



ผลของการทดลองและการวิจารณ์

5.1 พีเอช, กรดโวลาทิล, สภาวะความเป็นต่างและปริมาณก๊าซ

จากรูปที่ 13, 14, 15, 16, 17, และ 18 จะเห็นได้ว่าในช่วงแรก ๆ นั้น อัตราการเกิดก๊าซมีการผันแปรอยู่ในช่วงกว้าง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมีภายในถังหมัก แต่เมื่อทำงาน (Operate) มาได้ระยะเวลาหนึ่งระบบทางชีววิทยาภายในถังหมักก็สามารถปรับตัวเข้าสู่สภาวะสมดุล โดยที่ปริมาณของแบคทีเรียที่เกิดขึ้นจะเท่ากับส่วนที่ตายไป ทำให้อัตราการใช้สารอาหาร (Rate of substrate utilization) เริ่มคงที่ และเป็นผลให้อัตราการเกิดก๊าซที่เป็นผลพลอยได้ของขบวนการนี้อยู่ในระดับที่ค่อนข้างคงที่เช่นกัน

สำหรับ พีเอช (pH) และความเป็นต่างในถังหมักนั้นสามารถควบคุมได้โดยการเติม NaHCO_3 หรือ NH_4HCO_3 เข้าไปในปริมาณที่พอเพียงที่จะเป็นบัฟเฟอร์ (Buffer) ให้แก่ถังหมักและควบคุมพีเอชให้คงที่ตามต้องการ ซึ่งเสถียรภาพ (Stability) ของระบบจะดูได้จากอัตราส่วนของความเข้มข้นของกรดโวลาทิล ต่อค่าความเป็นต่างของระบบและพบว่าระหว่าง 0.1 ถึง 0.3 ระบบจะมีเสถียรภาพสูง

ส่วนความเข้มข้นของกรดโวลาทิลนั้น จากการทดลองพบว่าถ้าความเข้มข้นของกรดโวลาทิลต่ำกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรสัมพันธ์กับอะซิติก (mg/l as acetic) จะเป็นอาหารที่จำเป็นสำหรับแบคทีเรียที่สร้างมีเทน (Methanogenic Bacteria) เพราะว่าคุณภาพความเข้มข้นของกรดโวลาทิลในช่วงดังกล่าวนี้ ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้น อยู่ในสภาพปกติ มิได้แสดงให้เห็นผลในทางตรงข้ามของกรดโวลาทิลเลย แต่เมื่อความเข้มข้นของกรดโวลาทิลเพิ่มขึ้นมาเรื่อย ๆ จนมากกว่า 2,500 มก /ล สัมพันธ์ กับ อะซิติก จะพบว่ามันเริ่มมีผลต่อแบคทีเรียที่สร้างมีเทนแล้ว โดยที่เกิดการสะสมของกรดโวลาทิลเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และ อัตราการเกิดก๊าซในแต่ละวันลดลงอย่างเห็นได้ชัด

ในการควบคุมพีเอชในถังหมักนี้มีค่าอยู่ในช่วง 6.6-7.3 ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อปฏิกิริยาชีววิทยาแบบไร้ออกซิเจนโดยที่ค่าพีเอชสามารถให้เป็นตัวบ่งชี้สภาวะในถังหมักได้ ขณะที่พีเอชเปลี่ยนไปจำเป็นต้องปรับระบบให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมจึงมีการเติม NaHCO_3 หรือ NH_4HCO_3 ลงไปเพื่อปรับค่าพีเอชในถังหมัก ในการทดลองนี้สามารถรักษาสภาวะดังกล่าวไว้ได้อย่างไรก็ตาม การใช้พีเอชเป็นตัวบ่งชี้สภาวะในถังหมักมีการเปลี่ยนแปลงช้า เนื่องจากผลของการขับฟเอร์ของความเป็นต่างในถังหมัก

ความเป็นต่างในถังหมักมีความจำเป็นในการควบคุมสภาวะสัมฤทธิ์ของการหมัก ความเป็นต่างส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไบคาร์บอเนต สำหรับค่าความเป็นต่างไบคาร์บอเนตที่เหมาะสมเพื่อที่จะให้มีความสามารถในการขับฟเอร์อย่างเพียงพออยู่ในช่วงระหว่าง 2500-5000 มิลลิกรัมต่อลิตร การเพิ่มความเป็นต่างไบคาร์บอเนตจะทำให้ระบบมีความสามารถที่จะทนทานต่อการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วของกรดโวลาทิล (9) ในการทดลองนี้ที่อัตราการจ่ายสารอินทรีย์เท่ากับ $0.8 \text{ กก. TVS/ม}^3\text{-วัน}$ ที่ HRT เท่ากับ 25 วัน ค่าความเป็นต่างในช่วง 3 เท่าของ HRT มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 6000-8000 มิลลิกรัมต่อลิตรมีผลทำให้อัตราการเกิดกาซสูงถึง 9.12 ± 0.50 ลิตรต่อวัน แต่เปอร์เซ็นต์ของกาซมีเทนต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ HRT ที่ 15 วัน เมื่ออัตราการเกิดกาซใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เนื่องจากไบคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-) ถูกเปลี่ยนไปเป็นกาซคาร์บอนไดออกไซด์มากทำให้ปริมาณกาซที่ออกมามีเปอร์เซ็นต์ของคาร์บอนไดออกไซด์สูง

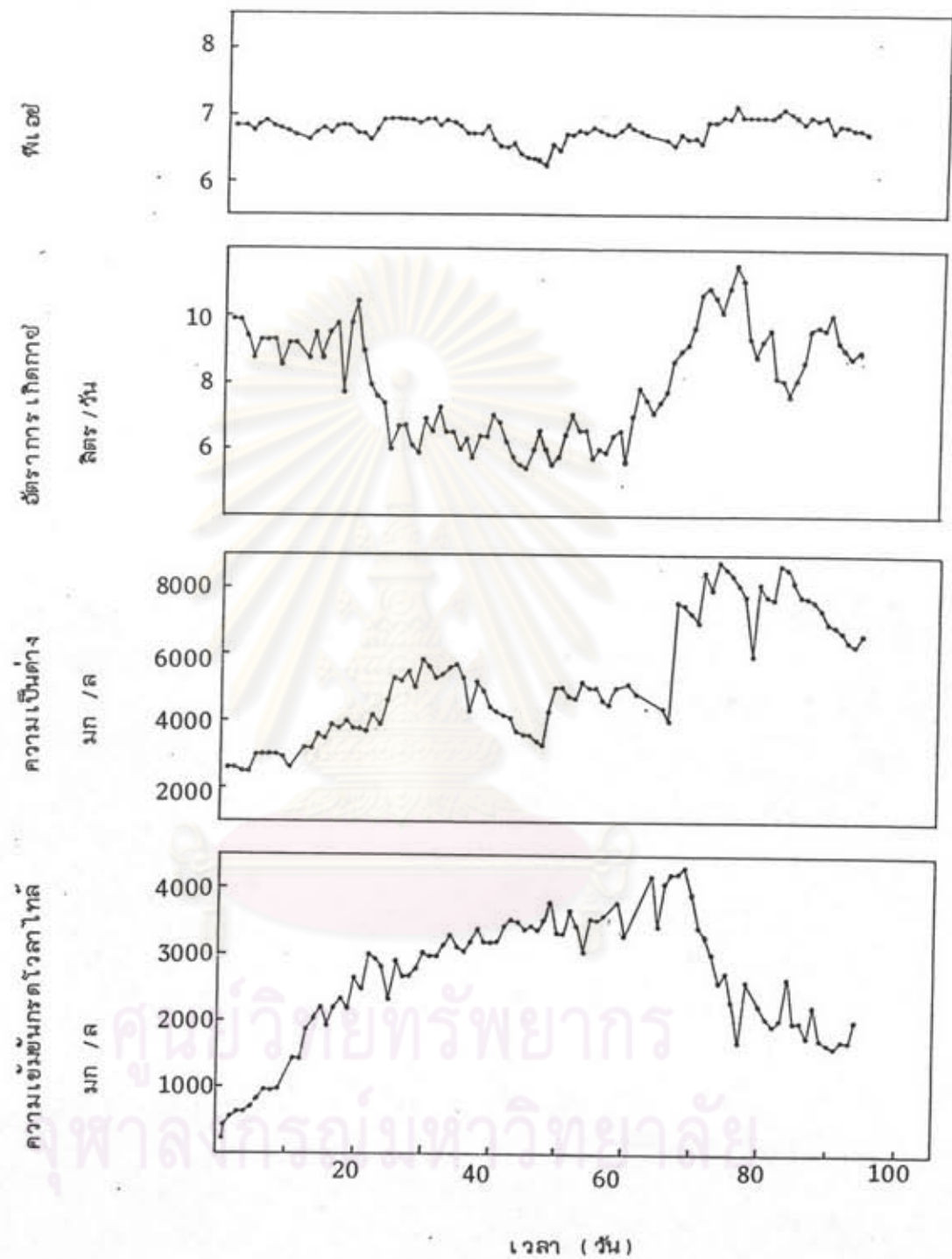
ความเข้มข้นกรดโวลาทิล ภายในถังหมักจะต้องไม่เกิน 2000-3000 มิลลิกรัมต่อลิตร (28) เพราะจะทำให้ปริมาณกาซลดลง และอาจจะหยุดยั้งขั้นตอนการเกิดมีเทน โดยไม่คำนึงถึงพีเอชเลย และการเติมต่างเข้าไปก็จะไม่ช่วยให้ระบบดีขึ้น กรดโวลาทิลนี้จะทำปฏิกิริยากับความเป็นต่างไบคาร์บอเนต เกิดเป็นกาซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้นจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบและอัตราการเกิดของกาซ

เนื่องจากในการสร้างมีเทน กรดอะซิติกเป็นสารอาหารที่แบคทีเรียที่สร้างมีเทนใช้ในการย่อยสลายในการทดลองนี้ ความเข้มข้นของกรดโวลาทิลจะอยู่ในช่วง 150-1000 มิลลิกรัมต่อลิตร สัมมูลย์กับ อะซิติก ยกเว้นในกรณีมีอัตราการจ่ายสารอินทรีย์เท่ากับ $0.8 \text{ กก. TVS/ม}^3\text{-วัน}$ ที่ HRT เท่ากับ 25 วัน ความเข้มข้นของกรดโวลาทิลจะอยู่ในช่วง 2000-4000 มิลลิกรัมต่อลิตร สัมมูลย์กับอะซิติก มีผลให้ปริมาณกาซมีเทนที่ได้ มีค่าเพียง 3-5 ลิตรต่อวัน

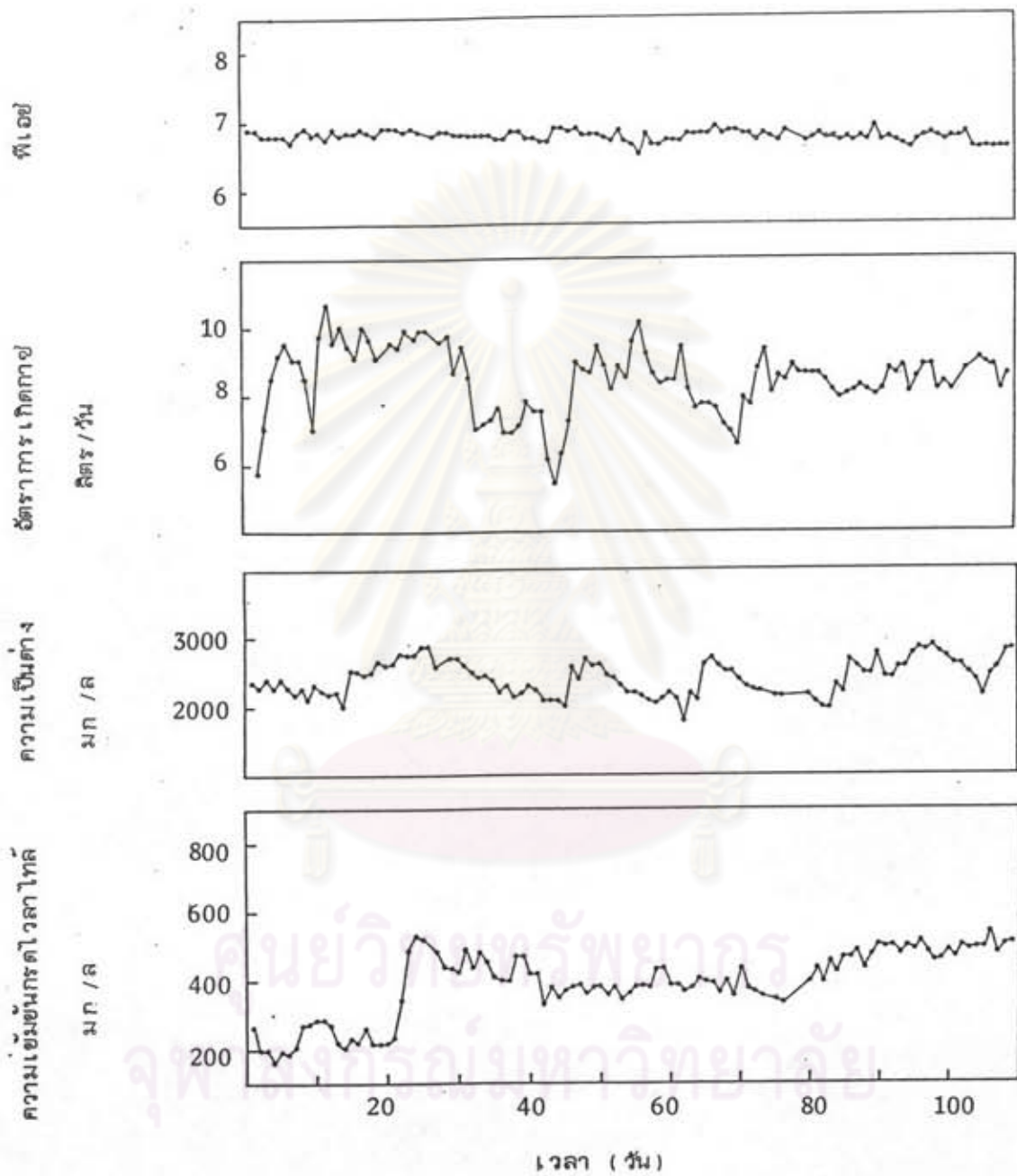
หรือ เมื่อคิดเทียบกับปริมาณของ ถังหมักที่ใช้ (50 ลิตร) จะได้ก๊าซมีเทน 0.06-0.10 ลิตรต่อลิตรของถังหมักต่อวัน ดังนั้นในการนำผักตบชวามาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ ต้องคำนึงถึงเงินลงทุนในการสร้างถังหมัก อย่างไรก็ตามการผลิตก๊าซชีวภาพจะคุ้มหรือไม่เมื่อเทียบกับเชื้อเพลิงชนิดอื่น ลัภาวะทางเศรษฐกิจสังคมและสิ่งแวดล้อมของท้องถิ่น ในสหรัฐอเมริกาพบว่า มูลค่าทางด้านเชื้อเพลิงของก๊าซชีวภาพไม่เหมาะสมทางเศรษฐกิจ สำหรับประเทศ- ropyพัฒนา หรือประเทศที่กำลังพัฒนา ความเหมาะสมจะเพิ่มขึ้น เพราะการนำสารอินทรีย์มาหมัก นอกจากจะได้เชื้อเพลิงคือก๊าซชีวภาพแล้วยังเกิดประโยชน์อื่น ๆ อีกหลายประการ เช่นกากที่เหลือจากถังหมักสามารถนำไปเป็นปุ๋ยได้ ช่วยเพิ่มความอุดมสมบูรณ์แก่ดิน การใช้อำนาจชีวภาพยังช่วยลดการไถ่ำน ซึ่งจะช่วยบรรเทาปัญหาการทำลายทรัพยากรป่าไม้



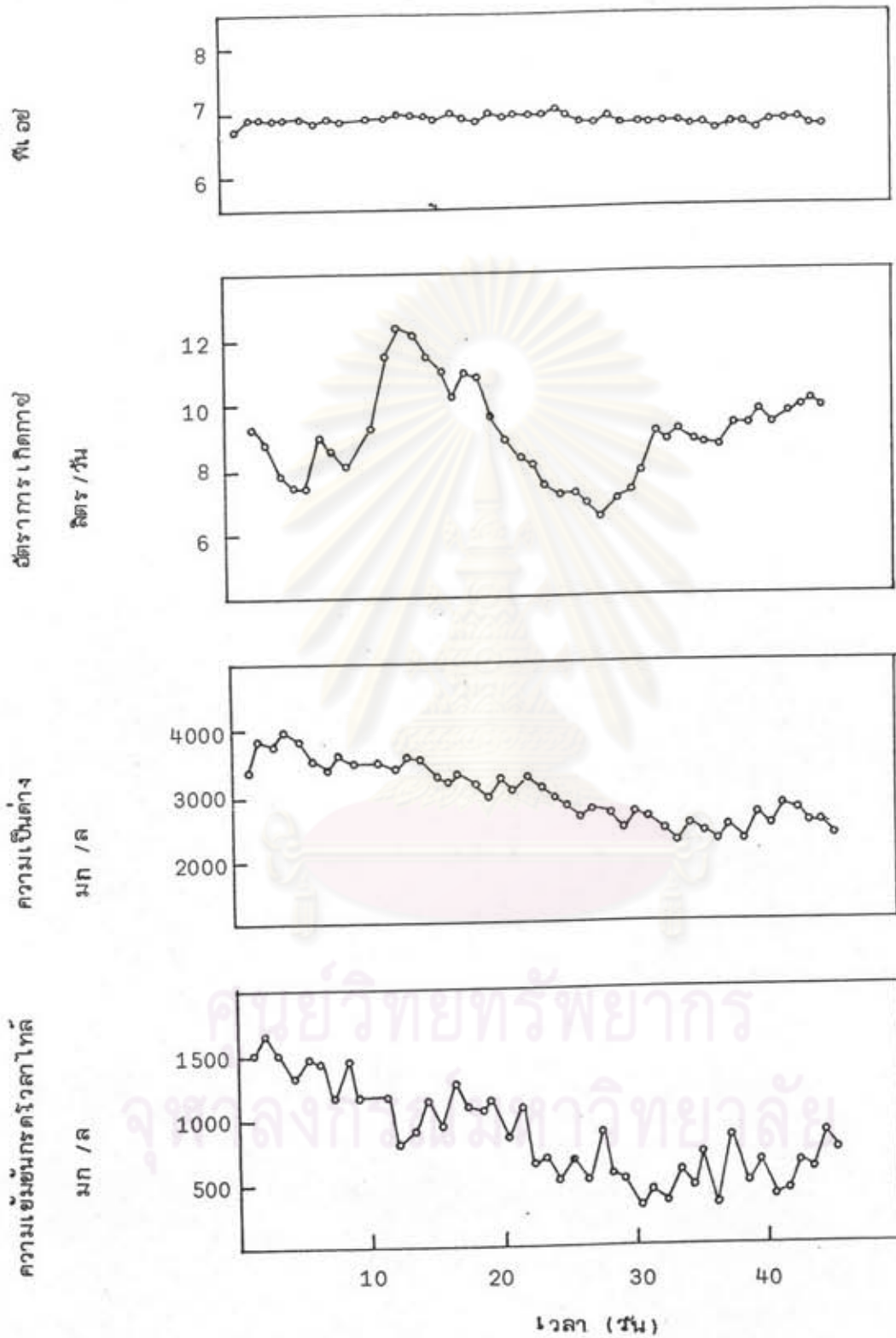
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



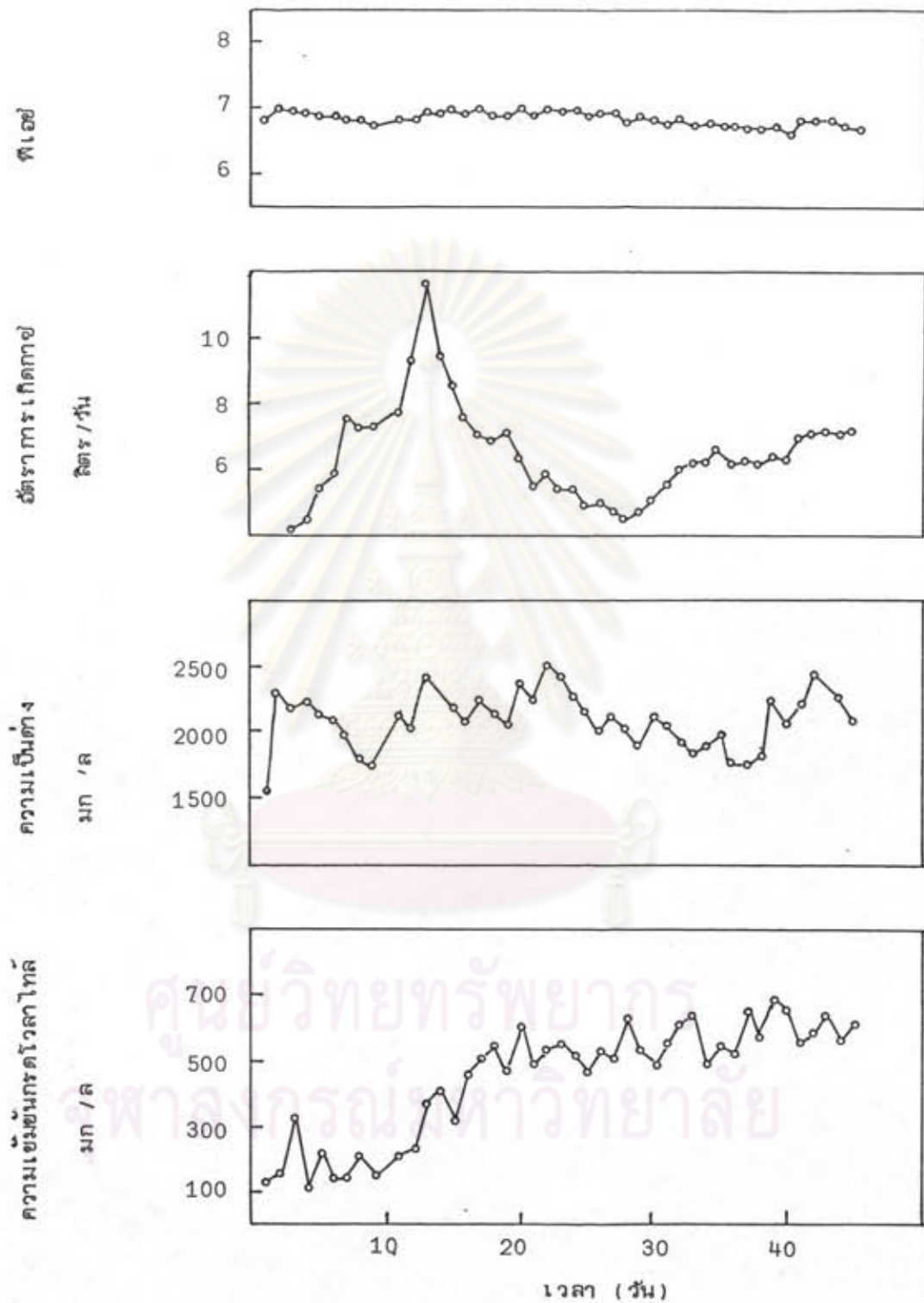
รูปที่ 13 การเปลี่ยนแปลงของพีเอช, อัตราการเกิดทัวริดีตี, ความเบ้เป็นต่าง และกรด-ไวโอลาโทล ที่อัตราการจ่ายสารอินทรีย์ เท่ากับ 0.8 กก. TVS/ม³-วัน HRT เท่ากับ 25 วัน



