หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของอัตราส่วนระหว่างแอนนอกซิกและออกซิกต่อประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสีย้อมไดเร็กท์
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นางสาวอัฏฐารจ ชาวชน
อาจารย์ที่ปรึกษา	ศ. ดร.สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์
หลักสูตร	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
สายวิชา	เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม
คณะ	พลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ
พ.ศ.	2555

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนสีย้อมไดเร็กท์ (Direct red 23 และ Direct blue 15) โดยทำการศึกษา 3 การทดลอง คือ ศึกษาผลของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัด ศึกษาผลของระยะเวลากักเก็บน้ำต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัด และศึกษาผลของอัตราส่วนแอนนอกซิกต่อออกซิกต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัด

ผลการศึกษาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ต่อประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ พบว่า ระบบเอสบีอาร์แสดงประสิทธิภาพสูงสุดที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์เท่ากับ 2,500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็นและสีย้อม Direct red 23 เท่ากับร้อยละ 96.6 ±0.2, 95.7±0.3, 90.90±0.13 และ 92.04±0.47 ตามลำดับ ในน้ำเสียที่ปนเปื้อนสีย้อม Direct red 23 และมีประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็นและสีย้อม Direct blue 15 เท่ากับร้อยละ 96.6±0.1, 94.9±0.3, 90.02±0.49 และ 90.47±0.54 ตามลำดับ ในน้ำเสียที่ปนเปื้อนสีย้อม Direct blue 15

ผลการศึกษาระยะเวลากักเก็บน้ำต่อประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ พบว่า ประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมและสารอินทรีย์ด้วยระบบเอสบีอาร์จะมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่อระยะเวลาเก็บกักน้ำสูงขึ้น (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์มีค่าลดลง) โดยระบบเอสบีอาร์แสดงประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุดที่ระยะเวลากักเก็บท่ากับ 7.5 วัน (อัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์เท่ากับ 0.11 กก. บีโอดี/ลบ.ม.-วัน) โดยระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็นและสีย้อม direct red 23 ได้ร้อยละ

97.6±0.5, 95.7±0.6, 91.21±0.12 และ 90.61±2.14 ตามลำดับ ในน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสีย้อม Direct red 23 และมีประสิทธิภาพในการบำบัดค่าซีโอดี บีโอดี ทีเคเอ็นและสีย้อม Direct blue 15 ได้ร้อยละ 97.2±0.7, 95.5±0.7, 91.28±0.24 และ 83.82±2.60 ตามลำดับ ในน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนสีย้อม direct blue 15

ผลการศึกษาอัตราส่วนแอนนอกซิกต่อออกซิกต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัด พบว่า การลดลงของสีย้อมไดเร็กท์นั้นเกิดขึ้นมากในช่วงสภาวะแอนนอกซิก โดยที่อัตราส่วนแอนนอกซิกต่อออกซิกเท่ากับ 15: 4 ชั่วโมง มีประสิทธภาพในการบำบัดสีย้อมไดเร็กท์สูงสุด ส่วนประสิทธภาพในการบำบัดสารอินทรีย์นั้น ที่อัตราส่วนแอนนอกซิกต่อออกซิกเท่ากับ 7: 12 ชั่วโมง มีประสิทธภาพในการบำบัดสารอินทรีย์สูงสุด เนื่องจากที่อัตราส่วนแอนนอกซิกต่อออกซิกเท่ากับ 7: 12 ชั่วโมง มีช่วงแอโรบิกที่ยาวนานกว่า

คำสำคัญ: ตะกอนจุลินทรีย์/น้ำเสียโรงงานฟอกย้อม/ระบบเอสบีอาร์/สีย้อมไดเร็กท์/แอนนอกซิก/ออกซิก

Thesis Title	Effect of Anoxic and Oxic Ratio on the Efficiency of SBR System with Wastewater Containing Direct Dyes
Thesis Credits	12
Candidate	Miss Attarot Chaochon
Thesis Advisor	Prof. Dr. Suntud Sirianuntapiboon
Program	Master of Science
Department	Environmental Technology
Field of Study	Environmental Technology
Faculty	School of Energy, Environmental and Materials
B. E.	2555

Abstract

This research aimed to study the efficiency of sequencing batch reactor (SBR) system with synthetic wastewater containing Direct dyes (Direct red 23 and Direct blue 15). The study was consisted of three experiments. Firstly, the effect of MLSS on the efficiency of SBR system was investigated. Second, the optimal HRT was observed for the highest efficiency. Finally, the effect of anoxic and oxic ratio on the efficiency of SBR system was also study.

The results showed that the system showed the highest removal efficiency at MLSS of 2,500 mg/L. The COD, BOD_5, TKN and direct red 23 removal efficiency of SBR system were highest of 96.6 ±0.2, 95.7±0.3, 90.90±0.13, 92.04±0.47%, respectively with synthetic wastewater containing Direct red 23. The COD, BOD_5, TKN and direct blue 15 removal efficiency of SBR system were highest 96.6±0.1, 94.9±0.3, 90.02±0.49, 90.47±0.54%, respectively with synthetic wastewater containing Direct blue 15.

The removal efficiencies of SBR system tended to increase with the increase of HRT (decrease of organic loading rate). It showed the highest removal efficiency at HRT of 7.5 days (organic loading rate of 0.11 kg BOD_5/m3-d). The COD, BOD_5, TKN and Direct red 23 removal efficiencies were highest of 97.6±0.5, 95.7±0.6, 91.21±0.12 and 90.61±2.14 %, respectively with synthetic wastewater containing Direct red 23. The COD, BOD_5, TKN and Direct blue 15 removal efficiency of SBR system

were highest of 97.2±0.7, 95.5±0.7, 91.28±0.24 และ 83.82±2.60%, respectively with synthetic wastewater containing Direct blue 15 .

Moreover, the Direct dye in the wastewater was highly removed during the anoxic period. And the highest dye removal efficiency was shown at a anoxic: oxic of 15: 4. But, the organic removal efficiency was highest at a anoxic: oxic of 7: 12. Since under anoxic: oxic of 7: 12 operation has longer oxic period.

Keywords: Bio-sludge/Textile Wastewater/Sequencing Batch Reactor (SBR)/Direct dyes/Anoxic/ Oxic

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่มอบความรู้แก่ข้าพเจ้า รวมถึงเจ้าหน้าที่สายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมคณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้คำแนะนำและเป็นกำลังใจเสมอมา ขอขอบพระคุณทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปี 2556

ขอขอบพระคุณ ศ. ดร.สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์ อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ศ. ดร.สุเมธ ชวเดช รศ.นฤมล จียโชค และ ผศ. ดร.นงพงา คุณจักร กรรมการวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความกรุณาในการให้แนวคิด คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนการตรวจสอบและแก้ไขปัญหาต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อวิทยานิพนธ์นี้

ขอขอบพระคุณโรงควบคุมคุณภาพน้ำสี่พระยาที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ตะกอนจุลินทรีย์ซึ่งใช้ในการศึกษาครั้งนี้

ขอขอบพระคุณรุ่นพี่และรุ่นน้องในสายวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม ตลอดจนเพื่อนๆ ที่คอยให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีตลอดการทดลอง

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ รวมทั้งทุกคนในครอบครัว ที่คอยให้ความช่วยเหลือทั้งด้านกำลังกาย กำลังใจ และกำลังทรัพย์ ซึ่งส่งผลให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินวิทยานิพนธ์นี้ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
รายการตาราง	ฎ
รายการรูปประกอบ	ฒ
ประมวลคำศัพท์และคำย่อ	ถ
บทที่	
1. บทนำ	**1**
1.1 ความสำคัญและที่มา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	**5**
2.1 กระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อมสิ่งทอ	5
2.1.1 การเตรียมผ้า	6
2.1.2 การให้สี	9
2.1.3 การตกแต่งสำเร็จ	10
2.2 สีย้อม	11
2.2.1 ประเภทของสีย้อม	11
2.2.2 การผลิตสีย้อม	11
2.2.3 การจำแนกตามโครงสร้างทางเคมี	12
2.2.4 การจำแนกตามลักษณะการใช้งาน	12
2.3 สีย้อมไดเร็กท์	17

หน้า

2.3.1 ลักษณะโครงสร้างของสีไดเร็กท์ 18
2.3.2 พฤติกรรมการดูดซึมของสีไดเร็กท์ 19
2.4 สีอะโซ 19
2.4.1 สีอะโซต้องห้าม 22
2.5 แหล่งกำเนิดและลักษณะน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ 24
2.5.1 แหล่งกำเนิดน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ 24
2.5.2 ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ 25
2.5.3 ผลกระทบของน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอต่อสิ่งแวดล้อม 27
2.6 การกำจัดสีในน้ำเสียจากโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ 28
2.7 การบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ 29
2.7.1 กระบวนการบำบัดแบบแอนแอโรบิก 29
2.7.2 กระบวนการบำบัดแบบแอโรบิก 30
2.7.3 กระบวนการบำบัดแบบแอนแอโรบิก-แอโรบิก 31
2.8 ระบบเลี้ยงตะกอนเร่งแบบเอสบีอาร์ 32
2.8.1 กลไกการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบเอสบีอาร์ 34
2.8.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบเอสบีอาร์ 39
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 40

3. อุปกรณ์และวิธีการทดลอง 42
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 42
3.1.1 ถังปฏิกิริยา 42
3.1.2 ระบบกวน 42
3.1.3 เครื่องเติมอากาศ 42
3.1.4 เครื่องตั้งเวลา 43
3.2 น้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง 46
3.3 จุลินทรีย์ที่ใช้ในการทดลอง 46
3.4 สีย้อม 47

หน้า

3.5 แผนการทดลอง 48

3.5.1 การศึกษาประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ในการบำบัดน้ำเสียที่ปนเปื้อนสีย้อมไดเร็กท์ 48

3.5.1.1 การศึกษาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมในระบบบำบัดเอสบีอาร์ 48

3.5.1.2 การศึกษาระยะเวลากักเก็บน้ำในระบบบำบัดเอสบีอาร์ 49

3.5.2 การศึกษาอัตราส่วนแอนนอกซิกต่อออกซิกที่เหมาะสมในการดำเนินระบบเอสบีอาร์ 51

3.6 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ 53

4. ผลการทดลอง **54**

4.1 การศึกษาผลของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ 54

4.1.1 ประสิทธิภาพในการบำบัดสีย้อมไดเร็กท์ 55

4.1.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี 59

4.1.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี 62

4.1.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น 65

4.1.5 ปริมาณสารประกอบไนโตรเจน 68

4.2 การศึกษาผลของระยะเวลาเก็บกักน้ำที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ 74

4.2.1 ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมไดเร็กท์ 75

4.2.2 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี 78

4.2.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี 81

4.2.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น 83

4.2.5 ปริมาณสารประกอบไนโตรเจน 86

4.2.6 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบเอสบีอาร์ 92

4.3 การศึกษาผลของอัตราส่วนแอนนอกซิก: ออกซิกต่อประสิทธิภาพของระบบเอสบีอาร์ 95

4.3.1 ประสิทธิภาพการบำบัดสีย้อมไดเร็กท์ 95

หน้า

4.3.2 ค่าออกซิเจนละลายน้ำ 98
4.3.3 ประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี 99
4.3.4 ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดี 101
4.3.5 ประสิทธิภาพในการบำบัดไนโตรเจนในรูปทีเคเอ็น 104
4.3.6 ปริมาณสารประกอบไนโตรเจน 106
4.3.7 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในระบบเอสบีอาร์ 111

5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 117
5.1 สรุปผลการทดลอง 117
5.1.1 การศึกษาผลของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัด 117
5.1.2 การศึกษาผลของระยะเวลากักเก็บน้ำต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัด 118
5.1.3 การศึกษาผลของอัตราส่วนแอนนอกซิกต่อออกซิกต่อประสิทธิภาพของระบบบำบัด 118
5.2 ข้อเสนอแนะ 119

เอกสารอ้างอิง 121

ภาคผนวก 127
ก. วิธีการเตรียมและวิเคราะห์ตัวอย่าง 127
ข. กราฟมาตรฐานสารละลายสี 145
ค. ผลการทดลองการบำบัดน้ำเสียสีย้อมไดเร็กท์ที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ 149
ง. ผลการทดลองการบำบัดน้ำเสียสีย้อมไดเร็กท์ที่ระยะเวลากักเก็บต่างๆ 164
จ. ผลการทดลองการบำบัดน้ำเสียสีย้อมไดเร็กท์ในสภาวะแอนนอกซิก: ออกซิก 179

ประวัติผู้วิจัย 189

รายการตาราง

ตาราง **หน้า**

2.1 สรุปลักษณะโครงสร้างทางเคมีของสีย้อมประเภทต่างๆ 17
2.2 สารอะโรมาติกเอมีนต้องห้ามที่สหภาพยุโรประบุ 23
2.3 แหล่งกำเนิดและประเภทของมลสารหลักในน้ำเสียจากโรงงาน ฟอกย้อมสิ่งทอและผลกระทบของสมบัติน้ำเสียต่อระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยา 26
3.1 ส่วนประกอบของน้ำเสียสังเคราะห์ 46
3.2 สมบัติและชนิดของสีย้อมที่ใช้ในการทดลอง 47
3.3 วัฏจักรการทำงานของระบบบำบัดเอสบีอาร์ในการศึกษาผลของปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ 49
3.4 วัฏจักรการทำงานของระบบบำบัดเอสบีอาร์ในการศึกษาผลของระยะเวลากักเก็บน้ำเสีย 50
3.5 ระยะเวลาในการเดินระบบเพื่อศึกษาอัตราส่วนเวลาของสภาวะแอนนอกซิกต่อออกซิก 51
3.6 รูปแบบการทำงานของระบบที่สภาวะแอนนอกซิกและออกซิก 52
3.7 วัฏจักรการทำงานของระบบในการศึกษาอัตราส่วนเวลาของสภาวะแอนนอกซิกต่อออกซิก 52
3.8 พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์ 53
4.1 สมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ที่เหมาะสม 55
4.2 สมบัติของน้ำเสียที่ออกจากระบบและประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์ ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อม Direct red 23 และ Direct blue 15 ตามลำดับ 72
4.3 สมบัติของสารประกอบไนโตรเจนน้ำเสียที่ออกจากระบบและประสิทธิภาพของระบบบำบัด แบบเอสบีอาร์ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อม Direct red 23 และ Direct blue 15 ตามลำดับ 73
4.4 สมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาระยะเวลากักเก็บที่เหมาะสม 74
4.5 สมบัติของน้ำเสียที่ออกจากระบบและประสิทธิภาพของระบบบำบัดแบบเอสบีอาร์ ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อม Direct red 23 และ Direct blue 15 ตามลำดับ 90
4.6 สมบัติของสารประกอบไนโตรเจนน้ำเสียที่ออกจากระบบและประสิทธิภาพของระบบบำบัด แบบเอสบีอาร์ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสีย้อม Direct red 23 และ Direct blue 15 ตามลำดับ 91
4.7 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ของสี Direct red 23 ที่ระยะเวลากักเก็บต่างๆ 93
4.8 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ของสี Direct blue 15 ที่ระยะเวลากักเก็บต่างๆ 94
4.9 สมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาผลของช่วงเวลาแอนนอกซิกต่อออกซิก 95

ตาราง (ต่อ) **หน้า**

4.10 แสดงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำในสภาวะแอนนอกซิกและออกซิก 98
4.11 ผลของค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ และประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม Direct red 23 ที่สภาวะแอนนอกซิก :ออกซิกเท่ากับ 15: 4, 12: 7, 10: 9 และ 7: 12 ตามลำดับ 114
4.12 ผลของค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ และประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม Direct blue 15 ที่สภาวะแอนนอกซิก :ออกซิกเท่ากับ 15: 4, 12: 7, 10: 9 และ 7: 12 ตามลำดับ 115
4.13 แสดงคุณสมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการกำจัดสีย้อมไดเร็กท์ ที่สภาวะแอนนอกซิก: ออกซิก 116
ก.1 ช่วงของค่าบีโอดีที่วัดได้ตามค่าเปอร์เซ็นต์ตัวอย่างของการเจือจาง 134
ก.2 ปริมาณตัวอย่างและรีเอเจนต์ที่ใช้สำหรับขนาดต่างๆ ของภาชนะที่ใช้ในการย่อยสลาย 137
ข.1 ค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อม Direct red 23 ที่ความเข้มข้นต่างๆ 146
ข.2 ค่าการดูดกลืนแสงของสีย้อม Direct blue 15 ที่ความเข้มข้นต่างๆ 147
ค.1 ผลของความเข้มข้นและประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม Direct red 23 ที่ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ 1500, 2500 และ 3500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ 150
ค.2 ผลของค่าซีโอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดสี Direct red 23 ที่ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ 1500, 2500 และ 3500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ 152
ค.3 ผลของค่าบีโอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดสี Direct red 23 ที่ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ 1500, 2500 และ 3500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ 153
ค.4 ผลของค่าสารประกอบไนโตรเจนและประสิทธิภาพในการกำจัดสี Direct red 23 ที่ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ 1500, 2500 และ 3500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ 154
ค.5 ผลของค่าของแข็งแขวนลอยของสี Direct red 23 ที่ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ 1500, 2500 และ 3500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ 156
ค.6 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ของสี Direct red 23 ที่ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ 1500, 2500 และ 3500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ 157
ค.7 ผลของความเข้มข้นและประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม Direct blue 15 ที่ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ 1500, 2500 และ 3500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ 158
ค.8 ผลของค่าซีโอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดสี Direct blue 15 ที่ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ 1500, 2500 และ 3500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ 160

ตาราง (ต่อ) **หน้า**

ค.9 ผลของค่าบีโอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดสี Direct blue 15 ที่ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ 1500, 2500 และ 3500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ 161
ค.10 ผลของค่าสารประกอบไนโตรเจนและประสิทธิภาพในการกำจัดสี Direct blue 15 ที่ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ 1500, 2500 และ 3500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ 162
ค.11 ผลของค่าของแข็งแขวนลอยของสี Direct blue 15 ที่ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ 1500, 2500 และ 3500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ 164
ค.12 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ของสี Direct blue 15 ที่ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ 1500, 2500 และ 3500 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ 165
ง.1 ผลของความเข้มข้นและประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม Direct red 23 ที่ระยะเวลากักเก็บ 2.5, 5 และ 7.5 วัน ตามลำดับ 167
ง.2 ผลของค่าซีโอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดสี Direct red 23 ที่ระยะเวลากักเก็บ 2.5, 5 และ 7.5 วัน ตามลำดับ 169
ง.3 ผลของค่าบีโอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดสี Direct red 23 ที่ระยะเวลากักเก็บ 2.5, 5 และ 7.5 วัน ตามลำดับ 170
ง.4 ผลของค่าสารประกอบไนโตรเจนและประสิทธิภาพในการกำจัดสี Direct red 23 ที่ระยะเวลากักเก็บ 2.5, 5 และ 7.5 วัน ตามลำดับ 171
ง.5 ผลของค่าของแข็งแขวนลอยของสี Direct red 23 ที่ระยะเวลากักเก็บ 2.5, 5 และ 7.5 วัน ตามลำดับ 173
ง.6 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ของสี Direct red 23 ที่ระยะเวลากักเก็บ 2.5, 5 และ 7.5 วัน ตามลำดับ 174
ง.7 ผลของความเข้มข้นและประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม Direct blue 15 ที่ระยะเวลากักเก็บ 2.5, 5 และ 7.5 วัน ตามลำดับ 175
ง.8 ผลของค่าซีโอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดสี Direct blue 15 ที่ระยะเวลากักเก็บ 2.5, 5 และ 7.5 วัน ตามลำดับ 177
ง.9 ผลของค่าบีโอดีและประสิทธิภาพในการกำจัดสี Direct blue 15 ที่ระยะเวลากักเก็บ 2.5, 5 และ 7.5 วัน ตามลำดับ 178

ตาราง (ต่อ) **หน้า**

ง.10 ผลของค่าสารประกอบไนโตรเจนและประสิทธิภาพในการกำจัดสี Direct blue 15 ที่ระยะเวลากักเก็บ 2.5, 5 และ 7.5 วัน ตามลำดับ 179

ง.11 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ของสี Direct blue 15 ที่ระยะเวลากักเก็บ 2.5, 5 และ 7.5 วัน ตามลำดับ 181

ง.12 ผลของค่าของแข็งแขวนลอยของสี Direct blue 15 ที่ระยะเวลากักเก็บ 2.5, 5 และ 7.5 วัน ตามลำดับ 182

จ.1 ผลของค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ และประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม Direct red 23 ที่สภาวะแอนนอกซิก: ออกซิกเท่ากับ 15: 4, 12: 7, 10: 9 และ 7: 12 ตามลำดับ 184

จ.2 ผลของค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ต่างๆ และประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม Direct blue 15 ที่สภาวะแอนนอกซิก: ออกซิกเท่ากับ 15: 4, 12: 7, 10: 9 และ 7: 12 ตามลำดับ 186

จ.3 สมบัติของตะกอนจุลินทรีย์ในการกำจัดสีย้อมไดเร็กท์ที่สภาวะแอนนอกซิก: ออกซิก เท่ากับ 15: 4, 12: 7, 10: 9 และ 7: 12 ตามลำดับ 188

รายการรูปประกอบ

รูป **หน้า**

2.1 แผนผังกระบวนการผลิตในอุตสาหกรรมฟอกย้อมและตกแต่งสำเร็จ 5

2.2 การเกิดปฏิกิริยาไดอะโซไทเซชันของสีย้อมอะโซ 20

2.3 โครงสร้างของ Coupling Component ที่เกิดจากการนำอนุพันธ์เบนซินมาทำปฏิกิริยา Coupling 21

2.4 โครงสร้างของ Coupling Component ที่เกิดจากการนำอนุพันธ์แนฟธิลเอมีนมาทำปฏิกิริยา Coupling 21

2.5 สูตรโครงสร้างสารอะโรมาติกเอมีนต้องห้าม 22

2.6 วัฏจักรของระบบระบบเลี้ยงตะกอนเร่งแบบเอสบีอาร์ 33

2.7 ปฏิกิริยาและการเปลี่ยนแปลงต่างๆที่เกิดขึ้นในกระบวนการบำบัดทางชีววิทยา 35

2.8 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยาแบบกะ (batch reactor) 38

3.1 ลักษณะของถังปฏิกิริยา 43

3.2 รายละเอียดของถังปฏิกิริยา 44

3.3 ถังปฏิกิริยาทั้งหมดของการทดลอง 45

3.4 โครงสร้างสี Direct red 23 47

3.5 โครงสร้างสี Direct blue 15 47

4.1 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมไดเร็กท์ที่ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการปนเปื้อนสีย้อม Direct red 23 และ Direct blue 15 57

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสีย้อมไดเร็กท์ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการบำบัดกับระยะเวลาเวลาที่ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ

ก. น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม Direct red 23 ข. น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม Direct blue 15 58

4.3 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการปนเปื้อนสีย้อม Direct red 23 และ Direct blue 15 ที่ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ 60

4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการบำบัดแล้วกับระยะเวลาที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ

ก. น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม Direct red 23 ข. น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม Direct blue 15 61

รูป (ต่อ) **หน้า**

4.5 ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการปนเปื้อนสีย้อม Direct red 23 และ Direct blue 15 ที่ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ 63
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณบีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการบำบัดกับเวลาที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ
ก. น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม Direct red 23 ข. น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม Direct blue 15 64
4.7 ประสิทธิภาพในการบำบัดทีเคเอ็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการปนเปื้อนสีย้อม Direct red 23 และ Direct blue 15 ที่ปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ 66
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทีเคเอ็นในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการปนเปื้อนสีย้อมกับระยะเวลาที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ
ก. น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม Direct red 23 ข. น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม Direct blue 15 67
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนไตรเจนในรูปต่างๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการปนเปื้อนสีย้อม Direct red 23 กับระยะเวลาในการบำบัดที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ
ก. ปริมาณแอมโมเนีย ข. ปริมาณไนไตรท์ ค. ปริมาณไนเตรท 70
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไนไตรเจนในรูปต่างๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีการปนเปื้อนสีย้อม Direct blue 15 กับระยะเวลาในการบำบัดที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ
ก. ปริมาณแอมโมเนีย ข. ปริมาณไนไตรท์ ค. ปริมาณไนเตรท 71
4.11 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อม Direct red 23 และ Direct blue 15ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ระยะเวลากักเก็บระยะเวลากักเก็บต่างๆ 76
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของสีย้อมไดเร็กท์ในน้ำเสียสังเคราะห์กับระยะเวลาในการบำบัดที่ระยะเวลากักเก็บต่างๆ
ก. น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม Direct red 23 ข. น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม Direct blue 15 77
4.13 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนสีย้อม Direct red 23 และ Direct blue 15 ที่ระยะเวลากักเก็บต่างๆ 79
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนสีย้อมไดเร็กท์กับระยะเวลาที่ความระยะเวลากักเก็บต่างๆ
ก. น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม Direct red 23 ข. น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม Direct blue 15 80

รูป (ต่อ) **หน้า**

4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณบีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนสีย้อมไดเร็กท์กับระยะเวลาที่ระยะเวลากักเก็บต่างๆ
ก. น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม Direct red 23 ข. น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม Direct blue 15 82
4.16 ประสิทธิภาพในการบำบัดบีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนสีย้อม Direct red 23 และ Direct blue 15 ที่ระยะเวลากักเก็บต่างๆ 83
4.17 ประสิทธิภาพในการบำบัดทีเคเอ็นในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนสีย้อม Direct red 23 และ Direct blue 15ที่ระยะเวลากักเก็บต่างๆ 84
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณทีเคเอ็นในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนสีย้อมไดเร็กท์กับระยะเวลาที่ระยะเวลากักเก็บต่างๆ
ก. น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม Direct red 23 ข. น้ำเสียสังเคราะห์สีย้อม Direct blue 15 85
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบไนโตรเจนในรูปต่างๆ ในน้ำเสียที่ปนเปื้อนสีย้อม Direct red 23 กับระยะเวลาที่ระยะเวลากักเก็บต่างๆ
ก. ปริมาณแอมโมเนีย ข. ปริมาณไนไตรท์ ค. ปริมาณไนเตรท 88
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างสารประกอบไนโตรเจนในรูปต่างๆ ในน้ำเสียที่ปนเปื้อนสีย้อม Direct blue 15 กับระยะเวลาที่ระยะเวลากักเก็บต่างๆ
ก. ปริมาณแอมโมเนีย ข. ปริมาณไนไตรท์ ค. ปริมาณไนเตรท 89
4.21 ประสิทธิภาพในการกำจัดสีย้อมไดเร็กท์ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่อัตราส่วนแอนนอกซิก: ออกซิก เท่ากับ 15: 4, 12: 7, 10: 9 และ 7: 12 ตามลำดับ
ก. สี Direct red 23 ข. สี Direct blue 15 97
4.22 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนสีย้อมไดเร็กท์ที่อัตราส่วนแอนนอกซิก ออกซิกเท่ากับ :15: 4, 12 :7, 10: 9 และ 7 :12 ตามลำดับ
ก. สี Direct red 23 ข. สี Direct blue 15 100
4.23 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีโดยรวมของระบบต่อระยะเวลาการบำบัดแอนนอกซิก: ออกซิก เท่ากับ 15: 4, 12: 7, 10: 9 และ 7: 12 ตามลำดับ 101
4.24 ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีโดยรวมของระบบที่อัตราส่วนแอนนอกซิก: ออกซิก เท่ากับ 15: 4, 12; 7, 10: 9 และ 7: 12 ตามลำดับ 102

รูป (ต่อ) **หน้า**

4.25 ประสิทธิภาพในการกำจัดบีโอดีในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนสีย้อมไดเร็กท์ที่อัตราส่วนแอนนอกซิก ออกซิก เท่ากับ :15 :4, 12 :7, 10 :9 และ 7 :12 ตามลำดับ
ก. สี Direct red 23 ข. สี Direct blue 15 103
4.26 ประสิทธิภาพการกำจัดทีเคเอ็นในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนสีย้อมไดเร็กท์ที่อัตราส่วนแอนนอกซิก: ออกซิกเท่ากับ 15: 4, 12: 7, 10: 9 และ 7: 12 ตามลำดับ
ก. สี Direct red 23 ข. สี Direct blue 15 105
4.27 ประสิทธิภาพในการกำจัดทีเคเอ็นโดยรวมของระบบที่อัตราส่วน แอนนอกซิก: ออกซิกเท่ากับ 15: 4, 12: 7, 10: 9 และ 7: 12 ตามลำดับ 106
4.28 ปริมาณแอมโมเนียในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนสีย้อมไดเร็กท์ที่อัตราส่วนแอนนอกซิก: ออกซิกเท่ากับ 15: 4, 12: 7, 10: 9 และ 7; 12 ตามลำดับ
ก. Direct red 23 ข. Direct blue 15 108
4.29 ปริมาณไนไตรท์ในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนสีย้อมไดเร็กท์ที่อัตราส่วนแอนนอกซิก: ออกซิกเท่ากับ 15: 4, 12: 7, 10: 9 และ 7; 12 ตามลำดับ
ก. Direct red 23 ข. Direct blue 15 109
4.30 ปริมาณไนเตรทในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนสีย้อมไดเร็กท์กับอัตราส่วนแอนนอกซิก: ออกซิกเท่ากับ 15: 4, 12: 7, 10: 9 และ 7; 12 ตามลำดับ
ก. Direct red 23 ข. Direct blue 15 110
4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแข็งแขวนลอยในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปนเปื้อนสีย้อมไดเร็กท์กับระยะเวลาในการบำบัดที่อัตราส่วนแอนนอกซิก: ออกซิกเท่ากับ 15: 4, 12: 7, 10: 9 และ 7: 12 ตามลำดับ
ก. Direct red 23 ข. Direct blue 15 113
ข.1 กราฟมาตรฐานของสารละลายสี Direct red 23 148
ข.2 กราฟมาตรฐานของสารละลายสี Direct blue 15 148

ประมวลศัพท์และคำย่อ

กก ซีโอดี/ลบ.ม-วัน	=	กิโลกรัมของค่าซีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรของขนาดถังปฏิกิริยาต่อวัน
กก บีโอดี/ลบ.ม-วัน	=	กิโลกรัมของค่าบีโอดีต่อลูกบาศก์เมตรของขนาดถังปฏิกิริยาต่อวัน
มก/ล	=	มิลลิกรัมต่อลิตร
มล/วัน	=	มิลลิลิตรต่อวัน
ลบ.ซม	=	ลูกบาศก์เซนติเมตร
ลบ.ซม/ดม.ซม	=	ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อลูกบาสก์เดซิเมตร
BOD	=	Biochemical Oxygen Demand
COD	=	Chemical Oxygen Demand
DO	=	Dissolved Oxygen
Eff.	=	Effluent
F/M ratio	=	Food/microorganism ratio
HRT	=	Hydraulic Retention Time
Inf.	=	Influent
mg/L	=	Milligram per Litre
MLSS	=	Mixed Liquor Suspended Solid
N	=	Normality
TKN	=	Total KJeldahl Nitrogen
TN	=	Total Nitrogen
rpm	=	Round per Minute
SBR	=	Sequencing Batch Reactor
SRT	=	Sludge Retention Time
SS	=	Suspended Solids
SV30	=	Sludge Volume 30
SVI	=	Sludge Volume Index
%Av	=	Average Percentage
µg/L	=	Microgram per Litre