

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	正浸透法による海水淡水化実現のための膜性能及びプロセス設計指針の確立
Title(English)	
著者(和文)	天宮清一
Author(English)	Seiichi Amamiya
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10702号, 授与年月日:2017年12月31日, 学位の種別:課程博士, 審査員:山口 猛央,田巻 孝敬,上田 宏,多湖 輝興,吉川 史郎
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10702号, Conferred date:2017/12/31, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	要約
Type(English)	Outline

「正浸透法による海水淡水化実現のための膜性能及びプロセス設計指針の確立」

東京工業大学 総合理工学研究科 化学環境学専攻

天宮 清一

現在、人口増加や砂漠化に伴う水資源の枯渇が国際的な問題となっている。こうした背景から、地球上の水の大部分を占める海水から真水を造る、海水淡水化技術の研究開発が盛んである。海水淡水化法は、蒸留法と、分離膜を利用する逆浸透 (RO) 法の 2 つに大別される。熱を利用するプロセスである蒸留法に対して、相変化を伴わない RO 法は、より省エネルギーであり、海水淡水化に広く用いられている。RO 法は蒸留法に比べればはるかに省エネルギーであるが、それでも熱力学的な分離の最低エネルギーの 2~3 倍程度に留まっており、改善の余地がある。

一方、RO 法に代わる海水淡水化技術として、正浸透 (FO) 法が近年注目されている。FO 法は、半透膜を介して海水と高濃度のドロー溶液を接触させて、浸透圧差を利用してドロー溶液中へ水を回収する技術である。FO 膜、ドロー溶液、モジュールについて研究が行われているが、膜・モジュール・プロセスの設計指針は十分に検討されておらず、FO 法による海水淡水化の実現性は不明確である。よって、化学工学計算による実現性と膜・モジュール・プロセスの設計指針確立の必要である。

本論文は、FO 海水淡水化プロセスの実現性の検討と、膜・モジュール・プロセスの設計指針の確立を目的とし、FO 海水淡水化プロセスの消費エネルギーを、現行の RO 海水淡水化プロセスに比べて小さくするために必要な、FO 膜、モジュール、運転条件について、化学工学計算により検討した。

まず、非平衡熱力学の輸送方程式に基づく FO 膜透過モデルを提案した。本モデルは、従来モデルで無視されていた対流を考慮している。本モデルを用いて FO 膜の水透過流束と塩透過流束を計算し、水透過流束の大きい FO 膜では対流の影響が大きく、従来モデルでは正確な解析が行えず、対流の影響を考慮する必要性を示した。

次に、現行の逆浸透 (RO) 海水淡水化プロセス (RO プロセス) と同じ膜面積 (モジュール本数)、海水処理速度を仮定し、平膜モジュールを用いた FO 海水淡水化プロセス (FO プロセス) の実現性と要求膜性能について検討した。圧力損失を無視して FO プロセスの消費エネルギーを計算したところ、現行の RO プロセスより消費エネルギーを低下させられる可能性があるが、薄い支持体が必要であることを示した。

より詳細な考察を行うため、平膜モジュールのモデルに圧力損失の効果を導入し、現実的な計算を行い、FO プロセスの運転条件と要求膜性能について検討した。FO プロセスの消

費エネルギーを RO プロセスより小さくするためには、支持体厚を薄くするだけでなく、RO プロセスよりもモジュール本数を増やす必要があることを示した。

また、平膜モジュールだけでなく、Axial-flow 型中空糸モジュールを用いた場合の FO プロセスの運転条件と要求膜性能についても検討した。FO プロセスの消費エネルギーを RO プロセスより小さくするためには、FO 膜の支持体厚を薄くし、活性層の透水性を向上させて、さらにモジュール本数を増やす必要がある。また、中空糸膜は平膜に比べて形状的に支持体を薄くでき、FO 膜に向いている。また、エレメント内の膜面積を大きくできる中空糸モジュールは、平膜モジュールに比べて、より低コストで海水淡水化を行える可能性が高いことを明らかにした。そこで、中空糸モジュールの設計指針について検討した。Axial-flow 型と Radial-flow 型の中空糸モジュールを用いた FO プロセスの消費エネルギーを比較し、Axial-flow 型がより省エネルギーに運転でき、FO プロセスに適していることを示した。また、中空糸径とモジュール長が消費エネルギーに及ぼす影響について検討し、中空糸径は消費エネルギーにあまり影響しないが、モジュール長を短くすると消費エネルギーを低下させられることを明らかにした。

最後に、平膜モジュールと中空糸モジュールの比較を行った。平膜モジュールと中空糸モジュールの両方において現行の RO プロセスと比較して省エネルギー化が可能であり、また、今回の検討は現行の RO モジュールの構造をベースにしているが、モジュール構造を FO プロセスに最適化すれば、さらに省エネ化・低コスト化を実現できることを示した。

以上、本論文では FO プロセスによる海水淡水化実現に必要な膜性能およびプロセス設計指針をプロセス計算により明らかにした。