



## แผนงานและการดำเนินการวิจัย

### 4.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

ในการวิจัยครั้งนี้การทดลองทั้งหมดจะทำในห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีลำดับการทดลองไว้ดังนี้

1. เตรียมอุปกรณ์ น้ำขุ่นและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง
2. เตรียมผงแป้งเมล็ดมะขามตามวิธีการต่างๆและนำผงแป้งไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ที่ระยะเวลาการเก็บต่างๆ
3. เตรียมผงแป้งเมล็ดมะขามให้อยู่ในรูปสารละลาย
4. วัดประจุของสารส้มและโพลีเมอร์ชนิดประจุลบ ตรวจสอบชนิดและหาปริมาณประจุของสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามที่เตรียมได้จากวิธีการเตรียมผงแป้ง และการเตรียมสารละลายต่างๆ ที่ความเข้มข้น และพีเอชที่เหมาะสม โดยวิธีการไตเตรทคอลลอยด์
5. ทำการทดสอบ น้ำขุ่นสังเคราะห์และน้ำธรรมชาติที่เป็นน้ำดิบสำหรับผลิตน้ำประปา โดยใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์ และโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้ม เปรียบเทียบกับการใช้สารส้ม
6. วิเคราะห์ค่าใช้จ่าย และ เสนอแนวทางในการนำเมล็ดมะขามไปประยุกต์ใช้ในการผลิตน้ำประปา

## 4.2 การเตรียมการทดลอง

ในขั้นตอนนี้จะประกอบด้วยการเตรียมอุปกรณ์ การสังเคราะห์น้ำขุ่นด้วยอนุภาคดินคาโอลินและการเตรียมสารเคมีต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

### 4.2.1 การเตรียมน้ำขุ่นสังเคราะห์

จากการสำรวจของจุพลและคณะ (21) พบว่า แร่ดินที่พบมากในแหล่งน้ำของประเทศไทย คือ ดินคาโอลิน ดังนั้นเพื่อให้น้ำขุ่นสังเคราะห์มีธรรมชาติที่ใกล้เคียงกับสภาพจริง ในการทดลองจึงใช้ดินคาโอลิน ซึ่งมีส่วนประกอบของแร่ดินคาโอลินที่เป็นตัวสร้างความขุ่นให้กับน้ำดิบ โดยจะทำการคัดขนาดอนุภาคของดินในน้ำก่อน จากนั้นจึงทำการปรับน้ำให้มีค่าความขุ่นตามต้องการ ในการวิจัยจะศึกษาที่ระดับความขุ่น 20, 50, 100, 200, 300, 500 และ 1000 NTU เพื่อให้ได้ขนาดของอนุภาคของน้ำขุ่นสังเคราะห์ที่อยู่ในช่วงอนุภาคคอลลอยด์ซึ่งมีขนาด 0.001 ถึง 1 ไมครอน จึงต้องทำการคัดขนาดของอนุภาค โดยปล่อยให้อนุภาคดินคาโอลินตกตะกอนในน้ำนิ่งตามเวลาและความลึกที่เหมาะสมได้จากสมการทั่วไปของการตกตะกอนแบบโดด (Discrete Settling) ที่ประยุกต์จากกฎของสโตค (Stoke's Law) ดังนี้

$$V_s = g(r_s - r_f)d^2 / (18 \mu)$$

- เมื่อ  $V_s$  คือ ความเร็วในการจมตัวแบบอิสระของอนุภาค , ม./วินาที<sup>2</sup>  
 $g$  คือ อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก , ม./วินาที<sup>2</sup>  
 $r_s$  คือ ความหนาแน่นของอนุภาค , กก.(มวล)/ลบ.ม.  
 $r_f$  คือ ความหนาแน่นของน้ำ , กก. (มวล) /ลบ.ม.  
 $d$  คือ ขนาดของอนุภาค , ม.  
 $\mu$  คือ ความหนืดของน้ำ , นิวตัน-วินาที/ม<sup>2</sup>.

ในกรณีของดินคาโอลิน ซึ่งมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.38 นั่นคือ มีความหนาแน่น 2380 กก.(มวล)/ลบ.ม. เมื่อแทนค่าในสมการจะได้ความเร็วในการจมตัวเท่ากับ  $8.45 \times 10^{-7}$  ม./วินาที หรือ 0.3 ซม./ชม. เมื่อให้เวลาจมตัว 48 ชม.อนุภาคที่ลอยอยู่ในระดับ 14.4 ซม.จากผิวน้ำจะมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน การเตรียมน้ำขุ่นสังเคราะห์เตรียมได้ดังนี้

- ก) นำดินคาโอลินมาผสมน้ำแล้วกวนให้เป็นเนื้อเดียวกัน เพื่อให้อนุภาคดินคาโอลินกระจายอย่างทั่วถึง
- ข) บล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 48 ชม.
- ค) คูดน้ำออก ด้วยวิธีกาลักน้ำโดยเริ่มคูดจากตำแหน่งที่ลึกจากผิวน้ำเท่ากับ 14.4 ซม.
- ง) เจือจางน้ำขุ่นสังเคราะห์ด้วยน้ำประปาจนกระทั่งได้ความขุ่นตามต้องการ

#### 4.2.2 การเตรียมสารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองได้แก่

1. สารละลายเอมจีซี  $5 \times 10^{-4}$  นอร์มอล (normal)

สารเอมจีซี (MGC, Methyl Glycol Chitosan) มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองอ่อน สูตรทางเคมีคือ  $C_{11}H_{22}O_5NI$  เมื่อละลายน้ำมีคุณสมบัติเป็นคอลลอยด์ประจุบวก ใช้สำหรับการโคเตรทคอลลอยด์ สารละลายเอมจีซีเข้มข้น  $5 \times 10^{-4}$  นอร์มอล (normal) มีวิธีการเตรียมดังนี้

- ก) ละลายสารเอมจีซี 3.75 กรัมในน้ำกลั่น ทำให้มีปริมาตรเป็น 1 ลิตร จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล
- ข) นำสารละลายที่ได้ในข้อ ก) มา 200 มล. เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1 ลิตร จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น  $2 \times 10^{-3}$  นอร์มอล
- ค) นำสารละลายที่ได้ในข้อ ข) มา 250 มล. เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1 ลิตร จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น  $5 \times 10^{-4}$  นอร์มอล ตามต้องการ

2. สารละลายพีวีเอสเอเค  $5 \times 10^{-4}$  นอร์มอล

สารพีวีเอสเอเค (PVSAK, Polyvinyl Sulfuric Acid Potassium salt) มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลอ่อน สูตรทางเคมีคือ  $[CH_2CH(SO_3K)]_n$  เมื่อละลายน้ำมีคุณสมบัติเป็นคอลลอยด์ประจุลบ ใช้สำหรับการโคเตรทคอลลอยด์ วิธีการเตรียมสารละลายพีวีเอสเอเค  $5 \times 10^{-4}$  นอร์มอล ทำได้โดยละลายสารพีวีเอสเอเค 1.6221 กรัมในน้ำกลั่นทำให้มีปริมาตรรวมเป็น 1 ลิตร จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล จากนั้นจึงทำการเจือจางเช่นเดียวกับวิธีการเตรียมสารละลายเอมจีซี จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น  $5 \times 10^{-4}$  นอร์มอลตามต้องการ

### 3. สารละลายทึบ

สารทึบ (TB, Toluidine Blue) มีลักษณะเป็นผงสีน้ำเงินเข้ม ใช้เป็นดัชนี(indicator) ในการทดลองหาประจุ มีสีน้ำเงินในคอลลอยด์ประจุบวก และมีสีม่วงในคอลลอยด์ประจุลบ เตรียมให้อยู่ในรูปสารละลายได้โดย ละลายทึบ 1.0 กรัมในน้ำกลั่นทำให้มีปริมาตรรวมเป็น 1 ลิตร

### 4. สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล

สารโซเดียมไฮดรอกไซด์(NaOH) ใช้สำหรับปรับพีเอชน้ำตัวอย่างที่ต้องการหาประจุให้มีพีเอชตามต้องการ วิธีการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล มีดังนี้

- ก) เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 50 % โดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 100 กรัม ละลายในน้ำกลั่น 100 มล. ตั้งทิ้งไว้ 48 ชม. กรองเอาผ้าที่ลอบบนผิวหน้าและตะกอนทิ้งไป
- ข) นำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50% ที่เตรียมได้มา 60 มล. เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 1ลิตร จะได้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 นอร์มอล
- ค) นำสารละลายที่ได้ในข้อ ข) มา 100 มล. เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 1 ลิตร จะได้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.1 นอร์มอลตามต้องการ

### 5. สารละลายกรดซัลฟูริก 0.1 นอร์มอล

สารละลายกรดซัลฟูริก( $H_2SO_4$ ) ใช้สำหรับปรับพีเอชน้ำตัวอย่างที่ต้องการหาประจุให้มีพีเอชตามต้องการ วิธีการเตรียมสารละลายกรดซัลฟูริก 0.1 นอร์มอล มีดังนี้

- ก) เตรียมสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 นอร์มอล โดยนำกรดซัลฟูริกเข้มข้น 95% โดยน้ำหนักปริมาตร 29 มล. เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 1 ลิตร จะได้สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 นอร์มอล
- ข) นำสารละลายกรดซัลฟูริกที่เตรียมได้ในข้อ ก) มาปริมาตร 100 มล. เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 1 ลิตร จะได้สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.1 นอร์มอลตามต้องการ

## 6. สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.02 นอร์มอล

สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.02 นอร์มอล ที่ใช้ในการหาค่าความเป็นด่าง มีวิธีการเตรียมโดยการเตรียมให้เป็นสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 นอร์มอลก่อน ตามวิธีการที่ได้กล่าวมาแล้ว จากนั้นจึงนำสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 นอร์มอลปริมาตร 20 มล. มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 1 ลิตร จะได้สารละลายกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้นประมาณ 0.02 นอร์มอล นำสารละลายกรดซัลฟูริกที่เตรียมได้ไปสแตนดาร์ดโคซ์กับสารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนต 0.02 นอร์มอล โดยใช้เมทิลออเรนจ์เป็นดัชนี แล้วคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดซัลฟูริกที่เตรียมได้

## 7. สารละลายเมทิลออเรนจ์

สารเมทิลออเรนจ์ (Methyl Orange) มีลักษณะเป็นผงสีส้ม สารละลายเมทิลออเรนจ์ ใช้เป็นดัชนีในการหาค่าความเป็นด่าง สารละลายเมทิลออเรนจ์เตรียมได้โดยละลายเมทิลออเรนจ์ 0.5 กรัมในน้ำกลั่น ทำให้มีปริมาตรรวมเป็น 1 ลิตร

## 8. สารละลายสารส้ม 1 %

สารส้มที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบที่ใช้สำหรับห้องปฏิบัติการทดลอง (laboratory grade) ผลิตโดยบริษัท May & Baker Ltd. มีลักษณะเป็นผงสีขาว มีสูตรทางเคมีว่า  $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$  สารละลายสารส้มเข้มข้น 1% เตรียมโดยนำสารส้ม 10 กรัมละลายน้ำกลั่นทำให้มีปริมาตรเป็น 1 ลิตร สารละลายที่ได้ 1 มล. มีสารส้ม 10 มก.

## 9. โพลีเมอร์ประจุลบ

โพลีเมอร์ประจุลบที่ใช้ในการทดลองคือ Floerger AN 923 ซึ่งเป็นโพลีอะครีลาไมด์ประจุลบ (anionic acrylamide) ผลิตโดย SNF Floerger ประเทศฝรั่งเศส มีลักษณะเป็นผงสีขาว ในการละลายน้ำจะต้องใช้เวลาประมาณ 1 ชม.

#### 4.2.3 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองประกอบด้วย

##### 1. เครื่องจาร์เทสต์

เครื่องจาร์เทสต์ที่ใช้ในการทดลองเป็นของบริษัท Phipps & Bird, Inc. โมเตอร์สามารถปรับความเร็วรอบได้ ประกอบด้วยใบพาย(paddle)ขนาด 1x3 นิ้ว จำนวน 6 ชุด

##### 2. ภาชนะที่ใช้ผสมตะกอน

ภาชนะที่ใช้ผสมตะกอนทำด้วยโพลีพลาสติกทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11.4 ซม. ความสูง 17 ซม. เจาะรูเก็บน้ำตัวอย่างที่ระดับต่ำกว่าระดับผิวน้ำปริมาตรหนึ่งลิตรเท่ากับ 4 ซม. จำนวน 6 ใบ ดังแสดงในรูป 4.1 และ 4.2

##### 3. เครื่องบด/สับอาหาร

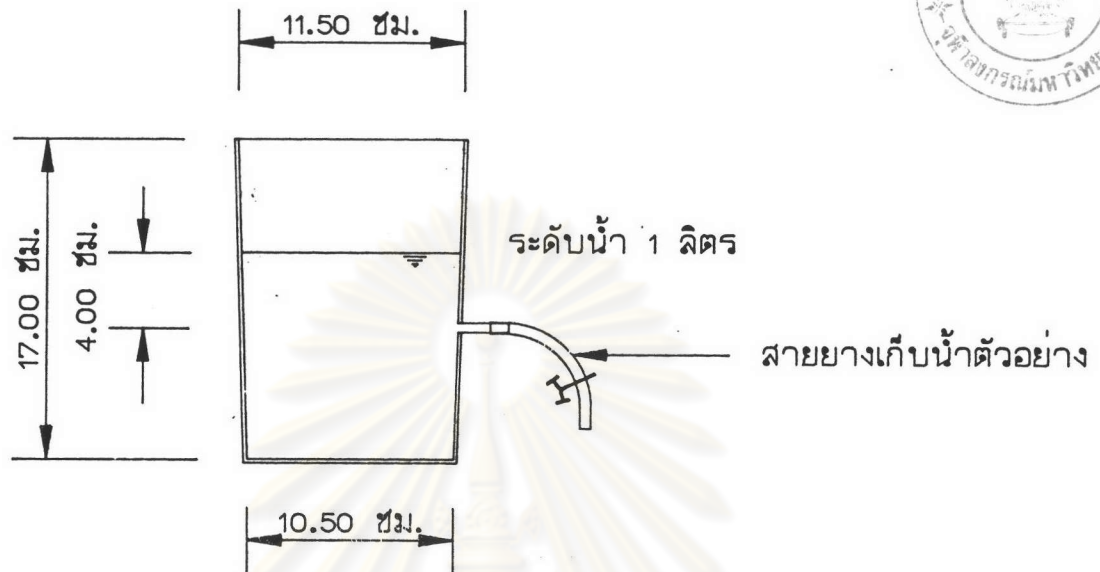
เครื่องปั่นน้ำผลไม้ใช้ของ Moulinex รุ่น Moulinette "S" Chopper กำลัง 750 วัตต์ ใช้สำหรับเตรียมเมล็ดมะขามในการทดลอง

##### 4. เครื่องวัดความขุ่น (turbidimeter)

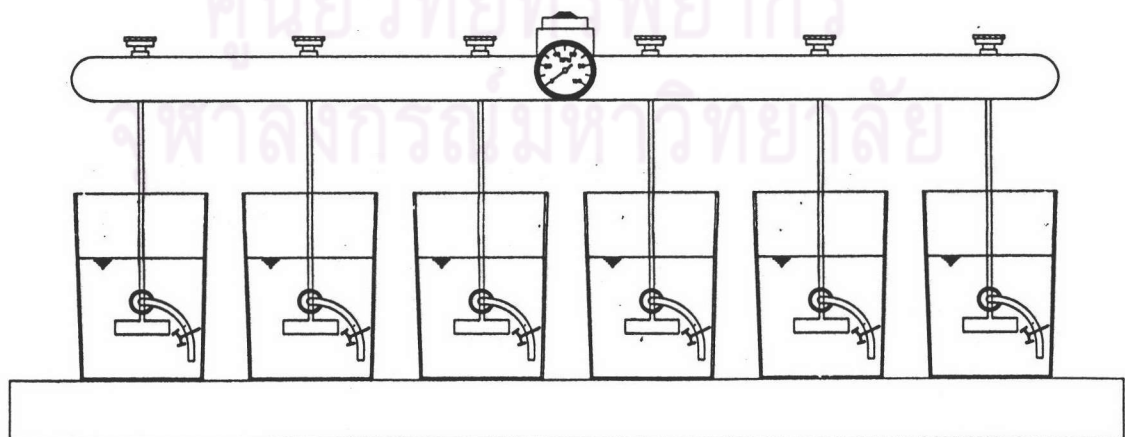
เครื่องวัดความขุ่นที่ใช้เป็นของบริษัท Hach รุ่น 2100 A

##### 5. เครื่องวัดพีเอช (pH meter)

เครื่องวัดพีเอชที่ใช้เป็นของ Horiba รุ่น F-13 E



รูปที่ 4.1 ภาชนะสमानตะกอน



รูปที่ 4.2 เครื่องจาร์เทสต์และภาชนะสमानตะกอน

## 6. เครื่องกวนแบบแม่เหล็ก (magnetic stirrer)

เครื่องกวนแบบแม่เหล็กที่ใช้ชื่อ Advantec รุ่น SR100      แท่งกวนแม่เหล็กที่ใช้ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มม. ยาว 25 มม. ใช้สำหรับการไตเตรทคอลลอยด์

### 4.3 การเตรียมโคแอกกูแลนต์จากเมล็คมะขาม

#### 4.3.1 การเตรียมผงแป้งเมล็คมะขาม

นำเมล็คมะขามมาล้างทำความสะอาด แยกเอาเมล็ดที่ลอยน้ำออกทิ้ง นำเมล็ดไปตากแดดจัดหนึ่งวัน หรือนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียสประมาณ 24 ชม. จากนั้นนำเมล็คมะขามที่ได้มาเตรียมให้เป็นผงแป้งเมล็คมะขาม โดยนำเมล็คมะขามมาแยกเปลือกเมล็ดที่มีสีน้ำตาลออกไปแล้วนำเนื้อเมล็ดมาบดให้เป็นผงละเอียด ในการเตรียมผงแป้งเมล็คมะขามจะทดลองทำ 2 วิธี คือ

วิธีที่ 1. นำเมล็ดดิบมากะเทาะเปลือก แยกเอาเฉพาะเนื้อเมล็ดมาบดให้เป็นผงละเอียด ผงแป้งที่เตรียมได้จากวิธีนี้ต่อไปจะขอเรียกว่า ผงแป้งเมล็ดดิบ

วิธีที่ 2. นำเมล็คมะขามมาอบที่ 140 องศาเซลเซียส 30 นาที แล้วนำมากะเทาะเพื่อแยกเอาเปลือกเมล็ดออก นำเนื้อเมล็ดมาบดเป็นผงละเอียด ผงแป้งที่เตรียมได้จากวิธีนี้ต่อไปจะขอเรียกว่า ผงแป้งเมล็ดอบ

นำผงแป้งเมล็คมะขามที่บดละเอียดมาร้อนผ่านตะแกรงขนาด 500 ไมครอน แล้วผสมโซเดียมไบซัลไฟต์ 0.5 % โดยน้ำหนัก จากนั้นนำบรรจุในภาชนะที่กันความชื้น การเติมโซเดียมไบซัลไฟต์เพื่อช่วยรักษาคุณภาพของสารในเมล็คมะขามและช่วยควบคุมการเปลี่ยนสี นอกจากนี้ยังสามารถป้องกันแมลงได้ด้วย



#### 4.3.2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงแป้งเมล็ดมะขาม

นำผงแป้งเมล็ดมะขามที่เตรียมได้จากวิธีทั้งสองไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น, โปรตีน, ไขมัน, คาร์โบไฮเดรต, เถ้า และเส้นใย โดยจะทำการวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆของผงแป้งซึ่งเก็บไว้ในภาชนะที่ปิดสนิทที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0, 30 และ 60 วัน เพื่อดูองค์ประกอบของผงแป้งเมล็ดมะขาม, เปรียบเทียบค่าที่ได้จากวิธีการเตรียมที่แตกต่างกันและการเปลี่ยนแปลงของผงแป้งเมล็ดมะขามที่เก็บไว้ ในการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงแป้งเมล็ดมะขามจะใช้วิธีการของ AOAC (22) ซึ่งจะทำการวิเคราะห์โดยกองเกษตรเคมี กรมวิชาการเกษตร การวิเคราะห์ผงแป้งเมล็ดมะขามจะเป็นดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์หาองค์ประกอบของผงแป้งเมล็ดมะขาม

ตัวอย่างที่วิเคราะห์ \ ระยะเวลาการเก็บ	0 วัน	30 วัน	60 วัน
ผงแป้งเมล็ดคืบ	*	*	*
ผงแป้งเมล็ดอบ	*	*	*

\* : ทำการวิเคราะห์หาโปรตีน, ไขมัน, คาร์โบไฮเดรต, เถ้า และเส้นใย

#### 4.3.3 การเตรียมสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขาม

เตรียมสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขาม จะเตรียมโดยประยุกต์ใช้วิธีของ NEERI (12) และวิธีของ Busulu (16)

วิธีที่ 1 เตรียมสารโคแอกกูแลนต์ให้มีความเข้มข้น 0.1% ตามวิธีของ NEERI  
ขั้นตอนในการเตรียมมีดังนี้

- ก) นำผงแป้งเมล็ดมะขาม 1 กรัมผสมกับโซดาแอส 0.11 กรัม
- ข) นำส่วนผสมมาละลายน้ำ 500 มล. ให้เป็นสารละลาย
- ค) ให้ความร้อนแก่สารละลาย จนกระทั่งสารละลายใสและค่อนข้างเหนียวหนืด
- ง) นำสารละลายที่ได้มากวนเร็วผสมน้ำ จนกระทั่งมีปริมาตรเป็น 1000 มล.

วิธีที่ 2 เตรียมสารละลายให้มีความเข้มข้น 0.1% ประยุกต์จากวิธี Busulu  
ขั้นตอนการเตรียมมีดังนี้

- ก) นำผงแป้งเมล็ดมะขาม 1 กรัมผสมกับน้ำ 2 มล.
- ข) นำส่วนผสมที่ได้มาเติมโซดาไฟ 40% 0.3 มล.
- ค) คนส่วนผสมให้เข้ากัน จะได้ส่วนผสมที่มีลักษณะเป็นก้อนแป้ง
- ง) นำก้อนแป้งที่ได้มากวนเร็วผสมกับน้ำ ให้เป็น 1000 มล. จะได้สารละลายซึ่งมีความเข้มข้น 0.1 %

สารละลายที่เตรียมได้จากวิธีทั้งสองปริมาตร 1 มล. มีปริมาณผงแป้งเมล็ดมะขาม 1 มก.

จากการเตรียมผงแป้งและสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามโดยวิธีการต่างๆ จะได้สารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามสำหรับใช้ในการทดลองจาร์เทสต์ 4 แบบ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามที่ใช้ในการทดลอง

ชนิดผงแป้งเมล็ดมะขาม	วิธีการเตรียมสารละลาย	สารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามที่ได้
ผงแป้งเมล็ดคืบ	วิธีที่ 1	สารละลายผงแป้งเมล็ดคืบ 1
	วิธีที่ 2	สารละลายผงแป้งเมล็ดคืบ 2
ผงแป้งเมล็ดคอบ	วิธีที่ 1	สารละลายผงแป้งเมล็ดคอบ 1
	วิธีที่ 2	สารละลายผงแป้งเมล็ดคอบ 2

#### 4.4 การวัดประจุของสารโคเอกกูแลนต์

การทดลองในส่วนนี้ จะเป็นการตรวจสอบชนิดและหาปริมาณประจุคอลลอยด์ของสารโคเอกกูแลนต์ชนิดต่างๆ โดยจะทำการวัดประจุของสารโคเอกกูแลนต์ต่างๆ ได้แก่ สารส้ม, โพลีเมอร์ประจุลบ และสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามที่เตรียมได้ โดยใช้เทคนิคการไตเตรทคอลลอยด์แบบไตเตรทย้อนกลับ(23) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

สารเคมีที่ใช้ประกอบด้วย

1. MGC (Methyl Glycol Chitosan) มีคุณสมบัติเป็นคอลลอยด์ประจุบวก
2. PVSAK (PolyvinylSulfuric Acid Potassium salt) มีคุณสมบัติเป็นคอลลอยด์ประจุลบ
3. TB (Toluidine Blue) เป็นอินดิเคเตอร์ที่มีสีน้ำเงินในคอลลอยด์ประจุบวกและมีสีม่วงในคอลลอยด์ประจุลบ

ขั้นตอนในการไตเตรทและการคำนวณค่าประจุมีดังนี้

- ก) นำน้ำตัวอย่างที่จะทำการทดลองมาปริมาตร 100 มล. เติมนลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มล. กวนผสมบนเครื่องกวนแบบแม่เหล็ก
- ข) เติมสารละลาย MGC ลงไป 2 มล. แล้วหยดสารละลาย TB ลงไป 1-3 หยด
- ค) ไตเตรทด้วยสารละลาย PVSAK โดยใช้ปริมาตรขนาด 50 มล. จนสีของน้ำตัวอย่างเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีม่วง ดูรูปที่ 4.2
- ง) ทำการวิเคราะห์แบบเดิซวกันกับน้ำกลั่นเพื่อใช้เป็นแบลนด์
- จ) นำปริมาตรของ PVSAK ที่ใช้กับน้ำตัวอย่างมาลบด้วยปริมาตรที่ใช้กับน้ำกลั่น

ผลลัพธ์ที่ได้จากข้อ จ) จะเป็นปริมาตรของ PVSAK ที่มีสมมูลของประจุเท่ากับตัวอย่างน้ำ และเครื่องหมายผลลัพธ์จะแทนชนิดของประจุของอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำที่ใช้วิเคราะห์ จึงสามารถคำนวณหาความเข้มข้นของประจุคอลลอยด์ได้จากสมการ

$$C = (S-B)Nx10^{-7}/M$$

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

S คือ ปริมาตรสารละลาย PVSAK ที่ใช้ไตเตรทตัวอย่างน้ำ , มล.

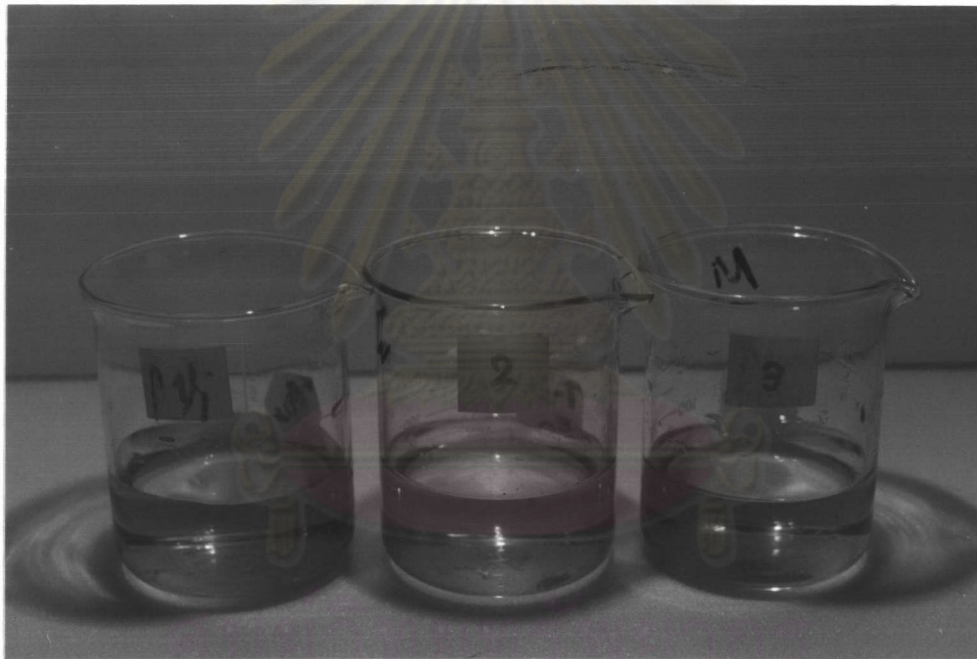
B คือ ปริมาตรสารละลาย PVSAK ที่ใช้ไตเตรทน้ำกลั่น , มล.

M คือ ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง , มล.

N คือ ความเข้มข้นของสารละลาย PVSAK , มิลลิอิกวาเลนซ์/ลิตร

การไตเตรทย้อนกลับนี้สามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณสารละลายMGC ได้ตามความเหมาะสมและไม่จำเป็นต้องรู้ความเข้มข้นที่แท้จริงของสารละลาย MGC ด้วย เพราะการทำแปลงค่าจะแก้ไขความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ได้

ในการทดลองจะทำการแปรค่าความเข้มข้น และพีเอชของสารโคแอกกูแลนต์แต่ละชนิดตามความเหมาะสม เพื่อศึกษาถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณประจุคอลลอยด์ที่สภาวะต่างๆ



รูปที่ 4.3 สีของตัวอย่างที่มีประจุต่าง ๆ กัน

- 1) ตัวอย่างที่มีประจุบวก
- 2) สีของจุดยุติ
- 3) ตัวอย่างที่มีประจุลบ

#### 4.5 การทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอด

การทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอด ได้แก่การนำเอาสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามที่เตรียมได้ มาทดสอบความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้ม เปรียบเทียบกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียวด้วยวิธีจาร์เทสต์

##### 4.5.1 ตัวแปรในการทดลอง

ในการทดลองจะมีศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆดังนี้

- ตัวแปรอิสระ ได้แก่

1. ปริมาณโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอด
2. ชนิดของโคแอกกูแลนต์ ประกอบด้วยสารส้ม และสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขาม
3. ความขุ่นของน้ำขุ่นสังเคราะห์

- ตัวแปรตาม ได้แก่

1. ความขุ่นที่เหลือของน้ำ
2. พีเอชของน้ำ
3. ความเป็นด่าง (alkalinity)

- ตัวแปรคงที่ ได้แก่

1. ความเร็วเกรเดียน และเวลาในการกวนเร็ว
2. ชนิดของน้ำขุ่นดิบ
3. เวลาในการตกตะกอน

#### 4.5.2 การทดลองจาร์เทสต์

ขั้นตอนในการทดลองจาร์เทสต์มีดังนี้

- ก) เติมน้ำขุ่นสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองปริมาณ 1000 มล. ลงในถ้วยทดลอง
- ข) เปิดเครื่องกวนโดยใช้ความเร็ว 100 รอบต่อนาที แล้วเติมสารโคแอกกูแลนต์ที่เตรียมไว้ที่อยู่ในรูปที่เหมาะสมลงไป ใช้เวลาในการกวนเร็ว 1 นาที
- ค) ปรับเครื่องกวนให้มีความเร็วรอบ 40 รอบต่อนาที ใช้เวลาในการกวนช้า 20 นาที ในกรณีที่ทดลองใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์เอคร่วมกับสารส้มให้เติมในขั้นตอนนี้
- ง) หยุดเครื่องกวน และตั้งถ้วยทดลองทิ้งไว้ให้ตกตะกอน 15 นาที เก็บตัวอย่างน้ำ
- จ) วิเคราะห์น้ำใส เพื่อหาค่าความขุ่น พีเอช และ alkalinity ที่เหลืออยู่
- ฉ) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ ก)-จ) โดยเปลี่ยนชนิดของโคแอกกูแลนต์และความขุ่นของน้ำดิบ เปรียบเทียบกับการใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์

ในการทดลองจะใช้สารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามที่เตรียมได้ในแต่ละวิธีมาทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์ และโคแอกกูแลนต์เอคร่วมกับสารส้ม โดยใช้น้ำขุ่นสังเคราะห์ที่ค่าความขุ่นต่างๆ จากนั้นจะมีการนำน้ำดิบจากคลองประปามาทำจาร์เทสต์ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอคร่วมกับสารส้มในสภาพน้ำดิบจริง

จำนวนการทดลองจาร์เทสต์ ประกอบด้วยตัวแปรต่างๆ ดังนี้

- ระดับความขุ่นของน้ำขุ่นสังเคราะห์ 7 ระดับ
- เก็บน้ำดิบจากคลองประปา 3 ครั้ง
- สารละลายผงแป้งเมล็ดมะขาม 4 แบบ
- ใช้เป็นโคแอกกูแลนต์
- ใช้เป็นโคแอกกูแลนต์เอคร่วมกับสารส้ม เมื่อใช้สารส้ม 50% และ 25% ของปริมาณสารส้มที่เหมาะสมของน้ำดิบแต่ละชุด

การทดลองสำหรับสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามแต่ละแบบเป็นดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การทดลองสำหรับสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามแต่ละแบบ

น้ำดิบ	การทดสอบประสิทธิภาพ		
	เป็นโคแอกกูแลนต์	เป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้ม	
		สารส้ม 50% opt.	สารส้ม 25% opt
น้ำขุ่นสังเคราะห์ 20 NTU	*	*	*
น้ำขุ่นสังเคราะห์ 50 NTU	*	*	*
น้ำขุ่นสังเคราะห์ 100 NTU	*	*	*
น้ำขุ่นสังเคราะห์ 200 NTU	*	*	*
น้ำขุ่นสังเคราะห์ 300 NTU	*	*	*
น้ำขุ่นสังเคราะห์ 500 NTU	*	*	*
น้ำขุ่นสังเคราะห์ 1000 NTU	*	*	*
น้ำดิบจากคลองประปา 1	*	*	*
น้ำดิบจากคลองประปา 2	*	*	*
น้ำดิบจากคลองประปา 3	*	*	*

\* : ทำการทดลองจาร์เทสต์

จำนวนการทดลองสำหรับสารละลายผงแป้งเมล็ดมะขามแต่ละแบบ = 30 ครั้ง

จำนวนการทดลองทั้งหมด 120 ครั้ง

### 4.5.3 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำใส

ข้อมูลที่ต้องการวิเคราะห์และวิธีการมีดังนี้

1. ความขุ่น โดยใช้เครื่องวัดความขุ่น
2. พีเอช โดยใช้เครื่องวัดพีเอช
3. Alkalinity โดยวิธีการไตเตรทกับกรดซัลฟูริก 0.02 นอร์มอล โดยใช้สารละลายเมทิลออเรนจ์เป็นดัชนี วิธีการมีดังนี้

ก) บีบเปิดน้ำตัวอย่างใส่ขวดรูปชมพู่ หยดสารละลายเมทิลออเรนจ์ลงไป 2-3 หยด

ข) ถ้าได้สารละลายสีเหลือง นำสารละลายที่ได้มาไตเตรทด้วยสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก จนกระทั่งสารละลายเปลี่ยนเป็นสีส้ม จดปริมาตรของสารละลายกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการไตเตรท แล้วนำไปหาค่าความเป็นด่างโดยสูตร

$$\text{ความเป็นด่าง(มก./ล.)} = \frac{A \times N \times 50 \times 1000}{B}$$

เมื่อ A คือ ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการไตเตรท, มล.

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกที่ใช้ในการไตเตรท, มล.

B คือ ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง, มล.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



#### 4.6 การวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย และเสนอแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้

การประเมินต้นทุนในการใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอค จะคิดจากค่าใช้จ่ายในการผลิตผงแป้งเมล็ดมะขามและการเตรียมให้เป็นสารละลาย แล้วเลือกผลการทดลองซึ่งใช้เมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอคแล้วได้ผล นำมาคิดค่าใช้จ่ายในการนำเมล็ดมะขามมาใช้เป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอคร่วมกับสารส้ม

จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ความเหมาะสมในการนำไปใช้กับสภาพจริงในงานผลิตน้ำประปาโดยพิจารณาความเหมาะสมในด้านต่างๆ เช่น คุณภาพน้ำหลังการตกตะกอน, ค่าสารเคมี และความสะดวกในการนำไปใช้งาน และประโยชน์ที่เกิดจากการนำเอาเมล็ดมะขามเป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอค



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย