



1. Amirtharajah, A. and Millx, K.M. Rapid-mix design for mechanisms of alum coagulation. J. AWWA. 74: 210 (1982)
2. Kawamura, S. Coagulation considerations. J. AWWA. 65: 417 (1973)
3. Simpsor, L.L. Turbulence and industrial mixing. J. Chem. Eng. Prog. 70: 77 (1974)
4. Vrale, L. and Jorden, R.M. Rapid mixing in water treatment. J. AWWA. 63: 52 (1971)
5. Chao, J.L. and Stone, B.G. Initial mixing by jet injection blending. J. AWWA. 71: 570 (1979)
6. Delichatsious, M.A. and Probststein, R.F. Coagulation in turbulent flow. J. Colloid Interface Sci. 51: 118 (1975)
7. Giiven, O. and Benefield, L. The design of in line jet injection blenders. J. AWWA. 75: 357 (1983)
8. La Mer, V.K. Coagulation symposium introduction. J. Colloid Sci. 19: 291 (1964)
9. Hahn H.H. and Stumm, W. Kinetics of coagulation with hydrolyzed Al(III). J. Colloid Interface Sci. 28: 133 (1968)
10. Letterman, R.E., Quon, J.E. and Gemmell, R.S. Influence of rapid mixing parameters on flocculation. J. AWWA. 65: 716 (1973)
11. Hudson, H.E. Jr. and Wolfner, J.P. Design of mixing and flocculation basins J. AWWA. 59: 1257 (1967)
12. Notthakun, S. Optimization of direct filtration. Master Thesis. No EV-84-6. AIT. Bangkok Thailand (1984)
13. Camp, T.R. and Stein, P.S. Velocity gradients and internal work in fluid motion. J. ASCE. 30: 219 (1943)

14. Kawamura, S. Considerations on improving flocculation J. AWWA.  
68: 328 (1976)
15. Jain, A.K. Fluid Mechanics: Khanna Publishers Delhi India. 2<sup>nd</sup>  
edition. (1980)
16. Leentvaar, J. and Ynema, T.S. Jr. Some dimensionless parameters  
of impeller power in coagulation-flocculation process.  
J. Wat. Res. Pergamont Press Ltd. 14: 135 (1980)
17. Holland, F.A. and Chapman, F.S. Liquid mixing and processing  
in stirred tank. Reinhold Publishing Corporation. New York  
(1966)
18. Camp, T.R. Flocculation and flocculation basins Trans. ASCE. 120:1  
(1955)
19. Lightnin in-line blenders engineering data. Lightnin Mixers Pty.  
Ltd. N:S.W. Australia. (1977)
20. Ives, K.J. The scientific basis of flocculation.  
Sigthoff and noordhoff alphan aan den. Rijn-Netherlands.  
(1978)
21. Cleasby, I.L. Is velocity gradient a valid turbulent flocculation  
parameter? J.EE.Div. Trans. ASCE, 110: 875 (1984)
22. Parker, D.S., Kaufman, W.J. and Jenkins, D. Characteristics of  
biological flocs in turbulent regimes. SERL Report No 70-5.  
Univ. of California at Berkeley, (1970)
23. Goyal, J.K. and Gupta, K.P. Fluid dynamics (advanced hydro-dynamics).  
Prakahom P.B. No. 62. Meerut India. (1980)
24. Langelier, W.F. and Ludwig, H.F. Mechanism of flocculation in the  
clarification of turbid waters. J.AWWA. 41: 163 (1949)
25. Black, A.D. and Welters, J.W. Electrophoretic studies of turbidity  
removal with ferric sulfate. J.AWWA. 59: 99 (1964)

26. Sundstorm D.W. and Klei, H.E. Wastewater Treatment Prentice Hall, Inc., Englewood Cliffs. (1979)
27. Schofiels, R.F. and Samson, H.R. Flocculation of kaolinite due to attraction of opposite charged crystal faces. Coagulation and flocculation discussions of the Faraday Society, No.18. Arberdeen University Press Ltd. Arberdeen, Great Britain. (1954)
28. Van Olphen, H. Internal mutal flocculation in clay suspensions. J. Colloid Sci. 19: 313 (1964)
29. Sanks, R.L., et. al. Water treatment plant design. Ann Arbor Science. Michigan. USA. (1978)
30. ASCE., AWWA. Water treatment plant design. Conf. of State San. E. AWWA. Inc., New York. (1969)
31. Wood, D.J. An Explicit Friction Factor Relationship. Civil Engineering. J. ASCE. 53: 60 (1966)
32. Foust, A.S., et. al. Principle of Unit Operations. John Wiley and Sons, Inc. New York, (1960)
33. Streeter, V.L. Fluid Mechanics. 4<sup>th</sup> ed. Mc Graw-Hill Book Co., (1966)
34. วริษฐ์ มงคลศรี. การใช้ตะกอนในกระบวนการรวมตะกอนสำหรับกำจัดความขุ่น. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2526.
35. หริส สู่ตะบุตร และ ฮารุโอะ ทาฮารุ. เครื่องสูบลและเครื่องอัด. สัมภาษณ์เล่มแรกเทคนิคและความรู้ระหว่างประเทศ. โรงพิมพ์คุรุสภา. 2526.

รายการคำนวณที่ ผ.1 ความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาคเป็นโทไนท์

จากลุ่มการทำไปของการตกตะกอนแบบโตน

$$v_s = \frac{g(\rho_s - \rho)d^2}{18\mu}$$

เมื่อ  $v_s$  = ความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาคโตน, ม./วินาที

$g$  = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง

$\rho_s$  = ความหนาแน่นของอนุภาคโตน, กก./ลบ.ม.

$\rho$  = ความหนาแน่นของน้ำ

$d$  = เส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาคโตน, ม.

$\mu$  = ความหนืดพลค่าลตรของน้ำ, นิวตัน-วินาที/ม.<sup>2</sup>

อนุภาคเป็นโทไนท์ขนาด 1 ไมครอน และมีความหนาแน่น 2650 กก./ม.<sup>3</sup> โดย

ประมาณ

ที่อุณหภูมิ 25°C  $\mu = 0.98 \times 10^{-3}$  นิวตัน-วินาที/ม.<sup>2</sup>  $\rho = 997$  กก./ม.<sup>3</sup>

$$v_s = \frac{9.81(2650 - 997)(1 \times 10^{-6})^2}{18(0.98 \times 10^{-3})}$$

$$\cong 9.19 \times 10^{-7} \text{ ม./วินาที}$$

$$= 0.33 \text{ ซม./ชม.}$$

นั่นคือ อนุภาคเป็นโทไนท์ขนาด 1 ไมครอนมีความเร็วในการตกตะกอน 0.33 ซม./ชม.

ใน 48 ชม. จะตกตะกอนได้เป็นความลึก =  $0.33 \times 48$

$$= 16 \text{ ซม.}$$

รายการคำนวณที่ ผ.2 ข้อมูลสมมติที่ใช้ในการเปรียบเทียบระบบกวนเร็ว

ชุมชนประกอบด้วยคน 50,000 คน

ความต้องการน้ำต่อคนต่อวันเท่ากับ 250 ลิตร

จากข้อมูลจะประมาณความต้องการใช้น้ำได้ดังนี้

1. ความต้องการเฉลี่ยรายวัน (average daily draft)

$$= .250 \times 50000$$

$$= 12,500 \quad \text{m}^3/\text{d}$$

2. ความต้องการสูงสุดรายวัน (maximum daily draft)

$$= 1.5 \times 12500$$

$$= 18750 \quad \text{m}^3/\text{d}$$

3. ความต้องการสูงสุดรายชั่วโมง (maximum hourly draft)

$$= 2.5 \times 12500$$

$$= 31250 \quad \text{m}^3/\text{d}$$

4. ขนาดของหน่วยต่าง ๆ

$$\text{Low-lift pump} = 2 \times \text{average daily draft}$$

$$= 2 \times 12500$$

$$= 25000 \quad \text{m}^3/\text{d}$$

$$\text{High-lift pump} = 3 \times \text{average daily draft}$$

$$= 37500 \quad \text{m}^3/\text{d}$$

$$\text{Filters and the likes} = 1.6 \times \text{average daily draft}$$

$$= 20000 \quad \text{m}^3/\text{d}$$

รายการคำนวณที่ ผ.3 ออกแบบระบบกวนเร็วแบบถังกวน

ลิมิตปริมาณสารลัมที่หมาะลัมที่ลุด	30	มก./ล.
อัตราการไหล	20000	ลบ.ม./วัน
	= 0.23	ลบ.ม./วินาที

จาก

$$G_{Topt} = \frac{5.9 \times 10^6}{C^{1.46}}$$

$$= \frac{5.9 \times 10^6}{30^{1.46}}$$

$$= 41140$$

เมื่อ  $G = 1000$  วินาที<sup>-1</sup>       $T_{opt} = 41$  วินาที

$G = 700$  วินาที<sup>-1</sup>       $T_{opt} = 49$  วินาที

เลือกใช้  $T_{opt} = 50$  วินาที       $G = 700$  วินาที<sup>-1</sup>

∴ ปริมาตรของถังกวนเร็ว =  $0.23 \times 50 = 11.6$  ลบ.ม.

ใช้ถัง 2 ใบ แต่ละใบมีปริมาตร 5.8 ลบ.ม.

เลือกถึงรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส  $2 \times 2$  ม.    ม.

∴ ความสูง =  $\frac{5.8}{4} = 1.5$  ม.

ให้ถังแต่ละใบมีขนาด  $2 \times 2 \times 2$  ม.<sup>3</sup> ระดับความลึก ประสิทธิภาพ 1.5 ม.

และใช้เครื่องกวนที่มีใบพัดแบบเทอร์โบไนน์ใบ เรียบ และมีการเติมสารเคมีเข้าที่เครื่องกวนน้ำ

กำลังม้าของมอเตอร์คำนวณได้จากสมการ 3.6

$$G = \left(\frac{P}{\mu V}\right)^{0.5}$$

โดยที่

$$V = 2 \times 2 \times 1.5 = 6 \text{ ลบ.ม.}$$

$$G = 700 \text{ วินาที}^{-1}$$

$$\mu_{30^{\circ}\text{C}} = 0.798 \times 10^{-3} \text{ นิวตัน-วินาที/ม.}^2$$

$$\begin{aligned} \therefore P &= G^2 \mu v \\ &= 700^2 \times 0.798 \times 10^{-3} \times 6 \\ &= 2346.12 \text{ นิวตัน-ม./วินาที} \end{aligned}$$

ค่าประสิทธิภาพของมอเตอร์เท่ากับ 80 %

$$\begin{aligned} \therefore \text{BHP} &= \frac{2346.12}{746 \times .8} \\ &= 3.93 \text{ แรงม้า} \end{aligned}$$

เลือกมอเตอร์ขนาด 5 แรงม้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการคำนวณที่ ผ. 4 ออกแบบระบบกวนเร็วในท่อ

สัมมูลิปริมาณสารลิมที่ เหมาะลิมที่ลิม	30	มก./ล.
อัตราการไหล	20000	ลบ.ม./วัน
	= 0.23	ลบ.ม./วินาที

จากลิมการ 5.1

$$G_{Topt} = \frac{100000}{C^{0.64}}$$

$$= \frac{100000}{30^{0.64}}$$

$$G = 2000 \text{ วินาที}^{-1} \quad T_{opt} = 5.67 \text{ วินาที}$$

$$\text{ใช้ } G = 2000 \text{ วินาที}^{-1} \quad T_{opt} = 6 \text{ วินาที}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{ปริมาณการทอกวนเร็ว} &= 6 \times 0.23 \\ &= 1.38 \text{ ลบ.ม.} \end{aligned}$$

ใช้ทอ 2 ทอขนานกัน แต่ละทอมีขนาด 0.7 ลบ.ม.

จากลิมการที่ 3.25

$$G = \left(\frac{\rho}{2\mu}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{f}{D}\right)^{\frac{1}{2}} v^{3/2}$$

$$\rho_{30^\circ} = 995.7 \text{ กก./ม.}^3$$

$$\mu_{30^\circ} = 0.798 \times 10^{-3} \text{ นิวตัน-วินาที/ม.}^2$$

$$G = \left(\frac{995.7}{2 \times 0.798 \times 10^{-3}}\right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{f}{D}\right)^{\frac{1}{2}} v^{3/2}$$

$$= 789.86 \left(\frac{f}{D}\right)^{\frac{1}{2}} v^{3/2}$$

โดยการลองผิดลองถูก (ค่า f คำนวณจากลิมการที่ 3.42)

$$D = 200 \text{ มม.} \quad v = 3.66 \text{ ม./วินาที} \quad \frac{\epsilon}{D} = 0.00076$$

$$N_{re} = 9.1 \times 10^5 \quad f = 0.019$$



$$G = 789.86 \left( \frac{0.019}{0.2} \right)^{1/2} (3.66)^{3/2}$$

$$= 1700 \text{ วินาที}^{-1}$$

$$D = 150 \text{ มม.} \quad v = 6.51 \text{ ม./วินาที} \quad \frac{\epsilon}{D} = 0.001$$

$$N_{re} = 1.22 \times 10^6 \quad f = 0.02$$

$$G = 789.86 \left( \frac{0.02}{0.15} \right)^{1/2} (6.51)^{3/2}$$

$$= 4800$$

∴ ใช้ท่อ  $\phi$  200 มม. เหล็กชุบสังกะสี

หาความยาวของท่อ

จากปริมาตรของท่อเท่ากับ 0.8 ลบ.ม.

$$\frac{\pi}{4} D^2 L = 0.7$$

$$L = \frac{0.7 \times 4}{\pi \times (.20)^2}$$

$$= 22.3 \text{ ม.}$$

∴ ใช้ท่อยาว 23 ม. จากจุดจ่ายสารส้มถึงปลายท่อ

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการคำนวณที่ ผ. 5 ความเร็วเกรเดียนท์ของการล่ฆานตะกอน ( $G_f$ )

$$F_D = C_D \rho A \frac{v^2}{2}$$

$$P = F_D \cdot v$$

$$G^2 = \frac{P}{\mu V} = \frac{C_D \rho A v^3}{2 \mu V}$$

โดยที่

$F_D$  = แรงลาก (drag force), นิวตัน

$P$  = กำลังงานที่ใช้, วัตต์

$C_D$  = สัมประสิทธิ์แรงลาก (drag coefficient)

= 1.8 สำหรับใบพัดแบน หรือใบพาย

$\rho$  = ความหนาแน่นของน้ำ,  $K_g/m^3$

$v$  = ความเร็วสัมพัทธ์ของใบพาย

= 0.75 X ความเร็วที่ปลายใบพาย, ม/วินาที

$V$  = ปริมาตร น้ำ,  $m^3$

$A$  = พื้นที่ของใบพาย,  $m^2$

$\mu$  = ความหนืดพลศาสตร์ของน้ำ, นิวตัน-วินาที/ $m^2$

จากเครื่องทดสอบแบบจาร์ โดยใช้เครื่องกวนในห้องปฏิบัติการ ของ Phipps and Birds ซึ่งมีใบพายกวนขนาด 2.5 X 7.5 เซนติเมตร X เซนติเมตร ถ้วยอาร์ขนาด 1 ลิตร ความเร็วรอบในการกวนของใบพาย 40 รอบ/นาที

ดังนั้น

$$\begin{aligned} A &= (2.5 \times 10^{-2}) \times (7.5 \times 10^{-2}) \\ &= 1.875 \times 10^{-3} \quad m^2 \end{aligned}$$

$$v = 0.75 \times 0.075 \times \frac{40}{60}$$

$$= 0.1178 \quad \text{ม/วินาที}$$

$$V = 1 \times 10^{-3} \quad \text{ม}^3$$

$$\rho = 995 \quad \text{กก/ม}^3 \quad \text{ที่ } 30^\circ$$

$$\mu = 0.8 \times 10^{-3} \quad \text{น-วินาที/ม}^2$$

$$G^2 = \frac{1.8 \times 995 \times 1.875 \times 10^{-3} \times (0.1178)^3}{2 \times 0.8 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^{-3}}$$

$$= 3430.9$$

$$G = 58.6 \quad \text{วินาที}^{-1}$$

$$G_F = 60 \quad \text{วินาที}^{-1}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## รายการคำนวณที่ ผ. 6 การวิเคราะห์เชิงราคา

ความเหมาะสมเชิง เศรษฐศาสตร์ เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญในการพิจารณาความเป็นไปได้ของโครงการต่างๆ ระบบกวนเร็วแบบต่างๆ ก็เช่นกัน แม้ว่าความเป็นไปได้เชิงวิศวกรรมจะมีผลดี แต่ไม่ได้หมายความว่า จะเป็นระบบที่ดี ระบบที่ดีควรตอบสนองความเป็นไปได้เชิง เศรษฐศาสตร์ที่ดีด้วย

### 1. การจำแนกตัวเลือก (generated alternatives)

#### 1.1 แบบถังกวนเร็วด้วยเครื่องกวน (mechanical mixer)

โดยทั่วไปถังกวนด้วยเครื่องกวน จะมีช่วงเวลาดังกล่าวอยู่ในช่วง 20-60 วินาที และค่า G ประมาณ 700-1000 วินาที<sup>-1</sup> ข้อดีของถังกวนแบบนี้คือค่าหัวน้ำสูบลดลง สามารถเปลี่ยนแปลงค่า G ได้ ความต้องการในขณะดำเนินการและสามารถทำงานได้สะดวกด้วยค่า G ต่ำ ข้อเสียของถังกวนแบบนี้คือ อาจมีการสั่นไหวเกิดขึ้นได้

ข้อกำหนดในการออกแบบ (design criteria) AWWA (1967) แนะนำไว้โดยสรุปเป็นตารางดังตารางดังต่อไปนี้

เวลากักน้ำ	20	30	40	740
ความเร็วเกรเดียนท์, วินาที <sup>-1</sup>	1000	900	790	700

นอกจากนี้ AWWA ยังได้แนะนำช่องที่เหมาะสมของเวลากักน้ำไว้ประมาณ 10-30 วินาที Gemmel 29 แนะนำว่า เพื่อให้มีการกระจายของสารเคมีอย่างมีประสิทธิภาพที่เวลากักน้ำ 20 วินาที หรือน้อยกว่าควรใช้พลังงาน 1-2 แรงม้า (0.75-1.5 กิโลวัตต์) ต่อปริมาณการไหล 1 ลบ.ฟุตต่อวินาที (0.028 ลบ. เมตรต่อวินาที)

สมการที่ใช้ในการออกแบบเพื่อคำนวณค่า G อาจใช้สมการที่

3.18 สำหรับเครื่องกวนน้ำแบบธรรมดาที่ใช้ใบพัด ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานและขนาดของใบพัด รวมทั้งจำนวนรอบที่หมุนเมื่อสภาพของน้ำในถังมีสภาพการไหลแบบเทอร์บูแลนต์

$$P = \frac{k}{g} \rho \cdot N^3 D^5 \quad 5.5$$

เมื่อ

$P$  = พลังงาน, (ฟุต-ปอนด์/วินาที)

$k$  = ค่าคงที่

$\rho$  = ความหนาแน่นของน้ำ, (ปอนด์ ต่อ ลบ.ฟุต)

$N$  = ความเร็วรอบของใบพัด, (รอบ/วินาที)

$D$  = เส้นผ่าศูนย์กลางของใบพัดกวน, (ฟุต)

ค่า  $k$  มีค่าจาก 1 สำหรับเครื่องกวนที่มี 3 ใบพัดกวนถึง 6.3 สำหรับเทอร์โมมิเตอร์ที่มีใบพัดแบน 6 ใบ

Letterman (34) ได้แนะนำความสัมพันธ์เชิงเอมิไพร์กัลของพารามิเตอร์  $G T$  และ  $C$  ของถังกวนที่เหมาะสมไว้ดังนี้

$$G T_{opt} C^{1.46} = 5.9 \times 10^6 \quad 5.6$$

เมื่อ  $T_{opt}$  = เวลาพักน้ำที่เหมาะสม

## 1.2 แบบกวนเร็วในท่อ

ใช้สมการในการออกแบบ และข้อกำหนดในการออกแบบที่ได้มาจากผลการทดลอง

## 2. การประเมินตัวเลือก (evaluate alternatives)

สำหรับการประเมินตัวเลือกเปรียบเทียบจะทำการสมมติข้อมูลเพื่อการออกแบบเปรียบเทียบโดยสมมติให้ความต้องการน้ำสูงสุดของชุมชนหนึ่งซึ่งได้คูณตัวประกอบความต้องการน้ำสูงสุดต่อวัน เข้ากับความต้องการน้ำเฉลี่ยของคนในชุมชนนั้นแล้วเท่ากับ 18750 ลบ.ม./วัน ใช้แหล่งน้ำจากแหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งมีค่าความเป็นต่างเพียงพอ และมีความขุ่นเฉลี่ยประมาณ 50 NTU

นำข้อมูลเหล่านี้ไปคำนวณออกแบบระบบบำบัดตามตัวเลือกต่างๆ ซึ่งจะได้ผลการคำนวณออกแบบและประเมินราคาของระบบต่างๆ ดังต่อไปนี้ รายการคำนวณแสดงใน

## 2.1 ระบบส่งกวนเร็วด้วยเครื่องกวน

### 2.1.1 สรุปลำโตะแถมการไหล

ลำโตะแถมการไหล (Flow Diagram) แสดงดังรูปที่ ผ2

### 2.1.2 รายละเอียดระบบกวนเร็ว

#### 1. เครื่องสูบน้ำ

ประเภท = Centrifugal pump

จำนวน = 2 ถัง

กำลังขับเคลื่อน = 35 กิโลวัตต์

อัตราการสูบที่ Head 15 เมตร = 8700 ลิตร/นาที

#### 2. ถังกวนเร็ว

ประเภท = ถังคอนกรีตเสริมเหล็ก

จำนวน = 2 บ่อคู่กัน

ขนาด (กxขxล) 2 X 2 X 2 ม.มม

ความลึกประสิทธิภาพ 1.5 ม.

#### 3. มอเตอร์กวน

ประเภท = มอเตอร์ไฟฟ้าสามเฟส

ขนาด = 5 แรงม้า

จำนวน = 2 ตัว

อุปกรณ์ส่งกำลัง เฟือง

#### 4. ใบพัดกวน

ประเภท = เทอร์โมไนท์ใบเรียบ 6 ใบ ทำ  
ด้วยเหล็กไร้สนิม

ขนาด ส.ม. = 0.8 ม.

จำนวน = 2 ตัว

#### 5. เครื่องเติมสารละลายสารส้ม

ถังใส่สารละลาย = ถัง PVC สำเร็จรูปขนาด 4 ม<sup>3</sup>  
2 ใบ

เครื่องสูบลำละลาย = Mesuring Pump

จำนวน = 2 เครื่อง

กำลังสูบ = 1000 ลิตร/ชั่วโมง

### 2.1.3 ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง (ไม่รวมค่าที่ดิน)

รายการ	จำนวนเงิน,บาท
เครื่องสูบน้ำ (2 เครื่อง)	280,000
ถังกวนเร็ว (2 ถัง)	66,000
มอเตอร์พร้อมใบพัดกวน (2 ชุด)	210,000
เครื่องเติมลำละลายลำละ (2ชุด)	220,000
รวมย่อย	776,000
ระบบไฟฟ้า	20,000
ระบบเส้นท่อ	20,000
เผื่อเหลือเผื่อขาด	50,000
รวม	866,000

#### หมายเหตุ

1. ราคาอุปกรณ์ใช้ราคาผลิตภัณฑ์ของบริษัทนิกริมแอนด์โก จำกัด
2. ราคาวัสดุอื่นใช้ราคาตลาดกลางปี 2528

### 2.1.4 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน (Operatmg cost)

รายการ	จำนวนเงิน,บาท/วัน
ค่าไฟฟ้า 2160 kW-hr/d	4,320 *
ค่าลำละ 840 kg/d	5,880 **
ค่าบำรุงรักษา	
- งานโยธา	15
- เครื่องจักร	20
อื่นๆ	5
รวม	10,240

<u>หมายเหตุ</u>	* ค่าไฟฟ้าคิดหน่วยละ	2 บาท
	** ค่าสารส้มกิโลกรัมละ	7 บาท

## 2.2 ระบบกวนเร็วในท่อ

### 2.2.1 สรุปลำโตะแถมการไหล

โตะแถมการไหล (Flow Diagram) แสดงดังรูปที่ ผ.3

### 2.2.2 รายละเอียดระบบกวนเร็ว

#### 1. เครื่องสูบน้ำ =

ประเภท = Centrifugal pump

จำนวน = 2 ตัว

กำลังขับเคลื่อน = 40 กิโลวัตต์

อัตราการสูบที่ Head 17 ม. = 8700 ลิตร/นาที

#### 2. ท่อกวนเร็ว

ประเภท = ท่อเหล็กข้อบึงสังกะสี

ขนาด สลัก. = 200 มม.

จำนวน = 2 ท่อคู่กัน

ความยาว = 23 ม.

#### 3. เครื่องเติมสารละลายสารส้ม

ถังใส่สารละลาย = ถัง PVC สำเร็จรูปขนาด

4 ม<sup>3</sup> · 2 ใบ

เครื่องสูบลำละลาย = Metering pump

จำนวน = 2 เครื่อง

กำลังสูบที่ความดัน 5 บาร์ 1000 ลิตร/ชั่วโมง





### 2.2.3 ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง (ไม่รวมค่าที่ดิน)

รายการ	จำนวนเงิน, บาท
เครื่องสูบน้ำ (2 เครื่อง)	320,000
ท่อทวนเร็ว (2 ท่อ)	23,700
เครื่องเติมสารละลายสารส้ม (2 ชุด)	264,000
รวมย่อย	607,770
ระบบไฟฟ้า	15,000
ระบบท่อ	30,000
เผื่อเหลือเผื่อขาด	50,000
รวม	702,770

- หมายเหตุ
1. ราคาอุปกรณ์ใช้ราคาผลิตภัณฑ์ของบริษัทมีกรมแอนด์โก จำกัด
  2. ราคาวัสดุอื่นใช้ราคาตลาดกลางปี 2528

### 2.2.4 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานระบบ

รายการ	จำนวนเงิน, บาท/วัน
ค่าไฟฟ้า 2040 kW-hr/d	4,080*
ค่าสารส้ม 840 kg/d	5,880**
ค่าบำรุงรักษา	
- งานโยธา	15
- งานเครื่องจักร	15
อื่นๆ	5
รวม	9,995

- หมายเหตุ
- \* ค่าไฟฟ้าคิดหน่วยละ 2 บาท
  - \*\* ค่าสารส้มคิดหน่วยละ 7 บาท

## 3. การเปรียบเทียบตัวเลือก

จากการประเมินตัวเลือกในข้อ 2 สามารถที่จะสรุปเป็นข้อเปรียบเทียบได้ดังนี้

รายการ	ถึงกวนเร็ว	ท่อกวนเร็ว
1. พื้นที่ของระบบกวนเร็ว	มากกว่า	น้อยกว่า
2. ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง	866000	702700
3. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบ	10240	9995
4. ความต้องการอุปกรณ์เครื่องมือนอกที่ใช้ใน ในการกวน	ต้องการ	ไม่ต้องการ
5. อุปกรณ์เครื่องกลที่ต้องบำรุงรักษา	มี	ไม่มี
6. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา	มากกว่า	น้อยกว่า
7. ความยืดหยุ่นของระบบ	สูงกว่า	ต่ำกว่า

จากตาราง จะพบว่า โดยรวมแล้วระบบกวนเร็วในที่นี้ข้อนี้ได้เปรียบเหนือกว่าระบบถึงกวนเร็วหลายประการ จะพบว่าค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างถูกกว่า และค่าใช้จ่ายในการดำเนินระบบจะถูกกว่าประมาณวันละ 243 บาท หรือ ปีละ 89425 บาท ที่อัตราการไหลเฉลี่ย 12500 ลูกบาศก์เมตร ต่อวัน ทั้งนี้ยังไม่รวมค่าเสียหายอื่นเนื่องจากค่าก่อสร้างที่ต่ำกว่า

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการคำนวณที่ ผ.7 การพิสูจน์การเปลี่ยนระบบ X , Y , Z สู่อระบบ r ,  $\theta$  , Z

ของสมการที่ 3.15

จากสมการที่ 3.15 พบว่า w ขึ้นอยู่กับ x , y เมื่ออยู่ในระนาบ X , Y , Z ฉะนั้นเมื่ออยู่ในระนาบ r ,  $\theta$  ; Z ก็จะต้องขึ้นอยู่กับ r ,  $\theta$  ด้วย โดย Z ถือว่าคงที่เหมือนกัน หรือเขียนในรูป w ( r ,  $\theta$  )

เมื่อเทียบสมการที่ 3.21 และ 3.15 แล้ว ทำให้เห็นว่าจะต้องพิสูจน์ว่า

$$\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}$$

จากกฎลูกโซ่ของมาร์คอป ( chain rule )

$$\frac{\partial w}{\partial r} = \frac{\partial w}{\partial x} \cdot \frac{\partial x}{\partial r} + \frac{\partial w}{\partial y} \cdot \frac{\partial y}{\partial r} \quad \text{ผ.1}$$

$$x = r \cos \theta \quad \text{3.17}$$

$$y = r \sin \theta \quad \text{3.18}$$

$$\frac{\partial x}{\partial r} = \cos \theta$$

$$\frac{\partial y}{\partial r} = \sin \theta$$

แทนค่าในสมการ ผ.1 จะได้

$$\frac{\partial w}{\partial r} = \cos \theta \frac{\partial w}{\partial x} + \sin \theta \frac{\partial w}{\partial y} \quad \text{ผ.2}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 w}{\partial r^2} &= \cos \theta \left[ \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial x}{\partial r} + \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \cdot \frac{\partial y}{\partial r} \right] \\ &\quad + \sin \theta \left[ \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \cdot \frac{\partial x}{\partial r} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \cdot \frac{\partial y}{\partial r} \right] \end{aligned}$$

$$= \cos^2 \theta \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \sin \theta \cos \theta \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + \sin^2 \theta \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \quad \text{ผ.3}$$

$$\frac{\partial w}{\partial \theta} = -\frac{\partial w}{\partial x} \cdot r \sin \theta + \frac{\partial w}{\partial y} \cdot r \cos \theta$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} &= -\frac{\partial w}{\partial x} \cdot r \cos \theta + \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \cdot r^2 \sin^2 \theta - 2 \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} \cdot r^2 \sin \theta \cos \theta \\ &\quad - \frac{\partial w}{\partial y} \cdot r \sin \theta + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} r^2 \cos^2 \theta \end{aligned} \quad \text{ผ.4}$$

คูณสมการ ผ.4 ด้วย  $\frac{1}{r^2}$  แล้วบวกด้วย สมการ ผ.3

$$\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} - \frac{1}{r} \left( \frac{\partial w}{\partial x} \cdot \cos \theta + \frac{\partial w}{\partial y} \cdot \sin \theta \right) \quad \text{ผ.5}$$

คูณสมการ ผ.2 ด้วย  $\frac{1}{r}$  แล้วบวกด้วย สมการ ผ.5

$$\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \theta^2} = \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ตารางที่ ผ. 1 ค่าหัวน้ำสูญเสียของท่อ

อัตราการไหล (ลิตร/นาทึ)	5	5	5	5	5
หัวน้ำสูญเสีย (ม./ม.)	0.027	0.030	0.031	0.029	0.024
อัตราการไหล (ลิตร/นาทึ)	10	10	10	10	10
หัวน้ำสูญเสีย (ม./ม.)	0.085	0.090	0.086	0.087	0.092
อัตราการไหล (ลิตร/นาทึ)	15	15	15	15	15
หัวน้ำสูญเสีย (ม./ม.)	0.210	0.187	0.182	0.214	0.158
อัตราการไหล (ลิตร/นาทึ)	20	20	20	20	20
หัวน้ำสูญเสีย (ม./ม.)	0.231	0.317	0.325	0.319	0.315
อัตราการไหล (ลิตร/นาทึ)	25	25	25	25	25
หัวน้ำสูญเสีย (ม./ม.)	0.489	0.478	0.500	0.483	0.496

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ. 2 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่  $G = 400$  วินาที<sup>-1</sup>  
ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 5 มก/ล.

T วินาที	GT	OFR (ชม/นาที)	ความขุ่นที่เหลือ (NTU)	ประสิทธิภาพ (%)
3.56	1424	1.90	32	36
3.56	1424	0.95	25	50
3.56	1424	0.63	22	56
10.69	4276	1.90	24	52
10.69	4276	0.95	19	62
10.69	4276	0.63	18	64
24.94	9976	1.90	20	60
24.94	9976	0.95	18	64
24.94	9976	0.63	17	66
53.44	21376	1.90	19	62
53.44	21376	0.95	17	66
53.44	21376	0.63	16	68
89.07	35628	1.90	21	58
89.07	35628	0.95	17	66
89.07	35628	0.63	16	68
110.45	44180	1.90	22	56
110.45	44180	0.95	17	66
110.45	44180	0.63	16	68

ตารางที่ ผ. 3 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่  $G = 400$  วินาที<sup>-1</sup>  
ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 10 มก/ล.

T วินาที	GT	OFR (ชม/นาที)	ความขุ่นที่เหลือ (NTU)	ประสิทธิภาพ (%)
3.56	1424	1.90	17	66
3.56	1424	0.95	9.5	81
3.56	1424	0.63	8.2	83.6
10.69	4276	1.90	15	70
10.69	4276	0.95	6.8	86.4
10.69	4276	0.63	6.4	87.2
24.94	9976	1.90	15	70
24.94	9976	0.95	5.7	88.6
24.94	9976	0.63	5.2	89.6
53.44	21376	1.90	13	74
53.44	21376	0.95	4.7	90.6
53.44	21376	0.63	3.8	92.4
89.07	35628	1.90	15	70
89.07	35628	0.95	4.8	90.4
89.07	35628	0.63	3.5	93
110.45	44180	1.90	18	64
110.45	44180	0.95	6.2	87.6
110.45	44180	0.63	4.6	90.8

ตารางที่ ผ. 4 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่  $G = 400$  วินาที<sup>-1</sup>  
ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 15 มก/ล.

T วินาที	GT	OFR (ชม/นาที)	ความขุ่นที่เหลือ (NTU)	ประสิทธิภาพ (%)
3.56	1424	1.90	14	72
3.56	1424	0.95	3.8	92.4
3.56	1424	0.63	3.3	93.4
10.69	4276	1.90	11	78
10.69	4276	0.95	3.2	93.6
10.69	4276	0.63	2.8	94.4
24.94	9976	1.90	11	78
24.94	9976	0.95	3.2	93.6
24.94	9976	0.63	2.6	94.8
53.44	21376	1.90	12	76
53.44	21376	0.95	3.6	92.8
53.44	21376	0.63	3.2	93.6
89.07	35628	1.90	13	74
89.07	35628	0.95	4.3	91.4
89.07	35628	0.63	3.2	93.6
110.45	44180	1.90	16	68
110.45	44180	0.95	4.5	91
110.45	44180	0.63	3.9	92.2



ตารางที่ ๕ ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่  $G = 400$  วินาที<sup>-1</sup>

ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 20 มก/ล.

T วินาที	GT	OFR (ชม/นาที)	ความขุ่นที่เหลือ (NTU)	ประสิทธิภาพ (%)
3.56	1424	1.90	13	74
3.56	1424	0.95	3.6	92.8
3.56	1424	0.63	3.3	93.4
10.69	4276	1.90	11	78
10.69	4276	0.95	3.2	93.6
10.69	4276	0.63	2.3	95.4
24.94	9976	1.90	11	78
24.94	9976	0.95	3.0	94
24.94	9976	0.63	2.2	95.6
53.44	21376	1.90	13	74
53.44	21376	0.95	3.6	92.8
53.44	21376	0.63	2.6	94.8
89.07	35628	1.90	13	74
89.07	35628	0.95	4.2	91.6
89.07	35628	0.63	3.2	93.6
110.45	44180	1.90	15	70
110.45	44180	0.95	4.5	91
110.45	44180	0.63	7	92.6



ตารางที่ ผ. 6 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่  $G = 400$  วินาที<sup>-1</sup>  
ความเข้มข้นของสารละลายสารลัม 30 มก/ล.

T วินาที	GT	OFR (ชม/นาที)	ความขุ่นที่เหลือ (NTU)	ประสิทธิภาพ (%)
3.56	1424	1.90	11	78
3.56	1424	0.95	3.2	93.6
3.56	1424	0.63	2.7	94.6
10.69	4276	1.90	9	82
10.69	4276	0.95	3.1	93.8
10.69	4276	0.63	2.2	95.6
24.94	9976	1.90	8	84
24.94	9976	0.95	2.3	95.2
24.94	9976	0.63	2.1	95.8
53.44	21376	1.90	8	84
53.44	21376	0.95	2.4	95.2
53.44	21376	0.63	2.4	95.2
89.07	35628	1.90	10	80
89.07	35628	0.95	3.0	94
89.07	35628	0.63	2.8	94.4
110.45	44180	1.90	12	76
110.45	44180	0.95	3.3	93.4
110.45	44180	0.63	2.8	94.4

ตารางที่ ผ. 7 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่  $G = 1000$  วินาที<sup>-1</sup>  
ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 5 มก/ล.

T วินาที	GT	OFR (ชม/นาที)	ความขุ่นที่เหลือ (NTU)	ประสิทธิภาพ (%)
3.56	1424	1.90	11	78
3.56	1424	0.95	3.2	93.6
3.56	1424	0.63	2.7	94.6
10.69	4276	1.90	9	82
10.69	4276	0.95	3.1	93.8
10.69	4276	0.63	2.2	95.6
24.94	9976	1.90	8	84
24.94	9976	0.95	2.3	95.2
24.94	9976	0.63	2.1	95.8
53.44	21376	1.90	8	84
53.44	21376	0.95	2.4	95.2
53.44	21376	0.63	2.4	95.2
89.07	35628	1.90	10	80
89.07	35628	0.95	3.0	94
89.07	35628	0.63	2.8	94.4
110.45	44180	1.90	12	76
110.45	44180	0.95	3.3	93.4
110.45	44180	0.63	2.8	94.4

ตารางที่ ผ. 8 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่  $G = 1000$  วินาที<sup>-1</sup>  
ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 10 มก/ล.

T วินาที	GT	OFR (ชม/นาที)	ความขุ่นที่เหลือ (NTU)	ประสิทธิภาพ (%)
1.78	1780	1.90	19	62
1.78	1780	0.95	9.1	81.8
1.78	1780	0.63	6.5	87
5.34	5340	1.90	17	66
5.34	5340	0.95	6.2	87.6
5.34	5340	0.63	5.2	89.6
12.47	12470	1.90	14	72
12.47	12470	0.95	6.0	88
12.47	12470	0.63	4.6	90.8
26.72	26720	1.90	16	68
26.72	26720	0.95	6.3	87.4
26.72	26720	0.63	4.4	91.2
44.54	44540	1.90	16	68
44.54	44540	0.95	6.3	87.4
44.54	44540	0.63	4.6	90.8
55.23	55230	1.90	18	64
55.23	55230	0.95	6.5	87
55.23	55230	0.63	4.8	90.4

ตารางที่ ผ. 9 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่  $G = 1000$  รินาที<sup>-1</sup>  
ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 15 มก/ล.

T รินาที		OFR (ชม/นาที)	ความขุ่นที่เหลือ (NTU)	ประสิทธิภาพ (%)
1.78	1780	1.90	13	74
1.78	1780	0.95	5.1	89.8
1.78	1780	0.63	4.3	91.4
5.34	5340	1.90	13	74
5.34	5340	0.95	4.4	91.2
5.34	5340	0.63	3.9	92.2
12.47	12470	1.90	12	76
12.47	12470	0.95	4.4	91.2
12.47	12470	0.63	4.3	91.4
26.72	26720	1.90	12	76
26.72	26720	0.95	3.8	92.4
26.72	26720	0.63	3.2	93.6
44.54	44540	1.90	14	72
44.54	44540	0.95	4.1	91.8
44.54	44540	0.63	3.4	93.2
55.23	55230	1.90	15	70
55.23	55230	0.95	4.9	90.2
55.23	55230	0.63	3.5	93

ตารางที่ ผ. 10 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่  $G = 1000$  วินาที<sup>-1</sup>  
ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 20 มก/ล.

T วินาที	GT	OFR (ชม/นาที)	ความขุ่นที่เหลือ (NTU)	ประสิทธิภาพ (%)
1.78	1780	1.90	16	68
1.78	1780	0.95	5.3	89.4
1.78	1780	0.63	3.7	92.6
5.34	5340	1.90	14	72
5.34	5340	0.95	4.3	91.4
5.34	5340	0.63	3.0	94
12.47	12470	1.90	10	80
12.47	12470	0.95	3.8	92.4
12.47	12470	0.63	2.5	95
26.72	26720	1.90	12	76
26.72	26720	0.95	4.3	91.4
26.72	26720	0.63	2.7	94.6
44.54	44540	1.90	15	70
44.54	44540	0.95	4.3	91.4
44.54	44540	0.63	2.8	94.4
55.23	55230	1.90	18	64
55.23	55230	0.95	5.1	89.8
55.23	55230	0.63	3.4	93.2



ตารางที่ ผ. 11 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่  $G = 1000$  วินาที<sup>-1</sup>  
ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 30 มก/ล.

T วินาที	GT	OFR (ชม/นาที)	ความขุ่นที่เหลือ (NTU)	ประสิทธิภาพ (%)
1.78	1780	1.90	11	78
1.78	1780	0.95	4.1	91.8
1.78	1780	0.63	2.7	94.6
5.34	5340	1.90	9	82
5.34	5340	0.95	2.6	94.8
5.34	5340	0.63	2.4	95.2
12.47	12470	1.90	8	84
12.47	12470	0.95	2.7	94.6
12.47	12470	0.63	2.1	95.8
26.72	26720	1.90	9	82
26.72	26720	0.95	2.8	94.4
26.72	26720	0.63	2.1	95.8
44.54	44540	1.90	10	80
44.54	44540	0.95	3.3	93.4
44.54	44540	0.63	2.6	94.8
55.23	55230	1.90	14	72
55.23	55230	0.95	3.5	93
55.23	55230	0.63	3.1	93.8

ตารางที่ ผ. 12 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่  $G = 1750$  วินาที<sup>-1</sup>  
ความเข้มข้นของสารละลายสารลัม 5 มก/ล.

T วินาที	GT	OFR (ชม/นาที)	ความขุ่นที่เหลือ (NTU)	ประสิทธิภาพ (%)
1.19	2083	1.90	29	42
1.19	2083	0.95	22	56
1.19	2083	0.63	19	62
3.56	6230	1.90	24	52
3.56	6230	0.95	16	68
3.56	6230	0.63	15	70
8.31	14543	1.90	18	64
8.31	14543	0.95	15	70
8.31	14543	0.63	13	74
17.82	31185	1.90	17	66
17.82	31185	0.95	13	74
17.82	31185	0.63	12	76
29.69	51958	1.90	13	74
29.69	51958	0.95	12	76
29.69	51958	0.63	10	80
36.82	64435	1.90	15	70
36.82	64435	0.95	12	76
36.82	64435	0.63	10	80



ตารางที่ ผ. 13 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่  $G = 1750$  วินาที<sup>-1</sup>  
ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 10 มก/ล.

T วินาที	GT	OFR (ชม/นาที)	ความขุ่นที่เหลือ (NTU)	ประสิทธิภาพ (%)
1.19	2083	1.90	17	66
1.19	2083	0.95	7.5	85
1.19	2083	0.63	7.2	85.6
3.56	6230	1.90	15	70
3.56	6230	0.95	6	88
3.56	6230	0.63	6	88
8.31	14543	1.90	14	72
8.31	14543	0.95	5.9	88.2
8.31	14543	0.63	5.9	88.2
17.82	31185	1.90	14	72
17.82	31185	1.90	5.9	88.2
17.82	31185	1.90	5.9	88.2
29.69	51958	1.90	13	74
29.69	51958	0.95	5.5	89
29.69	51958	0.63	5.5	89
36.82	64435	1.90	17	66
36.82	64435	0.95	6	88
36.82	64435	0.63	5.7	88.6

ตารางที่ ผ. 14 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่  $G = 1750$  วินาที<sup>-1</sup>  
ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 15 มก/ล.

T วินาที	GT	OFR (ชม/นาที)	ความขุ่นที่เหลือ (NTU)	ประสิทธิภาพ (%)
1.19	2083	1.90	16	68
1.19	2083	1.90	4.5	91
1.19	2083	1.90	3.7	92.6
3.56	6230	1.90	15	70
3.56	6230	0.95	4.3	91
3.56	6230	0.63	3.2	93.6
8.31	14543	1.90	13	74
8.31	14543	0.95	3.2	93.6
8.31	14543	0.63	2.9	94.2
17.82	31185	1.90	13	74
17.82	31185	0.95	3.5	93
17.82	31185	0.63	3.2	93.6
29.69	51958	1.90	13	74
29.69	51958	0.95	4.2	91.6
29.69	51958	0.63	3.4	93.2
36.82	64435	1.90	16	68
36.82	64435	0.95	6	88
36.82	64435	0.63	3.5	93

ตารางที่ ผ. 15 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่  $G = 1750$  วินาที<sup>-1</sup>

ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 20 มก/ล.

T วินาที	GT	IFR(ชม/นาที)	ความขุ่นที่เหลือ (NTU)	ประสิทธิภาพ (%)
1.19	2083	1.90	.12	76
1.19	2083	0.95	4.5	91
1.19	2083	0.63	3.4	93.2
3.56	6230	1.90	12	76
3.56	6230	0.90	4.1	91.8
3.56	6230	0.63	3.2	93.6
8.31	14543	1.90	12	76
8.31	14543	0.95	3.2	93.6
8.31	14543	0.63	2.4	95.2
17.82	31185	1.90	11	78
17.82	31185	0.95	3.2	93.6
17.82	31185	0.63	2.5	95
29.69	51958	1.90	11	78
29.69	51958	0.95	4.2	91.6
29.69	51958	0.63	3.1	38
36.82	64435	1.90	14	72
36.82	64435	0.95	5.1	87.8
36.82	64435	0.63	3.2	93.6



ตารางที่ ผ. 16 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ G - 1750 วินาที<sup>-1</sup>  
ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 30 มก/ล.

T วินาที	GT	OFR (ชม/นาที)	ความขุ่นที่เหลือ (NTU)	ประสิทธิภาพ (%)
1.19	2083	1.90	11	78
1.19	2083	0.95	3.9	92.2
1.19	2083	0.63	3.2	93.6
3.56	6230	1.90	10	80
3.56	6230	0.95	3.3	93.4
3.56	6230	0.63	2.5	95
8.31	14543	1.90	10	80
8.31	14543	0.95	3	94
8.31	14543	0.63	2.3	95.4
17.82	31185	1.90	9	82
17.82	31185	0.95	3.4	93.2
17.82	31185	0.63	2.4	95.2
29.69	51958	1.90	10	80
29.69	51958	0.95	3.7	92.6
29.69	51958	0.63	2.7	94.6
36.82	64435	1.90	13	74
36.82	64435	0.95	4	92
36.82	64435	0.63	3.1	93.8

ตารางที่ ผ. 17 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่  $G = 500$  วินาที<sup>-1</sup>  
ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 5 มก/ล.

T วินาที	GT	OFR (ชม/นาที)	ความขุ่นที่เหลือ (NTU)	ประสิทธิภาพ (%)
0.89	2314	1.90	27	46
0.89	2314	0.95	18	64
0.89	2314	0.63	15	70
2.76	6942	1.90	23	54
2.76	6942	0.95	16	68
2.76	6942	0.63	13	74
6.24	16224	1.90	21	58
6.24	16224	0.95	13	74
6.24	16224	0.63	12	76
13.36	34736	1.90	20	60
13.36	34736	0.95	13	74
13.36	34736	0.63	11	78
22.27	57902	1.90	20	60
22.27	57902	0.95	12	76
22.27	57902	0.63	11	78
27.61	71786	1.90	20	60
27.61	71786	0.95	12	76
27.61	71786	0.63	10	80

ตารางที่ ผ. 18 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่  $G = 2600$  วินาที<sup>-1</sup>  
ความเข้มข้นของสารละลายสารลัม 10 มก/ล.

T วินาที	GT	OFR (ชม/นาที)	ความขุ่นที่เหลือ (NTU)	ประสิทธิภาพ (%)
0.89	2314	1.90	17	66
0.89	2314	0.95	6.6	86.8
0.89	2314	0.63	5.4	89.2
2.67	6942	1.90	14	72
2.67	6942	0.95	5.8	88.4
2.67	6942	0.63	4.2	91.6
6.24	16224	1.90	13	74
6.24	16224	0.95	5.5	89
6.24	16224	0.63	4	92
13.36	34736	1.90	12	76
13.36	34736	0.95	4.4	91.2
13.36	34736	0.63	3.7	92.6
22.27	57902	1.90	13	74
22.27	57902	0.95	4.3	91.4
22.27	57902	0.63	3.6	92.8
27.61	71786	1.90	13	74
27.61	71786	0.95	4.7	90.6
27.61	71786	0.63	3.9	92.2

ตารางที่ ผ. 19 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่  $G = 2600$  วินาที<sup>-1</sup>  
ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 15 มก/ล.

T วินาที	GT	OFR (ชม/นาที)	ความขุ่นที่เหลือ (NTU)	ประสิทธิภาพ (%)
0.89	2314	1.90	13	74
0.89	2314	0.95	5.1	89.8
0.89	2314	0.63	3.8	92.4
2.67	6942	1.90	13	74
2.67	6942	0.95	4.3	91.4
2.67	6942	0.63	3.0	94
6.24	16224	1.90	9	82
6.24	16224	0.95	3.9	92.2
6.24	16224	0.63	2.9	94.2
13.36	34736	1.90	11	78
13.36	34736	0.95	3.8	92.4
13.36	34736	0.63	3.0	94
22.27	57902	1.90	11	78
22.27	57902	0.95	3.7	92.6
22.27	57902	0.63	3.1	93.8
27.61	71786	1.90	13	74
27.61	71786	0.95	4	92
27.61	71786	0.63	3.1	93.8

ตารางที่ ผ. 20 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่  $G = 2600$  วินาที<sup>-1</sup>

ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 20 มก/ล.

T วินาที	GT	OFR (ชม/นาที)	ความขุ่นที่เหลือ (NTU)	ประสิทธิภาพ (%)
0.89	2314	1.90	10	80
0.89	2314	0.95	3.5	93
0.89	2314	0.63	3.2	93.6
2.67	6942	1.90	9	82
2.67	6942	0.95	3.3	93.4
2.67	6942	0.63	3.0	94
6.24	16224	1.90	9	82
6.24	16224	0.95	3.3	93.4
6.24	16224	0.63	2.3	95.4
13.36	34736	1.90	9	82
13.36	34736	0.95	3.2	93.6
13.36	34736	0.63	2.9	94.2
22.27	57902	1.90	9	82
22.27	57902	0.95	3.6	92.8
22.27	57902	0.63	2.9	94.2
27.61	71786	1.90	11	78
27.61	71786	0.95	4.2	91.6
27.61	71786	0.63	3.0	94





ตารางที่ ผ. 21 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่  $G = 2600$  วินาที<sup>-1</sup>

ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 30 มก/ล.

T วินาที	GT	QFR (ชม/นาที)	ความขุ่นที่เหลือ (NTU)	ประสิทธิภาพ (%)
0.89	2314	1.90	10	80
0.89	2314	0.95	3.8	92.4
0.89	2314	0.63	2.5	95
2.67	6942	1.90	7	86
2.67	6942	0.95	2.7	94.6
2.67	6942	0.63	2.1	95.8
6.24	16224	1.90	9	82
6.24	16224	0.95	2.2	95.6
6.24	16224	0.63	1.8	96.4
13.36	34736	1.90	9	82
13.36	34736	0.95	2.3	95.4
13.36	34736	0.63	1.8	96.4
22.27	57902	1.90	9	82
22.27	57902	0.95	2.8	94.4
22.27	57902	0.63	2.0	96
27.61	71786	1.90	9	82
27.61	71786	0.95	3.5	93
27.61	71786	0.63	3.2	93.6

ตารางที่ ผ. 22 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่  $G = 3600$  วินาที<sup>-1</sup>  
ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 5 มก/ล.

T วินาที	GT	OFR (ชม/นาที)	ความขุ่นที่เหลือ (NTU)	ประสิทธิภาพ (%)
0.71	2556	1.90	42	16
0.71	2556	0.95	32	36
0.71	2556	0.63	27	46
2.14	7704	1.90	38	24
2.14	7704	0.95	28	44
2.14	7704	0.63	23	54
4.99	17964	1.90	36	28
4.99	17964	0.95	27	46
4.99	17964	0.63	23	54
10.69	38484	1.90	30	40
10.69	38484	0.95	24	52
10.69	38484	0.63	21	58
17.81	64116	1.90	30	40
17.81	64116	0.95	23	54
17.81	64116	0.63	21	58
22.09	79524	1.90	30	40
22.09	79524	0.95	23	54
22.09	79524	0.63	20	60

ตารางที่ ผ. 23 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่  $G = 3600$  วินาที<sup>-1</sup>

ความเข้มข้นของสารละลายสารลัม 10 มก/ล.

T วินาที	GT	OFR (ซม/นาที)	ความขุ่นที่เหลือ (NTU)	ประสิทธิภาพ (%)
0.71	2556	1.90	23	54
0.71		0.95	13	74
0.71		0.63	9.7	80.6
2.14	7704	1.90	20	60
2.14	7704	0.95	9	82
2.14	7704	0.63	7.6	84.8
4.99	17964	1.90	20	60
4.99	17964	0.95	9	82
4.99	17964	0.63	7.5	85
10.69	38484	1.90	20	60
10.69	38484	0.95	8.6	82.8
10.69	38484	0.63	7.2	85.6
17.81	64116	1.90	20	60
17.81	64116	0.95	7.6	84.8
17.81	64116	0.63	7.7	84.6
22.09	79524	1.90	20	60
22.09	79524	0.95	7.6	84.8
22.09	79524	0.63	7.0	86

ตารางที่ ผ. 24 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่  $G = 3600$  วินาที<sup>-1</sup>  
 ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 15 มก/ล.

T วินาที	GT	OFR (ชม/นาที)	ความขุ่นที่เหลือ (NTU)	ประสิทธิภาพ (%)
0.71	2556	1.90	15	70
0.71	2556	0.95	5.7	88.6
0.71	2556	0.63	4.9	90.2
2.14	7704	1.90	15	70
2.14	7704	1.90	4.9	90.2
2.14	7704	1.90	4	92
4.99	17964	1.90	14	72
4.99	17964	0.95	5	90
4.99	17964	0.63	4	92
10.69	38484	1.90	16	68
10.69	38484	0.95	4.7	90.6
10.69	38484	0.63	3.6	92.8
17.81	64116	1.90	16	68
17.81	64116	0.95	4.5	91
17.81	64116	0.63	3.6	92.8
22.09	79524	1.90	16	68
22.09	79524	0.95	4.5	91
22.09	79524	0.63	3.6	92.8

ตารางที่ ผ. 25 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่  $G = 3600$  วินาที<sup>-1</sup>  
ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 20 มก/ล.

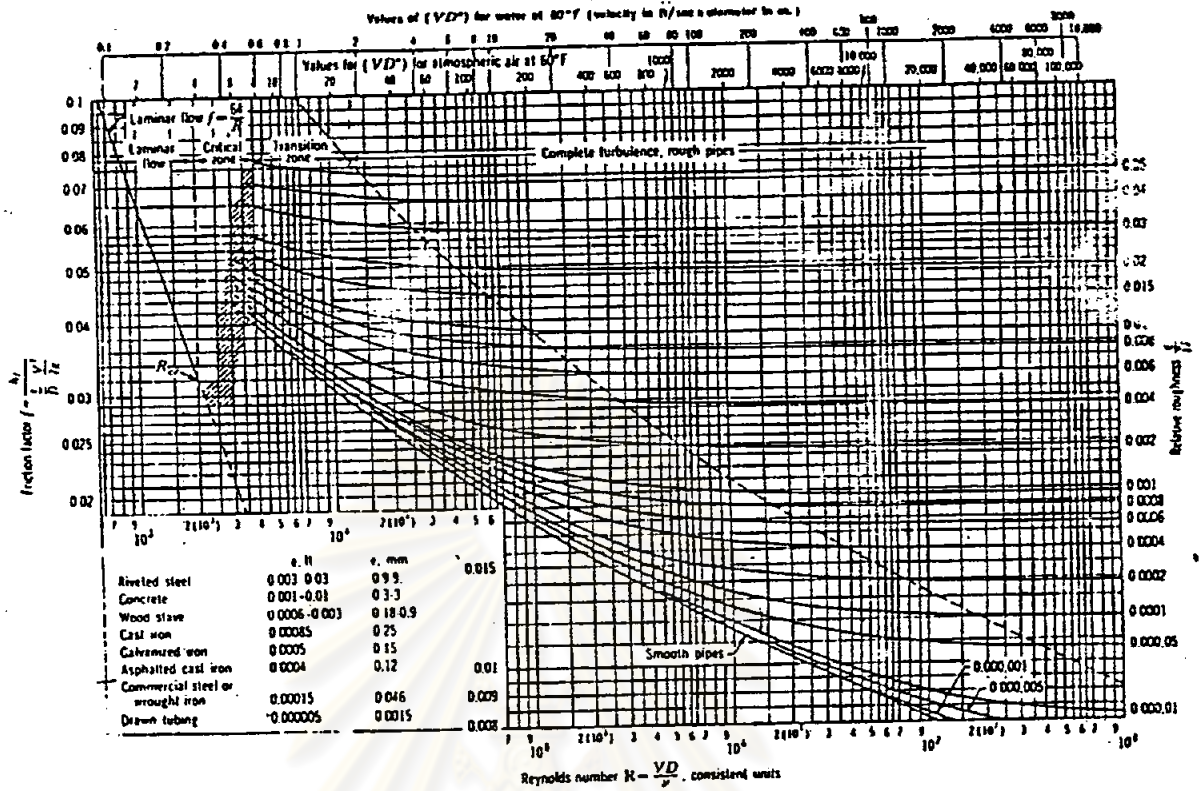
T วินาที	GT	OFR (ชม/นาทึ)	ความขุ่นที่เหลือ (NTU)	ประสิทธิภาพ (%)
0.71	2556	1.90	13	74
0.71	2556	0.95	4.7	90.6
0.71	2556	0.63	4.0	92
2.14	7704	1.90	13	74
2.14	7704	0.95	4.2	91.6
2.14	7704	0.63	3.6	92.8
4.99	17964	1.90	13	74
4.99	17964	0.95	4.2	91.6
4.99	17964	0.63	3.6	92.8
10.69	38484	1.90	15	70
10.69	38484	0.95	4	92
10.69	38484	0.63	3.1	93.8
17.81	64116	1.90	15	70
17.81	64116	0.95	4.2	91.6
17.81	64116	0.63	3.1	93.8
22.09	79524	1.90	16	68
22.09	79524	0.95	4.2	91.6
22.09	79524	0.63	3.5	93

ตารางที่ ผ. 26 ความขุ่นที่เหลือและประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่  $G = 3600$  วินาที<sup>-1</sup>

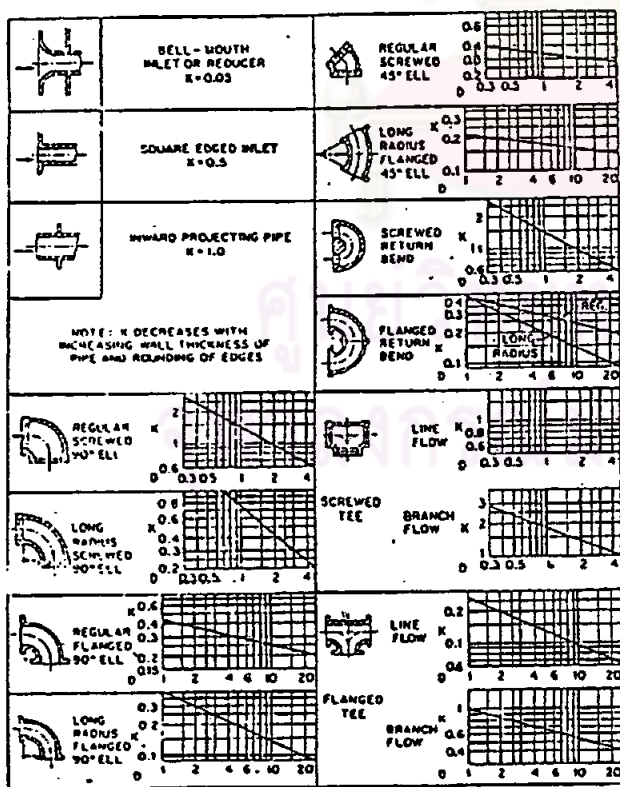
ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม 30 มก/ล.

T วินาที	GT	OFB (ชม/นาที)	ความขุ่นที่เหลือ (NTU)	ประสิทธิภาพ
0.71	2556	1.90	13	74
0.71	2556	0.95	3.4	93.2
0.71	2556	0.63	2.6	94.8
2.14	7704	1.90	12	76
2.14	7704	0.95	3	94
2.14	7704	0.63	2.2	95.6
4.99	17964	1.90	13	74
4.99	17964	0.95	3.2	93.6
4.99	17964	0.63	2.4	95.2
10.69	38484	1.90	13	74
10.69	38484	0.95	3.2	93.6
10.69	38484	0.63	2.5	95
17.81	64116	1.90	23	74
17.81	64116	0.95	3.2	93.6
17.81	64116	0.63	2.5	95
22.09	79524	1.90	13	74
22.09	79524	0.95	3.6	92.8
22.09	79524	0.63	3.2	93.6

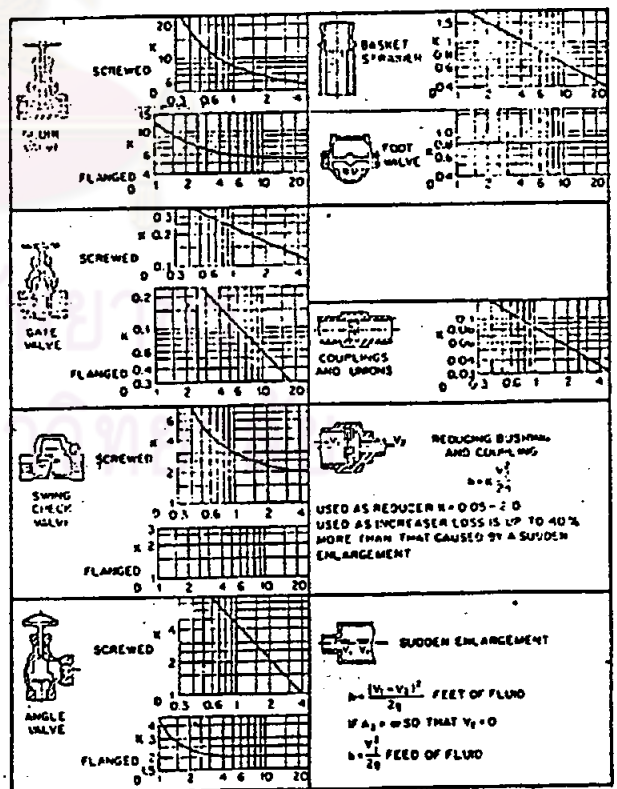
รูปที่ ผ.1 แสดงแฟกเตอร์ความเสียดทานของท่อ ข้อต่อ ประตุน้ำ และข้อต่อต่าง ๆ



แฟกเตอร์ความเสียดทานสำหรับท่อต่าง ๆ



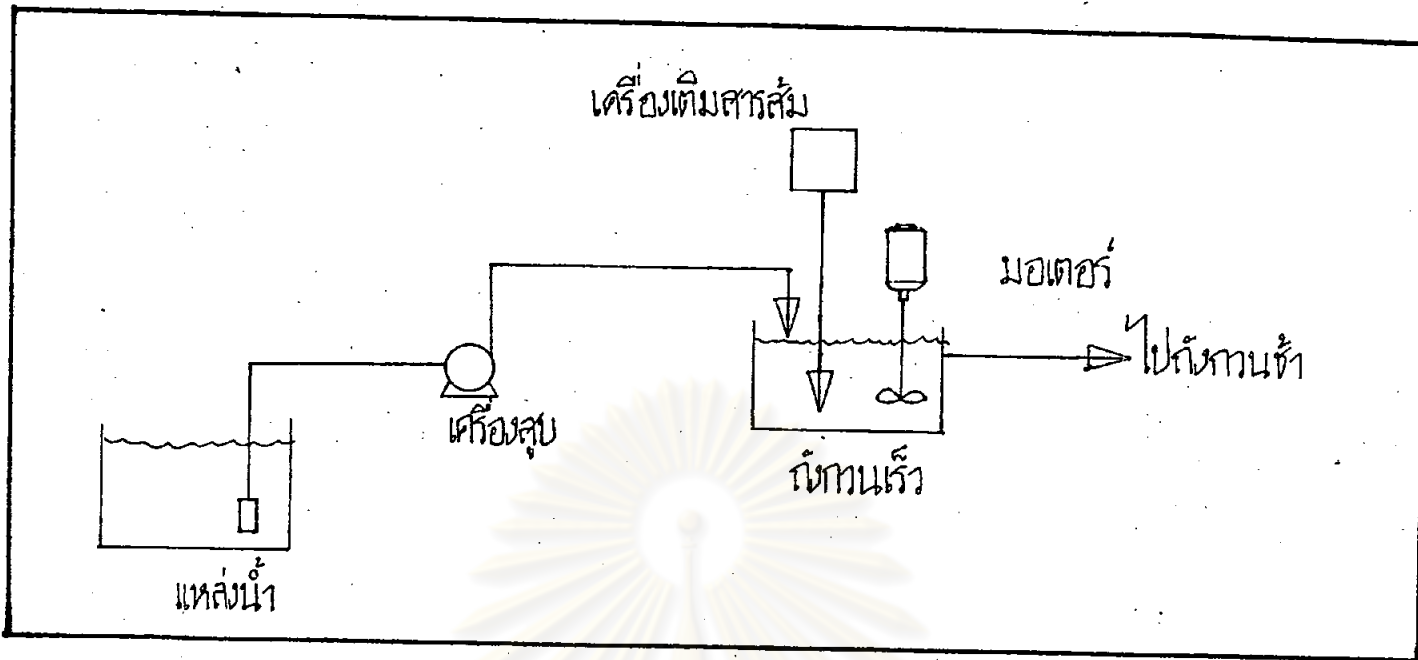
$h = K \frac{V^2}{2g}$  FEET OF FLUID



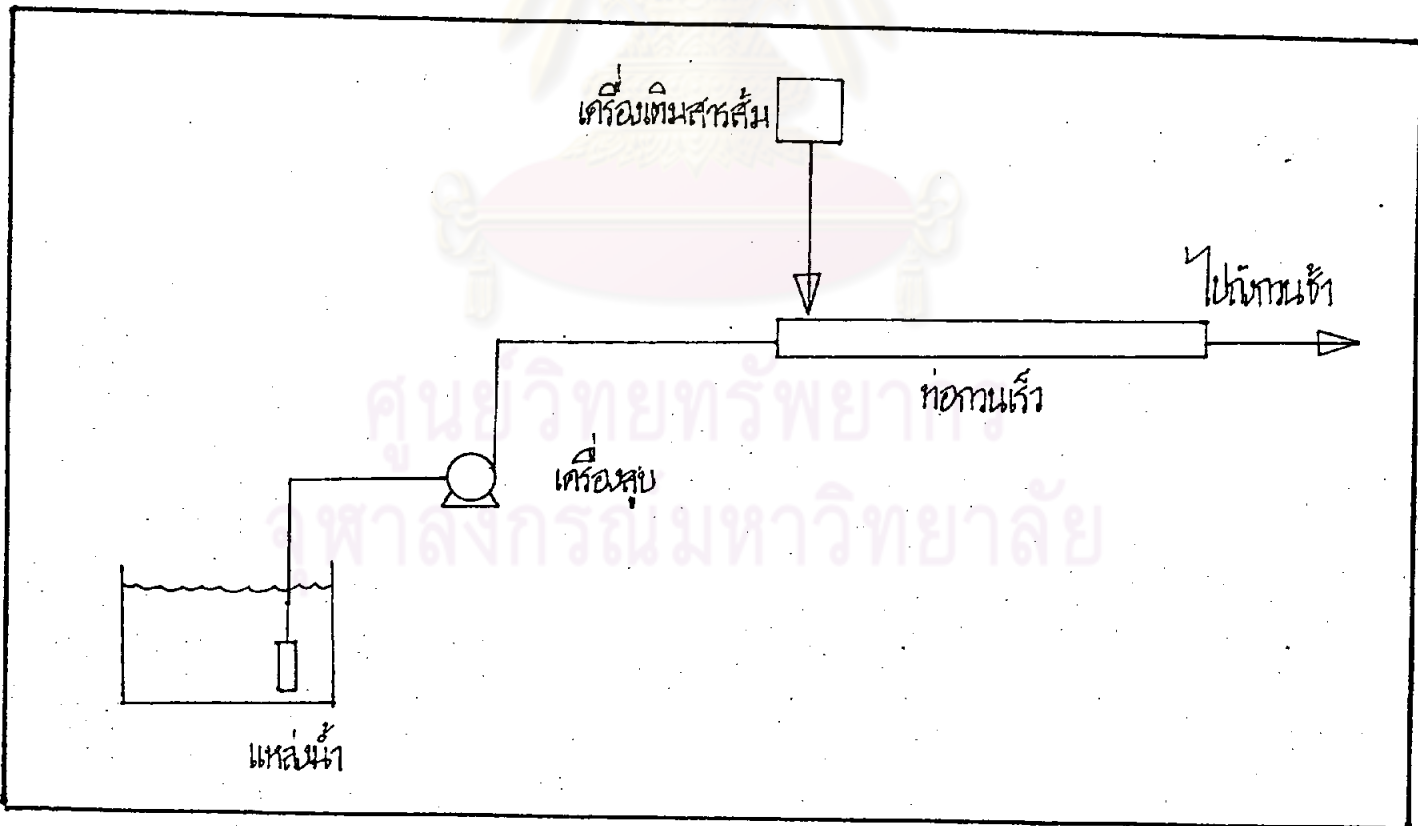
$h = K \frac{V^2}{2g}$  FEET OF FLUID

แฟกเตอร์ความเสียดทานสำหรับข้อต่อต่าง ๆ

แฟกเตอร์ความเสียดทานสำหรับประตุน้ำและข้อต่อต่าง ๆ



รูปที่ ๗.2 แผนผังระบบกวนเร็วด้วยถังกวน.



รูปที่ ๗.3 แผนผังระบบกวนเร็วในท่อ.





## ประวัติผู้วิจัย

นายสุรินทร์ พลະสมบุรณ์ เกิดเมื่อวันที่ 19 มกราคม 2504 ที่จังหวัดจันทบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ( ม.ศ.5 ) จากโรงเรียนเบญจมราชูทิศ จังหวัดจันทบุรี เมื่อปี 2522 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี 2526 ขณะศึกษาอยู่มัธยมศึกษาตอนปลายได้รับทุนจากสมาคมวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย ให้มาเข้าค่ายฝึกวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ และได้ทำการวิจัยเรื่อง The Replacement Using of Triac with NPN - Transistor in Constant Voltage , Constant Current and Astable Multivibrator Circuit ณ. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี 2521 ระหว่างศึกษาปริญญาตรีได้รับทุนยกเว้นค่าหน่วยกิตทุกปี และได้รับทุนธิดา ชนวิริยะ ในปีการศึกษา 2524 และ 2525 เป็นประธานชมรมประดิษฐ์และออกแบบ องค์การบริหารสโมสรนิสิตจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี 2524 - 2525 เป็นนักกีฬาหมากรุกกระดานของมหาวิทยาลัย ตั้งแต่ปี 2523 ถึงปัจจุบัน ได้รับรางวัลไม่ประกาศเกียรติคุณสอบได้เกรดเฉลี่ยรายภาคเกิน 3.60 จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี 2526 และได้รับรางวัลเข็มสามารถขั้นที่ 2 ประเภทกีฬาหมากรุกกระดาน จากคณะกรรมการพัฒนากีฬากิจกรรมนิสิตจุฬา เมื่อปี 2527 ได้ทุนผู้ช่วยสอนที่ภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล เมื่อปีการศึกษา 2527 และเป็นวิศวกรประจำบริษัทมงคลนิธิ จำกัด ในปี 2528

ศูนย์วิทยพัชการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย