สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษอาหารครัวเรือน โดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน

นางสาวไผทรัตน์ ทุเรียน
นางสาววรุณนภา ชัยงาม
นางสาววันทนีย์ บุญแจ้ง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มส
ผ9510
2549

เลขหมู่ 107837
เลขทะเบียน
วัน,เดือน,ปี 1 4 ม.ค. 2553

b. 1221128x
i.

โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2549

Production of Compost from Food Waste
Using Chimney Convection Aeration Technique

Miss Phatairat Turian

Miss Waroonnapa Chaingam

Miss Wanthanee Boonjang

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 2006

โครงงานพิเศษเรื่อง การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษอาหารครัวเรือน โดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน

นักศึกษา นางสาวไผทรัตน์ ทุเรียน
นางสาววรุณนภา ชัยงาม
นางสาววันทนีย์ บุญแจ้ง

ภาควิชา เคมี

สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.สุวรรณี จรรยาพูน

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงงานพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ ผศ.พรรษวรรณ ศรีนาค	.....
กรรมการ ดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์	.....
กรรมการ ดร.สุวรรณี จรรยาพูน	.....

.....
(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)
หัวหน้าภาควิชา

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โครงงานพิเศษเรื่อง การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษอาหารครัวเรือนโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน

นักศึกษา นางสาวไผทรัตน์ ทุเรียน
นางสาววรุณนภา ชัยงาม
นางสาววันทนีย์ บุญแจ้ง

ภาค เคมี

สาขา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม

ปีการศึกษา 2549

อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.สุวรรณี จรรยาพูน

บทคัดย่อ

โครงงานพิเศษฉบับนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษอาหารครัวเรือนโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชันเปรียบเทียบกับวิธีการหมักแบบดั้งเดิม โดยใช้เศษอาหารเป็นวัสดุหมัก และเศษใบไม้เป็นตัวเพิ่มค่าไนโตรเจน โดยศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างเศษอาหารกับเศษใบไม้ ศึกษาสภาวะในระหว่างการหมักปุ๋ย และคุณภาพของปุ๋ยหมัก ได้แก่ อัตราการยุบตัว อุณหภูมิในกองปุ๋ย ปริมาณความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และปริมาณธาตุอาหารพืช ได้แก่ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด ปริมาณไนเทรต-ไนโตรเจน ปริมาณอินทรียคาร์บอน และ ค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน ผลการทดลองพบว่า ในการเตรียมวัสดุหมักต้องใช้อัตราส่วนระหว่างเศษอาหารต่อเศษใบไม้ เท่ากับ 4:1 โดยน้ำหนักเปียก จะได้ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 27:1 พบว่าซึ่งการหมักโดยวิธีเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน จะใช้ระยะเวลาในการหมักเสร็จสมบูรณ์สั้นกว่าวิธีการหมักแบบดั้งเดิม คือ ใช้เวลาในการหมักเพียง 1 เดือน และผลการศึกษาคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้จากการหมักทั้งสองวิธีมีคุณภาพใกล้เคียงกัน นอกจากนี้ ปุ๋ยหมักที่ได้ยังไม่มีความเป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของพืช สรุปได้ว่าการผลิตปุ๋ยหมักโดยวิธีเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน สามารถผลิตปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับวิธีดั้งเดิม แต่การผลิตปุ๋ยหมักโดยวิธีชิมนีย์คอนเวคชันสะดวกและรวดเร็วกว่าวิธีการหมักแบบดั้งเดิม นั่นคือ ไม่ต้องกลับกองปุ๋ย ลดความถี่ในการรดน้ำเพื่อเพิ่มความชื้น และปุ๋ยเสร็จสมบูรณ์ได้เร็วกว่า นอกจากนี้ยังเกิดกลิ่นเหม็นในขณะหมักน้อยกว่าด้วย

คำสำคัญ : ปุ๋ยหมัก, เศษอาหารครัวเรือน, การเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน, ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

Special Project Title Production of Compost from Food Waste using Chimney Convection Aeration Technique

Name Ms. Phatairat Turian
Ms. Waroonnapa Chaingam
Ms. Wanthanee Boonjang

Department Chemistry

Program Environmental Resource of Chemistry

Special Project Advisor Dr. Suwannee Junyapoon

Academic Year 2006

Abstract

This special project studied the efficiency of composting using Chimney Convection Aeration technique comparing with conventional composting technique (windrow technique). Food waste was used as composting material and leaf was used as nitrogen addition. The optimum ratio between food waste and leaf was investigated. Composting conditions such as C/N ratio, pH profile, temperature gradient, moisture contents, decomposition rate, electrical conductivity and nutrient values such as total nitrogen, total phosphorus, total potassium and nitrate-nitrogen were examined. It was found that the ratio of food waste and leaf used as composting material was 4:1 by wet weight. The composting material contained C/N ratio of 27:1. The compost time of Chimney Convection Aeration technique was one month which is shorter than that of conventional technique. From the results, pH profile, temperature gradient, decomposition ratio, electrical conductivity and nutrient values of Chimney Convection Aeration technique and conventional technique were similar. However, Chimney Convection Aeration technique was easier, more convenient as well as faster degradation rate than that of the conventional technique. In addition, its the composting process had less unpleasant smell.

Keywords: Compost, Food waste, Chimney Convection Aeration technique, C/N ratio

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดีด้วยความร่วมมือจากบุคคลหลายท่าน คณะผู้จัดทำโครงงานพิเศษจึงใคร่ขอขอบพระคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือต่อไปนี้

ขอขอบพระคุณ ดร.สุวรรณี จรรยาพูน ที่กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือในการดำเนินการโครงการพิเศษนี้อย่างใกล้ชิดตลอดมา

ขอขอบพระคุณ ผศ.พรรษวรรณ ศรีนาค และดร.ชลอ จารุสุทธิรักษ์ ที่กรุณาเสนอแนะ และแก้ไขเพิ่มเติมโครงงานพิเศษนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่เอื้อเฟื้อและอนุเคราะห์ในเรื่องอุปกรณ์ และเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำโครงงานพิเศษนี้

ขอขอบคุณคุณนักศึกษาปริญญาโท สาขาเคมีสิ่งแวดล้อม ที่คอยให้คำปรึกษา และคำแนะนำด้วยดีตลอดมา

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี ที่คอยให้ความช่วยเหลือในเรื่อง อุปกรณ์และเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง และข้อมูลต่าง ๆ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการทำโครงงานพิเศษนี้เป็นอย่างยิ่ง

นอกเหนือจากบุคคลที่กล่าวมาแล้วยังมีบุคคลอีกหลายท่านที่ให้ความอนุเคราะห์ และกำลังใจในการทำงาน ทางผู้จัดทำโครงงานพิเศษใคร่ขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

น.ส.ไผทรัตน์ ทุเรียน
น.ส.วรุณนภา ชัยงาม
น.ส.วันทนีย์ บุญแจ้ง

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..... 4

2.3 ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก..... 5

2.4 หลักในการพิจารณาปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว..... 9

2.5 คุณภาพและมาตรฐานที่ดีของปุ๋ยหมัก..... 10

2.6 ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก..... 11

2.7 วัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก..... 11

2.8 รูปแบบของวิธีการหมักขยะอินทรีย์..... 13

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 17

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 20

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์..... 20

3.2 สารเคมี..... 21

3.3 การเตรียมถังหมัก..... 22

3.4 ขั้นตอนการดำเนินการ..... 24

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล 28
4.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของวัสดุหมักเริ่มต้น 28
4.2 ผลการวิเคราะห์สภาวะในระหว่างการหมักปุ๋ย 29
4.2.1 อัตราการยุบตัว 29
4.2.2 อุณหภูมิ 30
4.2.3 ความชื้น 32
4.2.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง 34
4.2.5 ค่าการนำไฟฟ้า 36
4.2.6 กลิ่น 37
4.2.7 อัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน 38
4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของปุ๋ยหมัก 39
4.4 ผลการทดสอบความเป็นพิษ 40
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 41
5.1 สรุปผลการทดลอง 41
5.2 ข้อเสนอแนะ 42
เอกสารอ้างอิง 43
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก 45
ภาคผนวก ข 48
ภาคผนวก ค 51
ภาคผนวก ง 71
ภาคผนวก จ 78

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ค่าเฉลี่ยปริมาณธาตุไนโตรเจนที่มีอยู่ในวัสดุชนิดต่าง ๆ 7
ตารางที่ 2.2 หลักในการพิจารณาปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว..... 10
ตารางที่ 2.3 คุณภาพและมาตรฐานที่ดีของปุ๋ยหมัก..... 10
ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบและปริมาณขยะมูลฝอยพื้นที่กรุงเทพมหานคร..... 12
ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และความถี่ในการวิเคราะห์ระหว่างการหมักปุ๋ย 26
ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของวัสดุดิบในการหมัก 28
ตารางที่ 4.2 คุณลักษณะวัสดุหมักเริ่มต้น 29
ตารางที่ 4.3 ความชื้นในกองปุ๋ยแต่ละสัปดาห์ และความถี่ในการรดน้ำ
ของถังควบคุมและถังทดสอง 32
ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพของวัสดุหมักเริ่มต้น และปุ๋ยที่สมบูรณ์แล้ว 39
ตารางที่ ค-1 ความสูงของตัวอย่างปุ๋ย..... 52
ตารางที่ ค 2-1 อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยที่ระยะความสูง 70 เซนติเมตร..... 54
ตารางที่ ค 2-2 อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยที่ระยะความสูง 50 เซนติเมตร 55
ตารางที่ ค 2-3 อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยที่ระยะความสูง 30 เซนติเมตร..... 59
ตารางที่ ค 3-1 ค่าความชื้นระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยที่ระยะความสูง 50 เซนติเมตร..... 64
ตารางที่ ค 3-2 ค่าความชื้นระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยที่ระยะความสูง 30 เซนติเมตร 65
ตารางที่ ค 4-1 ค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ย
ที่ระยะความสูง 50 เซนติเมตร..... 66
ตารางที่ ค 4-2 ค่าความเป็นกรด-ด่างระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ย
ที่ระยะความสูง 30 เซนติเมตร..... 67
ตารางที่ ค 5-1 ค่าการนำไฟฟ้าระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยที่ระยะความสูง 50 เซนติเมตร.. 68
ตารางที่ ค 5-2 ค่าการนำไฟฟ้าระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยที่ระยะความสูง 30 เซนติเมตร.. 69
ตารางที่ ค-6 ความถี่ในแต่ระดับกลิ่นของตัวอย่างปุ๋ย 70
ตารางที่ ง-1 ข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส 72
ตารางที่ ง-2 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในตัวอย่างปุ๋ย 73
ตารางที่ ง-3 ข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม 74
ตารางที่ ง-4 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในตัวอย่างปุ๋ย 75

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ ง-5 ข้อมูลกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานไนเทรต-ไนโตรเจน..... 76
ตารางที่ ง-6 ปริมาณไนเทรต-ไนโตรเจนทั้งหมดในตัวอย่างปุ๋ย 77
ตารางที่ จ-1 ความยาวของรากถั่วที่ปลูกในตัวอย่างปุ๋ยของช่วงเวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง... 79

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ระบบ Aerated Static Pile Composting ที่มี Screen Filter 15
รูปที่ 2.2 ค่าอุณหภูมิในกองปุ๋ยอายุ 5 วัน และการแทนที่ของอากาศภายในกองปุ๋ย 16
รูปที่ 2.3 รูปแบบของวิธีการหมัก (a) Windrow Composting
(b) Aerated Pile Composting and (c) In-vessel Plug Flow 17
รูปที่ 3.1 องค์ประกอบของถังหมักปุ๋ยโดยวิธีดั้งเดิม (1) ช่องเก็บตัวอย่าง
(2) ลวดตาข่าย (3) ท่อระบายน้ำชะ (4) ฝาปิดถัง (5) ช่องประตู 22
รูปที่ 3.2 องค์ประกอบของถังหมักปุ๋ยโดยวิธีการเติมอากาศแบบซิมนีย์ คอนเวคชั่น
(1) ช่องเก็บตัวอย่าง (2) ตะแกรงเหล็ก (3) ท่อระบายน้ำชะ
(4) แผ่นพลาสติกคลุมถัง (5) ช่องประตู (6) ท่อเติมอากาศ (7) ลวดตาข่าย 23
รูปที่ 3.3 จุดวัดอัตราการยุบตัวของปุ๋ยทั้ง 4 จุด 25
รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงความสูงของกองปุ๋ยในระหว่างการหมัก 30
รูปที่ 4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังหมัก (ก) ที่ระยะความสูง 70 เซนติเมตร
(ข) ที่ระยะความสูง 50 เซนติเมตร (ค) ที่ระยะความสูง 30 เซนติเมตร 31
รูปที่ 4.3 ปริมาณความชื้นในถังหมัก (ก) ที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร
(ข) ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร 33
รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างในถังหมัก
(ก) ที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร (ข) ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร 35
รูปที่ 4.5 ค่าการนำไฟฟ้าในถังหมัก (ก) ที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร
(ข) ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร 36
รูปที่ 4.6 ระดับกลิ่นในถังหมักที่ระยะเวลาต่าง ๆ (ก) ถังควบคุม (ข) ถังทดลอง 37
รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมัก 38
รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบความยาวรากของต้นถั่วเขียวระหว่างแบลงค์
ถังควบคุมและถังทดลอง 40
รูปที่ ก-1 ลักษณะการกองมูลฝอยให้เป็นรูปกรวยก่อนที่จะแบ่งมูลฝอยออกเป็น 4 ส่วน 46

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ ก-2 การแบ่งมูลฝอยออกเป็น 4 ส่วน (Quartering)
และเลือกสุ่มเอามา 2 ส่วนที่อยู่ตรงข้ามกัน 47
รูปที่ ง-1 กราฟมาตรฐานสารละลายฟอสฟอรัส 72
รูปที่ ง-2 กราฟมาตรฐานสารละลายโพแทสเซียม 74
รูปที่ ง-3 กราฟมาตรฐานสารละลายไนเทรต-ไนโตรเจน 76

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันปริมาณของเสียในประเทศไทย มีปริมาณสูงขึ้นตามปริมาณการเพิ่มขึ้นของประชากรภายในประเทศที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี ส่งผลให้ปริมาณของเสียชุมชนเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูง ของเสียประเภทเศษอาหารจากครัวเรือน ซึ่งเกิดจากการดำเนินชีวิตประจำวันของประชากร ก่อให้เกิดปัญหาต่อชุมชนและสิ่งแวดล้อม เกิดเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค ส่งกลิ่นอันไม่พึงประสงค์ ในกรณีที่ทำการฝังกลบของเสียประเภทเศษอาหารในหลุมฝังกลบ เศษอาหารจะถูกย่อยสลาย ก่อให้เกิดน้ำชะขยะมูลฝอยและส่งกลิ่นเหม็น ซึ่งส่งผลกระทบต่อน้ำใต้ดิน และบรรยากาศ ตามลำดับ ทำให้ปัจจุบัน EU Landfill Directive ได้ตั้งเป้าหมายในการจำกัดการฝังกลบขยะสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว โดยกำหนดจาก 83% ของสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ที่เข้าสู่พื้นที่ฝังกลบในปี ค.ศ. 1995 ให้ลดเหลือ 35% ในปี ค.ศ. 2020 (www.foe.co.uk/resource/factsheets/eu_landfill_directive.pdf)

การทำปุ๋ยหมักเป็นวิธีที่เหมาะสมอีกวิธีหนึ่งในการนำของเสียอินทรีย์กลับมาใช้ประโยชน์ และเป็นวิธีไม่ต้องลงทุนมาก อย่างไรก็ตาม กระบวนการทำปุ๋ยหมักแบบดั้งเดิมนั้นยังมีปัญหา คือ ความยุ่งยากในการปฏิบัติ การดูแลรักษา และระยะเวลาในการดำเนินการนาน ดังนั้นการวิจัยนี้จึงได้นำเศษอาหารจากโรงอาหารคณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง และเศษใบไม้แห้ง เป็นวัสดุในการทำปุ๋ยหมักด้วยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ต้องกลับกองปุ๋ยเพื่อเติมอากาศ แต่ใช้หลักการ คือ เมื่อเกิดกระบวนการย่อยสลายในกองปุ๋ยจะเกิดความร้อนขึ้นในกองปุ๋ย และอากาศที่ร้อนจะลอยตัวสูงขึ้น อากาศภายนอกที่เย็นกว่าก็จะไหลเข้ามาแทนที่ในกองปุ๋ย เท่ากับเป็นการเติมอากาศให้กับกองปุ๋ยตามธรรมชาติตลอดเวลา ซึ่งเป็นการปรับปรุงกระบวนการทำปุ๋ยหมักให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นและสะดวกยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์

1. ศึกษาความเป็นไปได้โดยใช้เศษอาหารครัวเรือน และเศษใบไม้แห้งเป็นวัสดุเริ่มต้นในการผลิตปุ๋ยหมักด้วยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน
2. ศึกษาประสิทธิภาพของการหมักปุ๋ยโดยวิธีเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน เปรียบเทียบกับปุ๋ยหมักที่ผลิตโดยวิธีดั้งเดิม

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1. ศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างเศษอาหารครัวเรือน และเศษใบไม้แห้งให้มีค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน เท่ากับ 25:1
2. ศึกษาสภาวะในระหว่างการหมักปุ๋ยจากเศษอาหารครัวเรือน และเศษใบไม้แห้งโดยวิธีเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน และวิธีดั้งเดิม ได้แก่ อัตราการยุบตัว อุณหภูมิ ความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า กลิ่น และค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน
3. ศึกษาประสิทธิภาพของการหมักปุ๋ยจากเศษอาหารครัวเรือน และเศษใบไม้แห้งโดยวิธีเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน เปรียบเทียบกับวิธีดั้งเดิม ปัจจัยที่ศึกษามี ดังนี้
   - ระยะเวลาในการทำปุ๋ยหมัก
   - ความสะดวกในการทำงาน
   - กลิ่นที่เกิดในระหว่างการทำปุ๋ยหมัก
   - คุณภาพของปุ๋ยหมัก ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ความเป็นกรด- ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า กลิ่น ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด ปริมาณไนเทรต-ไนโตรเจน ปริมาณอินทรียคาร์บอน และ ค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้วิธีการทำปุ๋ยหมักที่สะดวกและรวดเร็วขึ้น
2. ได้ปุ๋ยหมักจากเศษอาหารครัวเรือน และเศษใบไม้แห้ง
3. กำจัด และลดปริมาณขยะของเสียจากครัวเรือน และเศษใบไม้แห้ง

บทที่ 2
ทฤษฎีและหลักการ

2.1 การผลิตปุ๋ยหมัก

การผลิตปุ๋ยหมัก คือ กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพและทำให้ได้สารอินทรีย์ที่อยู่ตัว ไม่มีกลิ่น มีสีน้ำตาลปนดำ และมีอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ เมื่อกระบวนการย่อยสลายเศษพืชและวัสดุเสร็จสมบูรณ์ก็จะได้ปุ๋ยหมัก สำหรับใช้ในการปรับปรุงและบำรุงดินซึ่งสามารถนำไปใช้โดยไม่มีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม

2.1.1 กระบวนการเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์โดยกระบวนการทางชีวภาพในการผลิตปุ๋ยหมัก

กระบวนการทางชีวภาพเปลี่ยนรูปสารอินทรีย์ในขยะให้เป็นสารอินทรีย์ที่เสถียรกว่าเดิม แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศ (Aerobic composting) และการหมักแบบไร้อากาศของขยะที่มีปริมาณของแข็งต่ำ (Low-solid anaerobic digesting)

- การเปลี่ยนรูปทางชีวภาพโดยกระบวนการใช้อากาศ ดังสมการ 2.1 (พรรษวรรณ, 2548)

$$\text{Organic} + O_2 \xrightarrow{\text{Aerobic bacteria}} CO_2 + H_2O + NH_3 + \text{other end product} + \text{energy} \qquad (2.1)$$

- การเปลี่ยนรูปทางชีวภาพโดยกระบวนการไม่ใช้อากาศ ดังสมการ 2.2 (พรรษวรรณ, 2548)

$$\text{Organics} \xrightarrow{\text{Anaerobic bacteria}} CH_4 + NH_3 + H_2S + CO_2 + \text{other end product} + \text{energy} \qquad (2.2)$$

การเปลี่ยนรูปโดยอาศัยอากาศเป็นกระบวนการที่มีความยุ่งยากน้อยกว่า และปล่อยพลังงานความร้อนออกมามากกว่า ทำให้อัตราการย่อยสลายเร็ว นิยมใช้กับขยะอินทรีย์ปริมาณมาก ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนรูปโดยไม่อาศัยอากาศจะเกิดขึ้นอย่างช้า ๆ และเกิดกลิ่นเหม็นของพวกเมอร์แคปเทน และซัลไฟด์ ดังนั้นการเปลี่ยนรูปโดยอาศัยอากาศเป็นการใช้ออกซิเจนเปลี่ยนรูปและสามารถลดปริมาตรของสารอินทรีย์ในขยะได้อย่างมีนัยสำคัญ

แอมโมเนียที่เกิดจากการทำปุ๋ยโดยผ่านกระบวนการใช้อากาศ (สมการที่ 2.1) จะถูกออกซิไดซ์ต่อ ดังสมการที่ 2.3-2.5 (พรรษวรรณ, 2548)

$$NH_3 + 3/2\ O_2 \xrightarrow{\text{Nitrosomonas}} NO_2^- + 2\ H^+ + H_2O \qquad (2.3)$$

$$NO_2^- + 1/2\ O_2 \xrightarrow{\text{Nitrosobactor}} NO_3^- \quad (2.4)$$

$$NH_4^+ + 2\ O_2 \xrightarrow{\text{Bacteria}} NO_3^- + 2\ H^+ + H_2O \quad (2.5)$$

นอกจากนี้ NH_4^+ ยังถูกนำไปใช้สังเคราะห์เซลล์จุลินทรีย์ ดังสมการที่ 2.6-2.7 (พรรษวรรณ, 2548)

$$NH_4^+ + 4\ CO_2 + HCO_3^- + H_2O \longrightarrow C_3H_7O_2N + 5\ O_2 \quad (2.6)$$

$$22\ NH_4^+ + 37\ O_2 + 4\ CO_2 + HCO_3^- \longrightarrow 21\ NO_3^- + C_5H_7O_2N + 20\ H_2O + 42\ H^+ \quad (2.7)$$

ไนตริไฟอิงแบคทีเรียมี 2 พวกคือ Nitrosomonas และ Nitrobactor มีอัตราการเจริญเติบโตช้า และไม่ว่องไวที่อุณหภูมิสูงกว่า 40 องศาเซลเซียส และจะว่องไวอีกครั้งหนึ่งเมื่อปฏิกิริยาการย่อยสลายเกิดขึ้นสมบูรณ์ซึ่งจะอยู่ในรูป NO_3^- ที่พืชนำไปใช้ได้ง่าย

2.1.2 การเจริญเติบโตของจุลินทรีย์และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกองปุ๋ยที่เวลาต่าง ๆ แบ่งเป็น 4 ระยะ ได้แก่ (พรรษวรรณ, 2548)

1. Latent phase
2. Growth phase
3. Thermophilic phase
4. Maturation phase ระยะนี้อุณหภูมิจะลดลงไปอยู่ในช่วง Mesophilic และที่อุณหภูมิปกติมีการหมักช่วงที่สองเกิดขึ้นแทนที่อย่างช้า ๆ และมีกลิ่นของกรดอินทรีย์ที่เปลี่ยนรูปของสารอินทรีย์ที่ซับซ้อนไปเป็นคอลลอยด์กับแร่ธาตุ (เหล็ก, แคลเซียม, ไนโตรเจน เป็นต้น) และเปลี่ยนเป็นฮิวมัส

2.2 หลักการออกแบบในการทำปุ๋ยหมัก (พิทยากร, 2546)

1. ขนาดของขยะที่ใช้ มักจะผ่านกระบวนการตัดให้มีขนาดเล็กกว่า 5 เซนติเมตร เพื่อเพิ่มความหนาแน่นรวม (Bulk Density) เพิ่มความเสียดทานภายใน และคุณลักษณะของการไหล เพิ่มแรงฉุดของวัสดุ และอัตราของปฏิกิริยาชีวเคมีในกระบวนการหมัก

2. อัตราส่วนของคาร์บอนและไนโตรเจน (C/N ratio) มีความสำคัญที่สุดในการเตรียมวัสดุหมัก ค่าที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 25:1 (พิทยากร, 2546)
3. การเติมเชื้อ (Seeding) เป็นการเติมจุลินทรีย์เพื่อช่วยการย่อยสลายให้ดีขึ้นและมีอัตราการสลายที่เร็วขึ้น
4. ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม คือ 50-60% การปรับความชื้นให้เหมาะสมอาศัยผลที่ได้จากการผสมวัสดุที่มีความชื้นแตกต่างกันและการกลับกองหมัก (Mixing and Turning)
5. อุณหภูมิ ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกองขยะเป็นปฏิกิริยาคายความร้อน (Exothermic reaction) และเป็นเมทาโบลิซึมของการหายใจ อุณหภูมิช่วง Mesophillic 30-38 องศาเซลเซียส ส่วนในช่วง Thermophillic 55-60 องศาเซลเซียส
6. การควบคุมเชื้อโรคที่เกิดขึ้น
7. ความต้องการอากาศ
8. การควบคุมความเป็นกรดเป็นด่าง หรือค่าพีเอช ในกรณีที่การถ่ายเทของอากาศไม่ดีจะเกิดสภาวะไร้อากาศ (Anaerobic conditions) ค่าพีเอชจะลดลงถึง 4.5 ทำให้กระบวนการชะงักหรือช้าลง
9. การควบคุมกลิ่นที่เกิดขึ้น กลิ่นที่ได้ คือ กรดอินทรีย์เนื่องจากมีกระบวนการหมักแบบไร้อากาศเกิดขึ้น แก้ไขโดยการลดขนาดของขยะลง หรือแยกขยะที่ไม่สามารถย่อยสลายโดยกระบวนการทางชีวภาพออก เช่น พลาสติก โลหะ เป็นต้น
10. ความต้องการพื้นที่ในการทำงานมาก ตัวอย่างเช่น Windrow Composting มีความต้องการพื้นที่ 2.5 เอเคอร์ สำหรับโรงงานที่มีกำลังผลิต 50 ตันต่อวัน ทั้งนี้พื้นที่ 1.5 เอเคอร์จะเสียไปกับอาคารโรงเรือนของเครื่องมือ และถนน

2.3 ปัจจัยที่ควบคุมอัตราการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก

กระบวนการย่อยสลายนั้นขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ค่าเป็นกรดเป็นด่าง คุณสมบัติทางเคมีและกายภาพของวัสดุแต่ละชนิด นอกจากนี้ขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของเชื้อจุลินทรีย์ รวมถึงปริมาณของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในกองปุ๋ยหมัก ซึ่งมีผลต่ออัตราการย่อยสลายสารประกอบต่าง ๆ ภายในกองปุ๋ยหมักด้วย สำหรับปัจจัยของสภาพแวดล้อมที่มีส่วนสำคัญต่อกระบวนการย่อยสลาย สามารถแบ่งออกได้ดังนี้

1. ชนิดเชื้อจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมัก

กระบวนการย่อยสลายภายในกองปุ๋ยหมักจนได้ปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์นั้น เกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์หลายชนิดประกอบกัน ซึ่งสามารถแบ่งจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกองปุ๋ยหมักออกได้เป็น 3

กลุ่มใหญ่ ๆ ได้แก่ เชื้อรา แบคทีเรีย และแอคติโนมัยซีส ในกองปุ๋ยหมักจะตรวจพบเชื้อราอยู่เสมอ แต่ชนิด และปริมาณของเชื้อราจะแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมัก ความชื้น และอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม การที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นและมีความชื้นสูงเป็นสภาพที่เหมาะสมต่อแบคทีเรียมากกว่าเชื้อรา ดังนั้น จึงมักตรวจสอบพบเชื้อราเจริญอยู่บริเวณผิวนอกของกองปุ๋ยหมักในช่วงอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส สามารถพบเชื้อราได้ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นถึง 65 องศาเซลเซียส จะไม่พบการเจริญของเชื้อรา (พิทยากร, 2546)

2. อัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก

เป็นค่าที่ใช้บ่งบอกความยากง่ายต่อการย่อยสลาย และใช้เป็นตัวกำหนดระดับการเป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ ถ้าวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักมีค่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงมาก ๆ อัตราการย่อยสลายจะเกิดช้า เนื่องจากความไม่สมดุลของสารประกอบคาร์บอนกับไนโตรเจนสูงมาก 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)

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	3.0
ต้นถั่วต่างๆ	2.0-3.0
ผักตบชวา	2.2-2.5
มูลม้า	2.0
มูลวัว - ควาย	1.2-2.0
เปลือกถั่วลิสง	1.6-1.8
ต้นฝ้าย	1.0-1.5
ต้นข้าวฟ่าง	1.0
ต้นข้าวโพด	0.7-1.0
ใบไม้แห้ง	0.4-1.5
ฟางข้าว	0.4-0.6
หญ้าแห้ง	0.3-2.0
กากมะพร้าว	0.5
แกลบ	0.3-0.5
กากอ้อย	0.3-0.4
ขี้เลื่อยเก่า	0.2
ขี้เลื่อยใหม่	0.1
เศษกระดาษ	แทบไม่มี

3. ขนาดของวัสดุ

ขนาดของเศษวัสดุที่แตกต่างกันมีส่วนสำคัญต่อกระบวนการย่อยสลาย ถ้าเป็นวัสดุที่มีขนาดเล็กการผสมคลุกเคล้าทำได้ทั่วถึง พื้นที่ผิวสัมผัสมีมาก ดังนั้นโอกาสที่จะถูกย่อยสลายจึงมีมากกว่า แต่ถ้าขนาดเล็กเกินไปก็อาจจะทำให้ลดอัตราการระบายอากาศของก๊าซออกซิเจน และก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ดังนั้น จึงควรจะมีช่องว่างเพียงพอในการระบายอากาศ ซึ่งขนาดที่พอเหมาะของวัสดุหมักควรจะมีขนาดความยาวของแต่ละชิ้นส่วน ประมาณ 5 เซนติเมตร หรือเล็กกว่า

(พิทยากร, 2546) สำหรับวัสดุที่มีขนาดใหญ่การผสมคลุกเคล้า จะทำได้ไม่ทั่วถึงและการดำเนินการค่อนข้างลำบาก ดังนั้น การกองปุ๋ยหมักจากเศษวัสดุขนาดใหญ่จึงควรจะกองเป็นชั้น ๆ และเมื่อถึงเวลากลับกองปุ๋ยหมักก็จะเป็นการช่วยผสมคลุกเคล้าให้เข้ากันดียิ่งขึ้น

4. อุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก

อุณหภูมิที่เหมาะสมเป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่งในกระบวนการย่อยสลาย อุณหภูมิที่สูงเกินไปจะมีผลชะงักการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์ ทำให้การย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ลดลง ซึ่งหลังจากเริ่มหมักปุ๋ยหมัก 2-4 วัน พบว่า อุณหภูมิภายในจะสูงขึ้นอย่างรวดเร็วถึง 50-60 องศาเซลเซียสหรือมากกว่า เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ปลดปล่อยจากกระบวนการย่อยสลายและสมบัติการเก็บความร้อนของวัสดุเหลือใช้ที่เป็นสารอินทรีย์ ทำให้ความร้อนที่เกิดขึ้นแพร่กระจายออกจากกองปุ๋ยหมักได้ไม่ดี ในช่วงแรกของการเพิ่มอุณหภูมิ พบว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในกองปุ๋ยหมักจะย่อยสลายสารประกอบที่ย่อยสลายได้ง่ายอย่างรวดเร็ว ซึ่งจุลินทรีย์พวกนี้มีอยู่ทั่วไปตามธรรมชาติ การที่มีอุณหภูมิสูงมากเกินไปจะมีผลยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์บางชนิดภายในกองปุ๋ย ทำให้กระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นได้ช้าลงเมื่ออัตราการย่อยสลายเกิดช้าลง อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักก็จะลดลง จนถึงระดับที่เหมาะสมต่อเชื้อจุลินทรีย์ที่มีบทบาทต่อกระบวนการย่อยสลาย อัตราการย่อยสลายจะเกิดเร็วขึ้น ดังนั้น การที่อุณหภูมิกองปุ๋ยหมักสูงกว่า 70 องศาเซลเซียส มักพบว่าการย่อยสลายจะเกิดขึ้นช้า เนื่องจากความร้อนไปยับยั้งการเจริญของเชื้อจุลินทรีย์บางชนิดที่มีบทบาทต่อการย่อยสลาย ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการย่อยสลายวัสดุมีค่าประมาณ 55 องศาเซลเซียส เชื้อจุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องกับการย่อยสลายในช่วงอุณหภูมิสูง (40-60 องศาเซลเซียส) ได้แก่ พวกทนอุณหภูมิ (Thermotolerant) และชอบอุณหภูมิสูง (Thermophile) หลังจากที่อุณหภูมิถึงจุดสูงสุดแล้วก็จะค่อย ๆ ลดลงจนถึงระดับอุณหภูมิที่ต่ำกว่า 40-45 องศาเซลเซียส เชื้อจุลินทรีย์พวกที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (Mesophile) สามารถเจริญเพิ่มจำนวนมากขึ้นและจะย่อยสลายสารอินทรีย์บางชนิดต่อไปจนกระทั่งค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงถึงระดับที่ปุ๋ยหมักนำไปใช้ได้ (พิทยากร, 2546)

5. ความชื้นภายในกองปุ๋ยหมัก

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

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

6. การระบายอากาศในกองปุ๋ยหมัก

กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์คาร์บอนในกองปุ๋ยหมัก โดยกิจกรรมของเชื้อจุลินทรีย์ในสภาพที่ต้องการอากาศ (Aerobic composting) จัดเป็นปฏิกิริยาประเภท Biological oxidation ซึ่งปัจจัยที่สำคัญ คือ ก๊าซออกซิเจน ซึ่งทำหน้าที่เป็นรับอิเลคตรอนที่ส่งถ่ายมาจากระบบ Respiratory chain ในเซลล์ของจุลินทรีย์ ดังนั้น การระบายอากาศภายในกองปุ๋ยหมักจึงจำเป็นต่อการเพิ่มปริมาณออกซิเจน เพื่อไม่ให้เป็นปัจจัยจำกัดต่อกระบวนการย่อยสลาย ลักษณะการแพร่กระจายของออกซิเจนในกองปุ๋ยหมักเป็นแบบ Gradient คือ บริเวณผิวนอกจะมีปริมาณออกซิเจนมากและลดลงเมื่อลึกลงไปกลางกองปุ๋ยหมัก การกลับกองปุ๋ยหมักช่วยให้ปริมาณออกซิเจนเพิ่มขึ้นจาก 10.1% เป็น 18% อัตราการใช้ก๊าซออกซิเจนมีปฏิภาคโดยตรงต่อระดับของอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก (พิทยากร, 2546) กล่าวคือ ในสภาพที่มีออกซิเจนเพียงพอ เชื้อจุลินทรีย์จะนำออกซิเจนไปใช้อย่างไม่ขาดแคลน ทำให้อัตราการย่อยสลายเกิดอย่างรวดเร็ว และจะปล่อยความร้อนจากการย่อยสลายทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้น

7. ความเป็นกรดเป็นด่าง หรือค่าพีเอช

การเปลี่ยนแปลงค่าพีเอชของวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักพบว่าในช่วง 3 วันแรก ค่าพีเอชจะลดลงจากเดิมเหลือ 5.3-5.7 และเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ส่วนในช่วงหลังค่าพีเอชไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงมากนัก คืออยู่ในช่วง 7.0-8.5 การลดลงของค่าพีเอช 2-3 วันแรกของการหมักปุ๋ยหมักเนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์หลายชนิดย่อยสลายสารประกอบที่ย่อยสลายได้ง่ายและรวดเร็วและผลิตกรดอินทรีย์บางชนิด โดยทั่วไปวัสดุที่มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 3.0 ถึง 11.0 สามารถนำมาทำปุ๋ยหมักได้ แต่ค่าพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วงประมาณ 5.5 ถึง 8.0

2.4 หลักในการพิจารณาปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว

โดยทั่วไปมักจะมีปัญหาอยู่เสมอว่าวัสดุเหลือใช้ที่นำมาทำปุ๋ยหมักนั้นเสร็จสมบูรณ์พร้อมที่จะใส่ลงในดินแล้วหรือยัง ข้อกำหนดในการที่จะบ่งบอกว่าเป็นปุ๋ยหมักที่สมบรูณ์คือ ค่าอัตราส่วนสารประกอบของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุควรมีค่าเท่ากับหรือต่ำกว่า 20:1 (ธงชัย, 2546) ซึ่งค่าของอัตราส่วนสารประกอบของคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ระดับดังกล่าว เมื่อใส่ปุ๋ยหมักลงในดินแล้วจะไม่ทำให้เกิดอันตรายต่อพืช สำหรับหลักเกณฑ์ในการพิจารณาปุ๋ยหมักที่มีการย่อยสลายที่สมบูรณ์และสะดวกต่อการปฏิบัติในภาคสนาม ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 หลักในการพิจารณาปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว (ธงชัย, 2546)

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

2.5 คุณภาพและมาตรฐานที่ดีของปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมักที่ทำจากวัสดุเหลือใช้ต่าง ๆ จะมีคุณสมบัติบางประการแตกต่างกัน ดังนั้น ทางโครงการปรับปรุงบำรุงดินด้วยอินทรีย์วัตถุจึงได้กำหนดคุณภาพและมาตรฐานสำหรับพิจารณาหลักเกณฑ์ของปุ๋ยหมักที่ดี และเมื่อใส่ลงในดินแล้วไม่ทำให้พืชเป็นอันตราย ซึ่งแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 คุณภาพและมาตรฐานที่ดีของปุ๋ยหมัก (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

2.6 ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก

1. ช่วยเพิ่มปริมาณอินทรีย์วัตถุให้แก่ดินทำให้ดินอุดมสมบูรณ์
2. ช่วยเปลี่ยนสภาพของดินจากดินเหนียวหรือดินทรายให้เป็นดินร่วน ทำให้สะดวกในการไถพรวน
3. ช่วยสงวนรักษาความชุ่มชื้นในดินได้ดีขึ้น
4. ทำให้การถ่ายเทอากาศในดินได้ดี
5. ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ปุ๋ยเคมีและสามารถลดการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้
6. ช่วยกระตุ้นให้ธาตุอาหารพืชบางอย่างในดินที่ละลายน้ำยาก ให้ละลายน้ำง่าย และเป็นอาหารแก่พืชได้ดีขึ้น
7. ไม่เป็นอันตรายต่อดิน แม้จะใช้ในปริมาณมาก และติดต่อกันเป็นเวลานาน
8. ช่วยปรับสภาพแวดล้อม เช่น กำจัดขยะมูลฝอย และวัชพืชน้ำ

2.7 วัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมัก

การแปรสภาพไปเป็นปุ๋ยหมักจะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับวัตถุดิบเริ่มต้น วัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมักนั้นส่วนใหญ่มักจะเป็นวัสดุเหลือใช้ประเภทต่าง ๆ ซึ่งสามารถจำแนกเป็นแหล่งใหญ่ดังนี้

2.7.1 วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ดังนั้น จึงมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอยู่ทั่วไปและหลายรูปแบบ จะเห็นได้ว่าพื้นที่ที่ใช้ในการปลูกข้าวมีประมาณ 73 ล้านไร่ ในขณะที่เนื้อที่อีกประมาณ 47 ล้านไร่ ใช้ในการเพาะปลูกพืชอื่น ๆ (ธงชัย, 2546) ดังนั้น ฟางข้าวจึงเป็นวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่มีปริมาณมากและเหมาะสมที่จะนำมาทำปุ๋ยหมัก นอกจากนี้ส่วนของลำต้น ใบและเปลือกของพืชชนิดอื่น ๆ สามารถนำมาทำปุ๋ยหมักได้ เช่น ต้นข้าวโพด ซังข้าวโพด ต้นและเปลือกของถั่วชนิดต่าง ๆ และเศษต้นอ้อย เป็นต้น

2.7.2 วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม

ประเทศไทยกำลังพัฒนาเพื่อเพิ่มผลผลิตทางด้านอุตสาหกรรมให้สอดคล้องกับผลผลิตทางด้านเกษตรกรรม โดยการแปรรูปผลผลิตเหล่านี้ให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป ทำให้เกิดวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรมากมายหลายชนิด เช่น กากอ้อยจากโรงงานน้ำตาล แกลบจากโรงสีข้าว ขี้เลื่อยจากโรงเลื่อยไม้เพื่อแปรรูปไม้ ขุยมะพร้าวจากโรงงานบางประเภท เป็นต้น อย่างไรก็ตาม วัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมที่นิยมใช้ในการผลิตปุ๋ยหมักระดับอุตสาหกรรม ได้แก่ กากอ้อย เนื่องจากมีปริมาณมากกว่าวัสดุประเภทอื่นและคุณสมบัติต่าง ๆ เหมาะสมสำหรับกระบวนการผลิต นอกจากวัสดุเหลือใช้ที่เป็นของแข็งแล้ว ยังมีน้ำทิ้งจาก

โรงงานอุตสาหกรรมบางชนิดที่สามารถนำมาทำปุ๋ยหมักได้ โดยใช้แทนน้ำในการรักษาระดับความชื้นในกองปุ๋ยหมักและยังเป็นแนวทางในการกำจัดน้ำทิ้งเหล่านี้ด้วย เช่น น้ำกากส่าจากโรงงานผลิตแอลกอฮอล์ น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตผงชูรส น้ำทิ้งจากโรงงานผลิตแป้งมันสำปะหลัง และน้ำทิ้งจากโรงงานประกอบอาหารและผลไม้กระป๋อง เป็นต้น

2.7.3 เศษอาหารจากบ้านเรือน

วัสดุเหลือใช้จากบ้านเรือนจะมีปริมาณขยะเศษอาหารในสัดส่วนที่มากกว่าชนิดอื่นซึ่งแสดงดังตารางที่ 2.4 ขยะดังกล่าวนี้เกิดขึ้นจากการเตรียม การปรุงอาหาร และเศษอาหารที่เหลือจากการรับประทานจะมีส่วนประกอบของอินทรีย์วัตถุในปริมาณที่สูงมาก และอินทรีย์วัตถุดังกล่าวมักจะเป็นพวกที่สลายตัวได้ง่าย ดังนั้น ถ้าขยะสดปล่อยทิ้งไว้นานเกินควรก็จะเกิดการเน่าเปื่อยส่งกลิ่นเหม็นรบกวน ทั้งนี้เนื่องจากปฏิกิริยาของจุลินทรีย์นั่นเอง โดยปกติแล้วขยะจะมีปริมาณความชื้นปนมาด้วย 40-70% และค่อนข้างจะมีน้ำหนักมาก

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบและปริมาณขยะมูลฝอยพื้นที่กรุงเทพมหานคร (ดัดแปลงจากกรมควบคุมมลพิษ, 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

ปัจจุบันเทศบาลนครระยองได้นำขยะเศษอาหารจากบ้านเรือนไปใช้เพื่อผลิตก๊าซชีวภาพและปุ๋ยอินทรีย์ (http://www.rayongcity.com/data.php?content_id=47)

2.7.4 ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม

ในกระบวนการผลิตสินค้าอุตสาหกรรมหลายชนิดจะมีน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์เป็นจำนวนมาก ซึ่งสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำเสียเหล่านี้ สามารถแยกออกไปโดยการตกตะกอน หรือการบำบัดโดยจุลินทรีย์ ซึ่งกากตะกอนน้ำเสียนี้มักจะอุดมไปด้วยธาตุอาหารพืชต่าง ๆ และสามารถนำไปใช้เป็นปุ๋ยได้อย่างดี มีปริมาณธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียมมาก แต่ตะกอนน้ำเสียจากโรงงานบางประเภท เช่น โรงงานแบตเตอรี่ โรงงานถลุงเหล็ก อาจจะมีโลหะหนักที่เป็นพิษต่อมนุษย์และสัตว์ปนเปื้อนในปริมาณที่ค่อนข้างสูง ดังนั้น การนำกากตะกอนเหล่านี้ไปทำปุ๋ยจึงควรตรวจสอบปริมาณของธาตุโลหะหนักที่ปนเปื้อน ถ้าพบโลหะหนักปริมาณสูงห้ามใช้เป็นปุ๋ยกับพืชที่มนุษย์บริโภคหรือพืชอาหารสัตว์ แนะนำให้ใช้เป็นปุ๋ยสำหรับไม้ดอกไม้ประดับหรือเพื่อการผลิตในลักษณะการขยายพันธุ์พืช ซึ่งจะไม่ทำให้ธาตุโลหะหนักเหล่านี้ผ่านเข้าไปในห่วงโซ่อาหารของสัตว์และมนุษย์โดยตรง

2.7.5 วัชพืช

วัชพืชบก และวัชพืชน้ำหลายชนิดสามารถนำมาทำปุ๋ยหมัก เช่น หญ้ายาง หญ้าดองขาว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผักตบชวาที่ก่อให้เกิดปัญหาตามแม่น้ำลำคลอง การนำผักตบชวามาทำปุ๋ยหมักจึงนับว่าเป็นแนวหนึ่งทางในการกำจัดวัชพืชที่ดี

2.8 รูปแบบของวิธีการหมักขยะอินทรีย์

วิธีการหมักทำปุ๋ยสามารถแบ่งได้เป็น 2 วิธี คือ วิธีกองบนพื้นหรือในหลุม กับวิธีหมักขยะอินทรีย์โดยใช้เครื่องจักรกล ในปัจจุบันมีการพัฒนาการหมักขยะอินทรีย์โดยนำเทคโนโลยีและเครื่องจักรเข้ามาช่วยเร่งการทำงานของจุลินทรีย์ ส่งผลให้ขยะมูลฝอยซึ่งเป็นวัตถุดิบในการย่อยสลายอย่างรวดเร็ว ทำให้ระยะเวลาที่ใช้หมักสั้นลงกว่าวิธีตามธรรมชาติ การหมักขยะมูลฝอยให้เป็นปุ๋ยสามารถแบ่งวิธีการหมักปุ๋ยทั่ว ๆ ไป ดังนี้

2.8.1 Windrow Composting

เป็นวิธีการหมักโดยใช้ออกซิเจนตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นการนำขยะอินทรีย์มากองบนพื้นราบให้ได้ความสูงพอสมควรที่จะให้การระบายอากาศได้ดี เพื่อให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดได้ดี รวมทั้งเป็นการหมุนเวียนเอาวัสดุด้านนอกของกองที่ยังไม่สลายตัวให้เข้าไปรับความร้อนภายในกองและช่วยกำจัดหนอนตัวอ่อนของแมลงวันที่อาจเกิดขึ้นบริเวณขอบนอกของกอง ขณะเดียวกันก็เป็นการผสมคลุกเคล้าวัสดุให้เข้ากัน มีความชื้นสม่ำเสมอทั้งกอง และเป็นการเร่งปฏิกิริยาและป้องกันสภาวะการย่อยแบบไม่ใช้อากาศ

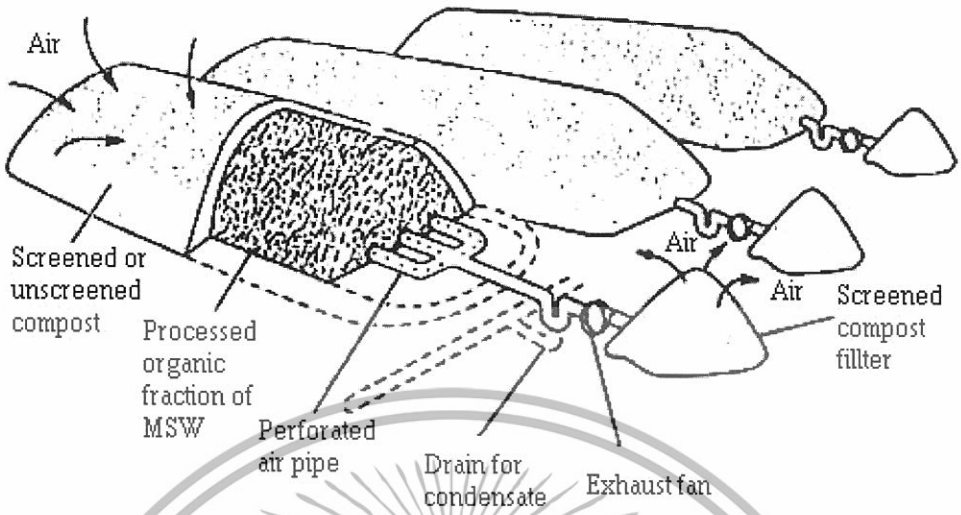
ข้อดี ง่ายต่อการออกแบบ ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเดินระบบมาก อีกทั้งประหยัดพลังงาน เนื่องจากไม่มีอุปกรณ์ไฟฟ้า

ข้อเสีย

1. การผลิตปุ๋ยหมักสามารถทำได้ แต่กองปุ๋ยที่มีขนาดเล็ก เนื่องจากถ้ากองปุ๋ยมีขนาดใหญ่ ขยะมูลฝอยที่อยู่ข้างในอาจได้รับออกซิเจนไม่เพียงพอ ทำให้เกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน
2. วิธีการหมักต้องใช้พื้นที่มาก
3. ยุ่งยากต่อในการดำเนินงานและสิ้นเปลืองแรงงานอย่างมาก ต้องมีการกลับกองปุ๋ยอย่างสม่ำเสมอ
4. ใช้เวลาในการหมักนาน
5. เกิดกลิ่นเหม็น
6. เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมจากน้ำชะ

2.8.2 Aerated Pile Composting หรือ Passive Technique

การผลิตปุ๋ยหมักแบบระบบกองเติมอากาศคล้ายแบบแรก แต่ฐานของกองปุ๋ยจะมีการระบายอากาศในกองได้ทั่วถึงโดยไม่ต้องพลิกกลับกองปุ๋ย เช่น การใช้ไม้ไผ่เจาะช่องระบายอากาศเรียงเป็นฐาน หรือการวางท่อเป่าอากาศใต้กองหมักดังรูปที่ 2.1 โดยใช้หลักการ คือเมื่อปุ๋ยโดนย่อยสลายจะเกิดความร้อนขึ้นภายในปุ๋ยหมักและความร้อนจะลอยตัวสูงขึ้น อากาศภายนอกที่เย็นกว่าก็จะไหลเข้ากองปุ๋ยทางด้านข้าง เท่ากับเป็นการเติมอากาศให้กับกองปุ๋ยตามธรรมชาติตลอดเวลา เรียกว่าปรากฏการณ์ Chimney Convection (Diaz *et al.*, 1993) ดังรูปที่ 2.2 และเมื่อมีการเติมอากาศเพิ่มเติมแก่บริเวณกลางกองปุ๋ยเป็นครั้ง ๆ ด้วยพัดลมเติมอากาศ (blower) ก็จะทำให้ภายในกองปุ๋ยมีออกซิเจนในปริมาณที่เพียงพอต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ การย่อยสลายก็จะสามารถดำเนินไปได้อย่างรวดเร็ว



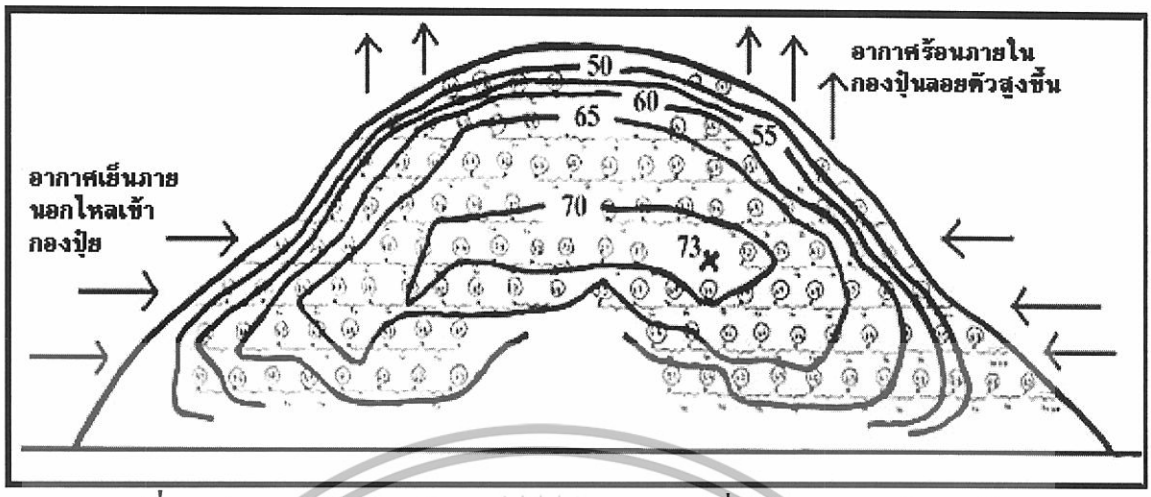
รูปที่ 2.1 ระบบ Aerated Static Pile Composting ที่มี Screen Filter (Tchobanoglous *et al.*, 1993)

ข้อดี

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

ข้อเสีย

1. การเติมอากาศนานอาจจะทำให้กองปุ๋ยเย็นลง ซึ่งไม่เป็นผลดีต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์
2. เสียค่าใช้จ่ายในเดินระบบมาก เช่น เครื่องย่อยเศษพืชราคาประมาณ 5 หมื่นบาท และพัดลมเติมอากาศขนาด 3 แรงม้า ราคาประมาณ 15,000 บาท (ธีระพงษ์, 2546)
3. เกิดกลิ่นเหม็น
4. เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมจากน้ำชะ



รูปที่ 2.2 ค่าอุณหภูมิในกองปุ๋ยอายุ 5 วัน และการแทนที่ของอากาศภายในกองปุ๋ย (http://www.compost.mju.ac.th/prod/default.htm)

2.8.3 In-vessel Composting

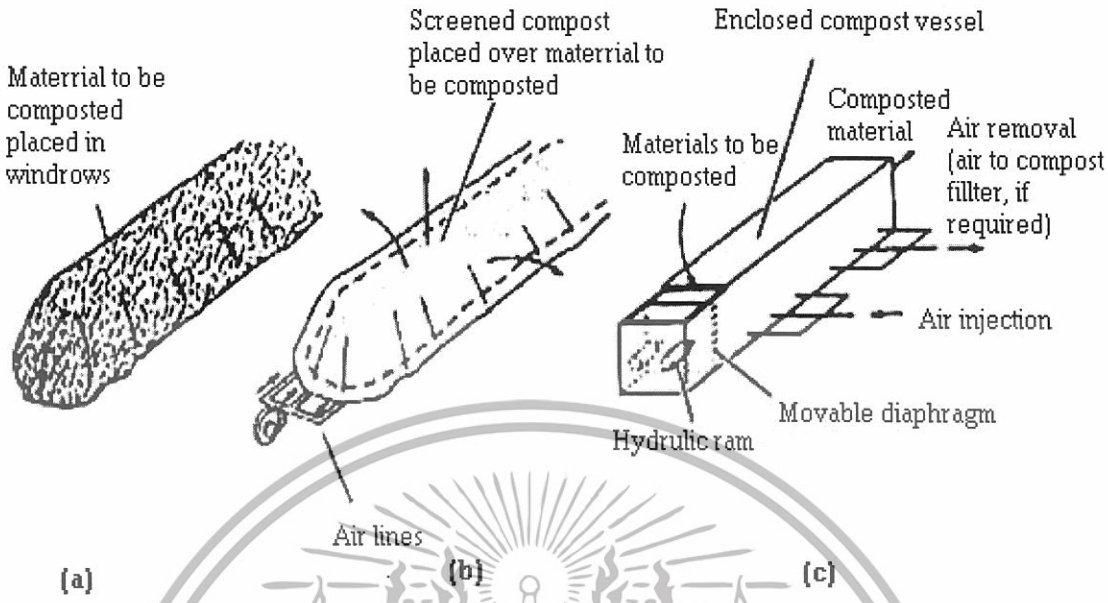
การหมักวิธีนี้คล้าย Windrow Composting และ Aerated Pile Composting แต่เป็นการหมักในภาชนะปิดที่ถูกทำให้เคลื่อนที่ตลอดเวลาด้วยเครื่องจักร จนกระทั่งสิ้นสุดการย่อย รูปที่ 2.3 แสดงลักษณะของความแตกต่างระหว่าง Windrow Composting Aerated Pile Composting และ In-vessel Plug Flow

ข้อดี

1. เป็นระบบหมุนเวียน จึงสามารถแก้ไขปัญหาขยะล้นเมืองได้อย่างยั่งยืน เป็นเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ปราศจากมลภาวะ
2. ใช้พื้นที่โครงการไม่มาก ไม่มีการสะสมของขยะเน่าเสียที่เป็นสาเหตุของการเกิดกลิ่นหรือโรคระบาด
3. ไม่อุจาดตา ควบคุมการหมักง่าย และใช้แรงงานน้อย
4. ไม่เกิดมลพิษจากน้ำชะ

ข้อเสีย มีการค่าใช้จ่ายในการเดินระบบมากและสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.3 รูปแบบของวิธีการหมัก (a) Windrow Composting (b) Aerated Pile Composting and (c) In-vessel Plug Flow (Tchobanoglous *et al.*, 1993)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Barrington และคณะ (2002) เป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการทำปุ๋ยหมักโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของอากาศแบบพาสซีฟ เปรียบเทียบกับเติมอากาศวิธีแอคทีฟ ในการทดลองจะใช้ Bulking agent 3 ชนิด ได้แก่ เศษไม้, หญ้าแห้ง และฟางข้าว แต่ละชนิดมีความชื้นเท่ากับ 60%, 65% และ 70% ตามลำดับ จากผลการทดลองพบว่า เมื่อทำการหมักโดยวิธีพาสซีฟแบบเติมอากาศผ่านท่อ และอาศัยความแตกต่างของอุณหภูมิภายในกองปุ๋ยกับบรรยากาศภายนอกในการเคลื่อนที่ของอากาศ จะมีช่วงอุณหภูมิสูงสุดที่ 57 องศาเซลเซียส และหลังวันที่ 6 ของการหมัก ค่าความชื้นของปุ๋ยจะลดลงซึ่งจะมีผลต่ออุณหภูมิในการหมัก การเปรียบเทียบปริมาณอากาศที่ไหลเข้า-ออกเมื่อใช้ฟางข้าวจะลดลงมากกว่าเศษไม้ และหญ้าแห้ง (ทั้งนี้ดูจากความสัมพันธ์ของเลข Grasholf นั่นคือ สัดส่วนของความสามารถในการลอยตัวของอากาศกับแรงหนืด) ทำให้ประสิทธิภาพของเศษไม้และหญ้าแห้งมีมากกว่าเพราะมีอัตราการไหลของอากาศเข้า-ออกอย่างสม่ำเสมอ

ธีระพงษ์ และคณะ (2546) ศึกษาเกี่ยวกับการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษพืชในเชิงอุตสาหกรรมสำหรับชุมชนด้วยระบบกองเติมอากาศ โดยทำการศึกษาในระดับใช้งานจริงจากการหมักปุ๋ย 3 กอง แต่ละกองประกอบด้วยเศษพืชที่ผ่านการย่อย 6 ลูกบาศก์เมตร และมูลโค 3 ลูกบาศก์เมตร กองบนลานพื้นดินกลางแจ้ง ให้มีขนาด กว้าง×ยาว×สูง เท่ากับ 2.5 × 3.5 ×1.0 เมตร เติมปุ๋ยยูเรีย หินฟอสเฟต และสารตัวเร่งในอัตรา 400, 200, และ 90 กรัม ตามลำดับ รักษาความชื้นที่ร้อยละ 45-55

107837

มาตรฐานเปียก เติมอากาศแก่แต่ละกองปุ๋ยวันละ 2 ครั้ง ๆ ละ 15 นาที ด้วยพัดลมขนาด 3 แรงม้า ผ่านทางท่อพีวีซีเจาะรูขนาด 4 นิ้ว ด้วยค่าอัตราการไหลของอากาศ 0.118, 0.147, และ 0.155 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ตามลำดับ ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัตถุดิบมีค่าเฉลี่ยประมาณ 20 พบว่า การหมักใช้เวลาประมาณ 30 วัน มีค่าอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมมีค่า 0.155 ลูกบาศก์เมตร/วินาที ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกองมีค่าขึ้นสูงอยู่ในช่วง 60-75 องศาเซลเซียสที่เวลา 2-5 วัน ปุ๋ยที่หมักได้มีน้ำหนักเบา มีขนาดเล็กลง และไม่มีกลิ่น มีค่าความหนาแน่นรวมเฉลี่ย 198 กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร มีส่วนที่ไม่ย่อยสลายอยู่ในช่วงร้อยละ 1.9-3.2 มีค่าไฟฟ้าเฉลี่ย 0.07 บาทต่อกิโลกรัมวัตถุดิบต่อเดือน และเมื่อคิดว่าในการผลิตใช้แรงงาน 2 คนต่อวัน ทำงานปีละ 120 วัน ผลิตปุ๋ยได้เฉลี่ยเดือนละ 18 ตัน จำหน่ายปุ๋ยกิโลกรัมละ 1.50 บาท พบว่า มีจุดคุ้มทุนที่ 0.37 ปี และ 1.36 ปี เมื่อไม่ใช้เครื่องย่อยเศษพืช และใช้เครื่องย่อยเศษพืช ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่า ระบบกองเติมอากาศมีศักยภาพที่ชุมชนจะนำไปผลิตปุ๋ยหมักในเชิงอุตสาหกรรมได้ เพราะมีการทำงานที่ง่าย ใช้แรงงานน้อย ไม่ต้องมีการพลิกกลับกองปุ๋ย มีค่าลงทุนและค่าดำเนินการต่ำ ใช้พลังงานน้อย และยังเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมอีกด้วย

Togenetti และคณะ (2006) ศึกษาเกี่ยวกับการปรับปรุงวิธีการทำปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์เทศบาล ทำการทดลองเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของปุ๋ยหมักโดยนำขยะอินทรีย์เทศบาลมาทำเป็นชิ้นเล็กลงขนาด 1-3 เซนติเมตร แล้วนำไปใช้ทำปุ๋ย 4 ชนิด คือ 1) ขยะอินทรีย์เทศบาลที่ทำเป็นชิ้นเล็กลงแล้ว 2) ขยะอินทรีย์เทศบาลที่ทำเป็นชิ้นเล็กลงผสมเศษไม้และใบไม้ 3) ขยะอินทรีย์เทศบาลที่ไม่ได้ผ่านการลดขนาด และ 4) ขยะอินทรีย์เทศบาลที่ไม่ได้ผ่านการลดขนาดผสมเศษไม้และใบไม้ หลังหมักครบ 50 วัน จะนำปุ๋ยแต่ละกองมาทำการ Vermistabilization ต่อจนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้าย ทำการวัดค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออก ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณคาร์บอนที่ละลายน้ำ ค่าไนเตรต-ไนโตรเจน ค่าแอมโมเนียม-ไนโตรเจน และค่าฟอสฟอรัสที่สกัดได้ พบว่า การบำบัดโดยวิธีลดขนาดขยะอินทรีย์ก่อนนำไปหมัก จะช่วยให้อินทรียวัตถุเกิดความคงตัวเร็วกว่าแบบไม่ได้ลดขนาด ทั้งนี้ วัดจากความสามารถในการผลิตก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เร็วกว่า และช่วงเทอร์โมฟิลิคที่สั้นกว่า ส่วนการบำบัดขยะอินทรีย์โดยผสมกับเศษไม้ พบว่าจะสามารถเพิ่มคุณภาพของปุ๋ยที่เป็นผลิตภัณฑ์สุดท้ายได้ ซึ่งจะดูได้จากค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้า และค่าความเข้มข้นของสารอินทรีย์ในปุ๋ยที่เพิ่มขึ้น แต่จะทำให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และความเข้มข้นของสารอาหารที่สามารถนำไปใช้ได้ลดลง ส่วนการบำบัดโดยวิธีต่อเนื่อง Vermicomposting จะทำให้ได้ปุ๋ยซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์มีค่าอินทรียวัตถุ ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และความเข้มข้นของสารอาหารที่นำไปใช้ได้มากขึ้น

กว่าเดิม (เมื่อเทียบกับการทำปุ๋ยหมักแบบไม่ต่อเนื่อง) ทั้งนี้เนื่องจากกิจกรรมของไส้เดือน และการช่วงเทอร์โมฟิลิคที่สั้นลง

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์

1. เศษอาหารครัวเรือนจากโรงอาหาร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดระบัง
2. เศษใบไม้แห้ง
3. ถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 60 เซนติเมตร สูง 90 เซนติเมตร
4. ท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 (8 หุน) และ 7.5 เซนติเมตร (24 หุน)
5. ตะแกรงเหล็กขนาดเมช 0.9 ตารางเซนติเมตร
6. ข้องอ 90 องศา ขนาด 2.5 นิ้ว
7. บานพับ ขนาด 1.5 นิ้ว
8. ชุดสายยู ขนาด 2 นิ้ว
9. ลวดตาข่ายขนาดเมช 1 ตารางเซนติเมตร
10. แผ่นพลาสติก
11. ตะแกรงพลาสติก
12. ภาชนะตวงมูลฝอยความจุไม่ต่ำกว่า 100 ลิตร
13. อุปกรณ์สำหรับคลุกเคล้ามูลฝอย เช่น พลั่ว จอบ ฯ
14. ชุดวิเคราะห์ไนโตรเจน (Kjeldahl-Apparatus)
15. เตาเผา Muffle furnace ยี่ห้อ Nabertherm รุ่น P 320 ประเทศเยอรมัน
16. เครื่องพีเอชมิเตอร์ ยี่ห้อ Denver Instrument Model 215
17. เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชันสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Shimudzu Co., Ltd รุ่น AA-680
18. เครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ รุ่น 6405 บริษัท Jenway Co., Ltd
19. เครื่องชั่งสารแบบละเอียด ยี่ห้อ Denver Instrument Company รุ่น TC-254 ประเทศเยอรมัน
20. ตู้อบ ของบริษัท Fisher Scientific รุ่น ISOTEMP ประเทศเยอรมัน
21. เดซิคเคเตอร์
22. ตู้ดูดควัน
23. เทอร์โมมิเตอร์
24. เตาแผ่นความร้อน
25. เครื่องแก้วต่าง ๆ

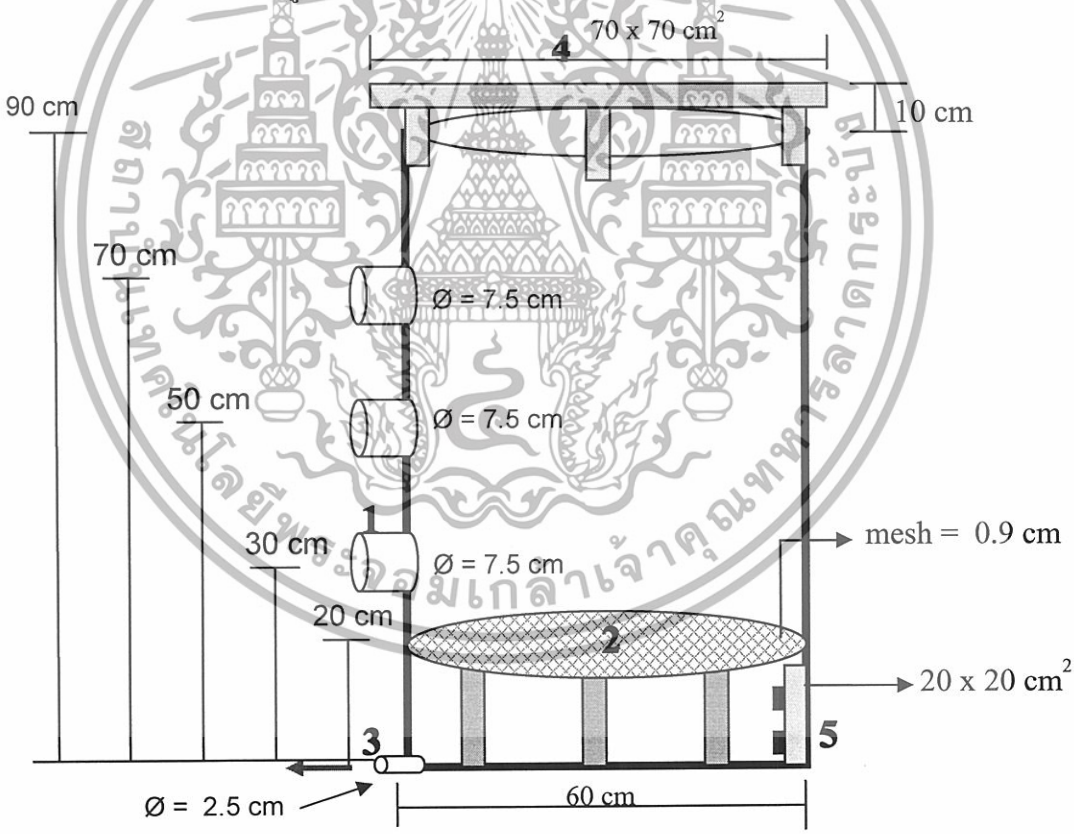
3.2 สารเคมี

1. สารเร่ง (พด.1) สำหรับทำปุ๋ยหมัก ผลิตโดย กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์
2. น้ำปราศจากไอออน
3. กรดซัลฟูริกเข้มข้น 95-98% เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
4. โซเดียมไฮดรอกไซด์ เกรดวิเคราะห์ Lab Scan Co., Ltd
5. สารละลายกรดบอริก เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
6. โพแทสเซียมซัลเฟต เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
7. ซิลิเนียม เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
8. โบรโมครีซอล กรีน เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
9. เมธิล เรด อินดิเคเตอร์ เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
10. สารละลายกรดไฮโดรคลอลิกมาตรฐาน 0.1 M เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
11. สารละลายกรดโพแทสเซียมพาทาเลต เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
12. ฟีนอล์ฟทาลีนอินดิเคเตอร์ เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
13. สารละลายแอมโมเนียมโมลิบเดต เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
14. สารละลายแอมโมเนียมเมตาวานาเดต เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
15. สารละลายกรดไนตริก เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
16. โพแทสเซียมฟอสเฟต เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
17. โพแทสเซียมไดโครเมท เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
18. เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟต เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
19. ออร์โทรฟีแนนโทรลีน เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
20. โซเดียมคลอไรด์ เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
21. โพแทสเซียมคลอไรด์ เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
22. บลูซีนซัลเฟต เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
23. กรดซัลฟานิลิก เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
24. แอนไฮดรัสโพแทสเซียมไนเทรต เกรดวิเคราะห์ Carlo Erba Co., Ltd
25. แอมโมเนียมอะซิเตต เกรดวิเคราะห์ Merck Co., Ltd

3.3 การเตรียมถังหมัก

3.3.1 ถังหมักที่ 1 (ถังควบคุม)

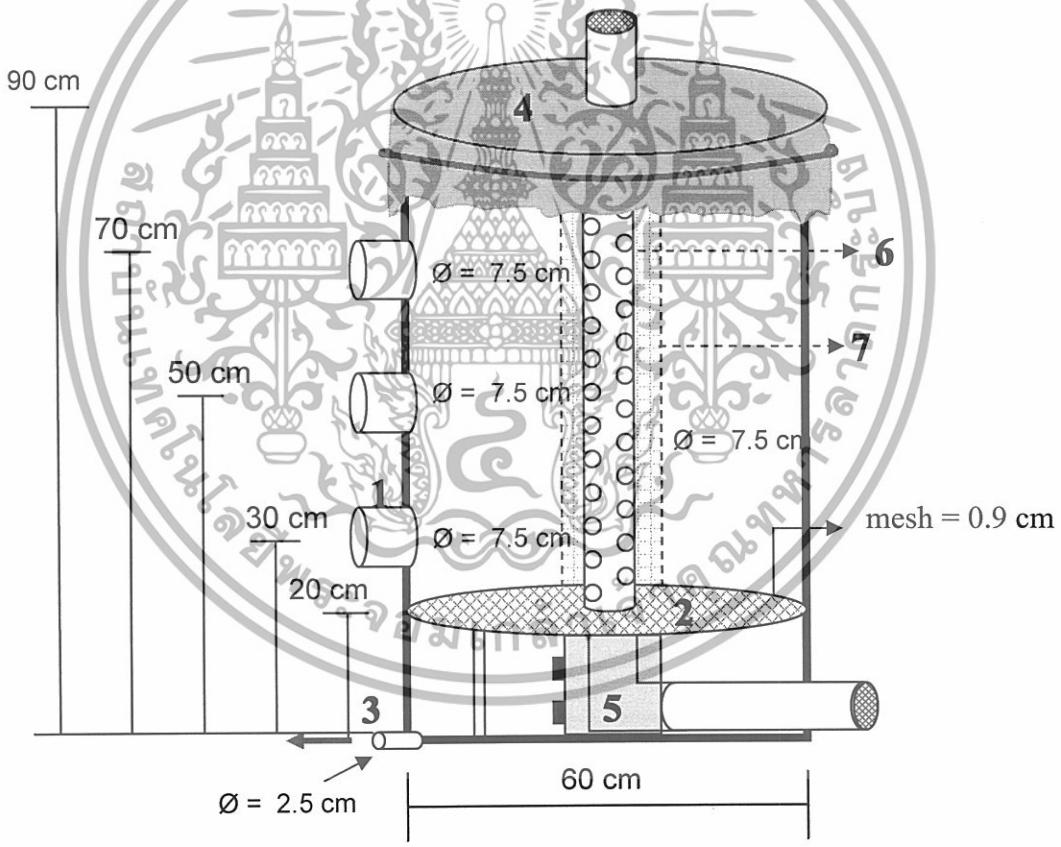
1) นำถังพลาสติกขนาด 200 ลิตร เจาะรูบริเวณด้านข้างของถังในแนวดิ่ง 3 ช่องขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.6 เซนติเมตร(24 หุน) ให้สูงกว่าก้นถังขึ้นมาเป็นระยะ 30, 50 และ 70 เซนติเมตร ตามลำดับ หุ้มปิดด้วยแผ่นพลาสติก ใช้เป็นช่องเก็บตัวอย่าง เพื่อนำไปวิเคราะห์
2) บริเวณด้านล่างของถังหมักวางตะแกรงเหล็ก ขนาดเมช 0.9 ตารางเซนติเมตร โดยให้สูงกว่าก้นถังขึ้นมา 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 องค์ประกอบของถังหมักปุ๋ยโดยวิธีดั้งเดิม (1) ช่องเก็บตัวอย่าง (2) ลวดตาข่าย (3) ท่อ ระบายน้ำชะ (4) ฝาปิดถัง (5) ช่องประตู

3.3.2 ถังหมักที่ 2 โดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์ คอนเวคชัน (ถังทดลอง)

1) เตรียมถังหมักเช่นเดียวกับถังหมักที่ 1
2) นำท่อพีวีซีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.6 เซนติเมตร (24 หุน) ต่อเป็นรูปตัวแอล (L) เจาะรูตลอด แนว 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 มัดด้วยให้สนิทโดยมีช่องให้ท่อระบายอากาศสู่ภายนอกถัง ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 องค์ประกอบของถังหมักปุ๋ยโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชั่น (1) ช่องเก็บตัวอย่าง (2) ตะแกรงเหล็ก (3) ท่อระบายน้ำชะ (4) แผ่นพลาสติกคลุมถัง (5) ช่องประตู (6) ท่อเติมอากาศ (7) ลวดตาข่าย

3.4 ขั้นตอนการดำเนินการ

3.4.1 การเตรียมวัสดุหมัก

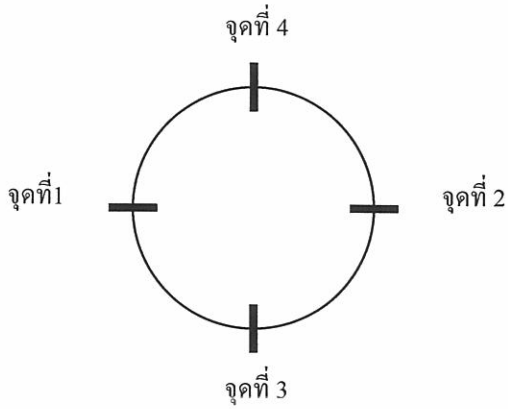
ใช้เศษอาหารมากรองด้วยตะแกรงพลาสติกเพื่อแยกเอาน้ำ แยกวัสดุที่ไม่ย่อยสลาย ได้แก่ กระดูก เปลือกหอย เป็นต้น และเศษใบไม้แห้งเป็นวัสดุหมัก

1) วิเคราะห์ค่า ความชื้น ความหนาแน่น ค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนของเศษอาหารและเศษใบไม้แห้ง โดยวิธีมาตรฐานการสุ่มและวิเคราะห์ตัวอย่างมูลฝอยของกรมควบคุมมลพิษ (กรมควบคุมมลพิษ, 2546) (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ก)
2) คำนวณหาสัดส่วนการผสมกัน ระหว่างเศษอาหารและเศษใบไม้แห้ง โดยให้ได้ค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นที่ 25:1 (มุกดา, 2545) (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ข)
3) ผสมเศษอาหารและเศษใบไม้แห้ง ตามสัดส่วนที่ได้จากการคำนวณ แล้วนำมาผสมกับสารเร่ง พด.1 (ดูรายละเอียดภาคผนวก ก-2) คลุกเคล้าให้เข้ากัน
4) นำท่อพีวีซี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร (8 หุน) ความยาว 5 เซนติเมตร ผสมลงในกองปุ๋ยในสัดส่วน 10 :1 เพื่อเป็น Bulking agent คลุกเคล้าให้เข้ากัน
5) นำวัสดุหมักใส่ลงถังหมัก ทั้ง 2 ถัง โดยให้น้ำหนักที่เท่ากัน คือ ถังควบคุม(วิธีดั้งเดิม)จะมีการกลับกองปุ๋ยสัปดาห์ละ 1 ครั้ง และถังทดลองที่มีการเติมอากาศโดยอาศัยหลักการชิมนีย์คอนเวคชัน
6) วิเคราะห์คุณภาพของวัสดุหมักเริ่มต้น ได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ความเป็นกรด- ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า กลิ่น ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด ปริมาณไนเทรต-ไนโตรเจน ปริมาณอินทรียคาร์บอน และค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนโดยใช้วิธีมาตรฐานการวิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

3.4.2 การวิเคราะห์สภาวะในระหว่างการหมักปุ๋ย

3.4.2.1 อัตราการยุบตัว

- ทดลองโดยใช้ตลับเมตรวัดความสูงของปุ๋ยในถังหมักโดยจะวัดทั้ง 4 จุดของถังหมัก (ดังรูปที่ 3.3) แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 3.3 จุดวัดอัตราการยุบตัวของปุ๋ยทั้ง 4 จุด

3.4.2.2 อุณหภูมิ

- วัดอุณหภูมิจากช่องเก็บตัวอย่างที่ตำแหน่งความลึก 20 เซนติเมตรทั้ง 3 ช่อง เก็บตัวอย่าง วัด 3 ซ้ำ

3.4.2.3 ความชื้นโดยวิธีอบแห้ง (Oven-dried method)

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

การคำนวณ

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

เมื่อ x = น้ำหนักบีกเกอร์

y = น้ำหนักบีกเกอร์+ตัวอย่างก่อนอบ

z = น้ำหนักบีกเกอร์+ตัวอย่างหลังอบ

3.4.2.4 ความเป็นกรด- ด่าง (pH) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

- ชั่งตัวอย่างปุ๋ย 5 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
- เติมน้ำกลั่น 50 มิลลิลิตร (อัตราส่วน 1:10)
- ใช้แท่งแก้วคนให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง
- นำไปวัดค่าความเป็นกรด-ด่างด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ ทำ 3 ซ้ำ

3.4.2.5 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

- หลังจากวัดค่าความเป็นกรด-ด่างทิ้งตัวอย่างค้างคืน แล้วนำสารละลายตัวอย่างมากรองด้วยกระดาษกรองละเอียดเบอร์ 1

- วัดค่าการนำไฟฟ้าด้วยเครื่องคอนดักติวิตีมิเตอร์ ทำ 3 ซ้ำ แล้วนำค่าที่อ่านได้ ไปเปรียบเทียบกับค่าการนำไฟฟ้าโดยจะใช้มาตรฐานเดียวกัน ดังต่อไปนี้

การแปลผลค่าการนำไฟฟ้า (mmho/cm หรือ dS m^{-1})

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

จากมาตรฐานสามาถนำมาเปรียบเทียบใช้กับค่าที่วิเคราะห์ของปุ๋ยหรือวัสดุการเกษตรที่จะนำมาผลิตปุ๋ยหมักเพื่อดูความเหมาะสมในการนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

3.4.2.6 กลิ่น

การประเมินระดับกลิ่นจะใช้วิธีการคมโดยกลุ่มผู้ทดสอบจำนวน 10 คน ซึ่งจะใช้ผู้ทดสอบคนเดียวกันตลอดการทดลองโดยแบ่งระดับการกลิ่นออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับที่ 1 ไม่มีกลิ่น ระดับที่ 2 มีกลิ่นเหม็นน้อย และระดับที่ 3 มีกลิ่นเหม็น การทดสอบกลิ่นจะทดสอบสัปดาห์ละ 1 ครั้ง

3.4.2.7 หาค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน

หาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนต่อปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด โดยใช้วิธีมาตรฐานการวิเคราะห์ปุ๋ยของสำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) เมื่อระยะเวลาการหมักครบ 1 เดือนความถี่ในการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 พารามิเตอร์และความถี่ในการวิเคราะห์ระหว่างการหมักปุ๋ย

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	ความถี่ในการวิเคราะห์
อัตราการยุบตัว	การวัดระดับความสูงด้วยสายวัด	ทุก 2 วัน
อุณหภูมิ	Thermometer	ทุกวัน
ความชื้น	วิธีมาตรฐาน	1 ครั้ง/สัปดาห์
ความเป็น กรด - ด่าง	pH meter	1 ครั้ง/สัปดาห์
ค่าการนำไฟฟ้า	Conductivity meter	1 ครั้ง/สัปดาห์
กลิ่น	สูดดม	1 ครั้ง/สัปดาห์
ค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน	วิธีมาตรฐานกรมพัฒนาที่ดิน	1 ครั้ง/เดือน

3.4.3 การวิเคราะห์คุณภาพของปุ๋ยหมัก

เมื่ออุณหภูมิ มีระดับเท่ากับอุณหภูมิห้อง วิเคราะห์คุณภาพของปุ๋ยหมักได้แก่ อุณหภูมิ ความชื้น ความเป็นกรด- ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า กลิ่น ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมด ปริมาณไนเทรต-ไนโตรเจน ปริมาณอินทรียคาร์บอน และ ค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนโดยใช้วิธีมาตรฐานการวิเคราะห์ตัวอย่างปุ๋ย (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) เพื่อทำการเปรียบเทียบกับวัสดุหมักเริ่มต้น และเทียบกับค่ามาตรฐาน

3.4.4 การทดสอบความเป็นพิษของปุ๋ยที่หมักสมบูรณ์แล้วด้วยการงอกและความยาวรากของเมล็ด (อรวรรณ, 2542)

1) ชั่งตัวอย่างปุ๋ยจากถังควบคุมและถังทดลอง 5 กรัมลงในจานเพาะเชื้อ
2) เติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตรลงในจานเพาะเชื้อ
3) วางเมล็ดถั่วเขียวจำนวน 5 เมล็ดบนสำลี ปิดฝา แล้วหุ้มด้วยเทปกาว และกระดาษฟอยล์ เก็บในที่มืดที่อุณหภูมิห้อง
4) ทิ้งไว้ที่เวลา 24, 48 และ 72 ชั่วโมง แต่ละเวลาทำทั้งหมด 3 ซ้ำ
5) สังเกตการงอกของเมล็ด และวัดความยาวรากที่ 24, 48 และ 72 ชั่วโมง ตามลำดับ
6) ทำแบลงค์เช่นเดียวกับข้อ 1-5 แต่ใช้สำลีแทนตัวอย่างปุ๋ย

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทที่ 4
ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การวิเคราะห์คุณลักษณะของวัสดุหมักเริ่มต้น

ผลการวิเคราะห์คุณลักษณะของเศษอาหารและเศษใบไม้แห้ง แสดงดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 คุณลักษณะของวัตถุดิบในการหมัก

วัตถุดิบ	ความชื้น (%)	ความหนาแน่น (kg/m^3)	ปริมาณอินทรียคาร์บอน (%)	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (%)
เศษอาหาร	66.52	1020	46.04	2.70
เศษใบไม้แห้ง	11.20	23.34	48.60	0.71

ปริมาณอินทรียคาร์บอน และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในเศษอาหารและเศษใบไม้ที่เป็นวัตถุดิบในการหมักซึ่งได้จากการวิเคราะห์ นำไปหาอัตราส่วนผสมของเศษอาหารและเศษใบไม้เพื่อให้ได้อัตราส่วนของ สารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เท่ากับ 25:1 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมของวัสดุหมักเริ่มต้นในการทำปุ๋ยหมัก จากการคำนวณต้องใช้อัตราส่วนในการเตรียมวัสดุหมักระหว่าง เศษอาหาร : เศษใบไม้แห้ง เท่ากับ 4 :1 โดยน้ำหนักเปียก (ดูรายละเอียดการคำนวณภาคผนวก ข)

ในการเตรียมวัสดุหมัก เมื่อผสมเศษอาหาร และเศษใบไม้แห้ง ตามอัตราส่วนที่คำนวณได้แล้วนำไปทำการวิเคราะห์คุณภาพของวัสดุหมักเริ่มต้น ผลการวิเคราะห์ แสดงดังตารางที่ 4.2 และวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนในวัสดุหมักเริ่มต้นได้เท่ากับ 27 :1 ซึ่งเป็นค่าใกล้เคียงกับค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่ได้จากการคำนวณ

ตารางที่ 4.2 คุณลักษณะวัสดุหมักเริ่มต้น

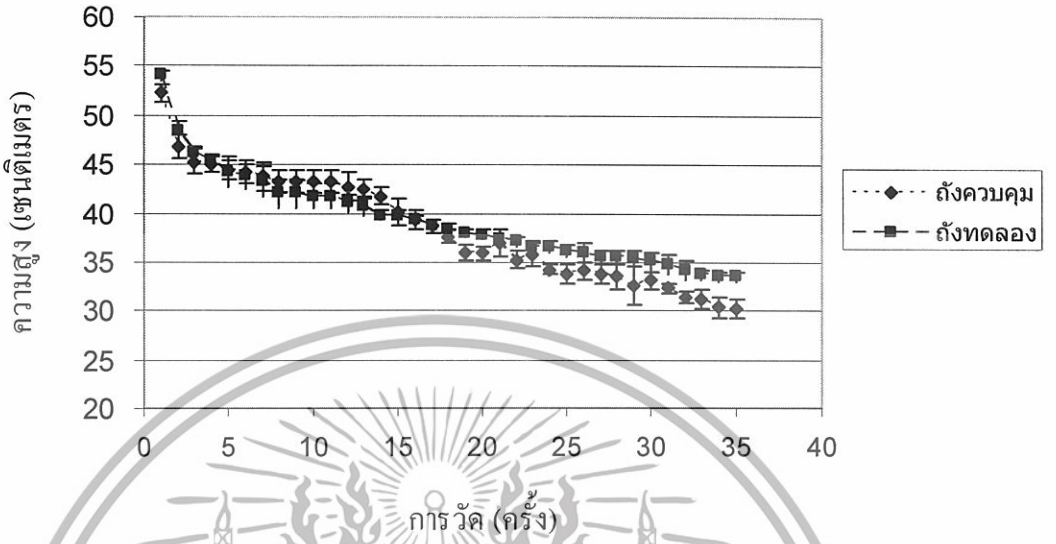
พารามิเตอร์	วัสดุหมักเริ่มต้น
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	31.1±0.8
ความชื้น(%)	62.52±3
ความเป็นกรด- ด่าง	4.75±0.04
ค่าการนำไฟฟ้า (มิลลิโอมม์/เซนติเมตร)	8.95±0.02
กลิ่น	เหม็นมาก
ไนโตรเจน (%)	1.54 ±0.1
ฟอสฟอรัส (%)	0.272±0.001
โพแทสเซียม (%)	0.0056
ไนเทรต-ไนโตรเจน (%)	0.0128
อินทรียคาร์บอน(%)	41.99±2
อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน	27:1

4.2 ผลการวิเคราะห์สภาวะในระหว่างการหมักปุ๋ย

การวิเคราะห์สภาวะในระหว่างการหมักปุ๋ย คือ อัตราการยุบตัว อุณหภูมิ ความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า กลิ่น และอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน โดยการศึกษาอุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้าและ ความชื้นแบ่งการตรวจวัดเป็น 3 ระดับความลึกของถังหมักคือที่ระยะ 30 เซนติเมตร, 50 เซนติเมตร และ 70 เซนติเมตรจากก้นถัง เพื่อศึกษาระดับความสูงของกองปุ๋ยหมักที่มีผลต่อปัจจัยต่าง ๆ ในการหมัก

4.2.1 อัตราการยุบตัว

อัตราการยุบตัวของกองปุ๋ยประเมินจากความสูงที่ลดลงของกองปุ๋ย ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ การศึกษาอัตราการยุบตัวของกองปุ๋ยจะเริ่มตั้งแต่ทำการหมัก และสิ้นสุดเมื่อปุ๋ยเสร็จสมบูรณ์แล้ว ผลการวัดแสดงดังรูปที่ 4.1 (ดูรายละเอียดจากภาคผนวก ค-1)

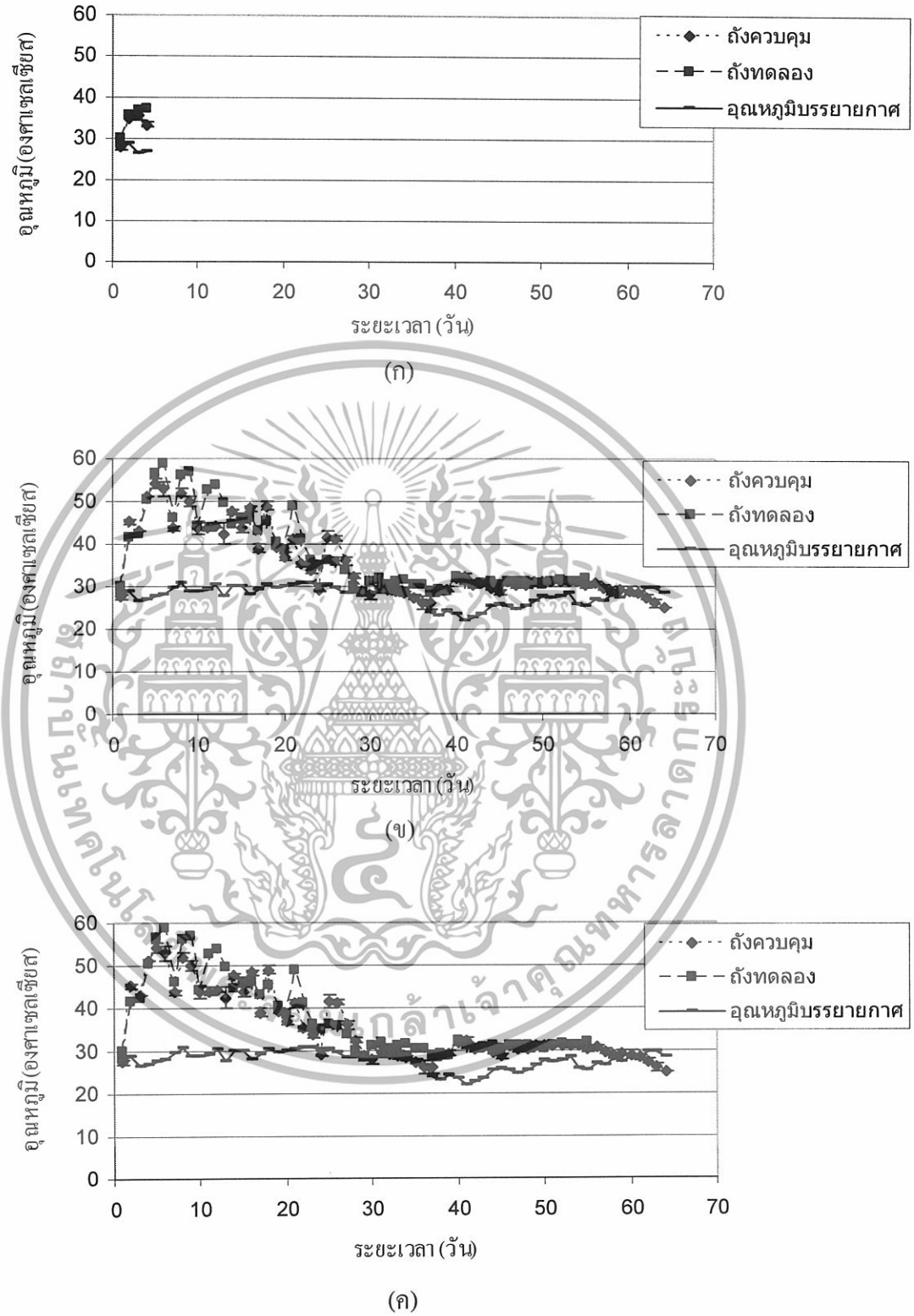


รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงความสูงของกองปุ๋ยในระหว่างการหมัก

จากรูปที่ 4.1 พบว่าอัตราการยุบตัวของถังควบคุมและถังทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในช่วงแรกอัตราการยุบตัวของถังทดลองจะมีอัตราที่เร็วกว่าถังควบคุมเล็กน้อย อัตราการย่อยสลายเป็นไปอย่างรวดเร็วในช่วงแรกเนื่องจากสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ง่ายจะถูกย่อยสลายอย่างรวดเร็ว หลังจากนั้นอัตราการย่อยสลายจะเริ่มลดลงทำให้อัตราการยุบตัวมีลักษณะคงที่

4.2.2 อุณหภูมิ

การศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในถังหมักทั้ง 2 ถัง ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.2 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ค-2)



รูปที่ 4.2 ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังหมัก (ก) ที่ระยะความสูง 70 เซนติเมตร (ข) ที่ระยะความสูง 50 เซนติเมตร (ค) ที่ระยะความสูง 30 เซนติเมตร

จากรูปที่ 4.2 เมื่อเริ่มทำการหมัก พบว่าถังควบคุมและถังทดลองมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน โดยอุณหภูมิเริ่มต้นมีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเกิดกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในกองปุ๋ยหมักจะย่อยสลายสารประกอบที่ย่อยสลายได้ง่ายและปล่อยพลังงานความร้อนออก ซึ่งอัตราการย่อยสลายสูงขึ้น มีผลให้อุณหภูมิยิ่งสูงขึ้น และเมื่อสารอาหารถูกจุลินทรีย์นำไปใช้ย่อยสลายจนเกือบหมด อุณหภูมิจะเริ่มลดลงจนเข้าสู่สภาวะอุณหภูมิปกติ อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิที่ได้จากถังทดลองจะมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิที่ได้จากถังควบคุมเล็กน้อยตลอดการทดลอง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะถังทดลองมีอัตราการย่อยสลายที่เร็วกว่าถังควบคุม

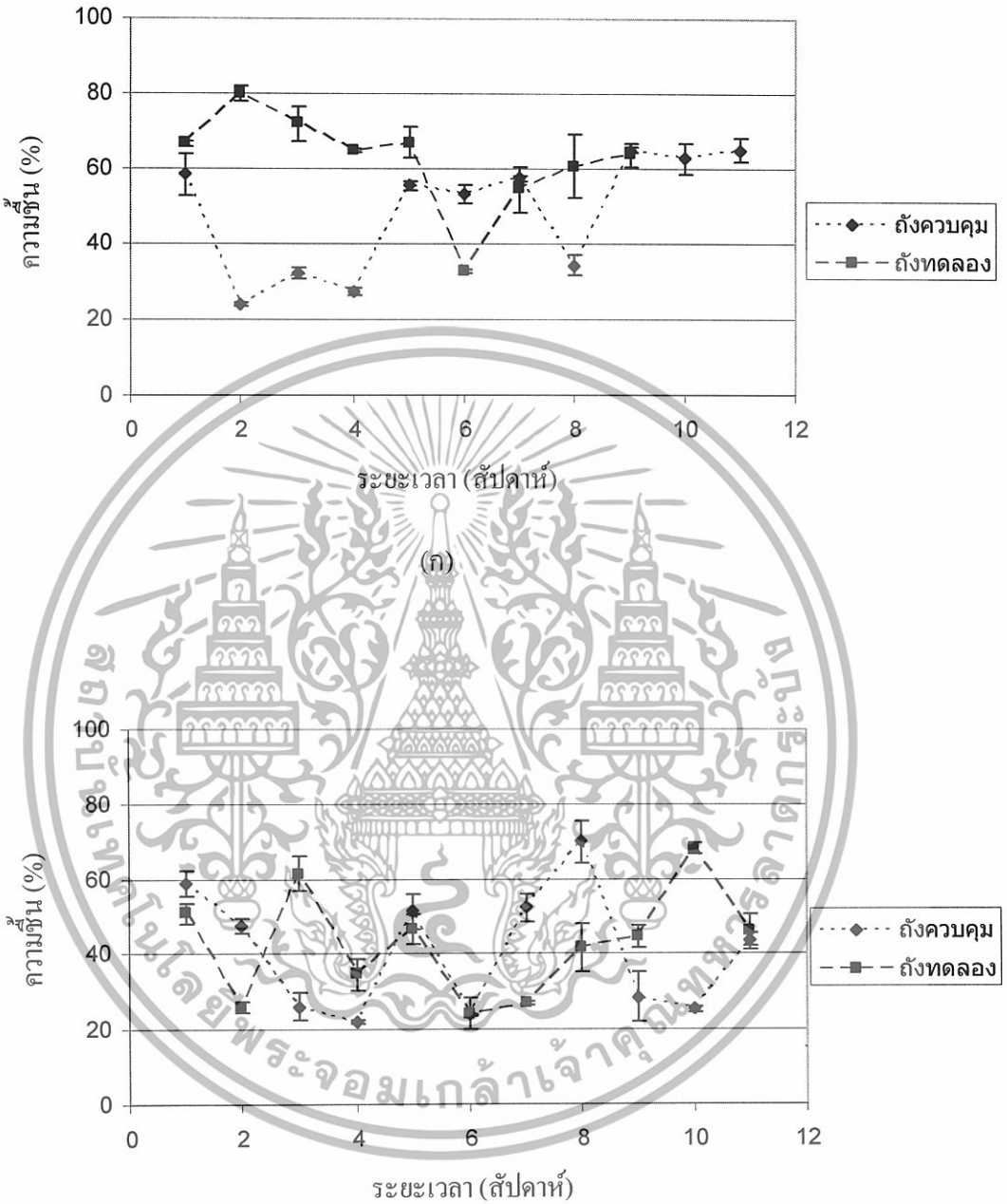
4.2.3 ความชื้น

ความชื้นในการทำปุ๋ยจะอยู่ในช่วง 50-60 % ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการดำเนินปฏิกิริยาการย่อยสลายของจุลินทรีย์ หากปริมาณความชื้นลดต่ำลง จะไปยับยั้งกิจกรรมทางชีวภาพของจุลิทรีย์ ดังนั้น จะมีการควบคุมปริมาณความชื้นให้มีความสม่ำเสมอตลอดกระบวนการหมัก โดยการรดน้ำเมื่อความชื้นลดลงน้อยกว่า 50% ดังตารางที่ 4.3 และผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.3 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก ค-3)

ตารางที่ 4.3 ความชื้นในกองปุ๋ยแต่ละสัปดาห์ และความถี่ในการรดน้ำของถังควบคุมและถังทดลอง

สัปดาห์ที่	ถังควบคุม			ถังทดลอง		
	ความชื้น (%)	การรดน้ำลงกองปุ๋ย	ปริมาณน้ำที่ใช้รด (มล.)	ความชื้น (%)	การรดน้ำลงกองปุ๋ย	ปริมาณน้ำที่ใช้รด (มล.)
1	58.62	✗	-	58.76	✗	-
2	35.69	✓	2896	52.96	✗	-
3	29.14	✓	3879	66.74	✗	-
4	24.69	✓	4547	49.80	✗	-
5	53.35	✗	-	56.82	✗	-
6	38.64	✓	2454	28.27	✓	4009
7	54.86	✗	-	40.77	✓	2134
8	52.13	✗	-	51.13	✗	-
9	46.81	✗	-	54.14	✗	-
10	44.02	✗	-	68.15	✗	-
11	54.21	✗	-	46.22	✗	-

หมายเหตุ ✓ = รดน้ำ ✗ = ไม่ได้รดน้ำ



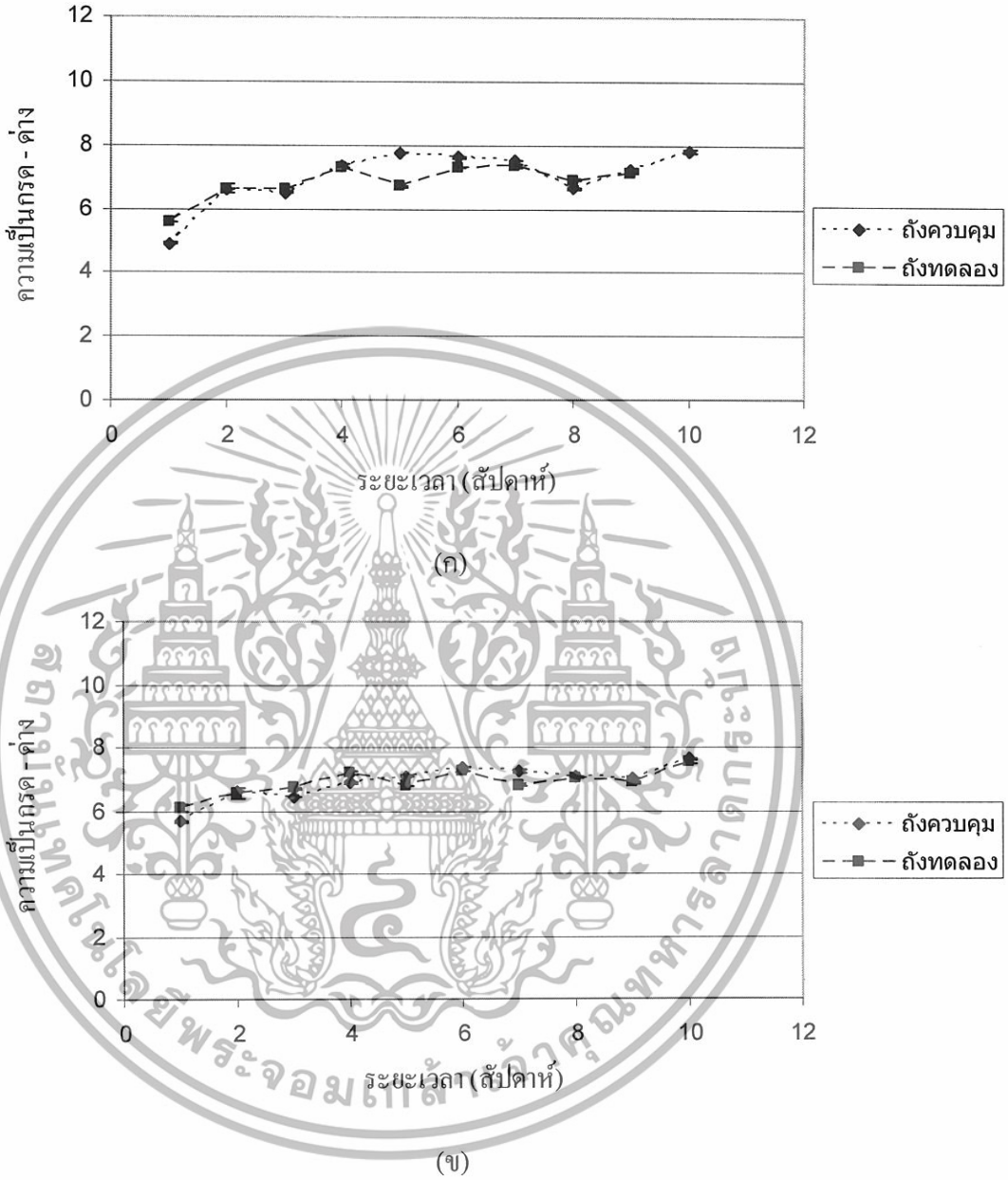
รูปที่ 4.3 ปริมาณความชื้นในถังหมัก (ก) ที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร (ข) ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร

จากรูปที่ 4.3 ผลจากการทดลอง ความชื้นมีความแปรปรวน เนื่องจากมีการรดน้ำในปริมาณที่ไม่เท่ากันในแต่ละถัง โดยปริมาณน้ำที่รดกองปุ๋ยจะขึ้นกับปริมาณความชื้นที่วัดได้ในสัปดาห์นั้น (ตารางที่ 4.3) และหากความชื้นอยู่ในระดับที่เหมาะสมแล้ว จะไม่มีการรดน้ำ ทำให้ในสัปดาห์ถัดมาค่าความชื้นลดต่ำลง ในการรดน้ำพบว่าถังทดลองมีการรดน้ำน้อยครั้งกว่าเนื่องจากถังทดลองมีการปิดด้วยแผ่นพลาสติก ทำให้มีอัตราการระเหยของน้ำออกสู่บรรยากาศน้อยกว่าถังควบคุม และมีการควบแน่นของไอน้ำ กลับลงสู่ถังหมักอีกครั้ง แต่ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร ความชื้นจะมีความแปรปรวนเนื่องจากความชื้นสามารถระเหยที่ท่อน้ำชะได้

4.2.4 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ค่าความเป็นกรด-ด่างแสดงถึงปริมาณกรดอินทรีย์ที่เกิดจากกระบวนย่อยสลายของจุลินทรีย์ ซึ่งเมื่อมีอัตราการย่อยการสลายสูงขึ้น จะมีปริมาณกรดอินทรีย์สูงขึ้นตามไปด้วย ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.4 (ดูรายละเอียดจากภาคผนวก ค-4)

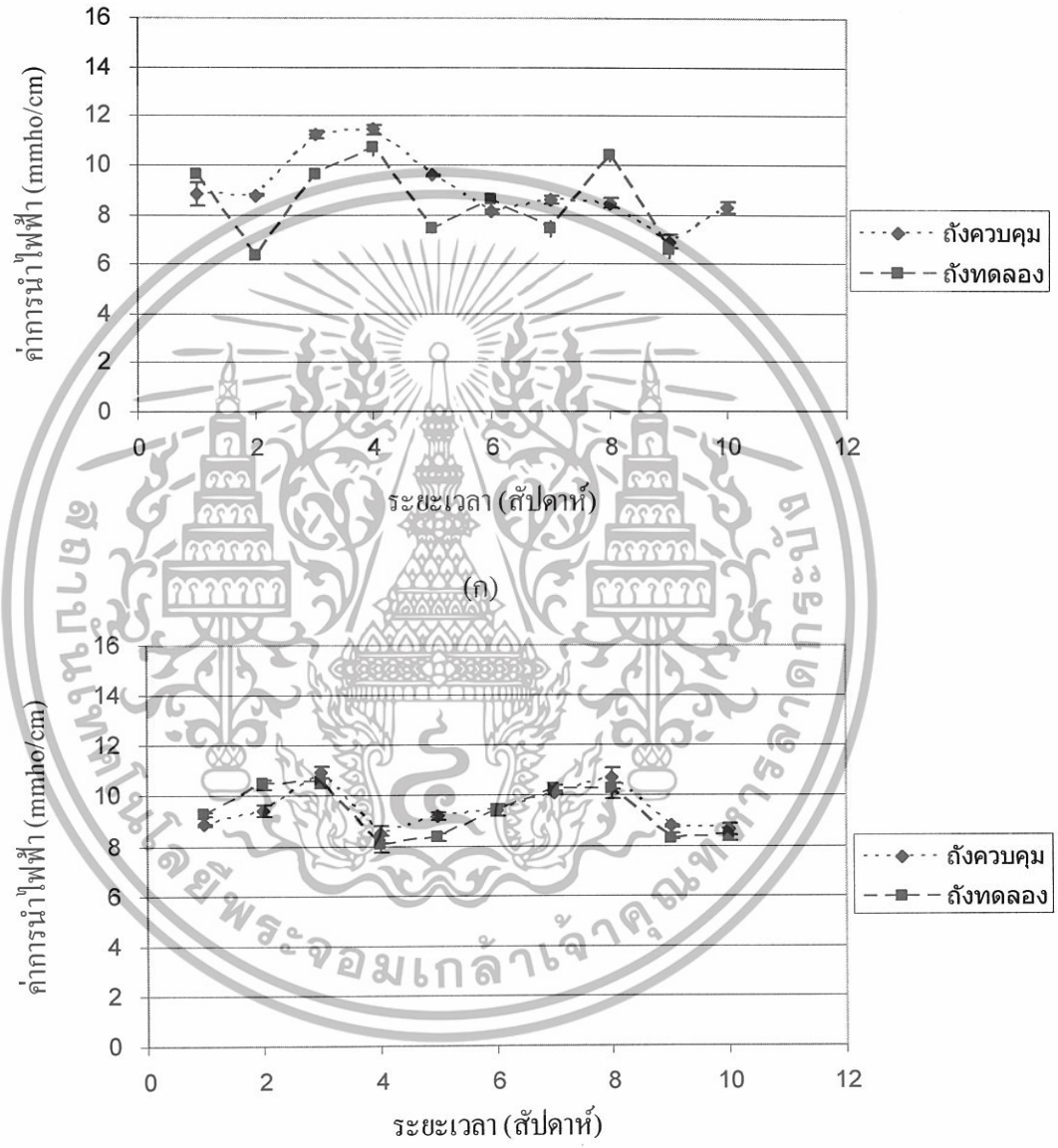
จากการทดลองสามารถวัดค่าความเป็นกรด-ด่างได้เพียง 2 ช่องตัวอย่างเนื่องจากช่องเก็บตัวอย่างที่ระยะความสูง 70 เซนติเมตร มีอัตราการยุบอย่างรวดเร็ว ทำให้ไม่มีตัวอย่างในการวิเคราะห์ การเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรด-ด่าง พบว่าในช่วงแรกจะอยู่ในช่วงกรดอ่อน (pH 5.0-6.0) เนื่องจากเชื้อจุลินทรีย์ย่อยสลายสารประกอบที่ย่อยสลายได้ง่ายและรวดเร็ว และผลิตกรดอินทรีย์บางชนิด แสดงดังสมการที่ 2.1 หลังจากนั้นค่าความเป็นกรด-ด่างจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย คืออยู่ในช่วง pH 7.0-8.5 เมื่อเปรียบเทียบค่าความเป็นกรด-ด่างของทั้ง 2 ถัง เป็นไปในแนวทางเดียวกันและมีค่าใกล้เคียงกัน



รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างในถังหมัก
(ก) ที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร (ข) ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร

4.2.5 ค่าการนำไฟฟ้า

ค่าการนำไฟฟ้าเป็นการวัดค่าความเค็มซึ่งเป็นผลจากปริมาณเกลือที่ละลายน้ำได้ เพื่อพิจารณาความเหมาะสมของปุ๋ยในการนำไปใช้กับพืช ซึ่งบ่งบอกระดับความเค็มของปุ๋ยได้ ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.5 (ดูรายละเอียดจากภาคผนวก ค-5)

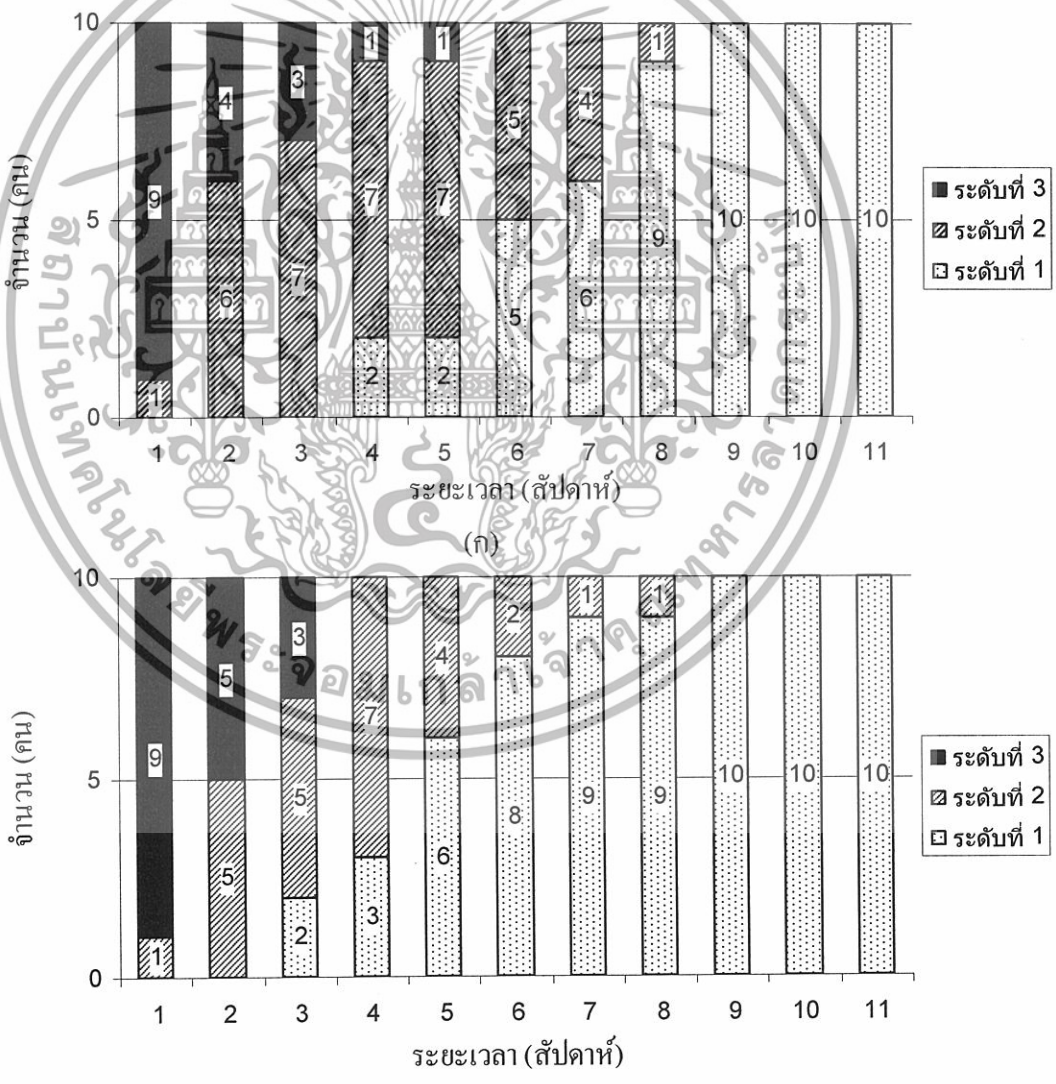


รูปที่ 4.5 ค่าการนำไฟฟ้าในถังหมัก (ก) ที่ระดับความสูง 50 เซนติเมตร (ข) ที่ระดับความสูง 30 เซนติเมตร

จากรูปที่ 4.5 แสดงถึงค่าการนำไฟฟ้าของทั้ง 2 ถัง ซึ่งให้ผลใกล้เคียงกัน คือ อยู่ในช่วง 4-8 มิลลิโอมม์/เซนติเมตร สามารถแปลผลได้ว่า มีความเค็มปานกลาง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) ซึ่งเกินค่าความเค็มมาตรฐานกำหนดไว้ที่ 2 มิลลิโอมม์/เซนติเมตร ทั้งนี้อาจเป็นเพราะเศษอาหารที่เป็นวัสดุหมักเป็นเศษอาหารที่เหลือทิ้งจากครัวเรือนซึ่งมีการปรุงแต่งรสชาด ทำให้มีความเค็มสูง

4.2.6 กลิ่น

การประเมินจากการสูดดมของผู้ทดสอบจำนวน 10 คน โดยแบ่งระดับกลิ่นแบ่งออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับที่ 1 ไม่มีกลิ่น ระดับที่ 2 มีกลิ่นเหม็นน้อย และระดับที่ 3 มีกลิ่นเหม็นมาก



รูปที่ 4.6 ระดับกลิ่นในถังหมักที่ระยะเวลาต่าง ๆ (ก) ถังควบคุม (ข) ถังทดลอง

จากรูปที่ 4.6 พบว่าในช่วงสัปดาห์แรก ถังควบคุม ความถี่ของกลิ่นส่วนใหญ่จะอยู่ในระดับที่ 3 คือ มีกลิ่นเหม็นมาก ซึ่งเป็นกลิ่นที่มีลักษณะเหม็นเปรี้ยวของกรดอินทรีย์ดังสมการที่ 2.1 ซึ่งเป็นผลจากกระบวนการย่อยสลายของสารอินทรีย์ และกลิ่นจะค่อย ๆ ลดลงในสัปดาห์ต่อมาจนถึงสัปดาห์ที่ 7 จะเริ่มไม่มีกลิ่นเหม็น คือ ระดับกลิ่นอยู่ในระดับที่ 1

ส่วนถังทดลองมีแนวโน้มคล้ายกับถังควบคุมแต่จะมีกลิ่นจนถึงสัปดาห์ที่ 4 และตั้งแต่สัปดาห์ที่ 5 เป็นต้นไปจะไม่มีกลิ่นเกิดขึ้น ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างถังควบคุมและถังทดลอง พบว่าถังทดลองกลิ่นเหม็นจะลดลงเร็วกว่าถังควบคุม (ดูรายละเอียดจากภาคผนวก ค-6)

4.2.7 อัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน

อัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนจะเป็นตัวกำหนดระดับการเป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ คือ 20:1 (พิทยากร และคณะ, 2546) ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.7

รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของปุ๋ยหมัก

จากรูปที่ 4.7 ในช่วงแรกของการทดลองค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน จะมีค่าสูง คือ ประมาณ 27.3:1 เมื่อทำการหมักนานประมาณ 1 เดือน พบว่าค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีการลดลง เนื่องจากสารประกอบอินทรีย์จะถูกย่อยสลายเปลี่ยนไปอยู่ในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งสามารถระเหยได้และผลิตแอมโมเนียขึ้น ดังสมการที่ 2.1 จากนั้นแอมโมเนียจะถูกเปลี่ยนไปอยู่ในรูปไนเทรต ดังสมการที่ 2.3-2.4 และจากการทดลอง

พบว่าถังทดลองจะมีค่าลดลงมากกว่าถังควบคุม นั่นคือ ถังทดลองถูกย่อยสลายเสร็จสมบูรณ์เร็วกว่าถังควบคุม โดยปุ๋ยในถังทดลองจะเสร็จสมบูรณ์ในเวลาประมาณ 1 เดือน

4.3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพของปุ๋ยหมัก

เมื่ออุณหภูมิ มีระดับเท่ากับอุณหภูมิห้อง วิเคราะห์คุณภาพของปุ๋ยหมัก เพื่อทำการเปรียบเทียบกับวัสดุหมักเริ่มต้น และเทียบกับค่ามาตรฐาน แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบคุณภาพของวัสดุหมักเริ่มต้น และปุ๋ยที่สมบูรณ์แล้ว (ภาคผนวก ก-ง)

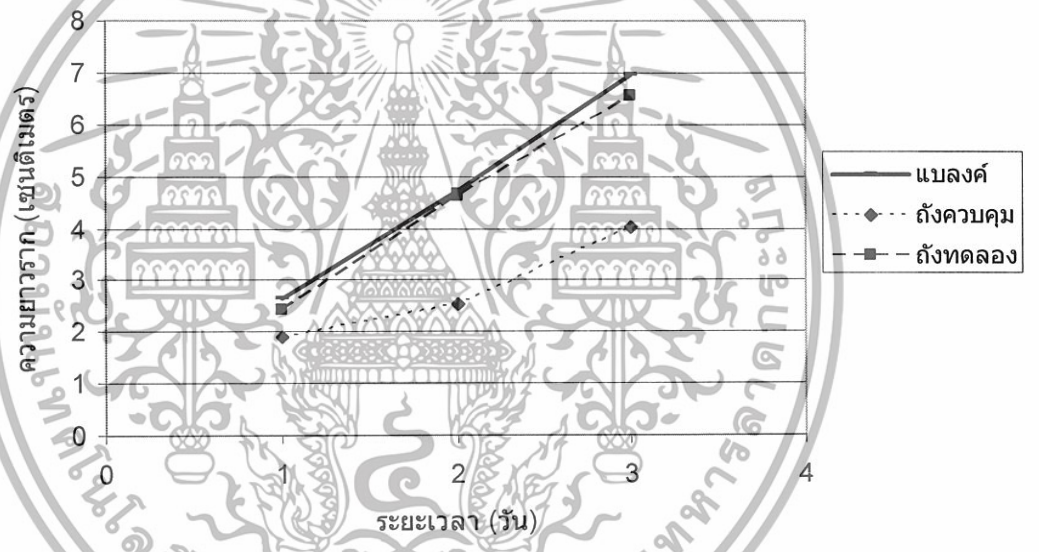
พารามิเตอร์	วัสดุหมักเริ่มต้น	ปุ๋ยที่สมบูรณ์แล้ว		คุณภาพและมาตรฐานที่ดีของปุ๋ยหมัก
		ถังควบคุม	ถังทดลอง	
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	31.1±0.8	25.5	27.7±0.6	27.0
ความชื้น(%)	62.52±3	54.21±3	46.22±4	35-40
ความเป็นกรด- ด่าง	4.75±0.04	7.72±0.05	7.55±0.10	7.0-8.0
ค่าการนำไฟฟ้า (มิลลิโอมม์/เซนติเมตร)	8.95±0.02	8.47±0.24	8.45±0.40	2.0
กลิ่น	เหม็นมาก	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น	ไม่มีกลิ่น
ไนโตรเจน (%)	1.54 ±0.1	3.39±0.1	3.14±0.2	0.5
ฟอสฟอรัส (%)	0.272±0.001	0.817±0.003	1.187±0.009	0.2
โพแทสเซียม (%)	0.0056	0.0088	0.0071	0.8
ไนเทรต-ไนโตรเจน (%)	0.0128	0.0448	0.1408	-
อินทรียคาร์บอน(%)	41.99±2	71.99±1.79	57.11±0.92	-
อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน	27:1	21.3:1	18.2:1	< 20.0:1

จากตารางที่ 4.4 จะพบว่าวัสดุหมักเริ่มต้นจะมีธาตุอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ไนเทรต-ไนโตรเจน จะมีค่าน้อยกว่าปุ๋ยเมื่อผ่านการย่อยสลายทั้งนี้เพราะสารประกอบอินทรีย์จะถูกย่อยสลายเปลี่ยนไปอยู่ในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ แต่จากผลการทดลองพบว่าปุ๋ยหมักในถังควบคุมและถังทดลอง จะมีปริมาณธาตุอาหารใกล้เคียงกัน โดยปุ๋ยที่ได้จากถังหมักทั้งสองจะมีคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานของปุ๋ยหมักที่ดี ยกเว้นค่าโพแทสเซียมทั้งนี้อาจเกิดจากวัสดุ

หมักเริ่มต้นมีสารประกอบโพแทสเซียมอยู่น้อย ดังนั้น ควรเติมขี้เถ้าจากการเผาถ่านเพื่อช่วยเพิ่มค่าโพแทสเซียมมากขึ้น

4.4 ผลการทดสอบความเป็นพิษของปุ๋ย

การทดสอบความเป็นพิษของปุ๋ยหมักที่เสร็จสมบูรณ์แล้วเพื่อทดสอบความเป็นพิษในการนำไปใช้กับพืช ทดสอบโดยการนำปุ๋ยที่ได้จากการทดลองมาปลูกถั่วเขียว และใช้ความยาวรากเป็นตัวบ่งชี้ความสามารถในการเจริญเติบโต ที่ระยะเวลา 24, 48 และ72 ชั่วโมง ภายใต้สภาวะเดียวกัน (ดูรายละเอียดภาคผนวก จ)



รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบความยาวรากของต้นถั่วเขียวระหว่างแบลงค์ ถังควบคุมและถังทดลอง

จากรูปที่ 4.8 ผลการทดลองพบว่า รากของถั่วเขียวมีความยาวเพิ่มขึ้นตามระยะเวลา ความยาวรากของต้นถั่วเขียวที่ปลูกโดยปุ๋ยที่ได้จากถังทดลองมีความยาวรากใกล้เคียงกับแบลงค์ซึ่งใช้สำลีแทนปุ๋ย แต่ความสมบูรณ์ของลำต้นจะน้อยกว่าแบลงค์ ส่วนถังควบคุมพบว่าความยาวรากน้อยกว่า ทั้งนี้ อาจเป็นเพราะปุ๋ยหมักจากถังทดลองมีความสมบูรณ์มากกว่า สังเกตได้จากปุ๋ยมีสีดำ และร่วนซุยกว่า จึงอุ้มน้ำได้ดีกว่าปุ๋ยจากถังควบคุม อย่างไรก็ตาม การที่ต้นถั่วของแบลงค์มีการเจริญเติบโตได้ดีกว่าอาจเป็นเพราะความเค็มในปุ๋ยมีผลต่อการเจริญเติบโตของถั่วเขียว สรุปได้ว่าปุ๋ยหมักที่ได้ไม่มีความเป็นพิษต่อการเจริญเติบโตของพืช

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

การศึกษาประสิทธิภาพการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษอาหารและใบไม้ด้วยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน สามารถสรุป ดังนี้

- อัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างเศษอาหารและใบไม้ คือ 4:1 (โดยน้ำหนักเปียก) ซึ่งทำให้อัตราส่วนระหว่างสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็น 27: 1
- จากการวิเคราะห์ธาตุอาหารในกองปุ๋ยพบว่า ปริมาณไนโตรเจน ฟอสฟอรัส โพแทสเซียม ไนเทรต-ไนโตรเจน เพิ่มขึ้นจากวัสดุหมักเริ่มต้น เมื่อเปรียบเทียบระหว่างถังทดลองกับถังควบคุม จะมีปริมาณธาตุอาหารของปุ๋ยหมักใกล้เคียงกัน และอยู่ในมาตรฐานปุ๋ยหมักที่ดี ยกเว้นค่าโพแทสเซียมที่มีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน
- จากการศึกษาปัจจัยที่เหมาะสมต่อการหมักพบว่า อัตราการยุบตัว อุณหภูมิ ค่าความเป็นกรด-ด่าง ถังทดลองจะมีประสิทธิภาพมากกว่าถังควบคุม ในขณะที่ค่าการนำไฟฟ้าจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน คือมีความเค็มปานกลาง และอัตราส่วนสารประกอบคาร์บอนกับไนโตรเจนซึ่งบ่งบอกความเสร็จสมบูรณ์ของปุ๋ย ถังทดลองจะมีอัตราการลดลงที่เร็วกว่าถังควบคุม
- จากการทดสอบความเป็นพิษของปุ๋ยพบว่าปุ๋ยถังทดลองมีความยาวของรากถั่วมากกว่าถังควบคุม ทั้งนี้อาจเนื่องจากการผลิตปุ๋ยหมักจากถังทดลองมีอากาศเข้า-ออกสม่ำเสมอ และเป็นระบบปิด ความชื้นระเหยออกได้น้อยกว่า ทำให้การย่อยสลายของจุลินทรีย์เกิดอย่างมีประสิทธิภาพ และได้ปุ๋ยที่เสร็จสมบูรณ์กว่าถังทดลอง อย่างไรก็ตาม ความเค็มในปุ๋ยอาจมีผลต่อการเจริญเติบโตของต้นถั่วเขียว ทำให้การปลูกถั่วเขียวในแบลงค์เจริญได้ดีกว่าการปลูกในปุ๋ยจากถังทดลอง

ดังนั้น การผลิตปุ๋ยหมักโดยวิธีการเติมอากาศแบบชิมนีย์คอนเวคชัน สามารถผลิตปุ๋ยที่มีคุณภาพใกล้เคียงกับวิธีดั้งเดิม แต่สะดวกต่อการปฏิบัติมากกว่าเนื่องจากไม่ต้องกลับกองปุ๋ย ลดความถี่ในการรดน้ำในกองปุ๋ยหมักเพื่อเพิ่มความชื้น และมีกลิ่นเหม็นในระหว่างการหมักน้อยกว่า นอกจากนี้ยังใช้เวลาในการหมักปุ๋ยสั้นกว่าวิธีการหมักปุ๋ยแบบดั้งเดิม

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 เล่มที่ 2**. สำนักวิทยาศาสตร์เพื่อการพัฒนาที่ดิน.

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

ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร, 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_id=47

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

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

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2545. **ปุ๋ยอินทรีย์**. พิมพ์ครั้งที่ 2 .กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตพิษณุโลก.

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

Barrington S., Choiniere D., Trighi M. and Knight W. 2002. **Compost Convection Airflow under Passive Aeration**. Bioresource 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_landfill_directive.pdf

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

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

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

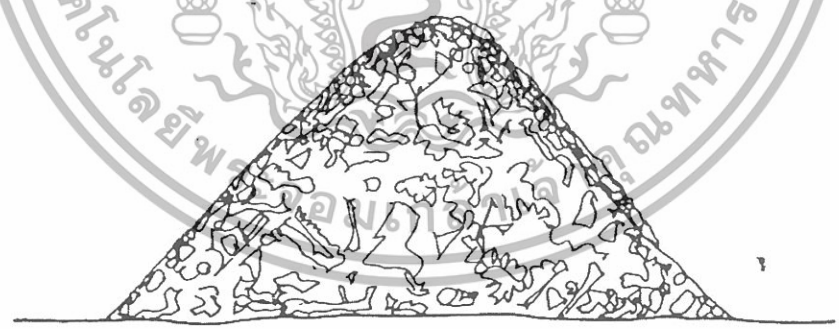
ภาคผนวก ก

วิธีการสุ่มวัตถุดิบในการหมัก

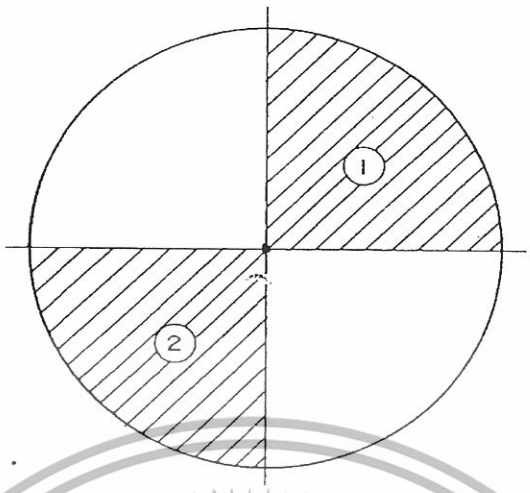
ก-1 การสุ่มตัวอย่างเศษอาหาร (กรมควบคุมมลพิษ, 2546)

ก่อนการทำปุ๋ยหมัก เราควรจะมีการการสุ่มตัวอย่างเศษอาหารอย่างมีระบบ เพื่อให้ได้ลักษณะองค์ประกอบเหมือนกันทั้งหมด และสามารถเป็นตัวแทนของเศษอาหารที่ต้องการวิเคราะห์ โดยนำตัวอย่างเศษอาหารมาประมาณ 10 กิโลกรัมดังรูปที่ ก-1 แล้วทำการทดลองดังนี้

1. สุ่มตัวอย่างเศษอาหารมา 10 กิโลกรัม แบ่งเป็น 4 ส่วน แสดงดังรูปที่ ก-2 (เลือก 2 ส่วนที่ตรงข้ามกัน และ2)
2. นำตัวอย่างที่สุ่มมาจากข้อ 1 มาแบ่งเป็น 4 ส่วน แล้วสุ่มตัวอย่างด้วยวิธีเดิม (เลือก 2 ส่วนที่ตรงข้ามกัน)
3. สุ่มตัวอย่างเศษอาหารจากข้อ 2 มาประมาณ 1 กิโลกรัม แบ่งมา 10 กรัม นำไปวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง
4. ตัวอย่างเศษอาหารที่เหลือ นำไปอบที่อุณหภูมิ 75-100 องศาเซลเซียสจนแห้งสนิท
5. นำตัวอย่างที่แห้งจนมีน้ำหนักคงที่แล้วไปหาค่าความชื้น
6. แบ่งตัวอย่างแห้งส่วนหนึ่งไปบดละเอียดขนาด 1 มิลลิเมตร แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส นาน 2 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นในเดซิคเคเตอร์
7. แล้วนำไปหาค่าปริมาณเถ้า ปริมาณสารที่เผาไหม้ได้ ปริมาณความร้อน ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด



รูปที่ ก-1 ลักษณะการกองมูลฝอยให้เป็นรูปกรวยก่อนที่จะแบ่งมูลฝอยออกเป็น 4 ส่วน



รูปที่ ก-2 การแบ่งมูลฝอยออกเป็น 4 ส่วน (Quartering) และเลือกสุ่มเอามา 2 ส่วนที่อยู่ตรงข้ามกัน

ก-2 การผสมสารเร่ง พด.1 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547)

วิธีใช้ ละลายสารเร่ง พด.1 ปริมาณ 100 กรัม ในน้ำ 20 ลิตร คนให้เข้ากัน นาน 15 นาที ใช้กับปุ๋ยหมัก 1 ตัน (1000 กิโลกรัม)

ถ้ามีปุ๋ย 1000 กิโลกรัม ใช้สารเร่ง 100 กรัม

ดังนั้น ปุ๋ย 67 กิโลกรัม จะใช้สารเร่ง $= \frac{100 \times 67}{1202} = 6.7$ กรัม

สารเร่ง 100 กรัม ต้องละลายในน้ำ 20 ลิตร

ใช้สารเร่ง 6.7 กรัม ต้องละลายในน้ำ $= \frac{20 \times 6.7}{} = 1.34$ ลิตร $= 1340$ มิลลิลิตร

ภาคผนวก ข

การคำนวณหาอัตราส่วนผสมระหว่างเศษอาหารครัวเรือน และเศษใบไม้

การคำนวณหาค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

ต้องการหาอัตราส่วนของเศษใบไม้ที่ใช้ผสมกับเศษอาหารแห้ง เพื่อให้ค่า C/N ratio ของส่วนผสมเป็น 25:1 ถ้าผสม เศษอาหาร : เศษใบไม้ ในอัตราส่วน 1 กิโลกรัม : 1 กิโลกรัม โดยน้ำหนักแห้ง จะได้ค่า C/N ratio เท่ากับ

สูตรการคำนวณ $\frac{C}{N}ratio = \frac{C_A(TS)_A + C_B(TS)_B}{N_A(TS)_A + N_B(TS)_B}$

โดย C_A = % คาร์บอนของเศษใบไม้แห้ง = 48.6

$(TS)_A$ = ปริมาณของแข็งรวมของเศษใบไม้แห้ง = 88.8

C_B = % คาร์บอนของเศษอาหารแห้ง = 46.04

$(TS)_B$ = ปริมาณของแข็งรวมของเศษอาหารแห้ง = 33.48

N_A = % ไนโตรเจนของเศษใบไม้แห้ง = 0.7087

N_B = % ไนโตรเจนของเศษอาหารแห้ง = 2.7045

แทนค่า $\frac{C}{N}ratio = \frac{48.6(88.8)+46.04(33.48)}{0.7087(88.8)+2.7045(33.48)}$

$= 38.16$

เศษอาหาร มี %C = 46.04 % และ %N = 2.7045 ได้ค่า C/N ratio = 17.02

ถ้ามีคาร์บอน 17.02 กิโลกรัม จะมีไนโตรเจน 1 กิโลกรัม

$\therefore$ ถ้ามีคาร์บอน 0.4604 กิโลกรัม จะมีไนโตรเจน $= \frac{1 \times 0.4604}{17.02} = 0.0271$ กิโลกรัม

เศษใบไม้ มี %C = 48.60 % และ %N = 0.7087 ได้ค่า C/N ratio = 68.57

เศษใบไม้ 100 กิโลกรัม จะมี ไนโตรเจน 0.7087 กิโลกรัม

$\therefore$ เศษใบไม้ x กิโลกรัม จะมีไนโตรเจน $= \frac{0.70871x}{100}$ กิโลกรัม

โดย เศษใบไม้มีไนโตรเจน 1 กิโลกรัม จะมีคาร์บอน 68.57 กิโลกรัม

$\therefore$ ถ้าเศษใบไม้มีไนโตรเจน $\frac{0.70871x}{100}$ กิโลกรัม จะมีคาร์บอน $= \frac{68.57 \times 0.7087x}{100}$ กิโลกรัม

จากสูตร $\frac{C_{foodwaste}\,1kg + C_{leaf}\,xkg}{N_{foodwaste}\,1kg + N_{leaf}\,xkg} = \frac{25}{1}$

$$\frac{0.4604+\left(\frac{68.57\times 0.7087x}{100}\right)}{0.0271+\left(\frac{0.7087x}{100}\right)} = \frac{25}{1}$$

$$\frac{0.4604+0.4859x}{0.0271+0.0071x} = \frac{25}{1}$$

x = 0.7039 กิโลกรัม

ความชื้นของเศษใบไม้ = 11.20 %

ใบไม้แห้ง 88.80 กิโลกรัม มีน้ำหนักสด 100 กิโลกรัม

∴ ใบไม้แห้งที่ใช้ 0.7039 กิโลกรัม มีน้ำหนักสด = $\frac{100\times 0.7039}{88.8}$ = 0.7927 กิโลกรัม

ความชื้นของเศษอาหาร = 66.52 %

เศษอาหารแห้ง 33.48 กิโลกรัม มีน้ำหนักสด 100 กิโลกรัม

∴ เศษอาหารแห้ง 1 กิโลกรัม มีน้ำหนักสด = $\frac{100\times 1}{33.48}$ = 2.9869 กิโลกรัม

อัตราส่วนน้ำหนักสดของเศษอาหาร ต่อ น้ำหนักสดใบไม้แห้ง = $\frac{2.9869}{0.7927} = \frac{3.7680}{1}$

∴ อัตราส่วนของ เศษอาหาร : เศษใบไม้ ประมาณ 4 : 1 โดยน้ำหนักเปียก

ภาคผนวก ค

การศึกษาสภาวะระหว่างการหมักปุ๋ย

ค-1 การศึกษาอัตราการยุบตัวของกองปุ๋ย โดยทำการวัดความสูงของกองปุ๋ยทั้ง 4 จุดของถัง และวัดทุก ๆ 2 วัน ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ ค-1

ตารางที่ ค -1 ความสูงของตัวอย่างปุ๋ย

วันที่	ความสูงของกองปุ๋ยใน ถังควบคุม(เซนติเมตร)						ความสูง ของกองปุ๋ยในถังทดลอง(เซนติเมตร)					
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	ค่าเฉลี่ย	S.D.	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	52.5	52.5	51	53	52.3	0.87	53.5	54	54	54.5	54.0	0.41
2	48.5	46	47	46	46.9	1.18	49.5	48.5	48.5	47	48.4	1.03
3	47	45	45	44	45.3	1.26	46	46	47	46	46.3	0.50
4	46	44	44	44	44.5	1.00	45	45	42	45	44.3	1.50
5	46	43	43	43	43.8	1.50	44	44	41	44	43.3	1.50
6	45	42	43	43	43.3	1.26	42	43	40	43	42.0	1.41
7	45	42	43	43	43.3	1.26	42	42	40	43	41.8	1.26
8	45	42	43	43	43.3	1.26	41	41	39	42	40.8	1.26
9	43	42	43	41	42.3	0.96	40	39	40	40	39.8	0.50
10	42	39	40.5	39	40.1	1.44	40	39	40	40	39.8	0.50
11	40	39	40	38	39.3	0.96	40	39	39	39	39.3	0.50
12	39	38	39.5	38	38.6	0.75	39	39	38	39	38.8	0.50
13	38.5	37	38	37	37.6	0.75	39	38.5	37.5	38	38.3	0.65
14	37	36	36	35	36.0	0.82	38.5	38	37.5	38	38.0	0.41

ตารางที่ ค-1 ความสูงของตัวอย่างปุ๋ย (ต่อ)

วันที่	ความสูงของกองปุ๋ยใน ถังควบคุม(เซนติเมตร)						ความสูงของกองปุ๋ยในถังทดลอง(เซนติเมตร)					
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	ค่าเฉลี่ย	S.D.	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	ค่าเฉลี่ย	S.D.
15	36.5	36	36	35	35.9	0.63	38	38	37	38	37.8	0.50
16	39	37	40	36	38.0	1.83	38	34.5	36	38	36.6	1.70
17	36.5	35	34	34.5	35.0	1.08	37	37.5	36.5	37.5	37.1	0.48
18	37	36	39	36	37.0	1.41	36	34.5	35	37	35.6	1.11
19	35	34	34	34	34.3	0.50	36	37	36	37	36.5	0.58
20	35	33	34	33	33.8	0.96	35.5	36	36	37	36.1	0.63
21	34.5	35	34	33	34.1	0.85	35	35	37	36.5	35.9	1.03
22	35	33	34	33	33.8	0.96	35	35	36	36	35.5	0.58
23	34	32.5	34	30	32.6	1.89	35	34.5	36	36.5	35.5	0.91
24	34	32	33.5	33	33.1	0.85	35	34	35.5	36	35.1	0.85
25	33	32	32.5	32	32.9	0.48	34	34	35	36	34.8	0.96
26	32	31	32	31	31.5	0.58	33	34	35	35	34.3	0.96
27	32	30	32	31	31.3	0.96	33	34	34	34	33.8	0.50
28	31	29	31.5	30	30.4	1.11	33	34	34	33	33.5	0.58

ค-2 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างหมักกองปุ๋ย ซึ่งตรวจวัดทุกวันตั้งแต่เริ่มการหมักทำการวัดช่องเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ช่อง แต่ละช่องวัด 3 ซ้ำ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ ค 2-1 – ค 2-3

ตารางที่ ค 2-1 อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยที่ระยะความสูง 70 เซนติเมตร

วันที่	อุณหภูมิของถังควบคุม (องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิของถังทดลอง(องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิบรรยากาศ (องศาเซลเซียส)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	
1	28	28.5	27	27.8	0.8	30.5	30	29.5	30.0	0.5	28.5
2	35	35	35	35.0	0.0	35	35	37	35.7	1.2	28.8
3	35	35	37	35.7	1.2	37	36	37.5	36.8	0.8	26.4
4	33	33	34	33.3	0.6	37	38	37	37.3	0.6	27.0

มหาวิทยาลัยการกีฬาแห่งชาติ วิทยาเขตจุฬาภรณราชนารี จันทรเกษม

ตารางที่ ค 2-2 อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยของช่องเก็บตัวอย่างที่ระยะความสูง 50 เซนติเมตร

วันที่	อุณหภูมิของถังควบคุม(องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิของถังทดลอง(องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิบรรยากาศ (องศาเซลเซียส)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	
1	27	28	28	27.7	0.6	29.5	29.5	30.5	29.8	0.6	28.5
2	45	46	45	45.3	0.6	41	43	41	41.7	1.2	28.8
3	43	43	43	43.0	0.0	43	42	42	42.3	0.6	26.4
4	51	51	51	51.0	0.0	50	50	51	50.3	0.6	27.0
5	53	55	55	54.3	1.2	57	56	57	56.7	0.6	27.6
7	51	54	54	53.0	1.7	59	59	58	58.7	0.6	28.2
8	43	44	44	43.7	0.6	46	46	47	46.3	0.6	29.7
9	52	51	53	52.0	1.0	57	57	55	56.3	1.2	30.6
10	49	50	51	50.0	1.0	58	57	56	57.0	1.0	28.9
11	42	44	45	43.7	1.5	43	45	45	44.3	1.2	28.9
12	44	43	45	44.0	1.0	52	52	54	52.7	1.2	29.4
13	44	44	45	44.3	0.6	54	53	54	53.7	0.6	30.4
14	40	42	45	42.3	2.5	49	50	50	49.7	0.6	27.8
15	47	48	48	47.7	0.6	44	45	45	44.7	0.6	30.2
16	43	45	43	43.7	1.2	47	46	45	46.0	1.0	30.0
17	48	49	48	48.3	0.6	48	46	45	46.3	1.5	28.1

ตารางที่ ค 2-2 อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยที่ระยะความสูง 50 เซนติเมตร (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิของถังควบคุม(องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิของถังทดลอง(องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิบรรยากาศ (องศาเซลเซียส)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	
18	38	40	39	39.0	1.0	43	43	43	43.0	0.0	29.1
19	50	49	48	49.0	1.0	45	44	47	45.3	1.5	30.3
20	40	39	39	39.3	0.6	41	40	40	40.3	0.6	29.8
21	38	37	36	37.0	1.0	38	39	38	38.3	0.6	29.9
22	40	41	42	41.0	1.0	50	49	48	49.0	1.0	30.3
23	35	35	36	35.3	0.6	43	40	41	41.3	1.5	30.8
24	35	33	34	34.0	1.0	37	36	36	36.3	0.6	30.9
25	30	29	29	29.3	0.6	36	35	34	35.0	1.0	30.5
26	40	42	43	41.7	1.5	37	36	36	36.3	0.6	30.4
27	41	42	41	41.3	0.6	37	35	35	35.7	1.2	29.5
28	35	36	37	36.0	1.0	33	34	34	33.7	0.6	28.4
29	33	32	32	32.3	0.6	30	30	30	30.0	0.0	28.7
30	29	29	29	29.0	0.0	28	28	29	28.3	0.6	29.1
31	28	27	29	28.0	1.0	31	31	31	31.0	0.0	30.8
32	29	31	29	29.7	1.2	32	33	31	32.0	1.0	29.7
33	30	29	29	29.3	0.6	30	31	30	30.3	0.6	29.3
34	30	29	28	29.0	1.0	31	31	31	31.0	0.0	29.4

ตารางที่ ค 2-2 อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยที่ระยะความสูง 50 เซนติเมตร (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิของถังควบคุม(องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิของถังทดลอง(องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิบรรยากาศ (องศาเซลเซียส)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	
35	29	28	28	28.3	0.6	31	32	32	31.7	0.6	29.3
36	27	28	27	27.3	0.6	31	30	30	30.3	0.6	27.6
37	25	28	26	26.3	1.5	31	30	30	30.3	0.6	26.4
38	26	28	25	26.3	1.5	29	28	29	28.7	0.6	24.0
39	29	28	29	28.7	0.6	30	29	29	29.3	0.6	23.3
40	30	29	29	29.3	0.6	30	29	28	29.0	1.0	24.2
41	32	31	33	32.0	1.0	32	32	33	32.3	0.6	23.5
42	33	32	32	32.3	0.6	30	33	31	31.3	1.5	22.0
43	30	30	31	30.3	0.6	30	31	30	30.3	0.6	22.6
44	31	31	30	30.7	0.6	31	31	30	30.7	0.6	23.5
45	30	30	29	29.7	0.6	30	32	31	31.0	1.0	25.2
46	29	28	29	28.7	0.6	30	31	30	30.3	0.6	25.9
47	31	31	31	31.0	0.0	31	31	31	31.0	0.0	25.5
48	30	30	31	30.3	0.6	31	32	31	31.3	0.6	24.5
49	31	30	30	30.3	0.6	31	31	32	31.3	0.6	25.3
50	31	31	31	31.0	0.0	30	31	31	30.7	0.6	26.7
51	31	32	31	31.3	0.6	30	31	30	30.3	0.6	27.8

ตารางที่ ค 2-2 อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยที่ระยะความสูง 50 เซนติเมตร (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิของถังควบคุม(องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิของถังทดลอง(องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิบรรยากาศ (องศาเซลเซียส)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	
52	31	31	31	31.0	0.0	31	31	31	31.0	0.0	27.4
53	32	31	31	31.3	0.6	31	32	32	31.7	0.6	27.8
54	32	31	31	31.3	0.6	31	31	31	31.0	0.0	28.4
55	31	31	31	31.0	0.0	31	32	31	31.3	0.6	25.7
56	30	30	31	30.3	0.6	31	33	32	32.0	1.0	25.5
57	31	31	30	30.7	0.6	-	-	-			27.0
58	30	30	29	29.7	0.6	-	-	-			26.6
59	29	28	29	28.7	0.6	-	-	-			27.9
60	30	29	29	29.3	0.6	-	-	-			27.4
61	30	29	28	29.0	1.0	-	-	-			28.4
62	29	28	28	28.3	0.6	-	-	-			28.7
63	27	28	27	27.3	0.6	-	-	-			29.6
64	25	26	27	26.0	1.0	-	-	-			29.5
65	25	25	25	25.0	0.0	-	-	-			28.4

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่มีตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์เนื่องจากเกิดการยุบตัว

ตารางที่ ค 2-3 อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ย ที่ระยะความสูง 30 เซนติเมตร

วันที่	อุณหภูมิของถังควบคุม(องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิของถังทดลอง(องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิบรรยากาศ (องศาเซลเซียส)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	
1	35	35	37	35.7	1.2	35	35	37	35.7	1.2	28.5
2	46	48	47	47.0	1.0	44	44	45	44.3	0.6	28.8
3	46	48	48	47.3	1.2	47	46	46	46.3	0.6	26.4
4	54	55	55	54.7	0.6	54	59	59	57.3	2.9	27.0
5	60	60	60	60.0	0.0	63	64	63	63.3	0.6	27.6
7	58	59	58	58.3	0.6	58	58	60	58.7	1.2	28.2
8	59	57	59	58.3	1.2	58	57	58	57.7	0.6	29.7
9	62	62	62	62.0	0.0	59	61	60	60.0	1.0	30.6
10	60	60	60	60.0	0.0	60	60	61	60.3	0.6	28.9
11	52	53	54	53.0	1.0	52	51	52	51.7	0.6	28.9
12	54	56	55	55.0	1.0	52	51	53	52.0	1.0	29.4
13	55	56	55	55.3	0.6	53	51	53	52.3	1.2	30.4
14	54	55	56	55.0	1.0	45	46	47	46.0	1.0	27.8
15	57	55	58	56.7	1.5	53	53	54	53.3	0.6	30.2
16	53	54	55	54.0	1.0	50	51	51	50.7	0.6	30.0
17	54	55	55	54.7	0.6	49	50	50	49.7	0.6	28.1

ตารางที่ ค 2-3 อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ย ที่ระยะความสูง 30 เซนติเมตร (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิของถังควบคุม(องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิของถังทดลอง(องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิบรรยากาศ (องศาเซลเซียส)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	
1	35	35	37	35.7	1.2	35	35	37	35.7	1.2	28.5
2	46	48	47	47.0	1.0	44	44	45	44.3	0.6	28.8
3	46	48	48	47.3	1.2	47	46	46	46.3	0.6	26.4
4	54	55	55	54.7	0.6	54	59	59	57.3	2.9	27.0
5	60	60	60	60.0	0.0	63	64	63	63.3	0.6	27.6
7	58	59	58	58.3	0.6	58	58	60	58.7	1.2	28.2
8	59	57	59	58.3	1.2	58	57	58	57.7	0.6	29.7
9	62	62	62	62.0	0.0	59	61	60	60.0	1.0	30.6
10	60	60	60	60.0	0.0	60	60	61	60.3	0.6	28.9
11	52	53	54	53.0	1.0	52	51	52	51.7	0.6	28.9
12	54	56	55	55.0	1.0	52	51	53	52.0	1.0	29.4
13	55	56	55	55.3	0.6	53	51	53	52.3	1.2	30.4
14	54	55	56	55.0	1.0	45	46	47	46.0	1.0	27.8
15	57	55	58	56.7	1.5	53	53	54	53.3	0.6	30.2
16	53	54	55	54.0	1.0	50	51	51	50.7	0.6	30.0
17	54	55	55	54.7	0.6	49	50	50	49.7	0.6	28.1

ตารางที่ ค 2-3 อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยที่ระยะความสูง 30 เซนติเมตร (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิของถังควบคุม(องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิของถังทดลอง(องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิบรรยากาศ (องศาเซลเซียส)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	
18	52	53	54	53.0	1.0	53	52	53	52.7	0.6	29.1
19	58	60	61	59.7	1.5	62	60	61	61.0	1.0	30.3
20	45	46	48	46.3	1.5	46	48	48	47.3	1.2	29.8
21	45	43	46	44.7	1.5	41	40	42	41.0	1.0	29.9
22	46	48	49	47.7	1.5	55	56	57	56.0	1.0	30.3
23	46	48	49	47.7	1.5	43	43	42	42.7	0.6	30.8
24	41	41	40	40.7	0.6	40	42	41	41.0	1.0	30.9
25	40	42	40	40.7	1.2	41	40	40	40.3	0.6	30.5
26	40	43	42	41.7	1.5	42	42	42	42.0	0.0	30.4
27	42	41	40	41.0	1.0	40	40	40	40.0	0.0	29.5
28	35	35	35	35.0	0.0	35	36	35	35.3	0.6	28.4
29	32	32	32	32.0	0.0	34	34	33	33.7	0.6	28.7
30	32	34	32	32.7	1.2	35	35	35	35.0	0.0	29.1
31	33	32	32	32.3	0.6	34	34	34	34.0	0.0	30.8
32	32	31	32	31.7	0.6	33	34	34	33.7	0.6	29.7
33	32	33	31	32.0	1.0	34	33	34	33.7	0.6	29.3
34	33	32	32	32.3	0.6	33	34	35	34.0	1.0	29.4

ตารางที่ ค 2-3 อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยที่ระยะความสูง 30 เซนติเมตร (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิของถังควบคุม(องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิของถังทดลอง(องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิบรรยากาศ (องศาเซลเซียส)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	
35	34	33	32	33.0	1.0	34	35	34	34.3	0.6	29.3
36	33	32	32	32.3	0.6	34	34	34	34.0	0.0	27.6
37	31	31	32	31.3	0.6	34	35	34	34.3	0.6	26.4
38	33	33	33	33.0	0.0	35	35	36	35.3	0.6	24.0
39	33	32	32	32.3	0.6	34	34	33	33.7	0.6	23.3
40	33	34	32	33.0	1.0	35	36	35	35.3	0.6	24.2
41	35	36	36	35.7	0.6	34	33	34	33.7	0.6	23.5
42	33	33	33	33.0	0.0	34	34	35	34.3	0.6	22.0
43	32	33	32	32.3	0.6	36	36	38	36.7	1.2	22.6
44	32	33	31	32.0	1.0	35	36	37	36.0	1.0	23.5
45	34	32	32	32.7	1.2	33	34	35	34.0	1.0	25.2
46	34	35	32	33.7	1.5	34	35	34	34.3	0.6	25.9
47	33	32	32	32.3	0.6	34	34	34	34.0	0.0	25.5
48	32	31	32	31.7	0.6	34	34	34	34.0	0.0	24.5
49	33	33	33	33.0	0.0	35	36	36	35.7	0.6	25.3
50	31	32	32	31.7	0.6	34	34	34	34.0	0.0	26.7
51	32	31	32	31.7	0.6	33	34	33	33.3	0.6	27.8

ตารางที่ ค 2-3 อุณหภูมิระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยที่ระยะความสูง 30 เซนติเมตร (ต่อ)

วันที่	อุณหภูมิของถังควบคุม(องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิของถังทดลอง(องศาเซลเซียส)					อุณหภูมิบรรยากาศ (องศาเซลเซียส)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	
52	32	33	31	32.0	1.0	34	33	34	33.7	0.6	27.4
53	33	32	32	32.3	0.6	33	34	35	34.0	1.0	27.8
54	34	33	32	33.0	1.0	34	35	34	34.3	0.6	28.4
55	33	32	32	32.3	0.6	34	34	34	34.0	0.0	25.7
56	31	31	32	31.3	0.6	34	35	34	34.3	0.6	25.5
57	33	33	33	33.0	0.0	35	35	36	35.3	0.6	27.0
58	32	33	32	32.3	0.6	34	34	35	34.3	0.6	26.6
59	31	31	32	31.3	0.6	33	35	33	33.7	1.2	27.9
60	31	31	30	30.7	0.6	33	32	32	32.3	0.6	27.4
61	30	29	29	29.3	0.6	30	30	31	30.3	0.6	28.4
62	30	29	29	29.3	0.6	29	28	30	29.0	1.0	28.7
63	28	27	27	27.3	0.6	28	28	28	28.0	0.0	29.6
64	27	26	28	27.0	1.0	28	29	28	28.3	0.6	29.5
65	26	26	26	26.0	0.0	28	28	27	27.7	0.6	28.4

ค-3 การศึกษาความชื้นในระหว่างการหมักปุ๋ย โดยชั่งตัวอย่าง 2-5 กรัมอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง จากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นในเดซิคเคเตอร์ นำไปชั่งน้ำหนักที่หายไปนำค่าที่ได้มาคำนวณค่าความชื้น ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ ค 3-1 – ค 3-2

ตารางที่ ค 3-1 ค่าความชื้นระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยที่ระยะความสูง 50 เซนติเมตร

สัปดาห์ที่	ค่าความชื้นของถังควบคุม(%)					ค่าความชื้นของถังทดลอง(%)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	62.68	52.26	59.99	58.31	5.41	67.25	66.95	65.99	66.73	0.66
2	23.49	43.22 *	24.16	23.82	0.48	82.20	78.13	79.87	80.07	2.04
3	30.69	33.75	32.22	32.22	1.53	67.37	76.69	72.02	72.03	4.66
4	26.49	28.45	27.47	27.47	0.98	65.27	64.50	64.87	64.88	0.38
5	54.32	56.51	55.39	55.41	1.10	71.30	62.70	67.00	67.00	4.30
6	50.65	55.61	53.11	53.13	2.48	32.42	32.94	32.67	32.68	0.26
7	58.25	56.77	57.52	57.51	0.74	48.44	60.52	54.47	54.48	6.04
8	32.02	37.02	34.06	34.37	2.51	54.51	66.61	76.02	60.56	8.56
9	64.43	65.20	65.65	65.10	0.62	60.67	63.88	67.05	63.86	3.16
10	58.97	67.39	61.80	62.72	4.28	-	-	-	-	-
11	61.59	65.34	68.13	65.02	3.28	-	-	-	-	-

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่มีตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์เนื่องจากเกิดการยุบตัว

* เป็นค่าที่ถูกตัดทิ้งจากการคำนวณ Q-test

ตารางที่ ค 3-2 ค่าความชื้นระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยที่ระยะความสูง 30 เซนติเมตร

สัปดาห์ที่	ค่าความชื้นของถังควบคุม(%)					ค่าความชื้นของถังทดลอง(%)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	49.06	56.43	61.41	58.92	3.52	48.26	50.24	53.84	50.78	2.82
2	46.18	54.37	48.94	49.83	4.17	26.15	27.18	24.23	25.85	1.49
3	35.73	28.63	23.50	21.91	0.55	57.89	59.85	66.62	61.45	4.58
4	22.30	22.15	21.27	21.91	0.55	46.10	31.78	37.66	34.72	4.16
5	55.91	46.62	51.38	51.30	4.65	58.20	49.52	43.72	46.64	4.07
6	28.30	20.01	24.16	24.16	4.14	23.73	23.99	23.88	23.86	0.13
7	48.34	56.08	52.21	52.21	3.87	26.50	27.63	27.07	27.06	0.57
8	68.74	75.82	65.11	69.89	5.45	27.09	46.27	37.13	41.70	6.46
9	33.24	18.07	23.82	25.04	7.66	46.53	42.13	58.04	44.42	2.98
10	24.46	26.20	25.30	25.32	0.87	68.92	66.34	69.19	68.15	1.58
11	41.25	45.80	43.19	43.41	2.28	39.00	43.29	49.15	46.22	4.15

มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี วิทยาเขตพณิชยการธนบุรี สถาบันวิทยบริการจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค-4 การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่าความเป็นกรดเป็นด่างในระหว่างหมักกองปุ๋ย โดยนำตัวอย่างตะกอนแห้งมาทำเป็นสารละลายในอัตราส่วนตัวอย่างต่อ น้ำกลั่นเท่ากับ 1:10 **ทิ้งไว้ 1 ชั่วโมง วัดด้วยเครื่องพีเอชมิเตอร์ ซึ่งตรวจวัดทุกสัปดาห์**ตั้งแต่เริ่มการหมักทำการวัดช่องเก็บตัวอย่างทั้ง 3 ช่อง แต่ละช่องวัด 3 ซ้ำ เนื่องจากสัปดาห์แรกเกิดการย่อยสลายเร็ว**ทำให้เกิดยุบตัวมาก จึงไม่มีช่องเก็บตัวอย่างที่** 1 ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ ค 4-1– ค 4-2

ตารางที่ ค 4-1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยที่ระยะความสูง 50 เซนติเมตร

สัปดาห์ที่	ค่าความเป็นกรด-ด่างของถังควบคุม					ค่าความเป็นกรด-ด่างของถังทดลอง				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	4.80	4.74	4.72	4.75	0.04	4.80	4.74	4.72	4.75	0.04
2	4.86	4.93	4.93	4.91	0.04	5.57	5.56	5.59	5.57	0.02
3	6.58	6.58	6.59	6.58	0.01	6.71	6.44	6.74	6.63	0.17
4	6.48	6.50	6.49	6.49	0.01	6.57	6.56	6.64	6.59	0.04
5	7.30	7.40	7.30	7.33	0.06	7.31	7.31	7.32	7.31	0.01
6	7.75	7.77	7.77	7.76	0.01	6.68	6.72	6.70	6.70	0.02
7	7.62	7.61	7.61	7.61	0.01	7.30	7.28	7.28	7.29	0.01
8	7.54	7.55	7.54	7.54	0.01	7.34	7.44	7.32	7.37	0.06
9	6.61	6.64	6.68	6.64	0.04	6.88	6.89	6.94	6.90	0.03
10	7.27	7.23	7.25	7.25	0.02	7.13	7.11	7.15	7.13	0.02
11	7.84	7.76	7.83	7.81	0.04	-	-	-	-	-

หมายเหตุ - หมายถึง ไม่มีตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์เนื่องจากเกิดการยุบตัว

ตารางที่ ค 4-2 ค่าความเป็นกรด-ด่าง ระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยที่ระยะความสูง 30 เซนติเมตร

สัปดาห์ที่	ค่าความเป็นกรด-ด่างของถังควบคุม					ค่าความเป็นกรด-ด่างของถังทดลอง				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	4.80	4.74	4.72	4.75	0.04	4.80	4.74	4.72	4.75	0.04
2	5.60	5.67	5.69	5.65	0.05	5.98	6.08	6.18	6.08	0.10
3	6.61	6.60	6.60	6.60	0.01	6.47	6.47	6.77	6.57	0.17
4	6.44	6.45	6.42	6.44	0.02	6.72	6.70	6.69	6.70	0.02
5	6.92	6.88	6.86	6.89	0.03	7.12	7.18	7.26	7.19	0.07
6	7.09	7.10	7.06	7.08	0.02	6.77	6.80	6.78	6.78	0.02
7	7.39	7.38	7.38	7.38	0.01	7.25	7.26	7.24	7.25	0.01
8	7.31	7.20	7.22	7.24	0.06	6.78	6.79	6.80	6.79	0.01
9	7.04	7.06	7.08	7.06	0.02	7.04	7.00	7.06	7.03	0.03
10	7.03	7.04	7.03	7.03	0.01	6.86	6.88	6.88	6.87	0.01
11	7.67	7.57	7.64	7.63	0.05	7.65	7.55	7.46	7.55	0.10

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยการกีฬาทหารลาดกระบัง

ค-5 การศึกษาค่าการนำฟ้าในระหว่างการหมักปุ๋ย โดยการทำเป็นสารละลายเช่นเดียวกันกับการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง แต่ทิ้งค้างคืนไว้ 1 วัน วัดด้วยเครื่องคอนดักติวิตี้ มิเตอร์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ ค 5-1 – ค 5-2

ตารางที่ ค 5-1 ค่าการนำไฟฟ้า ระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยที่ระยะความสูง 50 เซนติเมตร

สัปดาห์ที่	ค่าการนำไฟฟ้าของถังควบคุม (มิลลิโอมม์/เซนติเมตร)					ค่าการนำไฟฟ้าของถังทดลอง (มิลลิโอมม์/เซนติเมตร)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	8.96	8.95	8.93	8.95	0.02	8.96	8.95	8.93	8.95	0.02
2	8.9	9.26	8.31	8.82	0.48	9.64	9.6	9.6	9.61	0.02
3	8.72	8.82	8.76	8.77	0.05	6.36	6.23	6.37	6.32	0.08
4	11.08	11.36	11.23	11.22	0.14	9.51	9.69	9.52	9.57	0.10
5	11.23	11.58	11.52	11.44	0.19	10.45	10.96	10.61	10.67	0.26
6	9.52	9.62	9.57	9.57	0.05	7.25	7.56	7.45	7.42	0.16
7	8.02	8.17	8.11	8.10	0.08	8.77	8.46	8.52	8.58	0.16
8	8.44	8.73	8.59	8.59	0.15	7.09	7.67	7.48	7.41	0.30
9	8.52	8.61	8.26	8.46	0.18	10.36	10.16	10.66	10.39	0.25
10	6.63	7.21	6.85	6.90	0.29	6.56	6.81	6.23	6.53	0.29
11	8.53	8.07	8.31	8.30	0.23	-	-	-		

หมายเหตุ - หมายถึงไม่มีตัวอย่างสำหรับวิเคราะห์เนื่องจากเกิดการยุบตัว

ตารางที่ ค 5-2 ค่าการนำไฟฟ้า ระหว่างการหมักของตัวอย่างปุ๋ยที่ระยะความสูง 30 เซนติเมตร

สัปดาห์ที่	ค่าการนำไฟฟ้าของถังควบคุม (มิลลิโอมม์/เซนติเมตร)					ค่าการนำไฟฟ้าของถังทดลอง(มิลลิโอมม์/เซนติเมตร)				
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย	S.D.
1	8.96	8.95	8.93	8.95	0.02	8.96	8.95	8.93	8.95	0.02
2	8.92	8.8	8.82	8.85	0.06	9.17	9.26	9.29	9.24	0.06
3	9.69	9.25	9.38	9.44	0.23	10.66	10.31	10.44	10.47	0.18
4	10.78	10.85	11.19	10.94	0.22	10.34	10.74	10.52	10.53	0.20
5	8.43	8.83	8.14	8.47	0.35	8.50	7.90	7.80	8.07	0.38
6	9.12	9.03	9.36	9.17	0.17	8.26	8.31	8.55	8.37	0.16
7	9.16	9.57	9.41	9.38	0.21	9.16	9.43	9.62	9.40	0.23
8	10.14	10.01	10.07	10.07	0.07	10.13	10.47	10.19	10.26	0.18
9	10.98	10.92	10.22	10.71	0.42	10.06	10.33	10.46	10.28	0.20
10	8.84	8.77	8.77	8.79	0.04	8.51	8.28	8.11	8.30	0.20
11	8.75	8.79	8.35	8.63	0.24	8.35	8.89	8.12	8.45	0.40

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค-6 การศึกษากลิ่นในระหว่างหมักปุ๋ย โดยใช้ผู้ทดสอบทั้งหมด 10 คน มีระดับกลิ่นทั้งหมด 3 ระดับ คือ ระดับที่ 1 ไม่มีกลิ่น ระดับที่ 2 กลิ่นเหม็นน้อย ระดับที่ 3 กลิ่นเหม็นมาก ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ ค-6

ตารางที่ ค-6 ความถี่ในแต่ระดับกลิ่นของตัวอย่างปุ๋ย

สัปดาห์ที่	ความถี่ของถังควบคุม			ความถี่ของถังทดลอง		
	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3	ระดับที่ 1	ระดับที่ 2	ระดับที่ 3
1		1	9		1	9
2		6	4		5	5
3		7	3	2	5	3
4	2	7	1	3	7	
5	2	7	1	6	4	
6	5	5		8	2	
7	6	4		9	1	
8	9	1		9	1	
9	10			10		
10	10			10		
11	10			10		

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคผนวก ง

กราฟมาตรฐานจากการศึกษาธาตุอาหารในปุ๋ย

ง-1 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัสกับค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตรแสดงดังตารางที่ ง-1 และรูปที่ ง-1

ตาราง ง-1 ข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานฟอสฟอรัส

ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่าการดูดกลืนแสง (420 นาโนเมตร)
0	0.0000
2	0.1120
4	0.2190
6	0.3220
8	0.4220

รูปที่ ง-1 กราฟมาตรฐานสารละลายฟอสฟอรัส

ง-2 การศึกษาผลปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในกองปุ๋ย โดยตัวอย่างตะกอนแห้ง 0.5 กรัม ผ่านการย่อยด้วยกรดซัลฟิวริก 15 มิลลิลิตร ปิเปตสารละลายตัวอย่าง 5 มิลลิลิตร ลงในขวดวัดปริมาตร 25 มิลลิลิตรเติมน้ำยาบาร์ทอน 5 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นให้ครบ 25 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร (กรมพัฒนาที่ดิน, 2547) ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ ง-2

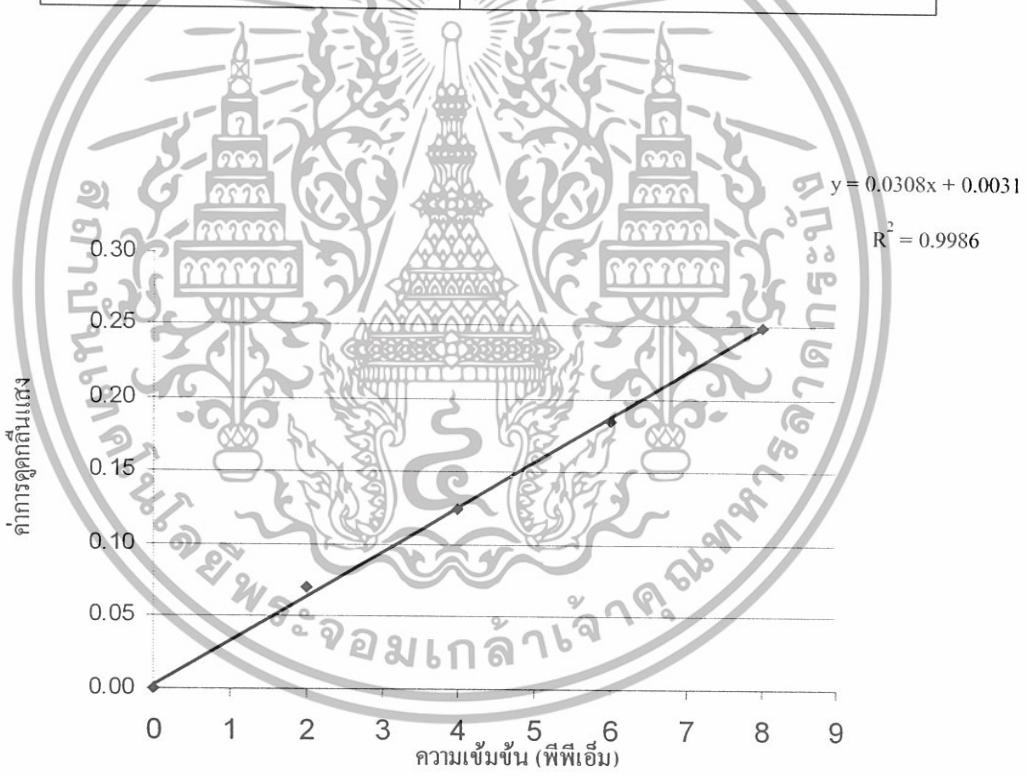
ตารางที่ ง-2 ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมดในตัวอย่างปุ๋ย

ตัวอย่างปุ๋ย	ครั้งที่	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณฟอสฟอรัสเทียบจากกราฟมาตรฐาน (มก./ล.)	ปริมาณฟอสฟอรัสทั้งหมด (% P)	ค่าเฉลี่ย (% P)	S.D.
วัสดุเริ่มต้น	1	0.0521	0.909	0.273	0.272	0.001
	2	0.0519	0.905	0.273		
	3	0.0520	0.907	0.272		
ปุ๋ยที่เสร็จสมบูรณ์ของถังควบคุม	1	0.1470	2.710	0.813	0.817	0.003
	2	0.1480	2.729	0.819		
	3	0.1480	2.729	0.819		
ปุ๋ยที่เสร็จสมบูรณ์ของถังทดลอง	1	0.1480	3.962	1.189	1.187	0.009
	2	0.1480	3.981	1.194		
	3	0.1480	3.924	1.177		

ง-3 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมกับค่าการดูดกลืนแสง แสดงดังตารางที่ ง-3 และรูปที่ ง-2

ตารางที่ ง-3 ข้อมูลค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียม

ความเข้มข้น (พีพีเอ็ม)	ค่าการดูดกลืนแสง
0	0.0004
2	0.0707
4	0.1251
6	0.1858
8	0.2500



รูปที่ ง-2 กราฟมาตรฐานสารละลายโพแทสเซียม

ง-4 การศึกษาผลปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในกองปุ๋ย โดยตัวอย่างตะกอนแห้ง 5.0 กรัม สกัดด้วยน้ำยาแอมโมเนียมอะซิเตต 50 มิลลิลิตรเขย่า 30 นาที จากนั้นกรองผ่านกระดาษกรอง 0.45 ไมครอน แล้วปรับปริมาตรให้เป็น 100 มิลลิลิตร นำสารละลายที่ได้ ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์บชั่น สเปกโตโฟโตมิเตอร์ ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ ง-4

ตารางที่ ง-4 ปริมาณโพแทสเซียมทั้งหมดในตัวอย่างปุ๋ย

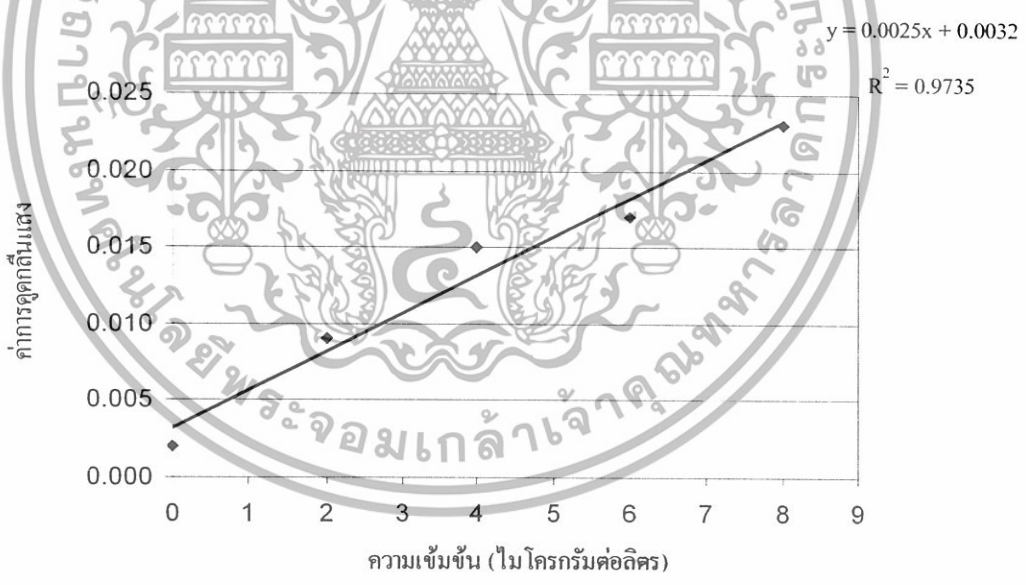
ตัวอย่างปุ๋ย	ค่าการดูดกลืนแสง	ปริมาณโพแทสเซียมเทียบจากกราฟมาตรฐาน (พีพีเอ็ม)	ปริมาณโพแทสเซียม (% P)
วัสดุเริ่มต้น	0.1764 (เจือจาง 50 เท่า)	5.6266	0.0056
ปุ๋ยที่เสร็จสมบูรณ์ของชุดควบคุม	0.1388 (เจือจาง 100 เท่า)	4.4058	0.0088
ปุ๋ยที่เสร็จสมบูรณ์ของชุดทดลอง	0.1117 (เจือจาง 100 เท่า)	3.5260	0.0071

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ง-5 กราฟมาตรฐานระหว่างความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานไนเทรต-ไนโตรเจนกับค่าการดูดกลืนแสง ที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร แสดงดังตารางที่ ง-5 และรูปที่ ง-3

ตารางที่ ง-5 ข้อมูลกราฟมาตรฐานของสารละลายมาตรฐานไนเทรต-ไนโตรเจน

ความเข้มข้น (ไมโครกรัม/ลิตร)	ค่าการดูดกลืนแสง (410 นาโนเมตร)
0	0.000
2	0.009
4	0.015
6	0.017
8	0.023



รูปที่ ง-3 กราฟมาตรฐานสารละลายไนเทรต- ไนโตรเจน

ง-6 การศึกษาผลปริมาณไนเทรตทั้งหมดในกองปุ๋ย โดยตัวอย่างตะกอนแห้ง 5.0 กรัม สกัดด้วยน้ำยาโพแทสเซียมคลอไรด์ 2 นอร์มอลปริมาตร 50 มิลลิลิตร เขย่า 30 นาที จากนั้นกรองผ่านกระดาษกรอง 0.45 เติมโซเดียมเซียมคลอไรด์ 2 มิลลิลิตร เติมกรดซัลฟิวริก (4+1) 10 มิลลิลิตร ในขณะที่

เย็นจัด ถ้าเกิดสีให้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตร เติม 0.5 มิลลิลิตร ของสารละลายบลูชีน+ ซัลฟานิลิก นำไปอังน้ำที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เมื่อเย็นนำไปอ่านค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 410 นาโนเมตรผลการทดลองแสดงดังตารางที่ ง-6

ตารางที่ ง-6 ปริมาณไนเทรต-ไนโตรเจนทั้งหมดในตัวอย่างปุ๋ย

ตัวอย่างปุ๋ย	ค่าการดูดกลืนแสง (410 นาโนเมตร)	ปริมาณไนเทรต-ไนโตรเจน เทียบจากกราฟมาตรฐาน (ไมโครกรัม/ลิตร)	ปริมาณ ไนเทรต-ไนโตรเจน (% ไนเทรต-ไนโตรเจน)
วัสดุเริ่มต้น	0.004 (เจือจาง 2000 เท่า)	0.32	0.0128
ปุ๋ยที่เสร็จสมบูรณ์ของชุดควบคุม	0.006 (เจือจาง 2000 เท่า)	1.12	0.0448
ปุ๋ยที่เสร็จสมบูรณ์ของชุดทดลอง	0.012 (เจือจาง 2000 เท่า)	3.52	0.1408

ภาคผนวก จ

การศึกษาความเป็นพิษของปุ๋ย

จ-1 การศึกษาความเป็นพิษของปุ๋ย โดยนำเมล็ดถั่วเขียวมาปลูกในตัวอย่างปุ๋ย 5 กรัม ในจานเพาะเชื้อ เติมน้ำกลั่น 5 มิลลิลิตร เก็บในที่มืด และไม่มีอากาศเข้าทิ้งไว้ที่ 24 48 และ 72 ชั่วโมงแต่ละช่วงเวลาวัดความยาวของรากถั่ว ผลการทดลองแสดงดังตารางที่ จ-1

ตารางที่ จ-1 ความยาวของรากถั่วที่ปลูกในตัวอย่างปุ๋ยของช่วงเวลา 24 48 และ 72 ชั่วโมง

เวลา (ชั่วโมง)	ครั้งที่	ชุดแบลงค์ ความยาวของรากถั่ว (เซนติเมตร)							ถังควบคุม ความยาวของรากถั่ว (เซนติเมตร)							ถังทดลอง ความยาวของรากถั่ว (เซนติเมตร)						
		1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย	S.D.	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย	S.D.	1	2	3	4	5	ค่าเฉลี่ย	S.D.
24	1	1.4	1.9	1.9	3.0	4.4	2.6	0.77	2.4	1.8	1.4	1.9	2.0	1.9	0.85	1.5	1.5	2.8	2.5	2.7	2.4	0.64
	2	3.3	2.2	2.8	2.9	2.9			2.5	2.6	4.0	2.2	2.0			1.7	1.8	2.5	3.0	3.6		
	3	2.5	2.6	3.4	2.7	1.6			1.9	0.5	1.0	0.7	1.7			2.2	2.7	2.4	2.0	3.4		
48	1	5.0	2.8	6.0	4.1	5.6	4.7	1.03	2.4	3.6	2.6	2.5	2.3	2.5	0.89	4.3	3.1	4.2	3.8	4.0	4.6	1.25
	2	4.6	4.5	3.5	5.5	3.7			4.8	2.7	1.6	2.0	2.9			6.9	3.2	3.7	6.2	5.4		
	3	4.2	4.6	4.3	6.2	6.3			2.5	2.0	0.8	2.7	2.7			7.1	4.4	4.2	3.8	4.7		
72	1	8.5	6.9.	8.5	5.8	5.5	7.0	1.50	4.0	6.8	3.9	3.7	4.8	4.0	1.44	8.5	6.1	7.5	6.3	8.6	6.5	1.04
	2	9.3	9.2	7.4	4.2	6.7			4.5	4.4	3.7	2.8	3.6			7.0	6.8	5.8	6.4	6.3		
	3	7.2	6.2	5.5	8.0	6.5			5.3	4.5	4.5	0	3.9			6.7	5.0	5.4	5.5	6.2		