

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์เชื้อตะกอนจุลินทรีย์จากโรงงานแป้งมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นเชื้อตะกอนในระบบ UASB ที่ใช้บำบัดน้ำเสียของทางโรงงานแป้งมันสำปะหลัง ในการทดลองได้ใช้เชื้อตะกอน 3 ลิตร ต่อถังปฏิกรณ์ 1 ถัง และในส่วนล่างสุดของถังปฏิกรณ์ได้ใช้กรวดทำการกระจายน้ำเสียให้สม่ำเสมอทั่วทั้งหน้าตัด สำหรับถังปฏิกรณ์ UASB ทำการใส่เชื้อตะกอนไว้ส่วนล่างสุดของถังปฏิกรณ์ และถังปฏิกรณ์ MAHR ได้แบ่งเชื้อตะกอนออกเป็น 2 ส่วน คือส่วนล่างสุดของถังปฏิกรณ์ MAHR ใส่เชื้อตะกอนปริมาตร 2 ลิตร และส่วนกลางของถังปฏิกรณ์ MAHR ใส่เชื้อตะกอนปริมาตร 1 ลิตร ดังภาพที่ 3-1

ในการทดลองได้แบ่งช่วงการทดลองออกเป็น 2 ช่วง คือช่วง Start up และช่วง Operation โดยในการทดลองช่วง Start up ได้ใช้อัตราการระบรทุกที่ 1, 2 และ 3 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน เพื่อให้เชื้อปรับสภาพใหม่ในถังปฏิกรณ์ทั้ง 2 ถัง และช่วง Operation เป็นช่วงที่ใช้เปรียบเทียบผลของทั้ง 2 ระบบ โดยได้ใช้อัตราการระบรทุกที่ 5, 7, 10 และ 15 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน โดยใช้ระยะเวลาในการทดลองตั้งแต่เริ่มเดินระบบรวมทั้งสิ้น 157 วัน

ในตอนเริ่มต้นได้ทำการเจือจางน้ำเสียและพยายามปรับพีเอชของน้ำเสียที่จ่ายเข้าระบบให้มีค่าน้อยกว่า 7 เพื่อที่จะให้แบคทีเรียชั้นล่างสุดของ MAHR เป็นกลุ่มสร้างกรด โดยค่อยๆทำการลดพีเอชลง โดยเริ่มจากวันที่ 1 และเมื่อถึงวันที่ 35 ที่ทำการทดลอง ซึ่งทั้ง 2 ระบบได้เกิดการสูญเสียเสถียรภาพ (Shock) ขึ้น ทำให้การทำงานของทั้ง 2 ระบบ มีประสิทธิภาพลดลง โดยจะสังเกตเห็นปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นลดลงอย่างเห็นได้ชัด และสังเกตเห็นว่าน้ำเสียออกจากทั้ง 2 ระบบมีสีดำนากขึ้น เนื่องจากมีเศษเชื้อตะกอนจุลินทรีย์บางส่วนหลุดออกจากระบบ โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆแสดงดังภาพที่ 4-1 หลังจากนั้นวันที่ 37 ได้ทำการเพิ่มพีเอชให้น้ำเสียโดยปรับมาอยู่ที่ 9.1 และในวันนี้ได้ทำการเวียนน้ำกลับมาใช้อีกด้วย ทั้งนี้เพื่อให้ระบบคืนสภาพเร็วขึ้น และตั้งแต่วันที่ 38 เป็นต้นไปได้ทำการปรับพีเอชน้ำเสียที่จ่ายเข้าระบบอยู่ที่ 6.5 และใช้ค่าพีเอชนี้ตลอดการทดลอง

สำหรับรายละเอียดการเพิ่มอัตราการระบรทุกให้สูงขึ้น และระยะเวลาการเดินระบบในแต่ละอัตราการระบรทุกแสดงดังตารางที่ 4-1

ตาราง 4-1 ระยะเวลาการเดินระบบในแต่ละอัตราภาระบรรทุก

อัตราภาระบรรทุก (กก. ซีไอดี/ลบ.ม. วัน)	วันที่ทำการทดลอง	หมายเหตุ
1	1 - 44	ช่วง Strat up
2	45 - 56	ช่วง Strat up
3	57 - 76	ช่วง Strat up
5	77 - 94	ช่วง Operation
7	95 - 120	ช่วง Operation
10	121 - 138	ช่วง Operation
15	139 - 157	ช่วง Operation

1. ลักษณะสมบัติน้ำเสียเบื้องต้น

น้ำเสียจากโรงงานเป็งมันสำปะหลังที่ใช้ในการทดลองได้ตรวจวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสียเบื้องต้น มีค่าดังตารางที่ 4-2

ตาราง 4-2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสียโรงงานเป็งมันสำปะหลัง

พารามิเตอร์	ค่าที่วิเคราะห์ได้
pH	4.73 - 4.95
BOD (มิลลิกรัมต่อลิตร)	9,758 - 10,426
TCOD (มิลลิกรัมต่อลิตร)	15,660 - 17,112
SCOD (มิลลิกรัมต่อลิตร)	11,232 - 11,965
SS (มิลลิกรัมต่อลิตร)	1,975 - 2,455
VSS (มิลลิกรัมต่อลิตร)	295 - 340
N (มิลลิกรัมต่อลิตร)	169 - 184
P (มิลลิกรัมต่อลิตร)	39.8 - 44.6

จะเห็นว่าสัดส่วนของ BOD : N : P มีค่า 100 : 1.7 : 0.4 ซึ่ง N และ P นั้นมีค่าเพียงพอต่อการบำบัดแบบไร้ออกซิเจน ซึ่งการบำบัดแบบไร้ออกซิเจนควรมีสัดส่วนของ BOD : N : P เท่ากับ 100 : 1.1 : 0.2 (มันลิน ตันจุลเวศม์, 2545)

2. การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงพีเอชในช่วง Start up ระบบ

ในช่วงแรกของการวิจัยครั้งนี้ ได้มีการทดลองการเปลี่ยนแปลงพีเอชของน้ำเสียที่จ่ายเข้าสู่ระบบให้มีค่าต่ำ ทั้งนี้เพื่อต้องการที่จะให้กลุ่มแบคทีเรียชั้นแรกของ MAHR เป็นกลุ่มแบคทีเรียสร้างกรดและต้องการเปรียบเทียบระบบ MAHR ที่มีการใช้แบคทีเรียแบบเกาะติด (attach growth) กับระบบ UASB ที่ไม่มีแบคทีเรียแบบเกาะติดว่าระบบไหนมีความเสถียรหรือความทนต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้ดีกว่ากัน โดยการทดลองนี้ได้ทำการทดลองในช่วง Start up คือวันที่ 1 – 76 ของการทดลอง

2.1 การเปลี่ยนแปลงพีเอชและอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพค่างทั้งหมด

ในการทดลองในช่วง Start up ได้ทำการลดพีเอชของน้ำเสียจ่ายเข้าระบบลง โดยทำการเจือจางน้ำเสียแต่ไม่มีการควบคุมพีเอช ซึ่งที่อัตราการระบรทุก 0.7 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พีเอชมีค่าอยู่ระหว่าง 6.33 - 7.08 เมื่อเพิ่มอัตราการระบรทุกขึ้นมาที่ 2.5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พีเอชมีค่าอยู่ระหว่าง 5.66 – 6.45 ที่อัตราการระบรทุก 3 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน พีเอชมีค่าอยู่ระหว่าง 5.46 – 5.58 และในวันที่ 35 และ 36 ทำการเจือจางน้ำเสียและพีเอชลดลงมาที่ 4.4 และ 4.2 ตามลำดับ ซึ่งระบบเกิดการสูญเสียเสถียรภาพขึ้น จะเห็นได้จากพีเอชของน้ำออกระบบมีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัด โดยวันที่ 35 ระบบ UASB และ MAHR มีค่าพีเอชน้ำออกอยู่ที่ 6.9 และ 7.2 ตามลำดับ และวันที่ 36 ระบบ UASB และ MAHR มีค่าพีเอชน้ำออกอยู่ที่ 6.1 และ 6.6 ตามลำดับ ในช่วงนี้สังเกตเห็นว่าระบบ UASB และ MAHR มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดและความสามารถผลิตก๊าซลดลงอย่างเห็นได้ชัด จึงได้ทำการปรับพีเอชน้ำเสียโดยเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้น้ำเสียจ่ายเข้าระบบมีพีเอชขึ้นมาเป็น 9.1 และปรับอัตราการระบรทุกลงมาที่ 1 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน เพื่อให้ระบบฟื้นสภาพกลับมาเป็นเหมือนเดิม หลังจากนั้นได้ปรับพีเอชของน้ำเสียจ่ายเข้าระบบมาไว้ที่ 6.5 ตลอดการทดลอง จะเห็นได้ว่าในช่วงที่ระบบสูญเสียเสถียรภาพ MAHR มีค่าพีเอชของน้ำออกสูงกว่า UASB และในช่วงการฟื้นสภาพในวันที่ 37 – 44 ระบบ MAHR มีค่าพีเอชของน้ำออกสูงกว่า UASB อีกด้วย ดังแสดงในภาพที่ 4-1 (a)

อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพค่างทั้งหมดก่อนในช่วงก่อนที่จะลดพีเอชของ UASB และ MAHR นั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่เมื่อทำการปรับพีเอชลงทำให้อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพค่างทั้งหมดของ UASB และ MAHR มีค่าสูงขึ้น โดยวันที่ 37 ระบบ UASB และ MAHR มีอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพค่างทั้งหมดอยู่ที่ 0.93 และ 0.67 ตามลำดับ และอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพค่างทั้งหมดค่อยๆ ลดลงหลังจากทำการปรับพีเอชและอัตราการระบรทุกเพื่อให้ระบบคืนสภาพ ดังแสดงในภาพที่ 4-1 (b) โดยจะสังเกตเห็นว่าเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงพีเอชอย่างรวดเร็ว ทำให้อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพค่างทั้งหมดของ UASB สูงขึ้นมากกว่า MAHR มาก โดยมีค่ามากกว่า 0.8 แสดงว่าระบบมีสภาพค่างไม่เพียงพอที่จะรักษาพีเอชที่เป็นกลางไว้ได้ โดยเมื่อมีการเพิ่มของกรดไขมันเพียงเล็กน้อยจะทำให้พีเอชของระบบมีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ดังที่กล่าวมาข้างต้น

2.2 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดและปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น

ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดในช่วงก่อนที่จะลดพีเอชของ UASB และ MAHR นั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่เมื่อทำการปรับพีเอชลงทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดของ UASB และ

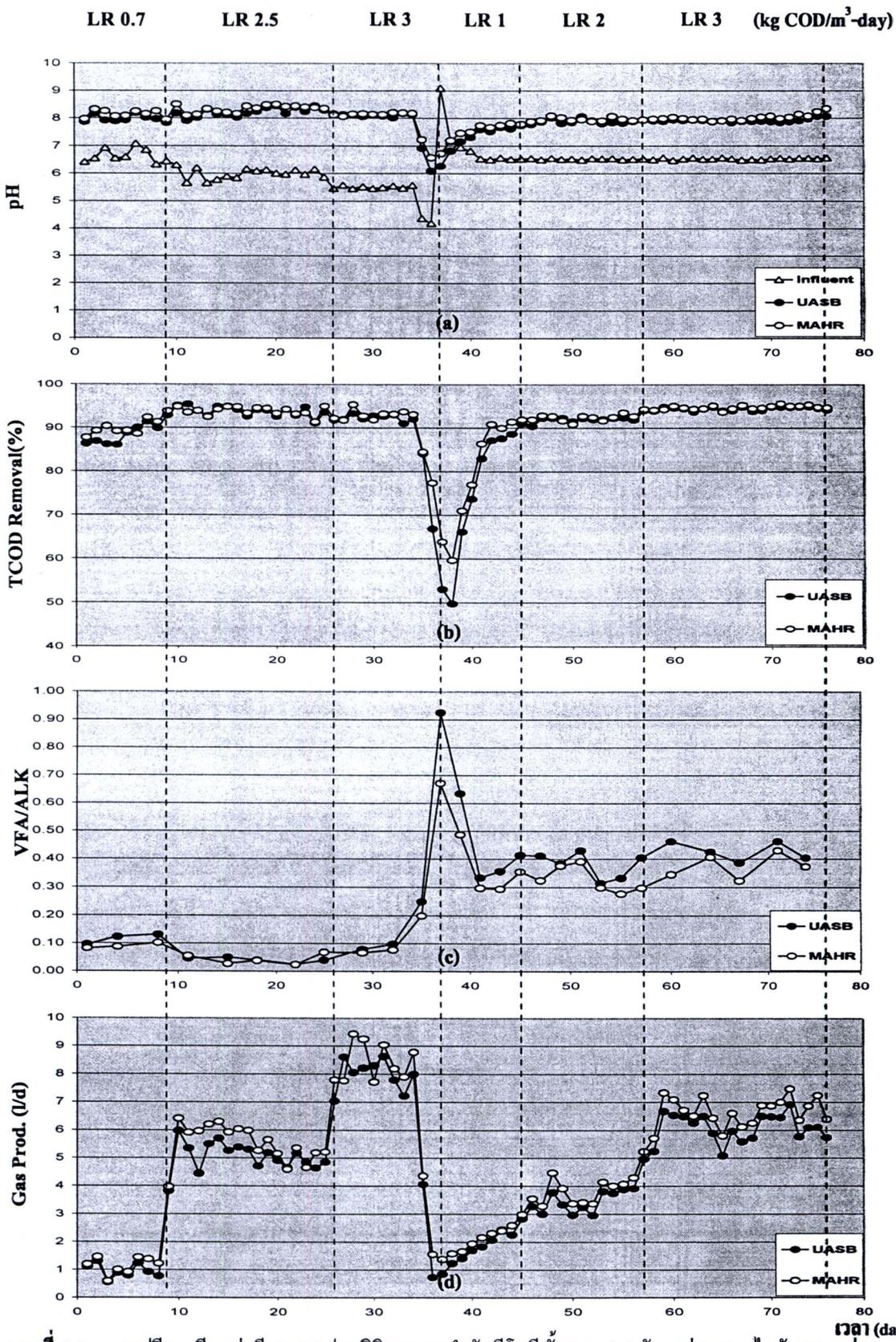
MAHR มีค่าลดลง โดยวันที่ 35 ระบบ UASB และ MAHR มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดอยู่ที่ 84.0 % และ 84.5 % ตามลำดับ วันที่ 36 ระบบ UASB และ MAHR มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดอยู่ที่ 66.9 % และ 77.0 % ตามลำดับ ในวันที่ 37 ได้ปรับการปรับอัตราการระบรทุกมาเป็น 1 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน โดยใช้วิธีปรับลดความเข้มข้นซีโอดีของน้ำเสียจ่ายเข้าระบบ ซึ่งในวันที่ 37 ระบบ UASB และ MAHR มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดอยู่ที่ 53.0 % และ 64.0 % ตามลำดับ และวันที่ 38 ระบบ UASB และ MAHR มีประสิทธิภาพการกำจัด ซีโอดีทั้งหมดอยู่ที่ 50.0 % และ 60.0 % ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4-1 (c) จะสังเกตเห็นว่าในช่วงที่เกิดการสูญเสียเสถียรภาพ ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของ MAHR สูงกว่า UASB และสามารถคืนสภาพได้เร็วกว่า UASB อีกด้วย

ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในช่วงที่ลดพีเอชของน้ำเสียจ่ายเข้าระบบลง เป็นอีกพารามิเตอร์ที่ใช้สังเกตเห็นความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ชัดเจน โดยวันที่ 35 ระบบ UASB และ MAHR มีปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นอยู่ที่ 4.0 ลิตร/วัน และ 4.4 ลิตร/วัน ตามลำดับ ซึ่งก่อนหน้าที่จะลดพีเอชลง คือวันที่ 34 ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นของ UASB และ MAHR อยู่ที่ 8.0 ลิตร/วัน และ 8.8 ลิตร/วัน ตามลำดับ จะเห็นว่าความสามารถในการผลิตก๊าซของทั้งสองระบบลดลงถึง 50 % โดย MAHR ยังสามารถผลิตก๊าซได้ดีกว่า UASB และสามารถคืนสภาพได้เร็วกว่า UASB อีกด้วย ดังแสดงในภาพที่ 4-1 (d)

ในช่วงที่ UASB และ MAHR มีการเปลี่ยนแปลงพีเอชอย่างรวดเร็วนั้น MAHR สามารถรักษาสมดุลของระบบได้ดีกว่า UASB ซึ่งจะเห็นได้จากทั้ง 4 พารามิเตอร์ที่กล่าวมาข้างต้น ทั้งนี้อาจมีส่วนมาจากที่ MAHR ใช้ตัวกลางเข้ามาช่วย ทำให้ระบบยังรักษาสมดุลได้ดีกว่า UASB เนื่องจากแบคทีเรียแบบเกาะติดจะช่วยให้ระบบมีความเสถียรมากขึ้น โดยแบคทีเรียนี้เป็นแบบ Fixed film ทำงานร่วมในระบบ แบคทีเรียที่อยู่ในรูปของ Fixed film จะมีความหนาแน่นของแบคทีเรียสูง ทำให้สามารถรับอัตราการระบรทุกที่สูงได้ และการที่มีเมือกบางๆอยู่รอบๆชั้นฟิล์มจะช่วยในการป้องกันการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วได้เป็นอย่างดี

3 การเปรียบเทียบความสมรรถนะของระบบ UASB และ MAHR

ในช่วง Start up หลังจากวันที่ 2 ระบบ เกิดการสูญเสียเสถียรภาพได้ทำการปรับอัตราการระบรทุกลงมาเท่ากับ 1 กก. ซีโอดี/ลบ.ม. วัน เพื่อให้เชื้อตะกอนจุลินทรีย์ปรับสภาพใหม่ในวันที่ 37 - 44 และเมื่อความสามารถในการทำงานของระบบเริ่มคงที่ได้เพิ่มอัตราการระบรทุกเป็น 2 ซีโอดี/ลบ.ม. วัน โดยใช้เดินระบบในวันที่ 45 - 56 และปรับอัตราการระบรทุก 3 กก. ซีโอดี/ลบ.ม. วัน ในวันที่ 57 - 76 สำหรับช่วง Operation เป็นช่วงที่ใช้เปรียบเทียบการทำงานของ 2 ระบบ โดยอัตราการระบรทุกที่ 5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม. วัน ได้ใช้เดินระบบในวันที่ 77 - 94 อัตราการระบรทุกที่ 7 กก. ซีโอดี/ลบ.ม. วัน ได้ใช้เดินระบบในวันที่ 95 - 120 อัตราการระบรทุกที่ 10 กก. ซีโอดี/ลบ.ม. วัน ได้ใช้เดินระบบในวันที่ 121 - 138 และอัตราการระบรทุกที่ 15 กก. ซีโอดี/ลบ.ม. วัน ได้ใช้เดินระบบในวันที่ 139 - 157 ดังแสดงดังตาราง 4-1



ภาพที่ 4-1 การเปรียบเทียบค่าพีเอช (a) ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมด (b) อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพ่างทั้งหมด (c) และก๊าซที่เกิดขึ้น (d) ของ UASB และ MAHR เมื่อลดพีเอชน้ำเสียเข้าสู่ระบบ

ในช่วง Start up ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของทั้ง 2 ระบบ มีค่าไม่ต่างกันมาก ดังแสดงในภาพที่ 4-1 ซึ่งเมื่อทั้ง 2 ระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงที่ คือวันที่ 77 ของการทดลองได้ปรับอัตราภาระบรรทุกมาเป็น 5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม. วัน และปรับเป็น 7, 10 และ 15 กก. ซีโอดี/ลบ.ม. วัน เพื่อเก็บผลในช่วง Operation โดยค่าเฉลี่ยของผลการทดลองที่อัตราภาระบรรทุก 5, 7, 10 และ 15 กก. ซีโอดี/ลบ.ม. วัน ของทั้ง 2 ระบบ แสดงดังตารางที่ 4-3

จากผลการทดลองสามารถที่จะเปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อแสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของทั้ง 2 ระบบ ได้ดังนี้

3.1 พีเอช กรดไขมันระเหย สภาพค่างทั้งหมดและอัตราส่วนของกรดไขมันระเหยต่อสภาพค่างทั้งหมด

ค่าพีเอช กรดไขมันระเหย และสภาพค่างทั้งหมด มีความสัมพันธ์กันและยังสามารถบ่งบอกถึงความสมดุลของระบบอีกด้วย โดยปกติกรดไขมันระเหยควรมีค่าอยู่ 200 – 400 มก./ล. (ในเทอมของกรดอะเซติก) แสดงถึงการทำงานของระบบเป็นไปด้วยดี กรดไขมันระเหยและสภาพค่างทั้งหมดเป็นตัวกำหนดพีเอช ซึ่งในระบบแบบไร้ออกซิเจนต้องมีการควบคุมค่าพีเอชให้เป็นกลาง เนื่องจากแบคทีเรียสร้างมีเทนสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงพีเอชประมาณ 6.8 – 7.2 สำหรับอัตราส่วนของกรดไขมันระเหย (ในรูปของกรดอะเซติก) ต่อสภาพค่างทั้งหมด (ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต) น้อยกว่า 0.4 แสดงว่าระบบมีสภาพค่างเพียงพอ และแสดงถึงระบบสามารถทำงานได้ดี แต่ถ้าอัตราส่วนนี้มีค่าสูงกว่า 0.8 แสดงว่าระบบมีสภาพค่างไม่เพียงพอที่จะรักษาพีเอชที่เป็นกลางไว้ได้ (Speece et al., 1995)

จากตารางที่ 4-3 พีเอชน้ำออกของ UASB และ MAHR ที่อัตราภาระบรรทุก 5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ย 8.14 และ 8.30 ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุก 7 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ย 8.28 และ 8.32 ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุก 10 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ย 8.25 และ 8.33 ตามลำดับ และที่อัตราภาระบรรทุก 15 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ย 8.22 และ 8.34 ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 4-2 (a) จะเห็นว่าพีเอชน้ำออกของ MAHR จะสูงกว่า UASB เล็กน้อย โดยจะเห็นว่าค่าพีเอชจะสอดคล้องกับปริมาณกรดไขมันระเหยและสภาพค่างทั้งหมด ซึ่งถ้ากรดไขมันระเหยมีปริมาณมากขึ้น และสภาพค่างทั้งหมดมีค่าน้อยจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพีเอชได้ง่าย แต่จากการทดลองจะเห็นว่าค่าพีเอชน้ำออกของ UASB และ MAHR ค่อนข้างคงที่แม้จะเพิ่มอัตราภาระบรรทุกให้สูงขึ้นก็ตาม ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกให้สูงขึ้น ปริมาณกรดไขมันระเหยเพิ่มขึ้นและสภาพค่างก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทำให้ UASB และ MAHR ยังสามารถรักษาระดับพีเอชให้คงที่ไว้ได้

ปริมาณกรดไขมันระเหยของ UASB และ MAHR ที่อัตราภาระบรรทุก 5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 774.4 และ 699.2 มก./ลิตร ในรูปของกรดอะเซติก ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุก 7 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 946.0 และ 855.5 มก./ลิตร ในรูปของกรดอะเซติก ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุก 10 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1353.6 และ 1198.4 มก./ลิตร ในรูปของกรดอะเซติก ตามลำดับ และที่อัตราภาระบรรทุก 15 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1534.4 และ 1364.8 มก./ลิตร ในรูปของกรดอะเซติก ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกขึ้น กรดไขมันระเหยของ UASB และ MAHR มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยกรดไขมันระเหยของ UASB เพิ่มสูงกว่า MAHR ดังแสดงในภาพที่ 4-2 (b) นั้นหมายถึงในระบบมีการสะสม

ตาราง 4-3 ค่าเฉลี่ยพารามิเตอร์ต่างๆ ของผลการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกที่ 5, 7, 10 และ 15 กก. ซีโอดี/ลบ.ม. วัน ของ UASB และ MAHR

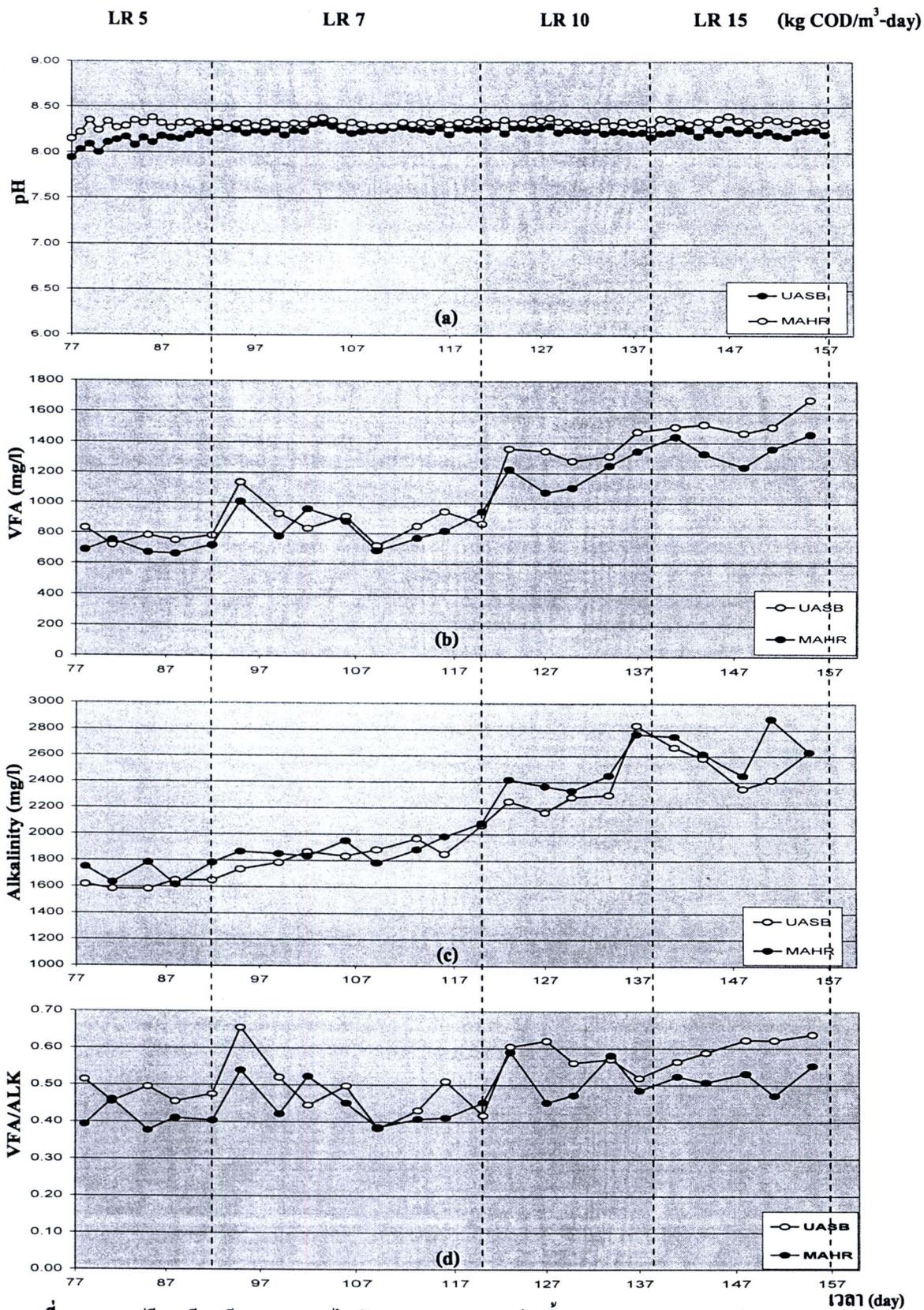
พารามิเตอร์	หน่วย	UASB (kg COD/m ³ .day)				MAHR (kg COD/m ³ .day)			
		5	7	10	15	5	7	10	15
ฟีดของน้ำออก		8.14	8.28	8.25	8.22	8.3	8.32	8.33	8.34
ไออาร์พี	มิลลิโวลท์	-158	-177	-211	-241	-161	-181	-222	-263
กรดไขมันระเหย	มก./ล.	774.4	946	1353.6	1534.4	699.2	855.5	1198.4	1364.8
สภาพค่างทั้งหมด	มก./ล.	1616.7	1872.9	2366.7	2530	1713.3	1904.2	2466.7	2666.6
อัตราส่วนกรดไขมันระเหย	แคลเซียมคาร์บอเนต	0.48	0.51	0.57	0.61	0.41	0.45	0.49	0.51
ต่อสภาพค่างทั้งหมด									
ซีโอดีทั้งหมดของน้ำออก	มก./ล.	395	513.5	768.5	1132.7	340.4	454.3	661.2	887.4
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมด	%	95.9	95.8	93.5	90.5	96.5	96.2	94.3	92.6
ซีโอดีละลายของน้ำออก	มก./ล.	279.9	331.8	482.3	673.8	252.9	295.4	428.3	588.7
ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลาย	%	94.7	94.5	91.1	88.8	95.2	95.1	92.1	90.3
ตะกอนแขวนลอยของน้ำออก	มก./ล.	194	252	375	469	170	227	310	422
ตะกอนแขวนลอยระเหยของน้ำออก	มก./ล.	31	41	49	58	25	33	38	46
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น	ลิตร/วัน	10.2	13.4	22.2	32.1	11.5	14.5	25.9	40
สัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ	%	74.4	73.2	73.1	71.6	75.8	74.9	75.1	76.5

ของกรดไขมันระเหยในปริมาณที่มากขึ้น แสดงว่าแบคทีเรียกลุ่มสร้างมีเทนนั้นอาจจะมีปริมาณไม่พอเพียงกับการเปลี่ยนกรดไขมันระเหยให้เป็นมีเทนในทันที

สภาพค่างทั้งหมดของ UASB และ MAHR ที่อัตราภาระบรรทุก 5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1616.7 และ 1713.3 มก./ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุก 7 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1872.9 และ 1904.2 มก./ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุก 10 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2366.7 และ 2466.7 มก./ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ และที่อัตราภาระบรรทุก 15 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2530.0 และ 2666.6 มก./ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสูงขึ้นสภาพค่างทั้งหมดของ UASB และ MAHR นั้นมีค่าสูงขึ้นและมีค่าใกล้เคียงกัน โดยสภาพค่างทั้งหมดของ MAHR จะสูงกว่า UASB เล็กน้อย ดังแสดงในภาพที่ 4-2 (c)

เมื่อปรับอัตราภาระบรรทุกมาที่ 5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม. วัน ตั้งแต่วันที่ 77 ของการทดลองเป็นต้นไป ปริมาณกรดไขมันระเหยของ MAHR ต่ำกว่า UASB ทั้งนี้แสดงถึงว่าในความสามารถในการเปลี่ยนกรดไขมันระเหยไปเป็นก๊าซมีเทนของ MAHR ดีกว่า UASB ทำให้มีการสะสมของกรดไขมันระเหยน้อยกว่า UASB โดยจะเห็นว่าสอดคล้องกับทฤษฎีที่ใช้กับ MAHR คือ หลายขั้นตอน (Multi Stage) โดยตะกอนจุลินทรีย์ชั้นล่างสุดเป็นกลุ่มแบคทีเรียสร้างกรดและตะกอนจุลินทรีย์ชั้นที่สองเป็นกลุ่มแบคทีเรียสร้างมีเทน เมื่อสามารถแยกแบคทีเรียสองกลุ่มนี้ออกจากกันจะทำให้ระบบมีความสามารถในการทำงานและการย่อยสลายได้ดีขึ้น

อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพค่างทั้งหมดของ UASB และ MAHR ที่อัตราภาระบรรทุก 5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.48 และ 0.41 ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุก 7 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.51 และ 0.45 ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุก 10 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.57 และ 0.49 ตามลำดับ และที่อัตราภาระบรรทุก 15 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.61 และ 0.51 ตามลำดับ โดยอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพค่างทั้งหมดควรอยู่ที่ 0.2 ถึง 0.4 (Speece et al., 1995) แสดงว่าระบบทำงานได้ดี และถ้าอัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพค่างทั้งหมดสูงกว่า 0.8 ระบบจะไม่สามารถรักษาระดับพีเอชให้คงที่ได้ โดยเมื่อมีการเพิ่มของกรดไขมันเพียงเล็กน้อยจะทำให้พีเอชมีค่าเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสูงขึ้น อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพค่างทั้งหมดของ UASB มีแนวโน้มสูงขึ้น ส่วนของ MAHR มีแนวโน้มสูงขึ้นไม่มาก แสดงว่า MAHR สามารถทำงานได้ดีกว่า UASB เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกให้สูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4-2 (d)



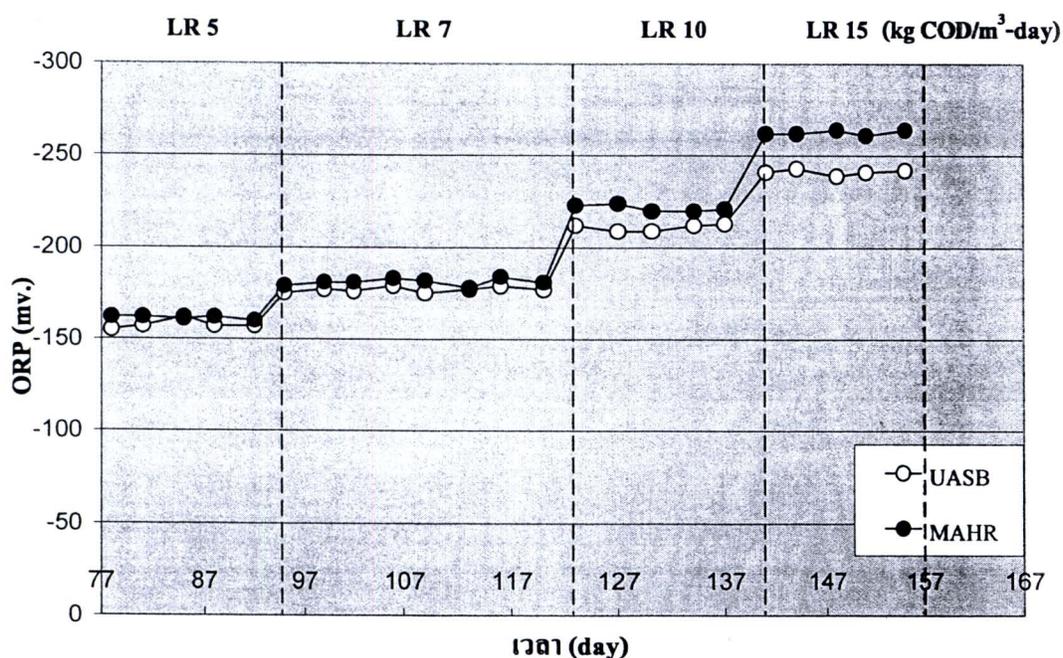
ภาพที่ 4-2 การเปรียบเทียบพีเอช (a) กรดไขมันระเหย (b) สภาพต่างทั้งหมด (c)

อัตราส่วนกรดไขมันระเหยต่อสภาพต่างทั้งหมด (d) ของ UASB และ MAHR

3.2 โออาร์พี

โออาร์พีเป็นพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชัน วัฏจักรความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เกิดจากการถ่ายโอนอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นในน้ำมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้ โดยในน้ำที่มีออกซิเจนหรือไนเตรตค่าโออาร์พีจะเป็นบวกเป็นการแสดงถึงความสามารถในการรับอิเล็กตรอนของสารละลาย ในขณะที่น้ำที่ปราศจากออกซิเจนค่าโออาร์พีจะเป็นลบเป็นการแสดงว่าสารละลายมีความสามารถในการให้อิเล็กตรอน

โออาร์พีของ UASB และ MAHR ที่อัตราภาระบรรทุก 5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -158 และ -161 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุก 7 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -177 และ -181 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุก 10 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -211 และ -222 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุก 15 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ -241 และ -262 มิลลิโวลต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกสูงขึ้น ค่าโออาร์พีของทั้ง 2 ระบบมีค่าเป็นลบมากขึ้น โดย MAHR มีแนวโน้มเป็นลบมากกว่า UASB ชัดเจนมากขึ้น แสดงถึงว่าปฏิกิริยาการย่อยสลายที่เกิดขึ้นของ MAHR ดีกว่า UASB ซึ่งจะส่งผลสอดคล้องไปกับค่าซีโอดีน้ำออก ครัวเรือนระเหย สภาพต่าง และปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นด้วย โดยการเปลี่ยนแปลงของค่าโออาร์พีในการทดลอง แสดงดังภาพที่ 4-3



ภาพที่ 4-3 การเปรียบเทียบโออาร์พีของ UASB และ MAHR

3.3 ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดี

จากตารางที่ 4-3 ซีโอดีทั้งหมดของน้ำออกของ UASB และ MAHR ที่อัตราภาระบรรทุก 5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 395.0 และ 340.4 มก./ลิตร ที่อัตราภาระบรรทุก 7 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 513.5 และ 454.3 มก./ลิตร ที่อัตราภาระบรรทุก 10 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 768.5 และ 661.2 มก./ลิตร ที่อัตราภาระบรรทุก 15 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1132.7 และ 887.4 มก./ลิตร



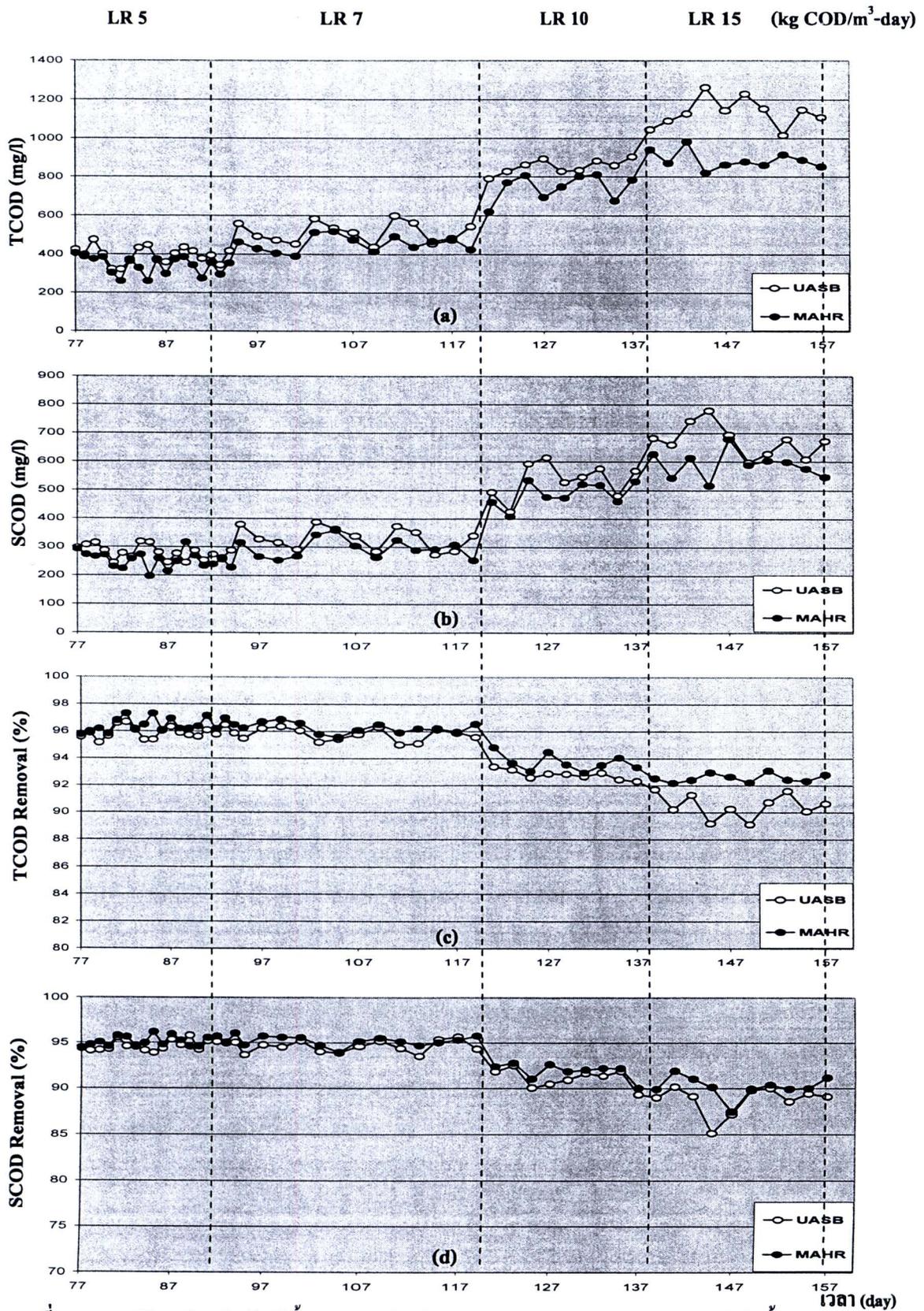
จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราการระบรทุกสูงขึ้น น้ำเสียออกของ UASB และ MAHR มีค่าสูงขึ้น โดยซีโอดีทั้งหมดของน้ำออก MAHR ต่ำกว่า UASB ทั้ง 4 ค่าอัตราการระบรทุก โดยการเปลี่ยนแปลงของค่าซีโอดีทั้งหมดในการทดลอง แสดงดังภาพที่ 4-4 (a)

ซีโอดีละลายของน้ำออกของ UASB และ MAHR ที่อัตราการระบรทุก 5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 279.9 และ 252.9 มก./ลิตร ที่อัตราการระบรทุก 7 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 331.8 และ 295.4 มก./ลิตร ที่อัตราการระบรทุก 10 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 482.3 และ 428.3 มก./ลิตร ที่อัตราการระบรทุก 15 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 673.8 และ 588.7 มก./ลิตร จะเห็นว่าซีโอดีละลายน้ำออกของ MAHR ต่ำกว่า UASB ทั้ง 4 ค่าอัตราการระบรทุกนี้ โดยมีผลสอดคล้องกับผลของซีโอดีทั้งหมด โดยการเปลี่ยนแปลงของค่าซีโอดีละลายในการทดลอง แสดงดังภาพที่ 4-4 (b)

ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดของ UASB และ MAHR ที่อัตราการระบรทุก 5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 95.9 % และ 96.5 % ตามลำดับ ที่อัตราการระบรทุก 7 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 95.8 % และ 96.2 % ตามลำดับ ที่อัตราการระบรทุก 10 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 93.5% และ 94.3 % ตามลำดับ ที่อัตราการระบรทุก 15 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 90.5% และ 92.6 % ตามลำดับ โดยเมื่อเพิ่มอัตราการระบรทุกสูงขึ้น จะเห็นว่า MAHR มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีทั้งหมดได้ดีกว่า UASB และจะเห็นแนวโน้มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดของ MAHR นั้นสูงกว่า UASB โดยการเปลี่ยนแปลงของค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีทั้งหมดในการทดลอง แสดงดังภาพที่ 4-4 (c)

ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายของ UASB และ MAHR ที่อัตราการระบรทุก 5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 94.7 และ 95.2 % ตามลำดับ ที่อัตราการระบรทุก 7 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 94.5 และ 95.1 % ตามลำดับ ที่อัตราการระบรทุก 10 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 91.1 และ 92.1 % ตามลำดับ ที่อัตราการระบรทุก 15 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 88.8 และ 90.3 % ตามลำดับ โดยเมื่อเพิ่มอัตราการระบรทุกสูงขึ้น จะเห็นว่า MAHR มีประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีละลายได้ดีกว่า UASB และจะเห็นแนวโน้มประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายของ MAHR นั้นสูงกว่า UASB เมื่อเพิ่มอัตราการระบรทุกสูงขึ้น โดยผลจะสอดคล้องกับผลของซีโอดีทั้งหมด โดยการเปลี่ยนแปลงของค่าประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีละลายในการทดลอง แสดงดังภาพที่ 4-4 (d)

ค่าซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลายที่ออกจากระบบ UASB และ MAHR มีค่าค่อนข้างต่ำมากเมื่อเทียบกับซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลายของน้ำเสียที่จ่ายเข้าทั้ง 2 ระบบ หรือกล่าวได้ว่าทั้ง 2 ระบบ มีประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีและซีโอดีละลายค่อนข้างสูง ทั้งนี้อาจมีส่วนมาจากการที่เศษแป้งที่อยู่ในน้ำเสียแป้งมันสำปะหลังซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้ค่าซีโอดีของน้ำเสียมีค่าสูงถูกสะสมอยู่ใน UASB และ MAHR เนื่องจากถังปฏิกรณ์ทั้ง 2 ค่อนข้างสูง นอกจากนี้ UASB มีการใช้ GSS ในการป้องกันเศษตะกอนไม่ให้เศษตะกอนออกไปกับน้ำเสียจึงทำให้เศษแป้งสะสมในถังปฏิกรณ์ ส่วน MAHR ไม่มีการใช้ GSS แต่มีการใช้ตัวกลางในการป้องกันเศษตะกอนไม่ให้หลุดออกนอกระบบ โดยสังเกตเห็นระดับของตะกอนตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองและตอนสิ้นสุดการทดลอง จะเห็นว่าระดับของตะกอนสูงขึ้นและมีเศษแป้งสีขาวเข้าไปแทรกตัวอยู่ระหว่างเม็ดตะกอน ด้วยเหตุนี้จึงเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดซีโอดีของ UASB และ MAHR มีค่าสูง แต่จากที่กล่าวมาข้างต้นถ้ามี



ภาพที่ 4-4 การเปรียบเทียบค่าซีโอดีทั้งหมด (a) ซีโอดีละลาย (b) ประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีทั้งหมด (c) และประสิทธิภาพในการกำจัดซีโอดีละลาย (d) ของ UASB และ MAHR

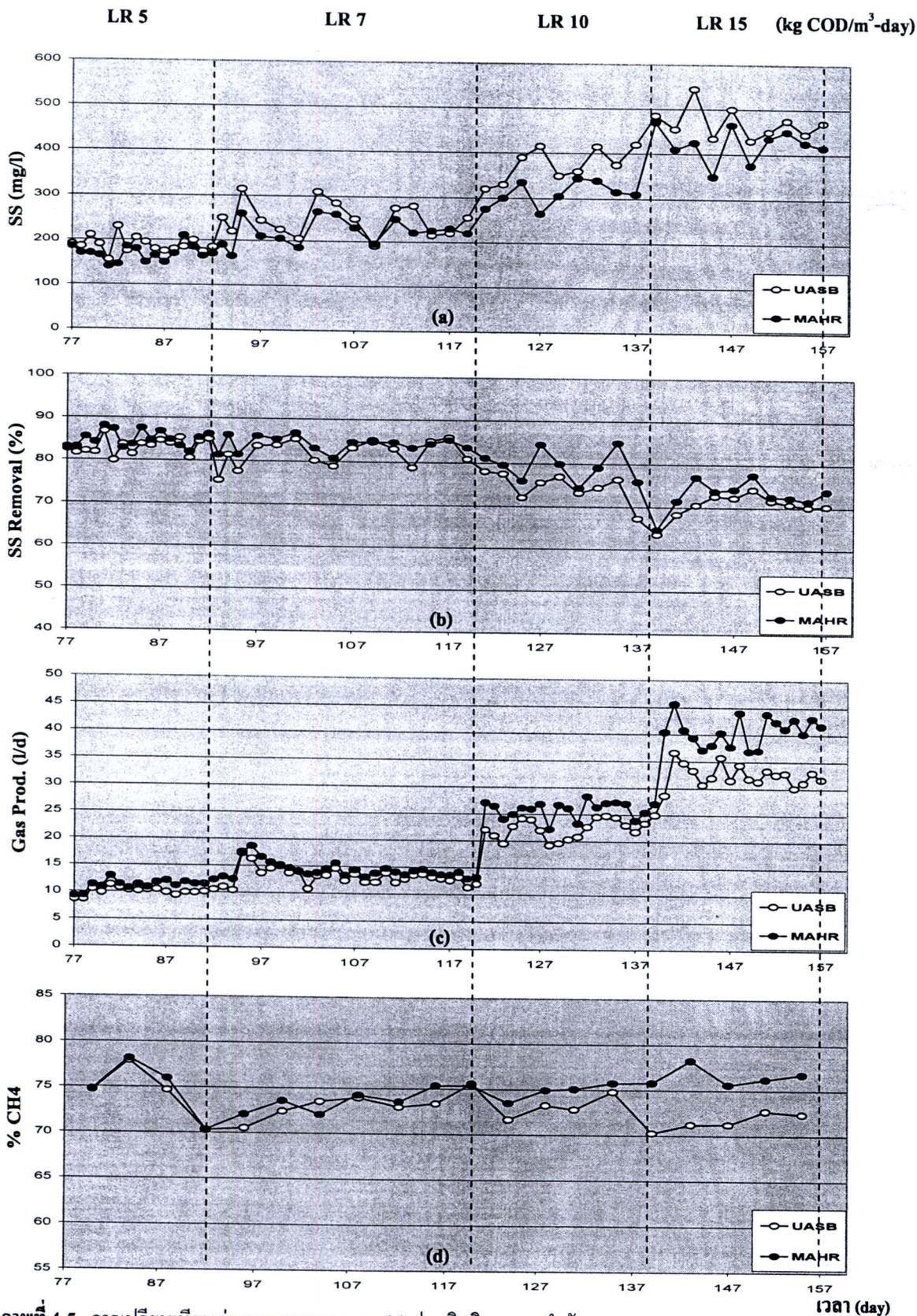
การสะสมของเศษแข็งในปริมาณมากจะไปยับยั้งการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งต่อมาอาจทำให้ระบบเกิดการล้มเหลวได้ (Endo and Tohya, 1988)

3.4 ตะกอนแขวนลอยและประสิทธิภาพการกำจัดตะกอนแขวนลอย

จากตารางที่ 4.3 ตะกอนแขวนลอยของ UASB และ MAHR ที่อัตราภาระบรรทุก 5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 194 และ 170 มก./ลิตร ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุก 7 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 252 และ 227 มก./ลิตร ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุก 10 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 375 และ 310 มก./ลิตร ตามลำดับ และที่อัตราภาระบรรทุก 15 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 469 และ 422 มก./ลิตร ตามลำดับ จะเห็นว่าในช่วงแรกนั้นมีการหลุดออกของตะกอนแขวนลอยใกล้เคียงกัน แต่เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกให้สูงขึ้น ตะกอนแขวนลอยที่หลุดออกของ UASB และ MAHR มีค่าสูงมากขึ้น โดยจะเห็นว่าตะกอนแขวนลอยของ MAHR นั้นมีค่าต่ำกว่า UASB ชัดเจนมากขึ้น เนื่องจาก MAHR หลักการ Multi stage ในการแบ่งกลุ่มแบคทีเรียออกเป็นกลุ่มแบคทีเรียสร้างกรดและกลุ่มแบคทีเรียสร้างมีเทนทำให้ MAHR ได้เปรียบในการกำจัดตะกอนแขวนลอยเพราะกลุ่มแบคทีเรียสร้างกรดที่อยู่ต่ำสุดของระบบจะย่อยสลายแป้งหรืออนุภาคขนาดใหญ่ที่อยู่ในน้ำเสียให้มีขนาดหรือโครงสร้างเล็กลง (เป็นกรดไขมัน) และแบคทีเรียสร้างมีเทนจะเปลี่ยนกรดไขมันเป็นก๊าซมีเทน ทำให้ตะกอนแขวนลอยของ MAHR ต่ำกว่า UASB ดังแสดงในภาพที่ 4-5 (a)

ตะกอนแขวนลอยระเหยของ UASB และ MAHR ที่อัตราภาระบรรทุก 5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 31 และ 25 มก./ลิตร ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุก 7 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 41 และ 33 มก./ลิตร ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุก 10 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 49 และ 38 มก./ลิตร ตามลำดับ และที่อัตราภาระบรรทุก 15 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 58 และ 46 มก./ลิตร ตามลำดับ จะเห็นว่า VSS ของ MAHR มีค่าต่ำกว่า UASB

ประสิทธิภาพการกำจัดตะกอนแขวนลอยของ UASB และ MAHR ที่อัตราภาระบรรทุก 5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 82.7 % และ 84.8 % ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุก 7 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 82.4 % และ 84.1 % ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุก 10 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 74.6 % และ 79.5 % ตามลำดับ และที่อัตราภาระบรรทุก 15 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 70.4 % และ 72.9 % ตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกให้สูงขึ้น ประสิทธิภาพการกำจัดตะกอนแขวนลอยของ UASB และ MAHR มีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกให้สูงขึ้น เวลาที่กักเก็บในการย่อยสลายน้ำเสียของจุลินทรีย์ในระบบมีค่าน้อยลง ทำให้มีเศษตะกอนแข็งและเศษตะกอนจุลินทรีย์บางส่วนหลุดออกมาทำให้ค่าตะกอนแขวนลอยออกมากับน้ำเสียสูงขึ้น สำหรับประสิทธิภาพการกำจัดตะกอนแขวนลอยของ MAHR นั้นมีค่าสูงกว่า UASB เล็กน้อย ดังแสดงในรูปที่ 4-5 (b)



ภาพที่ 4-5 การเปรียบเทียบค่าตะกอนแขวนลอย (a) ประสิทธิภาพการกำจัดตะกอนแขวนลอย (b) ก๊าซที่เกิดขึ้น (c) และสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ (d) ของ UASB และ MAHR

3.5 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นและสัดส่วนก๊าซมีเทน

ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ของ UASB และ MAHR ที่อัตราภาระบรรทุก 5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 10.2 ลิตร/วัน และ 11.5 ลิตร/วัน ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุก 7 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 13.4 ลิตร/วัน และ 14.5 ลิตร/วัน ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุก 10 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 22.2 ลิตร/วัน และ 25.9 ลิตร/วัน ตามลำดับ และที่อัตราภาระบรรทุก 15 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.1 ลิตร/วัน และ 40.0 ลิตร/วัน ตามลำดับ จะเห็นว่าในช่วงแรกการผลิตก๊าซมีค่าใกล้เคียงกันมาก แต่เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกให้สูงขึ้นระบบ MAHR นั้นสามารถผลิตก๊าซได้มากกว่า UASB โดยการเปลี่ยนแปลงของปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในการทดลอง แสดงดังภาพที่ 4-5 (c)

สัดส่วนก๊าซมีเทนของ UASB และ MAHR ที่อัตราภาระบรรทุก 5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 74.4 % และ 75.8 % ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุก 7 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 73.2% และ 74.9 % ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุก 10 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 73.1 % และ 75.1 % ตามลำดับ และที่อัตราภาระบรรทุก 15 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 71.6 % และ 76.5 % ตามลำดับ จะเห็นว่าที่อัตราภาระบรรทุก 5 และ 10 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน สัดส่วนมีเทนมีค่าใกล้เคียงกัน โดยสัดส่วนมีเทนของ MAHR สูงกว่า UASB โดยจะเห็นแนวโน้มว่าสัดส่วนมีเทนของ UASB ลดลง ส่วนของ MAHR ค่อนข้างคงที่ โดยการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนก๊าซมีเทนในการทดลอง แสดงดังภาพที่ 4-5 (d)

จะเห็นว่าในช่วงอัตราภาระบรรทุกแรกๆ การผลิตก๊าซของ UASB และ MAHR นั้นมีค่าใกล้เคียงกันมาก เมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกให้สูงขึ้น แนวโน้มการผลิตก๊าซของ MAHR มีแนวโน้มผลิตก๊าซได้ดีกว่า UASB อย่างเห็นได้ชัดเจน โดยจะเห็นว่าตั้งแต่เพิ่มอัตราภาระบรรทุกขึ้นมาเป็น 5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม. วัน ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นเริ่มแตกต่างกัน และเมื่อเพิ่มอัตราภาระบรรทุกเป็น 10 และ 15 กก. ซีโอดี/ลบ.ม. วัน ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นของ MAHR มีมากกว่า UASB อย่างชัดเจน ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า MAHR สามารถรองรับหรือทำงานที่อัตราภาระบรรทุกสูงได้ดีกว่า UASB ทั้งนี้สอดคล้องกับที่กล่าวมาในหัวข้อ 2.1 คือ MAHR ที่ใช้ทฤษฎีหลายขั้นตอน (Multi Stage) โดยแบ่งตะกอนจุลินทรีย์ชั้นล่างสุดเป็นกลุ่มแบคทีเรียสร้างกรดและตะกอนจุลินทรีย์ชั้นที่สองเป็นกลุ่มแบคทีเรียสร้างมีเทน เมื่อสามารถแยกแบคทีเรียสองกลุ่มนี้ออกจากกันจะทำให้ระบบมีความสามารถในการทำงานและการย่อยสลายได้ดีขึ้น

3.6 อัตราการผลิตก๊าซมีเทน

อัตราการผลิตก๊าซมีเทนเป็นตัวบ่งบอกถึงความสามารถในการทำงานของระบบไร้ออกซิเจนที่สำคัญมาก โดยค่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.35 – 0.38 ลิตรของมีเทน/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด (Speece et al., 1995) ซึ่งจากการทดลองที่อัตราภาระบรรทุกต่างๆ มีค่าดังนี้ อัตราการผลิตก๊าซมีเทนของ UASB และ MAHR ที่อัตราภาระบรรทุก 5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.23 และ 0.27 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุก 7 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.26 และ 0.29 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ ที่อัตราภาระบรรทุก 10 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.30 และ 0.36 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ และที่อัตราภาระบรรทุก 15 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.39 และ 0.52 ลิตร/กรัมซีโอดีที่ถูกกำจัด ตามลำดับ จะเห็นว่าอัตราการผลิตก๊าซมีเทนของ UASB และ MAHR มีค่าใกล้เคียงกับทฤษฎี

โดยอัตราการผลิตก๊าซมีเทนของ MAHR สูงกว่า UASB เล็กน้อย แต่เมื่อเพิ่มอัตราการระบรทุกสูงขึ้นไปอัตราการผลิตก๊าซมีเทนของ MAHR มีแนวโน้มต่างจาก UASB ชัดเจนมากขึ้น แสดงถึงว่า MAHR สามารถทำงานและผลิตก๊าซมีเทนได้ดีกว่า UASB ที่อัตราการระบรทุกที่สูง จากที่กล่าวมาในหัวข้อ 3.3 คือการมีเศษแข็งซึ่งเป็นส่วนที่มีค่าซีไอดีสูงบางส่วนสะสมอยู่ในระบบไม่ได้ถูกย่อยสลาย ทำให้เศษแข็งส่วนนี้ไม่ได้ถูกแบคทีเรียเปลี่ยนไปเป็นมีเทน ดังนั้นจึงนำค่าซีไอดีละลายมาคิดในการหาอัตราการผลิตก๊าซมีเทน นอกจากนี้จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราการระบรทุกสูงขึ้นไปอัตราการผลิตก๊าซมีเทนนั้นมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเมื่อเพิ่มอัตราการระบรทุกสูงขึ้นไปประสิทธิภาพการกำจัดซีไอดีนั้นมีความลดลงแต่ในส่วนของก๊าซชีวภาพมีปริมาณการผลิตเพิ่มมากขึ้นทำให้ค่าของปริมาณก๊าซต่อสารอินทรีย์ที่ถูกกำจัดนั้นมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งจะสอดคล้องกับงานวิจัยอื่นๆ เช่น นาฏนคา ชรินทร์วรกุลป์ ที่ทำการศึกษาในปี 2536 และ เนตรนภา ศรีตวรพจน์ ที่ทำการศึกษาในปี 2545 เป็นต้น

4. การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันระเหยและสภาพต่างทั้งหมดของ UASB และ MAHR ในแต่ละระดับความสูง

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการเก็บวิเคราะห์ผลการทดลองคือ กรดไขมันระเหย และสภาพต่างทั้งหมด ในแต่ละความสูงของระบบ UASB และ MAHR โดยความสูงของจุดเก็บตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 3-1 ในระบบ MAHR จุดเก็บตัวอย่างที่ 1 อยู่ระหว่างชั้นตะกอนที่ 1 กับชั้นตัวกลางที่ 1 จุดเก็บตัวอย่างที่ 2 อยู่ระหว่างชั้นตะกอนที่ 2 กับชั้นตัวกลางที่ 2 และจุดเก็บที่ 3 คือทางน้ำออก จะเห็นว่าจุดเก็บตัวอย่าง 1 และ 2 จะผ่านชั้นตะกอนและตัวกลางในส่วนของ UASB ได้ทำการเก็บตัวอย่างที่ระดับความสูงเท่ากันกับ MAHR ในแต่ละจุดเก็บตัวอย่าง เพื่อทำการศึกษาและเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงกระบวนการภายในระบบ UASB และ MAHR สำหรับค่ากรดไขมันระเหยและสภาพต่างทั้งหมดในแต่ละระดับความสูงแสดง สำหรับจุดเก็บตัวอย่างมีความสูงจากจุดที่จ่ายน้ำเสียเข้าระบบมีค่าดังตารางที่ 4-4

ตารางที่ 4-4 ความสูงของแต่ละจุดเก็บตัวอย่างของ UASB และ MAHR

จุดเก็บตัวอย่างที่	ความสูง (ซม.)	หมายเหตุ
1	45	- อยู่ระหว่างชั้นตะกอนที่ 1 กับชั้นตัวกลางที่ 1 (MAHR)
2	95	- อยู่ระหว่างชั้นตะกอนที่ 2 กับชั้นตัวกลางที่ 2 (MAHR)
3	120	- ทางน้ำออก

4.1 การเปลี่ยนแปลงกรดไขมันระเหย

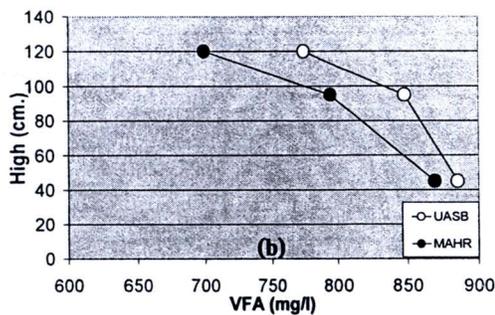
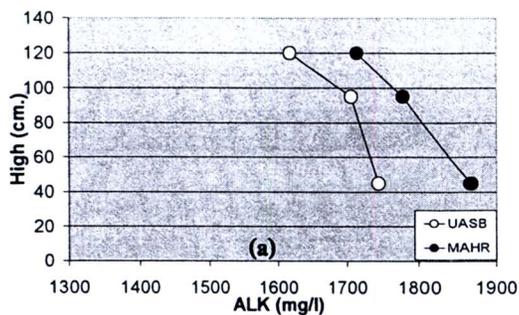
ปริมาณกรดไขมันระเหยที่อัตราการระบรทุก 5 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 ของ UASB มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 885.3, 848.0 และ 774.4 มก./ลิตร ในรูปของกรดอะเซติก ตามลำดับ ส่วนของ MAHR ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 869.3, 794.7 และ 699.2 มก./ลิตร ในรูปของกรดอะเซติก ตามลำดับ ที่อัตราการระบรทุก

7 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 ของ UASB มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1096.0, 1008.0 และ 946.0 มก./ลิตร ในรูปของกรดอะซิติก ตามลำดับ ส่วนของ MAHR ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 869.3, 794.7 และ 699.2 มก./ลิตร ในรูปของกรดอะซิติก ตามลำดับ ที่อัตราการระบรทุก 10 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 ของ UASB มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1468.0, 1368.0 และ 1353.6 มก./ลิตร ในรูปของกรดอะซิติก ตามลำดับ ส่วนของ MAHR ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1368.0, 1288.0 และ 1198.4 มก./ลิตร ในรูปของกรดอะซิติก ตามลำดับ ที่อัตราการระบรทุก 15 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 ของ UASB มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1690.7, 1618.7 และ 1534.4 มก./ลิตร ในรูปของกรดอะซิติก ตามลำดับ ส่วนของ MAHR ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1541.3, 1400.0 และ 1364.8 มก./ลิตร ในรูปของกรดอะซิติก ตามลำดับ จะสังเกตเห็นว่าน้ำเสียที่จ่ายเข้าทั้ง 2 ระบบ จากด้านล่างผ่านชั้นตะกอนส่วนล่างมายังจุดเก็บตัวอย่างที่ 1 นั้นมีปริมาณกรดไขมันระเหยใกล้เคียงกัน แต่เมื่อผ่านชั้นมายังจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 จะเห็นได้ว่า MAHR มีปริมาณกรดไขมันระเหยน้อยกว่า UASB เนื่องจาก MAHR มีชั้นตัวกลางที่ 1 และชั้นตะกอนที่ 2 ช่วยในการเปลี่ยนกรดไขมันไปเป็นมีเทนได้ดีกว่า UASB ซึ่งที่ระดับเดียวกันนี้ของ UASB ไม่มีเชื้อตะกอนเข้ามาช่วยแต่มีกลุ่มแบคทีเรียแขวนลอยทำการย่อยสลายกรดไขมันแทน และเมื่อผ่านไปยังจุดเก็บตัวอย่างที่ 3 หรือทางน้ำออก MAHR มีปริมาณกรดไขมันระเหยน้อยลงอีก เนื่องจากน้ำเสียจะไหลผ่านชั้นตัวกลางที่ 2 และเกิดการย่อยสลายอีกครั้ง ส่วน UASB จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราการระบรทุกสูงขึ้นที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 3 มีปริมาณกรดไขมันระเหยลดลงจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 2 ไม่มากนัก ทั้งนี้จะเห็นว่า UASB จะมีส่วนตะกอนที่ทำหน้าที่ย่อยสลายหลักอยู่ที่ส่วนล่างเท่านั้นและเมื่อสูงขึ้นการย่อยสลายเกิดขึ้นไม่มากนัก โดยค่าเฉลี่ยกรดไขมันระเหยในแต่ละระดับความสูงที่อัตราการระบรทุก 5, 7, 10 และ 15 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงดังภาพที่ 4-6 (b), 4-6 (d), 4-6 (f) และ 4-6 (h) ตามลำดับ

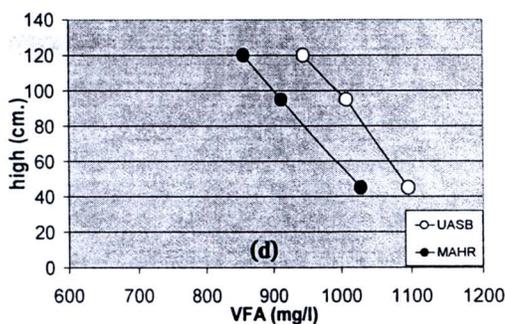
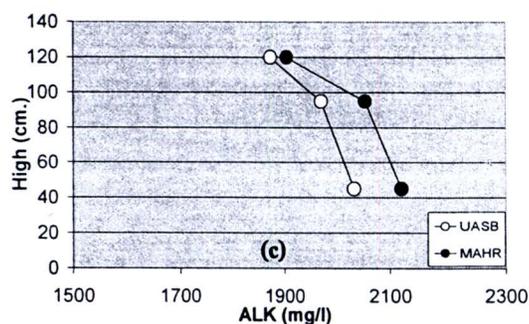
4.2 การเปลี่ยนแปลงสภาพต่างทั้งหมด

สภาพต่างทั้งหมดที่อัตราการระบรทุก 5 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 ของ UASB มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1744.5, 1705.6 และ 1616.7 มก./ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ส่วน MAHR ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1866.7, 1777.8 และ 1713.3 มก./ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ที่อัตราการระบรทุก 7 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 ของ UASB มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2033.4, 1970.8 และ 1872.9 มก./ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ส่วน MAHR ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2120.8, 2054.2 และ 1904.2 มก./ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ที่อัตราการระบรทุก 10 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 ของ UASB มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2358.4, 2266.7 และ 2366.7 มก./ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ส่วน MAHR ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2375.0, 2358.3 และ 2466.7 มก./ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ที่อัตราการระบรทุก 15 กก. ซีไอดี/ลบ.ม.-วัน ที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 ของ UASB มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2466.7, 2377.8 และ 2530 มก./ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ ส่วน MAHR ที่ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2611.1, 2494.4 และ 2666.7 มก./ลิตร ในรูปของแคลเซียมคาร์บอเนต ตามลำดับ จะสังเกตเห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราการระบรทุกสูงขึ้นสภาพต่างทั้งหมดของ UASB และ MAHR ก็มีค่าสูงขึ้นด้วย แสดงว่ากำลังบำบัดของระบบดี สามารถทนต่อการเปลี่ยนแปลงพีเอชได้ดี โดยสภาพต่างทั้งหมดของ MAHR มีค่าสูงกว่า UASB เล็กน้อย ในส่วนของการเปลี่ยนแปลงสภาพต่างทั้งหมดในที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 1, 2 และ 3 ของทั้ง 2

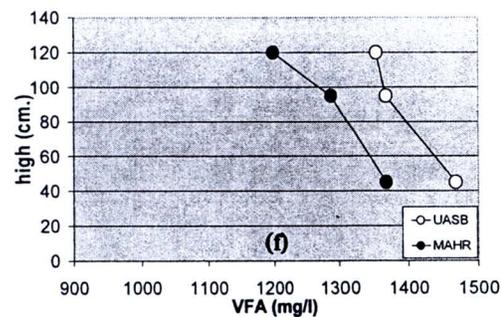
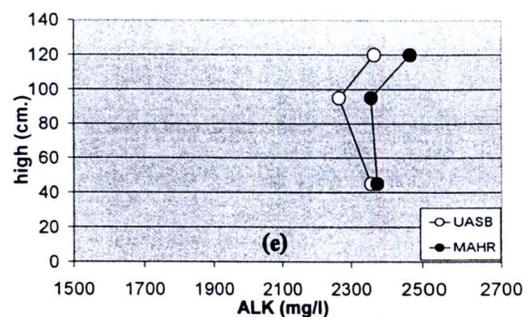
ระบบ นั้นมีค่าไม่ต่างกันมากนัก โดยค่าเฉลี่ยสภาพต่างทั้งหมดในแต่ละระดับความสูงที่อัตราการระบรทุก 5, 7, 10 และ 15 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน แสดงดังภาพที่ 4-6 (a), 4-6 (c), 4-6 (e) และ 4-6 (g) ตามลำดับ



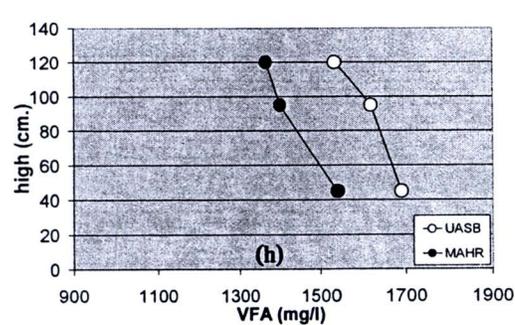
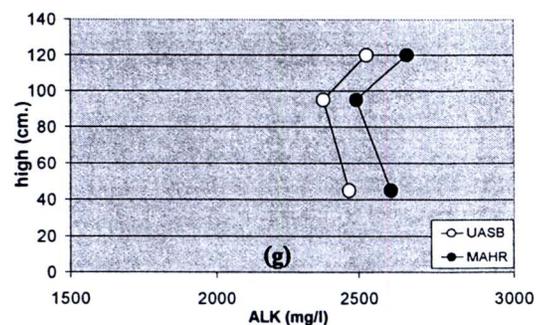
(a) สภาพต่างทั้งหมด (b) กรดไขมันระเหยที่อัตราการระบรทุก 5 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



(c) สภาพต่างทั้งหมด (d) กรดไขมันระเหยที่อัตราการระบรทุก 7 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



(e) สภาพต่างทั้งหมด (f) กรดไขมันระเหยที่อัตราการระบรทุก 10 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน



(g) สภาพต่างทั้งหมด (h) กรดไขมันระเหยที่อัตราการระบรทุก 15 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน

ภาพที่ 4-6 การเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงกรดไขมันระเหยและสภาพต่างทั้งหมดของ UASB และ MAHR ในแต่ละระดับความสูงที่อัตราการระบรทุก 5, 7, 10 และ 15 กก. ซีโอดี/ลบ.ม.-วัน