กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ ศ. ดร.สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์เป็นอย่างยิ่ง ที่ให้ความกรุณาให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางแก้ปัญหาต่างๆ ในการดำเนินงานวิจัย และขอขอบพระคุณ รศ. ดร.สุวิมล อัศวพิศิษฐ, รศ.นฤมล จียโชค และ ศ. ดร.สุเมธ ชวเดช ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ทั้งนี้ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งและขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง นอกจากนี้ ผู้เขียนขอขอบคุณโรงงานเคลือบโลหะที่ให้ความอนุเคราะห์น้ำเสียในการทดลอง และขอบคุณเจ้าหน้าที่สายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ที่ช่วยอำนวยความสะดวกเรื่องอุปกรณ์ให้คำแนะนำในการทดลอง และขอบคุณเพื่อนๆ สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ที่เป็นกำลังใจ กราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ที่ให้กำลังใจตลอดมา ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง ขอขอบคุณสำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติในการสนับสนุนทุนการวิจัย โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยประเภทบัณฑิตศึกษา จากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี พ.ศ. 2556 จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ง
กิตติกรรมประกาศ ฉ
สารบัญ ช
รายการตาราง ฎ
รายการรูปประกอบ ณ
ประมวลศัพท์และคำย่อ ท

บทที่

1. บทนำ **1**
1.1 ความสำคัญ และที่มาของงานวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ขอบเขตการศึกษาวิจัย 2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

2. ทฤษฎี **3**
2.1 ระบบซีเควนซิ่งแบทรีแอคเตอร์ 3
2.1.1 หลักการของระบบซีเควนซิ่งแบทรีแอคเตอร์ 3
2.1.2 ขั้นตอนการทำงานของระบบซีเควนซิ่งแบทรีแอคเตอร์ 3
2.1.3 การควบคุมการทำงานของระบบซีเควนซิ่งแบทรีแอคเตอร์ 6
2.1.4 ข้อดีและข้อเสียของระบบซีเควนซิ่งแบทรีแอคเตอร์ 7
2.2 กลไกการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบบำบัดแบบเลี้ยงตะกอนเร่ง 8
2.2.1 การเกิดตะกอนเร่ง 10
2.2.2 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ 11
2.2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบตะกอนเร่ง 12
2.3 โลหะหนัก (Heavy metal) 14
2.3.1 ความเป็นพิษของโลหะหนักชนิดต่างๆ 14

หน้า

2.3.2 การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย 17
2.4 การกำจัดโลหะหนักโดยใช้จุลินทรีย์ 18
2.4.1 กระบวนการสะสมโลหะหนักโดยจุลินทรีย์ 19
2.4.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการสะสมโลหะหนักโดยจุลินทรีย์ 20
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 22
2.5.1 โลหะหนัก 22
2.5.2 ระบบซีเควนซิ่งแบทรีแอคเตอร์ 23

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง 26
3.1 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 26
3.1.1 ชุดถังปฏิกิริยา 26
3.1.2 ระบบกวน 26
3.1.3 เครื่องเติมอากาศ 26
3.1.4 เครื่องตั้งเวลา 26
3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง 28
3.2.1 น้ำเสียสังเคราะห์ 28
3.2.2 น้ำเสียจากโรงงานเคลือบโลหะ 29
3.3 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง 29
3.4 วิธีการทดลอง 29
3.4.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการกำจัดแคดเมียม
ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยระบบซีเควนซิ่งแบทรีแอคเตอร์ 30
3.4.2 การศึกษาระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ 31
3.4.3 การศึกษาประสิทธิภาพของตะกอนจุลินทรีย์ในการกำจัดแคดเมียม
ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์ 32
3.4.4 การศึกษาสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิกต่อการกำจัดแคดเมียม
ในน้ำเสียสังเคราะห์ 33
3.4.5 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบซีเควนซิ่งแบทรีแอคเตอร์ที่มีและมีมีช่วงแอนอกซิก
ต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ 34
3.5 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ 34

หน้า

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ **35**

4.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการกำจัดแคดเมียม ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยระบบซีเควนซิ่งแบทรีแอคเตอร์ 35

4.1.1 ผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการกำจัดแคดเมียม ในน้ำเสียสังเคราะห์ 36

4.1.2 ผลของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการบำบัดซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ 39

4.1.3 ผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการบำบัดบีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ 41

4.1.4 ผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการบำบัดทีเคเอ็นไนโตรเจน ในน้ำเสียสังเคราะห์ 43

4.1.5 ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น ของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ 45

4.1.6 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ความเข้มข้น ของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ 49

4.2 การศึกษาระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ 52

4.2.1 ผลของระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ 52

4.2.2 ผลของระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่อการบำบัดซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ 54

4.2.3 ผลของระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่อการบำบัดบีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ 55

4.2.4 ผลของระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่อการบำบัดทีเคเอ็นไนโตรเจน ในน้ำเสียสังเคราะห์ 57

4.2.5 ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัด ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน 58

4.2.6 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน 63

4.3 การศึกษาประสิทธิภาพของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการกำจัดแคดเมียมที่ความเข้มข้น ต่างๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์ 66

4.3.1 ผลของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการกำจัดแคดเมียมที่ความเข้มข้นต่างๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์ 66

4.3.2 ผลของความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อการบำบัดซีโอดี 68

4.3.3 ผลของความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อการบำบัดบีโอดี 70

4.3.4 ผลของความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ต่อการบำบัด ทีเคเอ็นไนโตรเจน 72

หน้า

4.3.5 ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัด ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร 74
4.3.6 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ความเข้มข้น ของแคดเมียมของแคดเมียม 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร 78
4.4 การศึกษาสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิกในการกำจัดแคดเมียม ในน้ำเสียสังเคราะห์ 80
4.4.1 ผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนนอกซิกต่อออกซิกต่อการกำจัดแคดเมียม ในน้ำเสียสังเคราะห์ 80
4.4.2 ผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิกต่อการบำบัดซีโอดี ในน้ำเสียสังเคราะห์ 82
4.4.3 ผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิกต่อการบำบัดบีโอดี ในน้ำเสียสังเคราะห์ 84
4.4.4 ผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิกต่อการบำบัดทีเคเอ็นไนโตรเจน ในน้ำเสียสังเคราะห์ 86
4.4.5 ผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิกในการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจน ในน้ำเสียสังเคราะห์ 88
4.4.6 ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ที่สัดส่วนระยะเวลา แอนนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10:9 ชั่วโมง 92
4.4.7 ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำที่สภาวะแอนอกซิกต่อออกซิก6: 13, 8: 11 และ 10:9 ชั่วโมง 95
4.4.8 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่สัดส่วนระยะเวลา แอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10:9 ชั่วโมง 96
4.5 ศึกษาประสิทธิภาพของระบบซีเควนซิ่งแบทรีแอคเตอร์ในการกำจัดแคดเมียม ที่มีและไม่มีช่วงแอนอกซิกต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ 97
4.5.1 ประสิทธิภาพของระบบซีเควนซิ่งแบทรีแอคเตอร์ต่อการกำจัดแคดเมียม ในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ 98
4.5.2 ประสิทธิภาพของระบบซีเควนซิ่งแบทรีแอคเตอร์ต่อการบำบัดน้ำเสีย โรงงานเคลือบโลหะ 99
4.5.3 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ 100

หน้า

4.5.4 ประสิทธิภาพของระบบซีเควนซิ่งแบทรีแอคเตอร์ที่มีช่วงแอนอกซิก
ต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ 100
4.5.5 ผลของระบบซีเควนซิ่งแบทรีแอคเตอร์ที่มีช่วงแอนอกซิก
ต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ 102
4.5.6 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ
ที่มีช่วงแอนนอกซิกต่อออกซิก 10: 9 ชั่วโมง 103

5. สรุปและข้อเสนอแนะ 105
5.1 สรุปผลการทดลอง 105
5.1.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทีย์ต่อการกำจัดแคดเมียม
ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยระบบซีเควนซิ่งแบทรีแอคเตอร์ 105
5.1.2 การศึกษาระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ 105
5.1.3 การศึกษาประสิทธิภาพของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการกำจัดแคดเมียม
ที่ความเข้มข้นต่างๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์ 106
5.1.4 การศึกษาสัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิกต่อการกำจัดแคดเมียม
ในน้ำเสียสังเคราะห์ 106
5.1.5 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบซีเควนซิ่งแบทรีแอคเตอร์ที่มีและไม่มี
ช่วงแอนอกซิกต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ 107
5.2 ข้อเสนอแนะ 107

เอกสารอ้างอิง 108

ภาคผนวก
ก. วิธีวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ 114
ข. ผลการทดลองในการศึกษาความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 130
ค. ผลการทดลองระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 140
ง. ผลการทดลองความเข้มข้นของแคดเมียม 150
จ. ผลการทดลองสัดส่วนระยะเวลาแอนนอกซิกต่อออกซิก 160
ฉ. ผลการทดลองประสิทธิภาพของระบบซีเควนซิ่งแบทรีแอคเตอร์ที่มีและไม่มี
ช่วงแอนอกซิกต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ 170
ประวัติผู้วิจัย 181

รายการตาราง

ตาราง **หน้า**

3.1 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ 28
3.2 ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานเคลือบโลหะ 29
3.3 ข้อมูลการทำงานของระบบซีเควนซิ่งแบทรีแอคเตอร์ในการศึกษาผลของ
ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 31
3.4 ข้อมูลการทำงานของระบบซีเควนซิ่งแบทรีแอคเตอร์ในการศึกษา
ระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ 32
3.5 ข้อมูลการทำงานของระบบซีเควนซิ่งแบทรีแอคเตอร์ในการศึกษาประสิทธิภาพ
ของตะกอนจุลินทรีย์ในการกำจัดแคดเมียมที่ความเข้มข้นต่างๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์ 33
3.6 ข้อมูลการทำงานที่สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิกต่อการกำจัดแคดเมียม
ในน้ำเสียสังเคราะห์ 33
3.7 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ 34
4.1 ข้อมูลลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ในการศึกษาผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์
ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 3 วัน 36
4.2 ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัด
ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000
และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร 48
4.3 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น
ของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร 51
4.4 ลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ในการศึกษาระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่อการกำจัดแคดเมียม 52
4.5 แสดงสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์หลังผ่านการบำบัด
ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน 62
4.6 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์
ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน 65
4.7 ข้อมูลลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ในการศึกษาประสิทธิภาพของตะกอนจุลินทรีย์
ในการกำจัดแคดเมียมที่ความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร 66
4.8 แสดงสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์แคดเมียมหลังผ่านการบำบัด
ที่ความเข้มข้นของแคดเมียม 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร 77

ตาราง **หน้า**

4.9 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียที่ความเข้มข้นของแคดเมียม 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร 79
4.10 ข้อมูลลักษณะน้ำเสียสังเคราะห์ในการศึกษาสภาวะแอนนอกซิกและออกซิก ในการกำจัดแคดเมียม 80
4.11 แสดงสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ภาวะแอนนอกซิกต่อออกซิก 6:13, 8:11 และ 10:9 ชั่วโมง 94
4.12 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ภาวะแอนนอกซิกต่อออกซิก 6:13, 8:11 และ 10:9 ชั่วโมง 97
4.13 แสดงประสิทธิภาพของระบบซีเควนซิ่งแบทรีแอคเตอร์ในการบำบัดน้ำเสีย โรงงานเคลือบโลหะ 99
4.14 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ 100
4.15 แสดงประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสียของระบบซีเควนซิ่งแบทรีแอคเตอร์ ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ 103
4.16 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ 104
ก.1 อัตราเจือจางสำหรับช่วงบีโอดีต่างๆ 120
ก.2 ขนาดของหลอดแก้ว ปริมาตรตัวอย่างและสารเคมี 122
ก. 3 ขนาดตัวอย่างและอัตราการเจือจางที่เหมาะสม 123
ข.1 แสดงผลความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการกำจัดแคดเมียม 131
ข.2 แสดงผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการบำบัดซีโอดี 132
ข.3 แสดงผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการบำบัดบีโอดี 133
ข.4 แสดงผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อการบำบัดทีเคเอ็นไนโตรเจน 134
ข.5 แสดงผลของความเข้มข้อนของตะกอนจุลินทีย์ต่อการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจน 135
ข.6 แสดงผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่อสารประกอบไนโตรเจน 136
ข.7 แสดงผลของความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 137
ข.8 แสดงสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร 138
ค.1 แสดงผลของระยะเวลากักเก็บน้ำต่อการกำจัดแคดเมียม 141
ค.2 แสดงผลของระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่อการบำบัดซีโอดี 142
ค.3 แสดงผลของระยะเวลากักเก็บน้ำต่อการบำบัดบีโอดี 143
ค.4 แสดงผลของระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่อการบำบัดทีเคเอ็นไนโตรเจน 144

ตาราง **หน้า**

ค.5 แสดงผลของระยะเวลากักเก็บน้ำต่อการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจน 145
ค.6 แสดงผลของระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่อสารประกอบไนโตรเจน 146
ค.7 แสดงผลของระยะเวลากักเก็บน้ำเสียต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 147
ค.8 แสดงสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ต่อระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน 148
ง.1 แสดงประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมที่ความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ
50 มิลลิกรัมต่อลิตร 151
ง.2 แสดงผลความเข้มข้นของแคดเมียมต่อการบำบัดซีโอดี 152
ง.3 แสดงผลของความเข้มข้นของแคดเมียมต่อการบำบัดบีโอดี 153
ง.4 แสดงผลความเข้มข้นของแคดเมียมต่อการบำบัดทีเคเอ็นไนโตรเจน 154
ง.5 แสดงผลของความเข้มข้นของแคดเมียมต่อการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจน 155
ง.6 แสดงผลของความเข้มข้นของแคดเมียมต่อสารประกอบไนโตรเจน 156
ง.7 แสดงผลของความเข้มข้นของแคดเมียมต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 157
ง.8 แสดงสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ต่อความเข้มข้นต่างๆของแคดเมียม 158
จ.1 แสดงผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ
10: 9 ต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ 161
จ.2 แสดงผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนนอกซิกต่อออกซิกในการบำบัดซีโอดี 162
จ.3 แสดงผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนนอกซิกต่อออกซิกในการบำบัดบีโอดี 163
จ.4 แสดงผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนนอกซิกต่อออกซิก
ต่อการบำบัดซีทีเคเอ็นไนโตรเจน 164
จ.5 แสดงผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนนอกซิกต่อออกซิก
ต่อการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจน 165
จ.6 แสดงผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนนอกซิกต่อออกซิก
ต่อปริมาณสารประกอบไนโตรเจน 166
จ.7 แสดงผลของสัดส่วนระยะเวลาแอนนอกซิกต่อออกซิก
ต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด 167
จ.8 แสดงสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ของสัดส่วนระยะเวลาแอนนอกซิกต่อออกซิก
6: 13, 8: 11 และ 10:9 ชั่วโมง 168
จ.9 แสดงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในช่วงระยะเวลาแอนอกซิกและออกซิก
6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง 169
ฉ.1 แสดงปริมาณการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ 171

ตาราง **หน้า**

ฉ.2 แสดงปริมาณการบำบัดซีโอดีและบีโอดีในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ 172
ฉ.3 แสดงปริมาณการบำบัดทีเคเอ็นไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจน 173
ฉ.4 แสดงปริมาณสารประกอบไนโตรเจนหลังผ่านการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ 174
ฉ.5 แสดงสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ 175
ฉ.6 แสดงปริมาณโลหะหนักในการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ
ที่มีสภาวะแอนอกซิกและออกซิก 176
ฉ.7 แสดงปริมาณซีโอดีและบีโอดีในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ
ที่มีสภาวะแอนอกซิกและออกซิก 177
ฉ.8 แสดงปริมาณการบำบัดทีเคเอ็นไนโตรเจนและแอมโมเนียไนโตรเจน
ต่อการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะที่มีสภาวะแอนอกซิกและออกซิก 178
ฉ.9 แสดงปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ
ที่มีสภาวะแอนนอกซิกและออกซิก 179
ฉ.10 แสดงสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ
ที่มีสภาวะแอนนอกซิกและออกซิก 180

รายการรูปประกอบ

รูป **หน้า**

2.1 ลักษณะการทำงานของระบบเอสบีอาร์ 5

2.2 ปฏิกิริยาและการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยาแบบกะ 9

3.1 ถังปฏิกิริยา 27

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างการกำจัดแคดเมียม (Cd^{2+}) ในน้ำเสียสังเคราะห์กับระยะเวลาดำเนินระบบที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 3 วัน ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร 38

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดซีโอดีกับระยะเวลาดำเนินระบบ ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 3 วัน ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร 40

4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดบีโอดี กับระยะเวลาการดำเนินระบบที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 3 วัน ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร 42

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดทีเคเอ็นไนโตรเจนกับระยะเวลาดำเนินระบบที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 3 วัน ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร 44

4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบไนโตรเจนกับระยะเวลาดำเนินระบบที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 1,000, 2,000, 3,000, 4,000 และ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 3 วัน ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร 47

รูป **หน้า**

4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการกำจัดแคดเมียมกับระยะเวลาดำเนินระบบ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำเสียสังเคราะห์ 53

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดซีโอดีกับระยะเวลาดำเนินระบบ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำเสียสังเคราะห์ 55

4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดบีโอดีกับระยะเวลาการดำเนินระบบ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำเสียสังเคราะห์ 56

4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดทีเคเอ็นไนโตรเจนกับระยะเวลาดำเนินระบบ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำเสียสังเคราะห์ 58

4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบไนโตรเจนกับระยะเวลาดำเนินระบบ ที่ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 2.5, 5, 7.5 และ 10 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในน้ำเสียสังเคราะห์ 61

4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างการกำจัดแคดเมียมกับระยะเวลาดำเนินระบบที่ความเข้มข้นของแคดเมียม 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 5 วัน 68

4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดซีโอดีกับระยะเวลาดำเนินระบบที่ความเข้มข้นของแคดเมียม 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 5 วัน 70

รูป **หน้า**

4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดบีโอดีกับระยะเวลาดำเนินระบบที่ความเข้มข้นของแคดเมียม 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 5 วัน 71

4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดทีเคเอ็นไนโตรเจนกับระยะเวลาดำเนินระบบความเข้มข้นของแคดเมียม 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 5 วัน 73

4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์กับระยะเวลาดำเนินระบบความเข้มข้นของแคดเมียม 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตรในน้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 5 วัน 76

4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์กับระยะเวลาดำเนินระบบที่สภาวะแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร 82

4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์กับระยะเวลาดำเนินระบบที่สภาวะแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร 84

4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดบีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์กับระยะเวลาดำเนินระบบที่สภาวะแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร 85

4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดทีเคเอ็นไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์กับระยะเวลาดำเนินระบบที่สภาวะแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ 10: 9 ชั่วโมง ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร 88

รูป **หน้า**

4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างการบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์
กับระยะเวลาดำเนินระบบที่สภาวะแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ
10: 9 ชั่วโมง ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์
2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร 91
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์
กับระยะเวลาดำเนินระบบที่สภาวะแอนอกซิกต่อออกซิก 6: 13, 8: 11 และ
10: 9 ชั่วโมง ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 5 วัน ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์
2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร 93
4.22 แสดงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (DO) ในช่วงดำเนินระบบที่สภาวะแอนอกซิก
และออกซิก 6: 13, 8: 11 10: 9 ชั่วโมง ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์
2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 5 วัน
ความเข้มข้นของแคดเมียม 5 มิลลิกรัมต่อลิตร 95
4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ
กับระยะเวลาดำเนินระบบ ที่ความเข้มเข้มของตะกอนจุลินทรีย์
2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 5 วัน 98
4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโรงงานเคลือบโลหะ
กับระยะเวลาดำเนินระบบ สัดส่วนระยะเวลาแอนอกซิกต่อออกซิก 10: 9 ชั่วโมง
ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 5 วัน
ความเข้มข้นของแคดเมียม 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเข้มข้นของสังกะสี
45 มิลลิกรัมต่อลิตร 102

ประมวลศัพท์และคำย่อ

ก./ลบ.ม.·วัน	กรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน
มก./ล.	มิลลิกรัมต่อลิตร
มก./ลบ.ม.·วัน	มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน
BOD_5	Biological Oxygen Demand
COD	Chemical Oxygen Demand
Cd^{2+}	Cadmium
d	Days
F/M	Food per Microorganism ratio
HRT	Hydraulic Retention Time
$g/m^3 \cdot d$	Gram per cubic meter per day
kg_{BOD}/kg_{MLSS}	Kilogram BOD per kilogram MLSS
mg/g	Milligram per gram
mg/L	Milligram per liter
$mg/m^3 \cdot d$	Milligram per cubic meter per day
mL/g	Milliliter per gram
MLSS	Mixed Liquor Suspended Solid
NH_4^+-N	Ammonia Nitrogen
NO_2^--N	Nitrite Nitrogen
NO_3^--N	Nitrate nitrogen
SBR	Sequencing Batch Reactor
SRT	Sludge Retention Time
SS	Suspended Solids
SVI	Sludge Volume Index
TKN	Total Kjeldahl Nitrogen
TN	Total Nitrogen
Zn^{2+}	Zinc
%Re.	% Removal