บทที่ 4

แผนงานและการดำเนินการวิจัย

4.1 แผนการวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้ งานทดลองทั้งหมดกระทำในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยได้กำหนดลำดับของการทดลองไว้ดังนี้

1. ตรวจสอบปฏิกริยาระหว่างสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้สำหรับการไตเตรตคอลลอยด์ โดยแปรพีเอช และความเข้มข้นตลอดจนปริมาตรของสารเคมีต่าง ๆ ให้ครอบคลุมช่วงที่จะใช้ในการทดลองต่อไป

2. วัดประจุของสารส้มและสารประกอบเหล็ก ความเข้มข้น 10,20,30,40,50,100, 200 และ 300 มก./ล. ในช่วงพีเอช 4 - 10

3. วัดประจุของโพลิเมอร์ชนิดประจุบวกและลบบางชนิด ที่พีเอชและความเข้มข้นต่าง ๆ ตามความเหมาะสม

4. วัดประจุของน้ำสังเคราะห์ ที่มีความขุ่นและพีเอชต่าง ๆ ตามความเหมาะสม

5. ทำจาร์เทสต์ของน้ำสังเคราะห์ และน้ำธรรมชาติที่เป็นน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปา โดยใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนท์ ให้พีเอชในการทดลอง และความเข้มข้นของสารส้มเป็นตัวแปรอิสระ โดยมีประจุของอนุภาคหลังจากถูกลดเสถียรภาพ, ประจุของอนุภาคในน้ำใสและความขุ่นที่เหลือในน้ำใสเป็นตัวแปรตาม

เนื่องจากหัวข้อในการวิจัยนี้เป็นเรื่องใหม่ และมีผลการวิจัยเดิมน้อย ในการทดลองต่าง ๆ จำเป็นต้องตรวจสอบเทคนิคการไตเตรตไปพร้อมกันด้วย จึงได้วางแผนการวิจัยไว้อย่างคร่าว ๆ และจะได้ปรับปรุงรายละเอียดบางประการเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ต่อการวิจัยที่จะมีต่อไป

4.2 การดำเนินการวิจัย

4.2.1 การเตรียมสารเคมีสำหรับการไตเตรตคอลลอยด์

สารเคมีสำหรับการไตเตรตคอลลอยด์ ที่ใช้ในการวิจัยนี้ ได้แก่ พีวีเอสเอเค [poly(vinylsulfuric acid)potassium ผลิตโดยบริษัท Eastman สหรัฐอเมริกา] , ดีดีพีเอ็ม (1,5-dimethyl-1, 5-diazaundecamethylene polymethobromide ผลิตโดยบริษัท Aldrich สหรัฐอเมริกา)

และ ทีบี (toluidine blue) ซึ่งมีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

1. สารละลายทีบีความเข้มข้น 1,000 มก./ล.

ละลายทีบี 1.000 กรัม ในน้ำกลั่นให้มีปริมาตรรวม 1 ลิตร

2. สารละลาย พีวีเอสเอเค ความเข้มข้น 5×10^{-4} นอร์แมล (normal)

ก. ละลาย พีวีเอสเอเค 1.6221 กรัม ในน้ำกลั่นให้มีปริมาตรรวม1 ลิตร จะได้สารละลายความเข้มข้น 0.01 นอร์แมล

ข. นำสารละลายในข้อ ก มา 200 มล. เจือจางด้วยน้ำกลั่น จนมีปริมาตรรวม 1 ลิตร จะได้สารละลายความเข้มข้น 2×10^{-3} นอร์แมล

ค. นำสารละลายในข้อ ข มา 250 มล. เจือจางด้วยน้ำกลั่น จนมีปริมาตรรวม 1 ลิตร จะได้สารละลายความเข้มข้น 5×10^{-4} นอร์แมล

3. สารละลาย ดีดีพีเอ็ม ความเข้มข้น 5×10^{-4} นอร์แมล

ก. ละลาย ดีดีพีเอ็ม 2 กรัม ในน้ำกลั่นให้มีปริมาตรรวม 1 ลิตร และเจือจางตามขั้นตอน ก และ ข ในข้อ 2 จะได้สารละลายความเข้มข้น 5×10^{-4} นอร์แมล โดยประมาณ

ข. เมื่อต้องการสารละลายที่มีความเข้มข้นแน่นอน จะตรวจสอบได้โดยไตเตรทด้วยสารละลาย พีวีเอสเอเค 5×10^{-4} นอร์แมล ที่เตรียมไว้ โดยใช้สารละลายทีบี เป็นดัชนี จุดสิ้นสุด คือ จุดที่ ทีบี เปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีม่วง

4.2.2 การเตรียมสารละลายและน้ำสังเคราะห์สำหรับการวิจัย

1. สารละลายสารส้ม

สารส้มที่ใช้ในการวิจัยคือ อลูมิเนียมซัลเฟต $Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$ เตรียมขึ้นให้มีความเข้มข้นต่าง ๆ โดยใช้หน่วย มิลลิกรัมต่อลิตรของอลูมิเนียมซัลเฟต $Al_2(SO_4)_3 \cdot 16H_2O$ ปรับพีเอชให้มีค่าต่าง ๆ โดยใช้ กรดซัลฟุริก ความเข้มข้น 0.1 นอร์แมล และโซเดียมไฮดร็อกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์แมล

2. สารละลายโพลิเมอร์ต่าง ๆ

เตรียมสารละลายโพลิเมอร์ทั้งชนิดประจุบวกและลบ ให้มีความเข้มข้นต่าง ๆ โดยใช้หน่วยมิลลิกรัมต่อลิตรของโพลิเมอร์ชนิดนั้น ๆ ปรับพีเอชให้มีค่าต่าง ๆ โดยใช้กรดซัลฟุริก ความเข้มข้น 0.1 นอร์แมล และโซเดียมไฮดร็อกไซด์ความเข้มข้น 0.1 นอร์แมล.

3. น้ำสังเคราะห์

น้ำสังเคราะห์เตรียมขึ้นจากดิน 3 ชนิด คือ เบนโทไนท์ (bentonite) ฟุลเลอร์เอิช (Fuller's earth) และคาโอลิน (kaolin) ซึ่งจะเตรียมให้เป็นน้ำสังเคราะห์ที่มีความขุ่นต่าง ๆ ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

ก. หาความถ่วงจำเพาะของดิน

1. นำดินซึ่งมีน้ำหนักประมาณ 50 กรัม มาผสมกับน้ำกลั่นประมาณ 100 มล. ต้มให้เดือดเพื่อไล่ฟองอากาศประมาณ 15 นาที ปล่อยให้เย็น แล้วปรับให้มีปริมาตรรวม 100 มล. นำไปชั่งน้ำหนัก จะได้น้ำหนักของ ดิน + ภาชนะ + น้ำ (100 มล. - ส่วนที่ถูกแทนที่)

2. นำตัวอย่างที่ชั่งน้ำหนักแล้วจากข้อ 1 ไประเหยในน้ำเดือด (water bath) จนแห้ง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 103° เซนติเกรด เป็นเวลา 24 ช.ม. ปล่อยให้เย็นในภาชนะปลอดความชื้น (dessicator) แล้วนำมาชั่งน้ำหนักจะได้น้ำหนักที่แท้จริงของตัวอย่างดิน

3. ชั่งน้ำหนักของภาชนะที่ใช้ทดสอบ ซึ่งบรรจุน้ำ 100.0 มล. จะได้น้ำหนักของภาชนะ + น้ำ 100.0 มล.

4. นำน้ำหนักจากข้อ 3 บวกด้วยน้ำหนักดินจากข้อ 2 แล้วลบด้วยน้ำหนักที่ชั่งได้จากข้อ 1 จะได้น้ำหนักของน้ำที่ถูกแทนที่โดยดินที่ใช้ทดสอบ

5. นำน้ำหนักดินจากข้อ 2 และน้ำหนักน้ำที่ถูกแทนที่จากข้อ 4 มาคำนวณค่าความถ่วงจำเพาะของดินได้โดยสมการ 4.1

$$\text{ความถ่วงจำเพาะของดิน} = \frac{\text{น้ำหนักของดิน}}{\text{น้ำหนักของน้ำที่ถูกแทนที่}} \qquad \text{.....4.1}$$

ข. เตรียมน้ำสังเคราะห์

1. นำดินมาผสมกับน้ำ โดยให้มีความเข้มข้นประมาณ 15 กรัมต่อลิตร กวนผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน

2. เติมโซเดียมไบคาร์บอเนตลงไป ให้มีความเข้มข้นประมาณ 100 มก./ล. แล้วเติมอากาศ (aeration) เป็นเวลา 24 ช.ม.

3. ปล่อยไว้ในภาวะน้ำนิ่ง ให้อนุภาคดินจมตัว เป็นเวลา 48 ชม. แล้วใช้วิธีกาลักน้ำ (siphon) นำตัวอย่างน้ำออกจากภาชนะที่ความลึกซึ่งจะทำให้ได้อนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า หรือเท่ากับ

1 ไมครอน (10^{-6}ม.) โดยคำนวณจากสูตรที่ประยุกต์จากกฎของ สโตค (Stoke's law) ดังนี้

$$Vc = \frac{g(q_s - q)d^2}{18u}$$

เมื่อ Vc คือ ความเร็วในการจมตัวแบบอิสระของอนุภาค , ม./วินาที

g คือ อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก , ม./วินาที ^{2}

q_s คือ ความหนาแน่นของอนุภาค , กก.(มวล)/ลบ.ม.

q คือ ความหนาแน่นของน้ำ , กก.(มวล)/ลบ.ม.

d คือ ขนาดของอนุภาค , ม.

u คือ ความหนืดของน้ำ , นิวตัน - วินาที/ม.^{2}

ตัวอย่างเช่นในกรณีของคาโอลิน ซึ่งหาความถ่วงจำเพาะได้เท่ากับ 2.38 ก็คือมีความหนาแน่น 2,380 กก.(มวล)/ลบ.ม. เมื่อแทนค่าในสมการ 4.2 จะได้ความเร็วในการจมตัวเท่ากับ 8.45×10^{-7} ม./วินาที หรือ 0.3 ซม./ชม. เมื่อให้เวลาจมตัว 48 ชม. ก็จะดูดน้ำออกจากภาชนะที่ความลึก 14.4 ซม. เป็นต้น

4. นำน้ำสังเคราะห์จากข้อ 3 มาเจือจางให้มีความขุ่นตามต้องการ

4.2.3 วิธีไตเตรตคอลลอยด์และการคำนวณค่าประจุ

การวิจัยครั้งนี้ใช้เทคนิคการไตเตรตคอลลอยด์ทั้ง 2 วิธี ซึ่งมีขั้นตอนการไตเตรต และการคำนวณค่าประจุดังต่อไปนี้

1. การไตเตรตย้อนกลับ (back titration) (4,5)

ก. เติมตัวอย่างน้ำที่จะหาประจุ ลงในบีคเกอร์ขนาด 250 มล. กวนผสมบนเครื่องกวนแบบแม่เหล็ก (magnetic stirrer) ด้วยแท่งกวนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มม. ยาว 25 มม. โดยใช้ความเร็ว 400 รอบต่อนาที

ข. เติมสารละลาย ดีดีพีเอ็ม ลงไปปริมาณหนึ่ง แล้วหยดสารละลาย ทีบี ลงไป 1 - 3 หยด

ค. ไตเตรตด้วยสารละลาย พีวีเอสเอเค โดยใช้ บิวเรต (bulette) ขนาด 50 มล. จนสีของตัวอย่างน้ำเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีม่วงน้ำเงิน (ดูภาพ 4.1)

ง. ใช้น้ำกลั่นปริมาตรเท่าตัวอย่างน้ำเป็นตัวอย่าง แล้วไตเตรตตามข้อ ก - ค

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก) (ข) (ค)

ภาพ 4.1 สีของตัวอย่างน้ำที่มีประจุต่างๆ

(ก) ตัวอย่างที่มีประจุลบ

(ข) สีของจุดสิ้นสุด

(ค) ตัวอย่างที่มีประจุบวก

ประจุตัวอย่างน้ำ คำนวณได้จากสมการ 4.3

$$C = \frac{(S - B)\, N \times 10^7}{M} \quad \text{.....4.3}$$

เมื่อ C คือ ประจุในตัวอย่างน้ำ, มิลลิอิควิวาเลนซ์/ลิตร $\times 10^4$

S คือ ปริมาตรสารละลาย พีวีเอสเอเค ที่ใช้ไทเตรตตัวอย่างน้ำ, มล.

B คือ ปริมาตรสารละลาย พีวีเอสเอเค ที่ใช้ไทเตรตตัวอย่างน้ำกลั่น, มล.

N คือ ความเข้มข้นของสารละลาย พีวีเอสเอเค, อิควิวาเลนซ์/ลิตร

M คือ ปริมาตรของตัวอย่างน้ำ, มล.

การไทเตรตย้อนกลับนี้สามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณสารละลาย ดีดีพีเอ็ม ได้ตามความเหมาะสม และไม่จำเป็นต้องรู้ความเข้มข้นที่แท้จริงของสารละลาย ดีดีพีเอ็ม ด้วย เพราะการทำแบลงค์ (blank) จะแก้ไขความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ได้

2. การไทเตรตโดยตรง (direct titration) (17,18)

2-1 วิธีของ WANG แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

ก. เมื่อหยด ทีบี ลงในตัวอย่างน้ำแล้วเป็นสีน้ำเงิน แสดงว่าอนุภาคในตัวอย่างน้ำมีประจุบวก จะหาความเข้มข้นของประจุได้โดยไทเตรตด้วยสารละลาย พีวีเอสเอเค ซึ่งเมื่อนำปริมาตรของสารละลาย พีวีเอสเอเค ที่ใช้ไทเตรตตัวอย่างน้ำไปลบด้วยปริมาตรที่ใช้ไทเตรตน้ำกลั่น จะคำนวณความเข้มข้นของประจุได้

ข. เมื่อหยด ทีบี ลงในตัวอย่างน้ำแล้วเป็นสีม่วง แสดงว่าอนุภาคในตัวอย่างน้ำมีประจุลบ จะหาความเข้มข้นของประจุ โดยไทเตรตด้วยสารละลาย ดีดีพีเอ็ม ในกรณีนี้ WANG ไม่ได้แสดงวิธีการทำแบลงค์ (blank) ไว้อย่างชัดเจน

ในกรณี ก. นั้น อนุภาคในน้ำไม่จำเป็นต้องมีประจุบวกเสมอไป แต่อาจจะไม่มีประจุหรือมีประจุลบ ซึ่งมีน้อยจนไม่สามารถทำให้ ทีบี เปลี่ยนเป็นสีม่วงอย่างเห็นได้ชัดก็เป็นได้ ที่กล่าวเช่นนี้ได้ เพราะว่าในน้ำกลั่นซึ่งไม่มีอนุภาคนั้น ทีบี เป็นสีน้ำเงินและเมื่อไทเตรตน้ำกลั่นด้วยสารละลาย พีวีเอสเอเค ซึ่งมีประจุลบ ทีบี ไม่ได้เปลี่ยนเป็นสีม่วงในทันทีที่หยดสารละลาย พีวีเอสเอเค ลงไป แต่จะต้องใช้สารละลาย พีวีเอสเอเคในปริมาณที่มีนัยสำคัญ จึงสามารถทำให้เกิดสีม่วงอย่างเห็นได้ชัด แต่อย่างไรก็ตาม ในกรณีนี้ การทำแบลงค์จะทำให้รู้ชนิด และความเข้มข้นของประจุ โดยคำนวณตามสมการ 4.3

สำหรับกรณี ข. นั้น มีข้อน่าสังเกตว่า เนื่องจาก ทีบี ไม่ทำปฏิกริยากับอนุภาคประจุบวก ดังนั้นในการไทเตรต ดีดีพีเอ็ม จึงไม่ได้เปลี่ยนสีของทีบี แต่เป็นเพียงการทำให้ทีบีบนผิวอนุภาค

ประจุลบหลุดกลับไปในน้ำเท่านั้น ซึ่งอาจเกิดจากการลบล้างประจุลบของอนุภาค และ/หรือ กลไกอื่นใด ทั้งนี้จุดสิ้นสุด (end point) ซึ่งสีของตัวอย่างน้ำเริ่มไม่เป็นสีม่วงนั้น ประจุลบของอนุภาคยังอาจจะไม่หมดไป แต่เหลืออยู่น้อยจนไม่สามารถทำให้เกิดสีม่วงอย่างเห็นได้ชัดก็ได้ ดังนั้นปริมาตรของสารละลาย ดีดีพีเอ็ม ที่ใช้ไตเตรต จึงอาจจะมีสมมูลย์ของประจุบวก ไม่เท่ากับสมมูลย์ประจุลบในตัวอย่างน้ำ

2-2 วิธีที่ปรับปรุงใหม่

ในการวิจัยครั้งนี้ ได้พยายามปรับปรุง การไตเตรตในกรณี ข. เพื่อขจัดความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ดังนี้คือ เมื่อหยดที่บีลงในตัวอย่างน้ำแล้วเป็นสีม่วงในครั้งแรกจะไตเตรตด้วยสารละลาย ดีดีพีเอ็ม จนตัวอย่างน้ำเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงิน ซึ่งผลลัพธ์ของประจุในตัวอย่างน้ำอาจจะเป็นบวก หรือเป็นกลางหรือมีประจุลบน้อย ๆ ดังที่กล่าวมา เมื่อถึงจุดนี้ตัวอย่างน้ำจะเข้ากรณี ก. จึงสามารถไตเตรตหาความเข้มข้นและชนิดของประจุในขณะนั้นได้ด้วยสารละลาย พีวีเอสเอเค เพราะฉะนั้นเมื่อรู้สมมูลย์ประจุบวกของ ดีดีพีเอ็ม ที่เติมลงในตัวอย่างน้ำ และหาสมมูลย์ของประจุที่มีอยู่หลังจากเติม ดีดีพีเอ็ม ได้ก็สามารถคำนวณชนิดและสมมูลย์ของประจุที่มีอยู่เดิมได้

วิธีไตเตรตโดยตรงในกรณี ข. ที่ปรับปรุงใหม่นี้ จะคล้ายกับวิธีไตเตรตย้อนกลับ แต่จะต่างกันที่ การไตเตรตย้อนกลับจะเติมสารละลาย ดีดีพีเอ็ม ด้วยปริมาตรคงที่ก่อน แล้วจึงหยด ทีบี ลงไป ส่วนวิธีใหม่นี้จะหยดสารละลายทีบีลงไปก่อนแล้วจึงเติมสารละลายดีดีพีเอ็มซึ่งจะใช้ปริมาตรแตกต่างกันไป ซึ่งถ้าหากปฏิกริยาที่ ดีดีพีเอ็ม และพีวีเอสเอเค กระทำต่อกัน และกระทำต่ออนุภาคที่มีประจุตรงข้าม เป็นการลบล้างประจุและเป็นสตอยชิโอเมตริกจริง ๆ แล้ว ผลลัพธ์จากทั้งสองวิธีจะเท่ากัน ในการวิจัยครั้งนี้ได้ใช้วิธีไตเตรตทั้งสองวิธีนี้ตรวจสอบปฏิกริยาดังกล่าว โดยใช้กับการวัดประจุของน้ำสังเคราะห์เบนโทไนท์ ซึ่งจะได้กล่าวต่อไปในบทที่ 5

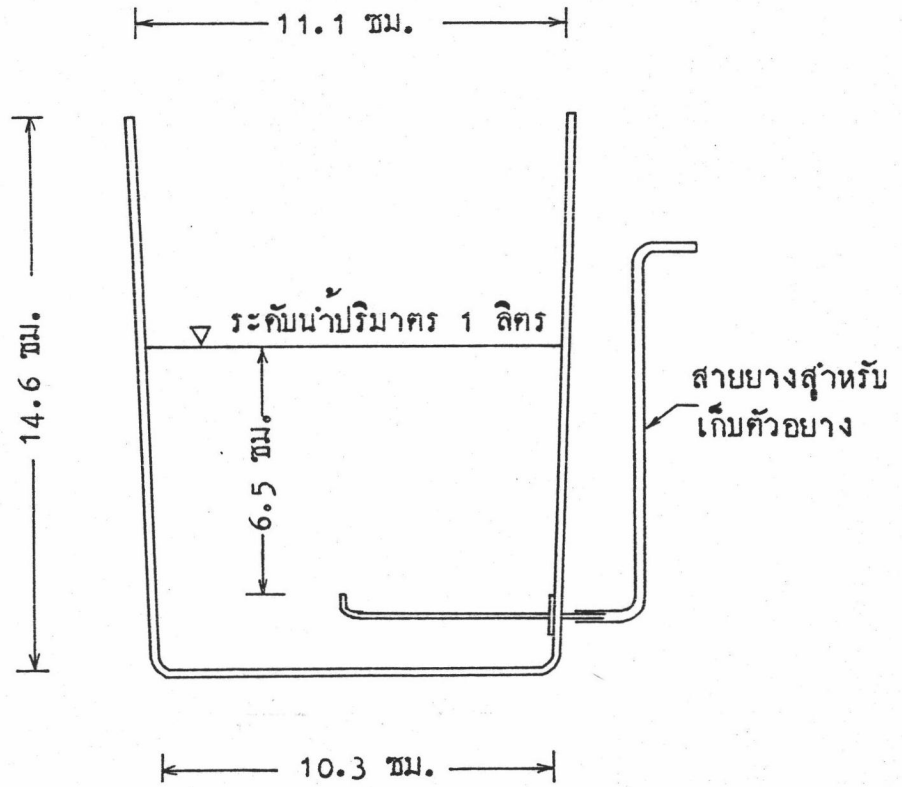
4.2.4 วิธีทำจาร์เทสต์แบบธรรมดา และแบบใช้ความปั่นป่วนสูง

1. อุปกรณ์และเครื่องมือ

ก. เครื่องกวนที่ใช้ในการทดสอบ เป็นแบบมาตรฐานทั่วไป ซึ่งปรับความเร็วรอบได้ ประกอบด้วยใบพัดสำหรับกวนขนาด 1 ⁄ 3 นิ้ว จำนวน 6 ใบ

ข. เครื่องบดสำหรับกรณีที่ต้องการความปั่นป่วนในการกวนผสมสูง ใช้เครื่องปั่นน้ำผลไม้ซึ่งจำหน่ายโดย บริษัท เฮกเกอร์ เมเยอร์ (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งใช้เครื่องหมาย มูลิเนกส์ (Moulinex) หมายเลขรุ่น 320/202 ขนาด 700 วัตต์

ค. ถ้วยทดลอง ใช้โถพลาสติกทรงเหลี่ยมซึ่งเพิ่มอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่าง ดังแสดงในภาพ 4.2, 4.3 จำนวน 6 ใบ



ภาพ 4.2 ถ้วยทดลองและอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่าง ที่ใช้ในการทำจาร์เทสต์

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาพ 4.3 เครื่องจาร์เทสต์ที่ใช้ในการวิจัย และถ้วยทดลองที่มีอุปกรณ์สำหรับเก็บตัวอย่าง

2. วิธีทดสอบ

การทดสอบจะแบ่งเป็นกรณีที่ใช้การกวนผสม (mixing) ด้วยความปั่นป่วนต่ำ และความปั่นป่วนสูง

ก. เมื่อใช้ความปั่นป่วนต่ำ

1. เติมน้ำที่จะทดสอบปริมาตร 1 ลิตร ลงในถ้วยทดลองทั้ง 6 ใบ

2. นำไปปรับค่าพีเอชด้วยกรดเกลือความเข้มข้น 1 นอร์แมล หรือสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 1 นอร์แมล ให้ได้ค่าพีเอชซึ่งคำนวณไว้ก่อนแล้วว่าหลังจากเติมสารส้มแล้ว จะลดลงมาอยู่ในช่วงที่ต้องการ

3. นำมากวนด้วยเครื่องกวน โดยใช้ความเร็ว 100 รอบต่อนาที

4. เติมสารส้มปริมาณต่าง ๆ ตามต้องการ แล้วกวนต่อเป็นเวลา 2 นาที รวมเวลาของการกวนผสมในขั้นตอนที่ 3 และ 4 ประมาณ $2\frac{1}{2}$ นาที

5. ปล่อยน้ำทิ้งทางสายยางเก็บตัวอย่าง เพื่อชำระสายยางประมาณ 5 มล. แล้วจึงเก็บตัวอย่าง 50.0 มล. เพื่อนำไปหาค่าประจุด้วยการไตเตรต แล้วระบุเป็นประจุหลังการกวนผสม

6. หลังจากเก็บตัวอย่างแล้ว จึงกวนช้าด้วยความเร็ว 30 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 20 นาที

7. ให้เวลาจมตัว (settling time) 15 นาที แล้วเก็บตัวอย่างไปวัดความขุ่นและหาค่าประจุตามแบบข้อ 5 แล้วระบุเป็นค่าความขุ่นและประจุของน้ำใส

ข. เมื่อใช้ความปั่นป่วนสูง

1. นำน้ำที่จะทดสอบซึ่งปรับพีเอชแล้วตามข้อ ก2. ปริมาตร 1 ลิตร มากวนในเครื่องบด เติมสารส้มปริมาณต่าง ๆ ตามต้องการ แต่ใช้เวลาในการเติมทุก ๆ ครั้งใกล้เคียงกัน คือ ประมาณ 5 วินาที แล้วกวนต่อเป็นเวลา 5 วินาที

2. เทน้ำซึ่งเติมสารส้มและกวนในเครื่องบดแล้วลงในถ้วยทดลอง แล้วทำตามข้อ ก 3 ถึง ก7 ยกเว้นข้อ ก 4