

平成24年度「第11回 プロセスデザイン学生コンテスト」
プロセスシミュレーション部門

「2-Butanol からのMEK (Methyl Ethyl Ketone) 製造プロセスの設計」

主催: 化学工学会・SIS 部会・情報技術教育分科会

共催: 化学工学会・人材育成センター

【1】概要

MEK (Methyl Ethyl Ketone) は、溶剤としての優れた特性を持ち、保護コーティング、接着剤、化学物質の中間体、磁気テープ生産の溶剤、潤滑油の脱蠟、食品加工等に用いられる。

MEK は、おもにエチレンプラントから副生するブタン/ブテン(BB) 留分より、ブタジエンとイソブチレンを分離した後の n-ブテンの水和反応により、2-ブタノールを生成し、これを脱水素・精製することにより製造される。

本課題では、2-ブタノールを出発原料とする、MEK 製造プロセスの設計を行う。

【2】課題

2. 1 純度 99wt% 以上の MEK を 80,000 ton/year 生産するプロセスを設計する。

2. 2 設計条件

(1) プラント稼働時間: 1日24時間連続操業で、年 8,000 時間稼働とする。

(2) 原料供給条件:

2-Butanol: 圧力 1.013bar , 温度 25°C, 純度 100%

(3) 製品払出し条件:

MEK 99wt% 以上, 圧力 2bar, 温度 40°C

(4) 用役

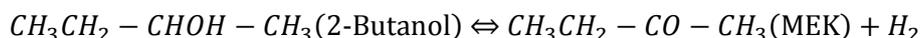
冷却水 (30°C 供給, 40°C 戻り), 冷水 (7°C 供給, 12°C 戻り), 蒸気 (140°C 飽和, 20bar 280°C), 熱媒体 (500°C 供給, 400°C 戻り, 比熱 1.56 kcal/kgK), (蒸気を発生させるための) 脱気水, 燃料 (ブタン相当), 電気

これ以外の用役 (高温蒸気など) が必要な場合には、BL 内で製造することとする。

【3】主な仮定と課題実施上、考慮すべき点

3. 1 反応工程

原料の 2-ブタノールは、固体金属触媒 (径 3.2mm, 長さ 3.2mm の円柱) の入った固定床反応器で以下の気相反応により MEK を生成する。



この反応における 2-Butanol の反応速度 r [kmol/m²h] は以下で与えられる。

$$r = \frac{C \left[p_B - \left(\frac{p_M p_H}{K} \right) \right]}{p_M \left[1 + K_B p_B + K_{BM} \left(\frac{p_B}{p_M} \right) \right]}$$

$$\log_{10} C = -(5964/T) + 8.464$$

$$\log_{10} K_B = -(3422/T) + 5.326$$

$$\log_{10} K_{BM} = (269.2/T) - 0.1959$$

$$\log_{10} K = -2790/T + 1.510 \log_{10} T + 1.871$$

T : bulk temperature [K]

p_H : partial pressure of hydrogen [bar]

p_M : partial pressure of MEK [bar]

p_B : partial pressure of 2-Butanol [bar]

この触媒の比表面積 s は

$$s = 1889 \text{ [m}^2\text{/m}^3\text{]}$$

であり、反応器に触媒を充填した際の空隙率 ε は

$$\varepsilon = 0.393 \text{ [-]}$$

である。したがって、反応器体積当たりの表面積 v は以下の式で与えられる。

$$v = s (1 - \varepsilon) = 1147 \text{ [m}^2\text{/m}^3 \text{ of bed]}$$

3. 2 課題実施上、考慮すべき点

- ・ 副反応は無視できるものとする。
- ・ 反応は 500°C 以下の範囲で行うこと。
- ・ 主反応も含め反応熱は、適宜求めること。
- ・ 反応器の圧力損失は、適宜考慮すること。
- ・ 配管や塔内の圧力損失は無視してよい。
- ・ 加圧すべき箇所には、必ずコンプレッサ(ガス)か、ポンプ(液)を入れること。また、減圧すべき箇所には、バルブ(液, ガス)を入れること。
- ・ 総括転化率 95% 以上とする。
- ・ 加熱炉や反応炉を使用してもよい。
- ・ 制御系を考慮する必要はない。
- ・ 各装置から大気中への熱損失は無視してよい

【4】装置のサイジング

下記のプロセス機器についてサイジングは以下のとおりとする。反応器については、3. 1にしたがって物質収支、熱収支に基づきサイジングを行うこと。

4. 1 蒸留塔

蒸留塔は段塔を仮定し、塔径はフラッディング等が生じない許容蒸気質量速度に基づき決定される。許容蒸気質量速度の推算方法は、トレータイプによって異なるが、シーブトレーを仮定して、次の式で推算することができる。

$$G^* = SF \cdot K \cdot \sqrt{\rho_v \cdot (\rho_l - \rho_v)}$$

但し、 G^* : 許容蒸気質量速度(空塔基準) [kg/m²-s], SF : 系補正係数, K : 段間隔と液表面張力より求まる許容蒸気速度係数[m/s], ρ_l : 蒸気密度[kg/m³], ρ_v : 液密度[kg/m³]である。ここでは、段間隔は、塔径に関係なく 0.6 m とし、許容蒸気速度係数 K には、0.05 m/s を用いる。また、系補正係数 SF には、0.8 を用いることとする。段数の計算には、段効率 80% を用いる。塔頂は、還流供給・気液の分離のため 2 m、塔底部は、液ホールドアップのため 4 m 必要とし、原料供給段は段間隔 + 1 [m] とする。

4. 2 熱交換器

総括熱伝達係数 U [W/m²-K] として、流速に関係なく表1の値を用いる。また、次式を用いて伝熱面積 A [m²] を求める。

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_m$$

但し、熱交換器内部で流体の C_p が大きく変化する場合(沸点や露点を通過する場合は)、 ΔT_m の計算には、Weighted(セクションで区切る)を用いる必要があるので注意すること。

表1 総括伝熱係数

高温流体	低温流体	総括伝熱係数 [W/m ² -K]
ガス	ガス	200
液	ガス	200
液	液	300
ガス(凝縮)	液(蒸発)	1,500
ガス	液	200
ガス(凝縮)	ガス	500
ガス(凝縮)	液	1,000
ガス	液(蒸発)	500
液	液(蒸発)	1,000

4. 3 回転機

4-3-1 ポンプ

所要動力を求める。ドライバは電動機(モーター)を用いる。ポンプ効率は80%、電動機の機械的ロス、所要動力の2%とする。

4-3-2 コンプレッサ

必要があれば、コンプレッサの導入を計画してもかまわない。但し、コンプレッサは断熱効率80%で所要動力を求め、ドライバは電動機でも、BL内で内製する動力用蒸気による、蒸気タービン(復水タービンとし、復水器出口圧力は、0.28bar)でもかまわない。また蒸気タービンの場合、断熱効率は80%とする。ドライバの機械的ロス、所要動力の2%とする。

4. 4 その他必要となる機器

その他必要となる機器に関するパフォーマンスデータや機器設計データは、十分に検討の上各自が準備すること。

【5】コストデータ

5.1 ユーティリティコスト

- 20bar スチーム(280°C) :\$35/ton
- 加熱用飽和低圧スチーム(140°C) :\$30/ton
- 冷却水(30°C供給, 40°C戻り) :\$13/1000ton
- 冷水(7°C供給, 12°C戻り) :\$0.6/ton
- 熱媒体(500°C供給, 400°C戻り, 比熱 1.56 kcal/kg K) :\$18/ton (Version 3 で修正)
- (蒸気を発生させるための)脱気水
(3bar 飽和脱気水, 使用後は 3bar 液の状態です系外へ戻す) :\$3.5/ton (Version 2 で追加)
- 燃料油(ブタン) :\$400/ton
- 電力 :\$0.2/KWh
- 触媒 :\$12,500/m³(反応器体積)

5.2 原料, 製品価格

原料: 2-Butanol : \$1,000/ton

製品: MEK : \$1,700/ton

水素: 純度 95mol%以上, 圧力 20bar であれば \$0.3/Nm³で販売可能

【6】課題と評価基準

6.1 課題

- 指定した製品仕様を満たすような適切なブロックフローダイアグラムおよびプロセスフローダイアグラムを作成し, どのような考え方で設計したかを説明しなさい。
- 各プロセスユニットの適切な設計を行い, 設計結果とともにどのような考え方で設計したかを説明しなさい。
- 機器のサイジングとコストの関係は計算表を提示すること。

6.2 評価基準

設計の妥当性と論理性および設計結果を評価します。

- 設計方針の妥当性を論じているか
- コストなどの評価によって代替案を比較して設計しているか
- 設計根拠を明示しているか

6.3 レポート形式

別紙の資料提出要領に従うこと。

※改訂履歴

- Version 1 :2012年4月18日 初版公開
- Version 2 :2012年5月10日
 - 「5.1 ユーティリティコスト」に脱気水のコスト追加
- Version 3 :2012年5月10日
 - 「5.1 ユーティリティコスト」
 - 熱媒体の比熱の単位を修正
 - 誤:kg/kcal K → 正: kcal/kg K