

審査の結果の要旨

氏名 ウォンルエン アノップ

ウォンルエン・アノップ氏の研究は、「超低圧逆浸透膜による地下水中のフッ素除去における膜ファウリングの影響」と題し、タイ北部のチェンマイ盆地において高濃度のフッ素を含有する地下水を引用する住民の健康被害の低減を目的として、地下水からのフッ素除去技術としての超低圧逆浸透技術を適用し、フッ素除去率と運転操作に影響を及ぼす逆浸透膜のファウリング問題に取り組んだものである。

博士論文は8章からなり、第1章では研究の背景と目的、ならびに本論文の構成が述べられている。

第2章は文献調査であり、地下水中のフッ素濃度の分布や、フッ素による健康影響、ならびに伝統的に用いられているフッ素除去技術が述べられている。また、本研究では逆浸透法による膜ろ過技術が採用されているので、ナノろ過膜や逆浸透膜といった荷電膜の特徴と、物質移動、塩類の排除の原理が述べられている。さらに、地下水の膜ろ過において最も問題となるシリカによる膜の汚染に関連して、シリカの水中での挙動や、ポリマー化現象について、これまでに文献で報告された研究成果がまとめられている。

第3章は実験方法について述べた章であり、チェンマイ盆地における地下水サンプルの採取方法や、本研究に用いた逆浸透膜の特性、逆浸透膜ろ過実験装置の特徴と操作方法、逆浸透膜の物理的な特性の測定方法、などが述べられている。

第4章では、膜近傍での濃度分極と膜透過モデルについて、純水中にNaFおよびNaClを溶解した膜供給水を用いて、実験的に検証した。その結果、濃度分極モデルと、膜内部での濃度勾配による拡散モデルの組み合わせにより、本研究で用いた逆浸透膜によるフッ素の阻止現象がうまく説明できることが示された。また、このモデルを実際の地下水のろ過実験結果に適用したところ、膜汚染によるフッ素除去率の変動は、膜表面に形成されたゲル層の密度に関係することが示された。即ち、密度の高いゲル層が膜面に形成された場合、膜面への

水の流れに伴いフッ素が運ばれるため、膜面での濃度分極がさらに激しくなり、その結果、逆浸透膜によるフッ素除去率が低下した。反対に、膜面に密度の高いゲル層が形成された場合、ゲル層内部でのフッ素の移動は主に拡散により起こるために、逆浸透膜によるフッ素除去率はむしろ上昇した。

第5章は、pHを変化させた場合の逆浸透膜によるフッ素除去率への影響を評価した。膜によるフッ素イオンの除去率は、他の一価陽イオン (Na^+ など) に比べて pH の影響を受けやすく、pH6 以下では、フッ素除去率が大幅に低下した。この現象を説明するため、Nernst-Planck 式を適用し、pH の低下により膜の荷電状態が変化することが、フッ素除去率低下の原因であることを示した。このため、フッ素除去を目的とした逆浸透膜ろ過では、炭酸カルシウムのスケール防止のために pH を酸性にして運転することは適当でないことがわかった。

第6章は、シリカによる逆浸透膜の汚染について、地下水中のシリカ濃度と膜へのシリカの付着やシリカによる膜透過流束の低下とが単純に相関が取れない原因について調べた。膜供給水中にコロイド状態のシリカと、分子状態のシリカを割合を変えて添加し、逆浸透膜ろ過実験を行ったところ、コロイド状態のシリカが存在する場合は、存在しない場合よりも大幅に膜透過流束が低下し、フッ素の除去率も低下した。このことから、地下水（膜供給水）中にわずかな量のコロイド状シリカが存在すると、逆浸透膜の汚染が進み、フッ素除去率の低下に結びつくことが示された。

第7章は、フッ素除去に用いる逆浸透膜のファウリング制御の方法について検討した結果を述べている。ファウリング制御方法として、精密ろ過膜による前処理と、EDTA 添加による処理を行った。その結果、精密ろ過膜は膜供給水中の懸濁粒子を効果的に除去し、EDTA は Ca^{2+} をキレート化するため、炭酸カルシウムによる膜汚染を抑止できることが示された。しかし、シリカの膜面への付着は抑止することができず、長期間にわたる安定的な膜ろ過運転を行うためには、シリカによる膜汚染対策が重要であることが示された。

第8章は、本研究の結論であり、上記に述べられた事柄がまとめられている。

世界には1億人以上の人がフッ素による健康影響にさらされており、ウォンルエン・アノップ氏の研究成果は、科学的な基礎に立脚しつつも、実際の浄水処理への適用を視野に入れたものであり、飲料水中のフッ素による影響を受けている人々が安全な水を利用するために役立つことが期待されている。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。