หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การดำเนินการวิจัย

4.1 ลำดับของการทดลอง

งานทดลองทั้งหมดได้รับการกำหนดให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์และขอบเขตของการวิจัย โดยกระทำในห้องปฏิบัติการวิจัยของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยได้กำหนดลำดับของการทดลองไว้ดังนี้

1. เตรียมน้ำขุ่นสังเคราะห์
2. เตรียมสารละลายสารส้มให้มีขนาดของความเข้มข้นที่จะใช้ในการทดลอง
3. ทดลองในกระบวนการต้นแบบ โดยการแปรค่าของความเร็วเกรเดียนท์และเวลากักน้ำ
4. นำน้ำตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการต้นแบบด้วยความเร็วเกรเดียนท์ และเวลากักน้ำที่กำหนดแล้วเข้าทำการสมานตะกอนและตกตะกอนโดยใช้เครื่องมือทดสอบแบบจาร์

4.2 วัสดุอุปกรณ์ในการวิจัย

วัสดุอุปกรณ์ในการวิจัยได้แก่ น้ำขุ่นสังเคราะห์ สารเคมี เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย และอุปกรณ์วิเคราะห์สมบัติของน้ำ ในที่นี้จะกล่าวรวมถึงการทดลองขั้นเตรียมการสำหรับน้ำขุ่นสังเคราะห์ สารเคมี และกระบวนการต้นแบบ เพื่อแสดงถึงค่าคงที่ของพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการทดลองต่อไป

4.2.1 น้ำขุ่นสังเคราะห์

สาเหตุสำคัญของความขุ่นในน้ำผิวดินที่นำมาผลิตน้ำประปาส่วนใหญ่จะได้แก่ อนุภาคดินเหนียว เช่น คาโอลิไนท์ (kaolinite) เบ็นโทไนท์ (bentonite) และเวอร์มิคูไลท์ (vermiculite) (14, 24, 25) ในการวิจัยครั้งนี้ใช้น้ำขุ่นสังเคราะห์เบ็นโทไนท์ซึ่งมีค่าความขุ่น 50 NTU ตลอดทุกการทดลอง โดยมีวิธีการเตรียมน้ำขุ่นสังเคราะห์เพื่อให้จำลองสภาพของน้ำดิบผิวดิน ซึ่งอนุภาคความขุ่นจะมีช่วงขนาดของอนุภาคอยู่ในช่วงอนุภาคคอลลอยด์ โดยใช้กระบวนการเตรียมดังต่อไปนี้

เนื่องจากขนาดอนุภาคที่อยู่ในช่วงขนาดของอนุภาคคอลลอยด์จะมีขนาด 0.001 ถึง 1 ไมครอน (26) เพื่อให้ขนาดของอนุภาคของน้ำขุ่นสังเคราะห์อยู่ในช่วงอนุภาคคอลลอยด์ จึงใช้วิธีปล่อยให้อนุภาคเป็นโทไนท์ตกตะกอนในน้ำนิ่ง ตามเวลาและความลึกที่ประมาณได้จากสมการทั่วไปของการตกตะกอนแบบโดด (discrete settling) (27) ดังนี้

$$V_s = \frac{(\rho_s - \rho)d^2}{18\mu g} \qquad (4\text{-}1)$$

เมื่อ V_s เป็นความเร็วในการตกตะกอนของอนุภาค g เป็นค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง ρ_s คือความหนาแน่นของอนุภาค ρ คือความหนาแน่นของน้ำ d คือเส้นผ่าศูนย์กลางของอนุภาค และ μ เป็นความหนืดพลศาสตร์ของน้ำ จากการคำนวณโดยสมการที่ 4-1 ดังแสดงรายการคำนวณในภาคผนวกที่ ผ. 1 จะได้ว่า อนุภาคเป็นโทไนท์ที่มีขนาด 1 ไมครอน จะมีความเร็วในการตกตะกอน 0.33 ซม./ชั่วโมง หรือในหนึ่งวันอนุภาคเป็นโทไนท์ขนาดดังกล่าวจะตกตะกอนลึกจากผิวน้ำเป็นระยะทาง 8 ซม. อนุภาคที่ตกตะกอนที่ก้นถังจะมีขนาดอนุภาคใหญ่กว่า 1 ไมครอน ในขณะที่อนุภาคที่ยังลอยอยู่เหนือระดับ 8 ซม. จะมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 1 ไมครอน วิธีการเตรียมน้ำขุ่นสังเคราะห์

ก. ผสมเป็นโทไนท์ 1500 กรัม กับน้ำประปากวนให้เข้ากันดี เทลงในถังขนาด 65 × 65 × 65 ซม. เติมน้ำประปาลงไปผสมจนกระทั่งน้ำผสมมีระดับจากก้นถัง 27 ซม.

ข. กวนน้ำให้เป็นโทไนท์กระจายทั่วถัง ปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 48 ชม. จึงดูดน้ำส่วนบนวัดจากผิวน้ำลงไปถึงระดับต่ำกว่าผิวน้ำ 16 ซม. ด้วยกาลักน้ำ โดยใช้สายยางจุ่มให้อยู่ใกล้ผิวน้ำที่สุด แล้วค่อย ๆ ลดระดับตามระดับผิวน้ำที่ลดลงจนกระทั่งถึงระดับ 16 ซม. จากผิวน้ำ จะได้น้ำขุ่นเป็นโทไนท์เข้มข้นซึ่งมีขนาดอนุภาคเล็กกว่าหรือเท่ากับ 1 ไมครอน มีค่าความขุ่นประมาณ 450 - 600 NTU

ค. เจือจางน้ำขุ่นเป็นโทไนท์เข้มข้นด้วยน้ำประปาที่ปล่อยทิ้งไว้ 12 ชั่วโมง ในถังน้ำขุ่นสังเคราะห์ขนาด 1.10 × .80 × .80 ม. ใช้ปั๊มกวนให้เข้ากัน วัดความขุ่นจนกระทั่งได้ความขุ่น 50 NTU น้ำขุ่นที่ได้จะเป็นน้ำขุ่นสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งจะมีลักษณะสมบัติอื่น ๆ ที่สำคัญดังต่อไปนี้

4.2.1.1 พีเอชของน้ำขุ่นสังเคราะห์

พีเอชของน้ำมีผลกระทบต่อสภาวะคงตัวของอนุภาคความขุ่นและคอลลอยด์ (27, 28) จากการทดลองพบว่าน้ำขุ่นสังเคราะห์จากเป็นโทไนท์จะมีความคงตัวสูงเมื่อพีเอชมีค่าสูงกว่า 7 ขึ้นไป (34) จากการเลือกจางน้ำขุ่นเป็นโทไนท์เข้มข้นกับน้ำประปาตามวิธีการดังกล่าวจะได้ค่าพีเอชค่อนข้างคงที่ประมาณ 7.6 ซึ่งอยู่ในช่วงที่มีความคงตัวสูง และเมื่อพิจารณาร่วมกับพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการกวนเร็วที่ใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอนจะมีค่าอยู่ในช่วง 6-7.8 (14) ดังนั้นในการทดลองครั้งนี้จะใช้พีเอชคงที่ 7.6 ตลอดทุกการทดลอง

4.2.1.2 ค่าความเป็นด่างของน้ำขุ่นสังเคราะห์

ค่าความเป็นด่าง (alkalinity) ของน้ำขุ่นสังเคราะห์จะมีผลกระทบต่อกระบวนการรวมตะกอนในกระบวนการกำจัดความขุ่นเมื่อใช้สารส้มเป็นสารรวมตะกอน เนื่องจากปฏิกิริยาไฮดรอไลซิสที่เกิดขึ้นทำให้พีเอชลดลง ถ้าน้ำขุ่นสังเคราะห์มีค่าความเป็นด่างไม่เพียงพอหรือไม่ใกล้เคียงกันจะทำให้ผลการทดลองได้ค่าที่ไม่สมบูรณ์นัก ในการทดลองประสงค์ให้น้ำขุ่นสังเคราะห์เป็นตัวแทนของน้ำดิบจริง จากการทดลองพบว่าค่าความเป็นด่างของน้ำขุ่นสังเคราะห์ที่เตรียมไว้จะมีค่าอยู่ในช่วง 100-120 ม /ลิตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าทั่วไปของแหล่งน้ำธรรมชาติจึงใช้ค่านี้ในการทดลอง

4.2.1.3 อุณหภูมิของน้ำขุ่นสังเคราะห์

เนื่องจากอุณหภูมิมีผลต่อสักษณะสมบัติอื่นของน้ำเช่น ความหนืด เป็นต้น ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อพารามิเตอร์ควบคุมการกวนเร็วจึงได้ทำการวัดทุกการทดลอง พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 29-32.5 °ซ มีค่าเฉลี่ยประมาณ 31 °ซ จากการตรวจสอบพบว่าจะมีค่าความหนืดแตกต่างกันประมาณ 5.5% เมื่อใช้คำนวณค่าพารามิเตอร์ G ในหัวข้อ 4.4 จะทำให้ G คลาดเคลื่อนจากค่าเฉลี่ยสูงสุดประมาณ 1.8% ซึ่งอาจประเมินได้ว่ามีผลกระทบน้อยมาก

4.2.2 สารเคมี

สารเคมีที่สำคัญซึ่งใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้แก่ สารส้ม ซึ่งใช้เป็นสารรวมตะกอน สารส้มที่ใช้ในการทดลองเป็นสารเคมีเกรดห้องปฏิบัติการ (laboratory grade) ผลิตโดย May and Bader Ltd. มีสักษณะเป็นผงละเอียด สูตรทางเคมีคือ $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ มีส่วนประกอบดังนี้ Al 8.8-9.3 % Cl ไม่เกิน 0.02 % Fe ไม่เกิน 0.02 % และ Pb ไม่เกิน 0.005 % การเตรียมสารละลายสารส้มจะทำการเตรียมสารละลายสารส้มสำรอง

(stock alum solution) ก่อน โดยเตรียมให้สารละลายสารส้มสำรองมีความเข้มข้น 10 ก./ลบ.ดม. หรือมีความเข้มข้นเท่ากับ 1 % สารละลายสารส้มสำรองนี้เมื่อเตรียมเสร็จแล้วจะทำการบ่ม (aging) ด้วยการกวนด้วยเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำไปทำการใช้เตรียมความเข้มข้นของสารละลายสารส้มที่ต้องการในการทดลองต่อไป ความเข้มข้นของสารละลายสารส้มที่ใช้ในการทดลองจะมีค่าแปรเปลี่ยนจาก 5, 10, 15, 20 และ 30 ก./ลบ.ม. ซึ่งจะได้กล่าวละเอียดในหัวข้อการดำเนินการวิจัยต่อไป

4.2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยถังเก็บน้ำขุ่นสังเคราะห์ เครื่องสูบน้ำ ถังเก็บสารละลายสารส้ม เครื่องสูบสารละลายสารส้ม เครื่องวัดปริมาณน้ำ เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า ท่อกวนเร็ว เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบแบบจาร์ เครื่องวัดความขุ่น

4.2.3.1 ถังเก็บน้ำขุ่นสังเคราะห์ เป็นถังเหล็กไร้สนิมขนาดกว้าง 0.80 เมตร ยาว 0.90 เมตร ลึก 1.10 เมตร เป็นถังเลือจางน้ำขุ่นสังเคราะห์สำรอง และเก็บน้ำขุ่นสังเคราะห์ที่มีความขุ่น 50 NTU ซึ่งจะสูบใช้ในการวิจัย

4.2.3.2 เครื่องสูบน้ำ สำหรับสูบน้ำขุ่นสังเคราะห์เข้าท่อกวนเร็ว ขณะทำการวิจัยและสูบน้ำในถังเก็บน้ำขุ่นทิ้งเมื่อทำความสะอาดถัง มีค่าอัตราการไหลที่หัวน้ำ 30 เมตร ประมาณ 25 ลิตรต่อนาที

4.2.3.3 ถังเก็บสารละลายสารส้ม สำหรับเก็บสารละลายสารส้มตามขนาดความเข้มข้นที่ต้องการสำหรับแต่ละการทดลอง มีปริมาตรประมาณ 2.5 ลบ.ดม.

4.2.3.4 เครื่องสูบสารละลายสารส้ม สำหรับสูบสารละลายสารส้มเข้าผสมกับน้ำขุ่นสังเคราะห์ที่ตอนต้นของท่อกวนเร็ว เป็นเครื่องสูบแบบไดอะแฟรมของบริษัท BLUE WHITE Model No. C-1560 LP Serial No. EN 450 มีอัตราการสูบสูงสุด 10 ลบ.ดม. ต่อชั่วโมง แรงดันเข้าสูงสุด 42 เมตรของความสูงของน้ำ

4.2.3.5 เครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้า สำหรับกวนผสมสารละลายสารส้มให้เป็นเนื้อเดียวกันในช่วงสูบเข้าผสมกับน้ำขุ่นสังเคราะห์ก่อนเข้าท่อกวนเร็ว และใช้ในการบ่มสารส้ม

เมื่อทำการเตรียมสารละลายสารส้มสำรองด้วย เป็นของ BIOTRON Type 2401 Ser. No. 25020 สามารถตั้งเวลาในการทำงานได้

4.2.3.6 เครื่องวัดปริมาณน้ำ สำหรับวัดอัตราการไหลของน้ำขุ่นสังเคราะห์ก่อนเข้าท่อกวนเร็ว เพื่อควบคุมอัตราการไหลให้ได้ค่าที่ต้องการ ลักษณะเป็นท่อหลอดแก้วใส่วางลักษณะตรง ติดกับท่อนำน้ำด้านล่างแล้วไหลขึ้นด้านบน ด้านข้างจะมีตัวเลขแสดงปริมาณการไหลของน้ำ โดยอาศัยลูกลอยเป็นดรรชนี ในการทดลองครั้งนี้ใช้ 2 ตัว คือ เมื่ออัตราการไหลเกิน 8 ลบ.ดม. ต่อนาที จะใช้เครื่องวัดปริมาณน้ำของ ICECO ขนาด 20 มม. ซึ่งสามารถวัดปริมาณน้ำตั้งแต่ 8 ลบ.ดม. ต่อนาที ถึง 38 ลบ.ดม. ต่อนาที ถ้าอัตราการไหลในการทดลองมีค่าต่ำกว่า 8 ลบ.ดม. ต่อนาที จะใช้เครื่องวัดปริมาณน้ำของ ICECO ขนาด 15 มม. ซึ่งสามารถวัดปริมาณน้ำตั้งแต่ 2 ลบ.ดม. ต่อนาทีถึง 20 ลบ.ดม. ต่อนาที

4.2.3.7 ท่อกวนเร็ว เป็นท่อเหล็กอาบสังกะสี ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางทางการค้า 1/2 นิ้ว มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 16 มม. เส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 19 มม. ยาว 48 เมตร มีจุดเก็บตัวอย่างที่ความยาวต่างๆ กัน 6 จุดคือ 1.5, 4.5, 10.5,22.5,36, 47.5 เมตร ตามลำดับ ท่อกวนเร็วจะวางอยู่ในแนวราบขนานกับพื้น ตอนต้นท่อจะต่อกับท่อสูบน้ำขุ่นสังเคราะห์ และจะมีจุดสำหรับต่อท่อจากเครื่องสูบสารละลายสารส้ม ส่วนตอนปลายท่อจะมีท่อต่อเพื่อนำน้ำทิ้งออกไป ท่อนำตัวอย่างจะเป็นสายยางขนาด 1/4 นิ้ว

4.2.3.8 อุปกรณ์รวมตะกอนและตกตะกอน สำหรับเปรียบเทียบสมรรถนะของอุปกรณ์กวนเร็ว อุปกรณ์รวมตะกอนและตกตะกอนใช้เครื่องมือทดสอบแบบจาร์แบบของบริษัท Phipps and Bird, Inc. มีใบกวนแบบแผ่นราบขนาด 25 × 75 มม. 6 ชุด สามารถแปรเปลี่ยนอัตราเร็วของการกวนได้จาก 0-100 รอบต่อนาที ใช้ถ้วยจาร์ขนาด 1 ลิตร

4.2.3.9 เครื่องวัดความขุ่น สำหรับเตรียมความขุ่นของน้ำขุ่นสังเคราะห์ และวัดความขุ่นเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของท่อกวนเร็วที่ตัวแปรต่าง ๆ กัน เป็นของ HACH Model 2100 A วัดความขุ่นได้ตั้งแต่ 0.1-1000 NTU

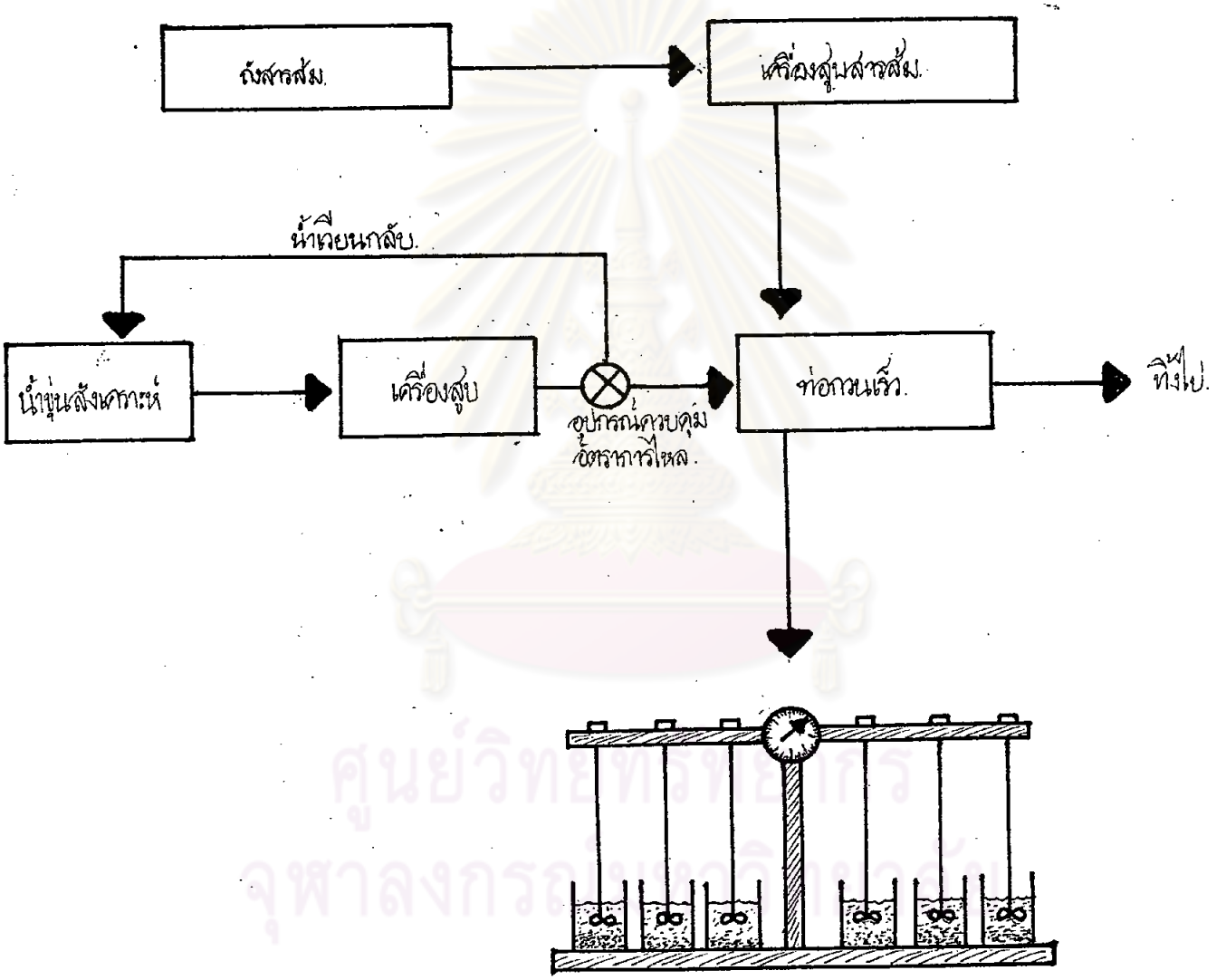
3.2.3.10 เครื่องวัดพีเอช สำหรับวัดพีเอชของน้ำขุ่นสังเคราะห์เป็นของ BECKMAN Ser. No. 0501032

4.2.3.11 เครื่องวัดอุณหภูมิ สำหรับวัดอุณหภูมิของน้ำขุ่นสังเคราะห์ในถังเก็บน้ำขุ่นสังเคราะห์ ใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบปรอทอ่านค่าได้ 0-100 องศาเซนเซียส จุ่มใต้ผิวน้ำของถังตลอดการทดลอง

4.2.3.12 เครื่องมือวัดระดับความดันน้ำ เพื่อหาค่าระดับความสูญเสียท่อน้ำของท่อกวนเร็ว ในการทดลองใช้ 2 ประเภทคือ ถ้ามีความดันน้ำสูงจะใช้เครื่องวัดความดันแบบมาโนมิเตอร์โดยใช้ปรอท ถ้ามีความดันต่ำจะใช้พิโซมิเตอร์สายยางขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8 มม. อุปกรณ์ทั้งสองแบบจะวัดความดันของน้ำในท่อกวนเร็วเทียบกับความดันบรรยากาศ ในบางกรณีอาจหาค่าของระดับความสูญเสียท่อน้ำโดยตรงโดยใช้มาโนมิเตอร์แบบอากาศเชื่อมระหว่างจุดเก็บตัวอย่างของท่อกวนเร็ว

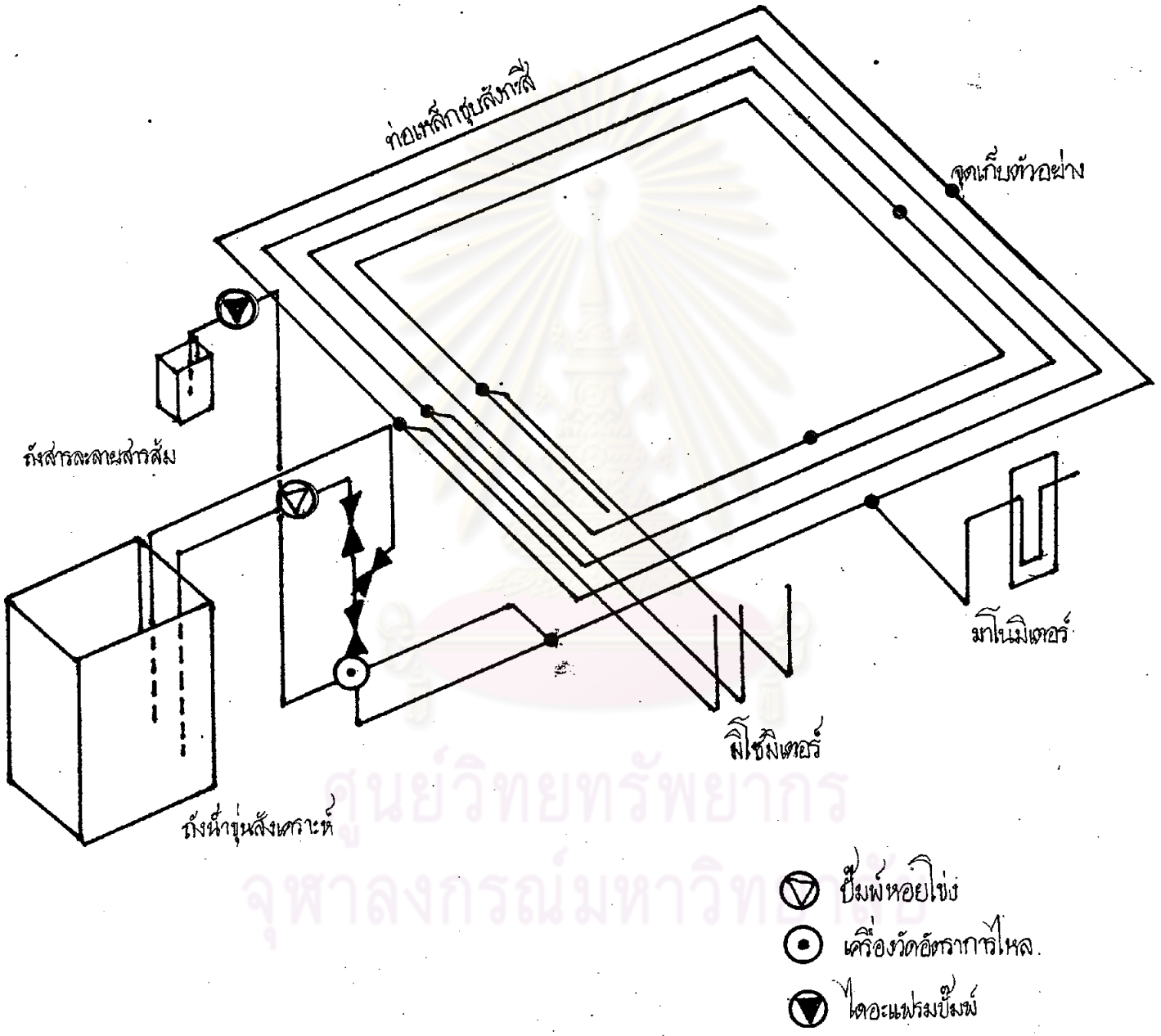
4.3 แผนผังระบบการทดลอง

น้ำขุ่นสังเคราะห์จากถังเก็บน้ำขุ่นสังเคราะห์จะถูกสูบโดยเครื่องสูบน้ำไปตามท่อส่งแล้วผ่านไปยังเครื่องวัดปริมาณน้ำ ท่อส่งน้ำช่วงก่อนเข้าเครื่องวัดปริมาณน้ำจะมีประตูน้ำสองตัวต่ออย่างขนานกัน ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมอัตราการไหลที่ต้องการในการทดลองให้ผ่านเครื่องวัดปริมาณน้ำ ส่วนน้ำขุ่นสังเคราะห์ส่วนเกินที่ปล่อยทิ้งโดยประตูน้ำจะไหลกลับไปยังถังเก็บน้ำขุ่นสังเคราะห์ ซึ่งจะช่วยกวนผสมน้ำขุ่นสังเคราะห์ในถังเก็บน้ำขุ่นสังเคราะห์ในขณะทดลองอีกทางหนึ่งด้วย น้ำขุ่นสังเคราะห์ที่ไหลผ่านเครื่องวัดปริมาณน้ำจะไหลตามท่อส่งไปยังท่อกวนเร็ว ขณะเดียวกันสารละลายสารส้มจะถูกสูบโดยเครื่องสูบสารละลายสารส้มไหลมาตามท่อส่งสารละลายสารส้มมาพบกับน้ำขุ่นสังเคราะห์ที่ไหลมาตามท่อส่งที่ตอนต้นของท่อกวนเร็ว เมื่อสภาพของระบบอยู่ในสภาวะคงตัว ที่จุดเก็บตัวอย่างจะดึงตัวอย่างออกใส่ถ้วยจารไปทำการกวนช้าและตกตะกอนต่อไป ส่วนน้ำขุ่นสังเคราะห์ส่วนเกินจะปล่อยทิ้งไป แผนผังการทดลองแสดงดังรูปที่ 4-1 และการจัดวางอุปกรณ์และเครื่องมือทดลองแสดงดังรูปที่ 4-2



รูปที่ 4-1 แสดงแผนผังระบบการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 การจัดวางเครื่องมือทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 พารามิเตอร์ในการทดลอง

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาเพื่อหาพารามิเตอร์ควบคุมการกวนเร็ว เมื่อใช้ท่อวางแนวราบเป็นอุปกรณ์กวนเร็ว ดังนั้นจึงต้องควบคุมการทำงานในส่วนอื่นของกระบวนการให้คงที่ตลอดทุกการทดลอง ในขณะที่แปรค่าพารามิเตอร์ที่เป็นเป้าหมายของการศึกษาในท่อกวนเร็วได้แก่ ความเร็วเกรเดียนท์ เวลากักน้ำ และความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม

พารามิเตอร์ซึ่งกำหนดให้มีค่าคงที่ในการทดลอง มีดังต่อไปนี้คือ

1. น้ำขุ่นสังเคราะห์ได้แก่ ความขุ่น พีเอช และสภาพทางไอออน (ionic environment)
2. กระบวนการสมานตะกอนและตกตะกอน ซึ่งใช้เครื่องมือทดลองแบบจาร์ ได้แก่ อัตราเร็วในการกวนช้า ระยะเวลาในการกวนช้าและค่าอัตราน้ำล้น (over-flow rate) ซึ่งเฉพาะค่าอัตราน้ำล้นจะวัดที่ค่าแตกต่างกัน 3 ค่าทุกการทดลอง
3. ระบบเติมสารส้ม ได้แก่ อัตราเร็วในการไหลของสารส้ม

พารามิเตอร์ซึ่งกำหนดให้มีการแปรค่าเพื่อทำการศึกษาของกระบวนการกวนเร็วในท่อ ได้แก่

1. ความเร็วเกรเดียนท์ (G) ค่าของความเร็วเกรเดียนท์แปรเปลี่ยนตามอัตราการไหลซึ่งจะประมาณค่าได้ดังต่อไปนี้

ก. การประมาณค่า G จากการวัดหัวน้ำสูญเสีย

สมการที่ 3.45 ใช้คำนวณค่า G ที่ได้จากการวัดค่าหัวน้ำสูญเสียของระบบท่อต่อความยาวของท่อได้ ตารางที่ ผ.1 แสดงค่าของหัวน้ำสูญเสียต่อเมตรที่วัดได้จากการทดลอง ที่อัตราการไหลต่าง ๆ กัน ซึ่งจะสรุปเป็นค่าเฉลี่ยที่อัตราการไหลต่าง ๆ ได้ดังตารางที่ 4.1 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าหัวน้ำสูญเสียเฉลี่ยที่อัตราการไหลที่ทดลอง

อัตราการไหล ลิตร/นาที	หัวน้ำสูญเสีย (เมตร/เมตร)
5	0.028
10	0.088
15	0.190
20	0.319
25	0.489

นำค่าหัวน้ำสูญเสียในตารางที่ 4.1 ไปแทนในสมการที่ 3.45 จะได้ค่าของความเร็วเกรเดียนท์ที่ค่าอัตราการไหลต่าง ๆ กัน แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความเร็วเกรเดียนท์ที่คำนวณจากการวัดหัวน้ำสูญเสีย

อัตราการไหล ลิตร/นาที	ความเร็วเกรเดียนท์ วินาที$^{-1}$
5	400
10	1000
15	1750
20	2600
25	3600

ความเร็วเกรเดียนท์ในตารางที่ 4.2 คำนวณจากอุณหภูมิเฉลี่ยของน้ำที่วัดตลอดทุกการทดลองประมาณ 31 องศาเซลเซียส

ข. การประมาณค่า G จากการคำนวณ

การประมาณค่า G จากการคำนวณจะประมาณจากสมการที่ 3.43 ท่อที่ใช้ในการทดลองเป็นท่อเหล็กชุบสังกะสีซึ่งจะมีค่า ε ประมาณ 0.15 มม ดูภาคผนวกรูปที่ ผ.1 ซึ่งเท่ากับ 1.5×10^{-4} เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในท่อที่วัดได้เท่ากับ 1.59 ซม. หรือเท่ากับ 1.59×10^{-2} เมตร ฉะนั้น ε/D จะเท่ากับ 9.4×10^{-3} ซึ่งอยู่ในช่วงระหว่าง 10^{-5} ถึง 4×10^{-2} สามารถใช้สมการที่ 3.43 คำนวณได้ คำนวณค่าความเร็วเกรเดียนท์ที่อัตราการไหลต่าง ๆ ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความเร็วเกรเดียนท์ที่ได้จากการคำนวณ

อัตราการไหล ลิตร/นาที	ความเร็วเกรเดียนท์ วินาที$^{-1}$
5	350
10	1000
15	1800
20	2750
25	3800

ค. การเปรียบเทียบค่า G ที่คำนวณได้จาก 2 วิธี

จะเห็นได้ว่าค่า G ที่คำนวณได้จาก 2 วิธีดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกันนัยสำคัญของความคลาดเคลื่อนสูงสุดประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ เนื่องจากความหยาบของเครื่องมือวัดที่ใช้ แสดงว่าสมการคำนวณค่า G ตามสมการที่ 3.43 สามารถใช้ในการคำนวณออกแบบค่า G ของระบบท่อกวนเร็วได้ และการประมาณของค่าสัมประสิทธิ์ความหยาบ (ε) ของรูปที่ ผ.1 สามารถใช้ได้ แต่ถ้าจะให้ถูกต้องสมบูรณ์ควรทำการทดลองหาค่า ε ก่อน เนื่องจากสภาพของแต่ละโรงงานผลิตและล็อตของท่อย่อมแตกต่างกัน เว้นเสียแต่ว่าจะได้รับคำยืนยันจากผู้ผลิตซึ่งมีมาตรฐานในการผลิตด้วยแล้วเท่านั้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I 18069410X

อนึ่งค่า G ที่จะใช้ในการแสดงผลและวิจารณ์ในบทข้อถัดไปนั้นจะใช้ค่า G ที่คำนวณได้จากการวัดค่าหัวน้ำสูญเสีย

2. เวลากักน้ำ แปรค่าจาก 0.71 - 110.45 วินาที ซึ่งอยู่ในช่วงที่ครอบคลุมระยะเวลากวนเร็วที่ใช้กัน (29)

3. ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม ค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารละลายสารส้มที่ใช้ในการทดลองได้มาจากการทดสอบแบบจาร์ ดังนี้

ก. เติมน้ำขุ่นสังเคราะห์ที่ได้เลือกจางจนมีความขุ่น 50 NTU ลงในถ้วยจาร์ขนาด 1 ลิตร จำนวน 6 ใบ ๆ ละ 1 ลิตร

ข. กวนน้ำในถ้วยจาร์ทั้ง 6 ถ้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที เติมสารละลายสารส้มลงในถ้วยจาร์ทั้ง 6 ให้มีปริมาณสารส้ม 15, 20, 25, 30, 35 และ 40 มก./ล. แล้วจับเวลาหลังจากเติมลงแต่ละถ้วย

ค. กวนเร็วด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 นาที จากนั้นจึงกวนช้าด้วยความเร็วรอบใบพัด 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที

ง. ปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 นาที ดูดตัวอย่างน้ำออกจากจุดนำตัวอย่างซึ่งอยู่ต่ำกว่าผิวน้ำประมาณ 8 ซม.

จ. วัดความขุ่นของตัวอย่างน้ำ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบแบบจาร์เพื่อหาปริมาณความเข้มข้นของสารละลายสารส้มสูงสุดที่จะใช้ในการวิจัย

ความเข้มข้นของสารละลายสารส้ม (มก./ล.)	15	20	25	30	35	40
ความขุ่นที่เหลือ (NTU)	34	21	13	9	9	8

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.4 จะเห็นว่าที่ปริมาณสารส้ม 30-40 มก./ล. ความขุ่นที่เหลือจะมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นเพื่อความประหยัดของสารเคมีที่จะใช้ในการกวนเร็ว ซึ่งจะเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการผลิตน้ำประปา ดังนั้นค่าความเข้มข้นสูงสุดของสารละลายสารส้มที่จะใช้คือ 30 มก./ล. และจะแปรเปลี่ยนให้มีค่าน้อยกว่า 30 มก./ล. คือ 20, 15, 10 และ 5 มก./ล. ตามลำดับ

อนึ่งอัตราน้ำล้นในการทดลองจะใช้ 3 ค่าคือ 1.9, 0.95 และ 0.63 ซม. ต่อนาที กระทำโดยหลังการกวนช้าแล้วจะปล่อยให้ตกตะกอนที่ระยะเวลาต่างกันคือ 5, 10, 15 นาทีตามลำดับ แล้วนำตัวอย่างน้ำที่จุดต่ำกว่าผิวน้ำ 9.5 ซม., ไปวัดค่าความขุ่น ค่าอัตราน้ำล้นช่วงดังกล่าวอยู่ในช่วงที่นิยมใช้กันในการออกแบบถังตกตะกอน ซึ่งควบคุมโดยอัตราน้ำล้น

ตารางที่ 4.5 สรุปค่าของพารามิเตอร์ซึ่งคงที่ตลอดการทดลอง และตารางที่ 4.6 สรุปค่าของพารามิเตอร์ที่แปรค่า

ตารางที่ 4.5 ค่าของพารามิเตอร์คงที่ที่ใช้ในการทดลอง

พารามิเตอร์	ค่าคงที่
ความขุ่น	50 NTU
พีเอช	7.6
ค่าความเป็นด่าง	110 มก./ล.*
อัตราเร็วในการกวนช้า	40 รอบต่อนาที
ระยะเวลาในการกวนช้า	15 นาที
อัตราเร็วของการไหลของสารส้ม	142 ลบ.ซม./นาที
อุณหภูมิ	อุณหภูมิห้อง

*ค่าเฉลี่ย

ตารางที่ 4.6 พารามิเตอร์ที่แปรค่าและค่าแปร

พารามิเตอร์	ค่าแปร
ความเร็วเกรเดียนท์	400, 1000, 1750, 2600, 3600 วินาที$^{-1}$
เวลากักน้ำ	0.71 - 110.45 วินาที
ความเข้มข้นสารละลายสารส้ม	5, 10, 15, 20, 30 มก./ล.

หมายเหตุ ตัวอย่างน้ำเก็บที่อัตราน้ำล้น 1.9, 0.95, 0.63 ซม./นาที

4.5 การดำเนินการทดลอง

การทดลองเพื่อศึกษาพารามิเตอร์ควบคุมการกวนเร็วในท่อแนวระดับ แยกเป็นรายละเอียดตามขั้นตอนดังนี้

4.5.1 การทดลองเพื่อหาระยะเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

เนื่องจากการทดลองมีความต้องการใช้น้ำในปริมาณมาก การดำเนินการทดลองไปพร้อม ๆ กันกับการเก็บตัวอย่างน้ำจากท่อกวนเร็ว เพื่อหาว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวทำได้ยาก เนื่องจากการกวนช้าต้องใช้เวลา 15 นาที และตกตะกอนอีก 15 นาที ซึ่งจะทำให้น้ำขุ่นสังเคราะห์ในถังไม่เพียงพอต่อการทดลอง 1 ครั้ง จึงได้แยกการทดลองเพื่อหาระยะเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวก่อนดังนี้

1. เปิดเครื่องสูบน้ำขุ่นสังเคราะห์จากถัง ปรับให้ได้อัตราไหลตามต้องการ โดยอ่านจากเครื่องวัดปริมาณน้ำด้วยประตูน้ำของท่อสัตผ่านซึ่งจะนำน้ำขุ่นส่วนเกินกลับไปยังถังน้ำขุ่นสังเคราะห์

2. เปิดเครื่องสูบสารละลายสารส้ม ตามอัตราที่ตั้งไว้เพื่อสูบสารละลายสารส้มเข้าสู่ท่อกวนเร็ว

3. เริ่มเก็บตัวอย่างจากจุดเก็บตัวอย่าง จับเวลา ทำการเก็บตัวอย่างและจับเวลาที่เวลาแตกต่างกันประมาณ 6 ค่าคือ 1, 3, 5, 7, 10, 15 นาทีตามลำดับ (ระยะเวลาเก็บกักสูงสุดของท่อกวนเร็วประมาณ 2 นาที)

4. นำตัวอย่างทำการกวนช้าด้วยเครื่องกวนซึ่งใช้ในการทดลองแบบจาร์ด้วยความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที วัดความขุ่นเมื่อหลังจากปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาทีตามลำดับ

จากการทดลองพอสรุปถึงระยะเวลาที่ระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัวได้ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงระยะเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

อัตราการไหล (ลิตร/นาที)	5	10	15	20	25
ระยะเวลาเข้าสู่สภาวะคงตัว (นาที)	10	7	5	5	3

4.5.2 การทดลองหาพารามิเตอร์ควบคุม

มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. เปิดเครื่องสูบน้ำขุ่นสังเคราะห์จากถังปรับให้ได้อัตราไหลตามต้องการไหลผ่านเครื่องวัดปริมาณน้ำ โดยปรับประตูน้ำของท่อลัดผ่าน

2. เปิดเครื่องสูบสารละลายสารส้ม สูบสารส้มจากถังสารละลายสารส้มซึ่งได้เตรียมตามความเข้มข้นที่ต้องการและผ่านการบ่มแล้ว เปิดเครื่องกวนแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้ความเข้มข้นของสารละลายสารส้มเป็นเนื้อเดียวกันตลอดในขณะทดลอง

3. รอจนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวตามการทดลองในหัวข้อ 4.5.1 เริ่มเก็บตัวอย่างเข้าถ้วยจาร์ หลังจากปล่อยน้ำล้างท่อนำตัวอย่างแล้วจากจุดเก็บตัวอย่าง

4. นำตัวอย่างไปกวนช้าด้วยเครื่องกวนซึ่งใช้ในการทดสอบแบบจาร์ด้วยความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที เป็นเวลา 15 นาที ปิดเครื่องสูบน้ำขุ่น และเครื่องสูบสารละลายสารส้ม

5. นำตัวอย่างน้ำไปวัดความขุ่นหลังจากปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาทีตามลำดับ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย