

## 有機物質分子量分佈對淨水廠消毒副產物去除率的影響

張鎮南\* 辛汎峰\* 吳家興\* 邱志成\* 馮英石\*\*

### 摘要

本研究以豐原淨水廠中溶解性有機物質為研究對象，以 ultrafiltration (UF) 或 nanofiltration (NF) 壓力驅動濾膜系統分離水樣，利用不同分子量分離 (molecular weight cut-off) 濾膜對水體中的有機物質進行過濾，以探討豐原淨水廠原水在不同 MWCO 濾膜過濾後 DOC、UV<sub>254</sub> 吸光度、THMFP (Trihalomethane Formation Potential)、AOXFP (Adsorbable Organohalide Formation Potential) 之減少程度；並藉由不同 MWCO 之濾膜將淨水流程中各處理單元出流水的有機物質分離至不同分子量範圍，探討在淨水程序中各分子量區間有機物質濃度、比例、UV<sub>254</sub> 吸光特性及生成潛能特性之變化。結果發現淨水廠原水以 MWCO 愈小的濾膜過濾後各項有機參數的去除率愈高，利用 0.5K 的 MWCO 濾膜對於原水中的 DOC 有良好的去除效率，去除率高達 88%。而 UV<sub>254</sub> 吸光度、THMFP、AOXFP 經由 MWCO 為 0.5K 的濾膜過濾後其去除率則介於 65~69%。

關鍵字：薄膜分離，消毒副產物，分子量分離，三鹵甲烷生成潛能，可吸附性有機鹵化物生成潛能

### 一、前言

現行飲用水處理方法，多以氯作為消毒劑，導致氯與水體中的有機物質反應生成致癌性的鹵化有機物，如三鹵甲烷 (THMs) 等消毒副產物。為避免消毒副產物的生成，傳統上可藉由控制其前驅物質的濃度以達到減少消毒副產物生成之目的。由於傳統淨水處理單元對於前驅物質去除效果不佳，本研究嘗試以膜濾處理技術，利用 UF 或 NF 壓力驅動膜濾系統針對豐原淨水廠原水進行膜濾試驗，希望藉由膜濾處理去除前驅物質以達到控制消毒副產物生成之目的。

膜濾處理方法可去除水體中的物質種類非常廣泛，包括傳統上應用過濾、活性碳吸附及離子交換所能去除的物質。評估薄膜的去除特性一般常根據其孔隙大小作為判定的準則；Nilson *et al.*, (1996) 提出薄膜對有機物進行過濾的機制是以 MWCO 來決定分子量的範圍，通常是以對鹽類 rejection 之百分比來決定，擁有較小孔隙或是較小 MWCO 的薄膜所能去除的污染物尺寸亦較小，由於物質的形狀或是極性都會影響薄膜的去除能力，因此 MWCO 僅可作為一種粗略的指標用來評估薄膜的去除能力。

常見的膜濾處理方法包括 1. reverse osmosis (RO)：主要是利用大部份有機物分子量太大，無法通過薄膜而被去除。Odegard and Koottatep (1982) 利用 RO 裝置，評估淨水場處理水中腐植質及去除色度和 THM 前驅物質的能力，顯示腐植質的去除效率可達 80~100%；2. NF：其膜孔徑是介於逆滲透 (RO) 及 UF 之間。一些實廠應用的結果提到，經過 NF 處理後之出流水，其 DOC 低於 0.2~0.3 mg/L，可有效減少加氯量及 DBPs 的生

\* 東海大學環境科學研究所

\*\* 交通大學環境工程研究所

成；3. UF：UF 主要是利用膜的半滲透性來分離出不同分子量物質，通常可分離之分子量範圍介於 1,000~50,000 daltons 之間，使用 UF 去除 NOM (national organic carbon) 時須注意以下幾個原則 (Jacangelo *et al.*, 1995)：(1) 選擇適合之膜的孔徑大小、(2) 分子量分佈範圍、(3) 膜的材質、(4) 欲去除物質之特性及(5) 欲處理之水質標準；4. microfiltration (MF)：在水處理程序上，膜濾技術可應用於去除水中溶解性有機物 (Taylor *et al.*, 1987)、水質軟化 (Conlon and McClenllan, 1989)、水體固液相分離及製造瓶裝水等，在其它方面可用來製造高純度工業用水，甚至用於廢水再純化。

膜濾技術亦可用於分離水樣中不同分子量範圍的有機物質。Amy *et al.* (1992) 利用不同 MWCO 濾膜觀察有機物質經過處理前後的分子量變化發現：原水若含有高分子量的腐植酸，則以化學混凝對其處理效果良好；活性碳則可有效的吸附分子量為 1,000~5,000 的有機物質，但若有有機物質之分子量極高則不利於活性碳吸附處理；混凝處理與活性碳吸附並不能有效去除低分子量的有機物質。Owen *et al.* (1995) 對 Harwoods's Mill Reservoir 原水進行處理時發現單獨使用臭氧處理可降低 AMW (apparent molecular weight) >1,000 的有機物質濃度，但卻會活化 AMW<1,000 的有機物質，使之具有較高的 THMFP；若將臭氧處理、混凝沈澱處理與活性碳吸附合併使用則可大幅降低各分子量區間有機物質濃度與 THMFP。Croue *et al.* (1993) 針對歐洲地區六個飲用水源進行混凝處理後發現：在未進行處理前的原水其水體 AMW>1,000 的有機物質佔整體有機物約 78~98 %；而原水經處理後 AMW>1,000 的有機物質佔整體有機物的比例則降至 60~75 %。

本研究之主要目的即係針對淨水廠各處理單元之出流水，以不同孔徑大小之濾膜將水體中的有機物質分離至不同分子量範圍，並針對不同分子量範圍之前驅物質進行加氯反應，探討淨水廠原水在經過前加氯、混凝沈澱、過濾以及後加氯等處理程序後，水體中有機物質的分子量變化，及不同分子量範圍前驅物質生成消毒副產物潛能之變化。

## 二、實驗設備與方法

### 採樣

本研究係以供應大台中地區飲用水之豐原淨水廠為研究對象，採樣點包括豐原淨水廠原水及淨水廠各處理單元出流水如前加氯出流水、混凝沈澱池出流水、過濾池出流水及後加氯出流水(清水)等，共計 5 個採樣點。

本研究之工作重點共分 3 項，整體的實驗流程如 Fig. 1 所示：

1. 於淨水廠原水及各處理單元出流處收集水樣進行瞬間消毒副產物 (Instantaneous DBPs) 與消毒副產物生成潛能 (DBPFP) 分析，分析項目包括：三鹵甲烷 (THMs) 及可吸附性鹵化有機物 (AOX)。
2. 為瞭解淨水廠各處理單元出流水所含溶解性有機物之濃度與一些基本光譜性質，水樣分別針對溶解性有機碳 (DOC) 與 UV<sub>254</sub> 吸光度進行分析。
3. 利用 UF/NF 膜濾系統分析水樣中不同分子量區間有機物質濃度與 UV<sub>254</sub> 吸光特性。將 UF/NF 膜濾系統所分離的各分子量區間有機物加氯培養，進行 DBPFP 試驗。試驗項目包括：三鹵甲烷生成潛能與可吸附性鹵化有機物生成潛能。

水樣先以 0.45 μm 濾紙予以過濾後，將水樣 pH 調整至 7，水樣再利用不同 MWCO 濾膜的 UF 系統 (MWCO =10,000、5,000 及 1,000 daltons) 與 NF 系統 (MWCO =500 及 300

daltons) 過濾分離。各批水樣再予以適量加氯，在一定條件下培養後分析其 DBPFP 及其它水質參數。

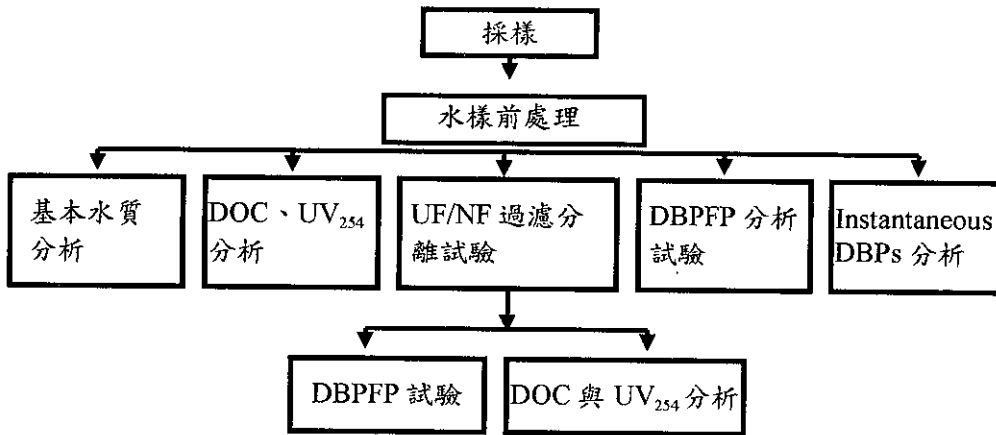


Fig. 1 Study flowchart

### 實驗儀器與設備

- a. UF系統 (Millipore Intertech Inc., Bedford, USA)  
濾膜10 K daltons、5 K、1 K (Cat. # PLGC OMP 04, Millipore)
- b. NF過濾系統 (North Carolina SRT OPTISEP-CL & OPTISEP)  
濾膜0.5 K daltons (ATF-50, 20-5FC-8741 OPTISEP-CL & OPTISEP)  
濾膜0.3 K daltons (ATF-RO, 20-5FC-8729 OPTISEP-CL & OPTISEP)

### 分析方法

UV<sub>254</sub> 以分光光度計 (UV 1201, Shimadzu) 進行之。溶解性有機碳 (DOC) 分析以 Total Organic Carbon Analyzer (Model TOC-5000, Shimadzu) 分析之。三鹵甲烷係參考 USEPA Methods 524，以 GC/MS (GC-14A, GCMS-QP2000A, Shimadzu) 進行定性及定量分析。HAAs 分析乃依據 USEPA Method 552，以 GC/ECD 分析。可吸附性鹵化有機物 (AOX) 之分析參考 19<sup>th</sup> Standard Methods 中的 Adsorption-Pyrolysis-Titrimetric Method (APHA *et al.*, 1995)，以 TOX-10 Σ (Mitsubishi, Japan) 分析。

## 三、結果與討論

### 基本水質分析

Table 1 為豐原淨水廠水質基本資料，在原水水質方面除了 BOD<sub>5</sub> 與 DO 之外，其餘在地面水體分類及水質標準有規定者，均符合甲類陸域水體之水質標準，顯示豐原淨水廠原水水質尚稱良好。在淨水流程方面，各項分析項目在流程中並無明顯的變動，不過溴離子濃度於淨水流程有逐漸減少的趨勢，由於傳統的處理程序如混凝沈澱或過濾對於溴離子並無去除效果，因此溴離子減少原因應是 Br<sup>-</sup> 與處理流程中的前加氯與後加氯單元所加入的

氯反應，此一反應會導致含有溴的消毒副產物生成。Shukairy *et al.* (1995) 的研究指出含溴消毒副產物種之毒性較含氯物種為高，且含溴物種的增加會使消毒副產物的總量增加。

Table 1. Water quality parameters of each treatment unit in Fong-Yuan Water Purification Plant

8/1997	Raw Water	Prechlorination	Coag-Sedimentation	Sandfiltration	Finish Water
pH	7.1	7.3	7.1	7.0	7.1
Temperature (°C)	23.4	23.3	23.2	25.4	22.8
Spec. Cond. (µs/cm)	159	164	163	167	163
TDS (mg/L)	137	142	141	145	141
DO (mg/L)	5.6	10.1	9.3	7.9	9.5
Alk. (mg/L)	120	140	140	140	120
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	2.7	N.A	N.A	N.A	N.A
NH <sub>3</sub> -N (mg/L)	0.10	0.05	0.08	0.08	0.08
NO <sup>3</sup> -N (mg/L)	4.51	4.44	4.58	4.85	4.64
PO <sub>4</sub> <sup>3</sup> -P (mg/L)	0.025	0.020	0.025	0.020	0.025
Cl <sup>-</sup> (mg/L)	2.17	3.51	3.64	3.66	3.71
Br <sup>-</sup> (mg/L)	0.06	0.04	0.05	0.03	N.D

N.A.: not analysis; N.D.: <MDL

### 濾膜處理對於水體各類有機參數的去除

Table 2 為豐原淨水廠原水利用不同 MWCO 濾膜過濾後各項有機參數之分析值。由表中可看出 DOC、UV<sub>254</sub> 與 AOXFP 在使用不同 MWCO 濾膜過濾後，其值均較原水之分析值為低，並且使用 MWCO 愈小的濾膜過濾其值亦愈低，顯示 MWCO 愈小的濾膜對於水體中各項有機參數的去除率愈高。Table 2 同時列出經不同 MWCO 濾膜過濾後四類 THMs 生成潛能的分析值，其中 CHCl<sub>3</sub> (FP) 與 CHCl<sub>2</sub>Br (FP) 使用 MWCO 愈小的濾膜過濾後其值亦愈低；但其他兩類的 THMs (CHClBr<sub>2</sub> (FP) 與 CHBr<sub>3</sub> (FP)) 生成潛能在使用 MWCO 愈小的濾膜過濾後其生成潛能值則越高，尤其在使用 MWCO 為 0.5K 的濾膜過濾後，CHBr<sub>3</sub> (FP) 濃度反較原水增加了 9.5 µg/L。但是總三鹵甲烷生成潛能則與其他有機參數相似，亦即使用 MWCO 愈小的濾膜過濾後其值亦愈低。雖然 THMFP 在經過濾膜過濾後其濃度有遞減的趨勢，但是因為兩類含溴的 THMs (CHClBr<sub>2</sub> 與 CHBr<sub>3</sub>) 在經過濾膜過濾後其生成潛能值則越高，因此由 Table 2 可見原水經由濾膜過濾後含溴的 THMFP 佔總 THMFP 的比例 (THMFP-Br/THMFP) 有增加的現象。造成此一現象的原因是因為溴離子的影響，根據 Symons *et al.* (1994)、Shukairy *et al.* (1994) 等學者的研究指出：在水體中 Br<sup>-</sup> 濃度為固定時，若 DOC 或加氯量減少時，含溴的 THMFP 佔總 THMFP 的比例有增加的趨勢。本研究分析中測得淨水廠原水 Br<sup>-</sup> 濃度為 60 µg/L，雖然實驗中並未針對經由濾膜過濾後水樣進行 Br<sup>-</sup> 濃度分析，不過根據 Amy *et al.* (1991) 的研究可知，使用 MWCO 為 10K~0.5K 的濾

膜無法去除水體中的溴離子，而本研究使用的生成潛能培養加氯量為 3 倍 DOC 量，因此當水樣以較小 MWCO 濾膜過濾後，DOC 濃度與加氯量均愈小，所以含溴的 THMFP 佔總 THMFP 的比例有增加趨勢。

Table 2. Removal of THM and AOX precursors in raw water collected from Fong-Yuan Water Purification Plant by various MWCO membranes

	Raw water	<10K	<5K	<1K	<0.5K
DOC*	1.86	1.74	0.97	0.78	0.23
UV <sub>254</sub> abs	0.018	0.015	0.009	0.007	0.006
AOXFP**	315.0	235.6	165.4	128.2	109.6
CHCl <sub>3</sub> (FP) <sup>#</sup>	76.6	58.9	29.9	22.0	6.9
CHCl <sub>2</sub> Br(FP) <sup>#</sup>	3.2	2.7	2.4	2.3	1.6
CHClBr <sub>2</sub> (FP) <sup>#</sup>	6.1	6.4	6.5	7.5	8.3
CHBr <sub>3</sub> (FP) <sup>#</sup>	1.4	1.7	2.6	2.9	10.9
THMFP <sup>#</sup>	87.3	69.7	41.4	34.7	27.7
THMFP-Br <sup>-</sup> (%)	12%	15%	28%	37%	75%
THMFP					

\*unit: mg/L ; \*\*unit: µg Cl/L; <sup>#</sup>unit: µg /L

Fig. 2 為水樣經過不同 MWCO 濾膜過濾後，各項有機參數分析值與原水的比值。各項有機參數在使用 MWCO 越小的濾膜過濾後其比值也越低，DOC 在經由 MWCO 為 0.5K 的濾膜過濾後其比值可降低至 0.12，顯示利用 MWCO 為 0.5K 的濾膜對於原水中的 DOC 有不錯的去除效率，去除率高達 88%。而其他三類有機參數經由 MWCO 為 0.5K 的濾膜過濾後去除率則介於 65~69%。

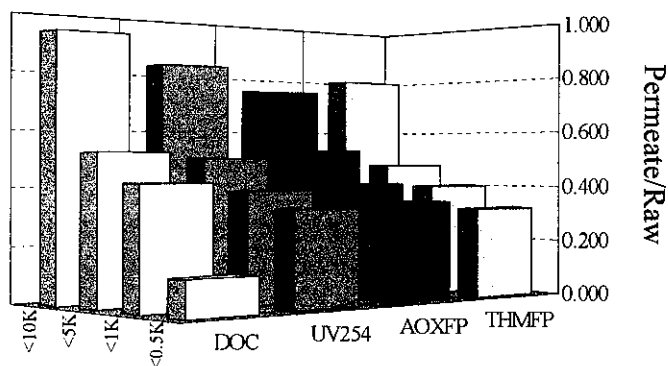


Fig. 2 The permeate/raw ratio of DOC, UV<sub>254</sub>, AOXFP and THMFP for Fong-Yuan Water Purification Plant raw water using the various MWCO membranes filtration

Fig. 3 為水樣經過不同 MWCO 濾膜過濾後其四類 THMFP 分析值與原水的比值。由圖中可看出  $\text{CHCl}_3$  (FP) 下降趨勢最為明顯，以 MWCO 為 0.5K 的濾膜過濾後  $\text{CHCl}_3$  (FP) 濃度僅為原水  $\text{CHCl}_3$  (FP) 濃度的 9%，而  $\text{CHCl}_2\text{Br}$  (FP) 以 MWCO 較小的濾膜過濾後生成潛能值也較低，不過對於其他兩類的 THMFP ( $\text{CHClBr}_2$  (FP) 與  $\text{CHBr}_3$  (FP)) 在使用 MWCO 愈小的濾膜過濾後，其比值則越高，特別是在使用 MWCO 為 0.5K 的濾膜過濾後， $\text{CHBr}_3$  (FP) 比值增為 7.78 倍。由圖可以得知對於豐原淨水廠原水而言，若使用 MWCO 為 10K~0.5K 的濾膜僅可減少  $\text{CHCl}_3$  與  $\text{CHCl}_2\text{Br}$  的生成潛能，對於  $\text{CHClBr}_2$  與  $\text{CHBr}_3$  則會增加其生成潛能值，但由於  $\text{CHCl}_3$  為原水中 THMFP 的主要物種，因此整體而言在使用 MWCO 愈小的濾膜過濾後 THMFP 仍然呈現降低之趨勢。

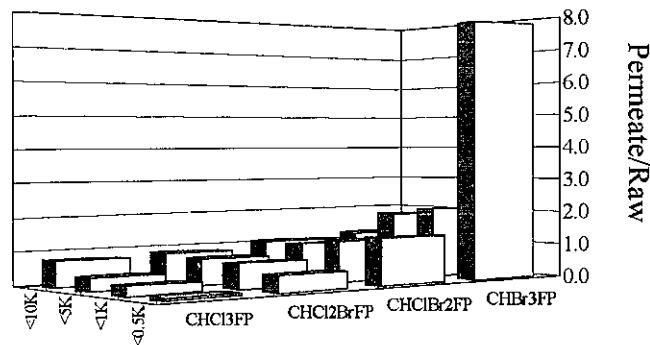


Fig. 3 The permeate/raw ratio of THMFP speciation for Fong-Yuan Plant raw water using various MWCO membranes filtration

Table 3 為原水水樣與不同 MWCO 濾膜過濾後之水樣各類有機參數之比值。由表中可看出原水與經過 MWCO 為 10K、5K 及 1K 濾膜過濾後的水樣其  $\text{UV}_{254}/\text{DOC}$ 、 $\text{AOXFP}/\text{DOC}$  與  $\text{THMFP}/\text{DOC}$  比值並無明顯的差異。不過當水樣經由 0.5K 的濾膜過濾後，三項比值均較原水為高，<math>\triangleleft 0.5K</math> 水樣之  $\text{UV}_{254}/\text{DOC}$  比值為原水的 2.6 倍， $\text{AOXFP}/\text{DOC}$  比值為原水的 2.8 倍， $\text{THMFP}/\text{DOC}$  比值則為原水的 2.6 倍。由此三項數據可看出當原水以 10K、5K 與 1K 的濾膜過濾後，DOC、 $\text{UV}_{254}$ 、AOXFP 與 THMFP 有相似的減少程度，所以三項比值與原水比較差異不大。不過當原水以 0.5K 濾膜過濾後，DOC 減少程度大於其餘 3 項有機參數，因此  $\text{UV}_{254}$ 、AOXFP、THMFP 與 DOC 之比值均較原水為高。從這些數據分析中可看出當水體  $\text{UV}_{254}/\text{DOC}$  比值較高時 AOXFP/DOC 與 THMFP/DOC 比值也較高。表中亦列出 THMFP 與 AOXFP 比值 (THMFP/AOXFP)，分析此類型之數據時需將 THMFP 的單位由  $\mu\text{g/L}$  轉換為  $\mu\text{g Cl/L}$ ，而此一參數可用以顯示在加氯反應後所生成的 THMs 佔所生成的總鹵化有機物質比例。根據 Table 3 的數據分析可看出原水利用 10K、5K 與 1K 的濾膜過濾後，各過濾水樣的 THMFP 佔水樣所生成的總鹵化有機物質比例與原水差異不大；不過若以 0.5K 的濾膜過濾後，THMFP/AOXFP 比值較原水為低，顯示以 0.5K 濾膜過濾原水時，去除生成 THMs 前驅物質的能力，高於去除生成鹵化有機物質前驅物質的能力。

Table 3. Comparisons of the various organic parameters in the filtered samples using membranes of different MWCOs and raw water sample

	Raw water	<10K	<5K	<1K	<0.5K
UV <sub>254</sub> /DOC	0.010	0.009	0.009	0.009	0.026
† AOXFP/DOC	169.4	135.4	170.5	164.4	476.5
‡ THMFP/DOC	46.9	40.0	42.7	44.5	120.4
* THMFP/AOXFP	0.26	0.28	0.24	0.25	0.18

†unit : µg Cl/mgC ‡unit : µg /mgC \* unit : µg Cl/µgCl

### 淨水流程中不同分子量有機族群之分佈與變化

本階段之研究是利用不同孔隙大小的濾膜將水體中的溶解性有機物質分離為不同分子量區間的族群，瞭解淨水程序中不同分子量族群之分佈與變化情形。Fig. 4 與 Fig. 5 為淨水流程中各分子量區間有機物濃度與比例的分佈情形。在原水方面，溶解性有機物質主要分佈於 10K~5K 與 1K~0.5K 兩個分子量區間。若以 1K 作為區隔，則分子量大於 1K 與小於 1K 的比例分別為 58% 及 42%。原水經過前加氯之後其分子量分佈則有所變化，分子量小於 5K 的有機族群其 DOC 濃度大幅增加，而原水中濃度最高的 10K~5K 有機分子族群則有所降低，顯示前加氯有將大分子氧化成為小分子的能力。不過在研究中發現豐原淨水廠原水經過前加氯之後 DGC 濃度由 1.86 mg/L 增至 1.97 mg/L，可能是水體中原本屬於非溶解性的有機物質受氯氧化，導致大分子裂解成為能經 0.45 µm 濾紙過濾的溶解性有機物，因此在圖中可見到 0.45 µm~10K 此一分子量區間的 DOC 濃度也有所增加。

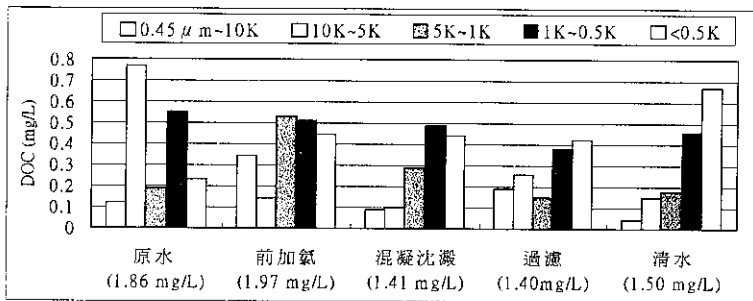


Fig. 4 Variation of DOC concentration for various AMW organic fractions within treatment process

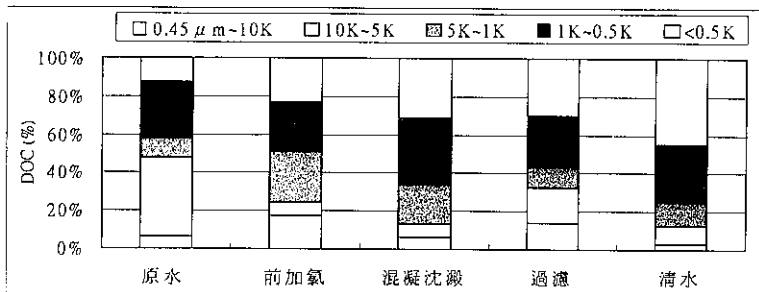


Fig. 5 AMW distributions of DOC within treatment process

在混凝沈澱過後分子量分佈也有所改變，若由各分子量區間在混凝沈澱前後的 DOC 濃度變化做一比較，可發現在混凝沈澱過後各分子區間 DOC 濃度均有所減少，唯減少程度不盡相同。概略以  $0.45 \mu\text{m}$ ~1K 此一分子量區間的有機物去除程度較高；而小於 1K 的有機物質僅有極微量的減少，顯示混凝沈澱對於大分子的去除能力高於小分子。因此由 Fig. 5 可看出大於 1K 與小於 1K 的 DOC 比例由 58% : 42% (原水) 變化成 34% : 66% (混凝沈澱出流水)。

比較後加氯前後 (過濾與清水) 的分子量分佈，可發現水體溶解性有機物質有往小分子區間增加的現象，特別是小於 0.5K 此一範圍的 DOC 濃度明顯增加，而其他分子區間 DOC 濃度則有降低的現象。根據此一分子量分佈的變化可看出後加氯程序會將分子量  $>0.5\text{K}$  的有機物質氧化為小分子 ( $<0.5\text{K}$ ) 的物質。

根據整個淨水流程 DOC 分子量分佈的變化可歸結出下列三點結論：1. 傳統淨水處理對於溶解性有機物質的去除主要發生於混凝沈澱程序，並且混凝沈澱程序對於分子量  $>1\text{K}$  的有機物質的去除率高於  $<1\text{K}$  的有機物質；2. 前加氯處理程序對於溶解性有機物質的去除有不利的影響，可能會將某些原本屬於非溶解性的有機物質氧化為溶解性有機物質，並且可能將屬於大分子的有機物質氧化成為小分子的有機物，此一改變將不利於後續混凝沈澱處理對於溶解性有機物質的去除；3. 後加氯處理亦會改變分子量分佈範圍，使得水體中的有機物質以小分子 ( $<0.5\text{K}$ ) 為主。

在  $\text{UV}_{254}$  吸光度分佈與變化方面，由 Fig. 6 可看出整個淨水程序對於  $\text{UV}_{254}$  吸光度的去除也偏重於降低大分子有機物所具有的  $\text{UV}_{254}$  吸光度；而對於小分子特別是分子量  $<0.5\text{K}$  的有機物質所具有的  $\text{UV}_{254}$  吸光度並無有效的去除能力。

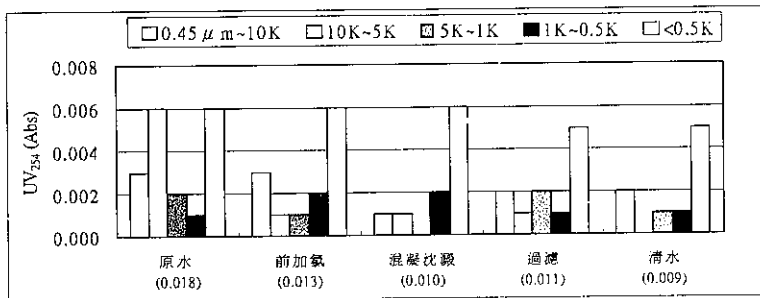


Fig. 6 Variation of  $\text{UV}_{254}$  abs for various AMW organic fractions within treatment process

### 淨水程序中不同分子量區間 DBPFP 之分佈與變化

本階段之研究是先以不同 MWCO 的濾膜將各處理單元出流水水體中的溶解性有機物質分離為不同分子量區間的族群，再將之加氯培養並測定其 THMFP 與 AOXFP，探討淨水程序中不同分子量區間之溶解性有機物質對於生成消毒副產物之影響。

Fig. 7 與 Fig. 8 為淨水流程中各分子量區間 AOXFP 與 THMFP 生成情形。在原水方面，AOX 以及 THMs 的生成主要發生在三個分子量區間： $0.45 \mu\text{m}$ ~10K、10K~5K 及分子量  $<0.5\text{K}$ 。若與 Fig. 6 比對則可發現在 AOXFP 與 THMFP 較高的分子量區間其  $\text{UV}_{254}$  吸光度也較高。原水經過前加氯之後，其各分子量區間生成的 AOXFP 與 THMFP 則有不同的變化。在 AOXFP 方面， $<5\text{K}$  的各分子量區間所生成的 AOXFP 與原水相較均有所增加，

主要原因應是經前加氯之後水體中<5K 的各分子量區間之有機物質濃度有所增加，這些增加的有機物質在加氯培養反應之後生成更多的 AOX。

在 THMFPP 方面，經前加氯程序後 10K~5K 分子區間的 THMFPP 有較明顯的降低，主要原因應是經前加氯程序後 10K~5K 此一分子量區間的 DOC 以及 UV<sub>254</sub> 均有所減少，導致此一分子區間的 THMFPP 降低，但此一降低的現象並不代表前加氯程序對於 10K~5K 此一分子區間的 THMFPP 有降低的能力，更可能是因為在前加氯之後此一分子區間的前驅物質已與氯反應生成 Inst. THMs。

在混凝沈澱與過濾之後，分子量>0.5K 的 THMFPP 與 AOXFP 有減少的現象；至於<0.5K 的 THMFPP 與 AOXFP 則無明顯的變化，因此在經過混凝沉澱與過濾之後，分子量<0.5K 此一範圍的有機物質為生成 THM 與 AOX 最主要的前驅物質。

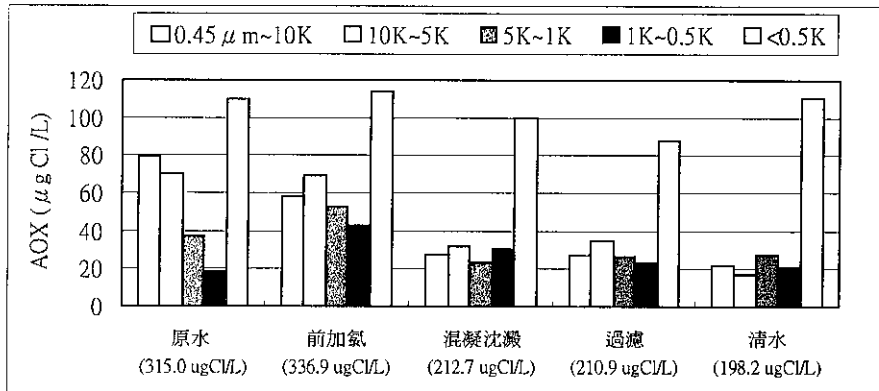


Fig. 7 Variation of AOXFP for various AMW organic fractions within treatment process

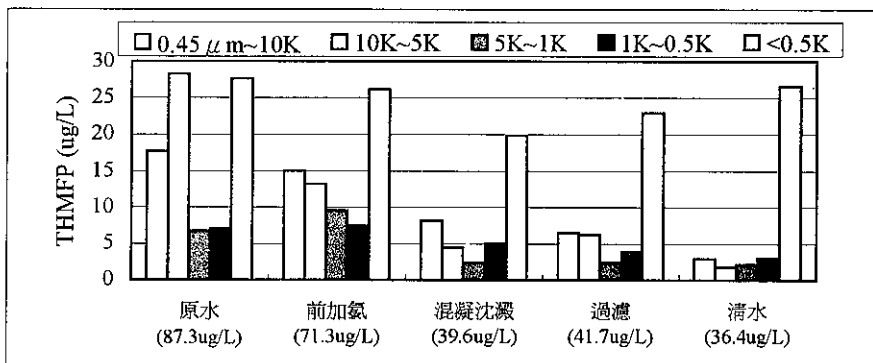


Fig. 8 Variation of THMFPP for various AMW organic fractions within treatment process

本研究中並以過濾池出流水為對象，於實驗中添加一組 MWCO 為 0.3K 的濾膜，利用不同 MWCO 的濾膜，以 UF 或 NF 過濾系統加以過濾，模擬淨水廠於過濾池後配置壓力驅動膜濾系統，探討過濾池出流水在經過不同 MWCO 濾膜過濾後 DOC、UV<sub>254</sub>、AOXFP、THMFPP 的去除率，但實驗中水樣均先以 0.45 µm 濾紙加以過濾。

此一模擬程序去除結果顯示於 Fig. 9，由圖中可看出對豐原淨水廠過濾池出流水水質而言，UF 過濾系統 (MWCO 為 10K、5K 及 1K) 對於各項有機參數的去除率均低於 50%。此一現象係因經過前加氯、混凝、過濾處理程序後，水體中的溶解性有機物質主要以小分子的型態存在，所以使用 MWCO 較大的 UF 過濾系統，並不能達到有效的去除結果。若使用 NF 過濾系統 (MWCO 為 0.5K 及 0.3K) 其結果顯示使用 MWCO 為 0.5K 的濾膜，僅可使得 DOC 去除率高於 60%，而 THMF 的去除率只達 45%。若使用 MWCO 為 0.3K 的濾膜始可將各項參數的去除率提高至 70% 以上，DOC 的去除率為 80%，UV<sub>254</sub> 的去除率為 73%，THMF 的去除率為 71%，AOXFP 的去除率則為 85%。

若將淨水廠原本已有的處理單元視為前處理單元，並且與本實驗所模擬的過濾後濾膜處理單元視為完整的處理程序，則對於淨水廠原水水質，使用濾膜 MWCO 為 0.5K 的 NF 膜濾系統便可將原水中的各項有機參數去除率提高至 70% 以上 (Fig. 10)。

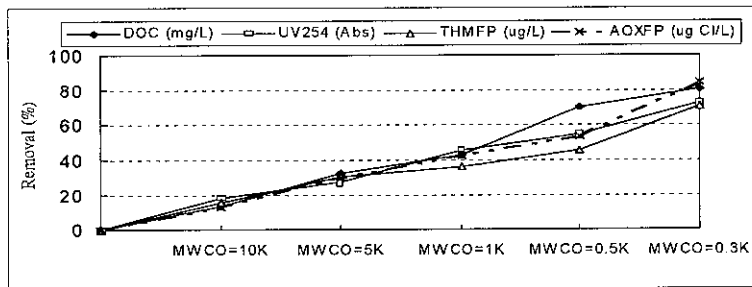


Fig. 9 Removal of DOC, UV<sub>254</sub>, AOXFP and THMF from sand-filter effluent by various MWCO membranes

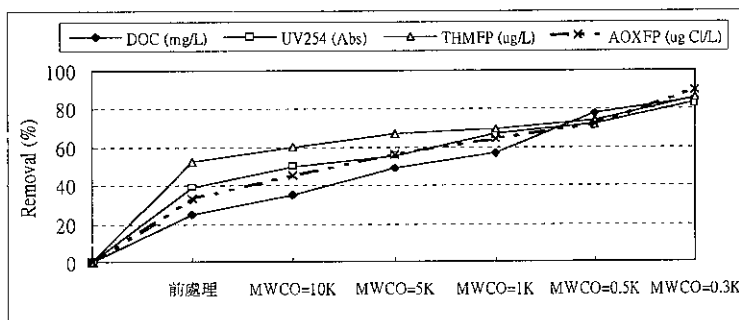


Fig. 10 Removal of DOC, UV<sub>254</sub>, AOXFP, THMF in raw water by conventional treatment process combined with various MWCO membranes

#### 四、結論

豐原淨水廠原水各項有機參數 DOC、UV<sub>254</sub>、THMF 與 AOXFP 在使用不同 MWCO 濾膜過濾後，其值均較原水之分析值為低，並且使用 MWCO 愈小的濾膜過濾其值亦愈低。原水 DOC 在經由 MWCO 為 0.5K 的濾膜過濾後，其去除率高達 88%，UV<sub>254</sub>、THMF 與 AOXFP 等三類有機參數經由 MWCO 為 0.5K 的濾膜過濾後其去除率則介於

65~69%。對於豐原淨水廠原水而言，若使用 MWCO 為 10K~0.5K 的濾膜僅可減少  $\text{CHCl}_3$  與  $\text{CHCl}_2\text{Br}$  的生成潛能，對於  $\text{CHClBr}_2$  與  $\text{CHBr}_3$  則會增加其生成潛能值。但整體而言在使用使用 MWCO 愈小的濾膜過濾後 THMFP 仍會有所降低。根據研究結果顯示前加氯處理程序對於溶解性有機物質的去除有不利的影響，可能會將某些原本屬於非溶解性的有機物質氧化為溶解性有機物質，並且可能將屬於大分子有機物質氧化成為小分子有機物，此一改變將不利於後續混凝沈澱處理對於溶解性有機物質的去除。

## 五、誌謝

本研究承蒙國科會計畫支持 (NSC 87-2218-E-029-002)，特此誌謝。

## 六、參考文獻

- Amy, G. L., L. Tan, and M. K. Davis (1991). The Effects of Ozonation and Activated Carbon Adsorption on Trihalomethane Speciation. *Wat. Res.*, **25**(2), 191~202.
- Amy, G. L., R. A. Sierka, J. Bedessem, D. Price, and Lo Tan (1992). Molecular Size Distributions of Dissolved Organic Matter. *J. AWWA.*, **84**(6), 67~75.
- APHA, AWWA and WEF (1995) *Standard Methods for Examination of Water and Wastewaters*, 19<sup>th</sup> Edn. American Public Health Association, Washington, DC, USA.
- Conlon, W. J. and McClenllan, S. A. (1989). Membrane Softening: A Treatment Process Comes of Age. *J. AWWA.*, **81**(11), 47~55.
- Croue, J. P., E. Lefebvre, B. Martin, B. Legube (1993). Removal of Dissolved Hydrophobic and Hydrophilic Organic Substances During Coagulation/ Flocculation of Surface Waters. *Wat. Sci. Tech.*, **27**(11), 143~152.
- Jacangelo, J. G., J. DeMarco, D. M. Owen, and S. J. Randtke (1995). Selected Processes for Removing NOM : An Overview. *J. AWWA.*, **87**(1), 64~77.
- Nilson, J. A. and Francis A. DiGiano (1996). Influence of NOM Composition on Nanofiltration. *J. AWWA.*, **88**(5), 53~66.
- Odegard, H. and Koottatep, S. (1982). Removal of Humic Substances From Natural Waters by Reverse Osmosis. *Wat. Res.*, **16**(5), 613~620.
- Owen, D. M., G. L. Amy, Zaid K. C., Rajendra P., George McCoy, and Kathy Viscosil (1995). NOM Characterization and Treatability. *J. AWWA.*, **87**(1), 46~63.
- Shukairy, H. M., R. J. Miltner, and R. S. Summers (1994). Bromide's Effect on DBP Formation, Speciation and Control: Part. 1, Ozonation. *J. AWWA.*, **86**(6), 71 ~ 81.
- Shukairy, H. M., R. J. Miltner, and R. S. Summers (1995). Bromide's Effect on DBP Formation, Speciation and Control: Part. 2, Biotreatment. *J. AWWA.*, **87**(10), 72 ~ 87.
- Symon, J. M., Speitel, G. E. Diehl, A. C. and Sorensen, H. W. Jr. (1994). Precursor Control in Waters Containing Bromide. *J. AWWA.*, **86**(6), 48 ~ 60.
- Taylor, J. S.; Thompson, D. M.; and Carswell, J. K. (1987). Applying Membrane Processes to Groundwater Sources for Trihalomethane Precursor Control. *J. AWWA.*, **79**, (8), 72-79.