

## 審査の結果の要旨

氏名 朴 宰 亨

精密ろ過や限外ろ過などの膜ろ過浄水プロセスは、高い除濁・除菌性能を有する新しい浄水処理プロセスである。膜ろ過浄水プロセスにおける課題の一つに膜ファウリングの問題がある。膜ファウリングによる膜ろ過性能の低下は、膜の薬品洗浄や交換頻度が増加するなどプロセスの維持管理面で重要な制限になる。そこで、朴宰亨君は精密ろ過における膜ファウリングを低減するため、高速生物ろ過による前処理効果を長期間のパイロットプラント実験により実証した。生物ろ過は、ろ過塔に充填した担体により原水中の懸濁物を物理的に捕獲・除去するとともに、担体表面に微生物が付着し、その働きによって水処理を行う生物膜プロセスの一つである。本研究で用いた生物ろ過は、ろ過速度 300m/d 以上の高速度でも安定した除濁効果が得られるため、高濁度原水の前処理プロセスとして用いられる。また、担体に付着した微生物の働きにより、アンモニア性窒素や陰イオン界面活性剤、マンガンを鉄などの除去が期待できる。

実験装置は、東京都水道局玉川浄水場内の高度浄水実験施設に設置した生物ろ過・膜ろ過システムを用いた。生物ろ過による効果を実証するために、前処理なしの原水系 (MF 系列) と生物ろ過前処理を有する生物ろ過系 (BF/MF 系列) とを同時に運転し、比較した。

生物ろ過槽は円筒型ポリプロピレン担体を充填しており、ろ過速度は 320m/d、水理学的滞留時間は約 6.3 分であった。また、ろ層の目詰まりによる閉塞の防止のため週 1 回の頻度でろ過層の洗浄を行った。

膜ろ過には、公称孔径 0.1 $\mu\text{m}$  の中空糸精密ろ過膜を用い、吸引による全量ろ過を行った。膜ろ過流束 (filtration flux) は 0.5m/d であり、30 分間ろ過を行った後空気泡及び逆流水による物理洗浄を行うろ過周期で運転した。また、逆流水に塩素を添加し、膜表面における微生物の増殖を抑制した。

2000 年 4 月から 12 月まで約 9 ヶ月間の連続実験を通じて、生物ろ過前処理なしの原水系列が 9 ヶ月後にファウリングの進行でろ過が出来なくなった一方、生物ろ過系列は膜差圧 28kPa 以下で安定的にろ過が行われた。この結果から、生物ろ過前処理による膜ファウ

リング低減効果が実証された。

生物ろ過による膜ファウリングの低減効果は、実験期間中行った水質分析からマンガンや鉄、アルミニウムなどの 3 金属の除去効果によるものと推測された。生物ろ過は有機物の除去効果が殆どなかったが、金属類についてはマンガン 89%、鉄 69%、アルミニウム 64%の高い除去率を示した。生物ろ過によるこれら 3 金属の主要な除去メカニズムとしては、3 金属の多くが 0.1 $\mu\text{m}$  以上の懸濁態だったことから、物理的な抑留効果が考えられる。各プロセスにおける金属類濃度から求めた物質収支により、MF 系列ではこれら 3 金属の膜付着量が BF/MF 系列よりも多かった。

ろ過実験終了後、使用した両系列の汚染膜を用いて、薬品洗浄による抽出実験を行った。その結果、MF 系列に多く付着していた膜汚染物質は、TOC とマンガン、鉄、シリカ、アルミニウム、カルシウムであった。これにより、生物ろ過によるマンガンや鉄、アルミニウムの除去が膜ファウリング低減に重要な役割を果たしていたことが実証された。

膜汚染の薬品洗浄効果を調べるために、両系列の使用済み汚染膜から小型モジュールを製作した。製作したモジュールを 6 種類の薬品洗浄条件で洗浄した結果、最も洗浄効果が高かったのはクエン酸と EDTA による洗浄であり、これらの薬品はキレート効果により金属類の除去をおこなうため洗浄効果が高いものと推定された。薬品の洗浄温度や洗浄時間、濃度の増加により洗浄効果が上昇する傾向であった。しかし、これら洗浄条件の変更によっても塩酸や過酸化水素などによるろ過流束の回復は低く、薬品洗浄においては洗浄薬品の選定が重要であると思われる。

また、MF 系列では最初のクエン酸洗浄により 8 割近くのろ過流束が回復した一方、BF/MF 系列では薬品洗浄順により徐々に回復する傾向がみられた。これは、膜ファウリング物質を構成している金属類の付着量と成分割合が異なっており、MF 系列での高い初期洗浄効果は、付着量が多いマンガンや鉄などがクエン酸により効果的に除去されたためであった。一方、BF/MF 系列では、TOC やシリカの付着量が多いために、アルカリによる洗浄効果が高かった。

連続実験時の U 字型膜モジュールの内側から製作した小型膜モジュールは、外側の膜より純水流束が高かった。しかし、各膜エレメントごとに分析した汚染物の付着量は、むしろ流束が高い内側の膜に多く、流束の小さい外側の膜に少なかった。このことから、膜ファウリングによるろ過抵抗の低下は、付着物質の量だけではなくその結合関係などが影響していると推察された。

これらの研究から得られた知見は、膜ろ過浄水処理の膜ファウリング制御に大きく貢献すると考えられる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。