

科技部
110 年度科技行政自行研究計畫

污泥鹼洗應用於科學園區污水廠減廢研究

研究項目：污泥鹼洗應用於科學園區污水廠減廢研究
研究單位：科技部南部科學園區管理局
研究人員：郭本正、張逸平
研究期程：110 年 5 月至 110 年 11 月

中華民國 110 年 12 月

目錄

壹、研究目的	1
貳、研究方法及步驟	2
一、 研究方法	2
二、 研究步驟	3
三、 效益計算方式	3
參、結果與討論	6
一、 最佳 pH 操作	6
二、 最佳反應時間操作	10
三、 最佳操作參數放大規模效益試算	18
肆、結論	18

污泥鹼洗應用於科學園區污水廠減廢研究

科技部南部科學園區管理局環安組環保科
郭本正科長、張逸平技正

關鍵字：有機污泥、減量、鹼洗處理

壹、研究目的

污泥為污水處理程序中，廢水中懸浮固體物經加藥混凝單元、沉澱單元或有機約質經生物處理單元等形成，為污水處理廠產出的廢棄物中最大部分。以南科臺南園區污水處理廠為例，109 年產出有機污泥逾 16,000 噸，佔全廠產出廢棄物 99.97%，支付清除處理費用逾 1 億元。臺灣目前有機污泥主要的處理管道包括生物處理、物理處理、熱處理、焚化處理等，考量清運處理過程衍生污染、民眾觀感、處理後尾料去化管道、成本等因素等問題，使有機污泥委外處理費用居高不下外，近年來更發生多起不肖業者非法棄置污泥的事件。爰此，若能開發出污泥減量的技術，就有機會減少污水處理廠營運成本及降低有機污泥後續處理風險。

水份是有機污泥中最大重量佔比，故如何減少其水份含量成為污泥減量的主要手段，然以目前最常使用的板框（壓濾）式脫水機，脫水效率受限於物理特性，有其瓶頸，如何提高脫水能力，已成為污泥減量的主要課題。

有機污泥鹼洗技術係以添加化學鹼劑（本研究使用氫氧化鈉）方式，試圖破壞有機污泥中微生物的細胞膜，水解出細胞膜內的水份及有機物質，將原脫水機壓濾無法排出的細胞內水份釋放出來，來達成有機污泥的減量。

本研究在臺南園區污水處理廠架設模型廠，以實廠的廢水及廢棄污泥執行污泥鹼洗試驗，並測試不同操作參數條件，評估其廢棄物減量效益及預估經濟效益，以作為未來功能提升改善或新設廠之先期研究，並可供園區污水處理相關行政作業之參考依據。

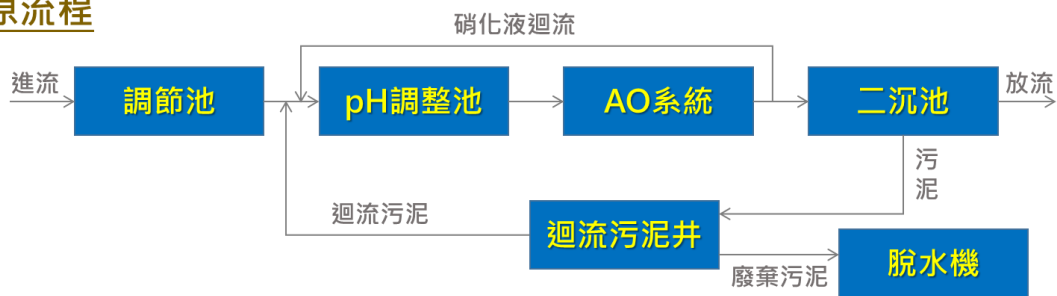
貳、研究方法及步驟

一、研究方法

臺南園區二期基地二階污水廠的生物處理單元為缺氧-好氧處理程序（AO系統），廢水經調節池調勻，流入 pH 調整池後進入 AO 系統進行反應，污泥後續經二級沉池沉澱後送至迴流污泥井，並依實際操作需求進行迴流及廢棄。

本研究係於迴流污泥井後方增設鹼洗模廠，將二期基地二階污水廠廢棄污泥注入模廠後，加入氫氧化鈉提升酸鹼度(以下簡稱 pH)進行鹼洗以破碎污泥膠羽，釋出污泥中細胞內水份，其餘的有機質再由系統微生物處理，進而達到減量成效，另鹼洗後的出流液仍有相當的鹼度，可供後續 pH 調整使用。本研究模廠實驗流程處理程序如圖 1 所示。

原流程



試驗流程

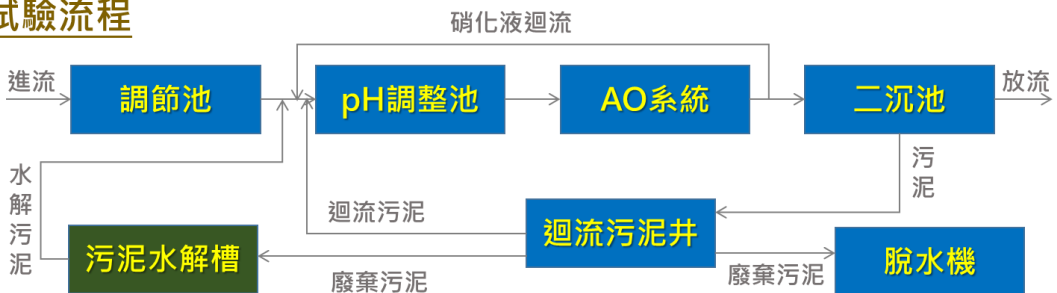


圖 1、模廠實驗流程處理程序

二、研究步驟

本研究以臺南園區二期基地二階污水廠缺氧-好氧系統廢棄污泥進行模廠試驗，攪拌機設定轉速 40 rpm，以「pH」及「反應時間」作為變數，分別測試在不同 pH 及反應時間的污泥濃度變化。模廠處理流程示意圖如圖 2 所示，研究設備如圖 3 所示，研究步驟說明如下。

- (一) pH 為變數：以 pH 11、pH 12 分別進行測試，說明如下
1. 進流污泥：本研究模廠大小約 6m³，以反應時間 12 小時進行批次試驗。
 2. pH 控制：以控制目標分別為 11、12 進行測試，分別測試至少 5 批次並進行量測。
 3. 數值紀錄：每批次試驗紀錄氫氧化鈉使用量、反應時間，以及分析懸浮固體物(有機污泥前趨物)、化學需氧量。
 4. 結果分析：透過本次研究，計算污泥鹼洗水解前後效益比較，包含減少污泥清除處理費及用電成本等。
- (二) 反應時間為變數：以 2、4、8、12 小時分別進行測試，說明如下；
1. 進流污泥：本研究模廠大小約 6m³，以反應時間 2、4、8、12 小時進行批次試驗，分別測試至少 5 批次並進行量測。
 2. pH 控制：以 pH 12 為控制目標進行測試。
 3. 數值紀錄：每批次試驗紀錄藥品氫氧化鈉使用量、反應時間，以及分析懸浮固體物(有機污泥前趨物)、化學需氧量。
 4. 結果分析：透過本次研究，計算污泥鹼洗水解前後效益比較，包含減少污泥清除處理費及增加用電成本等。

三、效益計算方式

- (一) 增加成本：包含攪拌機、抽水機、加藥機運轉電費等，其中抽水機、加藥機運轉以 0.2 小時計算，攪拌機則配合測試不同反應時間運轉，計算條件如表 1 所示。

表 1、每批次增加成本計算方式

設備	功率-kw/小時	台數-台	電費單價-元/度
1.5Hp 攪拌機	3.675	1	2.46
2.3Hp 抽水機	2.205	2	
3.1Hp 加藥機	0.735	1	

(二) 節省成本：懸浮固體物(有機污泥前趨物)減少量換算每批次節省污泥清除處理費，以鹼洗前後減量濃度乘上每批次 6m³處理量及污泥清除處理費 7.4 元/kg 計算之。

(三) 每日效益計算：(節省成本 - 增加成本) × 每日操作批次數。

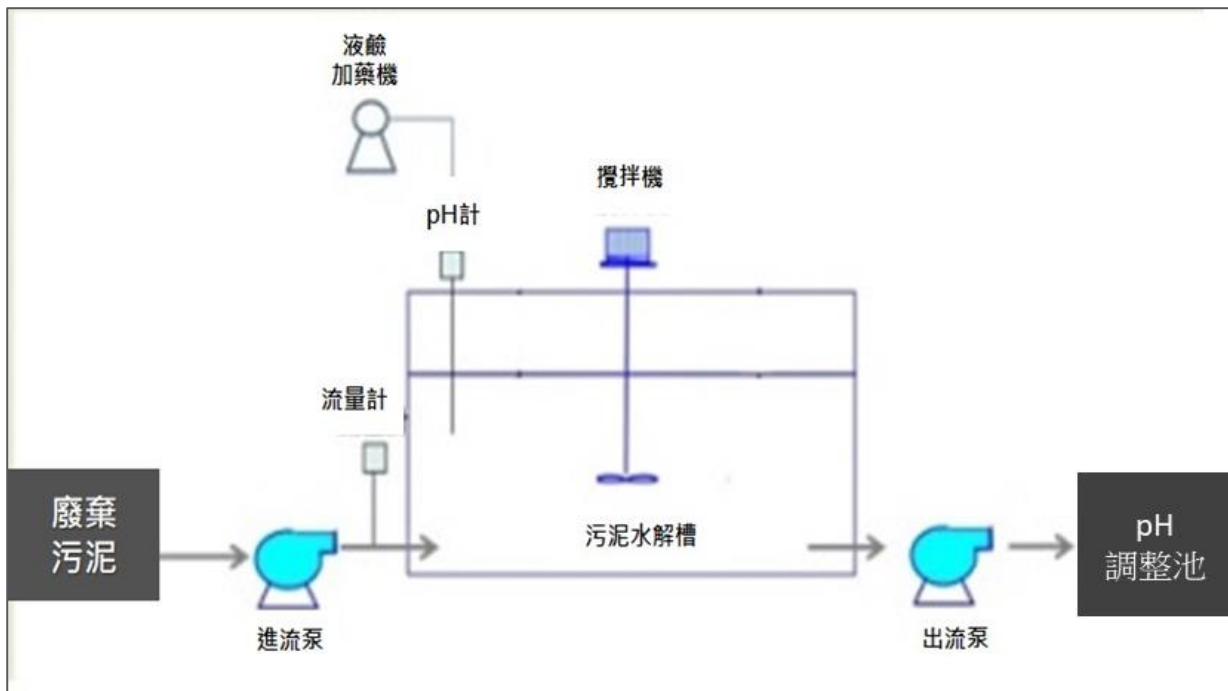


圖 2、污泥鹼洗水解研究模廠流程示意圖



進流泵放置於迴流/廢棄污泥槽



氫氧化鈉桶槽



加藥機



攪拌機



攪拌機變頻器



出流泵



試驗模廠



流量計



pH 計

圖 3、污泥鹼洗水解研究模廠使用設備

參、結果與討論

一、最佳 pH 操作

本研究以 pH 11、pH 12 進行鹼洗水解研究，共計測試 12 批次，其中 pH 11 為 6 批次、pH 12 為 6 批次，分別調整至 pH 11、pH 12 後測試結果如下所述，相關研究結果如表 2 所示。

(一) pH 11

1. 原始 pH：6.10~6.48。
2. 調整耗費加藥量：11~31 L/批次。
3. 懸浮固體物(有機污泥前趨物)：鹼洗前平均濃度 16,900 mg/L(14,700~20,300 mg/L)，鹼洗水解後濃度 14,467 mg/L(11,700~16,300 mg/L)，平均污泥減量濃度 2,433 mg/L(300~4,600 mg/L)，以每日操作 2 批次計算，可減少 29 kg/日懸浮固體物(有機污泥前趨物)。
4. 化學需氧量：鹼洗前濃度 27.1~187.0 mg/L，鹼洗水解後濃度 617~1,560 mg/L，鹼洗後濃度較鹼洗前增加 5.4~48.7 倍。

(二) pH 12

1. 原始 pH：6.17~6.60。
2. 調整耗費加藥量：27~38 L/批次。
3. 懸浮固體物(有機污泥前趨物)：鹼洗水解前濃度 16,765 mg/L(14,690~18,400 mg/L)，鹼洗水解後濃度 12,760 mg/L(10,920~15,800 mg/L)，平均污泥減量濃度為 4,005 mg/L(2,600~5,280 mg/L)，以每日操作 2 批次計算，可減少 48 kg/日懸浮固體物(有機污泥前趨物)。
4. 化學需氧量：鹼洗水解前濃度 26.3~433.0 mg/L，鹼洗水解後濃度 872~1,990 mg/L，鹼洗水解後濃度較鹼洗水解前增加 2.4~56.8 倍。

(三) 結果說明

1. 懸浮固體物(有機污泥前趨物)減量：檢視 pH 12 進行鹼洗水解後，懸浮固體物(有機污泥前趨物)減量濃度及減量穩定性均較 pH 11 佳，不同 pH 條件下每日懸浮固體物(有機污泥前趨物)減量比較如圖 4 所示。
2. 化學需氧量增加：檢視 pH 12 進行鹼洗水解後平均增加化學需氧量濃度為 1,211 mg/L(835~1,640 mg/L)，相較於 pH 11 為 1,056 mg/L(908~1,527 mg/L)佳。

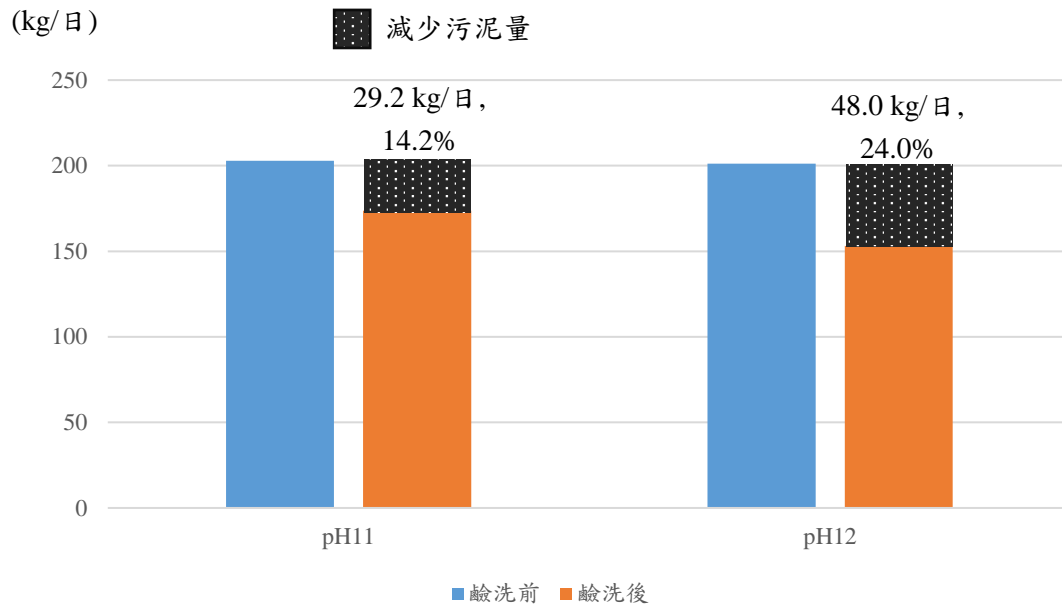


圖 4、不同 pH 測試每日懸浮固體物(有機污泥前趨物)減少量

表 2、污泥鹼洗水解研究紀錄-不同 pH

批次	用藥量 (L)	懸浮固體物 (有機污泥前趨物)(mg/L)				化學需氧量 (mg/L)			pH		停留 時間 (hr)
		原始	鹼洗後	減量	減量率	原始	鹼洗後	差值	原始	調整後	
1	21	20,300	15,700	4,600	22.7%	29.4	1,460	1,431	6.25	11.03	12
2	16	17,100	16,200	900	5.3%	72.9	617	544	6.15	11.04	12
3	12	16,600	16,300	300	1.8%	187.0	1,200	1,013	6.20	11.00	12
4	11	15,500	13,500	2,000	12.9%	27.1	940	913	6.48	11.03	12
5	12	17,200	13,400	3,800	22.1%	54.2	962	908	6.10	11.00	12
6	31	14,700	11,700	3,000	20.4%	32.8	1,560	1,527	6.37	11.04	12
平均		16,900	14,467	2,433	14.2%	67.2	1,123	1,056	—		12
1	35	14,690	11,540	3,150	21.4%	37.0	1,190	1,153	6.44	11.97	12
2	27	16,200	10,920	5,280	32.6%	433.0	1,570	1,137	6.17	12.00	12
3	36	18,400	15,800	2,600	14.1%	424.0	1,430	1,006	6.54	12.03	12
4	27	17,200	11,600	5,600	32.6%	26.3	1,520	1,494	6.30	12.02	12
5	27	17,000	13,100	3,900	22.9%	350.0	1,990	1,640	6.37	11.98	12
6	38	17,100	13,600	3,500	20.5%	37.1	872	835	6.60	12.00	12
平均		16,765	12,760	4,005	24.02%	218	1,429	1,211	—		12

(四) 效益分析

1. 增加成本：因鹼洗水解後的高 pH 污泥輸送回系統處理可作為調整 pH 之鹼劑使用，故增加成本中不計入鹼劑添加費用，僅計算用電費。計算每批次測試攪拌機、進出流抽水及加藥機運轉耗用電費約 111 元，換算每日操作 2 批次耗用電費約 222 元。
2. 節省成本：
 - (1)pH 11：鹼洗水解前後懸浮固體物(有機污泥前趨物)平均減少 2,433 mg/L，換算每批次處理 6 m³ 廢棄污泥約可減量 14.6 kg，以處理單價 7.4 元/kg 計算，每批次約可節省污泥清除處理費 108 元，換算每日操作 2 批次約可節省污泥清除處理費 216 元。
 - (2)pH 12：鹼洗水解前後懸浮固體物(有機污泥前趨物)平均減少 4,005 mg/L，換算每批次處理 6 m³ 廢棄污泥約可減量 24.0 kg，以處理單價 7.4 元/kg 計算，每批次約可節省污泥清除處理費 178 元，換算每日操作 2 批次約可節省污泥清除處理費 356 元。
3. 最佳化 pH 比較：計算 pH 11、pH 12 鹼洗水解廢棄污泥效益，以 pH 12 每日進行鹼洗水解後約可節省成本 134 元，而 pH 11 因需投入的耗電成本高於污泥減量效益，合計成本每日需增加 6 元，不具經濟效益。效益統計如圖 5 所示，效益計算如表 3 所示。

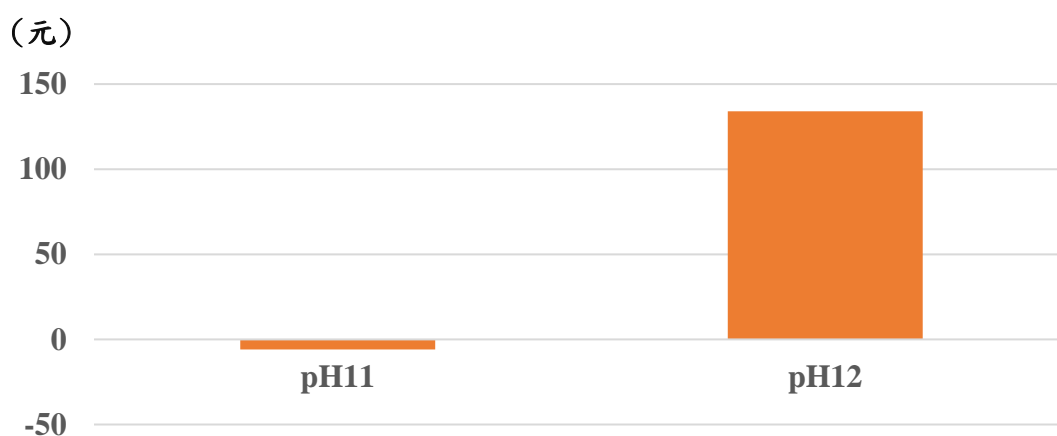


圖 5、不同 pH 計算每日效益

表 3、污泥鹼洗水解效益分析-不同 pH

pH	增加成本(元/日)	節省成本(元/日)	效益
11	222 元/日	216 元/日	增加成本 6 元/日
12	222 元/日	356 元/日	節省成本 134 元/日

※每批次處理量為 6m³，攪拌機運轉反應時間 12 小時

二、最佳反應時間操作

本研究除以 pH 為變數外，另亦以反應時間 2、4、8、12 小時作為變數進行測試，相關研究數據結果如下所述，相關研究結果如表 4 所示。

(一) 反應時間- 2 小時

1. 原始 pH：6.19~6.48。
2. 設定目標 pH：12。
3. 懸浮固體物(有機污泥前趨物)：鹼洗前濃度 11,900~17,900 mg/L，鹼洗後濃度 10,200~15,000 mg/L，平均污泥減量濃度為 2,533 mg/L，以每日操作 12 批次計算，可減少 182.4 kg/日懸浮固體物(有機污泥前趨物)。
4. 化學需氧量：鹼洗前濃度 35.7~57.6 mg/L，鹼洗後濃度 1,420~1,840 mg/L，鹼洗後濃度較鹼洗前增加 25~46 倍。

(二) 反應時間- 4 小時

1. 原始 pH：6.19~6.48。
2. 設定目標 pH：12。
3. 懸浮固體物(有機污泥前趨物)：鹼洗前濃度 11,900~17,900 mg/L，鹼洗後濃度 9,300~14,500 mg/L，平均污泥減量濃度為 3,400 mg/L，以每日操作 6 批次計算，可減少 122.4 kg/日懸浮固體物(有機污泥前趨物)。
4. 化學需氧量：鹼洗前濃度 35.7~57.6 mg/L，鹼洗後濃度 1,640~1,980 mg/L，鹼洗後濃度較鹼洗前增加 28~47 倍。

(三) 反應時間- 8 小時

1. 原始 pH：6.19~6.48。
2. 設定目標 pH：12。
3. 懸浮固體物(有機污泥前趨物)：鹼洗前濃度 8,330~14,500

mg/L，鹼洗後濃度 9,200~14,500 mg/L，平均污泥減量濃度為 3,812 mg/L，以每日操作 3 批次計算，可減少 68.6 kg/日懸浮固體物(有機污泥前趨物)。

4. 化學需氧量：鹼洗前濃度 35.7~57.6 mg/L，鹼洗後濃度 1,670~2,010 mg/L，鹼洗後濃度較鹼洗前增加 29~50 倍。

(四) 反應時間- 12 小時

1. 原始 pH：6.19~6.48。
2. 設定目標 pH：12。
3. 懸浮固體物(有機污泥前趨物)：鹼洗前濃度 8,330~14,500 mg/L，鹼洗後濃度 7,900~14,100 mg/L，平均污泥減量濃度為 4,512 mg/L，以每日操作 2 批次計算，可減少 54.1 kg/日懸浮固體物(有機污泥前趨物)。
4. 化學需氧量：鹼洗前濃度 35.7~57.6 mg/L，鹼洗後濃度 1,830~2,110 mg/L，鹼洗後濃度較鹼洗前增加 32~54 倍。

(五) 結果說明

1. 懸浮固體物(有機污泥前趨物)減量：依據研究結果顯示，每日懸浮固體物(有機污泥前趨物)減量以反應時間 2 小時為最佳，12 小時為最差。不同反應時間條件下懸浮固體物(有機污泥前趨物)減量比較如圖 6 所示。
2. 化學需氧量增加：依據研究結果顯示，鹼洗水解後增加的化學需氧量以反應時間 12 小時為最佳，2 小時為最差，隨著反應時間的增加效果越佳，但整體檢視後發現攪拌時間 2 小時後對於化學需氧量的增加已較不顯著。

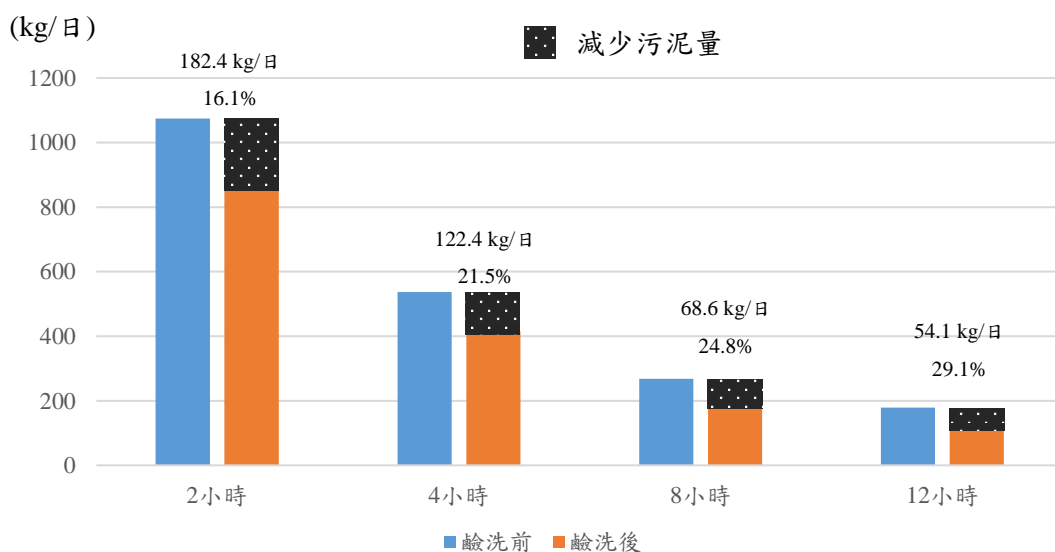


圖 6、不同反應時間測試每日懸浮固體物(有機污泥前趨物)減少量

表 4、污泥鹼洗水解研究紀錄-不同反應時間

批次	懸浮固體物 (有機污泥前趨物)(mg/L)				化學需氧量(mg/L)			pH		停留 時間 (小時)
	原始	鹼洗後	減量	減量率	原始	鹼洗後	差值	原始	目標值	
1	16,400	14,400	2,000	12.2%	54.6	1,840	1,785	6.23	11.99	2
2	15,600	15,000	600	3.8%	56.8	1,630	1,573	6.19	11.96	2
3	17,900	10,700	7,200	40.2%	35.7	1,540	1,504	6.47	11.95	2
4	11,900	10,700	1,200	10.1%	57.6	1,420	1,362	6.41	12.06	2
5	12,000	10,200	1,800	15.0%	37.3	1,700	1,663	6.26	12.01	2
6	15,700	13,300	2,400	15.3%	45.2	1,510	1,465	6.48	12.00	2
平均	14,917	12,383	2,533	16.1%	47.9	1,607	1,559	—	—	2
1	16,400	12,500	3,900	23.8%	54.6	1,980	1,925	6.23	11.99	4
2	15,600	14,500	1,100	7.1%	56.8	1,680	1,623	6.19	11.96	4
3	17,900	9,300	8,600	48.0%	35.7	1,680	1,644	6.47	11.95	4
4	11,900	10,400	1,500	12.6%	57.6	1,640	1,582	6.41	12.06	4
5	12,000	10,200	1,800	15.0%	37.3	1,710	1,673	6.26	12.01	4
6	15,700	12,200	3,500	22.3%	45.2	1,680	1,635	6.48	12.00	4
平均	14,917	11,517	3,400	21.5%	47.9	1,728	1,680	—	—	4

表 4、污泥鹼洗水解研究紀錄-不同反應時間(續)

批次	懸浮固體物 (有機污泥前趨物)(mg/L)				化學需氧量(mg/L)			pH		停留時間 (H)
	原始	鹼洗後	減量	減量率	原始	鹼洗後	差值	原始	目標值	
1	16,400	12,400	4,000	24.4%	54.6	2,010	1,955	6.23	11.99	8
2	15,600	14,500	1,100	7.1%	56.8	1,860	1,803	6.19	11.96	8
3	17,900	9,200	8,700	48.6%	35.7	1,770	1,734	6.47	11.95	8
4	11,900	8,330	3,570	30.0%	57.6	1,670	1,612	6.41	12.06	8
5	12,000	10,100	1,900	15.8%	37.3	1,780	1,743	6.26	12.01	8
6	15,700	12,100	3,600	22.9%	45.2	1,870	1,825	6.48	12.00	8
平均	14,917	11,105	3,812	24.8%	47.9	1,827	1,779	—	—	8
1	16,400	11,200	5,200	31.7%	54.6	2,110	2,055	6.23	11.99	12
2	15,600	14,100	1,500	9.6%	56.8	1,960	1,903	6.19	11.96	12
3	17,900	7,900	10,000	55.9%	35.7	1,930	1,894	6.47	11.95	12
4	11,900	8,030	3,870	32.5%	57.6	1,830	1,772	6.41	12.06	12
5	12,000	10,100	1,900	15.8%	37.3	1,890	1,853	6.26	12.01	12
6	15,700	11,100	4,600	29.3%	45.2	2,020	1,975	6.48	12.00	12
平均	14,917	10,405	4,512	29.1%	47.9	1,957	1,909	—	—	12

(六) 效益分析：以下依每日 24 小時連續操作計算效益，說明如下。

1. 污泥減量效益：計算每日污泥減量，以反應時間 2 小時為最高，反應時間 12 小時為最差，減量計算如表 5 所示。

表 5、不同反應時間污泥減量效益

反應時間	平均減量 (mg/L)	處理量 (m ³ /批)	批次數 (批/日)	減量效益 (kg/日)
2 小時	2,533	6	12	182.4
4 小時	3,400	6	6	122.4
8 小時	3,812	6	3	68.6
12 小時	4,512	6	2	54.1

2. 經濟效益：

(1)每日增加成本：因鹼洗水解後的高 pH 污泥輸送回系統處理可作為調整 pH 之鹼劑使用，故增加成本中不計入鹼劑添加費用，僅計算用電費。

A. 2 小時：計算每批次測試攪拌機、進出流抽水泵及加藥機運轉耗用電費約 21 元，一天可執行 12 批次，用電費約 247 元。

B. 4 小時：每批次運轉耗用電費約 39 元，一天可執行 6 批次，用電費約 232 元。

C. 8 小時：每批次運轉耗用電費約 75 元，一天可執行 3 批次，用電費約 225 元。

D. 12 小時：每批次運轉耗用電費約 111 元，一天可執行 2 批次，用電費約 222 元。

(2)每日節省成本：經鹼洗水解後污泥濃度可有效減量，計算節省清除處理費成本如下。

A. 2 小時：污泥濃度平均減量 2,533 mg/L，每批次鹼洗水解後污泥可減量約 15.2 kg，以處理單價 7.4 元/kg 計算，每批次節省費用約 112.5 元，一天可執行 12 批次，節省成本約 1,350 元。

B. 4 小時：污泥濃度平均減量 3,400 mg/L，每批次鹼洗水解後污泥可減量約 20.4 kg，以處理單價 7.4 元/kg

- 計算，每批次節省費用約 151.0 元，一天可執行 6 批次，節省成本約 906 元。
- C. 8 小時：污泥濃度平均減量 3,812 mg/L，每批次鹼洗水解後污泥可減量約 22.9 kg，以處理單價 7.4 元/kg 計算，每批次節省費用約 169.3 元，一天可執行 3 批次，節省成本約 508 元。
- D. 12 小時：污泥濃度平均減量 4,512 mg/L，每批次鹼洗水解後污泥可減量約 27.1 kg，以處理單價 7.4 元/kg 計算，每批次節省費用約 200.3 元，一天可執行 2 批次，節省成本約 401 元。
- (3)最佳化反應時間比較：統計研究結果顯示，雖反應時間越長可達較佳懸浮固體物(有機污泥前趨物)去除濃度，但評估整體操作成本後則顯示，反應時間越短較符經濟效益，主要係因鹼洗每 m³ 污泥攪拌機耗用電力較高所致。效益統計如圖 7 所示，效益計算如表 6 所示。

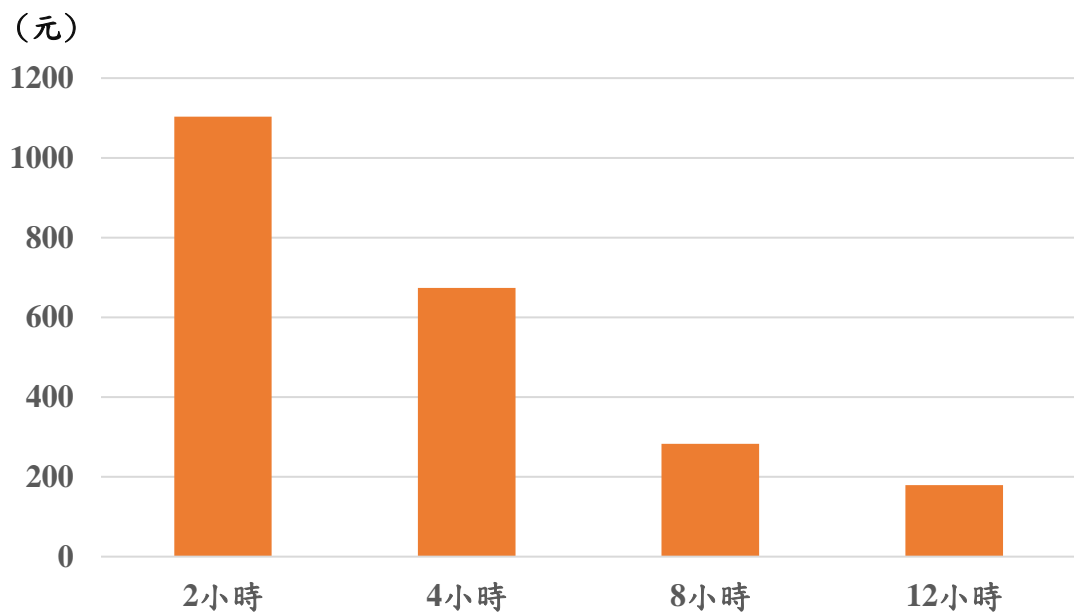


圖 7、不同反應時間計算效益

表 6、污泥鹼洗水解效益分析-不同反應時間

反應時間	增加成本(元/日)	節省成本(元/日)	效益
2 小時	247	1,350	節省成本 1,103 元/日
4 小時	232	906	節省成本 674 元/日
8 小時	225	508	節省成本 283 元/日
12 小時	222	401	節省成本 179 元/日

※每批次處理量為 6m³，設定 pH12

三、最佳操作參數放大規模效益試算

- (一) 臺南園區二期基地二階污水廠設計水量為 40,000CMD，依據水質、生物生成及加藥形成計算理論板框污泥產生量約 2.6 噸/萬 m³ 污水(以含水率 60%計)，每日理論板框污泥產生量約 10.4 噸。
- (二) 若以廢棄污泥濃度 15,000 mg/L 計算，每日若欲產生 10.4 噸板框污泥，每日需廢棄污泥量約為 280 m³。
- (三) 根據本研究測試最佳化條件，在控制 pH 12、反應時間 2 小時情況下，每 m³ 可節省效益約 15.3 元。換算廢棄污泥量 280 m³/日，每日可節省效益為 4,284 元，每年節省效益為 1,563,660 元。

肆、結論

- 一、依本研究結果顯示，有機污泥鹼洗技術應用於科學園區污水處理廠之有機污泥減量，初步測試具有相當之可行性。
- 二、整體研究結果，在 pH 12、反應時間 2 小時條件下，每日鹼洗 72m³ 污泥可減量 16.1%，約 182.4kg 污泥，扣除用電成本後節省 1,103 元為最佳經濟效益。
- 三、最佳化條件並僅以操作成本計算下，放大實廠運作後每年污泥可減量約 259 噸，評估節省效益約 150 萬元。

參考文獻：

- 1.洪仁陽，污泥水解減量技術，化工資訊月刊，第 6 期，第 66-73 頁 (2003)。
- 2.楊金鐘、林峻寬，污泥水解及調理對都市下水污泥電脫水之影響，國立中山大學環境工程研究所碩士論文。
- 3.Chen Y., Su J., Yuan, Zhou Q. and Gu G., "Hydrolysis and acidification of waste activated sludge at different pHs", *Water Research*, 41 (2007) 683-689.
- 4.Neyens E., Baeyens J. and Creemers C., "Alkaline thermal sludge hydrolysis", *Journal of Hazardous Materials*, 97 (2003) 295-314.
- 5.Vesilind P.V., "The role of water in sludge dewatering", *Water Environment Research*, 66(1) (1994) 4-10.