



บทที่ 3

แผนงานและการดำเนินการวิจัย

แผนการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยมีลำดับการทดลองวิจัยดังนี้ คือ

1. การเตรียมการทดลอง
 - การเตรียมสารเคมี
 - การเตรียมน้ำขุนสังเคราะห์
 - การเตรียมโคแอกกูแลนท์จากเมล็ดมะรุม
 - การวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีของโคแอกกูแลนท์จากเมล็ดมะรุม
2. การทดลองเบื้องต้น (Preliminary Test)
 - การตรวจสอบหาประจุของโคแอกกูแลนท์
 - การทดสอบเบื้องต้นถึงประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนท์และโคแอกกูแลนท์เอต
3. การทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนท์และโคแอกกูแลนท์เอต
4. การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายและเสนอแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้

การเตรียมการทดลอง

1. การเตรียมสารเคมี

สารเคมีที่ใช้ในการทดลองนี้มีเป็นจำนวนมาก แต่สามารถแยกออกตามวัตถุประสงค์ในการใช้งานได้ ดังนี้

1.1 สารเคมีที่ใช้ในการไตเตรทหาประจุ สารเคมีที่ใช้ในการไตเตรทหาประจุมัตังนี้

สารละลายเอมีนจีซี 5×10^{-4} นอร์มอล

สารเอมีนจีซี (MGC, Methyl Glycol Chitosan) มีลักษณะเป็นผงสีเหลืองอ่อน สูตรทางเคมี คือ $C_{11}H_{22}O_5N$ เมื่อละลายน้ำมีคุณสมบัติเป็นคอลลอยด์ประจุบวก ใช้สำหรับการไตเตรทคอลลอยด์ สารละลายเอมีนจีซีเข้มข้น 5×10^{-4} นอร์มอล มีวิธีการเตรียมดังนี้

- ก) ละลายสารเอมีนจีซี 3.75 กรัมในน้ำกลั่น ทำให้มีปริมาตรเป็น 1 ลิตร จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล
- ข) นำสารละลายในข้อ ก) มา 50 มล. เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1 ลิตร จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 5×10^{-4} นอร์มอล ตามต้องการ

สารละลายพีวีเอสเอเค 5×10^{-4} นอร์มอล

สารพีวีเอสเอเค (PVSAK, Polyvinyl Sulfonic Acid Potassium Salt) มีลักษณะเป็นผงสีน้ำตาลอ่อน สูตรทางเคมีคือ $[CH_2CH(SO_3K)]_x$ เมื่อละลายน้ำมีคุณสมบัติเป็นคอลลอยด์ประจุลบ ใช้สำหรับการไตเตรทคอลลอยด์ วิธีการเตรียมสารละลายพีวีเอสเอเค 5×10^{-4} นอร์มอล มีดังนี้

- ก) ละลายสารพีวีเอสเอเค 1.6221 กรัมในน้ำกลั่น ทำให้มีปริมาตรเป็น 1 ลิตร จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล
- ข) นำสารละลายในข้อ ก) มา 50 มล. เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตร 1 ลิตร จะได้สารละลายที่มีความเข้มข้น 5×10^{-4} นอร์มอล ตามต้องการ

สารละลายทีบี

สารทีบี (TB, Tuluidine Blue) มีลักษณะเป็นผงสีน้ำเงินเข้ม ใช้เป็นดัชนี (indicator) ในการทดลองหาประจุ มีสีน้ำเงินในคอลลอยด์ประจุบวก และมีสีม่วงในคอลลอยด์ประจุลบ เตรียมให้อยู่ในรูปสารละลายได้โดย ละลายทีบี 1.0 กรัมในน้ำกลั่นและทำให้มีปริมาตรรวมเป็น 1 ลิตร

สารละลายกรดซัลฟูริก 0.1 นอร์มอล

สารละลายกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) ใช้สำหรับปรับพีเอชน้ำตัวอย่างที่ต้องการหาประจุให้ มีพีเอชตามต้องการ วิธีการเตรียมสารละลายกรดซัลฟูริก 0.1 นอร์มอล มีดังนี้

- ก) เตรียมสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 นอร์มอล โดยนำกรดซัลฟูริกเข้มข้น 95 % โดยน้ำหนักในปริมาตร 29 มล. เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 1 ลิตร จะได้สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้นประมาณ 1 นอร์มอล
- ข) นำสารละลายกรดซัลฟูริกที่เตรียมได้ในข้อ ก) ปริมาตร 100 มล. เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนมีปริมาตรเป็น 1 ลิตร จะได้สารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้นประมาณ 0.1 นอร์มอลตามต้องการ

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ($NaOH$) ใช้สำหรับปรับพีเอชน้ำตัวอย่างที่ต้องการหาประจุให้ มีพีเอชตามต้องการ วิธีการเตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 นอร์มอล มีดังนี้

- ก) เตรียมสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 50 % โดยชั่งโซเดียมไฮดรอกไซด์ 100 กรัมละลายในน้ำกลั่น 100 มล. ตั้งทิ้งไว้ 48 ชม. กรองเอาผ้าที่ลอยบนผิวน้ำและตะกอนทิ้งไป
- ข) นำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 50 % ที่เตรียมได้มา 60 มล. เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 1 ลิตร จะได้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นประมาณ 1 นอร์มอล
- ค) นำสารละลายที่ได้ในข้อ ข) มา 100 มล. เจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 1 ลิตร จะได้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นประมาณ 0.1 นอร์มอลตามต้องการ

1.2 สารเคมีที่ใช้ในการเตรียมสารโคแอกกูแลนต์จากเมล็ดมะรุม สารเคมีที่ใช้เป็นตัวทำละลายผงเมล็ดมะรุม มีดังต่อไปนี้

สารละลายกรดไฮโดรคลอริก 0.05 นอร์มอล

สารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 0.05 นอร์มอล มีวิธีการเตรียมดังนี้

- ก) เตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น 1 นอร์มอล โดยนำกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นในปริมาตร 83 มล. เติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตรสารละลาย 1 ลิตร จะได้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นประมาณ 1 นอร์มอล
- ข) นำสารละลายที่เตรียมได้ในข้อ ก) มา 50 มล. เติมน้ำกลั่นให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร จะได้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นประมาณ 0.05 นอร์มอล ตามที่ต้องการ

สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต 0.05 นอร์มอล

สารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) เข้มข้น 0.05 นอร์มอล มีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

- ก) นำผงโซเดียมคาร์บอเนตมาอบแห้งในเตาเผาที่อุณหภูมิ 260°C เพื่อไล่สิ่งเจือปนไฮโดรเจนคาร์บอเนต ต้องควบคุมไม่ให้อุณหภูมิสูงถึง 270°C เพราะจะทำให้สลาย เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ อบเป็นเวลาประมาณ 1-1.5 ชั่วโมง ทิ้งไว้ในโถทำให้เย็น
- ข) ชั่งโซเดียมคาร์บอเนตจากข้อ ก) ให้ได้ 53 กรัม ละลายในน้ำกลั่นจนได้สารละลายปริมาตร 1 ลิตร จะได้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตเข้มข้นประมาณ 1 นอร์มอล
- ค) นำสารละลายในข้อ ข) ในปริมาตร 50 มล. เจือจางด้วยน้ำกลั่นจนได้ สารละลาย 1 ลิตร จะได้สารละลายโซเดียมคาร์บอเนตที่เข้มข้นประมาณ 0.05 นอร์มอลตามต้องการ

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 นอร์มอล

สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 0.05 นอร์มอลนี้ จะเตรียมจากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 1 นอร์มอล ซึ่งมีวิธีการเตรียมดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น นำสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 นอร์มอลมาในปริมาตร 50 มล. เติมน้ำกลั่นจนได้สารละลาย 1 ลิตร จะได้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้นประมาณ 0.05 มล.ตามต้องการ

1.3 สารเคมีที่ใช้ในการหาค่าความเป็นด่าง (Alkalinity)

สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก 0.02 นอร์มอล

สารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริกเข้มข้น 0.02 นอร์มอลที่ใช้ในการหาค่าความเป็นด่างนี้มีวิธีการเตรียมโดยจะเตรียมให้เป็นสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 นอร์มอลก่อน ตามวิธีการเตรียมที่กล่าวมาข้างต้น จากนั้นจึงนำสารละลายกรดซัลฟูริกเข้มข้น 1 นอร์มอลปริมาตร 20 มล. มาเจือจางด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตรเป็น 1 ลิตร จะได้สารละลายกรดซัลฟูริกที่มีความเข้มข้นประมาณ 0.02 นอร์มอล นำสารละลายกรดซัลฟูริกที่เตรียมได้ไปแสดงนคาร์ตไตซ์กับสารละลายมาตรฐานโซเดียมคาร์บอเนต 0.02 นอร์มอล โดยใช้เมธิลออเรนจ์เป็นดัชนี แล้วคำนวณความเข้มข้นที่แน่นอนของสารละลายกรดซัลฟูริกที่เตรียมได้

สารละลายเมธิลออเรนจ์

สารเมธิลออเรนจ์ (Methyl Orange) มีลักษณะเป็นผงสีส้ม สารละลายเมธิลออเรนจ์ใช้เป็นดัชนีในการหาค่าความเป็นด่าง

1.4 สารเคมีอื่น ๆ

สารเคมีอื่น ๆ ที่ใช้คือ สารส้ม และโพสิเมอร์ สารส้มจะใช้เป็นโคแอกกูแลนต์อีกชนิดหนึ่งเพื่อเปรียบเทียบผลกับการใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์ ส่วนโพสิเมอร์นั้นจะใช้ในการเปรียบเทียบประจุกับเมล็ดมะรุมและสารส้ม

สารส้ม

สารส้มที่ใช้ในการทดลองเป็นแบบที่ใช้สำหรับห้องปฏิบัติการทดลอง (Laboratory grade) ผลิตโดยบริษัท May & Baker Ltd. มีลักษณะเป็นผงสีขาว มีสูตรทางเคมีว่า $Al_2(SO_4)_3 \cdot 14H_2O$ ในการวิจัยนี้จะเตรียมสารส้มให้อยู่ในรูปของสารละลายสารส้มที่มีความเข้มข้น 1 % ซึ่งเตรียมได้โดยนำสารส้ม 10 กรัม ละลายในน้ำกลั่นให้ได้สารละลายปริมาตร 1 ลิตร สารละลายที่ได้ 1 มล. จะมีสารส้ม 10 มก.

โพลีเมอร์สังเคราะห์

สำหรับโพลีเมอร์ที่ใช้มี 2 ชนิด คือ โพลีเมอร์ประจุบวกและโพลีเมอร์ประจุลบ โดยใช้โพลีเมอร์ของบริษัท นาลโก เคมีคอล คัมปะนี (ประเทศไทย) จำกัด มีลักษณะเป็นผงสีขาวทั้ง 2 ชนิด ประจุบวกที่ใช้มีชื่อว่า NALCO 9904 และโพลีเมอร์ประจุลบที่ใช้ชื่อ NALCO AP130

2. เครื่องมือและอุปกรณ์

อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองวิจัยประกอบด้วย

เครื่องบด/สับอาหาร

ใช้เครื่องบด/สับอาหารของ Moulinex สำหรับเตรียมผงแป้งจากเมล็ดมะรุม

เครื่องจาร์เทสต์

เครื่องจาร์เทสต์ที่ใช้ในการทดลองเป็นของบริษัท Phipps & Bird, Inc. ประกอบด้วยใบพายขนาด 1x3 นิ้ว จำนวน 6 ชุด มอเตอร์สามารถปรับความเร็วรอบได้ 0-100 รอบต่อนาที

ภาชนะผสมานตะกอน

ภาชนะที่ใช้ผสมานตะกอนทำด้วยโพลีพลาสติกทรงกระบอก มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 11.4 ซม. ความสูง 17 ซม. เจาะรูเก็บน้ำตัวอย่างที่ระดับต่ำกว่าระดับผิวน้ำปริมาตรหนึ่งลิตรเท่ากับ 4 ซม. จำนวน 6 ใบ

เครื่องวัดความขุ่น (Turbidimeter)

เครื่องวัดความขุ่นที่ใช้เป็นของบริษัท Hach รุ่น 2100 A

เครื่องวัดพีเอช (pH meter)

เครื่องวัดพีเอชใช้ของ Horiba รุ่น F-13 E

3. การเตรียมน้ำขุ่นสังเคราะห์

น้ำขุ่นสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองจะใช้น้ำขุ่นที่สังเคราะห์จากดินคาโอลิน สาเหตุที่เลือกดินชนิดนี้ เนื่องจากดินคาโอลินเป็นแร่ดินที่พบมากในแหล่งน้ำส่วนใหญ่ในประเทศไทย ระดับความขุ่นที่จะใช้ในการวิจัยคือ 20, 50, 100, 200 และ 300 เอ็นทียู เนื่องจากขนาดอนุภาคที่อยู่ในช่วงของอนุภาคคอลลอยด์มีขนาด 0.001 ถึง 1 ไมครอนดังนั้น เพื่อให้ได้ขนาดของอนุภาคของน้ำขุ่นสังเคราะห์ที่อยู่ในช่วงอนุภาคคอลลอยด์ จึงต้องทำการคัดขนาดอนุภาคโดยปล่อยให้อนุภาคดินคาโอลินตกตะกอนในน้ำนิ่งตามเวลา และความลึกที่ประมาณได้จากสมการทั่วไปของการตกตะกอนแบบโดด (Discrete Settling) ที่ประยุกต์จากกฎของสโตค (Stoke's Law) ดังนี้

$$V_s = g(p_s - p) d^2 / (18\mu)$$

- เมื่อ V_s คือ ความเร็วในการจมตัวแบบอิสระของอนุภาค , ม/วินาที²
 g คือ อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก , ม/วินาที²
 p_s คือ ความหนาแน่นของอนุภาค , กก.(มวล)/ลบ.ม.
 p คือ ความหนาแน่นของน้ำ , กก.(มวล)/ลบ.ม.
 d คือ ขนาดของอนุภาค , ม.
 μ คือ ความหนืดของน้ำ , นิวตัน-วินาที/ตร.ม.

ในกรณีของดินคาโอลินซึ่งมีความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.38 ก็คือความหนาแน่น 2,380 กก.(มวล)ต่อ ลบ.ม. เมื่อแทนค่าในสมการ จะได้ความเร็วในการจมตัวเท่ากับ 8.45×10^{-7} ม/วินาที หรือ 0.3 ม/ชม. เมื่อให้เวลาจมตัว 48 ชม. อนุภาคที่ลอยอยู่ในระดับ 14.4 ซม.จากผิวน้ำ จะมีขนาดเล็กกว่า 1 ไมครอน

การเตรียมน้ำขุ่นสังเคราะห์เตรียมได้ดังนี้

- 1) นำดินคาโอลินผสมกับน้ำแล้วกวนให้เป็นเนื้อเดียวกันเพื่อให้อนุภาคดินกระจายอย่างทั่วถึง
- 2) ปล่อยให้ตกตะกอนเป็นเวลา 48 ชั่วโมง
- 3) ตูดน้ำออกด้วยวิธีการลักน้ำ โดยเริ่มตูดจากตำแหน่งที่ลึกจากผิวน้ำเท่ากับ 14.4 ซม
- 4) เจือจางน้ำขุ่นสังเคราะห์ด้วยน้ำประปาจนกระทั่งได้ความขุ่นตามต้องการ



4. การเตรียมโคแอกกูแลนท์จากเมล็ดมะรุม

ในการวิจัยนี้เตรียมโคแอกกูแลนท์จากเมล็ดมะรุมจากฝักแก่ที่แห้งแล้ว โดยแกะเมล็ดมะรุมออกจากฝัก และคัดเมล็ดที่เป็นมอดหรือไมดีทิ้งไป หลังจากนั้นจึงนำเมล็ดที่ผ่านการคัดแล้วมาแกะเปลือกออก นำเมล็ดที่แกะเปลือกแล้วมาบดด้วยเครื่องบดไฟฟ้าจนได้เป็นผง นำผงเมล็ดมะรุมที่ได้มาแบ่งเป็น 3 ส่วน เพื่อเก็บไว้เป็นเวลาต่าง ๆ กัน ส่วนแรกจะนำมาทดลองทันที ส่วนที่ 2 และ 3 จะเก็บไว้เป็นเวลา 1 และ 2 เดือน ตามลำดับ เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพของเมล็ดมะรุมที่มีอายุต่าง ๆ กัน เก็บผงเมล็ดมะรุมทั้ง 3 ส่วนไว้ในภาชนะที่กันความชื้น

ส่วนการเตรียมสารโคแอกกูแลนท์จากผงแบ่งเมล็ดมะรุมให้อยู่ในรูปที่เหมาะสม เตรียมโดยใช้ตัวทำละลาย 4 ชนิด คือ

1. น้ำ
2. กรดไฮโดรคลอริก (HCl) 0.05 N.
3. โซเดียมคาร์บอเนต หรือโซดาแอช (Na_2CO_3) 0.05 N.
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) 0.05 N.

การเตรียมโคแอกกูแลนท์จากเมล็ดมะรุมทำได้โดยละลายผงแบ่งจากเมล็ดมะรุมโดยตัวทำละลายแต่ละชนิดให้มีความเข้มข้น 2 % สารที่ได้มีลักษณะเป็นสารแขวนลอย เมื่อนำมาใช้ต้องคนให้สารแขวนลอยนี้เป็นเนื้อเดียวกัน สารแขวนลอยที่เตรียมได้นี้ 1 มล. มีเนื้อมะรุม 20 มก. และจากการที่ใช้ตัวทำละลาย 4 ชนิดจึงทำให้ได้สารโคแอกกูแลนท์ 4 ชนิด ดังแสดงในตารางที่ 3-1

5. การวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีของโคแอกกูแลนท์จากเมล็ดมะรุม

นำผงเมล็ดมะรุมที่เตรียมได้ไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ ปริมาณความชื้น โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เส้นใย และเถ้า โดยในการวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมีนี้กระทำตามวิธีของ AOAC (1970) โดยวิเคราะห์ผงแบ่งเมล็ดมะรุมที่เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 0, 1 และ 2 เดือนตามลำดับ การวิเคราะห์กระทำโดย

1. สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร ม.เกษตรศาสตร์
2. กองชีวภาพ กรมวิทยาศาสตร์บริการ กระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม

การวิเคราะห์ผงเมล็ดมะรุมแสดงในตารางที่ 3-2

ตารางที่ 3-1 โคแอกกูแลนท์จากเมล็ดมะรุมที่ใช้ในการทดลอง

ชนิด ที่	ตัวทำละลาย	สารโคแอกกูแลนท์ที่ได้
1	น้ำ	เมล็ดมะรุมในน้ำ
2	กรดไฮโดรคลอริก 0.05 N	เมล็ดมะรุมในกรดไฮโดรคลอริก
3	โซเดียมคาร์บอเนต 0.05 N	เมล็ดมะรุมในโซเดียมคาร์บอเนต
4	โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 N	เมล็ดมะรุมในโซเดียมไฮดรอกไซด์

ตารางที่ 3-2 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงเมล็ดมะรุม

สถาบันที่ทำการวิเคราะห์	ผงเมล็ดม	ผงเมล็ดม	ผงเมล็ดม
	ะรุม 0 เดือน	ะรุม 1 เดือน	ะรุม 2 เดือน
สถาบันคั่นคว่ำฯ ม.เกษตร	*	*	*
กรมวิทยาศาสตร์บริการ	*	*	*

* หมายถึง ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทดลองเบื้องต้น

1. การตรวจสอบประจุของสารโคแอกกูแลนต์

สารโคแอกกูแลนต์ที่นำมาตรวจสอบประจุประกอบด้วย สารส้ม โพลีเมอร์ประจุบวก โพลีเมอร์ประจุลบ และเมล็ดมะรุมในตัวทำละลายทั้ง 4 ชนิดโดยจะใช้เทคนิคการไตเตรทคอลลอยด์แบบย้อนกลับ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

สารเคมีที่ใช้ประกอบด้วย

- 1) สารละลายเอ็มจีซี (Methyl Glycol Chitosan) มีคุณสมบัติเป็นคอลลอยด์ประจุบวก
- 2) สารละลายพีวีเอสเอเค (Potassium Polyvinyl Alcohol Sulfate) มีคุณสมบัติเป็นคอลลอยด์ประจุลบ
- 3) สารละลายทีบี (Toluidine Blue) เป็นอินดิเคเตอร์ที่มีสีน้ำเงินในคอลลอยด์ประจุบวก และมีสีม่วงในคอลลอยด์ประจุลบ

ขั้นตอนในการไตเตรทและการคำนวณค่าประจุมีดังนี้

- 1) นำโคแอกกูแลนต์ที่จะทำการตรวจสอบประจุมาทำให้อยู่ในรูปของสารละลายหรือสารแขวนลอย หลังจากนั้นนำมาประมาณ 100 มล. เติมนลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มล.
- 2) เติมสารละลายเอ็มจีซีลงไปปริมาณ 2 มล. แล้วหยดสารละลาย TB ลงไป 3 หยด
- 3) ไตเตรทด้วยสารละลายพีวีเอสเอเค โดยใช้บิวเรตขนาด 50 มล. จนสีของน้ำตัวอย่างเปลี่ยนจากสีน้ำเงินเป็นสีม่วง
- 4) ทำการวิเคราะห์แบบเดียวกันกับน้ำกลั่น เพื่อใช้เป็นแบลนด์
- 5) นำปริมาตรของสารละลายพีวีเอสเอเคที่ใช้กับน้ำตัวอย่างมาลบด้วยปริมาตรที่ใช้กับน้ำกลั่น

ผลลัพธ์ที่ได้จากข้อ 5 จะเป็นปริมาตรของสารละลายพีวีเอสเอเคที่มีสมมูลย์ของประจุเท่ากับตัวอย่างน้ำ และเครื่องหมายของผลลัพธ์จะแทนชนิดของประจุของอนุภาคคอลลอยด์ในน้ำที่ใช้วิเคราะห์ ดังนั้นจึงสามารถคำนวณหาความเข้มข้นของประจุคอลลอยด์ได้จากสมการ

$$C = (S-B)N \times 10^7 / M$$

เมื่อ C คือ ประจุในน้ำตัวอย่าง , มิลลิอควิวาเลนซ์/ลิตร $\times 10^4$

S คือ ปริมาตรสารละลายพีวีเอสเอเคที่ใช้ไตเตรทตัวอย่างน้ำ , มล.

B คือ ปริมาตรสารละลายพีวีเอสเอเคที่ใช้ไตเตรทน้ำกลั่น , มล.

M คือ ปริมาตรของน้ำตัวอย่าง , มล.

N คือ ความเข้มข้นของสารละลายพีวีเอสเอเคที่ใช้ , นอร์มอล

การไตเตรทย้อนกลับนี้สามารถเปลี่ยนแปลงปริมาณสารละลายเอ็มจีซีได้ตามความเหมาะสม และไม่จำเป็นต้องรู้ความเข้มข้นที่แท้จริงของสารละลายเอ็มจีซีด้วย เพราะการทำแปลงค่าจะแก้ไขความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ได้

ในการทดลองได้ทำการแปรความเข้มข้น และพีเอชของสารโคแอกกูแลนต์แต่ละชนิดตามความเหมาะสม เพื่อศึกษาแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงปริมาณประจุคอลลอยด์ที่สภาวะต่าง ๆ ส่วนการไตเตรทเพื่อหาประจุของโคแอกกูแลนต์จากเมล็ดมะขุมเป็นตามตารางที่ 3-3

ตารางที่ 3-3 การไตเตรทย้อนกลับเพื่อหาประจุของโคแอกกูแลนต์จากเมล็ดมะขุม

ชนิดของโคแอกกูแลนต์	ใช้ผงเมล็ด มะขุม 0 เดือน	ใช้ผงเมล็ด มะขุม 1 เดือน	ใช้ผงเมล็ดมะ ขุม 2 เดือน
เมล็ดมะขุมในน้ำ	*	*	*
เมล็ดมะขุมในกรดไฮโดรคลอริก	*	*	*
เมล็ดมะขุมในโซเดียมคาร์บอเนต	*	*	*
เมล็ดมะขุมในโซเดียมไฮดรอกไซด์	*	*	*

* หมายถึง ทำการไตเตรทหาประจุ

2. การทดสอบเบื้องต้นถึงประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอต

ขั้นตอนนี้เป็น การทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นสารโคแอกกูแลนต์ของเมล็ดมะรุมในเบื้องต้น เพื่อศึกษาถึงปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ที่จะต้องใช้ ค่าพีเอชหรือค่าความเป็นด่างที่เปลี่ยนไปสำหรับเป็นแนวทางในการประเมินถึงปริมาณสารโคแอกกูแลนต์ที่ต้องใช้ในการทดลอง หรือเพื่อการปรับพีเอชของน้ำ เพื่อให้ได้ค่าพีเอชสุดท้ายที่ต้องการศึกษา การทดลองขั้นต้นนี้มีประโยชน์อย่างมากในการวางแผนการทดลองที่จะมีต่อไป

การทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอต

1. วิธีที่ใช้ในการทดสอบ

การนำเอาสารโคแอกกูแลนต์จากเมล็ดมะรุมที่เตรียมได้มาทดสอบความสามารถในการเป็นโคแอกกูแลนต์ และโคแอกกูแลนต์เอตร่วมกับสารส้ม เปรียบเทียบกับการใช้สารส้มเพียงอย่างเดียว ใช้วิธี จาร์เทสต์ (Jar Test) ตามวิธีการของ ASTM (1978) ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- 1) เติมน้ำขุ่นส่งเคราะห์ที่ใช้ในการทดลองปริมาณ 1000 มล ลงในถ้วยทดลอง
- 2) เปิดเครื่องกวนโดยใช้ความเร็ว 100 รอบต่อนาที แล้วเติมสารโคแอกกูแลนต์ที่เตรียมให้อยู่ในรูปที่เหมาะสมลงไป ใช้เวลาในการกวนเร็ว 1 นาที (ในกรณีที่ทดลองใช้สารโคแอกกูแลนต์จากมะรุมเป็นเอตร่วมกับสารส้ม ให้เติมในขั้นตอนนี้)
- 3) ปรับเครื่องกวนให้มีความเร็วรอบ 30 รอบต่อนาที ใช้เวลาในการกวนช้า 20 นาที
- 4) หยุดเครื่องกวนและตั้งถ้วยทดลองทิ้งไว้ให้ตกตะกอนเป็นเวลา 15 นาที
- 5) วิเคราะห์น้ำใส เพื่อหาค่าพีเอชและความขุ่นที่เหลืออยู่
- 6) ทำการทดลองซ้ำตั้งแต่ 1-5 โดยเปลี่ยนชนิดของโคแอกกูแลนต์ และความขุ่นของน้ำดิบ เปรียบเทียบกับการใช้สารส้มเป็นโคแอกกูแลนต์

2 ตัวแปรที่ทำการศึกษา

ในการทดลองทำการศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งมีดังต่อไปนี้

- ตัวแปรอิสระ ได้แก่

1. ชนิดของโคแอกกูแลนต์ ประกอบด้วยสารส้ม และโคแอกกูแลนต์จากเมล็ดมะขาม
2. ปริมาณของโคแอกกูแลนต์ ศึกษาที่ระดับความเข้มข้น 5 ค่า
3. ชนิดของน้ำขุ่น มี 3 ชนิด คือ น้ำขุ่นสังเคราะห์ และน้ำขุ่นธรรมชาติจาก 2 แหล่ง
4. ความขุ่นของน้ำสังเคราะห์ มี 5 ค่า คือ 20 50 100 200 และ 300 เอ็นทียู
5. วิธีการเตรียมโคแอกกูแลนต์จากเมล็ดมะขาม มี 4 วิธี
6. พีเอชของน้ำดิบ ช่วงพีเอชที่ศึกษามี 3 ช่วง

- ตัวแปรตาม ได้แก่

1. ความขุ่นที่เหลือของน้ำ
2. พีเอชของน้ำ
3. ค่าความเป็นต่าง

- ตัวแปรคงที่ ได้แก่

1. ความเร็วเกรเดียน
2. เวลาในการกวน ใช้เวลา 1 และ 20 นาทีสำหรับการกวนเร็วและกวนช้าตามลำดับ

3. ขั้นตอนและจำนวนการทดลอง

ในการทำการทดลองจาร์เทสต์ได้แบ่งการทดลองเป็น 3 ขั้นตอน คือ

- 1) ทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์ของเมล็ดมะขาม
- 2) ทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้ม โดยใช้ปริมาณสารส้มที่ 50 % ของปริมาณสารส้มที่เหมาะสม
- 3) ทดสอบประสิทธิภาพในการเป็นโคแอกกูแลนต์เอดร่วมกับสารส้ม โดยใช้ปริมาณสารส้มที่ 25 % ของปริมาณสารส้มที่เหมาะสม

เนื่องจากการทำจารีเทสต์สามารถทำได้พร้อม ๆ กัน 6 ใบในหนึ่งชุด ในการทดลองชุดหนึ่งนั้นจะมีตัวแปรอิสระตัวแปรเดียว คือ ปริมาณการใช้โคแอกกูแลนต์ ดังนั้นใน 1 ชุดจึงมีการแปรเปลี่ยนค่าปริมาณการใช้โคแอกกูแลนต์ทั้งหมด 5 ค่า และเป็น blank 1 ค่า จำนวนชุดการทดลองทั้งหมดตลอดจนแผนการทดลองได้แสดงไว้ในตารางที่ 3-4 และตารางที่ 3-5 ตามลำดับ

ตารางที่ 3-4 จำนวนชุดการทดลองทั้งหมดในการวิจัย

อายุของผงเมล็ดมะรุม	จำนวนชุดการทดลอง
0 เดือน	176
1 เดือน	12
2 เดือน	12
รวม	200

ส่วนรูปที่ 3-1 แสดงลำดับขั้นการทดลองโดยสรุป

การวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายและเสนอแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้

หลังจากทำการทดสอบประสิทธิภาพของการใช้เมล็ดมะรุมเป็นโคแอกกูแลนต์และโคแอกกูแลนต์เอดแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือนำผลการศึกษาในขั้นต้นมาทำการประเมินต้นทุนในการลดความขุ่นของน้ำ เพื่อเปรียบเทียบและเลือกชนิดสารโคแอกกูแลนต์ที่มีประสิทธิภาพดี และเพื่อประเมินความเป็นไปได้ในการนำเมล็ดมะรุมไปใช้ในการผลิตน้ำประปา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.5 แผนการทำ Jar-test ในการทดสอบวิธี

จำนวน ตะกอน (เม็ด/น)	น้ำทึบ	การทดสอบประสิทธิภาพ																								
		การปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่าง				การปรับค่าความเป็นกรดเป็นด่างเพิ่มเติม								การใช้สารส้มเป็นโพลีเมอร์เพิ่มเติม												
		Final pH	ตัวทำละลาย			สารส้ม 50 % opt.				สารส้ม 25 % opt.				เม็ลตะกอน 50 % opt.												
			น้ำ	HCl 0.05 N.	โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 N.	NaOH 0.05 N.	น้ำ	HCl 0.05 N.	โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 N.	NaOH 0.05 N.	น้ำ	HCl 0.05 N.	โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 N.	NaOH 0.05 N.	น้ำ	HCl 0.05 N.	โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.05 N.	NaOH 0.05 N.								
0	น้ำทึบสีขุ่น 20 NTU	4	A	A	A	A	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP								
		7	A	A	A	A													B	B	B	B	B	B	B	B
		9	A	A	A	A																				
	น้ำทึบสีขุ่น 50 NTU	4	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B								
		7	A	A	A	A																				
		9	A	A	A	A																				
	น้ำทึบสีขุ่น 100 NTU	4	A	A	A	A	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP								
		7	A	A	A	A																				
		9	A	A	A	A																				
	น้ำทึบสีขุ่น 200 NTU	4	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B								
		7	A	A	A	A																				
		9	A	A	A	A																				
	น้ำทึบสีขุ่น 300 NTU	4	A	A	A	A	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP								
		7	A	A	A	A																				
9		A	A	A	A																					
น้ำดิบ 1	รวบรวบ	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP									
	รวบรวบ	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP									
1	น้ำทึบสีขุ่น 100 NTU	4	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B									
		7	A	A	A	A																				
		9	A	A	A	A																				
2	น้ำทึบสีขุ่น 100 NTU	4	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B									
		7	A	A	A	A																				
		9	A	A	A	A																				

NOTE : 1. สีสันสารแขวนลอยของตะกอนในตัวทำละลายทุกชนิดมีค่าเป็น 2 %

2. A หมายถึง มีการปรับค่าของน้ำ และสารส้มเข้มข้นของสารแขวนลอยจากตะกอนเป็นค่า 0-500 มก./ลิ.
3. B หมายถึง มีการปรับค่าของน้ำ และสารส้มเข้มข้นของสารแขวนลอยจากตะกอนเป็นค่า 0-150 มก./ลิ.
4. NP หมายถึง ไม่มีการปรับค่าของน้ำ และสารส้มเข้มข้นของสารแขวนลอยจากตะกอนเป็นค่า 0-150 มก./ลิ.
5. ██████████ หมายถึง ไม่ทำการทดสอบ



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดลองโดยสรุป