

Screen Blade Turbine Impeller 의 所要動力 및 混合特性

都 東 燮*

Power Consumption and Mixing Characteristics of the Screen Blade Turbine Impeller

Dong Sup Doh*

College of Science and Engineering, Korea University

Abstract

The power consumption and the mixing time in a 6 inch diameter stirred vessel, equipped with a 6 blade screen blade turbine impeller in its center, have been measured by means of turn-table and conductivity cells, and compared with the results of a 6 blade flat blade turbine impeller.

The rotational speeds of the impeller ranged from 150 to 650 r.p.m. and the liquid viscosities ranged from 0.79 to 164 centipoises.

The screen blade turbine consumed much less power than the flat blade turbine for performing the same degree of mixing in the range of the experiment though there was a decreasing tendency of the mixing efficiency for the screen blade turbine as the liquid viscosity increased.

The mixing time has also been measured in a two impeller system and the results have proved that the screen blade turbine may be a promising equipment, especially for some continuous multi-stage mass transfer operations, performing better local mixing with less backmixing.

1. 緒 論

液體攪拌에서 通常 要求되는 것은 全成分의 急速하고 緊密한 그리고 均一한 分散이며 攪拌은 製造操作에 있어서의 擴散速度, 物質移動速度 혹은 熱移動速度的 促進에 適用되고 있다.

攪拌에 使用되는 가장 보편적인 裝置는 低粘度에서 5×10^4 cp 까지의 넓은 範圍에 使用되고 있는 flat blade turbine impeller 이다. 따라서 이 裝置에 對한 所要動力^{2,7,12} flow pattern, 排出流量과 turbulence, system geometry 등^{1,3,6,15,18}에 關해서는 많은 研究과 詳細한 文獻이 있다.

그러나 turbine impeller 를 抽出操作에 使用하는 경

우에는 二段以上の 多段인 경우가 보통이다. 特히 rare-earth 등 高分子物質의 抽出에는 30 段以上の 多段抽出을 해야할 경우도 있다. 最近 이러한 多段 抽出裝置로서 Pulse column⁵, Scheibel extractor¹³, Rotating disk contactor^{8,14} 등이 開發되어 많이 使用되고 있으나 이것들은 각각 큰 規模의 操業에 不適合, 裝置의 複雜性, 高回轉速度 등의 短點을 가지고 있다.

本研究에서는 上記 抽出裝置들의 缺點을 補完하고 抽出操業의 效率를 높이기 위한 方法으로 screen blade turbine impeller 를 開發하여 所要動力 및 混合時間을 測定함으로써 flat blade 의 경우와 比較하였다.

攪拌時의 所要動力과 混合時間에 對한 각각의 研究는 많으나 裝置의 形狀, 크기, 操作의 條件 등이 完全히 一致하고 있지 않으므로 이들 結果로 부터 動力과 混合時間의 兩者의 變化를 比較하기는 매우 어렵다. 特

*高麗大學校 理工大 化學工學科

히 flat blade 와 screen blade 의 效率를 比較함에는 모든 實驗條件이 共に 一致하여야 한다.

本研究의 動力測定에는 turn-table 法을 適用하였고 混合時間測定에는 두개의 conductivity cell 을 使用하였다. 또 이들 두 system 의 逆混合(back mixing)의 程度를 比較하기 爲하여 二段 impeller 에 依한 水深이 깊은 槽의 混合時間을 測定한 結果도 同時に 報告한다

2. 實驗裝置 및 方法

(1) 動力測定

攪拌成果의 data 는 보통 Reynolds 數 또는 其他의 變數와 相關되어 있고 그것에 依하여 impeller 의 所要 動力이 算出된다. 보통 type 의 impeller 의 動力特性을 求함에 必要한 data 는 相當히 많으나, 이들 data 는 넓은 條件範圍에 걸쳐 다음과 같은 形式으로 要約된다.

$$\text{亂流範圍} \quad P = \frac{K_1}{g_c} \rho N^3 D^5 \quad (1)$$

$$\text{層流範圍} \quad P = \frac{K_2}{g_c} \mu N^2 D^3 \quad (2)$$

常數 K_1 과 K_2 는 同一한 type 의 impeller 인 경우에 또 다르며 또 impeller 의 모양이나 槽配置에 依해서도

두 式이 適用되는 條件에서 行하여지고 있다.

예를 들면 turbine 이 경우 6 flat blade 의 K_1 은 5.5, K_2 는 62.0 이고, 4 flat blade 의 K_1 은 4.1, K_2 는 70.0 이다. 또 propeller 인 경우 3 blade, pitch=diameter 의 K_1 은 0.32, K_2 는 41.0 이고 3 blade, pitch=2 diameter 의 K_1 은 1.0, K_2 는 43.5 이다.

本實驗의 動力測定에는 回轉臺위에 攪拌槽를 올려놓고 이 槽의 內壁이 液流에 依한 마찰 때문에 받는 torque 를 測定하는 方法인 turn-table 法을 適用하였다.

攪拌槽는 圓筒形이고 水深은 槽의 內徑과 同一하며 impeller 는 6-flat blade, 6-screen blades (50 mesh, 20 mesh, 12 mesh)의 turbine impeller 4 種이며, 攪拌軸은 槽의 中心線상에 blade 는 槽底에서부터 槽徑의 3분의 1 이 되는 곳에 位置하도록 하고 baffle 은 垂直 平板 4 개로 하였다.

Impeller 回轉에 對한 Reynolds 數는 5.0×10 부터 3.0×10^4 의 範圍이고 impeller 回轉速度는 150부터 650 r. p. m 의 範圍이다. 動力測定裝置, 槽와 impeller 의 形狀 및 dimension 은 Fig. 1 과 Table 1 에 表示된 바와 같다.

槽液은 純水와 glycerine 溶液(粘度가 2.74 부터 164 cp 의 範圍)을 使用하였다. Impeller 는 1/4 馬力 DC

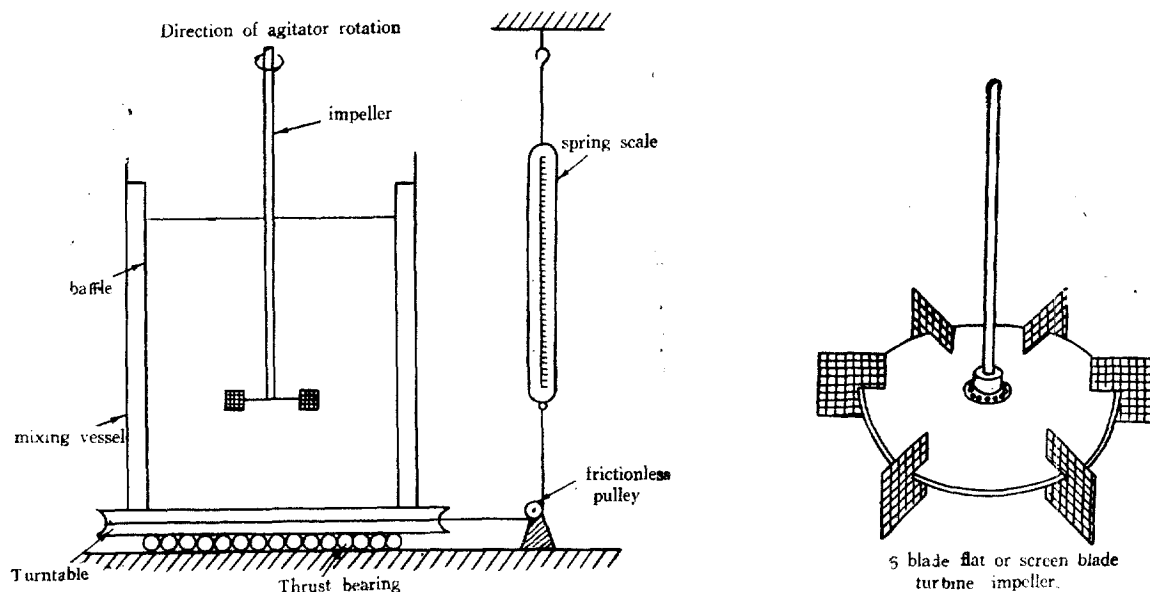


Fig. 1 Power Measuring Device.

달라진다. 勿論 其他의 條件에 依해서도 이들 式은 달라지지만¹⁾ 現在의 工業的攪拌操作은 대체로 上記의

motor 로 回轉시키고 回轉速度는 voltage regulator 로 調節하고 stroboscope 로 回轉速度를 測定하였다.

Table 1. Dimensions of Experimental Apparatus

diameter of vessel	6 inch
liquid depth	6 inch
diameter of impeller	2 inch
widths of impeller blade	$\frac{1}{2} \times \frac{1}{2}$ inch
number of impeller blade	6
width of baffle	$\frac{1}{2}$ inch
impeller distance from vessel bottom	2 inch

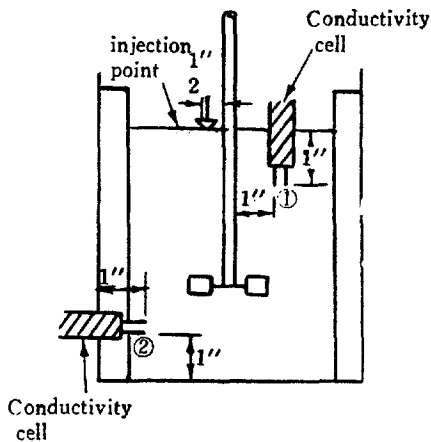


Fig. 2 Mixing Time Measuring Device.

(2) 混合時間

Screen blade로서 混合效果를 크게 할 수 있는지의 與否를 調査하기 爲하여 動力測定時와 같은 裝置를 使用하여 다음과 같이 混合時間을 測定하였다.

Fig. 2의 作살표의 位置에서 槽內에 KCl 濃厚溶液 少量을 注入하여 點① 및 點②에 位置한 電極이 指示하는 濃度差를 記錄한다. turbine impeller에 依한 液體의 flow pattern으로 보아 點① 및 點②는 溶液이 槽內에서 完全히 混合되었을때 만이 같은 濃度를 가질것으로 생각된다.¹⁹⁾

混合時間은 溶液을 注入해서부터 濃度의 變動이 最終平均濃度의 3%가 될때까지의 時間을 取하고 測定前後를 通하여 槽液의 電氣傳導도가 KCl 濃度에 比例하는 範圍內에 있도록 槽液은 初濃度 0.034N의 水를 KCl 溶液을 使用했고 注入液은 濃度 3.4N의 濃厚溶液 1.0cc를 約 0.5秒 以內에 注入했다. 注入液量과 注入速度가 一定하도록, 또 注入때문에 惹起될 液流의 變化

가 無視될 수 있도록 特別 注意했다.

電極은 外徑 $\frac{1}{8}$ "의 유리管 끝에 $\frac{1}{8}$ " \times $\frac{1}{8}$ "의 stainless steel 板 두개를 $\frac{1}{8}$ " 간격으로 서로 마주 보게 했으며 板의 後面과 液속에 담길 lead wire의 部分을 不導性 epoxy resin으로 모두 絶緣시켰다.

濃度差를 檢出하기 爲한 回路는 Fig. 3과 같다. 增幅器로는 Brush amplifier RD 5612-11를 使用했고 Brush oscillograph RD 2321-20으로 記錄하였다.

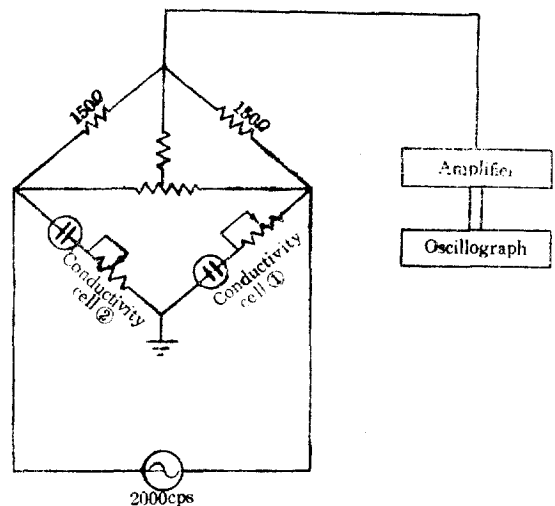
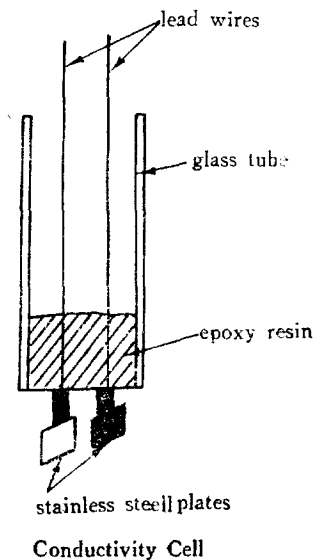


Fig. 3 Schematic Circuit Diagram for Conductivity.

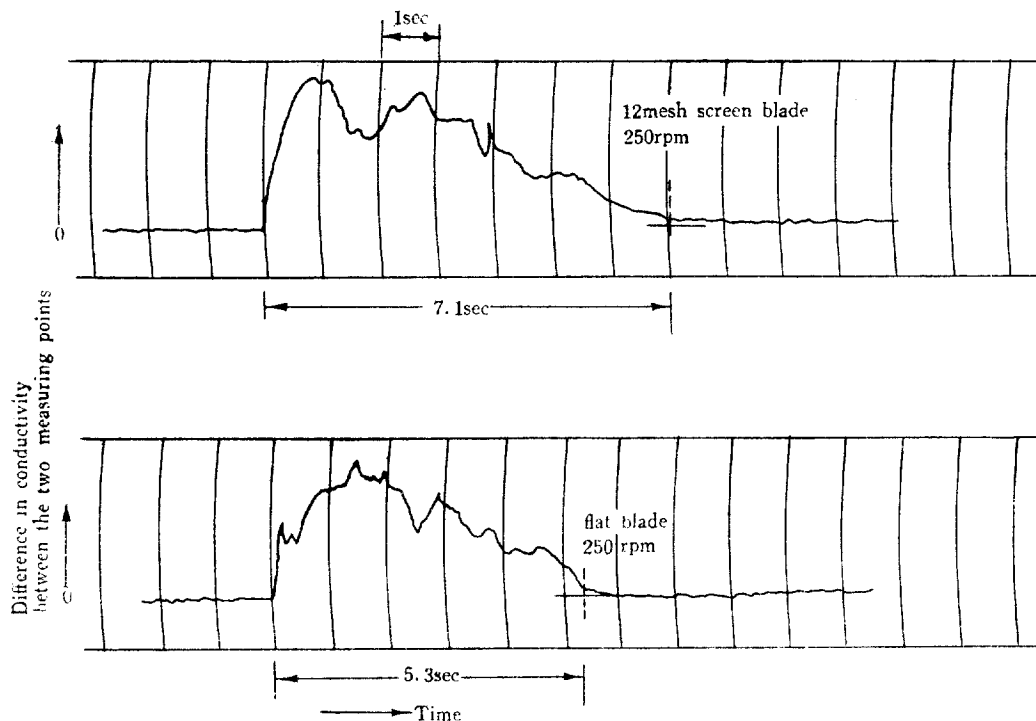


Fig. 4 Typical Conductivity-Time Curve

Fig. 4 에는 記錄計가 時間에 따라 變하는 濃度差를 記錄한 曲線이 例示되어 있다. 攪拌槽內의 液流가 數秒 내지 數分의 週期로 크게 變動하는 경우가 많으므로¹⁶⁾ 混合時間에 對하여 높은 精密度로 再現性있는 數値를 얻으려면 하나의 數値를 定하기 爲해서도 수십번 反復하여 平均할 必要가 있다. 그러나 本研究과 같이 裝置의 特性을 比較考察하는 目的으로는 過히 높은 精密度가 必要없으므로 10 회程度 反復한 結果의 平均値를 取했다.

(3) 逆 混 合

Column 抽出操作에 있어서는 液槽가 깊으므로 多段 impeller를 使用하게 되는데 이때 各段의 local mixing은 좋으면서 全體적으로는 back mixing이 적어야 抽出效率가 높아진다.

多段 impeller 攪拌槽에 있어서는 impeller의 간격이 달라짐에 따라 flow pattern과 所要動力도 현저히 달라지며¹⁷⁾ 대개 Fig. 5와 같은 flow pattern을 가진다. 着色液에 依한 觀察로서 Fig. 5의 flow pattern을 確認하였다.

本實驗에서는 Fig. 6과 같은 裝置와 配置로 flat blade와 screen blade의 混合時間을 測定하여 比較하였

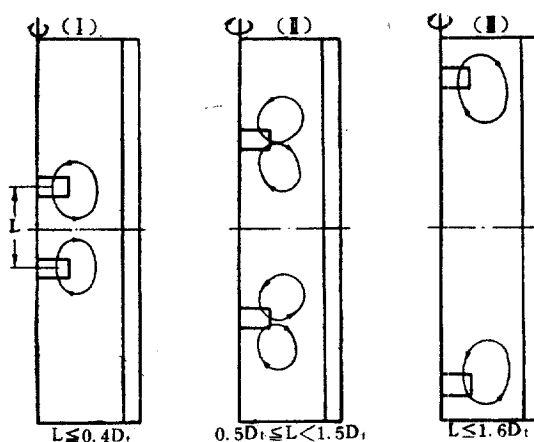


Fig. 5 Flow Patterns for Two Impeller Systems.

다. 槽徑, baffle 및 impeller는 一段 impeller 때와 같은 種類이며 水深은 槽徑의 2.5 배이다. impeller의 간격은 두개의 獨立된 液流가 서로 다른 것의 영향을 적게 받도록 槽徑의 1.4 배로 하였고, 이 때의 所要動力은 一段 impeller 때의 2 배로 報告되어 있으므로¹⁷⁾ 二段 impeller에 對한 所要動力은 따로 測定하지 않고 前記 一段 impeller 때의 動力値의 두배로 計算하였다.

3. 實驗結果 및 考察

(1) 所要動力

Impeller 回轉速度에 따르는 所要動力의 變化를 測定한 結果 Fig.7 및 Fig.8과 같다. Fig.7은 純水의 경우이고 Fig.8은 粘度가 164cp 인 glycerine 溶液의 경우이다.

이 두그림에서 보는 바와 같이 blade의 種類 및 液의 種類에 關係없이 所要動力은 impeller 回轉速度의 3 乘에 比例하여 增加함을 알 수 있고 이 結果는 式(1)과 一致된다.

同一한 回轉速度에서는 flat blade의 動力消耗가 제일 크며 다음이 50 mesh, 20 mesh, 12 mesh screen blade의 順으로 되어 있고 回轉速度가 커질수록 所要動力의 差異도 현저하게 커진다.

또한 이들 두 그림을 比較해 보면 flat

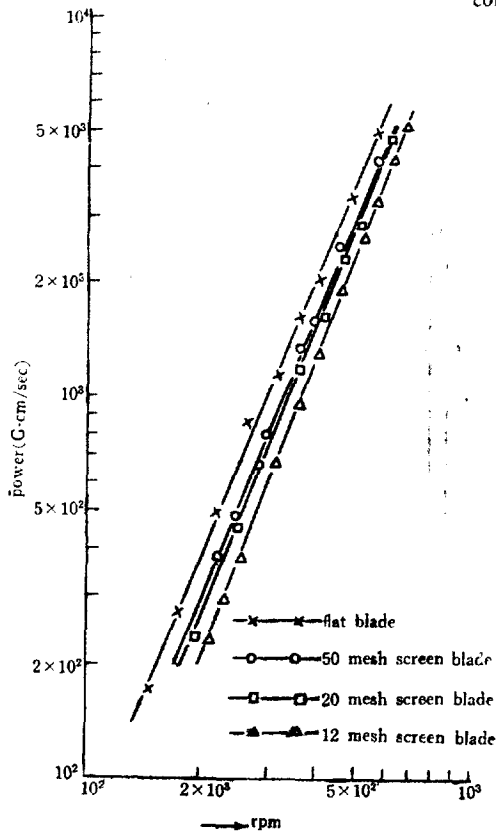


Fig. 8 Power vs. Impeller Rotational Speed (Glycerine solution, $\mu=164\text{cp}$)

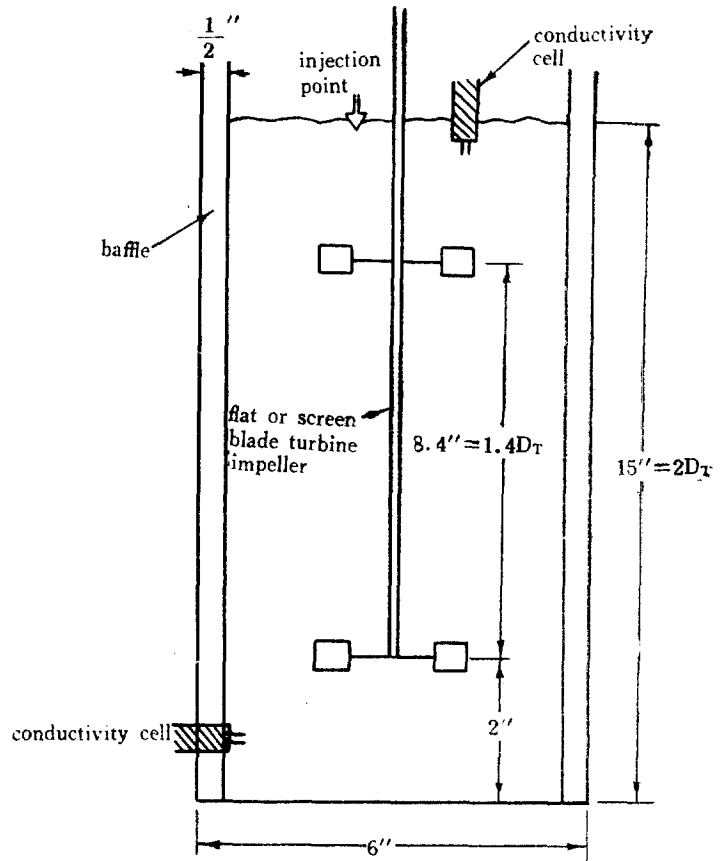


Fig. 6 Mixing Vessel with Two Impellers.

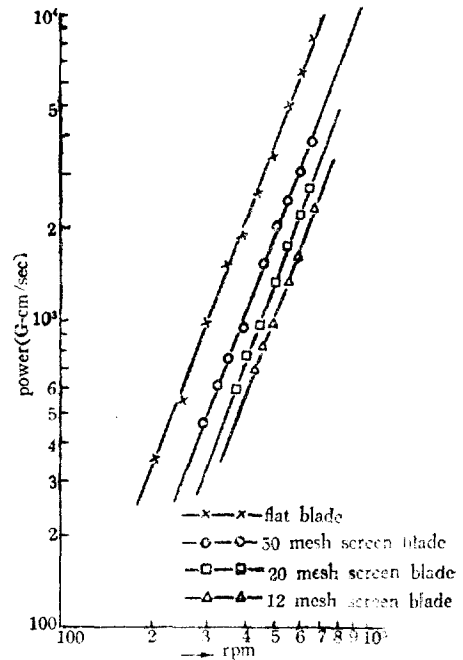


Fig. 7 Power vs. Impeller Rotational Speed (water, $\mu=0.79\text{cp}$)

blade의 所要動力은 液의 粘度에 關係없이 비슷한 값을 나타내지만 screen blade는 粘度가 높은 溶液에서는 所要動力도 커짐을 알 수 있다. 이것은 다음과 같이 說明할 수 있다.

Screen blade turbine impeller로 液을 攪拌할 때 power의 一部는 液體의 pumping에 所要되고 나머지는 screen 사이로 빠져나가는 液體와 screen 간의 skin friction 때문에 消耗된다. 즉

$$P_{\text{impeller}} = P_{\text{pumping}} + P_{\text{friction}} \quad (3)$$

지금 screen 사이로 빠져나가는 液體의 흐름을 管流(pipe flow)로 看做하고 12 mesh screen blade가 純

圈에서는 blade의 種類에 關係없이 비슷한 power數를 나타내지만 Reynolds數가 100以上에서 增加할수록 screen blade의 경우는 power數가 점점 減少하는 傾向을 나타낸다. 그리고 flat blade의 경우는 거의 一定한 값을 가지는 것은 文獻值¹⁰⁾의 傾向과 비슷하나 文獻值보다 좀 작은값을 나타내는 것은 thrust bearing의 마찰에 依한 動力損失에 起因한 것으로 생각된다.

(2) 混合時間

4種의 impeller의 回轉速度에 對한 混合時間을 測定한 法果는 Fig. 10과 같다.

이 그림에서 보는 바와 같이 同一한 回轉速度에서의

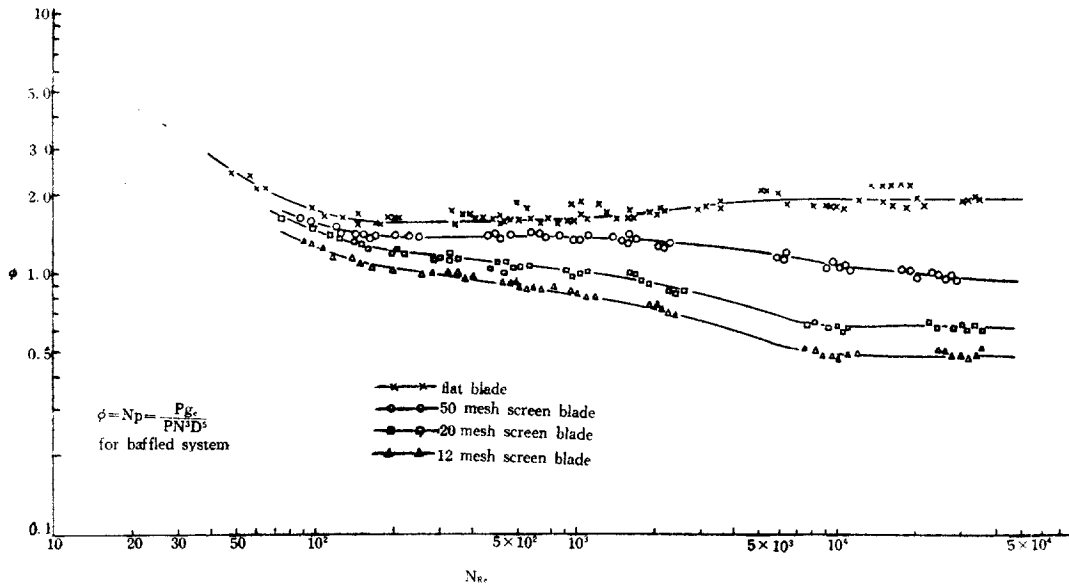


Fig. 9 Power Curves for 6 Blade Turbine Impeller with Flat & Screen Blades.

水內에서 650 r. p. m으로 回轉할때의 Reynolds數를 計算하면 線速度가 最下가 되는 blade의 끝部分에서 760이다. 이 값은 完全히 層流範圍內이고 本實驗에서의 Reynolds數의 最大값이다.

그런데 Hagen-Poiseulli式

$$F = \frac{32 \mu u}{\rho g_c D^2} \quad (4)$$

에서 skin friction은 液體의 粘度에 比例한다. (3)式에서 P_{pumping} 項은 粘度와는 關係없이 一定하고 P_{friction} 項은 粘度에 比例하여 增加하므로 같은 回轉速度에서도 P_{impeller} 는 液體의 粘度가 增加할수록 커지는 것이다.

Fig. 9는 power數와 Reynolds數와의 關係를 plot한 power curve이다. Reynolds數가 100以內的 작은 範

混合時間은 flat blade가 제일 적고 다음이 50 mesh, 20 mesh, 12 mesh screen blade의 順序로 되어 있다. 그러나 混合時間의 差異는 低回轉速度에서 제일 크고 高回轉으로 갈수록 작아지며 이것은 動力消耗의 傾向과는 正反對의 現象이다. 이것을 더 明確하게 알 수 있도록 混合時間을 所要動力과의 關係로 plot한 것이 Fig. 11이다.

Fig. 11에서 보는 바와 같이 同一한 動力下에서의 混合時間은 12 mesh, 20 mesh, 50 mesh screen blade, flat blade의 順序로 길어진다. 즉 同一한 混合效果를 얻는데는 flat blade보다 screen blade가 더 長을 意味한다.

이 事實은 攪拌動力이 主로 流體의 循環과 eddy의

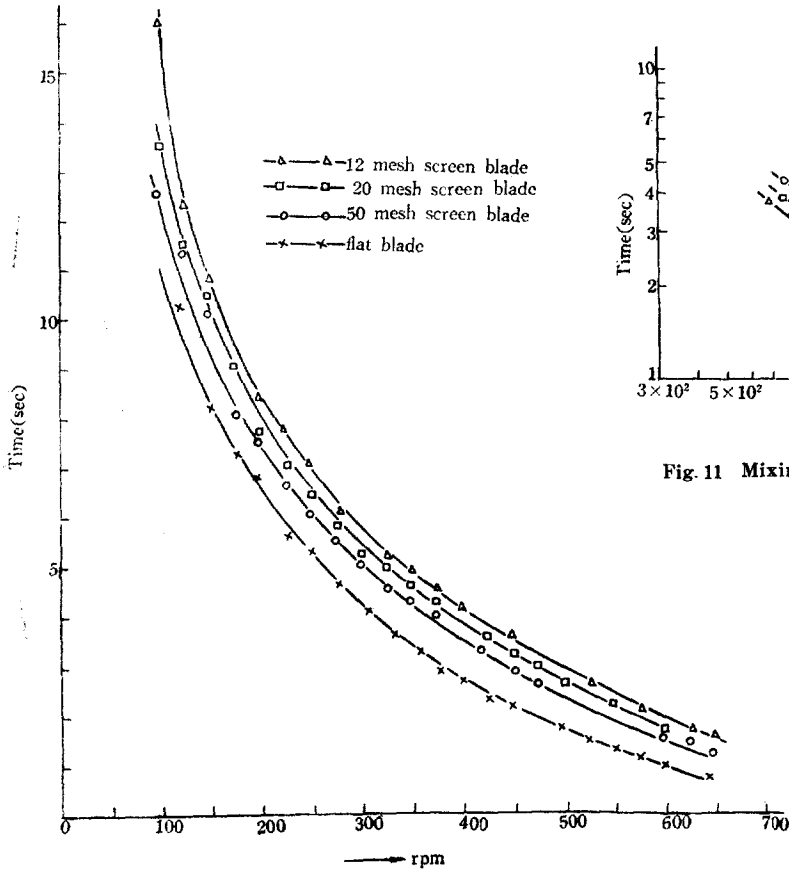


Fig. 10 Mixing Time vs. Impeller Rotational Speed.

生成에 消耗되고 攪拌에 依한 混合效果는 巨觀的인 循環流에 依해서 뿐만 아니라 微視的인 eddy에 依하여 더욱 上昇되므로, 同一한 動力下에서 flat blade와 screen blade를 比較할때 後者の 循環流의 生成과 eddy의 生成에 消耗되는 比率이 前者의 그것보다 더 混合效果를 높게 하도록 잘 調和되어 있는데 起因한 것이 아닌가 推測된다.

(3) 逆混合

二段 impeller 攪拌槽에서 上段部에 KCl 溶液을 注入했을때 이 注入液이 下段部에까지 完全히 混合되는데 所要된 時間을 impeller 回轉速度的 變化에 對해서 plot한 것이 Fig. 12이고 이것을 動力消耗의 變化에 對해서 plot한 것이 Fig. 13이다.

Fig. 12에서 同一한 impeller 回轉速度에서의 混合時間이 flat blade의 경우가 작고 screen blade의 경우가 큰 것은 一段 impeller 때의 混合時間의 傾向과 같으나 混合時間의 差異는 一段 impeller 때보다 현저하게 크

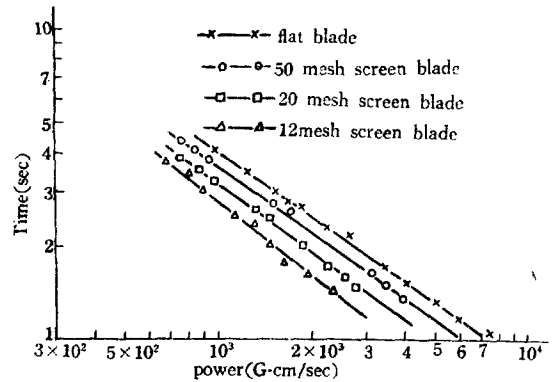
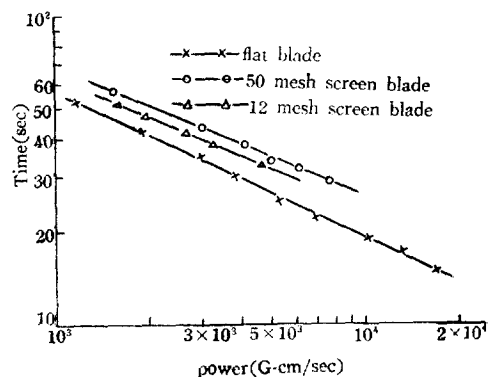


Fig. 11 Mixing Time vs. Power Consumption.

Fig. 13 Mixing Time vs. Power Consumption.
(Two Impellers)

다. 또 Fig. 13에서 보는바와 같이 同一한 動力下에서의 上下段液의 完全混合時間은 一段 impeller 때와는 正反對의 現象을 나타낸다. 즉 flat blade에 依한 混合時

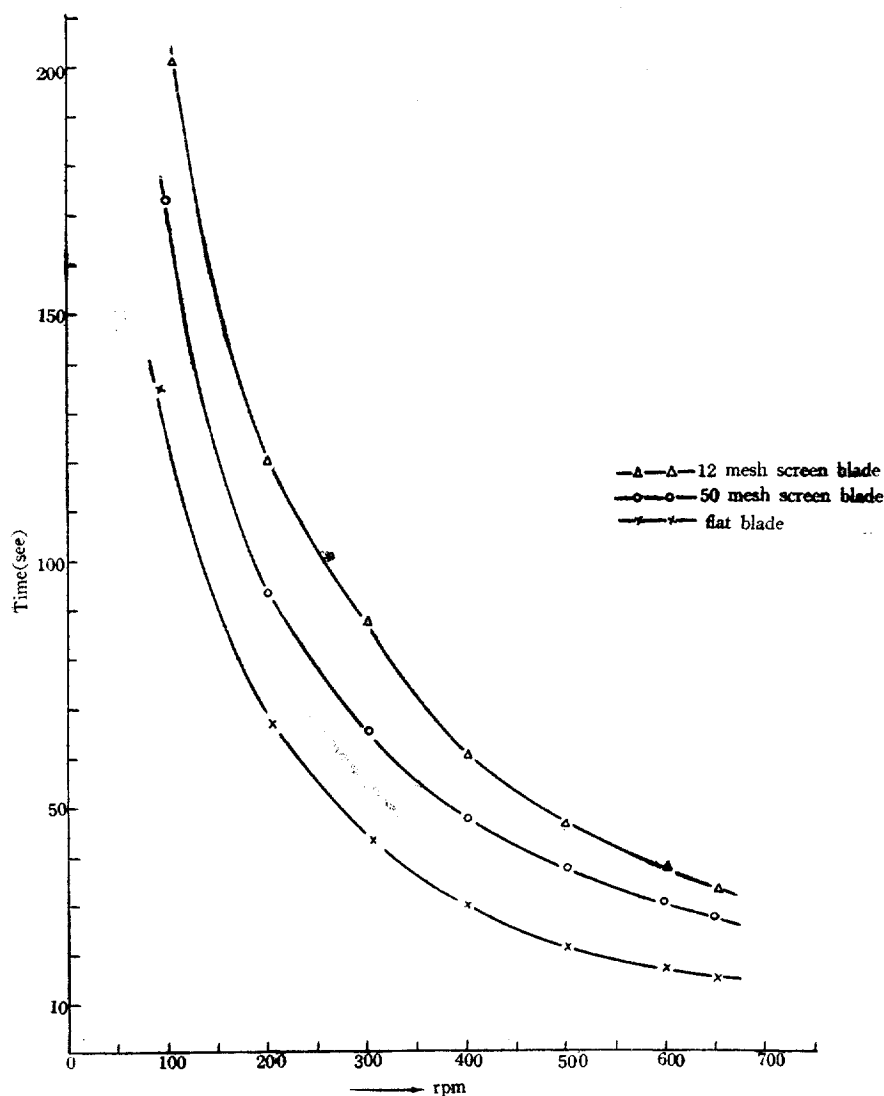


Fig. 12 Mixing Time vs. Impeller Rotational Speed (two Impellers)

間이 screen blade 에 의한 混合時間보다 오히려 훨씬 작다.

이 事實로 보아 screen blade turbine impeller 는 各段에 對한 local mixing 效果는 더 좋으면서 back mixing 을 훨씬 적게 한다는 것을 알수 있다.

4. 結 論

內徑이 6"인 攪拌槽에서 flat blade turbine impeller 와 screen blade turbine impeller 의 攪拌動力 및 混合時間을 測定하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

(1) Screen blade 를 使用했을 경우가 flat blade 의 경우보다 所要動力이 훨씬 적고 impeller 의 回轉速度가 커질수록 그 差異는 더욱 현저하다.

또 screen blade 의 경우 screen 이 fine 한 것보다 rough 한 것일수록 所要動力은 작아진다.

(2) flat blade impeller 의 所要動力은 攪拌液의 粘度와 無關하지만 screen blade impeller 의 所要動力은 粘度가 增加할수록 커진다.

(3) 一定한 回轉速度에서의 混合時間은 flat blade impeller 가 screen blade impeller 에 比하여 훨씬 짧으나 一定한 動力下에서의 混合時間은 이와 正反對이다.

즉 同一한 混合效果를 얻는 데는 screen blade 가 더 優秀하다.

(4) 多段 impeller 攪拌槽에서 screen blade turbine impeller 는 各段에 對한 local mixing 效果는 더 좋으면서 全體의으로 back mixing 을 훨씬 적게 한다.

使用記號

D : Impeller diameter	[ft]
D_t : Tank diameter	[ft]
F : Friction loss	[ft-lb _f /lb]
g_c : Gravitational conversion factor	[lb-ft/lb _f -sec ²]
K_1 : Proportionality constant in equ. (1)	[—]
K_2 : " " " (2)	[—]
L : Distance between the center of impellers	[ft]
l : Length term in Hagen-Poiseulli equ.	[ft]
N : Speed of impeller	[rev/sec]
N_{Fr} : Froude number	[—]
N_p : Power number	[—]
P : Power	[lb _f -ft/sec]
u : Linear velocity of impeller tip	[ft/sec]
μ : Liquid viscosity	[lb/ft-sec]
ρ : Liquid density	[lb/ft ³]
ϕ : Power function = N_p/N_{Fr}	[—]

參考文獻

- Cooper, R.G. and D. Wolf, *Can. J. of Chem. Eng.*, **45**, 197 (1967)
- Holland, F.A. and F.S. Chapman, "Liquid Mixing and Processing in Stirred Tank", *Reinhold Pub. Corp.* (1966)
- Kang, W.K., Ph.D. dissertation, *Univ. of Minnesota* (1960)
- Manning, F.S. and R.H. Wilhelm, *A. I. Ch. E. J.*, **9**, 12 (1963)
- Mar, B.W. and A.L. Babb, *Ind. Eng. Chem.*, **51**, 1011 (1959)
- Marr, G.B. and E.F. Johnson, *A. I. Ch. E. J.*, **9**, 388 (1963)
- Nagata, S., M. Yamamoto and T. Yokoyama, *Chem. Eng. (Japan)*, **21**, 278 (1957)
- Reman, G.H. and R.B. Olney, *Chem. Eng. Prog.*, **51**, 141 (1955)
- Rice, A.W., H.L. Toor and F.S. Manning, *A. I. Ch. E. J.*, **10**, 125 (1964)
- Roshton, J.H., *Chem. Eng. Prog.*, **47**, 485 (1951)
- Rushton, J.H., E. W. Costich and H.T. Everett, *Chem. Eng. Prog.*, **46**, 395, 467 (1950)
- Rushton J.H. and J.Y. Oldshue, *Chem. Eng. Prog. Symp. Ser.*, **55**, No. 2, 181 (1959)
- Scheibel, E.G., *A.I. Ch.E. J.*, **2**, 74 (1956)
- Strand, C. P., R. B. Olney and G. H. Ackerman, *A. I. Ch. E. J.*, **8**, 252 (1962)
- Taketa, K. et al, *Kakaku Kogaku (Japan)*, **32**, 369 (1968)
- Taketa, K. et al, *ibid.*, **32**, 202 (1968)
- Taketa, K. et al, *ibid.*, **32**, 376 (1968)
- Wolf, D. and F.S. Manning, *Can. J. Chem. Eng.*, **44**, 137 (1966)
- Yamamoto, K., *Chem. Eng. (Japan)*, **27**, 597 (1963)