永田進治**・横山藤平**・斉藤俊夫**

また攪拌機の翼幅 (b) と羽根枚数 (n_p) との関係求めたところ低粘度範囲の液に対しては $n_p \times b =$ 一定なる関係を満足する翼は相互にほぼ相等しい動力を示す事を知った。

攪拌槽においてもし周壁および槽底面に全然摩擦がないものとするれば、槽内の液は半径 r_1 より内側では翼の角速度と等しい角速度で回転し（この部分を固体的回転部と呼ぶ）、それより外部においてはエネルギー一定な自由渦の流動をなすと考えられる。すなわち、

と表わす事ができる。

上述の如く固体的回転部の液は羽根板とほぼ同一の角速度で回転するのであるから混合効果の劣等な部分で次の如き簡単な方法によつてもその存在が認められる。すなわち、水を攪拌して定常状態に達した後メチレン・ブルーの少量を投入すれば中心部の固体的回転部に着色した柱が現われて全槽が均

*** 京都大学工学部化学機械学教室

Fig. 3 Diagram for estimating $l_1 (=r_1-r_0)$. $D=30$ cm, $d=D/2=15$ cm, $b=0.3 D=9$ cm, $N_1=100$ r. p. m.

Fig. 4 Power requirement variation with changes in l .

色調に分散するには相当の時間を要する。このような固体的回転部の大きさは液の表面形状からも推定されるが、また Fig. 2 の如き方法によつても推定できる。例えば内径 30 cm の槽に翼幅 $b=9$ cm, 翼長 $d=2r_1=15$ cm 一定とし、 l の寸法を種々に替えた翼を取り付けて攪拌所要動力の値を測定すれば液の粘度により Fig. 3

Fig. 5 Diagram showing relative velocity distribution u_r .

曲線 (1), (2), …… (6) に示す如き結果が得られる。すなわち $l=r_1-r_0=l_1$ (r_0 は固体的回転部の半径で求める寸法である)

に達するまでは動力 P は急激に上昇するが r_1-r_0 より l を大にしてもそれ以上は殆ど動力に影響しない範囲に入るのであるから P の値はもはや増加しなくなる筈である。従つて Fig. 2 の $l=l_1$ の翼と櫛形攪拌翼とは殆ど相等しい動力を示す事になる。Fig. 4 は 80 c. st. のグリセリンに対する実測値を示した例で、本図より P_1/P_{paddle} を計算して図示すれば Fig. 3 □ 印の点綴が得られる。

Fig. 5 は所要動力 P に対する説明図で、羽根板は OAA' なる速度で動くのに対し液は OAA'' の速度で流動しているから l_1 の長さの羽根板の部分のみが動力に関係する。そして図の bdl 部分は $u_r=ab$ の相対速度で液に衝突するのであるから

$$df = K \rho u_r^3 b dl \quad (4)$$

なる抵抗力 df を受けることになる。この抵抗力に抗して u_r なる相対速度で翼を動かすとすればその所要動力 P は

$$P = K \rho \int_0^l u_r^3 b dl, \quad (l=r_1-r) \quad (5)$$

ここには近似的に K を一定とみなした。一方 AA'' を直線と考えれば $u_r=c(l_1-l)$ とおけるから

$$P_l = K' \rho \int_0^l (l_1-l)^3 dl = (K'/4) \rho [l_1^4 - (l_1-l)^4] \quad (6)$$

$l=l_1$ のときは $P = (K'/4) \rho l_1^4$ でこれは P_{paddle} に等しい理である。

$$\therefore \frac{P_l}{P_{paddle}} = \frac{l_1^4 - (l_1-l)^4}{l_1^4} \quad (6')$$

また Fig. 3 曲線 (7) は櫛形攪拌翼の羽根板全部が動

力に関係すると考えた場合、すなわち固体的回転部のない場合（粘度の高い場合）で l の変化により $u_r = c'(r_1 - l)$ とおけるから

$$P_t' = K'' \rho \int_0^l (r_1 - l)^3 dl$$

$$= (K''/4) \rho \{r_1^4 - (r_1 - l)^4\} \quad (7)$$

(7) 式に $l = r_1$ とおけば P_{paddle} が得られる。

$$\therefore \frac{P_t}{P_{\text{paddle}}} = \frac{r_1^4 - (r_1 - l)^4}{r_1^4} \quad (7)'$$

もちろん (6) 式、(7) 式において l が l_1 或は r_1 より小なるときは流連の分布状態が橢形翼の場合に比し異なるであろうが大まかな比較としては Fig. 3 曲線 (1), (2) …… (6), (7) の如く l_1 による差異が認められる筈である。同図曲線 (1) は水 (1 c. st.) に対する実測点と (6') 式に $l_1 = 3.5 \text{ cm}$ を代入して得た計算曲線とを示したもので両者がよく一致している。従つてこの場合の固体的回転部の半径 $r_0 = r_1 - l_1 = 7.5 - 3.5 = 4 \text{ cm}$ と推定される。同様にして曲線 (2), (3), (4), (5), (6) はそれぞれ (6') 式に $l_1 = 0, 4.5, 5.0, 5.5, 6.0 \text{ cm}$ を代入して得た計算曲線で記号点 Δ , $\times$, $\square$ はそれぞれ 7.6 c. st., 17 c. st., 80 c. st. の液について実測した P_t/P_{paddle} の値である。これらの実測値が最もよく、特に $P_t/P_{\text{paddle}} = 1.0$ の近傍においてよく一致する曲線より l_1 を推定すれば 7.6 c. st. のとき $l_1 = 4 \text{ cm}$, 17 c. st. のとき $l_1 = 4.5 \sim 5 \text{ cm}$, 80 c. st. のとき $l_1 = 5.5 \sim 6 \text{ cm}$ 程度と推定される。従つて $r_0 = 3.5 \text{ cm}$, $3 \sim 2.5 \text{ cm}$, $2 \sim 1.5 \text{ cm}$ となる。以上は $N = 100 \text{ r. p. m.}$ の下に測定した結果で攪拌速度によつても僅かに変化するものと思われる。

このように粘度の高い液ほど固体的回転部が小さく橢形翼においては羽根板の有効面積が大となる。そして高粘度の液（但し乱流範囲とする）になると遂に固体的回転部が消滅して動力も最高値を示すことになるのである。

Ⅲ. タービン形攪拌機の所要動力

上述の考察ならびに実験結果より 2 枚羽根タービン形攪拌機 (Fig. 6 参照) の所要動力を橢形攪拌機のそれに関係づけることができる。橢形攪拌機は一般には一枚の矩形板を攪拌軸に取り付けたものをいうのであるが、ここには便宜上羽根板枚数の多いものをも橢形攪拌機と呼んでおく。

さて前節において述べたところからタービン形攪拌機の l が次の関係を満足する場合、それは橢形攪拌機とは

Fig. 6 Paddles and Turbine used.

ば相等しい動力を示すことになる。

$$l > l_1 \quad (=r_1 - r_0) \quad (8)$$

ここに r_0 は Fig. 2 に示す如く固体的回転部の半径であつて粘度が大となる程小となる値である。従つて普通のタービン形攪拌機例えば J. H. Rushton²⁾ 等の用いている $d:l:b = 20:5:4$ (Fig. 6 (8) 参照) なるタービンでは中位の粘度までの液に対しては同一羽根板枚数の橢形翼とほぼ同一の動力を示すことになる。また僅かな誤差を許すならばかなりの高粘度の液に対しても近似的には橢形翼の結果から推定可能である。

Ⅳ. 攪拌翼の羽根板枚数と所要動力

Fig. 6 (2) の如く 2 個の橢形翼を水槽内に取り付けて所要動力を測定すると上下翼の相対的位置に関係なく所要動力は殆ど相等しくなる事を知った。(但し高粘度液についてはこのような関係は得られない)。すなわち同図 (1) と (2) 或は (2) と (3) の動力は殆ど相等しい。それ故に極端な場合として (1), (3) は (4) とほぼ相等しい動力を示すであろうと想像して実験したところ水に対しては予想通りの結果を得た。Fig. 7 はこれを図示したもので同図の記号に付した番号は Fig. 6 の番号に通ずるものである。

更に同図 (5) または (7) の如き 3 枚羽根、6 枚羽根

Fig. 7 Comparison of power requirements by various types of agitators in water, $D=30$ cm, $d=D/2=15$ cm.

についてみても同様で同一翼長のものについては全羽根板面積の和が等しければほぼ相等しい動力を示す事が判かる。Fig. 7 直線 (A) は $n_p \times b = 18 \text{ cm} = 0.6 D$, (B) は $n_p \times b = 9 \text{ cm} = 0.3 D$, (C) は (B) と同じ組合せであるが羽根板の取り付けを水平面に対し 45° に傾斜せしめた場合である。ここに n_p は羽根板枚数, b は翼幅, D は槽内径を示す。(1)~(7) の間に強いて差をつけられなければならないでもないが工学的にみて等動力とみなすことができる。但し 45° 翼の場合は n_p の小なるものほど動力は僅かに大である。

Fig. 8 は同じく glycerin (70 c. st.) に対する結果で総翼幅 $n_p \times b = 0.6 D = 18 \text{ cm}$ のときは一致するが, $n_p \times b = 0.3 D = 9 \text{ cm}$ の結果は何れも規則的差異が現われ n_p の小なるもの程所要動力は大となつてゐるが, $n_p = 6$ と $n_p = 2$ との最高の差は 30% 以下である。

しかしながらここに述べた簡単な関係は中心攪拌, 邪魔板なしの場合に限り成立する点に注意を要する。

V. タービン形および櫛形攪拌機の所要動力

櫛形攪拌機は構造が簡単でその寸法の表示が容易であり所要動力に関する研究結果も多い。そこでこの櫛形攪拌機の動力値を基にしてタービン形攪拌機の所要動力を

Fig. 8 Comparison of power requirements by various types of agitators in glycerin 70 c. st., $D=30$ cm, $d=D/2=15$ cm.

推定し得れば便利である。ところが上述 III, IV の結果を基にして考えればこの推定が可能となるのである。すなわち $n_p = 6$ のタービン攪拌機の所要動力は $d:l:b = 20:5:4$ 程度の寸法比のものであれば 80 c. st. 程度までの液に対しては $n_p = 6$ の櫛形翼と同等な動力を示す。次にこの $n_p = 6$ の櫛形翼は翼幅が 3 倍の 2 枚羽根櫛形翼の所要動力にほぼ相等しい。そしてこのような $n_p = 2$ の櫛形攪拌機の所要動力は広範囲の翼幅に対する値まで算出し得るから³⁾ 比較的高粘度の液に対する場合を除きタービン翼および各種羽根板枚数の櫛形翼の所要動力が算出し得る事になる。

先に示した Fig. 4 直線 (5) には $b = 3 \text{ cm}$, $n_p = 6$ ($d = 15 \text{ cm}$, $l = 3.75 \text{ cm}$) のタービン翼と $b = 9 \text{ cm}$, $n_p = 2$ の櫛形翼の比較がなされており両者が比較的近い値を示している。これは glycerin に対する結果で、水に対しては両者全く一致する結果を得た。(関西工学連合講演会, 昭和 27 年 10 月 19 日発表済)

引用文献

- 1) 永田進治外 3 名, 化学工学と化学機械, 8, 43, (1950)
- 2) J. H. Rushton, et al., Chem. Eng. Progress, 46, No. 8, 395, (1950)
- 3) 近く本誌に発表の予定

Effects of Number of Blades upon the Power Requirements of Turbine and Paddle-Agitators.

S. Nagata,* T. Yokoyama* and T. Saito*

Angular velocity distribution, in the liquid in a cylindrical vessel agitated by a paddle, is similar to that of the so-called Rankine's compound vortex.

Therefore, around the agitator axis, there exists a region of liquid which circulates together with the agitator at the same speed as is shown in Fig. 2 by hatching. Its radius is designated as r_0 and varies with liquid viscosities over wide ranges.

As a result, it was revealed that the power requirements of turbines are related with those of paddles and they are equivalent in liquids of relatively low viscosities.

Secondly, it was found that the power requirements are also equivalent for paddles, if the products of the number of plates n_p and blade width b are equal, so far as liquids of relatively low viscosity are concerned.

From these two results, the power requirements of turbines and paddles having arbitrary number of blades are estimated from those of paddles with two blades.

* Kyoto University

自由水面からの自然蒸発の一実験

図のような簡単な方法で静かな室内において位置の影響が打消されるようにして蒸発量を比較測定したところ、多くの測定値の平均として、外筒容器を正立にした場合は倒立にした場合に比し、水容器が熱の良導体である鉄板製のとき約2.3倍、不良導体である漆器製のとき約1.5倍となり、いずれも正立の方が多い。すなわち蒸発水分は空气中を上昇することを意味している。自然通風型乾燥装置においても乾燥空気を上部より送入し、下部より抜く Hirsch 型¹⁾よりも、排気口を上部にもつ形式の方が乾燥速度はやや早いようである。また Hempel によれば自然対流の場合には湿り空気は上昇するから上部に乾燥剤をおくデシケターがよいとされている²⁾。このことはわれわれの日常生活においても、一応水を切った容器は伏せておくよりも仰向けしておく方が乾きが早いということである。これを湿度図表の上で考えてみると等温増湿による湿り空気の密度低下は小さく、断熱冷却による密度の増大は顕著であるが、このような自然蒸発のときは断熱冷却などは程遠く、蒸発水分による密度低下がいて湿り空気は上昇するようである。

しかし実用の加熱熱源をもつ乾燥装置においては熱

経済を考えると排気口を下部にもつものの方が成績がいいようである。これは一つには加熱空気が素通りすることなく一様に乾燥室内に分布する可能性が大きいことにもよるのではなからうか。

(井伊谷鋼一)

- 1) 内田、亀井、八田：化学工学，(昭 15) p. 550，
Hirsch：Die Trocken technik, (1927) p. 217.
- 2) 押田：蒸発・乾燥，(昭 25) p. 126.