吸着等温線が直線でない場合の過渡状態 の解析法*

杉 山 幸 男**

1. 緒 言

すでに筆者¹⁾は吸着等温線が直線の場合についての過渡状態の解析を行ったが、実際には等温線が曲線をしめす場合がなかなか多い。このように等温線が曲線となる場合の過渡状態の解析は Grossman¹⁾, Hougen²⁾ さらに河添氏³⁾ らによって報告されているように主として図解法にもとづいている。筆者はここで図解法より精度がたかく、また計算も比較的容易な数値解法をえたので報告する。

2. 解 析 方 法

充填層内非定常吸着について考えると

$$dw = (\partial w / \partial u)_v du + (\partial w / \partial v)_u dv \quad (1)$$

$$dy = (\partial y / \partial u)_v du + (\partial y / \partial v)_u dv \quad (2)$$

$$(\partial w / \partial \tau)_z = (\partial w / \partial u)_v (\partial u / \partial \tau)_z + (\partial w / \partial v)_u (\partial v / \partial \tau)_z \quad (3)$$

$$(\partial y / \partial z)_\tau = (\partial y / \partial u)_v (\partial u / \partial z)_\tau + (\partial y / \partial v)_u (\partial v / \partial z)_\tau \quad (4)$$

$$(\partial y / \partial \tau)_z = (\partial y / \partial u)_v (\partial u / \partial \tau)_z + (\partial y / \partial v)_u (\partial v / \partial \tau)_z \quad (5)$$

$$\text{ただし } u = \alpha z \quad v = \beta(\tau - \tau_z) \quad (6)$$

$$\alpha = 1/H_d, \quad \beta = G/\rho_B H_d, \quad \tau = \rho_G F_s/G \quad (7)$$

(6) より

$$(\partial u / \partial z)_\tau = \alpha \quad (8)$$

$$(\partial u / \partial \tau)_z = 0 \quad (9)$$

$$(\partial v / \partial z)_\tau = -\beta \tau \quad (10)$$

$$(\partial v / \partial \tau)_z = \beta \quad (11)$$

一方充填層内物質収支より

$$(\partial w / \partial \tau)_z = \beta(y - y^*) \quad (12)$$

$$(\partial y / \partial z)_\tau + \tau(\partial y / \partial \tau)_z = -\alpha(y - y^*) \quad (13)$$

いま, $y/y_0 = \psi_1$, $y^*/y_0 = \psi_2$, $w/w_0 = \psi_3$, $v' = (y_0/w_0)v$ とおき, (11), (9), (12), (3) より

$$(\partial w / \partial v) = (y - y^*) \quad (14)$$

あるいは,

$$(\partial \psi_3 / \partial v') = (\psi_1 - \psi_2) \quad (14')$$

また, (10), (11), (4), (5), (8), (9), (13) より

$$(\partial y / \partial u) = -(y - y^*) \quad (15)$$

$$\text{あるいは } (\partial \psi_1 / \partial u) = -(\psi_1 - \psi_2) \quad (15')$$

をうる。

さらに吸着等温線が次式で表わせるとすると

$$\psi_2 = f(\psi_3) \quad (16)$$

(14), (15), (16) より, ψ_1 を消去して,

$$\partial^2 \psi_3 / \partial u \partial v' + \partial \psi_3 / \partial v' + \partial \psi_2 / \partial u = 0 \quad (17)$$

いま,

$$\psi_2 = f(\psi_3) = \psi_3 - f_1(\psi_3) \quad (18)$$

として,

$$\partial^2 \psi_3 / \partial u \partial v' + \partial \psi_3 / \partial v' + \partial \psi_3 / \partial u = \partial f_1 / \partial u \quad (19)$$

をうる。

(19) 式の解は

$$\begin{aligned} \psi_3(11) - f_1(11)/4 &= \{\psi_3(10) + \psi_3(01)\} \\ &+ 1/4\{f_1(10) - f_1(01) - f_1(00)\} \end{aligned}$$

となる。したがって $\psi_3(10)$, $\psi_3(01)$ などの右辺が既知ならば $\psi_3(11) - f_1(11)/4$ がしれる。しかも $f_1 \sim \psi_3$ の関係は既知だから $\psi_3(11)$ あるいは $f_1(11)$ がしれる。

初期条件は,

$$\left. \begin{aligned} u=0 \text{ で } \psi_1=1 \text{ から } \partial \psi_3 / \partial v &= 1 - \psi_2 \\ &= 1 - \psi_3 + f_1(\psi_3) \\ v=0 \text{ で } \psi_3 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

からもとまる。また ψ_3 の分布がきまれば

$$\psi_1 = \partial \psi_3 / \partial v' + \psi_2 = \partial \psi_3 / \partial v' + \psi_3 - f_1(\psi_3)$$

で ψ_1 がもとまる。

3. 結果の検討

数値解析結果の1例を河添氏の図解法の場合と比較すると Fig. 3 のごとくなる。吸着等温線は Fig. 1, 計算の基礎になるデータは Table 1, 計算に使用する図を Fig. 2 にしめす。データはすべて河添氏のものを引用した。数値解による ψ_3 の分布曲線は $u \geq 4$ からはたんに u' の方にずれるだけである。これより見てわかるように両者の結果は割合によい一致をしめしている。

4. 結 論

吸着等温線が曲線となる場合の過渡状態の解析法は従来主として、図解法によっていたが、この図解法は精度

* 昭和33年9月26日受理

** 名古屋大学工学部化学工学科

Fig. 1

Fig. 2

Fig. 3

も劣りまた割合に複雑である。筆者は精度ならびに計算の容易さをも考慮にいれて数値解による新しい解法を提案した。

Nomenclatures

- F_e : external void fraction of bed
 G : mass velocity of adsorbate-free fluid [kg/m²hr]
 H_d : over-all heights of mass transfer units [m]
 w : adsorbate content of solid [kg/kg solid]
 w_0 : mass of adsorbate per unit mass of adsorbent in equilibrium with the entering gas [kg/kg]
 y : adsorbate content of fluid stream [kg/kg fluid]
 y^* : equilibrium adsorbate content

of the fluid stream [kg/kg fluid]

y_0 : mass of adsorbate per unit mass of adsorbate-free gas in the entering stream [kg/kg fluid]

z : distance in bed measured in direction of flow [m]

τ : time [hr]

ρ_B : bulk density of bed [kg/m³]

ρ_G : density of gas [kg/m³]

Literature cited

- 1) L. V. Grossman: *Trans. Amer. Inst. Chem. Engrs.*, **42**, 535 (1946)
- 2) O. A. Hougen: *Chem. Process. Principles* vol. III, p. 1094 (1950)
- 3) K. Kawazoe: *Advanced Chem. Eng.*, p. 94-97 (1950)
- 4) S. Sugiyama, *Chem. Eng. (Japan)*, **22**, 771 (1958)

Isothermal Adsorption with Complex Equilibrium

S. Sugiyama*

Where the relationship between the equilibrium adsorbate content of the adsorbent and that of the gas was not linear, the differential equation for unsteady state adsorption was solved by numerical calculation and the method was compared with the graphical one.

* Department of Chemical Engineering, Nagoya University

噴霧乾燥に関する諸問題

昨年11月の座談会(本号“協会の動き”欄参照)は意外に反響を呼んだようである。そこでこの問題に関し少し紙面をいただくことにしたい。

まず噴霧方法つまり液の微粒化という問題については、回転円板型、加圧ノズル型あるいは2流体ノズル型、そのいずれにしても、すでに相当研究が進んでおり、処理すべき溶液や泥漿の性状、量、製品粒度(見掛け密度)などが与えられれば、それに適した方法を選ぶことはそれほどむずかしいことではない。これに対して乾燥器の型式、すなわち縦型(円筒型、サイクロン型)か横型か、また熱ガスと液滴との相対運動が並流、向流、複合流のいずれの型式に属し、いかなるフローパタンを示すかという問題は、液滴の蒸発したがってまた製品の乾燥状態、熱効率、器壁への付着の問題などすべてに深く関係し、もっとも複雑で厄介な問題である。結局は処理液、製品の両面から適切な型式を経験的に決定しているのが実情のようである。

液滴の蒸発に必要な理論熱量から熱ガス量を求めることは計算上は容易であるが、問題はここさいう用いる熱効率の数値にある。同様に熱ガスと液滴との平均接触時間、したがってまた乾燥室の大きさ(液滴の飛翔距離とも関係)などの決定も全く経験によっている。液滴1個についての乾燥曲線を求めることも基

礎実験として行われているが、対象になるのは液滴群だから、設計に役立たせるにはなお多くの年月を要するであろう。また1個の液滴を崩さずに保っていく実験技術そのものにもかなりの問題が残されているように思う(ことに製品が中空球の場合など)。

液滴の乾燥が十分ならば器壁への付着の問題は起らないはずであるが、事実はそうでなく、熱的に不安定なものを扱うだけに問題は大きい。これを避けるには、器壁その他ダクトなどの面をできるだけ滑らかにすること(アルミよりもステンレス、Kel-Fライニングなど)、原液に適当な界面活性剤を混入すること、あるいは掻取機や電磁振動機を用いるなど、の方法が採られているが、もちろん第一の方法がもっともよい。

最後にスケールアップの点に一言しておこう。処理量の大小に拘らず、液滴の大きさとしてはある範囲内の粒度を示すことが必要である。いいかえれば液滴の大きさについては絶対値そのものが重要である。ここにスケールアップについての問題点がひそんでいる。実験室的な小型のものではあまり効果はなく、ある程度大きな乾燥器についてのデータでなければ、スケールアップに利用することはむずかしいであろう。(サイクロンその他の付属設備、経済的問題などは紙面の都合で割愛する)

(S)