สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การศึกษาประสิทธิภาพการหมักปุ๋ยด้วยวิธีเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน โดยใช้ท่อเติมอากาศที่มีขนาดต่างกัน

T107871

นางสาว นันทพร วงษ์พิทักษ์
นางสาว นาฏศุภร สายสุด

ปพ.
นม19ก
2550
เลขหมู่..........
เลขทะเบียน 107871
วัน,เดือน,ปี - 8 มี.ย. 2553
b. 12213664
i..........

โครงงานพิเศษเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Study on Composting Efficiency of Chimney Convection Aeration Technique using Different Sizes of Air Pipe

MISS NANTHAPORN WONGPITAK
MISS NARTSUPORN SAYSUD

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Academic Year 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	การศึกษาประสิทธิภาพการหมักปุ๋ยด้วยวิธีเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน โดยใช้ท่อเติมอากาศที่มีขนาดต่างกัน
นักศึกษา	นางสาวนันทพร วงษ์พิทักษ์ นางสาวนาฏศุภร สายสุด
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สุวรรณี จรรยาพูน

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ			ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ผศ. พิสมัย	ชัยรัตน์อุทัย	....
กรรมการ	ผศ. พรรษวรรณ	ศรีนาค	....
กรรมการ	ดร. สุวรรณี	จรรยาพูน	....

....

(ผศ.ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาคเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงงานพิเศษเรื่อง	การศึกษาประสิทธิภาพการหมักปุ๋ยด้วยวิธีเติมอากาศแบบซิมนีย์คอนเวคชันโดยใช้ท่อเติมอากาศที่มีขนาดต่างกัน
นักศึกษา	นางสาวนันทพร วงษ์พิทักษ์ นางสาวนาฏศุภร สายสุด
ภาควิชา	เคมี
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2550
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.สุวรรณี จรรยาพูน

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษนี้ เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการหมักปุ๋ยโดยวิธีเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน โดยใช้ท่อเติมอากาศขนาดแตกต่างกัน เปรียบเทียบกับวิธีการหมักปุ๋ยแบบกลับกอง ถังหมักที่ใช้ในการศึกษาทำจากพลาสติกขนาด 200 ลิตร ท่อเติมอากาศใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด7.50 เซนติเมตรเปรียบเทียบกับท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.50 เซนติเมตร วัสดุหมักที่ใช้ในการศึกษาคือ กากตะกอนน้ำเสียชุมชนโดยใช้ผักตบชวาเป็นตัวเพิ่มคาร์บอน ปัจจัยที่ศึกษาได้แก่ อัตราส่วนของวัสดุหมัก ค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน ระยะเวลาในการหมักปุ๋ย อัตราการยุบตัว อุณหภูมิของปุ๋ยหมัก ปริมาณความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณธาตุอาหารพืช ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด ปริมาณไนเตรต-ไนโตรเจน ปริมาณอินทรียคาร์บอน จากผลการทดลองพบว่าการเตรียมวัสดุหมักใช้อัตราส่วนระหว่างกากตะกอนน้ำเสียต่อผักตบชวาเท่ากับ 2.15 : 1 โดยน้ำหนักเปียก มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 23.4 : 1 ประสิทธิภาพการหมักปุ๋ยโดยวิธีเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน และวิธีการหมักปุ๋ยแบบกลับกองมีค่าใกล้เคียงกัน แต่การหมักปุ๋ยโดยวิธีเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันสะดวกกว่า เนื่องจากไม่ต้องกลับกองปุ๋ยเพื่อให้อากาศและไม่ต้องเติมน้ำเพื่อเพิ่มความชื้น จากผลการทดลองพบว่าขนาดของท่อเติมอากาศมีผลต่อการหมักปุ๋ยโดยวิธีเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันเล็กน้อย โดยท่อเติมอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.50 เซนติเมตร จะมีประสิทธิภาพดีกว่าท่อเติมอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.50 เซนติเมตร เล็กน้อย

คำสำคัญ : การเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน, กากตะกอนน้ำเสียชุมชน, ปุ๋ยหมัก, ผักตบชวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title Study on Composting Efficiency of Chimney Convection Aeration Technique using Different Sizes of Air Pipe

Name Miss Nanthaporn Wongpiktak

Miss Nartsuporn Saysud

Department Chemistry

Program Environmental Resource of Chemistry

Academic Year 2007

Special Project Advisor Dr. Suwannee Junyapoon

Abstract

This special project studied the composting efficiency of Chimney Convection Aeration Technique comparing with Windrow Technique. 200 Litre Plastic tank containing PVC pipe diameter 7.50 cm and 4.50 cm were used as composting reactors. Sewage Sludge was used as composting material and *Eichhornia speciosa* was used as carbon addition. The optimum ratio between Sewage Sludge and *Eichhornia speciosa* was investigated. Composting conditions such as C/N ratio, composting period, decomposition rate, temperature gradient, moisture content, pH profile, electrical conductivity and nutrient values i.e. total nitrogen, total phosphorus, total potassium, nitrate-nitrogen and organic carbon were examined. It was found that the ratio of Sewage Sludge and *Eichhornia speciosa* used as composting material was 2.15 :1 by wet weight. The composting material contained C/N ratio of 23.4:1. The results of composting efficiency of Chimney Convection Aeration Technique and Windrow Technique were similar but the former technique was easier than the latter technique because turning and watering of compost were not required. It was found that size of pipe slightly affected on composting efficiency. Decomposition rate of reactor containing PVC pipe diameter 7.50 cm was better than that of reactor containing PVC pipe diameter 4.50 cm

Keyword : Chimney Convection Aeration technique, Sewage Sludge, Compost, *Eichhornia speciosa*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความร่วมมือจากบุคคลหลายท่าน คณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษจึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ดร. สุวรรณี จรรยาพูน ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการโครงการพิเศษนี้อยางใกล้ชิดตลอดมา

ขอขอบพระคุณ ผศ.พรรษวรรณ ศรีนาค และผศ.พิศมัย ชัยรัตน์อุทัย ที่กรุณาเสนอแนะและแก้ไขเพิ่มเติม โครงงานพิเศษนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณนักศึกษาปริญญาโท สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม ที่คอยให้คำปรึกษา และคำแนะนำด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี ที่คอยให้ความช่วยเหลือในเรื่อง อุปกรณ์ และเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง และข้อมูลต่างๆซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการทำโครงงานพิเศษนี้เป็นอย่างยิ่ง

นอกเหนือจากบุคคลที่กล่าวมาแล้วยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ และกำลังใจในการทำงาน ทางผู้จัดทำโครงงานพิเศษใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

น.ส.นันทพร วงษ์พิทักษ์
น.ส.นาฏศุภร สายสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มา และความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	3
2.1 การผลิตปุ๋ยหมัก	3
2.2 หลักการออกแบบในการทำปุ๋ยหมัก	5
2.3 ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก	6
2.4 หลักในการพิจารณาปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์	10
2.5 คุณภาพและมาตรฐานที่ดีของปุ๋ยหมัก	11
2.6 ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก	12
2.7 วัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก	12
2.8 รูปแบบการกองปุ๋ยหมัก	15
2.9 รูปแบบของวิธีการหมักขยะอินทรีย์	15
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	19
บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย	22
3.1 อุปกรณ์	22
3.2 สารเคมี	23
3.3 การเตรียมถังหมัก	24
3.4 ขั้นตอนการดำเนินการ	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล 31
4.1 ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของวัสดุหมักเริ่มต้น 31
4.2 ผลการวิเคราะห์สภาวะในระหว่างการหมักปุ๋ย 32
4.2.1 อัตราการยุบตัว 32
4.2.2 อุณหภูมิ 33
4.2.3 ความชื้น 37
4.2.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง 40
4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของปุ๋ยหมัก 41
4.4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุหมักเริ่มต้น และปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์แล้ว 42
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 43
5.1 สรุปผลการทดลอง 43
5.2 ข้อเสนอแนะ 43
เอกสารอ้างอิง 44
ภาคผนวก 46
ภาคผนวก ก 46
ภาคผนวก ข 50
ภาคผนวก ค 53
ภาคผนวก ง 94

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 2.1	ค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุไนโตรเจนที่มีอยู่ในวัสดุชนิดต่างๆ	8
ตารางที่ 2.2	หลักในการพิจารณาปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว	11
ตารางที่ 2.3	คุณภาพและมาตรฐานที่ดีของปุ๋ยหมัก	11
ตารางที่ 2.4	องค์ประกอบ และ ปริมาณขยะมูลฝอยพื้นที่กรุงเทพมหานคร	14
ตารางที่ 3.1	พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณภาพของวัสดุหมักเริ่มต้น	27
ตารางที่ 3.2	พารามิเตอร์และความถี่ในการวิเคราะห์ระหว่างการหมักปุ๋ย	30
ตารางที่ 4.1	คุณลักษณะของวัสดุหมักเริ่มต้น	31
ตารางที่ 4.2	คุณลักษณะของวัสดุหมักผสมเริ่มต้น	32
ตารางที่ 4.3	ความชื้นในกองปุ๋ยแต่ละสัปดาห์ และความถี่ในการรดน้ำของถังควบคุมและถังทดลอง	38
ตารางที่ 4.4	การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุหมักเริ่มต้นและปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์แล้ว	42
ตารางที่ ค 1.1	ความสูงของตัวอย่างปุ๋ยในถังควบคุม	54
ตารางที่ ค 1.2	ความสูงของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 1	56
ตารางที่ ค 1.3	ความสูงของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 2	58
ตารางที่ ค 2.1(1)	อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังควบคุมที่ระดับความสูง 70 เซนติเมตร	60
ตารางที่ ค 2.1(2)	อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังควบคุมที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร	61
ตารางที่ ค 2.1(3)	อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังควบคุมที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร	65
ตารางที่ ค 2.2(1)	อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 1 ที่ระดับความสูง 70 เซนติเมตร	69
ตารางที่ ค 2.2(2)	อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 1 ที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร	70
ตารางที่ ค 2.2(3)	อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 1 ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ค 2.3(1) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 2 ที่ระดับความสูง 70 เซนติเมตร 78
ตารางที่ ค 2.3(2) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 2 ที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร 80
ตารางที่ ค 2.3(3) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 2 ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร 84
ตารางที่ ค 3.1 ค่าความชื้นระหว่างการหมักปุ๋ยของถังควบคุม 88
ตารางที่ ค 3.2 ค่าความชื้นระหว่างการหมักปุ๋ยของถังทดลองที่ 1 89
ตารางที่ ค 3.3 ค่าความชื้นระหว่างการหมักปุ๋ยของถังทดลองที่ 2 90
ตารางที่ ค 4.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่างการหมักปุ๋ยของถังควบคุม 91
ตารางที่ ค 4.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่างการหมักปุ๋ยของถังทดลองที่ 1 92
ตารางที่ ค 4.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่างการหมักปุ๋ยของถังทดลองที่ 2 93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

		หน้า
รูปที่ 2.1	โซ่อาหารในกองปุ๋ยหมัก	5
รูปที่ 2.2	ระบบ Aerated Static Pile Composting ที่มี Screen Filter	17
รูปที่ 2.3	ค่าอุณหภูมิในกองปุ๋ยอายุ 5 วัน และ การแทนที่ของอากาศภายในกองปุ๋ย	18
รูปที่ 2.4	รูปแบบของวิธีการหมัก	19
รูปที่ 3.1	องค์ประกอบของถังหมักปุ๋ยโดยวิธีดั้งเดิม	24
รูปที่ 3.2	องค์ประกอบของถังหมักปุ๋ยโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน โดยใช้ท่อเติมอากาศขนาดใหญ่	25
รูปที่ 3.3	องค์ประกอบของถังหมักปุ๋ยโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน โดยใช้ท่อเติมอากาศขนาดเล็ก	26
รูปที่ 3.4	จุดวัดอัตราการยุบตัวของปุ๋ยทั้ง 4 จุด	28
รูปที่ 4.1	การเปลี่ยนแปลงระดับความสูงของกองปุ๋ยในระหว่างการหมัก	33
รูปที่ 4.2	ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังควบคุม	34
รูปที่ 4.3	ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังทดลองที่ 1	35
รูปที่ 4.4	ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังทดลองที่ 2	36
รูปที่ 4.5	ปริมาณความชื้นในกองปุ๋ยหมัก	39
รูปที่ 4.4	การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง ของปุ๋ยในถังหมัก	40
รูปที่ ก.1	การแบ่งวัสดุหมักออกเป็น 4 ส่วน (Quartering)	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันน้ำทิ้งจากชุมชนเป็นหนึ่งในแหล่งกำเนิดสำคัญที่ก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำ เนื่องจากการเพิ่มจำนวนประชากรอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีการใช้น้ำเพิ่มมากขึ้น โดยทั่วไปน้ำเสียชุมชนมีปริมาณร้อยละ 80 ของปริมาณน้ำใช้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2549) ทำให้เกิดน้ำทิ้งจำนวนมากเกินขีดความสามารถที่ จุลินทรีย์ในธรรมชาติจะย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำทิ้งได้ทันเวลา จึงจำเป็นต้องมีการบำบัดน้ำทิ้งให้มีคุณภาพดีก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยทั่วไปนิยมใช้ ระบบตะกอนเร่ง (Activated sludge) ในการบำบัดน้ำเสียชุมชน ซึ่งระบบนี้ก่อให้เกิดกากตะกอนที่ได้จากการบำบัดจำนวนมาก จากการที่องค์ประกอบของกากตะกอนส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์จึงสามารถใช้เป็นวัสดุเริ่มต้นในการผลิตปุ๋ยหมัก อย่างไรก็ตาม การผลิตปุ๋ยหมักต้องมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ที่เหมาะสม ดังนั้นจึงต้องเติมวัสดุหมักร่วมที่มีปริมาณคาร์บอนสูง ได้แก่ ผักตบชวา การหมักปุ๋ยโดยทั่วไปต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายด้าน เช่น ความชื้น อุณหภูมิ ปริมาณอากาศ และการระบายอากาศ นอกจากนี้ ต้องใช้เวลานานในการหมักปุ๋ยให้มีประสิทธิภาพที่ดี การผลิตปุ๋ยหมักโดยทั่วไปมักใช้วิธีการกลับกองปุ๋ยเพื่อเติมอากาศให้แก่กองปุ๋ย ช่วยให้จุลินทรีย์ชนิดที่ใช้ออกซิเจนสามารถย่อยสลายสารอินทรียวัตถุได้ดีขึ้น รวมทั้งต้องมีการรดน้ำเพื่อเพิ่มความชื้นให้เหมาะกับการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ ซึ่งเป็นการยุ่งยาก นอกจากนี้ การหมักปุ๋ยโดยวิธีทั่วไปเป็นระบบเปิด ดังนั้นจึงเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรคหรือสัตว์ที่เป็นพาหะของโรคต่าง ๆ ได้แก่ แมลงวัน แมลงสาป และหนู

การหมักปุ๋ยโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน เป็นการหมักปุ๋ยโดยอาศัยหลักการอากาศร้อนภายในกองปุ๋ยจะลอยตัวสูงขึ้น จากนั้นอากาศที่เย็นกว่าจากภายนอกจะไหลเข้าแทนที่ เป็นการเติมอากาศให้แก่กองปุ๋ยโดยไม่ต้องใช้พลังงาน และยังลดความถี่ในการเติมน้ำในกองปุ๋ย เนื่องจากไอน้ำจะควบแน่นกลับลงสู่กองปุ๋ย จึงเป็นการสะดวก และลดค่าใช้จ่ายในการหมักปุ๋ยให้สมบูรณ์

โครงงานพิเศษนี้ ศึกษาการทำปุ๋ยหมักโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันโดยใช้กากตะกอนจากน้ำเสียชุมชนและผักตบชวาเป็นวัสดุหมักโดยศึกษาผลของขนาดของท่อเติมอากาศต่อประสิทธิภาพในการหมักปุ๋ยของถังหมักที่เติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาผลของขนาดท่อเติมอากาศต่อประสิทธิภาพการหมักปุ๋ยโดยวิธีการเติมอากาศแบบซิมนีย์คอนเวคชัน

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนและผักตบชวาให้มีค่าอัตราส่วนของสารคาร์บอนต่อไนโตรเจนในช่วง 20:1 ถึง 25:1

2. ศึกษาประสิทธิภาพของการหมักปุ๋ยจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชนและผักตบชวาด้วยวิธีเติมอากาศแบบซิมนีย์คอนเวคชัน โดยใช้ท่อเติมอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.50 เซนติเมตร และ 4.50 เซนติเมตร เปรียบเทียบกับวิธีหมักปุ๋ยแบบกลับกอง ปัจจัยที่ศึกษา ได้แก่

- ระยะเวลาในการทำปุ๋ยหมัก
- ความสะดวกในการทำงาน
- กลิ่นที่เกิดในระหว่างการทำปุ๋ยหมัก
- ประสิทธิภาพการหมักปุ๋ย ได้แก่ อัตราการยุบตัว อุณหภูมิของปุ๋ยหมัก ความชื้นของปุ๋ยหมัก
- คุณภาพของปุ๋ยหมัก ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด ปริมาณไนเทรต-ไนโตรเจน ปริมาณอินทรียคาร์บอน และ ค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วิธีการหมักปุ๋ยหมักที่สะดวก และรวดเร็ว
2. ได้ปุ๋ยหมักจากกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน และผักตบชวา
3. เป็นการลดปริมาณของเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี และ หลักการ

ปุ๋ยหมัก คือ ปุ๋ยอินทรีย์ หรือปุ๋ยธรรมชาติชนิดหนึ่งที่ได้มาจากการนำเอาเศษซากพืช เช่น ฟางข้าว ซังข้าวโพด ต้นถั่วต่างๆ หญ้าแห้ง ผักตบชวา ของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตลอดจนขยะมูลฝอยตามบ้านเรือนมาหมักร่วมกับมูลสัตว์ ปุ๋ยเคมีหรือสารเร่งจุลินทรีย์เมื่อหมักโดยใช้ระยะเวลาหนึ่งแล้ว เศษพืชจะเปลี่ยนสภาพจากของเดิมเป็นผงเปื่อยยุ่ยสีน้ำตาลปนดำนำไปใส่ในไร่นาหรือพืชสวน เช่น ไม้ผล พืชผัก หรือไม้ดอกไม้ประดับได้

2.1 การผลิตปุ๋ยหมัก

2.1.1 กระบวนการเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์โดยกระบวนการทางชีวภาพในการผลิตปุ๋ยหมัก โดยมีขั้นตอนของกระบวนการเปลี่ยนรูปดังนี้

(1) กระบวนการที่เปลี่ยนรูปสารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่สูงกว่าโดยใช้เอนไซม์ไปเป็นสารที่เหมาะสำหรับเป็นแหล่งพลังงานและเนื้อเยื่อของเซล ตัวอย่าง เช่น กระบวนการไฮโดรไลซีส (hydrolysis)

(2) กระบวนการเปลี่ยนรูปโดยแบคทีเรียเกิดขึ้นต่อเนื่องจากขั้นตอนแรกได้สารประกอบที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำกว่าเดิม (lower-molecular-mass intermediate compounds)

(3) กระบวนการเปลี่ยนรูปโดยแบคทีเรียต่อจากขั้นตอนที่ 2 ได้ก๊าซมีเทน และคาร์บอนไดออกไซด์เป็นสารหลัก Biological pathways ในขั้นตอนของ methanogenesis ดังสมการ 2.1 – 2.6

$$4H_2 + CO_2 \longrightarrow CH_4 + 2H_2O \quad (2.1)$$

$$4HCOOH \longrightarrow CH_4 + 3CO_2 + H_2O \quad (2.2)$$

$$CH_3COOH \longrightarrow CH_4 + CO_2 \quad (2.3)$$

$$4CH_3OH \longrightarrow 3CH_4 + CO_2 + 2H_2O \quad (2.4)$$

$$4(CH_3)_3N + 6H_2O \longrightarrow 9CH_4 + 3CO_2 + 4NH_3 \quad (2.5)$$

$$4CO + 2H_2O \longrightarrow CH_4 + 3CO_2 \quad (2.6)$$

กระบวนการทางชีวภาพเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ในขยะให้เป็นสารอินทรีย์ที่เสถียรกว่าเดิมแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศ (Aerobic composting) และ การหมักแบบไร้อากาศของขยะที่มีปริมาณของแข็งต่ำ (Low-solid anaerobic digesting)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การเปลี่ยนรูปทางชีวภาพโดยกระบวนการใช้อากาศดังสมการ 2.7 (พรรษวรรณ, 2548)

$$\text{Organic} + O_2 \xrightarrow{\text{Aerobic Bacteria}} CO_2 + H_2O + NH_3 + \text{other end product} + \text{energy} \quad (2.7)$$

- การเปลี่ยนรูปทางชีวภาพโดยกระบวนการไม่ใช้อากาศดังสมการ 2.8 (พรรษวรรณ, 2548)

$$\underset{(C\ H\ O\ N)}{\text{Organic}} \xrightarrow{\text{Anaerobic Bact.}} CH_4 + NH_3 + H_2S + CO_2 + \text{other end product} + \text{energy} \quad (2.8)$$

การเปลี่ยนรูปโดยอาศัยอากาศเป็นกระบวนการที่มีความยุ่งยากน้อยกว่า และ ปล่อยพลังงานความร้อนออกมามากกว่า ทำให้อัตราย่อยสลายเร็ว นิยมใช้กับขยะอินทรีย์ปริมาณมาก ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนรูปโดยไม่อาศัยอากาศจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ และ เกิดกลิ่นเหม็นของพวกเมอร์แคปเทน และ ซัลไฟด์ ดังนั้นการเปลี่ยนรูปโดยอาศัยอากาศเป็นการใช้ออกซิเจนเปลี่ยนรูป และ สามารถลดปริมาตรของสารอินทรีย์ในขยะได้อย่างมีนัยสำคัญ

แอมโมเนียที่เกิดจากการทำปุ๋ยโดยผ่านกระบวนการใช้อากาศโดย (สมการที่ 2.7) จะถูกออกซิไดซ์ต่อ ดังสมการที่ 2.9 - 2.11 (พรรษวรรณ, 2548)

$$NH_3 + 3/2\ O_2 \xrightarrow{\text{Nitrosomonas}} NO_2^- + 2H^+ + H_2O \quad (2.9)$$

$$NO_2^- + 1/2O_2 \xrightarrow{\text{Nitrobactor}} NO_3^- \quad (2.10)$$

$$NH_4^+ + 2O_2 \xrightarrow{\text{Bacteria}} NO_3^- + 2H^+ + H_2O \quad (2.11)$$

นอกจากนี้ NH_4^+ ยังถูกนำไปใช้สังเคราะห์เซลล์จุลินทรีย์ ดังสมการที่ 2.12 - 2.13 (พรรษวรรณ, 2548)

$$NH_4^+ + 4\ CO_2 + HCO_3^- + H_2O \longrightarrow C_3H_7O_2N + 5\ O_2 \quad (2.12)$$

$$22\ NH_4^+ + 37\ O_2 + 4\ CO_2 + HCO_3^- \longrightarrow 21\ NO_3^- + C_5H_7O_2N + 20\ H_2O + 42\ H^+ \quad (2.13)$$

ไนตริไฟอิงแบคทีเรียมี 2 พวก คือ Nitrosomonas และ Nitrobactor มีอัตราการเจริญเติบโตช้า และ ไม่ว่องไวที่อุณภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส และจะว่องไวอีกครั้งหนึ่งปฏิกริยาการย่อยสลายเกิดขึ้นสมบูรณ์ซึ่งจะในรูป NO_3^- ที่พืชนำไปใช้ได้ง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ และ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกองปุ๋ยที่เวลาต่าง ๆ แบ่งเป็น 4 ระยะ ได้แก่ (พรรษวรรณ, 2548)

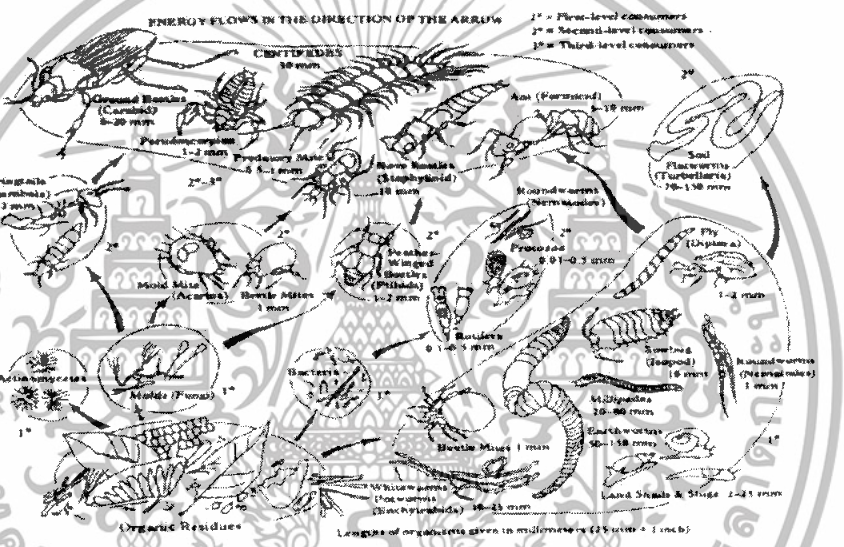
1. Latent phase

2. Growth phase

3. Thermophilic phase

4. Maturation phase ระยะนี้อุณภูมิจะลดลงไปอยู่ในช่วง Mesophilie และ ที่อุณหภูมิปกติมีการหมักช่วงที่สองเกิดขึ้นแทนทีอย่างช้า ๆ และมีกลิ่นของกรดอินทรีย์ที่เปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ที่ซับซ้อนไปเป็นคอลลอยด์กับแร่ธาตุ (เหล็ก, แคลเซียม, ไนโตรเจน เป็นต้น) และ เปลี่ยนเป็นฮิวมัส

2.1.3 การทดแทนทางชีววิทยา (biological succession)



รูปที่ 2.1 โซ่อาหารในกอง compost ที่มา: Polprasert (1996)

2.2 หลักการออกแบบในการทำปุ๋ยหมัก (พิทยากร, 2546)

1. ขนาดของขยะที่ใช้ มักจะผ่านกระบวนการตัดให้มีขนาดเล็กกว่า 5 เซนติเมตร เพื่อเพิ่มความหนาแน่นรวม (Bulk density) เพิ่มความเสียดทานภายใน และคุณลักษณะของการไหลเพิ่มแรงฉุดของวัสดุ และอัตราของปฏิกิริยาชีวเคมีในกระบวนการหมัก

2. อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) มีความสำคัญที่สุดในการเตรียมวัสดุหมักค่าที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 25:1 (พิทยากร , 2546)

3. การเติมเชื้อ (seeding) เป็นการเติมจุลินทรีย์เพื่อช่วยการย่อยสลายให้ดีขึ้น และมีอัตราการสลายที่เร็วขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม คือ 50-60% การปรับความชื้นให้เหมาะสมอาศัยผลที่ได้จากการผสมวัสดุที่มีความชื้นแตกต่างกัน และ การกลับกองหมัก (Mixing and Turning)

5. อุณหภูมิ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกองขยะเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic reaction) และเป็นเมทาโบลิซึมของการหายใจ อุณหภูมิช่วง Mesophilic 30-38 องศาเซลเซียส ส่วนในช่วง Thermophillic 55-60 องศาเซลเซียส

6. การควบคุมเชื้อโรคที่เกิดขึ้น

7. ความต้องการอากาศ

8. การควบคุมความเป็นกรดเป็นด่าง หรือ ค่าพีเอช ในกรณีที่การถ่ายเทของอากาศไม่ดีจะเกิดสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic conditions) ค่าพีเอชจะลดลงถึง 4.5 ทำให้กระบวนการชะงัก หรือ ช้าลง

9. การควบคุมกลิ่นที่เกิดขึ้น กลิ่นที่ได้ คือ กรดอินทรีย์เนื่องจากมีกระบวนการหมักแบบไม่ใช้อากาศขึ้น แก้ไขโดยการลดขนาดของขยะลง หรือ แยกขยะที่ไม่สามารถย่อยสลายโดยกระบวนทางชีวภาพออก เช่น พลาสติก โลหะ เป็นต้น

10. ความต้องการพื้นที่ในการทำงานมาก ตัวอย่างเช่น Windrow Composting มีความต้องการพื้นที่ 2.5 เอเคอร์ สำหรับโรงงานที่มีกำลังผลิต 50 ตัน ต่อวัน ทั้งนี้พื้นที่ 1.5 เอเคอร์จะเสียไป กับอาคารโรงเรือนของเครื่องมือ และ ถนน

2.3 ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก

กระบวนการย่อยสลายนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ค่าเป็นกรดเป็นด่าง คุณสมบัติทางเคมี และกายภาพของวัสดุแต่ละชนิด นอกจากนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ รวมถึงปริมาณของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งมีผลต่อการย่อยสลายสารประกอบต่าง ๆ ภายในกองปุ๋ยหมักด้วย สำหรับปัจจัยของสภาพแวดล้อมที่มีส่วนสำคัญต่อกระบวนการย่อยสลาย สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. ชนิดเชื้อจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก

กระบวนการย่อยสลายภายในกองปุ๋ยหมักจนได้ปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์นั้น เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์หลายชนิดประกอบกัน ซึ่งสามารถแบ่งจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกองปุ๋ยหมักออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ เชื้อรา แบคทีเรีย และ แอคติโนมัยซีส ในกองปุ๋ยหมักจะตรวจพลเชื้อราอยู่เสมอ แต่ชนิดและปริมาณของเชื้อราจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมัก ความชื้น และอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม การที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นและมีความชื้นสูงเป็นสภาพที่เหมาะสมต่อแบคทีเรียมากกว่าเชื้อรา ดังนั้น จึงมักตรวจพบเชื้อราได้ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 65 องศาเซลเซียส จะไม่พบการเจริญของเชื้อรา (พิทยากร, 2546)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก

เป็นค่าที่ใช้บ่งบอกความยากง่ายต่อการย่อยสลาย และ ใช้เป็นตัวกำหนดระดับการเป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ ถ้าวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักมีค่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาก ๆ ในสภาพเช่นนี้ เชื้อจุลินทรีย์จะใช้สารประกอบคาร์บอนในรูปแบบต่าง ๆ เป็นแหล่งของพลังงานและเจริญเติบโต ในขณะเดียวกันเชื้อจุลินทรีย์ก็ต้องใช้สารประกอบไนโตรเจนด้วย แต่สารประกอบไนโตรเจนมีปริมาณน้อยจึงเป็นปัจจัยที่จำกัดการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ทำให้กิจกรรมในการย่อยสลายเกิดช้า การใช้วัสดุที่มีค่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนประมาณ 25:1 ค่อนข้างเหมาะสมต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ จะทำให้กระบวนการย่อยสลายภายในกองปุ๋ยหมักจะเกิดได้รวดเร็ว (พิทยากร , 2546) ดังนั้น อาจจะต้องมีการเติมสารประกอบไนโตรเจนในรูปของปุ๋ยเคมีหรือสารอินทรีย์ที่มีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่มาก เช่น มูลสัตว์ กากเลือดป่น ซากพืชตระกูลถั่ว ตารางที่ 2.1 เป็นค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุไนโตรเจนที่มีอยู่ในวัสดุชนิดต่าง ๆ ที่สามารถนำมาเป็นส่วนผสมในการทำปุ๋ยหมัก ทำให้อัตราส่วนสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงขึ้น

นอกจากนี้ อัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนยังใช้ในการพิจารณาว่าวัสดุที่นำมาย่อยสลายแปรสภาพเป็นปุ๋ยหมักสมบูรณ์หรือยัง โดยค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน ที่ใช้เป็นตัวกำหนดการเป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ คือ 20:1 ซึ่งเมื่อนำปุ๋ยหมักดังกล่าวไปใส่ในดินจะไม่ก่อให้เกิดผลเสียต่อพืช (พิทยากร, 2546)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 ค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุไนโตรเจนที่มีอยู่ในวัสดุชนิดต่าง ๆ (ธงชัย, 2546)

ชนิดของวัสดุ	ปริมาณธาตุไนโตรเจน (กิโลกรัม ต่อ วัสดุแห้ง 100 กิโลกรัม)
ตะกอนน้ำเสีย	2.0-6.0
มูลเป็ด - ไก่	3.5-5.0
มูลสุกร	3
ต้นถั่วต่าง ๆ	2.0-3.0
ผักตบชวา	2.2-2.5
มูลม้า	2
มูลวัว – ควาย	1.2 – 2.0
เปลือกถั่วลิสง	1.6 – 1.8
ต้นฝ้าย	1.0-1.5
ต้นข้าวฟ่าง	1
ต้นข้าวโพด	0.7-1.0
ใบไม้แห้ง	0.4-1.5
ฟางข้าว	0.4-0.6
หญ้าแห้ง	0.3-2.0
กาบมะพร้าว	0.5
แกลบ	0.3-0.5
กากอ้อย	0.3-0.4
ขี้เลื่อยเก่า	0.2
ขี้เลื่อยใหม่	0.1
เศษกระดาษ	แทบไม่มี

3. ขนาดของวัสดุ

ขนาดของเศษวัสดุที่แตกต่างกันมีส่วนสำคัญต่อกระบวนย่อยสลาย ถ้าเป็นวัสดุที่มีขนาดเล็ก การผสมคลุกเคล้าทำได้ทั่วถึง พื้นที่ผิวสัมผัสมีมาก ดังนั้นโอกาสที่จะถูกย่อยสลายจึงมีมากกว่า แต่ขนาดเล็กเกินไปก็อาจจะทำให้ลดอัตราการระบายอากาศของก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้น จึงควรจะมีช่องว่างเพียงพอในการระบายอากาศ ซึ่งขนาดที่พอเหมาะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของวัสดุหมักควรจะมีขนาดความยาวของแต่ละชิ้นส่วน ประมาณ 5 เซนติเมตรหรือเล็กกว่า (พิทยากร, 2546) สำหรับวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าการผสมคลุกเคล้าจะทำได้ไม่ทั่วถึง และการดำเนินการค่อนข้างลำบาก ดังนั้น การกองปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุขนาดใหญ่จึงควรจะกองเป็นชั้น ๆ และ เมื่อถึงเวลากลับกองปุ๋ยหมักก็จะเป็นการช่วยผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันดียิ่งขึ้น

4. อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก

อุณหภูมิที่เหมาะสมเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในกระบวนการย่อยสลาย อุณหภูมิที่สูงเกินไป จะมีผลชะงักการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้การย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ลดลง ซึ่งหลังจากเริ่มหมักปุ๋ยหมัก 2-4 วัน พบว่า อุณหภูมิภายในจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วถึง 50-60 องศาเซลเซียสหรือมากกว่า เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ปลดปล่อยจากกระบวนการย่อยสลายและสมบัติการเก็บความร้อนของวัสดุเหลือใช้ที่เป็นสารอินทรีย์ ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นแพร่กระจายออกจากกองปุ๋ยหมักได้ไม่ดี ในช่วงแรกของการเพิ่มอุณหภูมิ พบว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในกองปุ๋ยหมักจะย่อยสลายสารประกอบที่ย่อยสลายได้ง่ายอย่างรวดเร็ว ซึ่งจุลินทรีย์พวกนี้มีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ การที่มีอุณหภูมิสูงมากเกินไป จะมีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์บางชนิดภายในกองปุ๋ยทำให้กระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ช้าลง เมื่ออัตราการย่อยสลายเกิดช้าลง อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักก็จะลดลง จนถึงระดับที่เหมาะสมต่อเชื้อจุลินทรีย์ที่มีบทบาทต่อกระบวนการย่อยสบาย อัตราการย่อยสลายจะเกิดเร็วขึ้น ดังนั้น การที่อุณหภูมิกองปุ๋ยหมักสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส มักพบว่าการย่อยสลายจะเกิดขึ้นช้า เนื่องจากความร้อนไปยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดที่มีบทบาทต่อการย่อยสลาย ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายวัสดุมีค่าประมาณ 55 องศาเซลเซียสเชื้อจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายในช่วงอุณหภูมิสูง (40-60 องศาเซลเซียส) ได้แก่ พวกทนอุณหภูมิ (Thermotolerant) และชอบอุณหภูมิสูง (Thermophile) หลังจากที่อุณหภูมิถึงจุดสูงสุดแล้วก็จะค่อย ๆ ลดลงจนถึงระดับอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 40-45 องศาเซลเซียส เชื้อจุลินทรีย์พวกที่ชอบ อุณหภูมิปานกลาง (Mesophile) สามารถเจริญเพิ่มจำนวนมากขึ้นและจะย่อยสลายสารอินทรีย์บางชนิดต่อไปจนกระทั่งอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงถึงระดับที่ปุ๋ยหมักนำไปใช้ได้ (พิทยากร , 2546)

5. ความชื้นภายในกองปุ๋ยหมัก

เป็นค่าบ่งบอกปริมาณน้ำซึ่งจำเป็นต่อการดำรงชีวิต และการเจริญของจุลินทรีย์ รวมถึงการดำเนินปฏิกิริยาต่าง ๆ ในการย่อยสลาย การย่อยสลายสารประกอบบางชนิดภายนอกเซลล์ โดยเชื้อจุลินทรีย์จะปลดปล่อย Extracellular enzyme ออกมาย่อยสลาย ดังนั้น จะต้องมีปริมาณน้ำที่เพียงพอสำหรับการดำเนินปฏิกิริยาดังกล่าว ลักษณะของวัสดุเหลือใช้ที่มีความหนาแน่นแตกต่างกันมีผลต่อความชื้นที่เหมาะสมในการย่อยสลายสารอินทรีย์ เช่น วัสดุที่มีความหนาแน่นมาก จะมีปริมาณความชื้นที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายประมาณ 50-60% (โดยน้ำหนัก) แต่ในพวกที่เป็นเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใย และมีความหนาแน่นต่ำ พบว่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมอาจจะต้องสูงมากขึ้นถึง 80-85% (พิทยากร, 2546)

6. การระบายอากาศในกองปุ๋ยหมัก

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนในกองปุ๋ยหมัก โดยกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ในสภาพที่ต้องการอากาศ (Aerobic composting) จัดเป็นปฏิกิริยาประเภท Biological oxidation ซึ่งปัจจัยที่สำคัญ คือ ก๊าซออกซิเจน ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็คตรอนที่ส่งถ่ายมาจากระบบ Respiratory chain ในเซลล์ของจุลินทรีย์ ดังนั้น การระบายอากาศภายในกองปุ๋ยหมักจึงจำเป็นต่อการเพิ่มปริมาณออกซิเจน เพื่อไม่ให้เป็นปัจจัยจำกัดต่อกระบวนการย่อยสลาย ลักษณะการแพร่กระจายของออกซิเจนในกองปุ๋ยหมักเป็นแบบ Gradient คือ บริเวณผิวนอกจะมีปริมาณออกซิเจนมาก และ ลดลงเมื่อลึกลงไปกลางกองปุ๋ยหมัก การกลับกองปุ๋ยหมักช่วยให้ปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นจาก 10.1% เป็น 18% อัตราการใช้ก๊าซออกซิเจนมีปฏิภาคโดยตรงต่อระดับของอุณภูมิในกองปุ๋ยหมัก (พิทยากร, 2546) กล่าวคือ ในสภาพที่มีออกซิเจนเพียงพอ เชื้อจุลินทรีย์จะนำออกซิเจนไปใช้อย่างไม่ขาดแคลน ทำให้อัตราการย่อยสลายเกิดอย่างรวดเร็ว และจะปล่อยจากความร้อนจากการย่อยสลายทำให้อุณภูมิเพิ่มขึ้น

7. ความเป็นกรดเป็นด่าง หรือ ค่าพีเอช

การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักพบว่าในช่วง 3 วันแรก ค่าพีเอชจะลดลงจากเดิมเหลือ 5.3-5.7 และ เพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ส่วนในช่วงหลังค่าพีเอชไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนัก คือ อยู่ในช่วง 7.0-8.5 การลดลงของค่าพีเอช 2-3 วันแรกของการหมักปุ๋ยหมักเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์หลายชนิดย่อยสลายสารประกอบที่ย่อยสลายได้ง่ายและรวดเร็ว และผลิตกรดอินทรีย์บางชนิด โดยทั่วไปวัสดุที่มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 3.0 ถึง 11.0 สามารถนำมาทำปุ๋ยหมักได้ แต่ค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วงประมาณ 5.5 ถึง 8.0

2.4 หลักในการพิจารณาปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว

โดยทั่วไปมักจะมีปัญหาอยู่เสมอว่าวัสดุที่เหลือใช้ที่นำมาทำปุ๋ยหมักนั้นเสร็จสมบูรณ์พร้อมที่จะใส่ลงในดินแล้วหรือยัง ข้อกำหนดในการที่จะบ่งบอกว่าเป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์คือ ค่าอัตราส่วนสารประกอบของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุควรมีค่าเท่ากับหรือต่ำกว่า 20:1 (ธงชัย, 2546) ซึ่งค่าของอัตราส่วนสารประกอบของคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ระดับดังกล่าว เมื่อใส่ปุ๋ยหมักลงในดินแล้วจะไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อพืช สำหรับหลักเกณฑ์ในการพิจารณาปุ๋ยหมักที่มีการย่อยสลายที่สมบูรณ์ และสะดวกต่อการปฏิบัติในภาคสนาม ดังแสดงในตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 หลักในการพิจารณาปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว (ธงชัย, 2546)

หลักในการพิจารณา	ลักษณะที่เหมาะสมของปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว
1. สีของวัสดุเศษพืชหลังจากเป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์	สีน้ำตาลเข้มจนถึงสีดำ
2. ลักษณะของวัสดุเศษพืชที่เป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์	อ่อน นุ่ม ยุ่ย ขาดออกจากกันได้ง่าย
3. กลิ่น	ไม่มีกลิ่นเหม็น
4. อุณหภูมิในกองปุ๋ย	ลดลงจนกระทั่งใกล้เคียงกับอุณภูมิภายนอก
5. ลักษณะพืชที่เจริญบนกองปุ๋ย	อาจมีพืชเจริญบนกองปุ๋ยหมักได้
6. อัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน	เท่ากับ หรือ ต่ำกว่า 20:1

2.5 คุณภาพ และมาตรฐานที่ดีของปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมักที่ทำจากวัสดุเหลือใช้ต่าง ๆ จะมีคุณสมบัติบางประการแตกต่างกัน ดังนั้น ทางโครงการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุจึงได้กำหนดคุณภาพและมาตรฐานสำหรับพิจารณาหลักเกณฑ์ของปุ๋ยหมักที่ดี และเมื่อใส่ลงในดินแล้วไม่ทำให้พืชเป็นอันตราย ซึ่งแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 คุณภาพ และ มาตรฐานที่ดีของปุ๋ยหมัก (ธงชัย, 2546)

พารามิเตอร์	มาตรฐานที่ดีของปุ๋ยหมัก
ค่าการนำไฟฟ้า	ไม่เกิน 2 dS/m
อัตราส่วนสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)	เท่ากับ หรือ ต่ำกว่า 20:1
% ของ N , P , K	0.5 - 0.2 - 0.8 %
ความชื้น	35 - 40 % โดยน้ำหนัก
ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	25 - 50 % โดยน้ำหนัก
ค่าความเป็นกรด - ด่าง	7.0 - 8.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก

1. ช่วยทำให้ดินร่วนซุย ช่วยเชื่อมอนุภาคของดินให้เกาะกันเป็นก้อนเล็กก้อนน้อย ทำให้ดินมีช่องว่างเพิ่มขึ้นมีการถ่ายเทอากาศ และการระบายน้ำในดินดีขึ้น

2. ช่วยเพิ่มปริมาณอินทรียวัตถุให้แก่ดินและธาตุอาหารของพืช ซึ่งสลายตัวมาจากวัสดุอินทรีย์ที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก ช่วยเปลี่ยนสภาพของดินจากดินเหนียวหรือดินทราย ให้เป็นดินร่วน ทำให้สะดวกในการไถพรวน

3. ช่วยเพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน รักษาความชุ่มชื้นในดินได้ดีขึ้น

4. ช่วยให้ดินสามารถดูดซับธาตุอาหารพืชไว้ได้มาก ดังนั้น ดินที่มีอินทรียวัตถุสูงจึงสามารถใส่ปุ๋ยได้มาก ขณะที่ดินทรายหรือดินเนื้อหยาบที่มีอินทรียวัตถุน้อย จะต้องใส่ทีละน้อย ๆ แต่บ่อยครั้ง

5. ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ยเคมี และสามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้

6. ช่วยกระตุ้นให้ธาตุอาหารพืชบางอย่างในดินที่ละลายน้ำยาก ให้ละลายน้ำง่าย และเป็นอาหารแก่พืชได้ดีขึ้น

7. ไม่เป็นอันตรายต่อดิน แม้จะใช้ในปริมาณมาก และใช้ติดต่อกันเป็นเวลานาน

8. ช่วยลดการจับตัวเป็นแผ่นแข็งของหน้าดิน ทำให้การงอกของเมล็ดหรือการซึมของน้ำลงไปในดินสะดวกขึ้น ตลอดจนช่วยลดการไหลบ่าของน้ำเวลาฝนตก

9. ช่วยรักษาสภาพแวดล้อมโดยเป็นการนำเศษวัสดุทางการเกษตรที่เหลือทิ้งแล้วกลับมาใช้เป็นประโยชน์ได้อีก

2.7 วัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก

การแปรสภาพไปเป็นปุ๋ยหมักจะเร็วหรือช้า ขึ้นอยู่กับวัตถุดิบเริ่มต้น วัสดุใช้ในการทำปุ๋ยหมักนั้น ส่วนใหญ่มักเป็นวัสดุเหลือใช้ประเภทต่าง ๆ ซึ่งสามารถจำแนกเป็นแหล่งใหญ่ดังนี้

2.7.1 วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ดังนั้น จึงมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอยู่ทั่วไป และ หลายรูปแบบ จะเห็นได้ว่าพื้นที่ที่ใช้ในการปลูกข้าวมีประมาณ 73 ล้านไร่ ในขณะที่เนื้อที่อีกประมาณ 47 ล้านไร่ ใช้ในการเพาะปลูกพืชอื่น ๆ (ธงชัย , 2546) ดังนั้นฟางข้าวจึงเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีปริมาณมาก และ เหมาะสมที่จะนำมาทำปุ๋ยหมัก นอกจากนี้ส่วนของลำต้นใบ และ เปลือกของพืชชนิดอื่น ๆ สามารถนำมาทำปุ๋ยหมักได้ เช่น ต้นข้าวโพด ซังข้าวโพด ต้น และ เปลือกถั่วชนิดต่าง ๆ และ เศษต้นอ้อย เป็นต้น

2.7.2 วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม

ประเทศไทยกำลังพัฒนาเพื่อเพิ่มผลผลิตทางด้านอุตสาหกรรมให้สอดคล้องกับผลผลิตทางด้านเกษตรกรรม โดยการแปรรูปผลผลิตเหล่านี้ให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ทำให้เกิดวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรมากมายหลายชนิด เช่น การอ้อยจาก โรงงานน้ำตาล แกลบจากโรงสีข้าว ขี้เลื่อยจากโรงเลื่อยไม้เพื่อแปรรูปไม้ ขุยมะพร้าวจากโรงงานบางประเภท เป็นต้น อย่างไรก็ตาม วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสหกรรมที่นิยมใช้ในการผลิตปุ๋ยหมักระดับอุตสหกรรม ได้แก่ กากอ้อย เนื่องจากมีปริมาณมากกว่าวัสดุประเภทอื่น และ คุณสมบัติต่าง ๆ เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิต นอกจากวัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็งแล้ว ยังมีน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิดที่สามารถนำมาทำปุ๋ยหมักได้ โดยใช้แทนน้ำในการรักษาระดับความชื้นในกองปุ๋ยหมัก และ ยังเป็นแนวทางในการกำจัดน้ำทิ้งเหล่านี้ด้วย เช่น น้ำการส่าจากโรงงานผลิตแอลกอฮอล์ น้ำทิ้งจากโรงงานนผลิตผงชูรส น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง และ น้ำทิ้งจากโรงงานประกอบอาหาร และ ผลไม้กระป๋อง เป็นต้น

2.7.3 เศษอาหารจากบ้านเรือน

วัสดุเหลือใช้จากบ้านเรือนจะมีปริมาณขยะเศษอาหารในสัดส่วนที่มากกว่าชนิดอื่นซึ่งแสดงดังตารางที่ 2.4 ขยะดังกล่าวนี้เกิดขึ้นจากการเตรียม การปรุงอาหาร และ เศษอาหารที่เหลือจากการรับประทานจะมีส่วนประกอบของอินทรีย์วัตถุในปริมาณที่สูงมาก และ อินทรีย์วัตถุดังกล่าวมักจะเป็นพวกที่สลายตัวได้ง่าย ดังนั้น ถ้าขยะสดปล่อยทิ้งไว้นานเกินควรก็จะเกิดการเน่าเปื่อยส่งกลิ่นเหม็นรบกวน ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาของจุลินทรีย์นั่นเอง โดยปกติแล้วขยะจะมีปริมาณความชื้นปนมาด้วย 40 – 70 % และ ค่อนข้างจะมีน้ำหนักมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบ และ ปริมาณขยะมูลฝอยพื้นที่กรุงเทพมหานคร (ดัดแปลงจาก กรมควบคุมมลพิษ , 2546)

ประเภทของขยะมูลฝอย	**องค์ประกอบของขยะมูลฝอย (% โดยน้ำหนัก)**
เศษอาหาร	42.68
กระดาษ	12.09
พลาสติก	10.88
แก้ว	6.63
โลหะ	3.54
ยาง/หนัง	2.57
ผ้า	4.68
ไม้/ใบไม้	6.90
หิน/กระเบื้อง	3.93
อื่น ๆ	6.11

ปัจจุบันเทศบาลนครระยองได้นำขยะเศษอาหารจากบ้านเรือนไปใช้เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพ และ ปุ๋ยอินทรีย์ (http://www.rayongcity.com/data.php?content_id=47)

2.7.4 ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

ในกระบวนการผลิตสินค้าอุตสาหกรรมหลายชนิดจะมีน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์เป็นจำนวนมาก ซึ่งสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียเหล่านี้ สามารถแยกออกไปโดยการตกตะกอน หรือ การบำบัดโดยจุลินทรีย์ ซึ่งกากตะกอนน้ำเสียนี้มักจะอุดมไปด้วยธาตุอาหารพืชต่าง ๆ และ สามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้อย่างดี มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียมมาก แต่ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานบางประเภท เช่น โรงงานแบตเตอรรี่ โรงงานถลุงเหล็ก อาจจะมีโลหะหนักที่เป็นพิษต่อมนุษย์ และ สัตว์ปนเปื้อนในปริมาณที่ค่อนข้างสูง ดังนั้น การนำกากตะกอนเหล่านี้ไปทำปุ๋ยจึงควรตรวจสอบปริมาณของธาตุโลหะหนักที่ปนเปื้อน ถ้าพบโลหะหนักปริมาณสูงห้ามใช้เป็นปุ๋ยกับพืชที่มนุษย์บริโภค หรือ พืชอาหารสัตว์ แนะนำให้ใช้เป็นปุ๋ยสำหรับไม้ดอกไม้ประดับ หรือ เพื่อการผลิตในลักษณะการขยายพันธุ์ ซึ่งจะไม่ทำให้ธาตุโลหะหนักเหล่านี้ผ่านเข้าไปในห่วงโซ่อาหารของสัตว์ และ มนุษย์โดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.5 วัชพืช

วัชพืชบก และ วัชพืชน้ำหลายชนิดสามารถนำมาทำปุ๋ยหมัก เช่น หญ้ายาง หญ้าดองขาว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผักตบชวาที่ก่อให้เกิดปัญหาตามแม่น้ำลำคลอง การนำผักตบชวามาทำปุ๋ยหมัก จึงนับว่าเป็นแนวทางหนึ่งทางในการกำจัดวัชพืชที่ดี

2.8 รูปแบบการกองปุ๋ยหมัก

รูปแบบการกองและขนาดของกองปุ๋ยหมักจะใช้แบบใดก็ได้ขอให้สะดวกในการกอง ปฏิบัติและดูแลรักษา และเหมาะกับสภาพพื้นที่เป็นสำคัญ โดยถ้าหากมีเศษพืชมากก็กองขนาดใหญ่ ได้แต่ถ้ามีเศษพืชน้อยก็กองขนาดให้เล็กลงมาเท่าที่มีเศษพืชอยู่ ในที่นี้ขอแนะนำรูปแบบการกองปุ๋ยหมัก 3 รูปแบบคือ

1. กองบนพื้นดินธรรมดา วิธีนี้เป็นวิธีที่สะดวกและง่ายที่สุด เหมาะสำหรับสภาพพื้นที่ที่ราบเรียบไม่มีน้ำขังหรือน้ำท่วมถึง พื้นอาจเป็นพื้นดินธรรมดาหรือพื้นซีเมนต์ก็ได้ ขนาดของกองควรกว้าง 2-3 เมตร ความยาวไม่จำกัด โดยทั่วไปใช้ 4-6 เมตร ความสูงประมาณ 1-1.5 เมตร

2. กองในคอก วิธีนี้เหมาะสำหรับการกองไว้บริเวณบ้านเพื่อความสวยงามและกันสัตว์มาคุ้ยเขี่ยทำให้บ้านเรือนสะอาด เหมาะสำหรับเกษตรกรที่ต้องการทำปุ๋ยหมักเป็นการถาวรคือกองปุ๋ยหมักได้ตลอดทั้งปีในคอกนี้โดยลงทุนเพียงครั้งเดียวใช้ได้นานหลายปี โดยคอกที่สร้างอาจจะสร้างคอกด้วยไม้ อิฐบล๊อค หรือซีเมนต์ โดยสร้างคอกให้มีขนาด กว้างxยาวxสูง = 2x4x1 เมตร หรือ 3x6x1 เมตร และกองปุ๋ยหมักเพียง ¾ ของคอก ส่วนที่เหลือ ¼ ของคอกใช้สำหรับเป็นพื้นที่ในการกลับกองปุ๋ยหมัก

3. กองในหลุม วิธีนี้เหมาะสำหรับในพื้นที่ดอนหรือลาดเทเล็กน้อยและขาดแคลนน้ำ การกองปุ๋ยหมักในหลุมจะทำให้การระเหยของน้ำลดน้อยลงทำให้ลดการให้น้ำในระยะหลังจากที่กองเสร็จแล้ว หลุมอาจเป็นหลุมดินหรือหลุมซีเมนต์ โดยอาจจะกองหลุมเดียวหรือกองสองหลุมก็ได้ โดยขุดหลุมให้มีขนาด กว้างxยาวxลึก = 2 x 4 x 0.5 – 1.0 เมตร หรือ 3 x 6 x 1 เมตร กองปุ๋ยหมักเพียงครึ่งเดียว พื้นที่ส่วนที่เหลือสำหรับใช้ในการกลับกองปุ๋ยหมักกรณีกองหลุมเดียว ถ้ากองสองหลุมก็สามารถกองปุ๋ยหมักให้เต็มหลุมได้ ส่วนอีกหลุมหนึ่งใช้สำหรับในการกลับกองปุ๋ย

2.9 รูปแบบของวิธีการหมักขยะอินทรีย์

ในปัจจุบันมีการพัฒนาการหมักขยะอินทรีย์โดยนำเทคโนโลยี และ เครื่องจักรเข้ามาช่วยเร่งการทำงานของจุลินทรีย์ ส่งผลให้ขยะมูลฝอยซึ่งเป็นวัตถุดินในการย่อยสลายอย่างรวดเร็ว ทำให้ระยะเวลาที่ใช้หมักนั้นสั้นลงกว่าวิธีการตามธรรมชาติ การหมักขยะมูลฝอยให้เป็นปุ๋ยสามารถแบ่งวิธีการหมักปุ๋ยทั่ว ๆ ไป ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 Windrow Composting

เป็นวิธีการหมักโดยใช้ออกซิเจนตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นการนำขยะอินทรีย์มากองบนพื้นราบให้ได้ความสูงพอสมควรที่จะให้การระบายอากาศได้ดี เพื่อให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดได้ดี รวมทั้งเป็นการหมุนเวียนเอาวัสดุด้านนอกของกองที่ยังไม่สลายตัวให้เข้าไปรับความร้อนภายในกองและช่วยกำจัดหนอนตัวอ่อนของแมลงวันที่อาจเกิดขึ้นบริเวณขอบนอกของกองขยะ ขณะเดียวกันก็เป็นการผสมคลุกเคล้าวัสดุให้เข้ากัน มีความชื้นสม่ำเสมอทั้งกอง และ เป็นการเร่งปฏิกิริยา และ ป้องกันสภาวะการย่อยแบบไม่ใช้อากาศ

ข้อดี ง่ายต่อการออกแบบ ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเดินระบบมาก อีกทั้งประหยัดพลังงานเนื่องจากไม่มีอุปกรณ์ไฟฟ้า

ข้อเสีย

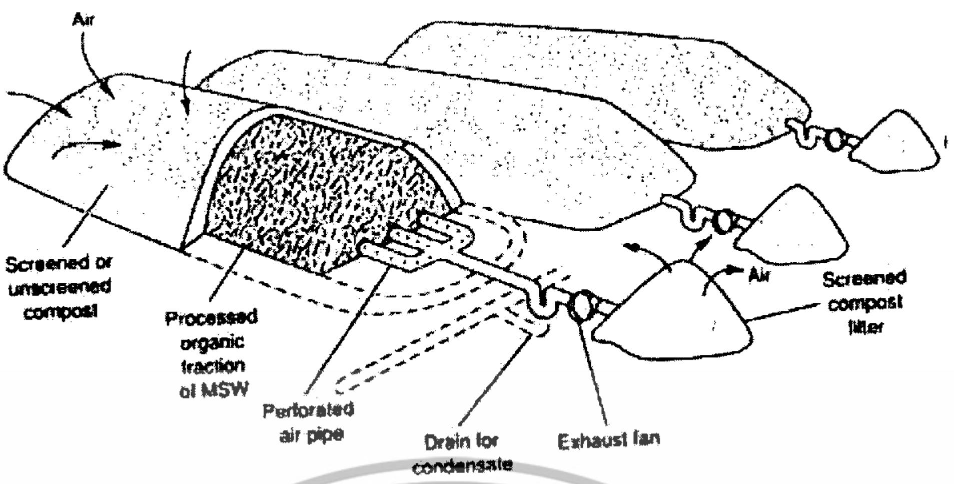
1. การผลิตปุ๋ยหมักสามารถทำได้ แต่กองปุ๋ยที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากถ้ากองปุ๋ยมีขนาดใหญ่ขยะมูลฝอยที่อยู่ข้างในอาจได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน
2. วิธีการหมักต้องใช้พื้นที่มาก
3. ยุ่งยากในการดำเนินงาน และ สิ้นเปลืองแรงงานอย่างมาก ต้องมีการกลับกองปุ๋ยอย่างสม่ำเสมอ
4. ใช้เวลาในการหมักนาน
5. เกิดกลิ่นเหม็น
6. เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมจากน้ำชะ

2.8.2 Aerated Pile Composting หรือ Passive Technique

การผลิตปุ๋ยหมักแบบระบบกองเติมอากาศคล้ายแบบแรก แต่รากฐานของกองปุ๋ยจะมีการระบายอากาศในกองได้ทั่วถึงโดยไม่ต้องพลิกกลับกองปุ๋ย เช่น การใช้ไม้ไผ่เจาะช่องระบายอากาศเรียงเป็นฐาน หรือการวางท่อเป่าอากาศใต้กองหมักดังรูปที่ 2.1 โดยใช้หลักการ คือเมื่อปุ๋ยโดนย่อยสลายจะเกิดความร้อนขึ้นภายในกองปุ๋ยหมักและความร้อนจะลอยตัวสูงขึ้น อากาศภายนอกที่เย็นกว่าก็จะไหลเข้ากองปุ๋ยทางด้านข้าง เท่ากับเป็นการเติมอากาศให้กับกองปุ๋ยตามธรรมชาติตลอดเวลาเรียกว่าปรากฏการณ์ Chimney Convection (Diaz et al. ,1993) ดังรูปที่ 2.2 และ เมื่อมีการเติมอากาศเพิ่มเติมแก่บริเวณกลางกองปุ๋ยเป็นครั้ง ๆ ด้วยพัดลมเติมอากาศ (blower) ก็จะทำให้ภายในกองปุ๋ยมีออกซิเจนในปริมาณที่เพียงพอต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ การย่อยสลายก็จะสามารถดำเนินไปได้อย่างรวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.2 ระบบ Aerated Static Pile Composting ที่มี Screen Filter (Tchobanoglous et al. , 1933)

ข้อดี

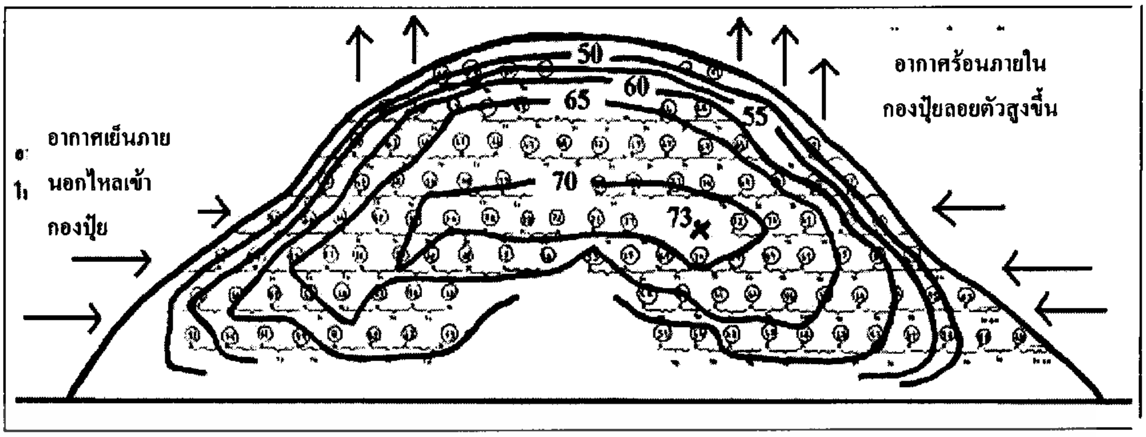
1. ทำงานง่าย ไม่ต้องมีโรงเรือน สามารถผลิตได้ทุก ๆ ฤดูกาล
2. สามารถนำมาผลิตปุ๋ยหมักในเชิงพาณิชย์ของชุมชน โดยไม่ต้องพลิกกลับกองปุ๋ย ซึ่งเป็นการลดความยุ่งยากในการผลิตปุ๋ยหมัก
3. การที่ไม่ต้องพลิกกลับกองปุ๋ย ทำให้การสูญเสียไนโตรเจนในรูปของแอมโมเนียไนโตรเจนที่ระเหยสู่อากาศจากการพลิกกลับกองปุ๋ยลดลงได้
4. ใช้เวลาในการหมักน้อย ประมาณ 30 วัน (ธีระพงษ์ ,2546)

ข้อเสีย

1. การเติมอากาศนานอาจทำให้ปุ๋ยเย็นลงซึ่งไม่เป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์
2. เสียค่าใช้จ่ายในการเดินระบบมาก เช่น เครื่องย่อยเศษพืชราคาประมาณ 5 หมื่นบาท และ พัดลมเติมอากาศขนาด 3 แรงม้า ราคาประมาณ 15000 บาท(ธีรพงษ์ ,2546)
3. เกิดกลิ่นเหม็น
4. เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมจากน้ำชะ

107871

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 ค่าอุณหภูมิในกองปุ๋ยอายุ 5 วัน และ การแทนที่ของอากาศภายในกองปุ๋ย (http://www.compost.mju.ac.th/prod/default.html)

2.8.3 In-vessel Composting

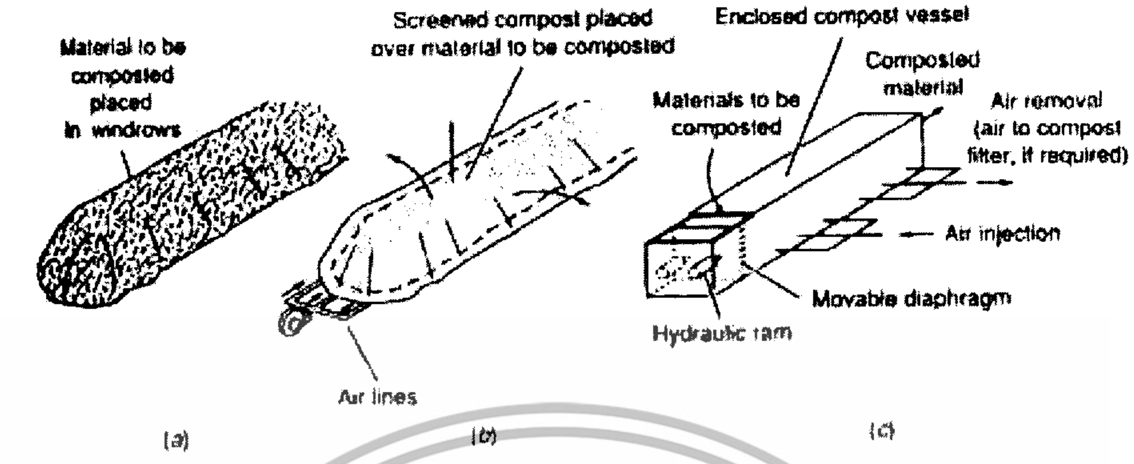
การหมักวิธีนี้คล้าย Windrow Composting และ Aerated Pile Composting แต่เป็นการหมักในภาชนะปิดที่ถูกทำให้เคลื่อนที่ตลอดเวลาด้วยเครื่องจักร จนกระทั่งสิ้นสุดการย่อย รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของความแตกต่างระหว่าง Windrow Composting Aerated Pile Composting และ Invessel Plug Flow

ข้อดี

1. เป็นระบบหมุนเวียน จึงสามารถแก้ไขปัญหาขยะล้นเมืองได้อย่างยั่งยืน เป็นเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ปราศจากมลภาวะ
2. ใช้พื้นที่โครงการไม่มาก ไม่มีการสะสมของขยะเน่าเสียที่เป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่น หรือ โรคระบาด
3. ไม่อุจาดตา ควบคุมการหมักง่าย และ ใช้แรงงานน้อย
4. ไม่เกิดมลพิษจากน้ำชะ

ข้อเสีย มีค่าใช้จ่ายในการเดินระบบมาก และ สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้ามาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 รูปแบบของวิธีการหมัก (a) Windrow Composting (b) Aerated Pile Composting and (c) In-vessel Plug Flow (Tchobanoglous et al. 1993)

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Barrington และคณะ (2002) เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการทำปุ๋ยหมัก โดยอาศัยการเคลื่อนที่ของอากาศแบบพาสซีฟ เปรียบเทียบกับเติมอากาศวิธีแอคทีฟ ในการทดลองจะใช้ Bulking agent 3 ชนิด ได้แก่ เศษไม้ , หญ้าแห้ง และ ฟางข้าว แต่ละชนิดมีความชื้นเท่ากับ 60% , 65% และ 70% ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า เมื่อทำการหมักโดยวิธีพาสซีฟแบบเติมอากาศผ่านท่อ และอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยกับบรรยากาศภายนอกในการเคลื่อนที่ของอากาศ จะมีช่วงอุณหภูมิสูงสุดที่ 57 องศาเซลเซียส และ หลังวันที่ 6 ของการหมัก ค่าความชื้นของปุ๋ยจะลดลง ซึ่งจะมีผลต่ออุณหภูมิในการหมัก การเปรียบเทียบปริมาณอากาศที่ไหลเข้า-ออกเมื่อใช้ฟางข้าวจะลดลงมากกว่าเศษไม้ และ หญ้าแห้ง (ทั้งนี้ดูจากความสัมพันธ์ของเลข Grasholf นั่นคือ สัดส่วนของความสามารถในการลอยตัวของอากาศกับแรงหนืด) ทำให้ประสิทธิภาพของเศษไม้ และ หญ้าแห้งมีมากกว่าเพราะมีอัตราการไหลของอากาศเข้า-ออกอย่างสม่ำเสมอ

ธีระพงษ์ และคณะ (2546) ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษพืชในเชิงอุตสาหกรรมสำหรับชุมชนด้วยระบบกองเติมอากาศ โดยทำการศึกษาในระดับใช้งานจริงจากการหมักปุ๋ย 3 กอง แต่ละกองประกอบด้วยเศษพืชที่ผ่านการย่อย 6 ลูกบาศก์เมตร และ มูลโค 3 ลูกบาศก์เมตร กองบนลานพื้นดินกลางแจ้ง ให้มีขนาด กว้าง × ยาว × สูง เท่ากับ 2.5 × 3.5 × 1.0 เมตร เติมปุ๋ยยูเรีย หินฟอสเฟต และ สารตัวเร่งในอัตรา 400, 200 และ 90 กรัม ตามลำดับ รักษาระดับความชื้นที่ร้อยละ 45-55 มาตรฐานเปียก เติมอากาศแก่แต่ละกองปุ๋ยวันละ 2 ครั้ง ๆ ละ 15 นาที ด้วยพัดลมขนาด 3 แรงม้าผ่านทางท่อพีวีซีเจาะรูขนาด 4 นิ้ว ด้วยค่าอัตราการไหลของอากาศ 0.118, 0.147 และ 0.155 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ตามลำดับ ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัตถุดิบมีค่าเฉลี่ยประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

20 พบว่า การหมักใช้เวลาประมาณ 30 วัน มีค่าอัตรการไหลของอากาศที่เหมาะสมมีค่า 0.155 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกองมีค่าขึ้นสูงอยู่ในช่วง 60-70 องศาเซลเซียสที่เวลา 2-5 วัน ปุ๋ยที่หมักได้มีน้ำหนักเบา มีขนาดเล็กลง และไม่มีกลิ่น มีค่าความหนาแน่นรวมเฉลี่ย 198 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร มีส่วนที่ไม่ย่อยสลายอยู่ในช่วงร้อยละ 1.9-3.2 มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 0.07 บาทต่อกิโลกรัมวัตถุดิบต่อเดือน และ เมื่อคิดว่าในการผลิตใช้แรงงาน2 คนต่อวัน ทำงานปีละ 120 วัน ผลิตปุ๋ยได้เฉลี่ยเดือนละ 18 ตัน จำหน่ายปุ๋ยกิโลกรัมละ 1.50 บาท พบว่า มีจุดคุ้มทุนที่ 0.37 ปี และ 1.36 ปี เมื่อไม่ใช้เครื่องย่อยเศษพืช และ ใช้เครื่องย่อยเศษพืช ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า ระบบกองเติมอากาศมีศักยภาพที่ชุมชนจะนำไปใช้ผลิตปุ๋ยหมักในเชิงอุตสาหกรรมได้ เพราะมีการทำงานที่ง่าย ใช้แรงงานน้อย ไม่ต้องมีการพลิกกลับกองปุ๋ย มีค่าลงทุน และ ค่าดำเนินการต่ำ ใช้พลังงานน้อย และยังเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมอีกด้วย

Togenetti และคณะ (2006) ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงวิธีการทำปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์เทศบาล ทำการทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักโดยนำขยะอินทรีย์เทศบาลมาทำเป็นชิ้นเล็กลงขนาด 1-3 เซนติเมตร แล้วนำไปใช้ทำปุ๋ย 4 ชนิด คือ 1) ขยะอินทรีย์เทศบาลที่ทำเป็นชิ้นเล็กลงแล้ว 2) ขยะอินทรีย์เทศบาลที่ทำเป็นชิ้นเล็กลงผสมเศษไม้และไส้เดือน 3) ขยะอินทรีย์เทศบาลที่ไม่ได้ผ่านการลดขนาด และ 4) ขยะอินทรีย์เทศบาลที่ไม่ได้ผ่านการลดขนาดผสมเศษไม้ และไส้เดือน หลังหมักครบ 50 วัน จะนำปุ๋ยแต่ละกองมาทำการ Vermistabilization ต่อจนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย ทำการวัดค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออก ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณคาร์บอนที่ละลายน้ำ ค่าไนเตรต-ไนโตรเจน ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน และ ค่าฟอสฟอรัสที่สกัดได้ พบว่า การบำบัดโดยวิธีลดขยะอินทรีย์ก่อนนำไปหมัก จะช่วยให้อินทรีย์วัตถุเกิดความคงตัวเร็วกว่าแบบไม่ได้ลดขนาด ทั้งนี้วัดจากความสามารถในการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เร็วกว่า และ ช่วงเทอร์โมฟิลิคที่สั้นกว่า ส่วนการบำบัดขยะอินทรีย์โดยผสมกับเศษไม้ พบว่าจะสามารถเพิ่มคุณภาพของปุ๋ยที่เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ ซึ่งจะดูได้จากค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า และ ค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในปุ๋ยที่เพิ่มขึ้น แต่จะทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และ ความเข้มข้นของสารอาหารที่สามารถนำไปใช้ได้ลดลง ส่วนการบำบัดโดยวิธีต่อเนื่อง Vermicomposting จะทำให้ได้ปุ๋ยซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์มีค่าอินทรียวัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และ ความเข้มข้นของสารอาหารที่นำไปใช้ได้มากขึ้นกว่าเดิม (เมื่อเปรียบเทียบกับการทำปุ๋ยหมักแบบไม่ต่อเนื่อง) ทั้งนี้เนื่องจากกิจกรรมของไส้เดือน และ การที่ช่วงเทอร์โมฟิลิคที่สั้นลง

ไผทรัตน์ และคณะ (2006) ศึกษาประสิทธิภาพการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษอาหารครัวเรือนโดยวิธีเติมอากาศแบบซิมนีย์คอนเวคชันเปรียบเทียบกับวิธีการหมักแบบดั้งเดิม โดยใช้เศษอาหารเป็นวัสดุหมัก และเศษใบไม้เป็นตัวเพิ่มค่าไนโตรเจน โดยศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างเศษอาหารกับเศษใบไม้ ศึกษาสภาวะในระหว่างการหมักปุ๋ย และคุณภาพของปุ๋ยหมัก ได้แก่ อัตรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การยุบตัว อุณหภูมิในกองปุ๋ย ปริมาณความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณธาตุอาหารพืช ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด ปริมาณไนเทรต-ไนโตรเจน ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน และค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน ผลการทดลองพบว่า ในการเตรียมวัสดุหมักต้องใช้อัตราส่วนระหว่างเศษอาหารกับเศษใบไม้ เท่ากับ 4:1 โดยน้ำหนักเปียก จะได้ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 27:1 ซึ่งการหมักโดยวิธีเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน จะใช้ระยะเวลาในการหมักเสร็จสมบูรณ์สั้นกว่าวิธีการหมักแบบดั้งเดิม คือ ใช้เวลาในการหมักเพียง 1 เดือน และผลการศึกษาคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักทั้ง 2 วิธีมีคุณภาพใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ปุ๋ยหมักที่ได้ยังไม่มีความเป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของพืช สรุปได้ว่าการผลิตปุ๋ยหมักโดยวิธีเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันสามารถผลิตปุ๋ยหมักที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับวิธีดั้งเดิม แต่การผลิตปุ๋ยหมักโดยวิธีชิมนีย์คอนเวคชันสะดวกและรวดเร็วกว่าการหมักแบบดั้งเดิมนั่นคือ ไม่ต้องกลับกองปุ๋ย ลดความถี่ในการรดน้ำเพื่อเพิ่มความชื้น และปุ๋ยเสร็จสมบูรณ์ได้เร็วกว่า นอกจากนี้ยังเกิดกลิ่นเหม็นในขณะหมักน้อยกว่าด้วย

พรสุดา และคณะ (2006) ศึกษาการผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้กากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนเป็นวัสดุหมักและใช้หญ้าขนเป็นตัวเพิ่มคาร์บอน โดยวิธีเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน โดยศึกษาสภาวะในระหว่างการหมักปุ๋ยและศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักเปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักที่ผลิตโดยทั่วไป(แบบกลับกอง) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ชุด คือ ชุดทดลองมีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน และชุดควบคุมที่ใช้วิธีการหมักปุ๋ยทั่วไป จากผลการทดลองพบว่า สภาวะในการหมักปุ๋ยโดยวิธีเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันมีค่าใกล้เคียงกับการหมักปุ๋ยโดยทั่วไป แต่มีปริมาณความชื้นสูงกว่า และการศึกษาประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักโดยวิธีเปรียบเทียบปริมาณอินทรียวัตถุ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ความเป็นกรด-ด่าง ความเค็มและปริมาณธาตุอาหารหลัก (N : P : K) พบว่า ปุ๋ยหมักโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับปุ๋ยหมักโดยวิธีทั่วไป ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานของปุ๋ยหมักโดยมีปริมาณอินทรียวัตถุ 41.34 % อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 12.4 : 1 ความเป็นกรด-ด่าง 7.13 ความเค็ม 3.17 มิลลิซีเมนต่อเซนติเมตร และปริมาณธาตุอาหารหลัก (N : P : K) เท่ากับ 1 : 3 : 3.9 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับปุ๋ยหมักโดยวิธีทั่วไป อย่างไรก็ตาม วิธีการหมักปุ๋ยโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันมีความสะดวกและรวดเร็วกว่า นั่นคือ ไม่ต้องกลับกองเพื่อเติมอากาศ ลดจำนวนครั้งการรดน้ำเพื่อเพิ่มความชื้น และปุ๋ยหมักสมบูรณ์ในระยะเวลาเร็วขึ้น ส่วนการทดสอบความเป็นพิษของปุ๋ยหมัก พบว่า ปุ๋ยหมักที่ทำจากกากตะกอนโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนไม่เป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของพืช

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์

3.1.1 ตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

1. กากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชน ที่โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง
2. ผักตบชวา
3. เปลือกถั่วลิสง

3.1.2 อุปกรณ์

1. ถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร สูง 90 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร จำนวน 3 ถัง
2. ท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.50 เซนติเมตร
3. ท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.50 เซนติเมตร
4. ท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.50 เซนติเมตร
5. แผ่นไม้อัด
6. ข้องอ 90 ^{o} (ข้อต่อท่อ)
7. ตาข่ายพลาสติก
8. ตะแกรงเหล็กขนาด 0.9 mesh
9. อุปกรณ์สำหรับคลุกเคล้ามูลฝอย เช่น พลั่ว จอบ ฯ
10. เตาเผา Muffle furnace ยี่ห้อ Nabertherm รุ่น P 320 ประเทศเยอรมัน
11. Soil Tester ยี่ห้อ Soil pH & Moisture Tester รุ่น Model DM-15 Takemura electric works, LTD ประเทศญี่ปุ่น
12. เครื่องวัดอุณหภูมิ Thermocouple Type K รุ่น SMPW-K-M บริษัท ว. ทวีพัฒนา จำกัด ประเทศไทย
13. ตู้อบ ของบริษัท Fisher Scientific รุ่น Isotemp ประเทศเยอรมัน
14. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Shimudzu Co., Ltd รุ่น AA-680
15. ชุดวิเคราะห์ไนโตรเจน (Kjeldahl-Apparatus)
16. เครื่องชั่งสารแบบละเอียด ยี่ห้อ Denver Instrument Company รุ่น TC-254 ประเทศเยอรมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

17. เดซิคเคเตอร์
18. ถ้วยระเหย
19. โถทำแห้ง
20. เครื่องแก้วต่างๆ

3.2 สารเคมี

1. กรดซัลฟูริกเข้มข้น 95-98% เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
2. กรดไนตริก เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
3. กรดบอริก เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
4. กรดซัลฟานิลิก เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
5. กรดโพแทสเซียมพาทาเลต เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
6. สารละลายกรดไฮโดรคลอริกมาตรฐาน 0.1 M เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
7. โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดวิเคราะห์ Lab Scan Co., Ltd
8. โซเดียมคลอไรด์ เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
9. โพแทสเซียมซัลเฟต เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
10. โพแทสเซียมฟอสเฟต เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
11. โพแทสเซียมไดโครเมต เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
12. โพแทสเซียมคลอไรด์ เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
13. แอนไฮดรัสโพแทสเซียมไนเทรต เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
14. แอมโมเนียมอะซิเตต เกรดวิเคราะห์ Merck Co., Ltd
15. สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
16. สารละลายแอมโมเนียมเมตาวานาเดต เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
17. เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
18. ซิลิเนียม เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
19. เมทิลเรดอินดิเคเตอร์ เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
20. ฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
21. โบรโมครีซอลกรีน เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
22. บลูซีนซัลเฟต เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
23. ออร์โทฟีแนนโทลีน เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
24. น้ำปราศจากไอออน
25. สารเร่ง (พด.1) สำหรับทำปุ๋ยหมัก ผลิตโดย กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การเตรียมถังหมัก

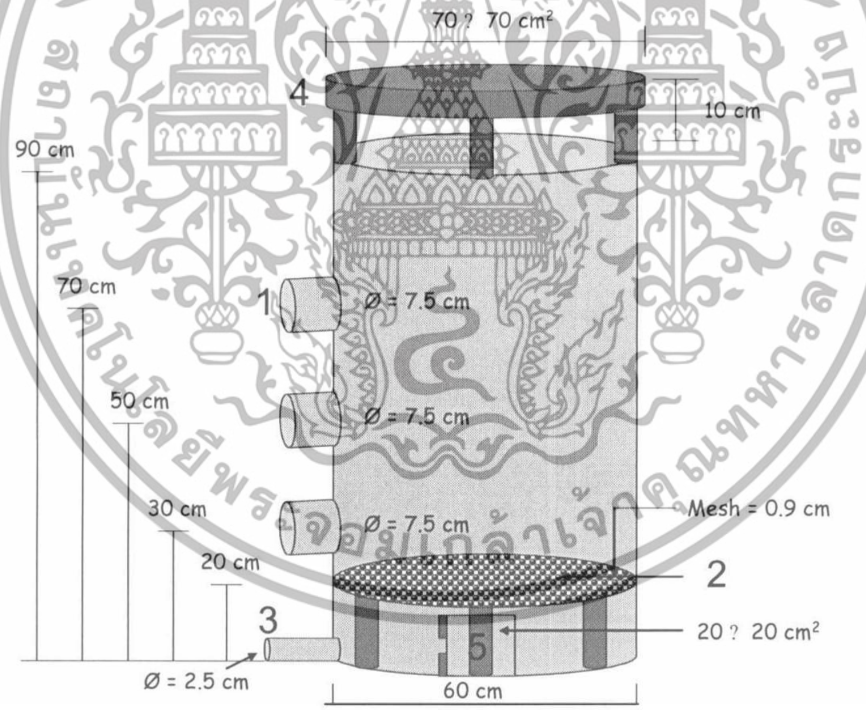
3.3.1 ถังหมักที่ 1 ถังควบคุม

1) นำถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร เจาะรูบริเวณด้านข้างของถังในแนวดิ่ง 3 ช่อง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.5 เซนติเมตร ให้สูงกว่าก้นถังขึ้นมาเป็นระยะ 30, 50 และ 70 เซนติเมตร ตามลำดับ หุ้มปิดด้วยพลาสติก ใช้เป็นช่องเก็บตัวอย่าง เพื่อนำไปวิเคราะห์

2) บริเวณด้านล่างของถังหมักวางตะแกรงเหล็กขนาด 0.9 เมช โดยให้ความสูงก้นถังขึ้นมา 20 เซนติเมตร เพื่อให้น้ำชะในกองปุ๋ย สามารถไหลลงสู่ด้านล่างของถังได้

3) เจาะช่องประตู เปิด-ปิด ขนาด 20 × 20 ตารางเซนติเมตร และเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 2.5 เซนติเมตร (8 หุน) เพื่อระบายน้ำชะออก ดังรูปที่ 3.1

4) นำแผ่นไม้อัดขนาด 70 × 70 ตารางเซนติเมตร เป็นฝาปิดถังเพื่อป้องกันฝน โดยยกสูงเหนือถัง 10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 องค์ประกอบของถังหมักปุ๋ยโดยวิธีกลับกอง (1) ช่องเก็บตัวอย่าง (2) ตะแกรงลวด (3) ท่อระบายน้ำชะ (4) ฝาปิดถัง (5) ช่องประตู

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

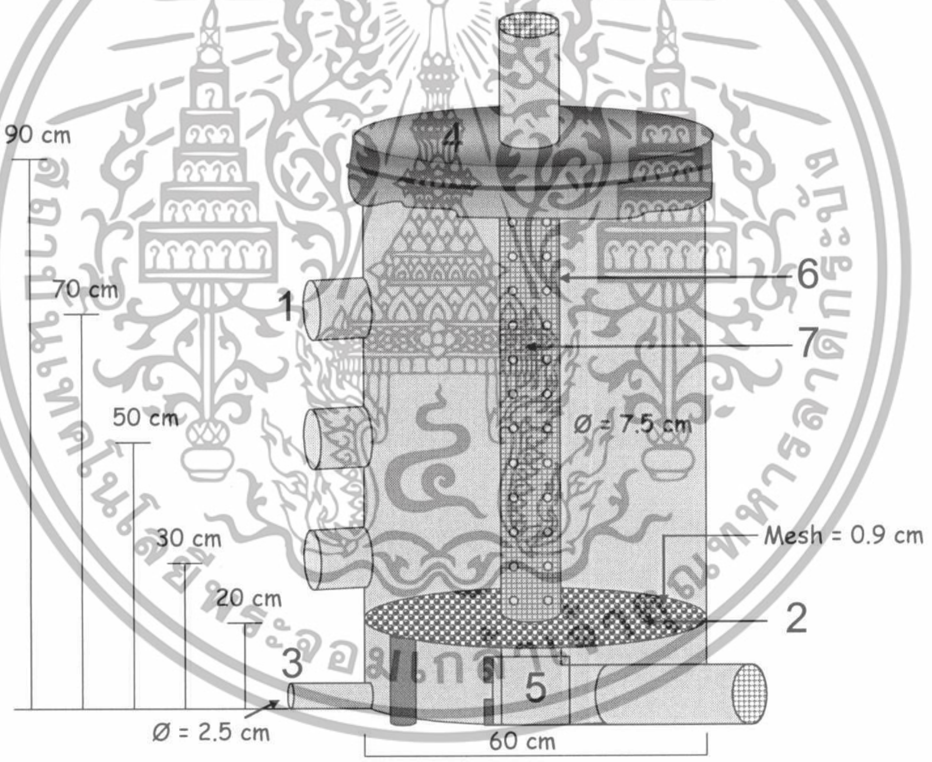
3.3.2 ถังหมักที่ 2 ถังทดลองโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์ คอนเวคชันโดยใช้ท่อเติมอากาศขนาดใหญ่

1) เตรียมถังหมักเช่นเดียวกับถังหมักที่ 1

2) นำท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 7.5 เซนติเมตร (24 หุน) ต่อเป็นรูปตัวแอล (L) เจาะรูตลอดแนว ระยะห่างกัน 5 เซนติเมตร และแนวตามขวาง 4 ทิศทาง แต่ละรูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ปลายท่อหุ้มด้วยผ้าตาข่ายเพื่อป้องกันแมลง ดังรูปที่ 3.2

3) นำท่อพีวีซีที่เจาะรูแล้วมาหุ้มด้วยลวดตาข่ายโดยรอบเพื่อป้องกันการอุดตัน แล้วนำไปติดตั้งแกนกลางของถังหมัก เพื่อให้อากาศแก่กองปุ๋ยหมัก ดังรูปที่ 3.2

4) นำแผ่นพลาสติกขนาด 120 × 120 ตารางเซนติเมตร มาคลุมด้านบนของถัง มัดให้แน่นโดยมีช่องให้ระบายอากาศสู่ภายนอกถัง ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 องค์ประกอบของถังหมักปุ๋ยโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน โดยใช้ท่อเติมอากาศขนาดใหญ่ (1) ช่องเก็บตัวอย่าง (2) ตะแกรงลวด (3) ท่อระบายน้ำชะ (4) ฝาปิดถัง (5) ช่องประตู (6) ท่อเติมอากาศ (7) ตาข่ายพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

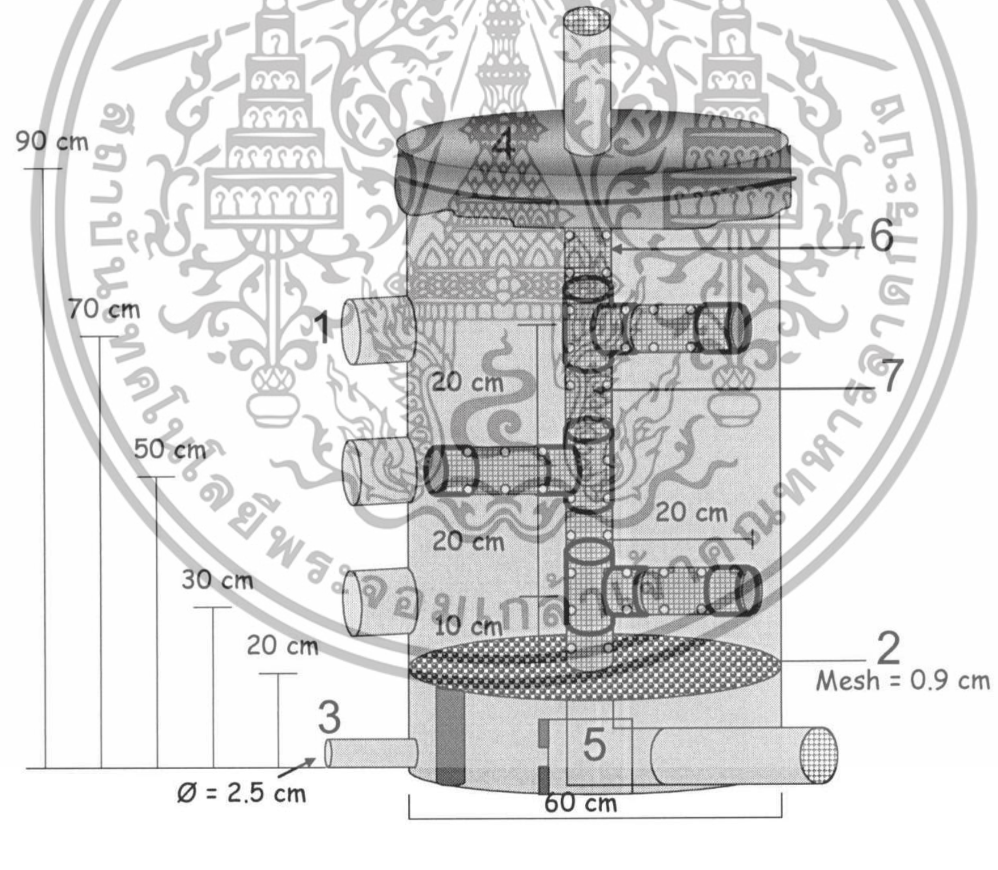
3.3.3 ถังหมักที่ 2 ถังทดลองโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์ คอนเวคชันโดยใช้ท่อเติมอากาศขนาดเล็ก

1) เตรียมถังหมักเช่นเดียวกับถังหมักที่ 1

2) นำท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 7.5 เซนติเมตร (24 หุน) ต่อเป็นรูปตัวแอล (L) เจาะรูตลอดแนว ระยะห่างกัน 5 เซนติเมตร และแนวตามขวาง 4 ทิศทาง แต่ละรูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 เซนติเมตร ปลายท่อหุ้มด้วยผ้าตาข่ายเพื่อป้องกันแมลง ดังรูปที่ 3.2

3) นำท่อพีวีซีที่เจาะรูแล้วมาหุ้มด้วยลวดตาข่ายโดยรอบเพื่อป้องกันการอุดตัน แล้วนำไปติดตั้งแกนกลางของถังหมัก เพื่อให้อากาศแก่กองปุ๋ยหมัก ดังรูปที่ 3.3

4) นำแผ่นพลาสติกขนาด 120 × 120 ตารางเซนติเมตร มาคลุมด้านบนของถัง มัดให้แน่น โดยมีช่องให้ระบายอากาศสู่ภายนอกถัง ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 องค์ประกอบของถังหมักปุ๋ยโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน โดยใช้ท่อเติมอากาศขนาดเล็ก (1) ช่องเก็บตัวอย่าง (2) ตะแกรงลวด (3) ท่อระบายน้ำชะ (4) ฝาปิดถัง (5) ช่องประตู (6) ท่อเติมอากาศ (7) ตาข่ายพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ขั้นตอนการดำเนินการ

3.4.1 การเตรียมวัสดุหมัก

3.4.1.1 การเตรียมวัสดุหมักโดยใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนและเปลือกถั่วลิสง

1) วิเคราะห์อัตราส่วนองค์ประกอบของธาตุคาร์บอนและไนโตรเจน (C/N ratio) ของกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนและเปลือกถั่วลิสง

2) ผสมกากตะกอนจากโรงบำบัดน้ำเสียชุมชนกับผักตบชวาในอัตราส่วน C/N ratio ที่เหมาะสม คือในช่วง 20:1 ถึง 25:1 แล้วคลุกเคล้าส่วนผสมให้เข้ากัน

3) นำวัสดุหมักใส่ลงในถังหมักทั้ง 3 ถัง โดยให้ปริมาณที่เท่ากัน โดยถังควบคุมจะกลับกองปุ๋ยสัปดาห์ละ 1 ครั้งและถังทดลองที่ 1 และ 2 มีการเติมอากาศโดยอาศัยหลักการชิมนีย์คอนเวคชัน

4) วิเคราะห์คุณภาพของวัสดุหมักเริ่มต้นดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และวิธีวิเคราะห์คุณภาพของวัสดุหมักเริ่มต้น

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์
ค่าการนำไฟฟ้า	Conductivity meter
อุณหภูมิ	Thermocouple
ความชื้น	วิธีมาตรฐาน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	Soil pH & moisture tester
กลิ่น	ดมกลิ่น
ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด	Kjeldahl method (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)
ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด	Vanadomolybdate method (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)
ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด	วิธีมาตรฐาน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)
ปริมาณไนเทรต-ไนโตรเจน	Stream Distillation (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)
ปริมาณอินทรียคาร์บอน	Walkey & Black (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

3.4.1.2 การเตรียมวัสดุหมักโดยใช้กากตะกอนน้ำเสียชุมชนและผักตบชวา

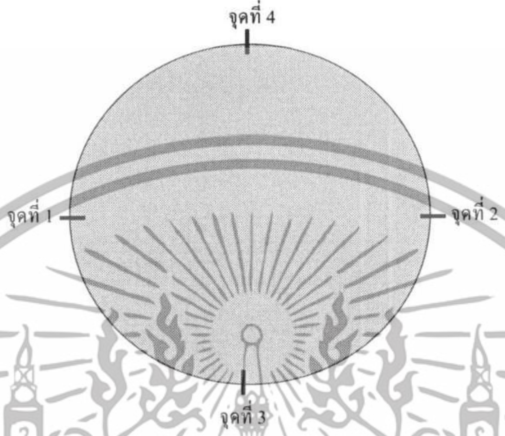
เตรียมเศษวัสดุเช่นเดียวกับ ข้อ 3.4.1.1 แต่ใช้ผักตบชวาแทนเปลือกถั่วลิสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การวิเคราะห์สภาวะในระหว่างการหมักปุ๋ย

1) อัตราการยุบตัว

- ทดลองโดยใช้ตลับเมตรความสูงของปุ๋ยในถังหมักโดยจะวัด 4 จุดของถังหมัก (ดังรูปที่ 3.4) แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 3.4 จุดวัดอัตราการยุบตัวของปุ๋ยทั้ง 4 จุด

2) อุณหภูมิ

- วัดอุณหภูมิจากช่องเก็บตัวอย่างที่ตำแหน่งความลึก 10 ,20 และ 25 เซนติเมตรทั้ง 3 ช่องเก็บตัวอย่าง ด้วย Thermocuple วัด 3 ซ้ำ

3) ความชื้นโดยวิธีอบแห้ง (Oven-dried method)

- ชั่งตัวอย่างปุ๋ยหนักประมาณ 2-5 กรัม ใส่บีกเกอร์ที่อบแห้งแล้ว โดยใช้เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- นำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 10-12 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์ แล้วนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง คำนวณน้ำหนักที่หายไปและหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น ทำ 3 ซ้ำ

การคำนวณ

$$\%\,\text{ความชื้น} = \frac{(y - x) \times 100}{x}$$

เมื่อ x = น้ำหนักตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

Y = น้ำหนักตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) ความเป็นกรด-ด่าง (pH)

- วัดอุณหภูมิจากช่องเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ช่องเก็บตัวอย่าง ด้วย Soil pH & Moisture Tester วัด 3 ซ้ำ จะทำการวัดทุกๆ 3 วัน

5) ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity)

- ชั่งตัวอย่างปุ๋ย 5 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
- เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1:10)
- ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 1 คืน
- แล้วนำสารละลายตัวอย่างมากรองด้วยกระดาษกรองละเอียดเบอร์ 1
- วัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่องคอนดักติวิตี้มิเตอร์ ทำ 3 ซ้ำ แล้วนำค่าที่อ่านได้ ไปเปรียบเทียบกับค่าการนำไฟฟ้าโดยจะใช้มาตรฐานเดียวกัน ดังต่อไปนี้

การแปลผลค่าการนำไฟฟ้า ($dS\ m^{-1}$)

<2	ไม่เค็ม
2-4	เค็มเล็กน้อย
4-8	เค็มปานกลาง
8-16	เค็มมาก
>20	เค็มที่สุด

จากมาตรฐานสามารถนำมาเปรียบเทียบใช้กับค่าที่วิเคราะห์ของปุ๋ยหรือวัสดุที่จะนำมาผลิตปุ๋ยหมักเพื่อดูความเหมาะสมในการนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6) กลิ่น

การประเมินระดับกลิ่นจะใช้วิธีการดม โดยกลุ่มผู้ทดสอบจำนวน 10 คน ซึ่งจะใช้ผู้ทดสอบคนเดียวกันตลอดการทดลอง โดยแบ่งระดับกลิ่นออกเป็น 3 ระดับ ดังนี้

ระดับที่ 1 ไม่มีกลิ่น

ระดับที่ 2 มีกลิ่นเหม็นน้อย

ระดับที่ 3 มีกลิ่นเหม็น

โดยการทดสอบกลิ่นจะทำการทดสอบสัปดาห์ละ 1 ครั้ง

7) หาค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน

หาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โดยใช้วิธีมาตรฐานการเคราะห์ปุ๋ยของสำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน

ความถี่ในการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆในระหว่างการหมักปุ๋ยแสดงดังตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 พารามิเตอร์และความถี่ในการวิเคราะห์ระหว่างการหมักปุ๋ย

พารามิเตอร์	**วิธีวิเคราะห์**	**ความถี่ในการวิเคราะห์**
อัตราการยุบตัว	การวัดระดับความสูงด้วยสายตา	ทุกวัน
อุณหภูมิ	Thermocouple	ทุกวัน
ความชื้น	วิธีมาตรฐาน	ทุก 3 วัน
ความเป็นกรด-ด่าง	pH meter	ทุกสัปดาห์
ค่าการนำไฟฟ้า	Conductivity meter	ทุกสัปดาห์
กลิ่น	สูดดม	ทุกสัปดาห์
ค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน	วิธีมาตรฐานกรมพัฒนาที่ดิน	ก่อนและหลังการหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของวัสดุหมักเริ่มต้น

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของกากตะกอนน้ำเสียและผักตบชวา แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของวัสดุหมักเริ่มต้น

วัสดุหมัก	ความชื้น (%)	ปริมาณอินทรียคาร์บอน (%)	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%)
กากตะกอนน้ำเสีย	54.92 ± 1.08	18.77 ± 0.35	2.34 ± 0.06
ผักตบชวา	2.94 ± 0.05	54.36 ± 1.03	2.23 ± 0.06

ปริมาณอินทรียคาร์บอน และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในกากตะกอนน้ำเสียและผักตบชวาที่เป็นวัตถุดิบในการหมักซึ่งได้จากการวิเคราะห์ นำไปหาอัตราส่วนผสมระหว่างกากตะกอนน้ำเสียและผักตบชวาเพื่อให้ได้อัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) มีค่าอยู่ระหว่าง 20 : 1 ถึง 25 : 1 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมของวัสดุหมักเริ่มต้นในการทำปุ๋ยหมัก จากการคำนวณต้องใช้อัตราส่วนในการเตรียมวัสดุหมัก ระหว่างกากตะกอนน้ำเสีย : ผักตบชวา เท่ากับ 2.15 : 1 โดยน้ำหนักเปียก (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข)

ในการเตรียมวัสดุหมัก เมื่อผสมกากตะกอนน้ำเสีย และผักตบชวาตามอัตราส่วนที่คำนวณได้แล้วนำไปทำการวิเคราะห์คุณภาพของวัสดุหมักเริ่มต้น ผลการวิเคราะห์แสดงในตารางที่ 4.2 และวิเคราะห์หาอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนในวัสดุหมักเริ่มต้นได้เท่ากับ 23.4 : 1 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสมของวัสดุหมักเริ่มต้นในการทำปุ๋ยหมัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 คุณลักษณะของวัสดุหมักผสมเริ่มต้น

พารามิเตอร์	**วัสดุหมักเริ่มต้น**
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.26 ± 0.02
ความชื้น (%)	55.76 ± 1.96
ความเป็นกรด - ด่าง	5.48 ±0.16
ค่าการนำไฟฟ้า (มิลลิโอร์ม/เซนติเมตร)	6.63 ± 0.07
กลิ่น	เหม็นน้อย
ไนโตรเจน (%)	2.04 ± 0.08
ฟอสฟอรัส (%)	0.321 ±0.005
โพแทสเซียม (%)	0.0038 ± 0.0004
ไนเทรต - ไนโตรเจน (%)	0.0162 ± 0.0011
อินทรียคาร์บอน (%)	47.74 ± 0.21
อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน	23.4 : 1

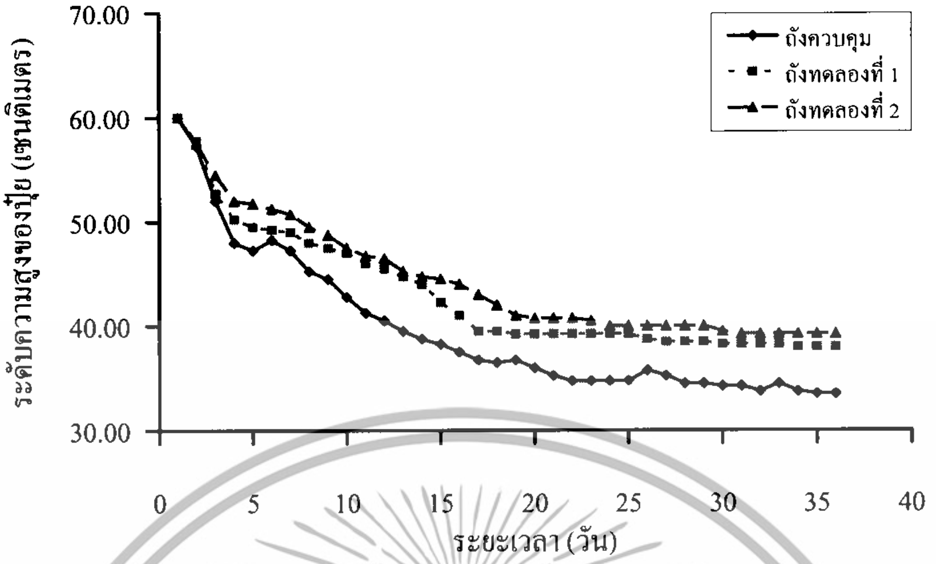
4.2 ผลการวิเคราะห์สภาวะในระหว่างการหมักปุ๋ย

การวิเคราะห์สภาวะในระหว่างการหมักปุ๋ย คือ อัตราการยุบตัว อุณหภูมิ ความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า กลิ่น และอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน โดยการศึกษาค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และความชื้น แบ่งการตรวจวัดออกเป็น 3 ระดับความลึก ของถังหมัก คือที่ระยะ 30 เซนติเมตร, 50 เซนติเมตร และ 70 เซนติเมตรจากก้นถัง เพื่อศึกษาระดับความสูงของกองปุ๋ยหมักที่มีผลต่อปัจจัยต่างๆในการหมัก ส่วนการวัดอุณหภูมิจะเพิ่มการวัดที่ระดับความลึกจากขอบถังเข้าไปสู่กลางถังเป็นระยะ 10 เซนติเมตร, 20 เซนติเมตร และ 25 เซนติเมตร

4.2.1 อัตราการยุบตัว

อัตราการยุบตัวของกองปุ๋ยประเมิณจากระดับความสูงของกองปุ๋ยที่ลดลง ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ การศึกษาอัตราการยุบตัวของกองปุ๋ยจะเริ่มตั้งแต่ทำการหมัก และสิ้นสุดเมื่อปุ๋ยเสร็จสมบูรณ์แล้ว ผลการวัดอัตราการยุบตัวแสดงดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



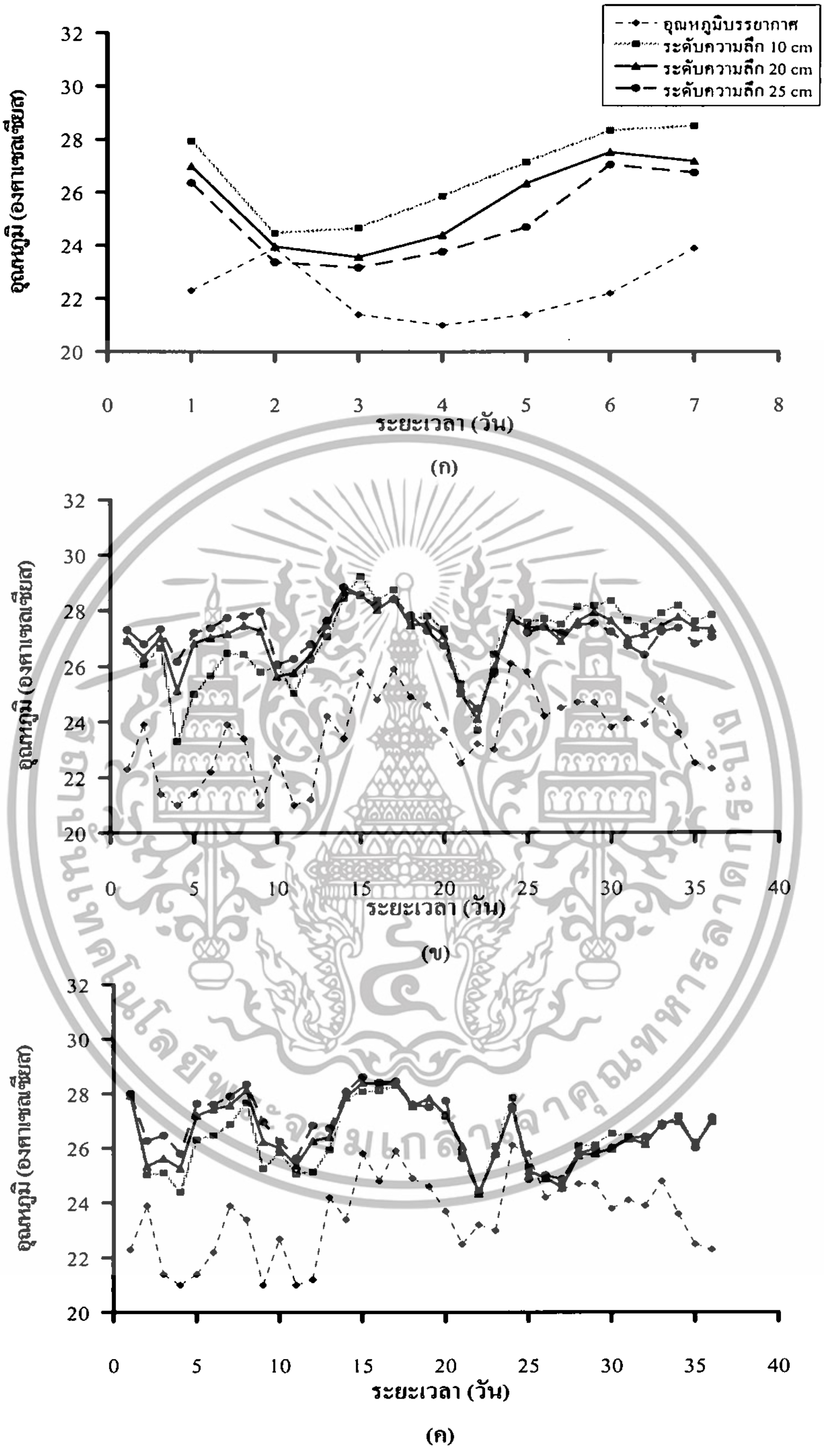
รูปที่ 4.1 อัตราการยุบตัวของกองปุ๋ยในระหว่างการหมัก

จากรูปที่ 4.1 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ค-1) ระยะเวลาในช่วงแรกการยุบตัวของกองปุ๋ยหมักจะยุบตัวค่อนข้างเร็วเนื่องมาจากการยุบตัวของผักตบชวาและในช่วงวันที่ 5 ของการหมักเป็นต้นไปอัตราการยุบตัวของกองปุ๋ยหมักเป็นไปอย่างช้าๆ เนื่องจากเกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ และประมาณวันที่ 20 ของการหมักเป็นต้นไปอัตราการยุบตัวของกองปุ๋ยหมักมีการยุบตัวน้อยมากและเริ่มคงที่ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกันทั้ง 3 ถังทดลองพบว่าถังควบคุมมีอัตราการยุบตัวของกองปุ๋ยหมักดีที่สุดเมื่อเทียบกับถังทดลองที่ 1 และถังทดลองที่ 2 ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากมีการระเหยของน้ำออกจากกองปุ๋ย และมีการเติมน้ำเพื่อเพิ่มความชื้น

4.2.2 อุณหภูมิ

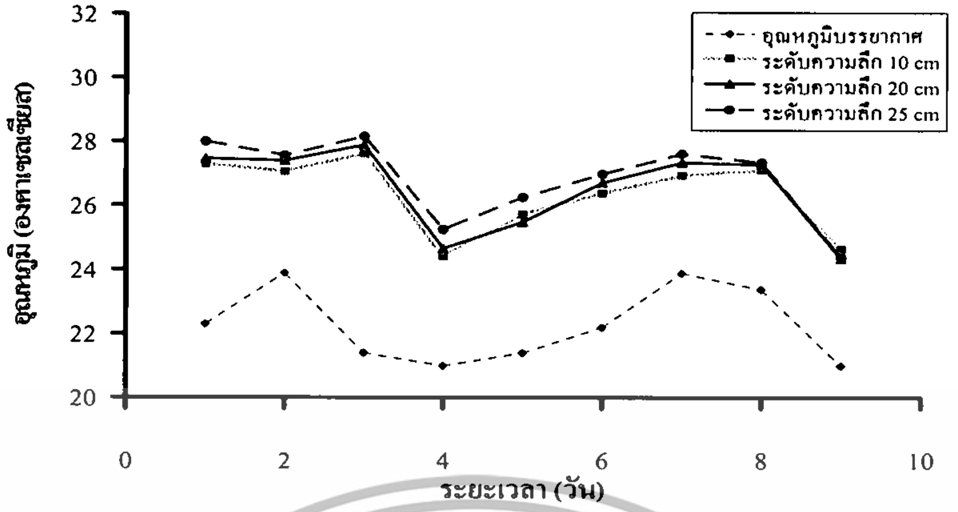
การศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักทั้ง 3 ถัง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.2 – 4.4 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ค-2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

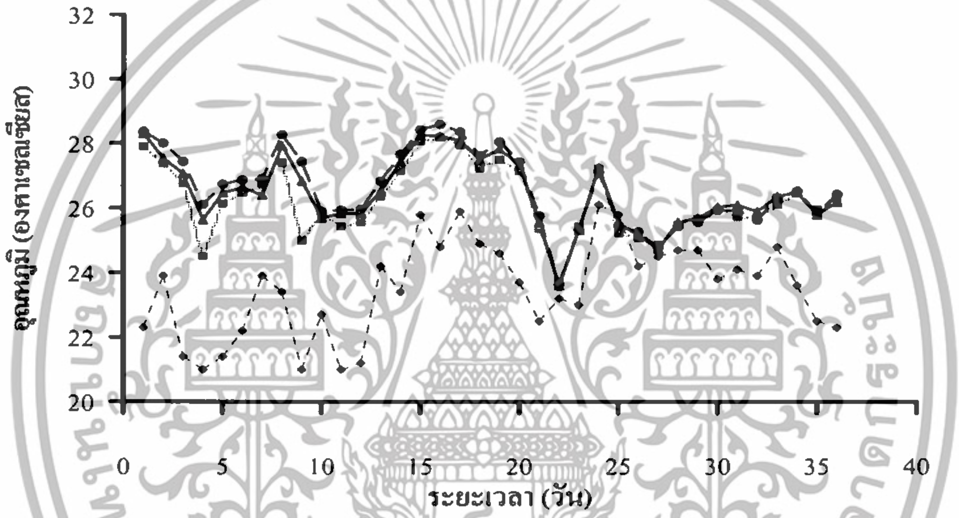


รูปที่4.2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังควบคุม (ก) ที่ระดับความสูง 70 เซนติเมตร (ข) ที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร (ค) ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร จากก้นถัง

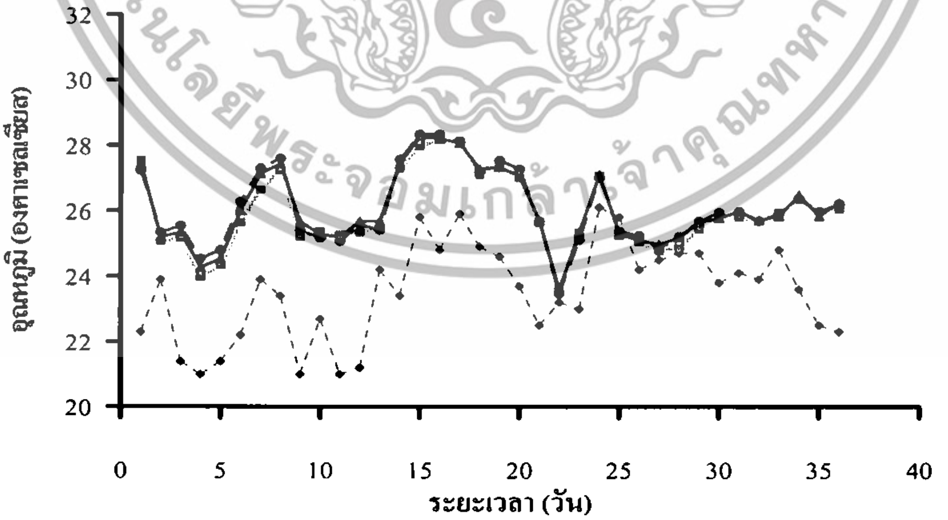
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



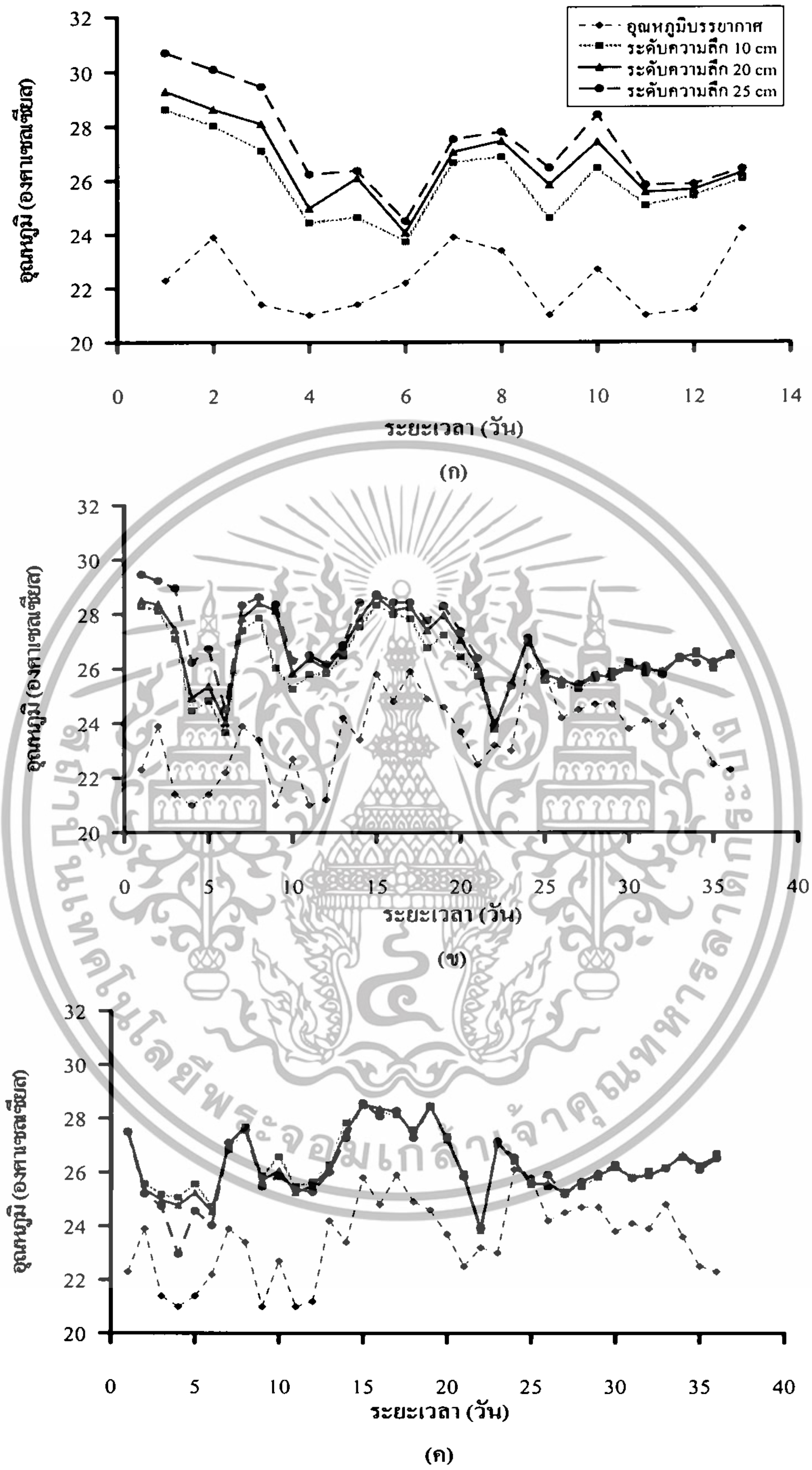
(ข)



(ค)

รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังทดลองที่ 1 (ก) ที่ระดับความสูง 70 เซนติเมตร (ข) ที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร (ค) ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร จากก้นถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังทดลองที่ 2 (ก) ที่ระดับความสูง 70 เซนติเมตร (ข) ที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร (ค) ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร จากก้นถัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ค-2) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักในถังควบคุมเมื่อเริ่มทำการหมักในช่วง 2-3 วันแรกอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักจะลดลง อุณหภูมิในถังหมักใกล้เคียงกับอุณหภูมิต่ำสุดของบรรยากาศที่วัดได้ ณ สถานีอุตุนิยมวิทยาสนามบินสุวรรณภูมิในช่วงเวลาดังกล่าวและหลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของบรรยากาศ และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ระดับความสูง 70 เซนติเมตรที่วัดตามระดับความลึกจากขอบถังเข้าไปสู่กลางถังพบว่าที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตรจากขอบถังมีอุณหภูมิสูงกว่าระดับ 20 เซนติเมตรและ 25 เซนติเมตร ตามลำดับ อาจเนื่องมาจากอัตราการแพร่อากาศจากภายนอกเข้าไปที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตรสูงกว่าที่ระดับลึกเข้าไป ทำให้บริเวณขอบถังเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีกว่ากลางถัง ส่งผลให้อุณหภูมิในระดับนี้สูงกว่ากลางถัง ส่วนระดับความสูงของถังที่ 50 เซนติเมตรและ 30 เซนติเมตร ที่ระดับความลึกต่างๆไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมัก

รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักในถังทดลองที่ 1 ที่มีท่อเติมอากาศขนาดใหญ่ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามระดับความลึกจากขอบถังเข้าไปสู่กลางถังพบว่าที่ระดับความสูง 70 เซนติเมตรจากก้นถัง ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตรจากขอบถังจะมีอุณหภูมิสูงสุด อาจเป็นเพราะมีการเติมอากาศผ่านท่อตรงกลางถัง ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตรนี้เป็นระดับความลึกที่ใกล้กับท่อเติมอากาศทำให้มีปริมาณอากาศสูงเกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีจึงทำให้ระดับอุณหภูมิของปุ๋ยหมักบริเวณกลางถังตลอดแนวท่อเติมอากาศสูงและจะลดต่ำลงเรื่อยๆตามระยะห่างจากกลางถัง ส่วนที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตรและ 30 เซนติเมตร อุณหภูมิในแต่ละระดับความลึกจะมีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าการพาอากาศที่ระดับความสูงเพิ่มขึ้นยังไม่เพียงพอ

รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักในถังทดลองที่ 2 ที่มีท่อเติมอากาศขนาดเล็กมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักเช่นเดียวกับถังทดลองที่ 1 เนื่องจากมีท่อเติมอากาศตรงกลางถังทำให้การระบายอากาศตรงกลางถังดีระดับอุณหภูมิกลางถังจึงสูงและค่อยๆลดต่ำลงตามระยะห่างจากท่อเติมอากาศ อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิในถังทดลองที่ 1 และ 2 ไม่แตกต่างกัน อาจเป็นเพราะวัสดุหมักที่ใช้เป็นวัสดุที่ย่อยสลายยาก

ในระหว่างกระบวนการหมักปุ๋ยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในถังค่อนข้างต่ำกว่าทฤษฎีที่ 50-60 °C คาดว่ากระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นช้าเพราะองค์ประกอบของกากตะกอนน้ำเสียค่อนข้างคงตัว และอุณหภูมิที่เกิดขึ้นเปลี่ยนแปลงไม่มาก อาจเพราะมีการระบายความร้อน

4.2.3 ความชื้น

ความชื้นในการทำปุ๋ยจะอยู่ในช่วง 50-60 % ซึ่งเป็นสภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ หากปริมาณความชื้นลดลง จะไปยับยั้งกิจกรรมทางชีวภาพของจุลินทรีย์ และถ้าความชื้นมากเกินไปจะทำให้เกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนจะทำหิเกิดกลิ่นเหม็นในกองปุ๋ยหมัก ดังนั้น จะมีการควบคุมปริมาณความชื้นให้มีสภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลาย

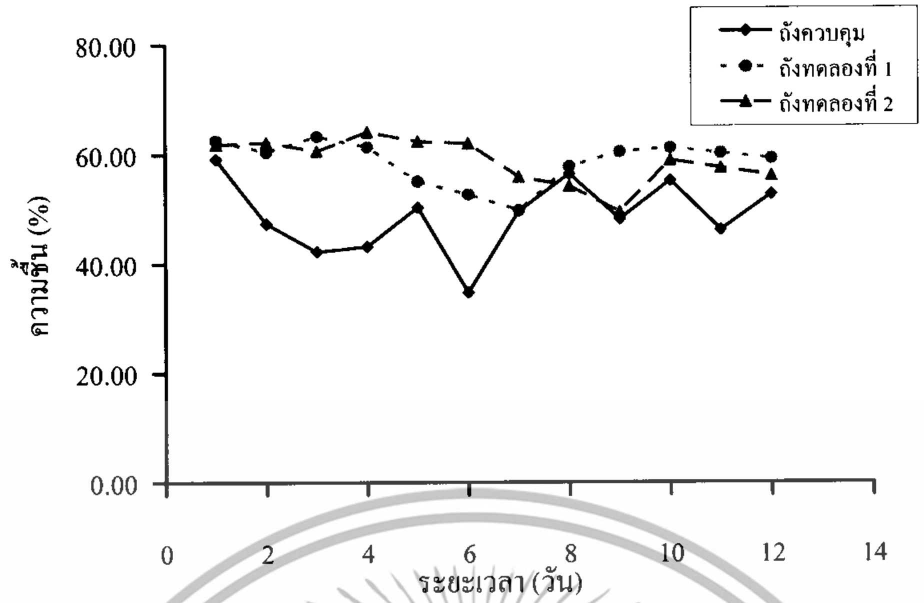
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารอินทรีย์ของ จุลินทรีย์ตลอดกระบวนการหมักโดยเมื่อความชื้นลดลงน้อยกว่า 50 % จะทำการเติมน้ำเพื่อเพิ่มความชื้นให้กับกองปุ๋ย ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3

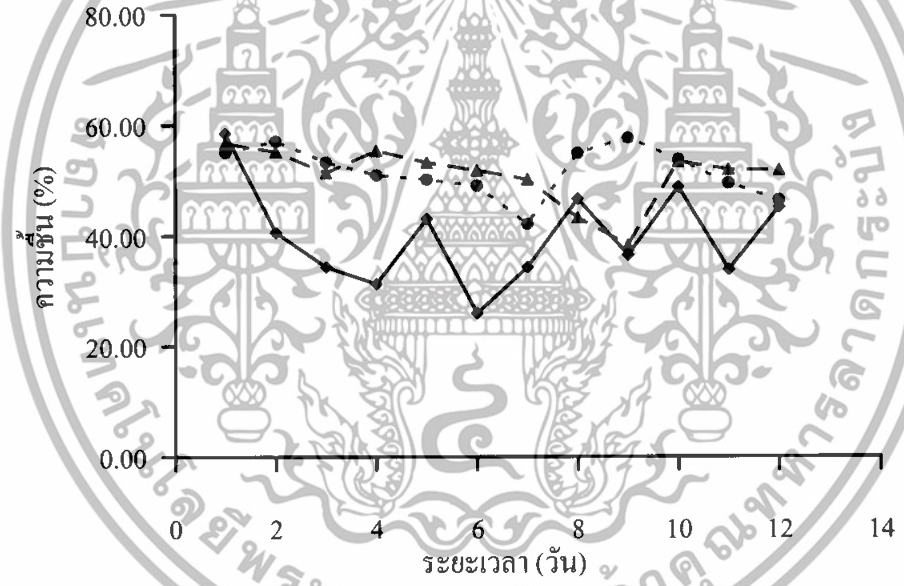
ตารางที่ 4.3 ความชื้นในกองปุ๋ยแต่ละสัปดาห์ และความถี่ในการรดน้ำของถังควบคุมและถังทดลอง

ครั้งที่	ถังควบคุม		ถังทดลองที่ 1		ถังทดลองที่ 2	
	ความชื้น (%)	ปริมาณน้ำที่รด (ml)	ความชื้น (%)	ปริมาณน้ำที่รด (ml)	ความชื้น (%)	ปริมาณน้ำที่รด (ml)
1	59.16±2.81	-	62.52±3.36	-	61.82±1.89	-
2	47.34±2.68	2,000	60.44±23.25	-	62.23±2.78	-
3	42.24±3.37	2,000	63.30 ±2.82	-	60.64±3.08	-
4	43.18±3.15	2,000	61.37±4.80	-	64.11±1.14	-
5	50.38±2.22	-	55.09±1.56	-	62.38±3.07	-
6	34.79±1.77	2,000	52.73±1.49	-	62.02±1.30	-
7	49.66±2.45	2,000	49.81±4.30	2,000	55.91±1.30	-
8	56.45±2.44	-	57.80±2.07	-	54.25±1.45	-
9	48.19±1.92	2,000	60.46±1.77	-	49.51±2.77	2,000
10	55.25±1.37	-	61.19±2.12	-	58.93±1.90	-
11	46.18±2.25	2,000	60.22±2.54	-	57.54±2.32	-
12	52.68±1.24	-	59.22±2.21	-	56.12±1.35	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.5 ปริมาณความชื้นในกองปุ๋ยหมัก

(ก) ที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร (ข) ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร

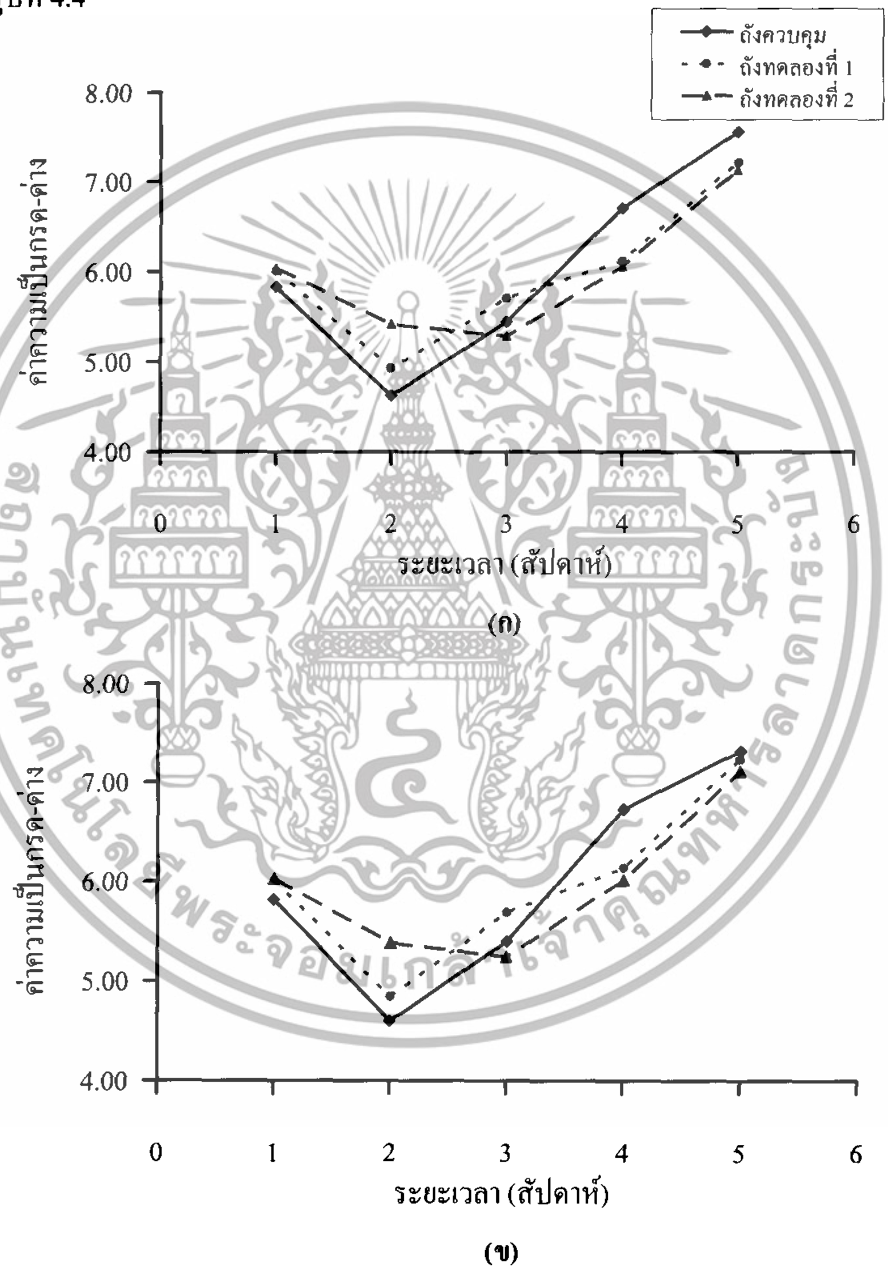
จากรูปที่ 4.5 หากปริมาณความชื้นในกองปุ๋ยลดลงจนต่ำกว่า 50 % จะทำการรดน้ำลงในปุ๋ย จากการทดลองปุ๋ยหมักในถังควบคุมมีการสูญเสียความชื้นง่ายอัตราการเติมน้ำเพื่อเพิ่มความชื้นให้กับกองปุ๋ยจึงมากกว่าในถังทดลองทั้งสองถังที่มีการรักษาความชื้นภายในกองปุ๋ยดีกว่า เนื่องมาจากถังทดลองทั้งสองถังมีการปิดแผ่นพลาสติกที่ปากถัง จึงช่วยลดอัตราการสูญเสียน้ำจากกองปุ๋ย เมื่อน้ำระเหยออกจากกองก็จะควบแน่นกลับลงมาในกองปุ๋ยจึงส่งผลให้ความชื้นที่ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสูง 50 เซนติเมตร มีความชื้นมากกว่าที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร เนื่องจากน้ำที่ควบแน่นลงมาจะชะผ่านกองปุ๋ยจากด้านบนลงมาด้านล่างของถังหมัก

4.2.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ค่าความเป็นกรด-ด่างแสดงปริมาณกรดอินทรีย์ที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ซึ่งเมื่อมีการอัตราย่อยสลายสูงขึ้น จะมีปริมาณกรดอินทรีย์สูงขึ้นตามไปด้วย ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของปุ๋ยในถังหมัก

(ก) ที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร (ข) ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่างของทั้ง 3 ถัง มีค่าใกล้เคียงกัน คือในช่วงแรกจะมีค่าอยู่ในช่วงของกรดอ่อน เนื่องจากเกิดกรดอินทรีย์บางชนิดจากกระบวนการย่อยสลายสารประกอบที่ย่อยสลายง่ายของจุลินทรีย์ดังสมการ 2.1-2.3 หลังจากนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยดังสมการ 2.1-2.3 (พรรษวรรณ, 2548)

4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของปุ๋ยหมัก

เมื่อระดับอัตราการยุบตัวของกองปุ๋ยหมักคงที่คือไม่ยุบตัวอีกแล้วและระดับอุณหภูมิคงที่ที่ระดับอุณหภูมิห้อง วิเคราะห์คุณภาพของปุ๋ยหมัก เพื่อเปรียบเทียบกับวัสดุหมักเริ่มต้นและเปรียบเทียบกับมาตรฐานที่ดีของปุ๋ยหมัก แสดงดังตารางที่ 4.4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของวัสดุหมักเริ่มต้น และปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์แล้ว

พารามิเตอร์ที่วัด	วัสดุหมักเริ่มต้น	ปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์แล้ว			มาตรฐานที่ดีของปุ๋ยหมัก
		ถังควบคุม	ถังทดลองที่ 1	ถังทดลองที่ 2	
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	28.26 ± 0.02	27.33±0.06	26.20±0.00	26.50±0.00	27
ความชื้น (%)	55.76 ± 1.96	52.68±1.24	59.22±2.21	56.12±1.35	35-40
ความเป็นกรด - ด่าง	5.48 ±0.16	7.56±0.01	7.21±0.01	7.13±0.01	7.0-8.0
ค่าการนำไฟฟ้า (มิลลิโอร์ม/เซนติเมตร)	6.63 ± 0.07	4.37±0.02	4.52 ±0.04	4.55±0.04	2
กลิ่น	เหม็นน้อย	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น
ไนโตรเจน (%)	2.04 ± 0.08	2.38±0.06	2.46±0.03	2.39±0.05	0.5
ฟอสฟอรัส (%)	0.421 ±0.005	0.621±0.013	0.459± 0.003	0.451±0.07	0.2
โพแทสเซียม (%)	0.0038 ± 0.0004	0.0063±0.0005	0.0042±0.0004	0.0040±0.0007	0.8
ไนเทรต-ไนโตรเจน (%)	0.0162 ± 0.0011	0.0336±0.0025	0.0840±0.0030	0.0658±0.0006	-
อินทรียคาร์บอน (%)	47.74 ± 0.21	55.13±1.65	57.42±0.12	55.84±0.06	-
อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน	23.40 : 1	23.15 : 1	24.13 : 1	23.36 : 1	<20.0:1

บทที่ 5
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาประสิทธิภาพการผลิตปุ๋ยหมักด้วยวิธีการเติมอากาศแบบซิมนีย์คอนเวคชัน โดยใช้ขนาดของท่อเติมอากาศที่ต่างกันเปรียบเทียบกับวิธีการหมักปุ๋ยแบบกลับกอง โดยใช้กากตะกอนน้ำเสียและผักตบชวาเป็นวัสดุหมัก สามารถสรุปได้ ดังนี้

- อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างกากตะกอนจากระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนและผักตบชวา คือ 2.15 : 1 (โดยน้ำหนักเปียก) ซึ่งได้ค่าอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็น 23.4 : 1

- จากการศึกษาประสิทธิภาพในการหมักปุ๋ยพบว่า อัตราการยุบตัวของถังหมักปุ๋ยโดยวิธีกลับกองจะเร็วกว่าถังหมักปุ๋ยโดยวิธีเติมอากาศแบบซิมนีย์คอนเวคชันเล็กน้อย ส่วนอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมักในถังหมักทั้ง 3 ถัง มีค่าใกล้เคียงกัน

- จากการวิเคราะห์ธาตุอาหารในปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์จากถังหมักทั้งสาม พบว่าปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ไนเทรต-ไนโตรเจน เพิ่มขึ้นจากวัสดุหมักเริ่มต้น เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของปุ๋ยหมักที่ดีแล้ว ไนโตรเจนและฟอสฟอรัสมีค่าอยู่ในมาตรฐานที่ดีของปุ๋ยหมัก ส่วนโพแทสเซียมมีปริมาณต่ำกว่าค่ามาตรฐาน ดังนั้น ควรมีการเติมโพแทสเซียมเพิ่มให้เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช

- การหมักปุ๋ยโดยวิธีการเติมอากาศแบบซิมนีย์คอนเวคชันจะสะดวกกว่าการหมักปุ๋ยโดยวิธีกลับกอง เนื่องจากไม่ต้องกลับกองปุ๋ย และมีการเติมน้ำเพียงเล็กน้อย

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลองพบว่า ขนาดท่อเติมอากาศมีผลต่อประสิทธิภาพการหมักปุ๋ยเพียงเล็กน้อย ทั้งนี้อาจเป็นเพราะกากตะกอนน้ำเสียและผักตบชวาเป็นวัสดุหมักที่ย่อยสลายยาก จึงไม่เห็นความแตกต่างในระยะเวลาการหมักอันสั้น ดังนั้น ควรใช้วัสดุหมักที่ย่อยสลายง่าย เช่น เศษอาหาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ.2546. **รายงานองค์ประกอบและปริมาณขยะมูลฝอยพื้นที่กรุงเทพมหานคร.** [Online] Available : http:// www.pcd.go.th/count/wastedl.cfm?FileName=waste_volumn.xls

กรมพัฒนาที่ดิน. 2547. **คู่มือการวิเคราะห์ตัวอย่างดิน น้ำ ปุ๋ย พืช วัสดุปรับปรุงดิน และการวิเคราะห์ เพื่อตรวจสอบรับรองมาตรฐานสินค้า เล่ม 2.** สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน.

กรมอุตุนิยมวิทยา. 2551. **สรุปลักษณะอากาศรายวันกรมอุตุนิยมวิทยา** [Online] Available : http:// www.tmd.go.th/climate/climate.php

ธงชัย มาลา. 2546. **ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์.** ภาควิชาปฐพี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกุล, ชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร. เสมอขวัญ ตันติกุล และแสนวสันต์ ยอดคำ.2546. **ระบบหมักปุ๋ยแบบกองเติมอากาศ : เพื่อการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษพืชในเชิงอุตสาหกรรมสำหรับชุมชน.**[Online] Available : http:// www.compost.mju.ac.th/prod/finding.htm

เทศบาลนครระยอง. **การจัดการมูลฝอยของเทศบาลนครระยอง** [Online] Available : http://www.rayongcity.com/data.php?content_id47

ไผทรัตน์ และคณะ. 2549. **การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษอาหารครัวเรือนโดยวิธีเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันเปรียบเทียบกับวิธีการหมักแบบดั้งเดิม.** ภาควิชาเคมี. คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พรรษวรรณ ตันทวี. 2548. **การทำปุ๋ยหมัก (Composting).** เอกสารประกอบการเรียนวิชาเทคโนโลยีการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่. สาขาเคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พรสุดา และคณะ. 2006. **การผลิตปุ๋ยหมักจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชนและหญ้าขนโดยใช้วิธีเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน.** ภาควิชาเคมี. คณะวิทยาศาสตร์. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พิทยากร ลิ่มทอง. 2546. **การจัดการดินและพืชเพื่อปรับปรุงดินอินทรียวัตถุต่ำ กรุงเทพฯ.** คณะกรรมการกำหนดมาตรการและจัดทำเอกสารอนุรักษ์ดินและน้ำและการจัดการดิน. กรมพัฒนาที่ดิน.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อรวรรณ ศิริรัตน์พิริยะ. 2542. **การจัดการกากตะกอนบำบัดน้ำเสียชุมชน เพื่อศักยภาพความเป็นปุ๋ยมาใช้ประโยชน์.** วิทยานิพนธ์. วิทยาศสาสตร์สิ่งแวดล้อม. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Barrington S., Choniere D., Trighti M. and K night W. 2002. **Compost Convection Airflow under Passive Aeration.** Bioresourse Technology 86, 259-266.

Diaz L.F., Sevage G.M. and Eggerth L.L. 1993. **Composting and Recycling Municipal Solid Waste.** [Online]

Available : http://www.dep.state.pa.us/dep/deputate/airwaste/wm/recycle/Tech_Rpts /Cumberland.

EU Landfill Directive . **EU Landfill Directive and Waste Strategy.** [Online]

Available : http://www.foe.co.uk/resource/factsheets/eu_langfill_directive.pdf

Tchobanogolus G., Theisen H. and Vigil S. 1993. **Composting and Related Organics Processesing Facilities** [Online]

Available : http://www.environment .nsw.gov.au/resourses/composting_guidelines.pdf

Tognetti C., Mazarino M.J., Laos F. 2006. **Improving the Quality of Municipal Organic Waste Compost .** Bioresourse Technology 98., 1067-1076.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีการสุ่มวัตถุดิบในการหมักและการคำนวณหาอัตราส่วนผสม ระหว่างกากตะกอนน้ำเสีย และผักตบชวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก 1 การสุ่มตัวอย่างวัสดุหมัก (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

ก่อนการทำปุ๋ยหมัก ควรมีการสุ่มวัสดุหมักอย่างมีระบบ เพื่อให้ได้ลักษณะองค์ประกอบเหมือนกันทั้งหมด และสามารถเป็นตัวอย่างของวัสดุหมักที่ต้องการวิเคราะห์ โดยนำตัวอย่างวัสดุหมักมาประมาณ 10 กิโลกรัม แล้วทำการทดลองดังนี้

1. สุ่มตัวอย่างวัสดุหมักมา 10 กิโลกรัม แบ่งเป็น 4 ส่วน แสดงดังรูปที่ ก 2 (เลือก 2 ส่วนที่ตรงข้ามกัน)
2. นำตัวอย่างที่สุ่มมาจากข้อ 1 มาแบ่งเป็น 4 ส่วน แล้วสุ่มตัวอย่างด้วยวิธีเดิม (เลือก 2 ส่วนที่ตรงข้ามกัน)
3. สุ่มตัวอย่างเศษอาหารจากข้อ 2 มาประมาณ 1 กิโลกรัม แบ่งมา 10 กรัม นำไปวัดค่าความเป็นกรด - ด่าง
4. ตัวอย่างเศษอาหารที่เหลือนำไปอบที่อุณหภูมิ 75-100 องศาเซลเซียส จนแห้งสนิท
5. นำตัวอย่างที่แห้งจนมีน้ำหนักคงที่แล้วไปหาค่าความชื้น
6. แบ่งตัวอย่างที่อบแห้งส่วนหนึ่งไปบดละเอียดขนาด 1 มิลลิเมตร แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิเคเตอร์
7. แล้วนำไปหาปริมาณไนโตรเจน โพแทสเซียม และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด

รูปที่ ก.1 การแบ่งวัสดุหมักออกเป็น 4 ส่วน (Quartering)
และเลือกสุ่มเอามา 2 ส่วนที่อยู่ตรงข้ามกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ก 2 การผสมสารเร่ง พด. 1 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

วิธีใช้ ละลายสารเร่ง พด.1 ปริมาณ 100 กรัม ในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากัน นาน 15 นาที ใช้กับปุ๋ยหมัก 1 ตัน (1,000 กิโลกรัม)

ถ้ามีปุ๋ย 1,000 กิโลกรัม ใช้สารเร่ง 100 กรัม

ดังนั้นปุ๋ย 242 กิโลกรัม จะใช้สารเร่ง $\frac{100 \times 242}{1{,}000}$ = 24.2 กรัม

สารเร่ง 100 กรัม ต้องละลายในน้ำ 20 ลิตร

ใช้สารเร่ง 24.2 กรัม ต้องละลายในน้ำ = $\frac{24.2 \times 20}{100}$ ลิตร

= 4.84 ลิตร

= 4,840 มิลลิลิตร

ก 3 การคำนวณหาค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

หาอัตราส่วนของกากตะกอนน้ำเสียที่ใช้ผสมกับผักตบชวา เพื่อให้ค่า C/N ratio ของส่วนผสมเป็น 23:1 ถ้าผสม กากตะกอนน้ำเสีย : ผักตบชวา ในอัตราส่วน 2.15 : 1.00 กิโลกรัมโดยน้ำหนักแห้งจะได้ค่า C/N ratio เท่ากับ 23.4 : 1

สูตรการคำนวณ

$$C/N\ ratio = \frac{(C_A)(TS_A) + (C_B)(TS_B)}{(N_A)(TS_A) + (N_B)(TS_B)}$$

โดย % C ในตะกอนแห้ง = 18.77

TS ตะกอน = 45.08

% C ในผักตบชวา = 54.36

TS ผักตบชวา = 97.06

% N ในตะกอนแห้ง = 2.34

% N ในผักตบชวา = 2.23

แทนค่า

$$C/N\ ratio = \frac{18.77\ (45.08) + 54.36\ (97.06)}{2.34\ (45.08) + 2.23\ (97.06)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{23}{1} = \frac{846.1516_A + 5276.1816_B}{105.4872_B + 216.4428_B}$$

$$2426.2056_A + 4978.1844_B = 846.1516_A + 5276.1816_B$$

$$1580.054_A = 297.9972_B$$

$$\frac{1580.054_A}{297.9972_B} = \frac{5.30}{1}$$

ถ้าใช้กากตะกอนน้ำเสีย(A) 1 กิโลกรัม

$$\frac{1580.054 \times 1}{297.9972 \times B} = \frac{5.30}{1}$$

จะต้องใช้ผักตบชวา(B) = 1 กิโลกรัม

ใช้ กากตะกอน : ผักตบชวา 1 : 1 โดยน้ำหนักแห้ง

กากตะกอนน้ำเสีย มี % ความชื้น = 54.92 % TS = 45.08 %

กากตะกอน 45.08 กิโลกรัม จากน้ำหนักเปียก 100 กิโลกรัม

ถ้ากากตะกอน 1 กิโลกรัม จากน้ำหนักเปียก $= \frac{100 \times 1}{45.08}$ กิโลกรัม

$= 2.22$ กิโลกรัม

ผักตบชวา มี % ความชื้น = 2.5 % TS = 97.06 %

ผักตบชวา 97.06 กิโลกรัม จากน้ำหนักเปียก 100 กิโลกรัม

ถ้าผักตบชวา 1 กิโลกรัม จากน้ำหนักเปียก $= \frac{100 \times 1}{97.06}$ กิโลกรัม

$= 1.03$ กิโลกรัม

ใช้กากตะกอน : ผักตบชวา เท่ากับ 2.15 กิโลกรัม :1 กิโลกรัม (โดยน้ำหนักเปียก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

วิธีการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยหมัก

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข 1 การศึกษาผลปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในกองปุ๋ย โดยตัวอย่างตะกอนแห้ง 0.5 กรัม ผ่านการย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก 15 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมตร 25 มิลลิลิตร เติมน้ำยาบาร์ทอน 5 มิลลิลิตร ปรับปริมตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากัน ทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

การคำนวณ

$$\%P = \frac{r \times 100 \times d.f. \times 100}{10^{6} S}$$

r = มิลลิกรัมต่อลิตรอ่านจากเครื่องต้องหักลบด้วยแบลงค์

d.f. = dilution factor (25/5)

S = น้ำหนักตัวอย่างที่นำไปย่อย (กรัม) ปรับปริมาตรเป็น 100 มิลลิลิตร

ข 2 การศึกษาผลปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในกองปุ๋ย โดยตัวอย่างตะกอนแห้ง 5.0 กรัม สกัดด้วยน้ำยาแอมโมเนียอะซเตต 50 มิลลิลิตร เขย่า 30 นาที จากนั้นกรองผ่านด้วยกระดาษกรอง 0.45 ไมครอน แล้วปรับปริมตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชั่น สเปคโตโฟโตมิเตอร์

การคำนวณ

$$\%K = \frac{r \times 100 \times d.f. \times 100}{10^{6} S}$$

r = มิลลิกรัมต่อลิตรอ่านจากเครื่องต้องหักลบด้วยแบลงค์

d.f. = dilution factor

S = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข 3 การศึกษาผลปริมาณเทรตทั้งหมดในกองปุ๋ย โดยตัวอย่างตะกอนแห้ง 5.0 กรัม สกัดด้วยน้ำยาโพแทสเซียมคลอไรด์ 2 นอร์มัลปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่า 30 นาที จากนั้นกรองผ่านกระดาษกรอง 0.45 ไมครอน เติมโซเดียมคลอไรด์ 2 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริก (4+1) 10 มิลลิลิตรในขณะที่เย็นจัด ถ้าเกิดสีให้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร เติม 0.5 มิลลิลิตร ของสารละลายบลูซีน + ซัลฟาลินิก นำไปอังน้ำที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เมื่อเย็นนำไปอ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร

การคำนวณ

$$\%NO_3^- = \frac{r \times 100 \times d.f. \times 100}{10^6 S}$$

r = มิลลิกรัมต่อลิตรอ่านจากเครื่องต้องหักลบด้วยแบลงค์

d.f. = dilution factor

S = น้ำหนักตัวอย่าง (กรัม)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค

การศึกษาสภาวะระหว่างการหมักปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค 1 การศึกษาอัตราการยุบตัวของกองปุ๋ย

โดยทำการวัดความสูงของกองปุ๋ยทั้ง 4 และวัดทุกวัน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ ค 1.1 – ค 1.3

ตารางที่ ค 1.1 ความสูงของตัวอย่างปุ๋ยในถังควบคุม

วันที่	ความสูงของกองปุ๋ย (เซนติเมตร)					
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	60	60	60	60	60.00	0.00
2	57	56	58	58	57.25	0.96
3	52	51	53	52	52.00	0.82
4	48	47	48	49	48.00	0.82
5	47	46	48	48	47.25	0.96
6	48	47	49	49	48.25	0.96
7	47	46	48	48	47.25	0.96
8	45	44	46	46	45.25	0.96
9	44	43	46	45	44.50	1.29
10	42	41	44	44	42.75	1.50
11	40	40	43	42	41.25	1.50
12	39	38	43	42	40.50	2.38
13	38	38	41	41	39.50	1.73
14	38	38	40	39	38.75	0.96
15	37	37	40	39	38.25	1.50
16	37	36	39	38	37.50	1.29
17	36	35	38	38	36.75	1.50
18	36	35	38	37	36.50	1.29
19	35	35	37	37	36.00	1.15
20	35	34	36	37	35.50	1.29
21	35	34	36	36	35.25	0.96
22	34	33	36	36	34.75	1.50
23	34	33	36	36	34.75	1.50
24	34	33	36	36	34.75	1.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 1.1 ความสูงของตัวอย่างปุ๋ยในถังควบคุม (ต่อ)

วันที่	ความสูงของกองปุ๋ย (เซนติเมตร)					
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	ค่าเฉลี่ย	S.D.
25	34	33	36	36	34.75	1.50
27	34	33	36	35	34.50	1.29
28	34	33	36	35	34.50	1.29
29	34	33	36	35	34.50	1.29
30	34	33	36	35	34.50	1.29
31	33	33	36	35	34.25	1.50
32	33	33	36	35	34.25	1.50
33	33	33	35	34	33.75	0.96
34	33	32	35	34	33.50	1.29
35	33	32	35	34	33.50	1.29
36	33	32	35	34	33.50	1.29
37	33	32	35	34	33.50	1.29

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 1.2 ความสูงของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 1

วันที่	ความสูงของกองปุ๋ย (เซนติเมตร)					
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	60	60	60	60	60.00	0.00
2	58	57	58	58	57.75	0.50
3	53	53	52	53	52.75	0.50
4	50	50	50	51	50.25	0.50
5	49	50	49	50	49.50	0.58
6	48	50	49	50	49.25	0.96
7	47	50	49	50	49.00	1.41
8	46	49	48	49	48.00	1.41
9	45	49	48	48	47.50	1.73
10	45	49	46	48	47.00	1.83
11	44	48	45	47	46.00	1.83
12	44	48	44	46	45.50	1.91
13	43	47	44	45	44.75	1.71
14	42	46	43	45	44.00	1.83
15	41	44	41	43	42.25	1.50
16	40	42	40	42	41.00	1.15
17	39	40	39	40	39.50	0.58
18	39	40	39	40	39.50	0.58
19	39	40	38	40	39.25	0.96
20	39	40	38	40	39.25	0.96
21	39	40	38	40	39.25	0.96
22	39	40	38	40	39.25	0.96
23	39	40	38	40	39.25	0.96
24	39	40	38	40	39.25	0.96
25	39	40	38	40	39.25	0.96
26	38	40	38	39	38.75	0.96

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 1.2 ความสูงของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 1 (ต่อ)

วันที่	ความสูงของกองปุ๋ย (เซนติเมตร)					
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	ค่าเฉลี่ย	S.D.
27	38	40	37	39	38.50	1.29
28	38	40	37	39	38.50	1.29
29	38	40	37	39	38.50	1.29
30	38	40	37	38	38.25	1.26
31	38	40	37	38	38.25	1.26
32	38	40	37	38	38.25	1.26
33	38	40	37	38	38.25	1.26
34	38	40	36	38	38.00	1.63
35	38	40	36	38	38.00	1.63
36	38	40	36	38	38.00	1.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 1.3 ความสูงของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 2

วันที่	ความสูงของกองปุ๋ย (เซนติเมตร)					
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	60	60	60	60	60.00	0.00
2	58	58	57	57	57.50	0.58
3	54	56	54	54	54.50	1.00
4	52	53	52	51	52.00	0.82
5	52	53	52	50	51.75	1.26
6	51	53	51	50	51.25	1.26
7	51	52	51	49	50.75	1.26
8	49	51	50	48	49.50	1.29
9	48	51	49	47	48.75	1.71
10	47	50	48	45	47.50	2.08
11	46	50	47	44	46.75	2.50
12	46	50	47	43	46.50	2.89
13	44	49	46	42	45.25	2.99
14	43	49	45	42	44.75	3.10
15	43	49	45	41	44.50	3.42
16	43	49	44	40	44.00	3.74
17	42	48	44	38	43.00	4.16
18	42	45	43	38	42.00	2.94
19	42	42	43	37	41.00	2.71
20	41	43	42	37	40.75	2.63
21	41	43	42	37	40.75	2.63
22	41	43	42	37	40.75	2.63
23	40	43	42	37	40.50	2.65
24	40	43	41	36	40.00	2.94
25	40	43	41	36	40.00	2.94
26	40	43	41	36	40.00	2.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 1.3 ความสูงของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 2 (ต่อ)

วันที่	ความสูงของกองปุ๋ย (เซนติเมตร)					
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	ค่าเฉลี่ย	S.D.
27	40	43	41	36	40.00	2.94
28	40	43	41	36	40.00	2.94
29	40	43	41	36	40.00	2.94
30	40	42	40	36	39.50	2.52
31	39	42	40	36	39.25	2.50
32	39	42	40	36	39.25	2.50
33	39	42	40	36	39.25	2.50
34	39	42	40	36	39.25	2.50
35	39	42	40	36	39.25	2.50
36	39	42	40	36	39.25	2.50

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 2.1(1) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังควบคุม ที่ระดับความสูง 70 เซนติเมตร

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)															
	อุณหภูมิบรรยากาศ	ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
12/1/2551	22.3	28.0	27.9	27.9	27.93	0.06	26.9	27.1	27.0	27.00	0.10	26.5	26.2	26.4	26.37	0.15
13/1/2551	23.9	24.4	24.4	24.6	24.47	0.12	24.1	23.8	24.0	23.97	0.15	23.4	23.2	23.5	23.37	0.15
14/1/2551	21.4	24.7	24.6	24.7	24.67	0.06	23.5	23.7	23.5	23.57	0.12	23.2	23.2	23.1	23.17	0.06
15/1/2551	21.0	25.8	25.9	25.9	25.87	0.06	24.5	24.3	24.4	24.40	0.10	23.7	23.9	23.7	23.77	0.12
16/1/2551	21.4	27.3	27.0	27.2	27.17	0.15	26.2	26.4	26.5	26.37	0.15	24.8	24.6	24.7	24.70	0.10
17/1/2551	22.2	28.5	28.4	28.2	28.37	0.15	27.6	27.5	27.5	27.53	0.06	27.0	27.2	27.0	27.07	0.12
18/1/2551	23.9	28.6	28.4	28.6	28.53	0.12	27.2	27.3	27.1	27.20	0.10	26.8	26.8	26.7	26.77	0.06

ตารางที่ ค 2.1(2) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังควบคุม ที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)															
	อุณหภูมิบรรยากาศ	ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
12/1/2551	22.3	26.9	26.8	27.0	26.90	0.10	26.8	26.9	27.2	26.97	0.21	27.4	27.2	27.3	27.30	0.10
13/1/2551	23.9	26.1	26.1	26.0	26.07	0.06	26.4	26.3	26.3	26.33	0.06	26.9	26.7	26.8	26.80	0.10
14/1/2551	21.4	26.7	26.7	26.6	26.67	0.06	26.9	27.1	27.1	27.03	0.12	27.4	27.3	27.3	27.33	0.06
15/1/2551	21.0	23.3	23.2	23.4	23.30	0.10	25.0	25.2	25.2	25.13	0.12	26.1	26.1	26.3	26.17	0.12
16/1/2551	21.4	25.1	24.9	25.0	25.00	0.10	27.0	26.8	26.7	26.83	0.15	27.2	27.2	27.2	27.20	0.00
17/1/2551	22.2	25.7	25.7	25.6	25.67	0.06	26.9	27.1	27.1	27.03	0.12	27.4	27.3	27.4	27.37	0.06
18/1/2551	23.9	26.5	26.5	26.4	26.47	0.06	27.3	27.1	27.1	27.17	0.12	27.8	27.6	27.8	27.73	0.12
19/1/2551	23.4	26.4	26.4	26.5	26.43	0.06	27.4	27.5	27.5	27.47	0.06	27.8	27.7	27.9	27.80	0.10
20/1/2551	21.0	25.7	25.9	25.8	25.80	0.10	27.1	27.3	27.4	27.27	0.15	28.1	27.9	27.9	27.97	0.12
21/1/2551	22.7	26.1	26.2	25.8	26.03	0.21	25.7	25.6	25.6	25.63	0.06	26.1	25.9	26.2	26.07	0.15
22/1/2551	21.0	25.1	24.9	25.1	25.03	0.12	25.6	25.8	25.9	25.77	0.15	26.2	26.4	26.2	26.27	0.12

ตารางที่ ค 2.1(2) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังควบคุม ที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิบรรยากาศ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)														
		ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
23/1/2551	21.2	26.3	26.3	26.1	26.23	0.12	26.5	26.4	26.3	26.40	0.10	26.9	26.7	26.8	26.80	0.10
24/1/2551	24.2	27.1	27.2	26.9	27.07	0.15	27.4	27.5	27.5	27.47	0.06	27.6	27.5	27.8	27.63	0.15
25/1/2551	23.4	28.5	28.3	28.5	28.43	0.12	28.7	28.6	28.7	28.67	0.06	28.9	28.8	28.8	28.83	0.06
26/1/2551	25.8	29.3	29.2	29.2	29.23	0.06	28.7	28.5	28.5	28.57	0.12	28.5	28.5	28.7	28.57	0.12
27/1/2551	24.8	28.5	28.3	28.3	28.37	0.12	28.2	28.0	27.9	28.03	0.15	28.2	28.1	28.1	28.13	0.06
28/1/2551	25.9	28.8	28.7	28.7	28.73	0.06	28.5	28.3	28.5	28.43	0.12	28.4	28.4	28.4	28.40	0.00
29/1/2551	24.9	27.5	27.7	27.7	27.63	0.12	27.5	27.3	27.6	27.47	0.15	27.8	27.8	27.9	27.83	0.06
30/1/2551	24.6	27.8	27.9	27.7	27.80	0.10	27.5	27.6	27.5	27.53	0.06	27.3	27.3	27.2	27.27	0.06
31/1/2551	23.7	27.4	27.4	27.2	27.33	0.12	27.2	27.1	27.0	27.10	0.10	26.7	26.7	26.8	26.73	0.06
1/2/2551	22.5	25.4	25.3	25.4	25.37	0.06	25.1	24.9	25.1	25.03	0.12	25.2	25.1	25.0	25.10	0.10
2/2/2551	23.2	23.8	23.6	23.7	23.70	0.10	24.2	24.0	24.1	24.10	0.10	24.6	24.4	24.4	24.47	0.12

ตารางที่ ค 2.1(2) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังควบคุม ที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)															
	อุณหภูมิบรรยากาศ	ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
3/2/2551	23.0	26.6	26.3	26.4	26.43	0.15	26.0	25.9	26.0	25.97	0.06	25.8	25.7	25.7	25.73	0.06
4/2/2551	26.1	28.0	27.9	27.9	27.93	0.06	27.8	27.7	27.8	27.77	0.06	27.7	27.7	27.8	27.73	0.06
5/2/2551	25.8	27.6	27.5	27.6	27.57	0.06	27.3	27.4	27.4	27.37	0.06	27.3	27.1	27.2	27.20	0.10
6/2/2551	24.2	27.8	27.7	27.6	27.70	0.10	27.5	27.4	27.4	27.43	0.06	27.3	27.5	27.4	27.40	0.10
7/2/2551	24.5	27.5	27.4	27.6	27.50	0.10	26.9	26.8	27.0	26.90	0.10	27.2	27.3	27.1	27.20	0.10
8/2/2551	24.7	28.2	28.1	28.1	28.13	0.06	27.6	27.6	27.6	27.60	0.00	27.4	27.5	27.5	27.47	0.06
9/2/2551	24.7	28.1	28.2	28.2	28.17	0.06	27.9	27.9	28.0	27.93	0.06	27.5	27.6	27.5	27.53	0.06
10/2/2551	23.8	28.3	28.3	28.4	28.33	0.06	27.7	27.5	27.7	27.63	0.12	27.3	27.2	27.2	27.23	0.06
11/2/2551	24.1	27.6	27.7	27.6	27.63	0.06	27.1	27.0	26.9	27.00	0.10	26.8	26.7	26.7	26.73	0.06
12/2/2551	23.9	27.4	27.3	27.5	27.40	0.10	27.2	27.2	27.0	27.13	0.12	26.5	26.3	26.4	26.40	0.10
13/2/2551	24.8	27.8	27.9	28.0	27.90	0.10	27.5	27.4	27.4	27.43	0.06	27.1	27.3	27.3	27.23	0.12

ตารางที่ ค 2.1(2) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังควบคุม ที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)															
	อุณหภูมิบรรยากาศ	ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
14/2/2551	23.6	28.1	28.2	28.2	28.17	0.06	27.7	27.8	27.8	27.77	0.06	27.3	27.4	27.4	27.37	0.06
15/2/2551	22.5	27.6	27.7	27.5	27.60	0.10	27.3	27.4	27.4	27.37	0.06	26.7	26.9	26.8	26.80	0.10
16/2/2551	22.3	27.9	27.7	27.9	27.83	0.12	27.4	27.3	27.3	27.33	0.06	27.1	27.1	26.9	27.03	0.12

ตารางที่ ค 2.1(3) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังควบคุม ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)															
	อุณหภูมิบรรยากาศ	ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
12/1/2551	22.3	27.8	28.1	28.0	27.97	0.15	27.8	27.9	28.1	27.93	0.15	27.9	28.1	28.0	28.00	0.10
13/1/2551	23.9	25.1	25.0	25.0	25.03	0.06	25.4	25.2	25.4	25.33	0.12	26.2	26.3	26.3	26.27	0.06
14/1/2551	21.4	25.0	25.1	25.2	25.10	0.10	25.7	25.6	25.6	25.63	0.06	26.5	26.4	26.5	26.47	0.06
15/1/2551	21.0	24.4	24.2	24.6	24.40	0.20	25.2	25.3	25.3	25.27	0.06	25.9	25.8	25.7	25.80	0.10
16/1/2551	21.4	26.4	26.3	26.2	26.30	0.10	27.3	27.2	27.1	27.20	0.10	27.7	27.5	27.7	27.63	0.12
17/1/2551	22.2	26.5	26.4	26.5	26.47	0.06	27.5	27.4	27.4	27.43	0.06	27.6	27.7	27.5	27.60	0.10
18/1/2551	23.9	26.8	26.9	26.9	26.87	0.06	27.6	27.5	27.6	27.57	0.06	27.9	27.8	28.0	27.90	0.10
19/1/2551	23.4	27.6	27.7	27.7	27.67	0.06	28.1	28.2	28.1	28.13	0.06	28.3	28.4	28.3	28.33	0.06
20/1/2551	21.0	25.2	25.3	25.3	25.27	0.06	26.2	26.2	26.3	26.23	0.06	27.0	26.9	27.0	26.97	0.06
21/1/2551	22.7	25.8	25.8	25.9	25.83	0.06	26.0	25.9	26.1	26.00	0.10	26.2	26.3	26.2	26.23	0.06
22/1/2551	21.0	25.1	25.0	25.1	25.07	0.06	25.4	25.3	25.4	25.37	0.06	25.7	25.6	25.6	25.63	0.06

ตารางที่ ค 2.1(3) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังควบคุม ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)															
	อุณหภูมิบรรยากาศ	ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
23/1/2551	21.2	25.2	25.1	25.1	25.13	0.06	26.3	26.2	26.3	26.27	0.06	26.9	26.8	26.8	26.83	0.06
24/1/2551	24.2	26.0	25.9	25.9	25.93	0.06	26.4	26.5	26.3	26.40	0.10	26.8	26.9	26.5	26.73	0.21
25/1/2551	23.4	27.8	27.8	27.9	27.83	0.06	27.9	27.9	27.8	27.87	0.06	28.0	28.1	28.1	28.07	0.06
26/1/2551	25.8	28.0	28.1	28.1	28.07	0.06	28.4	28.3	28.5	28.40	0.10	28.6	28.7	28.5	28.60	0.10
27/1/2551	24.8	28.1	28.0	28.2	28.10	0.10	28.3	28.3	28.4	28.33	0.06	28.4	28.3	28.5	28.40	0.10
28/1/2551	25.9	28.4	28.2	28.3	28.30	0.10	28.3	28.4	28.3	28.33	0.06	28.4	28.5	28.4	28.43	0.06
29/1/2551	24.9	27.5	27.6	27.5	27.53	0.06	27.5	27.5	27.6	27.53	0.06	27.6	27.7	27.5	27.60	0.10
30/1/2551	24.6	27.6	27.5	27.5	27.53	0.06	27.8	27.8	27.9	27.83	0.06	27.6	27.4	27.5	27.50	0.10
31/1/2551	23.7	27.2	27.3	27.2	27.23	0.06	27.5	27.6	26.5	27.20	0.61	27.8	27.7	27.7	27.73	0.06
1/2/2551	22.5	25.8	25.9	25.9	25.87	0.06	26.1	26.1	26.0	26.07	0.06	25.6	25.6	25.7	25.63	0.06
2/2/2551	23.2	24.4	24.5	24.4	24.43	0.06	24.3	24.4	24.3	24.33	0.06	24.4	24.3	24.4	24.37	0.06

ตารางที่ ค 2.1(3) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังควบคุม ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)															
	อุณหภูมิบรรยากาศ	ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
3/2/2551	23.0	26.0	26.2	26.0	26.07	0.12	25.9	25.7	25.8	25.80	0.10	25.8	25.8	25.7	25.77	0.06
4/2/2551	26.1	27.8	27.9	27.8	27.83	0.06	27.5	27.6	27.4	27.50	0.10	27.4	27.5	27.6	27.50	0.10
5/2/2551	25.8	25.2	25.4	25.3	25.30	0.10	25.2	25.2	25.1	25.17	0.06	24.8	24.9	24.9	24.87	0.06
6/2/2551	24.2	24.9	25.0	25.0	24.97	0.06	24.9	25.0	24.8	24.90	0.10	25.0	25.1	24.9	25.00	0.10
7/2/2551	24.5	24.7	24.7	24.6	24.67	0.06	24.5	24.6	24.6	24.57	0.06	24.8	24.9	24.9	24.87	0.06
8/2/2551	24.7	26.0	26.1	26.1	26.07	0.06	25.7	25.8	25.7	25.73	0.06	25.8	25.9	25.7	25.80	0.10
9/2/2551	24.7	26.0	26.2	26.1	26.10	0.10	25.7	25.9	25.8	25.80	0.10	25.9	26.0	26.0	25.97	0.06
10/2/2551	23.8	26.5	26.5	26.6	26.53	0.06	25.9	26.0	26.0	25.97	0.06	25.9	26.1	26.0	26.00	0.10
11/2/2551	24.1	26.4	26.3	26.5	26.40	0.10	26.3	26.4	26.3	26.33	0.06	26.4	26.4	26.3	26.37	0.06
12/2/2551	23.9	26.2	26.3	26.2	26.23	0.06	26.2	26.1	26.1	26.13	0.06	26.4	26.4	26.4	26.40	0.00
13/2/2551	24.8	26.8	26.9	26.9	26.87	0.06	26.9	26.8	27.0	26.90	0.10	26.8	26.7	26.9	26.80	0.10

ตารางที่ ค 2.1(3) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังควบคุม ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)															
	อุณหภูมิบรรยากาศ	ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
14/2/2551	23.6	27.2	27.1	27.2	27.17	0.06	26.9	27.0	27.0	26.97	0.06	27.1	27.2	27.1	27.13	0.06
15/2/2551	22.5	26.1	26.3	26.2	26.20	0.10	26.1	26.1	26.0	26.07	0.06	25.9	26.0	26.1	26.00	0.10
16/2/2551	22.3	26.9	27.1	27.0	27.00	0.10	26.9	27.0	27.0	26.97	0.06	27.0	27.2	27.1	27.10	0.10

ตารางที่ ค 2.2(1) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 1 ที่ระดับความสูง 70 เซนติเมตร

วันที่	อุณหภูมิบรรยากาศ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)														
		ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
12/1/2551	22.3	27.3	27.2	27.4	27.30	0.10	27.4	27.4	27.6	27.47	0.12	28.0	27.9	28.1	28.00	0.10
13/1/2551	23.9	27.1	27.0	27.1	27.07	0.06	27.4	27.4	27.4	27.40	0.00	27.5	27.6	27.6	27.57	0.06
14/1/2551	21.4	27.7	27.6	27.6	27.63	0.06	27.9	28.0	27.8	27.90	0.10	28.1	28.2	28.2	28.17	0.06
15/1/2551	21.0	24.5	24.4	24.4	24.43	0.06	24.7	24.7	24.6	24.67	0.06	25.2	25.3	25.3	25.27	0.06
16/1/2551	21.4	25.8	25.7	25.7	25.73	0.06	25.5	25.6	25.4	25.50	0.10	26.2	26.3	26.3	26.27	0.06
17/1/2551	22.2	26.4	26.4	26.4	26.40	0.00	26.6	26.8	26.8	26.73	0.12	26.9	27.1	27.0	27.00	0.10
18/1/2551	23.9	27.0	26.9	27.0	26.97	0.06	27.3	27.4	27.4	27.37	0.06	27.6	27.6	27.7	27.63	0.06
19/1/2551	23.4	27.1	27.2	27.1	27.13	0.06	27.3	27.4	27.2	27.30	0.10	27.4	27.3	27.4	27.37	0.06
20/1/2551	21.0	24.7	24.7	24.6	24.67	0.06	24.4	24.3	24.4	24.37	0.06	24.4	24.4	24.4	24.40	0.00

ตารางที่ ค 2.2(2) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 1 ที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)															
	อุณหภูมิบรรยากาศ	ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
12/1/2551	22.3	27.9	27.8	28.0	27.90	0.10	27.9	27.9	29.1	28.30	0.69	28.4	28.3	28.4	28.37	0.06
13/1/2551	23.9	27.4	27.4	27.3	27.37	0.06	27.6	27.5	27.5	27.53	0.06	27.9	28.1	28.0	28.00	0.10
14/1/2551	21.4	26.9	26.7	26.7	26.77	0.12	27.1	27.1	27.0	27.07	0.06	27.4	27.5	27.4	27.43	0.06
15/1/2551	21.0	24.5	24.5	24.5	24.50	0.00	25.7	25.6	25.6	25.63	0.06	26.0	26.2	26.1	26.10	0.10
16/1/2551	21.4	26.2	26.1	26.1	26.13	0.06	26.5	26.4	26.5	26.47	0.06	26.8	26.7	26.7	26.73	0.06
17/1/2551	22.2	26.4	26.5	26.5	26.47	0.06	26.7	26.6	26.6	26.63	0.06	26.9	26.9	26.8	26.87	0.06
18/1/2551	23.9	26.8	26.7	26.7	26.73	0.06	26.4	26.3	26.5	26.40	0.10	26.8	27.0	26.9	26.90	0.10
19/1/2551	23.4	27.4	27.3	27.5	27.40	0.10	28.0	27.9	27.9	27.93	0.06	28.2	28.3	28.3	28.27	0.06
20/1/2551	21.0	24.9	25.0	25.1	25.00	0.10	26.8	26.9	26.8	26.83	0.06	27.4	27.5	27.4	27.43	0.06
21/1/2551	22.7	25.7	25.9	25.9	25.83	0.12	25.7	25.7	25.7	25.70	0.00	25.8	26.0	25.9	25.90	0.10
22/1/2551	21.0	25.3	25.5	25.5	25.43	0.12	25.8	25.9	25.8	25.83	0.06	25.8	26.0	26.0	25.93	0.12

ตารางที่ ค 2.2(2) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 1 ที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)															
	อุณหภูมิบรรยากาศ	ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
23/1/2551	21.2	25.5	25.6	25.6	25.57	0.06	25.9	25.8	25.8	25.83	0.06	26.1	25.9	25.9	25.97	0.12
24/1/2551	24.2	26.3	26.4	26.4	26.37	0.06	26.6	26.5	26.5	26.53	0.06	26.8	26.9	26.8	26.83	0.06
25/1/2551	23.4	27.2	27.1	27.2	27.17	0.06	27.4	27.4	27.5	27.43	0.06	27.5	27.7	27.8	27.67	0.15
26/1/2551	25.8	28.1	28.0	28.1	28.07	0.06	28.2	28.3	28.3	28.27	0.06	28.3	28.5	28.5	28.43	0.12
27/1/2551	24.8	28.2	28.2	28.2	28.20	0.00	28.3	28.2	28.2	28.23	0.06	28.5	28.6	28.7	28.60	0.10
28/1/2551	25.9	28.0	27.9	28.0	27.97	0.06	28.2	28.1	28.0	28.10	0.10	28.3	28.4	28.4	28.37	0.06
29/1/2551	24.9	27.2	27.2	27.3	27.23	0.06	27.4	27.6	27.5	27.50	0.10	27.6	27.7	27.6	27.63	0.06
30/1/2551	24.6	27.5	27.4	27.6	27.50	0.10	27.7	27.9	27.9	27.83	0.12	28.0	28.1	28.1	28.07	0.06
31/1/2551	23.7	27.1	27.2	27.2	27.17	0.06	27.3	27.4	27.3	27.33	0.06	27.5	27.4	27.4	27.43	0.06
1/2/2551	22.5	25.3	25.4	25.4	25.37	0.06	25.6	25.6	25.5	25.57	0.06	25.8	25.7	25.8	25.77	0.06
2/2/2551	23.2	23.7	23.8	23.7	23.73	0.06	23.6	23.7	23.5	23.60	0.10	23.6	23.6	23.7	23.63	0.06

ตารางที่ ค 2.2(2) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 1 ที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)															
	อุณหภูมิบรรยากาศ	ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
3/2/2551	23.0	25.5	25.4	25.4	25.43	0.06	25.3	25.4	25.3	25.33	0.06	25.3	25.4	25.3	25.33	0.06
4/2/2551	26.1	27.2	27.2	27.3	27.23	0.06	27.2	27.3	27.3	27.27	0.06	27.2	27.1	27.1	27.13	0.06
5/2/2551	25.8	25.3	25.2	25.2	25.23	0.06	25.5	25.6	25.5	25.53	0.06	25.4	25.5	25.5	25.47	0.06
6/2/2551	24.2	25.1	25.0	25.1	25.07	0.06	25.2	25.1	25.2	25.17	0.06	25.2	25.3	25.3	25.27	0.06
7/2/2551	24.5	24.9	24.8	24.9	24.87	0.06	24.8	24.7	24.7	24.73	0.06	24.7	24.8	24.8	24.77	0.06
8/2/2551	24.7	25.4	25.5	25.6	25.50	0.10	25.5	25.6	25.6	25.57	0.06	25.5	25.4	25.4	25.43	0.06
9/2/2551	24.7	25.6	25.7	25.7	25.67	0.06	25.7	25.7	25.7	25.70	0.00	25.6	25.5	25.6	25.57	0.06
10/2/2551	23.8	26.0	25.9	26.0	25.97	0.06	26.1	26.0	26.0	26.03	0.06	26.0	25.9	25.9	25.93	0.06
11/2/2551	24.1	25.8	25.7	25.7	25.73	0.06	26.1	26.0	26.2	26.10	0.10	26.0	25.9	25.9	25.93	0.06
12/2/2551	23.9	25.7	25.6	25.7	25.67	0.06	25.9	26.0	25.8	25.90	0.10	25.7	25.6	25.6	25.63	0.06
13/2/2551	24.8	26.1	26.0	26.2	26.10	0.10	26.4	26.3	26.4	26.37	0.06	26.4	26.3	26.3	26.33	0.06

ตารางที่ ค 2.2(2) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 1 ที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)															
	อุณหภูมิบรรยากาศ	ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
14/2/2551	23.6	26.4	26.5	26.5	26.47	0.06	26.4	26.5	26.6	26.50	0.10	26.5	26.6	26.5	26.53	0.06
15/2/2551	22.5	25.9	26.0	26.0	25.97	0.06	25.8	25.7	25.9	25.80	0.10	25.9	25.8	25.8	25.83	0.06
16/2/2551	22.3	26.2	26.2	26.3	26.23	0.06	26.2	26.2	26.2	26.20	0.00	26.4	26.4	26.5	26.43	0.06

ตารางที่ ค 2.2(3) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 1 ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)															
	อุณหภูมิบรรยากาศ	ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
12/1/2551	22.3	27.6	27.6	27.4	27.53	0.12	27.6	27.4	27.3	27.43	0.15	27.3	27.3	27.1	27.23	0.12
13/1/2551	23.9	25.1	25.0	25.1	25.07	0.06	25.2	25.2	25.2	25.20	0.00	25.3	25.4	25.3	25.33	0.06
14/1/2551	21.4	25.2	25.2	25.1	25.17	0.06	25.3	25.3	25.4	25.33	0.06	25.6	25.5	25.5	25.53	0.06
15/1/2551	21.0	24.0	23.9	24.0	23.97	0.06	24.3	24.2	24.3	24.27	0.06	24.5	24.5	24.6	24.53	0.06
16/1/2551	21.4	24.4	24.3	24.3	24.33	0.06	24.5	24.5	24.6	24.53	0.06	24.8	24.9	24.7	24.80	0.10
17/1/2551	22.2	25.7	25.6	25.6	25.63	0.06	25.9	26.0	26.1	26.00	0.10	26.2	26.4	26.2	26.27	0.12
18/1/2551	23.9	26.6	26.7	26.6	26.63	0.06	27.1	27.2	27.1	27.13	0.06	27.2	27.4	27.3	27.30	0.10
19/1/2551	23.4	27.3	27.2	27.2	27.23	0.06	27.4	27.4	27.5	27.43	0.06	27.6	27.7	27.5	27.60	0.10
20/1/2551	21.0	25.2	25.2	25.2	25.20	0.00	25.7	25.6	25.7	25.67	0.06	25.4	25.3	25.5	25.40	0.10
21/1/2551	22.7	25.3	25.4	25.4	25.37	0.06	25.3	25.3	25.2	25.27	0.06	25.1	25.2	25.2	25.17	0.06
22/1/2551	21.0	25.3	25.3	25.2	25.27	0.06	25.2	25.2	25.2	25.20	0.00	25.1	25.0	25.1	25.07	0.06

ตารางที่ ค 2.2(3) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 1 ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)															
	อุณหภูมิบรรยากาศ	ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
23/1/2551	21.2	25.3	25.4	25.3	25.33	0.06	25.7	25.6	25.7	25.67	0.06	25.5	25.6	25.6	25.57	0.06
24/1/2551	24.2	25.5	25.4	25.4	25.43	0.06	25.7	25.6	25.7	25.67	0.06	25.4	25.4	25.4	25.40	0.00
25/1/2551	23.4	27.3	27.3	27.3	27.30	0.00	27.4	27.5	27.4	27.43	0.06	27.6	27.6	27.5	27.57	0.06
26/1/2551	25.8	28.0	27.9	28	27.97	0.06	28.2	28.3	28.3	28.27	0.06	28.3	28.4	28.3	28.33	0.06
27/1/2551	24.8	28.2	28.2	28.1	28.17	0.06	28.2	28.2	28.2	28.20	0.00	28.3	28.3	28.4	28.33	0.06
28/1/2551	25.9	28.2	28.1	28.1	28.13	0.06	28.1	28.1	28.0	28.07	0.06	28.1	28.2	28.0	28.10	0.10
29/1/2551	24.9	27.2	27.0	27.1	27.10	0.10	27.2	27.3	27.3	27.27	0.06	27.2	27.2	27.2	27.20	0.00
30/1/2551	24.6	27.4	27.3	27.3	27.33	0.06	27.4	27.3	27.3	27.33	0.06	27.5	27.5	27.6	27.53	0.06
31/1/2551	23.7	27.0	26.9	27.1	27.00	0.10	27.1	27.0	27.1	27.07	0.06	27.3	27.2	27.3	27.27	0.06
1/2/2551	22.5	25.6	25.7	25.6	25.63	0.06	25.7	25.7	25.7	25.70	0.00	25.6	25.7	25.7	25.67	0.06
2/2/2551	23.2	23.7	23.6	23.6	23.63	0.06	23.6	23.6	23.6	23.60	0.00	23.5	23.4	23.5	23.47	0.06

ตารางที่ ค 2.2(3) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 1 ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)															
	อุณหภูมิบรรยากาศ	ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
3/2/2551	23	25.3	25.4	25.3	25.33	0.06	25.3	25.3	25.4	25.33	0.06	25.2	25.0	25.1	25.10	0.10
4/2/2551	26.1	27.1	27.1	27.0	27.07	0.06	27.1	27.1	27.1	27.10	0.00	27.0	27.1	27.0	27.03	0.06
5/2/2551	25.8	25.2	25.2	25.3	25.23	0.06	25.3	25.3	25.3	25.30	0.00	25.3	25.4	25.4	25.37	0.06
6/2/2551	24.2	25.1	25.0	25.0	25.03	0.06	25.1	25.1	25.1	25.10	0.00	25.2	25.2	25.3	25.23	0.06
7/2/2551	24.5	24.8	24.8	24.7	24.77	0.06	24.9	25.0	25.0	24.97	0.06	24.9	24.8	24.8	24.83	0.06
8/2/2551	24.7	24.9	24.8	24.9	24.87	0.06	25.2	25.1	25.2	25.17	0.06	25.2	25.2	25.2	25.20	0.00
9/2/2551	24.7	25.5	25.4	25.4	25.43	0.06	25.7	25.6	25.6	25.63	0.06	25.7	25.7	25.6	25.67	0.06
10/2/2551	23.8	25.9	25.8	25.7	25.80	0.10	25.8	25.7	25.8	25.77	0.06	25.9	26.0	25.9	25.93	0.06
11/2/2551	24.1	25.8	25.8	25.8	25.80	0.00	25.9	26.0	26.0	25.97	0.06	25.9	25.9	26.1	25.97	0.12
12/2/2551	23.9	25.6	25.7	25.7	25.67	0.06	25.7	25.7	25.7	25.70	0.00	25.6	25.7	25.7	25.67	0.06
13/2/2551	24.8	25.9	26.0	25.9	25.93	0.06	25.8	25.9	25.8	25.83	0.06	25.8	26.0	25.9	25.90	0.10

ตารางที่ ค 2.2(3) *อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 1 ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร (ต่อ)*

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)															
	อุณหภูมิบรรยากาศ	ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
14/2/2551	23.6	26.3	26.4	26.3	26.33	0.06	26.4	26.5	26.5	26.47	0.06	26.3	26.4	26.4	26.37	0.06
15/2/2551	22.5	25.9	26.0	26.0	25.97	0.06	25.8	25.9	25.8	25.83	0.06	25.9	26.0	26.0	25.97	0.06
16/2/2551	22.3	26.1	26.0	26.0	26.03	0.06	26.2	26.3	26.2	26.23	0.06	26.3	26.1	26.2	26.20	0.10

ตารางที่ ค 2.3(1) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 2 ที่ระดับความสูง 70 เซนติเมตร

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)															
	อุณหภูมิบรรยากาศ	ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
12/1/2551	22.3	28.5	28.7	28.7	28.63	0.12	29.2	29.3	29.4	29.30	0.10	30.6	30.8	30.7	30.70	0.10
13/1/2551	23.9	28.1	28.0	28.0	28.03	0.06	28.7	28.6	28.6	28.63	0.06	30.1	30.0	30.2	30.10	0.10
14/1/2551	21.4	27.1	27.2	27.0	27.10	0.10	28.0	28.2	28.1	28.10	0.10	29.5	29.4	29.5	29.47	0.06
15/1/2551	21.0	24.5	24.4	24.4	24.43	0.06	24.9	25.0	25.0	24.97	0.06	26.3	26.2	26.2	26.23	0.06
16/1/2551	21.4	24.7	24.6	24.6	24.63	0.06	26.1	26.0	26.2	26.10	0.10	26.4	26.4	26.3	26.37	0.06
17/1/2551	22.2	23.8	23.7	23.7	23.73	0.06	24.0	24.1	24.1	24.07	0.06	24.5	24.4	24.6	24.50	0.10
18/1/2551	23.9	26.6	26.7	26.7	26.67	0.06	27.1	27.0	27.1	27.07	0.06	27.5	27.5	27.6	27.53	0.06
19/1/2551	23.4	26.9	26.8	26.9	26.87	0.06	27.4	27.5	27.5	27.47	0.06	27.7	27.8	27.9	27.80	0.10
20/1/2551	21.0	24.5	24.7	24.6	24.60	0.10	25.8	25.9	25.8	25.83	0.06	26.4	26.5	26.5	26.47	0.06
21/1/2551	22.7	26.4	26.5	26.5	26.47	0.06	27.4	27.5	27.4	27.43	0.06	28.5	28.4	28.4	28.43	0.06
22/1/2551	21.0	25.1	25.0	25.1	25.07	0.06	25.5	25.6	25.6	25.57	0.06	25.8	25.8	25.9	25.83	0.06

ตารางที่ ค 2.3(1) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 2 ที่ระดับความสูง 70 เซนติเมตร

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)															
	อุณหภูมิบรรยากาศ	ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
23/1/2551	21.2	25.4	25.5	25.4	25.43	0.06	25.7	25.7	25.6	25.67	0.06	25.9	25.9	25.8	25.87	0.06
24/1/2551	24.2	26.1	26.0	26.1	26.07	0.06	26.2	26.3	26.4	26.30	0.10	26.4	26.5	26.4	26.43	0.06

ตารางที่ ค 2.3(2) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 2 ที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)															
	อุณหภูมิบรรยากาศ	ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
12/1/2551	22.3	28.3	28.2	28.4	28.30	0.10	28.4	28.5	28.6	28.50	0.10	29.4	29.4	29.6	29.47	0.12
13/1/2551	23.9	28.1	28.1	28.2	28.13	0.06	28.4	28.3	28.4	28.37	0.06	29.2	29.2	29.3	29.23	0.06
14/1/2551	21.4	27.1	27.1	27.1	27.10	0.00	27.4	27.4	27.5	27.43	0.06	28.9	28.9	29.1	28.97	0.12
15/1/2551	21.0	24.5	24.5	24.4	24.47	0.06	24.9	25.0	24.9	24.93	0.06	26.3	26.2	26.2	26.23	0.06
16/1/2551	21.4	24.9	24.8	24.8	24.83	0.06	25.3	25.4	25.4	25.37	0.06	26.7	26.6	26.9	26.73	0.15
17/1/2551	22.2	23.6	23.8	23.6	23.67	0.12	24.1	24.0	24.0	24.03	0.06	24.5	24.6	24.5	24.53	0.06
18/1/2551	23.9	27.4	27.4	27.4	27.40	0.00	27.9	27.8	27.9	27.87	0.06	28.3	28.4	28.3	28.33	0.06
19/1/2551	23.4	27.8	27.9	27.9	27.87	0.06	28.4	28.4	28.4	28.40	0.00	28.6	28.6	28.7	28.63	0.06
20/1/2551	21.0	26.0	26.1	26.0	26.03	0.06	28.2	28.1	28.1	28.13	0.06	28.4	28.3	28.4	28.37	0.06
21/1/2551	22.7	25.3	25.2	25.3	25.27	0.06	25.9	25.8	25.8	25.83	0.06	26.2	26.3	26.4	26.30	0.10
22/1/2551	21.0	25.8	25.7	25.9	25.80	0.10	26.3	26.4	26.4	26.37	0.06	26.5	26.4	26.6	26.50	0.10

ตารางที่ ค 2.3(2) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 2 ที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)															
	อุณหภูมิบรรยากาศ	ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
23/1/2551	21.2	25.8	25.9	25.8	25.83	0.06	25.9	26.0	26.1	26.00	0.10	26.2	26.1	26.2	26.17	0.06
24/1/2551	24.2	26.5	26.5	26.4	26.47	0.06	26.7	26.7	26.8	26.73	0.06	26.9	26.8	26.9	26.87	0.06
25/1/2551	23.4	27.6	27.5	27.5	27.53	0.06	27.9	27.8	27.9	27.87	0.06	28.4	28.5	28.4	28.43	0.06
26/1/2551	25.8	28.3	28.4	28.3	28.33	0.06	28.6	28.7	28.7	28.67	0.06	28.8	28.7	28.7	28.73	0.06
27/1/2551	24.8	28.0	28.0	28.0	28.00	0.00	28.2	28.1	28.1	28.13	0.06	28.4	28.4	28.5	28.43	0.06
28/1/2551	25.9	27.8	27.9	27.8	27.83	0.06	28.3	28.3	28.2	28.27	0.06	28.5	28.4	28.4	28.43	0.06
29/1/2551	24.9	26.8	26.7	26.8	26.77	0.06	27.4	27.3	27.5	27.40	0.10	27.7	27.8	27.8	27.77	0.06
30/1/2551	24.6	27.1	27.3	27.3	27.23	0.12	27.9	28.0	28.0	27.97	0.06	28.3	28.2	28.4	28.30	0.10
31/1/2551	23.7	26.4	26.5	26.4	26.43	0.06	27.1	27.1	27.0	27.07	0.06	27.4	27.3	27.4	27.37	0.06
1/2/2551	22.5	25.7	25.7	25.8	25.73	0.06	26.0	26.1	26.1	26.07	0.06	26.4	26.4	26.4	26.40	0.00
2/2/2551	23.2	23.9	23.8	23.8	23.83	0.06	23.8	23.8	23.8	23.80	0.00	23.9	23.9	24.0	23.93	0.06

ตารางที่ ค 2.3(2) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 2 ที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิบรรยากาศ	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)														
		ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
3/2/2551	23	25.4	25.3	25.4	25.37	0.06	25.4	25.6	25.4	25.47	0.12	25.4	25.4	25.4	25.40	0.00
4/2/2551	26.1	27.0	26.9	26.9	26.93	0.06	27.0	27.1	27.1	27.07	0.06	27.1	27.2	27.1	27.13	0.06
5/2/2551	25.8	25.6	25.6	25.5	25.57	0.06	25.7	25.8	25.8	25.77	0.06	25.9	25.8	25.8	25.83	0.06
6/2/2551	24.2	25.5	25.4	25.3	25.40	0.10	25.6	25.6	25.6	25.60	0.00	25.5	25.6	25.5	25.53	0.06
7/2/2551	24.5	25.2	25.3	25.3	25.27	0.06	25.5	25.3	25.3	25.37	0.12	25.4	25.5	25.4	25.43	0.06
8/2/2551	24.7	25.6	25.7	25.6	25.63	0.06	25.7	25.8	25.7	25.73	0.06	25.7	25.8	25.8	25.77	0.06
9/2/2551	24.7	25.9	26.0	25.8	25.90	0.10	25.7	25.7	25.7	25.70	0.00	25.8	25.8	25.9	25.83	0.06
10/2/2551	23.8	26.2	26.3	26.2	26.23	0.06	26.0	26.1	26.0	26.03	0.06	26.1	26.0	26.1	26.07	0.06
11/2/2551	24.1	25.9	25.8	25.8	25.83	0.06	26.0	25.9	26.0	25.97	0.06	26.1	26.0	26.2	26.10	0.10
12/2/2551	23.9	25.9	25.9	25.9	25.90	0.00	25.8	25.9	26.0	25.90	0.10	25.8	25.7	25.8	25.77	0.05
13/2/2551	24.8	26.3	26.4	26.3	26.33	0.06	26.4	26.4	26.4	26.40	0.00	26.5	26.4	26.4	26.43	0.06

ตารางที่ ค 2.3(2) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 2 ที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)															
	อุณหภูมิบรรยากาศ	ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
14/2/2551	23.6	26.6	26.7	26.6	26.63	0.06	26.5	26.6	26.5	26.53	0.06	26.5	26.5	25.6	26.20	0.52
15/2/2551	22.5	26.1	26.0	25.9	26.00	0.10	26.2	26.2	26.1	26.17	0.06	26.2	26.3	26.2	26.23	0.06
16/2/2551	22.3	26.5	26.6	26.5	26.53	0.06	26.5	26.5	26.5	26.50	0.00	26.6	26.5	26.5	26.53	0.06

ตารางที่ ค 2.3(3) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 2 ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)															
	อุณหภูมิบรรยากาศ	ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
12/1/2551	22.3	27.4	27.6	27.5	27.50	0.10	27.6	27.6	27.4	27.53	0.12	27.5	27.4	27.6	27.50	0.10
13/1/2551	23.9	25.5	25.6	25.6	25.57	0.06	25.4	25.3	25.4	25.37	0.06	25.1	25.2	25.3	25.20	0.10
14/1/2551	21.4	25.2	25.1	25.2	25.17	0.06	25.0	25.0	24.9	24.97	0.06	24.8	24.7	24.7	24.73	0.06
15/1/2551	21.0	25.0	25.1	25.1	25.07	0.06	24.8	24.7	24.8	24.77	0.06	23.0	22.9	23.0	22.97	0.06
16/1/2551	21.4	25.5	25.6	25.6	25.57	0.06	25.3	25.2	25.2	25.23	0.06	24.5	24.6	24.6	24.57	0.06
17/1/2551	22.2	24.8	24.7	24.7	24.73	0.06	24.5	24.6	24.5	24.53	0.06	24.0	24.0	24.1	24.03	0.06
18/1/2551	23.9	26.9	26.8	26.8	26.83	0.06	27.1	27.1	27.0	27.07	0.06	27.1	27.1	27.1	27.10	0.00
19/1/2551	23.4	27.6	27.8	27.6	27.67	0.12	27.6	27.7	27.7	27.67	0.06	27.5	27.6	27.6	27.57	0.06
20/1/2551	21.0	25.8	25.9	25.9	25.87	0.06	25.7	25.6	25.8	25.70	0.10	25.5	25.5	25.4	25.47	0.06
21/1/2551	22.7	26.6	26.5	26.6	26.57	0.06	26.0	26.1	26.1	26.07	0.06	25.9	25.8	25.9	25.87	0.06
22/1/2551	21.0	25.4	25.5	25.5	25.47	0.06	25.3	25.2	25.2	25.23	0.06	25.3	25.4	25.4	25.37	0.06

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค 2.3(3) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 2 ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)															
	อุณหภูมิบรรยากาศ	ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
23/1/2551	21.2	25.6	25.7	25.6	25.63	0.06	25.4	25.5	25.6	25.50	0.10	25.2	25.3	25.3	25.27	0.06
24/1/2551	24.2	26.3	26.2	26.3	26.27	0.06	26.1	26.2	26.1	26.13	0.06	25.9	26.1	26.0	26.00	0.10
25/1/2551	23.4	27.8	27.9	27.8	27.83	0.06	27.5	27.6	27.5	27.53	0.06	27.3	27.2	27.3	27.27	0.06
26/1/2551	25.8	28.4	28.5	28.5	28.47	0.06	28.5	28.4	28.6	28.50	0.10	28.5	28.6	28.6	28.57	0.06
27/1/2551	24.8	28.2	28.2	28.3	28.23	0.06	28.3	28.4	28.4	28.37	0.06	28.1	28.1	28.0	28.07	0.06
28/1/2551	25.9	28.1	28.2	28.1	28.13	0.06	28.2	28.3	28.2	28.23	0.06	28.3	28.3	28.2	28.27	0.06
29/1/2551	24.9	27.5	27.6	27.6	27.57	0.06	27.4	27.3	27.5	27.40	0.10	27.3	27.3	27.2	27.27	0.06
30/1/2551	24.6	28.4	28.5	28.5	28.47	0.06	28.3	28.5	28.6	28.47	0.15	28.5	28.4	28.4	28.43	0.06
31/1/2551	23.7	27.3	27.3	27.4	27.33	0.06	27.2	27.1	27.3	27.20	0.10	27.2	27.3	27.3	27.27	0.06
1/2/2551	22.5	25.9	26.0	25.9	25.93	0.06	25.8	25.8	25.9	25.83	0.06	25.9	25.8	25.8	25.83	0.06
2/2/2551	23.2	23.9	24.0	23.9	23.93	0.06	23.9	23.8	23.8	23.83	0.06	23.9	23.9	24.0	23.93	0.06

ตารางที่ ค 2.3(3) อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยในถังทดลองที่ 2 ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)															
	อุณหภูมิบรรยากาศ	ที่ระดับความลึก 10 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร					ที่ระดับความลึก 25 เซนติเมตร				
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
3/2/2551	23	27.0	27.1	27.0	27.03	0.06	27.1	27.1	27.1	27.10	0.00	27.2	27.1	27.1	27.13	0.06
4/2/2551	26.1	26.5	26.4	26.5	26.47	0.06	26.4	26.3	26.5	26.40	0.10	26.5	26.6	26.5	26.53	0.06
5/2/2551	25.8	25.7	25.6	25.6	25.63	0.06	25.5	25.6	25.5	25.53	0.06	25.6	25.6	25.6	25.60	0.00
6/2/2551	24.2	25.4	25.5	25.5	25.47	0.06	25.6	25.5	25.7	25.60	0.10	25.6	25.6	26.5	25.90	0.52
7/2/2551	24.5	25.2	25.3	25.3	25.27	0.06	25.2	25.2	25.2	25.20	0.00	25.1	25.2	25.2	25.17	0.06
8/2/2551	24.7	25.5	25.4	25.5	25.47	0.06	25.7	25.6	25.7	25.67	0.06	25.6	25.7	25.6	25.63	0.06
9/2/2551	24.7	25.8	25.8	25.8	25.80	0.00	25.9	25.9	25.8	25.87	0.06	26.0	25.9	25.9	25.93	0.06
10/2/2551	23.8	26.3	26.2	26.3	26.27	0.06	26.1	26.2	26.2	26.17	0.06	26.2	26.3	26.3	26.27	0.06
11/2/2551	24.1	25.8	25.7	25.9	25.80	0.10	25.8	25.8	25.8	25.80	0.00	25.9	25.7	25.7	25.77	0.12
12/2/2551	23.9	26.0	26.1	26.0	26.03	0.06	25.8	25.9	25.9	25.87	0.06	25.9	25.9	25.9	25.90	0.00
13/2/2551	24.8	26.2	26.2	26.1	26.17	0.06	26.2	26.2	26.0	26.13	0.12	26.1	26.1	26.2	26.13	0.06

ค 3 การศึกษาความชื้นในระหว่างการหมักปุ๋ย

ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ ค 3.1 - ค 3.3

ตารางที่ ค 3.1 ค่าความชื้นระหว่างการหมักปุ๋ยของถังควบคุม

ครั้งที่ ทำการวัด	ระดับความสูง 50 เซนติเมตร					ระดับความสูง 30 เซนติเมตร				
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	56.32	61.94	59.21	59.16	2.81	54.24	57.71	63.51	58.49	4.68
2	44.82	50.16	47.03	47.34	2.68	40.96	42.83	38.09	40.63	2.39
3	41.76	45.82	39.14	42.24	3.37	32.57	36.05	34.43	34.35	1.74
4	43.18	46.33	40.03	43.18	3.15	28.96	33.14	31.75	31.28	2.13
5	52.67	50.22	48.24	50.38	2.22	36.52	43.64	49.08	43.08	6.30
6	36.43	35.04	32.91	34.79	1.77	27.14	24.21	26.62	25.99	1.56
7	46.98	50.23	51.78	49.66	2.45	32.17	36.19	34.46	34.27	2.02
8	53.71	57.29	58.36	56.45	2.44	46.34	49.02	44.51	46.62	2.27
9	50.23	46.41	47.92	48.19	1.92	38.11	35.08	36.19	36.46	1.53
10	56.81	54.26	54.68	55.25	1.37	48.61	50.14	47.32	48.69	1.41
11	48.53	46.17	43.84	46.18	2.35	33.74	36.02	31.48	33.75	2.27
12	53.10	53.66	51.29	52.68	1.24	47.81	43.28	44.06	45.05	2.42

ตารางที่ ค 3.2 ค่าความชื้นระหว่างการหมักปุ๋ยของถังทดลองที่ 1

ครั้งที่ทำการวัด	ระดับความสูง 50 เซนติเมตร					ระดับความสูง 30 เซนติเมตร				
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	62.04	59.16	66.37	62.52	3.63	55.19	56.27	53.58	55.01	1.35
2	58.71	58.43	64.19	60.44	3.25	57.24	54.08	59.82	57.05	2.87
3	62.84	66.32	60.73	63.30	2.82	53.67	49.82	56.37	53.29	3.29
4	55.94	63.15	65.03	61.37	4.80	49.12	51.08	52.64	50.95	1.76
5	53.37	56.41	55.5	55.09	1.56	52.87	50.19	47.35	50.14	2.76
6	51.14	52.96	54.09	52.73	1.49	46.32	49.04	51.68	49.01	2.68
7	48.53	54.6	46.3	49.81	4.30	38.17	43.72	44.51	42.13	3.46
8	56.24	60.15	57.02	57.80	2.07	54.56	55.09	54.94	54.86	0.27
9	62.39	60.07	58.92	60.46	1.77	60.13	56.67	55.85	57.55	2.27
10	61.43	63.18	58.96	61.19	2.12	52.04	54.82	54.11	53.66	1.44
11	63.05	59.48	58.14	60.22	2.54	47.86	52.15	48.03	49.35	2.43
12	57.60	61.74	58.32	59.22	2.21	42.05	46.67	50.44	46.39	4.20

ตารางที่ ค 3.3 ค่าความชื้นระหว่างการหมักปุ๋ยของถังทดลองที่ 2

ครั้งที่ทำการวัด	ระดับความสูง 50 เซนติเมตร					ระดับความสูง 30 เซนติเมตร				
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	61.45	63.86	60.14	61.82	1.89	58.13	54.60	57.29	56.67	1.84
2	64.32	59.07	63.29	62.23	2.78	56.86	53.21	55.47	55.18	1.84
3	60.98	63.54	57.40	60.64	3.08	52.84	49.72	51.53	51.36	1.57
4	62.94	65.22	64.17	64.11	1.14	55.01	57.45	53.52	55.33	1.98
5	58.92	63.44	64.79	62.38	3.07	50.10	53.42	56.01	53.18	2.96
6	61.34	63.52	61.19	62.02	1.30	54.16	51.15	49.95	51.75	2.17
7	57.31	54.75	55.68	55.91	1.30	51.16	45.38	53.78	50.11	4.30
8	53.91	52.99	55.84	54.25	1.45	46.68	43.10	39.92	43.23	3.38
9	48.35	52.67	47.52	49.51	2.77	37.14	45.36	32.14	38.21	6.68
10	57.53	61.09	58.17	58.93	1.90	51.76	54.82	53.24	53.27	1.53
11	59.48	54.97	58.16	57.54	2.32	54.33	51.14	49.97	51.81	2.26
12	54.59	56.64	57.13	56.12	1.35	54.04	48.73	52.27	51.68	2.70

ค 4 การศึกษาความเป็นกรด-ด่าง

ในระหว่างการหมักปุ๋ย ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ ค 4.1 - ค 4.3

ตารางที่ ค 4.1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่างการหมักปุ๋ยของถังควบคุม

สัปดาห์ที่ทำการวัด	ที่ระยะ 50 เซนติเมตร					ที่ระยะ 30 เซนติเมตร				
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	5.84	5.83	5.83	5.83	0.01	5.81	5.82	5.82	5.82	0.01
2	4.63	4.62	4.62	4.62	0.01	4.60	4.61	4.60	4.60	0.01
3	5.45	5.44	5.45	5.45	0.01	5.40	5.40	5.40	5.40	0.00
4	6.71	6.70	6.70	6.70	0.01	6.73	6.72	6.73	6.73	0.01
5	7.56	7.55	7.56	7.56	0.01	7.32	7.31	7.32	7.32	0.01

ตารางที่ ค 4.2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่างการหมักปุ๋ยของถังทดลองที่ 1

สัปดาห์ที่ทำการวัด	ที่ระยะ 50 เซนติเมตร					ที่ระยะ 30 เซนติเมตร				
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	6.00	6.01	6.01	6.01	0.01	6.02	6.00	6.01	6.01	0.01
2	4.93	4.93	4.93	4.93	0.00	4.85	4.84	4.85	4.85	0.01
3	5.71	5.70	5.71	5.71	0.01	5.68	5.70	5.69	5.69	0.01
4	6.11	6.12	6.12	6.12	0.01	6.14	6.13	6.14	6.14	0.01
5	7.21	7.22	7.21	7.21	0.01	7.23	7.24	7.23	7.23	0.01

ตารางที่ ค 4.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่างการหมักปุ๋ยของถังทดลองที่ 2

สัปดาห์ที่ทำการวัด	ที่ระยะ 50 เซนติเมตร					ที่ระยะ 30 เซนติเมตร				
	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่1	ครั้งที่2	ครั้งที่3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	6.03	6.04	6.04	6.04	0.01	6.02	6.03	6.03	6.03	0.01
2	5.41	5.42	5.42	5.42	0.01	5.39	5.38	5.38	5.38	0.01
3	5.28	5.29	5.29	5.29	0.01	5.25	5.24	5.25	5.25	0.01
4	6.06	6.05	6.05	6.05	0.01	6.01	6.01	6.02	6.01	0.01
5	7.13	7.13	7.12	7.13	0.01	7.10	7.11	7.12	7.11	0.01

ภาคผนวก ง

กราฟมาตรฐานจากการศึกษาปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง 1 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสกับค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร แสดงดังตารางที่ ง 1 และรูปที่ ง 1

ตารางที่ ง 1 ข้อมูลกราฟมาตรฐานฟอสฟอรัส

ความเข้มข้นของฟอสฟอรัส (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าดูดกลืนแสง(420 นาโนเมตร)
0	0.0001
2	0.1117
4	0.2186
6	0.3219
8	0.4217

รูปที่ ง.1 กราฟมาตรฐานสารละลายฟอสฟอรัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง 2 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในตัวอย่างปุ๋ย

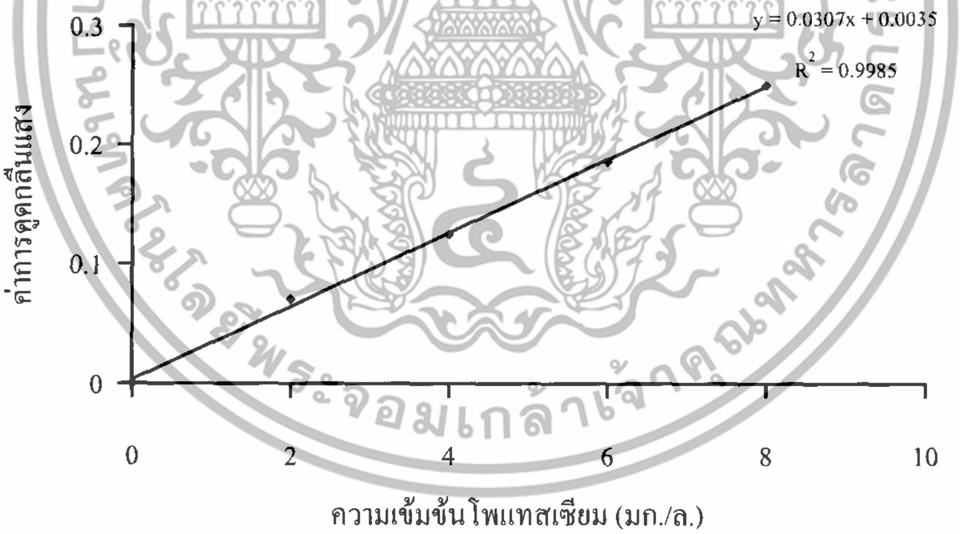
ตัวอย่างปุ๋ย	ปริมาณฟอสฟอรัส (%P)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
วัสดุหมักเริ่มต้น	0.418	0.426	0.417	0.42	0.005
ปุ๋ยที่เสร็จสมบูรณ์ของชุดควบคุม	0.621	0.608	0.634	0.621	0.013
ปุ๋ยที่เสร็จสมบูรณ์ของถังทดลองที่ 1	0.458	0.462	0.456	0.459	0.003
ปุ๋ยที่เสร็จสมบูรณ์ของถังทดลองที่ 2	0.443	0.454	0.457	0.451	0.007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง 2 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมกับค่าการดูดกลืนแสง แสดงดังตารางที่ ง 3 และรูปที่ ง 2

ตารางที่ ง 3 ข้อมูลกราฟมาตรฐานโพแทสเซียม

ความเข้มข้นของโพแทสเซียม (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าดูดกลืนแสง(420 นาโนเมตร)
0	0.0001
2	0.0710
4	0.1247
6	0.1855
8	0.2496



รูปที่ ง.2 กราฟมาตรฐานสารละลายโพแทสเซียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง 4 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในตัวอย่างปุ๋ย

ตัวอย่างปุ๋ย	ปริมาณโพแทสเซียม (%K)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
วัสดุหมักเริ่มต้น	0.0034	0.0040	0.0041	0.0038	0.0004
ปุ๋ยที่เสร็จสมบูรณ์ของชุดควบคุม	0.0064	0.0058	0.0067	0.0063	0.0005
ปุ๋ยที่เสร็จสมบูรณ์ของถังทดลองที่ 1	0.0045	0.0057	0.0043	0.0042	0.0004
ปุ๋ยที่เสร็จสมบูรณ์ของถังทดลองที่ 2	0.0034	0.0047	0.0038	0.0040	0.0007

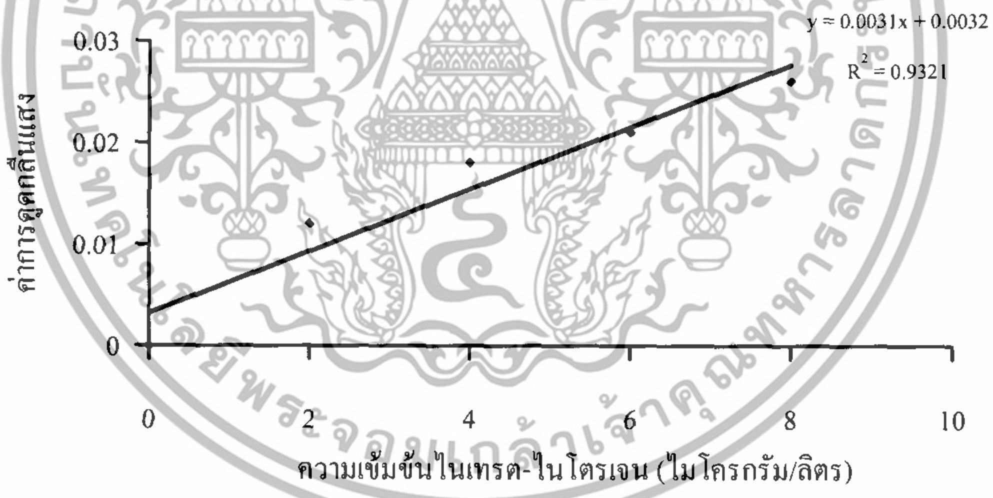
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง 3 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มขนของสารละลายมาตรฐานไนทรต-ไนโตรเจนกับค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร แสดงดังตารางที่ ง.5 และรูปที่ ง.3

ตารางที่ ง 5 ข้อมูลกราฟมาตรฐานไนเทรต – ไนโตรเจน

ความเข้มข้น (มิลลิกรัมต่อลิตร)	ค่าดูดกลืนแสง (420 นาโนเมตร)
0	0.000
2	0.012
4	0.018
6	0.021
8	0.026



รูปที่ ง.3 กราฟมาตรฐานสารละลายไนเทรต-ไนโตรเจน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ง 6 ปริมาณไนเทรต-ไนโตรเจนทั้งหมดในตัวอย่างปุ๋ย

ตัวอย่างปุ๋ย	ปริมาณไนเทรต-ไนโตรเจน				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย	S.D.
วัสดุหมักเริ่มต้น	0.0162	0.0172	0.0151	0.0162	0.0011
ปุ๋ยที่เสร็จสมบูรณ์ของชุดควบคุม	0.0315	0.0328	0.0364	0.0336	0.0025
ปุ๋ยที่เสร็จสมบูรณ์ของถังทดลองที่ 1	0.0874	0.0826	0.0819	0.0840	0.0030
ปุ๋ยที่เสร็จสมบูรณ์ของถังทดลองที่ 2	0.0659	0.0664	0.0652	0.0658	0.0006

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้