

論文の内容の要旨

論文題目 DEVELOPMENT OF POWDERED ACTIVATED
CARBON – MICROFILTRATION (PAC-MF)
MEMBRANE SYSTEM FOR WATER TREATMENT
(膜分離型高濃度粉末活性炭システムによる水処理法の開発)

氏名 カーン モヒウディン モハルド タイムール
Khan, Mohiuddin Md. Taimur

近年、浄水および下水処理において膜処理が導入されるようになってきている。その理由としては、(1) 水質基準が強化されることに備えること、(2) 原水水質の悪化に対する策、(3) 水の再利用の促進、(4) 省スペース、(5) 膜分離技術の進展による維持管理コストの低減、などが挙げられる。膜処理による水質は概して良く、化学薬品をあまり使わない、エネルギー消費が少ないなどのメリットもある。ただし、これまでは高圧を要するナノろ過膜 (NF) や逆浸透膜 (RO) を用いない限り、フミン質や臭気物質などの溶存性物質は除去できないと考えられてきた。このような溶存性有機物なども除去できる粉末活性炭 (PAC) と精密ろ過膜 (MF) を組み合わせた高度浄水処理システムの開発が、本論文の課題である。

多摩川 (東京) の水を原水とし、前処理としてポリプロピレン担体を用いた生物処理を行ない、粉末活性炭膜分離水処理装置 (PAC-MF システム) を用いた実験を行なった。前処理をしていない原水も比較のために実験に用いた。PAC-MF システムには 40g/L の PAC を公称孔径 $0.1\mu\text{m}$ の親水性ポリエチレン中空糸膜に組み合わせたものである。高濃度の PAC を入れることによって、除去対象物質の除去効率が高くなると同時に膜分離の運転可能時間が長くなるという効果がある。

この実験は、2 回に分けて行なわれた。一回目は、並列して 3 個の装置を運転し、水理学的滞留時間 (HRT) をすべて 4.8 時間とした。PAC なしの対照装置、生物ろ過水を原水とするものおよび河川水を原水としてそれぞれ PAC 40g/L を入れた装置の 3 条件を同時に運転して比較した。二回目は、HRT を 2.4 時間および 1.2 時間とし、PAC なしの対照装置と、生物ろ過の有無の条件と HRT の 2 条件を組み合わせて、合計 5 個の装置を並列して運転したものである。

1 回目の実験では、197 日の運転期間の間に、河川水を原水としている PAC なしのコントロールはファウリングが 6 回生じたが、同じ原水でも PAC がある装置ではファウリングが 3 回しか生じなかった。また、生物ろ過の前処理を行なった水を原水として用いている装置では、2 回しかファウリングが生じなかった。2 回目の実験では、HRT2.4 時間の PAC なしのコントロールは 4 回、HRT2.4 時間で河川水もしくは生物ろ過をしたものを原水とした装置はそれぞれ 3 回および 2 回のファウリングが生じた。さらに、HRT1.2 時間の系列では、生物ろ過の有無に関わらず 4 回のファウリングが生じた。HRT 一定の条件では PAC がある方が運転可能時間が長く、また HRT を長くすることによって運転可能時間を長くすることができた。また、以上の運転期間において、前処理としての生物ろ過による SS の平均除去率は 70%以上であり、PAC-MF の処理水についても生物ろ過したものを原水とした場合によりよい水質が得られた。

河川水を原水とした PAC なしの装置においては、SS の蓄積がもっとも大きかった。PAC のある装置においては、槽内の SS の蓄積画相対的に小さかった。TOC の除去率についても、2 回目の実験において 70%が除去されたが、PAC なしの装置では約 30%しか除去されていなかった。PAC 表面において、有機物の吸着と同時に分解も生じていることがわかった。MF のみによっては除去されない TOC が、PAC によって吸着され、そして分解され、結果として TOC 濃度の非常に低い処理水が得られたものと考えられる。

粒子によるファウリングは一つの課題であるが、PAC の粒径は、長時間の連続曝気によって相対的に小さくなった。装置内の PAC のサイズは $1\text{-}10\ \mu\text{m}$ の径をもつものが多くなっていくことが観察された。サイズの変化は曝気および粒子同士の相互作用によると考えられる。粒子径が小さくなることにより、ケーキ層が圧縮されやすくなってケーキ層抵抗が上昇したと考えられる。

総細菌数は、PAC を組み込んだ装置の方が PAC なしの対照装置より常に多かった。PAC の表面が微生物の生育場所として好適であったと考えられる。槽内に蓄積された糖結合性タンパクであるレクチンを調べた結果、同じ原水でも PAC がある場合とない場合では、異なるタイプのレクチンが検出された。生物ろ過の有無によっても検出されるレクチンは大きく異なることがわかった。タンパク質は多糖よりも高濃度で存在するので、ファウリングに大きな影響を与えている可能性がある。また、HRT が長い場合は、層内および膜においてタンパク質の濃度が比較的高くなることがわかった。

3 次元蛍光スペクトル解析を行ない、フミン酸とフルボ酸のピークが見られた。分子量の分析による結果から、槽内には低分子のものが多いが、PAC なしの対照装置の膜抽出物質からは $30000\ \text{Da}$ 以上の高分子が見られた。これらの高分子物質がファウリングに影響している可能性がある。PAC のある装置では、 $2000\ \text{Da}$ 以下のものが多く、高分子の物質は PAC に良く吸着していることがわかった。長期運転後にジオスミンを投入した実験では、PAC-MF システムによって 99%以上の除去が達成できることがわかり、PAC のジオスミン吸着能が長く継続することが確かめられた。

実験期間において頻繁に見られた活性炭同士の付着による膜のケーキ層抵抗の上昇の原因を調べるため、次亜塩素酸ナトリウム、オゾンおよび水酸化ナトリウムなどによる抽出により、活性炭に付着している物質の確認、ならびに、金属元素についても分析した。また、膜本体の形状について調べた結果、ほぼ 200 日間にわたる運転によっても膜の孔径にほとんど変化がなく、引張り強度も劣化していないことを確認した。

以上の結果および既存の知見から、PAC・MF システムについて以下の結論を導くことができる。

PAC の存在により、膜のファウリングが生じにくくなり、より長時間の連続運転を可能とする。PAC との接触時間に相当する水理的滞留時間 (HRT) が連続運転可能期間を支配する一つの因子であり、適度に十分な HRT を与える必要がある。PAC の存在によって膜分離槽内での SS の蓄積が緩和され、TOC の除去率が向上する。前処理である生物ろ過によって SS をある程度除去することが可能であり、また生物ろ過前処理の導入は PAC・MF システムの運転可能時間の長期化につながる事が明らかとなった。