บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ปัจจุบันภาคเกษตรกรรมของประเทศไทยมีการพึ่งพาเทคโนโลยีและการใช้สารเคมีในปริมาณที่มากขึ้น เพื่อเพิ่มผลผลิตทางการเกษตรให้สามารถแข่งขันได้ในระดับตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศ หนึ่งในองค์ประกอบสำคัญที่มีการนำมาใช้ในระบบเกษตรกรรม คือ สารเคมีกำจัดศัตรูพืชและสารเคมีกำจัดวัชพืช โดยสารกำจัดศัตรูพืชที่นิยมใช้และมีประสิทธิภาพสูง ได้แก่ คาร์โบฟูราน คลอร์ไพริฟอส และเมโธมิล เป็นต้น

สารเมโธมิล (Methomyl) เป็นหนึ่งในสารที่ได้รับความนิยมในวงการเกษตร เนื่องจากมีประสิทธิภาพในการกำจัดศัตรูพืชได้รวดเร็วและครอบคลุม อย่างไรก็ตามการใช้สารเคมีเหล่านี้หากขาดความรู้ ความเข้าใจ และการควบคุมที่เหมาะสมจะส่งผลให้เกิดปัญหาการปนเปื้อนในสิ่งแวดล้อมอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ สารเมโธมิลจัดอยู่ในกลุ่มสารเคมีกำจัดศัตรูพืชประเภทคาร์บาเมต ซึ่งมีคุณสมบัติในการออกฤทธิ์ต่อระบบประสาท โดยกลไกหลักคือการยับยั้งเอนไซม์อะเซทิลโคลีนเอสเตอเรส (Acetylcholinesterase, AChE) ส่งผลให้ระบบประสาทของศัตรูพืชทำงานผิดปกติจนถึงขั้นเสียชีวิต และส่งผลต่อความเป็นพิษต่อมนุษย์และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมอยู่ในระดับสูงเช่นกัน อย่างไรก็ตามองค์การอนามัยโลก (WHO) จัดให้สารเมโธมิลอยู่ในกลุ่ม Class Ib ซึ่งเป็นสารที่มีความเป็นอันตรายสูง การได้รับสารเมโธมิลในปริมาณมากสามารถทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน อ่อนแรง ชักเกร็ง และอาจถึงแก่ชีวิตได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อตกค้างในแหล่งน้ำธรรมชาติหรือแหล่งน้ำใต้ดิน ซึ่งสารเมโธมิลมีค่าการละลายน้ำที่สูงทำให้สามารถแพร่กระจายได้อย่างรวดเร็วและกว้างขวางสามารถส่งผลกระทบเชิงลบต่อสิ่งแวดล้อม ระบบนิเวศและสุขภาพของประชาชนในระยะยาวได้ (Van Scoy et al., 2013) ปัญหาการปนเปื้อนของสารเมโธมิลในน้ำจึงกลายเป็นประเด็นสำคัญที่จำเป็นต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วนโดยเฉพาะในพื้นที่เกษตรกรรมที่มีการใช้สารดังกล่าวในปริมาณมาก แนวทางการกำจัดสารเมโธมิลจากแหล่งน้ำมีหลากหลายวิธี ได้แก่ กระบวนการตกตะกอน (Misra et al., 2013) กระบวนการกรองทางกายภาพ (El-Geundi et al., 2013) กระบวนการทางชีวภาพ (Lin et al., 2020) กระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง (Fan et al., 2009) และกระบวนการดูดซับ (Chang et al., 2012)

โดยในปัจจุบันกระบวนการดูดซับ (Adsorption) ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางเนื่องจากเป็นวิธีการที่เรียบง่าย มีประสิทธิภาพสูง และเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม โดยสามารถใช้วัสดุธรรมชาติหรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรในการผลิตวัสดุดูดซับที่มีต้นทุนต่ำและสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ นอกจากนี้กระบวนการดูดซับยังสามารถปรับปรุงและพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารมลพิษต่าง ๆ จากน้ำเสีย (Wu et al., 2023) วัสดุดูดซับที่นิยมใช้ในการบำบัดน้ำเสียโดยเฉพาะวัสดุที่สังเคราะห์ได้จากธรรมชาติและวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมีความสนใจเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากมีต้นทุนต่ำ หาง่ายในท้องถิ่นและมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารมลพิษ ซึ่งวัสดุที่นิยม

นำมาใช้ ได้แก่ ถ่านกัมมันต์ ไบโอชาร์ วัสดุอนินทรีย์ เป็นต้น ในบรรดาวัสดุดูดซับที่มีศักยภาพสูง แอโรเจล (aerogel) ถือเป็นวัสดุที่โดดเด่นเนื่องจากเป็นวัสดุที่มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูงและมีความหนาแน่นต่ำ (Rafieian et al., 2024) ซึ่งลักษณะเฉพาะเหล่านี้เอื้อต่อการดูดซับสารเคมีปนเปื้อนในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ อย่างไรก็ตามแอโรเจลสามารถสังเคราะห์ได้จากเซลลูโลส ซึ่งเป็นวัสดุชีวภาพที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม และสามารถผลิตได้จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรด้วยคุณสมบัติดังกล่าวเซลลูโลสแอโรเจลจึงเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพสำหรับการพัฒนาเป็นวัสดุดูดซับเพื่อใช้ในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย หนึ่งในแหล่งวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตเซลลูโลสคือชานอ้อยเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตน้ำตาล โดยชานอ้อยมีปริมาณเซลลูโลสสูงถึงประมาณร้อยละ 45 ของน้ำหนักแห้ง (Rocha et al., 2011) ด้วยเหตุนี้ชานอ้อยจึงถือเป็นวัตถุดิบที่เหมาะสมในการนำมาสกัดเซลลูโลสที่มีคุณภาพสูงเพื่อใช้ในการสังเคราะห์เซลลูโลสแอโรเจลต่อไป ทั้งนี้การนำชานอ้อยมาสกัดเป็นเซลลูโลสและนำมาสังเคราะห์เป็นแอโรเจลไม่เพียงแต่ช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือทิ้งเท่านั้นแต่ยังเป็นการส่งเสริมแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียนอย่างยั่งยืนอีกด้วย อย่างไรก็ตามการสังเคราะห์เซลลูโลสแอโรเจลสามารถทำได้หลายวิธีโดยวิธีที่นิยมและเหมาะสมสำหรับการประยุกต์ในระดับอุตสาหกรรมโดยการทำแห้งด้วยแรงดันแวดล้อมบรรยากาศ ซึ่งเป็นเทคนิคที่ง่าย ปลอดภัย ไม่ต้องใช้ความดันสูง และประหยัดพลังงาน (Ebrahimi et al.,2020) โดยแอโรเจลที่สังเคราะห์ด้วยวิธีการทำแห้งด้วยแรงดันแวดล้อมบรรยากาศนี้ยังคงคุณสมบัติโครงสร้างรูพรุนที่เหมาะสมต่อการดูดซับสารเคมีในน้ำเสีย แม้ว่าเซลลูโลสแอโรเจลมีคุณสมบัติที่ดีในการดูดซับสารพิษ แต่งานวิจัยในปัจจุบันมุ่งเน้นในการปรับปรุงเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยการเติมสารเคมีเพื่อช่วยกระตุ้นปฏิกิริยาออกซิเดชันและรีดักชันในระบบการกำจัดมลพิษ หนึ่งในสารที่ได้รับความสนใจคือสังกะสีประจุศูนย์ (Zero-valent Zinc, Zn^0) ซึ่งมีศักย์ไฟฟ้ามาตรฐานต่ำ (-0.763 โวลต์) (Yang et al., 1982) สามารถปล่อยอิเล็กตรอนได้ง่ายและกระตุ้นการรีดิวซ์ของสารพิษในน้ำได้ดี จุดเด่นของสังกะสีประจุศูนย์ ได้แก่ ความเป็นพิษต่ำ ความสามารถในการย่อยสลายทางชีวภาพ และต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับโลหะชนิดอื่น อย่างไรก็ตามสังกะสีประจุศูนย์มีข้อจำกัดคือ การเกิดออกซิเดชันเมื่อสัมผัสกับน้ำทำให้สูญเสียประสิทธิภาพ เพื่อแก้ไขข้อจำกัดดังกล่าวจึงมีการใช้ซัลไฟด์ (S^{2-}) เข้ามาช่วยสร้างชั้นป้องกันบนผิวของสังกะสีประจุศูนย์ ทำให้สามารถรักษาสถานะประจุศูนย์ได้นานขึ้นและยังเพิ่มเสถียรภาพของวัสดุในสภาวะน้ำเสีย นอกจากนี้การเติมซัลไฟด์ยังช่วยกระตุ้นการเกิดอนุมูลอิสระเมื่อใช้งานร่วมกับสารออกซิแดนท์ เช่น สารเปอร์ซัลเฟต (Persulfate) ซึ่งเป็นสารกระตุ้นที่นิยมในกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง โดยสังกะสีประจุศูนย์และซัลไฟด์จะช่วยกระตุ้นให้เปอร์ซัลเฟตแตกตัวเป็นอนุมูลอิสระซัลเฟต ($SO_4^{\bullet-}$) และอนุมูลอิสระไฮดรอกซิล ($^{\bullet}OH$) ซึ่งมีศักยภาพสูงในการออกซิไดซ์สารอินทรีย์ที่มีพิษ กลไกในการกำจัดเมโธมิลในงานวิจัยนี้จึงประกอบด้วยกระบวนการหลายระดับ ได้แก่ กลไกการดูดซับของแอโรเจลและกลไกการย่อยสลายทางเคมีผ่านปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจในการสังเคราะห์แอโรเจลจากของเสียอุตสาหกรรมน้ำตาลผสมสังกะสีประจุศูนย์ที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์ เพื่อนำไปทำปฏิกิริยากับสารเปอร์ซัลเฟตในการกำจัดสารเมโธมิล โดยจะใช้เซลลูโลสที่ได้จากชานอ้อย เพื่อศึกษาการสังเคราะห์แอโรเจลผสมกับสังกะสีประจุศูนย์ที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์ ขั้นตอนแรกนำชานอ้อยจากมาทำการปรับสภาพทางเคมี เพื่อให้ได้

เซลลูโลสก่อนจากนั้นนำไปสู่ขั้นตอนการสังเคราะห์แอโรเจลและนำแอโรเจลไปผสมกับสังกะสีประจุศูนย์ที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์ ซึ่งการนำแอโรเจลมาผสมสังกะสีประจุศูนย์เพื่อเพิ่มความสามารถในการให้อิเล็กตรอนและการปรับปรุงด้วยซัลไฟด์เพื่อเพิ่มการถ่ายโอนอิเล็กตรอนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งการเติมสังกะสีประจุศูนย์และเติมซัลไฟด์ยังช่วยในการกระตุ้นสารเปอร์ซัลเฟตให้เกิดเป็นอนุมูลอิสระซัลเฟตและอนุมูลอิสระไฮดรอกซิลอีกด้วย จากนั้นทำการศึกษาคุณลักษณะสมบัติของแอโรเจลด้วยเทคนิคต่าง ๆ ได้แก่ SEM FTIR XRD BET และ XTM และทำการศึกษาการกำจัดสารเมโธมิลร่วมกับสารเปอร์ซัลเฟตที่สภาวะปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่ ชนิดของแอโรเจล ความเข้มข้นของสารเปอร์ซัลเฟต ระยะเวลาสัมผัส ความเร็วรอบในการกวน และค่าความเป็นกรดด่าง ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการบูรณาการความรู้ด้านวัสดุศาสตร์ เคมีสิ่งแวดล้อม และเทคโนโลยีการบำบัดน้ำ เพื่อนำของเสียจากภาคอุตสาหกรรมมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดผ่านการพัฒนาเซลลูโลสแอโรเจลที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสารเมโธมิลและสามารถประยุกต์ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสียได้ในอนาคตอย่างยั่งยืน

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาการสังเคราะห์แอโรเจลจากชานอ้อยผสมกับสังกะสีประจุศูนย์ที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์

1.2.2 เพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดเมโธมิลด้วยแอโรเจลผสมกับสังกะสีประจุศูนย์ที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 งานวิจัยนี้จะใช้ชานอ้อยจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลเพื่อสังเคราะห์แอโรเจล

1.3.2 งานวิจัยนี้ทำการสังเคราะห์แอโรเจลด้วยวิธีทำแห้งด้วยแรงดันแวดล้อม

1.3.3 ปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการกำจัดเมโธมิลที่ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ ได้แก่ ชนิดของแอโรเจล ความเข้มข้นของสารเปอร์ซัลเฟต ระยะเวลาสัมผัส ความเร็วรอบในการกวน และค่าความเป็นกรดด่าง

1.4 สมมุติฐานของงานวิจัย

1.4.1 แอโรเจลที่ผสมกับสังกะสีประจุศูนย์และปรับปรุงด้วยซัลไฟด์มีความสามารถในการกำจัดเมโธมิลได้มากกว่าแอโรเจลที่ไม่มีการผสมสังกะสีประจุศูนย์และไม่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์

1.4.2 แอโรเจลที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์สามารถกระตุ้นเปอร์ซัลเฟสในการกำจัดสารเมโธมิลได้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ชานอ้อยสามารถสังเคราะห์เป็นวัสดุดูดซับแอโรเจลลที่ผสมกับสังกะสีประจุศูนย์ที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์ได้

1.5.2 ได้สภาวะที่เหมาะสมที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพการกำจัดสารเมโธมิล เช่น ชนิดของแอโรเจล ความเข้มข้นของสารเปอร์ซัลเฟต ระยะเวลาสัมผัส ความเร็วรอบในการกวน และค่าความเป็นกรดด่าง

1.5.3 วัสดุดูดซับแอโรเจลลที่ผสมกับสังกะสีประจุศูนย์ที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกำจัดสารเมโธมิลได้