Literature cited

- 1) Ginnette, L.F., Graham R.P. and Morgan, A.I.: *Nat. Symp. Vac. Tech. Trans.*, 268 (1959)
- 2) Harper, J.C.: *A. I. Ch. E. Journal*, 8, 289 (1962)
- 3) Kawamura, S.: *Chem. Eng., Japan*, 26, 438 (1962)
- 4) Kessler, H.G.: *Chem.-Ing.-Tech.*, 34, 163 (1962)
- 5) Suezawa, Y., S. Kawamura: *Chem. Eng., Japan*, 22, 258 (1958)
- 6) Tappel, A.L., A. Conroy, M.R. Emerson, L. W. Regier and G.E. Stewart: *Food Tech.*, 9, 401 (1955)

梯形波を用いたパルス塔のホールドアップについて*

村 田 芳 治**

東京農工大学工学部 化学工学科

緒 言

パルス塔の研究は、近年比較的多く研究^{1,4)}されているが、これらの研究は、主として正弦波のパルスを用いてなされ、他の波形は、わずかに Thornton²⁾によって矩形波、三角波が検討されているにすぎない。Thorntonによれば、特性速度や HTU は、パルスの波形には無関係に、それぞれ一つの式で表わされるとしている。しかし、筆者³⁾は先に、パルス波形の検討を行ない、HTU はパルス波形に著しく影響され、検討した 6 種の波形のうち、梯形波が最も優れているとの結果を得た。梯形パルスは、a) アップストローク、b) アップストロークの静止、c) ダウンストローク、d) ダウンストロークの静止の 4 の期間に分けられるが、このうち、塔の特性に最も影響を与えるものは、a) で次は b) であるが c), d) は殆んど影響を与えない。

正弦波のパルス発生装置には、弁のないピストンポンプ、ベローポンプや空気作動式ピストンポンプがあるが、これらは、いずれも塔径が大きくなると、操作上種々の問題を生じ、使用しにくい欠点がある。ところが梯形波のパルス発生装置は、Fig. 1 に示すように、弁と空気室および遠心ポンプからなるもので、この方法によれば、塔径が大きい場合でも、容易に発生させることができる。したがって、梯形波は工業的に有効な波形であると考えられる。

本研究は、梯形波を用いたパルス塔のホールドアップと、溢流速度に及ぼす抽出系の物性要因と塔要因の影響を明らかにし、これらの間の関係式を求める目的で行

なった。

1. 実験装置と実験方法

Fig. 1 に示すような実験装置で、塔は 8 段として多孔板と格子板について検討した。使用したプレート仕様の、Table I に、また抽出系の物性は、Table II に示すようである。本研究では、有機相を常に分散相とし、そのなかに、約 5 重量パーセントの酢酸を溶解し、これを水で抽出する、すなわち物質移動が存在する状態で、分散相のホールドアップを求めた。塔要因、すなわち装置的要因と操作的要因の実験範囲を、Table III に示す。

パルスの発生方法を Fig. 1 で簡単に説明すると、弁 5 を閉じたまま弁 4 を開くと、空気室に蓄積されていた液は、急激に噴出して、パルスのアップストロークの波形

1 column 2 pump 3 air chamber
4, 5 solenoid valve 6, 7, 8, 9 valve
10, 11, 12 solenoid valve 13 interfacial indicator
14 flow meter 15 timer

Fig. 1 Flow chart of experimental pulsed column system

* <Hold-up Studies in a Pulsed Column using Trapezoid Wave of Pulsation>

Received on August 29, 1966

化学工学協会 第 31 年會にて講演発表

** Yoshiharu Murata (Tokyo University of Agriculture and Technology, Tokyo)

Table I Pulsed column cartridges

Plate	d or d/b	Free area [$\frac{\text{Passage area of plate}}{\text{Cross sectional area of column}} $]	
Perforated	d cm		
	0.3	0.213, 0.147, 0.100, 0.075	
	0.22	0.226, 0.173, 0.075	
	0.12	0.173, 0.075	
Turbogrid	d/b cm/cm		
	0.2/0.9	0.195, 0.120, 0.100, 0.07	
	0.2/0.7	0.195, 0.120, 0.100, 0.07	
	0.2/0.5	0.195, 0.140, 0.100, 0.07	
	0.2/1.2	0.100	
	0.2/1.6	0.100	
	0.3/2.0	0.05	

Table II Physical properties of the ternary system

System	Temp.	Viscosity	Density	Interfacial tension
	$^{\circ}\text{C}$	c. p.	g/cm^3	dyne/cm
MIBK-Acetic Acid-Water	20	0.628	0.809	10.2
Benzene-Acetic Acid-Water	25	0.604	0.876	28.2
n-Hexane-Acetic Acid-Water	20	0.322	0.659	44.0
Buthyl Acetate-Acetic Acid-Water	20	0.732	0.881	14.2

Table III Pulsed column variables
[total number of stages: 8]

Variable	Symbol	Unit	Range investigated	
			Min. value	Max. value
Frequency	f	1/sec	0.227	0.768
Amplitude	a_m	cm	1.0	4.0
Time of upstroke	t_u	sec	0.13	0.50
Aqueous-phase flow rate	U_c	cm/sec	0.175	0.782
Organic-phase flow rate	U_D	cm/sec	0.118	0.782
Flow ratio	U_c/U_D	—	0.5	2
Column diameter	D_T	cm	5.2	10.8
Plate spacing	l	cm	3.0	9.0

を形成する。次に弁4を閉じると、パルスは静止して、アップストロークの静止期間となる。次に弁4を閉じたまま、弁5を開くと液はポンプ2によって空気室に流入して、ダウンストロークの波形を形成し、弁5が閉じれば、ダウンストロークの静止期間となる。以上のように、弁4, 5の開閉と、その時間を調節することによって、任意の形状の梯形波を発生することができる。

発生したパルス波形を、電磁オシログラフで記録して、波形を検べ、それからパルスのアップストローク時間 t_u を求めた。

ホールドアップの測定法を、Fig. 1で説明すると、分散相、連続相を、ある流量で送入して、塔頂の分散相と連続相の界面が、パルスのアップストロークの静止期間で、指針13の先端に一致するように調節する。塔内

の滯液量が定常になってから、弁10, 11, 12を同時に閉じて送液を止めるとともに、塔下部からの水相の排出を止める。次に弁9の開き度を減らして、振幅 a_m を小さくし、塔内に滞留する分散相を、徐々に塔頂に押し上げた後に、ふたたび a_m をもとの大きさにもどして、パルスをアップストロークの静止期間で止める。次に弁12を開き、界面が指針13の先端に一致するまで、水相を注意深く注入する。このとき溢流してくる分散相の量を滯液量として、これを塔容積で除してホールドアップを求めた。塔容積は塔の上下界面（塔底に界面が現われなときは、最下部のプレートの下面をもって界面とした）の間の容積を実測して求めた。

2. ホールドアップについて

梯形波を用いた場合の塔内流動状態は、ジェット流による槽の攪拌³⁾のように、パルスのアップストロークで、塔内の流体に与えられる運動量に関係する。すなわち、パルスのアップストロークで、プレートから噴出するジェット流のもつ運動量によって、塔内に激しい攪乱が生ずる。この攪乱は、パルスの期間が、アップストロークの静止、ダウンストロークと経過するにしたがって渦流損失や塔壁との摩擦などによって漸次弱められる。与えられる運動量が小さく、かつ周波数が小さい場合は、攪乱は次のパルスのアップストロークまでに、ほとんど消滅してしまう。したがって、塔内の攪乱の強さとその持続性は、運動量とパルスのアップストローク時間 t_u と周期 $1/f$ の比 $t_u/1/f = t_u f$ に関係すると考えられる。

分散相は、パルスのアップストロークで、プレートを通過するときに、ジェット流によって小滴に分割され、塔内の攪乱によって浮遊するが、攪乱が弱まるにつれて、液滴は会合して、プレートの下側に層となつてたまるようになる。攪乱が次のパルスまで持続されるときは、会合しないで、浮遊している液滴の量が多くなって、ホールドアップは増大する。したがってホールドアップは攪乱の強さとその持続、すなわちパルスのアップストロークで与えられる運動量と $t_u f$ とに相関すると考えられる。

2.1 パルスで与えられる運動量 M について

パルスで塔内の流体に与えられる運動量は、アップストロークで与えられるものと、ダウンストロークで与えられるものとがある。梯形波のパルスでは、後者の運動量は、プレートを通過するときの流速が著しくおそいので、無視することができる。したがって、パルスで与えられる運動量は、アップストロークで与えられる運動量だけを考えればよいことになる。いま、単位時間、単位質量当りに与えられる運動量を M とすれば、 M は次式

で与えられる。

$$M = \frac{mv}{Sl\rho} \quad (1)$$

ここで、 u はプレートを通過するときの流速、 m は単位時間に噴出される液量を表わし、それぞれ、次式で与えられる。

$$v = \frac{a_m}{\epsilon t_u} \quad (2)$$

$$m = f a_m \cdot S \cdot \rho \quad (3)$$

ただし、 S ：塔断面積、 ϵ ：開口比

(1), (2), (3) 式から

$$M = \frac{f a_m^2}{\epsilon t_u l} \quad (4)$$

を得る。

2.2 次元解析

ホールドアップを支配する要因として、周波数 f 、振幅 a_m 、パルスのアップストローク時間 t_u 、分散相流速 u_D 、連続相流速 u_c 、分散相の粘度 μ_D 、界面張力 σ 、分散相密度 ρ_D 、密度差 $\Delta\rho$ 、開口比 ϵ 、塔径 D_T ならびに装置寸法と、重力加速度 g を考え、ホールドアップ x は次式で表わされたとする。

$$x = \phi(f \cdot a_m \cdot t_u \cdot u_c \cdot u_D \cdot D_T \cdot b \cdot d, \epsilon \cdot l \cdot \sigma \cdot \mu_D \cdot \rho_D \cdot \Delta\rho) \quad (5)$$

上式で運動量 M と $(t_u f)$ を考慮して、次元解析すると次式を得る。

$$x = A \left(\frac{M}{g} \right)^{n_1} \left(\frac{U_D}{f a_m} \right)^{n_2} \left(\frac{U_c}{U_D} \right)^{n_3} (f t_u)^{n_4} \left(\frac{l}{d} \right)^{n_5} \left(\frac{d}{b} \right)^{n_6} \left(\frac{d}{D_T} \right)^{n_7} \left(\frac{d}{D_R} \right)^{n_8} \left(\frac{l}{D_R} \right)^{n_9} \left(\frac{\mu_D^2}{\Delta\rho d} \right)^{n_{10}} \left(\frac{\Delta\rho}{\rho_D} \right)^{n_{11}} \quad (6)$$

本研究では、(6) 式を用いて整理した。

2.3 多孔板の場合

Table I に示すようなプレートを用い、Table II, III に示すような系と実験条件で、各要因と x の相関関係を検討した。得られた結果を、(6) 式で整理して各項の指数を求め、 x と M の関係をプロットすると Fig. 2 のようになる。図から 470 個の実験データ (Fig. 2 では重なるものは省略した) は、平均誤差 13 パーセントで、次の実験式で表わすことができる。

$$x = 175 \left(\frac{M}{g} \right)^{0.888} \left(\frac{U_D}{f a_m} \right)^{1.20} \left(\frac{U_c}{U_D} \right)^{0.350} (f t_u)^{0.624} \left(\frac{l}{d} \right)^{0.120} \left(\frac{\mu_D^2}{\Delta\rho d} \right)^{0.05} \left(\frac{\Delta\rho}{\rho_D} \right)^{-0.127} \quad (7)$$

$$\text{ただし } M = \frac{f a_m^2}{\epsilon t_u l} \quad 10^{-3} < M/g < 2 \times 10^{-2}$$

また、無次元項の実験範囲は Table IV に一括して示した。上式を求めるに際して、塔要因と x の関係の一つ一つ求めたが、この関係を示すと Fig. 3~12 のようである。

Fig. 2 Relationship between momentum M and hold up x for perforated plate

Table IV Range of dimensionless group

Plate	Dimensionless group	Range of investigated	
		Min. value	Max. value
Perforated	$\frac{M}{g} = \frac{f a_m^2}{\epsilon t_u l g}$	0.001	0.02
	$\frac{U_D}{f a_m}$	0.10	1.0
	$\frac{f t_u}{d}$	0.0295	0.207
	$\frac{l}{d}$	10	50
	$\frac{\mu_D^2}{\Delta\rho d}$	3.5×10^{-6}	1.7×10^{-4}
	$\frac{\Delta\rho}{\rho_D}$	0.0132	0.482
Turbogrid	$\frac{M}{g} = \frac{f a_m^2}{\epsilon t_u l g}$	0.001	0.02
	$\frac{U_D}{f a_m}$	0.10	1.0
	$\frac{f t_u}{d}$	0.05	0.160
	$\frac{l}{d}$	15	50
	$\frac{d}{b}$	0.1	0.40
	$\frac{\mu_D^2}{\Delta\rho d}$	3.5×10^{-6}	1.70×10^{-4}
	$\frac{\Delta\rho}{\rho_D}$	0.0132	0.482

2.4 格子板の場合

格子板の場合も、多孔板と全く同じように、各要因とホールドアップの関係を検討すると Fig. 14 のようになる。図から 570 個の実験データは、平均誤差 12 パーセントで次式で表わすことができる。

$$x = 68 \left(\frac{M}{g} \right)^{0.785} \left(\frac{U_D}{f a_m} \right)^{1.20} \left(\frac{U_c}{U_D} \right)^{0.350} (f t_u)^{0.624}$$

Fig. 3 Effect of superficial velocity of dispersed phase U_D on hold up x

Fig. 4 Effect of flow ratio U_c/U_D on hold up x
P. plate: Perforated plate
T. plate: Turbogrid plate

Fig. 5 Effect of time of upstroke t_u on hold up x
[$U_c/U_D=1$, $f=0.383$ c/sec, $a_m=2.0$ cm, $l=6.0$ cm]

Fig. 6 Effect of amplitude a_m on hold up x
[$U_c/U_D=1$, $f=0.383$ c/sec, $l=6.0$ cm]

Fig. 7 Effect of frequency f on hold up x
[$U_c/U_D=1$, $a_m=2.0$ cm, $t_u=0.27$ sec, $l=6.0$ cm]

Fig. 8 Effect of free area of plate ϵ on hold up x
[$U_c/U_D=0.157~0.868$ cm/sec, $f=0.383$ c/sec, $a_m=2.0$ cm, $t_u=0.27$ sec, $l=6.0$ cm]

[$U_c/U_D=1$, $f=0.383$ c/sec, $t_v=0.27$ sec, $l=6.0$ cm]

Fig. 9 Effect of hole diameter or slit width d on hold up x

[$U_c/U_D=0.157 \sim 0.550$ cm/sec, $f=0.383$ c/sec, $a_m=2.0$ cm, $t_v=0.27$ sec]

Fig. 10 Effect of plate spacing l on hold up x

[$U_c/U_D=0.157 \sim 0.942$ cm/sec, $f=0.383$ c/sec, $a_m=2.0$ cm, $t_v=0.27$ sec, $l=6.0$ cm]

Fig. 11 Effect of physical properties on hold up x

[$U_c/U_D=1$, $f=0.383$ c/sec]

Fig. 12 Effect of diameter of column D_T on hold up x

[$U_c/U_D=0.157 \sim 0.707$ cm/sec, $f=0.383$ c/sec, $a_m=2.0$ cm, $d=0.2$ cm, $l=6.0$ cm]

Fig. 13 Effect of distance of slit b on hold up x

$$\left(\frac{l}{d}\right)^{0.120} \left(\frac{d}{b}\right)^{0.135} \left(\frac{\mu_D^2}{\Delta\rho_D}\right)^{0.05} \left(\frac{\Delta\rho}{\rho_D}\right)^{-0.127} \quad (8)$$

ただし $10^{-3} < M/g < 2 \times 10^{-2}$ 平均誤差 12 %

無次元項の実験範囲は Table IV に一括して示した。

また、各要因と x との関係は、多孔板と一緒に Fig. 3 ~ 12 に、そしてスリット幅 b の影響を Fig. 13 に示す。

2.5 ホールドアップの実験式

上記のように、多孔板と格子板のホールドアップの実験式を、それぞれ (7), (8) 式のように求めたが、(8) 式で、スリットの幅 d の代りに相当直径 d_e を用い、また (b/d) の項を省略して、多孔板と格子板の実験結果

Fig. 14 Relationship between momentum M and hold up x for turbogrid plate

を一括して再整理し、 M と x の関係をプロットすると、Fig. 15 のようになる。図から梯形波のパルスを用いた場合は、多孔板、格子板とも、ホールドアップは次の実験式で表わすことができる。

Fig. 15 General correlation for hold up in pulsed column using trapezoid wave of pulsation

Fig. 16 Relationship between U_D and $x/U_D^{1.20}$

$$x = \alpha \left(\frac{M}{g} \right)^{0.790} \left(\frac{U_D}{f a_m} \right)^{1.20} \left(\frac{U_c}{U_D} \right)^{0.350} (ftu)^{0.624} \left(\frac{l}{d_e} \right)^{0.120} \left(\frac{\mu_D^2}{\rho_D d_e} \right)^{0.05} \left(\frac{d_p}{\rho_D} \right)^{-0.127} \quad (9)$$

平均誤差 15%

ただし α : 多孔板 100

格子板 80

$$10^{-3} < M/g < 2 \times 10^{-2}$$

3. 溢注速度について

3.1 溢注速度の定義

流量比 U_c/U_D を一定に保つとともに、流量以外の要因を凡て固定し、 U_D を徐々に大きくすると、Fig. 3 に示すように、ホールドアップ x は、 $U_D^{1.20}$ に比例して増加し、 U_D がある値以上になると、 x は急に増加する。この状態は $x/U_D^{1.20}$ と U_D とを Fig. 16 のようにプロ

Fig. 17 Relationship between flooding velocity of dispersed phase and $x/U_D^{1.20}$

ットすると、一層明瞭になる。図で $x/U_D^{1.20}$ の値が急に大きくなる点を A とすれば、A 点を溢注点とし、そのときの分散相の流速を、ここでは、溢注速度 U_{DF} と定義する。

3.2 x と U_{DF} の関係

Table III に示す実験範囲と Table II に示す系で、実験を行ない、得られた結果を、Fig. 16 のようにプロットして、溢注点 A を決定し、その点から $x/U_D^{1.20}$ と U_{DF} の関係を求め、両対数にプロットすると、Fig. 17 のようになる。図から、溢注速度は、多孔板と格子板を一括して、次の実験式で表わすことができる。

$$U_{DF} = 0.255 \left(\frac{x}{U_D^{1.20}} \right)^{-1.19} \quad (10)$$

次に、先に求めたホールドアップの実験式 (9) と上式を組合せると次式が得られる。

$$U_{DF} = \beta \left(\frac{M}{g} \right)^{-0.940} (f a_m)^{1.43} \left(\frac{U_c}{U_D} \right)^{-0.417} (ftu)^{-0.743} \left(\frac{l}{d_e} \right)^{-0.143} \left(\frac{\mu_D^2}{\rho_D d_e} \right)^{-0.060} \left(\frac{d_p}{\rho_D} \right)^{0.151} \quad (11)$$

ただし、 β : 多孔板のとき、 $\beta = 1.06 \times 10^{-3}$

格子板のとき、 $\beta = 1.42 \times 10^{-3}$

4. 考 察

i) 塔内流動状態について パルス塔のホールドアップを検討する場合に、塔内の流動状態を、ミキサセトラ領域とエマルジョン領域に分けるとともに、両者の間に遷移領域を考へて、それぞれ別々に取り扱っている^{6,7)}。しかし梯形波の場合は、遷移領域が明瞭に現われず、ホールドアップの実験式も、ミキサセトラ領域とエマルジョン領域を一括にして、一つの式で表わすことができた。

Fig. 6 に振幅の影響を示しているが、多孔板の場合

は、 $a_m=2\text{cm}$ 以上では、エマルジョン領域であり、それ以下では、ミキサセトラ領域である。図で見るように $a_m=1.0\text{cm}$ で、 x が急に増大している。この原因はパルスで与えられる運動量が小さすぎるため、塔内には殆んど攪乱が生じないで、分散相は、プレートから大きな液滴で押出され、そのまま上昇してしまうためである。この状態は、もはやパルス塔とは言えない状態で、操作条件の下限点であると考えられる。

Fig. 7 に、周波数 f の影響を示しているが、多孔板の場合で、 $f=0.227\text{c/sec}$ のとき、 x がやはり大きくなっている。この場合も、与えられる運動量 M が小さすぎるため、操作下限点以下の場合であると考えられる。

ii) 粘性数 N_{vi} の影響について Hinze¹⁾ は、分散相が小滴に分割される場合、 d_p はウェパー数と粘性数 $N_{vi}=\mu_D/\sqrt{\rho_D \sigma d_p}$ に関係するとしている。パルス塔では、分散相の液滴が小さくなればなるほど、浮遊する液滴の量が増し、 x は大きくなる。したがって、 x と N_{vi} の間には何らかの相関関係が存在すると推定されるが、本研究では、 x と N_{vi} の間には相関関係が認められなかった。しかし N_{vi} で、密度 ρ_D の代りに密度差 $\Delta\rho$ を、滴径 d_p に孔径 d を用い $N_{vi}'=\mu_D/\sqrt{\Delta\rho \sigma d}$ のように修正すると、 x と N_{vi}' の間に相関関係があることを認めた。この関係を示したものが Fig. 11 である。図では、多孔板も格子板も d が一定で実験しているので、 N_{vi}' の項で、 d をのぞいた $\mu_D^2/\Delta\rho \sigma$ と x の関係をプロットしている。Fig. 11 の関係を用い、実験値を整理したのが、(7)、(8) 式である。したがって、ホールドアップは修正粘性数 N_{vi}' と相関関係があると考えられる。

iii) 塔径 D_T の影響について Fig. 12 に塔径の影響を示したが、図からわかるように、梯形波の場合は、塔径が $5.2\sim 10.8\text{cm}$ の範囲では、 x は D_T に関係しない。このことは、次報で述べる総括容量係数は D_T に無関係という結果とあわせ、従来の正弦波を用いたパ

ルス塔の研究で、塔特性は塔径に影響^{9,10)} されるとする結果と比べて、注目すべきことであると思われる。

v) 溢流速度について 溢流速度は (11) 式で与えられるが、塔要因が同じのときは、格子板の方が多孔板より 30 パーセントほど大きい。したがって、格子板の方が溢流しにくいことになる。本研究では溢流速度の定義は Fig. 16 の A 点で定義したが、塔設計に当っては、(11) 式で求められる U_{Df} の値の 60 パーセントをもって、ローディング速度とするのが適当であると考えられる。

む す び

1) 梯形波を用いたパルス塔で多孔板と格子板を用い、広範囲の実験を行ない、ホールドアップ x と溢流速度 U_{Df} の実験式を求めた。両プレートは常数が異なるだけで、次の無次元式で相関できる。

$$x = \alpha \left(\frac{M}{g} \right)^{0.799} \left(\frac{U_D}{f a_m} \right)^{1.20} \left(\frac{U_c}{U_D} \right)^{0.350} (f t_w)^{0.624} \left(\frac{l}{d_e} \right)^{0.120} \left(\frac{\mu_D^2}{\Delta\rho \sigma d_e} \right)^{0.05} \left(\frac{\Delta\rho}{\rho_D} \right)^{-0.127}$$

平均誤差 15%

ただし α : 多孔板 100

格子板 80

$$10^{-3} < M/g < 2 \times 10^{-2}$$

$$U_{Df} = 0.255 \left(\frac{x}{U_D^{1.20}} \right)^{-1.19}$$

平均誤差 14.5%

無次元項の実験範囲は Table IV に示すようである。

2) 格子板の溢流速度 U_{Df} は塔要因が同一の場合、多孔板より約 30 パーセント大きい。

〔付 記〕 本研究を行なうに際して、熱心に協力下された東若芳君に感謝する。

Nomenclature

a_m : amplitude of pulsation	[cm]
b : distance between slit	[cm]
d : diameter of hole or width of slit	[cm]
d_e : equivalent diameter of hole	[cm]
D_T : diameter of column	[cm]
f : frequency of pulsation	[1/sec]
g : acceleration of gravity	[cm/sec ²]
l : plate spacing	[cm]
M : momentum	[cm/sec ²]
n : order of dimensional group	[—]
N_{vi}, N_{vi}' : viscous group number	[—]
S : sectional area of column	[cm ²]
t_w : time of upstroke of pulsation	[sec]
U : superficial velocity	[cm/sec]

U_f : superficial velocity at flooding point	[cm/sec]
x : hold up of dispersed phase	[—]
α : constant	[—]
β : constant	[—]
e : free area of plate	[—]
μ : viscosity	[poise]
ρ : density	[g/cm ³]
σ : interfacial tension	[dyne/cm]

Subscripts

c : continuous phase
D : dispersed phase
P. Plate: perforated plate
T. Plate: turbogrid plate

Literature cited

- 1) Hinze, J.O.: *A. I. Ch. E. Journal*, 1, 289 (1955)
- 2) Kurosawa, A.: *Chem. Eng. (Japan)*, 28, 380 (1964)
- 3) Kuzuoka, T.: *ibid.*, 26, 389 (1962)
- 4) Miyauchi, T. and Oya, H.: *A. I. Ch. E. Journal*, 11, 395 (1965)
- 5) Murata, Y.: *Chem. Eng. (Japan)*, 29, 716 (1965)
- 6) Sato, T., Sugihara and Taniyama, I.: *ibid.*, 27, 583 (1963)
- 7) Schmel, G. A. and Babb, A. L.: *Ind. Eng. Chem. Process Design and Develop.*, 2, 38 (1963)
- 8) Smoot, L. D. and Babb, A. L.: *Ind. Eng. Chem.*, 51, 1005 (1959)
- 9) Thornton, J. D.: *Trans. Instn. Chem. Engrs. (London)*, 35, 316 (1957)
- 10) Thornton, J. D.: *Brit. Chem. Eng.*, 3, 247 (1958)

梯形波を用いたパルス塔の物質移動について*

村 田 芳 治**

東京農工大学工学部 化学工学科

緒 言

塔式拡散操作に関する最近の研究は、塔特性に対する流体混合の影響と、真の物質移動過程の影響とに分けて検討する傾向にある。すなわち塔内の流動状態から、混合拡散係数を求める一方、流体の混合の影響を除いた真の物質移動係数を求め、この両者から拡散モデル、逆混合モデルなどの理論式で、装置の解析や設計をしようとする試みがなされている。パルス塔においても、江口¹⁾、宮内^{3,4)}らによって、このような取扱いが行なわれている。

しかし、パルス塔の設計でこのような取扱いをする場合は、きわめて複雑な計算を必要とし、そのうえ混合拡散係数と真の物質移動係数は、ともに塔要因すなわち操作的、装置の、物性的要因に複雑に影響されると考えられ、これらの影響がまだ十分に明らかにされていない。したがって現段階では、この方法を実際に行なうには問題がある。

これに対して、従来から用いられてきた方法は、塔内流動が分散相も連続相ともにピストン流と仮定し、Colburnの方法によって、塔頂、塔底の濃度から総括容量係数を求めて塔要因の関係式を決定し、これを用いて装置を設計しようとするものである。この方法による取扱いは、連続相に逆混合現象が実際に起きているにもかかわらず、ピストン流と見做して取扱うことに問題があり、Babb⁹⁾、Thornton⁹⁾らの結果は、逆混合現象を

含んだ関係式であると考えられる。したがって、これらの式を用いて塔を設計する場合には、逆混合と物質移動過程に対する塔要因の影響のしかたが異なることも考えられるので、関係式を求めた実験範囲外に外挿して適用するときは、特に注意しなければならない。この方法は、上述のように装置拡大に若干の問題があるけれども、取扱いが簡単で、かつ十分な工学的精度を有するので、現在でもなお行なわれている。

著者は、先にパルス塔の物質移動速度に及ぼすパルス波形の影響を検討⁵⁾し、梯形波は、従来から用いられている正弦波よりすぐれているとの結果を得た。また前報⁶⁾で梯形パルスを用いた場合のホールドアップと塔要因の関係を明らかにしたが、本研究は、総括容量係数と塔要因の関係を明らかにする目的で行なった。

1. 実験装置と実験方法

本研究では、前報⁶⁾で用いた実験装置をそのまま用いて行なった。塔は8段とし、プレートの仕様はTable Iに示すように、多孔板と格子板の2種類を用いた。発生したパルス波形を、前報⁵⁾による方法で、電磁オシログラフで記録して確認した。発生した梯形波の一例を示すとFig. 1のようである。また使用した抽出系とその物性をTable IIに示す。

本実験では、有機相を常に分散相として、そのなかに溶質を溶解して、これを水相で抽出する実験を行ない、塔頂、塔底の濃度を求め、次式によって連続相(水相)側の総括容量係数を求めた。

$$k_{oc}a = \frac{U_c(C_{c1} - C_{c2})}{Z(C_{c1}^* - C_{c1})_{lm}} \quad (1)$$

実験を始めるに際して、有機相、水相を前もって、そ

* <Mass Transfer Studies in Pulsed Column using Trapezoid Wave>

Received on August 29, 1966

化学工学協会 第30年會にて講演発表

** Yoshiharu Murata (Tokyo University of Agriculture and Technology, Tokyo)

気固系流動層における残余濃度曲線の測定による二相間ガス交換係数の決定 (小林晴夫・荒井 深・砂川隆久, 化学工学, 31, 239~243 (1967)) 8.4cmφ 流動層において気泡相, 濃厚相間ガス交換係数を求める目的で, 残余濃度曲線の測定を行なった。

気泡単位体積当りのガス交換係数 K_B は, 流動層高の $1/2$ の所の垂直気泡径 $\bar{D}_B'$ と次のような関係にあった。

$$K_B \approx 11/\bar{D}_B'$$

この関係は他の研究者の結果に対しても成立した。

水平定常気混相流動について (今野宏卓・齊藤正三郎・前田四郎, 化学工学, 31, 243~250 (1967)) 内径 26 mm と 47 mm のガラスパイプを用いてガラス粒子 (0.1~1.5 mm 径), 銅粒子 (0.1~0.5 mm), 粟, ヘヤリーベッチを空気速度 10~20 m/s, 混合比 0~2 で送り, その圧損, 粒子速度, 粒子の管内の分散状態等をしらべた。粒子がとくに不規則運動をする場合を除けば, その圧損は $\Delta P \propto L = 0.033(u_0/\sqrt{gD})\rho_0 m$, 粒子速度は $(u_0 - u_g) u_g = 1.35 \times 10^{-3} D^{-1/2} (u_0/\sqrt{gD})^{0.65}$ で表わされた。また管底からの高さ方向の粒子分布はいづれの場合もほぼ指数関数的であることが認められた。

非ニュートン流体の円管内層流熱伝達 —— 熱流速一定の場合 —— (水村篤郎・伊藤龍象・栗脇美文・矢彦沢清久, 化学工学, 31, 250~255 (1967)) 擬塑性流体と考えられる C.M.C. 水溶液と高粘性流体と考えられる Glycerol 水溶液を層流で円管内を流し, 管壁よりの熱流速一定の条件で加熱したときの局所ヌセルト数を実験的にまとめ, 流体を指数法則モデルで取り扱い, 粘性の温度依存性を考慮して得た近似解析解と比較し, 実測値と近似解が良好な一致を示すことを確めた。

馬鈴薯の凍結乾燥機構 (丸子盛久, 化学工学, 31, 255~261 (1967)) 馬鈴薯の凍結乾燥機構を明らかにするために乾燥実験と解析を行った。得られた結果を要約すると, (1) 昇華面は 2 面存在し試料の中心に向かって移動する。(2) 馬鈴薯の凍結乾燥機においては恒率乾燥期は認められない。(3) 乾燥機形より求めた計算結果と実験結果は良く一致する。(4) 本乾燥機は馬鈴薯のみならず他の固形物にも適用できると考える。

梯形波を用いたパルス塔のホールドアップについて (村田芳治, 化学工学, 31, 261~268 (1967)) 梯形波を用いたパルス塔で, 塔要因とホールドアップの関係を求め, 次に x と溢流速度 U_{Df} の関係を求めた。得られた実験式は次のようである。

$$x = a \left(\frac{M}{g} \right)^{0.790} \left(\frac{U_D}{f_{am}} \right)^{1.30} \left(\frac{U_C}{U_D} \right)^{0.350} (f_{iu})^{0.824} \left(\frac{l}{d_g} \right)^{0.120} \left(\frac{\mu_D^2}{\Delta \rho d_g} \right)^{0.65} \left(\frac{\Delta \rho}{\rho_D} \right)^{-0.127}$$

a : 多孔板 100 格子板 80

$$U_{Df} = 0.255 \left(\frac{x}{U_D^{1.20}} \right)^{-1.19}$$

梯形波を用いたパルス塔の物質移動について (村田芳治, 化学工学, 31, 268~275 (1967)) 梯形波を用いたパルス塔で, 多孔板, 格子板を用いて総括容量係数と塔要因との関係を検討した。その結果, 総括容量係数は消費エネルギーに関係し, 物性では分配係数 m が最も大きな影響を与えた。その他運動粘度 ν も関係したが, 他の物性の影響は傾向的变化を示さなかった。多孔板, 格子板の実験結果は, 次の無次元式で平均誤差 12 パーセントでよく表わされる。

$$\frac{K_{\text{total}}}{U_C} = 3.25 \times 10^{-3} \left(\frac{E d_g^4}{\nu D} \right)^{0.138} \left(\frac{U_D}{m U_C} \right)^{0.506} \left(\frac{d_g}{l} \right)^{0.370}$$

攪拌槽内の液流の乱れ (佐藤行成・石井国・堀江寛治・上野満雄・山本一夫, 化学工学, 31, 275~281 (1967))

攪拌槽内の液流の乱れを熱線流速計によって測定した。攪拌装置は Fig. 1 に示すように, 既報^{5,6)} のフローバタンの測定に使用したものと同じ形状のものを, また攪拌液としては白灯油を用いた。乱れの速度やパワースペクトルなどの分布は Fig. 4~9 に示す通りで, 乱れの諸特性値は染料注入法⁷⁾ などの間接的な測定法によって得られた推定値とほぼ一致し, スペクトル分布も空気流の乱れの場合と非常に似ている。

回転円筒内における粒子層のすべりについて (外山茂樹, 化学工学, 31, 282~286 (1967)) 回転円筒型の装置において, 粒子層と円筒内壁の間にすべりが生ずると, 混合が不十分となり熱や物質の移動に重要な影響をもたらす。そこで, このすべりにたいする安定度を摩擦力和重力の釣合から塑性力学的に關係式を導いた。そして, 安定度は固体保率が大い程, また粒子層の内部摩擦角と壁面摩擦角の差が小さい程大きいことを示した。次に, 実験により円筒と粒子層の角速度比を測定した結果, 理論式と同様な傾向を示した。また普通の回転炉の操作条件では回転数の影響はないようである。

流出機構の考察に基づく付着性粉体用ホッパーの設計 (篠原邦夫・田村邦雄・後藤圭司・田中達夫, 化学工学, 31, 287~293 (1967)) 流出機構の観察から付着性粉体が Mass-flow モデルによってホッパーから流出すると仮定し流出条件を求め, さらに所要貯蔵量の幾何学的条件をも同時に満足するようにホッパーの高さ, 流出口直径および頂角の関係を検討した。それに基づき安全な付着性粉体用ホッパーの設計線図を示した。したがってホッパー内粉体層のカサ密度および剪断付着力を空気圧による剪断試験装置を用い成形粉体層について実測すると, この線図によって容易に設計ができることを知った。

2 成分系気液平衡の熱力学的考察 (大江修造, 化学工学, 31, 293~294 (1967)) 液組成が約 50 モル % のとき実測の x - y 曲線は Raoult 則による x - y 曲線と交わり, 両成分の活量係数は等しい ($x_{T_1-T_2}$)³⁾。本報では 2 成分系の過剰自由エネルギー変化を熱力学的に考察し, $x_{T_1-T_2}$ では実際の x - y 関係は Raoult 則による理想の x - y 関係に一致するが過剰自由エネルギー (理想溶液からの偏倚) は最大となることを示した。

閉回路粉砕における粉砕能力 —— 分級特性の影響 —— (臼井皓司, 化学工学, 31, 295~296 (1967)) 閉回路粉砕系におけるサーキュレーションロード (CI) と粉砕能力の関係を, CI と分級特性値の關係から説明した。

Fig. 3 に示したように, 分級機が理想的に働いているときには CI が大きくなるほど粉砕能力が増大するが, 分級特性値 β が CI の増加関数である場合には, ある CI で粉砕能力が最大になる。

直列系デルタ応答の分散について (久保国道・宮内照勝, 化学工学, 31, 297~298 (1967)) 直列した三つの部分から成る連続流系の装置に対して各々の部分が示す濃度インパルス応答の分散の和のかたちとして, 系全体のインパルス応答の分散が求められることを示した。ただし, 各部分の間で流体の交換を伴う場合と伴わない場合とについて考察した。これらは, 充填塔とか RDC の様な塔で, 塔全体の過渡特性から塔両端の端効果を補正して塔主部の混合特性を求めることを主目的としたものであって, 直列した三つの部分はそれぞれ一次元拡散モデルに従うものとして扱ってある。