

## เอกสารอ้างอิง

### ภาษาไทย

- เชาวยุท พรพิมลเทพ. หลักเกณฑ์การทำงานของถังตกตะกอน. วิทยานิพนธ์  
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรม สาขาวิชา  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2515.
- ปริญญา ณ.นคร. ผลของความสูงชั้นเม็ดตะกอนต่อประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น.  
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรม สาขาวิชา  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.
- พิศาล ชัยนสำรวจ. การศึกษาถังโซลิตคอนแทคแคลรีไฟเออร์ที่ใช้กระเบื้อง  
ลอนคู่กับทราย. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชา  
วิศวกรรมสาขาวิชา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2525.
- มันลิน ตันกุลเวศม์, ดร. วิศวกรรมการประปาเล่ม 1. ภาควิชาวิศวกรรม-  
สิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.
- วิรัช มงคลศรี. การใช้ตะกอนในกระบวนการรวมตกตะกอนสำหรับกำจัด  
ความขุ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชา  
วิศวกรรมสาขาวิชา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2526.
- วีระ อินทรกุล. การศึกษาถังตกตะกอนแบบโซลิตคอนแทคแคลรีไฟเออร์ที่ใช้  
แผ่นขนานเอียง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมสาขาวิชา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,  
2524.

### ภาษาอังกฤษ

- Amirtharajar A.Mills K.M. "Rapid-Mix Design for Mechanisms  
of Alum Coagulation", J.AWWA.74, 1982: 210.
- Andrew-Villegas, R., and R.D. Letterman, "Optimizing  
Flocculator Power Input," J.Env. Eng. Div. ASCE.,

- 102, 1976: 251
- Barnes, D. and Wilson, F. Chemistry and Unit Operations in Water Treatment Applied Science Publishers Ltd, 1983.
- Bratby, J., Coagulation and Flocculation, pp.92-203, Uplands Press Ltd, England, 1st ed., 1980.
- Camp, T.R. "Sedimentation and the Design of Settling Tanks". Trans. ASCE. Vol. 111, 1946: 895-936.
- \_\_\_\_\_. "Flocculation and Flocculation Basins", Trans. ASCE. 120, 1983: 1-16.
- \_\_\_\_\_. "Floc Volume Concentration", J.AWWA 60, 1968: 656-673.
- Chao, J. L., and B. G. Stone, "Initial Mixing by Jet Injection Blending," J. AWWA., 72, 1979: 570.
- Committee Report "Capacity and Loadings of Suspended Solids Contact Unit", J.AWWA 43 1951: 263-291
- Delichatsios, M. A., and R. F. Probstein, "Coagulation in Turbulent Flow: Theory and Experiment," J. Colloid Interface Sci., 51, 1975: 394.
- \_\_\_\_\_. "Scaling Laws for Coagulation and Sedimentation," J. Wat. Poll. Control Fed., 47, 1975: 941.
- Dregremont Water Treatment Handbook 5<sup>th</sup> Edition, 1979.
- Drobny, NL. "Effect of Paddle Design on Flocculation" J.San.Eng. Div. ASCE, 89, 1963: 17-27.
- Francois, R. J., and A. A. Van Haute, "The Role of Rapid Mixing Time on a Flocculation Process," Wat. Sci. Tech., 17, 1985: 1091.
- Gregory, R. "Floc Blanket Clarification" Technical report TR 11, Treatment Division, Water research Center, 1979.

- Griffeth, J.D. and William, R.G. "Application of Jar test Analysis at Phonix Arizona". J.AWWA. Vol. 64, 1972:825.
- Guyen, O., and L. benefield, "The Design of In-Line Jet Injection Blenders," J. AWWA., 75, 1983: 357.
- Hudson H.E. "Physical Aspects of Flocculation" J.AWWA., 57, 1965: 885-892.
- Hudson,H. E., and J.P. Wolfner, "Design of Mixing and Flocculating Basins," J. AWWA., 59, 1967: 1257.
- Jeffcoat, W. B., and J. E. Singley, "The Effect of Alum Concentration and Chemical-Addition Times on Coagulation," J. AWWA., 67, 1975: 177.
- Kawamura, S., "Coagulation Considerations," J. AWWA., 65, 1973: 417
- \_\_\_\_\_. "Considerations on Improving Flocculation," J. AWWA., 68, 1976: 328.
- Letterman, R. D., J. E. Quon, and R. S. Gemmell, "Influence of Rapid-Mix Parameters and Flocculation," J. AWWA., 65, 1973: 716.
- Mayhew, J.W. and Raman, M.S. "Clarifying Water with Polymers" Asian Environment.J. of Env.Sci. & Tech. for Balanced Development, 3 Quarter, Vol 6, No.3 1984.
- McCook, N. J., and J. R. West, "The Coagulation of a Kaolinite Suspension with Aluminum Sulphate," Water Res., 12, 1978: 793.
- Miller, D.G.; West, J.T. and Robinson, M. "Floc Blanket Clarification - 1: The effect of physical variables on floc blanket behaviour using aluminium sulphate

- as coagulant" Wat. and Wat. Eng. June, 1966: 240-245.
- O'Melia C.R., "Coagulation and flocculation", Physicochemical Processes for Water Quality Control, Wlter J. Weber Jr. editor, Wiley-Interscience, N.Y., 1972.
- Riddick, T.M. "Zeta Potential and Its Application to Difficult Waters". J.AWWA. 53, 1961: 1007.
- Robert, L. Sanks. Water Treatment Plant Design for the Practicing Engineer. 2nd ed. Michigan: Ann Arbor Science Publishers, Inc., 1979.
- Sanks, R.L. Water Treatment Plant Design: For the Practicing Engineer Ann Arbor Science Publishers, Inc. 1972.
- Schwayer, W.L.K. Polyelectrolytes for Water and Wastewater Treatment CRC Press, Inc. 1981.
- Stumm, W. and O'Melia, C.R. "Stoichiometry of Coagulation" J.AWWA, 60 5, 1968: 514-539.
- Tesarik, I. "Flow in Sludge Blanket Clarifiers". J. San. Eng. Div. ASCE. 93, 1967: 105-119.
- The American Water Works Association, Inc. "Vol. 2: Introduction to Water Treatment: Principles and Practice of Water Supply Operations" 1984.
- Vrale, L. and Jorden, P.M. "Rapid Mixing in Water Treatment" J.AWWA. 63, 1971: 52-58.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก.

### วิธีการเตรียมน้ำขุ่นล้างเครื่องจักรจากดินคาโอลิน

#### วิธีการเตรียมน้ำขุ่นล้างเครื่องจักรจากดินคาโอลิน

นำผงดินคาโอลินมาละลายในน้ำประปาให้มีความเข้มข้นสูง ๆ (มากกว่า 5,000 มก/ล.) ในถังขนาด 200 ลิตร ทิ้งให้ตกตะกอนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วจึงสูบน้ำดิบออกด้วยวิธีการลักน้ำ โดยเริ่มสูบตรงตำแหน่งที่ลึกจากผิวน้ำ 7.2 ซม. ผลมกับน้ำประปาในถังขนาด 2,000 ลิตร จนน้ำในถังมีความขุ่นเท่ากับ 50 เอ็นทียู ตามต้องการ

ภาคผนวก ข.

ผลการบำบัดความขุ่นของใบพัดแบบต่าง ๆ

ผลการบำบัดความขุ่นของใบพัดแบบที่ 1

ระยะห่าง (ซม.)	ความเร็วใบพัด (รอบ/นาที)	ความขุ่นที่น้ำผลิต (NTU) ที่ชั่วโมงที่					
		1	2	3	4	5	6
5	5	2.5	2.0	1.5	1.3	1.3	1.3
	10	3.0	2.3	1.5	1.5	1.5	1.5
	15	4.0	3.5	2.8	1.8	1.8	1.8
	20	5.0	4.0	3.8	3.1	3.1	3.1
10	5	1.6	1.4	1.3	1.0	1.0	1.0
	10	1.9	1.6	1.4	1.1	1.1	1.1
	15	2.1	1.7	1.5	1.4	1.4	1.4
	20	3.0	2.5	2.1	1.8	1.8	1.8
15	5	2.0	1.7	1.6	1.1	1.1	1.1
	10	2.7	2.0	1.7	1.3	1.3	1.3
	15	3.2	2.5	1.9	1.5	1.5	1.5
	20	3.5	2.8	2.3	2.0	2.0	2.0
20	5	2.0	1.6	1.4	1.2	1.2	1.2
	10	3.0	2.5	1.8	1.4	1.4	1.4
	15	3.4	2.7	2.0	1.7	1.7	1.7
	20	3.8	3.0	2.5	2.3	2.3	2.3



## ผลการบำบัดความขุ่น ของใบพัดแบบที่ 2

ระยะห่าง (ซม.)	ความเร็วใบพัด (รอบ/นาที)	ความขุ่นที่น้ำผลิต (NTU) ที่ชั่วโมงที่					
		1	2	3	4	5	6
5	5	1.9	1.5	1.2	1.0	1.0	1.0
	10	2.0	1.6	1.5	1.2	1.2	1.2
	15	2.4	2.0	1.7	1.3	1.3	1.3
	20	4.0	3.0	2.4	1.9	1.9	1.9
10	5	1.3	1.0	0.9	0.7	0.7	0.7
	10	2.0	1.5	1.3	0.9	0.9	0.9
	15	2.3	1.8	1.4	1.1	1.1	1.1
	20	2.5	2.0	1.8	1.7	1.7	1.7
15	5	1.5	1.2	1.1	0.6	0.6	0.6
	10	1.7	1.4	1.2	0.7	0.7	0.7
	15	2.1	1.5	1.3	1.0	1.0	1.0
	20	2.6	2.0	1.7	1.5	1.5	1.5
20	5	1.5	1.1	1.0	0.8	0.8	0.8
	10	2.0	1.6	1.3	1.1	1.1	1.1
	15	2.7	2.0	1.8	1.2	1.2	1.2
	20	3.5	2.6	2.1	1.8	1.8	1.8



## ผลการบำบัดความขุ่นของใบพัดแบบที่ 3

ระยะห่าง (ซม.)	ความเร็วใบพัด (รอบ/นาที)	ความขุ่นที่น้ำผลิต (NTU) ที่ชั่วโมงที่					
		1	2	3	4	5	6
5	5	1.5	1.2	1.0	0.8	0.8	0.8
	10	1.7	1.5	1.2	0.9	0.9	0.9
	15	2.0	1.5	1.2	1.2	1.2	1.2
	20	2.5	2.2	2.0	1.8	1.8	1.8
10	5	1.2	1.0	0.9	0.6	0.6	0.6
	10	1.5	1.3	1.0	0.9	0.9	0.9
	15	2.0	1.8	1.4	1.0	1.0	1.0
	20	2.7	2.1	1.9	1.5	1.5	1.5
15	5	1.0	0.8	0.7	0.5	0.5	0.5
	10	1.4	1.0	0.9	0.6	0.6	0.6
	15	1.7	1.4	1.2	0.9	0.9	0.9
	20	2.2	1.8	1.5	1.2	1.2	1.2
20	5	1.5	1.0	0.8	0.7	0.7	0.7
	10	1.7	1.4	1.2	0.9	0.9	0.9
	15	2.0	1.6	1.4	1.1	1.1	1.1
	20	3.5	2.6	2.0	1.6	1.6	1.6

## ผลการบำบัดความขุ่นของใบพัด แบบที่ 4

ระยะห่าง (ซม.)	ความเร็วใบพัด (รอบ/นาที)	ความขุ่นที่น้ำผลิต (NTU) ที่ชั่วโมงที่					
		1	2	3	4	5	6
5	5	2.0	1.4	1.3	1.1	1.1	1.1
	10	2.4	2.0	1.7	1.4	1.4	1.4
	15	3.0	2.3	1.9	1.6	1.6	1.6
	20	4.7	3.0	2.5	2.2	2.2	2.2
10	5	1.3	1.0	0.9	0.7	0.7	0.7
	10	1.5	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0
	15	1.9	1.6	1.5	1.2	1.2	1.2
	20	3.0	2.3	1.8	1.6	1.6	1.6
15	5	1.9	1.4	1.1	0.9	0.9	0.9
	10	2.1	1.6	1.4	1.1	1.1	1.1
	15	2.7	2.2	1.7	1.3	1.3	1.3
	20	3.2	2.5	1.9	1.7	1.7	1.7
20	5	1.9	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0
	10	2.2	1.8	1.5	1.3	1.3	1.3
	15	2.9	2.3	2.0	1.5	1.5	1.5
	20	3.7	2.8	2.6	2.0	2.0	2.0

ภาคผนวก ค.

ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นของใบพัดแบบต่าง ๆ

ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นของใบพัดแบบที่ 1

ระยะห่าง (ซม.)	ความเร็วใบพัด (รอบ/นาที)	ประสิทธิภาพภาพ (%)
5	5	97.4
	10	97.0
	15	96.4
	20	93.8
10	5	98.0
	10	97.8
	15	97.2
	20	96.4
15	5	97.8
	10	97.4
	15	97.0
	20	96.0
20	5	97.6
	10	97.2
	15	96.6
	20	95.4

ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นของใบพัดแบบที่ 2

ระยะห่าง (ซม.)	ความเร็วใบพัด (รอบ/นาที)	ประสิทธิภาพ (%)
5	5	98.0
	10	97.6
	15	97.4
	20	96.2
10	5	98.5
	10	98.2
	15	97.8
	20	96.6
15	5	98.8
	10	98.6
	15	98.0
	20	97.0
20	5	98.4
	10	97.8
	15	97.6
	20	96.4

## ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นของใบพัดแบบที่ 3

ระยะห่าง (ซม.)	ความเร็วใบพัด (รอบ/นาที)	ประสิทธิภาพ (%)
5	5	98.4
	10	98.2
	15	97.6
	20	96.4
10	5	98.8
	10	98.2
	15	98.0
	20	97.0
15	5	99.0
	10	98.8
	15	98.2
	20	97.6
20	5	98.6
	10	98.2
	15	97.8
	20	96.8

## ประสิทธิภาพในการบำบัดความขุ่นของใบพัดแบบที่ 4

ระยะห่าง (ซม.)	ความเร็วใบพัด (รอบ/นาที)	ประสิทธิภาพ (%)
5	5	97.8
	10	97.2
	15	96.8
	20	95.6
10	5	98.6
	10	98.0
	15	97.6
	20	96.8
15	5	98.2
	10	97.8
	15	97.4
	20	96.6
20	5	98.0
	10	97.4
	15	97.0
	20	96.0

## ภาคผนวก ง.

### เปอร์เซ็นต์ของแข็งในสลัดจ์ ก่อนตกตะกอน และหลังตกตะกอน 30 นาที ของไบโพดแบบต่าง ๆ

#### การหาเปอร์เซ็นต์ของสลัดจ์

จะต้องเก็บตัวอย่างตะกอนที่จุดปล่อยตะกอนระดับ 100 ซม. ของถังทำ  
น้ำใส ซึ่งจะทำได้เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้วเท่านั้น นั่นคือเก็บตัวอย่างตะกอน  
ที่ชั่วโมงที่ 6 ตัวอย่างจะเก็บเป็น 2 ส่วน ส่วนหนึ่งนำไปผ่านกระดาษกรอง  
GF/C โดยตรง อีกส่วนหนึ่งนำไปใส่ใน Imhoff Cone ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที  
นำตะกอนส่วนกันที่ตกตะกอนแล้วไปผ่านกระดาษกรอง GF/C อีกแผ่นหนึ่ง นำ  
กระดาษกรองทั้ง 2 ไปอบที่อุณหภูมิ  $103^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากนั้น  
นำไปอบในเตลิเคเตอร์ (desicator) เพื่อให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง นำกระดาษ  
กรองไปชั่งที่ละแผ่น เพื่อหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นของกระดาษกรอง แล้วคำนวณหาสาร  
ที่เพิ่มขึ้นต่อปริมาตรตัวอย่างของแต่ละแผ่น ในหน่วย มก./ล. จากนั้นจึงคิด  
เป็นเปอร์เซ็นต์ โดยคิดจาก 10,000 มก./ล. มีค่าเท่ากับ 1%

#### สูตรคำนวณ

$$\text{มก./ล.} = \frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (ก. GF/C)} \times 10^6}{\text{ลบ. ซม. ตัวอย่างที่ใช้}}$$

$$10,000 \text{ มก./ล.} = 1\%$$



## เปอร์เซ็นต์ของแข็ง ของใบพัดแบบที่ 1

ก่อนตกตะกอน 30 นาที

ความเร็วใบพัด(รอบ/นาที)	ระยะห่างใบพัด(ซม.)			
	5	10	15	20
5	0.8	0.8	0.7	0.7
10	0.8	0.8	0.6	0.6
15	1.0	0.7	0.6	0.7
20	0.7	0.7	0.5	0.6

หลังตกตะกอน 30 นาที

ความเร็วใบพัด(รอบ/นาที)	ระยะห่างใบพัด(ซม.)			
	5	10	15	20
5	7.0	6.0	5.0	4.0
10	10.0	6.5	4.5	4.5
15	8.0	6.0	4.5	5.0
20	4.0	6.0	4.0	4.5

## เปอร์เซ็นต์ของแข็ง ของใบพัดแบบที่ 2

ก่อนตกตะกอน 30 นาที

ความเร็วใบพัด(รอบ/นาที)	ระยะห่างใบพัด(ซม.)			
	5	10	15	20
5	0.7	0.6	0.6	0.7
10	0.6	0.5	0.5	0.5
15	0.7	0.6	0.5	0.6
20	0.5	0.5	0.5	0.5

หลังตกตะกอน 30 นาที

ความเร็วใบพัด(รอบ/นาที)	ระยะห่างใบพัด(ซม.)			
	5	10	15	20
5	5.0	4.0	7.0	6.0
10	5.0	4.0	8.0	4.0
15	5.0	7.0	10.0	5.0
20	4.0	5.0	7.0	6.0

## เปอร์เซ็นต์ของแข็ง ของใบพัดแบบที่ 3

ก่อนตกตะกอน 30 นาที

ความเร็วใบพัด(รอบ/นาที)	ระยะห่างใบพัด(ซม.)			
	5	10	15	20
5	0.6	0.8	0.7	0.8
10	0.8	1.0	0.6	1.0
15	0.7	0.7	1.0	0.7
20	1.0	0.6	0.7	0.6

หลังตกตะกอน 30 นาที

ความเร็วใบพัด(รอบ/นาที)	ระยะห่างใบพัด(ซม.)			
	5	10	15	20
5	6.0	5.0	6.0	5.0
10	10.0	9.0	7.0	4.0
15	8.0	10.0	10.0	6.0
20	9.0	8.0	9.0	6.0

## เปอร์เซ็นต์ของแข็ง ของใบพัดแบบที่ 4

ก่อนตกตะกอน 30 นาที

ความเร็วใบพัด(รอบ/นาที)	ระยะห่างใบพัด(ซม.)			
	5	10	15	20
5	0.8	1.0	1.0	0.9
10	0.9	0.9	0.8	1.0
15	0.8	0.9	0.9	0.7
20	0.7	1.0	0.8	0.8

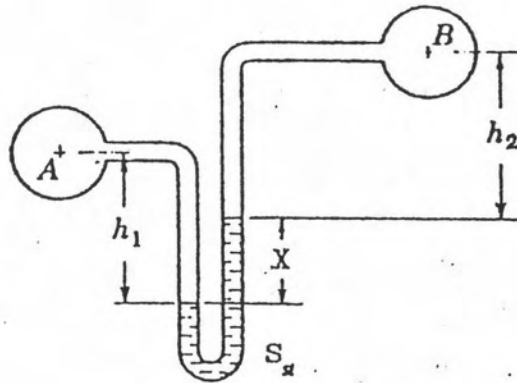
หลังตกตะกอน 30 นาที

ความเร็วใบพัด(รอบ/นาที)	ระยะห่างใบพัด(ซม.)			
	5	10	15	20
5	6.0	6.0	7.0	9.0
10	7.0	9.0	8.0	10.0
15	5.0	10.0	10.0	8.0
20	6.0	8.0	9.0	7.0

ภาคผนวก จ.

วิธีการคำนวณหาค่าความเร็วเกรเดียนท์

ความเร็วเกรเดียนท์ในท่อความเร็ว



ดิฟเฟอเรนเชียล มาโนมิเตอร์

จากสมการมาโนมิเตอร์ของดิฟเฟอเรนเชียล มาโนมิเตอร์

$$H_f = X (S_d - 1) \quad \dots\dots(1)$$

โดยที่  $H_f$  = ความสูญเสียหัวน้ำเนื่องจากความเสียดทาน, ม.

$X$  = ค่าระดับแตกต่างของความสูงปรอท ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความกดดันภายในท่อที่ตำแหน่ง A และ B, ม.

$S_d$  = ความถ่วงจำเพาะของปรอท, 13.6

$$\begin{aligned} H_f &= 0.0044 (13.6-1) \\ &= 0.05544 \text{ ม.} \end{aligned}$$

ระยะเวลาที่น้ำในท่อ

$$T = L/V = \frac{L/Q}{A} \quad \dots\dots(2)$$

โดยที่  $T$  = เวลาพักน้ำ, วินาที  
 $L$  = ความยาวท่อ, ม.  
 $A$  = พื้นที่หน้าตัดท่อ,  $m^2$   
 $Q$  = อัตราไหลของน้ำ,  $m^3$ /วินาที

$$L = 1 \text{ ม.} \quad A = 3.14 \times 10^{-4} \text{ ม}^2 \quad Q = 0.86 \times 10^{-4} \text{ ม}^3/\text{วินาที}$$

$$T = 1 \times (3.14 \times 10^{-4}) / (0.86 \times 10^{-4})$$

$$= 3.65 \text{ วินาที}$$

จากสมการของแคมป์และสไตน์

$$G = (P/\mu v)^{0.5} \quad \dots\dots(3)$$

โดยที่  $G$  = เกรเดียนต์ความเร็ว,  $\text{วินาที}^{-1}$   
 $P$  = กำลังงานที่เข้าสู่เนื้อของน้ำ, นิวตัน-ม./วินาที  
 $\mu$  = ความหนืดของน้ำ, นิวตัน-วินาที/ $m^2$   
 $v$  = ปริมาตรของน้ำ,  $m^3$

$$P = \rho Q q H_f \quad \dots\dots(4)$$

โดยที่  $\rho$  = ความหนาแน่นของของน้ำ,  $\text{กก.}/\text{ม}^3$   
 $Q$  = อัตราไหลของของน้ำ,  $m^3$ /วินาที  
 $q$  = ความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วง,  $m$ /วินาที<sup>2</sup>  
 $H_f$  = ค่าสูญเสียหัวน้ำเนื่องจากแรงเสียดทาน, ม.

แทน (4) ใน (3)

$$G = (\rho Q q H_f / \mu v)^{0.5}$$

$$= (pqH_f / \mu T)^{0.5}$$

$$H_f = 0.0554 \text{ ม.}, \quad T = 3.65 \text{ วินาที}$$

$$G = \left[ \frac{998 \times 9.81 \times 0.0554}{0.89 \times 10^{-3} \times 3.65} \right]^{0.5}$$

$$= 408.76 \text{ วินาที}^{-1}$$

### ความเร็วเกรเดียนต์ในการกวนซ้ำ

จาก (3) สมการของแคมป์ และสไตน์

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

$$P = 0.5 C_D \rho A v^3 \quad \dots\dots (5)$$

โดยที่

$P$  = กำลังงานที่ใช้ในการกวนน้ำ, นิวตัน-ม./วินาที

$C_D$  = สปส. ของความหน่วง ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1.8 สำหรับใบพัดแบน (paddle)

$\rho$  = ความหนาแน่นของน้ำ, กก./ม<sup>3</sup>

$A$  = พื้นที่ของใบพัด, ม<sup>2</sup>

$v$  = ความเร็วสัมผัสของใบพัด (0.75xความเร็วรอบใบพัด)

ค่าคงที่  $\mu$  =  $0.89 \times 10^{-3}$  นิวตัน-วินาที/ม<sup>2</sup>

$\rho$  = 998 กก./ม<sup>3</sup>



กรณีที่ 1 เมื่อใช้ใบพัดแบบที่ I

ระยะห่าง (cm.)	จำนวน ใบ	A (m <sup>2</sup> )	ความเร็ว ใบพัด (รอบ/นาที)	v (m/s)	P (N-m/s)	$\dot{V}$ (m <sup>3</sup> )	G (s <sup>-1</sup> )
5	15	0.042	5	0.028	$8.298 \times 10^{-4}$	0.0124	8.7
			10	0.055	$6.289 \times 10^{-3}$	0.0124	23.9
			15	0.083	0.022	0.0124	44.6
			20	0.110	0.050	0.0124	67.3
10	8	0.022	5	0.028	$4.426 \times 10^{-4}$	0.0124	6.3
			10	0.055	$3.354 \times 10^{-3}$	0.0124	17.4
			15	0.083	0.012	0.0124	33.0
			20	0.110	0.027	0.0124	49.5
15	5	0.014	5	0.028	$2.766 \times 10^{-4}$	0.0106	5.4
			10	0.055	$2.096 \times 10^{-3}$	0.0106	14.9
			15	0.083	$7.205 \times 10^{-3}$	0.0106	27.6
			20	0.110	0.017	0.0106	42.4
20	4	0.011	5	0.028	$2.213 \times 10^{-4}$	0.0106	4.8
			10	0.055	$1.677 \times 10^{-3}$	0.0106	13.3
			15	0.083	$5.764 \times 10^{-3}$	0.0106	24.7
			20	0.110	0.013	0.0106	37.1

กรณีที่ 2 เมื่อใช้ใบพัดแบบที่ II

ระยะห่าง (cm.)	จำนวน ใบ	A (m <sup>2</sup> )	ความเร็ว ใบพัด (รอบ/นาที)	v (m/s)	P (N-m/s)	$\dot{V}$ (m <sup>3</sup> )	G (S <sup>-1</sup> )
5	15	0.038	5	0.028	$7.51 \times 10^{-4}$	0.0124	8.2
			10	0.055	$5.69 \times 10^{-3}$	0.0124	22.7
			15	0.083	0.020	0.0124	42.6
			20	0.110	0.046	0.0124	64.6
10	8	0.020	5	0.028	$3.95 \times 10^{-4}$	0.0124	6.0
			10	0.055	$2.995 \times 10^{-3}$	0.0124	16.5
			15	0.083	0.010	0.0124	30.5
			20	0.110	0.024	0.0124	46.6
15	5	0.013	5	0.028	$2.568 \times 10^{-4}$	0.0106	5.2
			10	0.055	$1.947 \times 10^{-3}$	0.0106	14.3
			15	0.083	$6.69 \times 10^{-3}$	0.0106	26.6
			20	0.110	0.016	0.0106	41.2
20	4	0.010	5	0.028	$1.976 \times 10^{-4}$	0.0106	4.6
			10	0.055	$1.497 \times 10^{-3}$	0.0106	12.6
			15	0.083	$5.146 \times 10^{-3}$	0.0106	23.3
			20	0.110	0.012	0.0106	35.7

กรณีที่ 3 เมื่อใช้ใบพัดแบบที่ III

ระยะห่าง (cm.)	จำนวน ใบ	A (m <sup>2</sup> )	ความเร็ว ใบพัด (รอบ/นาที)	v (m/s)	P (N-m/s)	V (m <sup>3</sup> )	G (s <sup>-1</sup> )
			5	0.028	$7.51 \times 10^{-4}$	0.0124	8.2
			10	0.055	$5.69 \times 10^{-3}$	0.0124	22.7
5	15	0.038	15	0.083	0.020	0.0124	42.6
			20	0.110	0.046	0.0124	64.6
			5	0.028	$3.95 \times 10^{-4}$	0.0124	6.0
			10	0.055	$2.995 \times 10^{-3}$	0.0124	16.5
10	8	0.020	15	0.083	0.010	0.0124	30.3
			20	0.110	0.034	0.0124	45.6
			5	0.028	$2.568 \times 10^{-4}$	0.0106	5.2
			10	0.055	$1.947 \times 10^{-3}$	0.0106	14.3
15	5	0.013	15	0.083	$6.69 \times 10^{-3}$	0.0106	26.6
			20	0.110	0.016	0.0106	41.2
			5	0.028	$1.976 \times 10^{-4}$	0.0106	4.6
			10	0.055	$1.497 \times 10^{-3}$	0.0106	12.6
20	4	0.010	15	0.083	$5.146 \times 10^{-3}$	0.0106	23.3
			20	0.110	0.012	0.0106	35.7

กรณีที่ 4 เมื่อใช้ใบพัดแบบที่ IV

ระยะห่าง (cm.)	จำนวน ใบ	A (m <sup>2</sup> )	ความเร็ว ใบพัด (รอบ/นาที)	v (m/s)	P (N-m/s)	$\psi$ (m <sup>3</sup> )	G (s <sup>-1</sup> )
5	15	0.042	5	0.028	$8.298 \times 10^{-4}$	0.0124	8.7
			10	0.055	$6.289 \times 10^{-3}$	0.0124	23.9
			15	0.083	0.022	0.0124	44.6
			20	0.110	0.050	0.0124	67.3
10	8	0.022	5	0.028	$4.426 \times 10^{-4}$	0.0124	6.3
			10	0.055	$3.354 \times 10^{-3}$	0.0124	17.4
			15	0.083	0.012	0.0124	33.0
			20	0.110	0.027	0.0124	49.5
15	5	0.014	5	0.028	$2.766 \times 10^{-4}$	0.0106	5.4
			10	0.055	$2.096 \times 10^{-3}$	0.0106	14.9
			15	0.083	$7.205 \times 10^{-3}$	0.0106	27.6
			20	0.110	0.017	0.0106	42.4
20	4	0.011	5	0.028	$2.213 \times 10^{-4}$	0.0106	4.8
			10	0.055	$1.677 \times 10^{-3}$	0.0106	13.3
			15	0.083	$5.764 \times 10^{-3}$	0.0106	24.7
			20	0.110	0.013	0.0106	37.1

## ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ นางสาว ลัดดา ธรรมการันธ์  
เกิด 3 กันยายน 2505 จังหวัด ชุมพร  
การศึกษา วท.บ. (อาชีวอนามัย) มหาวิทยาลัยมหิดล  
ปี พ.ศ. 2528  
สถานที่ทำงาน กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข

