บทที่ 4

ผลการทดลอง

การทดลองเพื่อกำจัดขยะสดจากตลาดนี้ ใช้ระยะเวลาในการศึกษาประมาณ 1 ปีครึ่ง โดยใช้เวลา 6 เดือน ในการจัดเตรียมอุปกรณ์ การซ่อมแซมอุปกรณ์ที่ชำรุดเสียหาย และการเชื่อมต่ออุปกรณ์ให้เป็นระบบถังหมักแบบสองขั้นตอนตามที่ต้องการ เวลาอีก 6 เดือน เป็นการทดลองเดินระบบเพื่อหารูปแบบการหมักที่เหมาะสม และปรับปรุงระบบถังหมักให้ใช้การได้ดี ส่วนเวลาที่เหลืออีก 6 เดือน จึงเป็นการทดลองและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ

เมื่อทำการติดตั้งระบบถังหมักเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงนำขยะสดจากตลาดสามย่านคัดเลือกเฉพาะขยะที่เป็นสารอินทรีย์มาบด ขยะสดที่นำมาใช้ในครั้งแรก ๆ จะมีพวกเนื้อสัตว์รวมอยู่กับพืชสดด้วย ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาขึ้นเนื่องจากเนื้อสัตว์ที่ได้จะเป็นพวกเอ็นและเนื้อเยื่อที่เหนียวมากยากแก่การบด จึงได้คัดแยกพวกเนื้อสัตว์ออกคงเหลือแต่พวกพืชสดที่มีเซลลูโลส (cellulose) เป็นองค์ประกอบหลัก ชนิดของพืชสดที่ใช้ในการทดลองนี้มีสัดส่วนดังแสดงในตารางที่ 4.1 โดยมีผักสดมากที่สุด 85.7 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเป็นผลไม้และดอกไม้ 10.3 และ 4.0 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ แม้ว่าพวกพืชสดจะค่อนข้างบดได้ง่ายแต่บางชนิดก็ต้องคัดออก เช่น ปลีกล้วย ก้านดอกกุหลาบ เป็นต้น ทั้งนี้เพราะว่า มีลักษณะของเส้นใยยาวทำให้เครื่องบดติดขัดได้ง่าย ขยะบดที่เตรียมเรียบร้อยแล้ว จะยังไม่สามารถใช้เป็นสารอาหารได้เลย เพราะมีลักษณะข้นเหนียวไม่สามารถป้อนเข้าถังหมักแบบกึ่งต่อเนื่องโดยใช้ปั๊มสายรีดได้ ดังนั้นจึงต้องทำการเจืองจางด้วยน้ำประปาก่อน ซึ่งจากการทดลองพบว่า อัตราส่วนของขยะบดต่อน้ำประปาที่ทำให้ได้ค่าซีโอดีทั้งหมดประมาณ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ 1 ต่อ 8

การเริ่มต้นเดินระบบจนกระทั่งเสร็จสิ้นการทดลองค่อนข้างมีอุปสรรคอยู่บ้าง เนื่องจากในระหว่างการทดลองอุปกรณ์บางชิ้นอาจชำรุดเสียหายได้ เช่น ถังหมักรั่ว ปั๊มเสีย ใบพัดมอเตอร์หลุด สายยางถูกรีดแบน เป็นต้น ทำให้การทดลองต้องชงักเพื่อซ่อมแซมอุปกรณ์ ดังนั้นระยะเวลา

ตารางที่ 4.1 ชนิดและปริมาณของขยะสดที่ใช้ในการทดลอง

ชนิด	ปริมาณรวม (กิโลกรัม)	เปอร์เซ็นต์
ผักคะน้า	48.5	13.5
ผักกาดขาว	31.2	8.7
ผักกาดหอม	32.4	9.0
ผักบุ้ง	47.7	13.3
ผักกระเฉด	52.9	14.7
ผักกระหล่ำปลี	38.9	10.8
ผักกวางตุ้ง	13.7	3.8
มะระ	9.4	2.6
บวบ	6.9	1.9
มะเขือ(ก)	11.0	3.1
ถั่ว(ข)	4.5	1.3
อื่น ๆ(ค)	10.8	3.0
รวม	307.9	85.7
ผลไม้(ง)	37.1	10.3
ดอกไม้(จ)	14.3	4.0
รวมทั้งหมด	359.3	100

หมายเหตุ (ก) มะเขือยาว มะเขือเทศ

(ข) ถั่วฝักยาว ถั่วลันเตา ถั่วพู

(ค) แตงกวา ขึ้นฉ่าย สะระแหน่ ต้นหอม กูไช้ เศษผัก

(ง) ส้มเขียวหวาน ชมพู่ แตงโม สัปรด

(จ) กุหลาบ ดาวเรือง ดอกรัก

ตั้งแต่เริ่มทดลองจนกระทั่งเกิดก๊าซชีวภาพขึ้นจึงไม่แน่นอนตายตัว แต่จะอยู่ในช่วง 2-3 เดือน และเมื่อระบบคงที่แล้วก็จะทำงานได้ดี ปัญหาต่าง ๆ ก็จะน้อยลง ในการทดลองจะมีการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาเก็บกัก 3 ค่า ซึ่งเมื่อเสร็จการทดลองค่าหนึ่งและจะเปลี่ยนไปอีกค่าหนึ่งจะใช้ระยะเวลา 2-3 สัปดาห์ ระบบจึงจะปรับเข้าสู่ภาวะสมดุลอีกครั้งหนึ่ง

จากผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ในถังหมักเมื่อระยะเวลาเก็บกักเปลี่ยนแปลง สามารถแยกผลการทดลองออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ผลการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ โดยจะเน้นที่ผลการทดลองทางเคมี ส่วนทางกายภาพและทางชีวภาพ จะใช้ประกอบเท่านั้น ซึ่งรายละเอียดของผลการทดลอง มีดังนี้

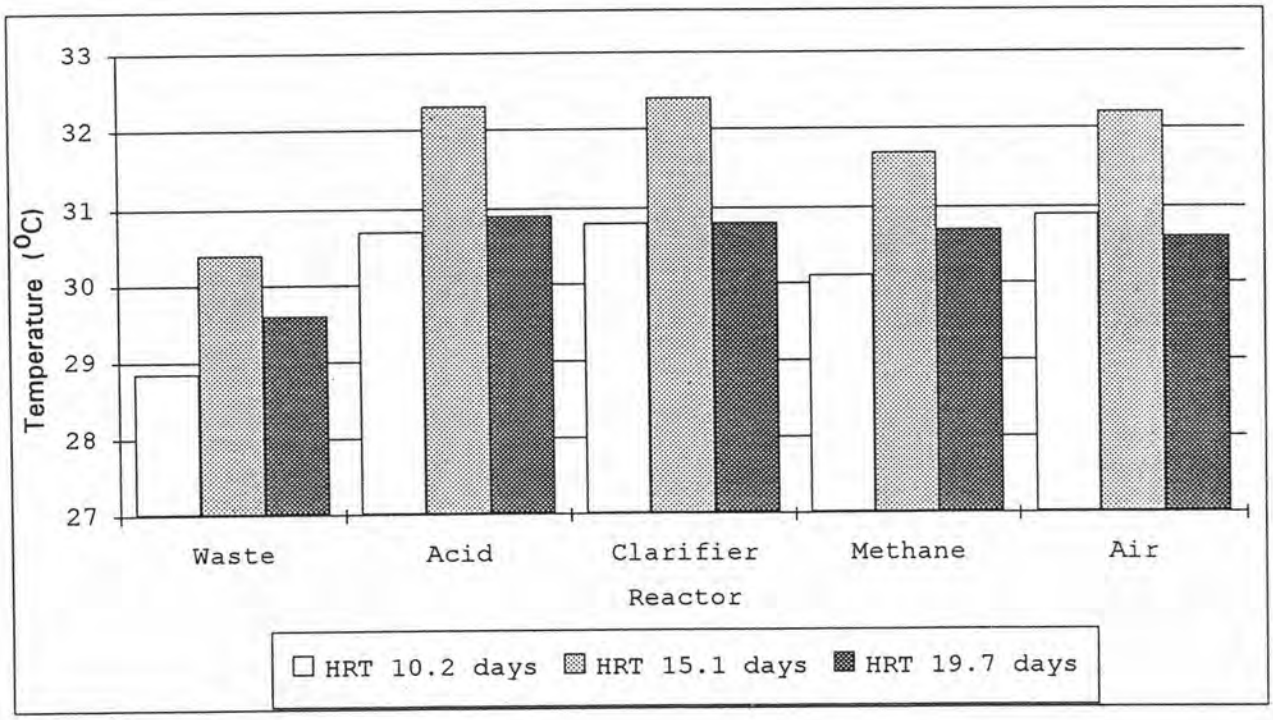
<u>การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ</u>

จากการตรวจวัดอุณหภูมิของอากาศและของถังหมักต่าง ๆ พบว่า อุณหภูมิมีค่าใกล้เคียงกัน (ตารางที่ 4.2) โดยอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศ ถังหมักกรด ถังตกตะกอน และถังหมักก๊าซมีค่าตั้งแต่ 30 องศาเซลเซียส ขึ้นไป มีเฉพาะถังสารอาหารเท่านั้นที่อุณหภูมิต่ำที่สุด ทั้งนี้คงเนื่องมาจากการใช้น้ำประปาเพื่อเจือจางขยะบด แต่โดยเฉลี่ยแล้วอุณหภูมิของถังต่าง ๆ จะแตกต่างจากอุณหภูมิอากาศไม่เกิน 2 องศาเซลเซียส (รูปที่ 4.1)

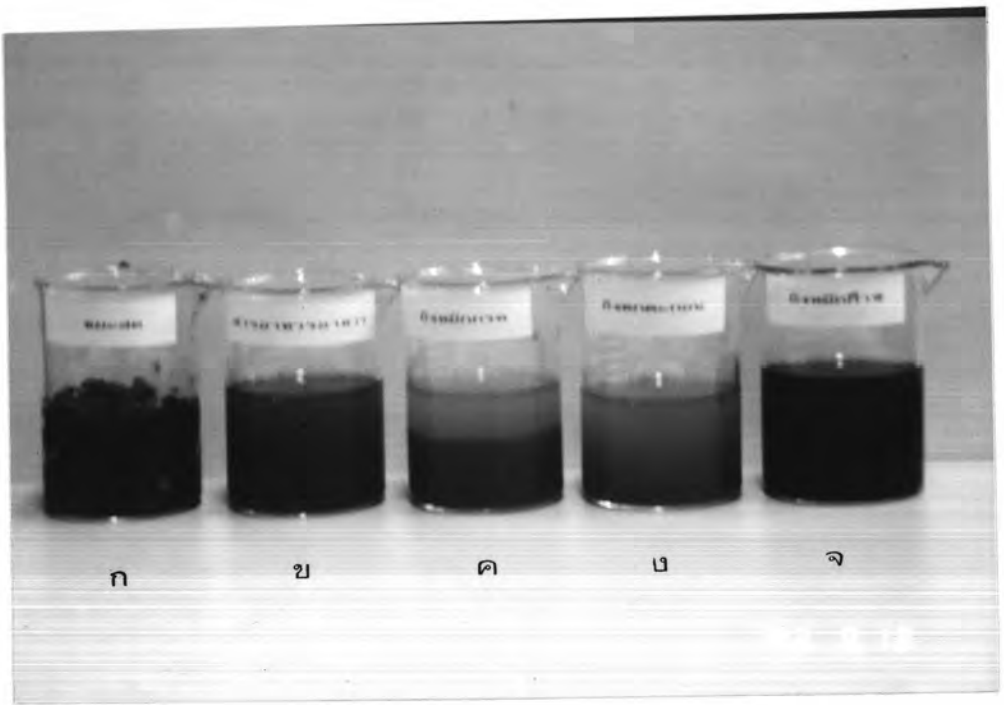
จากการสังเกตสีและตะกอนในถังหมักแต่ละถัง (รูปที่ 4.2) พบว่า ในถังสารอาหาร สารละลายจะมีสีเขียวใสของพืช ตะกอนก็จะมีสีเขียวเช่นเดียวกับสีของขยะบด ขนาดของตะกอนเป็นชิ้นเนื้อใหญ่ที่เกิดจากการบดขยะสดสังเกตได้ชัดเจน สำหรับถังหมักกรดและถังตกตะกอนจะมีลักษณะคล้ายกันคือ สารละลายจะมีสีเหลืองแกมเขียวหรือสีเหลือง ตะกอนก็จะมีสีเช่นเดียวกัน ขนาดของตะกอนจะมีสองส่วนคือ ตะกอนขนาดใหญ่หรือตะกอนหนักจะจมลงสู่ด้านล่าง ส่วนตะกอนเบาจะแขวนลอยอยู่ในสารละลายด้านบน แต่มีข้อแตกต่างระหว่างถังหมักกรดและถังตกตะกอนคือ ในถังหมักกรดจะมีปริมาณของตะกอนสูงกว่า เนื่องจากมีการสะสมตะกอนไว้ภายในถัง ส่วนถังหมักก๊าซที่เป็นถังหมักสุดท้าย สีของสารละลายจะใส แต่เนื่องจากมีตะกอนขนาดเล็กสีดำแขวนลอย ทำให้มองเห็นสารละลายเป็นสีดำ

ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)	อุณหภูมิ (°ซ)				
	ถังสารอาหาร	ถังหมักกรด	ถังตกตะกอน	ถังหมักก๊าซ	อากาศ
10.2	28.6	30.7	30.8	30.1	30.1
15.1	30.4	32.3	32.4	31.7	32.2
19.7	29.6	30.9	30.8	30.7	30.6

ตารางที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศและในถังหมักต่าง ๆ ที่ ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 15.1 และ 19.7 วัน



รูปที่ 4.1 กราฟค่าเฉลี่ยอุณหภูมิอากาศและในถังหมักต่าง ๆ ที่ ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 15.1 และ 19.7 วัน



หมายเหตุ ก ขยะสด

ข ถังสารอาหาร

ค ถังหมักกรด

ง ถังตกตะกอน

จ ถังหมักก๊าซ

รูปที่ 4.2 ลักษณะสีของสารละลายและตะกอนในถังหมักต่าง ๆ

กลิ่นที่เกิดจากการหมักเป็นสิ่งที่รบกวนต่อผู้คนรอบข้างมาก เนื่องจากมีกลิ่นที่ค่อนข้างรุนแรง แต่เนื่องจากการทดลองเป็นระบบปิดจึงทำให้ปัญหานี้บรรเทาเบาบางลงไปได้ กลิ่นที่เกิดจากถังหมักแต่ละถังจะแตกต่างกัน โดยขยะบดและในถังสารอาหารจะมีกลิ่นเหม็นเขียวของพวกผักสด แต่ในถังหมักกรดและถังตกตะกอนจะมีกลิ่นเหมือนน้ำส้วมซึ่งรุนแรงมาก ดังนั้นต้องปิดถังให้แนบสนิท สำหรับถังหมักก๊าซมีกลิ่นคล้ายน้ำคลำตามรางระบายน้ำและไม่รุนแรง

การเปลี่ยนแปลงทางเคมี

ผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่าง ๆ ทางด้านเคมี ดังแสดงในตารางที่ 4.3 เป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในถังหมักแต่ละถัง โดยมีระยะเวลาเก็บกักในถังหมักกรดคงที่และมีระยะเวลาเก็บกักของถังหมักก๊าซ 10.2 15.1 และ 19.7 วัน ซึ่งรายละเอียดของการเปลี่ยนแปลง มีดังนี้

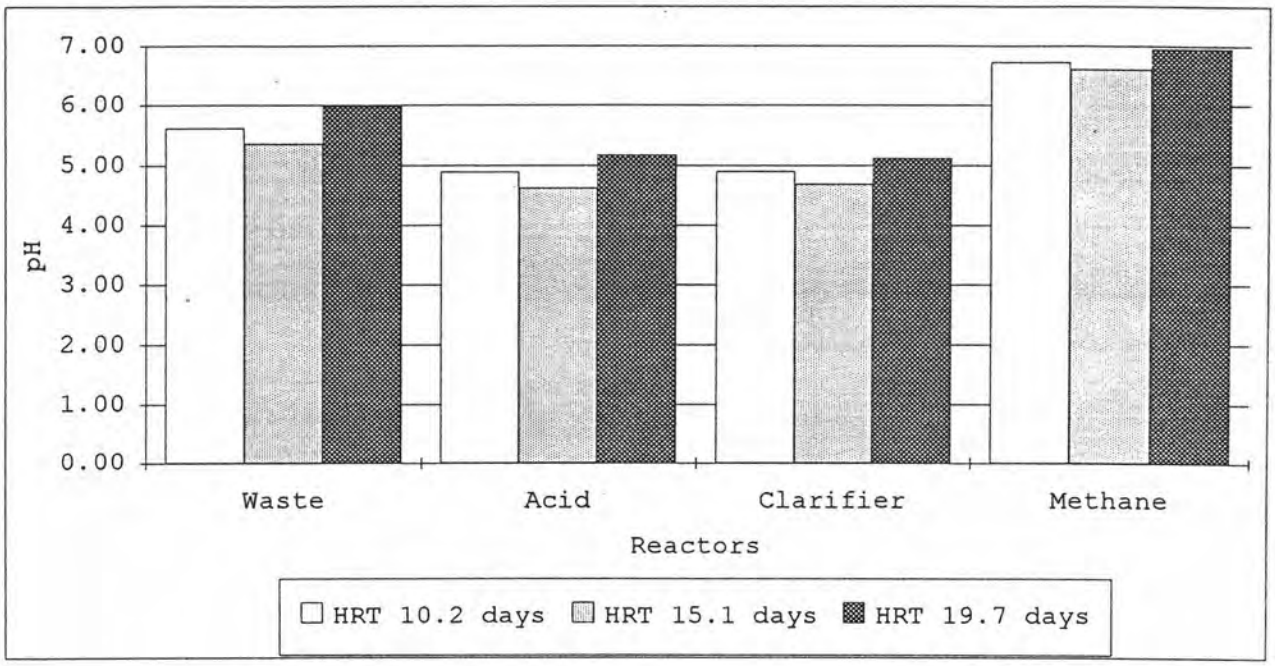
พีเอช แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในถังหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกักต่างกัน พบว่า ที่ถังหมักเดียวกันจะมีค่าพีเอชเฉลี่ยใกล้เคียงกัน โดยในถังหมักกรดและถังตกตะกอนมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน พีเอชจะเป็นกรดและมีค่าต่ำสุดอยู่ในช่วง 4.63-5.18 แต่ในถังหมักก๊าซค่าพีเอชจะอยู่ในช่วงที่ค่อนข้างเป็นกลางและมีค่าสูงสุด 6.61-6.95 ส่วนขยะบดที่เจือจางเป็นสารอาหารจะมีค่าพีเอชที่ค่อนไปทางกรด 5.36-5.98 (รูปที่ 4.3)

สภาพด่างทั้งหมด เป็นการวิเคราะห์หาสภาพด่างที่เกิดขึ้นภายในถังหมักทั้งหมด ไม่ใช่เฉพาะด่างไบคาร์บอเนตเท่านั้น แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงที่ระยะเวลาเก็บกักต่างกันจะคล้ายกันในแต่ละถังหมัก โดยลักษณะการเปลี่ยนแปลงเป็นแบบเพิ่มสูงขึ้นและสูงสุดในถังหมักก๊าซ (รูปที่ 4.4) แต่ที่ระยะเวลาเก็บกัก 19.7 วัน จะมีค่าสภาพด่างทั้งหมดเฉลี่ยในถังหมักสูงกว่าที่ระยะเวลาเก็บกัก 15.1 และ 10.2 วัน ที่มีค่าต่ำสุด ค่าเฉลี่ยในถังสารอาหารจนถึงถังหมักก๊าซอยู่ในช่วง 58-172 510-685 518-745 และ 1,101-1,462 มิลลิกรัมต่อลิตร ในรูป $CaCO_3$ ตามลำดับ

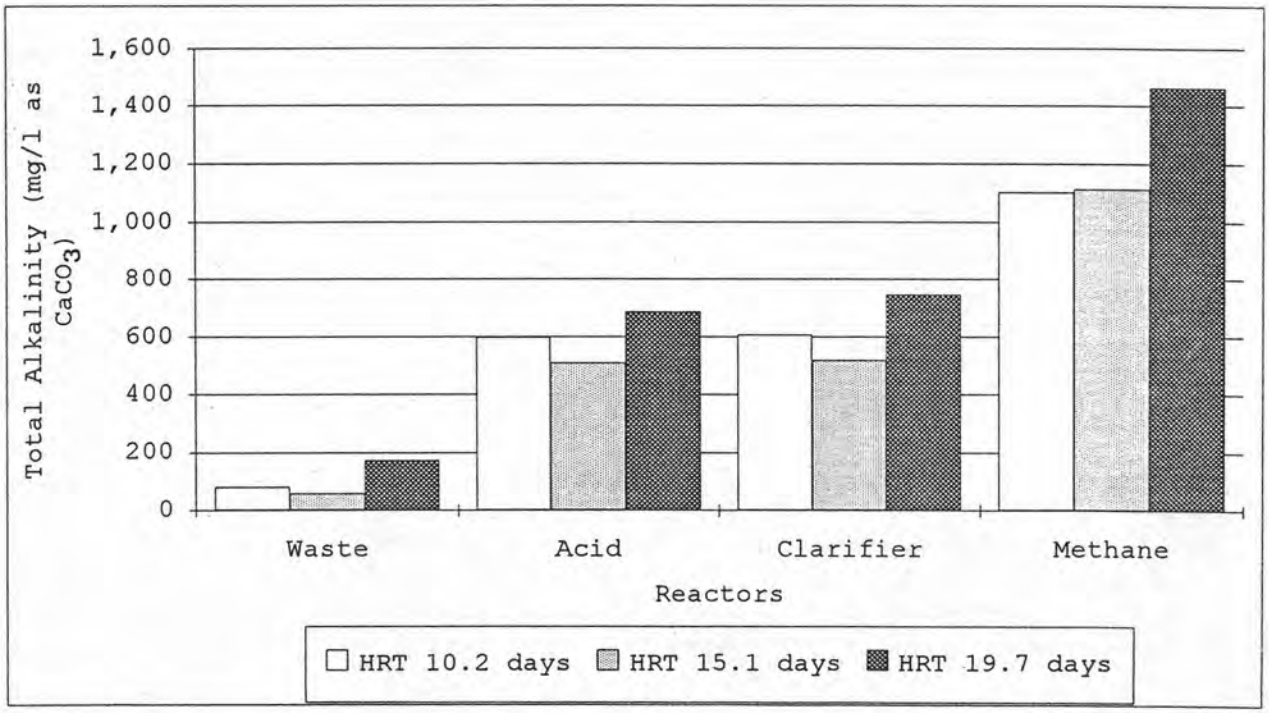
กรดระเหยง่าย เป็นการวิเคราะห์หากรดระเหยง่ายที่อยู่ในรูปของกรดอะซิติกเท่านั้น ซึ่งในถังหมักต่าง ๆ ก็จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายกันเช่นกัน แม้ว่าระยะเวลาเก็บกักจะเปลี่ยนไป (รูปที่ 4.5) ในถังหมักกรดและถังตกตะกอนจะมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันและมีค่าสูงสุดอยู่ในช่วง 1,337-1589 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนค่าเฉลี่ยต่ำสุดพบในถังหมักก๊าซที่ระยะเวลาเก็บกัก 19.7 วัน มีค่าเพียง 79 มิลลิกรัมต่อลิตร เท่านั้น ซึ่งต่ำกว่าที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 และ

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ทางเคมีที่ได้จากการทดลอง

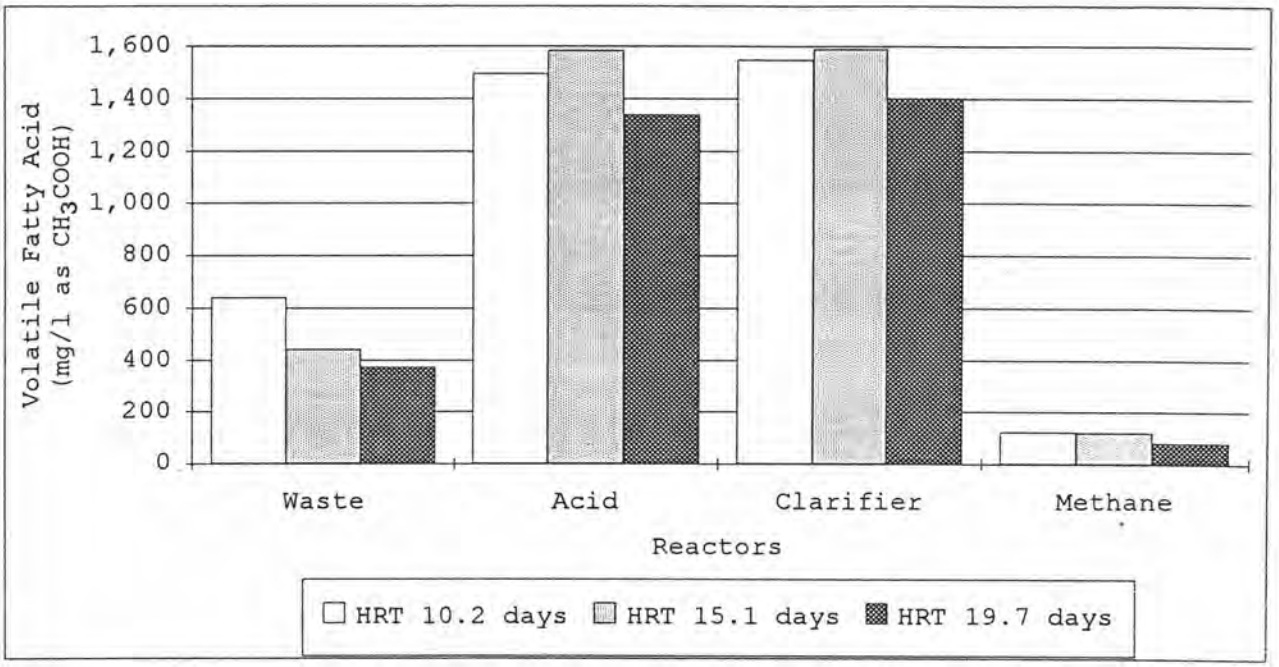
พารามิเตอร์	ถังสารอาหาร	ถังหมักกรด*	ถังตกตะกอน	HRT(วัน)	ถังหมักก๊าซ
พีเอช	5.62	4.90	4.91	10.2	6.72
	5.36	4.63	4.69	15.1	6.61
	5.98	5.18	5.12	19.7	6.95
สภาพด่างทั้งหมด	79	597	606	10.2	1,101
(มก./ลในรูป$CaCO_3$)	58	510	518	15.1	1,112
	172	685	745	19.7	1,462
กรดระเหยง่าย	638	1,494	1,547	10.2	121
(มก./ลในรูปCH_3COOH)	443	1,584	1,589	15.1	120
	374	1,337	1,403	19.7	79
แอมโมเนียไนโตรเจน	11.20	62.91	63.84	10.2	124.14
(มก./ล)	11.57	61.23	72.61	15.1	135.52
	14.00	95.01	91.47	19.7	182.00
ออร์กานิกไนโตรเจน	252.75	340.29	83.44	10.2	24.49
(มก./ล)	255.36	255.36	101.36	15.1	23.89
	294.84	251.91	97.91	19.7	19.32
ไนโตรเจนทั้งหมด(ทีเคเอ็น)	263.95	403.20	147.28	10.2	148.63
(มก./ล)	266.93	316.59	173.97	15.1	159.41
	308.84	346.92	189.38	19.7	201.32
ซีโอดีทั้งหมด	5,639.33	9,887.12	5,617.07	10.2	883.65
(มก./ล)	6,529.83	10,624.63	5,303.96	15.1	928.74
	6,087.46	9,740.36	4,793.10	19.7	511.82
ซีโอดีละลาย	3,164.85	4,353.36	3,858.01	10.2	373.65
(มก./ล)	3,411.51	4,829.32	3,655.37	15.1	367.69
	3,039.50	3,477.23	3,481.90	19.7	198.04
ของแข็งทั้งหมด	9,255	9,866	2,909	10.2	1,579
(มก./ล)	10,199	9,509	3,381	15.1	1,761
	10,198	10,564	3,211	19.7	1,887
ของแข็งแขวนลอย	5,375	8,280	1,251	10.2	404
(มก./ล)	5,544	7,491	1,367	15.1	330
	5,784	8,387	1,361	19.7	291
ของแข็งระเหย	8,267	8,304	1,925	10.2	621
(มก./ล)	8,769	8,021	2,239	15.1	729
	8,472	8,761	1,906	19.7	550
ของแข็งแขวนลอยระเหย	5,047	7,689	1,169	10.2	337
(มก./ล)	5,186	7,002	1,282	15.1	284
	5,556	7,651	1,241	19.7	256



รูปที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยพีเอชในถังหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 15.1 และ 19.7 วัน



รูปที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยสภาพด่างทั้งหมดในถังหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 15.1 และ 19.7 วัน



รูปที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยปริมาณกรดระเหยง่ายในถังหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 15.1 และ 19.7 วัน

15.1 วันเล็กน้อย คือ 120 และ 121 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สำหรับในถังสารอาหารจะมีปริมาณกรดระเหยง่ายอยู่ในช่วง 374-638 มิลลิกรัมต่อลิตร

เมื่อคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างสภาพด่างทั้งหมดต่อกรดระเหยง่าย (ALK/VFA) ดังตารางที่ 4.4 พบว่า ที่ระยะเวลาเก็บกักต่าง ๆ ในถังสารอาหาร ถังหมักกรด และถังตกตะกอนมีอัตราส่วน ALK/VFA ต่ำกว่า 1 แต่ในถังหมักก๊าซกลับมีค่าอยู่ในช่วง 9.10-18.51 ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่าถังหมักอื่น ๆ มาก เนื่องจากมีการเติมด่างไบคาร์บอเนตเข้าไปในระบบเมื่อเริ่มต้นการทดลอง ทำให้สภาพด่างทั้งหมดมีค่าสูงสุด ค่า ALK/VFA จึงมีค่าสูง และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าพีเอชที่ระยะเวลาเก็บกักต่าง ๆ กันแล้ว พบว่า ในถังสารอาหาร ถังหมักกรด และถังตกตะกอนที่มีค่า ALK/VFA ต่ำ พีเอชจะมีค่าเป็นกรด โดยเฉพาะในถังหมักกรดและถังตกตะกอน แม้ว่าจะมีค่า ALK/VFA สูงกว่าในถังสารอาหาร แต่เพราะว่ามีปริมาณกรดระเหยง่ายที่สูงทำให้พีเอชกลับมี

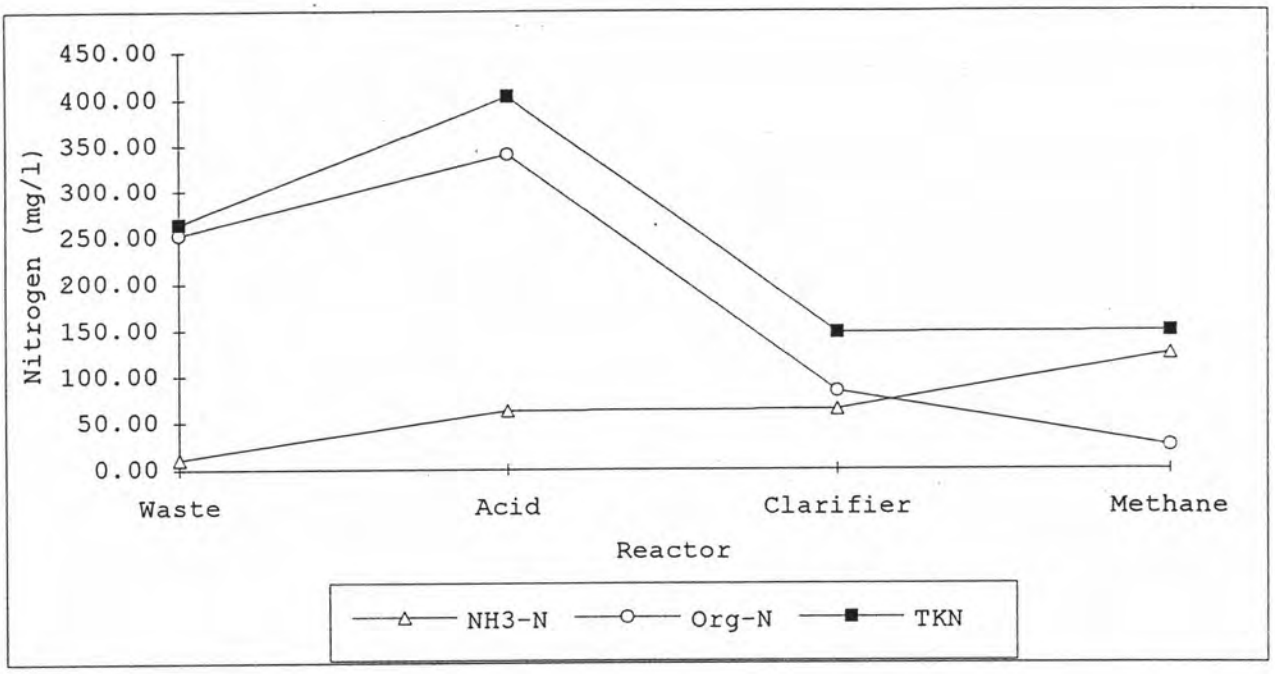
ตารางที่ 4.4 อัตราส่วนของสภาพด่างทั้งหมดต่อกรดระเหยในถังหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 15.1 และ 19.7 วัน

พารามิเตอร์	HRT(d)	ถังสารอาหาร	ถังหมักกรด	ถังตกตะกอน	ถังหมักก๊าซ
สภาพด่างทั้งหมด,	10.2	79	597	606	1101
ALK (มก./ล ในรูป	15.1	58	510	518	1112
$CaCO_3$)	19.7	172	685	745	1462
กรดระเหยง่าย,	10.2	638	1494	1547	121
VFA (มก./ล ในรูป	15.1	443	1584	1589	120
CH_3COOH)	19.7	374	1337	1403	79
ALK/VFA	10.2	0.12	0.40	0.39	9.10
	15.1	0.13	0.32	0.33	9.27
	19.7	0.46	0.51	0.53	18.51

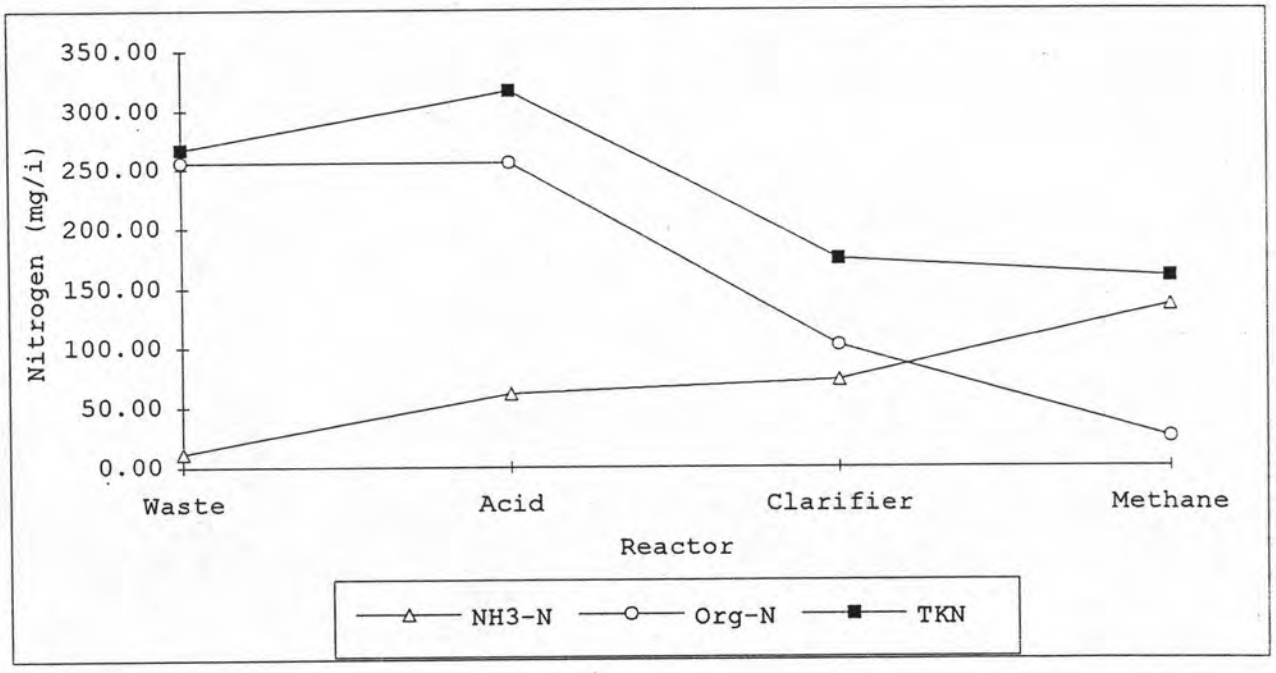
สภาพที่เป็นกรดยิ่งขึ้น ส่วนในถังหมักก๊าซ ค่า ALK/VFA ที่สูง ทำให้สามารถควบคุมพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อการผลิตก๊าซมีเทนได้

ปริมาณไนโตรเจนได้ทำการวิเคราะห์ออกเป็น 3 รูปด้วยกันคือ แอมโมเนียไนโตรเจน ออร์กานิกไนโตรเจน และไนโตรเจนทั้งหมด จากรูปที่ 4.6-4.8 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณของไนโตรเจนในถังหมักต่างๆ พบว่า แอมโมเนียไนโตรเจนมีปริมาณต่ำสุดในถังสารอาหาร 11.20-14.00 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าสูงสุดในถังหมักก๊าซ 124.14-182.00 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในถังหมักกรดและถังตกตะกอนมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 61.23-95.01 และ 63.84-91.47 มิลลิกรัมต่อลิตร

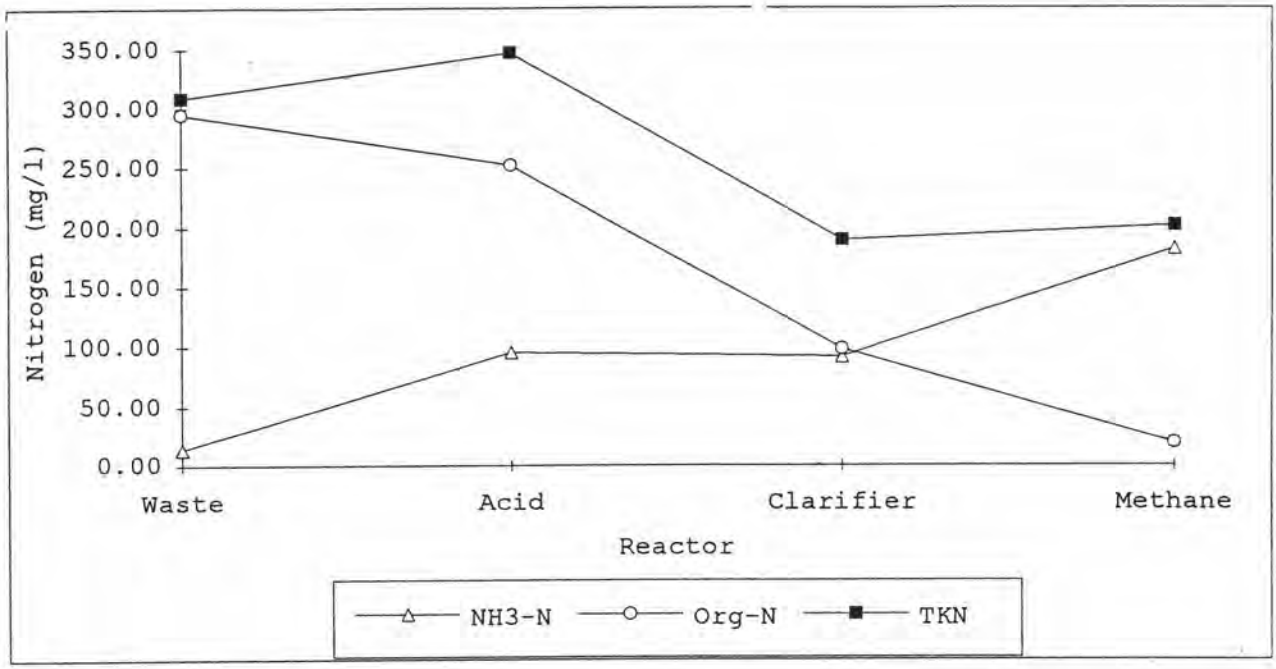
ออร์แกนิกไนโตรเจนที่วัดค่าได้ จะมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณที่ต่างจากแอมโมเนียไนโตรเจน คือ ออร์กานิกไนโตรเจนมีค่าเริ่มต้นในถังสารอาหารอยู่ระหว่าง 252.75-294.84 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีปริมาณในถังหมักกรดที่ใกล้เคียงกัน 251.91-340.29 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่



รูปที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยแอมโมเนียไนโตรเจน ออร์กานิกไนโตรเจน และไนโตรเจนทั้งหมด ในถังหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 วัน



รูปที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยแอมโมเนียไนโตรเจน ออร์กานิกไนโตรเจน และไนโตรเจนทั้งหมด ในถังหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 15.1 วัน



รูปที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยแอมโมเนียไนโตรเจน ออร์กานิกไนโตรเจน และไนโตรเจนทั้งหมด ในถังหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 19.7 วัน

ในถังตกตะกอนกลับมีปริมาณลดลงเหลือเพียง 83.44-101.36 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่าต่ำสุดในถังหมักก๊าซ 19.32-24.49 มิลลิกรัมต่อลิตร

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ซึ่งเป็นผลรวมระหว่างแอมโมเนียไนโตรเจนกับออร์แกนิกไนโตรเจน พบว่า ในถังหมักกรดมีปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมด 316.59-403.20 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเพิ่มขึ้นจากถังสารอาหารที่มีปริมาณ 263.95-308.84 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในถังตกตะกอนที่เป็นถังถัดมามีปริมาณลดลงเหลือเพียง 147.28-189.38 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าต่ำกว่าในถังหมักก๊าซที่มีปริมาณอยู่ระหว่าง 148.63-201.32 มิลลิกรัมต่อลิตร

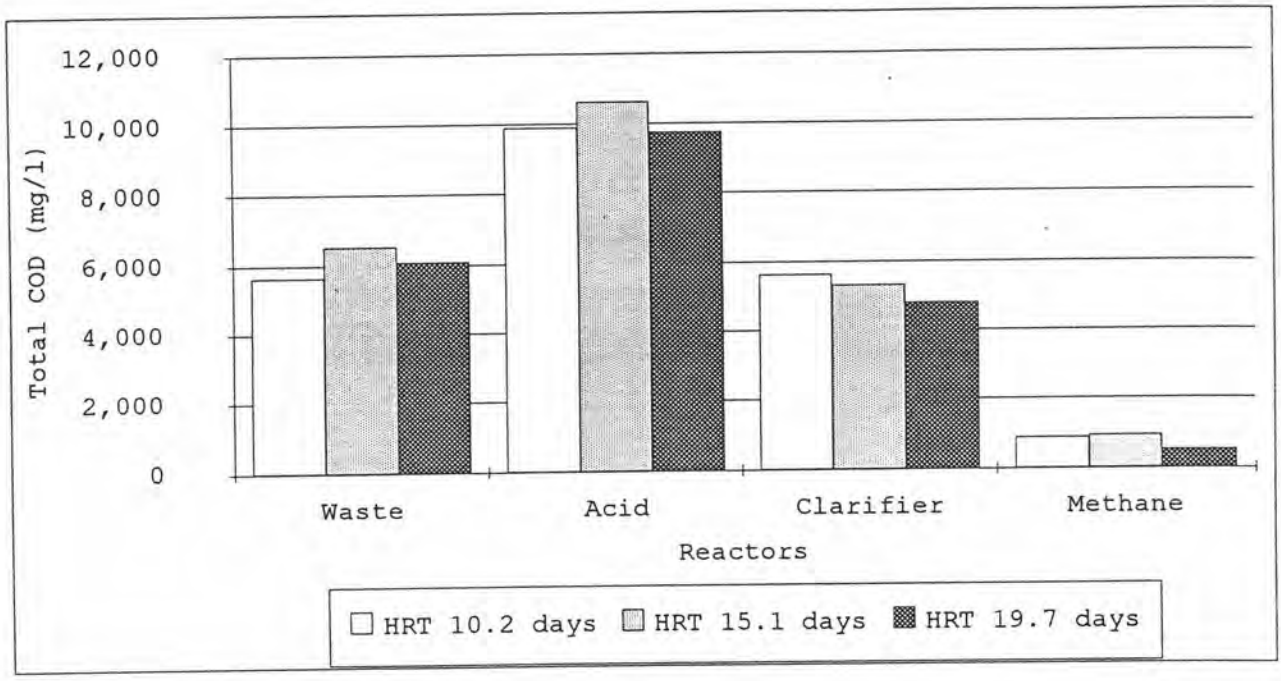
จากรูปที่ 4.6-4.8 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนในถังหมักก๊าซที่ระยะเวลาเก็บกักนานขึ้น พบว่า แอมโมเนียไนโตรเจนมีค่าเพิ่มขึ้นและออร์กานิกไนโตรเจนกลับมีค่าลดลง และเมื่อดูความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของแอมโมเนียไนโตรเจนกับสภาพด่างทั้งหมด พบว่า ค่าทั้งสองมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงที่เหมือนกัน คือ มีปริมาณน้อยสุดในถังสารอาหาร เพิ่มขึ้นในถังหมักกรดและถังตกตะกอน จนกระทั่งมีค่าสูงสุดในถังหมักก๊าซเช่นกัน

ค่าซีโอดี วิเคราะห์แยกมาเป็นสองค่าคือ ซีโอดีทั้งหมดและซีโอดีละลาย ทั้งนี้เนื่องจากมีการเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์จากของแข็งเป็นสารละลาย จากการทดลองในถังสารอาหารซีโอดีทั้งหมดจะถูกควบคุมให้มีค่าประมาณ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเมื่อเจือจางขยะบดด้วยน้ำประปาแล้วค่าซีโอดีทั้งหมดอยู่ในช่วง 5,639.33-6529.83 มิลลิกรัมต่อลิตร ในถังหมักกรดซีโอดีทั้งหมดมีค่าสูงสุด 9,740.36-10,625.63 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ในถังตกตะกอนและถังหมักก๊าซกลับมีค่าลดลงคือ 4,793.10-5,617.07 และ 511.82-928.74 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ สำหรับค่าซีโอดีละลายแล้วใน 3 ถังแรกมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในถังหมักก๊าซกลับมีค่าที่ลดลง (รูปที่ 4.9-4.10)

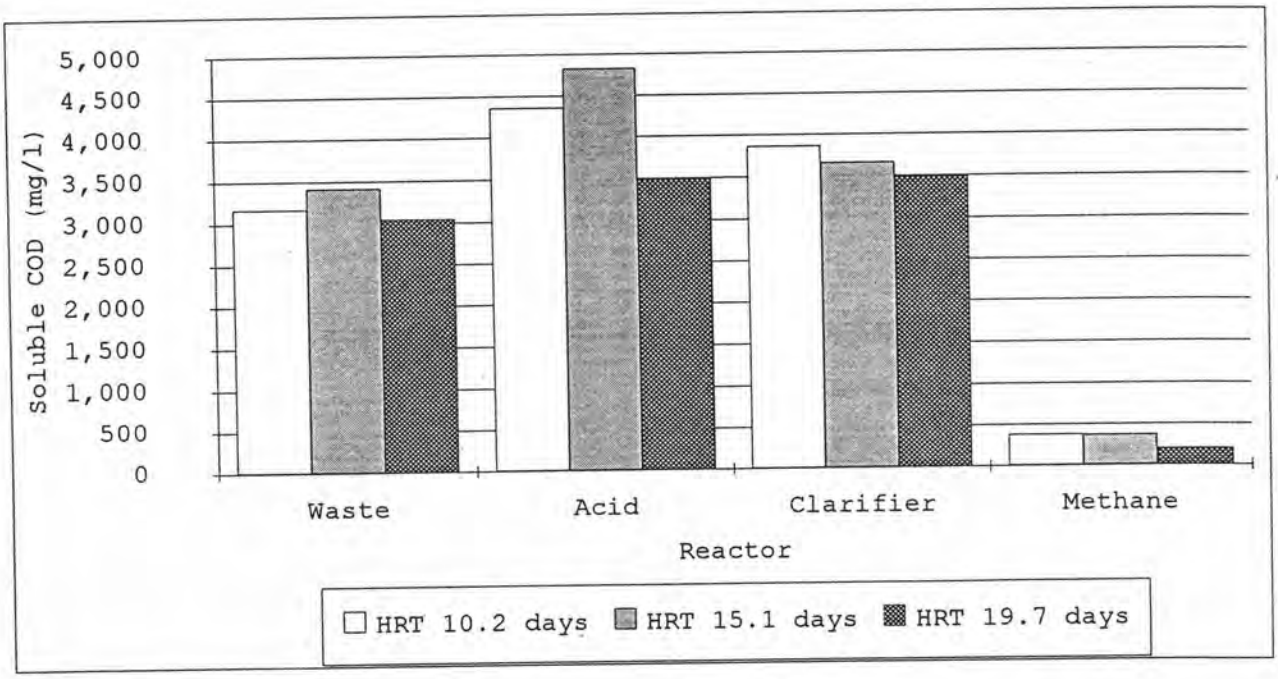
เมื่อพิจารณาจากเปอร์เซ็นต์การกำจัดซีโอดี ดังตารางที่ 4.5 เนื่องจากการเติมสารอาหารจากถังสารอาหารไปถังหมักกรดจะยังไม่มีการลดค่าซีโอดี ดังนั้นการหาค่าการกำจัดซีโอดีจึงไม่ได้คิดส่วนนี้ แต่กำจัดซีโอดีจะเริ่มในถังตกตะกอนและมีการกำจัดสูงสุดในถังหมักก๊าซ โดยการกำจัดซีโอดีทั้งหมดเนื่องจากการตกตะกอนมีค่าเท่ากับ 43.19-50.79 เปอร์เซ็นต์ และการกำจัดซีโอดีละลายจะต่ำกว่าคือ มีค่าไม่เกิน 24.31 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในถังหมักก๊าซเมื่อรับสารอาหารจากถังตกตะกอน จะสามารถกำจัดซีโอดีทั้งหมดได้เท่ากับ 84.27 82.49 และ 89.32 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 15.1 และ 19.7 วัน ตามลำดับ สำหรับการกำจัดซีโอดีละลายพบว่า มีค่าสูงกว่าการกำจัดซีโอดีทั้งหมดเล็กน้อยคือ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 15.1 และ 19.7 วัน มีค่าการกำจัด 90.31 89.94 และ 94.31 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ของแข็งทั้งหมด ของแข็งแขวนลอย ของแข็งระเหย และของแข็งแขวนลอยระเหย มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือ มีปริมาณของแข็งที่สูงในถังสารอาหารและเมื่อผ่านเข้าถังหมักกรด ก็ยังคงมีปริมาณของแข็งในระดับที่ใกล้เคียงกับถังสารอาหาร แต่ปริมาณของแข็งจะลดลงในถังตกตะกอน และต่ำสุดในถังหมักก๊าซ (รูปที่ 4.11-4.14)

จากตารางที่ 4.6 แสดงปริมาณการกำจัดของแข็งทั้งหมด และของแข็งแขวนลอยในระบบ พบว่า การกำจัดของแข็งแขวนลอยจะมีค่าสูงกว่าของแข็งทั้งหมด และมีการกำจัดในถังตก



รูปที่ 4.9 ค่าเฉลี่ยซีโอดีทั้งหมดในถังหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 15.1 และ 19.7 วัน

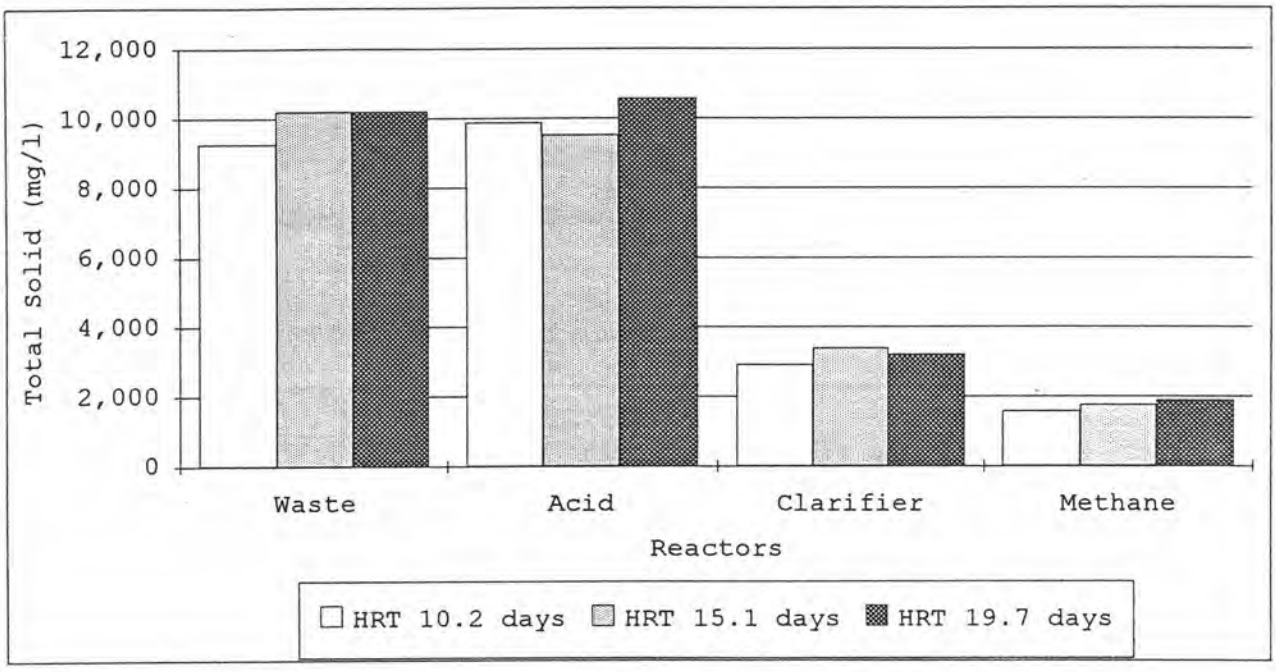


รูปที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยซีโอดีละลายในถังหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 15.1 และ 19.7 วัน

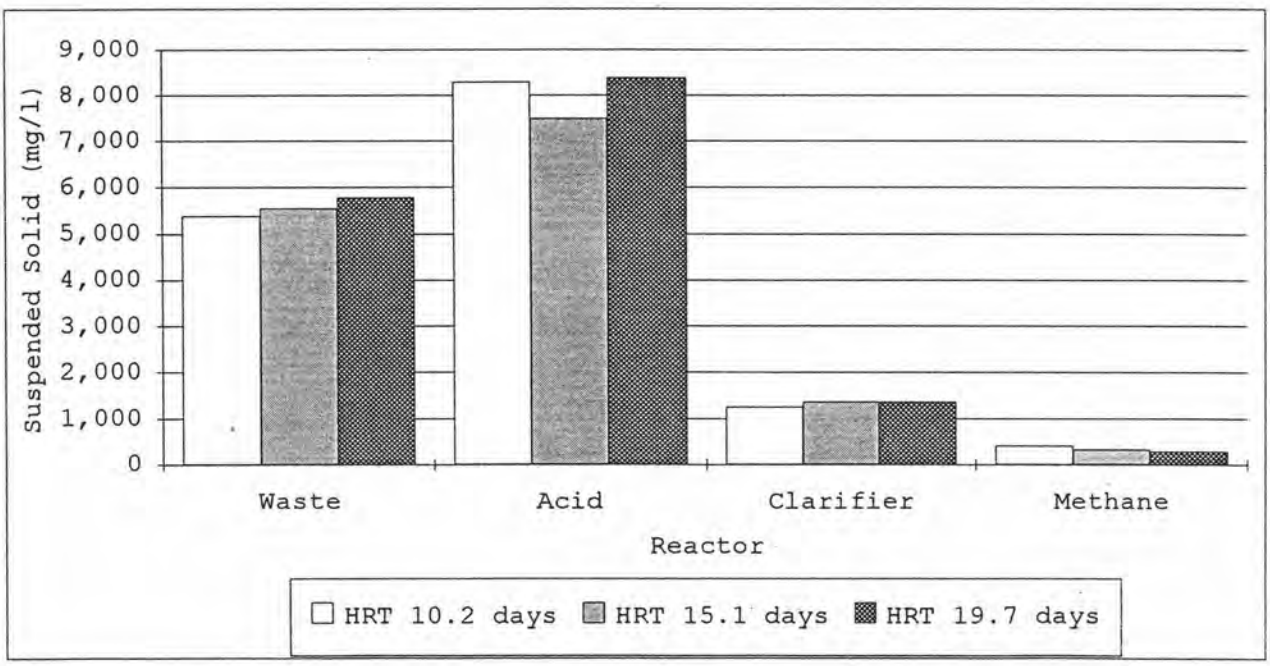
ตารางที่ 4.5 การกำจัดซีโอดีและซีโอดีละลายในถังหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 15.1 และ 19.7 วัน

พารามิเตอร์	ถังสารอาหาร	ถังหมักกรด*	ถังตกตะกอน	HRT (วัน)	ถังหมักก๊าซ
ซีโอดีทั้งหมด	5,639.33	9,887.12	5,617.07	10.20	883.65
(มก./ล)	6,529.83	10,624.63	5,303.96	15.10	928.74
	6,087.46	9,740.36	4,793.10	19.70	511.82
ซีโอดีละลาย	3,164.85	4,353.36	3,858.01	10.20	373.65
(มก./ล)	3,411.51	4,829.32	3,655.37	15.10	367.69
	3,039.50	3,477.23	3,481.90	19.70	198.04
การกำจัดซีโอดีทั้งหมด			43.19	10.20	84.27
(%)			50.08	15.10	82.49
			50.79	19.70	89.32
การกำจัดซีโอดีละลาย			11.39	10.20	90.31
(%)			24.31	15.10	89.94
			≈ 0	19.70	94.31

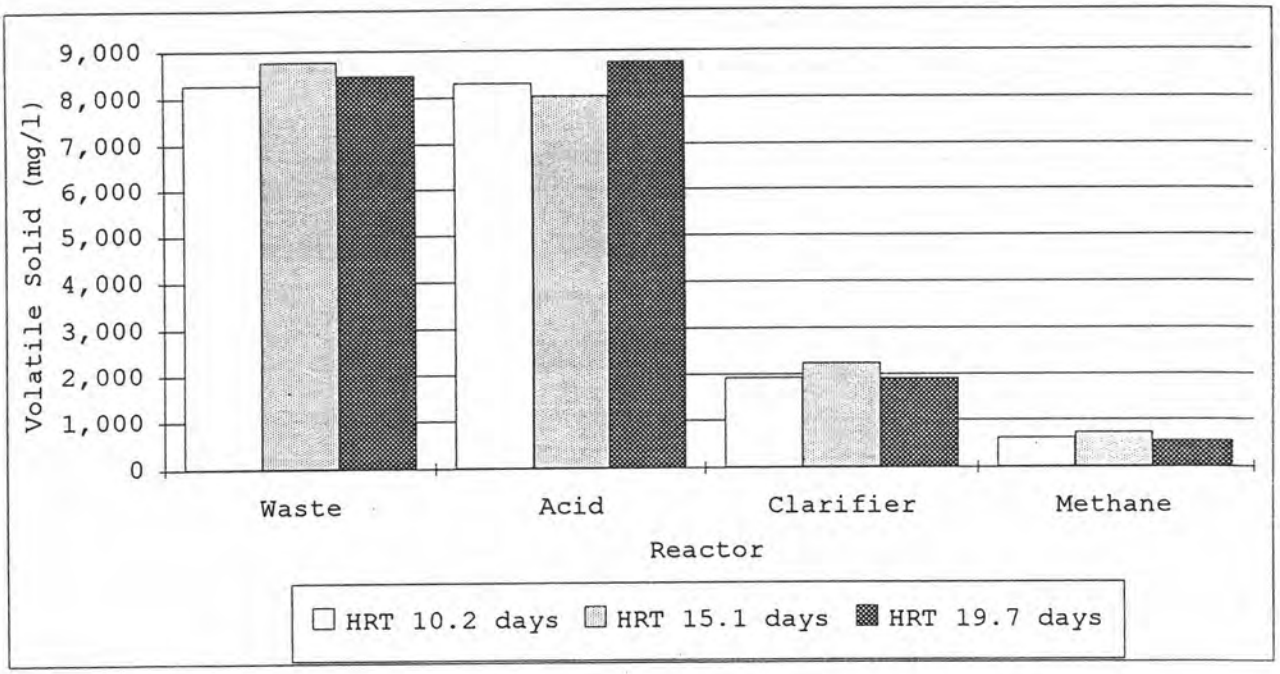
*ระยะเวลาเก็บกัก เท่ากับ0.89วัน



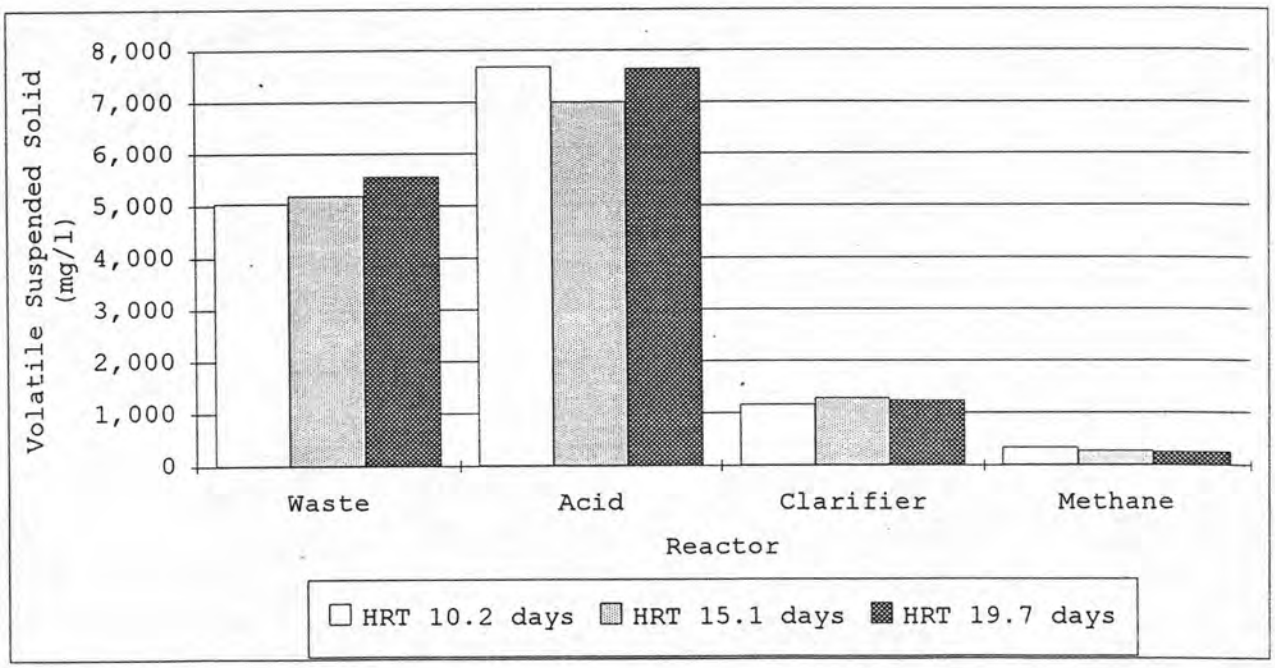
รูปที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยของแข็งทั้งหมดในถังหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 15.1 และ 19.7 วัน



รูปที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยในถังหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 15.1 และ 19.7 วัน



รูปที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยของแข็งระเหยในถังหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 15.1 และ 19.7 วัน



รูปที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยของแข็งแขวนลอยระเหยในถังหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 15.1 และ 19.7 วัน

ตารางที่ 4.6 การกำจัดของแข็งทั้งหมดและของแข็งแขวนลอยในถังหมักต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 15.1 และ 19.7 วัน

พารามิเตอร์	ถังสารอาหาร	ถังหมักกรด*	ถังตกตะกอน	HRT (วัน)	ถังหมักก๊าซ
ของแข็งทั้งหมด	9,255	9,866	2,909	10.20	1,579
(มก./ล)	10,199	9,509	3,381	15.10	1,761
	10,198	10,564	3,211	19.70	1,887
ของแข็งแขวนลอย	5,375	8,280	1,251	10.20	404
(มก./ล)	5,544	7,491	1,367	15.10	330
	5,784	8,387	1,361	19.70	291
การกำจัด			70.51	10.20	45.72
ของแข็งทั้งหมด (%)			64.34	15.10	47.91
			69.60	19.70	41.23
การกำจัด			84.89	10.20	67.71
ของแข็งแขวนลอย			81.75	15.10	75.86
(%)			83.77	19.70	78.62

*ระยะเวลาเก็บกัก เท่ากับ0.89วัน

ตะกอนที่รับของแข็งจากถังหมักกรดสูงกว่าการกำจัดในถังหมักก๊าซที่ต่อมาจากถังตกตะกอน โดยมีค่าการกำจัดในถังตกตะกอนเท่ากับ 64.34-70.51 เปอร์เซ็นต์ สำหรับของแข็งทั้งหมด และเพิ่มขึ้นเป็น 81.75-84.89 เปอร์เซ็นต์ สำหรับของแข็งแขวนลอย ส่วนในถังหมักก๊าซของแข็งทั้งหมดถูกกำจัดเพียง 41.23-47.91 เปอร์เซ็นต์ และมีการกำจัดของแข็งแขวนลอยเท่ากับ 67.71-78.62 เปอร์เซ็นต์

เมื่อเปรียบเทียบค่าของแข็งระเหยและของแข็งแขวนลอยระเหยในถังหมักกรด และถังหมักก๊าซ ซึ่งแทนค่า เอมแอลเอสเอส (Mixed Liquor Suspended Solids, MLSS) และเอมแอลวีเอสเอส (Mixed Liquor Volatile Suspended Solids, MLVSS) ที่แสดงถึงปริมาณของแบคทีเรียโดยประมาณในระบบ พบว่า ในถังหมักกรดจะมีปริมาณ 8,021-8,761 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 7,002-7,689 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ส่วนในถังหมักก๊าซจะมีปริมาณที่ต่ำเพียง 550-729 และ 256-337 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ก๊าซชีวภาพ จากการทดลองพบว่า การผลิตก๊าซจะเกิดขึ้นเฉพาะในถังหมักก๊าซเท่านั้น โดยมีปริมาณการเกิดและสัดส่วนของก๊าซชนิดต่าง ๆ แตกต่างกันไปในแต่ละระยะเวลาเก็บกักดังแสดงในตารางที่ 4.7 อัตราการผลิตก๊าซสูงสุดเท่ากับ 33.6 ลิตรต่อวัน ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 วัน โดยที่เวลา 19.7 และ 15.1 วัน มีอัตราการเกิดลดลงเหลือ 17.4 และ 13.4 ลิตรต่อวัน ตามลำดับ สำหรับปริมาณของก๊าซมีเทนก็เช่นเดียวกัน จะมีปริมาณลดลงตามเปอร์เซ็นต์ที่พบโดยมีอัตราการเกิดก๊าซ 20.7 8.35 และ 11.0 ลิตรต่อวัน ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 15.1 และ 19.7 วัน ตามลำดับ (รูปที่ 4.15)

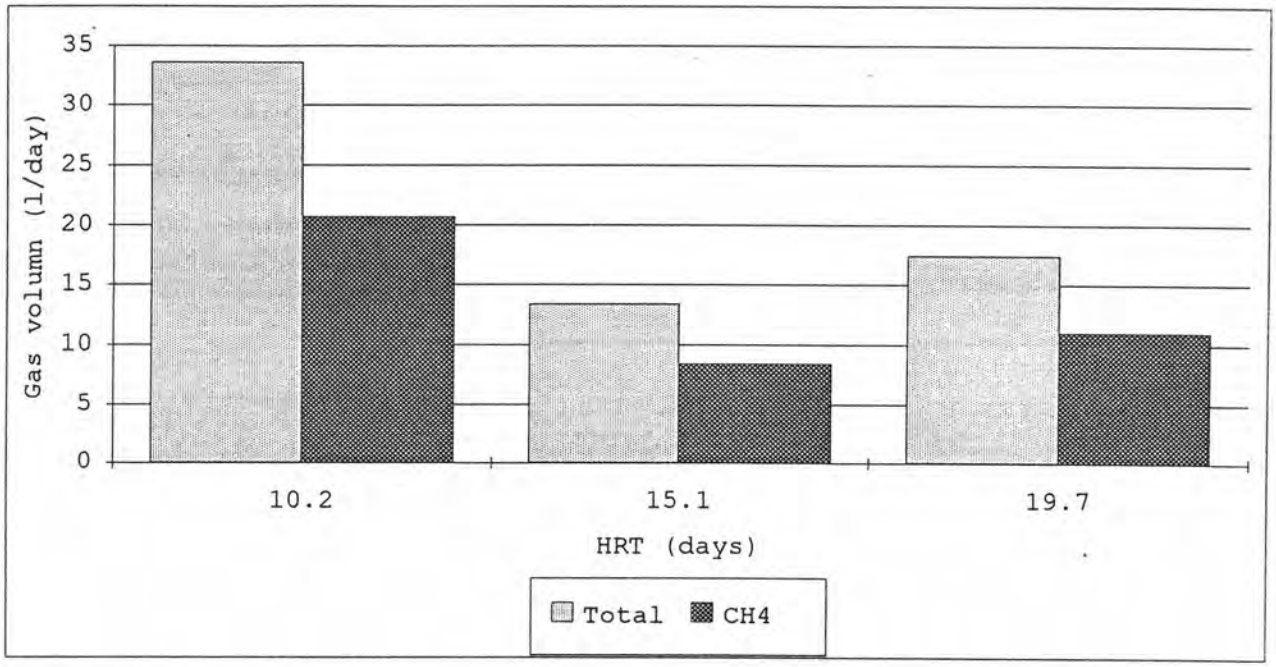
การวิเคราะห์หาสัดส่วนของก๊าซชนิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น พบว่า ก๊าซมีเทนจะมีปริมาณมากที่สุด 61.62-63.39 เปอร์เซ็นต์ โดยเมื่อระยะเวลาเก็บกักนานขึ้นเปอร์เซ็นต์ของก๊าซมีเทนจะเพิ่มขึ้น ตรงข้ามกับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีเปอร์เซ็นต์ของก๊าซลดลงเมื่อระยะเวลาเก็บกักเพิ่มปริมาณที่วัดได้อยู่ในช่วง 24.0-26.7 เปอร์เซ็นต์ สำหรับก๊าซไนโตรเจนและออกซิเจนจะพบในเปอร์เซ็นต์ที่น้อย คือ มีค่าระหว่าง 4.53-8.37 และ 1.12-1.85 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ (รูปที่ 4.16)

เมื่อวิเคราะห์หาอัตราการผลิตก๊าซต่อปริมาตรของถังหมักก๊าซหรือต่อปริมาณสารอินทรีย์ที่เติมเข้าไป พบว่า จะมีค่าสูงสุดที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 วัน และต่ำสุดที่ 15.1 วัน โดยอัตราการผลิตก๊าซต่อปริมาตรของถังหมักก๊าซที่ 10.2 15.1 และ 19.7 มีค่าเท่ากับ 0.19 0.08 และ 0.10 ต่อวัน ตามลำดับ และอัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อปริมาตรของถังหมักก็มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน โดยมีค่าเท่ากับ 0.12 0.05 และ 0.06 ต่อวัน ตามลำดับ (รูปที่ 4.17) สำหรับการหาค่าอัตราการผลิตก๊าซต่อปริมาณของสารอินทรีย์นั้น เนื่องจากปริมาณของสาร

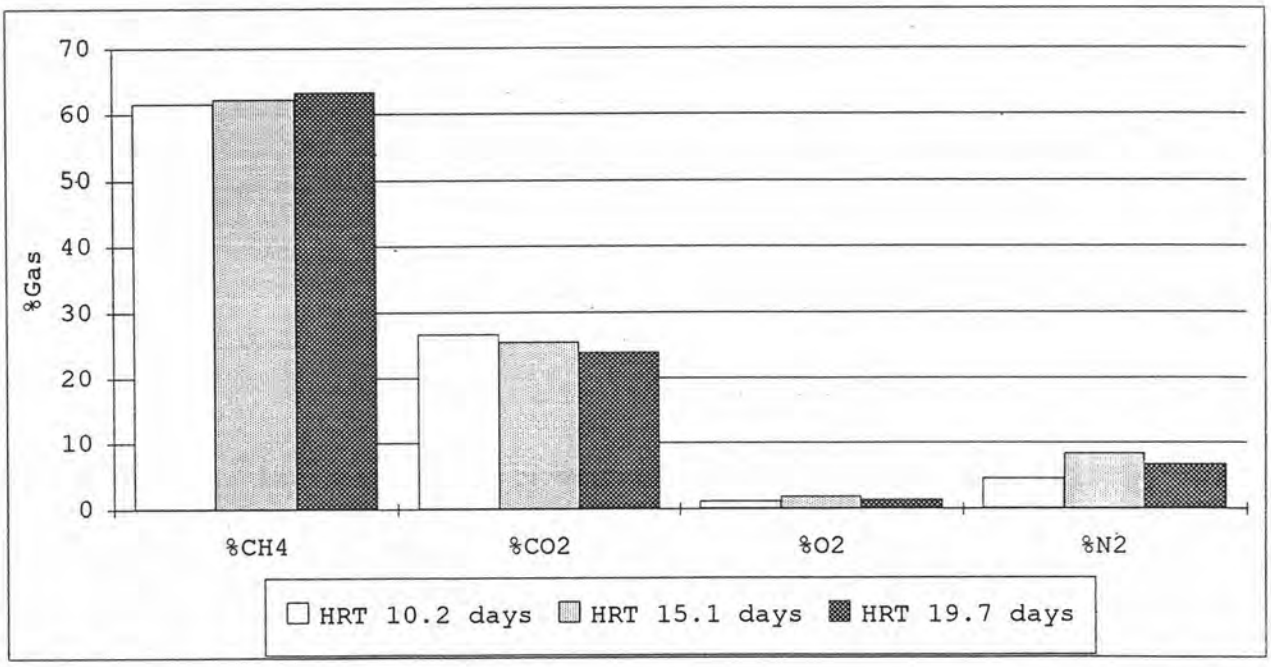
ตารางที่ 4.7 อัตราการผลิตก๊าซและเปอร์เซ็นต์ของก๊าซชนิดต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 15.1 และ 19.7 วัน

	ระยะเวลาเก็บกัก (วัน)		
	10.2	15.1	19.7
ปริมาตรก๊าซทั้งหมด(ลิตร/วัน)	33.6	13.4	17.4
%CH4	61.62	62.28	63.39
%CO2	26.7	25.5	24
%O2	1.12	1.85	1.32
%N2	4.53	8.37	6.65
ปริมาตรก๊าซมีเทน(ลิตร/วัน)	20.7	8.4	11
GPRvol/vol-day	0.19	0.08	0.10
CH4PRvol/vol-day	0.12	0.05	0.06
IGas/gTotalCODadd	0.28	0.12	0.17
ICH4/gTotalCODadd	0.17	0.07	0.11
IGas/gVSadd	0.81	0.28	0.42
ICH4/gVSadd	0.50	0.17	0.27

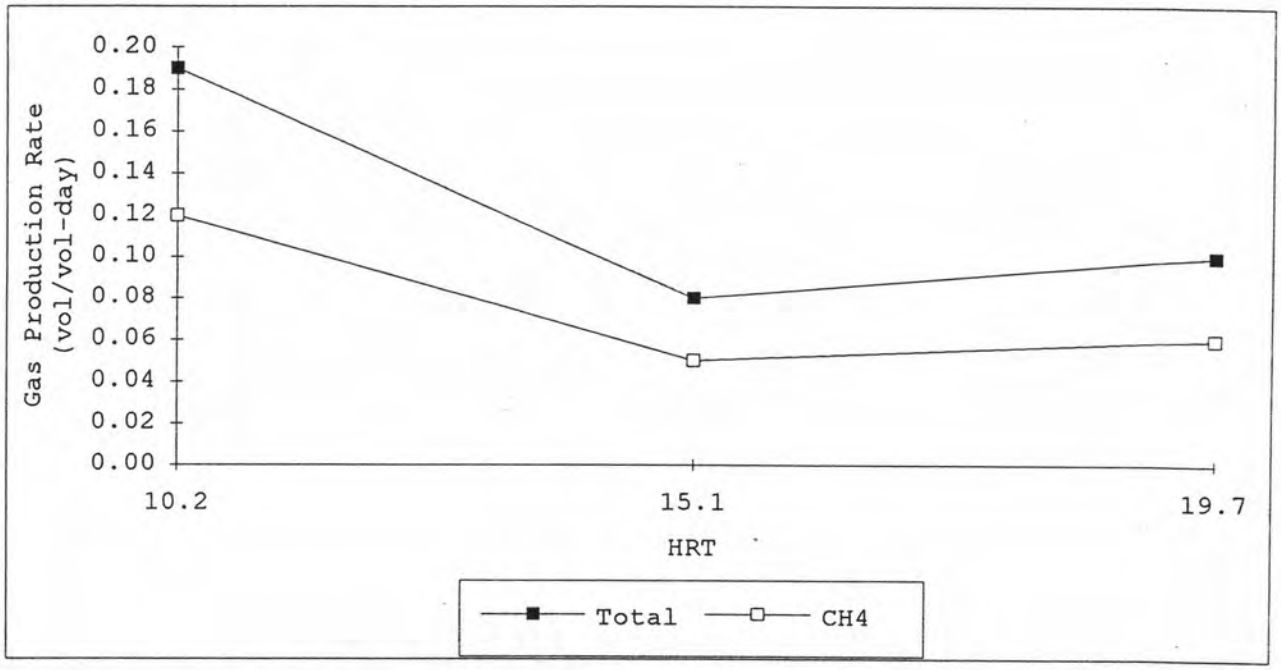
หมายเหตุ GPR vol/vol-day หมายถึง อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อปริมาตรของถังหมักก๊าซ
CH_4PR vol/vol-day หมายถึง อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อปริมาตรของถังหมักก๊าซ
IGas vol./Total COD added หมายถึง อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อซีโอดีทั้งหมด
ICH_4 vol./Total COD added หมายถึง อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อซีโอดีทั้งหมด
IGas vol./VS added หมายถึง อัตราการผลิตก๊าซชีวภาพต่อของแข็งระเหย
ICH_4 vol./VS added หมายถึง อัตราการผลิตก๊าซมีเทนต่อของแข็งระเหย



รูปที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยของปริมาณก๊าซที่ผลิตได้ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 15.1 และ 19.7 วัน



รูปที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยของเปอร์เซ็นต์ก๊าซชนิดต่าง ๆ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 15.1 และ 19.7 วัน



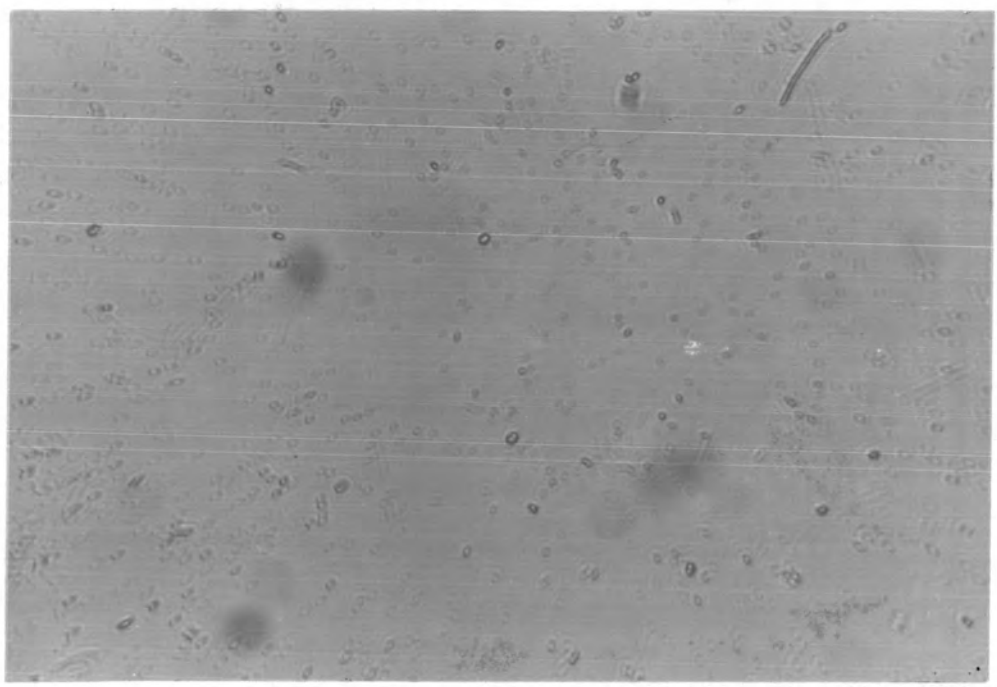
รูปที่ 4.17 ปริมาณก๊าซที่ผลิตต่อปริมาตรของถังหมักก๊าซ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 15.1 และ 19.7 วัน

อินทรีย์ สามารถแสดงได้สองรูปแบบคือ ในรูปของซีโอดี และในรูปของของแข็งระเหย ดังนั้น อัตราการผลิตก๊าซต่อปริมาณสารอินทรีย์ที่ป้อนจึงสามารถคิดได้ทั้งสองรูปแบบ และเนื่องจากในการทดลองเป็นการหมักระบบสองขั้นตอน การป้อนขยะสดเจือจางที่เป็นสารอาหารเข้าสู่ถังหมักกรดไม่ได้ถูกป้อนเข้าถังหมักก๊าซโดยตรงด้วย ดังนั้นการคิดปริมาณสารอินทรีย์จึงคิดจากถังตกตะกอนเข้าถังหมักก๊าซ ซึ่งจากตารางที่ 4.7 พบว่า อัตราการผลิตก๊าซต่อค่าซีโอดีทั้งหมดมีค่าต่ำกว่าอัตราการผลิตก๊าซต่อปริมาณของแข็งระเหย แต่ก็มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกันคือ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 10.2 วันมีค่าสูงสุด ถัดมาที่ 19.7 วัน และมีค่าต่ำสุดที่ 15.2 วัน โดยมีค่าสูงสุดสำหรับปริมาณก๊าซทั้งหมดเท่ากับ 0.28 ลิตรต่อกรัมซีโอดีทั้งหมดที่ป้อน และ 0.81 ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยที่ป้อน และสำหรับปริมาณของก๊าซมีเทนมีค่าเท่ากับ 0.17 ลิตรต่อกรัมซีโอดีทั้งหมดที่ป้อน และ 0.50 ลิตรต่อกรัมของแข็งระเหยที่ป้อน

การเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ

ในการทดลองได้มีการจัดสภาพแวดล้อมให้มีความแตกต่างกันระหว่างถังหมักกรดและถังหมักก๊าซ ทำให้แบคทีเรียในถังหมักกรดผลิตเฉพาะกรดระเหยง่าย ซึ่งใช้เป็นสารอาหารสำหรับแบคทีเรียในถังหมักก๊าซใช้เพื่อผลิตก๊าซมีเทน เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่กำลังขยาย 1,000 เท่า พบว่า แบคทีเรียในถังหมักกรดมีรูปร่างเป็นแบบแท่ง (rod) และแบคทีเรียในถังหมักก๊าซมีรูปร่างเป็นแบบทรงกลม (cocci) โดยแบคทีเรียทั้งสองชนิดย้อมติดสีแกรมลบ (รูปที่ 4.18 และ 4.19)

รูปที่ 4.18 เชื้อแบคทีเรียที่พบในถังหมักกรด



รูปที่ 4.19 เชื้อแบคทีเรียที่พบในถังหมักก๊าซ