

氏 名	なかにしとしなり 中 西 俊 成
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3969 号
学位授与の日付	平 成 19 年 7 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 題 目	内部熱交換型蒸留塔に関する実証的研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 長 谷 部 伸 治 教 授 田 門 肇 教 授 宮 原 稔

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、濃縮部と回収部を分離し、濃縮部を回収部より高い圧力で運転することにより塔内で熱交換を行い、省エネルギー性能を高める蒸留塔（以下、内部熱交換型蒸留塔と呼ぶ）の実用化に向けて、理論と実験の両面から検討した結果をまとめたもので、全6章からなる。

第1章は序論であり、これまでの研究を概観し、本研究の目的と概要を示している。

第2章ではエクセルギー損失の観点から、従来の蒸留塔と内部熱交換型蒸留塔の比較検討を行っている。まず、従来の蒸留塔およびリボイラーとコンデンサーを持たない理想的内部熱交換型蒸留塔について、温度熱量線図（T-Q 線図）を用いて視覚的にエクセルギー損失を比較し、内部熱交換型蒸留塔の省エネルギー性を示している。そして、ベンゼン・トルエン系を対象に様々な設定条件でのシミュレーションを行い、定量的に内部熱交換型蒸留塔が従来の蒸留塔に比べ大幅にエクセルギー損失を減らせることを検証している。

第3章では内部熱交換型蒸留塔の基本設計法と実用性の高い塔構造を提案している。理想的内部熱交換型蒸留塔では、濃縮部と回収部の間の熱交換のための伝熱面積を装置内に確保する必要があるため、その塔構造は制約を受ける。したがって、分離対象が与えられたとき、入出力条件により装置サイズがどの程度変化するかを知る必要がある。そこでまず、設計条件が与えられたとき、その条件を満たす理論段数と必要なUA（伝熱係数Uと1理論段当たりの伝熱面積Aの積）を求める簡易設計法を提案している。続いて、詳細な物質収支および熱収支モデルに基づく操作型シミュレーション法を提示し、簡易設計法による結果とシミュレーション結果とを比較することにより、提案した簡易設計法の有効性を検証している。さらに、様々な操作圧力でのシミュレーション結果を基に、Shell & Tube型の熱交換器縦型構造をとることにより、実生産規模の分離要求に対して、現実的なサイズで内部熱交換型蒸留塔が構築可能であることを示している。

第4章では、内部熱交換型蒸留塔の実験塔を使用して、伝熱性能および蒸留効率について検討している。内部熱交換型蒸留塔では、塔全体において伝熱壁を濡らすように液を流下できるか否かによりその熱伝達性能が大きく変化する。また蒸発や凝縮を伴う分離操作であることから、塔内で気液流量が変化し、それに伴い蒸留効率も変化する。本研究では、濃縮部と回収部を独立に設定した条件で運転できる充填塔Shell & Tube型の内部熱交換型蒸留塔の実験装置を構築し、様々な操作条件下での伝熱性能と蒸留効率を求めている。そして、得られた実験結果をもとに蒸留効率の良い操作範囲を求めている。その結果をもとに、蒸留効率の良い気液流量条件で塔を運転するために、塔内での気液の流量変化を考慮して塔径を途中で変更する装置構造を提案している。さらに、実験結果に基づいてシミュレーションモデルのパラメータを求め、実生産を想定した原料30ton/hを処理できる蒸留塔の塔寸法、および各操作条件における製品組成、必要エネルギー等を示している。

第5章では、ベンゼン・トルエン系を対象に、前章で得られた各種パラメータを用いて、原料30ton/hを処理できる内部熱交換型蒸留塔の1/100スケールのベンチスケールプラントの基本設計を示すとともに、その基本設計に基づいて建設されたプラントの運転結果を示している。そして、得られた運転結果を解析し、その省エネルギー性能の悪化が、圧縮機の効率

の低さ（24％）に起因することを示すとともに、実生産規模のプラントでは適切なコンプレッサー（通常75％程度の効率）を選定することにより、従来の蒸留塔に比べ20％以上のエネルギー削減が可能であることをエネルギー収支計算により示している。

第6章は総論であり、本研究のまとめと今後の研究課題を示している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、濃縮部と回収部を分離し、濃縮部を回収部より高い圧力で運転することにより塔内で熱交換を行い、省エネルギー性能を高める蒸留塔（以下、内部熱交換型蒸留塔と呼ぶ）の実用化に向けて、理論と実験の両面から検討した結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. T-Q 線図を用いて視覚的に、また数値計算により定量的に、従来の蒸留塔と内部熱交換型蒸留塔のエクセルギー損失の比較検討を行い、内部熱交換型蒸留塔が従来の蒸留塔に比べ大幅にエクセルギー損失を減らせることを明らかにした。
2. 分離対象と仕様が与えられたとき、内部熱交換型蒸留塔の装置サイズを迅速に求めることができる簡易設計法を提案した。そして、詳細なモデルに基づくシミュレーション結果と比較することにより、提案手法の有効性を検証した。また、様々な操作条件でのシミュレーション結果をもとに、Shell & Tube 型熱交換器の縦型構造で実生産規模の装置が構築可能であることを明らかにした。
3. 濃縮部と回収部を独立に設定した条件で操作できる内部熱交換型蒸留塔の実験装置を試作した。そして、その装置を用いた実験結果をもとにシミュレーションモデルのパラメータを求め、実生産規模の内部熱交換型蒸留塔のサイズと製品組成、必要エネルギーの関係を明らかにした。
4. ベンゼン・トルエン系を対象に、内部熱交換型蒸留塔のベンチスケールプラントの基本設計を示した。そして、その基本設計を基に建設されたプラントの運転結果をもとに、操作性および省エネルギー性について検討し、従来の蒸留塔に比べ20％以上のエネルギー削減が可能であることを実証した。

以上、本論文は、省エネルギー型の内部熱交換型蒸留塔に関して、理論と実験の両面から検討した結果をまとめたもので、学術上、実際に寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成19年6月14日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。