



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

ปริญญา

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง

อิทธิพลของสัจจาจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ผ่านการรีดน้ำของโรงงานกระดาษ
ต่อก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ

The Influence of Dewatering Wastewater Treatment Sludge from Pulp and Paper Mill
Industry on Biogas Produced from Anaerobic Composting Process

นามผู้วิจัย นางสาวนิตยา สุขอร่าม

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์สุชาติ เหลืองประเสริฐ, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์มนต์ชัย วงษ์การค้า, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์ชาติ เจริญไชยศรี, D.Eng.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วัน เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

อิทธิพลของสัจจจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ผ่านการรีดน้ำของโรงงานกระดาษต่อก๊าซชีวภาพ
ที่ผลิตจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ

The Influence of Dewatering Wastewater Treatment Sludge from Pulp and Paper Mill Industry
on Biogas Produced from Anaerobic Composting Process

โดย

นางสาวนิตยา สุขอร่าม

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นิตยา สุขอร่าม 2554: อิทธิพลของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียที่ผ่านการรีดน้ำ
ของโรงงานกระดาษต่อก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ
ปริญญานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
อาจารย์สุชาติ เหลืองประเสริฐ, Ph.D. 120 หน้า

ในปัจจุบันสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานกระดาษมีปริมาณที่
สูง โดยประมาณวันละ 10 ตัน ซึ่งสลัดจ์ส่วนนี้จะถูกนำไปทิ้งโดยเปล่าประโยชน์ ทั้งๆที่
องค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ซึ่งสามารถนำมาย่อยสลายและนำกลับมาใช้ใหม่ได้
อย่างไรก็ตามการนำสลัดจ์กลับมาใช้ในรูปของพลังงาน จำเป็นต้องมีกระบวนการที่เหมาะสม
ดังนั้น การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาอิทธิพลของสลัดจ์ก่อนและหลังกระบวนการรีดน้ำต่อ
การเกิดก๊าซชีวภาพและพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการเดินระบบ ในงานวิจัยได้ดำเนินการ โดยนำ
สลัดจ์มาวิเคราะห์ลักษณะสมบัติเบื้องต้น จากนั้นนำสลัดจ์มาผสมกับขี้เลื่อยเพื่อให้อยู่ในสถานะที่
เหมาะสมสำหรับการเดินระบบ โดยมีอัตราส่วน C:N เป็น 30:1 และความชื้น 50-60% จากนั้นทำ
การหมักภายใต้สภาวะไร้อากาศเป็นเวลา 90 วัน

ผลการทดลองพบว่า สลัดจ์ก่อนรีดน้ำสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากกว่า โดยพบว่า
ปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น 4.46 L/kg TVS-d ปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่
ร้อยละ 46.39 ในขณะที่สลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำมีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น 0.02 L/kg TVS-d
ปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 40.69 จากการประเมินปริมาณน้ำชะจาก
ถังหมักไร้อากาศพบว่าสลัดจ์ก่อนรีดน้ำมีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย 2,604.48 มก./ล., พีเอช
6.86 ส่วนสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำมีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย 2,028.54 มก./ล., พีเอช 6.84
การวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำมีผลกระทบต่อ การเกิดก๊าซชีวภาพ โดยทำให้
ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของสารเคมีที่เติมลงไปในช่วงตอนการรีด
น้ำ อย่างไรก็ตาม ยังไม่มีหลักฐานพิสูจน์ที่ชัดเจน

ลายมือชื่อนิตยา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Nittaya Sukaram 2011: The Influence of Dewatering Wastewater Treatment Sludge from Pulp and Paper Mill Industry on Biogas Produced from Anaerobic Composting Process. Master of Engineering (Environmental Engineering), Major Field: Environmental Engineering, Department of Environmental Engineering.
Thesis Advisor: Mr. Suchat Leungprasert, Ph.D. 120 pages.

The dewatering sludge produced from the wastewater treatment system of pulp and paper industry was approximately 10 tons per day. This sludge is usually discarded in spite of its components contain high amount of organic substance that can be decomposed and reused. However, to reuse the sludge as the energy, the appropriate procedures are required. This study aimed to determine the effects of sludge before and after dewatering on the biogas production as well as to determine the suitable operational parameters of the system. In this research, the characteristics of both types of sludge were analyzed. The sludge was then mixed with the sawdust to obtain the desirable condition for the system. The C:N ratio was 30:1 whereas the humidity was controlled at 50-60%. The sludge was left under the anaerobic condition for 90 days.

The results showed that the sludge before dewatering produced biogas more than sludge after dewatering. The biogas produced was 4.46 L/kg TVS-d with the concentration of methane approximately 46.39%. The sludge after dewatering produced biogas about 0.02 L/kg TVS-d with the concentration of methane to be 40.69%. The evaluation of leachate from the anaerobic process indicated that the volatile fatty acid of sludge before dewatering was 2,604 mg/l and pH of 6.86 while the volatile fatty acid of sludge after dewatering was 2,028.54 mg/l and pH of 6.84. In conclusion, the sludge after dewatering affects the biogas production. This result may occur due to chemical added to the sludge in the process of dewatering. However, there is no evident related to support it.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ดร.สุชาติ เหลืองประเสริฐ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
ดร.มนต์ชัย วงษ์การคำ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการศึกษาและการ
ค้นคว้างานวิจัยในครั้งนี้ ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณสำหรับทุนอุดหนุนการวิจัยจากโครงการสนับสนุนทุนนักวิจัยใหม่ วท.
โดยศูนย์ประสานงานนักเรียนทุนรัฐบาลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานพัฒนา
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ รวมทั้งผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่าน ที่มีส่วนร่วมในการให้
ข้อมูล เป็นที่ปรึกษาในการวิจัยนี้จนเสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณคุณปู่ คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัว และเพื่อนๆ ที่ให้การ
สนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ผู้วิจัยมาโดยตลอด และขอขอบพระคุณผู้ที่ให้ความช่วยเหลือ และ
คำแนะนำในการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ซึ่งมิได้เอ่ยนามในที่นี้ทุกๆ ท่าน

นิตยา สุขอร่าม
สิงหาคม 2554

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	29
อุปกรณ์	29
วิธีการ	33
ผลและวิจารณ์	40
สรุปและข้อเสนอแนะ	61
สรุป	61
ข้อเสนอแนะ	62
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	63
ภาคผนวก	66
ภาคผนวก ก ผลการทดลอง	67
ภาคผนวก ข การคำนวณ	108
ภาคผนวก ค วิธีการวิเคราะห์	111
ภาคผนวก ง รูปการวิจัย	115
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	120

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณธาตุอาหารที่พบในสลัดจ์โรงงานอุตสาหกรรมเชื้อและกระดาษ	13
2	ปริมาณโลหะหนักที่พบในสลัดจ์โรงงานอุตสาหกรรมเชื้อและกระดาษ	14
3	วัตถุดิบที่สามารุใช้ทำปุ๋ยหมัก	21
4	วัตถุดิบที่ต้องใช้อย่างระว่าง	22
5	วัตถุดิบที่ห้ามใช้	22
6	ค่าอัตราส่วน C:N ของวัตถุดิบทั้ทั่วไป	28
7	การเก็บตัวอย่าง หรือวัดค่า เพื่อทำการวิเคราะห์	36
8	ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติเบื้องต้นของวัสดุหมัก	40
9	ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด สัดส่วนปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพจากกระบวนการหมักแบบ ไร้อากาศ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 90 วัน	53
10	ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมสูงสุด ในก๊าซชีวภาพจากกระบวนการหมักแบบ ไร้อากาศที่ระยะเวลาเก็บกัก 90 วัน	54
11	คุณวมลสารของกระบวนการหมักสลัดจ์ก่อนรีดน้ำ เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง	59
12	คุณวมลสารของกระบวนการหมักสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง	60
ตารางผนวกที่		
ก1	ค่าความเป็นกรดค้างของน้ำชะจากระบบ และอุณหภูมิของการเดินระบบค่า	68
ก2	VFA จากการวิเคราะห์น้ำชะจากระบบ	70
ก3	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการหมักสลัดจ์ก่อนรีดน้ำ	72
ก4	ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการหมักสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ	74
ก5	ข้อมูลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพจากกระบวนการหมักสลัดจ์ก่อนรีดน้ำ	76
ก6	ข้อมูลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพจากกระบวนการหมักสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ	88
ก7	การเกิดก๊าซมีเทนของสลัดจ์ก่อนรีดน้ำ	100

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่

หน้า

ก8 การเกิดก๊าซมีเทนของสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ

104



สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	กระบวนการผลิตกระดาษ	9
2	การนำกากตะกอนกระดาษและเยื่อกระดาษมาใช้ในการกระบวนการต่างๆ	16
3	สัดส่วนการเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ	24
4	แบบจำลองถังหมัก ไร้อากาศชนิดถังเดี่ยว (single stage) จำนวน 2 ถัง	31
5	ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ	32
6	แผนผังแสดงจุดเก็บตัวอย่างสลัดจ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย	33
7	แผนผังแสดงการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของถังหมักไร้อากาศ	38
8	การควบคุมสารคาร์บอนอินทรีย์ในการทดลอง	39
9	ค่าความเป็นกรดต่างของถังหมักสลัดจ์ก่อนรีดน้ำ	43
10	อุณหภูมิของถังหมักสลัดจ์ก่อนรีดน้ำ	44
11	ปริมาณของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายของถังหมักสลัดจ์ก่อนรีดน้ำ	45
12	ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้น จากกระบวนการหมักสลัดจ์ก่อนรีดน้ำ	46
13	ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น จากกระบวนการหมักสลัดจ์ก่อนรีดน้ำ	47
14	ค่าความเป็นกรดต่างของถังหมักสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ	48
15	อุณหภูมิของถังหมักสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ	49
16	ปริมาณของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายของถังหมักสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ	50
17	ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้น จากกระบวนการหมักสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ	51
18	ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น จากกระบวนการหมักสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ	52
19	ของแข็งทั้งหมดและความชื้น หลังจากสิ้นสุดกระบวนการหมักสลัดจ์ก่อนรีดน้ำ	55
20	ของแข็งระเหยง่าย, ทีเคเอ็นใน ไนโตรเจนและคาร์บอน หลังจากสิ้นสุดกระบวนการหมักสลัดจ์ก่อนรีดน้ำ	56

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	ของแข็งทั้งหมดและความชื้น หลังจากสิ้นสุดกระบวนการหมักสัลดจ์ ที่ผ่านการรีดน้ำ	57
22	ของแข็งระเหยง่าย, ทีเคเอ็น ไนโตรเจนและคาร์บอน หลังจากสิ้นสุด กระบวนการหมักสัลดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ	58
ภาพผนวกที่		
ง1	สัลดจ์จากถังตกตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส ก่อนรีดน้ำ	116
ง2	สัลดจ์จากถังตกตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส ที่ผ่านการรีดน้ำ	117
ง3	ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ	118
ง4	ชุดอุปกรณ์นับก๊าซ	119

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

CH ₄	=	Methane
mg/L	=	milligram per liter
TS	=	Total Solid
TKN	=	Total Kjeldahl Nitrogen
TVS	=	Total Volatile Solid
VFA	=	Volatile Fatty Acid (mg/l as CH ₃ COOH)
C/N ratio	=	สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

**อิทธิพลของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียที่ผ่านการรีดน้ำของโรงงานกระดาษ
ต่อก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ**

**The Influence of Dewatering Wastewater Treatment Sludge from Pulp and Paper
Mill Industry on Biogas Produced from Anaerobic Composting Process**

คำนำ

ที่มาและความสำคัญ

ในการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ระบบตะกอนเร่งของอุตสาหกรรมกระดาษมีการผลิตสลัดจ์ในปริมาณที่สูงประมาณ 10 ตันต่อวัน สลัดจ์เหล่านี้หากมีการปล่อยทิ้งไว้มักจะเน่าเสียง่ายและก่อให้เกิดปัญหาภาวะมลพิษกับชุมชนและสภาพแวดล้อม ทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับกลิ่นรบกวน ซึ่งเป็นภาระที่ทางโรงงานต้องรับผิดชอบในการกำจัด โดยไม่ให้กระทบต่อสภาพแวดล้อม วิธีการกำจัดสลัดจ์มีหลายวิธีขึ้นอยู่กับการนำมาใช้ให้เหมาะสมกับงบประมาณ พื้นที่ และการไม่สร้างปัญหารบกวนกับชุมชน วิธีการกำจัด ได้แก่ การนำไปถมที่ กองบนพื้นดิน ฟังกลบ ทำปุ๋ย และการเผา ซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อดี ข้อเสียแตกต่างกัน โรงงานส่วนมากจะใช้วิธีการกำจัดสลัดจ์ด้วยการถมทิ้ง ความเป็นจริงแล้วสลัดจ์ที่เกิดขึ้นมีประโยชน์มากกว่าการที่จะถมทิ้ง โดยสลัดจ์เหล่านี้มีค่าความชื้นร้อยละ 80-90 (ประริญา, 2546) และมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ร้อยละ 70-90 (ประริญา, 2546) ที่น่าจะนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น นำมาใช้เป็นวัสดุในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์และแ่งเพาะชำ (กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, 2543) ใช้เป็นวัสดุในการทำเชื้อเพลิงอัดแท่ง (สุริยา, 2543) และใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพเพื่อใช้เป็นพลังงานทดแทนถ่านหินหรือน้ำมันเตา

การผลิตก๊าซชีวภาพจากสลัดจ์สามารถผลิตได้โดยวิธีการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจนหรือกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ (กรมควบคุมมลพิษ, 2552) ในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศนอกจากจะเป็นการลดปริมาณสารอินทรีย์แล้ว ยังสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ และเป็นระบบที่ไม่ก่อให้เกิดกลิ่นรบกวน อีกทั้งวัสดุที่ได้จากกระบวนการหมักยังสามารถใช้เป็นวัสดุปรับสภาพดินได้อีกด้วย อย่างไรก็ตาม เนื่องจากสลัดจ์จากโรงงานกระดาษมีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยาก และมีการเติมสารเคมีปรับสภาพทำให้สลัดจ์ขึ้นก่อนทำการรีดสลัดจ์ ซึ่งอาจก่อให้เกิด

ผลกระทบต่อการผลิตก๊าซชีวภาพ อีกทั้งการเดินระบบหมักแบบไร้อากาศมีความยุ่งยากซับซ้อน ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอาจช่วยให้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพมากขึ้น

การศึกษานี้จึงมุ่งเน้นถึงผลอิทธิพลของสัจจต่อการผลิตก๊าซชีวภาพในถังหมักแบบไร้อากาศ และ พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการเดินระบบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์ และสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้อย่างเพียงพอ



วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาอิทธิพลของสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำต่อประสิทธิภาพในการเดินระบบของถังหมักแบบไร้อากาศ และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ

ขอบเขตงานวิจัย

1. สลัดจ์ที่นำมาใช้ในการศึกษามาจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งของโรงงานกระดาษบริษัท ไทยเคนเปเปอร์ จำกัด ต.บ่อทอง อ.กบินทร์บุรี จ.ปราจีนบุรี ตั้งอยู่บนเนื้อที่ 600 ไร่ กำลังการผลิต 175,000 ตัน/ปี สลัดจ์น้ำเสียประมาณ 10 ตัน/วัน ภายใต้สภาวะแวดล้อมของประเทศ ไทย อุณหภูมิ 30-33 องศาเซลเซียส
2. การทดลองนี้เป็นระดับปฏิบัติการ โดยทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
3. ลักษณะสมบัติของสลัดจ์ ที่ต้องการวิเคราะห์ ได้แก่ พีเอช (pH) ของแข็งทั้งหมด (Total Solids) ของแข็งระเหยง่าย (TVS) ทีเคเอ็น (TKN) คาร์บอน (C) และค่าความชื้น (Moisture content)
4. ดำเนินการทดลองเพื่อตรวจวัดปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการหมักสลัดจ์แต่ละ ชนิด และติดตามประสิทธิภาพการเดินระบบโดยวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำชะจากระบบและ ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น ตัวแปรที่วิเคราะห์ได้แก่ พีเอช (pH) อุณหภูมิ (Temperature) กรดอินทรีย์ ระเหยง่าย (VFA) ค่าความเป็นด่างทั้งหมด (Total Alkalinity) ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด (Total gas) ความเข้มข้นของมีเทนในก๊าซชีวภาพ ภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่กำหนด คือ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 90 วัน

การตรวจเอกสาร

1. อุตสาหกรรมกระดาษ

อุตสาหกรรมผลิตกระดาษเป็นอุตสาหกรรมที่ใช้น้ำในกระบวนการผลิตมากเป็นอันดับสามรองจากอุตสาหกรรมผลิตโลหะและสารเคมี โดยปริมาณน้ำที่ใช้แตกต่างกันไปตามชนิดของกระดาษที่ผลิตซึ่งสูงถึง 30 -100 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน ขึ้นอยู่กับคุณภาพของกระดาษที่ต้องการผลิตและความทันสมัยของเครื่องจักร โดยน้ำที่ใช้ส่วนใหญ่จะใช้ในกระบวนการล้างเยื่อกระดาษ (Pulp Washing) และผสมเยื่อกระดาษ (Pulp Mixing) ทำให้น้ำเสียจากอุตสาหกรรมประเภทนี้มีมลพิษปนเปื้อนสูง ทั้งจากเยื่อกระดาษในขั้นตอนการล้างวัตถุดิบและสารเคมีที่ใช้ในการขัดแต่งกระดาษ ซึ่งพบว่าในโรงงานบางแห่งอาจมีค่าซีโอดีของน้ำเสียสูงถึง 11,000 มิลลิกรัมต่อลิตร (Thompson and Forster, 2003)

อุตสาหกรรมกระดาษเป็นอุตสาหกรรมต่อเนื่องมาจากอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ โดยเป็นการใช้เยื่อกระดาษมาผลิตเป็นกระดาษชนิดต่างๆ และเป็นอุตสาหกรรมพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาเศรษฐกิจซึ่งสามารถทดแทนการนำเข้าได้อย่างมาก อัตราการบริโภคกระดาษของคนไทยโดยเฉลี่ยมีประมาณ 40 กิโลกรัมต่อคนต่อปี และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นทุกปี (กลุ่มงานบริการส่งออก 4, 2545)

กระบวนการผลิตกระดาษ

1. วัตถุดิบ

พืชทุกชนิดประกอบด้วยเส้นใย ซึ่งมีเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลัก แต่ไม่ได้หมายความว่าพืชทุกชนิดจะสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษได้ พืชที่สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบได้ต้องมีเส้นใยแข็งแรง นอกจากคำนึงถึงคุณสมบัติของเส้นใยแล้วยังต้องมีความเป็นไปได้ทางธุรกิจ คือ หาง่าย ราคาไม่แพง การเก็บและการขนส่งไม่ยุ่งยาก

พืชที่สามารถใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเยื่อกระดาษแบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่

1. ไม้ยืนต้น (Wood) หมายถึง พืชที่เป็นต้นไม้มีลำต้นแข็งแรง อายุยืน แบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1.1 ไม้เนื้ออ่อน (Softwood) เป็นไม้ที่ขึ้นในที่สูง อากาศเย็น โตช้า ใบมีลักษณะแคบ เรียวยาว เส้นใยในไม้เนื้ออ่อนเรียกว่า เยื่อใยขาว มีลักษณะหยาบ ความแข็งแรงสูง พืชในกลุ่มนี้ ได้แก่ สน (Pine)

1.2 ไม้เนื้อแข็ง (Hardwood) เป็นไม้ที่ขึ้นในบริเวณเขตร้อน โตเร็ว ใบมีลักษณะกว้าง เส้นใยในไม้เนื้อแข็ง เรียกว่า เส้นใยสั้น มีลักษณะเล็ก ละเอียดย ความแข็งแรงต่ำ ไม้ในกลุ่มนี้ ได้แก่ ยูคาลิปตัส (Eucalyptus) เบิร์ช (Birch) แอสเพน (Aspen) กระจิงเทพา (Acacia)

2. ไม้ล้มลุก (Nonwood) ได้แก่ พืชอื่นนอกเหนือจากไม้ยืนต้น ที่เส้นใยมีคุณสมบัติเหมาะสม สามารถนำมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตกระดาษได้ ได้แก่ ปอ ใผ่ ฟ้าย หรือส่วนที่เหลือจากเกษตรและอุตสาหกรรม เช่น ฟางข้าว ชานอ้อย เป็นต้น ข้อเสียของเส้นใยจากไม้ล้มลุก คือ มีคุณสมบัติไม่แน่นอน

นอกจาก ไม้ซึ่งเป็นวัตถุดิบหลักแล้วยังมีการใช้น้ำ สารเคมี และน้ำมันเตาในการผลิตอีกด้วย

2. กระบวนการผลิต

ไม้เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตกระดาษ ซึ่งประกอบไปด้วย เซลลูโลส ประมาณ 45 เปอร์เซ็นต์ เฮมิเซลลูโลส ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ ลิกนิน ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ลิกนินเป็นสารเชื่อมเยื่อเซลลูโลสเข้าด้วยกัน และสารประกอบอื่นๆ อีกประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ เช่น เรซิน ไขมัน เป็นต้น อุตสาหกรรมกระดาษมีกระบวนการผลิตหลักๆ ที่สำคัญ คือ กระบวนการเตรียมเยื่อกระดาษ (Pulping Process) กระบวนการฟอกเยื่อกระดาษ (Bleaching Process) และการสร้างกระดาษ (Paper Manufacturing) ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการบีบอัดกระดาษ และการเป่าแห้ง (Simon and Bruce, 2003)

กระบวนการเตรียมเยื่อกระดาษ เป็นกระบวนการแยกลิกนิน เรซิน และไขมันออกจากเยื่อเซลลูโลส วิธีที่นิยมใช้เป็นวิธีทางเคมี (Chemical Pulping) โดยการให้ความร้อนในโซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมซัลไฟด์ ซึ่งสามารถแยกลิกนินได้ดีกว่าแบบใช้วิธีการบด

(Mechanical Pulping) แต่ในอุตสาหกรรมกระดาษที่ต้องการผลิตกระดาษที่มีความอ่อนนุ่มจะใช้วิธีให้ความร้อนในกรดซัลฟูริกแทน ซึ่งจะให้เยื่อกระดาษที่มีลักษณะอ่อนนุ่มมากกว่าแบบแรก เมื่อทำการแยกลิกนินและซินออกจากเยื่อกระดาษบางส่วนแล้วขั้นตอนต่อมาเป็นการนำเยื่อกระดาษมาทำให้มีความบริสุทธิ์และสะอาดมากยิ่งขึ้น โดยเรียกกระบวนการนี้ว่า กระบวนการฟอกเยื่อกระดาษ ซึ่งเป็นการใช้สารออกซิไดซ์ที่รุนแรง (Strong Oxidants) เช่น คลอรีนไดออกไซด์ ออกซิเจนโอโซน หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ แต่พบว่าการใช้ก๊าซคลอรีนในการฟอกเยื่อนั้นมีผลทำให้เกิดสารประกอบพอลิคลอรีเนตซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง จึงไม่นิยมใช้ในปัจจุบัน เมื่อได้เยื่อที่พร้อมจะนำมาผลิตกระดาษแล้ว ก็จะเข้าสู่กระบวนการในส่วนสุดท้าย คือ การบีบอัดและเป่าแห้ง เยื่อกระดาษที่ผ่านเข้ากระบวนการนี้จะถูกบีบอัดด้วยแม่พิมพ์ที่ทำด้วยไนลอนหรือโพลีเอสเตอร์ ซึ่งในขั้นตอนนี้สามารถลดความชื้นในกระดาษได้ประมาณ 50-60 เปอร์เซ็นต์ และเข้าสู่กระบวนการอบแห้งเพื่อที่จะลดความชื้นในกระดาษขั้นสุดท้ายให้เหลือเพียง 2-6 เปอร์เซ็นต์ เมื่อได้กระดาษที่มีความชื้นต่ำแล้วอาจมีการปรับปรุงคุณภาพกระดาษด้วยการเคลือบผิวหน้ากระดาษ (Coating) ด้วยวิธีที่หลากหลายตามแต่ละชนิดของกระดาษที่ผลิต เช่น การใช้แป้งเคลือบผิวหน้ากระดาษเพื่อเพิ่มคุณสมบัติในการพิมพ์ หรืออาจเพิ่มรงควัตถุและสารเพิ่มแรงยึดเกาะเพื่อให้กระดาษมีสีและมีความเหนียวมากยิ่งขึ้นแล้วจึงผ่านขั้นตอนสุดท้าย คือ ขั้นตอนการม้วนและตัดเพื่อรอการจำหน่ายต่อไป (Simon and Bruce, 2003)

โดยทั่วไปขั้นตอนการผลิตเยื่อกระดาษ จะมีขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

1. การจัดเตรียมวัตถุดิบ (Raw Material Preparation)

จุดประสงค์ของการจัดเตรียมวัตถุดิบ คือ เพื่อทำการแยกและกำจัดสิ่งปะปนที่ไม่ต้องการออกและแปรรูปให้มีขนาดที่เหมาะสม เช่น วัตถุดิบประเภทไม้จะถูกปอกเปลือกออกจากนั้นจะถูกล้างด้วยน้ำก่อนนำเข้าเครื่องสับชิ้นไม้ และคัดแยกขนาดชิ้นไม้เพื่อกำจัดเลื่อยไม้และฝุ่นไม้ออกไป

2. การแยกเส้นใย (Pulp Disintegration)

วิธีการแยกเส้นใยมีอยู่ด้วยกัน 3 กลุ่ม คือ กระบวนการกล, กระบวนการกึ่งเคมี และกระบวนการเคมี โดยกลุ่มแรกวัตถุดิบจะเข้าเครื่องบดเพื่อกระจายเส้นใยออกจากกันซึ่งอาจใช้

สารเคมีและความร้อนเข้าช่วย ส่วนสองกลุ่มหลังวัตถุดิบจะเข้าสู่หม้อต้มเยื่อเพื่อทำการแยกเส้นใย ซึ่งวิธีการแต่ละกลุ่มจะให้คุณสมบัติของเยื่อกระดาษแตกต่างกัน

3. การคัดขนาด (Screening)

เส้นใยที่ถูกคัดขนาดแล้วจะเข้าสู่ขั้นตอนการคัดขนาดของเยื่อ เพื่อแยกเยื่อออกจากสิ่งแปลกปลอมที่ไม่ต้องการ เช่น ตาไม้ ชัน ไม้สับที่ผ่านการต้มเยื่อยังไม่สมบูรณ์ และเส้นใยที่ยังไม่สมบูรณ์

4. การล้างเยื่อ (Washing)

หากแยกเส้นใยโดยใช้กระบวนการกึ่งเคมี กระบวนการเคมี เมื่อผ่านขั้นตอนการคัดขนาดเยื่อแล้ว จะต้องผ่านขั้นตอนการล้างเยื่อ ซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้ายของเยื่อกึ่งเคมี จุดประสงค์ในการล้างเยื่อ คือ ต้องการล้างของเหลวค้างซึ่งประกอบด้วยสารเคมี ลิกนิน และส่วนประกอบอื่นๆ ของเส้นใยออกจากเยื่อ

5. การสกัดลิกนินด้วยออกซิเจน (O_2 Delignification)

ในการผลิตเยื่อเคมีโดยใช้คาร์ลิลปัส และไม้ไผ่เป็นวัตถุดิบ จะถูกสกัดลิกนินออกจากเยื่อโดยการใช้ออกซิเจนทำปฏิกิริยากับลิกนินช่วยให้ลิกนินหลุดออกเพิ่มมากขึ้น หลังจากลิกนินบางส่วนได้หลุดไปแล้วในขั้นตอนการล้างเยื่อ และการฟอกเยื่อขั้นตอนแรกก่อนเข้าสู่การฟอกเยื่อขาว

6. การฟอกเยื่อ (Bleaching)

คุณสมบัติของกระดาษบางชนิด เช่น กระดาษพิมพ์เขียน กระดาษทิชชู และกระดาษสา ฯลฯ ต้องมีขั้นตอนการฟอกเยื่อซึ่งเป็นการปรับปรุงคุณภาพเยื่อในด้านความสว่าง หากต้องการความขาวของเยื่อกระดาษมากๆ การฟอกเยื่อมีหลายขั้นตอนเพื่อให้ได้เยื่อกระดาษที่มีความขาวตามต้องการ

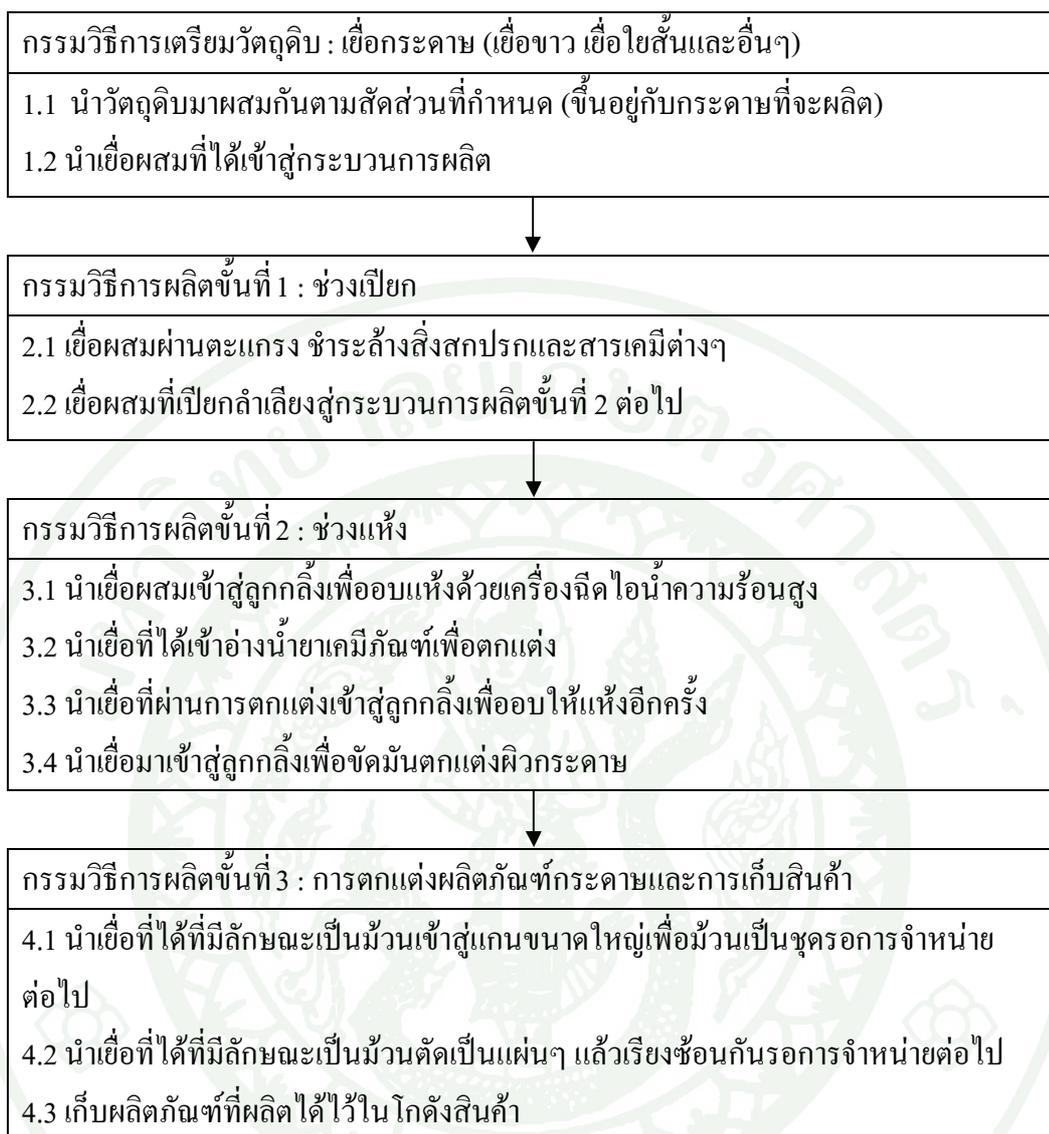
7. หน่วยทำความสะอาดเชื้อหลังการฟอก (Bleached Stock Screening)

สำหรับขั้นตอนนี้เชื้อกระดาษจะถูกทำความสะอาดขั้นตอนสุดท้าย เพื่อแยกสิ่งสกปรกที่อาจปะปนไปกับผลิตภัณฑ์หลังเชื้อกระดาษเข้าสู่ขั้นตอนการเดินแผ่น

8. ขั้นตอนการเดินแผ่นและการอบแห้ง (Sheet Forming and Drying)

เชื้อกระดาษหลังผ่านการฟอกเชื้อและทำความสะอาดขั้นสุดท้ายแล้ว จะเข้าสู่ขั้นตอนการเดินแผ่นขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ และผ่านการอบแห้งก่อนส่งลูกค้าต่อไป

ขั้นตอนการผลิตเชื้อกระดาษ สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 กระบวนการผลิตกระดาษ

ที่มา: กลุ่มงานบริการส่งออก 4 (2545)

กระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ

น้ำเสียจากอุตสาหกรรมประเภทนี้ประกอบไปด้วยสารที่เป็นสารอินทรีย์การบำบัดน้ำเสียขั้นแรกจะเป็นการกำจัดพวกอนินทรีย์สาร คือสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการและสีข้อม หลังจากนั้นจะได้น้ำเสียที่เหลือออกมา และทำการบำบัดขั้นต่อไป ระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานเป็นระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) เพื่อรองรับน้ำเสียจากโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ น้ำเสียจะถูกส่งเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย โดยผ่านตะแกรง (Screen) เพื่อคัดสิ่งเจือปนที่มีขนาดใหญ่ ออกจากน้ำเสีย

1. น้ำเสียที่ผ่านตะแกรงแล้วจะผ่านเข้าสู่บ่อตกตะกอนขั้นที่ 1 (Primary Clarifier) เพื่อแยกตะกอนแขวนลอยออกจากน้ำเสียในขั้นหนึ่งก่อน ตะกอนที่ได้จะสูบไปยังถังพักตะกอน (Sludge Tank)
2. น้ำเสียจากบ่อตกตะกอนขั้นที่ 1 ผ่านเข้าสู่บ่อปรับสภาพน้ำ (Equation Tank) เพื่อปรับสภาพน้ำเสียให้มีคุณสมบัติและอัตราการไหลสม่ำเสมอ
3. น้ำเสียจากบ่อปรับสภาพน้ำจะผ่านเข้าสู่บ่อเติมอากาศ (Aeration Tank) ซึ่งติดตั้งเครื่องเติมอากาศ (Aerator) เพื่อเติมอากาศให้แบคทีเรียนำไปใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสีย
4. น้ำเสียจากบ่อเติมอากาศจะผ่านเข้าสู่บ่อตกตะกอนขั้นที่สอง (Secondary Clarifier) เพื่อแยกตะกอนแบคทีเรียออกจากน้ำเสีย โดยตะกอนจะตกลงสู่ด้านล่างน้ำใสจะอยู่ด้านบนและไหลเข้าบ่อพักน้ำทิ้ง
5. ตะกอนที่ได้จากถังตกตะกอนขั้นที่หนึ่งและขั้นที่สองจะถูกสูบไปยังถังพักตะกอน (Sludge Tank) แล้วจึงสูบตะกอนไปยังเครื่องบีบตะกอน (Belt Filter Press) เพื่อกำจัดน้ำออกจากตะกอน โดยมีกากตะกอนเกิดขึ้นมีลักษณะเป็นผงเกาะตัวกันเป็นแผ่นหนา เนื้อตะกอนประกอบไปด้วยเยื่อกระดาษเล็กๆ เกาะตัวกัน โดยลักษณะของน้ำเสียที่ออกจากกระบวนการผลิตของโรงงานประเภทจะประกอบไปด้วยสารประเภทอินทรีย์สารย่อยยากอยู่เป็นจำนวนมาก ซึ่งเป็นส่วนประกอบของเนื้อไม้ที่นำมาผลิตเป็นกระดาษเช่น ลิกนิน ลิกโนเซลลูโลส

น้ำเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่มีทั้งสารอินทรีย์และอินทรีย์ปะปนในปริมาณมาก ซึ่งระบบบำบัดน้ำเสียแบบชีววิทยาเป็นระบบที่ถูกนำมาใช้ในการบำบัดมากระบบหนึ่ง โดยใช้จุลินทรีย์ช่วยในการบำบัดน้ำเสียที่นิยมใช้กันคือระบบบำบัดน้ำเสียแบบ Activated sludge หัวใจสำคัญของระบบบำบัดแบบนี้คืออาศัยจุลินทรีย์ทั้งหลายที่มีอยู่ในถังเติมอากาศของระบบเป็นตัวย่อยสลายสิ่งสกปรกที่มีอยู่ในน้ำเสียให้หมดไปหรือจนมีความสะอาดเพียงพอที่จะระบายทิ้งได้โดยไม่ทำให้น้ำคูคลองเน่าเสียอีก สิ่งสกปรกในน้ำเสียที่จุลินทรีย์สามารถย่อยสลายได้ส่วนใหญ่เป็นพวกสารอินทรีย์ทั้งในรูปที่ละลายน้ำได้และในรูปของคอลลอยด์ ผลผลิตสุดท้ายที่ได้จากการย่อย ได้แก่ ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ เชลจุลินทรีย์ตัวใหม่ และพลังงานดังนี้

น้ำเสีย + จุลินทรีย์ + ออกซิเจน \longrightarrow คาร์บอนไดออกไซด์ + น้ำ + จุลินทรีย์ตัวใหม่ + พลังงาน (สารอินทรีย์)

โดยทั่วไปแล้วเชลล์จุลินทรีย์จะประกอบด้วยส่วนที่เป็นพวกสารอินทรีย์ 70-90 % และส่วนที่เป็นสารอนินทรีย์อีก 10-30 % (ประริญา, 2546) ดังนั้น จะเห็นได้ว่าสารอินทรีย์ซึ่งเป็นสิ่งสกปรกส่วนใหญ่ในน้ำเสียจะถูกเปลี่ยนมาเป็นเชลล์ของจุลินทรีย์นั่นเอง เนื่องจากตะกอนจุลินทรีย์มีน้ำหนักมากกว่าซึ่งสามารถแยกออกจากน้ำได้ง่ายด้วยถังตกตะกอน ตะกอนที่ถูกสูบออกจากถังตกตะกอนเรียกว่า กากตะกอนน้ำเสียหรือสลัดจ์นั่นเอง กากตะกอนน้ำเสียที่ได้นี้จะถูกนำไปกำจัดได้หลายวิธีเช่น ถมที่ ทิ้งทะเล เผากำจัดโดยตรง หมักทำ ปุ๋ย ใช้ปรับปรุงดิน เหล่านี้เป็นต้น

การย่อยตะกอนในสภาพไร้อากาศจะสามารถลดปริมาณของแข็งในตะกอนได้ โดยจะเป็นการเปลี่ยนรูปของตะกอนอินทรีย์ ซึ่งมีสภาพเป็นของแข็งกึ่งเหลวให้อยู่ในรูปสารประกอบที่เสถียรซึ่งอาจจะเป็นของเหลวหรือก๊าซโดยมีสัดส่วนของมีเทนในปริมาณสูง ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ต่อไป กระบวนการย่อยตะกอนเกิดขึ้นโดยจุลินทรีย์ 2 กลุ่ม ซึ่งอาศัยอยู่ร่วมกัน คือกลุ่มผลิตกรดอินทรีย์ (acid formers) และกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน (methane formers)

หลักการที่สำคัญในการควบคุมการทำงานของถังย่อยตะกอนแบบไร้อากาศให้มีประสิทธิภาพจะต้องสามารถควบคุมการเจริญเติบโตของแบคทีเรียทั้ง 2 กลุ่มให้อยู่ในปริมาณที่เหมาะสม โดยการควบคุมอัตราการจ่ายตะกอน อัตราส่วนของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อความเป็นด่าง (volatile/alkalinity) การกวนผสมและอุณหภูมิภายในถังหมักให้เหมาะสม

โดยทั่วไปถึงย่อยตะกอนที่สามารถลดปริมาณตะกอนซึ่งเป็นสารอินทรีย์ลงได้ประมาณร้อยละ 50-60 ของปริมาณที่มีอยู่ในตะกอนสด ถือว่าทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดี

2. กระบวนการบำบัดและกำจัดสลัดจ์จากโรงงานกระดาษ

ลักษณะสมบัติของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานกระดาษ

ลักษณะสมบัติของสลัดจ์บางอย่างสามารถถูกกำจัดหรือทำให้มีปริมาณน้อยลงได้ในระหว่างขั้นตอนการบำบัดน้ำเสีย แต่องค์ประกอบบางอย่างไม้อาจจะถูกกำจัดให้หมดไปได้เลยทีเดียวหรือบางครั้งอาจมีความเข้มข้นในสลัดจ์สูงกว่าในน้ำเสียก็ได้ ลักษณะทางกายภาพสลัดจ์อยู่ในรูปกึ่งแข็งกึ่งเหลว (Semi-Solid) มีลักษณะคล้ายดินเหนียว สีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ เมื่ออยู่ในรูปที่ไม่คงตัวจะมีกลิ่นเหม็น มีแก๊ส และความร้อนจากการย่อยสลายสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียของจุลินทรีย์

องค์ประกอบทางเคมีของกากตะกอนจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต วัตถุประสงค์ที่ใช้ ประเภทของน้ำเสีย ชนิดของระบบบำบัดน้ำเสีย และกระบวนการบำบัดน้ำเสีย

สลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียประกอบด้วยสารหลายชนิดทั้งสารประกอบอินทรีย์และสารประกอบอนินทรีย์ โดยองค์ประกอบส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ ส่วนประกอบของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียแยกออกได้เป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

- 1) ธาตุอาหารพืช ได้แก่ ไนโตรเจน, ฟอสฟอรัส, โพแทสเซียมและจุลธาตุอาหารของพืช (เหล็ก แมงกานีส ทองแดง สังกะสี) และธาตุอื่น ๆ
- 2) โลหะหนัก สารอินทรีย์เคมี จุลินทรีย์และหนอนพยาธิต่างๆ

สลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ เป็นของเสียเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตเยื่อและกระดาษ ซึ่งจะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตและกระบวนการผลิต โดยทั่วไปแล้วในการผลิตเยื่อและกระดาษจะใช้ไม้เป็นวัตถุดิบหลัก ซึ่งส่วนประกอบของไม้จะประกอบไปด้วยเส้นใยเซลลูโลสเฮมิเซลลูโลส แอสแตงองค์ประกอบดังตารางที่ 1 โดยมีลิกนินทำหน้าที่ให้ความแข็งแรงกับไม้โดยยึดเกาะเส้นใยเซลลูโลสให้ติดกัน ในกระบวนการผลิตเยื่อกระดาษจึงมีการแยกลิกนินออกมาเพื่อให้เส้นใยสามารถกระจายตัวได้อย่างอิสระ (อิสรี, 2550)

องค์ประกอบของสลัดจ์จากระบบบำบัดน้ำเสียโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ ในส่วนที่เป็นธาตุอาหารของพืช ทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และจุลธาตุอาหารของพืช สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณธาตุอาหารที่พบในสลัดจ์โรงงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ

ธาตุอาหาร	ปริมาณที่พบในสลัดจ์
ไนโตรเจน (%)	2.01-3.22
ฟอสฟอรัส (%)	0.31-1.15
โพแทสเซียม (%)	0.10-0.18
แคลเซียม (%)	0.25-0.34
แมกนีเซียม (%)	0.08-0.14
กำมะถัน (%)	0.29-0.36
เหล็ก (ppm)	30.00
แมงกานีส (ppm)	124.00
ทองแดง (ppm)	6.00
สังกะสี (ppm)	48.00
โบรอน (ppm)	48.00
โมลิบดีนัม (ppm)	ไม่มีข้อมูล
คลอรีน (ppm)	12.00

ที่มา: สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2543)

เนื่องจากในกระบวนการผลิตของโรงงานผลิตเชื้อกระดาษจะต้องใช้สารเคมีในส่วนของ การผลิตเป็นจำนวนมาก ดังนั้นจะต้องทำการวิเคราะห์หาปริมาณ โลหะหนักที่มีอยู่ในสลัดจ์ก่อนที่จะ นำมาใช้เป็นวัสดุหมัก ผลการวิเคราะห์ปริมาณ โลหะหนักที่พบในสลัดจ์โรงงานอุตสาหกรรมเยื่อ และกระดาษ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณโลหะหนักที่พบในสลัดจ์โรงงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ

ชนิดโลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนัก (mg/kg)
ตะกั่ว (Pb)	23.4000
แคดเมียม (Cd)	2.6000
ปรอท (Hg)	0.0026
สารหนู (As)	0.0029

ที่มา: ประริญา (2546)

วิธีการบำบัดหรือกำจัดสลัดจ์

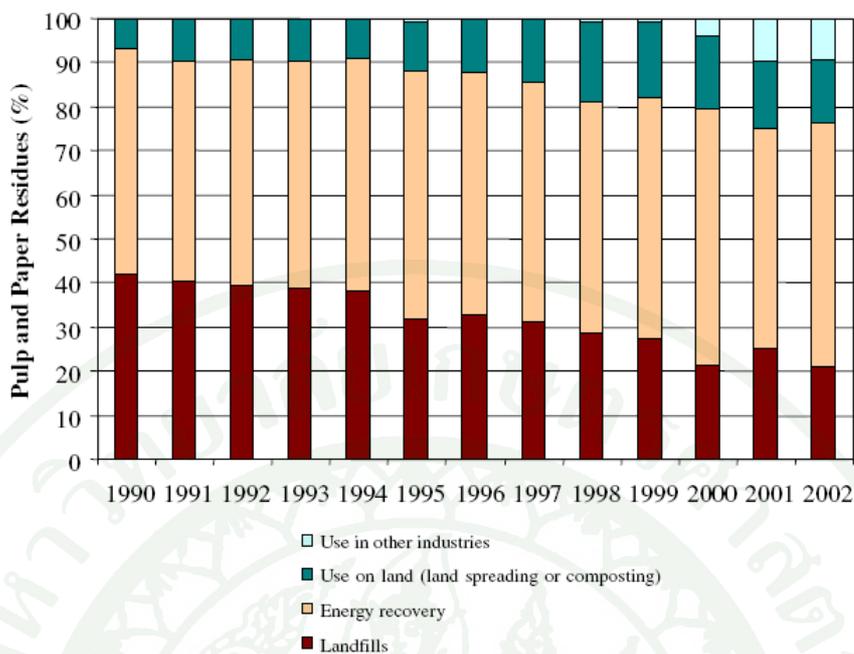
การกำจัดกากตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดแล้วมีหลายวิธี ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะมีแนวทาง ขึ้นพื้นฐานอยู่ 5 แผนงาน คือ การขนไปทิ้งทะเล (marine disposal)

1. การเกลี่ยผสมกับหน้าดินเพื่อเป็นสารปรับปรุงดิน (Spreading on soil)
2. การกำจัดโดยนำไปถมพื้นที่โดยตะกอนอยู่ในรูปตะกอนแห้ง (Landfill)
3. การเผา (Incineration)
4. การหมักทำปุ๋ย (Composting)

การเลือกวิธีกำจัดกากตะกอนน้ำเสียนั้น จะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบของกากตะกอนน้ำ เสีย ความสมดุลของระบบนิเวศ ผลกระทบต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม รวมถึงค่าใช้จ่ายใน การกำจัดและความเหมาะสมในแต่ละประเทศ ในบางวิธีถึงแม้จะมีค่าใช้จ่ายสูงแต่ก็มีได้หมายความว่าวิธีดังกล่าวจะไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี 2009, Monte *et al.* ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ การจัดการของเสียจากการผลิตกระดาษ และเยื่อกระดาษในสหภาพยุโรป โดยได้กล่าวถึงอุตสาหกรรมกระดาษในยุโรปว่าทำให้เกิดของเสีย 11 ล้านตันต่อปี ซึ่งร้อยละ 70 ของของเสียทั้งหมด มาจากการผลิตกระดาษรีไซเคิล ของเสียที่เกิดขึ้นจะมีองค์ประกอบที่หลากหลาย มีทั้งกากตะกอนเยื่อกระดาษและเถ้าที่เกิดจากการกำจัดกากตะกอนเยื่อกระดาษด้วยวิธีการเผา การผลิตกระดาษและเยื่อกระดาษจากเยื่อบริสุทธิ์จะก่อให้เกิดของเสียน้อยกว่า แต่ของเสียจะมีคุณสมบัติคล้ายกับของเสียที่ได้จากการผลิตเยื่อกระดาษจากกระดาษรีไซเคิล เนื่องจากมีกฎหมายควบคุมและการเพิ่มภาษีในการกำจัดกากตะกอนเยื่อกระดาษด้วยวิธีการฝังกลบ วิธีฝังกลบจึงเป็นทางเลือกสุดท้ายของการกำจัดของเสียในยุโรป และการเผาเพื่อให้ได้พลังงานกลับมาใช้ใหม่เป็นวิธีการหลักที่ใช้ในการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้น ทางเลือกอื่นๆ เช่น การผลิตก๊าซชีวภาพ การถลุง การหมักทำปุ๋ย และการใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง ก็เป็นวิธีที่กำลังถูกนำมาใช้ ดังภาพที่ 2 แต่ก็ยังมีความจำเป็นที่จะต้องทำการศึกษาวิจัยถึงสภาวะที่เหมาะสมของกระบวนการต่างๆ เนื่องจากของเสียที่เกิดขึ้นมีปริมาณมาก ความชื้นสูง และองค์ประกอบของของเสียจะขึ้นอยู่กับกระบวนการปรับสภาพกากตะกอนด้วย แต่การนำของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตกระดาษกลับมาใช้ใหม่อาจจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการนำของเสียมาใช้ประโยชน์ในรูปแบบวิธีการต่างๆ โดยคำนึงถึงปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมและความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ที่อาจเกิดขึ้นจากการบำบัดของเสียเหล่านี้



ภาพที่ 2 การนำกากตะกอนกระดาษและเยื่อกระดาษมาใช้ในกระบวนการต่างๆ

ที่มา: Monte *et al.* (2009)

กระบวนการที่แตกต่างกันในอุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษส่งผลให้ของเสียและกากตะกอนที่เกิดขึ้นมีคุณลักษณะที่ต่างกันออกไป ของเสียที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะมาจากการผลิตเยื่อกระดาษ กระบวนการดึ่งหมักพิมพ์ออกจากกระดาษเพื่อผลิตกระดาษรีไซเคิล และกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ปริมาณและองค์ประกอบของของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการผลิตขึ้นอยู่กับชนิดของกระดาษที่ต้องการผลิต วัตถุดิบที่ใช้ เทคนิคที่ใช้ในกระบวนการผลิต และคุณสมบัติของกระดาษที่ต้องการ ของเสียต่างๆ ที่เกิดจากกระบวนการผลิตกระดาษและกระบวนการบำบัดน้ำเสียในแง่ของปริมาณของแข็งและของเหลวส่วนใหญ่มาจากกระบวนการบำบัดน้ำเสีย แต่ก็ยังมีขยะจำพวกไม้ที่เกิดจากกระบวนการผลิตอีกปริมาณมาก (Monte *et al.*, 2009)

โดยทั่วไปของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตกระดาษและเยื่อกระดาษจะมีความชื้นสูง และมีสารอินทรีย์ที่อยู่ในรูปของเส้นใยไม้หรือเยื่อกระดาษ และอาจมีเชื้อโรค รวมทั้งมีปริมาณแฉะที่สูงและอาจมีโลหะหนักปะปนอยู่ด้วยเล็กน้อย (Monte *et al.*, 2009)

ในปี 2009, Monte *et al.* ได้กล่าวถึงประเภทของของเสียหลักๆ ที่เกิดจากโรงงานกระดาษ และเยื่อกระดาษไว้ดังต่อไปนี้

1. โรงงานผลิตเยื่อกระดาษ

- วัสดุที่ถูกคัดออก

วัสดุที่ถูกคัดออกจากเยื่อบริสุทธิ์ ประกอบด้วย ทราย เปลือกไม้ และเศษไม้ ซึ่งไม่ควรมีปะปนอยู่ในกระบวนการผลิตกระดาษ วัสดุที่ถูกคัดแยกออกเหล่านี้ จะมีค่าความชื้นต่ำ และสามารถกำจัดน้ำออกได้ง่าย โดยทั่วไปจะใช้เปลือกไม้ในการเผาให้พลังงานกับหม้อไอน้ำ

- กากตะกอนเยื่อกระดาษจากระบบบำบัดน้ำเสีย

กากตะกอนที่เกิดขึ้นจะมาจาก 2 ส่วนคือ กากตะกอนขั้นต้น และจากถังตกตะกอนขั้นที่สอง กากตะกอนเหล่านี้โดยทั่วไปจะถูกผสมเข้ากับโพลีเมอร์เพื่อทำการปรับสภาพ ก่อนกระบวนการรีดน้ำ โดยจะประกอบไปด้วยของแข็งร้อยละ 25-40

- กากตะกอนเคมี

กากตะกอนชนิดนี้เกิดขึ้นจากการบำบัดน้ำเสียและจะถูกส่งไปกำจัดโดยการฝังกลบ เนื่องจากมีปริมาณสารอนินทรีย์และน้ำสูง

2. โรงงานผลิตกระดาษ

- วัสดุที่ถูกคัดออก

วัสดุที่ถูกคัดออกจากกระบวนการผลิตกระดาษ จากกระดาษรีไซเคิลมักจะมีสิ่งเจือปนต่างๆ เช่น ลวดเย็บกระดาษ เศษทราย แก้ว พลาสติก และสารเคมีอื่นๆ ของเสียเหล่านี้จะมีค่าความชื้นค่อนข้างต่ำ สามารถกำจัดน้ำได้ง่าย โดยทั่วไปมักกำจัดด้วยวิธีการเผาหรือฝังกลบ

- กากตะกอนจากกระบวนการแยกหมักฟิมพ์ออกจากกระดาศ

กากตะกอนส่วนนี้จะประกอบไปด้วยเส้นใยสั้นๆ เป็นส่วนใหญ่ สารเคลือบผิว หมักฟิมพ์ และสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการแยกหมักฟิมพ์ กากตะกอนเหล่านี้จะถูกกำจัดโดยการเผา แต่จะให้ค่าความร้อนค่อนข้างต่ำ

- กากตะกอนขี้ดิน

กากตะกอนชนิดนี้มาจากกระบวนการตกตะกอน องค์ประกอบของกากตะกอนส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับกระดาศที่ใช้ในกระบวนการรีไซเคิล กากตะกอนในส่วนนี้สามารถนำกลับเข้าสู่กระบวนการผลิตกระดาศได้ แต่ไม่สามารถนำมาใช้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงๆ ได้ กากตะกอนเหล่านี้สามารถกำจัดโดยการเผาหรือนำไปทิ้ง

- กากตะกอนจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียขั้นที่สอง

กากตะกอนในส่วนนี้จะมาจาก กระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพ สามารถกำจัดโดยกระบวนการรีดน้ำและนำไปเผาหรือฝังกลบ

อุตสาหกรรมกระดาศและเยื่อกระดาษในประเทศแคนาดา ทำให้เกิดกากตะกอนเยื่อกระดาษ 1.5 ล้านตันต่อปี ซึ่งเกิดจากกระบวนการกำจัดน้ำเสียขั้นแรกและขั้นที่สอง โดยกากตะกอนเยื่อกระดาษเหล่านี้จะถูกกำจัดโดยวิธีการเผาและฝังกลบ ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย และในขณะที่อุตสาหกรรมกระดาศมีแนวโน้มอัตราการผลิตที่สูงขึ้น จึงได้มีการนำวิธีการกำจัดกากตะกอนเยื่อกระดาษโดยการหมักทำปุ๋ยมาใช้ ซึ่งวิธีนี้กำลังเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นวิธีที่ช่วยลดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมได้โดยตรง เช่น ลดมลภาวะต่อดิน ที่อาจเกิดจากการกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบ อีกทั้งยังได้ปุ๋ยหมักที่จะใช้เพื่อเป็นวัสดุปรับปรุงคุณภาพดินได้ด้วย ในระหว่างกระบวนการหมักทำปุ๋ย วัสดุหมัก ที่ประกอบด้วย คาร์บอน และไนโตรเจน จะถูกเปลี่ยนเป็นอินทรีย์สาร โดยจุลินทรีย์ อัตราและขอบเขตของการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้จะขึ้นอยู่กับสารตั้งต้นและกระบวนการที่ควบคุมการหมัก (Marche *et al.*, 2003)

องค์ประกอบของกากตะกอนเยื่อกระดาษส่วนมากจะเป็นเซลลูโลส และลิกนิน เป็นต้น แต่ปริมาณลิกนินที่พบอาจแตกต่างกันออกไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตกระดาษที่ใช้ ตัวอย่างเช่น จากการศึกษา พบว่า องค์ประกอบของกากตะกอนเยื่อกระดาษที่ใช้ในการศึกษา ส่วนใหญ่จะเป็นเซลลูโลส โดยมีลิกนินอยู่ด้วยเล็กน้อย ในการศึกษาของพวกเขาได้ทำการผสมกากตะกอนเยื่อกระดาษเข้ากับจีลีส้อยจากไม้เนื้อแข็งซึ่งประกอบด้วยลิกนินเป็นส่วนใหญ่ ผลการศึกษาพบว่า คาร์บอนซึ่งอยู่ในไม้เนื้อแข็งที่ประกอบด้วยลิกนิน ย่อยสลายได้ยาก ในทำนองเดียวกัน ในโตรเจนที่ตกค้างจากกระบวนการผลิตกระดาษ ซึ่งจะพบเป็นปกติอยู่ในระดับต่ำมาก และอยู่ในรูปที่จุลินทรีย์ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ จากการศึกษาที่แสดงให้เห็นว่าการทำปุ๋ยหมักโดยใช้กากตะกอนเยื่อกระดาษผสมกับจีลีส้อย อาจจะประสบความสำเร็จได้ด้วยดี หากทำการหมักโดยควบคุมปัจจัยต่างๆ เช่น ค่าความชื้น อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน ให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสม (Marche *et al.*, 2003)

Smet *et al.* (1999) ได้ทำการทดลองเพื่อตรวจสอบการปลดปล่อยสารระเหยในระหว่างกระบวนการหมักแบบใช้อากาศ และกระบวนการหมักทำปุ๋ยแบบผสมระหว่างกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศกับใช้อากาศจากของเสียชีวภาพ ในการทดลองของพวกเขา กระบวนการหมักทำปุ๋ยแบบผสมถือว่าเป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับการทำปุ๋ยหมักจากของเสียชีวภาพ เพื่อลดขนาดและปริมาณของเสียที่เป็นของแข็งซึ่งจะถูกกำจัดโดยกระบวนการหมักร้อยละ 50-60 จากปริมาณทั้งหมด จึงทำให้กระบวนการหมักทำปุ๋ยแบบนี้เป็นที่ยอมรับ เทคโนโลยีการหมักทำปุ๋ยแบบผสมนี้เป็นเทคโนโลยีใหม่ ที่มีการรวมกระบวนการหมักแบบใช้อากาศ และไม่ใช้อากาศเข้าด้วยกัน ในประเทศเบลเยียม มีการนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ในโรงทำปุ๋ยหมัก โดยใช้อุณหภูมิในช่วง thermophilic (55-50 °C) ในการเดินระบบ ถึงปฏิกิริยาที่ใช้เป็นถึงทรงกระบอก วางในแนวตั้ง และใช้ระยะเวลาเก็บกัก 3 สัปดาห์ พบว่าสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ 100 m³ ต่อตันของวัสดุหมัก และจากการออกแบบถังเป็นถังหมักแบบปิด ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจึงสามารถเก็บรวบรวมได้ง่าย และส่วนหนึ่งของก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้ จะถูกใช้เป็นพลังงานความร้อนสำหรับเครื่องผลิตไอน้ำ และอีกส่วนหนึ่งจะถูกแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า

สุทธิดา (2545) ได้ทำการศึกษา เกี่ยวกับการทำปุ๋ยหมักแบบไม่ใช้อากาศของขยะในถังหมักแบบกะ โดยใช้เศษอาหารผสมกับฟาง และขยะที่เป็นสารอินทรีย์ (ไม่รวมเศษอาหาร) ผสมกับตะกอนจากบ่อเกรอะเป็นวัสดุหมักในกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า วัสดุในถังหมักมีสีดำ ของแข็งระเหยมีค่าต่ำ และมีอัตราการตายของแบคทีเรียโคลิฟอร์มร้อยละ 99 จากการศึกษาวิจัยครั้งนี้ พบว่า ขยะที่เป็นสารอินทรีย์ผสมกับตะกอนจากบ่อเกรอะ เป็นภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการทำปุ๋ยหมักและเป็นวิธีที่ประหยัดและปลอดภัยต่อสิ่งแวดล้อม

สุพิศ (2546) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับ การสลายทางชีวภาพของส่วนผสมขยะและสลัดจ์น้ำเสียในการหมักปุ๋ยแบบไร้อากาศ โดยการศึกษาเป็นการย่อยสลายทางชีวภาพของขยะที่ย่อยสลายง่าย เช่น ผักและผลไม้ เป็นต้น ผสมรวมกับสลัดจ์น้ำเสียในสัดส่วน ขยะ ต่อ สลัดจ์น้ำเสีย เท่ากับ 4 ต่อ 0, 3 ต่อ 1, 2 ต่อ 2, 1 ต่อ 3 และ 0 ต่อ 4 (โดยน้ำหนัก) ตามลำดับ ดำเนินการทดลองโดยใช้การหมักแบบไร้อากาศชนิดขึ้นตอนเดียว ก่อนการหมักทำการย่อยขยะให้มีขนาด 1 เซนติเมตร ผสมรวมกับสลัดจ์น้ำเสียตามสัดส่วนที่กำหนด ทำการหมักเป็นระยะเวลา 60 วัน ในการศึกษาครั้งนี้ผู้ศึกษา ได้ทำการวิเคราะห์ ความแตกต่างของสัดส่วนการผสมขยะและสลัดจ์น้ำเสีย ตามที่กำหนด และทำการวิเคราะห์ส่วนผสมก่อนเริ่มต้นการหมัก เพื่อหา ความหนาแน่น ความชื้น สัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ปริมาณของแข็งระเหยและค่าอื่นๆ ที่จำเป็น จากนั้นจึงเริ่มกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ โดยควบคุมความชื้นให้อยู่ที่ ร้อยละ 60, 70, 80, 90 และควบคุมค่าความเป็นกรดด่างให้อยู่ที่ 6.5-7.5 ตามลำดับ ผลของการศึกษา พบว่า ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนลดลงร้อยละ 2.7, 3.2, เพิ่มขึ้น 0.6, 3.7 และ 2.3 ตามลำดับ การเกิดก๊าซมีเทน อยู่ที่สัดส่วนผสมที่ 2 ต่อ 2 โดยมีอัตราการเกิดก๊าซน้อยมาก ส่วนผสมที่ 1 ต่อ 3 และ 0 ต่อ 4 มีปริมาณมากขึ้น เป็นผลมาจากค่าความเป็นด่างที่เพิ่มขึ้น

3. การทำปุ๋ยหมัก (Composting)

การทำปุ๋ยหมักเป็นการเลียนแบบระบบย่อยสลายที่เกิดขึ้นซ้ำ ๆ ตามธรรมชาติในผืนป่า ซึ่งมีอินทรีย์สารแตกต่างกันหลายร้อยชนิดรวมทั้งจุลินทรีย์ รา หนอน และแมลง แต่เราสามารถเร่งการย่อยสลายนี้ให้เร็วขึ้นได้ด้วยการควบคุมสภาวะแวดล้อมให้เหมาะสมที่สุด ปัจจัยหลักที่มีผลต่อการทำปุ๋ยหมักคือ อุณหภูมิ ความชื้น อากาศ และวัตถุดิบทรีย์ วัตถุดิบทรีย์เกือบทั้งหมดใช้ทำปุ๋ยหมักได้ บางชนิดต้องใช้อย่างระมัดระวัง และบางชนิดห้ามใช้ในกระบวนการทำปุ๋ยหมัก ดังแสดงในตารางที่ 3 4 และตารางที่ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 3 วัตถุดิบทรีย์ที่สามารถใช้ทำปุ๋ยหมัก

ชนิด	สารอาหารหลัก	รายละเอียด
สาหร่ายทะเล	N	แหล่งสารอาหารที่ดี
เครื่องดื่มน้ำล้างในครัว	เป็นกลาง	ใช้ให้ความชื้นแก่กองปุ๋ย
กระดาษแข็ง	C	ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ ก่อนใช้ ถ้ามีมากควรนำไปรีไซเคิล
กาแฟบดและที่กรอง	N	หนอนชอบ
ต้นข้าวโพด ชังข้าวโพด	C	ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ
ผ้าสำลี	C	ทำให้ชื้น
เปลือกไข่	N	บดให้ละเอียด
เส้นผม	N	กระจายอย่าให้จับตัวเป็นก้อน
มูลสัตว์กินพืช	N	เป็นแหล่งไนโตรเจน
หนังสือพิมพ์	C	อย่าใช้กระดาษมันหน้าสี
ใบโอ๊ก	C	ตัดเป็นชิ้นเล็กๆ เป็นกรด
จีเลื่อย เศษไม้ (ที่ไม่ผ่านกระบวนการทางเคมี)	C	อย่าใช้มาก
ใบสนและผลของต้นสน	C	อย่าใช้มาก ย่อยสลายช้า เป็นกรด

ที่มา: คัดแปลงจาก นัตร์ชัย (2552)

ตารางที่ 4 วัตถุอันตรายที่ต้องใช้อย่างระวัง

ชนิดของวัตถุ	สารอาหารหลัก	รายละเอียด
ซีอิ๊วจากไม้ ซึ้นก	เป็นกลาง N	ใช้ในปริมาณที่พอเหมาะเท่านั้น มีเมล็ดวัชพืชและเชื้อโรค
ต้นไมที่เป็นโรครตาย	N	อย่าใช้ปุ๋ยหมักใกล้กับต้นไมชนิด เดียวกับที่เป็นโรครตาย
นมชีส โยเกิร์ต วัชพืช	เป็นกลาง N	จะดึงดูดสัตว์เข้ามาในกองปุ๋ยหมัก ทำให้แห้งก่อนใช้
หญ้า	N	ต้องแน่ใจว่ากองปุ๋ยหมักร้อนพอที่จะ หยุดการเจริญเติบโตของหญ้า

ที่มา: คัดแปลงจาก นัตรชัย (2552)

ตารางที่ 5 วัตถุอันตรายที่ห้ามใช้

ชนิดของวัตถุ	สารอาหารหลัก	รายละเอียด
ซีอิ๊วจากถ่านหินหรือถ่านโค้ก	-	อาจมีวัสดุที่ไม่ดีต่อพืช
มูลสุนัขและแมว	-	อาจมีเชื้อโรค
เศษปลา	-	ดึงดูดพวกหนู ทำให้กองปุ๋ยหมักมีกลิ่น เหม็น
มะนาว	-	สามารถหยุดกระบวนการหมักปุ๋ย
เนื้อ ไขมัน จารบี น้ำมัน	-	หลีกเลี่ยง
กระดูก	-	
กระดาษมันจากวารสาร	-	หลีกเลี่ยง

ที่มา: คัดแปลงจาก นัตรชัย (2552)

การทำปุ๋ยหมักเป็นการย่อยวัตถุดิบอินทรีย์ให้เป็นฮิวมัส (Humus) ด้วยจุลินทรีย์ จุลินทรีย์หลักๆ ได้แก่ เชื้อราและเชื้อแบคทีเรีย วัตถุดิบอินทรีย์ได้แก่ เศษอาหาร เศษหญ้า กระจาด เป็นต้น การใช้ปุ๋ยหมัก (ฮิวมัส) กับดินจะช่วยปรับปรุงโครงสร้างดินและเนื้อดิน ช่วยเพิ่มโพรงอากาศ ช่วยให้การระบายน้ำและอากาศดีขึ้น เพิ่มการอุ้มน้ำของดิน ลดการอัดตัวของดิน ช่วยให้ต้นไม้ต้านทานความแล้งดีขึ้น

การนำกากตะกอนเชื้อกระจาดจากระบบบำบัดน้ำเสียมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตร เช่น เป็นปุ๋ย วัสดุปลูก วัสดุปรับปรุงดิน เป็นวิธีที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย แต่มีความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์มากกว่าการกำจัดตะกอนด้วยวิธีอื่น อีกทั้งยังเป็นการช่วยฟื้นฟูคุณภาพดินในระยะยาวได้อีกด้วย การนำกากตะกอนน้ำเสียที่เป็นอินทรีย์สารมาใช้ประโยชน์ทางการเกษตรจึงมีความน่าสนใจ เนื่องจากสามารถช่วยปรับปรุงลักษณะทางฟิสิกส์ เคมีและชีวภาพของดิน ซึ่งสัมพันธ์กับการปรับปรุงโครงสร้างของดิน น้ำในดิน และส่งผลกระทบต่อผลผลิตของพืชได้ (พรฤดี, 2552)

การทำปุ๋ยหมักแบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic compost)

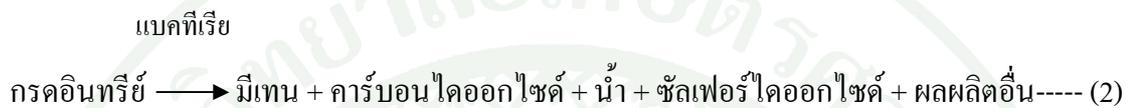
ในกระบวนการทำปุ๋ยหมักแบบไม่ใช้อากาศ จะอาศัยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนย่อยวัตถุ จุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจนสามารถอยู่ได้โดยไม่มีออกซิเจน และสามารถย่อยวัตถุดิบอินทรีย์ที่มีอัตราส่วนไนโตรเจนสูงกว่า และอัตราส่วนคาร์บอนต่ำกว่าการทำปุ๋ยหมักแบบใช้การใช้อากาศและการย่อยสามารถเกิดขึ้นได้ที่ความชื้นสูงกว่า ผลผลิตของการย่อยสลายวัตถุดิบอินทรีย์คือ แก๊สมีเทน (Methane gas) และวัตถุดิบอินทรีย์ที่ย่อยสลายแล้ว ถ้าต้องการนำแก๊สมีเทนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงการทำปุ๋ยหมักต้องเป็นระบบปิดที่มีความดัน

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในถังบำบัดไร้อากาศ เป็นปฏิกิริยาชีวเคมีเพื่อเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ในของเสียให้กลายเป็นสารประกอบอนินทรีย์ซึ่งมีความเสถียร โดยใช้แบคทีเรียประเภทไม่ใช้อากาศ (anaerobic bacteria) จำนวน 2 กลุ่มซึ่งอาศัยอยู่ร่วมกัน คือ กลุ่มผลิตกรดอินทรีย์และกลุ่มผลิตก๊าซมีเทน โดยการย่อยสลายสารอินทรีย์นั้นมีปฏิกิริยาต่อเนื่อง 2 ขั้นตอน คือ

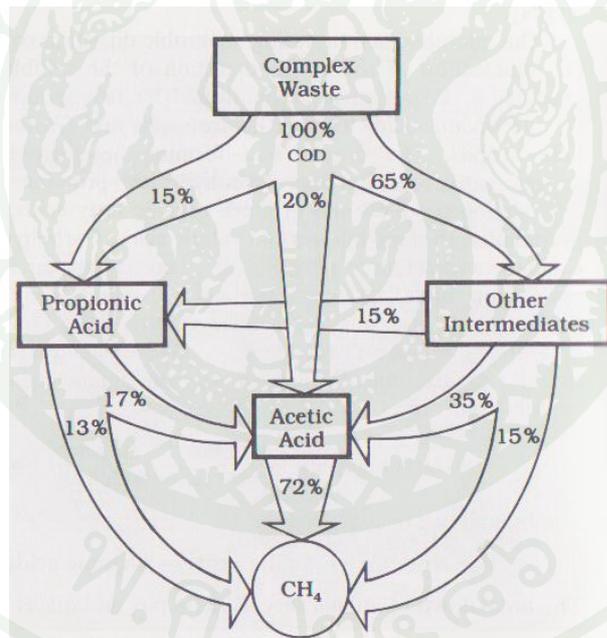
1. ปฏิกิริยาผลิตกรดอินทรีย์ เป็นปฏิกิริยาซึ่งแบคทีเรียจำพวกผลิตกรดอินทรีย์จะทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างทางเคมีซับซ้อน เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน หรือไขมัน โดยเปลี่ยนรูปให้เป็นกรดอินทรีย์ (Organic acids) ดังสมการ (1)



2. ปฏิกริยาการผลิตก๊าซมีเทน เป็นปฏิกิริยาซึ่งต่อเนื่องกับขั้นแรก โดยแบคทีเรียจำพวกผลิตก๊าซมีเทนจะเปลี่ยนกรดอินทรีย์ ซึ่งเป็นผลผลิตจากปฏิกิริยาขั้นแรกให้เป็นก๊าซมีเทนและผลผลิตอื่นๆ ดังสมการ (2)



การเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศแสดงดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 สัดส่วนการเปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ในกระบวนการย่อยสลายแบบไร้อากาศ

ที่มา: Reynolds and Richards (1995)

การควบคุมถึงย่อยตะกอนให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต้องควบคุมให้การผลิตกรดอินทรีย์และการผลิตก๊าซมีเทนมีอัตราที่ใกล้เคียงกัน มิฉะนั้นจะเกิดความไม่สมดุลขึ้นภายในถัง ซึ่งโดยทั่วไปความไม่สมดุลมักจะเกิดขึ้นจากการผลิตกรดอินทรีย์ในอัตราที่สูงเกินไป ทั้งนี้เนื่องจากแบคทีเรียจำพวกผลิตก๊าซมีเทนมีอัตราการทำงานช้ากว่าแบคทีเรียจำพวกผลิตกรดอินทรีย์ ซึ่งทำให้สถานะในถังย่อยตะกอนมีความเป็นกรดเพิ่มขึ้น จนยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียจำพวกผลิตก๊าซมีเทน (ชาติ, 2539)

สถานะการเดินระบบการบำบัดโดยกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศ

1. ขนาดวัสดุหมัก

วัสดุที่ใช้ในกระบวนการหมักจำพวกที่ได้จากเศษไม้ และขยะจากโรงงานอุตสาหกรรมกระดาษและเยื่อกระดาษ หรือวัสดุที่มีองค์ประกอบของสารอินทรีย์ บางครั้งอาจมีขนาดไม่เหมาะสมที่จะใช้เป็นวัสดุหมัก ดังนั้นจึงควรบด หรือสับวัสดุหมักให้มีขนาดที่เหมาะสมคือ 2.3-5.0 เซนติเมตร ถึง 0.5-1.5 นิ้ว จะทำให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตในวัสดุหมักได้ทั่วถึงและแพร่กระจายได้อย่างรวดเร็ว ขนาดวัตถุดิบที่ยิ่งเล็กจะทำให้กระบวนการย่อยสลายยิ่งเร็วขึ้น (สุทธิดา, 2545)

2. อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน

จุลินทรีย์ใช้คาร์บอนในสารอินทรีย์สำหรับเป็นแหล่งพลังงาน เมื่อเกิดปฏิกิริยาย่อยสลายจะให้พลังงานออกมา ซึ่งจุลินทรีย์จะมีการเจริญเติบโตโดยเพิ่มจำนวนมากขึ้น การเพิ่มจำนวนนี้จะมีการสร้างเซลล์ใหม่ ส่วนไนโตรเจนเป็นสิ่งจำเป็นที่ใช้ในการสังเคราะห์โปรตีน ถ้ามูลฝอยมีธาตุไนโตรเจนน้อยเกินไปจุลินทรีย์จะเพิ่มจำนวนได้น้อย โดยทั่วไปอัตราส่วนระหว่างธาตุคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) เป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการควบคุมการทำงานของระบบการหมักโดยในการย่อยสลายวัตถุดิบ อัตราส่วนนี้จะช่วยในการควบคุมความเร็วในการย่อยจุลินทรีย์ ถ้ากองปุ๋ยหมักมีส่วนผสมที่มีคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาก (มีคาร์บอนมาก) การย่อยสลายจะช้า อัตราส่วนระหว่างธาตุคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) ที่เหมาะสมควรในการเดินระบบหมักทำปุ๋ยควรอยู่ที่ 30:1 (สุทธิดา, 2545)

3. ความชื้น

ความชื้นที่เหมาะสมต่อการหมักอยู่ในช่วงร้อยละ 50-60 (สุตธิตา, 2545) ถ้าความชื้นมากเกินไป จะทำให้สัดส่วนของช่องว่างอากาศต่อเนื้อมวลฝอยน้อยลง การย่อยสลายจะเกิดขึ้นช้า ซึ่งมีผลต่ออัตราการย่อยสลายมวลฝอย และยังส่งกลิ่นเหม็นกว่ากระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนมาก แต่หากมีความชื้นน้อยเกินไปจะมีน้ำไม่เพียงพอต่อการใช้ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ ดังนั้นถ้าถ้ำกองปุ๋ยหมักแห้งเกินไป ความชื้นในวัสดุหมักต่ำกว่าร้อยละ 30 กระบวนการย่อยสลายจะหยุดหรือเกิดขึ้นช้ามากการเนื่องจากจุลินทรีย์ไม่สามารถขยายพันธุ์ได้ ความชื้นที่เพียงพอมีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

4. อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเกิดปฏิกิริยาเคมี และเป็นปัจจัยที่ควบคุมอัตราเร็วของปฏิกิริยาทางชีวเคมี สภาพของภูมิอากาศที่มีอิทธิพลต่อการย่อยสลาย ในฤดูร้อนอุณหภูมิสูงการย่อยสลายสารอินทรีย์เป็นไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้นอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจึงมีผลโดยตรงกับกิจกรรมย่อยสลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์ซึ่งอัตราการเผาผลาญอาหาร (Metabolic rate) ของจุลินทรีย์มากขึ้น (เจริญเติบโตมากขึ้น) อุณหภูมิภายในระบบหมักปุ๋ยก็จะสูงขึ้นในทางกลับกันถ้าอัตราการเผาผลาญอาหารลดลงอุณหภูมิของระบบก็ลดลง จุลินทรีย์ที่ย่อยสลายวัตถุดิบอินทรีย์และก่อให้เกิดความร้อนในกองปุ๋ยหมักมี 2 ประเภท คือ

1.1 แบคทีเรียชนิดเมโซฟิลิก (Mesophilic bacteria) ซึ่งจะมีชีวิตเจริญเติบโตและแพร่พันธุ์ได้ที่อุณหภูมิระหว่าง 10 °C-45 °C (50 °F-113 °F) อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเดินระบบแบบเมโซฟิลิก คือที่ 35 °C (สุตธิตา, 2545)

1.2 แบคทีเรียชนิดเทอร์โมฟิลิก (Thermophilic bacteria) ซึ่งเจริญเติบโตดีที่อุณหภูมิระหว่าง 45 °C-70 °C (113 °F-158 °F) อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเดินระบบแบบเทอร์โมฟิลิกอยู่ในช่วง 55 °C-60 °C (สุตธิตา, 2545)

5. ค่าความเป็นกรดต่าง (pH)

โดยทั่วไปแล้วค่าความเป็นกรดต่างสำหรับการเดินระบบการหมักแบบไร้อากาศจะอยู่ในช่วง 6.6-7.6 โดยช่วงที่เหมาะสม คือ 7.0-7.2 โดยถ้ามีการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในถังปริมาณมาก จะสามารถทำให้ค่าความเป็นกรดต่างลดลงได้ถึง 6.6 และสำหรับแบคทีเรียประเภทผลิตกรดจะสามารถทำงานได้จนถึงระดับค่าความเป็นกรดต่างที่ 5.5 แต่ที่ระดับนี้แบคทีเรียชนิดผลิตก๊าซมีเทนจะถูกยับยั้ง (สุคริธา, 2545)

การหมักทำปุ๋ยเป็นการย่อยสลายด้วยกระบวนการชีวภาพ โดยอาศัยแบคทีเรียและราเป็นหลักในการย่อยสลาย และในขณะที่หมักอาจมีอุณหภูมิสูงถึง 50 - 70 องศาเซลเซียส ซึ่งจะมีผลดีต่อการฆ่าเชื้อโรคด้วย สลัดจ์ที่ผ่านการหมักแล้วสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อการเกษตรกรรมต่อไปหรือสามารถนำไปขายเพื่อเป็นวัตถุดิบในการทำปุ๋ยหรืออาหารสัตว์ได้

ตารางที่ 6 ค่าอัตราส่วน C:N ของวัตถุดิบทรีย์ทั่วไป

วัตถุดิบทรีย์	อัตราส่วน C:N
เศษผัก	12-20:1
เศษอาหาร	18:1
พืชตระกูลถั่ว	13:1
มูลวัว	20:1
ใบไม้	40-80:1
ฟางข้าวโพด	60:1
ฟางข้าวสาลี	74:1
กระดาด	80:1
จี้เลื่อย	150-200:1
เศษหญ้า	100-150:1
กาแปบด	12-25:1
เปลือกไม้	20:1
ขยะผลไม้	100-130:1
มูลสัตว์ปีกสด	10:1
มูลม้า	25:1
หนังสือพิมพ์	50-200:1
ใบสน	60-110:1
มูลที่เน่าเปื่อย	20:1

ที่มา: นัตรชัย (2552)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ถังหมักไร้อากาศชนิดถังเดี่ยว (Single stage anaerobic digester) ถังหมักเป็นทรงกระบอกจำนวน 2 ถัง (ภาพที่ 4-5) ทำด้วยพลาสติก PVC ด้านบนและด้านล่างของถังเชื่อมปิดสนิท พร้อมกับมีฉนวนหุ้มเพื่อรักษาความร้อนรอบถังหมัก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร สูง 60 เซนติเมตร ด้านบนต่อเป็นท่อสำหรับวัดปริมาตรก๊าซ เก็บตัวอย่างก๊าซและวัดอุณหภูมิ

2. เครื่องวัดปริมาตรก๊าซ ใช้ชุดอุปกรณ์นับก๊าซ จำนวน 2 ชุด ต่อเข้ากับกล่องรูปทรงสี่เหลี่ยมทำด้วยพลาสติกใสซึ่งบรรจุน้ำไว้ ภายในกล่องรูปสี่เหลี่ยมใหญ่จะมีกล่องรูปทรงสี่เหลี่ยมขนาด กว้าง x ยาว x สูง : 4.5 x 3.5 x 3.5 เซนติเมตร ทำจากแผ่นอะคริลิกพลาสติก (Acrylic plastic) ติดแถบแม่เหล็กที่ผนังของกล่องเล็กและติดเครื่องนับจำนวนรอบการหมุนของกล่องเล็กไว้ที่ผนังของกล่องใหญ่ โดยกล่องเล็กจะถูบบังคับให้จมอยู่ใต้น้ำแต่สามารถหมุนได้อย่างอิสระด้วยแกนที่ประกบกันระหว่างผนังของกล่องเล็กกับผนังของกล่องใหญ่ เมื่อก๊าซผ่านเข้าไปแทนที่น้ำในกล่องเล็กจนสามารถเอาชนะน้ำหนักของกล่อง กล่องก็จะหมุนเพื่อระบายก๊าซออกและเมื่อระบายก๊าซออกไปแล้วน้ำก็จะเข้าไปแทนที่ กล่องก็จะหมุนกลับมาตำแหน่งเดิมเพื่อรับก๊าซที่เข้ามาใหม่ โดยทุกครั้งที่กล่องหมุนเพื่อระบายก๊าซออก แถบแม่เหล็กจะส่งสัญญาณมายังเครื่องนับจำนวนรอบการหมุนที่ติดตั้งอยู่ที่กล่องใหญ่จะทำการบันทึกค่าจำนวนครั้งไว้ จึงสามารถนำมาคำนวณปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นในแต่ละวันได้ โดยนำจำนวนครั้งมาคูณกับปริมาณก๊าซที่กล่องเล็กเก็บได้ในแต่ละครั้งของการหมุนคือ 10 cm^3

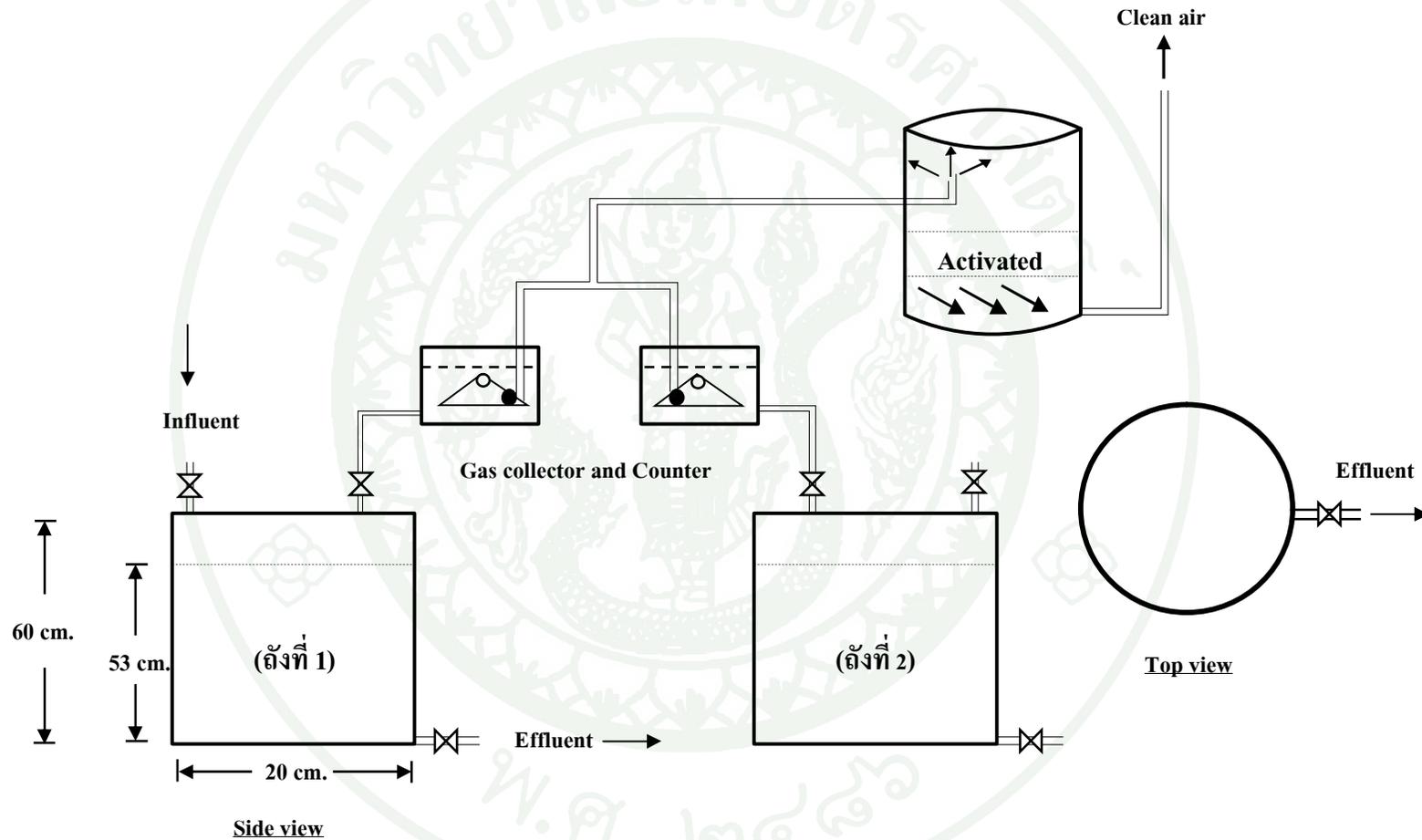
3. เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง

4. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด

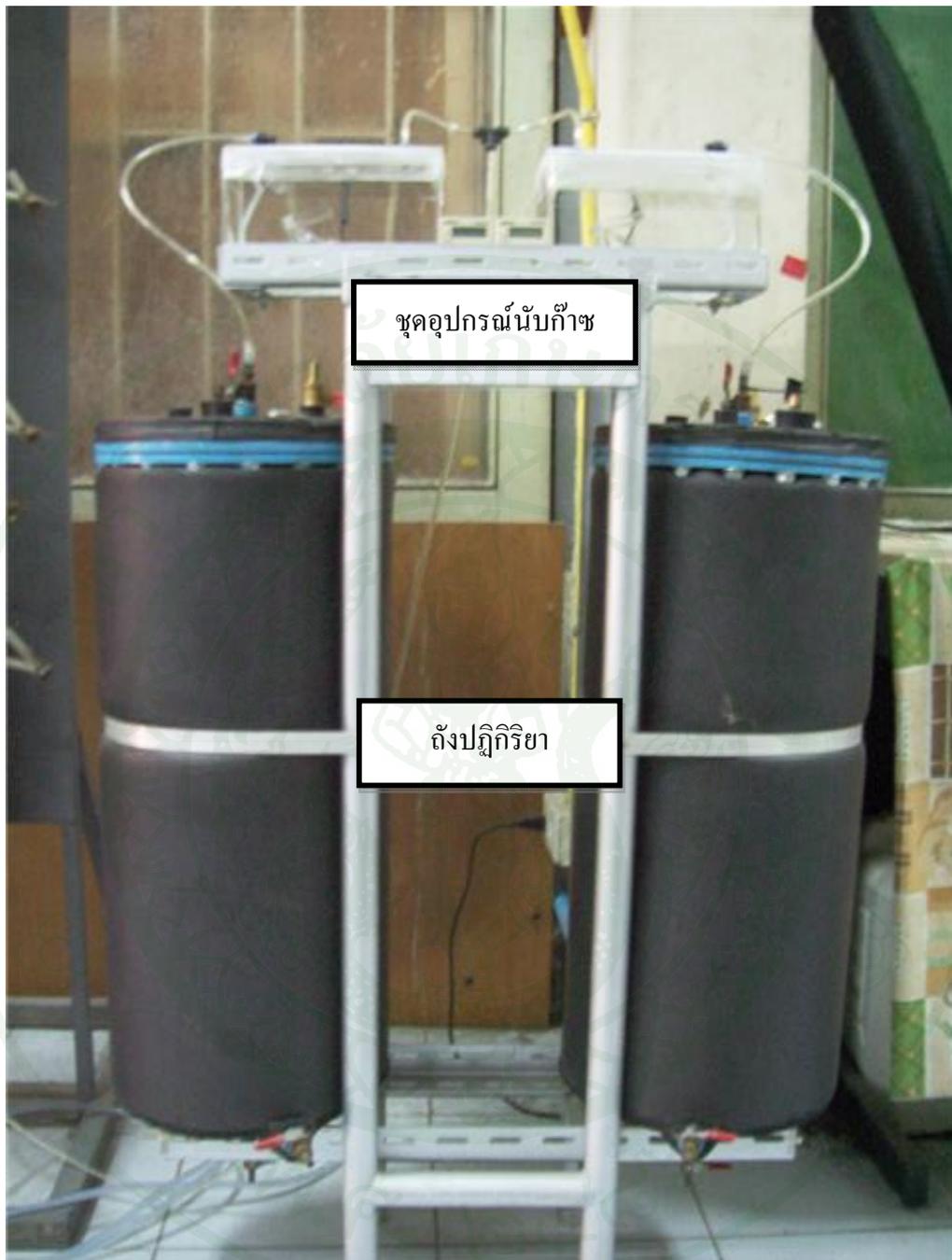
5. ตู้อบ

6. เตาเผา

7. ตู้ดูดความชื้น
8. เครื่องแก้วและชุด Titration
9. สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ตามที่กำหนด
10. หลอดสุญญากาศและชุดอุปกรณ์เก็บตัวอย่างก๊าซสำหรับวิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทน
11. Gas Chromatograph (GC) ยี่ห้อ Agilent GC 6890 รุ่น G1530A หมายเลขเครื่อง US 000- 34562, TCD Detector สำหรับวิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทน



ภาพที่ 4 แบบจำลองถังหมักไร้อากาศชนิดถังเดี่ยว (single stage) จำนวน 2 ถัง

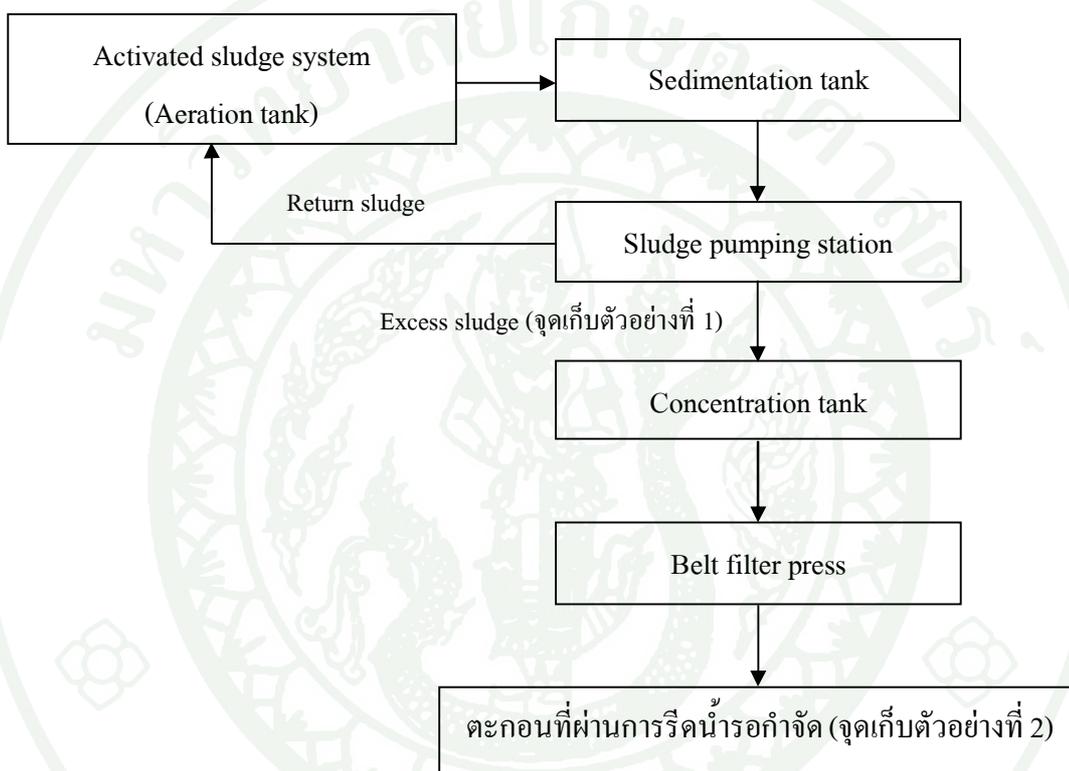


ภาพที่ 5 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบการหมักแบบไร้อากาศ

วิธีการ

1. การเตรียมสลัดจ์ที่ใช้ในการวิจัย

ทำการเก็บตัวอย่างสลัดจ์ตามจุดเก็บตัวอย่างที่กำหนด ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แผนผังแสดงจุดเก็บตัวอย่างสลัดจ์ที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

จากนั้นนำสลัดจ์ที่ได้จากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งของโรงงานผลิตกระดาษ และ จี้เลื่อยซึ่งใช้เป็นวัสดุร่วมหมักที่ใช้ในการศึกษาวิจัยมาทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติวัสดุหมักเบื้องต้น โดยมีพารามิเตอร์ดังนี้ พีเอช (pH) ของแข็งทั้งหมด (Total Solids) ของแข็งระเหยง่าย (TVS) ทีเคเอ็น (TKN) คาร์บอน (C) และความชื้น (Moisture content) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการทดลอง ซึ่งแบ่งออกเป็น

- 1.1 สลัดจ์ก่อนรีดน้ำ (Excess sludge จากระบบตะกอนเร่งที่จุดเก็บตัวอย่างที่ 1)
- 1.2 สลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ (ตะกอนที่ผ่านการรีดน้ำรอกำจัดจากจุดเก็บตัวอย่างที่ 2)
- 1.3 จี้เลื่อย (วัสดุร่วมหมัก)

เมื่อทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติเบื้องต้นของวัสดุหมักชนิดต่างๆ แล้ว นำสลัดจ์ทั้ง 2 ชนิดที่ใช้ในการศึกษาวิจัยมาผสมกับวัสดุร่วมหมัก (จี้เลื่อย) ให้คุณสมบัติของสลัดจ์อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบการหมักแบบไร้อากาศ และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักทำการสุ่มตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์ลักษณะสมบัติวัสดุหลังสิ้นสุดกระบวนการ โดยมีพารามิเตอร์ดังนี้ พีเอช (pH) ของแข็งทั้งหมด (Total Solids) ของแข็งระเหยง่าย (TVS) ทีเคเอ็น (TKN) คาร์บอน(C) และความชื้น (Moisture content)

2. การเตรียมตัวอย่างในการวิเคราะห์

ตัวอย่างจะถูกนำไปอบในตู้อบความร้อนด้วยอุณหภูมิ 100 – 105 °C จนน้ำหนักคงที่ แล้วนำไปเก็บไว้ในตู้ดูดความชื้น ปล่อยให้เย็น ชั่งน้ำหนัก แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 80 °C นาน 1 ชั่วโมง แล้วปล่อยให้เย็นในตู้ดูดความชื้น สำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี

3. การทดลองเพื่อศึกษาอิทธิพลของชนิดสัสดังต่อประสิทธิภาพในการเดินระบบของถังหมักแบบ ไร้อากาศ และอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ

เริ่มต้นการทดลองโดยการเติมสัสดังที่ผสมวัสดุร่วมหมักแล้วทั้ง 2 ชนิดเข้าสู่ถังหมักแบบ ไร้อากาศ ด้วยวิธีการเติมวัสดุหมักเพียงครั้งเดียวเมื่อเริ่มต้นการทดลองและทำการปิดถังหมักเป็นเวลา 90 วัน โดยในระยะเริ่มต้นการหมัก (start up) จะทำการวิเคราะห์อุณหภูมิภายในถังหมัก, พีเอช (pH), ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA) ของน้ำชะจากระบบ และปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นทุก 3 วัน เมื่อระบบมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพอย่างต่อเนื่อง จึงเริ่มนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ โดยจะวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำชะจากระบบตลอดระยะเวลาการหมัก พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ดังตารางที่ 7 ทำการนับปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นและวิเคราะห์องค์ประกอบของก๊าซชีวภาพด้วยเครื่องแก๊สโครมาโตกราฟี

4. พารามิเตอร์และความถี่ที่ทำการวิเคราะห์

การเก็บตัวอย่างน้ำชะจากระบบเพื่อทำการวิเคราะห์ตามพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดไว้จะทำการเก็บตัวอย่างครั้งละ 30 ml. ตามระยะเวลาที่กำหนด เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมีและกายภาพ ในระหว่างการหมักในถัง พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์และระยะเวลาการเก็บตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การเก็บตัวอย่าง หรือวัดค่า เพื่อทำการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	ความถี่
อุณหภูมิ	ทุกวัน
ค่าความเป็นกรดและด่าง	ทุก 3 วัน
กรดอินทรีย์ระเหยง่าย	ทุก 3 วัน
ของแข็งทั้งหมด	เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง
ของแข็งระเหยได้	เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง
ไนโตรเจน	เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง
คาร์บอน	เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง
ความชื้น	เริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง
ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด	ทุกวัน
ความเข้มข้นของมีเทนในก๊าซชีวภาพ	ทุกวัน
ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในก๊าซชีวภาพ	ทุกวัน

5. การวิเคราะห์ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้น และปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ

5.1 ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้น (Total gas) ใช้วิธีการคำนวณจากตัวเลขมิเตอร์ซึ่งบันทึกจำนวนรอบการหมุนของกลองเก็บก๊าซจากชุดอุปกรณ์นับก๊าซ คูณด้วยปริมาตรของอากาศที่ใช้ในการแทนที่น้ำในส่วนของกลองเก็บก๊าซ

5.2 ความเข้มข้นของมีเทนในก๊าซชีวภาพ (CH_4) ใช้วิธีการ เก็บตัวอย่างก๊าซจากจุดเก็บตัวอย่างด้านบนของถังปฏิกริยาลงในหลอดสูญญากาศ จากนั้นนำมาวิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทนด้วยเครื่อง Gas Chromatograph (TCD Detector) โดยใช้ Gas tight syringe โดยอาศัยการเปรียบเทียบกับก๊าซมีเทนมาตรฐานความเข้มข้น 99.99% เป็นผลให้ทราบปริมาณมีเทนในก๊าซชีวภาพทั้งหมด

รายละเอียดการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพด้วยเครื่อง Gas Chromatograph

เครื่อง Gas Chromatography, GC 6890 Agilent Technologies Model G1530A Serial (US 000-34562)

สภาวะการเดินระบบ

- Carrier gas flow rate : 65 ml/min He
- Injection port temperature : 105°C back inlet
- Column : Pack column CTR I
- Oven Temperature : 35°C (ambient) isothermal, Run time : 10 min
- Detector Temperature : 150°C front TCD

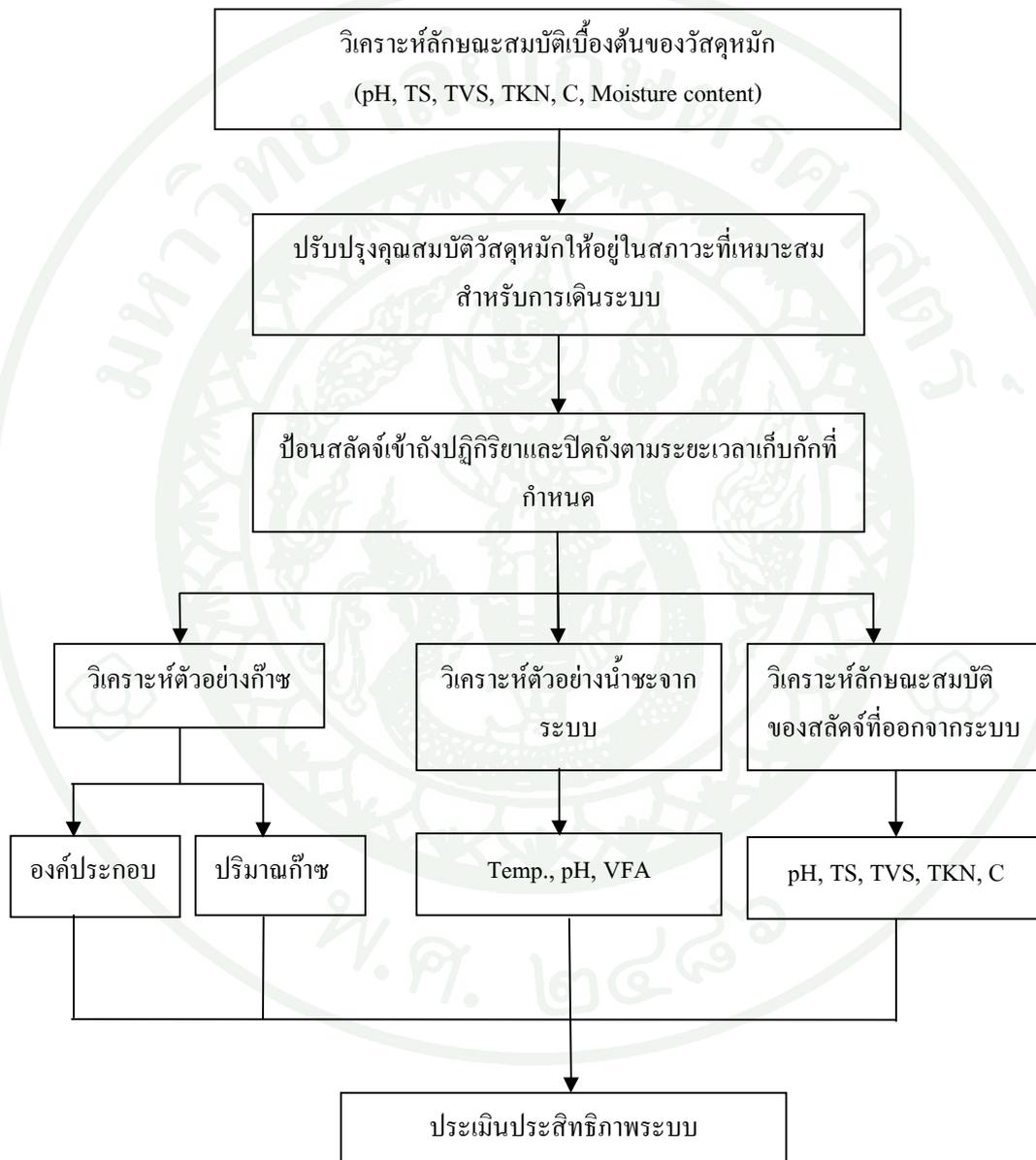
ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ใช้ในการวิเคราะห์ 100 µl

6. วิธีการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

- 6.1 ตรวจวัดค่าความเป็นกรดต่าง โดยใช้ pH meter
- 6.2 ตรวจวัดค่าอุณหภูมิ โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะแก้ว
- 6.3 ปริมาณของแข็งทั้งหมด (Total Solids, TS) ใช้วิธี Dried at 103-105 °C
- 6.4 ปริมาณของแข็งระเหยได้ (Total Volatile Solids, TVS) ใช้วิธี Ignited at 550 °C
- 6.5 ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid, VFA) ใช้วิธี Titration method
- 6.6 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (Total Kjeldahl Nitrogen, TKN) ใช้วิธี Kjeldahl method
- 6.7 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (Organic Carbon, C) ใช้วิธีการคำนวณ
- 6.8 ความชื้น (Moisture Content) ใช้วิธี Gravimetric method

6.9 ความเข้มข้นของมีเทนในก๊าซชีวภาพ (CH_4) ใช้วิธีวิเคราะห์ โดยเครื่อง Gas Chromatograph (GC), TCD Detector

7. แผนการดำเนินการทดลอง



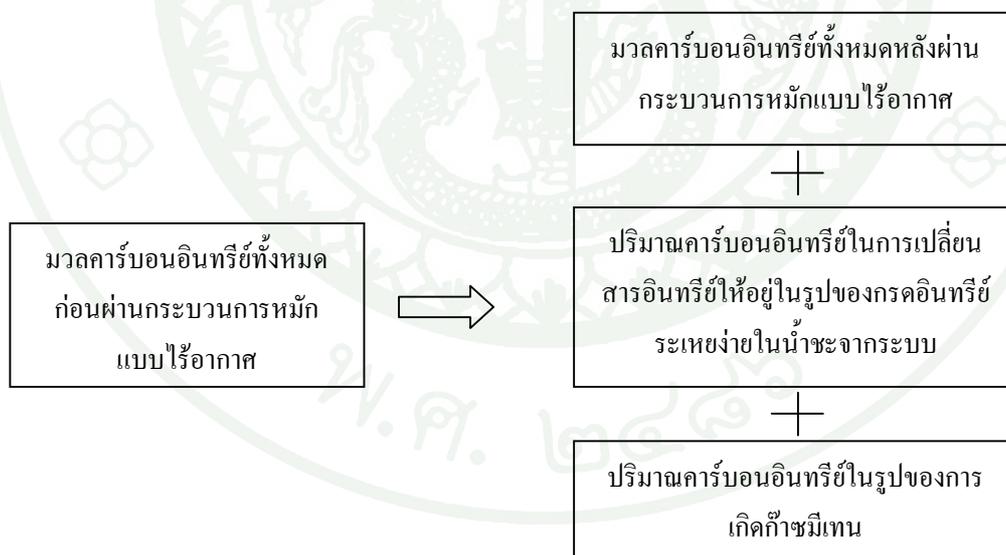
ภาพที่ 7 แผนผังแสดงการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของถังหมักไร้อากาศ

8. การวิเคราะห์ดุลมวลสารของระบบ

การวิเคราะห์ดุลมวลสารคาร์บอนอินทรีย์ในการทดลอง จะทำการเก็บตัวอย่างและนำมาวิเคราะห์ในรูปของคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่เกิดจากการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้อยู่ในรูปของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำชะจากระบบ และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในรูปของการเกิดก๊าซมีเทนที่เปลี่ยนแปลงไป

การศึกษาดุลมวลสารของคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมด โดยวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนในวัสดุหมักทั้งก่อนและหลังสิ้นสุดกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ส่วนค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำชะจากระบบในแต่ละถึงปฏิบัติการ เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาคำนวณดุลมวลสาร ดังสมการ (3)

$$\text{มวลสารเข้าระบบ} = \text{มวลสารที่ออกจากระบบ} + \text{มวลสารที่สะสมในระบบ} + \text{มวลสารที่หายไปจากระบบ} \quad (3)$$



ภาพที่ 8 การดุลมวลสารคาร์บอนอินทรีย์ในการทดลอง

ผลและวิจารณ์

การศึกษาอิทธิพลของสัจจจากระบบบำบัดน้ำเสียที่ผ่านการรีดน้ำของโรงงานกระดาษต่อ ก๊าซชีวภาพที่ผลิตจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ได้แบ่งการศึกษาออกเป็นส่วนๆ ดังนี้

1. การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของสัจจ และวัสดุร่วมหมัก

ลักษณะสมบัติของตัวอย่างสัจจก่อนรีดน้ำ สัจจที่ผ่านการรีดน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสีย แบบตะกอนเร่งของโรงงานกระดาษ และวัสดุร่วมหมัก (ขี้เลื่อย) ก่อนนำมาผสมรวมกันเพื่อเป็น ตัวอย่างที่ใช้สำหรับกระบวนการหมักทำปุ๋ยแบบไร้อากาศ แสดงดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติเบื้องต้นของวัสดุหมัก

พารามิเตอร์	ลักษณะสมบัติของวัสดุหมัก		
	สัจจก่อน รีดน้ำ	สัจจที่ผ่านการ รีดน้ำ	ขี้เลื่อย
pH	6.90	7.08	6.48
TS (mg/kg dry wt.)	124,586.55	242,285.71	934,673.37
TVS (mg/kg dry wt.)	95,920.62	209,142.86	924,623.12
Fixed Solids (mg/kg dry wt.)	28,665.93	33,142.86	10,050.25
TKN (mg/kg dry wt.)	33,530.00	24,841.00	3,108.00
Carbon (mg/kg dry wt.)	53,289.23	116,190.48	513,679.51
Moisture Content (% , dry wt.)	87.54	75.77	6.53
C/N ratio	1.59	4.68	165.28

โดยพบว่า สัจจก่อนรีดน้ำ, สัจจที่ผ่านการรีดน้ำ และขี้เลื่อย มีค่าของแข็งระเหยง่าย (TVS) ร้อยละ 76.99, 86.32 และ 98.92 โดยลำดับ จากปริมาณของแข็งระเหยง่าย แสดงว่า สัจจก่อนการรีดน้ำ, สัจจที่ผ่านการรีดน้ำ และขี้เลื่อย ส่วนใหญ่มีองค์ประกอบเป็นสารอินทรีย์ เมื่อวิเคราะห์ปริมาณคาร์บอนในตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์มีองค์ประกอบของคาร์บอนคิดเป็นร้อยละ 42.77, 47.96 และ 54.96 โดยลำดับ แต่เมื่อพิจารณาสัดส่วนของคาร์บอนต่อ

ไนโตรเจนของวัสดุแต่ละชนิด พบว่า ค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ของวัสดุแต่ละชนิดไม่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักแบบ ไร้อากาศ เนื่องจากสัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมควรมีค่าประมาณ 30:1 (สุทธิตา, 2545) ดังนั้นในการทดลองนี้จึงได้ผสมสลัดจ์ก่อนรีดน้ำ 9 กิโลกรัม กับขี้เลื่อย 2 กิโลกรัม เพื่อให้สัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน มีค่าเป็น 31.35:1 นอกจากนี้ได้ทำการผสมสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ 10 กิโลกรัม กับขี้เลื่อย 2 กิโลกรัม เพื่อให้สัดส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน มีค่าเป็น 31.45:1 เพื่อให้ค่าคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ได้เป็นไปตามเกณฑ์ในการหมักทำปุ๋ยแบบ ไร้อากาศ

ในการหมักทำปุ๋ยแบบ ไร้อากาศต้องมีการควบคุมความชื้นให้เหมาะสม อยู่ในช่วงร้อยละ 50-60 (สุทธิตา, 2545) ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ความชื้นของสลัดจ์ทั้ง 2 ชนิด พบว่า สลัดจ์ก่อนรีดน้ำ มีค่าความชื้นค่อนข้างสูง โดยมีค่าความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 87.54 สลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ มีค่าความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 75.77 ส่วนขี้เลื่อยมีค่าความชื้นต่ำมาก โดยมีค่าความชื้นอยู่ที่ร้อยละ 6.53 เนื่องจากสลัดจ์ทั้ง 2 ชนิด มีค่าความชื้นที่ไม่เหมาะสมในการเดินระบบการหมักแบบ ไร้อากาศ จึงได้มีการใช้ขี้เลื่อยมาเป็นวัสดุรวมหมัก โดยได้ผสมขี้เลื่อย 2 กิโลกรัมกับสลัดจ์ก่อนรีดน้ำ 9 กิโลกรัม เพื่อให้ค่าความชื้น มีค่าเป็น 62.81 นอกจากนี้ได้ทำการผสมขี้เลื่อย 2 กิโลกรัมกับสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ 10 กิโลกรัม เพื่อให้ค่าความชื้น มีค่าเป็น 54.23 ซึ่งขี้เลื่อยจะช่วยปรับลักษณะทางกายภาพของสลัดจ์ให้มีความพรุนมากขึ้น ไม่อัดตัวกันแน่นจนเกินไป และทำให้วัสดุหมักมีค่าความชื้นอยู่ในสภาวะที่เหมาะสมของการเดินระบบการหมักแบบ ไร้อากาศ

2. การศึกษาอิทธิพลของสัลเฟอร์ไดออกไซด์ต่อการรีดน้ำต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

ในการทดลองนี้เป็นการเดินระบบหมักแบบไร้อากาศ โดยวัสดุหมักที่ใช้ในการเดินระบบ คือสัลดจ์ทั้ง 2 ชนิดที่ทำการเติมวัสดุร่วมหมักแล้ว จะถูกป้อนเข้าถังหมักเพียงครั้งเดียว เมื่อเริ่มดำเนินการหมักและทิ้งไว้จนเกิดกระบวนการย่อยสลาย ดังนั้น ค่าความเป็นด่างรวม (Total alkalinity) ควรออกแบบให้มีค่าสูงๆ เนื่องจากจะทำให้เกิดความปลอดภัยเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายอย่างกะทันหัน โดยค่าความเป็นด่างที่เหมาะสมควรอยู่ในช่วง 2,500-5,000 มก./ล. (McCarty, 1984) ทั้งนี้สัดส่วนของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อค่าความเป็นด่างรวมทั้งหมด ควรน้อยกว่า 1.0 (เพ็ชรพร, 2527) จึงจะจัดว่าระบบมีกำลังบัฟเฟอร์สูงและไม่มีความเสี่ยงต่อการเกิดกรดในปริมาณที่สูงจนทำให้ระบบล้มเหลวได้ โดยที่ปริมาณของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ควรอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ สำหรับการทำงานของถังหมักไร้อากาศ คือ ไม่เกิน 2,000 มก./ล. (เกรียงศักดิ์, 2539)

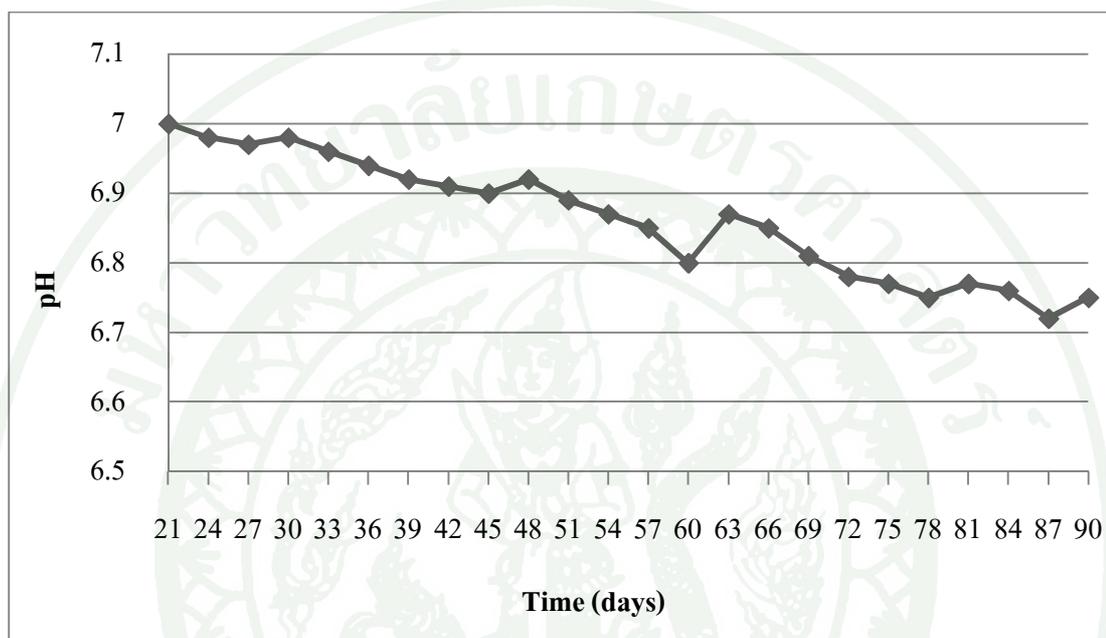
ในการเดินระบบการหมักแบบไร้อากาศจำเป็นต้องคำนึงถึงสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสม เพื่อให้ระบบการหมักดำเนินไปอย่างต่อเนื่องและมีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพอย่างสม่ำเสมอ โดยค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมจะอยู่ในช่วง 6.6-7.6 (เกรียงศักดิ์, 2543) ถ้าค่าความเป็นกรดด่างสูงหรือต่ำกว่านี้ประสิทธิภาพของระบบจะลดลงอย่างรวดเร็ว การผลิตมีเทนของแบคทีเรียที่สามารถผลิตมีเทนจะถูกยับยั้งเกือบทั้งหมด หรืออาจทำให้แบคทีเรียตายได้ และเพื่อให้การเจริญเติบโตของแบคทีเรียผลิตมีเทนในระบบเป็นไปอย่างต่อเนื่องควรควบคุมค่าสัดส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมด้วย

2.1 การตรวจสอบสภาวะการทำงานของระบบในการหมักสัลดจ์ก่อนการรีดน้ำ

เมื่อทำการเดินระบบการหมักแบบไร้อากาศแล้วจะมีการติดตามสภาวะการทำงานของระบบอย่างต่อเนื่อง โดยการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำชะจากระบบจากถังหมัก ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้น และสัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพทั้งหมด จากการวิเคราะห์สามารถรายงานผลได้ดังนี้

2.1.1 ความเป็นกรดต่าง (pH)

จากผลการทดลองวิเคราะห์หน้าชะจากระบบ จากถังหมักไร้อากาศ พบว่า สลัดจ์ก่อนรีดน้ำ มีค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 6.72 – 7.00 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.86 ดังภาพที่ 9



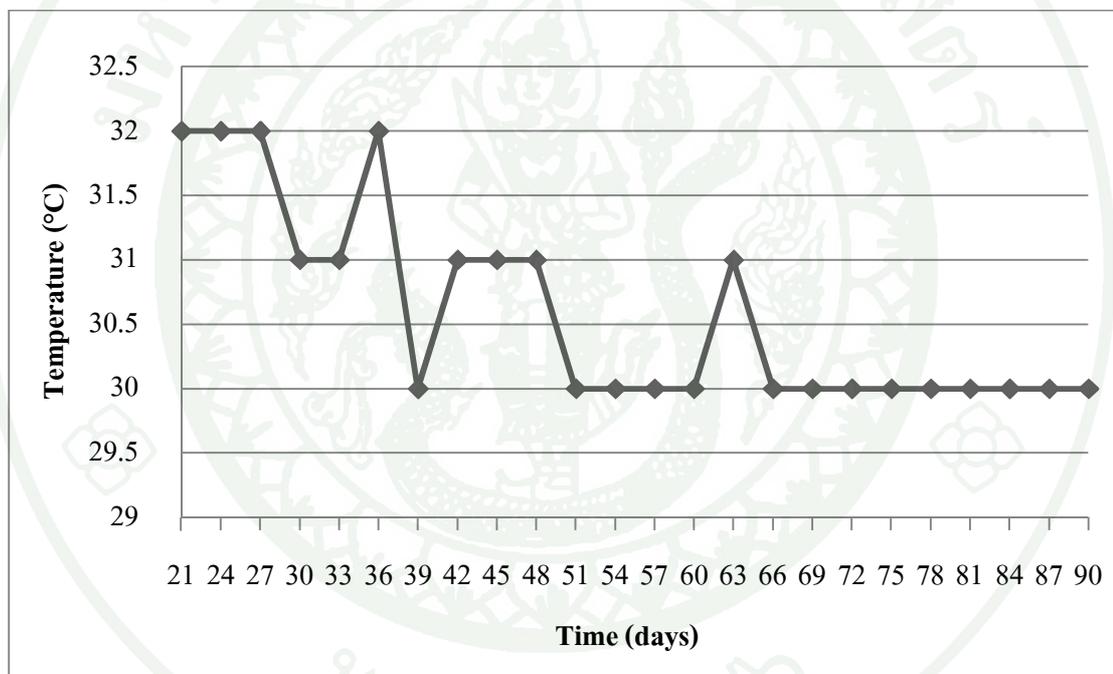
ภาพที่ 9 ค่าความเป็นกรดต่างของถังหมักสลัดจ์ก่อนรีดน้ำ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ค่าความเป็นกรดต่างของถังหมักไร้อากาศมีค่าอยู่ในช่วงสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมของถังหมักแบบไร้อากาศ โดยตลอดระยะเวลาการหมักมีค่าเฉลี่ย อยู่ที่ 6.86 ซึ่งสอดคล้องกับ เสริมพล (2524) ที่กล่าวว่า ค่าความเป็นกรดต่างที่เหมาะสมต่อการกำจัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนอยู่ในช่วงระหว่าง 6.6-7.6 โดยค่าความเป็นกรดต่างอาจลดต่ำลงได้ถึง 6.6 และเมื่อค่าความเป็นกรดต่างต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบหมักจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากสภาวะกรดเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียชนิดผลิตก๊าซมีเทน และผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าถังหมักมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดี ในช่วงการเดินระบบค่าความเป็นกรดต่างลดลงเล็กน้อยเนื่องจากเกิดการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศ โดยสารอินทรีย์ในระบบจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียสร้างกรดให้เปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ซึ่งถ้าแบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเหล่านี้ไปใช้ได้ทัน จะทำให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายขึ้น และ

หากมีการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในปริมาณที่สูงค่าความเป็นกรดต่างจะลดลงเป็นผลให้เกิดการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียประเภทผลิตก๊าซมีเทน

2.1.2 อุณหภูมิ

จากผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิของถังหมักอยู่ในช่วง 30 – 32 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 11 ซึ่งอยู่ในช่วงสภาวะการเดินระบบที่ไม่เหมาะสมของถังหมักแบบไร้อากาศ ทั้งนี้เนื่องมาจากการเกิดกระบวนการหมักแบบไร้อากาศขึ้นภายในถังหมัก ทำให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไม่สูง และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า วัสดุหมักที่ได้มีความชื้นสูง



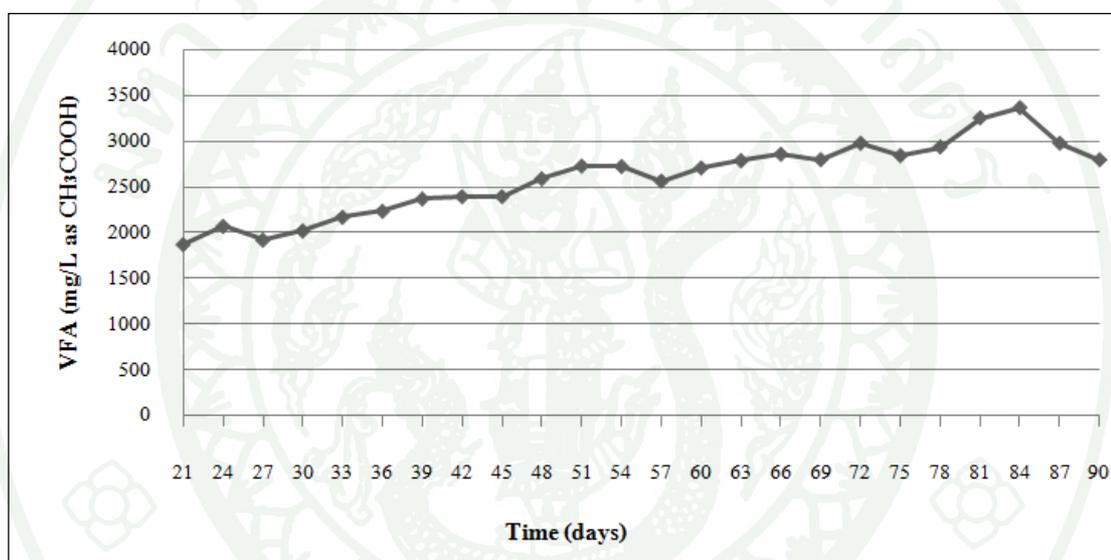
ภาพที่ 10 อุณหภูมิของถังหมักสลัดจ์ก่อนรีดน้ำ

จากการติดตามสภาวะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังหมักในขณะเดินระบบการหมักแบบไร้อากาศ พบว่า อุณหภูมิมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก และจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิภายในถังหมักตลอดระยะเวลาการเดินระบบเป็นช่วงอุณหภูมิที่ค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของการเดินระบบที่เหมาะสม คือที่ 35 องศาเซลเซียส (สุตริตา, 2545) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากภายในถังหมักมีความชื้นสูง ทำให้วัสดุหมักอัดตัวกันแน่นจนเกินไป ทำให้กระบวนการย่อยสลายอาจเกิดขึ้นเฉพาะด้านบนเท่านั้น อีกทั้งในการหมักยังไม่มีการกวนผสมหรือการพลิกกลับวัสดุหมัก

ซึ่งเป็นผลให้วัสดุหมักที่อยู่ด้านล่างของถังปฏิกริยายังอัดตัวกันแน่นมากขึ้น เมื่อวัสดุหมักมีความชื้นสูงขึ้น

2.1.3 ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA)

จากผลการทดลอง พบว่า สลัดจ์ก่อนรีดน้ำมีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Fatty Acid, VFA) อยู่ในช่วง 1,875 – 3,375 มก./ล. โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,604.48 มก./ล. ดังภาพที่ 11



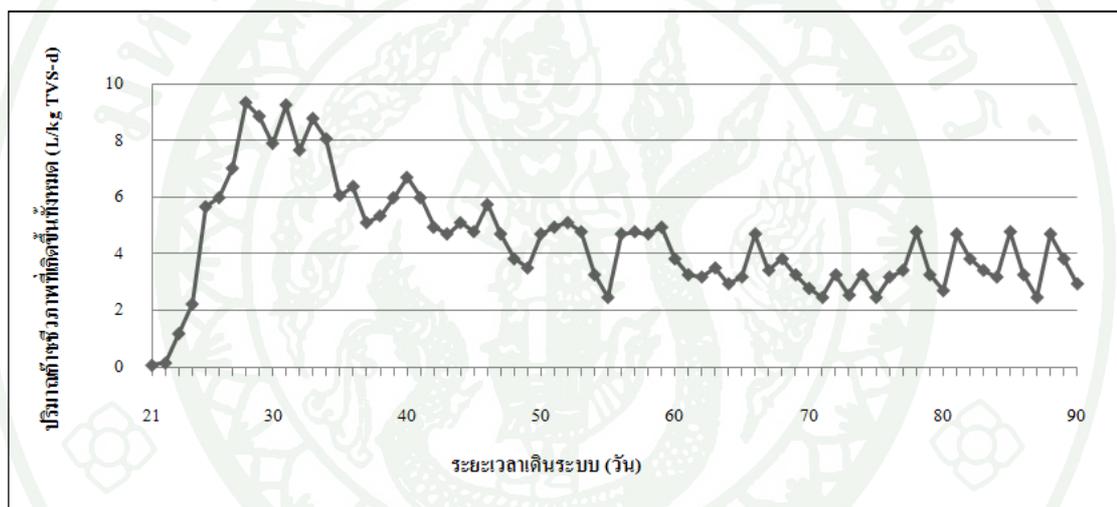
ภาพที่ 11 ปริมาณของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายของถังหมักสลัดจ์ก่อนรีดน้ำ

ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายของสลัดจ์ก่อนรีดน้ำมีค่าเฉลี่ยค่อนข้างสูง เนื่องมาจากสลัดจ์ก่อนรีดน้ำมีลักษณะเป็นของเหลวข้น ทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายได้ แต่อย่างไรก็ตามปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในถังหมัก มีค่าสูงกว่าค่าสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบ หากมีการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ในปริมาณที่สูงอาจเนื่องมาจากภาวะบรรทุกของถังหมักสูงเกินไปหรือมีสารพิษเข้าถังหมักและยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียประเภทผลิตก๊าซมีเทน (Polprasert, 1996) แต่ระบบสามารถดำเนินต่อไปได้โดยไม่ล้มเหลว ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ สุดารัตน์ (2551) กล่าวว่า การที่ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายสูงกว่าสภาวะที่เหมาะสม แต่การเดินระบบไม่ล้มเหลวและไม่มีผลกระทบใดๆ ต่อการทำงานของจุลินทรีย์ประเภทสร้างมีเทน ในการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากปัจจัยที่สำคัญว่า

ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย คือ อัตราส่วนระหว่างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อสภาพความเป็นด่างรวม (สุदारัตน์, 2551) ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป แต่หากปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย มากกว่า 2,000 มก./ล. จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง และถ้ามากถึง 8,000 – 10,000 มก./ล. จะเป็นพิษต่อระบบโดยตรง (มันสิน, 2534)

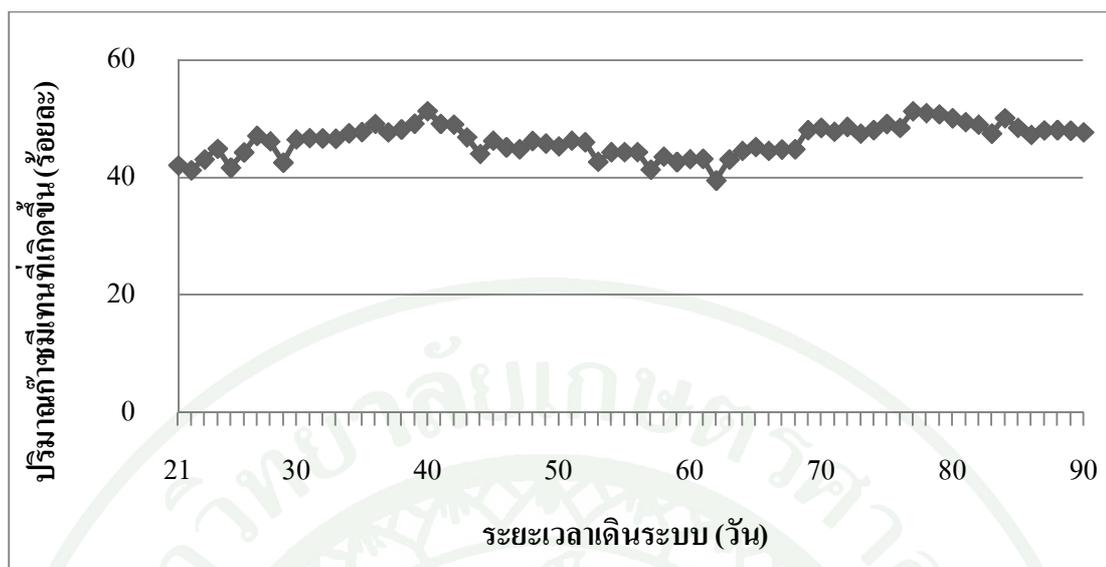
2.1.4 การวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น

ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้น (Total Gas) จากกระบวนการหมักสลัดจ์ก่อนรีดน้ำ มีค่าอยู่ในช่วง 0.08-9.32 L/kg TVS-d. ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 4.45 L/kg TVS-d. ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้น จากกระบวนการหมักสลัดจ์ก่อนรีดน้ำ

สัดส่วนปริมาณก๊าซมีเทนจากกระบวนการหมักสลัดจ์ก่อนรีดน้ำมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 39.53-51.36 ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 46.39 ดังภาพที่ 13 โดยมีอัตราการเกิดมีเทนสะสมสูงสุดอยู่ที่ 175,564.91 gCH₄/Kg TVS และเมื่อนำมาวิเคราะห์หาอัตราการเกิดก๊าซมีเทนสะสมสูงสุดต่อปริมาณวัสดุหมัก พบว่า มีอัตราการเกิดมีเทนสะสมสูงสุด อยู่ที่ 2,203.34 gCH₄/Kg Sludge (wet wt.)



ภาพที่ 13 ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น จากกระบวนการหมักสลัดจ์ก่อนรีดน้ำ

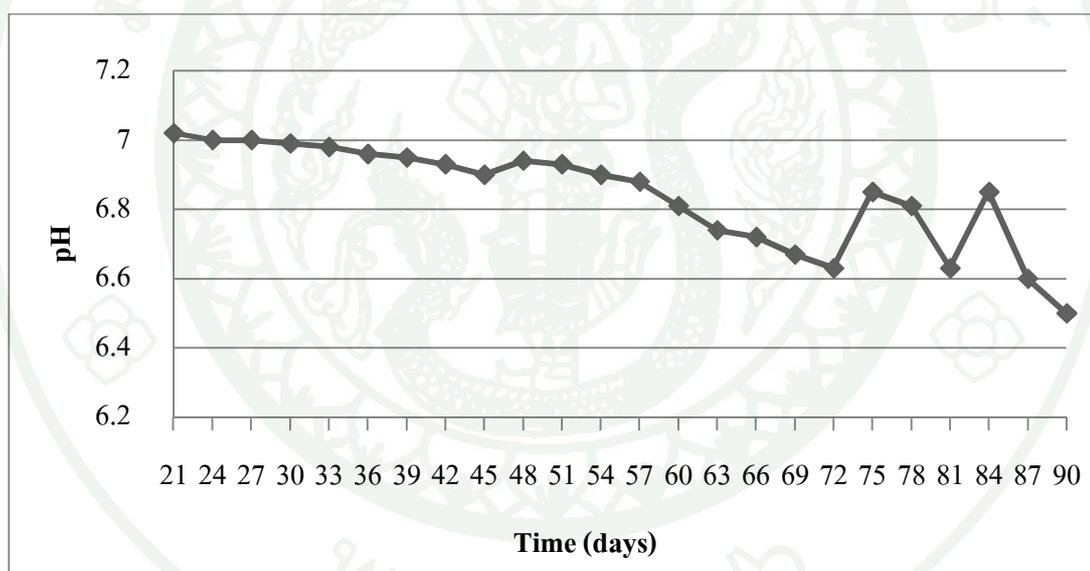
จากผลการทดลอง พบว่าปริมาณสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพมีค่าค่อนข้างต่ำ เมื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเดินระบบการหมักที่สมบูรณ์ กล่าวคือ หากมีการเดินระบบการหมักแบบไร้อากาศที่สมบูรณ์ สัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพควรจะอยู่ที่ร้อยละ 65 (ชาติ, 2539) แต่จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าตลอดระยะเวลาการหมัก สามารถวิเคราะห์สัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพได้เฉลี่ยร้อยละ 46.39 ทั้งนี้ สัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพแสดงให้เห็นว่า การเดินระบบการหมักครั้งนี้ เป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นได้จากวัสดุหมักมีการอัดตัวกันแน่น ไม่มีการกวนผสมและยังพบว่ามีผลกระทบของปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ส่งผลให้เกิดการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียที่สามารถผลิตมีเทนหรืออาจทำให้แบคทีเรียตายได้ (เกรียงศักดิ์, 2543) รวมทั้งอุณหภูมิในการเดินระบบค่อนข้างต่ำกว่าสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งอุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญที่ควบคุมอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี และเป็นปัจจัยที่ควบคุมอัตราเร็วของปฏิกิริยาทางชีวเคมี ดังนั้นอุณหภูมิจึงมีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยตรง ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้นและสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ มีค่าค่อนข้างต่ำ

2.2 การตรวจสอบสภาวะการทำงานของระบบในการหมักสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ

เมื่อทำการเดินระบบการหมักแบบไร้อากาศแล้วจะมีการติดตามสภาวะการทำงานของระบบอย่างต่อเนื่อง โดยการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำชะจากระบบจากถังหมัก ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้น และสัดส่วนของก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพทั้งหมด จากการวิเคราะห์ที่สามารถรายงานผลได้ดังนี้

2.2.1 ความเป็นกรดด่าง (pH)

จากผลการทดลอง พบว่า สลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ มีค่าความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 6.50 – 7.02 โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.84 ดังภาพที่ 14



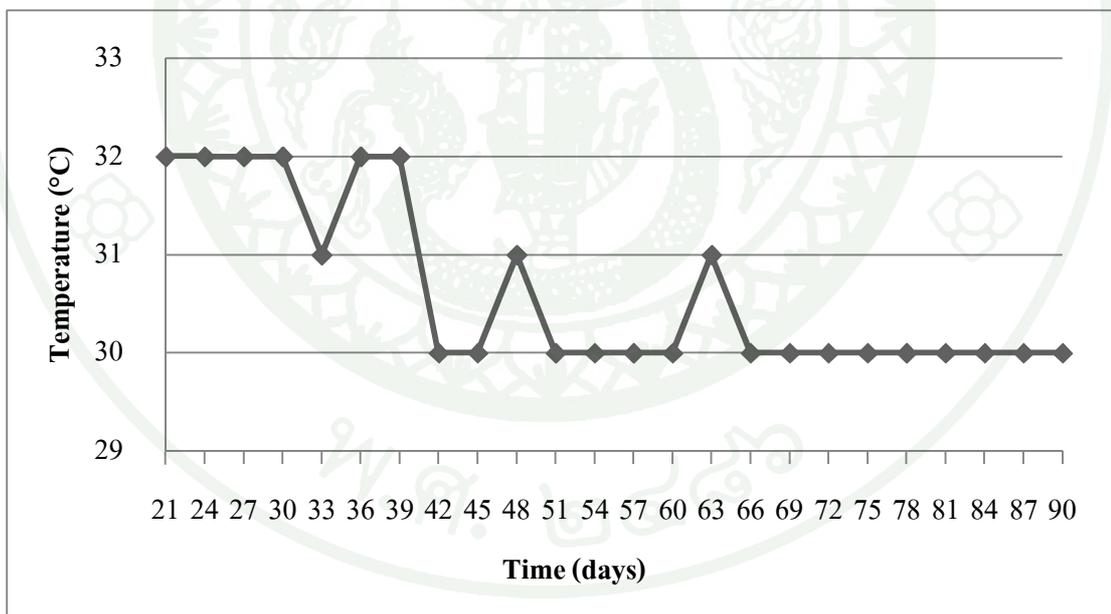
ภาพที่ 14 ค่าความเป็นกรดด่างของถังหมักสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ

จากผลการทดลอง พบว่า ค่าความเป็นกรดด่างของถังหมักไร้อากาศมีค่าอยู่ในช่วงสภาวะการเดินระบบที่เหมาะสมของถังหมักแบบไร้อากาศ ซึ่งสอดคล้องกับ เสริมพล (2524) กล่าวว่า ค่าความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมต่อการกำจัดแบบไม่ใช้ออกซิเจนอยู่ในช่วงระหว่าง 6.6-7.6 โดยค่าความเป็นกรดด่างอาจลดต่ำลงได้ถึง 6.6 และเมื่อค่าความเป็นกรดด่างต่ำกว่า 6.2 ประสิทธิภาพของระบบหมักจะลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากสภาวะกรดเป็นอันตรายต่อแบคทีเรียชนิดผลิตก๊าซมีเทน และผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าถังหมักมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดี

ในช่วงการเดินระบบค่าความเป็นกรดต่างลดลงเล็กน้อยเนื่องจากเกิดการย่อยสลายในสภาวะไร้อากาศ โดยสารอินทรีย์ในระบบจะถูกย่อยสลายโดยแบคทีเรียสร้างกรดให้เปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ซึ่งถ้าแบคทีเรียสร้างมีเทนไม่สามารถนำกรดอินทรีย์ระเหยง่ายเหล่านี้ไปใช้ได้ทัน จะทำให้เกิดการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายขึ้น และหากมีการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในปริมาณที่สูงค่าความเป็นกรดต่างจะลดลงเป็นผลให้เกิดการยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียประเภทผลิตก๊าซมีเทน

2.2.2 อุณหภูมิ

จากผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิของถังหมักอยู่ในช่วง 30 – 32 องศาเซลเซียส ดังภาพที่ 15 ซึ่งอยู่ในช่วงสภาวะการเดินระบบที่ไม่เหมาะสมของถังหมักแบบ ไร่นี้เนื่องมาจากการเกิดกระบวนการหมักแบบไร้อากาศขึ้นภายในถังหมัก ทำให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิไม่สูง และเมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่าวัสดุหมักที่ได้ มีความชื้นสูง

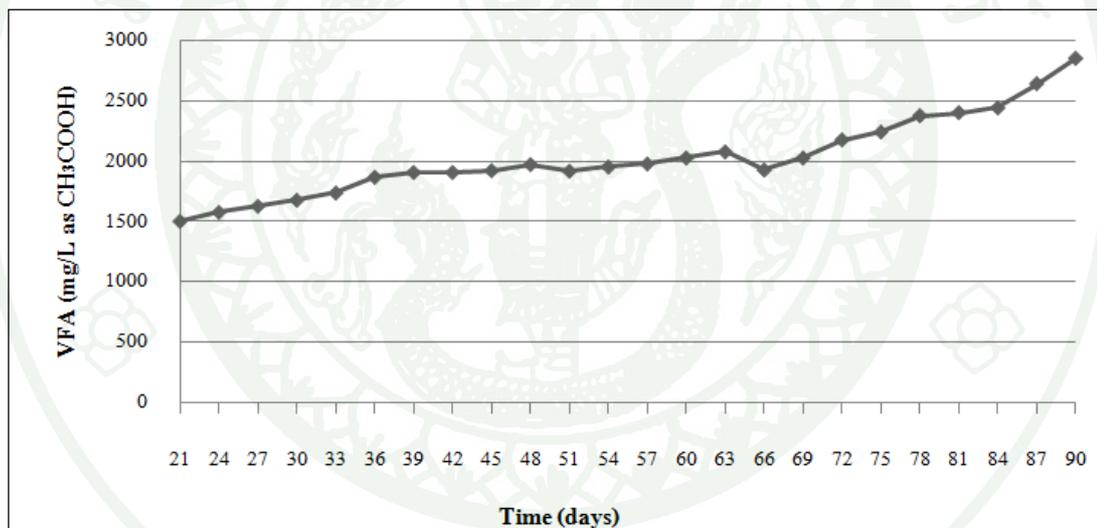


ภาพที่ 15 อุณหภูมิของถังหมักสัปดาห์ที่ผ่านการรีดน้ำ

จากผลการทดลอง พบว่า อุณหภูมิภายในถังหมักมีค่าค่อนข้างต่ำ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอุณหภูมิของการเดินระบบที่เหมาะสม คือที่ 35 องศาเซลเซียส (สุคติดา, 2545) ทั้งนี้ อุณหภูมิภายในถังหมักเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ในระบบการหมักโดยตรง กล่าวคือ ยิ่งมีอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์มากขึ้น (จุลินทรีย์เจริญเติบโตมาก) อุณหภูมิภายในถังหมักก็จะยิ่งสูงขึ้น ในทางกลับกันถ้าอัตราการย่อยสลายทางชีวภาพของจุลินทรีย์ลดลง อุณหภูมิของระบบก็จะลดลงด้วย

2.2.3 ปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย (VFA)

จากผลการทดลอง พบว่า สลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ มีปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย อยู่ในช่วง 1,500 – 2,850 มก./ล. โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2,028.54 มก./ล. ดังภาพที่ 16



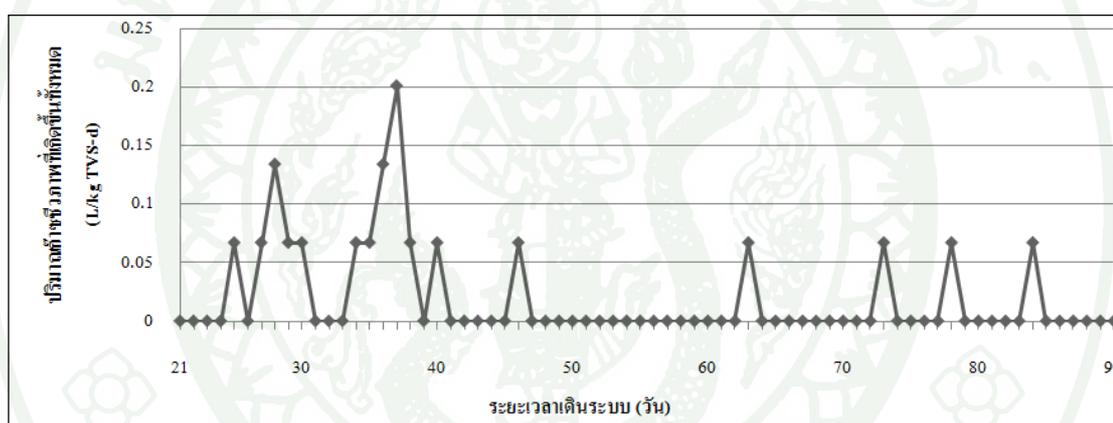
ภาพที่ 16 ปริมาณของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายของถังหมักสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ

ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นว่าปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายของสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ มีค่าสูงกว่าค่าสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบ หากมีการสะสมของกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ในปริมาณที่สูงอาจเนื่องมาจากภาวะบรรทุกลูกของถังหมักสูงเกินไปหรือมีสารพิษเข้าถังหมักและยับยั้งการทำงานของแบคทีเรียประเภทผลิตก๊าซมีเทน (Polprasert, 1996) แต่ระบบสามารถดำเนินต่อไปได้โดยไม่ล้มเหลว ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของ สุภารัตน์ (2551) กล่าวว่า การที่ค่ากรดอินทรีย์ระเหยง่ายสูงกว่าสภาวะที่เหมาะสม แต่การเดินระบบไม่ล้มเหลวและไม่มีผลกระทบ

ใดๆ ต่อการทำงานของจุลินทรีย์ประเภทสร้างมีเทน ในการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากปัจจัยที่สำคัญกว่าปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย คือ อัตราส่วนระหว่างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อสภาพความเป็นด่างรวม (สุภารัตน์, 2551) ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป แต่หากปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย มากกว่า 2,000 มก./ล. จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง และถ้ามากถึง 8,000 – 10,000 มก./ล. จะเป็นพิษต่อระบบโดยตรง (มันสิน, 2534)

2.2.4 การวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น

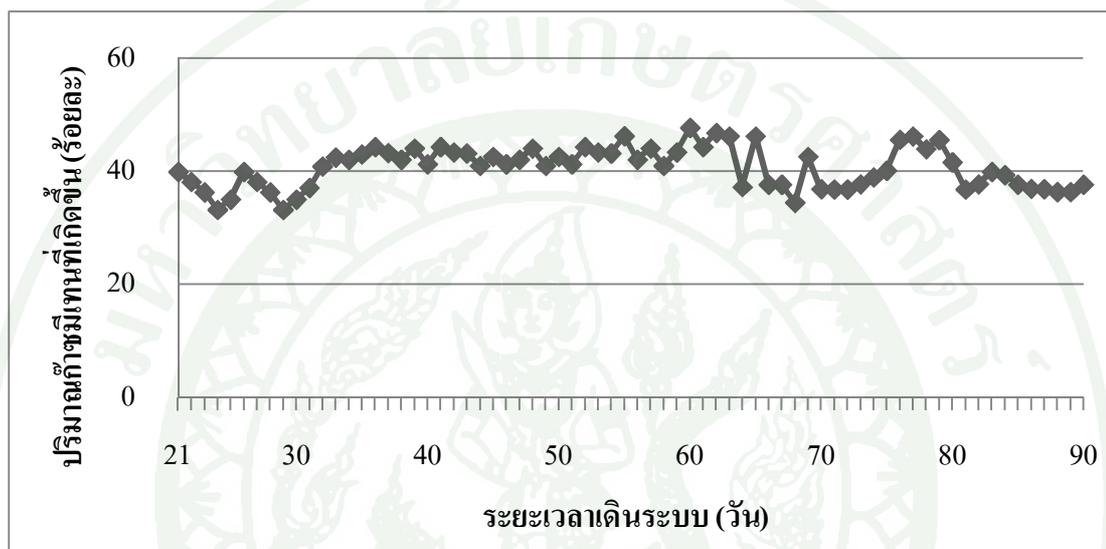
ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้น (Total Gas) จากกระบวนการหมักสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ มีค่าอยู่ในช่วง 0.07-0.20 L/kg TVS-d มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 0.02 L/kg TVS-d ดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้น จากกระบวนการหมักสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้น จากกระบวนการหมักสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ มีค่าน้อยมาก ทั้งนี้ อาจเนื่องมาจากในขั้นตอนการปรับสภาพสลัดจ์ก่อนเข้าสู่กระบวนการรีดน้ำ จะมีการเติมสารเคมี และ โพลีเมอร์ลงไปเพื่อทำชั้นสลัดจ์ ทำให้สลัดจ์เกาะตัวเป็นก้อนมากขึ้น และสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการรีดน้ำอาจส่งผลต่อจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตก๊าซชีวภาพ ทำให้เกิดการยับยั้งอัตราการโตของจุลินทรีย์ในระบบได้ เมื่อพิจารณาจะเห็นว่า อุณหภูมิ ในการเดินระบบการหมักที่ได้มีค่าค่อนข้างต่ำ ซึ่งอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่สำคัญต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ เมื่อมีอัตราการย่อยสลายที่ต่ำ จึงเป็นผลให้ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้นมีค่าต่ำด้วย

สัดส่วนปริมาณก๊าซมีเทนจากกระบวนการหมักสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 33.22-47.73 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 40.69 ดังภาพที่ 18 โดยมีอัตราการเกิดมีเทนสะสมสูงสุด อยู่ที่ 53,727.26 gCH₄/Kg TVS และเมื่อนำมาวิเคราะห์หาอัตราการเกิดก๊าซมีเทนสะสมสูงสุดต่อปริมาณวัสดุหมัก พบว่า มีอัตราการเกิดมีเทนสะสมสูงสุด อยู่ที่ 799.99 gCH₄/Kg Sludge (wet wt.)



ภาพที่ 18 ปริมาณก๊าซมีเทนที่เกิดขึ้น จากกระบวนการหมักสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ

จากผลการทดลอง พบว่าสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ ที่เกิดจากกระบวนการหมักสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำมีค่าค่อนข้างต่ำ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 40.69 เมื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นเมื่อมีการเดินระบบการหมักแบบไร้อากาศที่สมบูรณ์ ซึ่งควรจะมีสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพควรจะอยู่ที่ร้อยละ 65 (ชาติ, 2539) ทั้งนี้สัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพแสดงให้เห็นว่า การเดินระบบการหมักครั้งนี้ เป็นไปอย่างไม่สมบูรณ์ ทั้งนี้อาจเกิดขึ้นได้จากหลายปัจจัย เช่น วัสดุหมักที่ใช้ในการเดินระบบเป็นสลัดจ์ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารเคมี และโพลีเมอร์ ซึ่งสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการปรับสภาพสลัดจ์อาจมีผลยับยั้งจุลินทรีย์ที่ผลิตมีเทนได้ อีกทั้งอุณหภูมิในการเดินระบบ ก็มีค่าต่ำกว่าสภาวะที่เหมาะสมซึ่งเป็นปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีผลต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์โดยตรง จึงเป็นผลทำให้ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดที่เกิดขึ้นและสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ มีค่าค่อนข้างต่ำ

จากการเดินระบบการหมักแบบไร้อากาศ ด้วยสลัดจ์ทั้งสองชนิด พบว่า สลัดจ์ก่อนรีดน้ำสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากกว่า และมีสัดส่วนก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพที่สูงกว่าสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำดังตารางที่ 9 และ 10

ตารางที่ 9 ปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมด สัดส่วนปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 90 วัน

พารามิเตอร์	สลัดจ์ก่อนรีดน้ำ		สลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ	
	ช่วงค่า	ค่าเฉลี่ย	ช่วงค่า	ค่าเฉลี่ย
ปริมาณก๊าซชีวภาพ (L/Kg TVS-d)	0.08-9.32	4.46	0.07-0.20	0.02
สัดส่วนก๊าซมีเทน (%CH ₄)	39.53-51.36	46.39	33.22-47.73	40.69

จากตารางแสดงผลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น และสัดส่วนปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ พบว่า สัดส่วนปริมาณก๊าซมีเทนที่ได้จากสลัดจ์ก่อนรีดน้ำมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ โดยมีปริมาณก๊าซชีวภาพทั้งหมดเฉลี่ย 4.46 L/Kg TVS-d และ 0.02 L/Kg TVS-d สัดส่วนปริมาณก๊าซมีเทนเฉลี่ยร้อยละ 46.39 และ 40.69 ตามลำดับ เป็นผลมาจากลักษณะของสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำแล้ว จะมีการอัดตัวกันแน่นขึ้น ทำให้เกิดการย่อยสลายไม่ทั่วถึงทั้งถังหมัก เกิดการสะสมของปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายขึ้น จึงส่งผลให้สามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้ปริมาณน้อย จากผลการทดลอง พบว่าสลัดจ์ก่อนรีดน้ำ มีอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพอย่างต่อเนื่อง และมีปริมาณสูงกว่าสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ ทั้งนี้เนื่องมาจากในกระบวนการปรับสภาพสลัดจ์ ก่อนเข้าสู่กระบวนการรีดน้ำ จะต้องมีการเติมสารเคมี และ โพลีเมอร์ เพื่อปรับสภาพสลัดจ์ ให้มีความสามารถในการยึดเกาะกันได้ดีขึ้น ซึ่งสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการต่าง ๆ นั้น อาจมีผลในการยับยั้งกระบวนการทำงานของแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ผลิตมีเทน

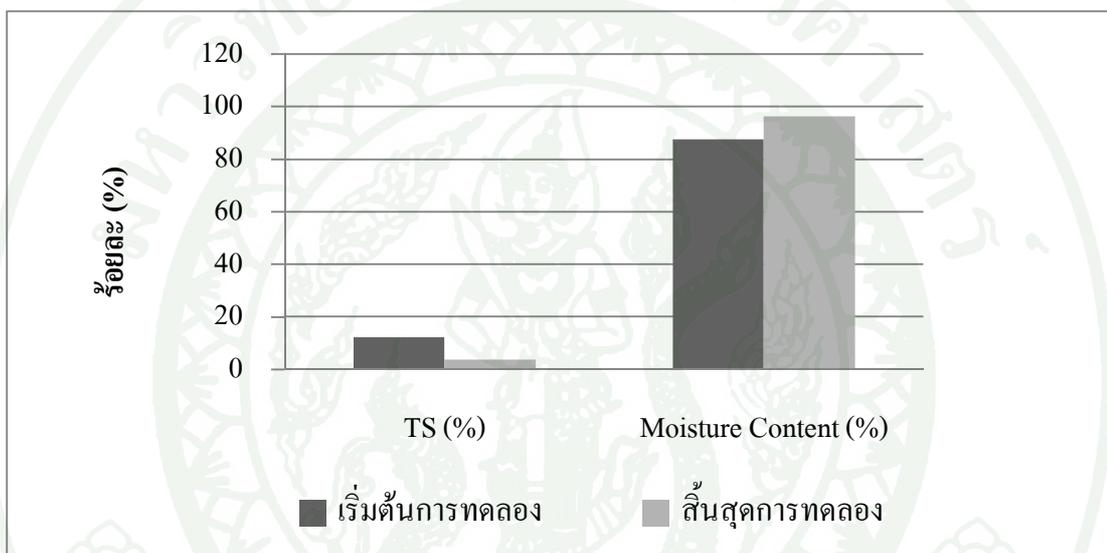
ตารางที่ 10 ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมสูงสุดในก๊าซชีวภาพจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ
ที่ระยะเวลาเก็บกัก 90 วัน

พารามิเตอร์	สลัดจ์ก่อนรีดน้ำ	สลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ
ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมสูงสุด (gCH ₄ /Kg TVS)	175.564.91	53,727.26
ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมสูงสุด (gCH ₄ /Kg Sludge wet wt.)	2,203.34	799.99

จากตารางแสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมสูงสุดในก๊าซชีวภาพจากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ที่ระยะเวลาเก็บกัก 90 วัน พบว่า ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมสูงสุดที่ได้จากสลัดจ์ก่อนรีดน้ำมีค่าสูงกว่าค่าที่ได้จากสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ ทั้งนี้ เนื่องมาจากในกระบวนการหมักสลัดจ์ สารอินทรีย์คาร์บอนในวัสดุหมักจะเกิดการย่อยสลายและเปลี่ยนเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย โดยจุลินทรีย์จำพวกผลิตกรด จากนั้นแบคทีเรียประเภทผลิตก๊าซมีเทนจะเปลี่ยนกรดอินทรีย์ให้เป็นก๊าซมีเทน แต่ในกระบวนการปรับสภาพสลัดจ์ ก่อนเข้าสู่กระบวนการรีดน้ำ จะต้องมีการเติมสารเคมี และ โพลีเมอร์เพื่อปรับสภาพสลัดจ์ ให้มีความสามารถในการยึดเกาะกันได้ดีขึ้น ซึ่งสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการต่าง ๆ นั้น อาจมีผลในการยับยั้งกระบวนการทำงานของแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ผลิตมีเทน จึงทำให้ปริมาณก๊าซมีเทนสะสมสูงสุดที่เกิดจากกระบวนการหมักสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำมีค่าต่ำกว่ากระบวนการหมักสลัดจ์ก่อนรีดน้ำ

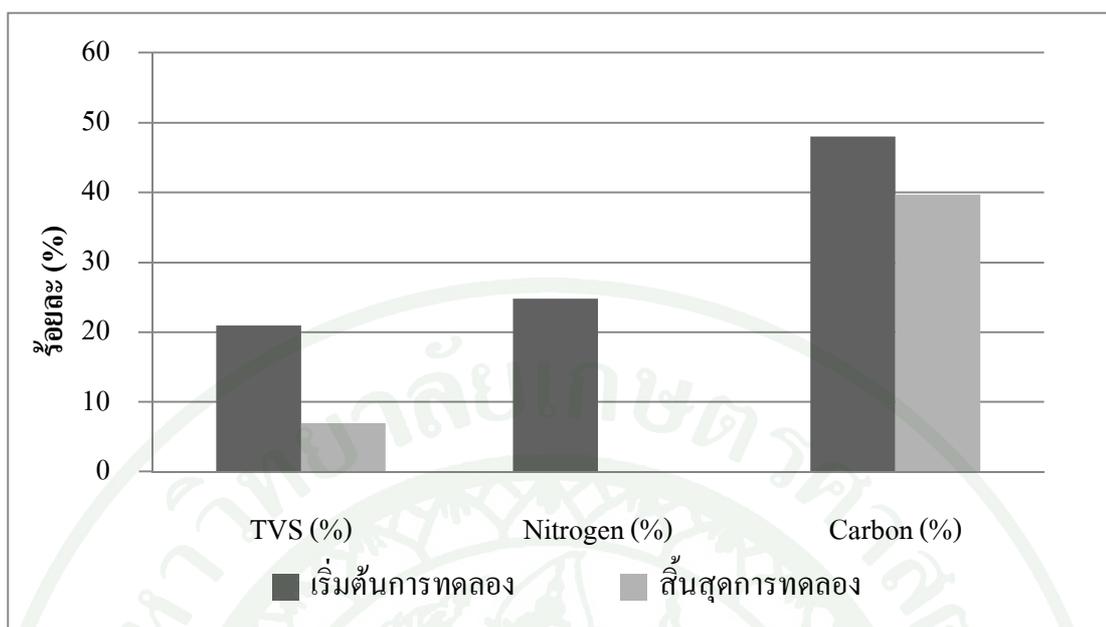
3..ผลการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของวัสดุหมักหลังสิ้นสุดการทดลอง

3.1 หลังจากสิ้นสุดกระบวนการหมักได้เก็บตัวอย่างสลัดจ์ก่อนรีดน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งของโรงงานกระดาษ มาทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติ พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ได้แก่ พีเอช (pH) ของแข็งทั้งหมด (Total Solids) ของแข็งระเหยง่าย (TVS) ทีเคเอ็น (TKN) คาร์บอน (C) และความชื้น (Moisture content) เพื่อให้ทราบถึงลักษณะทางกายภาพและเคมีของวัสดุหมักที่เปลี่ยนแปลงไป ผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 19 และ 20 ตามลำดับ



ภาพที่ 19 ของแข็งทั้งหมดและความชื้น หลังจากสิ้นสุดกระบวนการหมักตัวอย่างสลัดจ์ก่อนรีดน้ำ

จากภาพที่ 19 พบว่า เมื่อการทดลองสิ้นสุด ปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลงร้อยละ 68.94 ส่วนค่าความชื้น เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าความชื้นที่สูงขึ้น



ภาพที่ 20 ของแข็งระเหยง่าย, ทีเคเอ็นใน ไตรเจนและคาร์บอน หลังจากสิ้นสุดกระบวนการหมัก สลัดจ์ก่อนรีดน้ำ

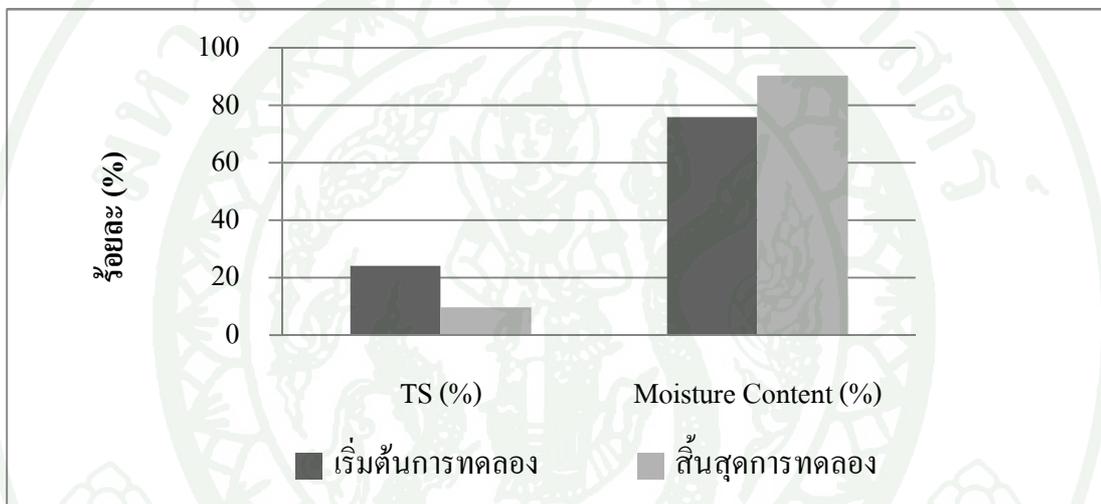
ปริมาณของแข็งระเหยง่ายลดลงร้อยละ 74.04 ของปริมาณของแข็งทั้งหมด การลดลงนี้เกิดจากในกระบวนการหมักจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยที่ปริมาณของแข็งระเหยจะแสดงถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในวัสดุหมักที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ โดยมีจุลินทรีย์เป็นตัวทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้โมเลกุลใหญ่เป็นโมเลกุลเล็ก จากนั้นจะใช้จุลินทรีย์ที่สร้างกรดมาทำการย่อยต่อเพื่อทำให้สารประกอบอินทรีย์เป็นสารละลายเป็นสารอาหารของจุลินทรีย์ ซึ่งพิสูจน์ได้จากการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (สุพิศ, 2546)

ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจน เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีปริมาณลดลงร้อยละ 16.30 และ 99.02 ตามลำดับ เนื่องจากในกระบวนการหมัก จุลินทรีย์จะใช้คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงานและใช้ไนโตรเจนในการสร้างเซลล์

ค่าความเป็นกรดต่าง เมื่อสิ้นสุดการทดลองและนำวัสดุหมักออกจากถังหมักมาวิเคราะห์ พบว่า มีค่าลดลง จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าในกระบวนการหมักเกิดก๊าซมีเทนในปริมาณที่น้อยมาก เมื่อแบคทีเรียเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย แต่กรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่เกิดขึ้นไม่ได้ถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน โดยแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ผลิตมีเทน

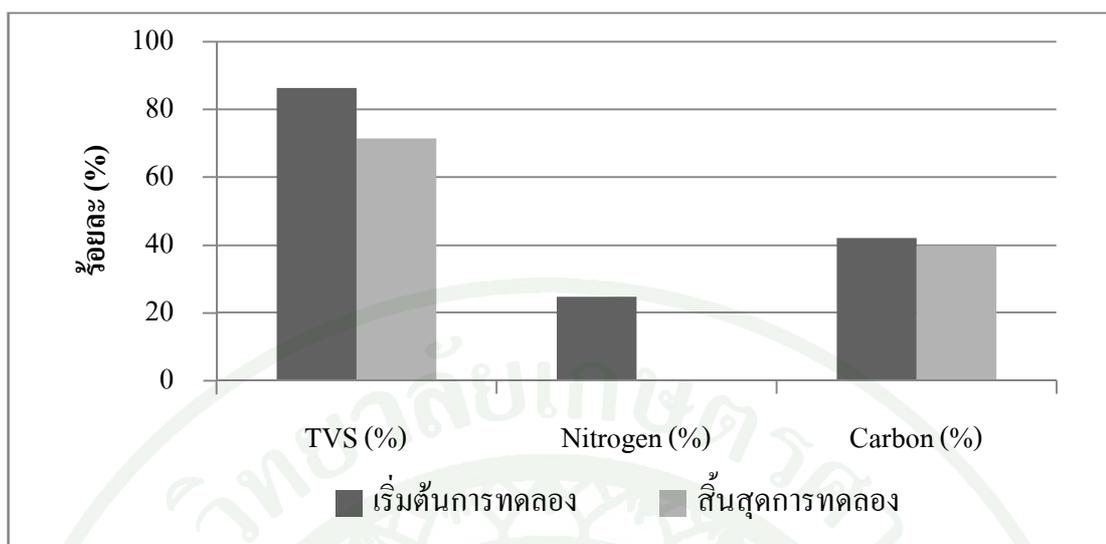
จึงส่งผลให้เกิดการสะสมของปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ส่งผลให้ค่าความเป็นกรดค้างภายในถังหมักลดลง

3.2 หลังจากสิ้นสุดกระบวนการหมักได้เก็บตัวอย่างสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียแบบตะกอนเร่งของโรงงานกระดาษ มาทำการวิเคราะห์ลักษณะสมบัติ พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ ได้แก่ พีเอช (pH) ของแข็งทั้งหมด (Total Solids) ของแข็งระเหยง่าย (TVS) ทีเคเอ็น (TKN) คาร์บอน (C) และความชื้น (Moisture content) เพื่อให้ทราบถึงลักษณะทางกายภาพและเคมีของวัสดุหมักที่เปลี่ยนแปลงไป ผลการวิเคราะห์แสดงดังภาพที่ 21 และ 22



ภาพที่ 21 ของแข็งทั้งหมดและความชื้น หลังจากสิ้นสุดกระบวนการหมักตัวอย่างสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ

จากภาพที่ 21 พบว่า เมื่อการทดลองสิ้นสุด ปริมาณของแข็งทั้งหมดลดลงร้อยละ 59.43 ส่วนค่าความชื้น เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าความชื้นที่สูงขึ้น



ภาพที่ 22 ของแข็งระเหยง่าย, ทีเคเอ็นใน ไตรเจนและคาร์บอน หลังจากสิ้นสุดกระบวนการหมัก
สลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ

ปริมาณของแข็งระเหยง่ายลดลงร้อยละ 66.44 ของปริมาณของแข็งทั้งหมด การลดลงนี้เกิดจากในกระบวนการหมักจุลินทรีย์จะย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยที่ปริมาณของแข็งระเหยจะแสดงถึงปริมาณสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในวัสดุหมักที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ โดยมีจุลินทรีย์เป็นตัวทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้โมเลกุลใหญ่เป็นโมเลกุลเล็ก จากนั้นจะใช้จุลินทรีย์ที่สร้างกรดมาทำการย่อยต่อเพื่อทำให้สารประกอบอินทรีย์เป็นสารละลาย เป็นสารอาหารของจุลินทรีย์ ซึ่งพิสูจน์ได้จากการปลดปล่อยก๊าซมีเทนและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (สุพิศ, 2546)

ปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจน เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีปริมาณลดลงร้อยละ 5.73 และ 99.94 ตามลำดับ เนื่องจากในกระบวนการหมัก จุลินทรีย์จะใช้คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงาน และใช้ใน ไตรเจนในการสร้างเซลล์ และเปลี่ยนไปเป็นแอมโมเนีย จึงทำให้ปริมาณไนโตรเจนลดลง

ค่าความเป็นกรดต่าง เมื่อสิ้นสุดการทดลองและนำวัสดุหมักออกจากถังหมักมาวิเคราะห์ พบว่า มีค่าลดลง จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าในกระบวนการหมักเกิดก๊าซมีเทนในปริมาณที่น้อยมาก เมื่อแบคทีเรียเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ในระบบเป็นกรดอินทรีย์ระเหยง่าย แต่กรดอินทรีย์ระเหยง่ายที่เกิดขึ้นไม่ได้ถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซมีเทน โดยแบคทีเรียที่ทำหน้าที่ผลิตมีเทน

จึงส่งผลให้เกิดการสะสมของปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่าย ส่งผลให้ค่าความเป็นกรดค้างภายในถังหมักลดลง

4. คุณสมบัติของวัสดุหมักก่อนและหลังผ่านระบบการหมักแบบไร้อากาศ

ในการทดลองได้มีการศึกษาอิทธิพลของสัณฐานก่อนรีดน้ำ และสัณฐานที่ผ่านการรีดน้ำจากระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานกระดาษ ต่อก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้จากกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ ซึ่งในกระบวนการหมักจะมีกลไกการเกิดปฏิกิริยาต่างๆ โดยจะสามารถคำนวณมวลคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดได้ในรูปของ มวลคาร์บอนอินทรีย์ทั้งหมดหลังสิ้นสุดการทดลอง ปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ที่เกิดจากการเปลี่ยนสารอินทรีย์ให้อยู่ในรูปของกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในน้ำชะจากระบบ และปริมาณคาร์บอนอินทรีย์ในรูปของการเกิดก๊าซมีเทนที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งผลการคำนวณคุณสมบัติของกระบวนการหมักสัณฐานก่อนรีดน้ำและสัณฐานที่ผ่านการรีดน้ำ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 11 และ 12 ตามลำดับ

ตารางที่ 11 คุณสมบัติของกระบวนการหมักสัณฐานก่อนรีดน้ำเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง

สภาวะการทดลอง	ตัวอย่าง	ปริมาณ (กรัมคาร์บอน)	ร้อยละ
เริ่มต้นการทดลอง	วัสดุหมัก	9,740.00	100
สิ้นสุดการทดลอง	วัสดุหมัก	6,444.00	66.16
	น้ำชะจากระบบ	187.52	1.93
	CH ₄	2,203.34	22.62
	รวม	8,834.86	90.71

จากตารางที่ 11 พบว่า เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในวัสดุหมักจะลดลง ซึ่งปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่ลดลง บางส่วนจะถูกเปลี่ยนให้อยู่รูปกรดอินทรีย์ระเหยง่ายโดยแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ เมื่อคิดเป็นปริมาณกรัมคาร์บอนที่ถูกปล่อยออกมากับน้ำชะจากระบบ คิดเป็น 187.52 กรัม และปริมาณคาร์บอนที่ถูกเปลี่ยนไปในการเกิดก๊าซมีเทนเป็น 2,203.34 กรัมของปริมาณคาร์บอน

ตารางที่ 12 คุณสมบัติของกระบวนการหมักสัณฐานที่ผ่านการรีดน้ำเริ่มต้นและสิ้นสุดการทดลอง

สภาวะการทดลอง	ตัวอย่าง	ปริมาณ (กรัมคาร์บอน)	ร้อยละ
เริ่มต้นการทดลอง	วัสดุหมัก	8,632.00	100
สิ้นสุดการทดลอง	วัสดุหมัก	7,143.00	82.75
	น้ำชะจากระบบ	146.06	1.69
	CH ₄	799.99	9.27
	รวม	8,089.05	93.71

จากตารางที่ 12 พบว่า เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนในวัสดุหมักจะลดลง ซึ่งปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอนที่ลดลง บางส่วนจะถูกเปลี่ยนให้อยู่รูปกรดอินทรีย์ระเหยง่ายโดยแบคทีเรียในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ภายใต้สภาวะไร้อากาศ เมื่อคิดเป็นปริมาณกรัมคาร์บอนที่ถูกปล่อยออกมากับน้ำชะจากระบบ คิดเป็น 146.06 กรัม และปริมาณคาร์บอนที่ถูกเปลี่ยนไปในรูปแบบของการเกิดก๊าซมีเทนเป็น 799.99 กรัมของปริมาณคาร์บอน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

จากผลการทดลองศึกษาอิทธิพลของชนิดสลัดจ์ต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบและอัตราการผลิตก๊าซชีวภาพ ที่ระยะเวลาการเดินระบบทั้งหมด 90 วัน ผลการศึกษาลักษณะสมบัติเบื้องต้นของวัสดุหมักทั้งสองชนิด แสดงให้เห็นว่า ค่าความเป็นกรดต่างของวัสดุหมักทั้งสองอยู่ในสภาวะที่เหมาะสม คือที่ ค่าความเป็นกรดต่าง 6.6-7.6 ส่วนค่าความชื้นและอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน อยู่ในสภาวะที่ไม่เหมาะสมในการเดินระบบการหมักแบบไร้อากาศ จึงต้องมีการปรับปรุงลักษณะสมบัติของสลัดจ์ให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมกับการเดินระบบคือที่ระดับความชื้นร้อยละ 50-60 และอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ 30:1 เพื่อให้เกิดการผลิตก๊าซชีวภาพสูงสุดและต่อเนื่อง

จากการวิเคราะห์ลักษณะของน้ำชะจากระบบ เพื่อติดตามสภาวะการทำงานของระบบถึงหมักไร้อากาศ พบว่า มีค่าความเป็นกรดต่าง อยู่ในช่วงการเดินระบบที่เหมาะสมตลอดระยะเวลาการเดินระบบ คือมีค่าความเป็นกรดต่างอยู่ในช่วง 6.6 – 7.6 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมแก่การทำงานของแบคทีเรียที่สร้างกรดอินทรีย์ระเหยง่ายและแบคทีเรียที่สร้างมีเทน และ อุณหภูมิอยู่ในการเดินระบบค่อนข้างต่ำ ส่วนค่าปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายในถังหมักทั้งสองถึง มีค่าสูงกว่าค่าสภาวะที่เหมาะสมในการเดินระบบ เกิดการสะสมของกรดในถังหมักปริมาณสูง แต่ในการทดลองครั้งนี้ในถังหมักทั้งสองถึงมีค่าอัตราส่วนระหว่างปริมาณกรดอินทรีย์ระเหยง่ายต่อความเป็นด่างทั้งหมด อยู่ในสภาวะที่กำหนด ทำให้ระบบการหมักแบบไร้อากาศสามารถดำเนินต่อไปได้ แต่เมื่อแบคทีเรียที่ผลิตมีเทนถูกยับยั้งจึงส่งผลให้ปริมาณก๊าซชีวภาพที่ผลิตได้มีค่าน้อยลงไปด้วย

จากผลการทดลอง พบว่า สลัดจ์ก่อนรีดน้ำสามารถผลิตก๊าซชีวภาพได้มากกว่า โดยพบว่า ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้น 4.46 L/kg TVS-d ปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 46.39 ในขณะที่สลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำมีปริมาณก๊าซชีวภาพเกิดขึ้น 0.02 L/kg TVS-d ปริมาณก๊าซมีเทนในก๊าซชีวภาพ มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 40.69 เห็นได้ว่า สลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำมีผลกระทบต่อเกิดก๊าซชีวภาพ โดยทำให้ปริมาณก๊าซที่เกิดขึ้นลดลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของสารเคมีที่เติมลงไปในการปรับสภาพอย่างไรก็ตาม ยังไม่มีหลักฐานพิสูจน์ที่ชัดเจน

ข้อเสนอแนะ

สำหรับข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาในอนาคต มีดังนี้

1. เนื่องจากการทดลองนี้ไม่มีการควบคุม อาจทำให้การหมักมีประสิทธิภาพต่ำ ดังนั้น ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับผลของการควบคุม
2. ในการหมักแบบไร้อากาศ อุณหภูมิมีผลต่อการย่อยสลาย ดังนั้น ควรมีการศึกษาถึงผลกระทบของอุณหภูมิในการย่อยสลายสัจจุ์ที่ผ่านการรีดน้ำ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2552. คู่มือการทำปุ๋ยหมักจากขยะมูลฝอย. แหล่งที่มา:

<http://www.pcd.go.th>, 1 ตุลาคม 2552

กลุ่มงานบริการส่งออก 4 สำนักบริการส่งออก. 2545. ภาวะอุตสาหกรรมกระดาษ. แหล่งที่มา:

<http://www.depthai.go.th>, สำนักบริการส่งออก, 10 กันยายน 2548.

เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. 2539. การบำบัดน้ำเสีย. ครั้งที่ 1. มิตรนราการพิมพ์, กรุงเทพฯ.

เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์. 2543. การจัดการเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม. ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยรังสิต, กรุงเทพฯ.

นัทรชัย จันทร์เด่นดวง. 2552. การทำปุ๋ยหมัก. แหล่งที่มา:

<http://www.vcharkarn.com>, 9 มิถุนายน 2552.

ชาติ เขียมไชยศรี. 2539. เอกสารประกอบการบรรยายโครงการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดตะกอนโดยระบบ Anaerobic digester เรื่อง การกำจัดตะกอนโดยใช้ถังย่อยแบบไร้อากาศ.

ประริญา รำไพ. 2546. การศึกษาศักยภาพกากตะกอนน้ำเสียอุตสาหกรรมประเภทอนินทรีย์สารเพื่อผลิตเป็นเชื้อเพลิงอัดแท่ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

พรฤดี สงวนสุข. 2552. การพัฒนาบรรจุภัณฑ์กระดาษจากกากตะกอนน้ำมันปาล์มและกากตะกอนเยื่อกระดาษจากบ่อบำบัดน้ำเสียสำหรับกล้าไม้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เพชรพร เขาวกิจ และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม. 2527. การควบคุมดูแลระบบบำบัดน้ำเสีย. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

- มันสิน ตันฑุลเวศน์. 2542. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมเล่ม 2. ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์แห่ง
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.
- สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย. 2543. การผลิตแพ่งเพาะชำ วท. และปุ๋ย
อินทรีย์ วท. จากกากตะกอนโรงงานอุตสาหกรรมเยื่อและกระดาษ. กระทรวงวิทยาศาสตร์
และเทคโนโลยี. ม.ป.ท.
- สุดารัตน์ ภักดี. 2551. การผลิตก๊าซชีวภาพจากกากถั่วและน้ำเสียจากโรงงานวันเส้นโดย
กระบวนการย่อยสลายภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สุทธิดา เกรียงเกษม. 2545. การทำปุ๋ยหมักแบบไม่ใช้อากาศของขยะในถังหมักแบบกะ.
วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สุริยา ชัยเดชทยากุล. 2543. การทำเชื้อเพลิงอัดแท่งจากส่วนผสมกากตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสีย
และเศษชิ้นไม้สับของโรงงานผลิตเยื่อกระดาษ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัย
มหิดล.
- สุพิศ ไกรมาก. 2546. การศึกษาการสลายทางชีวภาพของส่วนผสมขยะและสัลดัจน้ำเสียในการ
หมักปุ๋ยแบบไร้อากาศ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อิสริ รอดทัศนาศ. 2550. การปรับสภาพกากตะกอนเยื่อกระดาษเหลือทิ้งขั้นต้นเพื่อผลิตเอทานอล
จากกระบวนการย่อยให้เป็นน้ำตาลโดยใช้เอ็นไซม์และการหมัก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Monte, M.C., E. Fuente, A. Blanco and C. Negro. 2009. Waste management from pulp and
paper production in the European Union. **Waste Management** 29: 293-308.
- McCarty, P.L. 1964. Anaerobic Waste Treatment Fundamental. **Public Work** 95(9): 107-115

Polprasert, C. 1996. **Organic waste recycling**. John Wiley & Sons, England.

Simon, J. and J. Bruce. 2003. **Membranes for industrial wastewater recovery and re-use**. Elsevier Science Inc, USA.

Smet, E., H.V. Langenhove and I.D. Bo. 1999. The emission of volatile compounds during the aerobic and the combined anaerobic/aerobic composting of biowaste. **Atmospheric Environment**. 33: 1295-1303.

Marche, T., M. Schnitzer, H. Dinel, T. Pare, P. Champagne, H.-R. Schulten and G. Facey. 2003. Chemical changes during composting of a paper mill sludge-harwood sawdust mixture. **Geoderma** 116: 345-356.

Thompson, G. and C. Forster. 2003. Bulking in activated sludge plants treating paper mill Wastewaters. **Water Research** 37: 2636-2644.





ตารางผนวกที่ ก1 ค่าความเป็นกรดต่างของน้ำชะจากระบบ และอุณหภูมิของการเดินระบบ

วันที่	ค่าความเป็นกรดต่าง		อุณหภูมิ (°C)	
	R1	R2	R1	R2
1	7.02	7.03	30	30
4	7.02	7.04	30	30
7	7.01	7.03	31	30
10	7.00	7.04	31	31
13	6.99	7.03	32	31
16	7.00	7.02	32	32
19	6.99	7.01	32	32
21	7.00	7.02	32	32
24	6.98	7.00	32	32
27	6.97	7.00	32	32
30	6.98	6.99	31	32
33	6.96	6.98	31	31
36	6.94	6.96	32	32
39	6.92	6.95	30	32
42	6.91	6.93	31	30
45	6.90	6.90	31	30
48	6.92	6.94	31	31
51	6.89	6.93	30	30
54	6.87	6.90	30	30
57	6.85	6.88	30	30
60	6.80	6.81	30	30
63	6.87	6.74	31	31
66	6.85	6.72	30	30
69	6.81	6.67	30	30

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

วันที่	ค่าความเป็นกรดต่าง		อุณหภูมิ (°C)	
	R1	R2	R1	R2
72	6.78	6.63	30	30
75	6.77	6.85	30	30
78	6.75	6.81	30	30
81	6.77	6.63	30	30
84	6.76	6.85	30	30
87	6.72	6.60	30	30
90	6.75	6.50	30	30

หมายเหตุ R1 = ถังหมักสลัดจ์ก่อนรีดน้ำ, R2 = ถังหมักสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ

ตารางผนวกที่ ก2 ค่า VFA จากการวิเคราะห์น้ำชะจากระบบ

วันที่	VFA (mg/l as CH ₃ COOH)	
	R1	R2
1	450	315
4	500	475
7	650	600
10	800	750
13	1,000	900
16	1,200	1,125
19	1,750	1,325
21	1,875	1,500
24	2,075	1,575
27	1,925	1,625
30	2,025	1,675
33	2,175	1,735
36	2,240	1,865
39	2,375	1,905
42	2,400	1,905
45	2,400	1,920
48	2,595	1,970
51	2,735	1,915
54	2,730	1,950
57	2,570	1,975
60	2,715	2,025
63	2,795	2,075
66	2,865	1,925
69	2,805	2,025

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

วันที่	VFA (mg/l as CH ₃ COOH)	
	R1	R2
72	2,985	2,175
75	2,850	2,240
78	2,945	2,375
81	3,263	2,400
84	3,375	2,440
87	2,985	2,640
90	2,805	2,850

หมายเหตุ R1 = ถังหมักสลัดจ์ก่อนรีดน้ำ, R2 = ถังหมักสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ

ตารางผนวกที่ ก3 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการหมักสัดจ์ก่อนรีดน้ำ

วันที่	จำนวนรอบ การหมุน	ปริมาตรก๊าซ (ml/d)	วันที่	จำนวนรอบ การหมุน	ปริมาตรก๊าซ (ml/d)
1	-	0.00	26	75	750.00
2	-	0.00	27	88	880.00
3	-	0.00	28	117	1,170.00
4	-	0.00	29	111	1,110.00
5	-	0.00	30	99	990.00
6	-	0.00	31	116	1,160.00
7	-	0.00	32	96	960.00
8	-	0.00	33	110	1,100.00
9	-	0.00	34	101	1,010.00
10	-	0.00	35	76	760.00
11	-	0.00	36	80	800.00
12	-	0.00	37	64	640.00
13	-	0.00	38	67	670.00
14	-	0.00	39	75	750.00
15	-	0.00	40	84	840.00
16	-	0.00	41	75	750.00
17	-	0.00	42	62	620.00
18	-	0.00	43	59	590.00
19	-	0.00	44	64	640.00
20	-	0.00	45	60	600.00
21	1	10.00	46	72	720.00
22	2	20.00	47	59	590.00
23	15	150.00	48	48	480.00
24	28	280.00	49	44	440.00
25	71	710.00	50	59	590.00

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

วันที่	จำนวนรอบ การหมุน	ปริมาตรก๊าซ (ml/d)	วันที่	จำนวนรอบ การหมุน	ปริมาตรก๊าซ (ml/d)
51	62	620.00	71	31	310.00
52	64	640.00	72	41	410.00
53	60	600.00	73	32	320.00
54	41	410.00	74	41	410.00
55	31	310.00	75	31	310.00
56	59	590.00	76	40	400.00
57	60	600.00	77	43	430.00
58	59	590.00	78	60	600.00
59	62	620.00	79	41	410.00
60	48	480.00	80	34	340.00
61	41	410.00	81	59	590.00
62	40	400.00	82	48	480.00
63	44	440.00	83	43	430.00
64	37	370.00	84	40	400.00
65	40	400.00	85	60	600.00
66	59	590.00	86	41	410.00
67	43	430.00	87	31	310.00
68	48	480.00	88	59	590.00
69	41	410.00	89	48	480.00
70	35	350.00	90	37	370.00

หมายเหตุ 1 รอบการหมุน = 10 ml.

ตารางผนวกที่ ก4 ปริมาณก๊าซชีวภาพที่เกิดขึ้นจากการหมักสัจจที่ผ่านการรีดน้ำ

วันที่	จำนวนรอบ การหมุน	ปริมาตรก๊าซ (ml/d)	วันที่	จำนวนรอบ การหมุน	ปริมาตรก๊าซ (ml/d)
1	-	0.00	26	-	0.00
2	-	0.00	27	1	10.00
3	-	0.00	28	2	20.00
4	-	0.00	29	1	10.00
5	-	0.00	30	1	10.00
6	-	0.00	31	-	0.00
7	-	0.00	32	-	0.00
8	-	0.00	33	-	0.00
9	-	0.00	34	1	10.00
10	-	0.00	35	1	10.00
11	-	0.00	36	2	20.00
12	-	0.00	37	3	30.00
13	-	0.00	38	1	10.00
14	-	0.00	39	-	0.00
15	-	0.00	40	1	10.00
16	-	0.00	41	-	0.00
17	-	0.00	42	-	0.00
18	-	0.00	43	-	0.00
19	-	0.00	44	-	0.00
20	-	0.00	45	-	0.00
21	-	0.00	46	1	10.00
22	-	0.00	47	-	0.00
23	-	0.00	48	-	0.00
24	-	0.00	49	-	0.00
25	1	10.00	50	-	0.00

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

วันที่	จำนวนรอบ การหมุน	ปริมาตรก๊าซ (ml/d)	วันที่	จำนวนรอบ การหมุน	ปริมาตรก๊าซ (ml/d)
51	-	0.00	71	-	0.00
52	-	0.00	72	-	0.00
53	-	0.00	73	1	10.00
54	-	0.00	74	-	0.00
55	-	0.00	75	-	0.00
56	-	0.00	76	-	0.00
57	-	0.00	77	-	0.00
58	-	0.00	78	1	10.00
59	-	0.00	79	-	0.00
60	-	0.00	80	-	0.00
61	-	0.00	81	-	0.00
62	-	0.00	82	-	0.00
63	1	10.00	83	-	0.00
64	-	0.00	84	1	10.00
65	-	0.00	85	-	0.00
66	-	0.00	86	-	0.00
67	-	0.00	87	-	0.00
68	-	0.00	88	-	0.00
69	-	0.00	89	-	0.00
70	-	0.00	90	-	0.00

หมายเหตุ 1 รอบการหมุน = 10 ml.

ตารางผนวกที่ ก5 ข้อมูลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพจากกระบวนการหมักสัตจ้ก่อนรีดน้ำ

วันที่	ชนิดของก๊าซ	Factor	Area	สัดส่วนก๊าซ (ร้อยละ)
1	CH ₄	1.2550	ND	-
	CO ₂	0.8650	4,627.9526	33.95
	O ₂	0.4780	2,988.3516	12.11
	N ₂	0.4780	13,304.8596	53.94
2	CH ₄	1.2550	ND	-
	CO ₂	0.8650	4,556.9360	33.92
	O ₂	0.4780	2,906.2656	11.96
	N ₂	0.4780	13,156.7817	54.12
3	CH ₄	1.2550	ND	-
	CO ₂	0.8650	4,860.9648	34.97
	O ₂	0.4780	2,966.1714	11.79
	N ₂	0.4780	13,392.6195	53.24
4	CH ₄	1.2550	ND	-
	CO ₂	0.8650	8,188.6231	44.38
	O ₂	0.4780	2,823.0195	8.46
	N ₂	0.4780	15,745.7422	47.16
5	CH ₄	1.2550	ND	-
	CO ₂	0.8650	2,491.7407	26.71
	O ₂	0.4780	1,152.3622	6.83
	N ₂	0.4780	11,218.6697	66.46
6	CH ₄	1.2550	ND	-
	CO ₂	0.8650	3,410.2129	34.21
	O ₂	0.4780	1,154.5687	6.40
	N ₂	0.4780	10,714.2795	59.39

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

วันที่	ชนิดของก๊าซ	Factor	Area	สัดส่วนก๊าซ (ร้อยละ)
7	CH ₄	1.2550	ND	-
	CO ₂	0.8650	6,976.9810	55.34
	O ₂	0.4780	1,052.7885	4.61
	N ₂	0.4780	9,138.1138	40.05
8	CH ₄	1.2550	ND	-
	CO ₂	0.8650	8,327.8340	60.28
	O ₂	0.4780	1,055.7343	4.22
	N ₂	0.4780	8,876.2792	35.50
9	CH ₄	1.2550	ND	-
	CO ₂	0.8650	5,685.1120	41.58
	O ₂	0.4780	687.5724	2.78
	N ₂	0.4780	13,764.3778	55.64
10	CH ₄	1.2550	ND	-
	CO ₂	0.8650	6,565.4383	45.11
	O ₂	0.4780	465.4088	1.77
	N ₂	0.4780	13,993.5455	53.13
11	CH ₄	1.2550	ND	-
	CO ₂	0.8650	6,955.1193	48.38
	O ₂	0.4780	159.6730	0.61
	N ₂	0.4780	13,271.5553	51.01
12	CH ₄	1.2550	400.3157	4.09
	CO ₂	0.8650	6,006.8202	42.26
	O ₂	0.4780	165.6825	0.64
	N ₂	0.4780	13,637.3961	53.01

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

วันที่	ชนิดของก๊าซ	Factor	Area	สัดส่วนก๊าซ (ร้อยละ)
13	CH ₄	1.2550	908.3956	9.07
	CO ₂	0.8650	7,544.8937	51.92
	N ₂	0.4780	10,258.0779	39.01
14	CH ₄	1.2550	1,577.8795	15.72
	CO ₂	0.8650	6,501.9864	44.64
	N ₂	0.4780	10,451.0737	39.65
15	CH ₄	1.2550	1,981.6158	19.62
	CO ₂	0.8650	6,207.5689	42.37
	N ₂	0.4780	10,078.6604	38.01
16	CH ₄	1.2550	2,485.4050	24.16
	CO ₂	0.8650	6,069.8041	40.66
	N ₂	0.4780	9,504.5879	35.18
17	CH ₄	1.2550	2,769.7860	26.73
	CO ₂	0.8650	6,125.8686	40.75
	N ₂	0.4780	8,844.5167	32.51
18	CH ₄	1.2550	2,968.8833	28.03
	CO ₂	0.8650	7,424.8052	48.32
	N ₂	0.4780	6,577.3550	23.65
19	CH ₄	1.2550	3,951.7255	37.88
	CO ₂	0.8650	7,380.8472	48.77
	N ₂	0.4780	3,655.0439	13.35
20	CH ₄	1.2550	4,522.0011	40.38
	CO ₂	0.8650	7,881.4618	48.50
	N ₂	0.4780	3,269.5618	11.12

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

วันที่	ชนิดของก๊าซ	Factor	Area	สัดส่วนก๊าซ (ร้อยละ)
21	CH ₄	1.2550	2,691.7567	42.12
	CO ₂	0.8650	5,248.8990	56.61
	N ₂	0.4780	213.0919	1.27
22	CH ₄	1.2550	2,652.7086	41.26
	CO ₂	0.8650	5,364.5255	57.51
	N ₂	0.4780	207.6258	1.23
23	CH ₄	1.2550	2,963.4756	43.13
	CO ₂	0.8650	5,555.6970	55.73
	N ₂	0.4780	205.6566	1.14
24	CH ₄	1.2550	3,345.4861	44.95
	CO ₂	0.8650	5,817.0678	53.87
	N ₂	0.4780	230.5830	1.18
25	CH ₄	1.2550	3,445.2879	41.70
	CO ₂	0.8650	6,853.0718	57.17
	N ₂	0.4780	245.1228	1.13
26	CH ₄	1.2550	3,853.2837	44.34
	CO ₂	0.8650	6,866.5811	54.46
	N ₂	0.4780	273.7993	1.20
27	CH ₄	1.2550	4,488.0824	47.13
	CO ₂	0.8650	7,127.8168	51.59
	N ₂	0.4780	320.0289	1.28
28	CH ₄	1.2550	3,806.4954	46.19
	CO ₂	0.8650	6,290.3277	52.61
	N ₂	0.4780	259.6417	1.20

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

วันที่	ชนิดของก๊าซ	Factor	Area	สัดส่วนก๊าซ (ร้อยละ)
29	CH ₄	1.2550	3,541.4523	42.58
	CO ₂	0.8650	6,798.6112	56.34
	N ₂	0.4780	235.8388	1.08
30	CH ₄	1.2550	3,970.3032	46.52
	CO ₂	0.8650	6,481.0490	52.34
	N ₂	0.4780	255.4493	1.14
31	CH ₄	1.2550	4,330.3752	46.77
	CO ₂	0.8650	6,990.7385	52.04
	N ₂	0.4780	289.2817	1.19
32	CH ₄	1.2550	4,420.8726	46.71
	CO ₂	0.8650	7,159.7322	52.14
	N ₂	0.4780	285.7668	1.15
33	CH ₄	1.2550	4,447.1488	46.64
	CO ₂	0.8650	7,224.1642	52.22
	N ₂	0.4780	285.3933	1.14
34	CH ₄	1.2550	4,470.3719	47.58
	CO ₂	0.8650	6,987.5581	51.26
	N ₂	0.4780	286.1495	1.16
35	CH ₄	1.2550	4,646.1419	47.80
	CO ₂	0.8650	7,200.6716	51.06
	N ₂	0.4780	290.9278	1.14
36	CH ₄	1.2550	4,669.2289	49.19
	CO ₂	0.8650	6,837.7815	49.65
	N ₂	0.4780	289.0961	1.16

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

วันที่	ชนิดของก๊าซ	Factor	Area	สัดส่วนก๊าซ (ร้อยละ)
37	CH ₄	1.2550	4,574.0005	47.74
	CO ₂	0.8650	7,108.8955	51.14
	N ₂	0.4780	281.7394	1.12
38	CH ₄	1.2550	4,597.5807	48.24
	CO ₂	0.8650	6,999.5774	50.62
	N ₂	0.4780	285.2612	1.14
39	CH ₄	1.2550	4,636.0333	49.20
	CO ₂	0.8650	6,783.6873	49.62
	N ₂	0.4780	291.9304	1.18
40	CH ₄	1.2550	5,083.7560	51.36
	CO ₂	0.8650	6,820.0800	47.49
	N ₂	0.4780	298.8638	1.15
41	CH ₄	1.2550	4,669.2289	49.19
	CO ₂	0.8650	6,837.7815	49.65
	N ₂	0.4780	289.0961	1.16
42	CH ₄	1.2550	6,265.8079	49.06
	CO ₂	0.8650	9,224.2708	49.78
	N ₂	0.4780	388.9765	1.16
43	CH ₄	1.2550	4,787.4224	46.90
	CO ₂	0.8650	7,716.0360	52.10
	N ₂	0.4780	268.0061	1.00
44	CH ₄	1.2550	4,315.7439	44.07
	CO ₂	0.8650	7,806.0062	54.94
	N ₂	0.4780	254.5445	0.99

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

วันที่	ชนิดของก๊าซ	Factor	Area	สัดส่วนก๊าซ (ร้อยละ)
45	CH ₄	1.2550	5,888.9446	46.31
	CO ₂	0.8650	9,728.5491	52.73
	N ₂	0.4780	320.5160	0.96
46	CH ₄	1.2550	4,464.5031	45.17
	CO ₂	0.8650	7,719.2488	53.83
	N ₂	0.4780	259.5009	1.00
47	CH ₄	1.2550	4,750.2798	44.86
	CO ₂	0.8650	8,317.7487	54.14
	N ₂	0.4780	278.0198	1.00
48	CH ₄	1.2550	4,591.3754	46.28
	CO ₂	0.8650	7,589.8788	52.73
	N ₂	0.4780	257.8698	0.99
49	CH ₄	1.2550	4,563.2221	45.83
	CO ₂	0.8650	7,685.3031	53.20
	N ₂	0.4780	253.5767	0.97
50	CH ₄	1.2550	4,552.6389	45.38
	CO ₂	0.8650	7,810.4669	53.66
	N ₂	0.4780	252.8633	0.96
51	CH ₄	1.2550	5,888.9446	46.31
	CO ₂	0.8650	9,728.5491	52.73
	N ₂	0.4780	320.5160	0.96
52	CH ₄	1.2550	4,563.2818	46.05
	CO ₂	0.8650	7,617.0573	52.98
	N ₂	0.4780	252.3685	0.97

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

วันที่	ชนิดของก๊าซ	Factor	Area	สัดส่วนก๊าซ (ร้อยละ)
53	CH ₄	1.2550	4,222.3505	42.72
	CO ₂	0.8650	8,082.0521	56.36
	N ₂	0.4780	238.7408	0.92
54	CH ₄	1.2550	4,415.8608	44.35
	CO ₂	0.8650	7,904.8832	54.72
	N ₂	0.4780	243.1199	0.93
55	CH ₄	1.2550	4,453.3195	44.39
	CO ₂	0.8650	7,957.4772	54.67
	N ₂	0.4780	247.5953	0.94
56	CH ₄	1.2550	4,453.3195	44.39
	CO ₂	0.8650	7,957.4772	54.67
	N ₂	0.4780	247.5953	0.94
57	CH ₄	1.2550	5,263.2998	41.39
	CO ₂	0.8650	10,665.7960	57.81
	N ₂	0.4780	267.0967	0.80
58	CH ₄	1.2550	4,319.5104	43.59
	CO ₂	0.8650	7,982.2390	55.52
	N ₂	0.4780	231.5546	0.89
59	CH ₄	1.2550	4,221.3622	42.71
	CO ₂	0.8650	8,082.0521	56.36
	N ₂	0.4780	241.3358	0.93
60	CH ₄	1.2550	4,322.7855	43.16
	CO ₂	0.8650	8,139.0823	56.01
	N ₂	0.4780	218.2610	0.83

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

วันที่	ชนิดของก๊าซ	Factor	Area	สัดส่วนก๊าซ (ร้อยละ)
61	CH ₄	1.2550	4,364.7291	43.22
	CO ₂	0.8650	8,200.7856	55.97
	N ₂	0.4780	214.7699	0.81
62	CH ₄	1.2550	3,873.0479	39.53
	CO ₂	0.8650	8,487.9096	59.71
	N ₂	0.4780	195.5039	0.76
63	CH ₄	1.2550	4,329.2034	43.12
	CO ₂	0.8650	8,163.0976	56.04
	N ₂	0.4780	221.4238	0.84
64	CH ₄	1.2550	4,618.7852	44.58
	CO ₂	0.8650	8,207.4447	54.60
	N ₂	0.4780	223.0578	0.82
65	CH ₄	1.2550	4,791.6120	45.24
	CO ₂	0.8650	8,290.4501	53.95
	N ₂	0.4780	225.2475	0.81
66	CH ₄	1.2550	4,618.7852	44.58
	CO ₂	0.8650	8,207.4447	54.60
	N ₂	0.4780	223.0578	0.82
67	CH ₄	1.2550	4,612.5808	44.83
	CO ₂	0.8650	8,111.8983	54.34
	N ₂	0.4780	224.2173	0.83
68	CH ₄	1.2550	5,707.1007	44.88
	CO ₂	0.8650	10,018.2100	54.30
	N ₂	0.4780	273.7741	0.82

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

วันที่	ชนิดของก๊าซ	Factor	Area	สัดส่วนก๊าซ (ร้อยละ)
69	CH ₄	1.2550	4,861.5932	48.14
	CO ₂	0.8650	7,456.4585	50.89
	N ₂	0.4780	257.1936	0.97
70	CH ₄	1.2550	5,025.9595	48.51
	CO ₂	0.8650	7,595.6444	50.53
	N ₂	0.4780	261.1408	0.96
71	CH ₄	1.2550	4,990.2111	47.84
	CO ₂	0.8650	7,756.2042	51.25
	N ₂	0.4780	249.2212	0.91
72	CH ₄	1.2550	5,155.9609	48.68
	CO ₂	0.8650	7,743.3880	50.39
	N ₂	0.4780	258.6174	0.93
73	CH ₄	1.2550	4,924.4249	47.53
	CO ₂	0.8650	7,748.9703	51.55
	N ₂	0.4780	250.2600	0.92
74	CH ₄	1.2550	4,861.5932	48.14
	CO ₂	0.8650	7,454.9932	50.88
	N ₂	0.4780	259.8450	0.98
75	CH ₄	1.2550	5,208.9186	49.18
	CO ₂	0.8650	7,663.4801	49.87
	N ₂	0.4780	264.1791	0.95
76	CH ₄	1.2550	5,025.9595	48.51
	CO ₂	0.8650	7,595.6444	50.53
	N ₂	0.4780	261.1408	0.96

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

วันที่	ชนิดของก๊าซ	Factor	Area	สัดส่วนก๊าซ (ร้อยละ)
77	CH ₄	1.2550	5,354.2545	51.33
	CO ₂	0.8650	7,226.5122	47.75
	N ₂	0.4780	251.9599	0.92
78	CH ₄	1.2550	5,715.1268	51.03
	CO ₂	0.8650	7,825.5415	48.16
	N ₂	0.4780	238.1777	0.81
79	CH ₄	1.2550	5,301.0562	50.82
	CO ₂	0.8650	7,300.6691	48.24
	N ₂	0.4780	257.4373	0.94
80	CH ₄	1.2550	5,312.7157	50.16
	CO ₂	0.8650	7,508.2742	48.86
	N ₂	0.4780	272.5216	0.98
81	CH ₄	1.2550	5,128.5301	49.50
	CO ₂	0.8650	7,442.3185	49.51
	N ₂	0.4780	269.3015	0.99
82	CH ₄	1.2550	4,923.5653	49.04
	CO ₂	0.8650	7,275.9943	49.95
	N ₂	0.4780	266.2358	1.01
83	CH ₄	1.2550	4,924.4249	47.53
	CO ₂	0.8650	7,748.9703	51.55
	N ₂	0.4780	250.2600	0.92
84	CH ₄	1.2550	5,312.7157	50.16
	CO ₂	0.8650	7,508.2742	48.86
	N ₂	0.4780	272.5216	0.98

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

วันที่	ชนิดของก๊าซ	Factor	Area	สัดส่วนก๊าซ (ร้อยละ)
85	CH ₄	1.2550	5,025.9595	48.51
	CO ₂	0.8650	7,595.6444	50.53
	N ₂	0.4780	261.1408	0.96
86	CH ₄	1.2550	4,864.6625	47.28
	CO ₂	0.8650	7,731.2332	51.79
	N ₂	0.4780	251.2315	0.93
87	CH ₄	1.2550	4,815.5590	48.08
	CO ₂	0.8650	7,399.4299	50.92
	N ₂	0.4780	262.9651	1.00
88	CH ₄	1.2550	4,861.5932	48.14
	CO ₂	0.8650	7,454.9932	50.88
	N ₂	0.4780	259.8450	0.98
89	CH ₄	1.2550	4,757.5061	48.01
	CO ₂	0.8650	7,323.7618	50.94
	N ₂	0.4780	273.1824	1.05
90	CH ₄	1.2550	4,736.2200	47.74
	CO ₂	0.8650	7,368.2135	51.19
	N ₂	0.4780	278.7078	1.07

ตารางผนวกที่ 6 ข้อมูลการวิเคราะห์ก๊าซชีวภาพจากกระบวนการหมักสัจด์จ์ที่ผ่านการรีดน้ำ

วันที่	ชนิดของก๊าซ	Factor	Area	สัดส่วนก๊าซ (ร้อยละ)
1	CH ₄	1.2550	ND	-
	CO ₂	0.8650	1,846.4357	15.54
	O ₂	0.4780	3,603.1404	16.76
	N ₂	0.4780	14,560.2000	67.71
2	CH ₄	1.2550	ND	-
	CO ₂	0.8650	2,318.3174	19.39
	O ₂	0.4780	3,397.4259	15.70
	N ₂	0.4780	14,044.1000	64.91
3	CH ₄	1.2550	ND	-
	CO ₂	0.8650	2,973.7721	21.81
	O ₂	0.4780	3,644.1138	14.77
	N ₂	0.4780	15,654.1000	63.43
4	CH ₄	1.2550	ND	-
	CO ₂	0.8650	3,425.4326	26.73
	O ₂	0.4780	2,965.1006	12.78
	N ₂	0.4780	14,028.3000	60.49
5	CH ₄	1.2550	ND	-
	CO ₂	0.8650	3,227.5273	25.29
	O ₂	0.4780	3,027.0278	13.10
	N ₂	0.4780	14,231.2000	61.61
6	CH ₄	1.2550	ND	-
	CO ₂	0.8650	2,637.7058	21.07
	O ₂	0.4780	3,006.1467	13.27
	N ₂	0.4780	14,877.7000	65.66

ตารางผนวกที่ ก6 (ต่อ)

วันที่	ชนิดของก๊าซ	Factor	Area	สัดส่วนก๊าซ (ร้อยละ)
7	CH ₄	1.2550	ND	-
	CO ₂	0.8650	2,471.0194	20.18
	O ₂	0.4780	2,718.4890	12.27
	N ₂	0.4780	14,973.5000	67.56
8	CH ₄	1.2550	ND	-
	CO ₂	0.8650	3,038.6373	24.12
	O ₂	0.4780	2,532.7373	11.11
	N ₂	0.4780	14,769.0000	64.77
9	CH ₄	1.2550	ND	-
	CO ₂	0.8650	2,076.1132	19.55
	O ₂	0.4780	2,045.0850	10.64
	N ₂	0.4780	13,417.8000	69.81
10	CH ₄	1.2550	ND	-
	CO ₂	0.8650	2,512.6394	23.66
	O ₂	0.4780	1,812.0444	9.43
	N ₂	0.4780	12,861.2000	66.92
11	CH ₄	1.2550	ND	-
	CO ₂	0.8650	4,204.9956	28.71
	O ₂	0.4780	2,057.0579	7.76
	N ₂	0.4780	16,834.0306	63.52
12	CH ₄	1.2550	ND	-
	CO ₂	0.8650	5,050.6900	34.10
	O ₂	0.4780	848.0101	3.16
	N ₂	0.4780	16,812.9495	62.73

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

วันที่	ชนิดของก๊าซ	Factor	Area	สัดส่วนก๊าซ (ร้อยละ)
13	CH ₄	1.2550	115.9878	1.01
	CO ₂	0.8650	7,034.2207	42.32
	O ₂	0.4780	92.8349	0.31
	N ₂	0.4780	16,948.5521	56.35
14	CH ₄	1.2550	765.4633	8.96
	CO ₂	0.8650	5,464.7314	44.11
	N ₂	0.4780	10,518.9421	46.92
15	CH ₄	1.2550	1,495.9572	17.43
	CO ₂	0.8650	5,178.9724	41.60
	N ₂	0.4780	9,231.5781	40.97
16	CH ₄	1.2550	1,804.8258	21.14
	CO ₂	0.8650	5,248.4678	42.38
	N ₂	0.4780	8,175.3011	36.48
17	CH ₄	1.2550	2,368.2313	25.50
	CO ₂	0.8650	5,959.1632	44.23
	N ₂	0.4780	7,380.3929	30.27
18	CH ₄	1.2550	2,473.2668	29.01
	CO ₂	0.8650	5,405.1283	43.70
	N ₂	0.4780	6,108.8241	27.29
19	CH ₄	1.2550	2,647.1202	31.44
	CO ₂	0.8650	5,129.2055	41.98
	N ₂	0.4780	5,875.7289	26.58
20	CH ₄	1.2550	3,413.1154	38.68
	CO ₂	0.8650	4,553.8880	35.57
	N ₂	0.4780	5,965.8470	25.75

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

วันที่	ชนิดของก๊าซ	Factor	Area	สัดส่วนก๊าซ (ร้อยละ)
21	CH ₄	1.2550	2,925.2302	39.96
	CO ₂	0.8650	6,250.4122	58.85
	N ₂	0.4780	228.7164	1.19
22	CH ₄	1.2550	2,793.5078	38.16
	CO ₂	0.8650	6,448.0645	60.71
	N ₂	0.4780	217.1880	1.13
23	CH ₄	1.2550	2,335.1037	36.32
	CO ₂	0.8650	5,837.4544	62.58
	N ₂	0.4780	185.6816	1.10
24	CH ₄	1.2550	2,282.5564	33.22
	CO ₂	0.8650	6,560.5674	65.81
	N ₂	0.4780	174.9885	0.97
25	CH ₄	1.2550	1,417.0968	27.82
	CO ₂	0.8650	5,235.6563	70.83
	N ₂	0.4780	180.4005	1.35
26	CH ₄	1.2550	2,925.2302	39.96
	CO ₂	0.8650	6,250.4122	58.85
	N ₂	0.4780	228.7164	1.19
27	CH ₄	1.2550	2,793.5078	38.16
	CO ₂	0.8650	6,448.0645	60.71
	N ₂	0.4780	217.1880	1.13
28	CH ₄	1.2550	2,335.1037	36.32
	CO ₂	0.8650	5,837.4544	62.58
	N ₂	0.4780	185.6816	1.10

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

วันที่	ชนิดของก๊าซ	Factor	Area	สัดส่วนก๊าซ (ร้อยละ)
29	CH ₄	1.2550	2,282.5564	33.22
	CO ₂	0.8650	6,560.5674	65.81
	N ₂	0.4780	174.9885	0.97
30	CH ₄	1.2550	2,607.9162	35.04
	CO ₂	0.8650	6,906.6207	63.96
	N ₂	0.4780	195.4094	1.00
31	CH ₄	1.2550	3,135.2086	37.14
	CO ₂	0.8650	7,576.3858	61.86
	N ₂	0.4780	221.6360	1.00
32	CH ₄	1.2550	3,550.9631	40.89
	CO ₂	0.8650	7,307.7665	58.00
	N ₂	0.4780	253.0858	1.11
33	CH ₄	1.2550	4,358.8309	41.67
	CO ₂	0.8650	8,708.5099	57.38
	N ₂	0.4780	262.2061	0.95
34	CH ₄	1.2550	3,630.4547	42.07
	CO ₂	0.8650	7,111.5532	56.80
	N ₂	0.4780	256.0252	1.13
35	CH ₄	1.2550	3,693.5288	43.04
	CO ₂	0.8650	6,947.5398	55.80
	N ₂	0.4780	261.3624	1.16
36	CH ₄	1.2550	3,733.5683	44.34
	CO ₂	0.8650	6,655.6906	54.48
	N ₂	0.4780	260.8713	1.18

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

วันที่	ชนิดของก๊าซ	Factor	Area	สัดส่วนก๊าซ (ร้อยละ)
37	CH ₄	1.2550	3,695.2671	43.29
	CO ₂	0.8650	6,879.7069	55.55
	N ₂	0.4780	259.9753	1.16
38	CH ₄	1.2550	3,909.6422	42.10
	CO ₂	0.8650	7,650.2905	56.78
	N ₂	0.4780	273.0793	1.12
39	CH ₄	1.2550	3,758.0057	44.08
	CO ₂	0.8650	6,772.1659	54.75
	N ₂	0.4780	261.8892	1.17
40	CH ₄	1.2550	3,634.3728	41.31
	CO ₂	0.8650	7,354.8726	57.62
	N ₂	0.4780	247.1576	1.07
41	CH ₄	1.2550	3,733.5683	44.34
	CO ₂	0.8650	6,655.6906	54.48
	N ₂	0.4780	260.8713	1.18
42	CH ₄	1.2550	3,829.6602	43.40
	CO ₂	0.8650	7,099.0410	55.45
	N ₂	0.4780	266.4306	1.15
43	CH ₄	1.2550	3,780.0843	43.20
	CO ₂	0.8650	7,066.2429	55.66
	N ₂	0.4780	261.9018	1.14
44	CH ₄	1.2550	3,623.4370	41.02
	CO ₂	0.8650	7,424.3120	57.93
	N ₂	0.4780	243.5175	1.05

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

วันที่	ชนิดของก๊าซ	Factor	Area	สัดส่วนก๊าซ (ร้อยละ)
45	CH ₄	1.2550	4,006.2321	42.62
	CO ₂	0.8650	7,674.0955	56.27
	N ₂	0.4780	273.9438	1.11
46	CH ₄	1.2550	3,634.3728	41.31
	CO ₂	0.8650	7,356.1490	57.62
	N ₂	0.4780	247.1576	1.07
47	CH ₄	1.2550	3,909.6422	42.10
	CO ₂	0.8650	7,650.2905	56.78
	N ₂	0.4780	273.0793	1.12
48	CH ₄	1.2550	3,758.0057	44.08
	CO ₂	0.8650	6,772.1659	54.75
	N ₂	0.4780	261.8892	1.17
49	CH ₄	1.2550	3,623.4370	41.02
	CO ₂	0.8650	7,424.3120	57.93
	N ₂	0.4780	243.5175	1.05
50	CH ₄	1.2550	4,006.2321	42.62
	CO ₂	0.8650	7,674.0955	56.27
	N ₂	0.4780	273.9438	1.11
51	CH ₄	1.2550	3,634.3728	41.31
	CO ₂	0.8650	7,354.8726	57.62
	N ₂	0.4780	247.1576	1.07
52	CH ₄	1.2550	3,733.5683	44.34
	CO ₂	0.8650	6,655.6906	54.48
	N ₂	0.4780	260.8713	1.18

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

วันที่	ชนิดของก๊าซ	Factor	Area	สัดส่วนก๊าซ (ร้อยละ)
53	CH ₄	1.2550	3,829.6602	43.40
	CO ₂	0.8650	7,099.0410	55.45
	N ₂	0.4780	266.4306	1.15
54	CH ₄	1.2550	3,780.0843	43.20
	CO ₂	0.8650	7,066.2429	55.66
	N ₂	0.4780	261.9018	1.14
55	CH ₄	1.2550	3,876.5605	46.25
	CO ₂	0.8650	6,386.8566	52.52
	N ₂	0.4780	270.6798	1.23
56	CH ₄	1.2550	3,909.6422	42.10
	CO ₂	0.8650	7,650.2905	56.78
	N ₂	0.4780	273.0793	1.12
57	CH ₄	1.2550	3,758.0057	44.08
	CO ₂	0.8650	6,772.1659	54.75
	N ₂	0.4780	261.8892	1.17
58	CH ₄	1.2550	3,623.4370	41.02
	CO ₂	0.8650	7,424.3120	57.93
	N ₂	0.4780	243.5175	1.05
59	CH ₄	1.2550	3,829.6602	43.40
	CO ₂	0.8650	7,099.0410	55.45
	N ₂	0.4780	266.4306	1.15
60	CH ₄	1.2550	3,887.9449	47.73
	CO ₂	0.8650	6,026.1689	50.99
	N ₂	0.4780	273.7502	1.28

ตารางผนวกที่ ก6 (ต่อ)

วันที่	ชนิดของก๊าซ	Factor	Area	สัดส่วนก๊าซ (ร้อยละ)
61	CH ₄	1.2550	3,733.5683	44.34
	CO ₂	0.8650	6,655.6906	54.48
	N ₂	0.4780	260.8713	1.18
62	CH ₄	1.2550	3,834.8541	46.82
	CO ₂	0.8650	6,178.2413	51.99
	N ₂	0.4780	255.9059	1.19
63	CH ₄	1.2550	3,809.7918	46.23
	CO ₂	0.8650	6,293.9146	52.64
	N ₂	0.4780	244.4959	1.13
64	CH ₄	1.2550	3,549.1371	37.27
	CO ₂	0.8650	8,530.1688	61.74
	N ₂	0.4780	247.5223	0.99
65	CH ₄	1.2550	3,809.7918	46.23
	CO ₂	0.8650	6,293.9146	52.64
	N ₂	0.4780	244.4959	1.13
66	CH ₄	1.2550	3,134.7426	37.69
	CO ₂	0.8650	7,416.4473	61.46
	N ₂	0.4780	185.6139	0.85
67	CH ₄	1.2550	3,134.7426	37.69
	CO ₂	0.8650	7,416.4473	61.46
	N ₂	0.4780	185.6139	0.85
68	CH ₄	1.2550	2,996.4191	34.48
	CO ₂	0.8650	8,146.3424	64.61
	N ₂	0.4780	207.6312	0.91

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

วันที่	ชนิดของก๊าซ	Factor	Area	สัดส่วนก๊าซ (ร้อยละ)
69	CH ₄	1.2550	3,637.4532	42.62
	CO ₂	0.8650	6,987.4971	56.43
	N ₂	0.4780	212.8744	0.95
70	CH ₄	1.2550	3,492.4042	36.90
	CO ₂	0.8650	8,558.9971	62.33
	N ₂	0.4780	191.3395	0.77
71	CH ₄	1.2550	3,511.7601	36.83
	CO ₂	0.8650	8,635.2419	62.42
	N ₂	0.4780	187.7588	0.75
72	CH ₄	1.2550	3,511.7601	36.83
	CO ₂	0.8650	8,635.2419	62.42
	N ₂	0.4780	187.7588	0.75
73	CH ₄	1.2550	3,548.6748	37.77
	CO ₂	0.8650	8,377.9813	61.46
	N ₂	0.4780	189.9441	0.77
74	CH ₄	1.2550	3,787.8692	38.97
	CO ₂	0.8650	8,496.6796	60.25
	N ₂	0.4780	199.0559	0.78
75	CH ₄	1.2550	3,474.7583	40.14
	CO ₂	0.8650	7,417.6833	59.06
	N ₂	0.4780	181.8248	0.80
76	CH ₄	1.2550	4,656.7971	45.62
	CO ₂	0.8650	7,966.3833	53.79
	N ₂	0.4780	158.1248	0.59

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

วันที่	ชนิดของก๊าซ	Factor	Area	สัดส่วนก๊าซ (ร้อยละ)
77	CH ₄	1.2550	4,666.1952	46.23
	CO ₂	0.8650	7,768.7656	53.05
	N ₂	0.4780	190.8039	0.72
78	CH ₄	1.2550	5,036.7367	43.97
	CO ₂	0.8650	9,187.3114	55.28
	N ₂	0.4780	225.5640	0.75
79	CH ₄	1.2550	4,650.6724	45.56
	CO ₂	0.8650	7,958.9782	53.74
	N ₂	0.4780	187.6056	0.70
80	CH ₄	1.2550	3,605.4729	41.65
	CO ₂	0.8650	7,228.0338	57.55
	N ₂	0.4780	181.8248	0.80
81	CH ₄	1.2550	3,511.7601	36.83
	CO ₂	0.8650	8,635.2419	62.42
	N ₂	0.4780	187.7588	0.75
82	CH ₄	1.2550	3,548.6748	37.77
	CO ₂	0.8650	8,377.9813	61.46
	N ₂	0.4780	189.9441	0.77
83	CH ₄	1.2550	3,884.0969	39.96
	CO ₂	0.8650	8,352.8354	59.23
	N ₂	0.4780	206.7119	0.81
84	CH ₄	1.2550	3,738.9902	39.39
	CO ₂	0.8650	8,241.1449	59.84
	N ₂	0.4780	191.9000	0.77

ตารางผนวกที่ 6 (ต่อ)

วันที่	ชนิดของก๊าซ	Factor	Area	สัดส่วนก๊าซ (ร้อยละ)
85	CH ₄	1.2550	3,217.5501	37.70
	CO ₂	0.8650	7,617.7710	61.52
	N ₂	0.4780	174.7811	0.78
86	CH ₄	1.2550	3,423.0056	36.97
	CO ₂	0.8650	8,359.6014	62.23
	N ₂	0.4780	194.4751	0.80
87	CH ₄	1.2550	3,492.4042	36.90
	CO ₂	0.8650	8,558.9971	62.33
	N ₂	0.4780	191.3395	0.77
88	CH ₄	1.2550	2,998.8822	36.39
	CO ₂	0.8650	7,508.6975	62.80
	N ₂	0.4780	175.2581	0.81
89	CH ₄	1.2550	2,998.8822	36.39
	CO ₂	0.8650	7,508.6975	62.80
	N ₂	0.4780	175.2581	0.81
90	CH ₄	1.2550	3,134.7426	37.69
	CO ₂	0.8650	7,416.4473	61.46
	N ₂	0.4780	185.6139	0.85

ตารางผนวกที่ ๗ การเกิดก๊าซมีเทนของสลัดจ์ก่อนรีดน้ำ

Time (day)	% CH ₄	gCH ₄ /day	gCH ₄ /kg TVS
1	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00
12	4.09	27.75	221.14
13	9.07	61.54	490.40
14	15.72	106.67	849.95
15	19.62	133.13	1,060.81
16	24.16	163.94	1,306.28
17	26.73	181.38	1,445.24
18	28.03	190.20	1,515.53
19	37.88	257.04	2,048.10
20	40.30	273.46	2,178.94
21	42.12	285.79	2,277.21
22	41.26	279.99	2,230.99
23	43.13	292.68	2,332.09
24	44.95	305.04	2,430.56
25	41.70	282.99	2,254.90

ตารางผนวกที่ ก7 (ต่อ)

Time (day)	% CH ₄	gCH ₄ /day	gCH ₄ /kg TVS
26	44.34	300.87	2,397.34
27	47.13	319.80	2,548.18
28	46.19	313.45	2,497.58
29	42.58	288.94	2,302.28
30	46.52	315.67	2,515.28
31	46.77	317.36	2,528.79
32	46.71	316.95	2,525.49
33	46.64	316.45	2,521.49
34	47.58	322.82	2,572.30
35	47.80	324.33	2,584.27
36	49.19	333.80	2,659.78
37	47.74	323.92	2,581.02
38	48.24	327.31	2,608.05
39	49.20	333.85	2,660.16
40	51.36	348.54	2,777.19
41	49.19	333.80	2,659.78
42	49.06	332.93	2,652.81
43	46.90	318.26	2,535.97
44	44.07	299.04	2,382.81
45	46.31	314.22	2,503.76
46	45.17	306.52	2,442.40
47	44.86	304.37	2,425.29
48	46.28	314.02	2,502.14
49	45.83	310.96	2,477.79
50	45.38	307.90	2,453.41

ตารางผนวกที่ ก7 (ต่อ)

Time (day)	% CH ₄	gCH ₄ /day	gCH ₄ /kg TVS
51	46.31	314.22	2,503.76
52	46.05	312.51	2,490.10
53	42.72	289.85	2,309.55
54	44.35	300.92	2,397.77
55	44.39	301.19	2,399.96
56	44.39	301.19	2,399.96
57	41.39	280.84	2,237.74
58	43.59	295.80	2,356.94
59	42.71	289.81	2,309.24
60	43.16	292.87	2,333.64
61	43.22	293.29	2,336.96
62	39.53	268.25	2,137.49
63	43.12	292.61	2,331.52
64	44.58	302.51	2,410.41
65	45.24	307.01	2,446.26
66	44.58	302.51	2,410.41
67	44.83	304.20	2,423.93
68	44.88	304.53	2,426.52
69	48.14	326.67	2,602.98
70	48.51	329.18	2,622.98
71	47.84	324.63	2,586.69
72	48.68	330.35	2,632.25
73	47.53	322.51	2,569.84
74	48.14	326.64	2,602.67
75	49.18	333.68	2,658.82

ตารางผนวกที่ ก7 (ต่อ)

Time (day)	% CH ₄	gCH ₄ /day	gCH ₄ /kg TVS
76	48.51	329.18	2,622.98
77	51.33	348.32	2,775.47
78	51.03	346.26	2,759.08
79	50.82	344.87	2,747.97
80	50.16	340.35	2,711.96
81	49.50	335.85	2,676.12
82	49.04	332.74	2,651.29
83	47.53	322.51	2,569.84
84	50.16	340.35	2,711.96
85	48.51	329.18	2,622.98
86	47.28	320.84	2,556.47
87	48.08	326.22	2,599.34
88	48.14	326.64	2,602.67
89	48.01	325.81	2,596.07
90	47.74	323.95	2,581.24

ตารางผนวกที่ ก8 การเกิดก๊าซมีเทนของสลัดจ์ที่ผ่านการรีดน้ำ

Time (day)	% CH ₄	gCH ₄ /day	gCH ₄ /kg TVS
1	0.00	0.00	0.00
2	0.00	0.00	0.00
3	0.00	0.00	0.00
4	0.00	0.00	0.00
5	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00
8	0.00	0.00	0.00
9	0.00	0.00	0.00
10	0.00	0.00	0.00
11	0.00	0.00	0.00
12	0.00	0.00	0.00
13	1.01	2.84	19.05
14	8.96	25.16	169.00
15	17.43	48.95	328.76
16	21.14	59.37	398.73
17	25.50	71.62	480.97
18	29.01	81.47	547.17
19	31.44	88.30	593.01
20	38.68	108.63	729.56
21	39.96	112.22	753.66
22	38.16	107.17	719.76
23	36.32	102.02	685.13
24	33.22	93.29	626.55
25	35.04	98.41	660.92

ตารางผนวกที่ ก8 (ต่อ)

Time (day)	% CH ₄	gCH ₄ /day	gCH ₄ /kg TVS
26	39.96	112.22	753.66
27	38.16	107.17	719.76
28	36.32	102.02	685.13
29	33.22	93.29	626.55
30	35.04	98.41	660.92
31	37.14	104.30	700.44
32	40.89	114.84	771.23
33	42.50	119.36	801.64
34	42.07	118.16	793.57
35	43.04	120.88	811.81
36	44.34	124.54	836.39
37	43.29	121.58	816.52
38	42.10	118.24	794.08
39	44.08	123.79	831.36
40	41.31	116.00	779.08
41	44.34	124.54	836.39
42	43.40	121.88	818.52
43	43.20	121.34	814.90
44	41.02	115.19	773.62
45	42.62	119.69	803.86
46	41.31	116.00	779.08
47	42.10	118.24	794.08
48	44.08	123.79	831.36
49	41.02	115.19	773.62
50	42.62	119.69	803.86

ตารางผนวกที่ ก8 (ต่อ)

Time (day)	% CH ₄	gCH ₄ /day	gCH ₄ /kg TVS
51	41.31	116.00	779.08
52	44.34	124.54	836.39
53	43.40	121.88	818.52
54	43.20	121.34	814.90
55	46.25	129.90	872.36
56	42.10	118.24	794.08
57	44.08	123.79	831.36
58	41.02	115.19	773.62
59	43.40	121.88	818.52
60	47.73	134.05	900.25
61	44.34	124.54	836.39
62	46.82	131.49	883.10
63	46.23	129.83	871.91
64	37.27	104.68	703.02
65	46.23	129.83	871.91
66	37.69	105.86	710.93
67	37.69	105.86	710.93
68	34.48	96.84	650.36
69	42.62	119.69	803.83
70	36.90	103.64	696.06
71	36.83	103.43	694.65
72	36.83	103.43	694.65
73	37.77	106.08	712.39
74	38.97	109.46	735.11
75	40.14	112.75	757.19

ตารางผนวกที่ ก8 (ต่อ)

Time (day)	% CH ₄	gCH ₄ /day	gCH ₄ /kg TVS
76	45.62	128.11	860.40
77	46.23	129.84	872.01
78	43.97	123.48	829.30
79	45.56	127.96	859.38
80	41.65	116.97	785.53
81	36.83	103.43	694.65
82	37.77	106.08	712.39
83	39.96	112.22	753.67
84	39.39	110.63	742.95
85	37.70	105.87	711.05
86	36.97	103.82	697.23
87	36.90	103.64	696.06
88	36.39	102.20	686.35
89	36.39	102.20	686.35
90	37.69	105.86	710.93



1. Total Kjeldahl Nitrogen (TKN)

การคำนวณ

$$\% \text{ Nitrogen (w/w)} = \frac{N \times (A - B) \times 0.014 \times 100}{\text{wt. sample}}$$

โดยที่ A = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 ที่ใช้ไทเทรตตัวอย่าง (ml.)

B = ปริมาตรของสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4 ที่ใช้ไทเทรต Blank (ml.)

N = Normality ของสารละลายมาตรฐาน H_2SO_4

Wt._{sample} = น้ำหนักตัวอย่าง (g.)

2. Total Volatile Solids (TVS)

การคำนวณ

$$\% \text{ VS} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100$$

โดยที่ VS = ค่าปริมาณของแข็งที่เผาไหม้ได้ (%)

W₁ = น้ำหนักตัวอย่างก่อนเผา (g)

W₂ = น้ำหนักตัวอย่างหลังจากเผา (g)

3. ค่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอน

การคำนวณ

$$\text{Organic carbon (\%)} = \frac{\text{Volatile Solid(\%)}}{1.8}$$

4. Moisture content, Total Solids (TS)

การคำนวณ

$$W = \frac{(W_1 - W_2) \times 100}{W_1}$$

$$T = 100 - W$$

โดยที่ W = ค่าความชื้น (%)

W_1 = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (g.)

W_2 = น้ำหนักตัวอย่างหลังจากอบ (g.)

T = ปริมาณของแข็งรวม (%)



1. การวัดอุณหภูมิ

วิธีการวิเคราะห์

ติดหัววัดอุณหภูมิไว้ภายในถังหมัก บริเวณฝาด้านบน และอ่านค่าอุณหภูมิที่วัดได้ทุกวัน และทำการบันทึกผล

2. การวัดค่าความเป็นกรดต่าง โดยใช้ pH meter

วิธีการวิเคราะห์

ใช้วัสดุหมักที่ผ่านตะแกรงร่อนขนาด 2 มิลลิเมตร จำนวน 10 กรัม ใส่ใน Beaker ขนาด 100 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 200 มิลลิลิตร ใช้แท่งแก้วคนวัสดุหมัก และน้ำให้เข้ากัน ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที ในขณะที่ทิ้งไว้ให้คนวัสดุหมักเป็นครั้งคราว ก่อนวัด ค่าความเป็นกรด-ด่างต้องปรับ pH meter buffer solution pH 4 และ pH 7 ก่อนแล้ว จึงดำเนินการวัดค่าความเป็นกรด – ด่าง

3. การวิเคราะห์ปริมาณความชื้น

วิธีการวิเคราะห์

ชั่งตัวอย่างวัสดุหมักสด นำไปใส่ในภาดอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนัก แล้วนำไปอบในตู้ที่อุณหภูมิ 75 – 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3-4 วัน จนกระทั่งตัวอย่างวัสดุหมักแห้งสนิท คือน้ำหนักตัวอย่างวัสดุหมักคงที่

4. การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งระเหย

วิธีการวิเคราะห์

ตัวอย่างวัสดุหมักที่อบแห้งสนิท นำมาบดด้วยเครื่องบดตัวอย่างให้มีขนาด 1 มิลลิเมตร นำไปอบที่ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นใน Dessicator จากนั้นสุ่มตัวอย่าง วัสดุหมัก ประมาณ 3 –6 กรัม ใส่ใน Crucible ที่ทราบน้ำหนักแน่นอน นำไปชั่งน้ำหนักรวมอีกครั้ง ก่อนที่จะนำไปเผาใน Muffle Furnace ที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ปล่อยให้เย็น ให้เย็นจนสามารถนำออกมาไว้ใน Dessicator ได้ ทิ้งไว้ใน Dessicator ประมาณ 1-2 ชั่วโมง นำ Crucible มาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง

5. การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (TKN)

วิธีการวิเคราะห์

1. เตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งสนิท และบดละเอียดจนมีขนาด 1 มิลลิเมตร แล้ว นำมาอบที่ 75 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

2. การDigest ตัวอย่าง

ชั่งตัวอย่างวัสดุหมักประมาณ 0.5 – 1.0 กรัม ใส่ใน kjedahl flask เติม K_2SO_4 เติม HgO เติม conc. H_2SO_4 แล้วทำการ Digest จนสารละลายที่ได้มีลักษณะใส และDigest ต่อไปอีก 20 นาที ปิดเตาทิ้งไว้ให้เย็น

3. การกลั่น

เติมน้ำกลั่นประมาณ 250 มิลลิลิตร หยด Phenolphthaline indicator จากนั้นเติม

สารละลายผสมของ NaOH กับ $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ solution 75 มิลลิลิตร จะได้สีชมพู กลับโดยใช้ Boric acid 4% ในปริมาตร 50 มิลลิลิตร กลับจนได้ปริมาตร 200 มิลลิลิตร นำมาไทเตรท หา NH_3

4. การไทเตรท

นำสารละลายที่ได้มาไทเตรทด้วยสารละลายมาตรฐาน Sulfuric acid โดยใช้ Methyl Purple Indicator เป็นอินดิเคเตอร์ จนกระทั่งถึงจุดยุติ โดยสีของสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียว เป็นสีม่วง บันทึกผล







ภาพผนวกที่ 1 สลัดจ์จากถังตกตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส ก่อนรีดน้ำ



ภาพผนวกที่ ๖2 สลัดจ์จากถังตกตะกอนของระบบบำบัดน้ำเสียแบบเอเอส ที่ผ่านการรีดน้ำ



ภาพผนวกที่ 3 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการหมักแบบไร้อากาศ



ภาพผนวกที่ ๓๔ ชุดอุปกรณ์น้ำก๊าศ



ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวนิตยา สุขอร่าม
เกิดวันที่	วันที่ 2 เมษายน 2529
สถานที่เกิด	จังหวัดกาญจนบุรี
ประวัติการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	ทุนอุดหนุนการวิจัยจากโครงการสนับสนุนทุน นักวิจัยใหม่ วท. โดยศูนย์ประสานงานนักเรียนทุน รัฐบาลทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี แห่งชาติ