

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

3.1 สีย้อมที่ใช้ในการทดลองและการสังเคราะห์น้ำเสียย้อมผ้า

สีย้อมรีแอกทีฟที่ใช้ตลอดการทดลองเป็นสีย้อมรีแอกทีฟ โดยเลือกของยี่ห้อไบเออร์ (Bayer) มาเป็นตัวแทน โทนสีเลือกจากความนิยมซึ่งได้รับการแนะนำจากบริษัทฯ จำนวน 2 โทนสี คือ

1. โทนสีแดง ใช้ levafix brill red E-4ba Gran.
2. โทนสีน้ำเงิน ใช้ levafix brill blue E-bra mac.

การเตรียมน้ำตัวอย่างหรือการสังเคราะห์น้ำเสียย้อมผ้า นั้น ได้รับความร่วมมือจากนักเคมีในฝ่ายห้องทดลองของผู้ผลิตสีย้อมฯ เพราะเป็นผู้มีความชำนาญในการให้คำแนะนำการใช้สีย้อมฯ แก่โรงงานย้อมผ้าทั่วประเทศ จากการสอบถามจากนักเคมีดังกล่าวพบว่า การนำสีย้อมรีแอกทีฟไปย้อมผ้า นั้น มีวิธีหรือสูตรการย้อมผ้ามากมาย ขึ้นอยู่กับชนิดเครื่องจักร คุณภาพการย้อม ความเข้มข้นที่ต้องการให้ติดผ้า และมีอยู่หลายสูตรการย้อมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ต้องได้รับการเตรียมจากสารเคมีจำนวนหลายชนิดและเพิ่มอุณหภูมิให้สูงอีกด้วย ซึ่งไม่สะดวกในการเตรียมน้ำเสียสำหรับการวิจัยครั้งนี้ แต่อย่างไรก็ตามมีบางสูตรที่ไม่ต้องการเพิ่มอุณหภูมิแก่น้ำในการย้อม ดังนั้นเพื่อความเป็นไปได้ในการสังเคราะห์น้ำเสียย้อมผ้าขึ้นในห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและเพื่อความเหมาะสมอื่น สูตรการย้อมผ้าด้วยสีย้อมรีแอกทีฟที่ถูกเลือกมาสังเคราะห์น้ำเสียสำหรับการทดลองครั้งนี้ นั้นเป็นสูตรที่สามารถใช้ย้อมผ้ากันทั่วไป ณ อุณหภูมิห้องปกติได้ คือ สูตร 1 (โซดาแอช) ของกระบวนการย้อมแบบโคลด์แพดแบทช์ (cold pad-batch process) ซึ่งมีสูตรการย้อมดังนี้

สี่ข้อมรีแอกทีฟ (ก./ล.)	โศคาแอส (ก./ล.)	เวลาแช่ผ้า (ชม.)
น้อยกว่า 5	5	8-24(ที่ 28 ซ.)
6-9	10	8-24(ที่ 28 ซ.)
10	10	8-24(ที่ 28 ซ.)
15	15	8-24(ที่ 28 ซ.)
20	20	8-24(ที่ 28 ซ.)
30	30	8-24(ที่ 28 ซ.)
40	40	8-24(ที่ 28 ซ.)

8.2 วิธีวัดสีและวิธีวัดปริมาณสารคลอโรฟิควาเลนดอย

8.2.1 วิธีวัดสี

ในขั้นตอนการวิจัยครั้งนี้จำเป็นต้องมีการวัดค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการศึกษาที่สำคัญคือ สีของน้ำก่อนและหลังการบำบัดด้วยกระบวนการที่ต้องการศึกษา

โดยทั่วไปอาจแบ่งประเภทการวัดสีออกตามวิธีการวัดได้ดังนี้

1. เทียบกับสีมาตรฐานที่ยอมรับกันให้เป็นสีอ้างอิง
2. หาความยาวคลื่นที่ใช้เป็นตัวแทนโทนสีนั้นๆ ซึ่งอาจวัดออกมาเป็นค่าเปอร์เซ็นต์ทรานสมิตแดนซ์ หรือค่าแอบซอร์เบ้นซ์ก็ได้ ณ ความยาวคลื่นช่วง 400-700 นาโนเมตร อย่างน้อยทุกๆ 10 นาโนเมตร
3. โดยอาศัยการผสมแม่สีมาตรฐานให้มีโทนสีเหมือนกับน้ำตัวอย่างสีที่ต้องการวัด แล้วนำค่าปริมาณสีมาตรฐานที่ใช้ผสมมาวิเคราะห์ให้เป็นค่าค่าสี $x y z$ ตามลำดับ

สำหรับการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ในการวัด ดังนั้นวิธีที่สามารถใช้ได้กับเครื่องวัดดังกล่าวจึงเป็นวิธีหาความยาวคลื่นที่เป็นตัวแทนโทนสี ซึ่งทำโดยวัดค่า

แอบชอบแบนท์ของน้ำตัวอย่างที่ต้องการวัดค่าสี กับความยาวคลื่นในช่วง 400-700 นาโนเมตร ซึ่งสามารถทราบได้ว่าความยาวคลื่นช่วงใดสามารถใช้เป็นตัวแทนโทนสีได้ตลอดการทดลอง

จากกราฟที่ I และ II (ภาคผนวก A) ได้แสดงความยาวความยาวคลื่นที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นตัวแทนการวัดสีของโทนสีทั้งสองที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ โทนสีแดงและโทนสีน้ำเงิน โดยอาศัยวิธีการวัดค่าแอบชอบแบนท์แล้วเขียนกราฟกับความยาวคลื่นช่วง 400-700 นาโนเมตร อย่างน้อยทุกๆ 10 นาโนเมตร ของตัวอย่างน้ำเสียโทนสีนั้นๆ และพบว่า

- ความยาวคลื่นเหมาะสมเป็นตัวแทน โทนสีแดง คือ 510-520 นาโนเมตร
- ความยาวคลื่นเหมาะสมเป็นตัวแทน โทนสีน้ำเงิน คือ 590-600 นาโนเมตร

อย่างไรก็ตามแม้วิธีวัดสีโดยหาความยาวคลื่นมาเป็นตัวแทนโทนสีดังกล่าว สามารถทำได้กับเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ก็ตาม แต่การสรุปความยาวคลื่นดังกล่าวมาใช้เป็นตัวแทนโทนสีนั้นๆ ตลอดการทดลองเป็นสิ่งที่ไม่เหมาะสม ยังมีสิ่งที่ต้องศึกษาเบื้องต้นก่อนนำเอาวิธีนี้ไปใช้วัดในช่วงการวิจัยจริงดังนี้ เพราะเหตุว่า

1. ฟือซ ซึ่งตามปกติก็มีผลต่อค่าการวัดสีและตาม standard method ก็ได้กำหนดให้มีการปรับฟือซไปที่ค่า 7.6 ก่อนทุกครั้งที่มีการวัดสีของน้ำ และด้วยเหตุดังกล่าวนี้ทำให้ฟือซนั้นอาจส่งผลกระทบต่อโทนสีหรือกล่าวอีกนัยน์ คือ ฟือซซึ่งเป็นหนึ่งในตัวแปรสำคัญที่ต้องการศึกษาเช่นกัน และอาจส่งผลให้ค่าความยาวคลื่นที่เป็นตัวแทนของโทนสีนั้นๆ เปลี่ยนแปลงไปเมื่อฟือซเปลี่ยนไป

2. กระบวนการบำบัดสีซ็อมรีแอกทิฟตามกระบวนการร่วมของการดูดติดผิวและโคแอกูเลชัน มีการใช้ถ้ำลอยและแอกติเวเต็คคาร์บอนผงเป็นสารดูดติดผิว ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อโทนสีซ็อมก่อนและหลังการดูดติดผิวได้ในกรณีที่ใช้สารดูดติดผิวทั้งสองในการบำบัด

3. การใช้ถ้ำลอยและแอกติเวเต็คคาร์บอนผงเป็นสารดูดติดผิวดังกล่าว สารดูดติดผิวทั้งสองโดยตัวของมันเองมีสีโทนอื่นปนเปื้อนมาด้วย ซึ่งในที่สุดก็ยังสามารถส่งผลกระทบต่อโทนสีของ

ตัวอย่างน้ำเสียหลังการบำบัดฯ ทำให้ค่าความยาวคลื่นตัวแทนโทนสีที่หามาได้แต่เดิมใช้วัดสีซ้ำๆ ไม่ได้ตลอดการทดลอง เนื่องด้วยโทนสีเริ่มต้นและโทนสีหลังบำบัดเปลี่ยนไป

4. โคนอกูแลนท์และโคนอกูแลนท์เอด ที่เลือกมาใช้นั้น อาจส่งผลต่อโทนสีก่อนและหลังการบำบัดฯ

กรณีที่พีเอชอาจส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงโทนสี ทำโดยนำตัวอย่างมาปรับพีเอชให้มีค่าแตกต่างกัน กรองแล้วนำไปวัดค่าแอบซอเบแนนท์ในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร อย่างน้อยทุกๆ 10 นาโนเมตร ตามกราฟที่ I และ II (ภาคผนวก A) พบว่าทั้งโทนสีแดงและโทนสีน้ำเงินให้ค่าความยาวคลื่นที่เป็นตัวแทนโทนสีช่วงเดิม แม้มีการปรับพีเอชแตกต่างกันไป แต่ค่าแอบซอเบแนนท์ที่วัดได้มีค่าแตกต่างกัน แสดงว่าพีเอชส่งผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ย้อมแต่ไม่ทำให้โทนสีข้อมเปลี่ยนไป ดังนั้นสรุปได้ว่าแม้พีเอชของตัวอย่างน้ำเสียจะถูกปรับเปลี่ยนไป ก็ไม่ทำให้โทนสีของน้ำตัวอย่างที่นำมาศึกษานี้เปลี่ยนแปลงไปตามพีเอช หรือกล่าวได้ว่าสามารถใช้ช่วงความยาวคลื่นเด่นของแต่ละโทนสีในการวัดค่าแอบซอเบแนนท์ซ้ำได้สำหรับตัวอย่างต่างๆ ที่มีพีเอชไม่เท่ากัน

ในกรณีที่อาจมีสีปนเปื้อนหรือติดมากับถ้ำลอยและแอกติเวเต็ดคาร์บอนผงนั้น สามารถพิสูจน์ได้ด้วยการนำสารดูดติดผิวทั้งสองมาละลายน้ำกลั่น แล้วกรองวัดค่าแอบซอเบแนนท์ของตัวอย่างน้ำกลั่นที่ผ่านการละลายด้วยถ้ำลอยและแอกติเวเต็ดคาร์บอนผงแล้ว ดังกราฟ V และ VI (ภาคผนวก A) พบว่าแอกติเวเต็ดคาร์บอนผงไม่ทำให้สีของน้ำกลั่นเพิ่มขึ้น(ค่าแอบซอเบแนนท์เป็นลบ)ตลอดช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร สรุปได้ว่าแอกติเวเต็ดคาร์บอนผงไม่มีสีปนเปื้อนมา ในขณะที่ถ้ำลอยให้ค่าแอบซอเบแนนท์เพิ่มขึ้นทุกๆ ช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร แต่ไม่มีความยาวคลื่นเด่น เนื่องจากค่าแอบซอเบแนนท์ที่วัดได้ตลอดความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร มีค่าค่อนข้างขนานกับแกนของความยาวคลื่น

ในการพิสูจน์การเปลี่ยนแปลงโทนสีของน้ำเสียตัวอย่าง ที่อาจเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้ถ้ำลอยและแอกติเวเต็ดคาร์บอนผงในกระบวนการดูดติดผิว กรณีนี้สนใจศึกษาเฉพาะถ้ำลอยเพราะทำให้ค่าแอบซอเบแนนท์เมื่อละลายน้ำกลั่นเพิ่มขึ้น ส่วนแอกติเวเต็ดคาร์บอนผงนั้นดังได้กล่าวไป

แล้วว่าไม่ทำให้ค่าแอมซอบแบนท์ของน้ำกลั่นเพิ่มขึ้น ซึ่งทำโดยการนำตัวอย่างน้ำเสียทั้งโทนสีแดง และสีน้ำเงินมาควมผสมกับเด้าลอยในปริมาณและเวลาสัมผัสที่มากเกินไป แล้วกรองไปวัดค่าแอมซอบแบนท์และเขียนกราฟกับความยาวคลื่นช่วง 400-700 นม.จากกราฟ III และ IV (ภาคผนวก A) พบว่า ค่าความยาวคลื่นที่แสดงความเป็นตัวแทนโทนสีแดงและโทนสีน้ำเงิน ยังอยู่ช่วงเดิมทั้งก่อนและหลังผ่านการบำบัดด้วยเด้าลอย กล่าวคือ โทนสีแดงยังใช้ความยาวคลื่นช่วง 515-520 นาโนเมตร และโทนสีน้ำเงินก็ยังสามารถใช้ความยาวคลื่นช่วง 590-600 นาโนเมตร สำหรับเป็นตัวแทนโทนสีได้ทั้งก่อนและหลังสัมผัสกับเด้าลอย

ส่วนกรณีของโคแอกูแลนต์และโคแอกูแลนต์เอค ในการวิจัยครั้งนี้ได้เลือกสารส้มและโพลิเมอร์ที่มีมวลโมเลกุลสูงประจุลบมาใช้ในการศึกษา จากการวิจัยและตำราต่างๆ เป็นที่ทราบกันทั่วไปว่าสารส้มนั้นโดยปกติเป็นสารที่ใช้ในกระบวนการผลิตน้ำประปา เป็นสารไม่มีสี ดังนั้นในกระบวนการโคแอกูแลชันที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้สารส้มจึงไม่ทำให้โทนสีของน้ำตัวอย่างก่อนและหลังการบำบัดเปลี่ยนไป ส่วนโพลิเมอร์ก็ให้ผลในการทำงานเหมือนกันคือเป็นสารไม่มีสี และจากผลการทดลองก็ได้สังเกตพบแล้วว่าไม่ทำให้โทนสีของน้ำเสียตัวอย่างทั้งสองโทนสีเปลี่ยนไปเช่นกัน เมื่อวัดสีด้วยวิธีการกรองด้วยกระดาษกรองก่อน

3.2.2 วิธีวัดปริมาณสารคอลลอยด์แขวนลอย

การทดลองนี้ในช่วงการวัดปริมาณเด้าลอยและแอกติเวเต็ดคาร์บอนผงแขวนลอยนั้น แต่เดิมในโครงร่างวิทยานิพนธ์ได้เสนอวิธีการวัดสารคอลลอยด์แขวนลอยในรูปของความขุ่น แต่ในขณะที่ทำการทดลองจริงนั้นพบว่าด้วยวิธีการวัดในรูปความขุ่นนั้นค่าที่วัดได้ไม่มีความไวพอ ค่าความขุ่นที่วัดได้ของตัวอย่างน้ำเสียต่างๆ นั้นไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเพียงพอที่จะเปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณสารคอลลอยด์แขวนลอยระหว่างตัวอย่างได้ กล่าวคือเกือบทุกๆ ตัวอย่างให้ค่าความขุ่นไม่เกิน 5 NTU ในขณะที่เมื่อมองด้วยสายตาพบว่าสีของน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยแอกติเวเต็ดคาร์บอนผงนั้นมีสีค่าของคาร์บอนแขวนลอยแตกต่างกันมาก ด้วยเหตุนี้การวัดปริมาณสารคอลลอยด์แขวนลอยที่หลงเหลือจากขั้นตอนการกำจัดสีขุ่นด้วยกระบวนการคอลลอยด์

ผิวและในขั้นตอนการกำจัดสารดูดติดผิวแขวนลอยด้วยกระบวนการ โคแอกูเลชันนั้น จำเป็นต้องหาพารามิเตอร์ตัวอื่นมาใช้แทนสำหรับการวัดปริมาณสารดูดติดผิวแขวนลอยหลงเหลือในน้ำเสีย และพารามิเตอร์นี้จะต้องแสดงถึงปริมาณสารดูดติดผิวแขวนลอยในน้ำเสียเท่านั้น ด้วยเหตุนี้การเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการวัดปริมาณสารดูดติดผิวแขวนลอยสามารถเลือกได้ดังนี้

1. วัดออกมาในรูปสารแขวนลอย (เอสเอส)
2. วัดออกมาในรูปสีค่าของแอกติเวทเต็ดคาร์บอนหรือถ่านลอย

จากการพิจารณาพบว่า ในช่วงการทดลองกระบวนการกำจัดสารดูดติดผิวแขวนลอยด้วยกระบวนการ โคแอกูเลชันนั้น มีการเติมสารเคมีต่างๆ เช่น สารส้ม กรด ค่าง โพลิเมอร์ โดยเฉพาะสารส้มนั้น การทดลองจำเป็นต้องหาสภาวะที่เหมาะสมหรือหาปริมาณที่เหมาะสมของสารส้มในการเกิดฟล็อก หรือหาปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการกำจัดสารดูดติดผิวแขวนลอย สารส้มเมื่ออยู่ในบางสภาวะ หรือในปริมาณใช้งานต่างๆ ในแต่ละบีกเกอร์ นั้นบางสภาวะอาจตกตะกอนไม่หมดเนื่องจากขนาดฟล็อกเล็กเกินไป ทำให้สารส้มหลงเหลือแขวนลอยอยู่ปนกับแอกติเวทเต็ดคาร์บอนหรือถ่านลอย นอกจากนี้ถ่านลอยนั้นมีปริมาณของโลหะหนักที่สามารถทำหน้าที่เป็นโคแอกูแลนต์อยู่มากมาย เช่น เฟอร์ไรท์ แมกนีเซียม อลูมิเนียม แคลเซียม (ดูภาคผนวก B) สารเหล่านี้เมื่อละลายปนอยู่ในน้ำนั้น เป็นที่ทราบกันว่าสามารถทำหน้าที่เป็นโคแอกูแลนต์ได้ และเมื่ออยู่ในสภาวะที่เหมาะสมหรือมีความเป็นด่างเพียงพอกระบวนการ โคแอกูเลชันก็จะเกิดขึ้น โลหะหนักซึ่งเดิมมีน้ำหนักปกติตามสภาพที่มากับถ่านลอยก็เปลี่ยนรูปโดยละลายออกไซด์ออกไป เปลี่ยนมาอยู่ในรูปสารละลายก่อนที่จะจับกับด่างในน้ำเสียกลายเป็นฟล็อกแขวนลอยเพิ่มปริมาณอยู่ในน้ำเสียได้ การวัดโดยมวลไม่ได้บอกว่าถ่านลอยถูกกำจัดด้วยกระบวนการ โคแอกูเลชันด้วยสารส้มไปเท่าไร เพราะมวลถ่านลอยมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ 2 ช่วง คือ ช่วงโลหะหนักละลายจากรูปเดิมที่เป็นของแข็งมากับถ่านลอยลงสู่น้ำเสียโดยละลายออกไซด์ออกสู่อากาศ ทำให้มวลถ่านลอยในรูปเอสเอสลดลงเนื่องจากออกไซด์ออกสู่อากาศและโลหะละลายน้ำแล้ว และช่วงที่โลหะหนักจับด่างซึ่งอาจเป็นไฮดรอกไซด์หรือคาร์บอเนตแล้วก่อรูปเป็นฟล็อกแขวนลอย ทำให้ช่วงนี้ค่าเอสเอสเพิ่มขึ้น ค่านี้จะมียุทธพลกว่ากันนั้นเป็นเรื่องยากที่จะบ่งชี้ให้ชัดเจน ดังนั้นการวัดประสิทธิภาพการกำจัดสารดูดติด

ผิวแขวนลอยด้วยสารส้มโดยวิธีวัดค่าเอสเอสนั้นจึงไม่เหมาะสม เพราะค่าเอสเอสที่วัดได้ ไม่ใช่ค่าที่แสดงปริมาณสารคอลลอยด์ผิวแขวนลอยเพียงอย่างเดียว

ในขณะที่สีค้ำของน้ำเสียอันเนื่องมาจากสีของแอกติเวทเต็ดคาร์บอนแขวนลอยอยู่นั้นมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงสถานะหรือปริมาณเมื่อกำจัดด้วยสารส้ม มีความชัดเจนเมื่อมองด้วยสายตา ดังนั้นการวัดปริมาณสารคอลลอยด์ผิวแขวนลอยด้วยการวัดออกมาในรูปหน่วยสีหรือประสิทธิภาพลดค่าแอบซอร์เบ้นท์โทนสีค้ำนั้นน่าจะเหมาะสม เพราะสารคอลลอยด์ผิวแขวนลอยเหล่านี้ทำให้น้ำเสียมีสีค้ำเมื่อยังแขวนลอยอยู่ และไม่ทำให้โทนสีของน้ำเสียเริ่มต้นเปลี่ยนแปลงไปเมื่อถูกกำจัดออกไปด้วยการตกตะกอนหรือการกรอง(ดูกราฟ I-VI)

จากกราฟ VII-X ในภาคผนวก A แสดงให้เห็นว่าแฉะลอยและแอกติเวทเต็ดคาร์บอนผงเมื่อแขวนลอยอยู่ในน้ำเสียนั้น ทำให้น้ำโทนสีของน้ำเสียขณะที่แขวนลอยอยู่มีสีค้ำ ในกราฟ VII-VIII แสดงการวัดปริมาณแอกติเวทเต็ดคาร์บอนผงด้วยโทนสีค้ำ เมื่อค่าแอบซอร์เบ้นท์ที่วัดโดยไม่กรองน้ำเสียก่อนวัดมีค่าขนานกับแกนของความยาวคลื่นตลอดช่วง 400-700 นาโนเมตร ในขณะที่กราฟ IX-X แสดงการวัดปริมาณแฉะลอยด้วยโทนสีค้ำนั้น แม้ค่าแอบซอร์เบ้นท์ที่ได้นั้นไม่ขนานกับแกนความยาวคลื่นก็ตามเนื่องจากมีสีแดงหรือสีน้ำเงินซึ่งเป็นโทนสีน้ำเริ่มต้นที่กำจัดได้ไม่หมดละลายเหลืออยู่ในน้ำเสีย แต่อย่างไรก็ตามค่าแอบซอร์เบ้นท์ของน้ำเสียที่วัดได้ก่อนและหลังกำจัดแฉะลอยด้วยสารส้มก็ยังมีลักษณะที่ค่อนข้างขนานกันอยู่ แสดงว่าประสิทธิภาพกำจัดแฉะลอยก็สามารถวัดด้วยโทนสีค้ำได้ โดยวัดที่ความยาวคลื่นเดิมของโทนสีน้ำเสียแต่ละตัว และอย่างไรก็ตามสารคอลลอยด์ทั้งสองดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบทำให้โทนสีน้ำเสียเริ่มต้นเปลี่ยนแปลงไป เมื่อถูกกำจัดด้วยการตกตะกอนหรือกรอง ดูกราฟ III IV และกราฟ VI

ศูนย์วิจัยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 แผนการดำเนินการวิจัย

การวิจัยทั้งหมดได้กระทำที่ห้องปฏิบัติการปริญญาโทภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ตัวอย่างน้ำเสียที่ใช้เป็นน้ำเสียข้อมผ้าสังเคราะห์

จากสี่ข้อมรีแอกทีฟ โดยเลือกสูตรการย้อมที่สามารถย้อมได้ที่อุณหภูมิ 28 ซ. รายละเอียดได้กล่าวไปแล้ว สารเคมีที่ใช้ในการวิจัยทดลองทั้งหมดมีดังนี้

1) เถ้าลอยเป็นเถ้าที่ถูกคักจากปล่องควันของเตาเผาที่ใช้ถ่านหินลิกไนต์เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งได้จากกากไฟฟ้าฝ่ายผลิต อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง โดยเก็บจากปล่องควันเตาเผาที่ 9 ในขณะที่ยังเก็บอยู่ในถังเก็บคักเถ้าลอย ตลอดจนการทดลอง รายละเอียดลักษณะสมบัติดูได้ในภาคผนวก B

2) แอคติเวทเต็ดคาร์บอนผง (PAC) ที่ใช้คือรุ่น YAO H M325 ซึ่งเหมาะกับน้ำเสียที่มีสี โดยเฉพาะ มีพื้นที่ผิว 1250 ตร.ม./ก. ลักษณะสมบัติอื่นดูได้ในภาคผนวก B

3) สารส้มใช้คุณภาพระดับห้องปฏิบัติการ ลักษณะสมบัติดูได้ในภาคผนวก B

4) กรดใช้กรดซัลฟูริกคุณภาพห้องปฏิบัติการ ความเข้มข้น 98 % ลักษณะสมบัติดูได้ในภาคผนวก B

5) ด่างใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์คุณภาพห้องปฏิบัติการ ลักษณะสมบัติดูได้ในภาคผนวก B

6.) โพลีเมอร์ใช้ชนิดประจุลบ มวลโมเลกุลสูงลักษณะสมบัติดูได้ในภาคผนวก B ลักษณะสมบัติดูได้ในภาคผนวก B

7.) สี่ข้อมใช้สี่ข้อมรีแอกทีฟ รายละเอียดดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 3.1

3.4 ขั้นตอนวิจัยโดยสังเขป

1. สังเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียโรงฟอกย้อมด้วยสี่ข้อมรีแอกทีฟ ให้มีความเข้มข้นเดียวกัน ตลอดจนการทดลอง คือประมาณ 10 มก./ล. ด้วยวิธีเลียนแบบสูตรการย้อมผ้าจริง ซึ่งสูตรที่เลือกมาใช้นี้เหมาะกับการย้อมที่อุณหภูมิปกติคือ ประมาณ 28 ซ. เรียกว่าสูตร cold pad-batch process (สูตร 1 โซดาแอช) รายละเอียดการย้อมดังได้กล่าวแล้วในหัวข้อ 3.1 โดยสังเคราะห์แยกเป็นไทนสี่โคดจำนวน 2 ไทนสี่ คือ

- สีน้าเงิน

- สีแดง

2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีด้วยกระบวนการดูดซับด้วยตัวดูดซับที่มีรูพรุนต่างๆ (ทางเลือก 1)

3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสีด้วยกระบวนการร่วมของการดูดซับแล้วตามด้วยโคแอกูเลชัน ณ สภาวะที่เหมาะสมที่หาได้จากข้อ 2 (ทางเลือก 2)

5. ศึกษาปริมาณสารเคมีที่ใช้ในแต่ละทางเลือก

6. ศึกษาการหลุดกลับคืนของสีย้อน (desorption) เนื่องจากการใช้โคแอกูเลชัน

7. ศึกษาค่าใช้จ่ายสารเคมีและค่าใช้จ่ายอื่นๆ ณ สภาวะที่เหมาะสมที่หาได้จากแต่ละทางเลือก

3.5 การดำเนินการวิจัย

3.5.1 การสังเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย

ทำการสังเคราะห์น้ำเสีย ทำโดยการควบคุมให้มีเฉพาะสีซ้อมรีแอกทีฟและสารเคมีที่จำเป็นต่อการย้อมจริง รวมถึงการควบคุมสภาวะในกระบวนการย้อมให้เลียนแบบการย้อมจริง เป็นต้น โดยความเข้มข้นสีซ้อมรีแอกทีฟที่ใช้เท่ากับ 10 มก./ล. และใช้ความเข้มข้นนี้ตลอดการทดลอง

โทนสีที่ใช้สังเคราะห์จะมี 2 โทนสี คือ

- โทนสีน้ำเงิน
- โทนสีแดง

3.5.2 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติ

เมื่อทำการสังเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียได้แล้ว ก่อนการทดลองทุกครั้งได้วัดค่า พีเอชเริ่มต้น และแอมชอบแบนท์เริ่มต้น ณ ความยาวคลื่นที่เหมาะสม

3.5.3 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดสปีด้วยกระบวนการดูดติดผิว ด้วยสารดูดติดผิว ประเภทต่างๆ (ทางเลือก 1) โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้ คือ

ขั้นตอนที่ 1 หาพีเอชที่เหมาะสมในการดูดติดผิว ที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสปีช้อมสูง สุด ด้วยวิธีจาร์เทสต์ ที่สภาพความเข้มข้นในตัวอย่างเริ่มต้น 10 มก./ล. ปริมาณสารดูดติดผิวเท่า กันและเวลาสัมผัส 2 ชม.เท่ากัน

กวนด้วยเครื่องจาร์เทสต์	ตกตะกอน 30 นาที	กรอง	วัดสปี
-------------------------	-----------------	------	--------

รูปที่ 3.1 แผนภูมิการทดลองการหาพีเอชที่เหมาะสมในการดูดติดผิว

ก.) เถ้าลอย

:พารามิเตอร์

1. ประสิทธิภาพการกำจัดสปี

:ตัวแปรคงที่

1. ปริมาณเถ้าลอย

2. เวลาสัมผัส (2 ชม.)

:ตัวแปรผัน

1. พีเอช

วิธีทดลอง 1. นำตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ไปวัดสปีเริ่มต้นด้วยเครื่องสเปกโตแอมซอบแบนท์ โดยปรับค่าแอมซอบแบนท์ของน้ำกลั่นเท่ากับศูนย์ กรองวัดค่าแอมซอบแบนท์ตัวอย่างน้ำเสียเริ่มต้น

2. หาพีเอชที่เหมาะสม โดยการเติมเถ้าลอยลงในบีกเกอร์ที่มีตัวอย่างน้ำเสีย 1000 ลบ.ซม.จำนวน 6 ใบ แล้วแปรผันพีเอชในแต่ละใบด้วยกรดซัลฟูริก และโซเดียมไฮดรอกไซด์ จากนั้นกวนด้วยเครื่องจาร์เทสต์ความเร็ว 100 รอบต่อนาที นาน 2 ชั่วโมง แล้วปิดเครื่อง ทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที จึงนำน้ำส่วนบนมากรอง แล้ววัดค่าแอมซอบแบนท์ (หมายเหตุ ไม่ต้องมีบีกเกอร์เหลือ 1 ใบ เพื่อทำเป็นแบลนด์ เพราะกรณีที่กระดาษกรองมีการดูดติดสปีไว้ได้ถูกปรับเทียบแล้ว ด้วยการวัดค่าสปีเริ่มต้นโดยผ่านการกรองแล้ว)

ข.) แอคติเวทเต็คาร์บอนผง วิธีทำเหมือนถ้ำลอยแต่เปลี่ยนเป็นแอคติเวทเต็คาร์บอนผงแทน

ขั้นตอนที่ 2 เมื่อได้พีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดสีของสารดูดติดผิวแต่ละสารแล้ว นำมาหาเวลาสัมผัสที่สารดูดติดผิวที่เหมาะสมของสารดูดติดผิวแต่ละชนิดด้วยวิธีจาร์เทสต์ เมื่อกำหนดความเข้มข้นเริ่มต้น ปริมาณสารดูดติดผิวเท่ากัน

กวนด้วยเครื่องจาร์เทสต์	ตกตะกอน	กรอง	วัดสี
-------------------------	---------	------	-------

รูปที่ 3.2 แผนภูมิการทดลองการหาเวลาสัมผัสที่เหมาะสมในกระบวนการดูดติดผิว

ก.) ถ้ำลอย

:พารามิเตอร์

1. ประสิทธิภาพการกำจัดสี

:ตัวแปรคงที่

:ตัวแปรผัน

1. ปริมาณสารดูดติดผิว

1. เวลาสัมผัส

2. พีเอชที่เหมาะสม (ได้จากขั้นตอนที่ 1)

วิธีทดลอง 1. นำตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ไปวัดสีเริ่มต้นด้วยเครื่องสเปกโตแอมซอบแบนท์ โดยปรับค่าแอมซอบแบนท์ของน้ำกลั่นเท่ากับศูนย์ กรองแล้ววัดค่าแอมซอบแบนท์ตัวอย่างน้ำเสียเริ่มต้น

2. หาเวลาที่เหมาะสม โดยการเติมสารดูดติดผิวปริมาณเท่ากันลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำเสียสังเคราะห์ 1000 ลบ.ซม. 6 ใบ แล้วปรับพีเอชที่เหมาะสมซึ่งหาได้จากขั้นตอนที่ 1 จากนั้นกวนด้วยเครื่องจาร์เทสต์ความเร็ว 100 รอบต่อนาที เวลาสัมผัสนี้กำหนดให้ถี่(ทุก 3-10 นาที)ในช่วง 40 นาทีแรก และทุกเว้นช่วงยาวขึ้น(ทุก 10-30 นาที) หลังจาก 1 ชั่วโมงไปแล้ว จากนั้นทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที แล้วนำมากรองวัดค่าแอมซอบแบนท์ (หมายเหตุ ไม่ต้องมีบีกเกอร์เหลือ 1 ใบ เพื่อทำเป็นแบลนด์ เพราะกรณีที่กระดาษกรองมีการดูดติดสีไว้ได้ถูกปรับเทียบแล้ว ด้วยการวัดค่าสีเริ่มต้นโดยผ่านการกรอง)

ข.) แอคติเวทเต็คคาร์บอนผงวิธีทำเหมือนถั่วลอชแต่เปลี่ยนเป็นแอคติเวทเต็คคาร์บอนผงแทน

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อได้พีเอชเหมาะสมในการดูดติดผิวและเลือกเวลาที่เหมาะสมในการดูดติดผิวของสารดูดติดผิวแต่ละสารแล้ว จึงนำมาใช้ศึกษาไอโซเทอร์มหรือความสามารถสารดูดติดผิวในการกำจัดสีข้อม โดยการแปรผันปริมาณสารดูดติดผิวลงในบีกเกอร์แต่ละใบแล้วเติมน้ำตัวอย่างตามจนครบ 1 ลิตร แล้วกวนด้วยเครื่องจาร์เทสต์ 100 รอบ/นาที ตกตะกอน 30 นาที นำน้ำส่วนบนมากรองวัดสีตามโทนสีน้ำเริ่มต้น ซึ่งในการหาไอโซเทอร์มนี้จะเลือกหาจากสภาวะที่พีเอชและเวลาสัมผัสที่เหมาะสมซึ่งได้จากการทดลองขั้นตอนก่อนนี้

กวนด้วยเครื่องจาร์เทสต์	ตกตะกอน 30 นาที	กรอง	วัดสี
-------------------------	-----------------	------	-------

รูปที่ 3.3 แผนภูมิการทดลองการหาสารดูดติดผิวที่เหมาะสม

ก.) ถั่วลอช

:พารามิเตอร์

1. ประสิทธิภาพการกำจัดสี

ตัวแปรคงที่

:ตัวแปรผัน

1. เวลาสัมผัสที่เหมาะสม

1. ปริมาณถั่วลอช

2. พีเอชที่เหมาะสม

วิธีทดลอง 1 นำตัวอย่างน้ำเสียสังเคราะห์ไปวัดสีเริ่มต้น ด้วยเครื่องสเปกโตแอมบอบแบนท์ โดยปรับค่าแอมบอบแบนท์ของน้ำกลั่นเท่ากับศูนย์ กรองแล้ววัดค่าแอมบอบแบนท์ตัวอย่างน้ำเสียเริ่มต้น

2. หาไอโซเทอร์ม โดยแปรผันถั่วลอชลงในบีกเกอร์ที่มีน้ำเสีย 1000 ลบ.ซม. จำนวน 6 ใบ แล้วปรับพีเอชที่เหมาะสมซึ่งเลือกมาใช้จากขั้นตอนที่ 1 จากนั้นกวนด้วยเครื่องจาร์เทสต์ความเร็ว 100 รอบต่อนาที นานเท่ากับเวลาสัมผัสที่เหมาะสมที่ได้ในขั้นตอนที่ 2 ปิดเครื่อง ตั้งทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที นำน้ำส่วนบนไปกรองเพื่อนำมาวัดสีต่อ (หมายเหตุ ไม่ต้องมีบี



กเกอร์เหลือ 1 ใบ เพื่อทำเป็นแบลงค์ เพราะกรณีที่กระดาษกรองมีการดูดติดสีไว้ได้ถูกปรับเทียบแล้ว ด้วยการวัดค่าสีเริ่มต้นโดยผ่านการกรอง)

ข.) แยกตเวทเต็ดคาร์บอนผงวิธีทำเหมือนถ้ำล่อยแต่เปลี่ยนเป็นแอกติเวทเต็ดคาร์บอนผงแทน

เมื่อ	ขั้นตอนที่ 1	ขั้นตอนที่ 2	ขั้นตอนที่ 3
F= ตัวแปรคงที่	(F. มก./ล.)	(F. มก./ล.)	(F. opt.pH)
V= ตัวแปรผัน	(F.เวลาสัมผัส)	(F. opt.pH)	(F. เวลาสัมผัส)
opt. = เหมาะสม	(V. pH)	(V.เวลาสัมผัส)	(V.ปริมาณสารดูดติด)
- สีน้ำเงิน	ถ้ำล่อย (1. หาpHเหมาะสม 2. หาเวลาสัมผัส 3. หาไอโซเทอร์ม)		
	PAC (1. หาpHเหมาะสม 2. หาเวลาสัมผัส 3. หาไอโซเทอร์ม)		
- สีแดง	ถ้ำล่อย (1. หาpHเหมาะสม 2. หาเวลาสัมผัส 3. หาไอโซเทอร์ม)		
	PAC (1. หาpHเหมาะสม 2. หาเวลาสัมผัส 3. หาไอโซเทอร์ม)		

แผนภาพที่ 3.1 สรุปขั้นตอนการทดลองทางเลือก 1

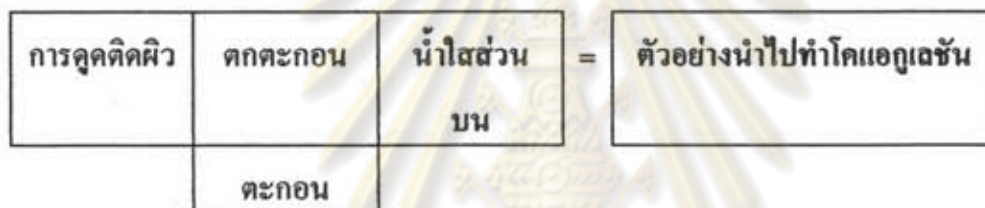
ตารางที่ 3.1 เวลาที่ใช้ทดลองกระบวนการดูดติดสี (ทางเลือก 1)

ลักษณะงาน	ขั้นตอนที่ 1	ขั้นตอนที่ 2	ขั้นตอนที่ 3	รวม=ครั้ง(วัน)
สีน้ำเงิน				
ถ้ำล่อย	4(2)	4(2)	8(4)	16(8)
PAC	4(2)	4(2)	8(4)	16(8)
สีแดง				
ถ้ำล่อย	4(2)	4(2)	8(4)	16(8)
PAC	4(2)	4(2)	8(4)	16(8)
รวม	16(8)	16(8)	32(16)	64(32)

3.5.4 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการกำจัดสปีดด้วยกระบวนการร่วมของการดูดติดผิวและด้วยโคแอกูเลชัน (ทางเลือก 2) โดยมีตอนการทำงานดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เตรียมน้ำตัวอย่าง

เมื่อได้สถานะที่เหมาะสมในการดูดติดผิว(ทางเลือก 1) แล้ว ให้นำสถานะดังกล่าวมาเตรียมน้ำตัวอย่างเพื่อนำไปศึกษาการตกตะกอนด้วยกระบวนการโคแอกูเลชัน น้ำตัวอย่างนี้ได้จากน้ำส่วนบนของกระบวนการดูดติดผิว(ทางเลือก 1) หลังจากที่ได้ตกตะกอนตามธรรมชาติโดยไม่เติมสารเคมีใดเลย



รูปที่ 3.5 การเตรียมน้ำตัวอย่างด้วยสารดูดติดผิวต่างๆ

1. เตรียมน้ำตัวอย่างที่จะศึกษาโคแอกูเลชัน โดยนำข้อมูลจากทางเลือก 1 ซึ่งจะได้ พีเอช เวลาสัมผัส และปริมาณสารดูดติดผิวที่เหมาะสมของแต่ละสารมาเตรียมน้ำตัวอย่าง ซึ่งได้จากน้ำส่วนบนหลังตกตะกอน 30 นาที น้ำตัวอย่างนี้ถูกเตรียมวันต่อวัน

- สีน้าเงิน - ใ้ลลย (opt.dose, pH, cont.time)- ตกตะกอน 30 นาที = ตัวอย่าง 1
- PAC (opt.dose, pH, cont.time)- ตกตะกอน 30 นาที = ตัวอย่าง 2
- สีแดง - ใ้ลลย (opt.dose, pH, cont.time)- ตกตะกอน 30 นาที = ตัวอย่าง 3
- PAC (opt.dose, pH, cont.time)- ตกตะกอน 30 นาที = ตัวอย่าง 4

แผนภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการเตรียมน้ำตัวอย่าง

ขั้นตอนที่ 2 การกำจัดความขุ่นด้วยโคแอกูเลชัน

กวนเร็ว	กวนช้า	ตกตะกอน	วัด%กำจัดสี (โทนสีเดิม)	วัด%กำจัดสารคอลลอยด์แขวนลอย (วัดในรูปโทนสีค่า, ความขุ่น)
---------	--------	---------	----------------------------	---

รูปที่ 3.6 การกำจัดความขุ่นด้วยโคแอกูเลชัน

นำตัวอย่างที่เตรียมได้ในขั้นตอนที่ 1 มาศึกษาการใช้โคแอกูเลชันเพื่อกำจัดความขุ่นอันเนื่องจากมีสารคอลลอยด์แขวนลอยเหลืออยู่ ด้วย

- 1.) สารส้มอย่างเดียว
- 2.) สารส้มกับโพลิเมอร์ประจุลบ

และศึกษาว่ามีการคลายกลับของสี (desorption) หรือไม่ อันเนื่องมาจากการใช้โคแอกูเลชัน

ก.) สารส้ม อย่างเดียว

:พารามิเตอร์

1. ประสิทธิภาพการกำจัดสีข้อมๆ
2. %กำจัดความขุ่นหรือ สีข้อมโทนสีค่าสำหรับแอกติเวตเตดคาร์บอนผงและถ้ำ

ลอย

:ตัวแปรคงที่

1. ไม่ใช้โพลิเมอร์

:ตัวแปรผัน

1. พีเอช
2. ปริมาณ โคแอกูแลนต์

วิธีทดลอง 1. นำตัวอย่างน้ำเสียที่เตรียมไว้ไปวัดสีเริ่มต้น ด้วยเครื่องสเปกโตแอมซอบแบบทึบ โดยปรับค่าแอมซอบแบบทึบของน้ำกลั่นเท่ากับศูนย์ กรองแล้ววัดค่าแอมซอบแบบทึบตัวอย่างน้ำเสียเริ่มต้น

2. นำตัวอย่างน้ำเสียที่เตรียมไว้ไปวัดสารคลอโรฟิลล์แควนลอสเริ่มต้นโดยวัดในรูปสีค่า สำหรับแอกติเวทเต็ดคาร์บอนผงและเด้าลอย

3. หาปริมาณสารสัมพันธ์ว่าๆ ที่ก่อเกิดฟล็อก โดยเตรียมน้ำตัวอย่างใส่บีกเกอร์ทั้ง 6 ใบๆ ละ 1000 ลบ.ซม. แล้วปรับพีเอชทุกใบด้วยกรดซัลฟูริกและโซเดียมไฮดรอกไซด์ให้ได้เท่ากับ 6 เท่ากัน แปรผันปริมาณสารสัมพันธ์ลงในบีกเกอร์ 6 ใบต่างๆกัน แล้วกวนเร็ว 100 รอบต่อนาที นาน 2 นาที กวนช้า 20-25 รอบต่อนาที นาน 30 นาที สังเกตดูด้วยตาเปล่าว่าบีกเกอร์ใบใดให้ฟล็อกชัดเจนที่สุด นำค่าปริมาณสารสัมพันธ์ใบนั้นไปใช้สำหรับการทดลองหาพีเอชที่เหมาะสมต่อไป

4. หาพีเอชที่เหมาะสมสำหรับการใช้สารสัมพันธ์ในกระบวนการโคแอกูเลชัน ทำโดยปรับพีเอชในบีกเกอร์ที่ใส่น้ำตัวอย่างแล้วทั้ง 6 ใบให้ได้เท่ากับ 5, 6, 6.5, 7, 7.5, 8 หรือ 9 เติมสารสัมพันธ์ลงในบีกเกอร์ทั้ง 6 ใบปริมาณ 2 เท่าของปริมาณที่ได้จากข้อ 2 แล้วกวนเร็ว 100 รอบต่อนาที นาน 2 นาที กวนช้า 20-25 รอบต่อนาที นาน 30 นาที ตั้งทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที นำน้ำใสส่วนบนมาวัดพีเอช และวัดความขุ่นหรือสีโทนสีค่าของคาร์บอนผงและเด้าลอย เพื่อดูว่าพีเอชช่วงใดให้ค่าการกำจัดสารคลอโรฟิลล์แควนลอสสูงสุด

5. หาปริมาณสารสัมพันธ์ที่เหมาะสมในการกำจัดสารคลอโรฟิลล์แควนลอส ทำโดยการประมาณการปรับพีเอชน้ำตัวอย่างคิบให้มีค่าเมื่อแปรผันปริมาณสารสัมพันธ์ลงในบีกเกอร์แล้ว จะทำให้ค่าพีเอชหลังโคแอกูเลชันอยู่ในช่วงเหมาะสมซึ่งได้จากข้อ.3 กวนเร็ว 100 รอบต่อนาที นาน 2 นาที กวนช้า 20-25 รอบต่อนาที นาน 30 นาที ตั้งทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที นำน้ำใสส่วนบนมาวัดพีเอช และวัดความขุ่นหรือสีโทนสีค่า เพื่อดูว่าปริมาณสารสัมพันธ์เท่าใดให้ค่าการกำจัดสารคลอโรฟิลล์แควนลอสสูงสุด และกรองวัดสีโทนเริ่มต้นเพื่อดูว่ามีปรากฏการณ์คลายกลับของสีขุ่นหรือไม่ (หมายเหตุ ไม่ต้องมีบีกเกอร์เหลือ 1 ใบ เพื่อทำเป็นแบบบลังก์ เพราะกรณีที่กระดาษกรองมีการคลอโรฟิลล์ไว้ได้ถูกปรับเทียบแล้ว ด้วยการวัดค่าสีเริ่มต้นโดยผ่านการกรอง)

ข.) สารสั้ม และ โพลีเมอร์

:พารามิเตอร์

1. ประสิทธิภาพการกำจัดสีข้อมๆ
2. ความขุ่น หรือ สีดำ

:ตัวแปรคงที่

1. ปริมาณสารสั้ม
2. พีเอช

:ตัวแปรผัน

1. ปริมาณ โพลีเมอร์ประจุลบ

วิธีทดลอง 1. นำตัวอย่างน้ำเสียที่เตรียมไว้ไปวัดสีเริ่มต้น ด้วยเครื่องสเปกโตแอมซอบแบนท์ โดยปรับค่าแอมซอบแบนท์ของน้ำกลั่นเท่ากับศูนย์ กรองแล้ววัดค่าแอมซอบแบนท์ตัวอย่างน้ำเสียเริ่มต้น

2. นำตัวอย่างน้ำเสียที่เตรียมไว้ไปวัดสารคลอโรฟิลาแวทโดยวัดใน

รูป

- สีดำ สำหรับแอกติเวทเต็ดคาร์บอนผงและถ้ำลอย

3. หาปริมาณ โพลีเมอร์ที่เหมาะสมในการช่วยกำจัดสารคลอโรฟิลาแวทโดยปรับพีเอช และปริมาณสารสั้มให้ได้ค่าในช่วงที่กำจัดสารคลอโรฟิลาแวทสูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับที่ได้ทดลองมาก่อนหน้านี้ แล้วกวนเร็ว 100 รอบต่อนาที นาน 2 นาที แปรผันปริมาณโพลีเมอร์ใส่ในบีกเกอร์ทุกใบ กวนช้า 20-25 รอบต่อนาที นาน 30 นาที ตั้งทิ้งให้ตกตะกอน 30 นาที นำน้ำใสส่วนบนไปวัดความขุ่นหรือสีดำของสารคลอโรฟิลาแวท แล้วกรองนำไปวัดสีด้วยเครื่องสเปกโตแอมซอบแบนท์ เพื่อดูปรากฏการณ์ตกกลับของสีข้อม (หมายเหตุ ไม่ต้องมีบีกเกอร์เหลือ 1 ใบเพื่อทำเป็นแบลนด์ เพราะกรณีที่เกิดการตกกลับมีการคลอโรฟิลาแวทได้ถูกปรับเทียบแล้ว ด้วยการวัดค่าสีเริ่มต้นโดยผ่านการกรอง)

ตารางที่ 3.2 เวลาที่ใช้ทดลองกระบวนการร่วมๆ (ทางเลือก 2)

ตัวอย่างที่	การเตรียมน้ำตัวอย่างและโคแอกูเลชัน	รวมครั้ง(วัน)
1	48(16)	48(16)
2	48(16)	48(16)
3	48(16)	48(16)
4	48(16)	48(16)
รวม	192(64)	192(64)

ตารางที่ 3.3 รวมเวลาทดลองที่ใช้ทั้งหมด

การทดลอง	ครั้ง (วัน)
1.กระบวนการดูดติดผิว (ทางเลือก 1)	64(32)
2.กระบวนการร่วมๆ (ทางเลือก 2)	192(64)
รวม	256(96)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย