亜硫酸パルプ製薬塔の設計

頼 實 正 弘・絹 原 和 夫

1. 緒 言

製薬塔の設計といえは、その直径と高さの決定が、主たる部分であることは論を待たない。直径の計算に於ては、普通の充填塔の計算方法が適用出来るが、高さの計算については、充填塔に於ける計算の場合の、平衡関係が決定されて居らない。ただ、Bergson の半減高の概念があるのみ、の如く見受けられる。

SO₂ の H₂O による吸収については種々論じられているが、CaCO₃ の存在下に於ける、SO₂ の H₂O への吸収については、設計の資料となるべき、平衡関係は確定していない様である。

そこで、筆者は、實際工場の操作データを基として、目下、製薬塔の平衡関係を探索し、(H.T.U.)_{OL} の計算を行つてゐるが、未だ十分な結果を得る所まで達していない。併し乍ら、この方法が、工場操業の上、何等かに役立ち、尙、平衡関係の追求に貢献する所あれば、幸と信じて、不完全を意に介せず、敢えて発表する次第である。

設計を行う前に、概念的に必要事項の説明をする。

2. 製薬塔直径の決定

直径を決定するには

- 液分布を均一にする
- 溢沓現象を起さない
- 壓降下を適當にする

等の事が、必要である。

塔内液分布を均一にすることにより、最大直径が定まる。経験により灌液速度として 4m³/m²hr 以上が必要であるとされている。

(實際に、工場の data を調査した所、4m³/m²hr 以上の工場は、一二に留る。此の點諸工場に於いて、検討される餘地がある様、愚考する。例えば、一部液の循環をする必要はなからうか。)

次に、溢沓現象を起さぬ事を條件として、最小直径が決定される。溢沓現象については、内田、龜井、八田三氏共著化学工学、Perry の Chemical Engineering Handbook に詳細に

記載せられてある。

最後に、壓損失によつて、検討する。

Sherwood 及び内田、藤田兩氏による夫々の報告があるが、後者の

$$3000 > Re \geq 150$$

$$\frac{\Delta P}{\rho Z} = (274 \times 10^6) \left(\frac{u^2}{2gd} \right)^{1.40} (Re)^{-0.90} e^{-20.7w}$$

が適用される様に思う、數種のパルプ工場に於ては $u/2/2gd < 0.000215$ であり、破碎固體の充填の式(前記)の條件を満足する。

3. H.T.U. について

處理量は直径によつて殆んど決定されるといつて差支えないが、吸収能力については、その高さが云々される。高さを論ずるに當つては、H.T.U. の検討が、現今の充填塔の、通念の如くなつて來てゐる。詳しい説明は、他の著書に譲り、此所では必要事項のみ、その概略を記すことにする。

理論的には

$$Z = (H.T.U.)_{OL} \cdot N_{OL}$$

であり、(H.T.U.) は實驗によつて定むべき値であり、N_{OL} は平衡関係及び操作線から決定される。

a) N_{OL} の求め方

N_{OL} の値は正確には

$$N_{OL} = \int_{x_2}^{x_1} \frac{(1-x)_{OM} dx}{(1-x)(x^*-x)}$$

として求むべきであるが、平衡線及び操作線が直線であり、且つ、多少の誤差を許すならば、

$$N_{OL} = \frac{x_1 - x_2}{(y/m - x)_{LM}}$$

となる。(y/m - x)_{LM} は (y₁/m - x₁) と (y₂/m - x₂) との對數平均値である。

b) 高さの計算

SO₂ の石灰石存在の下に水への吸収が、その吸収速度の速い部類に屬するものと假定することにより、藤田氏の實驗式が適用出来る。

$$(H.T.U.)_{OL} = \varphi Z^{0.2} [0.127 (mG_M/L_M)^{-0.23} + 0.0533 (mG_M/L_M)^{-1.30}]$$

$$\varphi = (dG)^{0.2} (D/d)^{0.1} (\nu^1/D_L)^n$$

従つて

$$Z^{0.8} = \varphi N_{OL} [0.127 (mG_M/L_M)^{-0.23} + 0.0533 (mG_M/L_M)^{-1.30}]$$

を以つて、高さの計算が出来る。

4. 相當放散度 (m) について

m の値としては、元來ヘンリーの法則の適用される場合には、

$$m = \frac{dy^*}{dx}$$

として、決定されるものである。

SO₂ の石灰石存在下の水による吸収は、簡単ではない。勿論、ヘンリーの法則は適用されない。夫故、m の値として

$$m = \frac{L_M}{G_M} \frac{N_{OL}}{N_{OG}}$$

を採用し、之を相當放散度と名づける。

この m の値については種々検討を要する所であり、筆者も現に計算中であるが、今迄得た所の結果によると、強酸塔に於いては m=10 内外という値を得ている。

以上の方法によつて、實際に製薬塔の設計の計算を行つて見る。

5. 設 計 例

毎時 5.0% の蒸解液 20m³ を製造するために、必要な製薬塔の大きさを決定せよ、但し、亜硫酸ガスは、濃度 15% にて入り、廢ガス濃度を 0.003% 以下とする。

1 直径の計算

a) 液分布を均一ならしめるための許容最大面積は

$$(20\text{m}^3/\text{hr}) / (4\text{m}^2/\text{m}^2\text{hr}) = 5\text{m}^2$$

$$\frac{\pi}{4} D^2 = 5$$

$$D = 2.52\text{m}$$

b) 次に溢汪を起さぬための最小斷面積を求める反應に關係する SO₂ モル數

$$(20,000)(0.05)/(64) = 15.6 \text{ kgmol/hr}$$

化合酸中の SO₂ を液中 2% と假定すれば、この量は

$$(15.6)(2)/(5) = 6.25 \text{ kgmol/hr}$$

反應に關係する H₂O モル數

$$(20,000)/(18) = 1.110 \text{ kgmol/hr.}$$

依つて、濃厚端に於ける、ガス、液、組成は夫夫次の如くなる。

第 一 表

ガ ス	分 率	kgmol/hr	kg/hr
SO ₂	0.15	15.60	997
O ₂	0.06	6.24	199
N ₂	0.79	82.10	2,219
	1.00	103.94	3,415
液	分 率	kgmol/hr	
SO ₂	0.0138	15.60	(内 Comb. 6.25)
H ₂ O		1.110.	
	1.00	1,125.60	

次に出口ガス組成を求めるには、化合酸生成のための、CO₂ の生成を考慮する必要がある。

反應方程式は

即ち、化合酸 1kgmol (SO₂ としては 2kgmol) の生成に對して、1kgmol の CO₂ を發生する。依つて、出口ガス組成は

第 二 表

ガ ス	分 率	kgmol/hr	kg/hr
SO ₂	0.00003	0.00	0.00
CO ₂		3.12	137
O ₂		6.24	199
N ₂		82.10	2,219
		91.46	2,555

反應溫度を平均 25°C と假定すれば、

$$u/u' = \{(91.46 + 103.94)/(2)\}(22.4)$$

$$\{(273 + 25)/(273)\}/(20) = 119$$

液の粘度 $\mu' = 0.00089 \text{ kg/msec.}$

又、充填物、石灰石は人頭大にて、充填し、grate を通過して、取出されるものとし、その平均の値として

$$d = 0.125\text{m}$$

とする。

然らば、

$$(d^3 g / \nu^2)^{0.1} = \{[(0.125)^3 (9.8) (1.000)^2 / (0.00089)^2]\}^{0.1} = 10.09$$

従つて、

$$(u/u')(d^3 g / \nu^2)^{0.1} = 1.205$$

破砕固體の場合の圖表, 例えば 化學工學⁴⁾ p406
第 7.23 圖により, 溢汪線の精度を考慮すれば

$$u^2/2gd = 0.10 \quad V_{\omega}/Vd = 0.95$$

を得る。其處で

$$u = \sqrt{(0.10)(2)(9.8)(0.125)} = 0.494 \text{ m/sec.}$$

$$\therefore u' = u/(119) = (0.494)/(119) \text{ m/sec.}$$

従つて,

$$\frac{\pi}{4} D^2 u' = 20/3.600$$

$$D = 1.30 \text{ m}$$

a) と b) から

$$1.30 < D < 2.52.$$

$$D = 2.00 \text{ m}$$

を採用する。

2 高さの計算

強酸塔, 弱酸塔を合して一本と考えた場合の
總括相當放散度は, 數種の工場の値から推察するに
(勿論, 溫度によつて變化するが) $m=8.3$
内外にある。今 $m=8.3$ として計算を行つてみる。

第一表, 第二表のガス, 液, 組成から

$$mG_M/L_M = (8.3)(103.94 + 91.46)/$$

$$(1110 + 1125.60) = 0.726$$

$$G = (3415 + 2555)/(2)(\frac{\pi}{4})(2)^2$$

$$= 950 \text{ kg/hrm}^2$$

$$y_1 = 0.15 \quad x_1 = 0.0138$$

$$y_2 = 0.00003 \quad x_2 = 0$$

従つて

$$y_1/m - x_1 = (0.15)/(8.3) - 0.0138 = 0.0043$$

$$y_2/m - x_2 = 0.00003/8.3 - 0 = 0.00000362$$

$$(y/m - x)_{i,m} = (0.0043 - 0.00000362)/$$

$$(2.3) \log(4300)/(3.62)$$

$$= 0.000622$$

$$N_{OL} = (x_1 - x_2)/(y/m - x)_{i,m}$$

$$= (0.0138)/(0.000622) = 22.2$$

又 $\varphi = (dG)^{0.2}(D/d)^{0.1}(\nu'/D_L)^n$

$$\nu' = \frac{\mu'}{\rho'} = 0.00878 \text{ cm}^2/\text{sec.}$$

$$D_L = 1.27 \times 10^{-5} \text{ cm}^2/\text{sec.}$$

$$\nu'/D_L = (6.92) \times 10^2$$

$$n = 0.055 (m = 8.3 \text{ のとき})$$

$$\therefore \varphi = (0.125 \times 950)^{0.2} (2.000/0.125)^{0.1}$$

$$(6.92 \times 10^2)^{0.055} = 4.91$$

$$[0.127(mG_M/L_M)^{-0.23}$$

$$+ 0.0533(mG_M/L_M)^{-1.30}]$$

$$= (0.127)(0.726)^{-0.23}$$

$$+ (0.0533)(0.726)^{-1.30} = 0.216$$

依つて,

$$Z^{0.8} = \varphi N_{OL} [0.127(mG_M/L_M)^{-0.23}$$

$$+ 0.0533(mG_M/L_M)^{-1.30}]$$

$$= (4.91)(22.2)(0.216) = 23.6$$

$$Z = 52.5$$

一塔の有効高さを 26.5m とする

次に $m=10.1$ として 強酸塔出口のガスの組成を計算してみる。

そのため, 今液の入口の濃度を 1% と假定して, Trial and Error System によつて, 決定する。

出口ガス, 液, 組成は次の如くなる。

ガス	分 率	kgmol/hr	kg/hr
SO ₂	0.0333	3.13	200
CO ₂		2.50	110
O ₂		6.24	199
N ₂		82.10	2219
		93.97	2728

液	分 率	kgmol/hr
SO ₂	0.00281	3.13 (内 Comb. 1.25)
H ₂ O		1110.
		1113.13

$$(y/m - x)_{i,m} = 0.00075$$

$$N_{OL} = 14.67$$

$$(H.T.U.)_{OL} = \frac{Z}{N_{OL}} = (26.5)/(14.67) = 1.81$$

次に

$$\varphi = (dG)^{0.2}(D/d)^{0.1}(\nu'/D_L)^n$$

$$n = 0.060 \text{ (但し } m = 10.1)$$

$$G = 975 \text{ kg/m}^2\text{hr.}$$

$$\varphi = 5.09$$

$$\text{又 } mG_M/L_M = (10.1)(197.91)/(2238.73)$$

$$= 0.894$$

$$[0.127(mG_M/L_M)^{-0.23} + 0.0533$$

$$(mG_M/L_M)^{-1.30}] = 0.1917$$

$$Z^{0.2} = (26.5)^{0.2} = 1.925$$

従つて

$$(H.T.U.)_{OL} = \varphi Z^{0.2} [0.127(mG_M/L_M)^{-0.23}$$

$$+ 0.0533(mG_M/L_M)^{-1.30}]$$

$$= (5.09)(1.925)(0.1917) = 1.87$$

N_{OL} から求めた $(H.T.U.)_{OL}$ と藤田氏の實驗式から求めた $(H.T.U.)_{OL}$ と、大體に於いて一致する。従つて、始めの假定の、液濃度は正しく、ガス、液、組成は決定される。

3 直徑の検討

ガス、液、組成が決定され高さが定まれば、壓降下により、最後に直徑の検討を行う。

$$u/w' = \{(93.97 + 103.94)/(2)\} \cdot$$

$$(22.4)\{(273 + 25)/(273)\}/(20) = 123$$

$$(d^3 g/\nu^{1/2})^{0.1} = 10.09$$

$$u = 123w' = (123)(20)/(3.600) \left(\frac{\pi}{4} \right) (2.00)^2 \\ = 0.218 \text{ m/sec}$$

次に、破砕固體充填に於ける V_a は 0.43~0.49 なることは、前記化學工學にも記載してあるが、工場操業の data もこの範囲にある。

$$V_a = 0.47$$

とすれば、

$$V_{\omega}/V_a = 0.95$$

$$\therefore V_{\omega} = 0.446$$

$$\text{又 } \rho = \{ \{(3415)/(103.94) + (2728)/(93.97) \} / \\ (2) \} (273 + 25)/(273) (22.4) \\ = 1.50 \text{ kg/m}^3$$

ガスの粘度はモル分率に比例するものとして

$$\mu = 0.017 \text{ c.p.}$$

$$R_e = (du\rho)/\mu = (0.125)(0.218)(1.50)/ \\ (0.0000176) = 2.320$$

$$\therefore \Delta p = (274 \times 10^6) (u^2/2gd)^{1.40} (R_e)^{-0.90} e^{-20.7u} \rho Z \\ = (274 \times 10^6) (0.0194)^{1.40} (2.320)^{-0.90} \\ e^{-(20)(0.446)} (1.50) (26.5) = 17.6 \text{ kg/m}^2$$

(水柱mm)

大體に於いて妥當な値である。

6. 結 言

充填塔の (H.T.U.) の概念を導入すれば、相當放散度、 m の値が決定されれば、塔の高さの計算は差程困難ではない。併し現在では、この値について、全然發表もなく、極めて、不安定なので、筆者は、目下此の値を追求しつつありその中、成果も、發表する豫定である。この拙文が、今後のこの方面の研究に役立つならば、幸甚と考える次第である。終りに臨み、種々御教示を賜り、又 data の提供を戴いた下記工場の諸先輩に誌上を借りて、厚く御禮申し上げます。尙今後共、御教示賜わらんことを御願い申し上げます。

中越パルプ、北澤氏、北越製紙、岡田氏、町

田氏、本州製紙、角氏、吉田氏、内海氏、十條製紙、大場氏、辻氏、興國人絹、山田氏、瓜生氏、有賀氏、山陽パルプ、西澤氏、鯉田氏、東北パルプ、鈴木氏、東洋紡、内田氏、高城氏、(A.B.C. 順)

記 號

D =塔内徑	[m]
D_L =液中の擴散速度	[m ² /hr]
d =充填物の代表長さ	[m]
e =自然對數の底	[—]
G =塔内の平均ガス質量速度	[kg/m ² hr]
G_M =塔内の平均ガスモル質量速度	[kgmol/m ² hr]
g =重力加速度	[m/sec ²]
$(H.T.U.)$ =1移動單位に相當する塔の高さ	[m]
$(H.T.U.)_{OL}$ =液濃度差に基く (H.T.U.)	[m]
$(H.T.U.)_{OG}$ =ガス濃度差に基く (H.T.U.)	[m]
L =塔内の平均液質量速度	[kg/m ² hr]
L_M =塔内の平均液モル質量速度	[kgmol/m ² hr]
L_V =塔内の平均液體積速度	[m ³ /m ² hr]
m =相當放散度	
平衡線の傾斜 dy^*/dx	[—]
N_{OG} =ガス組成に基く總括移動單位數	[—]
N_{OL} =液組成に基く總括移動單位數	[—]
Δp =製藥塔の壓損失	[kg/m ²]
R_e =Reynolds 數	[—]
S =塔の全斷面積	[m ²]
u =ガスの線速度	[m/sec]
w' =液の線速度	[m/sec]
V_d =乾燥時空間率	[分率]
V_{ω} =灌液時空間率	[分率]
x =塔内の任意斷面に於ける液濃度	[モル分率]
x^* = y に平衡な液濃度	[モル分率]
$(1-x)_{OM} = (1-x)$ と $(1-x^*)$ の對數平均値	[モル分率]
y =塔内の任意斷面に於けるガス濃度	[モル分率]
y^* = x に平衡なガス濃度	[モル分率]
Z =塔の有効高さ	[m]
ρ =ガスの密度	[kg/m ³]
ρ' =液の密度	[kg/m ³]
μ =ガスの粘度	[kg/msec]
μ' =液の粘度	[kg/msec]
ν' =液の運動粘度 μ'/ρ'	[m ² /hr]
$\varphi = (dG)^{0.2} (D/d)^{0.1} (\nu'/D_L)^{0.2}$	

添字 1 は氣液濃度の濃厚端 (一般に塔低) を

2 は稀薄端 (一般に塔頂) を示す。

(筆者・廣島大學工學部) 26年5月5日受付

参考文献

- 1) Carl Rud Bergson Beiträge zur Kenntnis des Sulfitzellstoff-Verfahrens (1937)

- 2) Roy P. Whitney & J. E. Vivian. Chemical Engineering Progress 45 323 (1949)
- 3) 例へば藤田, 工業物理化学 4 卷 (1949)
化学機械協会, 化学工学便覧 (1950)
- 4) 内田, 龜井, 八田, 化学工学 (昭15)
- 5) John H. Perry Chemical Engineering Ha-

- ndbook 2nd ed. (1941)
- 6) Sherwood Absorption and Extraction (1937)
- 7) 内田, 藤田, 工業化学雑誌 40, 538, (1937)
- 8) 八田, 化学機械協会年報 5, 201, (昭16)
- 9) 藤田, 化学機械 11, 11, (1947) 11, 36, (1947)

紙 の 引 裂 度

JT 414 sm - 50

装 置

試験装置は次の要件を具備すべきである。固定式つかみと扇形の振子（以下振子と稱す）と共に動く可動式つかみとを有し、振子はボールベアリング或は摩擦の少い軸受で自由に振れるやうになつてゐること。

振子を左へ引揚げておき瞬間的にそれを放ち得る様になつてゐること。

振子が振動してゐる間の最大の弧を示すやうになつてゐること。試験片が引裂かれる時振子のなした gr・cm の仕事を 137.6 で除したものが（試験片を引裂くに要した gr の力の $\frac{1}{16}$ ）指針で讀める様に 0 から 100 迄刻みを入れた圓周形目盛が振子についてゐること（註 1 参照）

“つかみ”は 2.5mm (0.1") の間隔に保たれ、取付けた試験片は振子の振動面に直角になり“つかみ”の端は水平であり、振子の支持軸より“つかみ”の端に至る垂線は 104mm (4") の長さを有し紙面と 27.5° の角度をなすこと。

夫々の“つかみ”の締付面は幅 2.5m (約 1") 以上深さ 12mm (約 $\frac{1}{2}$ ") 以上であること。

調 整

振子の摩擦は次のやうにして調整する。

「振子止め」の端から右へ臺の上に鉛筆で線を描く、振子を始動の位置に揚げ指針を停止點に合せつぎに止め金をはずし振子を放す時は振子はその止め金のかゝる端が鉛筆線の左へ行かなくなる迄に少くとも 20 回の完全な振動をさせるべきである。さうでない場合は軸受に注油し調整しておかねばならない。

装置を水平にすること。その時は振子を自由にしたときの支點からの垂線を示す振子上の線が止め金の端に一致する。水平にした後“つかみ”を何も挟まずにしめつけて指針が零を示すか否かを確認するため器械を數回操作して見る。零點が合はぬ時は指針の止め金を零になる迄適當に合せる。指針の摩擦は次の様にして點檢する。

即ち振子を放つ前に目盛の零點に指針を合はせ離れた後指針が零點をこえること 3 目盛以上に上らないか注意する。

3 目盛以上の讀みは指針が摩擦されすぎてゐることを示すのでこれを取外し、軸受は綺麗にふいて適當な鎮油をごく少量用ひ指針の摩擦が少くなつてから停止装置を合せる。

補 正

補正は次の様にして行ふ

器械を平なガラス板上に水平に置き調整後重量既知の重し Wgr を“つかみ”の下方の振子の端に挟む。重しの重心（附屬物を含む）の位置は器械の前面にあたる重しの面に豫め點にて印す。引裂試験を行ふ時の様に振子をあげて止める。この時の重しの重心の位置のガラス板からの高さ (H) を適當な方法で cm で測定する。次に振子を放し指針の讀みを記録する。指針がその停止點に丁度合ふまで振子を揚げてやりその状態で再びガラス面から重しの重心迄の高さ (h) を cm で測定する。

この時の振子のなした仕事は次の式の通りである。

$$\text{仕 事} = W(h - H) \text{gr} \cdot \text{cm}$$

正しい機械の圓周形目盛の刻みは次式に合つてゐべきである。

$$\frac{W(h - H)}{137.6}$$

（註 (1) を参照）

補正に適した重しの目方は 75gr から 400gr の間の 5 個からなり 1 個或はそれ以上を種々異つた位置において振子の端に挟みこれを引揚げるに要した仕事を夫夫計算し合計する。

記録は指示値の偏差を測り、それに相當する補正をして試験結果とする。器械が既に調整してあり何れの部分も變つたり、摩擦していないならば圓周目盛の補正は繰り返す必要はない。然し引裂の距離は正しく 43mm (1.69") であるが試験に先だち検査し必要があれば調整する。

試 験 片

試験片は正しく紙のたて、よこに就て約 76mm (3") の長さで正確に 63mm (2.5") の幅に切りその幅の部分に 20mm の「切り目」を入れ試験片の末端から「切り目」の終りまで正確に 43mm 残る様にする。

STUDIES ON THE RESIN IN SULPHITE COOKING

(III) ON THE QUANTITIES OF THE RESIN BEFORE AND AFTER THE COOKING

M. Sato and H. Eguchi

Six sorts of the wood chips, namely the heart and splint wood of the lower part of a trunk of the 60 year Todomatsu tree and splint wood of the middle part of the same and further the ethyl alcohol extracted of these above mentioned, were subjected under the normal sulphite cooking independently or in the existence of two different wood chip in the same digester.

As the results of the experiments, the followings were observed :

1. These were no difficulty as to the sulphite cooking of all the wood chips employed, so that all of the samples were digested to the ordinary pulps.
2. 81-91 per cent by weight of the resin contained in the unextracted wood chips was removed during the cooking and washing followed, but these figures were decreased to 71-81 per cent by the extracted. From these it seemed that the resin which remained in the extracted wood chips were not easier to remove than that of the unextracted.
3. In the case of simultaneous cooking of two different wood chips in the same digester, that is to say, the one wood chips were extracted with ethyl alcohol and the other were not, the resin isolated from the former was not likely to deposit on the pulp which came from the later.
4. As the result of the cooking of the ethyl alcohol extracted wood chips neither the formation nor the increase of the resin observed.
5. On account of cooking action, the quantities of the fatty acid increase evidently.

A DESIGN OF THE ACID TOWER ON SULFITE MILL

Yorizane Masahiro, Kinuhara Kazuo

For the design purposes of the acid tower, it is obviously important to apply the general methods of designing the packed tower. Such as:— From the point of getting a uniform distribution over the tower cross section, the maximum diameter would be followed, and from flooding point minimum diameter would be calculated. Considering the pressure drop of the packed tower, it would be decided the suitable diameter between max. and min. dia.

On the other side. In calculating the height of the tower, H. T. U. would be calculated by applying the Equation of Dr. Fujita putting the equivalent stripping coefficient (measured by writer) in.

On this paper, it appears one example, as using the actual data, which is calculating the diameter and height of the tower.