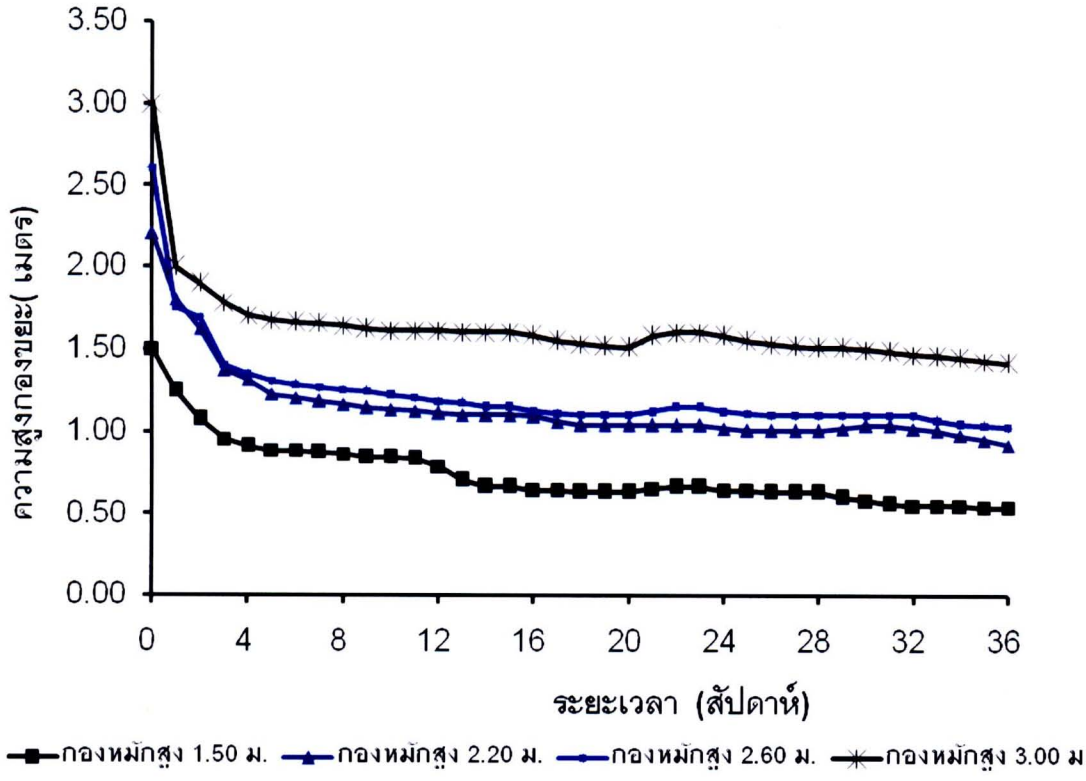
บทที่ 4

ผลการวิจัย

ผลการศึกษาการบำบัดขยะด้วยวิธีชีวภาพโดยกั้นกองอยู่กับที่เติมอากาศแบบ Passive ได้แสดงรายละเอียดของการทดลองดังกล่าวไว้ในภาคผนวก ก สำหรับการวิเคราะห์ดังกล่าวมีรายละเอียดดังนี้

การเปลี่ยนแปลงความสูงของกองหมัก

กองหมักขยะมีความสูงเริ่มต้นเท่ากับ 1.50, 2.20, 2.60, 3.00 เมตร โดยมีพฤติกรรมการยุบตัวของกองหมักเป็นดังภาพ 24 กล่าวคือ ทุกความสูงของกองหมักมีการยุบตัวอย่างรวดเร็วในเดือนแรก หลังจากนั้นจะค่อย ๆ ยุบตัว จนกระทั่งเริ่มคงที่ และไม่ค่อยยุบตัว



ภาพ 24 แสดงความสูงกองหมักที่บำบัดขยะด้วยวิธีชีวภาพโดยกั้นกองอยู่กับที่เติมอากาศแบบ Passive

และจากภาพ 24 ทำให้สามารถแบ่งพฤติกรรมการยุบตัวของกองหมักได้เป็น 3 ช่วงคือ

ช่วงที่ 1 เป็นช่วงที่มีการยุบตัวอย่างรวดเร็ว (ดังแสดงในภาพ 24) โดยมีระยะเวลา (หนึ่งเดือนแรก)

ช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่ค่อย ๆ ยุบตัว (ดังแสดงในภาพ 24) โดยมีระยะเวลาสัปดาห์ที่ 4 – 20 (เดือนที่ 1 – 5)

ช่วงที่ 3 เป็นช่วงที่การยุบตัวของกองหมักค่อนข้างคงที่ หรือมีการยุบตัวกองหมักน้อยมาก (ดังแสดงในภาพ 24) โดยมีระยะเวลาสัปดาห์ที่ 20 – 36 (เดือนที่ 1 – 5) ซึ่งพบว่า ระยะการยุบตัวของกองหมักในแต่ละกองมีค่าใกล้เคียงกัน

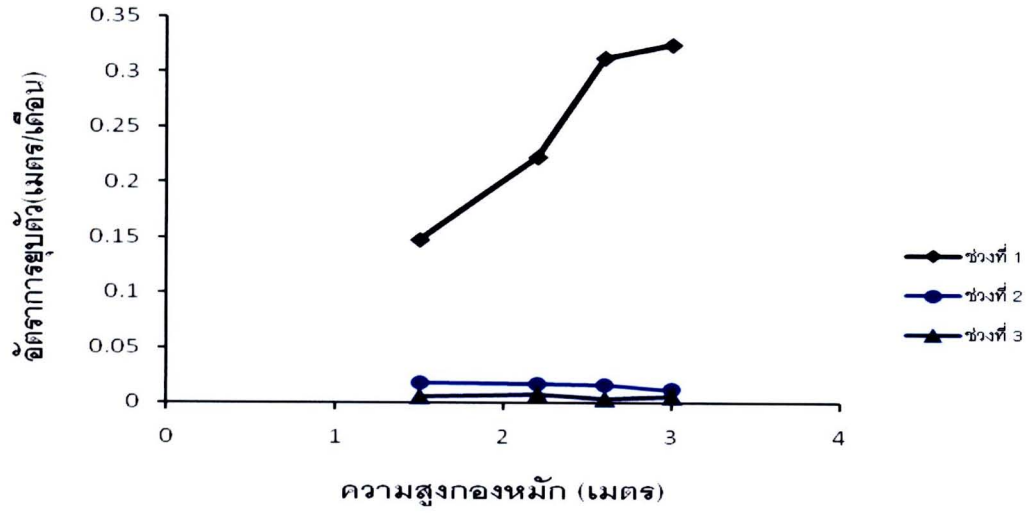
การยุบตัวของกองหมักสามารถหาอัตราการยุบตัวของกองหมักได้ดังสมการ 4.1 และอัตราการยุบตัวแต่ละช่วงเวลาได้แสดงไว้ในตาราง 6 และภาพ 25

$$\text{อัตราการยุบตัว}\left(\frac{\text{เมตร}}{\text{เดือน}}\right) = \frac{\text{ความสูงกองหมักสุดท้าย - ความสูงกองหมักเริ่มต้น}}{\text{เวลาสุดท้าย - เวลาเริ่มต้น}} \quad \ldots\ldots 4.1$$

ตาราง 6 แสดงอัตราการยุบตัวของกองหมักแต่ละความสูงของกองหมัก

ความสูงกองหมัก (เมตร)	อัตราการยุบตัวของกองหมัก (เมตร/เดือน)		
	เดือนที่ 0 - 1	เดือนที่ 1 - 5	เดือนที่ 5 - 9
	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3
1.50	0.148	0.018	0.006
2.20	0.223	0.017	0.008
2.60	0.313	0.016	0.004
3.00	0.325	0.012	0.006

จากตาราง 6 สามารถนำค่าอัตราการยุบตัวมาเปรียบเทียบกันแสดงดังภาพ 25



ภาพ 25 แสดงอัตราการยุบตัวของแต่ละช่วงเวลาที่บำบัดขยะด้วยวิธีชีวภาพโดยกั้นกองอยู่กับที่เติมอากาศแบบ Passive

จากตาราง 6 และภาพ 25 พบว่า การยุบตัวของกองหมักในช่วงที่ 1 เป็นช่วงที่มีระยะการยุบตัวอย่างรวดเร็ว โดยกองหมักสูง 3.00 เมตร มีอัตราการยุบตัวสูงสุด ส่วนกองหมักสูง 1.50 เมตร มีค่าอัตราการยุบตัวต่ำสุดแสดงให้เห็นว่าในช่วงแรกเมื่อกองหมักมีความสูงเพิ่มขึ้นอัตราการยุบตัวจะเพิ่มขึ้น ในขณะที่ช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่ค่อย ๆ ยุบตัวของกองหมัก ซึ่งทุกกองหมักมีอัตราการยุบตัวใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ช่วงที่ 3 เป็นช่วงที่การยุบตัวคงที่ ซึ่งแต่ละกองหมักมีอัตราการยุบตัวน้อยมากและทุกกองหมักมีอัตราการยุบตัวใกล้เคียงกัน

และจากผลการทดลอง สามารถสรุปค่าความสูงของกองหมักเฉลี่ยเป็นช่วง ๆ ได้ดังตาราง 7

ตาราง 7 แสดงค่าความสูงของกองหมักเฉลี่ยแต่ละความสูงของกองหมัก

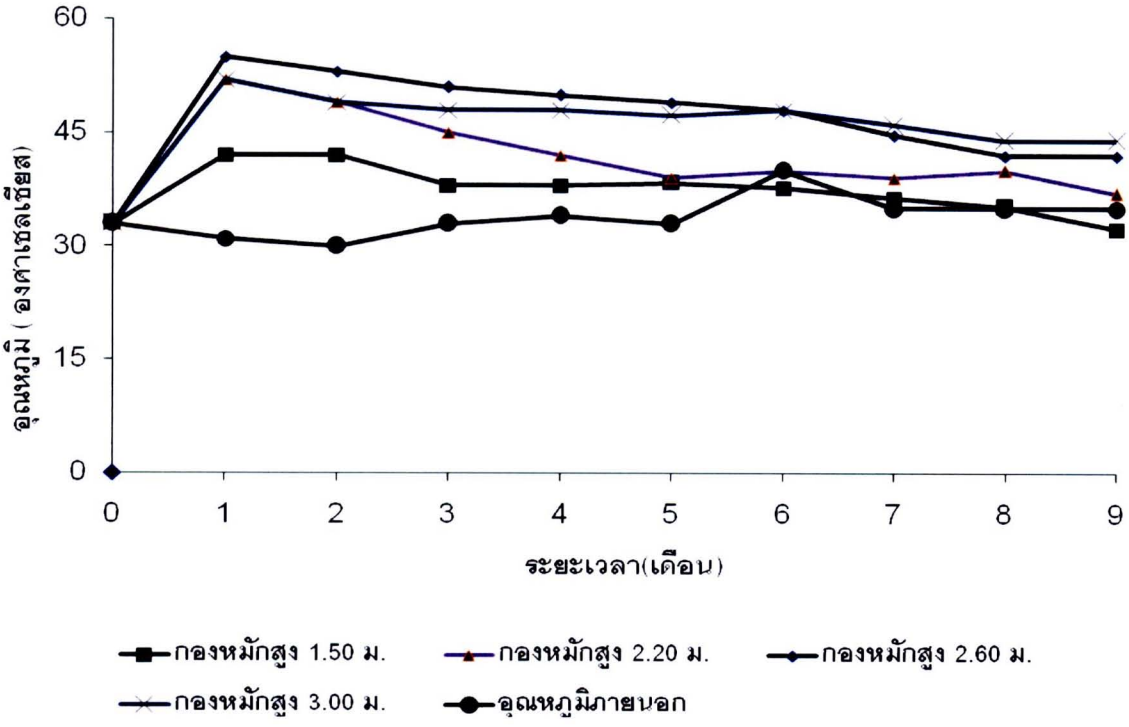
ความสูงกองหมัก (เมตร)	ค่าความสูงของกองหมักเฉลี่ย (เมตร)		
	เดือนที่ 0 - 1	เดือนที่ 1 - 5	เดือนที่ 5 - 9
	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3
1.50	1.13	0.81	0.61
2.20	1.66	1.20	1.02
2.60	1.76	1.26	1.10
3.00	2.08	1.65	1.52

การเปลี่ยนแปลงความสูงกองหมักมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงกับการบำบัดขยะด้วยวิธี Passive Aerated Windrow ที่เทศบาลนครพิษณุโลก (โชติรส อินทร์สิงห์, 2550) และการตั้งกองหมักแบบ Passive Aerated Windrow ที่เทศบาลตำบลลานกระบือ (ชนารดี วิกาหะ, 2554) กล่าวคือ ความสูงจะลดลงเร็วมากในเดือนแรกต่อจากนั้นจะลดลงอย่างช้า ๆ ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งคงที่

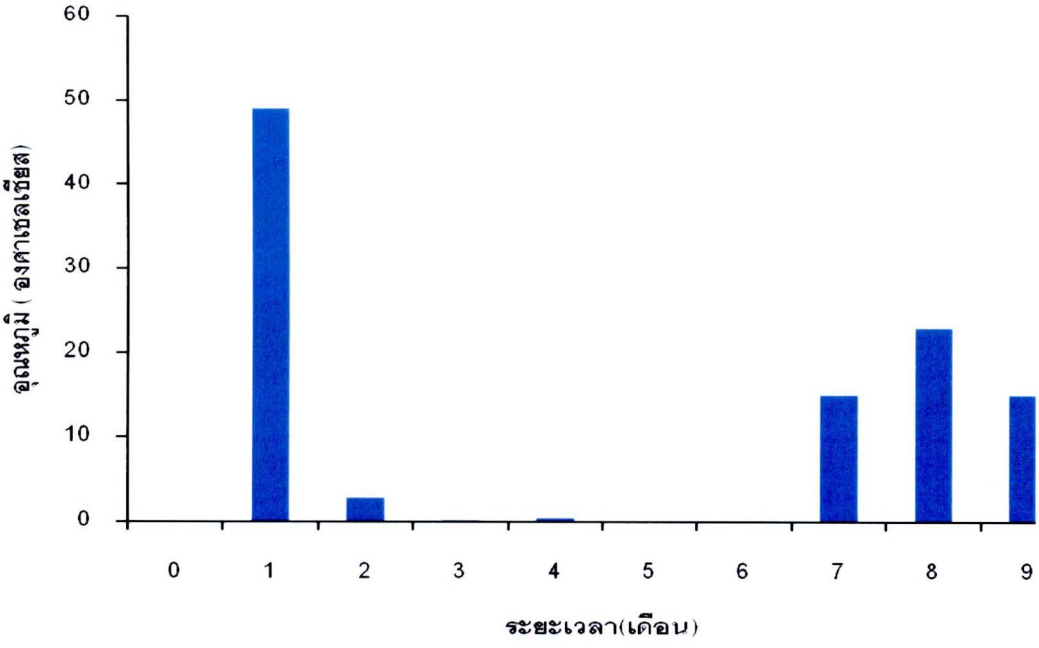
ค่าความสูงของกองหมักที่ลดลง เกิดจากมีการย่อยสลายอินทรียวัตถุเกิดขึ้น ทำให้ขยะอินทรีย์ขนาดใหญ่มีขนาดเล็กลง ขยะขนาดเล็กก็จะผสมเข้าไปแทรกอยู่บริเวณช่องว่างทำให้ความสูงกองหมักลดลง และจากข้อสันนิฐานคือกองหมักสูง 3.00 เมตรมีน้ำหนักขยะกดทับสูงกว่ากองอื่นๆ จึงทำให้ในช่วงแรกมีอัตราการยุบตัวสูงกว่ากองหมักกั้นสูงกองอื่นๆ

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกองหมักที่บำบัดขยะด้วยวิธีชีวภาพโดยกั้นกองอยู่กับที่เติมอากาศแบบ Passive เป็นดังภาพ 26 กล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกองหมักทุกความสูงกองหมักมีลักษณะใกล้เคียงกัน คือ อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นภายในเดือนแรก และลดลงเรื่อย ๆ จนกระทั่งคงที่ ซึ่งสามารถสรุปวิเคราะห์ผลได้ดังนี้



ภาพ 26 แสดงอุณหภูมิภายในกองหมักที่บำบัดขยะด้วยวิธีชีวภาพโดยกั้นกองอยู่กับที่เติมอากาศแบบ Passive

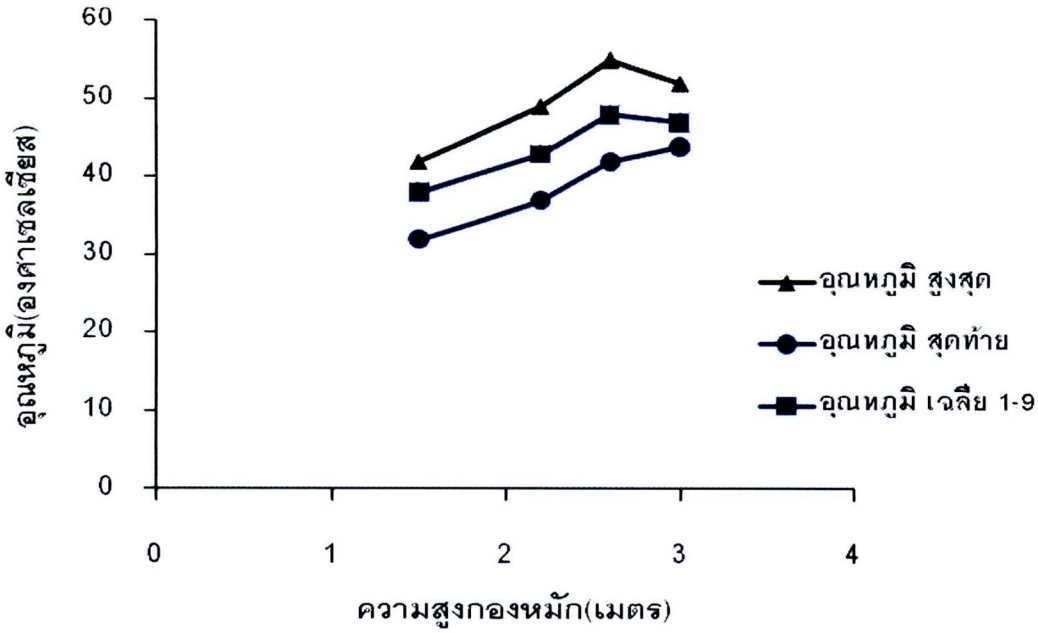


ภาพ 27 แสดงปริมาณน้ำฝนในระยะเวลา 9 เดือนที่บำบัดขยะด้วยวิธีชีวภาพโดยกั้นกองอยู่กับที่เติมอากาศแบบ Passive

และจากภาพ 26 และภาพ 27 จะเห็นว่าปริมาณน้ำฝนมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกองหมักน้อยมาก และพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของกองหมักสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง โดยที่มีช่วงระยะเวลาเดือนที่ 0 - 1 และช่วงระยะเวลาเดือนที่ 5 – 9 การเปรียบเทียบอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิเฉลี่ย และอุณหภูมิสุดท้ายของแต่ละกองหมักที่มีความสูงแตกต่างกัน ดังแสดงในตาราง 8 และภาพ 28

ตาราง 8 แสดงการเปรียบเทียบของอุณหภูมิภายในกองหมัก

ความสูงกองหมัก (เมตร)	อุณหภูมิภายในกองหมัก (องศาเซลเซียส)		
	อุณหภูมิ สูงสุด	อุณหภูมิ สุดท้าย	อุณหภูมิ เฉลี่ย 1-9
1.50	42	32	38
2.20	49	37	43
2.60	55	42	48
3.00	52	44	47



ภาพ 28 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิในกองหมักที่บำบัดขยะด้วยวิธีชีวภาพ โดยกั้นกองอยู่กับที่เติมอากาศแบบ Passive

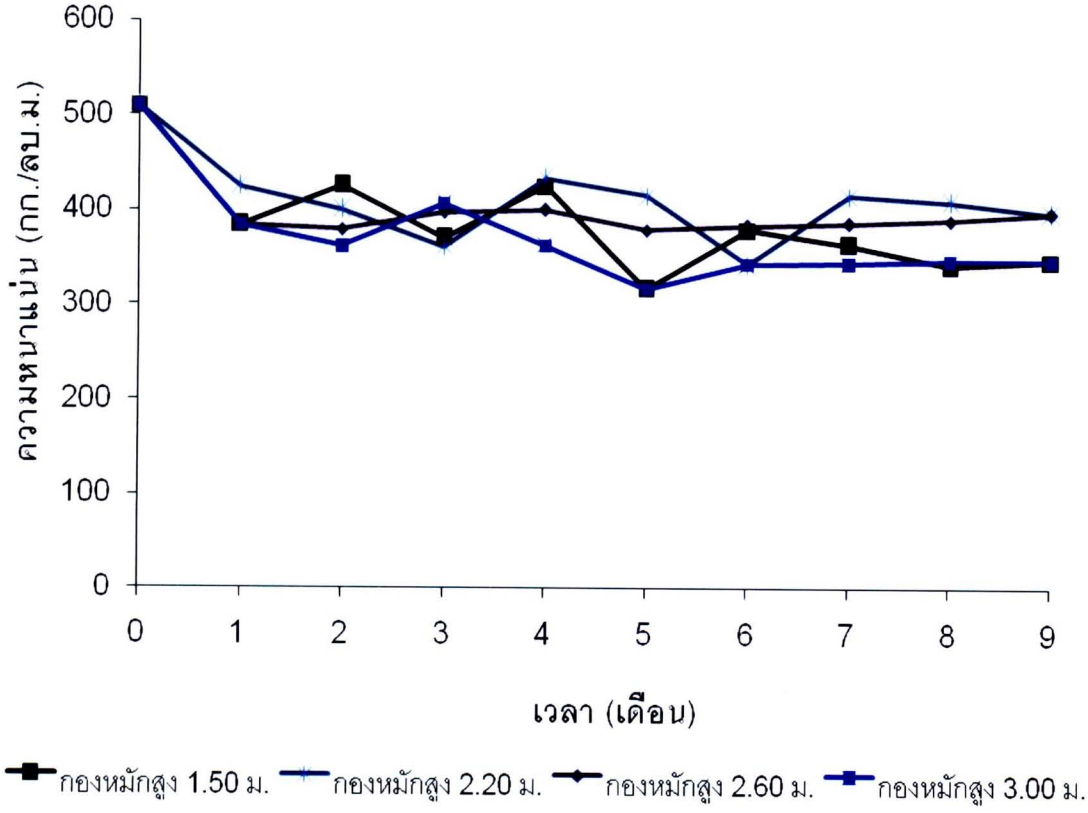
จากตาราง 8 และภาพ 28 พบว่า เมื่อกองหมักขยะมีความสูงเพิ่มขึ้นอุณหภูมิในกองหมักขยะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและเมื่อความสูงของกองหมักเพิ่มมากกว่า 2.60 เมตร พบว่า ค่าอุณหภูมิในกองหมักเริ่มไม่เปลี่ยนแปลง

นอกจากนี้ยังพบว่า เมื่อความสูงกองหมักเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 2.60 – 3.00 เมตร เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมสามารถย่อยสลายอินทรีย์ วัตถุเพื่อแปรสภาพขยะให้เป็นสารปรับสภาพดิน (Compost) เนื่องจากอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการนำขยะอินทรีย์มาทำปุ๋ยหมักจะอยู่ในช่วง 45 – 65 °C (กรมควบคุมมลพิษ, 2544)

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกองหมักมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงกับการบำบัดขยะด้วยวิธี Passive Aerated Windrow ที่เทศบาลนครพิษณุโลก (โชติรส อินทร์สิงห์, 2550, หน้า 92–94) และการตั้งกองหมักแบบ Passive Aerated Windrow ที่เทศบาลตำบลลานกระบือ (ชนารดี วิกาหะ,2554) กล่าวคือ อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นภายในสองเดือนแรก เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นสูงสุดหลังจากนั้นอุณหภูมิจะลดลงจนกระทั่งคงที่

การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่น

การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นภายในกองหมักที่ผ่านการบำบัดขยะด้วยวิธีชีวภาพโดยกั้นกองอยู่กับที่เติมอากาศแบบ Passive ได้แสดงไว้ดังภาพ 29 ซึ่งพบว่า การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นภายในกองหมักทุกความสูงกองหมักมีลักษณะใกล้เคียงกัน คือ ความหนาแน่นจะลดลงอย่างรวดเร็วภายในเดือนแรก หลังจากนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงเล็กน้อยจนสิ้นสุดการทดลอง

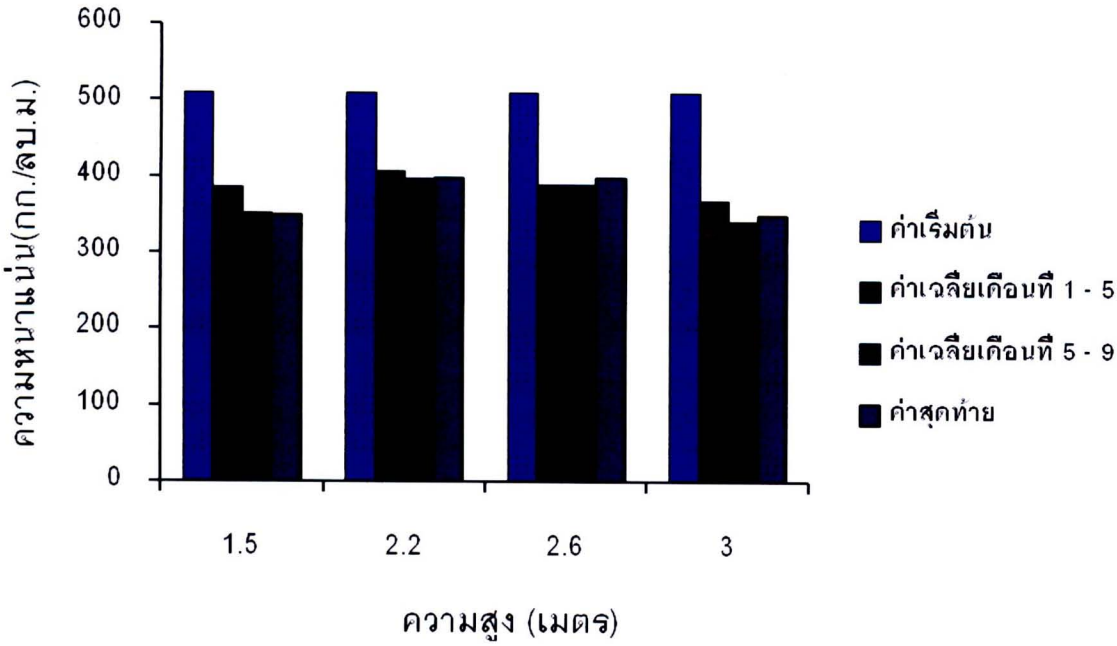


ภาพ 29 แสดงความหนาแน่นภายในกองหมักที่บำบัดขยะด้วยวิธีชีวภาพโดยกั้นกองอยู่กับที่เติมอากาศแบบ Passive ภายในระยะเวลา 9 เดือน

เพื่อที่จะวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นภายในกองหมัก จึงทำการหาค่าเฉลี่ยความหนาแน่นระหว่างเดือนที่ 1-5 และเดือนที่ 5-9 ซึ่งแสดงไว้ในตาราง 9 และนำค่าความหนาแน่นดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับค่าความหนาแน่นเริ่มต้น และความหนาแน่นสุดท้ายของทุกความสูงของกองหมัก ซึ่งพบว่า ความหนาแน่นจะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงเดือนแรก และในช่วงเดือนที่ 1-9 ความหนาแน่นจะเปลี่ยนแปลงไม่มากและคงที่ ดังแสดงในภาพ 30

ตาราง 9 แสดงค่าเฉลี่ยความหนาแน่นในกองหมัก

ความสูงกองหมัก (เมตร)	ค่าความหนาแน่นในกองหมัก (กก./ลบ.ม.)			
	ค่าเริ่มต้น	ค่าเฉลี่ยเดือนที่ 1 - 5	ค่าเฉลี่ยเดือนที่ 5 - 9	ค่าสุดท้าย
1.50	510.00	385.28	350.68	347.83
2.20	510.00	408.00	397.24	398.55
2.60	510.00	389.02	388.52	398.55
3.00	510.00	367.20	340.55	347.83



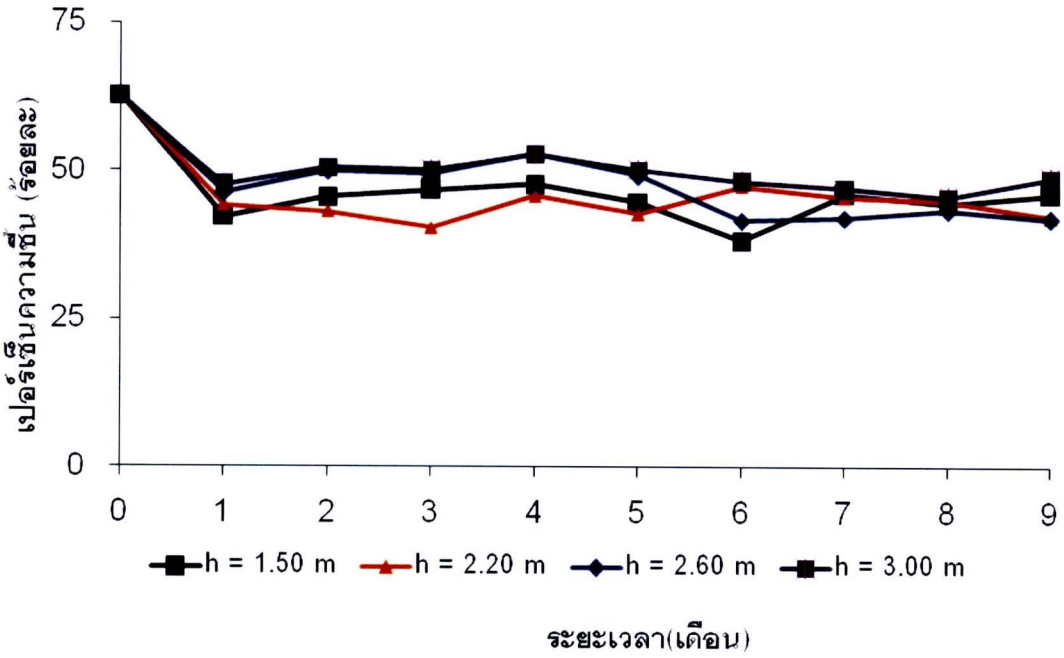
ภาพ 30 แสดงการเปรียบเทียบความหนาแน่นของกองหมัก

การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นภายในกองหมักมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แตกต่างกับการบำบัดขยะด้วยวิธี Passive Aerated Windrow ที่เทศบาลนครพิษณุโลก (โชติรส อินทร์สิงห์, 2550, หน้า 82–84) ที่มีความหนาแน่นลดลงเหมือนกัน ทุกความสูงกองหมักมีความหนาแน่นลดลงอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 1 เดือนแรก หลังจากนั้นจะลดลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนกระทั่งคงที่ นอกจากนี้ความหนาแน่นภายในกองหมักเริ่มคงที่ตั้งแต่เดือนที่ 5

ตามทฤษฎีความหนาแน่นควรมีค่าเพิ่มขึ้น เกิดจากมีการย่อยสลายอินทรียวัตถุเกิดขึ้น ทำให้ขยะอินทรีย์ขนาดใหญ่มีขนาดเล็กลง ขยะขนาดเล็กก็จะผสมเข้าไปแทรกอยู่บริเวณช่องว่าง ทำให้ช่องว่างภายในกองหมักมีน้อยลง ส่งผลให้ความสูงลดลง และความหนาแน่นภายในกองหมักเพิ่มขึ้น แต่ผลจากการทดลองความหนาแน่นกองหมักลดลง ซึ่งอาจเป็นผลจากขยะที่เข้ามาบำบัดเริ่มต้นมีความชื้นสูง ซึ่งทำให้ความหนาแน่นเริ่มต้นสูง นอกจากนี้ อาจจะเป็นผลจากการเก็บตัวอย่างต้องมีการขุดเอาขยะออกมาโดยการสุ่มตัวอย่างขยะมีการคลายตัวทำให้ความหนาแน่นต่ำกว่าความเป็นจริงได้ และจากการทดลองขยะจึงมีผลของน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องจึงควรทำการหาความหนาแน่นแบบนำขยะไปผ่านการไล่ความชื้นก่อนนำมาทำการทดลองเพื่อเป็นการเปรียบเทียบกับขยะที่เก็บมาทำการทดลองโดยตรง

การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในกองหมัก

การเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในกองหมักที่ผ่านการบำบัดขยะด้วยวิธีชีวภาพโดยกั้นกองอยู่กับที่เติมอากาศแบบ Passive ได้แสดงไว้ดังภาพ 31 ซึ่งพบว่า การเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในกองหมักมีลักษณะใกล้เคียงกัน คือ ความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็วภายในเดือนแรก หลังจากนั้นจะเปลี่ยนแปลงไม่มากในระยะเวลา 9 เดือน



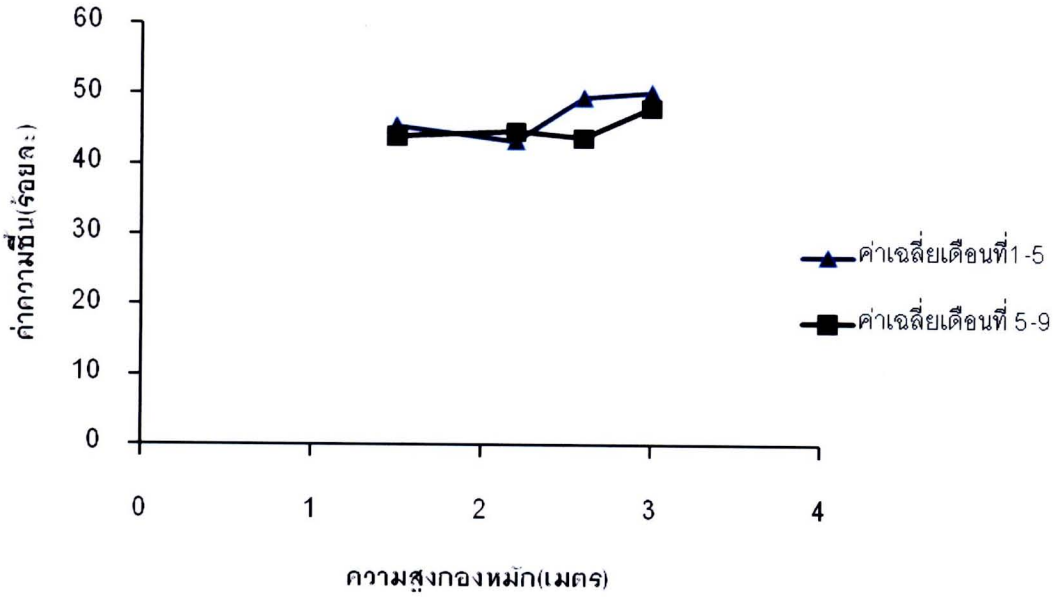
ภาพ 31 แสดงความชื้นภายในกองหมักที่บำบัดขยะด้วยวิธีชีวภาพโดยกั้นกองอยู่กับที่เติมอากาศแบบ Passive ภายในระยะเวลา 9 เดือน

เพื่อที่จะวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงความชื้น จึงทำการหาค่าเฉลี่ยของความชื้นระหว่างเดือนที่ 1-5 และเดือนที่ 5-9 เพื่อเปรียบเทียบกับค่าความชื้นเริ่มต้นและสุดท้ายของทุกการทดลองของกองหมักขยะที่มีความสูงแตกต่างกัน ดังแสดงในตาราง 10 และภาพ 32

ซึ่งพบว่าที่ความสูง 1.50 - 2.20 เมตร มีความชื้นไม่แตกต่างกัน ในขณะที่ความสูงของกองหมักเพิ่มขึ้นมากกว่า 2.20 เมตร จะทำให้ความชื้นของกองหมักเพิ่มขึ้น

ตาราง 10 แสดงการเปรียบเทียบค่าความชื้นภายในกองหมัก

ความสูงของกองหมัก (เมตร)	ค่าความชื้นในกองหมัก (ร้อยละ)			
	ค่าเริ่มต้น	ค่าเฉลี่ยเดือนที่1-5	ค่าเฉลี่ยเดือนที่ 5-9	ค่าสุดท้าย
1.50	62.80	45.46	43.99	46.20
2.20	62.80	43.29	44.66	42.38
2.60	62.80	49.56	43.75	42.10
3.00	62.80	50.31	48.03	48.90



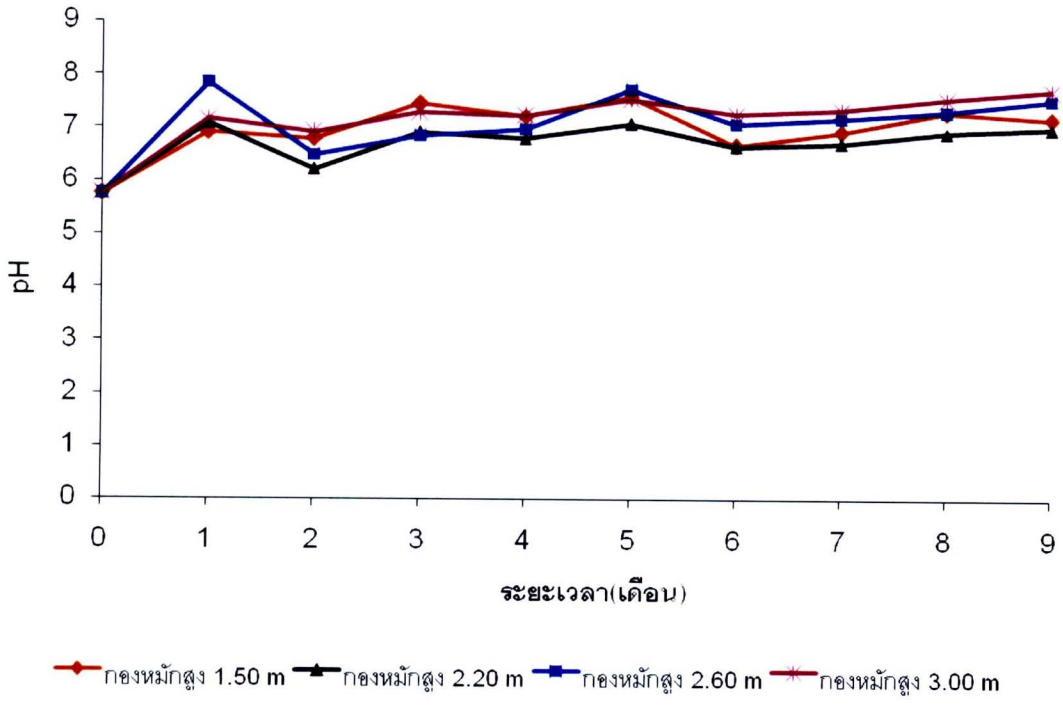
ภาพ 32 แสดงร้อยละของความชื้นเฉลี่ยของกองหมัก

ความสูงกองหมักมีแนวโน้มผลต่อความชื้นภายในกองหมัก โดยความสูงกองหมักมากมีความชื้นภายในกองหมักมีแนวโน้มมากกว่าความสูงกองหมักน้อย โดยกองหมักขยะสูง 3.00 เมตร มีค่าความชื้นเฉลี่ยเหมาะสมกว่ากองอื่นๆ ในขณะที่นำขยะหลังการบำบัดไปเป็นขยะเชื้อเพลิง (Refuse Derived Fuel: RDF) ซึ่งควรมีความชื้นน้อย ทำให้กองหมักสูง 1.50 เมตร และ 2.20 เมตร เหมาะสมสำหรับนำขยะหลังการบำบัดไปใช้เป็นขยะเชื้อเพลิง

การเปลี่ยนแปลงความชื้นภายในกองหมักมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่ใกล้เคียงกับการบำบัดขยะด้วยวิธี Passive Aerated Windrow ที่เทศบาลนครพิษณุโลก (โชติรส อินทร์สิงห์, 2550, หน้า 84–85) การตั้งกองหมักแบบ Passive Aerated Windrow ที่เทศบาลตำบลลานกระบือ (ชนารดี วิกาหะ, 2554, หน้า 64 - 68)

การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชในกองหมัก

ผลการเปลี่ยนแปลงพีเอชภายในกองหมักที่ผ่านการบำบัดขยะด้วยวิธีชีวภาพโดยกั้นกองอยู่กับที่เติมอากาศแบบ Passive ได้แสดงไว้ดังภาพ 33 ซึ่งพบว่าการเปลี่ยนแปลง pH ภายในกองหมักมีลักษณะใกล้เคียงกัน คือ มีค่า pH เป็นกลางคือ อยู่ในช่วง 6 – 8 ซึ่งสามารถวิเคราะห์ผลได้ดังนี้



ภาพ 33 แสดง pH ภายในกองหมักที่บำบัดขยะด้วยวิธีชีวภาพโดยกั้นกองอยู่กับที่เติมอากาศแบบ Passive ภายในระยะเวลา 9 เดือน

เพื่อที่จะวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลง pH จึงทำการหาค่าเฉลี่ยของ pH ระหว่างเดือนที่ 1-5 และเดือนที่ 5-9 เพื่อเปรียบเทียบกับค่า pH เริ่มต้นและสุดท้ายของทุกการทดลองของกองหมักขยะที่มีความสูงแตกต่างกัน ดังแสดงในตาราง 11 และภาพ 33

ซึ่งพบว่าทุกการทดลอง ค่า pH มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไม่มาก หลังจากเดือนที่ 1-9 และเป็นกลาง

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ตาราง 11 แสดงการเปรียบเทียบค่า pH ภายในกองหมัก

ความสูงของกองหมัก (เมตร)	ค่า pH			
	ค่าเริ่มต้น	ค่าเฉลี่ยเดือนที่1-5	ค่าเฉลี่ยเดือนที่5-9	ค่าสุดท้าย
1.50	5.75	7.20	7.14	7.19
2.20	5.75	6.82	6.88	7.01
2.60	5.75	7.18	7.38	7.55
3.00	5.75	7.23	7.49	7.73

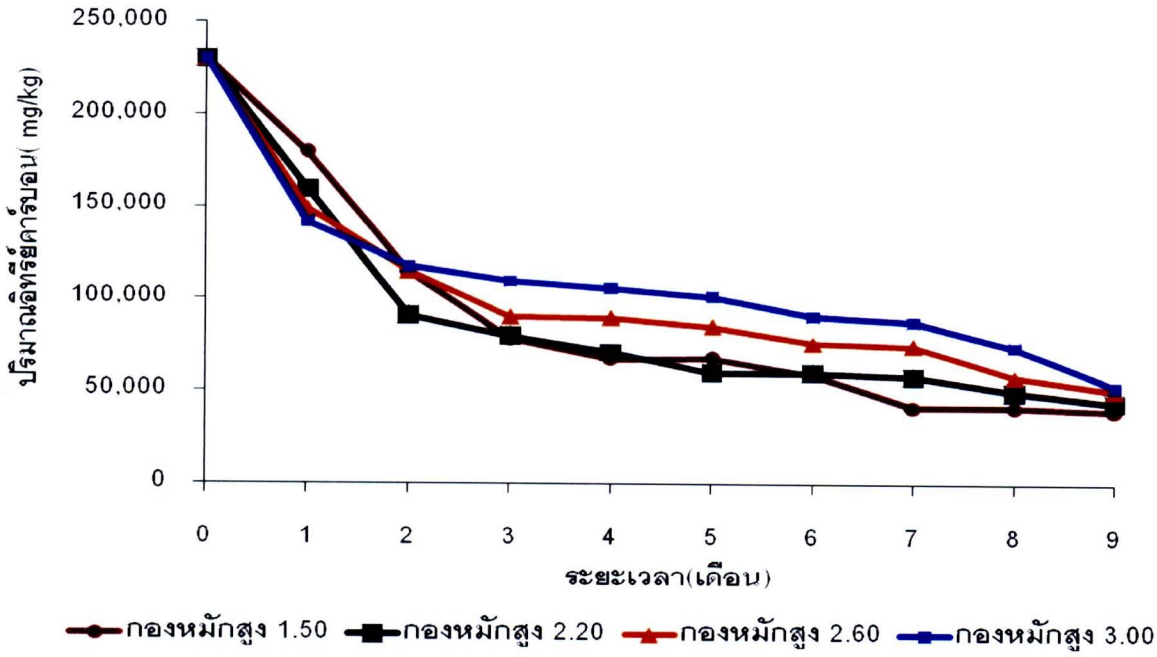
กองหมักที่บำบัดขยะด้วยวิธีชีวภาพโดยกั้นกองอยู่กับที่เติมอากาศแบบ Passive เป็นระยะเวลา 9 เดือน พบว่า pH สุดท้าย อยู่ในช่วง 7.0-7.7 ซึ่งเป็นค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการนำขยะอินทรีย์มาทำปุ๋ยหมัก

การเปลี่ยนแปลง pH ภายในกองหมักมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่ไม่แตกต่างกับการบำบัดขยะด้วยวิธี Passive Aerated Windrow ที่เทศบาลนครพิษณุโลก (โชติรส อินทร์สิงห์, 2550, หน้า 91) ที่มีค่า pH เป็นกลาง และการตั้งกองหมักแบบ Passive Aerated Windrow ที่เทศบาลตำบลลานกระบือ (ชนารดี วิกาหะ, 2554, หน้า 68)

ค่า pH ที่เหมาะสมสำหรับการนำขยะอินทรีย์มาทำปุ๋ยหมักจะอยู่ในช่วง 6.0-7.5 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540) การลดลงของค่าพีเอช Priya Kaushik and Garg (2004) อธิบายว่ามีผลจากการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และกรดอินทรีย์โดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ระหว่างกระบวนการเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ในขยะอินทรีย์ Ndegwa and Thomson (2000; Kaviraj and Satyawati Sharma, 2003; Loh, et al., 2004) อธิบายคล้ายกันว่าการเกิดสภาพกรดอาจเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของสารอินทรีย์ต่าง ๆ ระหว่างประเภทของกรดอินทรีย์หรือการเปลี่ยนแปลงแร่ธาตุ

การเปลี่ยนแปลงค่าอินทรีย์คาร์บอนในกองหมัก

การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนภายในกองหมักที่ผ่านการบำบัดขยะด้วยวิธีชีวภาพโดยกั้นกองอยู่กับที่เติมอากาศแบบ Passive ได้แสดงไว้ดังภาพ 34 ซึ่งพบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนภายในกองหมักมีลักษณะใกล้เคียงกัน คือ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนจะลดลงอย่างรวดเร็วภายใน 3 เดือนแรก หลังจากนั้นจะลดลงจนกระทั่งคงที่ภายในระยะเวลา 9 เดือน



ภาพ 34 แสดงค่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนภายในกองหมักที่บำบัดขยะด้วยวิธีชีวภาพโดยกั้นกองอยู่กับที่เติมอากาศแบบ Passive ภายในระยะเวลา 9 เดือน

พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนภายในกองหมักสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วง ดังที่ได้กล่าวไว้เรื่องการยุบตัวของกองโดยที่มีช่วงเดือนที่ 0 – 1, 2 - 5 และช่วงเดือนที่ 5 – 9

1. พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนช่วงที่ 1

พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนช่วงที่ 1 มีกำหนดระยะเวลา 2 เดือนแรก ซึ่งเป็นช่วงการลดลงของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนภายในกองหมักอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในภาพ 36

2. พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนช่วงที่ 2

พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนช่วงที่ 2 (เดือนที่ 2-5) เป็นช่วงที่มีการลดลงของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนอย่างรวดเร็วเริ่มเข้าช่วงคงที่ โดยมีระยะเวลา 4 เดือน ซึ่งสามารถหาอัตราการลดลงของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนได้ดังสมการต่อไปนี้

3. พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนช่วงที่ 3

พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนช่วงที่ 3 (เดือนที่ 5-9) เป็นช่วงที่ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนภายในกองหมักเริ่มคงที่ ซึ่งสามารถหาอัตราการเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนได้ดังสมการต่อไปนี้

อัตราการลดลงของปริมาณอินทรีย์คาร์บอน

$$\left(\frac{\text{มก./กก.}}{\text{เดือน}}\right) = \frac{\text{อินทรีย์คาร์บอนเดือนที่ 2} - \text{อินทรีย์คาร์บอนเดือนที่ 0}}{\text{เดือนที่ 2} - \text{เดือนที่ 0}}$$

อัตราการลดลงของปริมาณอินทรีย์คาร์บอน

$$\left(\frac{\text{มก./กก.}}{\text{เดือน}}\right) = \frac{\text{อินทรีย์คาร์บอนเดือนที่ 5} - \text{อินทรีย์คาร์บอนเดือนที่ 2}}{\text{เดือนที่ 5} - \text{เดือนที่ 2}}$$

อัตราการลดลงของปริมาณอินทรีย์คาร์บอน

$$\left(\frac{\text{มก./กก.}}{\text{เดือน}}\right) = \frac{\text{อินทรีย์คาร์บอนเดือนที่ 9} - \text{อินทรีย์คาร์บอนเดือนที่ 5}}{\text{เดือนที่ 9} - \text{เดือนที่ 5}}$$

จากสมการอัตราการลดลงของปริมาณอินทรีย์คาร์บอน สามารถคำนวณหาอัตราการลดลงของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนภายในกองหมักได้ดังแสดงในตาราง 12 และตาราง 13

ตาราง 12 แสดงอัตราการลดลงของปริมาณอินทรีย์คาร์บอนภายในกองหมัก

ความสูงกองหมัก (เมตร)	อัตราการลดลงของปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (มก./กก./เดือน)		
	เดือนที่ 0 - 2 ช่วงที่ 1	เดือนที่ 2 - 5 ช่วงที่ 2	เดือนที่ 5 - 9 ช่วงที่ 3
1.50	57,770	15,605	6,991
2.20	69,578	10,576	3,917
2.60	57,647	9,912	8,641
3.00	56,219	5,438	12,220

ตาราง 13 แสดงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ยภายในกองหมัก

ความสูงของกองหมัก (เมตร)	ค่าเริ่มต้น (ม.ก./ก.ก.)	เดือนที่ 2-5 (ม.ก./ก.ก.)	เดือนที่ 5-9 (ม.ก./ก.ก.)
1.50	204,880	82,012	49,899
2.20	194,991	75,513	54,233
2.60	198,438	95,004	68,880
3.00	185,834	108,714	81,297

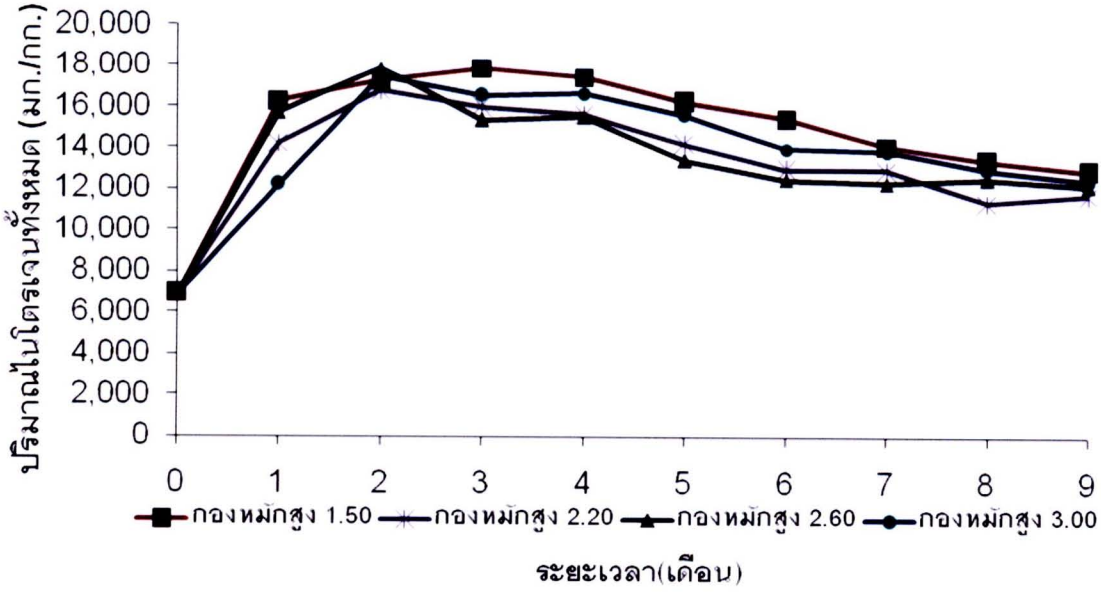
การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนภายในกองหมักมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงกับการบำบัดขยะด้วยวิธี Passive Aerated Windrow ที่เทศบาลนครพิษณุโลก (โชติรส อินทร์สิงห์, 2550, หน้า 86) และการตั้งกองหมักแบบ Passive Aerated Windrow ที่เทศบาลตำบลลานกระบือ (ชนารดี วิกาหะ, 2554, หน้า 69) กล่าวคือ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนภายในกองหมักลดลงอย่างรวดเร็วภายในสองเดือนแรก หลังจากนั้นจะลดลงจนกระทั่งคงที่

ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรีย์คาร์บอนภายในกองหมักจะลดลงอย่างรวดเร็วภายในระยะเวลา 2 เดือนแรก หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งคงที่

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนที่ลดลงมาจากการสูญเสียคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ระหว่างการหมักโดยใช้อากาศ (Tipathi and Bhardwaj, 2003) และปริมาณอินทรีย์วัตถุเป็นค่าที่คำนวณมาจากค่าอินทรีย์คาร์บอน ดังนั้น การเปลี่ยนแปลงปริมาณอินทรียวัตถุจึงมีลักษณะคล้ายกับปริมาณอินทรีย์คาร์บอน ซึ่งปริมาณอินทรียวัตถุที่ลดลงบ่งบอกถึงอัตราการทำงานในการย่อยสลายขยะอินทรีย์ของจุลินทรีย์ลดลง และบ่งบอกถึงอัตราการย่อยสลายของขยะเมื่อปริมาณที่วิเคราะห์ออกมามีปริมาณน้อยลงและเริ่มคงที่ นั่นแสดงว่าอัตราการย่อยสลายของขยะคงที่ (โชติรส อินทร์สิงห์, 2550, หน้า 87)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในกองหมัก

การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดภายในกองหมักที่ผ่านการบำบัดขยะด้วยวิธีชีวภาพโดยกั้นกองอยู่กับที่เติมอากาศแบบ Passive ได้แสดงไว้ดังภาพ 35 ซึ่งพบว่า การเปลี่ยนแปลงปริมาณของไนโตรเจนทั้งหมดภายในกองหมักมีลักษณะใกล้เคียงกัน คือ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายในสองเดือนแรก หลังจากนั้นค่อย ๆ ลดลงภายในระยะเวลา 9 เดือน



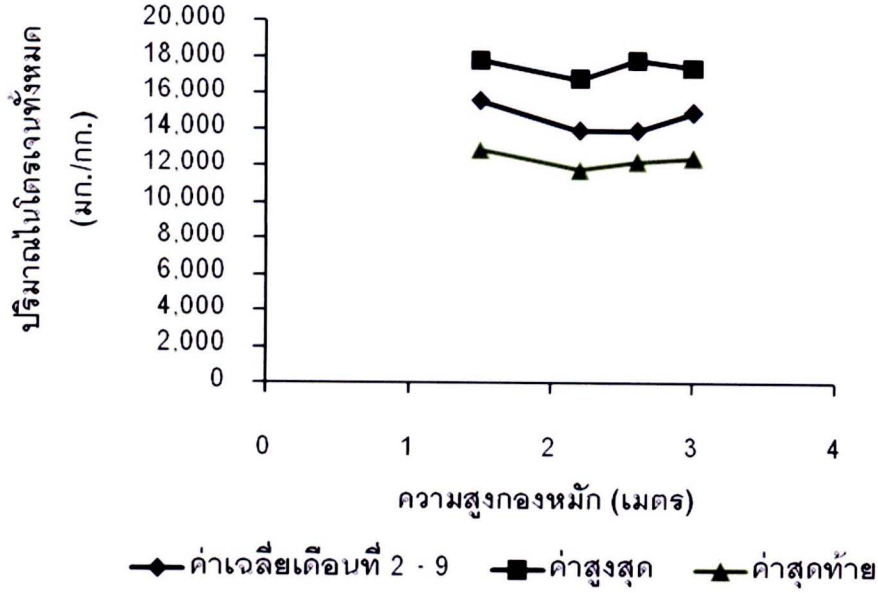
ภาพ 35 แสดงค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดภายในกองหมักที่บำบัดขยะด้วยวิธีชีวภาพโดยกั้นกองอยู่กับที่เติมอากาศแบบ Passive ภายในระยะเวลา 9 เดือน

พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดภายในกองหมักแบ่งออกเป็น 2 ช่วง โดยที่มีช่วงเดือนที่ 0 – 2 และช่วงเดือนที่ 2 – 9

และสามารถทำการเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนสูงสุดกับค่าเฉลี่ยเดือนที่ 2-9 และค่าสุดท้ายเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ดังแสดงในตาราง 14 และภาพ 36 ซึ่งพบว่า ความสูงของกองหมักไม่มีอิทธิพลกับปริมาณไนโตรเจนในกองหมัก

ตาราง 14 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดภายในกองหมัก

ความสูงของกองหมัก (เมตร)	ค่าสูงสุด (ม.ก./ก.ก.)	ค่าเฉลี่ย เดือนที่ 2 - 9 (ม.ก./ก.ก.)	ค่าสุดท้าย (ม.ก./ก.ก.)
1.50	17,888	15,596	12,899
2.20	16,777	13,968	11,770
2.60	17,889	13,975	12,234
3.00	17,462	14,947	12,444



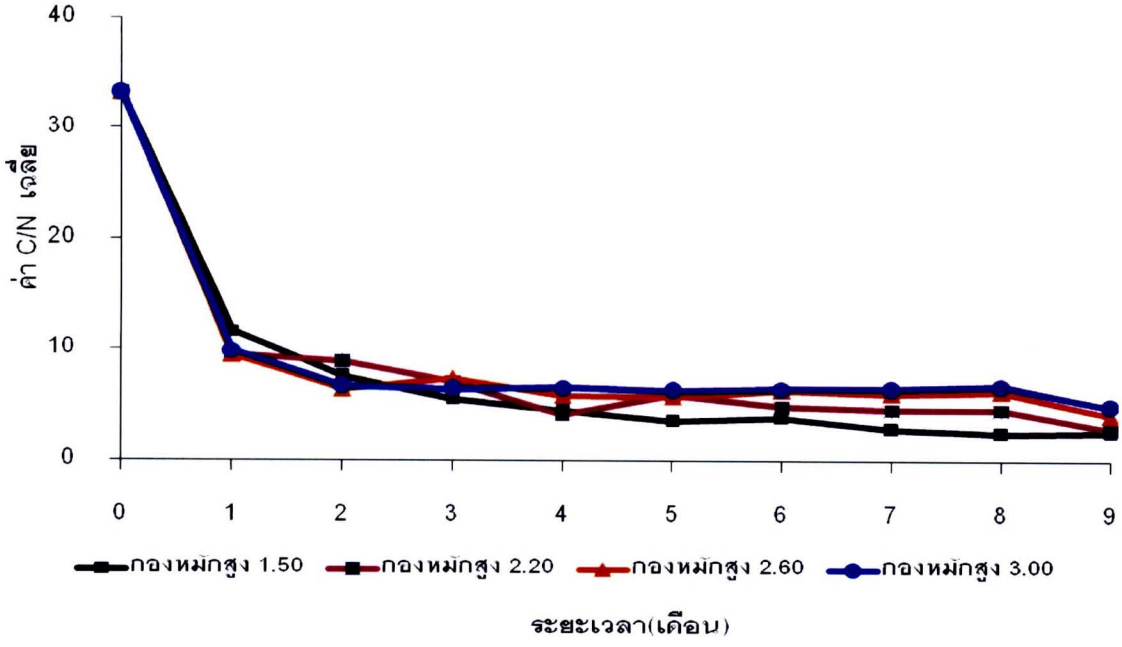
ภาพ 36 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดกับความสูงกองหมัก

จากผลการทดลองพบว่า ทุกกองหมักมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดไม่เกินมาตรฐานปุ๋ยหมัก คือ มีค่าไม่เกินร้อยละ 2 โดยน้ำหนัก (ยงยุทธ โอสถสภา, 2528) ทำให้ทราบว่ากองหมักสูงตั้งแต่ 1.50 – 3.00 เมตร สามารถบำบัดขยะด้วยวิธีชีวภาพโดยกั้นกองอยู่กับที่เติมอากาศแบบ Passive ได้

การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนทั้งหมดภายในกองหมักมีค่าไนโตรเจนทั้งหมดและลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงกับการบำบัดขยะด้วยวิธี Passive Aerated Windrow ที่เทศบาลนครพิษณุโลก (โชติรส อินทร์สิงห์, 2550, หน้า 92–94) กล่าวคือ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายในสามเดือนแรก หลังจากนั้นจะลดลงไปจนกระทั่งจบการทดลอง

การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในกองหมัก

ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนได้จากผลการทดลองของอินทรีย์คาร์บอนและปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด จากภาพ 37 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนภายในกองหมักมีลักษณะและค่าใกล้เคียงกันคือ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 1 เดือนแรก และลดลงเรื่อย ๆ เล็กน้อยภายในระยะเวลา 9 เดือน



ภาพ 37 แสดงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนภายในกองหมักบำบัดขยะด้วยวิธีชีวภาพโดยกั้นกองอยู่กับที่เติมอากาศแบบ Passive ภายในระยะเวลา 9 เดือน

การวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนภายในกองหมักสามารถแบ่งออก เป็น 3 ช่วง โดยที่มีช่วงเดือนที่ 0 – 1, ช่วงเดือนที่ 1 – 5 และช่วงเดือนที่ 5 – 9

1. พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนช่วงที่ 1

เป็นช่วงที่มีการลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนอย่างรวดเร็ว โดยมีระยะเวลา 1 เดือนแรก ซึ่งสามารถหาอัตราการลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนได้ดังสมการต่อไปนี้

อัตราการลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

$$\left(\frac{\text{ร้อยละ.}}{\text{เดือน}}\right) = \frac{\text{อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนเดือนที่ 1} - \text{อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเดือนที่ 0}}{\text{เดือนที่ 1} - \text{เดือนที่ 0}}$$

2. พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนช่วงที่ 2

เป็นช่วงที่มีการลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเล็กน้อย โดยมีระยะเวลาเดือนที่ 1 – 5 ซึ่งสามารถหาอัตราการลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนได้ดังสมการต่อไปนี้

อัตราการลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

$$\left(\frac{\text{ร้อยละ.}}{\text{เดือน}}\right) = \frac{\text{อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนเดือนที่ 5} - \text{อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเดือนที่ 1}}{\text{เดือนที่ 5} - \text{เดือนที่ 1}}$$

3. พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนช่วงที่ 3

พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนช่วงที่ 3 เป็นช่วงที่อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนภายในกองหมักเริ่มคงที่ ซึ่งสามารถหาอัตราการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนได้ดังสมการต่อไปนี้

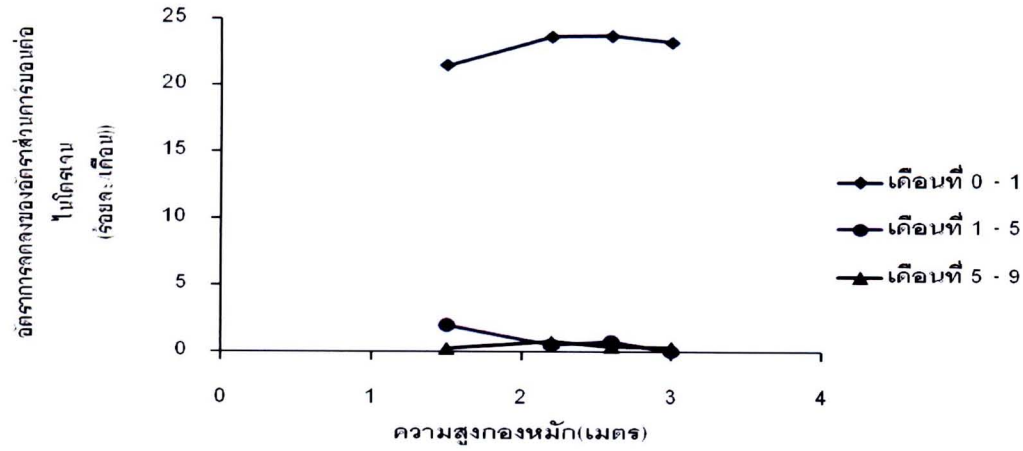
อัตราการลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

$$\left(\frac{\text{ร้อยละ.}}{\text{เดือน}}\right) = \frac{\text{อัตราส่วนคาร์บอนไนโตรเจนเดือนที่ 9} - \text{อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเดือนที่ 5}}{\text{เดือนที่ 9} - \text{เดือนที่ 5}}$$

จากสมการอัตราการลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน สามารถคำนวณหาอัตราการลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนภายในกองหมักได้ดังแสดงในตาราง 15 และภาพ 38

ตาราง 15 แสดงอัตราการลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนภายในกองหมัก

ความสูงกองหมัก (เมตร)	อัตราการลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (ร้อยละ/เดือน)		
	เดือนที่ 0 - 1	เดือนที่ 1 - 5	เดือนที่ 5 - 9
	ช่วงที่ 1	ช่วงที่ 2	ช่วงที่ 3
1.50	21.495	2.026	0.267
2.20	23.708	0.550	0.791
2.60	23.768	0.821	0.413
3.00	23.287	0.033	0.359



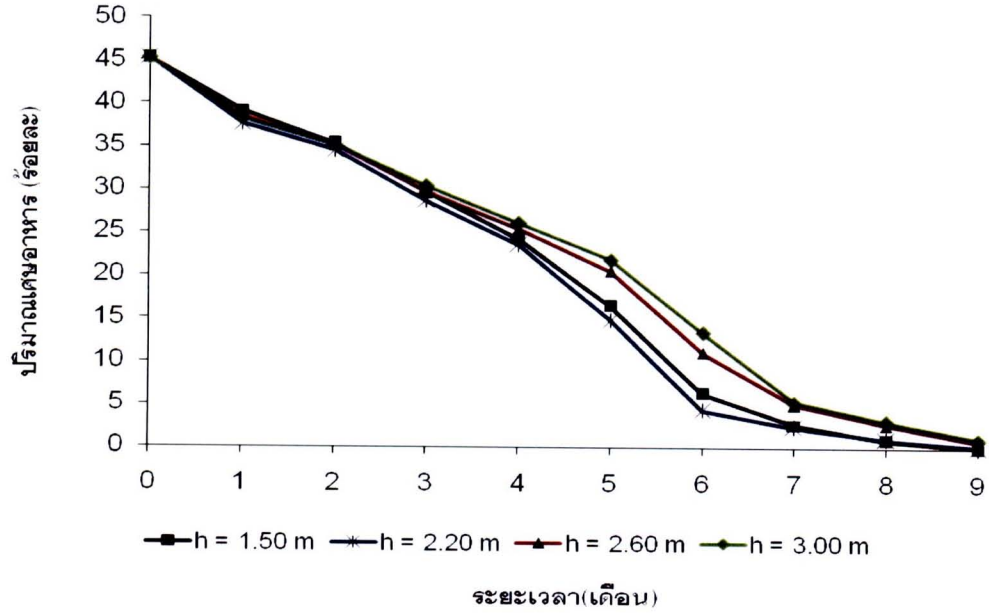
ภาพ 38 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนกับความสูงกองหมัก

อัตราการลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนภายในกองหมักในช่วงเดือนแรกทุกกองหมักมีอัตราการลดลงสูง โดยพบว่า เมื่อความสูงของการหมักเพิ่มขึ้นจาก 1.50 เมตร เป็น 2.20 เมตร อัตราการลดลงของ C/N จะเพิ่มขึ้น จากนั้นเมื่อกองหมักมีความสูงเพิ่มขึ้นจาก 2.20 เมตร ถึ 3.00 เมตร พบว่าอัตราการลดลงของ C/N ไม่เปลี่ยนแปลง และพบว่า หลังจากเดือนที่ 1 อัตราการลดลงของ C/N มีค่าเล็กน้อยในเกือบทุกการทดลอง

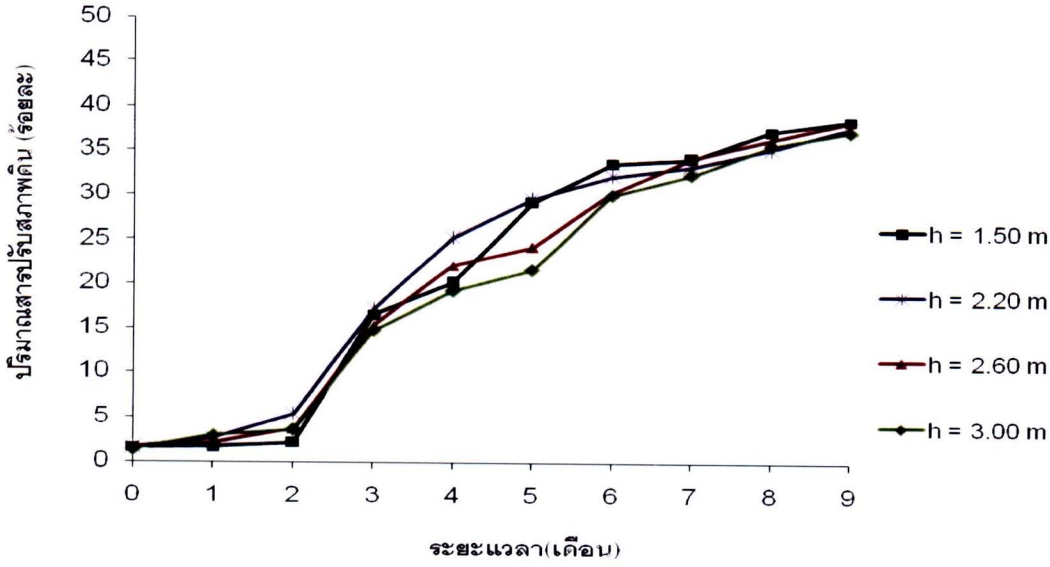
จากผลการทดลองพบว่า เมื่อสิ้นสุดทุกการทดลอง อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนไม่เกินมาตรฐานปุ๋ยหมัก คือมีค่าไม่เกิน 20:1 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2540) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า การบำบัดขยะด้วยวิธีชีวภาพโดยกั้นกองอยู่กับที่เติมอากาศแบบ Passive สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนภายในกองหมักมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนและลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่คล้ายคลึงกับการบำบัดขยะด้วยวิธี Passive Aerated Windrow ที่เทศบาลนครพิษณุโลก (โชติรส อินทร์สิงห์, 2550, หน้า 89–90)

ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีความสัมพันธ์กับปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณสารอินทรีย์ซึ่งปริมาณสารอินทรีย์บ่งบอกถึงปริมาณอินทรีย์คาร์บอน โดยในระยะแรกของการย่อยอินทรียวัตถุ จุลินทรีย์จะใช้คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงานและใช้ไนโตรเจนทั้งหมดในการสร้างโครงสร้างของเซลล์ ซึ่งต้องการคาร์บอนมากกว่าไนโตรเจนทั้งหมด นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็นผลมาจากการสูญเสียคาร์บอนในรูปของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในขณะที่มีการสูญเสียไนโตรเจนในรูปของก๊าซแอมโมเนีย โดยสารอินทรีย์ที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงจะมีอัตราการย่อยสลายต่ำ เนื่องจากขาดแคลนไนโตรเจนซึ่งเป็นสารอาหารหลักของจุลินทรีย์ ส่วนอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำจะมีอัตราการย่อยสลายสูงเนื่องจากมีไนโตรเจนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานอกจากนี้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ ยังเป็นการบอกถึงการย่อยสลายอินทรียวัตถุจะใช้ระยะเวลาสั้น เพราะว่าจำนวนคาร์บอนที่จะถูกออกซิไดซ์ (Oxidize) จนถึงสภาวะที่เสถียรมีน้อย (ธิตินันท์ ขวัญสด, 2546)



ภาพ 39 แสดงปริมาณเศษอาหารของขยะที่บำบัดขยะด้วยวิธีชีวภาพโดยกั้นกองอยู่กับที่เติมอากาศแบบ Passive ภายในระยะเวลา 9 เดือน (ข้อมูลจากการคำนวณ)



ภาพ 40 แสดงปริมาณสารปรับสภาพดินที่บำบัดขยะด้วยวิธีชีวภาพโดยกั้นกองอยู่กับที่เติมอากาศแบบ Passive ภายในระยะเวลา 9 เดือน (ข้อมูลจากการคำนวณ)

ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนองค์ประกอบขยะของกองหมักที่ผ่านการบำบัดขยะด้วยวิธีชีวภาพโดยกั้นกองอยู่กับที่เติมอากาศแบบ Passive

ผลการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนองค์ประกอบขยะที่ผ่านการบำบัดขยะด้วยวิธีชีวภาพโดยกั้นกองอยู่กับที่เติมอากาศแบบ Passive ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง สำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการบำบัดขยะด้วยวิธีชีวภาพโดยกั้นกองหมักอยู่กับที่เติมอากาศแบบ Passive จะเกี่ยวข้องกับปริมาณเศษอาหารที่ทดลองและการเพิ่มขึ้นของสารปรับปรุงคุณภาพดินโดยได้แสดงไว้ในภาพ 39 และ 40 ซึ่งพบว่าทุกการทดลอง ความสูงมีการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเศษอาหารลดลงใกล้เคียงกันตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองจนสิ้นสุดการทดลอง และสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณสารปรับปรุงคุณภาพดินที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่เดือนที่ 2 จนสิ้นสุดการทดลอง จึงอาจกล่าวได้ว่าปริมาณเศษอาหารได้ถูกบำบัดและเปลี่ยนแปลงเป็นสารปรับปรุงคุณภาพดิน