

### บทที่ 3

#### ผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

#### 3.1 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ใช้น้ำเสียจากโรงงานน้ำมันพืชบริษัทจำกัด ซึ่งเป็นโรงงานผลิตน้ำมันปาล์ม น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจากบ่อที่ 1 (ภาพประกอบที่ 8) โดยทำการเก็บตัวอย่างแบบจ้วง (Grab Sampling) ลักษณะของน้ำเสียแสดงดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

Parameters	Range	$\bar{X} \pm SD$
Temperature ( $^{\circ}C$ )	25.00-35.20	31.00 $\pm$ 3.83
pH	7.00-7.34	7.17 $\pm$ 0.11
Alkalinity (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	2,891-4,047	3,466 $\pm$ 420
Volatile Fatty Acids (mg/L as CH <sub>3</sub> COOH)	210-573	401 $\pm$ 134
Color (SU)	92.80-264.80	148.90 $\pm$ 50.39
BOD <sub>5</sub> (mg/L)	3,364-5,621	4,593 $\pm$ 922
TCOD (mg/L)	4,200-13,720	9,284 $\pm$ 3,197
SS (mg/L)	2,700-7,670	5,209 $\pm$ 1,525
TKN (mg/L)	473-814	709 $\pm$ 118
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/L)	224-301	267 $\pm$ 28
TP (mg/L)	0.87-6.52	3.12 $\pm$ 1.68
Oil and Grease (mg/L)	39-174	118 $\pm$ 43

ตัวอย่างน้ำเสียจากบ่อที่ 1 ของโรงงาน มี HRT เท่ากับ 54 วัน โดยบ่อมีปริมาตรเท่ากับ 2,530 ลบ.ม และปริมาณน้ำเสียที่ไหลเข้าสู่บ่อเท่ากับ 47 ลบ.ม./วัน ตลอดการทดลองทำการเก็บตัวอย่างน้ำเสียจำนวน 9 ครั้ง (ต.ค.47- ต.ค.48) พบว่าน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มมีอุณหภูมิสูงกว่าช่วงอุณหภูมิอากาศปกติของประเทศไทย ทั้งนี้เพราะน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มที่ออกจากกระบวนการผลิตมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 70-90 องศาเซลเซียส (สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, 2540) โดยกระบวนการลดความร้อนจะเกิดขึ้นภายในบ่อทำให้อุณหภูมิน้ำเสียในบ่อลดลงอยู่

ในช่วง 25-35 องศาเซลเซียส ส่วน pH ของน้ำเสียในบ่อนี้มีความแตกต่างกันน้อยมาก มีค่าเท่ากับ  $7.17 \pm 0.11$  มีลักษณะค่อนข้างเป็นกลาง และความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในรูป TCOD และ BOD<sub>5</sub> มีค่าเท่ากับ  $9,284 \pm 3,197$  และ  $4,593 \pm 922$  มก./ล. ตามลำดับ จากการสังเกตพบว่าบริเวณผิวน้ำมีปริมาณสารอินทรีย์บางส่วนรวมตัวกับ Oil and Grease เป็นกลุ่มก้อนลอยบนผิวน้ำกระจายทั่วทั้งบ่อและของแข็งขนาดใหญ่จะตกตะกอนภายในบ่อทำให้ SS และ Oil and Grease ในน้ำเสียมียค่าเท่ากับ  $5,209 \pm 1,225$  มก./ล. และ  $118 \pm 43$  มก./ล. ตามลำดับ

ลักษณะของน้ำเสยรวมพบว่า อัตราส่วนระหว่าง BOD<sub>5</sub> : TCOD มีค่าอยู่ในช่วง 0.41-0.80 อัตราส่วนนี้ถ้ามีค่าสูง หมายถึงการมีปริมาณสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้สูง และอัตราส่วนระหว่าง TCOD : TKN : TP มีค่าเท่ากับ 100 : 7.76 : 0.03 ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่เหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์ในสภาพไร้อากาศตามที่ Souza (1986a) และ McCarty (1964b) แนะนำไว้ที่ 100 : 1.1 : 0.2 ซึ่งจากอัตราดังกล่าวจะเห็นได้ว่าน้ำเสียที่เติมเข้าสู่ระบบมีความเหมาะสมที่จะใช้การบำบัดด้วยวิธีชีววิทยาแบบไร้อากาศ เพราะมีปริมาณสารอาหารที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์เพียงพอ ดังนั้นในการทดลองจึงไม่ต้องเพิ่มอาหารเสริมแก่จุลินทรีย์ตลอดการทดลอง

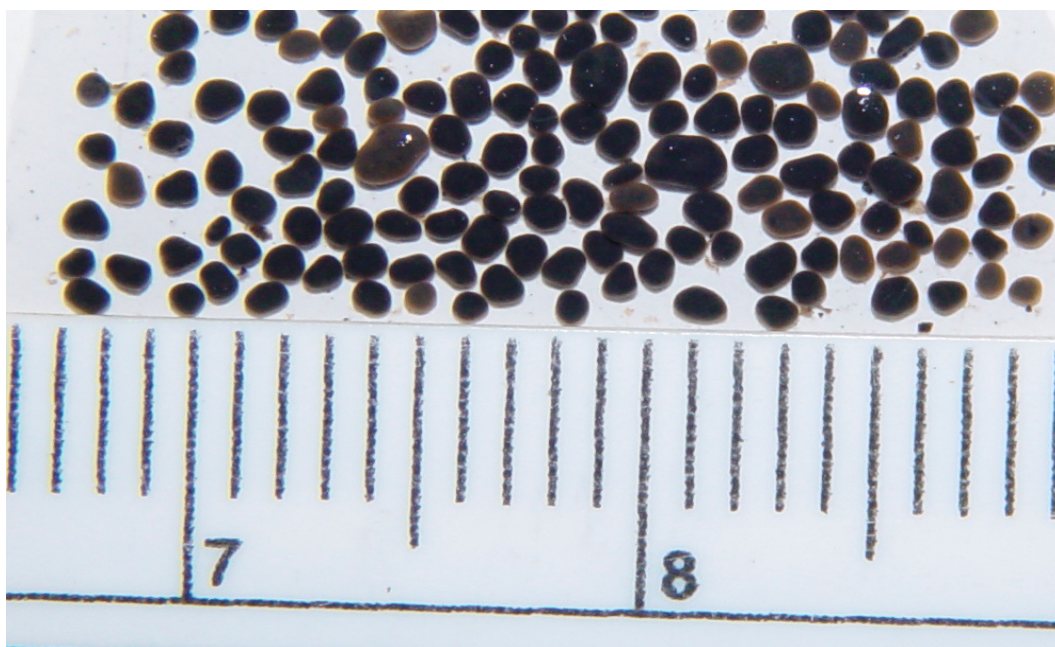
### 3.2 ผลการทดลองของระบบบำบัด ASBR จำลองในห้องปฏิบัติการ

ในการศึกษานี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ระยะ คือการทดลองระยะที่ 1 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการบำบัดสารอินทรีย์จากน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยระบบ ASBR โดยมีสถานะการทำงาน 2 รูปแบบที่แตกต่างกัน คือที่ตั้งปฏิภพ Thermophilic (ThASBR) และ ตั้งปฏิภพ Mesophilic (MeASBR) มีการเดินระบบที่ระยะเวลาเก็บกัก (HRT) และอัตราภาระบรรทุกสารอินทรีย์ (OLR) เท่ากันทั้ง 2 ตั้งปฏิภพตลอดระยะเวลาการทดลอง และการทดลองระยะที่ 2 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบ ASBR ในการบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มทั้ง 2 ตั้งปฏิภพเมื่อนำมาเชื่อมต่อเข้าด้วยกันโดยกำหนดให้ตั้งปฏิภพ Thermophilic เป็นถังแรกและตั้งปฏิภพ Mesophilic เป็นถังที่สอง

#### 3.2.1 การเริ่มเลี้ยงจุลินทรีย์ในระยะเริ่มต้นระบบ (Start-up)

ในการเริ่มระบบบำบัดน้ำเสีย ASBR จำลองในห้องปฏิบัติการครั้งนี้ เริ่มต้นโดยการนำตะกอนมาจากระบบ Up-Flow Anaerobic Sludge Blanket : UASB ของโรงงานอุตสาหกรรมอาหารทะเลในพื้นที่มาเติมในระบบทั้ง 2 ชุดการทดลอง ลักษณะและขนาดของตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการเริ่มต้นระบบได้แสดงดังภาพประกอบที่ 12 โดยเติมตะกอนในถังปฏิภพแต่ละถังเท่ากับ 1,839 มล. ทำให้ทั้ง 2 ชุดการทดลองมีตะกอนในถังปฏิภพเท่ากับ 18,000 มก./ล. แล้วทำการสูบเติม

น้ำสะอาดเข้าระบบตามปริมาตร (Working Volum) 5 ลิตร จากนั้นปรับอุณหภูมิในถังปฏิกริยา ThASBR และ MeASBR ให้มีค่าเท่ากับ  $55 \pm 1$  และ  $35 \pm 1$  องศาเซลเซียส ตามลำดับ หลังจากเติมเชื้อตั้งต้นแล้วจึงทำการเติมน้ำเสียเข้าระบบด้วย OLR เท่ากับ 0.23 กก./ลบ.ม./วัน หรือที่ HRT 15.6 วัน โดยในช่วงเริ่มต้นนี้ได้สูบน้ำเสียและปล่อยน้ำทิ้งด้วยกระบวนการแบบเบตช์ (Batch) ในปริมาตร 80 มล./วัฏจักรของการทดลอง ใน 1 วัน เติมน้ำและปล่อยน้ำทิ้งเท่ากับ 320 มล./วัน ทั้ง 2 ถังปฏิกริยา ระยะเริ่มเลี้ยงตะกอนจุลินทรีย์นี้จะวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบทั้ง 2 ชุดการทดลองทุกวัน ในช่วงท้ายของการทดลอง โดยจะวิเคราะห์พารามิเตอร์ pH, Temperature, Alkalinity, Volatile Fatty Acids, TCOD และวัดปริมาตรก๊าซที่เกิดขึ้น

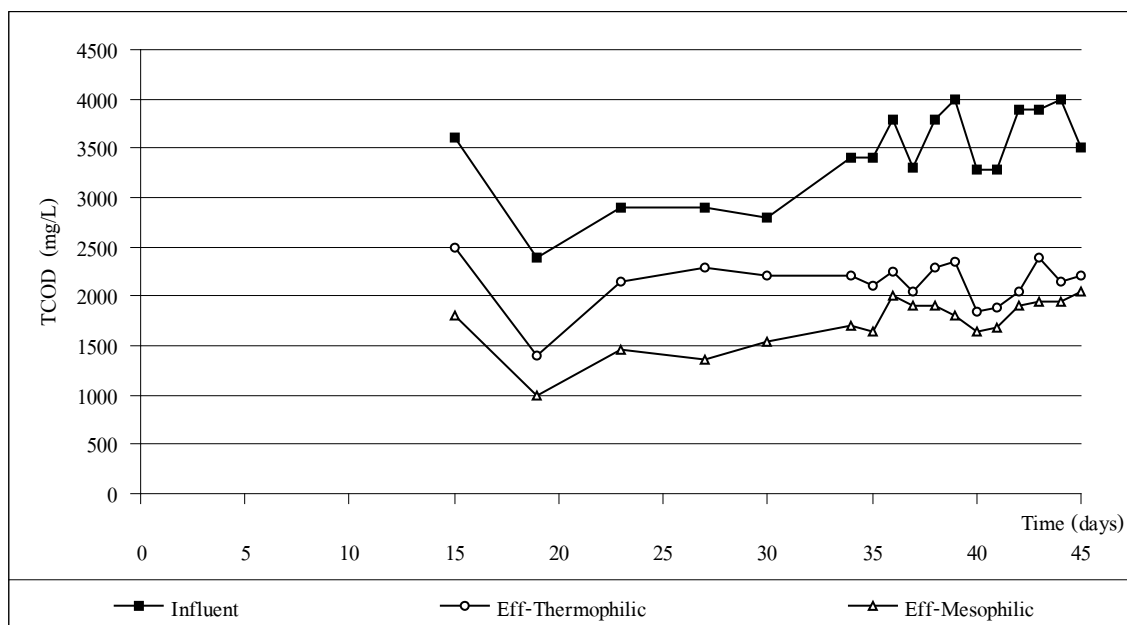


ภาพประกอบ 12 ลักษณะและขนาดของตะกอนจุลินทรีย์ที่ใช้ในการเริ่มต้นระบบ (Start-up)

ในระยะแรกซึ่งเป็นช่วงของการปรับสภาพตะกอนหัวเชื้อจุลินทรีย์ในระบบพบว่าเกิดการหลุดออก (Wash out) ของตะกอนจำนวนมากในช่วง 2 สัปดาห์แรกของการเริ่มต้นเดินระบบทั้ง 2 ถังปฏิกริยา ซึ่งตะกอนที่มีน้ำหนักเบาและตกตะกอนยากจะถูกชะล้างออกไปจากระบบ ส่วนตะกอนที่มีน้ำหนักและมีคุณสมบัติในการตกตะกอนที่ดีจะถูกเก็บกักไว้ในระบบและสามารถย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียได้อีก (Lettinga, *et al.*, 1984) โดยในช่วงเริ่มต้นเดินระบบถังปฏิกริยา ThASBR จะมีปริมาณตะกอนหัวเชื้อจุลินทรีย์หลุดออกมามากกว่าที่ถังปฏิกริยา MeASBR ทั้งนี้

เนื่องจากจุลินทรีย์สามารถเจริญในช่วง Mesophilic ได้ดีกว่าเพราะหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่นำมามีการบำบัดน้ำเสียในช่วง Mesophilic

สำหรับ TCOD ในน้ำทิ้งของทั้ง 2 ถังปฏิกริยามีการผันแปรค่อนข้างมากในช่วงแรก แต่ในช่วงหลังเมื่อระบบปรับสภาพได้ดี พบว่าน้ำทิ้งจากถังปฏิกริยา ThASBR มีความเข้มข้นของ TCOD สูงกว่าน้ำทิ้งจากถังปฏิกริยา MeASBR ตลอดการเริ่มต้นเดินระบบ ซึ่งถังปฏิกริยา ThASBR และ MeASBR มีประสิทธิภาพในการบำบัด TCOD เฉลี่ยร้อยละ 37.53 และ 49.66 ตามลำดับ ทั้ง 2 ถังปฏิกริยาใช้เวลาในการเริ่มต้นระบบทั้งหมด 45 วัน ดังแสดงภาพประกอบที่ 13 จากการทดลองพบว่าถังปฏิกริยา MeASBR มีประสิทธิภาพสูงกว่าเพราะเชื้อจุลินทรีย์ที่ทำงานในช่วง Mesophilic สามารถเจริญได้ดีกว่า ส่วนเชื้อที่ทำงานในช่วง Thermophilic ยังไม่สามารถที่จะเจริญแทนเชื้อที่ทำงานในช่วง Mesophilic ที่นำมาเริ่มต้นระบบได้ดี ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ของถังปฏิกริยา ThASBR มีค่าต่ำกว่า สำหรับลักษณะของน้ำทิ้งที่ออกจากระบบมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 36.3-49.6 องศาเซลเซียส และ 25.7-31.9 องศาเซลเซียส ของถังปฏิกริยา ThASBR และ MeASBR ตามลำดับ สำหรับ pH ของน้ำทิ้งของถังปฏิกริยา ThASBR อยู่ระหว่าง 7.36-8.36 และของถังปฏิกริยา MeASBR อยู่ระหว่าง 7.56-7.98 ซึ่งมีค่าสูงกว่าน้ำเสียก่อนเข้าระบบมาก สอดคล้องกับปริมาณกรดระเหยง่ายที่ลดลงในน้ำทิ้งจากทั้ง 2 ถังปฏิกริยา โดยในช่วงเริ่มต้นระบบทั้ง 2 ถังปฏิกริยามีการสะสมของกรดระเหยง่ายในปริมาณสูงซึ่งมีค่าเท่ากับ  $645 \pm 127$  และ  $492 \pm 113$  มก./ล. ของถังปฏิกริยา ThASBR และ MeASBR ตามลำดับ สำหรับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระยะแรกที่เริ่มเดินระบบไม่สามารถวัดได้เพราะมีปริมาณน้อย แต่ในช่วงท้ายอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเพิ่มสูงขึ้นซึ่งสามารถวัดได้ในวันที่ 29 ของถังปฏิกริยา MeASBR ส่วนถังปฏิกริยา ThASBR สามารถวัดปริมาณก๊าซได้ในวันที่ 31 จากการเริ่มต้นระบบเป็นเวลา 45 วัน และในการวัดปริมาณก๊าซถังปฏิกริยา MeASBR เกิดปัญหาคืออุปกรณ์กักเก็บก๊าซชีวภาพเกิดการบกพร่อง จึงแก้ปัญหาโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์กักเก็บก๊าซชีวภาพใหม่ ทำให้ค่าที่วัดได้อาจเกิดการคลาดเคลื่อน โดยผลการทดลองการเริ่มต้นระบบจนเข้าสู่สภาวะคงตัว แสดงดังตารางที่ 15



ภาพประกอบ 13 TCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวของถังปฏิกริยา Thermophilic และ Mesophilic ในช่วงของการเริ่มต้นระบบ (Start-up)

ตารางที่ 15 ผลการทดลองในช่วงการเริ่มต้นระบบ (Start-up) จนถึงสภาวะคงตัวของระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวที่ถังปฏิกริยา Thermophilic และ ถังปฏิกริยา Mesophilic

Parameters	Thermophilic ASBR		Mesophilic ASBR	
	Range	$\bar{X} \pm SD$	Range	$\bar{X} \pm SD$
Temperature ( $^{\circ}C$ )	36.30-49.70	39.22 $\pm$ 1.37	25.70-31.90	28.74 $\pm$ 1.52
pH	7.36-8.36	8.04 $\pm$ 0.22	7.56-7.98	7.79 $\pm$ 0.10
TCOD (mg/L)	1,400-2,300	2,137 $\pm$ 254	1,000-2,050	1,722 $\pm$ 272
Alkalinity (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	1,918-2,825	2,345 $\pm$ 404	1,755-2,660	2,191 $\pm$ 379
Volatile Fatty Acids (mg/L as CH <sub>3</sub> COOH)	475-858	645 $\pm$ 127	338-665	492 $\pm$ 113
Biogas production (mL/d)	32-270	105 $\pm$ 59	32-365	80 $\pm$ 76

### 3.2.2 ผลการทดลองของระบบ ASBR แบบ Thermophilic และ Mesophilic ภายใต้อัตราการบรรทุกสารอินทรีย์ต่างๆ (Organic Loading Rate)

#### 3.2.2.1 การทดลองระยะที่ 1 ระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว

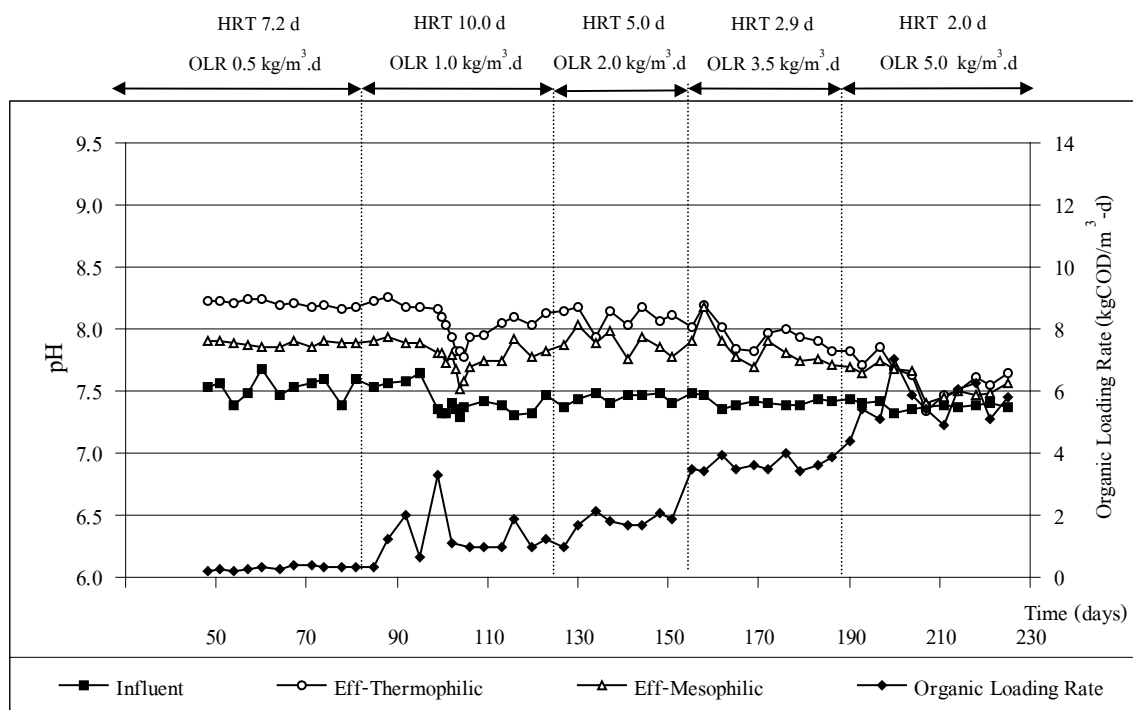
จุดประสงค์หลักของการทดลองนี้เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการบำบัดสารอินทรีย์จากน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม โดยระบบ ASBR ผลการศึกษาคุณภาพของน้ำทิ้ง ตามลักษณะการทำงานของระบบภายใต้ค่า HRT และ OLR เท่ากัน การทดลองใช้ระยะเวลาทั้งสิ้น 178 วัน ระหว่างวันที่ 48-225 ได้ผลการทดลอง ดังนี้

#### ก) อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิของน้ำเสียที่เข้าระบบถึงปฏิกรณ์ ThASBR และ MeASBR มีค่าอยู่ในช่วง 23.7-31.0 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิน้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์ ThASBR และ MeASBR มีค่าอยู่ในช่วง 37.4-46.0 และ 27.8-35.0 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

#### ข) ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

pH ของน้ำเสียก่อนเข้าระบบถึงปฏิกรณ์ ThASBR และ MeASBR ตลอดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 7.20-7.90 สำหรับน้ำทิ้งจากระบบทั้ง 2 ถังปฏิกรณ์แสดงดังตารางที่ 16 โดยการทดลองแรกที่ OLR 0.5 กก./ลบ.ม./วัน น้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์ ทั้ง 2 มี pH เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วจากน้ำเสีย ซึ่งถังปฏิกรณ์ ThASBR มี pH มากกว่า 8.20 ส่วนถังปฏิกรณ์ MeASBR มี pH มากกว่า 7.80 เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวน้ำทิ้งทั้ง 2 ถังปฏิกรณ์มีลักษณะเป็นด่างอ่อน ซึ่ง pH ในน้ำทิ้งมีค่าเท่ากับ  $8.15 \pm 0.11$  และ  $7.89 \pm 0.05$  ของถังปฏิกรณ์ ThASBR และ MeASBR ตามลำดับ เมื่อการทดลองเข้าสู่ช่วงแรกของ OLR 1.0 กก./ลบ.ม./วัน หรือช่วงวันที่ 92-100 ระบบเกิดการสะสมของกรดระเหยง่ายในปริมาณสูงทำให้ระบบเกิด Shockload เป็นผลให้ pH ลดลงอย่างรวดเร็ว (ภาพประกอบที่ 14) เพราะน้ำเสียที่ทำการทดลองเป็นน้ำเสียที่เก็บมารอบใหม่ซึ่งมีความเข้มข้นของ TCOD สูงกว่าปกติ ทำให้มี OLR เท่ากับ 2.87 กก./ลบ.ม./วัน สูงกว่าค่าที่คาดการณ์ไว้ประมาณ 1.87 เท่า ฉะนั้นจึงปรับอัตราการไหลของน้ำเสียเข้าระบบให้มี OLR เท่ากับ 1.0 กก./ลบ.ม./วัน ดังเดิม โดยการเพิ่ม HRT ให้กับระบบเป็น 10 วัน หลังจากนั้นในช่วงวันที่ 114 pH มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนคงที่ และเมื่อมีการเพิ่ม OLR ให้สูงขึ้น pH จะลดลงเล็กน้อย และที่ OLR 5.0 กก./ลบ.ม./วัน (HRT 2 วัน) ซึ่งเป็น OLR สูงสุดของการทดลอง pH ในน้ำทิ้งมีค่าต่ำสุดของการทดลองโดยมีค่าเป็นกลางทั้ง 2 ถังปฏิกรณ์ ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $7.64 \pm 0.03$  และ  $7.58 \pm 0.09$  ของถังปฏิกรณ์ ThASBR และ MeASBR ตามลำดับ



หมายเหตุ : การทดลองแรกที่ OLR 0.5 กก./ลบ.ม./วัน มี HRT 7.2 วัน เมื่อเข้าสู่ที่ OLR 1.0 กก./ลบ.ม./วัน ความเข้มข้นของ TCOD ของน้ำเสียเข้าระบบมีค่าสูงกว่าปกติ TCOD เท่ากับ 10,535 มก./ล. คิดเป็น OLR 2.87 กก./ลบ.ม./วัน จึงปรับ HRT เป็น 10 วัน

ภาพประกอบ 14 pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว  
ที่ถังปฏิกริยา Thermophilic และถังปฏิกริยา Mesophilic

ตารางที่ 16 pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวของถังปฏิกริยา  
Thermophilic และถังปฏิกริยา Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กัน

OLR (kg/m <sup>3</sup> .d)	pH ในน้ำเสียและน้ำทิ้ง					
	Influent		Eff-Thermophilic ASBR		Eff-Mesophilic ASBR	
	Range	$\bar{X} \pm SD$	Range	$\bar{X} \pm SD$	Range	$\bar{X} \pm SD$
0.5	7.25-7.90	7.52±0.18	7.77-8.30	8.15±0.11	7.77-8.00	7.89±0.05
1.0	7.20-7.87	7.53±0.11	7.52-8.07	7.85±0.11	7.52-8.00	7.83±0.11
2.0	7.29-7.64	7.44±0.11	7.90-8.24	8.06±0.09	7.73-8.07	7.87±0.10
3.5	7.31-7.49	7.43±0.45	7.80-8.35	7.96±0.13	7.63-8.18	7.80±0.13
5.0	7.32-7.46	7.38±0.03	7.34-7.86	7.64±0.12	7.41-7.74	7.58±0.09

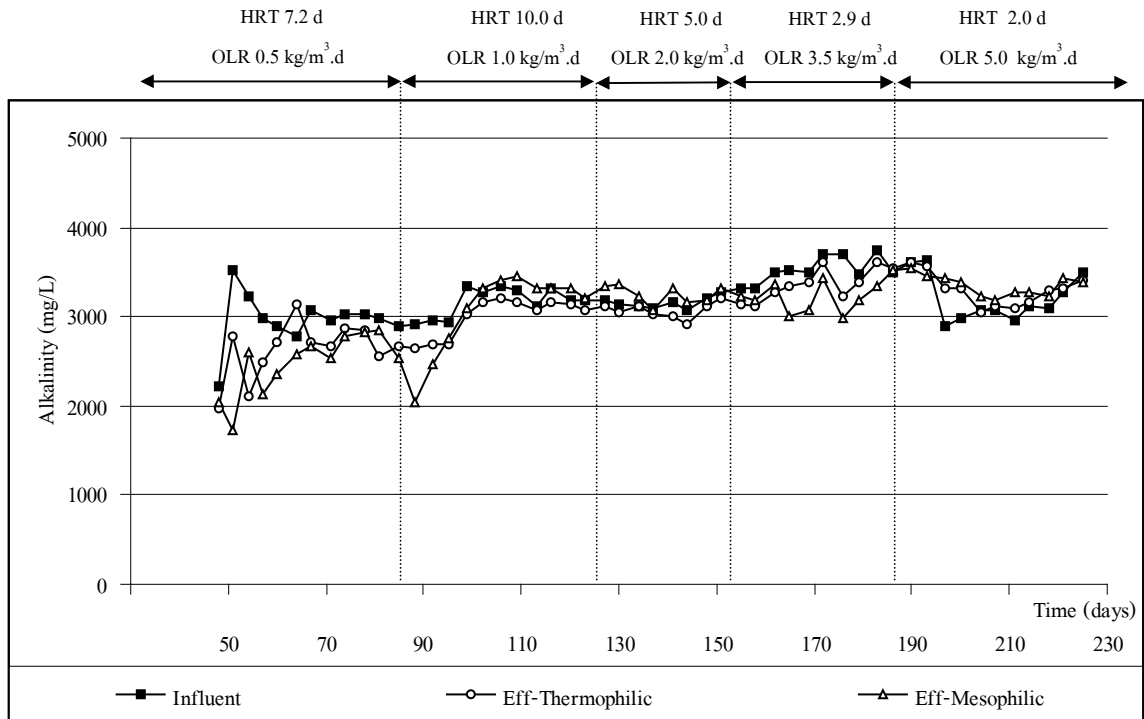
เมื่อเปรียบเทียบ pH ในน้ำเสียและน้ำทิ้งทั้ง 2 ถังปฏิกริยา พบว่าน้ำทิ้งมี pH สูงกว่าเสมอทั้งนี้เพราะน้ำเสียเข้าระบบมีสภาพต่างค่อนข้างสูงจึงด้านการลดลงของ pH น้ำทิ้งจากระบบได้ และพบว่าถังปฏิกริยา ThASBR จะมี pH น้ำทิ้งสูงกว่าที่ถังปฏิกริยา MeASBR เสมอ ซึ่งจาก pH เฉลี่ยในน้ำทิ้งทั้ง 2 ถังปฏิกริยาพบว่ามีค่าสูงกว่าที่ Bryant (1979) และ McCarty, (1964a) แนะนำไว้ที่ 6.5-7.5 ซึ่งเป็น pH ที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

### ค) สภาพด่าง (Alkalinity : Alk)

สภาพด่างของน้ำเสียก่อนเข้าระบบทั้ง 2 ถังปฏิกริยาอยู่ในช่วง 2,230-3,744 มก./ล. ของ  $\text{CaCO}_3$  สำหรับสภาพด่างในน้ำทิ้งทั้ง 2 ถังปฏิกริยามีค่าใกล้เคียงกัน ดังแสดงตารางที่ 17 โดยสภาพด่างมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมีการเพิ่ม OLR ซึ่งสภาพด่างในน้ำทิ้งจากทั้ง 2 ถังปฏิกริยาของการทดลองนี้มีค่าสูง แสดงให้เห็นว่าภายในถังปฏิกริยาทั้ง 2 ถังมีสภาพด่างที่เหมาะสมต่อการดำเนินการเปลี่ยนแปลงของ pH เพราะขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์จะสร้างกรดขึ้นมาเป็น Intermediate Products ระบบต้องมีสภาพด่างสูงพอที่จะสะเทินกรดที่มากเกินไปที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนกรดเป็นก๊าซชีวภาพได้ทัน โดยสภาพด่างเกิดขึ้นจากการที่ได้รับไบคาร์บอเนต ที่เกิดจากการละลายน้ำของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้กรดคาร์บอนิก ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ) (Sawyer *et al.*, 1994) และพบว่าสภาพด่างในน้ำทิ้งจากถังปฏิกริยา ThASBR สูงกว่าถังปฏิกริยา MeASBR เนื่องจากน้ำเสียที่เข้าสู่ถังปฏิกริยาทั้ง 2 มีสารอินทรีย์ในโตรเจนสูง สำหรับความเข้มข้นของ TKN ในน้ำทิ้งจากถังปฏิกริยา ThASBR มีค่าสูงกว่าถังปฏิกริยา MeASBR เกือบตลอดการทดลอง ซึ่งแสดงว่ามีโปรตีนสูงกว่า โดยโปรตีน ( $\text{NH}/\text{NH}_2/\text{NH}_3^+$  form) จะถูกเปลี่ยนเป็น  $\text{NH}_4^+-\text{N}$  ( $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$  form) และทำปฏิกริยาได้เป็นไบคาร์บอเนต ทำหน้าที่เป็นบัฟเฟอร์ ทำให้ความเป็นกรดลดน้อยลงและสภาพด่างมีค่าเพิ่มสูงขึ้น (Sam-Soon, *et al.* 1991 และ Dalis, *et al.* 1996)

เมื่อพิจารณาสภาพด่างในน้ำทิ้งจากทั้ง 2 ถังปฏิกริยา มีค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียเข้าระบบ (ภาพประกอบที่ 15) และพบว่าสภาพด่างค่อนข้างคงที่เกือบตลอดทั้งการทดลอง ซึ่งสังเกตจาก pH ที่คงที่ และตลอดระยะเวลาการทดลองสภาพด่างทั้ง 2 ถังปฏิกริยา อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับระบบไร้อากาศ คือ อยู่ในช่วงระหว่าง 1,000-5,000 มก./ล. ของ  $\text{CaCO}_3$  (MetCalf & Eddy, 1982) ซึ่งค่าอนุโลมให้มีสภาพด่างน้อยสุดคือ 100 มก./ล. ของ  $\text{CaCO}_3$  (Halbert, 1981)





ภาพประกอบ 15 สภาพต่างของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวของถังปฏิกริยา Thermophilic และถังปฏิกริยา Mesophilic

ตารางที่ 17 สภาพต่างของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวของถังปฏิกริยา Thermophilic และ ถังปฏิกริยา Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กัน

ความเข้มข้นของสภาพต่างในน้ำเสียและน้ำทิ้ง (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )						
OLR (kg/m <sup>3</sup> .d)	Influent		Eff-Thermophilic ASBR		Eff-Mesophilic ASBR	
	Range	$\bar{X} \pm SD$	Range	$\bar{X} \pm SD$	Range	$\bar{X} \pm SD$
0.5	2,230-3,520	2,965±298	1,970-3,140	2,670±278	1,735-2,840	2,425±355
1.0	2,920-3,347	3,172±158	2,645-3,210	3,012±209	2,030-3,445	3,084±440
2.0	3,067-3,320	3,172±90	2,916-3,210	3,070±93	3,063-3,357	3,235±96
3.5	3,312-3,744	3,551±136	3,116-3,611	3,388±171	2,989-3,513	3,233±190
5.0	2,881-3626	3,200±263	3,043-3,611	3,338±201	3,175-3,538	3,366±123

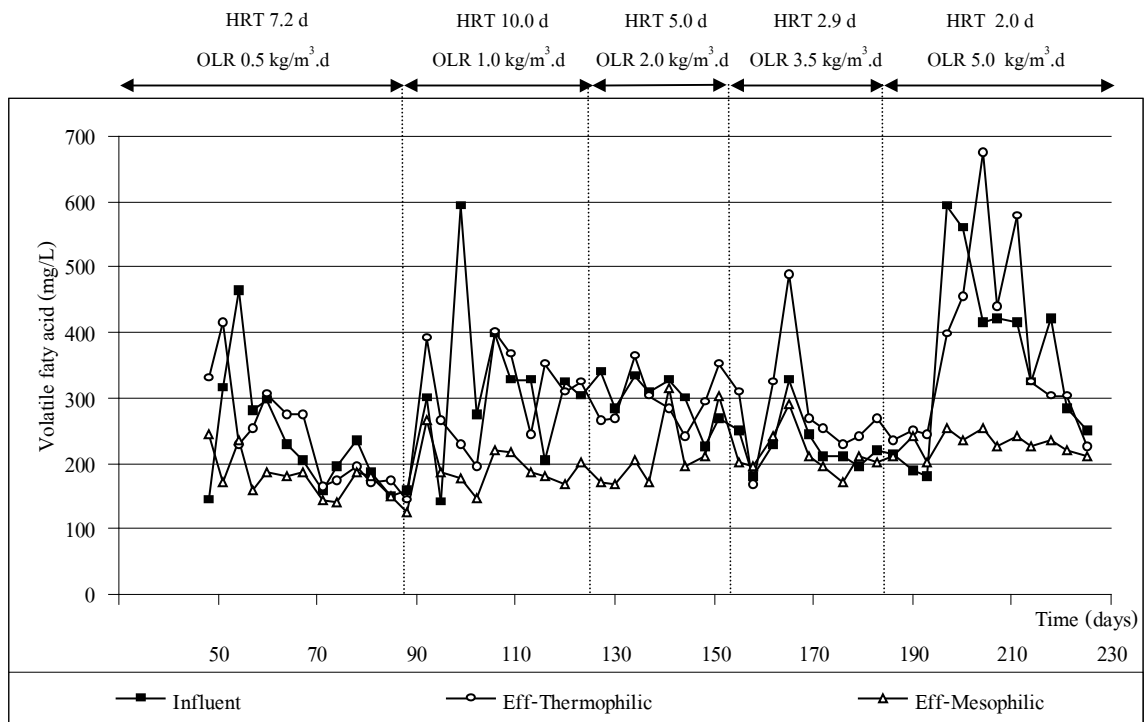
### ง) กรดระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids : VFA)

กรดระเหยง่ายของน้ำเสียเข้าระบบและน้ำทิ้งทั้ง 2 ถังปฏิกริยาแสดงดังตารางที่ 18 ซึ่งพารามิเตอร์นี้สามารถใช้แสดงถึงการทำงานของจุลินทรีย์ในระบบว่าเกิดความสำเร็จในการทำงานของจุลินทรีย์ที่ทำให้เกิดกรดและจุลินทรีย์ที่สร้างก๊าซมีเทน โดยถ้าระบบมีปริมาณกรด

ระเหยง่ายสะสมอยู่มากจะเป็นอันตรายต่อการทำงานของจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทน ทำให้การหมักล้มเหลว (Andrew, 1976 และ Forday and Greenfield, 1982) จากการทดลองพบว่าในช่วงแรกของการทดลองที่ OLR 0.5 กก./ลบ.ม./วัน ซึ่งเป็นการทดลองแรก ความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายในน้ำทิ้งจากทั้ง 2 ถึงปฏิกรณ์มีค่าสูงและค่อยๆ ลดลงเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 165-415 และ 140-245 มก./ล.ของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ของถังปฏิกรณ์ ThASBR และ MeASBR ตามลำดับ เมื่อเข้าสู่ช่วงแรกของการทดลองที่ OLR 1.0 กก./ลบ.ม./วัน ระบบทั้ง 2 ถึงปฏิกรณ์เกิดการระเหยง่ายสูงขึ้น (ภาพประกอบที่ 16) สังเกตได้จาก pH ที่ค่อยๆ ลดลง (ภาพประกอบที่ 15) เนื่องจากน้ำเสียเข้าระบบมีความเข้มข้น TCOD สูงกว่าปกติ ทำให้ระบบเกิด Shockload ส่วนน้ำทิ้งมีความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายอยู่ในช่วง 145-402 และ 125-260 มก./ล. ของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ของการทดลองที่ถังปฏิกรณ์ ThASBR และ MeASBR ตามลำดับ และเมื่อมีการเพิ่ม OLR (ลด HRT) ความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายจะเพิ่มสูงขึ้น จนเข้าสู่การทดลองที่ OLR สูงสุดของการทดลอง คือ 5.0 กก./ลบ.ม./วัน ในช่วงแรกของการทดลองถึงปฏิกรณ์ทั้ง 2 ถึงเกิดการสะสมของกรดระเหยง่ายที่สูง สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของ TCOD ในน้ำทิ้ง โดยเฉพาะถังปฏิกรณ์ ThASBR มีความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายสูงกว่าถังปฏิกรณ์ MeASBR ประมาณ 1 เท่า ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 225-676 และ 201-255 มก./ล. ของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ของการทดลองที่ถังปฏิกรณ์ ThASBR และ MeASBR ตามลำดับ และในช่วงท้ายของการทดลองความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายทั้ง 2 ถึงปฏิกรณ์จะค่อยๆ ลดลงจนค่อนข้างคงที่เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว ซึ่งเป็นสิ่งที่บ่งชี้ว่าระบบมีเสถียรภาพดี

ตารางที่ 18 กรดระเหยง่ายของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวของถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กัน

ความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายในน้ำเสียและน้ำทิ้ง (mg/L as $\text{CH}_3\text{COOH}$ )						
OLR (kg/m <sup>3</sup> .d)	Influent		Eff-Thermophilic ASBR		Eff-Mesophilic ASBR	
	Range	$\bar{X}\pm\text{SD}$	Range	$\bar{X}\pm\text{SD}$	Range	$\bar{X}\pm\text{SD}$
0.5	145-465	238±91	165-415	247±78	140-245	180±32
1.0	142-593	308±118	145-402	290±80	125-260	187±36
2.0	225-333	287±38	240-363	302±41	167-314	221±56
3.5	181-328	225±43	167-490	275±91	172-289	214±34
5.0	181-593	369±137	225-676	382±145	201-255	231±17

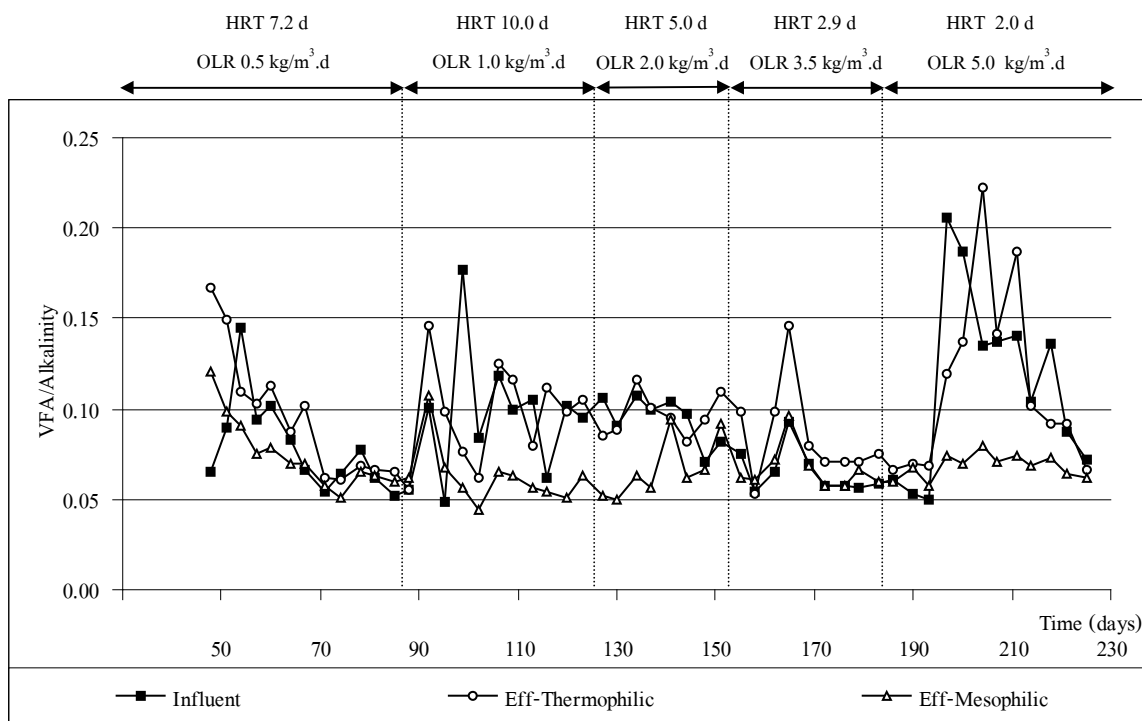


ภาพประกอบ 16 กรดระเหยง่ายของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว  
ที่ถังปฏิกริยา Thermophilic และถังปฏิกริยา Mesophilic

จากข้อมูลผลการทดลองความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายในน้ำทิ้งทั้ง 2 ถังปฏิกริยาพบว่าถังปฏิกริยา MeASBR มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายกรดระเหยง่ายได้ดีกว่าถังปฏิกริยา ThASBR เนื่องจากอุณหภูมิในช่วง Thermophilic การทำงานของจุลินทรีย์ที่สร้างกรดมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นกรดระเหยง่ายรวดเร็วกว่า ทำให้เกิดไฮโดรเจนอออนภายในระบบ ซึ่งมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนทำให้ขั้นตอนการย่อยสลายกรดระเหยง่ายเป็นก๊าซมีเทนมีอัตราลดลง จึงเกิดการสะสมของกรดระเหยง่ายมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Dinsdale *et al.* (1997a) ที่บำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตกาแฟ โดยระบบ UASB พบว่าถังปฏิกริยา Thermophilic UASB มีความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายในน้ำทิ้งสูงกว่าถังปฏิกริยา Mesophilic UASB ประมาณ 3 เท่า โดยมีค่าอยู่ในช่วง 80-120 และ 15-35 มก./ล. ของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ตามลำดับ จะเห็นว่าค่าที่ได้ต่ำกว่าค่าจากการทดลองนี้ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 145-676 ของถังปฏิกริยา ThASBR และ 125-314 มก./ล. ของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ของถังปฏิกริยา MeASBR ทั้งนี้อาจขึ้นกับลักษณะของน้ำเสีย อย่างไรก็ตามระบบทั้ง 2 ถังปฏิกริยาสามารถรักษาระดับกรดระเหยง่ายให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมคือ 50-500 มก./ล. ของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ซึ่งค่าสูงสุดที่ยอมให้มีในระบบได้เท่ากับ 2,000 มก./ล. ของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2543; มารศรี เรื่องจิตซ์ชาวลย์, 2541 และ Halbert, 1981)

### จ) อัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อสภาพต่าง (VFA : Alkalinity)

อัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อสภาพต่างมีความสำคัญต่อการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสียแบบไร้อากาศ ซึ่งจะเป็นค่าที่บ่งบอกถึงกำลังบัฟเฟอร์ของระบบ จากผลการทดลองพบว่า ที่ OLR ต่างๆ กัน อัตราส่วนกรดระเหยง่ายต่อสภาพต่างของน้ำเสียนั้นมีค่าระหว่าง 0.05-0.21 และน้ำที่มาจากถังปฏิกริยา ThASBR มีอัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อสภาพต่างเท่ากับ  $0.10 \pm 0.04$ ,  $0.10 \pm 0.03$ ,  $0.10 \pm 0.01$ ,  $0.08 \pm 0.03$  และ  $0.11 \pm 0.05$  ของการทดลองที่ OLR เท่ากับ 0.5, 1.0, 2.0, 3.5 และ 5.0 กก./ลบ.ม./วัน ตามลำดับ ส่วนน้ำที่มาจากถังปฏิกริยา MeASBR มีอัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อสภาพต่างเท่ากับ  $0.07 \pm 0.02$ ,  $0.06 \pm 0.02$ ,  $0.07 \pm 0.02$ ,  $0.07 \pm 0.01$  และ  $0.07 \pm 0.01$  ของการทดลองที่ OLR เท่ากับ 0.5, 1.0, 2.0, 3.5 และ 5.0 กก./ลบ.ม./วัน ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าระบบทั้ง 2 ถังปฏิกริยา (ภาพประกอบที่ 17) สามารถที่จะรักษาระดับของกรดระเหยง่ายต่อสภาพต่างได้อย่างสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์สูง เนื่องจากอัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อสภาพต่างต่ำกว่า 0.4 (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543 และ Zickefoose and Hayes, 1976) นอกจากนี้หากอัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อสภาพต่างมีค่ามากกว่า 0.8 อาจทำให้ระบบล้มเหลวเพราะความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายในปริมาณสูงทำให้การทำงานของจุลินทรีย์ที่ผลิตก๊าซมีเทนถูกยับยั้ง



ภาพประกอบ 17 อัตราส่วนกรดระเหยง่ายต่อสภาพต่างของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวที่ถังปฏิกริยา Thermophilic และถังปฏิกริยา Mesophilic

### จ) การลดสี (Color)

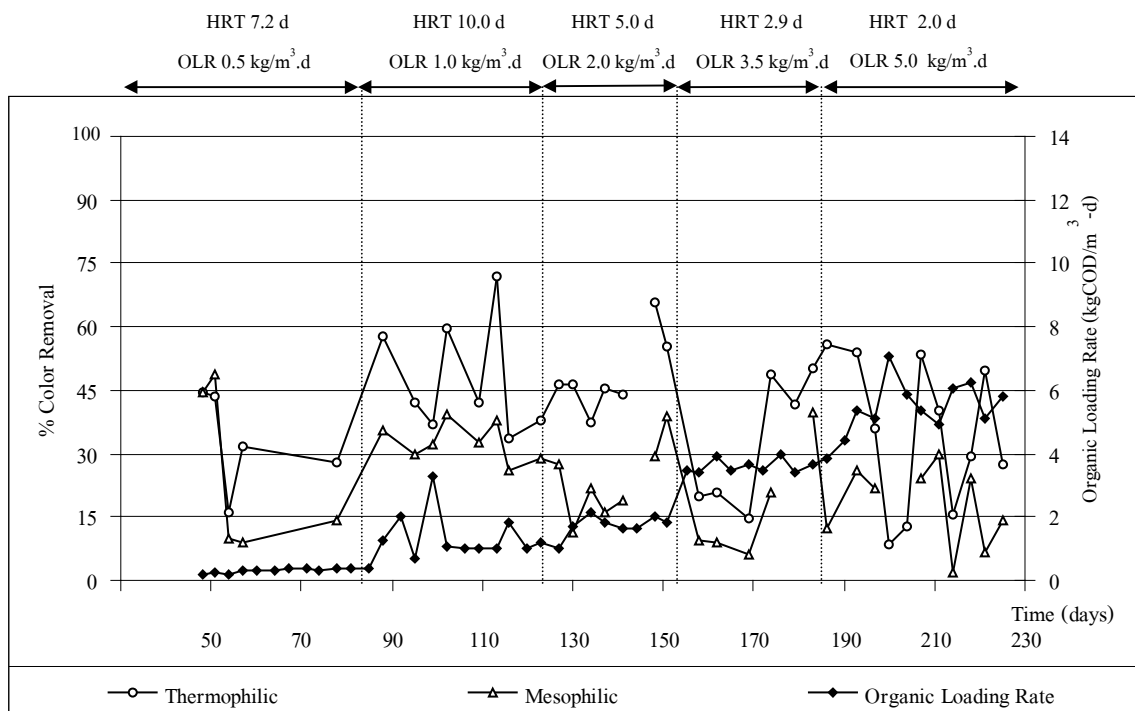
ความเข้มสีของน้ำเสียเข้าระบบทั้ง 2 ถึงปฏิบัติการ ของการทดลองที่ OLR เท่ากับ 0.5, 1.0, 2.0, 3.5 และ 5.0 กก./ลบ.ม./วัน มีค่าเท่ากับ  $141.2 \pm 23.5$ ,  $184.9 \pm 19.6$ ,  $155.8 \pm 53.2$ ,  $145.6 \pm 73.1$  และ  $194.1 \pm 51.2$  เอสยู ตามลำดับ สำหรับความเข้มสีของน้ำทิ้งทั้ง 2 ถึงปฏิบัติการ แสดงดังตารางที่ 19 ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า การทดลองที่ OLR 0.5 และ 1.0 กก./ลบ.ม./วัน ความเข้มสีในน้ำทิ้งมีค่าต่ำกว่าน้ำเสียเข้าระบบตลอดการทดลองทั้ง 2 ถึงปฏิบัติการ ซึ่งถึงปฏิบัติการ ThASBR สามารถลดสีได้ร้อยละ 32.84 และ 51.62 ส่วนถึงปฏิบัติการ MeASBR สามารถลดสีได้ร้อยละ 25.33 และ 34.52 ของการทดลองที่ OLR 0.5 และ 1.0 กก./ลบ.ม./วัน ตามลำดับ (ภาพประกอบที่ 19) และพบว่าที่ OLR 1.0 กก./ลบ.ม./วัน ระบบทั้ง 2 ถึงปฏิบัติการ สามารถลดสีได้ดีที่สุดสอดคล้องกับประสิทธิภาพการบำบัด TCOD (ภาพประกอบที่ 22) และเมื่อเพิ่ม OLR สูงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้การลดสีเกิดขึ้นได้น้อยลง และบางครั้งความเข้มสีในน้ำทิ้งสูงกว่าในน้ำเสีย โดยเฉพาะการทดลองที่ OLR สูงที่สุดของการทดลอง คือ 5.0 กก./ลบ.ม./วัน ถึงปฏิบัติการ MeASBR มีความเข้มสีในน้ำทิ้งสูงกว่าน้ำเสียในวันที่ 200 และ 204 ซึ่งลดสีได้ร้อยละ 9.75 จากการสังเกตพบตะกอนจุลินทรีย์บางส่วนหลุดออกมากับน้ำทิ้งซึ่งอาจเกิดจากก๊าซชีวภาพดันยกตัวขึ้นตะกอนด้านล่างและดันตะกอนออกมากับน้ำทิ้ง สังเกตได้จากความเข้มข้นของ SS ที่สูงขึ้น (ภาพประกอบที่ 27) ซึ่งตะกอนที่หลุดออกมามีลักษณะเป็นเมือก นอกจากนี้ตะกอนจุลินทรีย์ที่อยู่ภายในถึงปฏิบัติการ นอกจากจะเกิดกระบวนการหมักที่สามารถสลายพันธะของโมเลกุลสีแล้ว ยังมีกระบวนการกรองและการดูดซับสีที่ทำให้เกิดการสะสมสีที่ย่อยสลายได้ยากที่ชั้นตะกอนด้านล่างภายในถึงปฏิบัติการ และเกิดการคายสีในภายหลังได้ด้วย เมื่อมีการยกตัวของชั้นตะกอน และเกิดก๊าซชีวภาพปั่นป่วนมากก็อาจเกิดการคายสีออกมากับน้ำทิ้งได้เช่นกัน (ธีระพงษ์ สว่างปัญญากร, 2543) และพบว่าที่ OLR เท่ากับ 5.0 กก./ลบ.ม./วัน (HRT 2 วัน) การลดสีของถึงปฏิบัติการ ThASBR และถึงปฏิบัติการ MeASBR มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) จากการวิเคราะห์โดยใช้สถิติแบบ Mann Whiney U Test

ตารางที่ 19 ความเข้มข้นน้ำทิ้งและความสามารถในการลดจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวของ  
 ถังปฏิกริยา Thermophilic และถังปฏิกริยา Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กัน

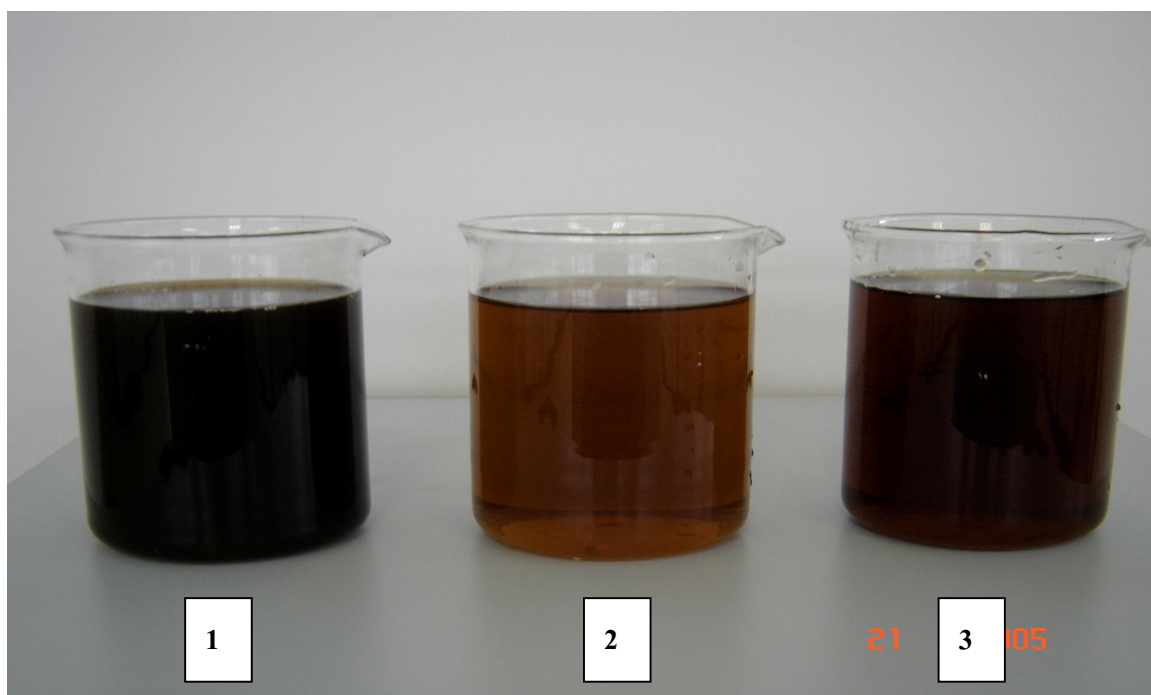
ความเข้มข้นน้ำทิ้ง (SU)						
OLR (kg/m <sup>3</sup> .d)	Thermophilic ASBR			Mesophilic ASBR		
	Range	$\bar{X} \pm SD$	Removal (%)	Range	$\bar{X} \pm SD$	Removal (%)
0.5	69.5-114.0	94.2±18.8	32.84	69.5-152.0	105.9±35.9	25.33
1.0	44.7-135.3	91.6±33.6	51.62	145.4-199.2	121.6±18.6	34.52
2.0	47.5-152.7	93.3±37.6	41.15	78.4-190.2	120.0±38.2	21.87
3.5	35.5-143.7	90.5±38.1	32.41	56.8-174.2	118.9±43.1	12.21
5.0	101.3-150.3	124.5±22.2	32.75	117.4-201.8	167.5±23.9	9.75*

หมายเหตุ : \* การลดสีของถังปฏิกริยา ThASBR และ MeASBR มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

ความเข้มข้นน้ำทิ้งจากถังปฏิกริยา ThASBR มีค่าน้อยกว่าน้ำเสียเข้าระบบเกือบตลอดการทดลอง และสามารถลดสีได้มากกว่าถังปฏิกริยา MeASBR แสดงว่าการหมักในช่วง Thermophilic กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) สามารถเกิดขึ้นได้เร็วและนำไปสู่การย่อยสลายโมเลกุลของสี และทำให้เกิดการลดสีลงได้ดีกว่าช่วง Mesophilic โดยตลอดระยะเวลาการทดลอง ถังปฏิกริยา ThASBR สามารถลดสีได้ใกล้เคียงกับการทดลองของอนุสิทธิ์ ยมะสมิต (2543) ที่บำบัดน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมโดยระบบ ASBR ซึ่งสามารถบำบัดสีได้ร้อยละ 29.1-51.5 ถึงแม้ว่าน้ำเสียต่างชนิดกัน แต่อาจมีคุณสมบัติบางอย่างที่คล้ายกัน โดยน้ำเสียของโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มประกอบด้วยสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น รงควัตถุพวกแอนโทไซยานินและแคโรทีน ซึ่งถูกสกัดออกมาพร้อมกับน้ำมันและไอน้ำ เนื่องจากเซลล์ผลปาล์มถูกทำลาย (Hartley, 1977 อ้างถึงใน พูนสุข ประเสริฐสรรพ และคณะ, 2544) นอกจากนี้ยังมีสารประกอบพวกกัม (gum) ซึ่งเมื่อกัมถูกความร้อนในขั้นตอนการสกัดน้ำมันปาล์มจะทำให้เกิดสีน้ำตาลคล้ำขึ้นและสามารถรวมตัวกับโลหะ เช่น เหล็ก แคลเซียม แมกนีเซียมและทองแดงทำให้เกิดความคงตัวของสีในน้ำทิ้ง (Salunkhe and Desai, 1986)



ภาพประกอบ 18 ความสามารถในการลดสีจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวที่ถึงปฏิบัติการ Thermophilic และถึงปฏิบัติการ Mesophilic



ภาพประกอบ 19 ความเข้มสีของน้ำเสียจากระบบ (1) และน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวที่ถึงปฏิบัติการ Thermophilic (2) และถึงปฏิบัติการ Mesophilic (3)

ข) การบำบัดชีโอดี

การศึกษาประสิทธิภาพในการบำบัดซีโอดี ได้มีการวิเคราะห์ซีโอดีทั้งหมด (Total Chemical Oxygen Demand : TCOD) และซีโอดีละลายน้ำ (Soluble Chemical Oxygen Demand : SCOD)

TCOD น้ำเสียเข้าระบบทั้ง 2 ถึงปฏิกิริยาของการทดลองที่ OLR เท่ากับ 0.5, 1.0, 2.0, 3.5 และ 5.0 กก./ลบ.ม./วัน มีค่าเท่ากับ 4,782±1,016, 10,535±1,930, 9,156±998, 10,388±584 และ 11,154±1,465 มก./ล. ตามลำดับ และน้ำทิ้งจากระบบและประสิทธิภาพการบำบัดตลอดระยะเวลาการทดลอง แสดงดังตารางที่ 20 ส่วน SCOD ของน้ำเสียเข้าระบบทั้ง 2 ถึงปฏิกิริยาของการทดลองที่ OLR เท่ากับ 0.5, 1.0, 2.0, 3.5 และ 5.0 กก./ลบ.ม./วัน มีค่าเท่ากับ 2,680±438, 4,316±337, 3,983±389, 3,655±449 และ 4,276±837 มก./ล. ตามลำดับ และน้ำทิ้งจากระบบและประสิทธิภาพการบำบัดตลอดระยะเวลาการทดลอง แสดงดังตารางที่ 21

การทดลองแรกที่ OLR เท่ากับ 0.5 กก./ลบ.ม./วัน น้ำเสียเข้าระบบมี TCOD เท่ากับ 4,782±1,016 มก./ล. ซึ่งมีค่าไม่สูง เนื่องจากช่วงเก็บตัวอย่างน้ำเสียเป็นช่วงฤดูฝน (เก็บตัวอย่างน้ำเสียปลายเดือนตุลาคม) ประกอบกับวันที่เก็บตัวอย่างมีฝนตก ทำให้ TCOD ของน้ำเสียเข้าระบบเกิดการเจือจาง และพบว่าเมื่อระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว ถึงปฏิกิริยา ThASBR มีประสิทธิภาพการบำบัด TCOD และ SCOD เฉลี่ยร้อยละ 51.42 และ 54.62 ส่วนถึงปฏิกิริยา MeASBR มีประสิทธิภาพการบำบัด TCOD และ SCOD เฉลี่ยร้อยละ 59.53 และ 55.13 ตามลำดับ จนถึงช่วงแรกของ OLR 1.0 กก./ลบ.ม./วัน ประมาณช่วงวันที่ 90-100 ความเข้มข้นของ TCOD ของน้ำเสียเข้าระบบมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าปกติ คือมีค่าเท่ากับ 10,535±1,930 มก./ล. (เก็บตัวอย่างน้ำเสียกลางเดือนมกราคม) ทำให้ช่วงนี้มี OLR สูงมากกว่า 1.0 กก./ลบ.ม./วัน ประมาณ 1.8 เท่า เป็นผลให้ระบบเกิด Shockload (ภาพประกอบที่ 20 และ 21) โดยจากสภาวะดังกล่าวข้างต้นทำให้จุลินทรีย์ที่สร้างกรดมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นกรดระเหยง่ายเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดไฮโดรเจนอออนภายในระบบซึ่งมีความเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนทำให้อัตราการย่อยสลายกรดให้เป็นก๊าซชีวภาพมีอัตราลดลง เป็นผลให้ pH ลดลง (ภาพประกอบที่ 14) ปริมาณกรดระเหยง่ายเพิ่มขึ้น (ภาพประกอบที่ 16) และปริมาณ SS เพิ่มขึ้น (ภาพประกอบที่ 27) หลังจากนั้นวันที่ 114 ระบบทั้ง 2 ถึงปฏิกิริยาเข้าสู่สภาวะปกติ ทำให้น้ำทิ้งมี TCOD และ SCOD เท่ากับ 2,185±550 และ 674±186 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยร้อยละ 78.98 และ 84.19 ตามลำดับ ของถึงปฏิกิริยา ThASBR และ 2,559±649 และ 762±224 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยร้อยละ 75.47 และ 82.07 ของถึงปฏิกิริยา MeASBR ตามลำดับ ซึ่งเป็นประสิทธิภาพบำบัดสูงสุดของการทดลอง แต่เมื่อสังเกตการทดลองในช่วง OLR 1.0 กก./ลบ.ม./วัน ระบบทั้ง 2 ถึงปฏิกิริยามีประสิทธิภาพสูงกว่า OLR 0.5 กก./ลบ.ม./วัน อาจเนื่องมาจากการทดลองแรกที่ OLR 0.5 กก./ลบ.ม./วัน จุลินทรีย์ในถังปฏิกิริยาทั้ง 2 อาจจะอยู่ในช่วงของ



การปรับตัวให้เข้ากับน้ำเสียที่นำมาเดินระบบอยู่ ทั้งนี้เพราะตะกอนจุลินทรีย์ที่นำมาเริ่มต้นระบบ เป็นเชื้อต่างชนิดกันกับน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง จึงอาจใช้ระยะเวลาในการเจริญเติบโตที่นาน จากนั้นเมื่อมีการเพิ่ม OLR สูงขึ้นเรื่อยๆ (2.0-5.0 กก./ลบ.ม./วัน) ก็จะทำให้ประสิทธิภาพทั้ง 2 ถึง ปฏิริยาตกลงตามลำดับ (ตารางที่ 20 และ 21) เนื่องจากการลดระยะเวลาเก็บกักของน้ำเสีย (HRT) ทำให้จุลินทรีย์มีเวลาสัมผัสกับน้ำเสียได้สั้นลง ตะกอนจุลินทรีย์มีโอกาสดูดออกกับน้ำทิ้งจากระบบเพิ่มขึ้น ซึ่งในการทดลองที่ OLR สูงสุด คือ 5.0 กก./ลบ.ม./วัน ถึงปฏิริยา ThASBR มีประสิทธิภาพการบำบัด TCOD และ SCOD เฉลี่ยร้อยละ 56.80 และ 45.28 ตามลำดับ ส่วนถึงปฏิริยา MeASBR มีประสิทธิภาพการบำบัด TCOD และ SCOD เฉลี่ยร้อยละ 52.36 และ 47.96 ตามลำดับ

สำหรับประสิทธิภาพในการบำบัด TCOD และ SCOD ตลอดระยะเวลาการทดลอง พบว่า ส่วนใหญ่ถึงปฏิริยา ThASBR จะสูงกว่าถึงปฏิริยา MeASBR (ภาพประกอบที่ 22 และ 23) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) จากการวิเคราะห์โดยใช้สถิติแบบ Mann Whiney U Test เนื่องจากการทำงานของจุลินทรีย์ในช่วง Thermophilic จะเกิดปฏิริยาชีวเคมีได้ดีในขั้นตอนของ กระบวนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) ซึ่งสามารถเปลี่ยนรูปของอนุภาคสารอินทรีย์ที่ซับซ้อนเป็น สารประกอบละลายน้ำที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยลง และกระบวนการผลิตกรด (Acidogenesis) จะเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่เกิดจากการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในกลุ่มแรกให้เป็นกรดอินทรีย์และสารอื่นๆ อาจเกิดขึ้นได้เร็วกว่า

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัด TCOD และ SCOD เฉพาะในช่วงที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Stable Condition) (ภาพประกอบที่ 24 และ 25) พบว่าประสิทธิภาพการบำบัดมีค่าสูงกว่าการบำบัด TCOD และ SCOD ตลอดระยะเวลาการทดลอง และพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด TCOD ของการทดลองนี้มีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ Pechsuth *et al.* (2001) ที่พบว่าระบบถังหมัก ไร้อากาศแบบอัตราสูงในช่วง Thermophilic สามารถบำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มในรูปของ TCOD ได้เฉลี่ยร้อยละ 81.10 ที่ HRT 10 วัน เช่นเดียวกัน แต่ผลที่ได้แตกต่างจากการทดลองของ Dinsdale *et al.* (1997a) ซึ่งพบว่า การบำบัดน้ำเสียจากผลิตภัณฑ์กาแฟด้วยระบบ UASB ในช่วง Mesophilic สามารถลด TCOD ได้สูงกว่าในช่วง Thermophilic (ร้อยละ 78 และ 70 ตามลำดับ) และจะเห็นได้ว่าน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากการทดลองนี้ยังมีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของ กระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2539 (TCOD ไม่มากกว่า 120 มก./ล.)

ตารางที่ 20 TCOD ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการบำบัดจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว

ของถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กัน

ความเข้มข้นของ TCOD ในน้ำทิ้ง (mg/L)						
OLR (kg/m <sup>3</sup> .d)	Thermophilic ASBR			Mesophilic ASBR		
	Range	$\bar{X}\pm SD$	Removal (%)	Range	$\bar{X}\pm SD$	Removal (%)
0.5	1,950-2,900	2,242±296	51.42	1,350-2,600	1,885±316	59.53*
1.0	1,320-3,038	2,185±550	78.98	1,520-3,724	2,559±649	75.47
2.0	2,058-3,332	2,646±375	70.85	3,234-3,773	3,367±187	62.83*
3.5	2,695-4,704	3,744±588	64.02	3,234-5,194	4,361±591	58.01*
5.0	3,920-5,635	4,774±516	56.80	4,665-6,321	5,260±511	52.36*

หมายเหตุ : \* การบำบัด TCOD ของถังปฏิกรณ์ ThASBR และ MeASBR มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

ตารางที่ 21 SCOD ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการบำบัดจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว  
ของถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กัน

ความเข้มข้นของ SCOD ในน้ำทิ้ง (mg/L)						
OLR (kg/m <sup>3</sup> .d)	Thermophilic ASBR			Mesophilic ASBR		
	Range	$\bar{X}\pm SD$	Removal (%)	Range	$\bar{X}\pm SD$	Removal (%)
0.5	960-1,425	1,213±232	54.62	930-1,400	1,200±206	55.13
1.0	470-1,110	674±186	84.19	470-1,130	762±224	82.07
2.0	902-1,372	1,140±174	71.22	862-1,506	1,254±217	68.58
3.5	1,666-2,332	1,864±205	47.70	1,529-2,372	1,815±283	49.18
5.0	1,911-2,959	2,312±370	45.28	1,764-2,901	2,200±354	47.96

ข) การบำบัดบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD<sub>5</sub>)

BOD<sub>5</sub> ของน้ำเสียเข้าระบบทั้ง 2 ถังปฏิกรณ์ ของการทดลองที่ OLR เท่ากับ 0.5, 1.0, 2.0, 3.5 และ 5.0 กก./ลบ.ม./วัน มีค่าเท่ากับ 1,216±294, 3,108±594, 2,649±297, 2,928±139 และ 3,156±808 มก./ล. ตามลำดับ และมีอัตราส่วนของ BOD<sub>5</sub> : TCOD เฉลี่ยเท่ากับ 0.28 อัตราส่วนนี้แสดงถึงความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ทางชีวภาพ หากอัตราส่วน BOD<sub>5</sub> : TCOD ในน้ำเสียเข้าระบบต่ำกว่าน้ำทิ้งจากระบบ แสดงว่าเกิดการย่อยสลายทางชีวภาพได้น้อยลง โดยตลอดการทดลองนี้ อัตราส่วนของ BOD<sub>5</sub> : TCOD ในน้ำทิ้งทั้ง 2 ถังปฏิกรณ์ มีค่าต่ำกว่าน้ำเสียเข้าระบบซึ่งมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.08 และ 0.07 ของถังปฏิกรณ์ ThASBR และ MeASBR ตามลำดับ และ BOD<sub>5</sub> ในน้ำทิ้งจากระบบและประสิทธิภาพการบำบัดตลอดระยะเวลาการทดลอง แสดงดังตารางที่ 22

ตารางที่ 22 BOD<sub>5</sub> ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการบำบัดจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวของ  
 ถังปฏิกริยา Thermophilic และถังปฏิกริยา Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กัน

ความเข้มข้นของ BOD <sub>5</sub> ในน้ำทิ้ง (mg/L)						
OLR (kg/m <sup>3</sup> .d)	Thermophilic ASBR			Mesophilic ASBR		
	Range	$\bar{X}\pm SD$	Removal (%)	Range	$\bar{X}\pm SD$	Removal (%)
0.5	92-175	137±26	87.85	60-139	97±24	91.52*
1.0	60-383	232±137	92.16	90-371	231±113	92.32
2.0	95-361	232±110	92.01	236-262	253±12	91.13
3.5	216-343	257±59	91.17	194-333	243±64	91.63
5.0	148-485	411±147	86.41	313-734	548±171	82.16

หมายเหตุ : \* การบำบัด BOD<sub>5</sub> ของถังปฏิกริยา ThASBR และ MeASBR มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

การทดลองแรกเริ่มที่ OLR เท่ากับ 0.50 กก./ลบ.ม./วัน น้ำเสียเข้าระบบมี BOD<sub>5</sub> เท่ากับ 1,216±294 มก./ล. ซึ่งมีค่าไม่สูง ส่วนน้ำทิ้งจากระบบมีค่าเท่ากับ 137±26 และ 97±24 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยร้อยละ 87.85 และ 91.52 ของถังปฏิกริยา ThASBR และถังปฏิกริยา MeASBR ตามลำดับ และพบว่าที่ OLR 0.5 กก./ลบ.ม./วัน (HRT 7.2 วัน) ประสิทธิภาพการบำบัด BOD<sub>5</sub> ของถังปฏิกริยา ThASBR และถังปฏิกริยา MeASBR มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05) จากการใช้สถิติแบบ Mann Whiney U Test หลังจากนั้นเมื่อเปลี่ยนการทดลองที่ OLR 1.0 กก./ลบ.ม./วัน ในช่วงวันที่ 90-100 ความเข้มข้นของ TCOD ในน้ำเสียเข้าระบบมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าปกติ (ระบบเกิด Shockload) ทำให้ BOD<sub>5</sub> น้ำเสียเข้าระบบสูงขึ้นด้วย ซึ่งพบว่าที่ OLR 1.0 กก./ลบ.ม./วัน ถังปฏิกริยา ThASBR และถังปฏิกริยา MeASBR มีประสิทธิภาพในการบำบัด BOD<sub>5</sub> เฉลี่ยร้อยละ 92.16 และ 92.32 ตามลำดับ ซึ่งเป็นประสิทธิภาพสูงสุดของการทดลอง และเมื่อมีการเพิ่ม OLR สูงขึ้นเรื่อยๆ (2.0-5.0 กก./ลบ.ม./วัน) จะทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด BOD<sub>5</sub> ทั้ง 2 ถังปฏิกริยาลดต่ำลง ตามลำดับ

จากผลการทดลองพบว่า การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ BOD<sub>5</sub> ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจะสัมพันธ์กับ TCOD แต่ประสิทธิภาพการบำบัด BOD<sub>5</sub> จะสูงกว่า TCOD เนื่องจากอัตราส่วนของ BOD<sub>5</sub>: TCOD ในน้ำทิ้งทั้ง 2 ถังปฏิกริยาต่ำกว่าน้ำเสียเข้าระบบตลอดการทดลอง ดังกล่าวมาแล้วข้างต้น แสดงให้เห็นว่าในน้ำเสียจะมีสารประกอบที่ย่อยสลายทางชีวภาพ ทำให้จุลินทรีย์สามารถใช้สารประกอบที่ย่อยสลายง่ายในการเจริญเติบโตได้ดี เป็นผลให้ BOD<sub>5</sub> ในน้ำทิ้งมีค่าต่ำ ประสิทธิภาพในการบำบัด BOD<sub>5</sub> จึงเกิดขึ้นสูงกว่าการบำบัด TCOD

ประสิทธิภาพในการบำบัด BOD<sub>5</sub> ของทั้ง 2 ถังปฏิกรณ์มีประสิทธิภาพค่อนข้างสูง ซึ่งความเข้มข้นของ BOD<sub>5</sub> ในน้ำทิ้งทั้ง 2 ถังปฏิกรณ์มีค่าใกล้เคียงกันเกือบตลอดการทดลองอย่างเห็นได้ชัด (ภาพประกอบที่ 26) โดยที่ OLR สูงสุดของการทดลอง คือ 5.0 กก./ลบ.ม./วัน ถังปฏิกรณ์ ThASBR และถังปฏิกรณ์ MeASBR มีประสิทธิภาพการบำบัด BOD<sub>5</sub> เฉลี่ยร้อยละ 86.41 และ 82.16 ตามลำดับ ซึ่งเป็นประสิทธิภาพต่ำสุดของการทดลอง จะเห็นว่ามีประสิทธิภาพมากกว่าร้อยละ 80 แต่น้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดจากระบบบำบัดนี้ยังมีค่าสูง โดยตลอดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 60-485 และ 60-734 มก./ล. ของถังปฏิกรณ์ ThASBR และ MeASBR ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2539 (BOD<sub>5</sub> ไม่มากกว่า 60 มก./ล.)

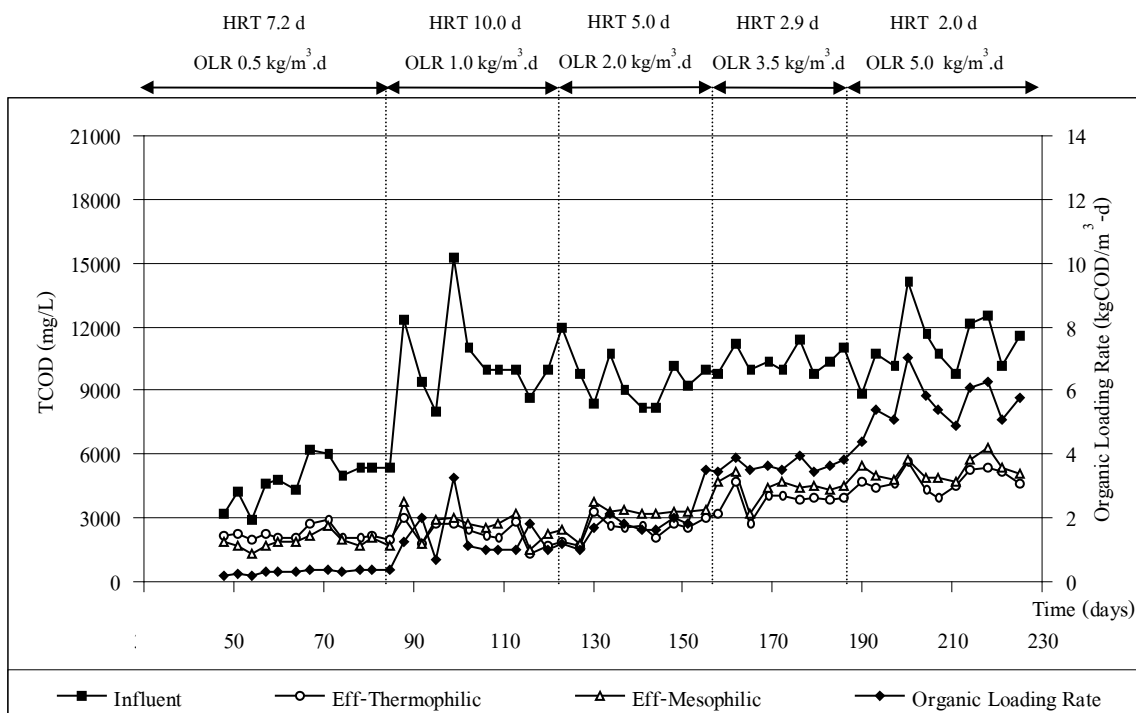
#### ณ) การลดของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids : SS)

SS ของน้ำเสียเข้าระบบทั้ง 2 ถังปฏิกรณ์ของการทดลองที่ OLR เท่ากับ 0.5, 1.0, 2.0, 3.5 และ 5.0 กก./ลบ.ม./วัน มีค่าเท่ากับ 1,337±346, 6,115±820, 5,572±1,121, 5,241±1,402 และ 3,629±590 มก./ล. ตามลำดับ และความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์ทั้ง 2 ตลอดระยะเวลาการทดลอง แสดงดังตารางที่ 23

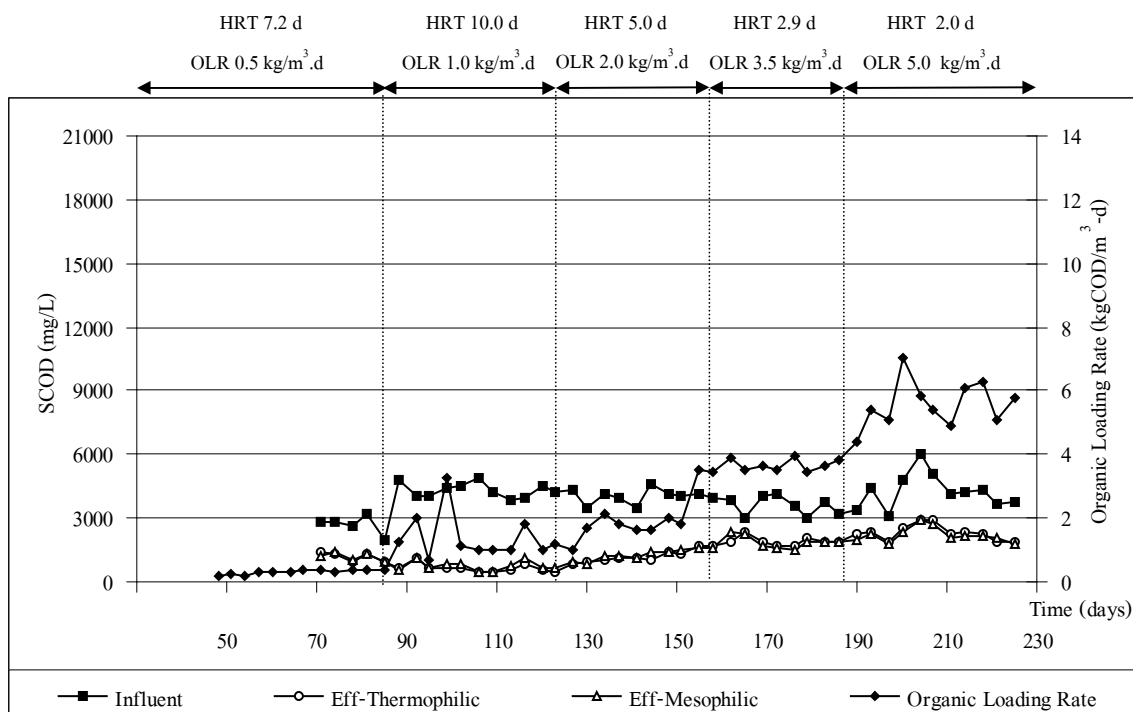
ตารางที่ 23 SS ในน้ำทิ้งและความสามารถในการลดจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวของ ถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กัน

ความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้ง (mg/L)						
OLR (kg/m <sup>3</sup> .d)	Thermophilic ASBR			Mesophilic ASBR		
	Range	$\bar{X} \pm SD$	Removal (%)	Range	$\bar{X} \pm SD$	Removal (%)
0.5	615-1,190	875±153	26.98	520-1,069	715±171	40.81*
1.0	767-2,836	1,693±692	72.29	663-2,505	1,741±684	71.59
2.0	1,356-2,305	1,891±347	65.49	1,506-2,792	2,085±405	61.82
3.5	2,083-4,550	2,666±767	44.56	2,317-5,825	3,102±1,039	35.30
5.0	2,692-4,325	3,270±597	46.04	2,925-4,600	3,629±590	39.96*

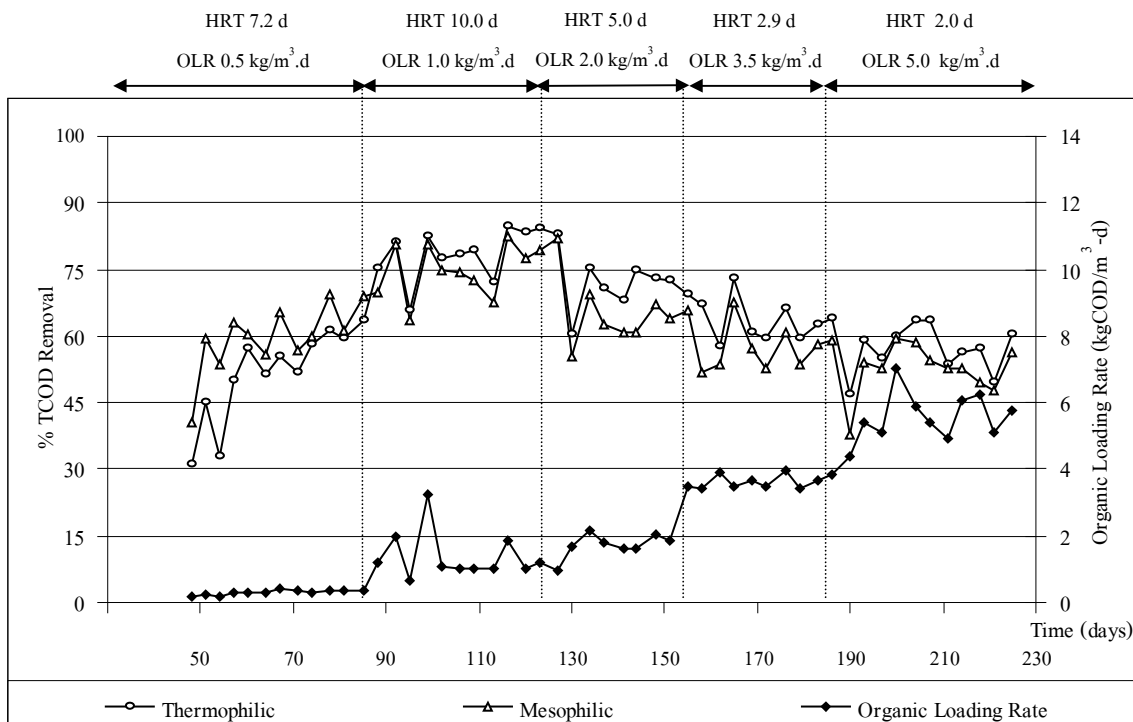
หมายเหตุ : \* การลด SS ของถังปฏิกรณ์ ThASBR และ MeASBR มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)



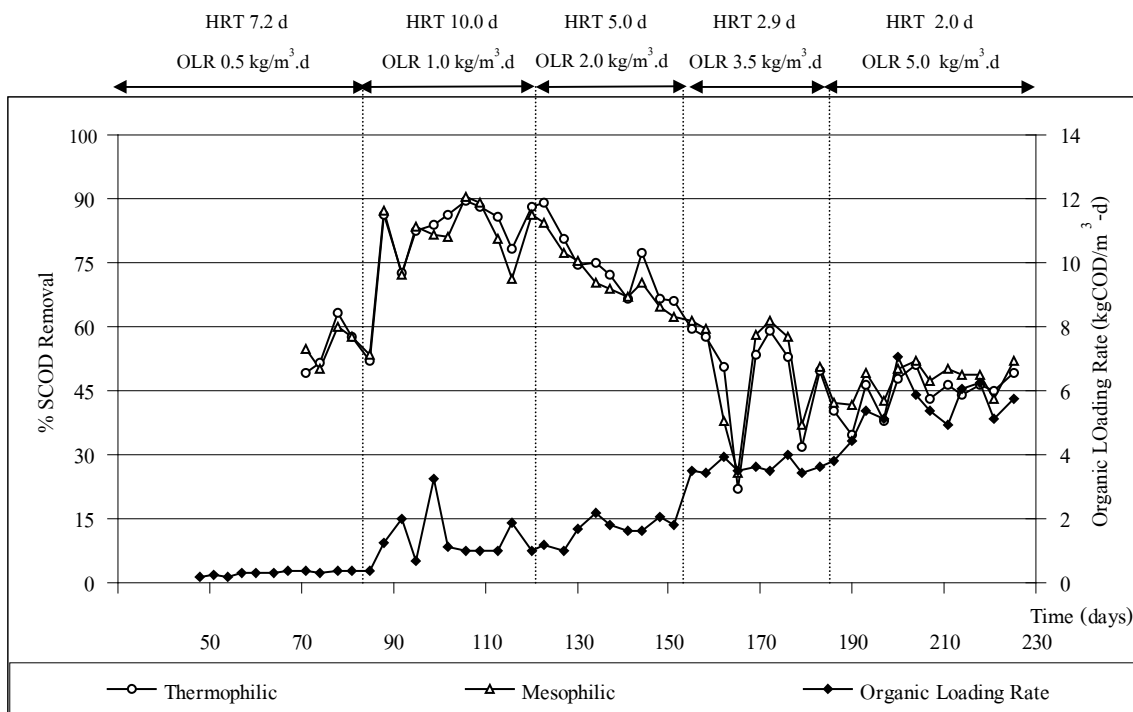
ภาพประกอบ 20 TCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว  
ของถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic



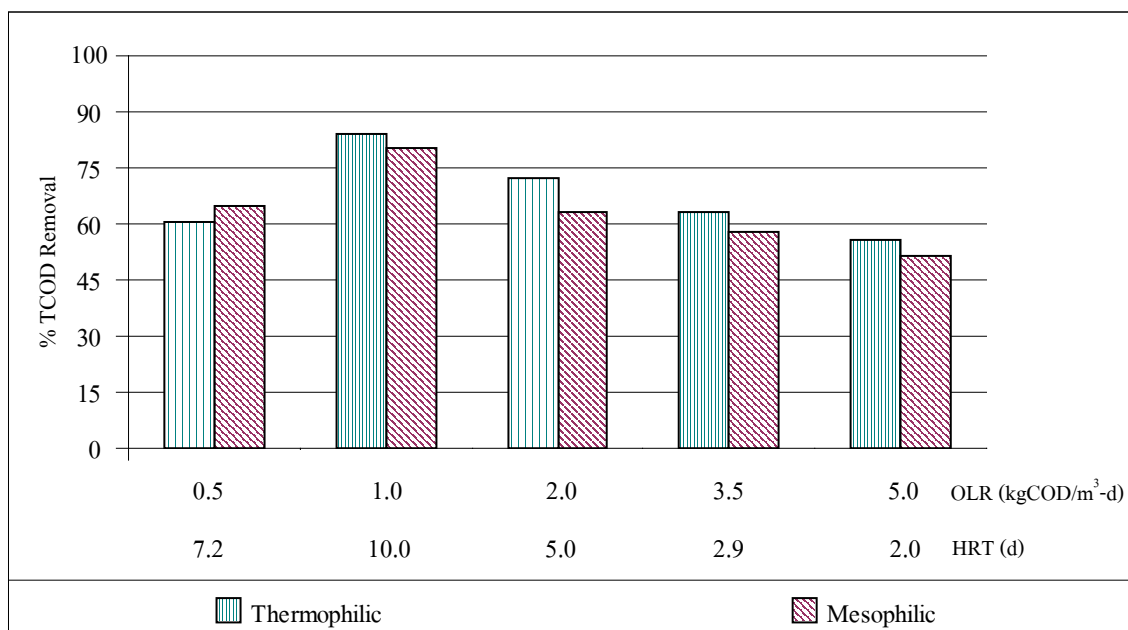
ภาพประกอบ 21 SCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว  
ของถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic



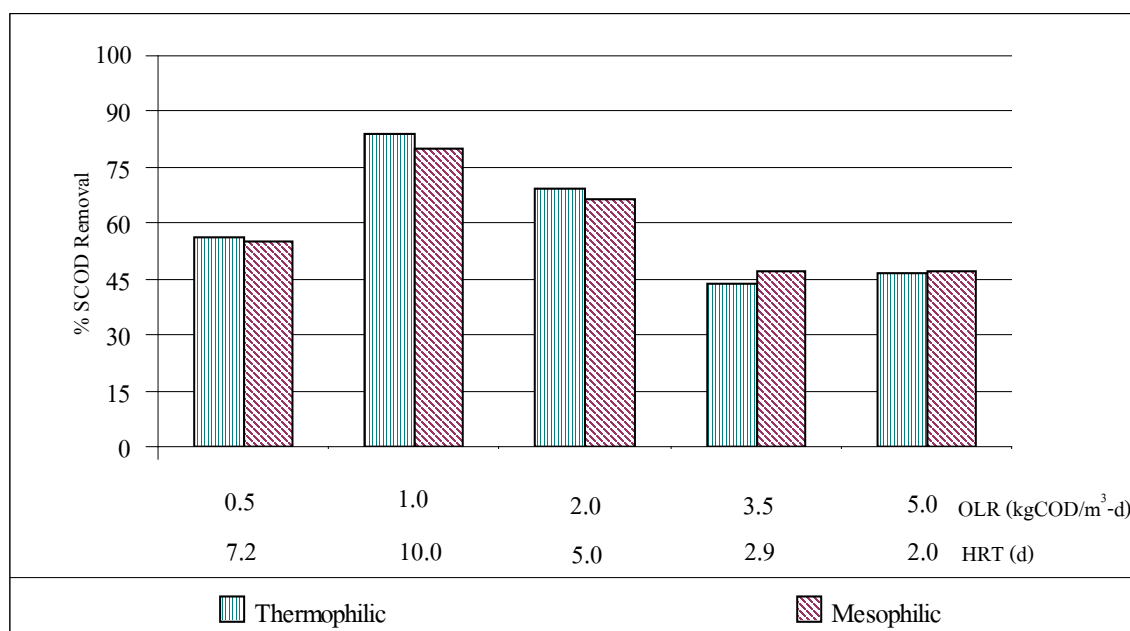
ภาพประกอบ 22 ประสิทธิภาพการบำบัด TCOD จากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวตลอด การทดลองของถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic



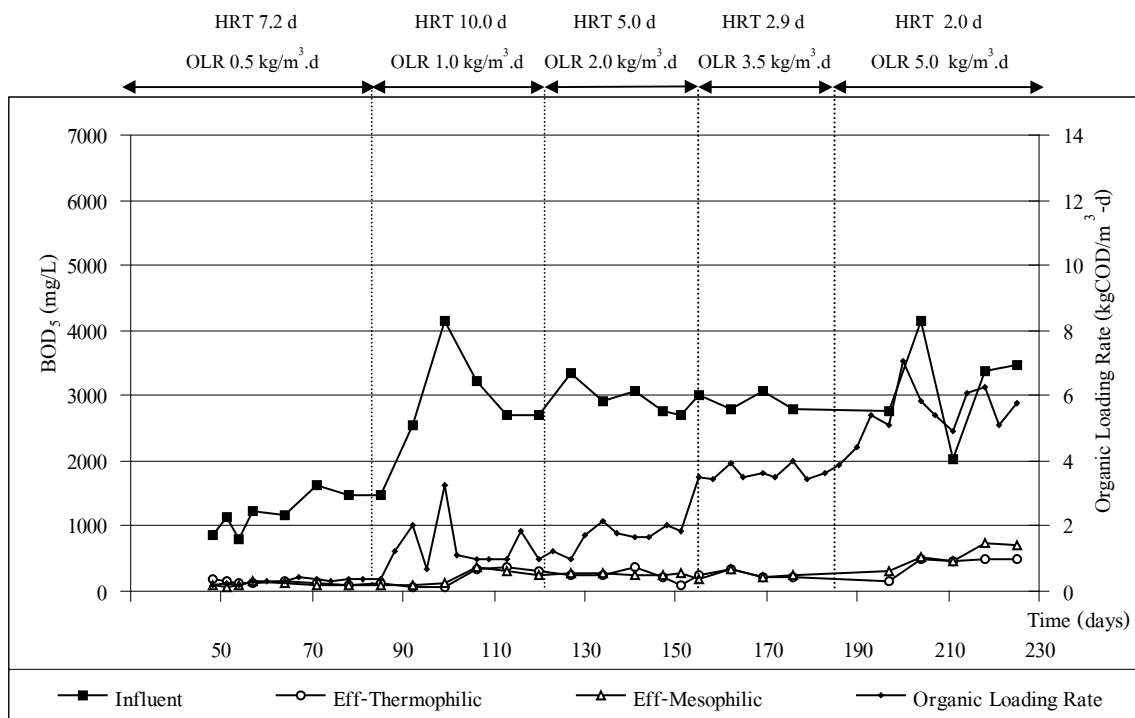
ภาพประกอบ 23 ประสิทธิภาพการบำบัด SCOD จากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวตลอด การทดลองของถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic



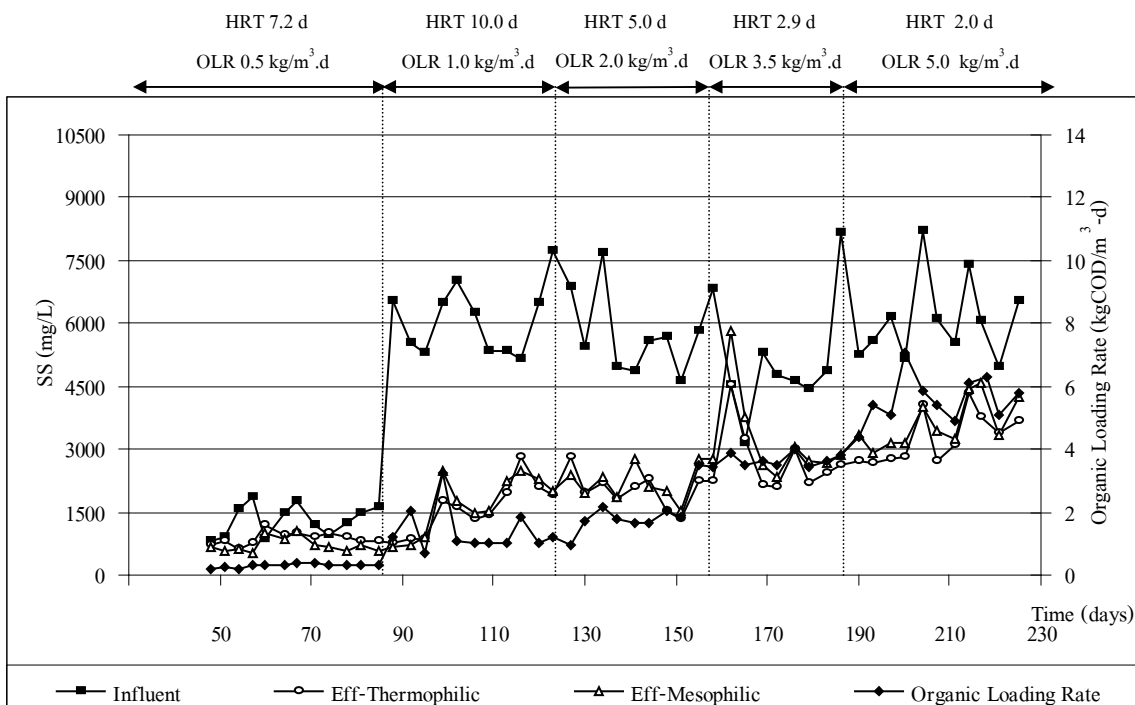
ภาพประกอบ 24 ประสิทธิภาพการบำบัด TCOD เฉลี่ยจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวภายใต้สภาวะคงตัว (Stable Condition) ของถังปฏิกริยา Thermophilic และถังปฏิกริยา Mesophilic



ภาพประกอบ 25 ประสิทธิภาพการบำบัด SCOD เฉลี่ยจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวภายใต้สภาวะคงตัว (Stable Condition) ของถังปฏิกริยา Thermophilic และถังปฏิกริยา Mesophilic



ภาพประกอบ 26 BOD<sub>5</sub> ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกริยา Thermophilic และถังปฏิกริยา Mesophilic



ภาพประกอบ 27 SS ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกริยา Thermophilic และถังปฏิกริยา Mesophilic



ความเข้มข้นของ SS ในน้ำเสียเข้าระบบทั้ง 2 ถึงปฏิบัติการของการทดลองที่ OLR 0.5 กก./ลบ.ม./วัน มีค่าเท่ากับ  $1,337 \pm 346$  มก./ล. สำหรับน้ำทิ้งจากถึงปฏิบัติการ ThASBR และ MeASBR มีค่าเท่ากับ  $875 \pm 153$  และ  $715 \pm 171$  มก./ล. คิดเป็นการลด SS เฉลี่ยร้อยละ 26.98 และ 40.81 ตามลำดับ จะเห็นว่าการลด SS เกิดขึ้นไม่สูงแต่เมื่อเข้าสู่ช่วงแรกของ OLR 1.0 กก./ลบ.ม./วัน ในช่วงวันที่ 90-100 (ภาพประกอบที่ 27) น้ำเสียเข้าระบบมีความเข้มข้นของ TCOD และ SS สูงกว่าปกติ โดย SS น้ำเสียเข้าระบบมีค่าเท่ากับ  $6,115 \pm 820$  มก./ล. ประมาณ 24 วันหลังจากระบบเกิด Shockload ระบบทั้ง 2 ถึงปฏิบัติการก็เข้าสู่สภาวะปกติ ทำให้ปริมาณ SS ในน้ำทิ้งมีค่าเท่ากับ  $1,693 \pm 692$  และ  $1,741 \pm 684$  มก./ล. คิดเป็นการลด SS ได้ร้อยละ 72.29 และ 71.59 ของถึงปฏิบัติการ ThASBR และ MeASBR ตามลำดับ โดยการลด SS เกิดขึ้นได้สูงสุดของการทดลอง และเมื่อเข้าสู่ช่วงแรกของ OLR 3.5 กก./ลบ.ม./วัน ในช่วงวันที่ 160-163 น้ำทิ้งมีปริมาณ SS สูงและบางครั้งสูงกว่า SS ของน้ำเสียเข้าระบบ จากการสังเกตพบตะกอนจุลินทรีย์บางส่วนหลุดออกมากับน้ำทิ้ง ซึ่งอาจเกิดจากก๊าซชีวภาพดันยกตัวขึ้นตะกอนด้านล่างและดันตะกอนออกมากับน้ำทิ้งเพราะยังมีสารอินทรีย์ (TCOD) เหลืออยู่สูงในน้ำในช่วงปลายวัฏจักรหรือในน้ำทิ้งนั่นเอง และเมื่อเปลี่ยนการทดลองเป็น OLR 5.0 กก./ลบ.ม./วัน ซึ่งเป็น OLR สูงสุดของการทดลอง น้ำทิ้งทั้ง 2 ถึงปฏิบัติการมีปริมาณ SS ออกมามากที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ  $3,270 \pm 597$  และ  $3,629 \pm 590$  มก./ล. ของถึงปฏิบัติการ ThASBR และ MeASBR ตามลำดับ และพบว่า การทดลองที่ OLR 5.0 กก./ลบ.ม./วัน การลด SS ของถึงปฏิบัติการ ThASBR และถึงปฏิบัติการ MeASBR มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) จากการใช้สถิติแบบ Mann Whiney U Test

เมื่อพิจารณาการลด SS พบว่าโดยส่วนใหญ่ถึงปฏิบัติการ ThASBR มีการลดได้สูงกว่าถึงปฏิบัติการ MeASBR ซึ่งสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการบำบัด TCOD และจะเห็นได้ว่าตลอดการทดลองความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งจากระบบจำลองนี้ยังมีค่าสูงอยู่เมื่อเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2539 (SS ไม่มากกว่า 50 มก./ล.)

#### ญ) การบำบัดสารประกอบไนโตรเจน

การทดลองนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบในการบำบัดเจดาคัลไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen) และแอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia Nitrogen)

##### 1) การบำบัดเจดาคัลไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen : TKN)

ไนโตรเจนเป็นสารอาหารในการสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปปริมาณไนโตรเจน (TKN) เมื่อเทียบกับ TCOD ในน้ำเสียของระบบแบบไร้อากาศที่จุลินทรีย์

ต้องการอย่างน้อยควรมีอัตราส่วน TCOD : TKN เท่ากับ 100 : 1.1 (McCarty, 1964 และ Sanders and Boodgood, 1965) และจากผลการทดลองปริมาณ TKN ในน้ำเสียเข้าระบบมีค่าสูงมากเมื่อเทียบกับปริมาณไนโตรเจนที่ระบบต้องการคิดเป็นอัตราส่วน TCOD : TKN ได้ประมาณ 100 : 7.8 ดังนั้นในการทดลองนี้ไม่มีการเติมสารเพิ่มไนโตรเจนให้กับระบบ สำหรับความเข้มข้นของ TKN ในน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองที่ OLR เท่ากับ 0.5, 1.0, 2.0, 3.5 และ 5.0 กก./ลบ.ม./วัน มีค่าเท่ากับ  $521 \pm 89$ ,  $701 \pm 48$ ,  $676 \pm 96$ ,  $747 \pm 55$  และ  $763 \pm 72$  มก./ล. ตามลำดับ และความเข้มข้นของ TKN ในน้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์ทั้ง 2 ตลอดระยะเวลาการทดลองแสดงดังตารางที่ 24

จากภาพประกอบที่ 28 ในช่วงแรกของการทดลองที่ OLR 0.5 กก./ลบ.ม./วัน ความเข้มข้นของ TKN ในน้ำทิ้งมีค่าสูงกว่าน้ำเสียเข้าระบบและค่อยๆลดลง โดยถังปฏิกรณ์ ThASBR และ MeASBR มีความเข้มข้นของ TKN เท่ากับ  $441 \pm 44$  และ  $435 \pm 26$  ตามลำดับ เมื่อเข้าสู่การทดลองที่ OLR 1.0 กก./ลบ.ม./วัน ความเข้มข้นของ TKN ในน้ำเสียเข้าระบบมีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย โดยมีค่าเท่ากับ  $701 \pm 48$  มก./ล. สอดคล้องกับความเข้มข้นของ TCOD ในน้ำเสียเข้าระบบที่เพิ่มขึ้น (ภาพประกอบที่ 20) ซึ่งที่ OLR 1.0 กก./ลบ.ม./วัน ระบบทั้ง 2 ถังปฏิกรณ์มีความเข้มข้นของ TKN ต่ำสุดของการทดลอง และเมื่อมีการเพิ่ม OLR สูงขึ้นเรื่อยๆ (2.0-5.0 กก./ลบ.ม./วัน) ก็จะทำให้ความเข้มข้นของ TKN ในน้ำทิ้งทั้ง 2 ถังปฏิกรณ์ลดต่ำลงตามลำดับ เพราะปริมาณ TKN ในน้ำทิ้งมาจากเซลล์จุลินทรีย์ซึ่งประมาณได้จากความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้ง (ภาพประกอบที่ 25) โดยช่วงท้ายของการทดลองที่ OLR 5.0 กก./ลบ.ม./วัน ซึ่งเป็น OLR สูงสุดของการทดลอง ความเข้มข้นของ TKN ในน้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์ ThASBR และ MeASBR มีค่าเท่ากับ  $743 \pm 17$  และ  $713 \pm 19$  มก./ล. ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ามีความใกล้เคียงกับน้ำเสียเข้าระบบ ( $763 \pm 72$  มก./ล.) และพบว่าที่ OLR 5.0 กก./ลบ.ม./วัน การบำบัด TKN ของถังปฏิกรณ์ ThASBR และถังปฏิกรณ์ MeASBR มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) จากการใช้สถิติแบบ Mann Whitney U Test

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ TKN ทั้ง 2 ถังปฏิกรณ์ พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน โดยปริมาณ TKN ในน้ำทิ้งลดลงจากน้ำเสียเข้าระบบไม่มากนัก เนื่องจาก TKN ไม่ได้ถูกบำบัดออกจากระบบ แต่ปริมาณ TKN บางส่วนที่หายไปถูกใช้เป็นส่วนอาหารของจุลินทรีย์ในการสร้างเซลล์ใหม่ และ TKN ถูกเปลี่ยนไปเป็น  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$  โดยในทางทฤษฎีแล้วการบำบัดไนโตรเจนไม่สามารถกระทำได้โดยอาศัยกระบวนการชีววิทยาแบบไร้อากาศเพียงอย่างเดียว แต่ต้องใช้ควบคู่กับกระบวนการใช้อากาศหรืออื่นๆ ด้วย

## 2) การบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia Nitrogen : $\text{NH}_4^+\text{-N}$ )

$\text{NH}_4^+\text{-N}$  ของน้ำเสียเข้าระบบทั้ง 2 ถึงประสิทธิภาพของการทดลองที่ OLR เท่ากับ 0.5, 1.0, 2.0, 3.5 และ 5.0 กก./ลบ.ม./วัน มีค่าเท่ากับ  $233\pm 20$ ,  $229\pm 41$ ,  $259\pm 62$ ,  $246\pm 16$  และ  $245\pm 32$  มก./ล. ตามลำดับ และความเข้มข้นของ  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ในน้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์ทั้ง 2 แสดงดังตารางที่ 25

ตารางที่ 24 TKN ในน้ำทิ้งและการบำบัดจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวของ  
ถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กัน

ความเข้มข้นของ TKN ในน้ำทิ้ง (mg/L)						
OLR (kg/m <sup>3</sup> .d)	Thermophilic ASBR			Mesophilic ASBR		
	Range	$\bar{X}\pm\text{SD}$	Removal (%)	Range	$\bar{X}\pm\text{SD}$	Removal (%)
0.5	378-493	441 $\pm$ 44	14.12	400-471	435 $\pm$ 26	13.91
1.0	497-620	537 $\pm$ 49	23.29	490-618	537 $\pm$ 46	23.24
2.0	511-609	541 $\pm$ 59	19.69	481-600	529 $\pm$ 63	21.50
3.5	607-701	658 $\pm$ 37	11.55	565-655	620 $\pm$ 36	16.72
5.0	718-761	743 $\pm$ 17	2.13	685-729	713 $\pm$ 19	6.28*

หมายเหตุ : \* การบำบัด TKN ของถังปฏิกรณ์ ThASBR และ MeASBR มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p<0.05$ )

ตารางที่ 25  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ในน้ำทิ้งและการบำบัดจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวของ  
ถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กัน

ความเข้มข้นของ $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ในน้ำทิ้ง (mg/L)						
OLR (kg/m <sup>3</sup> .d)	Thermophilic ASBR			Mesophilic ASBR		
	Range	$\bar{X}\pm\text{SD}$	Removal (%)	Range	$\bar{X}\pm\text{SD}$	Removal (%)
0.5	154-222	197 $\pm$ 18	15.52	140-197	179 $\pm$ 19	22.95*
1.0	182-240	205 $\pm$ 22	8.57	177-219	195 $\pm$ 16	12.61
2.0	182-280	233 $\pm$ 44	8.57	182-282	222 $\pm$ 53	12.69
3.5	218-259	238 $\pm$ 16	3.25	189-250	221 $\pm$ 25	10.16
5.0	245-277	259 $\pm$ 12	**	216-250	234 $\pm$ 14	3.80*

หมายเหตุ : \* การบำบัด  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ของถังปฏิกรณ์ ThASBR และ MeASBR มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p<0.05$ )

\*\* ความเข้มข้นในน้ำทิ้งสูงกว่าน้ำเสียเข้าระบบ

ความเข้มข้นของ  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ในน้ำทิ้งจากระบบที่ OLR แรกของการทดลอง คือ 0.5 กก./ลบ.ม./วัน มีค่าเท่ากับ  $197 \pm 18$  และ  $179 \pm 19$  มก./ล. ของถังปฏิกริยา ThASBR และ MeASBR ตามลำดับ ซึ่งมีค่าต่ำสุดของการทดลอง และพบว่าที่ OLR 0.5 กก./ลบ.ม./วัน การบำบัด  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ของถังปฏิกริยา ThASBR และถังปฏิกริยา MeASBR มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) จากการใช้สถิติแบบ Mann Whitney U Test และเมื่อมีการเพิ่ม OLR ให้สูงขึ้นเรื่อยๆ (1.0-5.0 กก./ลบ.ม./วัน) ทำให้ความเข้มข้นของ  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ในน้ำทิ้งทั้ง 2 ถังปฏิกริยาลดลง ตามลำดับ โดยในระหว่างวันที่ 200-207 (ภาพประกอบที่ 29) ของการทดลองที่ OLR 5.0 กก./ลบ.ม./วัน น้ำทิ้งมีความเข้มข้นของ  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  สูง และบางครั้งสูงกว่า  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ของน้ำเสียเข้าระบบ และเมื่อสังเกตปริมาณ TKN ของน้ำเสียและน้ำทิ้งในช่วงวันที่ 200-207 (ภาพประกอบที่ 28) จะเห็นว่าน้ำเสียและน้ำทิ้งจากทั้ง 2 ถังปฏิกริยามีส่วนต่างกันสูงพอประมาณ แสดงให้เห็นว่าการย่อยสลายอินทรีย์ในโตรเจนเกิดขึ้นสูงแล้วปล่อย  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ออกมากับน้ำทิ้งสูงตามไปด้วย ทำให้ในช่วงวันที่นี้ ความเข้มข้นของ  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ในน้ำทิ้งสูงกว่าน้ำเสีย และพบว่า การทดลองที่ OLR 5.0 กก./ลบ.ม./วัน ระบบทั้ง 2 ถังปฏิกริยามีการสะสมของ  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ในน้ำทิ้งสูงสุดของการทดลอง ซึ่งมีความเข้มข้นของ  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  เท่ากับ  $259 \pm 12$  และ  $234 \pm 14$  มก./ล. ของถังปฏิกริยา ThASBR และ MeASBR ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า การทดลองที่ OLR 5.0 กก./ลบ.ม./วัน การบำบัด  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ของถังปฏิกริยา ThASBR และถังปฏิกริยา MeASBR มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วน  $\text{NH}_4^+\text{-N} : \text{TKN}$  จากผลการทดลองที่ OLR 0.5, 1.0, 2.0, 3.5 และ 5.0 พบว่า อัตราส่วน  $\text{NH}_4^+\text{-N} : \text{TKN}$  ของน้ำทิ้งจากถังปฏิกริยา ThASBR มีค่าเท่ากับ 0.44, 0.39, 0.39, 0.35 และ 0.35 ส่วนถังปฏิกริยา MeASBR มีค่าเท่ากับ 0.39, 0.37, 0.38, 0.34 และ 0.32 ตามลำดับ จะเห็นว่า อัตราส่วน  $\text{NH}_4^+\text{-N} : \text{TKN}$  ในน้ำทิ้งทั้ง 2 ถังปฏิกริยา มีแนวโน้มลดลง แสดงให้เห็นว่าระบบมีการย่อยสลายอินทรีย์ในโตรเจนได้น้อยลงเมื่อ OLR เพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ในน้ำทิ้ง พบว่าตลอดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 154-280 และ 140-282 มก./ล. ของถังปฏิกริยา ThASBR และถังปฏิกริยา MeASBR ตามลำดับ ซึ่งจากความเข้มข้นของ  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ในน้ำทิ้งดังกล่าวไม่มีผลกระทบต่อระบบบำบัดน้ำทิ้งนี้ เนื่องจากความเข้มข้นของ  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  จะเริ่มเป็นพิษต่อตะกอนจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนที่ความเข้มข้น 700 มก./ล. (Koster and Lettinga, 1988) และมีความเป็นพิษกับระบบไร้อากาศต้องมากกว่า 1,500 มก./ล. (เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โรจน์, 2543)

### ก) การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus : TP)

ฟอสฟอรัสเป็นสารอาหารในการสร้างเซลล์ของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปปริมาณฟอสฟอรัส (TP) เมื่อเทียบกับ TCOD ในน้ำเสียของระบบแบบไร้อากาศที่จุลินทรีย์ต้องการอย่างน้อยควรมีอัตราส่วน TCOD : TP เท่ากับ 100 : 0.2 (Sanders and Bioodgood, 1965) และจากผลการทดลองตลอดการทดลองนี้ ปริมาณ TP ในน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณฟอสฟอรัสที่ระบบต้องการคิดเป็นอัตราส่วน TCOD : TP ได้ประมาณ 100 : 0.03 แต่ในการทดลองนี้ไม่มีการเติมฟอสฟอรัสให้กับระบบ สำหรับความเข้มข้นของ TP ในน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองที่ OLR 0.5, 1.0, 2.0, 3.5 และ 5.0 กก./ลบ.ม./วัน มีค่าเท่ากับ  $1.10 \pm 0.50$ ,  $4.17 \pm 0.84$ ,  $3.66 \pm 1.00$ ,  $2.39 \pm 0.83$  และ  $2.90 \pm 0.39$  มก./ล. ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของ TP ในน้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์ทั้ง 2 ตลอดระยะเวลาการทดลองแสดง ดังตารางที่ 26

ตารางที่ 26 TP ในน้ำทิ้งและการบำบัดจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวของถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กัน

ความเข้มข้นของ TP ในน้ำทิ้ง (mg/L)						
OLR (kg/m <sup>3</sup> .d)	Thermophilic ASBR			Mesophilic ASBR		
	Range	$\bar{X} \pm SD$	Removal (%)	Range	$\bar{X} \pm SD$	Removal (%)
0.5	0.08-1.47	$0.61 \pm 0.51$	48.05	0.15-1.77	$0.57 \pm 0.65$	48.61
1.0	0.54-2.62	$1.99 \pm 0.71$	52.01	0.35-2.88	$1.79 \pm 0.86$	56.70
2.0	2.03-3.55	$3.01 \pm 0.71$	15.01	1.66-3.46	$2.53 \pm 0.91$	28.03
3.5	1.32-3.07	$2.11 \pm 0.58$	6.82	1.24-3.85	$1.93 \pm 0.97$	14.59
5.0	2.13-4.03	$2.76 \pm 0.58$	3.83	1.67-3.75	$2.52 \pm 0.75$	12.63

ความเข้มข้นของ TP ในน้ำเสียที่เข้าระบบของการทดลองที่ OLR 0.5 กก./ลบ.ม./วัน มีค่าเท่ากับ  $1.10 \pm 0.50$  มก./ล. ส่วนน้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์ ThASBR และ MeASBR มีค่าเท่ากับ  $0.61 \pm 0.51$  และ  $0.57 \pm 0.65$  มก./ล. เมื่อเข้าสู่ช่วงแรกของการทดลองที่ OLR 1.0 กก./ลบ.ม./วัน ในช่วงวันที่ 90-100 (ภาพประกอบที่ 30) น้ำเสียที่เข้าระบบมีความเข้มข้นของ TCOD สูงมากกว่าปกติ ทำให้ความเข้มข้นของ TP ในน้ำเสียที่เข้าระบบสูงตามไปด้วย โดยความเข้มข้นของ TP ในน้ำเสียที่เข้าระบบมีค่าเท่ากับ  $4.17 \pm 0.84$  มก./ล. ส่วนน้ำทิ้งมีค่าเท่ากับ  $1.99 \pm 0.71$  และ  $1.79 \pm 0.86$  มก./ล. ของถังปฏิกรณ์ ThASBR และ MeASBR ตามลำดับ ซึ่งเป็นการบำบัด TP ได้สูงสุดของการทดลอง จากนั้นโดยเมื่อมีการเพิ่ม OLR สูงขึ้นเรื่อยๆ (2.0-5.0 กก./ลบ.ม./วัน) ก็จะทำให้การบำบัด TP ทั้ง 2 ถังปฏิกรณ์ลดลง ตามลำดับ และพบว่าความเข้มข้นของ TP ในน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นสูงตามปริมาณ

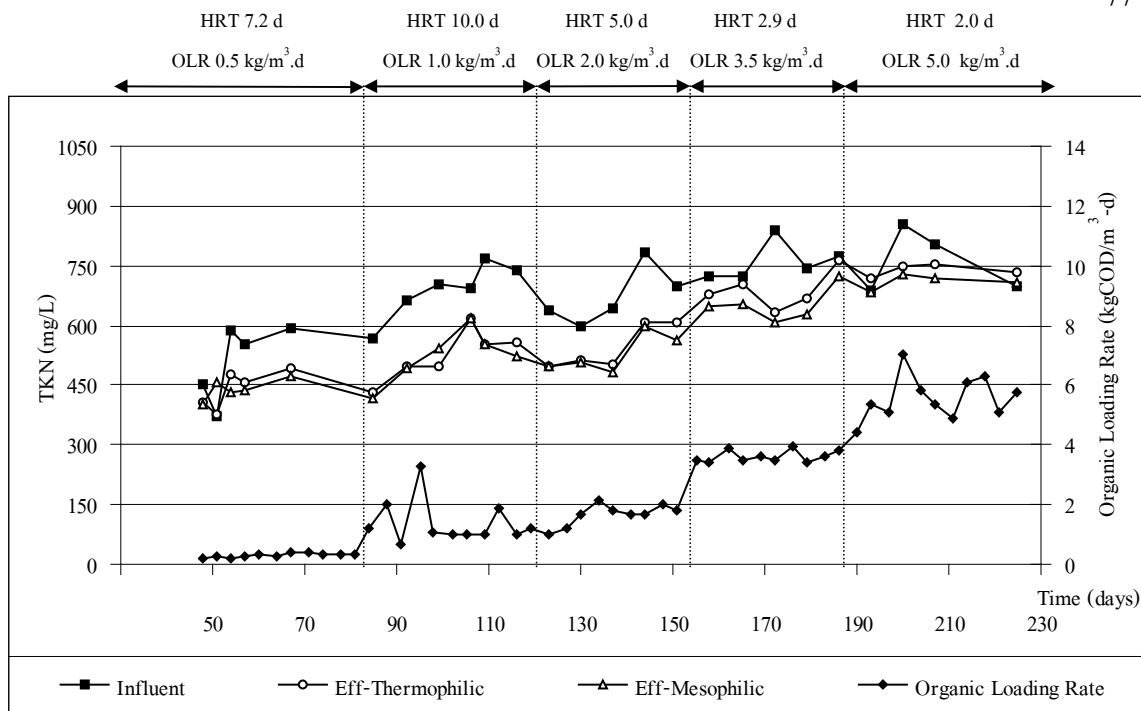
ความเข้มข้นของน้ำเสียในระบบ อันเนื่องมาจากความต้องการ TP ของจุลินทรีย์เพื่อนำไปใช้ในการสร้างเซลล์เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย เมื่อน้ำเสียมีปริมาณ TP เข้าสู่ระบบมากขึ้นทำให้ปริมาณ TP ที่เหลือออกมากับน้ำทิ้งมากขึ้นด้วย

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ TP ในน้ำทิ้งจากทั้ง 2 ถึงปฏิบัติการ พบว่าระบบมีการบำบัดได้สูงเกินร้อยละ 50 (OLR 1.0 กก./ลบ.ม./วัน) ซึ่งสูงกว่าการบำบัด TKN และพบว่าส่วนใหญ่ความเข้มข้นของ TP และ TKN ในน้ำทิ้งมีค่าต่ำกว่าน้ำเสียเข้าระบบเกือบตลอดการทดลองเพราะจุลินทรีย์ต้องใช้ปริมาณ TP และ TKN เป็นสารอาหารในการเจริญเติบโต

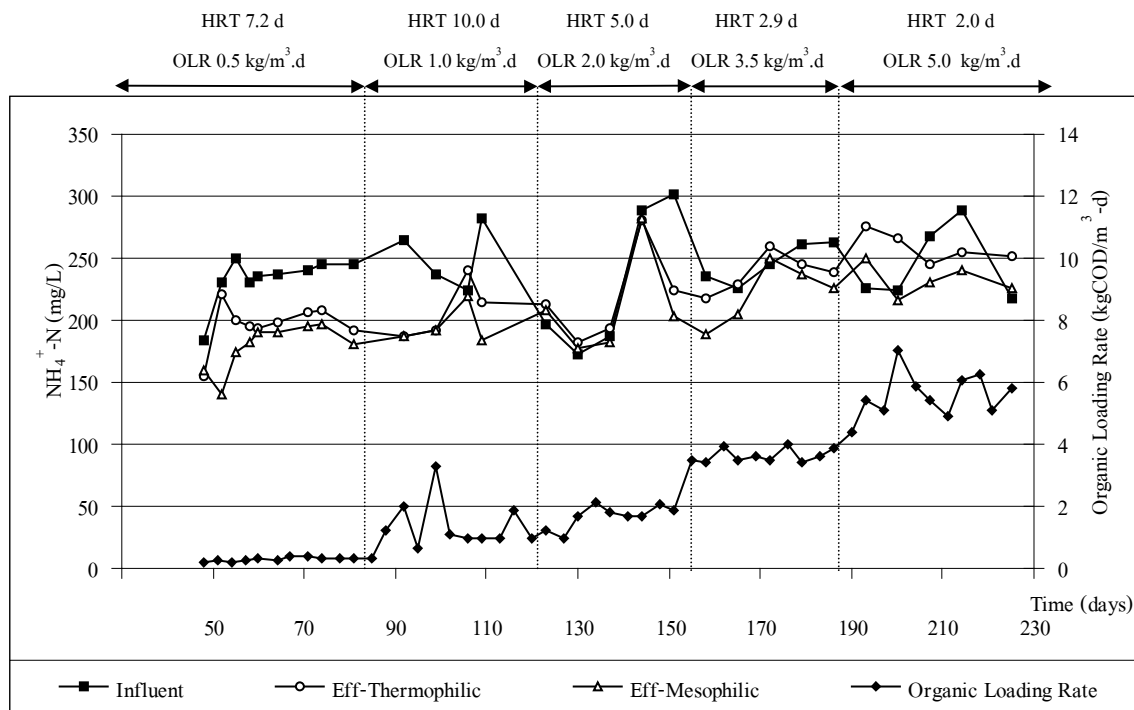
### ก) การบำบัดน้ำมันและไขมัน (Oil and Grease)

Oil and Grease ของน้ำเสียเข้าระบบทั้ง 2 ถึงปฏิบัติการของการทดลองที่ OLR เท่ากับ 0.5, 1.0, 2.0, 3.5 และ 5.0 กก./ลบ.ม./วัน มีค่าเท่ากับ  $56\pm 39$ ,  $131\pm 35$ ,  $65\pm 14$ ,  $72\pm 20$  และ  $126\pm 10$  มก./ล. ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของ Oil and Grease ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพในการบำบัดตลอดระยะเวลาการทดลอง แสดงดังตารางที่ 27

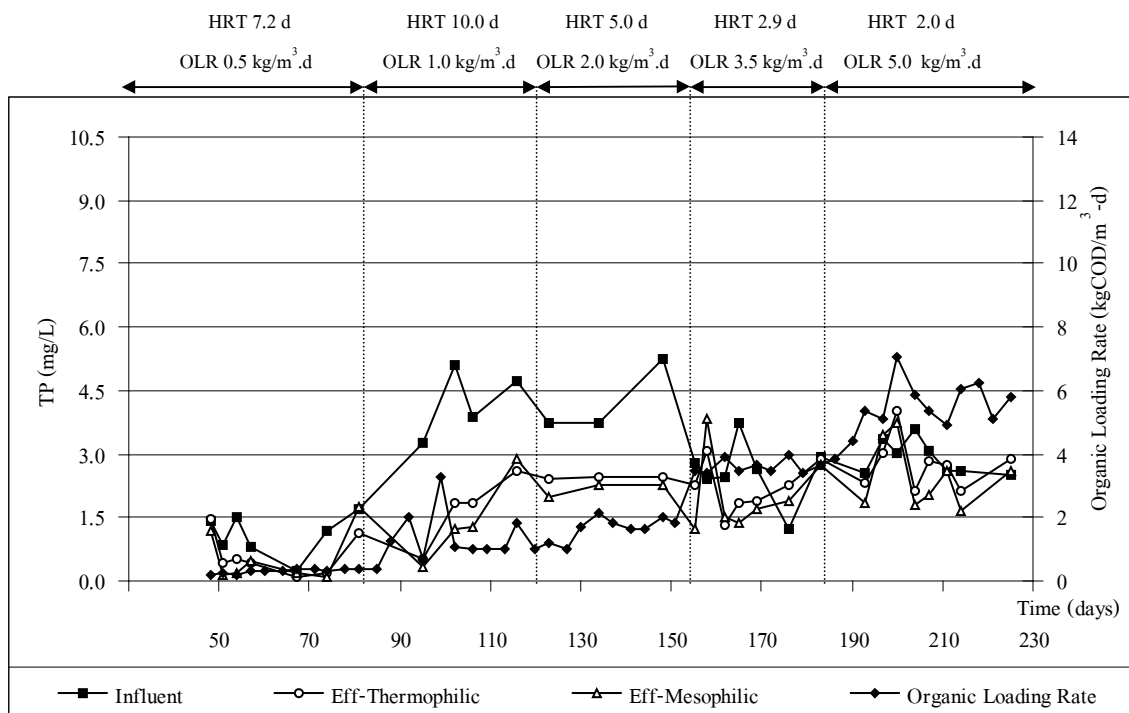
เริ่มต้นการทดลองที่ OLR 0.5 กก./ลบ.ม./วัน น้ำเสียเข้าระบบมีปริมาณ Oil and Grease เท่ากับ  $56\pm 39$  มก./ล. และพบว่าปริมาณ Oil and Grease ในน้ำทิ้งทั้ง 2 ถึงปฏิบัติการมีค่าสูงกว่าน้ำเสียเข้าระบบเกือบตลอดการทดลอง (ภาพประกอบที่ 31) โดยถึงปฏิบัติการ ThASBR และ MeASBR มีปริมาณ Oil and Grease ในน้ำทิ้งเท่ากับ  $81\pm 38$  และ  $61\pm 23$  มก./ล. ตามลำดับ เป็นผลให้ช่วง OLR 0.5 กก./ลบ.ม./วัน ถึงปฏิบัติการทั้ง 2 ไม่สามารถบำบัดปริมาณ Oil and Grease ได้ จนถึงช่วงแรกของ OLR 1.0 กก./ลบ.ม./วัน ในช่วงวันที่ 90-100 ความเข้มข้นของ TCOD น้ำเสียเข้าระบบมีการเปลี่ยนแปลงมากกว่าปกติ เป็นผลให้ปริมาณ Oil and Grease ในน้ำเสียเข้าระบบสูงตาม โดยมีค่าเท่ากับ  $131\pm 35$  มก./ล. ซึ่งสูงกว่าการทดลองแรกที่ OLR 0.5 กก./ลบ.ม./วัน ประมาณ 2.3 เท่า ทำให้น้ำทิ้งมีปริมาณ Oil and Grease เท่ากับ  $71\pm 28$  และ  $33\pm 12$  มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดเฉลี่ยร้อยละ 40.44 และ 74.89 ของถึงปฏิบัติการ ThASBR และ MeASBR ตามลำดับ ซึ่งเป็นประสิทธิภาพสูงสุดของการทดลองสัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการบำบัด TCOD และพบว่าที่ OLR เท่ากับ 1.0 กก./ลบ.ม./วัน (HRT 10 วัน) ประสิทธิภาพการบำบัด Oil and Grease ของถึงปฏิบัติการ ThASBR และ MeASBR มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ ) จากการใช้สถิติแบบ Mann Whiney U Test และเมื่อมีการเพิ่ม OLR ให้สูงขึ้นเรื่อยๆ (2.0-5.0 กก./ลบ.ม./วัน) ปริมาณ Oil and Grease ในน้ำทิ้งทั้ง 2 ถึงปฏิบัติการมีค่าสูงขึ้น จนถึงช่วงท้ายของการทดลองที่ 5.0 กก./ลบ.ม./วัน ซึ่งเป็น OLR สูงสุด น้ำทิ้งมีปริมาณ Oil and Grease เท่ากับ  $114\pm 21$  และ  $61\pm 23$  มก./ล. ของถึงปฏิบัติการ ThASBR และ MeASBR ตามลำดับ



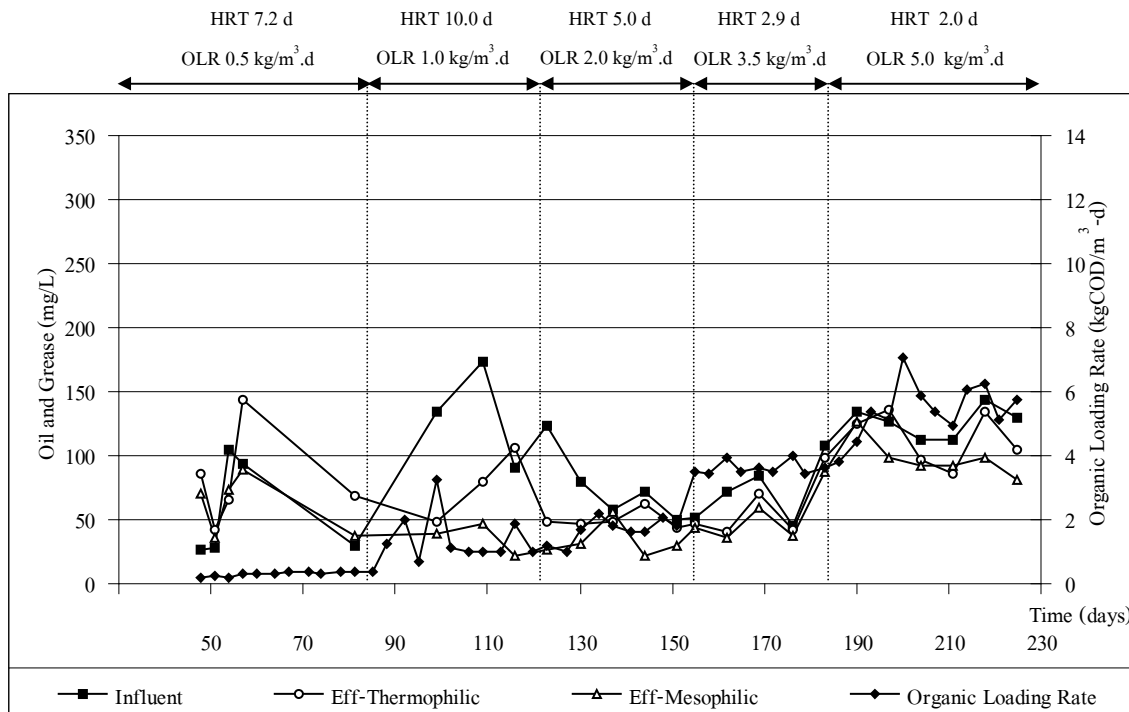
ภาพประกอบ 28 TKN ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว  
ของถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic



ภาพประกอบ 29 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว  
ของถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic



ภาพประกอบ 30 TP ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic



ภาพประกอบ 31 Oil and Graese ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic



ตารางที่ 27 Oil and Grease ในน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการบำบัดจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกริยา Thermophilic และถังปฏิกริยา Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กัน

ความเข้มข้นของ Oil and Grease ในน้ำทิ้ง (mg/L)						
OLR (kg/m <sup>3</sup> .d)	Thermophilic ASBR			Mesophilic ASBR		
	Range	$\bar{X}\pm SD$	Removal (%)	Range	$\bar{X}\pm SD$	Removal (%)
0.5	42-144	81±38	**	36-89	61±23	**
1.0	48-106	71±28	40.44	21-47	33±12	74.89*
2.0	44-63	51±8	20.51	21-57	35±15	43.15
3.5	40-99	60±25	17.26	36-87	53±22	26.97
5.0	86-136	114±21	10.41	82-127	99±15	21.70

หมายเหตุ : \* การบำบัด Oil and Grease ของถังปฏิกริยา ThASBR และ MeASBR มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p<0.05)

\*\* ความเข้มข้นของน้ำทิ้งมีค่าสูงกว่าน้ำเสียเข้าระบบ

สำหรับประสิทธิภาพในการบำบัด Oil and Grease พบว่าส่วนใหญ่ถังปฏิกริยา MeASBR จะสูงกว่าที่ถังปฏิกริยา ThASBR ซึ่งขัดแย้งกับประสิทธิภาพการบำบัด TCOD โดยจากการสังเกตพบว่าที่อุณหภูมิช่วง Thermophilic การรวมตัวของน้ำเสียกับ Oil and Grease จะเกิดขึ้นได้ดีกว่าทำให้ปริมาณ Oil and Grease หลุดออกมากับน้ำทิ้งมากกว่าที่อุณหภูมิช่วง Mesophilic และเมื่อพิจารณาด้านบนภายในถังปฏิกริยาทั้ง 2 พบปริมาณ Oil and Grease จับตัวอยู่กับผนังถังและท่อสูบน้ำเข้า-ออกปริมาณมาก โดยเฉพาะถังปฏิกริยา MeASBR มีชั้น Oil and Grease อยู่มากกว่าถังปฏิกริยา ThASBR ทำให้สูญเสียปริมาตรของถังในการบำบัด และพบว่าประสิทธิภาพของการบำบัด Oil and Grease ของแบบจำลองระบบนี้ส่วนใหญ่มีค่าต่ำกว่าการศึกษาของ Faisal and Unno (2001) ที่บำบัดน้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มโดยระบบ Modified Anaerobic Baffled Reactor (MABR) พบว่าระบบสามารถบำบัด Oil and Grease เฉลี่ยร้อยละ 44.1-91.3

เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยปริมาณ Oil and Grease ในน้ำทิ้งทั้ง 2 ถังปฏิกริยาตลอดการทดลอง จะเห็นว่ายังมีค่าสูงอยู่เมื่อเปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐานของกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2539 (Oil and Grease ไม่มากกว่า 15 มก./ล.) เพราะโดยทั่วไปกระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพของ Oil and Grease จะเกิดขึ้นช้าและมีการย่อยสลายได้น้อย

### จ) อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas production)

ในการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลองทำได้โดยใช้หลักการแทนที่น้ำในถังกระบอกที่มาจากอะคลิคลิไซ ซึ่งปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นในระบบเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพของถังปฏิกริยา โดยอาศัยจูลินทรีย์สร้างกรดและสร้างมีเทนทำงานร่วมกันอย่างต่อเนื่อง จากการบำบัดน้ำเสียในห้องปฏิบัติการมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพแสดงดังตารางที่ 28 ซึ่งปริมาณก๊าซชีวภาพที่วัดได้ในแต่ละ OLR มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง เนื่องจากมีการควบคุมอุณหภูมิในถังปฏิกริยาทั้ง 2 ถังให้มีค่าเท่ากับ  $35\pm 1$  และ  $55\pm 1$  องศาเซลเซียส ซึ่งจากการศึกษาของ ศิริวรรณ จัง (2534) พบว่าการบำบัดแบบไร้อากาศที่อุณหภูมิสูงการเกิดปฏิกริยาต่างๆ จะสูงและเกิดขึ้นรวดเร็วกว่าที่อุณหภูมिन้อยกว่า และจากการทดลองของ กิตติ ธีรสรเดช (2538) ที่บำบัดน้ำเสียจากการผลิตน้ำอัดลมโดยระบบ UASB พบว่า อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพขึ้นกับอุณหภูมิของสภาวะอากาศที่ทดลอง โดยที่อุณหภูมิสูงอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจะสูงกว่าที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งเป็นเหตุผลให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากระบบจำลองนี้ในแต่ละวันคงที่

จากการทดลองที่ 0.5 กก./ลบ.ม./วัน มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเท่ากับ  $286\pm 144$  และ  $290\pm 114$  มล./วัน ของถังปฏิกริยา ThASBR และ MeASBR ตามลำดับ และในช่วงวันที่ 49-61 ของการทดลอง (ภาพประกอบที่ 32) ถังปฏิกริยา ThASBR เกิดปัญหาคืออุปกรณ์กักเก็บก๊าซชีวภาพเกิดการบกร่อง จึงแก้ปัญหาโดยการเปลี่ยนอุปกรณ์กักเก็บก๊าซชีวภาพใหม่ ทำให้ค่าที่วัดได้อาจเกิดการคลาดเคลื่อน และเมื่อถึงช่วงแรกของการทดลองที่ OLR 1.0 กก./ลบ.ม./วัน ในช่วงวันที่ 96-104 วัน น้ำเสียเข้าระบบมีความเข้มข้นของ TCOD สูงกว่าปกติ ทำให้ระบบเกิด Shockload ทำให้ปริมาณก๊าซเพิ่มมากขึ้นด้วย เพราะมีการย่อยสลายสารอินทรีย์มากขึ้น จึงทำการปรับ HRT ให้สูงขึ้นประมาณวันที่ 108 ของการทดลองอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพก็เข้าสู่สภาวะปกติ เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวมีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นเท่ากับ  $398\pm 146$  และ  $339\pm 137$  มล./วัน ของถังปฏิกริยา ThASBR และ MeASBR ตามลำดับ หลังจากนั้นการวัดปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นตามปกติ และเมื่อมีการเพิ่ม OLR สูงขึ้นเรื่อยๆ (2.0-5.0 กก./ลบ.ม./วัน) ทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งอัตราการเกิดก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ แล้วเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพ นั่นก็คือส่วนต่างของสารอินทรีย์เข้าและออกจากระบบนั่นเอง จากการทดลองพบว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นต่อวันสูงสุดที่ OLR สูงที่สุดของการทดลอง คือ 5.0 กก./ลบ.ม./วัน โดยมีปริมาณก๊าซชีวภาพเท่ากับ  $908\pm 85$  และ  $836\pm 106$  มล./วัน ของถังปฏิกริยา ThASBR และ MeASBR ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากถังปฏิกรณ์ทั้ง 2 พบว่าส่วนใหญ่ถังปฏิกรณ์ ThASBR มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงกว่าที่ถังปฏิกรณ์ MeASBR เกือบตลอดการทดลองอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.05$ ) จากการวิเคราะห์โดยใช้สถิติแบบ Mann Whiney U Test และ Independent Sample Test ยกเว้นที่ OLR เท่ากับ 0.5 กก./ลบ.ม./วัน เนื่องจากที่ OLR นี้ถังปฏิกรณ์ ThASBR มีประสิทธิภาพการบำบัด TCOD เกิดขึ้นน้อยกว่าที่ถังปฏิกรณ์ MeASBR ทำให้มีปริมาณก๊าซสะสมน้อยกว่าตามไปด้วย

ตารางที่ 28 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวของถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กัน

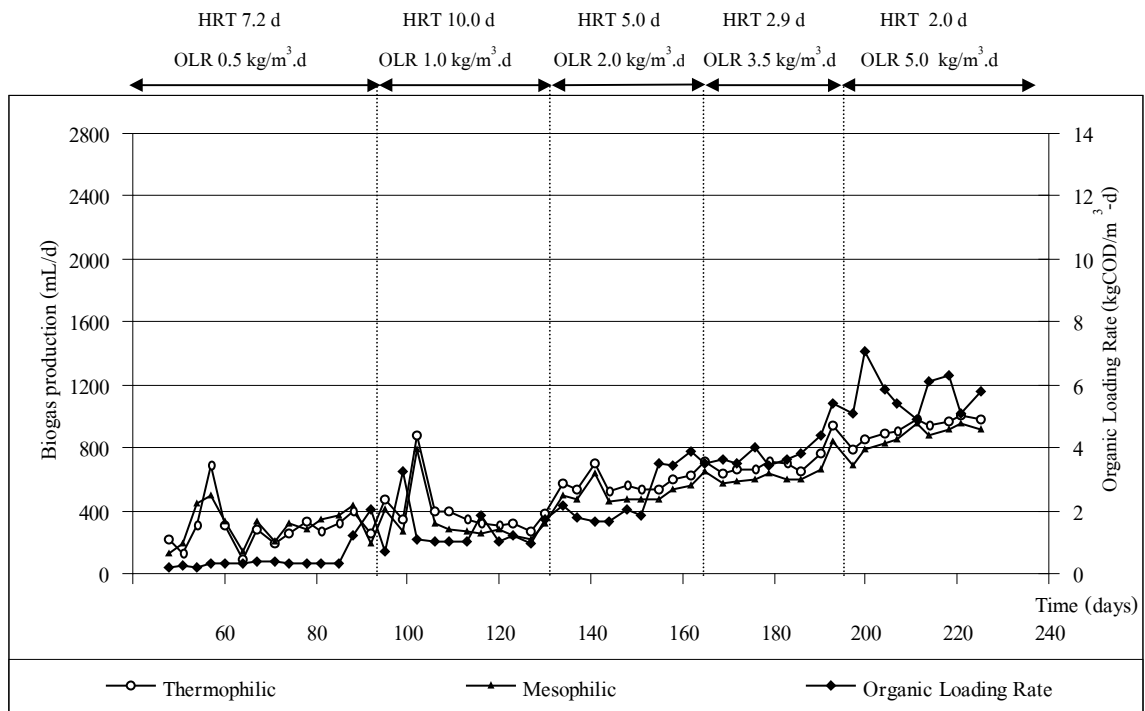
อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของแบบจำลองระบบ (mL/d)						
OLR (kg/m <sup>3</sup> .d)	Thermophilic ASBR			Mesophilic ASBR		
	Range	$\bar{X} \pm SD$	ปริมาตรรวม (L)	Range	$\bar{X} \pm SD$	ปริมาตรรวม (L)
0.5	95-714	286±144	12.32	63-556	290±114	12.48
1.0	206-873	398±146	13.14	175-794	339±137	11.17*
2.0	270-619	414±118	7.03	222-571	353±111	6.00*
3.5	444-762	621±80	30.43	381-730	559±80	27.41*
5.0	698-1,000	908±85	32.67	571-952	836±106	30.11*

หมายเหตุ : \* การผลิตก๊าซของถังปฏิกรณ์ ThASBR และ MeASBR มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p < 0.05$ )

สำหรับองค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ได้จากถังปฏิกรณ์ ThASBR และ MeASBR มีค่าร้อยละ 25-51 และพบว่าถังปฏิกรณ์ MeASBR สามารถผลิตก๊าซมีเทนได้มากกว่าถังปฏิกรณ์ ThASBR สอดคล้องกับการศึกษาของ Bouskova, *et al.* (2005) ที่ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิจากช่วง Mesophilic ถึงช่วง Thermophilic โดยระบบ CSTR ในการบำบัดกากตะกอน พบว่าอุณหภูมิในช่วง Mesophilic มีร้อยละของก๊าซมีเทนมากกว่าในช่วงอุณหภูมิ Thermophilic เช่นกัน สำหรับเหตุผลที่การทดลองนี้มีปริมาณร้อยละของก๊าซมีเทนน้อยอาจมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย ดังนี้

- 1) ร้อยละของก๊าซมีเทนบางส่วนอาจมีการละลายออกไปกับน้ำทิ้ง
- 2) ระยะเวลาของการเก็บตัวอย่างก๊าซค่อนข้างนาน เพราะมีการเก็บตัวอย่างก๊าซในถุงเก็บตัวอย่างก๊าซขนาดประมาณ 1,000 มล. และต้องใช้ระยะเวลาในการรวบรวมก๊าซทั้งหมดก่อนที่จะได้วิเคราะห์ ซึ่งอาจจะเกิดการรั่วไหลได้

- 3) เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านเครื่องมือ ทำให้ไม่อาจเก็บและวิเคราะห์ห้วงค์ประกอบของก๊าซได้บ่อยครั้ง ทำให้ค่าองค์ประกอบของก๊าซมีเทนที่ได้มีโอกาสคลาดเคลื่อนได้



ภาพประกอบ 32 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่เกิดแทนที่น้ำจากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวของถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic

### ๓) เปรียบเทียบผลการผลิตก๊าซมีเทนในห้องปฏิบัติการกับทฤษฎี

หากพิจารณาเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนในห้องปฏิบัติการกับสูตรการคำนวณที่ว่า ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้นมีค่าเท่ากับ 350 มล.ต่อ TCOD ที่ถูกบำบัดไป 1 ก.(McCarty, 1964) โดยผลการเปรียบเทียบปริมาณก๊าซมีเทนทั้ง 2 ถังปฏิกรณ์ตลอดระยะเวลาทดลองแสดงดังตารางที่ 29 ซึ่งสามารถที่จะคำนวณอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพในห้องปฏิบัติการกับสูตรทางทฤษฎีได้โดย

$$\text{ปริมาณก๊าซมีเทน} \left( \frac{\text{mL ของก๊าซมีเทน}}{\text{gTCOD ที่ถูกบำบัด}} \right) = \frac{\text{Total Biogas production (mL/d)} \times \text{ร้อยละมีเทน} \times 10}{\text{TCOD}_{\text{in}} - \text{TCOD}_{\text{Eff}} \text{ (mg/L)} \times Q \text{ (L/d)}}$$

ตารางที่ 29 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนในห้องปฏิบัติการที่เกิดขึ้น จากการบำบัดน้ำเสียจำลองระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวของถังปฏิกริยา Thermophilic และถังปฏิกริยา Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กันกับค่าทางทฤษฎี

OLR (kg/m <sup>3</sup> /d)	อัตราการไหล (Q) (L/d)	TCOD เฉลี่ยของ น้ำเสีย (mg/L)	TCOD เฉลี่ยของ น้ำทิ้ง (mg/L)	ปริมาตรก๊าซ เฉลี่ยที่เกิดขึ้น ของการ ทดลอง (mL/d)	ปริมาณก๊าซมีเทน คำนวณทางทฤษฎี (mL/d) (McCarty, 1964)
Thermophilic ASBR					
0.5	0.69	4,782	2,242	286	83 *
1.0	0.50	10,535	2,185	398	49
2.0	1.00	9,156	2,646	414	32
3.5	1.75	10,388	3,744	621	27
5.0	2.50	11,154	4,774	908	28
Mesophilic ASBR					
0.5	0.69	4,782	1,885	290	84*
1.0	0.50	10,535	2,559	339	43
2.0	1.00	9,156	3,367	353	31
3.5	1.75	10,388	4,361	559	27
5.0	2.50	11,154	5,260	836	29

หมายเหตุ : ร้อยละมีเทนที่ใช้ในการคำนวณทุกช่วง OLR ของการทดลองทั้งสองถังปฏิกริยามีค่าเท่ากับ 51

\* การทดลองเกิดข้อบกพร่องของอุปกรณ์กักเก็บก๊าซชีวภาพทำให้ค่าที่วัดได้อาจเกิดการคลาดเคลื่อน

สำหรับร้อยละของก๊าซมีเทนที่ใช้ในการคำนวณ (ตารางที่ 29) มีค่าเท่ากันทุกช่วง OLR เนื่องจากไม่สามารถวิเคราะห์ก๊าซมีเทนได้ครบทุกช่วง OLR เพราะมีปัญหาเกี่ยวกับอุปกรณ์เก็บตัวอย่างก๊าซและผลการวิเคราะห์ก๊าซมีเทนบางช่วง OLR มีปัญหาในการวิเคราะห์ จึงนำค่าเฉลี่ยของก๊าซมีเทนในขณะที่ระบบอยู่ในสภาวะปกติ (ร้อยละ 51) มาใช้ในการคำนวณ ซึ่งสมมติให้เป็นค่าคงที่ของการทดลองนี้

จากการทดลองจะเห็นว่าผลการเปรียบเทียบการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพในห้องปฏิบัติการกับปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎีมีความแตกต่างกันมาก กล่าวคือที่ถังปฏิกริยา ThASBR พบว่า มีปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 27-83 มล./ก. TCOD ที่ถูกบำบัด ส่วนถังปฏิกริยา MeASBR พบว่ามีปริมาณก๊าซมีเทนเกิดขึ้นเฉลี่ยตลอดระยะเวลาทดลองมีค่าอยู่ในช่วง 27-84 มล./ก. TCOD ที่ถูกบำบัด

สำหรับสาเหตุที่ปริมาณก๊าซมีเทนที่วิเคราะห์ได้ในห้องปฏิบัติการมีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี (350 มล./ก. TCOD ที่ถูกบำบัด) ทั้ง 2 ถังปฏิกริยา อาจเนื่องมาจากลักษณะของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองมีความเข้มข้นของ TCOD สูงกว่า SCOD เฉลี่ยประมาณร้อยละ 50-60 (ภาพประกอบที่ 20 และ 21) ซึ่งผลต่างของ TCOD และ SCOD คือ ตะกอนแขวนลอย (SS) โดยปริมาณสารอินทรีย์ที่หายไป ไม่ได้ถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซชีวภาพทั้งหมด บางส่วนถูกเปลี่ยนไปเป็นเซลล์จุลินทรีย์ และอีกส่วนหนึ่งจะอยู่ในรูปของ SS ที่ตกตะกอนอยู่ในถังปฏิกริยา เพราะฉะนั้นแม้ว่าประสิทธิภาพการบำบัดเกิดขึ้นสูง แต่การผลิตก๊าซชีวภาพจะเกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์เท่านั้น เป็นผลให้อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพและก๊าซมีเทนมีค่าน้อยกว่าทางทฤษฎีมาก

### 3.2.2.2 การทดลองระยะที่ 2 ระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน

จุดประสงค์หลักของการทดลองนี้เพื่อต้องการประเมินประสิทธิภาพของถังปฏิกริยาทั้ง 2 ถังเมื่อเชื่อมต่อกันเป็นระบบ ASBR สองขั้นตอนแบบ Thermo-Meso การทดลองใช้ระยะเวลาทั้งสิ้น 98 วัน ระหว่างวันที่ 228-326 จากนั้นในช่วงท้ายของการทดลองระหว่างวันที่ 329-354 ได้ปรับการทดลองระบบเป็นแบบ Meso-Meso และเดินระบบที่ OLR รวมเท่ากับ 3.50 กก./ลบม./วัน ได้ผลการทดลอง ดังนี้

#### ก) อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิของน้ำเสียเข้าระบบถังปฏิกริยา ThASBR มีค่าเท่ากับ  $29.5 \pm 0.4$ ,  $30.1 \pm 0.7$  และ  $29.7 \pm 0.8$  องศาเซลเซียส และน้ำทิ้งจากระบบมีค่าเท่ากับ  $45.8 \pm 0.7$ ,  $46.5 \pm 1.1$  และ  $47.4 \pm 0.8$  องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิของน้ำทิ้งจากถังปฏิกริยา MeASBR มีค่าเท่ากับ  $34.1 \pm 0.8$ ,  $34.5 \pm 0.8$  และ  $33.5 \pm 1.8$  องศาเซลเซียส ของการทดลองที่ HRT รวมเท่ากับ 4.00, 3.33 และ 2.83 วัน หรือที่ OLR รวมเท่ากับ 2.5, 3.0 และ 3.5 กก./ลบม./วัน ตามลำดับ ระหว่างการทดลองเครื่องควบคุมอุณหภูมิเกิดการขัดข้องเป็นเวลา 6 วัน โดยเกิดขึ้นในช่วงวันที่ 317-322 ทำให้ไม่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ซึ่งอาจจะกระทบต่อถังปฏิกริยา MeASBR

## ข) ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

**ระบบแบบ Thermo-Meso** การทดลองถังปฏิกรณ์ ThASBR (ถังปฏิกรณ์แรก) pH ของน้ำเสียเข้ามีค่าเท่ากับ  $7.40 \pm 0.01$ ,  $7.41 \pm 0.01$  และ  $7.38 \pm 0.06$  ของการทดลองที่ OLR รวมเท่ากับ 2.5, 3.0 และ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน ตามลำดับ และ pH ของน้ำทิ้งจากระบบแบบ Thermo-Meso ตลอดระยะเวลาทดลองแสดงดังตารางที่ 30 จากการทดลองที่ถึงนี้พบว่า เมื่อมีการเพิ่ม OLR รวมให้สูงขึ้น น้ำทิ้งมี pH สูงขึ้นเรื่อยๆ (ภาพประกอบที่ 33) สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณกรดระเหยง่าย โดยน้ำทิ้งมี pH เฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.47-7.78 ซึ่งมีลักษณะค่อนข้างเป็นกลาง และเมื่อเปรียบเทียบ pH ในน้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์ ThASBR แบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอน พบว่าส่วนใหญ่ถังปฏิกรณ์ ThASBR แบบสองขั้นตอน มี pH เฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.47-7.78 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าถังปฏิกรณ์ ThASBR แบบขั้นตอนเดียว ที่มี pH เฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.64-8.15 ทั้งนี้เพราะถังปฏิกรณ์ ThASBR แบบขั้นตอนเดียวเดินระบบที่ OLR เท่ากับ 0.5-5.0 กก./ลบ.ม./วัน (ตารางที่ 11) ส่วนถังปฏิกรณ์ ThASBR แบบสองขั้นตอนมีการเดินระบบที่ OLR เท่ากับ 5.0-12.0 กก./ลบ.ม./วัน (ตารางที่ 12) ซึ่งมีการเพิ่ม OLR ให้สูงขึ้น ทำให้ตะกอนจุลินทรีย์มีเวลาสัมผัสกับน้ำเสียได้สั้นลง เป็นผลให้จุลินทรีย์ที่สร้างกรดมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้เป็นกรดระเหยง่ายมากขึ้น ส่วนจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนไม่สามารถปรับตัวได้ในช่วงแรกทำให้ขั้นตอนการย่อยสลายกรดระเหยง่ายเป็นก๊าซชีวภาพมีอัตราลดลง จึงทำให้ pH ลดลง แต่เมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัวปริมาณกรดระเหยง่ายมีค่าลดลงจนคงที่ แสดงให้เห็นว่าจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนสามารถเปลี่ยนกรดระเหยง่ายไปเป็นก๊าซชีวภาพได้ใกล้เคียงกับจุลินทรีย์ที่สร้างกรด ทำให้ในช่วงท้ายของแต่ละ OLR มี pH คงที่ และเมื่อพิจารณา pH ของการทดลองที่ถังปฏิกรณ์ ThASBR พบว่าเมื่อมีการเพิ่ม OLR ให้สูงขึ้นเรื่อยๆ (OLR เท่ากับ 0.5-12.0 กก./ลบ.ม./วัน) pH ในน้ำทิ้งจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ จนเมื่อสิ้นสุดการทดลอง น้ำทิ้งมี pH เฉลี่ยเท่ากับ 7.47 ซึ่งมีลักษณะเป็นกลาง แสดงให้เห็นว่าการเพิ่ม OLR ให้มากขึ้นไม่มีผลทำให้ pH ลดลงมากนัก

การทดลองถังปฏิกรณ์ MeASBR (ถังปฏิกรณ์ที่สอง) พบว่า น้ำเสียเข้าระบบมี pH ที่ค่อนข้างแปรผันตลอดการทดลอง ส่วนน้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์มีค่าค่อนข้างคงที่ แม้จะมี OLR เพิ่มขึ้นก็ตาม ซึ่งมี pH เฉลี่ยอยู่ในช่วง 7.72-7.86 จะเห็นว่า มีลักษณะเป็นกลางถึงค่อนข้างด่าง

**ระบบแบบ Meso-Meso** พบว่า pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากถังแรกมีค่าเท่ากับ  $7.37 \pm 0.02$  และ  $7.40 \pm 0.07$  ตามลำดับ และ pH ของน้ำทิ้งจากถังที่สองมีค่าเท่ากับ  $7.69 \pm 0.04$  จากการทดลองนี้จะเห็นว่า pH ในน้ำทิ้งมีค่าสูงกว่าน้ำเสียเข้าระบบ และ pH มีค่าใกล้เคียงกับการทดลองแบบ Thermo-Meso

ตารางที่ 30 pH ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกริยา Thermophilic และถังปฏิกริยา Mesophilic ที่ OLR รวมต่างๆ กัน

pH ในน้ำทิ้ง				
OLR รวม (kg/m <sup>3</sup> .d)	Thermophilic ASBR		Mesophilic ASBR	
	Range	$\bar{X} \pm SD$	Range	$\bar{X} \pm SD$
2.5	7.67-7.92	7.78±0.09	7.73-7.95	7.85±0.08
3.0	7.59-7.76	7.66±0.04	7.78-7.99	7.86±0.05
3.5	7.34-7.59	7.47±0.06	7.59-7.86	7.72±0.06

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบ pH ของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนทั้งที่เป็นแบบ Thermo-Meso และ Meso-Meso ที่ OLR 3.5 กก./ลบ.ม./วัน พบว่า มีลักษณะเป็นกลางทั้ง 2 ถังปฏิกริยา ฉะนั้นการทดลองที่จะให้ถังแรกเป็นแบบใดระหว่าง ThASBR และ MeASBR ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ pH มากนัก ทำให้ไม่สามารถควบคุมถังแรกให้ผลิตรวดได้ เพราะ pH ที่ทำให้กระบวนการสร้างกรดสามารถทำงานได้ดีที่สุดอยู่ในช่วง 5.8-6.2 (Zoetemeyer, *et al.*, 1982) และพบว่า pH ในน้ำทิ้งของถังปฏิกริยาทั้ง 2 มีค่าสูงกว่าน้ำเสียเข้าระบบ ทั้งนี้เพราะน้ำเสียเข้าระบบมีสภาพด่างสูงสามารถต้านการเปลี่ยนแปลงของ pH เพราะขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์จะสร้างกรดขึ้นมาเป็น Intermediate Products ระบบต้องมีสภาพด่างพอที่จะสะเทินกรดที่มากเกินไปที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนกรดระเหยง่ายเป็นก๊าซชีวภาพได้อย่างรวดเร็ว ทำให้ pH ในน้ำทิ้งมีค่าสูงขึ้นโดยสภาพด่างเกิดขึ้นจากการที่ได้รับไบคาร์บอเนตที่เกิดจากการละลายน้ำของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้กรดคาร์บอนิก (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>) (Sawyer *et al.*, 1994) และพบว่าเกือบตลอดการทดลอง pH ของน้ำทิ้งทั้ง 2 ถังปฏิกริยาในการทดลองแบบสองขั้นตอนมีค่าใกล้เคียงกับที่ Bryant (1979) และ McCarty, (1964a) แนะนำไว้ที่ 6.5-7.5 ซึ่งเป็น pH ที่เหมาะสมสำหรับระบบบำบัดแบบไร้อากาศ

เมื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบ pH ในน้ำทิ้งของระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอน ที่ OLR เท่ากัน คือ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน พบว่า pH น้ำทิ้งของระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว (pH ของน้ำทิ้งของถังปฏิกริยา ThASBR และ MeASBR มีค่าอยู่ในช่วง 7.80-8.35 และ 7.63-8.18 ตามลำดับ) ส่วนใหญ่มีค่าสูงกว่าระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนจากถังสุดท้ายทั้งแบบ Thermo-Meso และ Meso-Meso (pH ของน้ำทิ้งที่เป็นแบบ Thermo-Meso และ Meso-Meso มีค่าอยู่ในช่วง 7.59-7.86 และ 7.63-7.77 ตามลำดับ) ที่มี pH เป็นกลางถึงค่อนข้างด่าง



### ค) สภาพด่าง (Alkalinity : Alk)

**ระบบแบบ Thermo-Meso** สภาพด่างของน้ำเสียเข้าที่ถังปฏิกริยา ThASBR มีค่าเท่ากับ  $3,494 \pm 82$ ,  $3,605 \pm 55$  และ  $3,819 \pm 173$  มก./ล. ของ  $\text{CaCO}_3$  ของการทดลอง OLR รวมเท่ากับ 2.5, 3.0 และ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน ตามลำดับ จะเห็นว่าน้ำเสียเข้าระบบที่ถังปฏิกริยานี้มีการเปลี่ยนแปลงของสภาพด่างน้อยมาก จากการทดลองเมื่อมีการเพิ่ม OLR สูงขึ้นเรื่อยๆ ทำให้สภาพด่างในน้ำทิ้งสูงขึ้น และมีค่าค่อนข้างคงที่สม่ำเสมอ (ตารางที่ 31) โดยสภาพด่างที่สูงนั้นมาจากการเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ไปเป็นด่างคาร์บอเนตในขั้นตอนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ชนิดสร้างมีเทน (Methane Formation) ได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งจากสภาพด่างที่สูงทำให้ระบบสามารถรักษาระดับของ pH ให้มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากจากการเพิ่มขึ้นของกรดระเหยง่าย และเมื่อเปรียบเทียบสภาพด่างในน้ำทิ้งจากถังปฏิกริยา ThASBR แบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอนพบว่า ถังปฏิกริยา ThASBR แบบสองขั้นตอนมีสภาพด่างเฉลี่ยในช่วง  $3,397-3,697$  มก./ล. ของ  $\text{CaCO}_3$  ซึ่งมีค่าสูงกว่าถังปฏิกริยา ThASBR แบบขั้นตอนเดียวที่มีสภาพด่างเฉลี่ยในช่วง  $2,670-3,388$  มก./ล. ของ  $\text{CaCO}_3$  นอกจากนี้ยังพบว่าถังปฏิกริยา ThASBR แบบสองขั้นตอนส่วนใหญ่มีสภาพด่างของน้ำเสียเข้าระบบสูงกว่า (สภาพด่างเฉลี่ยในช่วง  $3,494-3,819$  มก./ล. ของ  $\text{CaCO}_3$ ) ถังปฏิกริยา ThASBR แบบขั้นตอนเดียว (สภาพด่างเฉลี่ยในช่วง  $2,965-3,551$  มก./ล. ของ  $\text{CaCO}_3$ ) และเมื่อสังเกตจะพบว่า สภาพด่างของน้ำทิ้งมีค่าใกล้เคียงกับสภาพด่างของน้ำเสียที่เข้าสู่ถังปฏิกริยาเกือบตลอดการทดลอง (ภาพประกอบที่ 34) อาจเนื่องมาจากสภาพด่างที่มีอยู่ในน้ำเสียก่อนเข้าสู่ระบบมีปริมาณมาก ทำให้สภาพด่างในน้ำทิ้งมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมาก และมีลักษณะเพิ่มขึ้นตามสภาพด่างน้ำเสียเข้าระบบ (ชนวัฒน์ นิตศน์วิจิตร, 2543) ส่วนการทดลองที่ถังปฏิกริยา MeASBR พบว่าเมื่อมีการเพิ่ม OLR ให้สูงขึ้นเรื่อยๆ สภาพด่างในน้ำทิ้งจากถังปฏิกริยานี้มีค่าสูงขึ้นและค่อนข้างคงที่เช่นเดียวกับถังปฏิกริยา ThASBR

**ระบบแบบ Meso-Meso** พบว่า สภาพด่างในน้ำทิ้งจากถังแรกและถังที่สองมีค่าเท่ากับ  $3,646 \pm 145$  และ  $3,592 \pm 69$  มก./ล. ของ  $\text{CaCO}_3$  ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองระบบสองขั้นตอนที่เป็นแบบ Thermo-Meso พบว่าสภาพด่างในน้ำทิ้งมีค่าใกล้เคียงกัน และอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับระบบไร้อากาศ คือระหว่าง  $1,000-5,000$  มก./ล. ของ  $\text{CaCO}_3$  (MetCalf & Eddy, Inc., 1982) ซึ่งค่าอนุโลมให้มีสภาพด่างน้อยสุดคือ  $100$  มก./ล. ของ  $\text{CaCO}_3$  (Halbert, 1981)

เมื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบสภาพด่างในน้ำทิ้งของระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอนทั้งแบบ Thermo-Meso และ Meso-Meso ที่ OLR เท่ากัน คือ  $3.5$  กก./ลบ.ม./วัน พบว่า มีค่าใกล้เคียงกันและอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับระบบไร้อากาศ

ตารางที่ 31 สภาพต่างของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกริยา Thermophilic และถังปฏิกริยา Mesophilic ที่ OLR รวมต่างๆ กัน

OLR รวม (kg/m <sup>3</sup> .d)	สภาพต่างในน้ำทิ้ง (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )			
	Thermophilic ASBR		Mesophilic ASBR	
	Range	$\bar{X} \pm SD$	Range	$\bar{X} \pm SD$
2.5	3,224-3,508	3,397±152	3,224-3,494	3,391±146
3.0	3,371-3,557	3,501±75	3,459-3,695	3,568±109
3.5	3,244-4,047	3,697±216	3,170-3,989	3,703±218

ตารางที่ 32 กรดระเหยง่ายของน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกริยา Thermophilic และถังปฏิกริยา Mesophilic ที่ OLR รวมต่างๆ กัน

OLR รวม (kg/m <sup>3</sup> .d)	ความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายในน้ำทิ้ง (mg/L as CH <sub>3</sub> COOH)			
	Thermophilic ASBR		Mesophilic ASBR	
	Range	$\bar{X} \pm SD$	Range	$\bar{X} \pm SD$
2.5	216-245	227±16	147-181	168±19
3.0	235-353	286±46	167-211	188±19
3.5	260-598	356±94	162-284	209±33

### ง) กรดระเหยง่าย (Volatile Fatty Acids : VFA)

**ระบบแบบ Thermo-Meso** การทดลองส่วนแรกถังปฏิกริยา ThASBR พบว่าความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายของน้ำเสียเข้าระบบ มีค่าเท่ากับ 245±10, 234±17 และ 321±111 มก./ล.ของ CH<sub>3</sub>COOH ของการทดลองที่ OLR รวมเท่ากับ 2.5, 3.0 และ 3.5 กก./ลบม./วัน ตามลำดับ จะเห็นว่าความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายในน้ำเสียเข้าระบบถังปฏิกริยานี้มีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ จากวันแรกจนถึงสิ้นสุดการทดลอง ส่วนความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายของน้ำทิ้งจากถังปฏิกริยาทั้ง 2 ตลอดระยะเวลาการทดลองแสดงดังตารางที่ 32 ในช่วงแรกของการทดลอง ที่ OLR รวมเท่ากับ 2.5 และ 3.0 กก./ลบม./วัน น้ำทิ้งจากถังนี้มีความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายสูงขึ้นเรื่อยๆ และเมื่อเข้าสู่ช่วงแรกของการทดลองที่ OLR สูงที่สุดของการทดลอง คือ OLR รวมเท่ากับ 3.5 กก./ลบม./วัน ความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายของน้ำเสียเข้าระบบในช่วงวันที่ 265 และ 310 มีค่าสูงขึ้นกว่าปกติซึ่งมีค่าประมาณ 550 และ 450 มก./ล.ของ CH<sub>3</sub>COOH ตามลำดับ (ภาพประกอบที่ 35) สอดคล้องกับการลดลงของ pH

(ภาพประกอบที่ 33) เพราะเป็นตัวอย่างน้ำเสียรอบใหม่ที่เก็บมาจากโรงงาน เป็นผลให้น้ำทิ้งมีความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายเพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $356 \pm 94$  มก./ล. ของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  และจากการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายของถังปฏิกริยา ThASBR ที่ทดลองนี้มีความสอดคล้องกับการทดลองของ Dugba and Zhang (1999) ที่บำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตกัณฑ์นมโดยระบบ ASBR สองขั้นตอนแบบ Thermo-Meso พบว่าถังปฏิกริยาแรก คือ ThASBR มีความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายในช่วง 1,050-1,900 มก./ล. ซึ่งมีค่าสูงกว่าในกรณีที่ถังปฏิกริยาแรกเป็น MeASBR ประมาณ 2-3 เท่า และเมื่อนำข้อมูลจากการทดลองนี้มาเปรียบเทียบกับความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายในน้ำทิ้งจากถังปฏิกริยา ThASBR แบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอน พบว่าถังปฏิกริยา ThASBR แบบสองขั้นตอน มีความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายเฉลี่ยอยู่ในช่วง 227-356 มก./ล. ของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับแบบขั้นตอนเดียว ที่มีความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายเฉลี่ยอยู่ในช่วง 247-382 มก./ล. ของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ถึงแม้จะมี OLR สูงกว่าก็ตาม เพราะถังปฏิกริยา ThASBR แบบสองขั้นตอนมีสภาพด่างน้ำเสียเข้าระบบสูงกว่า ทำให้เกิดการต้านการเพิ่มขึ้นของกรดระเหยง่ายได้ดีกว่า

การทดลองส่วนที่สองถังปฏิกริยา MeASBR พบว่าเมื่อมีการเพิ่ม OLR ให้สูงขึ้น พบว่าน้ำเสียเข้าระบบมีความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายสูงขึ้นและค่อนข้างแปรผัน ส่วนน้ำทิ้งจากระบบก็มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเช่นกัน แต่มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดระยะเวลาการทดลอง

**ระบบแบบ Meso-Meso** พบว่าความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายในน้ำทิ้งจากถังแรก และถังที่สองมีค่าเท่ากับ  $277 \pm 18$  และ  $197 \pm 16$  มก./ล. ของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ตามลำดับ ซึ่งค่าที่ได้จากการทดลองนี้มีค่าต่ำกว่าการทดลองของ Dugba and Zhang (1999) ที่บำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตกัณฑ์นมโดยระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนที่เป็นแบบ Meso-Meso พบว่ามีความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายอยู่ในช่วง 330-630 มก./ล. ของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ทั้งนี้อาจเป็นเพราะน้ำเสียต่างชนิดกัน และจะเห็นว่าความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายในน้ำเสียผลิตกัณฑ์นมมีค่าไม่สูงมากนัก ยังอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับระบบไร้อากาศโดยทั่วไป เช่นเดียวกับการทดลองที่ผู้วิจัยศึกษาแบบ Meso-Meso

**การเปรียบเทียบความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายในน้ำทิ้ง** จากการทดลองระบบ ASBR สองขั้นตอนแบบ Thermo-Meso และแบบ Meso-Meso ที่ OLR เท่ากับ 3.5กก./ลบ.ม./วัน พบว่าระบบสองขั้นตอนแบบ Thermo-Meso มีความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายในน้ำทิ้งสูงกว่า และค่อนข้างแปรผันกว่าแบบ Meso-Meso และจะเห็นว่าระบบสองขั้นตอน ทั้งแบบ Thermo-Meso และ Meso-Meso ไม่สามารถควบคุมให้เป็นถึงผลิตภัณฑ์ในถังแรก และถึงผลิตภัณฑ์ในถังที่สองได้อย่างชัดเจน ทั้งนี้เพราะความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายทั้ง 2 ถังปฏิกริยามีค่าน้อย ไม่สามารถทำให้ pH ลดลงมีลักษณะเป็นกรดได้ แต่อย่างไรก็ตาม ทั้งแบบ Thermo-Meso และ Meso-Meso มี

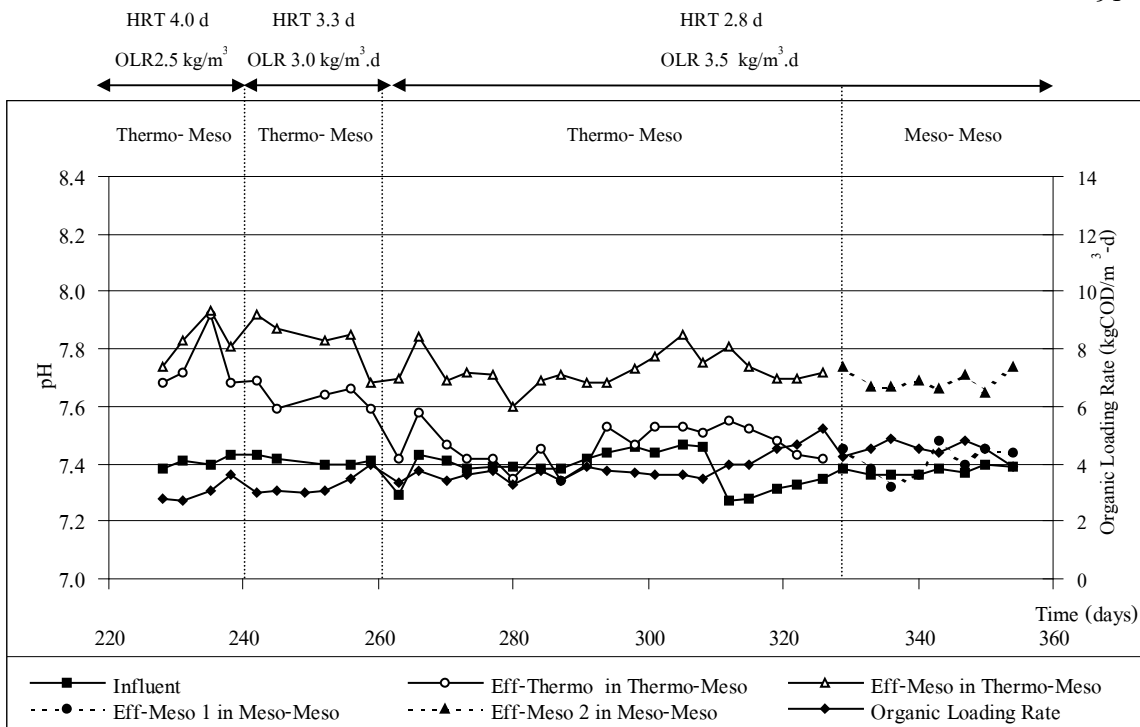
ความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายอยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับระบบไร้อากาศโดยทั่วไป คือ 50-500 มก./ล.ของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  (เกรียงศักดิ์ อุคมสิน โรจน์, 2543 และ Halbert, 1981) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบสองขั้นตอนทั้งแบบ Thermo-Meso และ Meso-Meso ยังสามารถรองรับ OLR ได้มากกว่า 3.5 กก./ลบ.ม./วัน

เมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายในน้ำทิ้งจากการทดลองระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอนที่เป็นแบบ Thermo-Meso พบว่าระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว ของถังปฏิกริยา ThASBR และ MeASBR มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 275 และ 214 มก./ล. ของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน (ถังปฏิกริยา ThASBR และ MeASBR มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 356 และ 209 มก./ล. ของ  $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) และพบว่าความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายของถังปฏิกริยา ThASBR มีค่าสูงกว่าถังปฏิกริยา MeASBR ทั้งแบบขั้นตอนเดียว และแบบสองขั้นตอน แม้จะมีการเพิ่ม OLR ก็ตาม แสดงให้เห็นว่าตะกอนจุลินทรีย์ภายในถังปฏิกริยา MeASBR สามารถปรับตัวให้เข้ากับน้ำเสียได้เร็วกว่า ซึ่งเป็นผลดีในการควบคุมระบบ

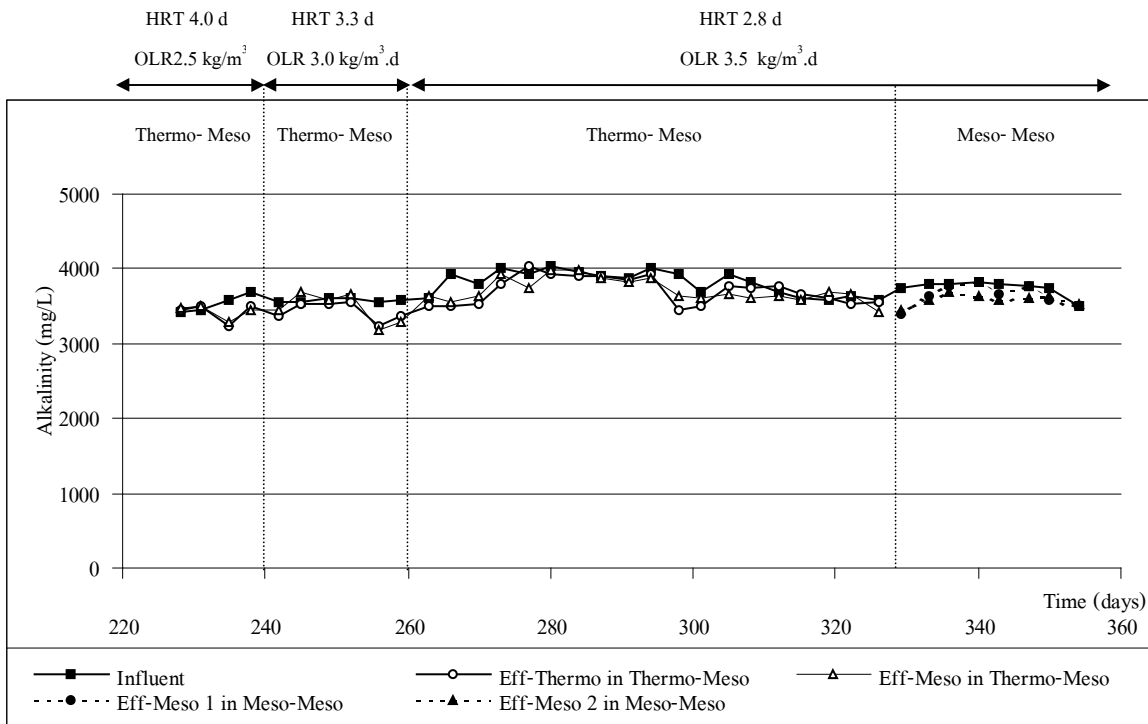
#### จ) อัตราส่วนของกรดระเหยต่อสภาพด่าง (VFA : Alkalinity)

ระบบแบบ Thermo-Meso น้ำเสียเข้าระบบถังปฏิกริยา ThASBR มีอัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อสภาพด่าง เท่ากับ  $0.07 \pm 0.01$ ,  $0.07 \pm 0.01$  และ  $0.08 \pm 0.03$  ของการทดลองที่ OLR รวมเท่ากับ 2.50, 3.00 และ 3.50 กก./ลบ.ม./วัน ตามลำดับ จากการทดลองเมื่อมีการเพิ่ม OLR รวมให้สูงขึ้น น้ำทิ้งจากถังปฏิกริยานี้มีอัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อสภาพด่างสูงขึ้นเรื่อยๆ และค่อนข้างแปรผัน (ภาพประกอบที่ 36) สอดคล้องกับการลดลงของ pH (ภาพประกอบที่ 33) โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0.07-0.11 เมื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบอัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อสภาพด่างของถังปฏิกริยา ThASBR แบบขั้นตอนเดียวและสองขั้นตอน พบว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนน้ำทิ้งจากถังปฏิกริยา MeASBR มีอัตราส่วนกรดระเหยง่ายต่อสภาพด่างค่อนข้างคงที่เกือบตลอดการทดลอง ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0.05-0.06 จะเห็นว่ามีค่าน้อยมาก แสดงว่าในส่วนของถังปฏิกริยาที่สอง (MeASBR) จะมีกำลังบัฟเฟอร์สูงขึ้นจากถังปฏิกริยาแรก (ThASBR)

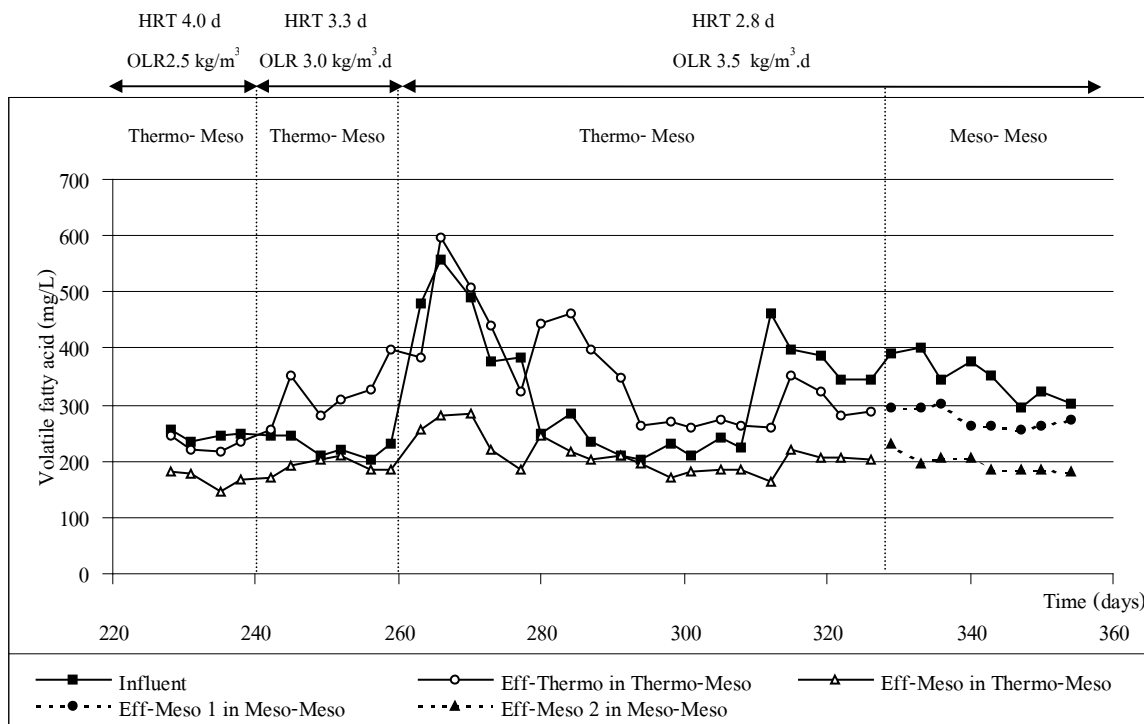
ระบบแบบ Meso-Meso พบว่าน้ำทิ้งจากถังแรกและถังที่สองมีอัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อสภาพด่างเฉลี่ยเท่ากับ 0.08 และ 0.06 ตามลำดับ จะเห็นว่าน้ำทิ้งมีค่าลดลงจากน้ำเสียเข้าระบบเล็กน้อย และพบว่าอัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อสภาพด่างแบบ Meso-Meso มีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลอง และมีเสถียรภาพเช่นเดียวกับการทดลองแบบสองขั้นตอนที่เป็นแบบ Thermo-Meso



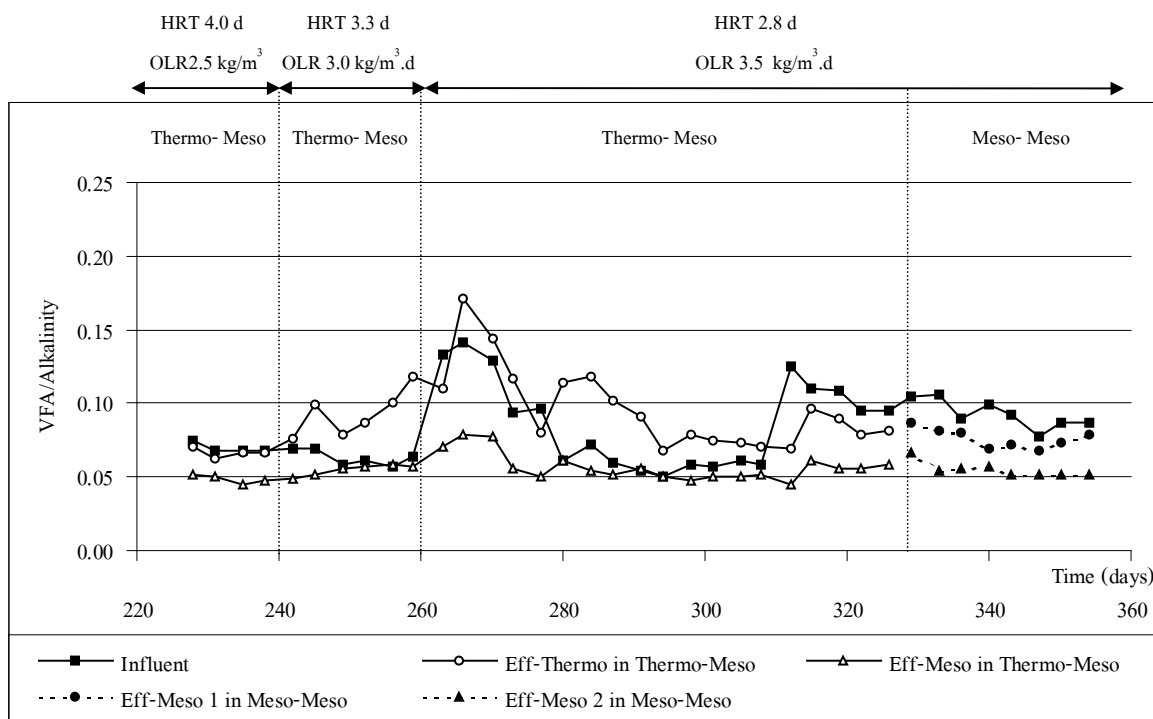
ภาพประกอบ 33 pH ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic



ภาพประกอบ 34 สภาพต่างของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic



ภาพประกอบ 35 ความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic



ภาพประกอบ 36 อัตราส่วนกรดระเหยง่ายต่อสภาพต่างของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic

เมื่อนำข้อมูลการทดลองของระบบ ASBR แบบขึ้นตอนเดียวและแบบสองขึ้นตอน มาเปรียบเทียบอัตราส่วนของกรดระเหยง่ายต่อสภาพต่างในน้ำทิ้ง พบว่าน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบขึ้นตอนเดียว (ถังปฏิกรณ์ ThASBR และ MeASBR มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.08 และ 0.07) มีค่าใกล้เคียงกับระบบ ASBR แบบสองขึ้นตอน (ถังปฏิกรณ์ ThASBR และ MeASBR มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.10 และ 0.06) โดยจากการทดลองนี้จะเห็นว่าระบบ ASBR แบบขึ้นตอนเดียวและแบบสองขึ้นตอน สามารถรักษาระดับของกรดระเหยง่ายต่อสภาพต่างให้มีค่าน้อยกว่า 0.40 ได้อย่างสม่ำเสมอซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ว่าระบบมีกำลังบำบัดสูง (Zickefoose and Hayes, 1976) ซึ่งเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ระบบ ASBR แบบสองขึ้นตอนไม่สามารถแยกเป็นถังสร้างกรดในถังแรก และถังสร้างก๊าซมีเทนในถังที่สองจากการเพิ่ม OLR ดังนั้นจึงควรมีการควบคุม pH ของถังแรก ดังการศึกษาของ Beal and Raman, (2000) ; Dalis, *et al.*,(1996) และ Dinsdale, *et al.*,(1997a) ที่ทำการควบคุม pH ของน้ำเสียเข้าระบบให้อยู่ประมาณ 6 จึงทำให้เกิดสภาวะการสร้างกรดอย่างมีเสถียรภาพได้ แต่สำหรับน้ำเสียที่ออกจากการสกัดน้ำมันปาล์มใหม่ๆ นั้นมีลักษณะเป็นกรด pH ประมาณ 4.8 ฉะนั้นจึงมีความเหมาะสมที่จะนำมาบำบัดโดยผ่านถังสร้างกรดก่อน ดังการศึกษาของจิรวรรณ อุดยะกุล และคณะ (2549) และ Borja, *et al.*, (1996) ที่ใช้น้ำเสียจากระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มใหม่ๆ จึงสามารถแยกระบบสองขึ้นตอนเป็นถังผลิตกรดและผลิตก๊าซมีเทนได้ชัดเจน เป็นผลให้มีประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ดีขึ้น ทว่าน้ำเสียที่ออกจากระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มนั้นยังมีน้ำมันและไขมันอยู่สูง เมื่อนำเข้าสู่ถังปฏิกรณ์ไร้อากาศ น้ำมันและไขมันจะจับกับตะกอนจุลินทรีย์ และบางส่วนจะลอยสู่ด้านบนของถังปฏิกรณ์ ซึ่งไม่ว่ากรณีใดก็ตามจะทำให้ตะกอนจุลินทรีย์สัมผัสกับสารอินทรีย์อื่นได้น้อยลง ยังผลให้ระบบมีประสิทธิภาพการย่อยสลายต่ำลง ฉะนั้นความสามารถในการแยกน้ำมันและไขมันออกจากน้ำเสียจากระบวนการสกัดน้ำมันปาล์มจะนำไปสู่การบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นด้วย

### จ) การลดสี (Color)

ระบบแบบ Thermo-Meso การทดลองถังปฏิกรณ์ ThASBR พบว่าความเข้มสีของน้ำเสียเข้าระบบ มีค่าเท่ากับ  $174.8 \pm 50.2$ ,  $150.3 \pm 14.4$  และ  $133.6 \pm 17.9$  เอสยู ของการทดลองที่ OLR รวมเท่ากับ 2.5, 3.0 และ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน ตามลำดับ จะเห็นว่าความเข้มสีในน้ำทิ้งมีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่ม OLR แต่มีค่าไม่ต่างกันมาก ซึ่งขัดแย้งกับความเข้มสีของน้ำทิ้งของถังปฏิกรณ์นี้ที่พบว่าเมื่อมีการเพิ่ม OLR ให้สูงขึ้น ความเข้มสีในน้ำทิ้งมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งสามารถลดสีได้ร้อยละ 30.88, 17.06 และ 16.69 ของการทดลองที่ OLR รวมเท่ากับ 2.5, 3.0 และ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 33) และเมื่อเปรียบเทียบการลดสีของถังปฏิกรณ์ ThASBR แบบขึ้นตอนเดียวและแบบสองขึ้นตอนพบว่า ทั้งแบบขึ้นตอนเดียวและแบบสองขึ้นตอนมีความเข้มสีลดลงเรื่อยๆ เมื่อมีการ

เพิ่ม OLR ซึ่งส่วนใหญ่ถึงปฏิกริยา ThASBR แบบสองขั้นตอน สามารถลดสีเฉลี่ยร้อยละ 15.44-30.88 ซึ่งมีค่าต่ำกว่าถึงปฏิกริยา ThASBR แบบขั้นตอนเดียว (ลดสีเฉลี่ยร้อยละ 28.47-51.62) เพราะถึงปฏิกริยา ThASBR แบบสองขั้นตอน มี OLR สูงขึ้น นอกจากนี้จุลินทรีย์ที่อยู่ภายในถึงปฏิกริยานี้ อาจเกิดกระบวนการหมักที่สามารถสลายพันธะของโมเลกุลสีและกระบวนการกรอง รวมถึงการดูดซับที่ก่อให้เกิดการสะสมสีที่ย่อยสลายได้ยากที่ชั้นตะกอนด้านล่างภายในถึงปฏิกริยา และเกิดการคายสีออกมาภายหลังเมื่อมีการยกตัวของชั้นตะกอนและเกิดก๊าซชีวภาพปั่นป่วนมากก็อาจเกิดการคายสีออกมากับน้ำทิ้งได้อีกด้วย (ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร, 2543) และเมื่อพิจารณาความเข้มข้นของการทดลองเฉพาะถึงปฏิกริยา ThASBR พบว่าเมื่อมีการเพิ่ม OLR เรื่อยๆ (OLR เท่ากับ 0.5-12.0 กก./ลบ.ม./วัน) ความเข้มข้นในน้ำทิ้งจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ จนเมื่อสิ้นสุดการทดลองน้ำทิ้งมีความเข้มข้นเท่ากับ  $110.9 \pm 14.3$  เอสยู คิดเป็นการลดสีเฉลี่ยร้อยละ 16.69 จะเห็นว่าถึงปฏิกริยานี้มีความสามารถที่จะลดสีได้อยู่แต่มีค่าไม่สูงนัก ส่วนการทดลองที่ถึงปฏิกริยา MeASBR จากผลการทดลองพบว่า เมื่อมีการเพิ่ม OLR ให้สูงขึ้น การลดสีจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ (ภาพประกอบที่ 37)

**ระบบแบบ Meso-Meso** จากการทดลองพบว่า ความเข้มข้นของน้ำเสียที่เข้าสู่ถึงปฏิกริยาแรก มีค่าสูงขึ้นเล็กน้อย (เมื่อเปรียบเทียบกับถึงปฏิกริยา Thermo-Meso ที่ OLR เท่ากัน) ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $163.8 \pm 13.9$  เอสยู และน้ำทิ้งมีค่าเท่ากับ  $154.3 \pm 21.9$  เอสยู คิดเป็นการลดสีเฉลี่ยร้อยละ 5.95 ส่วนความเข้มข้นของน้ำทิ้งจากถึงที่สองมีค่าเท่ากับ  $120.7 \pm 16.4$  เอสยู คิดเป็นการลดสีเฉลี่ยร้อยละ 21.49 โดยทั้งระบบ (2 ถึงปฏิกริยา) สามารถลดสีเฉลี่ยร้อยละ 26.18

เมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการลดสีจากระบบ ASBR สองขั้นตอนแบบ Thermo-Meso และแบบ Meso-Meso ที่ OLR เท่ากัน คือ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน พบว่า การลดสีของแบบ Thermo-Meso มีค่าสูงกว่าการทดลองแบบ Meso-Meso เพราะการที่ถึงแรกเป็นถึงปฏิกริยา ThASBR การทำงานของจุลินทรีย์ในขั้นตอนการไฮโดรไลซิส อาจเกิดขึ้นได้เร็วกว่า โดยจะเปลี่ยนรูปอนุภาคสารอินทรีย์ที่ซับซ้อนเป็นสารประกอบละลายน้ำที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยลง จึงอาจทำให้เกิดการสลายพันธะสีของน้ำเสียได้

เมื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบการลดสีของระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวและสองขั้นตอนแบบ Thermo-Meso ที่ OLR เท่ากับ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน พบว่าระบบ ASBR สองขั้นตอนแบบ Thermo-Meso สามารถลดสีทั้งระบบโดยรวมเฉลี่ยร้อยละ 41.62 ส่วนที่ถึงปฏิกริยา ThASBR และ MeASBR แบบขั้นตอนเดียวสามารถลดสีเฉลี่ยร้อยละ 32.41 และ 12.21 ตามลำดับ จากการทดลองจะเห็นว่าระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนสามารถลดสีได้สูงกว่าระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวประมาณร้อยละ 10-30

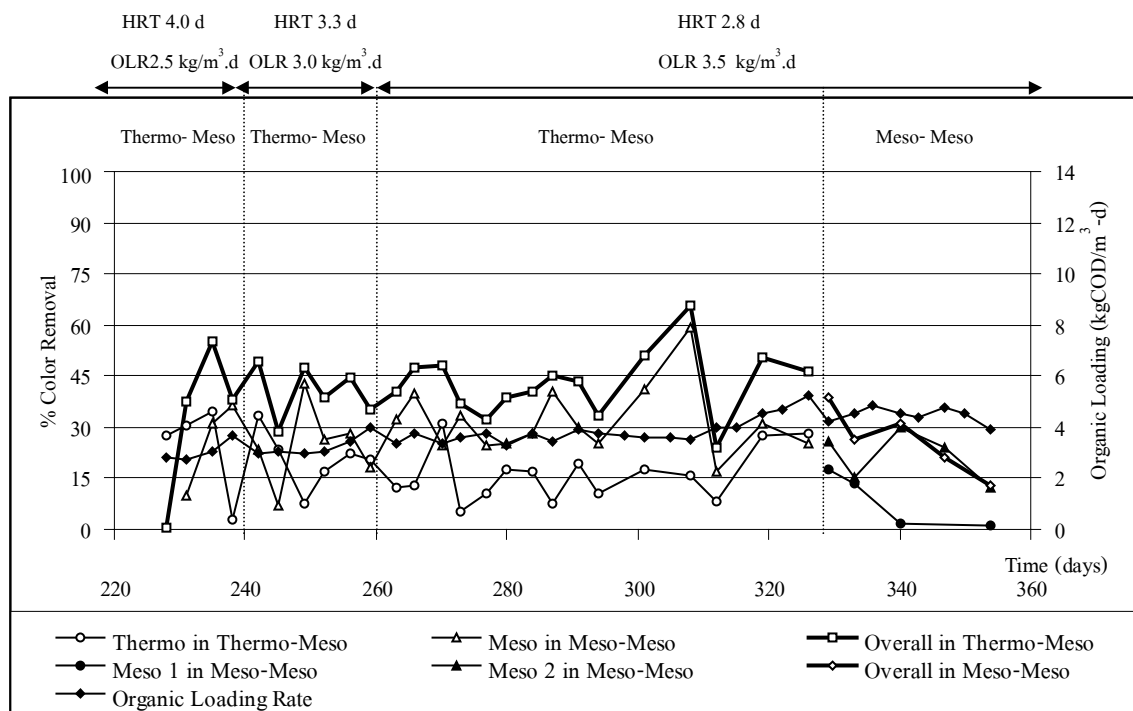
ตารางที่ 33 ความเข้มข้นของน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการลดจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของ



ถึงปฏิบัติการ Thermophilic และถึงปฏิบัติการ Mesophilic ที่ OLR รวมต่างๆ กัน

ความเข้มข้นน้ำทิ้ง (SU)

OLR รวม (kg/m <sup>3</sup> .d)	Thermophilic ASBR			Mesophilic ASBR			Removal รวม (%)
	Range	$\bar{X}\pm SD$	Removal (%)	Range	$\bar{X}\pm SD$	Removal (%)	
2.5	86.4-140.8	119.6±29.1	30.88	96.8-118.5	111.3±12.5	0.08	31.00
3.0	101.8-139.8	124.0±17.0	17.06	79.9-99.3	88.7±7.9	27.12	40.48
3.5	76.9-135.8	110.9±14.3	16.69	42.1-102.3	76.6±14.0	30.81	42.48



ภาพประกอบ 37 ความสามารถในการลดสีจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน  
ของถึงปฏิบัติการ Thermophilic และถึงปฏิบัติการ Mesophilic

ข) การบำบัดชีโอดีทั้งหมด (TCOD) และชีโอดีละลายน้ำ (SCOD)

**ระบบแบบ Thermo-Meso** ส่วนแรกเป็นการทดลองถังปฏิกรณ์ ThASBR พบว่า ความเข้มข้นของ TCOD ในน้ำเสียเข้าระบบมีค่าเท่ากับ  $11,433 \pm 630$ ,  $10,506 \pm 926$  และ  $10,984 \pm 1,293$  มก./ล. ส่วน SCOD ของน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์นี้มีค่าเท่ากับ  $3,283 \pm 214$ ,  $3,979 \pm 359$  และ  $3,974 \pm 283$  มก./ล. ของการทดลองที่ OLR รวมเท่ากับ 2.5, 3.0 และ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน ตามลำดับ สำหรับความเข้มข้นของ TCOD และ SCOD จากระบบแบบ Thermo-Meso ในน้ำทิ้งตลอดระยะเวลาการทดลอง ดังตารางที่ 34 และ 35 ตามลำดับ จากการทดลองที่ OLR รวมเท่ากับ 2.5 และ 3.0 กก./ลบ.ม./วัน น้ำเสียเข้าระบบที่ถังปฏิกรณ์ ThASBR มีความเข้มข้นของ TCOD และ SCOD ก่อนข้างลงที่ สำหรับน้ำทิ้งทั้ง 2 ช่วง OLR นี้มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งมีความเข้มข้นของ TCOD เท่ากับ  $4,459 \pm 85$  และ  $4,381 \pm 399$  มก./ล. (ภาพประกอบที่ 38) คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดเฉลี่ยร้อยละ 60.91 และ 58.11 ตามลำดับ ส่วนความเข้มข้นของ SCOD มีค่าเท่ากับ  $1,911 \pm 98$  และ  $2,372 \pm 341$  มก./ล. (ภาพประกอบที่ 39) คิดเป็นประสิทธิภาพในการบำบัดเฉลี่ยร้อยละ 36.27 และ 44.35 ตามลำดับ สำหรับน้ำเสียเข้าระบบในช่วงแรกที่ OLR รวมสูงสุด คือ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน มีค่าคงที่แต่ในช่วงท้ายของการทดลองนี้ น้ำเสียมี OLR รวมประมาณ 4.20 กก./ลบ.ม./วัน ทำให้ถังปฏิกรณ์นี้มีประสิทธิภาพในการบำบัด TCOD และ SCOD ลดลงมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 54.04 และ 31.02 ตามลำดับ จะเห็นว่าประสิทธิภาพในการบำบัด TCOD จะสูงกว่า SCOD และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด TCOD และ SCOD ของถังปฏิกรณ์ ThASBR แบบขั้นตอนเดียวและสองขั้นตอน พบว่าส่วนใหญ่ถังปฏิกรณ์ ThASBR แบบสองขั้นตอนมีประสิทธิภาพการบำบัด TCOD และ SCOD เฉลี่ยร้อยละ 54.04-60.91 และ 31.02-41.52 ตามลำดับ ซึ่งมีประสิทธิภาพการบำบัดต่ำกว่าการทดลองถังปฏิกรณ์ ThASBR แบบขั้นตอนเดียว (บำบัด TCOD และ SCOD เฉลี่ยร้อยละ 51.42-78.98 และ 45.28-84.19 ตามลำดับ) เนื่องจากถังปฏิกรณ์ ThASBR แบบสองขั้นตอนมี OLR สูงขึ้น

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ TCOD เฉพาะการทดลองที่ถังปฏิกรณ์ ThASBR พบว่า เมื่อมีการเพิ่ม OLR เรื่อยๆ ความเข้มข้นของ TCOD ในน้ำทิ้งจะมีค่าลดลงเรื่อยๆ จนเมื่อสิ้นสุดการทดลองถังปฏิกรณ์นี้มีประสิทธิภาพในการบำบัด TCOD เฉลี่ยร้อยละ 54.04 ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับ การทดลองอื่นๆ ที่มี OLR ใกล้เคียงกับถังปฏิกรณ์นี้ คือ สูงสุดที่ 12.00 กก./ลบ.ม./วัน ดังแสดงในตารางที่ 36 พบว่าการทดลองนี้มีประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ต่ำกว่าการทดลองของ Cail and Barford (1985) ; Marques (2001) ; Dinsdale, *et al* (1997a) และ Timur and Ozturk (1999) ประมาณร้อยละ 20, 7, 14 และ 10 ตามลำดับ

ตารางที่ 34 TCOD ของน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการบำบัดจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน

ของถังปฏิกริยา Thermophilic และถังปฏิกริยา Mesophilic ที่ OLR รวมต่างๆ กัน

ความเข้มข้นของ TCOD ในน้ำทิ้ง (mg/L)							
OLR รวม (kg/m <sup>3</sup> .d)	Thermophilic ASBR			Mesophilic ASBR			Removal รวม (%)
	Range	$\bar{X}\pm SD$	Removal (%)	Range	$\bar{X}\pm SD$	Removal (%)	
2.5	4,410-4,557	4,459±85	60.91	2,744-2,940	2,842±98	36.27	75.10
3.0	4,018-4,998	4,381±399	58.11	2,107-2,940	2,440±315	44.35	76.64
3.5	4,165-6,566	5,034±557	54.04	1,999-2,940	2,424±278	51.74	77.84

ตารางที่ 35 SCOD ของน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการบำบัดจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน  
ของถังปฏิกริยา Thermophilic และถังปฏิกริยา Mesophilic ที่ OLR รวมต่างๆ กัน

ความเข้มข้นของ SCOD ในน้ำทิ้ง (mg/L)							
OLR รวม (kg/m <sup>3</sup> .d)	Thermophilic ASBR			Mesophilic ASBR			Removal รวม (%)
	Range	$\bar{X}\pm SD$	Removal (%)	Range	$\bar{X}\pm SD$	Removal (%)	
2.5	1,813-2,009	1,911±98	41.52	1,294-1,705	1,457±98	23.99	55.29
3.0	2,058-2,940	2,372±341	40.09	1,450-2,058	1,619±253	31.67	59.06
3.5	2,254-3,286	2,736±268	31.02	1,200-1,764	1,551±154	42.98	60.90

ส่วนที่สองเป็นการทดลองที่ถังปฏิกริยา MeASBR พบว่าเมื่อมีการเพิ่ม OLR ให้สูงขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการบำบัด TCOD และ SCOD สูงขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองอื่นๆ ที่เป็นถังผลติมีเทน (ถังปฏิกริยาที่สอง) ดังแสดงในตารางที่ 36 พบว่าการทดลองนี้มีประสิทธิภาพการบำบัด TCOD สูงกว่าการทดลองของ Dalis, *et al* (1996) ประมาณร้อยละ 7-22 แต่ต่ำกว่าการทดลองของ Blonskaja, *et al* (2003) ค่อนข้างสูงมาก

สำหรับประสิทธิภาพการบำบัด TCOD และ SCOD ของระบบ ASBR สองขั้นตอนแบบ Thermo-Meso โดยรวม (2 ถังปฏิกริยา) พบว่า เมื่อมีการเพิ่ม OLR สูงขึ้น ประสิทธิภาพในการบำบัด TCOD และ SCOD ก็เพิ่มสูงขึ้น (ภาพประกอบที่ 40 และ 41) และพบว่าประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ส่วนใหญ่จะถูกบำบัดโดยถังปฏิกริยา ThASBR ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 36 พบว่าการทดลองนี้มีประสิทธิภาพการบำบัด TCOD โดยรวมใกล้เคียงกับการทดลองของ Dinsdale, *et al* (1997b) ที่บำบัด TCOD ได้ร้อยละ 77.0 แต่ต่ำกว่าการทดลองของ Beal and Raman (2000) และ Hwang, *et al.*, (2003) ที่บำบัด TCOD ได้ร้อยละ 98.0 และ 96.4 ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาเฉพาะประสิทธิภาพการบำบัด TCOD และ SCOD ของระบบ ASBR สองขั้นตอน แบบ Thermo-Meso โดยรวมทั้งระบบเมื่อเข้าสู่สภาวะคงตัว (Stable Condition) พบว่าระบบมีประสิทธิภาพในการบำบัด TCOD มากกว่าร้อยละ 78 และ SCOD มากกว่าร้อยละ 58 ดังแสดงภาพประกอบที่ 42 และ 43 ตามลำดับ

ตารางที่ 36 สรุปข้อมูลการบำบัดน้ำเสียโดยระบบไร้อากาศแบบต่างๆ

Reactor	Wastewater type	Temperature (°C)	HRT (d)	OLR (kgCOD/m <sup>3</sup> .d)	TCOD Removal (%)	อ้างอิง
Mesophilic Semi-Continuous Anaerobic	น้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันปาล์ม	35	5.6	12.6	75.0	Cail and Barford. 1985.
Upflow anaerobic filter (UAF)	น้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันมะกอก	35±1	-	1.0-10.0	62.0-77.1	Marques. 2001.
Two-stage Continuously stirred tank reactors(CSTR)	น้ำเสียผลิตเนยแข็ง	50-60	3-10	0.97-2.31	64.1-96.4	Hwang <i>et al.</i> , (2003)
Two-stage Upflow anaerobic sludge blanket (UASB)	น้ำเสียผลิตถัณฑ์กาแฟ	55	0.8-2.0	5.0-13.3	68-70	Dinsdale <i>et al.</i> , 1997a.
Anaerobic sequencing batch reactors (ASBR)	น้ำเสียจากน้ำชะมูลฝอย	35	1.5-10.0	0.38-9.43	64-85	Timur and Ozturk. 1999.
Two-stage thermophilic UASB	น้ำเสียผลิตถัณฑ์กาแฟ	55±1	0.5-1.0	10-16	63-68	Dinsdale <i>et al.</i> , 1997b.
Two-stage Mesophilic UASB	น้ำเสียผลิตถัณฑ์กาแฟ	35±1	0.5-1.0	10-16	68-77	Dinsdale <i>et al.</i> , 1997b.
Two-stage 1. UASB 2. DFAF	น้ำเสียโรงงานผลิตลูกกวาด	35±1 ~25	all HRT 2.4	all OLRs 12.5	98.0	Beal and Raman. 2000.
Two-stage 1. Up-Flow 2. Fixed-Bed	น้ำเสียโรงงานสกัดน้ำมันมะกอก	35±1 35±1	5.6-15.3 5.0-10.0	2.8-12.7 0.13-0.25	75-85 15-20	Dalis <i>et al.</i> , 1996.
Two-stage 1. Anaerobic Filter 2. UASB	น้ำเสียโรงงานกลั่นสุรา	35 35	10-19 20-39	2.5-5.1 0.6-2.5	19-54 87-93	Blonskaja <i>et al.</i> , 2003.

ระบบแบบ Meso-Meso ซึ่งเป็นการทดลองที่ OLR รวมเท่ากับ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน แต่ความเข้มข้นของ TCOD น้ำเสียเข้าระบบสูงกว่า OLR ที่คาดการณ์ไว้ประมาณ 0.3 เท่า ทำให้มี

OLR รวมประมาณ 4.2 กก./ลบ.ม./วัน เป็นผลให้ถังปฏิกริยา MeASBR ดังแรกมีประสิทธิภาพในการบำบัด TCOD ลดลง ส่วนถังปฏิกริยาที่สองมีประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ก่อนข้างคงที่แม้ OLR เพิ่มขึ้นก็ตาม โดยประสิทธิภาพรวม (2 ถังปฏิกริยา) สามารถบำบัด TCOD และ SCOD เฉลี่ยร้อยละ 73.31 และ 53.80 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองอื่นๆ ดังแสดงในตารางที่ 36 พบว่าการทดลองนี้มีประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ใกล้เคียงกับการทดลองของ Dinsdale *et al* (1997b) ที่บำบัด TCOD ได้ร้อยละ 77

### เปรียบเทียบการบำบัด TCOD แต่ละการทดลองที่ศึกษา

เมื่อนำข้อมูลจากการทดลองมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด TCOD และ SCOD ของการทดลองระบบ ASBR สองขั้นตอนแบบ Thermo-Meso และแบบ Meso-Meso ที่ OLR เท่ากัน คือ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด TCOD และ SCOD ของแบบ Thermo-Meso มีค่าสูงกว่าการทดลองแบบ Meso-Meso ประมาณร้อยละ 4 และ 7 ตามลำดับ เพราะในกรณีที่ถังปฏิกริยาแรกเป็น ThASBR การทำงานของจุลินทรีย์ในขั้นตอนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) และการผลิตกรด (Acidogenesis) สามารถเกิดขึ้นได้เร็วกว่า

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด TCOD และ SCOD ของระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอนแบบ Thermo-Meso ที่ OLR เท่ากับ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน (ตารางที่ 37) จะเห็นว่าระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนมีประสิทธิภาพในการบำบัด TCOD และ SCOD ได้ดีกว่าประมาณร้อยละ 14-20 และ 11-13 ตามลำดับ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการเดินระบบแบบสองขั้นตอน ตะกอนสารอินทรีย์ (SS) มีการตกตะกอนภายในถังปฏิกริยาได้ 2 ครั้ง เป็นผลให้ประสิทธิภาพการบำบัด TCOD สูงกว่า

ตารางที่ 37 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด TCOD และ SCOD จากระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอนที่ OLR เท่ากับ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน

Parameters	ระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว		ระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน		
	Thermophilic	Mesophilic	Thermophilic	Mesophilic	ทั้งระบบ
ประสิทธิภาพการบำบัด TCOD (%)	64.02	58.01	53.84	51.68	77.84
ประสิทธิภาพการบำบัด SCOD (%)	47.70	49.18	31.02	42.98	60.90

### ช) การบำบัดบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD<sub>5</sub>)

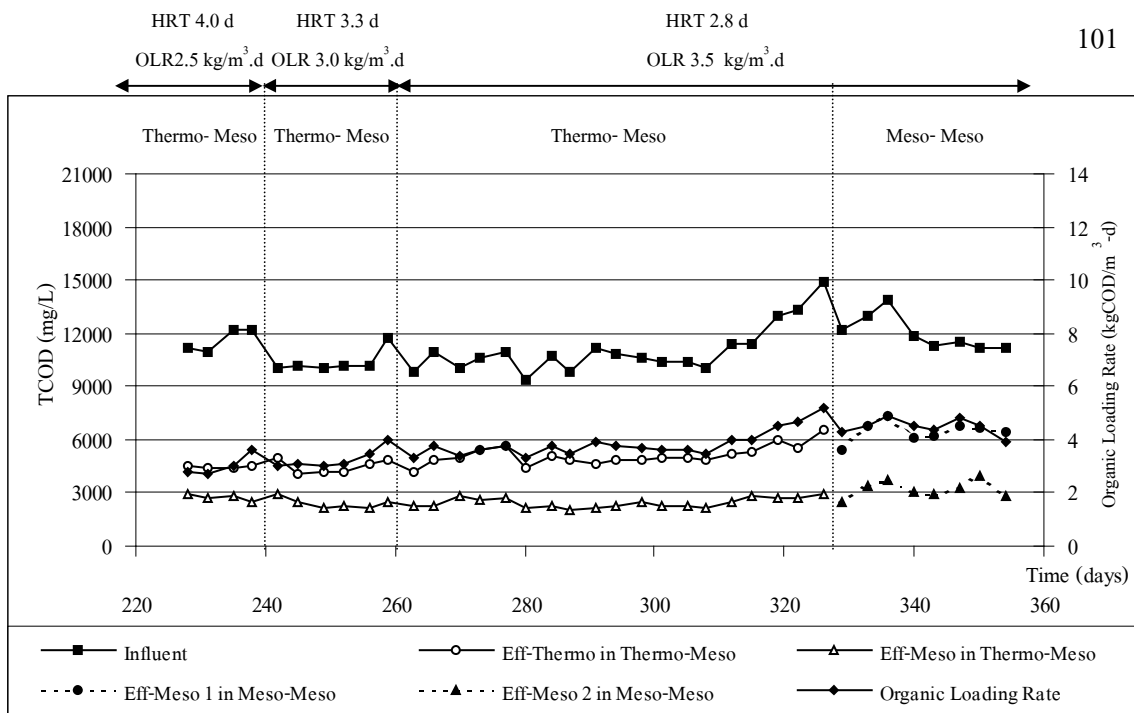
**ระบบแบบ Thermo-Meso** เมื่อพิจารณาเฉพาะความเข้มข้นของ  $BOD_5$  ในน้ำเสียเข้าระบบ พบว่ามีค่าเท่ากับ  $2,040 \pm 470$ ,  $1,639 \pm 551$  และ  $1,833 \pm 491$  มก./ล. ของการทดลองที่ OLR รวมเท่ากับ 2.5, 3.0 และ 3.5 ตามลำดับ ซึ่งคิดเป็นอัตราส่วนของ  $BOD_5$  : TCOD เท่ากับ 0.17 และอัตราส่วนของ  $BOD_5$  : TCOD ในน้ำทิ้ง ของถังปฏิกริยา ThASBR และ MeASBR เฉลี่ยเท่ากับ 0.09 และ 0.04 ตามลำดับ จะเห็นว่ามีค่าน้อยกว่าน้ำเสียเข้าระบบ ซึ่งแสดงว่าในน้ำเสียจะมีสารประกอบอินทรีย์ที่ง่ายต่อการย่อยสลายทางชีวภาพสูง

ส่วนแรกทดลองที่ถังปฏิกริยา ThASBR พบว่าเมื่อมีการเพิ่ม OLR รวมให้สูงขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัด  $BOD_5$  ลดลงเรื่อยๆ (ภาพประกอบที่ 44 และตารางที่ 38) ซึ่งต่ำสุดมีค่าเฉลี่ยร้อยละ 70.89 และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด  $BOD_5$  ของถังปฏิกริยา ThASBR แบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอน พบว่าถังปฏิกริยา ThASBR แบบขั้นตอนเดียว สามารถบำบัด  $BOD_5$  เฉลี่ยร้อยละ 86.41-92.16 ซึ่งสูงกว่าถังปฏิกริยา ThASBR แบบสองขั้นตอน ที่สามารถบำบัด  $BOD_5$  เฉลี่ยร้อยละ 70.89-85.44 เนื่องจากถังปฏิกริยา ThASBR แบบสองขั้นตอนมี OLR เพิ่มขึ้น

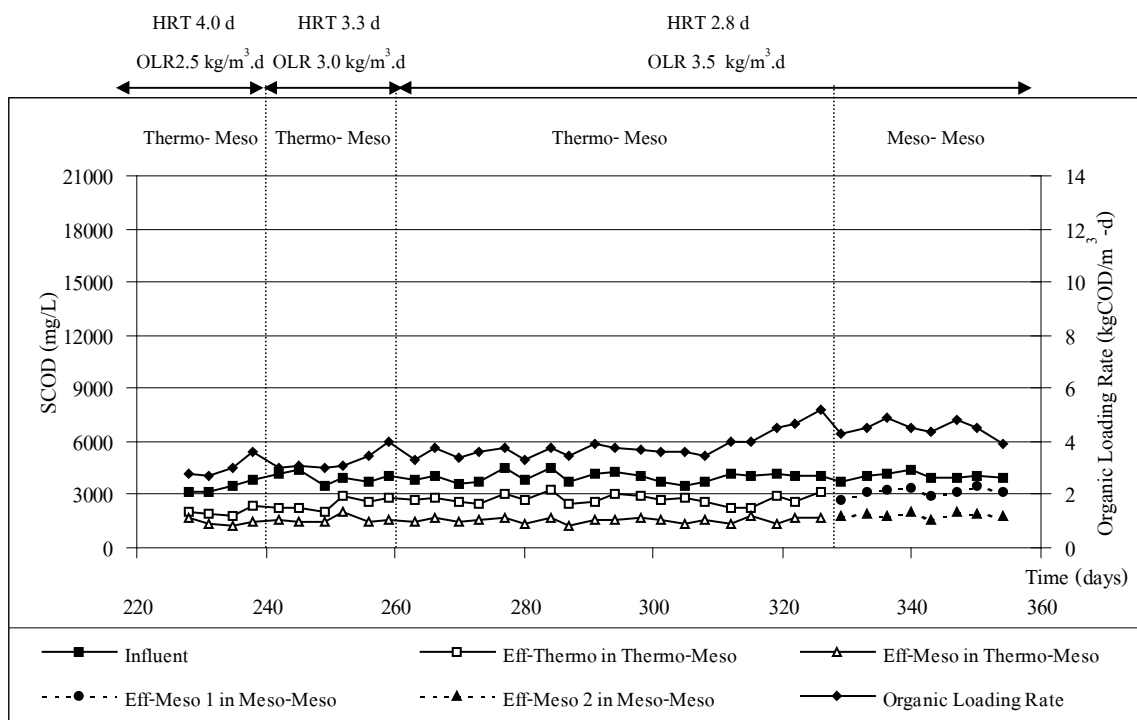
ส่วนที่สองทดลองที่ถังปฏิกริยา MeASBR พบว่าเมื่อมีการเพิ่ม OLR สูงขึ้นเรื่อยๆ ประสิทธิภาพการบำบัด  $BOD_5$  สูงขึ้นเรื่อยๆ ส่วนประสิทธิภาพการบำบัด  $BOD_5$  ของระบบ ASBR สองขั้นตอนแบบ Thermo-Meso โดยรวมทั้งระบบ (2 ถังปฏิกริยา) มีค่ามากกว่าร้อยละ 90 ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง

#### **ระบบแบบ Meso-Meso ไม่ได้ทำการทดลอง**

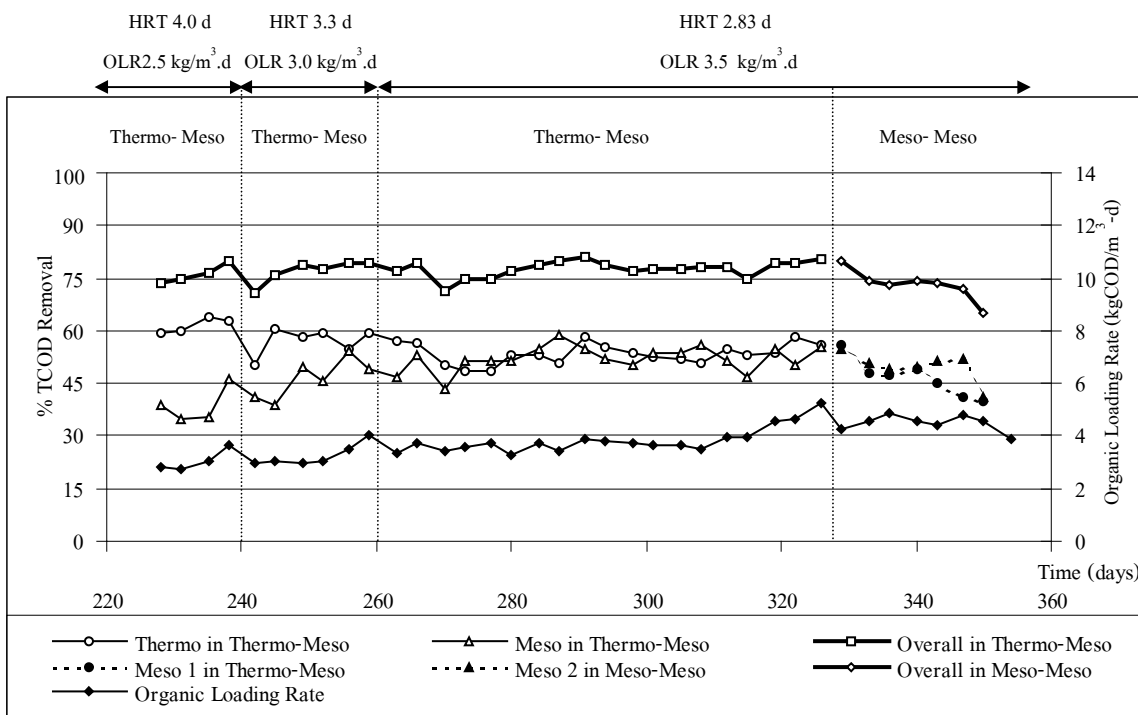
เมื่อนำข้อมูลจากการทดลองมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด  $BOD_5$  ของระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวและสองขั้นตอนแบบ Thermo-Meso ที่ OLR รวมเท่ากัน คือ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน พบว่าระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนมีประสิทธิภาพในการบำบัด  $BOD_5$  เฉลี่ยร้อยละ 93.81 ส่วนที่ถังปฏิกริยา ThASBR และ MeASBR แบบขั้นตอนเดียว มีประสิทธิภาพในการบำบัด  $BOD_5$  เฉลี่ยร้อยละ 91.17 และ 91.63 ตามลำดับ จะเห็นระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวและสองขั้นตอนแบบ Thermo-Meso มีประสิทธิภาพการบำบัด  $BOD_5$  ใกล้เคียงกัน



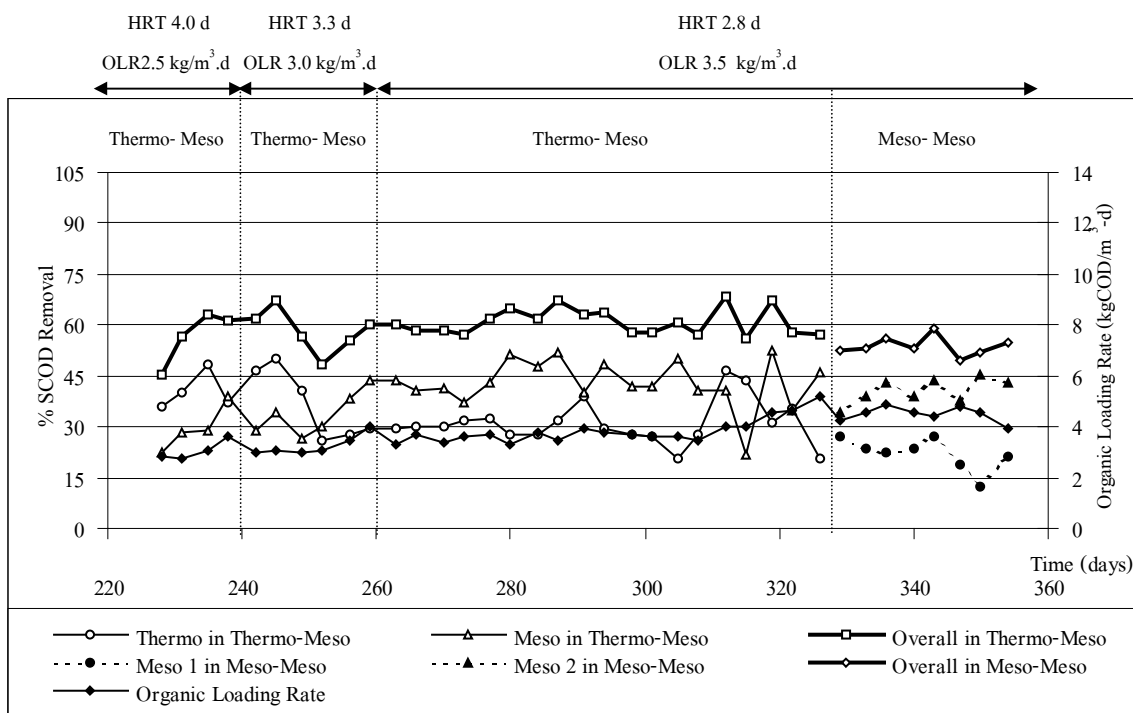
ภาพประกอบ 38 TCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน ของถังปฏิกริยา Thermophilic และถังปฏิกริยา Mesophilic



ภาพประกอบ 39 SCOD ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน ของถังปฏิกริยา Thermophilic และถังปฏิกริยา Mesophilic

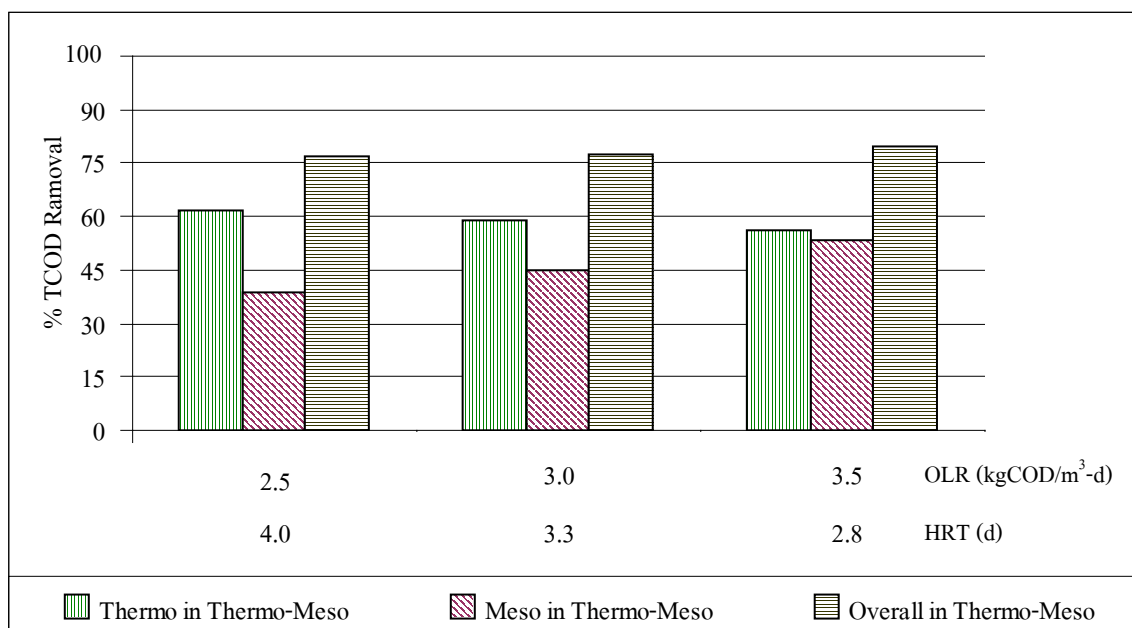


ภาพประกอบ 40 ประสิทธิภาพการบำบัด TCOD จากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนตลอดการทดลองของถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic

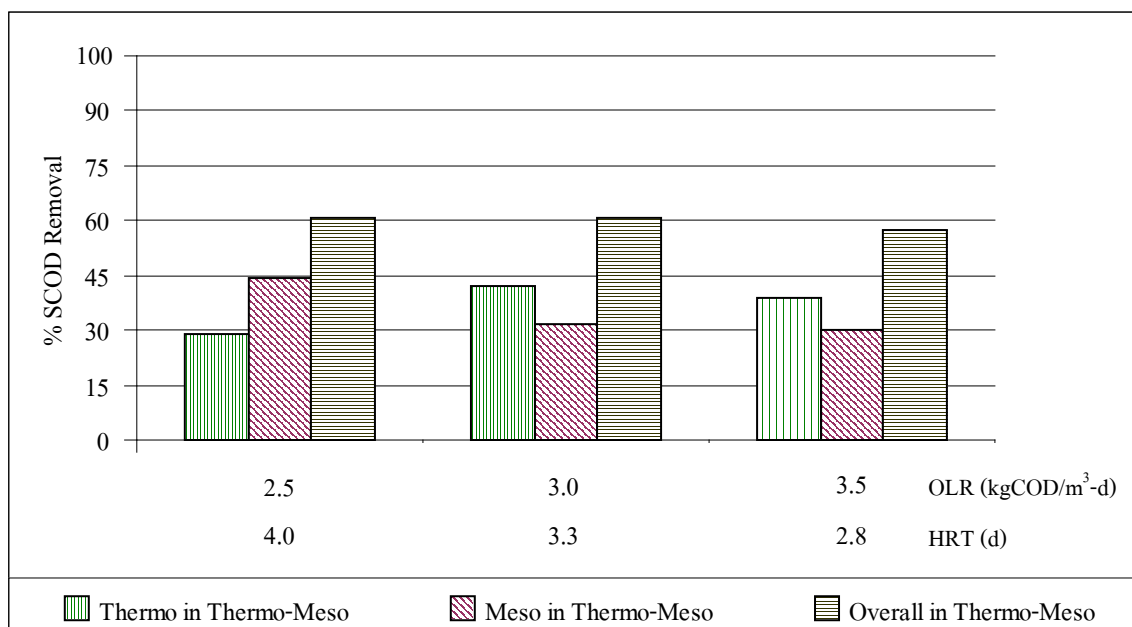


ภาพประกอบ 41 ประสิทธิภาพการบำบัด SCOD จากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนตลอดการทดลองของถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic

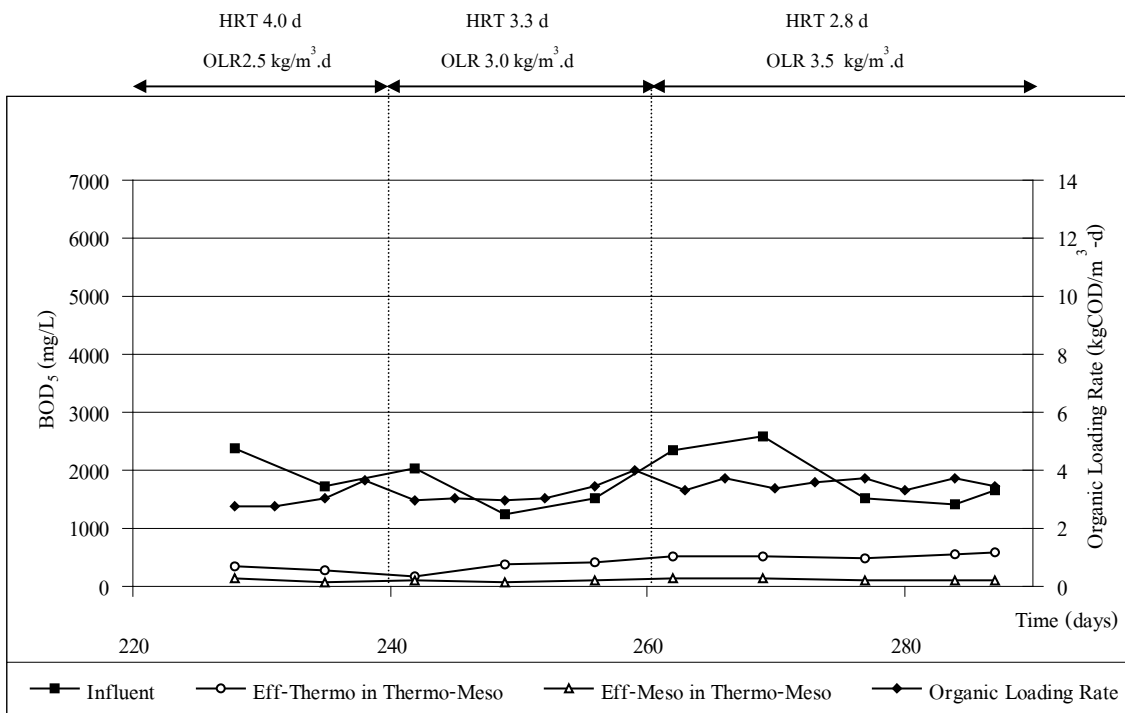




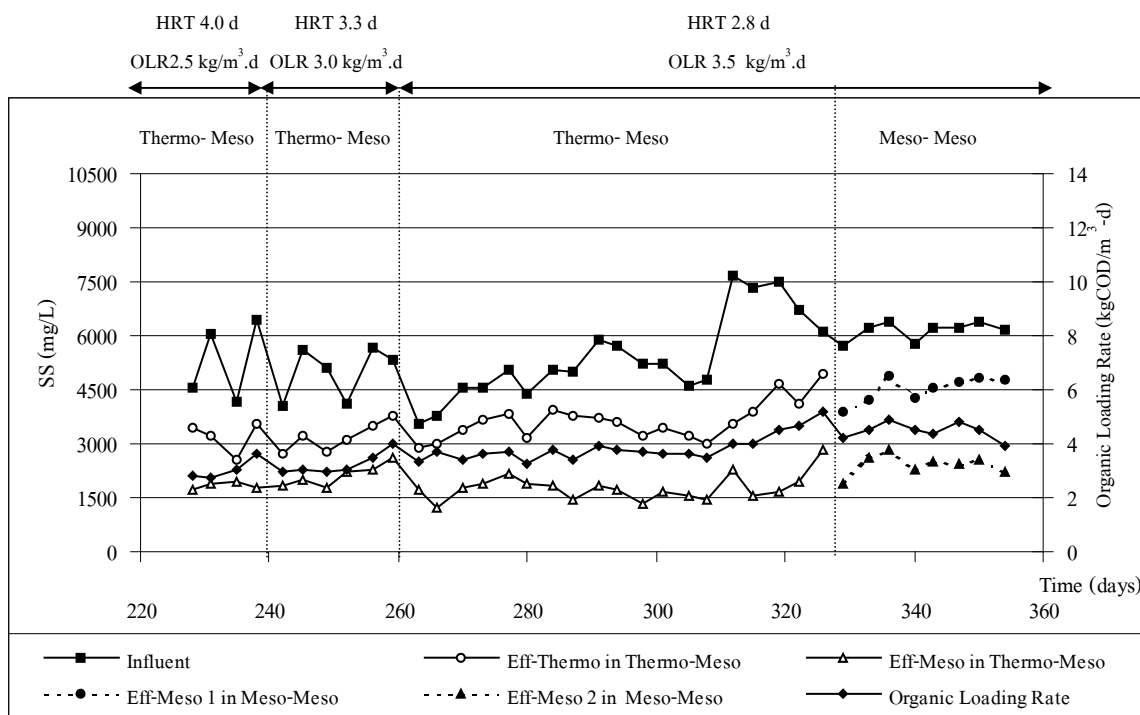
ภาพประกอบ 42 ประสิทธิภาพการบำบัด TCOD เฉลี่ยจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน ภายใต้สภาวะคงตัว (Stable Condition) ของถังปฏิกรณ์ Thermophilic และ ถังปฏิกรณ์ Mesophilic



ภาพประกอบ 43 ประสิทธิภาพการบำบัด SCOD เฉลี่ยจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน ภายใต้สภาวะคงตัว (Stable Condition) ของถังปฏิกรณ์ Thermophilic และ ถังปฏิกรณ์ Mesophilic



ภาพประกอบ 44 BOD<sub>5</sub> ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกริยา Thermophilic และถังปฏิกริยา Mesophilic



ภาพประกอบ 45 SS ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกริยา Thermophilic และถังปฏิกริยา Mesophilic

ตารางที่ 38 BOD<sub>5</sub> ของน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการบำบัดจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของ  
 ถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic ที่ OLR รวมต่างๆ กัน

ความเข้มข้นของ BOD <sub>5</sub> ในน้ำทิ้ง (mg/L)							
OLR รวม (kg/m <sup>3</sup> .d)	Thermophilic ASBR			Mesophilic ASBR			Removal รวม (%)
	Range	$\bar{X} \pm SD$	Removal (%)	Range	$\bar{X} \pm SD$	Removal (%)	
2.5	259-332	295±52	85.44	83-137	110±38	63.31	94.68
3.0	173-379	276±146	80.55	62-90	76±20	65.67	95.29
3.5	406-579	507±58	70.89	91-145	112±22	77.74	93.81

#### ฅ) การลดของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids : SS)

ระบบแบบ Thermo-Meso การทดลองของถังปฏิกรณ์ ThASBR พบว่า SS ของน้ำเสียเข้าระบบ มีค่าเท่ากับ 4,933±1,011, 5,076±1,009 และ 5,414±1,141 มก./ล. ของการทดลองที่ OLR รวมเท่ากับ 2.5, 3.0 และ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน ตามลำดับ จะเห็นว่าความเข้มข้นของ SS ในน้ำเสียเข้าระบบที่ถังปฏิกรณ์นี้มีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ จากวันแรกจนถึงสิ้นสุดการทดลอง จากการทดลองที่ OLR รวมเท่ากับ 2.50 และ 3.00 กก./ลบ.ม./วัน พบว่า ความเข้มข้นของ SS ในน้ำเสียและน้ำทิ้งมีแนวโน้มเหมือนกับ TCOD คือ ความเข้มข้นของ SS น้ำเสียเข้าระบบ มีค่าค่อนข้างคงที่ สำหรับความเข้มข้นของ SS น้ำเสียเข้าระบบในช่วงแรกของการทดลองที่ OLR รวมเท่ากับ 3.50 กก./ลบ.ม./วัน มีค่าคงที่ แต่ในช่วงท้ายของ OLR นี้มีความเข้มข้นของ SS สูงขึ้นเล็กน้อย ทำให้น้ำทิ้งจากถังนี้มีค่าสูงขึ้นด้วย (ภาพประกอบที่ 45 และ ตารางที่ 39) และเมื่อเปรียบเทียบการลด SS ของถังปฏิกรณ์ ThASBR แบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอนพบว่า ถังปฏิกรณ์ ThASBR แบบขั้นตอนเดียวสามารถลด SS เฉลี่ยร้อยละ 26.98-72.29 ซึ่งสูงกว่าถังปฏิกรณ์ ThASBR แบบสองขั้นตอน ที่ลด SS เฉลี่ยร้อยละ 31.50-36.53 ทั้งนี้เพราะถังปฏิกรณ์ ThASBR แบบสองขั้นตอนมี OLR สูงขึ้น

ส่วนที่สองการทดลองของถังปฏิกรณ์ MeASBR พบว่าความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งมีค่าค่อนข้างคงที่ตลอดการทดลองแม้จะมี OLR สูงขึ้นก็ตาม โดยตลอดการทดลอง พบว่าที่ OLR รวมเท่ากับ 2.50, 3.00 และ 3.50 กก./ลบ.ม./วัน สามารถลด SS โดยรวม (2 ถังปฏิกรณ์) เฉลี่ยร้อยละ 61.46, 60.69 และ 65.13 ตามลำดับ จะเห็นว่าการทดลองที่ OLR รวมเท่ากับ 3.00 กก./ลบ.ม./วัน มีการลด SS ได้น้อยกว่าการทดลองที่ OLR รวมเท่ากับ 2.50 และ 3.50 กก./ลบ.ม./วัน ทั้งนี้เมื่อสังเกตความเข้มข้นของ SS ในช่วงท้ายของการทดลองที่ OLR รวมเท่ากับ 3.00 กก./ลบ.ม./วัน พบว่าถังปฏิกรณ์ ThASBR มีความเข้มข้นของ SS สูงขึ้นเรื่อยๆ จากการสังเกตพบตะกอนจุลินทรีย์บางส่วน

หลุดออกมากับน้ำทิ้ง ซึ่งเกิดจากก๊าซชีวภาพดันยกตัวขึ้นตะกอนด้านล่างและดันตะกอนออกมากับน้ำทิ้ง ทำให้ความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์ MeASBR มีค่าสูงขึ้น

**ระบบแบบ Meso-Meso** พบว่าความเข้มข้นของ SS ของน้ำเสียเข้าระบบดังแรกมีค่าค่อนข้างคงที่ แต่น้ำทิ้งมีความเข้มข้นของ SS เพิ่มขึ้น สำหรับความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์ MeASBR ที่สองมีค่าค่อนข้างคงที่เมื่อน้ำเสียเข้าระบบมีความเข้มข้นของ SS เพิ่มขึ้นก็ตาม โดยการลด SS โดยรวมทั้งระบบเฉลี่ยร้อยละ 60.80 จากการทดลองนี้พบว่า การลด SS มีค่าต่ำกว่าการทดลองแบบสองขั้นตอน ที่เป็นแบบ Thermo-Meso จากการสังเกตพบว่า ปริมาณ SS ในน้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์ ThASBR ส่วนใหญ่เป็นตะกอนอินทรีย์ และมีเม็ดตะกอนจุลินทรีย์บางส่วนหลุดออกมากับน้ำทิ้งอย่างสม่ำเสมอ ส่วนที่ถังปฏิกรณ์ MeASBR พบว่าปริมาณ SS ส่วนใหญ่จะเป็นตะกอนอินทรีย์ที่หลุดออกมากับน้ำทิ้ง

เมื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบการลด SS ของระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอนแบบ Thermo-Meso ที่ OLR รวมเท่ากับ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน จะเห็นว่าระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน สามารถลด SS เฉลี่ยร้อยละ 65.13 ส่วนที่ถังปฏิกรณ์ ThASBR และ MeASBR แบบขั้นตอนเดียว สามารถลด SS เฉลี่ยร้อยละ 44.56 และ 35.30 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนสามารถลด SS ได้ดีกว่าระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวประมาณร้อยละ 25-30

ตารางที่ 39 SS ของน้ำทิ้งและความสามารถในการลดจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic ที่ OLR ต่างๆ กัน

ความเข้มข้นของ SS ในน้ำทิ้ง (mg/L)							
OLR รวม (kg/m <sup>3</sup> .d)	Thermophilic ASBR			Mesophilic ASBR			Removal รวม (%)
	Range	$\bar{X} \pm SD$	Removal (%)	Range	$\bar{X} \pm SD$	Removal (%)	
2.5	2,583-3,450	3,078±446	36.53	1,717-1,950	1,853±122	38.53	61.46
3.0	2,800-3,533	3,209±285	34.94	1,757-2,250	1,919±204	39.72	60.69
3.5	2,880-4,917	3,629±511	31.50	1,233-2,857	1,839±405	49.16	65.13

## ญ) การบำบัดสารประกอบไนโตรเจน

### 1) การบำบัดเจตาห์ลไนโตรเจน (Total Kjeldahl Nitrogen : TKN)

ระบบแบบ Thermo-Meso ในการทดลองของถังปฏิกริยา ThASBR พบว่า ความเข้มข้นของ TKN ของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง ของการทดลองที่ OLR รวมเท่ากับ 2.5, 3.0 และ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน มีค่าเท่ากับ  $722 \pm 54$ ,  $782 \pm 10$  และ  $823 \pm 41$  มก./ล. ตามลำดับ จะเห็นว่าความเข้มข้นของ TKN ในน้ำเสียเข้าระบบที่ถังปฏิกริยานี้มีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ จากการทดลองที่ OLR รวมเท่ากับ 2.5 กก./ลบ.ม./วัน พบว่าความเข้มข้นของ TKN ในน้ำทิ้งมีค่าเท่ากับ  $703 \pm 54$  มก./ล. และเมื่อเปลี่ยนการทดลองเป็น OLR รวมเท่ากับ 3.0 และ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน ความเข้มข้นของ TKN ในน้ำเสียเข้าระบบ และน้ำทิ้งมีค่าใกล้เคียงกันเกือบตลอดการทดลอง และบางครั้งน้ำทิ้งมีความเข้มข้นของ TKN สูงกว่าน้ำเสียเข้าระบบ (ภาพประกอบที่ 46 และตารางที่ 40) และเมื่อเปรียบเทียบการบำบัด TKN ของถังปฏิกริยา ThASBR แบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอน พบว่าส่วนใหญ่ถังปฏิกริยา ThASBR แบบสองขั้นตอน (บำบัด TKN เฉลี่ยร้อยละ 0.34-2.70) มีการบำบัดต่ำกว่าถังปฏิกริยา ThASBR แบบขั้นตอนเดียว (บำบัด TKN เฉลี่ยร้อยละ 2.13-23.29) ทั้งนี้เพราะถังปฏิกริยา ThASBR แบบสองขั้นตอนมี OLR สูงขึ้น และพบว่า การทดลองนี้สามารถบำบัด TKN สอดคล้องกับการศึกษาของ Sung and Santha (2003) ที่ศึกษาประสิทธิภาพของระบบ Temperature-phased anaerobic digestion (TPAD) ในการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตนมแบบสองขั้นตอนที่เป็นแบบ Thermo-Meso เมื่อพิจารณาเฉพาะถังแรก พบว่าเมื่อเพิ่ม OLR สูงขึ้น น้ำทิ้งมีความเข้มข้นของ TKN สูงขึ้นเช่นกัน โดยมีความเข้มข้นของ TKN เฉลี่ยอยู่ในช่วง 660-3,920 มก./ล. ซึ่งสูงกว่าการทดลองนี้ ส่วนการทดลองที่ถังปฏิกริยา MeASBR พบว่าเมื่อมีการเพิ่ม OLR สูงขึ้นเรื่อยๆ ถังปฏิกริยานี้สามารถบำบัด TKN ได้สูงขึ้นเรื่อยๆ

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ TKN ของน้ำเสียและน้ำทิ้งโดยรวมทั้งระบบไม่ต่างกันมาก ส่วนใหญ่ TKN จะถูกบำบัดโดยถังปฏิกริยา MeASBR โดยปริมาณ TKN ที่หายไปส่วนใหญ่ถูกใช้เป็นส่วนอาหารของตะกอนจุลินทรีย์ในการสร้างเซลล์ใหม่ และปริมาณ TKN ถูกเปลี่ยนไปเป็น  $\text{NH}_4^+ - \text{N}$

ระบบแบบ Meso-Meso พบว่าความเข้มข้นของ TKN ในน้ำเสียเข้าระบบในถังแรกมีค่าเท่ากับ  $831 \pm 20$  มก./ล. และน้ำทิ้งพบว่ามีค่าสูงและบางครั้งสูงกว่า TKN น้ำเสียเข้าระบบซึ่งมีค่าเท่ากับ  $804 \pm 46$  มก./ล. สำหรับ TKN ของน้ำทิ้งจากถังที่สองมีค่าเท่ากับ  $644 \pm 31$  มก./ล. โดยประสิทธิภาพรวม 2 ถังปฏิกริยาสามารถบำบัด TKN เฉลี่ยร้อยละ 22.54 จากการทดลองนี้พบว่าการบำบัด TKN ใกล้เคียงกับการทดลองแบบสองขั้นตอนที่เป็นแบบ Thermo-Meso

เมื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด TKN ของระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวและสองขั้นตอนแบบ Thermo-Meso ที่ OLR เท่ากัน พบว่า ระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนที่ OLR รวมเท่ากับ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน มีการบำบัด TKN ได้ร้อยละ 22.14 ส่วนที่ถึงปฏิกิริยา ThASBR และ MeASBR แบบขั้นตอนเดียว มีการบำบัด TKN ได้ร้อยละ 11.55 และ 16.72 ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่าระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนจะมีประสิทธิภาพการบำบัด TKN สูงกว่าระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวประมาณร้อยละ 5-10

ตารางที่ 40 TKN ของน้ำทิ้งและการลดจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR รวมต่างๆ กัน

ความเข้มข้นของ TKN ในน้ำทิ้ง (mg/L)							
OLR รวม (kg/m <sup>3</sup> .d)	Thermophilic ASBR			Mesophilic ASBR			Removal รวม (%)
	Range	$\bar{X}\pm SD$	Removal (%)	Range	$\bar{X}\pm SD$	Removal (%)	
2.5	665-741	703±54	2.70	558-651	604±66	14.13	16.42
3.0	734-790	762±40	2.50	610-692	651±58	14.63	16.66
3.5	734-887	821±47	0.34	586-730	638±49	22.14	22.39

ตารางที่ 41 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ของน้ำทิ้งและการลดจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกิริยา Thermophilic และถังปฏิกิริยา Mesophilic ที่ OLR รวมต่างๆ กัน

ความเข้มข้นของ NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N ในน้ำทิ้ง (mg/L)							
OLR รวม (kg/m <sup>3</sup> .d)	Thermophilic ASBR			Mesophilic ASBR			Removal รวม (%)
	Range	$\bar{X}\pm SD$	Removal (%)	Range	$\bar{X}\pm SD$	Removal (%)	
2.5	250-282	266±23	**	187-235	211±34	21.09	12.63
3.0	267-272	270±4	**	194-223	208±21	22.84	15.02
3.5	264-317	294±19	**	203-250	225±18	23.26	22.77

หมายเหตุ : \*\* ความเข้มข้นในน้ำทิ้งสูงกว่าน้ำเสียเข้าระบบ

## 2) การบำบัดแอมโมเนียไนโตรเจน (Ammonia Nitrogen : $\text{NH}_4^+\text{-N}$ )

**ระบบแบบ Thermo-Meso** ส่วนแรกทดลองที่ถังปฏิกรณ์ ThASBR พบว่าความเข้มข้นของ  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ของน้ำเสียเข้าถังปฏิกรณ์ ThASBR ของการทดลองที่ OLR รวมเท่ากับ 2.5, 3.0 และ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน มีค่าเท่ากับ  $240\pm 13$ ,  $245\pm 23$  และ  $292\pm 19$  มก./ล. ตามลำดับ จากการทดลองในช่วง OLR รวมเท่ากับ 2.5 กก./ลบ.ม./วัน พบว่า ความเข้มข้นของ  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ในน้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์นี้มีค่าสูงกว่าน้ำเสียเข้าระบบตลอดการทดลอง ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $266\pm 23$  มก./ล. (ภาพประกอบที่ 47 และตารางที่ 41) และเมื่อเข้าสู่การทดลองที่ OLR รวมเท่ากับ 3.0 และ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน น้ำทิ้งมี  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  สูงขึ้นจากเดิมและบางครั้งสูงกว่า  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  น้ำเสียเข้าระบบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $270\pm 4$  และ  $294\pm 19$  มก./ล. ตามลำดับ โดยตลอดการทดลองถังปฏิกรณ์ ThASBR ไม่สามารถบำบัด  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ได้ แต่ความเข้มข้นของ  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ในน้ำทิ้งที่เพิ่มสูงขึ้นในถังปฏิกรณ์ไม่ได้มีผลกระทบต่อระบบ เนื่องจากความเข้มข้นของ  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  จะเริ่มเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ที่สร้างมีเทนที่ความเข้มข้น 700 มก./ล. (Koster and Lettinga, 1988) และความเข้มข้นของ  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ที่เป็นพิษกับระบบต้องมีค่ามากกว่า 1,500 มก./ล. (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2543) และเมื่อเปรียบเทียบการบำบัด  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ของถังปฏิกรณ์ ThASBR แบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอน พบว่าถังปฏิกรณ์ ThASBR แบบสองขั้นตอนมีค่าต่ำกว่าถังปฏิกรณ์ ThASBR แบบขั้นตอนเดียว (บำบัด  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  เหลืออยู่ในช่วง 3.80-22.95) ทั้งนี้เพราะถังปฏิกรณ์ ThASBR แบบสองขั้นตอนมีการเพิ่ม OLR สูงขึ้น ส่วนการทดลองที่ถังปฏิกรณ์ MeASBR พบว่าเมื่อมีการเพิ่ม OLR ให้สูงขึ้น การบำบัด  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ของถังปฏิกรณ์นี้มีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ

เมื่อเปรียบเทียบอัตราส่วน  $\text{NH}_4^+\text{-N} : \text{TKN}$  ของการทดลองระบบสองขั้นตอนแบบ Thermo-Meso ที่ OLR รวมเท่ากับ 2.5, 3.0 และ 3.5 พบว่า อัตราส่วน  $\text{NH}_4^+\text{-N} : \text{TKN}$  ของน้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์ ThASBR มีค่าเท่ากับ 0.38, 0.35 และ 0.35 ส่วนถังปฏิกรณ์ MeASBR มีค่าเท่ากับ 0.35, 0.32 และ 0.35 ตามลำดับ จะเห็นว่า อัตราส่วนของ  $\text{NH}_4^+\text{-N} : \text{TKN}$  ในน้ำทิ้งทั้ง 2 ถังปฏิกรณ์ มีค่าค่อนข้างคงที่

**ระบบแบบ Meso-Meso** พบว่าความเข้มข้นของ  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ในน้ำเสียเข้าระบบในถังแรกมีค่าเท่ากับ  $277\pm 16$  มก./ล. สำหรับ  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ในน้ำทิ้งมีค่าสูงและบางครั้ง สูงกว่า  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  น้ำเสียเข้าระบบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $283\pm 15$  มก./ล. ส่วนความเข้มข้นของ  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ในน้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์ MeASBR ที่สองมีค่าเท่ากับ  $230\pm 20$  มก./ล. โดยภาพรวมทั้งระบบ สามารถบำบัด  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  เหลือร้อยละ 16.81 จากการทดลองนี้จะเห็นว่าการบำบัด  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  น้อยกว่าการทดลองสองขั้นตอนที่เป็นแบบ Thermo-Meso เล็กน้อย

เมื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบการบำบัด  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ของระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวและสองขั้นตอนแบบ Thermo-Meso ที่ OLR รวมเท่ากับ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน จะเห็นว่าระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน จะมีการบำบัด  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  เฉลี่ยร้อยละ 22.77 ส่วนที่ถึงปฏิกิริยา ThASBR และ MeASBR แบบขั้นตอนเดียว มีการบำบัด  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  เฉลี่ยร้อยละ 3.25 และ 10.16 ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่าระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนสามารถบำบัด  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  ได้สูงกว่าระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวประมาณร้อยละ 10-20

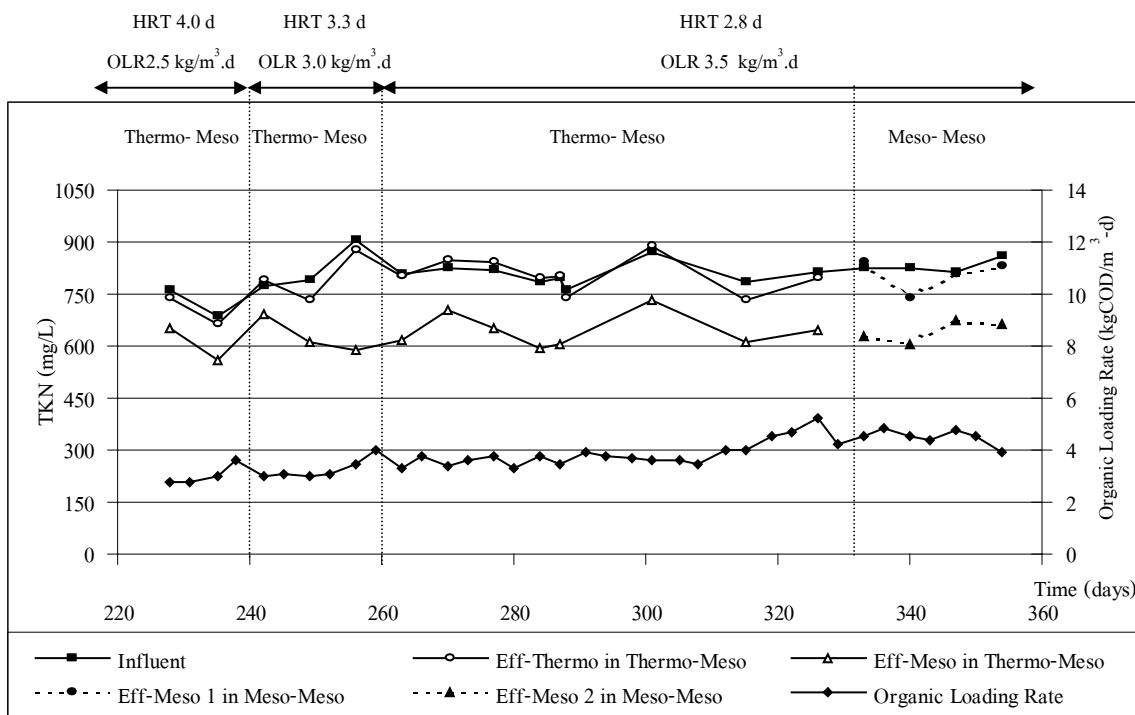
### ฎ) การบำบัดฟอสฟอรัสทั้งหมด (Total Phosphorus : TP)

**ระบบแบบ Thermo-Meso** การทดลองถึงปฏิกิริยา ThASBR พบว่าความเข้มข้นของ TP ในน้ำเสียเข้าระบบที่ OLR รวมเท่ากับ 2.5, 3.0 และ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน มีค่าเท่ากับ  $2.50 \pm 0.24$ ,  $2.54 \pm 0.18$  และ  $2.82 \pm 0.84$  มก./ล. ตามลำดับ โดยจากการทดลองเมื่อมีการเพิ่ม OLR ให้สูงขึ้น พบว่าความเข้มข้นของ TP ในน้ำทิ้งจากถึงปฏิกิริยานี้มีค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียเข้าระบบและบางครั้งสูงกว่า TP น้ำเสียเข้าระบบ (ภาพประกอบที่ 48 และตารางที่ 42) และเมื่อเปรียบเทียบการบำบัด TP ของถึงปฏิกิริยา ThASBR แบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอน พบว่าถึงปฏิกิริยา ThASBR แบบสองขั้นตอนสามารถบำบัด TP ได้สูงสุดเฉลี่ยร้อยละ 5.76 ซึ่งมีการบำบัดต่ำกว่าถึงปฏิกิริยา ThASBR แบบขั้นตอนเดียว ที่บำบัด TP เฉลี่ยร้อยละ 3.83-52.01 เนื่องจากถึงปฏิกิริยา ThASBR แบบสองขั้นตอนมี OLR สูงขึ้น ส่วนการทดลองที่ถึงปฏิกิริยา MeASBR พบว่าเมื่อมีการเพิ่ม OLR ให้สูงขึ้น ถึงปฏิกิริยานี้สามารถลด TP ได้สูงขึ้น ซึ่งต่างกับถึงปฏิกิริยา ThASBR ที่เมื่อเพิ่ม OLR ให้สูงขึ้น การบำบัด TP กลับมีค่าลดลง

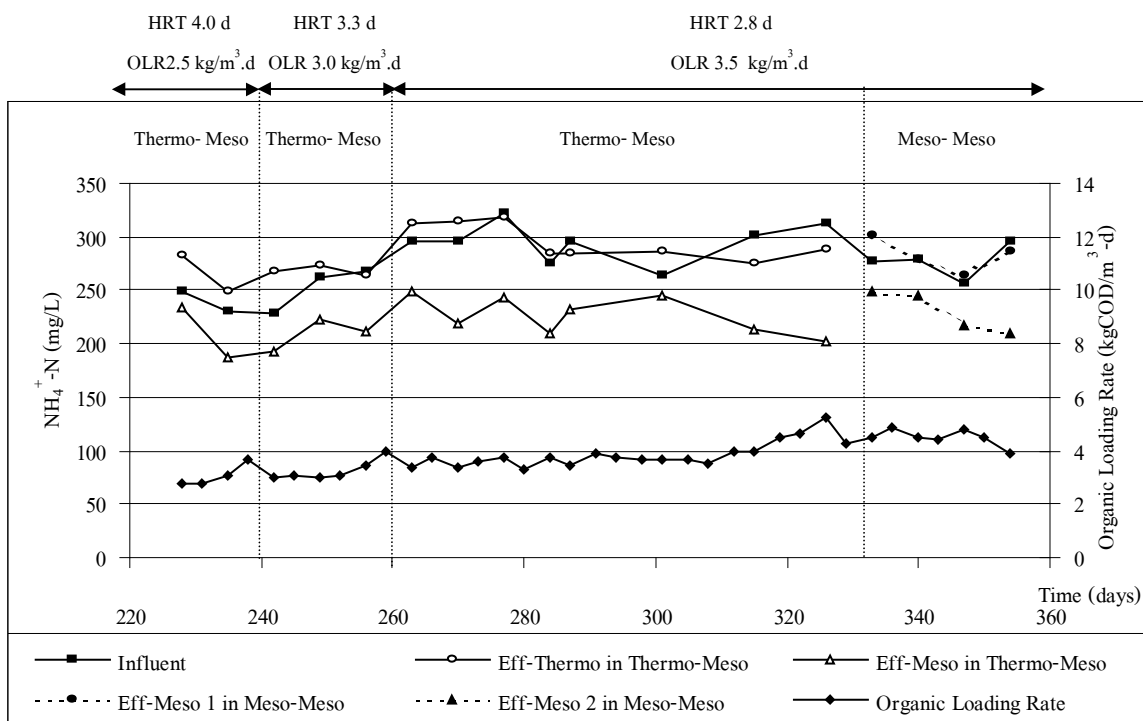
เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของ TP ของน้ำเสียและน้ำทิ้งโดยรวมทั้งระบบไม่ต่างกันมาก โดยรวมทั้งระบบบำบัด TP เฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 40 โดยส่วนใหญ่ปริมาณ TP ที่หายไปส่วนใหญ่ถูกใช้เป็นส่วนอาหารของตะกอนจุลินทรีย์ในการสร้างเซลล์ใหม่ และเมื่อพิจารณาการบำบัด TP จากการทดลองนี้พบว่า มีค่าต่ำกว่าการศึกษาของ Sung and Santha (2003) ที่บำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตนมด้วยระบบ Temperature-phased anaerobic digestion (TPAD) แบบ Thermo-Meso ที่สามารถบำบัด TP เฉลี่ยร้อยละ 80-85 จะเห็นได้ว่ามีค่าค่อนข้างสูงมาก ทั้งนี้อาจขึ้นกับคุณสมบัติของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลองแตกต่างกัน

**ระบบแบบ Meso-Meso** ไม่ได้ทำการทดลอง

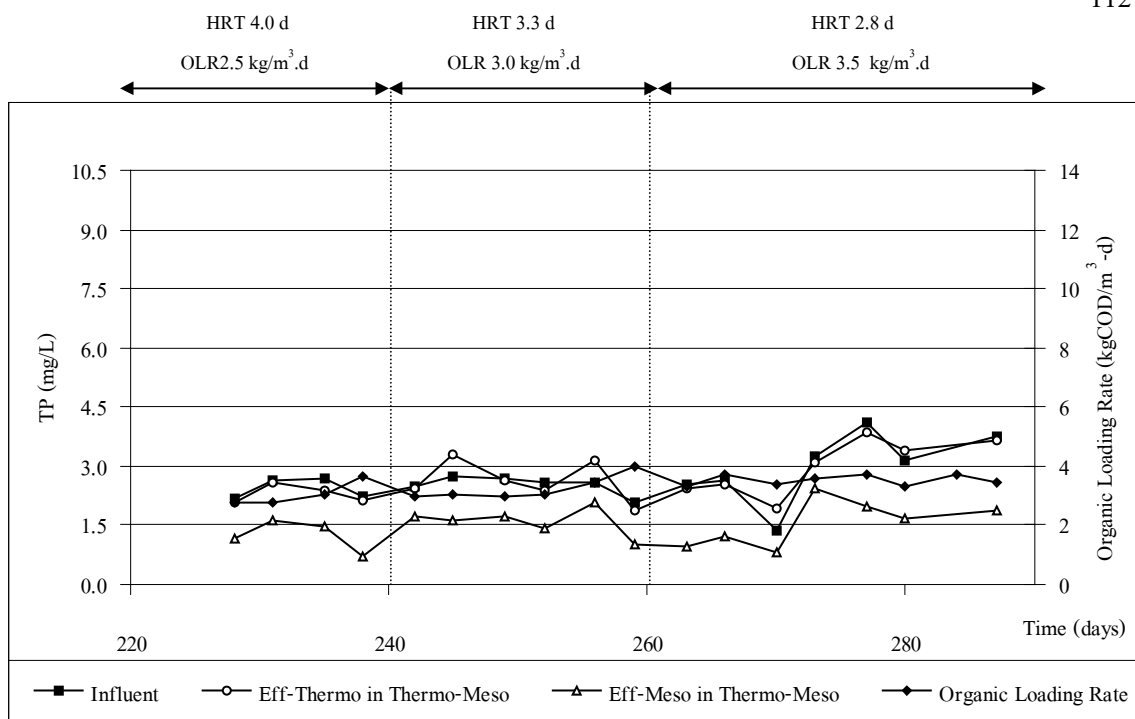




ภาพประกอบ 46 TKN ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน  
ของถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic



ภาพประกอบ 47 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน  
ของถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic



ภาพประกอบ 48 TP ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของ  
 ดั้งปฏิภิกิริยา Thermophilic และดั้งปฏิภิกิริยา Mesophilic

เมื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบการบำบัด TP ของระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวและ  
 แบบสองขั้นตอนแบบ Thermo-Meso ที่ OLR รวมเท่ากับ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน พบว่าระบบ ASBR  
 แบบสองขั้นตอนมีการบำบัด TP เฉลี่ยร้อยละ 44.26 ส่วนระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวมีการ  
 บำบัด TP เฉลี่ยร้อยละ 6.82 และ 14.59 ของดั้งปฏิภิกิริยา ThASBR และ MeASBR ตามลำดับ จากผล  
 การทดลองจะเห็นว่าระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนสามารถบำบัด TP ที่สูงกว่าระบบ ASBR แบบ  
 ขั้นตอนเดียวประมาณร้อยละ 30-35

ตารางที่ 42 TP ของน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการบำบัดจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของ  
 ดั้งปฏิภิกิริยา Thermophilic และดั้งปฏิภิกิริยา Mesophilic ที่ OLR รวมต่างๆ กัน

ความเข้มข้นของ TP ในน้ำทิ้ง (mg/L)							
OLR รวม (kg/m <sup>3</sup> .d)	Thermophilic ASBR			Mesophilic ASBR			Removal รวม (%)
	Range	$\bar{X} \pm SD$	Removal (%)	Range	$\bar{X} \pm SD$	Removal (%)	
2.5	2.10-2.57	2.36±0.24	5.76	1.19-1.62	1.42±0.22	39.94	43.39
3.0	2.12-3.31	2.57±0.45	**	0.70-1.72	1.44±0.43	44.30	44.17
3.5	1.88-3.87	2.88±0.73	**	0.79-2.42	1.57±0.58	46.36	44.26

หมายเหตุ : \*\* ความเข้มข้นในน้ำทิ้งสูงกว่าน้ำเสียเข้าระบบ

### ฎ) การบำบัดน้ำมันและไขมัน (Oil and Grease)

**ระบบแบบ Thermo-Meso** ในการทดลองของถังปฏิกรณ์ ThASBR พบว่าความเข้มข้นของ Oil and Grease ในน้ำเสียเข้าระบบที่ OLR รวมเท่ากับ 2.5, 3.0 และ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน มีค่าเท่ากับ  $110 \pm 11$ ,  $104 \pm 9$  และ  $124 \pm 28$  มก./ล. ตามลำดับ จะเห็นว่าน้ำเสียเข้าระบบมีค่าค่อนข้างคงที่สำหรับน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการบำบัดจากระบบแบบ Thermo-Meso ตลอดการทดลองแสดง ดังตารางที่ 43 จากการทดลองที่ถังปฏิกรณ์นี้ พบว่าความเข้มข้นของ Oil and Grease ในน้ำทิ้งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ OLR สูงขึ้น และบางครั้งมีค่าใกล้เคียงกับน้ำเสียเข้าระบบ (ภาพประกอบที่ 49) และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัด Oil and Grease ของถังปฏิกรณ์ ThASBR แบบขึ้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอน พบว่าถังปฏิกรณ์ ThASBR แบบขึ้นตอนเดียวสามารถบำบัด Oil and Grease เฉลี่ยร้อยละ 10.41-40.44 ซึ่งสูงกว่าถังปฏิกรณ์ ThASBR แบบสองขั้นตอน ที่สามารถบำบัด Oil and Grease เฉลี่ยร้อยละ 2.62-8.35 ทั้งนี้เพราะถังปฏิกรณ์ ThASBR แบบสองขั้นตอนมี OLR สูงขึ้น ซึ่งต่างกับการทดลองที่ถังปฏิกรณ์ MeASBR ที่พบว่าเมื่อมีการเพิ่ม OLR ให้สูงขึ้น ประสิทธิภาพการบำบัด Oil and Grease ก็สูงขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้อาจมีการสะสมของ Oil and Grease ภายในระบบ

เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพการบำบัด Oil and Grease โดยรวม 2 ถังปฏิกรณ์มีค่าสูงมากกว่าร้อยละ 50 คิดเป็นประสิทธิภาพร้อยละ 56.69, 56.61 และ 57.46 ของการทดลองที่ OLR รวมเท่ากับ 2.5, 3.0 และ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน ตามลำดับ โดยส่วนใหญ่ปริมาณ Oil and Grease จะถูกบำบัดโดยถังปฏิกรณ์ MeASBR แต่จากการสังเกต พบว่าอุณหภูมิในช่วง Thermophilic การรวมตัวของน้ำเสียกับ Oil and Grease จะเกิดขึ้นได้ดีกว่า ทำให้ Oil and Grease หลุดออกมากับน้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์ ThASBR มากกว่าถังปฏิกรณ์ MeASBR และเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบปริมาณ Oil and Grease สะสมอยู่ด้านบนและจับตัวอยู่กับผนังถังและท่อสูบน้ำเข้า-ออกภายในถังปฏิกรณ์ทั้ง 2 ปริมาณมาก โดยเฉพาะถังปฏิกรณ์ MeASBR มีชั้น Oil and Grease อยู่มากกว่า ทำให้สูญเสียปริมาตรของถังปฏิกรณ์ในการบำบัด ฉะนั้นการบำบัดน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสกัดน้ำมันปาล์มควรจะมีการ Pretreatment น้ำเสียเพื่อดึงเอาน้ำมันออกจากน้ำเสียให้มากที่สุด

**ระบบแบบ Meso-Meso** พบว่าความเข้มข้น Oil and Grease ของน้ำเสียเข้าระบบในถังแรกมีค่าเท่ากับ  $142 \pm 11$  มก./ล. ส่วนน้ำทิ้งมีค่าสูงและบางครั้งสูงกว่าความเข้มข้นของ Oil and Grease น้ำเสียเข้าระบบ ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $137 \pm 15$  มก./ล. ส่วนความเข้มข้นของ Oil and Grease ของน้ำทิ้งจากถังปฏิกรณ์ MeASBR ที่สองมีค่าเท่ากับ  $81 \pm 6$  มก./ล. โดยประสิทธิภาพรวมทั้งระบบสามารถบำบัด Oil and Grease เฉลี่ยร้อยละ 42.89 จากการทดลองนี้เห็นว่าประสิทธิภาพในการบำบัด Oil and Grease มีค่าต่ำกว่าการทดลองสองขั้นตอนแบบ Thermo-Meso ประมาณร้อยละ 14

เมื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด Oil and Grease ของระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอนแบบ Thermo-Meso ที่ OLR เท่ากัน คือ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน พบว่าระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนมีประสิทธิภาพในการบำบัด Oil and Grease เฉลี่ยร้อยละ 57.46 ส่วนที่ถึงปฏิภิกิริยา ThASBR และ MeASBR แบบขั้นตอนเดียว มีประสิทธิภาพในการบำบัด Oil and Grease เฉลี่ยร้อยละ 17.26 และ 26.97 ตามลำดับ จากผลการทดลองจะเห็นว่าระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนจะมีประสิทธิภาพการบำบัด Oil and Grease สูงกว่าระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวประมาณร้อยละ 30-40

ตารางที่ 43 Oil and Grease ของน้ำทิ้งและประสิทธิภาพการบำบัดจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิภิกิริยา Thermophilic และถังปฏิภิกิริยา Mesophilic ที่ OLR รวมต่างๆ กัน

ความเข้มข้นของ Oil and Grease ในน้ำทิ้ง (mg/L)							
OLR รวม (kg/m <sup>3</sup> .d)	Thermophilic ASBR			Mesophilic ASBR			Removal รวม (%)
	Range	$\bar{X} \pm SD$	Removal (%)	Range	$\bar{X} \pm SD$	Removal (%)	
2.5	93-108	101 $\pm$ 11	8.35	41-54	48 $\pm$ 9	52.75	56.69
3.0	91-103	96 $\pm$ 6	7.46	39-50	45 $\pm$ 6	52.87	56.61
3.5	100-177	121 $\pm$ 30	2.62	39-91	54 $\pm$ 22	56.30	57.46

ตารางที่ 44 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิภิกิริยา Thermophilic และถังปฏิภิกิริยา Mesophilic ที่ OLR รวมต่างๆ กัน

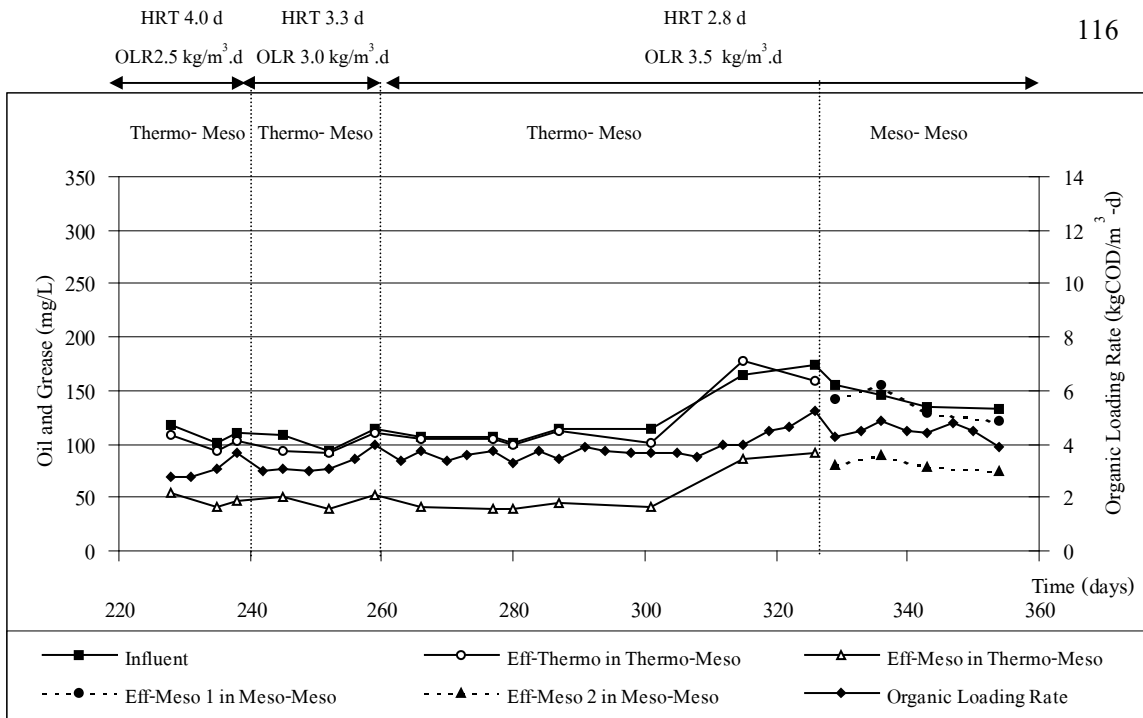
อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของแบบจำลองระบบ (mL/d)							
OLR รวม (kg/m <sup>3</sup> .d)	Thermophilic ASBR			Mesophilic ASBR			ปริมาตร รวมทั้งหมด (L)
	Range	$\bar{X} \pm SD$	ปริมาตรรวม (L)	Range	$\bar{X} \pm SD$	ปริมาตรรวม (L)	
2.5	921-1,000	965 $\pm$ 27	8.68	317-476	414 $\pm$ 60	3.73	12.41
3.0	905-1,159	1,033 $\pm$ 65	10.40	381-619	516 $\pm$ 54	5.22	15.62
3.5	1,000-1,444	1,231 $\pm$ 83	88.60	508-825	724 $\pm$ 67	52.14	140.74

### จ) อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ (Biogas production)

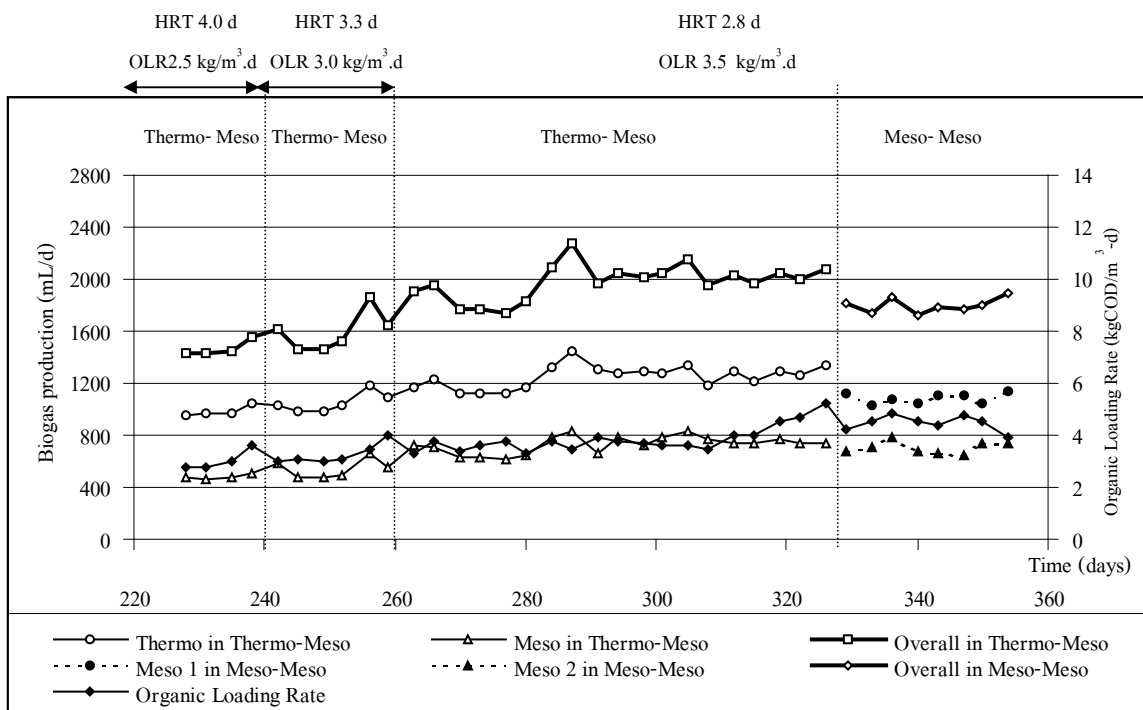
**ระบบแบบ Thermo-Meso** เมื่อพิจารณาในการวัดปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นจากระบบบำบัดน้ำเสียจำลองที่มีการเชื่อมต่อกับระบบเข้าด้วยกัน กำหนดครั้งแรกเป็นถังปฏิกรณ์ ThASBR ส่วนถังที่สองเป็นถังปฏิกรณ์ MeASBR จากผลการทดลองพบว่าระบบบำบัดน้ำเสียจำลองทั้ง 2 ถังปฏิกรณ์ในห้องปฏิบัติการมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพตลอดระยะเวลาการทดลองแสดง ดังตารางที่ 43 โดยการทดลองที่ถังปฏิกรณ์ ThASBR พบว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจะสูงขึ้นเมื่อ OLR รวมของระบบสูงขึ้น (ภาพประกอบที่ 50) สอดคล้องกับประสิทธิภาพในการบำบัด TCOD (ภาพประกอบที่ 38) โดยมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วง 965-1,231 มล./วัน คิดเป็นปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อปริมาตรถังเท่ากับ 0.19-0.25 ล./ล./วัน ส่วนถังปฏิกรณ์ Mesophilic พบว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพสูงขึ้น เมื่อ OLR รวมของระบบสูงขึ้นเช่นกัน โดยมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพอยู่ในช่วง 414-724 มล./วัน คิดเป็นปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นต่อปริมาตรถังเท่ากับ 0.08-0.14 ล./ล./วัน จากการทดลองนี้จะเห็นว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพโดยรวมทั้งระบบจะสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อมีการเพิ่ม OLR เช่นเดียวกับประสิทธิภาพการบำบัด TCOD

**ระบบแบบ Meso-Meso** พบว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากถังแรกมีค่าไม่สูงนัก (เปรียบเทียบกับแบบ Thermo-Meso ที่ OLR รวมเท่ากับ 3.5 กก./ลบ.ม./วัน) แม้จะมี OLR สูงขึ้นเล็กน้อย เพราะมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ (TCOD) เฉลี่ยร้อยละ 46.07 สังเกตได้จากความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายที่เกิดขึ้นน้อยและค่อนข้างคงที่ (ภาพประกอบที่ 35) ทำให้ถังปฏิกรณ์ MeASBR ถังแรกนี้มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพเฉลี่ยเท่ากับ 1,090 คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อปริมาตรถังเท่ากับ 0.22 ล./ล./วัน ส่วนถังที่สองมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ค่อนข้างคงที่โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 699 มล./วัน คิดเป็นอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อปริมาตรถังเท่ากับ 0.14 ล./ล./วัน ซึ่งจากการทดลองนี้พบว่า อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพมีค่าต่ำกว่าการทดลองแบบสองขั้นตอนที่แบบ Thermo-Meso

เมื่อนำผลการทดลองระบบ ASBR ที่เดินระบบแบบขั้นตอนเดียวและสองขั้นตอนแบบ Thermo-Meso มาเปรียบเทียบกับอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพที่ OLR เท่ากัน คือ 3.50 กก./ลบ.ม./วัน พบว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพของระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน(2 ถังปฏิกรณ์) มีค่าสูงกว่าแบบขั้นตอนเดียว ประมาณ 2-3 เท่า (มล./วัน) และพบว่าอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งแบบขั้นตอนเดียวและสองขั้นตอนแบบ Thermo-Meso มีอัตราการผลิตก๊าซสูงขึ้นเมื่อ OLR สูงขึ้น



ภาพประกอบ 49 ความเข้มข้นของ Oil and Grease ของน้ำเสียและน้ำทิ้งจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic

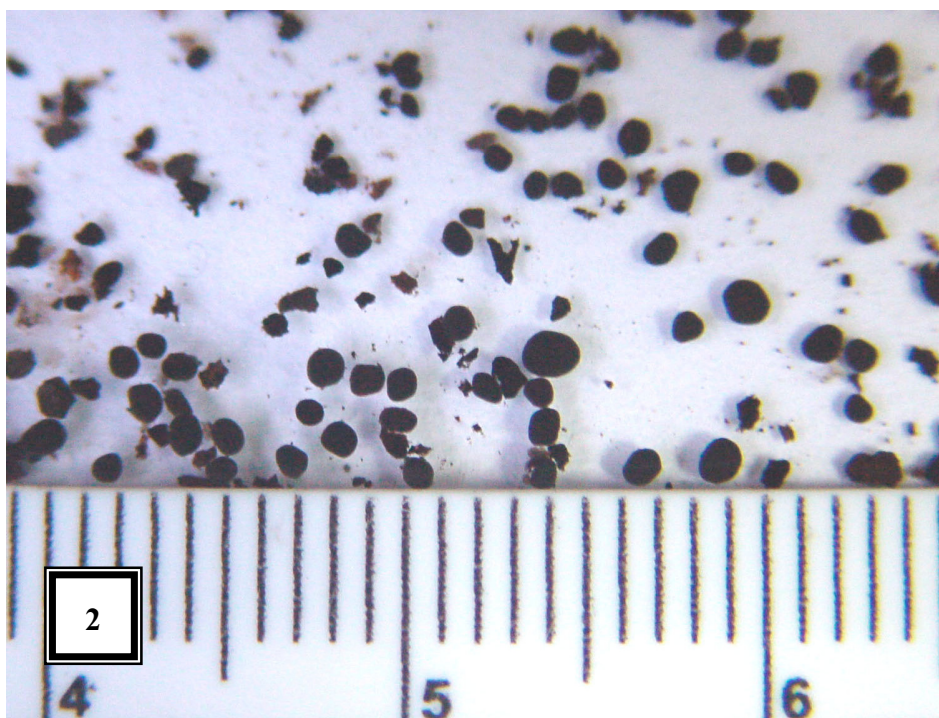
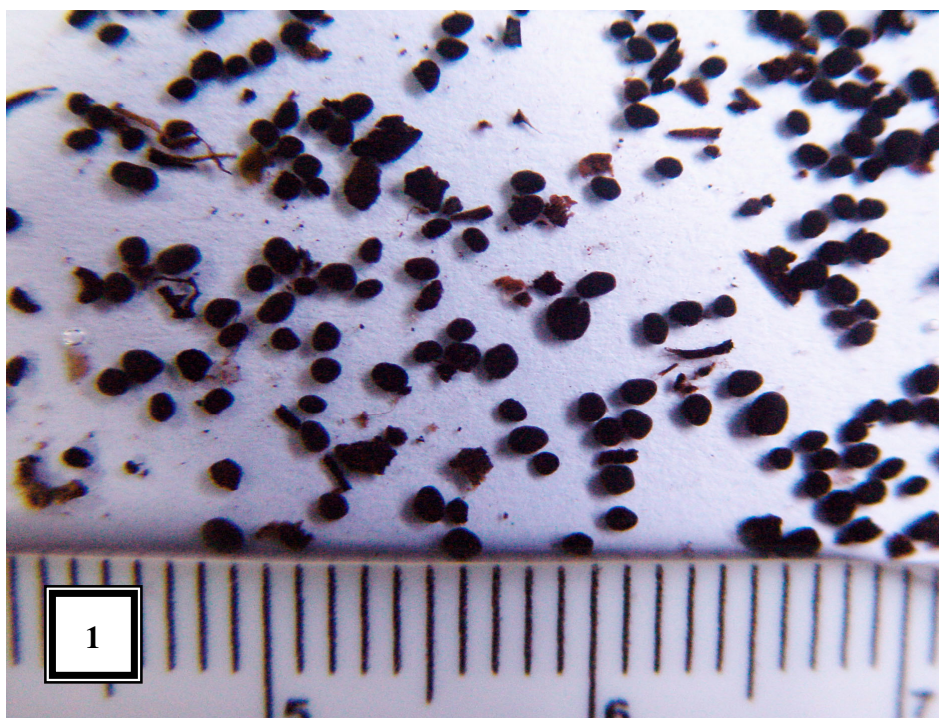


ภาพประกอบ 50 อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพจากระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของ ถังปฏิกรณ์ Thermophilic และถังปฏิกรณ์ Mesophilic สำหรับองค์ประกอบของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่ได้จากระบบแบบ Thermo-Meso และ Meso-Meso พบว่ามีค่าร้อยละ 20-58 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของชนวัฒน์ นิตส์นวิจิตร

(2543) ที่ทำการเปรียบเทียบถึงปฏิกิริยา CSTR กับ UASB ในกระบวนการสร้างกรดของน้ำเสียจากอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์นม พบว่ามีปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ยร้อยละ 19.00-53.70 และพบว่าระบบแบบ Thermo-Meso และแบบ Meso-Meso มีองค์ประกอบของก๊าซมีเทน (ร้อยละ) ค่อนข้างน้อย ซึ่งสาเหตุที่การทดลองนี้มีปริมาณก๊าซมีเทนน้อยดังกล่าวมาแล้วข้างต้นในเรื่ององค์ประกอบของก๊าซมีเทนของการทดลองระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว

### 3.2.3 ตะกอนจุลินทรีย์ภายในถังปฏิกิริยา

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ได้ทำการหาปริมาณจุลินทรีย์ภายในถังปฏิกิริยาทั้ง 2 ในรูปของ MLSS โดยลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์เป็นเม็ดสีดำแสดงดังภาพประกอบที่ 51 จากการทดลองพบว่า ถังปฏิกิริยา ThASBR ในระบบ Thermo-Meso (ในช่วงท้ายของการทดลองปรับเป็นถังปฏิกิริยา Mesophilic) มีความเข้มข้นของ MLSS เท่ากับ 35,670 มก./ล. และมีความเข้มข้นของ MLVSS เท่ากับ 23,476 มก./ล. ส่วนถังปฏิกิริยา MeASBR ในระบบ Thermo-Meso และ Meso-Meso มีความเข้มข้นของ MLSS เท่ากับ 20,910 มก./ล. และมีความเข้มข้นของ MLVSS เท่ากับ 16,120 มก./ล. คิดเป็นอัตราส่วนของ MLVSS : MLSS เท่ากับ 0.66 และ 0.77 ของถังปฏิกิริยา ThASBR และ MeASBR ตามลำดับ โดยในช่วงการเริ่มต้นระบบทำการเติมเชื้อตั้งต้นทั้ง 2 ถังปฏิกิริยาให้ความเข้มข้นของ MLSS ประมาณ 18,000 มก./ล. และอัตราส่วนของ MLVSS : MLSS เท่ากับ 0.73 จะเห็นว่าการทดลองที่ถังปฏิกิริยา ThASBR มีอัตราส่วนของ MLVSS : MLSS น้อยกว่าในช่วงเริ่มต้นระบบ อาจเนื่องจากมีสารอินทรีย์และเศษของแข็งอื่นๆ โดยจากการสังเกตเมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าถังปฏิกิริยา ThASBR มีเศษของแข็งอยู่มากกว่าถังปฏิกิริยา MeASBR ทั้งนี้ทั้งนี้ยังมี pH (กลางถึงค่อนข้างต่ำ) และสภาพต่างที่สูงกว่าด้วย ซึ่งอาจเกิดการสะสมของไอออนต่างๆ ในรูปผลึกเกลือ (Struvite) (Stumm and Morgan, 1970 และ Snoeyink and Jenkins, 1980) ส่วนการทดลองที่ถังปฏิกิริยา MeASBR มีอัตราส่วนของ MLVSS : MLSS สูงกว่าช่วงเริ่มต้นระบบ อาจเป็นเพราะ SS มีการตกตะกอน ครั้งที่ 2 ในถังปฏิกิริยานี้ หรือตะกอนจุลินทรีย์มีการเพิ่มสูงขึ้นเมื่อ OLR สูงขึ้น



ภ ๑ พ

ประกอบ 51 ลักษณะของตะกอนจุลินทรีย์ภายในระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนของถัง  
 ปฏิกริยา Thermophilic (1) และถังปฏิกริยา Mesophilic (2) หลังสิ้นสุดการทดลอง  
 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณตะกอนจุลินทรีย์ของถังปฏิกริยา ThASBR กับถังปฏิกริยา



MeASBR พบว่าภายในถังปฏิกรณ์ ThASBR มีปริมาณตะกอนจุลินทรีย์น้อยกว่า แต่อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพการบำบัด TCOD ของถังปฏิกรณ์ ThASBR ยังมีค่าสูงกว่าถึงแม้ว่ามีจำนวนตะกอนจุลินทรีย์น้อยกว่าก็ตาม ทั้งนี้เพราะอุณหภูมิช่วง Thermophilic การทำงานของตะกอนจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนจะเจริญได้อย่างรวดเร็วและสามารถรับปริมาณสารอินทรีย์ได้เป็นจำนวนมากกว่าอุณหภูมิในช่วง Mesophilic แม้จะมี HRT น้อยก็ตาม (Forday and Greenfield, 1982)

### 3.2.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว และแบบสองขั้นตอนในรูปแบบของถังปฏิกรณ์ Thermophilic และ Mesophilic

เมื่อนำผลการทดลองระบบ ASBR ที่เดินระบบแบบขั้นตอนเดียวและแบบสองขั้นตอนมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ที่อัตราภาระบรรทุก (OLR) เท่ากัน คือ ที่ OLR เท่ากับ 3.50 กก./ลบ.ม./วัน (HRT ใกล้เคียงกัน) ซึ่งมีอัตราส่วนของถังแรกและถังที่สองเท่ากับ 1 : 2.4 ดังแสดงในตารางที่ 45 โดยประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ (TCOD) ของระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวมีประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบสองขั้นตอนอยู่ประมาณร้อยละ 14-20 ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการเดินระบบแบบสองขั้นตอน ตะกอนสารอินทรีย์ (SS) มีการตกตะกอนภายในถังปฏิกรณ์ได้ 2 ครั้ง สังกัดได้จากความเข้มข้นของ SS ที่ระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวมีการกำจัดได้น้อยกว่าระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนประมาณร้อยละ 20-30 ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูง ส่วนประสิทธิภาพการบำบัด SCOD มีค่าไม่ต่างกันมากนัก โดยระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียวมีการกำจัดได้น้อยกว่าระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนประมาณร้อยละ 11-13 และจากผลการทดลองนี้แสดงให้เห็นว่า ที่ OLR เท่ากัน ระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนจะมีประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์สูงกว่าระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว

### 3.2.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน ที่เป็นแบบ Thermo-Meso และ Meso-Meso

เมื่อนำผลการทดลองระบบ ASBR แบบสองขั้นตอนที่เป็นแบบ Thermo-Meso และแบบ Meso-Meso มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดที่ OLR เท่ากับ 3.50 กก./ลบ.ม./วัน (ตารางที่ 46) พบว่าประสิทธิภาพในการบำบัด TCOD และ SS ที่เป็นแบบ Thermo-Meso จะมีประสิทธิภาพบำบัดสูงกว่าแบบ Meso-Meso ประมาณร้อยละ 4 และ 5 ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะการที่ถังแรกเป็นถังปฏิกรณ์ ThASBR การทำงานของจุลินทรีย์ในขั้นตอนการไฮโดรไลซิส (Hydrolysis) และการผลิตกรด (Acidogenesis) สามารถเกิดขึ้นได้เร็วกว่า สังกัดได้จากความเข้มข้นของกรดระเหยง่ายในน้ำทิ้งของถังปฏิกรณ์ ThASBR จะมีค่าสูงกว่าในกรณีที่ถังปฏิกรณ์แรกเป็น MeASBR

โดยกระบวนการไฮโดรไลซิซจะเปลี่ยนรูปอนุภาคสารอินทรีย์ที่ซับซ้อนเป็นสารประกอบละลายน้ำที่มีน้ำหนักโมเลกุลน้อยลง ส่วนกระบวนการผลิตกรดจะเปลี่ยนสารอินทรีย์ที่เกิดจากการย่อยสลายของ จุลินทรีย์ในกลุ่มแรกให้เป็นกรดอินทรีย์และสารอื่นๆ ทำให้กลุ่มจุลินทรีย์ในขั้นตอนการผลิตก๊าซมีเทน (Methanogenesis) สามารถนำกรดอินทรีย์และสารอื่นๆ ไปใช้ในการย่อยสลายแล้วเปลี่ยนเป็นก๊าซชีวภาพออกมาสูงกว่า ซึ่งสังเกตได้จากอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพทั้งสองถึงปฏิกิริยาของการทดลองแบบ Thermo-Meso เกิดขึ้นสูงกว่าเช่นกัน

ตารางที่ 45 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว และแบบสองขั้นตอนของถังปฏิกริยา Thermophilic และถังปฏิกริยา Mesophilic

รายการ	ระบบ ASBR แบบขั้นตอนเดียว		ระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน		
	Thermophilic	Mesophilic	Thermophilic	Mesophilic	ทั้งระบบ
Working volum (L)	5	5	5	5	10
TCOD Influent (mg/L)	10,388	10,388	11,245	5,125	11,245
OLR (kg/m <sup>3</sup> .d)	3.5	3.5	12.00	2.56	3.5
HRT (d)	2.86	2.86	0.83	2.00	2.83
Color removal (%)	32.41	12.21	16.69	30.81	42.48
TCOD removal (%)	64.02	58.01	54.04	51.74	77.84
SCOD removal (%)	47.7	49.18	31.02	42.95	60.90
BOD <sub>5</sub> removal (%)	91.17	91.63	70.89	77.74	93.81
SS removal (%)	44.56	35.30	31.50	49.16	65.13
TKN removal (%)	11.55	16.72	0.34	22.14	22.39
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N removal (%)	3.25	10.16	**	23.26	22.77
TP removal (%)	6.82	14.59	**	46.36	44.26
Oil and Grease removal (%)	17.26	26.97	2.62	56.30	57.46
Biogas production					
- (mL/d)	621	559	1,231	724	1,955
- (L/L/d)	0.12	0.11	0.25	0.14	0.20

หมายเหตุ : \*\* ความเข้มข้นในน้ำทิ้งสูงกว่าน้ำเสียเข้าระบบ

ตารางที่ 46 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการบำบัดสารอินทรีย์ของระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน

ที่เป็นแบบ Thermo-Meso และ Meso-Meso

รายการ	ระบบ ASBR แบบสองขั้นตอน					
	การทดลองแบบ Thermo-Meso			การทดลองแบบ Meso-Meso		
	Thermophilic	Mesophilic	ทั้งระบบ	Mesophilic	Mesophilic	ทั้งระบบ
Alkalinity (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	3,697	3,703	-	3,646	3,592	-
Volatile Fatty Acid (mg/L as CH <sub>3</sub> COOH)	356	209	-	277	197	-
Color removal (%)	16.69	30.81	42.48	5.95	21.49	26.18
TCOD removal (%)	54.04	51.74	77.84	46.07	50.65	73.31
SCOD removal (%)	31.02	42.95	60.90	21.98	40.68	53.80
SS removal (%)	31.50	49.16	65.13	26.41	46.68	60.80
TKN removal (%)	0.34	22.14	22.39	3.23	19.86	22.54
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N removal (%)	**	23.26	22.77	**	18.56	16.81
Oil and Grease removal (%)	2.62	56.30	57.46	3.29	40.91	42.89
Biogas production						
- (mL/d)	1,231	724	1,955	1,090	699	1,789
- (L/ L/d)	0.25	0.14	0.20	0.22	0.14	0.18

หมายเหตุ : \*\* ความเข้มข้นในน้ำทิ้งสูงกว่าน้ำเสียเข้าระบบ