Blockchain in the Chain Data Format (鏈資料查詢): Buttons: Go Fetching, Search Download CSV, Chain Parser, Parser Printer Clear... (b)	

圖7交易資料輸入 POST 區確認交易 UI

(四) 模擬礦工挖礦紀錄區

如前圖 5 (a), 使用者可透過點擊(Click) Go Mining Button 模擬礦工挖礦作業, 以俾於 Blockchain 節點伺服器之 Blockchain 上產生新的區塊(Create a new block), 或作為 Confirm 交易之用; 因挖礦作業需進行 POW 驗證, 意即需要等待 POW 驗證結果 (Ps. Depend on the HashRate), 因此本系統將於下方 Reminder message 處, 顯示當前驗證狀態為等待中(如 Please waiting for Response ...)或已完成(Done ...). 當前礦工挖礦紀錄(in JSON Format), 除顯示於該區 TextArea 外, 亦同步進行 Blockchain 內容更新作業, 並顯示於如圖 6(d)鏈資料 GET 查詢區內(in JSON Foramt)。此外, 使用者 Click Reset Button,

可 Clear 該區 TextArea 內之檢視內容。

4.3 Blockchain Understanding

本研究所佈署雲端資服系統框架，亦可作為藉由編程與使用體現過程，來理解 Blockchain 包含去中心化、不可否認、不易竄改、共識演算、礦工確認交易等技術特性運作機制。例如透過多 Blockchin node server 方式，可裨於達成去中心化目的，即每一個人(礦工)都可安裝 Blockchin node server 於個人電腦主機或伺服器，於 P2P 網路扮演所謂 Blockchain 分散記帳者角色，讓網絡節點儲存於 Blockchain 上的每一筆交易紀錄具備公開、不可否認、不易竄改等功能特性目的，即使某一節點當機或遭駭，可於其他節點進行資料修復與復原，降低管理機關資安維運成本。此外，於本研究系統框架交易資料輸入 POST 區，讓使用者理解 Blockchain 上的每一筆交易紀錄，必需等待礦工完成挖礦作業確認後，才能被 Confirmed 寫入區鏈鏈架構中(不可否認性)，而挖礦作業需進行 POW 驗證，需要仰賴礦工所持有運算資源(例如 GPU 等級)算力(HashRate)，因此需要 Pending 時間。而於模擬礦工挖礦紀錄區內，藉由本系統讓使用者理解，礦工角色除 Comfirmed 交易紀錄取得 Txn Fee 或 Gas Fee (手續費)外，另一重要功能性為協助解鎖(unlocked)區塊，以俾用於紀錄使用者交易資料，簡言之就是 Create 新區塊，一方面增加鏈的長度，提升鏈的資安與不可逆性。而鏈資料 GET 查詢區，可讓使用者理解，節點內上、下區塊的 Txn hash 連接關係，為透過 previous hash，一般 previous hash 意指 Blockchain 中的鏈(如圖 8(a))。以下圖 8(b)(c)(d)(e)為將本雲端資服系統框架，運作於兩個不同有效網路節點(Nodes)之模擬情境截圖，以俾體現與簡化 Blockchin 共識演算機制之理解：如圖 8(b)為在節點[1]，於尚未完成礦工 Confirmed 交易前之當前節點鏈內容，區塊總數(length)為 16；圖 8(c)為另一使用者於另一網絡節點(i.e.節點[2])上，進行交易資料輸入作業，且經由礦工 Confirmed 交易後，該節點(i.e.節點[2])區塊總數(length)為 19；圖 8(d)為圖 8(b)使用者於節點[1]，當完成確認交易資料上傳作業後，但尚未被礦工 Confirmed 交易前之當前節點鏈區塊總數(length)，Blockchain node server 會先進行「共識演算機制」，將節點[1]鏈內容取代為長鏈節點[2]內容，因此節點[2]鏈區塊總數(length)更新為 19，因此此筆新增交易將被記錄於區塊編號 20 之區塊內，俟當前交易紀錄被礦工 Confirmed 交易後，將新增一區塊(含交易紀錄)至當前節點(i.e.節點[2])，此時節點[2]之鏈總數(length)增加為 20 (如圖 8(e))。易言之，於任何節點新增一筆交易資料或進行挖礦作業，Blockchain node servce 將會進行共識演算機制，且以目前網路最長鏈節點為作業起點。



(a)



(b)



(c)



圖8 Blockchain understanding UI

肆、結論與建議

本研究命題業已基於研究動機與文獻基礎，初探完成 Blockchain 技術特性在環境公共治理領域之可能應用契機，並透過毒化物運送行為管理案例系統框架實踐應用芻議，希望能拋磚後續於此應用課題研究量能之投入。惟，以下針對本研究目前之研究結論與後續建議，進行歸納：Blockchain 近年來早已由 1.0、2.0 模式逐漸發展出不同運用可能情境，其中以文書存證、履歷溯源(例如食安問題)最具發展潛力，而 Blockchain 透過其自身鏈上參與節點共享，即可解決上述問題，從源頭基礎建設改善溯源問題。因此，Blockchain 技術在環境範疇公共治理模式導入應用，具研究創新前瞻性與研究重要性。而本研究依據現行毒化物管理運送行為運送聯單制度精神，運用開源 ICT 分析技術/工具，基於系統性整理與科學分析方法，提供去中心化(Decentralization)在彼此不信任的狀況下願意共同管理、共享資料的創新式資訊交流或服務機制之另一參酌依據。Blockchain 市場雖處萌芽階段，但 Blockchain 特性在公共治理上具應用優勢，當然未必能完全代替現今這套管理制度，但確實可行。Blockchain3.0 之應用範圍很廣，本次研究應用在毒化物管理只是在環境治理課題提出的初探性嘗試，當然目前研究系統後續仍諸多可以再深化或改善空間，例如提供鏈內容之流量、流向溯源圖示等等。雖然導入 Blockchain 技術於公共治理應用課題，具有諸多利機，例如減少未經許可行為、漏報或資料登錄不實(謊報)、資料遭竄改或損害等等風險，但有些細節還是值得更深入的探討，例如廠商的交易量有可能會暴露了廠商的製品配方之類的隱私問題，這方面可藉由 Blockchain 加密技術針對企業個資進行去識別化，降低其疑慮。另外法令制度配套亦是未來 Blockchain 於公共治理成功導入應用之關鍵。虛擬貨幣(比特幣)的普及化於 2011 年開始蓬勃發展，且 Blockchain 技術很快地被意識到可以運用來追蹤除了錢之外的其他事物，而國內投入 Blockchain 技術應用於公共治理的時間點不算晚，早在 2016 年 6 月，衛福部提議將 Blockchain 應用於食品安全追蹤追溯系統上，從 2017 年 12 月起，連續進行兩期的有效運用 Blockchain 技術於健康醫療照護之策略研究計畫。因此，本研究認為國內公部門應持續推動，方能讓臺灣於未來 Blockchain 轉入成熟期，居於領先地位，且各部會需因應自身的狀況慎選 Blockchain 實驗主題與標的，透過事前目標設定與事後成效評估，不斷精進，以引導各級機關跨越門檻，共建 Blockchain 生態圈。

致謝

We express our gratitude to the Ministry of Science and Technology of Taiwan (MOST 108-2622-E-197-010 -CC3) for funding this study.

參考文獻

- [1] TEPA(2018)。毒性化學物質運送管理辦法。行政院環保署。
- [2] 何沛馨(2017)。應用區塊鏈技術於門診電子病歷系統。台北科技大學資訊與財金管理系碩士論文。
- [3] 商周周刊 (2016)。什麼是「區塊鏈」？
(<https://www.businessweekly.com.tw/article.aspx>)。
- [4] 辜騰玉(2016)。區塊鏈運作原理大剖析：區塊到底是什麼？ iThome
(<https://www.ithome.com.tw/news/105375>)
- [5] 劉杰 (2019) 。以區塊鏈技術實現農耕訊息分享。國立暨南國際大學資訊工程學系碩士論文。
- [6] Pilkington M. (2016), Blockchain Technology: Principles and Applications. Handbook of Research on Digital Transformations' edited by F. Xavier Olleros, and Majlinda Zhegu, Edward Elgar.
- [7] Z. Zheng, S. Xie, H. Dai, X. Chen, and H. Wang (2017), An overview of blockchain technology: Architecture, consensus, and future trends, in Big Data (BigData Congress), 2017 IEEE International Congress on, 2017, pp. 557-564: IEEE.
- [8] 陳英倫(2018)。區塊鏈與智能合約在數位學習平台上之應用。東海大學資訊工程研究所碩士論文。
- [9] 區塊鏈起源於拜占庭時期？什麼是拜占庭問題？」得知區塊鏈來源概念。
(<https://www.inside.com.tw/article/14439-blockchain-bitcoin-byzantine-node>)
- [10] 孫智麗等人(2019)。建構食品安全農食鏈體系及區塊鏈技術之應用。農業生技產業季刊。55:8-14。
- [11] 張嘉云(2019)。策略聯盟與區塊鏈對航空公司經營績效之影響。國立雲林科技大學商業及管理學門會計系碩士論文。
- [12] Ragunath, P. K., et al., Evolving a new model (SDLC Model-2010) for software development life cycle (SDLC). International Journal of Computer Science and Network Security ,10.1 (2010): 112-119.
- [13] 陳立群 (2018) 。區塊鏈在食品履歷追溯追蹤的應用。電工通訊季刊:1-7。
- [14] 陳恭, 蕭婕 (2018) 。運用區塊鏈打造公共治理新局面。 國土及公共治理季刊 6:50-61。

運用基於詞袋模型文本分析技術解析國內循環經濟之研究脈絡:以國內收錄 研究論文為例

A study to analyze the research context related to Circular Economy by using BOW-based Text Analytics: Taking papers published in Chinese in NDLTD in Taiwan as an example

張益誠^{1*} 李妍安^{2*} 余泰毅³ 蔡承儒² 潘奉琪² 李林伶² 許展榮²

I-Chang Chang^{1*} Yan-an Li^{2*} Tai-Yi Yu³ Cheng-Ju Tsai² Feng-Chi Pan² Lin-Ling Li² Chan-Jung Hsu²

1 國立宜蘭大學 環境工程學系(所) 副教授

Associate Professor, Department of Environmental Engineering, National Ilan University

2 國立宜蘭大學環境工程學系 專題生

Undergraduate student, Department of Environmental Engineering, National Ilan University

3 銘傳大學 風險管理與保險學系(所) 教授

Associate Professor, Department of Risk Management and Insurance, Ming Chuan University

* Corresponding author: d2507002@gmail.com; C0724012@ms.niu.edu.tw

摘 要

文本分析(TA, Text Analytic)或文字探勘(TM, Text Mining),隸屬大數據分析(Big data)與機械學習(Machine Learning)或深度學習(Deep Learning)之應用技術領域,主要對於諸多「非結構化或半結構化」文字資料,例如網頁內容、文字等,進行文字剖析的潛在應用技術或方法論。本研究擬以國內收錄碩、博士論文為例,並於所提供知識資料庫中以「循環經濟(CE, Circular Economy)」作為標題(Title)、關鍵字(Keywords)、研究摘要(Abstract)之檢索詞彙,復經由文字資料內容的萃取、轉換與清理,以及領域專家剖析文件內容與專業詞庫後,加以擷取、彙整並轉換為「文件語料庫(Corpus)」,再導入中文(繁體)自然語言處理(NLP, Natural Language Process)演算分析法,進行斷詞處理(Tokenize),將前述語料庫應用詞袋模型(BOW model, Bag-of-words Model)製作成量化的結構化資料樣式 DTM (Documents to Terms Matrix),復嘗試應文本分類或分析技術,解析其研究脈絡,以俾進行文本主題分類與環境知識圖譜理解等。

爰此,本研究係基於前揭動機背景,擬於所界定研究範疇及內容,應用開源軟體(Free/open software) 框架(例如 RapidMiner)或編程(Programming)工具(例如 Python),作為進行本研究命題 TM 的編程語言或解析工具,進而從非結構化文件集中,萃取出所需的重要資訊、知識。歸納而言,本研究之主要研究目的,一方面冀透過 e 化之 Articles Reviewing 方式,針對過去相關研究文獻電子文件,進行諸如分類/分群、主題蒐尋歸納、領域資訊/知識萃取、研究脈絡剖析等等;另一方面為企藉由本研究之拋磚,引發後續相關研究投入及討論量能等。

關鍵詞: 循環經濟(CE, Circular Economy)、語料庫(Corpus)、詞袋模型(BOW)、文本分析(文字探勘 TM)、自然語言處理(NLP)

壹、前言

「資料探勘/採礦(DM, Data Mining)」或「大/巨量數據(BD, Big Data)」分析技術之實用目的，即企從大量、雜亂的資料庫中，挖掘出有用的資訊、知識，甚至智慧。近年來，諸多企業、研究或政府單位，已普遍應用此項資料加值技術，嘗試找出一些隱藏在資料倉儲中的規則或 Patterns 後，再將其運用於其預測、經營或決策管理策略中，以便創造資料之價值、商機、效益等等。此外，在環境議題上亦已累積若干應用案例，例如剖析氣象參數與空氣品質良窳狀況兩者間之數據資料規則或知識等等。另，「文字探勘(TM, Text Mining)」屬於 DM/BD 中的一項新興應用領域，主要用來針對諸多儲存於電子文件中的圖文資料/資訊(超過 80%)，例如網頁內容、文字、圖像檔案等，進行剖析的高潛在應用價值研究技術或方法論，正因前揭文件中之文字資料大多屬於「非結構化或半結構化」，因此在挖掘出可能的有用資訊前，通常需要先對文件內的文字資料內容進行萃取、轉換、與清理，即先透過剖析文件內容後，再加以擷取、彙整並轉換為「文件語料庫(Corpus)」，進而再藉由包含針對空格、標點符號、數字、英文字母等進行清理，以及透過自訂過濾詞、停止字、詞彙等標準作業程序後，再導入自然語言處理(NLP, Natural Language Process)演算法或剖析工具，進行斷詞處理，以試圖將上述 Corpus 轉換為可進行後續量化或質化分析的一般「結構化」資料樣式，而前揭斷詞處理階段普遍被視為影響中文文字探勘剖析結果之重要關鍵。

爰此，本研究係基於前揭動機背景，擬於所界定研究範疇及內容，開源軟體(Free/open software) 框架(例如 RapidMiner)或編程(Programming)工具(例如 Python)，作為進行本研究命題 TM 的編程語言或技術工具，進而從非結構化文件集中，萃取出所需的重要資訊、知識，歸納而言本研究之主要研究目的，一方面冀透過 e 化之 Articles Reviewing 方式，針對過去相關研究文獻電子文件，進行諸如分類/分群、主題蒐尋歸納、領域資訊/知識萃取、研究脈絡剖析等等；另一方面為企藉由本研究之拋磚，引發後續相關研究投入及討論量能等。

貳、文獻回顧與分析

2.1 循環經濟名義

「循環經濟」近來在國際社會不斷被提到，原因可能是隨著新興市場的急速膨脹，促使中產階級需求提升，導致大宗商品的價格亦急遽升高，顯示過去全球經濟發展的單向資源消耗模式需進行變革。循環經濟的研究文獻大多引述 60 年代經濟學家 Boulding, K. E. 的「宇宙飛船理論(Spaceship Economy)」概念。「循環經濟」應基於 reuse、reduce、recycle 之資源循環再利用的本質，將一產品自源頭管理起，產品透過重新思考與設計，有效降低資源開採，提升資源再利用率，使之易於拆解、保養、維修、更換與裂解還原。利於延長產品生命週期使用壽命，充分提升產品使用率及再利用率，並避免產品的組成元件與材料使用，於進行回收程序(反向物流)之製程裂解與還原時，所造成之環境負擔。因此，循環經濟的核心價值包括：降低資源開採、延長產品生命週期使用壽命、提升產品組成元件與材料之再利用率、降低與活化閒置資源，充分提高產品使用率與再利用率[1]。

2.2 大數據(Big data)名義

大數據亦或巨(海)量資料(Big Data)的概念最早係由 IBM 提出，同時它並非新的概念。事實上，早在 1960 年代歐洲粒子物理研究中心(CERN)的科學家就遭遇了大數

據的問題，處理每秒達 Peta Bytes (PB)的資料量。直至 2010 年經濟學人(2010)刊登一篇名為“The data deluge (資料洪流)”時，才受到世界的注目。而 2012 年紐約時報(2012)專欄文章 The Age of Big Data 更是宣告「大數據」的時代已經正式來臨。大數據(Big Data)其字面上的「狹義」意思是指資訊相當龐大，當資料量龐大到資訊系統無法在合理時間內進行儲存、運算、處理，分析時，就稱為大數據。然而，大數據的範圍涵蓋甚廣，定義也多有分歧。2001 年 Gartner 公司的分析師 Doug Laney 首先在其發表的文章中強調資料處理的三個關鍵：資料量 (Volume)、速度 (Velocity)，以及多樣性 (Variety)，並在 2012 年重新定義大數據：「大數據是大量、高速、或類型多變的資訊資產，它需要全新的處理方式，去促成更強的決策能力、洞察力與最佳化處理。」之後的學者、研究單位對於大數據的定義與理解多建立在 3Vs 的基礎之上，並加以延伸。Inderpal Bhandar 認為除了原先的 3Vs，應再加入第四個 V：真實性 (Veracity)，以防止分析過濾的資料有偏差、偽造、異常的疑慮，進而確保資料的完整與正確性。此外，陸續亦有合法性 (Validity)、可視性 (Visualization) 與價值 (Value)。除了大數據本質上的定義 (3Vs、4Vs...)，其他學者與研究單位亦有其他見解，例如 Manovich, L [2] 認為大數據是一般軟體無法在一個可接受時間內完成抓取、處理、分析的資料。Viktor Mayer-Schönberger 與 Kenneth Cukier [3]兩位數據權威站在數據利用價值的角度觀點，認為大數據是小規模數據無法完成的事情。換言之，人們可以從大數據中獲得新的認知，創造新的價值。此外，也可以運用大數據來改變市場、組織機構、政府與公民關係等 [4]。

2.3 文字探勘 (Text Mining)

文字探勘 (Text mining) 是一種從大量且非結構性的文字訊息中，獲取有價值意義的一種技術，最初始的文字探勘技術常被運用在件檔案分類上面，例如將圖書館中眾多文件資料依據內進行妥善分類，而這需要耗費大量人力來進行逐項的編碼審查與歸類，然隨著時間演進，各類型的文字訊息日益劇增，特別是 Web2.0 的出現並帶來了網路社群媒體繁榮，的出現並帶來了網路社群媒體繁榮，人們透過網路管道 Facebook、Twitter 或 Line 等來進行溝通或評論變得越簡單且頻繁，因此也留下了巨量的文字訊息，過於龐大的數量使得運用人力逐一檢索明顯太過緩慢且耗費成本甚鉅，但是這些大量的文字訊息隱藏了許多消費者意見回饋以及競爭者的相關情報。因此，為了更深入挖掘出這些大量文字內所包含具有價值或難以被發現的關鍵資訊，文字探勘技術開始迫切需要發展出自動化的能力，也因此文字探勘技術逐漸從早期的資訊檢索 (information retrieval)、資訊萃取 (information extraction) 運用自然語言處理 (Natural language processing, NLP) 技術，演進到後來結合資料探勘 (data mining) 與機器學習 (machine learning) 技術以及融入統計學 (statistics) 的概念[6][7][8][9][10]。

2.4 自然語言(NLP)及中文斷(分)詞演算法

自然語言處理 (Natural Language Processing) 是人工智慧及語言學的一部份，其中包括語言學、語法學、語意學等分析，一種透過電腦將資訊從文本萃取出來的學門與實務。自然語言處理的最大目的是讓電腦能夠理解自然語言，惟自然語言具備多義、歧義等的特性，且還必須考量到語境等問題。對任何語言而言，「詞 (Word)」是表示一個意念的單位[11]。西文每一個詞之間以空白相隔，作為詞與詞之間的記號，詞是字母的排列組合。在電腦分析西文語句時，電腦能夠辨識詞間的空格而辨識出西文語句內的詞語。中文不同於西文，中文語句是連續無間隔記號的字串所構成，詞是字的排列組合所構成。即使建構文句的字完全相同，其語意可能依照斷字的不同點或語境的不同而有所改變，造成電腦系統在解析時的難度。因此，處理中文自然語言的第一件事情是辨識詞語[6]，即所謂「分詞 (Word Segmentation)」。

除了字與詞的組合特性，中文還具備一些語言上的特性，使得中文並不如西文容易被電腦，甚至是人類理解。Chen 與 Liu[6]提出在中文在分詞上的難處包括：辨析複雜字詞，如：專有量詞、疊字、引申詞等；辨析專有名詞；處理模糊的字詞等。Chen 與 Liu 並指出，透過建立中文的詞典後以比對的方式剖析文句即能解決中文字詞排列組合的問題，然而，如此龐大的詞典幾乎不可能存在。語言會隨著人類文化的演進而持續增加新的詞語，並且，字的排列組合幾乎是沒有極限的，解決未知詞是解決中文分詞困難首要需要解決的部分。而除了未知詞，字詞會在不同的時空場域下產生不同的語境，即使完全相同文字組成的兩組文句，可能根據使用的場合不同，而產生出語意上的差異，解決歧義也是中文分詞需要克服的問題之一。因此，中文的自然語言處理仰賴能夠判斷中文文字排列組合的演算法達成[6][12]。

一篇文章是由多個句子所構成的，而組成句子的字詞，是最小有意義且可以自由使用的語言單位，在處理任何語言系統前都必須先能分辨文章中的字詞才能進一步進行處理。中文斷詞技術主要可分為統計式斷詞法、詞庫式斷詞法及混合式斷詞法，斷詞結果會因選擇的斷詞法不同而有不一樣的結果。統計式斷詞法是利用大量的語料庫(corpus)來統計字詞出現的頻率，以鄰近字元一起出現的頻率高低作為斷詞依據，當出現的頻率較高時，則認定是有意義的詞彙，並將其擷取作為斷詞依據。優點是對新的詞彙也能加以辨識，主要用來處理單字詞、二字詞，但缺點是若不使用詞庫作為斷詞依據，當詞彙的長度越長其斷詞的效率與準確度會降低，且語料庫屬於領域相關，不同語料庫的統計資訊不適合互用。詞庫式斷詞法及是利用事先建立的詞庫作為斷詞基礎，透過比對出現在中文資料中並與詞庫裡的詞彙相符的中文字詞來達到斷詞的目的，是目前最普遍被採用的斷詞方法。此方法的缺點是在於遇到新詞就會大幅降低斷詞的正確性，以至於當文件中出現新詞就會產生斷詞上的錯誤，因此必須花費時間長期蒐集新的詞句以維護詞庫的品質。若要使要詞庫式斷詞法須選定有相當權威的詞庫，因為詞庫內容是否完備，會直接影響斷詞結果的正確性[14][15]。

國內中研院詞庫小組(CKIP, Chinese Knowledge and Information Processing) [16]，於民國七十五年成立一個跨所合作的中文計算語言研究小組，共同合作建構中文自然語言處理的資源與研究環境，為國內外中文自然語言處理及其相關研究提供基本的研究資料與知識架構。任何語言處理的系統都必須先能分辨文本中的詞才能進行進一步的處理，例如機器翻譯、語言分析、語言了解、資訊抽取。因此，中文自動分詞的工作成了語言處理不可或缺的技術。根據統計，一般的文章中約有百分之三到百分之五的未知詞，因此一個演算法的未知詞識別能力對於其分詞與標記的正確率將有很大的影響。由於並不存在任何一個詞典或方法可以盡列所有的中文詞，當處理不同領域的文件時，領域相關的詞彙或專有名詞，常常造成分詞系統因為參考詞彙的不足而產生錯誤的切分。為了解決這個問題，最有效的方法是補充領域詞典加強詞彙的搜集。因此新的詞彙或關鍵詞的自動抽取成為分詞的先期準備步驟。領域關鍵詞彙多出現在該領域的文件中而少出現在其它領域，因此抽取關鍵詞時多利用此特性。高頻的關鍵詞比較容易抽取，少數低頻的新詞不容事先搜集，必須線上辨識。構詞律、詞素、詞彙及詞彙共現訊息，為線上新詞辨識依據。因鑒於此，CKIP 發佈 CKIP Tagger，以俾作為國內開源斷詞、詞性標注、實體辨識系統，等提供了一個解決方案[16]。

而本研究命題，係採用中央研究院 CKIP 中文斷詞系統以及 Python，依據中央研究院內建的詞庫將整理過的論文摘要，利用此系統進行斷詞作業，避免因字詞長度降低其準確度。

2.5 文本分析

單以人工對一篇數百字的短文定義一個適合的主題並不困難，這樣的行為就如整理

上課、閱讀筆記，或工作上整理會議記錄等之重點摘要。當資料量達到一定程度時，人們可能會在筆記本、資料夾上貼上標籤，或將其分散至不同的文件夾中，以方便日後展開資料夾時能快速索引到欲查找的主題。當今人類產生並數位化的文本內容越來越豐富，舉例而言，包括書籍、網頁、新聞、部落格文章，甚或是圖像、聲音、影片等。這些文本產生的數量與速度已非單純上課、會議筆記篇幅能比。根據 IDC(International Data Corporation, IDC) 在 2010 年的統計，預估至 2020 年，全球的資料量將會高達 44ZB，如此龐大的資料量已無法以人工分類處理並索引。在網路上大量資料中找到有用資訊的動作，正是今日人們每天經常做的事情——搜尋與連結 (Blei, 2012)。當今搜尋引擎根據解析文本內容取得資料並進行索引，方便人們在搜尋框中輸入關鍵詞後直接查找。然而，搜尋引擎的索引只是單純對內文進行單詞取樣，關鍵詞搜尋僅是在取樣的關鍵詞組中進行查找，其結果往往會獲得不高的精確度 (Precision Ratio) 以及相當低的回收率 (Recall Ratio)，亦即，根據該筆關鍵詞找到許多無關的資訊，使用者無法得到真正想要的結果。若詞與它的語意之關係都是一對一的情況，一般的關鍵詞檢索應可獲得預期中的結果。惟詞經常由不同字構成，如學名、簡稱或俗稱等型態呈現的同義詞，這在單純的關鍵詞索引下便會碰到阻礙。舉例而言，「高鐵」與「新幹線」等二詞，同指營運時速 200 公里以上，稱為「高速鐵路 (High-speedRail)」之鐵路系統，只因「高鐵」是中文語系國家對「高速鐵路」之簡稱，而「新幹線」則是日本針對此類鐵路系統的俗稱，兩者具備相同的語意，對於傳統的關鍵詞檢索而言它們卻是不同的詞語。「主題模型 (Topic Model)」是一種為了探索遍及於大型或非結構化之大量文件內容內的主題之演算法 (Blei, 2012)。主題模型能在大量非結構化資料當中，運用演算法，在文本當中依照關鍵詞之詞頻進行統計，並再根據關鍵詞與關鍵詞之間的出現比例，定義對象文本可能所具備的主題。主題模型相關之演算法最早係由 Deerwest 等 5 人在 1990 年提出「潛在語意分析 (Latent Semantic Analysis, LSA)」，運用在資訊檢索 (Information Retrieval, IR) 技術時稱為「潛在語意索引 (Latent Semantic Index, LSI)」。LSA 的演算法解決文本分析時「多詞一義 (Synonymy)」與「一詞多義 (Polysemy)」的問題。而後，Hofmann 在 1999 年依據 LSA 的基礎，以統計學的方式提供更精確的結果，提出「機率性潛在語意索引 (Probabilistic Latent Semantic Indexing, PLSI)」之演算法。Blei 在 2003 年根據 PLSI 的基礎，修正 PLSI 的一些問題，提出「潛在 Dirichlet 分佈 (Latent Dirichlet Allocation, LDA)」。Blei 的 LDA 是目前最常見的主題模型演算法 [13]。

潛在語意分析(Latent Semantic Analysis,LSA)(Landauer et al. 1997)，是以數學統計為基礎的知識模型，視為向量空間模型的一種延伸，以奇異值分解(Singular Value Decomposition,SVD)(Golub et al. 1970) 和維度約化(Dimension Reduction)為核心作為邏輯推演的方式，是從一篇文章中將具有某些概念的詞，擷取出來並重新呈現的一種理論與方法(Landauer et al. 1997)。LSA 不僅僅是依照文件中字詞出現的頻率及位置計算出兩篇文件的相似度。在其運算過程中，原始的二維矩陣會利用奇異值分解(SVD)技術分解成三個二維矩陣，其中兩組為奇異向量(Singular Vector)，另一組為保存奇異值的對角矩陣(Singular Value)。對角矩陣中保留適當個數的奇異值，並過濾雜訊後，在將三個矩陣相乘即可得到具有潛在語意的新矩陣。因此能夠正確推理更深層次的語意關係(所以稱為 Latent semantic) [17]。

參、研究流程

本研究之流程步驟與研究方法如圖 1，針對該流程圖中主要研究部分，分節歸納敘明如下。

3.1 研究範疇界定及研究限制

本研究係基於命題研究創新時效性、多元性，以及資料易及性、學術專業性等考量原則，現階段主要研究時空範疇、研究對象，係界定為近五年 (2016 年至 2020 年) 於臺灣碩博士論文知識加值系統(<https://ndltd.ncl.edu.tw/>)，所收錄國內已發表碩、博士中文論文，作為本研究之非結構式「文件或文本(Documents)」資料源(Data Source)。惟，中文摘要(Abstract)視為研究論文中，最具收斂論文代表性之核心內容，因此本研究係將其界定，為本研究命題進行文本分析之「語料庫(Corpus)」；鑒於論文全文內容，因其內容架構較為複雜且過於發散，除需使用龐大分析資源外，往往不易收斂合理結果。

爰此，本研究剖析文本內容為前揭論文中文摘要內容。主要係於前述臺灣碩博士論文知識加值系統，透過檢索論文名稱(Title)、中文關鍵詞(Keyword)與中文摘要(Abstract)等欄位，含有「循環經濟」乙詞彙 356 篇論文中中文摘要，作為本研究命題之文件(或文本)「語料庫(Corpus)」。且僅涉獵中文文字，領域英文專業詞彙(例如化學物質英文名稱)，係暫予擱置。

3.2 斷(分)詞處理及研究條件假設

斷(分)詞處理階段普遍被視為影響中文 Text Mining 剖析結果之重要關鍵。且應先透過自訂過濾詞、停止詞(例如特殊文字、符號、英文字母)、同義詞、關鍵詞等機制，針對文件(文本)語料庫(Corpus)進行滾動式清理，再導入適當中文 NLP 演算法，來進行分詞或斷詞工作。

爰此，本研究係於國內相關研究文獻建議與慣例，導入中研院 CKIP 中文斷詞演算法(CKIP Tagger)，以俾符合國內中文文字用法、語意等斷詞需求。此外，本研究復依據過去文獻建議與慣例，以及平衡文本集數量，設定每個斷詞詞彙限制出現在 2% 至 60% 份文本中，以將前項研究界定質化非結構 Corpus，透過 Python 編程(Programming)處理作業，轉換為可進行後續量化或質化分析之一般「結構化」DTM 資料樣式，以俾後續研究階段需求。

3.3 文本分析與勾稽

本研究係基於前揭「結構化」DTM 分析結果，透過開源 Big data 統計分析框架或工具軟體(例如 RapidMiner)，進行進階視覺化統計處理與分析，以俾透過 e 化之 Articles Reviewing 方式，針對過去相關研究文獻電子文件，進行諸如分類/分群、主題蒐尋歸納、領域資訊/知識萃取、研究脈絡剖析等等研究目的之實現。



圖 1 研究流程圖 (本研究繪製)

肆、結果與討論

4.1 關鍵字(Keywords)文字雲

本研究於所界定時、空範疇內，針對 356 篇論文文本集約 1,539 個論文作者自訂關鍵字(Keywords)，進行統計分析，其中有 1,117 個係屬於無重複 Keywords。

因此，若以分年方式統計，建立歷年論文作者自訂關鍵字文字雲(Text cloud)，如圖 2。該圖分析結果指出「永續發展、資源化、行銷策略、再生能源、永續商業模式創新、商業模式、商業模式創新」、「轉爐石、個案研究、共享經濟、鋼鐵業、虛擬實境(VR)」、「永續發展、物聯網、企業社會責任、污泥、生命週期評估、廢棄物衍生燃料、商業模式、成本效益分析、廢棄物再利用」、「商業模式、永續發展、活性碳、廚餘、廢棄物、企業社會責任、回收再利用」、「永續發展、環保磚」，分別為 2016 至 2020 年間之逐年相對優勢關鍵字；而永續發展、商業模式、企業社會責任、資源化、活性碳、資源回收、再利用、成本效益分析、物聯網、生命週期評估、再生能源、生物炭、共享經濟、廚餘等，係為近五年相對優勢關鍵字。

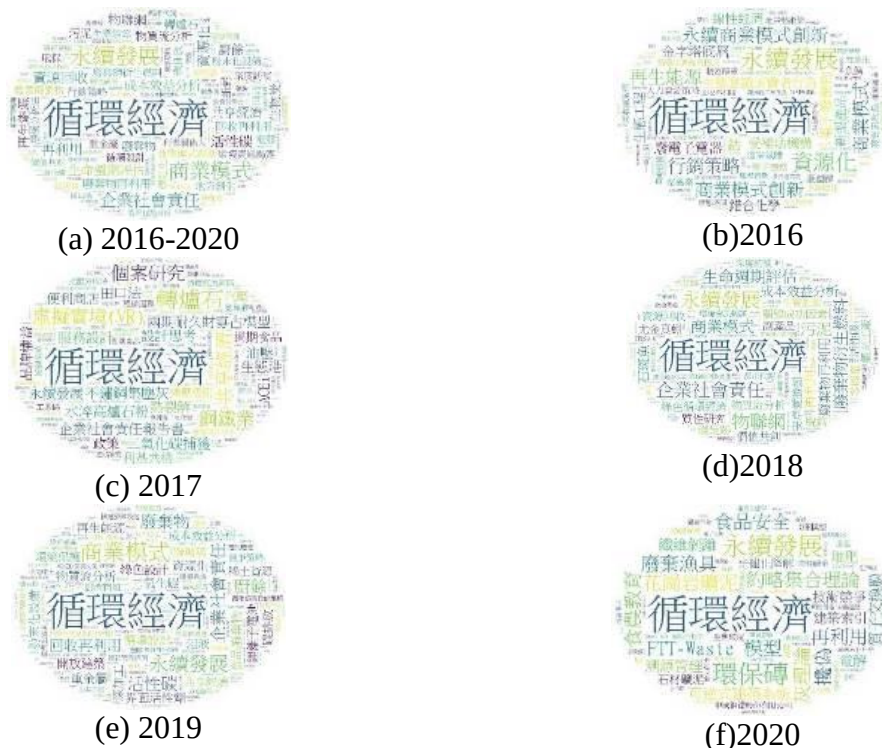


圖 2 關鍵字(Keywords)詞頻文字雲 (本研究繪製)

4.2 語料庫(Corpus)文本特徵詞彙截取與建立 tf-idf DTM

本研究語料庫，歷年文本數量分布狀況，如下圖 3 所示。其中，民國 107 年(2018)與民國 108(2019)年，為攸關 CE 研究課題論文發表之高峰期(佔進五年數量約七成)。

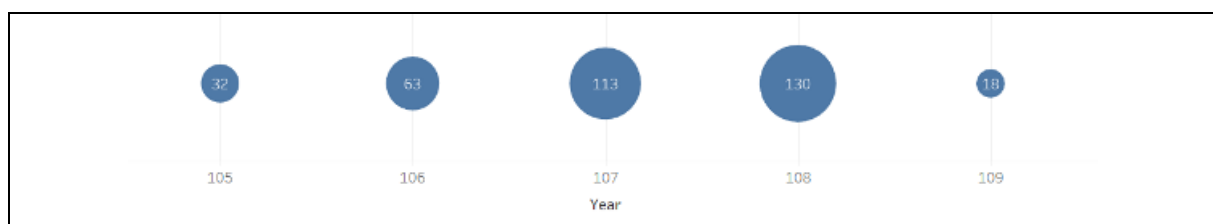


圖 3 語料庫文本量統計分布圖 (本研究繪製)

依據本研究範疇及假設條件，針對語料庫(Corpus)之文本中文摘要進行斷詞處理後，擷取出包括產業、資源、企業、環境、廢棄物、產品、回收、經濟、模式、社會、價值、設計等 100 項關鍵特徵詞彙(Terms)，以作為建立本研究命題所需如圖 4 所示 tf-idf DTM(Document Term Matrix)，並以普遍應用於資訊檢索與文字探勘之加權技術 TF-IDF (Frequency Document Inverse - Frequency Term)作為量標，並用以評估單詞特徵詞彙對於文件的集合或詞庫中一份文件的重要程度。而 TF-IDF 主要分為 TF 及 IDF 這 2 個部分，其中 TF (Term Frequency) 指一個字詞在某個文件，或是語料庫中出現的次數，表示某字詞對特定文獻的重要性，並以字詞出現的次數加權。而 IDF (Inverse Document Frequency) 指某一字詞在所有文件總數中出現的文件數，以總文件數除以出現字詞文件數再取對數，來衡量該詞之獨特性。最後將 TF 值與 IDF 值相乘，以某一特定文件內的高字詞頻率，乘上該字詞在文件總數中的低文件頻率，得到該詞的權重值。如此一來，TF-IDF 可以過濾掉常見單詞並保留有意義的單詞。詞彙的重要性會隨著在單篇文件的出現次數成正比增加，但同時也會隨著它在文件群集總數出現的頻率成反比下降。

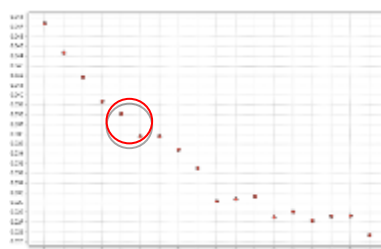
歸納而言，TF-IDF 量標傾向於過濾掉常見的單詞，保留重要的單詞 TF-IDF 權重值，且 TF-IDF，以某一特定文件內的高單詞頻率，乘上該單詞在文件總數中的低文件頻率，便可以產生，對文字進行分析與運用，進而取得必要的資訊，作為決策的參考依據。以及進行後續包含文本叢集化(Document clustering)、類別產生(Taxonomy generation)文件分類(Document categorization)、文件主題分類等。

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	DOC	產業	資源	企業	環境	廢棄物	產品	回收	經濟	模式	社會	價值	設計
2	1	0.091038	0.056344	0	0.156008	0	0.067708	0	0	0	0	0	0
3	2	0.058854	0.218548	0.077734	0.20171	0.068557	0	0	0.149206	0	0.184855	0.069395	0.037466
4	3	0.089086	0.330814	0	0.076331	0	0	0.107681	0	0.104615	0	0	0
5	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	5	0	0.046314	0	0	0	0	0.151772	0	0.125355	0	0.190553	0
7	6	0	0	0.08136	0.05278	0	0.037228	0.062467	0	0	0	0	0
8	7	0	0.095694	0	0.132482	0.060037	0.057497	0	0.121048	0.064753	0	0	0
9	8	0	0.094747	0	0.043724	0	0	0.061681	0	0	0	0	0
10	9	0.246854	0.038195	0.434726	0	0	0	0.041722	0.048314	0	0.145534	0	0
11	10	0	0.113513	0.161498	0.052384	0	0.034102	0.061998	0.035897	0.038405	0	0	0
12	11	0	0	0	0	0	0.233259	0	0	0	0.410897	0.177476	0
13	12	0.074244	0	0	0	0	0.082826	0	0.435932	0	0.094529	0	0
14	13	0	0	0	0	0.093876	0	0.081725	0	0	0.285071	0.102608	0
15	14	0	0.117683	0	0.036205	0.344552	0.188558	0.10215	0	0	0.049823	0.0538	0
16	15	0	0.139243	0.495261	0.064257	0	0	0.152101	0	0	0	0	0
17	16	0.038612	0	0.509987	0.033084	0	0	0	0	0	0	0	0
18	17	0.047059	0	0.497242	0.201607	0	0	0.047722	0	0	0	0	0
19	18	0	0	0	0.310257	0.268417	0	0.43768	0.166909	0.041357	0	0	0
20	19	0.180784	0.067133	0	0.06196	0	0	0.073332	0	0.090853	0.042633	0	0
21	20	0	0.067446	0.191915	0.06225	0	0	0.087816	0.073675	0	0	0	0

圖 4 本研究命題 tf-idf DTM in MS-Excel 截圖

4.3 文本叢集化及類別產生

本研究依據前項 tf-idf DTM 矩陣研究結論，應用開源統計工具軟體框架(RapidMiner)，進行文本叢集分析。如圖 5(a)，依據叢集數 k (x-軸)與 Davies Bouldin Index (y-軸)分析結果，指出本研究命題使用 K-Mean 方法之合理叢集數(Clusters)為介於 7~8 (圖中紅色圓圈內)。因此，本研究時衡個叢集內文本數量大小相對狀況(如圖 5(b))，將本研究命題文本集分類為七個叢集。



(a)



(b)

圖 5 叢集數分析結果

而此七個叢集內，文本數量分布狀況如圖 6 所示，其中圖 6(a)指出，Cluster_0、Cluster_1 文本數量超過發表量均值 (70 篇)，以 Cluster_0 文本數量最少約 15 篇。圖 6(b) 為近五年(民國 105(2016)年至 109(2020)年)，不同文本叢集之逐年文本數量統計分布關係，該圖顯示所有叢集文本數量在自 2016 年開始逐年增加，2019 年達到數量最高峰，但 2020 年有大幅度遞減趨勢。

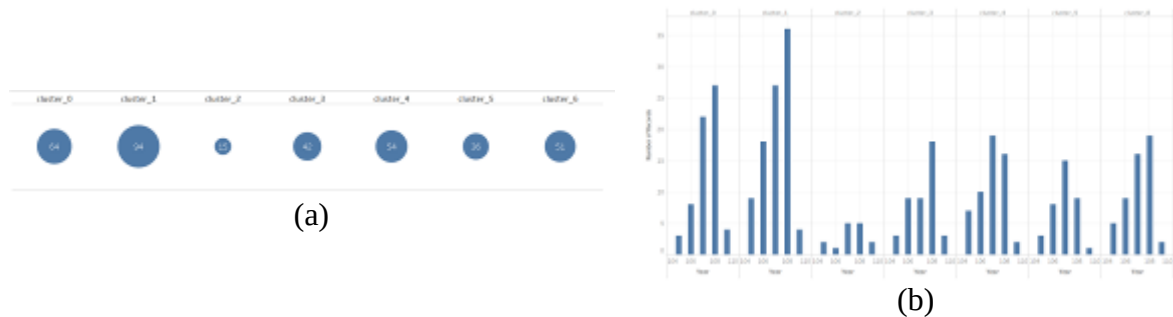


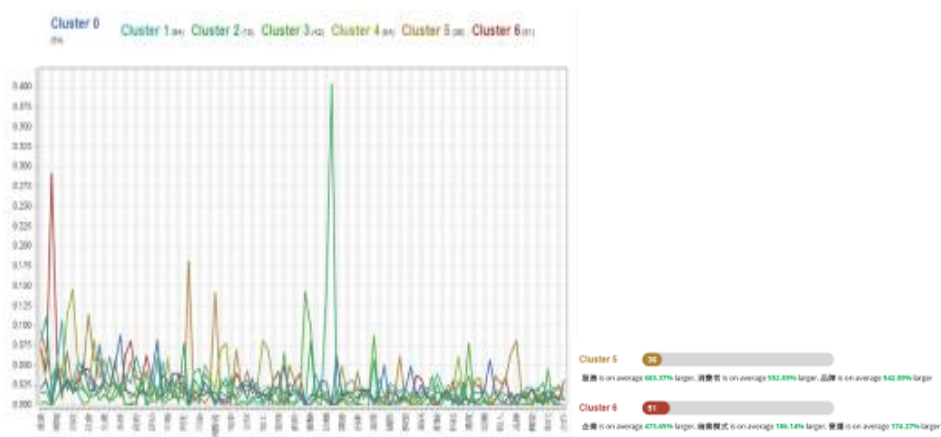
圖 6 文本叢集與文本數量分布狀況

4.4 文件(主題)分類與勾稽

本研究命題依據前項研究結論，應用開源統計分析工具軟體框架，進行編程分析，以俾針對不同叢集研究內涵(分類主題)，進行剖析與勾稽，剖析結果如圖 7，其中圖 7(b)係依據圖 7(a)解析不同叢集內關鍵特徵詞 tf-idf 叢集中心值(Centroid)之研究結論。

爰此，本研究依據圖 7 剖析叢集與關鍵特徵詞彙之關聯性產生文本類別(taxonomy)，將分析結果歸納如下：叢集 1(Cluster_0)與 工程、建築、水泥等相關循環經濟(CE)研究議題有相對強關聯性；而 叢集 2(Cluster_1)、3(Cluster_2)、4(Cluster_3)、5(Cluster_4)、6(Cluster_5)、7(Cluster_6)，則分別與「廚餘、方案(Solutions)」、「吸附、實驗(材料)」、「污泥、濃度、溫度(條件)」、「金屬、加工」、「服務、品牌」、「企業、商業模式」等特徵詞彙有相對強關聯性。

而本研究命題為實證前項研究剖析結果，針對叢集內文本集論文題目(Title)進行勾稽，如表 1 所示。本研究於界定研究範疇內，針對質性非結構式 Corpus，進行文本分析，所建立 100 個關鍵特徵詞之量性結構式 tf-idf DTM，復進行叢集主題分類結果，顯示可合理對應至文本集之研究議題。



(a)
(b)

圖 7 叢集文本(主題)分類截圖

表 1 叢集文本(主題)分類勾稽

Cluster	代表性論文題目(Title)	Cluster	代表性論文題目(Title)
0: 工程、建築、水泥再生類	爐石粉與不鏽鋼還原渣取代水泥製成水泥(砂)漿工程性質之研究	1: 廚餘、解決方案(Solutions)類	台灣現行環境資源政策對廚餘處理業者營運模式影響之研究
	花蓮地區水泥業礦區微粒排放特性的季節變動		多元廢棄物資源化處理研究
	再生瀝青混凝土添加再生劑之成效分析		廚餘資材化之可行性評估
2: 吸附材再生類	以鋅錫摻雜 TiO ₂ 光觸媒結合沸石降解甲醛之研究。	3: 污泥、再生產製條件類	污泥厭氧上澄液回收氨氮技術之研究以迪化污水處理廠為例
	探討三種不同吸附材吸附水中壬基苯酚聚乙氧基醇醚及其再利用性之比較研究		砷化鎵蝕刻廢液提取鎵資源暨鎵摻雜氧化鋅薄膜合成之研究
	水熱菱角殼製備高比表面積活性炭及其應用		利用火法方式回收電弧爐集塵灰及廢棄菇類太空包
4: 金屬、加工再生條件類	探索循環經濟的創新及應用—以鋼鐵回收事業為例	5: 服務業導入應用類	探討消費者對於循環經濟商品之購買因素——以服飾產業為例
	以高溫熔融還原法(ESRF)回收不銹鋼集塵灰中有價金屬之效益探討		循環經濟思考的視野以旅行業為例
	電解回收重金屬污染土壤整治廢液中有價金屬之研究		台灣消費者對二手衣的購買重視因素之研究
6: 企業、商業模式類	循環經濟、財務績效及環境績效之關聯性研究		
	循環經濟和環境認證對企業碳行為之影響		
	高科技產業台積電綠色形象設計創作研究		

伍、結論與建議

- 1) 關鍵字(Keywords)文字雲，可作為逐年研究脈絡掌握之用。而永續發展、商業模式、企業社會責任、資源化、活性碳、資源回收、再利用、成本效益分析、物聯網、生命週期評估、再生能源、生物炭、共享經濟、廚餘等詞彙，係為近五年(2016 至 2020 年)相對優勢之論文作者 Keywords。而「環保磚」則為 2020 年新興研究優勢論文作者 Keywords。

- 2) 本研究文本集之統計分析結果，顯示民國 107 年(2018)與民國 108(2019)年，為攸關 CE 研究課題論文發表之高峰期(佔進五年數量約七成)。且不同文本叢集之逐年文本數量統計分布關係，顯示所有叢集文本數量在自 2016 年開始逐年增加，於 2019 年達到數量最高峰，但 2020 年有大幅度遞減趨勢。另，2019 年前，國內碩、博士論文，應符合國內、外研究趨勢量能需求。
- 3) 適量、代表性語料庫(Corpus)之文本特徵詞彙截取，可避免稀疏 tf-idf DTM 矩陣。此外，本研究認為國內近年進行攸關循環經濟(CE)議題之碩、博士論文，應可歸納為以下七大研究主題叢集：工程、建築、水泥再生類；吸附材再生類；金屬、加工再生條件類；企業、商業模式類；廚餘、解決方案(Solutions)類；污泥、再生產製條件類；服務業導入應用議題。但，其中國內以廚餘、解決方案(Solutions)類；工程、建築、水泥再生類；金屬、加工再生條件類等三大研究叢集主題佔多數(約六成)。
- 4) 本研究勾稽結果，顯示代表性語料庫(Corpus)文本特徵詞彙之文本分析結果，可合理進行諸如文本分類/分群、主題蒐尋歸納、領域資訊/知識萃取、研究脈絡剖析等等；另一方面為企藉由本研究之拋磚，引發後續相關研究投入及討論量能等。

參考文獻

- [1] 張岸璧、游建華、林志棟(2017)，「循環經濟之品質定義與本質思考」，品質月刊，第 53 卷第 5 期，第 38-42 頁。
- [2] Manovich, L. Trending: The promises and the challenges of big socialdata. *Debates in the digital humanities*, 2, 460-475 (2011).
- [3] Mayer-Schönberger, V., & Cukier, K. *Big data: A revolution that will transform how we live, work, and think*. Houghton Mifflin Harcourt(2013).
- [4] 江明諺，“大數據下的糖尿病醫療管理—以 D 診所為例”，碩士論文，國立中山大學企管系，臺灣高雄(2016)。
- [5] Ananiadou, S. *National centre for text mining: Introduction to tools for researchers* (2008).
- [6] Chen, Y. L., Liu, Y. H., & Ho, W. L. A text mining approach to assist the general public in the retrieval of legal documents. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 64(2), 280-290. (2013).
- [7] Chen, K. J., & Liu, S. H. Word Identification for Mandarin Chinese Sentences. *Proceedings of the Fifteenth International Conference on Computational Linguistics, Nantes: COLING-92*. (1992).
- [8] Miner, G. *Practical text mining and statistical analysis for non-structured text data applications*. Academic Press(2012).
- [9] Salton, G., Allan, J., & Buckley, C. Automatic structuring and retrieval of large text files. *Communications of the ACM*, 37(2), 97-108. (1994).
- [10] 李柏葦，“以文字探勘資訊分析品牌概念與個性之知覺定位”，碩士論文，國立中興大學行銷學研究所，臺灣臺中 (2016)。
- [11] 趙元任. 1980. 《中國話的文法》(丁邦新譯)。香港：中文大學出版社。
- [12] 劉偉樑，“應用文本探勘技術於奇幻小說敘事結構之分析”，碩士論文，世新大學資訊傳播學系，臺灣臺北 (2015)。
- [13] 邱兆揚(2006)。利用 Google 互聯網分類新聞語料之新詞自動擷取技術支援詞庫式中文斷詞系統，國立臺灣師範大學應用電子科技研究所。

- [14] 陳冠憲(2009)。利用文件探勘技術來自動分類民眾陳情文件，國立中山大學資訊管理學系在職專班碩士論文。
- [15] 中研院詞庫小組(CKIP) (2020) < <https://ckip.iis.sinica.edu.tw/> >。
- [16] 吳忠澄，“使用不同語意模型分析線上部落格文件”，碩士論文，國立東華大學資訊管理學系，臺灣花蓮 (2012)。

以酒廠污泥製作透水性反應牆攔截飽和層管制重金屬之效能評估
Reactive Permeable Barrier Made of Wine-processing Waste Sludge Blocking
Mixture Plume of Toxic Metals in Aquifer

李奕霈^{1*} 劉鎮宗²

Yi-Pei Lee¹ Cheng-Chung Liu²

1 國立宜蘭大學 環境工程學系 碩士生

Graduate student, Department of Environmental Engineering National Ilan University

2 國立宜蘭大學 環境工程學系 教授

Professor, Department of Environmental Engineering National Ilan University

* Corresponding author: r0924003@ms.niu.edu.tw

摘 要

先前研究指出，酒廠污泥粒子能有效吸附移除水中甲烯藍、重金屬以及苯、甲苯、乙苯、二甲苯等。本研究將以酒廠污泥微粒築成透水性反應牆，試驗其攔阻混合重金屬污染團擴散的效能。供試重金屬於反應牆前的濃度高於管制標準值的 1~3 倍，污泥反應牆對 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} 、 HCrO_4^- 的攔阻能力分別達 87%、92%、93%，其牆後濃度均維持於管制值以下。但反應牆對 AsO_4^{3-} 、 Cd^{2+} 、 Ni^{2+} 之攔阻效果較差，在測試期間牆後濃度常高於管制標準，其中對 Ni^{2+} 的攔阻僅達 53%。

關鍵詞：透水性反應牆、污泥、重金屬

壹、前言

土壤及地下水污染多來自工業運作生產行為，根據環保署土壤及地下水整治網中所提供的資料，108 年度土壤及地下水污染整治年報^[1]，可以了解到各工業區中的土壤及地下水普遍遭受到污染，而其中超標廠址數最多的污染物種類就是重金屬。

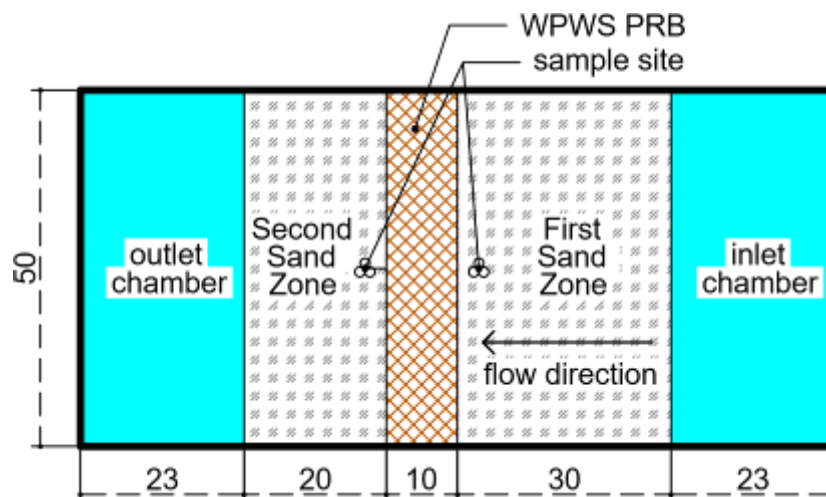
具先前研究證實，富含微生物生質量殘體的酒廠污泥能有效移除水中甲烯藍、水中鉻銅鋅鎳，我們推測當中能作此多功能的主要組成，為其所蘊含的眾多菌種的孢子等繁殖體，當中羧基、胺基、酚基及羥基則是最常見的作用位址，使重金屬停留在污泥上的機制可能包括離子交換、吸附、形成錯合物及沉澱等。

國內常見的現地地下水及土壤整治技術包含土壤淋洗、電動力法、植物復育及透水性反應牆等，以近年來所被推崇的綠色及永續導向型整治(Green and sustainable remediation, GSR)觀念來看，我們以最經濟並有效的透水性反應牆(Permeable Reactive Barrier, PRB)做為實驗整治設置方法，並以酒廠污泥作為反應牆的填充材料，除了能符合經濟效益，同時也希望可以減少能源消耗、降低環境衝擊以及將廢棄的酒廠污泥資源化以達到資材與廢棄物減量等可以節能又提高能源使用效率的污染整治方法。

貳、實驗方法

1. 試驗模組之配置與操作

本實驗所使用的試驗模組為壓克力材質，以長 200 公分、寬 55 公分、高 100 公分的版型建製而成。槽內為模擬地下水水流於孔隙中流動，於污泥牆前後填充細質砂粒，水中流速以蠕動幫浦調控水槽抽水及注水，將其控制在 100 cm /day。實驗將水深維持 70 公分，污染物放置於水體中央距水面及底層均 15 公分的位置，將細質砂粒填充約 75 公分高，污泥牆高度設為與細砂層相同的高度，並於其上方再填 10 公分高的泥土。污泥牆的厚度為 10 公分，牆前採樣點以污泥牆斷面為基準，距牆前 3 公分的位子設置水面下 35 公分的監測採樣點，可以了解污染物還沒通過反應牆前的初始濃度；牆後於距牆 3 公分處，分別設置左、中、右三個採樣點，每個採樣點均有上(水面下 1 公分)、中(水面下 35 公分)、下(槽底上 1 公分)，採不同高度經過反應牆後的所剩餘的污染物，以了解反應牆效能。設計之槽體操作配置如圖 1。



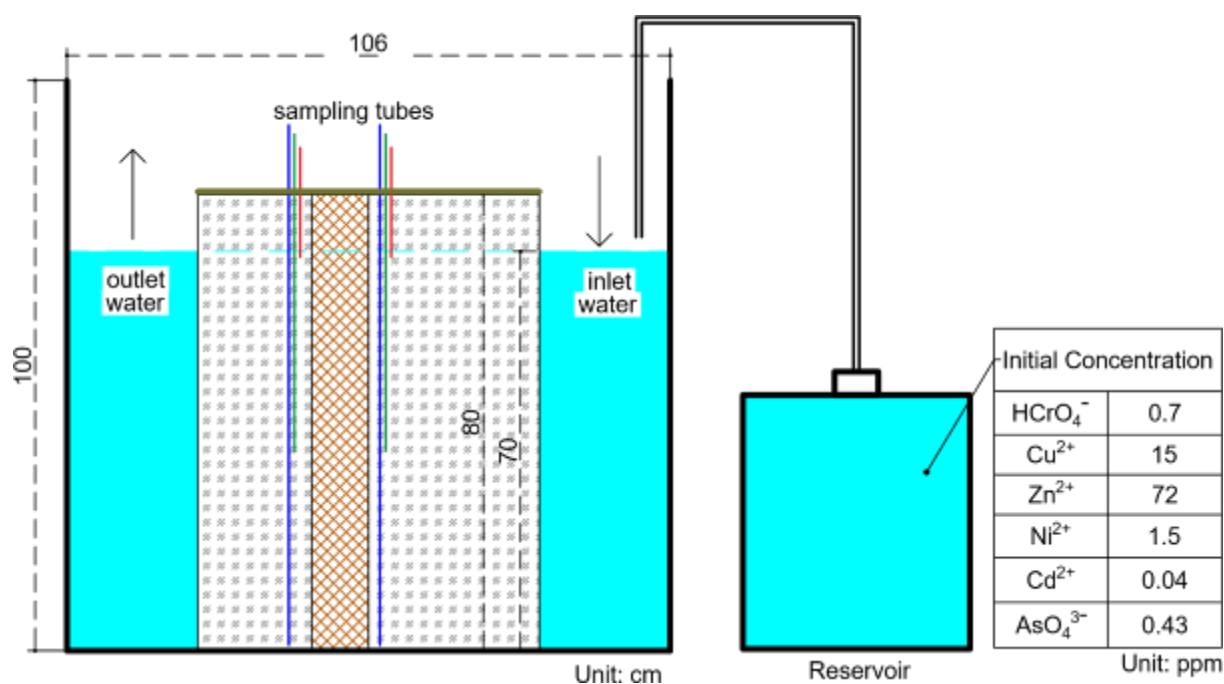


圖 1 原先反應牆攔阻試驗之操作配置：(上)俯視圖；(下)側視圖

2. 重金屬消化測定方法

由於本實驗中有使用重鉻酸鉀作為六價鉻 HCrO_4^- 的濃度供應源，故在進行重金屬相關的消化測定時，無法使用重鉻酸鉀當作消化有機質的強氧化劑，而其他可作為強氧化劑的著名藥劑有過硫酸鈉($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$)及高錳酸鉀(KMnO_4)等。除了強氧化劑，強酸、催化劑、高熱、時間，都是消化分解有機質的重要條件。經過查證及實際測試，我們了解 $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 遇高熱會先行裂解，因此溫度只能控制在 60°C ，且經過兩天的消化，樣本中仍有若干個有機質小碎片；高錳酸鉀則是以 150°C 進行消化，當中高錳酸鉀的紫色曾三次消失，顯示前者被瓶中有機質完全損耗，必須加以添加，才能使所有有機質全部被反應消化。當消化程序結束後，瓶中呈現紫色，此時加入硫酸羥胺，使紫色消失。經審慎評估後，本研究使用高錳酸鉀作為消化含重金屬污泥的強氧化劑，並以COD處理中加速其反應的 Ag_2SO_4 作為催化劑。

3. 混合重金屬離子團於牆前細砂層的競爭吸附研究

為了能使牆前濃度與我們預期的初始濃度偏差較小，除了調配時注意總水量，我們為了避免高濃度污染團至牆前時就被耗盡，還增加了一系列的細砂層吸附研究。這是因為細砂本身表面帶負電，對於各重金屬的吸附力可能各不相同，我們將各重金屬污染液與細砂以體積比 1:1 的方式進行，配製管制標準值 2~5 倍進行吸附，各自呈現出的吸附效果如表 1

表 1 實驗用細砂對供試重金屬離子的吸附

重金屬	水溶初濃度 (ppm)	孔隙水濃度 (ppm)	吸附率%
銅	2.6	0.16	93.8
	3.9	0.19	95.1
	5.2	0.21	96.0
鋅	15.3	0.19	98.8
	19.7	0.35	98.2
	25.2	0.46	98.2
鎳	0.3	0.0059	98.0
	0.4	0.0118	97.1
	0.5	0.0236	95.3
砷	9.2	6.16	33.0
	15	11.08	26.1
	19.6	16.55	15.6
鎘	6.25	0.06	99.0
	9.38	0.09	99.0
	12.51	0.1	99.2
鉛	1.23	0.08	93.5
	2.46	0.1	95.9
	4.92	0.11	97.8

而根據表 1 結果，為了使污染團中每樣金屬在水槽中牆前濃度均高於管制值的四倍，添加於污染團原液的金屬含量分別為：鉻 14.12 g、銅 203.0 g、鋅 745.2 g、鎳 30.50 g、鎘 24.52 g、鉛 25.00 g、砷 23.24 g。其中以鋅的添加量最高，主要是它的管制標準值高達 5 mg/L。各類金屬的濃度高低差異，影響其在細砂層的競爭吸附結果，因而左右它們在孔隙流中的濃度與集中度，再而影響反應牆的負荷度。

叁、結果與討論

1. 污泥反應牆攔阻重金屬之成效-六價鉻

由表 2 顯示，我們可看出污泥反應牆對 HCrO_4^- 的攔截有極佳的表現，牆後鉻濃度皆低於管制標準值，且一半以上的取樣濃度為ND值。先前針對酒廠污泥對六價鉻的吸附研究，曾使用同步輻射光譜實驗進行吸附的鉻之型態鑑定，而我們可以得知在極短的時間內， HCrO_4^- 接觸污泥的有機質時發生氧化還原反應，而被還原成Cr(III)。而先前

酒廠污泥吸附水中鉻銅鋅鎳的研究^[2]也可知，三價金屬比二價金屬對污泥更具親和性，由於Cr(III)電荷度在供試重金屬中最高，故酒廠污泥對它有極佳的吸附效果。

表 2 混合金屬污染團之 HCrO_4^- 於飽和層孔隙水的動態變化(Cr 濃度 ppm)

取樣序	牆 前			牆 後		
	S	M	L	S	M	L
1	0.0255	0.0375	0.014	0.016	0.013	ND
2	-----	-----	-----	0.013	ND	ND
3	-----	-----	-----	ND	ND	ND
4	0.027	0.023	ND	0.004	ND	ND
5	-----	-----	-----	0.004	ND	ND
6	-----	-----	-----	0.004	0.002	ND
7	0.098	0.097	0.033	0.009	0.023	ND
8	-----	-----	-----	0.009	ND	ND
9	-----	-----	-----	0.009	0.007	ND
10	0.093	0.086	0.016	0.008	0.011	0.003
11	-----	-----	-----	ND	ND	ND
12	-----	-----	-----	ND	ND	ND
13	0.117	0.106	0.071	ND	ND	ND
14	-----	-----	-----	ND	ND	ND
15	-----	-----	-----	ND	ND	ND
16	0.142	0.115	0.060	ND	ND	ND
17	-----	-----	-----	ND	ND	0.002
18	-----	-----	-----	ND	ND	0.003
19	0.045	0.048	0.044	ND	ND	ND
20	-----	-----	-----	ND	ND	ND
21	-----	-----	-----	ND	ND	ND
22	-----	-----	-----	ND	ND	0.003

紅粗體字為濃度超過第一類地下水管制標準者(0.05 ppm)。

每次採樣相隔 8 小時。

採樣位置 S：水面下 1 cm、M：飽和層 1/2 深度、L：底部上方 1 cm。-----：未採樣

2. 污泥反應牆攔阻重金屬之成效-銅

跟 HCrO_4^- 相比，污泥反應牆對 Cu^{2+} 的攔截能力次於前者，根據表 3 我們也能看出牆雖未有ND值出現，但牆後的 Cu^{2+} 濃度皆低於管制標準值。而牆後不同高度採樣點的濃度也可看出表層的濃度較低，推測是與其密度高達 8.96 g/cm^3 有關，增加移動時沉降的分量。具相關研究，有機質對二價的過渡性元素的吸附比較， Cu^{2+} 具有最高的吸附效果。而由於細砂層對銅也有明顯的吸附，導致牆前飽和層 Cu^{2+} 最高濃度僅有 1.775 ppm，小高於管制標準值約 2 倍。

表 3 混合金屬污染團之 Cu 於飽和層孔隙水的動態變化(濃度 ppm)

取樣序	牆 前			牆 後		
	S	M	L	S	M	L
1	0.640	1.177	0.629	0.050	0.080	0.264
2	-----	-----	-----	0.081	0.081	0.184
3	-----	-----	-----	0.089	0.137	0.273
4	0.891	1.196	0.497	0.079	0.028	0.034
5	-----	-----	-----	0.108	0.064	0.153
6	-----	-----	-----	0.029	0.084	0.148
7	1.250	1.775	1.012	0.137	0.575	0.098
8	-----	-----	-----	0.081	0.115	0.147
9	-----	-----	-----	0.166	0.245	0.201
10	1.258	1.487	0.583	0.073	0.136	0.243
11	-----	-----	-----	0.029	0.102	0.074
12	-----	-----	-----	0.025	0.085	0.071
13	1.173	1.439	0.854	0.030	0.075	0.065
14	-----	-----	-----	0.019	0.154	0.131
15	-----	-----	-----	0.027	0.066	0.044
16	0.471	0.871	0.366	0.022	0.112	0.153
17	-----	-----	-----	0.032	0.139	0.192
18	-----	-----	-----	0.011	0.023	0.026
19	0.309	0.707	0.274	0.017	0.050	0.081
20	-----	-----	-----	0.017	0.032	0.055
21	-----	-----	-----	0.013	0.019	0.050
22	-----	-----	-----	0.014	0.014	0.119

紅粗體字為濃度超過第一類地下水管制標準者(1.0 ppm)。

每次採樣相隔 8 小時；採樣位置 S：水面下 1 cm、M：飽和層 1/2 深度、L：底部上方 1 cm。

-----：未採樣

綠底：相同採樣序中，採自 S、M、L 濃度最高者。

3. 污泥反應牆攔阻重金屬之成效-鋅

根據表 4 可知污泥反應牆有效攔阻鋅的擴散，然而先前酒廠污泥吸附水中鋅的研究結果顯示，污泥對鋅的吸附並不強，在有競爭吸附的條件下更為明顯，但那些試驗是在較高濃度下進行(水中鋅濃度達 100 ppm)，本次實驗鋅原始投入濃度並未超過 15ppm，推測在低濃度時，酒廠污泥對 Zn^{2+} 的吸附會有較好的表現，分析數值我們可知其平均攔阻 92% 的鋅，僅次於攔阻能力最好的六價鉻。

表 4 混合金屬污染團之 Zn 於飽和層孔隙水的動態變化(濃度 ppm)

取樣序	牆 前			牆 後		
	S	M	L	S	M	L
1	0.709	1.135	0.830	0.091	0.185	0.231
2	-----	-----	-----	0.209	0.251	0.537
3	-----	-----	-----	0.308	0.295	0.369
4	0.671	1.410	0.304	0.063	0.048	0.177
5	-----	-----	-----	0.043	0.109	0.095
6	-----	-----	-----	0.131	0.111	0.216
7	4.638	5.028	0.675	0.203	0.439	0.098
8	-----	-----	-----	0.110	0.113	0.174
9	-----	-----	-----	0.219	0.273	0.195
10	4.489	3.945	0.338	0.097	0.153	0.154
11	-----	-----	-----	0.185	0.270	0.173
12	-----	-----	-----	0.086	0.285	0.173
13	6.495	7.752	2.295	0.146	0.276	0.200
14	-----	-----	-----	0.062	0.198	0.202
15	-----	-----	-----	0.068	0.061	0.103
16	7.033	8.713	5.090	0.057	0.120	0.139
17	-----	-----	-----	0.045	0.111	0.139
18	-----	-----	-----	0.049	0.080	0.096
19	4.549	5.734	6.411	0.118	0.130	0.075
20	-----	-----	-----	0.050	0.037	0.053
21	-----	-----	-----	0.043	0.041	0.049
22	-----	-----	-----	0.024	0.039	0.257

紅粗體字為濃度超過第一類地下水管制標準者(5.0 ppm)。

每次採樣相隔 8 小時；採樣位置 S：水面下 1 cm、M：飽和層 1/2 深度、L：底部上方 1 cm。

-----：未採樣

綠底：相同採樣序中，採自 S、M、L 濃度最高者。

4. 污泥反應牆攔阻重金屬之成效-鎳

從表 5，可看出六種試驗重金屬，當中攔阻能力最差的就是鎳，實驗開始不久 Ni^{2+} 便以高濃度穿透反應牆，且擴散至整個飽和層。詳細了解後，我們可知許多時刻牆前孔隙水的鎳濃度，已超過管制值 4~6 倍，推測是因為細砂層對於鎳的吸附較弱，增加了反應牆對鎳攔阻上的負荷。而牆後採樣點不論上、中、下的牆後的採樣點都超標，僅在後期時中、上飽和層的 Ni^{2+} 濃度降至管制標準以下，此時較高濃度的鎳都在底層流動，或許與其密度有關(8.9 g/cm^3)。

表 5 混合金屬污染團之 Ni 於飽和層孔隙水的動態變化(濃度 ppm)

取樣序	牆 前			牆 後		
	S	M	L	S	M	L
1	0.097	0.149	0.459	0.189	0.282	0.684
2	-----	-----	-----	0.175	0.253	0.649
3	-----	-----	-----	0.175	0.249	0.459
4	0.261	0.270	0.280	0.166	0.230	0.295
5	-----	-----	-----	0.196	0.245	0.283
6	-----	-----	-----	0.183	0.236	0.292
7	0.635	0.672	0.267	0.152	0.169	0.234
8	-----	-----	-----	0.173	0.185	0.270
9	-----	-----	-----	0.159	0.175	0.267
10	0.552	0.604	0.216	0.169	0.203	0.274
11	-----	-----	-----	0.133	0.140	0.207
12	-----	-----	-----	0.118	0.127	0.193
13	0.572	0.644	0.502	0.111	0.101	0.189
14	-----	-----	-----	0.104	0.100	0.163
15	-----	-----	-----	0.097	0.092	0.157
16	0.434	0.445	0.490	0.081	0.078	0.154
17	-----	-----	-----	0.083	0.086	0.142
18	-----	-----	-----	0.086	0.067	0.135
19	0.241	0.237	0.297	0.080	0.073	0.116
20	-----	-----	-----	0.082	0.067	0.115
21	-----	-----	-----	0.069	0.060	0.111
22	-----	-----	-----	0.073	0.058	0.099

紅粗體字為濃度超過第一類地下水管制標準者(0.1 ppm)。

每次採樣相隔 8 小時；採樣位置 S：水面下 1 cm、M：飽和層 1/2 深度、L：底部上方 1 cm。

-----：未採樣

綠底：相同採樣序中，採自 S、M、L 濃度最高者。

5. 污泥反應牆攔阻重金屬之成效-鎘

因鎘的毒性強烈，地下水中的管制值僅 0.005 ppm，污染團中的鎘濃度非常容易的就高過管制值的 4.8~18.6 倍。根據表 6 顯示，污染團中的 Cd^{2+} 的分佈較集中於飽和層的中上層，細砂對於 Cd^{2+} 的吸附頗強，牆前污染團中的濃度皆在 0.1 ppm 以下。反應進入第 3 天時，濃度高達 0.088、0.093 ppm 的污染團到達牆前採樣點，此時污泥反應牆便無法完全攔阻其前進，累積 80 小時超過管制標準值。特別的是其密度高達 8.69 g/cm^3 ，遠較砷酸根為高，移動時卻沒有沉降至飽和層底部。在如此高濃度情況下，牆後卻還是能有許多 ND 值，若是將初始設定濃度降低，或許牆體能削減的鎘不只如此。

表 6 混合金屬污染團之 Cd 於飽和層孔隙水的動態變化(濃度 ppm)

取樣序	牆 前			牆 後		
	S	M	L	S	M	L
1	ND	ND	ND	ND	ND	ND
2	-----	-----	-----	ND	ND	ND
3	-----	-----	-----	ND	ND	ND
4	0.004	0.003	ND	ND	ND	ND
5	-----	-----	-----	ND	ND	ND
6	-----	-----	-----	ND	ND	ND
7	0.093	0.088	0.010	0.011	0.019	ND
8	-----	-----	-----	0.005	0.009	ND
9	-----	-----	-----	0.013	0.013	0.004
10	0.075	0.053	0.002	0.004	0.005	ND
11	-----	-----	-----	0.004	0.011	ND
12	-----	-----	-----	ND	0.009	0.004
13	0.074	0.075	0.034	ND	0.012	0.006
14	-----	-----	-----	ND	0.009	0.008
15	-----	-----	-----	ND	0.003	ND
16	0.043	0.054	0.023	ND	0.006	0.006
17	-----	-----	-----	ND	0.005	0.007
18	-----	-----	-----	ND	ND	ND
19	0.038	0.052	0.024	ND	ND	0.002
20	-----	-----	-----	ND	ND	ND
21	-----	-----	-----	ND	ND	ND
22	-----	-----	-----	ND	ND	0.004

紅粗體字為濃度超過第一類地下水管制標準者(0.005 ppm)。

每次採樣相隔 8 小時；採樣位置 S：水面下 1 cm、M：飽和層 1/2 深度、L：底部上方 1 cm。

-----：未採樣

6. 污泥反應牆攔阻重金屬之成效-砷

由表 7 顯示污染團中的砷酸根的分佈較集中於飽和層的中下層，與其密度高達 2.5 g/cm^3 有關。根據數據，我們得知牆後普遍可測得砷，且當砷酸濃度高於管制值兩倍時，牆後孔隙水的砷含量累積 80 小時超過管制標準值，證實這次的污泥牆攔阻實驗並未能有效阻擋砷酸的滲透。因其帶負電的特性，與污泥粒子上帶負電的羧基互相排斥，故此次砷酸穿透污泥牆其實是可以預期到的。雖然污泥反應牆無法完全阻擋砷酸前進，但牆後的砷濃度仍然減少至牆前濃度的 18~45%。

表 7 混合金屬污染團之 As 於飽和層孔隙水的動態變化(濃度 ppm)

取樣序	牆 前			牆 後		
	S	M	L	S	M	L
1	0.036	0.061	0.279	0.102	0.098	0.141
2	-----	-----	-----	0.075	0.094	0.129
3	-----	-----	-----	0.063	0.075	0.111
4	0.114	0.163	0.125	0.054	0.068	0.063
5	-----	-----	-----	0.059	0.057	0.062
6	-----	-----	-----	0.048	0.052	0.065
7	0.121	0.161	0.222	0.036	0.043	0.061
8	-----	-----	-----	0.038	0.039	0.064
9	-----	-----	-----	0.036	0.044	0.068
10	0.076	0.175	0.157	0.040	0.045	0.070
11	-----	-----	-----	0.028	0.032	0.053
12	-----	-----	-----	0.020	0.025	0.049
13	0.113	0.204	0.214	0.023	0.023	0.053
14	-----	-----	-----	0.018	0.021	0.051
15	-----	-----	-----	0.017	0.017	0.041
16	0.051	0.080	0.130	0.015	0.016	0.048
17	-----	-----	-----	0.017	0.017	0.041
18	-----	-----	-----	0.015	0.014	0.034
19	0.042	0.029	0.065	0.016	0.016	0.033
20	-----	-----	-----	0.018	0.012	0.029
21	-----	-----	-----	0.013	0.013	0.029
22	-----	-----	-----	0.017	0.011	0.027

紅粗體字為濃度超過第一類地下水管制標準者(0.05 ppm)。

每次採樣相隔 8 小時；S：水面下 1 cm、M：飽和層 1/2 深度、L：底部上方 1 cm。

-----：未採樣 綠底：相同採樣序中，採自 S、M、L 濃度最高者。

7. 污泥反應牆內重金屬之分佈

我們將污泥牆以圖 2 的方式進行分割，並以前面所提到的重金屬消化方法進行分析，所得出的牆內分佈如表。根據表，我們可以明顯的看出後方的牆體比原先所預期的要高，甚至鉻及鎳的牆後半區域高於前半，工作良好的反應牆體理應在前半部分就結束大部分攔截作業，若是前半部攔不住，則會往後方累積，也就增加污染物 Breakthrough 行為發生的可能性及其速度。而表所呈現的污泥牆工作效能，也應正到表~表牆後孔隙水的動向。

R5 ⇐	F5 ⇐
R4	F4
R3 ⇐	F3 ⇐
R2	F2
R1 ⇐	F1 ⇐

圖 2 反應牆重金屬吸附分佈區塊示意圖(⇐水流方向)

表 8 供試重金屬於反應牆體內的吸附分佈
(F:前半部, R:後半部)

Cr (ppm)	R5	347	F5	296
	R4	432	F4	218
	R3	321	F3	448
	R2	295	F2	349
	R1	424	F1	337
平均值		364		330

Cu (ppm)	R5	191	F5	172
	R4	211	F4	310
	R3	148	F3	261
	R2	181	F2	192
	R1	167	F1	117
平均值		179		210

Zn (ppm)	R5	1630	F5	1625
	R4	1615	F4	1600
	R3	1630	F3	1600
	R2	1610	F2	1630
	R1	1495	F1	1615
平均值		1596		1614

Ni (ppm)	R5	112	F5	132
	R4	216	F4	137
	R3	168	F3	235
	R2	199	F2	132
	R1	186	F1	186
平均值		176		164

Cd (ppm)	R5	12.0	F5	16.0
	R4	15.0	F4	19.5
	R3	10.0	F3	17.5
	R2	13.5	F2	12.5
	R1	13.0	F1	14.0
平均值		12.7		15.9

As (ppm)	R5	1.4	F5	2.1
	R4	2.1	F4	2.2
	R3	2.1	F3	1.1
	R2	2.3	F2	2.3
	R1	2.2	F1	2.3
平均值		2.0		2.0

鋅在污泥牆體內的濃度最高，與其原始施用量有極大的關係。以往的研究顯示，污泥有機質對 Zn^{2+} 的吸附較弱，但在本研究裡其吸附卻相當地好，原因值得再深入探討，目前推測是濃度高低差異的關係造成。 Zn^{2+} 在牆後全時與全區，濃度皆在管制標準值之下，其分佈顯示在牆體內的鋅分佈相當均勻，進入牆斷面時也是以相當均勻的方式進入。

鉻在污泥牆裡的含量相當高，僅次於高濃度的鋅，反應出易於砂層移動的 $HCrO_4^-$ 進入牆體後，絕大部份和污泥的有機質發生氧化還原反應後轉變為 $Cr(III)$ ，並緊密吸附於其上，由於牆體內的孔隙率高達 50%，所以仍有高量的 $HCrO_4^-$ 移至後半牆體才被還原吸附，最後能穿牆體在牆後孔隙流裡的 $HCrO_4^-$ 則相當稀少。本試驗證實了若使污泥反應牆用防制地下水六價鉻的擴散，將相當有效。

銅在污泥牆裡的吸附量也相當地多，主要為銅是二價過渡元素中和有機質親和性最高的金屬，表 3 顯示 Cu^{2+} 在牆後全時與全區，濃度皆在管制標準值之下。也因為如此，較多的銅被吸附在前半部牆體，與後半部的吸附比為 1:0.85。

鎳在後半污泥牆的兩個區域(R4 與 R2)的累積含量遠高於相對應的前半部，且前半部鎳總量與後半部總量的比值為 0.93 :1，顯示有相當量的 Ni^{2+} 穿過反應牆進入其後方飽和層，此結果也反應在表 5 的數值：反應全程近底層的鎳濃度超標。先前的研究顯示，酒廠污泥對 Ni^{2+} 的吸附力並不強，再加上鎳的毒性也不弱，因而被訂定較低的管制標準值。

較多的鎘被吸附於前半部牆體，前半部鎘含量是後半部的 1.25 倍，顯示酒廠污泥牆吸附 Cd^{2+} 也還算是有效的，削減率達 84%~93%，但因鎘的毒性極強，故管制標準值訂定極低，僅 5 ppb，本試驗仍有一半時序在牆後飽和層鎘的濃度是超標的。未來若減少牆體污泥孔隙率，或者再加厚牆體，將牆後孔隙水 Cd^{2+} 濃度降至 5 ppb 則相當可行。

砷被污泥牆體吸收是所有供試金屬中最少的，平均僅有 2 ppm，顯示污泥的有機質較難吸附帶負電的砷酸根，更不會像 HCrO_4^- 一樣發生氧化還原反應，因而有一半的時程，牆後飽和層砷的濃度超過管制標準。由表 8 顯示，砷在牆體內的分佈較為均勻。

肆、結 論

根據實驗，我們知道細砂層對於陽離子的吸附力是非常強的，實場的重金屬污染團在移動至牆前時，很可能就被細砂層吸附，使整體濃度減低。由數據可知，反應牆可有效攔阻 HCrO_4^- 、 Cu^{2+} 、 Zn^{2+} ，但對於 AsO_4^{3-} 、 Cd^{2+} 、 Ni^{2+} 之攔阻表現則不太理想。因為不了解在 6 種重金屬一起參與吸附實驗時會是怎麼樣的競爭型態，各重金屬污染團相互間的作用影響著攔阻前的濃度，也間接影響到污泥反應牆的攔阻效能測試，所以整體污染團的競爭吸附型態還需後續實驗進行驗證。單一重金屬污染團的攔阻成效，應與多重污染團之攔阻有不同結果。之後將繼續進行競爭吸附的相關研究，以利實場整治前，確實調查污染團之組成分，並事先以較大比例之模組進行模擬，以預先了解可能的整治效果。

建構反應牆的酒廠污泥目前使用經自然風乾、磨碎、過篩，粒徑不小於 16-35 mesh 者，但此處理程序較複雜，增加工作成本。使用粒徑大於 16-35 mesh 的污泥，吸附能力肯定降低。若未來使用與其相同來源的酒廠污泥建議使用未經自然風乾之污泥斗污泥，降低前處理成本，但必須對其進行改質，例如於其他增進其通透性的物質混合後再使用於實場。

參考文獻

- [1] 108 年度土壤及地下水污染整治年報。
- [2] 劉鎮宗(2008)：「以酒廠污泥移除水中鉻銅鋅鎳之研究」，國立台灣大學生物資源暨農學院農業化學系研究所博士論文。

花蓮縣鄉鎮市一般廢棄物乾季及濕季物理組成研究
Physical characteristics of general waste derived from wet or dry season in Hualien County

林旻諤¹ 吳東霖² 陳芝慧³ 胡紹華⁴

Min-Syuan Lin¹ Tong-Lin Wu² Chih-Huei Chen³ ChenShao-Hua Hu⁴

1 大漢技術學院土木工程與環境資源管理系 研究生

Postgraduate, Department of Civil Engineering & Environmental Resource

Management, Institute of Dahan Technology

2 新翊環境有限公司 經理

Manager, Xin yi Environmental Consulting Co., Ltd.

3 新翊環境有限公司 總經理

General manager, Xin yi Environmental Consulting Co., Ltd.

4 大漢技術學院土木工程與環境資源管理系 教授

Professor, Department of Civil Engineering & Environmental Resource

Management, Institute of Dahan Technology

摘 要

台灣垃圾問題逐年嚴重，依據環保署資料顯示，從民國 87 年開始推動全民參與回饋式資源回收四合一計畫，由「社區民眾」透過家戶垃圾分類，將各類資源物品結合「地方政府清潔隊」、「回收商」及「回收基金」回收再利用【1】。本研究主要針對花蓮縣 13 鄉鎮市進行一般廢棄物之樣品採集，以物理組成及資源回收物排出分析工作，進一步了解乾季（11~4 月）與濕季（5~10 月）【2】垃圾物理組成分析水份之差異性。

經本研究在乾濕季採集 40 點次樣品，所得乾季樣品之總濕基重量為 528.94 kg，乾季總乾基重量為 467.28 kg，乾季總水份重量為 61.66 kg（11.66%），濕季總濕基重量為 619.11 kg，濕季總乾基重量為 576.03 kg，濕季總水份重量為 43.08kg（6.96%），乾季及濕季 40 場總水份前後值相差 18.58 kg。依實驗紀錄所示，乾季雨天為 11 天（55%），晴天為 7 天（35%），陰天為 2 天（10%），濕季雨天佔為 8 天（40%），晴天為 11 天（55%），陰天為 1 天（5%），共 40 場次，經調查 109 年花蓮縣雨量與歷年相比較低，濕季採樣日期皆為 7、8 月份，其降雨量低於 98~108 年 7、8 月份平均值，且濕季採樣晴天比例大於陰天及雨天，因而造成乾季水份相對較高。

本研究發現廚餘比例仍佔一般廢棄物（垃圾）較大佔比，含水率亦為一般廢棄物水份來源，未來將檢視廚餘含量對一般廢棄物含水量變化，亦能由水份含量推測廚餘分類是否落實。

關鍵詞：垃圾物理組成、乾季、濕季、水份

壹、前言

早期台灣為農業社會，垃圾量並不大，垃圾處理以掩埋為主，資源回收概念尚未普及，而隨著工業興起，人類為追求生活機能便利性及追求快速的經濟發展，造成垃圾量大幅上升，漸漸形成現今的台灣垃圾問題，為解決掩埋場飽和及焚化廠屆齡，垃圾無去化之處的困境，政府積極推動多元化廢棄物處理政策，以降低垃圾產生率；本研究擬定一般廢棄物採樣計畫，得以了解居家廢棄物除含有可自然分解的有機物外，還有難分解之有機物（如塑料）、重金屬等物質，瞭解垃圾組成趨勢，方能在源頭減量或末端處理建立適當的管理政策與處理設施。

因花蓮縣未設置焚化爐，而所產生之垃圾僅能於花蓮縣內掩埋場進行掩埋或轉運至宜蘭縣利澤焚化廠焚燒，又因利澤焚化廠歲修整理中，導致花蓮縣內垃圾僅能暫置於掩埋場，使得花蓮縣內掩埋場面臨飽和之困境，為減緩花蓮縣垃圾問題，本研究以 109 年度花蓮縣 13 鄉鎮市之垃圾性質做統計分析與趨勢變動之探討，研究執行期間自民國 109 年 2 月起，以花蓮縣 13 鄉、鎮、市公所清潔隊及掩埋場為採樣點，分別於乾季辦理 20 場次及濕季辦理 21 場次垃圾採樣及分析工作，其中，於 109 年 8 月 26 日花蓮市衛生掩埋場因場地受限，採樣時，石頭及 5mm 砂土類比例偏高，故視為異常值，不在此次研究計算內，故濕季採樣次數為 20 次作為計算，採樣對象為一般廢棄物，而事業廢棄物或果菜市場，並不列入本研究之採樣對象。

每年臺灣降雨的乾(11~4 月)、濕(5~10 月)季變化循環與亞洲夏季季風降雨變化習習相關，本研究將臺灣梅雨季 5、6 月定義為濕季的起始月份，而 10、11 月間降雨由夏季對流或颱風型態轉為冬季鋒面型態則定義為乾季的開始，面對氣候型態變化，濕度及水份將明顯影響到垃圾重量，有必要對於不同情境進行評估。

本研究對花蓮縣 13 鄉、鎮、市公所清潔隊及掩埋場進行乾季及濕季垃圾採樣作業，樣品採樣設定以各行政區具代表性之垃圾清運路線為標的，乾(11~4 月)、濕季(5~10 月)均選定同一清運路線之垃圾作為分析樣本，降低實驗誤差，進行垃圾物理組成及資源回收比例分析工作，以符合本研究一般廢棄物之分析目標，分析項目需包含可燃物（紙類、塑膠類、廚餘、纖維布類、木竹（含稻草、落葉）、皮革（含橡膠及其他可燃物））及不可燃物（金屬、玻璃、陶瓷、石頭及 5mm 砂土、乾電池、照明光源、藥、其他不可燃物）。

另外透過本研究慎密的採樣分析，理解花蓮縣 13 鄉鎮市垃圾組成性質及水份差異之影響，方能減少垃圾轉運焚燒去化的龐大處理費，且有助於垃圾清運策略之訂定，亦可做為廢棄物清理管理政策之規劃、長期質量與特性變化之評估分類、回收與減量策劃和污染防制設計之依據。

貳、研究方法

2.1、研究依據

本研究針對 109 年度花蓮縣 13 鄉鎮市垃圾採樣與物理組成分析，依據環保署公告之「一般廢棄物（垃圾）採樣方法」（NIEA R124.00C）【3】，於陶模閣垃圾掩埋場（秀林鄉）、新城鄉垃圾衛生掩埋場、花蓮市垃圾衛生掩埋場、光華垃圾衛生掩埋場（吉安鄉）、壽豐鄉垃圾掩埋場、中區掩埋場（鳳林鎮、豐濱鄉）、光復鄉垃圾掩埋場、萬榮鄉清潔隊、瑞穗鄉垃圾掩埋場、長良垃圾衛生掩埋場（玉里鎮）及富里鄉垃圾掩埋場（富里鄉、卓溪鄉）等 11 處進行垃圾採樣，以隨機選定之方式，採取具代表性路線之垃圾車進行採樣，清運路線為主要都會型態（如商業區、住宅區、住商混合區等）之垃圾清運車輛，排除專收學校、市場或特定機構垃圾，並於實驗室，依據環保署公告「一般廢棄物（垃圾）檢測方法總則」（NIEA R125.02C）【4】進行乾濕基物理組成分析，11 月至 4 月為台灣的乾季，而 5 月至 10 月為濕季，本研究乾季選定 2~4 月、濕季於 7~8 月進行採樣分析，於同一鄉鎮市選定同一清運路線作為分析對象，因採集樣品為採樣前天之垃圾，而掩埋場皆為露天，若採樣前天為雨天，天氣計算則認列為雨天。

2.2、垃圾採樣方法

各鄉鎮市掩埋場地方區域特性不同，採樣方法以地區之特性而定，將具代表性路線之抽樣車輛擇定後且詢問該車輛清運路線，排除不具代表性路線車輛後實施，而花蓮縣人口主要集中於花蓮市與吉安鄉，故垃圾量佔全花蓮縣比例較高，因其採樣方法將以垃圾車全車為初步破袋及分樣。其餘鄉鎮則受限於機械設備之影響，則採取約 1/3 車傾卸量或隨機採樣方式，進行四分法，捨棄一半後，再重複四分法縮樣直至所剩垃圾樣品量約 200 至 300 公斤為止，做為初步樣品之母體，後續將所有垃圾袋進行更細部破袋，經由三次四分法重複分析，最終取得樣品約 0.3 立方公尺容積之垃圾量，並測定單位容積重之秤重。在現場將樣品測定完單位容積重後，樣品需符合標準偏差之範圍，避免水分及樣品溢出流失，將以透明塑膠袋或容器密封，於 24 小時內送至實驗室進行物理組成分析，詳細採樣作業流程說明如下（圖 2-1）。

一、以四分法取得初步樣品

- （一）將垃圾傾卸於預先設置之採樣區內，底部為水泥地或鋪置鋼板，將垃圾進行破袋攪拌，堆成圓形或方形後，平均分為四等分。
- （二）隨機將其中對角的兩份捨棄，餘留部分重複進行前述鋪平並分為四等分，捨棄一半直至所剩垃圾量約 200 至 300 公斤之樣品量為止。

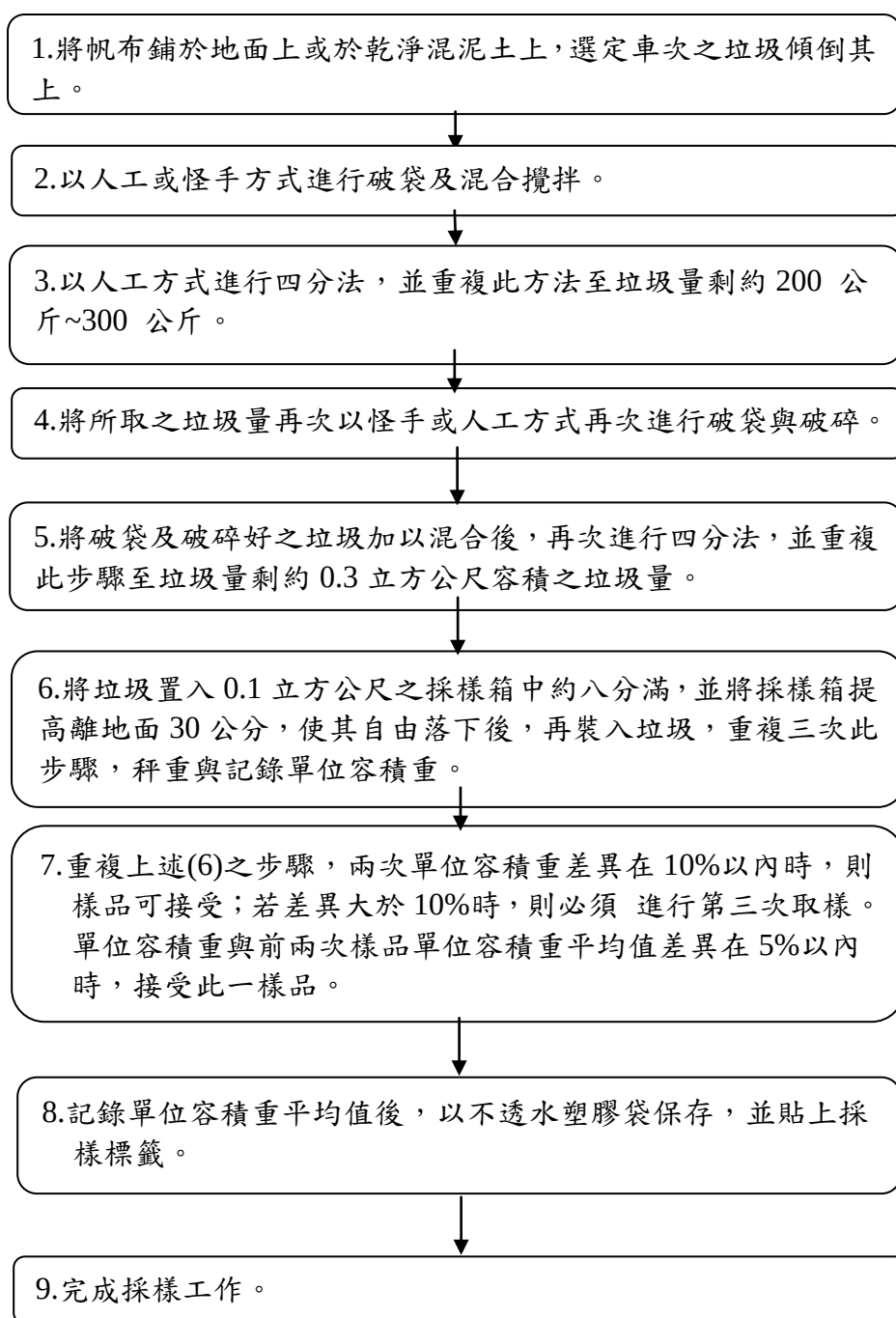
二、以四分法縮分取得最終樣品

(一) 縮分至 0.3 立方公尺之樣品量

- 1.初步取得的 200 至 300 公斤之樣品量，將所有垃圾袋均應以人工方式進行破袋。攪動拌合後，均分成四等分，保留對角兩份，捨棄其餘兩份。
- 2.選擇之對角兩份再經攪動拌合，重新均分成四等分，再取對角兩份，後進行前述動作，直至縮分成約 0.3 立方公尺容積之垃圾量。
- 3.在縮分過程如有較大物品應先破碎再予混合，現場不易破碎之物品可事先取出（如毛毯、車胎等），再依四分法之縮分次數採等比例加回樣品中，或用計算比例採樣調整之。

(二) 測定樣品之單位容積重

- 1.將調整後之 0.3 立方公尺樣品，攪拌混合後，裝填至 0.1 立方公尺之金屬箱內，將其裝填至八分滿時，提起至離地約 30cm 處使其自然落下，重複前述動作，共 3 次，使垃圾結實後再補滿金屬盒內之垃圾樣品。
- 2.以適當磅秤秤其重量，以此重量扣除箱重後，所得數據再乘以 10，即為所得垃圾之單位容積重「一般廢棄物（垃圾）單位容積重測定方法—外觀密度測定法」（NIEA R215.01C）【5】。
- 3.將剩餘垃圾重複上述步驟 1 及 2，重新取得新的單位容積重，當兩次單位容積重差異在 10%以內時，則樣品可接受，以兩次平均值為其單位容積重；若差異大於 10%時，則必須將兩次樣品倒回至 0.3 立方公尺垃圾堆中攪拌混合，進行第三次取樣。
- 4.第三次樣品之單位容積重與前兩次樣品單位容積重平均值差異在 5%以內時，接受此一樣品，以三次平均值為其單位容積重。若否，則必須依上述樣品採集步驟 1、2、3，重新混合採樣。



2.3、垃圾物理組成分析方法

採樣現場並無完整儀器可使用，因此無法進行細部測定作業，為避免採樣後水份流失或吸收之誤差，採集完成後於規定時間內送至實驗室分析。樣品之物理組成包括濕基及乾基物理組成，而現場採樣之樣品稱為濕基樣品，將初步樣品依據細部分類表（如表 2-1）所示進行細分類，而後將樣品以塑膠袋或容器密封，並送至實驗室進行烘箱乾燥，隨之可得乾基及濕基水份重量之差異，分類作業步驟如下：

- 一、將測定單位容積重後之樣品，倒在一塊(6 m×6 m)塑膠布上。
- 二、分類貯存容器置於分類樣品附近，將每一種類垃圾依分類規範放入適當之盛裝容器中。
- 三、垃圾中的複合物品，易判定可分割拆解者，應將其分割拆解後依其材分類置入適當之貯存容器中；不易判定分割者，依據下列原則：
 - （一）複合材質物品，放入與其主要材質相符之貯存容器中。
 - （二）無法破碎者，按表 2-1 分類規範認定，或目測其各項組成比例，單獨存放並記錄。
 - （三）非屬分類規範且無法判定分類者，將其放入標示「其他」或「其他不燃物」之容器中。
- 四、持續分類至大於 5 mm 的物品被分類完後，剩餘細小垃圾歸類至其他項中。
- 五、分別以適當磅秤稱其濕基重量，並將數據記錄如表 2-1 所示。
- 六、將上述樣品置於 105±5°C之烘箱中乾燥 2 小時後取出放至室溫，分別以適當磅秤稱其重量即為乾基重量。
- 七、計算公式：

- （一）濕基物理組成：依可燃物 22 類及不可燃物 13 類，分成 35 類，分別將樣品各物理組成置於容器中，以適當天平測得其重量 W_{2i} 並記錄於表，其中 i 為各類物理組成代號($i=01\sim35$)，並且累積總重為：

$$W_2 = W_{201} + W_{202} + \dots + W_{235}$$

$W_{201} \sim W_{235}$ ：置入烘箱前之樣品重

(二) 乾基物理組成：將上述 35 類樣品置於 $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ 之烘箱中乾燥 2 小時，秤得恆重 W_{3i} ，其中 i 為各類物理組成代號($i=01\sim 35$)，並且累積總重為：

$$W_3 = W_{301} + W_{302} + \dots + W_{335}$$

$W_{301}\sim W_{335}$ ：經 $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ 烘乾後之樣品重

1. 計算：

(1) 濕基垃圾之物理組成重量百分率(A_{iw})： $A_{iw}(\%) = (W_{2i}/W_2) \times 100$

(2) 乾基垃圾之物理組成重量百分率(A_{id})： $A_{id}(\%) = (W_{3i}/W_3) \times 100$

(三) 水份(間接測定法)

1. 步驟：

(1) 依「一般廢棄物(垃圾)採樣方法」(NIEAR124.00C)採集樣品(混合垃圾樣品約十多公斤)精秤其重為 W_4 。

(2) 將前述 W_4 之樣品置於 $105\pm 5^{\circ}\text{C}$ 之烘箱中乾燥 2 小時，秤得樣品恆重為 W_5 ，並記錄於表。

2. 水份百分率計算： $W(\%) = [(W_4 - W_5)/W_4] \times 100$

表 2-1 垃圾物理組成細項分類

組成	分類細項
紙類	報紙、硬紙板、瓦楞紙雜誌、書籍、包裝紙、紙袋、廣告傳單、信函、辦公室用紙、電腦報表紙及其他如衛生紙、紙尿布、鋁箔包、紙杯、盤、空盒、相片、濾紙等。
纖維布類	衣物，如帽子衣褲等、地毯、毛手套、裁縫布料、棉花、紗布及其他纖維、人造纖維布類製品。
木竹稻草類	免洗筷、街道或公園落葉、居家環境落葉、修剪草坪灌木之雜草或枯枝、婚喪喜慶之花飾植物、市場捆綁蔬果之乾稻草束、木製玩具、其他如掃柄、圍籬、及木製家俱等。
廚餘類	廚房及餐廳烹調所剩餘之動植物性渣屑、用餐後所剩餘之菜渣、菜汁、湯汁、動物死屍、市場剩餘丟棄之動植物等。
塑膠類	PVC、HDPE、LDPE、PET、PS、發泡 PS、PP 及其他塑膠材質之容器、生活用品、玩具、包裝材料等。
皮革橡膠類	皮鞋、皮帶、球鞋、氣球、籃球及其他如橡膠墊片等。
鐵金屬類	鐵、鋼、馬口鐵及其他含鐵金屬成分磁鐵可吸之金屬。
非鐵金屬類	鋁容器、鋁門窗及其他有色金屬如眼鏡架、銅線、合金等。
玻璃類	透明、棕色及綠色玻璃容器或平板玻璃，其他玻璃珠、玻璃藝品等。
其他不燃物 (陶磁、砂土)	陶土花瓶、碗盤、建築廢料如水泥塊、石膏、瀝青等及其他無法由外觀判斷分類，以 5 mm 篩網篩分，留於篩網上之物質。
藥類	藥錠等。
其他可燃物 (含 5 mm 以下之雜物)	無法分類有機物質及經由篩分篩選出來 5 mm 以下之物質。

參、結果與討論

本研究以 109 年度花蓮縣 13 鄉鎮市乾季垃圾採樣 20 次及濕季垃圾採樣 21 次之進行水份重量分析，依據環保署公告之「一般廢棄物(垃圾)採樣方法」(NIEA R124.00C)【3】，採樣日期詳如表 3-1，將採集過後之垃圾，細分為一般垃圾、資源回收物、廚餘及其他垃圾等類別，並利用適當之統計分析方法，探討各採樣鄉鎮市之垃圾物理組成之特性，其中，於 109 年 8 月 26 日花蓮市衛生掩埋場因場地受限，採樣時，石頭及 5mm 砂土類比例偏高，故視為異常值，不在此次研究計算內。

表 3-1 採樣日期與地點

鄉鎮市	採樣地點	乾季採樣日期	濕季採樣日期
花蓮市	花蓮市垃圾衛生掩埋場	2/18、4/21	7/7、8/26
吉安鄉	光華垃圾衛生掩埋場	3/25、4/15	7/28、8/26
秀林鄉	陶樸閣垃圾掩埋場	3/5、4/9	7/16、8/13
新城鄉	新城鄉垃圾衛生掩埋場	3/5、4/9	7/16
壽豐鄉	壽豐鄉垃圾掩埋場	3/5、4/16	7/16、8/21
鳳林鎮	花蓮中區掩埋場	3/4、4/14	7/24、8/18
豐濱鄉	花蓮中區掩埋場	3/4	7/24
萬榮鄉	萬榮鄉清潔隊	3/19	7/28、8/20
光復鄉	光復鄉垃圾掩埋場	3/18、4/14	7/21、8/18
瑞穗鄉	瑞穗鄉垃圾掩埋場	3/18	7/21、8/20
玉里鎮	長良垃圾衛生掩埋場	3/3	7/14
富里鄉	富里鄉垃圾掩埋場	3/3	7/14
卓溪鄉	富里鄉垃圾掩埋場	3/3	7/14

3.1 乾季與濕季水份重量

20 點次所得乾季樣品之總濕基重量為 528.94 kg，乾季總乾基重量為 467.28 kg，乾季總水份重量為 61.66 kg (11.66%)，濕季總濕基重量為 619.11 kg，20 點次濕季總乾基重量為 576.03 kg，濕季總水份重量為 43.08kg (6.96%)，乾季及濕季 40 場總水份前後值相差 18.58 kg，如表 3-2 所示。依實驗紀錄所示，如表 3-3，乾季雨天為 11 天 (55%)，晴天為 7 天 (35%)，陰天為 2 天 (10%)，濕季雨天佔為 8 天 (40%)，晴天為 11 天 (55%)，陰天為 1 天 (5%)；表 3-4 為乾季與濕季之物理組成水份分析表，一般垃圾 (包含纖維布類、紙尿布、看護墊、口罩、木竹、稻草、落葉類、皮革、橡膠類、石頭及 5mm 砂土、購物用之塑膠袋、

藥類、陶瓷類、其他可燃物及其他不可燃物) 總水份乾季重量為 33.71kg (54.66%)，而濕季為 21.43 kg (49.74%)，資源回收物(紙張、鋁箔包、塑膠容器類、可回收之塑膠類、金屬類、玻璃類、乾電池及照明光源類) 總水份乾季重量為 8.99 kg (14.59%)，而濕季為 6.11 kg (14.18%)，廚餘總水份乾季重量為 18.96 kg (37.75%)，而濕季為 15.54 kg (36.07%)。

表 3-2 13 鄉鎮市乾濕季一般廢棄物物理組成分析表

乾季				濕季			
項目	濕基	乾基	水份	項目	濕基	乾基	水份
重量(kg)	528.94	467.28	61.66	重量(kg)	619.11	576.03	43.08
百分比(%)	100.00	88.34	11.66	百分比(%)	100.00	93.04	6.96

註：資料來源：109 年度花蓮縣資源回收推動與活動工作計畫

表 3-3 採樣期間氣候狀況一覽表

乾季	類別	天數	占比(%)	濕季	類別	天數	占比(%)
	陰天	2	10		陰天	1	5
	晴天	7	35		晴天	11	55
	雨天	11	55		雨天	8	40
總計		20	100	總計		20	100

註：資料來源：109 年度花蓮縣資源回收推動與活動工作計畫

表 3-4 乾季及濕季一般廢棄物在不同分類樣品之水份含量分析表

水份	季別	項目	一般垃圾	資源回收物	廚餘	合計
	乾季	重量(kg)	33.71	8.99	18.96	61.66
		百分比(%)	54.66	14.59	30.75	100
	濕季	重量(kg)	21.43	6.11	15.54	43.08
		百分比(%)	49.74	14.18	36.07	100

註：資料來源：109 年度花蓮縣資源回收推動與活動工作計畫

3.2 乾季及濕季可燃物水份含量分析

本研究乾季 20 場樣品中，在濕基內可燃物之水份佔比介於 0.03 %~3.58%，而濕季 20 場樣品中，在濕基內可燃物之水份佔比介於 0.02 %~2.51%，13 鄉鎮市中紙類水份佔比在乾季為 2.23 %，濕季為 1.31%；塑膠類水份佔比在乾季為 2.21%，濕季為 1.17 %；廚餘類水份佔比在乾季為 3.58 %，濕季為 2.51 %；纖維布類水份佔比在乾季為 0.38 %，濕季為 0.3 %；口罩類水份佔比在乾季為 0.07%，濕季為 0.03 %；木竹、稻草、落葉類水份佔比在乾季為 0.23 %，濕季為 0.28 %；皮革、橡膠類水份佔比在乾季為 0.03 %，濕季為 0.02 %；其他可燃物類水份佔比

在乾季為 2.81 %，濕季為 1.27 %；由研究所示，乾季及濕季可燃物水份含量中為廚餘類所占比最高，而皮革、橡膠類為最小，如下圖 3-1 所示。

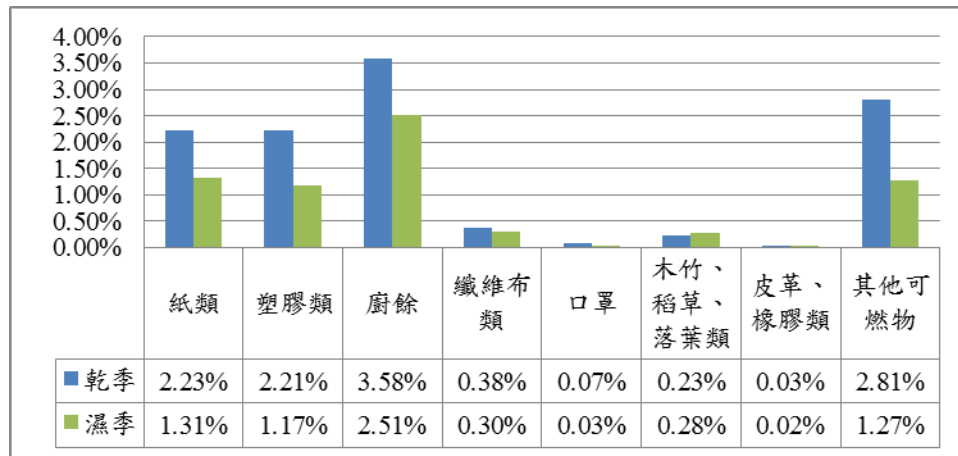


圖 3-1 乾季及濕季採集樣品之可燃物水份含量分析圖

3.3 乾季及濕季不可燃物水份含量分析

本研究乾季 20 場樣品中，在濕基內乾季不可燃物水份佔比介於 0 %~0.07 %，濕季 20 場樣品中，在濕基內不可燃物水份佔比介於 0 %~0.04%，13 鄉鎮市中金屬類水份佔比在乾季為 0.07 %，濕季為 0.04%；玻璃類水份佔比在乾季及濕季皆為 0.01 %；陶瓷類水份佔比在乾季為 0.01 %，濕季為 0 %；石頭及 5mm 砂土類水份佔比在乾季在乾季及濕季皆為 0.01 %；乾電池、照明光源類及其他不可燃物水份佔比在乾季及濕季皆為 0 %；藥類水份佔比在乾季為 0.02 %，濕季為 0 %；由研究所示，乾季及濕季不可燃物水份含量中為金屬類所占比最高，而乾電池類、照明光源類及其他不可燃物為係小，如下圖 3-2 所示。

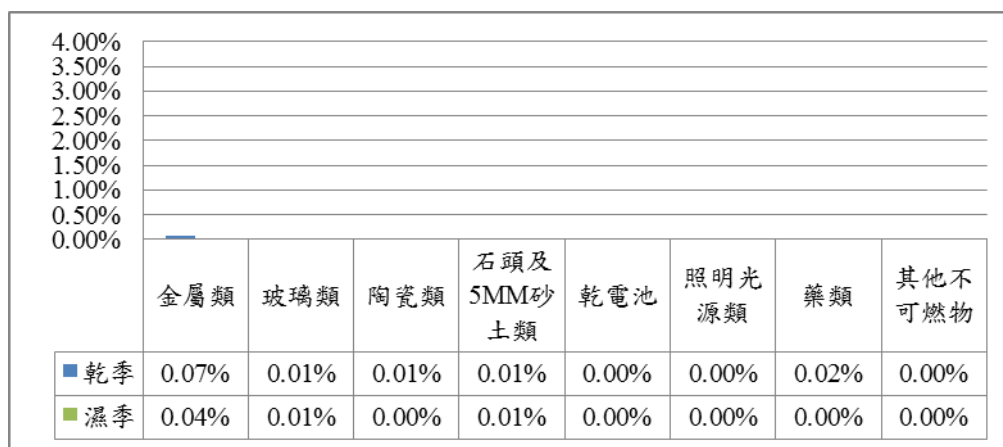


圖 3-2 乾季及濕季採集樣品之不可燃物水份含量分析圖

3.4 乾季物理組成分析

根據本研究乾季全縣 13 個採樣點，共計 20 個樣品分析結果，將依各物理組成比例及其特性區分為：(1)一般垃圾（包含纖維布類、紙尿布、看護墊、口罩、木竹、稻草、落葉類、皮革、橡膠類、石頭及 5mm 砂土、購物用之塑膠袋、藥類、陶瓷類、其他可燃物及其他不可燃物）；(2)資源回收物（紙張、鋁箔包、塑膠容器類、可回收之塑膠類、金屬類、玻璃類、乾電池及照明光源類）；(3)廚餘等三類(一般垃圾+資源物+廚餘=100%)。根據各鄉鎮市垃圾特性分析結果，而一般垃圾總佔比為 60.66%(320.86 kg)；資源回收物總佔比為 12.82% (67.78 kg)；廚餘總佔比為 26.52% (140.3 kg)，如下表 3-5 所示；紙類為資源回收物佔比最高，而乾電池為資源回收物佔比最低，如下表 3-6 所示。

表 3-5 乾季物理組成分析表

季別	項目	一般垃圾	資源回收物	廚餘	合計
乾季	重量(kg)	320.86	67.78	140.30	528.94
	百分比(%)	60.66	12.82	26.52	100

註：資料來源：109 年度花蓮縣資源回收推動與活動工作計畫

表 3-6 乾季資源回收物組成分析表

季別	項目	紙類	塑膠類	金屬類	玻璃類	乾電池	照明光源類	合計
乾季	重量(kg)	33.57	23.34	6.30	4.23	0.12	0.22	67.78
	百分比(%)	49.53	34.43	9.30	6.24	0.18	0.32	100.00

註：資料來源：109 年度花蓮縣資源回收推動與活動工作計畫

3.5 濕季物理組成分析

根據本研究濕季全縣 13 個採樣點，共計 20 個樣品分析結果，將依各物理組成比例及其特性區分為：(1)一般垃圾（包含纖維布類、紙尿布、看護墊、口罩、木竹、稻草、落葉類、皮革、橡膠類、石頭及 5mm 砂土、購物用之塑膠袋、藥類、陶瓷類、其他可燃物及其他不可燃物）；(2)資源回收物（紙張、鋁箔包、塑膠容器類、可回收之塑膠類、金屬類、玻璃類、乾電池及照明光源類）；(3)廚餘等三類(一般垃圾+資源物+廚餘=100%)。根據各鄉鎮市垃圾特性分析結果，而一般垃圾總佔比為 59.03% (365.46 kg)；資源回收物總佔比為 14.81% (91.67 kg)；廚餘總佔比為 26.16% (162.98 kg)，如下表 3-7 所示；紙類為資源回收物佔比最高，而乾電池為資源回收物佔比最低，如下表 3-8 所示。

表 3-7 濕季物理組成分析表

季別	項目	一般垃圾	資源回收物	廚餘	合計
濕季	重量(kg)	365.46	91.67	161.98	619.11
	百分比(%)	59.03	14.81	26.16	100

註：資料來源：109 年度花蓮縣資源回收推動與活動工作計畫

表 3-8 濕季資源回收物分析表

季別	項目	紙類	塑膠類	金屬類	玻璃類	乾電池	照明光源類	合計
濕季	重量(kg)	47.35	28.92	7.00	7.65	0.20	0.56	91.67
	百分比(%)	51.65	31.54	7.64	8.34	0.22	0.61	100.00

註：資料來源：109 年度花蓮縣資源回收推動與活動工作計畫

3.6 綜合討論

經本研究結果發現，依據濕基扣除乾基為水份計算公式，所得乾季樣品之總濕基重量為 528.94 kg，乾季總乾基重量為 467.28 kg，乾季總水份重量為 61.66 kg（11.66%），濕季總濕基重量為 619.11 kg，濕季總乾基重量為 576.03 kg，濕季總水份重量為 43.08kg（6.96%），乾季及濕季 40 場總水份前後值相差 18.58 kg，因 109 年花蓮縣雨量與歷年相比較低，如表 3-9 所示，濕季採樣日期皆為 7、8 月份，其降雨量低於 98~108 年 7、8 月份平均值，濕季採樣晴天比例大於陰天及雨天，故造成乾季水份較高，依圖 3-3 所示，108 年 13 場採樣樣品分析所得總濕基重量為 322.84 kg，總乾基重量為 312.36 kg（96.75%），總水份重量 10.48 kg（3.25%），且依實驗記錄統計採樣氣候，採樣日期皆為 7、8 月份，雨天為 0 天（0%），晴天為 9 天（69%），陰天為 4 天（31%），如圖 3-4，證實採樣時間與季節較無關聯性，與天氣較有關連性；而不論乾季或濕季，廚餘在可燃物組成水份佔比最大，原因可能與民眾飲食行為、民眾丟棄行為、垃圾與廚餘收集清運系統、廚餘產生數量與丟棄、回收方便性或非洲豬瘟廚餘禁止養豬、回收觀念降低等多項因素影響，顯示應加強民眾實施廚餘回收等工作。

表 3-9 花蓮縣近年降雨量(單位:mm)

年 \ 月	一月	二月	三月	四月	五月	六月	七月	八月	九月	十月	十一月	十二月	總計
98	51	92	93	56	142	320	199	159	326	1033	38	28	2,536
99	71	81	36	59	95	61	74	60	478	629	105	20	1,769
100	18	58	96	64	180	84	46	375	148	487	518	127	2,200
101	53	99	96	95	399	353	276	486	72	83	102	193	2,303
102	58	70	56	126	426	176	43	72	490	176	185	96	1,971
103	5	71	62	104	236	67	333	23	178	33	67	51	1,227
104	25	13	88	57	173	115	11	545	259	97	300	103	1,785
105	160	25	127	64	174	169	337	285	862	680	185	43	3,109
106	19	52	76	106	145	211	154	138	126	753	99	71	1,948
107	96	61	68	31	26	123	37	317	199	134	250	49	1,388
108	71	53	93	74	218	165	67	289	228	157	110	133	1,655
109	51	19	119	57	172	54	105	102	107	259	146	84	1,273
98 年~108 年 平均值	57	61	81	76	201	167	143	250	306	387	178	83	1,990

註：資料來源：交通部中央氣象局【6】

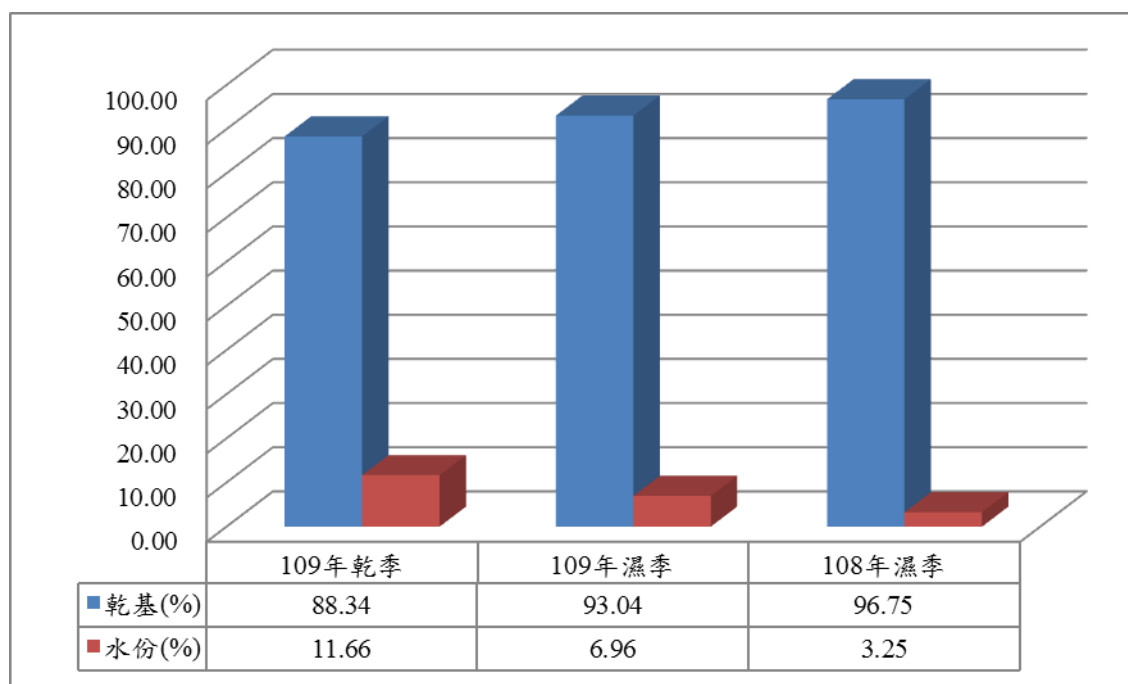


圖 3-3 108 年與 109 年一般廢棄物物理組成分析圖

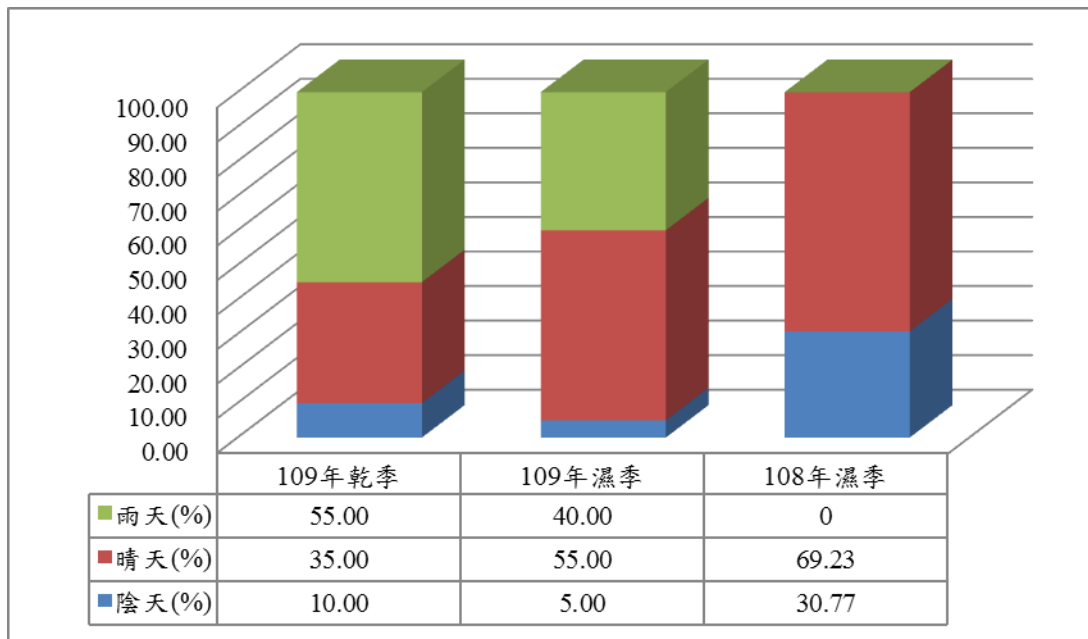


圖 3-4 108 年與 109 年採樣期間氣候狀況分析圖

肆、結論與建議

- 一、依據濕基扣除乾基為水份計算公式，所得乾季樣品之總濕基重量為 528.94 kg，乾季總乾基重量為 467.28 kg，乾季總水份重量為 61.66 kg（11.66%），濕季總濕基重量為 619.11 kg，濕季總乾基重量為 576.03 kg，濕季總水份重量為 43.08kg（6.96%），乾季及濕季 40 場總水份前後值相差 18.58 kg
- 二、本研究乾季 20 場樣品中，在濕基內可燃物之水份佔比介 0.03%~3.58%，而濕季 20 場樣品中，在濕基內可燃物之水份佔比介於 0.02%~2.51%；本研究乾季 20 場樣品中，在濕基內乾季不可燃物水份佔比介 0%~0.07%，濕季 20 場樣品中，在濕基內不可燃物水份佔比介於 0%~0.04%；由研究所示，乾季及濕季可燃物水份含量中為廚餘類所佔比例最高，而皮革、橡膠類為最小；乾季及濕季不可燃物水份含量中為金屬類所佔比例最高，而乾電池類、照明光源類及其他不可燃物為係小。
- 三、經採樣統計，乾季雨天為 11 天（55%），晴天為 7 天（35%），陰天為 2 天（10%），濕季雨天佔為 8 天（40%），晴天為 11 天（55%），陰天為 1 天（5%），經調查 109 年花蓮縣濕季（5~10 月）降雨量較往年平均值低，濕季採樣時程 7、8 月降雨量低於歷年 7、8 月份平均值，採樣晴天比例大於陰天及雨天，故造成乾季水份較高；比對 108 年 13 場樣品紀錄，採樣時間皆為 7、8 月（濕季），雨天為 0 天（0%），晴天為 9 天（69%），陰天為 4

天（31%），水份百分比低於 109 年濕季，樣品含水率可能與採樣時間、季節可能較無關聯性，與天氣較有關連性。

伍、參考文獻

- 【1】行政院環保署網站，網址: <https://reurl.cc/D92ONN> (2020)
- 【2】[http://conf.cwb.gov.tw/media/cwb_past_conferences/104/104 年全文/3.氣候監測與預報/3-12-L-童裕翔-CMIP5%20 多模式評估台灣乾、濕季降雨變遷](http://conf.cwb.gov.tw/media/cwb_past_conferences/104/104年全文/3.氣候監測與預報/3-12-L-童裕翔-CMIP5%20多模式評估台灣乾、濕季降雨變遷)
- 【3】一般廢棄物（垃圾）採樣方法，網址:
<https://www.epa.gov.tw/DisplayFile.aspx?FileID=7B891D9BA32B5F31>
- 【4】一般廢棄物（垃圾）檢測方法總則，網址:
<https://www.epa.gov.tw/niea/F5702A72F387182C>
- 【5】一般廢棄物（垃圾）單位容積重測定方法－外觀密度測定法，網址:
<https://www.epa.gov.tw/DisplayFile.aspx?FileID=85C56BDA8EB9CBD2>
- 【6】交通部中央氣象局，網址: <https://www.cwb.gov.tw/V8/C/D/DailyPrecipitation.html>
- 【7】丁沛騰，一般廢棄物資源回收率差異性之基礎研究-以花蓮縣為例
- 【8】109 年度花蓮縣資源回收推動與活動工作計畫

Session II-3
(13:40~15:00 , B219)

聚乙烯醇改性無機聚合材料可行性之研究 A Feasibility Study on Geopolymer Modified by Polyvinyl alcohol

廖品熏^{1*} 李韋皞² 鄭大偉³

Pin-Hsun Liao¹ Wei-Hao Lee² Ta-Wui Cheng³

1 國立臺北科技大學 材料及資源工程系 大學生

Undergraduate Student, Department of Materials and Mineral Resources Engineering, National Taipei University of Technology

2 國立臺北科技大學 資源工程研究所 助理教授

Assistant Professor, Institute of Mineral Resources Engineering, National Taipei University of Technology

3 國立臺北科技大學 資源工程研究所 特聘教授

Distinguished Professor, Institute of Mineral Resources Engineering, National Taipei University of Technology

* Corresponding author: a0912222490@gmail.com

摘要

聚乙烯醇是一種水溶性聚合物，由德國科學家 Dr. Hermann 與 Dr. Haenel 於 1924 年所製造出來的合成膠體，性質介於塑料及橡膠之間，具有優異的彈性及拉伸強度，現已被廣泛運用在各個行業當中，例如紡織業、建築業與醫療產業等。作為工業上廣泛使用的聚合物之一，其全球每年產量以超過了六十萬噸。

無機聚合材料被視為能夠取代水泥的新興材料，與傳統卜特蘭水泥相比，具有高早強、耐火、耐腐蝕、抗震等優異特性，且在製造過程中，不須經過窯燒，所以不會產生大量的二氧化碳對環境造成傷害。但無機聚合材料與水泥材料同樣為脆性的材料，因此在遭受到外力下，容易產生破裂及裂痕，對其耐久性產生不利之影響。

本研究使用聚乙烯醇水溶液作為改性劑，將其添加至無機聚合材料中，與爐石粉、燃煤飛灰、鹼性溶液及細粒料進行混拌後，製成無機聚合砂漿，並對其進行各項機械性質試驗。根據實驗結果顯示，在無機聚合砂漿系統中添加聚乙烯醇後，其抗彎強度可達 10.29MPa，相較於未添加聚乙烯醇之無機聚合砂漿試體，其抗彎強度可提升約 19%；此外，試體的應變斷裂點從 0.01mm 延長至 0.015mm，提升約 50%。因此，綜合各項實驗結果得知，若於無機聚合砂漿中添加聚乙烯醇，其不僅能有效改善無機聚合材料脆性之特性，更能夠有效的增加其抗彎強度。

關鍵詞：爐石粉、燃煤飛灰、無機聚合技術、聚乙烯醇

壹、前言

傳統卜特蘭水泥(OPC)是現今使用最廣泛的建築材料，在 2019 年全球的生產量接近 40 億噸，為了生產如此大量的卜特蘭水泥，需要大量的窯燒，同時會排放出大量的二氧化碳，造成嚴重的環境問題。為了解決及減緩此種狀況，迫切需要能夠替代水泥材料的研究及開發。經過了大量的嘗試與研究過後，無機聚合材料(Geopolymer)已經被證明能夠替代普通卜特蘭水泥材料 [1]。

無機聚合材料(Geopolymer)作為具有高發展潛力的新興材料，也是近年來各國積極研究的重點之一。其內部結構為 Si-O-Si、Si-O-Al 之三維架狀結構，使無機聚合材料具有非常優異的性能，如高早強、低熱導率、高熱穩定性、耐火、耐腐蝕、抗震等特性，且在其製程中不須經過窯燒，因此其排碳量較傳統卜特蘭水泥低，對於環境影響相對友善。

然而無機聚合材料雖具有優異的機械性能，但仍是一種脆性的材料，非常容易因為外力而破碎和斷裂，侷限此材料之應用，而在無機聚合材料中添加高分子材料，已經被證明能夠有效地降低其剛性，而聚乙烯醇(Polyvinyl alcohol)材料，簡稱 PVA，是一種合成膠體，為水溶性高分子聚合物，被認為是安全且相對環保的，具有優異的物理性質及耐化性質，如韌性、彈性、耐酸鹼等，應用極其廣泛，可應用在紡織、建築、工程、食品及醫療業等方面。因此本研究期望在無機聚合材料中添加少量聚乙烯醇，憑藉其優異的韌性及彈性，改善無機聚合材料之脆性。

貳、實驗方法

本實驗分為無機聚合純漿及無機聚合砂漿兩部分，並以水淬高爐爐石粉及燃煤飛灰做為主要原料，將聚乙烯醇粉末與蒸餾水製備成聚乙烯醇溶液，添加至無機聚合材料中，比較添加不同濃度與不同添加量的聚乙烯醇溶液，對無機聚合材料的工作性質、收縮性質、抗壓強度、抗彎強度、應力變化、體積密度、吸水率之影響。

2.1 實驗材料

本研究所使用之聚乙烯醇(Polyvinyl alcohol)，由帝一化工原料股份有限公司所購買，外觀如圖 2.1 所示。其型號分別為 PVA BF-17(75000-80000)，及 PVA BC-20(12000-132000)。



圖 2.1 聚乙烯醇粉末

本研究使用水淬高爐爐石粉及燃煤飛灰做為主要膠結材料，其中水淬高爐爐石粉為中聯資源股份有限公司所提供，燃煤飛灰則為火力發電廠所提供。由於水淬高爐爐石粉為非晶質相之材料，因此其具高活性及反應性[2]，可做為無機聚合反應之膠結材料。材料之 X 光螢光分析儀分析結果，如表 2.1 所示。

表 2.1 本研究材料之化學組成分析。

化學成分 (wt. %)	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	Others	L.O.I
水淬高爐爐石粉	40.2	34.7	14.1	0.2	7.1	3.7	N.D.
燃煤飛灰	2.7	60.2	19.1	8.7	0	6.4	2.9

此外，本實驗使用一般天然砂作為細粒料，一般天然砂是由力泰建設企業股份有限公司所提供，其粒徑分布如表 2.2 所示，經計算後之細度模數為 2.75，中位徑(D50)約為 1.0 mm。

表 2.2 細粒料之篩分析

篩號	粒徑 (mm)	細粒料之累積百分率 (%)
3/8in	+9.50	0
#4	-9.50 +4.75	1.0
#8	-4.75 +2.36	18.4
#16	+2.36 -1.18	40.1
#30	+1.18 -0.60	57.8
#50	+0.60 -0.30	73.2
#100	+0.30 -0.15	84.6
底盤	-0.075	100
細度模數		2.75

2.2 實驗流程

本研究之實驗分為無機聚合純漿及無機聚合砂漿，無機聚合純漿之詳細流程如圖 2.3 所示。以水淬高爐爐石粉及燃煤飛灰作為主要粉體原料，以液固比 0.55 添加鹼性溶液及聚乙烯醇溶液，分為兩種添加順序，第一種為先添加聚乙烯醇溶液與粉體混拌後，再加入鹼性溶液混拌、第二種為先加入鹼性溶液混拌成漿後，再添加聚乙烯醇溶液混拌。混拌完成後再將漿體灌入 $\Phi 5 \times 10$ cm 之圓柱模具當中，待室溫養護 1

天後脫模，並在室溫養護齡期達到 7 及 28 天時，進行各項測試，探討添加聚乙烯醇對於無機聚合純漿性質之影響。

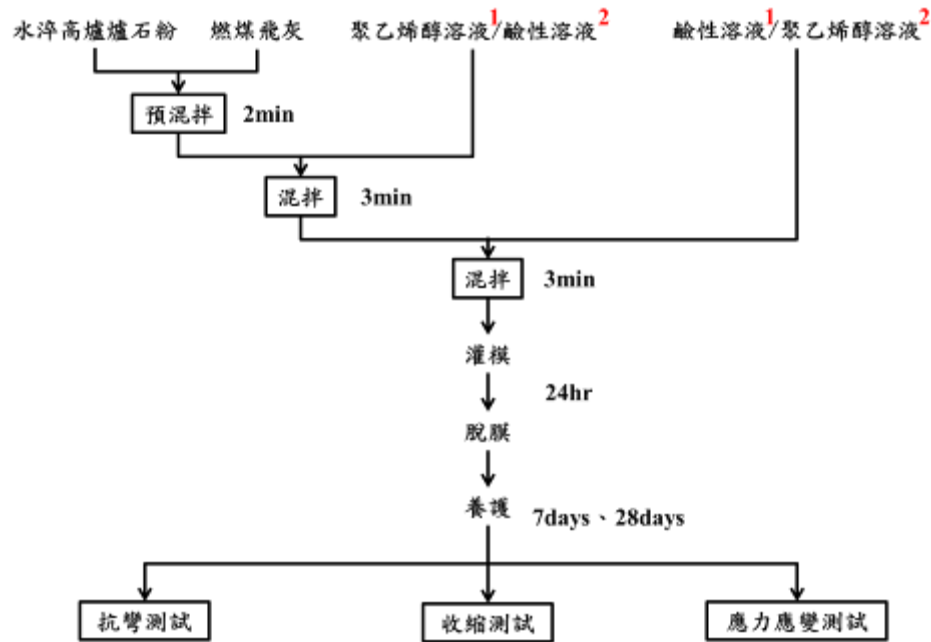


圖 2.3 聚乙烯醇改性無機聚合純漿之實驗流程圖

無機聚合砂漿之詳細流程如圖 2.4 所示。以水淬高爐爐石粉、燃煤飛灰及矽灰石作為主要粉體原料，一般天然砂作為細粒料。粉體原料經過混拌後，以液固比 0.6 添加聚乙烯醇溶液及鹼性溶液進行混拌，其中聚乙烯醇溶液分別使用兩種不同分子量的聚乙烯醇粉末製成。混拌完成後進行工作性質及機械性質之檢測，探討添加聚乙烯醇對於無機聚合砂漿性質之影響。

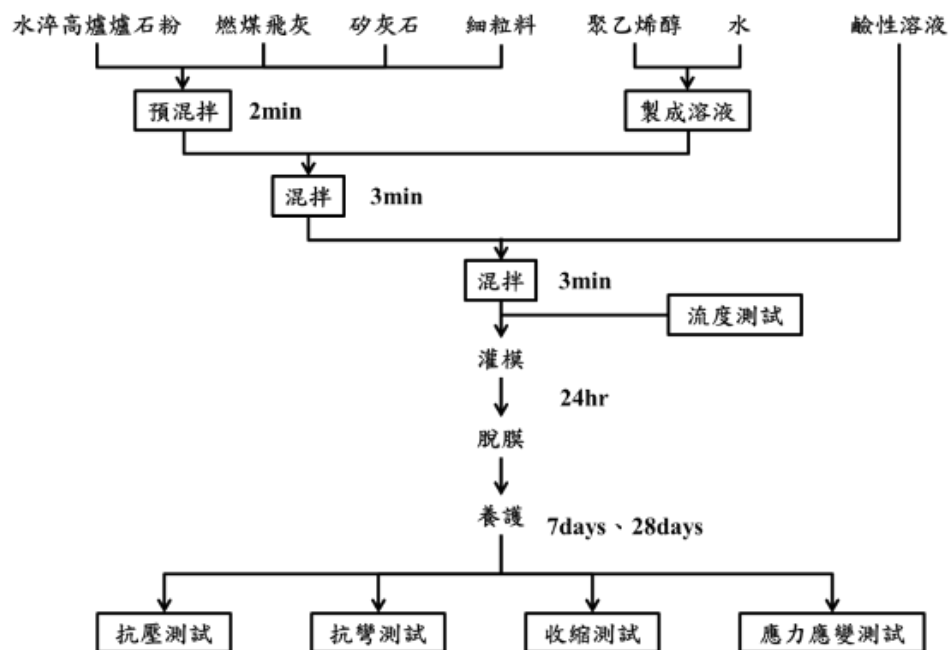


圖 2.4 聚乙烯醇改性無機聚合砂漿之實驗流程圖

叁、結果與討論

3.1 聚乙烯醇改性無機聚合純漿

為瞭解於無機聚合純漿中，添加聚乙烯醇的影響，本試驗以不同的順序添加聚乙烯醇溶液製成無機聚合純漿，並對無機聚合純漿之物理性質、機械強度及收縮率進行探討。其試驗參數如表所示。

表 3.1 聚乙烯醇改性無機聚合純漿試驗參數表

實驗編號	水淬高爐爐石粉 (wt. %)	燃煤飛灰 (wt. %)	額外添加水量 (wt. %)	聚乙烯醇溶液 (wt. %)	聚乙烯醇溶液添加順序	液固比
GP-X	50	50	5	-	-	0.55
GP-F			-	5	First	
GP-A				5	After	

(鹼性溶液：NaOH 濃度為 6M、SiO₂/NaO₂ 莫爾比為 1.28、SiO₂/Al₂O₃ 莫爾比為 50)

(X=不添加聚乙烯醇溶液、F=先添加聚乙烯醇溶液、A=後添加聚乙烯醇溶液)

3.1.1 聚乙烯醇改性無機聚合純漿之抗壓強度

聚乙烯醇改性無機聚合純漿抗壓強度試驗結果如圖 3.1 所示。試驗結果顯示，添加聚乙烯醇，對於無機聚合材料的抗壓強度有明顯不利的影響。Liu(2020)等人，表示在水泥材料中添加聚乙烯醇，會使漿體的黏性大幅增加，且會隨著聚乙烯醇的分子量及水解度增加而提升漿體之黏度，進而影響其機械性質[3]。因此推論添加聚乙烯醇後，漿體的粘度有所上升，使漿體內部的氣泡不易消除，孔隙率上升，導致其抗壓強度下降。

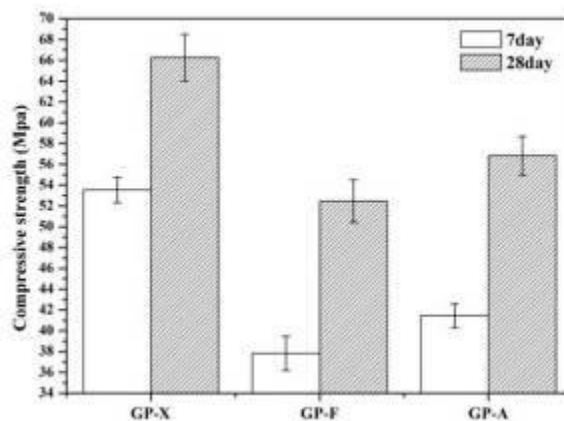


圖 3.1 聚乙烯醇改性無機聚合純漿之抗壓強度

3.1.2 聚乙烯醇改性無機聚合純漿之應力應變

聚乙烯醇改性無機聚合純漿之應力應變試驗結果如圖 3.2 所示。試驗結果顯示，添加聚乙烯醇溶液，對於試體的剛性並無明顯的影響，反而使試體的抗壓強度略為降低。Thong(2016)等人，表示聚乙烯醇薄膜主要生長於粒料及漿體間的介面過渡區(ITZ)，因此在純漿系統下，並無明顯的效果[4]。

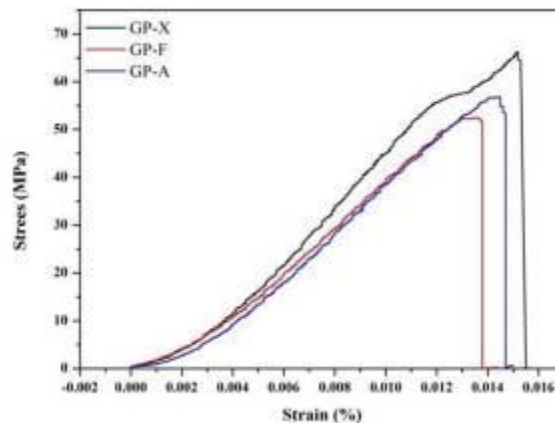


圖 3.2 聚乙烯醇改性無機聚合純漿之應力應變

3.1.3 聚乙烯醇改性無機聚合純漿之收縮性質

聚乙烯醇之無機聚合純漿收縮性質試驗結果如圖 3.3 所示。試驗結果顯示，添加聚乙烯醇，其收縮率會提高，對於試體的機械性質有不利的影響。未添加聚乙烯醇溶液時，其養護齡期 28 天之收縮率為 0.68%；當添加聚乙烯醇溶液之後，其養護齡期 28 天之收縮率為 0.98 及 0.99%。其原因為添加聚乙烯醇後，其漿體的黏度大幅上升，導致漿體內部的氣泡難以消除，而前人文獻指出孔隙率提升使體積密度減少，因此較多孔洞易產生收縮[5]。

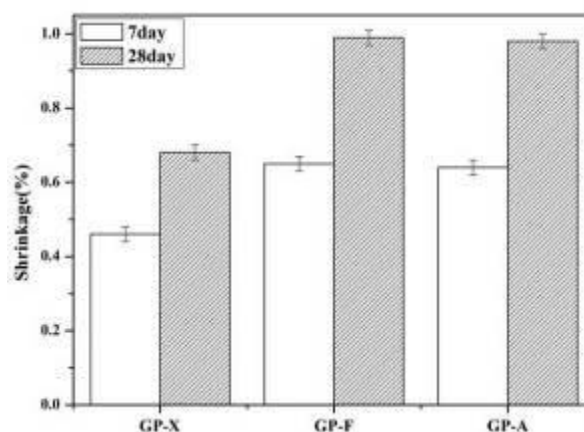


圖 3.3 聚乙烯醇改性無機聚合純漿之收縮性質

3.2 聚乙烯醇改性無機聚合砂漿

由於聚乙烯醇薄膜主要生長於粒料及漿體間的介面過渡區(ITZ)，因此在純漿系統下，並無明顯的效果，所以此試驗改以無機聚合砂漿進行試驗。而為瞭解於無機聚合砂漿系統中，添加聚乙烯醇之影響，本實驗以不同分子量的聚乙烯醇及不同的聚

乙烯醇溶液濃度，在無機聚合砂漿系統中添加了聚乙烯醇溶液，製成無機聚合砂漿，並對無機聚合砂漿之流動性能、物理性質、機械強度及收縮率進行探討。其試驗參數如表 3.所示。

表 3.2 聚乙烯醇改性無機聚合砂漿試驗參數表

實驗編號	水淬高爐爐石粉 (wt. %)	燃煤飛灰 (wt. %)	矽灰石 (wt. %)	灰砂比	液固比	額外添加水量 (wt. %)	聚乙烯醇溶液添加量 (wt. %)	聚乙烯醇分子量	聚乙烯醇溶液濃度
GP-Control	50	50	3	1 : 2.75	0.6	5	-		
GP-L 5%						-	5	75000-80000	5
GP-H 5%								120000-132000	5
GP-L 10%								75000-80000	10
GP-H 10%								120000-132000	10

(鹼性溶液：NaOH 濃度為 6M、SiO₂/NaO₂ 莫爾比為 1.28、SiO₂/Al₂O₃ 莫爾比為 50)

(L=低分子量聚乙烯醇、H=高分子量聚乙烯醇)

3.2.1 聚乙烯醇改性無機聚合砂漿之流動性能

聚乙烯醇改性無機聚合砂漿流動性能試驗結果如

表 3.3 所示。試驗結果顯示，隨著聚乙烯醇用量及分子量的增加，其流動性能會隨之下降。其原因為添加了聚乙烯醇後，因聚乙烯醇的內聚力及黏性，會使漿體的黏度大幅上升，導致其流動性能降低。

表 3.3 聚乙烯醇改性無機聚合砂漿之流動性能

試體編號	聚乙烯醇添加量	流度(%)	孔隙率(%)
GP-Control	0	110	20
GP-L5%	5%	85	20
GP-H5%	5%	80	21
GP-L10%	10%	73	21
GP-H10%	10%	70	21

3.2.2 聚乙烯醇改性無機聚合砂漿之抗壓強度

聚乙烯醇改性無機聚合砂漿抗壓強度試驗結果如圖 3.4 所示。試驗結果所示，添加聚乙烯醇溶液後，對於試體的抗壓強度有不利的影響。未添加聚乙烯醇溶液時，其養護齡期 28 天之抗壓強度為 48.2MPa，而添加了聚乙烯醇溶液後，其養護齡期 28 天之抗壓強度分別下降至 39.5、37.1 及 41.4 MPa。其原因為隨著聚乙烯醇用量及分子量的增加，會使漿體的黏度大幅提高，使漿體內部的氣泡不易消除，孔隙率上升，導致其抗壓強度下降。大致上與純漿系統趨勢相似。

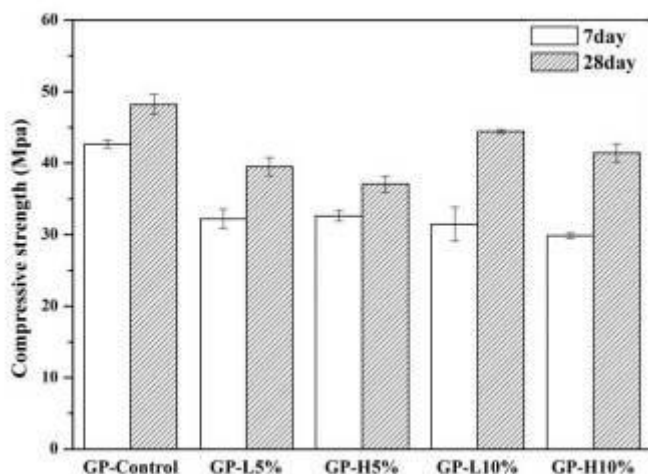


圖 3.1 聚乙烯醇改性無機聚合砂漿之抗壓強度

3.2.3 聚乙烯醇改性無機聚合砂漿之抗彎強度

聚乙烯醇改性無機聚合砂漿抗彎強度試驗結果如圖 3.5 所示。試驗結果所示，隨著聚乙烯醇用量及分子量的增加，其抗彎強度會隨之提升。未添加聚乙烯醇溶液時，其養護齡期 28 天之抗彎強度為 8.63 MPa，而添加了濃度 10%、分子量為 120000-132000 的聚乙烯醇水溶液，其養護齡期 28 天之抗彎強度上升至 10.29 MPa。其原因為聚乙烯醇薄膜在試體內部隙縫中的產生，有效的提高試體的抗彎強度[6]。

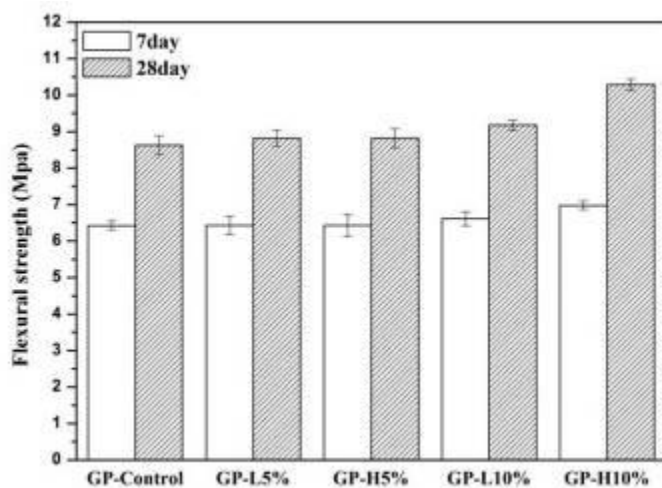


圖 3.2 聚乙烯醇改性無機聚合砂漿之抗彎強度

3.2.4 聚乙烯醇改性無機聚合砂漿之應力應變

聚乙烯醇改性無機聚合砂漿應力應變試驗結果如圖 3.6 所示。試驗結果顯示，添加了聚乙烯醇溶液對於試體的剛性有顯著的改善。當聚乙烯醇溶液度為 5%、分子量為 75000-80000 時，擁有最優異的效果。其原因試體內部產生了聚乙烯醇薄膜，增加了試體的韌性。但過高的聚乙烯醇添加量則會降低其工作性能，而對其機械性質造成不良的影響。

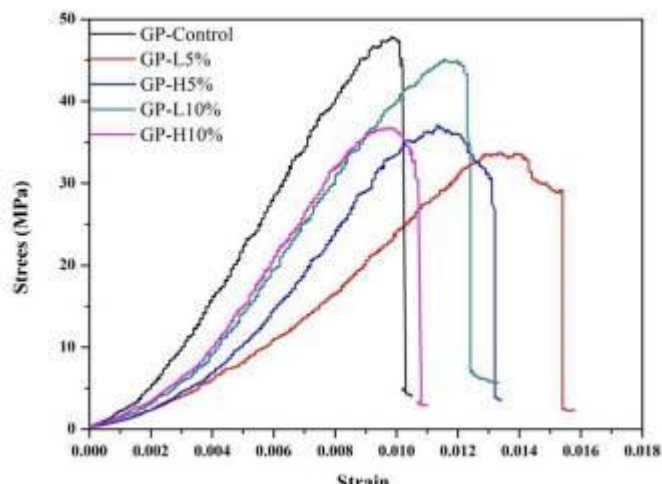


圖 3.3 聚乙烯醇改性無機聚合砂漿之應力應變

3.2.5 聚乙烯醇改性無機聚合砂漿之收縮性能

聚乙烯醇之無機聚合砂漿收縮性質試驗結果如圖 3.7 所示。根據試驗結果顯示，添加聚乙烯醇溶液時，其收縮率會有所提高，對於試體的機械性質有不利的影響。未添加聚乙烯醇溶液時，其養護齡期 28 天之收縮率為 0.3%；當添加了 5% 聚乙烯醇溶液後，其養護齡期 28 天之收縮率提升至 0.34% 及 0.41%，添加 10% 聚乙烯醇溶液之收縮率為 0.31% 及 0.32%。其原因為添加聚乙烯醇溶液後，漿體的黏度大幅上升，導致漿體內部的氣泡難以消除，使體積密度減少，因此較多孔洞易產生收縮[6]。

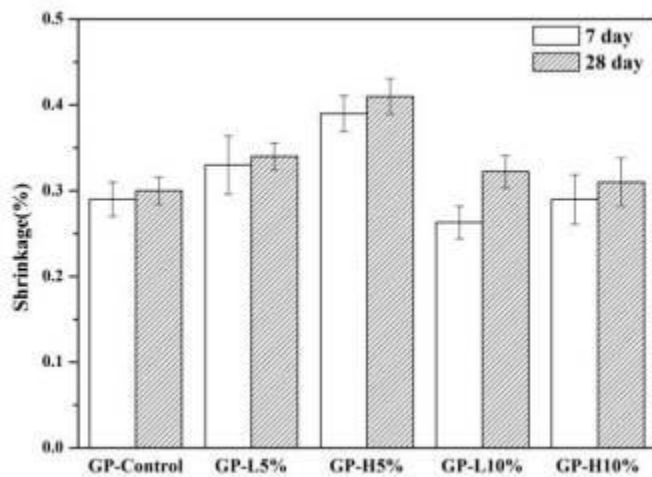


圖 3.4 聚乙烯醇改性無機聚合砂漿之收縮性能

肆、結 論

在無機聚合材料中，添加聚乙烯醇溶液，會使漿體粘度提高、工作性能大幅降低，造成其體積密度減少，以致收縮性質上升。

添加聚乙烯醇溶液進行改性，由於聚乙烯醇薄膜主要生長於粒料及漿體間的介面過渡區(ITZ)，因此對於無機聚合純漿，並無明顯的改善效果，甚至對其機械性質產生不利的影響。

在無機聚合砂漿中，使用聚乙烯醇做為改性劑，對其機械性質有明顯的改善效果，其中以剛性改變及抗彎強度提升，有較明顯的效果，但其工作性能及收縮性質尚須克服。

參考文獻

- [1] U.S. Geological Survey, 2020, Cement Data Sheet - Mineral Commodity Summaries, January.
- [2] 中國鋼鐵公司，2000「爐石利用推廣手冊」。
- [3] Liu F., Wang B., Xing Y., Zhang K., Jiang W. 2020, Effect of Polyvinyl Alcohol on the Rheological Properties of Cement Mortar. Structural Mechanics of Composite Materials and Structures, vol.25, 754.
- [4] Thong C. C., Teo D. C. L., Ng C. K. 2016, Application of polyvinyl alcohol (PVA) in cement-based composite materials: A review of its engineering properties and microstructure behavior. Construction and Building Materials, volume 107, pp. 172-180.
- [5] Fan J., Li G., Deng S., Wang Z. 2019, Mechanical Properties and Microstructure of Polyvinyl Alcohol (PVA) Modified Cement Mortar. Applied Sciences, vol.9, 2178.
- [6] Knapen E., Van Gemert D. 2015, Polymer film formation in cement mortars modified with water-soluble polymers. Cement and Concrete Composites, volume 58, pp. 23-28.

不同型態尼龍 6 奈米纖維對粒狀污染物去除之性能評估

Study on the particulate removal performance of different type nylon 6 nanofibers

鄭羽辰^{1*} 張章堂²

Yu-Chen Cheng¹ Chang-Tang Chang²

1 國立宜蘭大學環境工程學系 大學生

Student, Department of Environmental Engineering, National Ilan University

2 國立宜蘭大學環境工程學系 教授

Professor, Department of Environmental Engineering, National Ilan University

* Corresponding author: Gmamume10101@gmail.com

摘要

過濾法具有價格低廉、設置空間小等優點，纖維過濾器結構簡單、成本低。傳統纖維濾材其纖維尺寸與孔徑大小直徑過大，且堆積密度難以控制。而奈米纖維具大表面積、小孔徑和高孔隙率等特點。靜電紡絲技術可得次微米到奈米尺寸的纖維，且操作簡單、易進行各種材質纖維製作，方便組裝、更換，電紡技術所製奈米纖維易攔截次微米到奈米微粒。

本研究為製作最佳效能纖維，藉由不同參數(紡絲時間、電壓、轉速)進行製作，經由過濾測試可得最佳化纖維。對隨機纖維而言，當紡絲時間為 0.5 小時、電壓為 30kV、轉速為 250rpm 時，其過濾效率約為 83 %，於面速度為 1.0 cm/s 時之壓損約為 1.96 Pa，過濾品質可達到 0.967 Pa^{-1} 。為探討不同形態人造纖維(含交叉與徑向)與添加不同鹽類對各種粒徑微粒之過濾性能，本研究使用銅線來誘導奈米纖維呈現規律地排列，並製造出高度排列方向一致之奈米纖維，含鹽類隨機纖維的過濾效率約為 86 %，於面速度為 1.0 cm/s 時之壓損約為 2.94 Pa，過濾品質約為 0.383 Pa^{-1} ，含鹽類纖維較無添加鹽類纖維過濾品質低。另含鹽類徑向纖維的過濾效率約為 99.6 %，於面速度為 1.0 m/s 時之壓損約為 32.4 Pa，過濾品質為 0.170 Pa^{-1} 。即添加鹽類雖增加過濾效率，但易增加過濾壓損，導致過濾品質下降。

關鍵詞：靜電紡絲、纖維排列方式、鹽類、Nylon 6、微粒處理

一、前言

現代工商業蓬勃的發展，除帶動國家經濟與生活水平外，也造成對環境的衝擊，生活水平的提升，使人們對環境之需求也提高，如何兼顧經濟發展並減少環境之衝擊，為一重大議題[1]。粒狀污染物(particulate matter)為空氣污染中主要污染物之一，其生成與人類活動有著密不可分的關係[2]。由於人為活動與奈米科技應用的增加，人們暴露於奈米及次微米微粒的機會隨之增加，近來已有許多研究開始注重在奈米級微粒的過濾。現今流行病學的研究已指出空氣污染與呼吸，心血管疾病和肺癌等慢性病的正相關，奈米微粒能夠直接進入肺泡並被巨噬細胞吞噬，永遠停留在肺泡裏，對呼吸系統、心血管、神經系統等都會影響。若顆粒通過支氣管和肺泡進入血液，其中的有害氣體、重金屬等溶解在血液中，對人體健康的傷害更大[3]。

由於生活中細微粒(如 $PM_{2.5}$ 與 PM_{10})特別多，對人體有多種危害，因此製作性能高及微粒過濾效果佳的靜電紡絲濾材頗為重要，以利解決傳統靜電紡絲結構不佳與壓損偏高的問題。纖維形態不同又有不同功能(如徑向對齊與交叉形式)的奈米纖維，以利評估纖維型態對微粒去除效率之影響。另 Zhao 等人(2016)研究結果得知[4]，添加鹽類有助於增加奈米纖維對微粒的去除效率，因此本研究為提升對微粒處理效能，乃添加各種鹽類至 Nylon 6 奈米纖維中，並瞭解纖維過濾品質(含過濾效率與壓損)。

目前文獻中多半探討以隨機形式的奈米纖維處理微粒以淨化空氣品質[5]，但其奈米纖維壓損過高，難應用於個人防護器具(如口罩、空氣清淨機)，為降低壓損與提升過濾效率，本研究乃利用靜電紡絲技術製備含鹽類之交叉隨機和徑向排列 Nylon 6 纖維，並比較其過濾品質(含過濾效率與壓損)，探討添加鹽類後對微粒處理效能之提升機制，茲將擬研究主題條列如下。

1. 製作不同鹽類比例 Nylon 6 纖維材料，並處理微粒之各種材料最佳比例。
2. 量測纖維濾材之壓力損失與穿透效率，且評估濾材過濾品質。
3. 進行各種靜電紡絲操作參數(如濃度、進料速率、電壓、轉速、微粒粒徑)對微粒處理性能評估，並建立處理微粒最佳操作條件。
4. 藉由各種影響因素(如鹽類與纖維形式)下性能評估，求出處理微粒最佳操作條件。

二、實驗方法

1. 實驗設計

研究方法含靜電紡絲纖維材料的製備、纖維材料基本性質分析、纖維濾材表面電壓量測、纖維濾材穿透率之量測、纖維濾材之單纖維效率與過濾品質計算，試驗條件如表 1 與表 2 所示，實驗流程如圖 1 所示。

2. 纖維材料選用

本研究所使用的尼龍六購買自美國 Sigma-Aldrich 公司，藥品為分析級，無需要再純化。Nylon 6 因其熔點較低且價格較易入手，且技術上操作溫度範圍很寬，抗衝擊性和抗溶解性強，其機械特性，可藉由加入各種各樣的改性劑而提升。使用 Nylon 6 可達到

半透明效果雖具吸濕氣且不耐溫等缺點但也具有優良的耐磨性、電絕緣性能好、凝固時間較短等特點。

3. 紡絲溶劑選擇

本研究所使用的之溶劑為分析級甲酸(CH_2O_2)，購買自美國 Acros 公司，無需要再純化。為了達到最佳過濾效率以及過濾品質，靜電紡絲製備的纖維直徑是極為重要，纖維直徑隨電紡所用聚合物/溶劑溶液的不同而不同，三個主要的溶液屬性可能會驅動這種纖維直徑的差異：溶液黏度、溶劑介電常數和溶液導電率。較高的黏度溶液通常會產生較厚的纖維，而較高的電導率和較高的溶劑介電常數會導致較小的纖維直徑[6]。由於甲酸具有較高的電導率和較高的溶劑介電常數，故本研究以甲酸作為紡絲溶劑。

4. 纖維型態之參數設定與優缺點比較

本研究選擇兩種型態(交叉隨機徑向排列)纖維進行比較對微粒捕集之穿透率、壓損與過濾品質，其優缺點如表 3 所示。

表 1 材料製作試驗條件

參數	說明
Fiber arrangement	Random, alignment
Voltage (kV)	10, 15, 20, 25, 30
Speed (rpm)	250, 500, 800, 1000rpm
Spinning time (hr)	0.5, 1, 2, 4, 6, 8, 10
Distance between copper wires (cm)	1, 0.5, 0.2
Copper wire thickness (mm)	0.8 (Low), 1.0 (High)

表 2 性能評估試驗條件

參數	說明
Fiber type	N6, NaCl, KCl, LiCl, Na_2SO_3
Solution preparation	10, 15, 20%

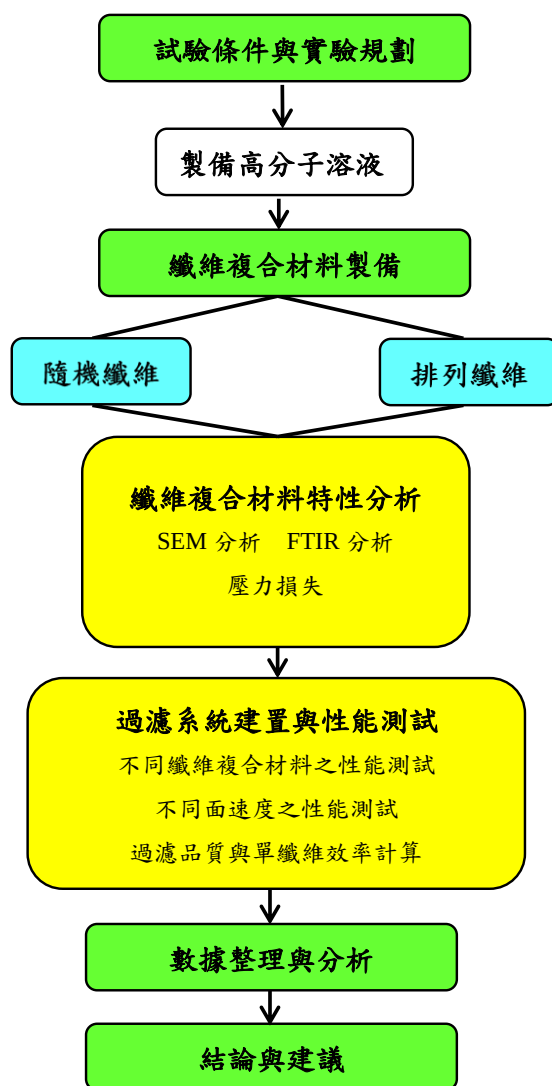


圖 1 實驗流程圖

表 3 交叉隨機與徑向排列纖維優缺點

纖維型態	交叉隨機	徑向排列
優點	1. 製作方法較容易 2. 無需其他材料即可製作 3. 實驗設計較容易	1. 奈米纖維排列角度可排列 2. 對於污染物攔截較可控制 3. 可圖像化 4. 可用於生物醫學
缺點	1. 纖維角度不易觀察 2. 纖維收集較無規律 3. 不易控制過濾污染物結果	1. 製作方法較困難 2. 需其他材料才可製作 3. 紡絲參數設定不易

5. 複合材料製備方法

本研究已製備紡絲聚合物溶液，並製備含鹽類之隨機纖維墊片，如圖 2 及圖 3 所示。為了使製備出的纖維具有足夠的機械強度，方便於實驗中測試，本研究將聚對苯二甲酸乙二酯(Polyethylene terephthalate, PET)、紡粘不織布(Nylon Spunbond)，如圖 4 所示，作為基材放置於滾筒收集器上，將靜電紡絲製程產生之纖維直接紡在 PET 基材上，放置於乾燥箱保存 24 hr 後再疊合上一層 PET 基材，形成夾層之結構，其複合材料示意圖如圖 5 所示，再以護貝機於 60°C 下進行熱壓，即完成不織布纖維複合材料製作，其製備流程如圖 6 所示。



圖 2 紡絲溶液製備流程圖

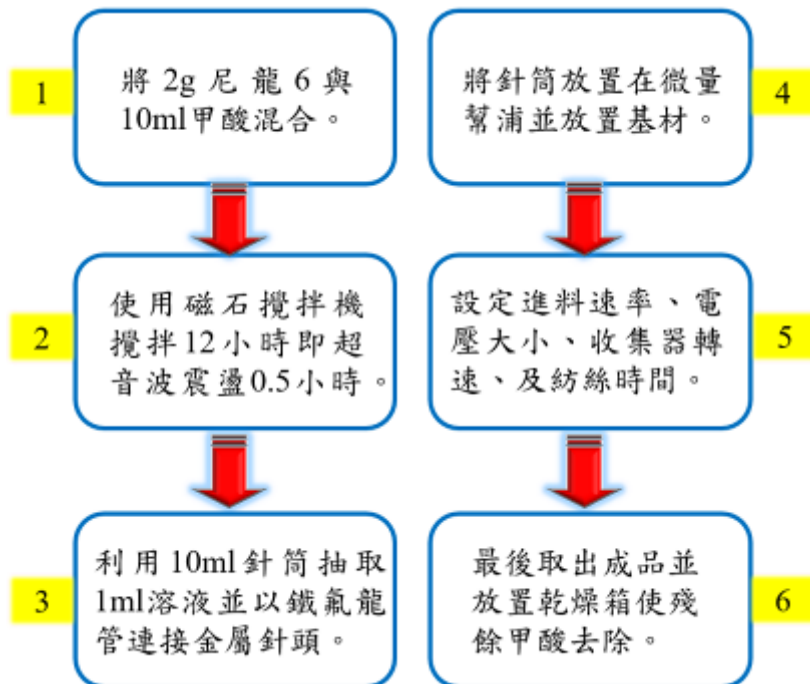


圖 3 製備纖維墊片流程圖

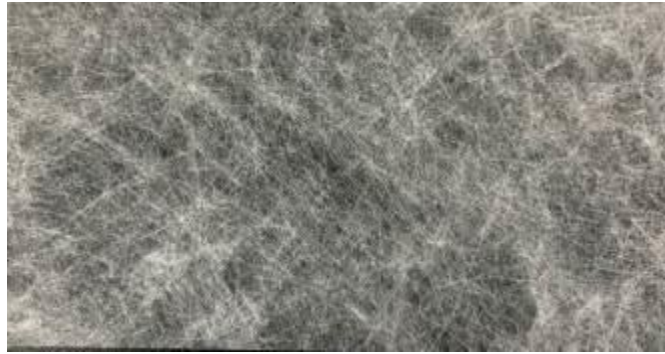


圖 4 PET 不織布基材

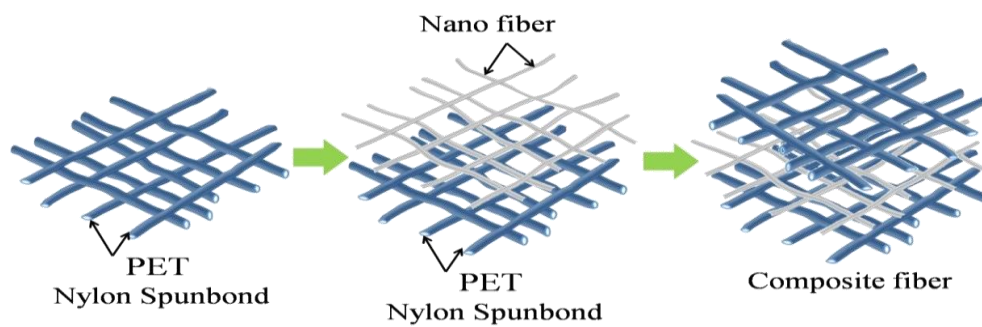


圖 5 複合材料結構示意圖



圖 6 複合材料示意圖

6.靜電紡絲機制

靜電紡絲最基本之四項設備微量幫浦、高壓電供應器、金屬針頭以及金屬收集器，如圖 7 所示，藉由高壓電供應導致金屬針頭前端帶正電，此時紡絲溶液藉由推進幫浦推進至金屬針頭形成液滴，由於液滴受到表面張力及電排斥力影響，導致液滴呈現泰勒錐 (Taylor)。當液滴的電排斥力作用大於表面張力時，溶液便會進入電場拉伸，最後溶劑蒸發並被帶負電之金屬收集器收集纖維。

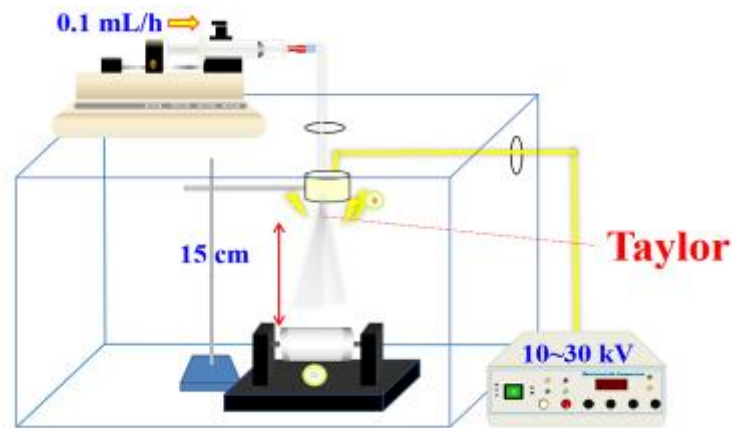


圖 7 靜電紡絲纖維製備示意圖

7.過濾品質計算

過濾品質能直接反應出濾材的過濾性能好壞，計算式如公式(1)所示；然而，除了穿透率外，同時也必須考量濾材的空氣阻抗，即為壓力損失。降低穿透率易導致壓力損失急遽的增加，並影響能源損耗提高，無法應用濾材至實場環境中。因此，為同時考量穿透率與壓力損失，乃使用過濾品質(Quality factor, Q_f) 能更適當地評估濾材的性能，如公式(2)所示。

$$P = \frac{C_{out}}{C_{in}} \times 100\% \quad (1)$$

其中：

P：穿透率

C_{out} ：排氣之微粒數量濃度

C_{in} ：進氣之微粒數量濃度

$$Q_f = \frac{-\ln(P)}{\Delta p} \quad (2)$$

其中：

Q_f ：濾材之過濾品質

Δp ：濾材測試之壓力損失

8.過濾性能測試

本研究以不鏽鋼夾固定濾材，接著通入微粒產生系統所產生之微粒，並使用寬範圍顆粒粒徑分析儀(Wide-range Particle size Spectrometer, WPS, 1000XP, MSP Inc.)測量過濾前後之 10 - 500 nm 範圍內的微粒數量濃度，同時使用壓差計連接在進氣與出氣端量測濾材壓力損失。使用濾材面積約為 16 cm²，在相同實驗條件下，每種濾材進行 3 重複過濾測試，且每一測試將循環 3 次，共計九組數據，最後取其平均值與標準偏差來表示，

過濾性能測試系統如圖 8 所示。

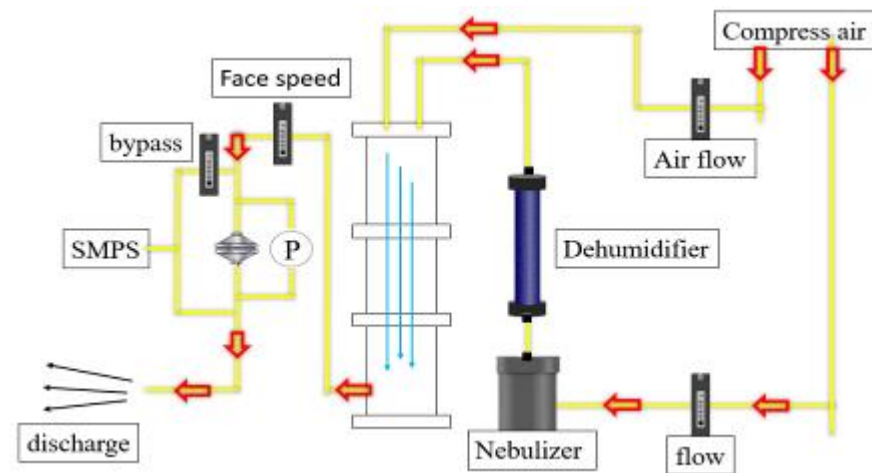


圖 8 過濾性能測試系統

本研究的模擬污染物為 1M NaCl 水溶液，藉由霧化器將 NaCl 水溶液霧化成細小微粒當作過濾測試時的模擬污染物，圖 9 為本次測試過濾分析所模擬的污染物微粒粒徑分布圖。

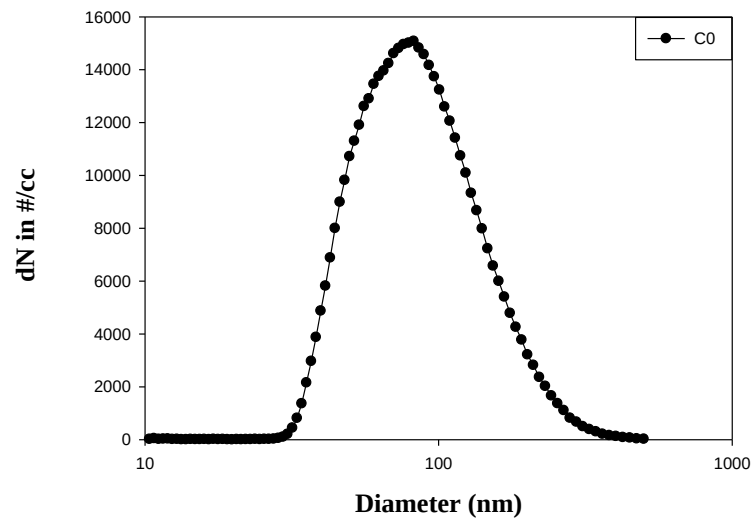


圖 9 霧化 1M NaCl 溶液的污染物微粒數量

三、結果與討論

1.特性分析

(1) SEM 分析

本研究藉由不同直徑的銅線與銅線間的距離增強纖維誘導率所產生的徑向型態纖維，如圖 10 所示，雖可以成功製備出徑向纖維，由 SEM 圖看出纖維徑向性尚不穩定。當製備徑向纖維需要有高轉速(13–15 m/s)馬達，並且通常需要達到每秒 3000 轉，因此成本較高，但本研究利用較低成本之方法製備出徑向纖維。為了增加溶液導電率，本研究添加不同鹽類混合，圖 11 為添加 NaCl 鹽類之隨機型態纖維，可得知鹽類分子確實附載在尼龍 6 纖維中。

本研究中已成功製作出徑向排列及交叉隨機纖維，且經由隨機量測 30 根纖維可得知兩者纖維直徑平均為 0.1 - 0.3 μm ，本研究所製備出的奈米纖維直徑略小於 Ewaldz 等人 (2018) 研究結果，該研究所製得 PVP 纖維的平均直徑為 $1.60 \pm 0.26 \mu\text{m}$ ，PS 纖維為 $0.81 \pm 0.27 \mu\text{m}$ ，PMMA 纖維為 $1.5 \pm 0.30 \mu\text{m}$ ，尼龍纖維為 $0.24 \pm 0.06 \mu\text{m}$ [6]。

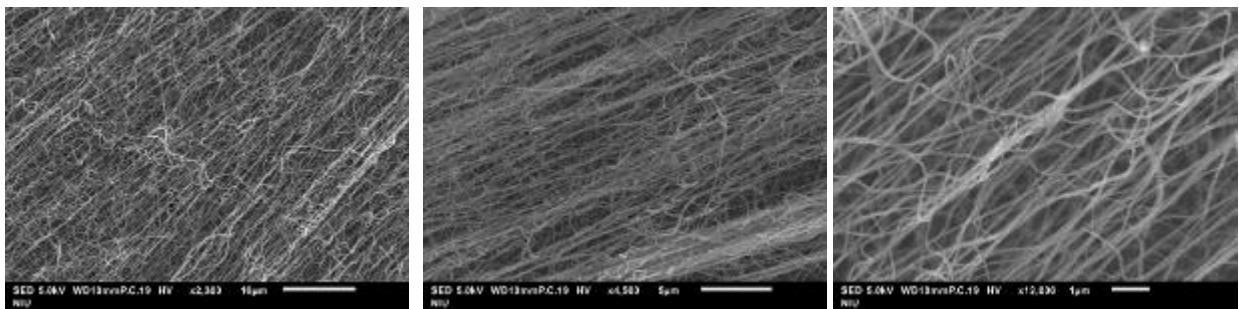


圖 10 徑向排列奈米纖維之 SEM 圖

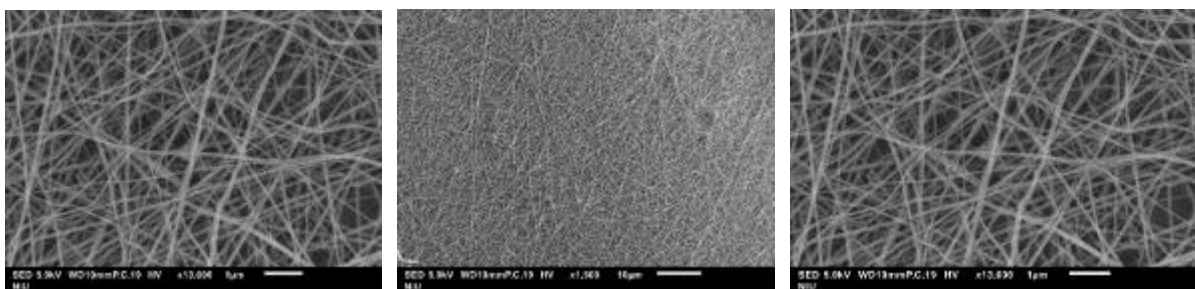


圖 11 一般隨機奈米纖維之 SEM 圖

(2) EDS 分析

本研究為了更加確定鹽類分子有成功與尼龍 6 均勻混合，且進行 EDS mapping 分析。如圖 12 及圖 13 所示，可得知除了尼龍 6 材料本身含有的 C、N、O 元素外，在纖

維上亦可偵測到 Na 及 Cl 元素，證實鹽類分子的確有成功和紡絲溶液均勻混合。

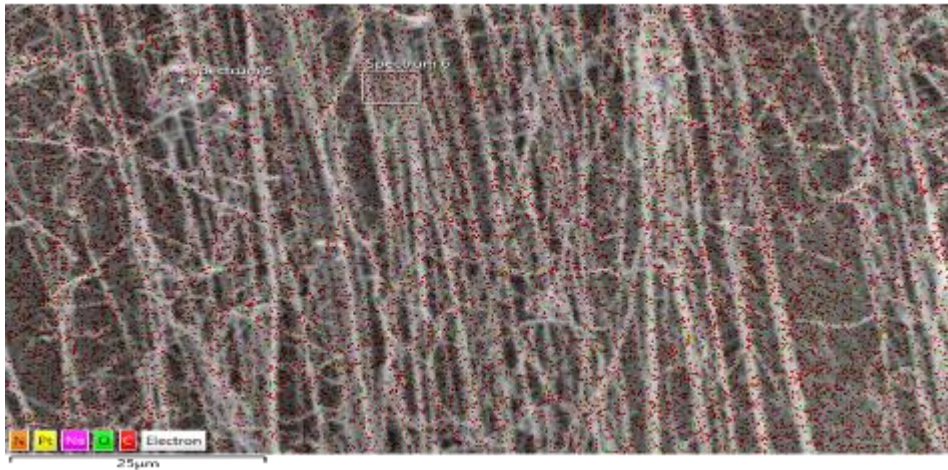


圖 12 20%尼龍 6 與 NaCl 在 20kV 電壓和 1000rpm 轉速下的 EDS 圖

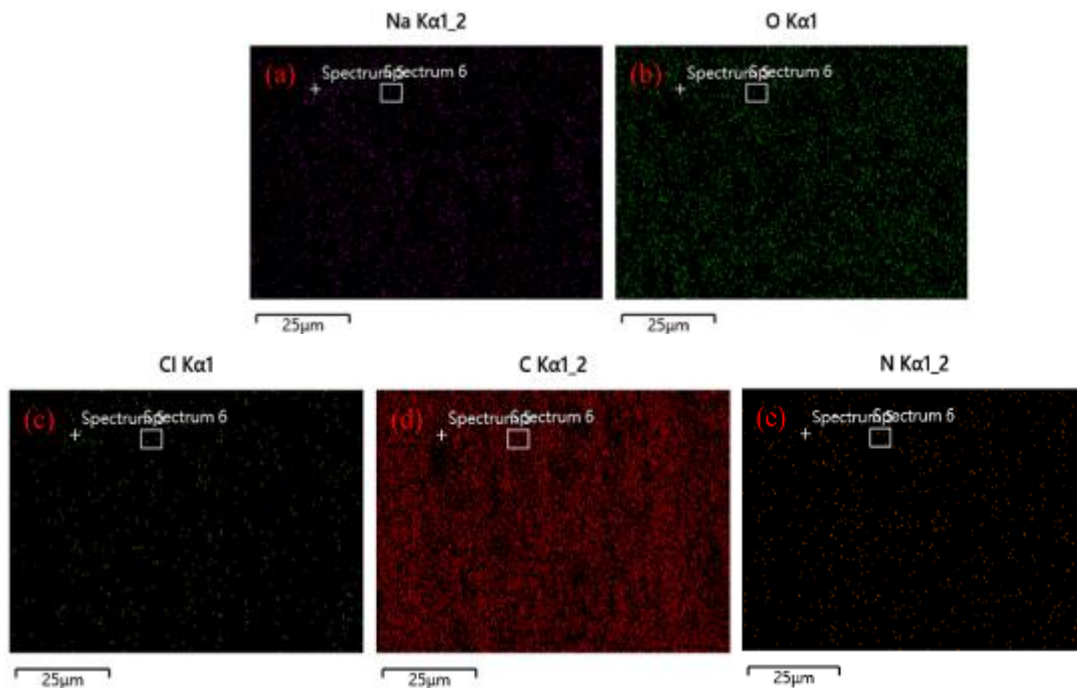


圖 13 含 NaCl 鹽類纖維之元素分布圖(a) Na (b) O (c) Cl (d) C (e) N

(3) FT-IR 分析

本研究除了添加鹽類分子以增強溶液導電率之外，亦有嘗試添加活性碳粉末於高分子紡絲溶液中並進行靜電紡絲，為了使本研究所製備出的奈米纖維除了具備過濾效果之外，結合活性碳粉末以具備吸附功能，外來可用於處理揮發性有機物 VOCs 如丙酮氣體等工廠及環境污染物。由圖 14 可發現在 1380 及 1460cm^{-1} 偵測到活性碳的 C-C 及 C-O 鍵，證實活性碳有成功附載到纖維上。

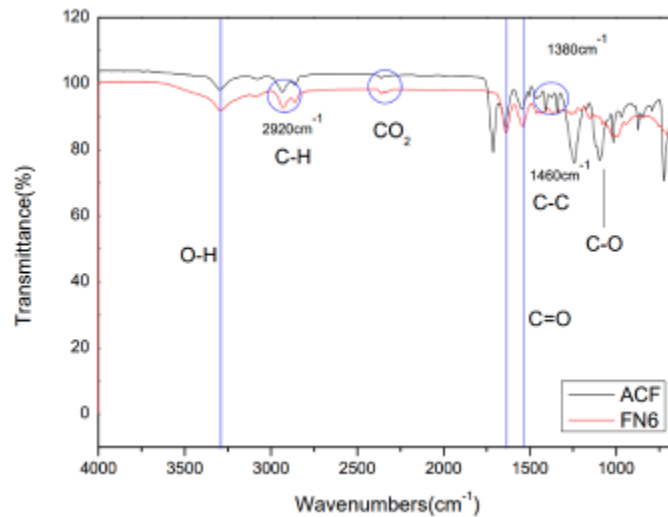


圖 14 尼龍 6 纖維以及含活性碳纖維之 FT-IR

2.不同轉速與時間之過濾性能測試

本研究利用不同電壓、收集器轉速及紡絲時間進行不同參數的靜電紡絲，再利用各參數所製備出的纖維進行過濾測試，並計算其纖維濾材穿透率、過濾效率、纖維複合濾材壓損以及過濾品質進行性能比較，如圖 15 所示。

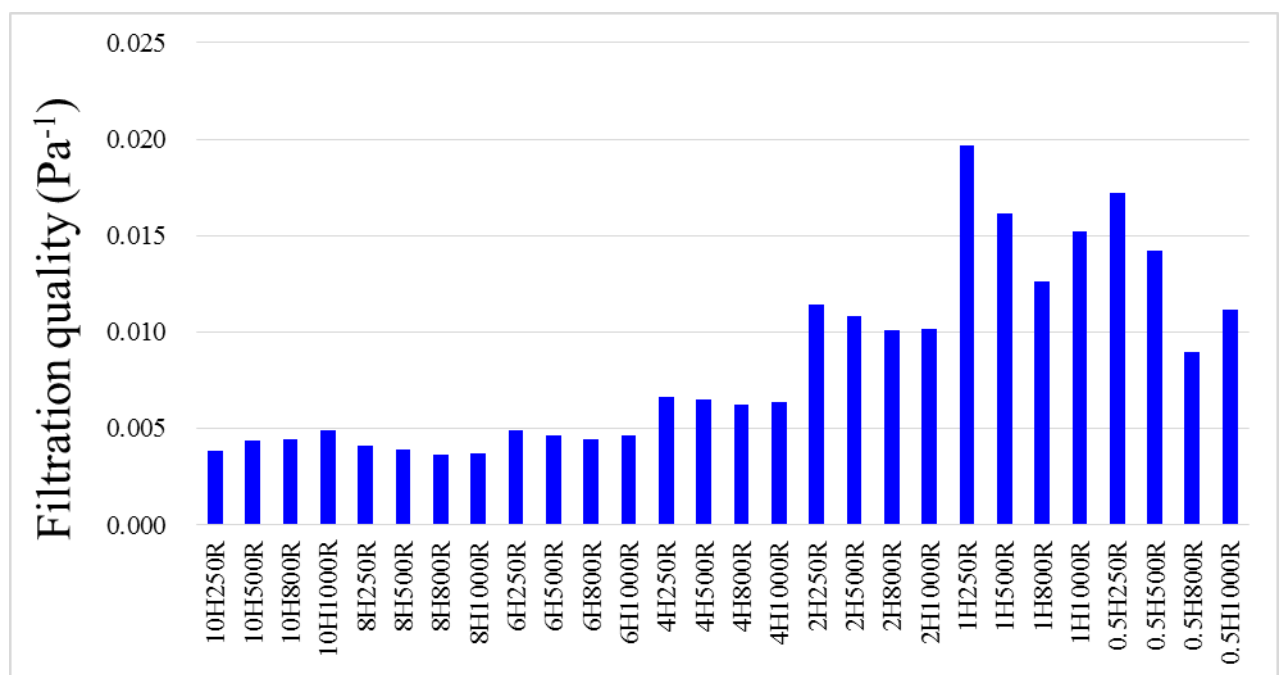


圖 1 不同參數下纖維過濾品質

3.不同電壓之過濾性能測試

藉由本研究可得知優化的收集器轉速與紡絲時間，利用最佳化參數來進行不同電壓

大小對靜電紡絲濾材的過濾性能影響進行評估。圖 16 為 10、15、20、25 與 30kV 不同電壓所製備的濾材的穿透率測試的結果，平均穿透率個別為 35、29、33、19 與 17%，可發現當施加電壓越高，微粒的穿透率降低。當施加電壓越高來進行電紡時，藉由加強電排斥力而造成更細小的纖維直徑，使濾材纖維密集且空隙變少，因此攔截粒狀污染物的效率上升。

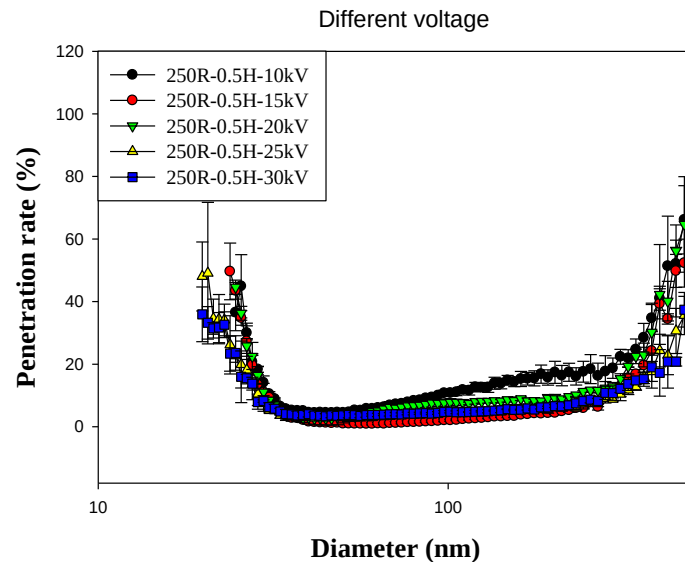


圖 2 不同電壓下纖維穿透率

藉由本研究可得知收集器轉速 250 rpm、紡絲時間 0.5 小時與電壓 30 kV 等最佳化參數後，利用優化參數製備濾材，並進行性能評估。當電壓為 30 kV 時，纖維直徑小，因此造成纖維壓力損失較小。藉由纖維濾材穿透率與壓力損失可計算其過濾品質，由圖 17 可得知，當電壓為 30 kV 時，纖維直徑小，造成微粒穿透率低與壓損較小，纖維過濾品質上升，過濾品質可達到 0.967 Pa^{-1} 。

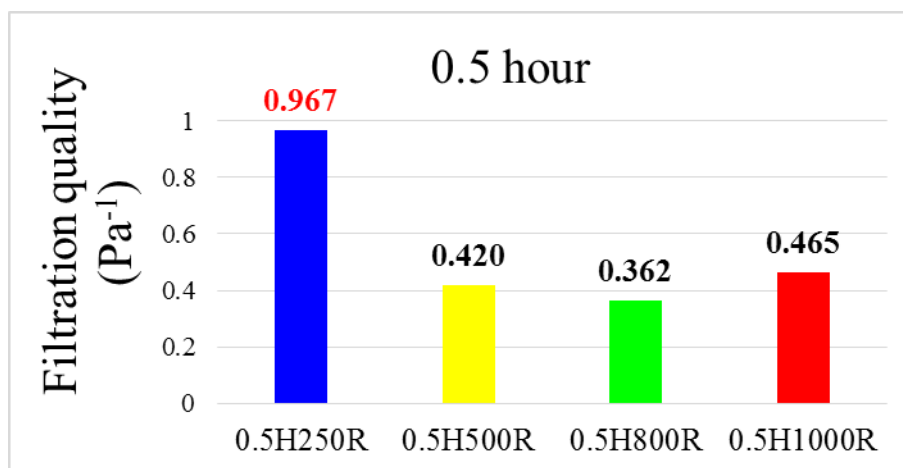


圖 17 30kV 電壓下纖維過濾品質

4.含鹽類對不同型態纖維之過濾性能影響

(1) 含鹽類隨機纖維性能評估

為了瞭解添加鹽類對不同型態纖維的影響，本研究將不同鹽類添加到紡絲溶液中並利用最佳化參數進行靜電紡絲，圖 18 為不同鹽類纖維的壓損評估，可發現當添加鹽類時，有助於提升溶液導電率以及纖維電排斥力，造成壓損較無添加鹽類的纖維低，其中碳酸鈉有最低壓損 2.94 Pa，這可能是因為相較於其他鹽類來看，碳酸鈉鹽類的分子大小較小，因此纖維空隙減少，且壓損降低。

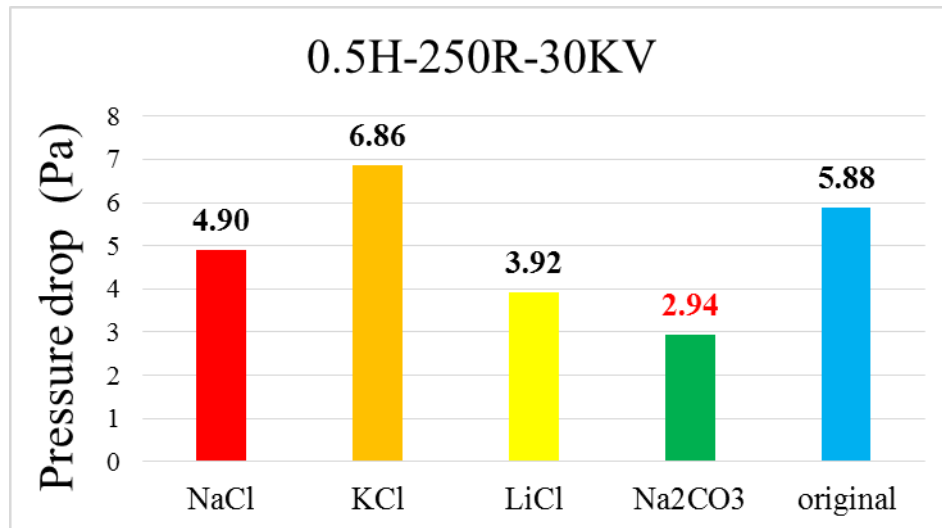


圖 18 含不同鹽類的隨機纖維壓損

(2) 含鹽類徑向纖維性能評估

本研究亦對含鹽類的徑向纖維進行探討，由圖 19 可得知，當添加鹽類後，由於纖維的溶液導電率與電排斥力提升，使纖維直徑變小，即纖維間的空隙被更多鹽類分子與小直徑纖維填入，造成微粒穿透率降低與壓損降低，導致微粒攔截效率與過濾品質提升。

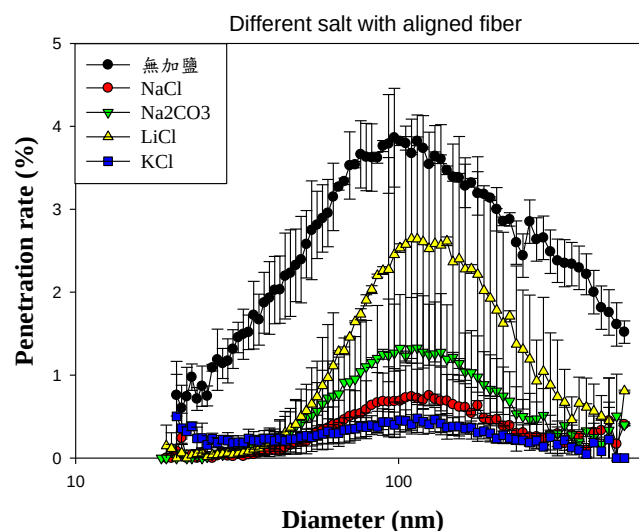


圖 19 含不同鹽類的徑向纖維穿透率

四、結論

- 1.成功製備出最佳化參數的奈米纖維，並且成功利用低成本方法製備出徑向纖維進行含鹽類纖維不同型態之製備。
- 2.SEM 分析結果顯示徑向纖維的成功製備，且觀察到徑向及隨機纖維直徑平均為 0.1 - 0.3 μm ，且均成功附載鹽類分子。
- 3.EDS 分析結果顯示除了尼龍 6 材料本身含有的 C、N、O 元素外，因添加鹽類纖維元素亦含有 Na 及 Cl 元素，證實鹽類分子成功和紡絲溶液均勻混合。
- 4.本研究成功製備出最佳化參數纖維，對隨機纖維而言，當轉速為 250 rpm 時，纖維被收集器平均收集，當轉速過快則會造成纖維不均勻分布，使壓損增加。
- 5.藉由銅線的誘導力成功製備出徑向纖維，當轉速過慢纖維容易沉積於收集器，故最佳轉速為 1000 rpm，可使徑向纖維均勻分布於收集器。
- 6.當電壓為 30 kV 時纖維直徑小，由於電排斥力增強，造成微粒穿透率低與壓損較小，纖維過濾品質上升，過濾品質可達到 0.967 Pa^{-1} 。
- 7.進行含鹽類纖維的過濾性能評估，發現添加鹽類有助於去除微粒的效率，相較於未添加鹽類的纖維的過濾效率為 97.5%，含鹽類纖維的過濾效率高達 99.6%。
- 8.添加鹽類時，有助於提升溶液導電率以及纖維電排斥力，造成壓損較無添加鹽類的纖維低，其中 Na_2CO_3 有最低壓損 2.94 Pa，過濾品質達到 0.383 Pa^{-1} 。
- 9.對徑向纖維而言，含 NaCl 鹽類的纖維壓損最低，因為 NaCl 具有更小的分子大小，這能助於降低纖維間的壓損，並提高過濾品質達到 0.170 Pa^{-1} 。

參考文獻

- [1] Mazaheri, M., Clifford, S., Jayaratne, R., Megat Mokhtar, M. A., Fuoco, F., Buonanno, G., & Morawska, L. (2014). School children's personal exposure to ultrafine particles in the urban environment. *Environmental Science and Technology*, 48(1), 113–120.
- [2] Clarke, K., Kwon, H. O., & Choi, S. D. (2014). Fast and reliable source identification of criteria air pollutants in an industrial city. *Atmospheric Environment*, 95, 239-248.
- [3] Dimitriou, K., Paschalidou, A. K., & Kassomenos, P. A. (2013). Assessing air quality with regards to its effect on human health in the European Union through air quality indices. *Ecological Indicators*, 27, 108-115.
- [4] Zhao, X., Wang, S., Yin, X., Yu, J., & Ding, B. (2016). Slip-Effect functional air filter for efficient purification of $\text{PM}_{2.5}$. *Scientific Reports*, 6(1), 1–11.
- [5] Sambaer, W., Zatloukal, M., & Kimmer, D. (2012). 3D air filtration modeling for nanofiber based filters in the ultrafine particle size range, *Chemical Engineering Science*, 82, 299-311.
- [6] Ewaldz, E., Patel, R., Banerjee, M., & Brettmann, B. K. (2018). Material selection in electrospinning microparticles. *Polymer*, 153, 529–537.

採用紙廠無機副產物與無機聚合技術開發冷壓型普通磚之可行性研究

Feasibility of Utilizing Inorganic Papermaking By-products and Geopolymer Technique to Develop Cold-pressing Commons Bricks

蔡志達^{1*} 李昂軒²

Chih-Ta Tsai^{1*} Ang-Hsuan Lee²

1. 國立成功大學永續環境實驗所 副研究員
Associate Research Fellow, Sustainable Environment Research Laboratories,
National Cheng Kung University

2. 中華紙漿股份有限公司 專案經理
Project Manager, Chung Hwa Pulp Corporation

* Corresponding author: chihta.tsai@gmail.com

摘要

漿紙產業製程中將產出黑液（木質素）、木屑、廢紙渣、水資源處理之無機、有機污泥等副產物或再生資材，透過回收再利用賦予它們嶄新價值，從生命週期循環的角度而言，這是一個取之於自然，終歸於自然的過程，同時形成一個創造循環經濟的市場。華紙公司主要無機副產物產出比例大致為綠泥：飛灰：底渣=7：6：1，目前業已成功透過冷壓資源化技術將上述無機副產物開發作為水泥系建材（再生粗粒料與符合 CNS 382 性能要求的普通磚）。無機聚合材料為類似沸石的一種三維架構鋁矽酸鹽材料，其基本組成原料取得容易，凡是富含鈣、矽、鋁元素之礦物及廢棄物皆可作為無機聚合材料之原料，且製程與設備簡單，於常溫環境下即可進行反應，並具備相當優良的性能，因此相當有潛力成為新一代綠色材料。因此本研究主要係採用無機聚合技術，將上述富含鈣、矽、鋁元素之紙廠無機副產物，進行資源化作為冷壓型普通磚的可行性研究。其中製磚用之無機聚合材料配比係採用經再演繹後的緻密配比邏輯所設計，於骨材系統中：採用之綠泥填塞飛灰的比例（ α ）=0.50；綠泥與飛灰混合料填塞底渣的比例（ β ）=0.80。於漿體系統中：選擇之液灰比（L/S）為 0.60，其中飛灰：綠泥=1：9；鹼液 NaOH 濃度為 10M； $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ 為 1.28； $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 為 50。所開發之無機聚合冷壓型普通磚中綠泥、飛灰、底渣等紙廠無機副產物再生資材可達 100%，而綠建材評定基準中普通磚僅要求：「回收材料乾重比率 40 %以上」。普通磚性能測試結果顯示，其抗壓強度隨齡期持續成長，於齡期 28 天時，抗壓強度可滿足 3 種磚之性能要求；於齡期 365 天時，抗壓強度可滿足 2 種磚之性能要求。此亦表示本研究採用紙廠無機副產物與無機聚合技術開發冷壓型普通磚應屬可行，如此不僅可達成紙廠無機副產物零污染、零掩埋之目標，亦朝「零廢棄全回收資源循環社會」之願景邁進。

關鍵詞：漿紙產業、冷壓資源化技術、普通磚、無機聚合材料、紙廠無機副產物

壹、前言

造紙產業邁向永續經營的優勢，在於紙與大自然的高度親和力，可以循環不息的一再利用。華紙公司關注資源循環再利用的發展，致力於材料生命週期的循環運用，來減少對天然資源的需求。以一棵樹木創造的循環經濟：努力尋求各種方法將木頭中的纖維衍生出跨足許多產業的產品和應用，並以搖籃到搖籃的思維模式研發，為這些來自漿紙產業製程的副產物創造出嶄新的價值^[1]。造紙原料的木材是固定二氧化碳最佳捕手，紙張纖維透過回收再造可重複使用；製程中的副產物容易回收再利用，或資源化成為新產品，紙廠副產物主要分為二類：有機質經過回收再利用可做作為生質燃料與肥料；無機副產物富含鈣、矽、鋁元素，與水泥的成份近似，適合發展作為綠色建材。華紙公司主要無機副產物產出比例大致為綠泥：飛灰：底渣=7：6：1，目前業已成功透過冷壓資源化技術將上述無機副產物開發作為水泥系建材（再生粗粒料^[2]與符合CNS 382性能要求的普通磚^[3]），如圖1所示。



(a) 再生粗粒料



(b) 普通磚

圖 1 水泥系紙廠無機副產物冷壓型綠色建材

無機聚合材料（Geopolymer）最早是由法國科學家Davidovits在1979年所提出，為一種三維架狀的鋁矽酸鹽物質，其結構為矽氧四面體（ SiO_4 ）與鋁氧四面體（ AlO_4 ），共用氧原子相互鍵結形成Si-O-Al之封閉的架狀結構^[4-5]，為類似沸石（Zeolite）的一種三維架構鋁矽酸鹽材料，故具備優良的力學、防火絕熱、耐酸鹼、抗硫防蝕等性質。其與水泥系材料最大不同是：水泥系材料乃透過水泥水化生成水化產物進而硬固；無機聚合材料則係屬化學鍵結（共價鍵）。無機聚合材料主要為非晶質（Amorphous）或半晶質（semi-crystalline）之物質，此材料在合成的過程中，通常使用鋁矽酸鹽原料（變高嶺土、燃煤飛灰或水淬高爐爐石粉）藉由鹼金屬氫氧化物水溶液或鹼金屬矽酸鹽水溶液使顆粒表面之鈣、矽、鋁離子溶出，形成鋁矽酸鹽聚合膠體，最後再與未反應之固體顆粒進行縮聚作用後，固化形成無機聚合材料，此反應可在常溫下進行^[6]。無機聚合材料之原料選用之範圍相當廣泛，凡是富含鈣、矽、鋁元素之礦物、工業副產物，及廢棄物皆可，惟這些添加物在鹼性溶液中需有良好之溶解度。無機聚合材料之添加物可分為3大類，分別為：(1) 鹼性溶液：以鹼金屬氫氧化物與矽酸鈉溶液為主，其用途主要係將

顆粒表面之鈣、矽、鋁離子溶出，並提供Si作為膠結劑（Binders）；(2) 惰性添加物（Inactive Filler）：惰性添加物主要是選用富含可溶性矽及鋁鹽類之礦物或廢棄物粉末，例如：石英、高嶺土、礦山廢料或廢棄污泥等；(3) 活性添加物（Active Filler）：主要採用如變高嶺土、燃煤飛灰、水淬高爐爐渣粉、廢玻璃等具有活性之添加物，其目的在於加強固結作用。由於無機聚合材料基本組成原料取得容易，凡是富含鈣、矽、鋁元素之礦物、工業副產物，及廢棄物皆可作為無機聚合材料之原料，且製程與設備簡單，於常溫環境下即可進行反應，並具備相當優良的性能，因此相當有潛力成為新一代綠色材料。因此本研究期望透過無機聚合技術，將富含鈣、矽、鋁元素之紙廠無機副產物，進行資源化作為冷壓型普通磚，未來甚至可憑藉無機聚合材料的優良性能，將紙廠無機副產物開發成為更高值化的綠色建材，如此不僅可達成紙廠無機副產物零污染、零掩埋之目標，亦朝「零廢棄全回收資源循環社會」之願景邁進。

貳、實驗方法

2-1 實驗材料

1. 鹼性溶液（鹼液）：購自由國立臺北科技大學鄭大偉特聘教授研究團隊所技術移轉之欣得實業股份有限公司，NaOH 濃度為 10M； $\text{SiO}_2/\text{Na}_2\text{O}$ 為 1.28； $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ 為 50，其比重約為 1.35。
2. 綠泥：係漿紙產業製漿程序中的白液（主要成份為氫氧化鈉與硫化鈉）添加於蒸解釜中蒸解木片，蒸煮後由木材溶出黑液，透過回收鍋爐燃燒發電後（見圖 2），剩餘熔融物的無機物，成份主要為碳酸鈉、硫化鈉，並含有少量的氫氧化鈉和硫酸鈉等。溶解在水中可用石灰苛化，回收氫氧化鈉。因成分中有少量的氫氧化鐵，呈墨綠色，故稱為綠液。綠液回收至水消機與石灰進行苛性化反應後，而綠液中顆粒部分經洗滌、沉澱後的墨綠色底泥，再與石灰廢渣經壓濾脫水後（含水率約 50-55 %）所產出之紙廠無機副產物，簡稱為綠泥，如圖 3 所示。本研究中綠泥同時扮演二種角色，除於骨材系統中當作填充材與飛灰填塞底渣的空隙外，於漿體系統中亦視為膠結材料。綠泥比重約為 2.44，由組成成分 XRF（見表 1）與 XRD（見圖 4-(a)）分析結果顯示，綠泥主要成分為 CaCO_3 。

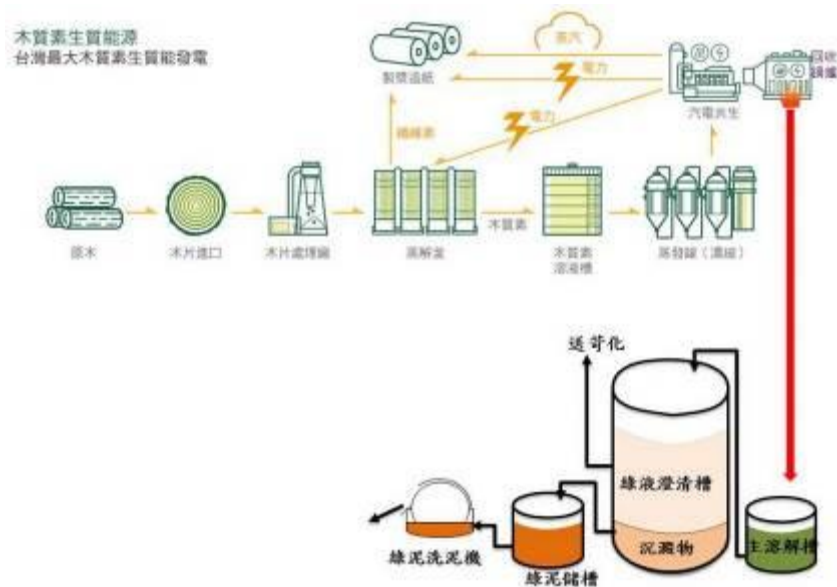


圖 2 綠泥之產出製程



(a) 壓濾後



(b) 烘乾後



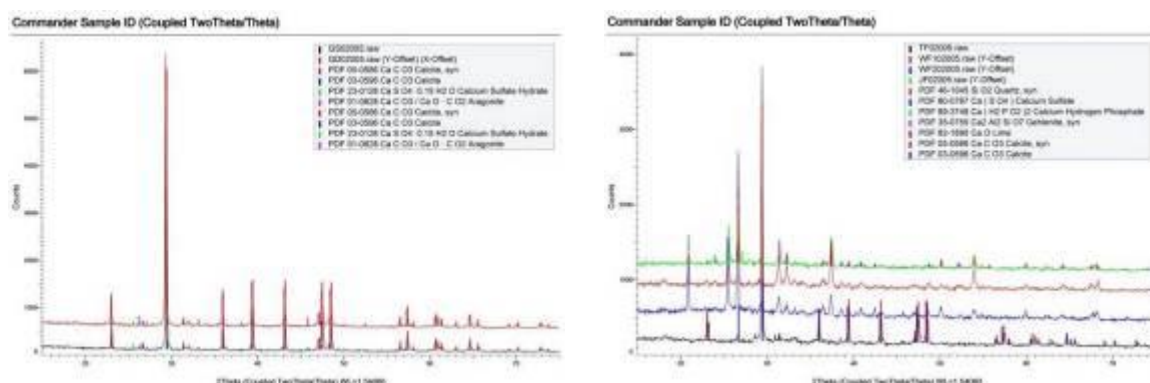
(c) 烘乾破碎後

圖 3 綠泥照片

表 1 紙廠無機副產物 XRF 分析結果

元素	綠泥	飛灰	底渣	元素	綠泥	飛灰	底渣	元素	綠泥	飛灰	底渣
Mg	46042	ND	ND	Fe	9700	30153	36979	Nb	ND	8	10
Al	2173	45041	25236	Co	ND	ND	558	Mo	ND	ND	ND
Si	8965	28049	46441	Ni	ND	ND	ND	Ag	ND	ND	ND
P	2909	1512	1571	Cu	ND	309	190	Cd	ND	ND	ND
S	4218	2942	5555	Zn	118	647	325	Sn	ND	34	35
Cl	ND	5037	5545	As	ND	53	ND	Sb	ND	ND	ND
Ca	348440	297551	176980	Se	ND	ND	ND	Ba	364	782	474
Ti	ND	ND	5252	Rb	ND	22	46	Ce	392	ND	ND
V	ND	ND	ND	Sr	891	286	275	W	ND	ND	ND
Cr	ND	ND	ND	Y	ND	ND	21	Hg	ND	ND	ND
Mn	ND	ND	ND	Zr	ND	355	122	Pb	ND	53	ND

註：元素濃度(PPM)



(a) 綠泥

(b) 華紙公司台東廠飛灰

圖 4 華紙公司綠泥與台東廠飛灰 XRD 分析結果

3. 飛灰：採用華紙公司台東廠流體化床鍋爐所衍生之無機副產物。為配合減少燃燒生煤，由回收紙分離的紙渣廢料製成固態廢棄物衍生燃料（RDF）作為替代燃料，取代部分煤作為燃料混燒，因此所衍生之飛灰係屬混燒煤灰，如圖 5 所示。其比重約為 2.31，由組成成分 XRF（見表 1）與 XRD（見圖 4-(b)）分析結果顯示，飛灰主要成分為 CaO 、 SiO_2 ，及 CaCO_3 。



(a) 烘乾前



(b) 烘乾後

圖 5 華紙公司台東廠飛灰照片

4. 底碴：同採華紙公司台東廠流體化床鍋爐所衍生之無機副產物（見圖 6），其比重約為 2.62，吸水率為 7.28%，粒徑分佈符合 CNS 1240 之規定，如圖 7-(a)所示。由組成成分 XRF（見表 2）與 XRD（見圖 7-(b)）分析結果顯示，底碴組成成分則較為複雜，主要成分為 SiO_2 。



(a) 烘乾前

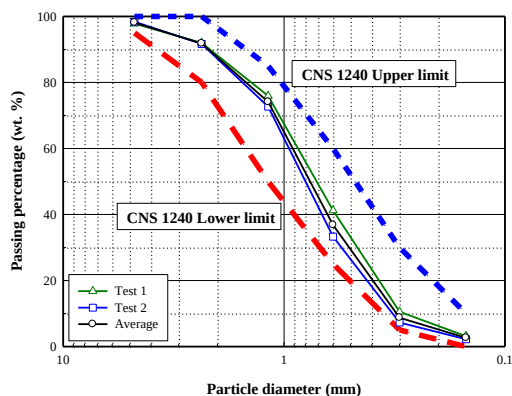


(b) 烘乾後

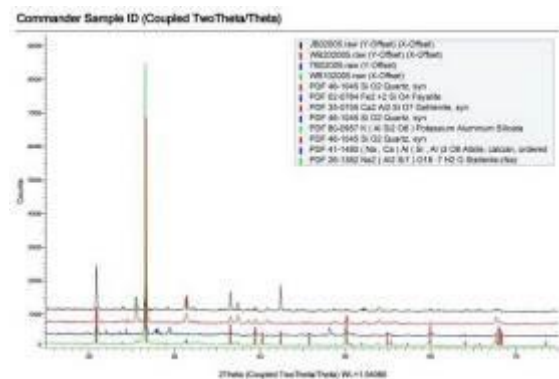
圖 6 華紙公司台東廠底碴照片

2-2 冷壓資源化製磚技術

本研究採用內政部建築研究所補助計畫所開發成功的冷壓資源化製磚技術^[7]，冷壓資源化技術^[8]乃基於材料基本原理（愈緻密其強度等相關性質愈佳）^[9]與複合材料^[10]的觀念，導入水泥化學及卜作嵐材料間互制特性^[11-12]，並依據再生資材的材料特性，藉以改善其界面性質，所開發出兼具低耗能、低 CO_2 排放的資源化技術。此製磚方式係利用自行開發的冷壓型製磚模具（見圖 8），經簡單的填料、加壓成型、退模等程序，即可成功完成冷壓型砌塊、普通磚，或高壓地磚製作，如圖 8 所示。



(a) 級配曲線



(b) XRD 分析結果

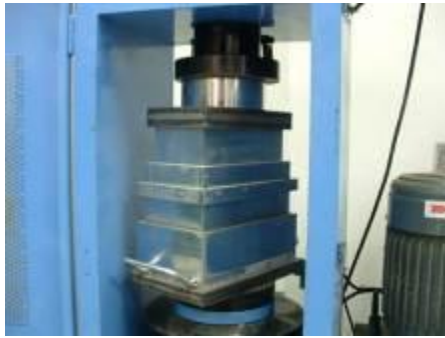
圖 7 華紙公司台東廠底碴級配曲線與 XRD 分析結果



Step 1：填料



Step 2：安裝加壓模



Step 3：加壓成型



Step 4：退模

圖 8 冷壓資源化技術製磚程序

叁、結果與討論

3-1 配比設計

本研究採用紙廠無機副產物所開發的無機聚合系冷壓型普通磚配比，依據經再演繹後的緻密配比邏輯所設計^[13]，乃由於緻密配比邏輯係根據水泥系材料所發展，為使其能滿足無機聚合系材料配比設計使用，故根據組成材料將緻密配比邏輯進行再演繹，而紙廠無機副產物水泥系與無機聚合系普通磚組成材料之差異如表 2 所示。為增加綠泥的使用率，並參考水泥系紙廠無機副產物冷壓型普通磚研究成果^[3]，於骨材系統中，選擇綠泥填塞飛灰的比例 (α) = 0.50；綠泥與飛灰混合料填塞底渣的比例 (β) = 0.80，如公式 (1) 與 (2) 所示。於漿體系統中選用參數為：綠泥：飛灰 = 9：1。表 3 為本研究製作紙廠無機副產物冷壓型普通磚所使用之無機聚合材料配比，表 3 中顯示，本研究採用紙廠無機副產物與冷壓資源化技術，所開發之無機聚合系冷壓型普通磚固體組成材料中綠泥、飛灰、底渣等再生資材可達 100%，而綠建材評定基準^[14]中對普通磚僅要求：「回收材料乾重比率 40% 以上」。因此本研究不僅可有效增加紙廠無機副產物再生資材之使用率，亦可朝紙廠無機副產物零污染、零掩埋之目標邁進。

表2 紙廠無機副產物冷壓型普通磚組成材料之差異

	水泥系	無機聚合系
骨材系統	綠泥、飛灰、底碴	綠泥、飛灰、底碴
漿體系統	水泥、綠泥、強塑劑、水	鹼液、綠泥、飛灰、綠泥含水量

$$\alpha = \frac{W_{\text{綠泥}}}{(W_{\text{綠泥}} + W_{\text{飛灰}})} \text{-----式 (1)}$$

$$\beta = \frac{W_{\text{綠泥}} + W_{\text{飛灰}}}{(W_{\text{綠泥}} + W_{\text{飛灰}}) + W_{\text{底碴}}} \text{-----式 (2)}$$

表 3 無機聚合系冷壓型普通磚配比 (kg/m³)

配比編號	10M 鹼液	飛灰	綠泥含水率調整			底碴
			含水率	綠泥	綠泥含水量	
β=0.80_GP	167.38	659.90 (42.96 %)	19.13 %	560.34 (36.47 %)	66.75	316.00 (20.57 %)

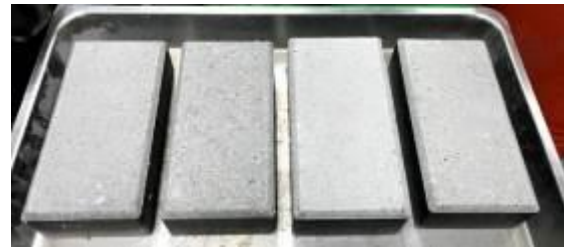
註：() 中係指各組成固體材料之重量百分率

3-2 成型應力、綠泥含水率，及液灰比探討

由於冷壓資源化技術其成型應力與組成材料含水率之相互關係，影響資源化產品性質甚鉅：因為當加壓成型時，若組成材料含水率太低，則不易成型，即使採用較高的成型應力，於解壓過程，將因毛細孔隙吸水產生張力作用，使得資源化產品產生裂縫；反之當加壓成型時，若組成材料含水率過高，於加壓成型過程容易產生壓密排水現象^[15]，所排出的水將形成弱面，進而影響資源化產品相關性質。配合華紙公司試驗模廠既有之製磚設備，故本研究成型應力為12.5 MPa，惟本研究係採用紙廠無機副產物與無機聚合技術開發冷壓型普通磚，於無機聚合物系統中，並未直接使用水，係使用鹼液與液灰比 (L/S) 來控制工作性，且紙廠無機副產物中綠泥係具水份的再生資材，而本研究乃先期可行性研究，故骨材系統中綠泥含水率係根據前期水泥系普通磚^[3]研究成果採用35.0 %，而漿體系統中綠泥含水率則為0.0 %；液灰比 (L/S) 亦依據水泥系紙廠無機副產物冷壓型普通磚配比，利用體積法反推計算後選擇0.60，進行無機聚合系冷壓型普通磚試拌與試壓，試壓結果顯示，本研究採用紙廠無機副產物與無機聚合技術，經再演繹後的緻密配比邏輯所設計的配比，可成功壓製無機聚合系冷壓型普通磚，如圖9所示。



甫製作完成時



靜置 24 小時後

圖 9 無機聚合系冷壓型普通磚試壓結果

3-3 普通磚抗壓強度

本研究依據CNS 382，分別於齡期7、28、365天進行無機聚合系冷壓型普通磚抗壓強度試驗，試驗結果如圖10所示。圖中顯示無機聚合系冷壓型普通磚抗壓強度隨著齡期持續成長，係由於隨著齡期成長，無機聚合反應持續進行，且由於配比中添加大量卜作嵐材料（飛灰），配合卜作嵐反應^[16]，藉以填塞內部孔隙，使其更緻密化，並改善其介面性質，進而使得無機聚合系冷壓型普通磚抗壓強度隨齡期的增長而持續成長。由此亦可研判，本研究採用紙廠無機副產物與無機聚合技術所製作之冷壓型普通磚，其內部應無因膨脹作用而產生微裂縫，進而影響其抗壓強度之情事發生。另圖中亦顯示於齡期28天時，無機聚合系冷壓型普通磚即可符合CNS 382中3種磚抗壓強度性能要求；於齡期365天（1年），可滿足CNS 382中2種磚之抗壓強度要求。

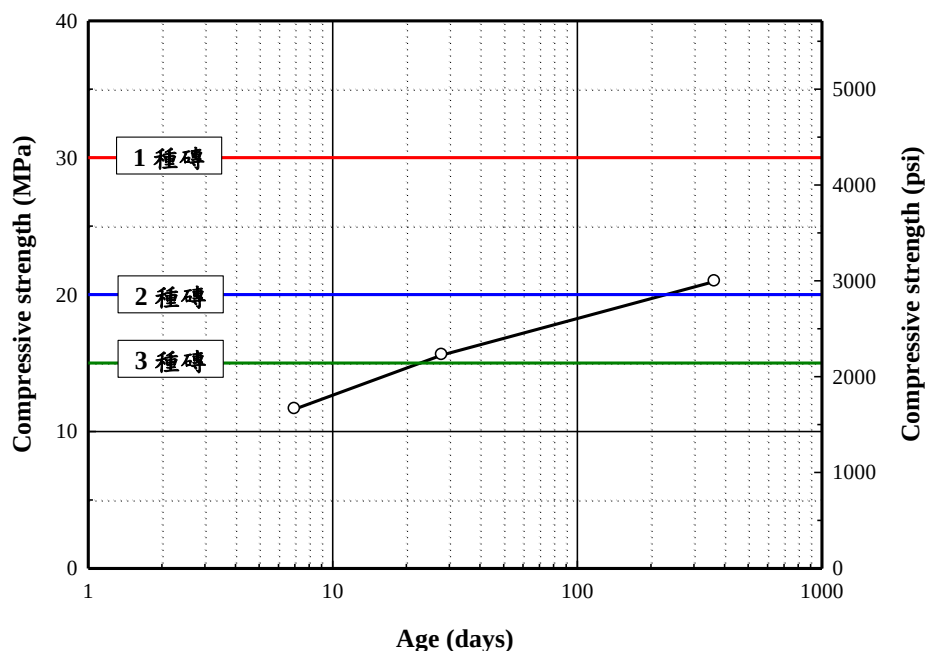


圖 10 無機聚合系冷壓型普通磚抗壓強度成長關係圖

肆、結論與建議

1. 經再演繹後的緻密配比邏輯亦可滿足無機聚合材料配比設計使用，即使對於含水分的再生資材亦適用之。
2. 本研究採用無機聚合與冷壓技術，資源化紙廠無機副產物作為冷壓型普通磚，可有效增加紙廠無機副產物的使用率，除底碴僅作為填充材使用外，綠泥與飛灰均同時扮演二種角色：膠結材與填充材。所開發之無機聚合系冷壓型普通磚固體組成材料中綠泥、飛灰、底碴等再生資材可達 100 %，而綠建材評定基準中對普通磚僅要求：「回收材料乾重比率 40 % 以上」。因此本研究可有效增加紙廠無機副產物再生資材之使用率。
3. 配合華紙公司試驗模廠既有之製磚設備，故本研究成型應力為 12.5 MPa，而本研究屬先期可行性研究，故骨材系統中綠泥含水率係根據前期水泥系普通磚研究成果採用 35.0 %，而漿體系統中綠泥含水率則為 0.0 %；液灰比 (L/S) 亦依據水泥系紙廠無機副產物冷壓型普通磚配比，利用體積法反推計算後選擇 0.60，雖可成功壓製無機聚合系冷壓型普通磚，但整體而言似乎稍乾了點，未來可藉由液灰比 (L/S) 或漿體系統中綠泥含水率進行調整修正之。
4. 無機聚合系冷壓型普通磚抗壓強度試驗結果顯示，抗壓強度隨著齡期持續成長，於齡期 28 天時可符合 CNS 382 中 3 種磚抗壓強度性能要求；於齡期 365 天 (1 年) 則可滿足 2 種磚之抗壓強度要求。由此亦可研判紙廠無機副產物中的綠泥與飛灰，具備作為無機聚合材料原料的潛力，惟係屬活性或惰性添加物，應進一步研究探討，如此方能更適材適所地資源化紙廠無機副產物。
5. 無機聚合材料具備優良的力學、防火絕熱、耐酸鹼、抗硫防蝕等性質，未來可透過無機聚合與冷壓資源化技術，將紙廠無機副產物資源化成為更高值化的功能性建材。

誌謝

本研究有幸獲得中華紙漿股份有限公司經費支持，並採用內政部建築研究所補助案 - 「再生綠建材開發與推廣應用計畫 (一) (二) (三)」，與經濟部科技研究發展專案-學研聯合研究計畫 98-EC-17-A-10-S2-0063 所開發的冷壓資源化技術，方便本研究得以順利完成，謹此致謝。

參考文獻

- [1] 中華紙漿股份有限公司(2020)：2019 永續報告書，台北。
- [2] 蔡志達、李昂軒、施承瑋、戴佳雄、羅嚮盛、張祖恩(2020)：「利用冷壓技術開發紙廠無機副產物作為再生粗粒料之可行性研究」，2020 資源與環境學術研討會論文集，第 237-250 頁，花蓮。
- [3] 蔡志達、李昂軒、施承瑋、戴佳雄、羅嚮盛、張祖恩(2020)：「透過冷壓技術資源化紙廠無機副產物作為普通磚」，2020 資源與環境學術研討會論文集，第 251-264 頁，花蓮。
- [4] Xu H. and Van Deventer J. S. J. (2000): Thegeopolymerisation of alumini-silicate minerals, *International Journal Minerals Process*, 59, pp. 247-266.
- [5] Schmücker M. and Mackenzie K. J. D. (2005): Microstructure of sodium polysialatesiloxo geopolymer, *Ceramics International*, 31, pp. 433-437.
- [6] Hajimohammadi A., Provis J. L., Van Deventer J. S. J. (2008): One-Part geopolymer mixes from geothermal silica and sodium aluminate, *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 47, pp. 9396-9405.
- [7] 張祖恩、陳文卿、蔡志達等人(2011)：建築廢棄物再生循環技術開發與推廣應用計畫，內政部建築研究所補助計畫成果報告，台北。
- [8] Tsai, C. T. (2012): *Sintering of Ceramics - New Emerging Techniques*: Chapter 5 Cold-Bonding Technique – A New Approach to Recycle Innocuous Construction Residual Soil, Sludge, and Sediment as Coarse Aggregates, InTech, Rijeka, Croatia.
- [9] Dowling, N. E. (1993): *Mechanical behavior of materials: engineering methods for deformation, fracture, and fatigue*, Englewood Cliffs, NJ.
- [10] Gibson, R. F. (1994): *Principles of composite material mechanics*, Detroit, Michigan.
- [11] Mindess, S. and J. F. Young (1981): *Concrete*, Englewood Cliffs, NJ.
- [12] Mehta, P. K. (1986): *Concrete-structure, properties and materials*, Englewood Cliffs, NJ.
- [13] 蔡志達(2020)：無機聚合材料配比設計方法推演與應用，*土木水利*，第四十七卷，第二期，第 50-56 頁。
- [14] 何明錦(2015)：綠建材解說與評估手冊 2015 年更新版，內政部建築研究所，台北。
- [15] Holitz, R. D. and W. D. Kovacs (1986): *An introduction to geotechnical engineering*, New York.
- [16] 李韋皞（鄭大偉指導，2017）：微結構發展對於無機聚合材料性質的影響研究，國立臺北科技大學工程學院工程科技博士論文，台北。

利用電化學法處理簡易自來水設施之水質改善特性研究

Discussion the improvement of water quality in simple tap water source facilities by the indirect electrochemical method

何志軒^{1*} 畢宜翔²

Chih-hsuan Ho¹ Yi-Xiang Bi²

1 大漢技術學院土木工程及環境資源管理系 副教授

Associate Professor, Department of Civil Engineering & Environmental Resource

Management, Institute of Dahan Technology

2 大漢技術學院土木工程與環境資源管理系 研究生

Graduate student, Department of Civil Engineering and Environmental Resource

Management, Dahan Institute of Technology

* Corresponding author: ho@ms01.dahan.edu.tw

摘要

對於山區簡易自來水未經過衛生處理及消毒監控下，山泉水經地表逕流為開放性水質，長期暴露在環境之下有許多水生動、植物棲息，較容易遭受來自排泄物衍生出的微生物、寄生蟲等污染導致細菌孳生，因此山區水質為大腸桿菌較為嚴重。

本研究主要針對花蓮地區山區的簡易自來水統，進行水質改善的試驗。實驗對象分別以花蓮縣壽豐鄉米棧村及玉里鎮春日里等二處之簡易自來水設施，以氯化鈉(NaCl)為電解質，進行電化學氧化法殺菌方式淨水處理的效果探討，期能做為山區一級公共用水的使用，研究內容分別為氯化鈉(NaCl)濃度間的關係、石墨電極板片數、電極頭夾法、餘氯及電化學氧化方法、大腸桿菌去除效果，提供山區民眾穩定與安定之用水水質。

實驗條件為利用電化學氧化法，添加不同濃度之氯化鈉，以直流電壓、連續通電時間探討不同濃度電解液之 pH 氫離子活性濃度、氧化還原電位、分光光度計吸收值、導電度及大腸桿菌去除效果。

實驗結果顯示，在實場的石墨電極板間電壓差為 10v(伏特)、總電壓 30v(伏特)，石墨電極板間電壓差為 6、7v(伏特)、總電壓 30v(伏特)。直流電連續通電 10、20 分鐘儲水塔試驗：以 1:10000 (1ml 電化學氧化劑：10L 山泉水) 大腸桿菌去除率達 78.13% 以上。直流電連續通電 20 分鐘，水桶試驗以 1:10000 (1ml 電化學氧化劑：10L 山泉水) 大腸桿菌去除率達 93.3% 以上、1:7500 (1ml 電化學氧化劑：7.5L 山泉水) 大腸桿菌去除率達 100% 完全去除。

關鍵詞：電化學法、食用鹽、氯化鈉、簡易自來水設施

一、前言

以花蓮縣地區而言，部分民眾居住山區，因受地形影響，大多數居民都以地域聚落或是山區分散之地形區域，地形環境限制條件，無法供應到每位山區居民使用設施完善的自來水[2-3]；以民國 108 年為例[1]，花蓮縣 66 處簡易自來水設施供給民生用水，分別散佈於鳳林鎮、玉里鎮、壽豐鄉、光復鄉、瑞穗鄉、豐濱鄉、富里鄉、秀林鄉、萬榮鄉、卓溪鄉等 10 鄉(鎮)，約有 2 萬餘人需依賴簡易自來水供水。依花蓮縣府委託顧問公司辦理 66 處簡易自來水事業的水質檢測結果得知，大腸桿菌不合格情形較為嚴重，至今大腸桿菌不合格情形並未能得以全部改善完成。

水質改善處理以物理、化學與生物方法[6-23]，去除水中的物質及大腸桿菌[5]。本研究目的以電化學氧化法，作為大腸桿菌去除，水質改善之方法，使山區居民使用簡易自來水水源可以安心使用。

本實驗以電化學氧化法處理利用 NaCl(氯化鈉) 為電解質經由石墨板連續通電方式產生次氯酸之氧化劑，處理山區原水中的大腸桿菌，以最佳的條件之下能達到大腸桿菌去除。

二、實驗方法

2-1 實驗材料藥品及儀器設備

氯化鈉、大腸桿菌/大腸菌群快檢片、食用鹽(市售碘鹽)、水中餘氯檢測試劑、氫離子濃度指數計、氧化還原電位偵測計(Oxidation Reduction Potential ；ORP meter)、分光光度計(Spectrophotometer UV/Vis)、電極板、電化學壓克力反應槽、電源供應器、恆溫培養箱、電子分析天平、電磁加熱攪拌器、蒸餾水機

2-2 實驗架構

本研究為實驗室選定最佳濃度、石墨版數量、電壓、時間以便食用鹽取代 NaCl(氯化鈉)，



至實地場所做大腸桿菌去除率之探討；主要研究流程如圖 1 所示。

圖 1 實驗架構圖

2-3 實驗方法與實驗條件

2-3-1 間接電化學法

電化學反應槽濃度間的變化調配不同濃度之 NaCl 氯化鈉(g)與蒸餾水溶液(L)，以每公升不同濃度電解液(g/L)，倒入電化學反應槽 300ml 試驗每公升不同濃度 NaCl(氯化鈉)與蒸餾水混合溶液，並設定固定極板間電壓差 10V(伏特)、連續通電訂定(10、20、30 分鐘)等 3 個時段，通電後測定電解液合計 30 組水樣檢測水中 pH(氫離子活性濃度)、導電度、ORP(氧化還原電位)、溫度變化關係。

石墨版排列數量及通電方式，本實驗以差異性明顯的兩組不同濃度連續通電 10、20 分鐘，固定電壓、選定最佳石墨版排列方式訂定 4 種不同濃度以利反向探討濃度及時間最佳效果。

2-3-2 間接電化學法大腸桿菌試驗檢測

(1)實驗室模擬

最佳石墨板數量、夾法選定：將食用鹽差異性較為明顯的兩種濃度，選定石墨板數量、夾法測定最佳方式，將原水以每公升濃度電解液(g/L)，倒入電化學反應槽 1L(公升)試驗濃度(g)與蒸餾水(L)混合溶液電解水溶液，以相同電壓、時間，不同的石墨版數量、夾法以 1:1000 (使用無菌吸管各抽取 1ml 電解水溶液氧化劑，滴定各 1000ml 水溝水均勻混合) 之混合水溶液使用無菌吸管各抽取 1ml 水樣檢測大腸桿菌菌落數。

最佳濃度選定與最佳的石墨版數量、夾法反向探討濃度間以訂定區分四種條件較為合適的濃度作為大腸桿菌快篩片菌落數培養檢測結果，倒入電化學反應槽 1L(公升)試驗濃度(g)與蒸餾水(L)混合溶液，做濃度間 1:1000 (使用無菌吸管各抽取 1ml 電解水溶液氧化劑，滴定各 1000ml 水溝水均勻混合)之混合水溶液使用無菌吸管各抽取 1ml 水樣檢測大腸桿菌去除效果最佳之濃度，以利爾後實場實驗之條件。

實場放大倍率本實驗至花蓮縣壽豐鄉米棧村採取之山泉水，於實驗室以最佳的條件之電解水溶液氧化劑做為放大倍率分別為 1:1000、1:2000、1:3000、1:4000、1:5000、1:7500、1:10000 (電解水溶液氧化劑 ml：山泉水 ml)，之混合水溶液使用無菌吸管各抽取 1ml 水樣檢測大腸桿菌菌落數，以利實地場所實驗至多倍率的條件。

(2)實地場所實驗

將實驗儀器至實地場所，以壽豐鄉米棧村為例，放大倍率 1:10000 (電解水溶液氧化劑 ml：山泉水 ml)、1:7500 (電解水溶液氧化劑 ml：山泉水 m;)，故採取 10 公升、7.5 公升的原水(L)與最佳條件之電解水溶液氧化劑，分別與山泉水混合，採取混合水溶液使用無菌吸管各抽取 1ml 水樣檢測大腸桿菌菌落數。

將實驗儀器至實地場所，分別為花蓮縣壽豐鄉米棧村儲水塔為 100 噸(T)、玉里鎮春日村儲水塔為 300 噸(T)為實驗地點，電解水溶液氧化劑：放大倍率 1:10000(電解水溶液氧化劑 L：山泉水 L)，故分別到入米棧村 10 公升、春日村 30 公升與山泉水混合等待時間 10 分鐘，至排放口採取混合水溶液使用無菌吸管各抽取 1ml 水樣檢測大腸桿菌去除效果。

三、結果與討論

3-1 氯化鈉(NaCl)、食用鹽濃度間的變化

3-1-1 不同濃度及時間的差異性

電源供應器設定固定石墨電極板間電壓 10v(伏特)，直流電連續通電電解後在 10 分鐘、20 分鐘、30 分鐘，探討不同時間的情況下濃度間 pH、ORP、導電度、溫度變化，掌握不同濃度間在直流電連續通電的情形之下的穩定性，作為後續實驗電解質的濃度選定、氧化分解、通電電解中電流密度之基本條件。由圖 2 實驗過程所監測各項數據(pH、溫度、導電度及氧化還原電位值)等資料，可得如下結果，分別說明如下：

溫度：與連續通電時間、濃度、電流密度成正比關係。

pH 值：隨著連續通電時間拉長，濃度就越下降，而濃度低者為酸性；濃度高者為鹼性。

導電度：連續通電 10、20、30 分鐘測得結果，電流密度與連續通電時間無關係，與水中濃度電解質密度相關。

氧化還原電位：結果 1g、2g、8g、9g、10g/L NaCl(氯化鈉)不穩定，反觀 3~7 g/L NaCl(氯化鈉)效果為良好，得濃度越高效果並不理想。

係因連續通電電解 30 分鐘，於中高溫狀態情形石墨電極板表面剝落嚴重，考量未來以此材質作為電極板，耗材損失利益、電解過程氧化還原電位差異導致實驗數據準性部分之虞，故不採用連續通電 30 分鐘。

符合電解質取得便利、當地居民所知原料，以乾基 95% 為 NaCl(氯化鈉)之食用鹽做為電解質；因食用鹽成份中含有超微量金屬，電解過程中激發離子態，以分光光譜吸收測定濃度間的變化。實驗室試驗 4-3 後之實驗均使用食用鹽為電解質，以符合實地場所之需求。

實驗中所使用反應槽為 300 毫升（高:12 公分、寬:10 公分、長:3 公分），正負極石墨電極板（高:14 公分、寬:10 公分、厚度:0.2 公分）、極板間距:3 公分、石墨板單面與水接觸面積:10.95 平方公分。

因應實地場所所需氧化電解液量龐大，故實驗中所使用反應槽為 10 公升（高:15 公分、寬:20 公分、長:50 公分），石墨電極板（高:20 公分、寬:50 公分、厚度:0.5 公分）、極板間距:3 公分、石墨板單面與水接觸面積:27.386 平方公分。

已知 (H) 石墨板單面與水接觸面積較 (G) 多，致電流密度改變，加入石墨板數量參數考量。因反應槽中石墨電極板本身有電阻率因素、水中加入電解質有電流導通通電效果、電極版間因水中導電效果激發本身的通電效果，故以 3-2 實驗作為實際數據依據。

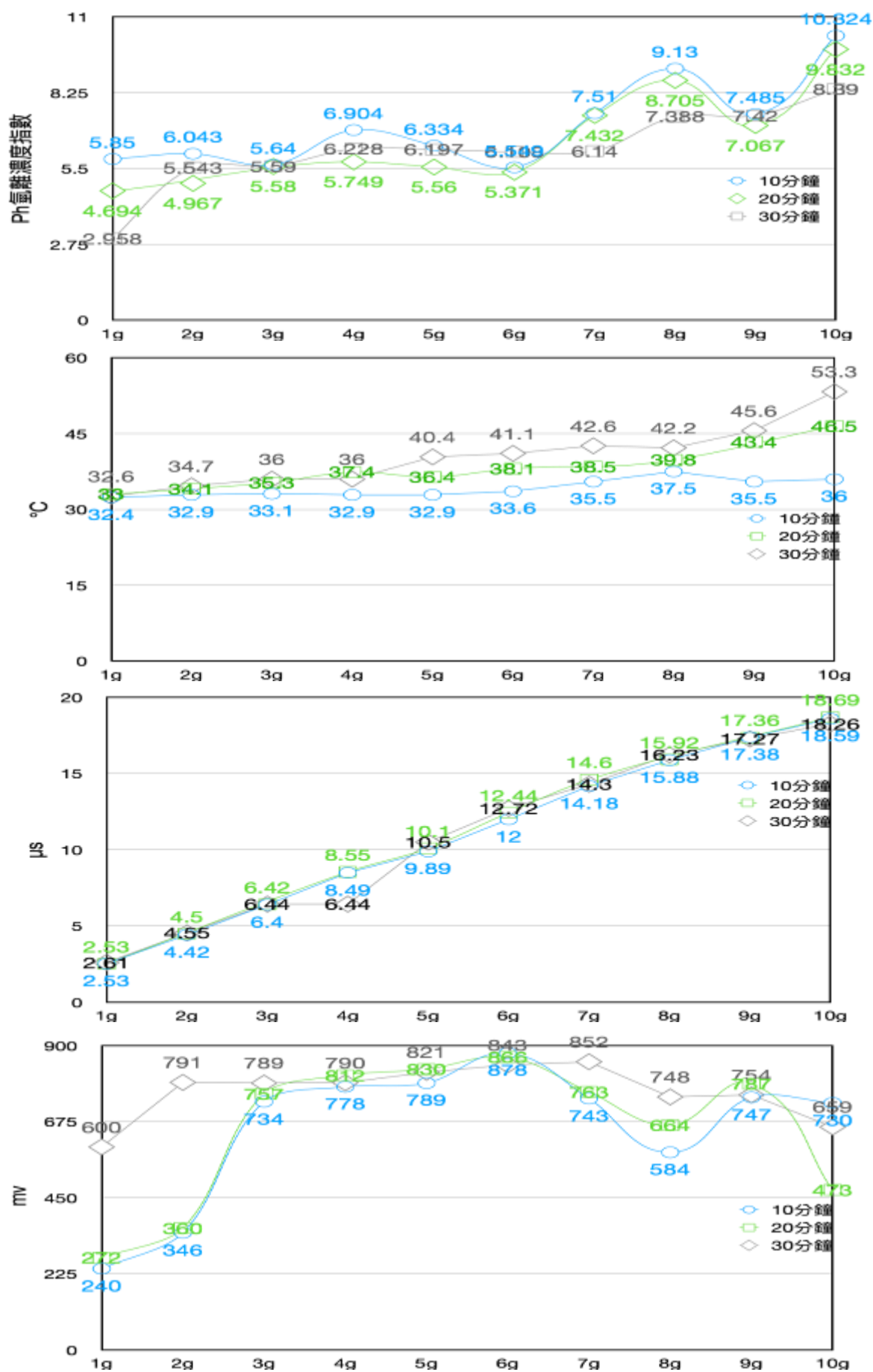


圖 2 不同操作條件下 pH、溫度、導電度及氧化還原電位變化

3-1-2 食用鹽與 NaCl(氯化鈉)分光光譜吸收值變化關係

當濃度 1-10g/L NaCl(氯化鈉)電解液：藥劑純度單一，並無其他微量金屬離子激發，故以高濃度 10g/L NaCl(氯化鈉)，具有強氧化劑效果。

當濃度 1-10g/L 食用鹽電解液：與 NaCl(氯化鈉)差異處，電解過程離子激發態 5g/L 食用鹽吸收值為其最高條件，離子交換區達飽和狀態。

NaCl(氯化鈉)與食用鹽：NaCl(氯化鈉)成分單一，濃度與吸收值成正比上升；而食用鹽中含有超微量金屬因界達電位，電雙層壓縮，離子價數愈高、壓縮力愈強，粒子即可結合產混凝作用；弱酸性陽離子主要離子類型：氫離子、鈉離子，弱鹼性陰離子主要離子類型：自由鹼或氫氧根離子、氯離子。

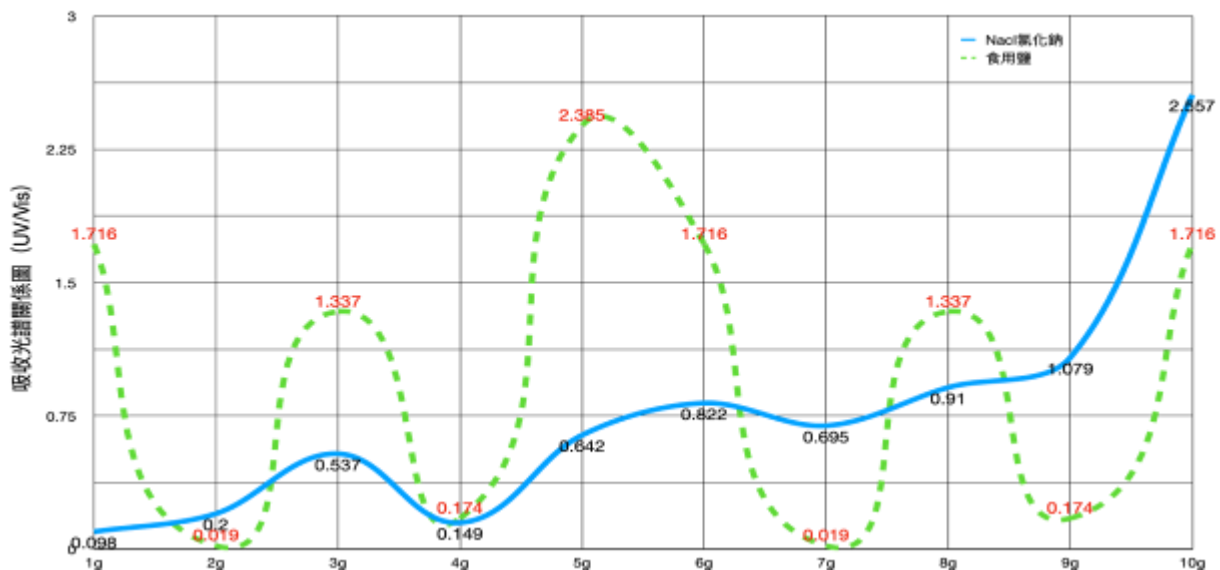


圖 3 1-10g/L NaCl(氯化鈉)與食用鹽電解液之吸收光譜關係圖(波長 293nm)

由圖 3 結果得知，單純以氯化鈉(NaCl)藥劑，經電化學後所產生次氯酸根離子(OCl^-)伴隨不同濃度及通電條件的吸收值變化逐漸增加。而考量未來市售容易取得之便利性，以市售食用鹽為藥劑，因市售食用鹽含有乾基 95%NaCl(氯化鈉)，故檢測此二種不同電解液，以相同條件、方式、檢測作為關係比較，吸收值特定波長 293nm 所得結果二種不同電解質最高峰值甚為相同，可作為未來實地場所實驗之基本條件根據。吸收值相當比較之下，食用鹽中含有超微量金屬，電解過程激發離子態，對於大腸桿菌去除效果有所幫助，水中懸浮物體有混凝效果。

3-2 石墨電極板間數量、夾法的影響

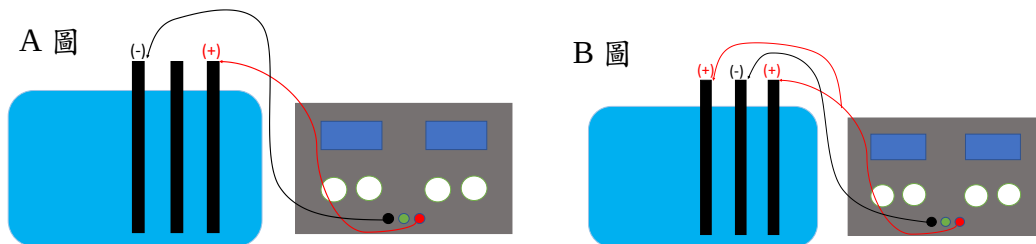
3-2-1 石墨電極板數量、夾法選定

因 3-1 實驗中發現直流電連續通電 30 分鐘發現石墨粉剝落嚴重，效果不如預期，故本次實地場所實驗連續通電時間訂定為 10、20 分鐘。本章節研究所用石墨電極板為長:50 公分、寬:20 公分、厚度:0.5 公分，相較於 3-2 實驗中所使用之石墨電極板體積來的龐大，石墨電極板電阻率受其影響，實驗以食用鹽二種差異性明顯之濃度 2g/L、5g/L，為選定最佳石墨電極板數量、電極頭夾法檢測大腸桿菌去除效果作為實地場所實驗之條件。

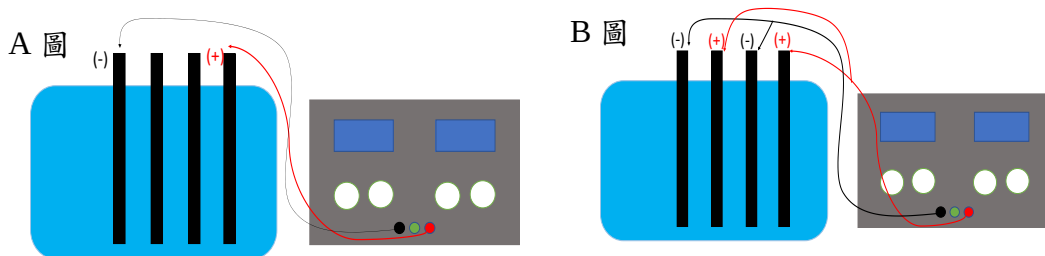
3-2-2 石墨電極板數量、夾法選定探討

實驗結果得知，以 (5 夾 2) 石墨電極版數量:5 片、左正(+)右負(-)之排列方式及夾法較為合適，從氧化還原電位做為參數值，所得數值穩定性佳，以大腸桿菌快篩做實際實驗作為依據，檢測石墨電極板排列方式對大腸桿菌去除效果，作為實地場所實驗所得重要條件之一。然而 pH 氫離子離濃度指數影響電化學氧化劑含量中之 HOCl(次氯酸)，消毒效果較 Ocl-(次氯酸根離子)強 80 倍，pH 效果較好之操作範圍為 5~7.5。如圖 4 為不同電極板數量及不同夾法示意。圖 5 所示為本次實驗設計時電化學反應槽所監測各項數據(pH、溫度、導電度及氧化還原電位值)等資料各項操作條件。

三片：[A 圖]右正(+)左負(-)、[B 圖]正(+)負(-)正(+)



四片：[A 圖]右正(+)左負(-)、[B 圖]負(-)正(+)負(-)正(+)



五片：[A 圖]左正(+)右負(-)、[B 圖]左正(+)中負(-)右正(+)、[C 圖]正(+)負(-)正(+)負(-)正(+)

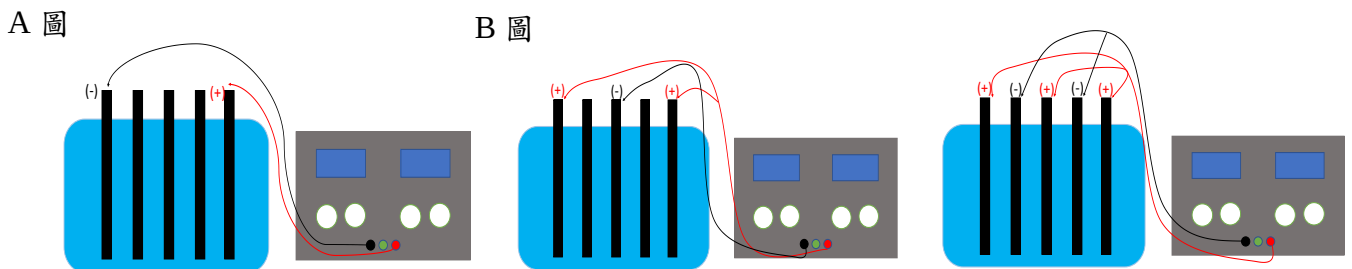


圖 4 不同電極板數量及不同夾法示意圖

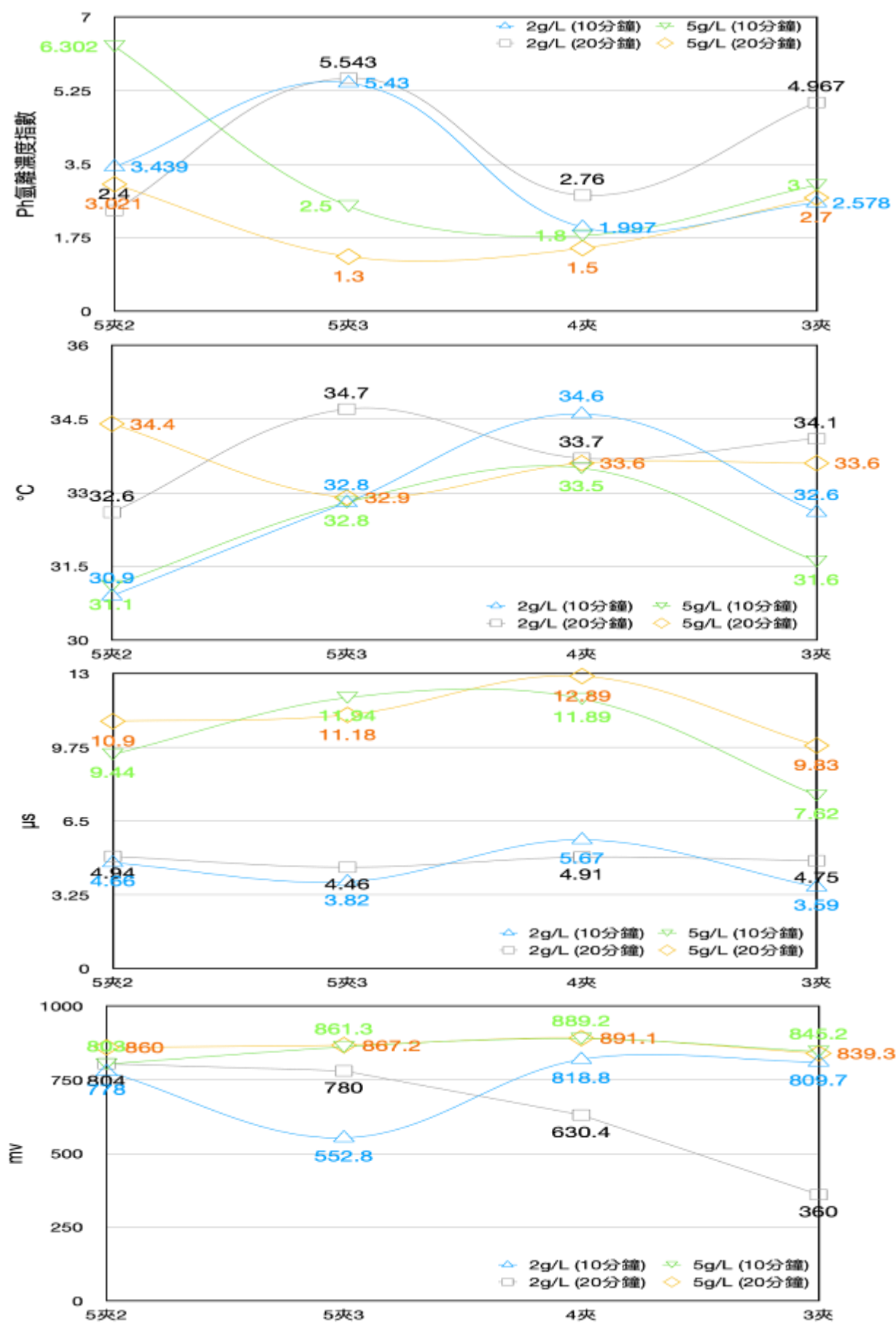


圖 5 石墨電極板不同數量及夾法

石墨電極板間差異性對大腸桿菌去除效果

經直流電連續通電時間至 10 分鐘：由大腸桿菌快篩片檢驗效果，以 1:1000 大腸桿菌去除效果(1ml 電化學氧化劑：1000ml 山泉水)，原水(E.coli count)中大腸桿菌總菌落數含量為 5200CFU/100ml。其每公升 5g/L 食用鹽電化學氧化劑唯(5 夾 3)尚有大腸桿菌未完全去除；而每公升 2g/L 食用鹽電化學氧化劑大腸桿菌(5 夾 2)、(5 夾 3)未完全去除，其於二種排列方式對大腸桿菌完全去除如圖 6 結果。

經直流電連續通電時間至 20 分鐘：其每公升 5g/L 食用鹽電化學氧化劑(3 夾 2)與通電時間 10 分鐘發生變異如圖 7 結果顯示，大腸桿菌並未完全去除。避免實驗數據失真導致爾後實驗走向不確定性，然而以大腸桿菌總菌落數較多的溝渠水實施複查檢驗，以利本研究主軸之重要依據及條件。

主要目的為尋求最佳排列方式，本次試驗採取原水(E.coli count)地點與前者不同，採用溝渠水為複查實驗。此原水(E.coli count) 大腸桿菌總菌落數含量為 8800CFU/100ml 與前者不同地方在於總菌落數中含有大腸桿菌群所干擾，而電化學氧化劑去除大腸桿菌群較為費力。經試驗結果以濃度較為穩定的每公升 5g/L 食用鹽電化學氧化劑，結果顯示如圖 8 結果顯示(5 夾 2)得以 1:1000(1ml 電化學氧化劑：1000ml 溝渠水)；相對於(5 夾 3)、(4 夾 2)、(3 夾 2) 以 1:100(1ml 電化學氧化劑：100ml 溝渠水)即有大腸桿菌尚未去除。

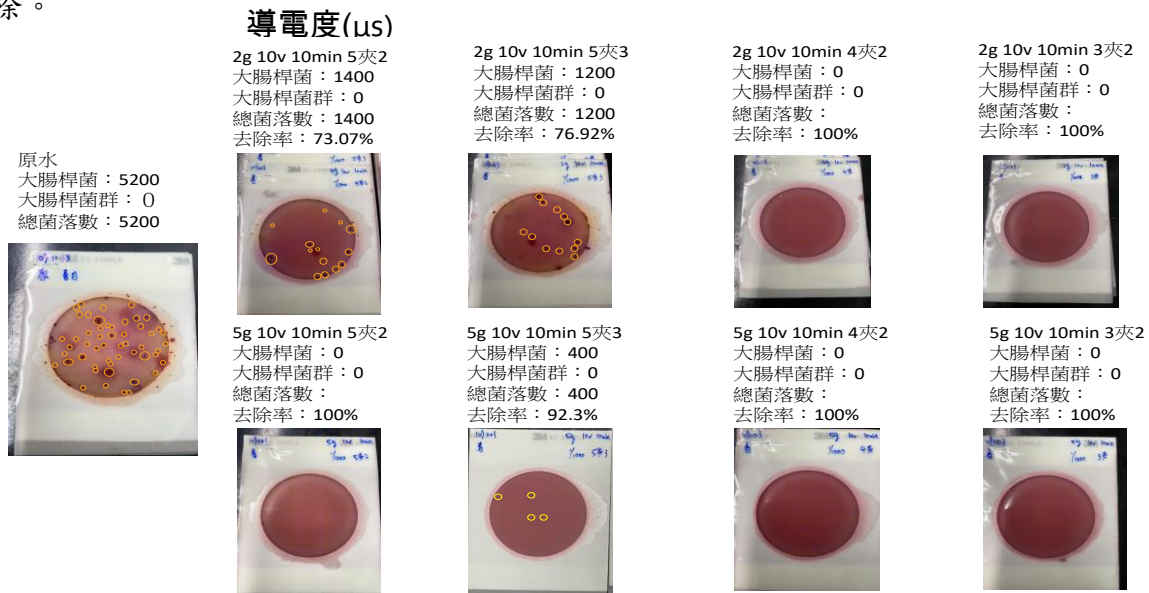


圖 6 石墨電極板間差異性連續通電 10 分鐘對大腸桿菌去除效果

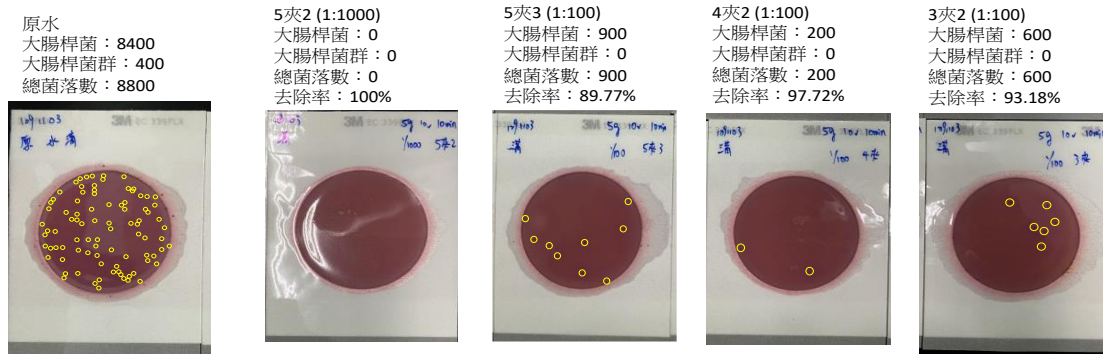


圖 7 石墨電極板間差異性連續通電 20 分鐘對大腸桿菌去除效果

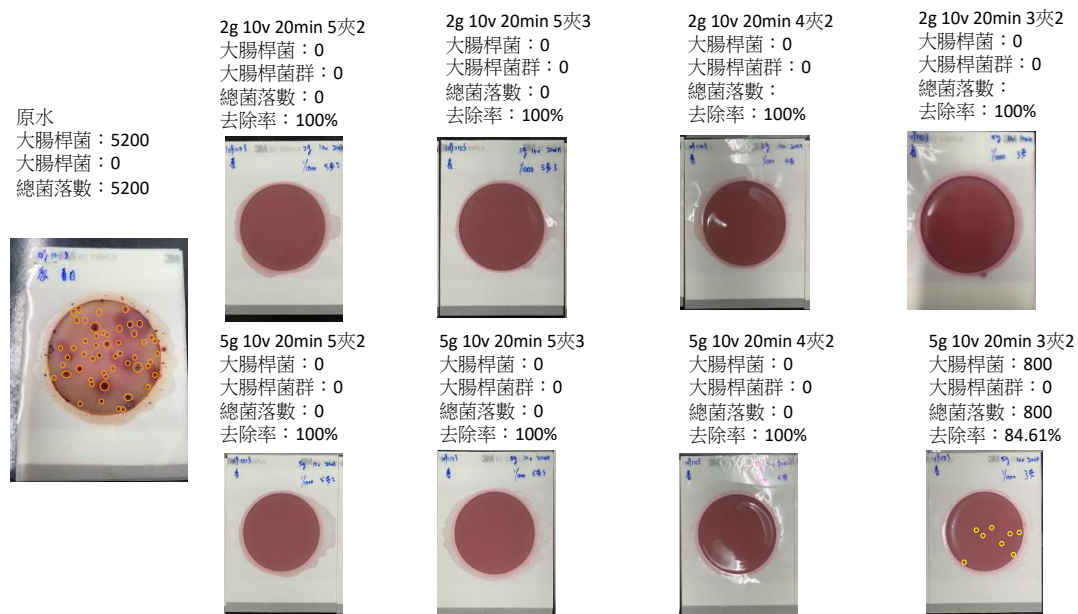


圖 8 溝渠水複查電化學氧化劑對大腸桿菌去除效果

綜合比較，如圖 9 結果顯示，當食用鹽與 NaCl(氯化鈉)分光光譜吸收值濃度差異性明顯之 2g/L、5g/L，於 (4-3-2) 實驗所得氧化還原電位(ORP)結果，(5 夾 2) 排列方式穩定性佳，以每公升濃度 5g/L 電化學氧化劑對大腸桿菌得以完全去除。本章節所用之濃度為差異性明顯之二種，最佳排列方式中並得知最佳濃度為何，於 (4-4) 實驗中所用之濃度為階段性明顯之四種濃度，從中選定最佳濃度，方可將這些條件帶入實地場所實驗條件之中。總菌落數多寡影響電化學氧化劑對大腸桿菌去除率影響成正比關係，則大腸桿菌群的出現也需消耗較多滅菌能量。

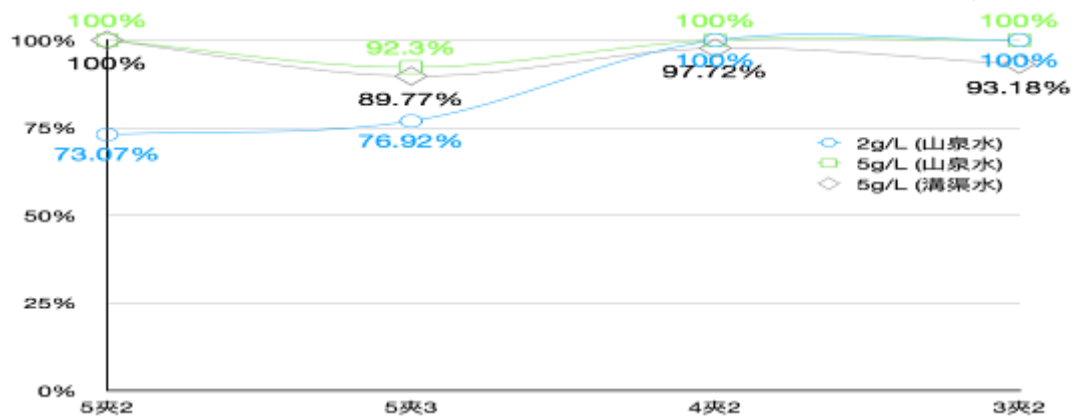


圖 9 電化學氧化劑 10 分鐘對大腸桿菌去除率

3-3 石墨電極板排列方式(5 夾 2)與濃度關係

3-3-1 四種濃度間 pH、ORP、導電度變化

本實驗以 4-2 實驗數據中選定四種階段性明顯之濃度，試驗結果得最佳石墨電極板排列條件(5 夾 2)，電極板間電壓差 10v(伏特)。以各每公升 2g/L、5g/L、8g/L、10/L 食用鹽電解液，連續通電時間為 10、20 分鐘，選定較佳 pH、ORP 氧化還原電位、導電度、餘氯及對大腸桿菌去除效果，既定實地場所實驗之重要條件。

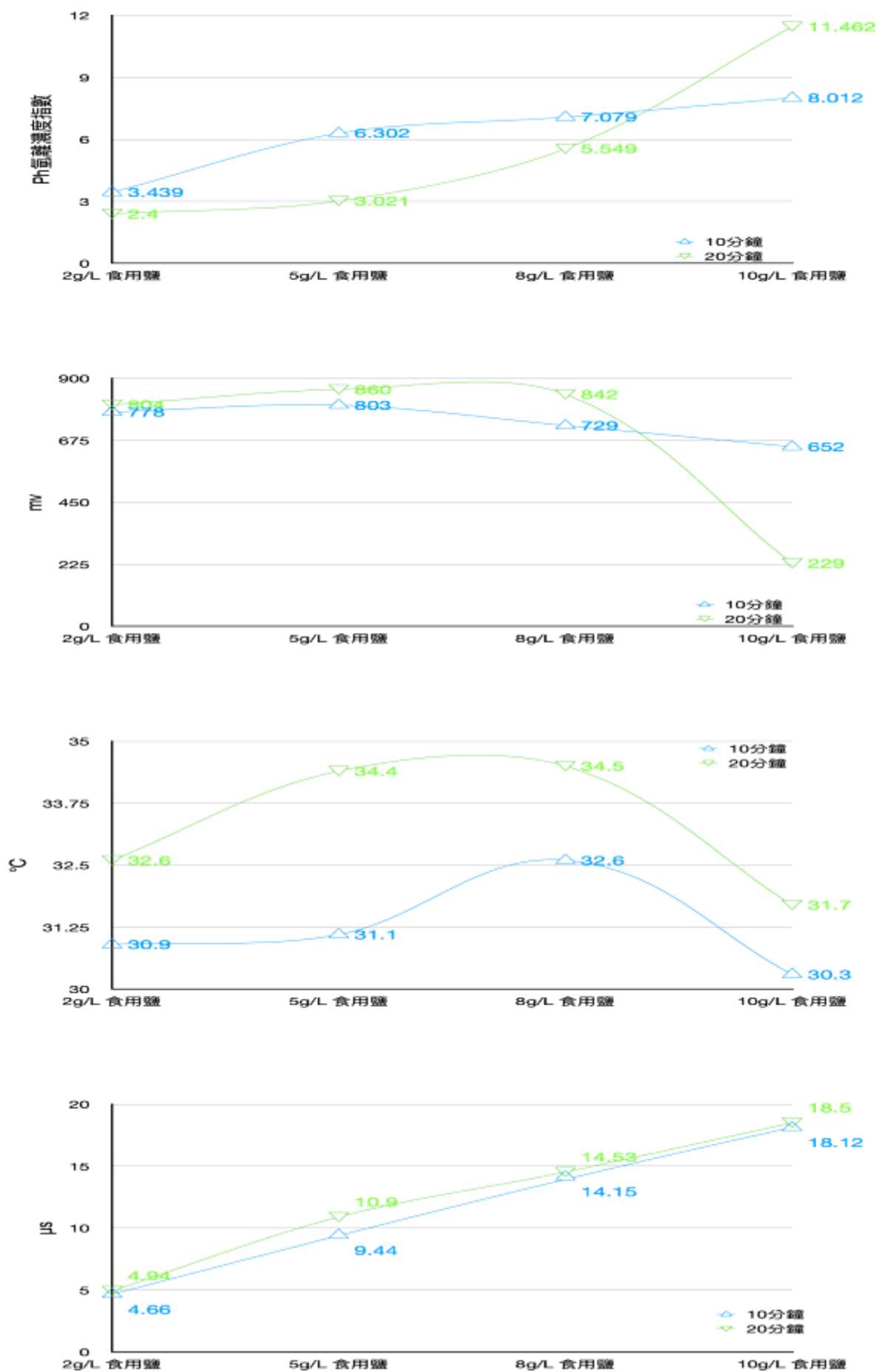


圖 10 石墨電極板排列方式(5 夾 2)與濃度關係

四種濃度之餘氯監測

經由電化學實驗後得知由氧化還原電位(ORP)的結果，每公升 5g/L 測值為最佳條件，其穩定性良好，條件可供實地場所實驗條件選定。因此檢測其電化學氧化劑於餘氯值，如圖 11 結果得知，初次測得結果 10、20 分鐘均為每公升 5g/L 效果最佳。

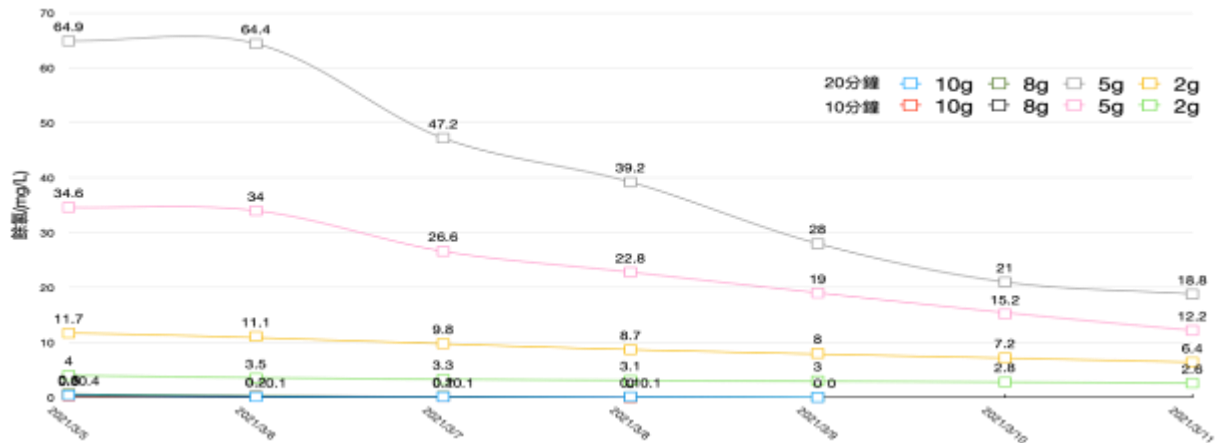


圖 11 連續七日餘氯監測

由圖 12 為經電化學後電解液在通電 10、20 分鐘下每公升 5g/L，靜置到第七日 (D+7) 餘氯，對大腸桿菌具有相當的去除效果。電化學氧化劑隔日 (D+1) 衰退率並不明顯，經第二日 (D+2) 衰退後均有明顯的差異性。而每公升 8、10g/L 電化學氧化劑氯鹽效果並不如期，得知濃度越高並無相對減菌效果。

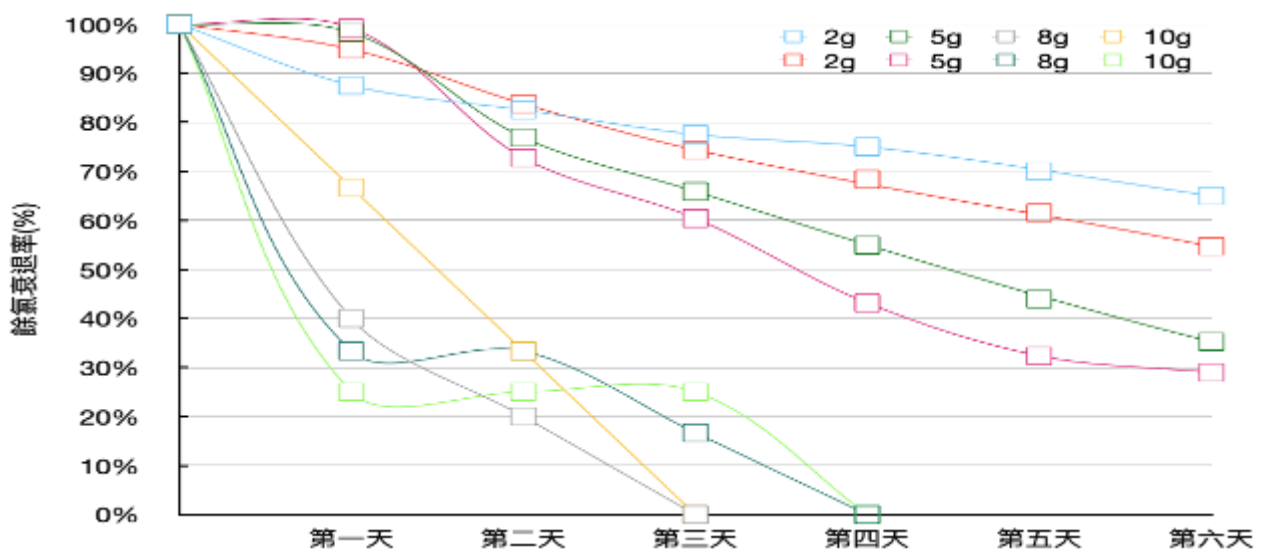


圖 12 餘氯監測衰退率

四種濃度 10、20 分鐘對大腸桿菌去除效果

實驗無論連續通電時間 10、20 分鐘，最佳濃度為 5g/L 之濃度電解液，大腸桿菌去除率達 90% 以上；次為 10g/L 之濃度電解液，大腸桿菌去除率達 86% 以上。四種濃度間餘氯監測結果得知，每公升 5g/L，10、20 分鐘第七日 (D+7) 餘氯: 10 分鐘 12.2(mg/L)、20 分鐘 18.8(mg/L)；對應至每公升 2g/L 第一日 (D+1) 餘氯: 20 分鐘 11.7(mg/L)。如

每公升 5g/L 電化學氧化劑存放於陰涼處 7 日，其大腸桿菌去除率尚有 75%以上滅菌效果對大腸桿菌去除率達 90%以上之條件，尋求放大倍率效果探討。如圖 13 所示

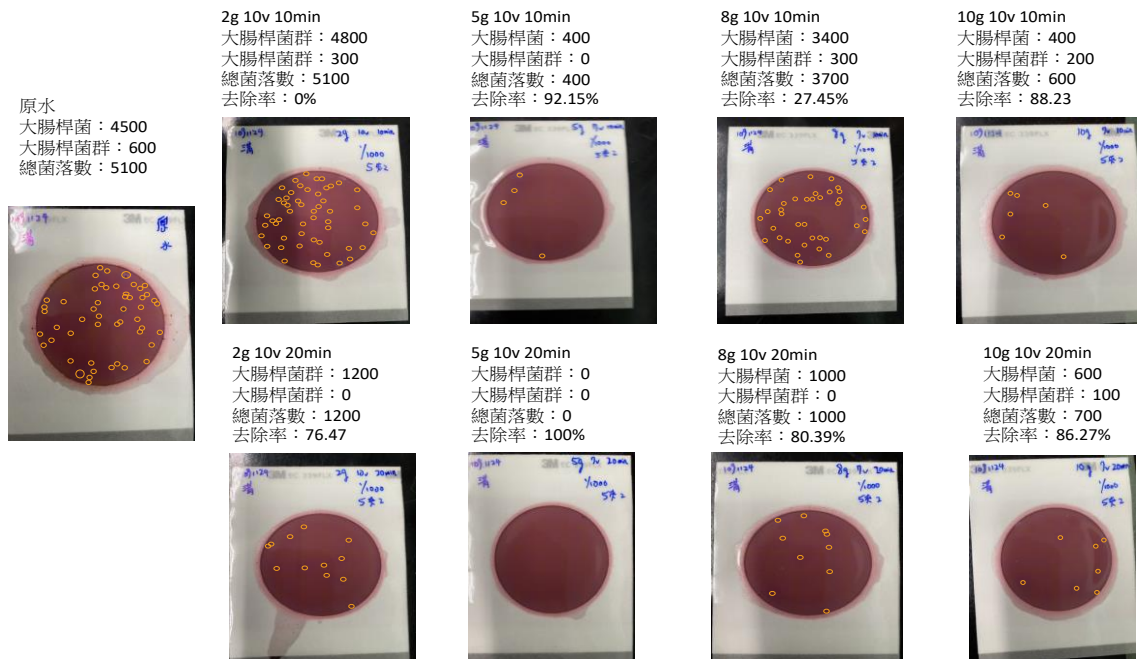


圖 13 四種不同度電解液對大腸桿菌去除效果

放大稀釋倍率對大腸桿菌去除效果

實驗結果得石墨電極板排列條件(5 夾 2)，電極板間電壓差 10v(伏特)連續通電 10、20 分鐘，每公升 5g/L 之食用鹽電解液，大腸桿菌去除率達 90%以上。本實驗室模擬實地場所放大倍率試驗，稀釋倍率條件 1:1000、1:2000、1:3000、1:4000、1:5000 (電化學氧化劑 ml：山泉水 ml) 對原水(E.coli count)大腸桿菌總菌落數含量為 6900CFU/100ml 去除如(圖 14-15)，分別以 10、20 分鐘大腸桿菌去除效果探討。

溝渠水原水(E.coli count)中大腸桿菌總菌落數含量有 600CFU/100ml 大腸桿菌群及其他干擾質所干擾，最初所加入之氯與水中氨氮反應成結合有效氯，仍具偶消毒能力，但反應慢，故消毒效果較自由餘氯差，所導致消毒效果不比實驗中所用之山泉水原水(E.coli count)大腸桿菌去除效果好。

不圖混合比條件在 1ml 電化學氧化劑與 5000ml 山泉水混合，連續通電 20 分鐘去除效果 92.75%仍比 10 分鐘去除效果 81.16%較佳。直流電連續通電 10 分鐘放大稀釋倍率所得結果稀釋倍率至 5000 倍，對大腸桿菌去效果達 81.16%。直流電連續通電 20 分鐘放大稀釋倍率所得結果稀釋倍率至 5000 倍對大腸桿菌去效果達 92.75%以上。

原水	稀釋1000倍	稀釋2000倍	稀釋3000倍	稀釋4000倍	稀釋5000倍
大腸桿菌：6800	大腸桿菌：0	大腸桿菌：200	大腸桿菌：800	大腸桿菌：900	大腸桿菌：1300
大腸桿菌群：100	大腸桿菌群：0	大腸桿菌群：0	大腸桿菌群：0	大腸桿菌群：0	大腸桿菌群：0
總菌落數：6900	總菌落數：0	總菌落數：200	總菌落數：800	總菌落數：900	總菌落數：1300
	去除率：100%	去除率：97.1%	去除率：88.4%	去除率：86.95%	去除率：81.16%

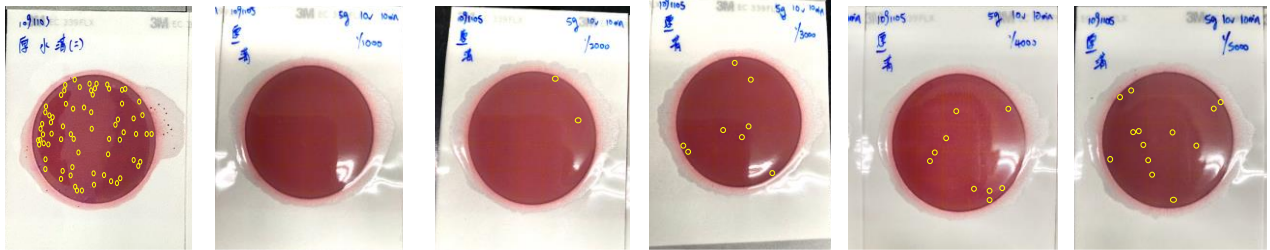


圖 14 直流電連續通電 10 分鐘放大稀釋倍率對大腸桿菌去除效果

原水	稀釋1000倍	稀釋2000倍	稀釋3000倍	稀釋4000倍	稀釋5000倍
大腸桿菌：6800	大腸桿菌：0	大腸桿菌：500	大腸桿菌：500	大腸桿菌：100	大腸桿菌：600
大腸桿菌群：100	大腸桿菌群：0	大腸桿菌群：0	大腸桿菌群：0	大腸桿菌群：0	大腸桿菌群：0
總菌落數：6900	總菌落數：0	總菌落數：0	總菌落數：0	總菌落數：0	總菌落數：0
	去除率：100%	去除率：92.75%	去除率：92.75%	去除率：98.55%	去除率：92.75%

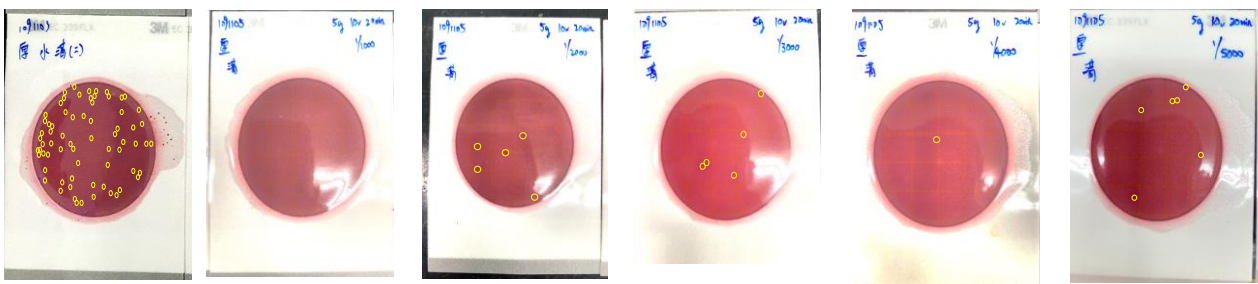


圖 15 直流電連續通電 20 分鐘放大稀釋倍率對大腸桿菌去除效果

3-4 實場實驗

3-4-1 實驗室模擬與實地場所差異性

大腸桿菌效果達 80% 以上，成效良好。故將二種實驗室模擬實場模組至實地場所進行實驗。實驗室模擬實場所使用蒸餾水水溶液，故石墨電極板間電壓差為 10v(伏特)，實地場所使用簡易自來水水源(原水)做為本次實驗之水溶液，故石墨電極板間電壓差為 6、7v(伏特)，電解液為每公升原水 5g/L 食用鹽進行電解反應之電化學氧化劑，分別進行水桶試驗、儲水塔試驗。

因應儲水塔以連續通電 10、20 分鐘電化學氧化劑對大腸桿菌消毒，分別以不同天進行實驗，因氣候變故及氣溫影響山泉水原水(E.coli count)有所落差，含容大腸桿菌、大腸桿菌群不一。水溶液為原水，於電解過程中消耗電化學氧化劑成分，既使稀釋倍率為 1:10000 (電化學氧化劑 L：山泉水 L)，對於儲水塔大腸桿菌去除率仍達 78% 以上。

3-4-2 米棧村大腸桿菌去除效果：(儲水塔容積量為 100 噸之蓄水池)

10 分鐘 (109 年 11 月 27 日)

由圖 16 得知原水(E.coli count)大腸桿菌總菌落數 4000CFU/100ml、無大腸桿菌群。

水桶試驗：以 1:10000 (1L 電化學氧化劑：10L 山泉水) 大腸桿菌去除率達 70%、1:7500 (1L 電化學氧化劑：7.5L 山泉水) 大腸桿菌去除率達 75%。

儲水塔試驗：以 1:10000 (10L 電化學氧化劑：100T 山泉水) 大腸桿菌去除率達 82.5%。

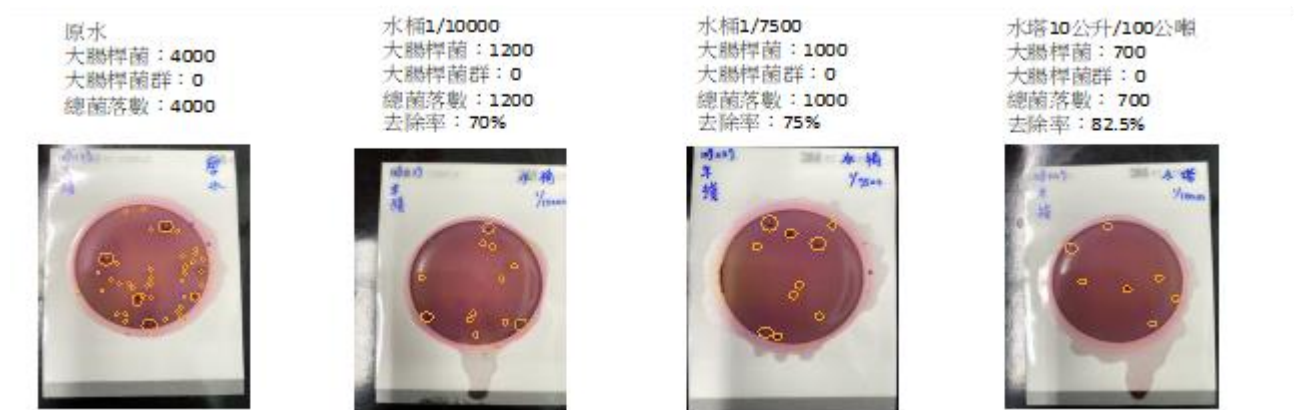


圖 16 壽豐鄉米棧村 電化學間接法連續通通電 10 分鐘實地場所實驗
20 分鐘 (110 年 3 月 14 日)

原水(E.coli count)大腸桿菌總菌落數 2100CFU/100ml、大腸桿菌群 300CFU/100ml。

水桶試驗：以 1:10000 (1L 電化學氧化劑：10L 山泉水) 大腸桿菌去除率達 95.23%、
1:7500 (1L 電化學氧化劑：7.5L 山泉水) 大腸桿菌去除率達 100%。

儲水塔試驗：以 1:10000 (10L 電化學氧化劑：100T 山泉水) 大腸桿菌去除率達 80.95%。如圖 17 結果。

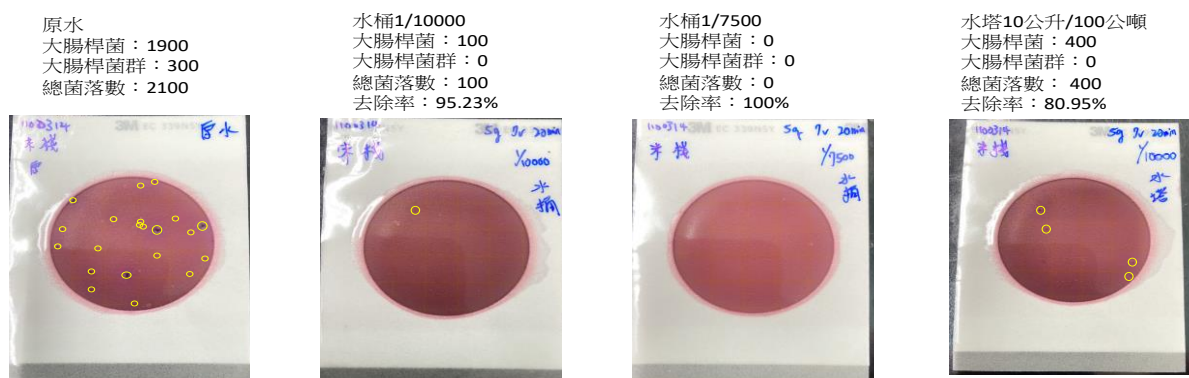
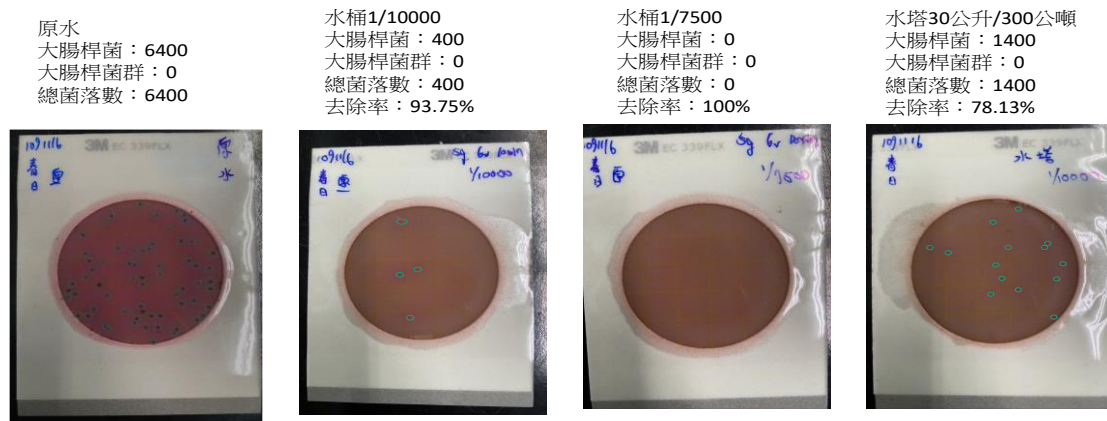


圖 17 壽豐鄉米棧村 電化學間接法連續通通電 20 分鐘實地場所實驗
3-4-3 春日村大腸桿菌去除效果(儲水塔容積量為 300 噸之蓄水池)
10 分鐘 (109 年 11 月 16 日)

如圖 18 得知原水(E.coli count)大腸桿菌總菌落數 6400CFU/100ml、無大腸桿菌群。

水桶試驗：以 1:10000 (1L 電化學氧化劑：10L 山泉水) 大腸桿菌去除率達 93.75%、
1:7500 (1L 電化學氧化劑：7.5L 山泉水) 大腸桿菌去除率達 100%。

儲水塔試驗：以 1:10000 (30L 電化學氧化劑：300T 山泉水) 大腸桿菌去除率達



78.13%。

圖 18 玉里鎮春日村 電化學間接法連續通通電 10 分鐘實地場所實驗
20 分鐘 (110 年 3 月 14 日)

如圖 19 結果，原水(E.coli count)大腸桿菌總菌落數 1500CFU/100ml、無大腸桿菌群。
水桶試驗：以 1:10000 (1L 電化學氧化劑：10L 山泉水) 大腸桿菌去除率達 93.3%、1:7500
(1L 電化學氧化劑：7.5L 山泉水) 大腸桿菌去除率達 100%。儲水塔試驗：以 1:10000
(30L 電化學氧化劑：300T 山泉水) 大腸桿菌去除率達 100%。

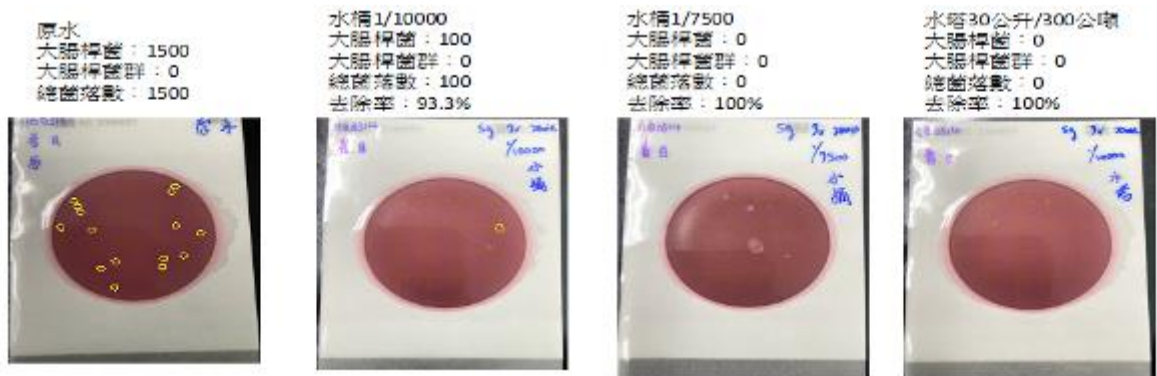


圖 19 玉里鎮春日村 電化學間接法連續通通電 20 分鐘實地場所實驗

四、結 論

在食用鹽與 NaCl(氯化鈉)電化學氧化劑，以分光光譜儀吸收峰值(293nm)得吸收值結果得知，由於電解和離子化，食用鹽乾基 95%為 NaCl(氯化鈉) 及其他微金屬元素鐵、磷、碘等離子激發態，故不同濃度電解交換過程中造成水中離子濃度達平衡時至飽和區，不同濃度之 Hocl(次氯酸)含量有所影響。

石墨電極板排列條件：(5 夾 2)，極板間電壓 10v(伏特)，連續通電 10、20 分鐘，每公升 5g/L 之食用鹽電解液，(1ml 電化學氧化劑：1000ml 溝渠水) 得大腸桿菌去除率達 90%以上。

實驗時模擬放大 5000 倍率 (1ml 電化學氧化劑：5000ml 山泉水) 連續通電 20 分鐘大腸桿菌消毒可達 92.75%去除率。

經實驗室模擬實場所使用蒸餾水水溶液，得石墨電極板間電壓差為 10v(伏特)、總

電壓 30v(伏特)；而實地場所使用簡易自來水水源（原水）水溶液，得石墨電極板間電壓差為 6、7v(伏特)、總電壓 30v(伏特)。

實地場所(壽豐鄉米棧、玉里鎮村日村)：直流電連續通電 10、20 分鐘儲水塔試驗：以 1:10000（1ml 電化學氧化劑：10L 山泉水）大腸桿菌去除率達 78.13%以上。直流電連續通電 20 分鐘，水桶試驗以 1:10000（1ml 電化學氧化劑：10L 山泉水）大腸桿菌去除率達 93.3%以上、1:7500（1ml 電化學氧化劑：7.5L 山泉水）大腸桿菌去除率達 100% 完全去除。

參考文獻

- <https://www.dgbas.gov.tw/public/Data/06216654198HDY1K.pdf> 國情統計通報(第 102 號)，(修訂於 109 年 6 月)
- 花蓮縣政府 108 年度原住民地區簡易自來水系統營運計畫，(108 年 9 月)
- 自來水-全國法規資料庫 <https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=J0110064>
- 行政院環保署-地面水體及水質標準
- <https://oaout.epa.gov.tw/law/LawContent.aspx?id=FL015490>
- 飲用水水質標準-全國法規資料庫
- <https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=o0040019>
- 自來水工程設施標準-全國法規資料庫
- <https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=J0110064>
- 蔡大勇，「化學法與電化學改善山區水質殺菌效果之研究」，大漢技術學院土木工程與環境資源管理系碩士班，碩士論文（2020）。
- 無自來水地區供水改善計畫簡易自來水工程及系統營運補助申請及管考作業要點-經濟部水利署 <https://law.moea.gov.tw/LawContent.aspx?id=FL084261>
- 花蓮縣政府 109 年度原住民地區簡易自來水系統營運計畫，(109 年 11 月)
- 飲用水連續供水設備使用及維護管理辦法
- <https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?PCode=O0040014>
- 夏平，「化學混凝法處理高色度染料廢水的研究」，湖州職業技術學院學報，Vol. 4(4)，p 81-84，(2003)。
- 鄭曦，「高鐵絮凝劑的電合成及其在染料廢水處理中的應用」，福建師範大學學報，Vol.18(3)，pp.54-57，(2002)。
- 姜鳳玲，「試論染色廢水的生物處理技術」，蒙自師範高等專科學校學報，Vol. 5(4),p.28-31，(2003)。
- 樊毓新，周增炎，「染料廢水的處理方法現狀與發展前景」，環境保護，Vol.9，pp.22-26，(2002)。
- 何志軒，「以化學法與電化學氧化分解有機反應性染料之探討」，淡江大學水資源及環境工程學系博士班，博士論文(2001)。
- 何志軒、楊禎祿，「混合市售漂白水與有機染料 RB-19 之化學反應動力特性」，大漢技術學院、大漢學報，第廿二期。
- 何志軒、陳俊成、楊禎祿、劉士偉、黃信智，「利用電化學產生氧化劑方式氧化裂解

有機反應性染料之特性」，2009 資源與環境學術研討會資料。

何志軒、陳俊成、楊禎祿，「利用次氯酸鈉氧化裂解有機反應性染料」，中華民國環境工程學會，2008 廢水處理技術研討會資料。

楊萬發教授譯，「水及廢水處理化學」，茂昌圖書有限公司(177-206)。

行政院環境保護署，<https://www.epa.gov.tw>。

張聖雄、陳建財，「廢水生物處理程序常見問題實務探討」，工業污染期刊。

維基百科，<https://zh.wikipedia.org/zh-tw/氯化鈉>，(修訂於 2020 年 5 月)。

3M™ Petrifilm™ 大腸桿菌/大腸菌群快檢片 6404，微生物快速檢驗測試片手冊.pdf