

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(8)
สัญลักษณ์และคำย่อ	(11)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตการวิจัย	3
การตรวจเอกสาร	4
อุตสาหกรรมกระดาษ	4
การบำบัดน้ำเสียจากโรงงานผลิตกระดาษ	8
ปัญหาสถานะตะกอนลอยของการบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตกระดาษ	20
แนวทางการแก้ปัญหาของการบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตกระดาษ	24
อุปกรณ์และวิธีการ	34
สมมติฐานการทดลอง	35
วัสดุและอุปกรณ์	35
เชื้อและน้ำเสียที่ใช้ในการวิจัย	38
แผนการดำเนินการวิจัย	39
ผลและการวิจารณ์	47
การวิเคราะห์คุณลักษณะน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกระดาษ	
บริษัท คิมเบอร์ลี-คล้าค ประเทศไทย จำกัด	47
การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ของการย่อยสลายทางชีวภาพ	50
การศึกษาประสิทธิภาพของระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีแผ่นกรองจมตัว	
ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานผลิตกระดาษ	66
การศึกษาหาค่าความเข้มข้นตะกอนสูงสุด (Maximum MLSS) และค่าฟลักซ์จำเพาะ	
(Specific Flux)	75

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

การออกแบบระบบการทดลองขนาดใหญ่ (Pilot Plant)ตามค่า สัมประสิทธิ์	
จลนพลศาสตร์และการเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียเทียบกับระบบเดิม	78
สรุปและข้อเสนอแนะ	83
สรุปผลการวิจัย	83
ข้อเสนอแนะ	85
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	86
ภาคผนวก	92
ภาคผนวก ก	93
ภาคผนวก ข	112
ภาคผนวก ค	125

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ขั้นตอนและค่าตัวแปรต่าง ๆ ในการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์জনপলসাস্ত্র	41
2	แสดงค่าพารามิเตอร์และความถี่ในการวิเคราะห์ในการทดลอง	42
3	ความสัมพันธ์ของอัตราส่วน ซีไอดีต่อบีไอดี, ซีไอดีละลายต่อบีไอดีละลาย, ซีไอดีละลายต่อ ซีไอดี และ บีไอดีละลายต่อบีไอดี	48
4	ข้อมูลที่ใช้หาอัตราการใช้อาหารสูงสุดต่อหน่วยน้ำหนักจุลินทรีย์ และค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์เมื่อมีการย่อยสลายเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราสูงสุดที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 ชั่วโมง	52
5	ข้อมูลที่ใช้หาอัตราการใช้อาหารสูงสุดต่อหน่วยน้ำหนักจุลินทรีย์ และค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์เมื่อมีการย่อยสลายเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราสูงสุดที่ระยะเวลาเก็บกัก 16 ชั่วโมง	53
6	ข้อมูลที่ใช้หาสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และอัตราการตายของจุลินทรีย์ที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 ชั่วโมง	56
7	ข้อมูลที่ใช้หาสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และอัตราการตายของจุลินทรีย์ที่ระยะเวลาเก็บกัก 16 ชั่วโมง	57
8	แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัดค่าบีไอดีที่ระยะเวลาเก็บกัก ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ ค่าปริมาณของแฉ่งแขวนลอยระยะเหยเฉลี่ย และค่าภาระบรรทุกเชิงปริมาตรต่างๆของระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีแผ่นกรองจมตัว	67
9	แสดงค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการกำจัดค่าบีไอดีที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ และอายุตะกอนจุลินทรีย์ของระบบถังปฏิกรณ์ชีวภาพแบบมีแผ่นกรองจมตัว	67
10	เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของถังปฏิกรณ์แบบมีแผ่นกรองจมตัวกับระบบเดิม	81

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก1 ค่าบีโอดีที่เข้าและออกระบบที่ระยะเวลาเก็บกัก 4 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วน สารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	94
ก2 ค่าซีโอดีที่เข้าและออกระบบที่ระยะเวลาเก็บกัก 4 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วน สารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	94
ก3 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยที่ระยะเวลาเก็บกัก 4 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	95
ก4 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยระยะเหยที่ระยะเวลาเก็บกัก 4 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	95
ก5 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยระยะเหยเนื่องจากที่ระยะเวลา เก็บกัก 4 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	96
ก6 การเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีปริมาณตะกอนที่ระยะเวลาเก็บกัก 4 ชั่วโมง และที่ค่า สัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	96
ก7 การเปลี่ยนแปลงพีเอชที่ระยะเวลาเก็บกัก 4 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหาร ต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	97
ก8 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ระยะเวลาเก็บกัก 4 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหาร ต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	97
ก9 การเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลายที่ระยะเวลาเก็บกัก 4 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วน สารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	98
ก10 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ที่ระยะเวลาเก็บกัก 4 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	98
ก11 ค่าบีโอดีที่เข้าและออกระบบที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหาร ต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	99
ก12 ค่าซีโอดีที่เข้าและออกระบบที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหาร ต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	100
ก13 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	100

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก14 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยระยะเหยที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	101
ก15 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยระยะเหยเนื่องจากที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	101
ก16 การเปลี่ยนแปลงดัชนีปริมาณตะกอนที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	102
ก17 ปริมาณของแข็งแขวนลอยในระบบ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	102
ก18 การเปลี่ยนแปลงพีเอชที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	103
ก19 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	103
ก20 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลายที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	104
ก21 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	104
ก22 ค่าบีโอดีที่ออกกระบบที่ระยะเวลาเก็บกัก 16 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	105
ก23 ค่าซีโอดีที่เข้าและออกกระบบที่ระยะเวลาเก็บกัก 16 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	106
ก24 ค่าทีโอดีที่เข้าและออกกระบบที่ระยะเวลาเก็บกัก 16 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	106
ก25 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยที่ระยะเวลาเก็บกัก 16 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	107
ก26 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยระยะเหยที่ระยะเวลาเก็บกัก 16 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	107

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก27 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของของแข็งแขวนลอยระเหยเจือจางที่ระยะเวลาเก็บกัก 16 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	108
ก28 การเปลี่ยนแปลงดัชนีปริมาณตะกอนที่ระยะเวลาเก็บกัก 16 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	108
ก29 การเปลี่ยนแปลงดัชนีปริมาณตะกอนที่ระยะเวลาเก็บกัก 16 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	109
ก30 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ระยะเวลาเก็บกัก 16 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	109
ก31 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลายที่ระยะเวลาเก็บกัก 16 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	110
ก32 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์จลนพลศาสตร์ที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 ชั่วโมง และที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ต่าง ๆ	110
ข1 ประสิทธิภาพของระบบที่สัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ ที่สภาวะการเดินระบบต่างๆ	113
ข2 การเปลี่ยนแปลงซีไอดี ดัชนีปริมาณตะกอน ปริมาณของแข็งแขวนลอย ฟิเอช อุณหภูมิ และปริมาณออกซิเจนละลาย ในการเดินระบบที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ เท่ากับ 0.1 ต่อวัน ตามเวลา	117
ข3 การเปลี่ยนแปลงซีไอดี ดัชนีปริมาณตะกอน ปริมาณของแข็งแขวนลอย ฟิเอช อุณหภูมิ และปริมาณออกซิเจนละลาย ในการเดินระบบที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ เท่ากับ 0.2 ต่อวัน ตามเวลา	119
ข4 การเปลี่ยนแปลงซีไอดี ดัชนีปริมาณตะกอน ปริมาณของแข็งแขวนลอย ฟิเอช อุณหภูมิ และปริมาณออกซิเจนละลาย ในการเดินระบบที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ เท่ากับ 0.5 ต่อวัน ตามเวลา	121
ข5 การเปลี่ยนแปลงซีไอดี ดัชนีปริมาณตะกอน ปริมาณของแข็งแขวนลอย ฟิเอช อุณหภูมิ และปริมาณออกซิเจนละลาย ในการเดินระบบที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ เท่ากับ 0.8 ต่อวัน ตามเวลา	123

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ค1	การเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์ตามเวลา ที่ความเข้มข้นตะกอนเท่ากับ 5000 มก./ล.	126
ค2	การเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์ตามเวลา ที่ความเข้มข้นตะกอนเท่ากับ 7000 มก./ล.	127
ค3	การเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์ตามเวลา ที่ความเข้มข้นตะกอนเท่ากับ 9000 มก./ล.	130
ค4	การเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์ตามเวลา ที่ความเข้มข้นตะกอนเท่ากับ 12000 มก./ล.	131
ค5	การเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์ตามเวลา ที่ความเข้มข้นตะกอนเท่ากับ 16000 มก./ล.	132
ค6	การเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์ตามเวลา ที่ความเข้มข้นตะกอนเท่ากับ 18000 มก./ล.	134
ค7	การเปลี่ยนแปลงค่าฟลักซ์ตามเวลา ที่ความเข้มข้นตะกอนเท่ากับ 20000 มก./ล.	135

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 กระบวนการผลิตกระดาษ	6
2 ความสัมพันธ์ระหว่างการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ กับปริมาณสารอินทรีย์ที่เป็นสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลาย	11
3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการย่อยสลายสารอาหารต่อหน่วยน้ำหนักของจุลินทรีย์กับความเข้มข้นของสารอาหารที่มีจำกัด	13
4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $(X)(HRT)/(S_0-S)$ กับ $1/S$ ในรูปสมการเส้นตรง	15
5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $(dX/dt)/X$ กับ $(dS/dt)/X$ ในรูปสมการเส้นตรง	16
6 ระบบบำบัดน้ำเสียและการจัดการตะกอนของ บริษัท คิมเบอร์ลี-คล้าค ประเทศไทย จำกัด	19
7 แสดงการกรองของเหลวผ่านเมมเบรนแบบปลายตัน	31
8 แสดงการกรองของเหลวผ่านเมมเบรนแบบตัดขวาง	31
9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าฟลักซ์กับเวลาในการกรอง	32
10 ถังปฏิกรณ์แบบเอสบีอาร์ (Sequencing Batch Reactor, SBR)	36
11 โมดูลแผ่นกรองในถังปฏิกรณ์ (Filter Module with Pump)	36
12 ถังปฏิกรณ์แบบเดินระบบต่อเนื่อง (Continuous Flow Reactor)	37
13 ขั้นตอนการทดลองศึกษาความสัมพันธ์จลนพลศาสตร์ ความเข้มข้นตะกอนสูงสุด และ ค่าฟลักซ์วิกฤต	40
14 ปริมาณของแข็งแขวนลอยของน้ำออกจากระบบที่ใช้แผ่นกรองขนาดรูพรุน 20 ไมครอนและ 100 ไมครอน	47
15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอดีละลายและบีไอดีละลายของน้ำเสียบริษัท คิมเบอร์ลี-คล้าค ประเทศไทย จำกัด	49
16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าซีไอดีละลายและบีไอดีของน้ำเสียบริษัท คิมเบอร์ลี-คล้าค ประเทศไทย จำกัด	49
17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าบีไอดีละลายและบีไอดีของน้ำเสียบริษัท คิมเบอร์ลี-คล้าค ประเทศไทย จำกัด	50

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
18	แสดงการหาค่าอัตราการใช้อาหารสูงสุดต่อหน่วยน้ำหนักจุลินทรีย์ และค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์เมื่อมีการย่อยสลายเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราสูงสุดที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 ชั่วโมง	54
19	แสดงการหาค่าอัตราการใช้อาหารสูงสุดต่อหน่วยน้ำหนักจุลินทรีย์ และค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์เมื่อมีการย่อยสลายเท่ากับครึ่งหนึ่งของอัตราสูงสุดที่ระยะเวลาเก็บกัก 16 ชั่วโมง	55
20	แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และอัตราการตายของจุลินทรีย์ที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 ชั่วโมง	58
21	แสดงการหาค่าสัมประสิทธิ์การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และอัตราการตายของจุลินทรีย์ที่ระยะเวลาเก็บกัก 16 ชั่วโมง	59
22	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีปริมาณตะกอนในถังปฏิกรณ์ที่ระยะเวลาเก็บกัก 8 ชั่วโมง	61
23	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีปริมาณตะกอนในถังปฏิกรณ์ที่ระยะเวลาเก็บกัก 16 ชั่วโมง	61
24	แบคทีเรียเส้นใยในช่วงการทดลองระยะเวลาเก็บกัก 8 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 300 เท่า	62
25	แบคทีเรียเส้นใยในช่วงการทดลองระยะเวลาเก็บกัก 16 ชั่วโมง ที่กำลังขยาย 300 เท่า	63
26	เชื้อ <i>M. parvicella</i> ที่กำลังขยาย 300 และ 1200 เท่า	63
27	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช (pH) ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ	64
28	แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Temperature) ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ	65
29	แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าออกซิเจนละลาย (Dissolve oxygen) ในถังปฏิกรณ์ชีวภาพ	66
30	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีกับค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ที่ระยะเวลาเก็บกักต่างกัน	68
31	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีกับค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ของระบบ	70
32	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีกับค่าการะบรทุกเชิงปริมาตร	70

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
33	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีกับค่าความเข้มข้นตะกอน จุลินทรีย์เฉลี่ย 71
34	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการกำจัดบีโอดีกับค่าอายุตะกอนจุลินทรีย์ 72
35	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ กับค่าอายุ ตะกอนจุลินทรีย์ 73
36	แสดงผลการทดลองการกำจัดซีโอดี ที่ค่าสัดส่วนสารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์ เท่ากับ 0.05, 0.1, 0.2 และ 0.3 ต่อวัน 74
37	แสดงผลการทดลองการคัดแยกปริมาณสารแขวนลอยที่ออกจากระบบ ที่ค่าสัดส่วน สารอาหารต่อประชากรจุลินทรีย์เท่ากับ 0.05, 0.1, 0.2 และ 0.3 ต่อวัน 75
38	ค่าฟลักซ์ในการกรองของแผ่นกรองที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ เทียบกับเวลา 76
39	ค่าฟลักซ์คงที่ในการกรองของแผ่นกรองที่ความเข้มข้นของตะกอนต่างๆ เทียบกับเวลา 76
40	ค่าฟลักซ์แท้จริงของแผ่นกรองที่ความเข้มข้นของตะกอนจุลินทรีย์ต่างๆ กัน 78