嘉南藥理科技大學 97 年度教師專題研究計畫

成果報告書

嘉南藥理科技大學專題研究計畫成果報告

計畫編號：CN9740

淨水場內混凝膠羽之特性探討

執行期間：97 年 1 月 1 日至 97 年 12 月 31 日

□整合型計畫　　■個別型計畫

計畫主持人：甘其銓

中華民國九十八年二月

淨水場內混凝膠羽之特性探討

摘要

混凝/膠凝程序一直是淨水處理過程中重要的單元，其操作的成效直接影響後續處理單元如沈澱與過濾單元的處理水質；混凝/膠凝為淨水工程中廣泛運用於去除水中微粒與有機物的物化程序，已經去穩定的膠體微粒進行有效碰撞之後，形成粒徑較大的聚集體，稱之為膠羽（floc）。雖然國內外許多研究對於混凝/膠凝的影響因子在實驗室之中皆有廣泛的探討，但於淨水場混凝/膠凝操作因子影響膠羽形成的實場評估卻是非常稀少。此一研究將於實驗室與淨水場現場以及於台南的潭頂水場的現場原水於不同濁度水質下、不同混凝劑稀釋比例以及不同的慢混攪拌操作下進行混凝/膠凝與沈降試驗，觀察膠羽之數目、大小、形狀與沉降行為，以了解不同混凝/膠凝的操作對膠羽形成之特性與濁度去除效率的影響，其研究結果將可作為淨水場操作人員於混凝/膠凝最適化操作的參考依據。

關鍵字:淨水、混凝/膠凝、膠羽、濁度

壹、研究動機與目的

混凝/膠凝程序一直是淨水處理過程中重要的單元，其操作的成效直接影響後續處理單元如沈澱與過濾單元的處理水質；混凝/膠凝為淨水工程中廣泛運用於去除水中微粒與有機物的物化程序，此程序可概分為三個階段，混凝劑加入水中首先進行一連串的化學反應之後形成有作用性的混凝作用基，接下來混凝劑作用基與水中穩定的濁度微粒結合，並進行膠體去穩定的作用，最後的階段為已經去穩定的膠體微粒進行有效碰撞之後，形成粒徑較大的聚集體，稱之為膠羽（floc），形成膠羽則可在後續沈澱與過濾處理單元之中被去除，所以沈澱池與過濾池的運作成效受之前混凝/膠凝程序的影響極大。

混凝/膠凝的影響因子可概分為化學性與物理性，化學性的影響因子如原水的有機物、pH 值、溫度、混凝劑種類...等，物理性的影響因子如快慢混的攪拌強度、稀釋比、混凝劑注入點...等，雖然國內外許多研究對於混凝/膠凝的影響因子在實驗室之中皆有廣泛的探討，但於淨水場混凝/膠凝操作影響的實場評估卻是非常稀少。

本研究計劃將於實驗室與淨水場現場針對潭頂水場的現場原水於不同濁度水質下、不同混凝劑稀釋比例以及不同的慢混攪拌操作下進行混凝/膠凝與沈降試驗，觀察膠羽之數目、大小、形狀與沉降

行為，以了解不同混凝/膠凝的操作對膠羽形成之特性與濁度去除效率的影響，其研究結果將可作為現場人員於混凝/膠凝最適化操作的參考依據。

貳、研究方法

本研究流程如圖 2-1 所示，首先針對潭頂淨水場之基本操作資料進行調查，項目包含原水水質特性、混凝/膠凝單元之規格、混凝劑種類與使用量、混凝/膠凝單元之操作條件。接下來先在實驗室進行批次評估試驗，針對不同水質之原水進行混凝劑最適劑量的評估，接下來再利用前述實驗評估所得的最適劑量針對混凝劑不同的稀釋比例、不同慢混攪拌操作（G、t 值）與膠羽破壞之後再聚集性的評估，透過殘餘濁度、沈降曲線、濁度顆粒的表面電性與形成膠羽大小、數量的特性分析，以評估淨水混凝加藥稀釋與慢混操作對濁度去除之影響。最後，以實驗室所獲得的實驗數據為基礎配合實際的操作現況，於現場進行評估試驗，現場實驗評估的評估因子與項目與上述實驗室批次實驗相同。

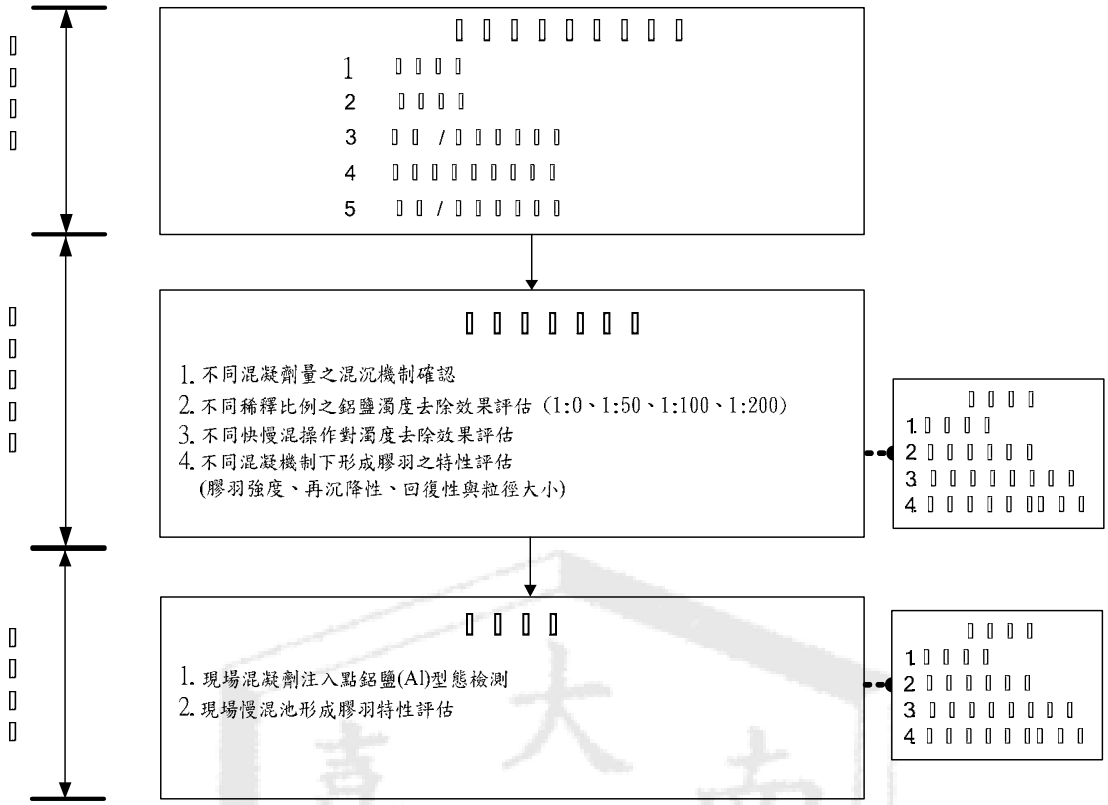

圖 2-1　研究架構流程

一、實驗室評估試驗

(一) 不同混凝劑量之混沉機制確認

首先針對淨水場原水進行混凝劑量的瓶杯試驗，混凝劑採用與潭頂淨水場相同之鋁鹽（Alum），含氧化鋁（Al_2O_3）7.5%，在不同劑量的鋁鹽注入瓶杯之中後，透過 1 分鐘的快混攪拌（200 rpm, 300 s^{-1}），20 分鐘的慢混（30 rpm, 50 s^{-1}），再進行 20 分鐘沈降，並於 5、10、15、20 分鐘時取液面下 10 公分處進行濁度的量測。而於之前快混之後即取水樣使用界達電位儀（Zeta Meter, Zeta Inc.）量測濁度

微粒的表面電位，在此一評估試驗中，將以濁度與顆粒電位作為最適混凝劑量的評估依據。不同混凝劑量也將分析其主要的作用混沉機制作為後續相關評估試驗中之參考。

(二) 不同稀釋比例之鋁鹽濁度去除效果比較

於潭頂淨水場的現場操作之中，為利於混凝劑的輸送與注入，以大量的清水稀釋混凝劑進行輸送與注入快混池中，因此，在本研究之中，利用上述的瓶杯試驗所得之混凝最適劑量，在與不同量的清水於快混之前進行混合，即在快混前進行不同倍數的混凝劑稀釋，稀釋的比例則有 1:0、1:50、1:100、1:200 等，在相同劑量但不同稀釋比例的鋁鹽注入瓶杯之中後，透過 1 分鐘的快混攪拌（200 rpm, 300 s^{-1}），20 分鐘的慢混（30 rpm, 50 s^{-1}），再進行 20 分鐘沈降，並於 5、10、15、20 分鐘時取液面下 10 公分處進行濁度的量測。而於之前快混之後即取水樣使用界達電位儀（Zeta Meter 3.0, USA）量測濁度微粒的表面電位。在此一評估試驗中，將以濁度與顆粒電位作為混凝劑稀釋影響的評估。

(三) 不同快慢混操作對濁度去除效果評估

在混凝劑注入之後，透過 0.5、2、5 分鐘的快混攪拌後（200rpm, 300s^{-1}），再進行不同的慢混操作，慢混的 G 值 30s^{-1}，時間 t 值則有

5、10、40 分鐘。再進行 20 分鐘沈降，並於 0、5、10、15、20 分鐘時取液面下 10 公分處進行濁度的量測。而於慢混之後即取水樣使用顆粒計數器（Particle Counter, Chemtrac PS2400, USA）量測形成膠羽的大小與數量。在此一評估試驗中，將以濁度與膠羽特性作為不同慢混操作影響的評估項目。

(四) 不同混凝機制下形成膠羽之特性評估 (膠羽強度、再沉降性、回復性與粒徑大小)

(1) 膠羽強度評估

在混凝劑(0.5、1、5、20 ppm)注入之後，透過 1 分鐘的快混攪拌後（200 rpm, 300 s^{-1}），再進行 30 s^{-1}、20 分鐘慢混操作，於慢混結束後再進行 30 秒的激烈攪拌(G 值為 100、200、350 s^{-1})。而於激烈攪拌之後即取水樣使用粒徑分析儀（Particle Sizer, Coulter 3000, USA）量測形成膠羽的大小。再進行 20 分鐘沈降，並於 5、10、15、20 分鐘時取液面下 10 公分處進行濁度的量測。在此一評估試驗中，將可以了解不同混凝機制下，膠羽以濁度與特性作為慢混後膠羽破壞影響的評估項目。

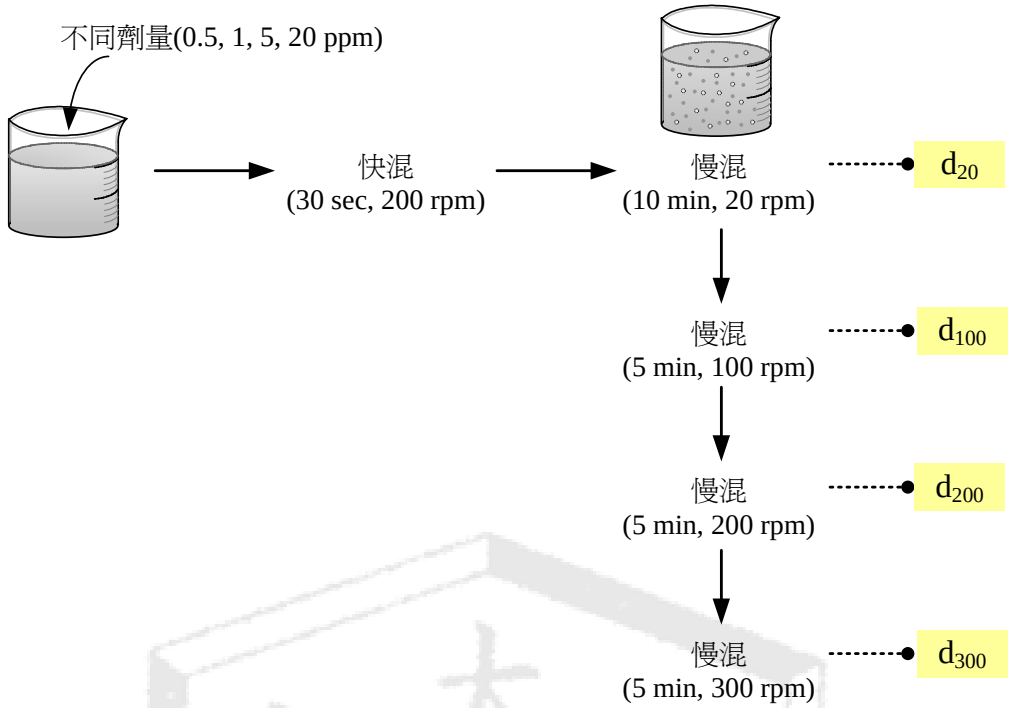

圖 2-2 膠羽強度評估試驗流程

(2) 膠羽回復性與再沉降性評估

在混凝劑(0.5、1、5、20 ppm)注入之後，透過 1 分鐘的快混攪拌後（200rpm, 300 s^{-1}），再進行 30 s^{-1}、20 分鐘慢混操作，於慢混結束後再進行 30 秒的激烈攪拌(G 值為 350 s^{-1})。再進行 20 分鐘 G 值(0、30、100 s^{-1})不同的慢混操作(此為再聚集階段)，之後再進行 20 分鐘的沉降，並於 5、10、15、20 分鐘時取液面下 10 公分處進行濁度的量測。而於在聚集階段，取水樣使用粒徑分析儀（Particle Sizer, Chemtrac PS2400, USA）量測形成膠羽的大小。在此一評估試驗中，將以殘餘濁度與膠羽回復特性作為慢混後膠羽的評估項目。

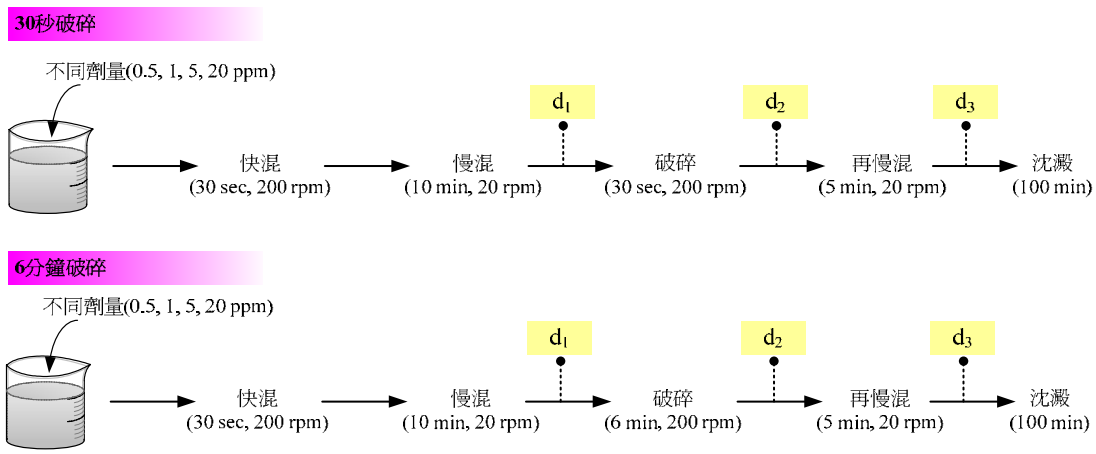

圖 2-3 膠羽回復性與再沉降性評估試驗流程

二、現場試驗

(一) 現場混凝劑注入點鋁鹽(Al)型態檢測

潭頂淨水場現場分成南北兩區，如圖 2-4 所示，北區的混凝劑注入點以藍色星號表示，南區的混凝劑注入點以紅色星號表示。

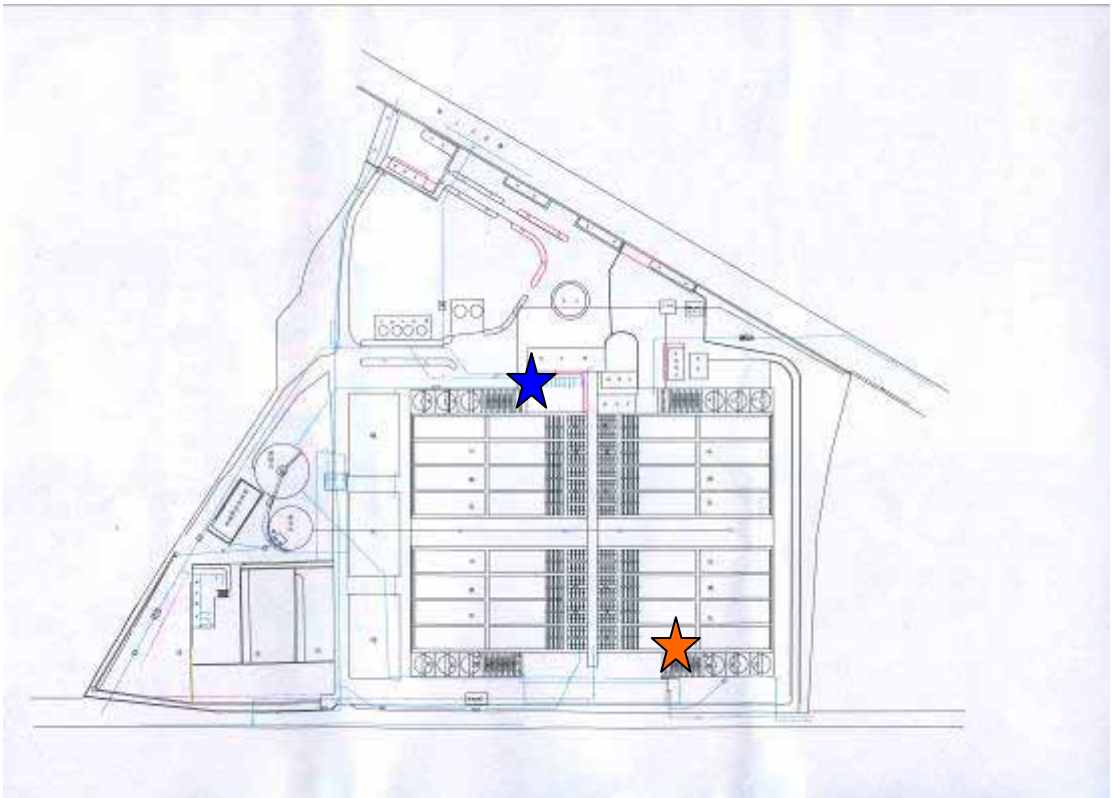

圖 2-4 潭頂淨水場混凝劑注入點

（藍色星號：北區的混凝劑注入點，紅色星號：南區的混凝劑注入點）

鋁鹽原液經稀釋後 pH 值為 4.2，稀釋倍數為 110 倍，採取現場注入點的已稀釋之混凝劑進行鋁型態之分析，鋁鹽(Al)型態檢測方法說明如下：

1. 螯合比色緩衝溶液配製

配製 1,000 mL 混和液，其中包括 500 mL 濃度 0.2%的 Ferron(內含濃度 0.01%的邻菲羅啉)，200 mL 濃度 35%的醋酸鈉，200 mL 濃度 10%的鹽酸羥胺(內含 8 mL 之 1：1 濃鹽酸)，配製好之混合液置入冰箱以 4℃冷藏，冷藏 4~5 天後使用，混和液之 pH 值約 5.2 左右，

宜在一個月內使用完畢。

2. 檢量線之製作

取 25 mL 之容量瓶 6 個，都加入 5 mL 之 Ferron 緩衝比色液，依序加入 0、1.35、2.7、4.05、5.4、6.75 mL 之 10 ppm Al 標準溶液(配製之 Al 濃度為 0、0.02、0.04、0.06、0.08、0.10 mmol/L)，定容稀釋至 25 mL，分光光度計波長選擇 370 nm，以 Al 濃度為零之溶液先為分光光度計歸零，其餘測定 Al 之吸光值，而後製作出檢量線如圖 2-5 所示。

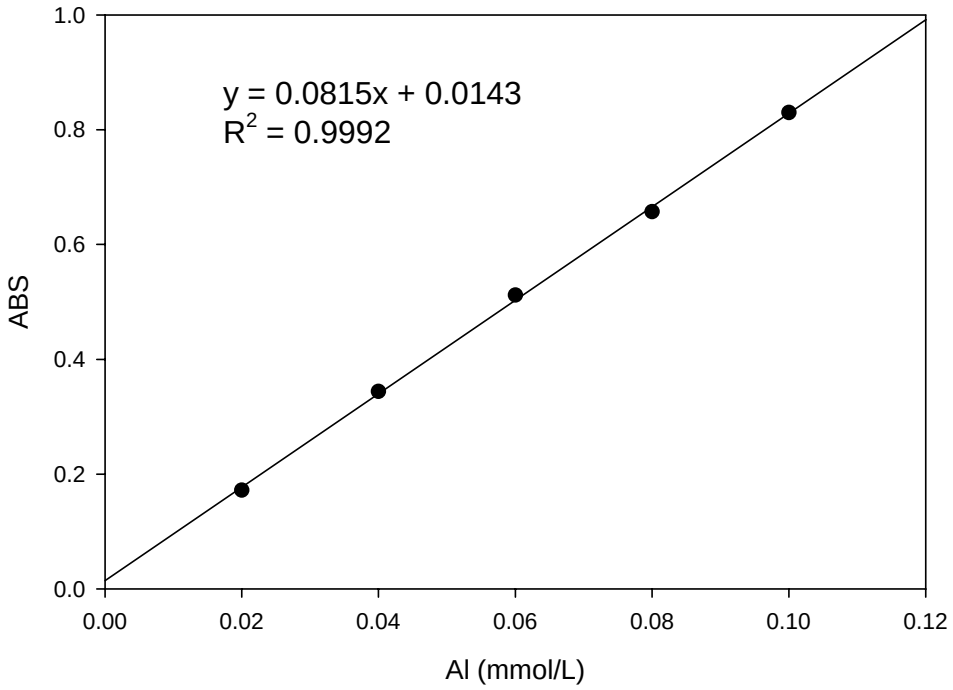

圖 2-5 Al-Ferron 逐時螯合檢量線

3. Al 型態測定

混凝劑先稀釋至 10 mg/L as Al，取 5 mL 之混凝劑於 25 mL 之容量瓶中，加入 5 mL 之 Ferron 緩衝比色液並迅速加入去離子水至 25 mL，利用分光光度計 370 nm 之波長測定反應一分鐘及兩小時之吸光值，典型 Al-Ferron 逐時螯合比色法之反應曲線應如圖 2-6 所示。以 ICP 量測總鋁濃度(Al_T)，經比對檢量線換算計算出混凝劑中 Al 型態的分布。

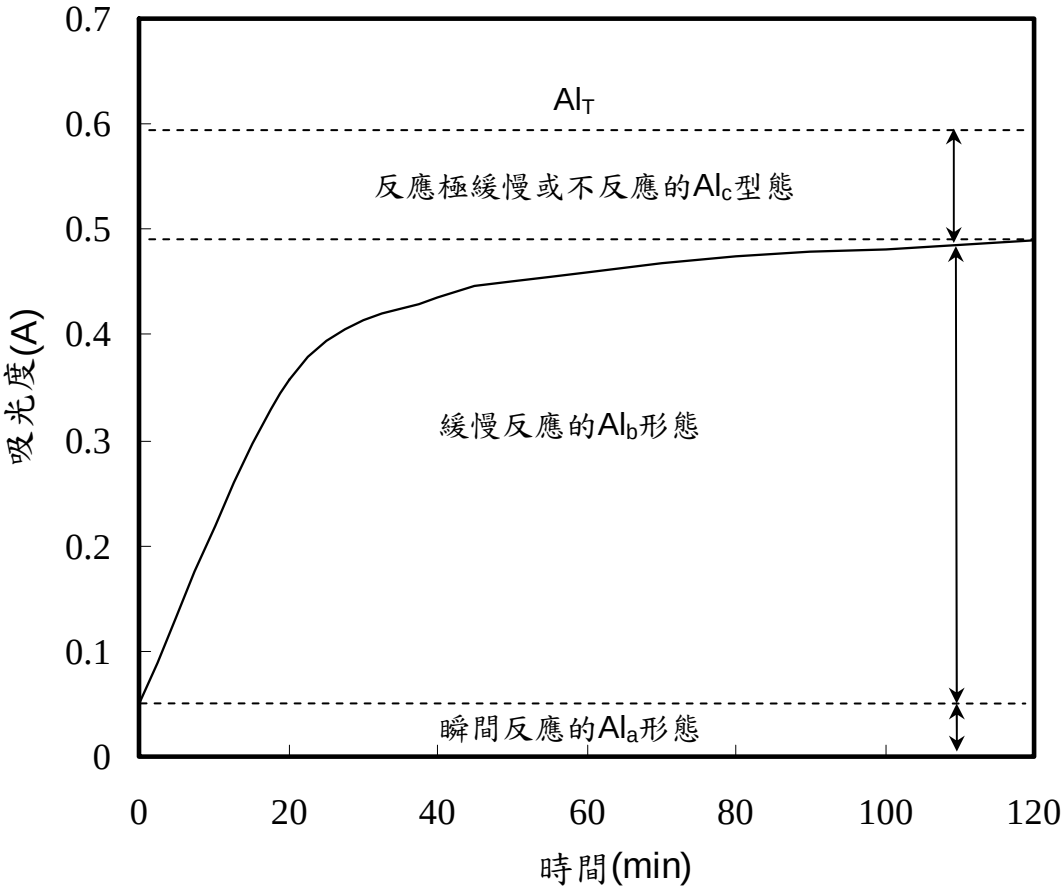

圖 2-6 Al-Ferron 逐時螯合反應曲線

(二) 現場慢混池形成膠羽特性評估

在現場混凝劑注入之後，透過快混攪拌後，再行經回流池與 20 分鐘慢混操作，於慢混結束後再行經渠道至沉澱池。於回流池處小心的取膠羽的樣品，並至瓶杯之中進行 30 秒的激烈攪拌(G 值為 100、200、350 s^{-1})。再進行 20 分鐘沈降，並於 5、10、15、20 分鐘時取液面下 10 公分處進行濁度的量測，流程如圖 2-7 所示。而於激烈攪拌之後即取水樣使用粒徑分析儀（Particle Sizer, Coulter 3000, USA）量測形成膠羽的大小。在此一評估試驗中，將以濁度與膠羽特性作為慢混後膠羽破壞影響的評估項目。

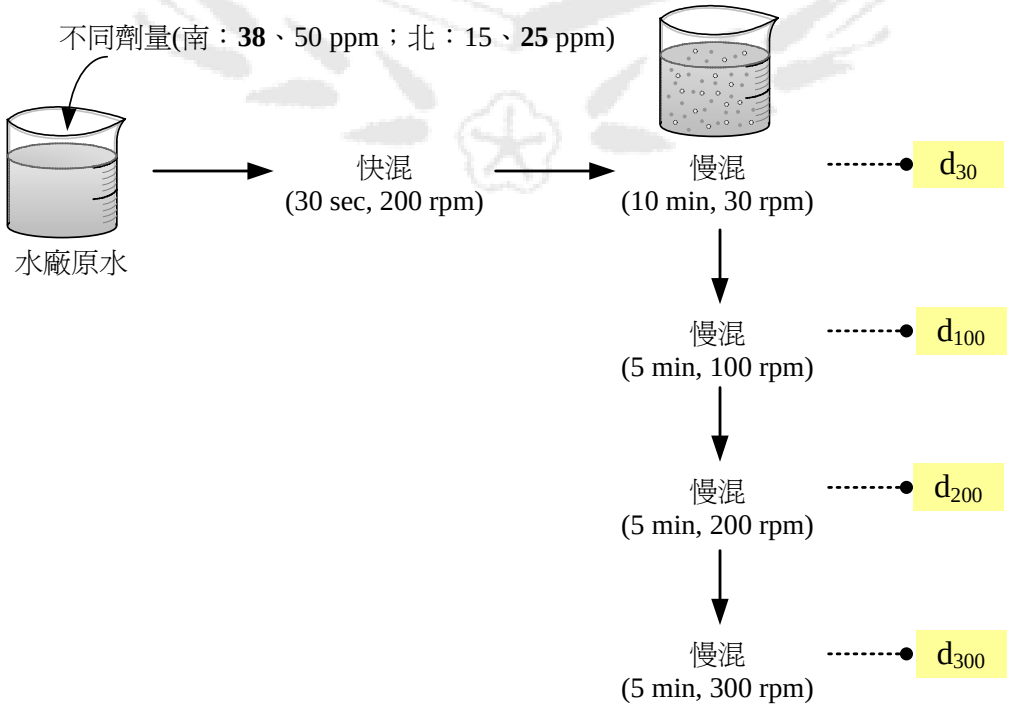

圖 2-7 現場膠羽與沈降特性評估試驗流程

三、實驗設備與藥品

實驗設備主要分為兩個部份水質分析設備與藥品，各項設備與藥品敘述如下：

水質分析設備：

（1）酸鹼度計(pH meter)：6P-ULTRAMETER II/U.S.A，具有溫度補償的功能可測量至小數點第二位，建議使用前做三點(pH 4.0、7.0、10.0)校正，確認斜率符合校正範圍。

（2）ORP(Oxidation and reduction potential)：6P-ULTRAMETER II/U.S.A，可以在採樣現場直接檢測氧化還原電位。

（3）導電度計(Conductivity meter)： 6P-ULTRAMETER II/U.S.A，檢測範圍 0~200mS/cm，可以在採樣現場直接檢測導電度。

（4）濁度計：HACH，型號 M2000，偵測範圍 0~1000 NTU。

（5）瓶杯試驗機：台製凝集試驗器，最大轉速 300rpm，最小轉速 10rpm，每批次可同時操作 6 個水樣，每組實驗則使用體積 2L，長 11 cm，高 21 cm 之壓克力方型槽。用來測定水樣混凝後的殘餘濁度。

（6）界達電位儀：Zeta Meter Inc.製造，型號 3.0，可同時進行界達電位與電泳值的量測。

（7）顆粒粒徑分析儀:Chemtrac Inc.製造，PS2400，可針對 2-300 um 之粒徑顆粒進行顆粒數目的量測。

藥品：

（1）硫酸鋁(Alum)：由潭頂淨水場提供，為含 10% Al_2O_3。

（2）鹼：NaOH，向 Merck Inc.購置，純度 99.9％以上。

（3）酸：HCl，向 Merck Inc.購置。

（4）1,000 ppm 之 Al 標準溶液稀釋至 10 ppm

（5）Ferron (8-Hydroxy-7-iodo-5-quinolinesulfonic acid)

（6）鹽酸 (HCl)

（7）邻菲羅啉 (1,10-Phenanthroline hydrate)

（8）醋酸鈉 (Sodio Acetato anhidro)

（9）鹽酸羥胺 (Hydroxylamine Hydrochloride)

參、結果與討論

潭頂淨水場為於台南縣新市鄉潭頂村，第一期兩套淨水處理設備工程民國五十七年完成出水，民國六十三年再擴建兩套淨水處理設備，除沉澱池中端無導流板外，餘均與第一期相同，因有無導流板對淨水效果影響甚微，故將其視為四套處理流程相同之設備。

社群別	自來水淨水場
名稱	台南給水廠潭頂淨水場
面積	約 10 公頃
給水廠職員人數	20　人

本場水源來自烏山頭水庫，原水由嘉南大圳南幹線支渠取水站經導水管引進本場，經快混（加氯、液體硫酸鋁）、迴流、膠凝、沉澱、快濾等淨水處理流程後成為清水進入清水池（加氯），再加壓將水送至輸配水系統，圖 3-1 為操作流程示意圖。供水區域包括台南縣永康市、仁德鄉、歸仁鄉、新化鄉、新市鄉及台南市東半部。本場設計出水量為 180,000CMD，目前平均出水量為每日 18 萬噸左右，瞬間尖峰流量為 24,0000CMD。

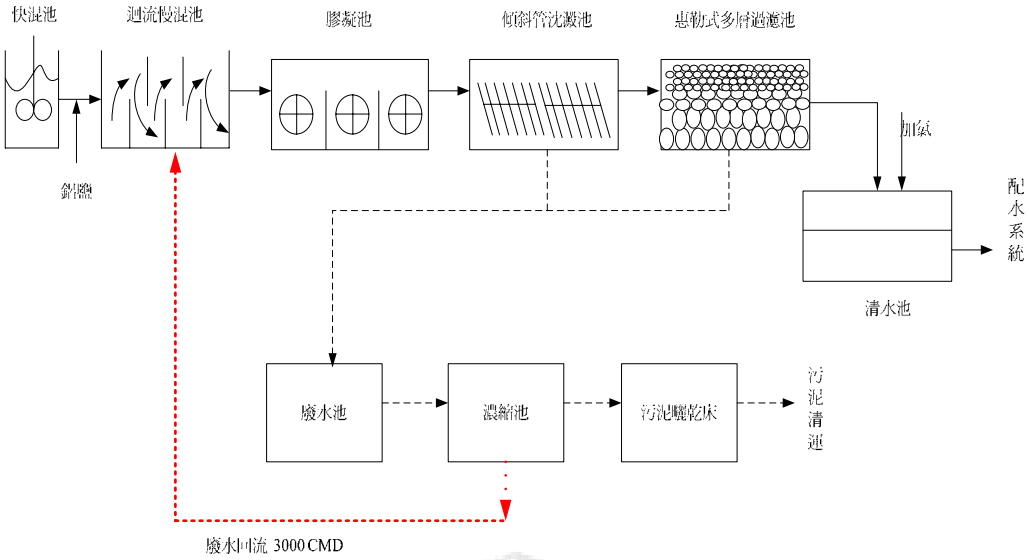

圖 3-1 潭頂淨水場處理設施示意圖

一、實驗室評估

(一) 不同混凝劑量之混沉機制確認

於潭頂淨水場現場採用清水稀釋鋁鹽以利輸送，已知現場稀釋後的鋁鹽溶液 pH 值為 4.0 左右，於實驗室利用清水稀釋鋁鹽原液，結果如圖 3-2 所示，鋁鹽原液 pH 值為 2.8，隨著稀釋清水的添加，pH 值逐漸上升，約於稀釋 111 倍時達到 pH 4.0，由此可判斷，現場清水與鋁鹽原液的比例為 111:1。

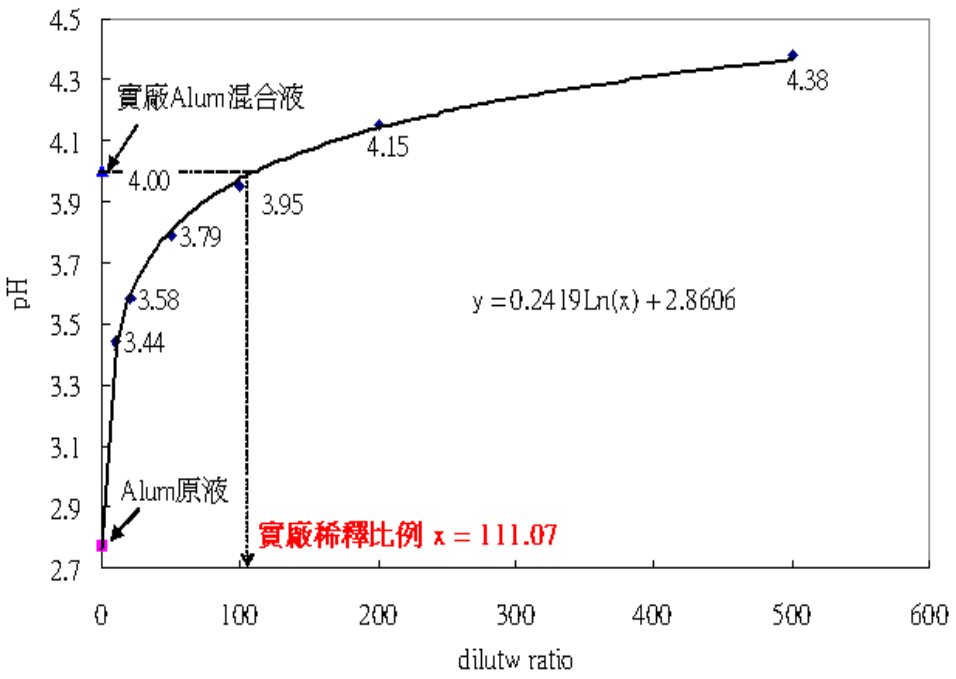

圖 3-2 現場鋁鹽 pH 值隨稀釋比例變化

因此於實驗室透過稀釋 100 倍的混凝劑去模擬現場(1:111)進行瓶杯試驗，從圖 3-3 的結果判斷 1 ppm 劑量下的混凝作用機制為電

性中和，而 20 ppm 劑量下的混凝作用機制為沉澱掃除，由濁度去除的觀點而言，可以得到 1 ppm 的鋁鹽劑量殘餘濁度的表現最佳，其次為 20 ppm 的鋁鹽加藥量，5 與 10 ppm 濁度去除則因電性逆轉而造成濁度上升。

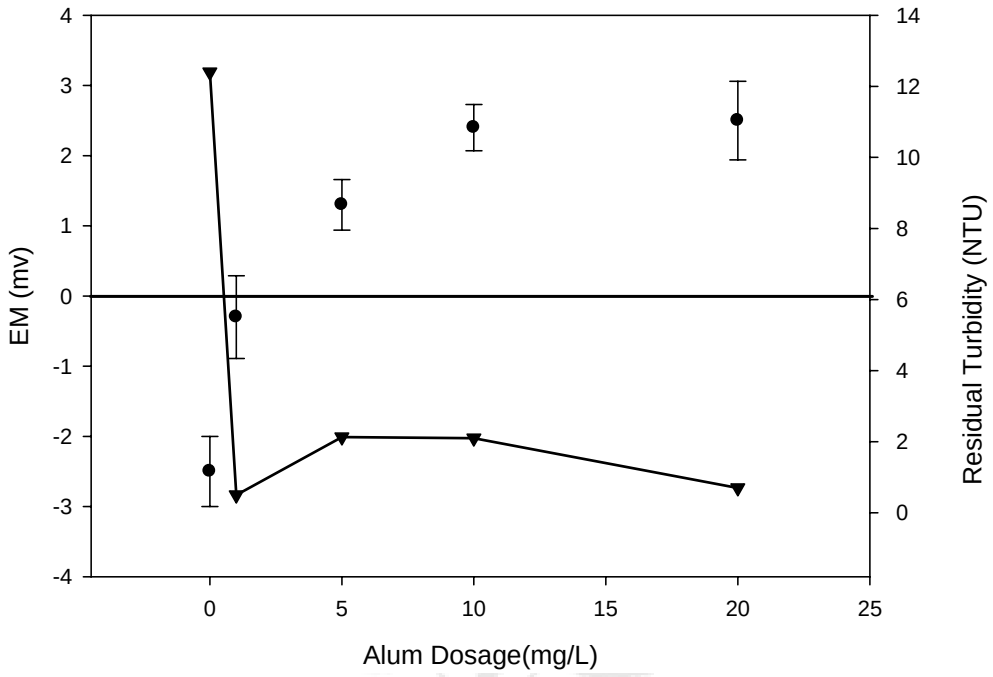

圖 3-3 不同鋁鹽加藥量之下電泳值變化(原液稀釋 100 倍)

(二) 不同稀釋比例之鋁鹽濁度去除效果比較

於潭頂淨水場現場採樣之原水濁度 18.4 NTU，利用不同加藥劑量(1, 5, 10, 20 ppm)的鋁鹽進行混沉試驗，在無稀釋鋁鹽原液情況下，結果如圖 3-3 所示，1 ppm 的鋁鹽劑量殘餘濁度的表現最佳，其次為 20 ppm 的鋁鹽加藥量，5 與 10 ppm 濁度去除則因電性逆轉而

造成濁度上升，並依此判斷 1 ppm 劑量下的混凝作用機制為電性中和，而 20 ppm 劑量下的混凝作用機制為沉澱掃除。

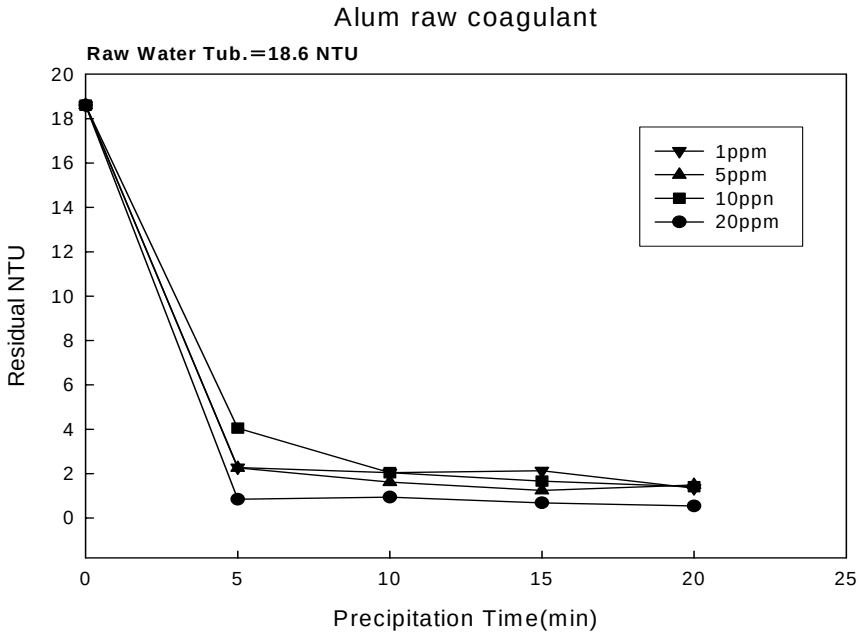

圖 3-4 不同鋁鹽加藥量之下濁度變化(無稀釋)

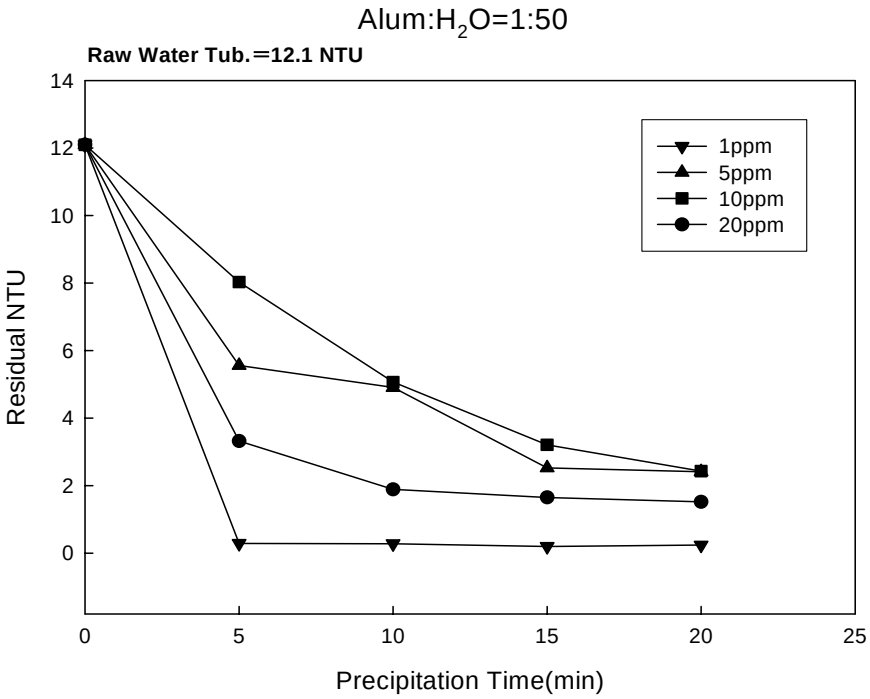

圖 3-5 不同鋁鹽加藥量之下濁度變化(原液稀釋 50 倍)

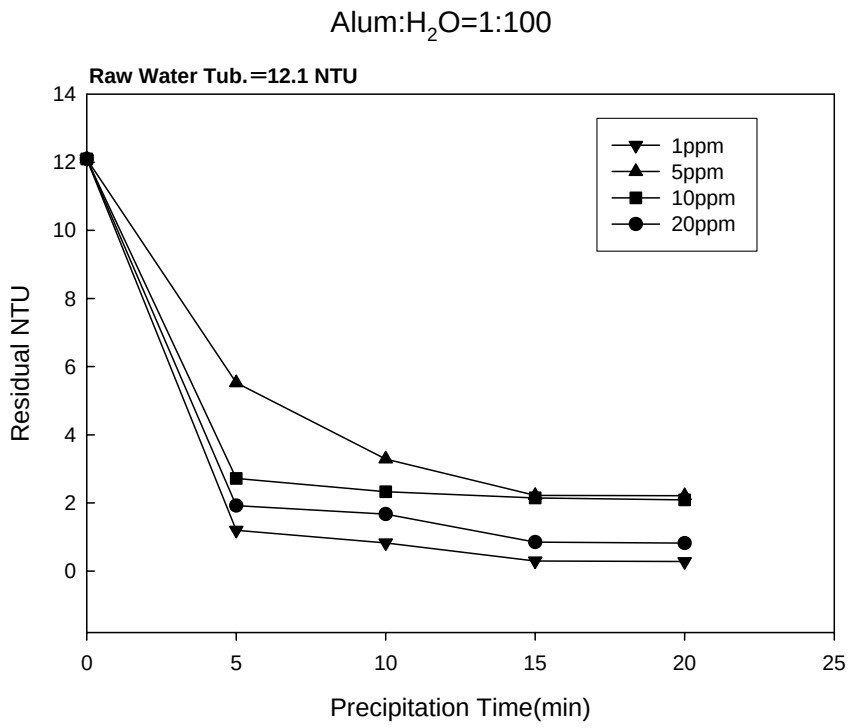

圖 3-6 不同鋁鹽加藥量之下濁度變化(原液稀釋 100 倍)

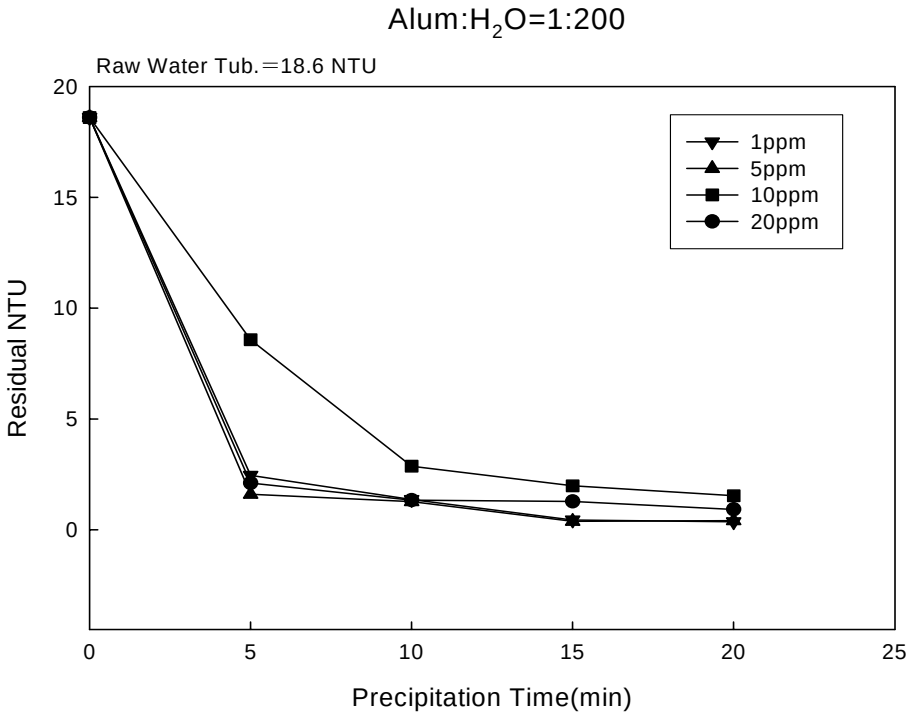

圖 3-7 不同鋁鹽加藥量之下濁度變化(原液稀釋 200 倍)

於潭頂淨水場現場採樣之原水濁度 18.4 NTU，利用不同加藥劑量(1, 5, 10, 20 ppm)的鋁鹽進行混沉試驗，在鋁鹽原液不同稀釋比例情況下(50、100、200 倍)，結果如圖 3-4 至圖 3-7 所示，依舊 1 ppm 的鋁鹽劑量殘餘濁度的表現最佳，其次為 20 ppm 的鋁鹽加藥量，5 與 10 ppm 濁度去除則因電性逆轉而造成濁度上升，從圖 3-3 可以得 1 ppm 劑量下的混凝作用機制為電性中和，而 20 ppm 劑量下的混凝作用機制為沉澱掃除。由濁度去除的觀點而言，初步可得鋁鹽溶液在稀釋 200 倍以內的情況之下，其濁度去除效果並無太大之差異。

(三) 不同快慢混操作對濁度去除效果評估

使用潭頂淨水場的原水，原水濁度 32.4 NTU，pH 值 7.66，利用 1 與 20 ppm 加藥量進行後續的混沉試驗，透過不同快混操作(G=250s^{-1}，時間 30、120、300 秒)與不同慢混操作（G=30s^{-1}，時間 5、10、40 分鐘），結果發現如表 3-1 所示，利用兩種最適加藥量(1&20 ppm 鋁鹽)進行不同快混(G 300s^{-1})與慢混(G 30s^{-1})的操作組合，結果發現在 1 ppm 加藥量之下(混凝作用機制主要為電性中和)與 20 ppm 加藥量之下(混凝作用機制主要為沉澱掃除)，快混時間長短似乎並無太大的影響，此一結論與文獻(Kan, 2003)相符合，文獻中指出利

用鋁鹽 Alum 進行低濁度原水的混凝，快混攪拌時間的影響並不明顯，反而膠凝階段的控制較為重要。而比較不同的膠凝時間(5~40 分鐘)，可以發現隨著慢混膠凝時間的增長，於沉澱初始的濁度也會越加地減少，這是因為在膠羽在膠凝階段會隨著時間而增大，部分的已形成膠羽的濁度微粒會於慢混階段沉澱下來，因此初始的殘餘濁度呈現較低的現象，而不管是電性中和或沉澱掃除的混凝機制，殘餘濁度亦是隨著慢混時間的增長而減少，其原因有二:首先是越長的慢混攪拌，膠羽會越緊實，隨之的沉澱速度會越快；另外，水中細小的濁度微粒也會隨著慢混時間的拉長，碰撞膠羽而被捕集的機率提高，也是導致濁度會隨慢混時間增長而減少的主要因素，此一效應似乎在電性中和的混凝機制更為明顯，沉澱掃除的混凝機制已透過增加固含量而增加了膠羽與顆粒的碰撞機制，增長慢混時間並無法讓此機制下形成的膠羽密度變大(此時膠羽主要為鋁鹽形成的 $Al(OH)_3$)，因此在 20 ppm 的加藥量之下，增加慢混時間並無法明顯提高濁度的去除效率。

而透過不同的慢混時間進行沉降曲線分析，可以發現慢混時間越長，後續的沉澱時間可被縮短，以本試驗而言慢混 40 分鐘，後續的沉降時間只需 5~10 分鐘即可達穩定的殘餘濁度，而慢混 5 分鐘，後續的沉降時間需至 15~20 分鐘即可達穩定的殘餘濁度。但如上述

文中，慢混階段過長會有部分的膠羽沉降，可推判如在現場進行長時的慢混，膠凝池之中將會有膠羽的沉降發生於池的底部，可能延生後續清理不便、膠凝池短流或攪拌機牽曳受阻的情況發生。

表 3-1 不同快慢混操作影響濁度去除之比較

混凝劑量		**1 ppm**	**20 ppm**	**1 ppm**	**20 ppm**	**1 ppm**	**20 ppm**
慢混時間 \ 快混時間		30 秒		120 秒(**2 min**)		300 秒(**5 min**)	
5 分鐘	沈澱 0 min	23.7	49.4	14.5	26.5	12.2	36.0
	5 min	2.84	1.35	1.59	3.55	2.04	2.09
	10 min	1.30	1.25	1.53	1.29	1.96	1.43
	15 min	1.25	1.14	1.26	0.69	1.61	0.92
	20 min	0.90	0.83	0.60	0.66	1.01	0.61
10 分鐘	沈澱 0 min	7.67	38.7	8.64	29.5	7.05	28.4
	5 min	2.55	1.37	2.73	1.76	1.41	1.76
	10 min	1.91	0.96	1.45	1.49	0.71	0.95
	15 min	0.81	0.86	0.70	0.71	0.39	0.97
	20 min	0.87	0.78	0.57	0.64	0.52	0.73
40 分鐘	沈澱 0 min	7.02	21.0	7.60	21.9	13.2	21.3
	5 min	0.32	0.69	0.38	1.57	0.51	2.73
	10 min	0.28	0.53	0.34	0.66	0.27	1.37
	15 min	0.27	0.37	0.24	0.65	0.28	0.78
	20 min	0.24	0.24	0.30	0.60	0.22	0.60

(四) 不同混凝機制下形成膠羽之特性評估 (膠羽強度、再沉降性、回復性與粒徑大小)

於潭頂淨水場現場採取原水 32 NTU，利用現場的鋁鹽溶液添加 0.5、1、5、20 ppm 的鋁鹽，其混凝作用機制如表 3-2 所示。

表 3-2 加藥量與混凝機制

加藥量 (ppm)	混凝機制	Coagulation Mechanism
0.5	電性補丁	Pitch coagulation
1	電性中和	Charge neutralization
5	異相混凝	Hetero-coagulation
20	沉澱絆除	Sweep Coagulation

而結果如圖 3-8 所示，在攪拌速度為 20 rpm 之時，隨著加藥量增加，形成之膠羽粒徑會逐漸增加，這是因為隨著電性的中和，即顆粒間的排斥力減少，所形成的膠羽也會增大，但是於 20 ppm 的加

藥量之下，所量測到粒徑卻大幅縮減，這是因為在沉澱絆除的機制下，隨 $Al(OH)_{3(s)}$的增加，顆粒的結合力量變小，因此於顆粒粒徑的分析過程中容易破碎，因此顯示出粒徑的數據會變少，顯示 $Al(OH)_{3(s)}$的增加會減少顆粒與顆粒的結合力。

攪拌速度增加為 100 rpm 之時，在電性補丁與電性中和之混凝機制下，形成之膠羽粒徑會逐漸增加，但是異相混凝與沉澱絆除之混凝機制下，所量測到粒徑卻大幅縮減，這也是因為隨 $Al(OH)_{3(s)}$的增加，顆粒的結合力量變小。電性補丁與電性中和混凝機制形成之膠羽於攪拌速度 200、300 rpm 之時，膠羽粒徑則會逐漸減少。

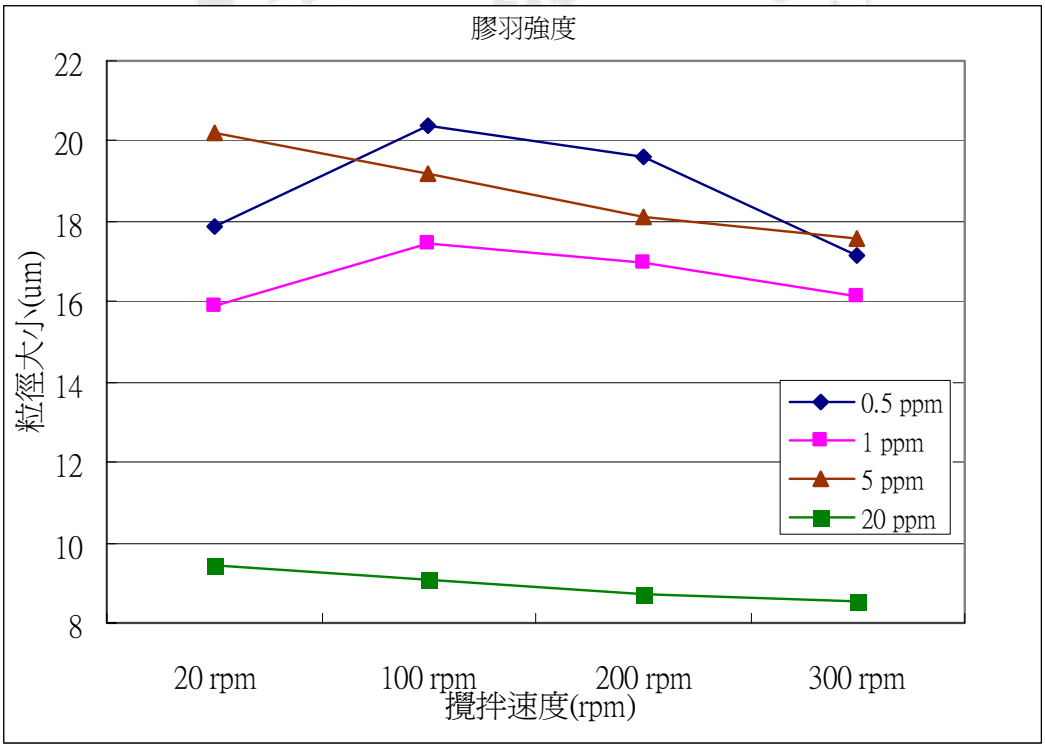

圖 3-8 膠羽強度分析: 不同鋁鹽加藥量下，膠羽粒徑隨攪拌速度之變化

利用不同加藥劑量(1, 5, 20 ppm)的鋁鹽進行混沉試驗，結果如圖 3-9 所示，在第一次沉降的過程中，1 ppm 與 20 ppm 的鋁鹽劑量殘餘濁度的表現最佳，5 ppm 時，濁度去除則因電性逆轉而造成濁度些微上升。但於 300 rpm 的快混攪拌後，20 ppm 劑量下的濁度去除效果依舊，1、5 ppm 劑量下的濁度去除則不如膠羽被破壞前之情況，這是因為混凝作用為沉澱掃除機制下，於沉降過程中，由於大量的 $Al(OH)_{3(s)}$的產生，易形成層沉降的現象發生，因此膠羽被破壞之後殘餘濁度的去除表現亦無太大影響；反之，若混凝作用為電性中和或異相混凝的機制，於沉降與在破壞之後，可能因膠羽破壞導致上層液中的懸浮顆粒增加，形成了後續殘餘濁度增加。

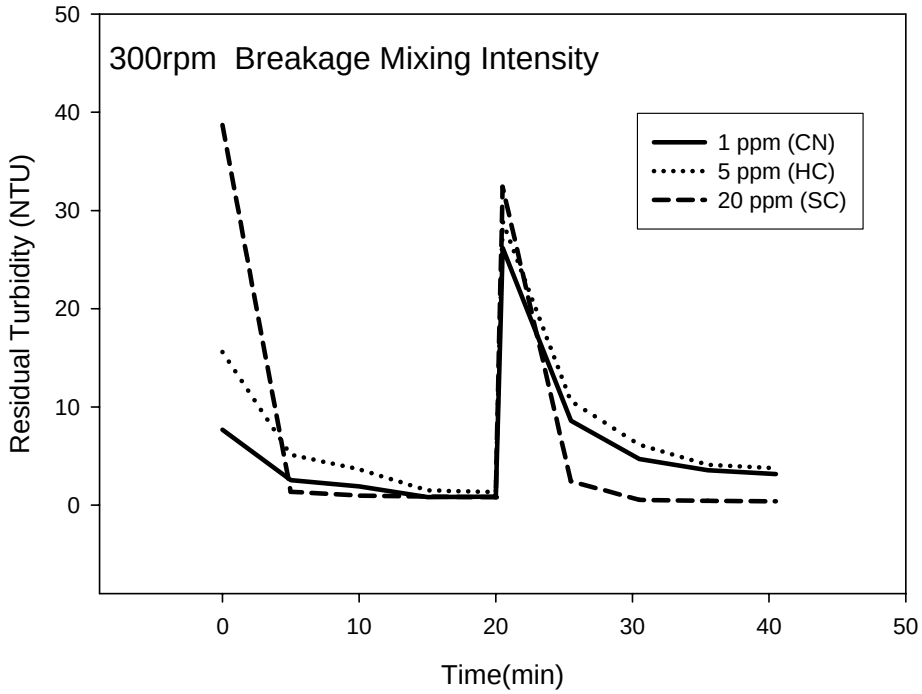

圖 3-9 再沉降性分析:不同鋁鹽加藥量下，膠羽破壞前後之濁度變化

於潭頂淨水場現場採樣之原水濁度 32 NTU，利用不同加藥劑量(0.5, 1, 5, 20 ppm)的鋁鹽進行混沉試驗，透過 1 分鐘的快混攪拌後（200 rpm, 300 s^{-1}），再進行 30s^{-1}、20 分鐘慢混操作，量測膠羽粒徑(d_1)，於慢混結束後再進行 30 秒的激烈攪拌(G 值為 350 s^{-1})，並量測膠羽粒徑大小(d_2)。再進行 20 分鐘 G 值(0、30、100 s^{-1})不同的慢混操作，此為再聚集階段，而於在聚集階段，取水樣使用粒徑分析儀（Chemtrac PS2400）量測形成膠羽的大小(d_3)。之後再進行膠羽的回復率計算，結果如表 3-3 所示，可以發現隨著混凝加藥量的增加，R 值會逐漸減少，這是因為混凝加藥量的增加產生大量的 $Al(OH)_{3(s)}$ 的產生，易形成電性逆轉與結合力降低情況，因此膠羽被破壞之後回復率亦降低。

表 3-3 膠羽回復特性與粒徑大小

	0.5 ppm	1 ppm	5 ppm	20 ppm
20 rpm(d_1)	12.91	14.54	20.51	21.55
200 rpm(d_2)	11.53	13.02	18.1	19.25
20 rpm(d_3)	12.55	14.02	18.86	19.89
R 值	73.9%	65.8%	31.5%	27.8%

$(d_1-d_2)/(d_3-d_2)$				

二、現場評估

(一) 現場混凝劑注入點鋁鹽(Al)型態檢測

潭頂淨水場現場分成南北兩區，如圖 2-4 所示，北區的混凝劑注入點以藍色星號表示，南區的混凝劑注入點以紅色星號表示，鋁鹽原液經稀釋後 pH 值為 4.2，稀釋倍數為 110 倍，採取原注入點的混凝劑進行鋁型態之分析，結果如圖 3-10 所示，北區的鋁鹽型態分析後單體鋁、多元鋁以及氫氧化鋁的分佈為 20%、24%以及 56%；南區的鋁鹽型態分析後單體鋁、多元鋁以及氫氧化鋁的分佈為 13%、16%以及 71%。顯示南區的鋁鹽水解成氫氧化鋁多於北區，其主要原因可能是因為鋁鹽的輸送距離較遠之原因，根據現場的混凝劑輸送時間測試，北區的混凝劑輸送時間約為 1.7 ~ 2 分鐘，而南區的輸送時間高達 19~25 分鐘，這也是兩注入點鋁鹽型態分佈不一樣的主要因素，以電性中和的的混凝機制而言，單體鋁、多元鋁的成分較為主要作用機制，但現場混凝機制若是以沈澱掃除為主，氫氧化鋁的成分為主要作用的成分。圖 3-11 與 3-12 為現場混凝劑採樣之示意。

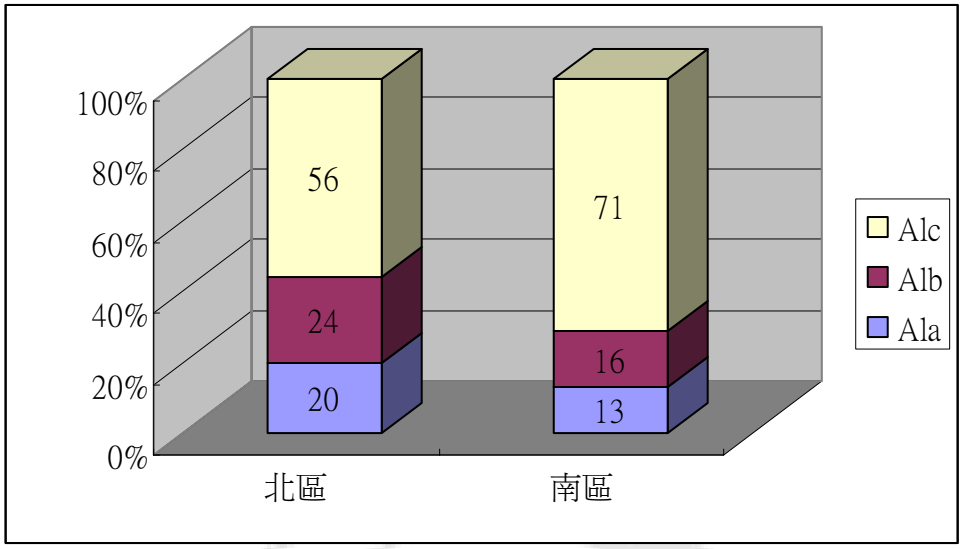

圖 3-10 南北兩區混凝劑鋁鹽型態分析

圖 3-11 南區混凝劑注入點採樣

圖 3-12 混凝劑混和槽原液採樣示意

(二) 現場慢混池形成膠羽特性評估

於潭頂淨水場現場進行膠羽與沈降特性評估試驗，南北兩區之原水水質如表 3-4 所示，但由於混凝劑輸送的關係，於南區的混凝劑量為 30 ppm，而北區的混凝劑量為 15 ppm，原水濁度皆為 27~30 NTU，於兩區皆增加混凝劑藥量並監測於不同攪拌速度下膠羽的大小，結果如表 3-5 所示，於北區的情況之下，藥量由 15 ppm 增加至 25 ppm 的加藥量，膠羽的抗剪性隨加藥量增加而減少，最適的攪拌速度為 30~100 rpm；推斷其原因，北區的混凝機制主要為電性中和，因此當混凝劑量增加，機制轉為沈澱掃除之際，膠羽的抗剪性變弱，此一現象亦可由 15 ppm 的最適攪拌速度發生在 30~100 rpm，而 25

ppm 的最適攪拌速度發生在 30 rpm 可得證明。

於南區的情況之下，藥量由 30 ppm 增加至 50 ppm 的加藥量，膠羽的抗剪性隨加藥量增加而提升，最適的攪拌速度為 30 rpm。推斷其原因，南區的混凝機制主要為沈澱掃除，因此即使混凝劑量增加，機制仍為沈澱掃除，隨著氫氧化鋁之增加，膠羽的抗剪性變強，但最適攪拌速度皆為 30 rpm。

而利用不同加藥劑量的鋁鹽進行破壞後再沈澱的試驗，結果如圖 3-13 所示，在北區的情況下，15 ppm 鋁鹽劑量的殘餘濁度表現更優於 25 ppm，此一部份可由表 3-2 的膠羽粒徑大小得到一合理解釋。而於南區的情況下，30 ppm 鋁鹽劑量的殘餘濁度表現更優於 50 ppm，推斷其原因 50 ppm 的加藥量之下，由於氫氧化鋁量極多，因此當膠羽受破壞再沈降時，即使此時的膠羽粒徑 50 ppm 是優於 30 ppm，但在 50 ppm 加藥量下，導致上層液中的懸浮顆粒增加，微細的氫氧化鋁仍造成穩定的殘餘濁度。

表 3-4 南北區基本水質

	pH	NTU	ORP	Cond
A（北）	6.7	29.9	500	350
B（南）	6.73	27	523	370

表 3-5 不同攪拌強度之顆粒粒徑

	A 點（北）		B 點（南）	
	15 ppm	25 ppm	30 ppm	50 ppm
30 rpm	18.3	19.9	17.9	18.54
100 rpm	20.2	19	17.7	18.45
200 rpm	19.22	18.2	16.5	16.8
300 rpm	17.4	16.8	15	15.8

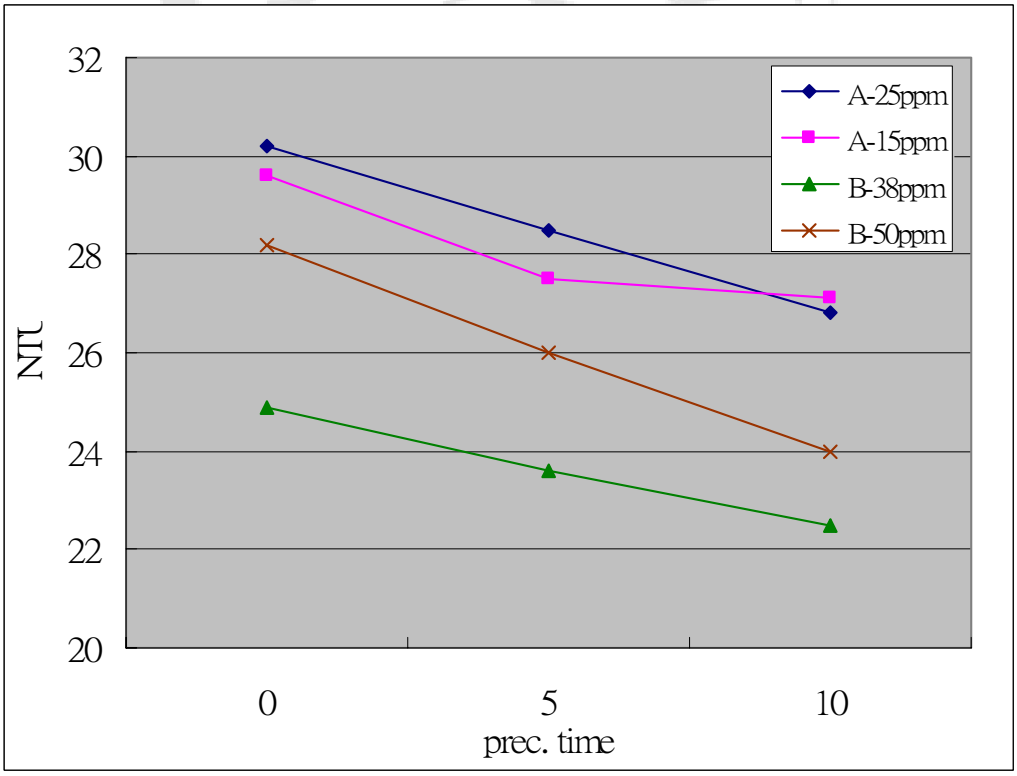

圖 3-13 現場膠羽特性分析:不同鋁鹽加藥量下，膠羽破壞後之濁度變化

肆、結論與建議

1. 1 ppm 劑量下的混凝作用機制為電性中和，而 20 ppm 劑量下的混凝作用機制為沉澱掃除。最適混凝加藥量分別為 1 與 20 ppm 的鋁鹽劑量，但若以現場操作的便利與穩定性而言，應以沉澱掃除之作用機制為佳，因此加藥量應設置於 20 ppm 左右。鋁鹽溶液在稀釋 200 倍的情況之下，其濁度去除與混沉機制並無太大之差異。
2. 快混攪拌時間對濁度去除的影響並不明顯，反觀膠凝階段的時間控制較為重要，拉長慢混時間可得到較佳的濁度去除成效，尤其是對電性中和的混凝機制而言，但是需注意的是在現場進行長時的慢混，膠凝池之中將會有膠羽的沉降發生於池的底部，可能延生後續清理不便、膠凝池短流或攪拌機牽曳受阻的情況發生，現場應避免此一操作形式。
3. 隨著混凝加藥量增加，形成之膠羽粒徑會逐漸增加。但隨 $Al(OH)_{3(s)}$的增加，會減少顆粒與顆粒的結合力，在混沉過程中容易破碎。這是因為混凝作用為沉澱掃除機制下，於沉降過程中，由於大量的 $Al(OH)_{3(s)}$的產生，易形成層沉降的現象發生，因此膠羽被破壞之後殘餘濁度的去除表現亦無太大影響；反之，若混凝作用為電性中和或異相混凝的機制，於沉降與在破

壞之後，可能因膠羽破壞導致上層液中的懸浮顆粒增加，形成了後續殘餘濁度增加。而且混凝加藥量的增加產生大量的 $Al(OH)_{3(s)}$的產生，易形成電性逆轉與結合力降低情況，因此膠羽被破壞之後回復率亦降低。

4. 鋁鹽型態會隨著輸送時間而變化，南北兩區注入點的混凝劑鋁形態呈現不同比例，南區的傳輸時間較久，也使氫氧化鋁（Al_c）的量增加，會導致混凝機制的變化，建議未來應再確認藥劑隨時間變化之效應對現場混沉操作之影響。

5. 現場北區的操作，藥量由 15 ppm 增加至 25 ppm 的加藥量，膠羽的抗剪性隨加藥量增加而減少，最適的攪拌速度為 30~100 rpm，因為大量氫氧化鋁形成，因此膠羽被破壞之後回復率亦降低，膠羽變小而較難移除。

6. 現場南區的操作，藥量由 30 ppm 增加至 50 ppm 的加藥量，膠羽的抗剪性隨加藥量增加而提升，最適的攪拌速度為 30 rpm，而因為大量氫氧化鋁形成，因此膠羽被破壞之後回復率亦降低，微小的氫氧化鋁數量變多且較難移除導致殘餘濁度較高。

伍、參考文獻

Adin L. Dean F. Bonner A. Nasser and Z. Huberman, "Characterization and Destabilization of Spent Filter Backwash Water Particles", *Water Supply*, 2(2), 115-122, 2002.

AWWA Sludge Disposal Committee, “Research needs for alum sludge discharge.”, *Journal of AWWA*, 79(6), pp.99, 1987.

AWWA., “Operation Control of Coagulation and Filtration Process., Chapter 1 Jar Testing.”, AWWARF. Ed., 1-41, 1992.

Bettero, J. Y., Axelos, M., Tchoubar, D., Cases, J. M., Fripiat, J. J. and Fiessinger, F., “Mechanism of formation of aluminum trihydroxide from keggin Al13 polymers.”, *J. Colloid Interface Sci.*, 117, 47-57, 1987.

Driscoll C.T., "Effects of Aluminum speciation on Fish in dilute acidified waters.", *Natural*, 284, pp.161, 1980.

Freeman R.A., "Toxicity of aluminum hydroxide complexes in neutral and basic media to Rainbow Trout.", *Transactions of American Fish Sociaty*, 102, pp.152, 1973.

Gao, B. Y., Chu, T. B., Yue, Q. Y., Wang, B. J. and Wang, S. G., ”Characterization and coagulation of a polyaluminum chloride (PAC) coagulant with high Al_{13} content.”, *Journal of Environmental Management*, 76, 143-147, 2005.

Han, M. and Lawer, D. F. “The (relative) insignificance of G in flocculation.” *J AWWA*., 85, 79-91, 1992.

Higashitani K. and Shibata T. “Formation of pellet flocs from kaoline suspension and their properties.” *J Chem. Eng. Of Japan*. 20. 152-157, 1987.

Kaeding, U. W., “A direct comparison between aluminum sulfate and polyaluminium chloride as coagulants in water treatment plant.”, *Water Supply*, 10(4), 119-132, 1992.

Kevin, H., L. Thomas and Young, C. T. “The significance of G in flocculation.” *Wat. Res.*, 32, 2660-2668, 1998.

Kan, C. C., H, C. P. and Pan, J. R. "Time require for rapid-mixing in water treatment" *Colloids & Surface A.*, 203, 1-9, 2003.

Lawler, D. F., Izurieta, E. and Kao, C. P. “Changes in particle size distributions in batch flocculation.” *J AWWA*., 75, 604-612, 1983.

Letterman, R. D., "Modeling the effect of hydrolyzed aluminum and solution chemistry on flocculation kinetics." *Env. Sci. Tech.*, **19**, 673-681, 1985.

Sinha, S., Yoon, Y., Amy, G. and Yoon, J, “Determining the effectiveness of conventional and alternative coagulants through effective characterization schemes.”, *Chemosphere*, 57, pp.1115-1122, 2004.

劉會娟, “高Al_{13}含量聚合氯化鋁的電化學製備及其絮凝特性研究”, 博士論文, 中國科學院生態環境中心, 北京, 2003.