



## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

#### 4.1 การศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นใยนุ่น

จากแผนการทดลองซึ่งประกอบไปด้วย 4 ขั้นตอนดังนี้

1. การเตรียมเส้นใยนุ่นดิบและเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ
2. การศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นใยนุ่นดิบและเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ
3. การศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกของเส้นใยนุ่น
4. การศึกษาการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

การเตรียมเส้นใยนุ่นดิบและเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ มีวิธีการเตรียมที่แตกต่างกัน ในการเตรียมเส้นใยนุ่น 2 ประเภทนี้ เริ่มจากการเตรียมเส้นใยนุ่นดิบ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมเส้นใยนุ่นดิบไว้ 130 กรัม เหตุที่ต้องเตรียมเส้นใยนุ่นดิบให้มีปริมาณมาก เนื่องจากเส้นใยนุ่นดิบคือเส้นใยเริ่มต้น ที่จะนำมาแปรสภาพเป็นเส้นใยประเภทอื่น ๆ อีก 5 ประเภท (ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 1 หัวข้อที่ 1.5 ข้อที่ 3) แบ่งเส้นใยนุ่นดิบออกมา 50 % นั่นคือนำเส้นใยนุ่นดิบมา 65 กรัม เพื่อเข้าสู่กระบวนการเตรียมเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบต่อไป ซึ่งเมื่อการเตรียมเส้นใยนุ่นดิบและเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบเสร็จสิ้น ขั้นตอนถัดมาคือ การศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นใยนุ่นดิบและเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ ซึ่งพบว่าลักษณะทางกายภาพของเส้นใยนุ่นดิบและเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด จนสามารถจำแนกได้อย่างชัดเจนจากการมองเห็นด้วยตาเปล่าว่าเป็นเส้นใยนุ่นประเภทใด ซึ่งความแตกต่างของเส้นใยนุ่นทั้ง 2 ประเภทสามารถแจกแจงรายละเอียดได้ดังต่อไปนี้

##### 4.1.1 ลักษณะทางกายภาพเบื้องต้น

ลักษณะทางกายภาพเบื้องต้น หมายถึง ลักษณะทางกายภาพที่สามารถแยกแยะได้ด้วยตาเปล่า ซึ่งเป็นการสังเกตความแตกต่างของเส้นใยทั้ง 2 ประเภท ก่อนที่จะนำไปศึกษาลักษณะทางกายภาพอย่างละเอียด โดยการส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope; SEM) โดยสามารถแจกแจงและอธิบายถึงความแตกต่างของเส้นใยนุ่นดิบและเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบได้ดังนี้

1. หลังจากเตรียมเส้นใยนุ่นดิบและเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบแล้วนำไปอบแห้งพบว่า

1.1 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยนุ่นดิบ เส้นใยยังคงลักษณะของเส้นใยนุ่นก่อนที่จะนำมาล้างทำความสะอาด นั่นคือเส้นใยยังมีความปุยและนุ่ม เหมือนเส้นใยนุ่นทั่วไป เพียงแต่เส้นใยมีความขาวมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเส้นใยได้ผ่านการล้างทำความสะอาดเพื่อชะล้างสิ่งสกปรกและฝุ่นละอองออกมา ทำให้เส้นใยมีความขาวมากขึ้นกว่าเส้นใยนุ่นก่อนนำมาล้างทำความสะอาด นอกจากนี้ยังพบว่าเส้นใยยังคงมีน้ำมันเคลือบอยู่บนพื้นผิว สังเกตได้โดยการหยดน้ำลงบนเส้นใย พบว่าน้ำมีการรวมตัวกันและกลิ้งไปมาบนเส้นใยได้

1.2 ลักษณะทางกายภาพของเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ มีความแตกต่างจากเส้นใยนุ่นดิบอย่างชัดเจน นั่นคือ เส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบจะมีความกระด้างกว่าเส้นใยนุ่นดิบมาก เส้นใยไม่มีความอ่อนนุ่มและปุยเหมือนเส้นใยนุ่นดิบ ซึ่งสามารถเห็นความแตกต่างได้จากรูปที่ 4.1 a.) และ b.) สาเหตุที่ทำให้เส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบมีความแตกต่างจากเส้นใยนุ่นดิบอย่างสิ้นเชิงอาจสืบเนื่องมาจาก กระบวนการเตรียมเส้นใยทั้ง 2 ชนิดมีความแตกต่างกัน การเตรียมเส้นใยนุ่นดิบเป็นเพียงการล้างด้วยน้ำกลั่นเพื่อกำจัดเศษฝุ่นละอองออกจากเส้นใยเท่านั้น แต่การเตรียมเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ เป็นการนำเส้นใยนุ่นดิบผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ใช้ตัวออกซิไดซ์ถึง 3 ตัวและดำเนินปฏิกิริยาในสภาวะต่างแก่ ( $\text{pH} = 10$ ) ซึ่งการที่เส้นใยนุ่นดิบต้องผ่านปฏิกิริยาการเพิ่มประจุลบในสภาวะดังกล่าวอาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เส้นใยมีความแข็งกระด้างมากกว่าเส้นใยนุ่นดิบ

a.)



b.)



รูปที่ 4.1 ลักษณะทางกายภาพของ a.) เส้นใยนุ่นดิบ และ b.) เส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบเมื่อผ่านการเตรียมเส้นใยแล้วนำไปอบแห้ง

2. เมื่อนำเส้นใยนุ่นทั้ง 2 ประเภทใส่ลงในน้ำ พบว่าเส้นใยนุ่นดิบและเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบมีความสามารถในการลอยตัวอยู่ในน้ำแตกต่างกัน ซึ่งสามารถแจกแจงได้ดังนี้

2.1 เมื่อนำเส้นใยนุ่นดิบใส่น้ำ พบว่า เส้นใยสามารถลอยอยู่ใต้ผิวน้ำได้ ซึ่งต่างจากเส้นใยนุ่นดิบก่อนนำมาล้างทำความสะอาดที่เส้นใยไม่จมน้ำ และลอยอยู่บนผิวน้ำ เนื่องจากมีน้ำมันเคลือบอยู่บนพื้นผิวของเส้นใยอยู่ในปริมาณมาก แต่เมื่อล้างเส้นใยด้วยน้ำกลั่น และนำไปอบจะทำให้เส้นใยอยู่ในน้ำได้ดีกว่าเดิม สาเหตุอาจเนื่องมาจากในกระบวนการล้างเส้นใย อาจเป็นการชะน้ำมันที่เคลือบอยู่บนเส้นใยส่วนหนึ่งให้หลุดออกมา การที่น้ำมันเกาะอยู่บนเส้นใยน้อยลงจึงทำให้เส้นใยจมน้ำและอุ่มน้ำได้มากขึ้น

2.2 เมื่อนำเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบใส่น้ำ พบว่าเส้นใยจมน้ำได้ผิวน้ำ ไม่ลอยน้ำเหมือนเส้นใยนุ่นทั่วไป ซึ่งสาเหตุที่ทำให้เส้นใยสามารถจมน้ำได้ผิวน้ำได้ อาจสืบเนื่องมาจากปฏิกิริยาออกซิเดชันเพื่อเพิ่มประจุลบซึ่งระหว่างการเพิ่มประจุลบให้เส้นใย จะต้องมีการกำจัดลิกนินซึ่งเป็นส่วนประกอบของเส้นใยออกไปโดยใช้ต่างแก่ นั่นคือ NaOH 1 โมลต่อลิตร ล้างเส้นใยถึง 2 ครั้ง ซึ่งในการกำจัดลิกนินทำให้เส้นใยสูญเสียน้ำมันเคลือบผิวเส้นใยไปด้วย (ขั้นตอนการเพิ่มประจุลบมีรายละเอียดในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.3.1.2) การที่ขาดน้ำมันเคลือบผิวเส้นใยจึงทำให้เส้นใยสามารถจมน้ำได้ดังรูปที่ 4.2



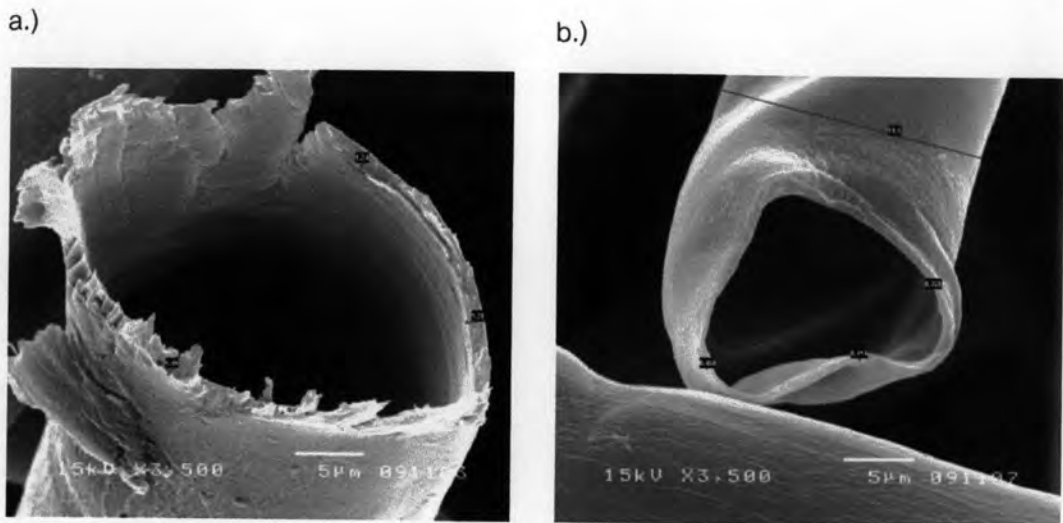
รูปที่ 4.2 ลักษณะทางกายภาพของ a.) เส้นใยนุ่นดิบ และ b.) เส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบเมื่ออยู่ในน้ำ

#### 4.1.2 ลักษณะทางกายภาพเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

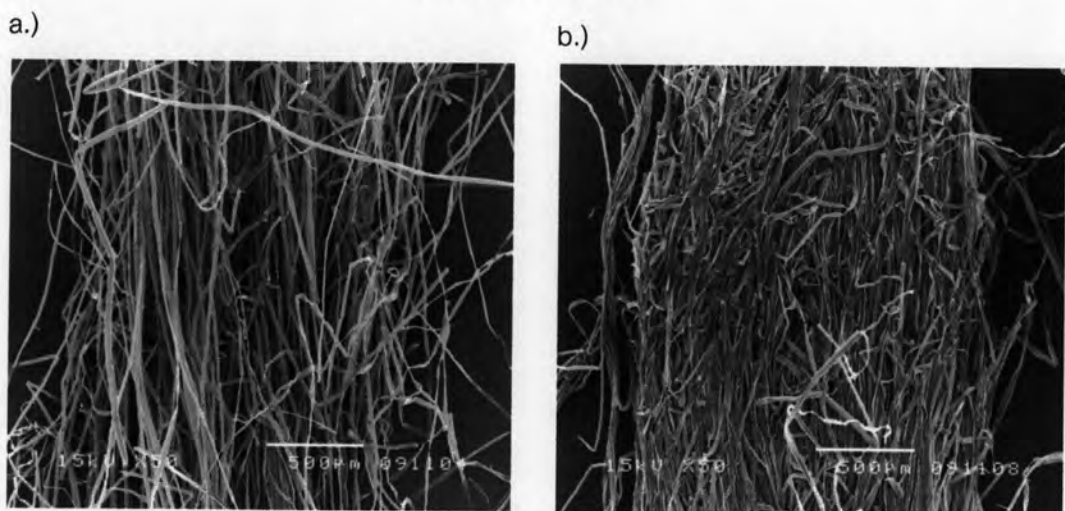
เมื่อส่องตัวกลางด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด JEOL รุ่น JSM-5410 LV JAPAN พบว่าเส้นใยุ่นดิบและเส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบมีความแตกต่างกันดังนี้

1. ลักษณะของเส้นใยเดี่ยว พบว่าทั้งเส้นใยุ่นดิบและเส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบมีความเหมือนกันคือ เส้นใยเป็นทรงกระบอก ภายในกลวงเหมือนกัน แต่ความต่างระหว่างเส้นใยุ่นดิบและเส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบที่เห็นได้ชัดคือ ขนาดและความหนาของเส้นใย ซึ่งพบว่าเส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบบางกว่าเส้นใยุ่นดิบอย่างเห็นได้ชัด อีกทั้งเส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบเรียบกว่าเส้นใยุ่นดิบเล็กน้อย สาเหตุที่ทำให้เส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบมีความบางมากกว่าเส้นใยุ่นดิบอาจมีสาเหตุหลักมาจากในกระบวนการเตรียมเส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบ ได้มีการกำจัดลิกนินออกจากเส้นใย (Alila et al., 2005) ในขั้นตอนการเติม NaOH 1 โมลต่อลิตร 2 ครั้งแล้วจึงล้างออกด้วยน้ำกลั่นจนน้ำล้างเส้นใยมีค่า พีเอช เข้าใกล้ 7 ซึ่งจากงานวิจัยของ Lim และคณะ ได้กล่าวว่าเส้นใยุ่นประกอบด้วย เซลลูโลส 67% ลิกนิน 13% และเพนโทซาน 23% ซึ่งการที่กำจัดลิกนินออกไปจึงอาจเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบบางลง และพื้นผิวเส้นใยเรียบมากกว่าเส้นใยุ่นดิบ นอกจากนี้การที่เส้นใยบางลง ส่งผลให้มวลรวมของเส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบลดลง การที่เส้นใยมีมวลรวมลดลง ไม่ได้ทำให้เกิดปัญหาในเรื่องมวลของเส้นใย 2 ประเภทที่ไม่เท่ากัน เนื่องจากการเตรียมเส้นใยุ่นทั้ง 2 ประเภท ได้ทำการเตรียมและอบแห้งไว้ในปริมาณมาก เมื่อต้องทำการทดลองในขั้นต่อไปซึ่งทำการทดลองแบบทีละเท (Batch) จะต้องทำการชั่งเส้นใยุ่นด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่งให้ในแต่ละระบบมีปริมาณเส้นใยุ่นเท่ากัน ซึ่งจะช่วยให้สามารถเปรียบเทียบความสามารถของเส้นใยุ่นทั้ง 2 ประเภทในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกและในการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนต่อหนึ่งกรัมของเส้นใยุ่นได้อย่างถูกต้องในการทดลองถัดไป

2. ลักษณะการรวมกลุ่มของเส้นใยุ่นดิบและเส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบก็มีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด นั่นคือ เส้นใยุ่นดิบพบว่า เส้นใยมีการรวมกลุ่มกันอย่างหลวม ๆ มีช่องว่างระหว่างเส้นใยแต่ละเส้น ด้วยสาเหตุนี้ จึงส่งผลให้เส้นใยุ่นดิบมีความนุ่มมากกว่าเส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบ ส่วนลักษณะการรวมกลุ่มของเส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบพบว่าเส้นใยแต่ละเส้นมีการรวมกลุ่มกันแน่น เส้นใยอัดกันแน่นมากจนไม่ช่องว่างระหว่างเส้นใย (รูปที่ 4.4 b.) ด้วยสาเหตุนี้จึงทำให้เส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบมีความแข็งกระด้าง และไม่นุ่มเท่าเส้นใยุ่นดิบ ซึ่งได้อธิบายกลไกและวิธีการเพิ่มประจุลบให้แก่เส้นใยไว้แล้วในบทที่ 2 และบทที่ 3



รูปที่ 4.3 a.) เส้นใยนาโนดิบและ b.) เส้นใยนาโนเพิ่มประจุลบเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด



รูปที่ 4.4 ลักษณะการรวมตัวของ a.) เส้นใยนาโนดิบและ b.) เส้นใยนาโนเพิ่มประจุลบเมื่อส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

#### 4.2 การศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกของเส้นใยนาโน

ในการศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกของเส้นใยนาโน คือขั้นตอนที่ 3 จาก 4 ขั้นตอน ซึ่งในขั้นนี้เป็นการนำเส้นใยนาโน 2 ประเภทที่งานวิจัยนี้ต้องการเปรียบเทียบ นั่นคือ เส้นใยนาโนดิบและเส้นใยนาโนเพิ่มประจุลบที่ได้จากการเตรียมในแผนการทดลองที่ 1 ไปดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวก 2 ชนิดที่มีหมู่ฟังก์ชันแตกต่างกันได้แก่ DTAB และ DPC เนื่องจากในส่วนของบทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้กล่าวไว้ว่า การที่สารลดแรงตึงผิวประจุบวก



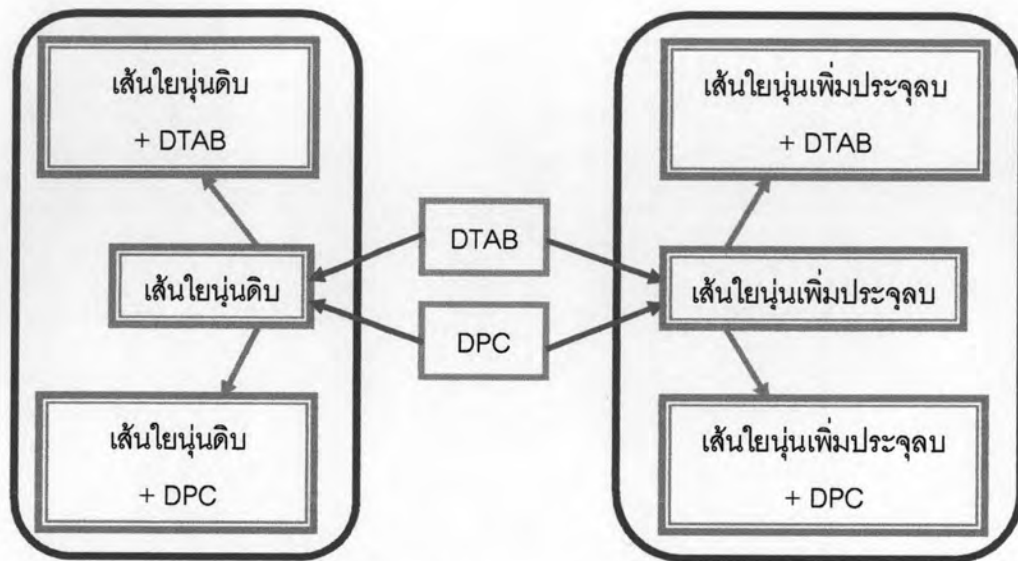
มีจำนวนคาร์บอนอะตอมมาก จะยิ่งช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงควบคุมให้จำนวนคาร์บอนอะตอมของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกเท่ากันคือ เท่ากับ 16 อะตอม แต่ยังไม่มีการวิจัยทดสอบว่าผลของหมู่ฟังก์ชันที่แตกต่างกันมีผลต่อความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกของเส้นใย รวมถึงความสามารถในการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนซึ่งเป็นสารอินทรีย์ ที่งานวิจัยชิ้นนี้ต้องการกำจัดหรือไม่ ในหัวข้อที่ 4.2 มีการทำการทดลอง 2 ขั้นตอนย่อยได้แก่

1. การหาสภาวะทดลอง ประกอบด้วย การหาความเร็วรอบที่เหมาะสม การหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมและการหาเวลาที่เหมาะสม
2. การศึกษาความสามารถของเส้นใยนุ่นในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวก

เมื่อนำเส้นใยนุ่นไปดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกแล้ว ผลจากการศึกษาในขั้นตอนนี้ ทำให้ได้ประโยชน์ในขั้นตอนการทดลองถัดไปคือการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนดังนี้

1. ผลจากการศึกษาหาสภาวะการทดลองที่เหมาะสม ทำให้ได้สภาวะการทดลองที่เหมาะสมเพื่อให้เส้นใยนุ่นสามารถดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. ผลจากการศึกษาความสามารถของเส้นใยนุ่นในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวก ทำให้ทราบปริมาณของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่เส้นใยนุ่นดิบและเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบสามารถดูดซับบนพื้นผิวได้มากที่สุด ซึ่งสามารถทราบปริมาณของ DTAB และ DPC บนพื้นผิวของเส้นใยนุ่นทั้ง 2 ประเภทในหน่วยมิลลิโมล ซึ่งปริมาณของ DTAB และ DPC ที่คำนวณได้จะนำไปใช้ในการคำนวณความสามารถในการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่อยู่บนพื้นผิวของเส้นใยนุ่นในซึ่งจะอธิบายในขั้นตอนสุดท้ายต่อไป

จากการศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกบนเส้นใยนุ่นทำให้ได้ตัวกลางเพิ่มขึ้นอีก 4 ประเภทจากเดิม 2 ประเภทดังอธิบายไว้ในรูปที่ 4.5 เมื่อศึกษาตัวกลางครบทั้ง 6 ประเภทแล้ว ทำให้สามารถเตรียมตัวกลางทั้ง 6 ประเภทได้อย่างถูกต้อง เพื่อนำไปศึกษาการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนในขั้นตอนสุดท้ายต่อไป ซึ่งการเตรียมสารลดแรงตึงผิวประจุบวก ทำได้โดยการชั่งสารลดแรงตึงผิวประจุบวกด้วยเครื่องชั่งละเอียด 4 ตำแหน่งให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนและนำมาละลายในน้ำกลั่น  $18.2 \text{ mL}$  ซึ่งเป็นน้ำกลั่นที่มีความบริสุทธิ์สูง



รูปที่ 4.5 แผนการทดลองในขั้นตอนที่ 3 การศึกษาการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกของเส้นใยนุ่นซึ่งทำให้ได้ตัวกลางครบทั้ง 6 ประเภทเพื่อใช้ในขั้นตอนการทดลองต่อไป เพื่อกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

ตารางที่ 4.1 แสดงสมบัติของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่ใช้ในงานวิจัย (Iqbal et al., 2007)

สารลดแรงตึงผิว	ค่าความเข้มข้นวิกฤติของไมเซลล์ (มิลลิโมลต่อลิตร)	จำนวนคาร์บอนอะตอม	โครงสร้างโมเลกุล
โดเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (Dodecyltrimethylammonium bromide, DTAB)	308.35	16	$\text{CH}_3(\text{CH}_2)_{10}\text{CH}_2-\text{N}^+(\text{CH}_3)_3 \text{Br}^-$
โดเดซิลไพริดีเนียมคลอไรด์ (Dodecylpyridinium chloride, DPC)	283.89	16	

#### 4.2.1 การหาสภาวะการทดลอง

การหาสภาวะการทดลองคือ การหาสภาวะต่าง ๆ ที่เหมาะสมซึ่งจำเป็นต่อการนำไปใช้ในการทดลองเพื่อนำค่าสภาวะที่เหมาะสมที่หาได้นำไปศึกษาในการทดลองขั้นต่อไป นั่นคือ ขั้นตอนการหาความสามารถของเส้นใยนุ่นในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกและการศึกษาการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ซึ่งสภาวะการทดลองที่จำเป็นต่องานวิจัยนี้ได้แก่

1. การหาความเร็วรอบที่เหมาะสม
2. การหาปริมาณนุ่นที่เหมาะสม
3. การหาเวลาที่เหมาะสม

ผลการหาสภาวะที่เหมาะสมสามารถแจกแจงรายละเอียด และวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดังนี้

##### 4.2.1.1 การหาความเร็วรอบที่เหมาะสม

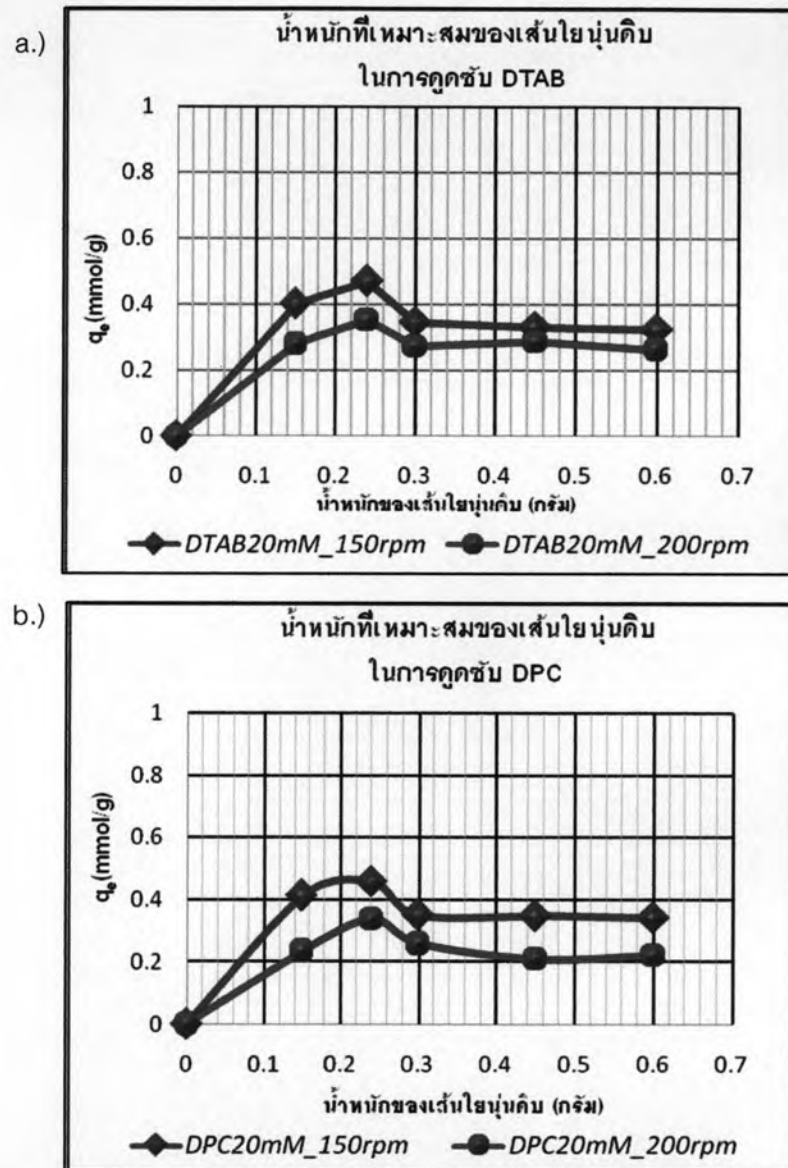
ในการหาความเร็วรอบที่เหมาะสม คือการหาค่าความเร็วรอบในการเขย่าตัวกลาง คือเส้นใยนุ่นให้สามารถดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกได้มากที่สุด ในขั้นตอนการหาสภาวะที่เหมาะสม ในส่วนของการหาความเร็วรอบที่เหมาะสมและการหาปริมาณนุ่นที่เหมาะสมนั้นใช้การทดลองเดียวกัน จากนั้นจึงนำผลการทดลองมาวิเคราะห์โดยแปรค่าความเร็วรอบเป็น 2 ค่าได้แก่ 150 รอบต่อนาทีและ 200 รอบต่อนาที แปรค่าปริมาณนุ่นที่อยู่ในสารลดแรงตึงผิวให้มีค่าเท่ากับ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 และ 1.2% โดยน้ำหนัก ควบคุมให้สารลดแรงตึงผิวประจุบวกมีค่าคงที่เท่ากับ 20 มิลลิโมลต่อลิตร ซึ่งเป็นค่าความเข้มข้นที่มากเกินพอที่สารลดแรงตึงผิวประจุบวกทั้ง 2 ชนิดสามารถเกาะบนพื้นผิวของตัวกลางได้ ซึ่งสามารถดูได้จากค่าความเข้มข้นวิกฤติของไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวทั้ง 2 ชนิด ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความเข้มข้นวิกฤติของไมเซลล์ของสารลดแรงตึงผิวประจุบวก

สารลดแรงตึงผิวประจุบวก	ความเข้มข้นวิกฤติของไมเซลล์ ;CMC (มิลลิโมลต่อลิตร)
โดเดซิลไพริดีเนียม คลอไรด์ (DPC)	14.7
โดเดซิลไตรเมทิลแอมโมเนียม โบรไมด์ (DTAB)	15.3



การหาความเร็วรอบที่เหมาะสมใช้ตัวกลางเพียง 1 ประเภทเท่านั้น เป็นตัวแทนของตัวกลางทั้งหมดนั้นคือ เส้นใยนุ่นดิบ ซึ่งผลการหาความเร็วรอบที่เหมาะสมเป็นดังนี้



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถของในการดูดซับ a.) DTAB และ b.) DPC ต่อหนึ่งกรัมของเส้นใยนุ่นในหน่วยมิลลิโมลต่อกรัม ( $q_e$ ; mmol/g) กับ น้ำหนักของเส้นใยนุ่นดิบ ในหน่วยกรัม (g) เพื่อหาค่าความเร็วรอบในการเขย่าเส้นใยนุ่นในสารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่เหมาะสมต่อการวิจัย

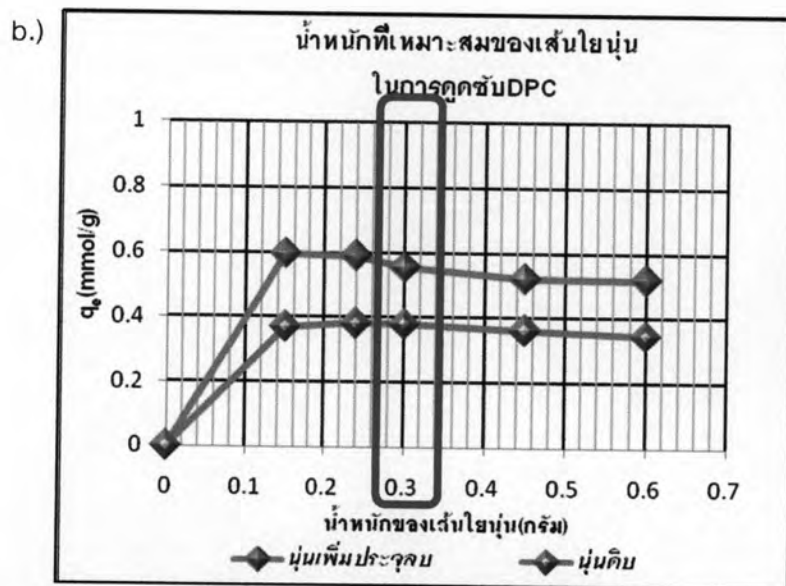
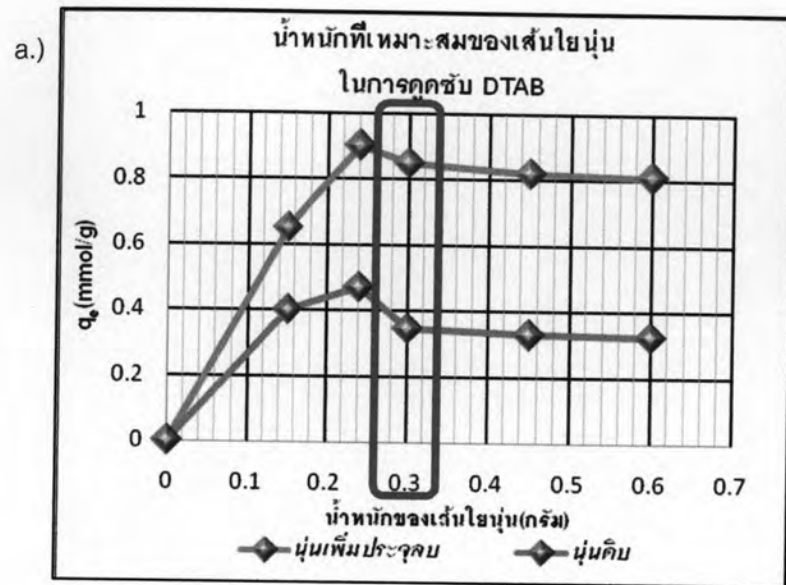
จากรูปที่ 4.6 a.) และ b.) แสดงผลการหาความเร็วรอบที่เหมาะสม โดยใช้เส้นใยุ่นดิบเป็นตัวแทนของตัวกลางทั้งหมด ซึ่งเมื่อสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการดูดซับ ( $q_0$ ) ในหน่วยมิลลิโมลต่อกรัมกับน้ำหนักของเส้นใยุ่น (กรัม) พบว่าเมื่อเขย่าตัวกลางที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาทีพบว่าเส้นใยุ่นดิบสามารถดูดซับทั้ง DTAB และ DPC ได้มากกว่าการเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที เหตุผลในการเขย่าที่ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที สามารถดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกได้น้อย อาจเป็นเพราะการเขย่าที่ความเร็วรอบสูง ทำให้สารละลายมีความปั่นป่วนมากเกินไป ทำให้สารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่อยู่ในน้ำไม่สามารถไปจับกับพื้นผิวของเส้นใยได้ดีเท่าที่ควร

#### 4.2.1.2 การหาปริมาณุ่นที่เหมาะสม

ในขั้นตอนนี้ใช้ค่าความเร็วรอบที่หาได้จากการทดลองที่ 4.2.1.1 มาใช้นั้นคือความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาทีและใช้ค่าความเร็วรอบนี้ตลอดงานวิจัย การหาปริมาณุ่นที่เหมาะสมมีการแปรค่าปริมาณุ่นที่ใส่ลงไป DTAB และ DPC แตกต่างกันไปเป็น 0, 0.15, 0.24, 0.3, 0.45 และ 0.6 กรัมหรือเทียบเท่าเป็นร้อยละ 0, 0.5, 0.8, 1.0, 1.5 และ 2.0 โดยน้ำหนัก และควบคุมให้ค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกเป็น 20 มิลลิโมลต่อลิตร ซึ่งผลจากการหาปริมาณุ่นที่เหมาะสมเป็นดังนี้

จากรูปที่ 4.7 a.) และ b.) แสดงผลการหาปริมาณุ่นที่เหมาะสมโดยใช้เส้นใยทั้ง 2 ประเภทมาทำการทดสอบได้แก่ เส้นใยุ่นดิบและเส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบ โดยใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกต่อหนึ่งกรัมของเส้นใยุ่นในหน่วยมิลลิโมลต่อกรัม ( $q_0$ ; mmol/g) กับน้ำหนักของเส้นใยุ่นหน่วยเป็นกรัม (g) พบว่าทั้งเส้นใยุ่นดิบและเส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบ มีการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกเป็นไปในแนวทางเดียวกันนั่นคือ ค่าความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกต่อหนึ่งกรัมของเส้นใยุ่นจะเพิ่มมากขึ้น เมื่อปริมาณของเส้นใยุ่นเพิ่มขึ้นและเริ่มคงที่เมื่อเพิ่มปริมาณุ่นไปจนถึงระดับหนึ่ง จากรูปที่ 4.7 ทั้งรูป a.) และ b.) พบว่าปริมาณุ่นจุดแรกที่ทำให้  $q_0$  เริ่มคงที่คือจุดที่เส้นใยุ่นอยู่ในสารละลาย 0.3 กรัมหรือเทียบเท่ากับ 1.0 % โดยน้ำหนัก

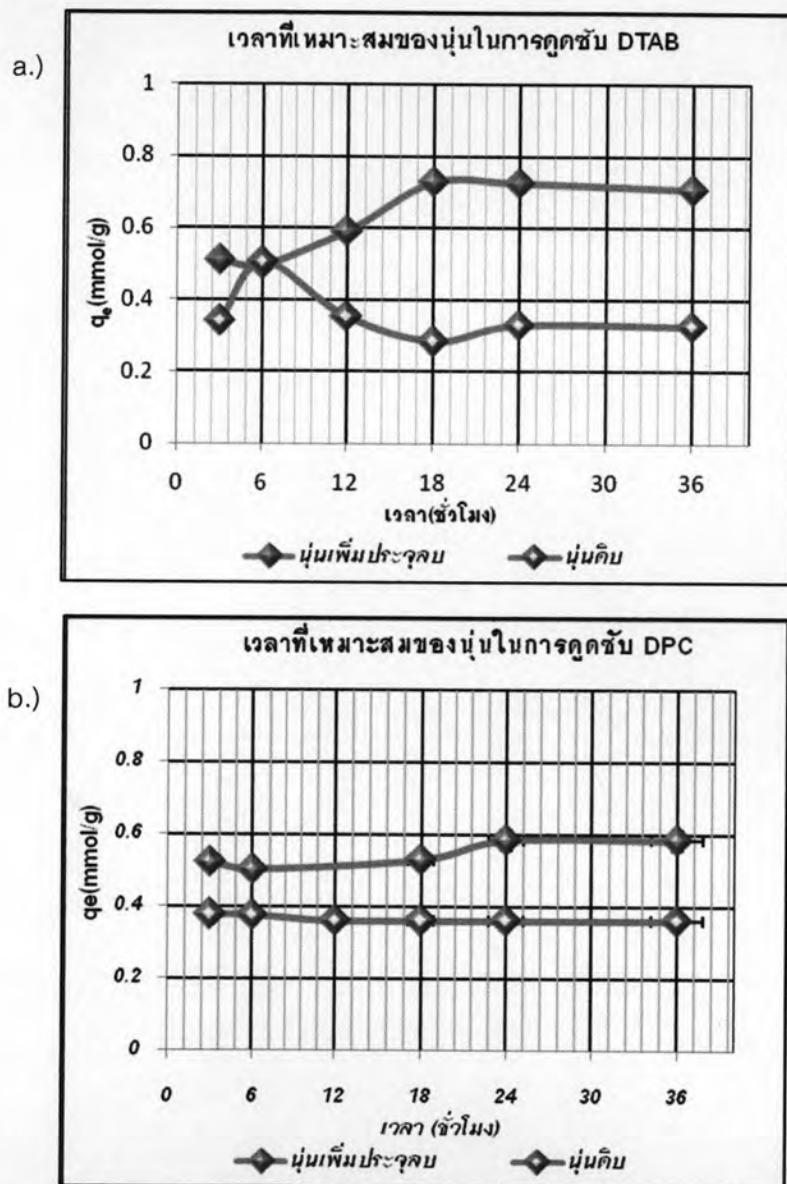
ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้ได้ถือว่าจุดนี้คือจุดที่เหมาะสมและเป็นปริมาณของเส้นใยุ่นที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำมาใช้ในการดำเนินงานวิจัย เนื่องจากไม่ว่าจะเพิ่มปริมาณเส้นใยุ่นไปมากกว่านี้ก็ไม่ทำให้  $q_0$  เพิ่มขึ้นหรือลดลงไปมากกว่านี้



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถของในการดูดซับ a.) DTAB และ b.) DPC ต่อหนึ่งกรัมของเส้นใยนุ่มในหน่วยมิลลิโมลต่อกรัม ( $q_e$ ; mmol/g) กับ น้ำหนักของเส้นใยนุ่มในหน่วยกรัม (g) เพื่อหาปริมาณเส้นใยนุ่ม ที่เหมาะสมต่อการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวก

#### 4.2.1.3 การหาเวลาที่เหมาะสม

การหาเวลาที่เหมาะสมเป็นสภาวะการทดลองขั้นสุดท้ายซึ่งขั้นนี้สามารถใช้ค่าความเร็วรอบและปริมาณนุ่นที่เหมาะสมมาใช้ และแปรค่าเวลาที่ใช้ในการเขย่าเส้นใยเท่านั้น



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถของในการดูดซับ a.) DTAB และ b.) DPC ต่อหนึ่งกรัมของเส้นใยนุ่นในหน่วยมิลลิโมลต่อกรัม ( $q_e$ ; mmol/g) กับ เวลาที่ใช้ในการเขย่าเส้นใยนุ่นหน่วยเป็นชั่วโมง เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมของเส้นใยนุ่นต่อการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวก

ผลการศึกษาลงเวลาที่ใช้ในการเขย่าเส้นใยนุ่นดิบและเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ ซึ่งแปรค่าเวลาการเขย่าเส้นใยนุ่นในสารลดแรงตึงผิวประจุบวกเป็น 3, 6, 12, 18, 24 และ 36 ชั่วโมงโดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ สารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่ใช้ในการทดลองควบคุมให้คงที่เท่ากับ 20 มิลลิโมลต่อลิตรเท่ากัน เหตุผลที่ต้องใช้สารลดแรงตึงผิวประจุบวกเท่ากับ 20 มิลลิโมลต่อลิตร เป็นผลเนื่องมาจากค่า CMC ที่ได้อธิบายไว้ในบทตอนที่ 4.2.1.1 ซึ่งผลการทดลองพบว่า เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาสร้างกราฟดังรูปที่ 4.8 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถของการดูดซับ a.) DTAB และ b.) DPC ต่อหนึ่งกรัมของเส้นใยนุ่นในหน่วยมิลลิโมลต่อกรัม ( $q_e$ ; mmol/g) กับเวลาที่ใช้ในการเขย่าเส้นใยนุ่นในหน่วยชั่วโมง เพื่อหาปริมาณเส้นใยนุ่นที่เหมาะสมต่อการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวก ผลการดูดซับ DTAB และ DPC ของเส้นใยนุ่นดิบและเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบเป็นไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือเมื่อเขย่าเส้นใยนุ่นนานขึ้นทำให้ค่า  $q_e$  ของเส้นใยนุ่นเพิ่มมากขึ้น และเมื่อเขย่าจนถึงจุดหนึ่งค่า  $q_e$  จะเริ่มคงที่จากรูปที่ 4.8 a.) และ b.) เห็นได้ว่าเส้นกราฟจะเริ่มคงที่เมื่อเขย่าเส้นใยนุ่นครบ 24 ชั่วโมง ซึ่งถือว่าจุดนี้คือจุดที่เส้นใยนุ่นดูดซับ DTAB และ DPC จนถึงจุดสมดุลที่สารลดแรงตึงผิวประจุบวกทั้ง 2 ชนิดจะไม่เกาะบนพื้นผิวของเส้นใยนุ่นเพิ่มมากขึ้นหรือลดลงมากไปกว่านี้แล้ว

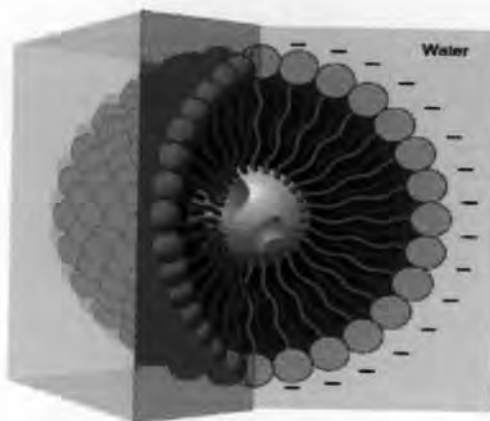
ดังนั้นจึงถือว่าเวลาที่เหมาะสมในการเขย่าเส้นใยนุ่นดิบและเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบคือ 24 ชั่วโมง โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำเพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น

#### 4.2.2 การศึกษาความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกของเส้นใยนุ่น

เมื่อศึกษาลงเวลาการทดลองที่เหมาะสมได้ครบทั้งหมด ซึ่งได้แก่ ความเร็วรอบที่เหมาะสม ปริมาณนุ่นที่เหมาะสมและเวลาที่เหมาะสม ซึ่งในขั้นตอนนี้เป็นกรนำสภาวะการทดลองที่หาได้ทั้งหมดมาใช้ในการทดลองขั้นนี้ การทดลองในขั้นที่ผ่านมาจะเห็นว่าได้ควบคุมให้ความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกมีค่าคงที่ เท่ากับ 20 มิลลิโมลต่อลิตรซึ่งขั้นตอนนี้จะทำการศึกษาและแปรค่าความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกทั้ง 2 ชนิด ได้แก่ DTAB และ DPC ให้มีค่าความเข้มข้นที่ต่างกันไปเป็น 0, 4, 8, 12, 16 และ 20 มิลลิโมลต่อลิตร เพื่อศึกษาว่า เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ DTAB และ DPC ขึ้นเรื่อย ๆ เส้นใยจะสามารถดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกบนเส้นใยนุ่นได้ปริมาณเท่าไร ในหน่วยมิลลิโมลต่อกรัมของเส้นใยนุ่น และต้องระวังไม่ให้สารลดแรงตึงผิวประจุบวกเข้าใกล้ค่า CMC มากเกินไป เนื่องจากการใส่สารลดแรงตึงผิวประจุบวกจนใกล้ค่า CMC จะทำให้เกิดการชะออก (Desorption) ในขั้นตอนของ



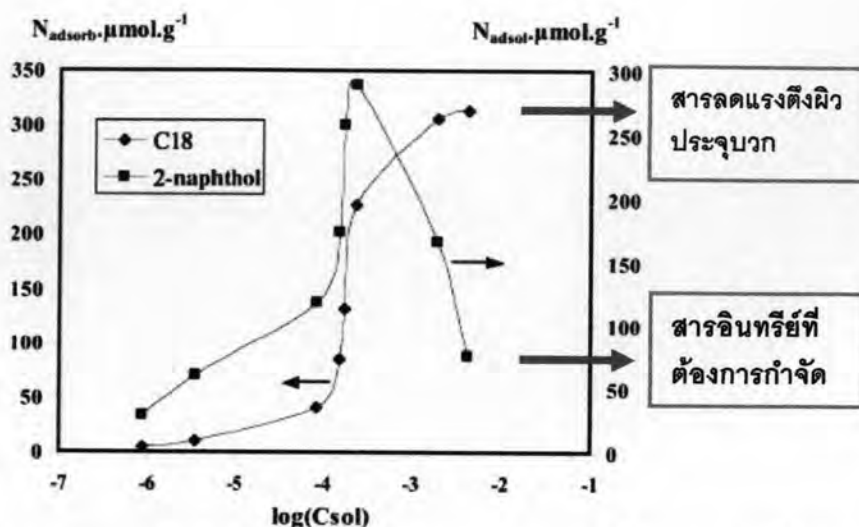
การกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ซึ่งแทนที่จะกำจัดสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำได้ กลายเป็นรักษาปริมาณสารอินทรีย์ที่ต้องการกำจัดให้อยู่ในน้ำได้อย่างเสถียรมากขึ้น



รูปที่ 4.9 แสดงสภาวะที่สารลดแรงตึงผิวรวมตัวกันจนเกิดไมเซลล์ขึ้นในน้ำ โดยหันส่วนหัวที่ชอบน้ำออกด้านนอกและหันส่วนหางที่ไม่ชอบน้ำไว้ภายใน ซึ่งทำให้สารอินทรีย์ที่มีความไม่ชอบน้ำเช่นเดียวกันสามารถเข้าไปเกาะกับส่วนหางที่ไม่ชอบน้ำภายในไมเซลล์ได้ จึงทำให้สารอินทรีย์อยู่ในน้ำได้อย่างเสถียร

จากรูปที่ 4.9 คือสภาวะที่ทำให้เกิดการชะออก (Desorption) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อเติมสารลดแรงตึงผิวประจุบวกในปริมาณมากจนถึงระดับหนึ่ง ทำให้สารลดแรงตึงผิวประจุบวกมารวมตัวกันอยู่ในรูปของไมเซลล์ ลักษณะของไมเซลล์คล้ายกับผลน้อยหนาดังรูป โดยที่สารลดแรงตึงผิวประจุบวกจะหันส่วนหัวซึ่งเป็นส่วนที่มีขั้วออกมาเจอน้ำ และหันส่วนหางซึ่งเป็นส่วนที่ไม่มีขั้วและไม่ชอบน้ำหลบเข้าสู่ด้านใน การรวมกลุ่มของสารลดแรงตึงผิวในรูปของไมเซลล์ถือว่าเป็นการรวมตัวกันของสารลดแรงตึงผิวที่เสถียรมาก ซึ่งหากมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ในน้ำด้วยสมบัติของสารอินทรีย์จะเป็นโมเลกุลที่ไม่ชอบน้ำจึงทำให้อยู่ในน้ำไม่เสถียรนัก หรือละลายน้ำได้ไม่ดี ในทางตรงกันข้าม หากมีไมเซลล์อยู่ในสารละลายจะทำให้สารอินทรีย์เข้าไปอยู่ด้านในของไมเซลล์ได้ดี เนื่องจากสารอินทรีย์สามารถไปจับกับส่วนหางของไมเซลล์ซึ่งไม่มีขั้วเหมือนกัน ได้ ถือได้ว่าไมเซลล์เป็นตัวพาสารอินทรีย์เข้ามาอยู่ในสารละลายได้มากขึ้น .

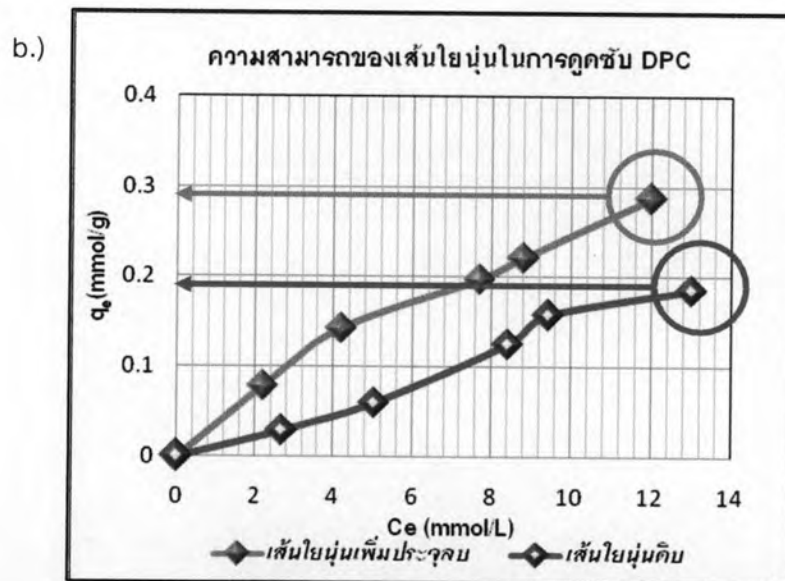
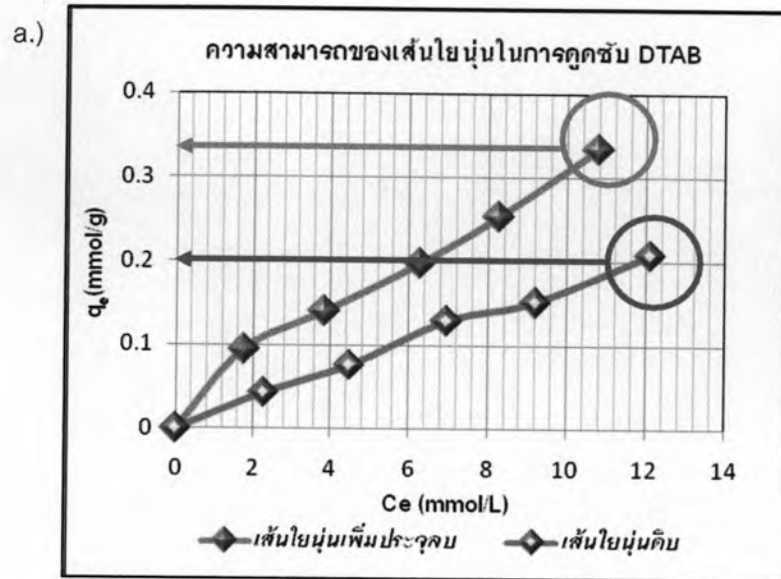
ซึ่งงานวิจัยนี้ไม่ต้องการให้เกิดไมเซลล์ขึ้นเพราะจะทำให้สารอินทรีย์เข้ามาอยู่ในสารละลายมากกว่าอยู่บนพื้นผิวของเส้นใยนุ่น



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า CMC ของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่มีผลต่อการกำจัดสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำ (Aloulou et al., 2004)

จากรูปที่ 4.10 คือคำอธิบายถึงเหตุผลที่ไม่ต้องการให้เพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกเข้าใกล้ค่า CMC มากจนเกินไป เนื่องจากเมื่อเพิ่มสารลดแรงตึงผิวประจุบวกจะทำให้กราฟของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกมีค่าความสามารถในการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกเพิ่มขึ้นและจะเริ่มคงที่เมื่อถึงค่าความเข้มข้นวิกฤติของไมเซลล์ (CMC) ดังรูป และในกราฟเดียวกันเส้นกราฟอีกเส้น คือเส้นของสารอินทรีย์ที่กำจัดออกไปจากน้ำได้ ซึ่งจะเห็นได้ว่าสารอินทรีย์จะถูกกำจัดออกจากน้ำได้มากขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงจุดหนึ่งที่มีความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์ลดลงอย่างต่อเนื่อง ซึ่งจุดที่ทำให้ความสามารถในการกำจัดสารอินทรีย์เริ่มลดต่ำลง คือจุดที่เพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกจนถึงค่า CMC นั่นคือเมื่อเพิ่มความเข้มข้นจนถึงค่า CMC จะทำให้เกิดไมเซลล์ขึ้นในสารละลาย ซึ่งสารอินทรีย์จะเสถียรมากเมื่ออยู่ในไมเซลล์ ดังนั้นแทนที่จะสามารถกำจัดสารอินทรีย์ออกจากน้ำได้ กลับทำให้สารอินทรีย์อยู่ในน้ำได้อย่างเสถียร

จากรูปนี้สรุปได้ว่า ในงานวิจัยชิ้นนี้ควรเพิ่มความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกให้เกาะบนเส้นใยุ่นให้มีความเข้มข้นไม่เกินค่า CMC ของ DTAB และ DPC เพื่อไม่ให้สารอินทรีย์ที่งานวิจัยชิ้นนี้ต้องการกำจัด นั่นคือสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำและมาเกาะอยู่บนเส้นใยุ่นมากขึ้น ซึ่งค่า CMC ของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกทั้ง 2 ชนิดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้ระบุไว้แล้วในตารางที่ 4.2 ผลจากการทดลองในขั้นนี้สามารถอธิบายและแจกแจงรายละเอียดได้ดังนี้



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถของเส้นใยนุ่นในการดูดซับ สารลดแรงตึงผิวประจุบวกต่อหนึ่งกรัมของเส้นใยนุ่น ( $q_e$ ; mmol/g) กับความเข้มข้นของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่เหลืออยู่ในสารละลาย ( $C_e$ ; mmol/L) เพื่อศึกษาความสามารถของเส้นใยนุ่นในการ ดูดซับ a.) DTAB และ b.) DPC

จากรูปที่ 4.11 แสดงการศึกษาความสามารถของเส้นใยุ่นดิบและเส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบในการดูดซับ DTAB และ DPC พบว่า

1. เมื่อเพิ่มประจุลบให้แก่เส้นใยพบว่า เส้นใยุ่นดิบหรือกราฟเส้นสีฟ้าสามารถดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกทั้ง DTAB และ DPC ได้มากกว่าเส้นใยุ่นดิบเกือบเท่าตัว

2. เมื่อเปรียบเทียบความสามารถของตัวกลางชนิดเดียวกัน พบว่าเส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบสามารถดูดซับ DTAB ได้ดีกว่า DPC เนื่องจาก DTAB มีหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุลบแรงกว่า DPC เพราะ DPC มีวงไพริดีเนียมซึ่งเป็นสารอินทรีย์ในกลุ่มอะโรมาติกที่มีความเสถียรมากจนทำให้ความแรงของประจุบวกโดยรวม มีค่าน้อยกว่า DTAB จึงคาดว่าด้วยเหตุผลของโครงสร้างโมเลกุลทำให้เส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบสามารถดูดซับ DTAB ได้มากกว่า DPC เมื่อเปรียบเทียบตัวกลางที่เป็นเส้นใยุ่นดิบพบว่า ความสามารถในการดูดซับ DTAB และ DPC ไม่แตกต่างกันมากนักเนื่องจากเส้นใยุ่นดิบมีประจุลบที่ยังไม่แรงมากพอจึงทำให้อิทธิพลของโครงสร้างและความแรงประจุของ DTAB และ DPC ยังไม่มีผลต่อการดูดซับสารลดแรงตึงผิวประจุบวกบนเส้นใยุ่นดิบ

เส้นใยุ่นดิบสามารถดูดซับ DTAB และ DPC ได้ในปริมาณที่เท่า ๆ กัน แต่เมื่อเพิ่มประจุลบให้แก่เส้นใยพบว่า ความสามารถของเส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบในการดูดซับ DTAB และ DPC มีความแตกต่างกันมากพอสมควร นั่นคือเส้นใยุ่นดิบสามารถดูดซับ DTAB ได้ดีกว่า DPC เนื่องจาก DTAB มีหมู่ฟังก์ชันที่มีประจุลบแรงกว่า DPC ที่มีความแรงของประจุลบน้อยกว่าเนื่องจากมีอิทธิพลของวงเบนซีนมารบกวนความแรงของประจุ จึงทำให้ DPC เกาะกับเส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบได้น้อยกว่า DTAB ดังรูป

นอกจากนี้ เห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มปริมาณสารลดแรงตึงผิวประจุบวกให้มีปริมาณมากขึ้นทำให้ค่าความสามารถในการดูดซับของเส้นใยุ่นเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ และเห็นได้ว่าเส้นกราฟจะพุ่งขึ้นสูงเมื่อมีสารลดแรงตึงผิวประจุบวกเข้าใกล้ 15 มิลลิโมลต่อลิตรซึ่งเป็นจุดที่เข้าใกล้ค่า CMC ของสารลดแรงตึงผิวประจุบวกทั้ง 2 ชนิด

ดังนั้นปริมาณสารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่เหมาะสมต่อการนำไปกำจัดสารอินทรีย์สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้ คือจุดที่สูงที่สุดของกราฟเพราะหากเข้าใกล้ไปมากกว่านี้จะทำให้เท่ากับค่า CMC และเกิดการชะออกแทนที่การดูดซับสารอินทรีย์ที่ปนเปื้อนในน้ำ ซึ่งทำได้โดยการเตรียมสารลดแรงตึงผิวประจุบวกความเข้มข้นเริ่มต้นของสารลดแรงตึงผิวประจุบวก ( $C_0$ ) ให้มีค่า

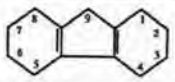
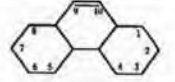
เท่ากับ 20 มิลลิโมลต่อลิตร เขย่าที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาทีเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อทราบว่าจะต้องเตรียมสารลดแรงตึงผิวประจุบวกปริมาณเท่าไรเพื่อให้เหมาะสมต่อการนำไปกำจัดสารอินทรีย์ ยังทำให้ทราบถึงปริมาณสารลดแรงตึงผิวประจุบวกในหน่วยมิลลิโมลที่เกาะบนพื้นผิวของเส้นใยุ่นปริมาณ 1 กรัม

จากรูปพบว่า เส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบและเส้นใยุ่นดิบสามารถดูดซับ DTAB ได้เท่ากับ 0.34 และ 0.21 มิลลิโมลต่อกรัมของเส้นใยุ่น ตามลำดับ อีกทั้งยังพบว่าเส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบและเส้นใยุ่นดิบสามารถดูดซับ DPC ได้เท่ากับ 0.29 และ 0.18 มิลลิโมลต่อลิตร

#### 4.3 การศึกษาการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน

ขั้นตอนนี้ถือว่าได้ดำเนินมาถึงขั้นตอนที่ 4 ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของงานวิจัย เริ่มต้นด้วยการเตรียมตัวกลางคือ นำเส้นใยุ่นดิบและเส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุบวก เพื่อนำตัวกลางที่ผ่านการปรับสภาพมาศึกษากำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนได้แก่ ฟลูออรีนและพีแนนทริน

ตารางที่ 4.3 แสดงสมบัติของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ใช้ในงานวิจัย (Khan et al., 2007)

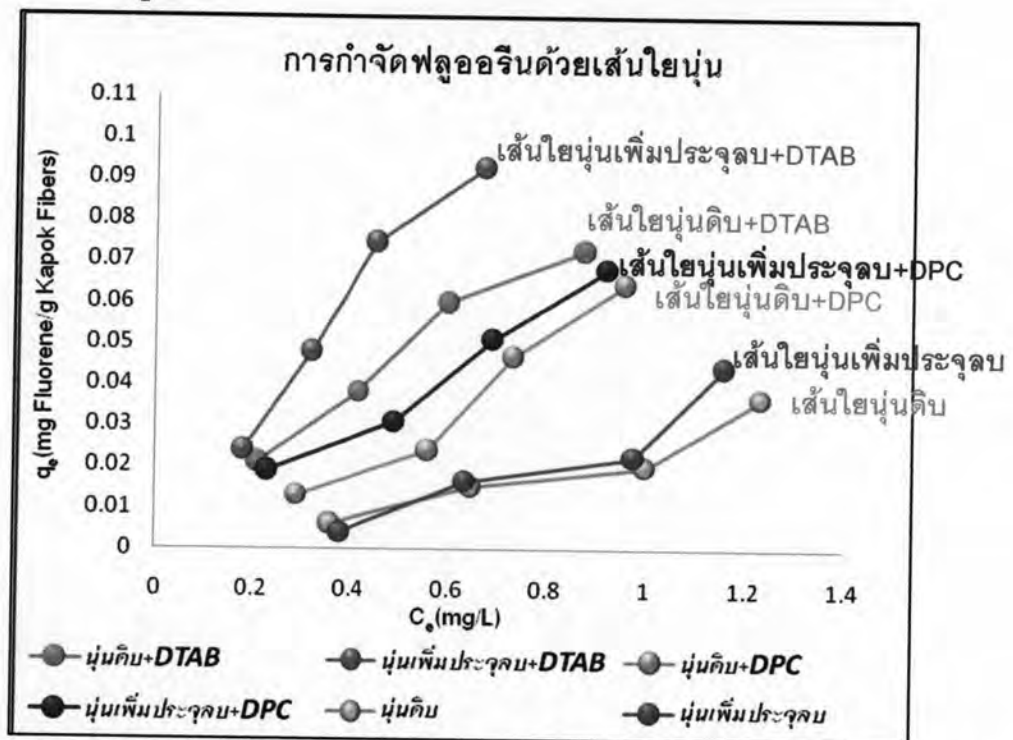
PAHs	โครงสร้าง	มวลโมเลกุล (g)	ค่าการละลายน้ำ ( $\mu\text{g/L}$ ) ( $25^{\circ}\text{C}$ )	Vap. Pressure (mm Hg) ( $25^{\circ}\text{C}$ )	Log Kow (Log Koc)	ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด (นาโนเมตร)
FLU		166.2	1900	-	4.18 (3.86)	226
PHE		178.2	900	$6.8 \times 10^{-4}$	4.46 (4.15)	252

จากตารางที่ 4.3 คือตัวแทนของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่ใช้ในงานวิจัยได้แก่ ฟลูออรีนและพีแนนทริน ซึ่งจากตารางเห็นได้ว่าสารประกอบทั้ง 2 ชนิดมีโครงสร้างที่แตกต่างกัน ผลของโครงสร้างที่แตกต่างกันทำให้สมบัติอื่น ๆ มีความแตกต่างไปด้วย โดยรายละเอียดของผลของโครงสร้างได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 2 ในงานวิจัยนี้สนใจสมบัติของค่าการละลายน้ำ เนื่องจากมีงานวิจัยของ Khan et al., 2007 พบว่าสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่มีค่าการละลายน้ำสูงหรือละลายน้ำได้ดี จะสามารถถูกดูดซับด้วยตัวกลาง



ที่เป็นเส้นใยได้ศึกษา สารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนที่มีค่าการละลายน้ำต่ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาผลของค่าการละลายน้ำที่แตกต่างกัน ของฟลูออรีนและพีแนทรีน ว่ามีผลต่อการดูดซับของตัวกลางที่เป็นเส้นใยและปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวประเภทใดหรือไม่ และเส้นใยที่ปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวประเภทต่างชนิดกันมีผลต่อการกำจัดฟลูออรีนและพีแนทรีนหรือไม่ ผลการวิจัยสามารถแจกแจงรายละเอียดและวิเคราะห์ได้ดังนี้

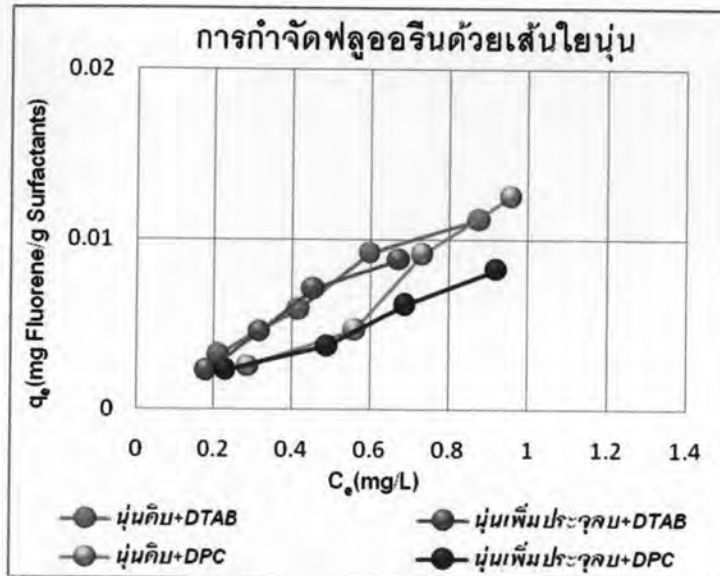
### 1. ฟลูออรีน



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการกำจัดฟลูออรีนต่อหนึ่งกรัมของเส้นใยนุ่น ( $q_e$ ; mg Fluorene/g Kapok fibers) กับความเข้มข้นของฟลูออรีนที่เหลืออยู่ในน้ำ ( $C_0$ ; mg/L)

รูปที่ 4.13 แสดงผลการศึกษากำจัดฟลูออรีนด้วยเส้นใยนุ่น 6 ประเภท ด้วยการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการกำจัดฟลูออรีนต่อหนึ่งกรัมของเส้นใยนุ่น ( $q_e$ ; mmol/g) กับความเข้มข้นของฟลูออรีนที่เหลืออยู่ในน้ำ ( $C_0$ ; mg/L) พบว่าเส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ+DTAB เป็นตัวกลางที่สามารถกำจัดฟลูออรีนได้มากที่สุด โดยที่เส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ+DTAB 1 กรัมดูดซับฟลูออรีนได้ 0.092 มิลลิกรัม รองลงมาคือเส้นใยนุ่นดิบ+DTAB,

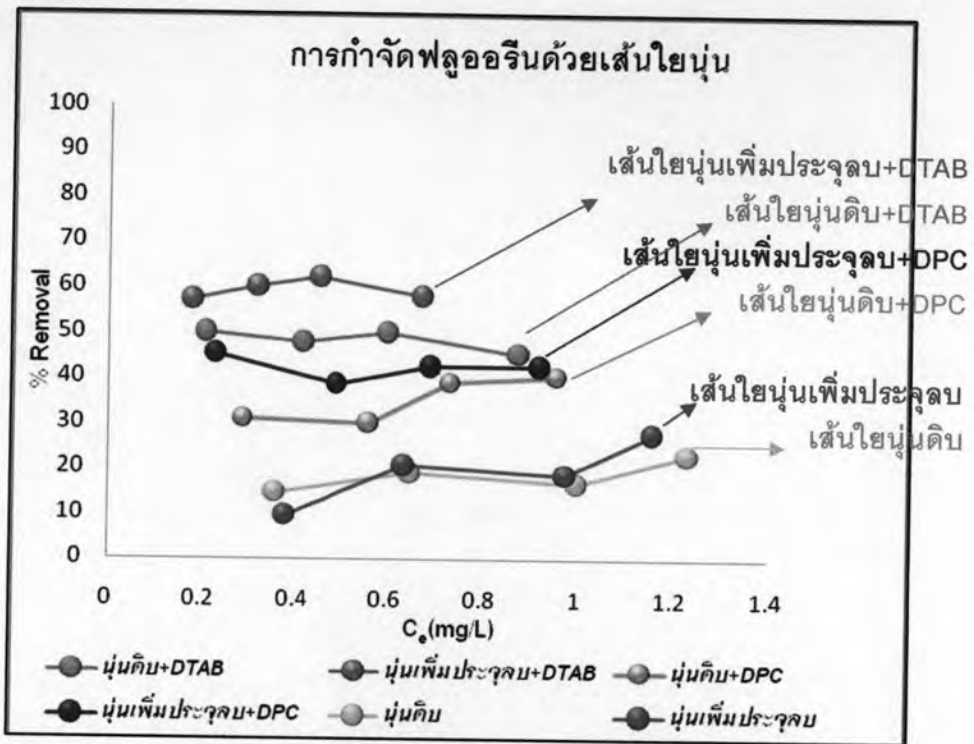
เส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ+DPC, เส้นใยนุ่นดิบ+DPC, เส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบและเส้นใยนุ่นดิบตามลำดับ



รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการกำจัดฟลูออรีนต่อหนึ่งกรัมของสารลดแรงตึงผิวประจุบวก ( $q_e$ ; mg Fluorene/g Surfactants) กับความเข้มข้นของฟลูออรีนที่ละลายอยู่ในน้ำ ( $C_e$ ; mg/L)

จากรูปที่ 4.14 แกน y คือค่าความสามารถในการกำจัดฟลูออรีนต่อหนึ่งกรัมของสารลดแรงตึงผิวประจุบวก เห็นได้ว่าแกน y ของรูปนี้ใช้หน่วยแตกต่างจากรูปที่ 4.13 เหตุที่ใช้หน่วยแตกต่างกันเนื่องจาก ปัจจัยที่ทำให้สามารถกำจัดฟลูออรีนได้มี 2 ข้อ ได้แก่ ตัวกลางและสารลดแรงตึงผิวประจุบวก จากเดิมการหาค่าความสามารถในการกำจัดฟลูออรีนจะเทียบกับน้ำหนักของตัวกลาง นั่นคือเส้นใยนุ่นโดยที่ไม่สนใจว่าใน 1 กรัมของเส้นใยนุ่นจะมีปริมาณ DTAB และ DPC เกาะอยู่บนเส้นใยเท่ากันหรือไม่โดยมองเพียงภาพรวม แต่รูปที่ 4.14 ต้องการทราบว่า ถ้า DTAB และ DPC เกาะอยู่บนเส้นใยในปริมาณเท่ากันในหน่วยกรัม จะส่งผลต่อความสามารถในการกำจัดฟลูออรีนหรือไม่ ซึ่งพบว่าความสามารถในการกำจัดฟลูออรีนของตัวกลางมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เนื่องจากค่าความสามารถในการกำจัดฟลูออรีนมีความต่างกันเล็กน้อยไม่ว่ากรัมซึ่งถือว่ามีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ นั่นคือ DTAB และ DPC สามารถจับฟลูออรีนได้ใกล้เคียงกัน และสิ่งที่ทำให้เส้นใยที่ปรับสภาพด้วย DTAB สามารถกำจัดฟลูออรีนได้ดีกว่า เนื่องจาก DTAB มีโครงสร้างโมเลกุลที่ทำให้ประจุบวกมีความแรงมากกว่า

DPC ส่งผลให้สามารถเกาะบนเส้นใยุ่นที่มีประจุสุทธิเป็นลบได้มากกว่า เมื่อมี DTAB มาเกาะบนเส้นใยมากจึงมีส่วนหางที่ไม่ชอบน้ำ (Hydrophobic Tail) มากซึ่งสามารถจับกับโมเลกุลที่ไม่ชอบน้ำอย่างฟลูออรีนได้เป็นอย่างดี จึงทำให้เส้นใยที่ปรับสภาพด้วย DTAB กำจัดฟลูออรีนได้มากกว่า DPC



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดฟลูออรีนกับความเข้มข้นของฟลูออรีนที่เหลืออยู่ในน้ำ ( $C_0$ ; mg/L)

สืบเนื่องจากรูปที่ 4.13 พบว่าความสามารถในการกำจัดฟลูออรีนต่อหนึ่งกรัมของเส้นใยุ่นแต่ละประเภทมีความแตกต่างกันไม่มากนัก โดยที่ค่าความสามารถในการกำจัดฟลูออรีนของตัวกลางที่ดีที่สุด ต่างจากตัวกลางที่สามารถกำจัดฟลูออรีนได้น้อยที่สุดเพียง 0.07 มิลลิกรัม ซึ่งความต่างเท่านี้อาจถือว่ายังไม่มีความสำคัญ ดังนั้นการคิดร้อยละการกำจัดฟลูออรีนออกจากน้ำดังรูปที่ 4.15 มีความแตกต่างชัดเจนมากกว่า โดยตัวกลางที่ดีที่สุดนั้นคือเส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบ+DTAB สามารถกำจัดฟลูออรีนออกจากแหล่งน้ำได้ 60 % ซึ่งแตกต่างจากเส้นใยุ่นดิวที่กำจัดฟลูออรีนน้อยที่สุดถึง 40% ดังนั้นการสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ดังรูปที่ 4.15 สามารถบอกความต่างของค่าความสามารถในการกำจัดฟลูออรีนจากออกน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเส้นใยุ่นแต่ละประเภทได้

จากการศึกษาของ Boyle et al. 1984, 1985 และ Finger et al. 1985 ผลของการตรวจวัดฟลูออรีนที่ปนเปื้อนในแหล่งน้ำซึ่งพบฟลูออรีนความเข้มข้น 0.12-0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลของการปนเปื้อนภายใน 10 สัปดาห์ ตรวจพบฟลูออรีนความเข้มข้น 0.062-0.1 มิลลิกรัมต่อลิตรสะสมอยู่ในเซลล์และอวัยวะต่าง ๆ ของสัตว์น้ำ ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและระบบเมตาบอลิซึมของสัตว์น้ำ

เนื่องจากฟลูออรีนสามารถละลายน้ำสูงสุดได้ไม่เกิน 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และความเข้มข้นเพียง 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตรที่เส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบ+DTAB สามารถกำจัดได้นั้น สามารถก่อให้เกิดประโยชน์ต่อสัตว์น้ำมาก เนื่องจากฟลูออรีน 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็นความเข้มข้นที่มักตรวจวัดได้ในแหล่งน้ำธรรมชาติ และยังเป็นความเข้มข้นที่ละลายน้ำได้ดี อีกทั้งความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตรสามารถเข้าไปสะสมในร่างกายและส่งผลเกิดอาการผิดปกติต่าง ๆ มากมาย

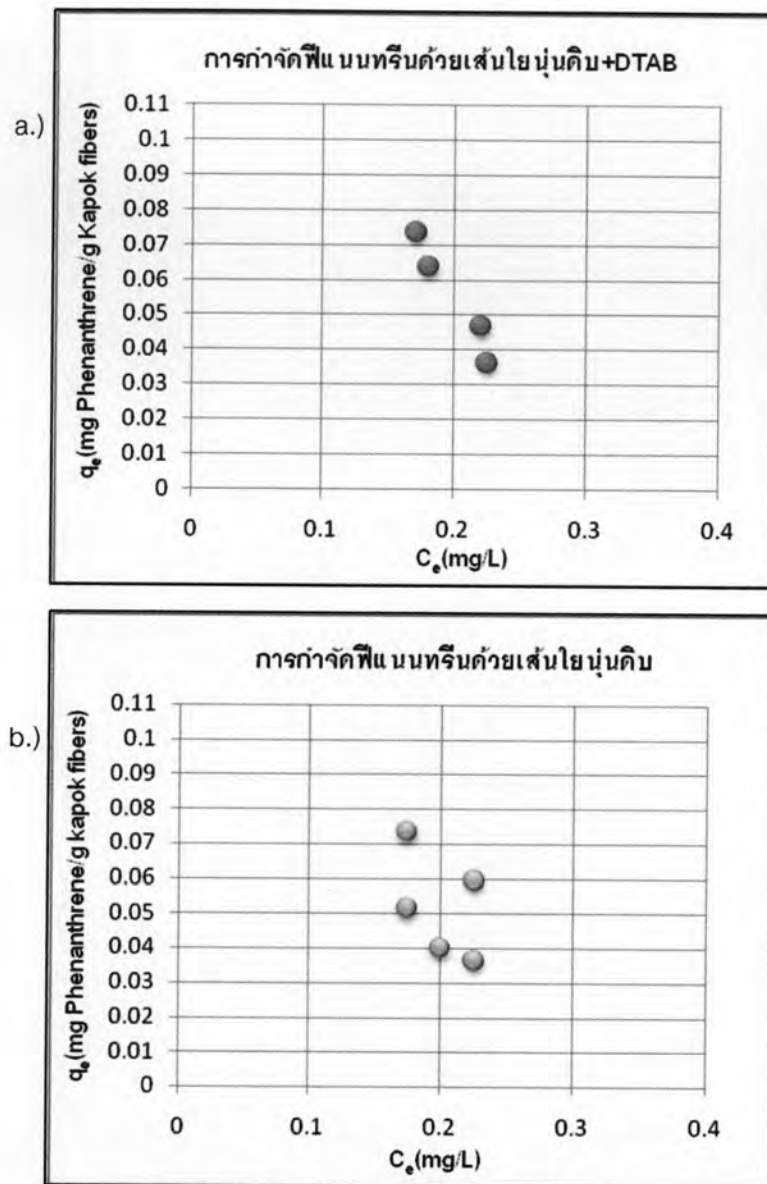
## 2. ฟีนแวนทรีน

วิธีการตรวจวัดความเข้มข้นของฟีนแวนทรีนใช้เครื่อง UV-Visible spectrophotometer เพื่อศึกษาความสามารถในการกำจัดด้วยเส้นใยุ่นแต่ละประเภท แตกต่างจากฟลูออรีนที่ตรวจวัดโดยใช้ HPLC ซึ่งผลการทดลอง สามารถตรวจวัดความสามารถการกำจัดฟีนแวนทรีนของเส้นใยุ่นทั้ง 6 ประเภท พบว่าไม่สามารถหาความสามารถการกำจัดของเส้นใยที่ปรับสภาพด้วย DPC ได้เนื่องจาก DPC มีสามารถดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นใกล้เคียงกับฟีนแวนทรีน จึงเหลือตัวกลางเพียง 4 ประเภทเท่านั้นที่สามารถหาค่าความสามารถการกำจัดฟีนแวนทรีนได้ ได้แก่

1. เส้นใยุ่นดิบ
2. เส้นใยุ่นดิบ+DTAB
3. เส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบ
4. เส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบ+DTAB

ความสามารถในการกำจัดฟีนแวนทรีนของเส้นใยุ่นทั้ง 4 ประเภทสามารถแจกแจง

ได้ดังรูปที่ 4.16

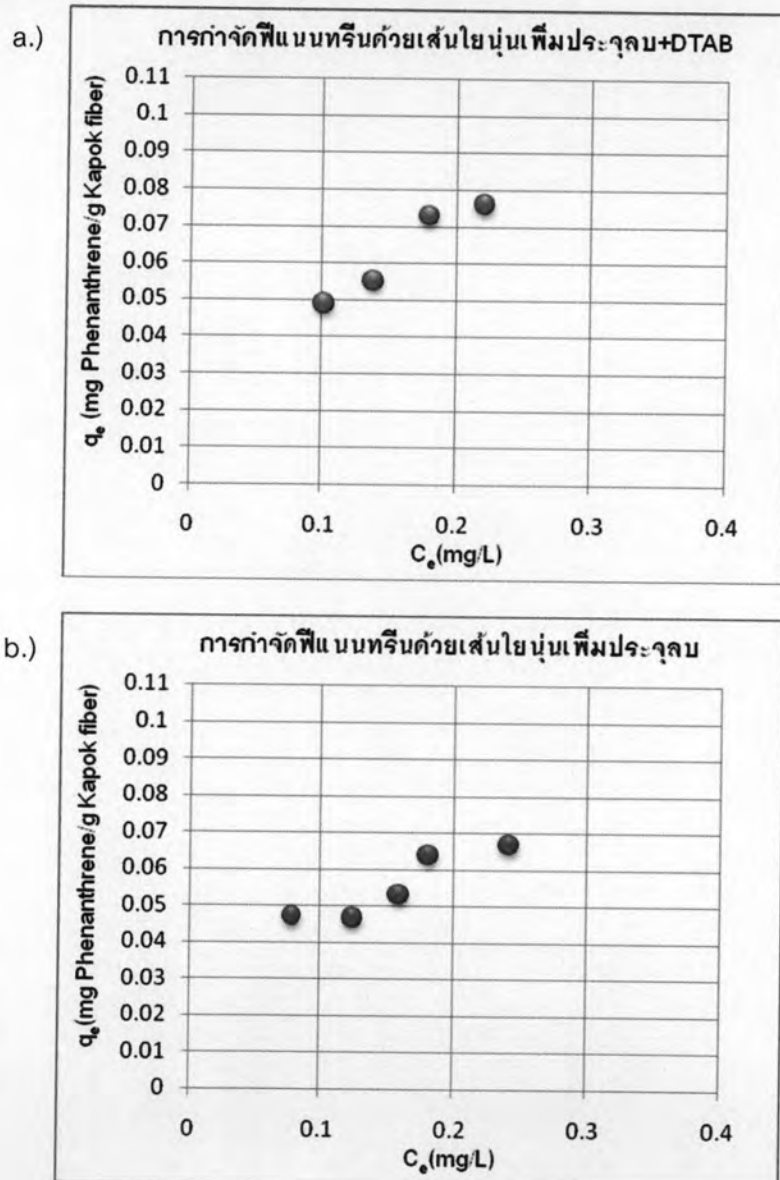


รูปที่ 4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการกำจัดฟีนแอนทรีนต่อหนึ่งกรัมของ a.) เส้นใยนุ่นดิบ+DTAB และ b.) เส้นใยนุ่นดิบ ( $q_e$  ; mg Phenanthrene/g Kapok fibers) กับความเข้มข้นของฟีนแอนทรีนที่ละลายอยู่ในน้ำ ( $C_e$  ; mg/L)

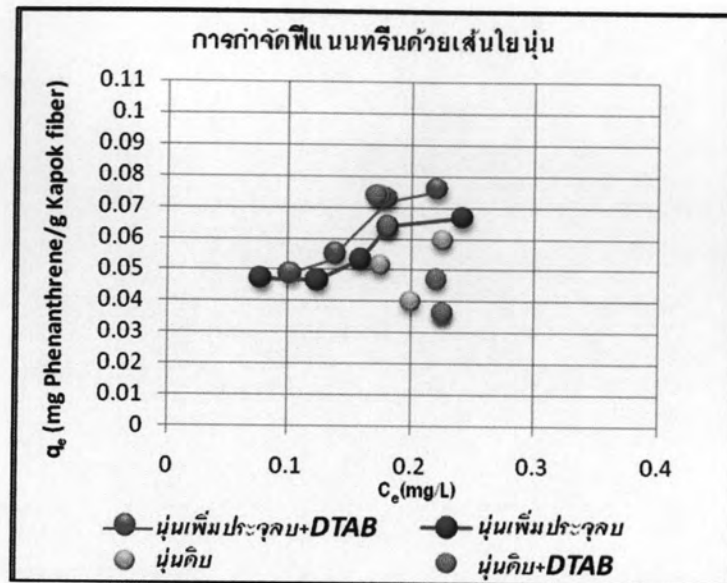
จากรูปที่ 4.16 พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $q_e$  และ  $C_e$  กระจายและไม่สามารถอ่านค่าความสัมพันธ์ของเส้นใยนุ่นดิบ+DTAB และเส้นใยนุ่นดิบได้ จึงทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดฟีนแอนทรีนของตัวกลาง 2 ประเภทนี้ได้เช่นกัน ซึ่งเหตุที่ทำให้เกิดปัญหาต่อการวิเคราะห์ผลการทดลองเนื่องจาก เครื่องมือในการตรวจวัดความเข้มข้นของฟีนแอนทรีนคือเครื่อง UV-Visible spectrophotometer ซึ่งมีความสามารถในการจำแนกสารอย่าง



เฉพาะเจาะจง (Specific) น้อยเมื่อเทียบกับเครื่อง HPLC และไม่สามารถตรวจวัดสารที่มีความเข้มข้นต่ำได้ดี ดังนั้น หากตัวกลางสามารถกำจัดฟิแนนทรีนได้ แต่กำจัดได้ในปริมาณน้อย ความเข้มข้นของฟิแนนทรีนที่ถูกกำจัดไปอาจน้อยเกินไปที่เครื่องมือสามารถตรวจวัดได้อย่างแม่นยำ จึงทำให้ไม่สามารถเปรียบเทียบความสามารถการกำจัดฟิแนนทรีนด้วยเส้นใยนุ่นดิบ+DTAB และเส้นใยนุ่นดิบกับตัวกลางอื่น ๆ ได้

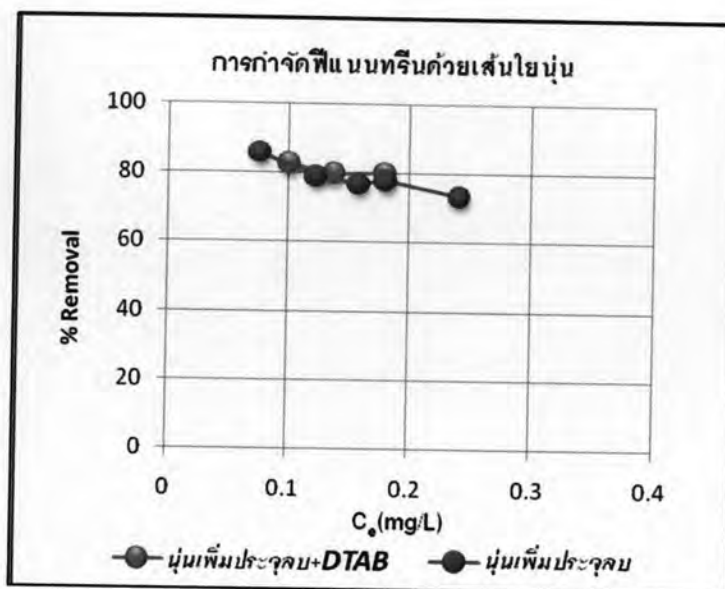


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการกำจัดฟิแนนทรีนต่อหนึ่งกรัมของ a.) เส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ+DTAB และ b.) เส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ ( $q_e$  ; mg Phenanthrene/g Kapok fibers) กับความเข้มข้นของฟิแนนทรีนที่ละลายอยู่ในน้ำ ( $C_0$  ; mg/L)



รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการกำจัดฟิแนนทรีนต่อหนึ่งกรัมของเส้นใยนุ่น ( $q_e$  ; mg Phenanthrene/g Kapok fibers) กับความเข้มข้นของฟิแนนทรีนที่เหลืออยู่ในน้ำ ( $C_0$  ; mg/L)

จากรูปที่ 4.18 เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดฟิแนนทรีนของเส้นใยนุ่น 4 ประเภท ได้แก่ เส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ+DTAB, เส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ, เส้นใยนุ่นดิบ+DTAB และเส้นใยนุ่นดิบ พบว่า เส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ+DTAB เป็นตัวกลางที่สามารถกำจัดฟิแนนทรีนได้ดีที่สุด สามารถกำจัดได้ถึง 0.07 มิลลิกรัมต่อหนึ่งกรัมของเส้นใยนุ่น



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการกำจัดฟิแนนทรินกับความเข้มข้นของฟิแนนทรินที่เหลืออยู่ในน้ำ ( $C_0$ ; mg/L)

จากรูปที่ 4.19 สามารถกำจัดฟิแนนทรินออกจากน้ำได้ 70 % ซึ่งถือว่ามีประสิทธิภาพการกำจัดสูง แต่มีข้อจำกัดในการวิเคราะห์ผล เนื่องจากไม่สามารถเปรียบเทียบความสามารถในการกำจัดของตัวกลางครบทั้ง 6 ประเภท เพื่อประเมินว่าควรปรับสภาพเส้นใยด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุบวกเพื่อกำจัดฟิแนนทรินออกจากน้ำหรือไม่ แต่เมื่อมองถึงร้อยละการกำจัดพบว่าการกำจัดฟิแนนทรินออกไปได้ถึง 70% น่าจะบอกได้ว่าการกำจัดฟิแนนทรินออกได้ถึง 70% สามารถลดความเสี่ยงของการสะสมสารพิษในร่างกายของสิ่งมีชีวิตในน้ำได้มาก การปรับสภาพเส้นใยอาจมีความยุ่งยากในการเตรียมตัวกลางเมื่อเทียบกับเส้นใยนุ่นดิบแต่เมื่อมองในมุมมองของผลประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นต่อสิ่งแวดล้อม ถือว่าการปรับสภาพเส้นใยเพื่อกำจัดสารปนเปื้อนมีความคุ้มค่าเป็นอย่างมาก

ในการศึกษาการกำจัดสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนด้วยเส้นใยนุ่นทั้ง 6 ประเภทสามารถนำข้อมูลมาวิเคราะห์ปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการกำจัดสารอินทรีย์ปนเปื้อนกลุ่มนี้ได้ดังนี้

#### 4.3.1 การศึกษาการดูดซับสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนบนเส้นใยนุ่นที่ปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุบวกที่มีหมู่ฟังก์ชันต่างกัน

หัวข้อนี้เป็นการวิเคราะห์ตัวกลางแต่ละประเภท ว่าเมื่อกำจัดสารอินทรีย์ปนเปื้อนชนิดเดียวกัน ตัวกลางประเภทใดมีความสามารถในการกำจัดสารปนเปื้อนออกจากน้ำได้มากที่สุด ผลการวิเคราะห์พบว่าการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกันนั่นคือ

เส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ+DTAB เป็นตัวกลางที่สามารถกำจัดสารอินทรีย์ปนเปื้อนทั้ง 2 ชนิด ฟลูออรีนและพีแนทรีน ได้ดีที่สุด ดังรูปที่ 4.13 และ 4.18

สาเหตุที่ทำให้เส้นใยนุ่นเพิ่มประจุลบ+DTAB สามารถกำจัดทั้งฟลูออรีนและพีแนทรีนได้มากที่สุดเนื่องจากเหตุผลหลัก 2 ประการ

1. ปริมาณประจุลบบนเส้นใย ยังมีประจุลบบนเส้นใยมาก ทำให้สารลดแรงตึงผิวประจุบวกเกาะบนเส้นใยในปริมาณมากตามไปด้วย
2. หมู่ฟังก์ชันบริเวณส่วนหัวที่ชอบน้ำ (Hydrophilic Head) ของสารลดแรงตึงผิวประจุบวก ซึ่ง DTAB มีค่าความแรงของประจุบวกมากกว่า DPC ซึ่งอธิบายรายละเอียดไว้ในภาคผนวก จึงทำให้ DTAB สามารถเกาะบนพื้นผิวของเส้นใยได้ดีกว่าและมากกว่า DPC

#### 4.3.2 การศึกษาผลของโครงสร้างที่ต่างกันของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอนต่อประสิทธิภาพการดูดซับบนเส้นใยนุ่นที่ปรับสภาพด้วยสารลดแรงตึงผิวประจุบวก

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์ผลของโครงสร้างของสารประกอบโพลีไซคลิกอะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน 2 ชนิดได้แก่ ฟลูออรีนและพีแนทรีน พบว่า

ฟลูออรีนมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่า มีค่าการละลายน้ำมากกว่าพีแนทรีน ซึ่งความต่าง 2 ประการนี้ทำให้ความสามารถในการกำจัดฟลูออรีนและพีแนทรีนแตกต่างกันด้วยค่าความสามารถในการกำจัดฟลูออรีนที่มากที่สุดมีค่าเท่ากับ 0.09 มิลลิกรัมต่อกรัมดังรูปที่ 4.13 ซึ่งมากกว่า ค่าความสามารถในการกำจัดพีแนทรีนที่มีค่ามากที่สุดเท่ากับ 0.07 มิลลิกรัมต่อกรัมดังรูปที่ 4.18

จากงานวิจัยของผู้วิจัยท่านอื่น ๆ ( Alolou et al., 2004 และ Khan et al2007) พบว่าสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ดีสามารถถูกกำจัดออกจากแหล่งน้ำได้ง่ายกว่าสารอินทรีย์ที่มีละลายน้ำได้น้อยกว่า เนื่องจากสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ดีมีโอกาสจับกับตัวกลางซึ่งอยู่ในน้ำได้ดี

ตัวกลางซึ่งอยู่ในน้ำได้ดี เมื่อเทียบกับสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้น้อย ซึ่งกว่าจะสามารถละลายน้ำได้ต้องใช้เวลาและยาก จึงทำให้โอกาสที่จะเจอกับตัวกลางในน้ำยากกว่า

ปริมาณที่กำจัดฟลูออรีนและฟิแนนทรีนต่อกรัมของเส้นใยุ่นอาจไม่สามารถเปรียบเทียบได้ว่าฟลูออรีนถูกกำจัดออกจากน้ำได้ดีกว่าฟิแนนทรีน เนื่องจากฟลูออรีนสามารถละลายน้ำได้ดีกว่าฟิแนนทรีนถึง 10 เท่า เมื่อฟลูออรีนละลายน้ำได้มากกว่าจึงทำให้ปริมาณที่กำจัดได้มากตามไปด้วย

ดังนั้นการเปรียบเทียบในรูปร้อยละการกำจัดฟลูออรีนและฟิแนนทรีนออกจากน้ำจะช่วยให้สามารถเปรียบเทียบได้ง่ายขึ้น ว่าตัวกลางสามารถกำจัดฟลูออรีนและฟิแนนทรีนต่างกันหรือไม่ ซึ่งผลที่ได้พบว่า ร้อยละในการกำจัดทั้งฟลูออรีนและฟิแนนทรีนของตัวกลางที่ดีที่สุดนั้นคือ เส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบ+DTAB มีค่าใกล้เคียงกัน คือสามารถกำจัดฟลูออรีนและฟิแนนทรีนออกจากน้ำได้ประมาณ 60-70 % จึงสรุปได้ว่าเส้นใยุ่นเพิ่มประจุลบสามารถกำจัดฟลูออรีนและฟิแนนทรีนได้ดีใกล้เคียงกัน