Power of Impeller Required for Complete Off-Bottom Suspension of Solid Particles under Gassing Conditions

Kazumi Satoh and Hiromi Simada*

Dept. of Industrial Chemistry, Science Univ. of Tokyo, Tokyo, 162

Key Words : Agitation, Power of Impeller, Complete Suspension, Three Phases, Impeller Type

The power of impeller, $(P_{gv})_f$, required to attain complete off-bottom suspension of glass spheres (average diameter 72~480 μm , solid concentration 25wt%) was studied for five types of impeller.

It was found that the influences of gassing varied with the impeller type. $(P_{gv})_f$ of axial-flow and mixed-flow impellers increased with gassing rate but that of radial flow impellers was practically independent of gassing rate. At low gassing rate the axial-flow impeller showed the lowest $(P_{gv})_f$, while at high gassing rate the radial flow impeller showed lower $(P_{gv})_f$ than other types of impeller. The mixed-flow impeller was suitable for intermediate gassing rate.

* NGK INSULATORS Ltd.

2段翼通気攪拌槽における上・下段翼の攪拌動力[†]

望月雅文・武井 昇・佐藤一省
明島高司・宮内照勝

東京理科大学工学部 工業化学科^{††}

多段翼通気攪拌槽は培養槽など気液接触装置として広く用いられており、その設計には攪拌所要動力のデータが不可欠である。しかし、単段翼の場合と異なり、通気時の多段翼の攪拌動力を系統的に測定した報告は少なく³⁾、その推算法も確立しておらず²⁾、わずかな推算式が提出されている¹⁾にとどまっている。これは槽底部からガスを供給する通常の方式の多段翼攪拌槽では、最下段翼の近傍とそれ以外の上方の翼近傍におけるガスの分散挙動に違いがあることに主たる原因があると考えられる。

この観点から、本研究は幾何学的形状の異なる2段翼通気攪拌槽において、独自の新しい方法により上・下段翼の攪拌動力を個別に測定し、それらと翼形状および操

作条件との関係を実験的に検討するとともに、2段翼通気攪拌槽の動力推算の指針を示すことを目的とした。

実験

装置の概略をFig. 1に、その主な寸法をTable 1に示す。使用した攪拌槽は4枚邪魔板付き透明アクリル樹脂製平底円筒槽、使用した2段翼は同一寸法の2個の6枚平羽根ディスクタービンの間隔(ディスクとディスクとの距離 h_2)を種々変えたものである。

攪拌動力の測定は、翼直下の2本のノズルから槽液(水道水)中に、空気を吹き込みながら動歪みトルク計により行った。なお、この操作はFig. 1に示すように、はじめ1本の回転軸に2個の翼を取り付け、全動力を測定した後、同一モーターに連結し、中心軸の一致している上下2本の回転軸を用いることにより、上段翼のみの動力を測定した。また、下段翼の動力は全動力から上段翼の動力を差し引いて算定した。なお、本方法により測

[†] 1992年11月19日受理；化学工学会岡山大会(岡山, 1991年7月)および化学工学会室蘭大会(室蘭, 1992年7月)にて発表

^{††} 〒162 新宿区神楽坂1-3

Fig. 1 Experimental apparatus

定した無通気時の上・下段翼それぞれの動力は、すべての翼間隔において測定誤差範囲内でほぼ等しかった。

結果および考察

本研究では、主に下段翼においてフラッシングが起きない条件⁵⁾のもと、無通気時の攪拌動力 P_0 、通気時の攪拌動力 P_g を測定した。特に断らない限り、以下の結果は上の条件下で得られたものである。

1) 通気攪拌動力 P_g と通気係数 NA との関係に及ぼす翼形状の影響

通気時と無通気時の動力比(P_g/P_0)により、同一操作条件、同一直径の2段翼と単段翼($H=30\text{cm}$)を比較すると、2段翼の動力比(P_g/P_0)_tが単段翼のそれ(P_g/P_0)_sに比べ大きい場合⁴⁾と、ほぼ等しい場合とに大別できた。さらに前者においては、上段、下段それぞれの翼における動力比(P_g/P_0)_u、(P_g/P_0)_Lの通気係数による変化が異なる2つの場合(Figs. 2, 3)が観測され、最終的には動力比と通気係数との関係は翼形状により、以下に述べる3つの型に大別できた(Table 2)。

① Type I (Fig. 2) $d=10$ あるいは 12.5cm の翼同士を離して配置した場合に観測された。2段翼における無通気時を基準とした通気による動力の降下は単段翼のそれに比較的小さい⁴⁾。また、上段翼の動力降下は下段翼のそれに比較し、常に小さい。このような動力特性は、ノズルからのガスが下段翼ですべて一担翼に捕捉され、キャビティを形成するに対し、上段翼では下段翼で分散されたガスの一部しか捕捉しないためと推定される。

② Type II (Fig. 3) $d=10\text{cm}$ の翼同士を比較的近づけて配置した翼において観測された。上段翼と下段翼の

Table 1 Experimental conditions

Vessel	$d_T = 300\text{ mm}$
number of baffles	$= 4$
width of baffles	$= 30\text{ mm}$
Dual impeller (flat six-blade disk turbine)	
d	$= 100, 125, 150\text{ mm}$
width of impeller blade	$= d/5$
h_2	$= 5 \sim 30\text{ mm}$
h_1	$= 75\text{ mm}$
Liquid height	$H = 600\text{ mm}$
Gas flow rate Q_g	$= 8.3 \times 10^{-5} \sim 7.5 \times 10^{-4}\text{ m}^3/\text{s}$
	$(20^\circ\text{C}, 1\text{ atm})$

Fig. 2 Power requirements for dual turbines with a large impeller spacing

Fig. 3 Power requirements for dual turbines with a small impeller spacing

動力の大きさがガス量の増加にともない逆転する特異な変化を呈する。これはガス流量が増加すると、上段翼の吸引作用により、下段翼における十分なガス捕捉が妨げられるためと推定できる。

Table 2 Relation between P_g/P_0 and N_A ($F_r > 0.3$)

d [cm]	h_2 [cm]					
	5	10	15	20	25	30
10.0	II	II	II	I	I	I
12.5	III	I	I	I	I	I
15.0	III	III	III	III	III	III
Type I familiar type of Fig.2						
Type II familiar type of Fig.3						
Type III $(P_g/P_0)_L = (P_g/P_0)_U$						

③ Type III (上・下段翼の動力が等しい) $d=12.5$

cmの翼間隔5cmおよび $d=15$ cmの翼において観測された。この現象は翼同士が接近している場合には、翼幅の広い単段翼のようなガス分散挙動を示すためである。一方、翼間隔が広い場合には、上・下段翼それぞれが独立してガス分散に寄与しておりType Iの関係が予測されたが、槽壁と翼との間隙が狭いため上段翼におけるガスの捕捉が容易になり、見掛けの通気量が増加するためと考えられる。

2) 単段翼 $P_{g,s}$ と下段翼における動力 $P_{g,L}$

Table 2中のI, III印の形状の翼において、下段翼の動力は、Fig.2から明らかのように、同一操作条件下の単段翼のそれと同じであった。この結果、「キャビティを形成し、ガスを十分捕捉・分散している下段翼の動力はガス分散挙動が似通っていることから、同一操作条件の単段翼の動力と同じとできる」とした従来の推論の妥当性を実験的に確かめた。これについてはHudcovaら²⁾も同様の結果を報告しているが、本研究ではより多くの形状の翼においても、従来の推論が正しいことを立証した。

なお、翼間の相互作用が強い翼(Table 2 II印)あるいはフラッキング状態にある場合には、下段翼の動力は単段翼のそれより大きい。

3) 上段翼の動力 $P_{g,U}$

本研究で用いたすべての翼において、上段翼の動力降下はガスホールドアップ($N_A=0.1$, $\phi < 0.1$)に対応する見掛け密度の低下によるもの以上に降下しており、上段翼においてもかなりの量のガスが捕捉されていると考えられた⁶⁾。事実、ストロボ・フラッシュを用いた目視観察によると、上段翼においても下段翼同様キャビティが形成されていた。この結果、下段翼において分散されたガスが気液混相流として上段翼近傍に流入し、上段翼にガスが捕捉・再分散されるためと考察できた。

Fig.4に直径の異なる翼における上段翼の動力比を示す。 $d=10$ cmの翼では、上段翼の動力が単段翼のそれに

Fig.4 Effects of diameter ratio of impeller to vessel d/d_T on power requirements at $F_r = 0.45$

比較的大きいが、翼径の増加とともに単段翼に近付き、 $d=15$ cmの翼では単段翼と同じになる。これは前述のように、翼径が大きくなると、槽壁と翼との間隙が狭くなり、上段翼におけるガス捕捉量が単段翼あるいは下段翼と同程度に増加するためである。

結 言

種々の形状を持つ2段翼において、独自の新しい方法により上・下段翼の通気攪拌動力を個別に測定し、以下のことを明らかにした。

- 1) ガスを十分捕捉・分散している下段翼の動力は同一操作条件下の単段翼のそれと同じといえた。
- 2) 通気による上段翼の動力降下はガスホールドアップによる見掛け密度の減少によるものより著しく大きかった。また、上段翼におけるガス捕捉量が上段翼の動力を支配していると推定できた。
- 3) 翼径と槽径の比が大きい場合には、上段翼の動力もまた同一操作条件の単段翼の動力と同じになった。

[謝 辞] 本研究の実験、解析に協力戴いた早川奈世子、鴛田小百合の両氏に感謝の意を表します。

Nomenclature

d	= diameter of impeller	[m]
d_T	= diameter of vessel	[m]
F_r	= Froude number ($= n d^2 / g$)	[-]
h_2	= impeller spacing	[m]
N_A	= gas flow number ($= Q_g / n d^3$)	[-]
n	= rotation speed of impeller	[rps]
P	= agitation power input	[W]
Q_g	= gas flow rate	[m ³ /s]

<Subscripts>

0 = unaerated
g = aerated
L = lower impeller
t = total (dual impeller)
s = single impeller
U = upper impeller

Literature cited

1) Fukuda, H., Y. Sumino and T. Kanzaki: *Hakko-kougakukaishi*, **46**, 838-845 (1968)

- 2) Hudcova, V., V. Machon and A.W. Nienow: *Biotech. Bioeng.*, **34**, 617-628 (1989)
3) Machon, V. and J. Vacek: *Collection Czechoslovak Chem. Commun.*, **50**, 2863-2872 (1985)
4) Nienow, A.W. and M.D. Lilly: *Biotech. Bioeng.*, **21**, 2341-2345 (1979)
5) Smith, J.M., M.M.C.G. Warmoeskerken and E. Zeef: C.S. Ho and J.Y. Oldshue ed. "Biotechnology Processes: Scaleup and Mixing", p. 107-115, AIChE (1987)
6) van't Riet, K., J.M. Boom and J.M. Smith: *Trans. Inst. Chem. Eng.*, **54**, 124-131 (1976)

Power Required for Upper and Lower Impellers in Gas-Liquid Stirred Vessels with a Dual Turbine

Masafumi Mochizuki, Noboru Takei, Kazumi Satoh,
Takashi Akehata and Terukatsu Miyauchi

Dept. of Industrial Chemistry, Science Univ. of Tokyo, Tokyo 162

Key Words : Power Requirement, Dual Impeller, Aerated Vessel, New Measurement Method, Impeller Diameter

Values of aerated power required at upper and lower stages of a dual impeller under loading state in stirred vessels were measured with a unique method. The following points were revealed.

1) The power of the lower stage in most dual impellers and the power of the upper stage for the impeller of largest diameter in this work were equal to that of a single impeller operating in the same condition. 2) The power of the upper stage was smaller than that expected for an unaerated impeller in a fluid of density equal to that of the gas-liquid mixture.

~~~~~