



บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมี

3.1.1 วัสดุอุปกรณ์

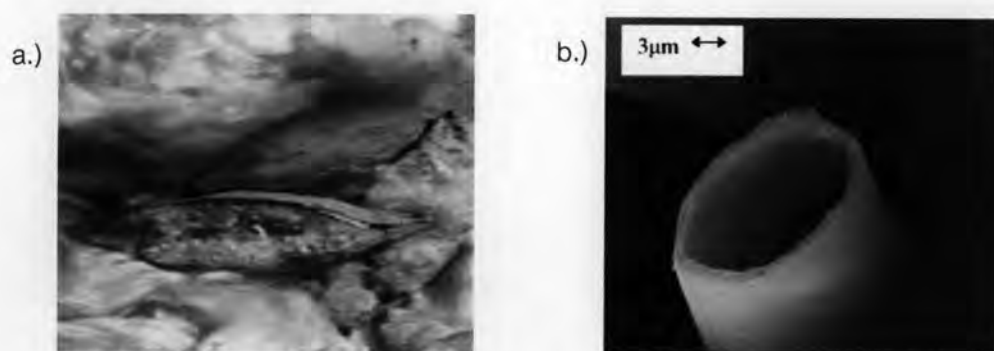
3.1.1.1 น้ำเสีย

น้ำเสียที่ใช้ในการวิจัยเป็นน้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นมาจากการเตรียมสารละลายสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 2 ชนิด ได้แก่ ฟลูออรีน (Fluorene, FLU) และ ฟีนแอนทรีน (Phenanthrene, PHE) โดยนำฟลูออรีนและฟีนแอนทรีนละลายในเมทานอลให้มีความเข้มข้นเท่ากับ 500 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นสารละลายตั้งต้น จากนั้นจึงนำไปละลายน้ำเพื่อเจือจางให้มีความเข้มข้นที่ต้องการ เขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิห้อง ปรับค่าพีเอชให้เท่ากับ 7 สำหรับการศึกษาดูดซับในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการดูดซับแบบไม่แข่งขัน เพราะงานวิจัยต้องการศึกษาประสิทธิภาพของตัวกลางในการกำจัดฟลูออรีนและฟีนแอนทรีนซึ่งมีค่าการละลายน้ำและมีความมีขั้วต่างกัน

3.1.1.2 ตัวกลาง

ตัวกลางที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือเส้นใยปุย เป็นเส้นใยที่ได้มาจากปุยปุยที่ล้อมรอบเมล็ดปุย เส้นใยปุยที่ใช้ในการศึกษาซื้อจากร้านขายของชำในตลาดสด เส้นใยปุยมีรูปทรงกระบอกกลวง ผนังบาง เรียบและเปราะ มีความถ่วงจำเพาะประมาณ $\frac{1}{4}$ เท่าของน้ำ มีความยาวเส้นใยประมาณ 8 - 30 มิลลิเมตร ปุยปุยมีคุณสมบัติอ่อนนุ่ม เบาและที่พิเศษกว่าพืชเส้นใยอื่น ๆ คือไม่ดูดซับน้ำแต่ดูดซับน้ำมัน จากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าโครงสร้างของเส้นใยปุยประกอบด้วยเซลลูโลส 64 % ลิกนิน 13 % และเพนโทซาน 23 % (Kabayashi et al., 1977) มีแวกซ์เคลือบอยู่บนผิวเส้นใย ซึ่งแวกซ์ที่เคลือบเส้นใยปุยมีปริมาณมากกว่าฝ้าย (Choi and Moreau., 1993) ซึ่งเป็นเหตุผลที่ทำให้เส้นใยชนิดนี้กันน้ำได้ดี

ราคาปุยขายทั้งฝักกิโลกรัมละ 4 บาท เมื่อแกะเอาเปลือกออกแล้วจะขายได้กิโลกรัมละ 8 - 10 บาท ในขณะที่ปุยปุยที่ปั่นเอาเมล็ดออกแล้วจะมีราคาประมาณกิโลกรัมละ 30 - 35 บาท ปุยประมาณ 120 - 150 ฝักจะให้ปุยประมาณ 1 กิโลกรัม ในแต่ละฝักประกอบด้วยเปลือกประมาณ 44 % เมล็ด 32 % ไล่และก้าน 7 % ปุยหรือเส้นใย 17 %



รูปที่ 3.1 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยนุ่ม (a.)
และเส้นใยนุ่มเมื่อส่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (b.)
(Bangkok Companies, 2002; Lim et al., 2007)

เนื่องจากที่ผ่านมาทีมงานวิจัยใช้เส้นใยเซลลูโลสสังเคราะห์และปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวกระจุกมาเป็นตัวกลางในการดูดซับสารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ๆ พบว่าสามารถกำจัดสารอินทรีย์โมเลกุลเล็ก ๆ ได้ดี ดังนั้นงานวิจัยนี้สนใจที่จะนำเส้นใยธรรมชาติที่มีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก นั่นคือ เส้นใยนุ่ม ใช้แทนเส้นใยเซลลูโลสสังเคราะห์ นอกจากนี้จะใช้เส้นใยนุ่มดิบแล้ว ในงานวิจัยนี้ได้เพิ่มเส้นใยนุ่มเพิ่มประจุลบเข้ามาด้วยเหตุผลที่ว่าเส้นใยธรรมชาติทุกชนิดมีประจุสุทธิเป็นลบ ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาความต่างที่มีต่อการดูดซับสารลดแรงตึงผิวกระจุกและการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน และนำตัวกลางมาปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวกระจุก ได้แก่ โดเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (DTAB) และโดเดซิลไพริดีเนียม คลอไรด์ (DPC) ดังนั้นตัวกลางที่ใช้ในการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนแบ่งออกเป็น 6 ประเภท ได้แก่

1. เส้นใยนุ่มดิบปรับสภาพด้วยโดเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียม โบรไมด์ (นุ่มดิบ + DTAB)
2. เส้นใยนุ่มดิบปรับสภาพด้วยโดเดซิลไพริดีเนียม คลอไรด์ (นุ่มดิบ + DPC)
3. เส้นใยนุ่มเพิ่มประจุลบปรับสภาพด้วยโดเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียม โบรไมด์ (นุ่มเพิ่มประจุลบ + DTAB)
4. เส้นใยนุ่มเพิ่มประจุลบปรับสภาพด้วยโดเดซิลไพริดีเนียม คลอไรด์ (นุ่มเพิ่มประจุลบ + DPC)
5. เส้นใยนุ่มดิบ
6. เส้นใยนุ่มเพิ่มประจุลบ

3.1.1.3 เครื่องมือ

1. เครื่องยูวีสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (UV Visible spectrophotometer) ยี่ห้อ ALPHA
2. เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) JEOL รุ่น JSM-5410 LV JAPAN
3. เครื่องวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์โดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟี (High Pressure Liquid Chromatography, HPLC) รุ่น LC 1100, Agilent
4. เครื่องวัดพีเอช (pH meter), Denver instrument
5. เครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่ง, GR 200
6. เครื่องชั่งละเอียด 2 ตำแหน่ง, ARC 120 ตามลำดับ
7. เครื่องเขย่าแบบวง (orbital shaker)
8. เครื่องกวนสารแบบแม่เหล็ก (magnetic stirrer)
9. กระดาษกรองไนลอนเมมเบรนไนลิ่งฟิลเตอร์ (Nylon membrane syringe filter) ขนาดรูพรุน 0.45 ไมครอน เส้นผ่านศูนย์กลาง 13 มิลลิเมตร ยี่ห้อ Whatman
10. ตู้อบ
11. ตู้ดูดควัน
12. ชุดกรองสารละลายจำนวน 1 ชุด
13. แผ่นกรองสารละลายแบบ Cellulose จำนวน 1 ชุด
14. ขวดเก็บตัวอย่าง (Vial Kit) ขนาด 2 มิลลิลิตร
15. Septa PTFE/silicone ขนาด 8 มิลลิเมตร
16. ฝาเกลียวขนาด 8 มิลลิเมตร
17. เครื่องแก้วที่จำเป็น

3.1.2 สารเคมี

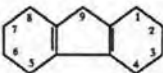

3.1.2.1 สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่เลือกใช้ ได้แก่ ฟลูออรีน (Fluorene, FLU) ฟิแนนทริน (Phenanthrene, PHE) โดยสั่งซื้อสารเคมีจาก Sigma-Aldrich (St.louis, Missouri, USA) ที่มีความบริสุทธิ์มากกว่า 98 %

เนื่องจากในการวัดสารประกอบชนิดนี้ต้องใช้ UV detector ในการตรวจวัด จึงเลือกสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่มีค่าการดูดกลืนแสงโดยมีความยาวคลื่นที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน และมีค่าความสามารถในการละลายน้ำค่อนข้างดี เพื่อเป็นการง่ายต่อการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

ด้วยเหตุผลทั้งหมดนี้พบว่า สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่เลือก ได้แก่ ฟลูออรีน (Fluorene, FLU) พีแนนทรีน (Phenanthrene, PHE) มีค่าการดูดกลืนแสงต่างกัน โดยมีค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดที่ความยาวคลื่น 226 และ 252 นาโนเมตรตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีค่าการละลายน้ำไม่ต่ำจนเกินไป โดยที่ฟลูออรีน (Fluorene, FLU) และพีแนนทรีน (Phenanthrene, PHE) มีค่าการละลายน้ำเท่ากับ 800 และ 435 ไมโครกรัมต่อลิตรตามลำดับ จึงทำให้การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์และการวัดปริมาณสารอินทรีย์แต่ละชนิดเป็นไปได้ง่าย

ตารางที่ 3.1 ประเภทและสมบัติของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Nagpal et al., 1993)

PAHs	โครงสร้าง	มวลโมเลกุล (g)	ค่าการละลายน้ำ ($\mu\text{g/L}$) (25°C)	Vap. Pressure (mm Hg) (25°C)	Log Kow (Log Koc)	ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (นาโนเมตร)
FLU		166.2	800	-	4.18 (3.86)	226
PHE		178.2	435	6.8×10^{-4}	4.46 (4.15)	252

3.1.2.2 สารลดแรงตึงผิวประจุบวก

งานวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาปัจจัยของจำนวนคาร์บอนอะตอมหรือความยาวของส่วนหางที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic tail) (Aloulou et al, 2004; Boufi et al, 2006; Qu et al., 2008) และพบว่าเมื่อจำนวนคาร์บอนอะตอมเพิ่มมากขึ้น จะทำให้การกำจัดสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ยังไม่มีการศึกษาผลของหมู่ฟังก์ชันหรือองค์ประกอบบริเวณส่วนหัวของสารลดแรงตึงผิวที่ต่างกันต่อประสิทธิภาพการดูดซับ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกสารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่มีหมู่ฟังก์ชันต่างกันมาศึกษาการดูดซับบนเส้นใยนุ่น

สารลดแรงตึงผิวที่เลือกใช้ ได้แก่ โดเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Dodecyltrimethylammonium bromide, DTAB, Sigma, USA) และโดเดซิลไพริเดเนียมคลอไรด์ (Dodecylpyridinium chloride, DPC Sigma, USA) ซึ่งเป็นสารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่มีจำนวนคาร์บอนอะตอมเท่ากัน คือ 16 อะตอม จากตารางที่ 3.2 จะเห็นได้ว่า DPC มีไพริเดเนียมมีเบนซีนเป็นองค์ประกอบซึ่งเบนซีนเป็นสารประกอบที่มีขั้วต่ำ เมื่อเทียบกับ DTAB ซึ่งไม่มีเบนซีนเป็นองค์ประกอบมีเพียงหมู่เมทิล ($-\text{CH}_3$) 3 หมู่มาเกาะเท่านั้นเมื่อคิดถึงควมมีขั้วโดยภาพรวมพบว่า DTAB มีขั้วมากกว่า DPC ซึ่งความต่างที่กล่าวถึงนี้จะนำมาทำการวิจัยเพื่อศึกษาอิทธิพลของหมู่ฟังก์ชันที่ต่างกันของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกต่อการดูดซับของเส้นใยนุ่นดิบและเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ

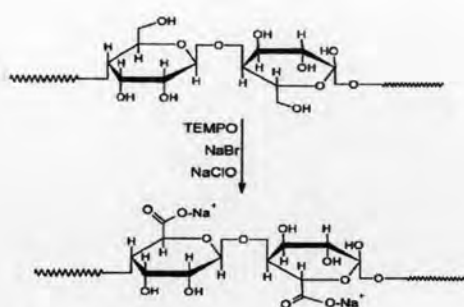
การเตรียมสารลดแรงตึงผิวประจุบวกทำได้โดยนำ DTAB และ DPC มาละลาย ในน้ำปราศจากไอออนให้มีความเข้มข้นที่ต้องการในหน่วยมิลลิโมลต่อลิตร

ตารางที่ 3.2 แสดงสมบัติของสารลดแรงตึงผิวประจุบวก (Iqbal et al., 2007)

สารลดแรงตึงผิว	มวลโมเลกุล (กรัม/โมล)	จำนวนคาร์บอนอะตอม	โครงสร้างโมเลกุล
โดเดซิลไพริเดเนียมคลอไรด์ (Dodecylpyridinium chloride, DPC)	283.90	16	
โดเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Dodecyltrimethylammonium bromide, DTAB)	263.89	16	

3.1.2.3 สารเคมีในปฏิกิริยาออกซิเดชัน

เส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบต้องการปฏิกิริยาออกซิเดชันเพื่อให้ประจุลบเพิ่มมากขึ้นซึ่งสารเคมีที่ใช้ในปฏิกิริยาออกซิเดชันมีสารเคมีที่ใช้ในปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้แก่ TEMPO (2, 2, 6, 6-tetramethyl-1-piperidinyloxy radical), NaBr และ 12 % NaOCl



รูปที่ 3.2 ปฏิกิริยาออกซิเดชันของเส้นใยเซลลูโลส

(Alila et al., 2005)

หลังจากที่เส้นใยผ่านปฏิกิริยาเพิ่มประจุลบหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) ในโมเลกุลของกลูโคสภายในสายเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของเส้นใยนุ่ม จะเปลี่ยนเป็นหมู่คาร์บอกซิลิก (-COOH) ซึ่งมีความแรงของประจุลบมากกว่าหมู่ไฮดรอกซิล ทำให้ภาพรวมของเส้นใยที่ผ่านปฏิกิริยานี้มีความแรงของขั้วลบมากขึ้น

3.1.2.4 สารเคมีอื่น ๆ

สารเคมีอื่น ๆ ที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ NaOH 0.5 และ 1.0 มิลลิโมลต่อลิตร เป็นสารเคมีที่นำไปใช้ในการปรับพีเอชและใช้กำจัดลิกนินในเส้นใยนุ่ม ตามลำดับ, HCl เป็นสารเคมีที่ใช้ในการปรับพีเอช, Ethanol เป็นสารเคมีที่นำไปใช้เพื่อหยุดปฏิกิริยาการเพิ่มประจุลบให้แก่เส้นใย, Methanol เป็นสารเคมีที่ใช้ในการเตรียมพีแนทรีนความเข้มข้นต่าง ๆ และสารเคมีที่ใช้เป็นตัวทำละลายในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์โดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟี (High Pressure Liquid Chromatography, HPLC) ซึ่งประกอบด้วย Acetonitrile, Acetic acid 20 มิลลิโมลต่อลิตรและน้ำปราศจากไอออน

3.2 แผนการทดลอง

3.2.1 เตรียมเส้นใยนุ่มดิบและเส้นใยนุ่มเพิ่มประจุลบ

เนื่องจากตัวกลางที่ใช้ในการกำจัดฟลูออรีนและพีแนทรีนซึ่งมีทั้งหมด 6 ประเภทนั้น จะต้องเตรียมเส้นใยนุ่มและเส้นใยนุ่มเพิ่มประจุลบก่อน จึงจะได้ตัวกลางครบทั้ง 6 ประเภท ซึ่งเริ่มด้วยการล้างและทำความสะอาดเส้นใยนุ่มดิบให้ปราศจากฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกออกไปก่อน แบ่งเส้นใยนุ่มดิบออกเป็น 2 ส่วนเท่า ๆ กัน ส่วนแรกคือเส้นใยนุ่มดิบอีกส่วนหนึ่งคือเส้นใยนุ่มที่นำไปเพิ่มประจุลบให้แก่เส้นใย ซึ่งเส้นใยนุ่มดิบและเส้นใยนุ่ม

เพิ่มประจุลบ ส่วนหนึ่งจะนำไปปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุบวก ได้แก่ DTAB และ DPC ในขั้นตอนการศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกของเส้นใยนุ่นต่อไป

3.2.2 ศึกษาลักษณะทางกายภาพเส้นใยนุ่นดิบและเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ

เมื่อเตรียมเส้นใยนุ่นดิบและเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบเสร็จแล้วจึงนำเส้นใย 2 ประเภทนี้ไปศึกษาลักษณะทางกายภาพที่มองเห็นด้วยตาเปล่า เช่น สีของเส้นใย มุมสัมผัสเส้นใย ลักษณะการรวมกลุ่มของเส้นใย เป็นต้น จากนั้นจึงนำเส้นใยนุ่นดิบและเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) เพื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นใยในระดับไมครอน และวัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ด้านนอกและด้านในของเส้นใย

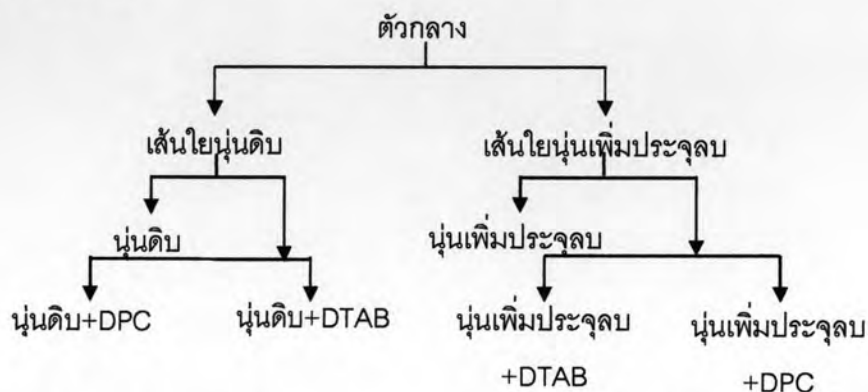


รูปที่ 3.3 แผนผังแสดงขั้นตอนการเตรียมตัวกลาง

3.2.4 ศึกษาการดูดซับของสารลดแรงตึงผิวบนเส้นใยนุ่น

ในขั้นตอนการศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกของเส้นใยนุ่นเป็นการนำสารลดแรงตึงผิวประจุบวก 2 ชนิด ได้แก่ โดเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Dodecyltrimethylammonium bromide, DTAB, Sigma, USA) และ โดเดซิลไพริดีเนียมคลอไรด์ (Dodecylpyridinium chloride, DPC Sigma, USA) มาเกาะบนเส้นใยนุ่นดิบและเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ โดยทำการศึกษานาฬิกาการทดลอง และศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ DTAB

และ DPC ของเส้นใยนุ่นดิบและเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ ในขั้นตอนนี้อธิบายได้ว่าตัวกลางที่ใช้ในการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ ฟลูออรีนและพีแนทรีนครบทั้ง 6 ประเภทแล้ว



รูปที่ 3.4 ตัวกลางที่ใช้ในการกำจัดฟลูออรีนและพีแนทรีนทั้ง 6 ประเภท

3.2.5 ศึกษาการดูดซับสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนบนเส้นใยนุ่นที่ปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุบวก

ในขั้นตอนที่ผ่านมาเป็นการศึกษาตัวกลางทั้ง 6 ประเภทเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมและศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่จำเป็นต่อการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน นั่นคือฟลูออรีนและพีแนทรีน โดยทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดฟลูออรีนและพีแนทรีนของตัวกลางทั้ง 6 ประเภท

3.3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.3.1 เตรียมเส้นใยนุ่น

เส้นใยนุ่นที่ต้องเตรียมประกอบด้วย

1. เส้นใยนุ่นดิบ
2. เส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ

เส้นใยนุ่น 2 ประเภทนี้เป็นเส้นใยที่ใช้เป็นตัวกลางในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวก เพื่อใช้ในการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนมีวิธีการเตรียมเส้นใยนุ่น ดังนี้

3.3.1.1 การเตรียมเส้นใยนุ่นดิบ

เส้นใยนุ่นดิบที่ใช้ในการเตรียมตัวกลาง จะต้องผ่านการล้างทำความสะอาดเพื่อนำฝุ่นละอองสิ่งสกปรกออกจากเส้นใย ซึ่งวิธีการล้างเส้นใยนุ่นดิบมีวิธีการดังนี้

1. ทำความสะอาดเส้นใยเบื้องต้น โดยแยกฝุ่นละอองบางส่วนออกจากเส้นใยนุ่น ด้วยการนำเส้นใยออกมาจิกเพื่อให้ฝุ่นละอองบางส่วนหลุดออกไปและแยกเศษขยะขนาดใหญ่ที่ติดบนเส้นใยออก ในขั้นตอนนี้ถือเป็นกำจัดเศษฝุ่นละอองออกไปบางส่วนก่อนที่จะนำไปล้างทำความสะอาดในขั้นตอนต่อไป
2. แช่เส้นใยนุ่นในน้ำปราศจากคลอรีนในบิกเกอร์ขนาด 1,000 มิลลิลิตร จิกเส้นใยเพื่อไล่เศษฝุ่นละอองและขยำเส้นใยเพื่อให้เส้นใยอมน้ำได้มากขึ้น การที่เส้นใยอมน้ำได้มากขึ้น เส้นใยจะสัมผัสกับน้ำได้มากและทำให้สิ่งสกปรกหลุดออกไปในน้ำได้ง่ายขึ้น
3. นำเส้นใยนุ่นในขั้นตอนที่ 2 ไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแบบวน โดยใส่เส้นใยและน้ำปราศจากคลอรีนในขวด Dulan ขนาด 1,000 มิลลิลิตร ใช้ความเร็วรอบในการเขย่าเท่ากับ 220 รอบต่อนาที เป็นเวลา 18 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิห้องสาเหตุที่ต้องเขย่าเส้นใยนุ่นเพื่อเป็นการเร่งให้สิ่งสกปรกหลุดออกเร็วขึ้น และเมื่อเขย่าต่อเนื่องครบ 18 ชั่วโมงจะช่วยกำจัดสิ่งสกปรกออกไปได้มากซึ่งทุ่นเวลาในการล้างเส้นใยไปได้มาก
4. หลังจากเขย่าครบ 18 ชั่วโมงแล้วจึงกรองน้ำออกจากเส้นใยนุ่น เปลี่ยนน้ำล้างเส้นใยใหม่ เขย่าด้วยเครื่องเขย่าแบบวน ความเร็ว 220 รอบต่อนาที ณ อุณหภูมิห้อง โดยทำการกรองน้ำออกและเปลี่ยนน้ำล้างเส้นใยทุก 2 ชั่วโมง จนน้ำล้างเส้นใยใส ใกล้เคียงกับน้ำปราศจากคลอรีน
5. เมื่อล้างเส้นใยจนสะอาดแล้วจึงแยกน้ำออกจากเส้นใยและนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.3.1.2 การเตรียมเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ

การเตรียมเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบจะต้องนำเส้นใยนุ่นดิบมาผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน เพื่อทำการเปลี่ยนหมู่ฟังก์ชันภายในโมเลกุลของกลูโคสในสายเซลลูโลสที่อยู่ในเส้นใยนุ่นให้มีความแรงของประจุลบเพิ่มขึ้น สารเคมีที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้แก่ TEMPO (2, 2, 6, 6-tetramethyl-1-piperidinyloxy radical) NaBr และ 12 % NaOCl ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 4.1.2.3 ส่วนของวัสดุอุปกรณ์และสารเคมี วิธีการเพิ่มประจุลบให้แก่เส้นใยมีวิธีการดำเนินงานดังนี้

1. ใส่ TEMPO 25 มิลลิกรัมลงในขวด Dulan ขนาด 1,000 มิลลิลิตรที่บรรจุน้ำ 500 มิลลิลิตรและปรับพีเอชให้เท่ากับ 10 ด้วย 0.5 โมลต่อลิตร เพื่อให้ TEMPO ละลายน้ำได้
2. ใส่ 12 % NaOCl ปริมาตร 6 มิลลิตรลงในสารละลาย
3. ชั่งเส้นใยนุ่นดิบ 5 กรัม ใส่ในสารละลายที่เตรียมไว้ข้างต้น
4. เมื่อเตรียมเส้นใยนุ่นและตัวเร่งปฏิกิริยาเสร็จแล้วจึงนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าแบบวน ที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิห้อง และต้องควบคุมค่าพีเอชให้เท่ากับ 10 ตลอดเวลา
5. เมื่อปฏิกิริยาออกซิเดชันครบ 2 ชั่วโมงแล้วจะต้องหยุดปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นด้วย เอทานอลปริมาณ 100 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน
6. หลังจากหยุดปฏิกิริยาด้วยเอทานอลแล้วจึงแยกสารละลายออกจากนุ่น โดยการกรองนุ่นออกจากสารละลาย
7. นำเส้นใยที่แยกออกมาล้างด้วย NaOH ความเข้มข้น 1 โมลต่อลิตร กรองนุ่นออกและล้างเส้นใยด้วย NaOH ความเข้มข้นเดียวกันอีกครั้ง จึงกรองนุ่นออกในขั้นตอนนี้เป็น การล้างเส้นใยด้วยเบสแก่เพื่อกำจัดลิกนินออกจากเส้นใย
8. นำเส้นใยมาล้างน้ำปราศจากคลอรีนเพื่อชะเอาลิกนินและเบสแก่ออกจากเส้นใย ซึ่งจะต้องล้างเส้นใยจนกว่าน้ำล้างเส้นใยจะมีค่าพีเอชเข้าใกล้ 7
9. แยกเส้นใยออกจากน้ำล้างและนำไปอบให้แห้งในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3.3.2 ศึกษาลักษณะทางกายภาพเส้นใยนุ่น

เมื่อเตรียมเส้นใยนุ่นดิบและเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบเสร็จแล้วจึงนำเส้นใย 2 ประเภทมาศึกษาลักษณะทางกายภาพ เนื่องจากการทราบถึงความแตกต่างของเส้นใยที่มีความแรงของประจุลบที่ไม่เท่ากัน ว่ามีความแตกต่างกันมากน้อยเพียงใด โดยเริ่มจากการศึกษา ลักษณะทางกายภาพในระดับที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าก่อน ได้แก่ สีของเส้นใยการอุ้มน้ำของเส้นใย ความกระด้าง ความนุ่มของเส้นใย ลักษณะการรวมกลุ่มและการจับตัวกันของเส้นใย ซึ่งถือเป็นการสังเกตเบื้องต้น จากนั้นจึงนำเส้นใยทั้ง 2 ประเภทไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ อิเล็กตรอนแบบส่องกราด เพื่อดูลักษณะทางกายภาพของเส้นใยในระดับไมครอนศึกษา

เส้นผ่าศูนย์กลางด้านนอกและด้านในของเส้นใยนุ่น ลักษณะพื้นผิว ความหนาของเส้นใย ซึ่งการศึกษาเส้นใยนุ่นด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดมีวิธีการดำเนินงานดังนี้

3.3.2.1 ศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นใยนุ่นด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

การเตรียมเส้นใยเพื่อนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด มีวิธีการดังนี้

1. นำกระดาษขาว 2 หน้าติดบนแท่นโลหะ
2. นำเส้นใยนุ่นดิบและเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบฉีกและแผ่เป็นแผ่นบาง ๆ ปิดบนแท่นโลหะที่ติดกระดาษขาวไว้เพื่อดูลักษณะทางกายภาพของเส้นใยแต่ละเส้น
3. นำเส้นใยนุ่นดิบและเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบที่อยู่รวมกันเป็นกระจุกมาติดบนแท่นโลหะเพื่อดูลักษณะการรวมกลุ่มของเส้นใย
4. เส้นใยที่ปิดบนแท่นโลหะที่ได้จากข้อ 2 และข้อ 3 ปิดทับด้วยกระดาษขาว 2 หน้าอีกครั้ง
5. นำแท่นโลหะที่ติดเส้นใยบรรจุในแท่นวางวัตถุ
6. เปิดเครื่องเพื่อทำให้ภายในลำกล้องเป็นสุญญากาศ
7. เมื่อเครื่องเป็นสุญญากาศ จึงเปิดจอร์รับภาพปรับปุ่มปรับภาพหยาบและปุ่มปรับภาพละเอียด ส่องดูเส้นใยและขยายกำลังภาพตามที่ต้องการ
8. ถ่ายภาพเส้นใยที่ได้และบันทึกภาพ วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกและภายในศึกษาลักษณะพื้นผิวเส้นใย

3.3.3 การศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกของเส้นใยนุ่น

เมื่อทำเตรียมเส้นใยนุ่นดิบ เส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบรวมทั้งศึกษาลักษณะทางกายภาพแล้ว ในขั้นนี้เป็นการให้สารลดแรงตึงผิวประจุบวกมาเกาะบนเส้นใยนุ่นดิบและเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ เพื่อศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกบนเส้นใย ซึ่งในขั้นตอนนี้ถือได้ว่าเป็นการเตรียมตัวกลางและศึกษาตัวกลางที่ใช้ในการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนอีก 4 ประเภท ได้แก่

1. เส้นใยนุ่นดิบปรับสภาพด้วยโดเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Dodecyltrimethylammonium bromide, DTAB)

2. เส้นใยนุ่นดิบ ปรับสภาพด้วยโดเดซิลไพริดีเนียม คลอไรด์ (Dodecylpyridinium chloride, DPC)

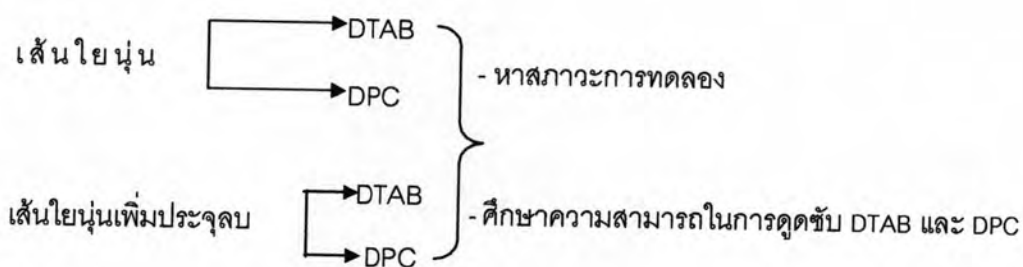
3. เส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ ปรับสภาพด้วยโดเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียม โบรไมด์ (Dodecyltrimethylammonium bromide, DTAB)

4. เส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ ปรับสภาพด้วยโดเดซิลไพริดีเนียม คลอไรด์ (Dodecylpyridinium chloride, DPC)

จากรูปที่ 3.5 แสดงการศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกบนเส้นใยนุ่น ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ได้แก่

1. การหาเวลาที่เหมาะสมที่เส้นใยนุ่นและเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบใช้ในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวก

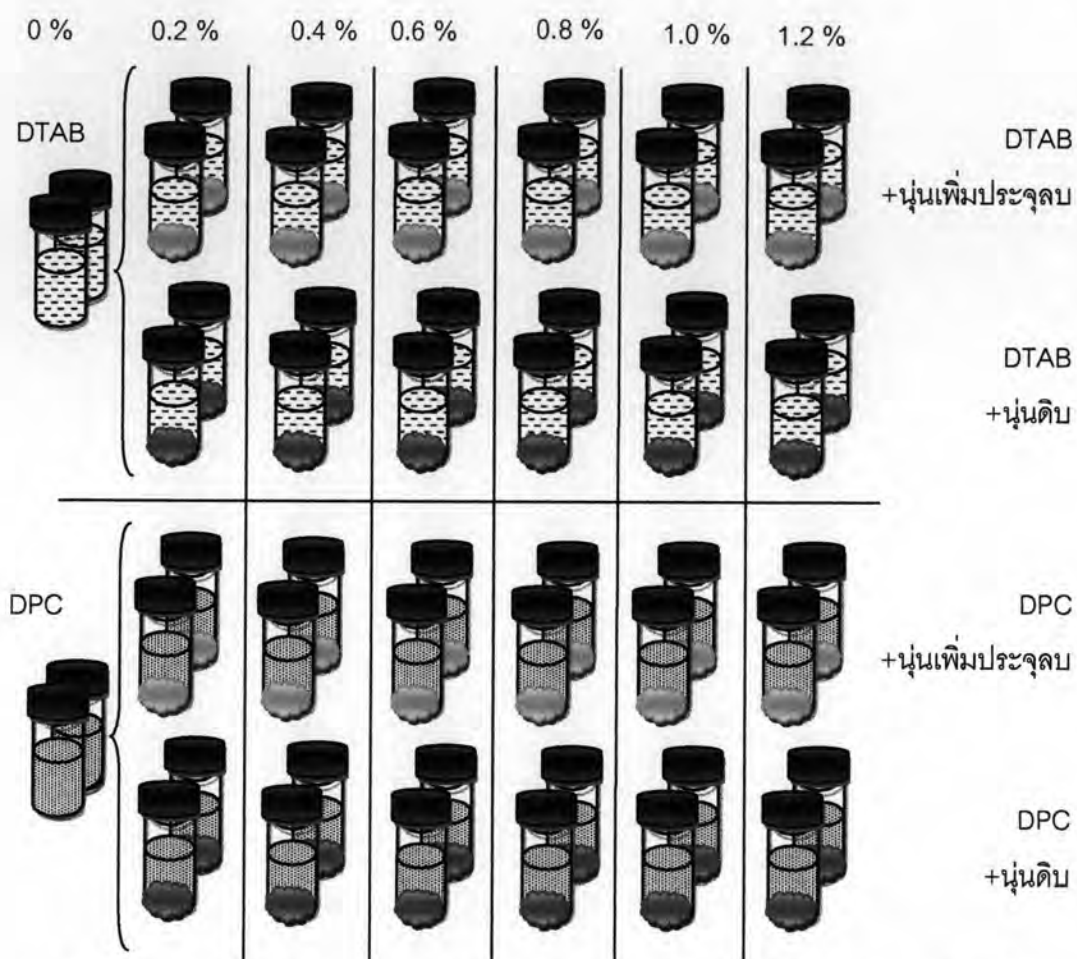
2. การศึกษาความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกของเส้นใยนุ่นดิบและเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ ซึ่งวิธีการศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกของเส้นใยนุ่นทั้ง 2 ขั้นตอนมีวิธีการดำเนินงานดังนี้



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการดำเนินงานในการศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกของเส้นใยนุ่น

3.3.3.1 การหาสภาวะการทดลอง

เมื่อศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นใยนุ่นดิบและเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบแล้ว จะทำการหาสภาวะการทดลองที่เหมาะสม ก่อนที่จะทำการทดลอง ได้แก่ การหาปริมาณนุ่นที่เหมาะสมและการหาค่าความเร็วรอบที่เหมาะสมในการเขย่าตัวกลาง ซึ่งในการหาสภาวะที่เหมาะสมที่ 2 สภาวะนี้จะใช้วิธีการทดลองเดียวกันแล้วจึงนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลอีกครั้ง



รูปที่ 3.6 การเตรียมตัวอย่างจำนวน 1 ชุดการทดลองจากทั้งหมด 2 ชุด โดยตัวอย่างชุดที่ 1 และชุดที่ 2 แปรค่าความเร็วรอบเป็น 150 และ 200 รอบต่อนาทีตามลำดับ

สำหรับวิธีการหาสภาวะการทดลองที่เหมาะสมมีขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้

- นำขวด Vial ขนาด 40 มิลลิลิตรมาใส่เส้นใยนุ่นดิบและเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบตามลำดับโดยแปรค่าน้ำหนักของเส้นใยนุ่นเป็น 0.06, 0.12, 0.18, 0.24, 0.3 และ 0.36 กรัม จากนั้นจึงเติมสารลดแรงตึงผิวประจุบวกความเข้มข้น 20 มิลลิโมลต่อลิตรลงไปโดยชั่งน้ำหนักให้สารลดแรงตึงผิวประจุบวกและเส้นใยนุ่นมีน้ำหนักรวมกันเท่ากับ 30 กรัม ซึ่งเป็นการทำให้มีเส้นใยนุ่นอยู่ในน้ำ 0.2 %, 0.4 %, 0.6 %, 0.8 %, 1.0 % และ 1.2 % โดยน้ำหนัก ซึ่งมีขวดควบคุม คือ ขวดที่ปราศจากเส้นใยนุ่นและใส่สารลดแรงตึงผิวประจุบวก เป็นขวด Vial ขนาด 40 มิลลิลิตรให้มีน้ำหนัก 30 กรัม โดยทำการทดลอง 2 ชุด

2. จากข้อที่ 1 แบ่งชุดการทดลองออกเป็น 2 ชุด แต่ละชุดการทดลองนำไปเขย่าโดยใช้เวลาในการเขย่าเท่ากัน คือ 36 ชั่วโมง ชุดแรกใช้เส้นใยุ่นดิบเป็นตัวกลางและชุดที่ 2 ใช้เส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบเป็นตัวกลาง

3. เมื่อเขย่าเส้นใยุ่นในสารละลายจนครบกำหนดตามเวลา นำสารละลายวัดความเข้มข้นที่เหลืออยู่ด้วยเครื่องวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์โดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟี (High Pressure Liquid Chromatography, HPLC) วิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาค่าน้ำหนักนุ่นที่เหมาะสมและเวลาที่เหมาะต่อการนำไปใช้เพื่อศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิว ประจุบวกและการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในขั้นตอนต่อไป

1) การหาปริมาณนุ่นที่เหมาะสม

หลังจากทำการทดลองในขั้นตอนที่ 3.3.3 แล้ว ในขั้นตอนนี้เป็นการนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ผล เพื่อดูว่าปริมาณนุ่นเท่าไรจึงเหมาะต่อการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวก ซึ่งจะต้องใช้ค่าความสามารถในการดูดซับ q_0 (มิลลิโมลต่อกรัม) ในการดูว่าเมื่อใช้ปริมาณนุ่นเพิ่มขึ้นก็ไม่ทำให้ค่าความสามารถในการดูดซับ q_0 (มิลลิโมลต่อกรัม) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลง

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วย ตัวแปรต้น คือ ปริมาณนุ่นที่แตกต่างกันในหน่วย % โดยน้ำหนักได้แก่ 0.2 %, 0.4 %, 0.6 %, 0.8 %, 1.0 % และ 1.2 % โดยน้ำหนัก ตัวแปรตาม คือ ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่อยู่ในสารละลาย ตัวแปรที่ควบคุมคือ ค่าพีเอชเท่ากับ 7 ณ อุณหภูมิห้อง และความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกซึ่งใช้ความเข้มข้นเดียวกันคือ 20 มิลลิโมลต่อลิตร

2) การหาเวลาที่เหมาะสม

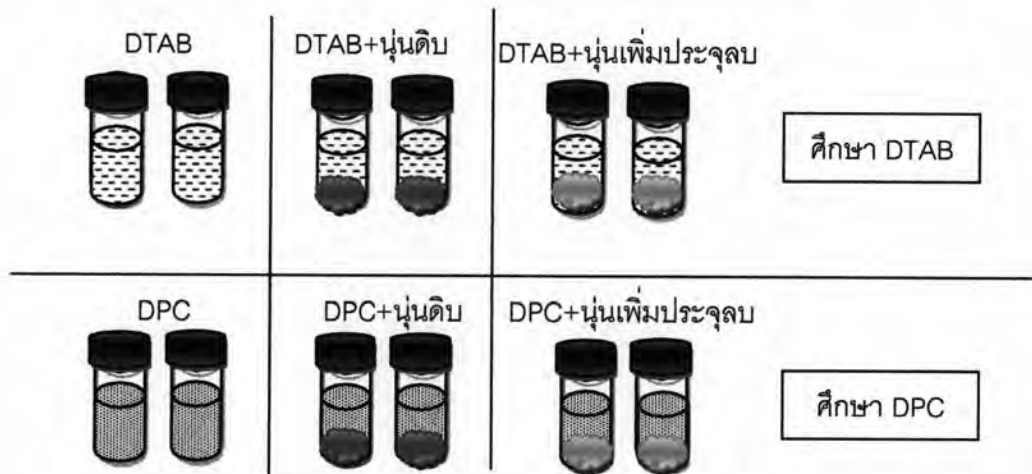
การศึกษาหาเวลาที่เหมาะสมที่เส้นใยดูดซับ DTAB และ DPC จนเกิดสมดุลมีตัวแปรที่ใช้ในการทดลองดังนี้ ตัวแปรต้น คือ ชนิดของสารลดแรงตึงผิว และเวลาที่ใช้ในการทดลองโดยจะวัดความเข้มข้นทุก 3 ชั่วโมง ตัวแปรตามคือความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่เหลืออยู่ในสารละลาย และตัวแปรที่ควบคุมคือความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ใส่ในสารละลายเท่ากับ 20 มิลลิโมลต่อลิตร พีเอชเท่ากับ 8 - 8.5 อุณหภูมิห้อง ซึ่งมีวิธีการศึกษาดังนี้

1. ชั่งเส้นใย 0.3 กรัมลงในขวด Vial ขนาด 40 มิลลิลิตร และใส่สารลดแรงตึงผิวประจุบวกความเข้มข้น 20 มิลลิโมลต่อลิตรลงในขวด Vial ปรับให้น้ำหนักของนุ่นและ

สารลดแรงตึงผิวประจุบวกมีน้ำหนักรวมกันเท่ากับ 30 กรัม ซึ่งเป็นการทำให้มีเส้นใยอยู่ในน้ำ 1 % โดยน้ำหนัก โดยมีขดควบคุม คือที่ปราศจากเส้นใยนุ่มและใส่สารลดแรงตึงผิวประจุบวกลงในขวด Vial ขนาด 40 มิลลิลิตรให้มีน้ำหนัก 30 กรัม โดยทำการทดลอง 2 ขั้ว

2. จากข้อที่ 1 เตรียมชุดการทดลองทั้งหมด 6 ชุด แต่ละชุดการทดลองจะนำไปเขย่าโดยใช้เวลาในการเขย่าแตกต่างกัน โดยแปรค่าเวลาที่ใช้ในการเขย่าเป็น 3, 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมงตามลำดับ

3. เมื่อเขย่าเส้นใยนุ่มในสารละลายจนครบกำหนดตามเวลาแล้วนำสารละลาย วัดความเข้มข้นที่เหลืออยู่ด้วยเครื่องวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์โดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟี (High Pressure Liquid Chromatography, HPLC) วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้และนำเวลาที่เหมาะสมไปใช้ในการศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกบนเส้นใยนุ่มต่อไป

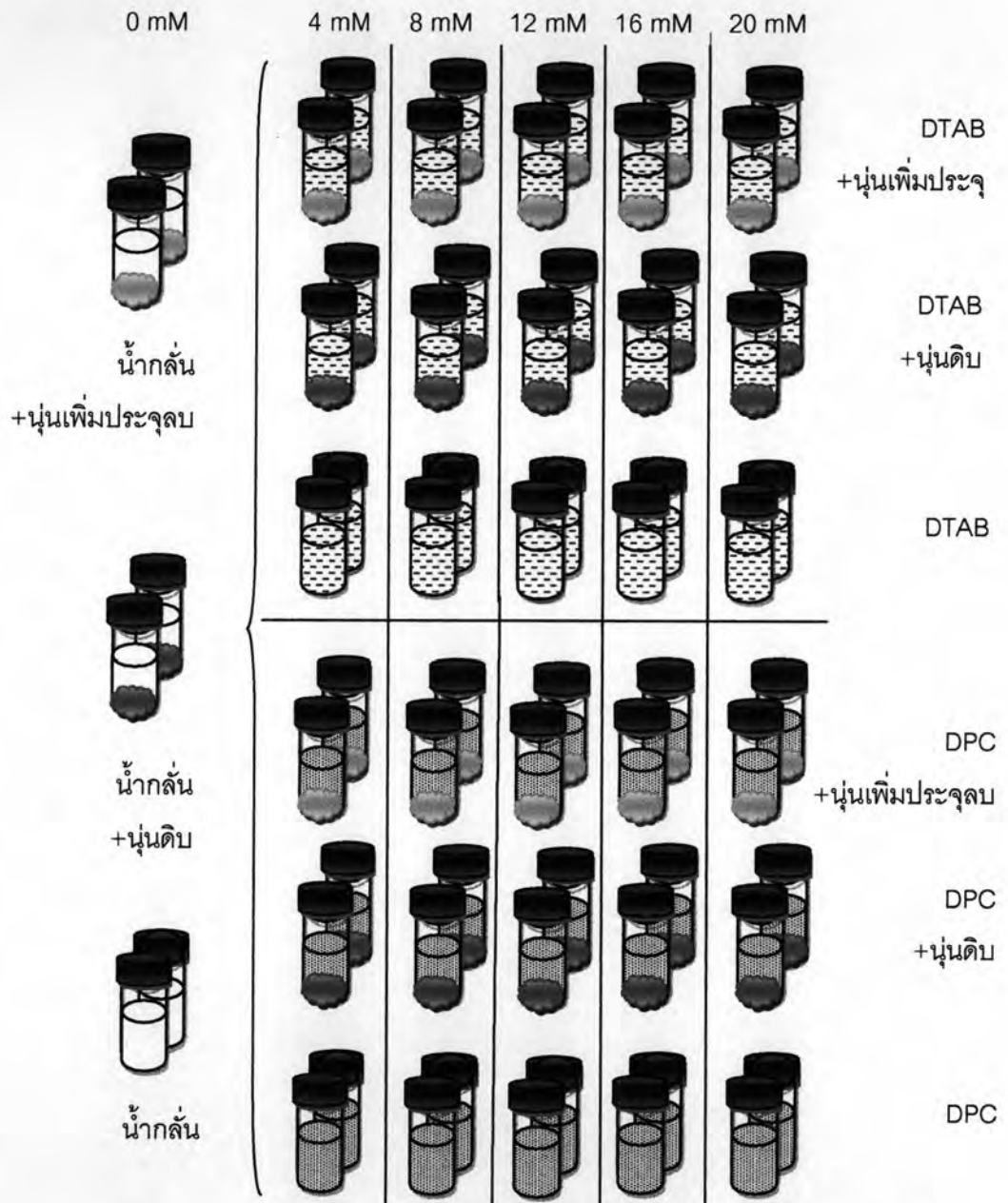


รูปที่ 3.7 การเตรียมตัวอย่างจำนวน 1 ชุดการทดลองจากทั้งหมด 6 ชุดการทดลอง โดยแต่ละชุดการทดลองใช้เวลาในการเขย่า 3, 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมงตามลำดับ

3.3.3.2 การศึกษาความสามารถของเส้นใยนุ่มในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวก

ในขั้นตอนการศึกษาความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกบนเส้นใยนุ่มซึ่งประกอบด้วย เส้นใยนุ่มดิบและเส้นใยนุ่มเพิ่มประจุลบ มีตัวแปรต้นคือชนิดของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกและความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่ใส่ลงไปในสารละลายโดยแปรค่าความเข้มข้นเป็น 4, 8, 12, 16 และ 20 มิลลิโมลต่อลิตร ตัวแปรตามคือความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่เหลืออยู่ในสารละลาย (C_{eq}) และตัวแปรควบคุม คือ ค่าพีเอช

เท่ากับ 8 - 8.5 อุณหภูมิห้อง โดยจะนำความเข้มข้นที่เหมาะสมไปใช้ในการปรับสภาพเส้นใย เพื่อนำไปกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในขั้นตอนต่อไป ซึ่งวิธีการทดลองในขั้นตอนนี้มีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 3.8 การเตรียมตัวอย่างในขั้นตอนการศึกษาความสามารถของเส้นใยนุ่น ในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวก

1. ชั่งเส้นใย 0.3 กรัมลงในขวด Vial ขนาด 40 มิลลิลิตร และใส่สารลดแรงตึงผิวประจุบวก โดยแปรค่าความเข้มข้นเป็น 4, 8, 12, 16 และ 20 มิลลิโมลต่อลิตร ลงในขวด Vial ปรับให้น้ำหนักของนุ่นและสารลดแรงตึงผิวประจุบวกมีน้ำหนักรวมกันเท่ากับ 30 กรัม ซึ่งเป็นการทำให้มีเส้นใยอยู่ในน้ำ 1 % โดยน้ำหนัก

2. ใส่สารลดแรงตึงผิวประจุบวกลงในขวด Vial ขนาด 40 มิลลิลิตรให้มีน้ำหนัก 30 กรัมเป็นขวดควบคุม โดยแปรค่าความเข้มข้นเป็น 4, 8, 12, 16 และ 20 มิลลิโมลต่อลิตรเหมือนข้อ 1

3. นำขวด Vial ที่ได้จากข้อ 1 และข้อ 2 ไปเขย่าโดยใช้เวลาที่หาได้จากการหาเวลาที่เหมาะสมที่เส้นใยนุ่นใช้ในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกขั้นตอนที่ 3.3.3.1

4. เมื่อเขย่าเส้นใยนุ่นในสารละลายจนครบกำหนดตามเวลา นำสารละลายวัดความเข้มข้นที่เหลืออยู่ด้วยเครื่องวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์โดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟี (High Pressure Liquid Chromatography, HPLC) บันทึกลงและวิเคราะห์ผลเพื่อหาความเข้มข้นที่เหมาะสม ต่อการปรับสภาพเส้นใยเพื่อนำไปกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในขั้นตอนถัดไป

3.3.4 การศึกษาความสามารถในการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนด้วยเส้นใยนุ่นที่ปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุบวก

การศึกษาในขั้นตอนนี้เป็นการนำตัวกลางที่ได้จากการศึกษาในขั้นตอนที่ผ่านมาทั้งหมด มาใช้กำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน นั่นคือ ฟลูออรีนและพีแนทรีนในน้ำเสียสังเคราะห์ซึ่งตัวกลางที่ใช้ในการทดลองนี้มีทั้งหมด 6 ประเภท ได้แก่

1. เส้นใยนุ่นดิบปรับสภาพด้วยโดเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียม โบรไมด์ (นุ่นดิบ + DTAB)
2. เส้นใยนุ่นดิบปรับสภาพด้วยโดเดซิลไพริดีเนียม คลอไรด์ (นุ่นดิบ + DPC)
3. เส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบปรับสภาพด้วยโดเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (นุ่นเพิ่มประจุลบ + DTAB)
4. เส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบปรับสภาพด้วยโดเดซิลไพริดีเนียม คลอไรด์ (นุ่นเพิ่มประจุลบ + DPC)
5. เส้นใยนุ่นดิบ
6. เส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ

การทดลองในขั้นตอนนี้เป็นกรนำตัวกลางทั้งหมด 6 ประเภทมากำจัดฟลูออรีน และพีแนนทรินที่แปรค่าความเข้มข้นแตกต่างกัน จากนั้นศึกษาผลที่ได้จากการกำจัดฟลูออรีน และพีแนนทรินของตัวกลางทั้งหมดมาวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดฟลูออรีนและพีแนนทรินของตัวกลางทั้ง 6 ประเภท ได้แก่

1. ศึกษาความสามารถของตัวกลางในการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่มีโครงสร้างต่างกัน
2. ศึกษาความสามารถของตัวกลางที่ปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่มีหมู่ฟังก์ชันต่างกันในการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดฟลูออรีนและพีแนนทริน มีวิธีการทดลอง ดังนี้

1. เตรียมตัวกลางทั้ง 6 ประเภท ดังนี้

1.1 เส้นใยอนุดัดปรับสภาพด้วย DTAB และ DPC ตามลำดับ เตรียมตัวกลางโดยชั่งเส้นใยอนุดัด 0.3 กรัมลงในขวด Vial ขนาด 40 มิลลิลิตร และใส่สารลดแรงตึงผิวประจุบวกโดยใช้ความเข้มข้นที่เลือกได้จากการทดลองที่ 3.3.3.2 ลงในขวด Vial ปรับให้น้ำหนักของอนุดัดและสารลดแรงตึงผิวประจุบวกมีน้ำหนักรวมกันเท่ากับ 30 กรัม ซึ่งเป็นการทำให้มีเส้นใยอยู่ในน้ำ 1 % โดยน้ำหนัก เขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

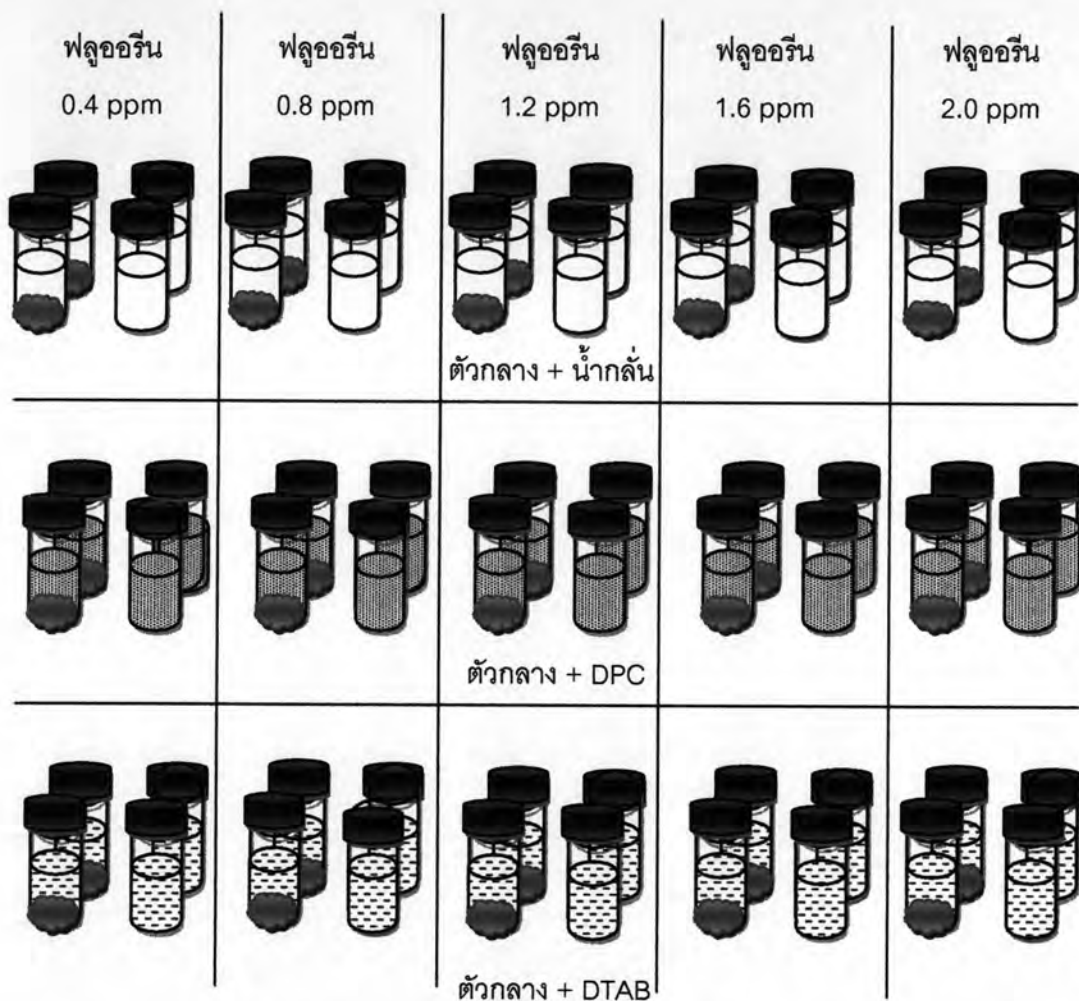
1.2 เส้นใยอนุดัดเพิ่มประจุลบปรับสภาพด้วย DTAB และ DPC ตามลำดับ เตรียมตัวกลางโดยชั่งเส้นใยอนุดัดเพิ่มประจุลบ 0.3 กรัมลงในขวด Vial ขนาด 40 มิลลิลิตร และใส่สารลดแรงตึงผิวประจุบวกโดยใช้ความเข้มข้นที่เลือกได้จากการทดลองที่ 3.3.3.2 ลงในขวด Vial ปรับให้น้ำหนักของอนุดัดและสารลดแรงตึงผิวประจุบวกมีน้ำหนักรวมกันเท่ากับ 30 กรัม ซึ่งเป็นการทำให้มีเส้นใยอยู่ในน้ำ 1 % โดยน้ำหนัก เขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

1.3 เส้นใยอนุดัดและเส้นใยอนุดัดเพิ่มประจุลบที่ไม่ปรับสภาพใด ๆ เตรียมตัวกลางโดยชั่งเส้นใยอนุดัดและเส้นใยอนุดัดเพิ่มประจุลบ 0.3 กรัมลงในขวด Vial ขนาด 40 มิลลิลิตร และใส่น้ำกลั่นลงในขวด Vial ปรับให้น้ำหนักของอนุดัดและสารลดแรงตึงผิวประจุบวกมีน้ำหนักรวมกันเท่ากับ 30 กรัม ซึ่งเป็นการทำให้มีเส้นใยอยู่ในน้ำ 1 % โดยน้ำหนัก เขย่าเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

2. แบ่งตัวกลางที่ได้เป็น 12 ชุดแต่ละชุดประกอบด้วยตัวกลางแต่ละประเภทที่ได้แจกแจงไว้แล้วข้างต้น ใส่สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่มีความเข้มข้นต่างกัน 5 ความเข้มข้น แบ่ง 6 ชุดแรกใส่ฟลูออรีนและ 6 ชุดหลังใส่พีแนนทริน นำไปเขย่าที่

ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที ณ อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 24 ชั่วโมง การแปรค่าความเข้มข้นของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนมีรายละเอียดดังนี้

2.1 ฟลูออรีน แปรค่าความเข้มข้น 5 ความเข้มข้น ได้แก่ 0.4, 0.8, 1.2, 1.6 และ 1.9 พีพีเอ็ม ตามลำดับ

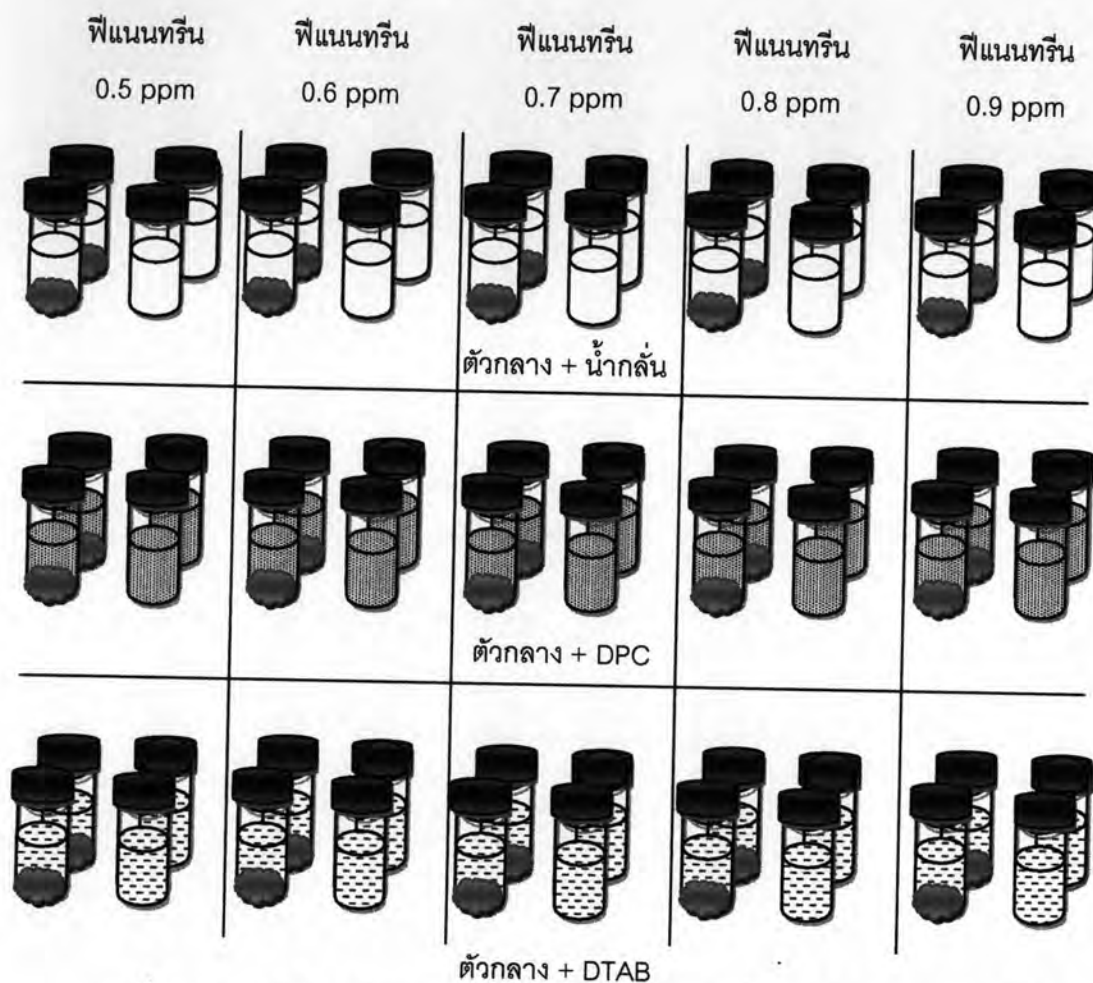


รูปที่ 3.9 การเตรียมตัวอย่างจำนวน 1 ชุดการทดลองจากทั้งหมด 6 ชุดการทดลองที่ใช้ในการกำจัดฟลูออรีนที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

2.2 พีเอ็นเอทีเอ็น แปรค่าความเข้มข้น 5 ความเข้มข้น ได้แก่ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8 และ 0.9 พีพีเอ็ม ตามลำดับ

3. เมื่อเขย่าตัวกลางจนครบ 24 ชั่วโมง วัดความเข้มข้นของฟลูออรีนและพีเอ็นเอทีเอ็นที่เหลืออยู่ในสารละลายแต่ละชุดการทดลองด้วยเครื่องวิเคราะห์หาปริมาณสารอินทรีย์

โดยใช้เทคนิคโครมาโตกราฟี (High Pressure Liquid Chromatography, HPLC) บันทึกผลและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้เพื่อนำไปศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนของตัวกลางทั้ง 6 ประเภท



รูปที่ 3.10 การเตรียมตัวอย่างจำนวน 1 ชุดการทดลองจากทั้งหมด 6 ชุดการทดลองที่ใช้ในการกำจัดฟีแนนทรินที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน

3.3.4.1 การศึกษาการดูดซับสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนบนเส้นใยุ่นที่ปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่มีหมู่ฟังก์ชันต่างกัน

ในขั้นตอนนี้เป็นการศึกษาว่าเส้นใยุ่นที่ปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวที่มีหมู่ฟังก์ชันต่างกันเมื่อนำมาดูดซับสารปนเปื้อนชนิดเดียวกัน ความต่างของหมู่ฟังก์ชันจะมีผลต่อความสามารถในการดูดซับสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน บนเส้นใยุ่น

หรือไม่และอย่างไร โดยมีตัวแปรต้นคือ ชนิดของสารลดแรงตึงผิวประจุบวก และความเข้มข้นของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ ฟลูออรีน (Fluorene, FLU) ฟีนแอนทรีน (Phenanthrene, PHE) ตัวแปรตามคือความเข้มข้นของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่เหลืออยู่ในสารละลาย ตัวแปรที่ควบคุม คือ ค่าพีเอชเท่ากับ 7 ณ อุณหภูมิห้อง และความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่ใส่ลงไปในการทดลองได้นำมาจากค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวที่เหมาะสมต่อการดูดซับจากการทดลองที่ 3.3.3.2 สำหรับวิธีการวิเคราะห์ที่ได้แสดงรายละเอียดไว้ในวิธีการทดลองที่ 3.3.4

3.3.4.2 การศึกษาผลของโครงสร้างที่ต่างกันของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนต่อประสิทธิภาพการดูดซับบนเส้นใยุ่นที่ปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุบวก

เนื่องจากสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนแต่ละชนิดมีโครงสร้างต่างกันและมีค่าการละลายน้ำต่างกัน ในความต่างของโครงสร้างและค่าการละลายน้ำนี้อาจส่งผลต่อความสามารถในการดูดซับสารประกอบกลุ่มนี้บนเส้นใยุ่นได้ จึงทำให้ในขั้นตอนนี้นักวิจัยจะนำเส้นใยุ่นมาปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวชนิดเดียวกัน มาดูดซับสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนต่างชนิดกัน ว่าผลของโครงสร้างจะทำให้ความสามารถในการดูดซับของเส้นใยุ่นเปลี่ยนแปลงหรือไม่และอย่างไร ตัวแปรต้นคือชนิดของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ได้แก่ ฟลูออรีน (Fluorene, FLU) และฟีนแอนทรีน (Phenanthrene, PHE) ซึ่งมีค่าการละลายน้ำเท่ากับ 800 และ 435 ไมโครกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สำหรับวิธีการวิเคราะห์ที่ได้แสดงรายละเอียดไว้ในวิธีการทดลองที่ 3.3.4

3.4 สมการที่ใช้ในงานวิจัย

สมการที่ใช้ในการวิจัยนี้คือ การหาค่าไอโซเทอม เพื่อหาความสามารถของ เส้นใยุ่นในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกและประสิทธิภาพของเส้นใยุ่นในการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ซึ่งสมการที่ใช้ในการหาค่าไอโซเทอมเป็นดังนี้

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

โดยที่ q_e = ประสิทธิภาพการดูดซับ

- C_0 = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารถูกดูดซับ
 C_e = ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุลของสารถูกดูดซับ
 m = ปริมาณตัวกลางดูดซับ
 V = ปริมาตรสารละลาย

หน่วยที่ใช้สำหรับหาค่าความสามารถของเส้นใยุ่นในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกและประสิทธิภาพของเส้นใยุ่น ในการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนมีความแตกต่างกัน ซึ่งสามารถแจกแจงได้ดังนี้

จากสมการที่ (3.1)

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m}$$

1. การหาค่าความสามารถของเส้นใยุ่นในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวก

- q_e = ประสิทธิภาพการดูดซับ (มิลลิโมลต่อกรัม)
 C_0 = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารถูกดูดซับ (มิลลิโมลต่อลิตร)
 C_e = ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุลของสารถูกดูดซับ (มิลลิโมลต่อลิตร)
 m = ปริมาณตัวกลางดูดซับ (กรัม)
 V = ปริมาตรสารละลาย (ลิตร)

2. การหาประสิทธิภาพของเส้นใยุ่นในการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

- q_e = ประสิทธิภาพการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัม)
 C_0 = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารถูกดูดซับ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 C_e = ความเข้มข้นที่สภาวะสมดุลของสารถูกดูดซับ (มิลลิกรัมต่อลิตร)
 m = ปริมาณตัวกลางดูดซับ (กรัม)
 V = ปริมาตรสารละลาย (ลิตร)

3.5 ระยะเวลาในการดำเนินงานวิจัย

แผนการดำเนินงาน	ระยะเวลา (เดือน)																	
	พ.ศ.2551		พ.ศ. 2552												พ.ศ. 2553			
	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ต.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1. ค้นคว้าเอกสาร	←→																	
2. สอบโครงร่างวิทยานิพนธ์			←→															
3. เตรียมวัสดุอุปกรณ์และสารเคมี					←→													
4. ดำเนินการวิจัย							←→											
5. วิเคราะห์และสรุปผลการวิจัย							←→											
6. เตรียมงานวิจัยเพื่อตีพิมพ์และเผยแพร่															←→			
7. จัดทำและสอบวิทยานิพนธ์														←→		←→		