

廢水處理

化學除磷系統污泥迴流效應

張維欽*、陳堯森**、曾淳錚***、蘇玫心****

摘 要

本研究主要目的在利用鋁、鐵鹽污泥對磷酸鹽之吸附能力，評估化學除磷系統中，鋁、鐵鹽沈降污泥迴流對二級生物處理出流水中磷酸鹽去除之效應。實驗方法為取二級生物處理出流水為待處理廢水，在實驗室以批次實驗模擬化學後沈降(post-precipitation)除磷程序，探討在不同化學沈降劑種類（氯化鐵、PAC）、加藥量與迴流污泥量下對磷酸鹽去除之效應。實驗結果顯示，不論以鐵鹽或 PAC 為沈降劑，藉由增加化學污泥迴流量，皆能有效地在相同的加藥量下，藉由沈降污泥對磷酸鹽之吸附作用，提升其化學除磷的效果；惟對於溶解性 COD 之去除方面，不論有無迴流污泥，加藥量之提高對溶解性 COD 之去除效均極為有限。亦即，於二級生物處理後增設化學混凝處理單元，處理程序將自然地移除進流水中之正磷酸鹽，而非溶解性 COD。此外，在具化學污泥迴流之實驗顯示，適量地迴流易沈澱之化學污泥增加待處理水之初始濁度，可提高膠羽碰撞機會，而藉由共沈降與掃曳作用，達到提高懸浮固體去除之功效。

【關鍵字】化學除磷、化學沈降、迴流污泥、混凝

*雲林科技大學環境與安全工程學系 助理教授

**雲林科技大學環境與安全工程學系 碩士般研究生

***中華顧問工程司水及環境工程部 副理

****中華顧問工程司水及環境工程部 組長

一、前 言

磷為生物必需之重要營養物質，本身並不具毒性，然而當含磷廢水流入封閉性承受水體，將促成「優養化」現象，引致水體混濁、缺氧及臭味等問題。傳統廢水活性污泥法透過微生物合成作用，約僅能去除 2~3 mg P/L，生活污水處理後廢水中含磷濃度通常仍大於 2 mg P/L^[1]；而生物除磷程序(enhanced biological phosphate removal process)，雖透過厭氧、好氧交替循環控制，可促進磷蓄積菌(phosphate accumulating organisms)之生長，提升磷去除率；惟因該系統易受進流水水質影響，且操作上肝醣蓄積菌(glycogen accumulating organisms)會與磷蓄積菌相互競爭，是故仍有整體操作性能不穩定之問題^[1, 2]。

為獲致穩定之低磷放流水，一般可於生物處理程序後進行化學後沉降(post-precipitation)除磷法；藉由加入之化學沉降劑與廢水中的磷酸鹽產生沉降作用，降低廢水中的磷酸鹽。由於鋁鹽對聚磷酸鹽之去除效果較正磷酸鹽差，當採用後沈降系統時，生物處理單元已將有機磷、聚磷酸鹽水解為正磷酸鹽，因而處理性能將較穩定。惟因二級處理水之磷酸鹽濃度原即較低，沈降所需之劑量莫耳比（金屬/磷）將較高。欲進一步減少化學藥劑使用量，可於生物處理系統後加入對磷酸鹽具有吸附作用的材料來除磷。目前研究上試驗使用做為除磷吸附劑的材料或物質，包括廢鐵礦渣^[3]、飛灰^[4, 5]、熔爐渣^[6]、紅泥^[7, 8]、硫酸鋁鹽污泥^[9]及富含鐵或鋁的殘餘物質^[10]等。然而，化學後沉降除磷系統所產生之鋁鹽污泥倘可自身迴流使用，則更可進一步減少外加吸附劑所增加之污泥量。

本研究主要目的即在嘗試利用鋁、鐵鹽污泥對磷酸鹽之吸附能力，透過杯瓶實驗模擬化學後沈降除磷程序，藉以評估將化學除磷沈降所產生之鋁、鐵鹽污泥迴流使用時，對二級生物處理出流水中磷酸鹽去除之效應。

二、實驗材料與方法

2.1 實驗方法與目的

本實驗內容主要在針對二級生物處理之出流水，以杯瓶試驗方法模擬污水廠之化學後沈降除磷單元，藉以比較不同化學沉降劑及加藥量、與不同沉降污泥迴流情形下，對化學沉降系統除磷效果之影響。本實驗污水來源取自某操作正常之小型污水處理廠之二級生物處理出流水，其水質狀況示如表 1。本實驗採用氯化鐵($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)及多元氯化鋁(PAC，含 15%之 Al_2O_3)進行化學沉降實驗。由於一般操作控制上，鐵、鋁鹽與磷酸鹽之劑量莫耳比(Fe^{3+}/P 、 Al^{3+}/P)約在達 1.2 ~ 2.0 時有較佳除磷效果。因此，本實驗採用鐵鹽與鋁鹽加藥範圍為莫耳比 0 ~ 4.6，其相應之加藥量分別為 0 ~ 129.12 mg/L 之(氯化鐵)與 0 ~ 162.2 mg/L 之 PAC。

表 1 二級生物處理出流水質

| 監測項目 | 監測數據 |
|--------------------------------------|------|
| 鹼度 (mg/L as CaCO_3) | 259 |
| pH 值 | 7.40 |
| 溫度 ($^{\circ}\text{C}$) | 26.2 |
| SS (mg/L) | 13 |
| 濁度 NTU | 2.24 |
| TCOD (mg/L) | 29.3 |
| SCOD (mg/L) | 22.3 |
| TP (mg/L) | 3.68 |
| $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ (mg/L) | 3.21 |

本實驗主要分為兩部份，第一部分在探討不同化學沉降劑與不同加藥量下除磷效果，第二部分則在嘗試將沉降污泥迴流，藉以探討其對除磷效果之影響。兩者之實驗方法分述如下：

1. 不同化學沉降劑與不同加藥量下之除磷實驗

取混合均勻水樣 1 L，置入 1L 燒杯中；加入氯化鐵或多元氯化鋁貯備液於水樣中，配置成不同加藥量狀態；快混(100 rpm) 2 min，慢混 (30 rpm) 15 min，

20 化學除磷系統污泥迴流效應

沉澱 15 min 後，於水面下 5 cm 處取樣；分析個別水樣之水質，含正磷酸鹽、TP、SS、濁度、pH 值、溫度、TCOD(總 COD)、SCOD(溶解性 COD)等。

2. 沉降污泥之迴流實驗

取混合均勻水樣，同前實驗加入氯化鐵或多元氯化鋁，快混 (100 rpm) 2 min，慢混 (30 rpm) 15 min，沉澱 15 min；移除 700 mL 之上澄液，使其成爲 300 mL 沉降污泥。將此 300 mL 沉降污泥均等分爲 6 份，分別加入 6 杯 1 L 水樣中，混合均勻後各取 50 mL 污泥，進行水質分析。再將此 6 杯已迴流污泥之水樣，分別加入不同劑藥之氯化鐵或多元氯化鋁，同樣進行快混(100 rpm) 2 min，慢混 (30 rpm) 15 min，沉澱 15 min，再於水面下 5 cm 處取樣，分析個別水質情況。此外，以類似步驟提高其污泥濃度，進行相同之杯瓶實驗。

2.2 實驗設備與分析方法

本實驗之鹼度、濁度、懸浮固體物、總化學需氧量、溶解性化學需氧量、總磷含量及正磷酸鹽含量等水質分析方法及所需實驗分析設備儀器，主要參照環境保護屬環境檢驗所公告之水質檢測方法^[11]。

三、實驗結果與討論

3.1 不同鐵鹽加藥量對化學沈降除磷之影響

圖 1(a)所示爲不同氯化鐵加藥量下，混凝沈澱後上澄液總磷及正磷酸鹽濃度之變化。由圖可知隨著加藥量之上升，上澄液總磷及正磷酸鹽濃度均以同樣之變化趨勢逐漸下降。在加藥量達 Fe^{3+}/P 莫耳比 3 時，呈現文獻^[12]所述計量區(stoichiometric region)與平衡區(equilibrium region)之分界；針對計量區($\text{Fe}^{3+}/\text{P} = 0\sim 3$)之加藥量與正磷酸鹽關係進行線性迴歸後，得其化學沉降劑中 Fe^{3+} 與上澄液中所去除之磷的莫耳比關係約爲 $\Delta\text{P}/\Delta\text{Fe}^{3+} = 0.26$ ；亦即，於此劑量區內，化學沉降劑中每莫耳 Fe^{3+} ，可去除原水中約 0.26 莫耳的磷。在加藥量 Fe^{3+}/P 莫耳比爲 3 時，其正磷酸鹽之去除率達 80%(殘留磷酸鹽濃度 0.67 mg P/L)；惟倘去除率欲達 90%以上，則因 Fe^{3+}/P 之莫耳比需提高至平衡區，而消耗更多藥劑形成氫氧化鐵，因此莫耳比需增加至

4.5 左右。此外，由於氯化鐵屬酸性鹽類，故如圖 1(a)所示化學沈澱後之最終 pH 值隨著加藥量的上升而逐漸下降，因本研究待處理水具有相當之鹼度（259 mg/L as CaCO_3 ），是故 pH 值下降後之最低值為 6.76，影響並不顯著。

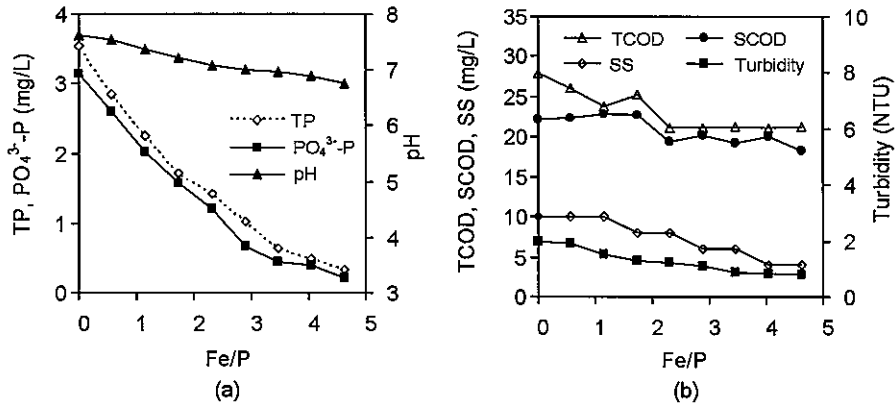


圖 1 不同氯化鐵加藥量下實驗結果

圖 1(b)所示為不同氯化鐵加藥量下，混凝沈澱後上澄液 SS 及濁度變化情形。由圖可知隨著加藥量上升，沈澱後上澄液懸浮固體量逐漸下降，由於待處理水之懸浮固體濃度原即甚低（僅 SS = 13 mg/L、濁度 2.24 NTU），因此其變化僅為緩慢下降趨勢。另圖 1(b)亦顯示隨著氯化鐵加藥量之增加，混凝沈澱後總化學需氧量 (TCOD) 及溶解性化學需氧量 (SCOD) 隨之下降；惟兩者之去除率均甚低，雖加藥量達 $\text{Fe}^{3+}/\text{P}=4$ 以上，TCOD 與 SCOD 之去除率亦僅達 28% 與 9%，其中 TCOD 去除率明顯較 SCOD 高，此乃因加藥量增加，導致上澄液 SS 去除所致。

3.2 不同鋁鹽加藥量對化學沈澱除磷之影響

圖 2(a)所示為不同多元氯化鋁加藥量下，混凝沈澱後上澄液總磷及正磷酸鹽濃度之變化。該變化趨勢與與氯化鐵加藥情形相似，上澄液中總磷及正磷酸鹽濃度均隨著加藥量之上升而逐漸下降；在加藥量 Al^{3+}/P 莫耳比 0~3.5 時，為計量區範圍；在該區內化學沉降劑 Al^{3+} 與上澄液中所去除之磷莫耳比關係約為 $\Delta\text{P}/\Delta\text{Al}^{3+} =$

22 化學除磷系統污泥迴流效應

0.36；亦即，於此劑量區內，化學沉降劑中每莫耳 Al^{3+} ，可去除原水中約 0.36 莫耳的磷，明顯地較氯化鐵每莫耳劑量去除之磷量 ($\Delta\text{P}/\Delta\text{Fe}^{3+}=0.26$) 為高。另在正磷酸鹽之去除率達 90% 以上(殘留磷酸鹽濃度僅 0.27 mg P/L) 之 Al^{3+}/P 莫耳比為 3.5，明顯較之氯化鐵之加藥量($\text{Fe}^{3+}/\text{P}=4.5$) 為低。同時，多元氯化鋁之加入，降低處理水之 pH 值，惟其影響並不顯著。

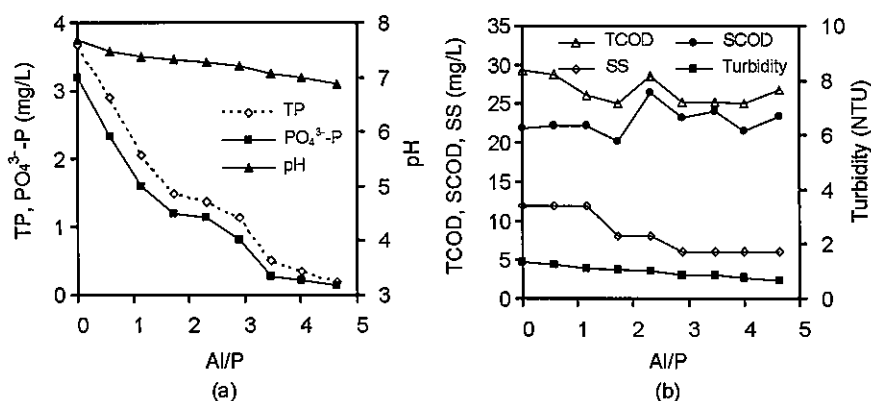


圖 2 不同多元氯化鋁加藥量下實驗結果

不同多元氯化鋁加藥量下，混凝沈澱後上澄液 SS 及濁度變化情形，示如圖 2(b)。由圖可知隨著加藥量上升，沈澱後上澄液懸浮固體量逐漸下降，但其變化甚為平緩。另圖 2(b)亦顯示隨著多元氯化鋁加藥量之增加，混凝沈澱後 TCOD 約略下降，但去除率僅達 8% 左右；而 SCOD 則無去除效果；該 TCOD 去除率較 SCOD 高之原因，應源自上澄液 SS 去除所致。

3.3 化學污泥迴流對沉降除磷效果之影響

圖 3 所示為不同氯化鐵加藥量下，迴流污泥量對總磷與正磷酸鹽去除之影響。由圖可知隨著加藥量之上升，上澄液總磷及正磷酸鹽濃度展現相同之逐漸下降趨勢。此外，由圖更可發現，於相同加藥量下，增加迴流污泥量，可明顯地提高上澄液之正磷酸鹽與總磷去除率。當加藥量 Fe^{3+}/P 為 1.15 時，無迴流污泥系統（初始濁度為 2.24 NTU）混凝沈澱後之殘留正磷酸鹽濃度為 2.02 mg P/L，去除率僅 10%；

然而當迴流污泥使其初始濁度提升為 3.9 NTU 與 17.4 NTU 時，相同加藥量下之殘留正磷酸鹽濃度可分別降低為 1.73 mg P/L 與 0.8 mg P/L；倘欲達相同之 0.8 mg P/L 濃度，無迴流污泥系統之加藥量需高達約 Fe^{3+}/P 莫耳比 3，較之迴流污泥系統所需之加藥量（莫耳比 1.15）高之甚多。此外，由圖 3(a)可知化學沈降後之最終 pH 值雖隨著加藥量的上升而逐漸下降，然 pH 之變化並不隨迴流污泥量之多寡而改變（三者幾無差距），如此似顯示迴流污泥系統之 pH 僅受氯化鐵進行化學沈降 (precipitation) 作用之影響，而與迴流污泥無關。

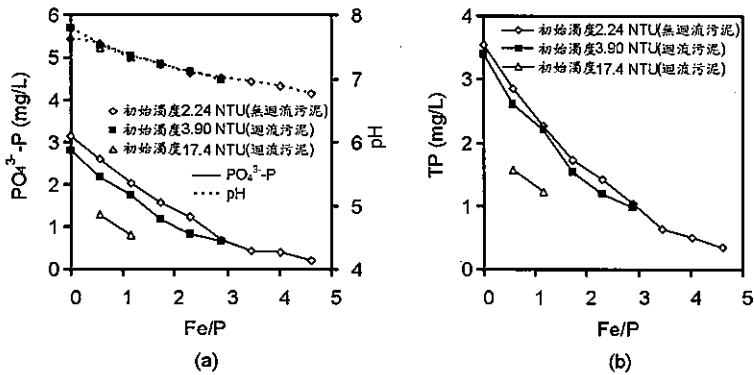


圖 3 氯化鐵沉澱污泥迴流實驗之磷與 pH 變化情形

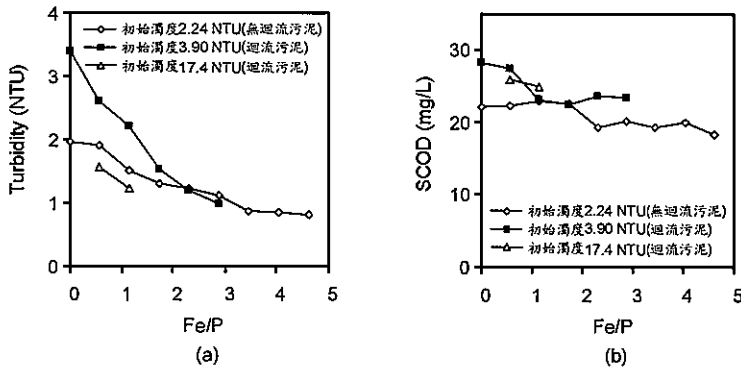


圖 4 氯化鐵沉澱污泥迴流實驗之 SCOD 與濁度變化情形

圖 4(a)顯示不同迴流污泥比下，氯化鐵加藥量對濁度去除之影響。由圖可知，

24 化學除磷系統污泥迴流效應

不論初始濁度為何，混凝沈降後之殘留濁度均隨著加藥量的上升而下降；然而由於迴流污泥提高了待處理水之初始濁度，因此在初始濁度 3.9 NTU 情形下，需適量提高其加藥量至 Fe^{3+}/P 高於 2 時，方足以顯現迴流污泥對沈澱促進之效應。但當提高其污泥迴流量使其初始濁度達 17.4 NTU 時，即使在低加藥情形亦可藉由共沈降與掃曳作用，達到提高濁度去除之功效。而在不同氯化鐵加藥量下，迴流污泥量對 SCOD 去除的影響示如圖 4(b)。由圖可知雖加藥量對 SCOD 之去除並不明顯，但迴流沈降污泥增加初始濁度似仍有略提高其 SCOD 之情形，雖其增加量並不甚顯著，惟其效應仍應為採用污泥迴流系統應注意之事項。

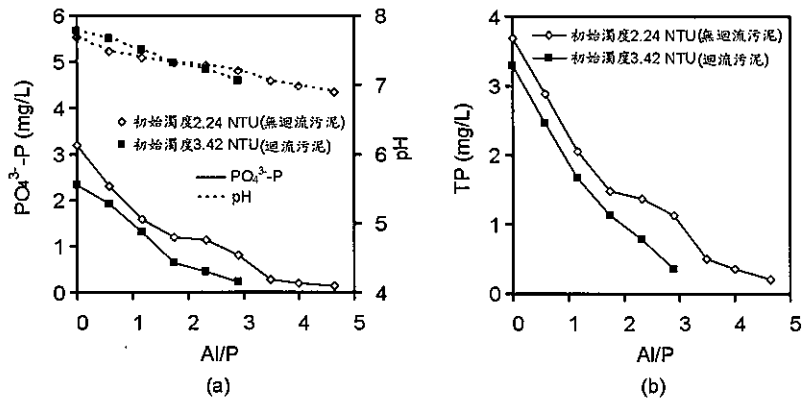


圖 5 多元氯化鋁沉澱污泥迴流實驗之磷與 pH 變化情形

圖 5 所示為不同多元氯化鋁加藥量下，迴流多元氯化鋁之沉澱污泥量對總磷與正磷酸鹽去除的影響。由圖可發現，於相同加藥量下，具迴流污泥之系統，可明顯地提高正磷酸鹽與總磷去除效果。當加藥量 Al^{3+}/P 為 1.16 時，無迴流污泥系統(初始濁度為 2.24 NTU)之殘留正磷酸鹽濃度為 1.59 mg P/L；然而當迴流污泥使其初始濁度提升為 3.42 NTU 時，於相同加藥量下之殘留正磷酸鹽濃度則僅為 1.29 mg P/L；倘欲達約相同之 0.8 mg P/L 正磷酸鹽殘留濃度，無迴流污泥系統之加藥量需高達約莫耳比 3，較之有迴流污泥系統所需之加藥量(莫耳比 1.74)高出甚多。另圖 5(a)顯示迴流污泥並不影響系統之最終 pH 值，pH 之變化僅受多元氯化鋁加藥量之

影響。

圖 6(a)顯示不同多元氯化鋁加藥量下，迴流污泥對濁度與 COD 去除之影響。由圖可知，迴流污泥系統並無明顯影響污泥沉澱行為。與氯化鐵實驗相較，似進一步提高其初始濁度方始可獲得明顯之沈澱促進作用。另如圖 6(b)所示採用多元氯化鋁沉降污泥迴流系統時，是否可能提高其系統之 SCOD 應加以注意。

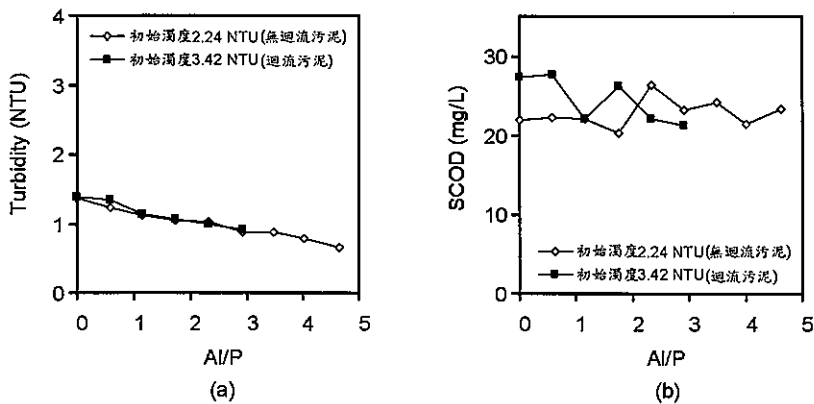


圖 6 多元氯化鋁沉降污泥迴流實驗之 SCOD 與濁度變化情形

由上述之結果顯示，不論以鐵鹽或 PAC 為沈澱劑，藉由增加化學污泥迴流量，皆能有效地在相同的加藥量下，提升其化學除磷的效果。以鐵鹽(氯化鐵)為沈澱劑，而迴流污泥使未處理水之初始濁度為 3.90 NTU 及 17.4 NTU 時，則在相同的加藥量 (Fe^{3+}/P 莫耳比 0.57) 下，其溶解性正磷酸鹽之去除率，約為無迴流污泥(初始濃度 2.24 NTU) 時的 1.6 倍及 3.1 倍左右。假使以鋁鹽(多元氯化鋁)為沈澱劑，而迴流污泥使未處理水之初始濁度為 3.42 NTU，則在相同的加藥量 (Al^{3+}/P 莫耳比 0.58) 下，其溶解性正磷酸鹽之去除率，約為無迴流污泥(初始濃度 2.24 NTU) 時的 1.4 倍左右。由於相同加藥量下，透過沈澱形成固體之磷去除量應極為接近，因此該增加之磷去除量應為迴流污泥吸附所致。

文獻^[13]顯示，加入硫酸鋁污泥於家庭污水或工業廢水，發現有部份處理廠，可不經化學沉降除磷或生物除磷程序，即可透過吸附作用將放流水磷含量降至

26 化學除磷系統污泥迴流效應

0.8~1.0 mg/L。此外，研究^[13]亦顯示鋁鹽藥劑對正磷酸鹽的去除並非單由形成 $\text{Al}(\text{PO}_4)$ 沉降所造成，而是經由 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 固體顆粒吸附形成一複雜的 $\text{Al}(\text{OH})_3\text{-Al}(\text{PO}_4)$ 沉降物所致。在高濃度磷酸鹽情形下(如 20 mg P/L)，磷的去除主要透過形成 $\text{Al}(\text{PO}_4)$ 達成，此時 Al/P 劑量莫耳比會較低；然而在磷酸鹽濃度較低的狀態下，磷酸鹽的去除大部份則須藉由 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 固體顆粒吸附來達成，故為形成足量的 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 固體顆粒，劑量莫耳比 Al/P 需相對提高；亦因此本實驗所需之藥劑量相對偏高。另經由紅外線光譜(Infrared Spectroscopy)分析 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 吸附磷酸鹽之沉降物^[14]，顯示是由 Al-OH-Al 及 $\text{Al-PO}_4\text{-Al}$ 兩者彼此連結而成， $\text{Al}(\text{OH})_3$ 及 $\text{Al}(\text{PO}_4)$ 並非分別單獨存在。文獻上亦指出^[15]，磷酸鹽與 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 固體顆粒間之吸附作用，是因磷酸鹽在鋁鹽氫氧根位置上發生配位基交換過程(ligand-exchange process)產生磷結合(P Binding)反應，而非靜電吸引(electrostatic attraction)所造成。亦即，採用化學後沈降除磷系統需以相對較高之藥劑量，來達成除磷之目的；然而，倘採用化學污泥迴流方式，則可利用高劑量莫耳比所產生之剩餘 $\text{Al}(\text{OH})_3$ 固體顆粒，來吸附磷酸鹽，達成降低加藥量之目的。

進行化學沈降除磷時，由於鋁、鐵鹽之混凝作用，隨著鐵鹽及鋁鹽加藥量的增加，上澄液的濁度去除率亦隨之提高；此種隨加藥量增加而濁度降低之趨勢並不因污泥之迴流而改變。而在具化學污泥迴流之實驗顯示，適量地迴流易沈澱之化學污泥來增加待處理水之初始濁度，可提高膠羽碰撞機會，而藉由共沈降與掃曳作用，達到提高濁度去除之功效。然而，實驗結果亦顯示無論鐵鹽或鋁鹽，加藥量對 SCOD 之去除並不明顯，且迴流污泥有略提高其 SCOD 之情形，此效應在採用污泥迴流系統時應加以注意。

四、結論與建議

1. 以鐵鹽(氯化鐵)及鋁鹽(多元氯化鋁)為混凝劑進行化學沈降實驗，均可獲得極佳之除磷效果，此三者再加藥的化學計量區內，每單位莫耳劑量所能去除正磷酸鹽量分別為 0.36 莫耳(多元氯化鋁)與 0.26 莫耳(氯化鐵)，多元氯化鋁明顯具有較氯化鐵為佳之除磷效果。倘欲獲得 90 %以上之去除率時，其金屬(鋁、鐵)與磷之莫耳

比需分別提高至約 4.5(鐵)或 3.5(鋁)以上。

2. 不論以鐵鹽或鋁鹽為沈降劑，藉由增加化學污泥迴流量，皆能有效地在相同的加藥量下，提升其化學除磷的效果。由於相同加藥量下，透過沈降形成固體之磷去除量應極為接近，因此該增加之磷去除量應為迴流污泥吸附所致。
3. 進行化學沈降除磷時，由於鋁、鐵鹽之混凝作用，隨著鐵鹽及鋁鹽加藥量的增加，上澄液的濁度去除率亦隨之提高。而在具化學污泥迴流之實驗顯示，迴流易沈澱之化學污泥來增加待處理水之初始濁度，可提高膠羽碰撞機會，而藉由共沈降與掃曳作用，達到提高濁度去除之功效。
4. 不論以鐵鹽或鋁鹽為沈降劑，溶解性 COD 之去除效果均不明顯；而對於總 COD 之去除之增加，亦多歸因於懸浮性 COD 之去除。此外，迴流沈降污泥增加初始濁度似仍有略提高其 SCOD 之情形，雖其增加量並不甚顯著，惟其效應仍應為採用污泥迴流系統應注意之事項。

五、致 謝

本研究係財團法人中華顧問工程司委託辦理「科學工業園區相關產業污水處理方法及回收潛勢探討(第二年)」研發案之部分成果，感謝委託單位提供經費。

六、參考文獻

1. Arvin E., M. Henze, "Treatment Plants for Phosphorus Removal from Wastewater," in "Wastewater Treatment: Biological and Chemical Process," p.p. 311-353, 1995.
2. Mino, T., M.C.M. Van Loosdrecht and J.J. Heijnen, "Microbiology and Biochemistry of the Enhanced Biological Phosphate Removal," Water Research Vol. 32, No. 11, p.p. 3193-3207, 1998.
3. Zeng Le, X. Li and J.Liu, "Adsorptive removal of Phosphate from Aqueous Solutions Using Iron Oxide Tailings," Water Research Vol. 38, p.p. 1318-1326, 2004.
4. Gray C.A., Schwab A.P., "Phosphorus-Fixingability of High pH, High Calcium,

28 化學除磷系統污泥迴流效應

- Coal-Combustion, Waste Materials,” *Water Air Soil Pollution*, Vol. 69, p.p. 309–320, 1993.
5. Cheung K.C., Venkitachalam T.H., “Improving Phosphate Removal of Sand Infiltration System Using Alkaline Fly Ash,” *Chemosphere*, Vol. 41, p.p. 243–249, 2000.
 6. Johansson L, Gustafsson J.P., “Phosphate Removal Using Blast Furnace Slags and Opoka Mechanisms,” *Water Research*, Vol. 34, No. 1, p.p. 259–265, 2000.
 7. Akay G., Keskinler B., Cakici A. and Danis U., “Phosphate Removal from Water by Red Mud Using Crassflow Micro-Filtration,” *Water Research*, Vol. 32, No. 3, p.p. 717–726, 1998.
 8. Lopez E., Soto B., Nuñez A., Rubinos D., Barral M.T., “Adsorbent Properties of Red Mud and Its Use for Wastewater Treatment,” *Water Research*, Vol. 32, No. 4, p.p. 1314–1322, 1998.
 9. Huang S.H., Chiswell B., “Phosphate Removal from Wastewater Using Spent Alum Sludge,” *Water Sci Technol*, Vol. 42(3–4), p.p. 295–300, 2000.
 10. Codling E.E., Chaney R.L., Mulchi C.L., “Use of Aluminum and Iron-Rich Residues to Immobilize Phosphorus in Poultry Litter and Litter-Amended Soils,” *J Environ Qual*, 29, 2000.
 11. 行政院環保署環檢所，www.niea.gov.tw。
 12. Richard I. Sedlak, “Phosphorus and Nitrogen Removal from Municipal Wastewater,” Lewis Publishers, 1991.
 13. Elisabeth Galarneau, Ronald Gehr, “Phosphorus Removal from Wastewaters: Experimental and Theoretical Support for Alternative Mechanisms,” Vol. 31, No. 2, p.p. 328–338, 1997.
 14. Mahmut Ozacar, I. Ayhan, Sengil, “Enhancing Phosphate Removal from Wastewater by Using Polyelectrolytes and Clay Injection,” *Journal of Hazardous Materials B100* 131–146, 2003.

15. Aimin Zhou, Hongxiao Tang, Dongsheng Wang, "Phosphorous Adsorption on Natural Sediments: Modeling and Effects of pH and Sediment Composition," *Water Research*, Vol. 39, p.p. 1245–1254, 2005.