

生物除磷系統廢棄污泥以陽離子性高分子聚合物/ FeCl_3

雙重調理之研究

張維欽¹、簡競擇²、柯和良³、鄭光宏²

¹ 國立雲林科技大學環安所助理教授

² 國立雲林科技大學環安所碩士

³ 國立雲林科技大學環安所研究生

摘要

廢棄富磷生物污泥易於暫存條件下產生磷蓄積菌將體內累積之磷酸鹽再釋出現象，導致調理脫水後其高磷酸鹽濃度脫水濾液迴流至除磷系統後，造成除磷系統除磷功能效率降低之情形。本研究利用陽離子性高分子聚合物 PC-325 與無機金屬鹽類 FeCl_3 進行富磷污泥雙重調理脫水試驗，實驗過程並比較 PC-325 與 FeCl_3 加藥順序先後所引致之調理脫水差異，污泥調理脫水性能以 CST 與 SRF 為評估指標。以 PC-325/ FeCl_3 加藥順序進行雙重調理之實驗結果顯示，以 CST 評估加藥後污泥脫水性，若 PC-325 加藥計量接近於單一調理最佳加藥計量 80mg/L，則 CST 值隨 FeCl_3 加藥量增加而脫水性惡化，倘若 PC-325 加藥量僅 20mg/L 則 CST 值隨 FeCl_3 加藥量增加而脫水性改善；但當以 SRF 評估時則因 Precipitation 產生 FePO_4 可作為架構劑而得到整體脫水性之改善。而濾液中 PO_4^{3-} 隨著 FeCl_3 增加而明顯降低，且以 PC-325/ FeCl_3 加藥順序進行雙重調理較之單以 FeCl_3 進行調理將相同 PO_4^{3-} 去除所需之加藥量明顯減少，顯示 PC-325 電性中和作用可有效降低鐵離子被生物污泥吸附量。另以 FeCl_3 /PC-325 加藥順序進行雙重調理結果顯示，不論以 CST 或 SRF 指標評估添加 PC-325 皆可改善脫水性，但 PC-325 加藥量(140mg/L)較之以 PC-325 進行單一調理所需之加藥量(80mg/L)為高；而濾液中 PO_4^{3-} 濃度完全由 FeCl_3 加藥量所去除，後續添加之 PC-325 則對 PO_4^{3-} 並無貢獻。整體而言，先添加 PC-325 再添加 FeCl_3 之加藥順序可大幅縮減 PC-325 與 FeCl_3 加藥量，且可獲得與先 FeCl_3 再添加 PC-325 加藥順序相近之脫水性。

一、前言

厭氧好氧活性污泥系統主要目的為併同去除污水中 COD 與磷，其除磷功能乃是於好氧段前增加一厭氧段，藉以利用磷積蓄菌能在厭氧段釋磷好氧段攝磷之代謝行為，再經由排泥達到除磷之目的。但其所生成之富磷廢棄生物污泥易於暫存條件下產生磷積蓄菌將體內累積之磷酸鹽再釋出現象，導致廢棄污泥調理脫水後其脫水濾液磷酸鹽濃度過高，而此高磷酸鹽濃度之脫水濾液迴流至除磷系統後，易造成除磷系統除磷功能效率降低之情形。因此，生物除磷系統廢棄污泥調理脫水過程，除要求改善其脫水性外，亦需設法降低脫水濾液中磷酸鹽濃度。

由於生物污泥表面大多為負電荷，因此常於廢棄生物污泥調理過程中選用陽離子性高分子聚合物為調理劑，利用陽離子性高分子聚合物之電性中和與架橋作用，達到改善污泥脫水性之目的(Spinosa, 2001)。然而陽離子性高分子聚合物對於去除由廢棄富磷生物污泥再釋出於溶液中之正磷酸鹽並無明顯之作用，必須藉由添加如 FeCl_3 等金屬鹽類以 Precipitation 作用將之移除，但以 FeCl_3 卻不易改善污泥之脫水性(張, 2003)。因此，本研究利用厭氧好氧批次模廠之富磷廢棄生物污泥，經濃縮後儲存固定時間達到磷釋出之目的，再利用陽離子性高分子調理劑 PC-325 與氯化鐵進行污泥雙重調理脫水之研究，以期達到同時改善廢棄富磷生物污泥脫水性與降低濾液中正磷酸鹽濃度。

二、實驗方法與設計

1. 富磷污泥來源與特性

本研究所使用的模型廠為厭氧好氧(AO)模型廠如圖 1，總體積為 20 升，以高 COD/P (600/11) 基質利用批次進流方式馴養污泥，處理程序之總水力停留時間(HRT)為 10 小時(厭氧槽與好氧槽之水力停留時間比為 3:7)，其進流水水質濃度如表 1，並控制污泥停留時間(SRT)為 15 天，好氧段溶氧在 2.0 mg/l 以上，好氧槽 pH 值於 7 ± 0.2 之範圍。

實驗所使用之污泥為每天之廢棄污泥，並經離心濃縮三倍後儲存於 20°C 之恆溫室，連續收集六天，待第七天進行實驗，實驗前污泥基本脫水性 CST 約為 11sec、SRF 約為 $80 \times 10^{-12}(\text{m/Kg})$ 。

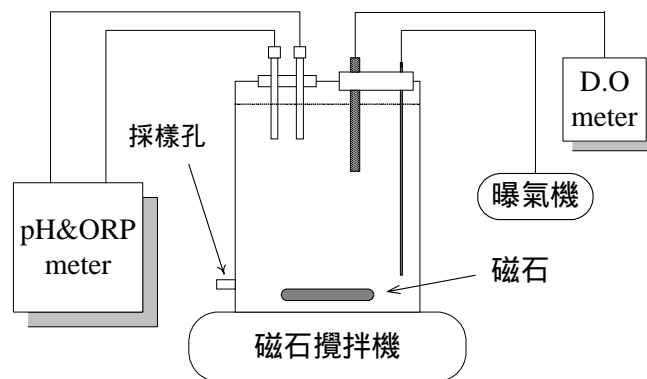


圖 1 厭氧好氧批次系統模廠

表 1 進流基質組成

Items	Conc.(mg/l)
Total COD (TCOD)	600±10
Soluble COD (SCOD)	430±10
Total BOD (TBOD)	420±20
Soluble BOD (SBOD)	320±20
Total Nitrogen(TN)	30±2
Total Phosphorus(TP)	11±0.5
Orthophosphate(Ortho-P)	8±0.5
Suspended Solid(SS)	100±10

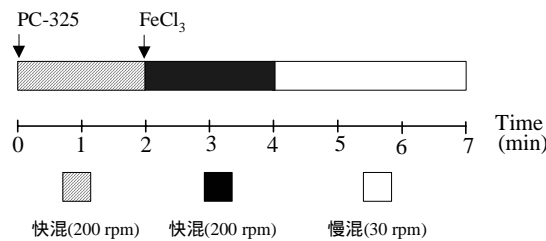
2. 調理劑種類

本研究調理劑使用無機調理劑 FeCl_3 及聚合國際公司之陽離子性高分子調理劑 PC-325 進行污泥調理之探討，其濃度分別為 FeCl_3 40,000mg/l 與 PC-325 1,000mg/l，且 PC-325 配置之時間不宜過早或太晚，避免發生不溶或變質。

3. 調理方式

本研究針對富磷廢棄污泥以雙重調理方式進行調理脫水之研究，分別加入固定濃度之 PC-325 或 FeCl_3 以 200rpm 快混 2 分鐘，再添加不同濃度之 FeCl_3 或 PC-325，以 200rpm 快混 2 分鐘再以 30rpm 慢混 3 分鐘，其流程如圖 3 所示，整體污泥調理過程隨時以 NaOH 控制 pH=6.5~7.5 之間。

1. 先添加PC-325再添加 FeCl_3



2. 先添加 FeCl_3 再添加PC-325

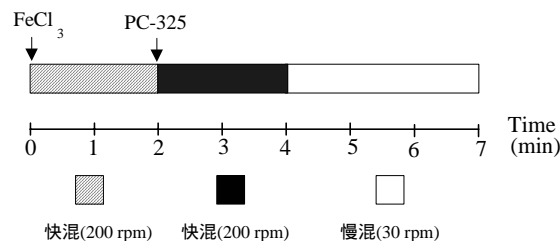


圖 2 雙重調理之調理流程

4. 調理指標

本研究嘗試以污泥脫水性指標 CST 與 SRF 及濾液水質指標 COD 與 $\text{PO}_4\text{-P}$ 作為判斷污泥調理之指標：

a. 毛細汲取時間(CST)

本實驗採用之 CST 儀器為 Triton type 304M。實驗時將原廠濾紙置於透明壓克力上，量取固定體積 5mL 之污泥倒入直徑 1cm 不鏽鋼容器中，其滲出之水分與濾紙接觸後，在濾紙上藉毛細汲取作用逐漸擴散，水分擴散至第一圈電極探針時，計時器開始計時，而水分擴散至第二圈電極探針時，計時器停止計時並有聲響警示，從第一圈擴散至第二圈所花費時間即為毛細汲取時間。若污泥脫水性佳，則濾紙水分在濾紙上移動一定距離所需時間較短，即 CST 值較小。本研究中所有之 CST 值之量測均經三次之重複實驗。

b. 過濾比阻抗(SRF)

以比阻抗參數量化污泥脫水特性的概念乃基於過濾理論，藉由布氏漏斗(Buchner funnel apparatus)與真空過濾裝置之使用，來量測並計算比阻抗值，以瞭解試驗污泥過濾性質。污泥比阻抗值為一平均值，較低的比阻抗表示污泥有較佳之脫水性。

本研究所使用的布氏漏斗，主要由陶瓷製過濾頭與濾液承接器組合，在承接頭側邊有一分支接管，先連接真空瓶，再連接真空抽氣機。濾液承接器是一個 250 ml 的圓柱量筒，其上置一轉接頭，可連接過濾頭與真空抽氣機。實驗時將 Whatman No. 42 濾紙置入漏斗中，加入適量水潤濕濾紙，並用真空抽氣，使濾紙與漏斗緊密結合。取 200 ml 的污泥倒入漏斗中，調整真空抽氣機之壓力(P)為 400 mmHg。隨時間(t)記錄通過該有效過濾面積(A)之濾液體積(V)，直至真空終止或濾液收集速率降至大約每分鐘 1 ml，則停止過濾，求得 t/V 對應 V 畫圖求出斜率(b)。並將濾紙烘乾秤重，並求得單位體積過濾液之固體重量(w)。將上述各參數與該濾液黏滯係數(μ)代入式(1)，求出比阻抗值(γ)。

$$\gamma = \frac{2PA^2b}{\mu w} \quad (1)$$

c. 濾液之 COD 與 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$

利用 SRF 實驗之濾液，以環署檢字第 21288 號 NIEA W517.50B 公告之標準分析方法分析 COD 與環署檢字第 0910029474 號 NIEA W415.50T 之標準分析方法以離子層析儀(IC)分析 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ ，藉以判斷脫水濾液之水質特性。

三、結果與討論

1. FeCl₃/PC-325 雙重調理實驗結果

廢棄富磷生物污泥若以 PC-325 進行單一調理，最佳 PC-325 加藥計量為 80mg/L，但對濾液中正磷酸鹽去除並無效果；若以 FeCl₃ 進行單一調理，最佳 FeCl₃ 加藥計量為 1,600mg/L(張, 2003)，因此本研究進行 PC-325 與 FeCl₃ 雙重調理試驗，以其同時改善污泥脫水性與降低濾液中正磷酸鹽濃度。

先添加 1600mg/L FeCl₃ 後添加 PC-325 之雙重調理實驗結果圖 3 所示，由脫水指標可知 CST 示隨 PC-325 加藥量之增加而減少，添加 PC-325 140mg/L 時其 CST 值達最小時間，當加藥量超過 140mg/L，CST 時間反而變長；顯示加氯化鐵（固定 1600mg/L）之後，再添加 PC-325 之最適加藥量為 140mg/L；SRF 之脫水性圖形；添加 PC-325 60mg/L 時，SRF 圖形顯示於最低點，唯與其它 PC-325 不同加藥量比較差異不大。由水質指標可知，COD 於添加 FeCl₃ 後有持續改善，但於 CST 值達最佳點之加藥量後，有增加之現象，顯示當加藥量超過 140mg/L 後，開始有 PC-325 殘留於溶液中，導致濾液之 COD 值增加；PO₄³⁻-P 濃度於添加 PC-325 後並無明顯變化現象，顯示 PC-325 對於濾液中之 PO₄³⁻-P 並無去除效果，濾液中 PO₄³⁻-P 去除依然全依賴第一次添加之調理劑 FeCl₃。綜合脫水指標與水質指標實驗結果結果，FeCl₃/PC-325 雙重調理最佳 PC-325 加藥量應為 140mg/L。

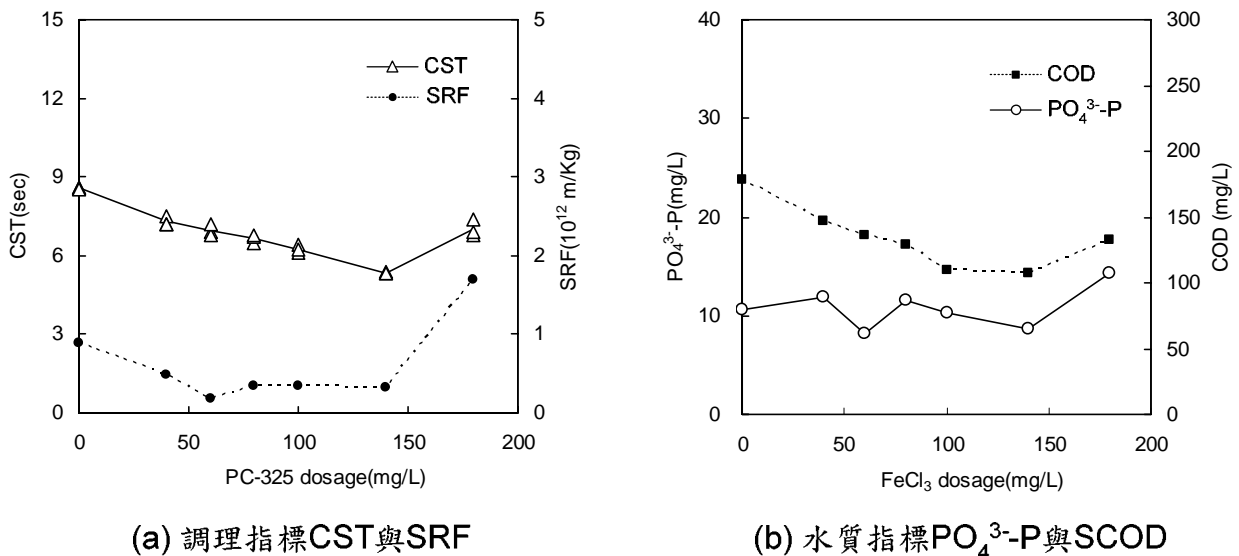


圖 3 FeCl₃ (1600mg/L)/PC-325 雙重調理實驗結果

2. PC-325/FeCl₃ 雙重調理實驗結果

因為濾液中正磷酸鹽需藉由添加 FeCl₃ 去除，添加 PC-325 對濾液中正磷酸鹽並無去除效果，則要達到固定之 PO₄³⁻-P 去除效果必然需添加一定量之 FeCl₃，因此本研究後續針對先添

加不同濃度 PC-325，再添加 FeCl_3 之雙重調理實驗，探討 PC-325 加藥量對雙重調理之影響。

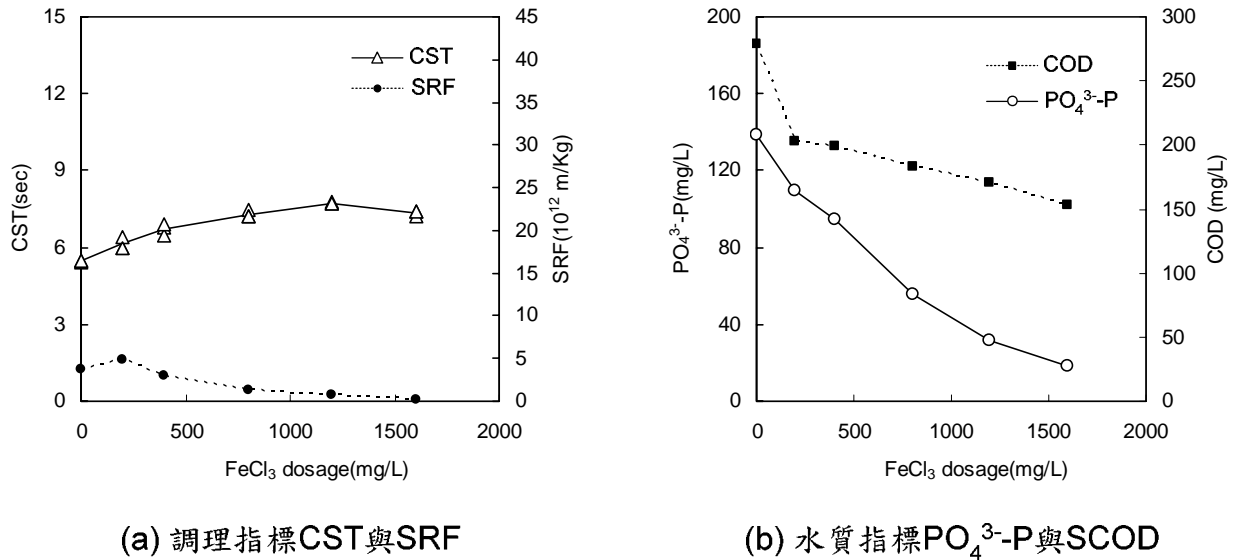
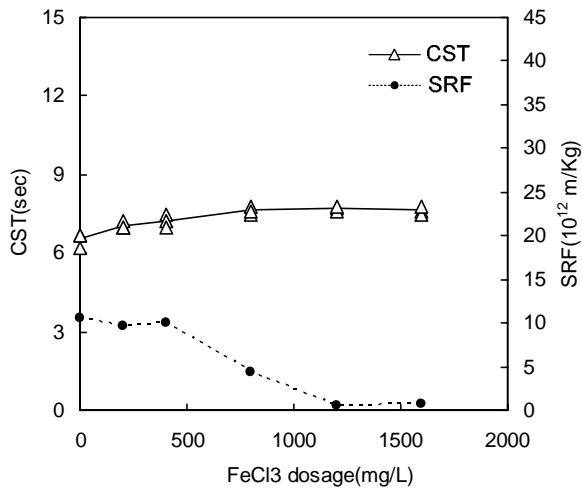


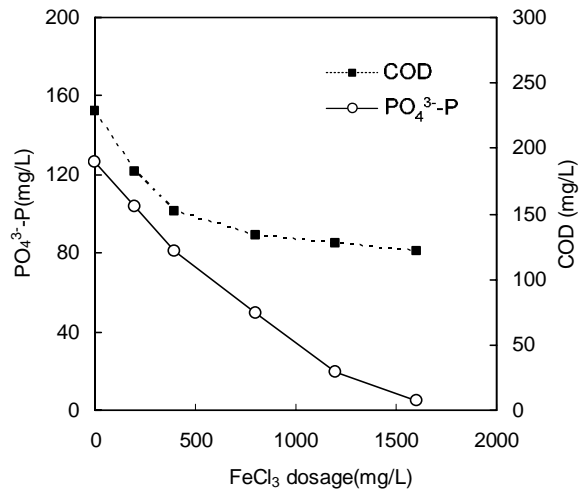
圖 4 PC-325 (80mg/L) / FeCl_3 雙重調理實驗結果

圖 4 為 PC-325 (80mg/L)/ FeCl_3 雙重調理實驗結果，由圖可知固定 PC-325 加藥劑量為 80mg/l，添加 FeCl_3 導致 CST 持續增加，此原因為 80mg/l 之 PC-325 加藥量以達最佳加藥劑量，而後續添加之 FeCl_3 卻與正磷酸鹽產生 Precipitation 作用形成小顆粒固體堵塞膠羽之間的小孔隙，導致 CST 值隨 FeCl_3 添加持續惡化；由 SRF 指標可知，添加 PC-325 後仍可持續改善 SRF 值，其原因為因 FeCl_3 與正磷酸鹽產生 Precipitation 作用形成小顆粒固體具有剛性與不可壓縮性，可明顯改善生物污泥於較高脫水壓力下污泥被壓縮之情形(Herwijn *et al.*, 1995)。SCOD 指標隨著加藥量增加而減少， FeCl_3 加藥量達 1600mg/l 後，SCOD 去除率約為 45%；而 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃度隨著加藥量增加值明顯降低， FeCl_3 加藥量達 1600mg/l 後， $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 去除率可達約 90%，已呈現相當良好之去除效果。因此，若以 PC-325 加藥量 80mg/l 與 FeCl_3 加藥量 1600mg/l 進行雙重調理，則可分別利用 PC-325 對污泥調理改善污泥脫水特性。綜合脫水指標與水質指標實驗結果結果，PC-325/ FeCl_3 雙重調理最佳 FeCl_3 加藥量應為 1600mg/L。

圖 5 為 PC-325 (40mg/L)/ FeCl_3 雙重調理實驗結果，由圖 CST 指標可知固定先添加 PC-325 藥量 40mg/l，後續再添加 FeCl_3 將導致 CST 值持續增加，而由 SRF 指標可知，添加 PC-325 後仍可持續改善 SRF 值，此現象與 PC-325 (80mg/L)/ FeCl_3 雙重調理實驗結果相同。SCOD 指標隨著加藥量增加而減少， FeCl_3 加藥量達 1600mg/l 後，SCOD 去除率約為 47%；而 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 濃度隨著加藥量增加值明顯降低， FeCl_3 加藥量達 1600mg/l 後， $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 去除率可達約 96%，已呈現相當良好之去除效果。



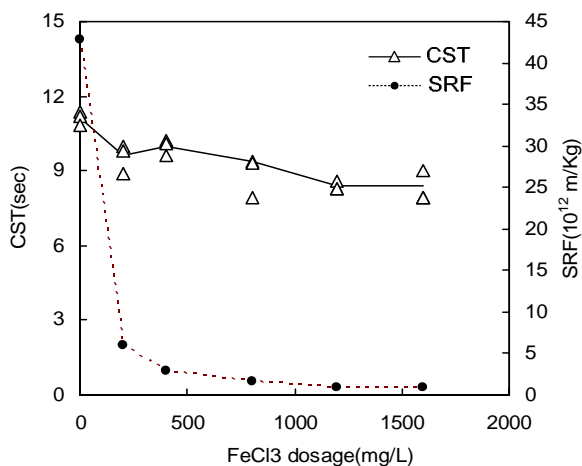
(a) 調理指標CST與SRF



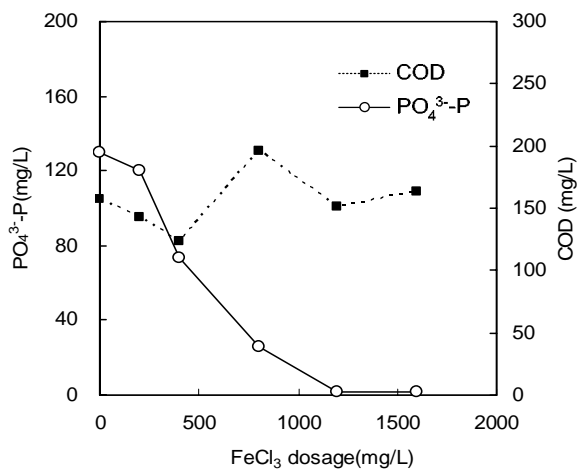
(b) 水質指標PO₄³⁻⁻P與SCOD

圖 5 PC-325 (40mg/L) /FeCl₃ 雙重調理實驗結果

圖 6 為 PC-325 (20mg/L)/FeCl₃ 雙重調理實驗結果,由圖 CST 指標可知固定先添加 PC-325 藥量 20mg/l, 後續再添加 FeCl₃ 將導致 CST 值持續改善, 但改善之效果並不明顯, 此現象與 PC-325 (40mg/L)/FeCl₃、PC-325 (80mg/L)/FeCl₃ 雙重調理實驗結果相反, 其原因為添加 PC-325 藥量 40mg/L 或 80mg/L 已接近最佳 PC-325 加藥計量(張, 2002), 因此再添加 FeCl₃ 後並無改善空間; 而添加 PC-325 藥量 20mg/L 仍遠小於最佳加藥計量, 因此再添加 FeCl₃ 後可持續改善 CST 值, 但 CST 指標因其上下壓力差並不大, 而添加 FeCl₃ 於調理過程主要可增加其不可壓縮性, 因此對於 CST 直之改善並不明顯。由 SRF 指標可知, 添加 PC-325 後仍可持續改善 SRF 值, 此現象與 PC-325 (40mg/L、80mg/L)/FeCl₃ 雙重調理實驗結果相同。SCOD 指標隨著加藥量增加並未有明顯去除效果; 而 PO₄³⁻⁻P 濃度隨著加藥量增加值明顯降低, FeCl₃ 加藥量達 1200mg/l 後, PO₄³⁻⁻P 去除率達約 99%, 已呈現相當良好之去除效果。



(a) 調理指標CST與SRF



(b) 水質指標PO₄³⁻⁻P與SCOD

圖 6 PC-325 (20mg/L) /FeCl₃ 雙重調理實驗結果

綜合 PC-325/FeCl₃ 雙重調理與 FeCl₃/PC-325 雙重調理之實驗結果顯示，若要降低濾液中正磷酸鹽濃度，則需添加 FeCl₃ 以達此目的，而先添加 PC-325 可利用電性中和之機制，降低後續添加 FeCl₃ 被生物污泥之吸附量，且以 PC-325/FeCl₃ 加藥順序進行污泥調理，PC-325 所需之加藥量可降低為 80mg/L，明顯低於 FeCl₃/PC-325 加藥順序之 140mg/L。

結論

1. FeCl₃/PC-325 加藥順序進行雙重調理結果顯示，不論以 CST 或 SRF 指標評估添加 PC-325 皆可改善脫水性，但 PC-325 加藥量(140mg/L)較之以 PC-325 進行單一調理所需之加藥量(80mg/L)為高，而濾液中 PO₄³⁻ 濃度完全由 FeCl₃ 加藥量所去除。
2. PC-325/FeCl₃ 加藥順序進行雙重調理結果顯示，PC-325 之加藥劑量可降低至 20mg/L，低於單一調理時所需之最佳加藥計量 80mg/L，且先添加 PC-325 可利用電性中和機制降低後續添加 FeCl₃ 吸附於生物污泥之吸附量，有效提高 Precipitation 作用除磷效果。且 PC-325 之加藥量小於單一調理之最佳加藥計量時，則不會發生添加 FeCl₃ 後，CST 值在惡化現象。
3. PC-325/FeCl₃ 進行廢棄富磷生物污泥雙重調理脫水試驗發現，PC-325 與 FeCl₃ 可分別改善污泥脫水特性及降低濾液中 PO₄³⁻-P 濃度，達到同時要求高脫水性與低濾液磷濃度之要求。

參考文獻

1. American Public Health Association, 1995, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th Edition, Washington D. C. USA.
2. Herwijn, A.J.H., E.J.L. Heij, J.J. Ijzermans, W.J. Coumans and P.J.A.M. Kerkhof, Determination of Specific Cake Resistance with a new Capillary Suction Time Apparatus, *Ind. Eng. Chem. Res.*, Vol. 34, No.4, pp.1310-1319(1995).
3. Spinoso, L. and Vesilind, P.A., 2001, Sludge into Biosolids, IWA Publishing, UK..
4. 張維欽、簡競擇，攪拌強度與時間對純氧活性污泥系統廢棄污泥調理脫水行為之研究，科技學刊第十三卷科技類第二期，2004年4月。
5. 張維欽、簡競擇、鄭光宏、李明恕，生物除磷系統廢棄污泥調理脫水行為之研究，第十三屆下水道與水環境再生研討會，2003年。