

不同分子量有機物質之色度及消毒副產物生成潛能之比較

張鎮南^{*}，劉居松^{**}，許靜芬^{**}

摘要

自然有機質(NOM)在淨水工程上所造成的問題，除了引起色度之外更重要的是於加氯消毒過程中，產生氯化消毒副產物(Chlorinated By-products)。而降低消毒副產物(DBPs)生成較佳的方法之一，便是於加氯消毒前先予去除水中的有機物質，因此類有機物質乃造成色度及生成DBPs之前驅物(Precursors)。本研究以人工配製之腐植酸溶液模擬前驅物質，經MWC0 (Molecular Weight Cutoff)分別為10,000及1,000 daltons的超薄膜過濾(UF)系統，予以分離成不同分子量大小的有機群之後，水樣在25°C下添加足量次氯酸鈉(NaOCl)，培養7天後分析其三鹵甲烷(THMs)、含鹵乙酸(HAAs)、含鹵乙晴(HANs)及含鹵丙酮(HKs)等消毒副產物之生成潛能(FP)。此外更進一步探討以自然水體為背景條件下，與人工腐植酸溶液生成DBPs之差異。

實驗結果顯示：在溶解性有機碳(DOC)方面，人工腐植酸中之不同分子量有機物以大分子(10K<AMW<0.45 μ m)的百分比最高(約59%)；而原水中則以中分子(1K<AMW<10K)為最高(約57%)。由於色度值(ADMI)與UV₂₅₄有極大的正相關性存在，因此各分子量有機物所佔之UV₂₅₄與ADMI值相當。在消毒副產物生成方面：若以DBPFP/DOC加以表示，則原水中THMs、HAAs及HANs均以小分子(AMW<1K)生成最高；而人工腐植酸則除THMs以中分子生成最高之外，餘皆以小分子生成最高，可見小分子有機物與氯有較高的活性，以致生成較多的DBPs。另外以凝膠滲透層析法(GPC)所測得之分子量通常較UF來得大。

一、文獻回顧

1970年以前，NOM被視為是導致飲用水水源中，色度產生之主要物質(Jacangelo *et al.*, 1995a)。而自1970年以後，發現NOM除了會引起色度外，在飲用水中尚有其他

*東海大學環境科學研究所教授

**東海大學環境科學研究所碩士

問題產生，例如：影響混凝劑加藥量、腐蝕配水系統管路、微生物再生長及引起臭味等等，最重要的是NOM會和消毒劑反應，生成消毒副產物(DBPs)(Jacangelo *et al.*, 1995b & Fu *et al.*, 1994)。因此如何有效地去除飲用水中的NOM，為當前最重要的課題之一，在去除NOM之前，首先必須對NOM之特性有所了解。

NOM，顧名思義為自然界中所產生之有機物質。水中NOM之主要來源為有機物的分解，而其中又以淡水中藻類(algae)及藍細菌(cyanobacterial biomass)為NOM的主要來源，此類物質多為脂肪族(aliphatic)結構，且無木質素(lignins)之成份，苯環結構僅佔一小部份；相反地，土壤中之有機物則多為木質素，其主要成份為環狀結構。此外，表面水中之NOM主要為較低分子量的腐植酸(humic acids)及黃酸(fulvic acids)所構成(Goel *et al.*, 1995)。

有機質的組成相當複雜，而各組成之特性又不相同，可依其特性來加以分類。葉氏等(Yeh *et al.*, 1993；Huang *et al.*, 1993 & 黃氏等(1991)曾利用不同種類的樹脂，分離原水中之有機質。水中之NOM經過分離後大致可分為：疏水性鹼性物質(hydrophobic bases)、疏水性酸性物質(hydrophobic acids)、疏水性中性物質(hydrophobic neutrals)、親水性鹼性物質(hydrophilic bases)、親水性酸性物質(hydrophilic acids)及親水性中性物質(hydrophilic neutrals)等六大類。而其中疏水性酸性物質又可經不同之分離過程而分離出腐植酸(humic acids)及黃酸(fulvic acids)(Liao, 1982 & Langvik *et al.*, 1994)。

腐植酸及黃酸隨著水質特性之差異而有所不同，Amy *et al.*(1987)研究中指出，水體腐植物質在大部份水體中約佔50% DOC，其餘則為氨基酸(amino acids)、碳酸(carboxylic acids)、蛋白質(protein)及碳水化合物等。Grasso *et al.*(1990)亦指出：在海水和淡水中腐植酸和黃酸約佔DOM (Dissolved Organic Matter)組成之25~50%。而Yeh *et al.*(1993)則指出：臺灣省鳳山淨水廠之原水中，腐植酸佔了總有機物之2.3%，而其三鹵甲烷生成潛能(Trihalomethane Formation Potential；THMFP)卻佔了37%。顯示腐植酸為生成三鹵甲烷(THM)之最主要物質，因此許多文獻對腐植酸之組成、構造及特性等多有探討。

對於腐植酸之物理特性方面，Gjessing *et al.*(1985)曾對水中腐植酸分子量分佈情形做了探討，其分子量分佈介於1,000~20,000 daltons為主。Abdullah *et al.*(1987)則對市售之腐植酸以膠滲色層分析法(Gel Permeation Chromatography；GPC)，分析其分子量，而以分子量3,000~40,000 daltons較具代表性。本研究對市售腐植酸分析其分子量分佈，則以1,500~30,000 daltons為主。樓氏等人(1989)以Fractogel TSK Gel對本省河川表面水中之腐植酸分子量分佈進行分析，發現其分子量分佈大約在200~50,000

daltons之間，而本研究曾對臺灣省四大主要河川之DOM以HPLC分析其分子量分佈情形，結果示如表1。

表1 臺灣省四大主要河川之分子量分佈

Sample Site	AMW (%)		
	>30,000	30,000~10,000	<10,000
基隆河上游(新山水庫)	19.2	77.1	3.7
基隆河中游(民權大橋)	22.9	63.8	13.3
大漢溪(板新給水廠)	12.3	87.3	0.4
大甲溪上游(德基水庫)	23.3	72.0	4.7
大甲溪中游(青山水庫)	8.7	84.0	1.4
大甲溪下游(石崗水壩)	25.9	73.7	0.4
高屏溪(鳳山淨水廠)	49.0	49.3	0.7

1974年起Rook等人發現，當水中含有某些有機物質，經加氯消毒後會生成一些致癌的副產物，亦即消毒副產物(DBPs)，其中以三鹵甲烷(THMs)最常出現。

最早發現DBPs的生成，乃由於飲用水中若加入氯後，會形成一些新的有機化合物，此類有機化合物對人體具致癌性之危害。這些有機物包括了三鹵甲烷(THMs)、含鹵乙酸(HAAs)...等鹵化有機物(Craun *et al.*, 1994)。而為了避免在淨水過程中產生過量的消毒副產物，目前許多歐美先進國家對於原水的處理程序已作大幅的改進，如：改變加氯點、減少加氯量或以氯胺(chloramines)、二氧化氯(chlorine dioxide; ClO_2)或臭氧(O_3)等消毒劑代替氯，以減少含氯DBPs之生成(AWWARF & KIWA, 1986)。但使用替代消毒劑仍有其消毒副產物生成的問題，如加入 ClO_2 會生成亞氯酸鹽(Chlorite; ClO_2^-)、氯酸鹽(Chlorate; ClO_3^-)，及加入臭氧會生成溴酸鹽(Bromate; BrO_3^-)等(Lykins *et al.*, 1986; Myers, 1990 & Krasner *et al.*, 1993)。

由於使用的消毒劑不同，因此生成之DBPs種類亦不相同。依DBPs的種類可概分為有機性及無機性兩大類。

1. 有機性DBPs：包括三鹵甲烷(THMs)、含鹵乙酸(Haloacetic acids; HAAs)、含鹵乙睛(Haloacetonitriles; HANs)、含鹵酮類(Haloketones; HKs)及醛(Aldehydes)等等。
2. 無機性DBPs：包括亞氯酸鹽(Chlorite; ClO_2^-)、氯酸鹽(Chlorate; ClO_3^-)及溴酸鹽(Bromate; BrO_3^-)等等。

由於使用消毒劑會有DBPs之問題產生，所以美國環保署(U.S. Environmental Protection Agency；US EPA)建議，應對消毒劑及DBPs有所規範。預定分兩階段加強，其規範之DBPs包括有：THMs、HAA₅(MCAA、DCAA、TCAA、MBAA及DBAA)、Bromate及Chlorite(Pontius, 1993)。目前美國僅訂定THMs之限值為0.1 mg/L，而在1998年時將訂定Bromate、Chlorite、HAA₅及THMs之限值分別為0.01、1.0、0.06及0.08 mg/L。未來更擬將HAA₅及THMs之限值降低至0.03及0.04 mg/L。

日本於1992年公布自來水新水質基準(Yasumoto, 1994)，於1993年12月1日開始實施，其中CHCl₃、CHCl₂Br、CHClBr₂及CHBr₃之限值分別為0.06、0.03、0.1及0.09 mg/L；而總三鹵甲烷(TTHMs)之限值則為0.1 mg/L。臺灣省自來水水質標準則是依民國七十九年所公告，THMs之限值為0.15 mg/L；而北高兩市之THMs限值則皆為0.1mg/L。其它如世界衛生組織(World Health Organization；WHO)、歐洲共同體(EC)及加拿大之THMs限值分別為1.0、0.1及0.35 mg/L(江弘斌等, 1995)。

飲用水的處理程序中，消毒是對大眾健康最有影響的單元，就目前已知的消毒副產物中，以三鹵甲烷最受重視。而含有氯之三鹵甲烷已在老鼠的實驗中證實有致癌性(Bull, 1982)。氯仿(CHCl₃)對於受測動物及人的肝臟、中樞神經系統有嚴重的損害，會導致肝硬化、呼吸困難、失去意識等。此外，溴仿(CHBr₃)則會使肝、腎、肺等器官中毒，而一溴二氯甲烷(CHCl₂Br)及二溴一氯甲烷(CHClBr₂)之毒性，目前尚無法肯定，但因其與氯仿之化學結構及組成元素相似，故被視為疑似致癌物質。

為了有效降低DBPs的生成，可先以薄膜過濾的方法，先去除水中生成DBPs之有機物質，減少與氯之反應。

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UF可分離之分子量範圍介於1,000~50,000 daltons之間，使用UF去除NOM時須注意以下幾個原則(Jacangelo *et al.*, 1995b)：(1)選擇適合之膜的孔徑大小、(2)分子量分佈範圍(Molecular Weight Cutoff；MWCO)、(3)膜的材質、(4)欲去除物質之特性，及(5)欲處理之水質標準。

UF之分離效果與NOM及溶液中之成份的交互作用有關，而影響其交互作用之主要因素有：(1)濃度、(2)離子組成、(3)高價陽離子(polyvalent cation)的存在，及(4)pH值。上述之因素為造成分子凝聚氫鍵之主因。

二、實驗設備與方法

實驗流程示如圖1。人工配製腐植酸溶液(TCI, Tokyo, Japan)之離子強度控制在0.1M；原水以腐植酸添加至足量的DOC值，原水基本參數如表2。

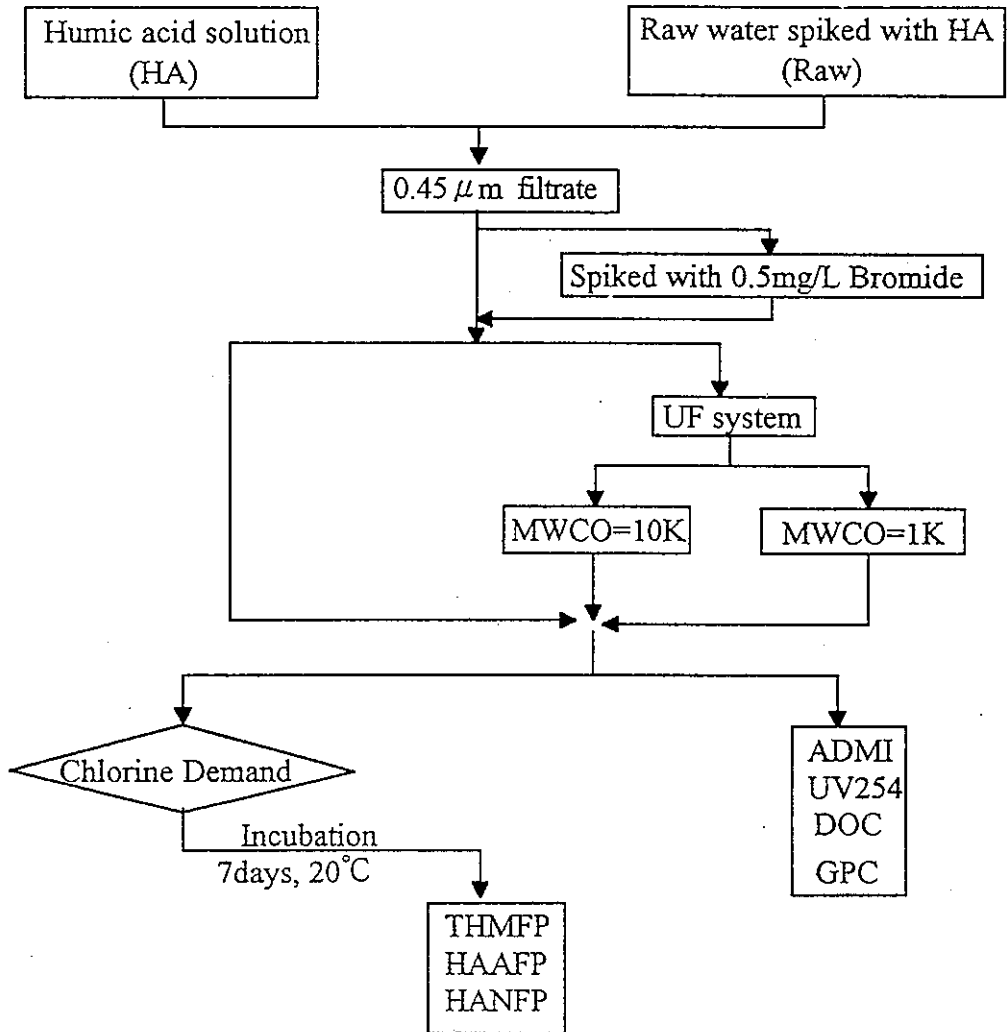


圖1 實驗流程圖

腐植酸或原水水樣先以 $0.45\ \mu\text{m}$ 濾紙予以過濾後，將水樣分成兩組；其中一組添加 $0.5\ \text{mg Br/L}$ ，另一組水樣則維持不變。兩組水樣再細分成三組：第一組及第二組水樣經UF系統(Millipore Intertech Inc., Bedford, USA)過濾而分離出分子量小於10,000 daltons

(Cat. # PLGC OMP 04, Millipore) 及 1,000⁰⁰⁰ daltons (Cat. # PLAC OMP 04, Millipore) 的水樣，第三組水樣則維持不變。以上 12(2×2×3=12) 組水樣分別加氯後，在一定條件下培養後分析其 DBPFP 及其它水質參數。

表2 大甲溪水質基本參數

year	1989	1990	1991	1992	1993
Turbidity(NTU)	7	40	9	35	20
Alkalinity(mg/L)	62.7	59.3	58.0	55.0	66.0
pH	8.0	8.0	8.0	7.9	8.0
NH ₃ -N(mg/L)	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02
NO ₂ -N(mg/L)	0.006	0.004	0.010	0.003	0.006
NO ₃ -N(mg/L)	0.05	0.03	0.04	0.02	0.03
TDS(mg/L)	100	92	96	85	108
Hardness(as mg CaCO ₃ /L)	91.4	84.2	87.6	74.4	77.6
Ca ²⁺ (mg/L)	24.6	23.0	23.4	19.8	20.7
Fe ²⁺ (mg/L)	0.21	0.17	0.23	0.23	0.22
Mn ²⁺ (mg/L)	N.D	N.D	N.D	N.D	N.D
Spec. Conductivity(μ S/cm)	-	-	203	177	191

在水質分析方面，溶解性有機碳(DOC)以 TOC 分析儀(Model TOC-5000, Shimadzu Co., Kyoto, Japan) 分析，THMs 分析乃參考 USEPA Method 524.2 以 GC/MS 分析，HAAs 及 HANs 則分別參考 USEPA Method 552、551 以 GC/ECD 分析，色度以 ADMI 分析，分子量則以 GPC(Gel Permeation Chromatography) 分析。

三、結果與討論

3-1 不同分子量之 DOC、UV₂₅₄、ADMI 之關係

若將 AMW<1K 及 AMW<10K 之 DOC、UV₂₅₄、ADMI 差值視為介於 10K 及 1K 間之 DOC、UV₂₅₄ 及 ADMI；而 AMW<10K 及 <0.45 μ m 之 DOC、UV₂₅₄、ADMI 差值視為介於 0.45 μ m 及 10K 間之 DOC、UV₂₅₄ 及 ADMI，則可獲得圖 2 及圖 3 之結果。腐植酸之 DOC 分佈以 0.45 μ m < AMW < 10K

10K<AMW<1K及AMW<1K則相當。原水中之DOC分佈則以10K<AMW<1K最多，其次為0.45 μm<AMW<10K，再其次為AMW<1K之部份。

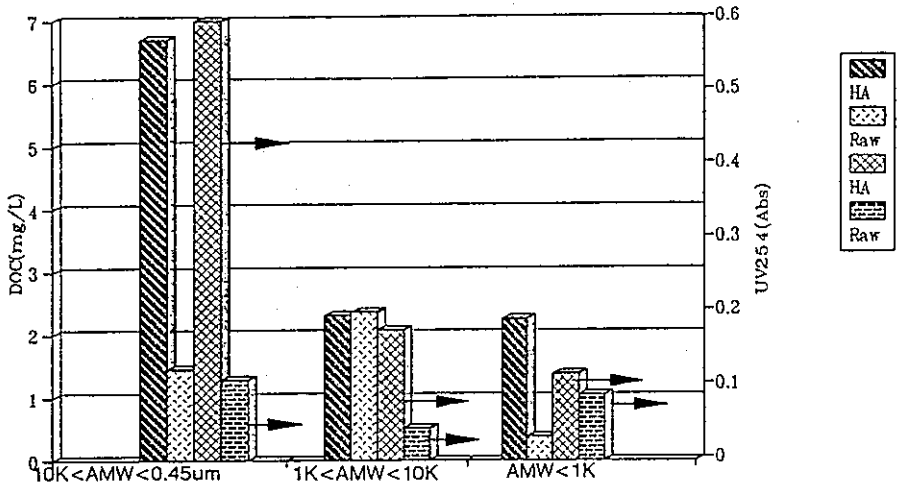


圖2 不同分子量有機物之DOC、UV₂₅₄分佈

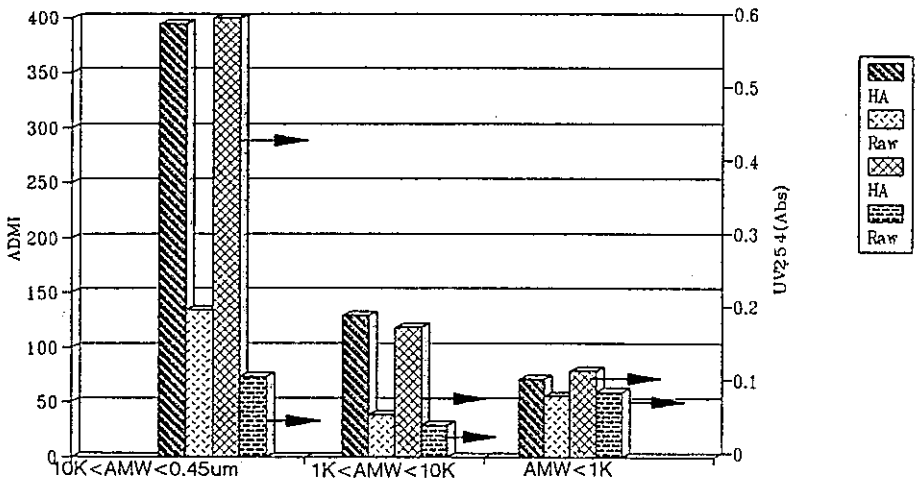


圖3 不同分子量有機物之ADMI、UV₂₅₄分佈

腐植酸之UV₂₅₄值，除AMW<1K偏低外，其餘二組皆與DOC值呈一定的比例關係，顯示分子量在1,000 daltons以下之腐植酸分子中，以直鏈或飽和鍵的分子結構存在為主。而原水中之有機物質則相反，AMW<1K雖然DOC所佔比例不高，但UV₂₅₄卻偏

高，顯示原水分子中分子量小於1,000 daltons部份的分子以不飽和鍵的分子結構存在為主。

而在ADMI方面，則以腐植酸之ADMI值高於原水之ADMI值，而其中以 $0.45 \mu\text{m} < \text{AMW} < 10\text{K}$ 之色度值最高，且大致上和 UV_{254} 呈現正相關之關係，即 UV_{254} 值高者，ADMI值也高。若將不同分子量之各種參數之原始分佈比例，示如表3。

表3 不同分子量有機物之DOC、 UV_{254} 、Color、 $\text{UV}_{254}/\text{DOC}$ 分佈比例

	Humic acid (%)			Raw water (%)		
	$0.45 \mu\text{m} > \text{AMW} > 10\text{K}$	$10\text{K} > \text{AMW} > 1\text{K}$	$\text{AMW} < 1\text{K}$	$0.45 \mu\text{m} > \text{AMW} > 10\text{K}$	$10\text{K} > \text{AMW} > 1\text{K}$	$\text{AMW} < 1\text{K}$
DOC	59	21	20	35	56	9
UV_{254}	68	19	13	45	18	37
Color	66	22	12	58	17	25
$\text{UV}_{254}/\text{DOC}$	0.092	0.074	0.052	0.076	0.018	0.237

3-2 不同分子量有機物之DBPFP/DOC

分別將不同分子量有機物生成之THMFP/DOC、THAAFP/DOC及THANFP/DOC示如圖4、圖5、圖6。

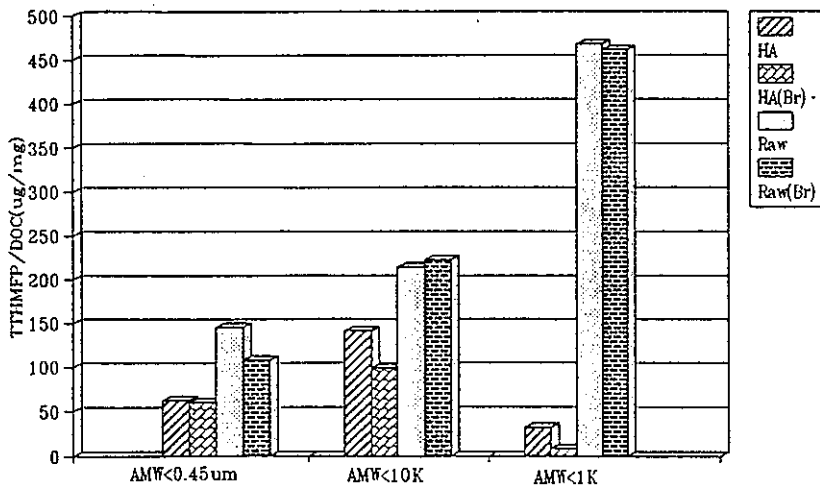


圖4 不同分子量有機物之TTHMFP/DOC

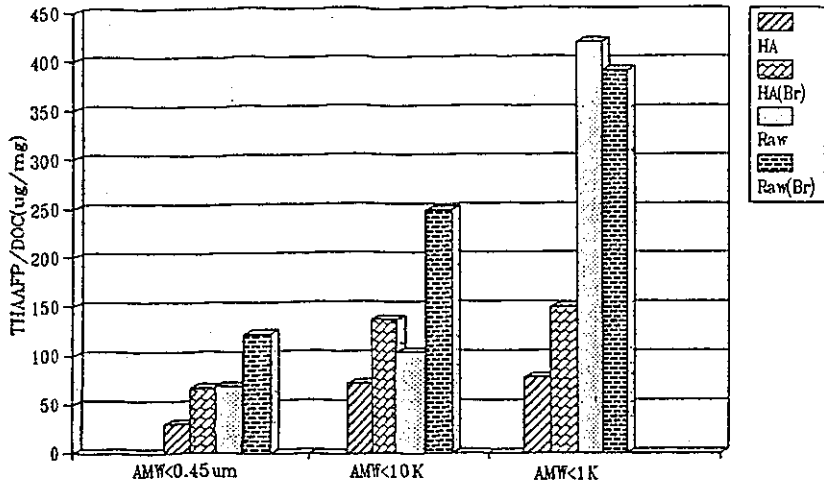


圖5 不同分子量有機物之THAAFP/DOC

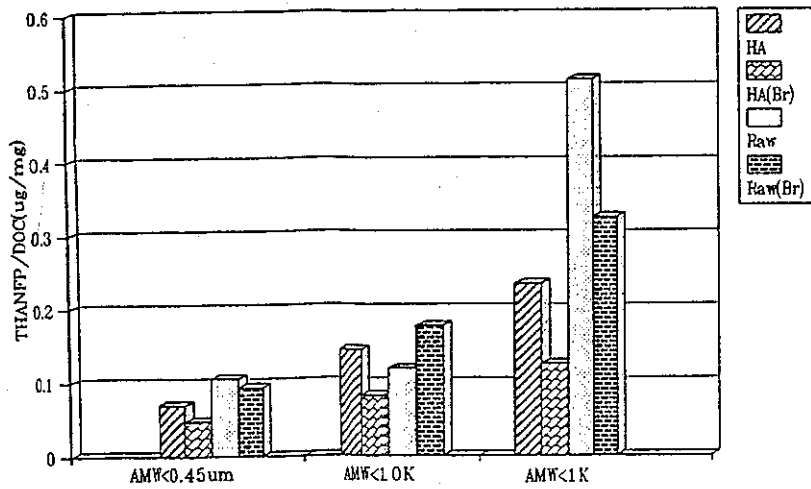


圖6 不同分子量有機物之THANFP/DOC

TTHMFP/DOC、THAAFP/DOC、THANFP/DOC中皆以AMW<1K之原水生成之量為最高，TTHMFP/DOC及THAAFP/DOC達400 μ g/mg以上，而以AMW<0.45 μ m之有機物之TTHMFP/DOC、THAAFP/DOC及THANFP/DOC為最低，表示小分子量有機物為生成THM、HAA、HAN之最主要前驅物質。

若將大分子($<0.45 \mu m$)及中分子($AMW < 10K$)、中分子($AMW < 10K$)及小分子($AMW < 1K$)之各項DBPFP/DOC之差值視為 $10K < AMW < 0.45 \mu m$ 及 $1K < AMW < 10K$ 之DBPFP/DOC，則可得圖7。以 $10K < AMW < 0.45 \mu m$ 有機物之DBPFP/DOC最低。

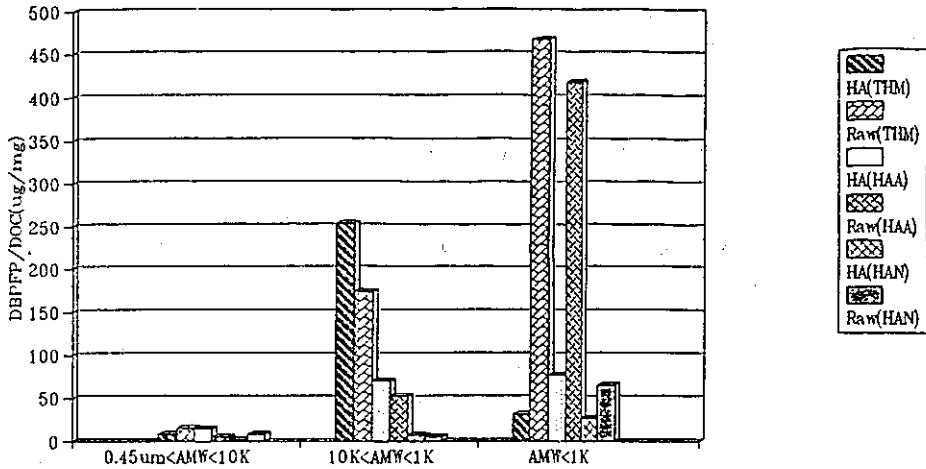


圖7 不同分子量有機物之DBPFP/DOC

綜合以上所言，對不同分子量大小有機物生成各種消毒副產物(THMs、HAAs、HANs)之能力予以排名，可得表4之結果。

表4 不同分子量有機物之DBPFP/DOC之生成量順序

	Humic acid			Raw water		
	$0.45 \mu m > AMW > 10K$	$10K > AMW > 1K$	$AMW < 1K$	$0.45 \mu m > AMW > 10K$	$10K > AMW > 1K$	$AMW < 1K$
THMs	3	1	2	3	2	1
HAAs	3	2	1	3	2	1
HANs	3	2	1	2	3	1

3-3 分子量分佈

本研究利用MF及UF方式，將溶液中有機物質分離成不同分子量大小的三種溶液($<0.45 \mu m$ 、 $AMW < 10K$ 及 $AMW < 1K$)外，更以高效率液體層析(HPLC)系統中之GPC(Gel Permeation Chromatography)鑑別各種溶液之分子量。

由於GPC及UF法不須昂貴分析技術，且只須中等程度的分析技術，因此在水處理領域中，兩者皆可做為有機物質之組成監測，而提供溶解性有機物相對分子重分佈之

資訊(Amy *et al.*, 1987)。本研究經 $0.45\ \mu\text{m}$ size濾紙過濾後水樣分成三組，第一組水樣維持不變，第二組水樣再以MWCO=10K的濾膜加以過濾，第三組水樣則以MWCO=1K的薄膜過濾之，三組過濾後水樣經GPC分析所得結果示如圖8。

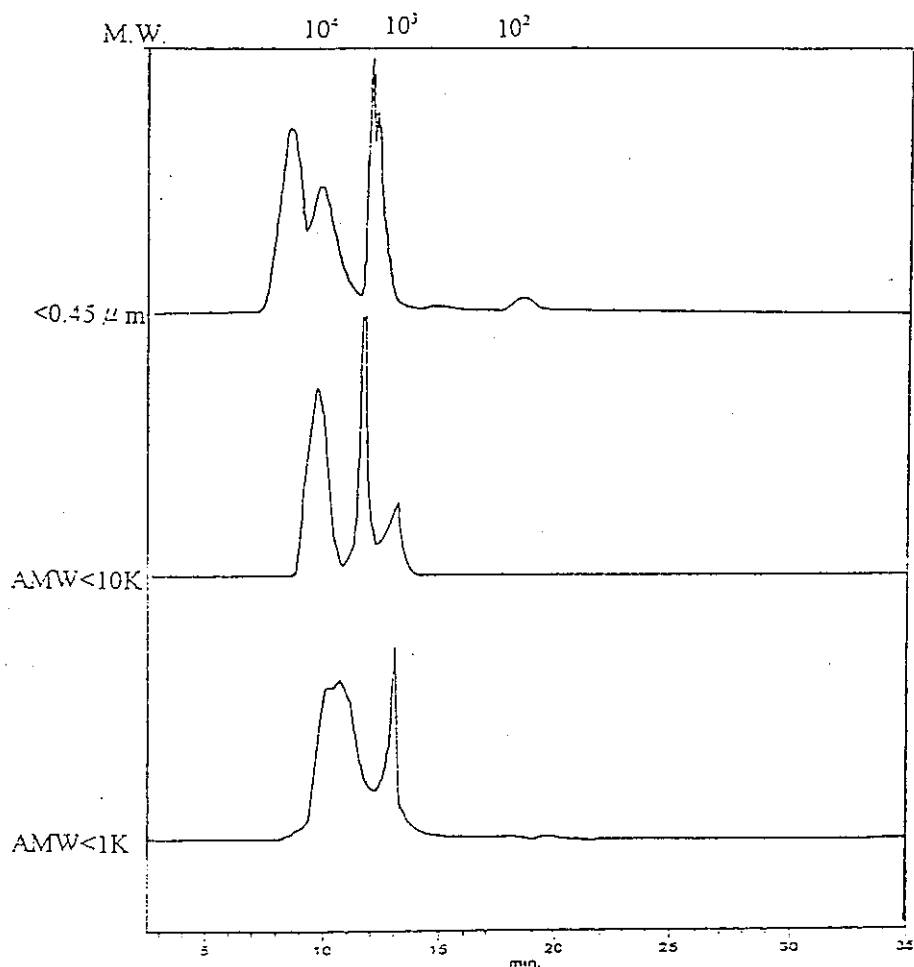


圖8 UF和GPC之關係圖

由圖8可明顯看出原溶解性腐植酸溶液(HA)分子，主要以三個波峰為主，其AMW分別為28,000，15,000及2500 daltons，經過MWCO=10K過濾後，水樣的波峰則以7,700，2,500及1,500 daltons為主，而經MWCO=1K過濾後水樣的波峰則以4,000及1,500 daltons為主。

Amy *et al.*(1987)指出同一水源所測得之AMW通常較UF系統所測得的AMW來得大，本研究所得結果亦為如此。Table 4-14為三組HA水樣($<0.45\ \mu\text{m}$ 、AMW<10K、

管壁腐蝕、貯水設備)等完整的水質模式 (water quality model)，而能正確預測微粒、化學物質與微生物在配水系統中之傳輸問題，實屬必要。一旦，所完成之模式經驗證後，就可以利用此模式來選擇降低水質惡化的有效控制策略。

本研究之目的即在以理論的方式探討配水管線末端區之流場分布與微粒 (包括細菌、濾砂及粒狀活性碳等) 的傳輸現象、沈澱特性及管線接頭空隙所形成之對稱性孔穴流對微粒捕捉與沈澱之影響。

貳、文獻回顧

一、配水系統的水質污染

直到最近幾年來，自來水在配水系統中的二次污染，才漸漸的受到重視，許多研究報告中發現配水系統本身對水質就是一負面之影響。Allen and Geldreich (1977) 曾指出影響配水管線中水質變化的原因包括：

- (1) 原水的化學性質及生物性質。
- (2) 不同原水的混合。
- (3) 淨水處理廠的處理效果。
- (4) 銜接輸送管線貯水設施與淨水廠的完整性。
- (5) 配水管線的使用年齡、使用管材、設計及維護管理情形。

受到上述五項因素的影響，配水管線中最常見的水質問題有兩種：一種是造成用戶嗅覺、味覺與視覺的不適 (例如紅水)，而引起的抱怨；另一種則是因微生物附著在配水管管壁，形成生物膜 (biofilms) 或黏泥 (slimes) 引起水質惡化。

二、配水系統的模式發展

自來水配水系統之預估模式，可分為水力模式、水質模式與管理資訊系統模式等三類，分別討論之：

1. 水力模式 (Hydraulic Model)

水力模式可分為水壓模式與流量模式。

配水管路中由於制水閘突然關閉，或抽水機起動、停止而引起流速的變化，造成壓力的變動，即為所謂的水錘 (water hammer)。林氏等(1985)指出水錘作用的現象可用動量和連續方程式所構成的方程組來描述。所得之結果可作為管路水錘研究之參考，並可應用到管路設計及評估管線是若有被破壞之危險性。

流量模式方面，目前對管網的設計可分為兩大類：一為基於先假設之條件而反複計算以達到管網流量或壓力水頭之相等，如哈迪-克勞斯法 (Hardy-Cross method)。應用此法雖可得適當的結果，但費時且不一定為最佳之結果。另一種方法則為基於數學原理之線性規劃法，依所求之函數由所有的限制條件中找出最佳之設計，再綜合數種不同分配流量法去設計已知配置之水管網，如藍氏 (1984) 利用線性規劃法解得管網中之最佳設計。對一特定管網之設計，雖可求得經濟性之效果，但管網中各水管之最佳流量分配則尚未考慮。

2. 水質模式 (Water Quality Model)

利用輸送現象原理，探討配水系統中之污染物傳輸與餘氯消耗之水質模式，可用來預測配水管中水質之變化情形，並可進而訂定出防制水質變化的策略。

AMW<1K)經GPC分析所得不同分子量所佔的面積百分比。大分子(<0.45 μ m)水樣中的有機物質，AMW=1,500~50,000 daltons共佔了92.6%，經MWCO=10K分離後，AMW=15,000~50,000 daltons的波峰，其面積百分比由原來40.6%降至16.5%。而AMW=1,500~15,000 daltons及AMW<1,500 daltons則分別增加19.6%及5.2%。再經MWCO=1K分離後，AMW=1,500~15,000 daltons及AMW<1,500 daltons各增加12.6%及3.3%。

四、結論與建議

4-1 結論

1. 腐植酸之DOC、UV₂₅₄、色度皆以10K<AMW<0.45 μ m為最高，原水之UV₂₅₄、色度以10K<AMW<0.45 μ m為最高，DOC則以1K<AMW<10K之比例為最高。
2. 腐植酸之THMFP/DOC以1K<AMW<10K最高；原水之THMFP/DOC、THAAFP/DOC、THANFP/DOC皆以AMW<1K最高。

4-2 建議

1. 由於原水中以小分子(AMW<1K)有機物之單位DOC生成DBPs最高，故若利用UF先行去除則可大量降低DBPs之生成。
2. 不同分子量大小之有機物與氯反應活性不同，因此宜對淨水單元中之大、中、小分子組成特性逐一探討，以尋求可行的改善方案。

誌謝

本研究係由國科會提供研究經費，特此誌謝。

參考文獻

樓基中，蔣本基，(1989)，"腐植酸氯化反應生成機制之研究"，第六屆自來水研討發表會論文集，pp. 163~177.

黃文鑑，陳鎧湧，葉宣顯，(1991)，"有機物在淨水程序中變動之研究"，第八屆自來水研討發表會論文集，pp. 10-1~10-18.

江弘斌，劉廷政，(1995)，"各重要國家(組織)與我國飲用水水質標準比較表"，自來水會刊雜誌，第五十三期，pp. 79~94.

Amy, G. L., M. R. Collins, C. J. Kuo, and P. H. King, (1987), "Comparing Gel Permeation Chromatography and Ultrafiltration for the Molecular Weight Characterization of Aquatic Organic Matter", *J. AWWA*, Vol. 79, No. 1, pp. 43~49.

APHA, AWWA, WPCF, (1992), "Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, Method 5710: Trihalomethane Formation (Proposed)", 18th Ed., pp. 5-44~5-50.

APHA, AWWA, WPCF, (1992), "Standard Method for the Examination of Water and Wastewater, Method 6233: Disinfection By-Products: Haloacetic Acids and Trihalomethanes", 18th Ed., pp. 6-66~6-76.

AWWA Research Foundation & KIWA, (1986), "Use of Alternative Disinfectants", Chlorination By-Products: Production and Control, pp. 174~188.

Bull, R. J., (1982), "Health Effect of Drinking Water Disinfectants and Disinfection By-Products", *E. S. & T.*, Vol. 16, No. 10, pp. 554~561.

Chang, C. N., Y. F. Hsu, S. Tojo, and A. C. Chao, (1994a), "Formation of VOCs During Chlorination of Drinking Water Containing Precursors of THMs", *Water Supply*, Vol.13, No.2, pp.119~130.

Chang, C. N., R. F. Yu, A. C. Chao, and Seishu Tojo, (1994b), "On-line Monitoring and Control of the Textile Wastewater Color Removal Process", *Wat. Sci. Tech.* Vol. 30, No. 3, pp.265~274.

Craun, G. F., R. J. Bull, R. M. Clark, J. Doull, W. Grabow, G. M. Marsh, D. A. Okum, S. Regli, M. D. Sobsey, and J. M. Symons, (1994), "Balancing Chemical and Microbial Risks of Drinking Water Disinfection, Part I. Benefits and Potential Risks", *J. Water SRT-Aqua*, Vol. 43, No. 4, pp. 192~199.

Eichelberger, J. W. and W. L. Buddle, (1988), "Method 524.2—Measurement of Purgeable Organic Compounds in Water by Capillary Column Gas Chromatograph", *U. S. Environmental Protection Agency*, Washington, D. C., pp. 285~323.

Fu, P., H. Ruiz, K. Thompson, and C. Spangenberg, (1994), "Selecting Membranes for Removing NOM and DBP Precursors", *J. AWWA*, Vol. 86, No. 12, pp. 55~71.

Gjessing, E. T., and M. James, Montogometry Consulting Engineers, Inc., (1985), "Organic", *Water Treatment Principles and Design*, pp. 352~373.

Goel, S., R. M. Hozalski, and E. J. Bouwer, (1995), "Biodegradation of NOM: Effect of NOM Source and Ozone Dose", *J. AWWA*, Vol. 87, No. 1, 90~105.

Gould, J. P., L. E. Fitchhorn, and E. Urheim, (1981), " Formation of Brominated Trihalomethanes : Extent and Kinetics" *Water Chlorination:Environmental Impact and Health Effects*, Ann. Arbor Science, pp. 297~310.

Grasso, D., Y. P. Chin, and W. J. Weber, Jr., (1990), " Structural and Behavioral Characteristics of a Commercial Humic Acid and Natural Dissolved Aquatic Organic Matter", *Chemosphere*, Vol. 21, No. 10-11, pp. 1181~1197.

Huang, W. J., and H. H. Yeh, (1993), " Organic Fractionation for Water Treatment Processes Evaluation", *J. AWWA.*, Vol. 85, No. 11, pp. 256~272.

Jacangelo, J. G., J. DeMarco, D. M. Owen, and S. J. Randtke, (1995a), "Selected Processes for Removing NOM : An Overview", *J. AWWA.*, Vol. 87, No. 1, pp. 64~77.

Jacangelo, J. G., J. M. Laine, E. W. Cummings, and S. S. Adham, (1995b), " UF with Pretreatment for Removing DBP Precursors", *J. AWWA.*, Vol. 87, No. 3, pp. 100~112.

Krasner, S. W., W. H. Glaze, H. S. Weinberg, P. A. Daniel, and I. S., Najm, (1993), " Formation and Control of Bromate During Ozonation of Waters Containing Bromide", *J. AWWA.*, Vol. 85, No. 1, pp. 73~81.

Langvik, V. A., and B. Holmbom, (1994), " Formation of Mutagenic Organic By-Products and AOX by Chlorination of Fractions of Humic Water", *Wat. Res.*, Vol. 28, No. 3, pp. 553~557.

Liao, W., (1982), " Chlorination of Aquatic Humic Substances", Prof. 7th Conf. on Wastewater Treatment Technology in Republic of China, pp. 157~169.

Lykins, B. W. Jr., and M. H. Griese, (1986), " Using Chlorine Dioxide for Trihalomethane Control", *J. AWWA.*, Vol. 78, No. 6, pp. 88~93.

Myers, A. G., (1990), " Evaluating Alternative Disinfectants for THM Control in Small Systems", *J. AWWA.*, Vol. 82, No. 6, pp. 77~84.

Rook, J. J., (1974), " Formation of Haloforms During Chlorination of Natural Waters", *Water Treatment Exam.*, Vol. 23, No. 5, pp. 234~242.

Yasumoto, M., (1994), " Japan Revises Drinking Water Quality Standard", *Asian Water & Sewage*, Vol. 10, No. Jul-Aug, pp. 12~14.

Yeh, H. H., and W. J. Huang, (1993), " The Fate of Dissolved Organics in Water Purification Processes Treating Polluted Raw Water", *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 27, No. 11, pp. 71~80.