



เอกสารอ้างอิง

1. Kawamura, S., "Coagulation Considerations," J. Am. Wat. Wks Ass., 65, 417, 1973.
2. Ger, A. M., and E. R. Holley, "Comparison of Single-Point Injections in Pipe Flow," J. Hydr. Div. ASCE., 107, 1179, 1976.
3. Culp, R. L., "Direct Filtration," J. Am. Wat. Wks Ass., 69, 375, 1977.
4. Priesing, C. P., "A Theory of Coagulation Useful for Design," Ind. Eng. Chem., 54, 38, 1962.
5. O'Melia, C. R., Physiochemical Process for Water Quality Control (Weber, W. J. ed.), pp. 61-109, Wiley-Interscience, New York, 1972.
6. Amirtharajah, A., and K. M. Mills, "Rapid-Mix Design for Mechanisms of Alum Coagulation," J. Am. Wat. Wks Ass., 74, 210, 1982.
7. Stumm, W., and J. J. Morgan, "Chemical Aspects of Coagulation," J. Am. Wat. Wks Ass., 54, 971, 1962.
8. Sullivan, J. H., and J. E. Singley, "Reactions of Metal Ions in Dilute Aqueous Solution: Hydrolysis of Aluminum," J. Am. Wat. Wks Ass., 60, 1280, 1968.
9. Hahn, H. H., and W. Stumm, "Kinetics of Coagulation with Hydrolysed Al(III)," J. Colloid Interface Sci., 28, 134, 1968.
10. Hudson, H. E., and J. P. Wolfner, "Design of Mixing and

- Flocculating Basins," J. Am. Wat. Wks Ass., 59, 1257, 1967.
11. Letterman, R. D., J. E. Quon, and R. S. Gemmell, "Influence of Rapid-Mix Parameters and Flocculation," J. Am. Wat. Wks Ass., 65, 716, 1973.
 12. McCook, N. J., and J. R. West, "The Coagulation of a Kaolinite Suspension with Aluminum Sulphate," Water Res., 12, 793, 1978.
 13. Langelier, W. F., and H. F. Ludwig, "Mechanism of Flocculation in the Clarification of Turbid Waters," J. Am. Wat. Wks Ass., 41, 163, 1949.
 14. Black, A. P., and S. A. Hannah, "Electrophoretic Studys of Turbidity Removal by Coagulation with Aluminum Sulfate," J. Am. Wat. Wks Ass., 53, 438, 1961.
 15. Kim, W., H. F. Ludwig, and W. D. Bishop, "Cation-Exchange Capacity and pH in the Coagulation Process," J. Am. Wat. Wks Ass., 57, 327, 1965.
 16. Kawamura, S., "Considerations on Improving Flocculation," J. Am. Wat. Wks Ass., 68, 328, 1976.
 17. Langelier, W. F., H. F. Ludwig, and R. G. Ludwig, "Flocculation Phenomena in Turbid Water Clarification," Proc. ASCE., 78, No 118, 1952.
 18. Black, A. P., and M. R. Vilaret, "Effect of Particle Size on Turbidity Removal," J. Am. Wat. Wks Ass., 61, 209, 1969.
 19. Bratby, J., Coagulation and Flocculation, pp. 92-203, Uplands Press Ltd, England, 1st ed., 1980.
 20. Rubin, A. J., and H. Blocksidge, "Coagulation of Montmorillonite

- Suspensions with Aluminum Sulfate," J. Am. Wat. Wks Ass., 71, 102, 1979.
21. Camp, T. R., D. A. Root, and B. V. Bhoota, "Effects of Temperature on Rate of Floc Formation," J. Am. Wat. Wks Ass., 32, 1913, 1940.
 22. Morris, J. K., and W. R. Knocke, "Temperature Effects on the Use of Metal-Ion Coagulants for Water Treatment," J. Am. Wat. Wks Ass., 76, 74, 1984.
 23. Camp, T. R., and P. C. Stein, "Velocity Gradients and Internal Work in Fluid Motion," J. Boston Soc. Civ. Engrs., 30, 219, 1943.
 24. Ferguson, J. F., and T. King, "A Model for Aluminium Phosphate Precipitation," J. Wat. Poll. Control Fed., 49, 646, 1977.
 25. Bratby, J. R., "Interpreting Laboratory Results for the Design of Rapid Mixing and Flocculation Systems," J. Am. Wat. Wks Ass., 73, 318, 1981.
 26. Francois, R. J., and A. A. Van Haute, "The Role of Rapid Mixing Time on a Flocculation Process," Wat. Sci. Tech., 17, 1091, 1985.
 27. Francois, R. J., and A. A. Van Haute, "Structure of Hydroxide Floccs," Water Res., 19, 1249, 1985.
 28. Camp, T. R., "Floc Volume Concentration," J. Am. Wat. Wks Ass., 60, 656, 1968.
 29. Vrale, L., and R. M. Jorden, "Rapid Mixing in Water Treatment," J. Am. Wat. Wks Ass., 65, 52, 1971.
 30. ASCE, AWWA, and CSSE., "Water Treatment Plant Design," AWWA, Inc., New York, 1969.

31. Ten State Standards., "Recommended Standards for Water Works,"
Health Education Service, Albany, New York, 1972.
32. Argaman, Y., and W. J. Kaufman, "Turbulence and Flocculation,"
J. San. Eng. Div. ASCE., 96, 223, 1984.
33. Cleasby, J. L., "Is Velocity Gradient a Valid Turbulent
Flocculation Parameter?", J. Env. Eng. Div. ASCE., 110,
875, 1984.
34. Tambo, N., and H. Hozumi, "Physical Characteristics of Flocs-II.
Strength of Floc," Water Res., 13, 421, 1979.
35. Camp, T. R., "Flocculation and Flocculation Basins," Trans. ASCE.,
120, 1, 1955.
36. Chao, J. L., and B. G. Stone, "Initial Mixing by Jet Injection
Blending," J. Am. Wat. Wks Ass., 71, 570, 1979.
37. Amirtharajah, A., Water Treatment Plant Design for the Practicing
Engineer (Sanks, R. L. ed.), pp. 131-147, Ann Arbor
Science Publishers Inc., Michigan, 1st ed., 1978.
38. Delichatsios, M. A., and R. F. Probstein, "Coagulation in
Turbulent Flow: Theory and Experiment," J. Colloid
Interface Sci., 51, 394, 1975.
39. Delichatsios, M. A., and R. F. Probstein, "Scaling Laws for
Coagulation and Sedimentation," J. Wat. Poll. Control
Fed., 47, 941, 1975.
40. Grohmann, A., M. Reiter, and U. Weismann, "New Flocculation Units
with High Efficiency," Wat. Sci. Tech., 13, 567, 1981.
41. Güven, O., and L. benefield, "The Design of In-Line Jet Injection
Blenders," J. Am. Wat. Wks Ass., 75, 357, 1983.
42. สุรินทร์ พละสมบูรณ์, "พารามิเตอร์ควบคุมการกวนเร็วในท่อแนวระดับ," วิทยานิพนธ์

- ปริญญาโทบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2528.
43. Streeter, V. L., Fluid Mechanics, pp. 233-324, McGraw-Hill Book Co., 4th ed., 1966.
 44. หริส สุตะบุตร และ ฮารุโอะ ทาฮาร่า, เครื่องสูบลและเครื่องอัด, หน้า 13-62, สมาคมส่งเสริมความรู้ด้านเทคนิคระหว่างประเทศ, โรงพิมพ์คุรุสภา, กรุงเทพมหานคร, 2526.
 45. มั่นสิน ตัณฑุเลเวศม์, วิศวกรรมการประปา เล่ม 1, หน้า 197-236, ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพมหานคร, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2526.
 46. Gregory, J., "Stability and Flocculation of Colloidal Particles," Eff. Wat. Treat. Jnl., 17, 516, 1977.
 47. Griffith, J. D., and R. G. Williams, "Application of Jar-Test Analysis at Phoenix, Ariz.," J. Am. Wat. Wks Ass., 64, 825, 1972.
 48. Jeffcoat, W. B., and J. E. Singley, "The Effect of Alum Concentration and Chemical-Addition Times on Coagulation," J. Am. Wat. Wks Ass., 67, 177, 1975.
 49. APHA, AWWA, and WPCF., "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater," Washington, D. C., 1986.
 50. Lagavanker, A. L., and R. S. Gemmell, "A Size-Density Relationship for Floccs," J. Am. Wat. Wks Ass., 9, 1040, 1968.
 51. Tambo, N., and Y. Watanabe, "Physical Characteristics of Floc-I. The Floc Density Function and Aluminium Floc," Water Res., 13, 409, 1979.
 52. Hudson, H. E., "Physical Aspects of Flocculation," J. Am. Wat. Wks Ass., 57, 885, 1965.

53. Andrew-Villegas, R., and R. D. Letterman, "Optimizing Flocculator Power Input," J. Env. Eng. Div. ASCE., 102, 251, 1976.
54. Lai, R. J., H. E. Hudson, and J. E. Singley, "Velocity Gradient Calibration of Jar-Test Equipment," J. Am. Wat. Wks Ass., 67, 553, 1975.

ภาคผนวก

รายการคำนวณที่ ผ.1 ความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาคคอลลอยด์

จากสมการที่ประยุกต์จากกฎของสโตก (Stoke's law) ของอนุภาคกลมที่ตกตะกอนแบบโดด (discrete settling)

$$v_s = [g(\rho_s - \rho)d^2] / (18\mu)$$

โดยที่ v_s = ความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาค, ม./วินาที

g = ความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วง, 9.81 ม./วินาที²

ρ_s = ความหนาแน่นของอนุภาค, กก./ม.³

ρ = ความหนาแน่นของของไหล, กก./ม.³

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค, ม.

μ = ความหนืดทางพลศาสตร์ของของไหล, นิวตัน-วินาที/ม.²

อนุภาคคอลลอยด์มีขนาด 1 ไมครอน และมีความหนาแน่น 2430 กก./ม.³ โดยประมาณ

น้ำที่อุณหภูมิ 29 °C $\mu = 0.81835 \times 10^{-3}$ นิวตัน-วินาที/ม.² $\rho = 995.97$ กก./ม.³

$$v_s = [9.81(2430 - 995.97)(1 \times 10^{-6})^2] / [18(0.81835 \times 10^{-3})]$$

$$= 9.55 \times 10^{-7} \text{ ม./วินาที}$$

$$= 8.25 \text{ ซม./วัน}$$

นั่นคือ ใน 1 วัน อนุภาคคอลลอยด์มีขนาด 1 ไมครอน ตกตะกอนได้ความลึก 8.25

ซม.

รายการคำนวณที่ ผ.2 ค่า a และ K_p ที่อัตราส่วน ALT หนึ่ง ๆ

จากสมการของ ALT ratio

$$\text{ALT ratio} = \text{AL./SS.}$$

โดยที่ AL. = ความเข้มข้นของอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์, มก./ล.

SS. = ความเข้มข้นของอนุภาคแขวนลอย, มก./ล.

ปริมาณสารส้ม 5 มก./ล. น้ำหนักโมเลกุลของสารส้ม $[\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 16\text{H}_2\text{O}] = 630.39$ น้ำหนักอะตอมของอลูมิเนียม = 27

$$\text{AL.} = 2 \times 27 \times 5 / 630.39$$

$$= 0.4283 \text{ มก./ล.}$$

น้ำขุ่นสังเคราะห์ค่าโอลิไนท์ 50 NTU ได้ SS. = 55 มก./ล.

$$\text{ALT ratio} = 0.4283 / 55$$

$$= 7.787 \times 10^{-3}$$

จากรูปที่ 4.6 ที่อัตราส่วน ALT 7.787×10^{-3}

$$a = 18.2 \times 10^{-4} \text{ ก./ชม.}^3$$

$$K_p = 0.94$$

รายการคำนวณที่ ผ.3 ค่าเกรเดียนต์ความเร็วและเวลาที่ในท่อความเร็ว ที่อัตราน้ำไหลหนึ่ง ๆ

จากสมการของ Reynolds number

$$N_R = vD/\nu$$

โดยที่ N_R = ตัวเลขเรย์โนลด์

v = ความเร็วเฉลี่ยของการไหลในท่อ, ม./วินาที

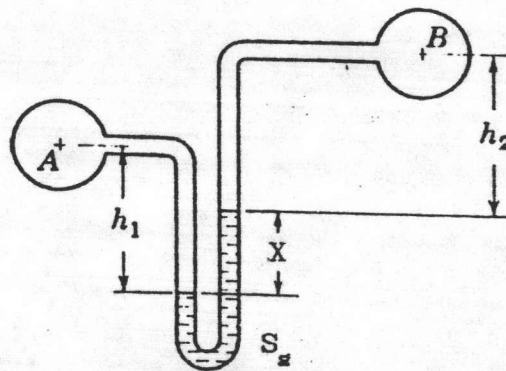
D = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ, ม.

ν = ความหนืดทางจลน์ของของไหล, ม.²/วินาที

ที่อัตราน้ำไหล 5×10^{-3} ม.³/วินาที ขนาดท่อ 0.0174 ม. ความเร็วน้ำไหลในท่อ 0.35 ม./วินาที

น้ำที่อุณหภูมิ 29 °ซ $\nu = 0.82166 \times 10^{-6}$ ม.²/วินาที

$$\begin{aligned} N_R &= (0.35)(0.0174)/(0.82166 \times 10^{-6}) \\ &= 7421 \approx 7400 \end{aligned}$$



ดิฟเฟอเรนเชียล มาโนมิเตอร์

จากสมการมาโนมิเตอร์ของดิฟเฟอเรนเชียล มาโนมิเตอร์

$$H_f = X(S_g - 1)$$

โดยที่ H_f = ความสูญเสียหัวน้ำเนื่องจากความเสียดทาน, ม.

X = ค่าระดับแตกต่างของความสูงปรอท ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความกดดันภายในท่อที่ตำแหน่ง A และ B, ม.

S_g = ความถ่วงจำเพาะของปรอท, 13.6

ที่อัตราการไหล 5×10^{-3} ม.³/วินาที $X = 0.0035$ ม. $S_x = 13.6$

$$\begin{aligned} H_f &= 0.0035(13.6-1) \\ &= 0.0441 \text{ ม.} \end{aligned}$$

จากสมการที่ 3.7

$$G = [g v H_f / \nu L]^{0.5}$$

โดยที่ G = เกรเดียนต์ความเร็ว, วินาที⁻¹

g = ความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วง, 9.81 ม./วินาที²

L = ความยาวของท่อ, ม.

ที่อัตราการไหล 5×10^{-3} ม.³/วินาที $v = 0.35$ ม./วินาที $H_f = 0.0441$ ม. $L =$

2.1 ม.

$$\begin{aligned} G &= [(9.81)(0.35)(0.0441)/(0.82166 \times 10^{-6})(2.1)]^{0.5} \\ &= 296 \approx 295 \text{ วินาที}^{-1} \end{aligned}$$

จากสมการที่ 3.15

$$T = L/v$$

โดยที่ T = เวลาพัก, วินาที

ที่อัตราการไหล 5×10^{-3} ม.³/วินาที $L = 2.1$ ม. $v = 0.35$ ม./วินาที

$$\begin{aligned} T &= 2.1/0.35 \\ &= 6 \text{ วินาที} \end{aligned}$$

รายการคำนวณที่ ผ.4 ค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนช้า ที่อัตราเร็ว 40 รอบ/นาที
จากสมการที่ 3.1

$$G = (W/\mu)^{0.5}$$

โดยที่ G = เกรเดียนต์ความเร็ว, วินาที⁻¹

W = พลังงานการสิ้นเปลือง = กำลังที่สูญเสียต่อหน่วยปริมาตรของของไหล, กก./ม.-วินาที³

μ = ความหนืดทางพลศาสตร์ของของไหล, นิวตัน-วินาที/ม.²

Camp (28) ได้นิยามสัมประสิทธิ์แรงลากรวมที่โรมิตี 2 ชนิด ดังต่อไปนี้

1. สำหรับการไหลแบบปั่นป่วนเต็มที่ (fully turbulent) จะได้ว่า

$$W = 124\rho a C_t s^3 \quad (1)$$

โดยที่ $124 = (2\pi)^3/2$

ρ = ความหนาแน่นของของไหล, กก./ม.³

a = พื้นที่ฉายของใบพัด, ม.²

= 1.75×10^{-3} ม.² สำหรับ 2-blade paddle ขนาด 1x3 นิ้ว

C_t = สัมประสิทธิ์แรงลากรวมแบบปั่นป่วน

s = อัตราเร็วของเครื่องกวนผสม, รอบ/วินาที

2. สำหรับการไหลแบบลามินาร์ (laminar flow) จะได้ว่า

$$W = 4.92\mu C_v s^2 \quad (2)$$

โดยที่ $4.92 = (2\pi)^2/8$

C_v = สัมประสิทธิ์แรงลากรวมแบบหนืด

จากสมการของ Reynolds number

$$N_R = D_1^2 s \rho / \mu$$

โดยที่ N_R = ตัวเลขเรย์โนลด์

D_1 = เส้นผ่าศูนย์กลางใบพัด, ม.

ที่อัตราเร็วของเครื่องกวนผสม 40 รอบ/นาที $s = 40/60$ รอบ/วินาที และขนาดใบ

พัด 1x3 นิ้ว $D_1 = 3 \times 2.54 / 100$

น้ำที่อุณหภูมิ 29 °ซ $\rho = 995.97$ กก./ม.³ $\mu = 0.81835 \times 10^{-3}$ นิวตัน-วินาที/ม.²

$$\begin{aligned} N_R &= (3 \times 2.54 / 100)^2 (40 / 60) (995.97) / (0.81835 \times 10^{-3}) \\ &= 4711 > 4000 \end{aligned}$$

Lai , Hudson และ Singley (54) ได้ทดลองหาความเข้มข้นของการกวนผสมด้วยการทดสอบแบบจาร์ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า G และ C_c กับ N โดยที่ N คืออัตราเร็วของเครื่องกวนผสมมีหน่วยเป็นรอบ/นาที สำหรับการทดลองที่ใช้น้ำตัวอย่างปริมาตร 2.0 ล. ที่มีอุณหภูมิประมาณ 25 °ซ ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 2.0 ล. ซึ่งไม่มี stators เมื่อ $N = 40$ รอบ/นาที จะได้ $C_c = 3.7 \times 10^{-3}$

น้ำที่อุณหภูมิ 25 °ซ $\rho = 997.07$ กก./ม.³ $\mu = 0.89535 \times 10^{-3}$ นิวตัน-วินาที/ม.²

จากสมการที่ 1. เมื่อ $N_R > 4000$

$$\begin{aligned} W &= (124)(997.07)(1.75 \times 10^{-3})(3.7 \times 10^{-3})(40/60)^3 \\ &= 0.2372 \text{ กก./ม.} \cdot \text{วินาที}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} G &= [0.2372 / (0.89535 \times 10^{-3})]^{0.5} \\ &= 16.3 \text{ วินาที}^{-1} \end{aligned}$$

อนึ่ง ต้องปรับแก้ค่า G ให้สอดคล้องกับเงื่อนไขของการวิจัย ซึ่งกระทำโดยใช้น้ำดิบ ปริมาตร 1.0 ล. ที่มีอุณหภูมิประมาณ 29 °ซ ตามสมการดังนี้

$$G_1 = G_2 (\mu_2 V_2 / \mu_1 V_1)^{0.5}$$

โดยที่ μ_1 และ μ_2 = ความหนืดทางพลศาสตร์ของของไหลที่อุณหภูมิ T_1 และ T_2

V_1 และ V_2 = ปริมาตรของของไหลที่อุณหภูมิ T_1 และ T_2

น้ำที่อุณหภูมิ 29 °ซ $\mu = 0.81835 \times 10^{-3}$ นิวตัน-วินาที/ม.²

$$\begin{aligned} G_{29^\circ\text{ซ}, 1 \text{ ล.}} &= 16.3 [(0.89535 \times 10^{-3})(2) / (0.81835 \times 10^{-3})(1)]^{0.5} \\ &= 24.1 \approx 25 \text{ วินาที}^{-1} \end{aligned}$$

รายการคำนวณที่ ผ.5 อัตราไหลของสารละลายสารส้ม และความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม ก่อนเติมเข้าสู่กระบวนการ ที่อัตราน้ำไหลและปริมาณสารส้มหนึ่ง ๆ

จากสมการที่ 3.3

$$M_r = Q_r v_r = (v_r D_r)^2$$

โดยที่ M_r = อัตราส่วนโมเมนต์พลิก

$$Q_r = Q_j / Q$$

$$v_r = v_j / v$$

$$D_r = D_j / D$$

$$Q_j = \text{อัตราไหลของสารละลายสารส้ม, ม.}^3/\text{วินาที}$$

$$Q = \text{อัตราไหลของน้ำในท่อ, ม.}^3/\text{วินาที}$$

$$v_j = \text{ความเร็วของสารละลายสารส้ม, ม./วินาที}$$

$$v = \text{ความเร็วของน้ำในท่อ, ม./วินาที}$$

$$D_r = \text{ขนาดของท่อนำสารละลายสารส้ม, ม.}$$

$$D = \text{ขนาดของท่อกวนเร็ว, ม.}$$

ที่อัตราน้ำไหล 5×10^{-3} ม.³/วินาที ขนาดท่อ 0.0174 ม. ความเร็วน้ำไหลในท่อ 0.35 ม./วินาที ขนาดท่อนำสารละลายสารส้ม 3×10^{-4} ม.

$$D_r = (3 \times 10^{-4}) / (0.0174)$$

$$= 0.0172$$

จากสมการที่ 3.4 เมื่อ D_r มีค่าน้อยกว่า 0.021

$$M_r^* = 0.0156$$

โดยที่ M_r^* = อัตราส่วนโมเมนต์พลิกที่เหมาะสม

ดังนั้น เพื่อให้การแพร่กระจายสารส้มผสมกับน้ำดิบทั่วถึงอย่างรวดเร็ว จะได้ว่า

$$0.0156 = (v_r D_r)^2 = (v_j D_j / v D)^2$$

$$v_j = [(0.35)(0.0174) / (3 \times 10^{-4})] (0.0156)^{0.5}$$

$$= 2.54 \text{ ม./วินาที}$$

$$Q_j = (\pi D_j^2 / 4) v_j$$

$$= (22/7)(3 \times 10^{-4})^2 (2.54) / 4$$

$$Q_d = 1.79 \times 10^{-7} \text{ ม.}^3/\text{วินาที}$$

$$= 1.08 \times 10^{-2} \text{ ล.}/\text{นาที}$$

สมการที่ใช้หาความเข้มข้นของสารละลายสารส้มที่เตรียมไว้ก่อนเติมเข้าสู่กระบวนการ มีดังต่อไปนี้

$$C_o = C/Q_d = CQ/Q_d$$

โดยที่ C_o = ความเข้มข้นของสารละลายสารส้มที่เตรียมก่อนเติม, มก./ล.

C = ปริมาณสารส้ม, มก./ล.

ที่อัตราน้ำไหล 5×10^{-3} ม.³/นาที อัตราไหลของสารละลายสารส้ม 1.08×10^{-5} ม.³/นาที ปริมาณสารส้ม 5 มก./ล.

$$C_o = 5(5 \times 10^{-3}) / (1.08 \times 10^{-5})$$

$$= 2315 \text{ มก.}/\text{ล.}$$

$$= 0.232 \%$$

นั่นคือ ที่อัตราน้ำไหล 5×10^{-3} ม.³/นาที ปริมาณสารส้มที่ต้องการ 5 มก./ล. เพื่อให้อัตราการแพร่กระจายสารส้มที่มีความเข้มข้น 0.232 % และสูบป้อนเข้าสู่กระบวนการด้วยอัตราไหล 1.08×10^{-5} ม.³/นาที

รายการคำนวณที่ ผ.6 ค่า v_f ที่ G และ C หนึ่ง ๆ เมื่อ T 6 วินาที

จากสมการที่ 4.2

$$v_f = (g a d_f^2) / [34 \mu (d_f/1)^{K_p}]$$

โดยที่ v_f = ความเร็วในการตกตะกอนของตะกอน, ซม./วินาที

g = ความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วง, 981 ซม./วินาที²

d_f = ขนาดตะกอน, ซม.

$d_f/1$ = ขนาดตะกอนไร้มิติ, ซม./ซม.

μ = ความหนืดทางพลศาสตร์ของน้ำ, ก./ซม.-วินาที

a = ค่าคงที่, ก./ซม.³

K_p = ค่าคงที่, -

จากตารางที่ 16 ที่ T 6 วินาที G 295 วินาที⁻¹ C 5 มก./ล. ขนาดตะกอนเฉลี่ย

80 ไมครอน

ที่ปริมาณสารส้ม 5 มก./ล. น้ำขุ่นสังเคราะห์คาโอลินไนท์ 50 NTU SS. 55 มก./ล.

อัตราส่วน ALT = 0.0078 $a = 18.2 \times 10^{-4}$ ก./ซม.³ $K_p = 0.94$

น้ำที่อุณหภูมิ 29 °ซ $\mu = 0.81835 \times 10^{-2}$ ก./ซม.-วินาที

$$\begin{aligned} v_f &= 981 \times 18.2 \times 10^{-4} (.0078)^2 / [34 \times 0.81835 \times 10^{-2} (.0078)^{.94}] \\ &= 0.0384 \text{ ซม./วินาที} \end{aligned}$$

Table 1 Residual Turbidity and % Turbidity Removal at
SOR 1.5 m/hr G 295 sec⁻¹

C (mg/l)	T (sec)	GT	Residual Turbidity (NTU)	Turbidity Removal (%)
5	3	885	29	42
5	6	1770	26	48
5	12	3540	27	46
5	18	5310	25	50
5	24	7080	25	50
5	30	8850	26	48
10	3	885	11	78
10	6	1770	9.2	81.6
10	12	3540	8.7	82.6
10	18	5310	10	80
10	24	7080	12	76
10	30	8850	12	76
15	3	885	6.4	87.2
15	6	1770	6.3	87.4
15	12	3540	6.2	87.6
15	18	5310	8.2	83.6
15	24	7080	10	80
15	30	8850	11	78
20	3	885	6.2	87.6
20	6	1770	5.4	89.2
20	12	3540	6	88
20	18	5310	8.1	83.8
20	24	7080	9.3	81.4
20	30	8850	11	78
30	3	885	10	80
30	6	1770	9.6	80.8
30	12	3540	12	76
30	18	5310	14	72
30	24	7080	15	70
30	30	8850	17	66

Table 2 Residual Turbidity and % Turbidity Removal at
SOR 1.5 m/hr G 795 sec⁻¹

C (mg/l)	T (sec)	GT	Residual Turbidity (NTU)	Turbidity Removal (%)
5	1.5	1192.5	21	58
5	3	2385	20	60
5	6	4770	21	58
5	9	7155	20	60
5	12	9540	19	62
5	15	11925	22	56
10	1.5	1192.5	7.4	85.2
10	3	2385	7.1	85.8
10	6	4770	6.6	86.8
10	9	7155	6.8	86.4
10	12	9540	8.4	83.2
10	15	11925	9.1	81.8
15	1.5	1192.5	3.5	93
15	3	2385	3.3	93.4
15	6	4770	3.2	93.6
15	9	7155	4.9	90.2
15	12	9540	5.2	89.6
15	15	11925	6.7	86.6
20	1.5	1192.5	4.1	91.8
20	3	2385	3.6	92.8
20	6	4770	4.9	90.2
20	9	7155	5.8	88.4
20	12	9540	7.8	84.4
20	15	11925	8.3	83.4
30	1.5	1192.5	8.4	83.2
30	3	2385	7.4	85.2
30	6	4770	9.2	81.6
30	9	7155	11	78
30	12	9540	13	74
30	15	11925	13	74

Table 3 Residual Turbidity and % Turbidity Removal at
 SOR 1.5 m/hr G 1420 sec⁻¹

C (mg/l)	T (sec)	GT	Residual Turbidity (NTU)	Turbidity Removal (%)
5	1	1420	21	58
5	2	2840	19	62
5	4	5680	19	62
5	6	8520	18	64
5	8	11360	18	64
5	10	14200	19	62
10	1	1420	7.3	85.4
10	2	2840	6.9	86.2
10	4	5680	6.4	87.2
10	6	8520	5.1	89.8
10	8	11360	5.8	88.4
10	10	14200	6.9	86.2
15	1	1420	3.5	93
15	2	2840	3.2	93.6
15	4	5680	3	94
15	6	8520	3.1	93.8
15	8	11360	3.6	92.8
15	10	14200	3.9	92.2
20	1	1420	3.6	92.8
20	2	2840	3.6	92.8
20	4	5680	3.4	93.2
20	6	8520	4.2	91.6
20	8	11360	5.6	88.8
20	10	14200	7.3	85.4
30	1	1420	7.4	85.2
30	2	2840	7.2	85.6
30	4	5680	7.5	85
30	6	8520	8.2	83.6
30	8	11360	10	80
30	10	14200	12	76

Table 4 Residual Turbidity and % Turbidity Removal at
 SOR 1.5 m/hr G 2180 sec⁻¹

C (mg/l)	T (sec)	GT	Residual Turbidity (NTU)	Turbidity Removal (%)
5	0.75	1635	18	64
5	1.5	3270	18	64
5	3	6540	17	66
5	4.5	9810	16	68
5	6	13080	16	68
5	7.5	16350	19	62
10	0.75	1635	4.3	91.4
10	1.5	3270	4.1	91.8
10	3	6540	4.2	91.6
10	4.5	9810	3.9	92.2
10	6	13080	4.1	91.8
10	7.5	16350	4.5	91
15	0.75	1635	2.3	95.4
15	1.5	3270	1.9	96.2
15	3	6540	1.7	96.6
15	4.5	9810	2.7	94.6
15	6	13080	2.6	94.8
15	7.5	16350	3.5	93
20	0.75	1635	2.8	94.4
20	1.5	3270	2.5	95
20	3	6540	2.3	95.4
20	4.5	9810	2.7	94.6
20	6	13080	3.6	92.8
20	7.5	16350	4.3	91.4
30	0.75	1635	5.1	89.8
30	1.5	3270	4.3	91.4
30	3	6540	4.8	90.4
30	4.5	9810	5.4	89.2
30	6	13080	7.1	85.8
30	7.5	16350	7.4	85.2

Table 5 Residual Turbidity and % Turbidity Removal at
SOR 1.5 m/hr G 3050 sec⁻¹

C (mg/l)	T (sec)	GT	Residual Turbidity (NTU)	Turbidity Removal (%)
5	0.6	1830	27	46
5	1.2	3660	26	48
5	2.4	7320	26	48
5	3.6	10980	23	54
5	4.8	14640	18	64
5	6	18300	23	54
10	0.6	1830	7.4	85.2
10	1.2	3660	7.3	85.4
10	2.4	7320	7	86
10	3.6	10980	8.1	83.8
10	4.8	14640	8.2	83.6
10	6	18300	11	78
15	0.6	1830	6.7	86.6
15	1.2	3660	5.9	88.2
15	2.4	7320	5.6	88.8
15	3.6	10980	6.1	87.8
15	4.8	14640	7.8	84.4
15	6	18300	10	80
20	0.6	1830	7.4	85.2
20	1.2	3660	6	88
20	2.4	7320	6.3	87.4
20	3.6	10980	7.8	84.4
20	4.8	14640	8.4	83.2
20	6	18300	12	76
30	0.6	1830	8.9	82.2
30	1.2	3660	7.6	84.8
30	2.4	7320	9.3	81.4
30	3.6	10980	11	78
30	4.8	14640	13	74
30	6	18300	14	72

Table 6 Residual Turbidity and % Turbidity Removal at
 SOR 1.0 m/hr G 295 sec⁻¹ —

C (mg/l)	T (sec)	GT	Residual Turbidity (NTU)	Turbidity Removal (%)
5	3	885	19	62
5	6	1770	19	62
5	12	3540	19	62
5	18	5310	18	64
5	24	7080	17	66
5	30	8850	18	64
10	3	885	6.9	86.2
10	6	1770	6.6	86.8
10	12	3540	6.1	87.8
10	18	5310	7.1	85.8
10	24	7080	7.7	84.6
10	30	8850	8.2	83.6
15	3	885	4.6	90.8
15	6	1770	3.4	93.2
15	12	3540	4.3	91.4
15	18	5310	4.6	90.8
15	24	7080	4.9	90.2
15	30	8850	6.2	87.6
20	3	885	3.6	92.8
20	6	1770	3.4	93.2
20	12	3540	3.7	92.6
20	18	5310	4.4	91.2
20	24	7080	4.6	90.8
20	30	8850	5.7	88.6
30	3	885	3.7	92.6
30	6	1770	3.6	92.8
30	12	3540	3.9	92.2
30	18	5310	4.6	90.8
30	24	7080	4.8	90.4
30	30	8850	6.5	87

Table 7 Residual Turbidity and % Turbidity Removal at
 SOR 1.0 m/hr G 795 sec⁻¹

C (mg/l)	T (sec)	GT	Residual Turbidity (NTU)	Turbidity Removal (%)
5	1.5	1192.5	18	64
5	3	2385	17	66
5	6	4770	17	66
5	9	7155	16	68
5	12	9540	16	68
5	15	11925	17	66
10	1.5	1192.5	6	88
10	3	2385	5.7	88.6
10	6	4770	5.6	88.8
10	9	7155	5.9	88.2
10	12	9540	5.8	88.4
10	15	11925	6.6	86.8
15	1.5	1192.5	3.1	93.8
15	3	2385	2.8	94.4
15	6	4770	2.7	94.6
15	9	7155	3.3	93.4
15	12	9540	4	92
15	15	11925	4.4	91.2
20	1.5	1192.5	3.4	93.2
20	3	2385	2.9	94.2
20	6	4770	3.1	93.8
20	9	7155	3.9	92.2
20	12	9540	4.4	91.2
20	15	11925	4.9	90.2
30	1.5	1192.5	4.1	91.8
30	3	2385	3.3	93.4
30	6	4770	3.4	93.2
30	9	7155	5.7	88.6
30	12	9540	7.8	84.4
30	15	11925	8.3	83.4

Table 8 Residual Turbidity and % Turbidity Removal at
SOR 1.0 m/hr G 1420 sec⁻¹

C (mg/l)	T (sec)	GT	Residual Turbidity (NTU)	Turbidity Removal (%)
5	1	1420	17	66
5	2	2840	18	64
5	4	5680	16	68
5	6	8520	14	72
5	8	11360	15	70
5	10	14200	15	70
10	1	1420	5.7	88.6
10	2	2840	5.7	88.6
10	4	5680	5.6	88.8
10	6	8520	4.9	90.2
10	8	11360	5.2	89.6
10	10	14200	6.6	86.8
15	1	1420	2.9	94.2
15	2	2840	2.6	94.8
15	4	5680	2.4	95.2
15	6	8520	2.4	95.2
15	8	11360	2.8	94.4
15	10	14200	3.4	93.2
20	1	1420	2.9	94.2
20	2	2840	2.7	94.6
20	4	5680	2.6	94.8
20	6	8520	3	94
20	8	11360	5	90
20	10	14200	5.1	89.8
30	1	1420	3.4	93.2
30	2	2840	2.9	94.2
30	4	5680	3.2	93.6
30	6	8520	3.3	93.4
30	8	11360	5.4	89.2
30	10	14200	6.4	87.2

Table 9 Residual Turbidity and % Turbidity Removal at
SOR 1.0 m/hr G 2180 sec⁻¹

C (mg/l)	T (sec)	GT	Residual Turbidity (NTU)	Turbidity Removal (%)
5	0.75	1635	17	66
5	1.5	3270	16	68
5	3	6540	15	70
5	4.5	9810	15	70
5	6	13080	14	72
5	7.5	16350	16	68
10	0.75	1635	3.5	93
10	1.5	3270	3.5	93
10	3	6540	3.9	92.2
10	4.5	9810	3.3	93.4
10	6	13080	3.4	93.2
10	7.5	16350	3.6	92.8
15	0.75	1635	1.8	96.4
15	1.5	3270	1.8	96.4
15	3	6540	1.7	96.6
15	4.5	9810	1.9	96.2
15	6	13080	2	96
15	7.5	16350	2.3	95.4
20	0.75	1635	1.9	96.2
20	1.5	3270	1.8	96.4
20	3	6540	1.8	96.4
20	4.5	9810	2.1	95.8
20	6	13080	2.7	94.6
20	7.5	16350	3.3	93.4
30	0.75	1635	2.5	95
30	1.5	3270	2.7	94.6
30	3	6540	2.3	95.4
30	4.5	9810	2.6	94.8
30	6	13080	3.1	93.8
30	7.5	16350	3.6	92.8

Table 10 Residual Turbidity and % Turbidity Removal at
SOR 1.0 m/hr G 3050 sec⁻¹

C (mg/l)	T (sec)	GT	Residual Turbidity (NTU)	Turbidity Removal (%)
5	0.6	1830	21	58
5	1.2	3660	19	62
5	2.4	7320	19	62
5	3.6	10980	18	64
5	4.8	14640	17	66
5	6	18300	18	64
10	0.6	1830	6.2	87.6
10	1.2	3660	6	88
10	2.4	7320	5.9	88.2
10	3.6	10980	6.4	87.2
10	4.8	14640	6.1	87.8
10	6	18300	6.9	86.2
15	0.6	1830	5.3	89.4
15	1.2	3660	4.9	90.2
15	2.4	7320	3.9	92.2
15	3.6	10980	4.8	90.4
15	4.8	14640	5.8	88.4
15	6	18300	6.2	87.6
20	0.6	1830	5.5	89
20	1.2	3660	5.2	89.6
20	2.4	7320	5.6	88.8
20	3.6	10980	5.9	88.2
20	4.8	14640	6.3	87.4
20	6	18300	7.4	85.2
30	0.6	1830	6.4	87.2
30	1.2	3660	5.9	88.2
30	2.4	7320	6.2	87.6
30	3.6	10980	6.7	86.6
30	4.8	14640	7.3	85.4
30	6	18300	8.5	83

Table 11 Residual Turbidity and % Turbidity Removal at
SOR 0.5 m/hr G 295 sec⁻¹

C (mg/l)	T (sec)	GT	Residual Turbidity (NTU)	Turbidity Removal (%)
5	3	885	16	68
5	6	1770	17	66
5	12	3540	17	66
5	18	5310	15	70
5	24	7080	15	70
5	30	8850	17	66
10	3	885	5.5	89
10	6	1770	5.3	89.4
10	12	3540	5.5	89
10	18	5310	6.3	87.4
10	24	7080	5.7	88.6
10	30	8850	6.2	87.6
15	3	885	2.8	94.4
15	6	1770	2.7	94.6
15	12	3540	3.8	92.4
15	18	5310	3.6	92.8
15	24	7080	3.4	93.2
15	30	8850	3.6	92.8
20	3	885	2.3	95.4
20	6	1770	2.2	95.6
20	12	3540	2.3	95.4
20	18	5310	2.5	95
20	24	7080	2.8	94.4
20	30	8850	3.5	93
30	3	885	1.9	96.2
30	6	1770	1.8	96.4
30	12	3540	1.9	96.2
30	18	5310	2.4	95.2
30	24	7080	2.6	94.8
30	30	8850	3.7	92.6

Table 12 Residual Turbidity and % Turbidity Removal at
SOR 0.5 m/hr G 795 sec⁻¹

C (mg/l)	T (sec)	GT	Residual Turbidity (NTU)	Turbidity Removal (%)
5	1.5	1192.5	15	70
5	3	2385	15	70
5	6	4770	14	72
5	9	7155	14	72
5	12	9540	14	72
5	15	11925	16	68
10	1.5	1192.5	5.2	89.6
10	3	2385	4.9	90.2
10	6	4770	4.9	90.2
10	9	7155	5.6	88.8
10	12	9540	5.4	89.2
10	15	11925	5.6	88.8
15	1.5	1192.5	2.9	94.2
15	3	2385	2.6	94.8
15	6	4770	2.6	94.8
15	9	7155	3.2	93.6
15	12	9540	3.3	93.4
15	15	11925	3.5	93
20	1.5	1192.5	2.3	95.4
20	3	2385	2.1	95.8
20	6	4770	2.2	95.6
20	9	7155	2.5	95
20	12	9540	2.6	94.8
20	15	11925	2.8	94.4
30	1.5	1192.5	2.3	95.4
30	3	2385	1.6	96.8
30	6	4770	1.7	96.6
30	9	7155	2	96
30	12	9540	2.5	95
30	15	11925	2.9	94.2

Table 13 Residual Turbidity and % Turbidity Removal at
SOR 0.5 m/hr G 1420 sec⁻¹

C (mg/l)	T (sec)	GT	Residual Turbidity (NTU)	Turbidity Removal (%)
5	1	1420	15	70
5	2	2840	15	70
5	4	5680	15	70
5	6	8520	13	74
5	8	11360	13	74
5	10	14200	14	72
10	1	1420	5	90
10	2	2840	5.1	89.8
10	4	5680	5	90
10	6	8520	4.3	91.4
10	8	11360	4.8	90.4
10	10	14200	4.8	90.4
15	1	1420	2.9	94.2
15	2	2840	2.5	95
15	4	5680	2.2	95.6
15	6	8520	2.3	95.4
15	8	11360	2.3	95.4
15	10	14200	2.9	94.2
20	1	1420	1.7	96.6
20	2	2840	1.7	96.6
20	4	5680	1.8	96.4
20	6	8520	2	96
20	8	11360	2.5	95
20	10	14200	3.2	93.6
30	1	1420	1.7	96.6
30	2	2840	1.4	97.2
30	4	5680	1.8	96.4
30	6	8520	1.9	96.2
30	8	11360	2.7	94.6
30	10	14200	3.2	93.6

Table 14 Residual Turbidity and % Turbidity Removal at
SOR 0.5 m/hr G 2180 sec⁻¹

C (mg/l)	T (sec)	GT	Residual Turbidity (NTU)	Turbidity Removal (%)
5	0.75	1635	15	70
5	1.5	3270	14	72
5	3	6540	13	74
5	4.5	9810	13	74
5	6	13080	12	76
5	7.5	16350	14	72
10	0.75	1635	3.4	93.2
10	1.5	3270	3.2	93.6
10	3	6540	3.2	93.6
10	4.5	9810	2.9	94.2
10	6	13080	2.9	94.2
10	7.5	16350	3.4	93.2
15	0.75	1635	1.7	96.6
15	1.5	3270	1.6	96.8
15	3	6540	1.7	96.6
15	4.5	9810	1.7	96.6
15	6	13080	1.8	96.4
15	7.5	16350	1.8	96.4
20	0.75	1635	1.4	97.2
20	1.5	3270	1.2	97.6
20	3	6540	1.3	97.4
20	4.5	9810	1.4	97.2
20	6	13080	2.1	95.8
20	7.5	16350	1.9	96.2
30	0.75	1635	0.9	98.2
30	1.5	3270	1.2	97.6
30	3	6540	1.1	97.8
30	4.5	9810	1.4	97.2
30	6	13080	2	96
30	7.5	16350	2.3	95.4

Table 15 Residual Turbidity and % Turbidity Removal at
SOR 0.5 m/hr G 3050 sec⁻¹

C (mg/l)	T (sec)	GT	Residual Turbidity (NTU)	Turbidity Removal (%)
5	0.6	1830	16	68
5	1.2	3660	16	68
5	2.4	7320	16	68
5	3.6	10980	15	70
5	4.8	14640	15	70
5	6	18300	16	68
10	0.6	1830	5.5	89
10	1.2	3660	5.1	89.8
10	2.4	7320	5.1	89.8
10	3.6	10980	5.6	88.8
10	4.8	14640	5.6	88.8
10	6	18300	5.7	88.6
15	0.6	1830	3.4	93.2
15	1.2	3660	3.7	92.6
15	2.4	7320	2.8	94.4
15	3.6	10980	3.1	93.8
15	4.8	14640	3.4	93.2
15	6	18300	3.9	92.2
20	0.6	1830	3.1	93.8
20	1.2	3660	2	96
20	2.4	7320	2.4	95.2
20	3.6	10980	2.7	94.6
20	4.8	14640	2.5	95
20	6	18300	2.9	94.2
30	0.6	1830	2.4	95.2
30	1.2	3660	1.4	97.2
30	2.4	7320	2.1	95.8
30	3.6	10980	2.1	95.8
30	4.8	14640	2.9	94.2
30	6	18300	4	92

Table 16 Floc Size at T 6 sec

C (mg/l)	Floc Size (micron)				
	G (sec ⁻¹)				
	295	795	1420	2180	3050
5	80	100	100	105	90
10	115	120	130	145	100
15	190	190	200	225	195
20	190	195	205	230	200
30	200	200	215	240	205

Table 17 Hydraulic Characteristics and G-Values of Rapid-Mix Pipe

Q (l/min)	v (m/sec)	N _a	Length of Pipe 2.10 m		G (sec ⁻¹)
			X (m Hg)x10 ⁻²	H _f (m H ₂ O)x10 ⁻²	
5	0.35	7400	0.35	4.41	295
10	0.70	14800	1.25	15.75	795
15	1.05	22300	2.70	34.02	1420
20	1.40	29700	4.75	59.85	2180
25	1.75	37100	7.45	93.24	3050

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นาย ประเสริฐ พัววรานเคราะห์
เกิด 6 ตุลาคม 2502, ปทุมธานี
การศึกษา วศ.บ. (โยธา) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2524
การทำงาน วิศวกรอันดับ 1 กองวิศวกรรมสายส่ง ฝ่ายวิศวกรรม การไฟฟ้าฝ่ายผลิต
2525-2526
วิศวกร บ. มงคลนิธิ จก. 2527-2530