บทที่ 4

การดำเนินการวิจัย

4.1 แผนการวิจัย

การทดลองทั้งหมดกระทำภายในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบ่งออกเป็นการจำแนกพารามิเตอร์ในการทดลองและลำดับของการทดลองดังต่อไปนี้

4.1.1 พารามิเตอร์ในการทดลอง

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาพารามิเตอร์ควบคุมการกวนเร็วเมื่อใช้ท่อวางแนวดิ่งเป็นอุปกรณ์กวนเร็ว ดังนั้นจึงแปรค่าพารามิเตอร์ของกระบวนการกวนเร็วในท่อ ได้แก่ G T และ C โดยควบคุมการทำงานของกระบวนการส่วนอื่นให้คงที่ตลอดทุกการทดลอง

พารามิเตอร์ที่กำหนดให้มีค่าคงที่มีดังต่อไปนี้

1. น้ำขุ่นสังเคราะห์ได้แก่ ความขุ่น พีเอช ค่าความเป็นด่าง และอุณหภูมิ

2. กระบวนการสมานตะกอนโดยใช้เครื่องกวนผสมได้แก่ เกรเดียนต์ความเร็วของการกวนช้า และเวลากักของการกวนช้า

3. กระบวนการตกตะกอนได้แก่ อัตราการไหลล้นผิวหรือ SOR (surface overflow rate) กำหนดให้ใช้ 3 ค่า แต่ละค่ามีค่าคงที่ตลอดการทดลอง

4. ระบบเติมสารละลายสารส้มได้แก่ อัตราไหลของสารละลายสารส้ม ให้ได้ค่าอัตราส่วนโมเมนตัมฟลักหรือ M_f (momentum flux ratio) คงที่

พารามิเตอร์ที่กำหนดให้มีการแปรค่ามีดังต่อไปนี้

1. กระบวนการกวนเร็วในท่อได้แก่ เกรเดียนต์ความเร็วของการกวนเร็ว และเวลากักของการกวนเร็ว ดังแสดงในตารางที่ 4.1

2. ปริมาณสารส้ม ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ค่าแปรของ G T และ C ในการทดลอง

C (มก./ล.)	5	10	15	20	30
G ($วินาที^{-1}$)	T (วินาที)				
295	3	6	12	18	24	30
795	1.5	3	6	9	12	15
1420	1	2	4	6	8	10
2180	0.75	1.5	3	4.5	6	7.5
3050	0.60	1.2	2.4	3.6	4.8	6

4.1.2 ลำดับการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนได้แก่ การทดลองขั้นเตรียมการ และการทดลองกับกระบวนการต้นแบบ

การทดลองขั้นเตรียมการ ได้แก่ การสังเคราะห์น้ำขุ่นด้วยอนุภาคดินเหนียว หาค่าพีเอช วิเคราะห์หาความเป็นด่าง และวัดอุณหภูมิของน้ำขุ่นสังเคราะห์

การทดลองกับกระบวนการต้นแบบ ได้แก่ การทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพการกำจัดความขุ่น โดยแปรค่าพารามิเตอร์ G T และ C

4.2 วัสดุอุปกรณ์ในการวิจัย

วัสดุอุปกรณ์ในการวิจัย ได้แก่ น้ำขุ่นสังเคราะห์ สารเคมี กระบวนการต้นแบบ และอุปกรณ์วิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำ ในที่นี้จะกล่าวรวมถึงการทดลองขั้นเตรียมการด้วย เพื่อแสดงถึงค่าคงที่ของพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการทดลองต่อไป

4.2.1 น้ำขุ่นสังเคราะห์

ความขุ่นในน้ำผิวดินทั่วไปที่เกิดจากอนุภาคดินเหนียวมักแสดงพฤติกรรมคล้ายคาโอลิไนท์ (kaolinite) (12, 15) ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงใช้น้ำขุ่นสังเคราะห์คาโอลิไนท์ที่มีความขุ่น 50 NTU ตลอดทุกการทดลอง โดยมีวิธีการเตรียม พีเอช ความเป็นด่าง และอุณหภูมิดังต่อไปนี้

1. วิธีการเตรียมน้ำขุ่นสังเคราะห์

โดยทั่วไปถือว่าอนุภาคที่มีขนาดอยู่ในช่วง 0.001 ถึง 1 ไมครอน เป็นอนุภาคคอลลอยด์ (45, 46) ดังนั้นเพื่อให้ขนาดอนุภาคของน้ำขุ่นสังเคราะห์อยู่ในช่วงของอนุภาคคอลลอยด์ จึงใช้วิธีปล่อยให้อนุภาคคาโอลิไนท์ตกตะกอนในน้ำนิ่ง ตามเวลาและความลึกที่ประมาณได้จากสมการที่ประยุกต์จากกฎของสโตค (Stoke's law) จากรายการคำนวณในภาคผนวกที่ ผ.1 จะได้ว่าอนุภาคคาโอลิไนท์ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.43 ขนาด 1 ไมครอน มีความเร็วในการตกตะกอน 8.25 ซม./วัน ดังนั้นจึงเตรียมน้ำขุ่นสังเคราะห์ด้วยการผสมคาโอลิไนท์กับน้ำ ให้มีความเข้มข้นประมาณ 15 ก./ล. กวนผสมให้ทั่วถึง ปล่อยให้ตกตะกอน 1 วัน แล้วดูดน้ำเหนือระดับ 8.25 ซม. จากผิวน้ำด้วยวิธีกาลักน้ำ จะได้อนุภาคคาโอลิไนท์ที่มีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน นำน้ำที่ได้มาเจือจางให้ได้ความขุ่น 50 NTU

2. พีเอชของน้ำขุ่นสังเคราะห์

น้ำขุ่นสังเคราะห์ของการวิจัยที่เตรียมได้นี้มีค่าพีเอชประมาณ 7.5 ค่าพีเอชดังกล่าวนี้อยู่ในช่วงที่อนุภาคคาโอลิไนท์มีความคงตัวสูง (14)

3. ความเป็นด่างของน้ำขุ่นสังเคราะห์

ความเป็นด่างมีค่าอยู่ในช่วง 70 ถึง 75 มก./ล. $CaCO_3$

4. อุณหภูมิของน้ำขุ่นสังเคราะห์

อุณหภูมิของน้ำขุ่นสังเคราะห์ที่เตรียมได้นี้มีค่าประมาณ 29 °ซ

4.2.2 สารเคมี

สารเคมีที่ใช้เป็นสารรวมตะกอนคือ สารส้ม เป็นแอนาไลส์เกรด ผลิตโดย Fluka-Garantie ลักษณะเป็นผง สูตรทางเคมีคือ $Al_2(SO_4)_3.16H_2O$ มีส่วนประกอบได้แก่ Gehalt มากกว่า 98 % และ Cl Cu Pb Fe Zn Cd แต่ละชนิดไม่เกิน 0.005 %

ความเข้มข้นของสารละลายสารส้มที่เตรียมไว้ก่อนเติมเข้าสู่กระบวนการต้นแบบมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของกระบวนการรวมตะกอน (1, 47, 48) โดยประสิทธิภาพจะดีขึ้นเมื่อความเข้มข้นต่ำลง (47, 48) แต่ความเข้มข้นที่ต่ำกว่า 0.1 % จะทำให้ประสิทธิภาพลดลงได้ เนื่องจากเกิดสารเชิงซ้อนของอลูมิเนียมชนิดต่าง ๆ ก่อนเติมเข้าสู่กระบวนการ ดังนั้นจึงดำเนินการเตรียมสารละลายสารส้มด้วยน้ำกลั่นที่มีความเข้มข้น 0.232 ถึง 1.395 %

ในการวิจัยครั้งนี้ หาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมด้วยการทดสอบแบบจาร์ เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกปริมาณสารส้มเพื่อแปรค่าในการทดลองดังนี้

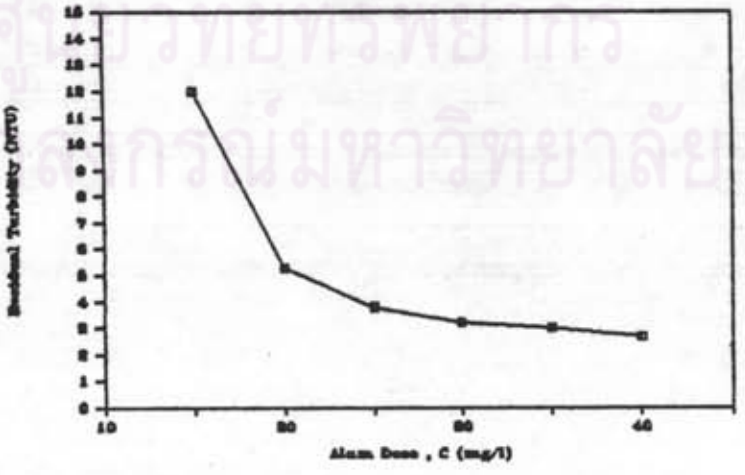
1. เติมน้ำขุ่นสังเคราะห์คาโอลิไนท์ที่มีความขุ่น 50 NTU ลงในโถทดลองจำนวน 6 ใบ ใบละ 1 ลิตร กวนเร็วที่อัตราเร็วของเครื่องกวนผสม 100 รอบ/นาที

2. เติมสารละลายสารส้ม 1 % ลงในน้ำขุ่นสังเคราะห์แต่ละโถทดลองให้มีปริมาณสารส้ม 15 20 25 30 35 และ 40 มก./ล. กวนเร็วเป็นเวลา 2 นาที

3. จากนั้นจึงกวนช้าที่อัตราเร็ว 40 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที

4. ปิดเครื่องกวนผสมปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 12 นาที แล้วจึงเก็บน้ำตัวอย่างที่ระดับความลึก 10 ซม. จากผิวน้ำ นำน้ำตัวอย่างไปวัดความขุ่น

ผลการทดลองแสดงในรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการกำจัดความขุ่นที่ปริมาณสารส้ม 30 ถึง 40 มก./ล. ใกล้เคียงกันมาก ประเมินได้ว่าปริมาณสารส้มที่เหมาะสมจากการทดสอบแบบจาร์คือ 30 มก./ล. ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้จึงแปรค่าปริมาณสารส้มให้ต่ำกว่า 30 มก./ล. ได้แก่ 5 10 15 20 และ 30 มก./ล.



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารส้มกับความขุ่นที่เหลือ

4.2.3 กระบวนการต้นแบบ

กระบวนการต้นแบบที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย ท่อกวนเร็ว โถทดลอง ตลอดจนระบบกวนช้าด้วยเครื่องกวนผสม ระบบป้อนน้ำขุ่นสังเคราะห์ ระบบป้อนสารรวมตะกอน ระบบวัดอัตราไหล และระบบวัดระดับหัวน้ำสูญเสีย รายละเอียดของส่วนประกอบต่าง ๆ เหล่านี้ แสดงในรูปที่ 4.2 และ 4.3

ท่อกวนเร็วเป็นท่อเหล็กชุบสังกะสี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 17.4 มม. ยาว 12 ม. มีจุดเก็บตัวอย่างน้ำตามความยาวท่อ 6 จุด ที่ตำแหน่ง 1.05 2.1 4.2 6.3 8.4 และ 10.5 ม. น้ำขุ่นสังเคราะห์ไหลเข้าสู่ท่อกวนเร็วที่วางอยู่ในแนวดิ่ง โดยสารละลายสารส้มไหลเข้าสู่ท่อกวนเร็วที่จุดเติมซึ่งมีขนาด 0.3 มม.

โถทดลองเป็นโถพลาสติกทรงกระบอกขนาดความจุ 1 ลิตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 9.5 ซม. สูง 15 ซม. พร้อมอุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำ

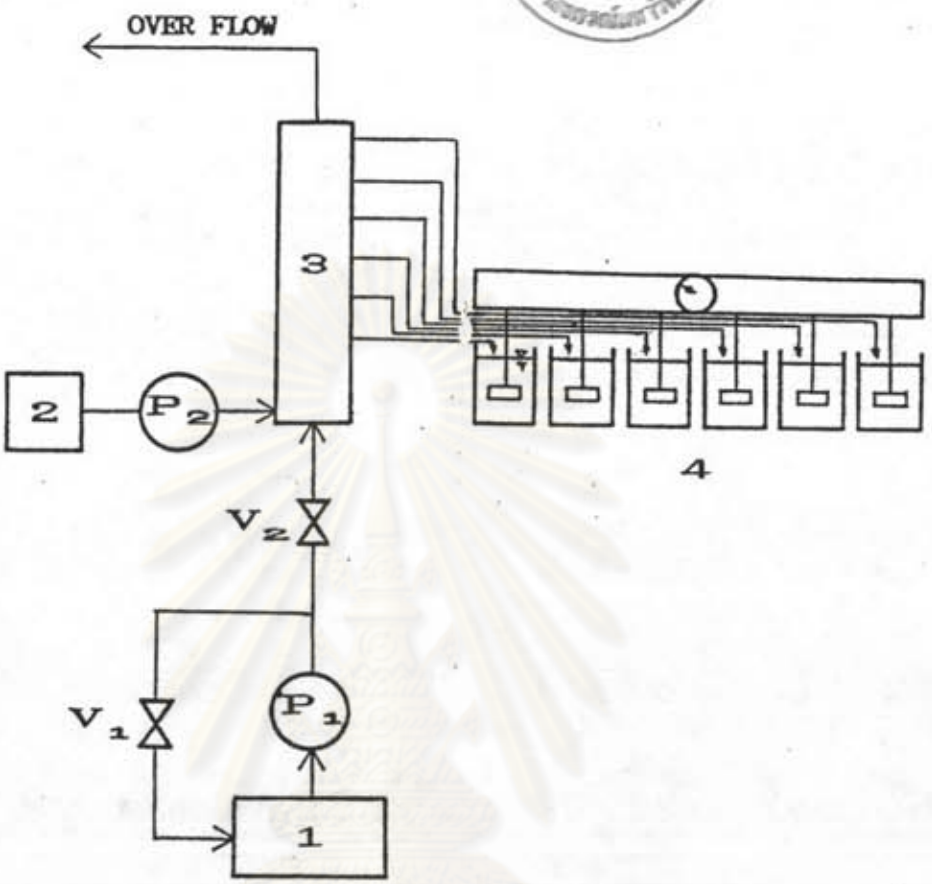
ระบบกวนช้าด้วยเครื่องกวนผสมเป็นแบบมาตรฐานทั่วไป (Phipps & Bird, Richmond, Va.) ประกอบด้วยใบพัดสำหรับกวนผสมขนาด 1 x 3 นิ้ว จำนวน 6 ใบ

ระบบป้อนน้ำขุ่นสังเคราะห์ประกอบด้วย เครื่องสูบใต้น้ำ (submersible pump) สำหรับป้อนน้ำขุ่นสังเคราะห์จากถังขนาด 0.75 x 0.85 x 1.05 ม. เข้าสู่ท่อกวนเร็ว การควบคุมอัตราไหลกระทำโดยควบคุมวาวล์ของท่ออ้อมผ่าน (by-pass) ที่ติดตั้งบริเวณทางน้ำออกของเครื่องสูบก่อนเข้ามาตรวัดอัตราไหลของน้ำ อนึ่งน้ำขุ่นสังเคราะห์ในถังเก็บนี้จะถูกทำให้ปั่นป่วนตลอดเวลาด้วยน้ำที่ไหลกลับมาทางท่ออ้อมผ่านกลับเข้าสู่ถังเก็บ ทำให้น้ำขุ่นสังเคราะห์ที่สูบเข้าสู่กระบวนการมีความขุ่น 50 NTU ตลอดการทดลอง

ระบบป้อนสารรวมตะกอนประกอบด้วยเครื่องสูบเพอริสเตติค (peristaltic pump) สำหรับป้อนสารละลายสารส้มเข้าสู่ท่อกวนเร็วตามอัตราไหลที่ต้องการ

ระบบวัดอัตราไหลประกอบด้วย มาตรวัดน้ำแบบโรตามิเตอร์ (rotameter) ที่วางในแนวดิ่ง ใช้วัดอัตราไหลของน้ำขุ่นสังเคราะห์ และสารละลายสารส้ม

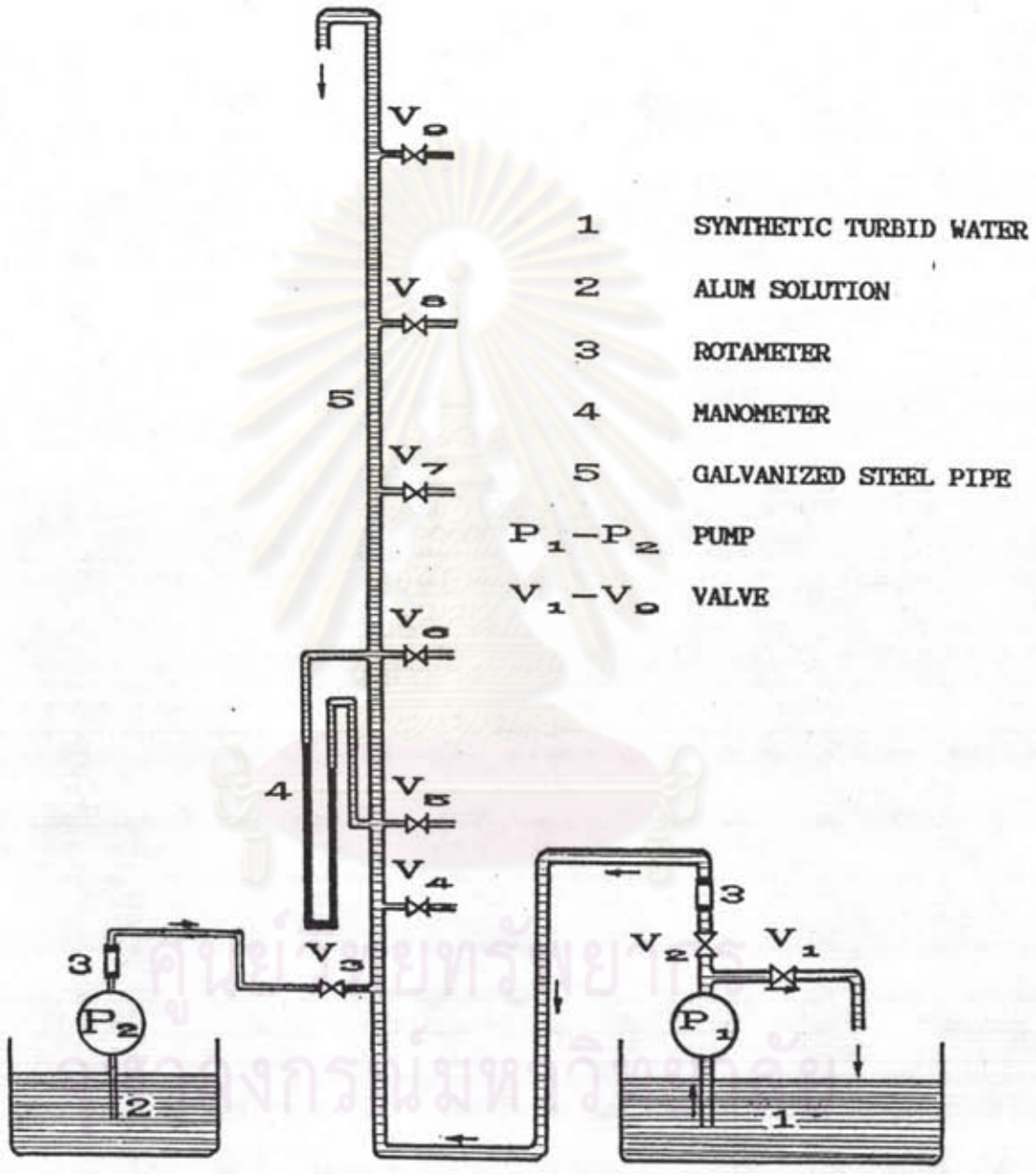
ระบบวัดระดับหัวน้ำสูญเสียประกอบด้วยดิฟเฟอเรนเชียลมาโนมิเตอร์ (differential manometer) แบบปรอท ใช้วัดความสูญเสียหัวน้ำในท่อกวนเร็วที่อัตราไหลของน้ำขุ่นสังเคราะห์ปริมาณต่าง ๆ



1	SYNTHETIC WATER TANK
2	ALUM SOLUTION FEEDER
3	RAPID - MIX PIPE
4	SLOW - MIX APPARATUS
P_1–P_2	PUMP
V_1–V_2	VALVE

รูปที่ 4.2 ผังระบบการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.3 รายละเอียดของการติดตั้งอุปกรณ์และทิศทางการไหลของน้ำขณะกำลังทดลอง

4.2.4 อุปกรณ์วิเคราะห์ลักษณะสมบัติ

พารามิเตอร์แสดงลักษณะสมบัติน้ำที่ทำการวิเคราะห์ ได้แก่ ความขุ่น พีเอช ค่าความเป็นด่าง อุณหภูมิ และขนาดของตะกอน

ความขุ่นทำการวัดโดยเครื่องวัดความขุ่นของ Hach รุ่น 2100A

พีเอชทำการวัดโดยเครื่องวัดพีเอชของ Beckman รุ่น Zeromatic SS-33

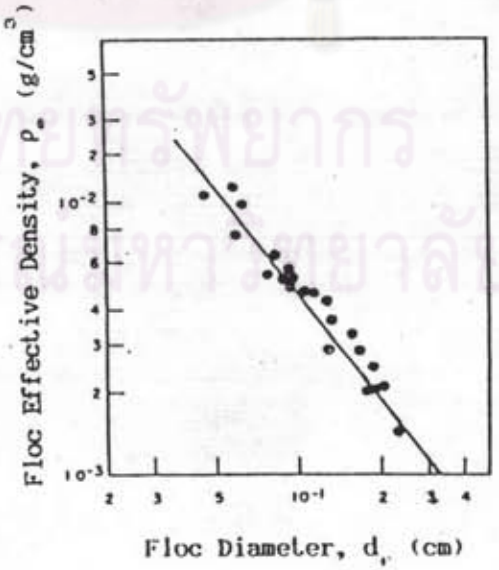
ความเป็นด่างทำการวิเคราะห์ตามวิธีการของ Standard Methods (49)

อุณหภูมิทำการวัดโดยเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอท

ขนาดของตะกอนทำการวัดโดยกล้องจุลทรรศน์ของ Leitz Wetzler

4.3 ลักษณะสมบัติของตะกอน

ลักษณะสมบัติของตะกอนโดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดและความหนาแน่นของตะกอนมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของกระบวนการกำจัดต่อมา ได้แก่ กระบวนการตกตะกอน และกระบวนการกรอง โดย Lagavanker และ Gemmell (50) และ Tambo และ Watanabe (51) ได้ทำการศึกษาลักษณะสมบัติของตะกอน และพบความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิผลความหนาแน่นของตะกอนและขนาดตะกอนในรูปสมการเอ็มไพริกัลเหมือนกัน ดังแสดงตัวอย่างความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างขนาดตะกอนกับประสิทธิผลความหนาแน่นของตะกอน (ตัวอย่าง เช่น ตะกอนคาโอลิไนท์-อลูมิเนียม) (51)

สมการที่แสดงความสัมพันธ์ของขนาด-ความหนาแน่นของตะกอนคือ

$$\rho_e = \rho_f - \rho = a/(d_f/1)^{K_p} \quad (4.1)$$

โดยที่ ρ_e คือประสิทธิผลความหนาแน่นของตะกอนมีหน่วยเป็น ก./ซม.^{3} ρ_f คือความหนาแน่นของตะกอนมีหน่วยเป็น ก./ซม.^{3} ρ คือความหนาแน่นของน้ำมีหน่วยเป็น ก./ซม.^{3} d_f คือขนาดตะกอนมีหน่วยเป็น ซม. $d_f/1$ คือขนาดตะกอนไร้มิติมีหน่วยเป็น ซม./ซม. a คือค่าคงที่มีหน่วยเป็น ก./ซม.^{3} K_p คือค่าคงที่ไร้มิติ

Lagavanker และ Gemmell (50) ทำการศึกษาด้วยการใช้เฟอร์ริคซัลเฟตเป็นสารรวมตะกอน และรายงานว่า K_p มีค่าเท่ากับ 0.676 นอกจากนี้ยังพบว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวนี้ไม่ขึ้นกับความเข้มของการกวนผสมหรือค่า G

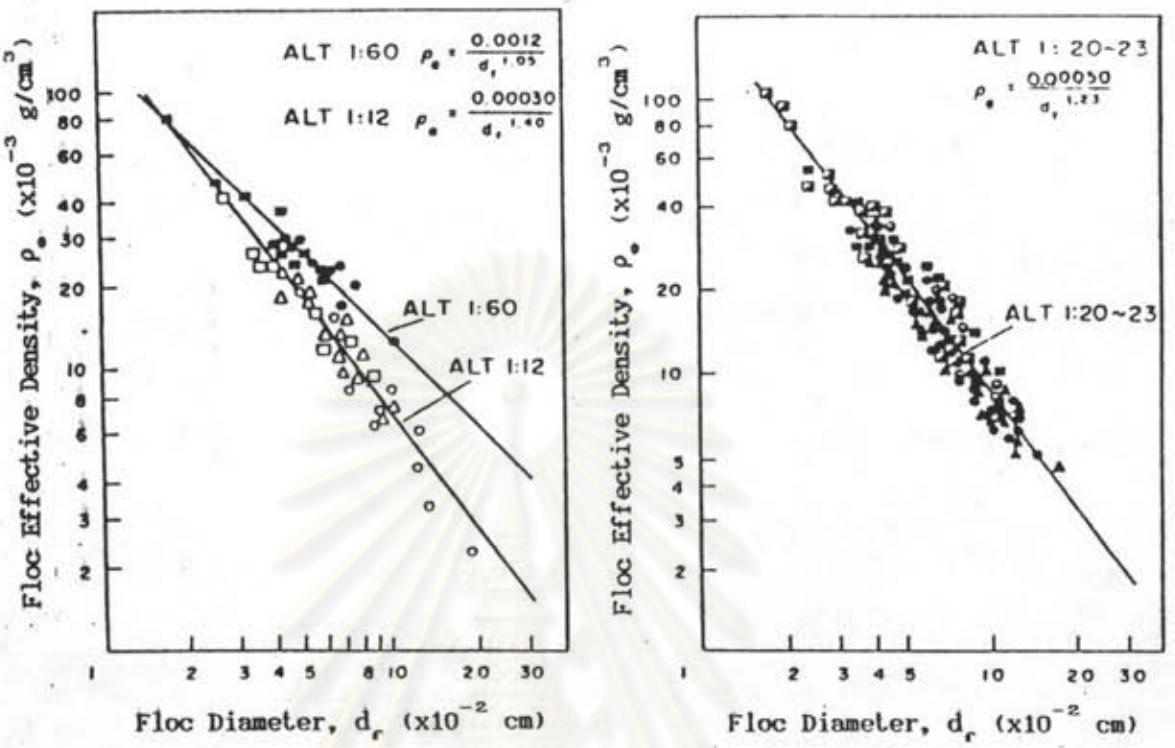
Tambo และ Watanabe (51) ได้ทำการศึกษาโดยใช้ความเข้มข้นของสารส้มอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 100 มก./ล. และความเข้มข้นของสารแขวนลอยดินเหนียวคาโอลิไนท์อยู่ในช่วง 20 ถึง 1000 มก./ล. และรายงานว่าค่า a และ K_p ไม่ขึ้นอย่างเด่นชัดกับพีเอช ความเข้มของการกวนผสม ความเป็นด่างของน้ำดิบ และสารช่วยรวมตะกอน (flocculant aids) ที่ใช้ในปริมาณน้อย แต่จะขึ้นกับอัตราส่วน ALT (อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นของอลูมิเนียมไอออนและความเข้มข้นของอนุภาคแขวนลอย) อย่างเด่นชัด ผลของอัตราส่วน ALT ที่มีต่อความสัมพันธ์ระหว่างขนาดและความหนาแน่นของตะกอนได้แสดงตัวอย่างไว้ในรูปที่ 4.5 ซึ่งแสดงว่าเมื่ออัตราส่วน ALT ลดลง จะได้ตะกอนที่มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นที่ขนาดตะกอนคงที่

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน ALT กับค่าคงที่ a และ K_p ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.6 โดยที่ค่า a และ K_p ที่อัตราส่วน ALT ต่าง ๆ นี้แสดงในตารางที่ 4.2 และตัวอย่างรายการคำนวณที่ ผ.2

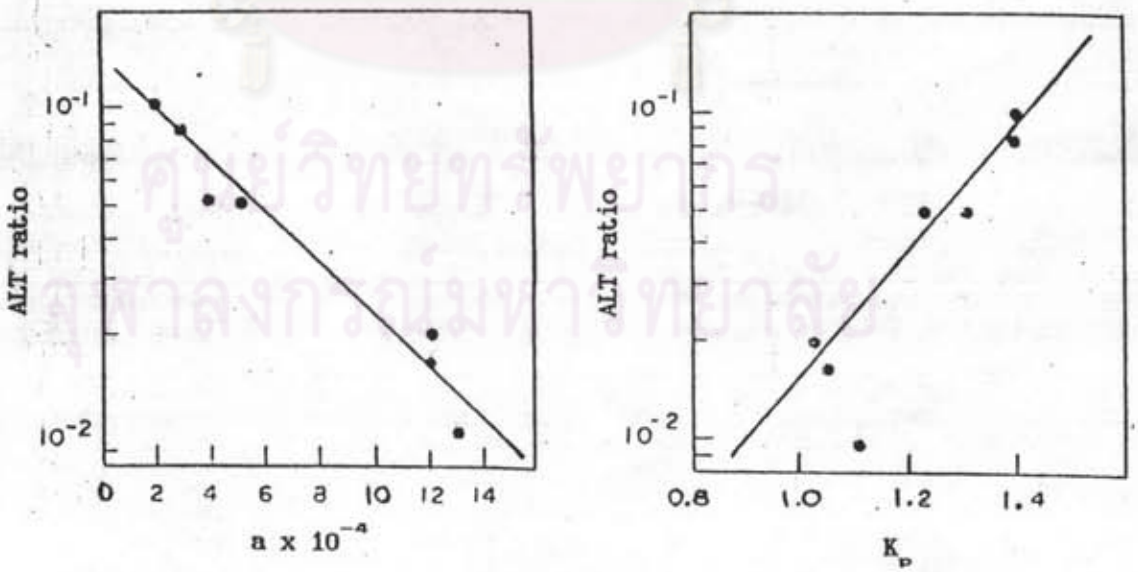
Tambo และ Watanabe (51) ได้ประยุกต์สมการจากกฎของสโตก (Stoke's law) สำหรับการตกตะกอนแบบโดดของตะกอนที่มีค่าความกลม (sphericity) ประมาณ 0.8 ดังนี้

$$v_f = [g(\rho_f - \rho)d_f^2]/(34\mu) = (gad_f^2)/[34\mu(d_f^{K_p}/1)] \quad (4.2)$$

โดยที่ v_f คือความเร็วในการตกตะกอนของตะกอนมีหน่วยเป็น ซม./วินาที g คือความเร่งเนื่องจากความโน้มถ่วงมีหน่วยเป็น ซม./วินาที^{2} μ คือความหนืดทางพลศาสตร์ของน้ำมีหน่วยเป็น ก./ซม.-วินาที



รูปที่ 4.5 เส้นฟังก์ชั่นความหนาแน่นของตะกอน (สารรวมตะกอนที่ใช้คือ สารส้ม) (51)



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน ALT กับค่าคงที่ พี่เอชเป็นกลาง (51)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I10300648

ตารางที่ 4.2 ค่า a และ K_p ที่อัตราส่วน ALT ต่าง ๆ

C (มก./ล.)	อัตราส่วน ALT	a x 10^{-4} (ก./ซม.^{3})	K_p
5	.0078	18.2	0.94
10	.0156	12.1	1.04
15	.0234	9.9	1.09
20	.0311	8.2	1.13
30	.0467	5.4	1.23

4.4 การควบคุมกระบวนการต้นแบบ

4.4.1 การควบคุมกระบวนการกวนเร็วในท่อ

การแปรค่า G และ T กระทำโดยปรับอัตราไหลกระแสเข้า (influent) ของน้ำขุ่นสังเคราะห์จาก 5 ถึง 25 ล./นาที ค่า G และ T ที่ได้จากอัตราไหลต่าง ๆ แสดงใน ตารางที่ 4.3 อนึ่งค่า G และ T ที่อัตราไหลหนึ่ง ๆ หาได้ดังแสดงตัวอย่างการคำนวณใน ผ.3

ตารางที่ 4.3 ค่า G และ T ที่อัตราไหลต่าง ๆ ของน้ำขุ่นสังเคราะห์

Q (ล./นาที)	G (วินาที$^{-1}$)	T (วินาที)					
		จุดเก็บตัวอย่าง					
		1	2	3	4	5	6
5	295	3	6	12	18	24	30
10	795	1.5	3	6	9	12	15
15	1420	1	2	4	6	8	10
20	2180	0.75	1.5	3	4.5	6	7.5
25	3050	0.6	1.2	2.4	3.6	4.8	6

4.4.2 การควบคุมกระบวนการสมานตะกอน

การออกแบบและควบคุมการทำงานของขั้นสมานตะกอนขึ้นกับเกรเดียนต์ความเร็วและเวลากักของการกวนช้า. พารามิเตอร์ทั้งสองมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของขั้นสมานตะกอน โดยกำหนดขนาดและลักษณะสมบัติทางกายภาพของตะกอนที่ได้ (50, 52)

การกวนช้าในการทดลองนี้ใช้เครื่องกวนผสม โดยกำหนดค่าเกรเดียนต์ความเร็วของการกวนช้าประมาณ 25 วินาที$^{-1}$ ที่อัตราหมุนของใบพัด 40 รอบ/นาที ดังแสดงรายการคำนวณใน ผ.3 และเวลากักของการกวนช้า 30 นาที ค่าคงที่เหล่านี้อยู่ในช่วงเกณฑ์ออกแบบถังกวนช้า (5, 30, 35, 53)

4.4.3 การควบคุมกระบวนการตกตะกอน

การแปรค่า SOR กระทำโดยหลังการกวนช้าปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 4 6 และ 12 นาที ตามลำดับ แล้วเก็บตัวอย่างน้ำที่อยู่ต่ำกว่าผิวน้ำ 10 ซม. ไปวัดความขุ่น ค่า SOR ที่ได้จากเวลาตกตะกอนต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่า SOR ที่เวลาตกตะกอนต่าง ๆ

เวลาตกตะกอน (นาที)	SOR (ม./ชม.)
4	1.5
6	1.0
12	0.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4.4 การควบคุมอัตราส่วนโมเมนตัมฟลัก

การควบคุม M_f ให้มีค่า 0.0156 ตลอดทุกการทดลอง เพื่อให้การกวนผสมในท่อมีประสิทธิภาพสูงสุด (2,41) กระทำโดยแปรอัตราไหลของสารละลายสารส้มหรือ Q_j ให้สัมพันธ์กับอัตราไหลของน้ำขุ่นสังเคราะห์หรือ Q โดยที่ความเข้มข้นของสารละลายสารส้มหรือ C_o จะขึ้นกับค่า C Q และ Q_j ดังแสดงในตารางที่ 4.5 และตัวอย่างรายการคำนวณที่ ผ.5

ตารางที่ 4.5 ค่า Q_s และ C_o ที่อัตราไหลต่าง ๆ ของน้ำขุ่นสังเคราะห์และที่ปริมาณสารส้มต่าง ๆ

Q (ล./นาที)	Q_s (ล./นาที) x 10^{-3}	C (มก./ล.)				
		5	10	15	20	30
		C_o (%)				
5	10.8	0.232	0.465	0.697	0.93	1.395
10	21.5	0.232	0.465	0.697	0.93	1.395
15	32.3	0.232	0.465	0.697	0.93	1.395
20	43.1	0.232	0.465	0.697	0.93	1.395
25	53.8	0.232	0.465	0.697	0.93	1.395

4.5 การดำเนินการทดลอง

ขั้นตอนการทดลองกับกระบวนการต้นแบบมีดังนี้

1. เตรียมน้ำขุ่นสังเคราะห์คาโอลิไนท์ที่มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 1 ไมครอน โดยมีความขุ่น 50 NTU ในถังเก็บ ตามวิธีการในหัวข้อที่ 4.2.1.1

2. สูบน้ำขุ่นสังเคราะห์จากถังเก็บเข้าสู่ท่อกวนเร็วให้ได้อัตราไหลตามต้องการด้วยการปรับวาวล์ที่ท่ออ้อมผ่านสังเกตจากเครื่องวัดอัตราไหลแบบโรตามิเตอร์ อนึ่งน้ำบางส่วนที่ไหลเข้าสู่ท่ออ้อมผ่านจะกลับเข้าสู่ถังเก็บทำให้น้ำขุ่นสังเคราะห์ถูกกวนให้สม่ำเสมอตลอดการทดลอง

3. สูบสารละลายสารส้มที่มีความเข้มข้นตามตารางที่ 4.5 เข้าสู่ท่อกวนเร็วด้วยอัตราไหลตามตารางที่ 4.4 สังเกตจากโรตามิเตอร์ เพื่อให้น้ำขุ่นสังเคราะห์มีปริมาณสารส้มตามต้องการ อนึ่งสารละลายสารส้มจะถูกกวนให้สม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกันด้วยเครื่องกวนแบบแม่เหล็กไฟฟ้าตลอดการทดลอง

4. รอจนระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ จึงเริ่มเก็บตัวอย่างน้ำลงในโถทดลอง 6 จุด โดยเริ่มจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำสุดท้ายย้อนกลับมายังจุดเริ่มแรกบริเวณต้นท่อ

5. นำตัวอย่างน้ำไปกวนช้าด้วยเครื่องกวนผสม ที่อัตราเร็ว 40 รอบ/นาที เป็น

เวลา 30 นาที เก็บตัวอย่างน้ำประมาณ 1 มล. ที่ช่วงเวลาสุดท้ายของการกวนช้าไปวัดขนาดตะกอน

6. ปิดเครื่องกวนผสม นำตัวอย่างน้ำประมาณ 85 มล. ไปวัดความขุ่นหลังจากปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 4 6 และ 12 นาที ตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย