



246954



ผลงานวิจัยที่จัดทำขึ้นเพื่อสนองต่อความต้องการด้านวิชาการ
จากสถาบันต่างประเทศ

ศาสตราจารย์ โยสภรณ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ที่เสนอแก่คณะ
ปรีชญานีวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พ.ศ. 2553

600231499



ผลของการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ

จากกากมันสำปะหลัง



นายมาศยา โชคสงวน วศ.บ. (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ. 2553

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(รศ.ดร.เจติมราช วันทวิน)

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....
(ดร.สาโรช บุญยกิจสมบัติ)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....
(ผศ.ดร.พงศศักดิ์ หนูพันธ์)

กรรมการ

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ จากกากมันสำปะหลัง
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	นายมาศยา โชคสงวน
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สาโรช บุญยกิจสมบัติ
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
พ.ศ.	2553

บทคัดย่อ

246954

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดต่อการสร้างชีโอดีละลายและการผลิตก๊าซชีวภาพจากกากมันสำปะหลัง การบำบัดเบื้องต้นแบ่งเป็น 3 สภาวะ คือ 1) กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0 – 2.0 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) ระยะเวลา 30 วัน 2) กรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0 – 0.5 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่อุณหภูมิ 55 – 121 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 – 60 นาที และ 3) กรดอะซิติก กรด โพร ไพออนิก กรด ไนตริก หรือกรดไฮโดรคลอริกที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที ผลการทดลองพบว่า การบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสรวมกับการใช้กรดซัลฟิวริกไม่สามารถเพิ่มชีโอดีละลายต่อชีโอดีทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่การใช้น้ำกลั่นที่อุณหภูมิห้องและการใช้อุณหภูมิ 70, 90 และ 121 องศาเซลเซียสรวมกับกรดซัลฟิวริกสามารถเพิ่มชีโอดีละลายต่อชีโอดีทั้งหมดได้สูงสุด 19.3, 42.5, 81.0 และ 83.4 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบชนิดของกรดที่ใช้พบว่า กรดแก่สามารถเพิ่มชีโอดีละลายต่อชีโอดีทั้งหมดมากกว่ากรดอ่อน 7 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาค่าต่อศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทน(บีเอ็มที) พบว่า การบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาทีและไม่ใช้กรดมีค่าบีเอ็มทีสูงกว่าบีเอ็มทีกากมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการบำบัดเบื้องต้น 14 เปอร์เซ็นต์

คำสำคัญ : กากมันสำปะหลัง/ การบำบัดเบื้องต้น/ อุณหภูมิ/ กรดซัลฟิวริก/ ชีโอดีละลายน้ำ/

ศักยภาพการผลิตมีเทน

Thesis Title	Effects of Acid Pretreatment on Biogas Production from Cassava Decanter Cake
Thesis Credit	12
Candidate	Mr.Masaya Chokesanguan
Thesis Advisor	Dr.Saroch Boonyakitsombut
Program	Master of Engineering
Field Study	Environmental Engineering
Department	Environmental Engineering
Faculty	Engineering
B.E.	2553

Abstract

246954

This research aimed to study the effects of acid pretreatment on soluble COD and biogas production from cassava decanter cake. The pretreatment was separated under 3 conditions. First, a sulfuric acid concentration of 0 – 2.0 % (w/v) at room temperature (25°C) for 30 days. Second, a sulfuric acid concentration of 0 – 0.5 % (w/v) at temperatures between 55 and 121 °C for 15 – 60 minutes. Third, a 0.045 molar of acetic acid, propionic acid, nitric acid or hydrochloric acid at 121 °C for 30 minutes. The results showed that pretreatment with sulfuric acid at room temperature or at 55 °C did not significantly increase SCOD/TCOD. In contrast, pretreatment using only distilled water at room temperature and pretreatment at 70, 90 and 121 °C with sulfuric acid increased SCOD/TCOD to 19.3, 42.5, 81.0 and 83.4 percent, respectively. The comparison between weak and strong acids found that strong acids increased the SCOD/TCOD more than weak acids by up to 7 percent. Finally, considering the biochemical methane potential (BMP), the results showed that pretreatment at 121 °C without acid supplementation for 30 minutes demonstrated the highest BMP, which was 14 percent higher than that of the untreated cassava decanter cake.

Keywords : Cassava Decanter Cake/ Pretreatment/ Temperature/ Sulfuric Acid/ Soluble COD/
BMP

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลือจากหลายฝ่าย ผู้วิจัยขอกราบ
 ขอบพระคุณ ดร.สาโรช บุญยกิจสมบัติ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่แนะนำแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์
 ตลอดจนคำแนะนำและปลูกฝังแนวคิดของภาคธุรกิจการลงทุนซึ่งมีประโยชน์อย่างยิ่ง
 ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.เฉลิมราช วันทวิน ในฐานะประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ สำหรับ
 คำแนะนำและจัดทำวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.พงศ์ศักดิ์ หนูพันธ์
 กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาเอื้อเฟื้อเวลาและให้คำแนะนำต่าง ๆ รวมทั้งตรวจสอบวิทยานิพนธ์
 ให้มีความสมบูรณ์ ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ที่เป็นผู้ประ
 สติธิประสาทวิชาความรู้ให้แก่ผู้วิจัย ขอขอบพระคุณคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
 สำหรับการให้ความช่วยเหลือในทุกๆด้าน ขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศแห่งชาติด้านการจัดการ
 สิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย (National Center of Excellence for Environmental and Hazardous
 Waste Management) ที่ได้สนับสนุนอุปกรณ์สำหรับใช้ในงานวิจัย ขอขอบคุณ คุณ อมรรัตน์ บุญมี
 และ คุณวลัยรัตน์ มาลัยหอม ผู้ให้คำแนะนำและให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยตลอดมา ขอขอบคุณ
 บริษัท ชลเจริญ จำกัด ที่อนุเคราะห์กากมันสำปะหลังและตะกอนแบคทีเรียที่ใช้ในงานวิจัย

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณครอบครัวและบุพการีทั้งสองท่าน สำหรับกำลังใจและให้โอกาสใน
 การศึกษาเสมอมา ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ผู้วิจัยสามารถทำวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี
 ประโยชน์อันใดที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของทุกท่านดังกล่าว
 ข้างต้น ผู้วิจัยจึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการรูปประกอบ	ซ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ฐ
บทที่	
1. บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. ทฤษฎี	4
2.1 มันสำปะหลัง	4
2.2 อุตสาหกรรมแป้งมันสำปะหลัง	5
2.3 การผลิตแป้งมันสำปะหลัง	7
2.4 กากมันสำปะหลัง	9
2.5 กระบวนการบำบัดทางชีวภาพแบบไร้อากาศ	10
2.6 การบำบัดเบื้องต้น	12
2.7 การเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลายทางชีวภาพแบบไร้อากาศ ในการย่อยสลายวัสดุชีวมวล	16
2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19

3. แผนการและการดำเนินงานวิจัย	22
3.1 แผนการดำเนินงาน	22
3.2 กากแป้งมันสำปะหลัง	23
3.3 เชื้อตะกอนจุลินทรีย์	25
3.4 เครื่องมือและอุปกรณ์	25
3.5 วิธีการดำเนินงานวิจัย	26
4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	37
4.1 การศึกษาสภาวะการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดซัลฟิวริกต่อผลผลิตซีโอดีละลายน้ำ จากกากมันสำปะหลัง	37
4.2 การศึกษาผลจากการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดที่สภาวะต่าง ๆ ต่อศักยภาพ การผลิตก๊าซมีเทน	58
5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	89
5.1 สรุปผลการทดลอง	89
5.2 ข้อเสนอแนะ	90
เอกสารอ้างอิง	91
ภาคผนวก	95
ก. ปริมาณก๊าซชีวภาพสะสมในช่วงเวลาต่าง ๆ	95
ข. องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพ	106
ค. ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมในช่วงเวลาต่าง ๆ	109
ง. ตัวอย่างการคำนวณ	120
ประวัติผู้วิจัย	124

รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1. องค์ประกอบห้วมันสำปะหลังและเนื้อมัน	5
2.2. องค์ประกอบทางเคมีของกากมันสำปะหลัง	9
3.1. แผนการดำเนินงาน	23
3.2. ลักษณะทางเคมีของกากมันสำปะหลัง	24
3.3. คุณสมบัติน้ำล้างกากมันสำปะหลัง	24
3.4. ลักษณะของเชื้อตะกอนจุลินทรีย์	25
4.1 ค่าซีไอดีละลายน้ำจากการทดลองการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดซัลฟิวริกที่อุณหภูมิห้อง	38
4.2 ค่าซีไอดีละลายน้ำจากการทดลองการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดซัลฟิวริกที่อุณหภูมิ 55 และ 70 องศาเซลเซียส	39
4.3 ค่าซีไอดีละลายน้ำจากการทดลองการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดซัลฟิวริกที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส	40
4.4 ค่าซีไอดีละลายน้ำจากการทดลองการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดซัลฟิวริกที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส	41
4.5 ค่าซีไอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดอะซิติก โพรไพออนิก ไนตริก และกรดไฮโดรคลอริก	54
4.6 เปรียบเทียบผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนการบำบัดเบื้องต้น	57
4.7 ค่าบีเอ็มพีจากสภาวะการบำบัดเบื้องต้นต่างๆ	58
4.8 ค่าการนำไฟฟ้าและค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) จากการปรับพีเอช ของเหลวจากการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรด	61
4.9 เปรียบเทียบผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	87
ข.1 องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพจากกากมันสำปะหลังและของเหลวที่ผ่านการบำบัดเบื้องต้นที่สภาวะต่าง ๆ	107

รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง	8
2.2	รูปถ่ายกากมันสำปะหลังด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน	10
2.3	ขั้นตอนการย่อยสลายในการบำบัดทางชีวภาพแบบไร้อากาศ	11
2.4	วัตถุประสงค์ของการบำบัดเบื้องต้น	13
2.5	การบำบัดเบื้องต้นด้วยวิธีต่างๆต่อ โครงสร้างชีวมวล	16
3.1	กากมันสำปะหลัง	24
3.2	วิธีการดำเนินงานทั้งหมด	27
3.3	ขั้นตอนการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดซัลฟิวริกที่อุณหภูมิ 55 – 121 องศาเซลเซียส	29
3.4	ขั้นตอนการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดซัลฟิวริกที่อุณหภูมิห้อง	30
3.5	ขั้นตอนการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดอะซิติก กรด โพรไพออนิก กรดไนตริก และ กรดไฮโดรคลอริก	32
3.6	วิธีการทดลองศึกษาภาพการผลิตก๊าซมีเทน	34
3.7	ตัวอย่างแผนภาพวิธีการวิเคราะห์	36
4.1	ค่าซีไอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิห้อง (25 C) กรดซัลฟิวริก 0.25, 0.5, 1.0 และ 2.0 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) ระยะเวลา 30 วัน อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว 1:10 (มวลต่อ ปริมาตร)	43
4.2	ค่าซีไอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิห้อง (25 C) กรดซัลฟิวริก 0.25, 0.5, 1.0 และ 2.0 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) ระยะเวลา 30 วัน อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว 1:15 (มวลต่อปริมาตร)	43
4.3	ค่าซีไอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้นที่อุณหภูมิห้อง (25 C) กรดซัลฟิวริก 0.25, 0.5, 1.0 และ 2.0 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) ระยะเวลา 30 วัน อัตราส่วนของแข็งต่อของเหลว 1:20 (มวลต่อปริมาตร)	43
4.4	รูปเชื้อราบนผิวของเหลวและเม็ดแป้งจากกล้องจุลทรรศน์	44
4.5	ซีไอดีละลายน้ำที่เพิ่มขึ้นต่อซีไอดีทั้งหมดจากการบำบัดเบื้องต้นที่ อุณหภูมิห้อง (25 C)	44
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกรดต่อซีไอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้น ที่อุณหภูมิ 55, 70, 90 และ 121 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 60 นาที	45

4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกรดต่อซีโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้น ที่อุณหภูมิ 70, 90 และ 121 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 30 นาที	46
4.8	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกรดต่อซีโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้น ที่อุณหภูมิ 70, 90 และ 121 องศาเซลเซียส ระยะเวลา 15 นาที	47
4.9	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อซีโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้น ด้วยน้ำกลั่นและกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 0.0625, 0.125, 0.25 และ 0.5 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่ระยะเวลา 60 นาที	48
4.10	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อซีโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้น ด้วยน้ำกลั่น และกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 0.0625, 0.125, 0.25 และ 0.5 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่ระยะเวลา 30 นาที	49
4.11	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อซีโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้น ด้วยน้ำกลั่น และกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 0.0625, 0.125, 0.25 และ 0.5 % (น้ำหนักต่อปริมาตร) ที่ระยะเวลา 15 นาที	50
4.12	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาต่อซีโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้น ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส น้ำกลั่นและกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.0625, 0.125, 0.25 และ 0.5 % (น้ำหนักต่อปริมาตร)	51
4.13	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาต่อซีโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้น ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส น้ำกลั่นและกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.0625, 0.125, 0.25 และ 0.5 % (น้ำหนักต่อปริมาตร)	52
4.14	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาต่อซีโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้น ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส น้ำกลั่นและกรดซัลฟิวริกความเข้มข้น 0.0625, 0.125, 0.25 และ 0.5 % (น้ำหนักต่อปริมาตร)	53
4.15	ค่าซีโอดีละลายน้ำจากการบำบัดเบื้องต้นด้วยกรดอะซิติก โพรไพออนิก ไนตริก และ ไฮโดรคลอริก ความเข้มข้น 0.045 M	55
4.16	ตัวอย่างคำนวณศักยภาพการผลิตก๊าซมีเทนรวม	60
4.17	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพีที่ระยะเวลา การบำบัดเบื้องต้น 60 นาที	63
4.18	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพีที่ระยะเวลา การบำบัดเบื้องต้น 30 นาที	65
4.19	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพีที่ระยะเวลา การบำบัดเบื้องต้น 15 นาที	67

4.20	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกรดในการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพีที่อุณหภูมิ การบำบัดเบื้องต้น 121 องศาเซลเซียส	70
4.21	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกรดในการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพีที่อุณหภูมิ การบำบัดเบื้องต้น 90 องศาเซลเซียส	72
4.22	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นกรดในการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพีที่อุณหภูมิ การบำบัดเบื้องต้น 55 และ 70 องศาเซลเซียส	74
4.23	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพีที่อุณหภูมิ การบำบัดเบื้องต้น 121 องศาเซลเซียส	77
4.24	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพีที่อุณหภูมิ การบำบัดเบื้องต้น 90 องศาเซลเซียส	79
4.25	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพีที่อุณหภูมิ การบำบัดเบื้องต้น 70 องศาเซลเซียส	81
4.26	ความสัมพันธ์ระหว่างกรดอะซิติก โพรไพออนิก ไนตริก และไฮโดรคลอริก ในการบำบัดเบื้องต้นต่อบีเอ็มพีรวม	83
4.27	เปรียบเทียบบีเอ็มพีจากกากมันสำปะหลัง และกากมันสำปะหลังมีเชื้อรา	84
ก.1	ระยะเวลาบำบัดขั้นต้น 15 นาที	96
ก.2	ระยะเวลาบำบัดขั้นต้น 30 นาที	96
ก.3	ระยะเวลาบำบัดขั้นต้น 30 นาที จากการดอะซิติก โพรไพออนิก ไนตริก ไฮโดรคลอริกและซัลฟิวริก 0.045 โมลาร์	96
ก.4	ระยะเวลาบำบัดขั้นต้น 60 นาที	97
ก.5	ระยะเวลาบำบัดขั้นต้น 15 นาที	97
ก.6	ระยะเวลาบำบัดขั้นต้น 30 นาที	97
ก.7	ระยะเวลาบำบัดขั้นต้น 60 นาที	98
ก.8	ระยะเวลาบำบัดขั้นต้น 15 นาที	98
ก.9	ระยะเวลาบำบัดขั้นต้น 30 นาที	98
ก.10	ระยะเวลาบำบัดขั้นต้น 60 นาที	99
ก.11	ระยะเวลาบำบัดขั้นต้น 60 นาที	99
ก.12	การบำบัดขั้นต้นด้วยน้ำกลั่น อัตราส่วน 1:10 และ 1:20	99
ก.13	การบำบัดขั้นต้นด้วยกรดซัลฟิวริก 1% อัตราส่วน 1:10	100
ก.14	กากมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการบำบัดขั้นต้น	100
ก.15	กากมันสำปะหลังที่ขึ้นรา	100
ก.16	ระยะเวลาบำบัดขั้นต้น 15 นาที	101

ก.17	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 30 นาที	101
ก.18	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 30 นาที จากการคอะซิติค โพรไฟออนิก ในตริก ไฮโดรคลอริกและซัลฟิวริก 0.045 โมลาร์	101
ก.19	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 60 นาที	102
ก.20	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 15 นาที	102
ก.21	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 30 นาที	102
ก.22	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 60 นาที	103
ก.23	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 15 นาที	103
ก.24	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 30 นาที	103
ก.25	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 60 นาที	104
ก.26	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 60 นาที	104
ก.27	การบำบัดขึ้นต้นด้วยน้ำกลั่น อัตราส่วน 1:10 และ 1:20	104
ก.28	การบำบัดขึ้นต้นด้วยกรดซัลฟิวริก 1% อัตราส่วน 1:10	105
ก.29	น้ำล้างกากมันสำปะหลัง	105
ค.1	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 15 นาที	110
ค.2	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 30 นาที	110
ค.3	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 30 นาที จากการคอะซิติค โพรไฟออนิก ในตริก ไฮโดรคลอริกและซัลฟิวริก 0.045 โมลาร์	110
ค.4	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 60 นาที	111
ค.5	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 15 นาที	111
ค.6	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 30 นาที	111
ค.7	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 60 นาที	112
ค.8	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 15 นาที	112
ค.9	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 30 นาที	112
ค.10	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 60 นาที	113
ค.11	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 60 นาที	113
ค.12	การบำบัดขึ้นต้นด้วยน้ำกลั่น อัตราส่วน 1:10 และ 1:20	113
ค.13	การบำบัดขึ้นต้นด้วยกรดซัลฟิวริก 1% อัตราส่วน 1:10	114
ค.14	กากมันสำปะหลังที่ไม่ผ่านการบำบัดขึ้นต้น	114
ค.15	กากมันสำปะหลังที่ขึ้นรา	114
ค.16	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 15 นาที	115
ค.17	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 30 นาที	115

ค.18	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 30 นาที จากการคละซดิก โพรไพออนิก ไนตริก ไฮโดรคลอริกและซัลฟิวริก 0.045 โมลาร์	115
ค.19	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 60 นาที	116
ค.20	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 15 นาที	116
ค.21	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 30 นาที	116
ค.22	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 60 นาที	117
ค.23	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 15 นาที	117
ค.24	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 30 นาที	117
ค.25	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 60 นาที	118
ค.26	ระยะเวลาบำบัดขึ้นต้น 60 นาที	118
ค.27	การบำบัดขึ้นต้นด้วยน้ำกลั่น อัตราส่วน 1:10 และ 1:20	118
ค.28	การบำบัดขึ้นต้นด้วยกรดซัลฟิวริก 1% อัตราส่วน 1:10	119
ค.29	น้ำล้างกากมันสำปะหลัง	119
ง.1	ตัวอย่างแผนภาพวิธีการวิเคราะห์	122
ง.2	ตัวอย่างแผนภาพวิธีการวิเคราะห์การบำบัดเบื้องต้นอุณหภูมิตั้ง 121 องศาเซลเซียส กรดซัลฟิวริก 0.0625% ระยะเวลา 60 นาที	123

ประมวลศัพท์และคำย่อ

AF	=	Anaerobic Filter
AHR	=	Anaerobic Hybrid Reactor
Autoclave	=	เครื่องนึ่งโดยไอน้ำร้อนและแรงดันสูง
BMP	=	Biochemical Methane Potential
COD	=	Chemical Oxygen Demand
COD solubilisation	=	SCOD/TCOD
Conductivity	=	ค่าการนำไฟฟ้า
gCOD/gVSS-day	=	Gram Chemical Oxygen Demand per Gram Volatile Suspended Solids per Day
H ₂ SO ₄	=	Sulfuric Acid
HAc	=	Acetic Acid
HCl	=	Hydrochloric Acid
HNO ₃	=	Nitric Acid
HPr	=	Propionic Acid
M	=	Molar
ml. CH ₄ /gCOD	=	milliliter methane per gram Chemical Oxygen Demand
NCU	=	Novo cellulose unit
PG	=	Polygalacturonase unit
Pneumatic Flash Dryer	=	ท่อเป่าลมร้อนสำหรับอบแป้ง
ppm	=	มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม
SCOD	=	Soluble Chemical Oxygen Demand
SMA	=	Specific Methanogenic Activity
TCOD	=	Total Chemical Oxygen Demand
TKN	=	Total Kjeldahl Nitrogen
TP	=	Total Phosphorus
TS	=	Total Solids
TVS	=	Total Volatile Solids
TDS	=	Total Dissolved Solids
w/w	=	มวลต่อมวล
w/v	=	มวลต่อปริมาตร
Water Bath	=	อ่างน้ำควบคุมความร้อน