

流導電流儀在淨水混凝／膠凝程序中 自動加藥控制之研究

陳建中* 黃志彬**

*國立交通大學環境工程研究所碩士

**國立交通大學環境工程研究所副教授

摘 要

本省淨水場操作之自動化已進行多年，但對於混凝程序之加藥監控則尚缺乏有效的方式。流導電流偵測技術乃藉連續量測水體微粒表面之電性，以作為混凝之指標，提供淨水場混凝程序一個有效且經濟的加藥監控方式。因此本研究利用實驗室中一連續式混凝／膠凝模擬程序之操作，評估其可行性及實用性。

以往監測訊號收集不易，無法由充份的數據反應出連續監控時之加藥動作，因此本研究在一連續訊號處理系統下進行試驗之數據記錄。結果發現過去文獻對於流導電流偵測儀之缺乏認識，造成了濁度突增時加藥動作之不當反應。故在本研究中對於流導電流讀值的理論進行探討並加以修正，認為於低濁度之操作狀況下，流導電流感測壁面之原始電性不能予以忽略。

經修正後，使得流導電流之加藥監控對於濁度變化大之淨水處理具可行性。且由實驗中的各項特性，得知此技術之應用上仍有若干限制，並建議流導電流監控技術適用於淨水處理，而不適用於具高離子強度之廢水處理，且加鋁量不宜過高。

一、前言

混凝／膠凝一直是淨水場的必備處理流程，也是關係著處理水質好壞及操作正常與否的關鍵程序，傳統上決定混凝加藥量的方法包括：杯瓶試驗 (Jar test)，模型過濾試驗 (Pilot filter test)，界達電位量測法 (Zeta meter technique)。其中常見之杯瓶試驗法，因量測過程耗時不符合時效且不科學。模型過濾試驗雖然有助於處理低濁度的原水，但需經常常的維護且不適用於高濁度的狀況，面對變動的水質亦缺乏時效性。而界達電位量測法雖可以顆粒表面電性的偵測，直接判定混凝效果，但無法連續式監測，以致於水質變動時亦無法作出立即的反應，造成處理上的延遲。鑑於傳統處理方式的缺失以及促使混凝控制的自動化，近年來，先進國家相繼開發了許多替代方法及設備。

1982年，Logsdon和 Fox 認為促使操作人員便捷地判定混凝狀況的控制技術雖已在多方面努力下進行多年，但已開發的技術對於連濁度計都算是大投資的小水場而言仍舊負擔太大⁽¹⁾，幾年後，流導電流偵測儀 (Streaming current detector:SCD)，因有較佳的加藥控制且節省水場成本，被水處理場廣範泛地使用（特別是法國及美東地區）。

由以往的研究文獻得知，流導電流的操控技術雖已有批式 (Batch) 及連續式的試驗，但對於濁度變動時流導電流的影響如何則一直未有詳盡的記錄，故本研究利用一連續式濁度測定計，結合流導電流儀 (SCM:為SCD之實場應用機組)，在實驗室設計一連續式混凝／膠凝及沉澱程序，並以SCM 原廠操作手冊所建議的加藥控制邏輯建立一電腦監控系統，接著在各種變動條件下，以實驗室配製之人工合成水樣進行連續式試驗，並記錄各個感測器的讀值與加藥機對

訊號的反應，模擬現場多變化之濁度原水，來評估流導電流偵測技術應用於自動控制混凝加藥之可行性，作為日後國人引進此技術之參考。

二、流導電流偵測技術

原水濁度之不易去除主要來自於微粒間的斥力，經由電雙層模式得知，固液界面互動所引發之電動力現象可求得剪力面之電位，即所謂的界達電位，並可以此預測出水體微粒之"穩定性"。流導電流偵測技術屬於電動力現象的一環，在理論基礎上與廣為應用的電泳量測無異，皆可以得到相同的界達電位，唯兩者的量測方式不同以致讀值不同。

2.1 早期的發展

經由施加壓力的方式迫使液體流經多孔塞或毛細管以產生電動力現象，當液體流動時，固液界面間所形成的剪力面，將使得擴散層中的游離反離子隨著水流而移動並衍生出一可被量測的電流或電位。

在進行量測的過程，首先記錄不含膠體微粒時之原始空白值，再將待測樣品固定在感測平面上，造成一偵測差值，此差值便可作為待測樣品的電性指標。

2.2 近期的研究發展

1966年Gerdes將流導電位的量測技術作了一次革新並推出 SCD，以一活塞的往復式運動取代原先的壓力施加來帶動水流，並將多孔式或毛細管式的通道改為一狹窄的環狀空間，利用膠體微粒於通

道壁面的黏著，來反應出微粒的電性，又因能連續式取樣故成了水場混凝程序自動監控之利器⁽²⁾。1988年 Dentel及 Kingery等人，針對 SCD的運作特性提出了流導電流的理論模式如下⁽³⁾：

$$I = -4 \epsilon \zeta w s R^2 / C^2 \quad (1)$$

其中 I=流導電流對時間的平均值

w=馬達的轉速

s=活塞衝程

R=圓筒形外殼的半徑

C=環狀帶的寬度

並根據 Helmholtz-Smoluchowski 方程式推得流導電流與電泳值之理論關係式且經由實驗證實兩者確實存有一定之比例。

2.3 目前流導電流之監控應用邏輯

1988年 Dentel及 Gossett 等人，利用界達電位儀進行電泳值的量測探索鋁鹽於混凝時的反應機制，提出了一個表面電性中和模式如下⁽⁴⁾。

$$\zeta_{1,2} = \frac{\zeta_1 C_1 + \zeta_2 C_2}{C_1 + C_2} \quad (2)$$

1: 鋁鹽

2: 微粒

其中 ζ : 界達電位 ; c: 濃度。模式認為膠體微粒表面電性可經由氫氧化鋁微粒的沉降吸附而達電性中和，而其反應後之表面電性可

視為兩者之電性加成。

1991年Dentel針對膠體微粒於SCD感測壁面的附著情形提出假設，認為環狀的壁面會被膠體微粒的大量附著所覆蓋，使得反應出的壁面電性相當於水溶液中的微粒電性⁽³⁾。進而試圖以流導電流來取代原先的電泳值探討混凝的特性並提出以流導電流表示之電性中和模式如下。

$$(SC)_{1,2} = \frac{(SC)_1 C_1 + (SC)_2 C_2}{C_1 + C_2} \quad (3)$$

模式中忽略了感測壁面之原始電性，當微粒表面電性為負時，鋁鹽的添加可以使得流導電流讀值因表面電性的中和而往正向偏移，反之若是鋁鹽添加不足時則又會往負向回復。

三、實驗設備與方法

3.1 儲備溶液的配製

- 人工合成水樣

將定量的高嶺土(Kaolinite, 林純藥工業株式會社)，以實驗室之自來水加入混合，其離子強度經測試約 $3 \times 10^{-3} N$ ，且為使實驗條件一致以方便比較，一次所配之數量以足夠相關試驗的使用為原則。

- 混凝試劑

以246.975g的硫酸鋁(Alum, $Al_2(SO_4) \cdot 3.18H_2O$, MERCK 出品)加入純水稀釋至一升，配製成20mg/ml Al^{3+} 之混凝儲備試劑。

- SCM感應棒之清洗液

取139ml的36%HCl，稀釋成約10%HCl的清洗液。

3.2 實驗設備

- pH自動控制器

TOHO KAGAKU 公司製造型號PET-1000，偵測範圍0--14 pH(+/- 0.05)且具有自動溫度補償功能。

- 連續偵測式濁度計

由HACH型號RATIO/XR的濁度計加上一連續式進流槽

- 流導電流儀 (Streaming current monitor :SCM)

CHEMTRAC System 公司製造，可經由液晶螢幕顯示其讀值並可將讀值以0-10volt的訊號輸出。

3.3 訊號處理系統

為一PC\AT\80386-33的主機與類比數位轉換卡 (A/DD/A CARD) 及多功能實驗卡 (PC-LAB CARD)的組合，其程式流程如圖1所示訊號經由平滑化 (smooth)的過程降低雜訊的干擾，連續記錄成一資料庫並同時進行加藥控制之判斷。

3.4 連續式之混凝／膠凝模擬程序

如圖2所示，原水經由馬達自一連續攪拌之儲存桶取出，部份量測記錄其濁度餘則直接流入一反應槽 (快混 $G = 455$, 理論停留時間 = 1.6min) ，接著流至一收集槽其中部份引至SCM進行流導電流的量測，從反應後至量測其流導電流約延遲6.4sec。

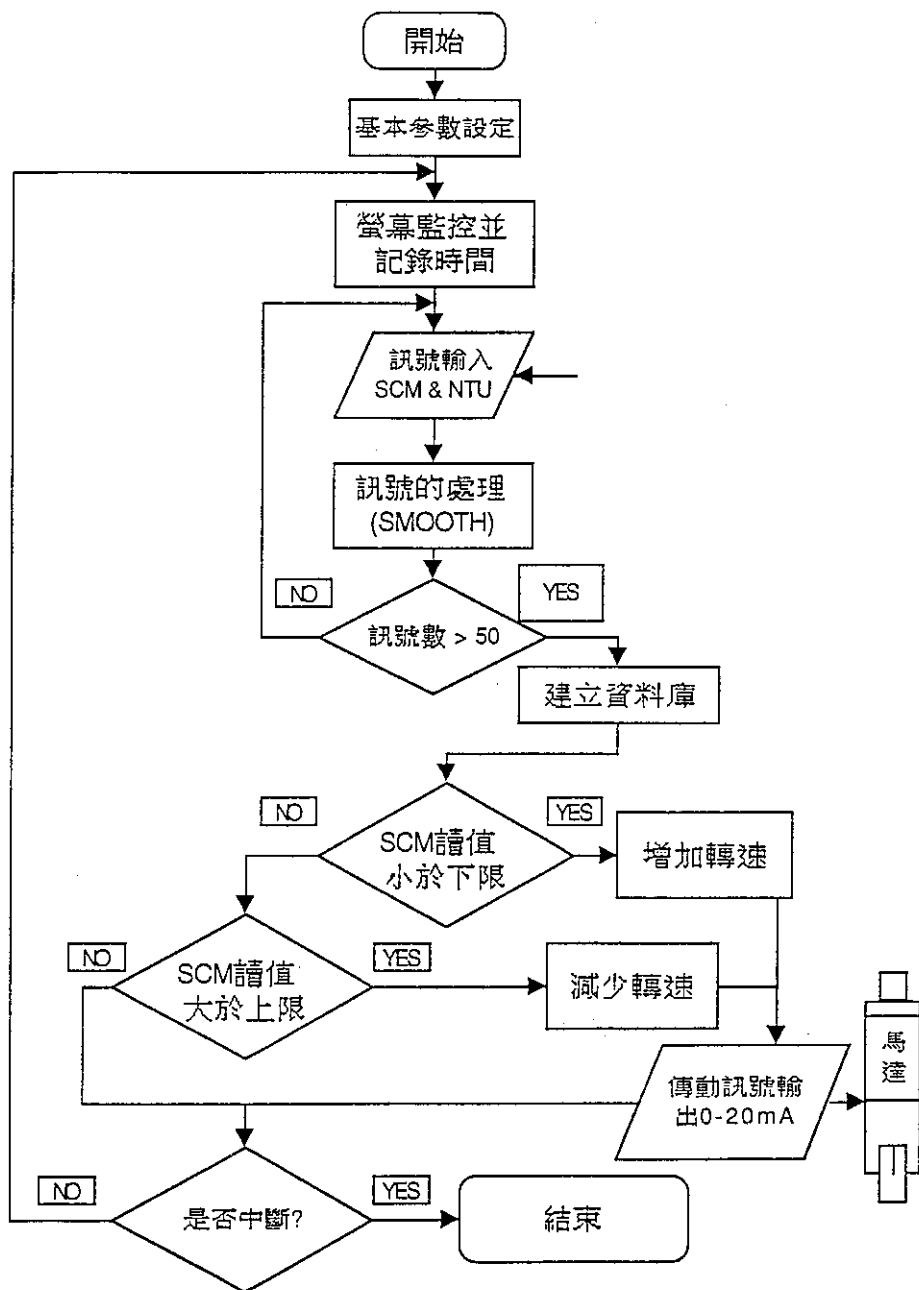


圖 1 訊號處理之程式流程

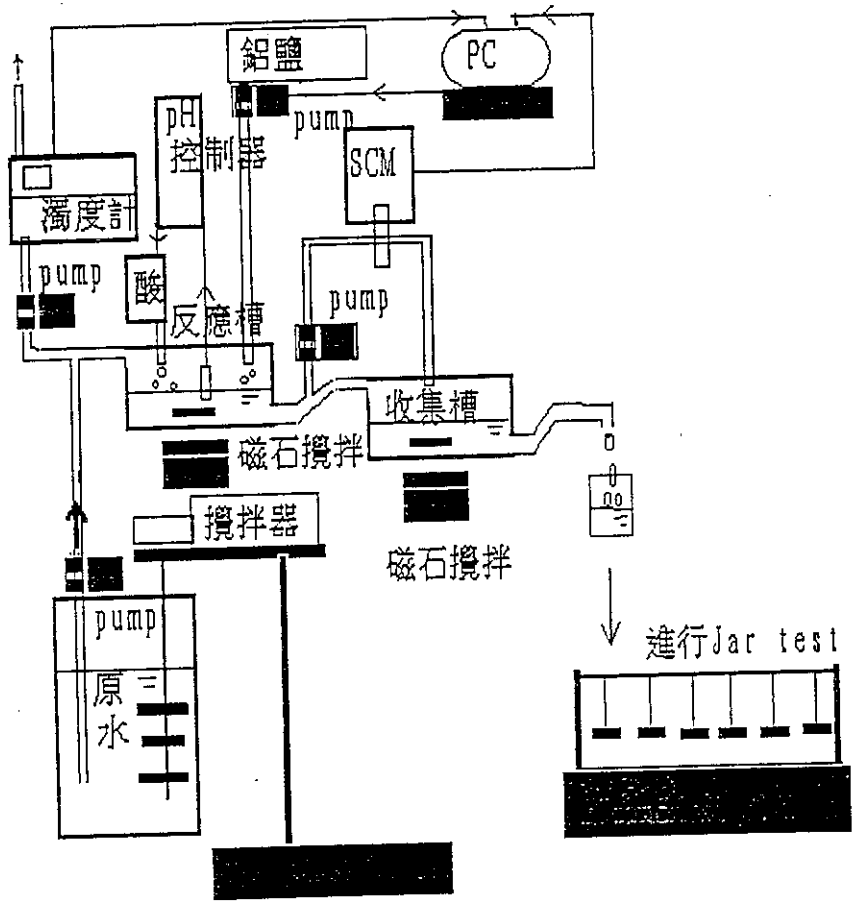


圖 2 連續式之混凝/膠凝程序

3.5 殘餘濁度的分析

- 批式試驗：

加一定量的鋁鹽於反應槽中的水樣(1L)，並將PH調成一定值，攪拌1.5min後再取出置放於杯瓶試驗裝置中，以Phipps & Bird的攪拌器在25rpm下慢混25min停止後靜置等待25min，始以吸管取其液面下4cm的水樣約25ml經由濁度計分析其殘餘濁度。

- 連續式試驗：

以一升的燒杯不定時地取出混凝後的水樣，再同上述杯瓶試驗般進行慢混及靜置沉澱分析其殘餘濁度。

3.6 流導電流的量測分析

操作前先以固定水樣空跑一段時間直到讀值穩定，然後加以保存當作標定液，量測時以適當的速度攪拌($G = 455$)使微粒呈懸浮狀均勻攪拌約1.5min，再以往復式馬達引至流導電流儀的感測棒進行量測。經由訊號處理系統的收集以50次所得的平均值作為一次量測的讀值且延遲時間約6.4sec。

實驗結束後，立即以自來水沖洗數分鐘再置入清洗液內空跑一段時間直到讀值穩定，重復以純水置換當讀值穩定於-9.97以下時停止清洗。若上述清洗無顯著功效，可將之拆開置於超音波洗淨機內以音波振盪洗淨約一個小時。

四、結果與討論

4.1 連續監控時流導電流最佳操作區間的求得

根據SCM儀器使用說明之建議步驟，先於批式試驗中求得操作

之最佳區間，如圖 3 所示，在 pH 7 的水質條件下，以高嶺土配製不同濁度之三種水樣，添加了不同劑量之鋁鹽，且記錄了流導電流讀值所反應出的變動及所對應的濁度去除率（以殘餘濁度表示）。若以殘餘濁度上限 15 NTU 為基準，判斷出加藥前後流導電流的量測差值 0.4 時其殘餘濁度皆低於 15 NTU。故基於經濟及效率上的考量，以流導電流之最初狀態量測值加上 0.4 的量測差值為操作時之最佳設定區間。

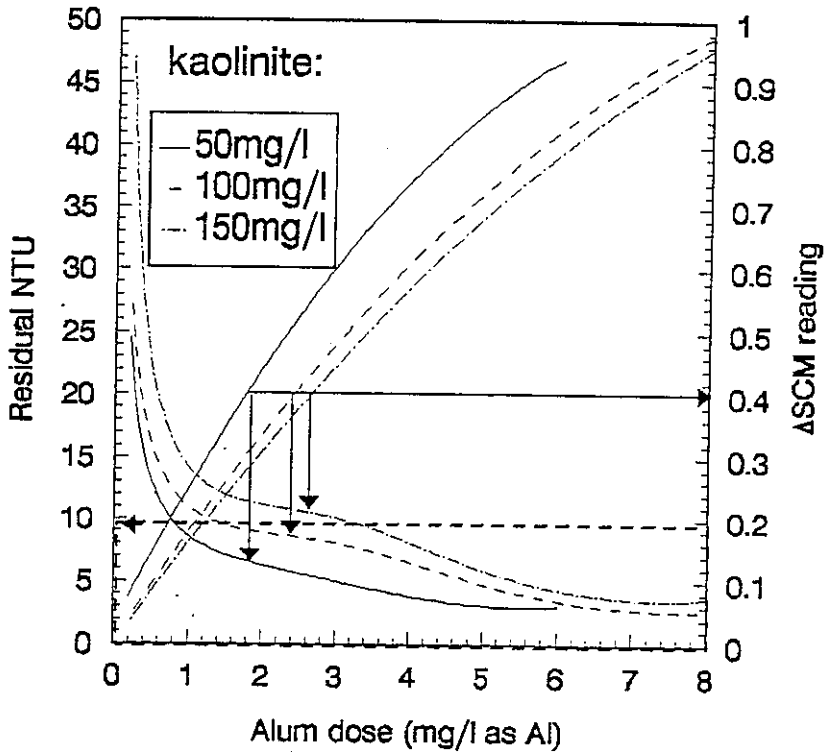


圖 3 pH 7 時，鋁鹽的添加所反應的流導電流差值與殘餘濁度之關係圖，以 15NTU 之殘餘濁度上限求出操作之最佳區間

4.2 混凝／膠凝連續式監控之模擬試驗

水體中疏水性微粒(如kaolinite) 大多是帶著負電，因此當濁度增加時微粒表面之中和電性值將因負電荷濃度的增加而使得流導電流的量測讀值負向偏移再牽動加藥控制程序的增加藥量，故設計一模擬試驗加以驗證並試圖累積經驗以進行PID 程控設計之發展，根據前一試驗結果進行加藥監控之模擬試驗如圖 4及圖 5所示。先進行背景值的確定再以 SCM 差值約為 0.4 作為操作之最適區間，由實驗結果顯示推論有必要予以修正。當濁度固定時，經由流導電流儀於最適區間的加藥監控可以使得殘餘濁度維持低於 15 NTU 的濁度殘餘上限，接著嘗試改變濁度以模擬出暴雨時濁度突增的現象，但卻出現了與前述理念相違背的矛盾現象如圖中間部份所示，濁度增加時加藥控制量不增反減，而此時的殘餘濁度值也超越了控制上限。明顯的，流導電流儀於此實驗狀況下有其應用上的盲點。

4.3 表面電性之查核試驗

於不同的 pH 值及不同的離子強度下，對研究中所使用的高嶺土進行電泳量測的探討以及進行感測壁面原始電性的探討如圖 6。結果則可清楚地看出水溶液中感測壁面的電位特性與離子強度及 pH 值之關係密切，並可估計出水溶液中感測壁面之等電位點約為 pH 2，因此在一般操作 (pH=5--8) 時壁面應是帶負電性且其壁面之原始電位強度將不容忽視。所以推測流導電流讀值應該是反應出感測壁面電性與高嶺土及鋁鹽三者之電性加成，以往文獻中以微粒大量附著認為感測壁面的電性將相當於水溶液中微粒表面電性的推論，則有必要作進一步修正。

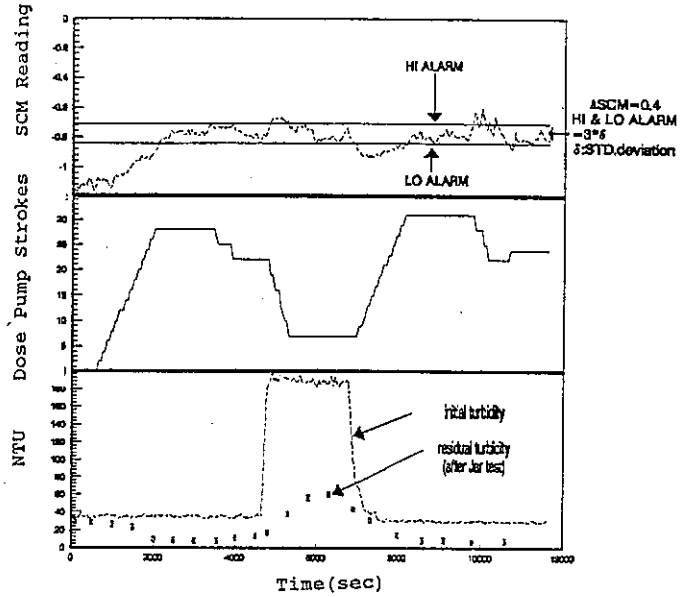


圖 4 pH為 6.5 的條件下流導電儀的連續式加藥監控試驗：
 濁度突增以模擬實廠面臨暴雨變動之處理狀況進流
 流速 500ml/min; 混凝試劑儲備液 20mg/l

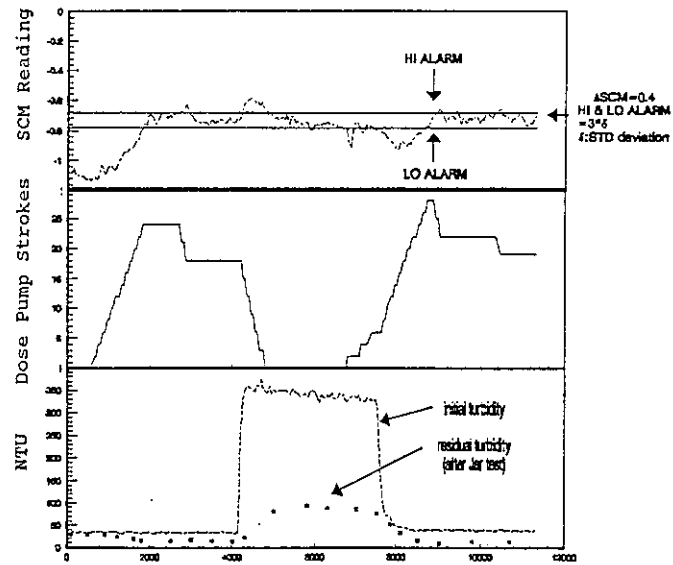


圖 5 pH為 7 的條件下流導電儀的連續式加藥監控試驗：
 濁度突增以模擬實廠面臨暴雨變動之處理狀況進流
 流速 500ml/min; 混凝試劑儲備液 20mg/l

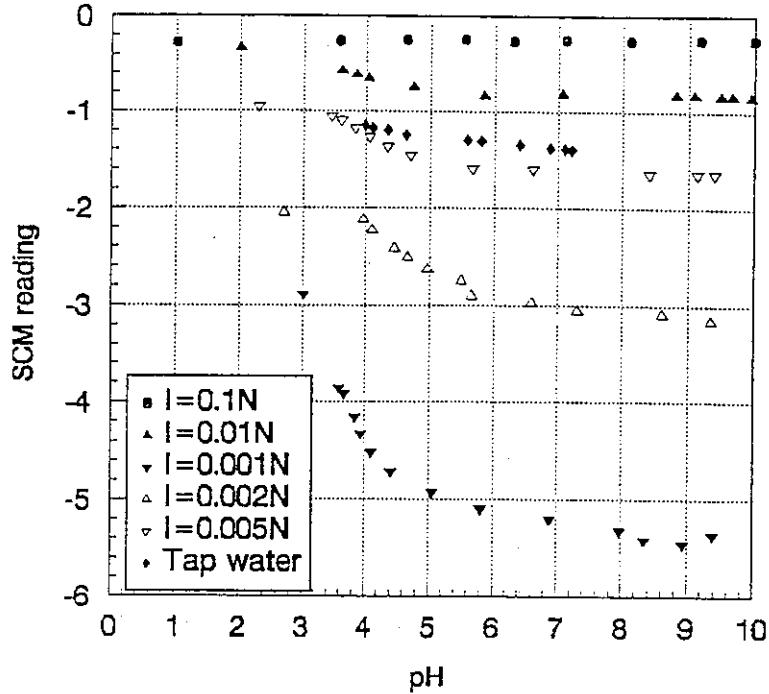


圖 6 感測壁面原始之流導電流的特性圖
離子強度與 pH 值影響流導電流讀值

4.4 量測過程中感測壁面的電性中和行為

為了清楚明瞭濁度對流導電流讀值的影響，本研究進行一系列以濁度之變動來監測流導電流儀對應之反應。圖 7 是在 pH 7 的狀況下，高嶺土之進流濁度變動對流導電流讀值的影響，反應出感測壁面經由高嶺土附著後壁面電性中和的程度。另外在 pH 7 的狀況下皂土 (bentonite) 濁度變動對流導電流讀值的影響不穩定。且為了瞭解天然水濁度變動所帶來的反應與前面人工合成水樣是否一致，因此以豐原淨水場石崗壩之一定點土樣合成原水濁度進行試驗，其結果如圖 8 所示。顯示皂土及天然沙土在流導電流偵測反應上並不如高嶺土穩定。由於微粒表面特性的不同及 pH 的差異以致所表現之中和行為有所差異。

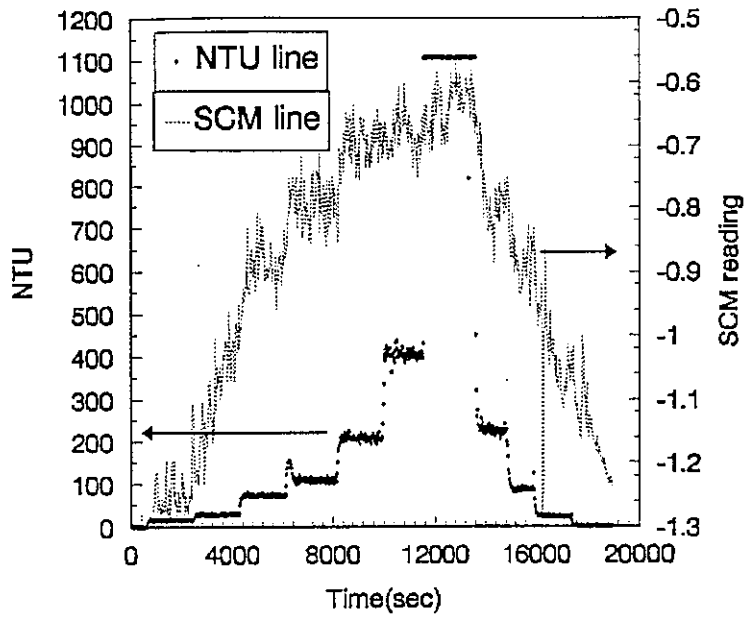


圖 7 pH 7 的狀況下高嶺土濁度變動對流導電流讀值的影響

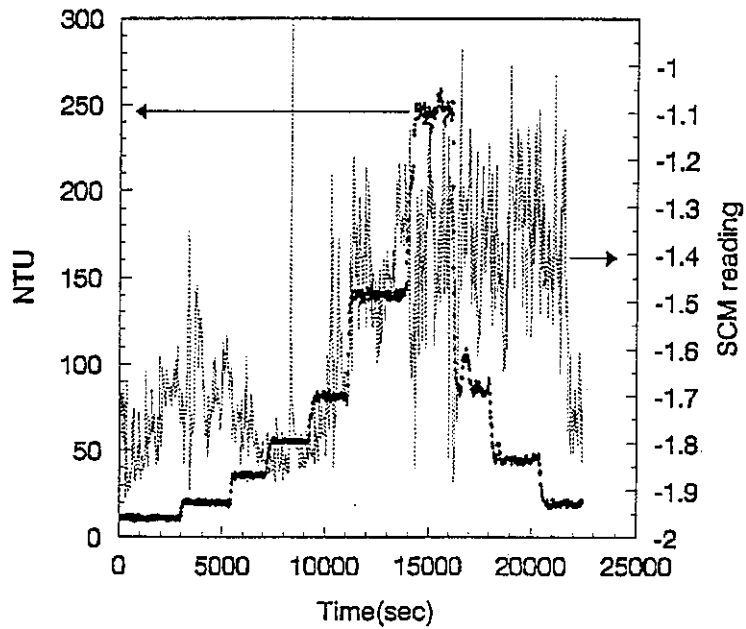


圖 8 pH 7 的狀況下皂土濁度變動對流導電流讀值的影響

4.5 鋁鹽的添加對感測壁面的影響

於 pH 6, 6.5 及 7 的條件下，逐漸的增加鋁鹽添加量如圖 9 所示。以固定的鋁鹽添加量於不同的 pH 下比較其反應的程度，如圖 10。由試驗中之反應趨勢，水中鋁鹽之氫氧化鋁微粒的沉降附著感測壁面為鋁鹽之主要中和途徑，而氫氧化鋁微粒的生成量關係著感測壁面電性中和的程度並可反應於流導電流的量測值中，即氫氧化鋁微粒可直接沈降吸附於感測壁面或經中和原始濁度微粒之電性後形成氫氧化鋁膠羽沈降附著於壁面，因此流導電流前後的量測差值可以作為氫氧化鋁微粒生成的指標。且隨附著量之增加越不易藉由活塞運動達到自淨。

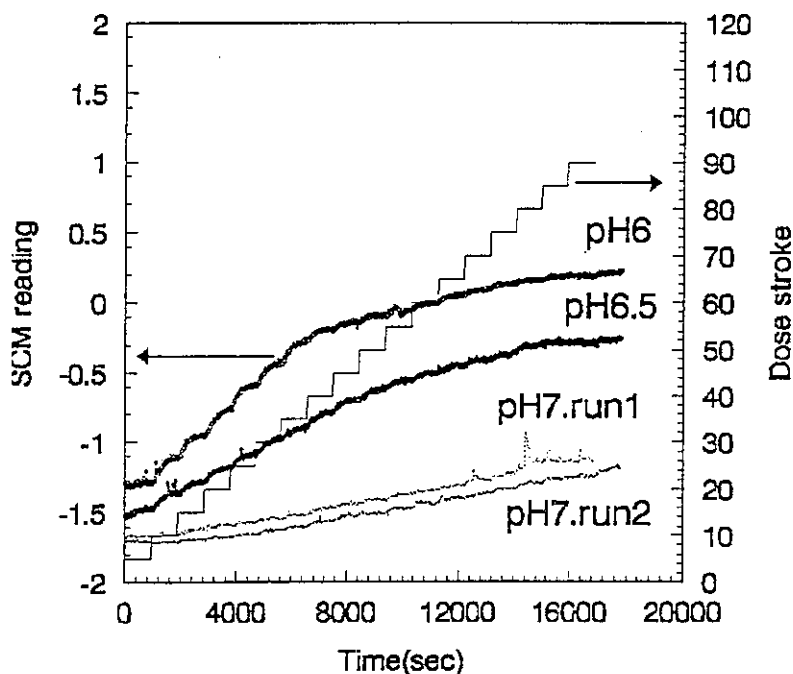


圖 9 加藥量逐漸增加 (0--0.4mg/l as Al) 流導電流變動趨勢之整理

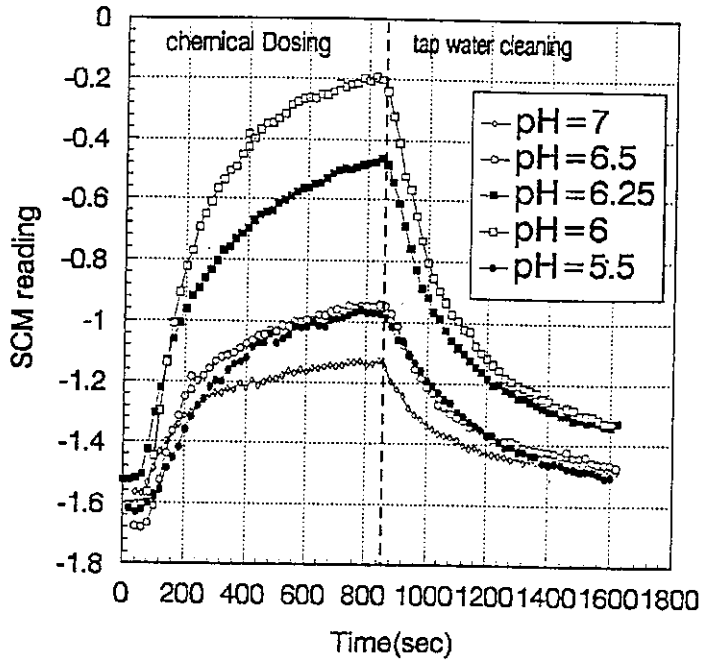


圖 10 於不同 pH 條件下鉛鹽的添加對流導電流的影響

4.6 低鉛操作時濁度變動對感測壁面的影響

隨著濁度微粒的增加提供了更多的附著機會表面之電性中和程度也隨之增加。與前面濁度微粒對感測壁面的電性中和行為相當類似。

以上得知濁度的變動對感測壁面電性中和程度的影響於流導電流監控應用時應加以考慮，特別於中低濁度時，感測壁面無法由濁度微粒完全覆蓋故其原始原始電性不容忽視，因此將式 (3) 修正如下：

$$(SC) = \frac{(SC)_1 C_1 + (SC)_2 C_2 + (SC)_3 C_3}{C_1 + C_2 + C_3} \quad (4)$$

即流導電流讀值應視為濁度微粒，鉛鹽及感測壁面三者之電性加成，因此不應僅以一固定的操作區間而於濁度濁度變動時應作一適當之修正，即不同濁度範圍有其不同之最佳區間。但為

使監控程式及螢幕觀測方便，因此直接對於流導電流讀值進行修正，根據前面濁度變化之影響結果作了如圖 11 之修正試驗，流導電流儀對於濁度變動的監控反應已較為合理，即濁度增高時加藥量不增反減的疑懼已不復存在，且於變動的濁度狀況下將殘餘濁度維持在一穩定區間，使得流導電流儀成為更可信賴的監控工具。

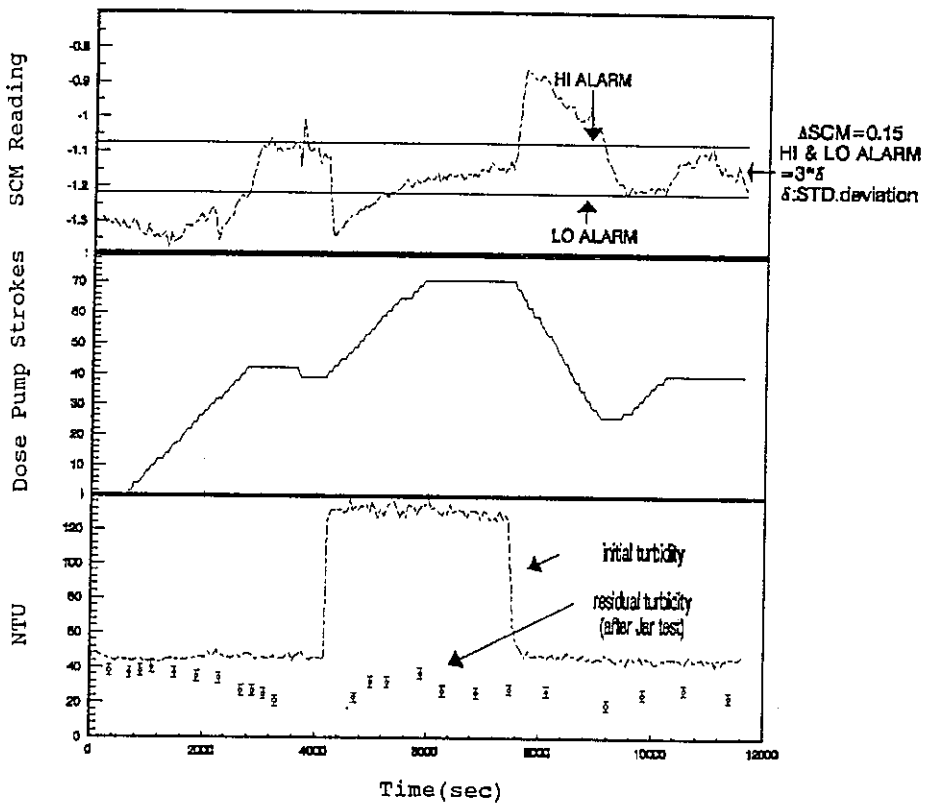


圖 11 流導電流儀連續式加藥監控之修正試驗，pH 控制在 7 左右；濁度突增以模擬實廠面臨暴雨變動時之處理狀況進流流速 500ml/min；混凝試劑儲備液 10mg/l

五、結論

- 1.本研究提出之鋁鹽，濁度微粒及感測壁面三者的電性中和模式可有效的描述混凝監控過程流導電位之變化情形。
- 2.針對流導電流儀之量測特性重新考量濁度變動之影響並修正其應用方式，使得流導電流儀的監控應用具可行性。
- 3.在高低濁度中，濁度微粒其壁面附著機率明顯不同，因而反應出的流導電流量有顯著的差距，所以過去文獻對於微粒在壁面的附著假設並不適用於低濁度情形。
- 4.於低濁度之狀況中，隨著濁度的增加使得微粒附著於壁面的機率增加，反應出之中和電位亦隨之提高。
- 5.高劑量鋁鹽操作時雖可達沈澱糾除之高去除率但若要兼顧到面臨變動狀況時的靈敏性，則此條件將不適用於流導電流儀的監控應用。所以流導電流儀較適用於低劑量鋁鹽的操作方式，也因此無法達到非常低的殘餘濁度。
- 6.對於離子強度高的處理流程(如廢水之混凝沈澱處理)，流導電流儀無法有明顯反應故不適用。

綜合以上得知，流導電流監控技術適用於淨水處理，而不適用於具高離子濃度之永水處理，且加鋁量不宜過高。

六、建議

由以上結論得知，應用 SCM可以有效監控混凝之加藥而其應用之注意事項，本研究提出幾點之建議如下：

- 1.面臨濁度來源複雜的水質時，需先針對原水微粒特性充分瞭解才可以得到較為理想的操作效率。
- 2.由於氫氧化鋁微粒附著性強不易被水流刮除將造成監測上的干

擾，影響了水質變動時的正當反應，因此建議定期以酸洗除感測壁面上固態氫氧化鋁的附著。

3. 流導電流儀於混凝/膠凝的連續加藥監控應用時建議可以配合連續偵測式濁度計使用，若是水源中離子強度變動大時尚可配合著比導電度計一同監測。
4. 若能對於目前感測壁面的材質加以改進，如不帶電或帶正電且氫氧化鋁對其附著力不強，則流導電流儀量測技術將更適用於混凝的加藥監控。

七、誌謝

研究期間，感謝豐原給水廠張進興先生之協助及住都局徐宏銘先生之經驗傳授。本研究承國科會專題研究補助經費 (NSC82-0410-E-009-385) 而完成，謹致以謝意。

八、~~文獻回顧~~ 參攷文獻

1. Strauss, S. D., "Benefit from improved clarification, membrane-treatment control", Instrumentation, Control, Computers and Software.
2. Dentel, S.K., and K. M. Kingery, "Using streaming current detectors in water treatment, "Jour, AWWA, V.81, No.3, pp .85-94, 1989.
3. Dentel, S. K., and K. M. Kingery, "Theoretical principles of streaming current detection, Jour. Water Sci. Tech. Vol.21, pp.443-453, 1989.
4. Dentel, S.K. and J.M. Gossett, "Mechanisms of coagulation with aluminum salts", Jour. AWWA, Vol.80, No.4, pp.187-198, 1988.