

2. 凍結濃縮装置のための要素機器及び制御技術の進歩

ー 冷却回転円筒氷液混合物生成機と差速掻取刃分離機の凍結濃縮装置ー

○手塚正博 (ICE2.0 LLC)

はじめに

水溶液の凍結による濃縮技術は、他の濃縮技術に比べ低消費エネルギー、高濃度濃縮、溶質成分の均一な濃縮及び熱に弱い溶質（酵素、ビタミン等）・発泡性溶質（植物性液）等の濃縮に優位性をもつ。しかし高濃度濃縮の可能な凍結濃縮の装置は、その構成・操作が複雑及び処理量／（単位時間・装置容積）が少ない。このため装置が大型化し、同時に装置コストが非常に高く普及していない。一方、近年凍結による濃縮に利用できる機器・システムの改良・開発及び制御技術が進展し凍結濃縮装置の簡素・機動性化、氷と濃縮液の高分離効率化及びさらなる低消費エネルギー化が可能となってきている。本報告は上記視点から基本的に冷却回転円筒氷液混合物生成機、冷凍機及び差速掻取刃分離機から構成される凍結濃縮装置をその特性と伴に考察する。

1. 氷液混合物の生成

水溶液の高濃度濃縮には、蒸発と凍結による方法がある。左記方法は伴に被濃縮液中の水分を相変化させ分離除去する。蒸発は、水分の液相（被濃縮液）から気相（蒸気）への変化、また凍結は、水分の液相から固相（氷）への変化である。ここで蒸発濃縮における（被濃縮液上に拡散される）蒸気は、吸引等により容易に除去できる。しかし、凍結濃縮における（冷却面上、または氷液混合物中に生成される）氷は、除去が容易ではない。この凍結による濃縮の（生産技術化のための）問題点は、被濃縮液に浸漬した冷却回転円筒の氷液混合物の連続生成及び掻取により解決できる。

2. 凍結濃縮装置の稼働エネルギー

水溶液の高濃度濃縮において凍結濃縮は非常に省エネルギーな方法である。凍結濃縮装置の稼働エネルギーは、主に被濃縮液から氷を生成するために必要な凝固潜熱（吸熱）である

が、凝固潜熱 334kJ/kg (80kcal/kg) は蒸発潜熱 2,442kJ/kg (560Kcal/kg) の 1/7 である。また、この凝固潜熱は冷凍機によって得られ、冷凍機は、その凝固潜熱を数～数十分の一のエネルギー（動力）で得ることのできる省エネルギーシステム機械である。さらに冷凍機は、その要素機器（圧縮機及び冷媒回路中の冷媒状態の制御機器等）の改良・開発が進められておりそのエネルギー効率が年々向上している。

3. 氷液混合物の分離

固液分離の連続処理の遠心分離機は、様々なタイプが開発、また改良されてきている。この中で差速掻取刃分離機は、凍結濃縮における氷液混合物の分離用として構造・操作が単純であり、また分離中に氷層が耕されるかっこうになり分離効率が向上する。また、差速掻取刃分離機は、（1台で）多段処理のものが開発されているが、氷液混合物の遠心分離機による2回処理は分離効率を向上させることが知られている。

4. 装置システムの最適稼働

凍結濃縮装置の稼働結果（濃縮液濃度・量、氷と濃縮液の分離効率等）は、多数の稼働条件（被濃縮液の種類・濃度・冷却温度・冷却時間、遠心分離機の回転数・滞留時間、及び装置設置冷却室温度）に複合的に影響される。最近、装置システムのこの多数の稼働条件とその結果の関係を定量的に把握するコンピュータを用いた手法（多変量解析、プログラミング計算及びフーリエ変換等）が容易に利用可能となってきている。（水溶液からの氷生成及び装置の要素機器の特性を把握し）被濃縮液の table 実験及び装置試験から上記コンピュータ手法による対象凍結濃縮装置の（目的の結果を得るための）最適な条件での稼働が可能となってきている。