ผลของสารอาหารปฐมภูมิต่อการกำจัดสีในน้ำกากส่า
ด้วยระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

นายวันชัย วงค์เทียนชัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2545
ISBN 974-17-1219-7
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECT OF PRIMARY SUBSTRATE ON COLOUR REMOVAL FROM DISTILLERY SLOP USING ANAEROBIC HYBRID UASB

Mr. Wanchai Wongteanchai

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-1219-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ผลของสารอาหารปฐมภูมิต่อการกำจัดสีในน้ำกากส่า ด้วยระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี
โดย	นายวันชัย วงค์เทียนชัย
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุรพล สายพานิช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ วงศ์พันธ์ ลิมปเสนีย์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. มนัสกร ราชากรกิจ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วันชัย วงค์เทียนชัย : ผลของสารอาหารปฐมภูมิต่อการกำจัดสีในน้ำกากส่าด้วยระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี (EFFECT OF PRIMARY SUBSTRATE ON COLOUR REMOVAL FROM DISTILLERY SLOP USING ANAEROBIC HYBRID UASB) อ.ปรึกษา : รศ.ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ, 193 หน้า. ISBN 974-17-1219-7

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของสารอาหารปฐมภูมิต่อการกำจัดสีในน้ำกากส่าด้วยระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี การศึกษาแบ่งออกเป็น 3 ชุด การทดลองชุดที่หนึ่งใช้อัตราส่วนซีโอดีสารอาหารต่อซีโอดีน้ำกากส่า เป็น 1:1 การทดลองชุดที่สองใช้ อัตราส่วน 2:1 และ การทดลองชุดที่สามใช้อัตราส่วน 3:1 การศึกษาทั้งสามชุด ใช้น้ำกากส่าเข้มข้นจากบ่อบำบัดแบบไร้ออกซิเจนมาเจือจางให้มีซีโอดีประมาณ 1,500 มก./ล. สารอาหารที่เติม ได้แก่ น้ำตาล (น้ำตาล[1]) และนมถั่ว-เหลือง และเติมน้ำตาลที่มีเท่ากับในนมถั่วเหลือง เรียกว่า (น้ำตาล[2]) เปรียบเทียบกับระบบควบคุมที่ไม่เติมสารอาหาร ผลการทดลองชุดที่หนึ่งพบว่าระบบที่ใช้น้ำตาล[1] น้ำตาล[2] และ นมถั่วเหลือง มีประสิทธิภาพการลดสี 10%, 8% และ 5% ตามลำดับ กำจัดซีโอดีได้ 57%, 26% และ 44% ตามลำดับที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.62, 1.15 และ 1.62 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เปรียบเทียบกับระบบควบคุมที่ไม่ได้เติมสารอาหาร ที่กำจัดสีและซีโอดีได้ 0% และ 14% ตามลำดับ ผลการทดลองชุดที่สองพบว่าระบบที่ใช้น้ำตาล[1] น้ำตาล[2] และ นมถั่วเหลือง มีประสิทธิภาพการลดสี 13%, 6% และ 9% ตามลำดับ กำจัดซีโอดีได้ 70%, 49% และ 67% ตามลำดับ ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 2.43, 1.49 และ 2.43 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เปรียบเทียบกับระบบควบคุมที่ไม่ได้เติมสารอาหาร ที่กำจัดสีและซีโอดีได้ 0% และ 1% ตามลำดับ และ ผลการทดลองชุดที่สาม พบว่าระบบที่ใช้น้ำตาล[1] น้ำตาล[2] และ นมถั่วเหลือง มีประสิทธิภาพการลดสี 13%, 11% และ 15% ตามลำดับ กำจัดซีโอดีได้ 76%, 78% และ 60% ตามลำดับ ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 3.24, 1.83 และ 3.24 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เปรียบเทียบกับระบบควบคุมที่ไม่ได้เติมสารอาหารที่กำจัดสีและซีโอดีได้ 0% และ 5% ตามลำดับแสดงว่าการเติมสารอาหารเพิ่มทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองที่ไม่เติมสารอาหาร สรุปได้ว่าการเติมสารอาหารสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสี โดยนมถั่วเหลืองให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีใกล้เคียงกับน้ำตาล และการเพิ่มอัตราส่วนซีโอดีสารอาหารต่อซีโอดีน้ำกากส่ามีผลทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดสีเพิ่มขึ้นในนมถั่วเหลือง ส่วนกรณี น้ำตาล[1] น้ำตาล[2] ประสิทธิภาพการกำจัดสีเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

ภาควิชา…วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม…….. ลายมือชื่อนิสิต……..

สาขาวิชา…วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม…….. ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา…….

ปีการศึกษา…2545…..…….…… ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม…….

##4270529521 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING
KEY WORD : ANAEROBIC / COLOUR REMOVAL / DISTILLERY SLOP

WANCHAI WONGTEANCHAI : EFFECT OF PRIMARY SUBSTRATE ON COLOUR REMOVAL FROM DISTILLERY SLOP USING ANAEROBIC HYBRID UASB. THESIS ADVISOR : ASSO. PROF. PETCHPORN CHAWAKITCHAREON, Ph.D., 193 PP. ISBN 974-17-1219-7

The purpose of this study was to investigate the effects of the three primary substrates on colour removal from distillery slop using anaerobic hybrid UASB. There were three experimental sets in this study. The first set comprised COD of distillery slop at 1,500 mg/l and each substrate was mixed at equal amounts. In the second set, the amounts of the substrates were doubled. These same substrates were tripled in the third set. To all of the experimental sets, wastewater was diluted from concentrated distillery slop from an anaerobic pond. The primary substrates used in each experimental set were sugar (sugar^1) and soymilk. Experiment with sugar equal to the amount normally found in soy milk were also investigated as a control (sugar^2). All of the experimental sets had reactors without any substrates as control units. In the first experiment, it was found that the colour removal efficiency of the reactors with sugar^1, sugar^2 and soy milk were 10%, 8% and 5%, respectively. While the COD removal in the corresponding reactors were 57%, 26% and 44%, respectively, the organic loading rate (OLR) 1.62, 1.15 and 1.62 kgCOD/m^3-d, respectively. When compared with the results of the control reactor, the colour and COD removal were 0% and 14%, respectively. In the second experiment, it was found that the colour removal efficiency of the reactors with sugar^1, sugar^2 and soy milk were 13%, 6% and 9%, respectively; while the COD removal in the corresponding reactors were 70%, 49% and 67%, respectively. At an OLR 2.43, 1.49 and 2.43 kgCOD/m^3-d, respectively. When compared the results of the control reactor, the colour and the COD removal were 0% and 1%, respectively. In the third experiment, it was found that the colour removal efficiency of the reactors with sugar^1, sugar^2 and soy milk were 13%, 11% and 15%, respectively; while the COD removal in the corresponding reactors were 76%, 60% and 78%, respectively. At an OLR 3.24, 1.83 and 3.24 kgCOD/m^3-d, respectively. When compared with the results of the control reactor the colour and the COD removal were 0% and 5%, respectively. These results showed that the addition of substrate increased colour removal efficiency. It can be concluded that the addition of substrate will increase colour removal efficiency. No significant difference in colour removal between soy milk and sugar. Furthermore; increasing the substrate enhanced the colour removal efficiency. A higher efficiency of colour removal was observed when soy milk was added. However, a slight increase in colour removal was observed when sugar was added.

Department…Environmental Engineering…….. Student ‘s signature……..
Field of Study…Environmental Engineering…… Advisor ‘s signature……
Academic year…2002..…… Co-advisor ‘s signature ……

กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และให้ความรู้ คำแนะนำ ตลอดจนข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการทำวิทยานิพนธ์แก่ผู้เขียน และขอขอบพระคุณ คณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน รวมทั้งคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้

ขอขอบพระคุณ บริษัท บุญรอด บริวเวอรี จำกัด ที่ให้ตะกอนจุลินทรีย์เพื่อเริ่มต้นเดินระบบ

ขอขอบพระคุณ บริษัท วินสตาร์ อินดัสทรี จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์ตัวกลางพลาสติกมาใช้ในการวิจัย

ขอขอบพระคุณ บริษัท สุราแสงโสม จำกัด ที่อนุญาตให้นำน้ำเสียเพื่อมาใช้ในการวิจัย ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ในบริษัททุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและอำนวยความสะดวกในการเก็บน้ำเสียเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และ ทบวงมหาวิทยาลัย ที่ให้ทุนอุดหนุนส่วนหนึ่งเพื่อการวิจัย

ขอขอบคุณ เอก พี่อุ้ม โป้ง เบนซ์ น้องเอ ต๋อย ที่ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จออกมาได้ ขอขอบคุณ พี่หมู พี่ดา พี่จ๋า พี่ตี๋ ที่ให้คำแนะนำดีๆ ขอบคุณ ใหม่ ชวน ตุลย์ โอ สอง โรจน์ เติ้ล หมู เทพ เกรียง ที่เป็นเพื่อนเตะบอล และทำเรื่องสนุกๆด้วยกัน ขอบคุณพี่ยอด ที่ช่วยถ่ายรูปให้ ขอบคุณ ครูปอง พี่หนุ่ย อ๊อด พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ นิสิตปริญญาโท ที่ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ และให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา

และทุกความสำเร็จของผู้เขียนในวันนี้ เพราะมีครอบครัวที่ดีอยู่เบื้องหลัง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....จ
กิตติกรรมประกาศ .....ฉ
สารบัญ .....ช
สารบัญตาราง .....ญ
สารบัญรูป .....ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2
1.3 ขอบเขตการวิจัย 2

บทที่ 2 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3
2.1 แนวคิดและทฤษฎีการบำบัดแบบไร้ออกซิเจน 3
2.1.1 ข้อได้เปรียบของระบบบำบัดไร้ออกซิเจน.....3
2.1.2 การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน.....6
2.1.3 กระบวนการเปลี่ยนรูปในระบบไร้ออกซิเจน.....7
2.1.4 ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อม.....11
2.2 ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี.....14
2.2.1 ความเป็นมาและลักษณะของระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี.....14
2.2.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี.....19
2.3 น้ำกากส่า.....20
2.4 สีน้ำตาลเข้มในน้ำกากส่า.....20
2.5 การบำบัดน้ำกากส่า.....24
2.5.1 การกำจัดทางเคมี.....24
2.5.2 การกำจัดทางไฟฟ้าเคมี.....25

บทที่ หน้า

2.5.3 การกำจัดทางชีวภาพ.....28
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวกับระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี.....33
2.8 โคเมตาบอลิซึม.....36
2.8.1 การบำบัดน้ำเสียที่ย่อยยากและเป็นพิษ.....36
2.8.2 ลักษณะของน้ำเสียที่ย่อยยากและเป็นพิษ.....36
2.8.3 การบำบัดด้วยโคเมตาบอลิซึม.....37

บทที่ 3 การวางแผนการวิจัย.....39
3.1 แผนการทดลอง.....39
3.2 การเตรียมน้ำเสีย.....40
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....40
3.4 การดำเนินการทดลอง.....45
3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์น้ำเสีย.....45
3.6 วิธีที่ใช้วิเคราะห์.....47

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์.....48
4.1 ผลการทดลองของระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี.....48
4.2 สรุปการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี.....50
4.2.1 ค่าพีเอช อุณหภูมิ และ โออาร์พี.....51
4.2.2 กรดระเหยง่าย และ สภาพด่างทั้งหมด.....56
4.2.3 ตะกอนแขวนลอย และ ตะกอนโวลาไทล์.....62
4.2.4 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี.....66
4.2.5 สีและประสิทธภาพการกำจัดสี.....67
4.2.6 ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ.....71
4.2.7 ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์.....76
4.3 ผลการทดลองตามความสูงของระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี.....81
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ.....103

บทที่ หน้า

รายการอ้างอิง……..106

ภาคผนวก……112

ภาคผนวก ก. ผลการทดลองทั้งหมดตลอดการทดลอง……..113

ภาคผนวก ข. ผลการทดลองตามความสูง……166

ภาคผนวก ค. เปอร์เซ็นต์มีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์……173

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์……193

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตาราง หน้า

2.1 ค่าพลังงานอิสระและอิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกมาต่อการออกซิเดชันสารประกอบอินทรีย์.....4

2.2 เปรียบเทียบระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนและไร้ออกซิเจน.....6

2.3 ลักษณะโดยเฉลี่ยของน้ำกากส่าจากโรงงานผลิตสุรากรมสรรพสามิต (32 โรง).....21

2.4 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำกากส่าแห้ง.....23

2.5 ผลการทดลองกำจัดสี โดยใช้สี Indigo dye โดยใช้ระบบเคมีไฟฟ้า.....26

2.6 ผลการกำจัดสี และสารอินทรีย์ในระบบ water clarification apparatus.....27

3.1 รายละเอียดในแต่ละชุดการทดลอง.....39

3.2 ตัวแปรตามที่จะวิเคราะห์ และความถี่ในการวิเคราะห์.....47

4.1 รายละเอียดของชนิดและปริมาณสารอาหารที่เติมในแต่ละชุดการทดลอง.....48

4.2 ลักษณะของน้ำเสียก่อนการเติมสารอาหาร 49

4.3 ค่าเฉลี่ยพีเอชที่สภาวะคงตัวของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี.....52

4.4 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิที่สภาวะคงตัวของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี.....54

4.5 ค่าเฉลี่ยโออาร์พีที่สภาวะคงตัวของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี.....56

4.6 ค่าเฉลี่ยกรดระเหยง่ายที่สภาวะคงตัวของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี.....58

4.7 ค่าเฉลี่ยสภาพด่างที่สภาวะคงตัวของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี.....61

4.8 ค่าเฉลี่ยตะกอนแขวนลอยที่สภาวะคงตัวของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี.....62

4.9 ค่าเฉลี่ยตะกอนโวลาไทล์ที่สภาวะคงตัวของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี.....64

4.10 ค่าตะกอนแขวนลอยและตะกอนโวลาไทล์ต่อพื้นที่ผิวตัวกลางจากการทดลองชุดที่ 3...64

4.11 ค่าเฉลี่ยซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่สภาวะคงตัวของระบบ.....67

4.12 ค่าเฉลี่ยสีและประสิทธิภาพการกำจัดสีที่สภาวะคงตัวของระบบ.....71

4.13 ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซที่สภาวะคงตัวของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี.....74

4.14 ค่าเฉลี่ยอัตราการผลิตมีเทนที่สภาวะคงตัว.....74

4.15 ค่าพีเอชที่ตำแหน่งต่างๆ ตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี.....81

4.16 ค่าโออาร์พีที่ตำแหน่งต่างๆ ตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี.....83

4.17 กรดระเหยง่ายที่ตำแหน่งต่างๆ ตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี.....85

4.18 สภาพด่างที่ตำแหน่งต่างๆ ตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี..... 87

ตาราง หน้า

4.19 อัตราส่วนกรดระเหยง่ายต่อสภาพด่างที่ตำแหน่งต่างๆ ตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี……89

4.20 ความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยที่ตำแหน่งต่างๆ ตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี……91

4.21 ความเข้มข้นตะกอนโวลาไทล์ที่ตำแหน่งต่างๆ ตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี……93

4.22 ความเข้มข้นซีโอดีที่ตำแหน่งต่างๆ ตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี...95

4.23 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ตำแหน่งต่างๆ ตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี……97

4.24 ความเข้มสีที่ตำแหน่งต่างๆ ตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี……99

4.25 ประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ตำแหน่งต่างๆ ตามความสูงของ

4.26 ถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี……101

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.1 สัดส่วนของการสร้างและการใช้สารอินทรีย์สำหรับการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน และไม่ใช้ออกซิเจน……5

2.2 ลำดับการเกิดปฏิกิริยาสำหรับระบบไร้ออกซิเจนของสารประกอบอินทรีย์ซับซ้อน……..8

2.3 อิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาของระบบไร้ออกซิเจนในช่วงเมโซฟิลิก..12

2.4 อิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราการกำจัดสารอินทรีย์ในระบบไร้ออกซิเจนของสลัดจ์…..13

2.5 ถังปฏิกรณ์แอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี……16

2.6 แผนผังแสดงกรรมวิธีการผลิตสุรา และจุดปล่อยน้ำทิ้งของโรงงานสุรา……21

3.1 ถังปฏิกรณ์ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี……42

3.2 มาตรวัดก๊าซ……43

3.3 ตัวกลางพลาสติกโพลีเอทธิลีนที่ใช้ในการวิจัย……44

3.4 แผนผังการไหลของระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี……...46

4.1 การติดตั้งอุปกรณ์ของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี……51

4.2 ค่าพีเอชตลอดการทดลอง……53

4.3 ค่าอุณหภูมิตลอดการทดลอง……55

4.4 ค่าโออาร์พีตลอดการทดลอง……57

4.5 ค่ากรดระเหยง่ายตลอดการทดลอง……59

4.6 ค่าสภาพด่างทั้งหมดตลอดการทดลอง……61

4.7 ค่าตะกอนแขวนลอยตลอดการทดลอง……63

4.8 ค่าตะกอนโวลาไทล์ตลอดการทดลอง……...65

4.9 ค่าซีโอดีตลอดการทดลอง……..68

4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีตลอดการทดลอง……69

4.11 ค่าความเข้มสีตลอดการทดลอง……72

4.12 ประสิทธิภาพการกำจัดสีตลอดการทดลอง……..73

4.13 ปริมาณก๊าซตลอดการทดลอง……..……...75

4.14 การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชตามระยะความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี……..82

4.15 การเปลี่ยนแปลงค่าโออาร์พีตามระยะความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี…..84

4.16 การเปลี่ยนแปลงกรดไขมันระเหยตามระยะความสูง ของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี……86

รูปที่ หน้า

4.17 การเปลี่ยนแปลงสภาพด่างทั้งหมดตามระยะความสูง
ของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี 88
4.18 การเปลี่ยนแปลงกรดไขมันระเหยต่อสภาพด่างทั้งหมดตามระยะความสูง
ของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี.....90
4.19 การเปลี่ยนแปลงตะกอนแขวนลอยตามระยะความสูง
ของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี.....92
4.20 การเปลี่ยนแปลงตะกอนโวลาไทล์ตามระยะความสูง
ของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี.....94
4.21 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีตามระยะความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี.....96
4.22 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีตามระยะความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี...98
4.23 การเปลี่ยนแปลงความเข้มสีตามระยะความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี....100
4.24 ประสิทธิภาพการกำจัดสีตามระยะความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี.....102

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

น้ำกากส่า (distillery slop) เป็นน้ำทิ้งที่ออกมาจากหอกลั่นประเภท mash column ในการกลั่นสุรา โดยวัตถุดิบที่ใช้ในการหมักสุรา คือ กากน้ำตาล (sugar cane molasses) น้ำกากส่ามีปริมาณความเข้มข้นของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์สูงมาก นอกจากนี้ยังมีสีน้ำตาลเข้ม ซึ่งเกิดจากสารพวก คาราเมล (caramel) และ เมลานอยดิน (melanoidin) สารคาราเมลนี้เกิดจากปฏิกิริยาโพลิเมอร์ไรเซชัน (polymerization) ในกระบวนการผลิตน้ำตาลดังนั้นสารคาราเมลจึงมีน้ำหนักโมเลกุลสูง แต่ไม่ทราบโครงสร้างที่แน่นอน ส่วน สารเมลานอยดิน เป็นสารที่เกิดจากการรวมตัวกันระหว่างน้ำตาลกับกรดอะมิโนชนิดต่างๆ ในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูง (Ohmomo, 1984) โดยกระบวนการที่รู้จักกันในชื่อว่า ปฏิกิริยาบราวนิง (browning reaction) และ ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (maillard reaction) สารเมลานอยดินนี้เป็นสารที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ยาก มีสภาพเป็นสารคอลลอยด์ และมีประจุลบ (Kato and Tsuchida, 1981)

เนื่องจากน้ำกากส่ามีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูง โดยมีค่าสูงถึง 100,000 ถึง 150,000 มก./ล. (โรงงานสุราแสงโสม, 2535) ดังนั้นการบำบัดที่เหมาะสมจึงควรใช้ระบบบำบัดไร้ออกซิเจน (anaerobic treatment) ซึ่งนอกจากค่าใช้จ่ายต่ำแล้ว ระบบบำบัดนี้ยังผลิตก๊าซชีวภาพ (biogas) ซึ่งสามารถนำมาใช้แทนน้ำมันเตาได้อีกด้วย ระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี (Anaerobic Hybrid UASB) ซึ่งใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นระบบบำบัดที่นำเอาข้อดีของระบบยูเอเอสบี (UASB) หรือ (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) กับระบบยูเอเอฟ (UAF) หรือ (Upflow Anaerobic Filter) มาทำงานร่วมกัน อย่างไรก็ตามน้ำกากส่าที่ผ่านระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจนยังคงมีสีของ คาราเมล และ เมลานอยดิน อยู่สูงเหมือนเดิม และยังคงมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงอยู่ ดังนั้นต้องมีขั้นตอนต่อไปในการกำจัดสารอินทรีย์และสีนี้ วิธีกำจัดสีโดยกระบวนการโคแอกกูเลชัน (coagulation) เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูงเนื่องจาก คาราเมล และ เมลานอยดินอยู่ในน้ำกากส่าในสภาพของคอลลอยด์ แต่ก็สิ้นเปลืองสารเคมีมากทำให้มีค่าใช้จ่ายสูง (โรงงานสุราไทยทำ, 2530) ดังนั้นในปัจจุบันจึงนำมาทำปุ๋ยหมักแทน ซึ่งพบว่ามีค่าใช้จ่ายสูงเช่นกัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาระบบบำบัดแบบใหม่มาใช้ทดแทน การใช้กระบวนการโคเมตาบอลิซึม (Cometabolism) ร่วมกันกับการบำบัดในระบบไร้ออกซิเจนจะเป็นกระบวนการที่น่าสนใจเนื่อง

จากจะลดขั้นตอนในการบำบัดน้ำกากส่าและน้ำเสียที่มีสีอื่นๆ เนื่องจากเป็นการลดขั้นตอนการบำบัดสีทางเคมีและลดค่าใช้จ่ายของสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอนสี นอกจากนี้สารอาหารปฐมภูมิที่ใช้เป็นสารที่มีราคาถูกและหาได้ง่าย เช่น น้ำตาล หรือ นมถั่วเหลือง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 ศึกษา และ หาประสิทธิภาพในการกำจัดสีในน้ำกากส่าด้วย ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

1.2.2 ศึกษาผลของชนิดและความเข้มข้นของสารอาหารปฐมภูมิที่เหมาะสมต่อการกำจัดสีน้ำกากส่าด้วยระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้ทำที่ห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้ถังปฏิกรณ์แอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี ขนาด 13.85 ลิตร จำนวน 4 ถัง โดยน้ำเสียที่ใช้จะเป็นน้ำเสียจากโรงงานสุราที่เป็นส่วนของน้ำกากส่า จากโรงงานสุราแสงโสม จังหวัดนครปฐม การทดลองใช้ความดันบรรยากาศและอุณหภูมิปกติ ตัวกลางที่ใช้ในการวิจัยเป็นตัวกลางพลาสติกที่มีขายในท้องตลาดสำหรับใช้ในงานบำบัดน้ำเสียจริง ที่มีรูปร่างและพื้นที่ผิวแน่นอน

การทดลองนี้จะนำน้ำกากส่ามาเจือจางโดยน้ำประปาให้ได้ค่าซีโอดีคงที่ประมาณ 1,500 มก/ล. เวลากักน้ำเก็บ 36 ชั่วโมง เท่ากันทุกการทดลอง หัวเชื้อที่ใช้ในการเลี้ยงตะกอนจุลชีพในระบบได้มาจากบริษัทบุญรอดบริวเวอรี จำกัด และทำการเลี้ยงให้คุ้นเคยกับน้ำกากส่าที่เจือจางแล้วทีละน้อยจนได้ค่าซีโอดี 1,500 มก/ล. สารอาหารที่เติมเป็นแหล่งสารอาหารปฐมภูมิได้แก่ น้ำตาลและนมถั่วเหลือง ซึ่งทดแทนแหล่งอาหารพวกคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน ตามลำดับ โดยเติมที่อัตราส่วน 1:1 2:1 และ 3:1 ของค่าซีโอดีของน้ำเสียที่เข้าสู่ระบบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎีการบำบัดแบบไร้ออกซิเจน

2.1.1 ข้อได้เปรียบของระบบบำบัดไร้ออกซิเจน : ข้อได้เปรียบที่ชัดเจนของระบบมี 2 ประการคือความต้องการพลังงานที่ต่ำ และ อัตราการเกิดสลัดจ์ต่ำ

1.ความต้องการพลังงาน

ระบบบำบัดไร้ออกซิเจนจะได้มีเทนเป็นพลังงานที่สำคัญ จำนวนของพลังงานที่ถูกสร้างขึ้นสามารถประมาณได้ง่าย ๆ ดังนี้ สมมุติ 80 เปอร์เซนต์ของสารอินทรีย์ในน้ำเข้าของระบบบำบัดไร้ออกซิเจนจะถูกย่อยสลาย โดย 1 กก.ซีโอดี/วัน จะเปลี่ยนเป็นมีเทน 800 ก./วัน ซึ่งมีเทนจะให้ความร้อน 2. กิโลแคลอรี/ก.ซีโอดี (ดูตาราง 2.1) = 2.98*800 = 2400 กิโลแคลอรี/วัน*** = 117 วัตต์ **สมมุติ** ปัจจัยการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเท่ากับ (conservative efficient factor) 0.3 เพื่อแปลงพลังงานนี้ไปในรูปพลังงานไฟฟ้า ดังนั้นพลังงานไฟฟ้า 35 วัตต์ นี้จะถูกสร้างได้จากสารอินทรีย์ 1 กก.ซีโอดี/วัน (Van Haandel และคณะ, 1994)

ส่วนการบำบัดโดยใช้ออกซิเจน ต้องการออกซิเจน (ตัวออกซิแดนท์) ซึ่งปกติไม่มีในน้ำเสีย จึงต้องการอุปกรณ์ช่วยบางอย่าง เช่น ใช้เครื่องเติมอากาศทางกล โดยทั่วไป ความต้องการออกซิเจนต่ำสุดสำหรับการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนมีค่าประมาณ 1 ใน 3 ของการย่อยสลายมวลซีโอดี ในทางปฏิบัติความต้องการนี้จะมีค่าสูงกว่าค่าในทางทฤษฎีเสมอ เนื่องจากการย่อยสลายตัวเองของมวลจุลินทรีย์ (endogenous respiration) ระบบบำบัดโดยทั่วไปต้องการออกซิเจนสำหรับการออกซิเดชันสารอินทรีย์ประมาณ 0.5 ถึง 0.75 กก.ออกซิเจน/กก.ซีโอดี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสภาพการเดินระบบ ซึ่งหมายความว่าจะต้องการ ออกซิเจน 0.5-0.75 กก./วัน สำหรับสารอินทรีย์ 1 กก.ซีโอดี/วัน สำหรับเครื่องเติมอากาศส่วนใหญ่ต้องการพลังงานสำหรับการเคลื่อนย้ายออกซิเจนจากบรรยากาศไปสู่วัฏภาคน้ำของระบบน้ำเสีย 1 กิโลวัตต์-ชม./กก.ออกซิเจน หรือ 42 วัตต์/กก.ออกซิเจน-วัน นอกจากนั้นยังต้องรักษาอัตราการถ่ายเทออกซิเจนไว้ที่ 0.5-0.75 กก.ออกซิเจน/วัน พลังงานที่ต้องการจะอยู่ในช่วง 20-30 วัตต์ ในทางกลับกัน กระบวนการบำบัดน้ำเสียไร้ออกซิเจน จะได้พลังงาน 35 วัตต์ สำหรับสารอินทรีย์ 1 กก.ซีโอดี/วัน ซึ่งเป็นที่แน่ชัดว่าระบบบำบัดน้ำเสียไร้ออกซิเจนมีข้อได้เปรียบ กว่ามาก

***1 cal = $1.1632*10^{-6}$ kW-h (Metcalf & Eddy, 1991)

ตาราง 2.1 ค่าพลังงานอิสระและอิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกมาต่อการออกซิเดชันสารประกอบอินทรีย์ (Van Haandel และคณะ, 1994)

สารประกอบอินทรีย์	พลังงานอิสระที่ถูกปลดปล่อย			N_{el}*
	(kcal/mol)	(kcal/g COD)	kcal/g TOC	(e/C-atom)
1 Oxalic acid	82	5.13	3.44	1
2 Formic acid	68	4.29	5.71	2
3 Citric acid	916	3.58	7.16	3
4 Glucose	686	3.57	9.53	4
5 Lactic acid	326	3.39	9.05	4
6 Acetic acid	207	3.23	8.62	4
7 Glycerine	387	3.45	9.39	4.67
8 Phenol	723	3.22	10.01	4.67
9 Ethylene glycol	281	3.51	11.69	5
10 Benzene	761	3.17	10.55	5
11 Acetone	410	3.20	12.18	5.33
12 Palmitic acid	2338	3.18	12.18	5.75
13 Cyclohexene	901	3.12	12.48	6
14 Ethylene	314	3.27	13.08	6
15 Ethanol	312	3.25	13.00	6
16 Methanol	165	3.44	13.76	6
17 Ethane	344	3.07	14.33	7
18 Methane	191	2.98	15.88	8

*N_{el} คือ จำนวนอิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกมา

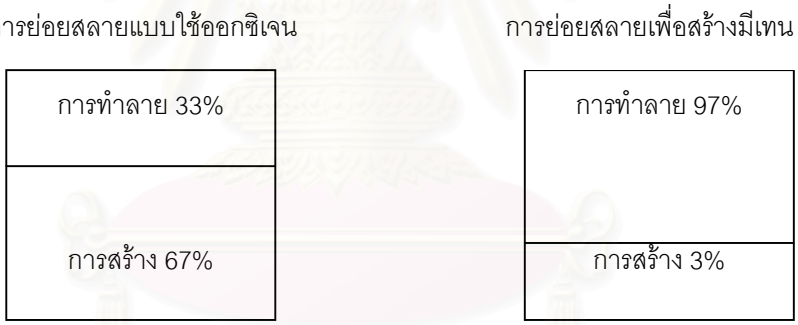
el คือ อิเล็กตรอน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. อัตราการเกิดสลัดจ์

ระบบบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพทั้งหมดจะมีการผลิตสลัดจ์ส่วนเกินซึ่งจะต้องมีการกำจัดออกจากระบบ สลัดจ์เกิดจากส่วนผสมของของแข็งอินทรีย์และอนินทรีย์ ซึ่งเกิดจากฟล็อกกูเลชันของของแข็งแขวนลอยอนินทรีย์และเกิดการประสานรวมตัวกับส่วนผสมของจุลินทรีย์ที่มีชีวิตและของแข็งอินทรีย์ที่ไม่ได้ถูกย่อยสลายทางชีวภาพที่มีจุดเริ่มต้นมาจากฟล็อกกูเลชันและการดูดติดของอนุภาคสารอินทรีย์และสิ่งที่เหลือจากการย่อยสลายตัวเองที่ยังคงเหลืออยู่หลังจากแบคทีเรียสลายตัว

สัมประสิทธิ์ยิลด์ (yield coefficient) และอัตราการสลายตัวสำหรับแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจนมีค่าสูงกว่าแบคทีเรียสร้างมีเทน ในระบบบำบัดน้ำเสียไร้ออกซิเจน การผลิตสลัดจ์จะสูงขึ้นถ้าอาหารไม่ได้มีเพียงกรดไขมันระเหย (VFA) (การผลิตสลัดจ์เมื่ออาหารมีเพียงกรดไขมันระเหย คือ 0.02 มก.วีเอสเอส/มก.ซีโอดี) เพราะในปฏิกิริยาการเปลี่ยนรูปแบบไร้ออกซิเจน มีจุลินทรีย์หลายชนิดที่ทำงานเกี่ยวข้องกัน ดังนั้น การผลิตสลัดจ์ส่วนเกินในระบบบำบัดน้ำเสียไร้ออกซิเจนอาจจะมีค่าถึง 0.10 มก.วีเอสเอส/มก.ซีโอดี ถ้าสลัดจ์ชีวภาพถูกผลิตจากสารอินทรีย์ที่ซับซ้อน หรือสูงกว่าเมื่อมีสสารอินทรีย์ที่ไม่ย่อยสลายทางชีวภาพ



รูป 2.1 สัดส่วนของการสร้าง (anabolism) และการทำลาย (catabolism) สารอินทรีย์สำหรับการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน

อัตราการสลายตัวที่ต่ำมากของจุลินทรีย์ไม่ใช้ออกซิเจนเป็นข้อได้เปรียบที่สำคัญที่สุดของกระบวนการนี้ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมโดยเฉพาะที่มีการผลิตเป็นฤดู เช่น น้ำตาล, มันฝรั่ง, การผลิตไวน์ แบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะยังคงมีชีวิตอยู่ได้หลายเดือนแม้ไม่มีการให้อาหาร ในขณะที่จุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนจะสลายตัวในสองสามสัปดาห์เมื่อขาดสารอาหาร

ถึงแม้ว่าแบคทีเรียใช้ออกซิเจนจะมีการสลายตัวเร็ว แต่มวลชีวภาพจะยังสูงเนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์ยิลด์มีค่าสูง ของแข็งที่ถูกผลิตขึ้นจะยังคงมีสัดส่วนของจุลินทรีย์ที่มีชีวิตสูง ซึ่งยังจะมี

การสลายตัวต่อไปอีก ดังนั้นสลัดจ์ที่ถูกผลิตในระบบบำบัดน้ำเสียที่ใช้ออกซิเจนจะไม่คงตัวถ้าไม่เก็บไว้ในที่พิเศษที่มีระบบเติมอากาศ (มากกว่า 30 – 50 วัน ขึ้นกับอุณหภูมิ) สัดส่วนของแบคทีเรียที่มีชีวิตจะลดลงถ้าอยู่ในสภาพที่มีออกซิเจนแต่ไม่มีอาหาร (ถังหมักเติมออกซิเจน) หรือในถังหมักไร้ออกซิเจน ที่ซึ่งสัดส่วนของของแข็งชีวภาพที่ถูกย่อยสลายได้จะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน ขนาดของถังทำให้คงตัว (stabilisation tank) โดยทั่วไปมักจะมีขนาดใกล้เคียง กับถังปฏิกรณ์ในระบบของมัน และค่าใช้จ่ายในการทำให้สลัดจ์คงตัวประมาณ 40 – 60 เปอร์เซ็นต์ของค่าใช้จ่ายในการบำบัดทั้งหมด เมื่อเปรียบเทียบกันของแข็งชีวภาพจากระบบบำบัดไร้ออกซิเจนจะมีเสถียรภาพหรือความคงตัวดีกว่า ดังนั้น สลัดจ์ส่วนเกินจากระบบบำบัดไร้ออกซิเจนจึงไม่ต้องการระบบบำบัดเพิ่มเติมนอกจากการรีดน้ำออกจากสลัดจ์ ตารางที่ 2.2 สรุปข้อเปรียบเทียบที่แน่ชัดว่าธรรมชาติและสตอยคิโอเมตรีของระบบบำบัดน้ำเสียไร้ออกซิเจนมีข้อได้เปรียบเหนือกว่าระบบบำบัดที่ใช้ออกซิเจน

ตาราง 2.2 เปรียบเทียบระบบบำบัดแบบใช้ออกซิเจนและไร้ออกซิเจน
(Van Haandel และ คณะ, 1994)

ข้อเปรียบเทียบ	ระบบใช้ออกซิเจน	ระบบไร้ออกซิเจน
ความต้องการพลังงาน (วัตต์/กกซีโอดี/วัน)	20-30	-35 (ได้พลังงาน)
การผลิตสลัดจ์ (กก.วีเอสเอส/กก.ซีโอดี)	0.2-0.3	0.05-0.15
ลักษณะของสลัดจ์ส่วนเกิน	ไม่คงตัว	มีเสถียรภาพ
ความทนทานของจุลินทรีย์เมื่อไม่มีอาหาร	น้อยกว่า 2 สัปดาห์	หลายเดือน

2.1.2 การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไร้ออกซิเจน

จากการเปรียบเทียบข้างต้น แสดงว่า ระบบบำบัดน้ำเสียไร้ออกซิเจนมีข้อได้เปรียบเหนือกว่าระบบบำบัดแบบใช้อากาศ อย่างไรก็ตาม ข้อได้เปรียบนี้ไม่ใช่เหตุผลที่เพียงพอที่จะใช้เลือกระบบที่จะใช้กำจัดสารอินทรีย์ออกจากน้ำเสีย โดยพื้นฐานแล้ว ยังมีปัจจัยอย่างอื่นที่สำคัญอีกสองข้อคือ

(1) ประสิทธิภาพการกำจัดสารอินทรีย์ต้องสูง เพื่อความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่เหลือในน้ำออกจะต่ำ

(2) อัตราการกำจัดต้องสูง เพื่อสามารถเดินระบบได้ที่เวลากักสั้นลง ถังปฏิกรณ์จะได้มีขนาดเล็กลง

ปัจจัยทั้งสองเกี่ยวข้องกับคิเนติคของการกำจัดสารอินทรีย์ ที่สามารถใช้อธิบายความเร็วในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของแบคทีเรีย และการเดินระบบกับสภาพแวดล้อมในการบำบัดน้ำเสีย ภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดน้ำเสียไร้ออกซิเจน จำนวนแบคทีเรียจะเพิ่ม

มากขึ้น และทำให้สามารถเพิ่มภาระบรรทุกสารอินทรีย์ และความเร็วไหลขึ้นได้ ประสิทธิภาพการบำบัดของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้จะเป็นอย่างไร จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่อไปนี้

(1) ธรรมชาติของสารอินทรีย์ที่จะถูกย่อยสลาย
(2) ความเหมาะสมของปัจจัยทางสภาพแวดล้อมสำหรับระบบบำบัดไร้ออกซิเจน
(3) จำนวนแบคทีเรียที่ยังมีชีวิตที่เหลืออยู่ในระบบ
(4) ความเข้มข้นของการสัมผัสกันระหว่างสารอินทรีย์ในน้ำเข้าและจำนวนแบคทีเรีย
(5) การออกแบบระบบบำบัดไร้ออกซิเจน เช่น ควรจะเดินระบบเป็นอนุกรม โดยแบ่งถังปฏิกรณ์เป็นส่วน ๆ หรือไม่
(6) ระยะเวลากักน้ำเสียในระบบ

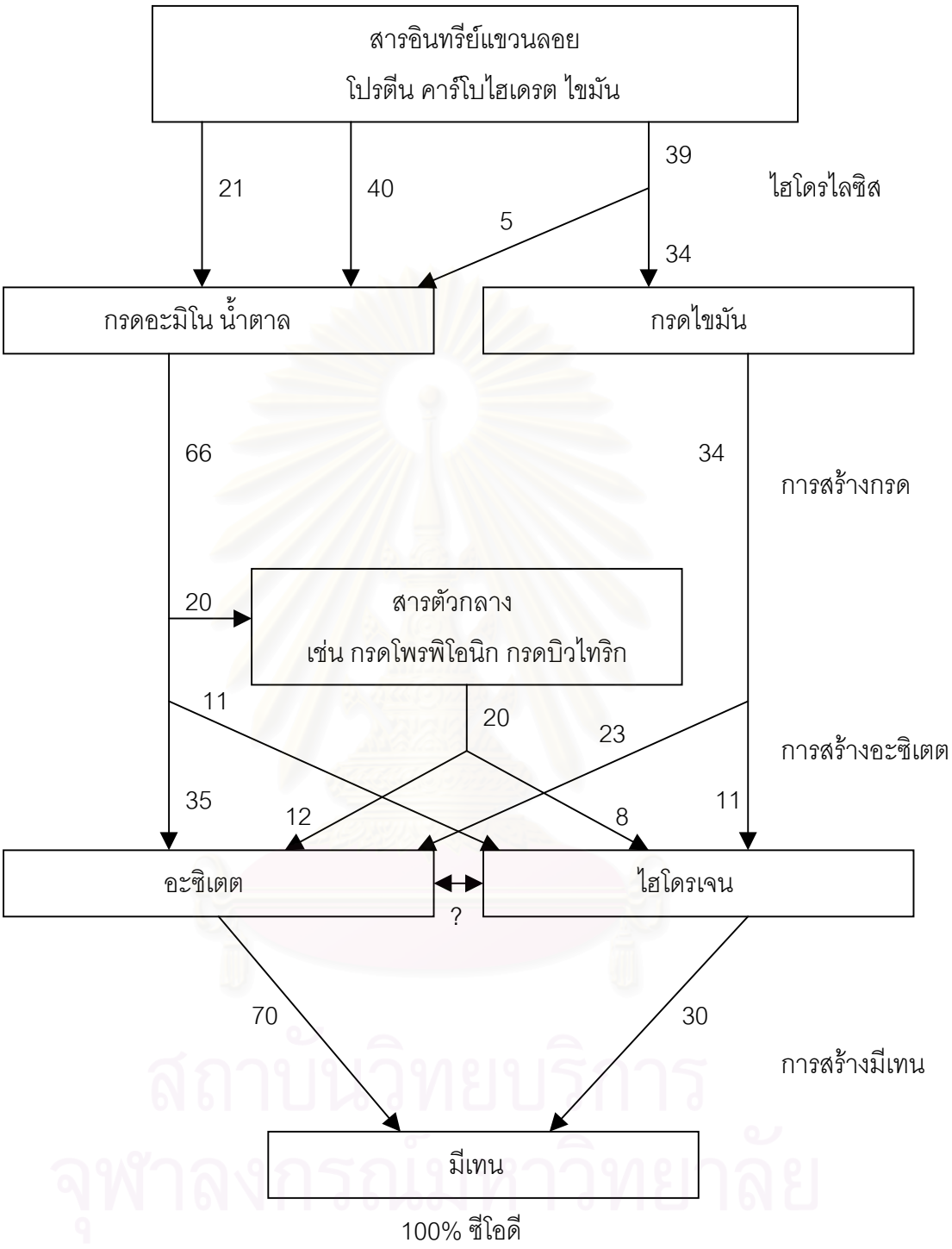
ปัจจัยข้อ (6) เป็นตัวแปรอิสระที่ขึ้นกับปัจจัยข้อ (1) ถึง (5) ที่จะกำหนดลักษณะของสภาพแวดล้อมและการเดินระบบ และเวลากักที่ต้องการสำหรับประสิทธิภาพสารอินทรีย์ที่จะถูกกำจัด ปัจจัย (1) และ (2) เป็นปัจจัยพื้นฐานที่ถูกกำหนดโดยลักษณะของน้ำเสีย ในขณะที่ปัจจัย (3) (4) และ (5) เกี่ยวข้องกับชนิดและการออกแบบระบบบำบัด

2.1.3 กระบวนการเปลี่ยนรูปในระบบไร้ออกซิเจน

การแปลงรูปสารโมเลกุลใหญ่ที่ซับซ้อน ที่ปรากฏในน้ำเสียให้เป็นก๊าซชีวภาพ ต้องการสารตัวกลางจากจุลินทรีย์ที่ต่างกันหลายกลุ่ม ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ที่ปรับปรุงจาก Gujer and Zehnder (1983) ขั้นตอนที่แตกต่างกันในถังหมักไร้ออกซิเจนเกิดจากสารตั้งต้นที่ต่างกัน คือ โปรตีน, คาร์โบไฮเดรต และไขมัน กระบวนการแปลงรูปที่ต่างกันสี่กระบวนการ ล้วนมีลักษณะเด่นที่ต่างกัน ดังนี้

2.1.3.1 ไฮโดรไลซิส (Hydrolysis)

กระบวนการนี้อนุภาคสารอินทรีย์ที่ซับซ้อนจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบละลายน้ำที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยลง โดยแบคทีเรียจะปล่อยเอนไซม์ออกมาภายนอก โปรตีนจะถูกย่อยเป็นโพลีเปปไทด์ และกรดอะมิโนในที่สุด คาร์โบไฮเดรตจะถูกเปลี่ยนรูปเป็นน้ำตาลละลาย (โมโนและไดแซคคาไรด์) และไขมันจะถูกเปลี่ยนเป็นกรดไขมันชนิดยาว และกลีเซอรีนโดยทั่วไป อัตราไฮโดรไลซิสสามารถจำกัดอัตราทั้งหมดในถังหมักไร้ออกซิเจน โดยที่อัตราการเปลี่ยนรูปของไขมันจะช้าลงเมื่ออุณหภูมิต่ำกว่า 20 องศาเซลเซียส



รูป 2.2 ลำดับการเกิดปฏิกิริยาสำหรับระบบไร้ออกซิเจนของสารประกอบอินทรีย์ซับซ้อน (ตัวเลขคือสัดส่วนเป็นเปอร์เซนต์ของซีโอดี) (Van Haandel และคณะ, 1994)

2.1.3.2 การสร้างกรด (Acidogenesis)

สารประกอบละลายน้ำที่ถูกสร้างขึ้นในขั้นตอนที่แล้วจะถูกดูดซึมเข้าไปในเซลล์แบคทีเรียและเปลี่ยนรูปเป็นสารประกอบอินทรีย์อย่างง่าย กรดอินทรีย์ระเหย แอลกอฮอล์ กรดแลกติก และสารอื่นๆ เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ แอมโมเนีย และก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ กระบวนการสร้างกรดเกิด จากแบคทีเรียที่ต่างกันหลายกลุ่มแต่ที่สำคัญที่สุดคือพวกออบลิเกต แอนแอโรบ (obligate anaerobes) อย่างไรก็ตามก็ยังมีพวกแฟคคัลเททีฟที่สามารถทำงานได้อยู่บ้าง สิ่งนี้สำคัญต่อระบบบำบัดไร้ออกซิเจน เมื่อมีออกซิเจนละลายที่เป็นพิษต่อพวกออบลิเกดเช่นเดียวกับการสร้างมีเทน

สารประกอบอินทรีย์อย่างง่ายจะเปลี่ยนเป็นกรดไขมันระเหยชนิดใดขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์และความดันย่อยของไฮโดรเจนในขณะนั้น เช่น การย่อยสลายน้ำตาลเป็นกรดอะซิติกโดยผ่านวิถีชีวเคมีที่เรียกว่า Emden-Meyerhoff Pathway ในกรณีที่ความดันย่อยของไฮโดรเจนสูงและต่ำเป็นไปตามสมการต่อไปนี้

กรณีที่ความดันย่อยของไฮโดรเจนต่ำ

$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CH_3COOH + CO_2 + 4H_2$

กรณีที่ความดันย่อยของไฮโดรเจนสูง

$C_6H_{12}O_6 \rightarrow CH_3CH_2COOH$ (propionic acid) $+ CH_3COOH + CO_2 + 4H_2$

$C_6H_{12}O_6 \rightarrow CH_3CH_2CH_2COOH$ (butyric acid) $+ 2CO_2 + 2H_2$

ส่วนกรดไขมันชนิดยาวจะเปลี่ยนเป็นกรดอะซิติกและไฮโดรเจน ภายใต้ความดันย่อยของไฮโดรเจนต่ำ และเปลี่ยนเป็นกรดโพรพิโอนิกและกรดบิวทิริกภายใต้ความดันย่อยไฮโดรเจนสูง

2.1.3.3 การสร้างกรดอะซิติก

กรดไขมันระเหยที่ผลิตขึ้นในขั้นตอนการสร้างกรดจะเป็นอาหารให้แบคทีเรียกลุ่มที่ทำหน้าที่สร้างมีเทนต่อไป แต่เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างมีเทนไม่สามารถใช้กรดไขมันระเหยที่มีคาร์บอนมากกว่า 2 อะตอม เช่น กรดบิวทิริก กรดโพรพิโอนิก เป็นสารอาหารได้ จึงต้องอาศัยแบคทีเรียสร้างอะซิเตตทำการย่อยกรดไขมันที่มีคาร์บอนอะตอมมากกว่า 2 อะตอมให้กลายเป็นกรดอะซิติกเพื่อให้แบคทีเรียสร้างมีเทนนำไปใช้ต่อไป ดังสมการต่อไปนี้

CH_3CH_2COOH (propionic acid) $+ 2H_2O \rightarrow CH_3COOH + CO_2 + 3H_2$

$CH_3CH_2CH_2COOH$ (butyric acid) $+ 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2H_2$

โดยกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นภายใต้สภาวะความดันพาร์เชียลของไฮโดรเจนมีค่าต่ำเท่านั้น กรดไขมันระเหยไม่สามารถย่อยสลายกลายเป็นกรดอะซิติกได้ภายใต้สภาวะที่มีไฮโดรเจนมีความดันพาร์เชียลสูง และแบคทีเรียประเภทนี้จะมีส่วนช่วยไม่ให้มีการสะสมตัวของกรดบิวทิริก และกรดโพรพิโอนิกในถังปฏิกิริยาซึ่งเป็นเหตุให้พีเอชลดต่ำลงจนยับยั้งแบคทีเรียสร้างมีเทนได้

2.1.3.4 การสร้างมีเทน (Methanogenesis)

การสร้างมีเทนมักจะเป็นขั้นจำกัดอัตรา (rate limiting Step) ในกระบวนการหมักทั้งหมด ถึงแม้ว่าที่อุณหภูมิต่ำอาจเป็นไฮโดรไลซิส มีเทนถูกสร้างจากอะซิเตต หรือจากการรับอิเล็กตรอนของคาร์บอนไดออกไซด์ (ไฮโดรเจนเป็นตัวให้อิเล็กตรอน) โดยแบคทีเรียอะซิโตโทรพิก (acetotrophic) และไฮโดรจีโนโทรพิก (hydrogenotrophic) ตามลำดับ

การสร้างมีเทนจากอะซิเตต : $CH_3COOH \longrightarrow CH_3 + CO_2$

การสร้างมีเทนจากไฮโดรเจน : $4H_2 + CO_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O$

แบคทีเรียที่สร้างมีเทนจากไฮโดรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์โตเร็วกว่าพวกใช้อะซิเตต (Henzen and Harremoes, 1983) ดังนั้นการสร้างมีเทนจากอะซิเตตจึงมักจะเป็นอัตราจำกัดการแปลงรูปของสารโมเลกุลใหญ่ที่ซับซ้อนในน้ำเสียให้เป็นก๊าซชีวภาพ

กลุ่มแบคทีเรียที่ต่างกันที่เกี่ยวข้องในการเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ทั้งหมดในกระบวนสร้าง (anabolic) และการทำลาย (catabolic) ก่อให้เกิดการปลดปล่อยผลิตภัณฑ์จากการหมักที่ต่างกัน มวลชีวภาพใหม่ที่ถูกสร้างขึ้นเกี่ยวข้องกับกระบวนการแปลงรูปทั้งสี่ที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น เพื่อความสะดวก สามกระบวนการแรก บางครั้งจะถูกรวมอยู่ด้วยกัน และเรียกว่ากระบวนการสร้างกรด (acid fermentation) ในขณะที่ขั้นที่ 4 เรียกว่า กระบวนการสร้างมีเทน (methane fermentation)

สิ่งสำคัญสองอย่างที่ต้องย้ำเกี่ยวข้องกับกระบวนการที่ต่างกันที่ว่าจะเกิดขึ้นระหว่างกระบวนการหมักไร้ออกซิเจน คือ

(1) การกำจัดสารอินทรีย์ (ซีโอดี) ระหว่างการสร้างกรดถูกจำกัดโดยการปล่อยไฮโดรเจน ดังแสดงในรูป 2.2 มีเพียง 30 เปอร์เซนต์ของสารอินทรีย์เท่านั้นที่ถูกเปลี่ยนเป็น

มีเทนจากการใช้ไฮโดรเจน ดังนั้น เงื่อนไขที่จำเป็นสำหรับการกำจัดสารอินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในระบบบำบัดไร้ออกซิเจนคือ การสร้างมีเทนจากอะซิเตตที่เพียงพอ

(2) การสร้างกรดทำให้พีเอชลดลงเนื่องจากการสร้างกรดไขมันระเหย และสารตัวกลาง (intermediates) อื่น ๆ ที่แตกตัวและให้โปรตอนในขณะที่การสร้างมีเทนจะเกิดขึ้นเมื่อพีเอชมีค่าใกล้ 7 เท่านั้น ดังนั้นความไร้เสถียรภาพอาจจะเกิดขึ้นได้เมื่ออัตราการกำจัดกรดโดยการสร้างมีเทนลดลงหลังจากการผลิตกรดเพิ่มขึ้น : การสร้างกรดสุทธิจะทำให้พีเอชลดลง และจะทำให้การสร้างมีเทนลดลง โดยทั่วไปสิ่งนี้เรียกว่า การเหม็นเปรี้ยว (souring) ซึ่งมักจะเกิดในถังปฏิกรณ์ไร้ออกซิเจน และเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้การเดินระบบล้มเหลว อันตรายจากกลิ่นเหม็นเปรี้ยวนี้อาจหลีกเลี่ยงได้โดยการรักษาสัดส่วนของการสร้างกรด และมีเทนให้สมดุลกัน ซึ่งทำได้โดยการรักษาสภาพด่าง และบัฟเฟอร์ไว้ในระดับสูง

2.1.4 ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่มีผลต่อระบบไร้ออกซิเจน

ปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมที่สำคัญในระบบไร้ออกซิเจน คือ อุณหภูมิ พีเอช สารอาหาร และสารพิษ ปัจจัยที่สำคัญรองลงมาได้แก่

- เสถียรภาพของพีเอชจะถูกควบคุมโดยระบบคาร์บอนิก และไม่จำเป็นต้องเติมสารเคมีเพื่อปรับพีเอช

- สารอาหาร (สารอาหารหลักคือ ไนโตรเจนและฟอสฟอรัส และสารอาหารรอง) มีครบถ้วนในน้ำเสีย

- สารประกอบที่เป็นสารพิษ และอาจมีผลต่อแบคทีเรียพบได้ยากในน้ำเสียชุมชน โดยทั่วไปความเป็นพิษจากซัลไฟด์ไม่ใช่ปัญหาสำคัญ และออกซิเจนละลายจะเป็นปัญหาก็ต่อเมื่อการออกแบบระบบไม่ดีพอ

2.1.4.1 อิทธิพลของอุณหภูมิต่อถังหมักไร้ออกซิเจน

กรณีน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง อุณหภูมิในการเดินระบบสามารถควบคุมได้โดยการใช้มีเทนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิ ส่วนน้ำเสียความเข้มข้นต่ำความร้อนที่ได้รับจากการเผาไหม้มีเทน ไม่เพียงพอต่อการเพิ่มอุณหภูมิอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในตาราง 2.1 ความร้อนสูงสุดที่ได้จากการเผาไหม้มีเทนที่ได้รับจากถังหมัก ที่มีซีโอดี 500 มก./ล. (ค่าทั่วไปของน้ำเสียชุมชน) เท่ากับ 1.5 กค./ล. ซึ่งเพียงพอที่จะเพิ่มอุณหภูมิได้ 1.5 องศาเซลเซียส ในทางทฤษฎี แต่ค่าสูงสุดนี้ จะได้รับจากการแปลงสารอินทรีย์ในน้ำเสียเป็นมีเทนอย่างสมบูรณ์ ความร้อนจากมีเทนต้องถูกใช้อย่างเต็มที่ โดยทั่วไปน้ำเสียมักจะถูกบำบัดที่อุณหภูมิที่ระบบติดตั้งอยู่

ระบบไร้ออกซิเจนก็เช่นเดียวกับกระบวนการทางชีววิทยาอื่นๆ ที่อุณหภูมิจะมีผลต่อกระบวนการอย่างมาก อัตราการเปลี่ยนรูปของกระบวนการหมักจะมีค่าสูงสุดอยู่ระหว่าง 35 และ 40 สำหรับช่วงเมโซฟิลิก และประมาณ 55 องศาเซลเซียส สำหรับช่วงเทอโมฟิลิก สำหรับการบำบัดน้ำเสียโดยทั่วไปจะใช้เพียงช่วงเมโซฟิลิกเท่านั้น อิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตรา และขอบเขตของการหมักมีผู้ทำการสำรวจมาแล้วมากมาย Henze และ Harremoes (1983) ได้ทำการคำนวณจากข้อมูลที่มีมาเป็นรูป 2.3 ซึ่งแสดงผลของอุณหภูมิต่ออัตราการหมัก สามารถสรุปผลได้ดังนี้

(1) ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมคือ 30 ถึง 40°C

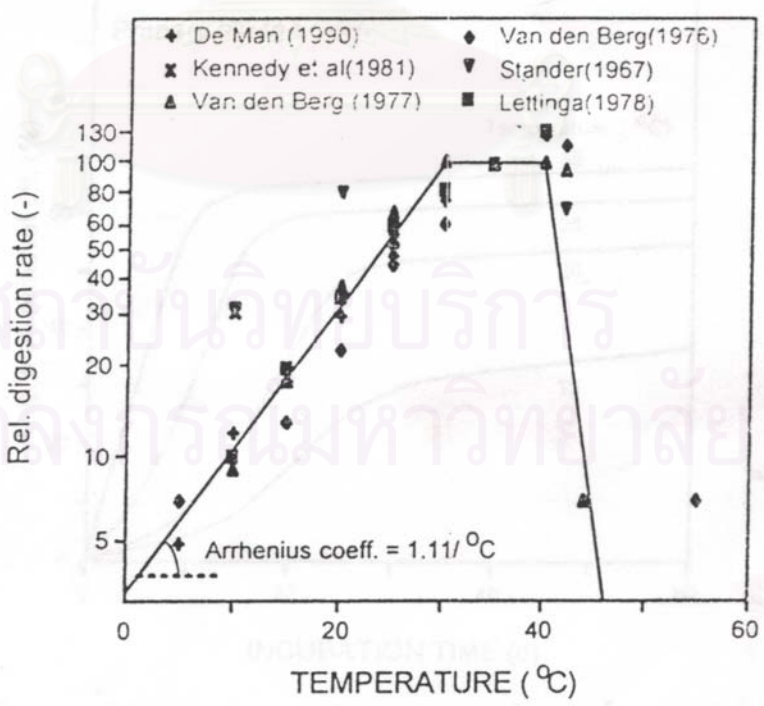
(2) สำหรับอุณหภูมิที่ต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสม อัตราการหมักจะลดลงโดยประมาณ 11 เปอร์เซนต์ต่อ 1 องศาที่ลดลง และสอดคล้องกับสมการของอาเรเนียส (Arhenius equation) ดังนี้

$$r_t = r_{30}(1.11)^{(t-30)}$$

ที่ซึ่ง t = อุณหภูมิองศาเซลเซียส

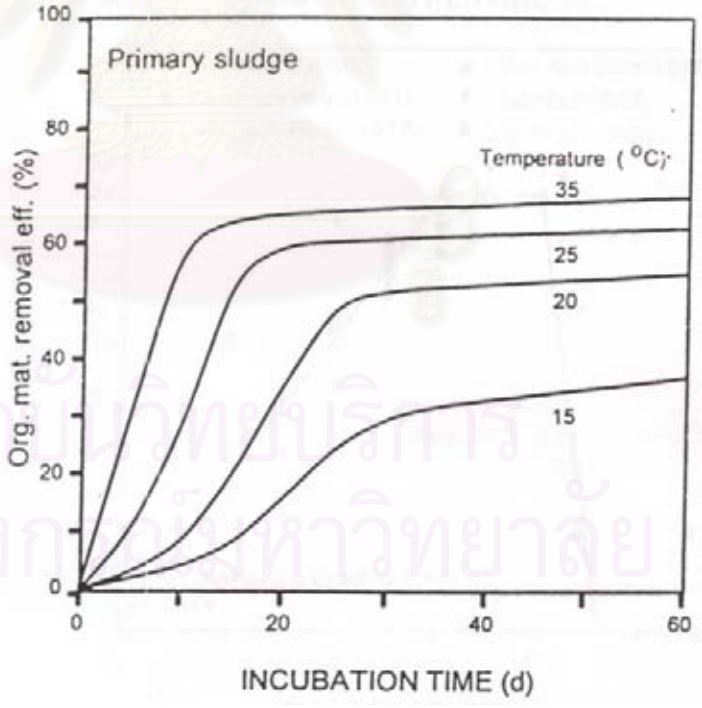
r_t, r_{30} = อัตราการหมักที่อุณหภูมิ t และ 30 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