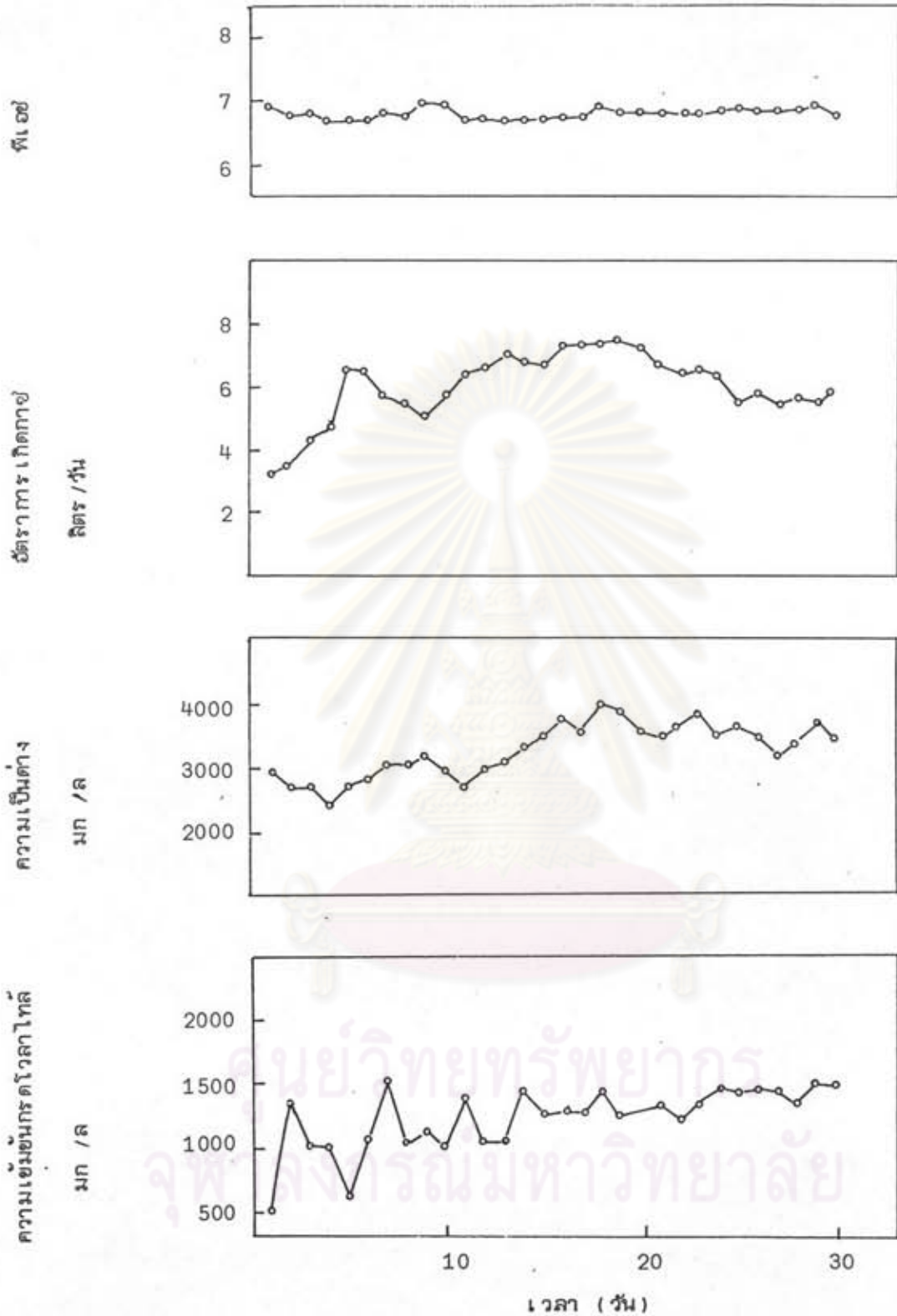
รูปที่ 14 การเปลี่ยนแปลงของพีเอช, อัตราการเกิดกาฬ, ความเป็นด่าง, และกรดไวลาไทล์ ที่อัตราการจ่ายสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กก. TVS/ม³ - วัน HRT เท่ากับ 25 วัน



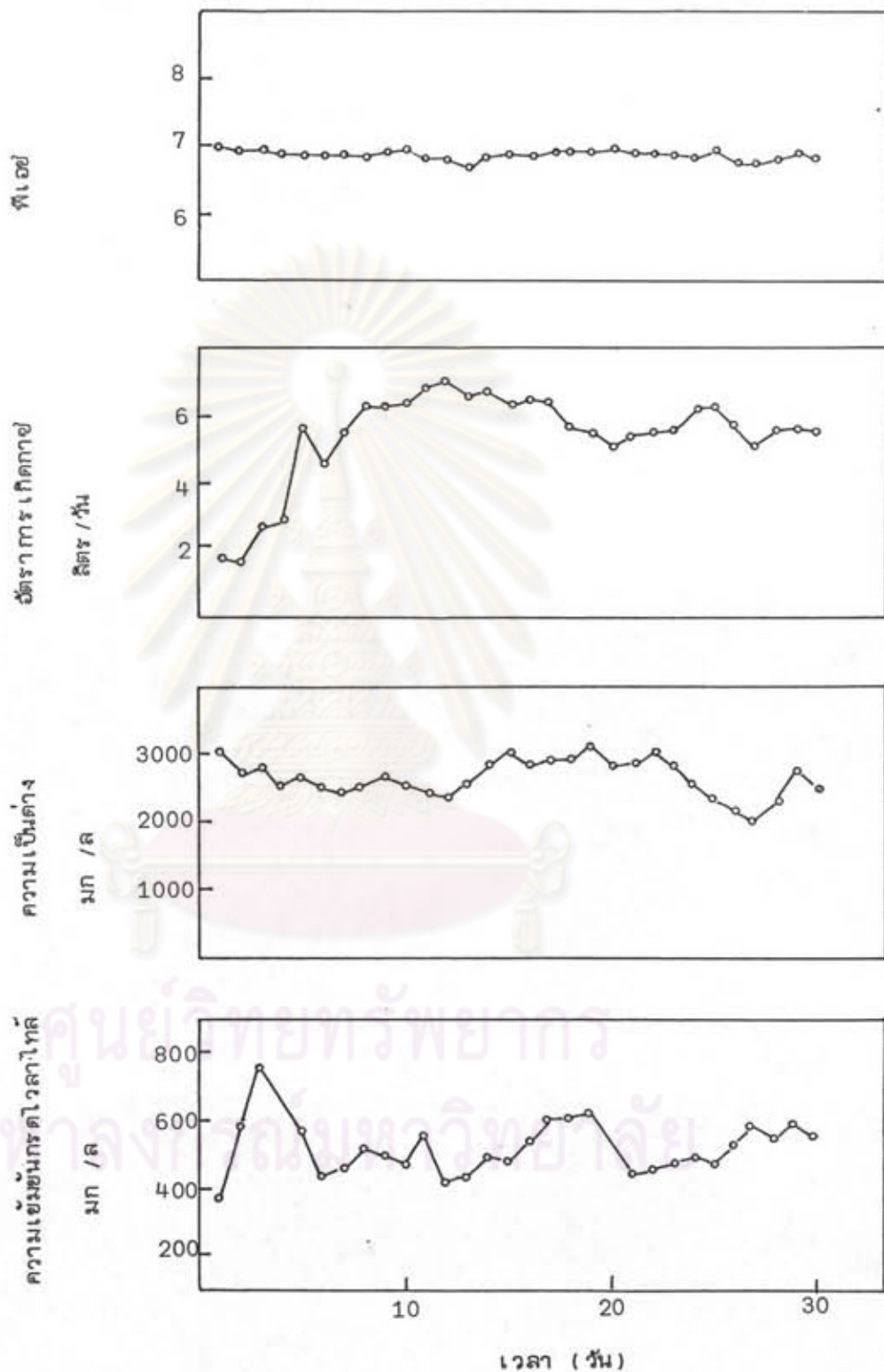
รูปที่ 15 การเปลี่ยนแปลงของทีเอส, อัตราการเกิดก๊าซ, ความแตกต่าง และกรดโวลลาไทล์ ที่อัตราการจ่ายสารอินทรีย์ เท่ากับ 0.8 กก. TVS/ม³-วัน HRT เท่ากับ 15 วัน



รูปที่ 16 การเปลี่ยนแปลงของพีเอช, อัตราการเกิดทึบ, ความเป็นต่าง และ กรดไวโอลิต ที่อัตราการจ่ายสารอินทรีย์ เท่ากับ 0.5 กก. TVS/ม³ -วัน HRT เท่ากับ 15 วัน



รูปที่ 17 การเปลี่ยนแปลง ของพีเอช, อัตราการเกิดกาฬ, ความเป็นต่าง และ กรดโวลลาโทล ที่อัตราการจ่ายสารอินทรีย์ เท่ากับ 0.8 กก. TVS/ m^3 -วัน HRT เท่ากับ 10 วัน



รูปที่ 18 การเปลี่ยนแปลงของพีเอช, อัตราการเกิดทัวริดีตี, ความเข้นต่าง และ กรดไวล่าไทล์ ที่อัตราการจ่ายสารอินทรีย์ เท่ากับ 0.5 กก. TVS/ m^3 -วัน HRT เท่ากับ 10 วัน

5.2 ผลและอิทธิพลของระยะเวลาในการหมักต่อการเกิดก๊าซชีวภาพ

จากตารางที่ 14 แสดงถึงคุณลักษณะของสลัดจ์ที่ออกจากระบบที่ระยะเวลาในการหมัก (HRT) ต่าง ๆ กัน จะเห็นได้ว่าที่ค่าอัตราการจ่ายสารอินทรีย์เท่ากับ 0.8 กก. TVS/ม³-วัน การควบคุมถังหมักให้ทำงานที่ HRT เท่ากับ 15 วัน จะให้ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ 9.33 ± 0.46 ลิตร/วันซึ่งจะให้ผลผลิตของก๊าซมีเทนเท่ากับ 5.39 ± 0.26 ลิตร/วัน ดังรูปที่ 19 และที่ค่าอัตราการจ่ายสารอินทรีย์เท่ากับ 0.5 กก. TVS/ม³-วัน การควบคุมถังหมักให้ทำงานที่ HRT เท่ากับ 25 วัน จะให้ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นสูงสุดเท่ากับ 8.57 ± 0.34 ลิตร/วัน ซึ่งจะให้ผลผลิตของก๊าซมีเทนเท่ากับ 4.76 ± 0.15 ลิตร/วัน ดังรูปที่ 20 และมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนอยู่ร้อยละ 54-64

จากผลการวิจัยนี้ แสดงว่า ผักตบชวา สามารถนำมาผลิตก๊าซมีเทนได้โดยวิธีการย่อยสลายแบบไร้ออกซิเจน (Anaerobic Digestion) ที่ค่าอัตราการจ่ายสารอินทรีย์ 0.8 ถึง 0.5 กก. TVS/ม³-วัน ที่ระยะเวลาในการหมัก 10, 15 และ 25 วัน พบว่าปริมาณก๊าซที่ได้อยู่ในระหว่าง 5.64 ถึง 9.33 ลิตรต่อวัน และมีองค์ประกอบของก๊าซมีเทนอยู่ร้อยละ 54-64

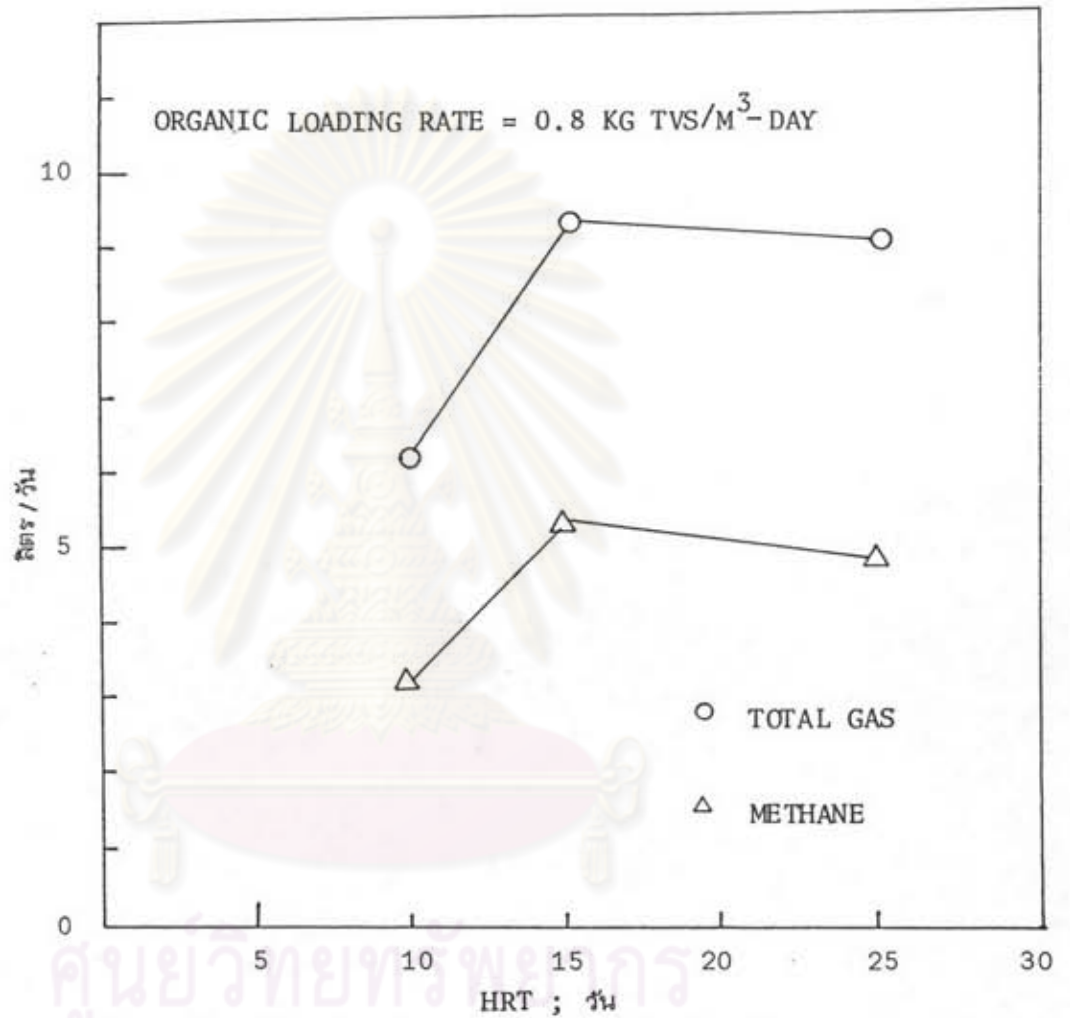
ในการทดลองนี้พบว่าที่ระยะเวลาในการหมักที่นานกว่าจะให้ปริมาณก๊าซต่อวันมากกว่า ดังรูปที่ 20 จะให้ปริมาณก๊าซต่อวันสูงสุดที่ระยะเวลาในการหมัก 25 วัน และจากรูปที่ 19 ที่ระยะเวลาในการหมัก 25 วัน จะให้ปริมาณก๊าซต่อวันน้อยกว่าที่ระยะเวลาในการหมัก 15 วัน ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของกรดโวลาทิลที่ค่าอัตราการจ่ายสารอินทรีย์เท่ากับ 0.8 กก. TVS/ม³-วัน ที่ HRT 25 วัน จะอยู่ในช่วง 2,000-4,000 มิลลิกรัมต่อลิตรสัมพันธ์กับอะซิติก (mg/l as acetic) ซึ่งจากรายงานของ Mc Carty (11) ในช่วงที่ความเข้มข้นของกรดโวลาทิลมากกว่า 2,000 มก /ล สัมพันธ์กับ อะซิติก จะพบว่ามันเริ่มเป็นพิษต่อแบคทีเรียที่สร้างมีเทนแล้ว โดยที่ไม่ขึ้นกับค่าของ pH การหมักการผลิตก๊าซเกิดขึ้นจากการสะสมของกรดโวลาทิล

เนื่องจากแบคทีเรียที่สร้างกรด (Acid Forming Bacteria) ใช้เวลาในการผลิต simple organic ซึ่งเป็นสารอาหาร (intermediate) ในการผลิตก๊าซมีเทนเร็วกว่าแบคทีเรียที่สร้างมีเทน (Methane Forming Bacteria) ซึ่งใช้เวลาในการสลาย simple organic ให้เป็นก๊าซมีเทน Richard R. Dague (12) (ระยะเวลาของการ regeneration ก๊าซมีเทนโดยแบคทีเรียที่สร้างมีเทนที่ 37^oซ. ใช้เวลา 2-11 วัน) ดังนั้นในระยะเวลาที่นานกว่าแบคทีเรียที่สร้างมีเทนที่ระยะเวลาในการย่อยสลายได้ดีกว่า จึงมีผลทำให้ปริมาณก๊าซต่อวันมากกว่า

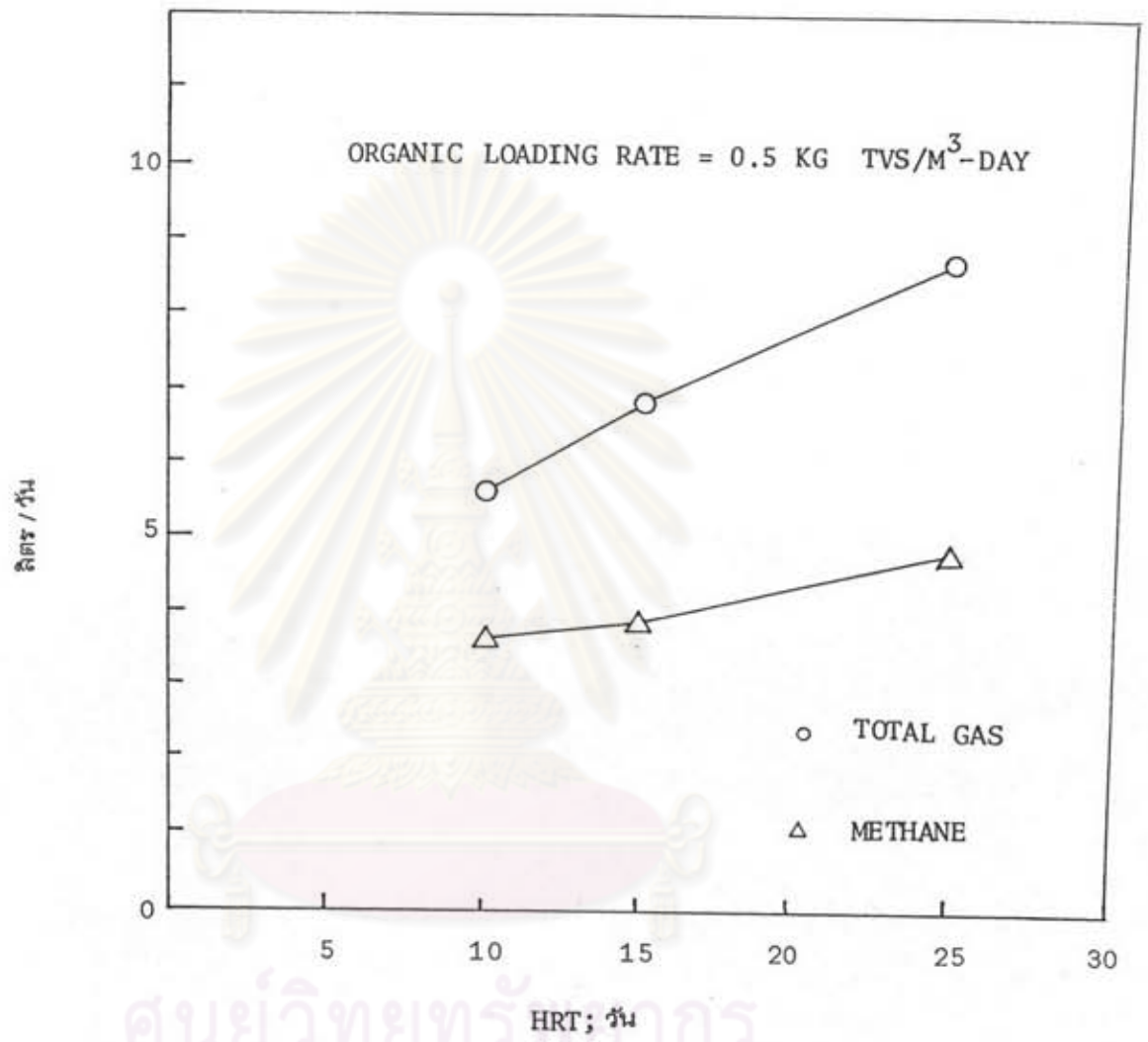
ตารางที่ 14 แสดงปริมาณก๊าซ องค์ประกอบของก๊าซ และคุณลักษณะของ กากตะกอนที่ออกจากระบบที่ระยะเวลาการหมักต่าง ๆ กัน

ภาวะ บรรทุก	ทรามิเตอร์ HRT (วัน)	ปริมาณ ก๊าซทั้งหมด l/d	CH ₄ ร้อยละ	CH ₄ l/d	CH ₄ TVS REDN l/g	N mg/l	P mg./l	K mg./l	TVS. REDN g/d
0.8 กก TVS/ม ³ -วัน	25	9.12±0.50	54.12±2.19	4.93±0.30	0.27±0.02	817.31±38.24	45.00±5.69	1335.00±69.72	18.41
	15	9.33±0.46	57.80±1.28	5.39±0.26	0.33±0.03	435.96±71.52	40.92±12.06	854.08±63.14	16.47
	10	6.21±0.73	54.90±2.63	3.35±0.28	0.15±0.03	698.37±69.38	26.00±3.58	581.50±28.12	22.82
0.5 กก TVS/ม ³ -วัน	25	8.57±0.34	55.54±0.79	4.76±0.15	0.27±0.04	476.24±19.57	34.20±4.58	893.13±24.97	17.73
	15	6.77±0.74	56.69±1.71	3.85±0.47	0.24±0.03	343.28±66.52	26.91±8.54	556.62±31.68	16.09
	10	5.64±0.37	63.96±1.05	3.66±0.33	0.20±0.03	433.57±66.22	14.75±2.95	391.50±14.75	18.50

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 19 การเปลี่ยนแปลงของก๊าซชีวภาพและมีเทนที่เกิดขึ้นกับระยะเวลาในการหมักที่อัตราการจ่ายสารอินทรีย์ เท่ากับ 0.8 กก. TVS/ม³-วัน



รูปที่ 20 การเปลี่ยนแปลงของกาซชีวภาพและมีเทนที่เกิดขึ้นกับระยะเวลาใน

การหมักที่อัตราการจ่ายสารอินทรีย์ เท่ากับ 0.5 กก. TVS/ม³-วัน

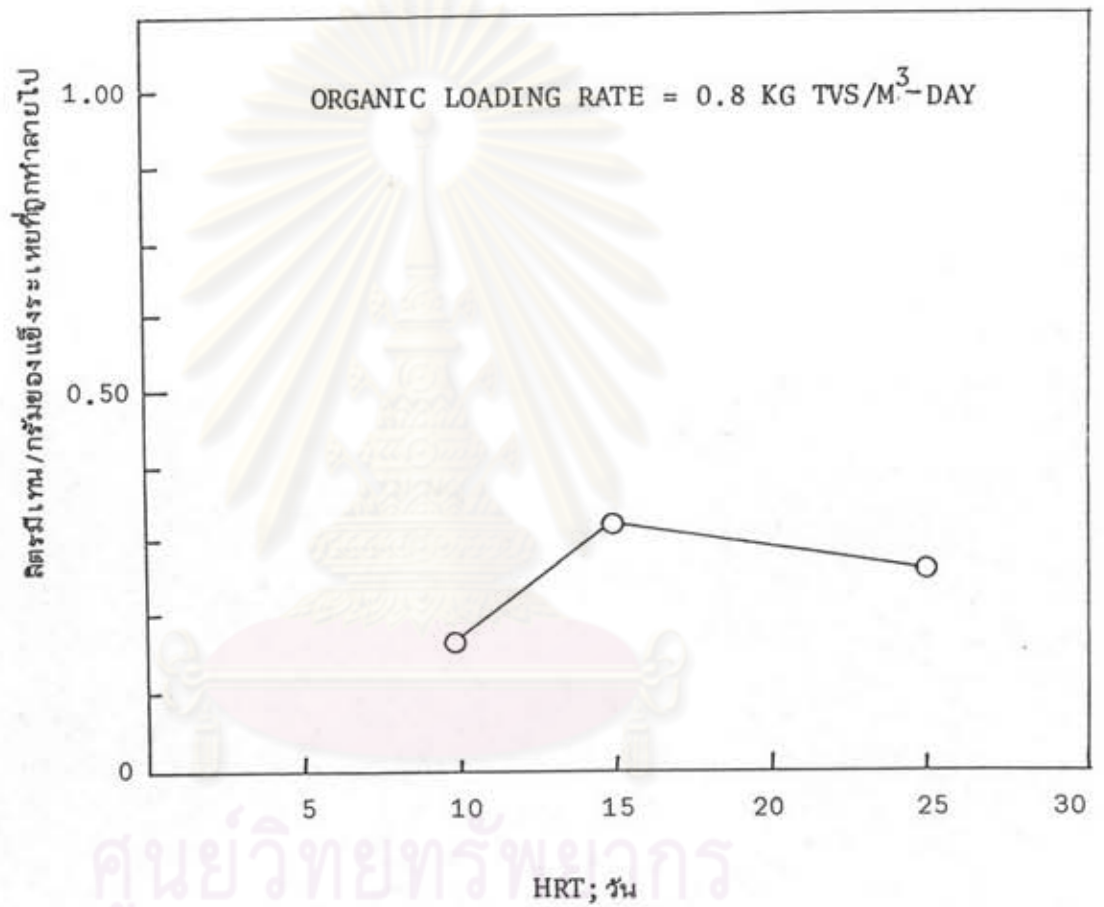
5.3 ผลและอิทธิพลของระยะเวลาในการหมักที่มีต่อระบบ

จากการศึกษาถึงผลของระยะเวลาในการหมัก (HRT) ที่ค่าอัตราการจ่ายสารอินทรีย์ต่าง ๆ พบว่าที่อัตราการจ่ายสารอินทรีย์ที่สูงกว่าคือ 0.8 กก. TVS/ m^3 -วันให้ผลผลิตกาซมีเทนต่อกรัมของ แอ๊จระเหยต่อวันสูงที่สุดคือ 0.022 l CH_4 /gm TVS destroyed-day

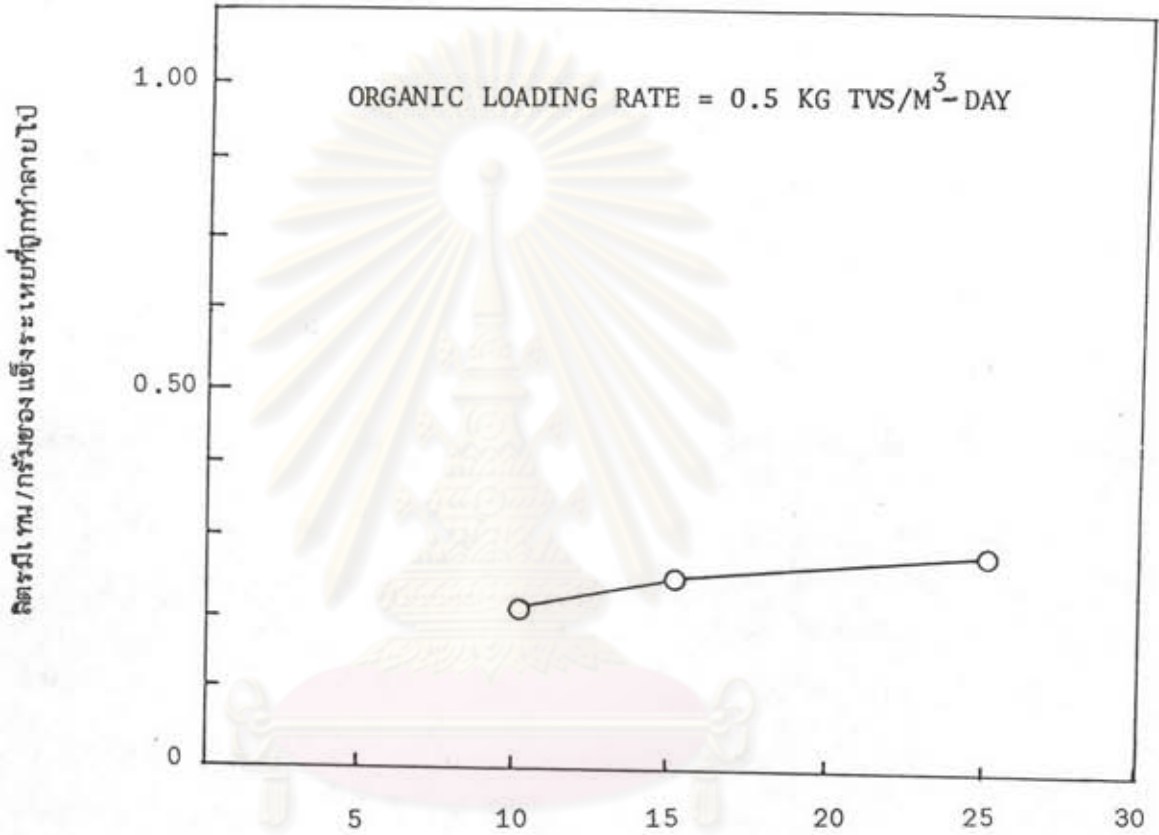
นั่นคืออัตราการผลิตกาซมีเทนขึ้นอยู่กับอัตราการจ่ายสารอินทรีย์โดยที่ปริมาณอัตราการจ่ายสารอินทรีย์มากการผลผลิตกาซมีเทนจะมากขึ้นด้วย อย่างไรก็ตามที่แต่ละค่าอัตราการจ่ายสารอินทรีย์สภาวะที่เหมาะสมของระบบก็แตกต่างกัน เช่นที่อัตราการจ่ายสารอินทรีย์ 0.8 กก. TVS/ m^3 -วัน สภาวะที่เหมาะสมคือที่ระยะเวลาในการหมัก 15 วัน และที่อัตราการจ่ายสารอินทรีย์ 0.5 กก. TVS/ m^3 -วัน สภาวะที่เหมาะสมคือที่ระยะเวลาในการหมัก 10 วัน

เมื่อเปรียบเทียบผลดังกล่าวกับการวิจัยของ S. Vaidyanathan, K.M. Kavadia และ S.P. Mahajan (44) ภาควิชาวิศวกรรมเคมี ไอไอทีโพรวาย ที่อมเบย์ ได้ทำการทดลองโดยการใส่ผักตบชวาในการย่อยสลายแบบกึ่งต่อเนื่องโดยใช้ถังย่อยสลายขนาด 165 ลิตรมีค่า working volume 150 ลิตร ทำการทดลองที่ HRT 16.67, 25 และ 30 วัน โดยใช้ อัตราการจ่ายสารอินทรีย์ในช่วง 0.886 ถึง 1.856 kg dry TVS/ m^3 -day ได้ผลผลิตกาซมีเทนในช่วง 81-160 l/kg dry TVS added

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 21 การเปลี่ยนแปลงของมิเทนที่เกิดขึ้นกับระยะเวลาในการหมัก ที่อัตราการจ่ายสารอินทรีย์ เท่ากับ $0.8 \text{ กก. TVS/ม}^3\text{-วัน}$



ศูนย์วิทยพักร

รูปที่ 22 การเปลี่ยนแปลงของมีเทนที่เกิดขึ้นกับระยะเวลาในการหมัก ที่อัตรา
การจ่ายสารอินทรีย์ เท่ากับ 0.5 กก. TVS/ม³-วัน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4 การใช้ประโยชน์ในภาคตะกอน

จุดประสงค์เบื้องต้นในการย่อยสลาย คือการลดมลภาวะหรือการนำไปสร้างพลังงาน ในขบวนการดังกล่าวนี้จะมีส่วนที่เหลือจากการย่อยสลายซึ่งส่วนใหญ่จะนำภาคตะกอนที่เหลือนั้น ไปถมที่หรือทิ้งในทะเล ในการนี้จำเป็นต้องขนภาคตะกอนไปทให้เพิ่มต้นทุนในการลดมลภาวะ หรือในการสร้างพลังงาน แต่ถ้าเราสามารถนำภาคตะกอนดังกล่าวไปใช้ให้เกิดประโยชน์ เช่น ใช้ทำปุ๋ยก็จะเป็นการใช้ให้เกิดประโยชน์ และอาจจะเป็นการลดต้นทุนการผลิต อย่างไรก็ตาม การนำภาคตะกอนดังกล่าวไปใช้ทำเป็นปุ๋ยนั้น ปัญหาใหญ่คือ ภาคตะกอนดังกล่าวจะมีน้ำ เป็นองค์ประกอบร้อยละ 90 หรือมากกว่า จึงเป็นปัญหาต่อการเก็บกัก และการใช้พลังงานเพื่อ ทำให้ภาคตะกอนดังกล่าวแห้งลง (15% moisture content หรือน้อยกว่า)

ในภาคตะกอน หลังจากเกิดการย่อยสลายแล้ว จะมีเส้นใยลิกนินที่ไม่ถูกย่อยเหลืออยู่ ส่วนของ เส้นใยเหล่านี้จะมีแบคทีเรียเกาะติดอยู่ เส้นใยลิกนินเหล่านี้อาจจะนำไปใช้ในการปรับสภาพของดินได้เนื่องจากมีค่า NPK พอสมควร ในทางปฏิบัติ แบคทีเรียดังกล่าวที่เกิดเกาะติดอยู่นั้น จะดูดซึมเอาไนโตรเจนที่อยู่ในรูปของแอมโมเนีย เพื่อใช้ในการสร้างเซลล์ และส่วนต่างๆ ของ เซลล์ นอกจากนี้ ฟอสฟอรัสและโปตัสเซียมก็เป็นส่วนสำคัญของ แบคทีเรียเช่นเดียวกัน

ในการศึกษาพบว่าภาคตะกอนที่ออกจากระบบมีปริมาณของไนโตรเจนอยู่ในช่วงร้อยละ 0.02-0.08 ฟอสฟอรัสร้อยละ 0.001-0.005 และโปตัสเซียมร้อยละ 0.04-0.10 ดังตาราง ที่ 14 เพื่อพิจารณาปริมาณองค์ประกอบของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปตัสเซียมที่ได้แล้วมีค่าไม่สูงมากมักจะนำไปใช้เป็นปุ๋ย แต่อาจนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินได้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย