

B-3 紫外線照射による膜濾過浄水プロセスの評価

－横浜市相模川表流水－

前澤工業（株）研究開発部 ○黄 建元
アジア工科大学環境工学科 滝沢 智
前澤工業（株）研究開発部 小林幸夫

1 まえがき

膜分離技術はいよいよ実用化の段階に入っている¹⁾。しかしながら、適用できる原水が限られること、化学洗浄に至るまでの稼動時間が比較的に短いこと、膜破断対策などいくつかの問題点が残っている²⁾。その中でも膜の目詰まり抑制方法に関する研究が先ず不可欠である^{3)～8)}。

本稿は、横浜市水道局小雀浄水場内における相模川表流水を原水として連続実験を行い、紫外線照射⁵⁾による膜濾過浄水プロセスを前塩素処理⁹⁾と比較することにより評価したものである。

2 実験方法

2. 1 パイロットプラント実験

実験装置はフローチャートを図1に示すように、3系統からなっている。MF-1と2は、原水加压ポンプ、紫外線照射設備、膜モジュール、エアーポンプからなっている。60分間隔で膜のエアースクラビング洗浄を行った。逆洗浄は行っていない。MF-1の紫外線ランプは低圧流水形（殺菌線出力9.0 W）を用いた。MF-3は、原水加压ポンプ、次亜塩素ナトリウム注入設備、膜モジュールと透過水槽、エアーコンプレッサーと除菌フィルターからなっている。MF-3膜濾過水を用いて30分間隔で膜の逆洗浄を行う。その際、エアーコンプレッサーから高圧空気を中空糸膜の内側から外側へと濾過時と逆方向に膜モジュールを通過させて、膜面の付着物などを剥離する。

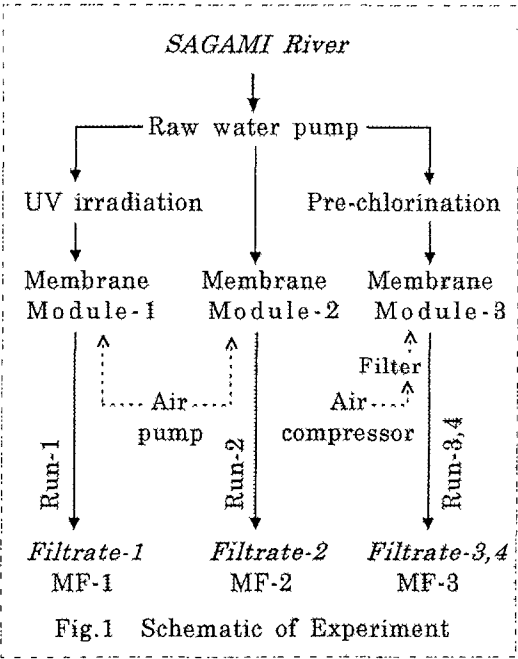
2. 2 実験条件

膜の仕様と実験条件を表1に示す。濾過ポンプはインバータを介して定流量制御される。膜濾過水流量、膜モジュール入口と出口の圧力、原水の濁度と温度及び空気洗浄圧力は10分間隔でコンピューターに記録する。20℃標準温度の膜濾過差圧はコンピューターに取り込んだ一次計測結果から計算によって求める。

一方、膜モジュール内の微生物繁殖を防ぐために膜モジュールはアルミホイルなどで覆い、直射日光が当たらないようにした。

2. 3 水質測定

水質は上水試験方法に従って週約一回の頻度で



測定した。

表1 膜の仕様と実験条件

項 目	Run-1	Run-2	Run-3	Run-4
運転日数	1～162	1～43	1～33	49～212
膜モジュール	MF-1,2		MF-3	
膜の材質	PEL		PVA	
膜の親／疎水性	親水性化			
膜の表面積m ²	10		7	
膜の孔径 μm	0.1			
膜内／外径mm	0.27/0.40		0.46/0.84	
膜の長さ m	0.74		1.0	
濾過Flux m/d	0.5		0.8	
各濾過時間min	60		30	
濾過比率	0.938		0.871	
濁質濃縮倍率	16.2		16.4	
物理洗浄方式	エアスクラビング		エア逆洗	
前処理	紫外線	—	—	塩素

3 結果と考察

3. 1 膜差圧(以下 TMP という)の挙動

原水水温, 原水濁度並びにTMPの日平均値の経時変化を図2~5に示す。

原水水温は13.1~28℃の間で, 平均21.2℃であった。原水濁度は2.6~1626度の間を推移し, 平均17.6度であったが, 瞬間では原水濁度計最大目盛300度以上の高濁度が流入することもあった。

原水に紫外線照射するRun-1の場合, 運転開始後MF-1のTMP-1は上昇速度が遅く, 通水初期から60日間以上は35 kPa以内程度で安定して運転できた。原水に紫外線照射しないRun-2の場合, 原水に紫外線照射するRun-1の場合よりもTMP-2は急激な上昇を示した。

原水に前塩素処理をしないRun-3の場合, MF-3の通水初期のTMP-3は35 kPaであった。しかし, 13日目以降急激な上昇を示し, 34日目には158 kPaになった。薬品洗浄を行い, TMP-4が運転開始時の35 kPa程度に低下したことを確認した後, Run-4を開始した。原水に塩素を0.5 mg/L添加したところ, 通水初期からの60日間は35 kPa程度で安定して運転できた。また, 運転212日目でも, TMP-4は141 kPaであった。

3. 2 前処理による膜目詰まりの抑制

前述のとおり, 紫外線照射あるいは前塩素処理を施すと, TMPの上昇を著しく抑える。

既報⁵⁾⁹⁾によると, 紫外線照射あるいは前塩素処理した場合, 膜分離ハウジング内の濃縮された水の大腸菌数及び一般細菌数は著しく低減する。紫外線照射及び前塩素処理両者の効果の共通点は殺菌効果であり, 前処理の有無による膜目詰まりの違いは, 膜表面に付着した生物量の違いに起因するものと考えられる。

3. 3 膜目詰まりの抑制過程による鉄, マンガン及び消毒副生成物の除去

図6, 7に示すように, 紫外線照射, 前塩素処理のいずれの場合も, 膜濾過水鉄及びマンガンの除去率が高くなっている, それは, 濾過経過とともに, 膜面に付着したケーキ層のためである。膜固有の孔径よりも小さい細孔を持つ堆積層がマンガン除去に重要な役割を担っていると考えられる。一方, 膜の色を比べると, 前塩素の場合, 黒褐色を急激に帯びる。この色は, 物理洗浄では除去できず, 不可逆な目詰まりの因になる可能性がある。

既報⁹⁾によると, 紫外線照射及び前塩素処理によるDOCの除去は期待できない。E₂₆₀は膜によ

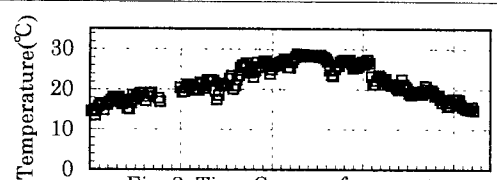


Fig. 2 Time Course of raw water temperature

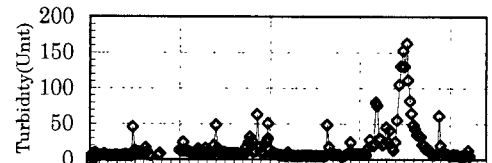


Fig. 3 Time Course of raw water turbidity

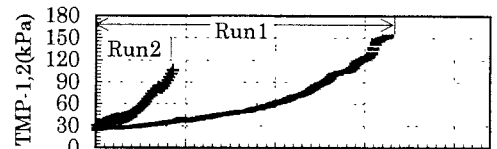


Fig. 4 Times Course of Trans-Membrane Pressure-1,2 (MF-1,2)

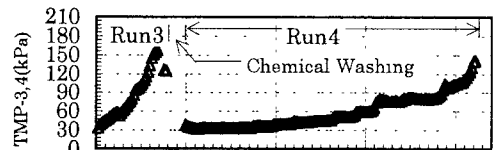


Fig. 5 Time Course of Trans-Membrane Pressure-3,4 (MF-3)

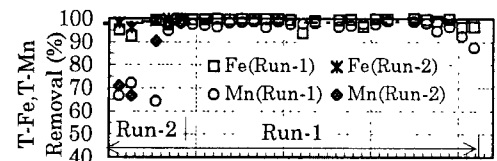


Fig. 6 Time Course of T-Fe, T-Mn Removal (MF-1,2)

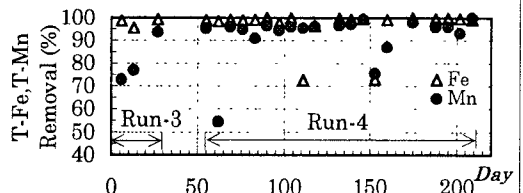


Fig. 7 Time Course of T-Fe, T-Mn Removal (MF-3)

て除去することは困難で、むしろ塩素を添加すると原水より濾過水中の濃度のほうが高くなる。

図 8, 9 はトリハロメタン生成能 (以下 THMFP という) を示す。前塩素処理によって THMFP は除去できず、紫外線照射も THMFP 低減には効果が少ない。また、紫外線照射及び前塩素処理による膜濾過水の THMFP 構成成分は、 $\text{CHCl}_3 \gg \text{CHCl}_2\text{Br} > \text{CHClBr}_2$ の順になり、 CHCl_3 の割合が高く、 CHBr_3 はほとんど生成されなかった。

表 2 のように、紫外線照射による膜濾過水の THMFP 構成成分の濃縮率 (膜濾過水/原水) はほとんど変わらないが、前塩素処理による膜濾過水の CHCl_2Br と CHClBr_2 は原水より若干高くなり、臭素系 THMFP が上昇する傾向が認められた。

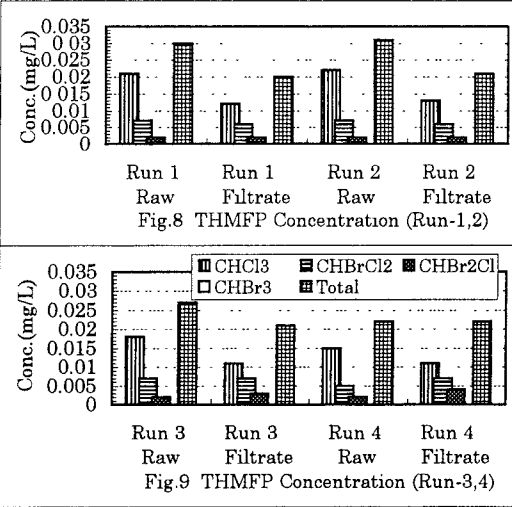


表 2 前処理違いによる THMFP 構成成分の濃縮率

構成成分		Run-1	Run-2	Run-3	Run-4
T	CHCl ₃	0.571	0.591	0.611	0.733
H	CHBrCl ₂	0.857	0.857	1	1.4
M	CHBr ₂ Cl	1	1	1.5	2
F	CHBr ₃	—	—	—	—
P	TOTAL	0.667	0.677	0.778	1

以上をまとめると、紫外線照射膜濾過プロセスは膜目詰まりを抑制し、塩素処理のように、消毒過程中に濾過水の 260nm 吸光度及び臭素系 THMFP 構成成分を増やさない、紫外線照射は膜濾過の有効な前処理の一つとして候補にあげられる。

4 結 論

本研究より以下のような結論が得られた。

- 1) 紫外線照射によって膜閉塞が抑制され、高フラックスを維持しても膜閉塞までの時間を著し

く長くできた。

- 2) 膜固有の孔径よりも小さい細孔を持つ堆積層がマンガン除去に重要な役割を担っている。膜の色を比べると、前塩素の場合、黒褐色を急激に帯びる。この色は、物理洗浄では除去できず、不可逆な目詰まりの因になる可能性がある。

- 3) 紫外線照射あるいは前塩素処理による膜濾過水の THMFP 構成成分は、 CHCl_2Br と CHClBr_2 は前塩素処理場合原水より若干高くなり、臭素系 THMFP が上昇する傾向が認められた。これに対して、紫外線照射は臭素系 THMFP 構成成分を増やさない。

[付記] 本研究にあたり貴重なご助言を頂いた埼玉大学理工学研究科藤田賢二教授に深く感謝申し上げる。また、実験場所を提供頂いた横浜市水道局小雀浄水場の方々に感謝の意を表する。

<参考文献>

- 1) 藤田賢二, 膜分離技術による浄水場の試設計, 水道協会誌, Vol.59, No.4, pp.10-18(1990)
- 2) 藤田賢二: 膜濾過技術と上水処理, 工業用水, Vol. 389, No. 2, pp. 9-16 (1991)
- 3) 藤田賢二, 滝沢 智, 外圧式中空糸膜における目詰まり過程のシミュレーションと操作方法の評価, 水道協会誌, Vol.64, No.3, pp.12-23 (1995)
- 4) WONG W.K.(1991). Application of Externally Pressured Hollow-Fiber Membrane to Wastewater Treatment for Solid Liquid Separation. Doctor Dissertation, University of Tokyo
- 5) 滝沢 智, 藤田賢二, 他, 膜分離浄水プロセスにおける紫外線照射による膜目詰まりの制御, 水環境学会誌, 第18巻第11号, pp. 86-90 (1995)
- 6) 大垣眞一郎, 滝沢 智, 他, 紫外線前処理による膜濾過浄水システムの目詰まりの制御に関する理論的考察, 土木学会環境工学研究フォーラム講演集, pp. 63-65 (1996)
- 7) HUANG J.Y., FUJITA K., et al.(1997). The Hollow-Fiber Membrane-Fouling Control in Water Purification Process by Pre-Ozonation, In Proc. 31th Ozone World Congress, Kyoto, III, 1-4.
- 8) 黄 建元, 藤田賢二, 他, 紫外線照射による外圧式MF膜目詰まり抑制, 第49回全国水道研究発表会講, pp.166-167 (1998)
- 9) 黄 建元, 藤田賢二, 他, 外圧式中空糸精密濾過膜を用いた運転特性について, 第30回日本水環境学会講, p.28 (1996)