

氏 名	金 鍾 瑛
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	工 博 第 1868 号
学位授与の日付	平成 11 年 9 月 24 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 工 学 専 攻
学位論文題目	PRODUCTION EFFICIENCY AND MECHANISM ANALYSIS OF MEMBRANE-COUPLED ANAEROBIC ORGANIC ACID FERMENTER (膜分離嫌気性有機酸発酵槽の酸生成効率とメカニズム解析)

論文調査委員 (主 査) 教授 宗 宮 功 教授 寺 島 泰 教授 津 野 洋

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、有機酸生成効率を高めるために膜分離を組合せた嫌気性有機酸発酵槽の開発を目指したもので、制御性と発酵効率とを実験で確かめ、そのメカニズムと設計法を論じている。基質として人工基質および実流入下水の凝集沈殿汚泥を使い、セラミック無機膜による分離工程を付加した有機酸発酵槽を設計し、機能評価に供している。得られた研究成果の概要は以下のように6章にまとめられている。

第1章は序論であり、本研究の位置付け、研究の背景および目的について言及し、膜分離嫌気性有機酸発酵法の特性、従来のプロセスとの比較並びに操作因子による発酵基礎特性などに関する文献考察を行ったものである。

第2章では、凝集操作における各種無機凝集剤並びに高分子凝集剤の添加量を変化させ、添加物の有機酸発酵過程での阻害効果を回分実験により検討している。その結果、無機・高分子凝集剤の添加量を変化させた有機酸発酵実験から、塩鉄より、アルミニウム塩の方が阻害作用が強いことを示し、無添加系列と比べて有機酸転換率を10%以上低下させる金属負荷量はアルミニウム塩で46 (mgAl/L) 以上および鉄塩で120 (mgFe/L) 以上であることを示した。無添加系列での有機酸転換率が48%であったものと比べ、高分子凝集剤102 (mg/L) 以上の投入では、有機酸転換率が2%以下となり、大きな阻害がみられることを示した。さらに、有機物組成のうち糖類よりも蛋白質成分の方が強く無機凝集剤の発酵阻害を受けることを示した。

第3章では、人工基質を用い、操作因子による有機酸発酵の基礎特性を回分実験により検討している。利用した微生物群の最適な pH および温度は5.5～6.5 および30～35℃であり、最適 SRT は8日であることが明らかにした。また、有機酸生成への律速因子となる基質はセルロース成分であることが示した。適正な処理システムを形成する際の微生物群に関する資料を得るため、反応器内の利用細菌群を分離培養し、主要な細菌群として通性嫌気性細菌群並びに嫌気性微生物からなる20種類を分離同定している。

第4章では、膜分離付有機酸発酵槽に関する基礎実験を実施した結果を整理している。まず、膜孔径による透過水質の比較・分析を行い、有機酸回収工程では1μm程度の孔径を有する膜が適正であることを示した。またオゾン注入によるフラックスの低下防止および効率的な実験的に検討し、間欠オゾン処理法が最も効果的であることを示した。後半部では、各々のHRTにおける定常状態時の物質収支より酸発酵における適正HRTについて考察し、さらに有機酸発酵過程で副次的に生産されアンモニア性窒素の処理に関し、ゼオライトによる吸着処理を実施し、その特性の把握並びに設計・操作因子の検討を行っている。これらの結果から、有機酸を効率的に回収するには、孔径1μm程度の膜を適用するのが望ましいこと、膜ろ過能の劣化を防止するためにオゾン注入による膜面洗浄方式を導入し、2時間ろ過+20分洗浄と言う間欠注入方式でより高い有機物回収率やフラックス(平均1.17 m/d)の維持が可能であることを示した。また、SRT(10日)という条件下では、HRTが1/3(日)と1/2(日)の条件でより高い有機物の回収率を得ている。アンモニア性窒素除去のためのカ

ラム実験から、 $SV = 0.4$ (1/hr) でゼオライト充填塔を通水させると約 92 時間にわたって水処理系へのアンモニア性窒素の返送濃度を 1.0 (mg/L) 以下にすることが出来ることを明らかにした。実施設を想定すると、さらに改善を要する操作であることを指摘している。

第 5 章では、膜分離嫌気性有機酸発酵プロセスによる凝集生汚泥からの溶解性有機物の回収を再現しうる数値モデルを作成し、開発した数値モデルを用いて設計・操作因子に関する数値実験を繰り返している。なお、微生物が関与する有機物の複雑な分解過程をより簡単に、かつ正確に予測できる経験モデルを構築し、その有効性に関しても検討を行った。有機物負荷が $0.1 \sim 1$ ($\text{kgC}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$) の範囲では加水分解速度定数が大きいほど有機物負荷の変動による有機酸回収率への影響が大きかった。加水分解速度定数が 0.01 (1/hr) 程度の場合、40% 以上の有機酸回収率を得るためには有機物負荷を 1.0 ($\text{kgC}/\text{m}^3 \cdot \text{d}$) 以上にすることがあることが明らかになった。さらに、SRT が 10 日の一定条件下で、有機物回収率 40% 以上を満たすためには水理学的滞留時間 (HRT) とろ液率をそれぞれ 1 日以下、0.9 以上にすることがあることが分かった。なお、実験結果およびいくつかの統計的手法により得られた経験式により、設定目標を達成するための各々の因子に関する最適値が求められ、その有効性を明らかにした。この経験式により、操作因子としてのろ液率と HLR の管理が有用溶解性有機物の回収に重要であることが示唆された。

第 6 章は結論であり、本論文で得られた成果を要約している。

資源の再利用および廃棄量の低減の観点から、本研究で取り上げた膜分離およびオゾン注入装置を適用した嫌気性有機酸発酵プロセスの開発、並びにその設計・操作因子の提示は工学的に重要であると考えられる。なお、下水以外の有機性廃棄物への拡張とその設計・操作因子の確立が今後の課題としてあげられる。また、下水の凝集生汚泥の有機酸発酵に伴って生成するアンモニア性窒素の除去方法に関して、さらなる検討が必要である。また、反応装置のスケールアップおよび浸漬型膜分離装置への改良などの検討も今後の課題となる。

論文審査の結果の要旨

資源再利用とより豊かな環境を求め、生活のあり方、利用する施設、材料あるいは技術などあらゆるものが問い直されつつある。本研究は、従来の下水処理の概念から離れ、既存施設と同じ敷地内で高度処理を完結する処理法の開発において、下水の凝集処理汚泥から有機酸を効率的に回収するプロセスの開発を目指したもので、得られた主な成果は次の通りである。

1. 下水中の有機物を凝集沈殿操作で回収し、その凝集汚泥から効率的に有機酸を回収する膜付き有機酸発酵プロセスを開発し、操作条件により有機酸回収率を 45% 程度とすることが可能であることを示した。

2. 有機酸発酵は利用凝集剤の質と量によって阻害作用の度合いが異なり、利用可能凝集剤に限界があることを示し、有機酸発酵槽の最適運転条件は、利用した生物群では至適 pH 及び温度は $5.5 \sim 6.5$ 、及び $30 \sim 35^\circ\text{C}$ であり、最適 SRT は 8 日であることを示した。

3. 膜分離操作にセラミック膜 (孔径 $1.0 \mu\text{m}$) を利用し、膜機能劣化を間欠的オゾン注入方式で回復するプロセスを開発し、有機物の高回収率と高フラックス ($1.17 \text{ m}/\text{d}$) を維持出来ることを示した。

4. 膜分離有機酸発酵過程に関する数値モデルを同定し、数値実験の結果から酸発酵過程の操作設計因子の特性を検討し、有機酸回収に関する操作因子として初期有機物濃度、HRT (HLR)、ろ過回収率などが主要であり、それらの適切な操作範囲と操作性・処理性に及ぼす影響度合いを定量化記した。

以上を要するに、本論文は資源有効利用と高度処理を目指す下水処理において、有機酸発酵槽とセラミック膜分離工程とを組み合わせた有機酸回収プロセスの開発を試みたものであり、得られた成果は学術上、実際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文としての価値あるものと認める。また平成 11 年 7 月 19 日、論文内容とそれに関連する試問を行った結果、合格と認めた。