

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

ผลของกรด-เบสที่มีต่อปฏิกิริยาในตรีฟิเคชันในระบบบำบัดน้ำเสียแบบ IFAS

พรพิมล นุชเล็ก

23 ก.ค. 2557

343340

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

กรกฎาคม 2557

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

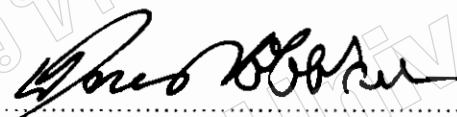
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ พรพิมล นุชเล็ก ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

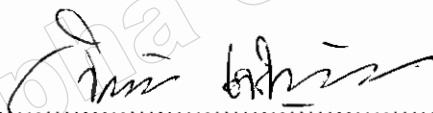
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

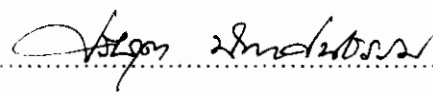

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชงชัย ศรีวิริยรัตน์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธาน
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โสลา ชินเวชกิจวานิชย์)


.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชงชัย ศรีวิริยรัตน์)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตติมา เจริญพานิช)


.....กรรมการ
(ดร.ศรีสุดา นิเทศน์ธรรม)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ของมหาวิทยาลัยบูรพา


.....คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เอกรัฐ ศรีสุข)

วันที่ 29 เดือน กรกฎาคม พ.ศ. 2557

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความกรุณาของ รศ. ดร. ชงชัย ศรีวิริยรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาหลักและประธานกรรมการในการสอบปากเปล่าวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำปรึกษา และคอยตรวจทานข้อบกพร่องอย่างละเอียดถี่ถ้วนเป็นอย่างดีเสมอมา พร้อมเจ้าหน้าที่ซึ่งต้องรบกวนเวลาวันหยุดซึ่งผู้วิจัยต้องมาทำนอกเวลาในวันหยุดราชการผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณไว้เป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

พรพิมล นุชเล็ก

52910160: สาขาวิชา: วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม; วท.ม. (วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม)

คำสำคัญ: IFAS/ กำจัดไนโตรเจน/ แอคติเวเตดสลัดจ์/ พีโอช/ อนาม็อก

พรพิมล นุชเล็ก : ผลของกรด-เบสที่มีต่อปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในระบบบำบัดน้ำเสีย

แบบ IFAS (EFFECTS OF pH ON NITRIFICATION IN IFAS WASTEWATER TREATMENT PROCESS) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: ชงชัย ศรีวิริยรัตน์, Ph.D. 100 หน้า. ปี พ.ศ. 2557.

วัตถุประสงค์ของการศึกษา คือ เพื่อศึกษาผลกระทบของความเป็นกรด-เบส (pH) ที่มีต่อปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันในระบบบำบัดน้ำเสียชีวภาพแบบ Integrated Fixed Film Activated Sludge (IFAS) ที่ประกอบไปด้วยจุลินทรีย์แขวนลอยและจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์ม การทดลองดำเนินการในระบบบำบัดน้ำเสียจำลองแบบแอคติเวเตดสลัดจ์ที่เรียกว่า Anaerobic/Oxic (A/O) ที่มีการติดตั้งตัวกลางแบบเส้นเชือกที่เรียกว่า Bioweb ในถังเติมอากาศ การทดลองแบ่งเป็น 2 ระยะตามปริมาณสารอินทรีย์และสารประกอบไนโตรเจนในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบตลอดการทดลอง การทดลองระยะที่ 1 น้ำเสียมีสารอินทรีย์เท่ากับ 400 mg COD/L ปริมาณไนโตรเจนมีความเข้มข้น 40 mg N/L การศึกษาดำเนินการโดยใช้ระบบ IFAS จำนวน 2 ระบบ เรียกว่า IFAS 1 และ IFAS 2 ที่ควบคุมค่าพีเอชของน้ำเสีย เท่ากับ 7.5 และ 8.5 ตามลำดับ การทดลองระยะที่ 2 น้ำเสียมีสารอินทรีย์ 800 mg COD/L ปริมาณไนโตรเจนมีความเข้มข้น 80 mg N/L ศึกษาดำเนินการโดยใช้ระบบบำบัดน้ำเสียจำนวน 4 ระบบ โดยมีระบบที่เป็นระบบแอคติเวเตดสลัดจ์ที่ไม่มีการติดตั้งตัวกลางในถังเติมอากาศ (AS) ซึ่งใช้เป็นชุดควบคุม และระบบ IFAS 1, IFAS 2 และ IFAS 3 ที่มีตัวกลางติดตั้งในถังเติมอากาศ โดยน้ำเสียสังเคราะห์ที่ป้อนเข้าสู่ระบบมี pH เท่ากับ 7.5, 6.5, 7.5 และ 8.5 ตามลำดับ ผลการทดลองระยะที่ 1 พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 และ IFAS 2 มีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรเจนใกล้เคียงกัน โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์เท่ากับร้อยละ 90.9 และ 90.2 และมีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนเท่ากับร้อยละ 97.6 และ 97.7 ตามลำดับ เนื่องจากมีมวลรวมของจุลินทรีย์ทั้งที่อยู่ในรูปแขวนลอยและในชั้นไบโอฟิล์มของจุลินทรีย์ซึ่งสูงกว่าค่าอายุสลัดจ์ขั้นต่ำสุดและอุณหภูมิที่ใช้เดินระบบนั้นมีอุณหภูมิสูง น้ำเสียที่มี pH เท่ากับ 8.5 ทำให้ไบโอฟิล์มมีโครงสร้างของสารโพลีเมอร์ภายนอกเซลล์ (Extracellular Polymeric Substances, EPS) ที่เกาะกันหลวมๆ เกิดการหลุดลอกของไบโอฟิล์มได้ง่ายกว่าไบโอฟิล์มที่เกิดขึ้นในระบบ IFAS 1 ที่ป้อนน้ำเสียที่มี pH เท่ากับ 7.5 ส่งผลให้ปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันส่วนใหญ่เกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มของระบบ IFAS 1 แต่ระบบ IFAS 2 เกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชันเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์แขวนลอยได้ดี ส่วนผลการทดลองระยะที่ 2 พบว่า ระบบบำบัดน้ำเสีย AS นั้นเกิดปัญหาตะกอนลอยอย่างต่อเนื่อง ระบบบำบัดน้ำเสีย AS, IFAS 1, IFAS 2 และ IFAS 3 มี

ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ได้ร้อยละ 81.8, 92.3, 96.2 และ 90.2 ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนได้ร้อยละ 100 เพราะมีมวลรวมของจุลินทรีย์ทั้งที่อยู่ในรูปแขวนลอยและในชั้นไบโอฟิล์มของจุลินทรีย์ซึ่งสูงกว่าค่าอายุสัปดาห์ขั้นต่ำสุดและอุณหภูมิที่ใช้เดินระบบนั้นมีอุณหภูมิสูงเช่นเดียวกัน การกำจัดสารประกอบแอมโมเนียมไนโตรเจนในระบบ IFAS 1, IFAS 2 และ IFAS 3 นั้นเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์แขวนลอย มีเพียงระบบ IFAS 2 เท่านั้นที่สามารถกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนโดยจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มได้ นอกจากนั้น พบว่า ระบบ IFAS 1, IFAS 2 และ IFAS 3 มีการสะสมของไนไตรท์ในไนโตรเจนและความเข้มข้นของไนเตรทในไนโตรเจนน้อยลงตามลำดับ อธิบายได้ว่า เมื่อ pH ของน้ำเสียเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดความหนาของชั้นไบโอฟิล์มมากขึ้น ส่งผลต่อประสิทธิภาพการแพร่ของออกซิเจนเข้าสู่ชั้นไบโอฟิล์มจนเกิดสภาวะไร้อากาศจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มจึงใช้ไนไตรท์ในไนโตรเจนที่เกิดขึ้นในชั้นไบโอฟิล์มเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแทนออกซิเจนกระบวนการนี้เรียกว่า ANAMMOX ส่งผลให้เกิดการสะสมไนไตรท์ในไนโตรเจนต่ำสุดที่ pH เท่ากับ 8.5 และทำให้ไนไตรท์ในไนโตรเจนที่เปลี่ยนเป็นไนเตรทในไนโตรเจนมีปริมาณน้อย ส่งผลให้ความเข้มข้นของไนเตรทในไนโตรเจนมีความเข้มข้นต่ำสุดในระบบ IFAS 3

52910160: MAJOR : ENVIRONMENTAL SCIENCE; M.Sc.(ENVIRONMENTAL SCIENCE.

KEYWORDS: IFAS/ NITROGEN REMOVAL/ ACTIVATED SLUDGE/ pH/ ANAMMOX

PORNPIMOL NUCHLEK: EFFECTS OF pH ON NITRIFICATION IN IFAS

WASTEWATER TREATMENT PROCESS. ADVISORY COMMITTEE: TONGCHAI

SRIWIRIYARAT, Ph.D. 100 P. 2014.

The objectives of this study was to evaluate the effects of pH on nitrification in the biological wastewater treatment process called Integrated Fixedfilm Activated Sludge (IFAS) consisting of microorganisms in both suspended growth and biofilm. The experiments were conducted in pilot-scale activated sludge wastewater treatment systems integrated with Bioweb media in the aerobic zones. The experiments were also divided into two phases according to the synthetic wastewater characteristics. The wastewaters contained the organic matters and nitrogen in the amounts of 400 mg COD/L and 40 mg N/L, respectively, for the first phase. In this experiments, two IFAS systems called IFAS 1 and IFAS 2 were fed with the wastewaters at the pH values of 7.5 and 8.5, respectively. Subsequently, the wastewater was increased its strength to be 800 mg COD/L and 80 mg N/L in the second phase of experiments. There were four wastewater treatment systems consisting of conventional activated sludge system called AS, which was used as a control system without any media installation and three IFAS systems called IFAS 1, IFAS 2, and IFAS 3. The pH of wastewaters fed into the AS, IFAS 1, IFAS 2, and IFAS 3 systems were 7.5, 6.5, 7.5, and 8.5, respectively. The first phase experimental results showed that both IFAS 1 and IFAS 2 could remove both organic matters and nitrogen equivalently at the COD removal efficiencies of 90.9 and 90.2 and the nitrification of 97.6 and 97.7, respectively. It is because the sludge age was higher than the minimum sludge age and the systems were operated at high temperature. At high pH of 8.5, the extracellular polymeric substances (EPS) was loosely structured in the biofilm layer resulting in the easily detachment of biofilm; therefore, nitrifications were mostly accomplished by attached growth microorganisms in IFAS 1, but were significantly obtained by suspended growth microorganisms in IFAS 2. As a result of higher strength of wastewater characteristics, the filamentous bacteria was over-grown continuously in the AS system resulting in the bulking sludge. The COD removal efficiencies of 81.8, 92.3, 96.2 and 90.2 were achieved in the AS, IFAS 1, IFAS 2 and IFAS 3, respectively. The

nitrification was completed in all systems as the results of both high sludge age and temperature. As a result of optimum pH in IFAS 2 system, the nitrification could be partly accomplished by the microorganisms in the biofilm layer, but were achieved by suspended growth microorganisms in other systems. As the pH increased, the thicker biofilm layer were obtained resulting in the deficiency of oxygen the biofilm; therefore, nitrite nitrogen was used instead as an electron acceptor. The ANaerobic AMMonium OXidation (ANAMMOX) took place in the biofilm generating low accumulation of nitrite nitrogen in the systems. The nitrate nitrogen was also lower at higher pH because nitrite nitrogen was removed by the ANAMMOX process.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ซ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษา.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	5
แหล่งที่มาของน้ำเสีย.....	5
ลักษณะของน้ำเสีย.....	7
การบำบัดน้ำเสีย.....	12
ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอกติเวตเต็ดสลัดจ์.....	13
ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Integrated Fixed Film Activated Sludge (IFAS).....	16
กลไกการเกิดไบโอฟิล์ม.....	17
สารประกอบภายนอกเซลล์.....	18
ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดไบโอฟิล์ม.....	20
ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตสารประกอบภายนอกเซลล์.....	22
3. วิธีดำเนินการวิจัย.....	24
ระบบบำบัดน้ำเสียจำลอง.....	24
รูปแบบการวิจัย.....	24
เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	26
ลักษณะของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง.....	26

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
ขั้นตอนการทดลอง	27
การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสีย	36
4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	38
ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรฟิเคชั่นของการทดลองระยะที่ 1	38
ปริมาณจุลินทรีย์แขวนลอยและจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มของการทดลองระยะที่ 1	39
ผลของ pH ต่อปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตจำเพาะของการทดลองระยะที่ 1	41
อัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในระบบ IFAS ของการทดลองระยะที่ 1	43
อัตราการเกิดไนไตรท์ในไนโตรเจนในระบบ IFAS ของการทดลองระยะที่ 1	47
อัตราการเกิดไนเตรทในไนโตรเจนในระบบ IFAS ของการทดลองระยะที่ 1	49
ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์และไนโตรฟิเคชั่นของการทดลองระยะที่ 2	52
ปริมาณจุลินทรีย์แขวนลอยและจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มของการทดลองระยะที่ 2	59
ผลของ pH ต่อปริมาณโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตจำเพาะของการทดลองระยะที่ 2	61
อัตราการเกิดแอมโมเนียมไนโตรเจนในระบบ IFAS ของการทดลองระยะที่ 2	65
อัตราการเกิดไนไตรท์ในไนโตรเจนในระบบ IFAS ของการทดลองระยะที่ 2	66
อัตราการเกิดไนเตรทในไนโตรเจนในระบบ IFAS ของการทดลองระยะที่ 2	70
5 สรุปผลการทดลอง	76
สรุปผลการทดลองระยะที่ 1	76
สรุปผลการทดลองระยะที่ 2	77
บรรณานุกรม	79
ภาคผนวก	86
ภาคผนวก ก	88
ภาคผนวก ข	89
ประวัติย่อของผู้วิจัย	100

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สมมูลประชากรและลักษณะน้ำเสียชุมชน.....	6
3-1 คุณลักษณะของน้ำเสียชุมชนสังเคราะห์ที่ใช้ในการทดลอง.....	29
3-2 สารเคมีที่ใช้เตรียมสารอาหารเพิ่มเติมในปริมาตร 1 ลิตร.....	30
4-1 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์แขวนลอยและจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มที่ติดตั้งภายในถังเดิม อากาศของการทดลองระยะที่ 1.....	44
4-2 สรุปอัตราการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจน และอัตราการเกิดไนโตรที่ในโตรเจนและ ไนเตรทในโตรเจนของการทดลองระยะที่ 1.....	51
4-3 ความเข้มข้นของจุลินทรีย์แขวนลอยและจุลินทรีย์ในไบโอฟิล์มในถังเดิมอากาศของ การทดลองระยะที่ 2.....	54
4-4 สรุปอัตราการกำจัดแอมโมเนียในโตรเจน และอัตราการเกิดไนโตรที่ในโตรเจน และไนเตรทในโตรเจนของการทดลองระยะที่ 1.....	75
ก.1 ปริมาณสารอินทรีย์บ่งชี้ในรูปซีไอดี 400 mg/L ไม่เติมตัวกลาง.....	88
ก.2 ปริมาณสารอินทรีย์บ่งชี้ในรูปซีไอดี 400 mg/L เติมตัวกลาง.....	89
ก.3 ปริมาณสารอินทรีย์บ่งชี้ในรูปของซีไอดีเท่ากับ 800 mg/L pH ของน้ำเสีย เท่ากับ 7.5 ทุกระบบ.....	91
ก.4 ปริมาณสารอินทรีย์บ่งชี้ในรูปของซีไอดีเท่ากับ 800 mg/L pH ของน้ำเสีย เท่ากับ 7.5, 6.5, 7.5 และ 8.5.....	92
ก.5 ปริมาณของแข็งแขวนลอยบ่งชี้ในรูปของ MLSS ที่มีสารอินทรีย์ที่บ่งชี้ในรูปของซีไอดี เท่ากับ 400 mg/L.....	94
ก.6 ปริมาณของแข็งแขวนลอยบ่งชี้ในรูปของ MLSS ที่มีสารอินทรีย์ที่บ่งชี้ในรูปของซีไอดี เท่ากับ 800 mg/L.....	95
ก.7 ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน, ไนโตรที่ไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจน ที่มีสารอินทรีย์ที่บ่งชี้ในรูปของซีไอดีเท่ากับ 400 mg/L ไม่มีตัวกลาง.....	96
ก.8 ปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน, ไนโตรที่ไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจน ที่มีสารอินทรีย์ที่บ่งชี้ในรูปของซีไอดีเท่ากับ 800 mg/L มีตัวกลาง.....	97
ก.9 ปริมาณคาร์บอนไฮดรตและโปรตีนที่มีสารอินทรีย์บ่งชี้ในรูปของซีไอดีเท่ากับ 800 mg/L ก่อนปรับค่า pH ของน้ำเสีย.....	99

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่

หน้า

ก.10 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนที่มีสารอินทรีย์บ่งชี้ในรูปของซีไอดี

เท่ากับ 800 mg/L หลังปรับค่า pH ของน้ำเสีย99

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 ชั้นโยกย้ายสารอินทรีย์ผ่านเข้าภายในเซลล์	14
2-2 การทำนายการรวมกลุ่มของแบคทีเรียด้วยการสร้างสะพานข้ามโพลีแซคคาไรด์และกฎของ ประจุบวกในการเกาะบนชีวโพลิเมอร์และกิจกรรมในตำแหน่งเกาะของแลคติน	15
2-3 ประเภทของสารประกอบภายนอกเซลล์เมื่อพิจารณาจากสถานะการละลาย.....	21
3-1 ระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Anaerobic/Oxic (A/O)	24
3-2 แผนผังการทดลองของการทดลองระยะที่ 1 ขั้นตอนที่ 1	28
3-3 ตัวกลาง Bioweb [®] ที่ใช้ในระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 และ 2	30
3-4 แผนผังการทดลองของการทดลองระยะที่ 1 ขั้นตอนที่ 2.....	31
3-5 แผนผังการทดลองของการทดลองระยะที่ 1 ขั้นตอนที่ 3.....	32
3-6 ชุดอุปกรณ์การทำ Batch Tests.....	32
3-7 แผนผังการทดลองของการทดลองระยะที่ 1 ขั้นตอนที่ 4.....	32
3-8 แผนผังการทดลองของการทดลองระยะที่ 2 ขั้นตอนที่ 1.....	33
3-9 แผนผังการทดลองของการทดลองระยะที่ 2 ขั้นตอนที่ 2.....	34
3-10 แผนผังการทดลองของการทดลองระยะที่ 2 ขั้นตอนที่ 3.....	35
3-11 แผนผังการทดลองของการทดลองระยะที่ 2 ขั้นตอนที่ 4.....	37
4-1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารอินทรีย์และแอมโมเนียมไนโตรเจน ของระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 และ IFAS 2.....	39
4-2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนโตรเจนไนโตรเจนและไนเตรทไนโตรเจน ของระบบบำบัดน้ำเสีย IFAS 1 และ IFAS 2.....	40
4-3 ปริมาณโปรตีนจำเพาะและคาร์โบไฮเดรตจำเพาะของไบโอฟิล์มในระบบ IFAS 1 และ IFAS 2 ของการทดลองระยะที่ 1	42
4-4 อัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในระบบ IFAS 1 ที่มี pH ในน้ำเสียเท่ากับ 7.5.....	45
4-5 อัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนระบบ IFAS 2 ที่มี pH ในน้ำเสียเท่ากับ 8.5.....	46
4-6 อัตราการเกิดไนโตรเจนไนโตรเจนในระบบ IFAS 1 ที่มี pH ในน้ำเสียเท่ากับ 7.5.....	48
4-7 อัตราการเกิดไนโตรเจนไนโตรเจนในระบบ IFAS 2 ที่มี pH ในน้ำเสียเท่ากับ 8.5.....	48
4-8 อัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนในระบบ IFAS 1 ที่มี pH ในน้ำเสียเท่ากับ 7.5.....	49

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-9 อัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนในระบบ IFAS 2 ที่มี pH ในน้ำเสียเท่ากับ 8.5	50
4-10 ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ของระบบบำบัดน้ำเสีย AS, IFAS 1, IFAS 2, และ IFAS 3 ของการทดลองระยะที่ 2 เมื่อ pH ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบ เท่ากับ 7.5, 6.5, 7.5 และ 8.5.....	53
4-11 ความเข้มข้นของแอมโมเนียมไนโตรเจนของระบบบำบัดน้ำเสีย AS, IFAS 1, IFAS 2, และ IFAS 3 ของการทดลองระยะที่ 2 เมื่อ pH ของน้ำเสีย ที่ป้อนเข้าสู่ระบบเท่ากับ 7.5, 6.5, 7.5 และ 8.5	56
4-12 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนเตรทไนโตรเจนของระบบบำบัดน้ำเสีย AS, IFAS 1, IFAS 2, และ IFAS 3 ของการทดลองระยะที่ 2 เมื่อ pH ของน้ำเสียที่ป้อนเข้าสู่ระบบเท่ากับ 7.5, 6.5, 7.5 และ 8.5.....	57
4-13 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของไนเตรทไนโตรเจนของระบบบำบัดน้ำเสีย AS, IFAS 1, IFAS 2, และ IFAS 3 ของการทดลองระยะที่ 2 เมื่อ pH ของน้ำเสียที่ ป้อนเข้าสู่ระบบเท่ากับ 7.5, 6.5, 7.5 และ 8.5	58
4-14 ความสัมพันธ์ระหว่างแอมโมเนียอิสระ (Free Ammonia,FA)และกรดไนตรัสอิสระ (Free Nitrous Acid, FNA).....	59
4-15 จุด Isoelectric point ของ EPS และ โครงสร้างของ EPS ที่เป็นผลเนื่องจากค่า pH.....	61
4-16 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตจำเพาะของจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มบนตัวกลางที่ติดตั้งใน ถังเดิมอากาศของระบบ IFAS 1, IFAS 2 และ IFAS 3 สำหรับการทดลองในระยะที่ 2 ขั้นตอนที่ 2.....	63
4-17 ปริมาณโปรตีนจำเพาะของจุลินทรีย์ในชั้นไบโอฟิล์มบนตัวกลางที่ติดตั้งในถังเดิมอากาศ ของระบบ IFAS 1, IFAS 2 และ IFAS 3 สำหรับการทดลองในระยะที่ 2 ขั้นตอนที่ 2 ..	63
4-18 อัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในระบบ AS ที่ค่า pH ของน้ำเสียเท่ากับ 7.5.....	65
4-19 อัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในระบบ IFAS 1 ที่ค่า pH ของน้ำเสียเท่ากับ 6.5	65
4-20 อัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในระบบ IFAS 2 ที่มี pH ของน้ำเสียเท่ากับ 7.5	66
4-21 อัตราการกำจัดแอมโมเนียมไนโตรเจนในระบบ IFAS 3 ที่มี pH ของน้ำเสียเท่ากับ 8.5	67
4-22 อัตราการเกิดไนเตรทไนโตรเจนในระบบ AS ที่มี pH ของน้ำเสียเท่ากับ 7.5	67

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-23 อัตราการกำจัดไนโตรเจนในโตรเจนในระบบ IFAS 1 ที่มี pH ของน้ำเสียเท่ากับ 6.5.....	68
4-24 อัตราการกำจัดไนโตรเจนในโตรเจนในระบบ IFAS 2 ที่มี pH ของน้ำเสียเท่ากับ 7.5.....	69
4-25 อัตราการกำจัดไนโตรเจนในโตรเจนในระบบ IFAS 3 ที่มี pH ของน้ำเสียเท่ากับ 8.5.....	70
4-26 อัตราการเกิดไนเตรทในโตรเจนในระบบ AS ที่มี pH ของน้ำเสียเท่ากับ 7.5.....	71
4-27 อัตราการเกิดไนเตรทในโตรเจนในระบบ IFAS 1 ที่มี pH ของน้ำเสียเท่ากับ 6.5.....	71
4-28 อัตราการเกิดไนเตรทในโตรเจนในระบบ IFAS 2 ที่มี pH ของน้ำเสียเท่ากับ 7.5.....	72
4-29 อัตราการเกิดไนเตรทในโตรเจนในระบบ IFAS 3 ที่มี pH ของน้ำเสียเท่ากับ 8.5.....	73