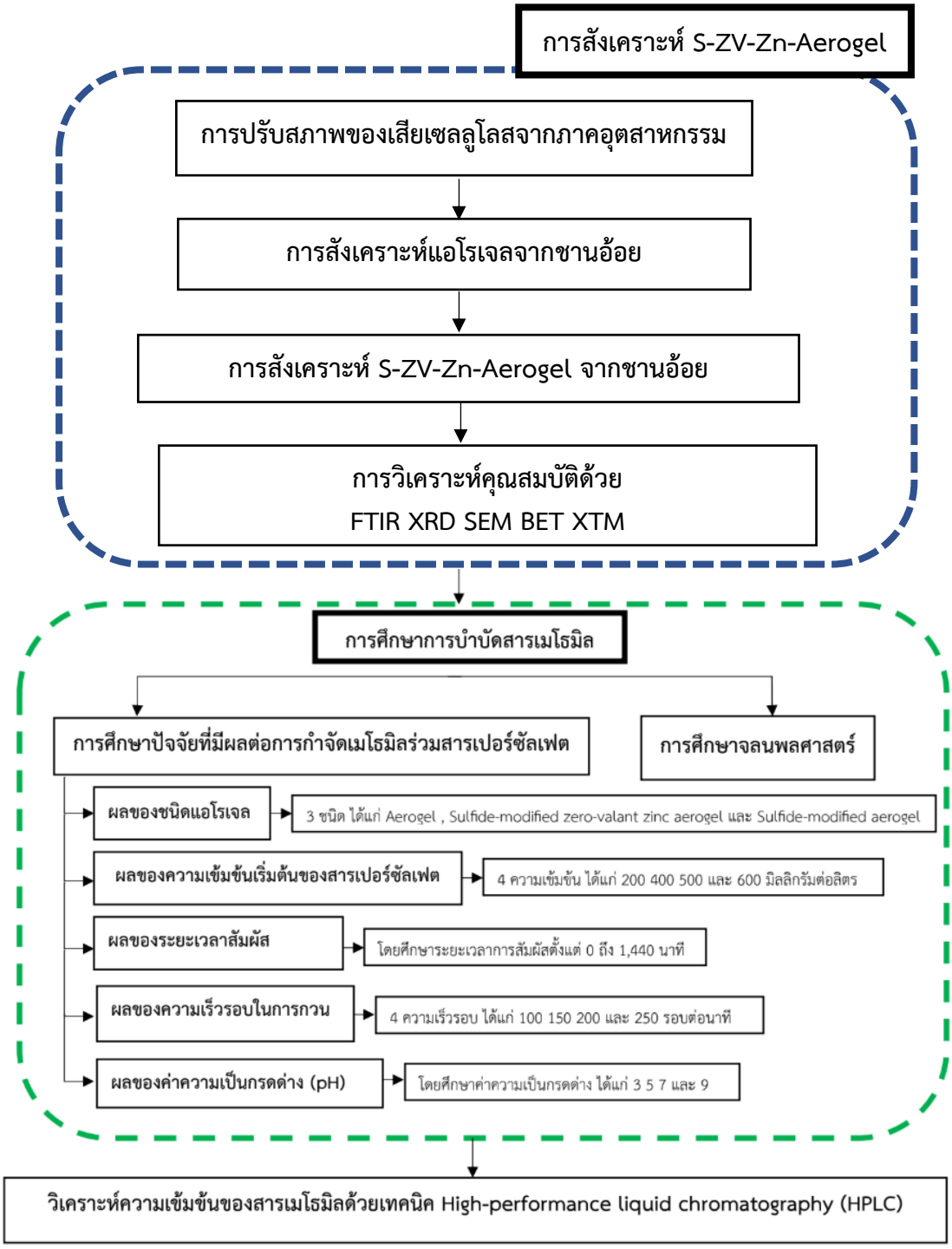
บทที่ 3
การศึกษาดำเนินงาน

งานวิจัยนี้เป็นการใช้ประโยชน์ของเสียเซลลูโลสจากภาคอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล โดยการนำชานอ้อยที่เป็นของเสียจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลมาทำการสังเคราะห์เป็นวัสดุดูดซับแอโรเจล และมีการเพิ่มประสิทธิภาพวัสดุดูดซับแอโรเจลด้วยสังกะสีประจุศูนย์ซัลไฟด์ร่วมกับสารเปอร์ซัลเฟต ซึ่งการทดลองในส่วนแรกเป็นการสังเคราะห์วัสดุดูดซับแอโรเจลและสังเคราะห์วัสดุดูดซับแอโรเจลที่ผสมสังกะสีประจุศูนย์ซัลไฟด์โดยมีการนำไปวิเคราะห์คุณลักษณะสมบัติด้วยเทคนิคต่าง ๆ ได้แก่ เทคนิควิเคราะห์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) เทคนิควิเคราะห์ฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟาเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier-transform infrared spectroscopy, FTIR) เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray Diffractometer, XRD) เทคนิควิเคราะห์พื้นที่ผิวและหาความพรุนของอนุภาค (Surface Area And Porosity Analyzer, BET) และเทคนิควิเคราะห์ถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์สามมิติระดับจุลภาคด้วยเอกซเรย์ย่านพลังงานสูงจากแหล่งกำเนิดแสงซินโครตรอน (X-ray Tomographic Microscopy, XTM) โดยนำวัสดุดูดซับแอโรเจลและวัสดุดูดซับแอโรเจลที่ผสมสังกะสีประจุศูนย์ซัลไฟด์เพื่อเป็นวัสดุดูดซับสำหรับกำจัดสารเมโธมิล ซึ่งในการทดลองส่วนที่สองเป็นการกำจัดสารเมโธมิลร่วมกับสารเปอร์ซัลเฟต โดยมีปัจจัยในการศึกษาดังนี้ ชนิดของแอโรเจล ความเข้มข้นของสารเปอร์ซัลเฟต ระยะเวลาสัมผัส ความเร็วรอบในการกวน และค่าความเป็นกรดด่าง ซึ่งความเข้มข้นของสารเมโธมิลที่ได้รับการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High-performance liquid chromatography, HPLC) แล้วนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบด้วยประสิทธิภาพการดูดซับสารเมโธมิลกับเวลา โดยมีรูปแบบและขั้นตอนการวิจัยและแผนการวิจัย ดังนี้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

3.1 สารเคมี เครื่องมือ และอุปกรณ์

3.1.1 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

สารเคมีที่ใช้ในการสังเคราะห์แอโรเจลผสมสังกะสีประจุศูนย์ซัลไฟด์ ซึ่งรวมถึงขั้นตอนการปรับสภาพของเสียจากภาคอุตสาหกรรมด้วย การเตรียมสารละลายเมโธมิล การเตรียมสารเปอร์ซัลเฟต และสารเคมีที่ใช้ในการตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) ได้แก่ ของเสียชานอ้อยจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) เนฟทาลีน (Naphthalene) เอทานอล (Ethanol) อะซิโตน (Acetone) โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) ซิงค์คลอไรด์ ($ZnCl_2$) โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ($NaBH_4$) โซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ ($Na_2S_2O_4$) สารเมโธมิล (Methomyl) สารโซเดียมเปอร์ซัลเฟต ($Na_2S_2O_8$) อะซิโตนไนไตรท์ (Acetonitrile) เมทานอล (Methanol) และน้ำปราศจากไอออน (DI Water)

3.1.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือหลักที่ใช้ในการศึกษางานวิจัย ได้แก่ เครื่องวัดค่าความเป็นกรดด่าง (pH Meter) เครื่องบดละเอียด (Grinder) โกรกบดสารเคมี (Mortar And Pestle) ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ตู้ดูดไอสารเคมี (Laboratory Chemical Fume Hood) เตาให้ความร้อน (Hotplate) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (Analytical Balance 4 digits) เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและหาความพรุนของอนุภาค (BET) เครื่องวิเคราะห์ฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟาเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FTIR) เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) เครื่องวิเคราะห์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) เครื่องวิเคราะห์ถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์สามมิติระดับจุลภาคด้วยเอกซเรย์ย่านพลังงานสูงจากแหล่งกำเนิดแสงซินโครตรอน (XTM) เครื่องวิเคราะห์โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) และอุปกรณ์เครื่องแก้วต่าง ๆ

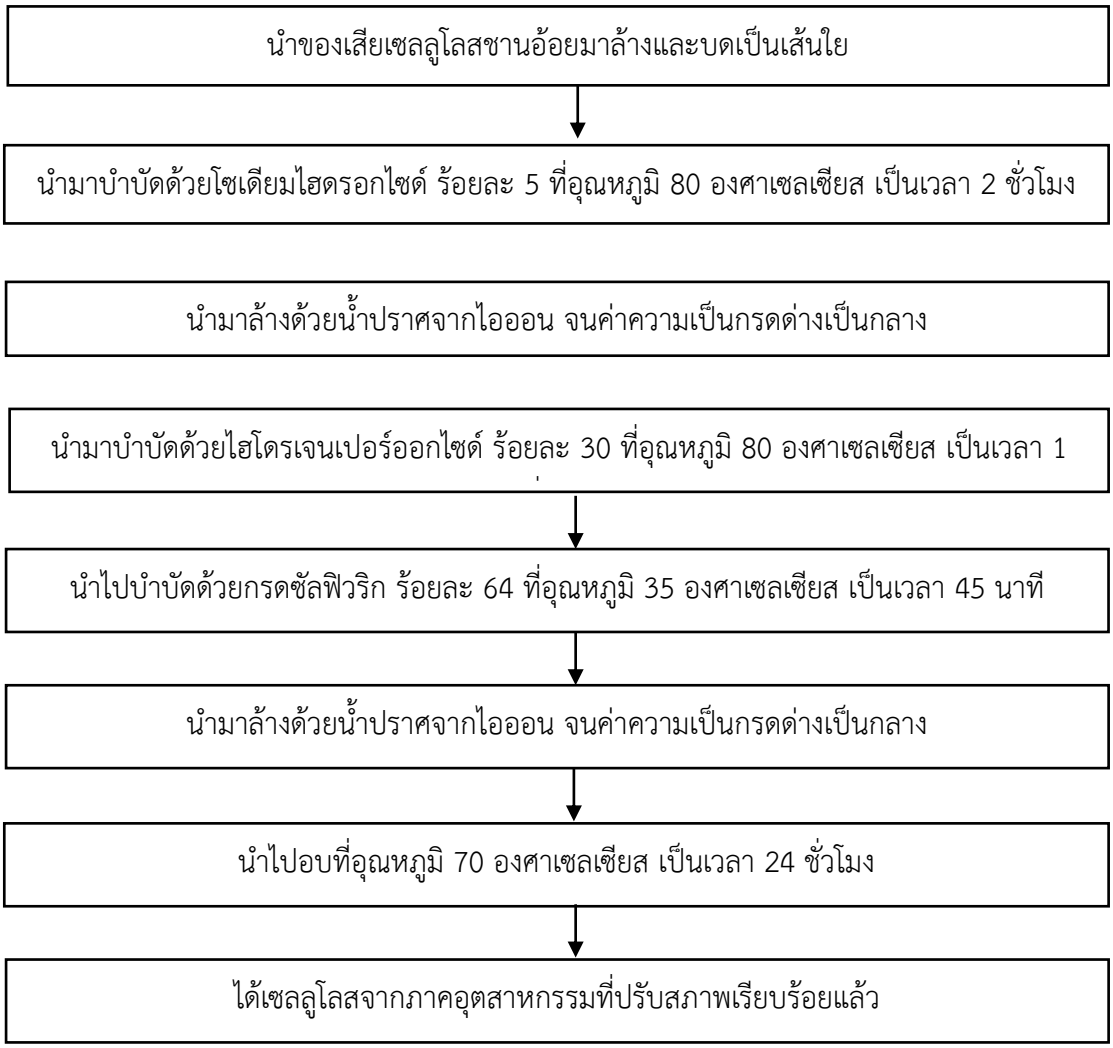
3.2 การสังเคราะห์แอโรเจลจากชานอ้อย

3.2.1 การปรับสภาพของเสียเซลลูโลสจากชานอ้อย

การปรับสภาพของเสียเซลลูโลสจากภาคอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นวัตถุดิบของเสียชานอ้อยที่ได้จากกระบวนการหีบอ้อยในภาคอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล ซึ่งสามารถทำได้จากการนำชานอ้อยมาล้างทำความสะอาดที่มีการปนเปื้อนจากภายนอกและนำมาบดให้ชานอ้อยเป็นเส้นใย จากนั้นนำไปอบแห้งแล้วนำเส้นใยชานอ้อยแห้งมีสัดส่วนร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก นำไปปรับสภาพทางเคมีด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่ความเข้มข้นของสารร้อยละ 5 (น้ำหนักต่อน้ำหนัก) โดยต้มย่อยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน ให้อยู่ในสภาวะความเป็นกรดด่างเป็นกลาง ต่อมานำเส้นใยชานอ้อยดังกล่าวไปปรับสภาพต่อด้วยสารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่ความเข้มข้นของสารร้อยละ 30 (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ต่อมานำไปปรับสภาพต่อด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก ที่ความเข้มข้นของสารร้อยละ 64 จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน ให้อยู่ในสภาวะความเป็นกรดด่างเป็นกลาง ต่อมานำชานอ้อยที่ปรับสภาพตามขั้นตอนดังกล่าวไปอบแห้ง

เพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นเมื่อครบเวลาก็จะได้ชานอ้อยที่ปรับสภาพแล้ว

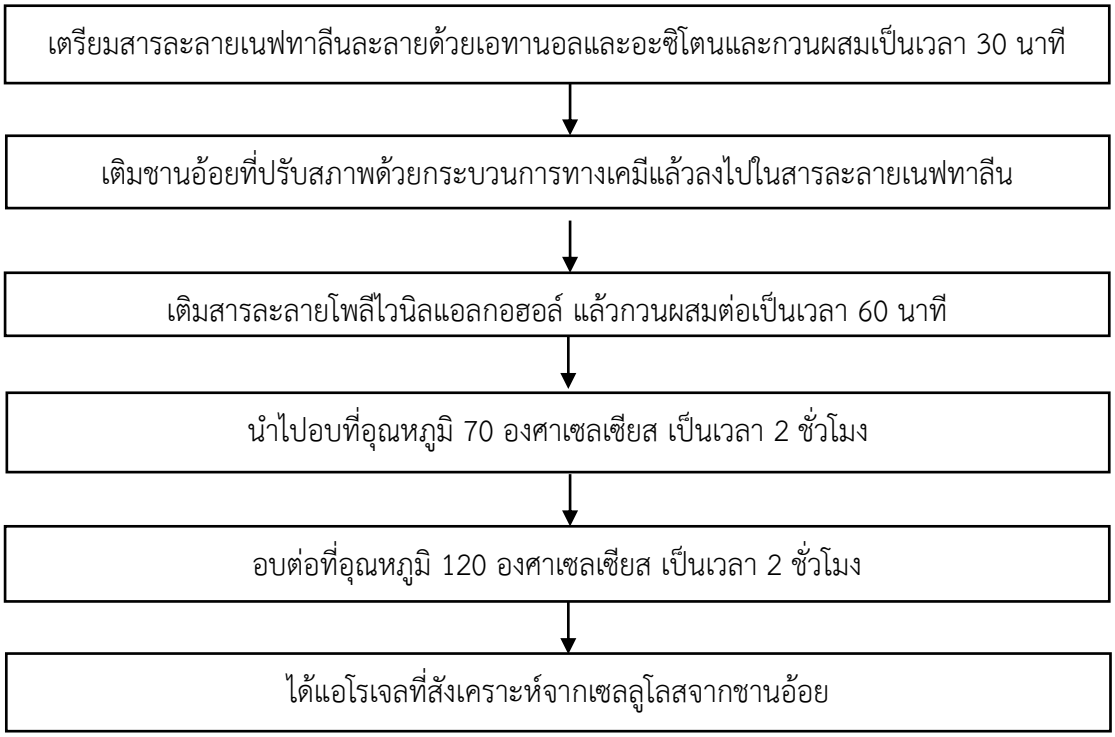
การปรับสภาพของเสียเซลลูโลสชานอ้อยจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล ซึ่งเลือกใช้ในศึกษาจากผลการศึกษาของ กนกวรรณ มหารัชมงคล (2558) ซึ่งการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ในการปรับสภาพเส้นใยมีการกระจายตัวได้ดีซึ่งส่งผลต่อการถูกกำจัดของเอมิเซลลูโลสซึ่งทำหน้าที่ผสานเส้นใยเข้าด้วยกันและสามารถกำจัดสิ่งสกปรกที่เจือปน อื่น ๆ ได้ดีที่ไม่ใช่เซลลูโลส ส่วนการปรับสภาพด้วยสารไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ พบว่าเส้นใยมีลักษณะรวมตัวกันเป็นแผ่นซึ่งเป็นผลจากเฮมิเซลลูโลส ซึ่งจะสามารถเห็นการกระจายตัวของเส้นใยได้อย่างชัดเจน ซึ่งมีรายละเอียดขั้นตอนการปรับสภาพของเสียภาคอุตสาหกรรมดังแสดงในรูปที่ 3.2 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการปรับสภาพของเสียภาคอุตสาหกรรม

3.2.2 การสังเคราะห์แอโรเจลจากเซลลูโลสชานอ้อย

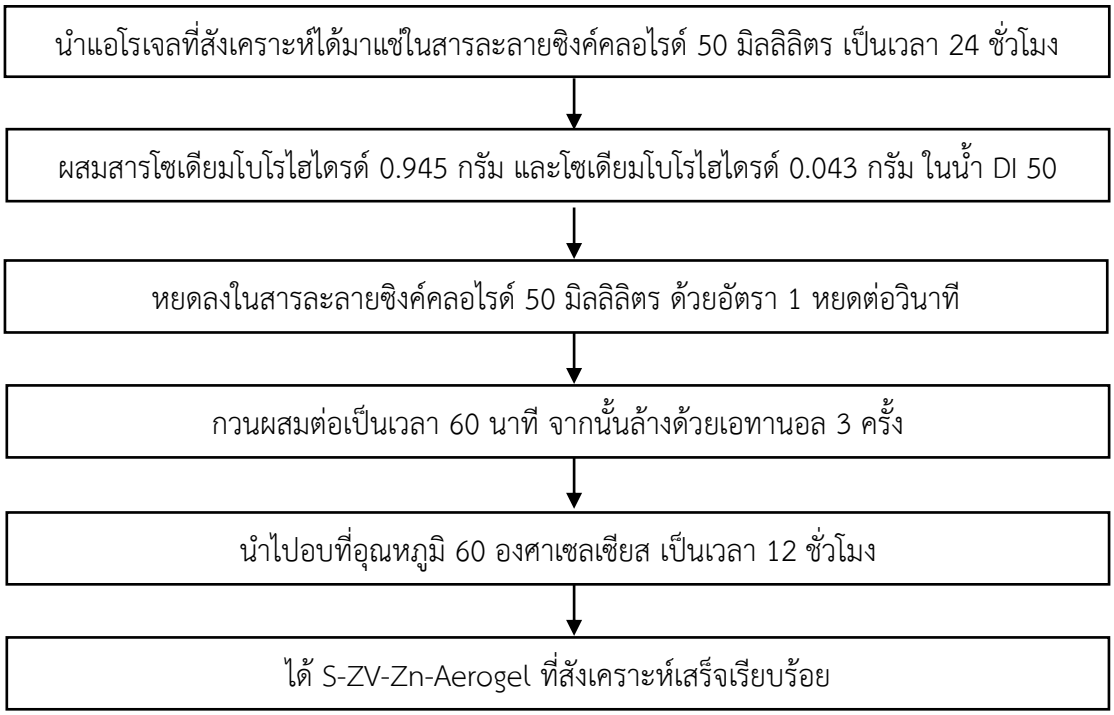
การสังคราะห์แอโรเจลจากเซลลูโลสชานอ้อย สามารถทำได้จากเตรียมสารละลายเนฟทาลีน ซึ่งละลายสารด้วยเอทานอลและอะซิโตนกวนผสมและให้ความร้อนที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ซึ่งภาชนะที่บรรจุสารละลายจะต้องปิดให้มิดชิด เพื่อป้องกันการละเหยของสารละลายโดยต่อมาเติมเซลลูโลสชานอ้อยที่มีการปรับสภาพด้วยกระบวนการทางเคมีแล้วลงไปในสารละลายเนฟทาลีนที่ทำการเตรียมไว้ก่อนข้างต้น จากนั้นทำการเติมสารละลายโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ ลงไปแล้วกวนผสมต่อเป็นเวลา 60 นาที จนกว่าทำให้สารละลายทุกอย่างผสมเป็นเนื้อเดียวกัน จากนั้นเทสารละลายทั้งหมดลงในแม่พิมพ์ซิลิโคน แล้วตั้งแม่พิมพ์ซิลิโคนไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 120 นาที และนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อระเหยสารเอทานอลและอะซิโตน และไล่ความชื้นออก ต่อมานำไปอบต่อที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อระเหยสารเนฟทา เมื่อครบเวลาจะได้แอโรเจลจากของเสียเซลลูโลสจากภาคอุตสาหกรรม (Ebrahimi et al., 2020) มีรายละเอียดขั้นตอนการสังเคราะห์แอโรเจลจากของเสียเซลลูโลสจากภาคอุตสาหกรรมดังแสดงในรูปที่ 3.3 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการสังเคราะห์แอโรเจลจากของเสียเซลลูโลสชานอ้อย

3.2.3 การสังเคราะห์แอโรเจลที่ผสมกับสังกะสีประจุศูนย์ที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์ (S-ZV-Zn-Aerogel)

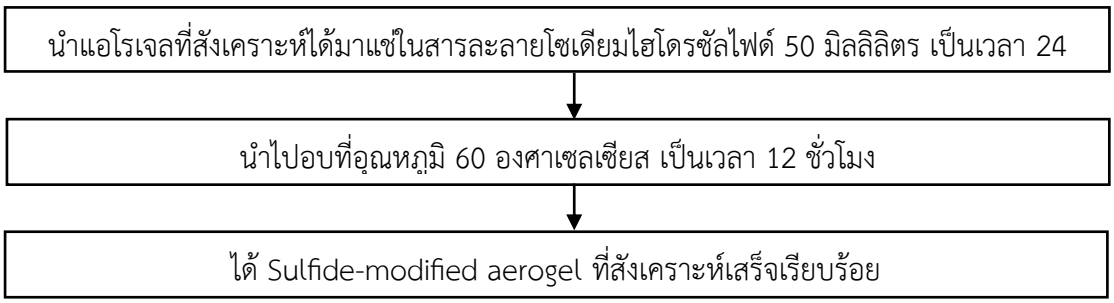
การสังเคราะห์แอโรเจลที่ผสมกับสังกะสีประจุศูนย์ที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์ สามารถทำได้จากการนำแอโรเจลจากของเสียเซลลูโลสชานอ้อยที่สังเคราะห์ได้จากหัวข้อที่ 3.2.2 โดยนำแอโรเจลมาแช่ในสารละลายซิงค์คลอไรด์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ภาชนะที่บรรจุสารละลายจะต้องปิดให้มิดชิดโดยแช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ต่อมาทำเตรียมสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ 0.945 กรัม ผสมกับสารละลายโซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ 0.043 กรัม โดยละลายกับน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ไล่ออกซิเจนด้วยแก๊สไนโตรเจน และกวนผสมเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นทำการหยดสารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์และโซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ ที่เตรียมไว้หยดลงในสารละลายซิงค์คลอไรด์ที่มีแอโรเจลแช่อยู่ ซึ่งหยดด้วยอัตราการไหล 1 หยดต่อวินาที จากนั้นกวนผสมต่อเป็นเวลา 60 นาที เมื่อครบเวลาแล้วนำแอโรเจลมาล้างด้วยเอทานอล จำนวน 3 ครั้ง จากนั้นนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาจะได้ S-ZV-Zn-Aerogel ที่สังเคราะห์เสร็จเรียบร้อย (Khani et al., 2019) มีรายละเอียดขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.4 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.4 การสังเคราะห์แอโรเจลที่ผสมกับสังกะสีประจุศูนย์ที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์

3.2.4 การสังเคราะห์แอโรเจลที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์ (Sulfide-modified aerogel)

การสังเคราะห์แอโรเจลที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์ สามารถทำได้จากการนำแอโรเจลจากของเสียเซลลูโลสชานอ้อยที่สังเคราะห์ได้จากหัวข้อที่ 3.2.2 โดยนำแอโรเจลมาแช่ในสารละลายโซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ภาชนะที่บรรจุสารละลายจะต้องปิดให้มิดชิดโดยแช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาจะได้ Sulfide-modified aerogel ที่สังเคราะห์เสร็จเรียบร้อย มีรายละเอียดขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.5 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.5 การสังเคราะห์แอโรเจลที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์

3.2.4 การวิเคราะห์คุณลักษณะสมบัติด้วยเครื่องมือต่าง ๆ

การวิเคราะห์คุณลักษณะสมบัติของแอโรเจลที่ผสมกับสังกะสีประจุศูนย์ที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์จากเซลลูโลสชานอ้อย ซึ่งจะทำการศึกษาคุณลักษณะสมบัติของแอโรเจลและแอโรเจลผสมกับสังกะสีประจุศูนย์ที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์ ประกอบด้วย การวิเคราะห์ด้วย SEM เป็นเทคนิคที่แสดงสัณฐานวิทยาและโครงสร้างของแอโรเจล การวิเคราะห์ด้วย FTIR เป็นการศึกษาลักษณะหมู่ฟังก์ชั่นของสารประกอบอินทรีย์ซึ่งมีการศึกษาลักษณะของเซลลูโลสชานอ้อยและองค์ประกอบอื่นๆ การวิเคราะห์ด้วย XRD เป็นเทคนิคการศึกษาโครงสร้างผลึกของเซลลูโลส การวิเคราะห์ด้วย BET เป็นการศึกษาพื้นที่ผิวจำเพาะของแอโรเจล และการวิเคราะห์ด้วย XTM เป็นเทคนิคที่ให้ผลวิเคราะห์ในรูปแบบภาพตัดขวางของตัวอย่างทึบแสงได้โดยไม่ทำลายตัวอย่าง สามารถนำไปวิเคราะห์คุณลักษณะและโครงสร้าง เช่น ความพรุน ตำหนิรอยร้าว หรือการกระจายขององค์ประกอบภายในของตัวอย่างได้แบบสามมิติ ซึ่งแสดงดังตารางที่ 3.1 ดังต่อไปนี้

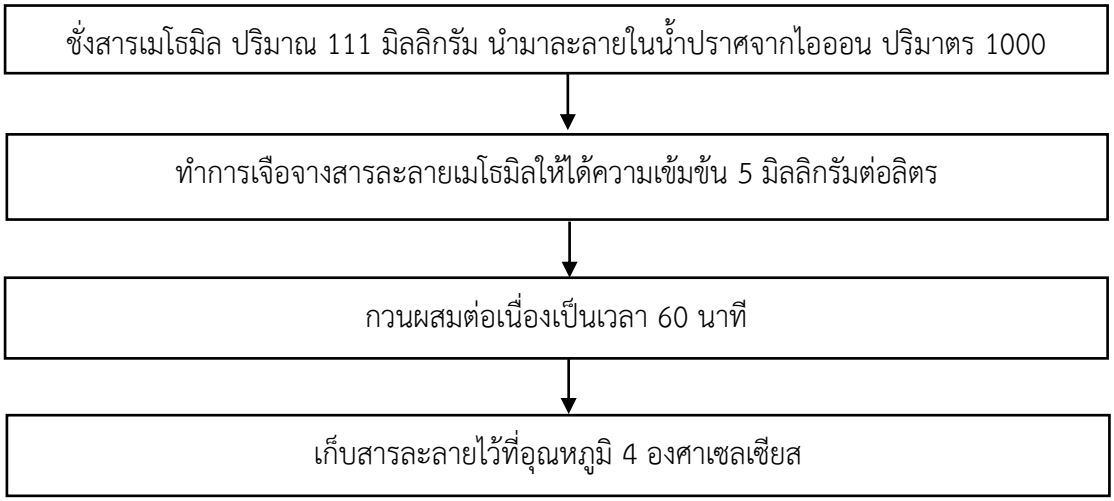
ตารางที่ 3.1 วิเคราะห์คุณลักษณะสมบัติด้วยเครื่องมือต่างๆ

คุณลักษณะสมบัติ	เทคนิคที่ใช้
สัณฐานวิทยาและโครงสร้างของแอโรเจล	เครื่องวิเคราะห์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)
หมู่ฟังก์ชั่นของสารประกอบอินทรีย์	เครื่องวิเคราะห์ฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟาเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FTIR)
โครงสร้างผลึกของเซลลูโลส	เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD)
พื้นที่ผิวจำเพาะของแอโรเจล	เครื่องวิเคราะห์พื้นที่ผิวและหาความพรุนของอนุภาค (BET)
การกระจายขององค์ประกอบภายในของตัวอย่างได้แบบสามมิติ	เครื่องวิเคราะห์ถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์สามมิติระดับจุลภาคด้วยเอกซเรย์ย่านพลังงานสูงจากแหล่งกำเนิดแสงซินโครตรอน (XTM)
วิเคราะห์ความเข้มข้นของสารเมโธมิล	เครื่องวิเคราะห์โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC)

3.3 การบำบัดสารเมโธมิล

3.3.1 การเตรียมสารละลายเมโธมิล

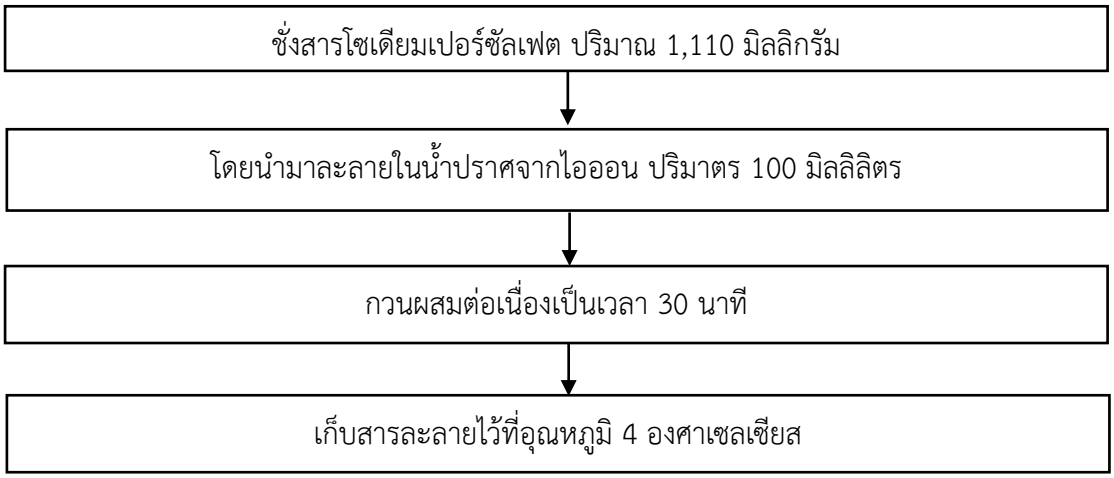
การเตรียมละลายเมโธมิลจะเตรียมที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งทำการชั่งสารเมโธมิล ปริมาณ 111 มิลลิกรัม โดยนำมาละลายในน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 1000 มิลลิลิตร จากนั้นทำการเจือจางสารละลายเมโธมิลให้ได้ความเข้มข้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อใช้ในการทำการทดลองและทำการกวนผสมต่อเนื่องเป็นเวลา 60 นาที จากนั้นเก็บสารละลายไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีรายละเอียดขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.6 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.6 การเตรียมสารละลายเมโธมิล

3.3.2 การเตรียมสารละลายโซเดียมเปอร์ซัลเฟต

การเตรียมละลายโซเดียมเปอร์ซัลเฟต จะเตรียมที่ความเข้มข้น 10,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งทำการชั่งสารโซเดียมเปอร์ซัลเฟต ปริมาณ 1,110 มิลลิกรัม โดยนำมาละลายในน้ำปราศจากไอออน ปริมาตร 100 มิลลิลิตร เพื่อใช้ในการทำการทดลองและทำการกวนผสมต่อเนื่องเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นเก็บสารละลายไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส มีรายละเอียดขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.7 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.7 การเตรียมสารละลายโซเดียมเปอร์ซัลเฟต

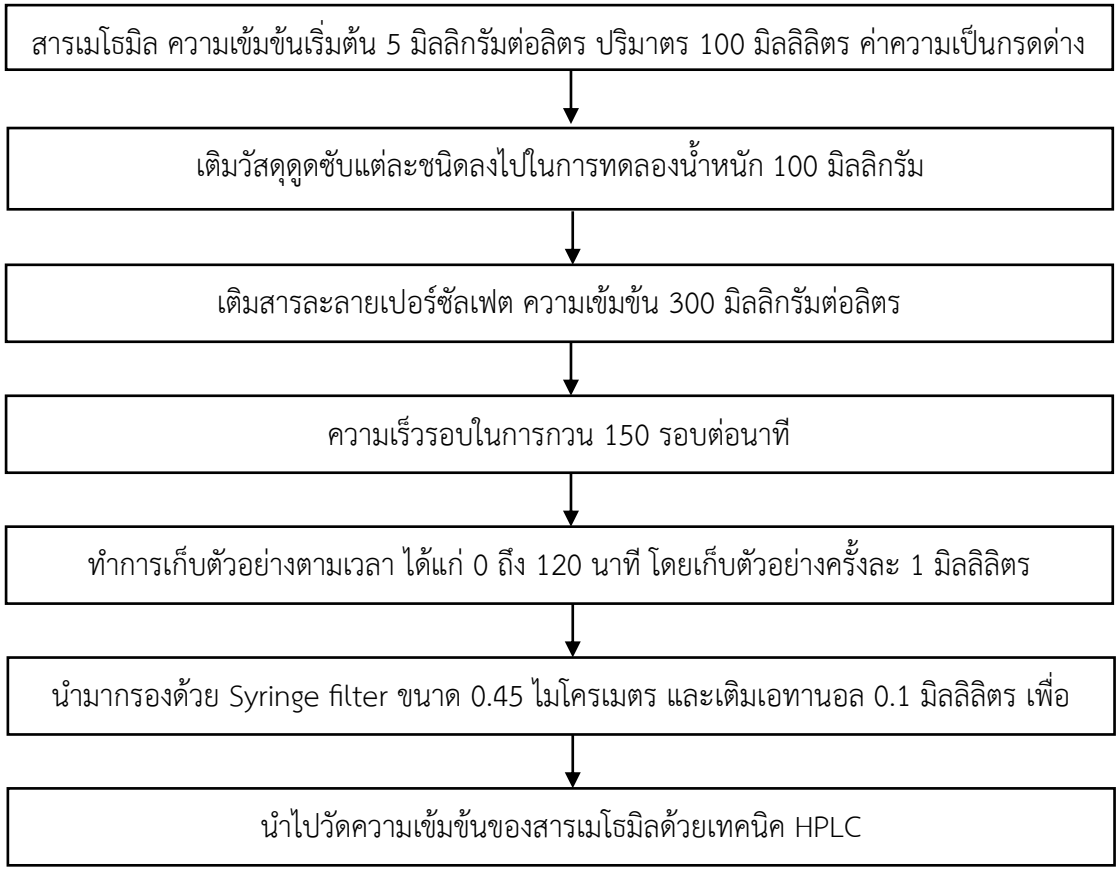
3.3.3 การศึกษาปัจจัยในการบำบัดสารเมโธมิล

การสังเคราะห์วัสดุดูดซับแอโรเจลและสังเคราะห์วัสดุดูดซับแอโรเจลที่ผสมสังกะสีประจุศูนย์ซัลไฟด์ ซึ่งประกอบด้วยส่วนของการกำจัดสารเมโธมิลร่วมกับสารเปอร์ซัลเฟต โดยในการกำจัดสารเมโธมิลร่วมกับสารเปอร์ซัลเฟตทำการศึกษาปัจจัยในการกำจัด ดังนี้ ชนิดของแอโรเจล ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารเปอร์ซัลเฟต ระยะเวลาสัมผัส ความเร็วรอบในการกวน และค่าความเป็นกรดด่าง ทำการตรวจวัดความเข้มข้นของสารเมโธมิลด้วยเทคนิค HPLC และศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสารเมโธมิลเปรียบเทียบกับเวลา ซึ่งแสดงตามปัจจัยที่กล่าวมาตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.3.3.1 การศึกษาชนิดของแอโรเจล

การทดลองศึกษาการบำบัดสารเมโธมิลร่วมกับสารเปอร์ซัลเฟต ซึ่งการทดลองเป็นแบบ Batch studies โดยใช้ภาชนะบรรจุปริมาตร 250 มิลลิลิตร โดยแต่ละชุดทดลองเติมสารละลายเมโธมิล ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 5 มิลลิกรัมต่อลิตร จากนั้นเติมสารละลายเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้น 300 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวัสดุแอโรเจลชนิดต่าง ๆ ได้แก่ (1) แอโรเจล (2) แอโรเจลผสมสังกะสีประจุศูนย์ที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์ และ (3) แอโรเจลที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์ โดยใช้วัสดุแต่ละชนิดในปริมาณ 100 มิลลิกรัม การทดลองทั้งหมดดำเนินภายใต้ความเร็วรอบในการกวนที่ 150 รอบต่อนาที และใช้ระยะเวลาสัมผัส 120 นาที มีการ

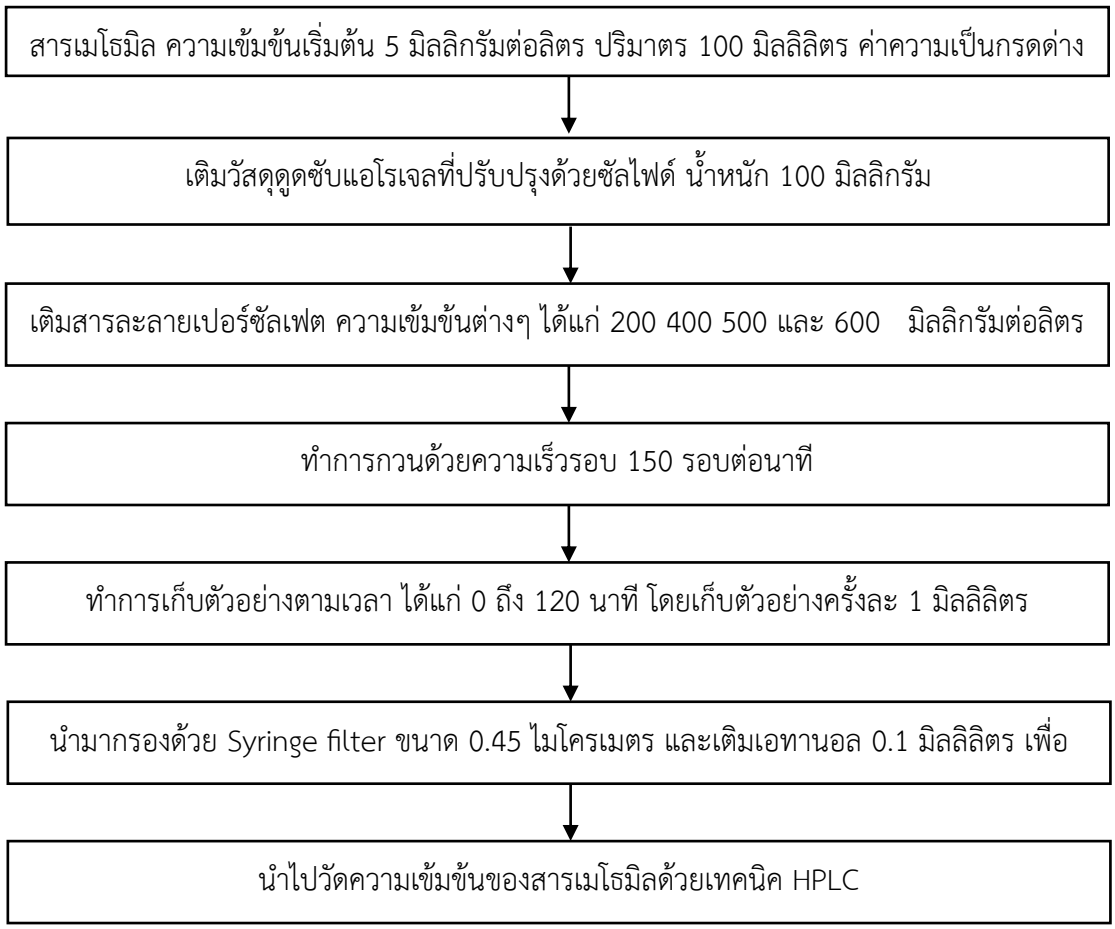
เก็บตัวอย่างน้ำในช่วงเวลาต่าง ๆ เพื่อนำไปวิเคราะห์ความเข้มข้นของเมโธมิลด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) ผลการทดลองแสดงไว้ในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 การศึกษาชนิดของแอโรเจล

3.3.3.2 การศึกษาความเข้มข้นของสารเปอร์ซัลเฟต

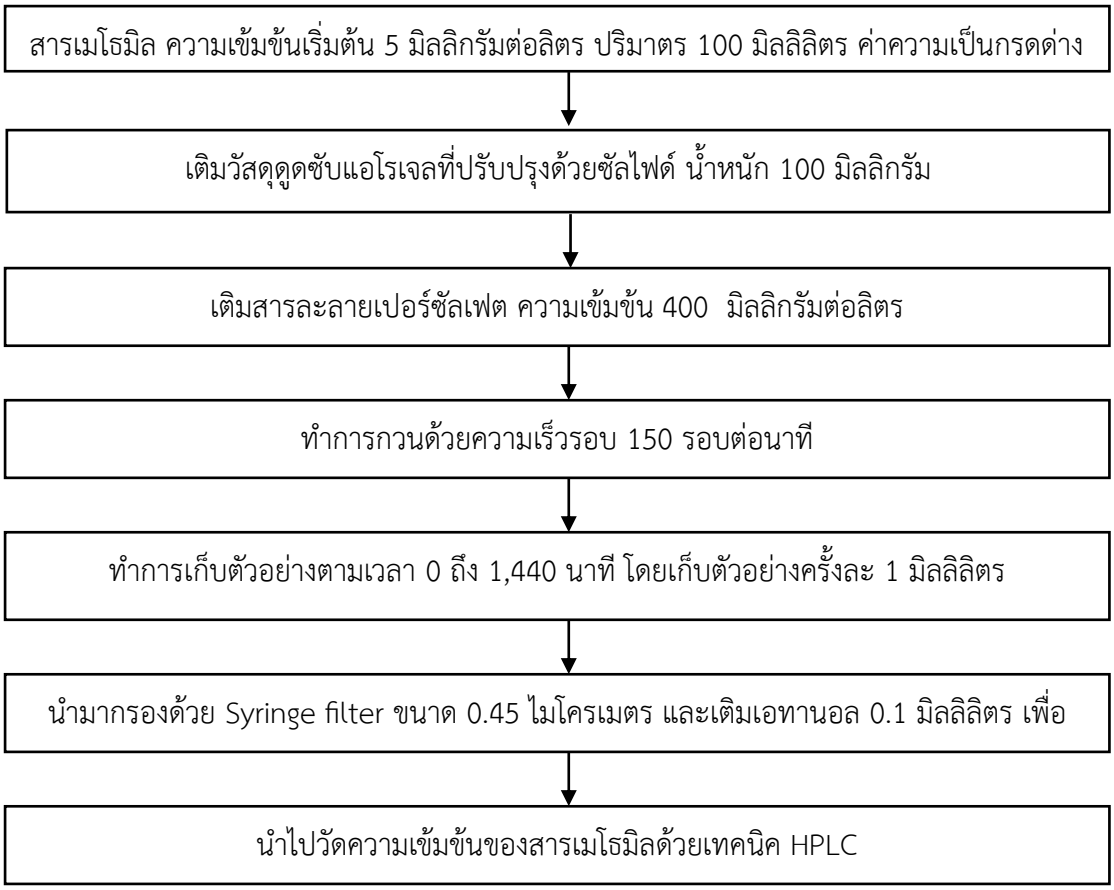
การทดลองการศึกษาการบำบัดสารเมโธมิลร่วมกับสารเปอร์ซัลเฟตด้วยแอโรเจลที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์ ซึ่งการทดลองเป็นแบบ Batch studies ในภาชนะบรรจุ ขนาด 250 มิลลิลิตร โดยสารเมโธมิลในการทดลองมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ซึ่งสารเมโธมิลมีความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมสารละลายเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน ได้แก่ 200, 400 500 และ 600 มิลลิกรัมต่อลิตร และนำวัสดุดูดซับแอโรเจลที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์ เติมลงในการทดลองด้วยน้ำหนัก 100 มิลลิกรัม และในการทดลองมีการกวนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที โดยใช้ระยะเวลาในการสัมผัส 120 นาที ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างน้ำตามเวลา จากนั้นวิเคราะห์ความเข้มข้นของเมโธมิลด้วยเทคนิค HPLC แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 การศึกษาความเข้มข้นของสารเปอร์ซัลเฟต

3.3.3.3 การศึกษาระยะเวลาในการสัมผัส

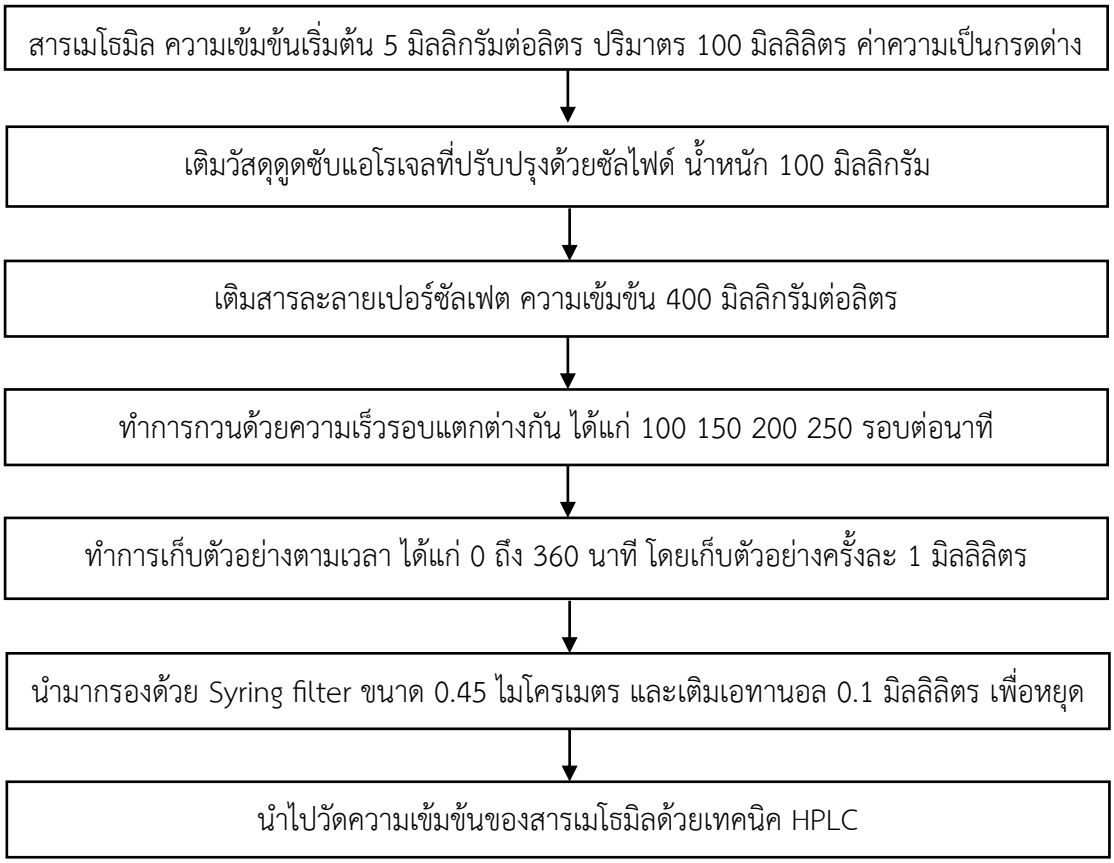
การทดลองการศึกษาการบำบัดสารเมโธมิลร่วมกับสารเปอร์ซัลเฟตด้วยแอโรเจลที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์ ซึ่งการทดลองเป็นแบบ Batch studies ในภาชนะบรรจุ ขนาด 250 มิลลิลิตร โดยสารเมโธมิลในการทดลองมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ซึ่งสารเมโธมิลมีความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมสารละลายเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร และนำวัสดุดูดซับแอโรเจลที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์ เติมลงในการทดลองด้วยน้ำหนัก 100 มิลลิกรัม และในการทดลองมีการกวนที่ความเร็วรอบ 150 รอบต่อนาที โดยใช้ระยะเวลาในการสัมผัส 1,440 นาที หรือ 24 ชั่วโมง ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างน้ำตามเวลา จากนั้นวิเคราะห์ความเข้มข้นของเมโธมิลด้วยเทคนิค HPLC แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การศึกษาระยะเวลาในการสัมผัส

3.3.3.4 การศึกษาความเร็วรอบในการกวน

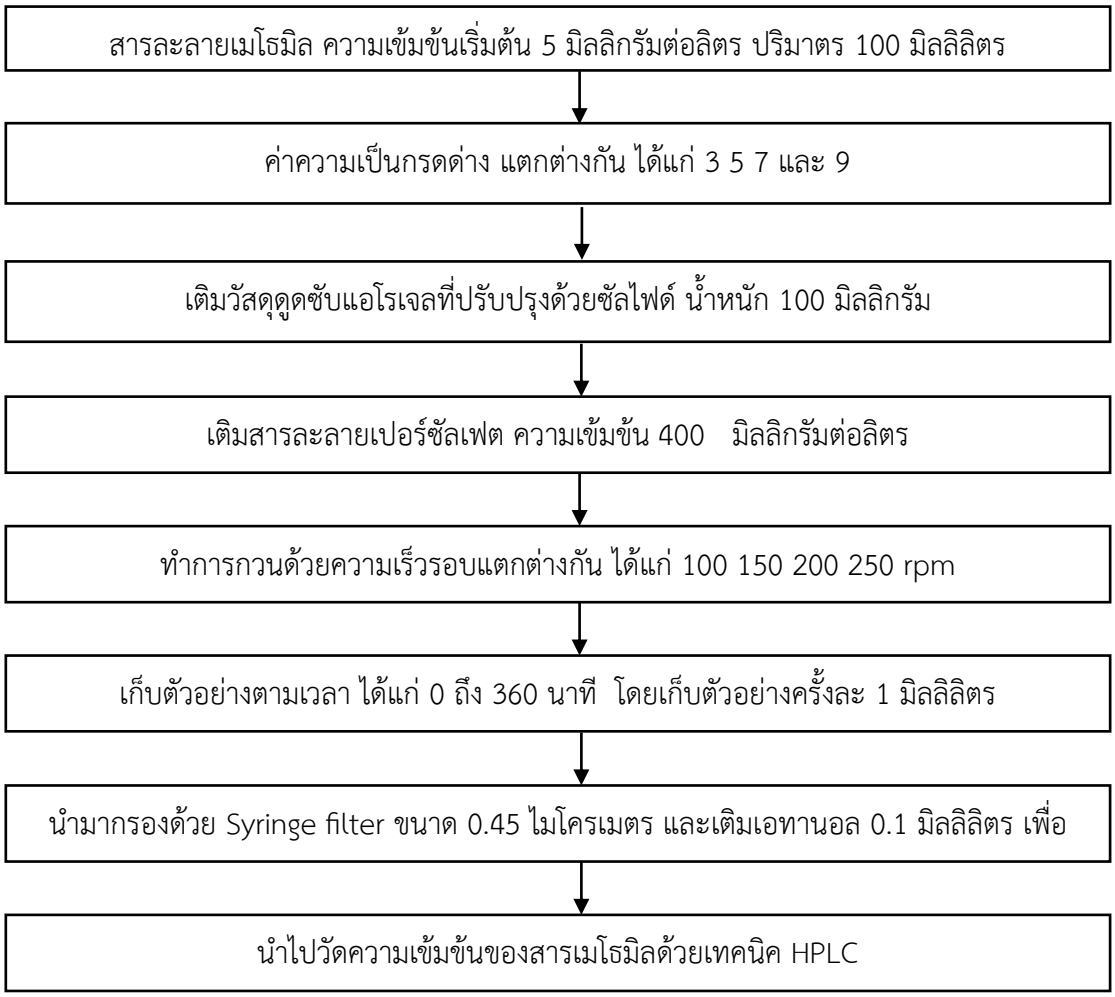
การทดลองการศึกษาการบำบัดสารเมโธมิลร่วมกับสารเปอร์ซัลเฟตด้วยแอโรเจลที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์ ซึ่งการทดลองเป็นแบบ Batch studies ในภาชนะบรรจุ ขนาด 250 มิลลิลิตร โดยสารเมโธมิลในการทดลองมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ซึ่งสารเมโธมิลมีความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร เติมสารละลายเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร และนำวัสดุดูดซับแอโรเจลที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์ เติมลงในการทดลองด้วยน้ำหนัก 100 มิลลิกรัม และในการทดลองมีการกวนความเร็วรอบที่แตกต่างกัน ได้แก่ ความเร็วรอบในการกวน ได้แก่ 100 150 200 และ 250 รอบต่อนาที โดยใช้ระยะเวลาในการสัมผัส 360 นาที หรือ 6 ชั่วโมง ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างน้ำตามเวลา จากนั้นวิเคราะห์ความเข้มข้นของเมโธมิลด้วยเทคนิค HPLC แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 การศึกษาความเร็วรอบในการกวน

3.3.3.5 การศึกษาค่าความเป็นกรดด่าง

การทดลองการศึกษาการบำบัดสารเมโธมิลร่วมกับสารเปอร์ซัลเฟตด้วยแอโรเจลที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์ ซึ่งการทดลองเป็นแบบ Batch studies ในภาชนะบรรจุ ขนาด 250 มิลลิลิตร โดยสารเมโธมิลในการทดลองมีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ซึ่งสารเมโธมิลมีความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรดด่างที่แตกต่างกัน ได้แก่ 3 5 7 และ 9 เติมสารละลายเปอร์ซัลเฟตที่ความเข้มข้น 400 มิลลิกรัมต่อลิตร และนำวัสดุดูดซับแอโรเจลที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์ เติมลงในการทดลองด้วยน้ำหนัก 100 มิลลิกรัม และในการทดลองมีการกวนตามความเร็วรอบที่แตกต่างกัน ได้แก่ 100 150 200 250 รอบต่อนาที โดยใช้ระยะเวลาในการสัมผัส 360 นาที ซึ่งทำการเก็บตัวอย่างน้ำตามเวลา จากนั้นวิเคราะห์ความเข้มข้นของเมโธมิลด้วยเทคนิค HPLC แสดงดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การศึกษาค่าความเป็นกรดด่าง

3.4 การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของสารเมโธมิล

การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของสารเมโธมิลด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง รุ่น HPLC 1260 DAD_FLD เป็นเทคนิควิเคราะห์ที่ใช้สำหรับแยก ระบุ และวัดปริมาณของสารประกอบในตัวอย่าง โดยอาศัยหลักการของการเคลื่อนที่ผ่านเฟสที่แตกต่างกัน (Phase Separation) ซึ่งประกอบด้วยเฟสเคลื่อนที่ (Mobile Phase) และเฟสอยู่กับที่ (Stationary Phase) ซึ่งมีการเตรียมสารละลายมาตรฐานสารละลายเมโธมิลที่ความเข้มข้น 0.5 1 2.5 5 10 20 และ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร นำมาวิเคราะห์เพื่อสร้างเป็นกราฟมาตรฐานของสารละลายเมโธมิล ซึ่งในการทดลองใช้สภาวะที่เหมาะสมตามตารางที่ 3.2 จากนั้นจะทำการศึกษาประสิทธิภาพการบำบัดสารเมโธมิลเปรียบเทียบกับเวลา

ตารางที่ 3.2 การวิเคราะห์สารละลายเมโธมิลด้วยเทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง

ตัวแปร	**สภาวะที่เหมาะสม**
1.คอลัมน์	Hypersil ODS, C18 (5 ไมโครเมตร, 4.0✕ 250 นาโนเมตร)
2.สัดส่วนเฟสเคลื่อนที่	A (ร้อยละ 65) คือ อะซิโตนไนไตรท์ B (ร้อยละ 35) คือ น้ำปราศจากไอออน
3.ปริมาณของสารที่ฉีดเข้าเครื่อง	20 ไมโครลิตร
4.อัตราการไหล	0.5 มิลลิลิตรต่อนาที
5.ระยะเวลาการวิเคราะห์ตั้งต้น	15 นาที
6.ความยาวคลื่น	234 นาโนเมตร

คำนวณประสิทธิภาพการบำบัดสารละลายเมโธมิล

ประสิทธิภาพ (Efficiency) = $\frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100$

เมื่อ C_0 = ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายเมโธมิล

C_t = ความเข้มข้นของสารละลายเมโธมิลหลังการทดลอง ตามเวลาต่าง ๆ