เมื่อใช้สมการอาเรเนียส คำนวณที่ 20 และ 10 องศาเซลเซียส อัตราการหมักจะลดลง 35 และ 12 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ เมื่อเทียบกับอัตราที่ 30 องศาเซลเซียส



รูป 2.3 อิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาของระบบไร้ออกซิเจนในช่วงเมโซฟิลิก (Hanzen and Harremoes, 1983)

อิทธิพลของอุณหภูมิต่อถังหมักไร้ออกซิเจน ไม่ได้จำกัดอยู่ที่อัตราของกระบวนการ แต่มันมีผลต่อขอบเขตของถังหมักไร้ออกซิเจนด้วย O'Rourke (1968) และ Van der Last (1991) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 แสดงขอบเขตของการหมักโดยใช้ของเสียที่ตกตะกอนจากถังตกตะกอนแรก (Primary Sudge) โดยแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการหมักที่อุณหภูมิต่างๆกัน ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ O' Rourke (1968) แผนภาพนี้แสดงให้เห็นอย่างชัดเจนถึงอิทธิพลของอุณหภูมิต่อการย่อยสลายของแข็ง การลดลงในสัดส่วนของสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายสามารถอธิบายได้ว่าเป็นผลมาจากอัตราไฮโดรไลซิสที่ลดลง ในทางปฏิบัติสิ่งนี้จะมีประโยชน์ในการลดสารอินทรีย์แขวนลอยจากน้ำเสียที่อุณหภูมิต่ำเพราะเมื่อมันถูกย่อยสลายน้อยลง จะถูกจับอยู่ในชั้นสลัดจ์กลายเป็นส่วนหนึ่งของมวลสลัดจ์ในระบบบำบัด ซึ่งสามารถกำจัดได้ในภายหลัง โดยการปล่อยออกมาเป็นสลัดจ์ส่วนเกินเพื่อนำไปบำบัดต่อไป ที่อัตราการย่อยสลายต่างๆ พบว่าอากาศแบบร้อนชื้นเหมาะสมที่จะนำไปใช้ที่สุด (อุณหภูมิน้ำเสียมากกว่า 20 องศาเซลเซียส) ส่วนเขตอบอุ่น (อุณหภูมิมากกว่า 15 องศาเซลเซียส) ยังนับว่าน่าสนใจแต่อาจต้องมีการแปลงความร้อน ส่วนที่อากาศหนาว (อุณหภูมิ 10 องศาเซลเซียส) ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้เพราะอาจต้องสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเพื่อเพิ่มความร้อนมาก



รูป 2.4 อิทธิพลของอุณหภูมิต่ออัตราการกำจัดสารอินทรีย์ในระบบไร้ออกซิเจนของสลัดจ์ปฐมภูมิ (O' Rourke, 1968)

2.1.4.2 พีเอชในถังปฏิกรณ์

ค่าพีเอชและเสถียรภาพของพีเอชในถังปฏิกรณ์ไร้ออกซิเจนนับว่ามีความสำคัญอย่างยิ่ง เพราะการสร้างมีเทนจะเกิดที่อัตราสูงเมื่อพีเอชถูกรักษาในช่วงเป็นกลาง ที่พีเอชต่ำกว่า 6.3 หรือสูงกว่า 7.8 อัตราการผลิตมีเทนจะลดลง แบคทีเรียที่ผลิตกรดมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชไม่ว่าสูงหรือต่ำเกินไปน้อยกว่า ซึ่งทำให้การสร้างกรดจะเกิดมากกว่าการสร้างมีเทน (ใช้กรด) ว่าจะเป็นผลให้เกิดการเหม็นเปรี้ยว (Souring) ของถังปฏิกรณ์ในที่สุด

ค่าพีเอชในถังปฏิกรณ์ไร้ออกซิเจนเกิดขึ้นจากสมดุลไอออนิกของระบบกรด – เบสที่ต่างกัน ระบบกรดอ่อน – เบสอ่อนมีอิทธิพลมากที่สุด โดยระบบคาร์บอนิกเป็นตัวที่สำคัญที่สุด เนื่องจากมีความเข้มข้นมากกว่าระบบอื่น ๆ เช่น ฟอสเฟส แอมโมเนีย หรือ ซัลไฟด์

2.1.4.3 สารประกอบที่เป็นพิษ

สารประกอบหลายตัวมักมีผลต่ออัตราการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน แม้จะมีความเข้มข้นต่ำ เช่น โลหะหนัก และ สารประกอบอินทรีย์ของคลอรีน อย่างไรก็ตาม สารประกอบเหล่านี้ไม่พบว่ามีในน้ำเสียมากจนถึงระดับที่เป็นอันตราย สารประกอบที่เป็นพิษที่น่าสนใจ คือ ออกซิเจน และ ซัลไฟด์ ออกซิเจนอาจเข้าสู่ระบบโดยระบบกระจายน้ำเข้า แต่จะถูกออกซิไดซ์จากสารอินทรีย์จนหมดตั้งแต่ตอนเริ่มกระบวนการสร้างกรด ซึ่งมักจะไม่มีผลใดๆ ต่อระบบ ซัลไฟด์สามารถเกิดขึ้นในกระบวนการได้เนื่องมาจากการรับอิเล็กตรอนของซัลเฟต อย่างไรก็ตาม ผลจากการสำรวจของ Rinzema (1989) พบว่าระดับของซัลไฟด์ในน้ำเสีย (>50 มก./ล.)ต่ำกว่าความเข้มข้นต่ำสุดที่จะมีผลเป็นพิษอยู่มาก ดังนั้น ความเป็นพิษจริงไม่ใช่ปัญหาสำคัญในระบบบำบัดน้ำเสียไร้ออกซิเจน

2.2 แอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

2.3.1 ความเป็นมาและลักษณะของระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

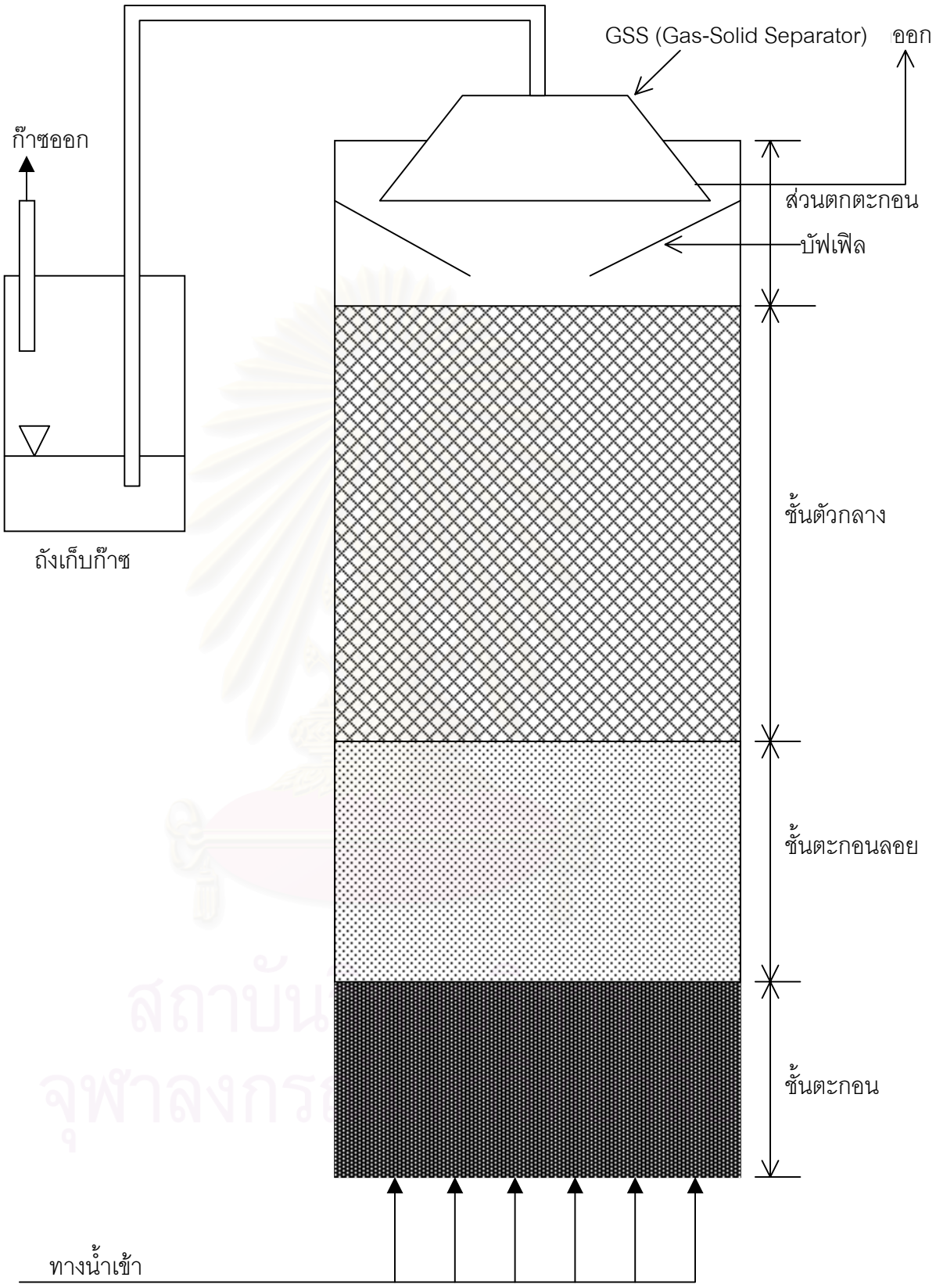
ถังกรองไร้อากาศ (anaerobic filter) ถูกพัฒนาขึ้นครั้งแรกโดย Young และ McCarty ในปี1969 โดยมีพื้นฐานอยู่บนงานที่ถูกพัฒนาในช่วงเริ่มแรกของ Coulter และ คณะ (1957) กระบวนการกรองไร้อากาศได้ถูกใช้ในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมอย่างมาก แต่มีข้อเสียที่สำคัญคือระบบนี้จะเสียค่าใช้จ่ายของตัวกลางอย่างมากซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุที่ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายไปกับโครงสร้างที่ต้องรับน้ำหนักมากเช่นกัน (Speece,1983) ถังกรองไร้อากาศขนาดใหญ่ (full scale) มีการนำไปใช้กับน้ำเสียอุตสาหกรรมมาก แต่กับน้ำเสียชุมชนแทบจะไม่มีการนำไปใช้

ระบบยูเอเอสบีถูกพัฒนาขึ้นในช่วงทศวรรษ 1970 โดย Lettinga และทีมงานที่มหาวิทยาลัย Wageningen ในประเทศเนเธอแลนด์ แรกเริ่มระบบนี้ใช้กับการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง โรงบำบัดขนาดใหญ่หลายแห่งกำลังเดินระบบอยู่และหลายแห่งก็กำลังก่อสร้าง โรงบำบัดขนาดใหญ่ที่กำลังเดินระบบอยู่นั้นอยู่ในประเทศเขตร้อน ส่วนในประเทศเขตอบอุ่นระบบนี้ยังอยู่ในขั้นการทดลองเท่านั้น

Guiot และ Vanden Berg (1984) ได้เริ่มทำการค้นคว้าระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบีที่ประเทศแคนาดาซึ่งเป็นการนำเอาข้อดีของระบบยูเอเอสบีและถังกรองไร้อากาศเข้าด้วยกันทำให้ระบบดังกล่าวสามารถบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นต่ำไปจนถึงสูงได้ (Guiot และคณะ, 1984) นอกจากนี้ยังจะสามารถปรับปรุงให้ระบบสามารถลดความสกปรกจากน้ำเสียชนิดต่างๆได้ อันเนื่องมาจากการที่มีจุลชีพหลากหลายชนิดแตกต่างกันมาเจริญเติบโตร่วมกันในตัวกลางพลาสติก ถึงแม้ว่าอัตราการเจริญของจุลชีพดังกล่าวจะช้าก็ตาม

ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบีเริ่มเป็นที่นิยมในระยะ 10 ปีให้หลังมานี้ ไม่ได้เป็นที่นิยมเพียงแต่ในประเทศในแถบยุโรปเท่านั้น แต่ความนิยมยังมาถึงประเทศในกลุ่มเอเชียตะวันออกอีกด้วย ซึ่งใช้สำหรับการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม แต่อย่างไรก็ตามระบบก็ยังคงไม่เหมาะกับการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของสารแขวนลอยสูง เพราะอาจเกิดการยับยั้งการเกิดเม็ดของสลัดจ์ ทำให้กิจกรรมการผลิตก๊าซมีเทนอ่อนแอลง

ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบีจะประกอบไปด้วยชั้นนอนของสลัดจ์อยู่บริเวณชั้นล่างของถังปฏิกรณ์ คล้ายกับระบบยูเอเอสบี และนอกจากนั้นยังมีชั้นของตัวกลาง (อาจใช้เป็นตัวกลางพลาสติก) ที่ทำงานคล้ายกับถังกรองไร้อากาศจัดวางอยู่ด้านบนของถังปฏิกรณ์ (Young และ McCarty, 1969) ซึ่งโดยทั่วไปนั้น ภายในระบบในส่วนของยูเอเอสบีจะประกอบไปด้วยมวลชีวะที่จับตัวกันเป็นกลุ่มก้อนที่มีความสามารถในการตกตะกอนสูงตลอดจนมีกิจกรรมทางชีวะ (bioactivity) สูง ในขณะที่ชั้นที่มีตัวกลางพลาสติกนั้นจะเป็นที่เจริญเติบโตของจุลชีพชนิดเกาะติด ซึ่งตัวกลางจะช่วยเก็บกักมวลชีวะให้คงอยู่ภายในระบบ โดยที่ประสิทธิภาพของระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบีจะขึ้นอยู่กับการสัมผัสของน้ำเสียกับทั้งจุลชีพที่แขวนลอยที่อยู่ในส่วนล่างและจุลชีพที่เกาะติดซึ่งอยู่ในส่วนบนของถังปฏิกรณ์



รูป 2.5 ถังปฏิกรณ์แอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

น้ำเสียจะเข้าสู่ระบบที่ก้นถังและไหลผ่านเข้าไปยังถังปฏิกรณ์ ซึ่งภายในถังจะเป็นมวลชีวะเป็นส่วนใหญ่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งจะเป็นจุลชีพพวก hydrolytic bacteria และ fermentative bacteria ซึ่งเจริญเติบโตอยู่บริเวณชั้นล่างของถังปฏิกรณ์ โดยที่การเติบโตของสลัดจ์เป็นสิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งในระบบนี้ ดังนั้นระบบจึงควรมีการสะสมของมวลชีวะให้มากที่สุด

รูป 2.5 แสดงระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบีพร้อมกับส่วนประกอบที่สำคัญ ส่วนประกอบที่สำคัญคือ อุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอย หรือ GSS (Gas-Solid Separator)และชั้นตัวกลาง GSSจะติดตั้งอยู่ที่จุดบนสุดของถังปฏิกรณ์ คือที่โซนตกตะกอน น้ำเสียที่เข้ามายังถังจะต้องไหลอย่างสม่ำเสมอจากทางด้านล่างของถัง ผ่านชั้นสลัดจ์และชั้นตัวกลางเข้าไปยังโซนตกตะกอนจนไปถึงอุปกรณ์แยกก๊าซ-ตะกอนแขวนลอย

ชั้นตัวกลางจะเป็นส่วนที่ป้องกันไม่ให้เม็ดสลัดจ์จากชั้นสลัดจ์ซึ่งอาจจะมีฟองก๊าซเกาะอยู่หลุดออกไปจากถังเพราะเมื่อมันมาชนกับชั้นตัวกลางเม็ดสลัดจ์ขนาดใหญ่จะตกกลับลงไปยังชั้นสลัดจ์อีก แต่ก็อาจจะมีฟล็อกของจุลินทรีย์ขนาดเล็กที่อาจจะหลุดลอดออกจากชั้นตัวกลางได้ซึ่งจะถูกดักไว้โดย GSS อีกต่อหนึ่ง

ผนังด้านข้างที่เอียงของ GSS ทำให้พื้นที่การไหลของของเหลวในโซนตกตะกอนเพิ่มขึ้นเมื่อของเหลวเข้าใกล้ผิวน้ำ ความเร็วไหลขึ้นของของเหลวจะลดลงเมื่อของเหลวไหลผ่านออกไปตรงจุดที่ปล่อยน้ำออก ความเร็วของเหลวที่ลดลงทำให้ ฟล็อกของสลัดจ์ที่ไหลเข้ามายังโซนตกตะกอนสามารถรวมตัวกัน สลัดจ์ที่รวมตัวกันมากขึ้นที่ GSS จะหนักมากขึ้นและเมื่อน้ำหนักของมันมากกว่าแรงเสียดทานที่พยุงให้มันอยู่บนผิวเอียง ๆของ GSS ได้ มันก็จะตกลงไปในโซนย่อยสลายอีก กลายเป็นมวลส่วนหนึ่งของชั้นสลัดจ์ที่จะย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เข้ามา ดังนั้นการมี GSS อยู่ที่ส่วนบนของโซนย่อยสลาย ทำให้ระบบสามารถรักษาชั้นสลัดจ์ไว้ได้ ขณะที่ของแข็งแขวนลอยบางส่วนอาจหลุดออกไปได้

ฟองก๊าซจะขึ้นไปสู่ผิวของของเหลวและก๊าซซึ่งอยู่ภายใต้ GSS ผิวนี้อาจจะมีระดับเดียวกันกับผิวของอากาศและน้ำในโซนตกตะกอน หรืออาจจะมีระดับต่ำกว่าถ้ามีความดันของก๊าซอยู่ด้วย ฟล็อกของสลัดจ์ที่จับอยู่กับฟองก๊าซอาจจะขึ้นไปจนถึงผิวของส่วนดักก๊าซ แต่มันจะตกลงมาสู่ชั้นตัวกลางเมื่อฟองก๊าซหลุดออกไปแล้ว

2.2.2 ข้อดีและข้อเสียของระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบีได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจากปัญหาการขาดแคลนพลังงานในปัจจุบัน รวมทั้งสามารถแยกเชื้อแบคทีเรีย เช่น แบคทีเรียสร้างมีเทน ออกมาเป็นเชื้อบริสุทธิ์ได้สำเร็จ ทำให้สามารถเข้าใจพฤติกรรมของแบคทีเรียพวกไร้ออกซิเจน ได้มากขึ้น การใช้ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบีในการบำบัดน้ำเสีย มีข้อดีข้อเสียดังนี้

ข้อดี

1.การก่อสร้างและควบคุมระบบ สามารถกระทำได้ง่ายและมีราคาถูก

2.มักจะไม่ต้องการการใช้ไฟฟ้าและไม่ต้องการเครื่องจักรกล

3.สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้ทั้งในระบบบำบัดขนาดเล็กมากไปจนถึงระบบขนาดใหญ่มาก จึงไม่จำเป็นที่จะต้องใช้ระบบขนาดใหญ่เพียงระบบเดียว

4.เมื่อไม่จำเป็นต้องใช้โรงบำบัดน้ำเสียขนาดใหญ่เพียงอย่างเดียว ก็จะทำให้ลดค่าใช้จ่ายในส่วนของระบบดักรวบรวม และขนส่งน้ำเสียลงไปได้

5.ปริมาณการเกิดกากตะกอน (sludge) มีน้อย ในระบบไม่ใช้ออกซิเจน สารอินทรีย์จะเปลี่ยนไปเป็นเซลล์จุลินทรีย์ประมาณ 10 เปอร์เซนต์ ในขณะที่ในระบบใช้ออกซิเจน สารอินทรีย์จะเปลี่ยนไปเป็นเซลล์จุลินทรีย์ถึง 50 เปอร์เซนต์

6.กากตะกอนที่เกิดขึ้นมีความคงตัวสูง และสามารถทำ dewatering ได้ง่าย

7.ได้มีเทนเป็นผลผลิตสุดท้ายของปฏิกิริยา ก๊าซนี้ใช้เป็นพลังงานได้

8.ต้องการไนโตรเจนและฟอสฟอรัสต่ำกว่าระบบใช้ออกซิเจน

9.สามารถหยุดระบบได้เป็นเวลานานโดยไม่เป็นปัญหา และการเริ่มต้นเดินระบบใหม่ก็กระทำได้ง่าย ระบบสามารถฟื้นตัวได้รวดเร็ว จึงเหมาะสำหรับอุตสาหกรรมที่ทำงานเป็นฤดู

10.ระบบบำบัดน้ำเสียไร้ออกซิเจน สามารถบำบัดน้ำเสียที่มีสารพิษบางอย่างได้ เช่น พวก halogenated solvents

11. เหมาะกับการบำบัดน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง

12. การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนของตะกอนขั้นแรกของน้ำเสียชุมชนลดความเข้มข้นของจุลชีพที่ทำให้เกิดโรคได้อย่างมีประสิทธิภาพ

13. เหมาะสำหรับย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ธรรมชาติที่เกิดขึ้น ไม่มีกลิ่นที่น่ารังเกียจ และใช้ประโยชน์เป็นตัวปรับสภาพดิน หรือเป็นปุ๋ย

14. ไม่ต้องทำการหมุนเวียนตะกอน

15. ต้องการอาหารเสริมน้อยกว่า เพราะแบคทีเรียมีอัตราการเจริญต่ำ
16. ตะกอนหลุดออกไปกับน้ำทิ้งน้อย เนื่องจากมีตัวกรองกั้นขวาง

ข้อเสีย

1. ระบบต้องการการดูแลและควบคุมอย่างใกล้ชิดเพราะความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มจุลชีพหลักไม่คงที่
2. อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะสูงสุดของจุลชีพค่อนข้างต่ำ ทำให้การตอบรับการเปลี่ยนแปลงของระบบอืดอาด
3. สารอนินทรีย์สังเคราะห์บางอย่างต้านการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน จึงจำกัดการใช้ระบบและโดยทั่วไปน้ำที่ออกจากระบบจะมีสารอินทรีย์ละลายที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้มากพอ ทำให้ไม่สามารถทิ้งโดยตรงได้
4. ในบางสภาพต้องการการแลกเปลี่ยนความร้อน ทำให้เงินลงทุนเริ่มแรกของระบบไร้ออกซิเจนจะสูง
5. ระบบปรับตัวได้ไม่ดีนักต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำทิ้ง ปริมาณบีโอดี และสภาพแวดล้อมอื่นๆ
6. ในระบบมีก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์เกิดขึ้น ทำให้มีกลิ่นเหม็น และน้ำทิ้งอาจมีสีดำได้ เนื่องจากไฮโดรเจนซัลไฟด์ทำปฏิกิริยากับไอออนของโลหะต่างๆในน้ำทิ้ง ได้เป็นสารประกอบซัลไฟด์ซึ่งมีสีดำ
7. ในการใช้งานจริงนั้น ยังมีปัญหาเกี่ยวกับการกระจายน้ำซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการไหลลัดทางได้
8. กำจัดไนโตรเจนและฟอสฟอรัสได้น้อย
9. ระยะเวลาในการเริ่มต้นการทำงานของระบบ ใช้เวลานานกว่าระบบใช้อากาศ
10. เส้นทางการไหลของน้ำเสียผ่านภายในระบบมักจะไปได้ไม่ทั่วถึง ทำให้มีส่วนของการตายของจุลชีพ (Dead Zone) ที่ไม่ได้รับน้ำเสีย
11. ระบบอาจจะเกิดการอุดตันภายในตัวกลางได้เมื่อใช้งานเป็นระยะเวลานาน
12.ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจน ไม่สามารถใช้เป็นระบบบำบัดที่สมบูรณ์ในตัวเองได้เนื่องจากยังคงมีสารตัวกลาง (intermediate) ต่างๆ เหลืออยู่ทำให้น้ำทิ้งมักมี บีโอดี สูง
13.ระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนมักมีปัญหาที่อุณหภูมิต่ำ
14.ความรู้และประสบการณ์ในขึ้นทำงานจริงยังมีอยู่น้อย

2.3 น้ำกากส่า

น้ำกากส่า คือ ของเหลวเหลือทิ้งจากระบวนการกลั่นแอลกอฮอล์ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้กากน้ำตาลเป็นวัตถุดิบในการหมัก จากรายงานของ Underkofler และ Hickley (1954) พบว่าน้ำกากส่าโดยทั่วไปมีความเป็นกรด อุณหภูมิสูง มีสีเข้ม ของแข็งส่วนที่ละลายอยู่มีประมาณ 7-10 เปอร์เซ็นต์ และมีสารอินทรีย์อยู่สูง ซึ่งมีค่า บี.โอ.ดี. สูงถึง 18,000-30,000 มิลลิกรัม / ลิตร

ไชยยุทธ และคณะ (2524) ได้ศึกษาถึงคุณสมบัติของน้ำกากส่าจากโรงงานสุรา 32 โรง ในความควบคุมของกรมสรรพสามิต พบว่ามีความเป็นกรดและอุณหภูมิสูงมาก ค่า บี.โอ.ดี. สูงถึง 27,475 มิลลิกรัม / ลิตร และค่า ซี.โอ.ดี. สูงถึง 118,098 มิลลิกรัม / ลิตร ดังแสดงในตารางที่ 2.3

สำหรับต่างประเทศ เช่น ในยุโรปได้นำน้ำกากส่าไปทำให้เข้มข้นหรือทำให้แห้งเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์ หรือทำเป็นปุ๋ยอินทรีย์ (Underkofler และ Hickley, 1954; Chang และ Hong, 1984; Wang และคณะ, 1980) ซึ่งองค์ประกอบของน้ำกากส่าที่ทำให้แห้ง แสดงในตารางที่ 2.4

2.4 สีน้ำตาลเข้มในน้ำกากส่า

สีของน้ำกากส่าเกิดจากสีของกากน้ำตาลซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการผลิตน้ำตาลทราย สารที่ก่อให้เกิดสีได้แก่

คาราเมล (caramel) ของน้ำตาลต่างๆ เป็นสารประกอบที่ไม่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบ เกิดจากน้ำตาลได้รับความร้อนมากเกินไป ในระหว่างการผลิตน้ำตาลทราย คาราเมลมีสีดำสนิท ส่วนมากใช้ประโยชน์ในการทำเป็นส่วนผสมที่ทำให้เกิดสีในอาหาร เช่น ซีอิ้ว ซอสปรุงรส สุรา และเครื่องดื่มประเภทน้ำอัดลมต่างๆ เป็นต้น

เมลานอยดิน (Melanoidin) เป็นสารประกอบที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบเกิดจากปฏิกิริยาการเกิดสีน้ำตาล (browning or mailard reaction) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาควบแน่น (condensation) ของน้ำตาลชนิดต่างๆ กับสารประกอบไนโตรเจน เช่น กรดอะมิโน (amino acid) (Gomya และคณะ ,1972 ; Okada และคณะ, 1981) จากการศึกษาโครงสร้างโมเลกุล โดยใช้วิธี electrolysis พบว่า เมลานอยดิน มีประจุลบ (Kato และ Tsuchida, 1981) สารนี้เป็นสารย่อยสลายได้ยาก จึงเป็นปัญหาในการบำบัดก่อนที่จะปล่อยลงสู่แม่น้ำลำคลอง

สีของน้ำกากส่าที่ผ่านระบบบำบัดแบบไร้ออกซิเจน ยังคงมีสีของน้ำกากส่าเหมือนเดิม จึงไม่สามารถระบายทิ้งลงสู่แม่น้ำลำคลอง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีขั้นตอนกำจัดสี (removal of colours) ในน้ำกากส่าก่อนปล่อยออกจากโรงงานวิธีการกำจัดสีที่ได้มีการประยุกต์ได้แก่วิธีการ

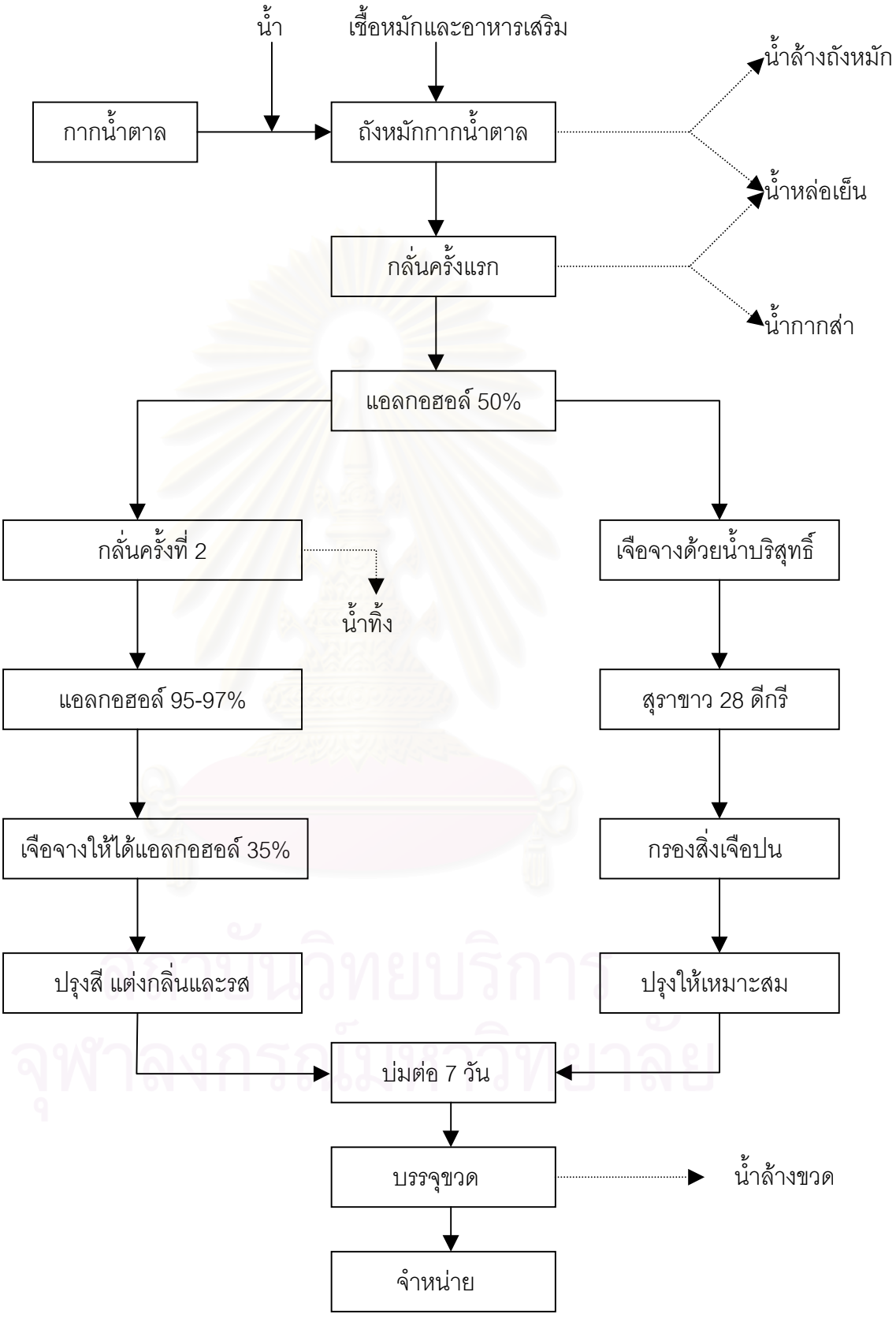
เคมี เช่น การเติมสารส้ม แต่พบว่ามีค่าใช้จ่ายสูง ทำให้เลิกใช้วิธีดังกล่าว กระบวนการโคเมตาบอลิซึม(cometabolism) เป็นวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจที่ถูกใช้ในงานวิจัยนี้ ทั้งนี้เนื่องจากเป็นแนวคิดใหม่และซึ่งมีค่าใช้จ่ายต่ำ

ตารางที่ 2.3 ลักษณะโดยเฉลี่ยของน้ำกากส่าจากโรงงานผลิตสุรากรมสรรพสามิต (32 โรง)

ลักษณะ	ค่าเฉลี่ย	
พีเอช	3.66	
อุณหภูมิ	88.60	องศาเซลเซียส
ซี.โอ.ดี	118,098.00	มิลลิกรัม/ลิตร
บี.โอ.ดี	27,475.00	มิลลิกรัม/ลิตร
สารที่แขวนลอย	11,319.00	มิลลิกรัม/ลิตร
ปริมาณของแข็งทั้งหมด	75,829.00	มิลลิกรัม/ลิตร
ของแข็งระเหย	58,523.00	มิลลิกรัม/ลิตร
สารที่ตกตะกอน	26.67	มิลลิกรัม/ลิตร
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด	935.00	มิลลิกรัม/ลิตร
ฟอสฟอรัส	115.20	มิลลิกรัม/ลิตร
โปแตสเซียม	4,763.00	มิลลิกรัม/ลิตร
ซัลเฟต	3,718.00	มิลลิกรัม/ลิตร
ปริมาณ บี.โอ.ดี. ต่อวัน	3,806.00	กิโลกรัม/วัน

ที่มา : ไชยยุทธ และคณะ (2524)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.6 **แผนผังแสดงกรรมวิธีการผลิตสุรา และจุดปล่อยน้ำทิ้งของโรงงานสุรา**
(กองวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, 2524)

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของน้ำกากส่าแห้ง

องค์ประกอบ	เปอร์เซ็นต์
แร่ธาตุต่าง ๆ	28.5 – 29.0
น้ำตาลคอบเปอร์รีดิวซ์*	0.0 – 12.0
โปรตีน	8.0 – 10.0
กรดระเหยง่าย	1.0 – 2.0
กรดแลคติค	4.0 - 5.0
กรดอินทรีย์	1.0 – 2.0
กลีเซอรอล	5.0 - 6.0
ขี้ผึ้งและอื่น ๆ	12.0 – 22.0

ที่มา : Underkofler และ Hickley (1954)

*น้ำตาลคอบเปอร์รีดิวซ์ คือ กลูโคสและฟรุคโตส ที่เรียกว่า น้ำตาลคอบเปอร์รีดิวซ์นั้น ก็มีความหมายถึงคุณสมบัติของสารละลายน้ำตาลอินเวิท(กลูโคสและฟรุคโตส) ที่สามารถรีดิวซ์พวกสารประกอบทองแดง หรือ คิวพริคซัลเฟต(จุนสีสะตุ) แล้วเปลี่ยนเป็นสีน้ำเงินสดได้ด้วยการไทเทรตกับสารละลายที่เป็นด่างของเกลือโซเดียม เป็น คิวพลัสออกไซด์(คิวไพรท์) ที่มีจุดวาบสี(end point) เป็นสีแดงอิฐ ดังนั้นเมื่อกล่าวถึงน้ำตาลคอบเปอร์รีดิวซ์จึงหมายถึงคุณสมบัติของมันนั่นเอง (อัสวิทย์ ปัทมะเวณุ, 2542)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5 การบำบัดน้ำกากส่า

เนื่องจากน้ำกากส่าในโรงงานผลิตแอลกอฮอล์และสุราทำให้เกิดปัญหามลภาวะของแม่น้ำลำคลองที่ถูกปนเปื้อน จำเป็นจะต้องผ่านขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของน้ำกากส่าที่เป็นน้ำทิ้งเสียก่อน โดยการแยกสิ่งสกปรกต่างๆ ตลอดจนสีน้ำตาลเข้มของน้ำกากส่านั้น ให้มีปริมาณลดลงจนอยู่ในระดับที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหามลภาวะในแหล่งน้ำระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานอุตสาหกรรมและแหล่งชุมชนต่างๆ จะเป็นแบบใดนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของโรงงานอุตสาหกรรมหรือแหล่งชุมชน โดยปัจจัยที่ควรพิจารณา คือ ชนิด และปริมาณของน้ำเสียที่ต้องการบำบัด ตลอดจนสภาพที่จะใช้ในการสร้างระบบบำบัด โดยทั่วไปกระบวนการบำบัดน้ำเสีย แบ่งออกได้เป็น 5 ประเภท (สันทัด , 2527) ดังนี้

- กระบวนการบำบัดทางฟิสิกส์ โดยปฏิกิริยาทางฟิสิกส์ เช่น การกรอง และ การตกตะกอน เป็นต้น
- กระบวนการบำบัดทางเคมีฟิสิกส์ โดยใช้ปฏิกิริยาทางเคมีฟิสิกส์ เช่น การดูดซับ
- กระบวนการบำบัดทางเคมี
- กระบวนการบำบัดทางเคมีไฟฟ้า
- กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

ระบบที่นิยมใช้ได้แก่ กระบวนการบำบัดทางเคมี เคมีไฟฟ้า และ ทางชีวภาพ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.5.1 กระบวนการบำบัดทางเคมี

การตกตะกอนสีน้ำกากส่าด้วยสารเคมี (chemical coagulation) โดยใช้สารเคมีชนิดต่างๆ เช่น สารส้ม ปูนขาวและเฟอร์ริคคลอไรด์ ($FeCl_3$) จากการศึกษาพบว่าสารเคมีที่เหมาะสมที่สุด คือ สารส้ม รองลงมาคือ เฟอร์ริคคลอไรด์ และปูนขาว โดยปริมาณสารส้มที่เหมาะสมในการตกตะกอนสีน้ำกากส่า คือ สารส้ม 5 กิโลกรัมต่อน้ำกากส่าที่ผ่านขั้นตอนที่ 2 แล้ว 1 ลูกบาศก์เมตร หรือ 35 กิโลกรัมต่อน้ำกากส่าสด 1 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งเสียค่าใช้จ่าย 197 บาทต่อน้ำกากส่าสด 1 ลูกบาศก์เมตร (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2525)

นอกจากนี้ยังมีผู้ศึกษาการกำจัดสีเมลานอยดินด้วยเคมี คือ (Hayase และคณะ,1984) ได้ทำการศึกษาพบว่าเมื่อใช้เอนไซม์กลูโคสออกซิเดสกำจัดสีเมลานอยดิน ในสภาวะที่เกมาะสมจะกำจัดสีเมลานอยดินได้ถึง 65 % ซึ่งปฏิกิริยาระหว่างเอนไซม์กับสารตั้งต้นทำให้เกิดไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และย่อยสลายเมลานอยดินจากเหตุผลนี้เขาจึงใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาทำการทดลองแทนเอนไซม์ดังกล่าว โดยการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ปริมาณความเข้มข้นเหมาะสมที่

สุด คือ 6.72% ที่พีเอช2 ระดับคือเป็นกลาง 7.0 และเป็นด่าง 10.0 อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 28 ชั่วโมง เมลานอยดินจะถูกย่อยสลายลง 64 และ 97 % ตามลำดับ เมลานอยดินที่ถูกย่อยสลายลงนี้เป็นเมลานอยดินที่มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 5,300 – 3,500

การกำจัดสีของเมลานอยดินด้วยวิธีการทางเคมียังมีอีกหลายรูปแบบซึ่งใช้ค่าใช้จ่ายสูง เช่น การดูดซับด้วย แอคติเวตเตต คาร์บอน หรือ การตกตะกอน ด้วยสารเคมีบางอย่าง เช่น แอมโมเนียมซัลเฟต เฟอร์ริคซัลเฟต สารส้ม ปูนขาว และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แต่เนื่องจากต้องเสียค่าใช้จ่ายสูง เช่น การตกตะกอนด้วยสารส้ม ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงถึง 197 บาท ต่อน้ำกากส่า 1 ลูกบาศก์เมตร หรือไฮโดรเจนเปร์ออกไซด์ ก็เป็นสารเคมีที่มีราคาแพงมาก (Hayase และคณะ,1984) (สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2525)

Veronica และคณะ (1993) แยกเมลานอยดินในน้ำกากส่าโดยใช้สารรวมตะกอนอนินทรีย์ชนิดการค้า (commercial inorganic flocculant) ที่มีสูตรทางเคมี $[Fe_2(OH)_n(SO_4)_{3-n/2}]_m$ ประสิทธิภาพในการกำจัดสี 32 87 และ 94% เมื่อใช้กำจัดสีน้ำกากส่าสด น้ำทิ้งที่ผ่านทั้งระบบย่อยสลายแบบชีวภาพกับระบบบ่อบำบัด ตามลำดับ ทีโอซี ลดลง 21% สำหรับน้ำกากส่าสด และประมาณ 73% สำหรับระบบย่อยสลายทางชีวภาพและระบบที่ผ่านทั้งระบบย่อยสลายทางชีวภาพและระบบบ่อ ในน้ำกากส่าสดมีปริมาณฟลูออไรด์อิออนอยู่มากพอสมควรทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสีลดลง การเติมแคลเซียมออกไซด์ 30 กรัมต่อลิตรน้ำกากส่าจะช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสีเป็น 93%

2.5.2 กระบวนการบำบัดแบบเคมีไฟฟ้า

Uhrich (1989) สร้างระบบทดลองกำจัดสีน้ำเสียที่มีสีย้อม และโลหะหนักเป็นสารเจือปน การทำงานของระบบเริ่มจากน้ำเสียถูกสูบผ่านเซลล์อิเล็กโตรไลท์ (electrolytic cell) ที่มีขั้วไฟฟ้าบวกเป็นโลหะเหล็กหรือโลหะผสมเหล็ก (iron alloy) ขั้วไฟฟ้าบวกจะให้เหล็กเฟอร์รัส (ferrous iron) ซึ่งทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์อิออน ที่มีมาจากขั้วไฟฟ้าลบสารนี้จะทำให้เกิดการตกตะกอนร่วม (coprecipitation) กับสีย้อมและโลหะหนักในรูปของเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ (ferrous hydroxide) ที่ไม่ละลายน้ำ ผลการทดลองโดยใช้สี Indigo dye ความเข้มข้น 500 พีพีเอ็ม ปรับพีเอชเป็น 8.38 ใช้อัตราการไหลตั้งแต่ 0.4-2 แกลลอนต่อนาที น้ำทิ้งที่ออกจากระบบจะใส และไม่มีสี (clear colorless solution) แต่ถ้าใช้ AtIntic Paper Red Liquid ความเข้มข้น 9.1 พีพีเอ็ม พีเอชเริ่มต้น 7.4 และปรับเป็น 8.48 ก่อนเข้าระบบ ค่าที่ดีคือที่ 0.3 แกลลอนต่อนาที 12.5 โวลท์ แต่ต้องนำกลับมาบำบัดใหม่หลายครั้ง ผลการทดลองอยู่ในตารางที่ 2.5 ดังต่อไปนี้

ตาราง 2.5 ผลการทดลองกำจัดสี โดยใช้สี Indigo dye โดยใช้ระบบเคมีไฟฟ้า (Uhrich,1989)

Flow (gpm)	AMPS/volts	pH out	Result
0.2	10/16	9.22	ไม่มีสี
1.0	7.5/16	9.60	ชมพู
0.5	10/14.5	9.60	ชมพู
0.2	12.5/17	9.60	ชมพู
0.3	12.5/16	9.30	ไม่มีสี

Thomas และคณะ (1989) ได้สร้างระบบ water clarification apparatus และวิธีการกำจัดสีและสารอินทรีย์ใน บ่อสี (dye lagoon) ในบ่อสีประกอบด้วยขั้วไฟฟ้าลบตั้งอยู่ที่ทางออกและขั้วไฟฟ้าบวกเป็นแผ่นตะแกรงเหล็กติดตั้งอยู่ในกรอบ มีหม้อแปลงไฟฟ้า ขนาด 480 โวลท์ ต่อกับเครื่องแปลงไฟฟ้าสลับให้เป็นกระแสตรงขนาด 100 กิโลวัตต์ สามารถใช้งานในช่วง 100 โวลท์ ถึง 400 โวลท์ หรือกระแสไฟฟ้า 80-640 แอมแปร์ ความหนาแน่นกระแสเฉลี่ย 0.00016 และ 0.00128 แอมแปร์ต่อตารางฟุต ตารางข้างล่างแสดงให้เห็นถึงขีดสูงสุดของการทดลองในการกำจัดสี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 2.6 ผลการกำจัดสี และสารอินทรีย์ในระบบ water clarification apparatus (Thomas และคณะ, 1989)

Rate of Reduction A.D.M.I. (1/hr)	Amps Current Density (Per/sq.ft.)	Concentration (mg/l)	Time for Reduction (hr)	AM per AGE	Cost per months
1	0.000006	2000	2000	3.23	69.12
25	0.00016	2000	80	80	1728
50	0.00032	2000	40	160	3456
75	0.00048	2000	26.67	240	5184
100	0.00064	2000	20	320	6912
125	0.00080	2000	16	400	8640
150	0.00096	2000	13.33	480	10369
175	0.00112	2000	11.43	560	12096
200	0.00128	2000	10	640	13824
225	0.00144	2000	8.89	720	15552
250	0.00160	2000	8.00	800	17280
275	0.00176	2000	7.27	880	19008
300	0.00192	2000	6.67	960	20736
325	0.00208	2000	6.15	1040	22464
350	0.00224	2000	5.71	1120	24192
375	0.00240	2000	5.33	1200	25920
400	0.00256	2000	5.0	1280	27648

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.5.3. กระบวนการบำบัดทางชีวภาพ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการบำบัดน้ำกากส่าโดยวิธีทางชีวภาพโดยร่วมกับกระบวนการบำบัดไร้ออกซิเจน มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

Ohmomo และคณะ (1987) พบว่าแบคทีเรียไม่ต้องใช้อากาศ (anaerobic bacteria) ในกลุ่มของแลคติคแอซิดแบคทีเรีย สามารถลดความเข้มสีน้ำกากส่าได้ 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าต่ำกว่าความสามารถในการลดความเข้มสีของเชื้อราในกลุ่ม Basidiomycetes และ Ascomycetes การเจริญและความสามารถในการลดความเข้มสีน้ำกากส่านั้นไม่ต้องการออกซิเจน ซึ่งเหมาะสมต่อการบำบัดน้ำกากส่าในอุตสาหกรรม และพบว่าเมื่อนำแบคทีเรียไม่ต้องการอากาศนี้ไปตรึงด้วยเจลแคลเซียมอัลจิเนต จะสามารถลดความเข้มสีน้ำกากส่าได้เพิ่มขึ้น 1.6 เท่า ของการใช้เซลอิสระ ทั้งนี้เนื่องจากว่าการที่นำเซลของแบคทีเรียไปใส่ในเจลนั้น เป็นการปรับสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมแก่เชื้อมากยิ่งขึ้น นอกจากนี้ เซลที่ถูกตรึงนั้นยังสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อีกหลายครั้ง ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำกากส่าลงไปได้อีกซึ่งนับว่าเป็นเรื่องที่น่าสนใจและควรจะได้มีการค้นคว้าวิจัยต่อไป

สันทัด (2527) พบว่าเชื้อราสายพันธ์ D 90 ที่อยู่ในกลุ่ม Deuteromycetes สามารถลดความเข้มสีกากน้ำตาลได้ 90 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 10 วัน โดยมีการเติมน้ำตาลกลูโคส 2.5 เปอร์เซ็นต์ และยีสต์สกัด 0.2 เปอร์เซ็นต์ พีเอช เท่ากับ 6.0 และมีปริมาณเชื้อเริ่มต้นไม่ต่ำกว่า 0.15 เปอร์เซ็นต์ นำเชื้อรา D 90 ไปทำการลดความเข้มสีน้ำกากส่าสด น้ำกากส่าหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ และน้ำกากส่าหลังผ่านระบบบำบัดน้ำเสียแบบใช้อากาศ พบว่า น้ำกากส่าสดเหมาะสมที่สุดสำหรับเชื้อรา D 90 ซึ่งสามารถลดความเข้มสีน้ำกากส่าได้ 91.0 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 10 วัน และยังลดระดับ บี.โอ.ดี. ได้ 81.0 เปอร์เซ็นต์ ในเวลา 12 วัน ในขณะที่น้ำกากส่าหลังผ่านระบบน้ำเสียแบบไร้อากาศ และระบบบำบัดน้ำเสียแบบให้อากาศ ลดความเข้มสีน้ำกากส่าได้เพียง 65 และ 60 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ และลดระดับ บี.โอ.ดี. ได้ 95.5 และ 93.4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

Sirianuntapiboon และคณะ (1988) ได้นำราสายพันธุ์ D – 90 ที่ได้จากการคัดพันธุ์ในประเทศไทยมาทำการศึกษาการกำจัดสีน้ำกากส่าต่อ โดยใช้น้ำกากส่าจากโรงงานผลิตเอทานอลที่ผ่านการบำบัดด้วยระบบการไร้อากาศ และใช้อากาศตามลำดับ แล้วนำมาวิเคราะห์ทางเคมีโดยนำ BOD และ COD จากการทอลองพบว่ารา D – 90 สามารถกำจัดสีน้ำกากส่าได้

ประมาณ 90% ในเวลา 10 วัน และลดค่า BOD ได้ 80% เมื่อเลี้ยงรา D – 90 ในสารละลายสีน้ำกากส่า หรือ เมลานอยดินที่ได้จากโรงงานผลิตเอทานอลที่ผสมด้วยกลูโคส 2.5% โซเดียมไนเตรท 0.2% โปแตสเซียมไดไฮดรเจนฟอสเฟต 0.1% แมกนีเซียมซัลเฟต 0.05% และนำไปผ่านการตกตะกอน นำไประเหย และไดอะไลซ์นำมาปรับความเข้มข้นของสีด้วยการวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 475 นาโนเมตร วัดได้ค่าเท่ากับ 3.5 ปรับความเป็นกรดด่างเท่ากับ 6.0 เลี้ยงที่ อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 10 วัน เมื่อการทดลองใช้น้ำกากส่าที่ไม่ได้ใส่สารอาหารลงไป พบว่ารา D – 90 สามารถกำจัดสีน้ำกากส่าได้เพียง 17.5% และในสภาวะที่ไม่ได้ฆ่าเชื้อจะสามารถกำจัดสีได้ 70% ในเวลา 11 วันและลดค่า BOD ได้ 90% ในเวลา 15 วัน เมื่อทำการกำจัดสีเมลานอยดินในระบบกึ่งต่อเนื่อง (fedbatch) พบว่าสามารถกำจัดสีน้ำกากส่าได้ประมาณ 80% ในเวลา 10 วันและลดค่า BOD ได้ 70%

Ohmomo, Daengsubha และคณะ (1988) ได้คัดเลือกจุลินทรีย์พวกกึ่งไม่ใช้อากาศ (facultative anaerobe) ที่มีความสามารถกำจัดสีน้ำกากส่า (melanoidin – decolorizing activity) หรือ MDA โดยคัดเลือกมาจากบ่อเก็บน้ำกากส่าในโรงงานผลิตเอทานอลพบว่ามีแบคทีเรียบางสายพันธุ์ที่มีความสามารถในการกำจัดสีน้ำกากส่าได้โดยเฉพาะ *Lactobacillus hilgardii* สายพันธุ์ W – NS สามารถกำจัดสีน้ำกากส่าได้ 28 % เมื่อเลี้ยงเชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อที่ประกอบด้วย กลูโคส 1.0% ยีสต์ 0.2% เปปโตน 0.3% โปแตสเซียมไดไฮโดรเจนฟอสเฟต 0.1% แมกนีเซียมซัลเฟต 0.05 % ในสารละลายสีน้ำกากส่าเมลานอยดินที่ได้ จากโรงงานผลอตเอทานอล เตรียมสารละลายสีน้ำกากส่าด้วยวิธีการเดียวกันกับวิธีการข้างต้น ปรับความเป็นกรดด่างเท่ากับ 7.3 ด้วยโซเดียมคาร์บอเนต เลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิ 30°C เป็นเวลา 5 วัน เมื่อทำการปรับปรุงการกำจัดสีน้ำกากส่าด้วยวิธีการตรึงเซลล์ด้วยแคลเซียมอัลจิเนตแล้ว พบว่าสามารถกำจัดสีนำกากส่าได้เพิ่มมากขึ้นเป็น 40%

Ohmomo, Yahikawa และคณะ (1988) ได้ศึกษาการกำจัดสีน้ำกากส่าแบบระบบต่อเนื่องด้วยแบคทีเรีย *Lactobacillus hilgardii* สายพันธุ์ W-NS ที่ตรึงเซลล์ด้วยแคลเซียมอัลจิเนตแล้ว ในอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีกลูโคส 1% ปรับความเป็นกรดด่างเท่ากับ 5.0 เลี้ยงเชื้อที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถกำจัดสีน้ำกากส่าได้ 90% ในเวลา 1 เดือน ในระหว่างนี้ต้องเติมเปปโตน 0.05% ลงในน้ำกากส่านั้นด้วย และเมื่อทำการทดลองในถังหมักแบบคอลัมน์ (column-type reactor) จะไม่สามารถบำรุงรักษาเชื้อได้และการกำจัดสีน้ำกากส่าจะลดลงครึ่งหนึ่งในเวลา 5 วัน เมื่อความเป็นกรดด่างเท่ากับ 7.3 การกำจัดสีก็จะลดลงอีก

สุจินต์ (2527) รายงานว่าประเทศไทยมีวิธีการบำบัดน้ำกากส่าหลายระบบด้วยกันในอดีต ตามความเหมาะสม ดังนี้

1. การระเหยและการเผา ซึ่งระบบนี้ได้เคยใช้กับโรงงานสุราบางยี่ขัน 1 และโรงงานสุราบางยี่ขัน 2 จังหวัดปทุมธานี โดยจะเคี่ยวน้ำกากส่าให้มีความเข้มข้นประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีลักษณะคล้ายน้ำมันเตาข้น หรือกากน้ำตาลข้น จากนั้นก็นำไปฉีดเข้าเตาเผาภายใต้ความดันสูงที่อุณหภูมิ 1,000 องศาเซลเซียส วิธีการนี้ค่อนข้างยุ่งยาก ราคาแพง แล้วยังทำให้เกิดมลภาวะของอากาศ คือมีเถ้าถ่านปลิวออกมามากมาย และมีก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ออกมาสู่อากาศเป็นจำนวนมาก มีกลิ่นเหม็นรุนแรง และเห็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตแต่ผลพลอยได้คือ ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นสามารถนำมาใช้แทนน้ำมันเตาในระบบหอกลั่นได้

2. การระเหย วิธีนี้มักใช้ทดลองกับน้ำกากส่าปริมาณน้อย ๆ โดยการเคี่ยวในกระทะขนาดใหญ่ที่มีปล่องระบายควันออก วิธีนี้ก็ต้องใช้พลังงานมากเช่นกันโดยน้ำกากส่า 1 ลูกบาศก์เมตร จะต้องใช้น้ำมันเตาถึง 28 ลิตร หรือคิดเป็นเงิน 126 บาทต่อน้ำกากส่า 1 ลูกบาศก์เมตร จะทำให้มีความเข้มข้นขึ้น 20 เท่าจากเดิม และน้ำกากส่าเข้มข้นที่ได้นี้จะนำไปใช้ในการเกษตรได้ดี

3. การหมักในถังหมักไร้อากาศ และกระบวนการเติมอากาศเลี้ยงตะกอน วิธีนี้เคยมีการสร้างที่โรงงานสุรา จังหวัดภูเก็ต และโรงงานสุราไทยทำ จังหวัดนนทบุรี โดยการหมักน้ำกากส่าในถังหมัก เพื่อให้ได้แก๊สมีเทนมาใช้แทนน้ำมันเตา แก๊สมีเทนที่ได้ประมาณ 15 – 20 ลูกบาศก์เมตร ต่อน้ำกากส่า 1 ลูกบาศก์เมตร น้ำกากส่าที่ผ่านการหมักนี้แล้ว จะมีค่า บี.โอ.ดี. ลดลงประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะต้องนำไปบำบัดโดยกระบวนการเติมอากาศเลี้ยงตะกอน ซึ่งจะต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงมาก คือ ประมาณ 100 – 200 บาท ต่อน้ำกากส่า 1 ลูกบาศก์เมตร อย่างไรก็ตามน้ำกากส่าที่ผ่านการบำบัดโดยกระบวนการเติมอากาศเลี้ยงตะกอนยังมีสีเข้มอยู่และมีค่า บี.โอ.ดี. สูงเกินกว่าข้อกำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรมและกระบวนการบำบัดนี้ค่อนข้างซับซ้อน ต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญควบคุมการทำงานของระบบ แต่ใช้เนื้อที่น้อย

4. การทำปุ๋ยหมัก วิธีการโดยการขนเอาวัตถุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น ชานอ้อย ขี้เถ้าแกลบ ขุยมะพร้าว เป็นต้น โดยนำมากองแล้วฉีดพ่นชานอ้อยด้วยน้ำกากส่า แล้วทำการกับกองชานอ้อยเพื่อให้เกิดสภาพอากาศถ่ายเทได้โดยสะดวก นอกจากนี้ยังต้องเร่งการหมัก

ด้วยการใส่เชื้อหมักเพื่อให้เกิดการสลายตัวได้เร็วขึ้น เมื่อกระบวนการหมักสมบูรณ์แล้วจะได้ปุ๋ยหมักสีดำเข้มและมีประโยชน์ในการเกษตร วิธีนี้ลงทุนครั้งแรกต่ำแต่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานสูงมาก คือ ประมาณ 100 บาท ต่อลูกบาศก์เมตร และจะทำได้ดีในฤดูแล้งเท่านั้น เพราะฤดูฝนจะมีปัญหาเกี่ยวกับการกลับกองปุ๋ย

5. การทำบ่อเก็บกักและลานตาก วิธีนี้ได้แก่ การขุดบ่อเก็บกักน้ำกากส่าตลอดฤดูฝน 6 เดือน ซึ่งระยะนี้จะเกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ค่า บี.โอ.ดี. อาจลดลงตั้งแต่ 80 – 90 เปอร์เซ็นต์ แต่ก็ยังมีค่าสูงอยู่คือ ประมาณ 3,000 – 6,000 มิลลิกรัม / ลิตร ไม่สามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำได้ จึงต้องนำไปบำบัดต่อด้วยการระบายน้ำกากส่านี้ มาตากแห้งบนลานตากในฤดูแล้งอีก 6 เดือน โดยที่ลานตากนี้จะทำหน้าที่คล้ายนาเกลือ และอัตราการระเหยประมาณ 4 มิลลิเมตร / วัน กากส่าแห้งที่ได้สามารถใช้เป็นปุ๋ยในทางการเกษตรได้ดีมาก

6. ใช้ราดถนน เนื่องจากน้ำกากส่ามีสารลิกนินอยู่ทำให้มีความเหนียวแน่นมากกว่าน้ำและสามารถยึดฝุ่นให้อยู่แน่นคล้ายยางมะตอย และจะไม่มีฝุ่นไปนานกว่า 2 สัปดาห์ ดังนั้นจึงนำมาราดถนนลูกรังได้ดี วิธีนี้ใช้ได้เฉพาะฤดูแล้งเท่านั้น

7. เป็นอาหารปลา เป็นการใช้น้ำกากส่าเป็นอาหารทางอ้อมแก่ปลา เพราะน้ำกากาส่าจะใช้เป็นอาหารเลี้ยงสัตว์ขนาดเล็ก เช่น แพลงต์ตอน ซึ่งเป็นอาหารแก่ปลาอีกต่อหนึ่งจากผลการทดลองพบว่า ถ้าใช้น้ำกากส่าสดในอัตรา 0.6 ส่วนในพันส่วนต่อ 2 สัปดาห์ จะทำให้ปลาสลิดเติบโตได้สูงสุด วิธีนี้มีข้อจำกัดตรงที่ใช้น้ำกากส่าได้น้อยมาก กล่าวคือ บ่อขนาด 1 ไร่ ลึก 1 เมตร จะใช้น้ำกากส่าเพียง 7 ลูกบาศเมตรต่อ 2 สัปดาห์ ซึ่งถ้าใช้น้ำกากส่ามากเกินไปจะทำให้ออกซิเจนในน้ำลดลง น้ำเกิดเน่าเหม็น และปลาอาจตายได้

8. ใช้ในการเกษตรโดยตรง โดยการปล่อยน้ำกากส่าเข้านาข้าว ไร่อ้อยโดยตรง โดยใส่ในฤดูแล้งหรือขณะที่นายังว่างอยู่หลังการเก็บเกี่ยว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กองวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2524) ทำการทดลองหาแนวทางการบำบัดน้ำกากส่าจากโรงงานสุราที่เหมาะสมในประเทศไทย โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการทดลองบำบัดน้ำกากส่าโดยใช้ระบบไร้อากาศ โดยเลี้ยงตะกอนในระบบไร้อากาศ (anaerobic activated sludge) จากผลการทดลองพบว่าประสิทธิภาพในการลดระดับ ซี.โอ.ดี. และ บี.โอ.ดี. เฉลี่ย 80 และ 70 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และยังมีแก๊สมีเทนเกิดขึ้นอีกด้วย

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการทดลองบำบัดน้ำกากส่าต่อจากกระบวนการบำบัดขั้นที่ 1 โดยระบบใช้อากาศเพื่อลดค่า ซี.โอ.ดี. และ บี.โอ.ดี. ให้ต่ำลงอีก ผลการทดลอง พบว่า ระบบนี้จะมีประสิทธิภาพต่อเมื่อน้ำกากส่ามีค่า ซี.โอ.ดี. อยู่ในช่วง 6 – 8 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยลดระดับของ ซี.โอ.ดี. ได้ 40 – 50 เปอร์เซ็นต์ และระดับของ บี.โอ.ดี. 85 – 90 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจึงต้องเจือจางน้ำกากส่าที่ออกจากระบบบำบัดขั้นที่ 1 อย่างน้อย 2 เท่า

ขั้นตอนที่ 3 เป็นวิธีทางเคมี ในการตกตะกอนสีในน้ำกากส่าด้วยสารเคมี โดยทดลองใช้สารเคมีชนิดต่าง ๆ เช่น สารส้ม ปูนขาว และเฟอริกคลอไรด์ ($FeCl_3$) พบว่าสารเคมีที่เหมาะสมที่สุด คือ สารส้ม รองลงมาคือ เฟอริคลอไรด์ และปนขาว ปริมาณสารส้มที่พอเหมาะในการตกตะกอนสีน้ำกากส่าคือ 5 กิโลกรัมต่อน้ำกากส่าที่ผ่านระบบบำบัดขั้นที่ 2 ปริมาตร 1 ลูกบาศก์เมตร หรือ 35 กิโลกรัมต่อน้ำกากส่าสด 1 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งคิดค่าใช้จ่ายแล้วตกประมาณ 197 บาทต่อน้ำกากส่าสด 1 ลูกบาศก์เมตร

ระบบการบำบัดน้ำกากส่า ส่วนใหญ่อาศัยวิธีทางชีววิทยาในการปรับปรุงคุณภาพน้ำซึ่งอาจจะใช้ระบบการบำบัดด้วยวิธีไร้อากาศ และใช้อากาศ โดยระบบการบำบัดดังกล่าวเป็นเพียงการลดระดับของ ซี.โอ.ดี. และ บี.โอ.ดี. ให้ต่ำลงอยู่ในระดับที่ไม่เป็นปัญหาเกี่ยวกับมลภาวะเมื่อทิ้งลงในแหล่งน้ำ แต่ไม่สามารถลดความเข้มสีของน้ำกากส่าได้ (Tozawa และคณะ, 1979) ดังนั้นน้ำกากส่าดังกล่าวจึงต้องผ่านการบำบัดอีกขั้นตอนหนึ่ง ก่อนจะปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งปัจจุบันได้อาศัยวิธีทางเคมีตกตะกอนสีน้ำกากส่า แต่ผลที่ได้ยังไม่เป็นที่พอใจตลอดจนต้องใช้ค่าใช้จ่ายสูงมาก ดังนั้นจึงมีผู้สนใจที่จะหาวิธีการทางชีววิทยาในการลดความเข้มสีน้ำกากส่าโดยเชื้อจุลินทรีย์

2.7 งานวิจัยเกี่ยวกับระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

เนื่องจากระบบหลักที่ใช้งานทั่วไป (ยูเอเอสบี และ ยูเอเอฟ) ในแต่ละระบบก็มีจุดอ่อนตามที่ได้กล่าวมาแล้ว ระยะหลังจึงได้มีการพัฒนาระบบบำบัดน้ำเสียแบบผสม (hybrid system) ขึ้นมาเพื่อเอาจุดดีของแต่ละระบบหลักไปใช้รวมกัน

Guiot และ Van den Berg (1984) ได้เริ่มทำการค้นคว้าระบบบำบัดน้ำเสียแบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบีที่ประเทศแคนาดา โดยใช้ถังหมักขนาด 4.25 ลิตร (เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 9.6 ซม. ความสูงของของเหลว 62 ซม.) ปริมาตร 1/3 ด้านบน เติมตัวถังกลางกรอง (filter media) ทำด้วยวงแหวนพลาสติกแบบสุ่มให้ลอยอยู่บนแผ่นตะแกรง และเวียนน้ำเสียกลับ (recycle) ประมาณ 5.4 เท่าของอัตราป้อนน้ำเสีย ทำการทดลองที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 5 ถึง 51 กก. ซีโอดี/$ม^3$. วัน ด้วยน้ำเสียที่ทำจากน้ำตาลสังเคราะห์ที่มีค่าซีโอดี 2,500 มก/ล. อัตรากำจัดค่าซีโอสูงสุด 96% ที่อัตรารับสารอินทรีย์ 5 ถึง 25 กก. ซีโอดี/$ม^3$. วัน เวลาเก็บกัก (HRT) เท่ากับ 13 ถึง 26 ซม. และได้ศึกษาการกวนผสมด้วย Tritium tracer ปรากฏว่าสมบูรณ์ทั่วทั้งถังอุณหภูมิในการหมัก 27°C

Guiot และ Vanden Berg (1985) ทดลองเพิ่มเติมโดยใช้ถังหมักแบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบีขนาดเดิมน้ำเสียที่ใช้ในการป้อนและอัตราป้อนอินทรีย์ สภาวะการทดลองเหมือนเดิม โดยพบว่าที่อัตรารับสารอินทรีย์ต่ำกว่า 25 กก.ซีโอดี/$ม^3$.วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีจะไม่ขึ้นกับค่า VSS แต่ถ้าอัตรารับสารอินทรีย์สูงกว่า 25 กรัม ซีโอดี/$ม^3$.วัน ที่ VSS 20.2 กรัม/ลิตร อัตรากำจัดซีโอดีมีค่าคงที่ไม่เพิ่มตามอัตราป้อนสารอินทรีย์ แต่ที่ VSS 28.5 กรัม/ลิตร อัตรากำจัดซีโอดีจะเพิ่มตามอัตราป้อนสารอินทรีย์ นอกจากนี้ยังสรุปผลของสารอินทรีย์กับVSS ที่มีประสิทธิภาพกำจัดซีโอดีเท่ากับ 96% ที่อัตราป้อนสารอินทรีย์ 5 ถึง 25 กรัมซีโอดี/ลิตร.วัน 63 % ที่ 36 กรัมซีโอดี/ลิตร.วัน ที่ VSS 20.2 กรัม VSS/ลิตร ที่อัตรารับสารอินทรีย์ 51 กรัมซีโอดี/ลิตร.วัน ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี 64 % VSS 28.5 กรัมVSS/ลิตร

Guiot และคณะ (1986) ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบระบบยูเอสบีกับระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี โดยใช้น้ำเสียที่ค่าซีโอดีหลายความเข้มข้น (10.6 5.6 2.6 กรัมซีโอดี / ลิตร) การทดลองแบ่งเป็น 3 ช่วงอัตราเจือจาง ช่วงที่ 1 dilution rate 1.0 ลิตร / วัน (วันที่ 15 – 67) ช่วงที่ 2 dilution rate 1.9 ลิตร / วัน (วันที่ 68 ถึง 151) ช่วงที่ 3 dilution rate 3 ลิตร/วัน (วันที่ 152 ถึง 174) ตลอดเวลาทดลองอัตรารับสารอินทรีย์จะอยู่ประมาณ 10 กรัมซีโอดี/

ลิตร.วัน ในช่วงแรกประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบยูเอสบี 95% ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี 96% ในช่วงที่สองประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของระบบยูเอสบี 87% ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี 96% ในช่วงที่ 3 ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีของยูเอสบี 83% ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี ยังคงที่ตลอดคือ 96% ส่วนการเก็บกักตะกอนจุลินทรีย์เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ระบบยูเอสบี 22.4 กรัม VSS/ลิตร ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี 25.2 กรัม VSS/ลิตร ขนาดตะกอนจุลินทรีย์เมื่อสิ้นสุดการทดลองระบบยูเอสบีมีค่าเฉลี่ยขนาดตะกอน [(>3 มม. 11%) (3 – 2 มม. 32%) และ (2 – 1.2 มม. 58%)] ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบีมีค่าเฉลี่ยขนาดตะกอน [(>3 มม. 23%) (3 – 2 มม. 35%) และ (2-1.2 มม. 42%)] จะสังเกตุได้ว่าระบบบีเอฟมีข้อดีเมื่อเปรียบเทียบกับระบบยูเอสบี

Crawford และ Teletzke (1986) ได้พัฒนาระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบีขนาด industrial scale (2.500) น้ำเสีย 3,280 $ม^3$ /วัน HRT 32 ถึง 47 ซม. ซีโอดี เฉลี่ย 11,000 มก/ล. อัตราสารอินทรีย์ 6.1 ซีโอดี/$ม^3$.วัน ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีที่ละลาย 72 และ 73% ตามลำดับ

Britz และคณะ (1990) ใช้ถังหมักระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบีขนาด 1.9 ลิตร บำบัดน้ำชะขยะจากหลุมฝังกลบขยะชุมชน ซึ่งมีค่าซีโอดี 1,800 มก/ลิตร การทดลองอยู่ในสภาวะเมโซฟิลิก (mesophilic) ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 90% ที่อัตรารับสารอินทรีย์ 14.53 กก. ซีโอดี/ $ม^3$.วัน และมากกว่า 80 % ที่อัตรารับสารอินทรีย์ 20.54 กก. ซีโอดี/ $ม^3$. วัน Biogas Yield อยู่ในประมาณ 5.11 และ 6.89 $ม^3$/ $ม^3$ ที่ เวลาเก็บกัก (HRT) 1.2 และ 0.9 วันตามลำดับ เปอร์เซนต์ของก๊าซที่ผลิตได้อยู่ระหว่าง 65 และ 75% ตามลำดับ ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยที่เกิดขึ้นมาก เมื่อเกิดสภาวะ overload คือ กรดโพรพิโอนิก(propionic acid)

Takashi และคณะ (1990) ได้ทดลองระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี ขนาดโรงงานนำร่องซึ่งมีปริมาตร 10.4 $ม^3$ ตัวกลางกรองที่ใช้เป็น polypropylene ball rings อัตรารับสารอินทรีย์สูงสุด 30 กก. ซีโอดี /$ม^3$.วัน มีเวลาเก็บกัก (HRT) เท่ากับ 6 ซม. พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดี 95% ซีโอดี เท่ากับ 70% กรดอินทรีย์ระเหยต่ำกว่า 60 มก. / ล.

Iza และคณะ (1992) ได้ศึกษาระบบบำบัดน้ำเสียน้ำชะขยะแบบไร้อากาศจากหลุมฝังกลบขยะชุมชน ในส่วนของการปฏิบัติการจากระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบีชนิดนำร่อง พบว่า ในการบำบัดน้ำเสียจากกองขยะที่ใช้ระบบไร้อากาศนั้น ถ้าเราสามารถทราบถึงองค์ประกอบ

ของสัดส่วนสารอินทรีย์ จะสามารถทำให้เกิดประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้นที่ระยะเวลากักเก็บทาง ชลศาสตร์ลดลงนอกจากนี้ยังพบว่าในการเดินระบบในระยะเวลานานก็ควรจะมีระบบบำบัดเบื้องต้นเพื่อกำจัดโลหะหนัก และลดปริมาณการเปลี่ยนไปเป็นแร่ธาตุของสลัดจ์ (sludge mineralization) โดยกิจกรรมจำเพาะของการผลิตมีเทน (specific methanogenic activity) ของสลัดจ์จะไม่ถูกกระทบ

Tilche และคณะ (1994) ได้ทำการศึกษาผลของระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบีต่อการกำจัดสารอาหาร (nutrient removal) โดยใช้ถังปฏิกรณ์ขนาดนำร่องในการบำบัดน้ำเสียจากการเลี้ยงหมู ซึ่งระบบโดยรวมนั้นจะติดตั้งด้วยระบบย่อยสลายและระบบดีไนตริฟิเคชันลงไปด้วย น้ำเสียจะถูกกรองก่อนที่จะส่งเข้าไปยังระบบที่อุณหภูมิ mesophilic ซึ่งประสิทธิภาพโดยรวมของระบบสามารถกำจัดซีโอดีได้ 96% กำจัดไนโตรเจนได้ 92% และกำจัดฟอสฟอรัสได้ 92% ส่วนระบบย่อยสลายแบบไร้อากาศสามารถลดปริมาตรได้ 80% ของปริมาตรที่มาจากระบบดีไนตริฟิเคชันทั้งหมด

Timur และ Ozturk (1997) ได้ทำการทดลองใช้ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบีบำบัดน้ำชะขยะจากกองขยะชุมชนที่มีอายุประมาณ 3.5 ปี ซึ่งประกอบด้วยสารอินทรีย์ในปริมาณที่สูง โดยทำการทดลองที่สภาวะ mesophilic ตลอดระยะเวลา 20 เดือนของการทดลอง พบว่าได้ทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของน้ำเสีย ตั้งแต่ 1.25-4.49 กรัมทีโอซีต่อลิตร ระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ตั้งแต่ 5.1-0.9 วัน พบว่าระบบมีความสามารถในการกำจัดทีโอซีถึง 81.4 % ที่ภาระ 1.2 กิโลกรัมทีโอซีต่อลบ.ม.ต่อวัน และที่ระยะเวลากักเก็บทางชลศาสตร์ 2.4 วัน โดยที่อัตราการผลิตก๊าซมีเทนเกิดขึ้นเฉลี่ย 0.742 ลบ.ม.ของมีเทนต่อกิโลกรัมของทีโอซีที่ถูกกำจัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.8 โคเมตาบอลิซึม

2.8.1 การบำบัดน้ำเสียที่ย่อยยากและเป็นพิษ

การบำบัดสีจากน้ำกากส่าเมื่อเติมสารอาหารปฐมภูมิอาจเกิดขึ้นได้อยู่ 2 วิธี

1.ปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่นเดียวกับที่ใช้กำจัดสีอะโซรีแอกทีฟ ออกซิเดชันจะเกิดขึ้นเมื่อสารอินทรีย์ที่ทำให้เกิดสี คือ สีอะโซรีแอกทีฟรับอิเล็กตรอนแล้วพันธะอะโซแตกออกทำให้ไม่สามารถแสดงสีออกมาได้ ในทำนองเดียวกัน เมลานอยดินในน้ำกากส่าอาจจะเป็นตัวรับอิเล็กตรอนแล้วทำให้ความสามารถในการแสดงสีหมดไป แต่เมื่อพิจารณาถึงลักษณะของน้ำกากส่าที่มีสารอินทรีย์ย่อยง่ายซึ่งมีแนวโน้มจะเป็นตัวให้อิเล็กตรอนอยู่มาก แต่น้ำกากส่าที่ผ่านการบำบัดทางชีวภาพในระบบไร้ออกซิเจน เช่น ยูเอเอสบี ยังคงมีสีเข้มมากอยู่ นั่นแสดงว่าเมลานอยดินยังไม่ถูกกำจัด อีกอย่างคือ เมลานอยดินอยู่ในสภาพของคอลลอยด์ไม่ได้ละลายน้ำเหมือนสีย้อมรีแอกทีฟ ดังนั้นการกำจัดสีจึงไม่น่าจะเกิดจาก กระบวนการออกซิเดชัน

2. โคเมตาบอลิซึม เป็นกลไกที่น่าจะเกิดขึ้นเมื่อมีการกำจัดเมลานอยดินจากน้ำกากส่า รายละเอียดจะได้กล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

2.8.2 ลักษณะของน้ำเสียที่ย่อยยากและเป็นพิษ

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมบางประเภทไม่สามารถบำบัดด้วยกระบวนการทางชีววิทยาได้ หรืออาจบำบัดได้แต่ไม่ดี เนื่องจากลักษณะน้ำเสียนั้นมิได้มีเฉพาะสารอินทรีย์ที่เป็นอาหารให้กับจุลชีพเพื่อช่วยในการเจริญเติบโตเพียงอย่างเดียว แต่ยังมีสารอินทรีย์ที่อาจเป็นสารพิษหรือยับยั้งการทำงานของเซลล์จุลชีพ เช่น น้ำเสียจากอุตสาหกรรมการผลิตเรซินจะมีฟีนอลเป็นองค์ประกอบ ฟีนอลนี้เป็นพิษต่อจุลชีพ นอกจากสารที่เป็นพิษแล้ว สารอินทรีย์อีกประเภทหนึ่งที่ไม่เป็นพิษแต่ก็ไม่สามารถถูกย่อยสลายทางชีวภาพได้ หรือแม้ว่าจะย่อยสลายได้ก็ต้องใช้เวลานานมาก

โครงสร้างทั่วไปของสารเหล่านี้มักประกอบด้วยคาร์บอนที่ต่อกันเป็นโซ่ยาว หรือมีความซับซ้อนมาก รวมทั้งสารประกอบอะโรมาติก (aromatic compound) เช่น สารประกอบอินทรีย์ที่เป็นพิษต่อสิ่งแวดล้อมจำนวนมากได้แก่ ไนโตรอะโรมาติก (nitroaromatic) และสารประกอบโพลีคลอริเนตเตต (polychlorinated compound) เป็นต้น รวมทั้งสารประกอบย่อยยากเช่น สาร

ประกอบอะโรมาติกคลอรีน (chlorinated aromatic compound) และสารประกอบอะลิฟาติก (aliphatic compound)

การบำบัดน้ำเสียที่มีลักษณะเช่นนี้อาจใช้วิธีการทางเคมี เช่น การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (activated carbon) ซึ่งวิธีนี้ไม่ได้แก้ปัญหาเพียงแต่เป็นการลดปัญหา โดยเป็นการย้ายสารมลทินจากน้ำเสียไปสู่ตัวกลางอื่น และในที่สุดก็ต้องนำคาร์บอนที่ใช้แล้วไปบำบัดต่อไป การบำบัดด้วยวิธีการทางเคมีแบบอื่น เช่น การใช้แสงอัลตราไวโอเลต โอโซน หรือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เพื่อทำลายสารประกอบคลอริเนตเตต ไฮโดรคาร์บอน วิธีทางเคมีเหล่านี้ต้องเสียค่าใช้จ่ายมากและไม่ได้ผลเท่าที่ควร ส่วนการใช้กระบวนการทางชีววิทยาในการบำบัด ก็มีข้อจำกัดเป็นอันมากได้แก่ การทำให้แบคทีเรียคุ้นเคยกับน้ำเสียที่ย่อยยาก และภายในระบบบำบัดควรจัดให้มีเซลล์จุลชีพเป็นจำนวนมาก ทั้งต้องให้ระยะเวลาในการบำบัดเพิ่มขึ้นจากน้ำเสียทั่วไป (Chang,1997) แต่ภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจนสารเหล่านี้ถูกแปรรูปด้วยการเติมสารอาหารปฐมภูมิซึ่งเป็นสารที่ย่อยง่ายเพื่อช่วยให้แบคทีเรียเจริญเติบโต กลไกนี้เรียกว่าโคเมตาบอลิซึม (cometabolism)

2.8.3 การบำบัดด้วยโคเมตาบอลิซึม

โคเมตาบอลิซึมได้ถูกนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียที่เป็นพิษและสารย่อยยากด้วยการเปลี่ยนรูปแบบ (transformation) เพื่อให้ความเป็นพิษหมดไป หรือให้สารที่ย่อยยากกลายเป็นสารที่ย่อยสลายได้ทางชีวภาพ (biodegradable) ในการใช้โคเมตาบอลิซึมจะต้องใช้สารอาหารอยู่ 2 กลุ่ม สารอาหารกลุ่มแรก เรียกว่าสารอาหารปฐมภูมิ (primary substrate) จะเป็นแหล่งคาร์บอนและแหล่งพลังงานทำหน้าที่เป็นตัวให้อิเล็กตรอนเพื่อให้เซลล์ดำรงชีวิตและขยายพันธุ์ ดังนั้นอาจเรียกสารอาหารปฐมภูมินี้ว่าเป็นสารอาหารเพื่อการเจริญเติบโต (growth substrate) ส่วนสารอาหารกลุ่มที่สอง เรียกว่าสารอาหารทุติยภูมิ (secondary substrate) ซึ่งในที่นี้ก็คือสารที่เป็นพิษหรือสารย่อยยากนั่นเอง สารอาหารในกลุ่มนี้จะไม่ช่วยในการเจริญเติบโต (non-growth substrate) ความสัมพันธ์ของสารอาหารทั้งสองกลุ่มนี้คือ เซลล์จุลชีพจะใช้สารอาหารปฐมภูมิเพื่อเป็นแหล่งอาหารและพลังงาน ในระหว่างนั้นก็จะผลิตเอนไซม์และโคแฟกเตอร์ขึ้นมาหลายชนิด บางชนิดจะมีความสามารถที่จะเปลี่ยนรูปแบบทางชีวภาพ (biotransformation) ให้กับสารอาหารทุติยภูมิได้ ดังนั้นอาจเรียกเอนไซม์ชนิดนี้ว่าเป็นเอนไซม์ของโคเมตาบอลิซึม (cometabolism enzymes) สารอาหารทุติยภูมิที่เปลี่ยนรูปแบบแล้วความเป็นพิษจะหมดไปและกลายเป็นสารที่สลายทางชีวภาพได้ด้วย (Criddle,1993)

เซลล์จุลชีพที่ช่วยให้เกิดโคเมตาบอลิซึมไม่ได้มีเซลล์ที่ใช้สารอาหารปฐมภูมิเพียงอย่างเดียว แต่ยังมีเซลล์ที่ใช้แหล่งคาร์บอนอื่น เช่น คาร์บอนจากเซลล์ที่ตาย หรือเซลล์ที่ใช้อาหารเพื่อเป็นแหล่งพลังงาน (energy substrate) อย่างเดียว แต่แหล่งพลังงานนั้นไม่เพียงพอสำหรับการเจริญเติบโตยังมีปัจจัยอื่น ๆ อีกที่เกี่ยวข้องกับกลไกโคเมตาบอลิซึมซึ่งยังต้องทำการวิจัยต่ออีกมาก

ได้มีผู้สร้างแบบจำลองขึ้นเพื่ออธิบายกลไกโคเมตาบอลิซึม โดยมีข้อสมมุติฐานคือ สารอาหารที่ถูกโคเมตาบอลิซึมจะไม่มีการสร้างเซลล์เพิ่ม และสารอาหารสำหรับการเจริญเติบโตจะเป็นตัวจำกัดปฏิกิริยา (Criddle,1993)

โคเมตาบอลิซึมมาจากการขาดเอนไซม์และโคแฟกเตอร์ที่จำเพาะเจาะจง สำหรับสารอินทรีย์ที่ย่อยยาก ในปี1972 Horvart ได้จำแนกจุลชีพที่ใช้โคเมตาบอลิซึมมากกว่า 20 สายพันธุ์ ซึ่งมีทั้งจุลชีพที่ใช้ออกซิเจนและไม่ใช้ออกซิเจน ตัวอย่างเช่น จุลชีพที่ออกซิไดซ์มีเทน (Methanotroph) เป็นจุลชีพที่ออกซิไดซ์มีเทนให้เป็นเมธานอล ในขณะเดียวกันก็ทำหน้าที่ร่วมออกซิไดซ์สารประกอบ haloginated aliphatic, alkyl halide และสารประกอบอะโรมาติก เช่น alkyl benzene sulphonate และสารประกอบ chorobiphenyl (Andriaens,1994) ส่วนแบคทีเรียที่ไม่ใช้ออกซิเจน ได้แก่แบคทีเรียรีดิวซ์ซัลเฟต แบคทีเรียสร้างมีเทน แบคทีเรียสร้างอะซิเตต และแบคทีเรียแฟคัลเททีฟ สามารถร่วมรีดิวซ์สารประกอบคลอรีนที่มีคาร์บอน 1 หรือ 2 อะตอม ได้ เช่น *Pseudomonas* ซึ่งเป็นดีไนตริไฟอิงแบคทีเรียที่สามารถรีดิวซ์คาร์บอนเตตระคลอไรด์ให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ (Criddle,1993)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การวางแผนการวิจัย

3.1 แผนการทดลอง

การทดลองทั้งหมดกระทำที่ห้องปฏิบัติการวิจัยภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การทดลองกระทำโดยใช้ถังปฏิกรณ์ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี จำนวน 4 ชุด ซึ่งออกแบบและสร้างให้มีลักษณะเหมือนกัน ทำด้วยพีวีซี รูปทรงกระบอกสูง 2.00 เมตร (ส่วนบน 0.30 เมตรเป็นชุดเก็บก๊าซ) มีเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.084 เมตร พื้นที่หน้าตัดประมาณ 0.0055 ตร.ม. มีปริมาตรประมาณ 0.01385 ลบ.ม. และบรรจุตัวกลางพลาสติกชนิดเดียวกันลอยอยู่หนึ่งในสามของถัง โดยความสูงของตัวกลางเท่ากับ 0.70 เมตร โดยแต่ละครั้งการทดลองจะทำการทดลองครั้งละ 1 ชุดการทดลอง ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบในแต่ละชุดการทดลองจะใช้เวลาประมาณ 2 เดือน โดยตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษา ได้แก่ ชนิดของสารอาหารปฐมภูมิ และ ปริมาณของสารอาหารปฐมภูมิ ได้แก่ น้ำตาลและนมถั่วเหลือง โดยใช้ค่าซีโอดีในน้ำกากส่าคือ 1,500 มก./ล. และ เวลาเก็บกักน้ำเสีย 36 ชั่วโมง คิดเป็นอัตราการป้อนน้ำเสีย 7.5 ลิตร/วัน โดยค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดของชนิดและภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของสารอาหารที่เติม

คอลัมน์	สารอาหาร	ภาระบรรทุกสารอินทรย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)		
		การทดลองชุดที่1	การทดลองชุดที่2	การทดลองชุดที่3
1	ชุดควบคุม	0.81	0.81	0.81
2	น้ำตาล[1]	1.62	2.43	3.24
3	น้ำตาล[2]	1.15	1.49	1.83
4	นมถั่วเหลือง	1.62	2.43	3.24

น้ำตาล[1] เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เป็น 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีในน้ำกากส่า

น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับที่มีในนมถั่วเหลือง

3.2 การเตรียมน้ำเสีย

ในการเตรียมน้ำเสียจะเตรียมเป็นน้ำเสียเข้มข้น โดยเติมน้ำกากส่าผสมกับยูเรีย, ฟอสเฟส (K_2HPO_4) โดยเติมในอัตราส่วน 100:3:1 ซึ่งเป็นปริมาณที่มากเกินพอ และ โซเดียมไบคาร์บอเนต ซึ่งจะเติมเมื่อพีเอชในน้ำออกต่ำกว่า 6.5 (ในการทดลองชุดที่ 1 ไม่มีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนต) กวนผสมให้เข้ากัน แล้วแบ่งออกเป็น 4 ถัง ถังละประมาณ 670 มล. แล้วแยกเติมสารอาหาร แล้วจึงเจือจางด้วยน้ำประปา ให้ได้ปริมาตรเป็น 16 ลิตร ดังนี้

ถังที่1 เป็นชุดควบคุมที่ไม่ได้เติมสารอาหาร

ถังที่2 น้ำตาลจะเติม 24 กรัม, 48 กรัม และ 72 กรัม ตามลำดับการทดลอง

ถังที่3 น้ำตาลจะเติม 10 กรัม, 20 กรัม และ 30 กรัม ตามลำดับการทดลอง

ถังที่4 นมถั่วเหลืองจะเติม 120 มล., 240 มล. และ 360 มล. ตามลำดับการทดลอง

เนื่องจากในการทดลองไม่สามารถหานมที่ปราศจากน้ำตาล 100 เปอร์เซ็นต์ได้ จึงเติมน้ำตาลในปริมาณเท่ากับน้ำตาลในนมถั่วเหลืองที่เติม ในถังที่ 3 เพื่อดูว่าน้ำตาลซึ่งแทนแหล่งสารอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต จะมีส่วนช่วยในการกำจัดซีโอดีและสีอย่างไรบ้าง โดยน้ำตาลในนมคิดจากปริมาณน้ำตาลที่มีอยู่ในนมถั่วเหลืองทั้งหมด ซึ่งข้อมูลโภชนาการข้างกล่องระบุไว้ว่า มีน้ำตาลทั้งหมด 21 กรัม ในนม 250 มล. ซึ่งคิดเป็นปริมาณซีโอดีที่เติมลงไป ดังแสดงในตารางที่ 3.1

3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

3.3.1 ถังปฏิกรณ์ (ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี)

ตัวถังปฏิกรณ์ทำด้วยท่อพีวีซี รูปทรงกระบอกสูง 2.00 เมตร (ส่วนบน 0.30 เมตรเป็นชุดเก็บก๊าซ) มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.084 เมตร พื้นที่หน้าตัดประมาณ 0.0055 ตร.ม. มีปริมาตรประมาณ 0.01385 ลบ.ม. ดังแสดงในรูปที่ 3.1

ถังปฏิกรณ์ประกอบด้วยท่อที่จะนำน้ำเสียเข้าในตอนล่าง (upflow) และก๊าซออกจากถังด้านบน โดยภายในถังด้านบนจะเป็นระบบแยกก๊าซชีวภาพ ซึ่งจะต่อสู่เครื่องวัดปริมาณก๊าซ ส่วนน้ำทิ้งจะไหลออกจากระบบผ่านทางท่อน้ำเสีย สำหรับท่อเก็บตัวอย่างมีอยู่ 5 จุด คือ ที่ระดับ 0.45 ม. (P1), 0.90 ม. (P2), 1.10 ม. (P3), 1.30 ม. (P4), 1.65 ม. (P5) จากก้นถังปฏิกรณ์ตามลำดับ

3.3.2 ถังพักน้ำกากส่า

เป็นถังพลาสติกขนาด 20 ลิตร ใช้ในการพักน้ำก่อนป้อนเข้าสู่ระบบบำบัด

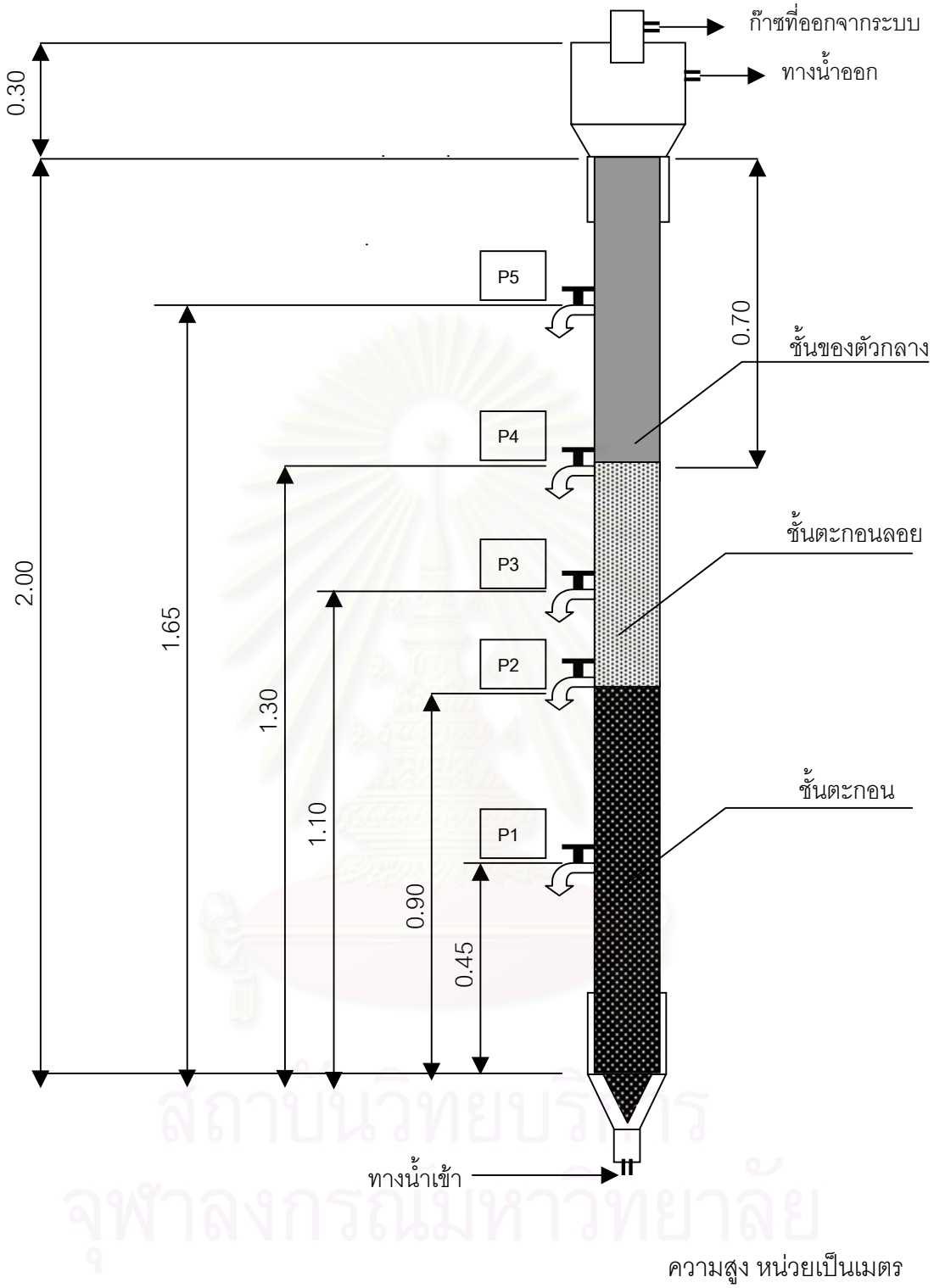
3.3.3 เครื่องสูบน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์

น้ำเสียถูกสูบเข้าถังปฏิกรณ์ทางตอนล่างและไหลออกทางตอนบนโดยมีการทำงานในลักษณะไหลต่อเนื่อง เครื่องสูบน้ำเสียที่ใช้เป็น แบบรีดสายในอัตรา 7.5 ลิตรต่อวัน

3.3.4 เครื่องวัดก๊าซ

เครื่องวัดก๊าซใช้แบบเดียวกับที่ออกแบบโดยศักดิ์ชัย, 2527 ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งจะวัดผลรวมของปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน และแสดงออกมาเป็นตัวเลขบนเครื่องวัด โดยก๊าซจะผ่านทางตอนล่างของเครื่องวัดก๊าซและระบายทิ้งออกสู่ภายนอกทางตอนบนของเครื่อง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 ถังปฏิกรณ์ระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

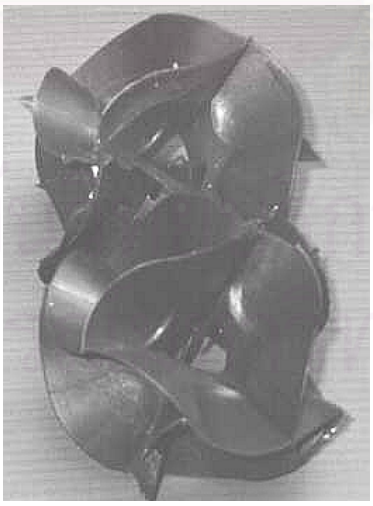
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.2 มาตรวัดก๊าซ
ที่มา : ศักดิ์ชัย,2527

3.3.5 ตัวกลางภายในถังกรอง

จากงานวิจัยของ บุญรอด เยาวพฤกษ์ และ คณะ (2542) ซึ่งเปรียบเทียบตัวกลางพลาสติกที่ผลิตจากโพลีโพรพิลีนชนิดวงแหวนและทรงกลม สรุปได้ว่า ชนิดของตัวกลางไม่มีผลต่อการกำจัดซีโอดี แต่ตัวกลางทรงกลมมีประสิทธิภาพในการกักตะกอนจุลินทรีย์ดีกว่าตัวกลางรูปวงแหวน การวิจัยนี้จึงเลือกใช้ตัวกลางทรงกลม ดังแสดงในรูปที่ 3.3 โดยจะบรรจุให้มีลักษณะลอยหนึ่งในสามของถังตอนบน ทำให้มีความสูงของชั้นตัวกลางทั้งหมดเท่ากับ 0.70 เมตร ลักษณะของตัวกลางพลาสติกที่ใช้มีลักษณะ ดังนี้

คุณสมบัติของตัวกลาง	ตัวกลางทรงกลม
ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย (มม.)	70
เปอร์เซนต์ช่องว่างในหนึ่งหน่วยปริมาตร	96
พื้นที่ผิวจำเพาะ (ตร.ม.ต่อลบ.ม.)	271
น้ำหนัก (กก.ต่อลบ.ม.)	35
วัตถุดิบที่ใช้ผลิต	โพลีโพรพีลีน
จำนวนชิ้นต่อลบ.ม.	4,000



รูปที่ 3.3 ตัวกลางทรงกลมพลาสติกโพลีโพรพีลีนที่ใช้ในการวิจัย

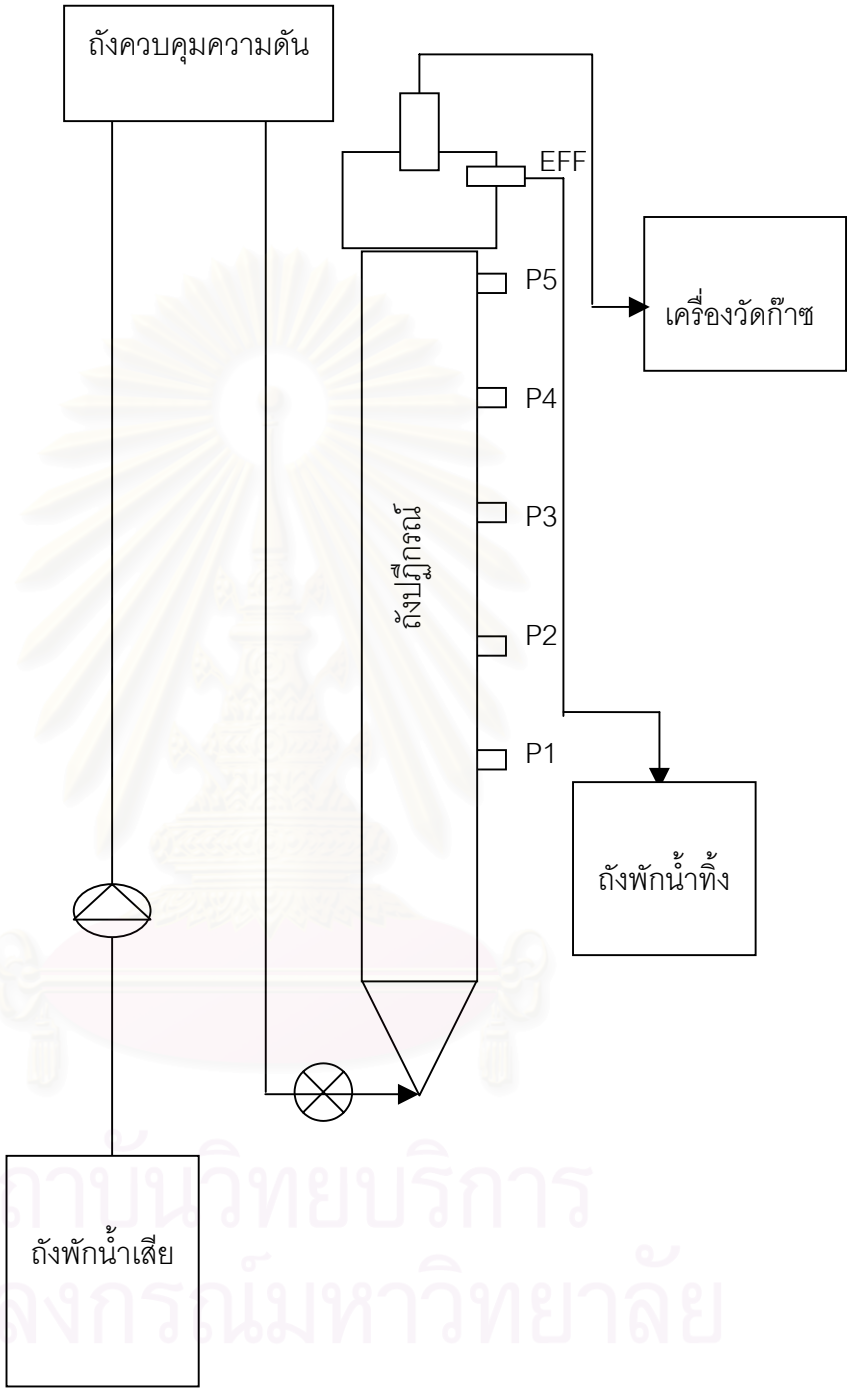
3.4 การดำเนินการทดลอง

การเริ่มต้นระบบในการวิจัยนี้ใช้ถังปฏิกรณ์ที่ทำจากท่อพีวีซีที่มีขนาดเท่ากันจำนวน 4 ชุด บรรจุตัวกลางพลาสติกในปริมาณหนึ่งในสามของถังจากด้านบนลงมา จะได้ถังปฏิกิริยาสำหรับระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบีที่ใช้ในการวิจัยนี้ 4 ชุด ซึ่งแต่ละชุดจะมีการติดตั้งเหมือนกันทุกประการ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 จะได้ความสูงของชั้นตัวกลางเป็น 0.70 ม. หลังจากนั้นเติมหัวเชื้อ (seed) ที่นำมาจากระบบยูเอเอสบีของบริษัท บุญรอดบริวเวอรี จำกัด จำนวน 5 ลิตร (หัวเชื้อที่นำมาเติมนี้จะต้องทำการเลี้ยงให้ชินกับน้ำกากส่าที่ใช้ในการทำวิจัย โดยใช้ความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่เจือจางเริ่มต้นที่ค่าซีโอดี 500 มก./ล.) และเติมน้ำเสียจนเต็ม ตั้งทิ้งไว้ให้จุลินทรีย์ดำเนินการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียนั้นประมาณ 10 วัน เมื่อสังเกตเห็นมีก๊าซเกิดขึ้นที่เครื่องวัดก๊าซแล้วก็ถือว่าจุลินทรีย์พร้อมที่จะรับน้ำเสียใหม่ จึงเริ่มป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบทั้งสี่ถังทางด้านล่างและค่อยๆ เพิ่มความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่ป้อนเข้าระบบทีละน้อย จนกระทั่งได้ค่าความเข้มข้นของซีโอดี 1,500 มก./ล. โดยเริ่มป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบด้วยอัตรา 7.5 ลิตร/วัน เข้าสู่ถังปฏิกรณ์ทั้งสี่ถัง ซึ่งจะได้ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียเป็น 36 ชั่วโมง และเริ่มเติมสารอาหาร ภายหลังที่ระบบทำงานเข้าสู่สภาวะคงตัว (steady state) จนเพียงพอสำหรับที่จะวิเคราะห์การทำงานของระบบได้แล้ว ก็จะเริ่มทำการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของสารอาหารต่อไปเรื่อยๆตามตารางที่ 3.1 ซึ่งคาดว่าจะใช้เวลาในการทดลองและเก็บข้อมูลการทำงานของระบบทั้งหมดประมาณ 6 เดือน หลังจากที่ทำการเลี้ยงตะกอนจุลชีพให้ชินกับน้ำกากส่าและเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว

3.5 การเก็บตัวอย่างและการวิเคราะห์น้ำเสีย

เก็บผลการทดลองตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองจนกระทั่งระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัว จากนั้นจะเก็บผลการทดลองต่ออีกประมาณ 5-7 วัน เพื่อให้แน่ใจว่าระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวดีแล้ว

ส่วนการเก็บตัวอย่างน้ำนั้น จะทำการเก็บตัวอย่าง 7 จุด คือ ที่ถังพักก่อนเข้าสู่ระบบบำบัดและน้ำที่ผ่านจากระบบบำบัดแล้ว ส่วนที่ท่อเก็บตัวอย่างของถังปฏิกรณ์ที่ระยะ 0.45 ม. 0.90 ม. 1.10 ม. 1.30 ม. และ 1.65 ม. จากก้นถัง จะทำการเก็บหลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์ค่าตัวแปรต่างๆดังแสดงในตารางที่ 3.2



3.4 แผนผังการไหลของระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 ตัวแปรตามที่จะวิเคราะห์ และความถี่ในการวิเคราะห์

ตัวแปรเปลี่ยนตาม	ตำแหน่งของการเก็บตัวอย่าง						
	น้ำเข้า	บริเวณของระบบ					น้ำทิ้ง
		P1	P2	P3	P4	P5	
ซีโอดี	A	B	B	B	B	B	A
กรดไขมันระเหยง่าย	A	B	B	B	B	B	A
สภาพความเป็นด่างทั้งหมด	A	B	B	B	B	B	A
โออาร์พี	A	B	B	B	B	B	A
ตะกอนแขวนลอย	A	B	B	B	B	B	A
ตะกอนโวลาไทล์	A	B	B	B	B	B	A
ปริมาณก๊าซทั้งหมด	-	-	-	-	-	-	A
พีเอช	A	-	-	-	-	-	A
อุณหภูมิ	A	B	B	B	B	B	A
เปอร์เซนต์ก๊าซมีเทน	-	-	-	-	-	-	B
สี	A	B	B	B	B	B	A

หมายเหตุ A หมายถึง ตัวแปรตามที่วิเคราะห์สัปดาห์ละ 3 ครั้ง

B หมายถึง ตัวแปรตามที่วิเคราะห์หลังจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว

3.6 วิธีที่ใช้วิเคราะห์

1. ซีโอดี : Closed Reflux,Titrimetric Method
2. พีเอช : Glass Electrode Method
3. โออาร์พี : ORP Meter
4. กรดระเหยง่าย : Direct Titration by Diallo x Alberson
5. ความเป็นด่างทั้งหมด : Titration Method
6. ตะกอนแขวนลอยและตะกอนโวลาไทล์ : Gravimetric Method
7. ปริมาณก๊าซทั้งหมด : Count Meter เครื่องมือที่ออกแบบโดยศักดิ์ชัย, 2527
8. %ก๊าซมีเทน : ใช้เครื่อง Gas Chromatography
9. อุณหภูมิ : เทอร์โมมิเตอร์
10. สี : เครื่อง Spectrophotometer (หน่วย SU)
11. เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ : เครื่อง Scanning Electron Microscope

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิจารณ์

4.1 ผลการทดลองของระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

การเริ่มต้นระบบในการวิจัยนี้ใช้ถังปฏิกรณ์ที่ทำจากท่อพีวีซีที่มีขนาดเท่ากันจำนวน 4 ชุด บรรจุตัวกลางพลาสติกในปริมาณหนึ่งในสามของถังจากด้านบนลงมา จะได้ถังปฏิกิริยาสำหรับระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบีที่ใช้ในการวิจัยนี้ 4 ชุด ซึ่งแต่ละชุดจะมีการติดตั้งเหมือนกันทุกประการ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 จะได้ความสูงของชั้นตัวกลางเป็น 0.70 ม. หลังจากนั้นเติมหัวเชื้อ (seed) ที่นำมาจากระบบยูเอเอสบีของบริษัท บุญรอดบริวเวอรี จำกัด จำนวน 5 ลิตร (หัวเชื้อที่นำมาเติมนี้จะต้องทำการเลี้ยงให้ชินกับน้ำกากส่าที่ใช้ในการทำวิจัย โดยใช้ความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่เจือจางเริ่มต้นที่ค่าซีโอดี 500 มก./ล.) และเติมน้ำเสียจนเต็ม ตั้งทิ้งไว้ให้จุลินทรีย์ดำเนินการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียนั้นประมาณ 10 วัน เมื่อสังเกตเห็นมีก๊าซเกิดขึ้นที่เครื่องวัดก๊าซแล้วก็ถือว่าจุลินทรีย์พร้อมที่จะรับน้ำเสียใหม่ จึงเริ่มป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบทั้งสี่ถังทางด้านล่างและค่อยๆ เพิ่มความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่ป้อนเข้าระบบทีละน้อย จนกระทั่งได้ค่าความเข้มข้นของซีโอดี 1,500 มก./ล. โดยเริ่มป้อนน้ำเสียเข้าสู่ระบบด้วยอัตรา 7.5 ลิตร/วัน เข้าสู่ถังปฏิกรณ์ทั้งสี่ถัง ซึ่งจะได้ระยะเวลาเก็บกักน้ำเสียเป็น 36 ชั่วโมง และเริ่มเติมสารอาหาร ภายหลังที่ระบบทำงานเข้าสู่สภาวะคงตัว (steady state) จนเพียงพอสำหรับที่จะวิเคราะห์การทำงานของระบบได้แล้ว ก็จะเริ่มทำการเพิ่มปริมาณความเข้มข้นของสารอาหารต่อไปเรื่อยๆ ตามตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดของชนิดและภาระบรรทุกสารอินทรีย์ของสารอาหารที่เติม

คอลัมน์	สารอาหาร	ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน)		
		การทดลองชุดที่1	การทดลองชุดที่2	การทดลองชุดที่3
1	ชุดควบคุม	0.81	0.81	0.81
2	น้ำตาล[1]	1.62	2.43	3.24
3	น้ำตาล[2]	1.15	1.49	1.83
4	นมถั่วเหลือง	1.62	2.43	3.24

น้ำตาล[1] เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เป็น 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีในน้ำกากส่า

น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับน้ำตาลที่มีในนมถั่วเหลือง

การทดลองนี้ใช้กากส่า จากบ่อบำบัดน้ำเสียแบบแอนแอโรบิก จากโรงงานสุราแสงโสม จังหวัดนครปฐม เป็นน้ำเสียในการทดลอง โดยต้องไปเก็บน้ำเสียถึง 3 รอบ จึงทดลองเสร็จ ดังนั้นน้ำเสียในแต่ละชุดการทดลองจึงมีค่าแตกต่างกันไปบ้าง ในการทดลองจะควบคุมซีโอดีให้มีค่าเท่ากันโดยนำมาเจือจางกับน้ำประปา ให้มีซีโอดีประมาณ 1,500 มก./ล. ดังนั้นความเข้มสีในแต่ละการทดลองจึงแตกต่างกัน อย่างไรก็ตามในการทดลองชุดที่ 2 ซีโอดีเฉลี่ยจะมีค่าต่ำกว่า 1,500 มก./ล. เนื่องจากเมื่อทดลองผสมให้ได้ซีโอดี 1,500 มก./ล. ค่าความเข้มสีจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก ประมาณเกือบ 290 เอสยู จนอาจเป็นปัญหาเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับการทดลองชุดที่ 1 จึงใช้ปริมาณน้ำกากส่าเท่ากันเป็นค่าคงที่ คือ ผสมน้ำกากส่า 670 มล. แล้วเจือจางให้ได้ 16 ลิตร เช่นเดียวกับในการทดลองชุดที่ 3 ถ้าผสมน้ำกากส่าให้อยู่ในช่วงความเข้มสีเท่า ๆ กับการทดลองชุดที่ 1 และ 2 ซีโอดีจะลดลงไปต่ำกว่า 1,000 มก./ล. ดังนั้นจึงเจือจางน้ำกากส่าในปริมาณเท่าเดิมแทน ซึ่งซีโอดีในทุกการทดลองก็จะมีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 1,300-1,500 มก./ล.

ตารางที่ 4.2 ลักษณะของน้ำเสียก่อนการเติมสารอาหาร *

ค่าตัวแปร	การทดลองชุดที่ 1	การทดลองชุดที่ 2	การทดลองชุดที่ 3
พีเอช	8.14	8.10	8.40
กรดไขมันระเหย (มก./ล. CH_3COOH)	80	68	206
สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. $CaCO_3$)	230	184**	559
ตะกอนแขวนลอย (มก./ล.)	36	24	26
ตะกอนโวลาไทล์ (มก./ล.)	31	22	22
ซีโอดี (มก./ล.)	1501	1244	1313
บีโอดี (มก./ล.)	430	240	380
ความเข้มสี (เอสยู)	261	247	327
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (เปอร์เซ็นต์)	14	1	5
ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซ็นต์)	0	0	0

*ข้อมูลน้ำเสียจาก ชุดควบคุม

**เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต

จากตาราง 4.2 จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของชุดควบคุม ต่ำมาก ทั้งนี้เนื่องจากว่า น้ำกากส่าที่นำมาทดลองเป็นน้ำที่ผ่านการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนมาแล้ว ทำให้เหลือสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้ง่ายน้อยมาก โดยจากการหา บีโอดีห้า จากน้ำกากส่าในน้ำที่เก็บมาครั้งที่ 1 มีค่า 430 มก./ล. ครั้งที่ 2 มีค่า 240 มก./ล และ ครั้งที่ 3 มีค่า 380 มก./ล. (ข้อมูลแสดงลักษณะของน้ำกากส่าที่ผ่านการบำบัดแล้วของโรงงานสุรามี บีโอดีห้า ถึง 4,000 มก./ล.) เมื่อนำมาเจือจางด้วยน้ำประปา จะเหลือ บีโอดีห้าต่ำกว่า 20 มก./ล. และสัดส่วน บีโอดีห้าต่อซีโอดี มีค่าไม่เกิน 0.02 เท่านั้น ซึ่งไม่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโต และ การสร้างเซลล์ใหม่ของแบคทีเรีย ในคอลัมน์ที่มีการเติมสารอาหารเข้าไปจึงมีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีเพิ่มขึ้นมากกว่าชุดควบคุม และเป็นสัดส่วนที่เท่า ๆ กับ สัดส่วนของสารอาหารที่เติมเข้าไป จนอาจกล่าวได้ว่าสารอาหารที่ใส่เข้าไปถูกย่อยสลายไปจนเกือบหมด และน้ำกากส่าบางส่วนน่าจะถูกย่อยสลายพร้อมกันไปด้วยเพราะในบางการทดลองประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี มากกว่าสัดส่วนของสารอาหารที่เติมเข้าไปเสียอีก และ ตั้งข้อสังเกตได้บางอย่างว่า น้ำเสียจากการทดลองชุดที่ 2 (ไปเก็บเดือน พฤศจิกายน) ที่ไปเก็บมาใหม่ เป็นน้ำเสียเก่าที่เหลือในบ่อมาตั้งแต่การทดลองชุดที่ 1 (ไปเก็บเดือน สิงหาคม) ทำให้น้ำเสียในการทดลองชุดที่ 2 มีสารอาหารเหลือน้อยกว่า ส่วนน้ำเสียจากการทดลองชุดที่ 3 (ไปเก็บเดือน พฤษภาคม) เป็นน้ำเสียที่เติมเข้าไปในบ่อใหม่ ๆ ไม่เกี่ยวกับน้ำเสียที่นำมาใช้ในการทดลองชุดที่ 1 และ 2 ทำให้ค่าแตกต่างออกไปมาก

ในช่วงการเริ่มต้นเดินระบบ ใช้เวลาประมาณ 3 เดือน โดยเริ่มจากการเติมน้ำตาลเป็นสารอาหารก่อน แล้วจึงค่อยๆ เพิ่มความเข้มข้นของน้ำกากส่าที่ป้อนเข้าระบบทีละน้อย จนกระทั่งได้ค่าความเข้มข้นของซีโอดี 1,500 มก./ล. เนื่องจากเชื้อที่นำมาเดินระบบ ยังไม่คุ้นเคยกับน้ำเสียจึงใช้เวลาค่อนข้างนาน หลังจากนั้นจึงเริ่มดำเนินการทดลองชุดที่ 1 ซึ่งเริ่มเติมสารอาหารซึ่งเติมเป็น 1 เท่าของซีโอดีจากน้ำกากส่า และใช้เวลาเก็บข้อมูลประมาณ 1 เดือน การทดลองชุดที่ 2 เติมสารอาหารเป็น 2 เท่าของซีโอดีจากน้ำกากส่า ใช้เวลาประมาณ 2 เดือน โดยเก็บข้อมูลช่วงสภาวะคงตัวประมาณ 1 เดือน การทดลองชุดที่ 3 เติมสารอาหารเป็น 3 เท่าของซีโอดีจากน้ำกากส่า เนื่องจากระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวเร็วมาก จึงใช้เวลาประมาณ 1 เดือน โดยวันที่เริ่มการทดลอง วันที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว และ วันที่สิ้นสุดการทดลองในแต่ละการทดลอง แสดงในภาคผนวก ก.1 และในแต่ละการทดลองจะมีถังปฏิกรณ์ที่เติมน้ำตาลเท่ากับที่มีในนมถั่วเหลือง เป็นชุดควบคุมซึ่งจะใช้เปรียบเทียบดูว่าน้ำตาลซึ่งเป็นแหล่งอาหารพวก คาร์โบไฮเดรตจะมีผลต่อการกำจัดซีโอดีและสีอย่างไรบ้าง

รูปที่ 4.1 การติดตั้งอุปกรณ์ของระบบถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

4.2 สรุปผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

4.2.1 ค่าพีเอช อุณหภูมิ และค่าโออาร์พี

พีเอช

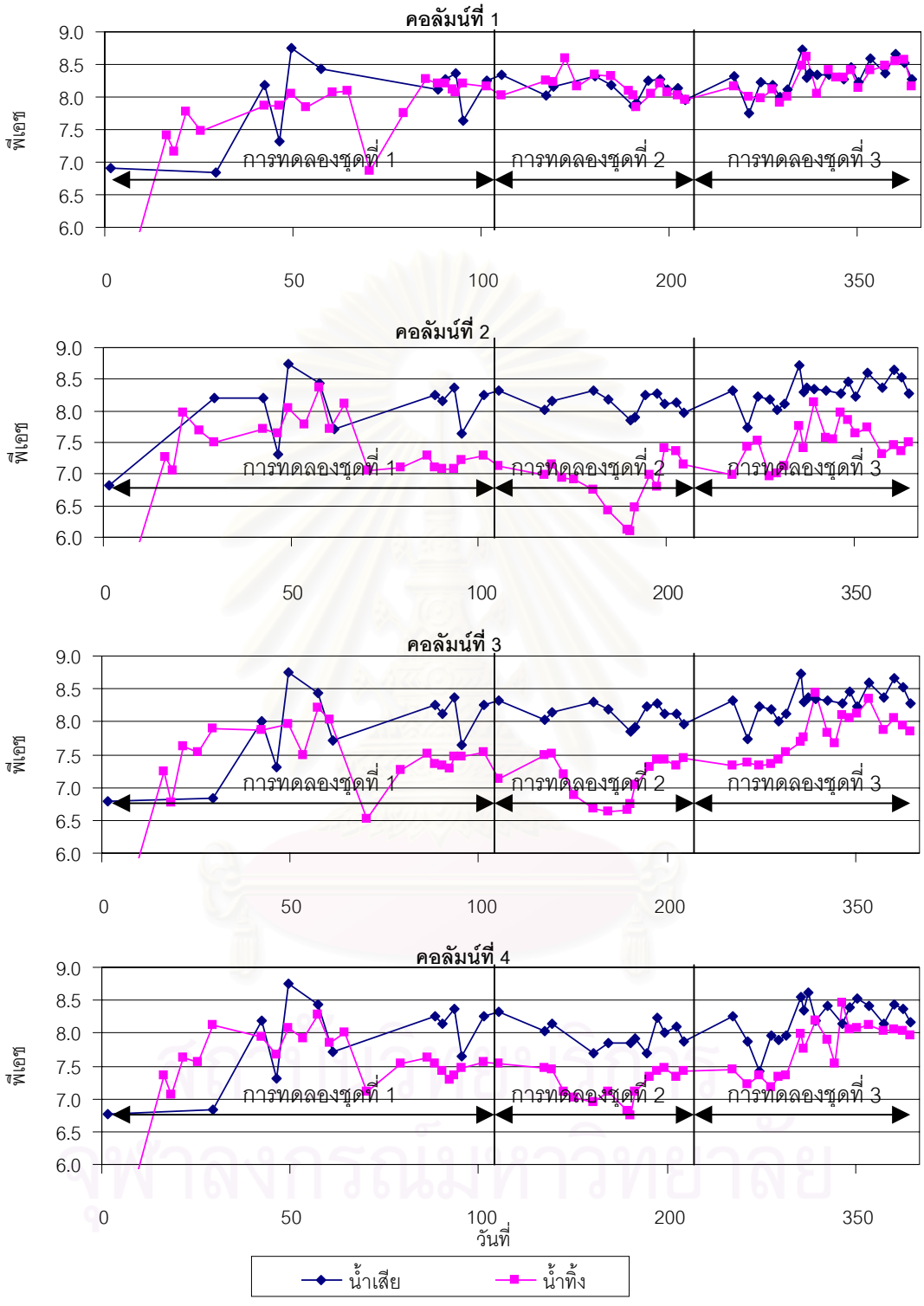
วันที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแสดงในตาราง ก.1 ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยพีเอชในน้ำทิ้งที่สภาวะคงที่ของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบีในถังที่ไม่มีการเติมสารอาหาร ทั้งน้ำเสียและน้ำทิ้งมีค่าใกล้เคียงกัน อยู่ในช่วงประมาณ 8.1-8.4 ส่วนในถังที่เติมน้ำตาล[1]เป็นสารอาหารในคอลัมน์ที่ 2 จะมีพีเอชต่ำที่สุด เนื่องจากมีกรดไขมันระเหยเกิดขึ้นมาก พีเอชในน้ำทิ้งมีค่าเฉลี่ย 7.12, 7.17 และ 7.62 ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.62, 2.43 และ 3.24 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ

ส่วนในถังที่เติมนมถั่วเหลือง*เป็นสารอาหารในคอลัมน์ที่4 ซึ่งมีกรดไขมันระเหยเกิดขึ้นมากพอ ๆ กับถังที่เติมน้ำตาล[1]เป็นสารอาหาร แต่มีพีเอชสูงกว่าเนื่องจากเกิดสภาพด่างเพิ่มขึ้นจากการย่อยสลายโปรตีนในนม พีเอชในน้ำทิ้งมีค่าเฉลี่ย 7.45, 7.90 และ 8.10 ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.62, 2.43 และ 3.24 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับการทดลอง ส่วนในคอลัมน์ที่ 3 ที่เติมน้ำตาลเท่ากับที่มีในนมถั่วเหลือง พีเอชจะอยู่กลาง ๆ ระหว่าง คอลัมน์ที่เติมน้ำตาล[1] ในคอลัมน์ที่ 2 และคอลัมน์ที่เติมนมถั่วเหลือง คือ 7.39, 7.39 และ 8.02 ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.15, 1.49 และ 1.83 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับชุดการทดลอง จากผลที่ได้จะเห็นว่าพีเอชจะอยู่ในช่วง 7 – 8 ตลอดการทดลอง ทั้งน้ำเสีย และ น้ำทิ้ง เนื่องจากน้ำเสียที่ใช้ผ่านการบำบัดแบบแอนแอโรบิกมาแล้ว และ มีการปรับพีเอชให้เหมาะสมกับระบบมาก่อน แต่เมื่อมีการเติมสารอาหารทำให้พีเอชลดลงจนพีเอชอยู่ต่ำกว่าช่วงที่เหมาะสม จึงมีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเพิ่มในการทดลองชุดที่ 2 และ 3 จึงยังคงรักษาพีเอชให้อยู่ในช่วง 7 – 8 ได้ ซึ่งเป็นช่วงที่เหมาะสมกับการทำงานของถังแอนแอโรบิก ส่วนรูป 4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอช ตลอดการทดลอง

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยพีเอชในสภาวะคงตัวของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

คอลัมน์	สารอาหาร	พีเอช					
		การทดลองชุดที่ 1		การทดลองชุดที่ 2		การทดลองชุดที่ 3	
		น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง
1	ชุดควบคุม	8.14±0.23 (n=8)	8.16±0.07 (n=9)	8.10±0.21 (n=6)	8.03±0.09 (n=6)	8.40±0.15 (n=10)	8.34±0.17 (n=11)
2	น้ำตาล[1]	8.15±0.23 (n=8)	7.12±0.10 (n=8)	8.10±0.21 (n=6)	7.17±0.25 (n=6)	8.39±0.15 (n=10)	7.62±0.25 (n=11)
3	น้ำตาล[2]	8.14±0.23 (n=8)	7.39±0.14 (n=9)	8.10±0.21 (n=6)	7.39±0.08 (n=6)	8.40±0.15 (n=10)	8.02±0.23 (n=11)
4	นมถั่วเหลือง	8.15±0.23 (n=8)	7.45±0.09 (n=9)	7.90±0.27 (n=6)	7.31±0.10 (n=6)	8.32±0.14 (n=10)	8.10±0.22 (n=11)

น้ำตาล[1]เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เป็น 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีในน้ำกากส่า
น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับน้ำตาลที่มีในนมถั่วเหลือง



รูปที่ 4.2 ค่าพีเอชตลอดการทดลอง

อุณหภูมิ

จากตารางที่ 4.4 พบว่าค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในน้ำเสียและน้ำทิ้งที่สภาวะคงที่ของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี มีค่าประมาณ 24 – 28 องศาเซลเซียส รูปที่ 4.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของน้ำเสียและน้ำทิ้งตลอดการทดลอง จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกันตลอดการทดลอง และใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง

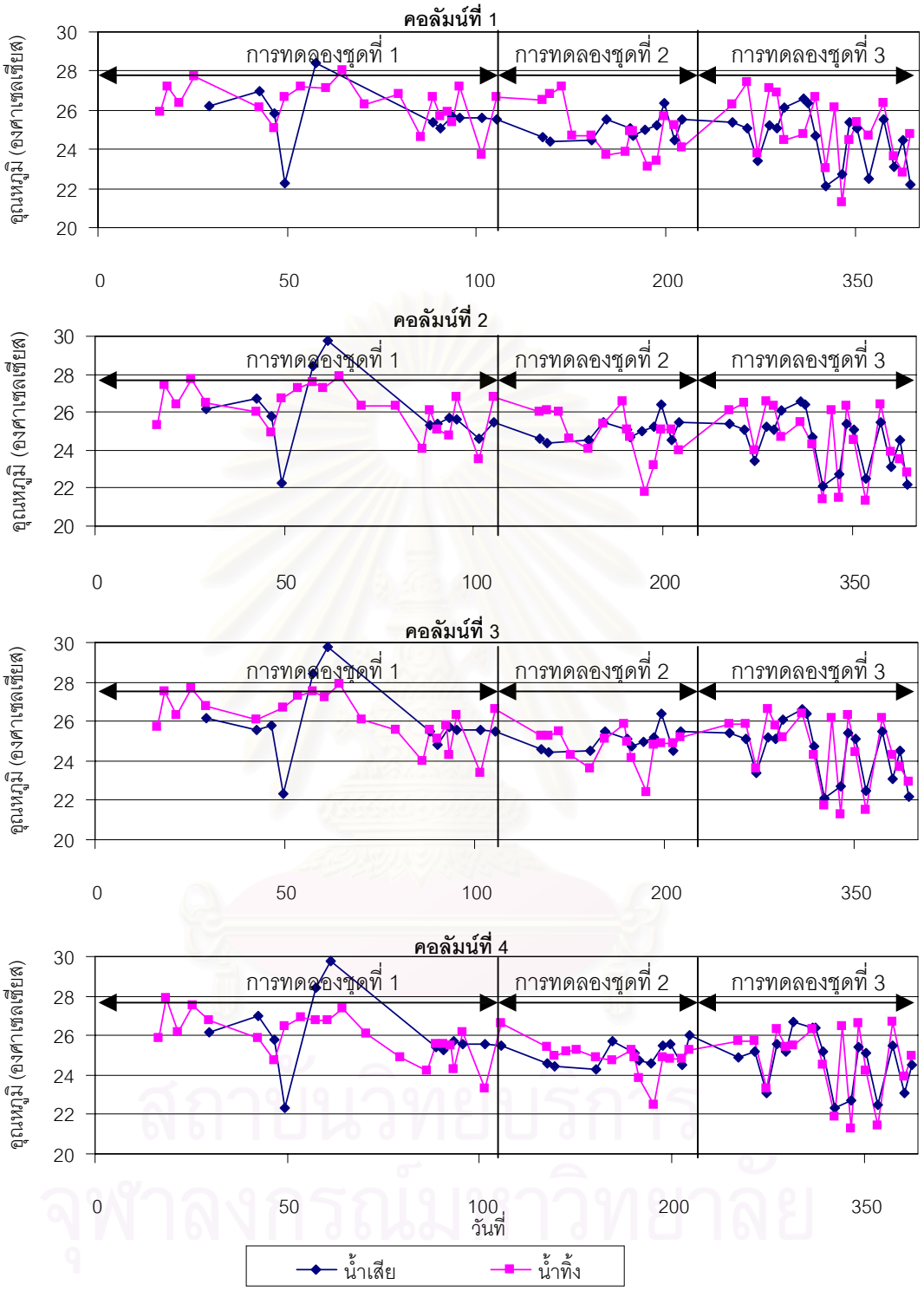
ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิในสภาวะคงตัวของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

คอลัมน์	สารอาหาร	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)					
		การทดลองชุดที่ 1		การทดลองชุดที่ 2		การทดลองชุดที่ 3	
		น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง
1	ชุดควบคุม	25.2±0.5 (n=8)	26.1±1.1 (n=9)	25.1±0.9 (n=6)	26.0±1.5 (n=6)	23.8±1.4 (n=10)	24.5±1.7 (n=11)
2	น้ำตาล[1]	25.1±0.5 (n=8)	25.7±1.1 (n=8)	25.1±0.9 (n=6)	25.7±1.1 (n=6)	23.8±1.4 (n=10)	23.8±1.9 (n=11)
3	น้ำตาล[2]	25.2±0.5 (n=8)	25.3±1.0 (n=9)	25.1±0.9 (n=6)	25.5±1.0 (n=6)	23.8±1.4 (n=10)	23.9±1.9 (n=11)
4	นมถั่วเหลือง	25.3±0.5 (n=8)	25.3±1.0 (n=9)	25.1±1.2 (n=6)	25.3±1.0 (n=6)	23.9±1.4 (n=10)	24.1±2.0 (n=11)

น้ำตาล[1] เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เป็น 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีในน้ำกากส่า
น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับน้ำตาลที่มีในนมถั่วเหลือง

โออาร์พี

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าโออาร์พีเฉลี่ยที่สภาวะคงที่ของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี จากการทดลองพบว่าที่การทดลองชุดที่ 1 ค่าโออาร์พีมีค่าใกล้เคียงกันทั้งหมด คือมีค่าโออาร์พีประมาณ –350 ถึง -340 มิลลิโวลท์ แต่ในการทดลองชุดที่ 2 และ 3 พบว่าค่าโออาร์พี ของชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมสารอาหาร มีค่าลดลงเหลือ ประมาณ –250 ถึง –260 มิลลิโวลท์ ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ลดลง ส่วนในคอลัมน์ที่เติมน้ำตาลและนมถั่วเหลืองเป็นสารอาหาร



รูปที่ 4.3 ค่าอุณหภูมิตลอดการทดลอง

จะมีค่าเฉลี่ยโออาร์พีประมาณ –480 ถึง –490 ซึ่งเป็นค่าที่แสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาการย่อยสลายแบบแอนแอโรบิกที่ดีมาก ส่วนรูปที่ 4.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่าโออาร์พีตลอดการทดลอง ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าโออาร์พีมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง

ตารางที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยโออาร์พีในสภาวะคงตัวของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

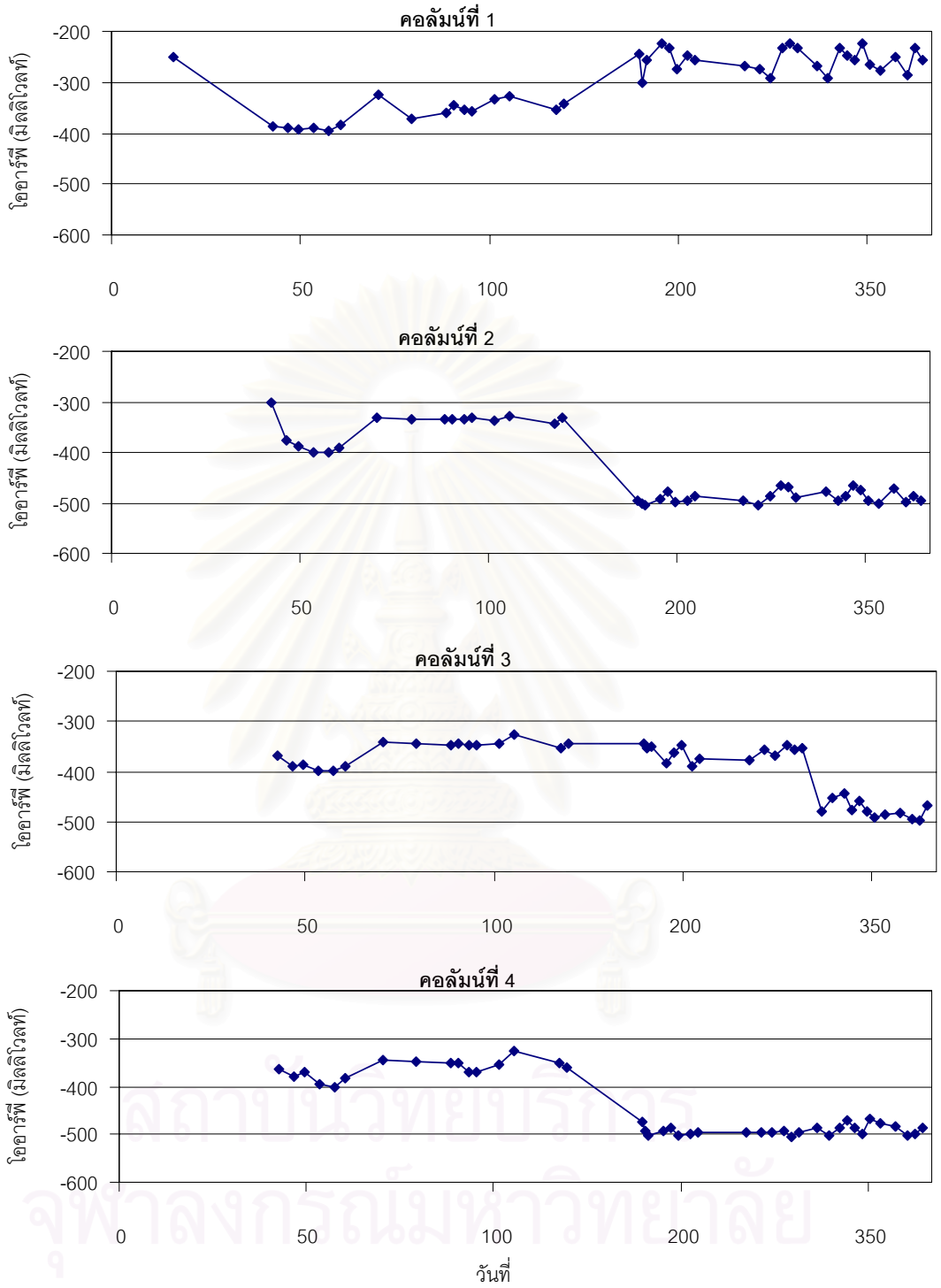
คอลัมน์	สารอาหาร	โออาร์พี (มิลลิโวลท์)		
		การทดลองชุดที่ 1	การทดลองชุดที่ 2	การทดลองชุดที่ 3
1	ชุดควบคุม	-347 ± 11 (n=8)	-253 ± 28 (n=6)	-256 ± 22 (n=11)
2	น้ำตาล[1]	-335 ± 5 (n=8)	-485 ± 15 (n=6)	-486 ± 12 (n=11)
3	น้ำตาล[2]	-344 ± 8 (n=8)	-360 ± 11 (n=6)	-476 ± 18 (n=11)
4	นมถั่วเหลือง	-354 ± 14 (n=8)	-497 ± 4 (n=6)	-488 ± 12 (n=11)

น้ำตาล[1]เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เป็น 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีในน้ำกากส่า
น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับน้ำตาลที่มีในนมถั่วเหลือง

4.2.2 กรดระเหยง่าย และ สภาพด่างทั้งหมด

กรดระเหยง่าย

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าเฉลี่ยกรดระเหยง่ายในน้ำเสียและน้ำทิ้งที่สภาวะคงที่ของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี ในคอลัมน์ที่2 ที่เติมน้ำตาล[1]เป็นสารอาหารมีค่าเฉลี่ยกรดระเหยง่ายในน้ำทิ้ง 105, 109 และ 291 มก./ล. กรดอะซิติก ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.62, 2.43 และ 3.24 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ ในคอลัมน์ที่เติมน้ำตาลเท่ากับที่มีในนมเป็นสารอาหารมีค่าเฉลี่ยกรดระเหยง่ายในน้ำทิ้ง 124, 98 และ 295 มก./ล. กรดอะซิติก ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.15, 1.49 และ 1.83 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ ในคอลัมน์ที่เติมนมถั่วเหลือง*เป็นสารอาหาร มีค่าเฉลี่ยกรดระเหยง่ายในน้ำทิ้ง 95, 122 และ 415 มก./ล. กรดอะซิติก ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.62, 2.43 และ 3.24 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ ส่วนในน้ำเสียมีค่าเฉลี่ยกรดระเหยง่ายประมาณ 80, 68 และ 206 มก./ล. กรดอะซิติก ตามลำดับ จากการทดลองพบว่ากรดระเหยง่ายในน้ำเสียจะ



รูปที่ 4.4 ค่าโออาร์พีตลอดการทดลอง

สูงกว่าในน้ำทิ้ง ซึ่งความแตกต่างจะสูงขึ้นเพื่อเพิ่มปริมาณสารอาหาร แต่ความแตกต่างนี้ก็ยังนับว่าต่ำซึ่งแสดงถึงการทำงานของระบบที่มีประสิทธิภาพสูง ส่วนในชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมสารอาหาร กรดระเหยง่ายในน้ำเสียและน้ำทิ้งแทบจะไม่แตกต่างกันเลย เนื่องจากสารที่เหลือในน้ำกากส่าเป็นสารย่อยยากจึงแทบไม่มีการสร้างกรดระเหยง่ายเพิ่มขึ้นเลย ส่วนรูปที่ 4.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงของค่ากรดระเหยง่ายตลอดการทดลอง

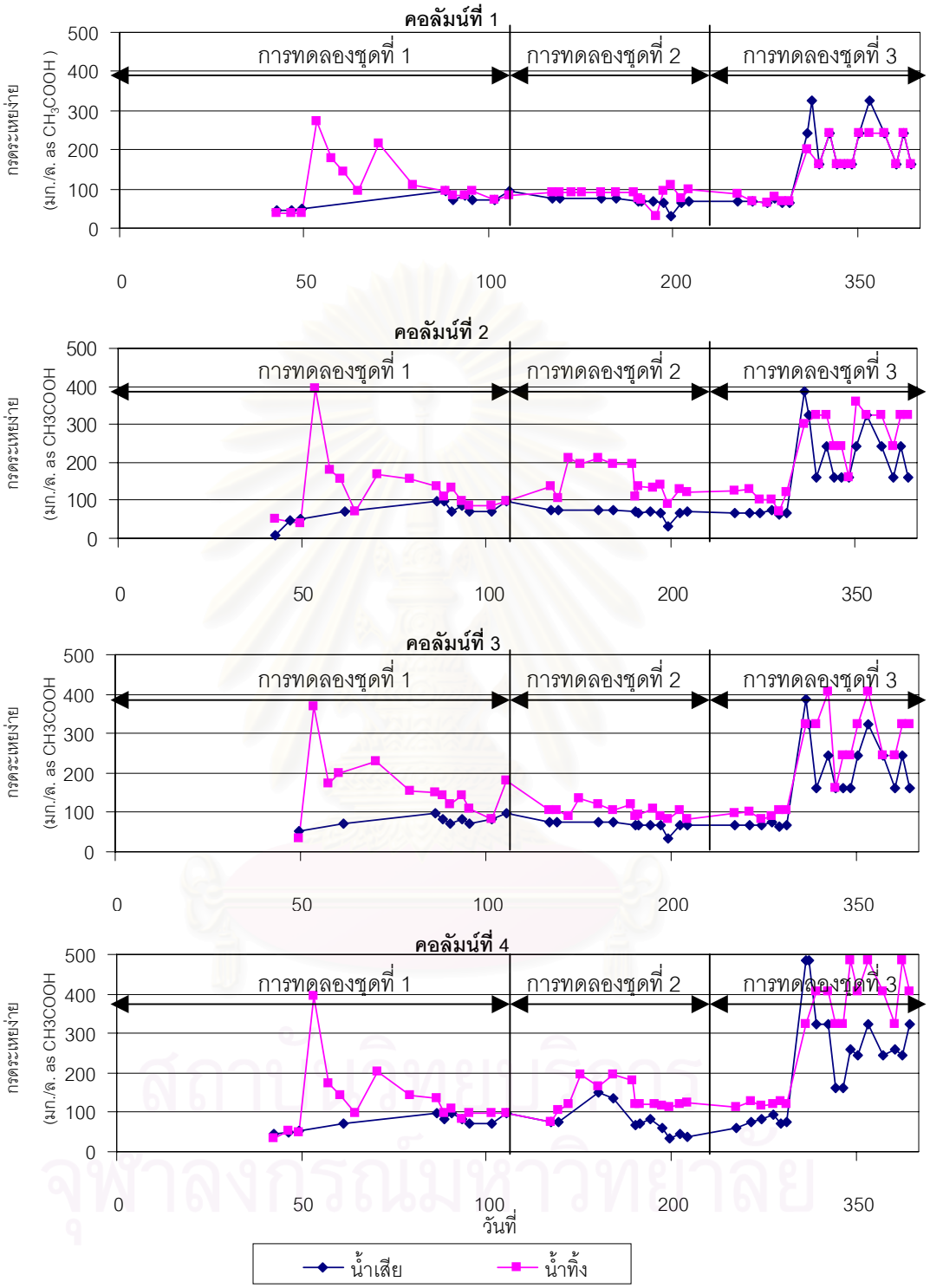
ตารางที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยกรดระเหยง่ายในสภาวะคงตัวของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

คอลัมน์	สารอาหาร	กรดระเหยง่าย (มก./ล. กรดอะซิติก)					
		การทดลองชุดที่ 1		การทดลองชุดที่ 2		การทดลองชุดที่ 3	
		น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง
1	ชุดควบคุม	80±10 (n=8)	87±8 (n=8)	68±4 (n=6)	73±9 (n=6)	206±56 (n=11)	199±42 (n=11)
2	น้ำตาล[1]	80±10 (n=8)	105±20 (n=8)	68±4 (n=6)	109±22 (n=6)	229±56 (n=11)	291±59 (n=11)
3	น้ำตาล[2]	80±8 (n=8)	124±31 (n=8)	68±4 (n=6)	98±9 (n=6)	206±56 (n=11)	295±75 (n=11)
4	นมถั่วเหลือง	82±10 (n=8)	95±11 (n=8)	77±11 (n=6)	122±5 (n=6)	257±60 (n=11)	415±63 (n=11)

น้ำตาล[1] เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เป็น 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีในน้ำกากส่า
น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับน้ำตาลที่มีในนมถั่วเหลือง

สภาพด่างทั้งหมด

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าเฉลี่ยสภาพด่างทั้งหมดในน้ำเสียและน้ำทิ้งที่สภาวะคงที่ของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี ในการทดลองชุดที่ 1 สภาพด่างในน้ำเสียมีค่าประมาณ 230 มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต ส่วนในน้ำทิ้งค่าประมาณ 240 - 290 มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต ซึ่งจะเห็นได้ว่าในการทดลองชุดที่ 1 สภาพด่างในน้ำเสียและน้ำทิ้งจะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากไม่มีการเติมสภาพด่างจากภายนอก สภาพด่างที่เพิ่มขึ้นน่าจะเกิดจากการออกซิไดซ์ กรดระเหยง่าย, ยูเรียที่เติม และ การย่อยสลายโปรตีนในนมถั่วเหลือง ส่วนในการทดลองชุดที่ 2 และ 3 มีการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตเพื่อเพิ่มสภาพด่าง เนื่องจากพีเอชลดลงมาก โดยเตรียมเป็นน้ำเสียเข้มข้น ในการทดลองชุดที่ 2 สภาพด่างในน้ำเสียมีค่าประมาณ 184 มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต ส่วนใน



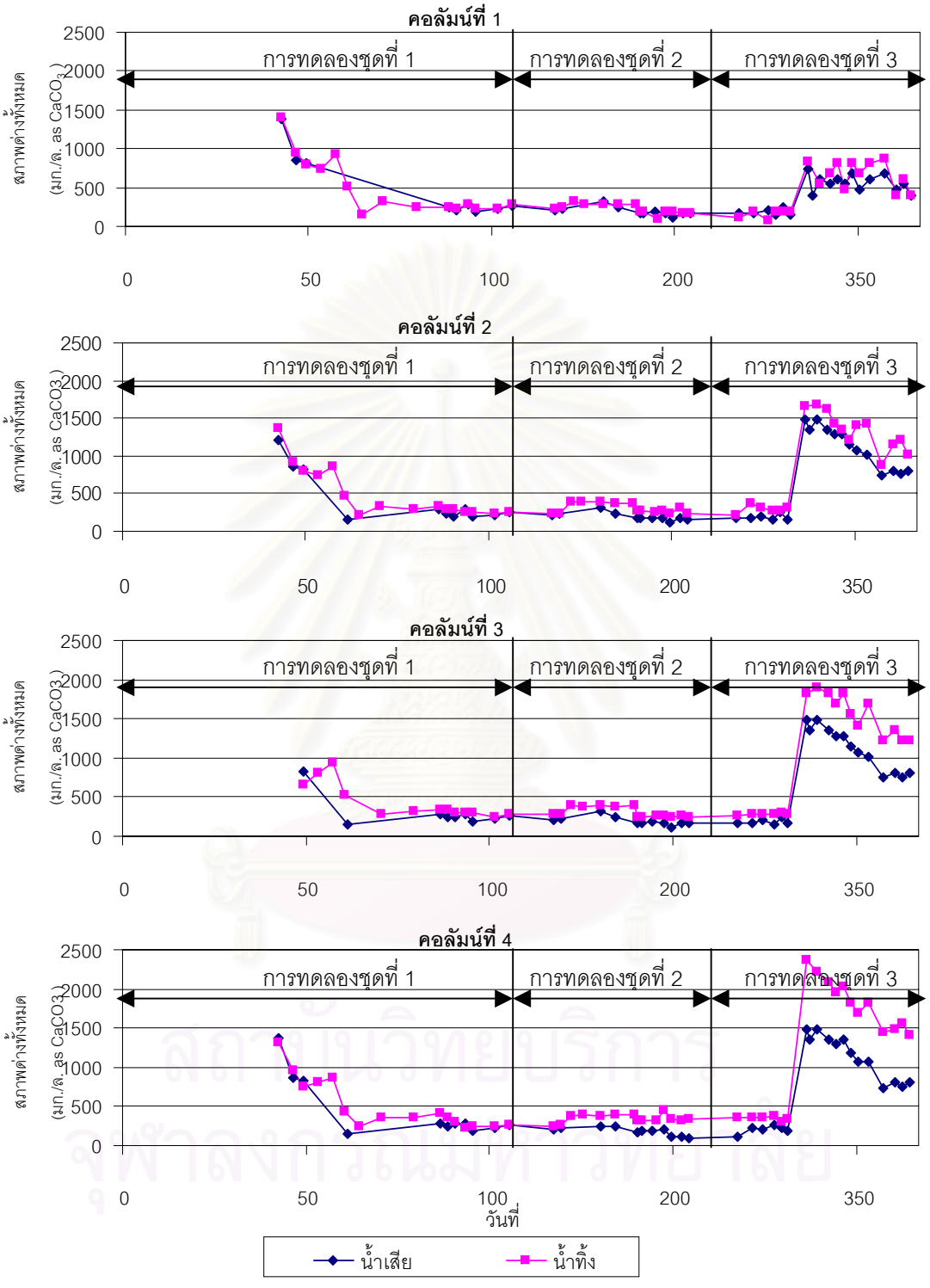
รูปที่ 4.5 กรดระเหยง่ายตลอดการทดลอง

น้ำทิ้งมีค่า 158, 292, 280 และ 348 มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต ในคอลัมน์ ชุดควบคุม, น้ำตาล[1], น้ำตาล[2] และ นมถั่วเหลือง ที่ภาระบรรทุกสารอินทรย์ 0.81, 2.43, 1.49 และ 2.43 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ ส่วนในการทดลองชุดที่ 3 สภาพด่างในน้ำเสียมีค่าประมาณ 900 -1100 มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต ยกเว้นใน ชุดควบคุม จะมีค่า 559 มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต เนื่องจากไม่ได้เติมโซเดียมไบคาร์บอเนต ส่วนในน้ำทิ้งมีค่า 644, 1336, 1534 และ 1656 มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต ในคอลัมน์ ชุดควบคุม, น้ำตาล[1], น้ำตาล[2] และ นมถั่วเหลือง ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.81, 3.24, 1.83 และ 3.24 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าในคอลัมน์ที่เติมนมถั่วเหลือง*เป็นสารอาหารจะมีสภาพด่างเพิ่มขึ้นมากที่สุดเนื่องจากการย่อยสลายโปรตีนในนมถั่วเหลือง ส่วนรูปที่ 4.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงสภาพด่างตลอดการทดลอง จากรูป 4.6 แสดงสภาพด่างตลอดการทดลองชุดที่ 1 และ 2 จะเห็นว่าค่าแทบจะไม่เปลี่ยน เนื่องจาก การทดลองชุดที่ 1 ไม่เติมสภาพด่างจากภายนอก ส่วนการทดลองชุดที่ 2 เติมคงที่โดยตลอด ประมาณ 20 กรัมในน้ำเสียเข้มข้น ส่วนในการทดลองชุดที่ 3สภาพด่างจะลดลงเป็นลำดับเนื่องจากการเติมโซเดียมไบคาร์บอเนตที่ลดลงเรื่อย ๆ ตั้งแต่ประมาณ 80 กรัม ในน้ำเสียเข้มข้น ลดลงมาเหลือประมาณ 10 กรัม ในช่วงสภาวะคงตัว

ตารางที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยสภาพด่างทั้งหมดในสภาวะคงตัวของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

คอลัมน์	สารอาหาร	สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต)					
		การทดลองชุดที่ 1		การทดลองชุดที่ 2		การทดลองชุดที่ 3	
		น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง
1	ชุดควบคุม	230±33 (n=8)	244±27 (n=8)	184±37 (n=6)	158±49 (n=6)	559±86 (n=11)	644±172 (n=11)
2	น้ำตาล[1]	230±33 (n=8)	257±23 (n=8)	184±37 (n=6)	292±53 (n=6)	1123±263 (n=11)	1336±243 (n=11)
3	น้ำตาล[2]	235±31 (n=8)	292±28 (n=8)	184±37 (n=6)	280±18 (n=6)	1069±263 (n=11)	1534±263 (n=11)
4	นมถั่วเหลือง	240±35 (n=8)	267±40 (n=8)	199±51 (n=6)	348±24 (n=6)	977±271 (n=11)	1656±280 (n=11)

น้ำตาล[1]เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เป็น 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีในน้ำกากส่า
น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับน้ำตาลที่มีในนมถั่วเหลือง



รูปที่ 4.6 สภาพด่างตลอดการทดลอง

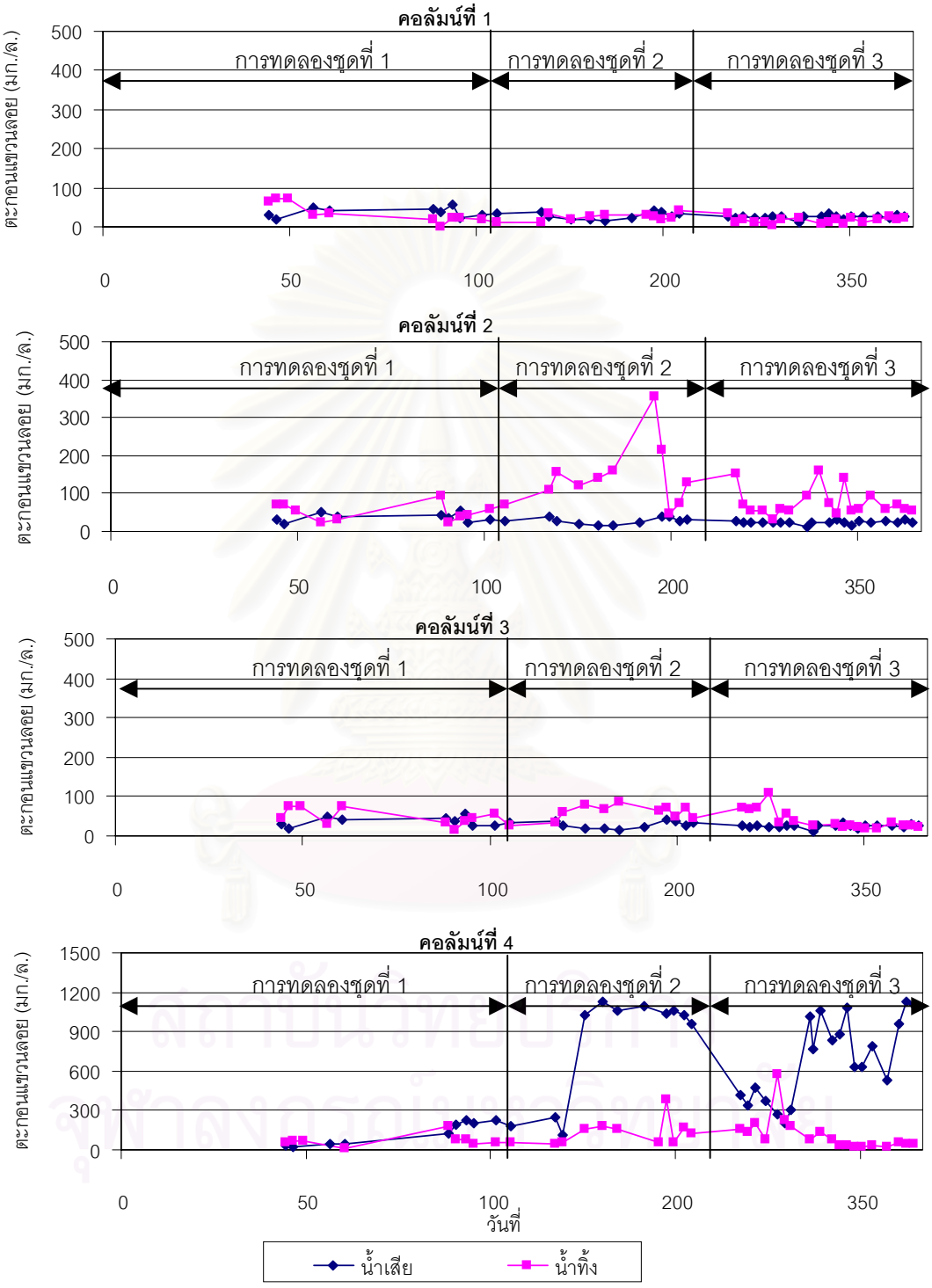
4.2.3 ตะกอนแขวนลอย และ ตะกอนโวลาไทล์

จากตารางที่ 4.8 และ 4.9 แสดงค่าเฉลี่ยตะกอนแขวนลอยและตะกอนโวลาไทล์ในน้ำทิ้งที่สภาวะคงที่ของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี จากผลการทดลองพบว่า ตะกอนแขวนลอยและตะกอนโวลาไทล์ ของน้ำทิ้งมีค่าต่ำมาก เนื่องจากมีชั้นตัวกลางคอยดักไว้ ส่วนตะกอนแขวนลอยและตะกอนโวลาไทล์ ของน้ำเสียก็ต่ำมากเช่นกัน เพราะ น้ำเสียที่ใช้ผ่านการตกตะกอนในบ่อมาแล้ว ยกเว้นน้ำเสียที่เติมนมจะมีตะกอนแขวนลอยและตะกอนโวลาไทล์สูง เพราะในนมมีความข่นอยู่มาก ค่าเฉลี่ยตะกอนโวลาไทล์มีค่าประมาณ 70 – 90% ของตะกอนแขวนลอย ส่วนรูปที่ 4.7 และ 4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงตะกอนแขวนลอยและตะกอนโวลาไทล์ ตลอดการทดลอง และตารางที่ 4.10 แสดงค่าตะกอนแขวนลอยและตะกอนโวลาไทล์ต่อพื้นที่ผิวตัวกลาง จากการทดลองชุดที่ 3 จากตารางจะเห็นได้ว่า ค่าตะกอนแขวนลอยต่อพื้นที่ผิวตัวกลาง จะมีค่าอยู่ระหว่าง 1.0 – 2.0 มก./ม^2 - ม^{3}ของตัวกลาง และ คอลัมน์น้ำตาล^1 จะมีตะกอนต่อพื้นที่ผิวตัวกลางมากที่สุด

ตารางที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยตะกอนแขวนลอยในสภาวะคงตัวของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

คอลัมน์	สารอาหาร	ตะกอนแขวนลอย (มก./ล.)					
		การทดลองชุดที่ 1		การทดลองชุดที่ 2		การทดลองชุดที่ 3	
		น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง
1	ชุดควบคุม	36±10 (n=8)	18±10 (n=8)	24±2 (n=7)	16±10 (n=7)	26±4 (n=10)	16±7 (n=10)
2	น้ำตาล^1	36±10 (n=8)	73±43 (n=8)	24±2 (n=7)	68±39 (n=7)	24±4 (n=10)	80±37 (n=11)
3	น้ำตาล^2	36±10 (n=8)	39±15 (n=8)	24±2 (n=7)	64±25 (n=7)	26±4 (n=10)	25±5 (n=10)
4	นมถั่วเหลือง	187±47 (n=8)	76±44 (n=8)	341±91 (n=7)	220±162 (n=7)	858±210 (n=11)	35±31 (n=11)

น้ำตาล^{1}เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เป็น 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีในน้ำกากส่า
น้ำตาล^2 เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับน้ำตาลที่มีในนมถั่วเหลือง



รูปที่ 4.7 ตะกอนแขวนลอยตลอดการทดลอง

ตารางที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยตะกอนโวลาไทล์ในสภาวะคงตัวของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

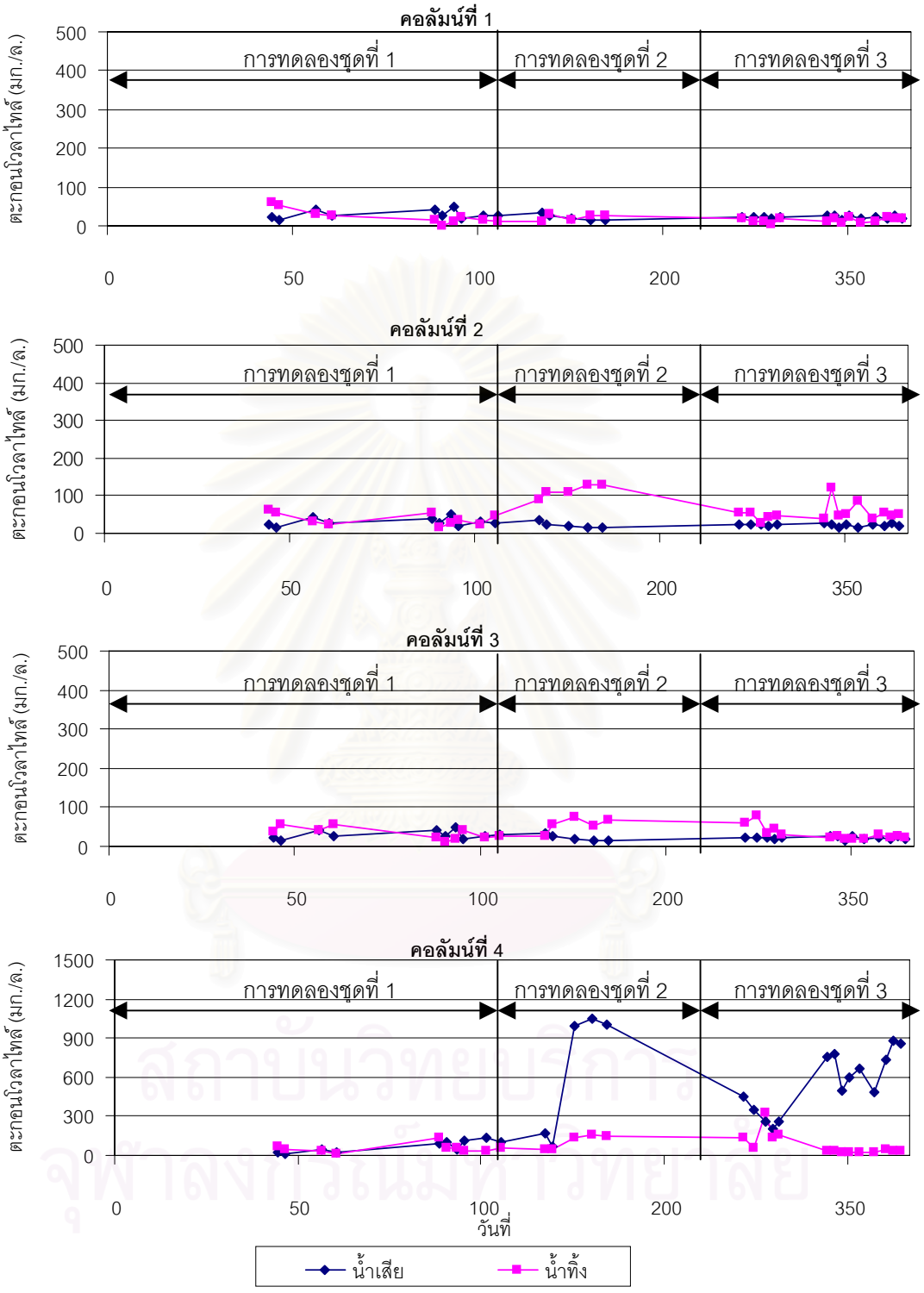
คอลัมน์	สารอาหาร	ตะกอนโวลาไทล์ (มก./ล.)					
		การทดลองชุดที่ 1		การทดลองชุดที่ 2		การทดลองชุดที่ 3	
		น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง
1	ชุดควบคุม	31±10 (n=8)	15±9 (n=8)	22±2 (n=5)	13±6 (n=5)	22±4 (n=9)	15±6 (n=9)
2	น้ำตาล[1]	31±10 (n=8)	50±33 (n=8)	22±2 (n=5)	44±10 (n=5)	22±4 (n=9)	59±27 (n=9)
3	น้ำตาล[2]	32±10 (n=8)	28±14 (n=8)	22±2 (n=5)	49±20 (n=5)	22±4 (n=9)	23±3 (n=9)
4	นมถั่วเหลือง	104±36 (n=8)	56±33 (n=8)	305±97 (n=5)	163±98 (n=5)	685±145 (n=9)	31±8 (n=9)

น้ำตาล[1]เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เป็น 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีในน้ำกากส่า
น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับน้ำตาลที่มีในนมถั่วเหลือง

ตารางที่ 4.10 ค่าตะกอนแขวนลอยและตะกอนโวลาไทล์ต่อพื้นที่ผิวตัวกลางจากการทดลองชุดที่ 3

คอลัมน์	ตัวอย่างที่	ตะกอนแขวนลอย (มก./ล.)	ตะกอนโวลาไทล์ (มก./ล.)	%ตะกอนโวลาไทล์	ค่าตะกอนแขวนลอยต่อพื้นที่ผิวตัวกลาง (มก./ม^2/ม^{3}ของตัวกลาง)	ค่าตะกอนโวลาไทล์ต่อพื้นที่ผิวตัวกลาง (มก./ม^2/ม^3 ของตัวกลาง)
ชุดควบคุม	1	384	297	77	1.4	1.1
	2	385	250	65	1.4	0.9
	3	387	288	74	1.4	1.1
	AVG	385	278	72	1.4	1.0
	SD	2	25	6	0.0	0.1
น้ำตาล*	1	574	293	51	2.1	1.1
	2	320	205	64	1.2	0.8
	3	488	264	54	1.8	1.0
	AVG	461	254	56	1.7	0.9
	SD	129	45	7	0.5	0.2

หมายเหตุ พื้นที่ผิวของตัวกลาง คือ 271 ม^2/ม^3 ของตัวกลาง



รูปที่ 4.8 ตะกอนโวลาไทล์ตลอดการทดลอง

ตารางที่ 4.10 ค่าตะกอนแขวนลอยและตะกอนโวลาไทล์
ต่อพื้นที่ผิวตัวกลางจากการทดลองชุดที่ 3 (ต่อ)

คอลัมน์	ตัวอย่างที่	ตะกอนแขวนลอย (มก./ล.)	ตะกอนโวลาไทล์ (มก./ล.)	%ตะกอนโวลาไทล์	ค่าตะกอนแขวนลอยต่อพื้นที่ผิวตัวกลาง (มก./ม^2/ม^{3}ของตัวกลาง)	ค่าตะกอนโวลาไทล์ต่อพื้นที่ผิวตัวกลาง (มก./ม^2/ม^3 ของตัวกลาง)
น้ำตาล[2]	1	378	212	56	1.4	0.8
	2	410	197	48	1.5	0.7
	3	422	219	52	1.6	0.8
	AVG	403	209	52	1.5	0.8
	SD	23	11	4	0.1	0.1
นมถั่วเหลือง	1	260	143	55	1.0	0.5
	2	216	140	65	0.8	0.5
	3	240	127	53	0.9	0.5
	AVG	239	137	58	0.9	0.5
	SD	22	9	6	0.1	0.0

น้ำตาล[1] เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เป็น 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีในน้ำกากส่า
น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับน้ำตาลที่มีในนมถั่วเหลือง

หมายเหตุ พื้นที่ผิวของตัวกลาง คือ 271 ม^2/ม^3 ของตัวกลาง

4.2.4 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

ตารางที่ 4.11 แสดงค่าเฉลี่ยซีโอดีและเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอที่สภาวะคงตัวของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี จากการทดลองพบว่า ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.63, 2.43 และ 3.24 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีของคอลัมน์ที่เติมน้ำตาล[1] เป็นสารอาหาร คือ 57, 70 และ 76 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และ เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีของคอลัมน์ที่เติมนมถั่วเหลืองเป็นสารอาหาร คือ 44, 67 และ 78 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีของคอลัมน์ทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในแต่ละชุดการทดลองโดยมีค่าใกล้เคียงกับสัดส่วนสารอาหารที่เติม ส่วนเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีของคอลัมน์ที่3 ที่เติมน้ำตาล[1] เป็นสารอาหาร คือ 26, 49 และ 60 เปอร์เซ็นต์ ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.15, 1.49 และ 1.83 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ ซึ่งก็มีผลคล้ายกับในสองคอลัมน์แรก คือมีค่าเพิ่มขึ้นในแต่ละชุดการ

ทดลองและมีค่าใกล้เคียงกับสัดส่วนอาหารที่เติม ซึ่งแสดงว่าในคอลัมน์ที่ใช้นมถั่วเหลืองเป็นสารอาหาร ซีโอดีของน้ำตาลในนมถั่วเหลืองที่เติมถูกกำจัดไปเกือบหมด และ เปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีของคอลัมน์ที่ไม่เติมสารอาหารหรือ ชุดควบคุม คือ 14, 1 และ 5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเหลือสารอาหารให้ย่อยสลายในน้ำเสียน้อยมาก สำหรับน้ำทิ้งของทุกคอลัมน์จะมีค่าใกล้เคียงกัน คือประมาณ 1,300 – 1,500 มก./ล. และเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับซีโอดีที่เติมเข้าไป รูปที่ 4.9 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีตลอดการทดลอง และรูปที่ 4.10 แสดงการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีตลอดการทดลอง โดยความความเร็วของระบบในการเข้าสู่สภาวะคงตัวเรียงตามลำดับดังนี้คือ จากการทดลองชุดที่ 3, 2 และ 1 ตามลำดับ

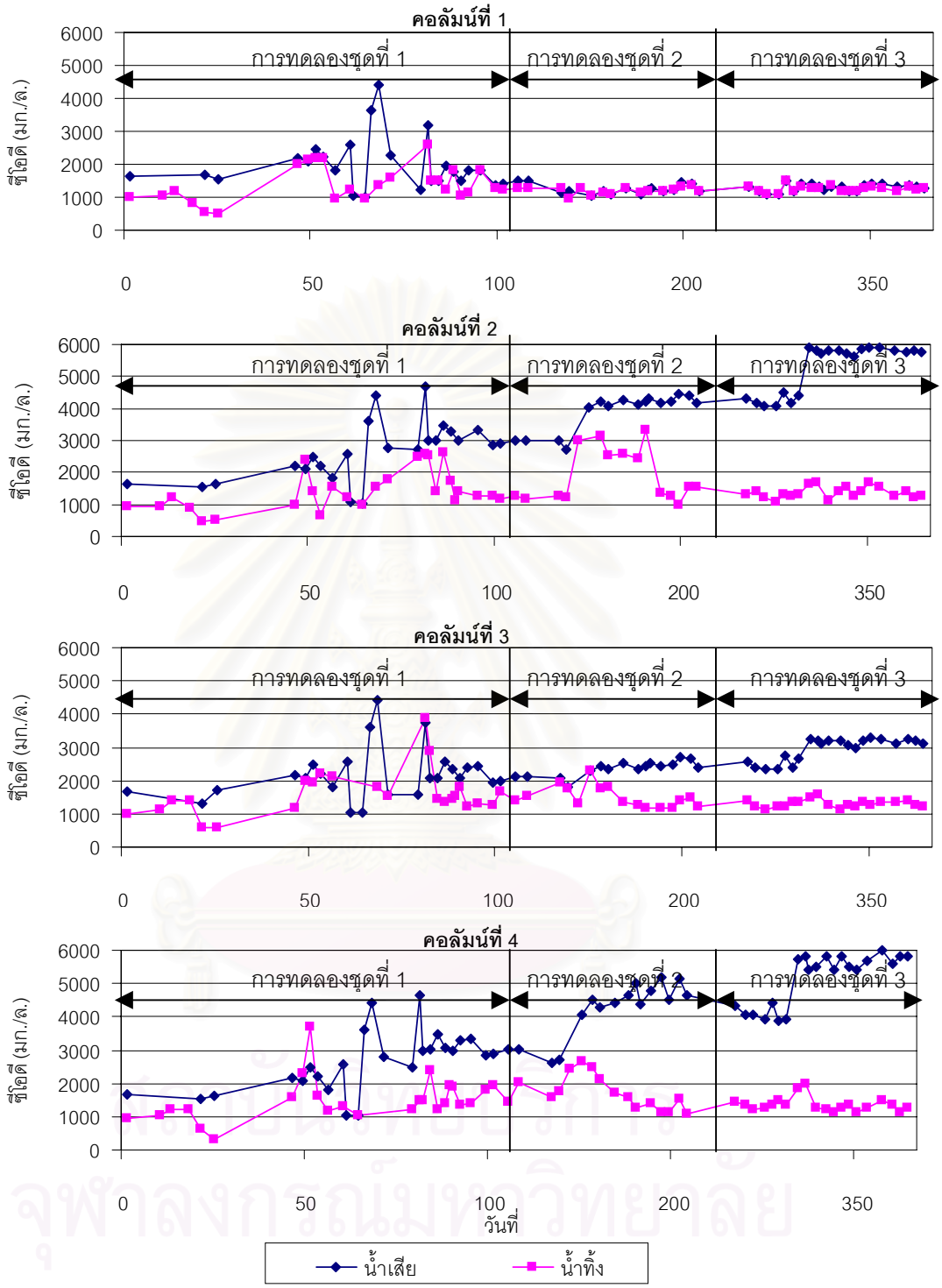
ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยซีโอดีและเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดีในสภาวะคงตัวของระบบ

คอลัมน์	สารอาหาร	ซีโอดี (มก./ล.)								
		การทดลองชุดที่ 1			การทดลองชุดที่ 2			การทดลองชุดที่ 3		
		น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	% กำจัด	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	% กำจัด	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	% กำจัด
1	ชุดควบคุม	1501±245 (n=10)	1317±294 (n=10)	14±13 (n=10)	1244±169 (n=7)	1232±160 (n=7)	1±2 (n=7)	1313±75 (n=11)	1250±71 (n=11)	5±4 (n=11)
2	น้ำตาล[1]	3006±193 (n=9)	1290±167 (n=10)	57±5 (n=9)	4244±169 (n=7)	1270±109 (n=7)	70±2 (n=7)	5795±82 (n=11)	1402±161 (n=11)	76±3 (n=11)
3	น้ำตาล[2]	2124±207 (n=10)	1537±293 (n=11)	26±17 (n=10)	2494±169 (n=7)	1261±105 (n=7)	49±4 (n=7)	3174±85 (n=11)	1275±78 (n=11)	60±2 (n=11)
4	นมถั่วเหลือง	2982±230 (n=10)	1690±260 (n=11)	44±11 (n=10)	4090±210 (n=7)	1337±90 (n=7)	67±3 (n=7)	5692±258 (n=11)	1278±105 (n=11)	78±2 (n=11)

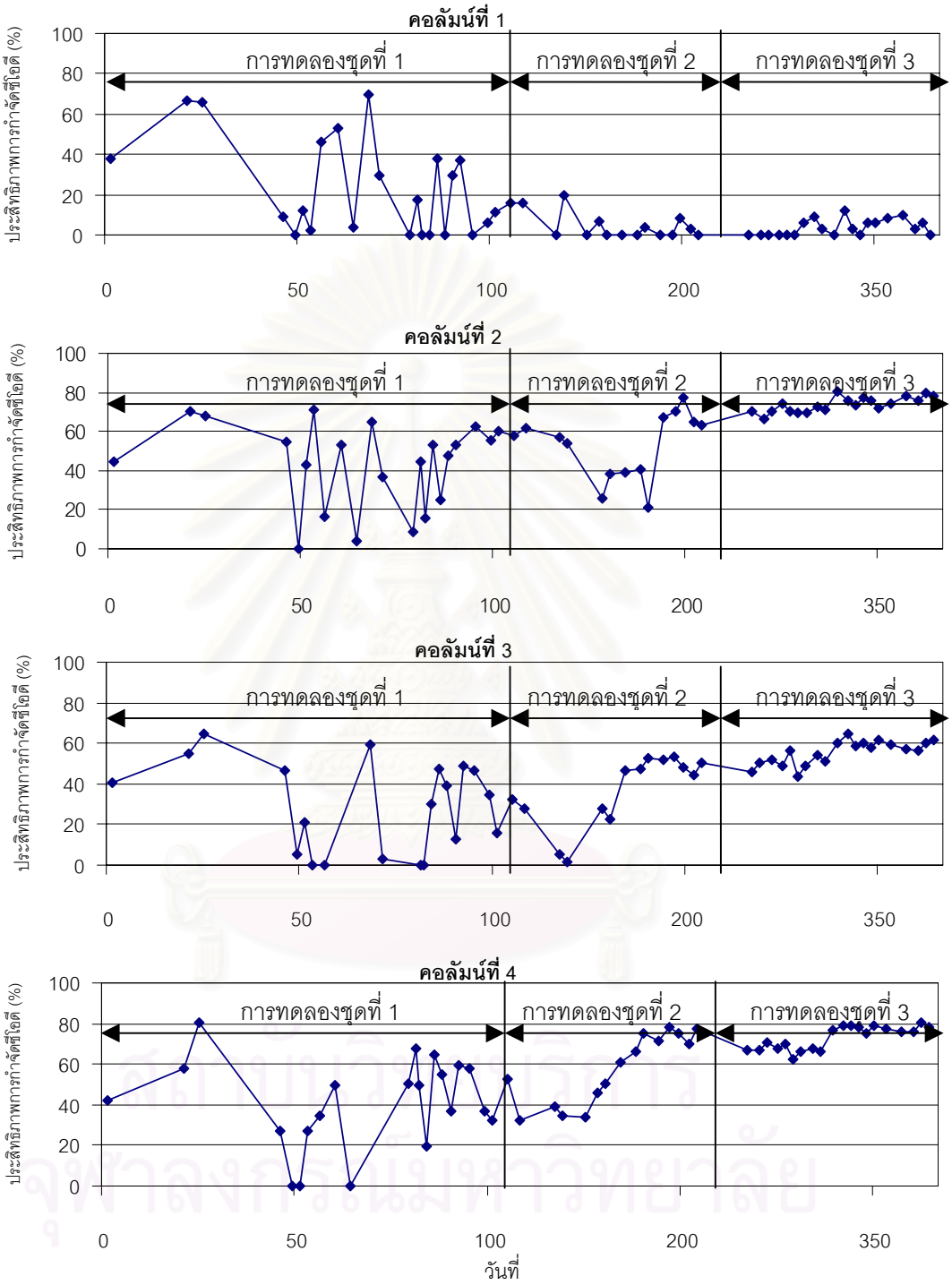
น้ำตาล[1] เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เป็น 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีในน้ำกากส่า
น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับน้ำตาลที่มีในนมถั่วเหลือง

