ドラバル型遠心分離器の性能について*

(クリーム分離機について)

大山 義年**・井上 一郎***

§1. 緒 言

比重差の小さい二液よりなる乳状液に遠心力を利用して軽・重二液に分離する装置として広く利用されているものにドラバル型遠心分離機がある。この型の分離機の分離板間隙内における二液の分離機構の計算については著者の一人がすでに本誌***に報告したが、実際の運転性能についてはいまだ発表された研究もきわめてすくない。

この型の分離機は比較的軽液の多い乳状液より軽液を純粋に分離するもの、例えば油清浄機、と重液の多い乳状液より重液を純粋に分離するもの、例えばクリーム分離機、との二種に分類される。

以下はクリーム分離機についておこなった性能実験の結果である。

§2. 実験装置および試料

実験装置の概要を Fig. 1 に示す。容積約 60 l の珐瑯製容器 (A) に植物油と水を入れ、攪拌機 (B) にて乳状液となし、これを歯車ポンプ (C) にて分離機 (D) に供給循環せしめ、その流量調節は分岐弁 (E) にておこなった。

給液温度の測定用として分離機入口と珐瑯製容器内に

Fig. 1

* 昭和 26 年 5 月 12 日 受理 科研大山研究室報告第 14 号

** 東京工業大学 *** 科学研究所 大山研究室

*** 化学機械, Vol. 14, No. 3, 90 (1950)

温度計 (F) をおき、容器内には温度調節用に容量 1 kW の電熱器 (G) を入れた。

本実験に使用した分離機は牛乳分離用のもので、回転数 8,850 r.p.m., 呼称容量 180 l/hr であるが、本実験においては回転数 9,100 r.p.m., 給液流量は約 60~270 l/hr の範囲にわたりおこなった。

分離機回転体およびその附属装置の構造を Fig. 2 に示す。軽液吐出量の調節は Fig. 3 (a) のごとく、水取板の上部にある正方形吐出口の上に正方形調節板をおき、その位置を回転して調節する。本実験においては中心を通る対角線の最小の場合と調節板を外した最大の

Fig. 2

Fig. 3

場合にておこない、その値はそれぞれ29.8; 37.2 mmであつた。以下これらを以て代表直径とする。

他方、重液吐出口には円形堰をなす直径 48, 50, 53, 55, 57 mm なる調節板を使用した。

分離板は Fig. 3 (b) のごとく半頂角 40° なる円錐形状のもので、給液用の3個の楕円形の孔を有す。分離板には間隙保持のため9個の円形状間隙保持片が溶接され、その平均間隔は 0.498 mm で、その誤差は 4.8% であつた。(他のクリーム分離機の例: 平均間隔 0.604 mm, 誤差 9.4%) また、分離板の表面は錫渡金され、合計 20 枚を使用した。

実験試料には玉蜀黍、落花生、大豆の三種の植物油を用い、これらをそれぞれ水に加えて乳状液とし、落花生、大豆油による乳状液の場合には少量の苛性ソーダを加えた。

ここに使用した植物油の比重は

玉蜀黍油: 0.910 (25°C)

落花生油: 0.873 (12.5°C)

大豆油: 0.930 (25°C)

にして、各乳状液中の油の含有率は

玉蜀黍乳状液: 7.5 vol. %

落花生乳状液: 7.1 vol. %

大豆乳状液: 8.0 vol. %

であつた。

苛性ソーダを添加した二つの乳状液は、いずれも実験用遠心沈澱機によるか、あるいは長時間静置して乳状液を分離した後観察すると、これらは油、クリーム状物質、水の三層にわかれ、あたかも三成分のごとき状態を呈した。このクリーム状物質は鹸化物で水と油の中間に層をなし、その比重は落花生乳状液の場合には 0.9496 (25°C)、大豆乳状液の場合には 0.9630 (25°C) であつた。玉蜀黍乳状液はクリーム状物質の存在せぬ二成分の状態にあつた。

なお、上記の油含有率の測定は塩析法によりエーテルに抽出せしめて油量を測定し、実験前後の値の平均にて示した。

§3. 実験概要

本実験は次の三つよりなる。

【I】 通水実験、すなわち、種々の温度の水のみを給液した場合の軽・重液側吐出流量の測定 (一成分系)。

【II】 乳状液を使用して重液吐出口の調節板を変えた場合の軽・重吐出流量の測定 (二成分系)。

【III】 乳状液中のクリーム状物質の分離板上への附着現象を主とする観察ならびに給液流量、吐出流量、吐出液の比重等の測定 (三成分系)。

給液流量と吐出流量の測定は定常運転の後、メスシリンダーと秒時計にて測り、給液流量は軽・重吐出流量の和と直接測定とより平均して求めた。

比重の測定は落花生乳状液の場合には浮秤比重計にて大豆乳状液の場合には比重瓶にて測定した。また、これらの吐出液中には微少の気泡を含むのでその排出に充分意を用いた。

クリーム状物質を含む乳状液にて定常運転した後、回転体をとめて分解すると分離板上に後述するごとくきわめて明瞭な境界を持つてクリーム状物質が帯状に附着するので、この境界線の位置の測定をおこなつた。

§4. 実験結果とその検討

【I】 一成分系

一定温度の水を分離機に給液した時軽・重吐出口よりの吐出流量は Fig. 4 (a), (b) の一例に示すがごとき関係となり、図よりあきらかなごとく、給液流量 Q の少ない間は重液側吐出流量 H のみで軽液側吐出流量 L は全くなく、ある給液流量以上になると軽液側よりも吐出することが認められた。

Fig. 4 (a)

Fig. 4 (b)

この軽液側より特に吐出せんとするときの液給流量、すなわち、重液側吐出流量を臨界吐出流量 Q_c と名付け、図よりこれを求めて水温 t との関係にて示すと Fig. 5 のごとくになり、これより次のことが知れる。

(1) 温度一定なときは、軽液側調節板代表直径 D_L が小さいと臨界吐出流量は大きく、代表直径が大きいと臨界吐出流量は小さい。

(2) 軽液側調節板代表直径が一定なときは、水温の上昇によつて臨界吐出流量は減少する。

(1)の現象の原因は重液側より吐出せしめる推進力、すなわち、重液側液面と軽液側液面との間の遠心力にて生ずる流体圧力と考えられるから、軽液側調節板代表直径が小さいと推進力が大きくなり臨界吐出流量が増加し、また、代表直径が大きくなると推進力が小さくなり臨界吐出流量が減ると解される。

(2)の現象は軽液側調節板代表直径が一定で本実験の温度範囲では比重が殆んど一定であるから、推進力も不変と見做され、したがつて回転体内に生ずる流動抵抗によるものと考えられる。

Fig. 6 に臨界吐出流量とその温度における水の粘性係数 μ との関係を示す。これによれば粘性の減少にしたがつて流動抵抗が増加し臨界吐出流量が減少したことになり、一見矛盾のごとくみえるが次のごとく考えることにより理解されよう。

すなわち、分離板間隙内について供給液は給液孔より半径方向の流れを伴いながら分離板の角速度より遅れる

Fig. 5

Fig. 6

滑りを生じ、この滑り速度は粘性の減少につれて増大する。このため、分離板間隙内の相対流動速度が大きくなり流動抵抗をまして軽液側よりの吐出を容易にする。

油のみを給液した場合もおこなつたが、重液側のみ吐出し軽液側よりは吐出せしめることはできなかった。また、分離板の構造の差異についての実験は改めて報告する。なお、重液側調節板直径 D_H は 57 mm のものを使用した。

[II] 二成分系

玉蜀黍油を使用した乳状液を用いて軽液側調節板代表直径 D_L を 37.2 mm とし、重液側調節板直径 D_H を 48, 50, 53, 55 mm と変えて実験をおこなつた。

調節板直径を変え 25°C の玉蜀黍乳状液を供給した場合の軽・重吐出量 L, H 間の特性を一括して Fig. 7 に示す。

これから軽・重吐出量間には給液流量の範囲によつて二つの部分にわけて考えることができる。すなわち、吐出量の少ない部分の直線と吐出量の多い部分の直線である。この二直線の交点は調節板直径の大きいほど給液流量が多く、この交点以上の範囲では案内筒より供給液が一部溢流して吐出軽液中に混入することをみとめた。よつて分離機としてはこの交点以下で使用されるべきで、本実験に使用した分離機では調節板直径に応じて 80, 105, 145, 170 l/hr の給液流量で呼称容量の 94.5, 80.5, 58.4, 50%にあたる。

図中の点線は物質収支の立場より完全分離をおこなう

Fig. 7

必要条件を示す基準直線で

$$\frac{L}{H} = C \quad (C=0.081) \quad (1)$$

にて与えられ、ここに C は乳状液の濃度により定まる常数である。

分離機は正常運転範囲にあつても、この基準直線より検討して次のことがいえる。すなわち、この基準直線より上の領域では吐出重液は純粋状態で、吐出軽液は混合状態であり、また、下の領域では吐出軽液は純粋状態で、吐出重液は混合状態である。これは実験的にもほぼ確かめ得た。

よつてクリーム分離機の立場よりすると基準直線より上の領域に流量特性がなければならぬが、かゝる組成の

乳状液より軽液を純粋に採る必要のある場合には基準直線より下の領域に流量特性をおくべきである。

給液流量の少い所より二直線の交点、すなわち、許容最大給液流量迄の流量特性は次の関係式で与えられる。

$$L = aH^b \quad (2)$$

ここに a, b は実験による常数で、本実験の値は次表のごとくである。

D_H mm	a	b
55	3.57×10^{-7}	4.47
53	1.11×10^{-4}	2.45
50	1.30×10^{-2}	1.44
48	3.03×10^{-2}	1.29

(a)
Peanut oil-water emulsion.
 $Q=213$ l/hr, $D=80$ mm.

(b)
Soybean oil-water emulsion.
 $Q=224$ l/hr, $D=80$ mm.

(c)
Soybean oil-water emulsion.
 $Q=145$ l/hr, $D=120$ mm.

b は完全分離をおこなう場合には 1 でなければならぬ。また、クリーム分離機としての運転範囲を大きくするには、(1), (2) 式の交点を給液流量の少ない位置にくるように調節板直径を選定すべきで、これは a を大きくすることを意味する。

(2) 式と物質収支の関係とを結びつけると給液流量による吐出液の比重変化の概要をも知ることができる。

【III】三成分系

落花生および大豆乳状液を用いた実験においては、写真および

Adhered figures of cream-like matter.
1. Small feed rate.
2. Intermittent feed rate.
3. Large feed rate.

Fig. 8

Fig. 8 のごとく中間比重のクリーム状物質が、いずれの分離板上にも帯状をなして附着し、帯の上下とも明瞭な境界を示すことが認められた。

この上部境界線は給液流量 Q にも、また、試料にもよらずほとんど一定の位置に附着して、この位置は本実験の重液側調節板直径 D_H すなわち、57 mm に等しいことを確めた。

この附着帯の上部境界線附近の成分はほとんど油よりなり、下部境界線の方向に向うにしたがつてクリーム状物質が多くなり、下部境界線ではほとんどクリーム状物質のみとなる。

下部境界線は給液流量の変化によつて、附着位置を異

Fig. 9 (a)

Fig. 9 (b)

にする。この下部境界線直径 D と給液流量との関係を Fig. 9 に示す。図よりあきらかなごとく給液流量の増加によつて下部境界線は減少し、給液流量が約 210 l/hr 以上になると附着位置は一定な関係を有しない状態となる。すなわち、この給液流量は前項 [II] の実験の交點に相当する値で、本実験においても案内筒より溢流することが認められた。

吐出軽・重液の比重 ρ_L , ρ_H の給液流量に対する関係は Fig. 10 のごとくである。Fig. 10 (a), (b) は落花生、大豆乳状液を使用した吐出軽液比重の変化を示す。吐出重液の比重は落花生乳状液を用いた場合には給液流量によりほとんど変化を示さず、 $\rho_H \approx 1$ であつた。それに対し大豆乳状液の場合には Fig. 10 (c) のごとき関係を得た。

この結果によれば、吐出重液の比重は給液流量の少い時は供給乳状液の比重に近く、給液流量が増すにつれて水の比重に近くなり、更に増すと再び比重が減少する。

すなわち、給液流量の少ない所では Fig. 8 に示したごとく帯状の巾が非常に広くて、吐出重液中にクリーム状物質が伴われがちのためと解される。

給液流量の多いときは回転体の回転によつて軽・重吐出口附近に気流運動を生じ、吐出軽液が吐出重液に混入

Fig. 10 (a)

Fig. 10 (b)

Fig. 10 (c)

するための比重の減少と推定されるが、この問題については目下研究中であらためて報告する。これよりして分離機には最適給液流量が存在するといえよう。

ここでクリーム状物質の附着帯の生成機構について考察する。一般にドラベル型分離機の回転体内に軽・重比重の二液が遠心力の作用の下に一定境界面に釣合つているとき、

$$\rho_L(D_n^2 - D_L^2) = \rho_H(D_n^2 - D_H^2) \quad (2)$$

が成立するとされている。ここに D_n は平衡境界面の直径である。実際については濃度勾配、滑り等を有していると考えられるから一般の乳状液の連続分離をおこなうときには当然このような簡単な関係は適用されない。

仮に(2)式の関係より水と純粋な落花生油と大豆油について平衡境界面直径を求めてみると次表のごとくなる。

	落花生油	大豆油
$D_L = 37.2 \text{ mm}$	$D_n = 126.7 \text{ mm}$	$D_n = 167.4 \text{ mm}$
$D_n = 29.8 \text{ mm}$	$D_n = 139.6 \text{ mm}$	$D_n = 186.2 \text{ mm}$

ただし $D_H = 57 \text{ mm}$

さらにクリーム状物質を含めて考えると平衡境界面直径の値はさらに大きくなり、上記のごとき計算が適用されとしても構造上分離板外径 128 mm のため、この境界面は分離板外にあることとなろう。いま、この面を仮想境界面と呼ぶことにする。

給液流量が非常に少ない場合には回分操作条件に近くから仮想境界面の存在を考へても大過ないといえよう。したがって下部境界線直径の大きくなることが納得される。

Fig. 9 よりあきらかなごとく、クリーム状物質の附着帯が分離板全面に附着した場合 ($D=120 \text{ mm}$)、落花生乳状液と大豆乳状液とでのおおの給液流量を異にする原因も仮想境界面の直径の値が異なるためと考えられる。

給液流量の増加にしたがつて次第に下部境界線直径の減少するのは次のごとく説明される。前項 [II] に述べたごとくこの場合も重液側は純粋状態で、軽液側は混合状態にある。これは回転体内において流体の滑りその他による攪乱作用を生じ、これが軽液側の分離度の低下と軽液吐出流量の増加をもたらし回転体内に存在する軽液成分の量が減じて境界面直径が小さくなる。

Fig. 11

Fig. 11 は本実験の一部で、給液流量と軽・重吐出流量間 L, H との関係を示す。

本実験の落花生乳状液および大豆乳状液の給液温度はそれぞれ $15 \pm 2^\circ \text{C}$ および 25°C で、軽液側調節板代表直径は 37.2, 29.8 mm で重液側調節板直径は 57 mm を使用した。

§5. 結 言

以上クリーム分離機の性能について考察した結果を總括すると次のごとくである。

(1) 二成分系乳状液を使用する場合の軽・重吐出流量間には $L = aH^b$

なる関係が成立する。

(2) 油、水、鹼化物よりなる三成分系の乳状液の場合には、分離板上に明瞭な帯状をなして中間比重の鹼化物が附着し、その附着帯の巾は給液流量により異なる。

(3) 与えられた分離機の実験性能にかんしては、給液流量が支配的に作用し、また、最適給液流量がある。

(4) クリーム分離機としては、操作可能範囲内で軽液側調節板の径は大きく、重液側調節板の径は小さいことが望ましい。また、軽液を純粋に得る目的のためには重液側調節板の径は大きくすべきである。

(5) 分離機における液の流動には回転体に対して円周方向の滑りを伴う。分離度は液の粘性の小さい程良好であると一般にいわれているが、粘性が小さいと上述の滑り量が増して、これが分離度を低下させる傾向を与えると考えられるので、粘性を充分考慮すべきである。

附記 本研究に協力された星野庸治氏ならびに種々助言を戴いた桑井源助教授に謝意を表す。なお、本研究の一部は文部省試験研究費によつた。

使用記号

D : 附着帯下部境界線直径	[mm]
D_H : 重液側調節板直径	[mm]
D_L : 軽液側調節板代表直径	[mm]
D_n : 平衡境界面直径	[mm]
H : 重液(側)吐出流量	[l/hr]
L : 軽液(側)吐出流量	[l/hr]
Q : 給液流量	[l/hr]
Q_c : 臨界吐出流量	[l/hr]
a, b, c : 常数	
t : 温度	[$^\circ \text{C}$]
ρ_H : 吐出重液比重	
ρ_L : 吐出軽液比重	
μ : 粘性係数	[c.p.]

On the Characteristics of the De Laval-type Centrifuge (On the cream separator)

Y. Oyama and I. Inoue.

Here the results obtained from experimental studies on the characteristics of the De Laval-types cream separator are summarized.

In the first experiment with water only, the relationship between water temperatures and outflow rates from discharge lips for lighter and heavier liquids was studied. By this experiment, it was found that the slip of liquid against separating discs increased as the viscosity decreased.

In the second experiment with emulsion containing corn oil in water, the relation between outflow rates of the lighter and heavier liquids was studied with various check ring diameters of the discharge lip for heavier. On this experiment, the following results were obtained. The relation of outflow rates was expressed by $L=aH^b$, where L and H were outflow rates of the lighter and heavier liquids respectively, a and b were experimental constants which varied with check ring diameters. And enlarging of the discharge lip for the lighter liquid or narrowing of the discharge lip for the heavier seemed to be suitable for the cream separator, but for the purpose of enriching the lighter component, enlarging of the discharge lip for the heavier seemed to be preferable.

The third experiment was conducted with emulsions of water and vegetable oil such as peanut or soybean, including small amount of caustic soda, which were separated into three layers of oil, cream-like matter and water with a test-tube centrifuge. After steady operations of the cream separator, the adherence of the cream-like matter band-likely to the surface of all separating discs was observed, and the band width varied with the feed rate. It was also found that the separating efficiency of the cream separator decreased with the increase of the band width and vice versa. The relations between specific gravities and outflow rates were studied. It was found that among various factors effecting on the separating efficiency, the feed rate was the controlling factor and there was the optimum feed rate in operation.

Solutrope

部分的にとけあう一対の液を含む三成分系においては一般にその液々平衡の対応線の傾斜は第三成分の量が増すにつれて増加するものである。しかしながら水-アセトン-ベンゼン系や水-エーテル-エタノール系などでは第三成分の濃度が低い範囲と高い範囲とで傾斜の符號が異つてゐる。従つて第三成分の分配係数も1より小なる範囲より1より大なる範囲へと移行し、丁度1のとき対応線は水平となる。A. S. S. Smith, J. C. Smith等はこの傾斜の附號の反轉のことを“solutrope”と名付け、そのような現象の起る系を“solutropic system”とよんでいる。これは丁度沸点曲線の傾斜の附號の反轉が起る点を“azeotrope”といい、そのような現象が起る系を“azeotropic system”とよんでいるのを眞似たもので、彼等はこれらの間に一種のアナロジーを見出そうとして努力しているらしい。しかしながら現在までのところでは特別興味ある結果は得られていないし、又この類似は本質なものでないように思われる。例えば、azeotropeの方は、液組成をモル分率であらわしても重量パーセントであらわしても、共沸点の位置が變化するだけで、azeotropeが存在することは確實であるのに対して、solutropeの方は、重量パーセントであらわせば solutrope が起るがモル分率であらわすと solutrope がなくなるのが普通であることをみても azeotropeの方が溶液の性質により深く根ざしているような氣がするのである。とはいえ、このような性質を有する系だけに注目してそれらの特性を解明して實用に供することは大きな意義のあることは勿論であつて、この最近名前をもらつたばかりの solutrope の成長を祈つてやまない。(平田光穂)