



## 應用聚矽酸鐵結合鐵氧磁性顆粒混凝除藻之研究

洪英傑<sup>a</sup>、甘其銓<sup>b\*</sup>、林秀雄<sup>c</sup>、楊惠玲<sup>d</sup>、陳煜斌<sup>e</sup>

<sup>a</sup> 嘉南藥理大學環境工程與科學研究所	碩士
<sup>b*</sup> 嘉南藥理大學觀光事業管理系	教授
<sup>c</sup> 嘉南藥理大學環境工程與科學系	教授
<sup>d</sup> 交通大學環境工程研究所	博士
<sup>e</sup> 嘉南藥理大學環境工程與科學系	助理教授

### 摘要

在淨水處理程序中，高含藻原水屬於難處理原水之一，因為藻類具有形狀多變、比重較輕及細胞密度小等特性，在混凝沉澱的過程中較不容易沉降去除，因而造成過濾單元阻塞、反沖洗及耗材更換的次數增加等問題。

本研究評估自製之聚矽酸鐵(PSI)，對高含藻原水之混凝效果，試驗使用高含藻之原水進行瓶杯試驗，從中找出最適加藥量。進一步研究助沉劑之添加，對提升沉降去除效果之探討。研究中選擇鐵氧磁性顆粒與皂土進行試驗比較。其中鐵氧磁性顆粒具有磁性，在靜置的過程中，可藉由磁力加快顆粒的沉降速度。

結果顯示 PSI 搭配助沉劑可有效去除藻類，而藉由鐵氧磁體與磁力，確實可明顯提升膠羽沉降速度，且鐵氧磁性顆粒的添加不會改變水中 pH 值，對水中之帶電特性影響也不大。本研究自製 PSI 之矽鐵比依照含藻原水帶負電的特性，矽鐵比配製比例為 0.2:1，含藻原水加入過量的 PSI 會使原水產生色度，且藥劑會與含藻原水產生水和反應使濁度提高，經研究結果得到最適加藥量為 10ppm。再者，本研究進一步評估鐵氧磁性顆粒自汙泥中回收再用之可行性，發現在經收集、煨燒及清洗的過程後，在 600°C 的高溫下將使用過的鐵氧磁性顆粒進行煨燒，可達 87% 的重量回收率，而經瓶杯試驗結果顯示，回收後之鐵氧磁性顆粒仍保有磁性及助沉的效用。

**關鍵字：**混凝除藻、聚矽酸鐵(PSI)、助沉劑、鐵氧磁性顆粒

\* 通訊作者：甘其銓

Email: cckanev@mail.cnu.edu.tw

感謝匿名審查委員惠賜寶貴意見，唯一文責由作者自負



## 壹、前言

因為藻類具有形狀多變、比重較輕、細胞密度小以及表面帶負電等特性，因此在淨水處理程序中水中不易被去除，然若未能將藻類去除，將導致淨水過程中產生許多問題，例如，長條形之藻類針桿藻其形成之膠羽較輕，不易於混凝沉澱的過程中去除，當此藻類進入過濾單元，容易使過濾單元阻塞，使過濾單元造成極大的負擔。

新型之混凝劑聚矽酸鐵(Poly Silicate Iron, PSI)，具有傳統鐵鹽膠羽形成快速且密實，除濁效果較好等優點(陳念好，2012)，聚矽酸鐵化學式為  $Fe_m(SiO_2)_n$ ，是以聚矽酸與鐵鹽之羥基及氧基聚合物，其中聚矽酸為陰離子型帶負電荷，而鐵鹽為陽離子型帶正電荷，在混凝的時候可藉由電性中和作用處理水中汙染物。兩者合成而得之聚矽酸鐵在水溶態的單元分子量約為數百到數千，可以相互結合成為具有分形結構的聚集體(Fu et al., 2011)。聚矽酸鐵做為混凝劑具有低腐蝕性、減少飲用水中殘餘鋁之生物毒性的可能性、回收水品質較佳、絮體顆粒沉降速度快、除油、脫色、藻類及濁度去除率均較佳與產生高密度、低含水率且少臭味之汙泥等優點(陳念好，2012)。我國環保署已於民國 99 年 3 月 29 日，依據飲用水管理條例第十三條第一項，公告增列除藻及除濁效率較佳的聚矽酸鐵為飲用水水質處理藥劑，並於中華民國九十九年七月一日施行。

聚矽酸鐵之主要原料為聚矽酸(Polysilicate, PS)及鐵鹽(Ferric salt)，製備途徑可分為複合合成(composite algorithm)及共同聚合(copolymerization)兩種，前者是先羥基作用(hydroxylation)後再加以混合，後者則為先混合再進行水解及聚合反應(hydrolyzing)；後者為較簡單及實用的方法 (Xu et al., 2009)。

鐵氧磁性顆粒是一屬種超順磁材料，其磁化方向不固定在一個易磁化方向(周志明，2009)。鐵氧磁性顆粒之特性，不但體積小、高比表面積、具磁性外，還具有兩種作用：一為成核效應，是一種扮演核種的角色，可以針對水中廢水有凝聚效果，加速凝聚成膠羽速率。其二為加重效應，磁鐵比重約為  $4.9\sim 5.2\text{ g/cm}^3$ ，當置入水中和懸浮固體物凝聚時，可加速懸浮固體物的沈降(陳珮紋，2004)。例如利用 MNP 吸附 CMP (Chemical mechanical polishing)廢水中懸浮顆粒之研究，在 pH 固定約為 6 時，可以有效去除 95 % 以上的懸浮固體物，藉此降低水中濁度(陳珮紋、秦靜如，2005)，另外也有文獻提到鐵氧磁性顆可以吸附水中微小的藻類(Xu et al., 2011)，且與陽離子之聚合物結合提升其吸附去除效果(Lim et al., 2012；Liu, D. et al., 2009)。此外，鐵氧磁性顆粒具有可回收再利用之優勢(Cerff et al., 2012)，因此本研究探討研究室所製備之鐵氧磁性顆粒，作為助凝劑，探討對水中藻類之去除效果。

PSI 是屬於較新型之混凝藥劑，而鐵氧磁性顆粒為較新型之吸附材，若此兩項相互結合，能使水中帶負電之藻類有效去除減輕過濾單元之負擔、減少 PSI 藥劑使用量並將鐵氧磁性顆粒回收重複使用，值得進一步探討。本研究主要是以共同聚合法自製 PSI，以去除藻類為目的進行 PSI 與鐵氧磁性顆粒助沉之最適操作條件之瓶杯，並以皂土助沉



之效果與鐵氧磁性顆粒助沉效果做比較，再將使用過後的鐵氧磁性顆粒回收，進行重複使用效能評估。

## 貳、 研究方法

### 一、試驗原水

本研究以研究室所製備之 PSI，並採集含有較高藻細胞含量之原水進行瓶杯試驗。為簡化除藻效果之定量，本研究先分析原水藻含量與濁度之關係，後續研究則以濁度之去除來了解相對應之藻類去除效果。濁度與含藻原水之關係圖 1 所示，本研究所使用含藻原水濁度約 20~30NTU，故藻細胞含量約分布於 60000 counts/mL 以上。

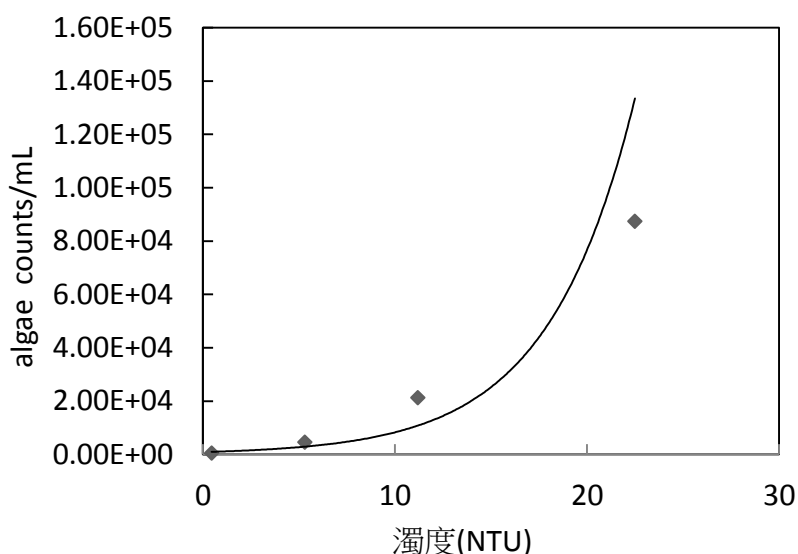


圖 1 濁度與藻細胞數關係圖

### 二、PSI 製備

聚矽酸鐵之合成主要原料成分為矽與鐵，陳念好之研究(2012)指出當矽鐵比較低時混凝劑之穩定性會提高，且高矽鐵比之電性會相互抵消，使混凝時電中和作用減弱，聚矽酸為陰離子帶負電，鐵鹽為陽離子帶正電之特性，矽鐵比可針對待處理之水體的帶電特性作調整。含藻水體本身之帶電特性為負電，而矽鐵比較低時大部分鐵鹽的正電性不會被聚矽酸的負電性抵消掉，且穩定性會提高，所以使用低矽鐵比製成之 PSI 來處理含藻水體，讓鐵鹽的正電性與含藻水體之負電性相互抵消，達到電性中和的效果，使含藻水體中所含的藻類沉降去除。

因此本研究所製備之 PSI 矽鐵比為 0.2 : 1，其過程分為兩個階段，第一階段製備出聚矽酸溶液，第二階段加入硫酸亞鐵溶液及氯酸鈉完成聚合，以下進一步說明製備過程。第一階段之聚矽酸溶液乃以 250 rpm 之速度攪拌 7.5%矽酸鈉溶液，並緩慢將 20%硫酸溶液滴入 7.5%的矽酸鈉至呈現凝膠狀(約 7~8mL)，注意滴定過程中不可使矽酸鈉溶液凝固，如有凝固的現象產生須減緩滴定速度並逐漸提高攪拌速度使矽酸鈉溶液維持攪拌進行，





一旦完全凝固將無法完成後續之聚合動作，完成後之聚矽酸為凝膠狀，隨後靜置 2 小時。第二階段 PSI 之合成，以加熱器加熱聚矽酸溶液至 40~60 °C，將硫酸亞鐵溶液加入聚矽酸溶液中混合，液體會從混濁漸漸變透明，完成混合後快速加入 1.5 克氯酸鈉並攪拌 30 分鐘，隨後靜置 90 分鐘熟化，使用感應耦合電漿原子發射光譜儀(ICP)檢測總鐵含量，並以去離子水稀釋成 10000 ppm 之 PSI 保存。

### 三、瓶杯試驗

本研究利用瓶杯試驗進行 PSI 混凝劑與助沉劑較適佳加藥量之評估，並進一步比較鐵氧磁性顆粒與皂土之助沉效果。試驗瓶杯之條件為快混 150 rpm 5 min，慢混 30 rpm 30 min，靜置 1 小時，並於快混時檢測界達電位，靜置沉降結束後，取上澄液，測其濁度及顆粒數。

添加助沉劑之試驗，則在原水加入最適加藥量之 PSI 後再加入所設定劑量之鐵氧磁性顆粒，試驗條件與 PSI 較適佳加藥量之試驗同。此外分別於慢混及靜置時在瓶杯底下放置磁鐵，提供磁力，評估外加磁力對於膠羽沉降效果之助益。

為了解鐵氧磁性顆粒與皂土助沉效果之差異，在原水加入最適加藥量之 PSI 後再加入所設定劑量之皂土，試驗條件與 PSI 較適佳加藥量之試驗同。並於快混過程中檢測界達電位，靜置沉降結束後，取上澄液，測其濁度及顆粒數。

### 四、鐵氧磁性顆粒之回收

取一強力磁鐵靠近一裝有經 PSI 混凝且以鐵氧磁性顆粒助沉後之溶液容器底部，將膠羽與磁性顆粒之混合物吸引在容器底部，並將容器中之水分倒除，隨後將殘餘固體物放至烘箱烘乾，將烘乾後之鐵氧磁性顆粒用高溫爐以 600°C 煅燒，分別煅燒 10 分鐘、20 分鐘、30 分鐘，記錄煅燒後之回收率以及再使用是否仍有吸附藻類效果。

## 參、研究結果與討論

### 一、自製 PSI 混凝瓶杯試驗-最適加藥量

本階段試驗所使用之原水 pH 為 8.2，濁度為 23.6NTU。取 6 杯 2L 之原水進行 PSI 較適加藥量瓶杯試驗，試驗劑量為 0、5、10、20、30 與 40 ppm。試驗結果如圖 2 所示，加藥量愈高，殘餘濁度愈低，30 ppm 之加藥量下，沉降亦在 15 分鐘已可將濁度自 20NTU 降至約 10NTU，沉降 60 分鐘，則可降至 7.5 NTU。40 ppm 之加藥量在 15 分鐘則濁度降至約 8.3NTU，沉降 60 分鐘，則可降至 5.8 NTU。依濁度與藻細胞數之關係圖可以推出 10NTU 之濁度，藻細胞數已降至 10000 以下。由於 PSI 是鐵系藥劑，為了解沉澱池中之污泥是否有因停留時間延長而產生色度，便將水樣放置 24 小時，在經過 24 小時後，發現 30ppm 及 40ppm 之水樣略帶橘紅色且水樣明顯變得混濁，經濁度計量測結果顯示濁度





值升高至 30~33NTU，顯示雖然 30ppm 及 40ppm 在靜置 1 小時的時候，濁度的去除效果最好，但放置 24 小時後水樣不僅濁度升高，並有色度產生。

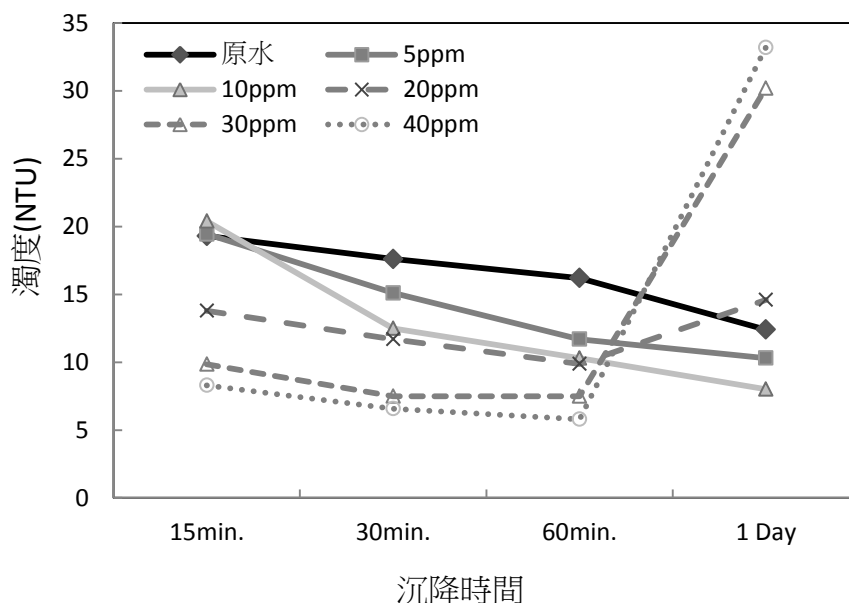


圖 2 不同 PSI 加藥量下隨沉澱時間之上澄液濁度變化

沉澱 1 小時後之上澄液顆粒計數分析結果如圖 3 所示，原水以 2~5  $\mu\text{m}$  及 10~20  $\mu\text{m}$  之顆粒數量較多，經 PSI 混沉後，5 ppm 加藥量下，顆粒粒徑分布與原水差異不大，劑量大於 10 ppm 後，2~5  $\mu\text{m}$  及 10~20  $\mu\text{m}$  之顆粒數量減少，而粒徑轉變為往 5~10  $\mu\text{m}$  大小之顆粒為主，劑量愈高，顆粒數愈少。

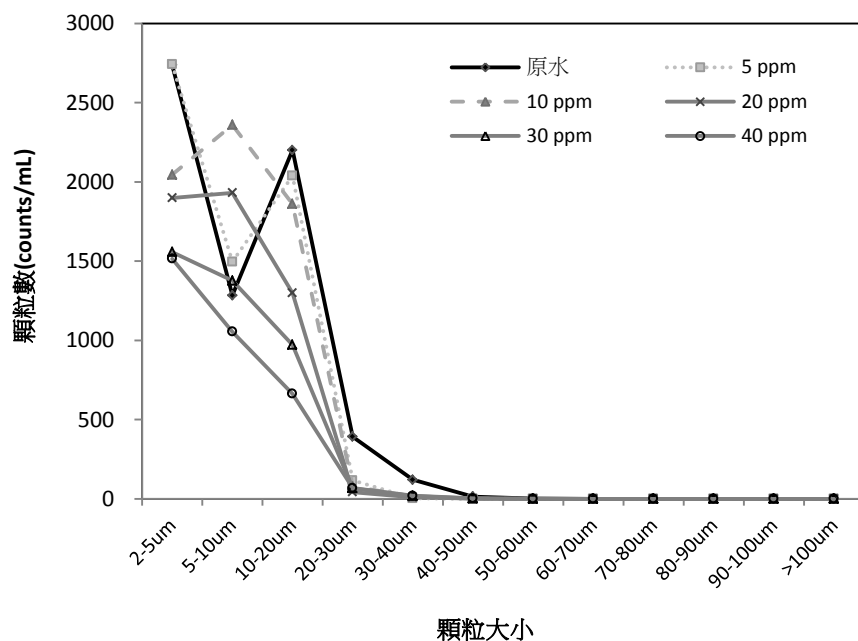


圖 3 不同 PSI 加藥量下上澄液不同粒徑之顆粒數變化





PSI 混沉後水之 pH 值變化上,加藥量 10 ppm 時,pH 值自原水 8.2 降至 7.1,而 20 ppm、30 ppm 及 40 ppm 之加藥量下,混沉後 pH 分別為 6.4、6.0 與 5.5。加入越多之 PSI 其 pH 值會越低。

綜合上述結果,以靜置 1 小時之沉降時間條件下,以 30 ppm 及 40 ppm 之加藥量可獲得之殘餘濁度較低,且顆粒數亦較少,然其具有混沉後 pH 過低,及靜置 24 小時後,濁度上升、色度產生之問題;此外,沉降 1 小時後,劑量 20 ppm 之殘餘濁度與 10 ppm 相當,唯 10 ppm 之沉降速度較為緩慢,但考量其混沉後 pH 為中性,且後續試驗將添加助沉劑幫助沉降,因此選擇 10 ppm 為 PSI 混凝之較適劑量。

## 二、鐵氧磁性顆粒助沉試驗

本階段研究之原水 pH 為 7.6 濁度為 19.7NTU,取 2L 之原水加入 10ppm 之 PSI 及所設定之鐵氧磁性顆粒量後,進行混沉試驗,鐵氧磁性顆粒試驗劑量分別為 0 g、0.1 g、0.5 g、1 g 及 1.5 g。結果如圖 4 所示,添加 1.0 g 及 1.5 g 鐵氧磁性顆粒之水樣其濁度有略微回升的現象,而另外三組鐵氧磁性顆粒添加條件,則以添加 0.5g 鐵氧磁性顆粒之水樣效果最好。圖 5 為不同鐵氧磁性顆粒添加量下上澄液不同粒徑之顆粒數變化,顯示以添加 0.5 g 之鐵氧磁性顆粒之劑量,殘餘顆粒數最低,與濁度分析結果相吻合,1.0 g 及 1.5 g 鐵氧磁性顆粒之添加則上澄液顆粒數不減反增。

加藥量 10 ppm 之 PSI 與鐵氧磁性顆粒助沉之試驗所得之上澄液 pH 值皆維持於 7.2,鐵氧磁性顆粒之添加並未影響混沉後之 pH 值。綜合上述幾點,選擇以 2L 水樣添加 0.5 g 鐵氧磁性顆粒為最適添加量。

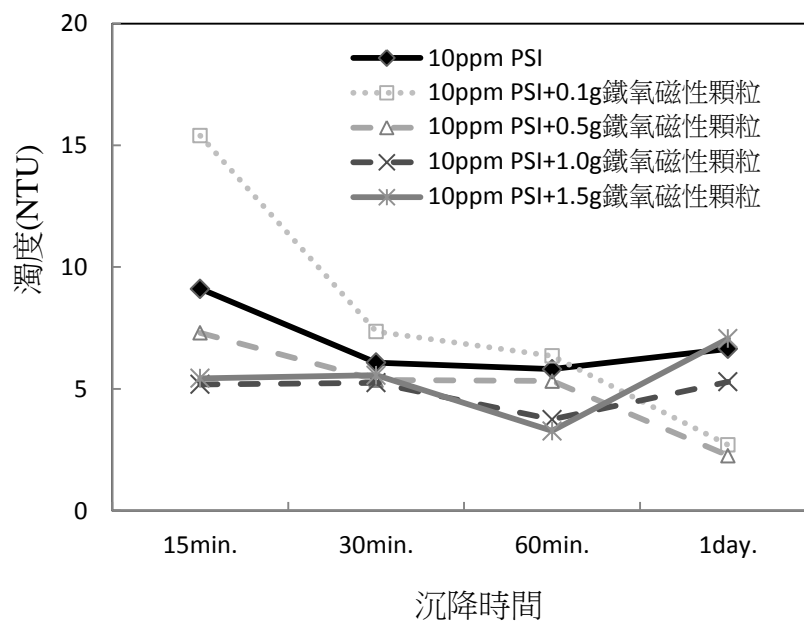


圖 4 不同鐵氧磁性顆粒添加量其濁度變化



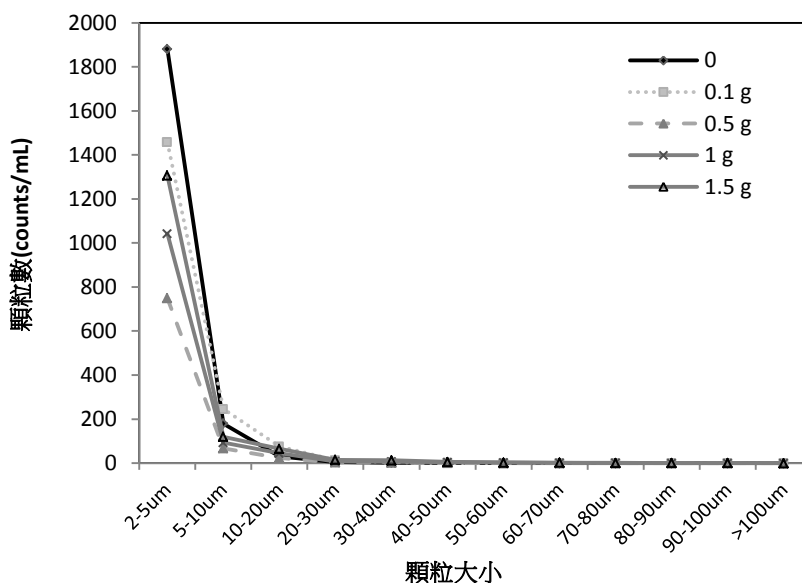


圖 5 不同鐵氧磁性顆粒添加量下上澄液不同粒徑之顆粒數變化

為了解外加磁粒對膠羽沉降的助益，本試驗另評估慢混時與沉降時外加磁力之效果，試驗原水 pH 為 7.7，濁度為 31 NTU，PSI 混凝劑量 10 ppm，空白試驗不添加鐵氧磁性顆粒，其餘各加入 0.5 g 之鐵氧磁性顆粒。結果如圖 6 所示，在外加磁力之環境下，無論於慢混階段或沉降階段，皆可提升膠羽之沉降速度，特別是沉降時外加磁力，效果更是顯著。

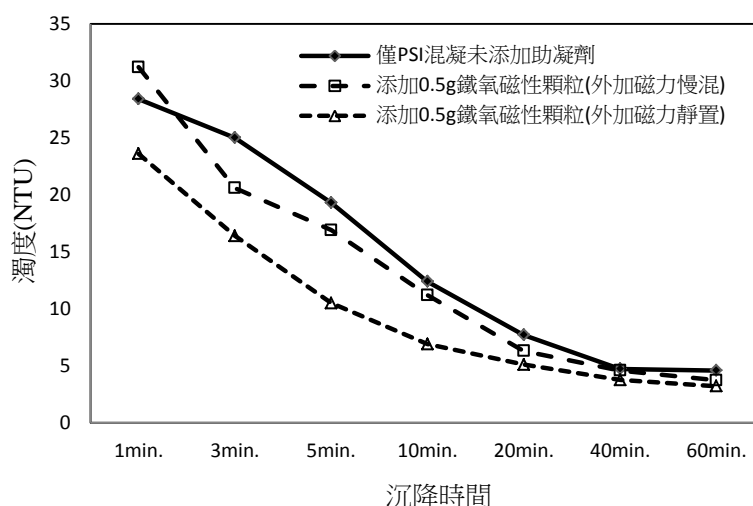


圖 6 PSI 混凝結合磁鐵助沉其濁度之變化

### 三、鐵氧磁性顆粒與皂土之助沉效果比較

本階段試驗之原水 pH 為 7.8，濁度為 26.6 NTU，瓶杯試驗取原水分別加入 10 ppm 之 PSI，及 0.5 g、1.0 g 及 1.5 g 的皂土進行試驗。完成快混及慢混後，先測其 pH 值，顯示皂土劑量愈多，混凝後 pH 愈高，三劑量下之 pH 值分別為 8.3、8.6、8.7。在靜置的過程中分別在 15 分鐘、30 分鐘、60 分鐘測其濁度變化，並與使用 10ppm+0.5g 鐵氧磁性顆



粒數據結果作比較，其結果如圖 7 所示，隨著皂土的添加量提高其起始濁度越高，濁度去除所需要的時間也越長。

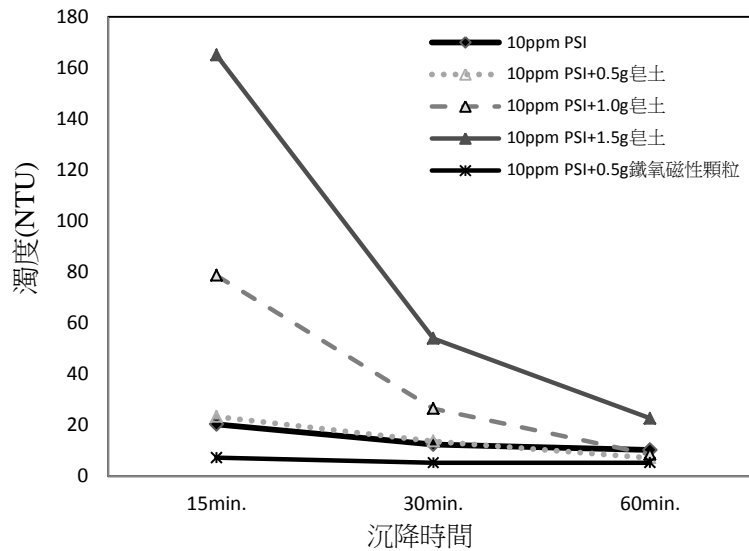


圖 7 不同皂土添加量與鐵氧磁性顆粒助沉效果比較

綜合上述試驗結果，顯示自製 PSI 外加鐵氧磁性顆粒混沉，除可提升 PSI 之混凝效果外，藉由外加磁力，更可提升膠羽之沉降速度，並可將原具有鮮綠顏色之含藻原水，加以澄清，圖 8 為添加 10 ppm PSI 及 0.5 g 鐵氧磁性顆粒，並外加磁力靜置之混沉前後圖，顯示對藻之去除有相當顯著的效果。



圖 8 含藻原水混沉前後圖(左側混沉前，右側混沉後)

#### 四、鐵氧磁性顆粒回收

鐵氧磁性顆粒本身具有磁性，因此只要提供磁力，便可進行回收，將回收後之鐵氧磁性顆粒放至烘箱烘乾，並在與鐵氧磁性顆粒製備時之相同煅燒溫度 600°C，煅燒活化時間分別為 10 min、20 min 及 30 min，煅燒後使用 RO 水清洗並烘乾，即完成回收動作，其回收結果如表 1。

鐵氧磁性顆粒在收集、煅燒及清洗等因素的過程中較細小的顆粒會因這些因素流失，





在相同煅燒溫度不同煅燒時間上，20 分鐘與 30 分鐘煅燒時間的回收率相近接近，這代表鐵氧磁性顆粒在經過 20 分鐘的煅燒時間時，已經將所吸附的藻類燒除，煅燒至 30 分鐘反而耗能，因此本研究在 600°C 條件下之最佳煅燒時間為 20 分鐘。

經回收之鐵氧磁性顆粒，使用完成回收之鐵氧磁性顆粒添加 0.5 g 依照實驗步驟進行瓶杯，瓶杯試驗後以同樣方式將鐵氧磁性顆粒收集，烘乾後之重量為 0.53 g，再次將使用後的鐵氧磁性顆粒進行收集與烘乾，經觀察在外觀上有藻類附著也與圖 24~25 相近，烘乾後秤重重量增加，代表經回收後之鐵氧磁性顆粒仍具有吸附藻類之效果。

表 1 不同煅燒時間鐵氧磁性顆粒回收率

	10min	20min	30min
鐵氧磁性顆粒 添加量	0.5g	0.5g	0.5g
鐵氧磁性顆粒 收集後烘乾重量	0.54g	0.53g	0.54g
鐵氧磁性顆粒 煅燒後重量	0.46g	0.43g	0.44g
回收率%	92%	87%	88%

## 肆、 結論與建議

### 一、 結論

本研究是以共同聚合法製備出 PSI，記錄其製備條件並稀釋至總鐵 10000ppm 保存，繼之使用含有藻類之原水做瓶杯試驗，從中找出最適加藥量、最適鐵氧磁性顆粒添加量、鐵氧磁性顆粒與皂土助沉之比較，並嘗試將使用後之鐵氧磁性顆粒回收再利用。本研究獲得結論如下：

1. 隨著 PSI 加藥量的增加，水中 pH 值會越來越低。過量添加之水樣，經過 24 小時的靜置，水樣明顯有色度產生，濁度亦升高，本研究之原水試驗所得之 PSI 最適加藥量為 10ppm。
2. 鐵氧磁性顆粒的添加不會改變水中 pH 值，對水中之帶電特性影響也不大。
3. 鐵氧磁性顆粒具有磁性，在靜置的過程中，於底部放置磁鐵，可有效的加快水中顆粒的沉澱速度，使濁度去除。
4. 鐵氧磁性顆粒在收集、煅燒及清洗的過程中，較細小的顆粒會因為這些因素些微流失，在 600°C 的高溫下將使用過的鐵氧磁性顆粒進行煅燒，經過 20 分鐘的煅燒，經秤重計算有 87% 的回收率，而 30 分鐘煅燒時間的回收率與煅燒 20 分鐘的回收率差異不大，所以鐵氧磁性顆粒在 600°C 的條件下，只要煅燒 20 分鐘，即可有效的將鐵氧磁性顆粒所吸附的懸浮微粒及藻類燒除，經過煅燒回收回來的鐵氧磁性顆粒，透過瓶杯試驗得到的結果顯示，回收後之鐵氧磁性顆粒仍保有吸附的效用，所以鐵氧磁性顆粒有相當好的回收價值。





## 二、建議

本研究僅依照所取用含藻原水之特性，配製單一種矽鐵比，PSI 不同矽鐵比的應用與不同水質條件水體之應用可再作進一步探討。此外，針對鐵氧磁性顆粒之回收鍛燒溫度評估僅與製備鍛燒溫度同，為 600°C，未來可再擴大探討不同溫度下，鐵氧磁性顆粒之回收效率。





## 參考文獻

1. 行政院環保署(2000)。飲用水水質處理藥劑一覽表。第十三條第一項。
2. 陳珮紋(2004)。利用  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  磁性顆粒處理化學機械研磨廢水。國立中央大學環境工程研究所碩士論文，未出版，桃園。
3. 陳珮紋與秦靜如(2005)。利用利用  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  磁性顆粒處理化學機械研磨廢水。奈米研討會論文集，85-92。
4. 陳念妤(2012)。聚矽酸鐵混凝劑之鐵型態物種對藻類混凝去穩定之影響。國立交通大學環境工程研究所碩士論文，未出版，新竹。
5. Cerff, M., Morweiser, M., Dillschneider, R., Michel, A., Menzel, K., & Posten, C. (2012). Harvesting fresh water and marine algae by magnetic separation: screening of separation parameters and high gradient magnetic filtration. *Bioresour. Technol.*, 118, 289–295.
6. Fu, Y., Gao B. Y., Zhang, Y. F., Zhang, X. Y., & Shi, N. (2011). Organic modifier of poly-silicic-ferric coagulant: Characterization, treatment of dyeing wastewater and floc change during coagulation. *Desalination*, 277, 67-73.
7. Lim, J. K, Chieh, D. C. J., Jalak, S. A., Toh, P. Y., Yasin, N. H. M., Ng, B. W., & Ahmad, A. L. (2012). Rapid magnetophoretic separation of microalgae. *Small*, 8, 1683–1692.
8. Liu, D., Li, F., & Zhang, B. (2009). Removal of algal blooms in freshwater using magnetic polymer. *Water Science and Technology*, 59, 1085–1092.
9. Xu, X., Yu, S. L., Shi, W., Jiang, Z. Q., & Wu, C. (2009). Effect of acid medium on the coagulation efficiency of polysilicate-ferric (PSF)-A new kind of inorganic polymer coagulant. *Separation and Purification Technology*, 66, 486-491.
10. Xu, L., Guo, C., Wang, F., Zheng, S., & Liu, C.Z. (2011). A simple and rapid harvesting method for microalgae by in situ magnetic separation. *Bioresour. Technol.* 102, 10047–10051.





# Combination of Poly Silicate Iron (PSI) and Magnetic $MnFe_3O_4$ for the Removal of Algae via Coagulation

Ying-Jie Hong<sup>a</sup>, Chi-Chuan Ken<sup>b\*</sup>, Shiow-Shyung Lin<sup>c</sup>, Hui-Ling Yang<sup>d</sup>, I-Pin Chen<sup>e</sup>

<sup>a</sup> Master, Department of Environmental Engineering and Science; Chia-Nan University of Pharmacy and Science

<sup>b\*</sup> Professor, Department of Tourism and Management; Chia-Nan University of Pharmacy and Science

<sup>c</sup> Professor, Department of Environmental Engineering and Science; Chia-Nan University of Pharmacy and Science

<sup>d</sup> Ph.D, Institute of Environmental Engineering; National Chiao Tung University

<sup>e</sup> Assistant Professor, Department of Environmental Engineering and Science, Chia-Nan University of Pharmacy and Science

## ABSTRACT

In the water treatment processes, raw water with higher algae content belongs to one of the most difficultly treated cases because the algae have the characteristics of shape changing, low specific gravity and cell density, etc. As a result, in the coagulating sedimentation process, it is hard to remove algae completely, hence blocking the filter unit and increasing times of back-washing and material replacement. This study evaluated efficacy of poly silicate iron (PSI) used in the coagulation of raw water with higher algae content. Via Jar Test, the optimum PSI dosage was estimated. At the silicon/iron molar ratio of 0.2 : 1, the optimal PSI dosage is 10 ppm. At a higher dosage, the water will exhibit brown color and the turbidity is higher. Moreover, co-settling agents (magnetic iron oxide and bentonite) for enhancing settlement efficiency were added and compared. The result showed that magnetic iron oxide can more effectively speed up the settling velocity. In conclusion, adding PSI and co-settling agent can effectively improve the removal of algae. Furthermore, addition of iron oxide magnetic particles has no noticeable effect on the pH values and electrical properties of water. Spent iron oxide particles were recycled. By calcining the spent iron oxide at 600°C, about 87 wt.% was recovered whilst the iron oxide still retained the magnetic and settlement-assisting ability.

**Keywords:** algae removal by coagulation, poly-silicic-ferric (PSI), co-settling agent, magnetic iron oxide particles

---

\* E-mail : cckanev@mail.cnu.edu.tw

