

氏 名	ヴィクター シホロ ムハンディキ VICTOR SHIHOLO MUHANDIKI
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 2032 号
学位授与の日付	平成 13 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	工 学 研 究 科 環 境 地 球 工 学 専 攻
学位論文題目	REMOVAL OF HYDROPHOBIC MICRO - ORGANIC POLLUTANTS FROM THE EFFLUENT OF MUNICIPAL WASTEWATER TREATMENT PLANT BY UPFLOW COALESCENCE FILTRATION (下水処理水に含まれる疎水性微量有機汚染物質の上向流コアレッシングろ過による吸着除去)
論文調査委員	(主 査) 教 授 松 井 三 郎 教 授 森 澤 眞 輔 教 授 津 野 洋

論 文 内 容 の 要 旨

下水二次処理水は、水資源の乏しい乾燥地域において、農業用水源としてその適用が期待されている。しかし、下水二次処理水には多種多様な有機物質が存在しており、中でも、疎水性有機物質（HOCs）は発がん性、変異原性等の毒性の面から大きな関心事となっている。このため、下水二次処理水の農業用水への適用に対しては、HOCsの除去は必要不可欠な課題である。

本論文は、合成高分子であるポリプロピレン（PPL）粒子を HOCs の吸着処理剤として適用するため、PPL 粒子を直接使用した場合あるいは PPL 粒子の表面に n-ヘキサンをコーティングした場合（PPL-HEX）の HOCs の吸着能の評価結果を取りまとめたものである。さらに、本論文ではカラムに PPL-HEX を充填し、上向流で排水中の HOCs を除去するという新しい処理方法（上向流コアレッシングろ過法）を提案し、そのシステムの処理特性の検討も行っている。この処理システムでは、PPL 粒子の表面にコーティングされた n-ヘキサンの一部はコアレッシングされた後、カラム出口から流出することなく最上部に蓄積するため、使用済み n-ヘキサンの回収が可能である。本論文は 7 章より構成されている。

第一章は緒論であり、本論文の背景および研究の目的、意義付けを明らかにしている。

第二章では、文献考察を行っている。まず、排水の再利用の必要性とその農業用水への適用に対する現状の課題について示している。また、吸着剤として PPL を用いる利点についてまとめている。

第三章は、実験方法についての章である。処理対象物質として選定した 3 種の多環式芳香族炭化水素（PAHs）である Naphthalene, Fluorene および Phenanthrene の物性を示している。また、本研究で行った回分式吸着実験およびカラムを用いた連続式吸着実験の実験方法についてまとめている。

第四章では、連続式吸着実験における HOCs の吸着モデルとして採用した 3 種のモデル（局所平衡モデル、化学速度論モデルおよび物理速度論モデル）について考察している。本論文では、これらを吸着剤の破過曲線をモデル化するために用いている。

第五章では、実験結果をまとめている。ここで、回分式吸着実験からは次の結果が得られている。

1. PAHs の PPL-HEX への吸着能（吸着係数 K_s° ）は PPL のそれに比較して約 2 倍以上大きい。 K_s° と n-ヘキサン／水分分配係数（ K_{hw} ）とは相関関係にある。
2. PAHs の PPL-HEX への吸着速度は、PPL へのそれより約 6 倍速い。上記 1 の結果と合わせると、PPL, HEX は PPL に比べて、HOCs の吸着剤として優れているといえる。
3. PPL および PPL-HEX 共に、水相 pH およびイオン強度の PAHs 除去効率への影響は認められない。
4. フミン酸は PPL および PPL-HEX には吸着されず、フミン酸共存の PAHs の吸着への影響は認められない。

また、連続式収着実験からは、次の結果が得られている。

1. PAHs の除去効率はカラムの水理学的滞留時間 (HRT) に大きく依存する。つまり、本処理システムでは HRT が主要な設計因子となる。収着剤の破過は、PPL の方が PPL-HEX よりも速く達する。
2. 下水二次処理水中の溶存有機物 (DOM) は PPL および PPL/HEX のいずれにも吸着しない。そのため、下水二次処理水を用いた場合の PAHs の破過曲線は DOM を含まない水道水を用いた場合のそれと同様であった。
3. PPL-HEX の実験中、n-ヘキサン処理水への溶解はほとんど認められない。すなわち、n-ヘキサンの溶解による HOCs の流出はほとんどない。
4. コアレッシングによる n-ヘキサンのカラム上部への蓄積量は処理流速に依存し、処理流速の増大に伴って増加する。処理流速を低く保つことで n-ヘキサンの損失が少なくなり、その結果、コアレッシングによる HOCs の除去効率の低下を防ぐことができる。

第六章では、第四章で提示した数値モデルと第五章で得られた連続式収着実験の結果との比較検討を行っている。3 種のモデルのうち、化学速度論モデルが連続実験における収着剤の破過を最もよく表現できることを示している。そして、このモデル中に存在する 2 つの重要なパラメータ (HOCs の収着剤への収着能および収着速度に関する係数) と HRT との関係を求めることで、ベンチスケールの実験データを基にしてパイロットプラントあるいは実プラントの設計および適用が可能であることを示している。

第七章は本論文で得られた成果についてまとめ、今後の研究展開に言及することによって終論としている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、ポリプロピレン (PPL) 粒子を下水中の疎水性有機物 (HOCs) の選択収着処理剤として利用するため、PPL を直接使用、あるいは PPL の表面に n-ヘキサンをコーティングした場合 (PPL-HEX) の HOCs の収着能の評価について研究したものである。また、本研究は上向流コアレッシングろ過法と名付けた新たな高度処理法の実験的に評価したものであり、下水再利用システムの確立のために有用な知見を提供している。本論文で得られた主な成果は以下のように要約される。

1. PPL-HEX とすることで、PPL を直接利用する場合に比べて HOCs の収着容量 (収着係数 K_s) は約 2 倍以上に増大すること、また、収着速度も速くなることを示すことにより、PPL, HEX の有効性を実証している。
2. 溶存有機物 (DOM) は、PPL および PPL-HEX のいずれにも吸着せず、DOM 共存による HOCs の収着への影響は認められないことを示した。この結果は、HOCs の除去を目的とした場合、DOM による HOCs の除去効率の低下はないということを示すものであり、PPL の選択収着剤としての利点を実証するものである。
3. カラムを用いた連続式収着実験から、HOCs の除去効率は水理学的滞留時間 (HRT) に大きく依存すること、また、n-ヘキサンのコアレッシング量は処理流速に依存することを明らかにした。これらの関係は、本処理システムを運転操作する上で有用な結果である。
4. 連続式収着実験における PPL および PPL-HEX の破過は、化学速度論モデルを用いることでモデル化できることを示した。さらに、モデル上に存在する 2 つのパラメータを決定することでベンチスケールの実験結果をパイロットプラント (あるいは実プラント) へと適用することが可能であることを示している。

以上、これらの研究成果は、上向流コアレッシングろ過法という新たな下水処理法の適用性を証明するものであり、その学術上、実用上の価値は少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 13 年 1 月 23 日、論文内容とそれに関連した試問を行った結果、合格と認めた。