

# 無閥式自動反沖洗重力過濾設備應用於 鰻魚池循環水再利用系統之研究

## The Design and Application of the Automatic Valveless Gravity Filter for the Water Reuse System in Eel Pond

國立臺灣大學農業工程學系講師

侯 文 祥

Wen-Shyang Hou

### 摘 要

有關養殖用水資源的有效利用之學理研究與技術之開發及相關環境控制系統的建立為目前農業發展所切需。本研究乃針對養鰻池水環境需求及水質特性，改裝設計適用於鰻魚池之無閥式自動反沖洗過濾處理設備。並經由水質採樣分析與水力測試結果，尋求過濾設備之濾率、期距、濾料組合與厚度、反沖洗期距及各種水頭組合等資料之最適效率組合。

1. 濾料組合採無煙煤厚度 25cm (粒徑 1.19~2.38mm) 和矽砂 30cm (粒徑 0.42~0.72mm) 組合，支持材則用卵石(粒徑4.23~6.35mm及8.50~9.52mm) 共 20cm。濾層總厚度75cm。
2. 本系統之水頭安排分別為過濾水頭42cm，反沖洗水頭 198cm，反沖洗虹吸管虹吸位置距反沖洗儲水槽水面下 30cm 及反沖洗起動水頭32cm。
3. 本系統在SS的去除率可達80%以上，雖對NH<sub>3</sub>-N 及 COD 去除有不穩定現象，但仍可使後二者降至日本養殖用水標準規定以下。
4. 過濾處理有必要與生物處理法相組合。
5. 設計過濾期距以控制在24~28hr 間為佳。平均濾出水量為 169.2m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day，初期濾率可達 290~355m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day。
6. 反沖洗能力為2~3分鐘內，即 2.87m<sup>3</sup> 反沖洗水體積可處理1m<sup>2</sup>過濾器表面之污物。

### ABSTRACT

Researching into the effective use of water resources in aquaculture, and developing such technologies, as well as establishing the related environmental control system, are the eager needs in today's agriculture. Special, for the requirements of water environment and the characteristics of water quality in eel pond, we set up a Automatic Valveless Gravity Filter which is suitable for eel pond in this project. Through water quality analysis and hydraulic tests, we can determine

filtration rate and period, combination and thickness of filter media, period of backwash and different kinds of hydraulic heads. Finally, the optimum effective composition can be found out.

1. Use 25cm of coal (1.19-2.38 mm diameter) and 30cm of sand (0.42-0.72mm diameter) to be filter media, 20cm of gravel (4.23-6.35mm and 8.50-9.52mm) to be filter supporter. The total thickness is 75cm.
2. Different kinds of hydraulic heads in this system as below: Head of filtration is 42cm, head of backwash is 198cm, head of static backwash is 32cm and syphon is 30cm under the backwash water level.
3. In this system, above 80% of S.S. can be removed. In spite of the fluctuant results in  $\text{NH}_3\text{-N}$  and COD, they still suit under the Aquacultural Water Quality Standard of Japan.
4. There is a need to combine filtration and biological treatment.
5. The best period of filtration is 24-28 hours for a cycle. The initial filtration rate is  $290\sim 355\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ , and the average filtration rate is  $169.2\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ .
6. The time of backwash is 2-3min, i.e.,  $2.87\text{m}^3$  of backwash water is capable of cleaning  $1\text{m}^2$  of filter surface.

## 一、前 言

近年來，因為各國 200 海浬經濟海域設定與沿岸地區海域因工業開發、人口集中造成的水域污染等情事，使得本省養殖漁業在質與量的生產均大量提高。而高價經濟魚類的養殖更如雨後春筍的被開發，其中又以蝦鰻兩種水產生物為最。截至民國 76 年的統計，鰻、蝦兩種養殖業在本省養殖漁業中共佔約 58% 的產量與 78% 的產值<sup>(15)</sup>，每年除提供國內需要外，也替國家賺取大量外匯。由為鰻蝦均為高經濟之水產，近年來養殖業者紛紛改飼或擴大經營來增加收益。至 76 年底草蝦生產量達將近 8~9 萬噸，鰻則達 4 萬餘噸。然而鰻蝦養殖對水體環境要求相當嚴格，多採用流水式養殖，不停進行水交換工作。估計養殖漁業現有面積四萬餘公頃，每公頃每天需水 1,000 公噸，而臺灣地區養殖用水量約為人口用水量十倍以上；但本省之農、工用水佔去所有用水量之 80% 以上，在水資源已漸感匱乏的今日更無法再對養殖用水之供需作調配，於是造成鰻蝦養殖業大量抽取地下水。估計本省生產 1 公斤的成鰻，約需供應 15~30 噸的淡水，然流水式養殖不

但養分易流失亦造成下游的污染、地層下陷、海水入侵及地下水鹽化等問題。而日本養殖用水可達 90% 循環再利用，據日本調查結果，以循環水養鰻方式，其成鰻單位生產量之用水量約為  $2.5\text{m}^3/\text{kg}$ ，僅為露地池方式飼養用水量之  $1/40$ <sup>(13,14)</sup>。且飼養密度可提高至年生產量  $46\text{kg}/\text{m}^2$ ，約為露地池方式  $8.2\text{kg}/\text{m}^2$  之五倍餘，實可作為借鏡。於是推展一套考量本土化漁業特性，且具備自動化管理與設施多樣化生產等機能的「增養殖用水資源的有效利用技術之開發與環境控制系統之建立」的學理基礎與技術開發研究，在未來本省養殖體系發展中將更為迫切需要，以使本省日感匱乏的水資源得以充分利用，避免浪費。並可開發新的養殖技術系統，以增加本土漁業資源，且建立生物工學之複合環境控制系統。

本研究計畫擬就上述問題之解決，從養殖水循環再利用觀點，考量養殖環境需求之特性，改裝設計適用於鰻魚池之自動反沖洗過濾處理設備，並考慮裝置造價低廉、操作容易等特性。期能以此為出發點，逐步探討並建立完整的水循環增養殖系統之學理與技術。

## 2. 文獻探討

### 2.1 養鰻池水質特性

黃漢津、廖一久等<sup>(16)</sup>於62~64年在屏東縣潮州附近八口養鰻池作各種水質因子之全日變化調查，包括溶氧、酸鹼度、氨態氮、硫化氫及透明度等，由結果知各種水質因子在白天反應均較劇烈，即顯示數值較高，透明度值則較少，此結果顯示水質在白天較需注意其變化及作為水處理設計的指標依據。其中屬於污染質之因子包括亞硝酸態氮殘留量17.0~46.0ug-at/l；硫化氫量0.70~1.04ppm；高錳酸鉀消耗量22.6~27.4ppm；透明度則在17~30cm間；各值因多年前之魚池管理方式較原始使部分因子有偏高現象。至77年8月筆者<sup>(25)</sup>於白天10~15時期間在鹿港地區採取5口池進水口、給餌處與排水口附近各距池底10~20cm處之水樣共18個調查水質，發現近年來雖可能因管理方式、餌料等方面技術改進及地域性差別關係等因素，已使部分污染質殘留量降低，但飼養密度更高，亦造成部分因子(如COD、透明度、PO<sub>4</sub>-P)明顯有增高現象。各因子之含量為懸浮固體量(ss)自60~150mg/l；化學需氧量(COD)約40~230

ppm，多數在40~90ppm，酸鹼度(PH值)均在7.0~8.0間；透明度10~14cm，亦有低至3~6cm者；溶氧量(DO)7~10ppm；氨態氮量(NH<sub>3</sub>-N)0.2~0.8ppm；硫化物(Sulfide)量0.01~0.08ppm；磷酸鹽量(Phosphate, PO<sub>4</sub>-P)則在3.2~10.4ppm，多數為3.2~6.0ppm間。當日之外氣溫約為32~35°C，外風速2~3m/sec。以上結果明白顯示養鰻池水質條件已隨養殖方式改進更能被控制，而飼養密度的提高亦將使池水更適合也更需作循環再使用之用途，以提高水資源利用效率，並減少水浪費。如此，則系統中考慮各地區鰻池水質特性之水處理設施設計將更形重要。

由以上知，養殖池水屬於低、中濁度之原水，除成分不同外亦滲雜生物藻體<sup>(17,18)</sup>，故水處理之設計及應具備之機能，便與工業廢水及家庭污水之處理機能不同。此點將成為養殖廢水處理設施設計的特徵，亦是其他種類廢水處理設施所無法評估應用的。

至於鰻魚池水質好壞標準的依據，至今仍很難定出完整的資料，只能依據養鰻彙編<sup>(24)</sup>資料中整理之一些水質限制因子作為水處理效率的參考：

項目	PH	NH <sub>3</sub> -N (ppm)	DO (ppm)	水中 H <sub>2</sub> S (ppm)	COD (ppm)	CaCO <sub>3</sub> (ppm)	底質與H <sub>2</sub> S (ppm)
好的狀態	7.2~8.1 種苗池	0.2~1	7~10	0~0.2	—	140~800	< 3
壞的狀態	<6.8, >9.0	> 3 (ppm)	<5, >12	>0.2	—	< 1	> 5
日本養鰻標準用水	6.5~8.0	0.5~1.0	>5.0	—	10~25	10~25 (Ca)	—

再以日人高松子秋研究新型式過濾養殖法<sup>(13)</sup>一文中提及鰻魚氮之代謝率換算在1噸鰻魚量魚池中每日將經由飼料溶失水中與鰻魚進食後排泄糞尿於池中轉化為氨態氮，每日產生量為800g。亦即在10m<sup>2</sup>，水深1m水中飼養密度2kg幼鰻，投餌率2%每日約產生2.35ug/l之NH<sub>3</sub>-N，若池水無交換更新，隔30日後將達0.7mg/l。此濃度資料可作為鰻魚池水循環單位回轉期距數之參考依據。

而池水中營養鹽含量亦隨著季節不同而增減，譚天錫在宜蘭<sup>(17)</sup>鰻場所作水質分析發現氨態氮量在十二月時很高(3.34ppm)，春天很低(0.57ppm)；磷酸鹽(PO<sub>4</sub>-p)卻在十二月時最低(0.02ppm)

，九月時較高(0.62ppm)。此種變化也將影響水處理設施設計的機能操作。

### 2.2 過濾系統學理特性

在過濾處理系統中濾料的設計，不論用砂或其他材料，必須具備良好的水力性質和過濾性質，堅硬、耐用、不溶於水、不含雜質等，如細砂對去除懸浮物質相當有效，但由於其孔隙小，容易被阻礙，產生過大的水頭損失而縮短了它的使用時間；相反地，粗砂空隙大，有良好水力性質，但其懸浮物質被去除的效率則相對地減少，故對於過濾介質的選擇，一般以其有效大小(Effective Size)和均勻係數(Uniformity Coefficient)為準。在歐洲

的荷蘭、英國研究改進後，處理時在砂的使用深度通常在 40~76cm 之間，主要考慮乃在砂徑和濾率之間的平衡<sup>(10)</sup>。而蘇俄的 Lenchersky 經驗指出，利用助凝並考慮凝結率與凝結度、濾率及砂徑平均係數等綜合考慮可獲得良好效率。一般濾率設計在 2~8gpm/ft<sup>2</sup> (相當於 120~240m<sup>3</sup>/day/m<sup>2</sup>)。

至於濾筒形狀，張、曾二氏<sup>(21)</sup>實驗得出圓形效果較方形好且易達反沖洗效果。尤其是小型過濾池以採圓形設計為佳。故本研究將以此建議進行實驗。另外 W. D. Bellamy<sup>(2)</sup>等研究溫度、砂床深度與砂粒大小對過濾效果之影響，發現溫度除非低溫 (<10°C) 才會影響過濾效果。砂床深度可降至 1.57ft，亦與 3.18ft 效果無差異，而砂粒大小雖粒徑愈小，過濾效果愈高，但需考慮濾程太短。而粒徑大至 0.62 mm 時效果仍好，故在經濟及實用操作上考量，仍以較大粒徑較佳。

至於美國 Kansas 大學所作的實驗<sup>(10)</sup>指出系統裝置設計，須依據原水調查資料來決定，其以原水 Total Alkalinity 160~250 mg/l, PH 7.3~8.2, Turbidity 17~460 Jackson Turbidity units, 溫度 39~58°F 之條件下，設計過濾砂徑平均 0.9 mm，均勻係數 2.0，砂床深度 2, 4, 6 ft 不等，砂床由一層 12" 的碎石 (由粗到細) 所支撐。張、曾二氏<sup>(21)</sup>實驗得濾得濾層厚度愈厚，對反沖洗水量需求亦愈大，也須較高之高程，在濾層 90cm 時無法有效反沖洗，80cm 時雖能達反沖洗效果，但水頭損失控制仍不易完成。

而在過濾操作中，被去除之物質集聚在濾料表面上，形成一網狀結構，其功能有如多孔層，有助於水之淨化作用。若有營養供應，微生物將在濾池表面繁殖，最後導致產生一種黏性膠質狀之微生物膜，稱為濾膜 (Schmutzdecke)，此層濾膜有助於濾池之攔除作用。但當過濾池水頭損失太大時，此層濾膜需加以清除，即以反沖洗方式清洗，如此可洗淨作積在細孔內部之物質，而使濾池恢復有效操作狀態。當水由池底向上流經濾床時，濾料顆粒將上浮，而發生砂床膨脹現象。為適當清洗濾池，反沖洗速度必須達到能使顆粒不再靜止，且彼此不再相互接觸，但呈現懸浮之狀態。當濾床呈浮動時，顆粒給予流水之最大阻力即為其有效重量。更大之砂層膨脹和較高之反沖洗速率並不增加摩擦損失，且清洗效率不變。但需提防濾料的沖失。故膨

脹率不得太大，須予設計限定。Baylis<sup>(11)</sup>等人認為濾料膨脹率 20% 至 25% 最好，超過 50% 則影響反沖洗效果。

N. Qureshi<sup>(5)</sup>則認為過濾速度 4~6m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hr，濾砂有效粒徑通常採用 0.45~0.55 mm，砂粒之均勻係數不超過 1.5。且提出以下公式以瞭解之間關係：

在一大小砂粒混合之成層濾床中進行反沖洗時，此濾床將呈浮動。

當  $U > U_s(Ee)^{4.5}$ ，且對此類濾床：

$$Le/L = (1-E) * \sum [P/(1-Ee)]$$

P : 在一濾層中，顆粒所佔比率 (砂之百分率)

L : 未膨脹之濾床之深度 (m)

E : 未膨脹之濾床之孔隙率

U<sub>s</sub> : 顆粒之終端沈澱速度

U : 反沖水之漸近流速

Ee : 膨脹後濾床之孔隙率

而 Hamann 和 Mckinney<sup>(10)</sup>曾提出反沖洗水量通常在 15~20 gpm/ft<sup>2</sup> (38~50m<sup>3</sup>/hr/m<sup>2</sup>) 之間，反沖洗時間在 3~10分鐘之間，但須使反沖洗水能給予濾料均勻的水頭。

至於過濾器運作時間，G. S. Logsdon<sup>(8)</sup>等曾建議可以二至四天甚更長，然而實際情況須視水中顆粒藻體的分解腐敗及生化物質聚集在濾層上之多寡而決定。

### 3. 自動反沖洗過濾系統設計理論

本研究乃應用水力學原理，參考本單位張、曾二氏<sup>(21)</sup>剛研究完成之「自動反沖洗無閘式重力過濾系統之研究」理論架構，考慮養鰻池水特質與殘餌、魚排泄物團粒與水作用之關係，進行不同濾料組合，不同起始濾率之實驗，以瞭解自動反沖洗無閘式重力過濾系統與可利用之過濾水頭、濾料厚度、反沖洗水頭及過濾效果之相互關係。其相關學理如下：

#### 3.1 過濾水力學

過濾時，水頭損失是影響過濾濾程及反沖洗之重要因子，而此因子又受到過濾速率及濾料組成之顆粒大小、球形度、孔隙率和濾料厚度等影響，一般於推導過濾水力學時，即為探討其間之關係。參見 [圖3-1過濾示意圖]。

假設濾床由  $n$  個顆粒組成，粒徑均為  $D_p$ ，每個顆粒體積為  $V_p$ ，而其組成之空隙體積為  $V_c$ ，球形度為  $\phi_s$ ，則可得知水流經過潔淨濾床之水頭損失  $hf$ 。

$$hf = f' * \left(\frac{L}{\phi_s * D_p}\right) * \left(\frac{1-\epsilon}{\epsilon^3}\right) * \left(\frac{V_s^2}{g}\right)$$

(Carman-Kozeny Equation).....(1)

其中，孔隙率  $\epsilon = \frac{V_c}{n * V_p + V_c}$  .....(2)

流水通過濾床之平均速率( $V$ )，臨近濾床表面平均速率  $V_s$ ，

$$V = \frac{V_s}{\epsilon}$$
 .....(3)

$$f' = 150 * \frac{1-\epsilon}{Nr} + 1.75$$
 .....(4)

$$Nr = \frac{\rho * \phi_s * D_p * V_s}{\mu}$$
 .....(5)

- $f'$  : 水流經濾床之摩阻係數
- $Nr$  : 雷諾係數
- $\rho$  : 水的密度
- $\mu$  : 絕對黏滯係數
- 若濾床組成之顆粒為球形，則

$$hf = f * \frac{3L}{4g} * \frac{1-\epsilon}{\epsilon^3} * \frac{V_s^2}{D_p}$$
 .....(6)

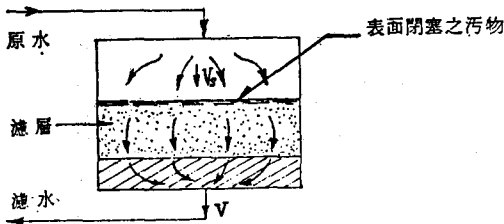


圖 3-1 往下過濾示意圖

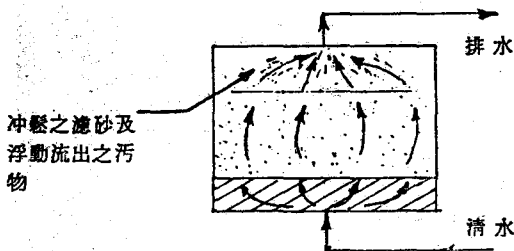


圖 3-2 逆洗示意圖

### 3.2 反沖洗水力学

過濾達一定程度時，濾床逐漸阻塞，過濾出水惡化，水頭損失加大，此時濾床須徹底反沖洗方能再次使用。反沖洗時濾料使其成懸浮狀態，即要求水流通過濾床之摩擦阻力等於作用於濾料之重力，亦即在濾料厚度  $L_e$  之上下水頭差必等於濾層  $L_e$  呈懸浮狀態時之重量。參見〔圖 3-2 反沖洗示意圖〕。

$$\rho * g * hf = L_e * (\rho_s - \rho) * g * (1 - \epsilon_e)$$
 .....(7)

或

$$i = \frac{\rho_s - \rho}{\rho} * (1 - \epsilon_e)$$
 .....(8)

- $\rho_s$  : 顆粒密度，
- $L_e$  : 濾材膨脹厚度，
- $\epsilon_e$  : 膨脹孔隙率，
- $i$  : 水力梯度， $hf/L_e$ 。

於反沖洗平衡狀態時水力梯度，可寫成下式：

$$i = \frac{jS^2 * \tau * (1 - \epsilon_e)^2}{g * \epsilon_e^3} * \frac{V_w}{d^2}$$
 .....(9)

其也  $jS$  : 常數，雷諾數的一個函數

- $V_w$  : 反沖洗速率 (cm/sec)
- $d$  : 濾料粒徑 (cm)
- $\tau$  : 動黏滯係數 (Kinematic Viscosity) (cm<sup>2</sup>/sec)

但由於  $jS^2$  在濾層過渡區 (transition region) 是雷諾數的一個函數，故上式無法運用於估算反沖洗水力梯度或反沖洗速率。因此必須利用 Darch-Weisbach equation 轉換反沖洗水力梯度，成為可運用之運算式。

$$i = \frac{f}{D} * \frac{V^2}{2g} = \frac{f}{d\sqrt{\epsilon_e/1-\epsilon_e}} * \frac{V_w^2}{2g * \epsilon_e}$$
 .....(10)

$D$  : 圓柱管之直徑，於濾床則為空隙面積之開方根。

$V$  : 通過濾層之平均流速，於此則為  $V_w/\epsilon_e$ 。當濾料呈懸浮狀態時，(7) 式和(10)式相等，故可形成一無因次式，如下：

$$B = \frac{\rho}{g * (\rho_s - \rho)} * \frac{\tau^2}{d^3} = \frac{2\epsilon_e^2}{f * R^2 * \sqrt{\epsilon_e} * (1 - \epsilon_e)}$$
 .....(11)

$B$  : 無因次反沖洗數 (Backwashing number) 而  $B$  與  $R$  之關係可由圖查知<sup>(21)</sup>。

### 3.3 池泥——水系統之物理性

餌料團粒及魚排泄物浸漬於池水中受水流動狀態影響，或漂浮流體中，或沈澱池底泥上，彼此發生吸著 (adsorption) 與凝縮 (condensation) 現象。並將改變池水熱含量，而其程度又受團粒密度、大小、飽和度、黏滯性與水流溫度、速度、方向及水中藻體、雜質含量、狀態等因素影響。如能確實瞭解其間關係，對水處理設備設計及池水中污物有效去除設計將有莫大的幫助。但以上理論至目前為止仍未被詳細探討出完整的理論公式，故僅能略述概要，可嘗試自污物及底泥之黏滯度試驗著手來探討。

對池水中之固體團粒而言，非光滑表面之固體在凹穴附近有流體分子集聚現象，稱之「吸著」(adsorption)。而浸入固體內部現象，則為「吸收」(absorption)，其發生原因可能有二，一為固體團粒分子表面間之凡得瓦 (Van der waals) 力或靜電力作用影響之「物理吸著」(physical adsorption)，吸著速度與吸著量均與水溫度反比。吸著熱一般很少，僅為0.5~5kcal/mol 程度。

$$\left(\frac{\partial \ln P}{\partial T}\right)_{m=\text{const.}} = \frac{Q}{RT^2}$$

$$\ell_n \frac{P_2}{P_1} = -\frac{Q}{R} \left(-\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2}\right)$$

P：壓力，  
R：氣體定數，  
m：吸著量，  
T：絕對溫度，  
Q：吸著熱

另一原因則為一般在低溫不會發生的「化學吸著」(chemical adsorption)，吸著速度較物理吸著者為慢，但隨溫度升高而增大。隨固體團粒(吸著劑)表面安定性程度變化，將影響其與流體分子(吸著質)接觸表面間產生化學反應之生成物安定與否，乃屬於「活性化吸著」(activated adsorption) 與化學收著 (chemisorption) 狀態。一般依團粒種類不同而有10~30 kcal/mol不同程度之吸著熱產生。亦即其中包含有「熱熵」(entropy) 之概念存在。

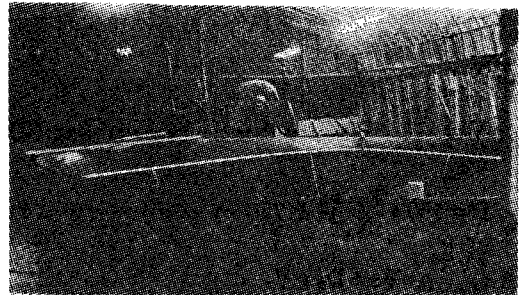
## 4. 實驗裝置設計與水力試驗

### 4.1 實驗場建立：(見照片一~三)。

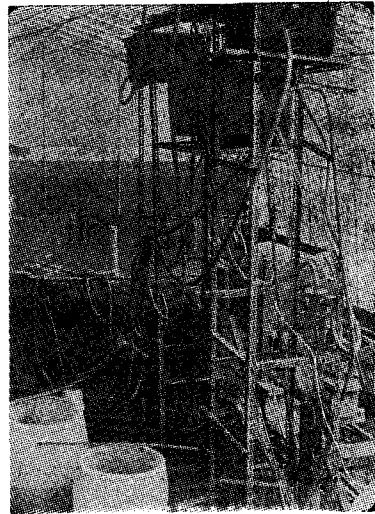
為使水處理設備機能分析工作能順利進行，分別於76年8~10月間進行現場勘察，收集資料等工作，以瞭解現場飼養管理工作及問題，便利模擬設

計工作；11~12月間則建造魚池，試養鰻苗；77年初進行魚池養殖環境模擬造成，並測試抽取原水過濾之水力機能，進行設備調整設計，以適合鰻魚池水質中富含黏質性之顆粒物質與藻體生物等特性；至77年5月間，因魚池水質已達穩定，陸續進行原水、過濾出水及反沖洗水之採樣共24次。

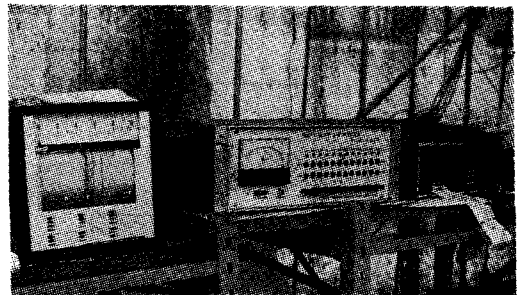
實驗場設備包括水產用簡易溫室一棟，魚池兩口(照片一)，自動反沖洗無閥式過濾設備一套(照片二)及微環境測定儀器組合(照片三)等內容。



照片一 實驗用魚池兩口



照片二 自動反沖洗過濾設備



照片三 微環境測定儀器組。(自左至右，分別為 Do Recorder, Do Monitor, Data Logger)

(1)溫室尺寸12m(L) \* 6.5m(W) \* 3.4m(H)，棟方位東西向，因東西南三側均有二樓建物阻隔，故日照度不強，在夏季白天約僅4000~5000 lux，南北兩側壁 PVC 布可捲起。

(2)魚池兩口，各 10m<sup>2</sup>，六角形與圓形各一，進水深 1m，以 1HP 鼓風機配合打氣管打氣，在水理上，此二形狀之水流狀態及聚集水中團粒之能力亦已經試驗證明極為類似。

(3)自動反沖洗無閥式重力過濾系統。詳細裝置內容則見4.3單元說明及圖 4-1，圖4-2及圖4-3示。

#### (4)微環境測定儀器組合

養殖池之水溫管理乃以多點資料蒐集系統(Data Logger, 40point)，及熱電偶補償線(T-Type Thermal Couple) 連接，以數位訊號方式每 30分鐘自動記錄池面下 10cm、水深 50cm 及90cm 處三點資料(因池水近似恆溫狀態<sup>(19)</sup>)。溶氧資料則以多點溶氧訊號蒐集器(Do Recorder 及 Do Monitor, 12 point probe) 以類比訊號方式自動記錄任何時間之數值。至於 PH, SS, COD, NH<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P, HS<sup>-</sup> 等則委請本系水質實驗室分析。

#### 4.2 養殖原水模擬：

飼養鰻苗 600尾 (500尾/kg)，在77年1~2月間，先以紅蟲餵養至鰻苗體型稍大後，再以福壽牌飼料每日固定於九時及十六時餵食二次，餵食重約為鰻體重 2%為度，再觀察每日食餌情形作調整。餵食處乃固定於距池壁 20cm，水面下 10cm處且。鰻苗在 3 個分養網中進行大小分養及水質適應。階段約一個月餘，才放養入全池內。該分養階段因對鰻苗習性及環境要求不够瞭解，常造成病鰻發生及死亡。自放養至全池內後即不再見有病鰻發生。且在77年 5 月初採原水分析結果知，已與養殖池現場水質狀態大致相似，故開始進行設備機能試驗。

#### 4.3 過濾設備設計：

包括原水供給設備、過濾處理設備、反沖洗設備與測壓設備等部分。

##### (1)原水供給設備：

- a. 原水池：乃以兩個容積各為100ℓ的 PVC 桶組成，並以兩個各 10m<sup>3</sup> 體積的魚池內飼養養成鰻苗 600尾，俟池水穩定後，作為過濾處理之原水供給。
- b. 抽水機：揚程 10m, 1/4HP 的抽水機，流量可達 43.2ℓ/sec。

c. 消能槽：容積 45ℓ 之 PVC 桶。抽水機抽取原水後先送至此槽消除，因抽水所造成之攪動，再經管線藉重力流入蓄水槽，使蓄水槽水位變動減至最小。

d. 蓄水槽：旨在提供整個操作系統之需要水頭。為一方型容積 30ℓ 之 PVC 槽，並於距池底 10cm 處設一排水孔，溢流由原水池抽入過多之水，借以保持恆定之水位。可參考 [圖 4-1] 實驗設置圖。

##### (2)過濾處理設備：

本實驗用壓克力製圓型濾筒，其中裝填各種不同濾料粒徑及厚度組合(包括無煙煤、矽砂和卵石)，進行反沖洗效果，濾程長短與出水濁度等試驗。圓型濾筒直徑 10cm，全長140cm，分為五節由底部每隔10cm鑽5mm圓型孔徑測水頭損失。濾筒底部裝孔徑 5mm、孔距10mm之壓克力墊板使水流均勻流出，頂部鑽18mm直徑之反沖洗出口。參考 [圖 4-2] 模型濾筒之構造。

##### (3)測壓設備：

測壓板由11支透明 PVC 軟管組成，並附有高程刻度以便觀察水頭損失。此部分工作於76.11.完成後已拆卸下。

##### (4)反沖洗設備：

包括一 30cm \* 60cm邊長、30cm高之方型壓克力水箱及起動虹吸管兩部分。前者作為剛開始過濾之出水儲存用，俟反沖洗起動後作為反沖洗之用水量。後者則作為利用水頭損失驅走空氣而起動虹吸造成反沖洗效果之用。

#### 4.4 操作流程：

##### (1)裝填濾料。

(2)水頭試驗，尋求水頭組合及適當濾水流量。

(3)每隔 2 小時，過濾流量測定一次(sec/1 OR m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>/day)。剛開始過濾料尚不穩定，造成流量不穩定，俟 1 小時後流量穩定後才作測定。

(4)原水採樣，每隔 6 小時一次，包括原水及過濾水等。

(5)當水頭損失超過反沖洗起動水頭即開始反沖洗。記錄反沖洗時間及一個過濾期距。

(6)採反沖洗水樣化驗。

(7)變換濾料組合，重複1~6之操作試驗。

以上設備乃以基本水力學作基礎，並參考前人所探討之濾料特性及去除效果報告等資料，主要考

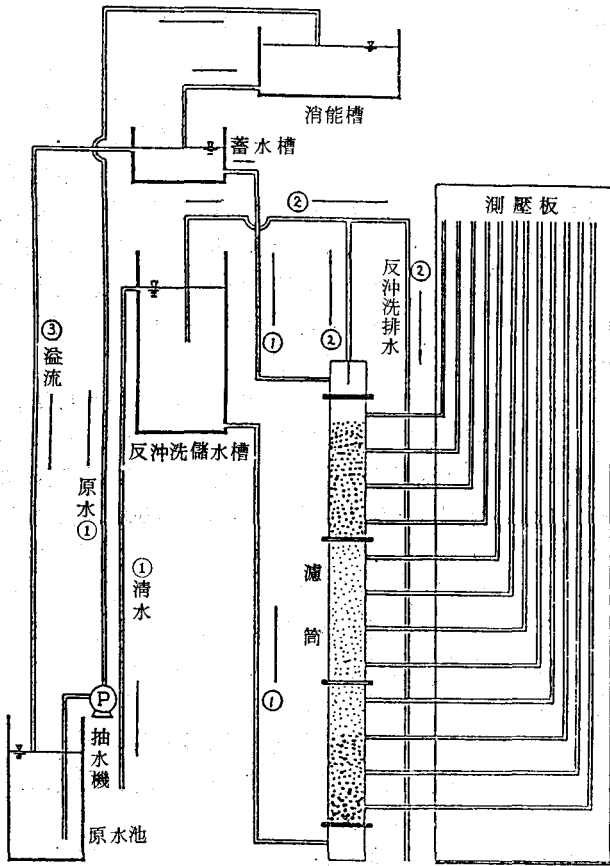


圖 4-1 實驗裝置圖

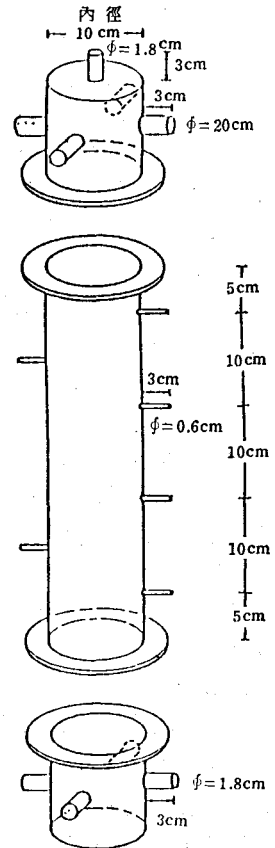


圖 4-2 模型濾筒之構造圖

量鰻魚池水質特性作多次調整設計。因為過濾設備的好壞，可由以下三個重要指標評估，包括①過濾水質的優良與否，②適當時機進行自動反沖洗之能力與③過濾流率之大小等。

由張、曾<sup>(21)</sup> 報告中知濾率影響過濾較濾層厚度、原水濁度等因素均顯著。然而濾料排列與厚度亦須能達本系統設定之自動反沖洗功能。且須使水頭損失主要由砂砂層控制，以避免在過濾層上端發生無煙煤與砂砂混合現象，造成進行反沖洗時損失部分濾料。而自動反沖洗的主因，在過濾過程，濾床逐漸阻塞，水頭損失逐漸增加至總水頭損失大於反沖洗起動水頭 ( $H_b$ )，則虹吸管排除管中之空氣帶動反沖洗水頭 ( $H_d$ )，俟反沖洗儲水槽水位至降虹吸管管口，空氣進入虹吸管則能自動停止反沖洗，重新繼續過濾之操作。而反沖洗之效果良好與否，端視反沖洗儲水槽之容量設計妥當與否。故綜合以上考慮，決定一個水頭最佳組合，包括原水可利用水頭、反沖洗水頭、虹吸管位置及反沖洗停止位置等關係。〔請參見圖 4-3〕

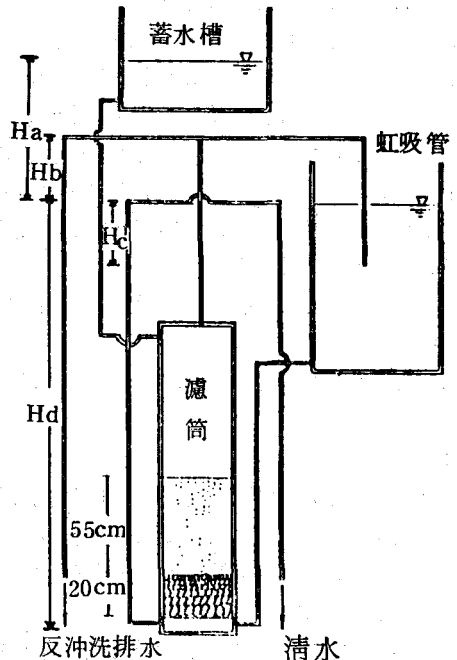


圖 4-3 過濾系統之各種水頭



H<sub>a</sub> : 原水可利用水頭 (cm).....42 cm  
 H<sub>b</sub> : 反沖洗起動水頭 (cm).....32 cm  
 H<sub>c</sub> : 反沖洗水量 (cm<sup>3</sup>).....30 cm  
 H<sub>d</sub> : 反沖洗水頭 (cm)..... 198 cm

並決定採用最適濾層厚度 75cm。自上而下包括無煙煤、砂及卵石等。關於濾料之粒徑、厚度與性狀見表 4-1，其中砂大小粒徑以偏大值多。

表 4-1 濾 層 資 料

填 充 物	粒 徑(mm)	均 勻 係 數	厚 度 (cm)	比 重	孔 隙 率 (ε)	球 形 率 (φ)
濾 料	無 煙 煤	1.19~2.38	1.7	25	1.42	0.43
	砂 砂	0.42~0.72	1.7	30	2.58	0.43
支 持 材	卵 石	4.23~6.35	—	10	2.57	0.37
	卵 石	8.50~9.52	—	10	2.58	0.35

以上狀況下，可得潔淨水頭（即以清水作水力試驗）適當的平均濾水流量 36.6sec/1，即濾率 301m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day，濾過速度約 10m/hr。

## 5. 系統測試結果與討論

### 5.1 水質採樣分析資料：

表 5.1 水 質 測 試 結 果

採樣日期	水 樣 別	氣溫 (°C) T <sub>o</sub>	水溫 (°C) T <sub>w</sub>	溶氧量 D. O.	懸浮固體量 S. S	化學需氧量 COD	酸鹼度 P. H.	氨態氮 NH <sub>3</sub> -N	磷酸鹽 PO <sub>4</sub> -P	硫化物 HS <sup>-</sup>
階 段 I	5.3 原 水 1	37.0	24.3	4.5	74.14	59.9	6.4	0.57	—	—
	5.3 過 濾 水 1	37.0	24.0	5.2	8.62	37.4	6.6	0.30	—	—
	5.3 原 水 2	38.0	24.6	4.8	45.87	69.9	6.5	0.35	—	—
	5.3 過 濾 水 2	37.5	24.3	5.2	6.78	56.2	6.6	0.28	—	—
階 段 II	5.9 原 水 3	24.5	23.5	5.5	17.00	31.0	6.7	0.49	—	—
	5.9 過 濾 水 3	24.9	23.5	5.6	3.00	11.6	6.4	0.47	—	—
	5.10 原 水 4	24.5	23.2	5.6	193.00	38.8	6.5	1.21	—	—
	5.10 過 濾 水 4	24.6	23.1	5.6	<1	7.8	6.4	0.29	—	—
5.11 反 沖 洗 4	24.3	23.9	6.2	650.00	209.5	7.2	5.88	—	—	
階 段	5.11 原 水 5	26.7	23.6	5.5	6.00	31.0	6.7	0.22	—	—
	5.11 過 濾 水 5	26.7	23.4	5.6	<1	19.4	6.6	0.21	—	—
	5.12 原 水 6	21.0	22.0	6.2	6.00	7.8	6.5	0.40	—	—
	5.12 過 濾 水 6	21.0	22.0	6.4	<1	7.8	6.1	0.31	—	—

II	5.13	原 水	7	26.0	23.0	5.5	9.00	31.0	6.2	0.47	—	—
	5.13	過 濾 水	7	26.0	23.0	5.8	2.00	19.4	6.1	0.36	—	—
	5.14	原 水	8	35.0	24.5	5.6	16.00	23.3	6.1	1.24	—	—
	5.14	過 濾 水	8	35.0	24.5	5.8	<1	19.4	6.5	0.49	—	—
	5.14	反 沖 洗	8	35.0	24.5	6.0	43.00	77.6	6.7	2.88	—	—
階段	6.3	原 水	9	29.9	23.8	6.5	287.80	35.0	6.4	1.66	0.39	N. D.
	6.3	過 濾 水	9	30.2	23.8	6.7	45.70	12.0	6.7	1.44	0.23	N. D.
	6.3	反 沖 洗	9	30.9	23.6	6.9	768.80	241.0	6.1	7.01	1.61	N. D.
	6.4	原 水	10	30.5	24.1	6.8	97.20	31.0	6.3	1.79	0.40	N. D.
	6.4	過 濾 水	10	32.1	24.2	6.9	69.45	31.0	6.2	1.68	0.21	N. D.
IV	6.4	反 沖 洗	10	30.1	24.1	7.0	2.60	81.0	6.1	6.76	1.91	N. D.

〔註〕：1.採樣方法乃依據 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 15版內之規定為之。

2.氣溫及溶氧資料乃以自記儀記錄，水溫以三位置資料平均，DO 則以四位置資料平均得。

3.其餘水質項目測定乃委請臺大農工系水質實驗室分析。

4.77年5月11日反沖洗完成後進行清池換水並清池濾材及濾筒。

5.表中 DO, SS, NH<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P, HS<sup>-</sup> 之單位均為 ppm(mg/l)。

表 5 濾出水污染質去除率

水樣編號 項 目	1	2	3	4	5	6	7	8	9
S. S 去除率	88%	85%	83%	99.5%	>84%	>84%	78%	>94%	84.2%
COD 去除率	38%	20%	63%	80%	38%	0	38%	17%	66%
NH <sub>3</sub> -N去除率	48%	20%	5%	76%	5%	21%	60%	14%	7%

表 5.3 反沖洗水污染質含量與原水相較之倍率數

編 號	4	8	9	10
S. S	3.4	2.7	2.67	—
COD	5.4	4	6.89	2.61
NH <sub>3</sub> -N	4.8	2.3	4.2	3.78

1.因各階段別(I~IV)池水條件不同，包括換水時間、換水量、鰻成長情況(在5月上旬至中旬間死亡數最多，佔近三分之一數量)、打氣量調整等，故各階段測得水質結果無法合併作結果判斷。

2.原水之污染質中，SS量平均75ppm(6~287.8ppm)；COD量平均35.87ppm(7.8~70ppm)；NH<sub>3</sub>-N量平均0.84ppm(0.22~1.79ppm)；PO<sub>4</sub>-P量則約0.39ppm。以上資料與標準用水基準比較均已偏高，顯示須提供予養殖原

水最基本的水處理設備。

3. 由表 5.2 知，此過濾系統在 SS 去除率上應可發揮很大效用，一般可達 80% 以上。但對  $\text{NH}_3\text{-N}$  及 COD 去除率方面，則表則極不穩定現象，尤其是在  $\text{NH}_3\text{-N}$  去除方面效果，似應配合生物處理設備作設計。但經過濾系統處理後過濾水之  $\text{NH}_3\text{-N}$  含量並不高，平均僅有 0.58ppm (<0.50 ppm 佔 80% 樣本數)。以上結果均合乎日本養鰻用水標準規定。故明顯可發現過濾處理方法在養殖水處理系統設計中之必要性。

4. 實驗結果發現，當原水  $\text{NH}_3\text{-N}$  濃度到達 1.21 (1.66) ppm 以上時，濾出水量已降至 140 (160) sec/1 [分別為 5 月 10 日及 (6 月 3 日) 資料]，造成過濾層阻塞，出水量減少，於是原水中 SS 含量均有大量增多現象 (自 69.4ppm~287.8 ppm 不等)。且積存於過濾層上方之殘餌團粒已進行分解，故此時須進行反沖洗作用。亦即原水與濾出水中  $\text{NH}_3\text{-N}$  濃度變化似乎與濾出水率及過濾期距間有一相互關係存在。值得深入瞭解研究。

5. 反沖洗水中之污染質含量，SS 有高達 768.8

ppm ; COD 則有 210ppm ;  $\text{NH}_3\text{-N}$  量 6.76 ppm ;  $\text{PO}_4\text{-P}$  量 1.91 ppm 者，顯示若無過濾設備抽水處理去除此污染質，則以上污染質均將分解於原水中。且過濾設備若不具備反沖洗機能，則污染質仍將殘留過濾器內至分解完成。至於自動反沖洗之能力乃針對操作管理方便而設計之機能。

6. 由 [表 5.3] 反沖洗水污染質量與原水污染質量之比較結果可知，經過過濾處理確實可帶走原水中之污染質，且累積量相當可觀。但累積倍數愈高，相對的會影響濾出水率與濾出水質的變化 (即累積污染質在未經反沖洗去除之前已先在過濾器內進行分解)。故其累積程度須尋找出一上限量。而其綜合影響因子即為池水換水率、出水流量及原水水質條件、濾出水質要求等。此方面理論將有必要繼續探討，且建立數學模式進行預測評估。

7. 過濾系統對 PH 值並無法有效改善。乃由於殘物聚集過濾材上易分解酸化，故如考慮具備改良 PH 功能，須在此系統上加裝其他設備或原池內撒石灰。

## 5.2 濾程水力效率資料

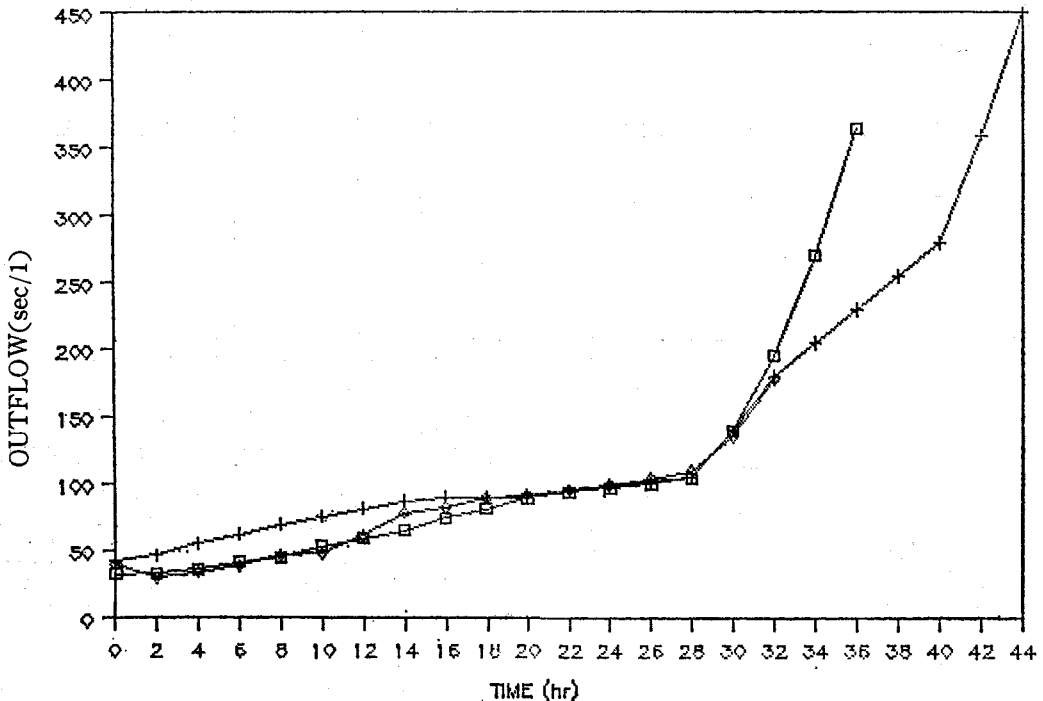


圖 5.1 出水流量與時間關係圖

表 5-4 出水流量與時間關係表

測定日期	測定時間	出水流量 sec/l	測定日期	測定時間	出水流量 sec/l	測定日期	測定時間	出水流量 sec/l
77.05.18	09:00	33	77.06.02	14:30	38	77.06.06	10:00	40
	11:00	34		15:30	43		12:20	31
	13:00	37		16:35	46		14:25	35
	15:00	42		17:28	47		16:10	40
	17:05	46		19:30	56		18:30	47
	19:00	54		21:30	63		20:00	49
	21:00	60		23:40	70		21:25	57
77.05.19	23:10	66	77.06.03	01:40	76	77.06.07	22:25	62
	01:15	75		03:40	82		00:25	79
	03:10	82	05:40	88	02:10		83	
	05:00	90	07:45	91	04:15		90	
	07:00	94	11:20	91	06:00		92	
	09:01	97	15:30	99	08:00		96	
	11:15	100	19:30	105	10:00		99	
	13:10	105	23:30	180	14:00		110	
	15:00	140	07:35	280	16:00		136	
	17:30	195	12:00	450	18:00		178	
	19:30	270	13:00	已無水濾出				
21:00	365							
77.05.20	09:00	已無水濾出						

註：表內三條虛線自上而下各表示自初始濾出水分別經 24hr, 28hr 及 32hr 時之出水流量值。

表 5-5 反沖洗完成時間

日期	時間 (sec)
77.05.11	154
77.05.14	140
77.06.03	160
77.06.04	126

1. 由圖 5-1 三條曲線變化可知在固定濾層厚度、濾料組合條件下，濾出水流量在過濾開始時約等於潔淨水頭流量，隨時間變化，因過濾廢物阻塞漸多使出水流量漸減少，但一段時間其出水流量有達到穩定的趨勢。此資料應可視為有效濾率的上限值。當過濾時間達 24~28hr 後，其濾率開始有明顯下降情況，即出水量減緩，單位流量出水時間增長，且近乎以等比級數增加。故建議設計過濾期距宜控制在 24~28hr 之間即須進行反沖洗。當然，此

期距之決定仍需注意考慮濾出水之水質及反沖洗水質兩項因子之變化。

2. 由表 5-4 出水流量與時間關係知此套過濾系統在過濾期距 24~28 小時之間的濾率由 31 sec/1 變化到約 100~105 sec/1。若以圖 5-1 曲線近似斜率值，即平均濾率 65 sec/1 作基準，即該過濾器每天每平方公尺過濾面積可過濾出水量 169.2m<sup>3</sup> [單位：m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day]。此數據與 Lenchevsky<sup>(10)</sup> 所提出之建議 (120~240m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day) 相符。至於此過濾方式之初期濾率約 31~38sec/1，即 355~290m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/day。由以上資料即可配合現場養殖池之設計換水率 (即一池面積、水量及循環一次期距等) 來決定濾率，進而考慮是否需變換濾層厚度 (增加或減少)。而此同時，亦須同時考量池水質條件要求。故現場養殖池水循環過濾設備的設計與提供，將受區位條件與經營管理者個人要求標準及現場養殖池設計情況而有不同的水處理設備內容。

由以上討論即可明顯瞭解其中的多變性。此乃無法以一套固定處理設備即可適用於各場址的最明顯證明。

3. 本系統以 30 \* 60 \* 30 cm<sup>3</sup> 之反沖洗蓄水槽進行反沖洗，但因虹吸管位置及作用關係，所能利用之反沖洗水容積只有 30 \* 60 \* 20cm<sup>3</sup>，對 10cm 直徑圓形過濾筒而言，已能順利將累積於濾床上之團粒排除，反沖洗完成時間約費 126~160 sec，即可在 2~3 分鐘內完成。亦即在相同期距內，2.87m<sup>3</sup> 反沖洗水體積可處理 1m<sup>2</sup> 過濾器表面之污物。

4. 在實驗過程中，濾料可能因每次反沖洗過後的重新排列及接合情況改變而造成每次過濾期距無法準確掌握。故在選擇濾料時，宜稍加注意其顆粒均勻係數宜稍小。

5. 因鰻魚餌料含油性黏滯物，易使殘質團粒 (S.S) 和濾料相結合一起，因而減少反沖洗效果，且易使過濾水量迅速減少。另外殘餌團粒大小粒徑無一致性，有些甚且比重較濾料為大，反沖洗時無法完全去除乾淨，因此也將影響下一次過濾的效率。故可考慮先有限度的阻隔 SS 進入濾層中，以提高過濾效果。加一先期處理沈澱池，亦可考慮加膠凝劑等。詳細內容可再探討。

6. 本試驗結果與張、曾<sup>(21)</sup> 二氏所做實驗相比較，發現因<sup>(21)</sup> 所使用之原水濃度一定且沒有再加

入高嶺土，故濃度會穩定的下降。反觀養殖池，每天要投入餌料，且其分解速率受外在因素 (如水溫、氣溫、打氣量及魚食性等) 影響，故原水濃度不易得穩定關係，亦增加資料研判的困難。

## 6. 結論與建議

(1) 過濾層厚度採用 75cm，乃因原水 SS 成分較具黏滯性，其與水分子結構之關係，在透水性、飽和度、密度及吸著力方面均較密切，故較張、曾<sup>(21)</sup> 二氏以高嶺土調配原水作試驗而建建議之最佳濾層 80cm 厚度值須要求更小。

(2) 濾率影響濾出水質及水頭損失較濾層厚度為大，故決定各種養殖水過濾處理之效率，雖然水質條件，分解狀態等各自不同，仍均反應在「濾率」之因子上，可以此為判斷指標。

(3) 本系統之濾料組合採用無煙煤厚度 25cm 粒徑 (1.19~2.38mm) 和砂 30cm (粒徑 0.42~0.72mm) 組成，支持材則使用卵石 (粒徑 4.23~6.35mm 及 8.50~9.52mm) 共 20cm。

(4) 本系統之過濾水頭採用 42cm、反沖洗水頭 198cm，反沖洗虹吸管虹吸位置距反沖洗儲水槽水面下 30cm 及反沖洗起動水頭 32cm。

(5) 一般養殖池現場因污染質含量均在水質標準的上限範圍區，故均有必要提供最基本的水處理設備，如此可減少水交換的次數。

(6) 此系統在 SS 的去除率上可發揮極大效用，雖對 NH<sub>3</sub>-N 及 COD 的去除仍有不穩定的現象表現。但對後兩者之處理結果仍能符合日本養鰻用水標準規定。故可知過濾處理方法在養殖水處理系統設計中之必要性。

(7) 過濾處理有必要與生物處理方法組合，繼續深入探討其對各種污染質因子之綜合處理效率。

(8) 水處理過程中，原水之 NH<sub>3</sub>-N 濃度變化與濾出水量間關係似乎因濾層上方殘餌團粒累積期距關係，且濾率減緩，促其進行分解作用所致。故尋找殘物累積程度之上限量及污染質變化關係之瞭解，將可提供反沖洗起動時間的一個極佳參考值，其中關係值得深入研究。

(9) 反沖洗水之水質污染含量均極高，亦有必要對此排出廢水進行再處理，以免造成二次公害。但因反沖洗水量不大，可使處理設備之體積小而效率高，達投資經濟目的。

(10) 過濾處理設備務須具備反沖洗能力，以免污

物殘留其中。且能自動處理而不耗能源、機械控制設備等，以利推廣用途。

(1)本系統之設計過濾期距以 24~28hr 為佳，平均過濾出水量為  $169.2\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ 。初期濾率可達  $290\sim 355\text{m}^3/\text{m}^2/\text{day}$ 。至於其間變化仍須考量濾出水質及反沖洗水質條件而定。

(2)現場養殖池之水處理設備設計需因地、因人之條件及需求而有所不同。

(3)本系統之反沖洗能力為 2~3 分鐘內， $2.87\text{m}^3$  反沖洗水體積可處理  $1\text{m}^2$  過濾器表面之污物。

(4)原水中之團粒可能包含藻體、植物胞囊及動物胞體等，此部分在水處理設備效率研究及設計過程中之關係性，將有需要繼續探討，而此有賴生物學者的協力幫忙。

(5)有關殘物團粒浸漬池水中與水流動態關係的瞭解，對水處理系統設計有莫大的幫助，且可作為水質預測及效率評估的數學模式建立的基本資料，此方面亦須深入探討。

(6)各高價魚種之飼養及養殖場之開發，如草蝦、九孔、香魚等，宜儘早開發各自適宜之水循環再利用設施系統，以節省養殖用水之大量需求，並達水土資源效率利用之目標。

(7)依據本研究結果，盼能進而探討本省鰻魚池構造物系統（池形、底泥、給排水、打氣方式）、底質殘留物質分佈狀況及排除能力與團粒池中停留時間及與水分子結構之關係性等因素與水質造成關係，以期根本改善池構造系統，達水質改善目的，從而降低水處理成本，提高設施效率。

## 7. 結 語

感激計畫贊助單位中正農業科技社會公益基金會張沂滔先生的鼓勵；研究期間，臺大農工系農業設施研究室主持人王鼎盛先生及農業環境實驗室張尊國副教授的意見指導，相關學生的協助試驗進行，亦一併致謝。

本報告雖完成些許成果，但最重要的收穫乃為瞭解本省循環水養殖系統研究發展與技術開發過程中，相關問題的發現與認知，如此得以未雨綢繆。盼能從學理繼續探討，以循序建立完整的理論基礎與應用模式。

## 8. 參考文獻

1. S. Kawamura, "Design and Operation of High-Rate Filters-Part 1.", Research, 1975, 10, Journal AWWA, pp. 535-544.
2. W. D Bellamy, et al, "Slow Sand Filtration: Influences of Selected Process Variables", Research and Technology, 1985, 12, Journal AWWA, pp. 62~66.
3. Herbert. E, "Physical Aspects of Filtration" Journal AWWA 1969, 6, pp. 3-7.
4. Shyam S. Mohanka, "Multilayer Filtration", Journal AWWA, 1969, 10, pp. 504-511.
5. N. Qureshi, "The Effect of Backwashing Rate on Filter Performance, Research and Technology, 1982, 5, Journal AWWA, pp. 242-248.
6. L. K. WANG et al, "Continuous Pilot Plant Study of Recycling of Filter Backwash Water", Water Technology/Quality, 1973, 5, Journal AWWA, pp. 355-357.
7. J. L. Cleasby, et al, "Velocity Gradients in Granular Filter Backwashing", Water Technology/Quality, 1979, 12, Journal AWWA, pp. 732-737.
8. G. S. Logsdon and K. Fox, "Getting your money's worth from filtration", 1982, 5, Research and Technology, Journal AWWA, pp. 249-255.
9. Carl E. Adams, Jr, et al, "Development of Design and Operational Criteria and Wastewater Treatment", 1981, Enviro Press, Inc., Chap, 6, 12, 19.
10. Carl L. Hamann et al, "Upflow Filtration Process", 1968, 9, Journal AWWA, p. 1023-1039.
11. Baylis, John R, "Nature and Effects of Filter Backwashing", Jour. AWWA, 6, 1958.
12. 根本清, "施設養鰻技術", 恆星社厚生閣,

- 1988,5, pp. 2-83.
13. 高松子秋著, “新形式過濾式養殖—Styrol 濾材”, 中國水產, pp. 40-42.
  14. 日本水產學會編, “淡水養魚と用水”, 1980, 10, 恆星社厚生閣, pp. 38-41。
  15. 農林廳漁業局, “76年度漁業年報”, 77, 5。
  16. 黃漢津、廖一久, “潮州附近養鰻池之水質調查”, 1979, 東港分所研究報告 A-42, pp. 5~16。
  17. 譚天錫等, “養鰻魚池之生態研究”, 68, 11, 科學發展 7(1), p. 46-53。
  18. 林曜松、蕭世民, “魚池生態環境與魚病關係之研究—臺灣鰻魚疾病之統計分析”, 1978, 9, 漁牧科學, pp. 398-401。
  19. 侯文祥, “養殖池水體環境之基礎研究 (I) — 圓形池遮蔭及保溫措施之溫度效應”, 1985, 3, 中國農業工程學報 Vol. 31, No. 1, pp. 77-82。
  20. 徐玉標、江漢全等, “養殖用水量之現況調查研究”, 1985, 3, 農業工程研究中心報告, pp. 1-42。
  21. 張尊國、曾茂羣, “自動反沖洗無閘式重力過濾系統之研究”, 1987, 6, 臺大農業工程研究所碩士論文。
  22. 徐玉標等, “養殖池水再處理利用及環境改善研究”, 1985, 12, 農工中心研究報告, pp. 1-42。
  23. 湯川武仁, “臺灣の養鰻、養蝦事情 (1)”, 1988, 8, (日) 養殖, pp. 80-84。
  24. 豐年社, “養鰻資料彙編”, 1986。
  25. 侯文祥, “養鰻場區位與水質特性之關係”, [1988, 8 調查, 尙未發表]。
  26. 侯文祥, “養蝦池水循環處理再利用系統工程規畫書”, 1987, 12, 臺大農工系, 臺南縣政府。
  27. 廖中明, “魚池“池泥—水”系統磷酸肥殘量與池泥沈澱模式之研究”, 1985, 科學農業, 33(7-8)。
  28. 佐野和生, “水產養殖と水”, 1979, 5, サイエンティスト社。
  29. 日本水產學會, “淡水養魚と用水”, 1980, 10, 恆星社厚生閣刊。

專營土木、水利、建築等工程

川永營造工程有限公司

負責人：王 童 知

地 址：雲林縣林內鄉烏塗村5號 電話：(055)892367

專營土木、水利、建築等工程

元寶營造有限公司

地 址：雲林縣台西鄉山寮村53號

電 話：(056) 982032