

N-11 インドネシアの浄水処理における 膜ろ過の活用に向けた取り組み

○三好 太郎^{1*}・Tjandra SETIADI²・Agus Jatnika EFFENDI²・前田 寛之³
塚原 隆史³・Hosang YI³・Hyoyong JUN³・斉藤 正男⁴・松山 秀人¹

¹神戸大学大学院工学研究科 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

²Center for Environmental Studies, Institut Teknologi Bandung (Jl. Sangkuriang 42 A, Bandung 40135, Indonesia)

³旭化成ケミカルズ(株)膜・水処理事業部 (〒416-8501 富士市駿島2-1)

⁴神戸大学連携創造本部 (〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1)

* E-mail: t-miyoshi@pegasus.kobe-u.ac.jp

1. はじめに

膜を用いた浄水処理は、濁質成分の完全な除去や処理装置の省スペース性といった観点から注目を集めている。また、膜分離技術は、凝集沈殿-砂ろ過を基盤とする既存の浄水処理法と比較して工場でのユニット化が容易であり、小規模の処理施設の建設が容易である。以上のことから、膜分離技術は小規模分散型の浄水処理システムにおいては基幹技術となるものと期待されている。しかし、現段階においては、膜分離技術は運転及び維持管理コストが既存浄水処理法と比較して高いと認識されており、広範な普及には至っていない。上述した膜分離技術の長所を活用するためにも、既存浄水処理法と比較して、コスト的に膜分離技術が優位に立てる膜の運用方法を確立することが著しく重要である。

インドネシアにおいては、上水道普及率が2010年段階で31%¹⁾と低く、安全な水へアクセスできる住民数のさらなる増加が望まれている。一方で、水の大量処理・大量輸送を前提とした既存の浄水処理システムを想定した場合、大規模なパイプラインの新設が不可避であり、費用負担の観点から実現は不可能に近いと言わざるを得ない。インドネシアにおける上水道普及率の向上に向けては、膜分離技術を基盤とする小規模分散型の浄水処理システムに期待されるところが大きい。

インドネシアにおける浄水処理に着目すると、現段階においては、凝集沈殿-砂ろ過を基盤とする浄水処理が中心となっている。しかし、水源となる現地の河川は、一般的に濁度が著しく高く、かつ河川下流部においては下水処理水、あるいは場合によっては未処理下水の混入に起因する有機物汚濁が進行している場合も多く、浄水処理は困難を極めている。高濁度原水を、既存の凝集沈

殿-砂ろ過法にて処理をする際には、十分な凝集状態を達成するために多量の凝集剤を添加する必要がある。また、砂ろ過池への負荷も増大することから、砂層の洗浄頻度も増加してしまう。これらは、インドネシアにおける浄水処理にかかるコストを大幅に引き上げる要因となっている。一方で、膜を用いた場合においては、凝集を行うことなく濁質成分を完全に除去することが可能である。すなわち、凝集剤を添加しない、あるいは添加する場合においても、既存法と比較して圧倒的に添加量の低い条件下で膜ろ過を実施することができれば、膜を利用することによって薬品使用量を大幅に低減することができるようになる可能性が考えられる。

高濁度の河川水を膜ろ過する際には、膜の閉塞(膜ファウリング)が発生しやすくなると予想されることから、適切な膜ファウリング抑制対策を講じることが必要である。通常、日本国内の河川のように、比較的清澄な原水を膜ろ過する際には、膜透過水fluxを高く設定しやすいことから、中空糸膜をケーシング内に配置した加圧型の膜モジュールが好まれる。しかし、加圧型膜モジュールは、ケーシング内に濁質が蓄積しやすいことから、高濁度原水の膜ろ過には適していない。代わりに、モジュール内に濁質が蓄積しにくい浸漬型の膜モジュールを使用した場合、膜透過水fluxを高く設定することは困難となるものの、原水の濁度が高い場合においても安定した膜ろ過を継続することができる可能性が考えられる。

本研究では、膜を適用することによる凝集剤使用量低減効果を検証した。バンドン市内の実際の水道原水を用いて、凝集剤を全く添加せずにパイロットスケール膜ろ過装置の連続運転を実施し、運転期間中の膜ファウリングの発生度合及び処理水質の変化を追跡した。得られた結果に基づき、インドネシアにおける膜を用いた浄水処

理の実用可能性について検討を行う。

2. 実験方法

(1) パイロットスケール浸漬膜ろ過装置の連続運転

浸漬型膜モジュールを装着したパイロットスケール膜ろ過装置をバンドン水道公社が運用している浄水場(PDAM Bandung)の敷地内に設置し、同処理場の水道原水を用いて連続運転を実施した。原水は、目幅が0.5 mmの保護フィルターを通過させたのち、凝集剤を添加することなく、膜浸漬槽に導入した。膜浸漬槽内には、膜面積が50 m²の膜モジュールを1本浸漬し、吸引ポンプを用いて膜ろ過を実施した。使用した膜はポリフッ化ビニリデン(PVDF)製の精密ろ過(MF)膜(旭化成ケミカルズ(株)製)であり、膜の公称孔径は0.08 μmである。膜ろ過においては、ろ過-逆洗及び曝気-濃縮水引き抜き及び原水再導入から構成される運転サイクルを繰り返し実施した。上記の定期的な逆洗による物理洗浄に加えて、運転中、簡易的な薬品洗浄を定期的に行った。

本研究においては、運転条件を変更しながら3回の連続実験(それぞれRun 1~3と称す)を実施した。表-1に各運転期間の運転条件を示す。後述するように、Run 1の運転条件下では非常に安定した膜ろ過を継続することが可能であった。そのため、Run 2以降においては、膜透過水fluxを増加させ、より運転コストの低い運転条件下で安定運転ができるかどうかを検証した。

(2) コスト試算

既存浄水処理システム及び浸漬膜ろ過を基盤とする新規水処理システムの運転コストは現地水処理事業者より聞き取りを行った原単価(薬品代、電気代等)に基づき試算した。

(3) 分析手法

原水及び処理水中の鉄及びマンガンの濃度は、インドネシア水質試験法に準拠して測定した。原水及び処理水の濁度測定にはオンライン濁度計(HACH Surface Scatter 6及びHACH Filter Trak 66)を使用した。

表-1 各運転期間における運転条件

	Membrane flux	Recovery
	LMH	%
Run 1	45	94.6
Run 2	50	94.7
Run 3	55	95.6

3. 結果と考察

(1) 処理水質

図-1に原水及び処理水の濁度を示す。原水濁度に着目すると、運転期間中、突発的な濁度上昇が頻繁に観測されていたことがわかる。一方で、処理水の濁度は運転期間中を通じてほとんど上昇することがなく、常にインドネシアの水道水質基準(5 NTU)を下回っていた。原水濁度の変動は、処理水質に対しては何ら影響を及ぼしていなかったことが明らかである。

一方、処理水中の鉄及びマンガンの濃度(図-2)に着目すると、いずれの成分も、特に運転期間の前半において、処理水中の濃度が突発的に上昇する点が散見される。本研究においては、膜ろ過の前処理を実施していないことから、原水中に溶存態の鉄やマンガン(Fe(II)及びMn(II))が多く含まれている場合においては、除去が不十分となっていたものと考えられる。鉄及びマンガンのいずれについても、インドネシアの水道水質基準(鉄: 0.3 mg/L、マンガン: 0.4 mg/L)を超過する点も認められていることから、原水水質に応じた適切な前処理を実施する必要があるといえる。

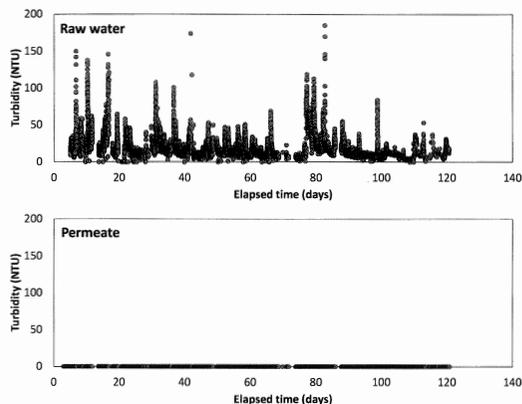


図-1 原水及び処理水中濁度の経時変化

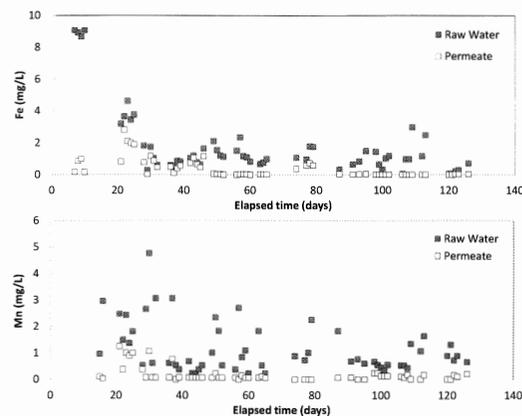


図-2 原水及び処理水中鉄及びマンガン濃度の経時変化

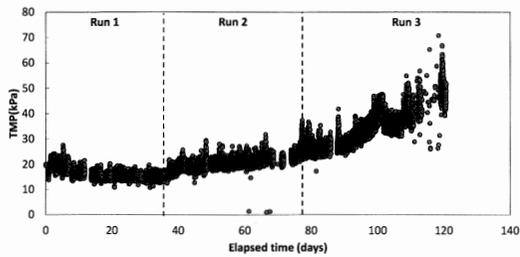


図-3 TMPの経時変化

(2) 膜ファウリング

図-3に連続運転期間中のTMPの経時変化を示す。Run 1においては、TMPがほとんど増加せず、膜ろ過を非常に安定して継続することができた。このことは、膜の洗浄が過剰であったことを示すものであり、本実験で使用した河川水においては、より膜洗浄頻度が低い、もしくは膜透過水fluxが高い条件下においても安定した膜ろ過を継続することができる可能性を示唆するものである。

従って、Run 2においては、膜透過水fluxを45 LMHから50 LMHに増加させて膜ろ過装置の連続運転を実施した。

一般的に、膜透過水fluxを増加させることによって膜ファウリングは進行しやすくなるが、Run 2においては、膜透過水fluxの増加に伴う膜ファウリング進行速度の変化は軽微であり、Run 2で採用した運転条件においても非常に安定した膜ろ過を継続することが可能であった。そこで、Run 3においては、膜透過水fluxをさらに55 LMHまで増加させた。Run 3においては、TMPは徐々に増加し続け、最終的には急激な変動を繰り返すようになった。この結果は、本研究にて検討した運転条件においては、安定運転が可能な最大膜透過水fluxが50 LMH付近であったことを示している。より高い膜透過水fluxで安定した運転を継続するためには、膜の洗浄方法を始めとした運転条件の最適化に関する検討が重要である。また、費用対効果の高い前処理手法の探索も重要な検討項目として指摘される。

(3) コスト評価

一般的に、膜分離を基盤とする浄水処理は凝集沈殿-砂ろ過を基盤とする既存の浄水処理技術と比較してコストが高いと認識されている。しかし、本研究で検討対象とした河川水の処理においては、既存処理法にて大量に添加されている凝集剤を一切使用することなく、比較的高い膜透過水fluxでの安定運転を達成することができたことから、凝集剤にかかるコストを大幅に低減することが可能であった。実際に、現地水処理事業者より入手したインドネシアにおける薬品代や電気代等に基づくコスト評価では、Run 1の運転条件にて安定運転を達成することができれば、実規模の処理装置を想定した場合の運

転コストが既存施設と同程度となると試算された。実際には、Run 1よりもさらに膜洗浄頻度が低く、かつ膜透過水fluxが高い(いずれも運転コストを低減させる効果が期待される)Run 2においても、非常に安定した膜ろ過連続運転を達成することが可能であった。今後、より長期間の連続運転を通じた実証は不可欠ではあるが、本研究で得られた実験結果は、原水性状を的確に把握し、それらに応じた適切な運転条件を選択することによって、膜を基盤とした浄水処理も既存処理法と同程度のコスト、あるいはより低コストで運用できる可能性があることを明確に示しているといえる。

4. まとめ

本研究では、インドネシアへの適用を念頭に置き、凝集剤添加を必要としない膜分離を活用した浄水処理プロセスの適用可能性を検討した。膜ろ過単独での水処理においては、事前に予想された通り、濁度は良好に除去することが可能であったが、溶存態と考えられる鉄やマンガンについては、水道水質基準を超過する場合が散見された。運転期間中の膜ファウリングの発生に関しては、一定の膜透過水fluxまでは非常に軽微なものにとどまっていた。1か月以上の安定運転が可能であった運転条件にて、運転コストを試算したところ、直接浸漬膜ろ過を基盤とする浄水処理法は凝集沈殿-砂ろ過に基づく既存浄水処理法と同程度、あるいはより低いコストで運転ができる可能性が示された。

参考文献

- 1) Global water intelligence, Global water market 2011.