

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ณ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.4 สมมติฐานงานวิจัย.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2 ปรัชญาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 สารก่อกำจัดศัตรูพืช.....	5
2.2 เมโธมิล	11
2.2.1 คุณสมบัติทางเคมี	11
2.2.2 การนำไปใช้ในทางการเกษตร	11
2.2.3 การสลายตัวของเมโธมิล	12
2.2.4 ค่ามาตรฐานการปนเปื้อนของสารเมโธมิลในสิ่งแวดล้อม	13
2.3 แอโรเจล.....	14
2.3.1 การจำแนกประเภทและสมบัติของแอโรเจล.....	15
2.3.2 เซลลูโลสแอโรเจล	16
2.3.3 กระบวนการสังเคราะห์แอโรเจล	16
2.3.4 การประยุกต์ใช้แอโรเจลในด้านสิ่งแวดล้อม	17
2.4 การสังเคราะห์สังกะสีประจุศูนย์.....	18
2.4.1 สังกะสีประจุศูนย์.....	18
2.4.2 การสังเคราะห์สังกะสีประจุศูนย์	19

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5	สังกะสีที่ดัดแปลงด้วยซัลไฟด์	20
2.6	กระบวนการออกซิเดชันด้วยสารเปอร์ซัลเฟต	21
2.7	จลนพลศาสตร์การดูดซับ	24
2.7.1	สมการอัตราเร็วปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเทียม	24
2.7.2	สมการอัตราเร็วปฏิกิริยาอันดับสองเทียม	25
2.8	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
2.8.1	การปรับสภาพของเสียเซลลูโลส	26
2.8.2	การใช้เซลลูโลสแอโรเจลในการกำจัดมลพิษโดยวิธีการทำแห้ง ด้วยแรงดันแวดล้อม	29
2.8.3	การใช้สังกะสีประจุศูนย์ในการกำจัดมลพิษ	31
2.8.4	การใช้สารเปอร์ซัลเฟตในการกำจัดมลพิษ	33
2.8.5	การบำบัดสารเมไธมิลด้วยกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง	36
3	การศึกษาดำเนินงาน	39
3.1	สารเคมี เครื่องมือ และอุปกรณ์	41
3.1.1	สถานที่ทำการศึกษาวิจัย	41
3.1.2	เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	41
3.2	การสังเคราะห์แอโรเจลจากของเสียภาคอุตสาหกรรม	41
3.2.1	การปรับสภาพของเสียเซลลูโลสจากภาคอุตสาหกรรม	41
3.2.2	การสังเคราะห์แอโรเจลจากของเสียเซลลูโลสจากภาคอุตสาหกรรม	43
3.2.3	การสังเคราะห์แอโรเจลที่ผสมกับสังกะสีประจุศูนย์ที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์	44
3.2.4	การสังเคราะห์แอโรเจลที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์	45
3.2.5	การวิเคราะห์คุณลักษณะสมบัติด้วยเครื่องมือต่าง ๆ	45
3.3	การบำบัดสารเมไธมิล	46
3.3.1	การเตรียมสารละลายเมไธมิล	46
3.3.2	การเตรียมสารละลายโซเดียมเปอร์ซัลเฟต	47
3.3.3	การศึกษาปัจจัยในการบำบัดสารเมไธมิล	47
3.4	การวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นของสารเมไธมิล	52
4	ผลการทดลองและอภิปราย	54
4.1	ส่วนการศึกษาคูณลักษณะสมบัติ	54
4.1.1	เทคนิควิเคราะห์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)	54
4.1.2	เทคนิควิเคราะห์ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (FTIR)	56

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.3	เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD).....59
4.1.4	เทคนิควิเคราะห์พื้นที่ผิวและหาความพรุนของอนุภาค (BET)61
4.1.5	เทคนิควิเคราะห์ถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์สามมิติระดับจุลภาค ด้วยเอกซเรย์ย่านพลังงานสูงจากแหล่งกำเนิดแสงซินโครตรอน (XTM)....62
4.2	ส่วนการศึกษาการบำบัดสารเมไธมิล65
4.2.1	ผลของการศึกษาชนิดของแอโรเจลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดเมไธมิล.....65
4.2.2	ผลของการศึกษาความเข้มข้นของสารเปอร์ซัลเฟตต่อประสิทธิภาพ ในการกำจัดสารเมไธมิล.....66
4.2.3	ผลของการศึกษาระยะเวลาการสัมผัสต่อประสิทธิภาพในการกำจัด สารเมไธมิล.....67
4.2.4	ผลของการศึกษาผลของความเร็วยวรอบในการกวนต่อประสิทธิภาพ ในการกำจัดสารเมไธมิล.....68
4.2.5	ผลของการศึกษาผลของค่าความเป็นกรดต่างต่อประสิทธิภาพ ในการกำจัดสารเมไธมิล.....70
4.2.6	ผลการศึกษาจลนพลศาสตร์การกำจัดสารเมไธมิลร่วมกับสารเปอร์ซัลเฟต....71
4.2.7	กลไกของการกำจัดสารเมไธมิลด้วยแอโรเจลที่ปรับปรุงด้วยซิลไฟด์ ร่วมกับการเติมเปอร์ซัลเฟต74
5	สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....79
5.1	สรุปผลการวิจัย79
5.1.1	สรุปคุณลักษณะสมบัติของแอโรเจลผสมกับสังกะสีประจุศูนย์ ที่ปรับปรุงด้วยซิลไฟด์.....79
5.1.2	สรุปการศึกษาการบำบัดสารเมไธมิล.....80
5.2	ข้อเสนอแนะ82
รายการอ้างอิง 83
ภาคผนวก	
ก	ผลการบำบัดสารเมไธมิล.....92
ข	รูปประกอบการปรับสภาพของเสียขานอ้อยด้วยกระบวนการทางเคมี.....97
ค	รูปประกอบการสังเคราะห์แอโรเจล99
ง	รูปประกอบการสังเคราะห์แอโรเจลผสมกับสังกะสีประจุศูนย์ที่ปรับปรุงด้วยซิลไฟด์ 101
จ	บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา 103
ประวัติผู้เขียน 111

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ปริมาณการนำเข้าวัตถุดิบอันตรายทางการเกษตรของประเทศไทยปี พ.ศ. 25560 ถึง 2566	7
2.2	สารกำจัดศัตรูพืชและความเป็นพิษที่ต้องเฝ้าระวัง 12 ชนิด	8
2.3	สมบัติความเป็นพิษของสารกำจัดศัตรูพืชที่ต้องเฝ้าระวัง 12 ชนิด	9
2.4	อัตราการใช้เมโทมิลกับพืชชนิดต่างๆ ตามคำแนะนำในประเทศสหรัฐอเมริกา	12
2.5	การควบคุมทางกฎหมายเกี่ยวกับสารเมโทมิลของแต่ละประเทศ	14
2.6	การปรับสภาพของเสียเซลลูโลส	27
2.7	การสังเคราะห์เซลลูโลสแอรเจลในการกำจัดมลพิษโดยวิธีทำแห้งด้วยแรงดันแวดล้อม	30
2.8	การใช้สังกะสีประจุศูนย์ในการกำจัดมลพิษ	32
2.9	การใช้สารเปอร์ซัลเฟตในการกำจัดมลพิษ	34
2.10	การบำบัดสารเมโทมิลด้วยกระบวนการออกซิเดชันขั้นสูง	38
3.1	วิเคราะห์คุณลักษณะสมบัติด้วยเครื่องมือต่าง ๆ	46
3.2	การวิเคราะห์สารละลายเมโทมิลด้วยเทคนิค (HPLC)	53
4.1	ค่าดัชนีผลึกของชานอ้อยและเซลลูโลสจากชานอ้อย	60
4.2	พื้นที่ผิวของแอรเจล และแอรเจลที่ผสมกับสังกะสีประจุศูนย์ที่ปรับปรุงด้วยซัลไฟด์	61
4.3	การศึกษาจลนพลศาสตร์เกี่ยวกับความเข้มข้นของสารเปอร์ซัลเฟตต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารเมโทมิล	72

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	จำนวนงานเกี่ยวกับแอโรเจลที่ถูกตีพิมพ์ในแต่ละปีที่ผ่านมา	15
2.2	โครงสร้างผลึกของซิลไฟด์สฟาเลอไรต์และเวิร์ตไซต์	20
3.1	ขั้นตอนการศึกษาวิจัย	40
3.2	ขั้นตอนการปรับสภาพของเสียภาคอุตสาหกรรม	42
3.3	ขั้นตอนการสังเคราะห์แอโรเจลจากของเสียเซลลูโลสจากภาคอุตสาหกรรม	43
3.4	การสังเคราะห์แอโรเจลที่ผสมกับสังกะสีประจุศูนย์ที่ปรับปรุงด้วยซิลไฟด์	44
3.5	การสังเคราะห์แอโรเจลที่ปรับปรุงด้วยซิลไฟด์	45
3.6	การเตรียมสารละลายเมโรมิล	46
3.7	การเตรียมสารละลายโซเดียมเปอร์ซิลเฟต	47
3.8	การศึกษาชนิดของแอโรเจล	48
3.9	การศึกษาความเข้มข้นของสารเปอร์ซิลเฟต	49
3.10	การศึกษาระยะเวลาในการสัมผัส	50
3.11	การศึกษาความเร็วรอบในการกวน	51
3.12	การศึกษาค่าความเป็นกรดต่าง	52
4.1	ภาพถ่าย SEM	55
4.2	ผลการวิเคราะห์ FTIR ขานอ้อย และเซลลูโลสจากขานอ้อย	57
4.3	ผลการวิเคราะห์ FTIR แอโรเจลและแอโรเจลผสมกับสังกะสีประจุศูนย์ที่ปรับปรุงด้วยซิลไฟด์ ..	58
4.4	ผลการวิเคราะห์ XRD ของขานอ้อยและเซลลูโลสจากขานอ้อย	60
4.5	ผลการวิเคราะห์ XTM ของแอโรเจลและแอโรเจลผสมกับสังกะสีประจุศูนย์ ที่ปรับปรุงด้วยซิลไฟด์	63
4.6	ผลของการศึกษาชนิดของแอโรเจลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารเมโรมิล	65
4.7	ผลของการศึกษาความเข้มข้นของสารเปอร์ซิลเฟตต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารเมโรมิล	66
4.8	ผลของการศึกษาระยะเวลาในการสัมผัสต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารเมโรมิล	68
4.9	ผลของการศึกษาผลของความเร็วรอบในการกวนต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารเมโรมิล	69
4.10	ผลของการศึกษาผลของค่าความเป็นกรดต่างต่อประสิทธิภาพในการกำจัดสารเมโรมิล	70
4.11	การศึกษาจลนพลศาสตร์สำหรับการศึกษาความเข้มข้นของสารเปอร์ซิลเฟตต่อประสิทธิภาพ ในการกำจัดสารเมโรมิล	73
4.12	กลไกการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของคาร์โบฟูราน (CBF) ด้วยอนุภาคลิธเรซซิลเฟต	76
4.13	การย่อยสลายของสารเมโรมิลโดยใช้ ระบบ PMS-Only	77

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

Zn ⁰	=	สังกะสีประจุศูนย์
FTIR	=	เทคนิควิเคราะห์ฟูเรียร์ทรานฟอร์มอินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์
XRD	=	เทคนิควิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์
SEM	=	เทคนิควิเคราะห์กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด
BET	=	เทคนิควิเคราะห์พื้นที่ผิวและหาความพรุนของอนุภาค
XTM	=	เทคนิควิเคราะห์ถ่ายภาพเอกซเรย์คอมพิวเตอร์สามมิติระดับจุลภาคด้วยเอกซเรย์ ย่านพลังงานสูง
HPLC	=	เทคนิควิเคราะห์โครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง
S-ZV-Zn-Aerogel	=	แอโรเจลที่ผสมกับสังกะสีประจุศูนย์ที่ปรับปรุงด้วยซิลไฟด์
Sulfide-modified aerogel	=	แอโรเจลที่ปรับปรุงด้วยซิลไฟด์
nm	=	นาโนเมตร
m ² /g	=	ตารางเมตรต่อกรัม
PS	=	เปอร์ซิลเฟส
SO ₄ ^{•-}	=	อนุมูลอิสระซัลเฟต
•OH	=	อนุมูลอิสระไฮดรอกซิล