4.2.5 สีและประสิทธิภาพการกำจัดสี

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าเฉลี่ยสีและเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีที่สภาวะคงที่ของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี จากตารางจะเห็นว่าสีของน้ำเสียในทั้ง 3 ชุด การทดลองมีค่าไม่เท่ากัน คือ 261,



รูปที่ 4.9 ความเข้มข้นซีโอดีตลอดการทดลอง



รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีตลอดการทดลอง

247 และ 326 เอสยู ตามลำดับ เนื่องจากน้ำเสียเก็บมาคนละครั้ง และในการผสมน้ำเสียถ้าทำให้สีเริ่มต้นเท่ากัน ซีโอดีของน้ำเสียจะมีค่าแตกต่างกันมาก การเติมน้ำตาลไม่มีผลต่อการเพิ่มความเข้มสี ตรงกันข้ามกับการเติมนมถั่วเหลือง ซึ่งแม้จะผ่านการกรองน้ำด้วยกระดาษ GF-C มาแล้ว แต่ก็ยังคงมีอนุภาคขนาดเล็กจากนมเหลืออยู่ และมีผลให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงขึ้น จึงต้องนำไปเหวี่ยงที่ความเร็วรอบ 10,000 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้อนุภาคความขุ่นตกตะกอน แล้วจึงรินเฉพาะน้ำใสไปวัดสี แต่หลังจากผ่านการบำบัดมาแล้ว อนุภาคจากนมจะถูกย่อยสลายไปในกระบวนการบำบัด น้ำทิ้งที่ได้จึงใส

ในคอลัมน์ที่ไม่เติมเป็นสารอาหาร หรือ ชุดควบคุม มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดสี 0 เปอร์เซ็นต์ทั้งสามการทดลอง ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.62, 2.43 และ 3.24 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ในคอลัมน์ที่เติมน้ำตาล[1] เป็นสารอาหาร มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดสี 10, 13 และ 13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าในการทดลองที่ 2 และ 3 มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดเพิ่มขึ้นน้อยมากจนไม่มีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับคอลัมน์ที่เติมนมถั่วเหลือง*เป็นสารอาหาร มีเปอร์เซ็นต์การกำจัดสี 5, 9 และ 15 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีเพิ่มมากขึ้นเป็นลำดับตามปริมาณสารอาหารที่เติม

ในคอลัมน์ที่เติมน้ำตาล[1] เป็นสารอาหาร สีในน้ำทิ้งมีค่า 237, 213 และ 281 เอสยู ตามลำดับ ส่วนในคอลัมน์ที่เติมนมถั่วเหลือง*เป็นสารอาหาร สีในน้ำทิ้งมีค่า 248, 226 และ 276 เอสยู ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าสีในน้ำทิ้งของทั้งสองคอลัมน์มีค่าใกล้เคียงกันไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน จึงอาจสรุปได้ว่าชนิดของสารอาหารไม่มีผลต่อการลดความเข้มสี แต่ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นซีโอดีของสารอาหารที่เติม ดังนั้นจึงควรเลือกใช้ชนิดของสารอาหารที่มีราคาถูกที่สุด คือ น้ำตาล และในคอลัมน์ที่เติมน้ำตาลเท่ากับในนมถั่วเหลืองเป็นสารอาหาร สีในน้ำทิ้งมีค่า 243, 233 และ 289 เอสยู ตามลำดับ ซึ่งแสดงว่าน้ำตาลมีส่วนช่วยในการลดสี รูปที่ 4.11 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มสีตลอดการทดลอง และรูปที่ 4.12 แสดงการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์การกำจัดสีตลอดการทดลอง โดยค่าที่ได้มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง

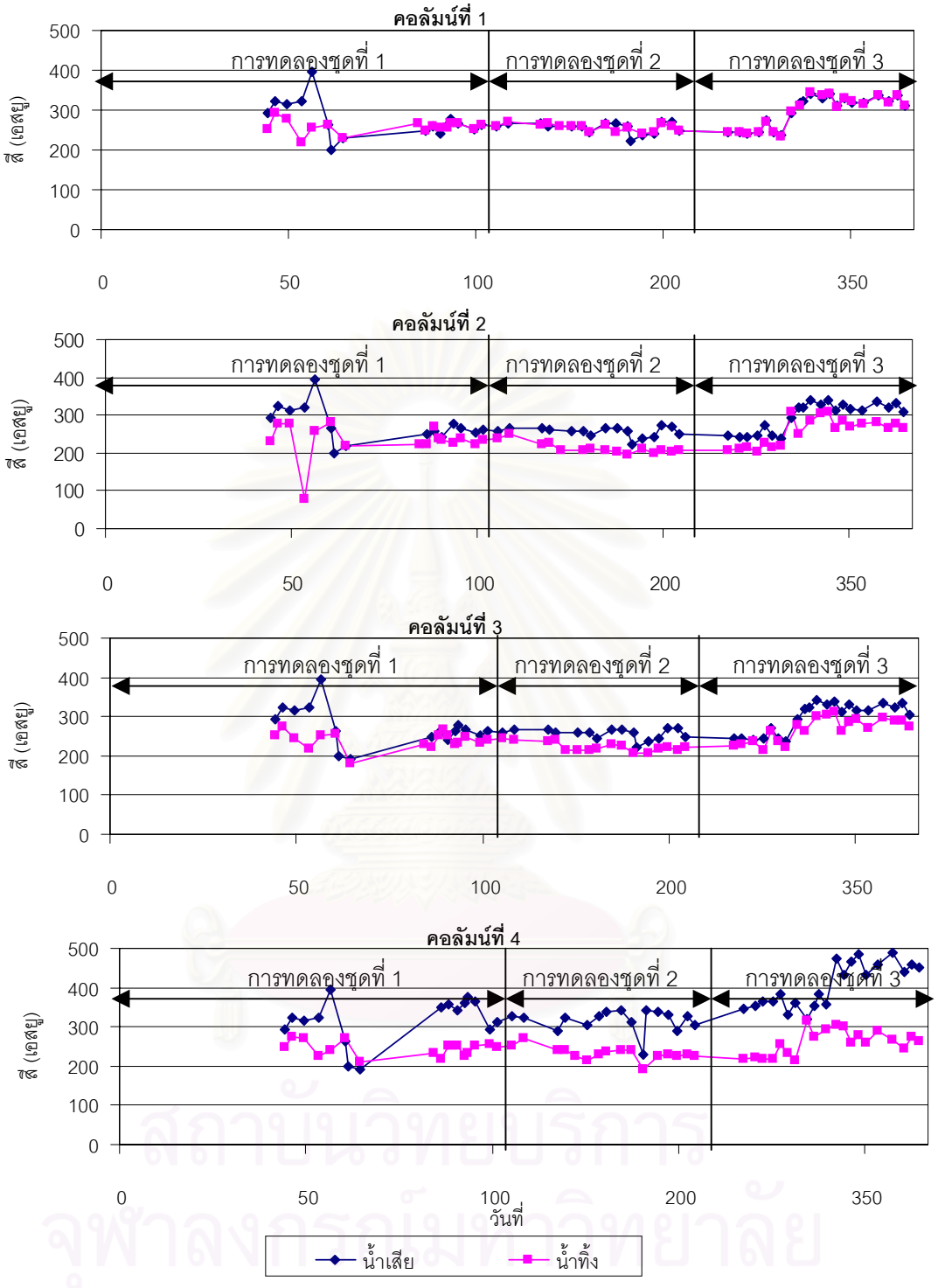
ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยสีและประสิทธิภาพการกำจัดสีในสภาวะคงตัวของระบบ

คอลัมน์	สารอาหาร	สี (เอสยู)								
		การทดลองชุดที่ 1			การทดลองชุดที่ 2			การทดลองชุดที่ 3		
		น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	% กำจัด	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	% กำจัด	น้ำเสีย	น้ำทิ้ง	% กำจัด
1	ชุดควบคุม	261±6 (n=11)	261±9 (n=11)	0±1 (n=11)	247±12 (n=7)	247±11 (n=7)	0±0 (n=7)	327±11 (n=11)	328±13 (n=11)	0±0 (n=11)
2	น้ำตาล[1]	261±9 (n=10)	237±13 (n=11)	10±6 (n=10)	247±12 (n=7)	213±8 (n=7)	13±3 (n=7)	325±12 (n=11)	281±15 (n=11)	13±3 (n=11)
3	น้ำตาล[2]	261±9 (n=11)	243±10 (n=12)	8±4 (n=11)	247±12 (n=7)	233±15 (n=7)	6±3 (n=7)	326±12 (n=11)	289±15 (n=11)	11±3 (n=11)
4	นมถั่วเหลือง	261±9 (n=10)	248±12 (n=12)	5±5 (n=10)	247±12 (n=7)	226±15 (n=7)	9±3 (n=7)	325±12 (n=11)	276±19 (n=11)	15±5 (n=11)

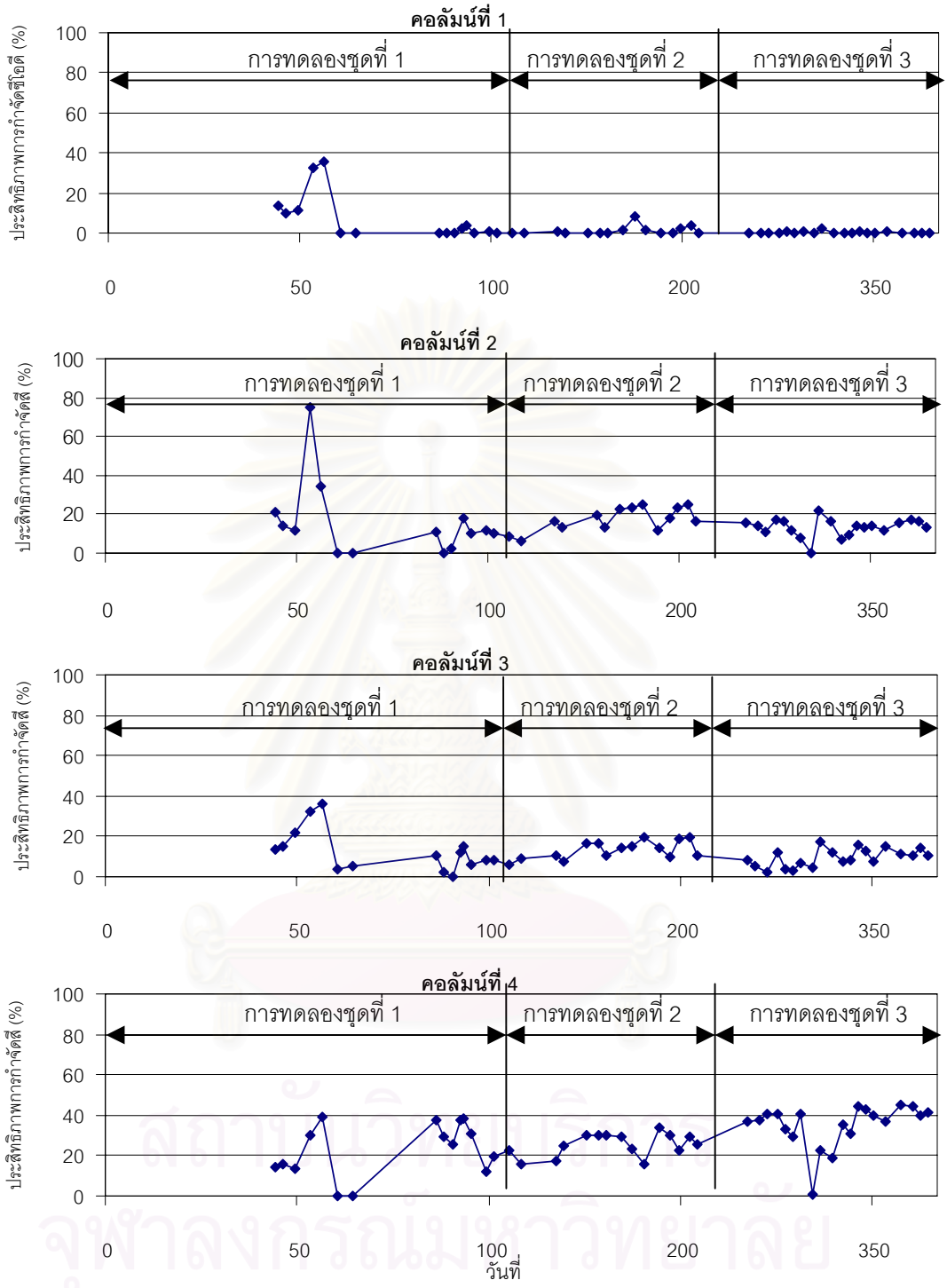
น้ำตาล[1]เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เป็น 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีในน้ำกากส่า
น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับน้ำตาลที่มีในนมถั่วเหลือง

4.2.6 ปริมาณการเกิดก๊าซชีวภาพ

ตารางที่ 4.13 แสดงค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซในสภาวะคงตัวของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี จากการทดลองจะเห็นได้ว่าคอลัมน์ที่ไม่เติมสารอาหาร หรือ ชุดควบคุม ไม่มีก๊าซเกิดขึ้นเลยตลอดการทดลอง ส่วนคอลัมน์ที่เติมสารอาหารจะมีปริมาณก๊าซเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนกับสารอาหารที่เติมเข้าไป โดยที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.62, 2.43 และ 3.24 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน คอลัมน์ที่ใช้น้ำตาล[1] เป็นสารอาหารจะมีปริมาณก๊าซเฉลี่ยเกิดขึ้น 3.1, 6.9 และ 13.7 ลิตร/วัน และคอลัมน์ที่ใช้นมถั่วเหลือง*เป็นสารอาหารจะมีปริมาณก๊าซเฉลี่ยเกิดขึ้น 3.1, 5.3 และ 10.6 ลิตร/วัน ซึ่งจะเห็นว่าใกล้เคียงกันมาก แต่ที่คอลัมน์ที่ใช้นมถั่วเหลือง*เป็นสารอาหารมีปริมาณก๊าซน้อยกว่าคอลัมน์ที่ใช้น้ำตาล[1] เป็นสารอาหารในช่วงหลัง เนื่องจากในนมจะมีกากนม ซึ่งเป็นเมือกเหนียวทำให้อุดตันบ่อยกว่า ช่วงที่อุดตันจะไม่มีน้ำป้อนเข้าคอลัมน์ทำให้ไม่มีการสร้างก๊าซเกิดขึ้น ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 4.13 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซตลอดการทดลอง จะเห็นได้ว่าปริมาณก๊าซมีความแปรปรวนสูง เนื่องจากคอลัมน์อุดตันบ่อย นอกจากนี้ยังมีปัญหาจากมาตรวัดก๊าซที่เสียไปในบางช่วง ตารางที่ 4.14 แสดงค่าเฉลี่ยอัตราการผลิตมีเทนที่สภาวะคงตัว ซึ่งอัตราการผลิตมีเทนจะ



รูปที่ 4.11 ความเข้มสีตลอดการทดลอง



รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพการกำจัดสีตลอดการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

อยู่ในช่วงประมาณ 0.1 – 0.2 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ซึ่งต่ำกว่าค่าทั่วไปซึ่งมีค่าประมาณ 0.3 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด

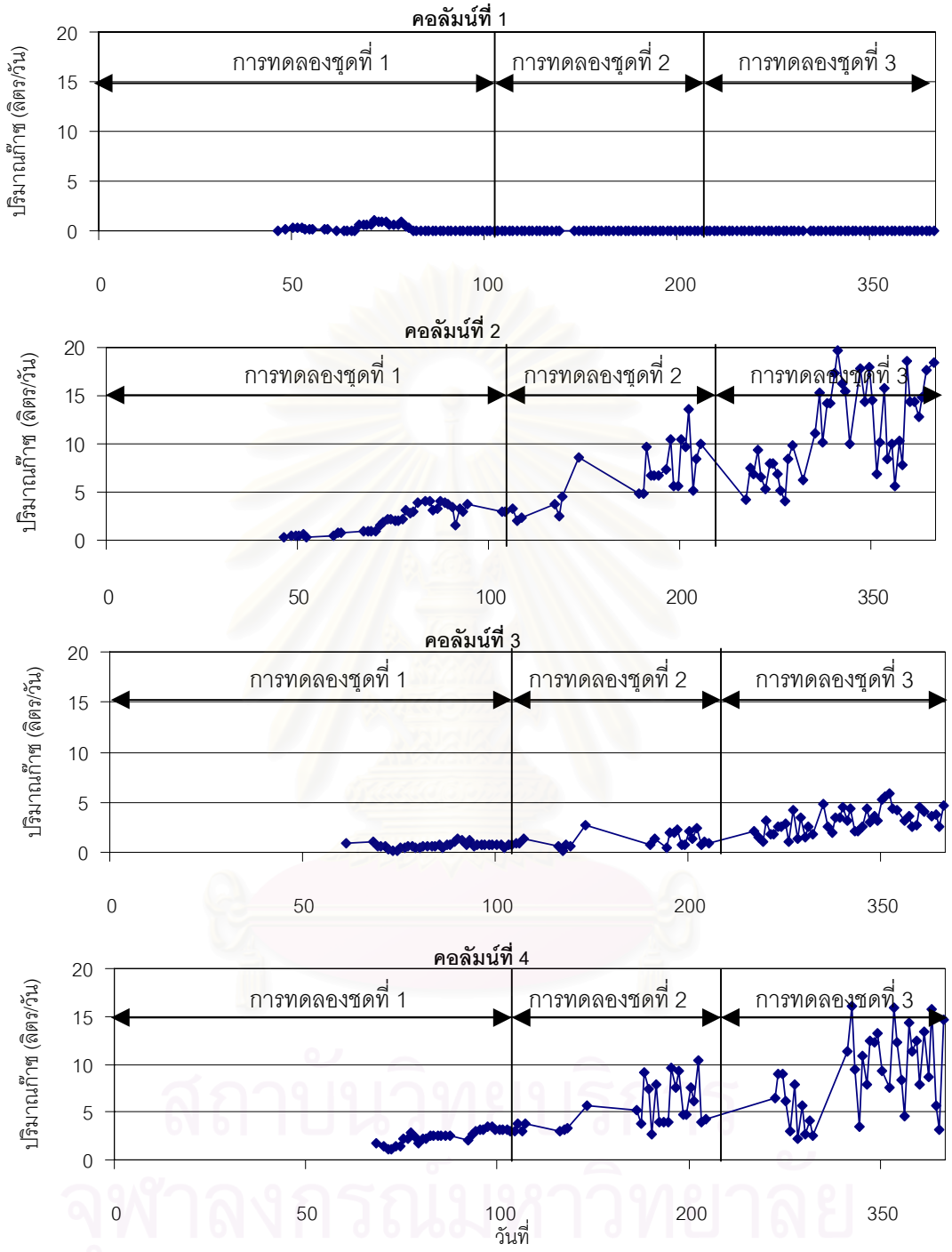
ตารางที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยปริมาณก๊าซในสภาวะคงตัวของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

คอลัมน์	สารอาหาร	ปริมาณก๊าซ (ลิตร/วัน)		
		การทดลองชุดที่ 1	การทดลองชุดที่ 2	การทดลองชุดที่ 3
1	ชุดควบคุม	0.0 ± 0.0 (n=11)	0.0 ± 0.0 (n=10)	0.0 ± 0.0 (n=11)
2	น้ำตาล[1]	3.1 ± 0.8 (n=15)	6.9 ± 1.8 (n=14)	13.7 ± 4.0 (n=25)
3	น้ำตาล[2]	0.8 ± 0.3 (n=24)	2.2 ± 0.9 (n=16)	3.7 ± 1.0 (n=26)
4	นมถั่วเหลือง	3.1 ± 0.4 (n=19)	5.3 ± 2.6 (n=12)	10.6 ± 3.8 (n=25)

ตาราง 4.14 ค่าเฉลี่ยอัตราการผลิตมีเทนที่สภาวะคงตัว

สารอาหาร		ปริมาณที่ผลิตได้ (ลิตร)	เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน	อัตราการผลิตก๊าซมีเทน (ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด)
การทดลองชุดที่ 1	ชุดควบคุม	-	-	-
	น้ำตาล[1]	3.1	49	0.12
	น้ำตาล[2]	0.8	60	0.11
	นมถั่วเหลือง	3.1	68	0.22
การทดลองชุดที่ 2	ชุดควบคุม	-	-	-
	น้ำตาล[1]	6.9	52	0.16
	น้ำตาล[2]	2.2	60	0.14
	นมถั่วเหลือง	5.5	39	0.10
การทดลองชุดที่ 3	ชุดควบคุม	-	-	-
	น้ำตาล[1]	13.8	55	0.23
	น้ำตาล[2]	3.7	68	0.18
	นมถั่วเหลือง	10.5	60	0.19

น้ำตาล[1] เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เป็น 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีในน้ำกากส่า
น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับน้ำตาลที่มีในนมถั่วเหลือง



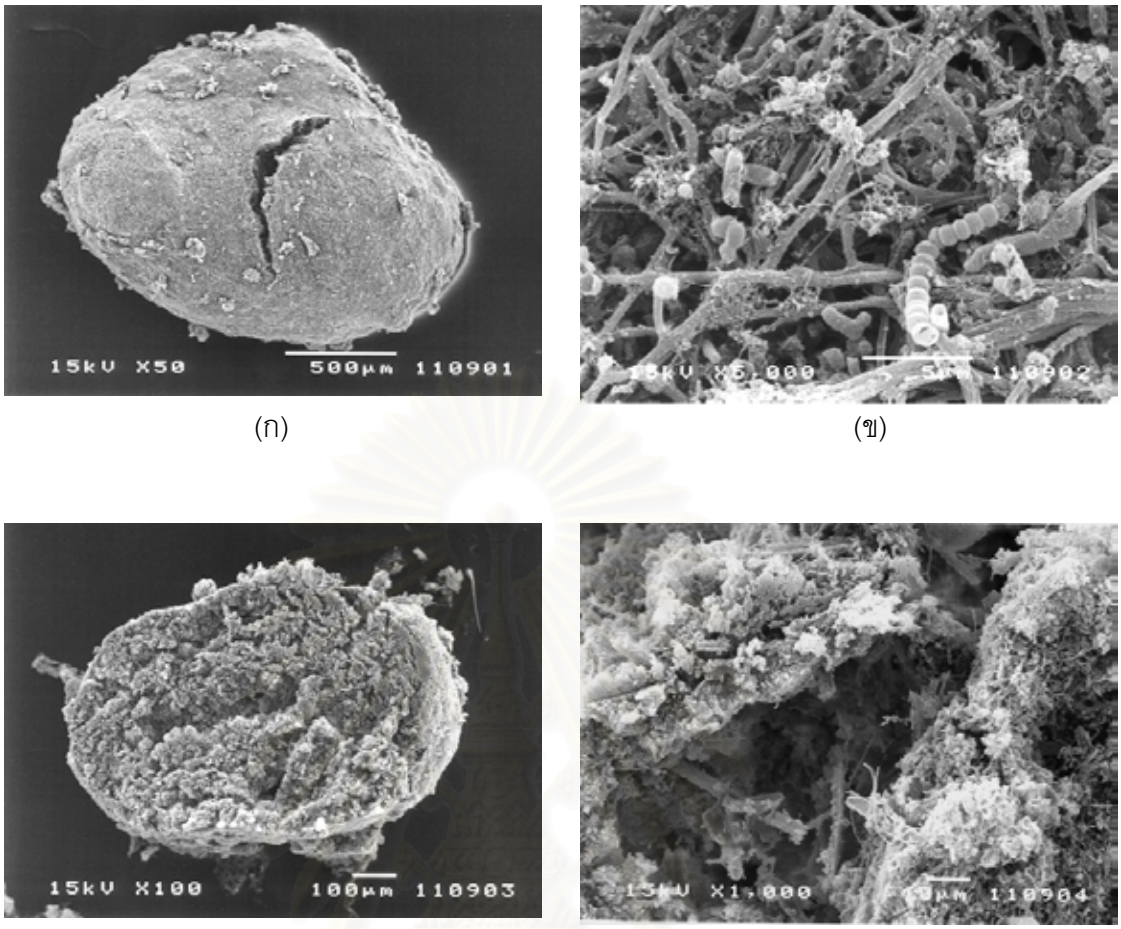
รูปที่ 4.13 ปริมาณก๊าซตลอดการทดลอง

4.2.7 ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์

ตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาใช้เริ่มต้นเดินระบบ นำมาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบยูเอเอสบี ของบริษัท บุญรอด บริวเวอรี จำกัด ซึ่งตอนที่เอามาครั้งแรก ตะกอนมีลักษณะเป็นโคลนเหลว ไม่เห็นเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ อย่างชัดเจน หลังจากเดินระบบจนสิ้นสุดการทดลอง มีการนำเอาเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มาตรวจด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน (Scanning Electron Microscopy) เม็ดตะกอนจุลินทรีย์ส่วนใหญ่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 – 3 มิลลิเมตร เม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีสีน้ำตาลปนดำ โดยเฉพาะคอลัมน์นมถั่วเหลืองจะมีเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ที่เป็นสีน้ำตาลอยู่มาก

ลักษณะเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ในทุกคอลัมน์มีลักษณะคล้าย ๆ กัน ดังนี้ คือ พื้นผิวนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จะประกอบไปด้วย กลุ่มจุลชีพแบบเส้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งถักทอเป็นร่างแหค้ำจุนโครงสร้างให้เปลือกนอกของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์มีความแข็งแรง กลุ่มจุลชีพรูปร่างแบบอื่น ๆ จะมีอยู่น้อยกว่ามาก จุลชีพที่อยู่ผิวนอกส่วนใหญ่จะเป็นแบคทีเรียพวกสร้างกรด เนื่องจากเป็นพวกแรกที่สัมผัสกับสารอาหาร เมื่อผ่าตามขวางจะเห็นกลุ่มจุลชีพที่อยู่กันอย่างหนาแน่นและมีความหลากหลายของรูปร่างและชนิด ซึ่งเมื่อเพิ่มกำลังขยาย จะเห็นโพลงซึ่งเป็นช่องระบายก๊าซมีเทน และ คาร์บอนไดออกไซด์ สู่ภายนอก และจะเห็นกลุ่มจุลชีพภายในเม็ดตะกอนจุลินทรีย์ ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวกสร้างมีเทน มีทั้งพวกเป็นเส้น (filamentous) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวก *Methanospirillum* แบคทีเรียทรงกลม (coccus) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพวก *Methanosarcina* และ *Methanothrix* และแบคทีเรียรูปแท่ง (rod) เป็นพวก *Methanobrevibacter* ดังแสดงในรูป 4.14, 4.15, 4.16 และ 4.17 ตามลำดับ ซึ่งแสดงภาพของเม็ดตะกอนจุลินทรีย์จาก คอลัมน์ ชุดควบคุม, น้ำตาล น้ำตาล นมถั่วเหลือง ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) (ข)

(ค) (ง)

รูปที่ 4.14 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนของตะกอนจุลินทรีย์ จากคอลัมน์ชุดควบคุม (ที่อัตราภาระอินทรีย์ 0.81 กก. ซีโอดี / ลบ.ม.- วัน)

(ก) ลักษณะผิวนอกของเม็ดตะกอนที่กำลังขยาย 50 เท่า

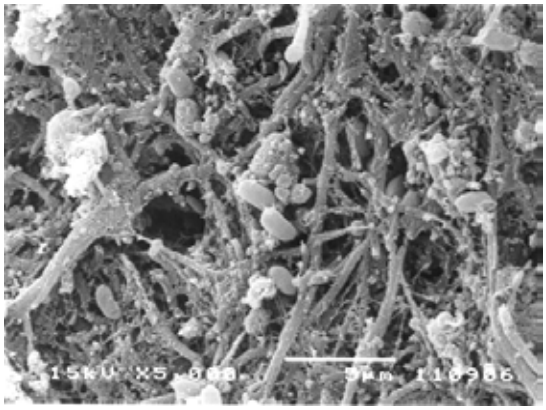
(ข) ลักษณะผิวนอกของเม็ดตะกอนที่กำลังขยาย 5000 เท่า

(ค) ลักษณะภายในของเม็ดตะกอน (ผ่าตามขวาง) ที่กำลังขยาย 100 เท่า

(ง) ลักษณะภายในของเม็ดตะกอน (ผ่าตามขวาง) ที่กำลังขยาย 1000 เท่า

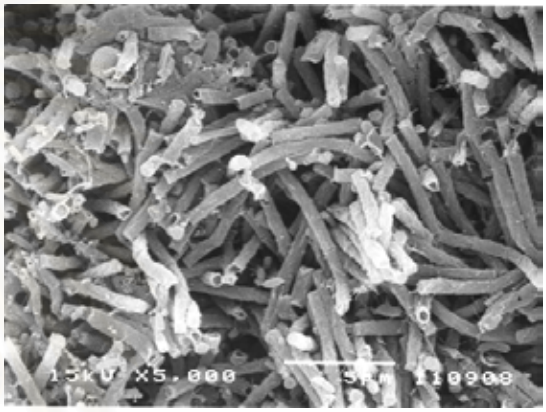
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(ก)



(ข)

(ค)



(ง)

รูปที่ 4.15 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนของตะกอนจุลินทรีย์ จากคอลัมน์น้ำตาล* (ที่อัตราภาระอินทรีย์ 3.24 กก. ซีโอดี / ลบ.ม.- วัน)

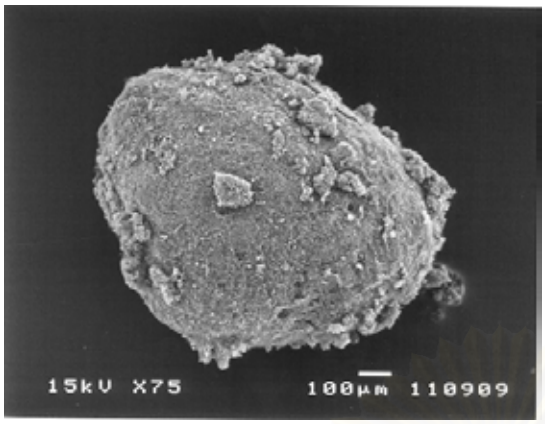
(ก) ลักษณะผิวนอกของเม็ดตะกอนที่กำลังขยาย 75 เท่า

(ข) ลักษณะผิวนอกของเม็ดตะกอนที่กำลังขยาย 5000 เท่า

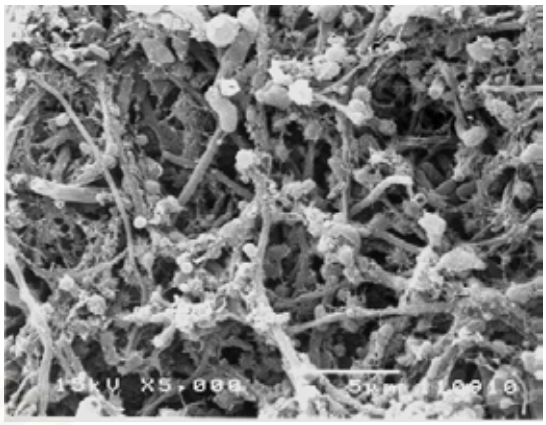
(ค) ลักษณะภายในของเม็ดตะกอน (ผ่าตามขวาง) ที่กำลังขยาย 50 เท่า

(ง) ลักษณะภายในของเม็ดตะกอน (ผ่าตามขวาง) ที่กำลังขยาย 5000 เท่า

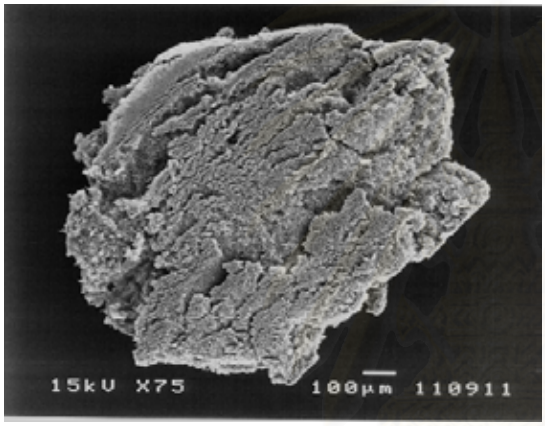
* เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหารเป็น 1 เท่า 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีในน้ำกากส่า



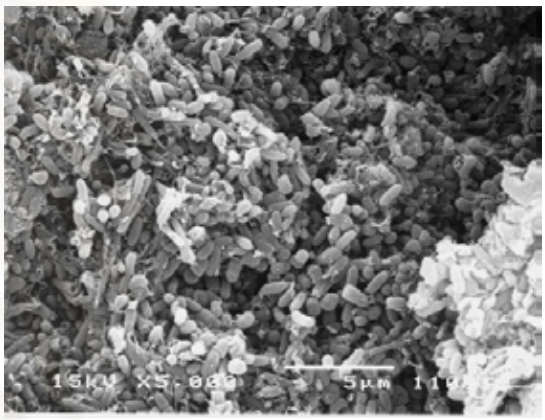
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.16 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนของตะกอนจุลินทรีย์ จากคอลัมน์น้ำตาล (ที่อัตราภาระอินทรีย์ 1.83 กก. ซีโอดี / ลบ.ม.- วัน)

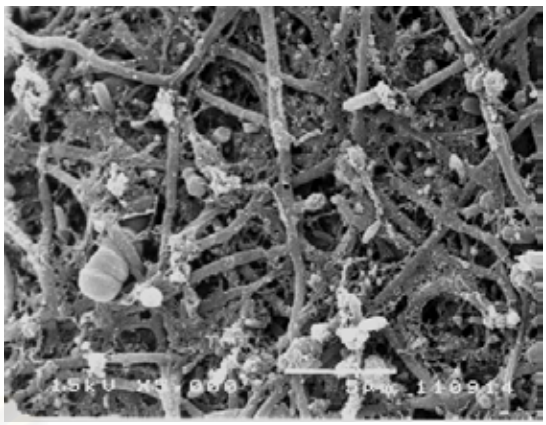
(ก) ลักษณะผิวนอกของเม็ดตะกอนที่กำลังขยาย 75 เท่า

(ข) ลักษณะผิวนอกของเม็ดตะกอนที่กำลังขยาย 5000 เท่า

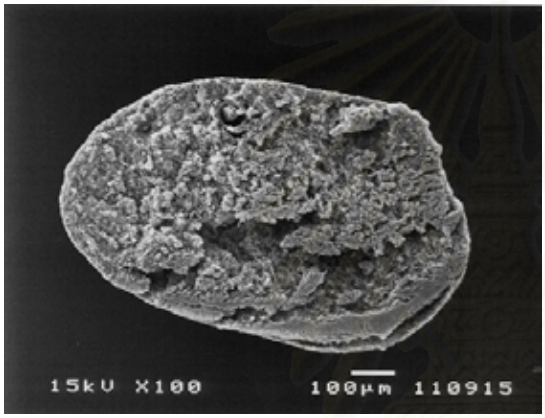
(ค) ลักษณะภายในของเม็ดตะกอน (ผ่าตามขวาง) ที่กำลังขยาย 100 เท่า

(ง) ลักษณะภายในของเม็ดตะกอน (ผ่าตามขวาง) ที่กำลังขยาย 5000 เท่า

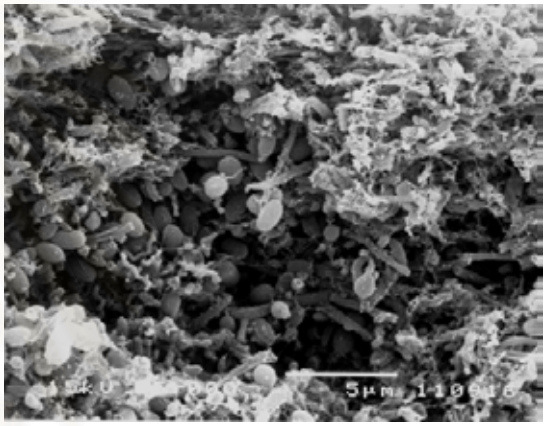
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 4.17 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนของตะกอนจุลินทรีย์ จากคอลัมน์นมถั่วเหลือง* (ที่อัตราภาระอินทรีย์ 3.24 กก. ซีโอดี / ลบ.ม.- วัน)

(ก) ลักษณะผิวนอกของเม็ดตะกอนที่กำลังขยาย 75 เท่า

(ข) ลักษณะผิวนอกของเม็ดตะกอนที่กำลังขยาย 5000 เท่า

(ค) ลักษณะภายในของเม็ดตะกอน (ผ่าตามขวาง) ที่กำลังขยาย 100 เท่า

(ง) ลักษณะภายในของเม็ดตะกอน (ผ่าตามขวาง) ที่กำลังขยาย 5000 เท่า

* เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหารเป็น 1 เท่า 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีในน้ำกากส่า

4.3 ผลการทดลองตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

4.3.1 ค่าพีเอช และ โออาร์พี

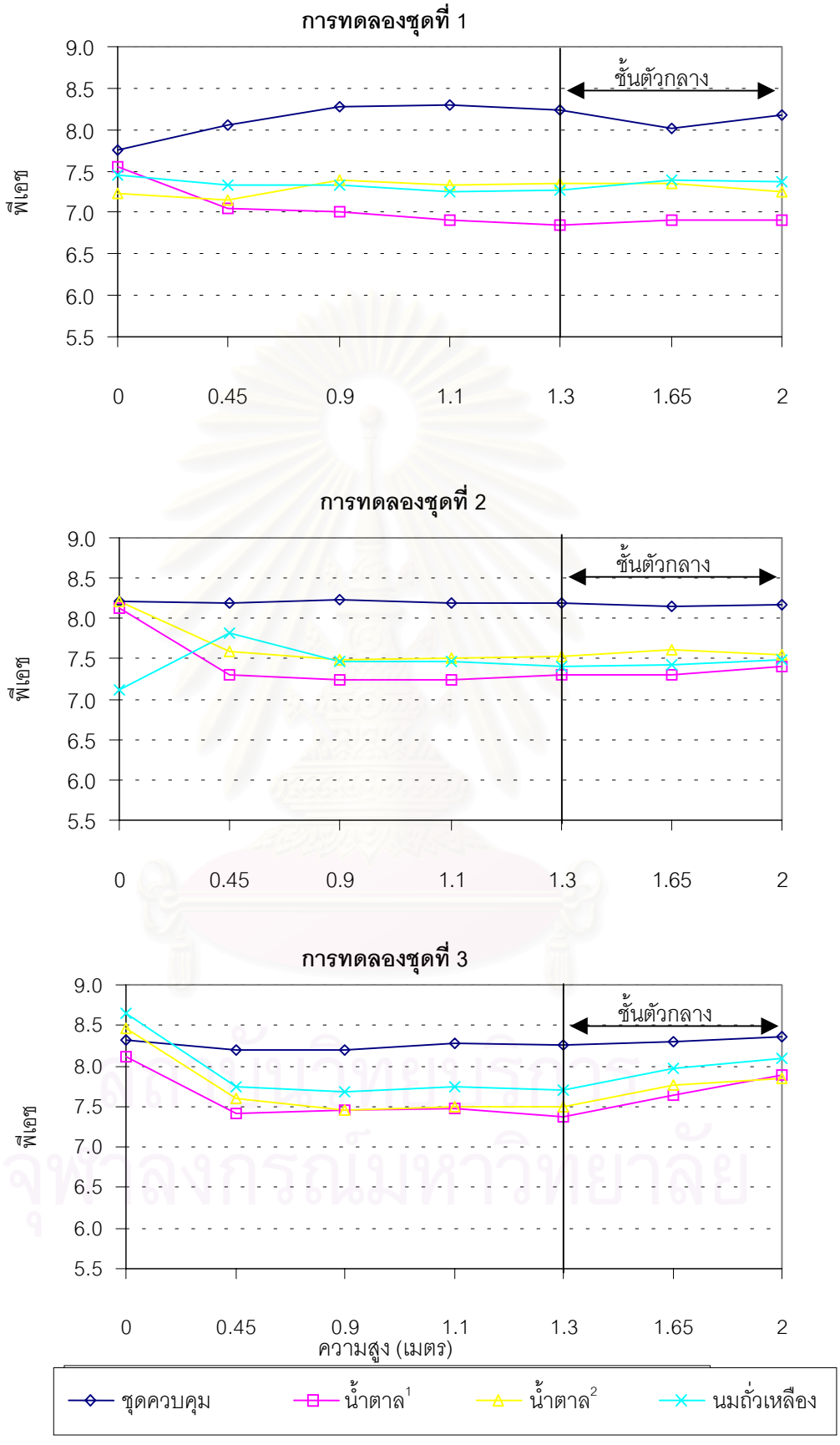
พีเอช

ตารางที่ 4.15 แสดงค่าเฉลี่ยพีเอช และ รูปที่ 4.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชตามระยะความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี ค่าพีเอชภายในแต่ละคอลัมน์มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก มีค่าอยู่ระหว่าง 7 – 8.5 โดยพีเอชมีค่าค่อนข้างคงที่ ไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก หลังจากผ่านระยะ 0.45 ม. มาแล้ว และเมื่อพิจารณาจากทุกคอลัมน์ในทั้ง 3 ชุดการทดลอง พบว่า คอลัมน์ที่ไม่เติมสารอาหาร หรือ ชุดควบคุม จะมีพีเอชเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุดเพราะแทบจะไม่มีการย่อยสลายใดๆ คอลัมน์ที่เติมน้ำตาล พีเอชค่อนข้างคงที่หลังจากผ่านระยะ 0.45 ม. ส่วนในคอลัมน์ที่เติมนมถั่วเหลือง พีเอชจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตลอดความสูงของคอลัมน์ เนื่องจากการย่อยสลายโปรตีนจะเพิ่มสภาพด่างให้ระบบ

ตารางที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยพีเอชที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

ตัวแปร		พีเอช						
ความสูง (เมตร)		น้ำเสีย	0.45	0.9	1.1	1.3	1.65	น้ำทิ้ง
การทดลองชุดที่ 1	ชุดควบคุม	7.75	8.06	8.27	8.29	8.23	8.02	8.17
	น้ำตาล[1]	7.56	7.05	7.01	6.90	6.85	6.90	6.91
	น้ำตาล[2]	7.22	7.14	7.39	7.33	7.36	7.35	7.25
	นมถั่วเหลือง	7.45	7.34	7.33	7.25	7.28	7.39	7.37
การทดลองชุดที่ 2	ชุดควบคุม	8.22	8.20	8.23	8.19	8.19	8.15	8.17
	น้ำตาล[1]	8.14	7.30	7.23	7.23	7.30	7.30	7.40
	น้ำตาล[2]	8.22	7.59	7.48	7.50	7.53	7.62	7.54
	นมถั่วเหลือง	7.11	7.81	7.46	7.46	7.41	7.42	7.48
การทดลองชุดที่ 3	ชุดควบคุม	8.33	8.19	8.20	8.28	8.25	8.31	8.36
	น้ำตาล[1]	8.12	7.41	7.45	7.47	7.37	7.65	7.88
	น้ำตาล[2]	8.46	7.61	7.46	7.49	7.50	7.76	7.84
	นมถั่วเหลือง	8.66	7.74	7.68	7.74	7.70	7.98	8.10

น้ำตาล[1] เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เป็น 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีในน้ำกากส่า
น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับที่มีในนมถั่วเหลือง



รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงพีเอชตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

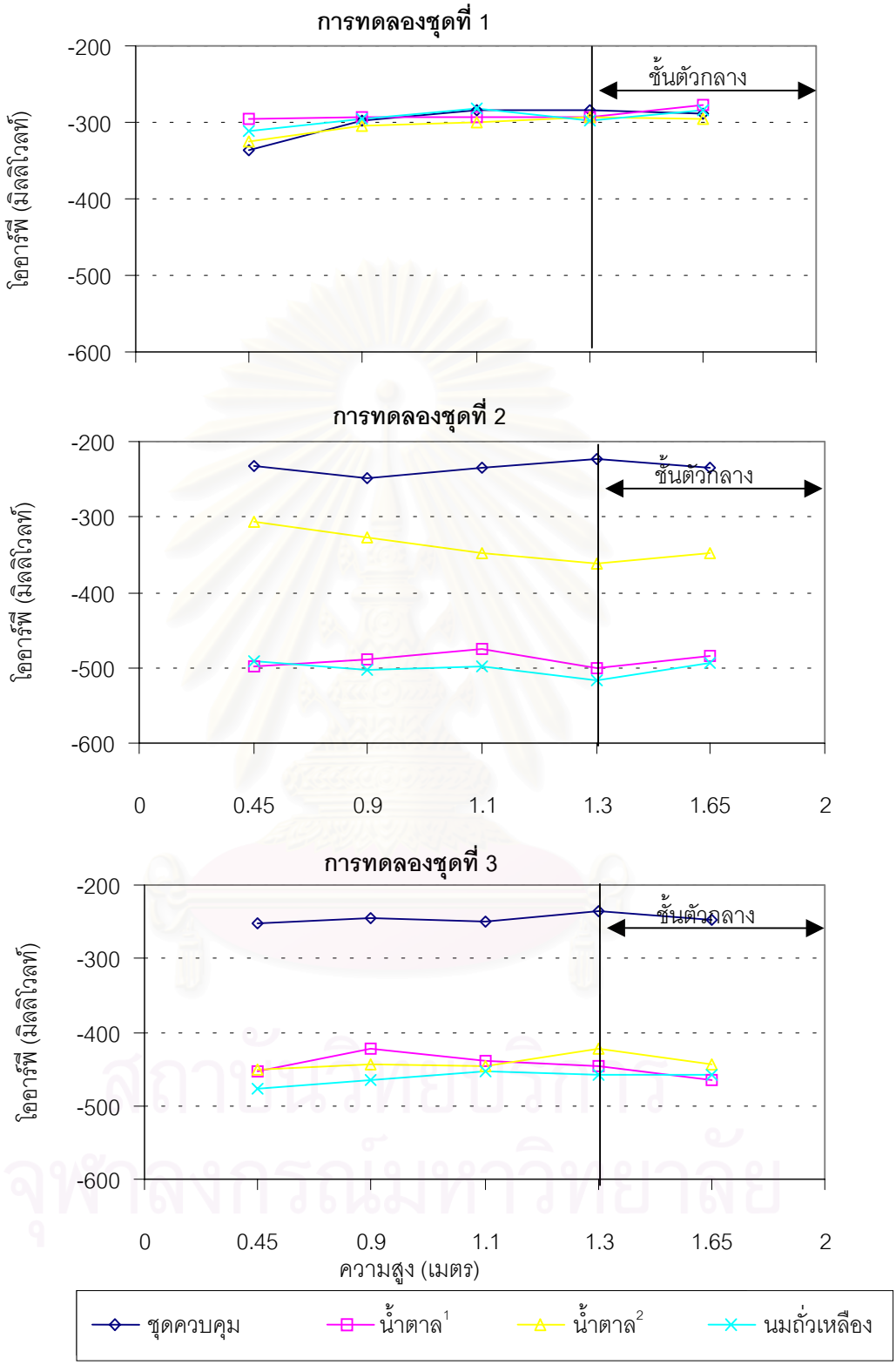
โออาร์พี

ตารางที่ 4.16 แสดงค่าเฉลี่ยโออาร์พี และ รูปที่ 4.14 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าโออาร์พีตามระยะความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี โดยในการทดลองชุดที่ 1 ค่าโออาร์พีจะต่ำสุดที่ระยะ 0.45 ม. และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนค่อนข้างคงที่ ประมาณ –290 มิลลิโวลท์ คล้ายๆ กันทุกคอลัมน์ ส่วนในการทดลองชุดที่ 2 และ 3 โออาร์พีค่อนข้างจะคงที่มากตลอดระยะความสูงของคอลัมน์ โดย ชุดควบคุม มีค่าโออาร์พีเฉลี่ยตลอดความสูงประมาณ –250 มิลลิโวลท์ ส่วนในคอลัมน์ที่เหลือมีค่าโออาร์พีเฉลี่ย ประมาณ -450 ถึง –500 มิลลิโวลท์ จากข้อมูลของโออาร์พีบ่งชี้ว่ามีการย่อยสลายแบบแอนแอโรบิกอย่างสมบูรณ์ตลอดความสูงของคอลัมน์

ตารางที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยโออาร์พีที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

ตัวแปร		โออาร์พี (มิลลิโวลท์)						
ความสูง (เมตร)		น้ำเสีย	0.45	0.9	1.1	1.3	1.65	น้ำทิ้ง
การทดลองชุดที่ 1	ชุดควบคุม	-	-336	-297	-285	-284	-289	-
	น้ำตาล[1]	-	-297	-293	-293	-293	-277	-
	น้ำตาล[2]	-	-326	-305	-301	-292	-294	-
	นมถั่วเหลือง	-	-311	-295	-283	-297	-284	-
การทดลองชุดที่ 2	ชุดควบคุม	-	-233	-248	-234	-222	-234	-
	น้ำตาล[1]	-	-499	-488	-474	-500	-485	-
	น้ำตาล[2]	-	-306	-326	-349	-363	-347	-
	นมถั่วเหลือง	-	-492	-504	-498	-516	-493	-
การทดลองชุดที่ 3	ชุดควบคุม	-	-251	-244	-249	-236	-248	-
	น้ำตาล[1]	-	-453	-423	-439	-445	-466	-
	น้ำตาล[2]	-	-450	-443	-445	-423	-458	-
	นมถั่วเหลือง	-	-478	-465	-453	-458	-458	-

น้ำตาล[1] เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เป็น 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีในน้ำกากส่า
น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับที่มีในนมถั่วเหลือง



รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงค่าโออาร์พีตามความสูง
ของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

4.3.2 ปริมาณกรดระเหยง่าย สภาพด่างทั้งหมด และ อัตราส่วนกรดระเหยง่ายต่อสภาพด่างทั้งหมด

กรดระเหยง่าย

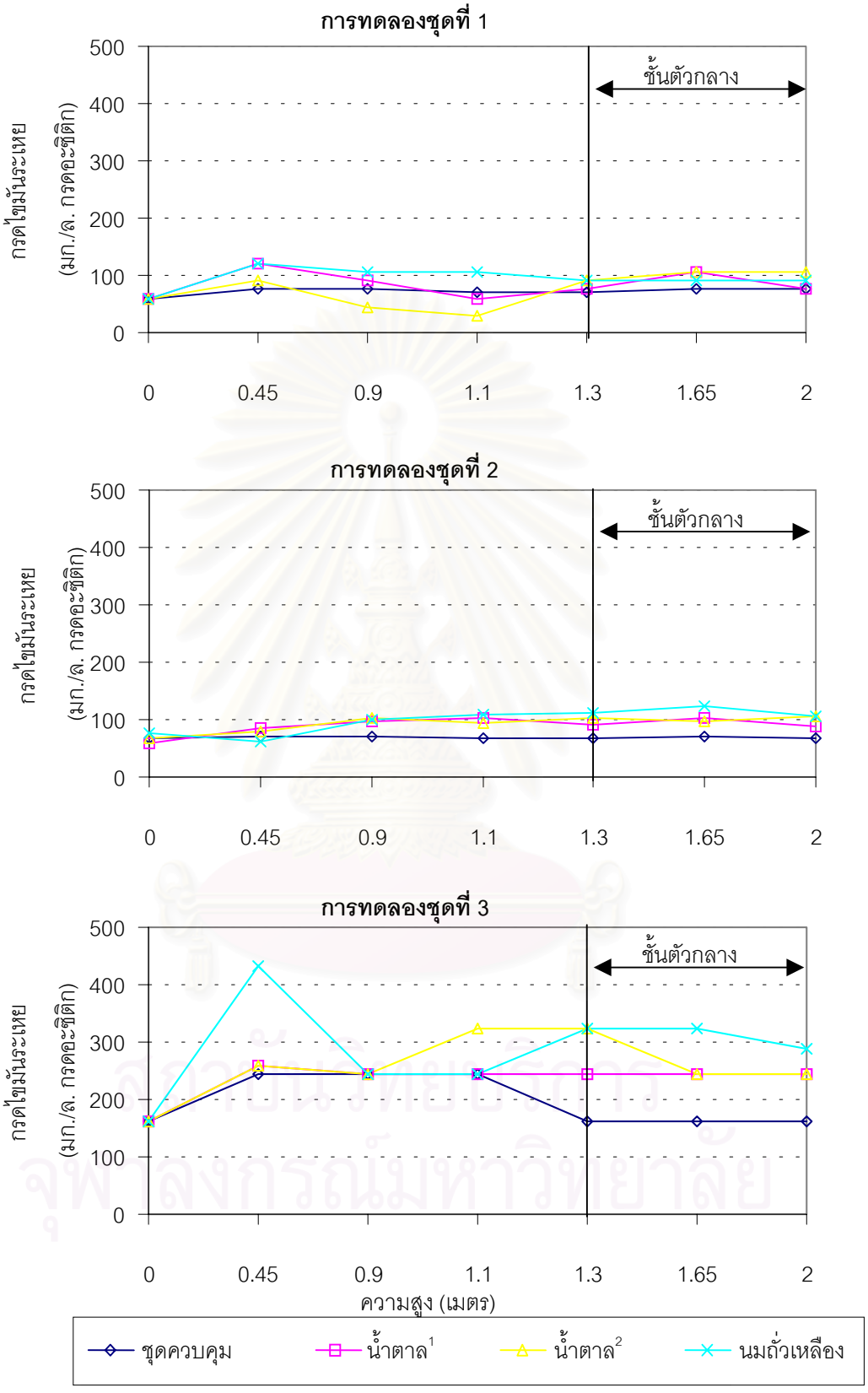
ตารางที่ 4.17 แสดงปริมาณกรดระเหยง่าย และ รูปที่ 4.16 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดระเหยง่ายตามระยะความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี จากการทดลองพบว่า ในการทดลองชุดที่ 1 จะมีกรดระเหยง่ายเกิดขึ้นมากในช่วง 0.45 ม. แรก ซึ่งเป็นส่วนของชั้นสลัดจ์ และระยะ 1.3 – 2.0 ม. ซึ่งเป็นชั้นของตัวกลางที่มีจุลินทรีย์มาเกาะ ก็จะมีกรดระเหยง่ายเพิ่มขึ้น ส่วนในการทดลองชุดที่ 2 และ 3 ซึ่งน่าจะมีชั้นสลัดจ์ที่มีความหนาแน่นสูงและคุ้นเคยกับน้ำเสียดีแล้ว จะเห็นได้ว่าปริมาณกรดระเหยง่ายที่ระยะ 0.45 ม. มีค่าใกล้เคียงกับปริมาณกรดระเหยง่ายในน้ำออก แสดงว่าที่ระยะระหว่าง 0 - 0.45 ม. เกิดการย่อยสลายแบบแอนแอโรบิกเกือบสมบูรณ์แล้ว

ตารางที่ 4.17 กรดระเหยง่ายที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

ตัวแปร		กรดระเหยง่าย (มก./ล. กรดอะซิติก)						
ความสูง (เมตร)		น้ำเสีย	0.45	0.9	1.1	1.3	1.65	น้ำทิ้ง
การทดลองชุดที่ 1	ชุดควบคุม	60	75	75	70	70	75	75
	น้ำตาล[1]	60	120	90	60	75	105	75
	น้ำตาล[2]	60	90	45	30	90	105	105
	นมถั่วเหลือง	60	120	105	105	90	90	90
การทดลองชุดที่ 2	ชุดควบคุม	69	71	71	69	69	71	69
	น้ำตาล[1]	60	84	98	102	90	102	87
	น้ำตาล[2]	69	78	102	93	102	98	105
	นมถั่วเหลือง	75	63	99	108	111	123	105
การทดลองชุดที่ 3	ชุดควบคุม	162	243	243	243	162	162	162
	น้ำตาล[1]	162	259	243	243	243	243	243
	น้ำตาล[2]	162	259	243	324	324	243	243
	นมถั่วเหลือง	162	432	243	243	324	324	288

น้ำตาล[1] เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เป็น 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีในน้ำกากส่า

น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับที่มีในนมถั่วเหลือง



รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงปริมาณกรดไขมันระเหยตามความสูง
ของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

สภาพด่างทั้งหมด

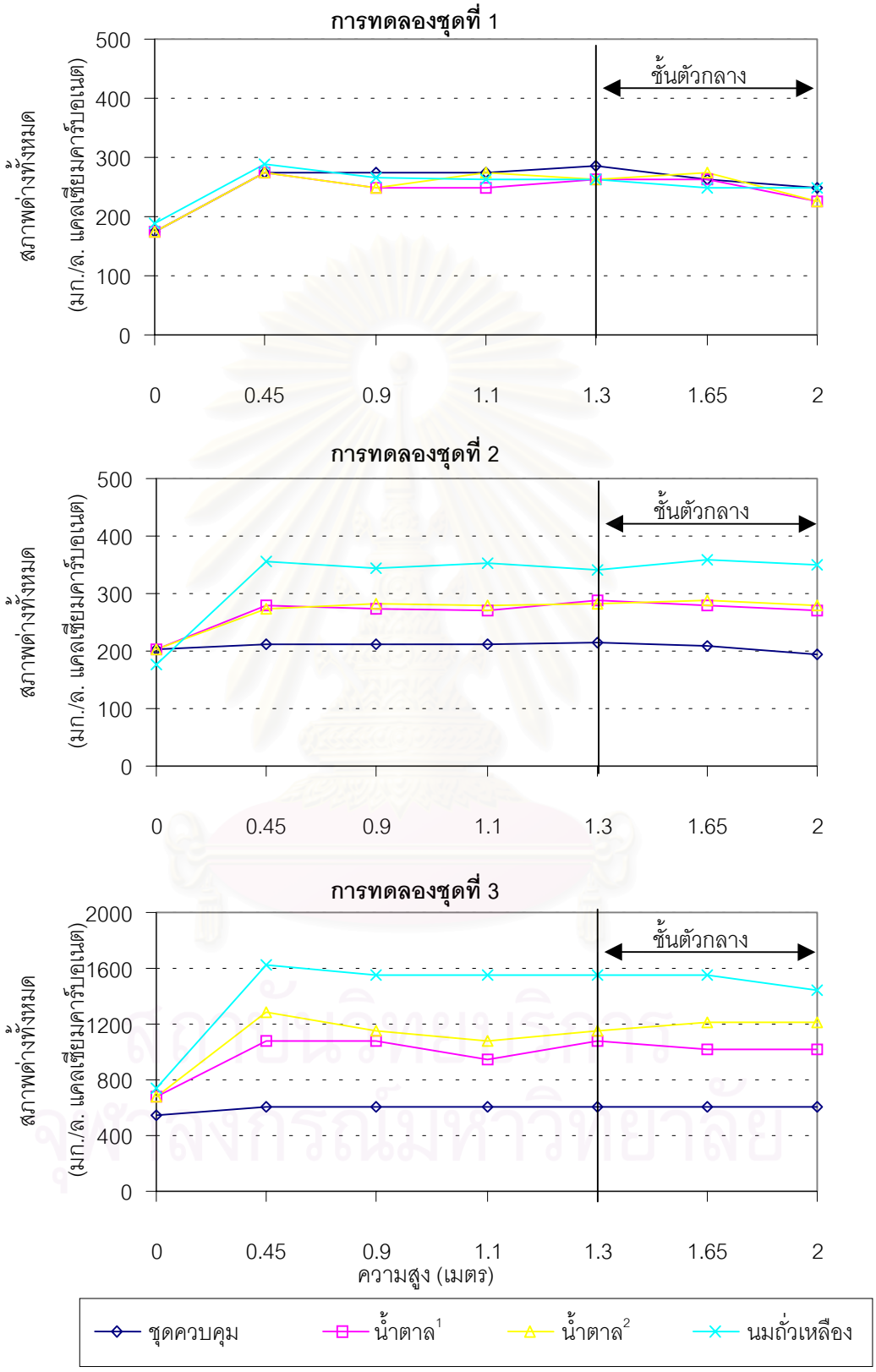
ตารางที่ 4.18 แสดงปริมาณสภาพด่างทั้งหมด และ รูปที่ 4.17 แสดงการเปลี่ยนแปลงสภาพด่างทั้งหมดตามระยะความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงของสภาพด่างทั้งหมดตามความสูงของคอลัมน์มีลักษณะเหมือนกันในทุกคอลัมน์ คือ สภาพด่างทั้งหมดจะมีค่าสูงสุดที่ระยะ 0.45 ม. หลังจากนั้นจะมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดความสูงของคอลัมน์ แสดงว่าที่ระยะระหว่าง 0 - 0.45 ม. เกิดการเปลี่ยนแปลงเพื่อสร้างสภาพด่างจนเกือบสมบูรณ์ และสอดคล้องกับปริมาณกรดระเหยง่ายที่ระยะหลัง 0.45 ม. ซึ่งแทบไม่มีปริมาณเพิ่มขึ้น จึงไม่ต้องมีการใช้สภาพด่างในน้ำเสียไปเป็นบัฟเฟอร์เพื่อรักษาสมดุล

ตารางที่ 4.18 สภาพด่างทั้งหมดที่ตำแหน่งต่างๆตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

ตัวแปร		สภาพด่างทั้งหมด (มก./ล. แคลเซียมคาร์บอเนต)						
ความสูง (เมตร)		น้ำเสีย	0.45	0.9	1.1	1.3	1.65	น้ำทิ้ง
การทดลองชุดที่ 1	ชุดควบคุม	175	275	275	275	286	263	250
	น้ำตาล[1]	175	275	250	250	263	263	225
	น้ำตาล[2]	175	275	250	275	263	275	225
	นมถั่วเหลือง	188	288	267	263	263	250	250
การทดลองชุดที่ 2	ชุดควบคุม	203	213	213	213	214	208	195
	น้ำตาล[1]	203	278	274	270	287	278	272
	น้ำตาล[2]	203	275	282	280	282	287	278
	นมถั่วเหลือง	175	355	345	353	340	358	350
การทดลองชุดที่ 3	ชุดควบคุม	540	608	608	608	608	608	608
	น้ำตาล[1]	675	1080	1080	945	1080	1013	1013
	น้ำตาล[2]	675	1283	1148	1080	1148	1215	1215
	นมถั่วเหลือง	743	1620	1553	1553	1553	1553	1440

น้ำตาล[1] เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เป็น 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีในน้ำกากส่า

น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับที่มีในนมถั่วเหลือง



รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงสภาพด่างตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

อัตราส่วนกรดระเหยง่ายต่อสภาพด่างทั้งหมด

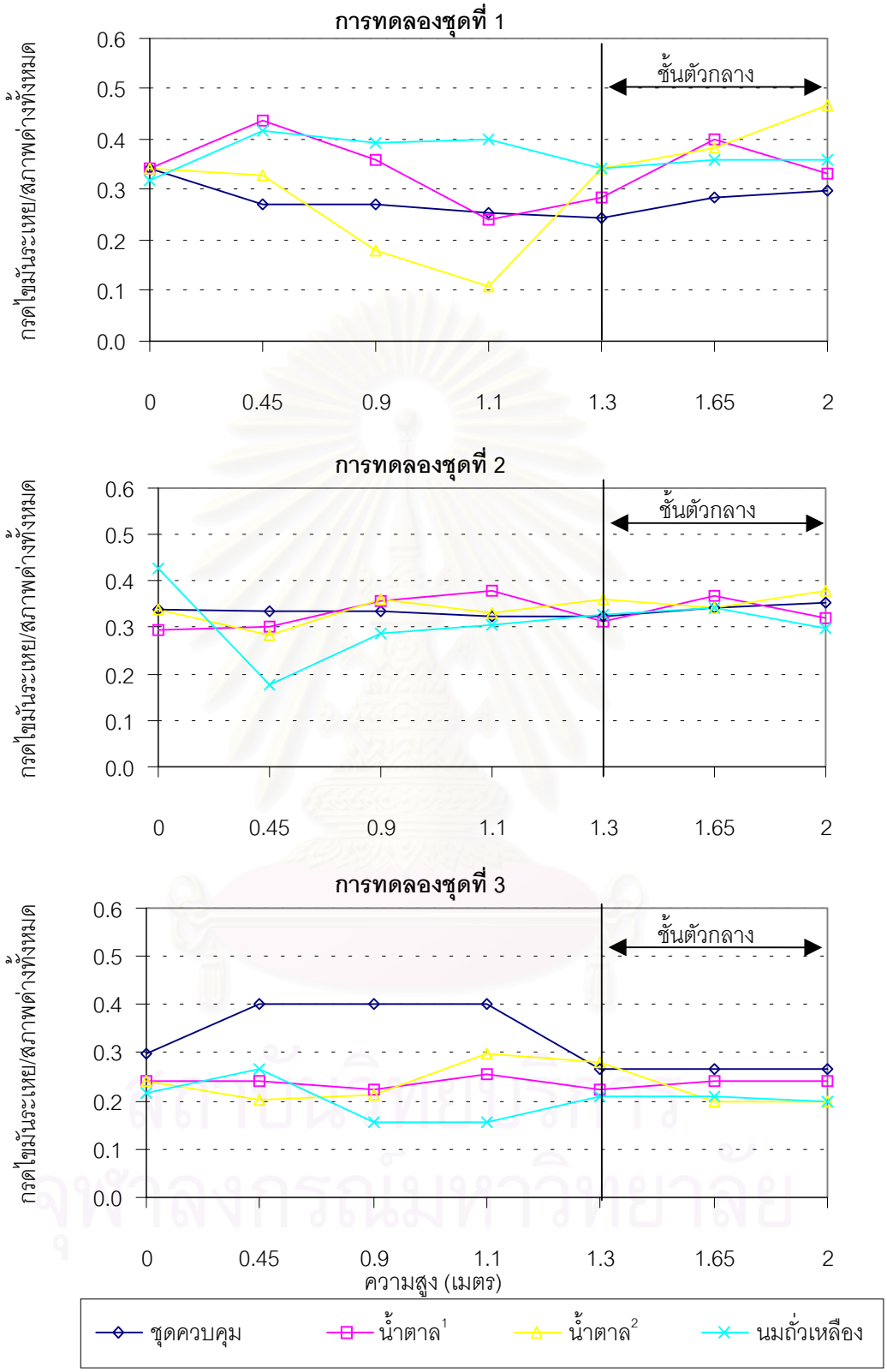
ตารางที่ 4.19 แสดงอัตราส่วนกรดระเหยง่ายต่อสภาพด่างทั้งหมด และ รูปที่ 4.18 แสดงการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนกรดระเหยง่ายต่อสภาพด่างทั้งหมดตามระยะความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี จากการทดลองจะเห็นได้ว่าการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนกรดระเหยง่ายต่อสภาพด่างทั้งหมดอยู่ในช่วง 0.1 – 0.4 แสดงให้เห็นว่าระบบมีบัฟเฟอร์เพียงพอ ที่ไม่ทำให้ค่าพีเอชลดลงอย่างรวดเร็ว โดยมีค่าสูงสุดที่ระยะระหว่าง 0 - 0.45 ม. เนื่องจากที่ระยะ 0.45 ม. ก็ไม่มีความแตกต่างที่ชัดเจนกับที่ความสูงจุดอื่น ๆ แล้ว และหลังจากระยะ 0.45 ม. อัตราส่วนกรดระเหยง่ายต่อสภาพด่างทั้งหมดก็ค่อนข้างคงที่

ตารางที่ 4.19 อัตราส่วนกรดระเหยง่ายต่อสภาพด่างทั้งหมดที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

ตัวแปร		อัตราส่วนกรดระเหยง่ายต่อสภาพด่างทั้งหมด						
ความสูง (เมตร)		น้ำเสีย	0.45	0.9	1.1	1.3	1.65	น้ำทิ้ง
การทดลองชุดที่ 1	ชุดควบคุม	0.34	0.27	0.27	0.25	0.24	0.29	0.30
	น้ำตาล[1]	0.34	0.44	0.36	0.24	0.29	0.40	0.33
	น้ำตาล[2]	0.34	0.33	0.18	0.11	0.34	0.38	0.47
	นมถั่วเหลือง	0.32	0.42	0.39	0.40	0.34	0.36	0.36
การทดลองชุดที่ 2	ชุดควบคุม	0.34	0.33	0.33	0.32	0.32	0.34	0.35
	น้ำตาล[1]	0.30	0.30	0.36	0.38	0.31	0.37	0.32
	น้ำตาล[2]	0.34	0.28	0.36	0.33	0.36	0.34	0.38
	นมถั่วเหลือง	0.43	0.18	0.29	0.31	0.33	0.34	0.30
การทดลองชุดที่ 3	ชุดควบคุม	0.30	0.40	0.40	0.40	0.27	0.27	0.27
	น้ำตาล[1]	0.24	0.24	0.23	0.26	0.23	0.24	0.24
	น้ำตาล[2]	0.24	0.20	0.21	0.30	0.28	0.20	0.20
	นมถั่วเหลือง	0.22	0.27	0.16	0.16	0.21	0.21	0.20

น้ำตาล[1] เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เป็น 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีในน้ำกากส่า

น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับที่มีในนมถั่วเหลือง



รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงกรดระเหยง่ายต่อสภาพด่างตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

4.3.3 ตะกอนแขวนลอย และ ตะกอนโวลาไทล์

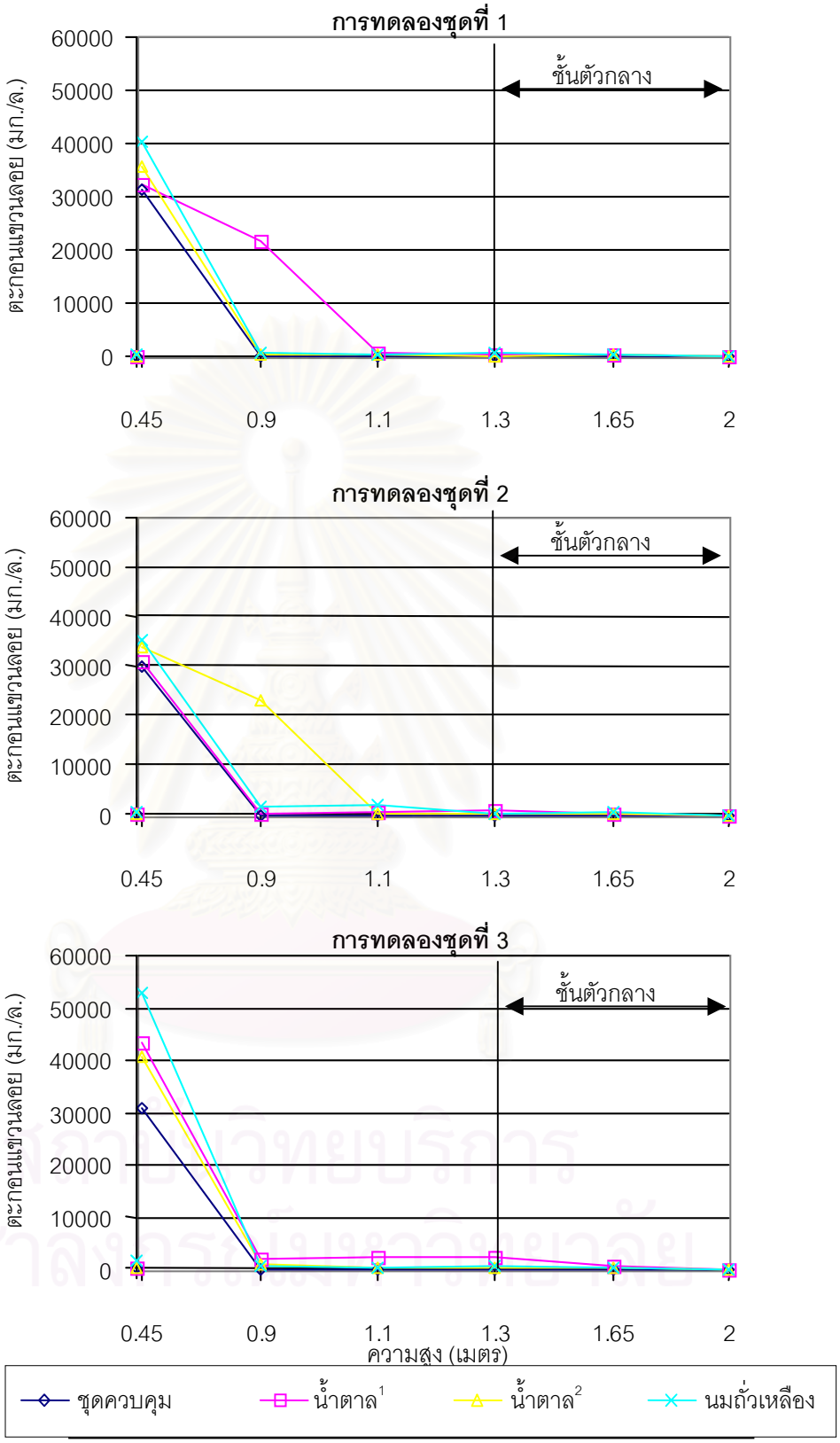
ตารางที่ 4.20 และ 4.21 แสดงความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยและตะกอนโวลาไทล์ และ รูปที่ 4.19 และ 4.20 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยและตะกอนโวลาไทล์ตามระยะความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี จากการทดลองจะเห็นได้ว่าที่ระยะ 0.45 ม. จากต้นคอลัมน์จะมีความเข้มข้นของตะกอนสูงสุด เนื่องจากเป็นส่วนของชั้นสลัดจ์ หลังจากระยะ 0.45 ม. ไปแล้วความเข้มข้นของตะกอนมีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตามที่ระยะ 1.3 – 2.0 ม. ซึ่งเป็นชั้นของตัวกลาง เมื่อเปรียบเทียบกับ ระยะ 0.9 – 1.3 ม.ซึ่งเป็นช่องว่างระหว่างชั้นสลัดจ์กับชั้นตัวกลาง มีความเข้มข้นของตะกอนไม่แตกต่างกันมากนัก และ มีค่าต่ำมากเมื่อเทียบกับชั้นสลัดจ์ นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีและสียังต่ำมากในช่วงของชั้นตัวกลาง (แต่ก็อาจจะเป็นเพราะในน้ำเสียมีสารอินทรีย์เหลือน้อยมากเมื่อมาถึงระยะที่มีตัวกลาง) จึงไม่สามารถยืนยันถึงประสิทธิภาพในการทำงานของตัวกลางได้ แต่อาจมีประโยชน์ในแง่ที่สามารถลดตะกอนที่หลุดออกมากับน้ำทิ้งได้ดี ดังนั้นถ้าเปลี่ยนมาใช้ GSS แทนอาจจะดีกว่าในแง่ความประหยัด

ตารางที่ 4.20 ความเข้มข้นของตะกอนแขวนลอยที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

ตัวแปร		ตะกอนแขวนลอย (มก./ล.)					
ความสูง (เมตร)		0.45	0.9	1.1	1.3	1.65	น้ำทิ้ง
การทดลองชุดที่ 1	ชุดควบคุม	31400	40	30	23	20	23
	น้ำตาล[1]	32500	21700	580	333	345	70
	น้ำตาล[2]	35600	433	225	153	170	53
	นมถั่วเหลือง	40300	538	388	518	213	63
การทดลองชุดที่ 2	ชุดควบคุม	30050	35	30	30	28	28
	น้ำตาล[1]	30900	510	675	1070	390	90
	น้ำตาล[2]	34100	23150	345	323	245	30
	นมถั่วเหลือง	35450	1665	1985	465	603	80
การทดลองชุดที่ 3	ชุดควบคุม	30800	70	30	30	28	23
	น้ำตาล[1]	43280	1910	2465	2310	830	75
	น้ำตาล[2]	40700	1155	355	215	222	30
	นมถั่วเหลือง	52880	618	383	593	278	49

น้ำตาล[1] เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เป็น 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีในน้ำกากส่า

น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับที่มีในนมถั่วเหลือง



รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตะกอนแขวนลอยตามความสูง ของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

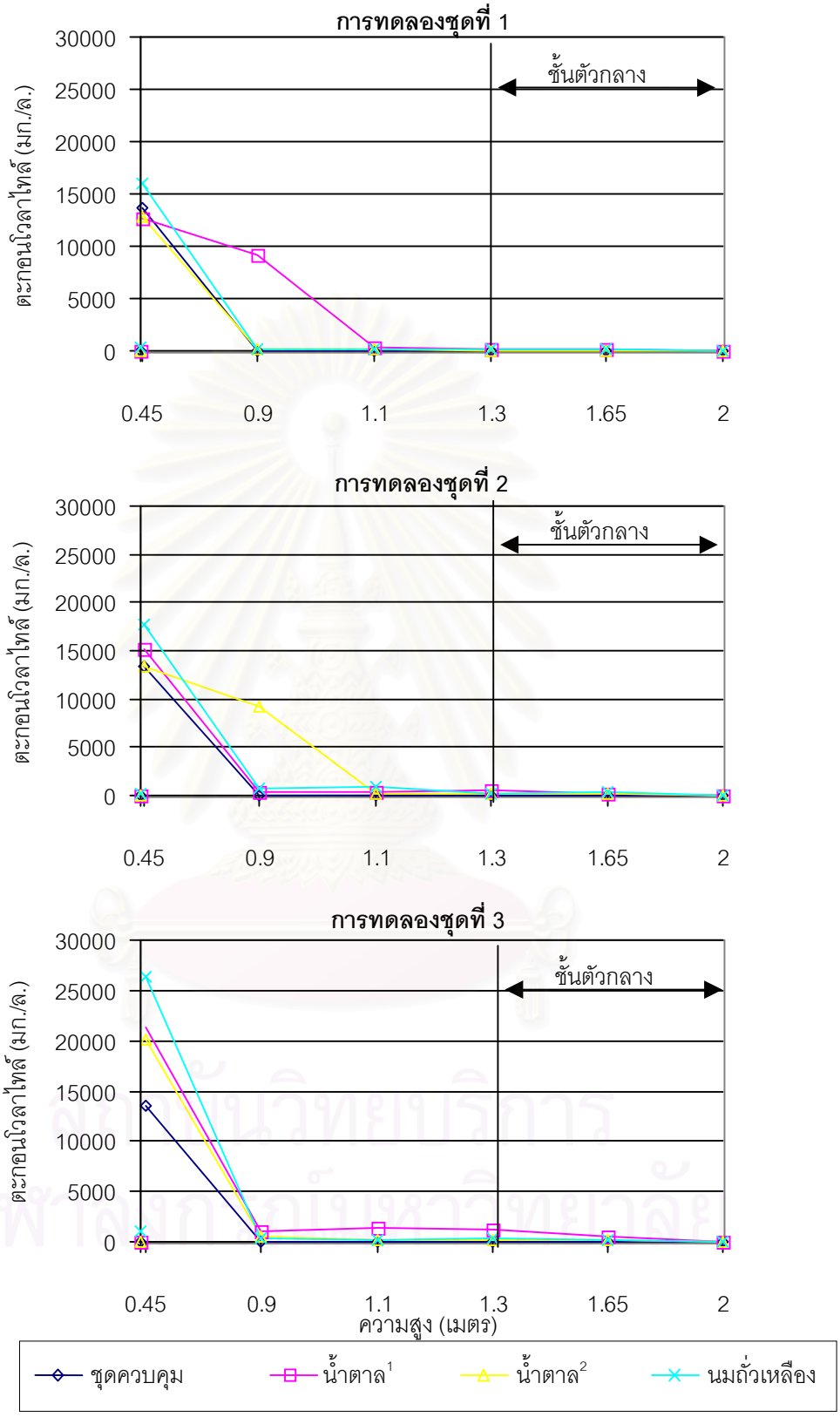
ตารางที่ 4.21 ความเข้มข้นของตะกอนโวลาไทล์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

ตัวแปร		ตะกอนโวลาไทล์ (มก./ล.)					
ความสูง (เมตร)		0.45	0.9	1.1	1.3	1.65	น้ำทิ้ง
การทดลองชุดที่ 1	ชุดควบคุม	13750	28	20	17	13	20
	น้ำตาล[1]	12700	9100	270	148	145	30
	น้ำตาล[2]	12800	175	98	75	83	38
	นมถั่วเหลือง	16000	243	183	230	103	48
การทดลองชุดที่ 2	ชุดควบคุม	13350	28	25	20	25	20
	น้ำตาล[1]	15250	280	363	543	235	70
	น้ำตาล[2]	13350	9150	140	133	108	23
	นมถั่วเหลือง	17650	785	975	223	290	63
การทดลองชุดที่ 3	ชุดควบคุม	13600	48	20	20	25	23
	น้ำตาล[1]	21360	1048	1325	1175	500	58
	น้ำตาล[2]	20200	525	163	120	145	23
	นมถั่วเหลือง	26320	293	188	285	133	38

น้ำตาล[1] เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เป็น 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีในน้ำกากส่า

น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับที่มีในนมถั่วเหลือง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นตะกอนโวลาไทล์ตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

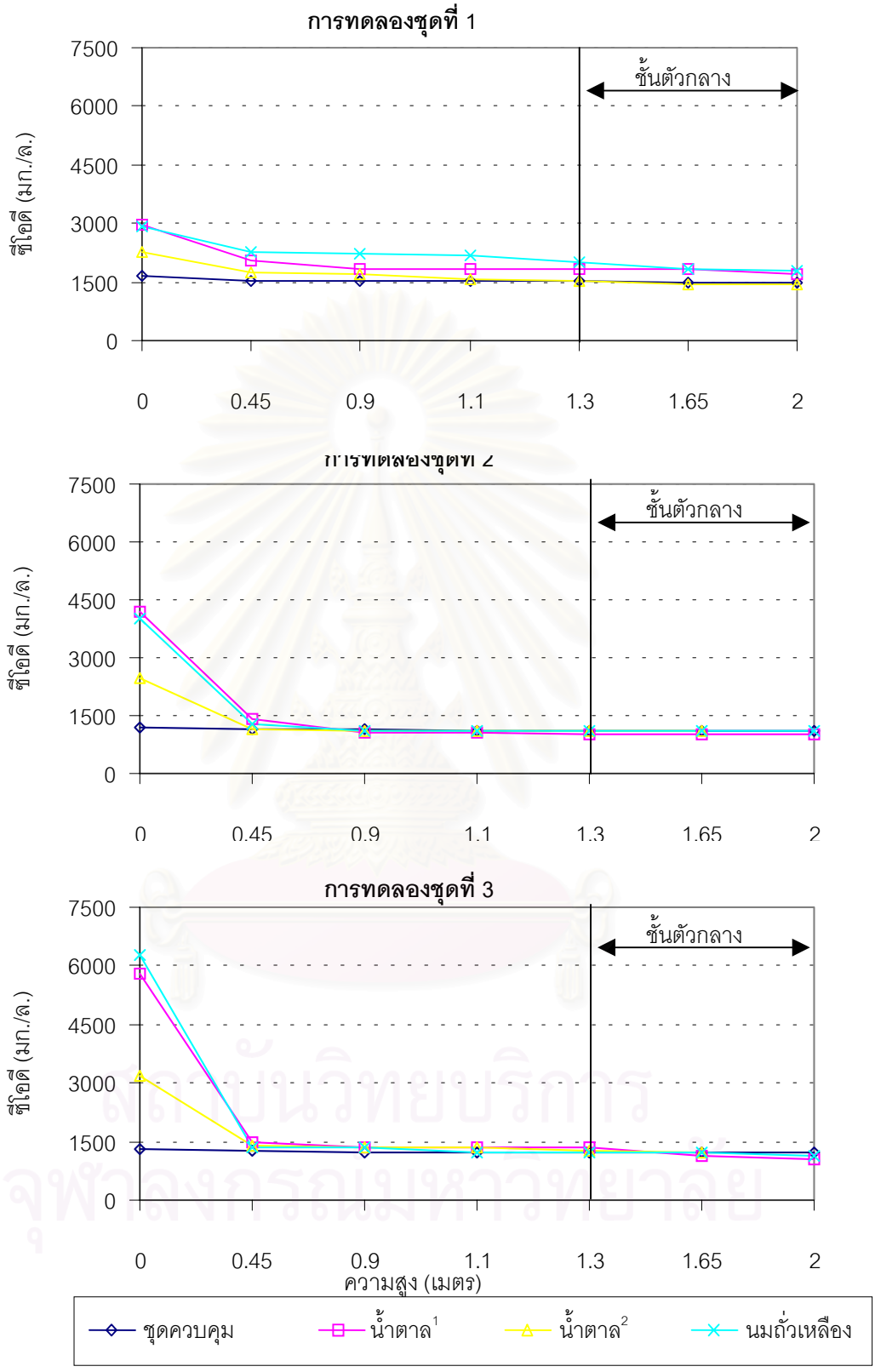
4.3.4 ซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

ตารางที่ 4.22 และ 4.23 แสดงความเข้มข้นของซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี และ รูปที่ 4.21 และ 4.22 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของซีโอดีและประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีตามระยะความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าการลดลงของความเข้มข้นซีโอดีเกือบทั้งหมดเกิดขึ้นที่ตอนล่างของถัง 0 – 0.45 ม. หลังจากระยะ 0.45 ม. ขึ้นไป มีการลดลงของซีโอดีน้อยมาก ยกเว้นในการทดลองชุดที่ 1 ซึ่งแบคทีเรียอาจจะยังไม่คุ้นเคยกับน้ำเสีย จากประสิทธิภาพการบำบัดที่แสดงดังตาราง 4.45 แสดงให้เห็นว่าระบบยังสามารถรับภาระบรรทุกสารอินทรีย์ได้อีกมาก

ตารางที่ 4.22 ความเข้มข้นซีโอดีที่ตำแหน่งต่างๆ ตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

ตัวแปร		ซีโอดี (มก./ล.)						
ความสูง (เมตร)		น้ำเสีย	0.45	0.9	1.1	1.3	1.65	น้ำทิ้ง
การทดลองชุดที่ 1	ชุดควบคุม	1640	1520	1520	1520	1520	1480	1480
	น้ำตาล[1]	2960	2040	1840	1840	1840	1840	1680
	น้ำตาล[2]	2280	1760	1720	1560	1520	1440	1440
	นมถั่วเหลือง	2940	2260	2200	2180	2020	1820	1780
การทดลองชุดที่ 2	ชุดควบคุม	1200	1160	1160	1120	1120	1120	1120
	น้ำตาล[1]	4200	1400	1067	1067	1000	1000	1000
	น้ำตาล[2]	2480	1160	1120	1120	1120	1120	1080
	นมถั่วเหลือง	4032	1280	1088	1088	1088	1088	1088
การทดลองชุดที่ 3	ชุดควบคุม	1320	1280	1240	1240	1200	1200	1200
	น้ำตาล[1]	5800	1467	1333	1333	1333	1133	1067
	น้ำตาล[2]	3175	1400	1333	1333	1267	1200	1200
	นมถั่วเหลือง	6300	1333	1333	1200	1200	1200	1133

น้ำตาล[1] เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เป็น 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีในน้ำกากส่า
น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับที่มีในนมถั่วเหลือง



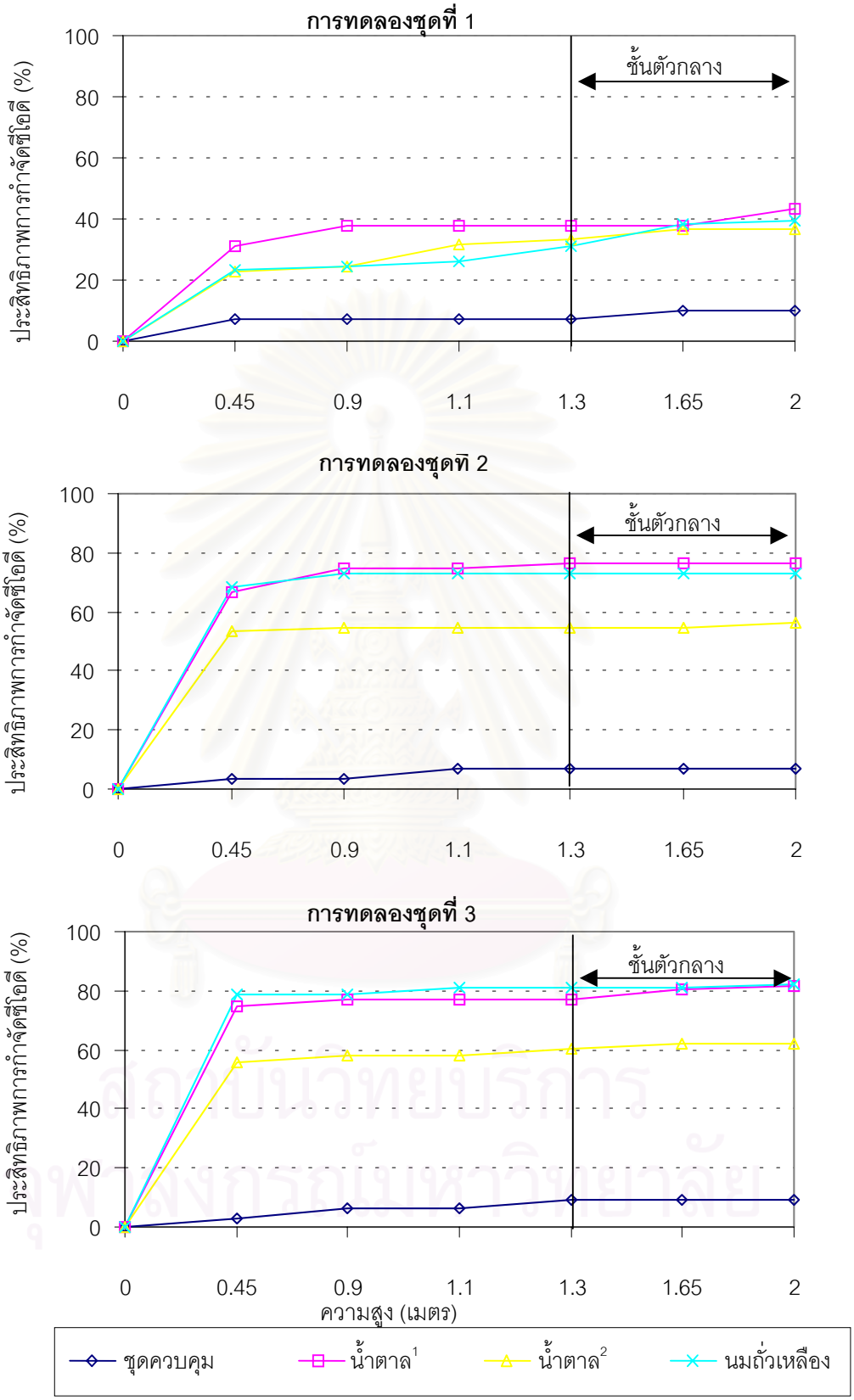
รูปที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงค่าซีโอดีตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

ตารางที่ 4.23 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีที่ตำแหน่งต่าง ๆ ตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

ตัวแปร		ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี (เปอร์เซนต์)						
ความสูง (เมตร)		น้ำเสีย	0.45	0.9	1.1	1.3	1.65	น้ำทิ้ง
การทดลองชุดที่ 1	ชุดควบคุม	0	7	7	7	7	10	10
	น้ำตาล[1]	0	31	38	38	38	38	43
	น้ำตาล[2]	0	23	25	32	33	37	37
	นมถั่วเหลือง	0	23	24	26	31	38	39
การทดลองชุดที่ 2	ชุดควบคุม	0	3	3	7	7	7	7
	น้ำตาล[1]	0	67	75	75	76	76	76
	น้ำตาล[2]	0	53	55	55	55	55	56
	นมถั่วเหลือง	0	68	73	73	73	73	73
การทดลองชุดที่ 3	ชุดควบคุม	0	3	6	6	9	9	9
	น้ำตาล[1]	0	75	77	77	77	80	82
	น้ำตาล[2]	0	56	58	58	60	62	62
	นมถั่วเหลือง	0	79	79	81	81	81	82

น้ำตาล[1] เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เป็น 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีในน้ำกากส่า
น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับที่มีในนมถั่วเหลือง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.22 การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีตามความสูง
ของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

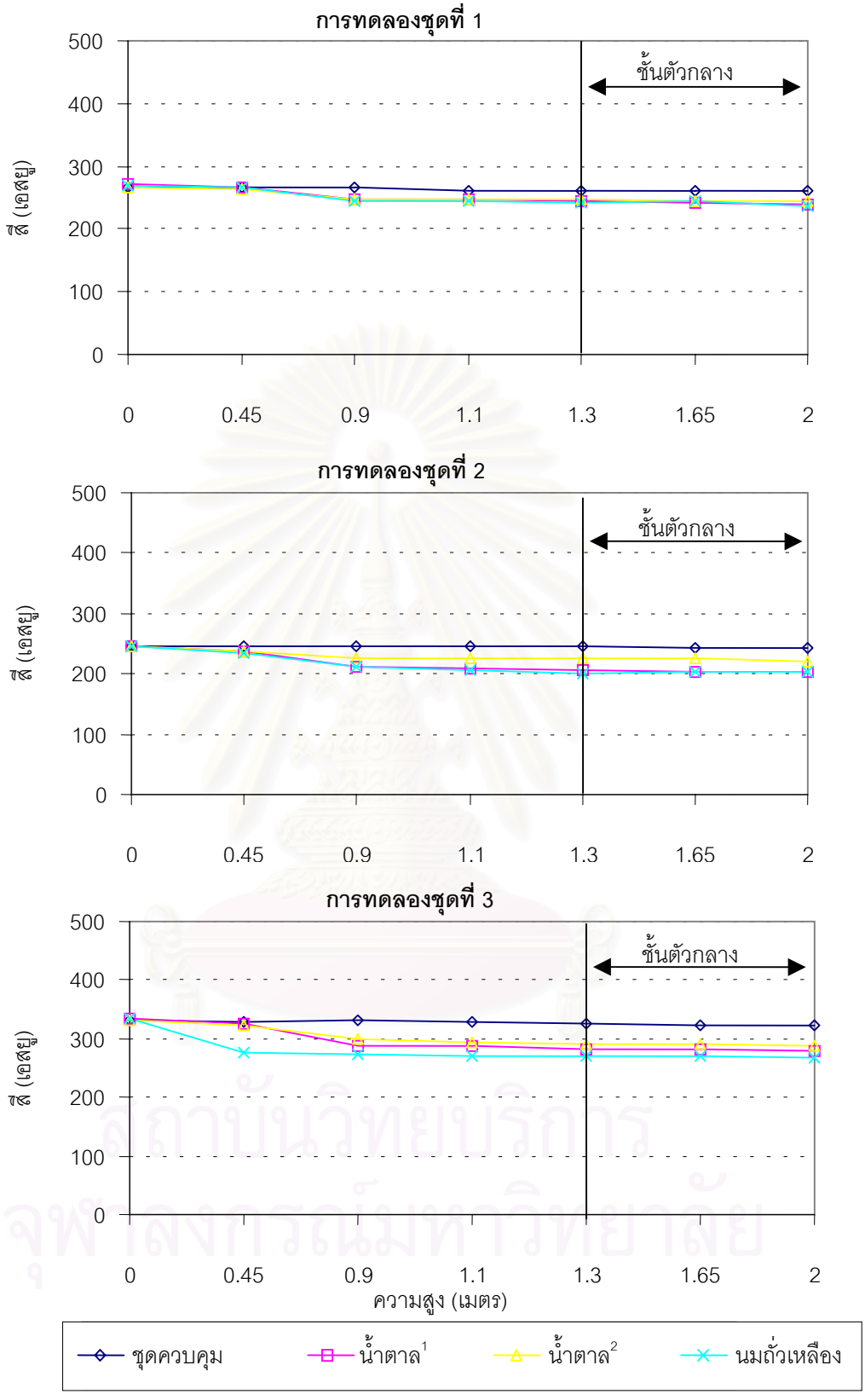
4.3.5 สีและประสิทธิภาพการกำจัดสี

ตารางที่ 4.24 และ 4.25 แสดงความเข้มสีและประสิทธิภาพการกำจัดสี และ รูปที่ 4.23 และ 4.24 แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มสีและประสิทธิภาพการกำจัดสีตามระยะความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี ตามลำดับ จากตารางประสิทธิภาพการกำจัดสีจะเห็นได้ว่าการกำจัดสีส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ด้านล่างของคอลัมน์ คือที่ระยะ 0.45 – 0.90 ม. ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการกำจัดสีอาจจะไม่เกี่ยวข้องกับการกำจัดซีโอดี เนื่องจากการกำจัดซีโอดีส่วนใหญ่เกิดขึ้นที่ระยะความสูง 0 – 0.45 ม. ยกเว้นในคอลัมน์ที่ใช้นมถั่วเหลืองเป็นสารอาหาร ในการทดลองชุดที่ 3

ตารางที่ 4.24 ความเข้มสีที่ตำแหน่งต่างๆ ตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

ตัวแปร		สี (เอสยู)						
ความสูง (เมตร)		น้ำเสีย	0.45	0.9	1.1	1.3	1.65	น้ำทิ้ง
การทดลองชุดที่ 1	ชุดควบคุม	266	267	267	262	262	260	260
	น้ำตาล[1]	271	267	248	248	246	242	239
	น้ำตาล[2]	267	263	246	246	246	245	245
	นมถั่วเหลือง	270	267	244	244	243	244	235
การทดลองชุดที่ 2	ชุดควบคุม	245	245	245	245	245	244	243
	น้ำตาล[1]	245	237	213	208	207	204	204
	น้ำตาล[2]	247	238	227	227	226	225	222
	นมถั่วเหลือง	245	234	213	206	202	203	203
การทดลองชุดที่ 3	ชุดควบคุม	330	329	330	328	326	324	324
	น้ำตาล[1]	334	325	289	288	282	281	279
	น้ำตาล[2]	330	324	299	293	290	291	288
	นมถั่วเหลือง	334	276	272	271	269	270	266

น้ำตาล[1] เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เป็น 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีในน้ำกากส่า
น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับที่มีในนมถั่วเหลือง



รูปที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงความเข้มสีตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

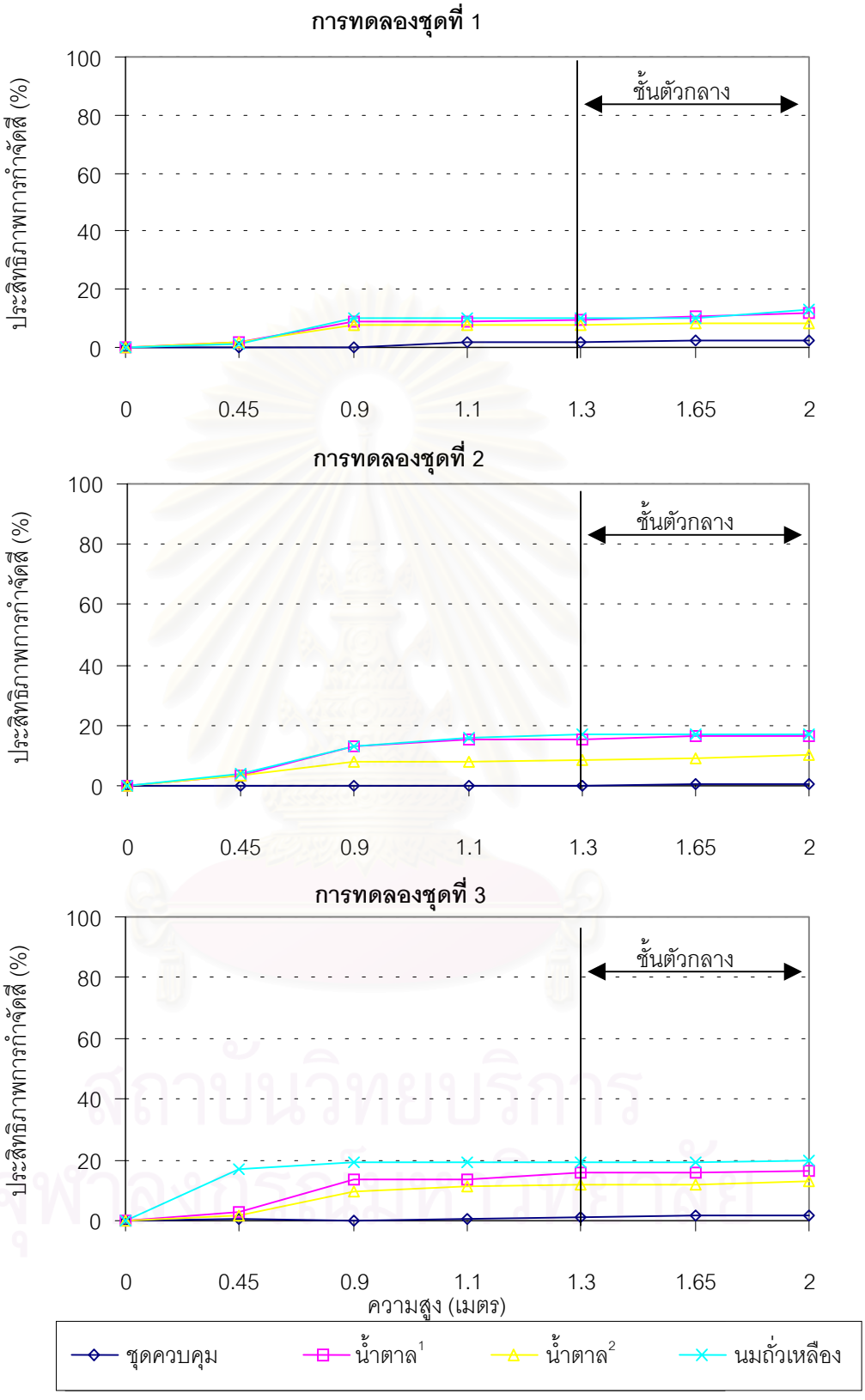
ตารางที่ 4.25 ประสิทธิภาพการกำจัดสีที่ตำแหน่งต่างๆ ตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

ตัวแปร		ประสิทธิภาพการกำจัดสี (เปอร์เซนต์)						
ความสูง (เมตร)		น้ำเสีย	0.45	0.9	1.1	1.3	1.65	น้ำทิ้ง
การทดลองชุดที่ 1	ชุดควบคุม	0	0	0	2	2	3	3
	น้ำตาล[1]	0	2	9	9	9	11	12
	น้ำตาล[2]	0	1	8	8	8	8	8
	นมถั่วเหลือง	0	1	10	10	10	10	13
การทดลองชุดที่ 2	ชุดควบคุม	0	0	0	0	0	1	1
	น้ำตาล[1]	0	3	13	15	16	17	17
	น้ำตาล[2]	0	4	8	8	9	9	10
	นมถั่วเหลือง	0	4	13	16	17	17	17
การทดลองชุดที่ 3	ชุดควบคุม	0	0	0	1	1	2	2
	น้ำตาล[1]	0	3	13	14	16	16	16
	น้ำตาล[2]	0	2	9	11	12	12	13
	นมถั่วเหลือง	0	17	19	19	19	19	20

น้ำตาล[1] เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เป็น 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีในน้ำกากส่า

น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับที่มีในนมถั่วเหลือง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพการกำจัดสีตามความสูง
ของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการศึกษา ผลของสารอาหารปฐมภูมิต่อการกำจัดสีในน้ำกากส่าด้วยระบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี ใช้ถังปฏิกรณ์ จำนวน 4 ชุด ซึ่งทำด้วยพีวีซี รูปทรงกระบอกสูง 2.00 ม. มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.084 ม. พื้นที่หน้าตัดประมาณ 0.0055 ตร.ม. มีปริมาตรประมาณ 0.01385 ลบ.ม. และบรรจุตัวกลางชนิดเดียวกันลอยอยู่ 1 ใน 3 ของ ถัง โดยความสูงของตัวกลางเท่ากับ 0.70 ม. โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ชุดการทดลอง โดยตัวแปรอิสระที่ทำการศึกษา ได้แก่ ชนิดของสารอาหารปฐมภูมิ และ ปริมาณของสารอาหารปฐมภูมิ ได้แก่ น้ำตาล และ นมถั่วเหลืองแทนเติม โดยแบ่งการทดลองเป็น 3 ชุดการทดลอง แต่ละการทดลองจะเติมสารอาหารปฐมภูมิเป็น 1 เท่า 2 เท่า และ 3 เท่า ของ ซีโอดีจากน้ำกากส่า คิดเป็นภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.62, 2.43 และ 3.24 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยซีโอดีจากน้ำกากส่า คือ 1,500 มก./ล. และป้อนน้ำเสียแบบไหลขึ้นด้วยอัตรา 7.5 ลิตร/วัน คิดเป็นเวลาเก็บกักน้ำเสีย 36 ชั่วโมง ซึ่งได้ผลสรุปต่าง ๆ ดังนี้

1. การเติมสารอาหารในระบบมีผลต่อการเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดสี ผลการทดลองชุดที่ 1 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีของชุดควบคุม น้ำตาล[1] น้ำตาล[2] และ นมถั่วเหลือง เท่ากับ 0%, 10%, 8% และ 5% ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.81,1.62, 1.15 และ 1.62 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ โดยมีค่าความเข้มสีน้ำเสียเข้าระบบ 261 เอสยู น้ำผ่านการบำบัดมีค่าความเข้มสี 261, 237, 243 และ 248 เอสยู ตามลำดับ ผลการทดลองชุดที่ 2 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีของชุดควบคุม น้ำตาล[1] น้ำตาล[2] และ นมถั่วเหลือง เท่ากับ 0%, 13%, 6% และ 9% ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.81, 2.43, 1.49 และ 2.43 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วันตามลำดับ โดยมีค่าความเข้มสีน้ำเสียเข้าระบบ 247 เอสยู น้ำผ่านการบำบัดมีค่าความเข้มสี 247, 214, 233 และ 226 เอสยู ตามลำดับ ผลการทดลองชุดที่ พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดสีของชุดควบน้ำตาล[1] น้ำตาล[2] และ นมถั่วเหลือง เท่ากับ 0%, 13%, 11% และ 15% ที่ภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 0.81, 3.24, 1.83 และ 3.24 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน ตามลำดับ น้ำผ่านการบำบัดมีค่าความเข้มสี 328, 281, 289 และ 276 เอสยู ตามลำดับ

น้ำตาล[1] เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหาร เป็น 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีในน้ำกากส่า

น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับที่มีในนมถั่วเหลือง

2. ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี ในทั้ง 3 ชุดการทดลอง มีสัดส่วนซีโอดีที่ถูกกำจัดเป็นสัดส่วนที่ใกล้เคียงกับสารอาหารที่เติม ซึ่งแสดงว่าสารอาหารที่เติมถูกย่อยสลายจนไปเกือบหมด

3. การกำจัดสีอาจไม่เกี่ยวข้องกับการกำจัดซีโอดีเนื่องจากช่วงที่มีกำจัดซีโอดีได้สูงสุด คือ ระยะ 0 - 0.45 ม. และ ช่วงที่มีการกำจัดสีสูงสุดอยู่ในระยะ 0.45 - 0.90 ม.

4. อัตราส่วนการเติมซีโอดีจากสารอาหารต่อซีโอดีจากน้ำกากส่าที่เหมาะสมที่สุดคือ 1 ต่อ 1 ของซีโอดีจากน้ำกากส่า คิดเป็นภาระบรรทุกสารอินทรีย์ 1.62 กก.ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เนื่องจากให้ผลคุ้มค่าที่สุดต่อการกำจัดสี การเพิ่มอัตราส่วนซีโอดีจากสารอาหารต่อซีโอดีจากน้ำกากส่า ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดสีที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ และ น้ำตาลเป็นสารอาหารที่ดีกว่า ในแง่ราคา ความสะดวกในการเตรียม และ การซื้อ

5. ตัวกลางไม่มีผลต่อการกำจัดสีและซีโอดีอย่างมีนัยสำคัญ แต่มีส่วนช่วยลดปริมาณตะกอนแขวนลอยที่หลุดออกมาได้ดี

5.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

จากการทดลองเดินระบบไร้ออกซิเจนแบบแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี โดยการเติมสารอาหารปฐมภูมิเพื่อกำจัดสีจากน้ำกากส่า พบว่ามีประเด็นที่ควรมีการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

1. ควรทำการศึกษาการใช้สารอาหารอื่นที่สามารถนำไปใช้งานจริงกับระบบบำบัดน้ำเสียขนาดใหญ่ โดยพิจารณาทั้งด้านประสิทธิภาพการกำจัดสีและความเป็นไปได้ในการใช้งาน ซึ่งควรเป็นสารอาหารที่มีราคาถูก จัดหาได้ง่าย และ มีวิธีการป้อนสารอาหารให้แก่ระบบไม่ยุ่งยาก

2. ควรทำการทดลองทางเคมีบำบัด

2.1 การใช้โอโซน หรือ ยูวี โดยหาปริมาณและเวลาทำปฏิกิริยาที่เหมาะสม

2.2 การใช้สารออกซิไดซ์รุนแรง เช่น กรด หรือ ด่าง เข้มข้น

3. เพิ่มถังสร้างกรด ก่อนให้น้ำเสียเข้าระบบบำบัด ซึ่งอาจจะมีผลทำให้เกิดการตกตะกอนของเม็ดสีในน้ำกากส่าได้

4. ใช้น้ำทิ้งจากโรงงานอื่น ๆ เป็น สารอาหารแทน เพื่อเป็นการลดของเสียจากหลายแหล่งไปพร้อม ๆ กัน เช่น น้ำเสียจากโรงงานสับปะรดที่มีความเป็นกรดสูง

5.ควรหาบีโอดีจากสารอาหารที่เติม เพื่อดูผลของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพได้ง่าย ที่จะมีผลต่อการลดลงของสีในน้ำกากส่า

6.ควรหาว่าในนมถั่วเหลือง มีสารอาหารอะไรเป็นองค์ประกอบที่สำคัญบ้าง เช่น ไขมัน โปรตีน คาร์โบไฮเดรต และ แร่ธาตุต่าง ๆ และหาผลกระทบของสารอาหารแต่ละชนิดต่อการลดลงของสีในน้ำกากส่า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กองวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. แนวทางการกำจัดน้ำกากส่าจากโรงงานสุรากรมสรรพสามิต : ตอนที่ 2, สรุปผลการศึกษาทดลองกำจัดน้ำกากส่าในห้องปฏิบัติการ. สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2524.

กัณฑมาศ สุทธิเรืองวงศ์. การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีไฟฟ้าเคมีเพื่อกำจัดสารอินทรีย์และสี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเคมีเทคนิค บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. การแก้ไขปัญหาน้ำเสียจากโรงงานผลิตแอลกอฮอล์และสุรา. การสัมมนาเชิงปฏิบัติการเรื่องการพัฒนาการผลิตสุราและแอลกอฮอล์. ศูนย์ส่งเสริมการฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม, 2524.

ดิเรก ธนานนท์นิวาส. การฟอกสีและผลิตโพลีซัคคาไรด์จากน้ำกากส่าโดยเชื้อรา. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2534.

ทรงพล ครามโกมุท. การกำจัดสีจากน้ำกากส่าโดยใช้ระบบยูเอเอสบีที่ทำงานร่วมกับระบบกรองไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

เบกพล ก้านสังวร. การบำบัดน้ำชะมูลฝอยแบบโคเมตาบอลิคด้วยระบบยูเอเอสบี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

ปรียานุช ไวยมัย. การลดความเข้มสีน้ำกากส่าโดยแบคทีเรียที่ไม่ต้องการอากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2534.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. การบำบัดน้ำเสียด้วยกระบวนการไร้ออกซิเจน. เอกสารประกอบการสอนวิชาการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์. คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

โรงงานสุราไทยทำ. รายงานการทดลองระบบกำจัดน้ำเสียประจำปี 2530.

โรงงานสุราแสงโสม. รายงานผลการวิเคราะห์น้ำกากส่าประจำปี 2535.

โรมรัน ว่องวิไลรัตน์. การบำบัดน้ำเสียความเข้มข้นสูงด้วยถังกรองไร้อากาศชนิดไฮบริดที่ใช้ตัวกลางพลาสติกโพลีเอทธิลีน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

สุจินต์ พนาปวุฒิกุล. การใช้น้ำกากส่าจากโรงงานสุราในการผลิตไบโอแก๊สและทำปุ๋ยอินทรีย์ชนบท. จุลสารสภาวะแวดล้อมปีที่ 3. เล่มที่ 2 หน้า 1-4, 2527.

สถาบันวิจัยสิ่งแวดล้อม. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. สรุปผลการทดลองกำจัดน้ำกากส่าในห้องปฏิบัติการ. แนวทางการกำจัดจากโรงงานสุรากรมสรรพสามิต.สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย หน้า 1-73, 2525.

สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์. การคัดเลือกเชื้อราเพื่อใช้ในการฟอกสีของน้ำกากส่า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2527.

สุรพล สายพานิช. ประสบการณ์การออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้ออกซิเจนในประเทศไทย. เอกสารประกอบการสอนวิชาการออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

เสริมพล รัตสุข และ ไชยยุทธ กลิ่นสุคนธ์. การกำจัดน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม และ แหล่งชุมชน. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2524.

อรรถวุทธิ์ รื่นเริงใจ. บทบาทของสารให้อิเล็กตรอนที่มีต่อการบำบัดน้ำเสียที่มีสีเอโซรีแอกทีฟด้วยระบบไร้ออกซิเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

อัสวิทย์ ปัทมะเวณุ. ตามรอยน้ำตาล. กรุงเทพมหานคร. ที พี พริ้นท์ จำกัด, 2542.

อานนท์ ดุษฎีพรรณ์. การขจัดสารอินทรีย์และสีของน้ำกากส่าโดยกระบวนการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนและแบบเคมีไฟฟ้า. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีชีวภาพ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

ภาษาอังกฤษ

Andriaens, P. And Dunja, G.G. Cometabolic transformation of mono and dichlorophenyls and chlorohydroxybiphenyls by metathsnothophic groundwater isolates. Enviroment Science Technology. 28(7) (1994) : 1325 – 1330.

Bitton, G. Wastewater Microbiology. New York : Wiley-Liss, Inc.,1994.

Britz, T.J., Venter, C.A. and Tracey, R.P. Anaebic Treatment of Municipal Landfill Leachate using and Anaerobic Hybrid Digester. Biological Waste. 32(1990) : 181-191.

Chang, C.H. and Hong, J. The effect of browning reaction on the yeast *S. Cereviseae* fermentation. Biotech. and Bioeng. 26(1984) : 797-799.

Coulter, J.B., Soneda, S. and Ettinger, M.B. Anaerobic contact process for sewage disposal. Sewage and Industrial wastes. 29(1957) : 468.

Crawford, C.V. and Teletzke, G.K. Performance of hybrid anaerobic process. Proceeding 41st Ind. Was. Conf. Purdue Univ. West Lafayette Ind. (1986) : 196-203.

Criddle, C.S. The kinetics of cometabolism. Biotechnology and Bioengineering. 41(11) : 1048-1056.

Gomya, T., Kato., Udaka, J., Horihoshi, M. and Fujimaki, M. Chemical properties studies on melanoidins prepared from flycine-xylose system. Agric. Biol. Chem. 36 (1972) : 123-132.

Grady, Jr., C. P. L. and Lim., H. C. Biological Wastewater Treatment . New York : Marcel Dekker, Inc., 1999.

Guiot, S.R., Kenedy, K.J. and Van den burg, L. Comparision of the upflow anaerobic sludge blanket and sludge bed filter concept. Anaerobic treatment a grown up technology. Aquatech. 86(1986) : 15-19.

Guiot, S.R., Kenedy, K.J. and Van den burg, L. Performance and biomass retention of an upflow anaerobic reactor combining a sludge blanket and a filter. Biotechnology lett. 6(1984) : 161-164.

Guiot, S.R., Kenedy, K.J. and Van den berg, L. Performance of an upflow anaerobic reactor combining a sludge blanket and filter treating sugar waste. Biotechnology and Bioengineering. 27(1985) : 800-806.

Gujer, W. And Zehnder, A.J.B. Conversion processes in anaerobic digestion. Water Science and Technology. 65(1982) : 2030.

Hayase, F., Kim, S.B. and Kato, H. Decolorization and degradation products of the melanoidins by hydrogen peroxide. Agric. Biol. Chem. 48(1) (1984) : 2711-2717.

Henry, G.A.F. and Houghton, J.D. Natural Food Colorants : Second Edition. BLACKIE

ACADEMIC & PROFESSIONAL. Glasglow:Chapman & Hall,1996.

Henzen, M. and Harremoes, P. Anaerobic treatment of waste water in fixed film reactors-a literature review. Water Science and Technology. 15(1983) : 1.

Institute of Food Technologists. Natural Food Colorant : Science and Technology. New York : Marcel Dekker, Inc., 2000.

Iza, J., Keenan, P.J. and Switzenbaum, M.S. Anaerobic treatment of municipal solid waste landfill leachate: operation of a pilot scale hybrid UASB/AF reactor. Wat. Sci. Tech. 25(7) (1992) : 255-264.

Kato, H., Tsuchisa, H. Estimation of melanoidin structure by pyrolysis and oxidation. Prog. Fd. Nutr. Sci. (1981) : 147-156.

Labuza, T.P., Reineccius, G.A., Monnier, M., O'Brian, J. and Banyes, J.W. Maillard Reactions in Chemistry, Food, and Health. Cambridge : The Royal Society of Chemistry,1994.

McCarty, P.L. Anaerobic Waste Treatment Fundamental. Part I. Chemistry and Microbiology. Public Works. 95(1964) : 107-112.

McCarty, P.L. and McKinney, R.E. Volatile Acid Toxicity in Anaerobic Digestion. Journal Water Pollution Control Federation. 33(1986) : 3.

Metcalf and Eddy. Wastewater Engineering Treatment, Disposal and Reuse third edition. Singapore : McGraw-Hill, Inc., 1991.

Ohmomo, S., Daengsubha, W., Yoshikawa, H., Yui, M., Nozaki, K., Nakajima, T. and Nakamura, I. Screening of Anaerobic Bacteria with the ability of Decolorize Molasses Melanoidin. Agric. Biol. Chem. 52(10) (1988) : 2429-2435.

Ohmomo, S., Daengsubha, W., Yoshikawa, H., Nozaki, K., Nakajima, T. and Nakamura, I. Continuous Decolorization of Molasses Waste Water Using Immobilized *Lactobaccilus hiligardii* Cell. Agric. Biol. Chem. 52(10) (1988) : 2437-2441.

Okada, N., Ohta, T., and Edbine, H. Factor affecting The gel chromatogram patterns of non-dialyzable melanoidin during shaking in media. Nippon Nogeikagaka Kaishi. 55(1981) : 407-414.

O'Rourke, J.T. Kinetics of anaerobic treatment at reduced temperature. PhD Thesis. Stanford University. Stanford. (1968)

Pakaew, C., Ohmomo, S. And Kataoka, H. Decoloization of molasses melanoidin by

bacteria. Microb. Util. Ren. Resour. 6(1989) : 271-274.

Rinzema, A. Anaerobic treatment of waste water with high concentrations of lipids or sulphate. PhD Thesis. University of Wageningen. Wageningen. (1989)

Samson, R., Guiot, S.R. Mixing characteristics and Performandce of the Anaerobic Upflow Blanket Filter (UBF) Reactor. J. Chem. Tech. Biotechnol. 35(1985) : 65-74.

Sirianuntapiboon, S., Somchai, P., Ohmomo, S. and Atthasampunna, P. Screening of Filamenteous Fungi Having the Ability to Decolorize Molasses Pigment. Agric Biol. Chem. 52(2) (1988) : 387-392.

Sirianuntapiboon, S., Somchai, P., Sihanonth, P., Attasampunna, P., Ohmomo, S. Microbial Decoloization of Molasses Waste Water by Mycelia Sterilia D 90. Agric. Biol. Chem. 52(2) (1988) : 393-398.

Speece, R.E. Anaerobic biotechnology for industrial waste water treatment. Environmental Science and Technology. 17(1983) : 416A.

Stoner, D.L. Biotechnology for the Treatment of Hazadous Waste. Lewis Publisher. CRC Press,1994

Takashi, K. Takekiko, K., Minoru, T., Kazuhiro, T., Kazugiro, S., Kou, S. Anaerobic Treatment of thermal sludge conditioning liquor with granular sludge. Water Environment Research. 65(1993) : 6-14.

Tilche, A., Bortone, G., Forner, G., Indulti, M., Stante, L. and Tesini, O. Combination of anaerobic digestion and denitrification in a hybrid upflow anaerobic filter integrated in nutrient removal treatment plant. Wat.Sci.Tech. 30(12) (1994) : 405-414.

Timur, H. and Ozturk, I. Anaerobic treatment of leachate using sequencing batch reactor and hybrid bed filter. Wat. Sci. Tech. 36(6-7) (1997) : 501-508.

Ueda, K. Search and Screening of Microorganisms having Decolorizing Activity of Molasses Pigments. Microbial Utilization of Renewable Resources. (1983) : 195-198.

Uhrich, D. Method for removing dye stuffs from waste water. U.S. Patent Number 4,880,510. (1989).

Underkofler, L.A. and Kickley, J. Alcoholic Fermentation of Molasses. Industrial

Fermentations. New York : Chemical Publishing, Co., 1954.

Van Haandel, A. C. and Lettinga, G. Anaerobic Sewage Treatment:a practical guide for regions with a hot climate. Chichester : John Wiley & Son Ltd.,1994.

Veronica, P., Migo. Masatoshi, M., Ernesto, J. Del Rosario. and Hiroshi, K. Decolorization of Molasses Waste water Using an Inorganic Flocculant. Fermentation and Bioengineering. 75(1993) : 438-442.

Walter, G.R. and Feather, M.S. The Maillard Reaction in Foods and Nutrition. Washingtion, D.C. American Chemical Society,1983

Wang, L.H., Kuo, Y.C. and Chang, C.Y. Studies on the Utilization of molasses alcohol slop I : Production of feed yeast by continueous cultivation. J. of the Chinese Agri. Chem. Socie. 18(2) (1980) : 25-32.

Watanabe, Y., Sugi, R., Tanaka, T. and Hayashisa, S. Enzymatic Decolorization of Melanoidin by *Coriolus sp*. No.20. Agric. Biol. Chem. 46(6) (1982) : 1623-1630.

Young, J.C. and McCarty, P.L. The anaerobic filter for waste treatment. Journal of the Water Pollution Control Federation. 41(1969) : R160.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก. ผลการทดลองทั้งหมดตลอดการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.1 แสดงวันที่ระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัวในแต่ละชุดการทดลอง

ชุดการทดลอง	วันเริ่มต้นทำการทดลอง	วันที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว	วันสิ้นสุดการทดลอง
การทดลองชุดที่ 1	20 ก.ย. 44 (day 80)	27 ก.ย. 44 (day 87)	29 ต.ค. 44 (day119)
การทดลองชุดที่ 2	9 ธ.ค. 44 (day 160)	25 ม.ค. 45 (day 207)	9 ก.พ. 45 (day 222)
การทดลองชุดที่ 3	28 พ.ค. 45 (day 330)	31 พ.ค. 45 (day 333)	30 มิ.ย. 45 (day 363)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.2 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ ชุดควบคุม

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
0		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	3/ก.ค./44	1650	1019	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.92	4.36	-	-	-	-	-
2	4/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	5/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	6/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	7/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	8/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	9/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	10/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	11/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	12/ก.ค./44	-	1050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	13/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	14/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	15/ก.ค./44	-	1166	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	16/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	17/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.2 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ ชุดควบคุม (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
16	18/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.42	-250	-	25.9	-	-
17	19/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	20/ก.ค./44	-	840	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.15	-	-	27.2	-	-
21	23/ก.ค./44	1670	557	67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.78	-	-	26.4	-	-
22	24/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	25/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	26/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	27/ก.ค./44	1530	520	66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.47	-	-	27.7	-	-
26	28/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	29/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	30/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	31/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.84	-	-	26.2	-	-	-
30	1/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	2/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	3/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	4/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.2 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ ชุดควบคุม (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
34	5/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	8/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	9/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	10/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	11/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	12/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	13/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	45	39	1380	1400	-	-	-	-	8.18	7.87	-388	27.0	26.1	-	-
43	14/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	15/ส.ค./44	-	-	-	292	253	13	-	-	-	-	30	66	22	62	-	-	-	-	-	-	-
45	16/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	17/ส.ค./44	2180	1987	9	324	292	10	47	39	860	940	18	72	14	54	7.31	7.86	-389	25.8	25.1	0.07	-
47	18/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	19/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.21	-
49	20/ส.ค./44	2094	2148	0	314	279	11	51	39	820	800	-	72	-	-	8.75	8.05	-393	22.3	26.7	-	-
50	21/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.34	-
51	22/ส.ค./44	2461	2162	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.2 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ ชุดควบคุม (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
52	23/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.32	-
53	24/ส.ค./44	2213	2162	2	322	218	32	-	272	-	740	-	-	-	-	-	7.85	-390	-	27.2	0.12	-
54	25/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.15	-
55	26/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.15	-
56	27/ส.ค./44	1823	975.2	47	395	254	36	-	-	-	-	50	30	42	30	-	-	-	-	-	-	-
57	28/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	178.8	-	920	-	-	-	-	8.44	-	-397	28.4	-	-	-
60	31/ส.ค./44	2592	1210	53	264	264	0	-	144	-	504	40	35	27	28	-	8.07	-383	-	27.1	-	-
61	1/ก.ย./44	1060	-	-	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.03	-
62	2/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
63	3/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
64	4/ก.ย./44	1018	975.2	4	228	228	0	-	96	-	160	-	-	-	-	-	8.10	-	-	28.0	0	-
65	5/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
66	6/ก.ย./44	3626	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
67	7/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.64	-
68	8/ก.ย./44	4426	1346	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.64	-
69	9/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.62	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.2 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ ชุดควบคุม (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
70	10/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	216	-	320	-	-	-	-	-	6.87	-325	-	26.3	0.62	-
71	11/ก.ย./44	2275	1600	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.06	-
72	12/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.96	-
75	15/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.55	-
76	16/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.55	-
77	17/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.67	-
78	18/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.92	-
79	19/ก.ย./44	1244	-	0	-	-	-	-	108	-	240	-	-	-	-	-	7.75	-372	-	26.8	0.52	-
80	20/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.28	-
81	21/ก.ย./44	3168	2611	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.01	-
82	22/ก.ย./44	1492	1492	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
83	23/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
84	24/ก.ย./44	1502	1498	0	-	267	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
85	25/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.27	-	-	24.6	0	-
86	26/ก.ย./44	1970	1224	38	249	249	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
87	27/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.2 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ ชุดควบคุม (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
88	28/ก.ย./44	1760	1836	0	258	258	0	96	96	240	250	44	20	40	17	8.12	8.21	-361	25.4	26.7	0	-
89	29/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
90	30/ก.ย./44	1481	1040	30	242	254	0	72	84	200	220	36	0	26	0	8.27	8.21	-346	25.1	25.7	0	-
93	3/ต.ค./44	-	-	-	277	266	4	84	84	290	290	56	22	50	12	8.36	8.07	-354	25.7	25.4	0	-
94	4/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
95	5/ต.ค./44	1830	1830	0	266	265	0	72	96	190	220	24	24	20	24	7.64	8.2	-356	25.6	27.2	0	-
96	6/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
97	7/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
98	8/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
99	9/ต.ค./44	1360	1280	6	252	251	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
100	10/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
101	11/ต.ค./44	1400	1240	11	261	262	0	72	72	220	230	30	20	26	16	8.26	8.16	-334	25.6	23.7	0	-
102	12/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
103	13/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
104	14/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
105	15/ต.ค./44	1520	1280	16	260	259	0	96	84	260	280	34	12	28	10	8.33	8.03	-329	25.5	26.7	0	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.2 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ ชุดควบคุม (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
108	18/ต.ค./44	1520	1280	16	266	270	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
109	19/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
110	20/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
111	21/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
112	22/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
113	23/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
114	24/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
115	25/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
116	26/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
117	27/ต.ค./44	1120	1280	0	266	264	1	75	90	212	225	38	10	35	10	8.02	8.24	-354	24.6	26.5	0	-
118	28/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
119	29/ต.ค./44	1200	960	20	260	266	0	75	90	225	237	28	33	25	30	8.15	8.23	-343	24.4	26.8	0	-
	AVG	1501	1317	14	261	261	1	80	87	230	244	36	18	31	15	8.14	8.16	-347	25.2	26.1	0	
	SD	245	294	13	9	6	1	10	8	33	27	10	10	10	9	0.23	0.07	11	0.5	1.1	0	
	N	10	10	10	11	11	11	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9	8	8	9	32	

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.3 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ น้ำตาล[1]

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
0		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	3/ก.ค./44	1650	921	44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.82	4.37	-	-	-	-	-
2	4/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	5/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	6/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	7/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	8/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	9/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	10/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	11/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	12/ก.ค./44	-	950	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	13/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	14/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	15/ก.ค./44	-	1200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	16/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	17/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.3 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ น้ำตาล[1] (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
18	20/ก.ค./44	-	880	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.05	-	-	27.4	-	-
19	21/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	22/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	23/ก.ค./44	1550	464	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.98	-	-	26.4	-	-
22	24/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	25/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	26/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	27/ก.ค./44	1640	520	68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.68	-	-	27.7	-	-
26	28/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	29/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	30/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	31/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.21	7.51	-	26.2	26.5	-	-
30	1/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	2/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	3/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	4/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.3 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ น้ำตาล[1] (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
36	7/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	8/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	9/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	10/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	11/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	12/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	13/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	8	49	1220	1360	-	-	-	-	8.21	7.72	-303	26.7	26	-	-
43	14/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	15/ส.ค./44	-	-	-	292	230	21	-	-	-	-	30	72	22	62	-	-	-	-	-	-	-
45	16/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	17/ส.ค./44	2180	994	54	324	279	14	47	-	860	920	18	72	14	56	7.31	7.64	-378	25.8	24.9	0.3	-
47	18/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	19/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-
49	20/ส.ค./44	2094	2402	0	314	278	11	51	39	820	800	-	56	-	-	8.75	8.05	-387	22.3	26.7	0.4	-
50	21/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-
51	22/ส.ค./44	2461	1399	43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.7	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.3 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ น้ำตาล[1] (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
54	25/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
55	26/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
56	27/ส.ค./44	1823	1526	16	395	258	35	-	-	-	-	50	24	42	32	-	-	-	-	-	-	-
57	28/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	178.8	-	860	-	-	-	-	8.44	8.36	-401	28.4	27.6	-	-
58	29/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
59	30/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-
60	31/ส.ค./44	2592	1210	53	264	280	0	-	156	-	460	40	30	27	23	-	7.72	-390	-	27.3	0.8	-
61	1/ก.ย./44	1060	-	-	200	-	-	72	-	150	-	-	-	-	-	7.71	-	-	29.8	-	0.8	-
62	2/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
63	3/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
64	4/ก.ย./44	1018	975.2	4	218	219	0	-	72	-	220	-	-	-	-	-	8.12	-	-	27.9	-	-
65	5/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
66	6/ก.ย./44	3626	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
67	7/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.9	-
68	8/ก.ย./44	4426	1550	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.9	-
69	9/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.3 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ น้ำตาล[1] (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
72	12/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.9	-
73	13/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.1	-
74	14/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.1	-
75	15/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.1	-
76	16/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.1	-
77	17/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.1	-
78	18/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.2	-
79	19/ก.ย./44	2720	2494	8	-	-	-	-	156	-	290	-	-	-	-	-	7.11	-333	-	26.3	2.9	-
80	20/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.9	-
81	21/ก.ย./44	4668	2573	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.9	-
82	22/ก.ย./44	2992	2530	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
83	23/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.0	-
84	24/ก.ย./44	3002	1414	53	-	224	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.0	-
85	25/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.2	-
86	26/ก.ย./44	3470	2611	25	249	223	11	96	135	290	325	-	-	-	-	-	7.29	-	-	24.1	3.3	-
87	27/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.1	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.3 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ น้ำตาล[1] (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
88	28/ก.ย./44	3260	1714	47	258	269	0	96	108	240	290	44	92	40	54	8.26	7.09	-336	25.3	26.1	4.0	-
90	30/ก.ย./44	2981	1400	53	242	236	3	72	132	200	290	36	24	26	16	8.15	7.07	-333	25.4	25.1	3.4	-
92	2/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.2	-
93	3/ต.ค./44	-	-	-	277	228	18	84	96	290	250	56	38	50	26	8.36	7.07	-335	25.7	24.8	3.0	-
94	4/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.7	-
95	5/ต.ค./44	3330	1248	63	266	240	10	72	84	190	260	24	42	20	36	7.64	7.22	-332	25.6	26.8	-	-
96	6/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
97	7/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
98	8/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
99	9/ต.ค./44	2860	1280	55	252	223	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
100	10/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
101	11/ต.ค./44	2900	1160	60	261	235	10	72	84	220	230	32	58	30	22	8.26	7.30	-338	24.6	23.5	-	-
102	12/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
103	13/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.0	-
104	14/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.0	-
105	15/ต.ค./44	3020	1280	58	260	238	8	96	96	260	260	28	70	26	48	8.33	7.12	-329	25.5	26.8		-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.3 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ น้ำตาล[1] (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
108	18/ต.ค./44	3020	1160	62	266	249	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.3	-
109	19/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-
110	20/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
111	21/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
112	22/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
113	23/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
114	24/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
115	25/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
116	26/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
117	27/ต.ค./44	2980	1280	57	266	222	16	75	135	212	237	38	108	35	90	8.02	6.98	-344	24.6	26	3.8	41
118	28/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.6	47
119	29/ต.ค./44	2700	1240	54	260	225	13	75	105	225	237	28	155	23	109	8.15	7.14	-331	24.4	26.1	4.5	59
	AVG	3006	1290	57	261	237	10	80	105	230	257	36	73	31	50	8.15	7.12	-335	25.1	25.7	3.1	49
	SD	193	167	5	9	13	6	10	20	33	23	10	43	10	33	0.23	0.10	5	0.5	1.1	0.8	9
	N	9	10	9	10	11	10	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	15	3

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.4 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ น้ำตาล[2]

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
0		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	3/ก.ค./44	1650	980	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.78	4.31	-	-	-	-	-
2	4/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	5/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	6/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	7/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	8/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	9/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	10/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	11/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	12/ก.ค./44	-	1130	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	13/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	14/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	15/ก.ค./44	-	1393	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	16/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	17/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.4 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ น้ำตาล[2] (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	Inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
18	20/ก.ค./44	-	1400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.76	-	-	27.5	-	-
19	21/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	22/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	23/ก.ค./44	1320	593	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.62	-	-	26.3	-	-
22	24/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	25/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	26/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	27/ก.ค./44	1700	600	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.53	-	-	27.7	-	-
26	28/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	29/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	30/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	31/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.84	7.89	-	26.2	26.8	-	-
30	1/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	2/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	3/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	4/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.4 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ น้ำตาล[2] (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
36	7/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	8/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	9/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	10/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	11/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	12/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	13/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.01	7.87	-367	25.6	26.1	-	-
43	14/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	15/ส.ค./44	-	-	-	292	253	13	-	-	-	-	30	44	22	38	-	-	-	-	-	-	-
45	16/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	17/ส.ค./44	2180	1166	47	324	275	15	-	-	-	-	18	76	14	58	7.31	-	-389	25.8	-	-	-
47	18/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	19/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
49	20/ส.ค./44	2094	1978	6	314	245	22	51	35	820	660	-	76	-	-	8.75	7.96	-387	22.3	26.7	-	-
50	21/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
51	22/ส.ค./44	2461	1950	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.4 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ น้ำตาล[2] (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
54	25/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
55	26/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
56	27/ส.ค./44	1823	2120	0	395	252	36	-	-	-	-	50	30	42	40	-	-	-	-	-	-	-
57	28/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	173	-	940	-	-	-	-	8.44	8.22	-400	28.4	27.5	-	-
58	29/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
59	30/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60	31/ส.ค./44	2592	-	-	264	255	4	-	198	-	525	40	75	27	58	-	8.03	-390	-	27.2	-	-
61	1/ก.ย./44	1060	-	-	200	-	-	72	-	150	-	-	-	-	-	7.71	-	-	29.8	-	1.0	-
62	2/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
63	3/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
64	4/ก.ย./44	1018	-	-	192	182	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27.9	-	-
65	5/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
66	6/ก.ย./44	3626	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
67	7/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
68	8/ก.ย./44	4426	1795	59	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.4 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ น้ำตาล[2] (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
71	11/ก.ย./44	1563	1520	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6	-
72	12/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.3	-
73	13/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-
74	14/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.2	-
75	15/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-
76	16/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-
77	17/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	-
78	18/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6	-
79	19/ก.ย./44	1581	-	-	-	-	-	-	156	-	320	-	-	-	-	-	7.26	-345	-	25.6	0.5	-
80	20/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-
81	21/ก.ย./44	3756	3878	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6	-
82	22/ก.ย./44	2079	2897	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	-
83	23/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	-
84	24/ก.ย./44	2089	1456	30	-	229	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.5	-
85	25/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8	-
86	26/ก.ย./44	2557	1346	47	249	222	11	96	150	290	338	-	-	-	-	-	7.52	-	-	24.0	0.4	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.4 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ น้ำตาล[2] (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	Inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
89	29/ก.ย./44	-	1550	-	-	266	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.1	-
90	30/ก.ย./44	2069	1800	13	242	253	0	72	120	240	300	36	16	26	12	8.13	7.32	-344	24.8	25.1	1.3	-
91	1/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.2	-
92	2/ต.ค./44	2403	1224	49	262	229	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.28	-	-	25.8	0.7	-
93	3/ต.ค./44	-	-	-	277	235	15	84	144	290	300	56	38	50	18	8.36	7.46	-347	25.7	24.3	1.2	-
94	4/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6	-
95	5/ต.ค./44	2418	1290	47	266	250	6	72	108	190	300	28	44	20	40	7.64	7.47	-347	25.6	26.3	0.8	-
96	6/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8	-
97	7/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.7	-
98	8/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.7	-
99	9/ต.ค./44	1948	1280	34	252	231	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8	-
100	10/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8	-
101	11/ต.ค./44	1988	1680	15	261	240	8	84	84	220	240	28	58	26	22	8.26	7.53	-345	25.6	23.4	0.8	-
102	12/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.4	-
103	13/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.7	-
104	14/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.7	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.4 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ น้ำตาล[2] (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
105	15/ต.ค./44	2108	1420	33	260	244	6	96	180	260	290	34	28	30	28	8.33	7.12	-326	25.5	26.6	0.8	-
108	18/ต.ค./44	2108	1520	28	266	241	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
109	19/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-
110	20/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
111	21/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
112	22/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
113	23/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
114	24/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
115	25/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
116	26/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.6	-
117	27/ต.ค./44	2068	1960	5	266	238	10	75	105	212	275	38	35	35	25	8.02	7.49	-353	24.6	25.3	0.2	52
118	28/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8	56
119	29/ต.ค./44	1788	1760	2	260	240	8	75	105	225	288	28	60	25	56	8.15	7.51	-344	24.4	25.3	0.6	71
	AVG	2124	1537	26	261	243	8	80	124	235	292	36	39	32	28	8.14	7.39	-344	25.2	25.3	0.8	60
	SD	207	239	17	9	10	4	8	31	31	28	10	15	10	14	0.23	0.14	8	0.5	1.0	0.3	10
	N	10	11	10	11	12	11	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9	8	8	9	24	3

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.5 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ นมถั่วเหลือง

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
0		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	3/ก.ค./44	1650	960	42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.76	4.21	-	-	-	-	-
2	4/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3	5/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	6/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	7/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	8/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	9/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	10/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	11/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	12/ก.ค./44	-	1020	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	13/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	14/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	15/ก.ค./44	-	1231	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	16/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	17/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.5 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ นมถั่วเหลือง (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
18	20/ก.ค./44	-	1240	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.07	-	-	27.9	-	-
19	21/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	22/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	23/ก.ค./44	1550	650	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.62	-	-	26.2	-	-
22	24/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
23	25/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	26/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	27/ก.ค./44	1610	320	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.56	-	-	27.5	-	-
26	28/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
27	29/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
28	30/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
29	31/ก.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.84	8.13	-	26.2	26.8	-	-
30	1/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	2/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
32	3/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
33	4/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.5 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ นมถั่วเหลือง (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
36	7/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
37	8/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
38	9/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
39	10/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
40	11/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
41	12/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
42	13/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	45	34	1380	1320	-	-	-	-	8.18	7.94	-363	27.0	25.9	-	-
43	14/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
44	15/ส.ค./44	-	-	-	292	250	14	-	-	-	-	30	62	22	66	-	-	-	-	-	-	-
45	16/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
46	17/ส.ค./44	2180	1598	27	324	274	15	47	51	860	960	18	64	14	48	7.31	7.68	-381	25.8	24.7	-	-
47	18/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
48	19/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
49	20/ส.ค./44	2094	2315	0	314	272	13	51	49	820	760	-	68	-	-	8.75	8.08	-372	22.3	26.5	-	-
50	21/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
51	22/ส.ค./44	2461	3689	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.5 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ นมถั่วเหลือง (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
52	23/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
53	24/ส.ค./44	2213	1611	27	322	225	30	-	396	-	800	-	-	-	-	-	7.92	-395	-	26.9	-	-
56	27/ส.ค./44	1823	1187	35	395	241	39	-	-	-	-	50	-	42	30	-	-	-	-	-	-	-
57	28/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	174.3	-	870	-	-	-	-	8.44	8.28	-401	28.4	26.8	-	-
58	29/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
59	30/ส.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
60	31/ส.ค./44	2592	1296	50	264	269	0	-	144	-	440	40	15	27	10	-	7.86	-384	-	26.8	-	-
61	1/ก.ย./44	1060	-	-	200	-	-	72	-	150	-	-	-	-	-	7.71	-	-	29.8	-	-	-
62	2/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
63	3/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
64	4/ก.ย./44	1018	1060	0	192	211	0	-	96	-	250	-	-	-	-	-	8.01	-	-	27.4	-	-
65	5/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
66	6/ก.ย./44	3626	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
67	7/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
68	8/ก.ย./44	4426	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.7	-
69	9/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.5 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ นมถั่วเหลือง (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
72	12/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.2	-
73	13/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.5	-
74	14/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.5	-
75	15/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.3	-
76	16/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.3	-
77	17/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.9	-
78	18/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.4	-
79	19/ก.ย./44	2494	1240	50	-	-	-	-	144	-	350	-	-	-	-	-	7.54	-348	-	24.9	1.8	-
80	20/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.2	-
81	21/ก.ย./44	4668	1498	68	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.2	-
82	22/ก.ย./44	2992	1510	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.5	-
83	23/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.5	-
84	24/ก.ย./44	3002	2413	20	-	234	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.5	-
85	25/ก.ย./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.5	-
86	26/ก.ย./44	3470	1224	65	349	217	38	96	135	290	412	-	-	-	-	-	7.62	-	-	24.2	2.5	-
87	27/ก.ย./44	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.6	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.5 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ นมถั่วเหลือง (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
88	28/ก.ย./44	3076	1387	55	358	252	30	84	96	240	350	126	180	88	135	8.26	7.54	-350	25.4	25.6		-
89	29/ก.ย./44	-	1958	-	-	254	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
90	30/ก.ย./44	2981	1880	37	342	254	26	96	108	280	300	188	80	102	52	8.15	7.41	-351	25.3	25.6	-	-
91	1/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
92	2/ต.ค./44	3316	1346	59	362	226	38	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.29	-	-	25.5	2.1	-
93	3/ต.ค./44	-	-	-	377	232	39	84	84	290	230	220	82	50	52	8.36	7.35	-369	25.7	24.3	2.6	-
94	4/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.0	-
95	5/ต.ค./44	3330	1414	58	366	253	31	72	96	190	240	198	50	118	34	7.64	7.46	-371	25.6	26.2	3.1	-
98	8/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.5	-
99	9/ต.ค./44	2860	1800	37	292	257	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.1	-
100	10/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.1	-
101	11/ต.ค./44	2900	1960	32	311	250	20	72	96	220	240	224	54	136	34	8.26	7.55	-356	25.6	23.3	3.1	-
102	12/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.1	-
103	13/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.0	-
104	14/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.0	-
105	15/ต.ค./44	3020	1440	52	326	252	22	96	96	260	260	178	60	104	52	8.33	7.54	-326	25.5	26.6	3.8	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.5 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 1 สำหรับคอลัมน์ นมถั่วเหลือง (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
106	16/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.0	-
107	17/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.8	-
108	18/ต.ค./44	3020	2040	32	322	272	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
111	21/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
112	22/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
113	23/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
114	24/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
115	25/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
116	26/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.0	-
117	27/ต.ค./44	2620	1600	39	289	239	17	75	75	212	250	250	45	165	42.5	8.02	7.47	-350	24.6	25.4	3.2	75
118	28/ต.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.3	74
119	29/ต.ค./44	2700	1760	35	323	242	25	75	105	225	262	115	60	70	48	8.15	7.45	-361	24.4	25	-	55
	AVG	2982	1690	44	333	248	25	82	95	240	267	187	76	104	56	8.15	7.45	-354	25.3	25.3	3.1	68
	SD	230	260	11	30	12	9	10	11	35	40	47	44	36	33	0.23	0.09	14	0.5	1.0	0.4	11
	N	10	11	10	11	12	11	8	8	8	8	8	8	8	8	8	9	8	8	9	19	3

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.6 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 2 สำหรับคอลัมน์ ชุดควบคุม

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
160	9/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
161	10/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
162	11/ธ.ค./44	-	1251	-	-	259	-	-	90	-	313	-	-	-	-	-	8.58	-	-	27.2	-	-
163	12/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
164	13/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
165	14/ธ.ค./44	1040	1040	0	259	259	0	-	90	-	275	18	20	18	15	-	8.15	-	-	24.7	0	-
166	15/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
167	16/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
168	17/ธ.ค./44	1200	1120	7	259	259	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
169	18/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
170	19/ธ.ค./44	1080	1080	0	244	244	0	75	90	313	288	17.5	27.5	15	28	8.31	8.35	-	24.5	24.7	0	-
171	20/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
172	21/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
173	22/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
174	23/ธ.ค./44	1280	1280	0	267	262	2	75	90	238	275	15	30	15	25	8.19	8.32	-	25.5	23.7	0	-
175	24/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.6 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 2 สำหรับคอลัมน์ ชุดควบคุม (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
178	27/ธ.ค./44	1114	1114	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
179	28/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	90	-	275	-	-	-	-	-	8.10	-243	-	23.9	0	-
180	29/ธ.ค./44	1206	1165	3	259	254	2	69	75	174	184	-	-	-	-	7.86	8.02	-302	25.1	24.9	0	-
181	30/ธ.ค./44	1290	-	-	221	-	-	68	72	173	180	23	-	-	-	7.91	7.85	-257	24.7	24.9	0	-
182	31/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
183	1/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
184	2/ม.ค./45	1170	1170	0	239	239	0	69	-	184	-	-	-	-	-	8.24	-	-	25.0	-	0	-
185	3/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	32	-	93	-	30	-	-	-	8.05	-223	-	23.1	0	-
186	4/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
187	5/ม.ค./45	1240	1240	0	243	243	0	66	96	173	182	40	28	-	-	8.28	8.21	-232	25.2	23.4	0	-
188	6/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
189	7/ม.ค./45	1440	1320	8	272	266	2	32	108	112	185	38	18	-	-	8.11	8.07	-275	26.4	25.7	0	-
190	8/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
191	9/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
192	10/ม.ค./45	1400	1360	3	269	259	4	66	75	172	170	27.5	23	-	-	8.13	8.02	-247	24.5	25.2	0	-
193	11/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.6 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 2 สำหรับคอลัมน์ ชุดควบคุม (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
194	12/ม.ค./45	1160	1160	0	250	250	0	69	99	165	177	32.5	40	-	-	7.96	7.96	-257	25.5	24.1	0	-
197	15/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
198	16/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
199	17/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
200	18/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
201	19/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
202	20/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
203	21/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
204	22/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
205	23/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
206	24/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
207	25/ม.ค./45	1306	1306	0	246	245	0	68	89	173	107	28	35	-	-	8.32	8.17	-267	25.4	26.3	0	-
208	26/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
209	27/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.5	10	-	-	-	-	-	-	-	0	-
210	28/ม.ค./45	1160	1160	0	244	244	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
211	29/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	68	69	172	188	25	18	23	18	7.74	8.00	-275	25.1	27.4	0	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.6 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 2 สำหรับคอลัมน์ ชุดควบคุม (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
213	31/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
214	1/ก.พ./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23	13	23	13	8.23	7.98	-292	23.4	23.8	0	-
215	2/ก.พ./45	1080	1080	0	245	244	0	66	65	200	85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
216	3/ก.พ./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
217	4/ก.พ./45	1520	1520	0	273	270	1	74	78	148	188	23	13	23	13	8.19	8.11	-233	25.2	27.1	0	-
218	5/ก.พ./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
219	6/ก.พ./45	1160	1160	0	246	246	0	63	68	250	193	25	3	18	3	8.01	7.91	-223	25.1	26.9	0	-
220	7/ก.พ./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
221	8/ก.พ./45	1400	1320	6	236	235	1	66	68	160	188	25	18	23	18	8.12	8.00	-232	26.1	24.5	0	-
222	9/ก.พ./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-
	AVG	1244	1232	1	247	247	0	68	73	184	158	24	16	22	13	8.10	8.03	-253	25.1	26.0	0	
	SD	169	160	2	12	11	0	4	9	37	49	2	10	2	6	0.21	0.09	28	0.9	1.5	0	
	N	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	7	7	5	5	6	6	6	6	6	16	

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.7 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 2 สำหรับคอลัมน์น้ำตาล[1]

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour(SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	Inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
160	9/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
161	10/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
162	11/ธ.ค./44	-	2981	-	-	207	-	-	210	-	400	-	-	-	-	-	6.93	-	-	26.0	-	-
163	12/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.6	-
164	13/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
165	14/ธ.ค./44	4040	-	-	259	-	-	-	195	-	388	18	120	18	108	-	6.92	-	-	24.6	-	-
166	15/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
167	16/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
168	17/ธ.ค./44	4200	3133	25	259	209	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
169	18/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
170	19/ธ.ค./44	4080	2533	38	244	211	14	75	210	313	400	18	143	15	128	8.31	6.75	-	24.5	24.1	-	-
171	20/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
172	21/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
173	22/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
174	23/ธ.ค./44	4280	2600	39	267	205	23	75	195	238	363	15	160	15	130	8.19	6.43	-	25.5	25.4	-	-
175	24/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.7 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 2 สำหรับคอลัมน์น้ำตาล[1] (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour(SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	Inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
176	25/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
177	26/ธ.ค./44	-	-	-	267	205	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
178	27/ธ.ค./44	4114	2436	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
179	28/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	195	-	375	-	-	-	-	-	6.12	-497	-	26.6	4.8	-
180	29/ธ.ค./44	4206	3328	21	259	194	25	69	111	174	270	-	-	-	-	7.86	6.10	-502	25.1	25.1	4.8	-
181	30/ธ.ค./44	4290	-	-	221	-	-	68	135	173	269	23	-	-	-	7.91	6.47	-505	24.7	24.7	9.6	-
184	2/ม.ค./45	4170	1379	67	239	211	12	69	-	184	-	-	-	-	-	8.24	-	-	25.0	-	6.8	-
185	3/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	132	-	255	-	355	-	-	-	6.99	-493	-	21.8	-	-
186	4/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.3	-
187	5/ม.ค./45	4240	1267	70	243	198	18	66	141	173	283	40	215	-	-	8.28	6.79	-479	25.2	23.2	10.5	-
188	6/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.7	-
189	7/ม.ค./45	4440	1000	77	272	208	23	32	90	112	239	38	45	-	-	8.11	7.4	-498	26.4	25.1	5.7	-
190	8/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.5	-
191	9/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.6	-
192	10/ม.ค./45	4400	1533	65	269	201	25	66	129	172	308	28	73	-	-	8.13	7.36	-497	24.5	25.1	13.5	-
193	11/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.2	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.7 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 2 สำหรับคอลัมน์น้ำตาล[1] (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour(SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	Inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
194	12/ม.ค./45	4160	1533	63	250	209	16	69	120	165	244	33	128	-	-	7.96	7.15	-488	25.5	24.0	8.5	-
195	13/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.0	-
198	16/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
199	17/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
200	18/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
201	19/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
202	20/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
203	21/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
204	22/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
205	23/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
206	24/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
207	25/ม.ค./45	4306	1292	70	246	207	16	68	125	173	213	28	153	-	-	8.32	6.98	-496	25.4	26.1	4.2	-
208	26/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.5	-
209	27/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22.5	70	-	-	-	-	-	-	-	6.8	-
210	28/ม.ค./45	4160	1400	66	244	210	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.4	-
211	29/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	68	128	172	375	25	53	23	53	7.74	7.44	-505	25.1	26.5	6.6	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.7 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 2 สำหรับคอลัมน์น้ำตาล[1] (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour(SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	Inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
212	30/ม.ค./45	4080	1200	71	242	215	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.4	-
213	31/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.0	-
214	1/ก.พ./45	-	-	-	-	-	-	66	102	200	310	23	55	23	53	8.23	7.52	-487	23.4	24.0	8.0	-
215	2/ก.พ./45	4080	1067	74	245	202	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.9	-
216	3/ก.พ./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.2	-
217	4/ก.พ./45	4520	1333	71	273	228	16	74	102	148	280	23	30	23	28	8.19	6.95	-466	25.2	26.6	4.1	-
218	5/ก.พ./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.4	-
219	6/ก.พ./45	4160	1267	70	246	216	12	63	71	250	273	25	60	18	43	8.01	7.01	-468	25.1	26.3	9.9	-
220	7/ก.พ./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47
221	8/ก.พ./45	4400	1333	70	236	217	8	66	123	160	303	25	53	23	45	8.12	7.13	-489	26.1	24.7	-	53
222	9/ก.พ./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.3	56
	AVG	4244	1270	70	247	214	13	68	109	184	292	24	68	22	44	8.10	7.17	-485	25.1	25.7	6.9	52
	SD	169	109	2	12	8	3	4	22	37	53	2	39	2	10	0.21	0.25	15	0.9	1.1	1.8	4
	N	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	7	7	5	5	6	6	6	6	6	14	3

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.8 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 2 สำหรับคอลัมน์น้ำตาล[2]

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
160	9/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
161	10/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
162	11/ธ.ค./44	-	1325	-	-	214	-	-	90	-	388	-	-	-	-	-	7.20	-	-	25.5	-	-
163	12/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.7	-
164	13/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
165	14/ธ.ค./44	2290	2320	-	259	215	17	-	135	-	375	18	78	18	75	-	6.87	-	-	24.3	-	-
166	15/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
167	16/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
168	17/ธ.ค./44	2450	1760	28	259	215	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
169	18/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
170	19/ธ.ค./44	2330	1800	23	244	219	10	75	120	313	388	18	68	15	53	8.31	6.68	-	24.5	23.6	-	-
171	20/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
172	21/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
173	22/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
174	23/ธ.ค./44	2530	1360	46	267	230	14	75	105	238	375	15	85	15	68	8.19	6.63	-	25.5	25.1	-	-
175	24/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.8 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 2 สำหรับคอลัมน์น้ำตาล[2] (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
176	25/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
177	26/ธ.ค./44	-	-	-	267	226	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
178	27/ธ.ค./44	2364	1253	47	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
179	28/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	120	-	388	-	-	-	-	-	6.65	-344	-	25.9	-	-
180	29/ธ.ค./44	2456	1165	53	259	208	20	69	90	174	247	-	-	-	-	7.86	6.74	-353	25.1	25.0	0.7	-
181	30/ธ.ค./44	2540	-	-	221	-	-	68	95	173	253	23	-	-	-	7.91	7.03	-350	24.7	24.1	1.3	-
184	2/ม.ค./45	2420	1159	52	239	205	14	69	-	184	-	-	-	-	-	8.24	-	-	25.0	-	0.4	-
185	3/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	110	-	265	-	63	-	-	-	7.31	-383	-	22.4	2.0	-
186	4/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.9	-
187	5/ม.ค./45	2490	1160	53	243	218	10	66	90	173	260	40	70	-	-	8.28	7.42	-362	25.2	24.8	2.3	-
188	6/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.8	-
189	7/ม.ค./45	2690	1400	48	272	221	19	32	83	112	245	38	50	-	-	8.11	7.42	-349	26.4	24.9	0.8	-
190	8/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.2	-
191	9/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.4	-
192	10/ม.ค./45	2650	1480	44	269	216	20	66	107	172	270	28	73	-	-	8.13	7.32	-389	24.5	24.9	2.5	-
193	11/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.7	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.8 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 2 สำหรับคอลัมน์น้ำตาล[2] (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
194	12/ม.ค./45	2410	1200	50	250	224	10	69	84	165	244	33	45	-	-	7.96	7.45	-376	25.5	25.2	1.1	-
195	13/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.9	-
198	16/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
199	17/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
200	18/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
201	19/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
202	20/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
203	21/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
204	22/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
205	23/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
206	24/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
207	25/ม.ค./45	2556	1387	46	246	225	9	68	99	173	254	28	70	-	-	8.32	7.34	-379	25.4	25.9	2.2	-
208	26/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6	-
209	27/ม.ค./45	2410	1200	50	244	230	5	-	-	-	-	23	68	-	-	-	-	-	-	-	1.0	-
210	28/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.2	-
211	29/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	68	102	172	280	25	73	23	60	7.74	7.38	-356	25.1	25.9	1.8	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.8 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 2 สำหรับคอลัมน์น้ำตาล[2] (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
212	30/ม.ค./45	2330	1120	52	242	237	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.8	-
213	31/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.6	-
214	1/ก.พ./45	-	-	-	-	-	-	66	84	200	288	23	108	23	78	8.23	7.32	-368	23.4	23.6	2.6	-
215	2/ก.พ./45	2330	1200	48	245	216	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.9	-
216	3/ก.พ./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.0	-
217	4/ก.พ./45	2770	1200	57	273	262	4	74	92	148	275	23	35	23	33	8.19	7.35	-349	25.2	26.6	4.2	-
218	5/ก.พ./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.4	-
219	6/ก.พ./45	2410	1360	44	246	238	3	63	104	250	309	25	55	18	45	8.01	7.42	-356	25.1	25.8	3.5	-
220	7/ก.พ./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.6	55
221	8/ก.พ./45	2650	1360	49	236	220	7	66	107	160	275	25	38	23	30	8.12	7.54	-354	26.1	25.2	2.6	54
222	9/ก.พ./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1.8	72
	AVG	2494	1261	49	247	233	6	68	98	184	280	24	64	22	49	8.10	7.39	-360	25.1	25.5	2.2	60
	SD	169	105	4	12	15	3	4	9	37	18	2	25	2	20	0.21	0.08	11	0.9	1.0	0.9	10
	N	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	7	7	5	5	6	6	6	6	6	16	3

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.9 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 2 สำหรับคอลัมน์นมถั่วเหลือง

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
160	9/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
161	10/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
162	11/ธ.ค./44	-	2453	-	-	224	-	-	120	-	375	-	-	-	-	-	7.10	-	-	25.2	-	-
163	12/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.6	-
164	13/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
165	14/ธ.ค./44	4040	2667	34	303	213	30	-	195	-	400	1030	153	995	130	-	7.02	-	-	25.3	-	-
166	15/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
167	16/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
168	17/ธ.ค./44	4533	2467	46	326	229	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
169	18/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
170	19/ธ.ค./44	4267	2133	50	337	237	30	150	165	250	375	1125	175	1050	153	7.69	6.95	-	24.3	24.9	-	-
171	20/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
172	21/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
173	22/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
174	23/ธ.ค./44	4400	1733	61	341	241	29	135	195	250	388	1060	163	1005	150	7.84	7.11	-	25.7	24.7	-	-
175	24/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.9 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 2 สำหรับคอลัมน์นมถั่วเหลือง (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
176	25/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.1	-
177	26/ธ.ค./44	-	-	-	312	240	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.8	-
178	27/ธ.ค./44	4640	1580	66	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.1	-
179	28/ธ.ค./44	-	-	-	-	-	-	-	180	-	400	-	-	-	-	-	6.82	-475	-	25.3	7.4	-
180	29/ธ.ค./44	4992	1248	75	228	192	16	69	119	174	315	-	-	-	-	7.86	6.74	-492	25.1	24.9	2.7	-
181	30/ธ.ค./44	4368	-	-	344	-	-	72	120	197	320	1090	-	-	-	7.91	7.1	-501	24.7	23.8	7.9	-
184	2/ม.ค./45	4773	1379	71	339	224	34	84	-	185	-	-	-	-	-	7.69	-	-	24.6	-	4.0	-
185	3/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	119	-	322	-	60	-	-	-	7.32	-494	-	22.5	9.7	-
186	4/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.6	-
187	5/ม.ค./45	5200	1133	78	331	231	30	60	117	213	443	1035	378	-	-	8.23	7.42	-488	25.5	24.9	9.3	-
188	6/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.7	-
189	7/ม.ค./45	4533	1133	75	290	225	22	32	111	112	340	1060	58	-	-	8.00	7.46	-501	25.6	24.8	4.7	-
190	8/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.6	-
191	9/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.1	-
192	10/ม.ค./45	5133	1533	70	327	230	30	45	119	113	324	1025	168	-	-	8.10	7.34	-500	24.5	24.8	10.3	-
193	11/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.0	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.9 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 2 สำหรับคอลัมน์นมถั่วเหลือง (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
194	12/ม.ค./45	4667	1067	77	304	226	26	38	123	99	335	960	128	-	-	7.87	7.42	-497	26.0	25.3	4.3	-
195	13/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.6	-
198	16/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
199	17/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
200	18/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
201	19/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
202	20/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
203	21/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
204	22/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
205	23/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
206	24/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
207	25/ม.ค./45	4352	1428	67	348	220	37	60	114	107	348	420	153	-	-	8.25	7.44	-496	24.9	25.7	-	-
208	26/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
209	27/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	340	133	-	-	-	-	-	-	-	-	-
210	28/ม.ค./45	4067	1333	67	352	221	37	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
211	29/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	75	128	222	353	475	203	448	138	7.87	7.22	-497	25.2	25.7	-	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.9 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 2 สำหรับคอลัมน์นมถั่วเหลือง (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
212	30/ม.ค./45	4080	1200	71	365	217	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.5	-
213	31/ม.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.0	-
214	1/ก.พ./45	-	-	-	-	-	-	84	117	208	363	373	83	355	60	7.41	7.36	-495	23.1	23.3	9.0	-
215	2/ก.พ./45	3933	1267	68	366	218	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.2	-
216	3/ก.พ./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.9	-
217	4/ก.พ./45	4400	1333	70	383	257	33	93	122	257	375	273	573	260	325	7.97	7.18	-493	25.6	26.3	7.9	-
218	5/ก.พ./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.1	-
219	6/ก.พ./45	3867	1467	62	331	234	29	72	126	218	304	208	220	203	135	7.90	7.32	-505	25.2	25.4	5.7	-
220	7/ก.พ./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.6	30
221	8/ก.พ./45	3933	1333	66	359	214	40	77	122	183	347	300	175	258	155	7.97	7.36	-497	26.7	25.5	4.0	35
222	9/ก.พ./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.6	52
	AVG	4090	1337	67	358	226	37	77	122	199	348	341	220	305	163	7.90	7.31	-497	25.1	25.3	5.3	39
	SD	210	90	3	16	15	4	11	5	51	24	91	162	97	98	0.27	0.10	4	1.2	1.0	2.6	12
	N	7	7	7	7	7	7	6	6	6	6	7	7	5	5	6	6	6	6	6	11	3

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ก.10 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 3 สำหรับคอลัมน์ชุดควบคุม

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
333	31/พ.ค./45	1306	1265	3	319	312	2	243	201	743	825	10	23	-	-	8.29	8.62	-267	26.6	24.8	0	-
334	1/มิ.ย./45	1240	-	-	322	-	-	324	-	405	-	25	-	-	-	8.37	-	-	26.4	-	0	-
336	3/มิ.ย./45	1320	1360	0	341	346	0	162	162	608	540	-	-	-	-	8.34	8.05	-292	24.7	26.7	0	-
339	6/มิ.ย./45	1320	1160	12	330	337	0	243	243	540	675	25	8	-	-	8.33	8.40	-233	22.1	23.0	0	-
341	8/มิ.ย./45	1200	1160	3	340	340	0	162	162	608	810	33	10	28	10	-	8.29	-246	-	26.1	0	-
343	10/มิ.ย./45	1160	1160	0	311	309	1	162	162	540	473	25	20	25	18	8.27	8.3	-257	22.7	21.3	0	-
345	12/มิ.ย./45	1346	1265	6	329	330	0	162	162	675	810	18	8	15	8	8.45	8.41	-223	25.4	24.5	0	-
347	14/มิ.ย./45	1400	1320	6	320	322	0	243	243	473	675	28	23	25	23	8.23	8.13	-266	25.1	25.4	0	-
350	17/มิ.ย./45	1400	1280	9	317	315	1	324	243	608	810	25	10	18	8	8.59	8.42	-278	22.5	24.7	0	-
354	21/มิ.ย./45	1333	1200	10	337	337	0	243	243	675	878	28	18	23	13	8.37	8.48	-249	25.5	26.4	0	-
357	24/มิ.ย./45	1360	1320	3	321	320	0	162	162	473	405	23	25	20	23	8.66	8.54	-286	23.1	23.6	0	-
359	26/มิ.ย./45	1320	1240	6	336	338	0	243	243	540	608	30	20	28	18	8.52	8.57	-234	24.5	22.8	0	-
361	28/มิ.ย./45	1280	1280	0	312	312	0	162	162	405	405	25	23	20	18	8.27	8.15	-257	22.2	24.8	0	-
	AVG	1313	1250	5	327	328	0	206	199	559	644	26	16	22	15	8.40	8.34	-256	23.8	24.5	0	-
	SD	75	71	4	11	13	0	56	42	86	172	4	7	4	6	0.15	0.17	22	1.4	1.7	0	-
	N	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	10	10	9	9	10	11	11	10	11	28	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.11 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 3 สำหรับคอลัมน์น้ำตาล[1]

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
330	28/พ.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
331	29/พ.ค./45	5887	1632	72	292	307	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
332	30/พ.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.73	7.76	-	-	-	11.2	-
333	31/พ.ค./45	5806	1700	71	319	250	22	386	300	1485	1663	10	93	-	-	8.29	7.4	-	26.6	25.5	15.4	-
334	1/มิ.ย./45	5740	-	-	322	-	-	324	-	1350	-	25	-	-	-	8.37	-	-	26.4	-	10.2	-
335	2/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.3	-
336	3/มิ.ย./45	5820	1133	81	341	286	16	162	324	1485	1688	-	160	-	-	8.34	8.13	-477	24.7	24.3	14.3	-
337	4/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17.4	-
338	5/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.7	-
339	6/มิ.ย./45	5820	1400	76	330	306	7	243	324	1350	1620	25	75	-	-	8.33	7.58	-497	22.1	21.4	16.3	-
340	7/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15.5	-
341	8/มิ.ย./45	5700	1533	73	340	308	9	162	243	1283	1418	33	48	28	38	-	7.55	-487	-	26.1	10.0	-
342	9/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
343	10/มิ.ย./45	5620	1280	77	311	267	14	162	243	1283	1350	25	140	25	122	8.27	7.96	-466	22.7	21.5	-	-
344	11/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17.7	-
345	12/มิ.ย./45	5846	1428	76	328	285	13	162	162	1148	1215	18	55	15	48	8.45	7.84	-475	25.4	26.3	14.4	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.11 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 3 สำหรับคอลัมน์น้ำตาล[1] (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
346	13/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18.0	-
347	14/มิ.ย./45	5900	1667	72	315	270	14	243	360	1080	1403	28	58	25	49	8.23	7.64	-495	25.1	24.5	14.6	-
350	17/มิ.ย./45	5900	1533	74	314	276	12	324	324	1013	1418	25	93	18	85	8.59	7.74	-501	22.5	21.3	15.8	-
354	21/มิ.ย./45	5800	1280	78	334	283	15	243	324	743	878	28	58	23	40	8.37	7.31	-473	25.5	26.4	10.4	-
355	22/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7.8	-
356	23/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18.5	-
357	24/มิ.ย./45	5780	1400	76	320	265	17	162	243	810	1148	23	71	20	56	8.66	7.46	-498	23.1	23.9	14.4	-
358	25/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.4	-
359	26/มิ.ย./45	5820	1200	79	333	279	16	243	324	756	1215	30	60	28	45	8.52	7.37	-488	24.5	23.5	12.9	-
360	27/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.8	-
361	28/มิ.ย./45	5780	1267	78	308	267	13	162	324	810	1013	25	55	20	53	8.27	7.49	-497	22.2	22.8	17.6	56
362	29/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53
363	30/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18.4	55
	AVG	5795	1402	76	324	279	14	229	291	1123	1336	24	80	22	59	8.39	7.62	-487	24.2	24.0	13.7	55
	SD	76	180	3	11	17	4	77	56	275	254	6	36	4	27	0.14	0.25	12	1.6	1.9	4	1
	N	13	12	12	13	12	12	13	12	13	12	12	12	9	9	12	12	11	12	12	28	3

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.12 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 3 สำหรับคอลัมน์น้ำตาล[2]

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
330	28/พ.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
331	29/พ.ค./45	3262	1496	54	292	278	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
332	30/พ.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.73	7.69	-	-	-	4.8	-
333	31/พ.ค./45	3181	1564	51	319	265	17	386	324	1485	1822	10	28	-	-	8.29	7.77	-479	26.6	26.4	2.5	-
334	1/มิ.ย./45	3115	-	-	322	-	-	324	-	1350	-	25	-	-	-	8.37	-	-	26.4	-	2.0	-
335	2/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.5	-
336	3/มิ.ย./45	3195	1267	60	341	301	12	162	324	1485	1890	-	-	-	-	8.34	8.43	-454	24.7	24.3	3.5	-
337	4/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.5	-
338	5/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.2	-
339	6/มิ.ย./45	3195	1133	65	330	304	8	243	405	1350	1822	25	30	-	-	8.33	7.83	-443	22.1	21.7	4.4	-
340	7/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.1	-
341	8/มิ.ย./45	3067	1267	59	340	313	8	162	162	1283	1688	33	23	28	23	-	7.66	-478	-	26.2	2.1	-
342	9/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.6	-
343	10/มิ.ย./45	2995	1200	60	311	262	16	162	243	1283	1823	25	28	25	25	8.27	8.10	-458	22.7	21.3	4.4	-
344	11/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.1	-
345	12/มิ.ย./45	3221	1360	58	329	287	13	162	243	1148	1553	18	23	15	20	8.45	8.06	-479	25.4	26.3	3.6	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.12 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 3 สำหรับคอลัมน์น้ำตาล[2] (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
346	13/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.1	-
347	14/มิ.ย./45	3275	1267	61	317	292	8	243	324	1080	1418	28	20	25	20	8.23	8.12	-491	25.1	24.4	5.3	-
350	17/มิ.ย./45	3267	1333	59	317	269	15	324	405	1013	1688	25	20	18	20	8.59	8.35	-485	22.5	21.5	4.4	-
354	21/มิ.ย./45	3133	1333	57	334	296	11	243	243	743	1215	28	35	23	30	8.37	7.88	-483	25.5	26.2	3.6	-
355	22/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.5	-
356	23/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.7	-
357	24/มิ.ย./45	3235	1400	57	322	289	10	162	243	810	1350	23	25	20	23	8.66	8.06	-495	23.1	24.3	4.6	-
358	25/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.1	-
359	26/มิ.ย./45	3195	1267	60	336	288	14	243	324	756	1215	30	28	28	25	8.52	7.93	-497	24.5	23.7	-	-
360	27/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.6	-
361	28/มิ.ย./45	3133	1200	62	306	273	11	162	324	810	1215	25	23	20	23	8.27	7.84	-468	22.2	22.9	3.8	67
362	29/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.6	68
363	30/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.7	69
	AVG	3174	1275	60	326	289	11	206	295	1069	1534	26	25	22	23	8.40	8.02	-476	23.8	23.9	3.7	68
	SD	85	78	2	12	15	3	56	75	263	263	4	5	4	3	0.15	0.23	18	1.4	1.9	1	1
	N	13	12	12	13	12	12	13	12	13	12	12	11	9	9	12	12	12	12	12	29	3

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.13 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 3 สำหรับคอลัมน์นมถั่วเหลือง

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
330	28/พ.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
331	29/พ.ค./45	5712	1836	68	318	315	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
332	30/พ.ค./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8.54	7.99	-	-	-	-	-
333	31/พ.ค./45	5814	1972	66	353	273	23	486	324	1485	2362	1010	78	-	-	8.34	7.77	-487	26.4	26.3	-	-
334	1/มิ.ย./45	5400	-	-	385	-	-	486	-	1350	-	770	-	-	-	8.62	-	-	26.4	-	-	-
335	2/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
336	3/มิ.ย./45	5500	1267	77	358	292	18	324	405	1485	2227	1065	140	-	-	8.18	8.18	-501	25.2	24.5	-	-
337	4/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
338	5/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.3	-
339	6/มิ.ย./45	5800	1200	79	472	304	36	324	405	1350	2092	835	75	-	-	8.42	7.89	-488	22.3	21.9	16.0	-
340	7/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	9.4	-
341	8/มิ.ย./45	5400	1133	79	434	300	31	162	324	1296	1957	880	33	755	30	-	7.54	-472	-	26.5	3.5	-
342	9/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10.9	-
343	10/มิ.ย./45	5800	1267	78	467	261	44	162	324	1350	2025	1080	38	780	35	8.15	8.46	-486	22.7	21.3	7.8	-
344	11/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12.4	-
345	12/มิ.ย./45	5508	1360	75	485	278	43	259	486	1188	1822	632	23	492	23	8.38	8.06	-498	25.4	26.6	12.3	-

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ตาราง ก.13 ผลการทดลองของระบบตลอดการทดลองชุดที่ 3 สำหรับคอลัมน์นมถั่วเหลือง (ต่อ)

วันที่	วัน/เดือน/ปี	COD		%COD	Colour (SU)		%Colour	VFA		ALK		SS		VSS		pH		ORP	Temp		Gas	%CH4
		inf	eff	removed	inf	eff	removed	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	inf	eff	eff	inf	eff	(l)	
346	13/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13.3	-
347	14/มิ.ย./45	5400	1133	79	431	258	40	243	405	1080	1687	636	25	596	25	8.52	8.07	-469	25.1	24.2	9.4	-
350	17/มิ.ย./45	5700	1267	78	458	289	37	324	486	1080	1822	790	30	660	28	8.42	8.12	-478	22.5	21.4	15.9	-
354	21/มิ.ย./45	6300	1467	77	489	267	45	243	405	742	1440	535	23	485	23	8.15	8.02	-485	25.5	26.7	14.3	-
355	22/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11.3	-
356	23/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12.4	-
357	24/มิ.ย./45	5600	1333	76	438	245	44	259	324	810	1485	960	53	735	48	8.44	8.05	-503	23.1	23.9	7.9	-
358	25/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	13.5	-
359	26/มิ.ย./45	5800	1133	80	457	274	40	243	486	756	1552	1125	43	875	33	8.37	8.03	-498	24.5	25.0	8.7	-
360	27/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15.7	-
361	28/มิ.ย./45	5800	1267	78	450	265	41	324	405	810	1417	1105	45	860	38	8.16	7.97	-488	22.2	22.8	5.7	56
362	29/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3.2	60
363	30/มิ.ย./45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	14.7	64
	AVG	5692	1257	78	449	276	38	261	405	1086	1775	877	48	693	31	8.32	8.04	-488	23.9	24.1	10.5	60
	SD	258	105	2	36	19	8	60	63	271	280	210	34	145	8	0.14	0.22	12	1.4	2.0	4	4
	N	13	12	12	13	12	12	13	12	13	12	13	12	9	9	12	12	12	12	12	25	3

หมายเหตุ : - ไม่ได้ทำการทดลอง

ภาคผนวก ข. ผลการทดลองตามความสูง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ข.1 ผลการทดลองตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี ในการทดลองชุดที่ 1 ในคอลัมน์ที่ไม่เติมสารอาหาร

ความสูง (ม.)	pH	ORP (mV)	SS (mg/l)	VSS (mg/l)	VFA (mg/l)	TALK (mg/l)	COD (mg/l)	COLOUR (SU)
น้ำเข้า	7.75	-	25	15	60	175	1640	266
0.45	8.06	-336	31400	13750	75	275	1520	267
0.9	8.27	-297	40	28	75	275	1520	267
1.1	8.29	-285	30	20	70	275	1520	262
1.3	8.23	-284	23	17	70	286	1520	262
1.65	8.02	-289	20	13	75	263	1480	260
น้ำออก	8.17	-	23	20	75	250	1480	260

ตาราง ข.2 ผลการทดลองตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี ในการทดลองชุดที่ 1 ในคอลัมน์ที่เติมสารอาหารน้ำตาล[1]

ความสูง (ม.)	pH	ORP (mV)	SS (mg/l)	VSS (mg/l)	VFA (mg/l)	TALK (mg/l)	COD (mg/l)	COLOUR (SU)
น้ำเข้า	7.56	-	25	15	60	175	2960	271
0.45	7.05	-297	32500	12700	120	275	2040	267
0.9	7.01	-293	21700	9100	90	250	1840	248
1.1	6.9	-293	580	270	60	250	1840	248
1.3	6.85	-293	333	148	75	263	1840	246
1.65	6.9	-277	345	145	105	263	1840	242
น้ำออก	6.91	-	70	30	75	225	1680	239

น้ำตาล[1] เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหารเป็น 1 เท่า ของซีโอดีจากน้ำกากส่า

ตาราง ข.3 ผลการทดลองตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี ในการทดลองชุดที่ 1 ในคอลัมน์ที่เติมสารอาหารน้ำตาล[2]

ความสูง (ม.)	pH	ORP (mV)	SS (mg/l)	VSS (mg/l)	VFA (mg/l)	TALK (mg/l)	COD (mg/l)	COLOUR (SU)
น้ำเข้า	7.22	-	25	15	60	175	2280	267
0.45	7.14	-326	35600	12800	90	275	1760	263
0.9	7.39	-305	433	175	45	250	1720	246
1.1	7.33	-301	225	98	30	275	1560	246
1.3	7.36	-292	153	75	90	263	1520	246
1.65	7.35	-294	170	83	105	275	1440	245
น้ำออก	7.25	-	53	38	105	225	1440	245

น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับน้ำตาลในนมถั่วเหลือง

ตาราง ข.4 ผลการทดลองตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี ในการทดลองชุดที่ 1 ในคอลัมน์ที่เติมสารอาหารนมถั่วเหลือง

ความสูง (ม.)	pH	ORP (mV)	SS (mg/l)	VSS (mg/l)	VFA (mg/l)	TALK (mg/l)	COD (mg/l)	COLOUR (SU)
น้ำเข้า	7.45	-	350	318	60	188	2940	281
0.45	7.34	-311	40300	16000	120	288	2260	277
0.9	7.33	-295	538	243	105	267	2220	244
1.1	7.25	-283	388	183	105	263	2180	244
1.3	7.28	-297	518	230	90	263	2020	243
1.65	7.39	-284	213	103	90	250	1820	244
น้ำออก	7.37	-	63	48	90	250	1780	235

ตาราง ข.5 ผลการทดลองตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี ในการทดลองชุดที่ 2 ในคอลัมน์ที่ไม่เติมสารอาหาร

ความสูง (ม.)	pH	ORP (mV)	SS (mg/l)	VSS (mg/l)	VFA (mg/l)	TALK (mg/l)	COD (mg/l)	COLOUR (SU)
น้ำเข้า	8.22	-	25	23	69	203	1200	245
0.45	8.20	-233	30050	13350	71	213	1160	245
0.9	8.23	-248	35	28	71	213	1160	245
1.1	8.19	-234	30	25	69	213	1120	245
1.3	8.19	-222	30	20	69	214	1120	245
1.65	8.15	-234	28	25	71	208	1120	244
น้ำออก	8.17	-	28	20	69	195	1120	243

ตาราง ข.6 ผลการทดลองตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี ในการทดลองชุดที่ 2 ในคอลัมน์ที่เติมสารอาหารน้ำตาล[1]

ความสูง (ม.)	pH	ORP (mV)	SS (mg/l)	VSS (mg/l)	VFA (mg/l)	TALK (mg/l)	COD (mg/l)	COLOUR (SU)
น้ำเข้า	8.14	-	25	23	60	203	4200	245
0.45	7.30	-499	30900	15250	84	278	1400	237
0.9	7.23	-488	510	280	98	274	1067	213
1.1	7.23	-474	675	363	102	270	1067	208
1.3	7.30	-500	1070	543	90	287	1000	207
1.65	7.30	-485	390	235	102	278	1000	204
น้ำออก	7.40	-	90	70	87	272	1000	204

น้ำตาล[1] เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหารเป็น 1 เท่า ของซีโอดีจากน้ำกากส่า

ตาราง ข.7 ผลการทดลองตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี ในการทดลองชุดที่ 2 ในคอลัมน์ที่เติมสารอาหารน้ำตาล[2]

ความสูง (ม.)	pH	ORP (mV)	SS (mg/l)	VSS (mg/l)	VFA (mg/l)	TALK (mg/l)	COD (mg/l)	COLOUR (SU)
น้ำเข้า	8.22	-	25	23	69	203	2480	247
0.45	7.59	-306	34100	13350	78	275	1160	238
0.9	7.48	-326	23150	9150	102	282	1120	227
1.1	7.50	-349	345	140	93	280	1120	227
1.3	7.53	-363	323	133	102	282	1120	226
1.65	7.62	-347	245	108	98	287	1120	225
น้ำออก	7.54	-	30	23	105	278	1080	222

น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับน้ำตาลในนมถั่วเหลือง

ตาราง ข.8 ผลการทดลองตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี ในการทดลองชุดที่ 2 ในคอลัมน์ที่เติมสารอาหารนมถั่วเหลือง

ความสูง (ม.)	pH	ORP (mV)	SS (mg/l)	VSS (mg/l)	VFA (mg/l)	TALK (mg/l)	COD (mg/l)	COLOUR (SU)
น้ำเข้า	7.11	-	335	263	75	175	4032	342
0.45	7.81	-492	35450	17650	63	355	1280	234
0.9	7.46	-504	1665	785	99	345	1088	213
1.1	7.46	-498	1985	975	108	353	1088	206
1.3	7.41	-516	465	223	111	340	1088	202
1.65	7.42	-493	603	290	123	358	1088	203
น้ำออก	7.48	-	80	63	105	350	1088	203

ตาราง ข.9 ผลการทดลองตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี ในการทดลองชุดที่ 3 ในคอลัมน์ที่ไม่เติมสารอาหาร

ความสูง (ม.)	pH	ORP (mV)	SS (mg/l)	VSS (mg/l)	VFA (mg/l)	TALK (mg/l)	COD (mg/l)	COLOUR (SU)
น้ำเข้า	8.33	-	25	23	162	540	1320	330
0.45	8.19	-251	30800	13600	243	608	1280	329
0.9	8.20	-244	70	48	243	608	1240	330
1.1	8.28	-249	30	20	243	608	1240	328
1.3	8.25	-236	30	20	162	608	1200	326
1.65	8.31	-248	28	25	162	608	1200	324
น้ำออก	8.36	-	23	23	162	608	1200	324

ตาราง ข.10 ผลการทดลองตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี ในการทดลองชุดที่ 3 ในคอลัมน์ที่เติมสารอาหารน้ำตาล[1]

ความสูง (ม.)	pH	ORP (mV)	SS (mg/l)	VSS (mg/l)	VFA (mg/l)	TALK (mg/l)	COD (mg/l)	COLOUR (SU)
น้ำเข้า	8.12	-	18	15	162	675	5800	334
0.45	7.41	-453	43280	21360	259	1080	1467	325
0.9	7.45	-423	1910	1048	243	1080	1333	289
1.1	7.47	-439	2465	1325	243	945	1333	288
1.3	7.37	-445	2310	1175	243	1080	1333	282
1.65	7.65	-466	830	500	243	1013	1133	281
น้ำออก	7.88	-	75	58	243	1013	1067	279

น้ำตาล[1] เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหารเป็น 1 เท่า ของซีโอดีจากน้ำกากส่า

ตาราง ข.11 ผลการทดลองตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี ในการทดลองชุดที่ 3 ในคอลัมน์ที่เติมสารอาหารน้ำตาล[2]

ความสูง (ม.)	pH	ORP (mV)	SS (mg/l)	VSS (mg/l)	VFA (mg/l)	TALK (mg/l)	COD (mg/l)	COLOUR (SU)
น้ำเข้า	8.46	-	25	23	162	675	3175	330
0.45	7.61	-450	40700	20200	259	1283	1400	324
0.9	7.46	-443	1155	525	243	1148	1333	299
1.1	7.49	-445	355	163	324	1080	1333	293
1.3	7.50	-423	215	120	324	1148	1267	290
1.65	7.76	-443	222	145	243	1215	1200	291
น้ำออก	7.84	-	30	23	243	1215	1200	288

น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับน้ำตาลในนมถั่วเหลือง

ตาราง ข.12 ผลการทดลองตามความสูงของถังแอนแอโรบิกไฮบริดยูเอเอสบี ในการทดลองชุดที่ 3 ในคอลัมน์ที่เติมสารอาหารนมถั่วเหลือง

ความสูง (ม.)	pH	ORP (mV)	SS (mg/l)	VSS (mg/l)	VFA (mg/l)	TALK (mg/l)	COD (mg/l)	COLOUR (SU)
น้ำเข้า	8.66	-	1381	1075	162	743	6300	487
0.45	7.74	-478	52880	26320	432	1620	1333	276
0.9	7.68	-465	618	293	243	1553	1333	272
1.1	7.74	-453	383	188	243	1553	1200	271
1.3	7.70	-458	593	285	324	1553	1200	269
1.65	7.98	-458	278	133	324	1553	1200	270
น้ำออก	8.10	-	49	38	288	1440	1133	266

ภาคผนวก ค. เปอร์เซ็นต์มีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.1 สรุปเปอร์เซ็นต์มีเทน

สารอาหาร	เปอร์เซ็นต์ก๊าซมีเทน (%)		
	น้ำตาล[1]	น้ำตาล[2]	นมถั่วเหลือง
การทดลองชุดที่ 1			
ค่าเฉลี่ย	49	60	68
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	9	10	11
จำนวนตัวอย่าง	3	3	3
การทดลองชุดที่ 2			
ค่าเฉลี่ย	52	60	38
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	4	10	12
จำนวนตัวอย่าง	3	3	3
การทดลองชุดที่ 3			
ค่าเฉลี่ย	55	68	60
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1	1	4
จำนวนตัวอย่าง	3	3	3
สรุปรวม			
ค่าเฉลี่ย	52	63	57
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	8	8	15
จำนวนตัวอย่าง	9	9	9

น้ำตาล[1] เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหารเป็น 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีจากน้ำกากส่า

น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับน้ำตาลในนมถั่วเหลือง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง ค.1 เปอร์เซ็นต์มีเทนและคาร์บอนไดออกไซด์

วันที่	วัน/เดือน/ปี	สารอาหาร	Air Time	%Air	CH_4 Time	$\%CH_4$	CO_2 Time	$\%CO_2$
117	27/10/44	น้ำตาล[1]	0.367	43.35	0.514	41.15	0.895	13.49
118	28/10/44	น้ำตาล[1]	0.370	37.54	0.508	47.09	0.891	15.37
119	29/10/44	น้ำตาล[1]	0.377	24.56	0.500	59.48	0.891	15.97
117	27/10/44	น้ำตาล[2]	0.367	43.33	0.504	51.89	0.909	4.78
118	28/10/44	น้ำตาล[2]	0.367	36.64	0.498	56.09	0.904	6.24
119	29/10/44	น้ำตาล[2]	0.377	21.05	0.491	70.68	0.903	7.97
117	27/10/44	นมถั่วเหลือง	0.368	14.14	0.475	74.66	0.874	11.18
118	28/10/44	นมถั่วเหลือง	0.365	14.31	0.471	74.04	0.871	11.65
119	29/10/44	นมถั่วเหลือง	0.363	37.42	0.492	54.86	0.886	7.72
220	7/2/45	น้ำตาล[1]	0.370	34.28	0.505	47.46	0.886	16.46
221	8/2/45	น้ำตาล[1]	0.371	34.24	0.502	53.14	0.901	10.54
222	9/2/45	น้ำตาล[1]	0.380	26.77	0.505	55.88	0.896	15.57
220	7/2/45	น้ำตาล[2]	0.375	33.66	0.506	55.09	0.909	9.14
221	8/2/45	น้ำตาล[2]	0.377	36.39	0.509	53.86	0.913	7.60
222	9/2/45	น้ำตาล[2]	0.385	13.83	0.494	71.90	0.898	12.42
220	7/2/45	นมถั่วเหลือง	0.364	61.33	0.528	30.17	0.912	6.55
221	8/2/45	นมถั่วเหลือง	0.369	54.21	0.526	35.28	0.914	8.56
222	9/2/45	นมถั่วเหลือง	0.376	32.64	0.507	52.49	0.898	12.96
364	1/7/45	น้ำตาล[1]	0.372	6.33	0.481	55.75	0.827	37.91
365	2/7/45	น้ำตาล[1]	0.371	17.40	0.489	53.37	0.844	29.23
366	3/7/45	น้ำตาล[1]	0.368	20.82	0.487	55.31	0.850	23.87
364	1/7/45	น้ำตาล[2]	0.379	8.24	0.483	67.12	0.854	24.63
365	2/7/45	น้ำตาล[2]	0.371	7.56	0.474	68.37	0.847	24.07
366	3/7/45	น้ำตาล[2]	0.370	9.54	0.475	68.61	0.851	21.86
364	1/7/45	นมถั่วเหลือง	0.356	27.10	0.476	55.57	0.853	17.34
365	2/7/45	นมถั่วเหลือง	0.371	15.30	0.483	59.66	0.849	25.04
366	3/7/45	นมถั่วเหลือง	0.374	11.06	0.481	63.67	0.850	25.28

น้ำตาล[1] เป็นชุดการทดลองที่มีการเติมสารอาหารเป็น 1 เท่า, 2 เท่า และ 3 เท่า ของซีโอดีจากน้ำกากส่า

น้ำตาล[2] เป็นน้ำตาลที่เติมเท่ากับน้ำตาลในนมถั่วเหลือง

Area Percent Report

Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fa979.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 09 Nov 01 08:17 AM
Report Created on: 09 Nov 01 08:20 AM

Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fa979.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.367	359466	148461	PV	0.036	45.3529
2	0.514	326173	89908	VP	0.053	41.1524
3	0.895	106959	23759	PB	0.069	13.4947

Total area = 792597

Area Percent Report

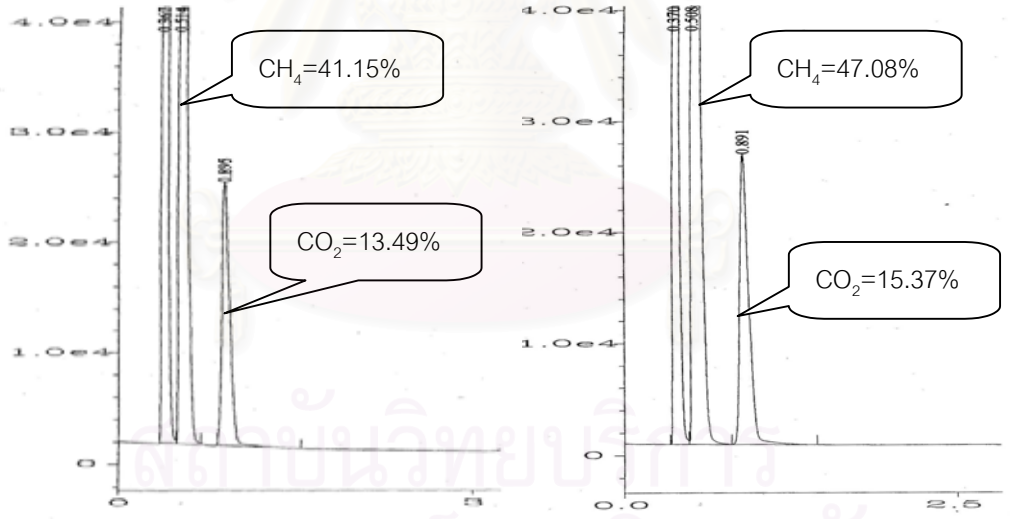
Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fa980.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 09 Nov 01 08:21 AM
Report Created on: 09 Nov 01 08:24 AM

Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fa980.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.370	294865	129000	BV	0.031	37.5382
2	0.508	369873	99030	VV	0.053	47.0872
3	0.891	120768	26093	VB	0.071	15.3746

Total area = 785506



Methane Analysis by Gas Chromatography

Column Porapak Q : Length 2 m. Column Temp :70 C

Initial Temp 120 C (TCD) Detector Temp 120 C Injection 0.5 ml.

รูปที่ 1 การทดลองชุดที่ 1 สารอาหาร น้ำตาล[1] Day 117 (วันที่ 27/10/44)

การทดลองชุดที่ 1 สารอาหาร น้ำตาล[1] Day 118 (วันที่ 28/10/44)

Area Percent Report

Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fa981.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 09 Nov 01 08:25 AM
Report Created on: 09 Nov 01 08:29 AM

Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fa981.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.377	189347	92342	BV	0.029	24.5568
2	0.500	458611	112481	VV	0.058	59.4782
3	0.891	123099	26340	VB	0.072	15.9650

Total area = 771057

Area Percent Report

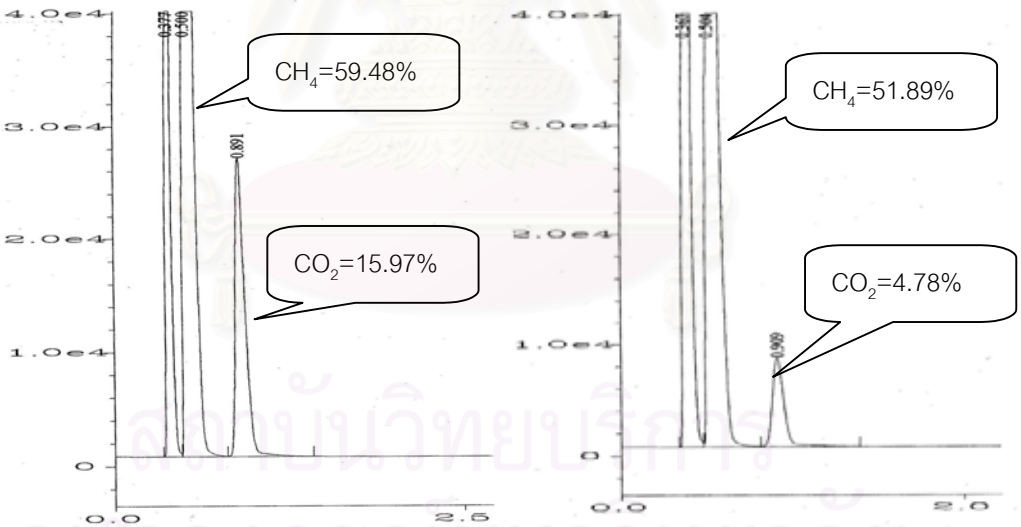
Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fa982.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 09 Nov 01 08:30 AM
Report Created on: 09 Nov 01 08:33 AM

Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fa982.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.367	341939	147062	BV	0.035	43.3316
2	0.504	409467	104956	VV	0.057	51.8889
3	0.909	37716	8030	VB	0.072	4.7795

Total area = 789122



Methane Analysis by Gas Chromatography

Column Porapak Q : Length 2 m. Column Temp :70 C

Initial Temp 120 C (TCD) Detector Temp 120 C Injection 0.5 ml.

รูปที่ 2 การทดลองชุดที่ 1 สารอาหาร น้ำตาล[1] Day 119 (วันที่ 29/10/44)

การทดลองชุดที่ 1 สารอาหาร น้ำตาล[2] Day 117(วันที่ 27/10/44)

Area Percent Report

Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fa983.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 09 Nov 01 08:33 AM
Report Created on: 09 Nov 01 08:37 AM
Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fa983.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.168	8308	625	BV	0.187	1.0262
2	0.367	296646	133044	VV	0.031	36.6392
3	0.498	454156	111885	VV	0.059	56.0934
4	0.904	50532	10775	VB	0.072	6.2413

Total area = 809643

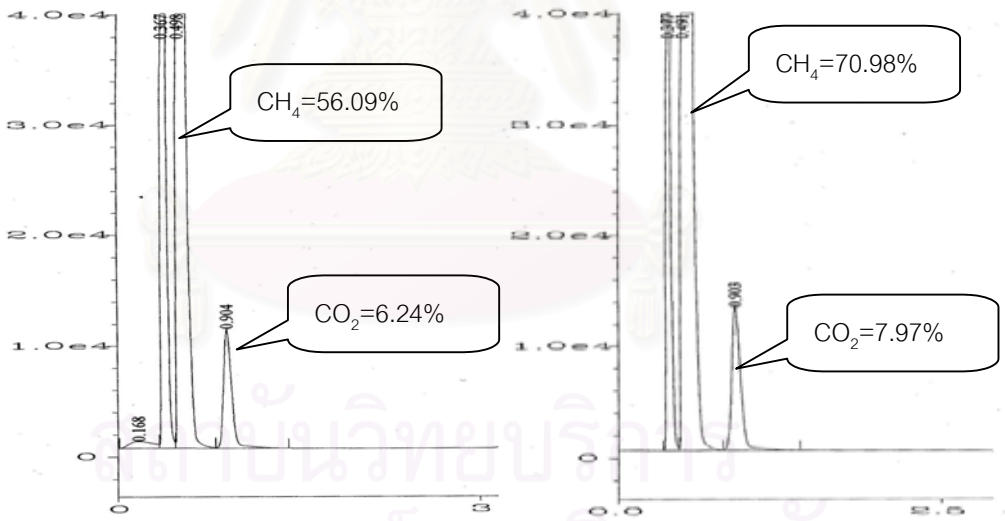
Area Percent Report

Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fa984.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 09 Nov 01 08:38 AM
Report Created on: 09 Nov 01 08:41 AM
Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fa984.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.377	161107	85216	BV	0.028	21.0532
2	0.491	543167	125954	VV	0.063	70.9802
3	0.903	60963	12847	VB	0.073	7.9666

Total area = 765238



Methane Analysis by Gas Chromatography

Column Porapak Q : Length 2 m. Column Temp :70 C

Initial Temp 120 C (TCD) Detector Temp 120 C Injection 0.5 ml.

รูปที่ 3 การทดลองชุดที่ 1 สารอาหาร น้ำตาล[2] Day 118 (วันที่ 28/10/44)

การทดลองชุดที่ 1 สารอาหาร น้ำตาล[2] Day 119 (วันที่ 29/10/44)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Area Percent Report

Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Faa64.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 29 Nov 01 03:29 AM
Report Created on: 29 Nov 01 03:32 AM
Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Faa64.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.368	100828	52622	PV	0.028	14.1410
2	0.475	532336	126624	VP	0.060	74.6598
3	0.785	109	86	PP -	0.021	0.0152
4	0.874	79743	17553	PB	0.071	11.1840

Total area = 713016

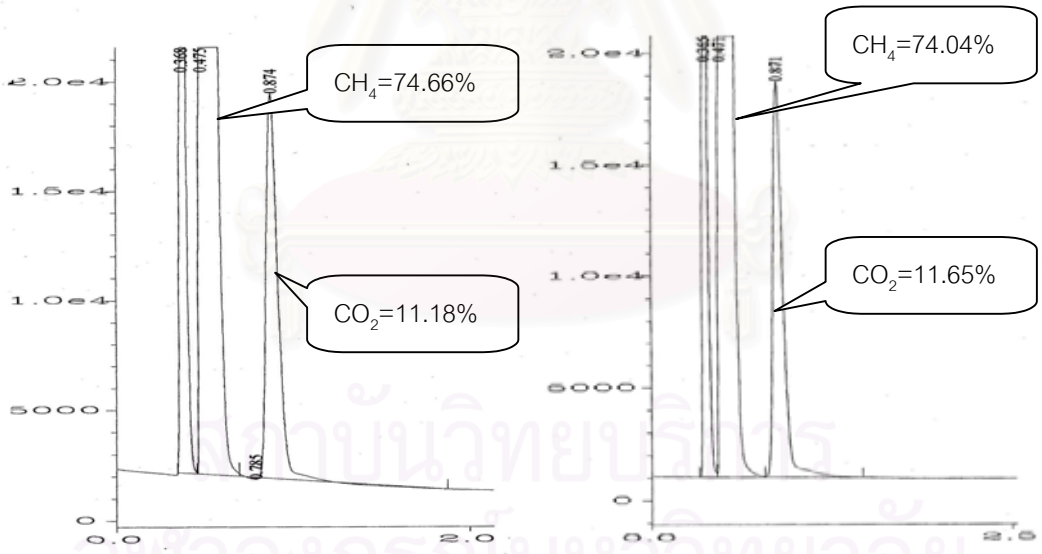
Area Percent Report

Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Faa65.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 29 Nov 01 03:34 AM
Report Created on: 29 Nov 01 03:37 AM
Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Faa65.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.365	103735	54655	BV	0.028	14.3083
2	0.471	536809	127954	VV	0.060	74.0431
3	0.871	84452	17722	VB	0.073	11.6486

Total area = 724996



Methane Analysis by Gas Chromatography

Column Porapak Q : Length 2 m. Column Temp :70 C

Initial Temp 120 C (TCD) Detector Temp 120 C Injection 0.5 ml.

รูปที่ 4 การทดลองชุดที่ 1 สารอาหาร นมถั่วเหลือง Day 117 (วันที่ 27/10/44)

การทดลองชุดที่ 1 สารอาหาร นมถั่วเหลือง Day 118 (วันที่ 28/10/44)

Area Percent Report

Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Faa66.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 29 Nov 01 03:39 AM
Report Created on: 29 Nov 01 03:42 AM

Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Faa66.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.363	294679	129100	BV	0.031	37.4192
2	0.492	432060	108665	VV	0.058	54.8643
3	0.886	60768	12689	VB	0.073	7.7165

Total area = 787506

Area Percent Report

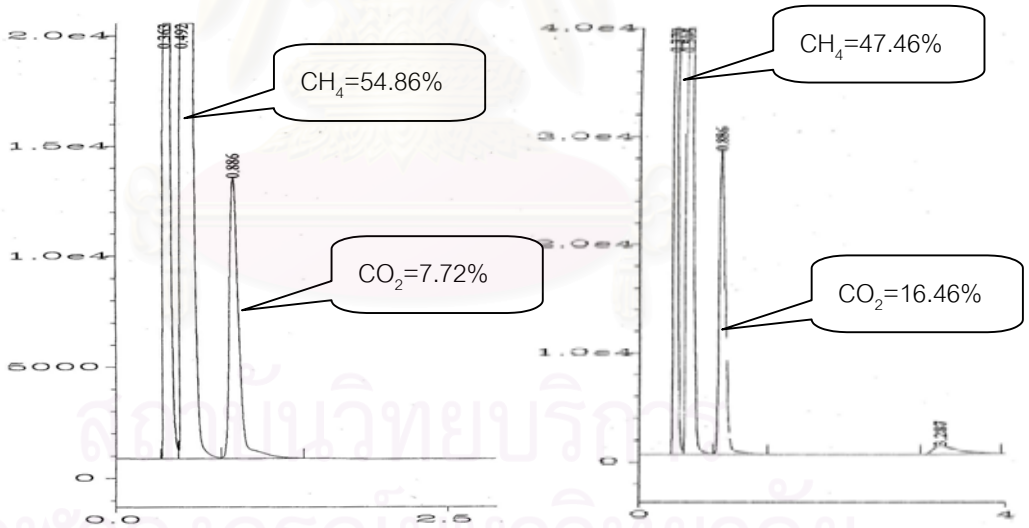
Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fah43.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 20 Mar 02 10:06 AM
Report Created on: 20 Mar 02 10:14 AM

Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fah43.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.370	269796	119158	BV	0.034	34.2812
2	0.505	373476	100604	VV	0.053	47.4550
3	0.886	129564	28031	VB	0.071	16.4628
4	3.287	14175	762	BB	0.251	1.8011

Total area = 787010



Methane Analysis by Gas Chromatography

Column Porapak Q : Length 2 m. Column Temp :70 C

Initial Temp 120 C (TCD) Detector Temp 120 C Injection 0.5 ml.

รูปที่ 5 การทดลองชุดที่ 1 สารอาหาร นมถั่วเหลือง Day 119 (วันที่ 29/10/44)

การทดลองชุดที่ 2 สารอาหาร น้ำตาล[1] Day 220 (วันที่ 7/2/45)

Area Percent Report

Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fah49.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 20 Mar 02 10:46 AM
Report Created on: 20 Mar 02 10:52 AM

Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fah49.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.371	274034	123769	BV	0.031	34.2430
2	0.502	425249	106489	VV	0.058	53.1388
3	0.901	84365	18346	VB	0.071	10.5422
4	3.270	16613	913	BB	0.253	2.0760

Total area = 800261

Area Percent Report

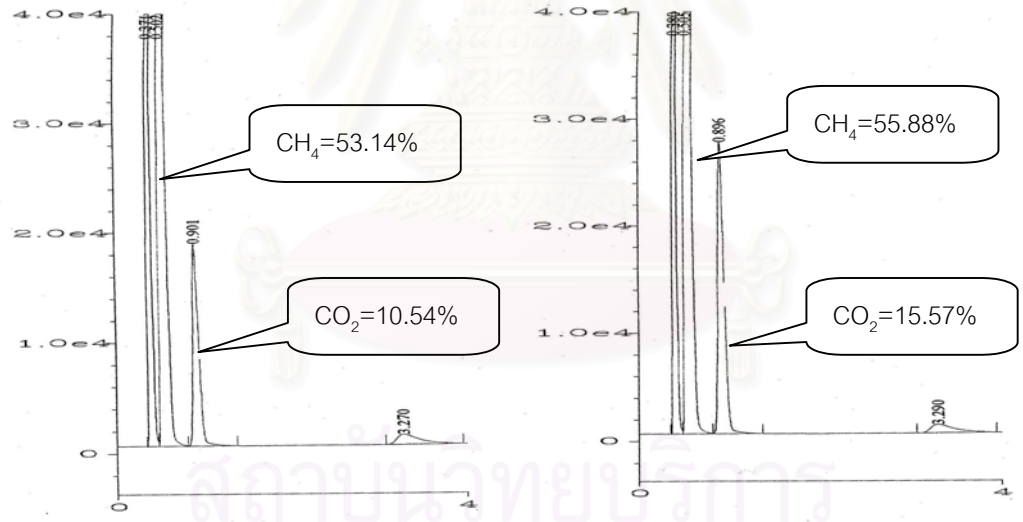
Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fah46.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 20 Mar 02 10:29 AM
Report Created on: 20 Mar 02 10:33 AM

Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fah46.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.380	218843	103870	BV	0.030	26.7666
2	0.505	456894	114053	VV	0.059	55.8826
3	0.896	127283	27119	VB	0.072	15.5679
4	3.290	14577	794	BB	0.260	1.7829

Total area = 817596



Methane Analysis by Gas Chromatography

Column Porapak Q : Length 2 m. Column Temp :70 C

Initial Temp 120 C (TCD) Detector Temp 120 C Injection 0.5 ml.

รูปที่ 6 การทดลองชุดที่ 2 สารอาหาร น้ำตาล[1] Day 221 (วันที่ 8/2/45)

การทดลองชุดที่ 2 สารอาหาร น้ำตาล[1] Day 222 (วันที่ 9/2/45)

Area Percent Report

Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fah50.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 20 Mar 02 10:53 AM
Report Created on: 20 Mar 02 10:57 AM

Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fah50.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.375	267458	118050	BV	0.034	33.6634
2	0.506	437726	108043	VV	0.060	55.0941
3	0.909	72595	15566	VB	0.072	9.1371
4	3.280	16728	909	BB	0.252	2.1054

Total area = 794507

Area Percent Report

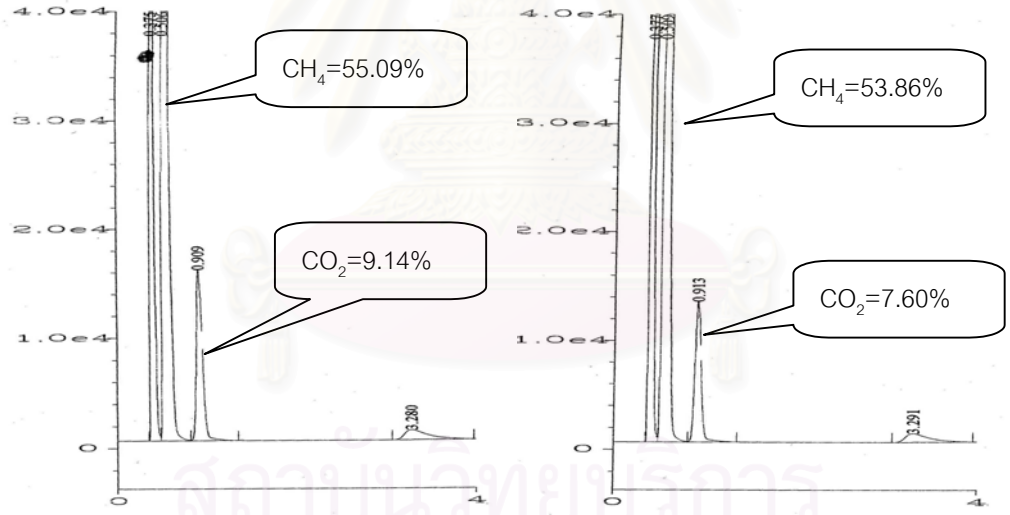
Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fah47.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 20 Mar 02 10:34 AM
Report Created on: 20 Mar 02 10:38 AM

Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fah47.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.377	292843	126444	BV	0.032	36.6892
2	0.509	429901	106696	VV	0.060	53.8608
3	0.913	60626	12910	VB	0.073	7.5956
4	3.291	14801	802	BB	0.256	1.8543

Total area = 798171



Methane Analysis by Gas Chromatography

Column Porapak Q : Length 2 m. Column Temp :70 C

Initial Temp 120 C (TCD) Detector Temp 120 C Injection 0.5 ml.

รูปที่ 7 การทดลองชุดที่ 2 สารอาหาร น้ำตาล[2] Day 220 (วันที่ 7/2/45)

การทดลองชุดที่ 2 สารอาหาร น้ำตาล[2] Day 221 (วันที่ 8/2/45)

Area Percent Report

Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fah42.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 20 Mar 02 09:59 AM
Report Created on: 20 Mar 02 10:04 AM
Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fah42.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.385	101266	50665	BV	0.029	13.8250
2	0.494	526670	122905	VV	0.062	71.9020
3	0.898	90990	19078	VB	0.073	12.4221
4	3.300	13558	726	BB	0.251	1.8509

Total area = 732482

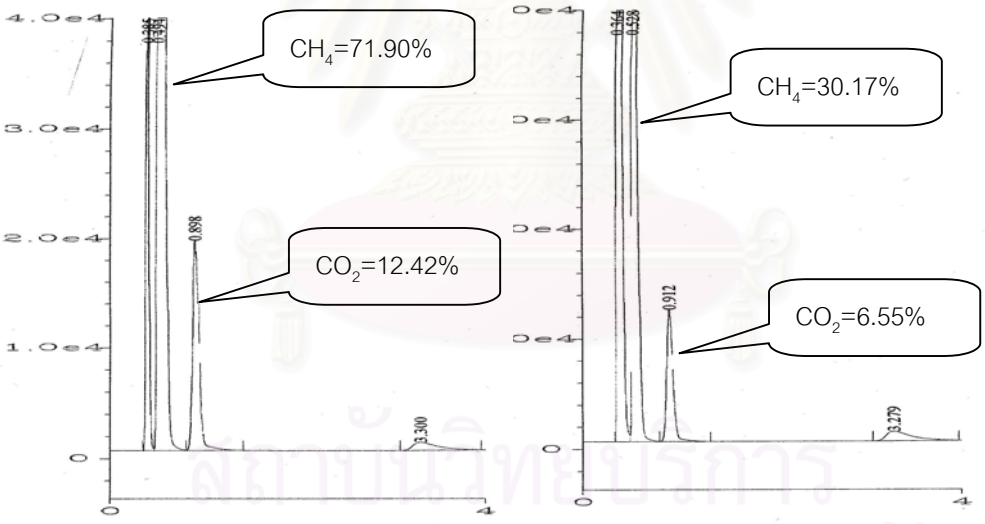
Area Percent Report

Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fah48.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 20 Mar 02 10:39 AM
Report Created on: 20 Mar 02 10:44 AM
Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fah48.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.364	508507	185097	BV	0.039	61.3329
2	0.528	250139	73328	VV	0.051	30.1701
3	0.912	54315	11995	VB	0.070	6.5511
4	3.279	16133	877	BB	0.257	1.9459

Total area = 829093



Methane Analysis by Gas Chromatography

Column Porapak Q : Length 2 m. Column Temp :70 C

Initial Temp 120 C (TCD) Detector Temp 120 C Injection 0.5 ml.

รูปที่ 8 การทดลองชุดที่ 2 สารอาหาร น้ำตาล[2] Day 222 (วันที่ 9/2/45)

การทดลองชุดที่ 2 สารอาหาร นมถั่วเหลือง Day 220 (วันที่ 7/2/45)

Area Percent Report

Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fah51.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 20 Mar 02 10:58 AM
Report Created on: 20 Mar 02 11:03 AM

Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fah51.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.369	457600	173157	BV	0.038	54.2112
2	0.526	297791	83240	VV	0.053	35.2789
3	0.914	72268	16021	VB	0.070	8.5614
4	3.288	16447	898	BB	0.254	1.9485

Total area = 844107

Area Percent Report

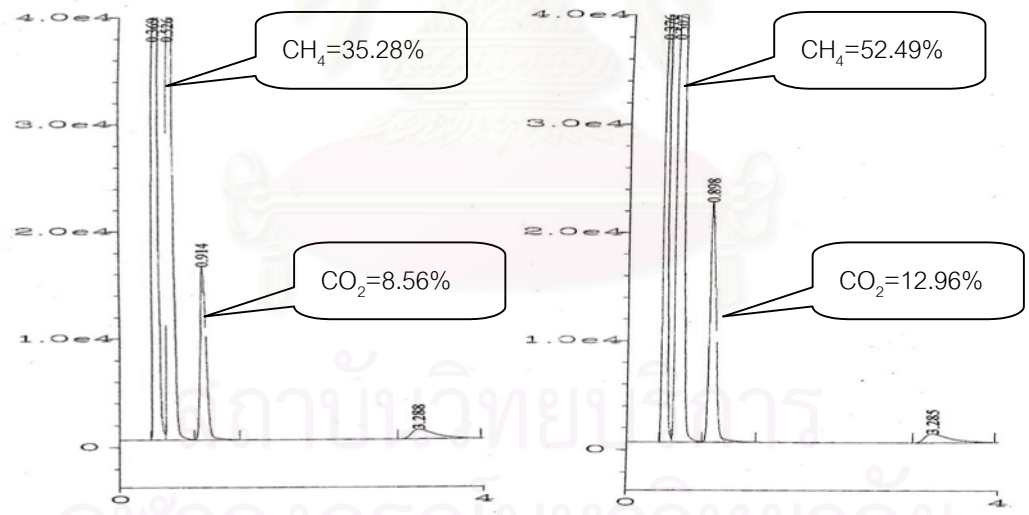
Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fah44.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 20 Mar 02 10:15 AM
Report Created on: 20 Mar 02 10:20 AM

Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fah44.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.376	256659	115239	BV	0.034	32.6351
2	0.507	412820	105293	VV	0.058	52.4915
3	0.898	101906	22179	VB	0.071	12.9577
4	3.285	15066	817	BB	0.246	1.9157

Total area = 786450



Methane Analysis by Gas Chromatography

Column Porapak Q : Length 2 m. Column Temp :70 C

Initial Temp 120 C (TCD) Detector Temp 120 C Injection 0.5 ml.

รูปที่ 9 การทดลองชุดที่ 2 สารอาหาร นมถั่วเหลือง Day 221 (วันที่ 8/2/45)

การทดลองชุดที่ 2 สารอาหาร นมถั่วเหลือง Day 222 (วันที่ 9/2/45)

Area Percent Report

Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak58.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 10 Jul 02 10:15 AM
Report Created on: 10 Jul 02 10:18 AM

Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak58.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.371	55702	30445	BV	0.027	7.5626
2	0.474	503563	123863	VV	0.058	68.3689
3	0.847	177273	38104	VB	0.071	24.0684

Total area = 736538

Area Percent Report

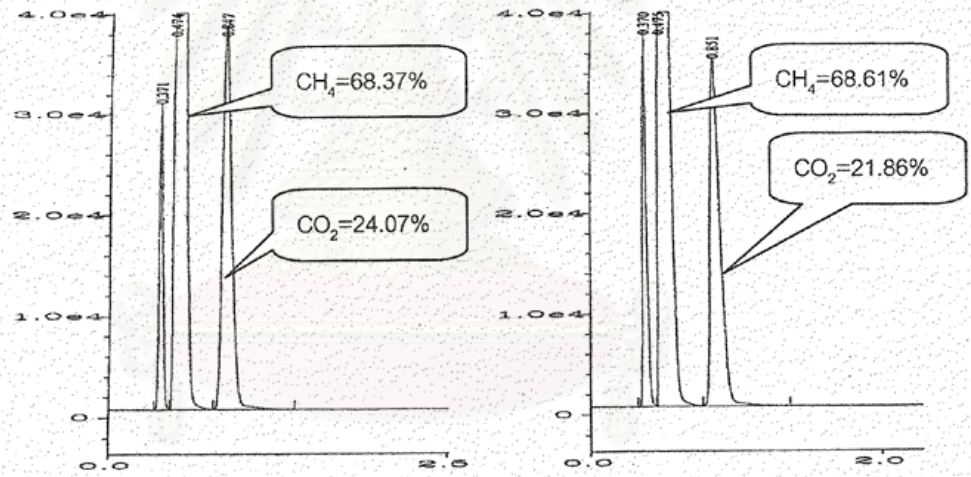
Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak59.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 10 Jul 02 10:20 AM
Report Created on: 10 Jul 02 10:22 AM

Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak59.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.370	69858	37655	BV	0.027	9.5368
2	0.475	502544	125342	VV	0.056	68.6060
3	0.851	160106	34714	VB	0.070	21.8572

Total area = 732508



Methane Analysis by Gas Chromatography

Column Porapak Q : Length 2 m. Column Temp :70 C

Initial Temp 120 C (TCD) Detector Temp 120 C Injection 0.5 ml.

รูปที่ 12 การทดลองชุดที่ 3 สารอาหาร น้ำตาล2 Day 365 (วันที่ 2/7/45)

การทดลองชุดที่ 3 สารอาหาร น้ำตาล2 Day 366 (วันที่ 3/7/45)

Area Percent Report

Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak60.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 10 Jul 02 10:23 AM
Report Created on: 10 Jul 02 10:26 AM
Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak60.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.356	219073	102193	PV	0.032	27.0963
2	0.476	449265	113823	VV	0.055	55.5679
3	0.853	140159	29087	VB	0.073	17.3357

Total area = 808497

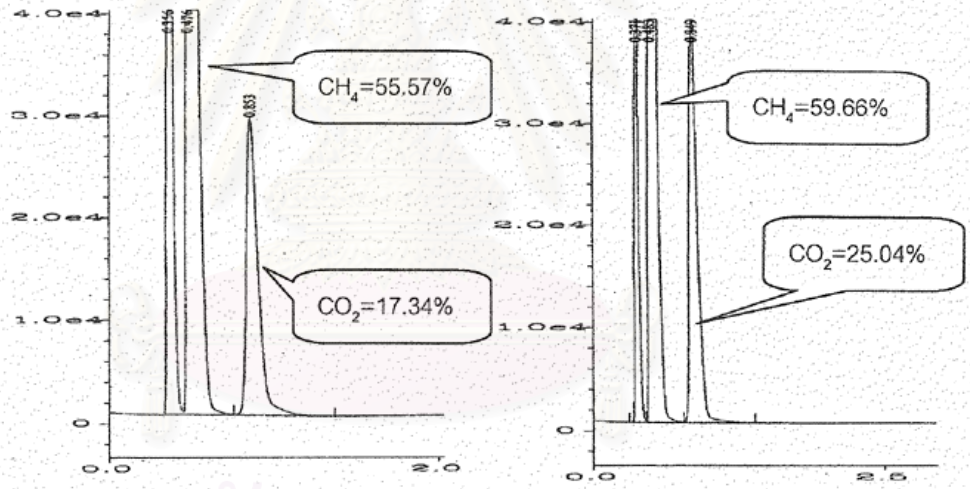
Area Percent Report

Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak61.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 10 Jul 02 10:27 AM
Report Created on: 10 Jul 02 10:30 AM
Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak61.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.371	117440	60089	BV	0.028	15.3039
2	0.483	457810	115721	VV	0.055	59.6584
3	0.849	192136	40922	VB	0.071	25.0377

Total area = 767386



Methane Analysis by Gas Chromatography

Column Porapak Q : Length 2 m. Column Temp :70 C

Initial Temp 120 C (TCD) Detector Temp 120 C Injection 0.5 ml.

รูปที่ 13 การทดลองชุดที่ 3 สารอาหาร นมถั่วเหลือง Day 364 (วันที่ 1/7/45)

การทดลองชุดที่ 3 สารอาหาร นมถั่วเหลือง Day 365 (วันที่ 2/7/45)

Area Percent Report

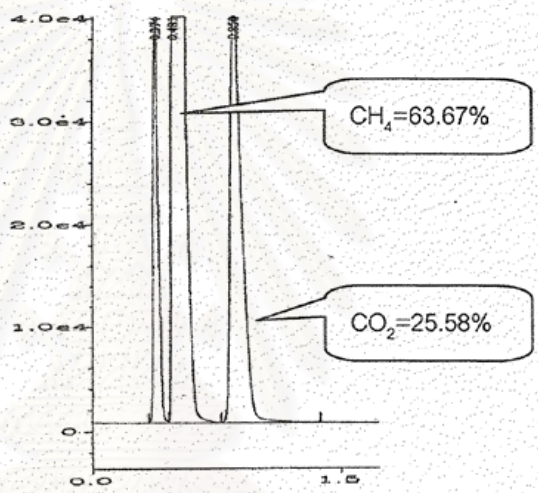
Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak62.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 10 Jul 02 10:31 AM
Report Created on: 10 Jul 02 10:33 AM

Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak62.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.374	84188	43575	BV	0.028	11.0574
2	0.481	484745	122018	VV	0.059	63.6675
3	0.850	192437	40911	VB	0.072	25.2751

Total area = 761370



Methane Analysis by Gas Chromatography

Column Porapak Q : Length 2 m. Column Temp :70 C

Initial Temp 120 C (TCD) Detector Temp 120 C Injection 0.5 ml.

รูปที่ 14 การทดลองชุดที่ 3 สารอาหาร นมถั่วเหลือง Day 366 (วันที่ 3/7/45)

Area Percent Report

Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak54.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 10 Jul 02 09:59 AM
Report Created on: 10 Jul 02 10:03 AM

Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak54.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.372	47420	24280	BV	0.029	6.3374
2	0.481	417162	111724	VV	0.052	55.7505
3	0.827	283683	57297	VB	0.074	37.9121

Total area = 748266

Area Percent Report

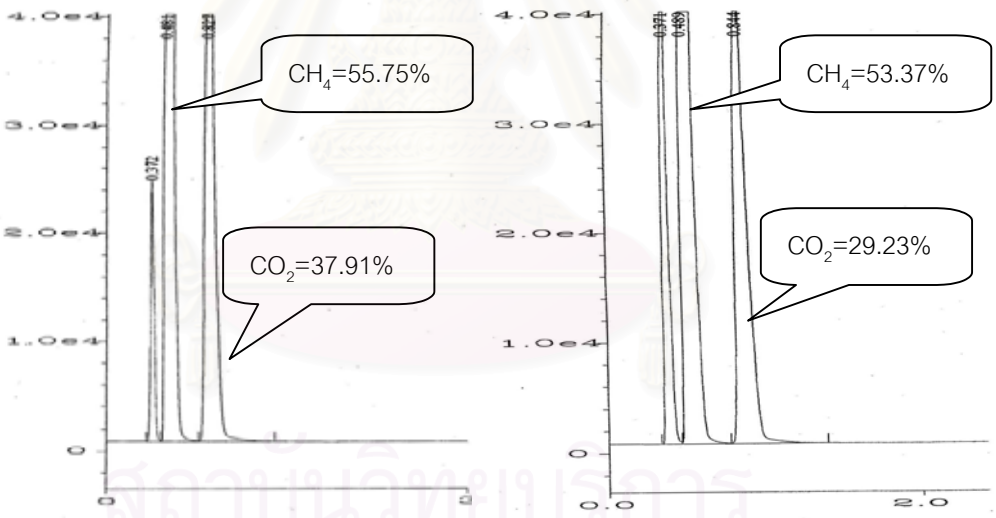
Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak55.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 10 Jul 02 10:04 AM
Report Created on: 10 Jul 02 10:07 AM

Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak55.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.371	133832	69040	BV	0.028	17.3992
2	0.489	410521	108310	VV	0.053	53.3711
3	0.844	224829	47370	VB	0.072	29.2297

Total area = 769182



Methane Analysis by Gas Chromatography

Column Porapak Q : Length 2 m. Column Temp :70 C

Initial Temp 120 C (TCD) Detector Temp 120 C Injection 0.5 ml.

รูปที่ 10 การทดลองชุดที่ 3 สารอาหาร น้ำตาล[1] Day 364 (วันที่ 1/7/45)

การทดลองชุดที่ 3 สารอาหาร น้ำตาล[1] Day 365 (วันที่ 2/7/45)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Area Percent Report

Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak56.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 10 Jul 02 10:07 AM
Report Created on: 10 Jul 02 10:10 AM

Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak56.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.368	159122	79348	BV	0.028	20.8237
2	0.487	422634	110229	VV	0.053	55.3086
3	0.850	182382	39342	VB	0.070	23.8677

Total area = 764138

Area Percent Report

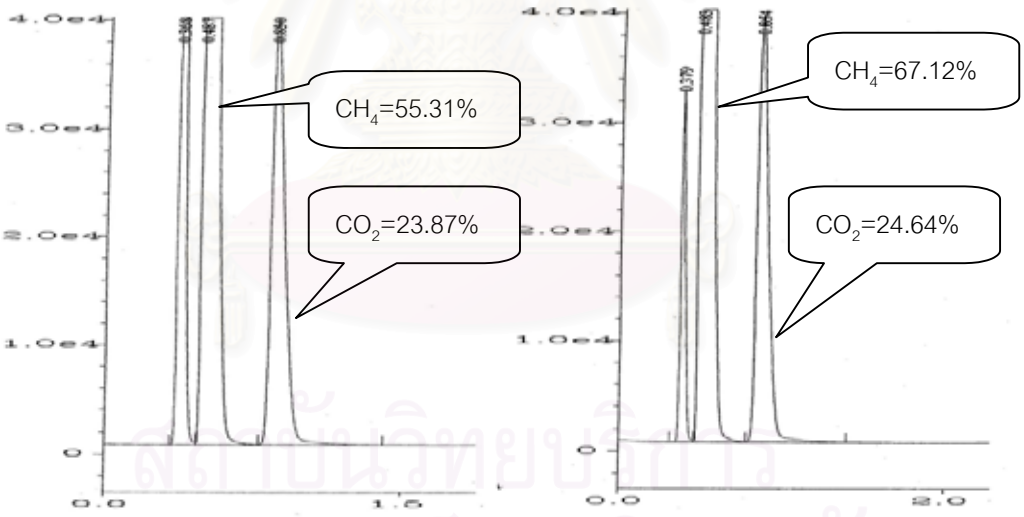
Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak57.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 10 Jul 02 10:11 AM
Report Created on: 10 Jul 02 10:14 AM

Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak57.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.379	60907	32384	BV	0.028	8.2430
2	0.483	495946	121614	VV	0.058	67.1205
3	0.854	182036	39005	VB	0.071	24.6365

Total area = 738889



Methane Analysis by Gas Chromatography

Column Porapak Q : Length 2 m. Column Temp :70 C

Initial Temp 120 C (TCD) Detector Temp 120 C Injection 0.5 ml.

รูปที่ 11 การทดลองชุดที่ 3 สารอาหาร น้ำตาล[1] Day 366 (วันที่ 3/7/45)

การทดลองชุดที่ 3 สารอาหาร น้ำตาล[2] Day 364 (วันที่ 1/7/45)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Area Percent Report

Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak58.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 10 Jul 02 10:15 AM
Report Created on: 10 Jul 02 10:18 AM

Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak58.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.371	55702	30445	BV	0.027	7.5626
2	0.474	503563	123863	VV	0.058	68.3689
3	0.847	177273	38104	VB	0.071	24.0684

Total area = 736538

Area Percent Report

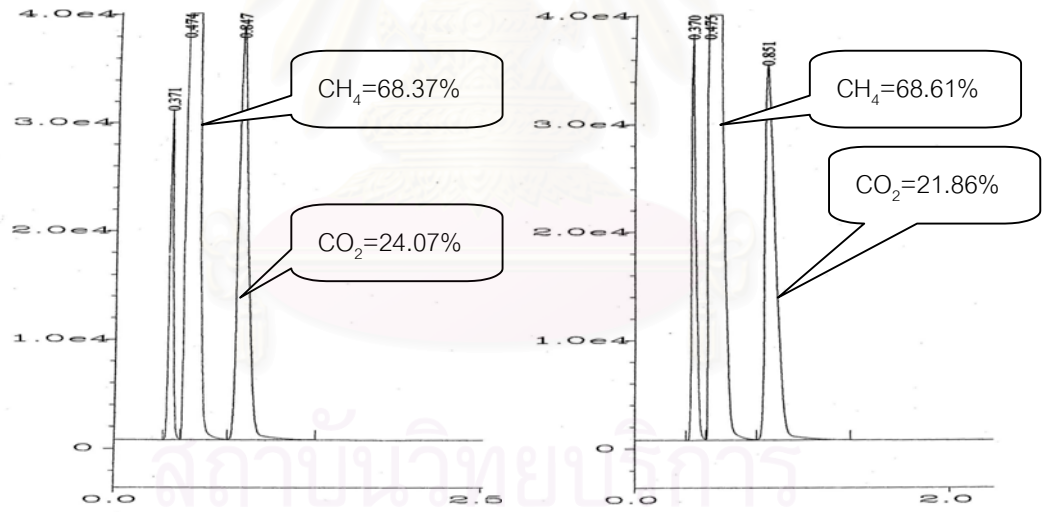
Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak59.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 10 Jul 02 10:20 AM
Report Created on: 10 Jul 02 10:22 AM

Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak59.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.370	69858	37655	BV	0.027	9.5368
2	0.475	502544	125342	VV	0.056	68.6060
3	0.851	160106	34714	VB	0.070	21.8572

Total area = 732508



Methane Analysis by Gas Chromatography

Column Porapak Q : Length 2 m. Column Temp :70 C

Initial Temp 120 C (TCD) Detector Temp 120 C Injection 0.5 ml.

รูปที่ 12 การทดลองชุดที่ 3 สารอาหาร น้ำตาล^2 Day 365 (วันที่ 2/7/45)

การทดลองชุดที่ 3 สารอาหาร น้ำตาล^2 Day 366 (วันที่ 3/7/45)

Area Percent Report

Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak60.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 10 Jul 02 10:23 AM
Report Created on: 10 Jul 02 10:26 AM
Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak60.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.356	219073	102193	PV	0.032	27.0963
2	0.476	449265	113823	VV	0.055	55.5679
3	0.853	140159	29087	VB	0.073	17.3357

Total area = 808497

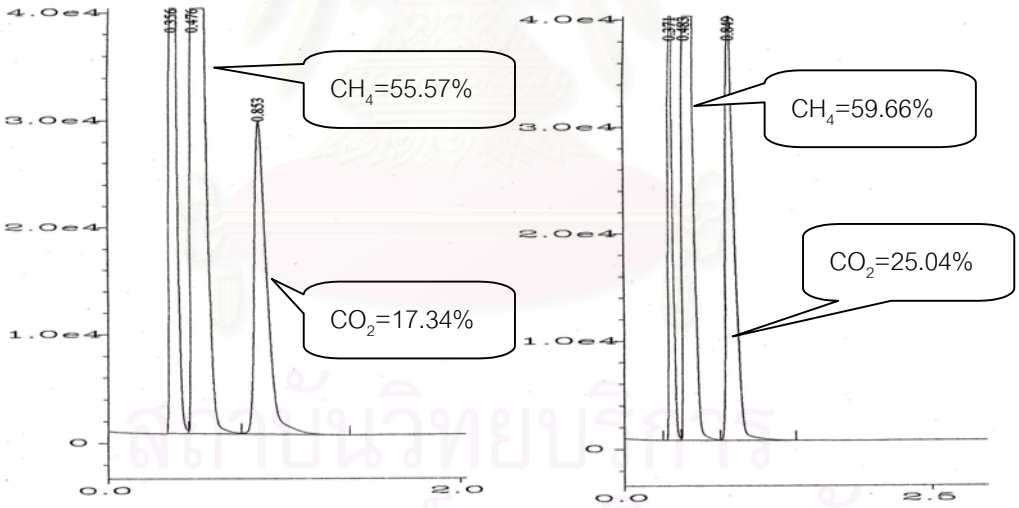
Area Percent Report

Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak61.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 10 Jul 02 10:27 AM
Report Created on: 10 Jul 02 10:30 AM
Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak61.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.371	117440	60089	BV	0.028	15.3039
2	0.483	457810	115721	VV	0.055	59.6584
3	0.849	192136	40922	VB	0.071	25.0377

Total area = 767386



Methane Analysis by Gas Chromatography

Column Porapak Q : Length 2 m. Column Temp :70 C

Initial Temp 120 C (TCD) Detector Temp 120 C Injection 0.5 ml.

รูปที่ 13 การทดลองชุดที่ 3 สารอาหาร นมถั่วเหลือง Day 364 (วันที่ 1/7/45)

การทดลองชุดที่ 3 สารอาหาร นมถั่วเหลือง Day 365 (วันที่ 2/7/45)

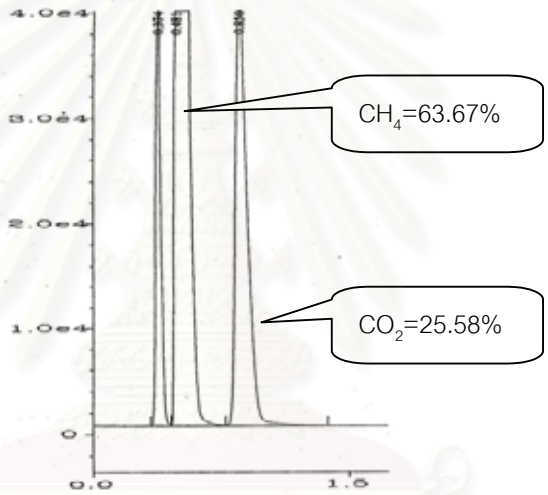
Area Percent Report

Data File Name : C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak62.D
Operator : SUNEE
Instrument : ANALYZER1
Sample Name : PULAWY060-65%
Run Time Bar Code:
Acquired on : 10 Jul 02 10:31 AM
Report Created on: 10 Jul 02 10:33 AM
Page Number : 1
Vial Number : 1
Injection Number :
Sequence Line :
Instrument Method: NO2.MTH
Analysis Method : NO2.MTH

Sig. 1 in C:\HPCHEM\1\DATA\STEROL\001Fak62.D

Pk#	Ret Time	Area	Height	Type	Width	Area %
1	0.374	84188	43575	BV	0.028	11.0574
2	0.481	484745	122018	VV	0.059	63.6675
3	0.850	192437	40911	VB	0.072	25.2751

Total area = 761370



Methane Analysis by Gas Chromatography

Column Porapak Q : Length 2 m. Column Temp :70 C

Initial Temp 120 C (TCD) Detector Temp 120 C Injection 0.5 ml.

รูปที่ 14 การทดลองชุดที่ 3 สารอาหาร นมถั่วเหลือง Day 366 (วันที่ 3/7/45)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย วันชัย วงค์เทียนชัย เกิดเมื่อวันที่ 5 ตุลาคม 2520 ที่จังหวัดเชียงราย สำเร็จการศึกษาจากโรงเรียนมัธยมศึกษาเมื่อปี พ.ศ. 2538 และเข้าศึกษาต่อในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในปีเดียวกัน ได้รับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ในปี พ.ศ. 2542 ต่อมาในปี พ.ศ. 2542 ได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย