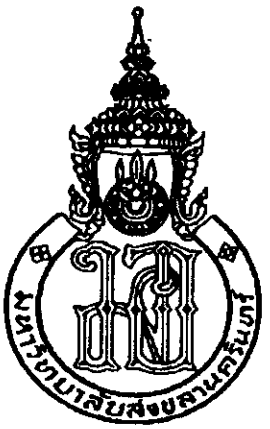


รายงานการวิจัย

รูปแบบถังหมักปุ๋ยสำหรับขยะอินทรีย์จากบ้านเรือน

ผู้วิจัย นาย จรงค์พันธ์ มุสิกะวงศ์

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย จากเงินรายได้
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปีงบประมาณ 2551

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ปีงบประมาณ 2551 ที่ให้สนับสนุนทุนพัฒนานักวิจัย (ENG-5122020065-S) จนงานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ ผศ.จรีรัตน์ สกุลรัตน์ และคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษา แก้ไขข้อบกพร่อง และให้คำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัยนี้

ขอขอบคุณ คุณโรสนา กาซอ และคุณอมรรัตน์ ธานีรัตน์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับคำแนะนำที่ดี และความช่วยเหลือในการทำการทดลอง และการใช้ห้องปฏิบัติการ

ขอขอบคุณ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์ดิน ภาควิชาปฐพี และเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการวิเคราะห์กลาง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ สำหรับคำแนะนำ และวิธีการวิเคราะห์ไนโตรเจน และอินทรีย์คาร์บอน

จรงค์พันธ์ มุสิกะวงศ์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหารูปแบบถังหมักปุ๋ยสำหรับบ้านเรือน วัสดุหมักที่ใช้ในการทดลองเป็นมูลฝอยอินทรีย์ผสมกับใบไม้แห้ง การทดลองแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่ 1 ทำการทดลองหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างมูลฝอยอินทรีย์กับใบไม้แห้งโดยอัตราส่วนที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 1 คือ 1: 1 1:1.5 1:2 2:1 และ 1.5:1 โดยน้ำหนักเปียกตามลำดับ นอกจากนี้ยังทำการศึกษาผลกระทบจากการเติมสารเร่ง พด.1 ซึ่งเป็นกลุ่มจุลินทรีย์คัดเฉพาะเพื่อช่วยในการย่อยสลายวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ทำการหมักวัสดุหมักแบบเติมวัสดุหมักในถังหมักเพียงครั้งเดียว (แบบ Batch) ในกล่องโฟมเจาะรูระบายอากาศและรูระบายน้ำชะ ระยะเวลาในการหมัก 45 วัน โดยทำการกลับกองทุกๆ 4 วัน

การทดลองช่วงที่ 2 ทำการสร้างต้นแบบถังหมักมูลฝอยอินทรีย์จำนวน 3 แบบซึ่งมีความแตกต่างกันในด้านการใช้งาน (ความสะดวกในการกลับกอง) ขั้นตอนการสร้าง และค่าใช้จ่ายในการสร้างถังหมัก จากนั้นนำอัตราส่วนวัสดุหมักที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1 มาทำการหมักแบบต่อเนื่อง (แบบ Continue) ในถังหมักทั้ง 3 แบบ โดยเติมมูลฝอยอินทรีย์ในถังหมักทุกวันเป็นระยะเวลา 30 วัน และทำการหมักต่อเป็นระยะเวลา 45 วัน นับจากวันที่หยุดเติมวัสดุหมัก ทำการกลับกองวัสดุหมักทุกๆ 4 วันเริ่มตั้งแต่วันที่ 12 ของการทดลอง รวมระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 2 ทั้งหมด 75 วัน

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนระหว่างมูลฝอยอินทรีย์กับใบไม้แห้งที่ 2:1 โดยไม่เติมสารเร่ง พด.1 มีความเหมาะสมในทางปฏิบัติและให้คุณภาพปุ๋ยดีกว่าวัสดุหมักอัตราส่วนอื่นๆ โดยมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงเทอร์โมฟิลิค (45-65°C) เป็นระยะเวลา 7 วัน เมื่อเริ่มต้นทำการทดลองวัสดุหมักมีค่าค่าความชื้นร้อยละ 65 ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 40.7 ค่าพีเอช 4.78 และค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก 35 mcq/100g เมื่อสิ้นสุดการทดลองปุ๋ยหมักมีค่าความชื้นร้อยละ 60.2 มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนลดลงเหลือ 20.9 ค่าพีเอชเพิ่มขึ้นเป็น 8.10 ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 55 meq/100g โดยน้ำหนักแห้ง การลดลงของมวลร้อยละ 40 โดยน้ำหนักแห้ง และไม่พบเชื้อโรคที่เป็นอันตรายซึ่งได้แก่ Fecal Coliforms และ Salmonella sp.เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก ในขณะที่มาตรฐานปุ๋ยหมักที่ดีควรมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนน้อยกว่า 20 โดยน้ำหนักแห้ง มีค่าพีเอชอยู่ในช่วง 5.5-8.5 และมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมากกว่า 60 meq /100 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งพบว่าคุณภาพปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1 มีคุณภาพใกล้เคียงกับมาตรฐานสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงคุณภาพดินโดยไม่ส่งผลกระทบใดๆต่อพืช

ดังนั้นการทดลองช่วงที่ 2 จึงนำอัตราส่วนวัสดุหมักมูลฝอยอินทรีย์ผสมกับใบไม้แห้ง 2:1 โดยน้ำหนักเปียก มาทำการหมักในถังหมักที่ออกแบบทั้ง 3 แบบ จากผลการทดลองพบว่าอุณหภูมิของวัสดุหมักในถังหมักทั้ง 3 แบบอยู่ในช่วงเทอร์โมฟิลิค (45-65°C) เป็นระยะเวลา 18-26 วัน คุณภาพปุ๋ยหมักที่ได้เมื่อสิ้นสุดการทดลองช่วงที่ 2 มีลักษณะใกล้เคียงกัน และผ่านมาตรฐานปุ๋ย คือ มีค่าความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 51.2-54.2 มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าอยู่ในช่วง 13.5-15.8 โดยน้ำหนักแห้ง ค่าพีเอชมีค่าอยู่ในช่วง 8.08-8.65 ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีค่าอยู่ในช่วง 68-77 meq/100g โดยน้ำหนักแห้ง การลดลงของมวลอยู่ในช่วงร้อยละ 66.1-69.4 โดยน้ำหนักแห้ง และเมื่อสิ้นสุดการทดลองไม่พบเชื้อโรคที่เป็นอันตรายซึ่งได้แก่ Fecal Coliforms และ Salmonella sp.

แต่ถังหมักแบบที่ 1 ซึ่งเป็นถังหมักที่ประยุกต์มาจากลังโฟมทั่วไปขนาด 75 ลิตร เจาะท่อระบายอากาศบริเวณด้านหน้าถังหมักและท่อระบายน้ำชะด้านล่างถังหมัก เป็นถังหมักที่มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องมาจากราคาการก่อสร้างต่ำที่สุด (1,090 บาท) และง่ายในการก่อสร้างที่สุด อย่างไรก็ตามควรมีการปรับปรุงการใช้งานโดยเพิ่มจำนวนถังหมักแบบที่ 1 จากเดิม 2 ถัง ซึ่งเกิดการอัดแน่นของมูลฝอยเป็น 3 ถัง เพื่อไม่ให้มูลฝอยล้นจากถังหมักในขณะทำการกลับกอง

ABSTRACT

The objective of this research work is to develop the model of composting bin for household organic wastes. Synthetic household organic waste was mixed with dry leave (as the co-compost materials). The experiment was divided into two parts. The first part determined the best mix ratio for composting between household organic waste and dry leave. The different mixture ratios were 1:1 1.5:1 1:2 2:1 and 1.5:1 (by weight). This research also studied the effect of cellulolytic microbial activator (CMA) on the decomposition of compost materials. Compost materials were put into a foam box size 75 liter for batch test. The box was adjusted by putting plumbing tubes in the front and at the bottom allowing air circulation and leachate drainage respectively. The composting period was 45 days, with turning over every day 4 days.

The second part of the experiment studied the efficiency of three composting bin models, with differences in turning over method, building method and building cost. The optimal ratio of household organic waste and dry leaves from the first part was composted in each bin. The mixture was fed daily and continuously to each composting bin for 30 days and the decomposition process continued for 45 days or the composting period of 75 days. The mixtures were turned over after feeding for 12 days.

The results of the first part showed that the optimal ratio between household organic waste and dry leave was 2:1 by weight (not adding cellulolytic microbial activator (CMA). The temperature was at thermophilic (45-65°C) stage for 7 days. At the beginning of composting process the compost material had moisture content 65 %, C/N ratio 40.7 (dry weight), pH 4.78 and Cation exchange capacity (CEC) 35 meq/100 (dry weight). At the end, the compost had moisture content 60.2%, C/N ratio 20.9 (dry weight), pH 8.10, CEC increased to 55 meq/100g (dry weight), 40 % mass reduction (dry weight) and no pathogens. These met the recommended quality of the compost by the Department of Agriculture of Thailand (2548 B.E.) in which C/N ratio should be less than or equal 20 (dry weight), pH 5.5-8.5 and CEC more than or equal 60 meq/100g (dry weight).

The second part then composted household organic wastes and dry leaves at 2:1 ratio by weight in three composting bins. The results showed that the quality of compost from all three models met the standard. The temperature was at thermophilic phase (45-65°C) for 18-26

days. At the end of composting process, the moisture content was 51.2-54.2 % , C/N ratio was 13.5-15.8, pH was 8.08-8.65 , CEC was 68-77 meq/100g (dry weight) , mass reduction was 66.1-69.4% (dry weight) and no pathogens were found.

However, over all the composting bin model 1 which is made from a foam box size 75 liter, installing air plumbing tubes in the front and at the bottom, is the most suitable model as it was the cheapest (1,090 bath) and was easy to build at home. However this model should be adjusted by adding 1 more box from 2 boxes to 3 boxes to prevent waste overflowing when the compost was turned over.

คำนำ

ประเทศไทยมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของประชากรทุกปีส่งผลให้มีปริมาณมูลฝอยเพิ่มขึ้นทุกปีเช่นกัน โดยในปี พ.ศ. 2536 มีปริมาณมูลฝอยเกิดขึ้น 30,640 ตันต่อวันและเพิ่มขึ้นเป็น 39,221 ตันต่อวันในปี พ.ศ. 2548 คิดเป็นร้อยละ 28 เมื่อพิจารณาองค์ประกอบมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั้งหมดพบว่ามีสัดส่วนมูลฝอยอินทรีย์อยู่ประมาณร้อยละ วิธีการกำจัดมูลฝอยอินทรีย์ที่ใช้ในปัจจุบันคือการฝังกลบ อย่างไรก็ตามข้อเสียของการฝังกลบคือต้องการพื้นที่ดำเนินการมาก ไม่สามารถนำมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์ได้ เกิดการปนเปื้อนของน้ำชะมูลฝอยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติและเกิดก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการย่อยสลายในหลุมฝังกลบ เมื่อพิจารณาการจัดการมูลฝอยที่ยั่งยืนพบว่าการฝังกลบนั้นต้องดำเนินการเป็นขั้นตอนสุดท้าย ก่อนที่จะทำการฝังกลบควรพิจารณาถึงทางเลือกในการนำมูลฝอยอินทรีย์มาใช้ประโยชน์เพราะการนำมูลฝอยอินทรีย์มาใช้ประโยชน์นั้นสามารถทำให้เกิดมูลค่าและยังเป็นการลดปริมาตรมูลฝอยที่จะนำไปฝังกลบได้อีกด้วย เมื่อปริมาตรของมูลฝอยที่ต้องฝังกลบลดลงหลุมฝังกลบก็มีอายุการใช้งานนานขึ้น ลดการใช้พลังงานในการขนส่งและจัดการมูลฝอย ค่าใช้จ่ายในการจัดการมูลฝอยลดลงตลอดจนเป็นการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบได้เป็นอย่างดี

วิธีการอย่างหนึ่งที่จะนำมูลฝอยอินทรีย์มาใช้ประโยชน์ทำได้โดยการคัดแยกมูลฝอยอินทรีย์ ณ แหล่งกำเนิดและนำมาหมักเป็นปุ๋ย เมื่อพิจารณาแหล่งกำเนิดมูลฝอยอินทรีย์พบว่าบ้านเรือนเป็นแหล่งกำเนิดมูลฝอยอินทรีย์ที่สำคัญ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นทำการศึกษาหารูปแบบการหมักมูลฝอยอินทรีย์จากบ้านเรือน โดยจะทำการหมักในถังหมักร่วมกับวัสดุหมักร่วม คือ ใบไม้แห้งซึ่งจากการศึกษาพบว่าใบไม้แห้งมีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุหมักร่วม เนื่องจากสามารถหาได้ทั่วไปในบ้านเรือนและมีปริมาณเพียงพอที่จะนำมาใช้หมักปุ๋ยจึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำมูลฝอยอินทรีย์จากบ้านเรือนมาหมักเป็นปุ๋ยร่วมกับใบไม้แห้ง ผลการศึกษาที่ได้จะเป็นแนวทางการนำมูลฝอยอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากบ้านเรือนมาใช้หมักปุ๋ยทุกวันไม่มีการตกค้างโดยใช้รูปแบบถังหมักปุ๋ยที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์จากมูลฝอยอินทรีย์มากที่สุด

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
รายการตาราง	(12)
รายการภาพประกอบ	(14)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำต้นเรื่อง	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย	2
บทที่ 2 ตรวจเอกสาร	4
2.1 การหมักปุ๋ย	4
2.1.1 วัสดุที่ใช้ทำการหมัก	4
2.2 ประเภทของกระบวนการหมัก	5
2.2.1 การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้อากาศ	5
2.2.2 การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ	6
2.3 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกองปุ๋ยหมัก	7
2.3.1 เชื้อรา	7
2.3.2 แอคติโนมัยซิส	9
2.3.3 แบคทีเรีย	9
2.4 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อกระบวนการหมักปุ๋ย	10
2.4.1 ปริมาณอากาศสำหรับการหมักปุ๋ย	11
2.4.2 อุณหภูมิ	12
2.4.3 ขนาดของวัสดุหมัก	14
2.4.4 ความชื้น	14
2.4.5 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุหมัก	15
2.4.6 ค่าพีเอช	16
2.5 รูปแบบการหมัก	16
2.5.1 การหมักโดยไม่ใช้ถังปฏิกิริยา	18
2.5.2 การหมักในถังปฏิกิริยา	22

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.5.3 การหมักที่บ้าน	25
2.6 การประเมินการได้ที่ของปุ๋ยหมัก	25
2.6.1 การประเมินการได้ที่โดยวิธีทางกายภาพ	25
2.6.2 การประเมินการได้ที่โดยวิธีทางเคมี	26
2.6.3 การประเมินการได้ที่โดยวิธีทางชีวภาพ	27
2.7 เชื้อโรคในปุ๋ยหมัก	27
2.7.1 เชื้อโรคที่มาจากวัสดุหมัก	28
2.7.2 เชื้อโรคที่มาจากจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตบนปุ๋ยหมัก	29
2.8 ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก	29
2.8.1 ประโยชน์ด้านการปรับปรุงคุณสมบัติของดิน	29
2.8.2 ประโยชน์ของปุ๋ยหมักในด้านเศรษฐกิจ	31
2.9 สารเร่ง พด.1	32
2.9.1 แหล่งที่มาของเชื้อจุลินทรีย์ในสารเร่ง พด.1	32
2.9.2 คุณสมบัติของเชื้อจุลินทรีย์ในสารเร่ง พด.1	32
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	33
บทที่ 3 วิธีการทดลอง	50
3.1 วิธีการดำเนินการทดลองช่วงที่ 1	50
3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง	50
3.1.2 การเตรียมวัสดุหมัก	55
3.1.3 การดำเนินการหมัก	55
3.1.4 การเก็บตัวอย่าง	58
3.1.5 การวิเคราะห์ตัวอย่าง	59
3.2 วิธีการดำเนินการทดลองช่วงที่ 2	64
3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง	64
3.2.2 การเตรียมวัสดุหมัก	64
3.2.3 การดำเนินการหมัก	64

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.2.4 การเก็บตัวอย่าง	69
3.2.5 การวิเคราะห์ตัวอย่าง	72
3.3 การเข้าสู่สภาวะคงที่ของปุ๋ยหมัก	74
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์	76
4.1 ผลการทดลองช่วงที่ 1	76
4.1.1 ลักษณะสมบัติของวัสดุหมัก	76
4.1.2 อัตราส่วนผสมในการหมัก	78
4.1.3 คุณภาพปุ๋ยหมักเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการ	80
4.1.4 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางชีวภาพ	107
4.1.5 การประเมินการได้ที่และคุณภาพของปุ๋ยหมัก	108
4.1.6 ธาตุอาหารหลักของพืช	110
4.1.7 การคัดเลือกอัตราส่วนวัสดุหมักที่เหมาะสมสำหรับการทดลองช่วงที่ 2	111
4.2 ผลการออกแบบถังหมักในการทดลองช่วงที่ 2	116
4.2.1 ถังหมักแบบที่ 1	116
4.2.2 ถังหมักแบบที่ 2	122
4.2.3 ถังหมักแบบที่ 3	127
4.3 ผลการทดลองช่วงที่ 2	137
4.3.1 ลักษณะสมบัติของวัสดุหมัก	137
4.3.2 คุณภาพปุ๋ยหมักเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการ	138
4.3.3 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางชีวภาพ	152
4.3.4 การประเมินการได้ที่และคุณภาพของปุ๋ยหมัก	152
4.3.5 ธาตุอาหารหลักของพืช	153
4.4 การประเมินการใช้งานถังหมักปุ๋ย	154
4.4.1 การประเมินคุณภาพปุ๋ยจากถังหมัก 3 ออกแบบ	154
4.4.2 การประเมินความเหมาะสมในการใช้งาน	157

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
4.5 แนวทางการใช้ประโยชน์ปุ๋ยหมักอินทรีย์	160
4.5.1 แนวทาง การใช้งานถังหมักทั้ง 3 แบบ	160
4.5.2 แนวทางการใช้ปุ๋ยหมักอินทรีย์ที่ได้จากถังหมักที่ออกแบบ	167
บทที่ 5 สรุป	169
5.1 ข้อสรุปผลการวิจัย	169
5.2 ข้อเสนอแนะ	171
บรรณานุกรม	173
ภาคผนวก	184
ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณ	183
ภาคผนวก ข ข้อมูลดิบ ลักษณะทางกายภาพ	187
ภาคผนวก ค ข้อมูลดิบ ลักษณะทางเคมี	199
ภาคผนวก ง วิธีการวิเคราะห์	214
ภาคผนวก จ รูปวัสดุหมักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง	232
ภาคผนวก ฉ ส่วนประกอบของถังหมักและรายละเอียดในการก่อสร้าง	241
การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน	261

รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ข้อแตกต่างระหว่างการหมักแบบใช้ออกซิเจนและแบบไม่ใช้ออกซิเจน	7
2.2 จุลินทรีย์ชนิดต่างๆในกองหมัก	8
2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการหมักปุ๋ย	10
2.4 การเปรียบเทียบรูปแบบการหมักด้วยวิธีการหมักแบบเติมอากาศ	17
2.5 ตัวอย่างเชื้อโรคที่พบในการทำปุ๋ยหมักจากตะกอนน้ำเสีย	28
2.6 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากต่างประเทศ	34
3.1 อัตราส่วนผสมระหว่างมูลฝอยอินทรีย์กับใบไม้แห้ง	56
3.2 วิธีการวิเคราะห์	60
3.3 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง (ช่วงที่ 1)	61
3.4 เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินคุณภาพปุ๋ยหมักของวัสดุหมักแต่ละอัตราส่วน	63
3.5 เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินคุณภาพปุ๋ยหมักจากถังหมักที่ออกแบบ	67
3.6 เกณฑ์ที่ใช้การในการประเมินรูปแบบถังหมักปุ๋ยที่ได้	68
3.7 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง (ช่วงที่ 2)	73
3.8 การพิจารณาการได้ที่ของปุ๋ยหมัก	74
4.1 ลักษณะสมบัติของวัสดุหมักแต่ละชนิด	76
4.2 ลักษณะสมบัติของวัสดุหมักที่ผสมแล้ว	79
4.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมัก	82
4.4 เปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์	90
4.5 การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดการหมัก	93
4.6 เปรียบเทียบการลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	96
4.7 ระดับความเค็มของดินที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช	104
4.8 การเปลี่ยนแปลงค่าความสามารถในการแลกประจุบวก	107
4.9 เชื้อโรคที่ตรวจพบในวัสดุหมักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง	108
4.10 เปรียบการได้ที่ของวัสดุหมักจากปัจจัยต่างๆ	109
4.11 เปรียบเทียบธาตุอาหารหลักของพืชในวัสดุหมัก	111

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.12 ผลการประเมินคุณภาพปุ๋ยหมักของวัสดุหมักกลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1	113
4.13 ผลการประเมินคุณภาพปุ๋ยหมักของวัสดุหมักกลุ่มที่เติมสารเร่ง พด.1	114
4.14 เปรียบเทียบผลกระทบจากการเติมและไม่เติมสารเร่ง พด.1 ในวัสดุหมัก	115
4.15 ลักษณะของถังหมักแต่ละแบบ	134
4.16 ลักษณะสมบัติของวัสดุหมักที่ผสมแล้วช่วงที่ 2	138
4.17 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมัก	140
4.18 เปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์	144
4.19 เปรียบเทียบการลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	146
4.20 การเปลี่ยนแปลงค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก	151
4.21 เชื้อโรคที่ตรวจพบในวัสดุหมักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง	152
4.22 เปรียบการได้ที่ของวัสดุหมักจากปัจจัยต่างๆ	153
4.23 เปรียบเทียบธาตุอาหารหลักของพืชในปุ๋ยหมัก	154
4.24 ผลการประเมินคุณภาพปุ๋ยหมักจากถังหมักที่ออกแบบ	156
4.25 ผลการประเมินรูปแบบถังหมักปุ๋ยที่ได้	159

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่	หน้า
2.1 กระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจน	6
2.2 ช่องว่างภายในกองวัสดุหมัก	12
2.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกระบวนการหมัก	13
2.4 สัดส่วนของกองปุ๋ยหมักแบบ Windrow	18
2.5 กองปุ๋ยแบบแบนและกลม เพื่อเหมาะสมในการใช้งานในสภาวะอากาศต่างๆ	19
2.6 การพลิกลับกองปุ๋ยหมักแบบ Windrow โดยใช้เครื่องจักรกล	19
2.7 ผลการพลิกกลับโดยใช้เครื่องจักรกล	20
2.8 กองปุ๋ยหมักแบบ Windrow ที่มีการเจาะช่องระบายอากาศ	20
2.9 กองหมักแบบใช้เครื่องเติมอากาศ (Aerated Static Pile)	21
2.10 ถังปฏิกิริยาแนวตั้ง	22
2.11 ถังปฏิกิริยาแนวตั้งแบบมีชั้นรองรับวัสดุหมัก	23
2.12 ถังปฏิกิริยาแบบวางวางเอียง	23
2.13 ถังปฏิกิริยาแนวนอน	24
2.14 ถังปฏิกิริยาที่วัสดุหมักไม่มีการเคลื่อนที่ (Non-flow reactor)	24
2.15 ถังหมักปุ๋ยไม้อัดที่ใช้หมักมูลสุกรกับเปลือกถั่วเหลือง	35
2.16 กระบะพลาสติกขนาด 27 ลิตร	36
2.17 ถังหมักปุ๋ยแบบมีท่อระบายความร้อนตรงกึ่งกลาง	37
2.18 ถังหมักปุ๋ยแบบใช้ร่วมกับเครื่องเติมอากาศ	38
2.19 ถังหมักแบบมีช่องระบายอากาศขนาด 185 ลิตร	39
2.20 ถังหมักแบบหมุนขนาด 200 ลิตร	40
2.21 ถังหมักแบบใช้ท่อระบายอากาศขนาด 200 ลิตร	40
2.22 ถังหมักปุ๋ยแบบหมุน	41
2.23 ถังหมักหมักปุ๋ยทำจากไม้อัด	42
2.24 ถังหมักสเตนเลสและถังหมักไฟเบอร์กลาส	43
2.25 ถังหมักปุ๋ยที่ใช้ในงานวิจัยของประเทศเกาหลี	46
2.26 ถังหมักที่สร้างจากวัสดุ polyurethane	47

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
2.27 ถังหมัก Green cone	48
3.1 แผนการดำเนินการทดลองทั้งหมด	51
3.2 ถังหมักเบื้องต้น (ต้นแบบจริง)	52
3.3 ถังหมักเบื้องต้น มุมมอง Isometric	52
3.4 ถังหมักเบื้องต้น มุมมองภายใน (ไม่มีฝาปิด)	53
3.5 ถังหมักเบื้องต้น มุมมองด้านหน้า (มาตราส่วน 1: 6)	53
3.6 ถังหมักเบื้องต้น มุมมองด้านข้าง (มาตราส่วน 1: 6)	54
3.7 ถังหมักเบื้องต้น มุมมองด้านบน (มาตราส่วน 1: 8)	53
3.8 แผนการดำเนินการทดลองช่วงที่ 1	57
3.9 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างและการวัดอุณหภูมิในถังหมัก	58
3.10 การเตรียมตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ	62
3.11 แผนการดำเนินการทดลองช่วงที่ 2	66
3.12 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างและการวัดอุณหภูมิในถังหมักแบบที่ 2	70
3.13 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างและการวัดอุณหภูมิในถังหมักแบบที่ 3	71
4.1 มูลฝอยอินทรีย์	77
4.2 ใบไม้แห้ง	77
4.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของวัสดุหมัก (กลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1)	81
4.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของวัสดุหมัก (กลุ่มที่เติมสารเร่ง พด.1)	82
4.5 เปรียบเทียบการลดลงของมวลวัสดุหมัก (กลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1)	84
4.6 เปรียบเทียบการลดลงของมวลวัสดุหมัก (กลุ่มที่เติมสารเร่ง พด.1)	84
4.7 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุหมัก (กลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1)	86
4.8 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุหมัก (กลุ่มที่เติมสารเร่ง พด.1)	86
4.9 ปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ของวัสดุหมักกลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1	88
4.10 ปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ของวัสดุหมักกลุ่มที่เติมสารเร่ง พด.1	88

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4.11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนของวัสดุหมักกลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1	91
4.12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนของวัสดุหมักกลุ่มที่เติมสารเร่ง พด.1	91
4.13 การเปลี่ยนแปลง C/N ratio ของวัสดุหมักกลุ่มไม่ที่เติมสารเร่ง พด.1	95
4.14 การเปลี่ยนแปลง C/N ratio ของวัสดุหมักกลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1	95
4.15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมของวัสดุหมักกลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1	98
4.16 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมของวัสดุหมักกลุ่มที่เติมสารเร่ง พด.1	98
4.17 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสของวัสดุหมักกลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1	100
4.18 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสของวัสดุหมักกลุ่มที่เติมสารเร่ง พด.1	100
4.19 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของวัสดุหมักกลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1	101
4.20 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของวัสดุหมักกลุ่มที่เติมสารเร่ง พด.1	102
4.21 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้ากลุ่มวัสดุหมักที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1	103
4.22 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้ากลุ่มวัสดุหมักที่เติมสารเร่ง พด.1	104
4.23 การเปลี่ยนแปลงการเปลี่ยนแปลงค่า CEC กลุ่มวัสดุหมักที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1	106
4.24 การเปลี่ยนแปลงการเปลี่ยนแปลงค่า CEC กลุ่มวัสดุหมักที่เติมสารเร่ง พด.1	106
4.25 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 1 ต้นแบบจริง	117
4.26 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 1 มุมมอง Isometric	118
4.27 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 1 มุมมองภายใน	118
4.28 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 1 มุมมองด้านหน้า (มาตราส่วน 1: 6)	119
4.29 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 1 มุมมองด้านข้าง (มาตราส่วน 1: 6)	119
4.30 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 1 มุมมองด้านบน (มาตราส่วน 1: 8)	120
4.31 กลไกการทำงานถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 1	121
4.32 อุปกรณ์ช่วยในการกลับกองสำหรับถังหมักแบบที่ 1	122
4.33 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 2 ต้นแบบจริง	123
4.34 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 2 มุมมอง Isometric	124
4.35 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 2 มุมมองภายใน	124
4.36 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 2 มุมมองด้านหน้า (มาตราส่วน 1: 13)	125

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4.37 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 2 มุมมองด้านข้าง (มาตราส่วน 1: 13)	125
4.38 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 2 มุมมองด้านบน (มาตราส่วน 1: 15)	126
4.39 กลไกการทำงานถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 2	127
4.40 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 3 ต้นแบบจริง	129
4.41 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 3 มุมมอง Isometric	129
4.42 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 3 มุมมองภายในถังหมัก	130
4.43 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 3 มุมมองด้านหน้า (มาตราส่วน 1:16)	130
4.44 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 3 มุมมองด้านข้าง (มาตราส่วน 1:16)	131
4.45 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 3 มุมมองด้านบน (มาตราส่วน 1:10)	131
4.46 กลไกการทำงานถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 3	132
4.47 การใช้งานถังหมักแบบที่ 3	133
4.48 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังหมัก	139
4.49 เปรียบเทียบการลดลงของมวล	141
4.50 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในถังหมัก	142
4.51 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์	143
4.52 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจน	144
4.53 การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	145
4.54 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโพแทสเซียม	147
4.55 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัส	148
4.56 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของวัสดุหมัก	149
4.57 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุหมัก	150
4.58 การเปลี่ยนแปลงค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก	151
4.59 ลักษณะเด่นของถังหมักแต่ละแบบ	160
4.60 การใช้งานถังหมักแบบที่ 1	162
4.61 การใช้งานถังหมักแบบที่ 2	164
4.62 การใช้งานถังหมักแบบที่ 3	166

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
5.1การปรับปรุงถังหมักแบบที่ 3	172

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำต้นเรื่อง

ประเทศไทยมีแนวโน้มการเพิ่มขึ้นของประชากรทุกปีส่งผลให้มีปริมาณมูลฝอยเพิ่มขึ้นทุกปีเช่นกัน โดยในปี พ.ศ. 2536 มีปริมาณมูลฝอยเกิดขึ้น 30,640 ตันต่อวันและเพิ่มขึ้นเป็น 41,213 ตันต่อวันในปี พ.ศ. 2551 คิดเป็นร้อยละ 35 เมื่อพิจารณาองค์ประกอบมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั้งหมดพบว่ามีสัดส่วนมูลฝอยอินทรีย์อยู่ประมาณร้อยละ 60 (กรมควบคุมมลพิษ, 2551) วิธีการกำจัดมูลฝอยอินทรีย์ที่ใช้ในปัจจุบันคือการฝังกลบ อย่างไรก็ตามข้อเสียของการฝังกลบคือต้องการพื้นที่ดำเนินการมาก ไม่สามารถนำมูลฝอยกลับมาใช้ประโยชน์ได้ เกิดการปนเปื้อนของน้ำชะมูลฝอยสู่แหล่งน้ำธรรมชาติและเกิดก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการย่อยสลายในหลุมฝังกลบ เมื่อพิจารณาการจัดการมูลฝอยที่ยั่งยืนพบว่าการฝังกลบนั้นต้องดำเนินการเป็นขั้นตอนสุดท้าย ก่อนที่จะทำการฝังกลบควรพิจารณาถึงทางเลือกในการนำมูลฝอยอินทรีย์มาใช้ประโยชน์ เพื่อลดปริมาณที่จะเข้าสู่หลุมฝังกลบ ช่วยยืดอายุการใช้งานของหลุมฝังกลบ ลดการใช้พลังงานในการขนส่งและค่าใช้จ่ายในการจัดการมูลฝอยตลอดจนเป็นการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่เกิดขึ้นจากหลุมฝังกลบ

วิธีการอย่างหนึ่งที่จะนำมูลฝอยอินทรีย์มาใช้ประโยชน์คือการนำมาหมักเป็นปุ๋ย และเมื่อพิจารณาแหล่งกำเนิดมูลฝอยอินทรีย์พบว่าบ้านเรือนเป็นแหล่งกำเนิดมูลฝอยอินทรีย์ที่สำคัญ สำหรับวิธีการการหมักปุ๋ยจากมูลฝอยอินทรีย์สามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือวิธีการหมักแบบใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ โดยทั่วไปแล้ววิธีการหมักแบบใช้อากาศจะเป็นวิธีที่ใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายเร็ว ไม่มีกลิ่นรบกวนจากกระบวนการหมักและลดปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะมูลฝอยอินทรีย์ซึ่งสามารถย่อยสลายได้ง่ายโดยจุลินทรีย์ รูปแบบการหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศที่นิยมคือการนำวัสดุหมักเทกองในที่โล่งเพื่อให้วัสดุหมักสัมผัสกับอากาศซึ่งอาจใช้การพลิกกลับวัสดุหมักร่วมด้วยเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการย่อยสลาย ข้อด้อยของวิธีการหมักแบบนี้คือความต้องการปริมาณวัสดุหมักมาก เกิดปัญหาการรบกวนกองปุ๋ยหมักจากสภาพดินฟ้าอากาศทำให้ใช้ระยะเวลาในการหมักปุ๋ยนานขึ้น และอาจเกิดปัญหาจากสัตว์คุ้ยเขี่ยหรือสัตว์ฟันแทะส่งผลให้กอง

ปุ๋ยหมักเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ ดังนั้นการหมักปุ๋ยในถังปฏิกิริยาจึงเป็นแนวทางการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นและสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานกับการหมักมูลฝอยอินทรีย์จากบ้านเรือนได้เป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามในปัจจุบันการศึกษาวิจัยถึงรูปแบบการนำมูลฝอยอินทรีย์จากบ้านเรือนไปหมักทำปุ๋ยโดยตรงภายในบ้านเรือนมีค่อนข้างน้อย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นทำการศึกษาหารูปแบบการหมักมูลฝอยอินทรีย์ ณ บ้านเรือน ทำการหมักในถังหมักร่วมกับวัสดุหมักร่วม สำหรับการทดลองนี้ได้เลือกใช้ใบไม้แห้งเป็นวัสดุหมักร่วมเนื่องจากสามารถหาได้ทั่วไปในบ้านเรือน นอกจากการผสมวัสดุหมักร่วมในการหมักปุ๋ยแล้ว การเติมตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหมักปุ๋ยให้ดีขึ้นได้ ตัวอย่างตัวเร่งที่มีการใช้งานในปัจจุบันคือ สารเร่ง พด.1 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์คัดเฉพาะเพื่อช่วยย่อยสลายวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากกรมพัฒนาที่ดินแก่เกษตรกร ได้ถูกเลือกนำมาใช้ในการทดลองครั้งนี้ด้วย ผลการศึกษาที่ได้สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการนำมูลฝอยอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากบ้านเรือนมาใช้ประโยชน์ โดยวิธีการหมักทำปุ๋ยทุกวันและไม่มีการตกค้างของมูลฝอยอินทรีย์ โดยใช้รูปแบบถังหมักปุ๋ยที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดการใช้ประโยชน์จากมูลฝอยอินทรีย์มากที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1. หาอัตราส่วนของมูลฝอยอินทรีย์จากบ้านเรือน วัสดุหมักร่วมใบไม้แห้ง สำหรับการหมักปุ๋ยและปริมาณสารเร่ง พด.1 ที่ใช้เวลาในการย่อยสลายน้อยที่สุดและมีคุณสมบัติความเป็นปุ๋ยดีที่สุดเมื่อเทียบกับมาตรฐาน

2. ศึกษาผลกระทบจากการเติมสารเร่ง พด.1 ในวัสดุหมักระหว่างมูลฝอยอินทรีย์กับใบไม้แห้ง

3 . หารูปแบบถังหมักและการใช้งานที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับการใช้งานในบ้านเรือนให้สามารถทำการหมักได้อย่างต่อเนื่องไม่มีมูลฝอยอินทรีย์ตกค้าง

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. อัตราส่วนของวัสดุหมักระหว่างมูลฝอยอินทรีย์กับใบไม้แห้ง ที่ให้คุณภาพปุ๋ยที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับมาตรฐานเพื่อใช้งานกับถังหมักปุ๋ยจากมูลฝอยอินทรีย์ที่เกิดขึ้นจากครัวเรือน

2. รูปแบบถังหมักปุ๋ยมูลฝอยอินทรีย์สำหรับครัวเรือนและวิธีการหมักปุ๋ยอย่างต่อเนื่อง ไม่มีมูลฝอยอินทรีย์ตกค้าง

3. การลดมูลฝอยอินทรีย์ที่ต้องนำไปฝังกลบ และยังเป็นการลดค่าใช้จ่ายที่ใช้ในระบบการจัดการของเทศบาล

บทที่ 2

ทฤษฎีการทำปุ๋ยหมัก

ทฤษฎีที่เกี่ยวกับการศึกษานี้ ประกอบด้วย กระบวนการหมักปุ๋ย รูปแบบการหมักปุ๋ย การประเมินการได้ที่ของปุ๋ยหมัก เชื้อโรคในปุ๋ยหมัก และประโยชน์ของปุ๋ยหมักในการปรับปรุงคุณภาพดินนอกจากนี้ยังได้รวบรวมผลงานวิจัยทั้งภายในและต่างประเทศที่เกี่ยวข้องไว้เพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์ผลการทดลอง

2.1 การหมักปุ๋ย

กระบวนการย่อยสลายทางชีวภาพของสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์หลายชนิดที่มีปริมาณสารอาหาร อุณหภูมิ ความชื้น และปัจจัยอื่นๆที่เหมาะสมจนได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายเป็นสารคงรูป คือ กระบวนการหมัก สารผลิตภัณฑ์สุดท้ายนั้นสามารถนำไปใช้ประโยชน์ทางการเกษตรได้ โดยปุ๋ยหมักมีอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ มีคุณสมบัติในการปรับปรุงลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของดิน เช่น ทำให้ดินโปร่ง เพิ่มความพรุนให้แก่ดินทำให้การระบายน้ำและอากาศในดินดีขึ้น ทั้งช่วยให้ดินอุ้มน้ำและดูดซึมธาตุอาหารให้แก่พืชได้ดีขึ้น ช่วยเพิ่มปริมาณธาตุอาหารให้แก่พืช ทั้งธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง และธาตุอาหารเสริมให้แก่ดิน ทำให้พืชและจุลินทรีย์เจริญเติบโตได้ดี

วัสดุที่ใช้ทำการหมัก

วัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมักส่วนใหญ่มักเป็นวัสดุเหลือใช้ประเภทต่างๆ โดยมากแล้วจะเป็นอินทรีย์วัตถุที่มักถูกทิ้งให้เป็นปัญหาต่อสภาพแวดล้อม ซึ่งสามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

1. วัสดุเหลือใช้จากการเกษตร

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม ดังนั้นจึงมีวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอยู่มากโดยทั่วไปเกษตรกรมักจะนำไปกำจัดทิ้ง ซึ่งวัสดุเหล่านี้สามารถนำกลับมาใช้ทำปุ๋ยหมักได้ เช่น ฟางข้าว ต้นข้าวโพด ซังข้าวโพด เป็นต้น

2. วัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรม

อุตสาหกรรมหลายประเภทในประเทศไทยที่ทำการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรกรรมให้เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป จึงก่อให้เกิดวัสดุเหลือใช้ต่างๆ มากมายหลายชนิด เช่น กากอ้อยจากโรงงานน้ำตาล เศษผลไม้จากโรงผลิตผลไม้กระป๋อง เศษเนื้อจากโรงงานผลิตอาหารแช่แข็ง ซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุในการทำปุ๋ยหมักได้ นอกจากนี้ยังรวมถึงน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภท โดยน้ำทิ้งเหล่านี้สามารถนำไปใช้ในการปรับระดับความชื้นในกองปุ๋ยเพื่อให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์

3. วัสดุเหลือใช้จากบ้านเรือน

วัสดุเหลือใช้จากบ้านเรือน ได้แก่ เศษอาหาร เศษใบไม้จากสวน ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามอัตราการเพิ่มขึ้นของประชากร การย้ายถิ่นฐาน ดังนั้นการนำมูลฝอยเหล่านี้มาใช้เป็นวัสดุในการทำปุ๋ยหมักก็จะเป็นการช่วยลดปริมาณขยะที่ก่อปัญหาให้กับสภาพแวดล้อม

2.2 ประเภทของกระบวนการหมัก

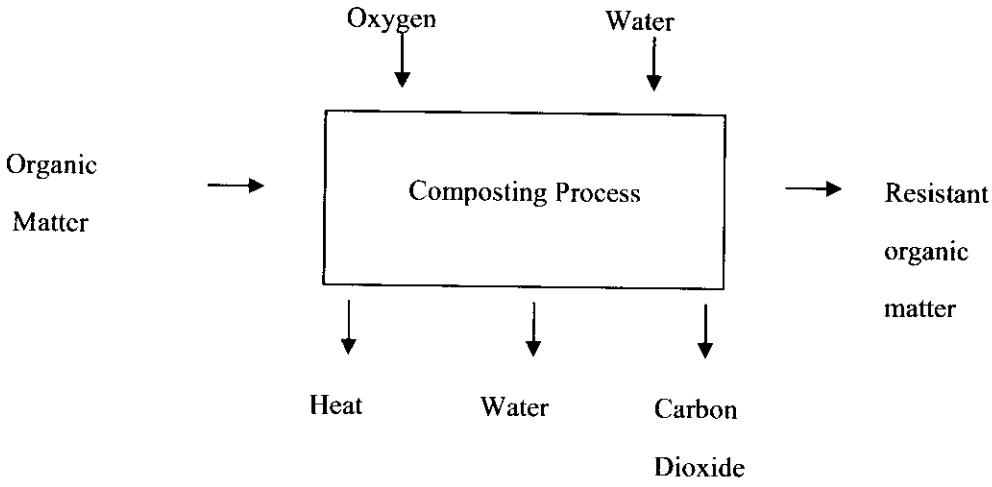
กระบวนการหมักสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ การหมักแบบใช้ออกซิเจน (Aerobic Composting) และการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน (Anaerobic Composting)

2.2.1 การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบใช้อากาศ

การหมักปุ๋ยส่วนใหญ่ใช้กระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในสภาพใช้อากาศ (Aerobic Condition) โดยจุลินทรีย์ได้รับสารอาหารแล้วเกิดการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และมีการย่อยสลายสารอินทรีย์ให้กลายเป็นผลิตภัณฑ์ดังสมการที่ 1 (Tchobanoglous และคณะ, 1993)

$$\text{Organic matter} + O_2 + \text{Nutrients} \longrightarrow \text{new cells} + \text{resistant organic matter} + CO_2 + H_2O + NH_3 + SO_4^{2-} + \ldots + \text{Heat} \quad (1)$$

จากสมการที่ 1 Organic Matter หมายถึงสารอินทรีย์ ซึ่งได้แก่ โปรตีน กรดอะมิโน ไขมัน และคาร์โบไฮเดรต เป็นต้น Resistant Organic Matter หรือสารอินทรีย์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ ในที่นี้ก็ คือ ปุ๋ยหมัก ส่วน New cells เมื่อตายก็จะเป็น Resistant Organic Matter กระบวนการหมักแบบใช้อากาศแสดงในรูปที่ 2.1 (Diaz, 1993)



รูปที่ 2.1 กระบวนการหมักแบบใช้ออกซิเจน

2.2.2 การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ

การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบไม่ใช้อากาศ (Anaerobic condition) เป็นการย่อยสลายด้วยจุลินทรีย์ที่ไม่ใช้ออกซิเจน การสิ้นสุดของปฏิกิริยานานกว่าการย่อยสลายแบบใช้อากาศ และอาจส่งกลิ่นเหม็นรบกวนจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นดังสมการที่ 2 (Tchobanoglous และคณะ, 1993)

$$\text{Organic matter} + H_2O + \text{Nutrients} \longrightarrow \text{new cells} + \text{resistant organic matter} + CO_2 + CH_4 + NH_3 + H_2S + \ldots + \text{Heat} \quad (2)$$

การหมักแบบใช้ออกซิเจนและแบบไม่ใช้ออกซิเจนมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.1 การหมักแบบใช้ออกซิเจนใช้ระยะเวลาในการหมักน้อยกว่าจึงสามารถลดปริมาตรของขยะมูลฝอยหรือวัสดุหมักได้มากกว่า อีกทั้งยังไม่มีกลิ่นเหม็นซึ่งเป็นปัญหาของการหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน ดังนั้นในปัจจุบันจึงนิยมการหมักแบบใช้ออกซิเจนมากกว่า

ตารางที่ 2.1 ข้อแตกต่างระหว่างการหมักแบบใช้ออกซิเจนและแบบไม่ใช้ออกซิเจน

ลักษณะที่ใช้เปรียบเทียบ	การหมักแบบใช้ออกซิเจน	การหมักแบบไม่ใช้ออกซิเจน
จุดประสงค์	ลดปริมาตรขยะมูลฝอย	ผลิตพลังงาน
การลดลงของปริมาตร	ประมาณร้อยละ 50	ประมาณร้อยละ 50
การใช้พลังงาน	ใช้พลังงานจากภายนอก	ได้พลังงานจากการหมัก
เวลาในการหมัก	20-30 วัน	20-40 วัน
ผลผลิต	ฮิวมัส , คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ	ก๊าซมีเทน , คาร์บอนไดออกไซด์และกากตะกอน

ที่มา: Tchobanoglous และคณะ (1993)

2.3 จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกองปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศ

กระบวนการย่อยสลายเศษพืชภายในกองปุ๋ยหมักจนกระทั่งได้ปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์นั้นเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์หลายชนิดประกอบกัน จุลินทรีย์ที่เกี่ยวข้องในกองปุ๋ยหมักแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ ได้แก่

2.3.1 เชื้อรา (Fungi)

เชื้อราเป็นจุลินทรีย์ชนิดหนึ่งที่มีลักษณะการดำรงชีวิตคล้ายกับพืช ซึ่งในสมัยก่อนจัดไว้เป็นพืชชั้นต่ำ แต่ว่าความสามารถในการใช้อาหารกว้างมาก เมื่อดูจากกล้องจุลทรรศน์จะเห็นเป็นลักษณะเส้นใยต่อกันและมีสปอร์กระจัดกระจายอยู่ทั่วไป ในกองปุ๋ยหมักจะตรวจพบเชื้อราอยู่เสมอ แต่ชนิดและปริมาณเชื้อราจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาทำปุ๋ยหมัก ความชื้นและอุณหภูมิของสภาพแวดล้อม การที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นและมีความชื้นสูงเป็นสภาพที่เหมาะสมต่อแบคทีเรียมากกว่าเชื้อรา ดังนั้นจึงมักตรวจพบเชื้อราอยู่บริเวณผิวนอกของปุ๋ยหมัก ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำและมีความชื้นน้อยกว่าในกองปุ๋ยหมัก

ปัจจัยต่างๆ ของสภาพแวดล้อมจะเป็นตัวควบคุมและคัดเลือกเชื้อราที่มีความสามารถในการดำรงกิจกรรมในกองปุ๋ยหมัก จากการศึกษาชนิดของเชื้อราในระยะต่างๆ ของการทำปุ๋ยหมัก พบว่าในระยะแรกซึ่งอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมักเพิ่มสูงขึ้นมักตรวจพบเชื้อราจำพวก

Geotrichum candidum และ *Aspergilus fumigates* และเมื่ออุณหภูมิสูงถึงระดับ 45-55 °C มักจะตรวจพบพวก *Cladosporism* sp., *Aspergillus* sp. และ *Mucor* sp. และเมื่ออุณหภูมิสูงกว่านี้อาจพบเชื้อราพวก Penicillium duponti ชนิดของเชื้อราในกองปุ๋ยหมักแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 จุลินทรีย์ชนิดต่างๆในกองหมัก

เชื้อรา		แบคทีเรีย	แอคติโนมัยซิส
อุณหภูมิสูง	อุณหภูมิต่ำ		
Aspergillus fumigatus	*Alternaria tennis*	*Achmobacter* sp.	*Micromonospora vulgaris*
Chaetomium	*Aspergillus amstelodami*	*Angiocooccus* sp.	*Nocardai brasilensis*
Humicola insolens	*Cephalosporium* sp.	*Bacillus subittis*	*Streptomyces therofuscus*
H. lanuginisa	*Cladosporium herbarum*	*G. stearothermophilus*	*S. thermophilus*
Mucor posillus	*Coprinus cinereus*	*Cellfacicula* sp.	*S. thermoviolaceus*
Penicillium duponti	*Geotrichum candidum*	*cellulomonas* sp.	*S. Thermovulgairs*
Sporotrichum thermophile	*Paecilomyces*	*Myxococcus virescens*	*Thermoactinomyces vulgaris*
Talaromyces thermophilis	*Scopularriopsis brevicatis*	*M. fulvus*	*Thermomonosphoracuvaria*
	Trichoderma viridae	*Polyangium* sp.	*T. fusca*
		Pseudomonas sp.	*Thermopolysporapolyspo-ra*
		Soranguim sp.	*Streptoporagium* sp.
		Sporocytophaya sp.	
		Thiolobacillus thiooxidans	
		T.denitrificans	

ที่มา :กรมพัฒนาที่ดิน (2537)

2.3.2 แอคติโนมัยซิส (Actinomycetes)

โดยทั่วไปเชื้อแอคติโนมัยซิสมีอัตราการเจริญช้ากว่าแบคทีเรีย และเชื้อรา จะเจริญเติบโตได้ไม่ดีเมื่ออยู่ในสภาพที่มีการถ่ายเทอากาศไม่เพียงพอ และเนื่องจากจุลินทรีย์พวกนี้ต้องการออกซิเจนในการเจริญเติบโต ลักษณะของแอคติโนมัยซิสเมื่อเจริญเป็นกลุ่มบนวัสดุที่ใช้ทำปุ๋ยหมักจะสังเกตเห็นได้โดยมีลักษณะเป็นจุดสีขาวคล้ายปุนขาวเกิดขึ้นเมื่ออุณหภูมิของกองวัสดุหมักมีค่าสูง

แอคติโนมัยซิสที่พบในกองปุ๋ยหมักได้แก่ *Steptomyces* sp., *Micromonospora* sp. (Gray, 1971) และ *Thermoactinomycetes* sp., *Thermonorspora* sp. (Finstein, 1986) ซึ่งสามารถผลิตเอนไซน์ย่อยสลายเซลลูโลสได้ดี ขณะที่ *Steptomycetes* sp. และ *Micromonospora* sp. เป็นแอคติโนมัยซิสที่จะย่อยสลายสารอินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักที่มีอุณหภูมิสูง ชนิดของแอคติโนมัยซิสในกองปุ๋ยหมักแสดงในตารางที่ 2.2

2.3.3 แบคทีเรีย (Bacteria)

จุลินทรีย์พวกนี้สามารถตรวจพบได้ในปริมาณมากกว่าจุลินทรีย์ชนิดอื่นเสมอ ปริมาณของแบคทีเรียจะแปรผันขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและวัสดุที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมัก โดยจะพบพวก *Pseudomonas* sp., *Achromobacter* sp., *Flavobacteria* sp., *Micrococous* sp. และ *Bacillus* sp. จะพบมากกว่าพวกอื่นๆ สามารถสร้างสปอร์ได้จะเพิ่มขึ้นมากตั้งแต่อุณหภูมิ 55 °C

บางครั้งอาจจะพบแบคทีเรียพวกหนึ่งที่สามารถทนต่อความร้อนได้สูงคือ Themus aquaticus ซึ่งเจริญเติบโตได้ในช่วงอุณหภูมิ 40-80 °C และเจริญได้ดีในช่วง 70 °C นอกจากนี้ Beffa และคณะ (1996) พบว่าเทอร์โมฟิลิคแบคทีเรียทั้งพวกใช้สารอินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน (Heterotrophic) และพวกที่ใช้สารอนินทรีย์เป็นแหล่งพลังงาน (Autotrophic) จะเจริญเติบโตได้ในช่วงอุณหภูมิ 60-80 °C ในระหว่างการหมักชนิดของแบคทีเรียที่พบมากได้แก่ *Thermus thermophilus* , *Thermos aquaticus* , *Bacillus schlegelii* ,*Hydrogenobacter* sp. และ *Heterotrophic Sporeforming Bacilli* ชนิดของแบคทีเรียในกองปุ๋ยหมักแสดงในตารางที่ 2.2

2.4 ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการหมักปุ๋ย

กระบวนการย่อยสลายในกองปุ๋ยหมัก เกิดขึ้นโดยกิจกรรมของจุลินทรีย์ดังนั้น สภาพแวดล้อมต่างๆ ภายในกองปุ๋ยหมักจึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการทำงานของจุลินทรีย์จึงมีความจำเป็นที่จะต้องควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่จำเป็นต่อการดำรงชีพของจุลินทรีย์เพื่อให้กระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ได้แก่ ปริมาณอากาศ อุณหภูมิ ขนาด ความชื้น อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน พีเอช ดังแสดงในตารางที่ 2.3

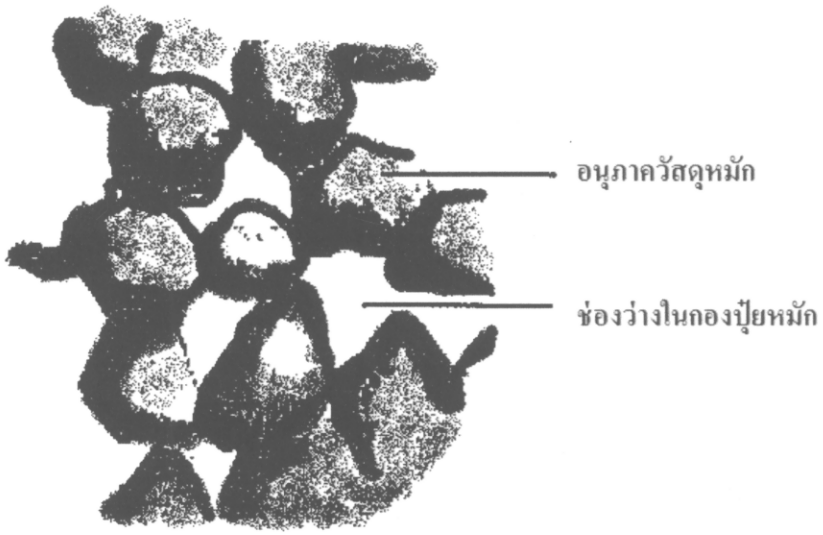
ตารางที่ 2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการหมักปุ๋ย

ปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการหมักปุ๋ย	ช่วงที่เหมาะสม	อ้างอิงผู้วิจัย
ปริมาณอากาศ	6 -284 มิลลิลิตร/กิโลกรัม-ชั่วโมง ,0.2-0.8 ลูกบาศก์เมตร/กิโลกรัม-ชั่วโมง	Rabbani และคณะ (1983), กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม(2548)
อุณหภูมิ	45-59 °C,50-55°C	Richard (1992), Miller(1992)
ขนาด	0.5-2.0 นิ้ว	Gray(1971), Dalzell และคณะ (1987), Gray และคณะ(1971), US.EPA (1999)
ความชื้น	ร้อยละ 55-65	Stentiford(1996), Polprasert(1989), Golueke(1972)
อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	25-50	Tchobanoglous และคณะ (1993), Shah(2000), Richard(1992), Haug(1980)
พีเอช	6.0-9.0	Miller(1992), Shah(2000), Gray (1971)

2.4.1 ปริมาณอากาศสำหรับการหมักปุ๋ย (Aeration)

การระบายอากาศในกองปุ๋ยหมักมีความจำเป็นมากสำหรับจุลินทรีย์ที่ต้องการอากาศโดยใช้ออกซิเจนเป็นตัวรับอิเล็คตรอนในระบบการหายใจของเซลล์ เพื่อการเจริญเติบโตและย่อยสลายวัสดุหมัก จากรายงานการวิจัยของ Rabbani และคณะ (1983) พบว่าปริมาณออกซิเจนในการหมักปุ๋ยมีค่าเท่ากับ 284 มิลลิลิตร/กิโลกรัมวัสดุหมัก-ชั่วโมง ในช่วงเริ่มแรกของกระบวนการหมักซึ่งวัสดุที่นำมาหมักยังมีลักษณะสดอยู่ และความต้องการออกซิเจนมีค่าลดลงเหลือเพียง 6 มิลลิลิตร/กิโลกรัม-ชั่วโมง ในขั้นสุดท้ายของการหมัก และกระบวนการหมักจะเข้าสู่สภาวะคงตัวภายในระยะเวลา 4 สัปดาห์ ปริมาณอากาศที่ต้องการสำหรับจุลินทรีย์ใช้ในการหมักจะขึ้นอยู่กับชนิดและขนาดของวัสดุหมัก (Stentiford, 1996) โดยในช่วงแรกของกระบวนการหมักจะมีความต้องการออกซิเจนสูงกว่าช่วงสภาวะคงตัวหรือช่วงที่ปุ๋ยหมักได้ที่แล้ว

สำหรับวัสดุหมักที่มีความชื้นสูงหรือมีขนาดเล็กจะมีผลให้วัสดุหมักอัดตัวกันแน่น ทำให้ช่องระบายอากาศ (รูปที่ 2.2) น้อยลงจึงต้องเพิ่มการระบายอากาศโดยการพลิกกลับกองวัสดุหมัก นอกจากนี้การพลิกกลับวัสดุหมักยังช่วยในการระเหยน้ำออกจากกองหมักเพื่อให้มีความชื้นที่เหมาะสมและช่วยควบคุมอุณหภูมิในกองปุ๋ยหมัก (Haug, 1993) และยังช่วยป้องกันกลิ่นเหม็นเนื่องจากสภาพแอนแอโรบิคซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อปริมาณออกซิเจนในกองปุ๋ยหมักมีค่าต่ำกว่า 15 % (Richard, 1992) ส่วนวิธีการเติมอากาศโดยใช้เครื่องเติมอากาศให้กับกองวัสดุหมักสามารถช่วยให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้เร็วขึ้น โดยไม่จำเป็นต้องมีการพลิกกลับกองวัสดุหมัก แต่ก็ไม่ควรเติมอากาศมากเกินไปเพราะทำให้สูญเสียความร้อนจากวัสดุหมัก มีผลทำให้จุลินทรีย์ที่เติบโตได้ดีที่อุณหภูมิสูงมีอัตราการเจริญเติบโตที่ลดลง



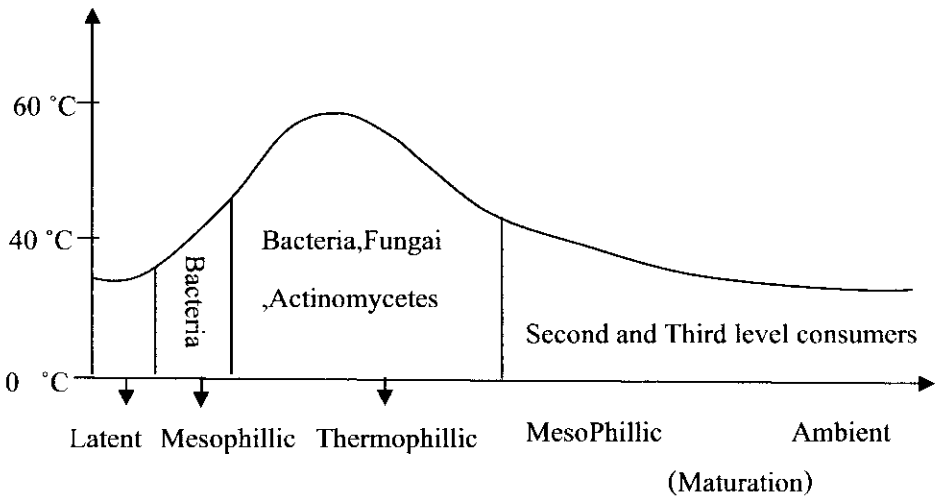
รูปที่ 2.2 ช่องว่างภายในกองวัสดุหมัก
(**ที่มา**: Diaz, 1993)

2.4.2 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยสำคัญในการควบคุมกระบวนการหมัก อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของการหมักเกิดจากความร้อนจากกระบวนการเมตาบอลิซึมของจุลลินทรีย์ และสภาพที่เป็นฉนวนของกองหมักเอง ด้วยความร้อนที่เกิดขึ้นจะช่วยย่อยสลายสารอินทรีย์ ซึ่งอุณหภูมิจะเป็นตัวกำหนดชนิดของจุลินทรีย์ และอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้น (Miller, 1992)

วัตถุประสงค์ของการควบคุมอุณหภูมิภายในกองหมักคือ เพื่อให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงสุด และเพื่อฆ่าเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์เมื่อนำปุ๋ยหมักมาใช้ประโยชน์ โดยอุณหภูมิ 35-40 °C เป็นช่วงที่มีความหลากหลายของจุลินทรีย์ อุณหภูมิ 45-55 °C ทำให้มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงสุด และหากอุณหภูมิสูงกว่า 55 °C จะสามารถฆ่าเชื้อโรคในกองหมักได้ (Stentiford, 1996) ดังนั้นช่วงอุณหภูมิที่มีความเหมาะสมจึงมีค่าประมาณ 45-59 °C (Richard, 1992)

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิภายในกองหมักเมื่อวัดที่กึ่งกลางของกองหมักสามารถแบ่งออกเป็น 4 ระยะดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในกระบวนการหมัก

(**ที่มา**: Polprasert, 1989)

2.4.2.1 ระยะปรับตัว (Latent Phase)

ในช่วงนี้เป็นระยะเริ่มต้นของการหมัก จุลินทรีย์จะต้องใช้ระยะเวลาหนึ่งในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อม จึงเป็นช่วงที่จุลินทรีย์เริ่มมีการแบ่งตัวเพื่อเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างช้าๆ โดยอุณหภูมิในช่วงนี้จะเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก

2.4.2.2 ระยะเมโซฟิลิค (Mesophilic Phase)

ในช่วงนี้จุลินทรีย์จะเพิ่มจำนวนมากขึ้นทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นสูง ส่งผลให้เกิดพลังงานความร้อนจากปฏิกิริยาการย่อยสลายของจุลินทรีย์ และยังมีผลจากการกองวัสดุหมักรวมกันทำหน้าที่เสมือนฉนวนป้องกันความร้อนให้กับกองปุ๋ยหมัก จึงทำให้กองวัสดุหมักมีอุณหภูมิที่สูงขึ้น โดยอุณหภูมิในช่วงเมโซฟิลิคมีค่าประมาณ 25-40°C ดังนั้นจุลินทรีย์หลักที่ทำหน้าที่ย่อยสลายสารอินทรีย์ในช่วงนี้คือ จุลินทรีย์ในกลุ่มเมโซฟิลิคแบคทีเรีย (Mesophilic Bacteria) ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะเป็นกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ ซึ่งจะส่งผลให้ค่าพีเอชของกองวัสดุหมักลดลง

2.4.2.3 ระยะเทอร์โมฟิลิค (Thermophilic phase)

อุณหภูมิของกองวัสดุหมักจะสูงขึ้นเรื่อยๆ จนมีค่าสูงกว่า 40 °C จุลินทรีย์ในกลุ่มเมโซฟิลิคจะค่อยๆตายลง การย่อยสลายสารอินทรีย์ในช่วงนี้โดยส่วนใหญ่จะเกิดจากจุลินทรีย์ในกลุ่มเทอร์โมฟิลิค (Thermophilic bacteria) ซึ่งสามารถทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิประมาณ 50-65 °C เมื่อระยะเวลาการหมักผ่านไปปริมาณสารอินทรีย์จะลดลงเนื่องมาจากการย่อยสลาย

ส่งผลให้พลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นจากการหมักจะน้อยกว่าการสูญเสียความร้อนของกองวัสดุหมักอุณหภูมิจึงค่อยๆ มีค่าลดลง

2.4.2.4 ระยะได้ที่ (Maturation Phase)

เมื่ออุณหภูมิของกองวัสดุหมักลดลงมาจนอยู่ในช่วงอุณหภูมิเมโซฟิลิค จุลินทรีย์ในกลุ่มเมโซฟิลิคก็จะเริ่มย่อยสลายสารอินทรีย์อีกครั้ง และอุณหภูมิจะลดลงมาเท่ากับอุณหภูมิของบรรยากาศโดยรอบ (Ambient Air Temperature) ในระยะนี้สารอินทรีย์โครงสร้างซับซ้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงโดยกระบวนการฮิวมิฟิเคชั่น (Humification) ไปเป็นฮิวมิกคอลลอยด์ (Humic Colloid) และเป็นฮิวมัสในที่สุด นอกจากนี้ยังเกิดปฏิกิริยาไนตริฟิเคชั่นซึ่งเปลี่ยนแอมโมเนียเป็นไนไตรทและไนเตรทด้วย

2.4.3 ขนาดของวัสดุหมัก

ขนาดของวัตถุดิบที่นำมาหมักทำปุ๋ยหมักมีความสำคัญเพราะว่าถ้าเริ่มต้นมีขนาดเล็กก็ช่วยให้การย่อยสลายเกิดขึ้นง่าย เนื่องจากเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสให้กับจุลินทรีย์ได้สัมผัสมากขึ้นเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ทั่วถึง แต่ถ้าวัสดุหมักมีขนาดเล็กเกินไปความพรุนก็จะลดลงเป็นเหตุให้ไปขัดขวางการระบายอากาศของกองวัสดุหมักได้ จึงต้องนำมาผสมกับวัสดุเพิ่มความพรุน (Bulking Agent) เช่น ใบไม้แห้ง ขี้เลื่อย เพราะว่าในช่วงเทอร์โมฟิลิคเป็นช่วงที่มีความต้องการออกซิเจนอย่างมาก

Gray และคณะ (1971) กล่าวว่าขนาดของวัสดุหมักสำหรับการหมักโดยทั่วไปอยู่ในช่วง 0.5-2.0 นิ้ว ส่วน Lohani และคณะ (1984) กล่าวว่าค่าที่เหมาะสมของวัสดุหมักสำหรับการหมักแบบที่มีการเติมอากาศโดยเครื่องเติมอากาศคือ 0.5-1.5 นิ้ว และสำหรับการหมักแบบวินด์โรว์ที่มีการเติมอากาศแบบธรรมชาติคือ 1.5-3.0 นิ้ว

2.4.4 ความชื้น (Moisture)

ความชื้นเป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำในกองหมัก น้ำจะถูกใช้โดยจุลินทรีย์ในกระบวนการดูดซึมอาหารและกระบวนการขับถ่ายของเสีย ดังนั้นความชื้นของวัสดุหมักเริ่มต้นควรอยู่ระหว่างร้อยละ 50-65 จึงจะทำให้กระบวนการหมักดำเนินไปด้วยดี แต่ถ้าความชื้นของวัสดุหมักสูงกว่าร้อยละ 65 วัสดุหมักจะถูกอัดแน่นและลดช่องว่างที่ใช้ระบายอากาศในกองปุ๋ย ซึ่งจะทำให้เกิดสภาพการหมักแบบไร้อากาศขึ้นในกองวัสดุหมัก (Rynk และคณะ, 1992) หากค่าความชื้นมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 40-45 จะทำให้สารอาหารต่างๆที่จุลินทรีย์ต้องการไม่สามารถละลายน้ำและถูกดูดซึม

ไปใช้ได้ ในขณะที่ค่าต่ำสุดที่จะยับยั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์คือค่าความชื้นร้อยละ 30-35 (Haug, 1980)

Golueke (1972) กล่าวว่าในทางปฏิบัติค่าความชื้นที่เหมาะสมในการหมักคือร้อยละ 50 -70 แต่ถ้าเป็นการหมักแบบวินด์โรว์ค่าดังกล่าวอาจต่ำกว่านี้ได้ ขณะเดียวกันถ้าการหมักเป็นระบบที่เติมอากาศด้วยเครื่องเติมอากาศก็อาจยอมให้ค่านี้สูงกว่าช่วงดังกล่าวได้ ดังนั้นค่าความชื้นที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมักจึงมีค่าระหว่างร้อยละ 55-65 (Stentiford, 1996)

การตรวจสอบความชื้นของกองปุ๋ย สามารถทำได้โดยใช้มือบีบเศษวัสดุจากกองปุ๋ย ถ้าเศษวัสดุจับเป็นก้อนมีน้ำไหลออกมาเล็กน้อยแสดงว่าความชื้นเหมาะสม แต่ถ้าเศษวัสดุแห้งแตกเป็นชิ้นควรรดน้ำเพื่อเพิ่มความชื้น (มุกดา, 2543)

2.4.5 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุหมัก

การทำปุ๋ยหมักมักจะพิจารณาถึงค่าอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของวัสดุหมัก เนื่องจากปริมาณคาร์บอนและไนโตรเจนเป็นสารที่สำคัญและเป็นสารที่มีผลต่อการจำกัดอัตราการย่อยสลายของจุลินทรีย์ (Richard, 1992) โดยจุลินทรีย์ต้องใช้คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงานและไนโตรเจนในการสังเคราะห์โปรตีนเพื่อสร้างส่วนประกอบของเซลล์ โดยปกติเซลล์ของจุลินทรีย์มีค่า C/N ratio ประมาณ 10-15 ซึ่งหมายความว่าการที่จุลินทรีย์นำเอาสารอินทรีย์คาร์บอนเข้าไปในเซลล์ 10-15 หน่วย จำเป็นต้องนำเอาสารประกอบไนโตรเจนเข้าไปด้วย 1 หน่วย จึงจะทำให้เกิดความสมดุลของสารประกอบทั้งสองในเซลล์และจุลินทรีย์สามารถเจริญเติบโตได้ดี ส่วนโพแทสเซียมและฟอสฟอรัสเป็นแร่ธาตุที่สำคัญในกระบวนการเมตาบอลิซึม

ในการผลิตปุ๋ยหมักถ้าวัสดุหมักมีปริมาณไนโตรเจนไม่เพียงพอหรือ C/N ratio สูง อัตราการย่อยสลายจะต่ำเพราะจุลินทรีย์ขาดแคลนไนโตรเจนสำหรับการเจริญเติบโต ดังนั้นการเติมไนโตรเจนลงไปก็เพื่อปรับค่า C/N ratio ให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมสำหรับให้จุลินทรีย์นำไปใช้สร้างเซลล์หากวัสดุหมักมีค่า C/N ratio ต่ำการเจริญเติบโตและการย่อยสลายของจุลินทรีย์ก็จะเป็นไปอย่างรวดเร็วจนอาจทำให้เกิดสภาพแอนแอโรบิคได้ หากมีการเติมอากาศให้กับกองปุ๋ยหมักไม่เพียงพอ นอกจากนี้ปริมาณไนโตรเจนที่มากเกินไปจะถูกเปลี่ยนเป็นก๊าซแอมโมเนียซึ่งเป็นพิษต่อจุลินทรีย์ (Haug, 1980)

จากการศึกษาของ Shah (2000) กล่าวว่าอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนกับไนโตรเจนเริ่มต้นที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการย่อยสลายโดยทั่วไปควรมีค่าอยู่ในช่วง 20-40 และอาจมีค่าสูงถึง 25-70 สำหรับกรณีที่นำวัสดุหมักที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรมาเป็นวัสดุหมักร่วม

เนื่องจากวัสดุเหล่านี้ประกอบไปด้วยส่วนที่ย่อยสลายยากสูง เช่น เซลลูโลส ลิกนิน (พูนศักดิ์, 2541) อย่างไรก็ตาม ค่า C/N ratio ที่เหมาะสมที่นิยมใช้กันทั่วไปสำหรับวัสดุหมักที่เป็นสารอินทรีย์ค่าอยู่ในช่วง 25-50 (Tchobanoglous และคณะ, 1993)

2.4.6 ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชหรือค่าความเป็นกรดเป็นด่างเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ใช้ประเมินกิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ และการได้ที่ของวัสดุหมัก โดยค่าพีเอชคือค่าที่บ่งบอกถึงความเข้มข้นของไฮโดรเจนอิออน (H^+) ที่แสดงถึงความเป็นกรดเป็นด่างซึ่งโดยทั่วไปแล้วกระบวนการหมักจะเกิดได้ดีเมื่อพีเอชมีค่า 6.0-9.0 (Miller, 1992) เนื่องจากกระบวนการหมักเป็นกระบวนการที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ทำให้ค่าพีเอชเป็นกรดและก๊าซแอมโมเนียทำให้ค่าพีเอชเป็นด่างเกิดขึ้น จึงทำให้ได้ค่าพีเอชที่เป็นกลาง ด้วยเหตุนี้การปรับค่าพีเอชวัสดุหมักเมื่อเริ่มต้นหมักจึงไม่มีความจำเป็น ยกเว้นกรณีที่วัสดุหมักมีค่าพีเอชสูงหรือต่ำเกินไปจนส่งผลกระทบต่อกระบวนการหมักจึงต้องปรับค่าพีเอชให้อยู่ในช่วงที่เป็นกลางก่อนก่อนทำการหมัก (Haug, 1993)

ในทางปฏิบัติค่าพีเอชมิได้ใช้เป็นตัวควบคุมกระบวนการหมัก แต่ช่วยให้ผู้ปฏิบัติทราบถึงการเปลี่ยนแปลงในช่วงต่างๆของกระบวนการหมัก ทำให้ทราบความเป็นไปของระบบที่ดำเนินการอยู่

2.5 รูปแบบการหมัก

รูปแบบการหมักสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบ คือการหมักโดยไม่ใช้ถังปฏิกิริยา (Nonreactor Process) และการหมักในถังปฏิกิริยา (Reactor Process)

การเปรียบเทียบรูปแบบการหมักด้วยวิธีที่ต่างกันนั้น ได้แสดงตามตารางที่ 2.4 ซึ่งจะแสดงข้อดีและข้อด้อยของแต่ละวิธี

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบรูปแบบการหมักด้วยวิธีการหมักแบบเติมอากาศ

รายการ	Nonreactor Process		Reactor Process	
	Windrow	**Aerate Static Pile**	**Agitated (Dynamic)**	**No-Agitated (Plugflow)**
1. ค่าลงทุนก่อสร้าง	ต่ำ	ต่ำถ้าเป็นระบบเล็ก และจะสูงขึ้นเมื่อระบบใหญ่ขึ้น	สูง	สูง
2. ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน	ต่ำ	สูง (ถ้ามีการใช้วัสดุเสริมเส้นใยเพื่อเพิ่มความพรุน)	ต่ำ	ต่ำ
3. พื้นที่ ที่ต้องการ	มาก	มาก	น้อยแต่จะต้องการมากขึ้นถ้ามีการบ่มต่อ	น้อยแต่จะต้องการมากขึ้นถ้ามีการบ่มต่อ
4. ปริมาณอากาศ	มีจำกัดถ้าไม่ใช้การเติมอากาศจากเครื่องเติมอากาศ	พอเพียง	พอเพียง	พอเพียง
5. การควบคุมการทำงาน	ขึ้นอยู่กับความถี่ในการพลิกและวัสดุเสริมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต	อัตราการเติมอากาศ	อัตราการเติมอากาศ การผสมและวัสดุเสริมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต	อัตราการเติมอากาศ การผสมและวัสดุเสริมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต
6. สภาพอากาศ	มีผลสูงมากหากไม่ทำการหมักในที่ร่ม	ใช้ได้ดีในสภาพอากาศเย็นและชื้น	ใช้ได้ดีในสภาพอากาศที่เย็นและชื้น	ใช้ได้ดีในสภาพอากาศที่เย็นและเย็นและชื้น
7. การควบคุมกลิ่น	ขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่และการจัดเก็บวัตถุดิบ	อาจมีปัญหาเรื่องการใช้พื้นที่มากแต่ควบคุมได้	ควบคุมได้ดี	ควบคุมได้ดี
8. ปัญหาหลัก	สภาพภูมิอากาศ	การควบคุมอัตราการเติมอากาศ	ความซับซ้อนของเครื่องมือ	ความซับซ้อนของเครื่องมือ

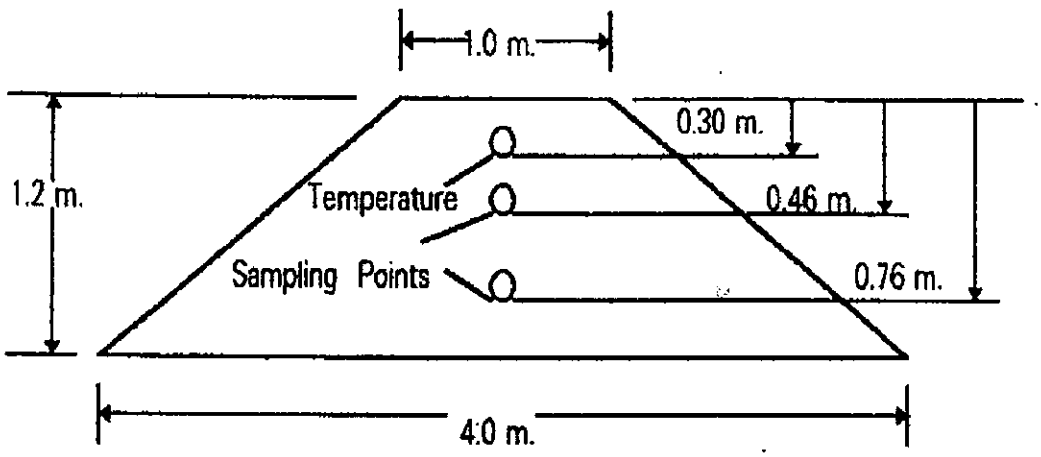
ที่มา : Tchobanoglous และคณะ (1993)

2.5.1 การหมักโดยไม่ใช้ถังปฏิกิริยา (Nonreactor Process)

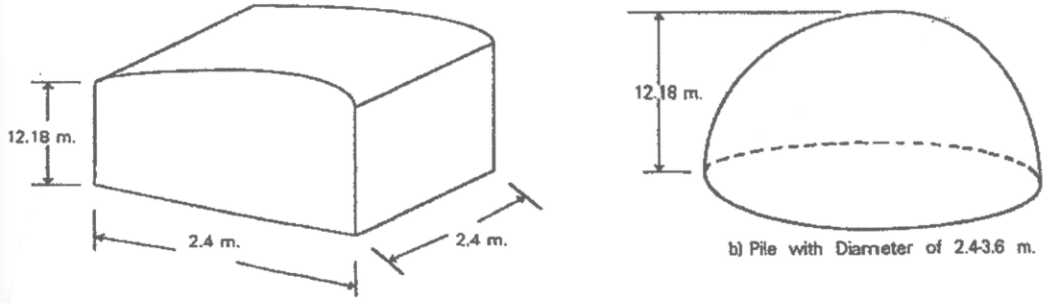
การหมักแบบนี้เป็นการนำวัสดุหมักมาวางทิ้งไว้ให้เกิดการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ซึ่งจะมีการเติมอากาศด้วยเครื่องเติมอากาศหรือไม่ใช้ก็ได้ การหมักแบบนี้มีทั้งที่มีการพลิกกลับและไม่พลิกกลับกองปุ๋ย ซึ่งการพลิกกลับจะช่วยคลุกเคล้าวัสดุหมักให้เข้ากันดีขึ้น เกิดการถ่ายเทอากาศ และยังช่วยให้เกิดการย่อยสลายได้ทั่วถึง การหมักแบบไม่ใช้ถังปฏิกิริยาแบ่งเป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

2.5.1.1 การหมักแบบวินด์โรว์ (Windrow)

เป็นรูปแบบการหมักที่ไม่ใช้ถังปฏิกิริยาเป็นการหมักที่นิยมมากที่สุดเนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถทำได้ง่ายและไม่ยุ่งยากซับซ้อน เพียงแต่ผสมวัสดุหมักให้เข้ากันแล้ววางกองไว้ทำการพลิกกลับวัสดุหมักในช่วงเวลาที่เหมาะสมประมาณ 2-3 ครั้งต่อสัปดาห์ (Hay และ Kucherither, 1990) วิธีการนี้จะมีการเติมอากาศจากเครื่องเติมอากาศหรือไม่ก็ได้ การพลิกกลับกองวัสดุหมักนั้นสามารถทำได้โดยใช้แรงงานคนถ้ากองวัสดุหมักมีขนาดไม่ใหญ่มากนัก ส่วนขนาดความสูง ความกว้างของวัสดุหมักที่ทำการหมักแบบวินด์โรว์แสดงดังรูปที่ 2.4 และรูปที่ 2.5 แสดงกองปุ๋ยหมักที่ถูกออกแบบในรูปแบบต่างๆ (Rabbani และคณะ, 1983)



รูปที่ 2.4 สัดส่วนของกองปุ๋ยหมักแบบ Windrow

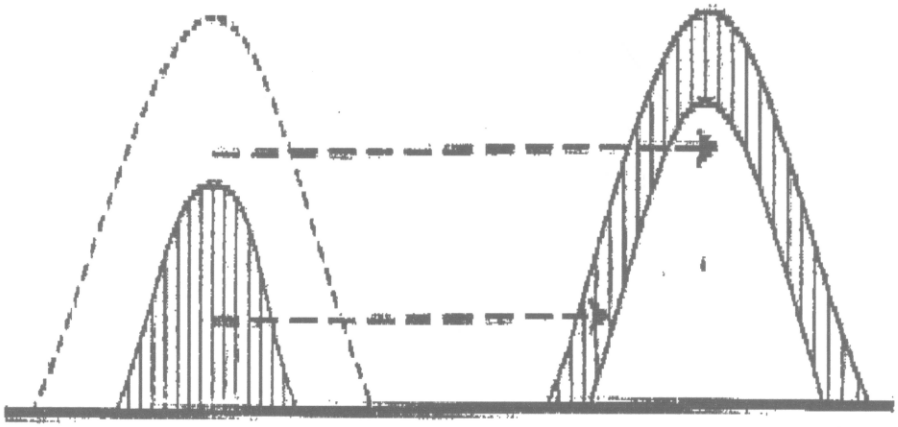


รูปที่ 2.5 กองปุ๋ยแบบแบนและกลม เพื่อเหมาะสมในการใช้งานในสภาวะอากาศต่างๆ

กรณีที่กองวัสดุหมักมีขนาดใหญ่หรือมีปริมาณมากควรใช้เครื่องจักรเข้าช่วยในการกลับกองดังแสดงในรูปที่ 2.6 เพื่อให้เกิดความรวดเร็วในการทำงานและช่วยประหยัดแรงงานคน และผลที่ได้จากการพลิกกลับดังแสดงในรูปที่ 2.7 จะเห็นได้ว่าวัสดุหมักที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายจากภายในกองหมักจะถูกสลับออกมาบริเวณผิวของกองหมักและวัสดุที่ยังไม่ผ่านกระบวนการย่อยสลายจะเคลื่อนตัวเข้าสู่ใจกลางกองหมักเพื่อทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่อไป (Diaz, 1993)

รูปที่ 2.6 การพลิกลับกองปุ๋ยหมักแบบ Windrow โดยใช้เครื่องจักรกล

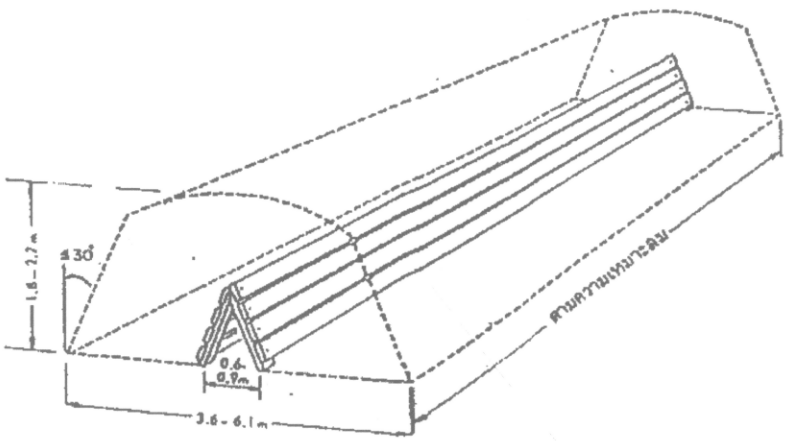
(**ที่มา** : http://pubs.ext.vt.edu/452/452-230/L_IMG_Tractor.jpg)



รูปที่ 2.7 ผลการพลิกกลับโดยใช้เครื่องจักรกล

(**ที่มา** : Diaz, 1993)

นอกจากนี้ยังสามารถเจาะช่องระบายอากาศไว้ใต้กองปุ๋ยหมักได้ดังแสดงในรูปที่ 2.8 เพื่อให้มีการระบายอากาศให้กับวัสดุหมัก ส่วนรูปร่างของกองวัสดุหมักที่ทำการหมักแบบวินด์โรว์นั้นขึ้นอยู่กับสภาพของวัสดุหมักและอุปกรณ์ในการพลิกกลับวัสดุหมัก



รูปที่ 2.8 กองปุ๋ยหมักแบบ Windrow ที่มีการเจาะช่องระบายอากาศ

(**ที่มา** : กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

2.5.1.2 การหมักปุ๋ยแบบกองสถิตย์ (Static)

การหมักด้วยวิธีนี้จะไม่มีการพลิกลับกองวัสดุหมัก มักใช้วัสดุที่มีลักษณะค่อนข้างเปียกในการหมัก เช่น กากตะกอนจากน้ำเสียผสมกับวัสดุปรับสภาพเช่น ใบไม้แห้ง ขี้เลื่อย เพื่อดูดซับความชื้นที่มีมากเกินไป และช่วยปรับปรุงโครงสร้างของวัสดุให้มีความพรุนสูงขึ้น การแพร่ผ่านของอากาศเข้าสู่กองวัสดุหมักจะขึ้นอยู่กับการส่งผ่านรูพรุนอากาศ และจากการเติมอากาศโดยเครื่องเติมอากาศเท่านั้น การที่ไม่มีการพลิกกลับกองวัสดุหมักทำให้ต้องย่อยขนาดของวัสดุหมักให้เล็กลงเพื่อช่วยให้มีพื้นที่สัมผัสจุลินทรีย์มากขึ้น การย่อยสลายสารอินทรีย์จึงจะเกิดได้ดี การเติมอากาศเข้าไปนอกจากจะทำให้เกิดการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนแล้วยังเป็นการควบคุมอุณหภูมิภายในกองหมักวัสดุด้วยอัตราการเติมอากาศขึ้นอยู่กับคุณสมบัติวัสดุหมักและขนาดของกองวัสดุหมัก นอกจากนี้อาจมีการตั้งเวลาปิดและเปิดเครื่องเติมอากาศแบบอัตโนมัติและมีการวัดอุณหภูมิในกองวัสดุหมักจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงการเติมอากาศครั้งต่อไป

วิธีการเติมอากาศแบบนี้จะเสียค่าใช้จ่ายและใช้พื้นที่น้อย ถึงแม้ว่าในตอนแรกจะเสียค่าใช้จ่ายสูงแต่ในระยะเวลายาวจะคุ้มทุนเพราะสามารถใช้พื้นที่ได้อย่างคุ้มค่า สามารถกองปุ๋ยได้สูง ใช้บุคลากรในการดำเนินการน้อย ดังแสดงในรูปที่ 2.9 กองปุ๋ยแบบ Static pile

Tchobanoglous และคณะ (1993) กล่าวว่าขนาดของกองวัสดุหมักที่เหมาะสมในระบบนี้คือสูง 2.0-2.5 เมตร ใช้เวลาในการหมัก 3-4 สัปดาห์ แล้วจึงนำไปบ่มต่ออีกอย่างน้อย 4 สัปดาห์

รูปที่ 2.9 กองหมักแบบใช้เครื่องเติมอากาศ (Aerated Static Pile)

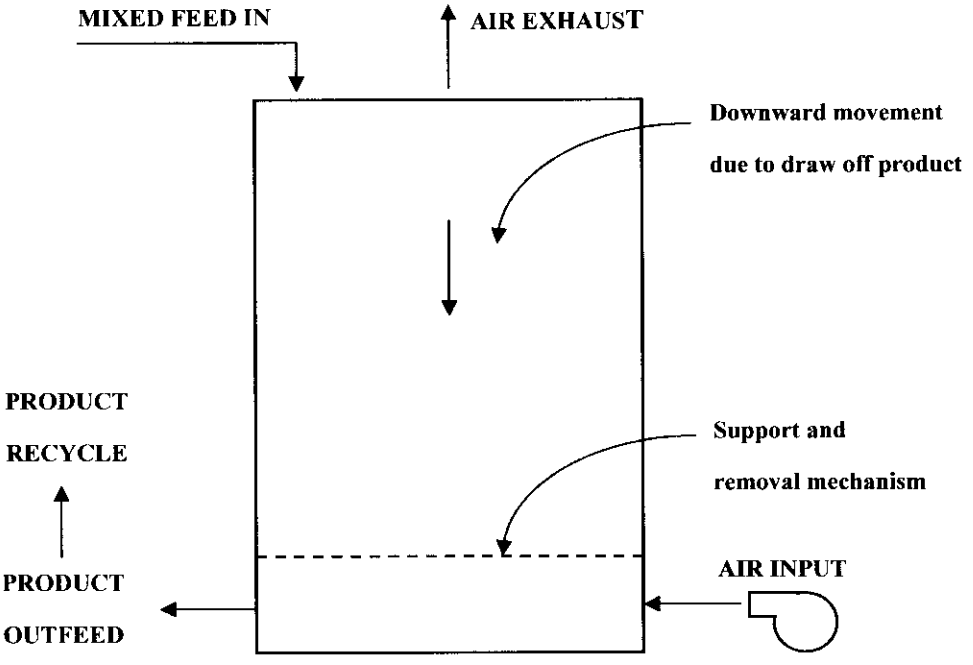
(**ที่มา**: http://wrrc.p2pays.org/images/Compos4.jpg)

2.5.2 การหมักในถังปฏิกิริยา

ระบบการหมักนี้จะทำการหมักโดยนำวัสดุหมักมาใส่ในถังปฏิกิริยาซึ่งมีการควบคุมสภาพแวดล้อมให้เหมาะสมกับการหมัก เช่น การเติมอากาศแบบเส้นท่อโดยใช้เครื่องเติมอากาศ ข้อดีของการหมักในถังปฏิกิริยาคือกระบวนการหมักเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจึงใช้เวลาน้อย เหมาะกับบริเวณที่มีข้อจำกัดทางพื้นที่เพราะเป็นวิธีการหมักที่ใช้พื้นที่น้อย สามารถแบ่งเป็น 3 แบบ ตามลักษณะการเคลื่อนที่ของวัสดุหมักคือ

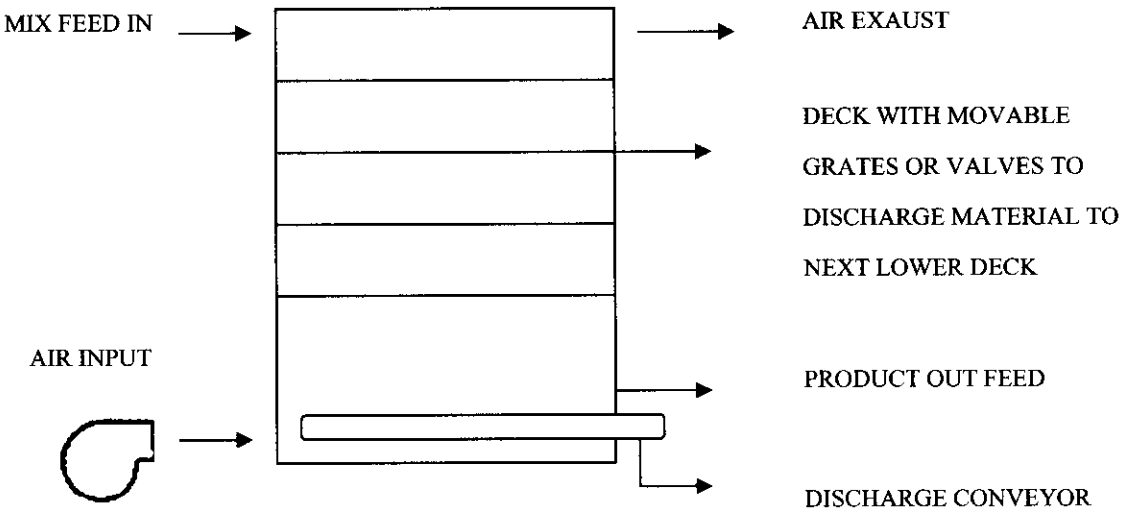
2.5.2.1 ถังปฏิกิริยาเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (Vertical flow reactor)

ถังปฏิกิริยาแบบนี้วัสดุหมักจะเคลื่อนที่ในแนวตั้งจากบนลงล่างหรือด้านล่างสู่บน การใส่วัสดุหมักสามารถใส่ได้ทั้งการใส่แบบต่อเนื่อง และเป็นครั้งคราว รูปแบบถังปฏิกิริยามีทั้งแบบกลม และแบบเหลี่ยม ความลึกของวัสดุหมักในถังปฏิกิริยานั้นมักใช้ระหว่าง 6-9 เมตร อาจมีการออกแบบให้มีอุปกรณ์สำหรับกวนผสมหรือเครื่องเติมอากาศด้วยก็ได้ดังแสดงในรูปที่ 2.10 - 2.11



รูปที่ 2.10 ถังปฏิกิริยาแนวตั้ง

(**ที่มา** : Haug, 1993)

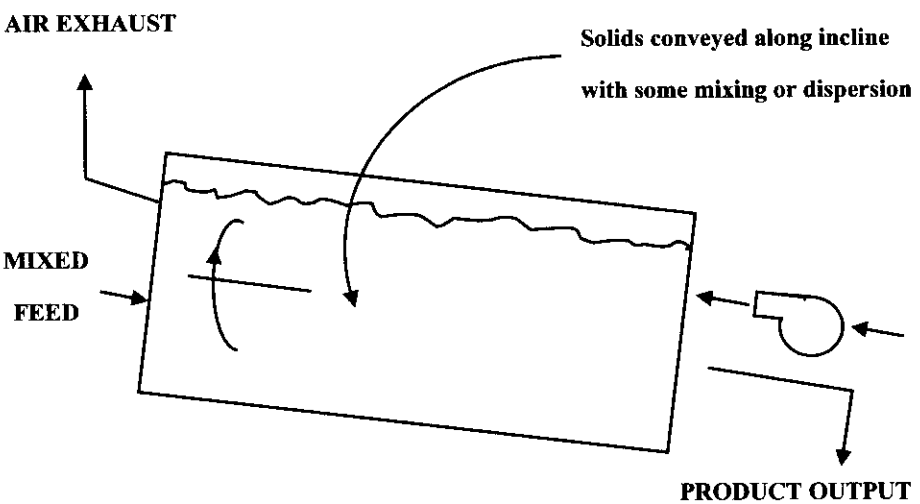


รูปที่ 2.11 ถังปฏิกิริยาแนวตั้งแบบมีชั้นรองรับวัสดุหมัก

(**ที่มา** : Haug, 1993)

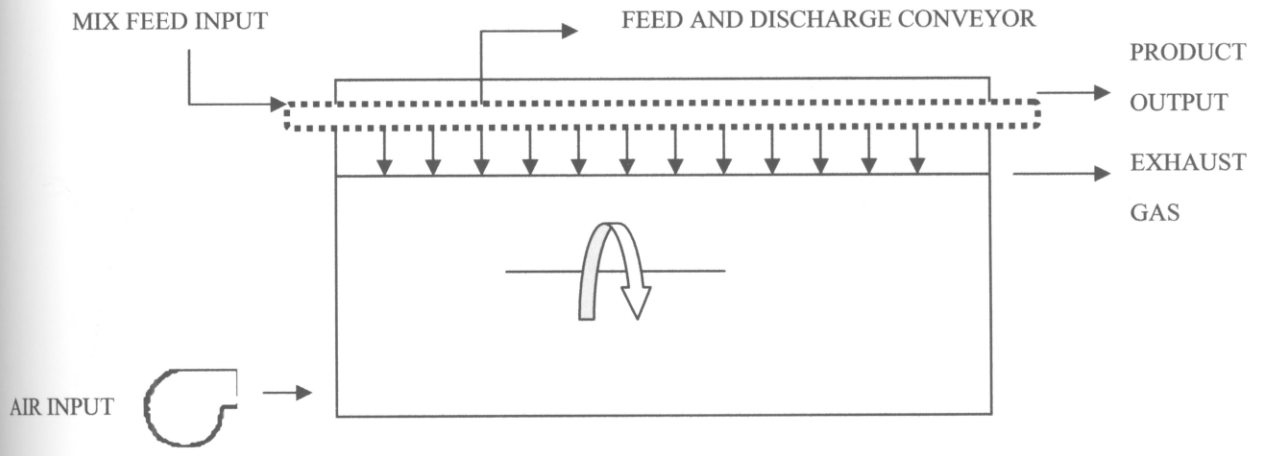
2.5.2.2 ถังปฏิกิริยาเคลื่อนที่ในแนวนอน (Horizontal flow reactor)

วัสดุหมักภายในถังปฏิกิริยาจะเคลื่อนที่ในแนวนอน ถังปฏิกิริยาแนวนอนที่นิยมใช้กันมากคือ ถังหมุน (Rotary Drum) ภายในอาจมีเครื่องเติมอากาศโดยถังปฏิกิริยาจะหมุนอย่างช้าๆ รูปแบบถังหมักแสดงในรูปที่ 2.12 - 2.13



รูปที่ 2.12 ถังปฏิกิริยาแบบวางวางเอียง

(**ที่มา** : Haug, 1993)

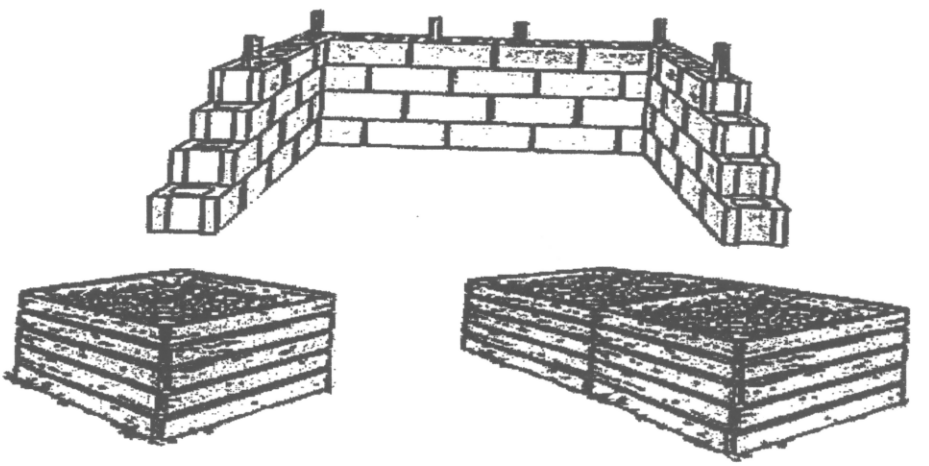


รูปที่ 2.13 ถังปฏิกิริยาแนวนอน

(**ที่มา**: Haug, 1993)

2.5.2.3 ถังปฏิกิริยาที่วัสดุหมักไม่มีการเคลื่อนที่ (Non flow reactor)

การหมักชนิดนี้จะเป็นแบบ Batch ซึ่งมักใช้ภาชนะเป็นรูปกล่องถังปฏิกิริยา วัตถุดิบจะถูกป้อนเข้าในถังตั้งแต่เริ่มต้น หลังจากนั้นใช้เวลาในถังปฏิกิริยา 7-14 วัน ก็จะสิ้นสุดการหมัก รูปแบบถังหมักแสดงในรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.14 ถังปฏิกิริยาที่วัสดุหมักไม่มีการเคลื่อนที่ (Non-flow reactor)

(**ที่มา**: Haug, 1993)

2.5.3 การหมักที่บ้าน (Home Composting)

บ้านเรือนหรือชุมชนที่ผลิตมูลฝอยไม่เกิน 1 ตันต่อสัปดาห์ สามารถนำมูลฝอยที่เกิดขึ้นกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ด้วยวิธีการนำมาหมักทำปุ๋ย เป็นการช่วยลดปริมาณมูลฝอยอินทรีย์ เศษกิ่งไม้ และใบไม้แห้งจากบ้านเรือนหรือชุมชน ลดปริมาณมูลฝอยที่ต้องนำไปทิ้งที่หลุมฝังกลบ และยังสามารถนำปุ๋ยหมักที่ได้กลับมาใช้บำรุงดิน (กรมควบคุมมลพิษ, 2547) ในขั้นตอนการหมักนั้นอาจจะประยุกต์การหมักมูลฝอยอินทรีย์ ในถังหมักตามที่ได้กล่าวไว้ในข้อ 2.5.2 ซึ่งการเลือกใช้ถังหมักจะขึ้นอยู่กับปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นของแต่ละบ้านเรือนหรือชุมชน ขนาดของพื้นที่ ความสะดวกในการใช้งาน และค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

2.6 การประเมินการได้ที่ของปุ๋ยหมัก

การได้ที่ของปุ๋ยหมัก (Compost stability or Compost Maturity) มีความสำคัญต่อการนำปุ๋ยหมักไปใช้งานเนื่องจากปุ๋ยหมักที่ไม่ได้ที่จะทำให้เกิดผลกระทบต่างๆต่อดินและพืช เช่น ทำให้ความเข้มข้นของออกซิเจนและค่าความต่างศักย์ของเซลล์ (Eh) ของดินลดลง นำไปสู่สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมโดยลดการหายใจของราก การดูดซึมอาหาร และอัตราการเมตาบอลิซึมของพืช (Jemenez และ Garcia, 1989)

การประเมินการได้ที่ของปุ๋ยหมักสามารถใช้วิธีการทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.6.1 การประเมินการได้ที่โดยวิธีทางกายภาพ

มีปัจจัยการพิจารณาดังนี้คือ

2.6.1.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิในกองวัสดุหมักจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2-3 วันแรกของการหมักและรักษาระดับที่ 60-70 °C เป็นเวลาหลายวัน จากนั้นอุณหภูมิจะค่อยๆลดลงจนคงที่และไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อพลิกกลับกองวัสดุหมักนั้นแสดงถึงการได้ที่ของวัสดุหมัก (Jemenez และ Garcia, 1989) โดยการลดลงของอุณหภูมินั้นต้องไม่ใช่เนื่องมาจากการตายของจุลินทรีย์ เนื่องมาจากการขาดออกซิเจน ความชื้นต่ำหรือการขาดลักษณะที่เป็นฉนวนกันความร้อนของวัสดุหมัก (Haug, 1993)

2.6.1.2 กลิ่น

เป็นปัจจัยการได้ที่ที่สามารถสังเกตได้ง่ายและไม่ยุ่งยากนัก เมื่อกองวัสดุหมักได้ที่แล้วจะไม่มีกลิ่นเหม็นหรือฉุนเหมือนเมื่อเริ่มหมักในครั้งแรก แม้จะได้มีการพลิกกลับกองวัสดุหมักก็ตาม ถ้ายังมีกลิ่นฉุนแสดงว่าปุ๋ยหมักยังใช้ไม่ได้ เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ยังดำเนินอยู่ (ทิพวรรณ, 2542)

ส่วนประกอบหลักที่ให้เกิดกลิ่นของขยะชุมชนคือกรดอินทรีย์ระเหยง่าย โดยกรดอินทรีย์ดังกล่าวจะลดลงในระหว่างการหมักโดยเฉพาะในช่วงสุดท้ายของการหมัก นอกจากนี้กรดอื่นๆที่พบในขยะชุมชน คือ กรดอะซิติก กรดบิวธิริก กรดวาเลอริกและกรดคาโพรอิก (Chayasak, 1982)

2.6.1.3 สี

สีของปุ๋ยหมักจะเริ่มเข้มกว่าเมื่อตอนเริ่มหมักคือ จะมีสีเป็นสีดำ สีน้ำตาลเข้มหรือสีน้ำตาลปนดำ (Jemenez และ Garcia, 1989) และอาจมีจุดสีขาวหรือสีเทาปนอยู่ในกองปุ๋ยหมักเนื่องจากมีแอคติโนมัยซิสเจริญเติบโตอยู่ (Polprasert, 1989)

2.6.2 การประเมินการได้ที่โดยวิธีทางเคมี

ปัจจัยที่ใช้ในการประเมินการได้ที่ทางเคมีมีดังนี้คือ

2.6.2.1 ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

ค่า C/N ratio สามารถใช้เป็นปัจจัยชี้การได้ที่ของปุ๋ยหมักได้โดยปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้วจะมีค่า C/N ratio ประมาณ 5-20 ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่นำมาหมัก (Hirai, 1983) ในบางกรณีก็อาจมีค่าที่แตกต่างไปจากนี้บ้างเนื่องจากมีสารอินทรีย์คาร์บอนบางส่วนอยู่ในรูปที่ย่อยสลายยาก เช่น ลิกนิน แต่ค่า C/N ratio ก็ไม่ควรเกิน 20 ซึ่งยังถือว่าเป็นค่าที่ยอมรับได้

2.6.2.2 พีเอช (pH)

ในช่วงแรกของการหมักค่าพีเอชลดลงเล็กน้อยจนถึงค่าประมาณ 5 และต่อมาก็จะเพิ่มขึ้นเมื่อวัสดุหมักถูกย่อยสลายและเริ่มมีเสถียรภาพ จนในที่สุดค่าพีเอชก็รักษาระดับอยู่ในช่วง 7-8.5 ตลอดสิ้นสุดกระบวนการหมัก (Gray และคณะ, 1971) ดังนั้นหากค่าพีเอชของกองวัสดุหมักมีค่าเป็นกรดแสดงว่าการหมักยังไม่ได้ที่

2.6.2.3 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนอิออนบวก (CEC)

สารอินทรีย์เมื่อถูกย่อยสลายแล้วจะมีอิออนลบเป็นส่วนใหญ่และมีผิวสัมผัสสูง เมื่อปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้วเติมลงไปในดินจะช่วยให้ดินมีความสามารถในการดูดซับธาตุอาหารได้สูง เนื่องจากเป็นการเพิ่มความสามารถในการแลกเปลี่ยนอิออนบวก (CEC, Cation Exchange Capacity) ให้กับดิน และยังเป็นแหล่งสะสมธาตุอาหารที่พืชต้องการและยึดเหนี่ยวไว้ไม่ให้ธาตุอาหารถูกชะล้างไปกับน้ำ นอกจากนี้ถ้าใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีจะช่วยดูดซับธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมี ลดการสูญเสียธาตุอาหาร

โดยปกติปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้วจะมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนอิออนบวก (CEC) ไม่ควรต่ำกว่า 60 meq/100g (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

2.6.3 การประเมินการได้ที่โดยวิธีทางชีวภาพ

การประเมินการได้ที่โดยวิธีการทางชีวภาพนั้นทำได้โดยการพิจารณาค่าดัชนีการงอกของเมล็ด (Germination Index) โดยค่าดัชนีการงอกของเมล็ดเครส (Lepidium Satiuum L.) ต้องมีค่ามากกว่าร้อยละ 50 จึงจะยอมรับว่าปุ๋ยหมักได้ที่ และไม่ขัดขวางการงอกของเมล็ดพืช (Zucconi, 1981)

2.7 เชื้อโรคในปุ๋ยหมัก

สิ่งที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึงเมื่อนำปุ๋ยหมักมาใช้ประโยชน์คือ ความเสี่ยงในการแพร่กระจายของเชื้อโรคในปุ๋ยหมักซึ่งทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ แม้ว่าในระหว่างกระบวนการหมักอุณหภูมิภายในกองหมักอาจสูงเพียงพอต่อการฆ่าเชื้อโรค แต่ก็อาจจะมีเชื้อโรคบางส่วนสามารถมีชีวิตอยู่ได้โดยเฉพาะที่ผิวของกองหมักจะมีอุณหภูมิต่ำกว่าภายในกองหมัก

เชื้อโรคในปุ๋ยหมักแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ เชื้อโรคที่มาจากวัสดุหมักหรือเชื้อโรคปฐมภูมิ (Primary Pathogens) และเชื้อโรคที่มาจากจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตบนปุ๋ยหมักหรือเชื้อโรคทุติยภูมิ (Secondary Pathogens) ดังแสดงในตารางที่ 2.5 (Polprasert, 1989)

ตารางที่ 2.5 ตัวอย่างเชื้อโรคที่พบในการทำปุ๋ยหมักจากตะกอนน้ำเสีย

กลุ่มเชื้อโรค	ตัวอย่างเชื้อโรค	โรคที่เกิดขึ้น
เชื้อโรคปฐมภูมิ (Primary Pathogen)		
Bactria	Salmonella enteritidis	อาหารเป็นพิษ
Protozoa	Entamoeba histolytica	ท้องร่วงรุนแรง
Helminths	Ascaris lumbricoides	โรคพยาธิลำไส้
Viruses	Hepatitis virus	โรคดีซ่าน
เชื้อโรคทุติยภูมิ (Secondary Pathogens)		
Fungi	Aspergillus fumigates	เชื้อราที่ปอดและเนื้อเยื่ออื่นๆ
Actinomycetes	*Micromonospora* sp.	การติดเชื้อที่ปอด

ที่มา: Polprasert (1989)

2.7.1 เชื้อโรคที่มาจากวัสดุหมัก (Primary Pathogens)

การฆ่าเชื้อโรคที่มาจากวัสดุหมักซึ่งได้แก่ แบคทีเรีย โปรโตซัว ไวรัส และพยาธิต่างๆ อาศัย 2 ปัจจัยกล่าวคือ อุณหภูมิและเวลา ถ้าอุณหภูมิสูงเชื้อโรคจะตายอย่างรวดเร็ว ในขณะที่อุณหภูมิต่ำจะต้องอาศัยระยะเวลาที่มากกว่าเพื่อให้เชื้อโรคตาย

นอกจากอุณหภูมิและเวลาแล้ว จุลินทรีย์จะถูกทำลายหรือควบคุมโดย การแบ่งปันกันเองและสารยับยั้งต่างๆ ที่สร้างขึ้นโดยจุลินทรีย์บางชนิด (Haug, 1993) เนื่องจากลักษณะของวัสดุหมักที่รวมกันเป็นก้อนซึ่งทำให้อุณหภูมิภายในกองหมักไม่ได้กระจายอย่างทั่วถึงทำให้เชื้อโรคไม่ได้สัมผัสกับอุณหภูมิโดยตรง เชื้อโรคบางชนิด เช่น แบคทีเรียที่สร้างสปอร์ ซีสร์ (Cyats) และไข่พยาธิที่ทนความร้อนได้สูงมีโอกาสรอดได้

สำหรับปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้ว ก่อนนำไปใช้ประโยชน์จึงควรผ่านการตรวจสอบก่อนว่าปราศจากเชื้อโรคที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ (กรมพัฒนาที่ดิน, 2537) โดยมีเชื้อในกลุ่ม *Samonella* sp. น้อยกว่า 3 MPN/4 g(TS) และเชื้อแบคทีเรีย Fecal Coliform น้อยกว่า 1000 MPN/g ตามมาตรฐานของ Standards Council of Canada (Heyte, 1996)

2.7.2 เชื้อโรคที่มาจากจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตบนปุ๋ยหมัก (Secondary Pathogen)

เชื้อโรคกลุ่มนี้ได้แก่ เชื้อราและแอคติโนมัยซิสที่สามารถเจริญเติบโตได้ในกองปุ๋ยหมักการสัมผัสหรือการหายใจเอาสปอร์ของจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตในกองปุ๋ยหมักเข้าไปจะทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพของคนงานและผู้ใช้ปุ๋ยหมักได้จุลินทรีย์ที่มักตรวจพบเสมอคือ ฟังไจชนิด Aspergillus fumigates โดยเฉพาะการหมักวัสดุหมักที่มีส่วนประกอบเป็นเซลลูโลสสามารถเจริญเติบโตได้ดีในช่วงอุณหภูมิน้อยกว่า 20 °C จนถึง 50 °C สปอร์มีขนาดประมาณ 3 ไมครอนและมีความเร็วในการตกตะกอนในอากาศ 0.03 ซ.ม/วินาที จึงสามารถลอยในอากาศได้ดี และทำให้เกิดโรค Aspergillosis เมื่อมีการหายใจเอาสปอร์เข้าไป (Haug, 1993) ซึ่งสามารถควบคุมได้โดยใช้ถุงมือรองเท้าบูตและผ้าปิดปากเมื่อต้องสัมผัสกับวัสดุหมักหมัก (Polprasert, 1989)

2.8 ประโยชน์ของปุ๋ยหมัก

ประโยชน์ของปุ๋ยหมักมีอยู่มากมายหลายด้าน เช่น ด้านการปรับปรุงคุณสมบัติของดิน ทางเคมี ทางกายภาพ ทางชีวภาพของดิน ประโยชน์ในด้านเศรษฐกิจ และประโยชน์ในด้านการปรับปรุงสภาพสิ่งแวดล้อม โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.8.1 ประโยชน์ด้านการปรับปรุงคุณสมบัติของดิน

ในวัสดุหมักต่างๆ ที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมักนั้นจะมีธาตุอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช คือ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแตสเซียม แต่เนื่องจากธาตุอาหารเหล่านี้อยู่ในรูปสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อน พืชจึงไม่สามารถนำไปใช้ได้ หลังผ่านกระบวนการหมักแล้วธาตุอาหารเหล่านี้จะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปของสารอนินทรีย์ เช่น NO_3^- , PO_4^{2-} ซึ่งพืชสามารถดูดซึมไปใช้ได้ (Golueke, 1982) นอกจากนี้ปุ๋ยหมักที่ได้ยังมีคุณสมบัติในการปรับปรุงโครงสร้างดิน เช่น ช่วยให้ดินร่วนซุย อุ้มน้ำได้ดีขึ้น เพิ่มการถ่ายเทอากาศ (Bertoldi, 1983)

2.8.1.1 ปรับปรุงคุณสมบัติของดินทางเคมี

เป็นแหล่งธาตุอาหารของพืช ปุ๋ยหมักหรือปุ๋ยอินทรีย์เป็นแหล่งของปุ๋ยไนโตรเจนธรรมชาติที่สำคัญ โดยไนโตรเจนในรูปสารอินทรีย์จะถูกปล่อยออกมาในรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ได้โดยกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดินในรูปของแอมโมเนีย (NH_4-N) และไนเตรท (NO_3-N) ซึ่งเป็นรูปที่พืชสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ สำหรับธาตุอาหารพืชอื่น ปุ๋ยหมักยังเป็นแหล่งของธาตุฟอสฟอรัสและธาตุกำมะถัน รวมถึงธาตุอื่นๆ อย่างครบถ้วน ถึงแม้ว่าจะมีปริมาณธาตุอาหารต่างๆอยู่ในปริมาณน้อยแต่การย่อยสลายตัวของสารอินทรีย์วัตถุในปุ๋ยหมักจะทำให้ธาตุ

อาหารดังกล่าวถูกปลดปล่อยออกมาอย่างค่อยเป็นค่อยไป ทำให้พืชสามารถนำไปใช้ได้ตลอดเวลาของการเจริญเติบโต (อนุวัฒน์, 2546)

การใส่ปุ๋ยหมักลงดินจะเพิ่มความจุในการแลกเปลี่ยนอิออนบวก (CEC) ปุ๋ยหมักเมื่อสลายตัวแล้วจะได้ฮิวมัสซึ่งมีประจุลบ เมื่อเติมปุ๋ยหมักลงไปในดิน จะช่วยเพิ่มการดูดซับธาตุอาหารประเภทประจุบวกเช่น แอมโมเนีย โปแตสเซียม แคลเซียมและแมกนีเซียมได้มากยิ่งขึ้น (อนุวัฒน์, 2546) รวมทั้งเป็นการเพิ่มความจุบัฟเฟอร์ (Buffer capacity) ในดินซึ่งเป็นคุณสมบัติในการต่อต้านการเลี่ยนแปลงระดับสารเคมีจากปฏิกิริยาทางเคมีต่างๆ อย่างทันทีทันใด ซึ่งจะช่วยต่อต้านการเปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นกรดเป็นด่างของดิน ความเค็ม ผลกระทบจากยากำจัดศัตรูพืชและพิษจากโลหะหนัก จึงทำให้พืชไม่ได้รับผลอันตรายจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น (อนุวัฒน์, 2546)

2.8.1.2 ปรับปรุงคุณสมบัติของดินทางกายภาพ

ปุ๋ยหมักทำให้สีของดินเป็นสีน้ำตาลจนถึงดำทั้งนี้เนื่องจากฮิวมัสที่ได้จากการสลายตัวของอินทรีย์วัตถุในปุ๋ยหมักมีสีน้ำตาลเข้ม และมีขนาดอนุภาคละเอียด จึงสามารถคลุกเคล้ากับส่วนอื่นๆของดินได้ดีมาก โดยทั่วไปเมื่อดินมีสีดังกล่าวถือได้ว่าเป็นดินที่มีปริมาณอินทรีย์วัตถุสูงยกเว้นดินที่มีปริมาณธาตุแมงกานีสค่อนข้างสูง

อินทรีย์วัตถุในปุ๋ยหมักเมื่อสลายตัวทำให้เกิดสารเชื่อม (Cementing agent) เช่น levans, dextrans และสารเหนียวจากจุลินทรีย์บางชนิด รวมทั้งพวกออกไซด์ของเหล็กและอะลูมิเนียม นอกจากนี้ยังมีสารประกอบพวกซิลิคแคลเซียมคาร์บอเนต และแคลเซียมซัลเฟต โดยสารเชื่อมดังกล่าวจะยึดอนุภาคดินที่อยู่ใกล้กันให้เกิดเป็นเม็ดดินอีกทั้งจุลินทรีย์ที่เจริญเติบโตจากการย่อยสลายตัวของอินทรีย์วัตถุ เช่น เชื้อราที่มีรูปร่างเป็นเส้นใย (mycelia) จะเจริญเติบโตไขว้กันคล้ายร่างแหรัดอนุภาคดิน ซึ่งก่อให้เกิดเม็ดดินอันเป็นประโยชน์ต่อการช่วยเพิ่มช่องว่างของดิน ทำให้ดินเกิดช่องว่างขนาดใหญ่ขึ้นและเพิ่มช่องว่างขนาดเล็กในดินทราย ซึ่งจะส่งผลให้การระบายอากาศในดินดีขึ้น และการอุ้มน้ำในดินทรายหรือดินเนื้อดินหยาบดีขึ้น ช่วยลดความหนาแน่น (Bulk density) ของดินทำให้การไถพรวนทำได้ง่ายขึ้น ลดการกัดเซาะหน้าดินเนื่องมาจากการไหลบ่าของน้ำผิวดิน (Run off) และยังช่วยให้ดินสามารถเก็บความชื้นไว้ได้เป็นระยะเวลานานกว่าดินที่ขาดอินทรีย์วัตถุ

2.8.1.3 ปรับปรุงคุณสมบัติของดินทางชีววิทยาของดิน

ปุ๋ยหมักเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์ในดินโดยเฉพาะอย่างยิ่งจุลินทรีย์จำพวก Heterothrophic ดินที่มีอินทรีย์วัตถุในปริมาณที่สูงจะทำให้ปริมาณของจุลินทรีย์สูงขึ้นด้วย ซึ่งเป็นผลให้กิจกรรมต่างๆของจุลินทรีย์ เช่น การแปรสภาพของธาตุอาหารพืชในดินเกิดขึ้นได้อย่างมี

ประสิทธิภาพ เช่น การเกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นผลิตผลอันเกิดจากกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ เมื่อละลายน้ำจะได้กรดคาร์บอนิคซึ่งเป็นกรดอ่อนส่งผลให้เพิ่มการละลายของธาตุอาหารของพืชได้ อีกทั้งปุ๋ยหมักยังช่วยเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ในดินให้มากขึ้น ทำให้กระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดินมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ปริมาณธาตุอาหารในดินมีเพียงพอต่อการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนั้นแหล่งธาตุอาหารคาร์บอนในปุ๋ยหมักมีความสำคัญต่อการเพิ่มปริมาณเชื้อแบคทีเรียที่ตรึงไนโตรเจนจากอากาศได้แก่ เชื้อ *Azotobacter* sp. มีผลทำให้กิจกรรมการตรึงไนโตรเจนในดินเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในกองปุ๋ยหมักยังช่วยทำลายเชื้อโรค เนื่องจากกระบวนการผลิตปุ๋ยหมักจะเกิดความร้อน 60 –70 °C เป็นระยะเวลาติดกัน 3 วัน จากกิจกรรมต่างๆของจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักจะมีผลทำให้ไข่แมลงต่างๆที่ติดมากับเศษพืชหรือมูลสัตว์ที่ใช้เป็นตัวเร่งในกระบวนการหมักนั้นจะถูกความร้อนทำลายไปได้ นอกจากนั้นจุลินทรีย์ในกองปุ๋ยหมักจะขับสารปฏิชีวนะ (Antibiotic substance) ออกมายับยั้งเชื้อโรคที่ติดมากับเศษพืช ซึ่งได้มีการทดลองทั้งต่างประเทศและในประเทศไทย โดยนำเอาเศษพืชที่เป็นโรค คือต้นข้าวโพดที่เป็นโรคใบไหม้ซึ่งเกิดจากเชื้อรา *Helminthosporium maydis* และต้นข้าวโพดที่เป็นโรคใบจุดซึ่งเกิดจากเชื้อรา *Collectrichun dermatium var. truncatum* โดยนำเศษพืชดังกล่าวมาทำปุ๋ยหมักแบบธรรมดา หลังจากผ่านกระบวนการหมักมา 45 วัน พบว่าปริมาณของเชื้อโรคพืชดังกล่าวลดลง สาเหตุเนื่องมาจากเชื้อจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเซลลูโลส เช่น เชื้อรา *Aspergillus* sp. หรือเชื้อรา *Thrichoderma* sp. ซึ่งเป็นพวกที่เจริญเติบโต สามารถแก่งแย่งอาหาร และยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรคพืชได้ นอกจากนี้สารปฏิชีวนะที่เชื้อจุลินทรีย์พวกแอคติโนมัยซิสสร้างขึ้น มีผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อโรคพืชได้ เช่นกันสำหรับโรคที่เกิดจากไส้เดือนฝอยหลายชนิดลดความรุนแรงลงได้เมื่อใช้ปุ๋ยหมัก เนื่องจากเมื่อปุ๋ยหมักสลายตัวจะเกิดสารอัลคาลอย (Alkaliod) หรือกรดไขมันซึ่งเป็นพิษต่อไส้เดือนฝอย (กองอนุรักษ์ดินและน้ำ, 2537)

2.8.2 ประโยชน์ของปุ๋ยหมักในด้านเศรษฐกิจ

ปุ๋ยหมักเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารอย่างครบถ้วน แม้ว่าปริมาณธาตุอาหารน้อยกว่าเมื่อเทียบกับปุ๋ยเคมีในหน่วยที่เท่ากัน แต่เป็นที่ทราบดีอยู่แล้วว่าปุ๋ยเคมีนั้นมีราคาแพง และบางทีต้องนำเข้าจากต่างประเทศเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นหากเกษตรกรนำปุ๋ยหมักไปใช้ในการเพาะปลูกพืชก็จะสามารถลดปริมาณการใช้ปุ๋ยเคมีลงได้ เป็นการลดต้นทุนการผลิต อีกทั้งปุ๋ยหมักยังช่วยเพิ่มผลผลิตให้สูงขึ้น และในด้านของสังคมเมืองนั้นการนำขยะมูลฝอย เช่น เศษอาหาร เศษใบไม้ มาทำปุ๋ยหมักช่วยลดปริมาณขยะมูลฝอยที่ออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ ช่วยให้หน่วยงานของรัฐที่มีหน้าที่

เกี่ยวกับการกำจัดขยะทำงานน้อยลง ช่วยรัฐประหยัดงบประมาณของรัฐที่ต้องจัดสรรเพื่อนำมาขจัดปัญหาที่เกิดขึ้นเนื่องจากขยะมูลฝอย ได้ปุ๋ยหมักมาใช้ประโยชน์ในการเพาะปลูกพืชภายในบ้าน

2.8.3 ประโยชน์ของปุ๋ยหมักในด้านการปรับปรุงสภาพแวดล้อม

- การทำปุ๋ยหมักจากมูลฝอยอินทรีย์เป็นการกำจัดมูลฝอยอย่างถูกหลักอนามัย ช่วยกำจัดแหล่งเพาะพันธุ์และสะสมของเชื้อโรคทำให้บริเวณที่อยู่อาศัยถูกสุขลักษณะ

- การทำปุ๋ยหมักเป็นการช่วยลดอุบัติเหตุจากการทำลายเศษพืชโดยการเผา เช่น ตอซังข้าว เศษหญ้า เศษมูลฝอยข้างถนน อันเป็นวิธีที่ไม่ถูกต้อง ทำให้เกิดอุบัติเหตุ จราจรติดขัด เกิดความเสียหายแก่ชีวิตและทรัพย์สินก่อให้เกิดอากาศเป็นพิษ ซึ่งการนำเศษพืชเหล่านั้นมาทำปุ๋ยหมักจะช่วยลดปัญหาต่างๆเหล่านี้ได้

- การทำปุ๋ยหมักโดยนำวัชพืชน้ำต่างๆ จากแหล่งน้ำมาทำปุ๋ยหมัก ถือเป็นการกำจัดวัชพืชอีกวิธีหนึ่งทำให้แหล่งน้ำได้รับแสงแดดที่ และเกิดสภาพสมดุลในการดำรงชีวิตของสัตว์น้ำทำให้คุณภาพของแหล่งน้ำดีขึ้น

2.9 สารเร่ง พด.1

สารเร่งพด.1 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่มีความสามารถสูงในการย่อยสลายวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร เพื่อผลิตปุ๋ยหมักในช่วงระยะเวลาอันสั้นประกอบด้วยเชื้อ แบคทีเรีย แอคติโนมัยซีส และรา ซึ่งมีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้สูงประกอบด้วย จุลินทรีย์ 8 สายพันธุ์ ดังนี้

- แบคทีเรีย 2 สายพันธุ์ อยู่ในสกุล *Bacillus* sp.
- แอคติโนมัยซีส 2 สายพันธุ์ อยู่ในสกุล *Streptomyces* sp.
- รา 4 สายพันธุ์ ได้แก่ *Scopulariopsis* sp., *Helicomyces* sp., *Chaetomium* sp. และ *Trichoderma* sp.

2.9.1 แหล่งที่มาของเชื้อจุลินทรีย์ในสารเร่ง พด.1

อินทรียวัตถุเป็นองค์ประกอบสำคัญในการควบคุมความสมดุลและเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน ทั้งในด้านสมบัติทางกายภาพ เคมี และชีวภาพของดิน ในสภาพป่าธรรมชาติจะเป็นแหล่งของอินทรีย์วัตถุที่สำคัญ โดยจะได้จากการร่วงหล่นของใบไม้ทับถมกัน และเกิดการย่อยสลายโดยกลุ่มจุลินทรีย์ที่ย่อยสลายเซลลูโลส ซึ่งจะผลิตเอนไซม์เซลลูเลสย่อยสลายวัสดุอินทรีย์

และแปรสภาพให้เป็นปุ๋ยอินทรีย์ สำหรับนำไปใช้ประโยชน์ เพื่อเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ให้แก่ดินได้ต่อไป

2.9.2 คุณสมบัติของเชื้อจุลินทรีย์ในสารเร่ง พด.1

คุณสมบัติของสารเร่ง พด.1 โดยทั่วไปแล้วสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประการดังนี้

- เชื้อจุลินทรีย์ในสารเร่งพด. 1 มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสเพื่อย่อยสลายเซลลูโลสที่เป็นองค์ประกอบหลักในเศษพืชได้ดี สามารถเจริญได้ดีในสภาพดินที่มีอินทรียวัตถุสูง มีความสามารถในการใช้อาหารจากอินทรีย์วัตถุ และเจริญเพิ่มจำนวนเซลล์ในดินได้ดีกว่า ทำให้จุลินทรีย์ที่เป็นโทษต่อพืชซึ่งมีอยู่ในดิน ไม่สามารถเจริญแข่งขันได้

- เชื้อจุลินทรีย์ในสารเร่งพด. 1 มีความต้องการแสง อากาศ และเจริญได้ดีที่อุณหภูมิสูง 45 °C

- เชื้อจุลินทรีย์ในสารเร่งพด. 1 มีความต้องการความชื้นสูงร้อยละ 50

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

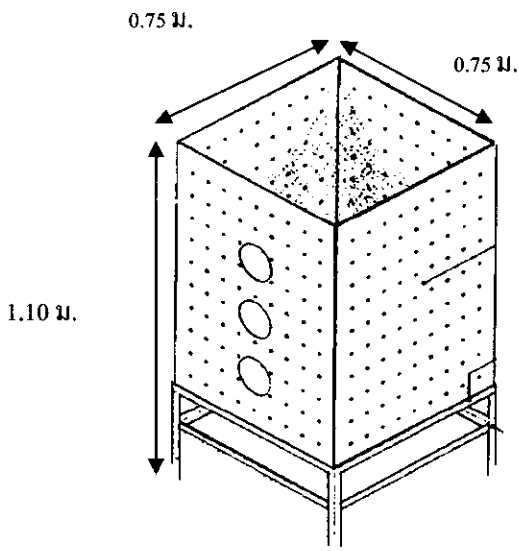
การหมักปุ๋ยเป็นวิธีการนำของเสียที่สามารถย่อยสลายได้ด้วยจุลินทรีย์กลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยทั่วไปแล้วนิยมนำวัสดุหมักมาเทกองกลางแจ้งแล้วปล่อยให้เกิดการย่อยสลายตามธรรมชาติซึ่งวิธีการนี้อาจเกิดปัญหาจากการรบกวนกระบวนหมักเนื่องจากความไม่แน่นอนของสภาพดินฟ้าอากาศ การเกิดกลิ่นรบกวนเนื่องมาจากเกิดการหมักแบบไร้อากาศขึ้น และกองปุ๋ยหมักอาจเป็นแหล่งเพาะพันธุ์สัตว์พาหะนำโรคที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์ จากปัญหาดังกล่าวการหมักปุ๋ยโดยใช้ถังหมักจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งที่สามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นได้ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยทั้งภายในและภายนอกประเทศ (ตารางที่ 2.6) ที่แสดงให้เห็นว่าการหมักปุ๋ยในถังหมักให้ประสิทธิภาพมากกว่าการหมักปุ๋ยแบบเทกองนอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์การใช้งานหรือลดขนาดของระบบให้เหมาะสมกับแหล่งกำเนิดของหมักที่จะนำมาหมักทำปุ๋ย เช่น โรงอาหาร โรงเรียน และบ้านเรือน ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบถังหมักมูลฝอยอินทรีย์สำหรับครัวเรือน ซึ่งมีขั้นตอนในการก่อสร้างไม่ยุ่งยากทำมาจากวัสดุที่มีความแข็งแรงสามารถหาได้โดยง่ายในท้องถิ่น(เช่น ไม้ พลาสติก เป็นต้น) มีกลไกการทำงานไม่ซับซ้อน เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักคุณภาพปุ๋ยจากวัสดุหมักที่ได้ (เช่น ค่า C/N ratio ค่าพีเอช ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสและโปแตสเซียม เป็นต้น) ควรมีค่าใกล้เคียงหรือผ่านเกณฑ์ที่มาตรฐานปุ๋ยกำหนดเพื่อที่จะไม่ส่งผลกระทบต่อพืชเมื่อนำปุ๋ยหมักที่ได้ไปใช้งาน

ตารางที่ 2.6 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและต่างประเทศ

หัวข้อ	รายละเอียด
ผู้วิจัย	ดลเดช, 2551
วัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง	มูลฝอยจากเทศบาลพิษณุโลกปริมาณ 510 ตันแยกส่วนที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ออก
รายละเอียดถังหมัก	**ใช้วิธีการหมักแบบเทกอง**โดยนำมูลฝอยมาตั้งกองหมักขนาดกว้าง 18 เมตร ยาว 24 เมตร สูง 2 เมตร บนไม้ฐานไม้ (Pallets) และวางท่อระบายอากาศเติมอากาศโดยใช้เครื่องเติมอากาศ
วัสดุที่ใช้ในการสร้างถังหมัก	ไม่ระบุ
ผลการทดลอง	ค่า C/N ratio เมื่อเริ่มต้นการทดลอง 82.2 เมื่อระยะเวลาการหมักผ่ายไปลดลงเหลือ 13.2 เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีการลดลงของมวลร้อยละ 72.5 อุณหภูมิสูงสุดในกองหมัก 68 °C วัสดุหมักเข้าสู่สภาวะเสถียรใช้เวลา 4 เดือน
รูปถังหมัก	ไม่มีรูป
ผู้วิจัย	ธีระพงษ์ และคณะ, 2547
วัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง	วัสดุเหลือใช้จากการเกษตรที่ผ่านการย่อย 6 ลบ.ม. หมักร่วมกับมูลโค 3 ลบ.ม. และเติมปุ๋ยยูเรีย (400 กรัม) หินฟอสเฟต (200กรัม) สารเร่ง (90กรัม)
รายละเอียดถังหมัก	**ใช้วิธีการหมักแบบเทกอง**โดยทำการกองวัสดุหมักบนลานพื้นดินกลางแจ้งให้มีขนาด 2.5x3.5x1.0 เมตร เติมอากาศให้กองปุ๋ยด้วยเครื่องเติมอากาศขนาด 3 แรงม้า วันละ 2 ครั้ง ครั้งละ 15 นาทีด้วยท่อพีวีซีเจาะรูขนาด 4 นิ้ว
วัสดุที่ใช้ในการสร้างถังหมัก	ไม่ระบุ
ผลการทดลอง	ค่า C/N ratio เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าเฉลี่ยประมาณ 20 กองปุ๋ยหมักสามารถรักษาอุณหภูมิได้อยู่ในช่วง 60-75 °C เป็นเวลา 2-5 วัน
ไม่มีรูป	ไม่มีรูป

ตารางที่ 2.6 (ต่อ) สรุปสาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและต่างประเทศ

หัวข้อ	รายละเอียด
ผู้วิจัย	คมสัน และสุรพงษ์, 2547
วัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง	มูลสุกรหมักร่วมกับกับเปลือกถั่วเหลืองอัตราส่วน 1:1 โดยน้ำหนัก
รายละเอียดถังหมัก	กล่องไม้อัดความจุ 600 ลิตร (รูปที่ 2.15) รูปสี่เหลี่ยมทรงสูงขนาด 75x75x110 ซม. เจาะรูโดยรอบเพื่อให้มีการระบายอากาศ ด้านบนของถังหมักเปิดโล่ง ส่วนด้านล่างของกล่องติดแผ่นรองรับทำมาจากตะแกรงพลาสติกบนขาตั้งเหล็กเพื่อช่วยเพิ่มการระบายอากาศในแนวดิ่งตามธรรมชาติ
วัสดุที่ใช้ในการสร้างถังหมัก	ไม้อัด
ผลการทดลอง	ค่า C/N ratio 19:1 เมื่อเริ่มต้นการทดลองเป็น 11:1 การลดลงของมวลมีค่า 55 % เมื่อสิ้นสุดการทดลอง อุณหภูมิสูงสุดในการหมัก 70 °C



รูปที่ 2.15 ถังหมักปุ๋ยไม้อัดที่ใช้หมักมูลสุกรกับเปลือกถั่วเหลือง

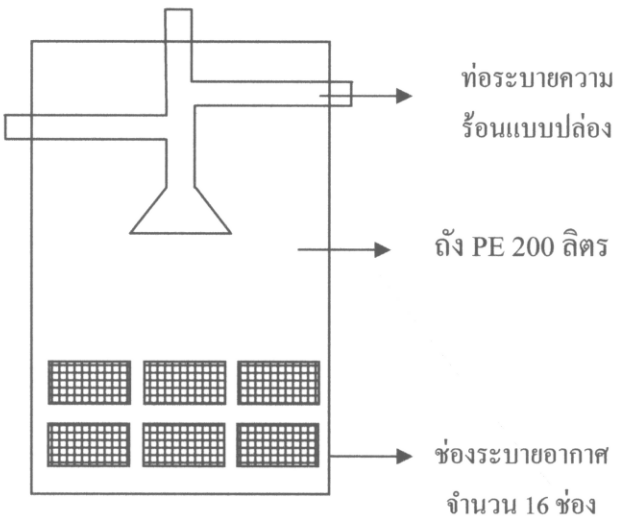
ตารางที่ 2.6 (ต่อ) สรุปสาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและต่างประเทศ

หัวข้อ	รายละเอียด
ผู้วิจัย	Dondej, 2004
วัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง	มูลฝอยอินทรีย์หมักร่วมกับขี้เลื่อยอัตราส่วน 1:1.5 โดยน้ำหนักและไส้เดือน
รายละเอียดถังหมัก	กระบะพลาสติก (รูปที่ 2.16) ขนาด 0.25x0.40x0.30 มีปริมาตร 27 ลิตร เจาะรูด้านข้างและด้านล่างของกระบะเพื่อให้เกิดการระบายอากาศตามธรรมชาติ
วัสดุที่ใช้ในการสร้างถังหมัก	พลาสติก
ผลการทดลอง	ค่า C/N ratio ลดลงจาก 45 เมื่อเริ่มต้นการทดลองเป็น 25 ลองและมีการลดลงของมวลร้อยละ 80 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

รูปที่ 2.16 กระบะพลาสติกขนาด 27 ลิตร

ตารางที่ 2.6 (ต่อ) สรุปสาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและต่างประเทศ

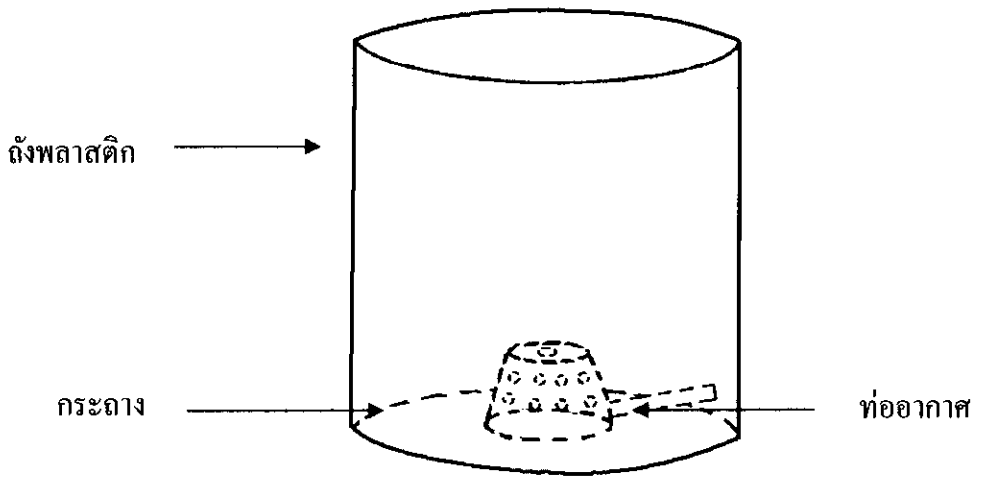
หัวข้อ	รายละเอียด
ผู้วิจัย	นครและคณะ, 2552
วัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง	มูลฝอยอินทรีย์หมักร่วมกับใบไม้แห้งและคอมโพสท์ ในอัตราส่วน 1.25:0.35:0.16 โดยน้ำหนัก
รายละเอียดถังหมัก	ถังหมักพลาสติกโพลีเอทีลีน (รูปที่2.17) แบบมีฝาปิดขนาด 200 ลิตรถังมีช่องเปิดขนาด 5x10 ตารางเซนติเมตร จำนวน 16 ช่อง ติดตั้งท่อระบายความร้อนแบบปล่องทำด้วยท่อพีวีซีที่จุดกึ่งกลางของถัง บริเวณช่องเปิดด้านล่างของถังใบที่ 1-4 มีการติดตะแกรงมุ้งลวดเพื่อป้องกันวัสดุหมักหลุดออกมาตามช่องเปิด
วัสดุที่ใช้ในการสร้างถังหมัก	พลาสติกโพลีเอทีลีน(PE)
ผลการทดลอง	คุณภาพปุ๋ยที่ได้มีค่า C/N ratio ลดลงจาก 54 เมื่อเริ่มต้นการทดลองเป็น 14.78 การลดลงของมวลร้อยละ 64 ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมผ่านเกณฑ์ของกรมวิชาการเกษตรเมื่อสิ้นสุดการทดลอง



รูปที่ 2.17 ถังหมักปุ๋ยแบบมีท่อระบายความร้อนตรงกึ่งกลาง

ตารางที่ 2.6 (ต่อ) สรุปสาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและต่างประเทศ

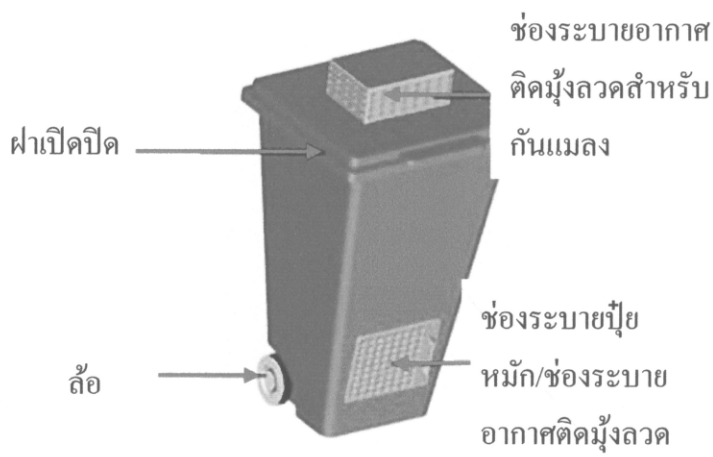
หัวข้อ	รายละเอียด
ผู้วิจัย	อนุวัฒน์, 2546
วัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง	มูลฝอยอินทรีย์จากร้านอาหารหมักร่วมกับ ใบไม้แห้ง ในอัตราส่วน 1.75:1 โดยน้ำหนัก และเติมเทอร์โมฟิลิคแบคทีเรีย
รายละเอียดถังหมัก	ถังพลาสติกมีฝาปิดปริมาตร 100 ลิตร โดยจะเจาะรูด้านล่างเพื่อสอดสายยางเติมอากาศ ภายในใส่กระถางที่เจาะรู โดยครอบหัวเติมอากาศเพื่อช่วยกระจายอากาศและป้องกันการอุดตันของหัวเติมอากาศจากการกดทับของวัสดุหมัก (รูปที่ 2.18)
วัสดุที่ใช้ในการสร้างถังหมัก	พลาสติก
ผลการทดลอง	ค่า C/N ratio ลดลงเหลืออยู่ในช่วง 15-19 เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีการลดลงของมวลร้อยละ 35-47 ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมมีค่าเพียงพอที่จะนำไปใช้ปรับปรุงคุณภาพดิน



รูปที่ 2.18 ถังหมักปุ๋ยแบบใช้ร่วมกับเครื่องเติมอากาศ

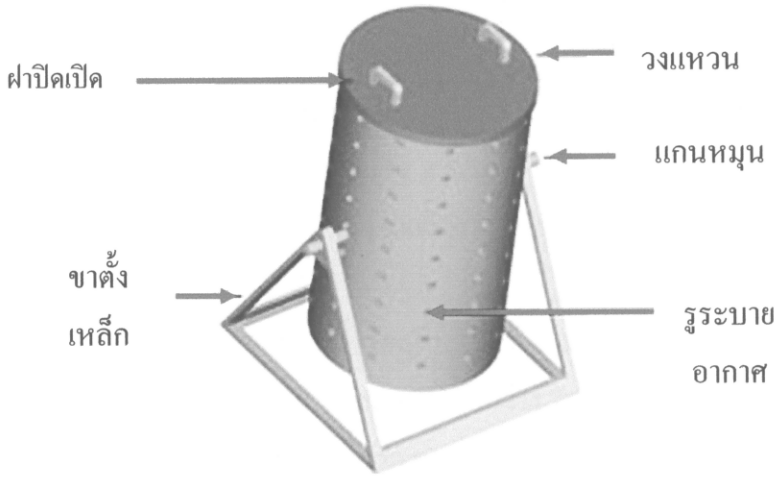
ตารางที่ 2.6 (ต่อ) สรุปสาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและต่างประเทศ

หัวข้อ	รายละเอียด
ผู้วิจัย	ชาติ และคณะ, 2547
วัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง	มูลฝอยอินทรีย์หมักร่วมกับใบไม้แห้งในอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร
รายละเอียดถังหมัก	- ถังหมักใบที่ 1 เป็นถังหมักแบบมีช่องระบายอากาศขนาด 185 ลิตร (รูปที่ 2.19) - ถังหมักใบที่ 2 เป็นถังหมักแบบหมุนขนาด 200 ลิตร(รูปที่ 2.20) - ถังหมักใบที่ 3 เป็นถังหมักแบบใช้ท่อระบายอากาศขนาด 200 ลิตร (รูปที่ 2.21)
วัสดุที่ใช้ในการสร้างถังหมัก	พลาสติก
ผลการทดลอง	ค่า C/N ratio เริ่มต้นในการทดลองมีค่า 19.29 เมื่อระยะเวลาการหมักผ่านไปมีค่าลดลงเหลือ 8.86,11.14 และ 10.20 การลดลงของมวลของถังหมักทั้ง 3 แบบมีค่าร้อยละ 75 ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมจากถังหมักทั้ง 3 แบบมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยจากกรมวิชาการเกษตร 2548

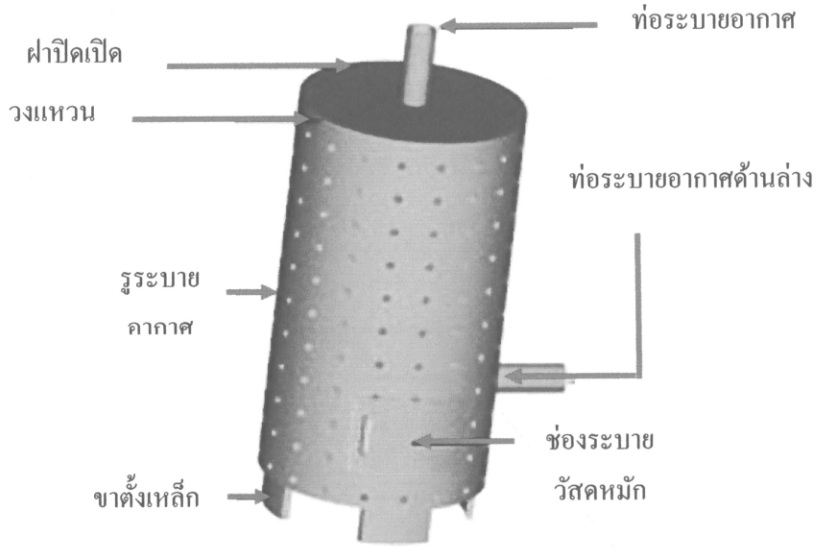


รูปที่ 2.19 ถังหมักแบบมีช่องระบายอากาศขนาด 185 ลิตร

ตารางที่ 2.6 (ต่อ) สรุปสาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและต่างประเทศ



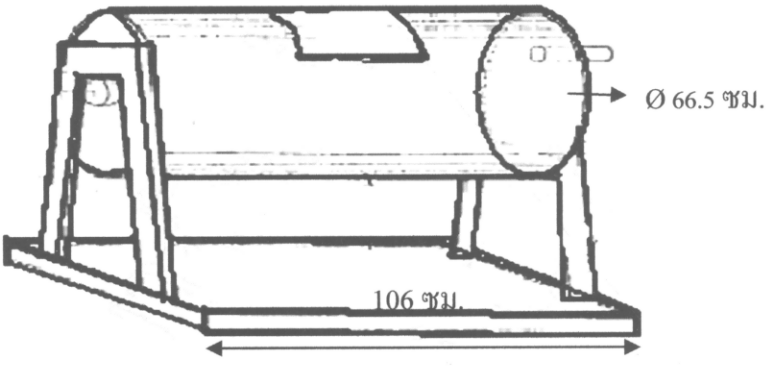
รูปที่ 2.20 ถังหมักแบบหมุนขนาด 200 ลิตร



รูปที่ 2.21 ถังหมักแบบใช้ท่อระบายอากาศขนาด 200 ลิตร

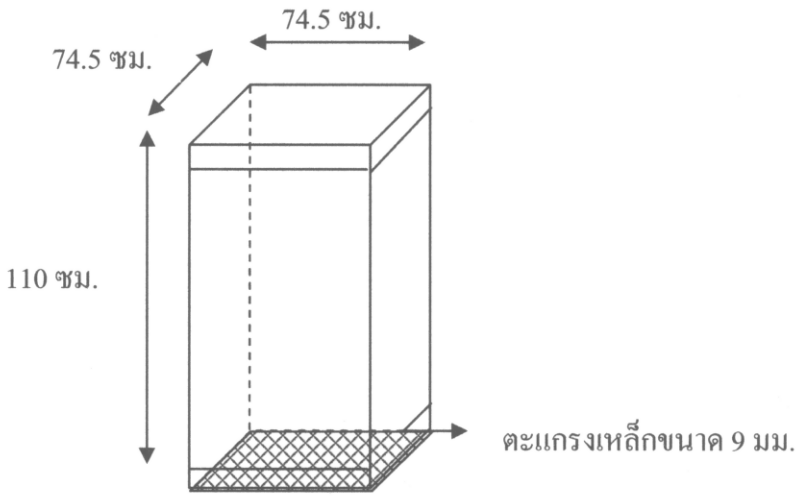
ตารางที่ 2.6 (ต่อ) สรุปสาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและต่างประเทศ

หัวข้อ	รายละเอียด
ผู้วิจัย	พูนศักดิ์, 2541
วัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง	มูลฝอยอินทรีย์หมักร่วมกับวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่เปลือกข้าว ขี้เลื่อย ใบไม้แห้ง Bacillus Bacteria
รายละเอียดถังหมัก	- ถังหมักที่ใช้ในการทดลอง (รูปที่2.22) เป็นถังหมุนทำจากเหล็กวางในแนวนอนหมุนด้วยความเร็ว 2.5 รอบ/นาที ยาว 106 ซม.เส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 66.5 ซม. ความจุ300ลิตร ภายในถังหมุนจะมีอุปกรณ์เพิ่มความร้อนโดยใช้แก๊ส - กล่องหมักสำหรับหมักวัตถุดิบ (รูปที่ 2.23) ที่ได้จากถังหมุน ทำจากไม้อัดปริมาตร 550 ลิตร ขนาดกล่องหมักกว้าง 74.5 ซม. ยาว 74.5 ซม. และสูง 100 ซม. ด้านล่างใช้ตะแกรงเหล็ก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.9 ซม.เพื่อถ่ายเทอากาศด้านบนเปิดโล่ง
วัสดุที่ใช้ในการสร้างถังหมัก	เหล็ก ไม้อัด
ผลการทดลอง	ค่า C/N ratio เริ่มต้นในการทดลองมีค่า อยู่ในช่วง 25-70 เมื่อระยะเวลาการหมักผ่านไปมีค่าลดลงเหลือ 18-53 เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีการลดลงของมวลร้อยละ 30-50 วัสดุหมักร่วมที่ให้คุณภาพปุ๋ยดีที่สุดเมื่อนำมาหมักกับมูลฝอยอินทรีย์คือใบไม้แห้งเนื่องจากเป็นวัสดุเหลือใช้จากการเกษตรที่ย่อยสลายง่ายและดูดซึมความชื้นได้ดี



รูปที่ 2.22 ถังหมักปุ๋ยแบบหมุน

ตารางที่ 2.6 (ต่อ) สรุปสาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและต่างประเทศ

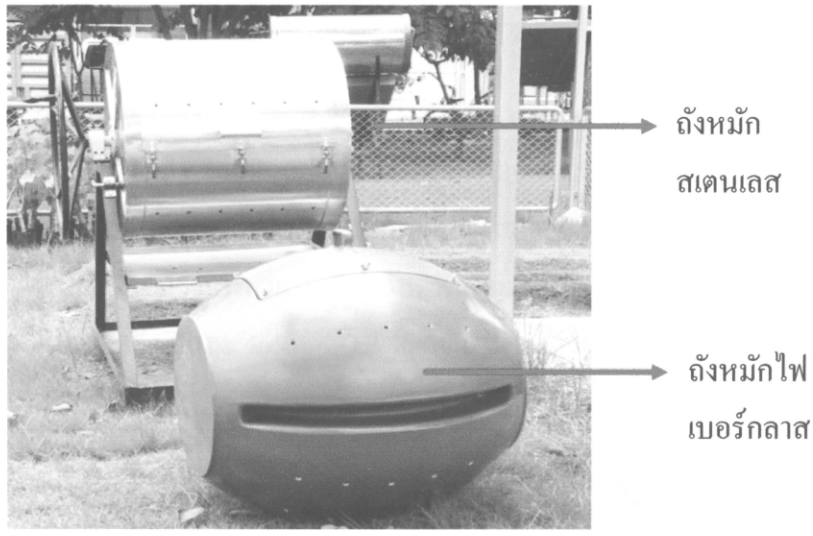


รูปที่ 2.23 ถังหมักหมักปุ๋ยทำจากไม้อัด

หัวข้อ	รายละเอียด
ผู้วิจัย	รุ่งนภา และคณะ, 2551
วัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง	มูลฝอยอินทรีย์ (30%โดยน้ำหนัก) หมักร่วมกับเศษกิ่งไม้ และใบไม้บดย่อย (20%โดยน้ำหนัก) ขี้เลื่อย (30%โดยน้ำหนัก) รำข้าว (10%โดยน้ำหนัก) ดินหัวเชื้อในท้องถิ่น (10%โดยน้ำหนัก)
รายละเอียดถังหมัก	ถังหมักที่ใช้ในการทดลองมีความกว้าง 1.70 ม.ยาว 3.50 ม. ส่วนความสูงมี 2 ด้าน คือด้านหน้าสูง 1.72 ม. ด้านหลังสูง 1.60 ม. ด้านก้นถังกว้าง 2.05 ม. ตัวถังมีความจุ 7 ลบ.ม. ตัวถังทำด้วยวัสดุเป็นถังเหล็กมีฝาปิดเปิดโดยมี 2ชุด การทดลองคือแบบเปิดและไม่เปิดเครื่องเป่าอากาศ
วัสดุที่ใช้ในการสร้างถังหมัก	เหล็กแสตนเลส
ผลการทดลอง	เมื่อสิ้นสุดการทดลองค่า C/N ratio อยู่ในช่วง 17.02-5.02 และ11.39-3.11 สำหรับกรณีเปิดและไม่เปิดเครื่องเติมอากาศตามลำดับ ปริมาณธาตุอาหารและปริมาณผ่านเกณฑ์กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ปี 2548
รูปถังหมัก	ไม่มีรูป

ตารางที่ 2.6 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและต่างประเทศ

หัวข้อ	รายละเอียด
ผู้วิจัย	ประสิทธิ์และคณะ, 2551
วัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง	แบ่งการทดลองเป็น 2 กรณี คือกรณีที่1 มูลฝอยอินทรีย์(กะหล่ำปลี)หมักร่วมกับเศษกิ่งไม้ (อัตราส่วน 1.7:1โดยน้ำหนัก) กรณีที่ 2 หญ้านวลน้อยและกิ่งต้นโมก (อัตราส่วน 3.5:1โดยน้ำหนักตามลำดับ)
รายละเอียดถังหมัก	- ถังหมักสเตนเลสจะติดตั้งอยู่บนขาตั้งมีพวงมาลัยใช้ในการหมุนถังดังแสดงในรูปที่ 2.24 - ถังหมักไฟเบอร์กลาสจะตั้งไว้ที่พื้นดินสามรถหมุนถังโดยการกลิ้งถังกับพื้นดังแสดงในรูปที่ 2.24
วัสดุที่ใช้ในการสร้างถังหมัก	เหล็ก ไฟเบอร์กลาส
ผลการทดลอง	ค่า C/N ratio เริ่มต้นในการทดลองมีค่า อยู่ในช่วง 32.9 และ 33.9 สำหรับกรณีที่1 และ 2 ตามลำดับเมื่อระยะเวลาการหมักผ่านไปมีค่าลดลงเหลือ 19,29 สำหรับถังเหล็กสเตนเลสและไฟเบอร์กลาสตามลำดับ (กรณีที่1) และ15,18 สำหรับถังเหล็กสเตนเลสและไฟเบอร์กลาสตามลำดับ (กรณีที่2) ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมจากถังหมักทั้ง 2 แบบมีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยจากกรมวิชาการเกษตร 2548 ทั้ง 2 กรณี



รูปที่ 2.24 ถังหมักสเตนเลสและถังหมักไฟเบอร์กลาส

ตารางที่ 2.6 (ต่อ) สรุปสาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและต่างประเทศ

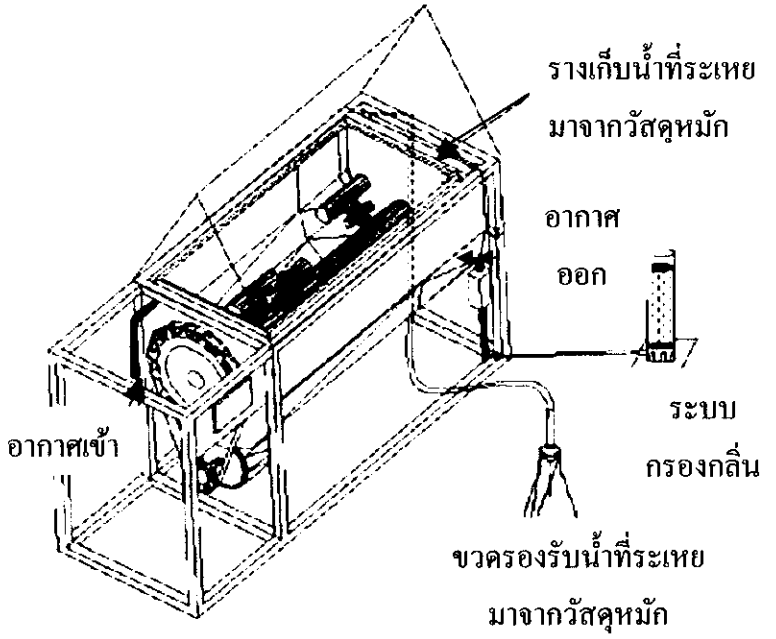
หัวข้อ	รายละเอียด
ผู้วิจัย	Bijaya และคณะ, 2007
วัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง	มูลฝอยอินทรีย์ หมักร่วมกับ ฟางข้าวสาลีแห้ง หญ้าแห้ง กระดาษลัง เมล็ดข้าวสาลี และอาหารสัตว์
รายละเอียดถังหมัก	ไม่ระบุ
วัสดุที่ใช้ในการสร้างถังหมัก	ไม่ระบุ
ผลการทดลอง	การนำมูลฝอยอินทรีย์หมักร่วมกับฟางข้าวสาลีแห้งซึ่งเป็นวัสดุในท้องถิ่นมีความเหมาะสมที่จะนำไปหมักเป็นปุ๋ยเนื่องจากสามารถลดความชื้นในมูลฝอยอินทรีย์ มีค่าพีเอชที่เป็นกลาง และยังมีความสามารถในการเพิ่มช่องว่างอากาศระหว่างการหมักปุ๋ย
ไม่มีรูป	ไม่มีรูป
ผู้วิจัย	Gea และ Richard, 2008
วัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง	มูลฝอยอินทรีย์หมักร่วมกับขี้เลื่อย และตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดแบบไร้อากาศหมักร่วมกับขี้เลื่อย
รายละเอียดถังหมัก	ถังพลาสติกขนาด 20 ลิตร มีฉนวนรักษาอุณหภูมิ มีปิดฝาด้านบน และทำการเติมอากาศจากด้านล่าง ในอัตรา 10 ลิตร /นาที
วัสดุที่ใช้ในการสร้างถังหมัก	พลาสติก
ผลการทดลอง	การลดลงของอินทรีย์วัตถุอยู่ในช่วง ร้อยละ 26-32.5 และร้อยละ 23.3-28.5 สำหรับมูลมูลฝอยอินทรีย์หมักร่วมกับขี้เลื่อย และตะกอนน้ำเสียหมักร่วมกับขี้เลื่อยตามลำดับ ความหนาแน่นของวัสดุหมักเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าลดลง 596.7-766.3 kg/m^3และ 465.4-697.2 kg/m^3สำหรับมูลฝอยอินทรีย์และตะกอนน้ำเสียตามลำดับ
ไม่มีรูป	ไม่มีรูป

ตารางที่ 2.6 (ต่อ) สรุปสาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและต่างประเทศ

หัวข้อ	รายละเอียด
ผู้วิจัย	James และ Tin-En, 2008
วัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง	มูลฝอยอินทรีย์สังเคราะห์หมักร่วมกับแกลบ (ใช้เป็นวัสดุปรับโครงสร้าง)
รายละเอียดถังหมัก	การหมักในถังพลาสติกขนาด 180 ลิตรมีฉนวนรักษาอุณหภูมิ ติดตั้งระบบการกวนวัสดุหมักและให้อากาศ 1.6 ลิตร/ กิโลกรัมวัสดุหมัก
วัสดุที่ใช้ในการสร้างถังหมัก	พลาสติก
ผลการทดลอง	ค่า C/N ratio เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วงต่ำกว่า 20 (ค่า C/N ratio เริ่มต้น 56.6) การลดลงของมวลโดยน้ำหนักเปียกอยู่ในช่วงร้อยละ 23.1-27.2 จากการทดลองโปรตีนมีผลทำให้กระบวนการการทำงานของจุลินทรีย์ดีขึ้น ระยะเวลาในการทดลอง 7 วัน
ไม่มีรูป	ไม่มีรูป
ผู้วิจัย	Deniz และคณะ,2005
วัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง	มูลฝอยอินทรีย์หมักร่วมกับ มูลวัว และขี้เลื่อย (ใช้เป็นวัสดุปรับโครงสร้าง)
รายละเอียดถังหมัก	- ช่วงที่ 1 ทำการหมักในถังพลาสติกทรงกระบอกขนาด55 ลิตร (ในการทดลองช่วงแรกเพื่อหาวัสดุหมักที่เหมาะสม) - ช่วงที่ 2 ทำการหมักแบบ windrow โดยเปรียบเทียบการหมักแบบโรยวัสดุหมักเป็นชั้นๆ กับการผสมวัสดุหมักทั้งหมดก่อนแล้วนำมาเทกอง
วัสดุที่ใช้ในการสร้างถังหมัก	พลาสติก
ผลการทดลอง	ค่า C/N ratio เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่า 12.8 และ 13.1 สำหรับแบบโรยวัสดุเป็นชั้นๆและแบบกวนผสมตามลำดับ (ค่า C/N ratio เริ่มต้น 20.7 และ 19.2) ค่าพีเอชเมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่า 8.1 และ 8.2 การลดลงของ ของแข็งระเหยได้ร้อยละ 62.5 และ 65 ตามลำดับ
ไม่มีรูป	ไม่มีรูป

ตารางที่ 2.6 (ต่อ) สรุปสาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและต่างประเทศ

หัวข้อ	รายละเอียด
ผู้วิจัย	Seo, 2004
วัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง	มูลฝอยอินทรีย์ หมักร่วมกับ ปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้ว และ ไส้เดือน
รายละเอียดถังหมัก	ถังทรงสี่เหลี่ยมขนาด 207 ลิตรทำจากวัสดุ acrylic มีระบบการให้ความร้อนแก่วัสดุหมัก ฝาปิดถังหมักมีขนาด 45 ลิตรทำจากวัสดุ stainless steel และติดฉนวนเพื่อรักษาอุณหภูมิ ติดระบบการจำกัดกลิ่น อัตราการเติมอากาศ 0.5 ลิตร/ นาทีเป็นเวลา 10 นาทีทุกๆ 1 ชั่วโมง ดังแสดงรายละเอียดในรูปที่ 2.25
วัสดุที่ใช้ในการสร้างถังหมัก	Acrylic (อะคลิลิค)
ผลการทดลอง	การลดลงของมวลวัสดุหมักมีค่า 660 กรัม/วัน ค่า C/N เมื่อสิ้นสุดการทดลองอยู่ในช่วง 11.7-12.25 ค่าพีเอชเมื่อสิ้นสุดการทดลอง 4.66-4.75 จากการทดลองพบว่าไส้เดือนไม่มีผลกระทบต่อการย่อยสลายมูลฝอยอินทรีย์ ระยะเวลาที่ใช้หมัก 30 วัน



รูปที่ 2.25 ถังหมักปุ๋ยที่ใช้ในงานวิจัยของประเทศเกาหลี

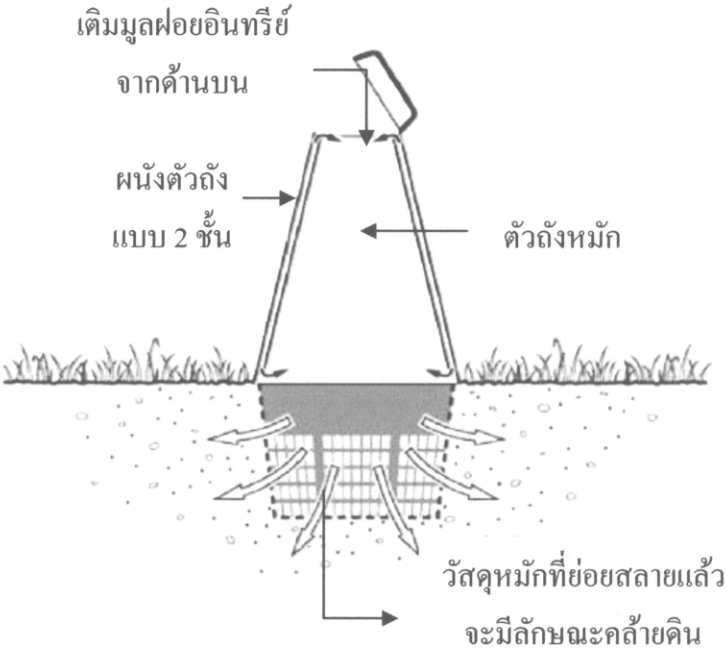
ตารางที่ 2.6 (ต่อ) สรุปสาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและต่างประเทศ

หัวข้อ	รายละเอียด
ผู้วิจัย	Britt และคณะ, 2000
วัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง	มูลฝอยอินทรีย์ หมักร่วมกับใบไม้แห้งและกิ่งไม้แห้ง (ใช้เป็นวัสดุปรับโครงสร้าง)
รายละเอียดถังหมัก	ถังทรงกระบอกขนาด 3.5 ลบ.หลา (2.9 ลบ.ม.) เส้นผ่าศูนย์กลาง ด้านล่าง 64 นิ้ว และด้านบน 89 นิ้ว ความลึกของถัง 4 ฟุตทำจากวัสดุ polyurethane ใช้โฟมเป็นฉนวนหุ้มตัวถัง มีฝาปิดด้านบนตัวถังและช่องสำหรับเติมมูลฝอยอินทรีย์ด้านบน มีระบบการกวน (2 ครั้ง/อาทิตย์) ติดตั้งระบบระบายน้ำชะและระบบการเติมอากาศ (รูปที่ 2.26)
วัสดุที่ใช้ในการสร้างถังหมัก	วัสดุ polyurethane
ผลการทดลอง	เมื่อสิ้นสุดการทดลองค่า C/N อยู่ 15.40-26.40 (เริ่มต้นการทดลองมีค่า 24.3 - 35.7) การลดลงมวลอยู่ในช่วงร้อยละ 52.4-64.4 (โดยน้ำหนักแห้ง) จากการทดลองพบว่าอัตราการเกิดน้ำชะมูลฝอย 1ลิตรต่อมูลฝอยอินทรีย์ 22 กิโลกรัม อุณหภูมิมากว่า 55 °C เป็นเวลา 3 วัน ระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก 73 วัน

รูปที่ 2.26 ถังหมักที่สร้างจากวัสดุ polyurethane

ตารางที่ 2.6 (ต่อ) สรุปสาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและต่างประเทศ

หัวข้อ	รายละเอียด
ผู้วิจัย	Bench และคณะ, 2005
วัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง	มูลฝอยอินทรีย์ หมักร่วมกับใบไม้แห้งหรือเศษวัสดุจากสวนหรือสนามหญ้าภายในบ้านเรือน
รายละเอียดถังหมัก	ตัวถังหมักทำจากพลาสติกสีดำเพื่อดูดความร้อนมาช่วยในกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ ตัวถังจะมีผนังสองชั้นเพื่อทำหน้าที่เป็นฉนวนช่วยรักษาอุณหภูมิ ด้านล่างของถังจะมีลักษณะเป็นตะแกรงฝังลงไปในดิน เพื่อให้อากาศถ่ายเทสู่วัสดุหมักได้อย่างทั่วถึง (รูปที่ 2.27)
วัสดุที่ใช้ในการสร้างถังหมัก	พลาสติก
ผลการทดลอง	ตัวถังย่อยมูลฝอยอินทรีย์จากบ้านเรือนแบบ Green cone สามารถลดมูลฝอยอินทรีย์อยู่ในช่วงร้อยละ 25-50 โดยน้ำหนักเปียก (ข้อมูลของการทดลองนี้มาจากการใช้แบบสอบถามแนบติดไปกับตัวถังแล้วให้ผู้ซื้อตอบแบบสอบถามและส่งกลับมายังผู้ผลิตเพื่อสรุปข้อมูล)



รูปที่ 2.27 ถังหมัก Green cone

ตารางที่ 2.6 (ต่อ) สรุปสาระสำคัญจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและต่างประเทศ

หัวข้อ	รายละเอียด
ผู้วิจัย	Joung-Dae Kim, 2007
วัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง	มูลฝอยอินทรีย์หมักร่วมกับเศษไม้จากโรงงานเฟอร์นิเจอร์
รายละเอียดถังหมัก	ถังหมักทำจากเหล็กขนาด 324 ลบ.ม.วางตัวในแนวนอนแนวนอนขนาดกว้าง 6 ม. สูง 1.2 เมตร ยาว 45 ใช้สายพานลำเลียงมูลฝอยอินทรีย์เข้าสู่ระบบ เมื่อสิ้นสุดการหมักจะแยกเศษไม้กลับไปใช้ใหม่และแยกปุ๋ยที่ได้ไปใช้งาน
วัสดุที่ใช้ในการสร้างถังหมัก	เหล็ก
ผลการทดลอง	ค่า C/N ratio เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่า 17 (ค่า C/N ratio เริ่มต้น 24) พีเอชเมื่อสิ้นสุดการทดลอง 8.6 (พีเอชเริ่มต้นมีค่า 4) ค่าความนำไฟฟ้าอยู่ในช่วง 2-3 ds/m ตลอดการทดลอง ใช้ระยะเวลาในการหมัก 30 วัน
ไม่มีรูป	ไม่มีรูป
ผู้วิจัย	Li-An Lu และคณะ, 2007
วัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง	กากตะกอนข้าวบาร์เลย์ จากโรงงานผลิตเครื่องดื่มเมือง Chunan หมักร่วมกับกากตะกอนน้ำเสีย จากระบบบำบัดน้ำเสีย Nei-Hu แกลบ และ ปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้ว
รายละเอียดถังหมัก	ถังเหล็กทรงกระบอกขนาด 100 ลิตรมีฉนวนรักษาอุณหภูมิ ติดเกลียวเพื่อใช้ในการกวนวัสดุหมักภายในถัง เป็นการหมักแบบใช้อากาศ ทำการกวนวัสดุหมักด้วยความเร็ว 5 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที ทุกๆ 10 นาที ปริมาณอากาศที่เติมมีค่า 1.4-2.6 ลิตร / กิโลกรัมวัสดุหมัก-นาที
วัสดุที่ใช้ในการสร้างถังหมัก	เหล็ก
ผลการทดลอง	ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับค่าเริ่มต้น ค่าพีเอชเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่า 8.95 ±0.23 อุณหภูมิสูงสุดในกองปุ๋ย 65 °C
ไม่มีรูป	ไม่มีรูป

บทที่ 3

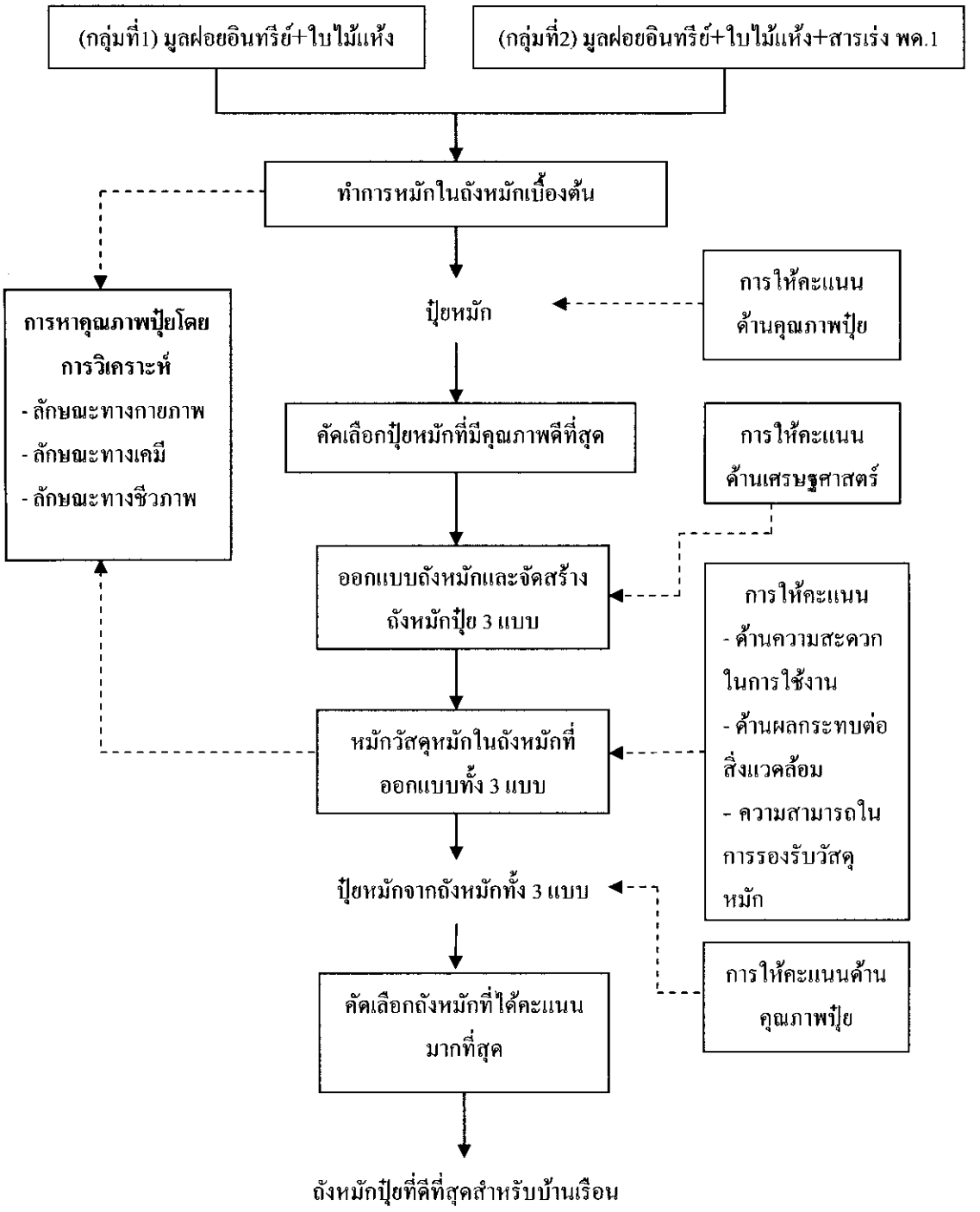
วิธีการวิจัย

การศึกษารูปแบบถังหมักปุ๋ยสำหรับมูลฝอยอินทรีย์จากบ้านเรือนครั้งนี้ได้ทำการศึกษาในห้องปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ การศึกษาแบ่งเป็น 2 ช่วง ช่วงแรกของการศึกษาทำการทดลองเพื่อหาอัตราส่วนวัสดุหมักที่เหมาะสมระหว่างมูลฝอยอินทรีย์กับใบไม้แห้ง ช่วงที่สองทำการทดลองนำอัตราส่วนระหว่างมูลฝอยอินทรีย์กับใบไม้แห้งที่ให้คุณภาพปุ๋ยดีที่สุดจากการทดลองช่วงแรก มาหมักในถังหมักที่ออกแบบ จำนวน 3 แบบ เพื่อหารูปแบบถังหมักปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับบ้านเรือน โดยระหว่างการศึกษาทำการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพ เมื่อสิ้นสุดการทดลองประเมินการได้ที่ของปุ๋ยหมักจากหมักทั้ง 3 แบบ นำผลการทดลองคุณภาพปุ๋ยที่ได้ มาประเมินร่วมกับประเด็นความเหมาะสมทางด้านความสะดวกในการใช้งาน ด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม และความสามารถในการรองรับวัสดุหมักเพื่อคัดเลือกถังหมักปุ๋ยมูลฝอยอินทรีย์ที่มีความเหมาะสมต่อบ้านเรือน แผนการดำเนินการทดลองทั้งหมดแสดงในรูปที่ 3.1

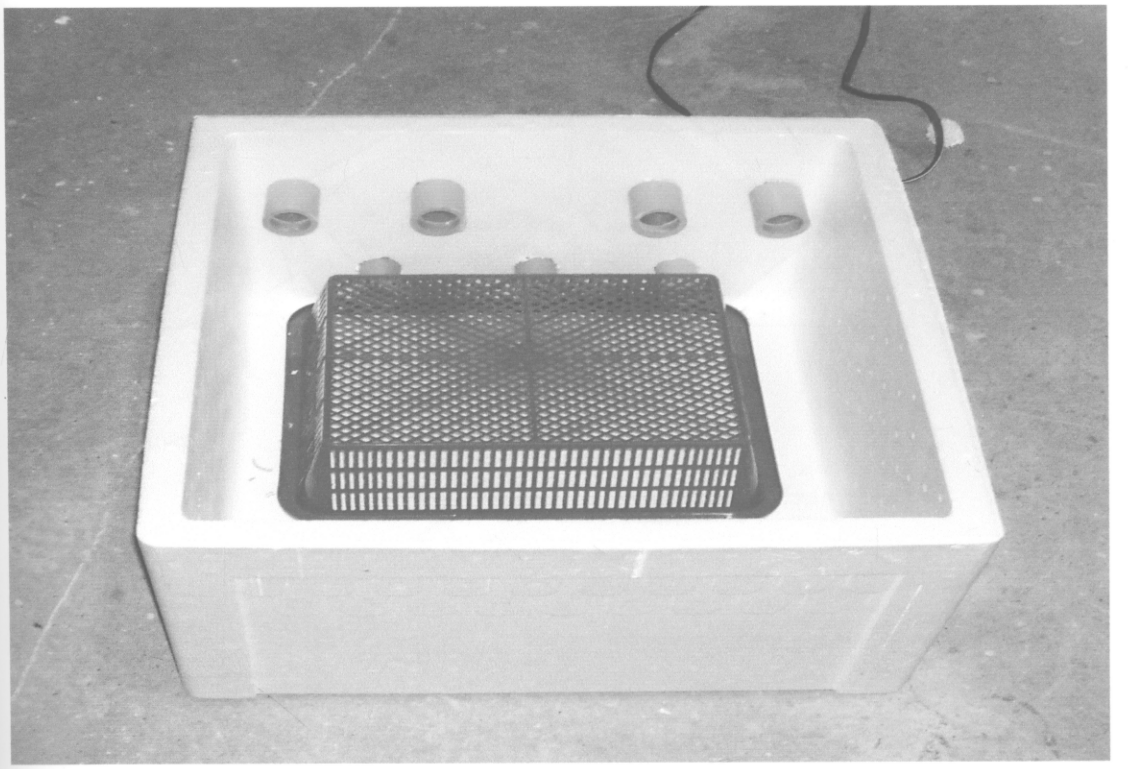
3.1 วิธีการดำเนินการทดลองในช่วงที่ 1

3.1.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง

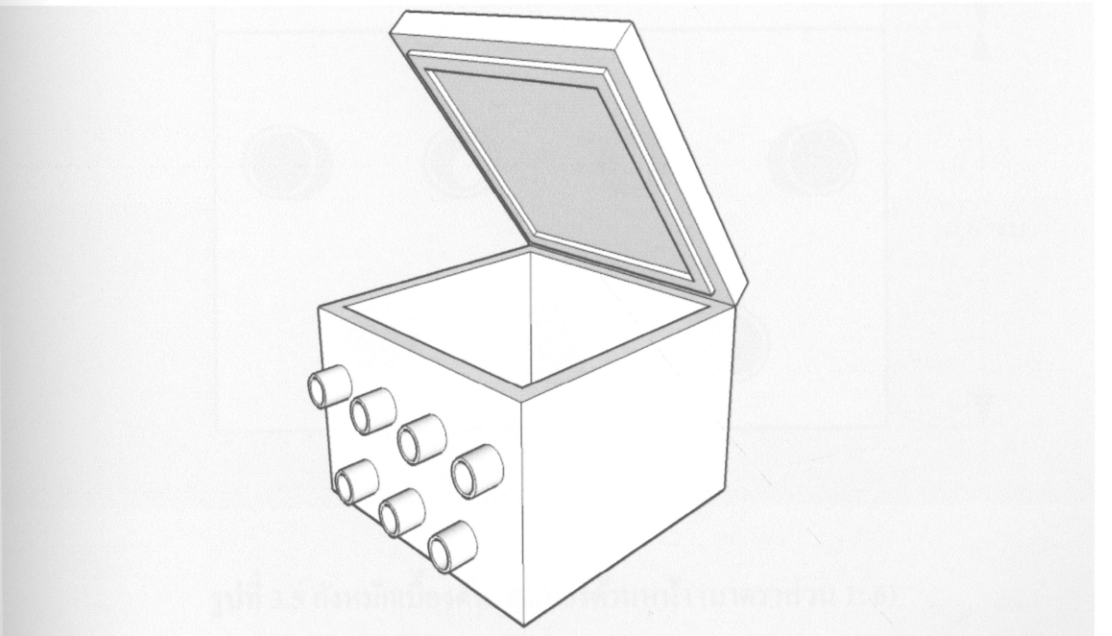
ถังหมักเบื้องต้นที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 1 เป็นถังหมักที่ทำจากถังโฟมขนาดความจุ 75 ลิตร กว้าง 50 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร เจาะช่องระบายอากาศให้อยู่ด้านเดียวกัน จำนวน 7 ช่อง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.1 เซนติเมตร (1.5 นิ้ว) ด้านในใส่ตะกร้าพลาสติกสี่เหลี่ยมวางในลักษณะคว่ำ เพื่อเพิ่มการระบายอากาศให้กับวัสดุหมัก ด้านล่างของถังหมักเจาะช่องระบายน้ำชะขนาด 1.5 เซนติเมตร (0.5 นิ้ว) ดังแสดงในรูปที่ 3.2-3.6 ถังที่ออกแบบนำมาใช้เพื่อศึกษาหาอัตราส่วนระหว่างมูลฝอยอินทรีย์จากบ้านเรือนกับใบไม้แห้งที่เหมาะสมเพื่อนำมาใช้ในการหมักปุ๋ย รายละเอียดถังหมักปุ๋ยเบื้องต้น



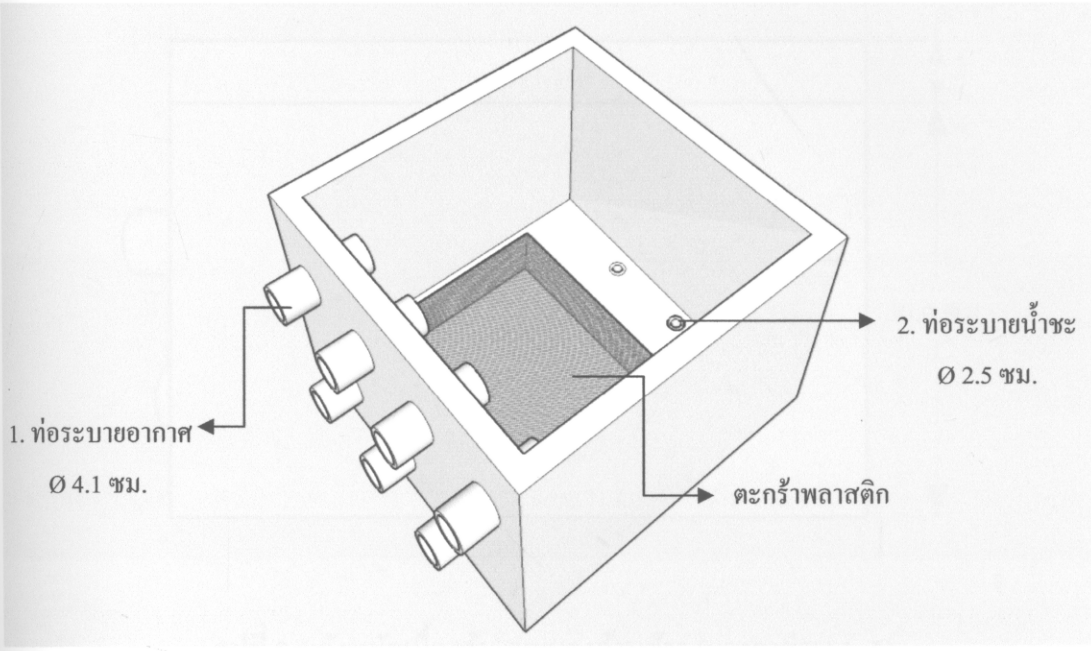
รูปที่ 3.1 แผนการดำเนินการทดลองทั้งหมด



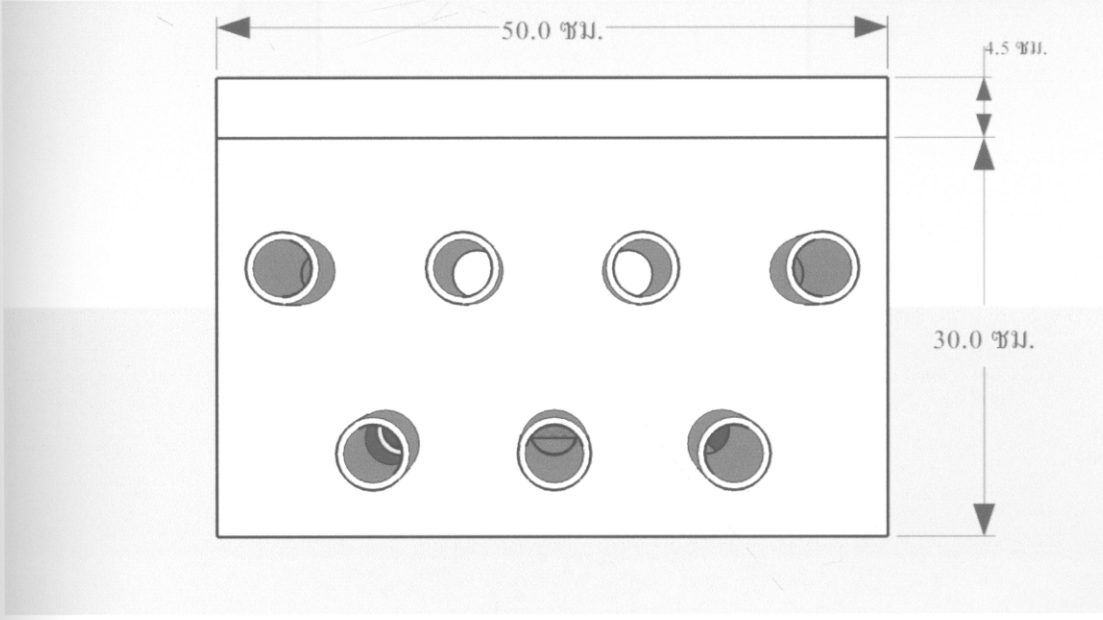
รูปที่ 3.2 ถังหมักเบื้องต้น (ต้นแบบจริง)



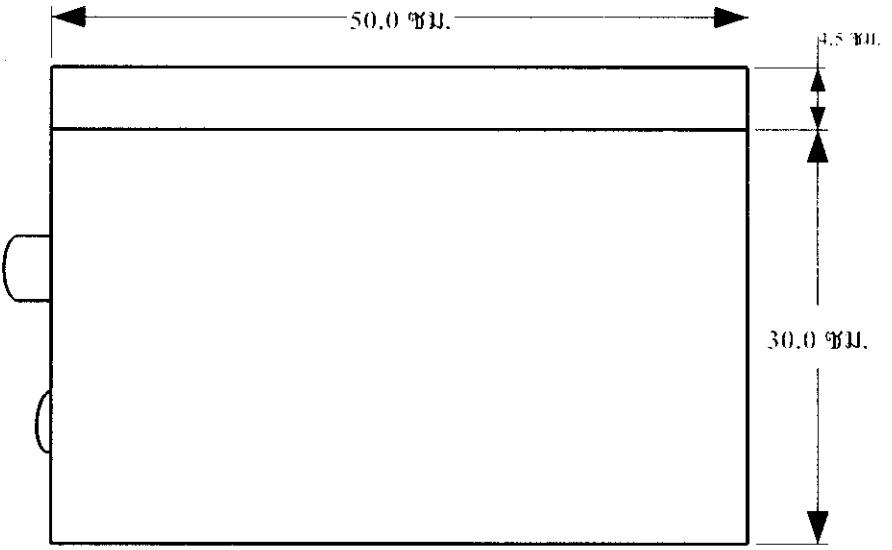
รูปที่ 3.3 ถังหมักเบื้องต้น มุมมอง Isometric



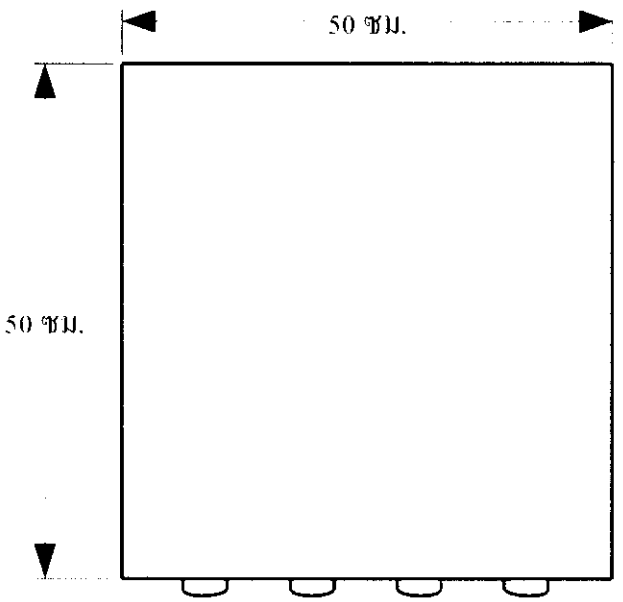
รูปที่ 3.4 ถังหมักเบื้องต้น มุมมองภายใน (ไม่มีฝาปิด)



รูปที่ 3.5 ถังหมักเบื้องต้น มุมมองด้านหน้า (มาตราส่วน 1: 6)



รูปที่ 3.6 ถังหมักเบื้องต้น มุมมองด้านข้าง (มาตราส่วน 1: 6)



รูปที่ 3.7 ถังหมักเบื้องต้น มุมมองด้านบน (มาตราส่วน 1: 8)

3.1.2 การเตรียมวัสดุหมัก

มูลฝอยอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้นำมาจากตลาดสดแห่งหนึ่งในจังหวัดสงขลา มีองค์ประกอบดังนี้ เศษผัก เศษผลไม้ เศษเนื้อปรุงสุก (เช่น เนื้อปลา เนื้อหมู) และ เศษข้าว ในอัตราส่วนร้อยละ 70, 20, 5, 5 โดยน้ำหนักเปียกตามลำดับ (Seo, 2004) จากนั้นทำการย่อยขนาดมูลฝอยอินทรีย์ให้มีขนาดอยู่ในช่วง 2.5-5 เซนติเมตร ในส่วนของใบไม้แห้งซึ่งใช้เป็นวัสดุหมักร่วมนำมาจากบริเวณลานปลูกดอกไม้ภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทำการบดย่อยด้วยเครื่องย่อยให้มีขนาด 2.5-5 เซนติเมตร

3.1.3 การดำเนินการหมัก

การดำเนินการหมักปุ๋ยในการทดลองช่วงที่ 1 ทำการผสมวัสดุหมักระหว่างมูลฝอยอินทรีย์กับใบไม้แห้งตามอัตราส่วนในตารางที่ 3.1 ซึ่งแบ่งกลุ่มวัสดุหมักเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 วัสดุหมักที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1 (ถังหมักใบที่ 1-5) ทำการทดลองในช่วงเดือนตุลาคม 2551-พฤศจิกายน 2551 และกลุ่มที่ 2 วัสดุหมักที่เติมสารเร่ง พด.1 (ถังหมักใบที่ 6-10) ทำการทดลองในช่วงเดือนพฤศจิกายน 2551- ธันวาคม 2551ปริมาณวัสดุหมักที่เติมในถังหมักทั้ง 2 กลุ่มถูกควบคุมโดยปริมาตรของถังหมัก (8 กก. /ถังหมัก) เติมวัสดุหมักให้เต็มถังหมักภายในครั้งเดียว (แบบ Batch) รายละเอียดการคำนวณปริมาณวัสดุหมักและปริมาณสารเร่ง พด.1ที่เติม แสดงในภาคผนวก ก.1 ใช้ระยะเวลาการหมัก 45 วัน ระหว่างการหมักทำการกลับกองวัสดุหมักทุกๆ 4 วัน จนสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก แผนการดำเนินการทดลองช่วงที่ 1 แสดงในรูปที่ 3.8

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมระหว่างมูลฝอยอินทรีย์กับใบไม้แห้ง

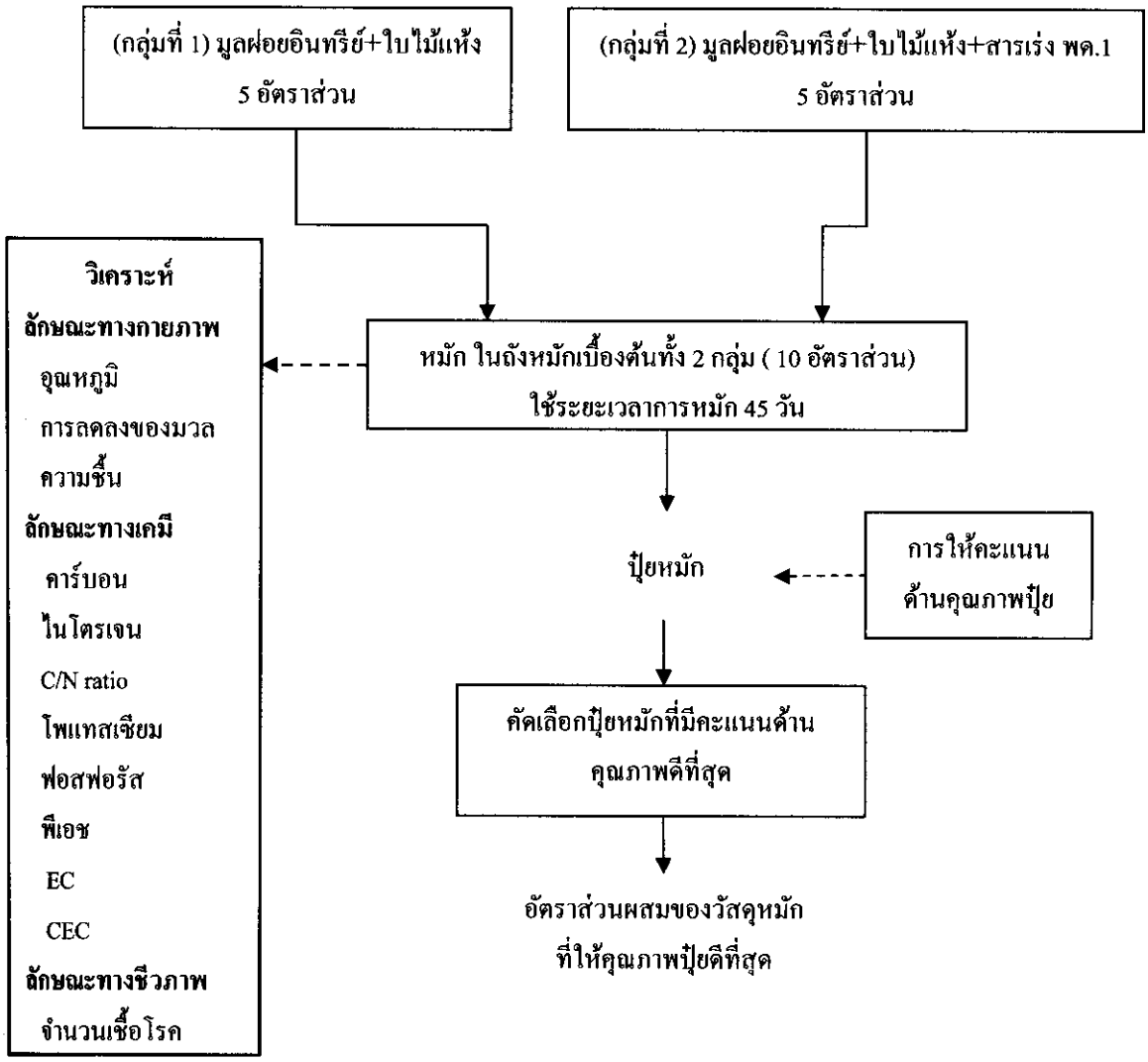
ถังหมักใบที่	วัสดุหมัก	อัตราส่วน	มูลฝอยอินทรีย์ (กิโลกรัม)	เศษใบไม้แห้ง (กิโลกรัม)
1	มูลฝอยอินทรีย์(OR)+ใบไม้แห้ง(DL)	1:1	4	4
2	มูลฝอยอินทรีย์(OR)+ใบไม้แห้ง(DL)	1:1.5	3.2	4.8
3	มูลฝอยอินทรีย์(OR)+ใบไม้แห้ง(DL)	1:2	2.6	5.4
4	มูลฝอยอินทรีย์(OR)+ใบไม้แห้ง(DL)	1.5:1	4.8	3.2
5	มูลฝอยอินทรีย์(OR)+ใบไม้แห้ง(DL)	2:1	5.4	2.6
6	มูลฝอยอินทรีย์(OR)+ใบไม้แห้ง(DL)+พด.1	1:1	4	4
7	มูลฝอยอินทรีย์(OR)+ใบไม้แห้ง(DL)+พด.1	1:1.5	3.2	4.8
8	มูลฝอยอินทรีย์(OR)+ใบไม้แห้ง(DL)+พด.1	1:2	2.6	5.4
9	มูลฝอยอินทรีย์(OR)+ใบไม้แห้ง(DL)+พด.1	1.5:1	4.8	3.2
10	มูลฝอยอินทรีย์(OR)+ใบไม้แห้ง(DL)+พด.1	2:1	5.4	2.6

หมายเหตุ ถังหมักทุกใบทำการกลับกองทุก 4 วันและมีปริมาณวัสดุหมัก 8 กก.

OR คือ มูลฝอยอินทรีย์ (Organic wastes)

DL คือ ใบไม้แห้ง (Dry Leaves)

พด.1 คือ สารเร่ง พด.1 ที่เติมในวัสดุหมักปริมาณ 1.2 กรัม



รูปที่ 3.8 แผนการดำเนินการทดลองช่วงที่ 1

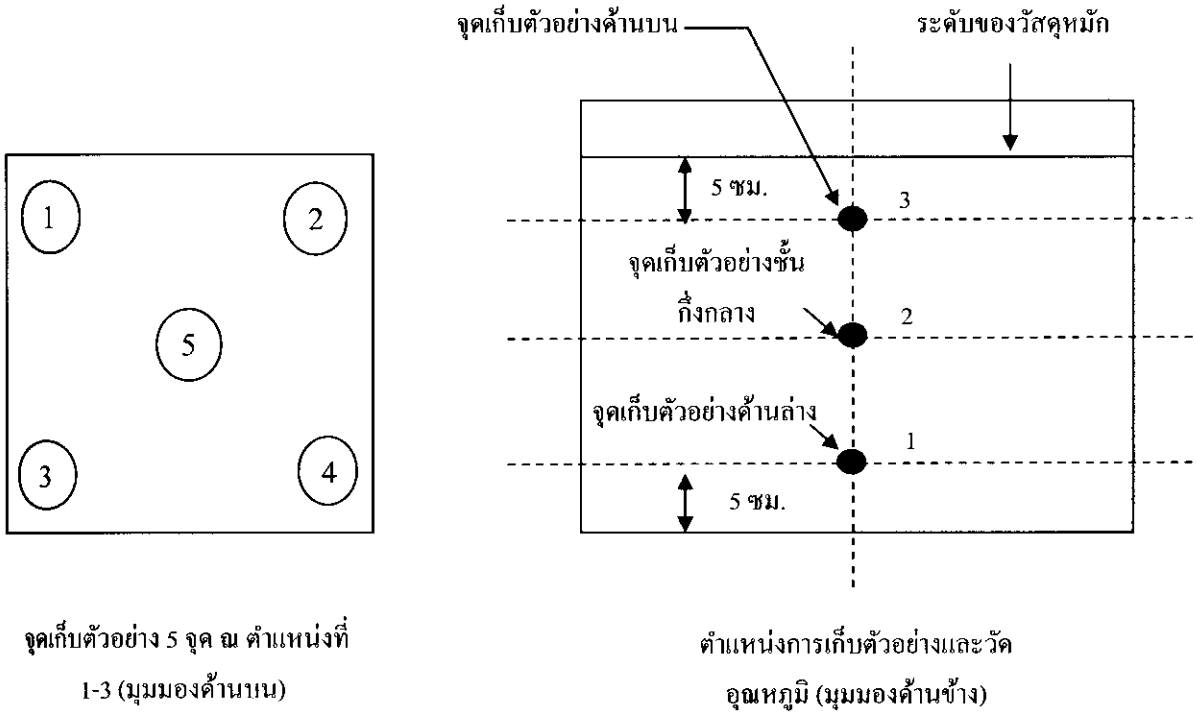
3.1.4 การเก็บตัวอย่าง

การเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพทางเคมี และทางชีวภาพโดยแบ่งเป็น 3 ช่วงดังนี้

1. **ตัวอย่างวัสดุหมักก่อนใส่ถังหมัก** เก็บตัวอย่างโดยการสุ่ม 5 จุด ให้ได้ปริมาณตัวอย่างประมาณ 250 กรัมแล้วนำมาผสมกัน

2. **ตัวอย่างวัสดุหมักขณะหมักในถังหมัก** เก็บตัวอย่างทุกๆ 4 วันเมื่อมีการกลับกอง ตำแหน่งเก็บตัวอย่างมี 3 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 5 จุดแสดงในรูปที่ 3.9 ตำแหน่งที่ 1 มีความสูงจากฐานด้านล่างของกองวัสดุหมัก 5 เซนติเมตร ตำแหน่งที่ 2 บริเวณจุดกึ่งกลางความสูงของกองวัสดุหมักในถังหมักและตำแหน่งที่ 3 ต่ำลงมาจากผิวหน้าวัสดุหมัก 5 เซนติเมตร โดยสุ่มเก็บให้ได้ประมาณ 250 กรัมแล้วนำมาผสมกัน

3. **ตัวอย่างปุ๋ยหมักเมื่อสิ้นสุดการหมัก** เก็บตัวอย่างโดยการสุ่ม 5 จุด ให้ได้ปริมาณตัวอย่างประมาณ 250 กรัม แล้วนำมาผสมกัน



รูปที่ 3.9 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างและการวัดอุณหภูมิในถังหมัก

3.1.5 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ในระหว่างการหมักจะทำการวัดอุณหภูมิของปุ๋ยหมักทุกวันตลอดระยะเวลาการทดลองหมัก โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิในกองวัสดุหมัก 1 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่ 2 บริเวณจุดกึ่งกลางความสูงของวัสดุหมักในถังหมัก (แสดงตำแหน่งที่ 2 ในรูปที่ 3.9) วิธีการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ(อุณหภูมิ, การลดลงของมวล, ความชื้น) ลักษณะทางเคมี (อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน, ปริมาณโพแทสเซียม, ปริมาณฟอสฟอรัส, พีเอช, ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก, ค่าความนำไฟฟ้า) ลักษณะทางชีวภาพ (จำนวนเชื้อโรค) แสดงในตารางที่ 3.2 สำหรับความถี่ในการตรวจวัดแสดงในตารางที่ 3.3

3.1.5 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ในระหว่างการหมักจะทำการวัดอุณหภูมิของปุ๋ยหมักทุกวันตลอดระยะเวลาการทดลองหมัก โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิในกองวัสดุหมัก 1 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่ 2 บริเวณจุดกึ่งกลางความสูงของวัสดุหมักในถังหมัก (แสดงตำแหน่งที่ 2 ในรูปที่ 3.9) วิธีการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ(อุณหภูมิ, การลดลงของมวล, ความชื้น) ลักษณะทางเคมี (อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน, ปริมาณโพแทสเซียม, ปริมาณฟอสฟอรัส, พีเอช, ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก, ค่าความนำไฟฟ้า) ลักษณะทางชีวภาพ (จำนวนเชื้อโรค) แสดงในตารางที่ 3.2 สำหรับความถี่ในการตรวจวัดแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 วิธีการวิเคราะห์

พารามิเตอร์	วิธีการวิเคราะห์	เอกสารอ้างอิง
1. ความชื้น	Gravimetric Method	เทคนิคการวิเคราะห์น้ำเสียและขยะมูลฝอย (อุดมผล, 2546)
2. อินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุ (OC)	Walkley & Black Method	คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (จำเป็น, 2547)
3. ไนโตรเจน (TKN)	Kjeldahl Method	คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (จำเป็น, 2547)
4. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	การคำนวณ	-
5. ธาตุอาหาร - โพแทสเซียม (K_2O) - ฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5)	AAS Spectrophotometric Method	AOAC, 1998 ส่งวิเคราะห์ที่ Central Lab คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
6. ค่าความเป็นกรด-ด่าง	pH meter	คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (จำเป็น, 2547)
7. การนำไฟฟ้า	Electrical Conductivity	คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (จำเป็น, 2547)
8. ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)	ใช้แอมโมเนียมอะซิเตทแช่ตัวอย่างและไตเตรท	คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช (จำเป็น, 2547)
9. เชื้อโรค - Fecal Coliforms - Salmonella sp.	Most probable number Method	U.S. FDA/BAM, 2001
10. การลดลงของมวล	วัดโดยโตรง	-

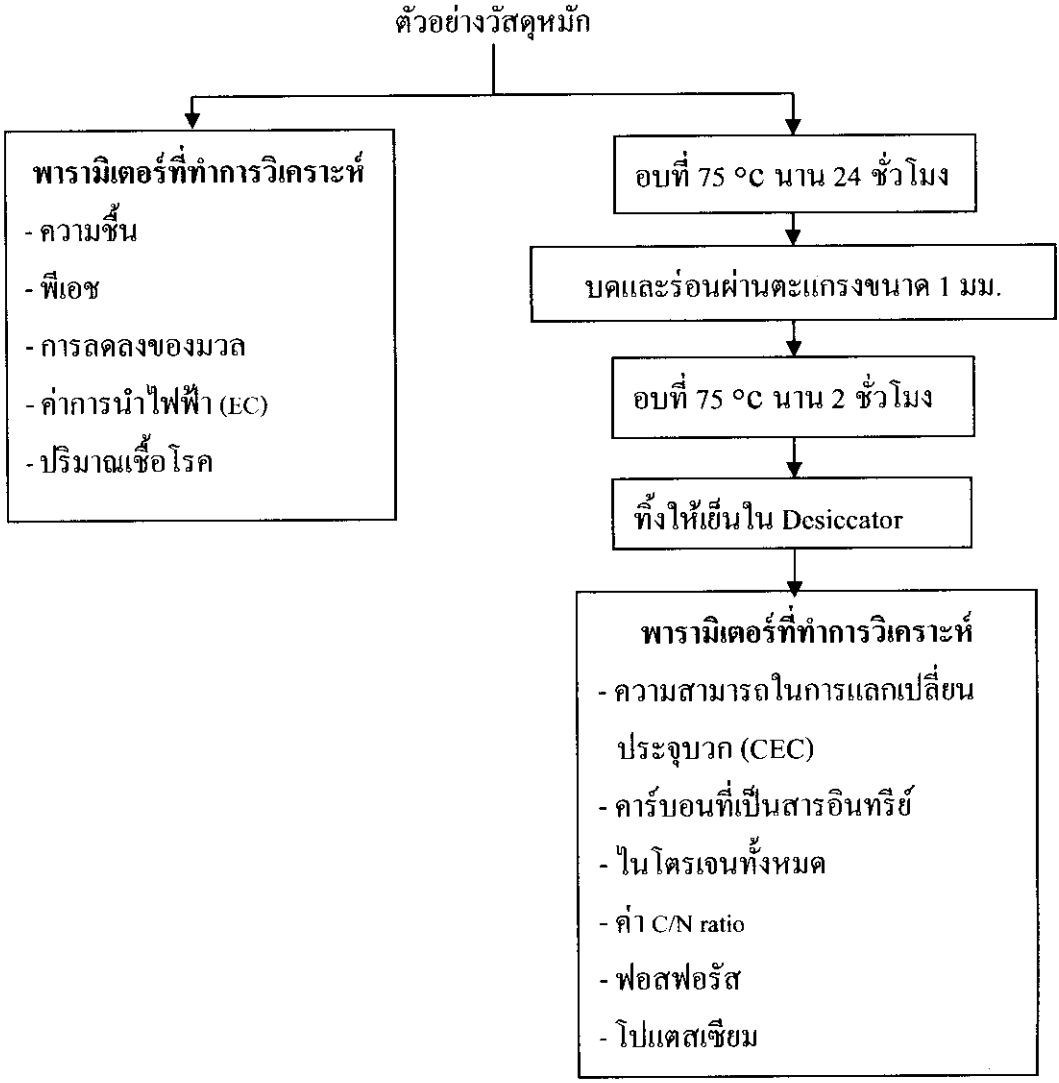
หมายเหตุ AOAC ย่อมาจาก Association of Official Analytical Chemists

ตารางที่ 3.3 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง

พารามิเตอร์	ก่อนเข้าถังหมัก	การหมักในถังหมัก		สิ้นสุดการหมัก	หมายเหตุ
		ช่วงที่มีการเติมมูลฝอยอินทรีย์	ช่วงที่ไม่มีการเติมมูลฝอยอินทรีย์*		
ลักษณะทางกายภาพ					
1. อุณหภูมิ	1 ครั้ง	-	ทุก 4 วัน	1 ครั้ง	
2. การลดลงของมวล	1 ครั้ง	-	-	1 ครั้ง	
3. ความชื้น	1 ครั้ง	-	ทุก 4 วัน	1 ครั้ง	
ลักษณะทางเคมี					
1. คาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์	1 ครั้ง	-	ทุก 4 วัน	1 ครั้ง	
2. ไนโตรเจนทั้งหมด	1 ครั้ง	-	ทุก 4 วัน	1 ครั้ง	
3. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	1 ครั้ง	-	ทุก 4 วัน	1 ครั้ง	
4.โพแทสเซียม	1 ครั้ง	-	ทุก 4 วัน	1 ครั้ง	
5.ฟอสฟอรัส	1 ครั้ง	-	ทุก 4 วัน	1 ครั้ง	
6. พีเอช	1 ครั้ง	-	ทุก 4 วัน	1 ครั้ง	
7. ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก	1 ครั้ง	-	-	1 ครั้ง	
8. ค่าการนำไฟฟ้า	1 ครั้ง	-	ทุก 4 วัน	1 ครั้ง	
ลักษณะทางชีวภาพ					
1. จำนวนเชื้อโรค	-	-	-	1 ครั้ง	

* คือ ช่วงที่วัสดุเต็มถังหมัก

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์แสดงในรูปที่ 3.10 นำตัวอย่างวัสดุหมักส่วนหนึ่งมาวิเคราะห์ความชื้น ค่าพีเอช ค่าการนำไฟฟ้าและจำนวนเชื้อโรค ตัวอย่างวัสดุหมักที่เหลือนำไปอบที่อุณหภูมิ 75 °C นาน 24 ชั่วโมง จากนั้นนำไปบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 1 มม. อบที่อุณหภูมิ 75 °C อีก 2 ชั่วโมง วางทิ้งไว้ให้เย็นในตู้ควบคุมความชื้น (Desiccator) แล้วจึงนำมาวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วนคาร์บอนและไนโตรเจน ปริมาณโพแทสเซียม ปริมาณฟอสฟอรัส ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก เมื่อสิ้นสุดการทดลองช่วงที่ 1 นำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับมาตรฐานโดยใช้ตารางที่ 3.4 ในการประเมินให้คะแนนวัสดุหมัก สำหรับอัตราส่วนที่ให้คุณภาพปุ๋ยดีที่สุดเพื่อนำไปใช้เป็นวัสดุหมักเริ่มต้นในการทดลองช่วงที่ 2



รูปที่ 3.10 การเตรียมตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ

ตารางที่ 3.4 เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินคุณภาพปุ๋ยหมักของวัสดุหมักแต่ละอัตราส่วน

คุณภาพของวัสดุหมัก	ผลการทดลอง[2]						เกณฑ์การให้คะแนนคุณภาพปุ๋ย[3]						ผลการประเมิน				
	หน่วย	R1	R2	R3	R4	R5	10	8	6	4	2	0	R1	R2	R3	R4	R5
1. ความเป็นกรดเป็นด่าง[1]	-						7.0-8.0	8.1-8.5 6.5-6.9	8.6-9.0 6.0-6.4	10.0-14.0 2.0-6.0	- -	- -					
2. ปริมาณความชื้น	%						0-35	36-40	41-45	46-50	51-56	> 56					
3. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	%						35-40	41-45	46-50	30-35	25-30	20-25					
4. ค่า C/N	-						0-20	20-25	25-30	30-35	35-40	> 40					
5. ปริมาณไนโตรเจน	%						≥1	0.8-0.9	0.6-0.7	0.4-0.5	0.2-0.3	< 0.2					
6. ปริมาณฟอสฟอรัส	%						≥1	0.8-0.9	0.6-0.7	0.4-0.5	0.2-0.3	< 0.3					
7. ปริมาณโพแทสเซียม	%						≥0.5	0.3-0.4	-	0.1-0.2	-	< 0.1					
8. การลดลงของมวล[1]	%						≥40	35-40	30-35	25-30	20-25	0-20					
คะแนนที่ได้ (คะแนนเต็ม 80)																	

หมายเหตุ [1] คือ เกณฑ์ที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับการวิจัย

[2] คือ ผลการทดลองโดยใช้สัญลักษณ์ R1, R2, R3, R4 และ R5 แทนอัตราส่วนมูลฝอยอินทรีย์ต่อใบไม้แห้ง 1:1, 1:1.5, 1:2, 2:1 และ 1.5:1 ตามลำดับ

[3] คือ อ้างอิงจาก สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2543)

3.2 วิธีการดำเนินการทดลองในช่วงที่ 2

3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การทดลอง (การออกแบบถังหมัก)

การทดลองในช่วงที่ 2 (ทำการทดลองในช่วงเดือน พฤษภาคม 2552-ตุลาคม 2552) ทำการออกแบบและก่อสร้างถังหมักทั้ง 3 แบบโดยผู้วิจัย ซึ่งใช้ข้อมูลจากการทบทวนเอกสารและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งภายในและจากต่างประเทศ ประกอบกับข้อมูลจากการทดลองช่วงที่ 1 สามารถสรุปเป็นแนวคิดพื้นฐานในการออกแบบถังหมักปุ๋ยสำหรับมูลฝอยอินทรีย์จากบ้านเรือนได้ดังนี้

แนวคิดพื้นฐานในการออกแบบถังหมักปุ๋ยที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1

จากผลการทดลองช่วงที่ 1 พบว่าถังหมักที่ออกแบบในการทดลองช่วงที่ 2 ควรมีคุณลักษณะพื้นฐานดังต่อไปนี้ เพื่อให้กระบวนการหมักเกิดขึ้นได้ดี

- ควรมีการติดตั้งฉนวนเพื่อช่วยรักษาอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมัก
- ควรมีการระบายอากาศให้กับวัสดุหมักระหว่างการหมักด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การนำวัสดุหมักมาพลิกกลับกองเป็นช่วงระหว่างการหมัก หรือ การติดตั้งท่อระบายความร้อนจากภายในกองวัสดุหมักเพื่อให้อากาศหมุนเวียน
- ควรมีท่อระบายน้ำชะที่มาจากมูลฝอยอินทรีย์ระหว่างดำเนินการหมัก

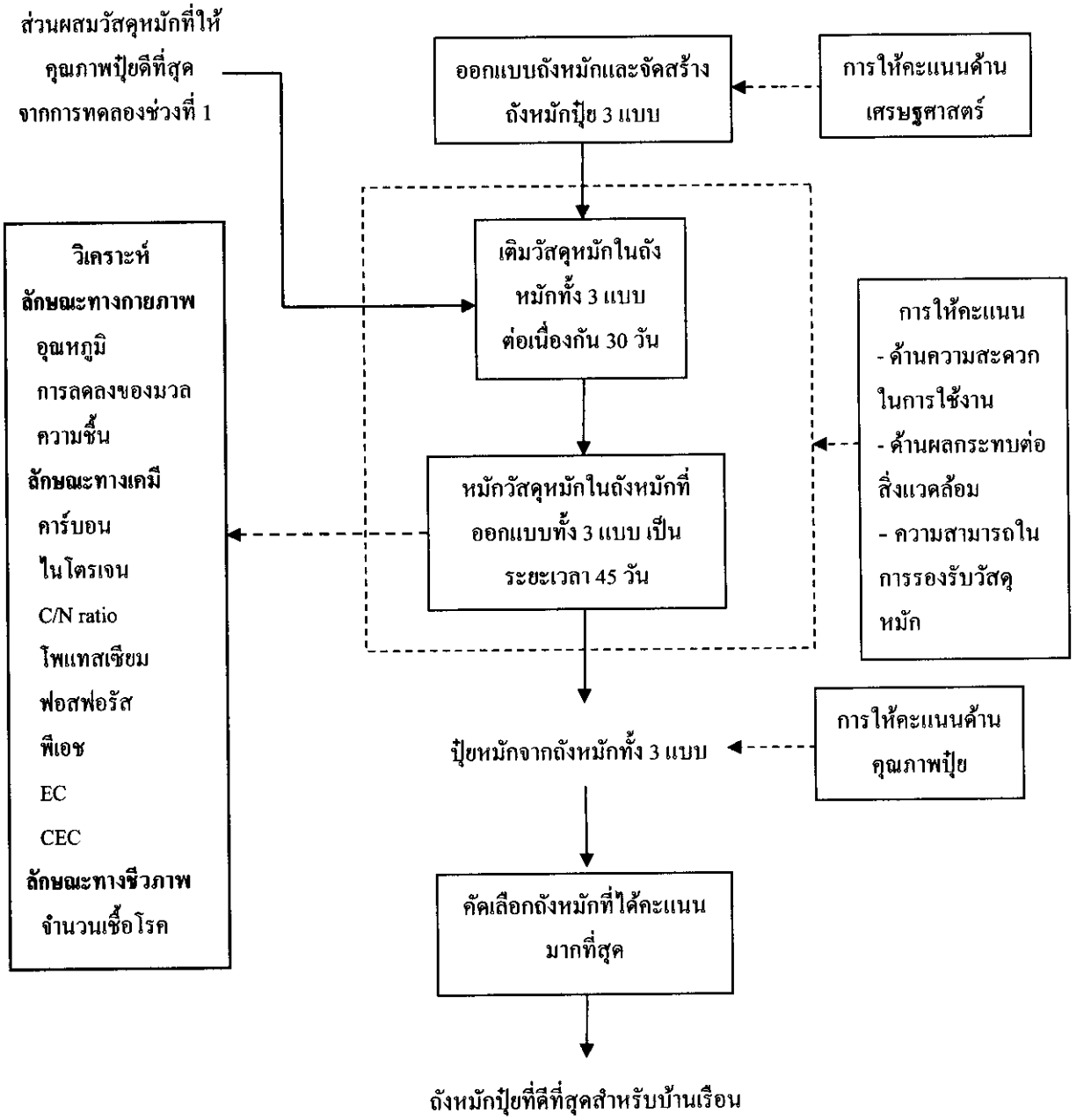
3.2.2 การเตรียมวัสดุหมัก

วัสดุหมักที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 2 ยังคงใช้มูลฝอยอินทรีย์ผสมกับใบไม้แห้งเช่นเดียวกับการทดลองช่วงที่ 1 แต่จะแตกต่างกันในส่วนของปริมาณวัสดุหมักที่เติมซึ่งในการทดลองช่วงที่ 2 ทำการเติมวัสดุหมักในถังหมักทั้ง 3 แบบต่อเนื่องกันทุกวัน แหล่งที่มาของมูลฝอยอินทรีย์นำมาจากตลาดสดแห่งหนึ่งในจังหวัดสงขลา มีองค์ประกอบดังนี้ เศษผัก เศษผลไม้ เศษเนื้อปรุงสุก (เช่น เนื้อปลา เนื้อหมู) และ เศษข้าว ในอัตราส่วนร้อยละ 70, 20, 5 และ 5 โดยน้ำหนักเปียกตามลำดับ (Seo และคณะ, 2004) จากนั้นทำการย่อยขนาดมูลฝอยอินทรีย์ให้มีขนาดอยู่ในช่วง 2.5-5 เซนติเมตร และนำใบไม้แห้งซึ่งใช้เป็นวัสดุหมักร่วมนำมาจากบริเวณลานปลูกดอกไม้ภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ทำการบดย่อยด้วยเครื่องย่อยให้มีขนาด 2.5-5 เซนติเมตร

3.2.3 การดำเนินการหมัก

แผนการดำเนินการทดลองช่วงที่ 2 แสดงในรูปที่ 3.11 มีวัตถุประสงค์เพื่อหารูปแบบถังหมักมูลฝอยอินทรีย์ที่มีความเหมาะสมสำหรับบ้านเรือน การประเมินจะใช้คะแนนด้าน

คุณภาพปุ๋ย (ตารางที่ 3.5) ด้านความสะดวกในการใช้งาน ความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ และด้านผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (ตารางที่ 3.6) นำผลคะแนนมาคัดเลือกถังหมักที่มีคะแนนมากที่สุด การดำเนินการทดลองเริ่มจากทำการผสมวัสดุหมักระหว่างมูลฝอยอินทรีย์กับใบไม้แห้งในอัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนักเปียก เติมในถังหมักทั้ง 3 แบบทุกวันต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลา 30 วัน หลังจากนั้นทำการหมักต่อเป็นระยะเวลา 45 วันรวมระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 2 คือ 75 วัน



รูปที่ 3.11 แผนการดำเนินการทดลองช่วงที่ 2

ตารางที่ 3.5 เกณฑ์ที่ใช้ในการประเมินคุณภาพปุ๋ยหมักจากถังหมักที่ออกแบบ

คุณภาพของวัสดุหมัก	ผลการทดลอง[2]				เกณฑ์คุณภาพปุ๋ย[3]						ผลการประเมิน		
	หน่วย	ถังหมักแบบที่ 1	ถังหมักแบบที่ 2	ถังหมักแบบที่ 3	10	8	6	4	2	0	ถังหมักแบบที่ 1	ถังหมักแบบที่ 2	ถังหมักแบบที่ 3
1. ความเป็นกรดเป็นด่าง[1]	-				7.0-8.0	8.1-8.5 6.5-6.9	8.6-9.0 6.0-6.4	10.0-14.0 2.0-6.0	- -	- -			
2. ปริมาณความชื้น	%				0-35	36-40	41-45	46-50	51-56	> 56			
3. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	%				35-40	41-45	46-50	30-35	25-30	20-25			
4. ค่า C/N	-				0-20	20-25	25-30	30-35	35-40	> 40			
5. ปริมาณไนโตรเจน	%				≥1	0.8-0.9	0.6-0.7	0.4-0.5	0.2-0.3	< 0.2			
6. ปริมาณฟอสฟอรัส	%				≥1	0.8-0.9	0.6-0.7	0.4-0.5	0.2-0.3	< 0.3			
7. ปริมาณโพแทสเซียม	%				≥0.5	0.3-0.4	-	0.1-0.2	-	< 0.1			
8. การลดลงของมวล[1]	%				≥40	35-40	30-35	25-30	20-25	0-20			
คะแนนที่ได้ (คะแนนเต็ม 80)													

หมายเหตุ [1] คือ เกณฑ์ที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับการวิจัย

[2] คือ ผลการทดลองจากถังหมักแบบที่ 1, 2, 3 ตามลำดับ

[3] คือ อ้างอิงจาก สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2543)

ตารางที่ 3.6 เกณฑ์ที่ใช้การในการประเมินความเหมาะสมในการใช้งาน

ประเด็นที่ใช้ประเมิน	เกณฑ์ที่ใช้ประเมิน					ผลการประเมิน		
	1		10		20	ถังหมักแบบที่ 1	ถังหมักแบบที่ 2	ถังหมักแบบที่ 3
1. คุณภาพปุ๋ยที่ได้ (80คะแนน)	ข้อมูลจากตารางที่ 3.5		ข้อมูลจากตารางที่ 3.5		ข้อมูลจากตารางที่ 3.5			
2. ราคาในการก่อสร้าง	มากกว่า 3000 บาท ขึ้นไป		อยู่ในช่วง 2000-3000 บาท		น้อยกว่าหรืออยู่ในช่วง 1000 – 2000 บาท			
3. ความสามารถในการรองรับวัสดุหมัก	ไม่สามารถรองรับวัสดุหมักได้ ภายใน 30 วัน		เกิดการอัดแน่นของวัสดุหมักแต่ยังคงใช้งานต่อได้ครบ 30 วัน		สามารถรองรับวัสดุหมักได้ภายใน 30 วันโดยไม่เกิดปัญหาใดๆ			
4. ความสะดวกในการกลับกอง	ใช้เวลาในการทำงานมากกว่า 20 นาที/ครั้ง		ใช้เวลาในการทำงานไม่เกิน 20 นาที/ครั้ง		ใช้เวลาในการทำงานไม่เกิน 10 นาที/ครั้ง			
5. ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (ช่วงเวลาที่ส่งกลิ่นรบกวน)	เกณฑ์ที่ใช้ประเมิน							
	2	4	6	8	10			
	ตลอดการทดลอง	3-6 สัปดาห์แรก	2-3 สัปดาห์แรก	สัปดาห์แรก	ไม่มีกลิ่น			
คะแนนรวม (150 คะแนน)								

ปริมาณมูลฝอยอินทรีย์ที่ใช้เติมได้มาจากข้อมูลของสำนักงานสถิติแห่งชาติ สำนักนายกรัฐมนตรีในปี พ.ศ. 2543 ระบุว่าสมาชิกในครัวเรือนโดยเฉลี่ยมีประมาณ 4 คนดังนั้นอัตราการทิ้งขยะเท่ากับ 2.64 กิโลกรัม/คน/วัน แต่เนื่องจากในมูลฝอยมีทั้งส่วนที่ย่อยสลายได้ และส่วนที่ย่อยสลายไม่ได้ การทำปุ๋ยหมักจากมูลฝอยอินทรีย์ในครัวเรือนนั้นจะใช้มูลฝอยส่วนที่ย่อยสลายได้เท่านั้น เมื่อพิจารณาองค์ประกอบมูลฝอยที่เกิดขึ้นทั้งหมดพบว่ามีสัดส่วนมูลฝอยอินทรีย์อยู่ประมาณร้อยละ 60 ของปริมาณมูลฝอยทั้งหมด (กรมควบคุมมลพิษ, 2551) ดังนั้นปริมาณมูลฝอยอินทรีย์ที่ต้องเติม คือ 1.58 กิโลกรัมหรือประมาณ 1.6 กิโลกรัมและทำการผสมกับใบไม้แห้ง 0.8 กิโลกรัม (อัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนักเปียก) ดังนั้นน้ำหนักวัสดุหมักที่ต้องเติมในถังหมักทั้ง 3 แบบ คือ 2.4 กิโลกรัมต่อวัน (ความหนาแน่นวัสดุหมัก 0.75 กิโลกรัมต่อลิตร มีปริมาตรทั้งหมดตลอดระยะเวลา 30 วันคือ 96 ลิตร และมีน้ำหนักเปียก 72 กิโลกรัม)

3.2.4 การเก็บตัวอย่าง

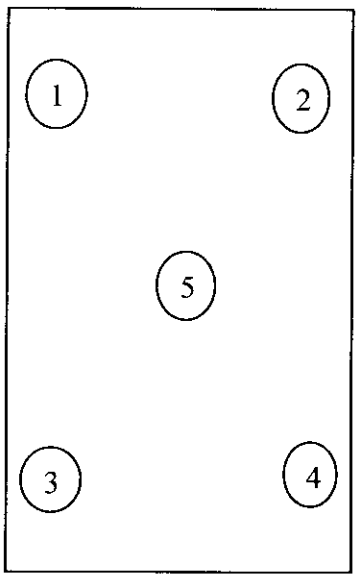
การเก็บตัวอย่างเพื่อนำไปวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ ทางเคมี และทางชีวภาพโดยแบ่งเป็น 3 ช่วงดังนี้

1. **ตัวอย่างวัสดุหมักก่อนใส่ถังหมัก** เก็บตัวอย่างโดยการสุ่ม 5 จุด ให้ได้ปริมาณตัวอย่างประมาณ 250 กรัม แล้วนำมาผสมกัน

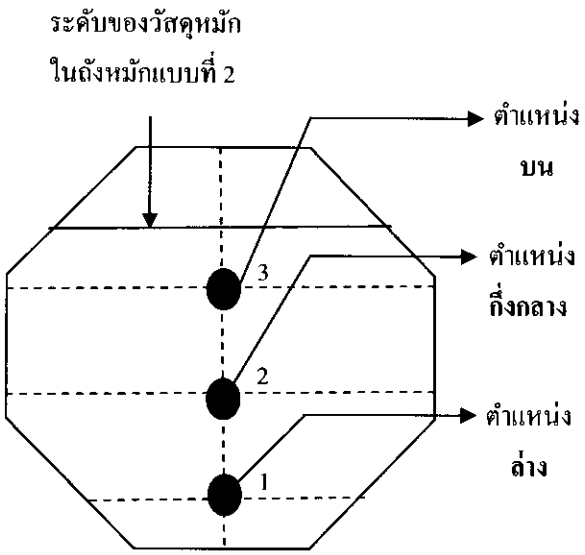
2. **ตัวอย่างวัสดุหมักขณะหมักในถังหมักเมื่อมีการเติมมูลฝอยอินทรีย์ทุกวัน** เก็บตัวอย่างทุกๆ 4 วันเมื่อมีการกลับกองวัสดุหมัก เริ่มต้นเก็บตัวอย่างวันที่ 12 ของการหมัก เช่นเดียวกับการเริ่มกลับกองวัสดุหมัก เนื่องมาจากถังหมักทั้ง 3 แบบมีลักษณะแตกต่างการจึงมีขั้นตอนการเก็บตัวอย่างที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้

- ถังหมักแบบที่ 1 ใช้วิธีการเก็บตัวอย่างเช่นเดียวกับการทดลองช่วงที่ 1 หัวข้อ 3.1.4 และรูปที่ 3.9

- **ถังหมักแบบที่ 2** มีการเก็บตัวอย่างวัสดุหมักมี 3 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 5 จุด แสดงในรูปที่ 3.12 ตำแหน่งที่ 1 มีความสูงจากฐาน 5 เซนติเมตร ตำแหน่งที่ 2 บริเวณจุดกึ่งกลางความสูงของวัสดุหมักในถังหมักและตำแหน่งที่ 3 ต่ำลงมาจากผิวหน้าวัสดุหมัก 5 เซนติเมตร โดยสุ่มเก็บให้ได้ประมาณ 250 กรัม แล้วนำมาผสมกัน



จุดเก็บตัวอย่าง 5 จุด ณ ตำแหน่งที่ 1-3
(มุมมองด้านบน)

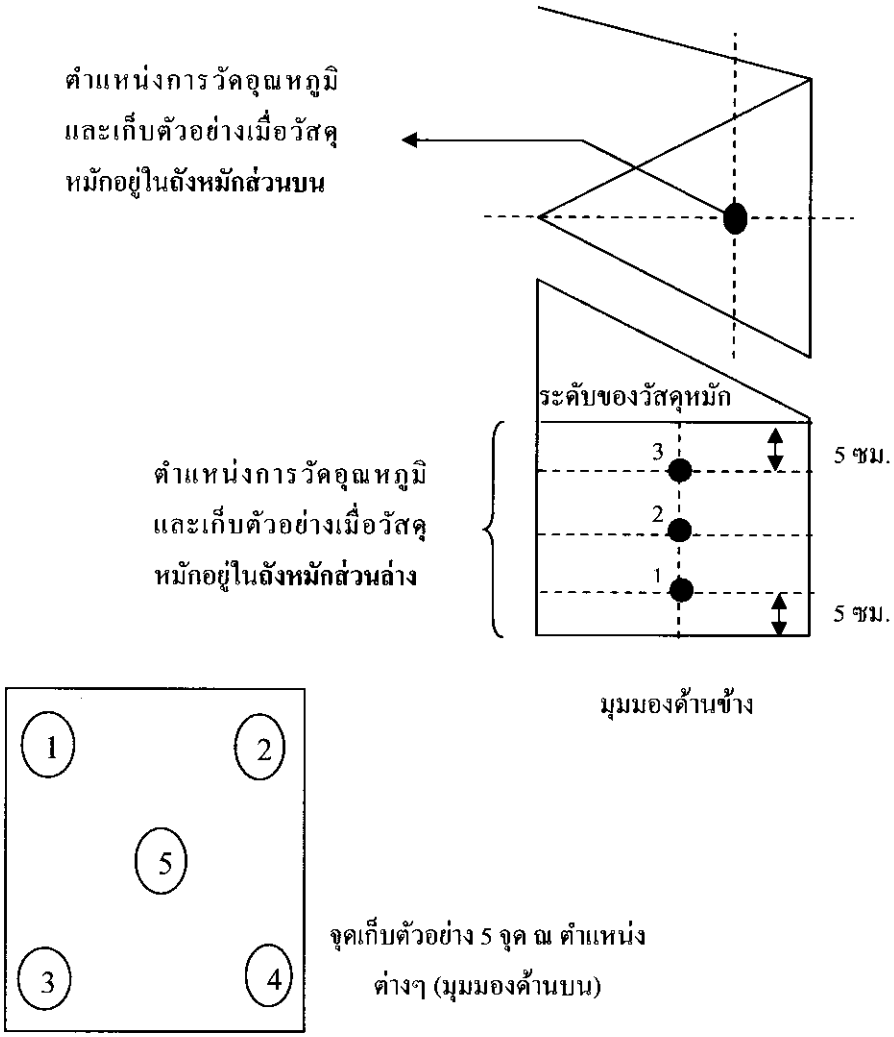


ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างและวัด
อุณหภูมิ (มุมมองด้านข้าง)

รูปที่ 3.12 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างและการวัดอุณหภูมิในถังหมักแบบที่ 2

ถังหมักแบบที่ 3 มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูโดยแบ่งเป็นถังหมักด้านล่างและด้านบน ถังหมักส่วนบนจะมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมทำการเก็บตัวอย่าง 1 ตำแหน่งมีจุดเก็บตัวอย่าง 5 จุด (รูปที่3.13) โดยสุ่มเก็บให้ได้ประมาณ 250 กรัม แล้วนำมาผสมกัน

เมื่อถึงวันที่ 30 ของการทดลองหลังจากดึงแผ่นกั้น วัสดุหมักเคลื่อนตัวลงสู่ถังหมักส่วนล่าง ซึ่งตัวถังหมักมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมคางหมูทำการเก็บตัวอย่าง 3 ตำแหน่งตำแหน่งละ 5 จุด แสดงในรูปที่ 3.13 ตำแหน่งที่ 1 มีความสูงจากฐาน 5 เซนติเมตร ตำแหน่งที่ 2 บริเวณจุดกึ่งกลางความสูงของวัสดุหมักในถังหมักและตำแหน่งที่ 3 ต่ำลงมาจากผิวหน้าวัสดุหมัก 5 เซนติเมตร โดยสุ่มเก็บให้ได้ประมาณ 250 กรัม แล้วนำมาผสมกัน



รูปที่ 3.13 ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างและการวัดอุณหภูมิในถังหมักแบบที่ 3

3. **ตัวอย่างวัสดุหมักหลังจากเต็มถังหมัก** เก็บตัวอย่างทุกๆ 4 วันเมื่อมีการกลับกองตำแหน่งและจุดเก็บตัวอย่างของถังหมักแต่ละแบบเช่นเดียวกับข้อ 2 ในหัวข้อ 3.2.4 สุ่มเก็บตัวอย่างให้ได้ปริมาณตัวอย่างประมาณ 250 กรัม แล้วนำมาผสมกัน

4. **ตัวอย่างปุ๋ยหมักเมื่อสิ้นสุดการหมัก** เมื่อสิ้นสุดการทดลองระบายปุ๋ยหมักออกจากถังหมักทั้ง 3 แบบ แยกเก็บตัวอย่างโดยการสุ่ม 5 จุด จากแต่ละถังให้ได้ปริมาณตัวอย่างประมาณ 250 กรัม แล้วนำมาผสมกัน

3.2.5 การวิเคราะห์ตัวอย่าง

ในระหว่างการหมักจะทำการวัดอุณหภูมิของวัสดุหมักทุกวันตลอดระยะเวลาการทดลองหมัก โดยใช้เครื่องวัดอุณหภูมิในกองวัสดุหมัก คือ ตำแหน่งที่ 2 บริเวณจุดกึ่งกลางความสูงของวัสดุหมักในถังหมักทั้ง 3 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.9 รูปที่ 3.12 และรูปที่ 3.13 สำหรับถังหมักแบบที่ 1-3 ตามลำดับ วิธีการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพ(อุณหภูมิ, การลดลงของมวล, ความชื้น) ลักษณะทางเคมี (อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน, ปริมาณโพแทสเซียม, ปริมาณฟอสฟอรัส, พีเอช, ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก, ค่าความนำไฟฟ้า) ลักษณะทางชีวภาพ (จำนวนเชื้อโรค) แสดงในตารางที่ 3.2 และความถี่ในการตรวจวัดแสดงในตารางที่ 3.7

สำหรับการทดลองช่วงที่ 2 เริ่มเก็บตัวอย่างวิเคราะห์ในวันที่ 12 ของการทดลอง เนื่องจากระยะแรกของการเติมวัสดุหมัก วัสดุหมักยังคงสภาพเดิมอยู่และมีปริมาณวัสดุหมักไม่เพียงพอที่จะนำมาตรวจวิเคราะห์ เมื่อถึงวันที่ 60 ของการทดลองเก็บตัวอย่างตรวจวิเคราะห์การลดลงของมวล ปริมาณธาตุอาหารโพแทสเซียมและฟอสฟอรัส ค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก และจำนวนเชื้อโรคในปุ๋ยหมัก เนื่องจากระยะเวลาการหมักที่เหมาะสมใช้เวลาประมาณ 30 วัน นับจากวันที่หยุดเติมวัสดุหมัก (จากการทดลองช่วงที่ 1) ซึ่งจะนำไปสู่การกำหนดรูปแบบการใช้งานถังหมักดังนั้นจึงทำการตรวจวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่กล่าวมาเพื่อความปลอดภัยและถูกสุขลักษณะก่อนการนำปุ๋ยหมักไปใช้งาน

ตารางที่ 3.7 การเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง

พารามิเตอร์	ก่อนเข้าถังหมัก	การหมักในถังหมัก		สิ้นสุดการหมัก	หมายเหตุ
		ช่วงที่มีการเติมมูลฝอย	ช่วงที่ไม่มีการเติมมูลฝอย		
ลักษณะทางกายภาพ					
1. อุณหภูมิ	1 ครั้ง	ทุก 4 วัน	ทุก 4 วัน	1 ครั้ง	
2. การลดลงของมวล**	1 ครั้ง	-	-	1 ครั้ง	
3. ความชื้น	1 ครั้ง	ทุก 4 วัน	ทุก 4 วัน	1 ครั้ง	
ลักษณะทางเคมี					
1. คาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์	1 ครั้ง	ทุก 4 วัน	ทุก 4 วัน	1 ครั้ง	
2. ไนโตรเจนทั้งหมด	1 ครั้ง	ทุก 4 วัน	ทุก 4 วัน	1 ครั้ง	
3. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน	1 ครั้ง	ทุก 4 วัน	ทุก 4 วัน	1 ครั้ง	
4.โพแทสเซียม**	1 ครั้ง	ทุก 4 วัน	ทุก 4 วัน	1 ครั้ง	
5.ฟอสฟอรัส**	1 ครั้ง	ทุก 4 วัน	ทุก 4 วัน	1 ครั้ง	
6. พีเอช	1 ครั้ง	ทุก 4 วัน	ทุก 4 วัน	1 ครั้ง	
7. ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก**	1 ครั้ง	-	-	1 ครั้ง	
8. ค่าการนำไฟฟ้า	1 ครั้ง	ทุก 4 วัน	ทุก 4 วัน	1 ครั้ง	
ลักษณะทางชีวภาพ					
1. จำนวนเชื้อโรค**	-	-	-	1 ครั้ง	

** คือ เก็บตัวอย่างวิเคราะห์ในวันที่ 60 ของการทดลอง

3.3 การเข้าสู่สภาวะคงที่ของปุ๋ยหมัก

หลักการที่ใช้พิจารณาการได้ที่ของปุ๋ยหมักคือ ข้อกำหนดที่บ่งบอกว่าปุ๋ยหมักได้ที่ได้ผ่านกระบวนการหมักอย่างเสร็จสมบูรณ์ เมื่อนำไปใส่ในดินแล้วไม่มีผลเสียต่อดินและพืช โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 3 ลักษณะ ดังตารางที่ 3.8 (สุรพงษ์, 2547)

ตารางที่ 3.8 การพิจารณาการได้ที่ของปุ๋ยหมัก

พารามิเตอร์	หลักการพิจารณา
ลักษณะสมบัติทางกายภาพ	
สี	สีของปุ๋ยหมักจะเริ่มเข้มขึ้นกว่าเมื่อเริ่มหมัก โดยจะมีสีเข้มขึ้นเรื่อยๆ จนเมื่อได้ที่แล้วจะมีสีน้ำตาลเข้มหรือสีดำซึ่งเป็นสีของอินทรียวัตถุ
กลิ่น	กลิ่นของวัสดุหมักจะค่อยๆ ลดลงตั้งแต่ช่วงแรกของการหมัก และจะค่อยๆ หายไป จนกระทั่งเมื่อปุ๋ยหมักได้ที่แล้ว จะมีกลิ่นคล้ายกลิ่นดินตามธรรมชาติ
อุณหภูมิ	อุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิบรรยากาศ แสดงว่าปุ๋ยหมักเริ่มได้ที่แล้ว
ลักษณะของวัสดุหมัก	เศษวัสดุที่ใช้หมัก เมื่อผ่านการย่อยสลายในการหมักจนได้ที่แล้ว จะมีลักษณะอ่อนนุ่มยุ่ยขาดออกจากกันได้ง่าย ไม่แข็งกระด้าง และไม่เป็นก้อนเหมือนตอนเริ่มหมัก
ลักษณะสมบัติทางเคมี	
อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน	อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน ถ้ามีค่าต่ำกว่า 20:1 แสดงว่าปุ๋ยหมักนั้นได้ที่แล้ว
ค่าความเป็นกรด-ด่าง	ค่าความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 7.0-8.5 เมื่อสิ้นสุดการหมัก จากนั้นจะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงอีกมากนักจนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการหมักปุ๋ย

ตารางที่ 3.8(ต่อ) การพิจารณาการได้ที่ของวัสดุหมัก

พารามิเตอร์	หลักการพิจารณา
ลักษณะสมบัติทางเคมี	
ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)	ปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้วควรมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกไม่ต่ำกว่า 60 มิลลิอิควิวาเลนต์/100 กรัม โดยน้ำหนักแห้งของวัสดุหมัก
ลักษณะสมบัติทางชีวภาพ	
การเจริญเติบโตพืช	สังเกตได้จากการเจริญเติบโตของพืชบนกองปุ๋ยหมัก หากพืชสามารถเจริญเติบโตได้ แสดงว่าปุ๋ยหมักนั้นได้ที่แล้ว สามารถนำไปใส่ในดินได้โดยไม่มีผลเสียต่อการเจริญเติบโตพืช หรืออาจทดสอบการงอกของเมล็ดพืช หากมีดัชนีการงอกมากกว่าร้อยละ 50 แสดงว่าปุ๋ยหมักนั้นได้ที่แล้ว

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลประกอบด้วย ลักษณะสมบัติของวัสดุหมัก อัตราส่วนผสมในการหมัก การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยต่างๆระหว่างการหมัก ซึ่งประกอบด้วย การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมี การเปลี่ยนแปลงทางชีวภาพ การประเมินการได้ที่ของปุ๋ยหมัก การประเมินคุณภาพปุ๋ยที่ได้ และการประเมินรูปแบบถังหมักมูลฝอยอินทรีย์ที่เหมาะสมกับบ้านเรือนมากที่สุด

4.1 ผลการทดลองช่วงที่ 1

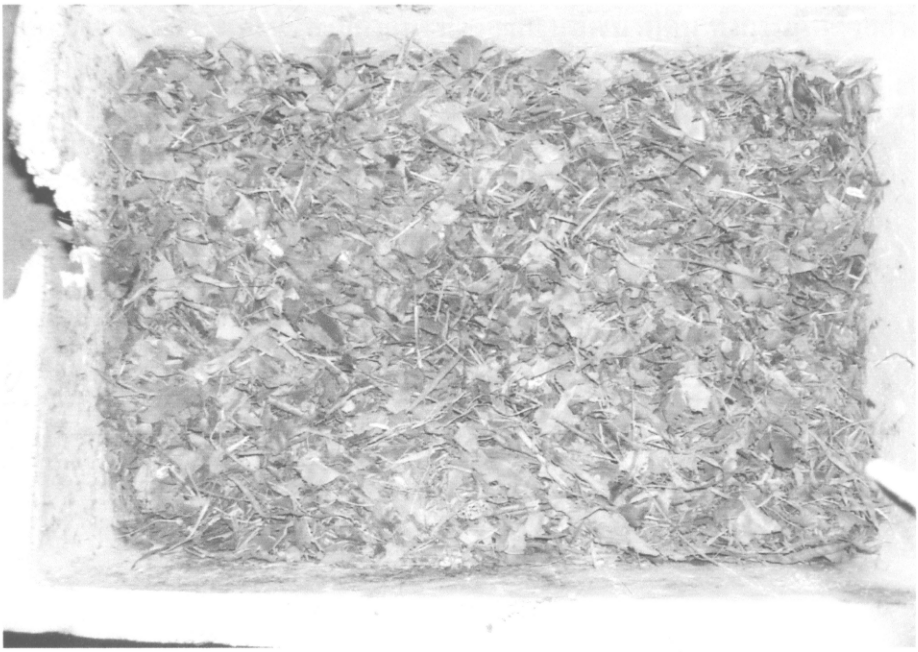
4.1.1 ลักษณะสมบัติของวัสดุหมัก

ลักษณะสมบัติของวัสดุหมักแต่ละชนิดแสดงรายละเอียดในตารางที่ 4.1 ซึ่งวัสดุหมักที่นำมาใช้ทำปุ๋ยหมักประกอบด้วยมูลฝอยอินทรีย์ซึ่งใช้เป็นวัสดุหมักหลักในการทดลอง (รูปที่ 4.1) และใบไม้แห้งซึ่งนำมาใช้เป็นวัสดุหมักร่วม (รูปที่ 4.2)

ตารางที่ 4.1 ลักษณะสมบัติของวัสดุหมักแต่ละชนิด

วัสดุหมัก	ลักษณะสมบัติของวัสดุหมัก				
	พีเอช	ความชื้น (ร้อยละ)	OC (ร้อยละ)	TKN (ร้อยละ)	C/N (ร้อยละ)
มูลฝอยอินทรีย์	5.4	75.5	39.5	1.10	35.9
ใบไม้แห้ง	6.8	28	37.3	0.85	43.8

รูปที่ 4.1 มูลฝอยอินทรีย์



รูปที่ 4.2 ใบไม้แห้ง

จากตารางที่ 4.1 มูลฝอยอินทรีย์มีค่าความชื้นร้อยละ 75.5 ส่วนวัสดุปรับความชื้น คือ ใบไม้แห้งมีปริมาณความชื้นร้อยละ 28 ดังนั้นจึงสามารถนำใบไม้แห้งไปผสมกับมูลฝอยอินทรีย์เพื่อให้มีความชื้นลดลงเหลือร้อยละ 55-65 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อกระบวนการหมัก (Stentiford, 1996) มูลฝอยอินทรีย์มีค่าพีเอชเป็นกรด โดยมีค่าเท่ากับ 5.4 ส่วนใบไม้แห้งมีค่า 6.8 จัดว่ามีค่าอยู่ใกล้เคียงระหว่าง 6.0-9.0 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมกับกระบวนการหมัก (Miller, 1992) มูลฝอยอินทรีย์มีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) 35.9 ใบไม้แห้งมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเท่ากับ 43.8 เมื่อนำมูลฝอยอินทรีย์ผสมกับใบไม้แห้งในอัตราส่วนต่างๆ ทำให้ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากใบไม้แห้งมีค่าค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) สูง ดังแสดงในตารางที่ 4.2

4.1.2 อัตราส่วนผสมในการหมัก

อัตราส่วนในการผสมวัสดุหมักระหว่างมูลฝอยอินทรีย์กับใบไม้แห้ง คือ1:1 1:1.5 1:2 2:1 1.5:1 โดยน้ำหนักเปียก ซึ่งแต่ละอัตราส่วนทำการทดลอง 2 ชุด คือ มีการเติมและไม่เติมสารเร่ง พด.1 ดังนั้นจึงมีวัสดุหมัก 10 ชุด ซึ่งปริมาณรวมของวัสดุหมักเริ่มต้นที่ใช้ในแต่ละอัตราส่วนถูกควบคุมโดยปริมาตรถัง โดยถังหมักทุกใบมีน้ำหนักวัสดุหมักเท่ากัน คือ 8 กิโลกรัมต่อถัง สำหรับปริมาณสารเร่ง พด.1 ใช้ตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน ทำการเก็บตัวอย่างหลังจากผสมวัสดุหมักเข้าด้วยกัน วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ลักษณะสมบัติของวัสดุหมักที่ผสมแล้ว

ถังหมักใบที่	อัตราส่วน OR:DL	มูลฝอยอินทรีย์ OR (กิโลกรัม)	เศษใบไม้แห้ง DL (กิโลกรัม)	พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์วัสดุหมักผสมเริ่มต้น					
				ความชื้น (ร้อยละ)	OC (ร้อยละ)	TKN (ร้อยละ)	C/N ratio	พีเอช (pH)	หมายเหตุ
1	1 : 1	4	4	60.3	29.5	0.72	40.4	7.48	
2	1 : 1.5	3.2	4.8	57.2	29.8	0.62	49.7	6.10	
3	1 : 2	2.6	5.4	55.1	32.4	0.59	54.6	6.13	กลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1
4	2 : 1	5.4	2.6	65	28.2	0.70	40.7	4.78	
5	1.5 : 1	4.8	3.2	63.3	28.5	0.66	44.1	5.36	
6	1 : 1	4	4	62.2	29.1	0.70	42.2	5.28	
7	1 : 1.5	3.2	4.8	58.4	30.8	0.59	50.6	4.72	
8	1 : 2	2.6	5.4	57.2	32.2	0.56	57.8	5.21	กลุ่มที่เติมสารเร่ง พด.1
9	2 : 1	5.4	2.6	70.1	27.3	0.65	43.4	5.36	
10	1.5 : 1	4.8	3.2	66.7	29.1	0.69	41.3	4.68	

หมายเหตุ OR คือ Organic wastes (มูลฝอยอินทรีย์), DL คือ Dry leaves (ใบไม้แห้ง)

จากตารางที่ 4.2 พบว่าวัสดุหมักทั้ง 10 ชุด มีค่าความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 55.1-70.1 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับค่าความชื้นที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ ช่วงร้อยละ 55-65 (กรมพัฒนาที่ดิน, 2537)

ปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์จากมูลฝอยอินทรีย์ผสมกับใบไม้แห้งมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 27.3-32.4 และมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดอยู่ในช่วงร้อยละ 0.56-0.72 ทำให้อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) มีค่าอยู่ในช่วง 40.3-57.5 ซึ่งจากการศึกษางานวิจัยของ Ken (2007) พบว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมักเริ่มต้นมีค่าอยู่ในช่วง 30-70 ก็สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุหมักในการหมักทำปุ๋ยได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการหมัก

ค่าพีเอชเริ่มต้นมีค่า 4.6-7.4 เนื่องจากในช่วงแรกนั้นจุลินทรีย์ได้ย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ที่ซับซ้อน คือ โพลีแซคคาไรด์ (Polysaccharides) และเซลลูโลส (Cellulose) ไปเป็นกรดอินทรีย์ซึ่งจะทำให้ค่าพีเอชของวัสดุหมักมีค่าอยู่ในช่วงเป็นกรดเล็กน้อยเมื่อเริ่มต้นการทดลอง (Diaz, 1993) และเนื่องจากกระบวนการหมักเป็นกระบวนการที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และก๊าซแอมโมเนียเกิดขึ้น จึงสามารถปรับค่าพีเอชให้เป็นกลางได้โดยไม่จำเป็นต้องทำการปรับค่าพีเอชเมื่อเริ่มต้นการหมัก (Haug, 1993)

4.1.3 คุณภาพปุ๋ยหมักเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการ

การทดลองช่วงที่ 1 ทำการหาอัตราส่วนวัสดุหมักที่ให้คุณภาพปุ๋ยที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับมาตรฐานเพื่อใช้เป็นวัสดุหมักเริ่มต้นในการทดลองช่วงที่ 2 ซึ่งพารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์แบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ คือ ลักษณะทางกายภาพ ลักษณะทางเคมี และลักษณะทางชีวภาพ

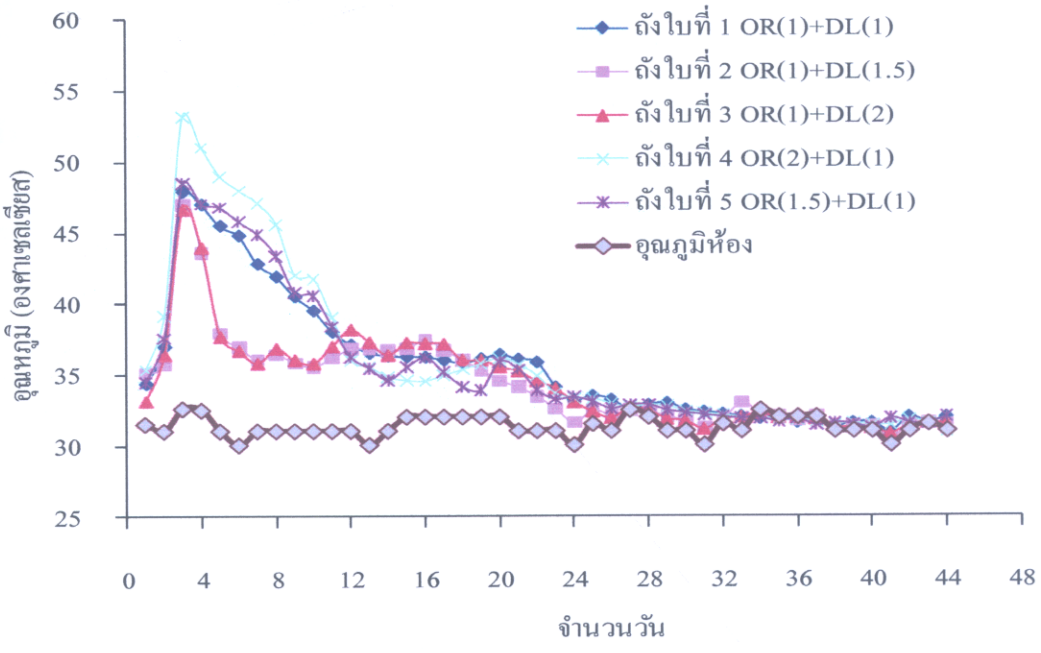
4.1.3.1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ

1. อุณหภูมิ

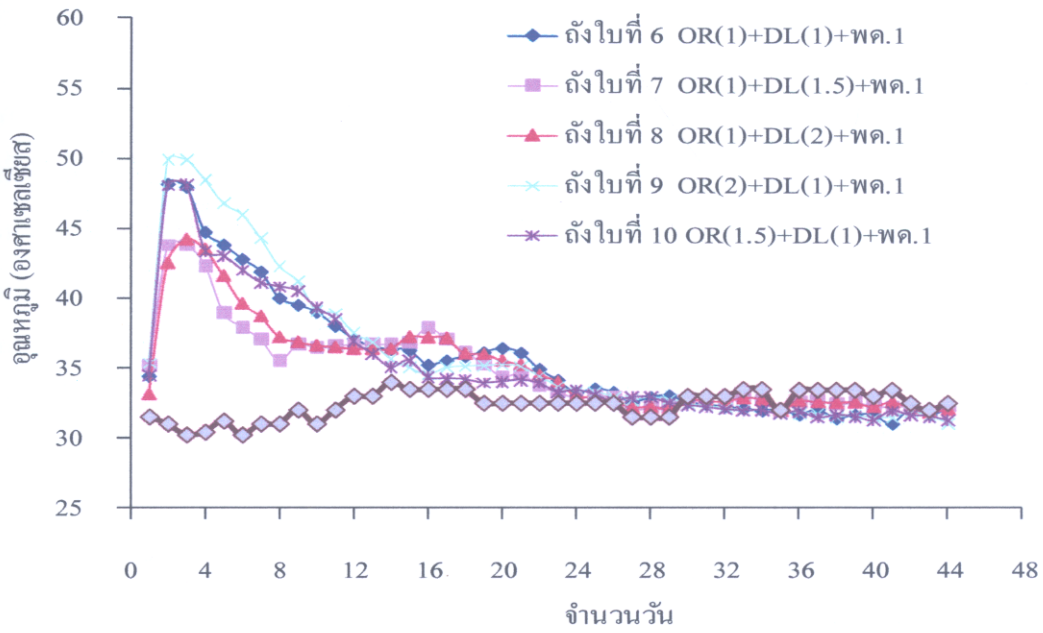
ขณะทำการหมักได้มีการวัดอุณหภูมิภายในถังหมักบริเวณกึ่งกลางของกองวัสดุหมัก รายละเอียดแสดงในบทที่ 3 หัวข้อ 3.1.4 ช่วงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของวัสดุหมักกลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1และเติมสารเร่งพด.1 แสดงในรูปที่ 4.3 - 4.4 ตามลำดับ ในช่วงสัปดาห์แรกของการทดลองอุณหภูมิของถังหมักทุกใบมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น โดยถังหมักใบที่ 1 , 4 , 5 , 6 , 9 และ 10 มีอุณหภูมิอยู่ในช่วงเทอร์โมฟิลิค (45-75°C) นานกว่าถังใบที่ 2 , 3 , 7 และ 8 เนื่องมาจากมีปริมาณมูลฝอยอินทรีย์ซึ่งเป็นวัสดุที่ย่อยสลายง่ายมากกว่า จึงมีอัตราการย่อยสลายสูงกว่า (พูนศักดิ์ , 2541)

จากตารางที่ 4.3 พบว่าการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกของการทดลองมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันสำหรับถังหมักทุกใบ คือ มีอุณหภูมิสูงขึ้นจนเข้าสู่ช่วงเทอร์โมฟิลิคเมื่อวันที่ 2 และวันที่ 3 ของการทดลองและมีอุณหภูมิอยู่ในช่วงเทอร์โมฟิลิคนาน 2-7 วัน โดยระยะเวลาที่แตกต่างกัน ขึ้นกับปริมาณมูลฝอยอินทรีย์ที่แตกต่างกัน โดยถังหมักที่มีปริมาณมูลฝอยอินทรีย์มากจะเกิดการย่อยสลายสูง จึงทำให้มีการคายความร้อนจากกระบวนการหมัก ดังนั้นวัสดุหมักกลุ่มนี้มีอุณหภูมิอยู่ในช่วงเทอร์โมฟิลิคยาวนานและเมื่อระยะเวลาการหมักผ่านไปอุณหภูมิในถังหมักทุกใบมีแนวโน้มลดลงจนกระทั่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง (32°C) ตามปริมาณมูลฝอยอินทรีย์ที่ลดลง

เมื่อพิจารณาอุณหภูมิสูงสุดในถังหมักทุกใบพบว่าวัสดุหมักอัตราส่วน 2:1 ทั้งกลุ่มที่ไม่เติมและเติมสารเร่ง พด.1 (ถังหมักใบที่ 4 และใบที่ 9) มีอุณหภูมิสูงสุดระหว่างการหมักคือ 53°C และ 50 °C ตามลำดับ สาเหตุที่อุณหภูมิของวัสดุหมักทั้ง 2 กลุ่มมีความแตกต่างกันเนื่องจากกลุ่มวัสดุหมักที่เติมสารเร่ง พด.1 มีการผสมน้ำตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน ดังนั้นจึงทำให้กลุ่มวัสดุหมักที่เติมสารเร่ง พด.1 มีปริมาณความชื้นสูงกว่ากลุ่มวัสดุหมักที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1 ส่งผลให้อุณหภูมิสูงสุดในกลุ่มวัสดุหมักที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1 (ถังหมักใบที่ 4)มีอุณหภูมิสูงกว่ากลุ่มวัสดุหมักที่เติมสารเร่ง พด.1เล็กน้อย (ถังหมักใบที่9)



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของวัสดุหมัก (กลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1)



รูปที่4.4 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของวัสดุหมัก (กลุ่มที่เติมสารเร่ง พด.1)

ตารางที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมัก

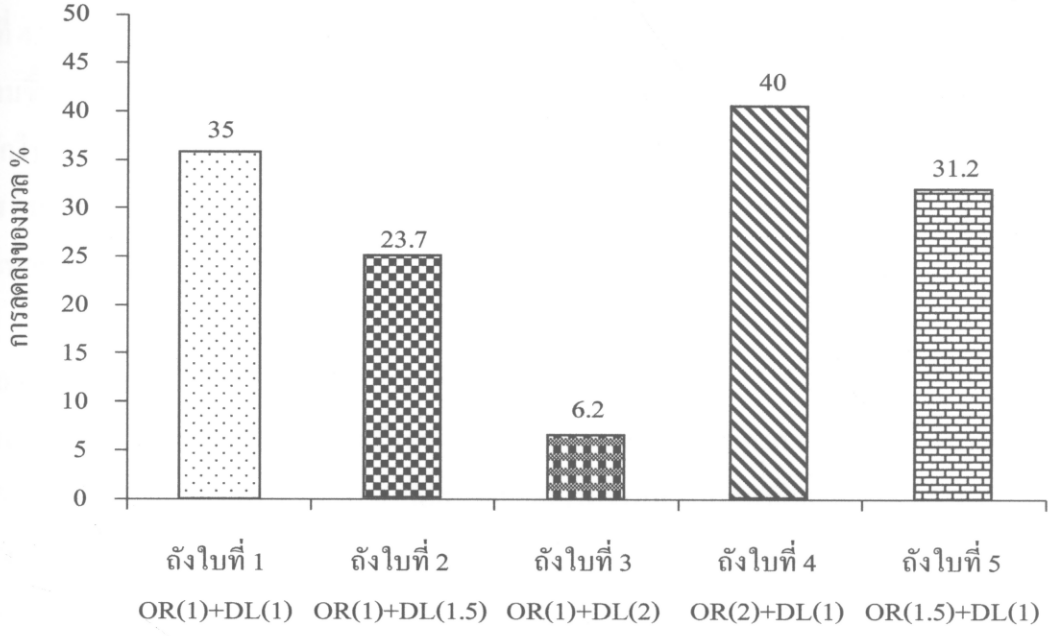
ถังหมักใบที่	อุณหภูมิเมื่อเริ่มหมัก (°C)	วันที่อุณหภูมิถึงช่วงเทอร์โมฟิลิค	จำนวนวันที่อยู่ในช่วงอุณหภูมิเทอร์โมฟิลิค (วัน)	อุณหภูมิสูงสุดในถังหมัก (°C)	วันที่อุณหภูมิเข้าใกล้อุณหภูมิห้อง
1	32.4	2	4	48	24
2	31.5	2	2	47	22
3	31.3	2	2	47	22
4	33.5	2	7	53	23
5	34.5	2	5	48.5	24
6	34.4	2	4	48	25
7	32.5	2	2	44	22
8	33.3	3	2	44	22
9	31.6	2	5	50	25
10	32.8	2	4	48	23

หมายเหตุ ระยะเวลาในการทดลองช่วงที่ 1 คือ 45 วัน

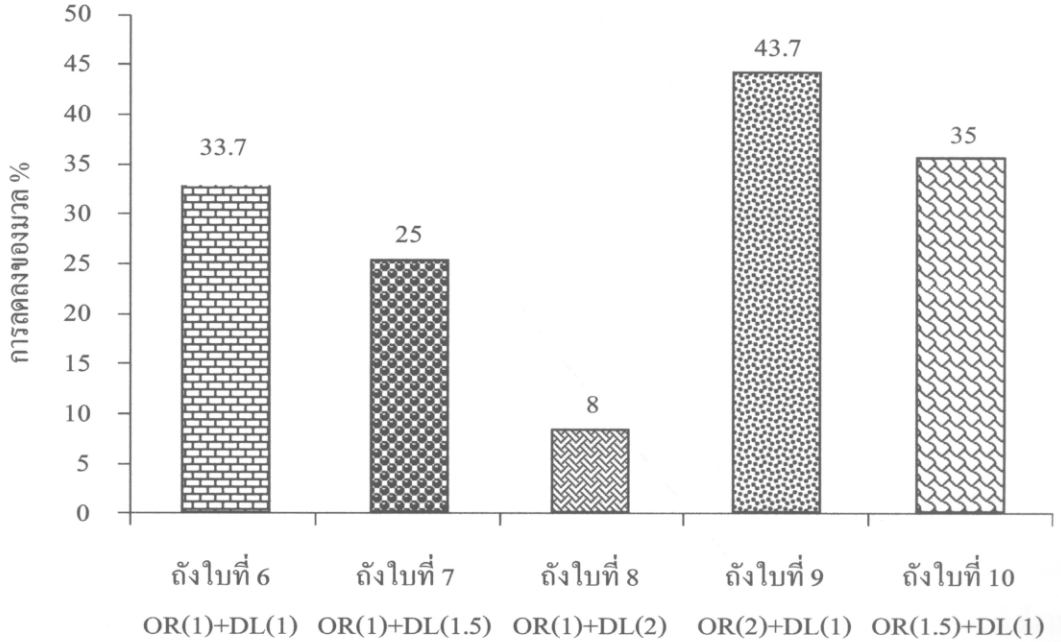
2. การลดลงของมวล

การลดลงของมวลพิจารณาเปรียบเทียบจากน้ำหนักแห้งของวัสดุหมักก่อนและหลังการหมัก ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.5 - 4.6 เป็นการลดลงของมวลวัสดุหมักกลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1 และเติมสารเร่ง พด.1 ตามลำดับ พบว่ามีแนวโน้มการลดลงจากเมื่อเริ่มต้นการทดลองไปในทิศทางเดียวกัน คือเมื่อสิ้นสุดการทดลองกลุ่มวัสดุหมักที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1 มีค่าการลดลงของมวลร้อยละ 6.2-40 โดยน้ำหนักแห้ง และสำหรับกลุ่มวัสดุหมักที่เติมสารเร่ง พด.1 มีค่าการลดลงของมวลร้อยละ 8-43.7 โดยน้ำหนักแห้ง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนวัสดุหมักที่มีปริมาณมูลฝอยอินทรีย์มากกว่าใบไม้แห้ง(ถังหมักใบที่ 4, 5, 9 และ 10) มีการลดลงของมวลมากกว่าวัสดุหมักที่มีปริมาณใบไม้แห้งมากกว่ามูลฝอยอินทรีย์ (ถังหมักใบที่ 2, 3, 7 และ 8) เนื่องมาจากมูลฝอยอินทรีย์เป็นวัสดุที่ย่อยสลายได้ง่ายโดยจุลินทรีย์ ต่างจากใบไม้แห้งที่ประกอบด้วยองค์ประกอบที่ย่อยสลายยาก เช่น เซลลูโลส ลิกนิน (อนุวัฒน์, 2546) โดยถังหมักใบที่ 9 มีค่าการลดลงของมวลมากที่สุด คือ ร้อยละ 43.7 โดยน้ำหนักแห้ง รองลงมาคือถังหมักใบที่ 4 มีค่าการลดลงของมวลร้อยละ 40 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งอัตราส่วนวัสดุหมักระหว่างมูลฝอยอินทรีย์กับใบไม้แห้งในถังหมักทั้ง 2 ใบคืออัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจนถึงช่วงเทอร์โมฟิลิคถังหมักทั้ง 2 ใบทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดขึ้นได้ดี (คมสัน, 2547) และเมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองกับการทดลองอื่น พบว่ามีค่าการลดลงของอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน โดยการทดลองของ พูนศักดิ์ (2541) มีค่าการลดลงของมวลอยู่ในช่วงร้อยละ30-50 โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อสิ้นสุดการทดลอง การทดลองของ Britt, (2002) ทำการหมักปุ๋ยจากมูลฝอยอินทรีย์ผสมกับวัสดุเหลือใช้ภายในสวน ซึ่งมีค่าการลดลงของมวลร้อยละ 50 โดยน้ำหนักแห้งเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

เมื่อพิจารณาผลจากการเติมและไม่เติมสารเร่ง พด.1 ในถังหมักใบที่ 4 และใบที่ 9 มีอัตราการลดลงของมวลเมื่อสิ้นสุดการทดลอง แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย เนื่องมาจากสารเร่ง พด.1 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่คัดเฉพาะเพื่อช่วยในการย่อยสลายวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรซึ่งมีลักษณะเป็นวัสดุที่ย่อยยากเนื่องจากมีปริมาณเซลลูโลสสูง อีกทั้งเพื่อให้การทำงานของสารเร่ง พด.1 มีประสิทธิภาพควรมีการเพิ่มแหล่งไนโตรเจนให้กับวัสดุหมัก เช่น มูลวัว เป็นต้น (กรมพัฒนาที่ดิน , 2537) เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองครั้งนี้วัสดุหมักหลักที่ใช้คือ มูลฝอยอินทรีย์ซึ่งมีลักษณะย่อยสลายง่าย อีกทั้งไม่ได้มีการเพิ่มแหล่งไนโตรเจนให้กับวัสดุหมักในการทดลอง แสดงให้เห็นว่าการเติมสารเร่ง พด.1 ไม่มีผลต่อการลดลงของมวลเมื่อสิ้นสุดการทดลอง



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบการลดลงของมวลวัสดุหมัก (กลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1)



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบการลดลงของมวลวัสดุหมัก (กลุ่มที่เติมสารเร่ง พด.1)

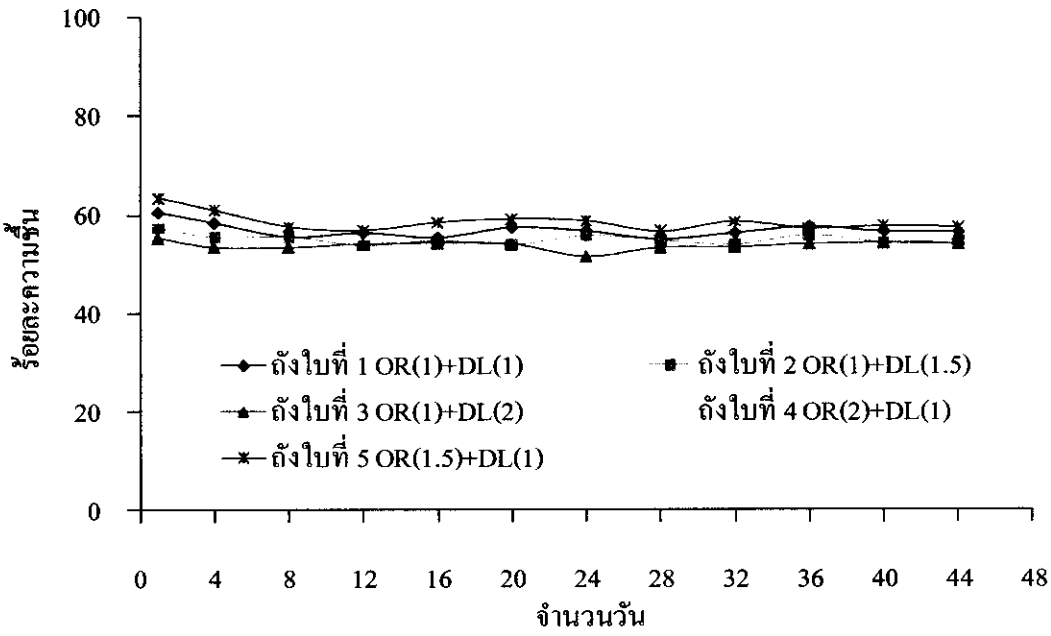
3. การเปลี่ยนแปลงความชื้น

การเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุหมักกลุ่มที่ไม่มีการเติมสารเร่ง พด.1 แสดงในรูปที่ 4.7 ซึ่งมีความชื้นเริ่มต้นในถังหมักใบที่ 1- 5 อยู่ในช่วงร้อยละ 55.1-65 ตามลำดับหลังจากนั้นความชื้นมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆจนสิ้นสุดกระบวนการหมัก เมื่อสิ้นสุดการทดลองวัสดุหมักในถังหมักใบที่ 1-5 มีค่าความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 53.9-60.2 เนื่องมาจากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์มีน้อยลง โดยสารอินทรีย์ที่เหลือนั้นเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก

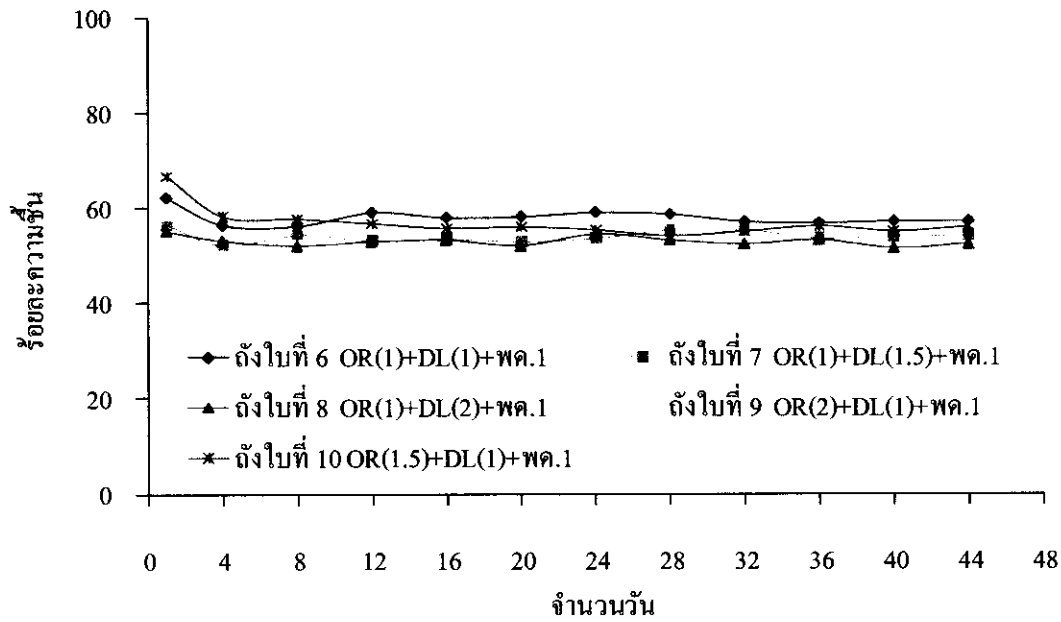
การเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุหมักในกรณีที่เติมสารเร่ง พด.1 ในถังหมักใบที่ 6-10 มีค่าความชื้นเริ่มต้น 57.2-70.4 การเปลี่ยนแปลงมีลักษณะคล้ายคลึงกันกับกรณีที่ไม่มีการเติมสารเร่ง พด.1 เมื่อสิ้นสุดการทดลองวัสดุหมักในถังหมักใบที่ 6-10 มีค่าความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 52.5-60.6 และจากรูปที่ 4.8 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุหมักกรณีที่เติมสารเร่ง พด.1 พบว่าความชื้นเริ่มต้นของวัสดุหมักในถังหมักใบที่ 6-10 มีค่าสูงกว่าถังหมักใบที่ 1-5 เล็กน้อย เนื่องจากการเติมสารเร่ง พด.1 ต้องผสมกับน้ำตามคำแนะนำของกรมพัฒนาที่ดิน และการเปลี่ยนแปลงในช่วงแรกของการทดลองค่าความชื้นของวัสดุหมักทั้ง 2 กรณีมีค่าลดลงเนื่องมาจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์ได้พลังงานความร้อนเป็นผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้การสูญเสียความชื้นมีมากเนื่องมาจากการระเหยของน้ำในช่วงแรกของการหมัก ซึ่งมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสูงในช่วงแรกของการหมักเช่นกัน

ความชื้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อกระบวนการหมัก เพราะแบคทีเรียสามารถเจริญเติบโตได้ดีเมื่อมีความชื้นเหมาะสม และส่งผลโดยตรงต่ออัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ ค่าความชื้นที่เหมาะสมคือร้อยละ 55-65 (Stentiford, 1996) ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองครั้งนี้และมีค่าความชื้นอยู่ในช่วงดังกล่าวตลอดการทดลอง แต่ถ้าหากค่าความชื้นต่ำกว่าช่วงร้อยละ 40-45 จะทำให้สารอาหารต่างๆ ไม่สามารถละลายน้ำและถูกจุลินทรีย์ดูดซึมไปใช้ได้ (Haug, 1980)

อย่างไรก็ตามเมื่อสิ้นสุดการทดลองค่าความชื้นยังคงมีค่าสูงเนื่องมาจากการหมักวัสดุหมักในภาชนะปิดที่เป็นฉนวนช่วยลดการสูญเสียความชื้นที่เกิดจากการหมักได้เป็นอย่างดี อีกทั้งการนำใบไม้แห้งมาเป็นวัสดุหมักร่วม ซึ่งมีความสามารถช่วยลดการสูญเสียความชื้นได้ดีเช่นเดียวกัน (พูนศักดิ์, 2541) สำหรับปุ๋ยหมักที่มีค่าความชื้นสูงนั้นก็ไม่ส่งผลกระทบต่อการหมักแต่อย่างใดเนื่องจากวัสดุหมักเข้าสู่สภาวะเสถียรแล้ว เพียงแต่ควรพึ่งลมหรือนำไปตากแห้งก่อนใช้งาน และจากการทดลองพบว่าการเติมและไม่เติมสารเร่ง พด.1 ในวัสดุหมักไม่ส่งผลกระทบต่อค่าความชื้นในวัสดุหมัก



รูปที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุหมัก (กลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1)

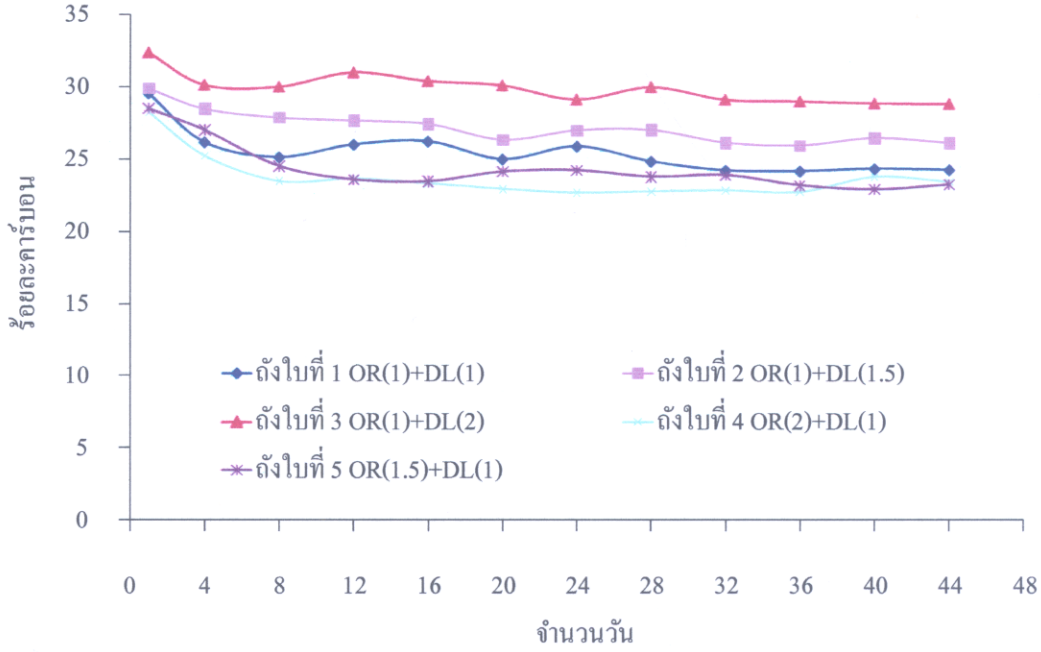


รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุหมัก (กลุ่มที่เติมสารเร่ง พด.1)

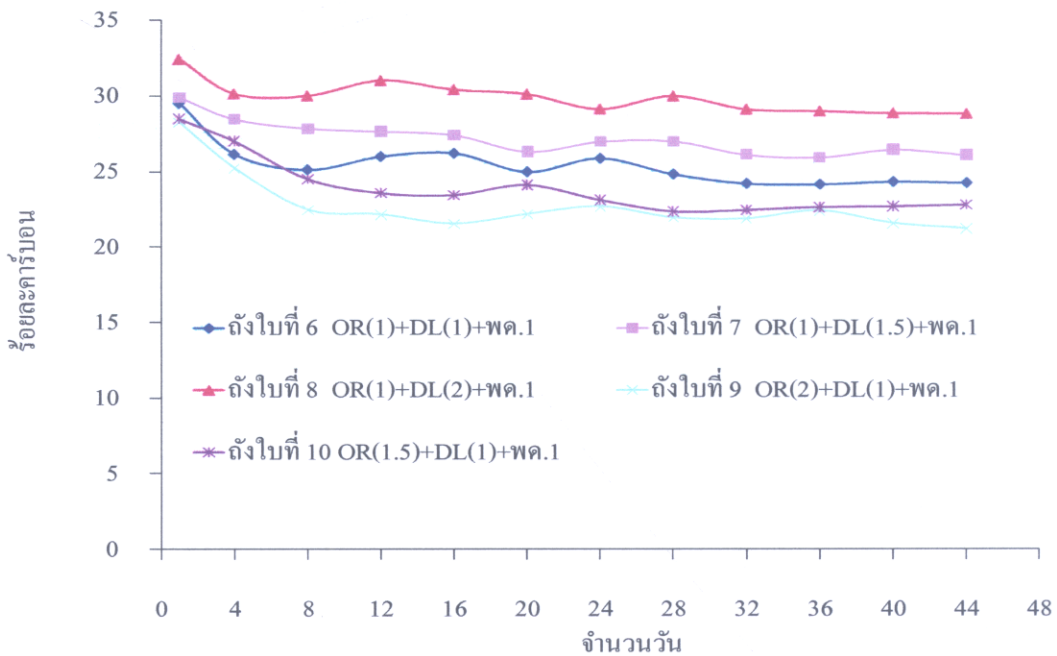
4.1.3.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมี

1. ปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์

การลดลงของปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ของถังหมักทุกใบมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือเมื่อเริ่มต้นการทดลองวัสดุหมักกลุ่มที่ไม่มีการเติม สารเร่ง พด.1 ในถังหมักใบที่ 1-5 มีปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ร้อยละ 29.5, 29.8, 32.4, 28.2 และ 28.5 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ สำหรับวัสดุหมักกลุ่มที่เติมสารเร่ง พด.1 ในถังหมักใบที่ 6-10 มีปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ร้อยละ 29.8, 30.6, 32.5, 28.5 และ 29.1 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ จากการทดลองพบว่าช่วงแรกของการหมักมีการลดลงของปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์สูงเนื่องจากเป็นช่วงที่มีอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์จนอุณหภูมิสูงถึงขั้นเทอร์โมฟิลิคและหลังจากนั้นอุณหภูมิมีค่าค่อยๆลดลง ซึ่งแสดงว่าอัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์ลดลง (Liao, P.H. และ Chieng, 1994) จึงทำให้ปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์มีค่าเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย และเป็นช่วงระยะเวลาที่จุลินทรีย์ช่วงอุณหภูมิเมโสฟิลิคทำการย่อยสลายสารอินทรีย์ต่อจนกระทั่งสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก ปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์เมื่อสิ้นสุดการหมักในถังหมักใบที่ 1-5 มีค่าร้อยละ 25.2, 28.3, 29.1 , 23.4 และ 24.5 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ สำหรับวัสดุหมักกลุ่มที่เติมสารเร่ง พด.1 ในถังหมักใบที่ 6-10 มีปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ร้อยละ 24.2, 26.1, 28.8, 23.4 และ 24.2 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.9-4.10



รูปที่ 4.9 ปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ของวัสดุหมักกลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1



รูปที่ 4.10 ปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ของวัสดุหมักกลุ่มที่เติมสารเร่ง พด.1

จากการทดลองพบว่าถังหมักใบที่ 4 มีแนวโน้มการลดลงของปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์มากที่สุด รองลงมาคือถังหมักใบที่ 9 ซึ่งถังหมักทั้ง 2 ใบมีอัตราส่วนวัสดุหมักระหว่างมูลฝอยอินทรีย์กับใบไม้แห้ง 2:1 โดยน้ำหนักเปียกเหมือนกัน แต่แตกต่างกันในส่วนที่เติมและไม่เติมสารเร่ง พด.1 อัตราการลดลงของปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ของถังหมักทั้ง 2 ใบมีค่าร้อยละ 17.8 และร้อยละ 16.9 โดยนำหนักแห้งตามลำดับ ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการทดลองอื่นดังแสดงในตารางที่ 4.4 โดยการทดลองของ พูนศักดิ์ (2541) มีอัตราการลดลงปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ร้อยละ 16.3-16.7 เมื่อสิ้นสุดการหมัก การทดลองของ สรพรรณ (2546) มีอัตราการลดลงของปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ร้อยละ 23-29 เมื่อสิ้นสุดการหมัก การทดลองของ อนุวัฒน์ (2546) อัตราการลดลงของปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ร้อยละ 13.8-26.3

เมื่อสิ้นสุดการหมัก สาเหตุของการลดลงของปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ของถังหมักใบที่ 4 และใบที่ 9 เนื่องมาจากปริมาณและลักษณะที่แตกต่างกันของวัสดุหมัก โดยมูลฝอยอินทรีย์ซึ่งเป็นวัสดุหมักที่ย่อยสลายง่ายโดยจุลินทรีย์มีความแตกต่างจากใบไม้แห้ง ซึ่งมีองค์ประกอบที่ย่อยสลายยาก มีเซลลูโลสและลิกนินในปริมาณสูง (กรมพัฒนาที่ดิน, 2537) ดังนั้นการย่อยสลายของจุลินทรีย์เกิดขึ้นดีในถังหมักที่มีอัตราส่วนของปริมาณใบไม้แห้งน้อยกว่าปริมาณมูลฝอยอินทรีย์ อย่างไรก็ตามการใช้ใบไม้แห้งเป็นวัสดุหมักร่วมเพื่อช่วยในการปรับลดความชื้นของมูลฝอยอินทรีย์ยังคงมีความจำเป็น แต่ควรเติมในปริมาณที่เหมาะสม เพราะหากเติมใบไม้แห้งในปริมาณที่มากเกินไปมีผลทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นได้ช้า จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนวัสดุหมักระหว่างมูลฝอยอินทรีย์กับใบไม้แห้ง 2:1 โดยน้ำหนักเปียก มีค่าการลดลงของปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์มากที่สุด

การเติมและไม่เติมสารเร่ง พด.1 ในถังหมักใบที่ 4 และใบที่ 9 มีอัตราการลดลงของปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย คือ ร้อยละ 17.8 และ 16.9 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ (ตารางที่ 4.4) สาเหตุดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.1.3 หัวข้อที่ 2 การลดลงของมวล ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเติมสารเร่ง พด.1 ไม่มีผลต่อการลดลงของปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์

ตารางที่ 4.4 เปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์

ถังหมักใบที่	อัตราส่วน OR:DL	OC ก่อนหมัก (ร้อยละ)	OC หลังหมัก (ร้อยละ)	การลดลง (ร้อยละ)	หมายเหตุ
1	1 : 1	29.1	25.2	13.3	
2	1 : 1.5	30.8	28.3	8.2	กลุ่มที่ไม่
3	1 : 2	32.2	29.1	9.7	เติมสารเร่ง
4	2 : 1	28.5	23.4	17.8	พด.1
5	1.5 : 1	29.1	24.5	15.8	
6	1 : 1	29.5	24.2	17.8	
7	1 : 1.5	29.8	26.1	12.5	กลุ่มที่เติม
8	1 : 2	32.4	28.8	10.9	สารเร่ง
9	2 : 1	28.2	22.3	20.9	พด.1
10	1.5 : 1	28.5	24.2	14.9	
พูนศักดิ์ (2541)		31.3-39	26.1-33.5	16.3-16.7	เปรียบเทียบ
อนุวัฒน์ (2546)		44.7-52.7	35.4-42.5	13.8-26.3	งานวิจัยที่
สพรรณ (2546)		50-53	36-40	23-29	เกี่ยวข้อง

หมายเหตุ OR คือ Organic wastes (มูลฝอยอินทรีย์), DL คือ Dry leaves (ใบไม้แห้ง)

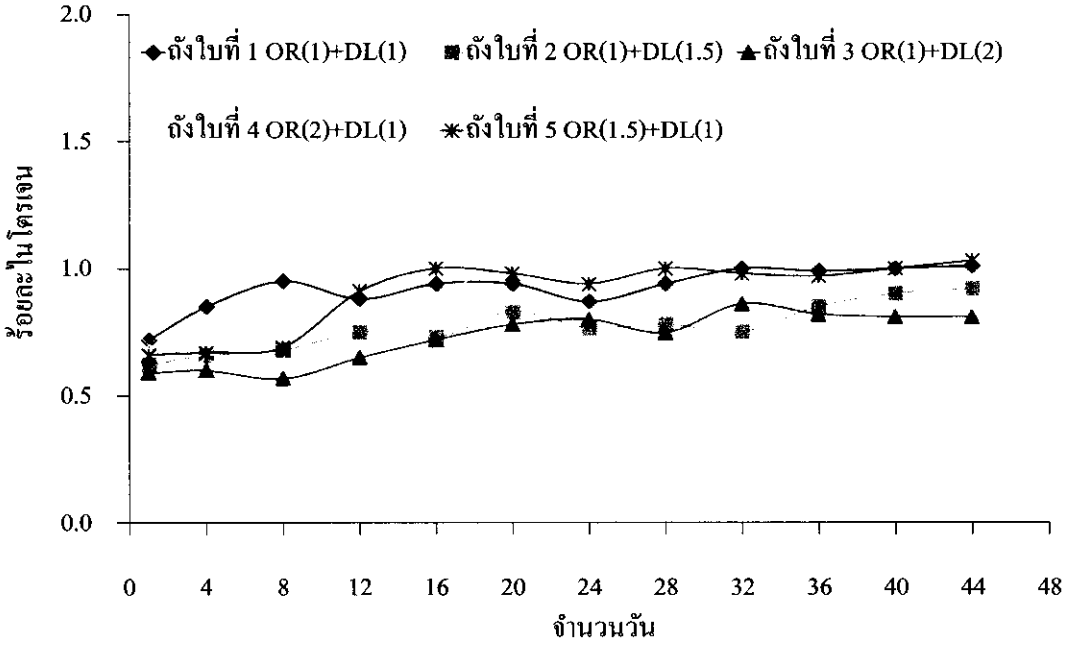
2. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ในระหว่างการหมักมูลฝอยอินทรีย์กับใบไม้แห้ง กลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1 ในถังหมักใบที่ 1-5 มีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเมื่อเริ่มต้นหมักร้อยละ 0.72, 0.62, 0.59, 0.70 และ 0.66 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ พบว่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีแนวโน้มค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จนมีค่าร้อยละ 1.01, 0.92, 0.81, 1.12 และ 1.03 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมักดังแสดงในรูปที่ 4.11

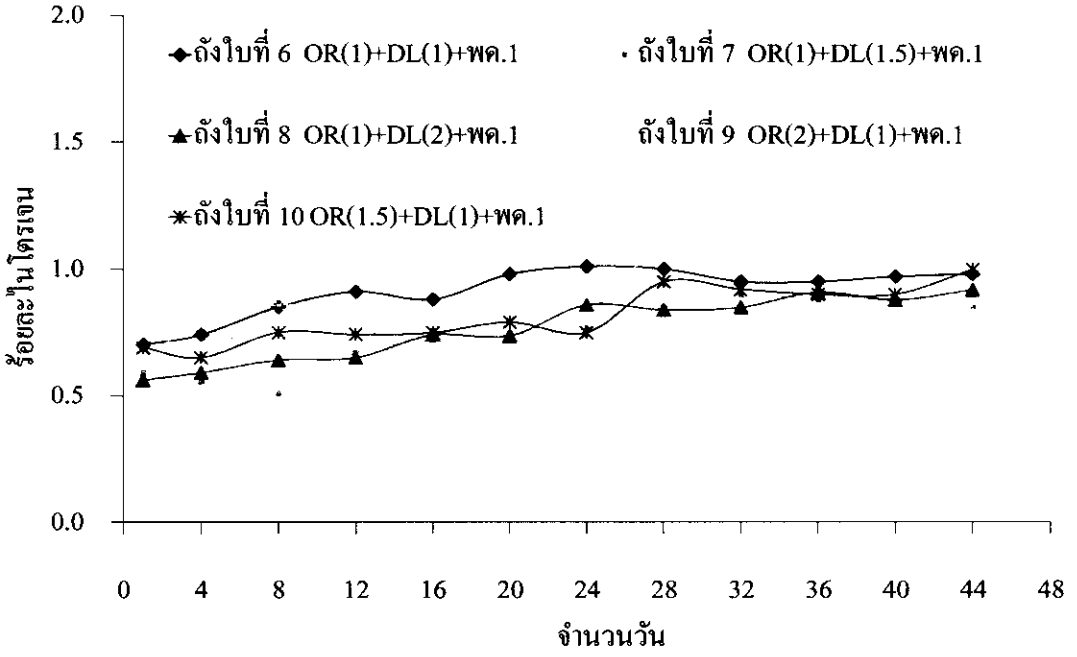
สำหรับวัสดุหมักลุ่มที่เติมสารเร่งพด.1 มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเช่นเดียวกับกลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1 โดยปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเมื่อเริ่มต้นหมักของถังหมักใบที่ 6-10 มีค่าร้อยละ 0.70, 0.59, 0.56, 0.64 และ 0.69 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการหมักปริมาณไนโตรเจนมีค่าร้อยละ 1.00, 0.85, 0.92, 1.13 และ 1.05 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.12

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเพิ่มขึ้นตามช่วงระยะเวลาการหมักนั้นเป็นไปในแนวทางเดียวกับการทดลองของ Kapetanios และคณะ (1993) ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าปริมาณไนโตรเจนที่แท้จริงของปุ๋ยหมักไม่ได้เพิ่มขึ้นแต่เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละของไนโตรเจนทั้งหมดต่อน้ำหนักแห้งของปุ๋ยหมัก เนื่องจากการย่อยสลายคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียจะได้เป็นคาร์บอนที่ระเหยสู่บรรยากาศ ทำให้ร้อยละของคาร์บอนต่อน้ำหนักแห้งลดลง จึงทำให้ร้อยละของไนโตรเจนต่อน้ำหนักแห้งของปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้น

จากปริมาณไนโตรเจนเมื่อสิ้นสุดการหมักถังหมักทุกใบมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้สรุปได้ว่าการทดลองไม่เกิดภาวะการหมัก แบบไร้ออกซิเจน และจากปฏิกิริยาดีไนตริฟิเคชั่น (Leemaharuang, 1998)



รูปที่ 4.11 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนของวัสดุหมักกลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1



รูปที่ 4.12 การเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนของวัสดุหมักกลุ่มที่ติมสารเร่ง พด.1

และเมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (0.81-1.13) พบว่าถังหมักทุกใบมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกัน และผลการเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยอื่นๆแสดงในตารางที่ 4.5 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดขึ้นอยู่กับวัสดุหมักที่ใช้ โดยมูลฝอยอินทรีย์มีค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมากกว่าใบไม้แห้ง ดังจะเห็นได้จากถังหมักใบที่ 4 และ 9 มีปริมาณไนโตรเจนสูงกว่าถังหมักใบที่ 3 และ 8

ผลจากการเติมและไม่เติมสารเร่ง พด.1 จากถังหมักใบที่ 4 และใบที่ 9 พบว่ามีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (ตารางที่ 4.5) ไม่แตกต่างกัน ซึ่งสาเหตุดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.1.3.1 ข้อที่ 2 ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าการเติมสารเร่ง พด.1 ไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด

ตารางที่ 4.5 การเปรียบเทียบปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเมื่อสิ้นสุดการหมัก

ถังหมักใบที่	อัตราส่วน OR:DL	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ร้อยละ)	หมายเหตุ
1	1 : 1	1.01	กลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1
2	1 : 1.5	0.92	
3	1 : 2	0.81	
4	2 : 1	1.12	
5	1.5 : 1	1.03	
6	1 : 1	1	กลุ่มที่เติมสารเร่ง พด.1
7	1 : 1.5	0.85	
8	1 : 2	0.92	
9	2 : 1	1.13	
10	1.5 : 1	1.05	
Martin และคณะ (1993)		1.04-2.46	เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
Leemaharuang (1998)		0.80-1.80	
Mato และคณะ (1994)		1.41-1.74	
พูนศักดิ์ (2541)		0.71-1.55	

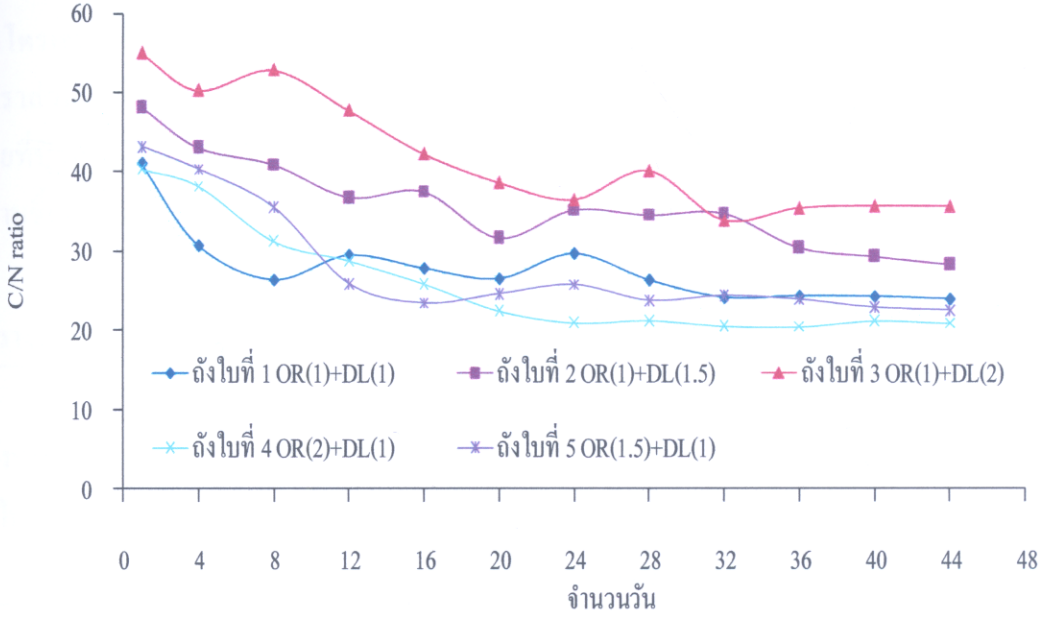
หมายเหตุ OR คือ Organic wastes (มูลฝอยอินทรีย์), DL คือ Dry leaves (ใบไม้แห้ง)

3. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

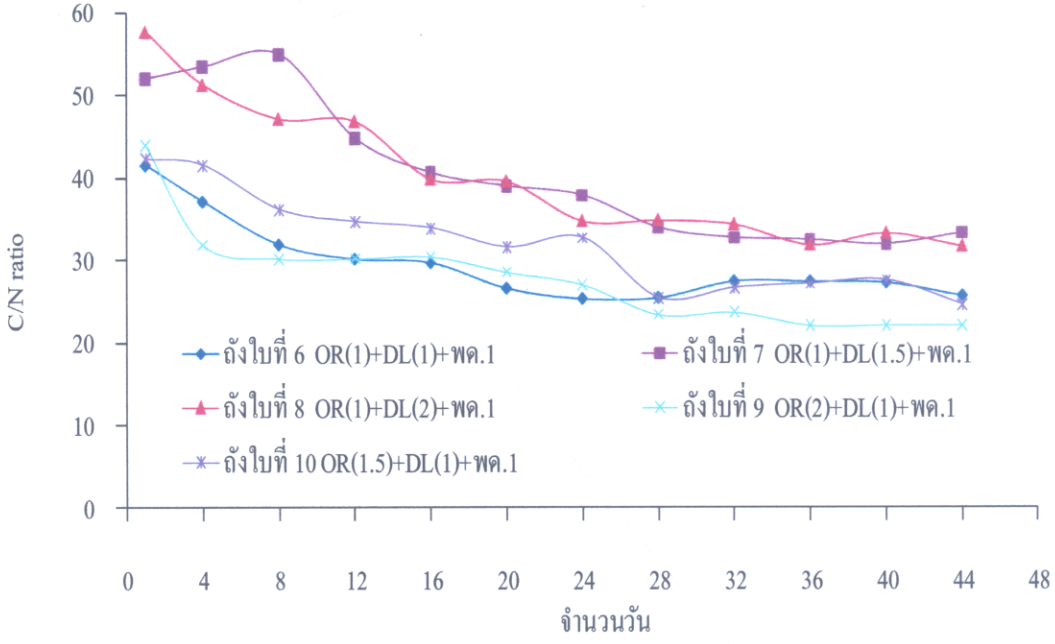
วัสดุหมักกลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1 ในถังหมักใบที่ 1-5 มีค่า C/N ratio เมื่อเริ่มต้นหมัก 40.4, 49.7, 54.6, 40.7 และ 44.1 ตามลำดับ โดยในระหว่างการหมักมีการเปลี่ยนแปลงค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนดังแสดงในรูปที่ 4.13 และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก C/N ratio ในถังหมักมีค่าลดลงเหลือ 24.9, 30.7, 35.9, 20.9 และ 23.8 ตามลำดับ

สำหรับค่า C/N ratio ของวัสดุหมักกลุ่มที่เติมสารเร่ง พด.1ในถังหมักใบที่ 6-10 เมื่อเริ่มต้นหมักมีค่า 42.2, 50.6 ,57.8 ,43.4, และ 41.3 ระหว่างการหมักมีการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในรูปที่ 4.14 เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมักค่า C/N ratio ลดลงเหลือ 24.2, 30.7 ,31.3 ,19.7 และ 22.7 ตามลำดับ จากการทดลองพบว่าค่า C/N ratio ของทุกถังหมักมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งสิ้นสุดการหมัก โดยถังหมักใบที่ 4 และใบที่ 9 มีค่า C/N ratio น้อยกว่า 20 ซึ่งยอมรับกันว่าจะไม่มีผลทำให้พืชขาดไนโตรเจนและถือว่าปุ๋ยหมักนั้นได้ที่แล้ว (Jemenez และ Garcia, 1989) ดังนั้นหากต้องการให้อัตราส่วนอื่นมีค่า C/N ratio น้อยกว่า 20 ต้องเพิ่มระยะเวลาในการหมักให้นานกว่านี้

การที่ C/N ratio มีค่าลดลงในช่วงแรกของการหมัก เนื่องจากคาร์บอนอินทรีย์ถูกจุลินทรีย์ย่อยสลายจนได้โมเลกุลขนาดเล็กแล้วจึงนำเข้าไปในเซลล์เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและส่วนประกอบของเซลล์ดังนั้นคาร์บอนอินทรีย์จึงลดลงตลอดช่วงระยะเวลาการหมักซึ่งได้กล่าวไปแล้ว อีกทั้งไนโตรเจนก็ถูกจุลินทรีย์ใช้ในการสร้างส่วนประกอบเซลล์ร่วมกับคาร์บอน ซึ่งพบว่าปริมาณไนโตรเจนจะมีค่าค่อยๆเพิ่มขึ้นตามช่วงระยะเวลาการหมัก ดังนั้นการลดลงของคาร์บอนและการเพิ่มขึ้นของไนโตรเจนทำให้ C/N ratio มีค่าลดลง แต่เมื่อคาร์บอนและไนโตรเจนเริ่มคงที่ค่า C/N ratio ก็เริ่มคงที่ด้วยเช่นกัน



รูปที่ 4.13 การเปลี่ยนแปลง C/N ratio ของวัสดุหมักกลุ่มไม่ที่เติมสารเร่ง พด.1



รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลง C/N ratio ของวัสดุหมักกลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1

แต่อย่างไรก็ตามการที่จะชี้ว่าปุ๋ยหมักได้ที่แล้วโดยใช้ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน เพียงค่าเดียวอาจไม่เพียงพอ ในกรณีที่ปริมาณไนโตรเจนเริ่มต้นมีค่าสูง ส่งผลให้ค่าอัตราส่วนไนโตรเจนต่อคาร์บอนต่ำและลดลงอย่างรวดเร็วจนกระทั่ง 20 หลังทำการหมักได้ไม่นาน โดยที่ปุ๋ยหมักหรือวัสดุหมักยังไม่คงที่ ดังนั้นควรใช้พารามิเตอร์อื่นประกอบด้วย เช่น อุณหภูมิ ความชื้น และค่าพีเอช (Villar และคณะ 1993)

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบการลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

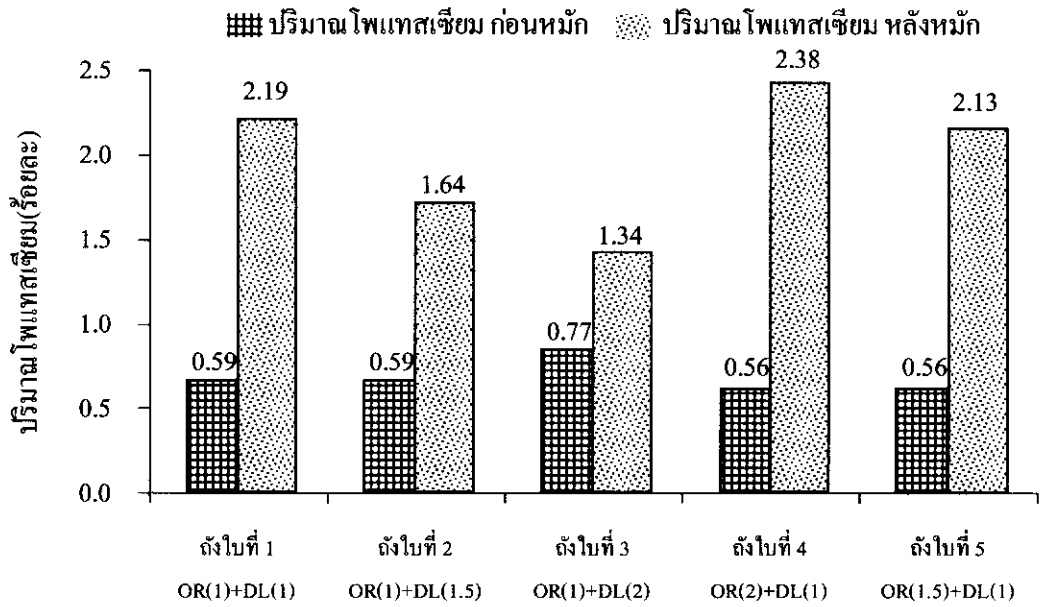
ถังหมักใบที่	อัตราส่วน OR:DL	C/N ratio เริ่มหมัก	C/N ratio หลังหมัก	อัตราการลดลง C/N ratio (ร้อยละ)	C/N ratio เริ่มมีค่าคงที่ (วัน)	การเติมสารเร่ง พด.1
1	1 : 1	40.4	24.9	38.3	32	กลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1
2	1 : 1.5	49.7	30.7	38.2	36	
3	1 : 2	54.6	35.9	34.3	40	
4	2 : 1	40.7	20.9	48.7	24	
5	1.5 : 1	44.1	23.8	46.1	28	
6	1 : 1	42.2	24.2	42.6	32	กลุ่มที่เติมสารเร่ง พด.1
7	1 : 1.5	50.6	29.2	42.3	32	
8	1 : 2	57.8	31.3	45.9	36	
9	2 : 1	43.4	19.7	54.6	28	
10	1.5 : 1	41.3	22.7	45.0	28	
Schwab และคณะ (1994)		40	20-25	37.5-50	-	เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
สรพรรณ (2546)		26-34	11-14	57.6-58.8	-	
ประสิทธ์ (2551)		32.9	19	42.5	-	
นคร (2551)		53.7	14.7-19.2	64.2-72.6	-	

หมายเหตุ OR คือ Organic wastes (มูลฝอยอินทรีย์), DL คือ Dry leaves (ใบไม้แห้ง)

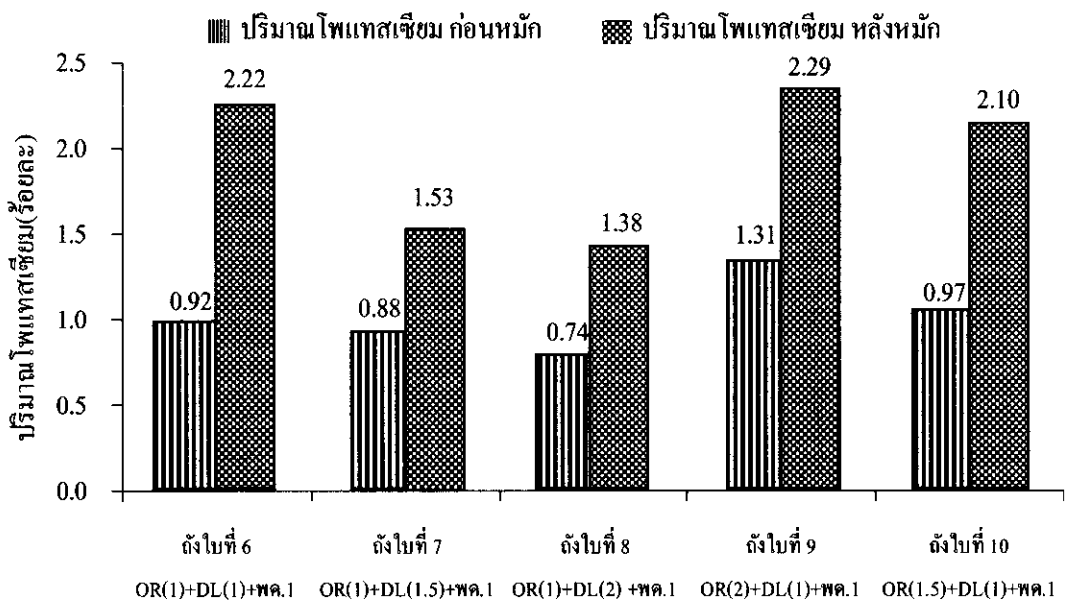
4. ปริมาณโพแทสเซียม

จากการทดลองพบว่าถังหมักใบที่ 1-5 วัสดุหมักกลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1มีปริมาณโพแทสเซียมเมื่อเริ่มต้นการหมักร้อยละ 0.59, 0.59, 0.77, 0.56 และ 0.56 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองถังหมักทุกใบมีปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นร้อยละ 2.19, 1.64, 1.34, 2.38 และ 2.13 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ (รูปที่ 4.15) และสำหรับวัสดุหมักกลุ่มที่เติมสารเร่ง พด.1 ถังหมักใบที่ 6-10 มีปริมาณโพแทสเซียมเมื่อเริ่มต้นการหมักมีค่าร้อยละ 0.92, 0.88, 0.7,1.31 และ 0.97 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าร้อยละ 2.22, 1.53, 1.38, 2.29 และ 2.10 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ (รูปที่ 4.16) ซึ่งผลการทดลองเป็นไปในแนวทางเดียวกับนคร และสมใจ (2552) การเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมเมื่อสิ้นสุดการหมักมีสาเหตุจาก ปุ๋ยหมักมีปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ลดลงเนื่องจากถูกย่อยสลายในระหว่างการหมัก ทำให้ร้อยละของโพแทสเซียมต่อน้ำหนักแห้งของปุ๋ยหมักทั้งหมดมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าถ้ามีการย่อยสลายสารอินทรีย์มากเท่าไร ก็ส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มสูงขึ้น และจากการทดลองพบว่าผลจากการเติมและไม่เติมสารเร่ง พด.1 ไม่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมเมื่อสิ้นสุดการหมัก

โดยทั่วไปแล้ว ปุ๋ยหมักที่คุณภาพดีควรมีปริมาณโพแทสเซียมอย่างน้อยร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักแห้ง (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ซึ่งปุ๋ยหมักที่ได้จากการทดลองจากถังหมักทุกใบมีปริมาณโพแทสเซียมผ่านเกณฑ์มาตรฐาน



รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมของวัสดุหมักกลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1

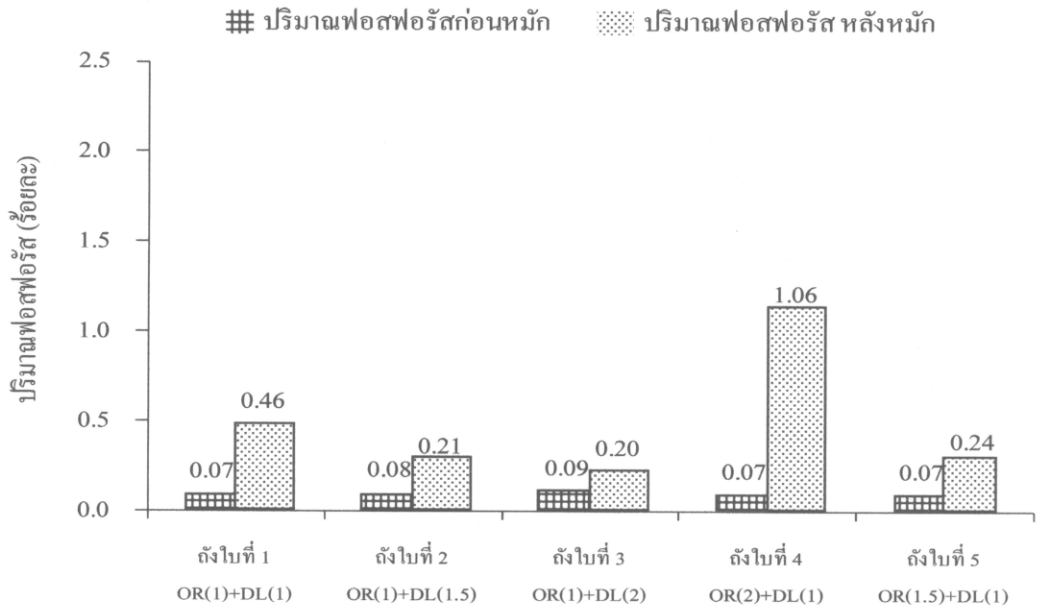


รูปที่ 4.16 การเปลี่ยนแปลงปริมาณโพแทสเซียมของวัสดุหมักกลุ่มที่เติมสารเร่ง พด.1

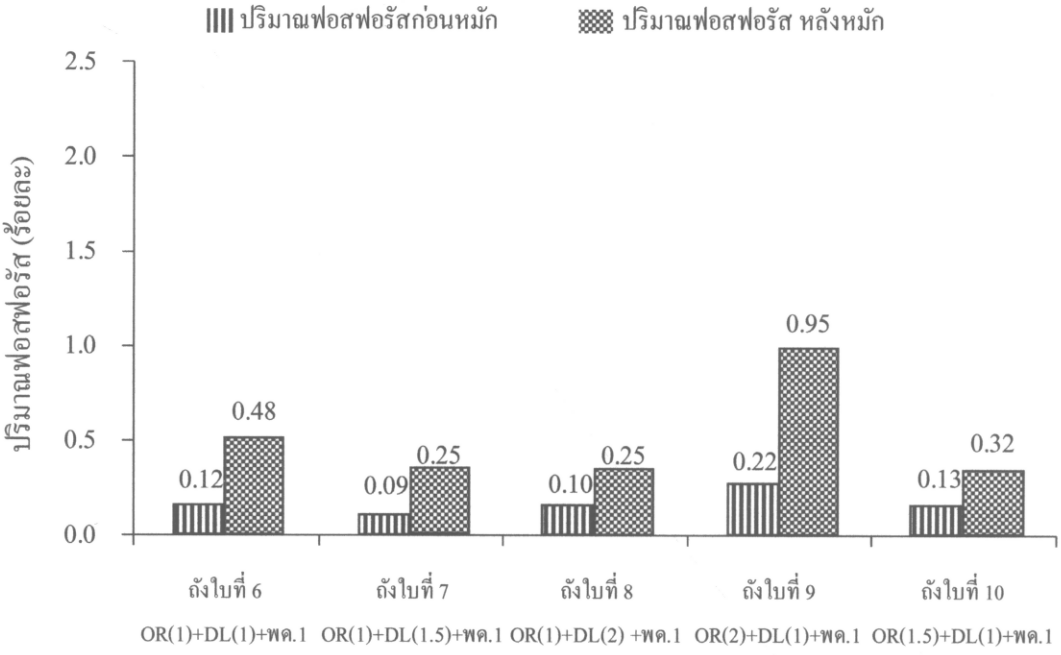
5. ปริมาณฟอสฟอรัส

การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสในวัสดุหมักแสดงดังรูปที่ 4.17 พบว่ากลุ่มวัสดุหมักที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1 ถังหมักใบที่ 1-5 มีปริมาณฟอสฟอรัสเมื่อเริ่มต้นการหมักมีค่าร้อยละ 0.07, 0.08, 0.09, 0.07 และ 0.07 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าร้อยละ 0.46, 0.21, 0.20, 1.06 และ 0.24 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ และสำหรับวัสดุหมักกลุ่มที่เติมสารเร่ง พด.1 ถังหมักใบที่ 6-10 มีปริมาณฟอสฟอรัสเมื่อเริ่มต้นการหมักมีค่าร้อยละ 0.12, 0.09, 0.10,0.22 และ 0.13 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าร้อยละ 0.48, 0.25, 0.25, 0.95 และ 0.32 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ (รูปที่ 4.18) ซึ่งผลการทดลองที่ได้เป็นไปในแนวทางเดียวกันกับการทดลองของ Mato และคณะ (1994) ปริมาณฟอสฟอรัสมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดการการหมัก มีสาเหตุการเดียวกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจน และ ปริมาณโพแทสซียม และจากการทดลองพบว่าผลจากการเติมและไม่เติมสารเร่ง พด.1 ไม่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสเมื่อสิ้นสุดการหมัก

เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการ ดังนั้นปุ๋ยหมักที่ดีควรมีปริมาณฟอสฟอรัสอย่างน้อยร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักแห้ง (กรมวิชาการเกษตร, 2548) จากการทดลองพบว่าปริมาณฟอสฟอรัสมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดยกเว้นถังหมักใบที่ 4 และ 9



รูปที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสของวัสดุหมักกลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1

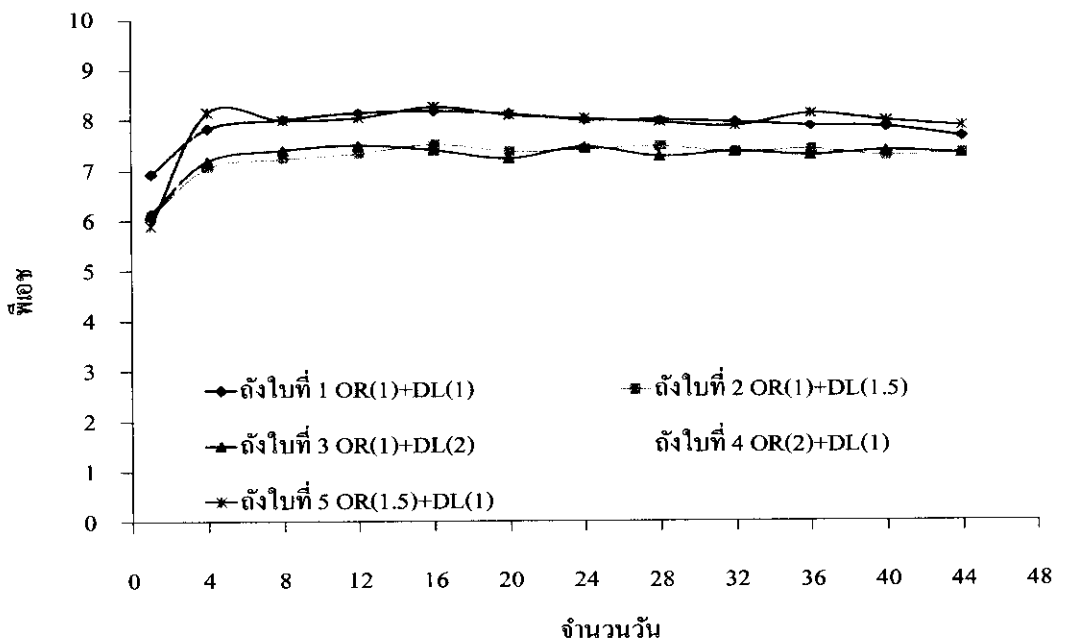


รูปที่ 4.18 การเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสของวัสดุหมักกลุ่มที่เติมสารเร่ง พด.1

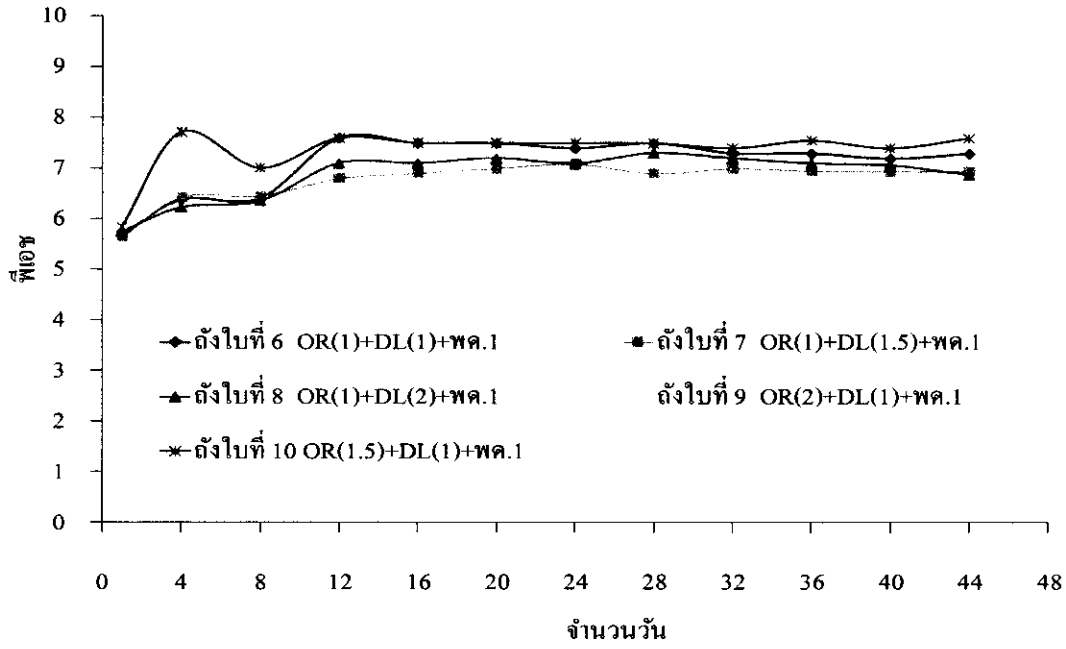
6. พีเอช

ค่าพีเอช คือ ค่าที่แสดงถึงสภาพความเป็นกรดเป็นด่าง ซึ่งกระบวนการหมักจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อมีค่าพีเอชระหว่าง 6.0-9.0 (Miller, 1992) เนื่องจากมีความเหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ในกองหมัก โดยแบคทีเรียและเชื้อราจะเจริญเติบโตได้ดีที่ค่าพีเอช 6.0-7.5 และค่าพีเอช 5.5-8.0 ตามลำดับ (Boyd, 1984) ค่าการเปลี่ยนแปลงของพีเอชในการทำปุ๋ยหมักดังแสดงในรูปที่ 4.19-4.20

จากผลการทดลองพบว่าการเปลี่ยนแปลงของพีเอชของวัสดุหมักทั้งสองกลุ่มมีความคล้ายคลึงกัน คือ วัสดุหมักกลุ่มที่เติมและไม่เติม สารเร่ง พด.1ในถังหมักใบที่ 1-10 มีค่าพีเอชเริ่มต้น 6.2, 6.1, 6.1, 4.7, 5.9, 5.6, 5.6, 5.7, 6.4, และ 5.8 ตามลำดับ แล้วมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 7 วันแรกของการหมัก ซึ่งจะมีค่าพีเอชสูงถึง 8.36 จากนั้นค่าพีเอชเริ่มลดลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปจนสิ้นสุดการหมัก เมื่อสิ้นสุดการทดลองถังหมักใบที่ 1-10 มีค่าพีเอช 7.6, 7.3, 7.3, 8.1, 7.8, 7.3, 6.9, 6.8, 8.0 และ 7.6 ตามลำดับ



รูปที่ 4.19 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของวัสดุหมักกลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1



รูปที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของวัสดุหมักกลุ่มที่เติมสารเร่ง พด.1

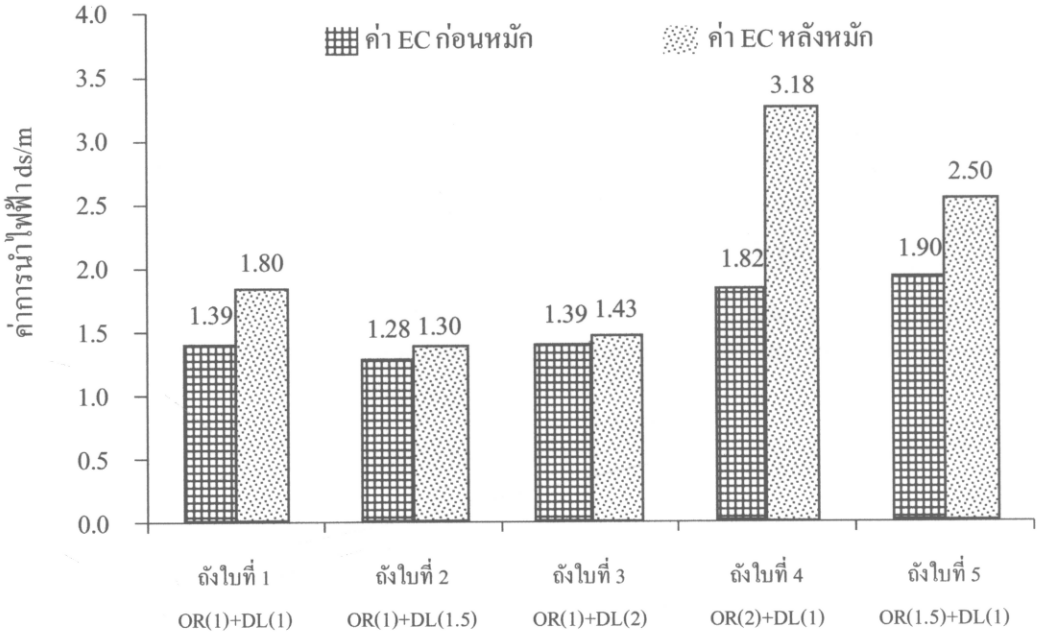
ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของพีเอช ในการทดลองนี้เป็นไปในแนวทางเดียวกับการทดลองของ Leemaharuang (1998) กล่าวว่าค่าพีเอชขณะทำการหมักมีการเปลี่ยนแปลงจากสภาพเป็นกรดในช่วงแรกของการหมักโดยมีค่า 5.8 หลังจากนั้นค่าพีเอชมีค่าสูงขึ้นจนมีสภาพเป็นด่างโดยมีค่าสูงสุดที่ 9.0 และลดลงมาเล็กน้อยจนมีค่า 8.3 เมื่อสิ้นสุดการหมัก

เมื่อพิจารณาถังหมักใบที่ 4 และ 9 ค่าพีเอชก็จะเพิ่มขึ้นสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง เนื่องมาจากการหมักมีปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยแบคทีเรียที่ใช้ออกซิเจน ส่งผลทำให้เกิดก๊าซแอมโมเนียขึ้นเป็นผลให้ค่าพีเอชของกองหมักสูง (อนุวัฒน์, 2546) อย่างไรก็ตามค่าพีเอชเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าอยู่ในช่วงที่กรมวิชาการเกษตร (2548) กำหนดคือ 5.5-8.5 และจากการทดลองพบว่าผลจากการเติมและไม่เติมสารเร่ง พด.1 ไม่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช

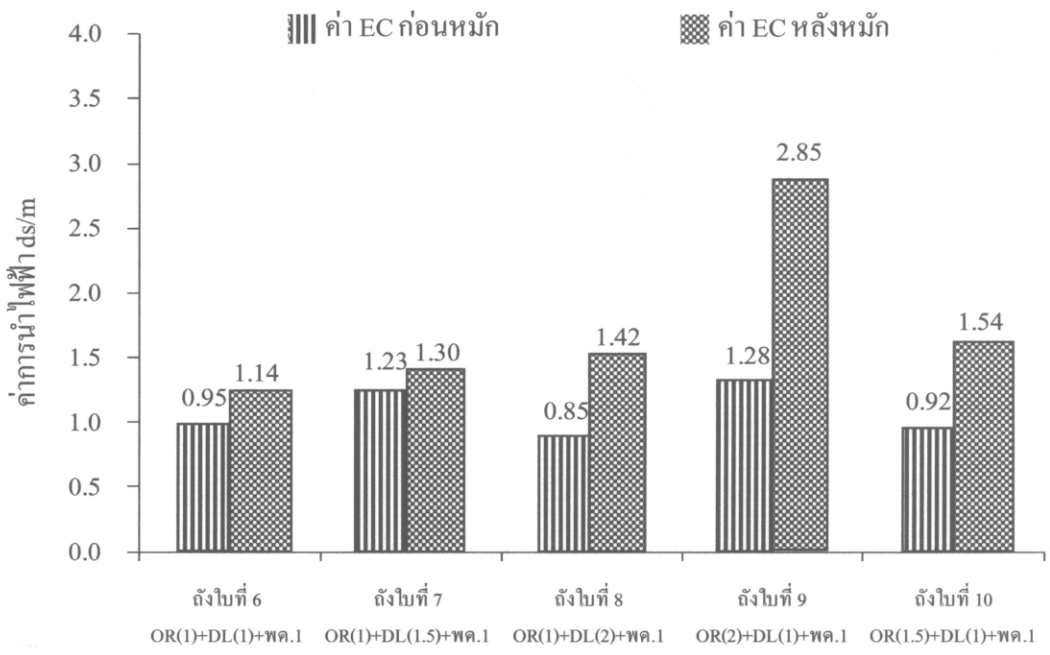
7. ค่าการนำไฟฟ้า

การวัดความเค็มของปุ๋ยหมักอาศัยการวัดค่าความนำไฟฟ้าของสารละลายซึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของเกลือในปุ๋ยหมัก จากรูปที่ 4.21 - 4.22 พบว่าวัสดุหมักในถังหมักใบที่ 1-10 มีค่าการนำไฟฟ้าเมื่อเริ่มต้นการหมัก 1.39, 1.28, 1.39, 1.82, 1.90, 0.95, 1.23, 0.85, 1.28 และ 0.92 dS/m และเมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่าการนำไฟฟ้าดังนี้ 1.50, 1.30, 1.43, 3.18, 2.50, 1.14, 1.30, 1.42, 2.85 และ1.54 dS/m จากผลการทดลองเป็นไปในแนวทางเดียวกับ พูนศักดิ์ (2541)

เมื่อสิ้นสุดการทดลองค่าการนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อนำค่าการนำไฟฟ้าเมื่อสิ้นสุดการหมักของถังหมักใบที่ 1-10 เปรียบเทียบกับตารางที่ 4.7 พบว่าระดับความเค็มของปุ๋ยหมักที่ได้มีความเค็มอยู่ไม่มากคืออยู่ในช่วง 0-4 dS/m ซึ่งพืชทุกชนิดสามารถเจริญเติบโตได้ดีโดยไม่ส่งผลกระทบต่อพืช การเติมและไม่เติมสารเร่ง พด. 1 ไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุหมัก



รูปที่ 4.21 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้ากลุ่มวัสดุหมักที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1



รูปที่ 4.22 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้ากลุ่มวัสดุหมักที่เติมสารเร่ง พด.1

ตารางที่ 4.7 ระดับความเค็มของดินที่มีผลกระทบต่อการเจริญเติบโตของพืช

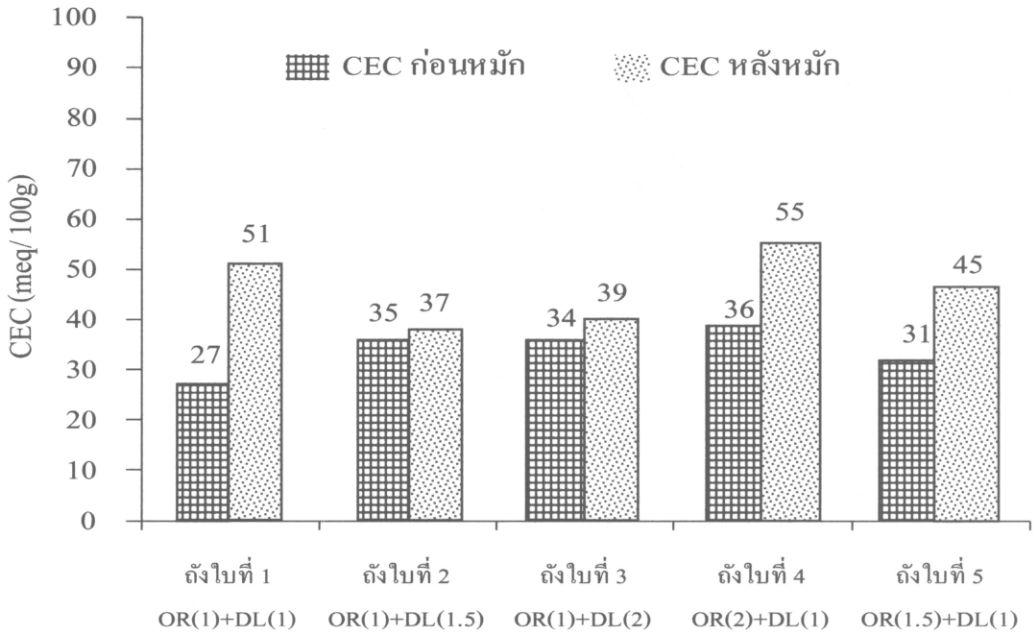
ระดับความเค็ม	ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	ผลกระทบต่อพืช
ไม่เค็ม	0-4	พืชเจริญเติบได้ดี
เค็มเล็กน้อย	4-8	พืชมีอาการผิดปกติให้ผลผลิตต่ำ
เค็มปานกลาง	8-16	มักพบคราบเกลือตามผิวดินในฤดูแล้งพืชมีการเจริญเติบโตต่ำ และให้ผลผลิตต่ำมาก
เค็มมาก	มากกว่า 16	ไม่สามารถปลูกพืชทั่วไปได้ พืชเจริญเติบโตเป็นพืชที่ทนความเค็มเท่านั้น และมักพบคราบเกลือทั่วไปตามผิวดิน

หมายเหตุ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช (2530)

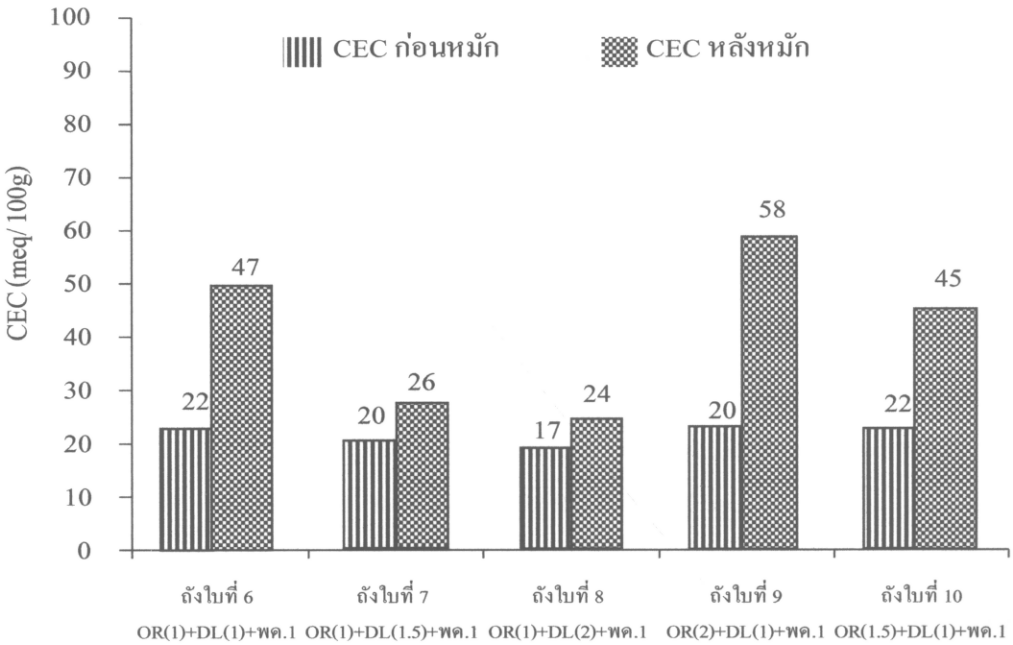
8. ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)

ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกของปุ๋ยหมักหมายถึงปริมาณประจุบวกที่ปุ๋ยหมักสามารถดูดซับไว้ได้บริเวณผิวของอนุภาค เมื่อสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายจะได้สารที่มีขนาดเล็กซึ่งมีพื้นที่ผิวสัมผัสมาก ซึ่งโดยปกติอนุภาคของวัสดุหมักมีขั้วบวกและขั้วลบเมื่ออนุภาคของวัสดุหมักถูกย่อยสลายให้มีขนาดเล็กและมีปริมาณเพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีการเพิ่มขึ้นของขั้วบวกและขั้วลบเช่นกันดังนั้นขั้วลบที่เพิ่มขึ้นจึงมีความสามารถในการดึงดูดธาตุอาหารที่มีขั้วบวกในดินมากักเก็บไว้เพื่อใช้ในการเจริญเติบโตของพืช และเมื่อนำไปใช้เป็นปุ๋ยหมักใส่ลงในดินสามารถดูดซับธาตุอาหารต่างๆที่เป็นประโยชน์ต่อพืชไว้ได้ เช่น แคลเซียม โปแตสเซียม แมกนีเซียม แอมโมเนีย ดังนั้นจึงเป็นแหล่งสะสมธาตุอาหารที่พืชต้องการและยึดเหนี่ยวไว้ไม่ให้ธาตุอาหารถูกชะล้างไปกับน้ำ นอกจากนี้ถ้าใช้ร่วมกับปุ๋ยเคมีจะดูดซับธาตุอาหารจากปุ๋ยเคมีที่พืชนำไปใช้ไม่หมดได้ (อนุวัฒน์, 2456)

จากรูปที่ 4.23-4.24 และตารางที่ 4.8 พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในถังหมักใบที่ 1-10 เมื่อเริ่มการหมักมีค่า 25, 35, 34, 35, 30, 22, 19, 16, 20 และ 21 meq/100 g โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ ระหว่างการหมักค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในถังหมักทุกใบมีค่าเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกันจนกระทั่งสิ้นสุดการหมัก ซึ่งค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักคือ 50, 37, 39, 55, 44 , 47, 25, 23, 58 และ 45 meq/100 g โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ จากการทดลองพบว่าวัสดุในถังหมักใบที่ 4 และ 9 ซึ่งมีการเพิ่มขึ้นของค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกสูงซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับการทดลองของ นคร และสมใจ (2552) แสดงให้เห็นว่าสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายได้ดีจึงได้สารผลิตภัณฑ์ที่เป็นประจุลบจำนวนมากซึ่งผลการทดลองมีความสัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิจนถึงช่วงเทอร์โมฟิลิคของถังหมักทั้ง 2 ใบ และหากพิจารณาการได้ที่ของปุ๋ยหมักจากค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกควรมีค่ามากกว่า 60 meq/100 g (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ดังนั้นวัสดุหมักจากถังหมักใบที่ 4 และ 9 มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกใกล้เคียงกับมาตรฐานปุ๋ยจากกรมวิชาการเกษตรมากที่สุด ถึงแม้ว่าค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมีค่าต่ำกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ แต่ก็ยังสามารถนำปุ๋ยหมักที่ได้ไปใช้งานโดยไม่ส่งผลกระทบต่อพืช เนื่องจากค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถที่จะช่วยในการสะสมแร่ธาตุที่จำเป็นให้กับพืชเพื่อช่วยในการเจริญเติบโต และจากการทดลองพบว่าไม่มีความแตกต่างจากการเติมและไม่เติมสารเร่ง พด.1 ในวัสดุหมักต่อค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก สาเหตุดังได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ การลดลงของมวล



รูปที่ 4.23 การเปลี่ยนแปลงค่า CEC กลุ่มวัสดุหมักที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1



รูปที่ 4.24 การเปลี่ยนแปลงค่า CEC กลุ่มวัสดุหมักที่เติมสารเร่ง พด.1

ตารางที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงค่าความสามารถในการแลกประจุบวก

ถังหมักใบที่	อัตราส่วน OR:DL	CEC เริ่มหมัก (meq/100g)	CEC หลังหมัก (meq/100g)	มาตรฐานจากกรมวิชาการเกษตร (2548)	หมายเหตุ
1	1 : 1	25	50	ไม่ควรน้อยกว่า 60 meq / 100 g	กรณีที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1
2	1 : 1.5	35	37		
3	1 : 2	34	39		
4	2 : 1	35	55		
5	1.5 : 1	30	44		
6	1 : 1	22	47	ไม่ควรน้อยกว่า 60 meq / 100 g	กรณีที่เติมสารเร่ง พด.1
7	1 : 1.5	19	25		
8	1 : 2	16	23		
9	2 : 1	20	58		
10	1.5 : 1	21	45		

หมายเหตุ OR คือ Organic wastes (มูลฝอยอินทรีย์), DL คือ Dry leaves (ใบไม้แห้ง)

4.1.4 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางชีวภาพ

เชื้อโรคในกองปุ๋ยหมัก

U.S. EPA (1999) ได้กำหนดมาตรฐานของปุ๋ยหมักเพื่อการขายหรือการบรรจุโดยต้องมีปริมาณ Fecal Coliforms และ *Salmonella* sp. น้อยกว่า 1000 MPN/g และ 3 MPN/4g ตามลำดับ การติดตามตรวจสอบปริมาณ Fecal Coliforms และ *Salmonella* sp. เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักจะเป็นขั้นตอนการยืนยันความปลอดภัยของปุ๋ยหมักที่ได้ (ศิรินทรา, 2552) จากการทดลอง (ตารางที่ 4.9) พบว่าระดับการปนเปื้อนของ Fecal Coliforms และ *Salmonella* sp. มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคคือปริมาณ Fecal Coliforms และ *Salmonella* sp.ต่ำกว่า 1000 MPN/g และ 3 MPN/4g ในถังหมักทุกใบเมื่อสิ้นสุดการทดลอง อย่างไรก็ตามอาจเป็นไปได้ว่า สาเหตุของการตรวจไม่พบเชื้อโรคนั้นเนื่องจากวัสดุหมักที่ใช้ในการทดลองเป็นมูลฝอยอินทรีย์สังเคราะห์ ผสมกับ ใบไม้แห้ง และทำการหมักในภาชนะปิดทำให้ไม่มีการปนเปื้อนของเชื้อโรคจากภายนอกเข้าสู่กระบวนการหมัก จึงทำให้ตรวจไม่พบเชื้อโรคในวัสดุหมักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ตารางที่ 4.9 เชื้อโรคที่ตรวจพบในวัสดุหมักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ถังหมักใบที่	อัตราส่วน OR:DL	Fecal Coliforms (ไม่เกิน 1000MPN/g)	*Salmonella* sp. (ไม่เกิน 3MPN/4g)	หมายเหตุ
1	1 : 1	ไม่พบ	ไม่พบ	กลุ่มที่ไม่เติมสาร เร่ง พด.1
2	1 : 1.5	ไม่พบ	ไม่พบ	
3	1 : 2	ไม่พบ	ไม่พบ	
4	2 : 1	ไม่พบ	ไม่พบ	
5	1.5 : 1	ไม่พบ	ไม่พบ	
6	1 : 1	ไม่พบ	ไม่พบ	กลุ่มที่เติมมสาร เร่ง พด.1
7	1 : 1.5	ไม่พบ	ไม่พบ	
8	1 : 2	ไม่พบ	ไม่พบ	
9	2 : 1	ไม่พบ	ไม่พบ	
10	1.5 : 1	ไม่พบ	ไม่พบ	

หมายเหตุ OR คือ Organic wastes (มูลฝอยอินทรีย์), DL คือ Dry leaves (ใบไม้แห้ง)

4.1.5 การประเมินการได้ที่และคุณภาพของปุ๋ยหมัก

เมื่อสารอินทรีย์ผ่านกระบวนการหมักโดยจุลินทรีย์หลายชนิดในสภาพแวดล้อมที่มีปริมาณสารอาหาร อุณหภูมิ ความชื้น และปัจจัยอื่นๆที่เหมาะสม และได้เป็นสารคงรูปคือมีการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมีน้อยมากซึ่งอาจกล่าวได้ว่าปุ๋ยหมักนั้นได้ที่แล้ว แต่ถ้าหากนำปุ๋ยหมักที่ยังไม่ได้ที่ไปใช้กับพืช อาจส่งผลกระทบต่อดินและพืช โดยจะเกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ยังเหลืออยู่อาจทำให้เกิดสภาพไร้อากาศและมีอุณหภูมิสูงจากการที่แบคทีเรียต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในการย่อยสลายซึ่งปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปความร้อน ซึ่งส่งผลกระทบต่อรากพืช นอกจากนี้ดินอาจมีไนโตรเจนน้อยเพราะแบคทีเรียได้เพิ่มจำนวนอย่างรวดเร็วในดิน ไนโตรเจนในดินจะถูกแบคทีเรียดึงไปสร้างเซลล์ซึ่งทำให้พืชได้รับปริมาณไนโตรเจนน้อยลง ทำให้พืชขาดไนโตรเจนและแสดงอาการเหลืองซีด (กรมพัฒนาที่ดิน, 2537) ดังนั้นก่อนนำปุ๋ยหมักไปใช้นั้นจำเป็นต้องประเมินการได้ที่ของปุ๋ยหมักก่อน และยังต้องพิจารณาคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้และสารอาหารที่พืชต้องการ เพื่อการนำไปใช้ในปริมาณที่เหมาะสม และเพิ่มความปลอดภัยในการใช้ เนื่องจากการทำปุ๋ยหมักจากมูลฝอยอินทรีย์ เศษพืช ใบไม้แห้ง มูลสัตว์ อาจมีเชื้อโรคปะปนอยู่

ในการทดลองครั้งนี้ทำการประเมินการได้ที่ของวัสดุหมักจากลักษณะทางกายภาพ (อุณหภูมิ) และลักษณะทางเคมี (อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และ พีเอช) ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบการได้ที่ของวัสดุหมักจากปัจจัยต่างๆ

ถังหมักใบที่	ระยะเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงตัว (วัน)					
	อัตราส่วน OR:DL	อุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิ ห้อง	พีเอช อยู่ในช่วง 5.5-8.5	C/N ratio เริ่มมีค่าคงที่ (วัน)	สรุประยะเวลาที่ใช้	หมายเหตุ
1	1 : 1	24	24	32	32	
2	1 : 1.5	22	24	36	36	กลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1
3	1 : 2	22	24	40	40	
4	2 : 1	24	28	24	28	
5	1.5 : 1	24	28	28	28	
6	1 : 1	25	32	32	32	
7	1 : 1.5	22	32	32	32	กลุ่มที่เติมสารเร่ง พด.1
8	1 : 2	22	16	36	36	
9	2 : 1	25	28	28	28	
10	1.5 : 1	23	32	28	32	

หมายเหตุ OR คือ Organic wastes (มูลฝอยอินทรีย์), DL คือ Dry leaves (ใบไม้แห้ง)

จากตารางที่ 4.10 พบว่าถังหมักใบที่ 4 และใบที่ 9 มีอัตราส่วนวัสดุหมักระหว่างมูลฝอยอินทรีย์ต่อใบไม้แห้ง 2:1 โดยน้ำหนักเปียก ซึ่งไม่มีการเติมสารเร่ง พด.1 และเติม ตามลำดับ เริ่มมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้องเมื่อวันที่ 24 และวันที่ 25 ของการหมักตามลำดับ ค่าพีเอชเริ่มคงที่เมื่อวันที่ 28 ของการหมักสำหรับถังหมักทั้ง 2 ใบ และค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมักเริ่มใกล้เคียงกับ 20 ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานที่กำหนดโดยกรมวิชาการเกษตร (2548) เมื่อวันที่ 24 และวันที่ 28 ของการหมัก ดังนั้นจึงพิจารณาการได้ที่โดยใช้ค่าพีเอชเป็นเกณฑ์สำหรับถังหมักใบที่ 4 และค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็นเกณฑ์สำหรับถังหมักใบที่ 9 ระยะเวลาการได้ที่ของถังหมักทั้ง 2 ใบมีค่าเท่ากันคือ 28 วัน

4.1.6 ธาตุอาหารหลักของพืช

ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยอินทรีย์ที่ได้มีปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชในรูปของไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ดังตารางที่ 4.11 จากการทดลองปริมาณธาตุอาหารทั้ง 3 ชนิด รวมกันอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 2.35-4.56 เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานจากกรมวิชาการเกษตร (2548) ซึ่งกำหนดไว้ว่าปุ๋ยหมักที่ได้ที่แล้วควรมีค่าผลรวมของธาตุอาหารหลัก (N-P-K) ควรมีค่ามากกว่า 2 หรือมีธาตุอาหารหลักไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1:0.5:0.5 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าถังหมักทุกใบมีผลรวมและปริมาณของธาตุอาหารหลักผ่านมาตรฐาน โดยถังหมักใบที่ 4 มีค่ามากที่สุดคือ 4.56 รองลงมาคือ ถังหมักใบที่ 9 มีค่า 4.36 และเมื่อพิจารณาปริมาณธาตุอาหารหลักจากถังหมักทุกใบ พบว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานกำหนดทุกถังหมัก ยกเว้นปริมาณธาตุฟอสฟอรัสซึ่งมีปริมาณไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 4.11 เปรียบเทียบธาตุอาหารหลักของพืชในวัสดุหมัก

ถังหมักใบที่	อัตราส่วน OR:DL	มาตรฐานปุ๋ยจากกรมวิชาการเกษตร2548 (N:P:K=1:0.5:0.5)			ผลรวมธาตุอาหารหลัก	หมายเหตุ
		ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม		
1	1 : 1	1.01	0.46	2.19	3.66	
2	1 : 1.5	0.92	0.21	1.64	2.77	กรณีไม่
3	1 : 2	0.81	0.20	1.34	2.35	เติมสาร
4	2 : 1	1.12	1.06	2.38	4.56	เร่ง พด.1
5	1.5 : 1	1.03	0.24	2.13	3.40	
6	1 : 1	1.01	0.48	2.22	3.71	
7	1 : 1.5	0.92	0.25	1.53	2.70	กรณีเติม
8	1 : 2	0.81	0.25	1.38	2.44	สารเร่ง
9	2 : 1	1.12	0.95	2.29	4.36	พด.1
10	1.5 : 1	1.03	0.32	2.10	3.45	

หมายเหตุ OR คือ Organic wastes (มูลฝอยอินทรีย์), DL คือ Dry leaves (ใบไม้แห้ง)

4.1.7 การคัดเลือกอัตราส่วนวัสดุหมักที่เหมาะสมสำหรับการทดลองช่วงที่ 2

จากตารางที่ 4.12 และ 4.13 เมื่อพิจารณาคุณภาพของวัสดุหมักที่ได้จากการหมักมูลฝอยอินทรีย์กับใบไม้แห้งทั้งกลุ่มที่เติมและไม่เติมสารเร่ง พด.1 สามารถสรุปได้ว่าวัสดุหมักที่มีปริมาณมูลฝอยอินทรีย์มากกว่าปริมาณใบไม้แห้งจากอัตราส่วน 2: 1 ให้คุณภาพปุ๋ยดีที่สุดซึ่งประเมินจากผลคะแนนโดยใช้ตารางที่ 4.12 และ 4.13 พบว่าถังหมักใบที่ 9 ได้คะแนนการประเมินมากที่สุดคือ 68 คะแนนรองลงมาคือถังหมักใบที่ 4 ได้คะแนน 66 คะแนน คุณภาพปุ๋ยหมักโดยรวมของถังหมักทั้ง 2 ใบมีค่าใกล้เคียงกัน คือ มีค่า C/N ratio และมีปริมาณธาตุอาหารอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม หากแต่ยังมีความชื้นสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลอง ซึ่งต้องนำไปตากแห้งเพื่อลดความชื้นก่อนนำไปใช้งาน

การเติมสารเร่ง พด.1 ส่งผลกระทบต่อวัสดุหมักเพียงเล็กน้อยดังสรุปในตารางที่ 4.14 เมื่อพิจารณาจากอัตราส่วนที่ให้คุณภาพปุ๋ยที่ดีที่สุดคืออัตราส่วน 2:1 พบว่าค่า อุณหภูมิสูงสุดของวัสดุหมักกลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1 และเติมสารเร่งพด.1 (ถังหมักใบที่ 4 และถังหมักใบที่ 9) มีค่าใกล้เคียงกับค่าอุณหภูมิสูงสุดเฉลี่ยจากถังหมักทั้ง 2 ใบ นอกจากนี้ค่าร้อยละของความแตกต่างของอุณหภูมิมีค่าไม่เกินร้อยละ 10 เช่นเดียวกันกับค่า C/N ratio และค่าพีเอชเมื่อสิ้นสุดการทดลองที่มีค่าร้อยละของความแตกต่างไม่เกิน 10 ดังนั้นการเติมสารเร่ง พด.1 จึงไม่ส่งผลกระทบต่อการหมักมูลฝอยอินทรีย์กับใบไม้แห้ง ซึ่งมีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกันทุกถังหมักเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างกลุ่มวัสดุหมักที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1 และกลุ่มวัสดุหมักที่เติมสารเร่ง พด.1 (ถังหมักใบที่ 1 กับ 6, 2 กับ 7, 3 กับ 8, 4 กับ 9 และ 5 กับ 10) สาเหตุของผลการทดลองจากการเติมสารเร่ง พด.1 แล้วผลที่ได้ไม่เป็นไปตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ คือ การเติมสารเร่ง พด.1 จะทำให้การย่อยสลายเร็วขึ้นและให้คุณภาพปุ๋ยดีขึ้น เนื่องมาจากสารเร่ง พด.1 เป็นกลุ่มจุลินทรีย์ที่คัดเฉพาะเพื่อช่วยในการย่อยสลายวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรซึ่งมีลักษณะเป็นวัสดุที่ย่อยยากและมีปริมาณเซลลูโลสสูง อีกทั้งเพื่อให้การทำงานของสารเร่ง พด.1 มีประสิทธิภาพควรมีการเพิ่มแหล่งไนโตรเจนให้กับวัสดุหมัก เช่น มูลวัว เป็นต้น (กรมพัฒนาที่ดิน , 2537) เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองครั้งนี้วัสดุหมักหลักที่ใช้คือ มูลฝอยอินทรีย์ซึ่งมีลักษณะย่อยสลายง่าย อีกทั้งไม่ได้มีการเพิ่มแหล่งไนโตรเจนให้กับวัสดุหมักในการทดลอง ดังนั้นการเติมสารเร่ง พด.1 จึงไม่มีผลกระทบต่อการกระบวนการหมัก

ในทางปฏิบัติการลดขั้นตอนการเติมสารเร่ง พด.1 ในการหมักปุ๋ยแต่ละครั้งสามารถลดความยุ่งยากในการทำงานได้ และจากผลการทดลองช่วงที่ 1 จึงเลือกวัสดุหมักจากถังหมักใบที่ 4 ซึ่งมีปริมาณมูลฝอยอินทรีย์กับใบไม้แห้งในอัตราส่วน 2: 1 โดยน้ำหนักเปียก และใช้เวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวประมาณ 30 วัน เป็นอัตราส่วนที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 2 ต่อไป

ตารางที่ 4.12 ผลการประเมินคุณภาพปุ๋ยหมักของวัสดุหมักกลุ่มที่ไม่เติมสารเร่ง พด.1

คุณภาพของวัสดุหมัก	ผลการทดลอง[2]						เกณฑ์การให้คะแนนคุณภาพปุ๋ย[3]						ผลการประเมิน				
	หน่วย	R1	R2	R3	R4	R5	10	8	6	4	2	0	R1	R2	R3	R4	R5
1. ความเป็นกรดเป็นด่าง[1]	-	7.66	7.34	7.32	8.10	7.87	7.0-8.0	8.1-8.5 6.5-6.9	8.6-9.0 6.0-6.4	10.0-14.0 2.0-6.0	- -	- -	10	10	10	8	10
2. ปริมาณความชื้น	%	56.3	54.6	53.9	60.2	57.4	0-35	36-40	41-45	46-50	51-56	> 56	0	2	2	0	0
3. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	%	42.8	48.1	49.4	39.7	41.6	35-40	41-45	46-50	30-35	25-30	20-25	8	6	6	10	8
4. ค่า C/N	-	24.9	30.7	35.9	20.9	23.8	0-20	20-25	25-30	30-35	36-40	> 40	8	6	2	8	8
5. ปริมาณไนโตรเจน	%	1.01	0.92	0.81	1.12	1.08	≥1	0.8-0.9	0.6-0.7	0.4-0.5	0.2-0.3	< 0.2	10	8	8	10	10
6. ปริมาณฟอสฟอรัส	%	0.46	0.21	0.20	1.06	0.24	≥1	0.8-0.9	0.6-0.7	0.4-0.5	0.2-0.3	< 0.3	4	2	2	10	2
7. ปริมาณโพแทสเซียม	%	2.19	1.64	1.34	2.38	2.13	≥0.5	0.3-0.4	-	0.1-0.2	-	< 0.1	10	10	10	10	10
8. การลดลงของมวล[1]	%	35	23.7	6.25	40	31.2	≥40	35-40	30-35	25-30	20-25	0-20	8	4	0	10	6
คะแนนที่ได้ (คะแนนเต็ม 80)													58	48	40	**66**	54

หมายเหตุ [1] คือ เกณฑ์ที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับการวิจัย

[2] คือ ผลการทดลองโดยใช้สัญลักษณ์ R1, R2, R3, R4 และ R5 แทน ถังหมักใบที่ 1, 2, 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

[3] คือ อ้างอิงจาก สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2543)

ตารางที่ 4.13 ผลการประเมินคุณภาพปุ๋ยหมักของวัสดุหมักกลุ่มที่เติมสารเร่ง พด.1

คุณภาพของวัสดุหมัก	ผลการทดลอง[2]						เกณฑ์การให้คะแนนคุณภาพปุ๋ย[3]						ผลการประเมิน				
	หน่วย	R6	R7	R8	R9	R10	10	8	6	4	2	0	R6	R7	R8	R9	R10
1. ความเป็นกรดเป็นด่าง[1]	-	7.30	7.00	7.00	8.00	7.60	7.0-8.0	8.1-8.5 6.5-6.9	8.6-9.0 6.0-6.4	10.0-14.0 2.0-6.0	- -	- -	10	10	10	10	10
2. ปริมาณความชื้น	%	57.3	54.2	52.5	60.6	56.1	**0-35**	**36-40**	**41-45**	**46-50**	**51-56**	**> 56**	0	2	2	0	0
3. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	%	41.1	44.3	48.9	37.9	41.1	**35-40**	**41-45**	**46-50**	**30-35**	**25-30**	**20-25**	8	8	6	10	8
4. ค่า C/N	-	24.2	30.7	31.3	19.7	23	**0-20**	**20-25**	**25-30**	**30-35**	**35-40**	**> 40**	6	4	4	8	8
5. ปริมาณไนโตรเจน	%	1.00	0.85	0.92	1.13	1.05	**≥1**	**0.8-0.9**	**0.6-0.7**	**0.4-0.5**	**0.2-0.3**	**< 0.2**	10	8	8	10	10
6. ปริมาณฟอสฟอรัส	%	0.46	0.21	0.24	1.06	0.48	**≥1**	**0.8-0.9**	**0.6-0.7**	**0.4-0.5**	**0.2-0.3**	**< 0.2**	4	2	10	10	4
7. ปริมาณโพแทสเซียม	%	2.22	1.53	1.38	2.29	2.10	**≥0.5**	**0.3-0.4**	**-**	**0.1-0.2**	**-**	**< 0.1**	10	10	10	10	10
8. การลดลงของมวล[1]	%	33.7	25	8	43.7	35	**≥40**	**35-40**	**30-35**	**25-30**	**20-25**	**0-20**	6	2	0	10	6
คะแนนที่ได้ (คะแนนเต็ม 80)													54	46	50	**68**	56

หมายเหตุ [1] คือ เกณฑ์ที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับการวิจัย

[2] คือ ผลการทดลองโดยใช้สัญลักษณ์ R6, R7, R8, R9 และ R10 แทน ถังหมักใบที่ 6, 7, 8, 9 และ 10 ตามลำดับ

[3] คือ อ้างอิงจาก สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2543)

ตารางที่ 4.14 เปรียบเทียบผลกระทบจากการเติมและไม่เติมสารเร่ง พด.1 ในวัสดุหมัก

ถังหมักใบที่	อัตราส่วน	พารามิเตอร์ที่ใช้ประเมิน								
		อุณหภูมิสูงสุด (°C)	AVG	ร้อยละของความแตกต่าง*	C/N ratio หลังหมัก	AVG	ร้อยละของความแตกต่าง*	pH หลังหมัก	AVG	ร้อยละของความแตกต่าง*
1	1 : 1	47.9			24.9			7.66		
6	1 : 1 (พด.1)	48.2	48.1	0.62	24.2	24.6	2.80	7.30	7.48	4.70
2	1 : 1.5	47			30.7			7.34		
7	1 : 1.5 (พด.1)	44	45.5	6.38	29.2	30.0	4.80	6.95	7.15	5.31
3	1 : 2	47			35.9			7.32		
8	1 : 2 (พด.1)	44	45.5	6.38	31.3	33.6	11.14	6.88	7.10	6.01
4	2 : 1	53.2			20.9			8.10		
9	2 : 1 (พด.1)	50	51.6	6.01	19.7	20.3	5.74	8.0	8.05	1.23
5	1.5 : 1	48.5			23.8			7.87		
10	1.5 : 1 (พด.1)	48.2	48.4	0.50	22.7	23.3	4.62	7.60	7.74	3.43

หมายเหตุ AVG คือ Average ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

* คือ ร้อยละของความแตกต่างควรมีค่าไม่เกิน 10 (เกณฑ์ที่ผู้วิจัยกำหนด)

4.2 การออกแบบถังหมักในการทดลองช่วงที่ 2

การออกแบบถังหมักในการทดลองช่วงที่ 2 นำข้อมูลจากการทดลองช่วงที่ 1 และจากการทบทวนเอกสาร ซึ่งสามารถสรุปเป็นแนวคิดพื้นฐานในการออกแบบถังหมักปุ๋ยสำหรับบ้านเรือนได้ดังนี้

- ควรมีฝาปิด-เปิดได้สำหรับเติมมูลฝอยอินทรีย์เข้าออกและป้องกันการเกิดกลิ่นรบกวน
- ควรมีการระบายอากาศเพื่อเพิ่มปริมาณอากาศให้กับวัสดุหมักภายในถังหมักปุ๋ย
- ควรมีรูระบายน้ำทิ้งที่เกิดจากการหมัก และสามารถเก็บใส่ภาชนะนำไปใช้ปรับความชื้นให้กับกองวัสดุหมัก หรือนำไปเจือจางรดน้ำต้นได้
- ควรมีฉนวนช่วยเก็บกักเก็บอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์
- ควรใช้วัสดุที่แข็งแรงและสามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น ราคาถูก ในการก่อสร้างถังหมัก
- ควรกำหนดระยะเวลาในการหมักมูลฝอยอินทรีย์ประมาณ 30 วัน

4.2.1 ถังหมักแบบที่ 1

ลักษณะเด่นของถังหมักแบบที่ 1

- ขั้นตอนการก่อสร้างไม่ซับซ้อน

การออกแบบและก่อสร้างถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 1

การออกแบบถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 1 (รูปที่ 4.25-4.28) จะปรับปรุงรูปแบบมาจากถังหมักเบื้องต้นที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 1 ซึ่งมีลักษณะเป็นถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบมีช่องระบายอากาศ ตัวถังทำมาจากถังโฟมที่ใช้บรรจุอาหารทั่วไป ตัวถังมีความหนา 2.5 เซนติเมตร ขนาดความจุ 75 ลิตร ความกว้างปากถัง 50 x 50 เซนติเมตร ความสูงของถัง 30 เซนติเมตร (รูปที่ 4.29-4.30)

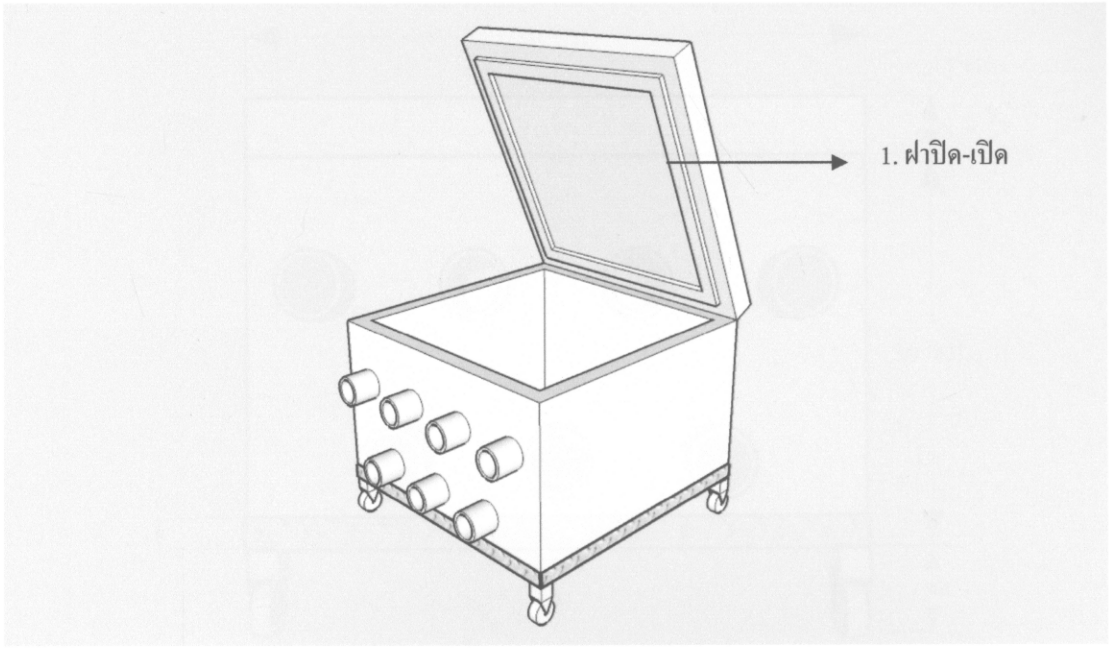
ด้านบน (รูปที่ 4.30) เป็นฝาปิดและเปิด แยกกับตัวถัง ทำมาจากวัสดุโฟมเช่นเดียวกับตัวถังหมักความหนาของฝา 4.5 เซนติเมตร ขนาดกว้าง 50 ยาว 50 เซนติเมตร

ภายใน (รูปที่ 4.25) ถังหมักประกอบท่อระบายอากาศขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.1 เซนติเมตร (1.5 นิ้ว) จำนวน 7 ท่อบริเวณด้านหน้าของตัวถังเพื่อให้อากาศสามารถเข้ามาสัมผัสกับวัสดุหมัก ถัดเข้าไปมาจากท่อระบายอากาศจะเป็นตะกร้าพลาสติก ขนาดความกว้างของปากตะกร้า

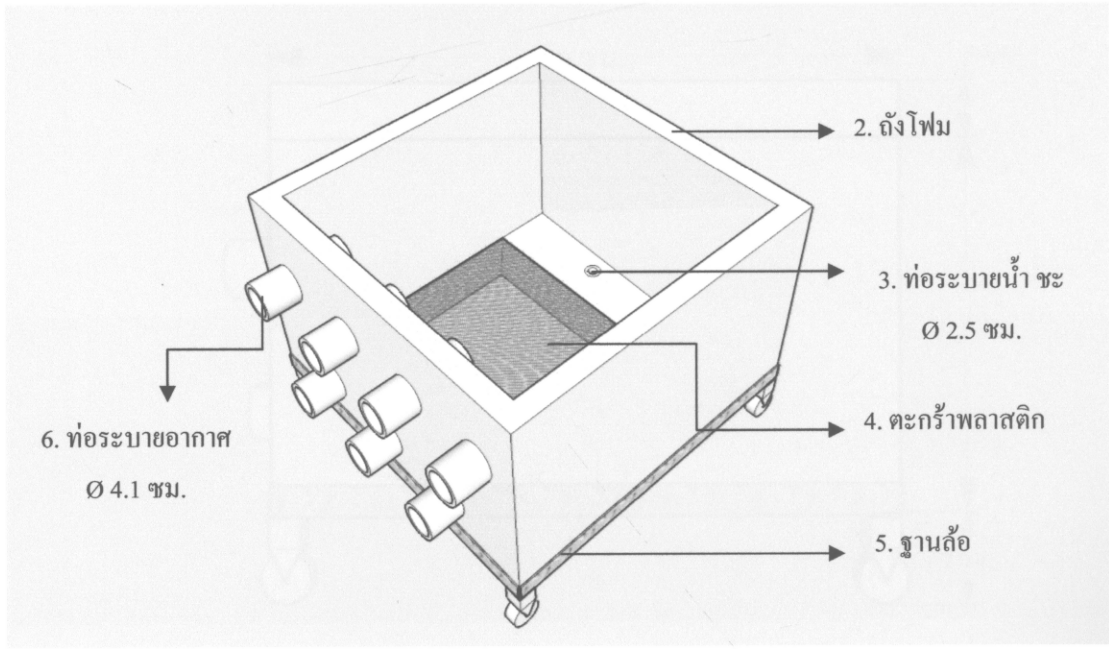
ด้านบนขนาด 35 x 25 เซนติเมตร ความกว้างของพื้นตะกร้าด้านล่างขนาด 30 x 20 เซนติเมตร ความสูงของตะกร้า10 เซนติเมตร วางคว่ำบนติดกับพื้นด้านล่างของตัวถัง เพื่อเพิ่มการระบายอากาศให้กับวัสดุหมักอย่างทั่วถึง พื้นด้านล่างของถังหมักเจาะช่องระบายน้ำชะขนาด 2.5 เซนติเมตร (0.5 นิ้ว) จำนวน 2 ช่อง ระยะห่างระหว่างช่อง 30 เซนติเมตร

ด้านล่างของตัวถังจะติดฐานล้อ (รูปที่ 4.27-4.29) ซึ่งทำมาจากโครงเหล็กฉากเจาะรูขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 51 x 51 เซนติเมตร ความสูงของล้อจากระดับพื้นดิน 7 เซนติเมตร ด้านล่างของช่องระบายน้ำชะจะวางถาดพลาสติกขนาด 35 x 20 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร เพื่อรองรับน้ำชะมูลฝอยที่เกิดขึ้นขนาด 35 x 20 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร

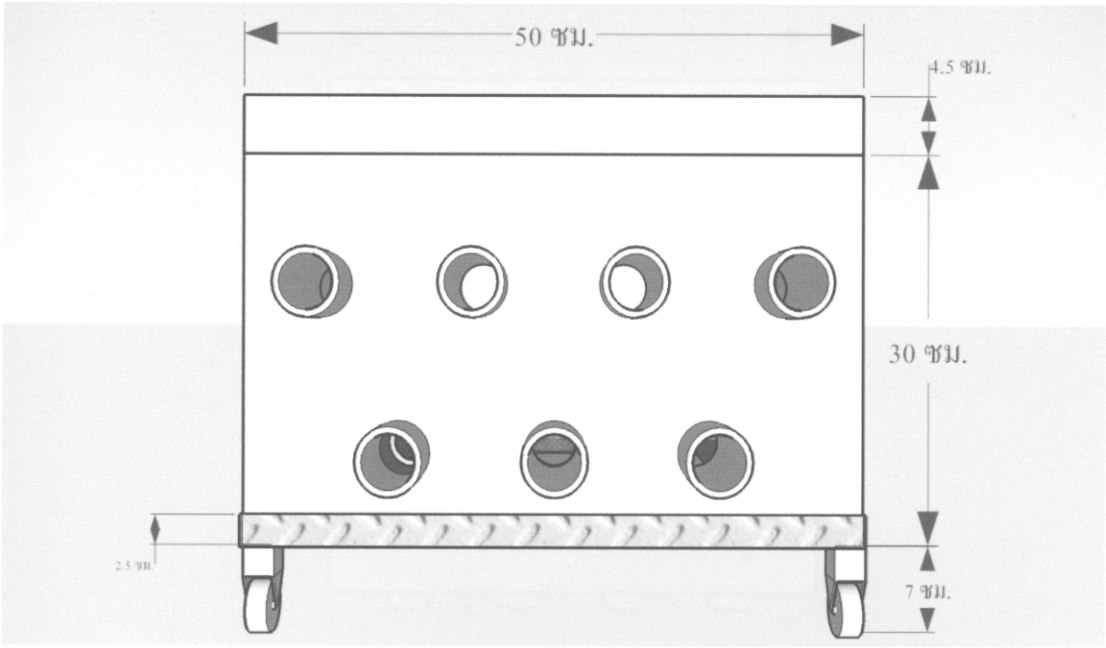
รูปที่ 4.25 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 1 ต้นแบบจริง



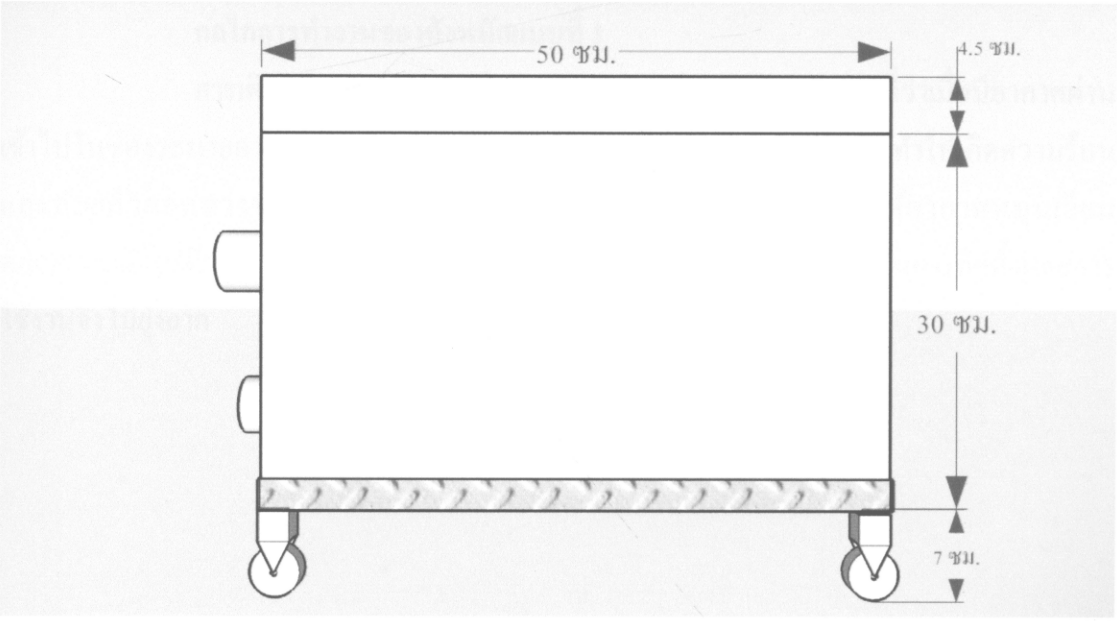
รูปที่ 4.26 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 1 มุมมอง Isometric



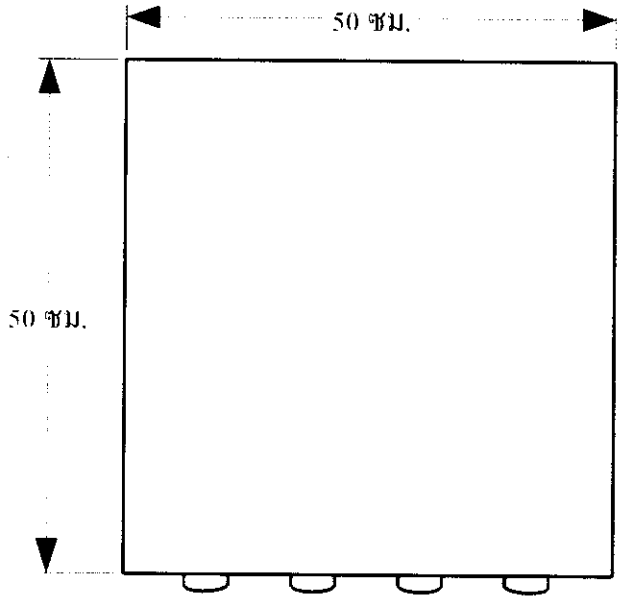
รูปที่ 4.27 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 1 มุมมองภายใน



รูปที่ 4.28 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 1 มุมมองด้านหน้า (มาตราส่วน 1: 6)



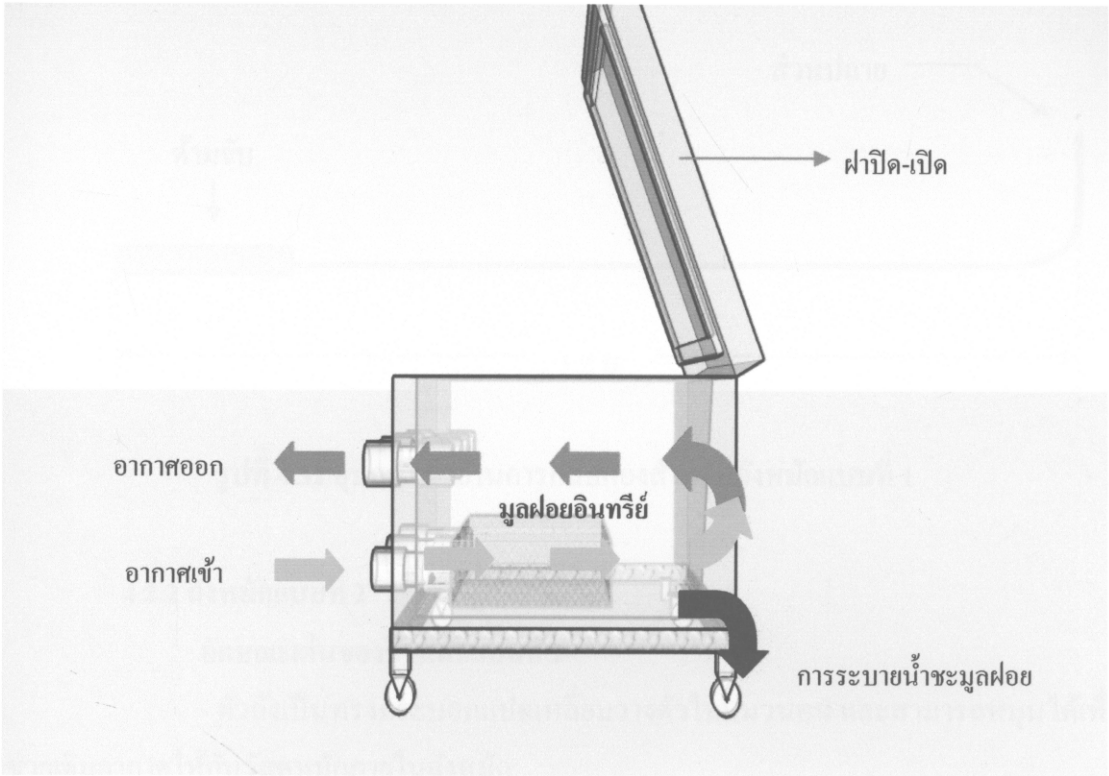
รูปที่ 4.29 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 1 มุมมองด้านข้าง (มาตราส่วน 1: 6)



รูปที่ 4.30 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 1 มุมมองด้านบน (มาตราส่วน 1: 8)

กลไกการทำงานของถังหมักแบบที่ 1

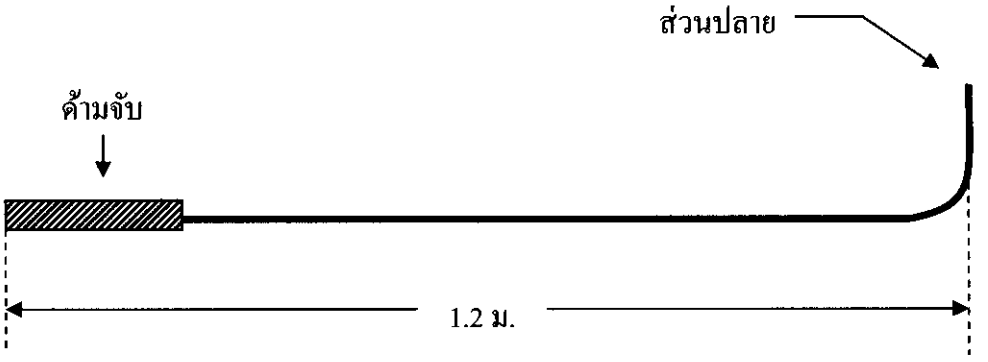
การเดินระบบอาศัยหลักการตามธรรมชาติ โดยอาศัยหลักการที่ว่าเมื่อมีอากาศผ่านเข้าไปในช่องระบายอากาศด้านข้างของถังหมักส่วนล่างผ่านชั้นของวัสดุหมัก ทำให้เกิดความร้อนและลอยตัวออกทางช่องระบายอากาศด้านข้างของถังหมักส่วนบน ทำให้อากาศหมุนเวียนตลอดเวลาดังรูปที่ 4.31 และระบบดังกล่าวไม่มีระบบไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นการติดตั้งและการใช้งานจึงไม่ยุ่งยาก



รูปที่ 4.31 กลไกการทำงานถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 1

วิธีการใช้งานถังหมักแบบที่ 1

ถังหมักแบบที่ 1 เริ่มการใช้งานด้วยการเติมวัสดุหมักทุกวันต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลา 30 วัน จากนั้นจึงหยุดเติมวัสดุหมักทำการหมักต่อเป็นระยะเวลา 45 วันรวมระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก 75 วัน โดยระหว่างการหมักเมื่อถึงวัน 12 ของการหมักจะเริ่มทำการกลับกองวัสดุหมักโดยใช้อุปกรณ์ช่วยในการกลับกองดังแสดงในรูปที่ 4.32 ซึ่งดัดแปลงมาจากเหล็กเส้นที่ใช้ในการก่อสร้างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร กวนผสมให้วัสดุหมักที่อยู่บริเวณด้านล่างถังหมักขึ้นมาอยู่ด้านบนเพื่อช่วยให้วัสดุหมักได้สัมผัสกับอากาศทำให้การย่อยสลายเกิดได้ดีขึ้นใช้เวลาในการกวนวัสดุหมักแต่ละครั้งประมาณ 15-20 นาทีต่อครั้ง และให้ทำการกวนครั้งต่อไปทุกๆ 4 วัน จนสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก



รูปที่ 4.32 อุปกรณ์ช่วยในการกลับกองสำหรับถังหมักแบบที่ 1

4.2.2 ถังหมักแบบที่ 2

ลักษณะเด่นของถังหมักแบบที่ 2

- ตัวถังเป็นทรงกระบอกแปดเหลี่ยมวางตัวในแนวนอน และสามารถหมุนได้เพื่อช่วยเติมอากาศให้กับวัสดุหมักภายในถังหมัก

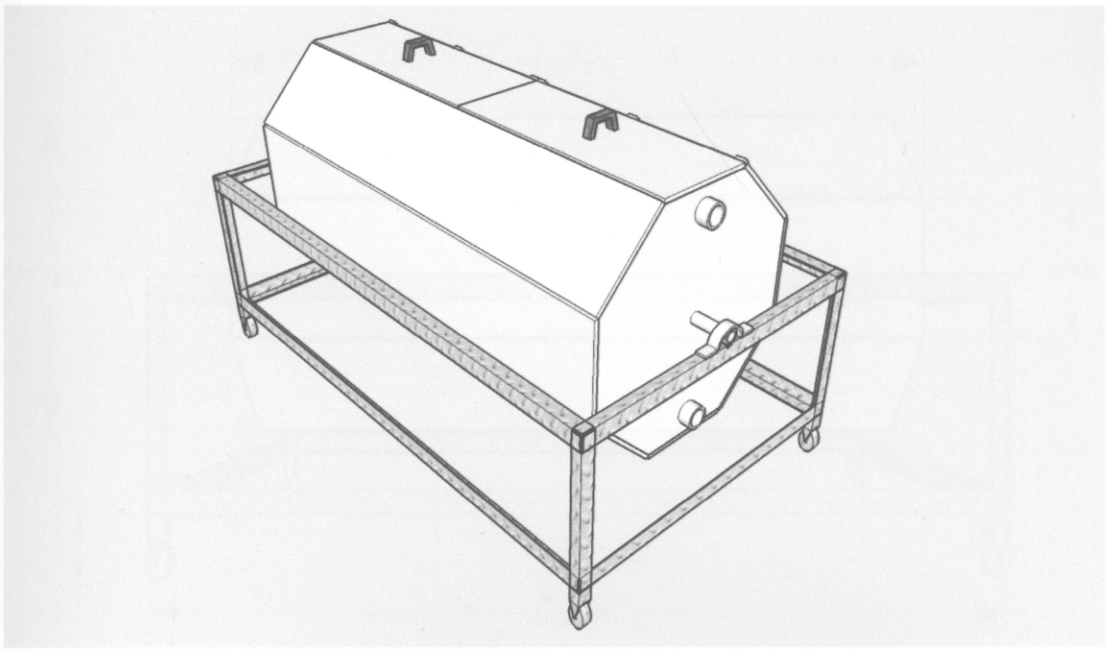
การออกแบบถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 2

ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 2 (รูปที่ 4.33-4.35) เป็นถังรูปทรงกระบอกแปดเหลี่ยมวางตัวถังในแนวแนวนอนทำจากไม้อัดหนา 10 มิลลิเมตร ขนาดความจุ 280 ลิตร ยาว 120 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 57 เซนติเมตร (รูปที่ 4.36) เจาะท่อระบายอากาศขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.1 เซนติเมตร (1.5 นิ้ว) จำนวน 2 ช่องเว้นระยะห่างระหว่างท่อระบายอากาศ 45 เซนติเมตร จากจุดศูนย์กลางถึงจุดศูนย์กลาง บริเวณส่วนหัวและส่วนท้ายทั้งสองด้าน (รูปที่ 4.34 และรูปที่ 4.36) ด้านล่างของถังหมักเจาะรูระบายน้ำชะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.1 เซนติเมตร (1.5 นิ้ว) มีวาล์วปิดและเปิด (Ball valve) สำหรับระบายน้ำชะที่เกิดจากกระบวนการหมัก

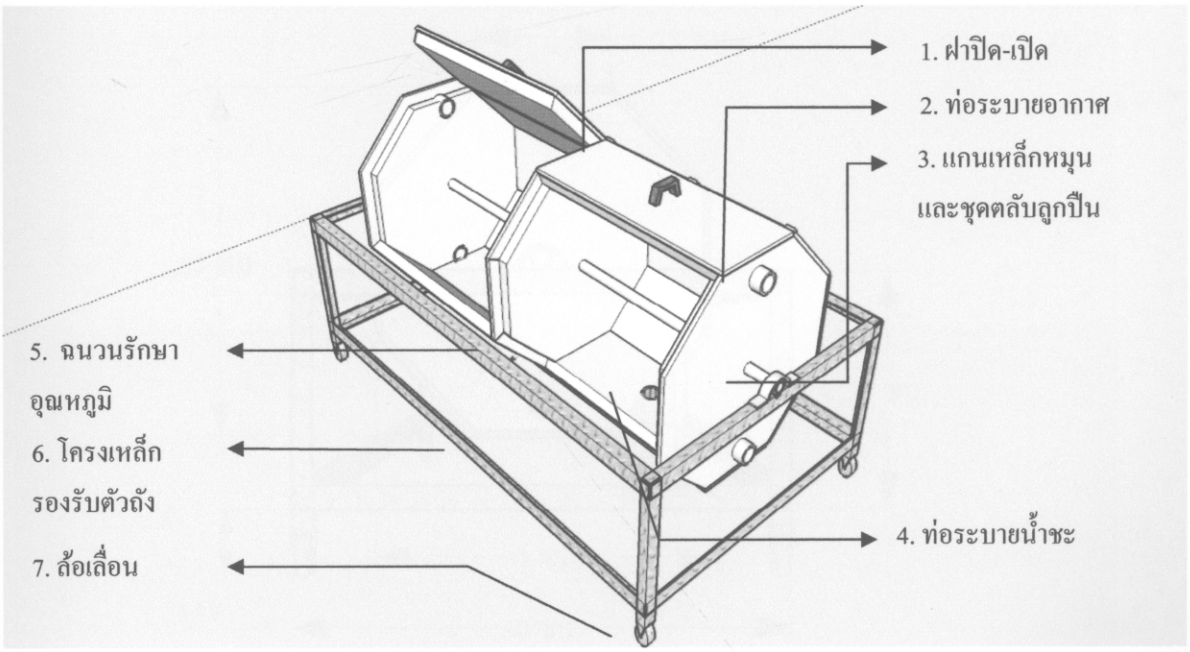
ด้านบนเป็นฝาปิด-เปิด (รูปที่ 4.35 และรูปที่ 4.38) เพื่อนำมูลฝอยเข้า-ออก ทำจากไม้อัดเช่นเดียวกับตัวถัง กว้าง 23 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร มีจำนวน 2 บาน แต่ละบานล็อคด้วยกุญแจบานพับยึดฝาปิดและเปิดให้ติดกับตัวถังหมัก ภายในของถังหมัก (รูปที่ 4.34) แบ่งเป็น 2 ส่วน แต่ละส่วนมีปริมาตร 140 ลิตร ติดฉนวนรักษาอุณหภูมิทำมาจากโฟมความหนา 2.5 เซนติเมตร บริเวณด้านล่างถังหมักแต่ละส่วนมีท่อระบายน้ำชะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4.1 เซนติเมตร (1.5 นิ้ว) ดังที่กล่าวมาในตอนต้น

โครงสร้างด้านล่างของถังหมัก (รูปที่ 4.35 -4.36) ทำเป็นฐานขาตั้งเหล็กฉากเจาะรู ขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร ความกว้างของฐาน 80 เซนติเมตร ยาว 140 เซนติเมตร โดยมีแกนหมุน ทำจากเหล็กกลมกันสนิม ขนาด 2.5 เซนติเมตร (1 นิ้ว) พร้อมลูกปืนขนาด 2.5 เซนติเมตร (1 นิ้ว) ยึดติดกับด้านข้างของตัวถัง เพื่อความสะดวกในการกลับถังหมักมูลฝอย

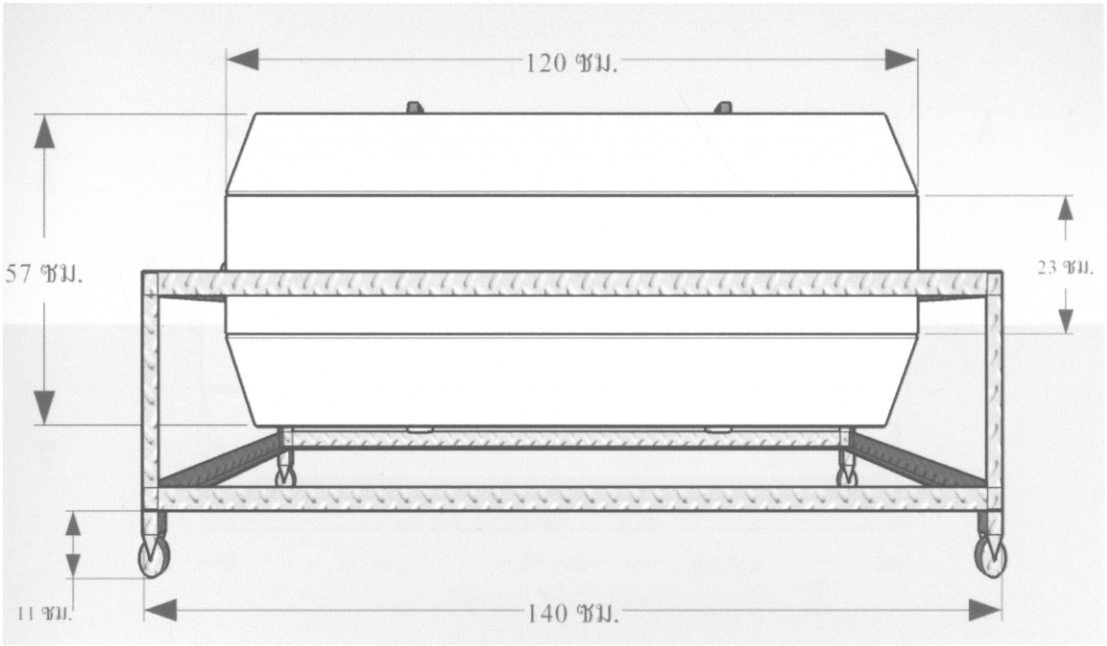
รูปที่ 4.33 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 2 ต้นแบบจริง



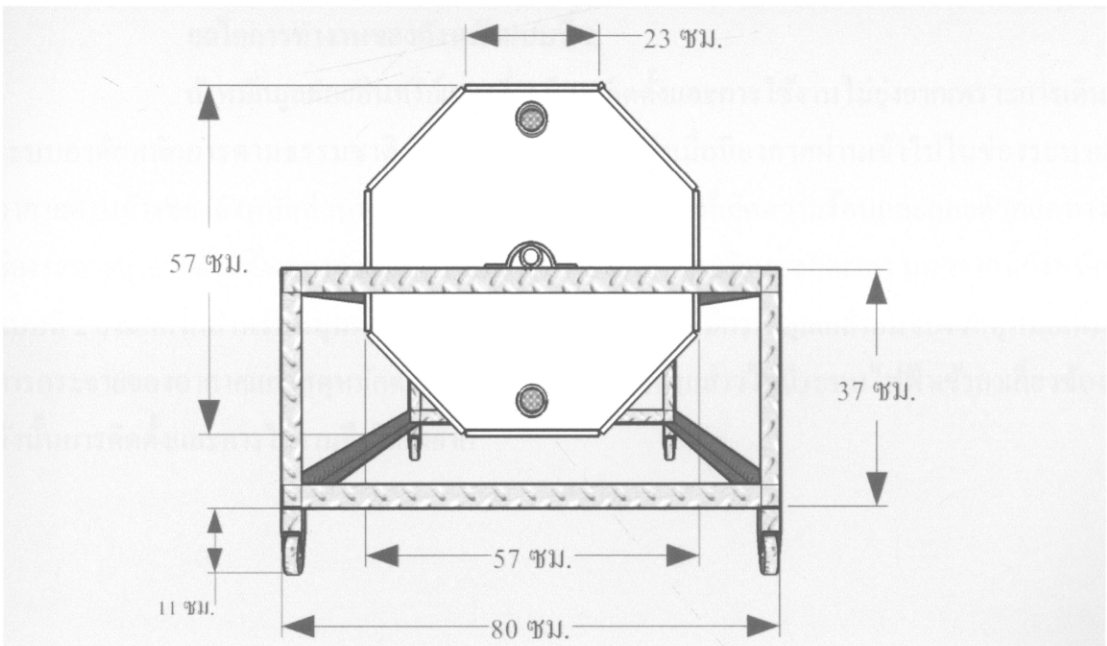
รูปที่ 4.34 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 2 มุมมอง Isometric



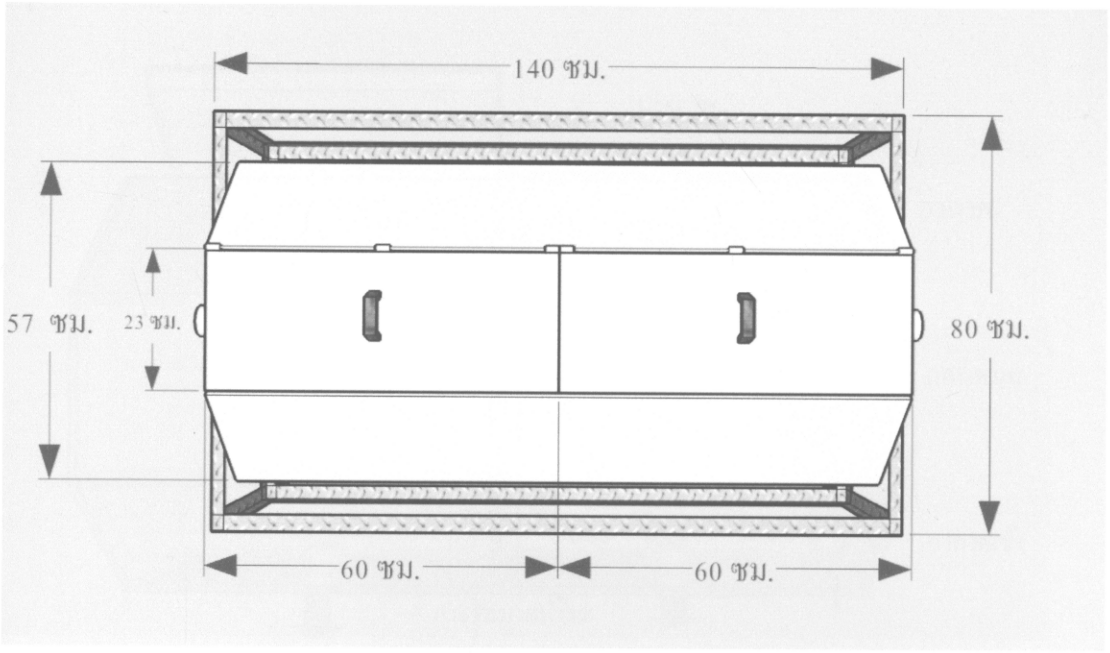
รูป 4.35 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 2 มุมมองภายใน



รูปที่ 4.36 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 2 มุมมองด้านหน้า (มาตราส่วน 1: 13)



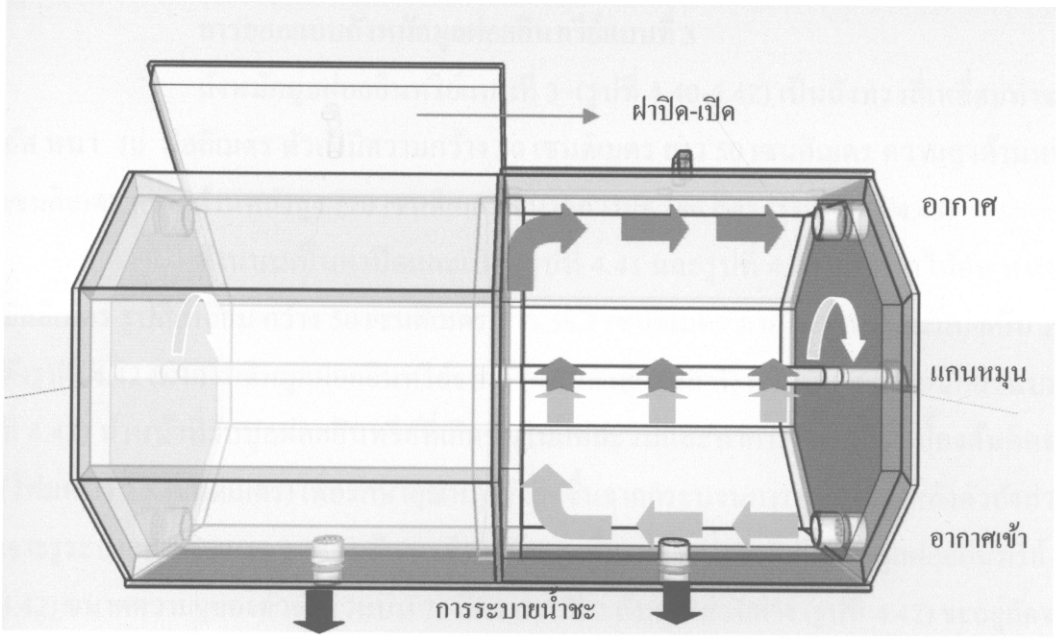
รูปที่ 4.37 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 2 มุมมองด้านข้าง (มาตราส่วน 1: 13)



รูปที่ 4.38 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 2 มุมมองด้านบน (มาตราส่วน 1: 15)

กลไกการทำงานของถังหมักแบบที่ 2

ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 2 มีการติดตั้งและการใช้งานไม่ยุ่งยากเพราะการเดินระบบอาศัยหลักการตามธรรมชาติ โดยอาศัยหลักการที่ว่าเมื่อมีอากาศผ่านเข้าไปในช่องระบายอากาศด้านข้างของถังหมักส่วนล่างผ่านชั้นของวัสดุหมัก ทำให้เกิดความร้อนและลอยตัวออกทางช่องระบายอากาศด้านข้างของถังหมักส่วนบน ทำให้อากาศหมุนเวียนตลอดเวลา นอกจากนี้ถังหมักแบบที่ 2 ยังมีกลไกสำหรับหมุนตัวถังช่วยในการกลับกองทำให้มีการคลุกเคล้ากันของวัสดุหมักเพิ่มการกระจายของอากาศแก่วัสดุหมักดังรูปที่ 4.39 และระบบดังกล่าวไม่มีระบบไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นการติดตั้งและการใช้งานจึงไม่ยุ่งยาก



รูปที่ 4.39 กลไกการทำงานถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 2

วิธีการใช้งานถังหมักแบบที่ 2

ถังหมักแบบที่ 2 เริ่มการใช้งานด้วยการเติมวัสดุหมักทุกวันต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลา 30 วันจากนั้นจึงหยุดเติมวัสดุหมัก ทำการหมักต่อเป็นระยะเวลา 45 วันรวมระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก 75 วันเช่นเดียวกับถังหมักแบบที่ 1 เมื่อถึงวันที่ 12 ของการหมักให้ทำการกลับกองวัสดุหมักด้วยวิธีการหมุนตัวถังเพื่อให้เกิดการคลุกเคล้ากันของวัสดุหมักเป็นระยะเวลา 30-60 วินาที เพื่อเพิ่มการระบายอากาศให้กับวัสดุหมักส่งผลให้เกิดการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์มากขึ้น เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการหมักระบายวัสดุหมักออกจากถังหมักเพื่อนำไปใช้งานต่อไป

4.2.3 ถังหมักแบบที่ 3

ลักษณะเด่นของถังหมักแบบที่ 3

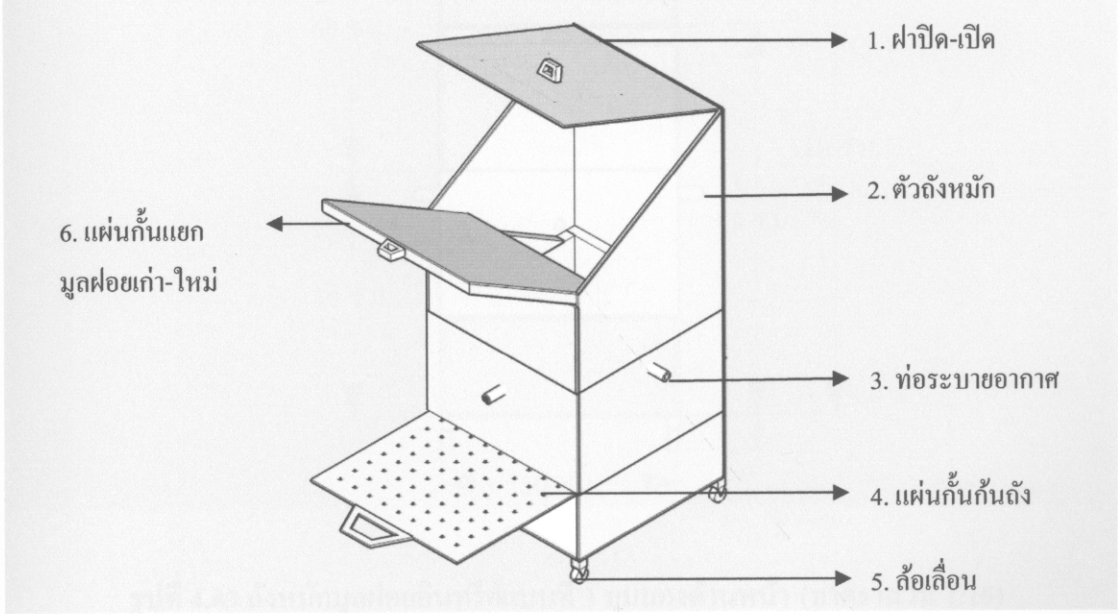
- มีท่อระบายความร้อนจากภายในกองวัสดุหมัก เพิ่มการไหลเวียนของอากาศให้กับวัสดุหมักภายในถังหมัก
- ไม่มีระบบการกวนเพื่อกลับกองวัสดุหมัก
- พื้นที่ในการใช้งานน้อย

การออกแบบถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 3

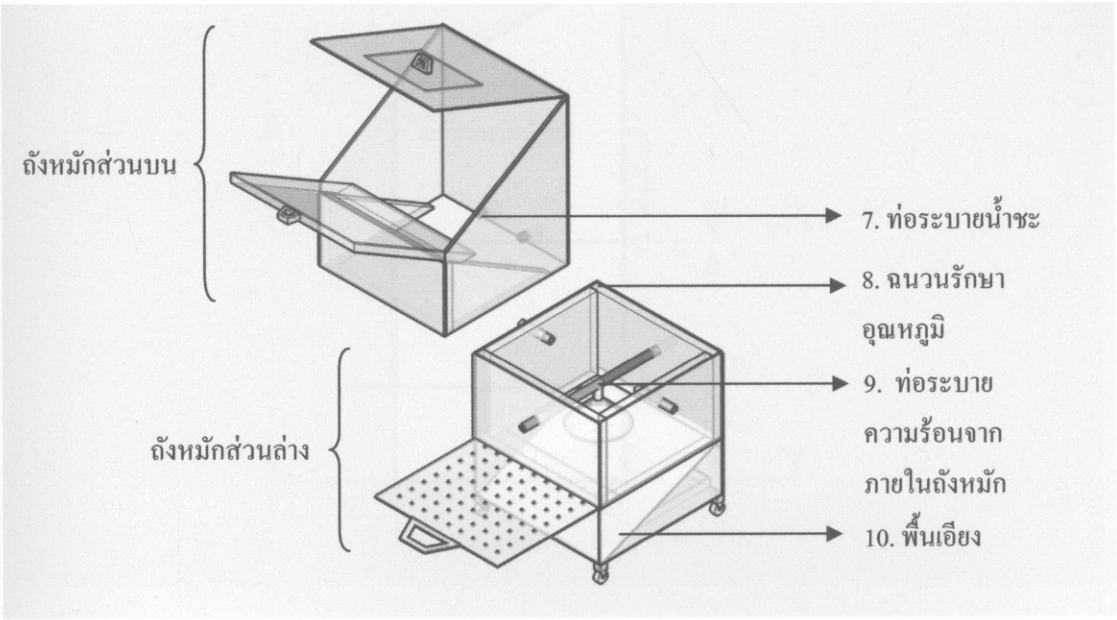
ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 3 (รูปที่ 4.40-4.42) เป็นถังทรงสี่เหลี่ยมทำจากไม้อัด หนา 10 มิลลิเมตร ตัวถังมีความกว้าง 50 เซนติเมตร ยาว 50 เซนติเมตร ความสูงด้านหน้า 80 เซนติเมตร ความด้านหลังสูง 120 เซนติเมตร ขนาดความจุ 186 ลิตร (รูปที่ 4.43-4.45)

ด้านบนเป็นฝาปิดและเปิด (รูปที่ 4.41 และรูปที่ 4.45) ทำจากไม้อัด หนา 10 มิลลิเมตร รูปสี่เหลี่ยม กว้าง 50 เซนติเมตร ยาว 58.3 เซนติเมตร ภายในถังหมักจะแบ่งเป็น 2 ส่วน ดังรูปที่ 4.42 (ทำการเติมมูลฝอยอินทรีย์จากด้านบนลงสู่ด้านล่าง) ส่วนที่ 1 คือถังหมักส่วนบน (รูปที่ 4.42) ทำหน้าที่รับมูลฝอยอินทรีย์ที่เกิดขึ้นในแต่ละวันและทำการย่อยสลายเบื้องต้นติดฉนวน (โฟมหนา 2.5 เซนติเมตร) เพื่อรักษาอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมัก ด้านหลังตัวถังส่วนบนเจาะรูระบายน้ำชะขนาด 2.5 เซนติเมตรจำนวน 2 รู เพื่อระบายน้ำชะที่เกิดจากมูลฝอยอินทรีย์ (รูปที่ 4.42) ขนาดความจุของตัวถังส่วนบน 75 ลิตร ส่วนที่ 2 ถังหมักส่วนล่าง (รูปที่ 4.42) จะอยู่ถัดจากถังหมักส่วนบนขนาดความจุของตัวถังด้านล่าง 111 ลิตร ระหว่างตัวถังหมักด้านล่างและตัวถังหมักด้านบนจะมีแผ่นกั้นเพื่อแยกมูลฝอยอินทรีย์เก่าที่อยู่ระหว่างกระบวนการหมักและมูลฝอยอินทรีย์ที่เติมใหม่ไม่ให้ปะปนกัน ตัวถังหมักส่วนล่างติดฉนวน (โฟมหนา 2.5 เซนติเมตร) เพื่อรักษาอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากกระบวนการหมักเช่นเดียวกับตัวถังหมักส่วนบน บริเวณด้านข้างเจาะท่อระบายอากาศทั้งด้านซ้าย-ขวา ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร (1 นิ้ว) กลางถังหมักติดปล่องระบายความร้อนรูปกรวยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางปากกรวย 15 เซนติเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางคอคอดกรวย 2.5 เซนติเมตรสูง 10 เซนติเมตร ต่อมายังท่อระบายความร้อนด้านหน้า-หลังขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร (1นิ้ว) ดังแสดงในรูปที่ 4.42 บริเวณก้นถังหมักเป็นแผ่นกั้นเจาะรูระบายอากาศขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.8 มิลลิเมตรจำนวน 81 ช่องระยะห่างระหว่างช่อง 5 เซนติเมตรทั้งในแนวนอนและแนวตั้ง (แถวละ 9 ช่องจำนวน 9 แถว) ด้านล่างของถังหมักถัดจากก้นถัง เป็นพื้นเอียงเพื่อสะดวกต่อการระบายวัสดุหมักที่เข้าสู่สภาวะคงที่ (รูปที่ 4.42)

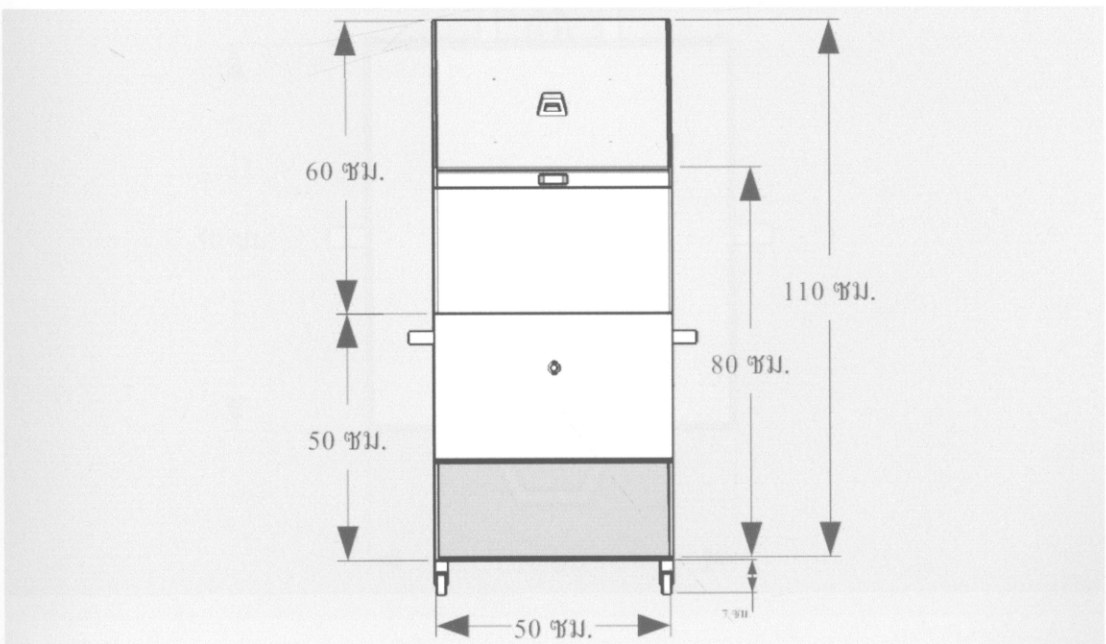
รูปที่ 4.40 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 3 ต้นแบบจริง



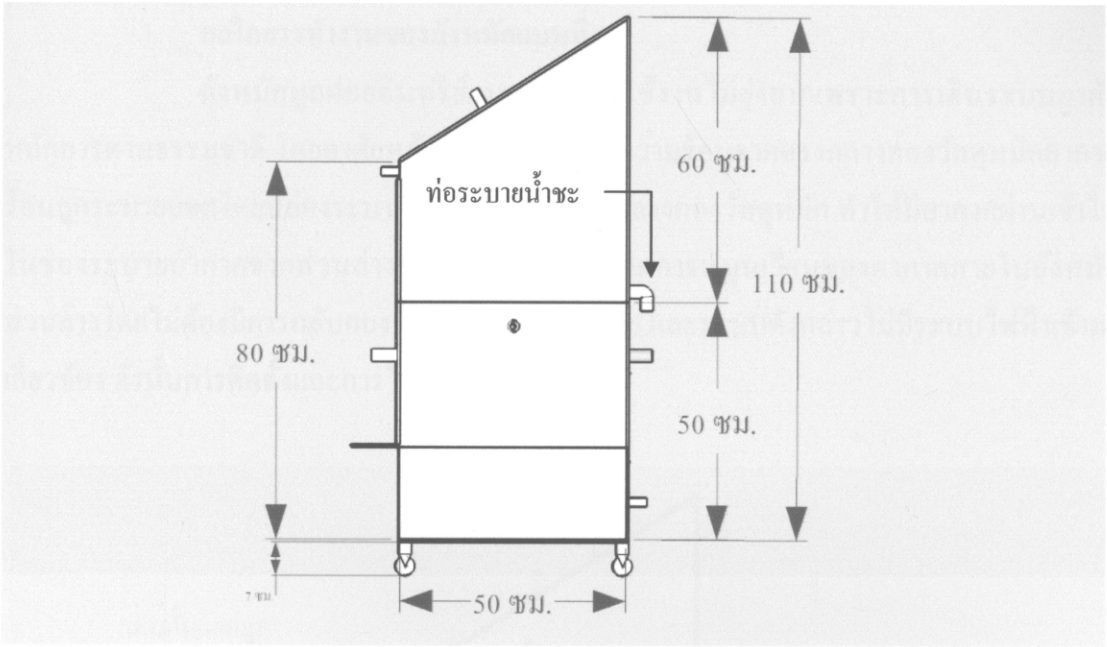
รูปที่ 4.41 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 3 มุมมอง Isometric



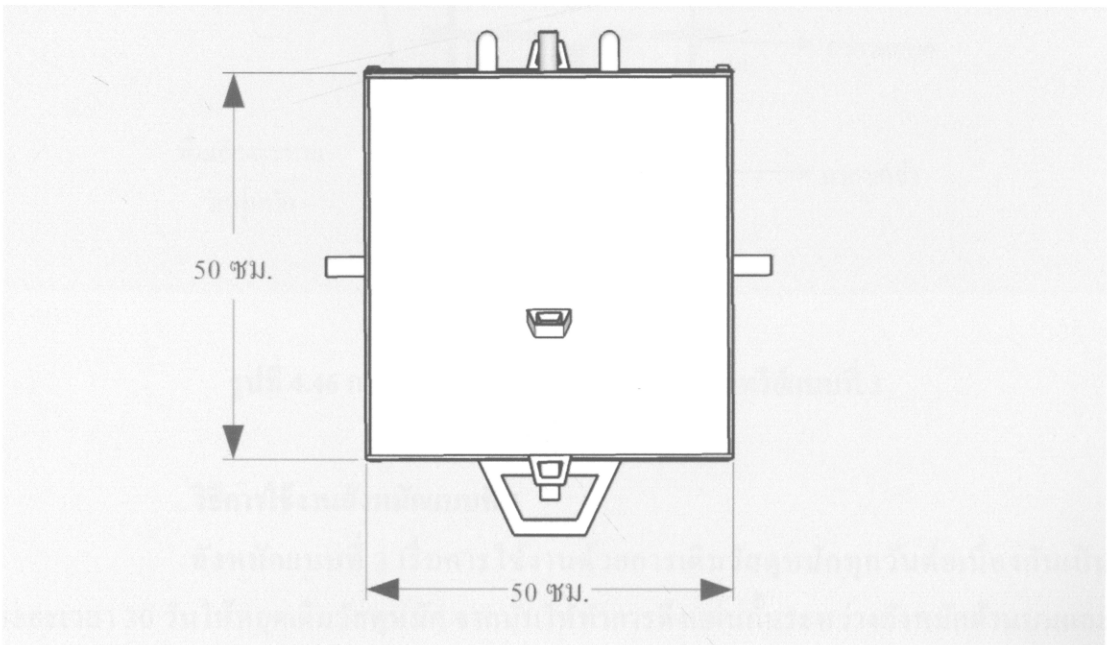
รูปที่ 4.42 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 3 มุมมองภายในถังหมัก



รูปที่ 4.43 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 3 มุมมองด้านหน้า (มาตราส่วน 1:16)



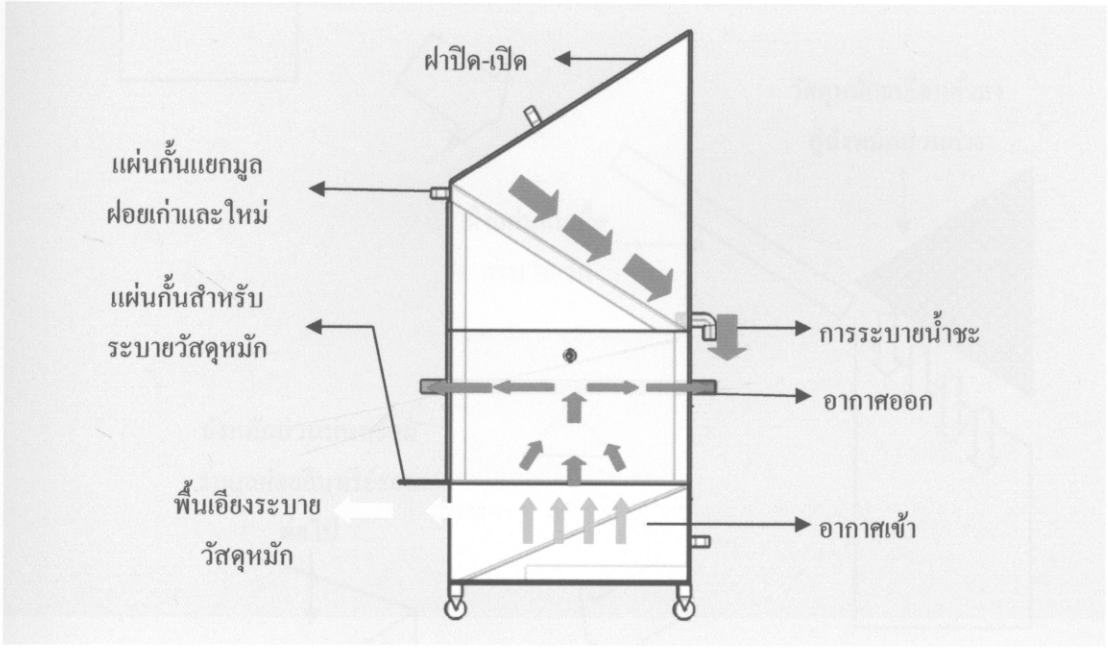
รูปที่ 4.44 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 3 มุมมองด้านข้าง (มาตราส่วน 1:16)



รูปที่ 4.45 ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 3 มุมมองด้านบน (มาตราส่วน 1:10)

กลไกการทำงานของถังหมักแบบที่ 3

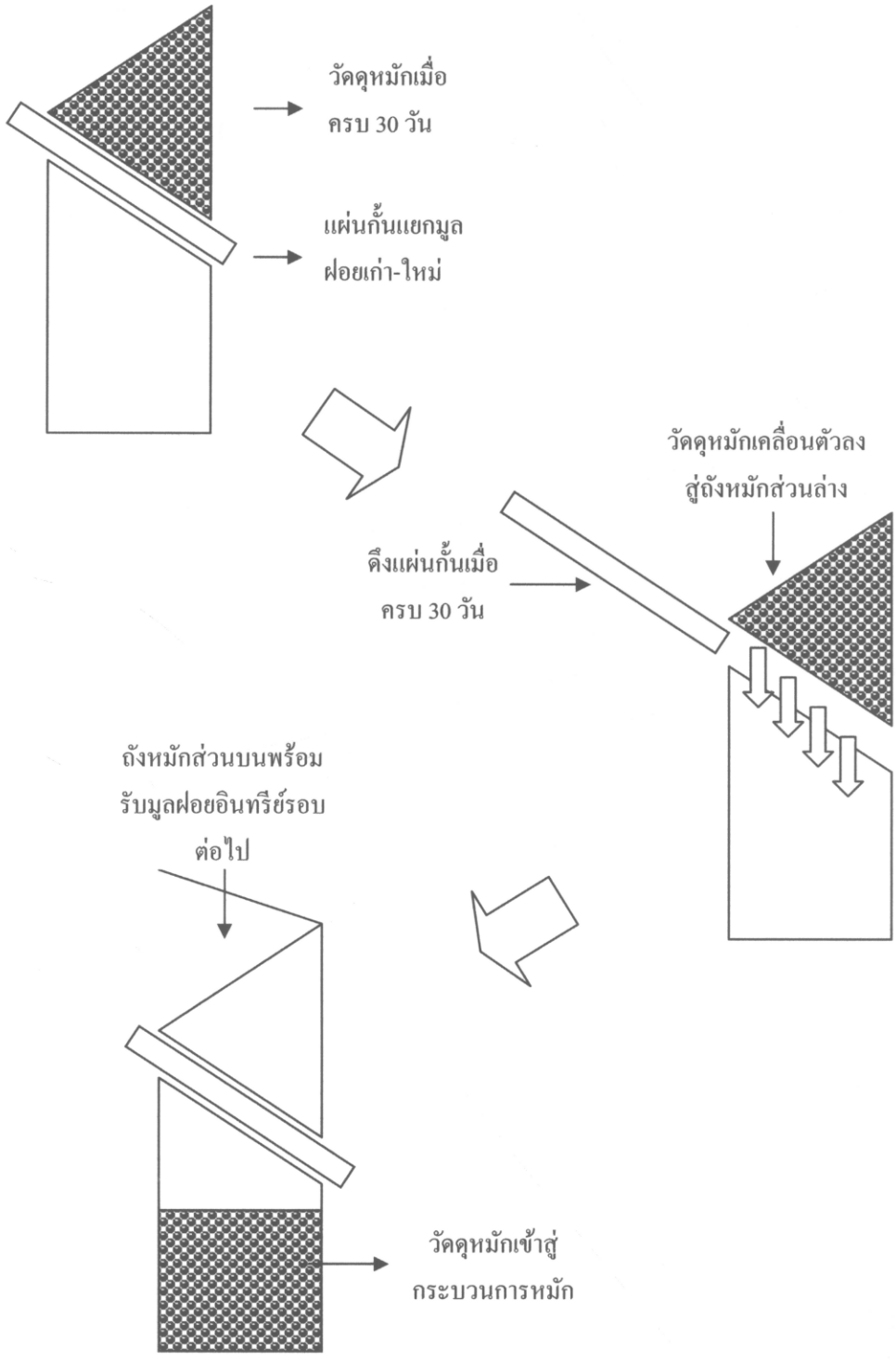
ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 3 การใช้งานไม่ยุ่งยากเพราะการเดินระบบอาศัยหลักการตามธรรมชาติ โดยอาศัยหลักการที่ว่าเมื่อเกิดความร้อนจากตรงกลางกองวัสดุหมักอากาศร้อนถูกระบายออกโดยปล่องระบายความร้อนจากตรงกลางกองวัสดุหมัก ทำให้มีอากาศผ่านเข้าไปในช่องระบายอากาศจากส่วนล่างของถังหมัก ทำให้เกิดการหมุนเวียนของอากาศภายในถังหมักส่วนล่างโดยไม่ต้องมีการกลับกองวัสดุหมักดังรูปที่ 4.46 และระบบดังกล่าวไม่มีระบบไฟฟ้าเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้นการติดตั้งและการใช้งานจึงไม่ยุ่งยาก



รูปที่ 4.46 กลไกการทำงานถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 3

วิธีการใช้งานถังหมักแบบที่ 3

ถังหมักแบบที่ 3 เริ่มการใช้งานด้วยการเติมวัสดุหมักทุกวันต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลา 30 วันให้หยุดเติมวัสดุหมัก จากนั้นให้ทำการดึงแผ่นกั้นระหว่างถังหมักด้านบนและด้านล่างเพื่อให้มูลฝอยอินทรีย์เคลื่อนตัวจากถังหมักส่วนบนลงสู่ถังหมักส่วนล่าง (รูปที่ 4.47) ทำการหมักต่อเป็นระยะเวลา 45 วัน รวมระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก 75 วันเช่นเดียวกับถังหมักแบบที่ 1 และ 2 เมื่อสิ้นระยะเวลาการหมักดึงแผ่นกั้นบริเวณก้นถังหมักเพื่อระบายวัสดุหมักไปใช้งานต่อไป



รูปที่ 4.47 การใช้งานถังหมักแบบที่ 3

4.2.4 ลักษณะของถังหมักทั้ง 3 แบบ

ลักษณะของถังหมักปุ๋ยทั้ง 3 แบบดังสรุปในตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ลักษณะของถังหมักแต่ละแบบ

องค์ประกอบ	ถังหมักแบบที่ 1	ถังหมักแบบที่ 2	ถังหมักแบบที่ 3
1. ฉนวนรักษาอุณหภูมิ	มี	มี	มี
2. ปริมาตรถังหมัก (ลิตร)	150	280	186
3. การระบายน้ำชะ	มี	มี	มี
4. พื้นการรับอากาศ (ตร.ซม./ ปริมาตรถังหมัก)	0.14	0.05	0.16
5. วัสดุในการก่อสร้าง	โฟม	ไม้อัด+โฟม+เหล็ก	ไม้อัด+โฟม+อะลูมิเนียม
6. อายุการใช้งาน	20 ปี	20 ปี	20 ปี
7. พื้นที่ที่ต้องการ (ตารางเมตร)	0.6 ม.x1.8 ม. (1.1 ตร.ม.)	0.6 ม.x1.5 ม. (1 ตร.ม.)	0.6 ม.x0.6 ม. (0.4 ตร.ม.)
8. การเติมมูลฝอยอินทรีย์และใบไม้แห้ง (กิโลกรัม/วัน) *	2.6 (OR1.6+DL0.8)	2.6 (OR1.6+DL0.8)	2.6 (OR1.6+DL0.8)
9.ระยะเวลาการหมัก (วัน)**	60	60	60
10. ลักษณะเด่นของถังหมัก	**ขั้นตอนการก่อสร้างง่าย**	**ลดการใช้แรงงานในการทำงานแต่ละครั้ง**	**ลดการใช้แรงงานและเวลาในการทำงานแต่ละครั้ง**

หมายเหตุ * คือ ข้อมูลปริมาณมูลวัสดุหมักที่เติมต่อวันแสดงในรายละเอียดในหัวข้อ 3.2.3

** คือ ระยะเวลาที่เติมวัสดุหมัก 30 วัน และ ระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก 30 วัน

OR คือ มูลฝอยอินทรีย์ (Organic wastes)

DL คือ ใบไม้แห้ง (Dry leaves)

จากตารางที่ 4.15 คุณลักษณะของถังหมักแต่ละแบบมีความเหมือนและแตกต่างกันในแต่ละองค์ประกอบ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

การติดตั้งฉนวนรักษาอุณหภูมิในถังหมักทุกแบบเป็นคุณสมบัติพื้นฐานจึงทำการติดตั้งให้กับถังหมักทุกแบบเพื่อช่วยรักษาอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการหมัก

ปริมาตรถังหมัก แต่ละแบบมีความแตกต่างเนื่องจากวัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้างและวัตถุประสงค์การเพิ่มความสะดวกในการใช้งานมีความแตกต่างกัน โดยเริ่มจาก

- ถังหมักแบบที่ 1 มีปริมาตร 150 ลิตร เนื่องจากประกอบด้วยถังโฟมจำนวน 2 ถัง แต่ละถังมีขนาด 75 ลิตร ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับถังหมักแบบอื่นๆ พบว่าถังหมักแบบที่ 1 มีปริมาตรน้อยที่สุด เพราะตัวถังหมักทำมาจากถังโฟมที่มีจำหน่ายทั่วไปจึงไม่สามารถออกแบบหรือปรับขนาดถังหมักให้มีปริมาตรถังหมักตามความต้องการได้ (ปริมาตรที่ต้องการ คือ 96 ลิตร)

- ถังหมักแบบที่ 2 มีปริมาตร 280 ลิตร ซึ่งภายในถังหมักถูกออกแบบให้แบ่งเป็น 2 ส่วน แต่ละส่วนมีปริมาตร 140 ลิตร ซึ่งมีปริมาตรมากกว่าวัสดุหมักที่เกิดขึ้น คือ 96 ลิตร เนื่องจากถังหมักแบบที่ 2 มีกลไกช่วยหมุนตัวถังเพื่อพลิกกลับกองวัสดุหมักจึงมีความจำเป็นต้องการช่องว่างในถังหมักเพื่อให้วัสดุหมักมีการเคลื่อนตัวระหว่างการพลิกกลับวัสดุหมักเพื่อให้วัสดุหมักได้รับอากาศอย่างทั่วถึง

- ถังหมักแบบที่ 3 มีปริมาตร 186 ลิตร โดยถังหมักถูกออกแบบให้แบ่งตัวถังหมักเป็น 2 ส่วน คือถังหมักส่วนบนมีปริมาตร 75 ลิตร และถังหมักส่วนล่างมีปริมาตร 86 ลิตร เนื่องจากถังหมักส่วนบนทำหน้าที่รองรับวัสดุหมักที่เกิดขึ้นมีปริมาตรน้อยกว่าความต้องการจริง คือ 96 ลิตร แนวคิดการออกแบบสืบเนื่องมาจากการทดลองช่วงที่ 1 ซึ่งพบว่ามีการลดลงของปริมาตรวัสดุหมักร้อยละ 20 ของปริมาตรวัสดุหมักทั้งหมด ดังนั้นจึงทำการออกแบบถังหมักให้มีปริมาตรน้อยกว่าความต้องการจริงเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง สำหรับถังหมักส่วนล่างออกแบบให้มีปริมาตรมากกว่าถังหมักส่วนบนเพื่อทำการเผื่อพื้นที่ติดตั้งท่อระบายความร้อนจากกองวัสดุหมักออกสู่ภายนอก และเพิ่มการระบายอากาศโดยแผ่นกั้นถังที่เจาะรูระบายอากาศไว้

การระบายน้ำชะของวัสดุหมัก ท่อระบายน้ำชะถูกติดตั้งให้กับถังหมักทุกแบบเพื่อระบายน้ำชะที่เกิดขึ้นระหว่างการหมัก

พื้นที่รับอากาศ ของถังหมักแต่ละแบบมีความแตกต่างกัน ถังหมักแบบที่ 1 - 3 มีพื้นที่รับอากาศ 0.14 , 0.05 และ 0.16 ตร.ซม/ปริมาตรถังหมัก(ลิตร) ตามลำดับ สาเหตุที่ถังหมักแบบที่ 2 มีพื้นที่รับอากาศน้อยที่สุดเนื่องจากตัวถังหมักแบบที่ 2 ถูกออกแบบให้มีกลไกการพลิกกลับวัสดุหมักและมีพื้นที่ว่างภายในถังหมักเพื่อช่วยในการกลับกอง ต่างจากถังหมักแบบที่ 1 และถังหมักแบบที่ 3 ซึ่งไม่มีกลไกช่วยในการกลับกอง โดยถังหมักแบบที่ 1 ถูกออกแบบให้ใช้แรงงานคน

ช่วยในการกลับกองจึงมีความจำเป็นต้องใช้พื้นรับอากาศเพิ่มเพื่อชดเชยกลไกกลับกองที่ไม่ได้ติดตั้ง เช่นเดียวกันกับถังหมักแบบที่ 3 ถูกออกแบบให้ใช้การระบายความร้อนจากภายในกองวัสดุหมักด้วยกรวยและท่อทำให้ไม่มีขั้นตอนการพลิกกลับวัสดุหมัก จึงมีความจำเป็นต้องออกแบบให้มีพื้นที่รับอากาศมากกว่าถังหมักแบบอื่นๆเพื่อชดเชยกลไกการพลิกกลับวัสดุหมักที่ไม่ได้ติดตั้งไว้

วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง ถังหมักแต่ละแบบมีความแตกต่างในด้านวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง เพื่อให้เป็นไปตามแนวคิดการออกแบบ และวัตถุประสงค์การใช้งานที่ได้ตั้งไว้ แต่อย่างไรก็ตามวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างถังหมักทุกแบบต้องเป็นวัสดุที่แข็งแรงและสามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น

- ถังหมักแบบที่ 1 ทำการประยุกต์มาจากถังโฟมทั่วไป ไม่มีกลไกช่วยในการพลิกกลับกองวัสดุ จึงมีขั้นตอนในการก่อสร้างไม่ยุ่งยากใช้วัสดุในการก่อสร้างน้อย และประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง

- ถังหมักแบบที่ 2 ทำการออกแบบให้มีกลไกลช่วยในการพลิกกลับกองวัสดุหมักและเพิ่มพื้นที่ช่องว่างในถังหมักเพื่อช่วยให้มีการเคลื่อนตัวของวัสดุหมัก จึงมีความจำเป็นต้องสร้างตัวถังขึ้นมาโดยเฉพาะให้ได้ปริมาตรตามต้องการ และเพิ่มกลไกในการกลับกอง อย่างไรก็ตามวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างถังหมักแบบที่ 2 ได้เลือกใช้วัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่น มีความแข็งแรง และสามารถนำมาใช้งานได้จริง ซึ่งประกอบด้วย โฟม (ใช้เป็นวัสดุฉนวน) ไม้อัดใช้ประกอบเป็นตัวถัง และโครงสร้างเหล็กฉากเจาะรูเพื่อทำหน้าที่รองรับตัวถังหมัก

- ถังหมักแบบที่ 3 ทำการออกแบบให้มีขั้นตอนการใช้งานง่าย จึงมีความจำเป็นต้องสร้างตัวถังขึ้นมาโดยเฉพาะเช่นเดียวกับถังหมักแบบที่ 2 ซึ่งใช้ไม้อัดประกอบเป็นตัวถังยึดติดกับอะลูมิเนียมซึ่งมีน้ำหนักเบาและแข็งแรงเป็นโครงสร้างหลัก ภายในถังหมักติดตั้งโฟมทั่วตัวถังเพื่อช่วยรักษาอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการหมัก

อายุการใช้งานของถังหมัก ถังหมักทั้ง 3 แบบมีอายุการใช้งานประมาณ 20 ปี ทำการประเมินจากอายุการใช้งานของโฟม (โพลีสไตรีนโฟม) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับวัสดุชนิดอื่นๆ ที่นำมาใช้ในการก่อสร้างถังหมัก (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2545)

พื้นที่ที่ต้องการ ถังหมักแต่ละแบบต้องการพื้นที่ต่างกันเนื่องจากปริมาตรที่แตกต่างกันโดยเริ่มจากถังหมักแบบที่ 1-3 ต้องการพื้นใช้งาน 1.1, 1.0 และ 0.4 ตร.ม. ตามลำดับ สาเหตุที่ทำให้ถังหมักแบบที่ 3 ใช้พื้นที่น้อยเนื่องมาจากตัวถังออกแบบให้มีลักษณะเป็นทรงสี่เหลี่ยมแนวตั้ง ต่างจากถังหมักแบบที่ 1และแบบที่ 2 ซึ่งถูกออกแบบให้ตัวถังวางตัวในแนวนอนทำให้ใช้พื้นที่มาก

การเติมมูลฝอยอินทรีย์และใบไม้แห้ง ปริมาณวัสดุหมักที่ใช้เติมถังหมักทุกแบบมีปริมาณวันละ 2.6 กิโลกรัม/วัน ซึ่งแบ่งเป็นมูลฝอยอินทรีย์ 1.6 กิโลกรัม และใบไม้แห้ง 0.8 กิโลกรัม

ระยะเวลาการหมัก ถังหมักแต่ละแบบใช้ระยะเวลาการหมักเท่ากันคือ 60 วัน ซึ่งแบ่งเป็นระยะเวลาการเติมวัสดุหมัก 30 วัน ระยะเวลาหมัก 30 วัน (ใช้ข้อมูลจากการทดลองช่วงที่ 1)

ลักษณะเด่นของถังหมักแต่ละแบบ การออกแบบถังหมักทั้ง 3 แบบมีลักษณะเด่นที่แตกต่างกันเพื่อให้สามารถประยุกต์กับบ้านเรือนแต่ละแบบได้อย่างเหมาะสม

- ถังหมักแบบที่ 1 มีขั้นตอนในการก่อสร้างง่ายและราคาในการก่อสร้างประหยัด เนื่องจากไม่มีกลไกช่วยอำนวยความสะดวกในการกลับกอง (ใช้แรงงานคนในการพลิกกลับวัสดุหมัก) และตัวถังหมักสร้างมาจากวัสดุทั่วไปหาได้ง่ายและมีราคาประหยัด

- ถังหมักแบบที่ 2 มีการออกแบบติดตั้งกลไกช่วยในการพลิกกลับกองวัสดุหมักเพื่อลดเวลาและแรงงานในการพลิกกลับวัสดุหมักแต่ละครั้ง

- ถังหมักแบบที่ 3 มีการออกแบบติดตั้งท่อระบายความร้อนจากวัสดุหมักพื้นก้นถังเจาะรูเพื่อช่วยในการระบายอากาศ ไม่มีขั้นตอนในการพลิกกลับวัสดุหมัก ทำให้ลดเวลาการทำงานและการใช้แรงงานได้มากกว่าถังหมัก 2 แบบแรก

4.3 ผลการทดลองช่วงที่ 2

4.3.1 ลักษณะสมบัติของวัสดุหมัก

อัตราส่วนในการผสมวัสดุหมักระหว่างมูลฝอยอินทรีย์กับใบไม้แห้งที่ใช้ในการทดลองช่วงที่ 2 เลือกใช้อัตราส่วนผสมระหว่างมูลฝอยอินทรีย์กับใบแห้ง 2:1 โดยน้ำหนักเปียก จากนั้นนำไปหมักในถังหมักที่ออกแบบไว้ทั้ง 3 แบบ โดยเติมวัสดุหมักทุกวันตลอดระยะเวลา 30 วันจนวัสดุหมักเต็มถังหมัก แล้วทำการหมักต่อเป็นระยะเวลา 45 วัน (ระยะเวลาการหมักโดยประมาณจากการทดลองช่วงที่ 1) รวมระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 75 วัน

เก็บตัวอย่างหลังจากผสมวัสดุหมักเข้าด้วยกัน วิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 4.16 วัสดุหมักในการทดลองช่วงที่ 2 เตรียมมาจากมูลฝอยอินทรีย์ผสมกับใบไม้แห้ง ซึ่งเมื่อเริ่มต้นทดลองวัสดุหมักมีค่าความชื้นร้อยละ 68.6 มีค่าปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์จากมูลฝอยอินทรีย์ผสมกับใบไม้แห้งมีค่าร้อยละ 26.8 โดยน้ำหนักแห้ง และมีค่าไนโตรเจนทั้งหมดร้อยละ 0.7 โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อคิดเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) มีค่า 39.2 และมีค่าพีเอชเริ่มต้นคือ 5.4

ตารางที่ 4.16 ลักษณะสมบัติของวัสดุหมักที่ผสมแล้วช่วงที่ 2

วัสดุหมัก	พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์				
	ความชื้น (ร้อยละ)	OC (ร้อยละ)	TKN (ร้อยละ)	C/N ratio	พีเอช (pH)
มูลฝอยอินทรีย์ผสมกับใบไม้แห้งอัตราส่วน 2:1	68.6	26.8	0.7	39.2	5.4

4.3.2 คุณภาพปุ๋ยหมักเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการ

การทดลองช่วงที่ 2 ใช้มูลฝอยอินทรีย์ผสมกับใบไม้แห้งเป็นวัสดุหมักเช่นเดียวกับการทดลองช่วงที่ 1 อัตราส่วนที่ใช้ผสมระหว่างมูลฝอยอินทรีย์และใบไม้แห้งได้จากอัตราส่วนที่ให้คุณภาพปุ๋ยที่ดีที่สุดจากการทดลองช่วงที่ 1 ทำการหมักในถังหมักที่ออกแบบทั้ง 3 แบบ เติมวัสดุหมักทุกวันเป็นระยะเวลา 30 วันจากนั้นทำการหมักต่อเป็นระยะเวลา 45 วัน (เนื่องจากระยะเวลาที่ใช้ในการหมักจากการทดลองช่วงที่ 1 ใช้เวลาประมาณ 30 วัน) กลับกองปุ๋ยทุกๆ 4 วัน วัดอุณหภูมิในถังหมักทุกวันและเริ่มต้นเก็บตัวอย่างเมื่อวันที่ 12 ของการทดลอง พารามิเตอร์ที่ทำการวิเคราะห์จะแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะ คือ ลักษณะทางกายภาพ ลักษณะทางเคมี ลักษณะทางชีวภาพ เช่นเดียวกับการทดลองช่วงที่ 1

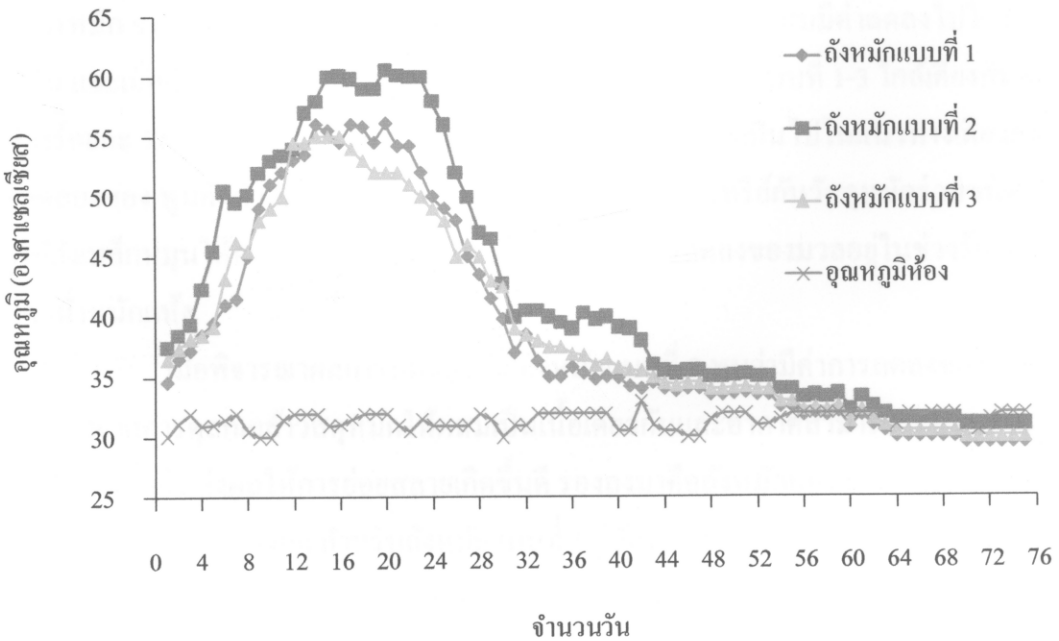
4.3.2.1 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพ

1. อุณหภูมิ

ขณะทำการหมักได้มีการวัดอุณหภูมิภายในถังหมัก บริเวณชั้นกึ่งกลาง ของวัสดุหมักในถังหมัก จากรูปที่ 4.48 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในถังหมักแบบที่ 1, 2 และ 3 ในช่วงแรกของการทดลองอุณหภูมิของถังหมักทุกแบบมีแนวโน้มการเพิ่มสูงขึ้นไปในทิศทางเดียวกันทุกถัง โดยเฉพาะในถังหมักแบบที่ 2 มีอุณหภูมิอยู่ในช่วงเทอร์โมฟิลิค (45-75 °C) 26 วัน จึงยาวนานกว่าถังแบบที่ 1 (21 วัน) และ 3 (18 วัน) เนื่องจากถังหมักแบบที่ 2 มีการออกแบบให้วัสดุหมักคลุกเคล้ากันอย่างทั่วถึงทำให้มีอัตราการย่อยสลายสูง ตัวถังหมักมีพื้นที่ในการรับอากาศน้อยและไม่จำเป็นต้องเปิดฝาถังหมักเพื่อกลับกองวัสดุหมัก จึงสามารถลดการสูญเสียอุณหภูมิที่เกิดจากกระบวนการหมักสู่สภาพแวดล้อมส่งผลให้มีอุณหภูมิช่วงเทอร์โมฟิลิคยาวนานกว่าถังหมักแบบอื่น หลังจากนั้นอุณหภูมิในถังหมักทุกแบบมีแนวโน้มการลดลงอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งคงที่

และใกล้เคียงกับอุณหภูมิห้อง (ประมาณ 32°C) เมื่อเปรียบเทียบผลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับการทดลองหมักมูลฝอยอินทรีย์ผสมกับใบไม้แห้งในถังพลาสติกเจาะรูระบายอากาศ ของ นคร และสมใจ (2552)

อย่างไรก็ตามการหมักวัสดุในภาชนะปิดที่ติดฉนวน ช่วยลดการสูญเสียความชื้นระหว่างการหมักเมื่อสิ้นสุดการหมักความชื้นยังคงมีค่าสูงในถังหมักทั้ง 3 แบบ ดังนั้นอุณหภูมิในถังหมักจึงลดลงต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง นอกจากนี้ผลกระทบจากอุณหภูมิห้องต่อวัสดุหมักภายในถังหมักมีน้อยมากเนื่องจากถังหมักทุกแบบมีการติดตั้งฉนวนเพื่อรักษาอุณหภูมิที่เกิดจากการหมักในขณะเดียวกันก็ป้องกันการรบกวนการหมักจากอุณหภูมิภายนอกถังหมัก รายละเอียดของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิแสดงในตารางที่ 4.17



รูปที่ 4.48 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในถังหมัก

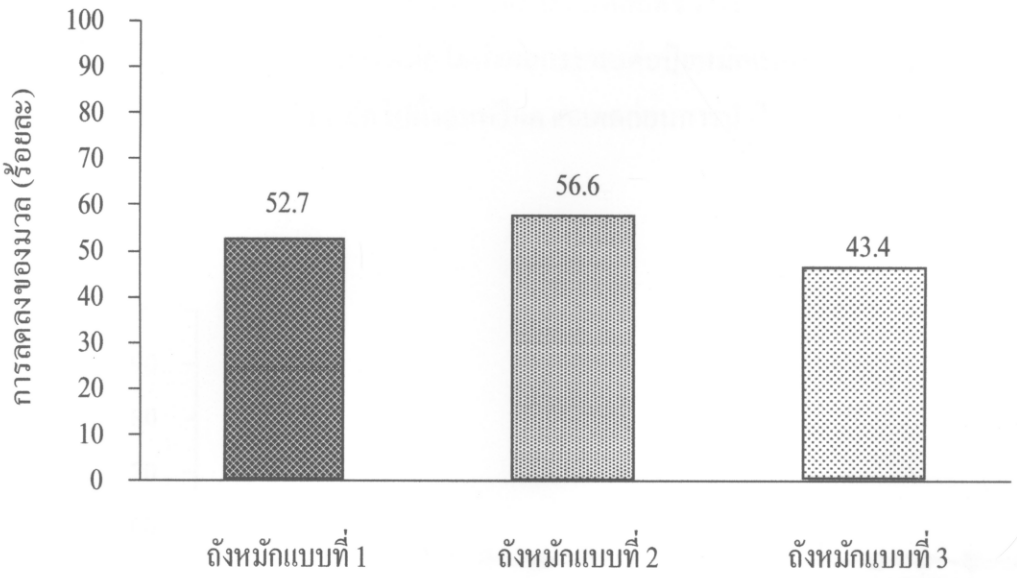
ตารางที่ 4.17 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมัก

ถังหมักแบบที่	อุณหภูมิเมื่อเริ่มหมัก (°C)	วันที่อุณหภูมิถึงช่วงเทอร์โมฟิลิค	จำนวนวันที่อยู่ในช่วงอุณหภูมิเทอร์โมฟิลิค (วัน)	วันที่อุณหภูมิเข้าใกล้อุณหภูมิห้อง (32 °C)
1	46	8	21	56
2	47	4	26	60
3	40	8	18	56

2. การลดลงของมวล

การลดลงของมวลพิจารณาจากการเปรียบเทียบน้ำหนักแห้งของปุ๋ยหมักก่อนและหลังการหมัก จากรูปที่ 4.49 พบว่าการลดลงของมวลในถังหมักทั้ง 3 แบบมีค่าลดลงไปในทิศทางเดียวกัน และเมื่อสิ้นสุดการหมักจะมีค่าการลดลงของมวลในถังหมักแบบที่ 1-3 ใกล้เคียงกันคืออยู่ในช่วงร้อยละ 52.7, 56.6 และ 43.4 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ ซึ่งเป็นไปในแนวทางเดียวกันกับการทดลองของ พูนศักดิ์ (2541) ซึ่งทำการทดลองหมักมูลฝอยอินทรีย์กับวัสดุหมักร่วมชนิดต่างๆ โดยใช้ถังเหล็กหมุนให้ความร้อนเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีค่าการลดลงของมวลอยู่ในช่วงร้อยละ 30-50 โดยน้ำหนักแห้ง

เมื่อพิจารณาผลการทดลองจากถังหมักแบบที่ 2 พบว่ามีค่าการลดลงของมวลมากที่สุด เนื่องจากการคุลกเคล้าวัสดุหมักให้ผสมเป็นเนื้อเดียวกันและอากาศสามารถระบายเข้าสู่วัสดุหมักได้อย่างทั่วถึง ส่งผลให้การย่อยสลายเกิดขึ้นดี รองลงมาคือถังหมักแบบที่ 1 ซึ่งใช้แรงงานคนในการพลิกกลับวัสดุหมัก และสำหรับถังหมักแบบที่ 3 มีอัตราการลดลงของมวลน้อยที่สุดเนื่องจากขั้นตอนการใช้งานถังหมักไม่มีการพลิกกลับวัสดุหมัก ดังนั้นการย่อยสลายวัสดุหมักเกิดขึ้นได้ไม่ดีเท่าที่ควร แต่อย่างไรก็ตามอัตราการลดลงของวัสดุหมักจากถังหมักแบบที่ 3 มีค่าสอดคล้องกับกระบวนการหมักโดยทั่วไปซึ่งระบุไว้ว่า ควรมีอัตราการลดลงของมวลวัสดุหมักมากกว่าร้อยละ 40 โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อสิ้นสุดการทดลอง (Haug, 1993)



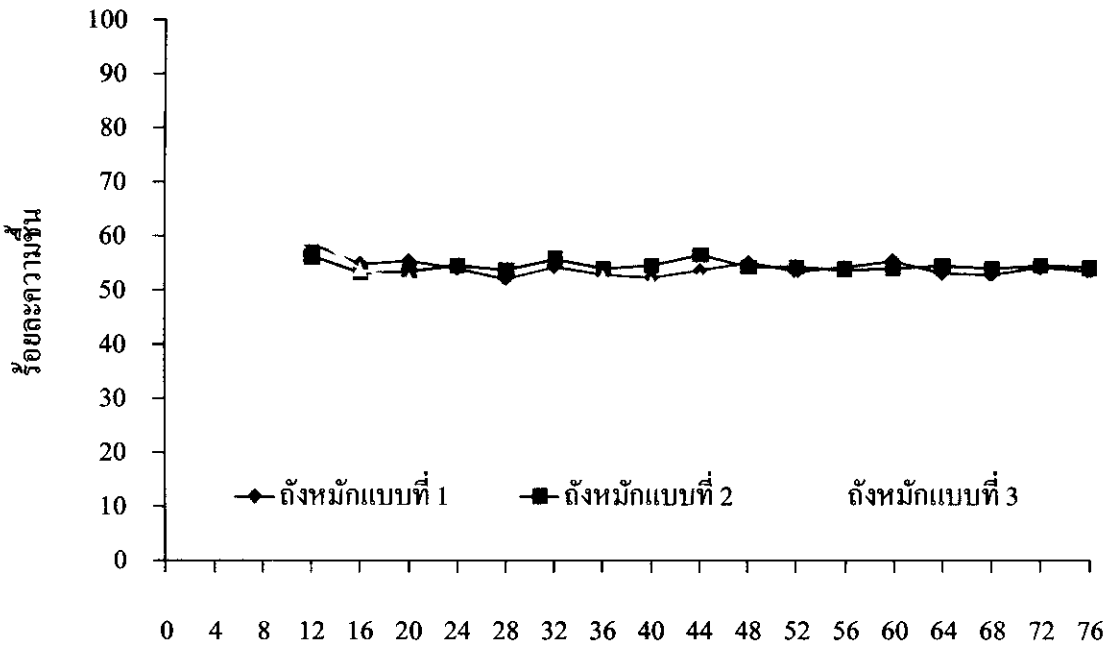
รูปที่ 4.49 เปรียบเทียบการลดลงของมวล

3. การเปลี่ยนแปลงความชื้น

จากการทดลองหมักวัสดุหมักในถังหมักที่ออกแบบทั้ง 3 แบบ พบว่ามีค่าความชื้นเริ่มต้นในถังหมักแบบที่ 1, 2 และ 3 ร้อยละ 58.4, 56.1 และ 59.8 ตามลำดับ (ผลการทดลอง ณ วันที่ 12 นับจากวันที่เริ่มเติมวัสดุหมัก) เมื่อสิ้นสุดการทดลองวัสดุหมักในถังหมักแบบที่ 1, 2, และ 3 มีค่าความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 53.4, 54.1 และ 51.2 จากรูปที่ 4.50 แสดงการเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุหมักในช่วงแรกของการทดลองความชื้นของวัสดุหมักในถังหมักทั้ง 3 แบบมีค่าลดลง โดยเกิดจากปฏิกิริยาการย่อยสลายสารอินทรีย์ของจุลินทรีย์สูงทำให้อุณหภูมิในกองวัสดุหมักสูง ซึ่งส่งผลให้เกิดการสูญเสียความชื้นในถังหมักที่ระเหยออกมาพร้อมอากาศร้อนและมีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นสูงในช่วงแรกของการหมัก สำหรับความชื้นที่มีค่าสูงเมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นผลจากฉนวนรักษาอุณหภูมิในถังหมักยังช่วยลดการระเหยของน้ำที่มีมากับมูลฝอยอินทรีย์เมื่อเริ่มต้นการทดลองและนอกจากนี้ยังมีน้ำที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาการย่อยสลายวัสดุหมักของจุลินทรีย์เมื่อระยะเวลาผ่านไปสารอินทรีย์ที่เหลือนั้นเป็นสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายยากทำให้การย่อยสลายเกิดขึ้นช้าหรืออยู่ในสภาพคงที่

โดยทั่วไปค่าความชื้นที่เหมาะสมในของวัสดุที่จะนำมาใช้ในการหมักปุ๋ยควรมีค่าประมาณร้อยละ 50-70 (Snell, 1957) และกระบวนการหมักปุ๋ยจะไม่เกิดการหมักต่อไปเมื่อความชื้นมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 11.2 (Gray และคณะ, 1971) จากผลการทดลองพบว่าปริมาณความชื้น

ของถังหมักทั้ง 3 ใบมีค่าใกล้เคียงกับช่วงที่เหมาะสมตลอดช่วงระยะเวลาการหมัก อย่างไรก็ตามค่าความชื้นที่มีค่าสูง เมื่อสิ้นสุดการหมักไม่ส่งผลกระทบต่อปุ๋ยหมักเนื่องจากเป็นระยะที่เข้าสู่สภาวะคงที่แล้ว แต่ควรมีการนำปุ๋ยหมักไปผึ่งลมหรือตากแดดก่อนการนำไปใช้งานเพื่อลดความชื้น



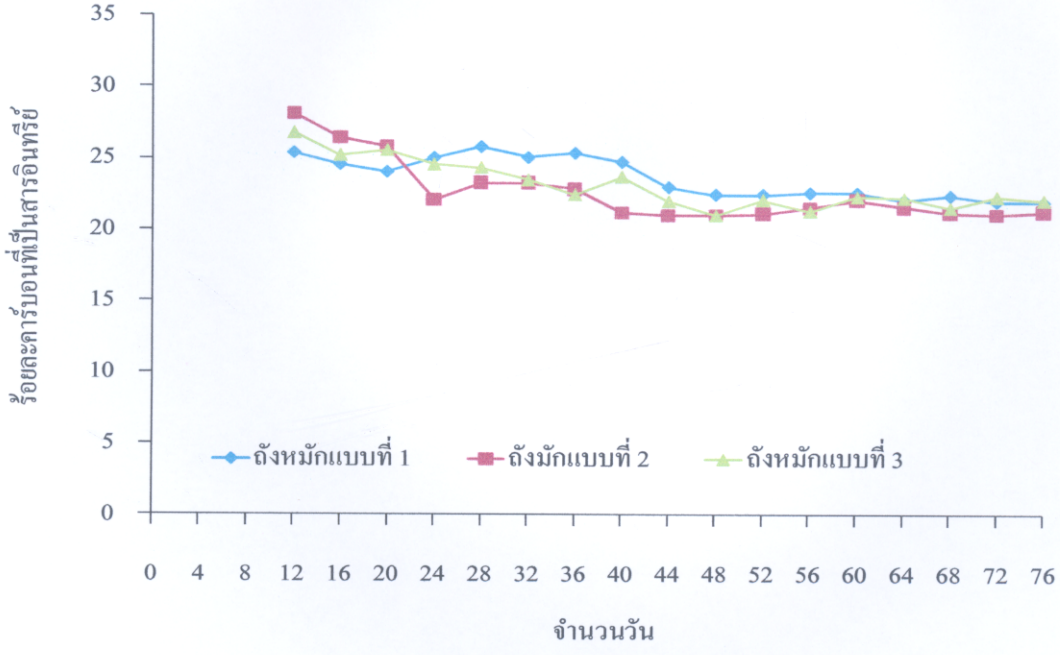
รูปที่ 4.50 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในถังหมัก

4.3.2.2 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางเคมี

1. ปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์

จากการทดลองพบว่า วัสดุหมักในถังหมักทุกใบมีปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ลดลงไปในทิศทางเดียวกันดังรูปที่ 4.51 ซึ่งแสดงปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์เมื่อวันที่ 12 ของการทดลอง ในถังหมักแบบที่ 1, 2 และ 3 มีค่าร้อยละ 25.4, 28.1 และ 26.7 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ โดยในช่วงแรกของการหมักมีการลดลงของปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์สูง และระหว่างการหมักปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ค่อยๆลดลงตามช่วงระยะเวลาการหมัก หลังจากนั้นมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากนักจนกระทั่งสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก มีค่าปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ร้อยละ 21.9, 21.3 และ 21.1 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ

ตารางที่ 4.18 แสดงอัตราการลดลงของปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ โดยใช้ค่าคาร์บอนอินทรีย์เมื่อเริ่มการทดลองมาคำนวณการลดลงในรูปของร้อยละ ในระหว่างการหมักอินทรีย์คาร์บอนจะเปลี่ยนไปเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะมีอิทธิพลมาจากอุณหภูมิ (Said-Pullicino และคณะ, 2007) คาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์มีความจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย โดยแบคทีเรียทำการย่อยสลายคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ จนกระทั่งได้โมเลกุลเล็ก แล้วจึงนำเข้าไปในเซลล์เพื่อเป็นแหล่งพลังงานและสร้างส่วนประกอบของเซลล์ แล้วจึงปลดปล่อยพลังงานออกมาในรูปของความร้อนออกมาทำให้อุณหภูมิในวัสดุหมักมีค่าสูงขึ้น



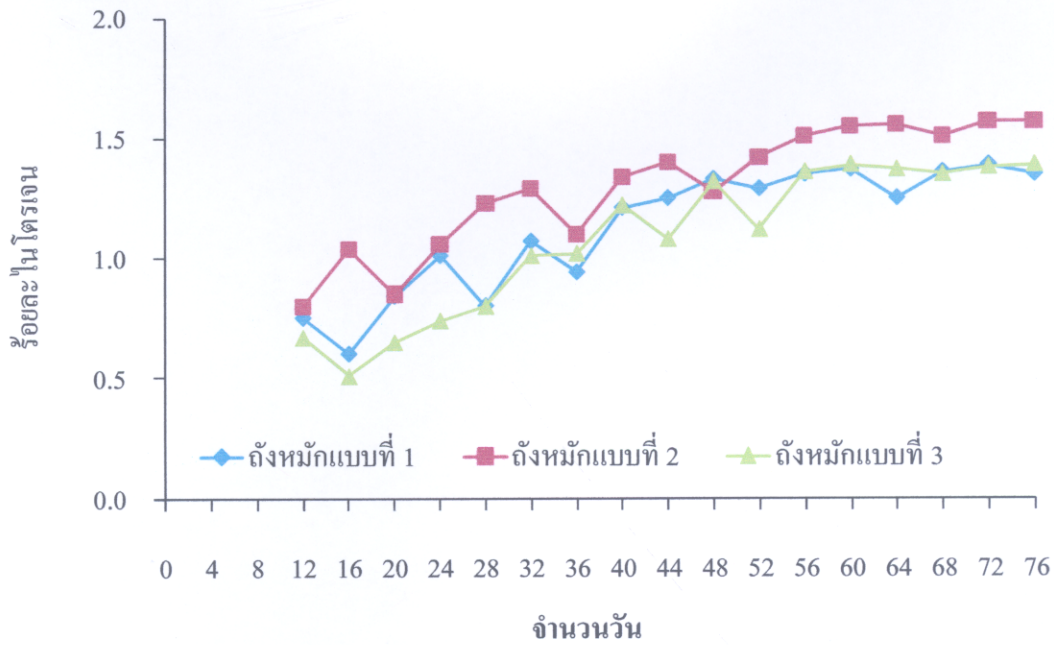
รูปที่ 4.51 การเปลี่ยนแปลงปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์

ตารางที่ 4.18 เปรียบเทียบปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์

ถังหมักแบบที่	OC เมื่อเริ่มต้นหมัก (ร้อยละ นน. แห้ง)	OC หลังหมัก (ร้อยละ นน. แห้ง)	การลดลง (ร้อยละ)
1	26.8	22.1	17.5
2	26.8	21.3	20.5
3	26.8	21.9	18.2

2. ปริมาณ ไนโตรเจนทั้งหมด

ในระหว่างการหมักวัสดุหมักในถังหมักแบบที่ 1, 2 และ 3 มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 4.52 โดยปริมาณไนโตรเจนเมื่อเริ่มต้นหมักมีค่าร้อยละ 0.75, 0.80 และ 0.67 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ (ผลการทดลอง ณ วันที่ 12 นับจากวันที่เริ่มเติมวัสดุหมัก) และปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีแนวโน้มค่อย ๆ เพิ่มขึ้น จนกระทั่งสิ้นสุดระยะเวลาการหมัก ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดมีค่าร้อยละ 1.39, 1.57 และ 1.35 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ

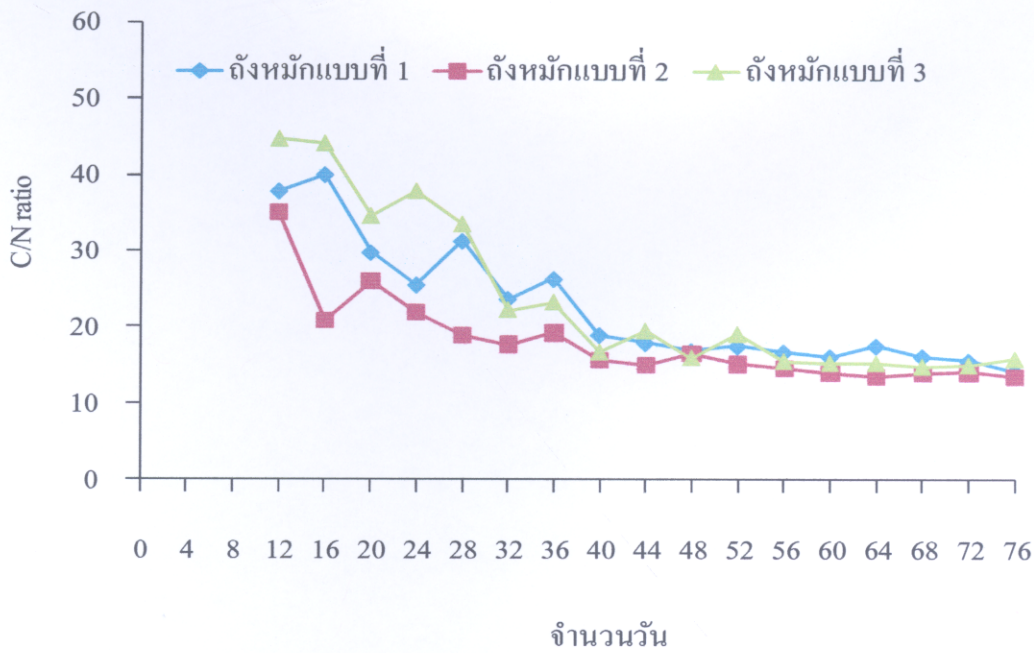


รูปที่ 4.52 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจน

3. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

จากการทดลองรูปที่ 4.53 แสดงให้เห็นว่าค่า C/N ratio เมื่อเริ่มต้นการหมัก (เมื่อวันที่ 12 ของการทดลอง) ในถังหมักแบบที่ 1, 2 และ 3 มีค่า 37.9, 35.1, และ 44.6 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการหมักค่า C/N ratio มีค่าลดลงเหลือ 14.2, 13.5 และ 15.8 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ และตารางที่ 4.19 แสดงอัตราการลดลงของ C/N ratio โดยใช้ค่า C/N ratio เมื่อเริ่มต้นหมักในการคำนวณอัตราการลดลงของค่า C/N ratio จากการทดลองพบว่าถังหมักแบบที่ 2 มีอัตราการลดลงมากที่สุดคือร้อยละ 65.5 รองลงมาคือถังหมักแบบที่ 1 มีค่าร้อยละ 63.7 และถังหมักแบบที่ 3 มีค่าร้อยละ 59.6

อัตราส่วนระหว่างคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) เป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างหนึ่งในการหมักปุ๋ย ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความยากง่ายต่อการย่อยสลายและใช้เป็นตัวกำหนดการย่อยสลายที่สมบูรณ์ กล่าวคือถ้าวัสดุที่ใช้ในการทำปุ๋ยหมักมีค่า C/N ratio สูงมาก อัตราการย่อยสลายเกิดช้า เนื่องจากความไม่สมดุลกันของสารประกอบคาร์บอนกับไนโตรเจน ในสภาพเช่นนี้จุลินทรีย์จะใช้สารประกอบคาร์บอนในรูปแบบต่างๆ เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานและการเจริญเติบโต ในขณะเดียวกันจุลินทรีย์ต้องใช้สารประกอบไนโตรเจนในการสร้างเซลล์ด้วย (Poincelot, 1975)



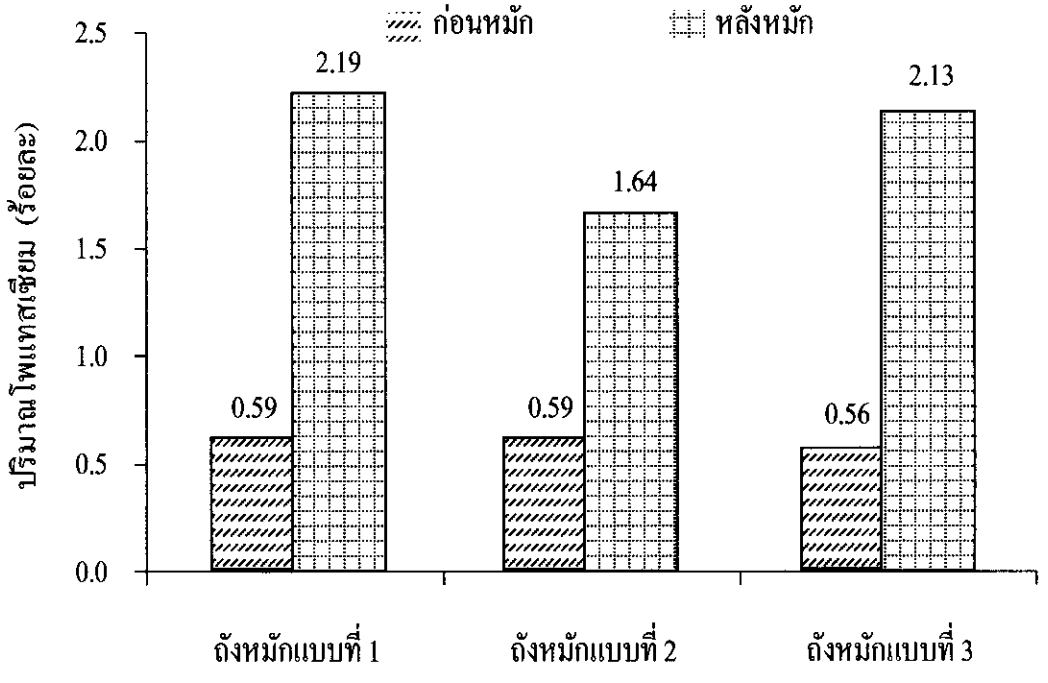
รูปที่ 4.53 การเปลี่ยนแปลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

ตารางที่ 4.19 เปรียบเทียบการลดลงของอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

ถังหมักแบบที่	C/N ratio เริ่มหมัก	C/N ratio หลังหมัก	การลดลง (ร้อยละ)	วันที่ C/N ratio ต่ำกว่า 20
1	39.2	14.2	63.7	40
2	39.2	13.5	65.5	24
3	39.2	15.8	59.6	36

4. ปริมาณโพแทสเซียม

จากรูปที่ 4.54 พบว่าทุกวัสดุหมักในถังหมักแบบที่ 1, 2 และ 3 มีปริมาณโพแทสเซียมเมื่อเริ่มต้นการหมักมีค่าร้อยละ 0.59, 0.59 และ 0.56 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดการทดลองปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มขึ้นมีค่าร้อยละ 2.19, 1.64 และ 2.13 โดยน้ำหนักแห้ง ตามลำดับ ปริมาณโพแทสเซียมที่เพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดการหมักมี สาเหตุเดียวกับการการทดลองช่วงที่ 1 คือ เมื่อสิ้นสุดการหมัก ปุ๋ยหมักมีปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ลดลงเนื่องจากถูกย่อยสลายในระหว่างการหมัก ทำให้ร้อยละของโพแทสเซียมต่อน้ำหนักแห้งของปุ๋ยหมักทั้งหมดมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าถ้ามีการย่อยสลายสารอินทรีย์มากเท่าไร ก็ส่งผลให้ปริมาณโพแทสเซียมเพิ่มสูงขึ้น และปุ๋ยหมักที่ดีควรมีปริมาณโพแทสเซียมอย่างน้อยร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักแห้ง (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ดังนั้นจากการทดลองถังหมักแบบที่ 1, 2 และ 3 มีปริมาณโพแทสเซียมผ่านเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด

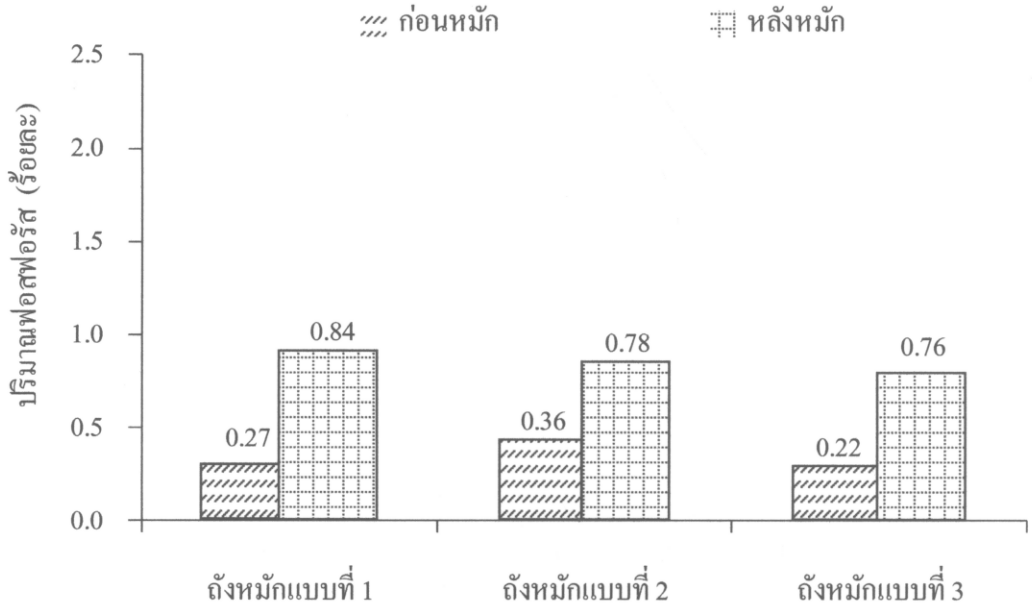


รูปที่ 4.54 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณโพแทสเซียม

5. ปริมาณฟอสฟอรัส

จากรูปที่ 4.55 พบว่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณฟอสฟอรัสของวัสดุหมักในถังหมักแบบที่ 1, 2 และ 3 มีปริมาณฟอสฟอรัสเมื่อเริ่มต้นการหมักมีค่าร้อยละ 0.27, 0.36 และ 0.22 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ และเมื่อสิ้นสุดการทดลองมีปริมาณฟอสฟอรัสเท่ากับ 0.84, 0.78 และ 0.76 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ โดยปริมาณฟอสฟอรัสที่เพิ่มขึ้นเมื่อสิ้นสุดการหมัก มีสาเหตุเดียวกันกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณโพแทสเซียมดังได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองช่วงที่ 1 เมื่อสิ้นสุดการหมักปริมาณฟอสฟอรัสมีค่าเพิ่มขึ้น

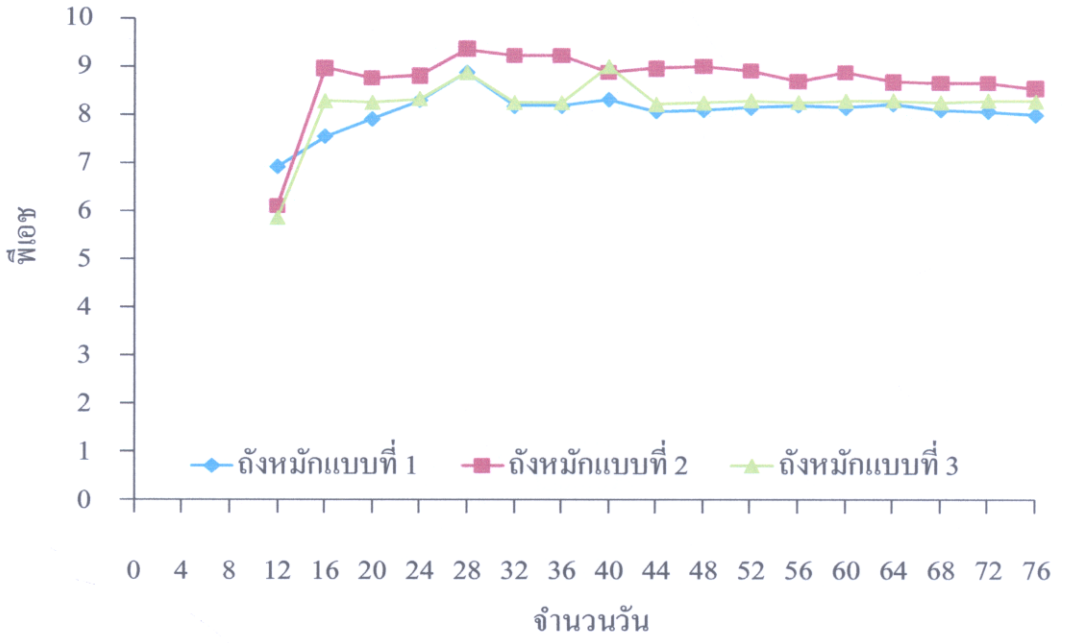
เนื่องจากฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่พืชต้องการ ดังนั้นปุ๋ยหมักที่ดีควรมีปริมาณฟอสฟอรัสอย่างน้อยร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักแห้ง (กรมวิชาการเกษตร, 2548) จากการทดลองพบว่าถังหมักแบบที่ 1, 2 และ 3 มีปริมาณฟอสฟอรัสผ่านเกณฑ์ที่กำหนด



รูปที่ 4.55 การเปลี่ยนแปลงของปริมาณฟอสฟอรัส

6. พีเอช

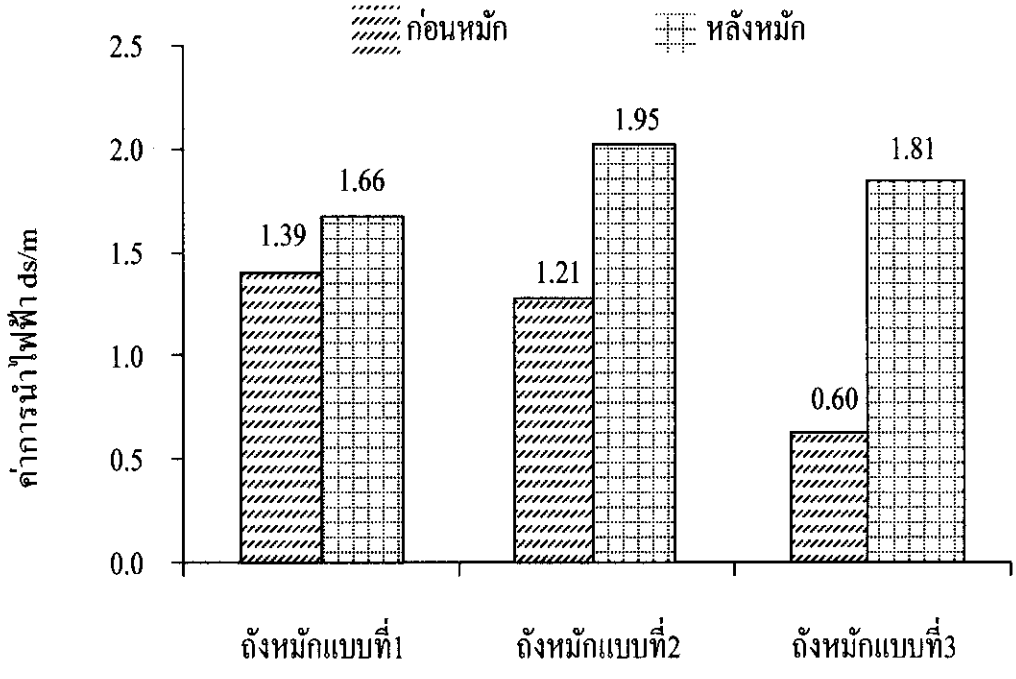
จากรูปที่ 4.56 พบว่าการเปลี่ยนแปลงของพีเอชของวัสดุหมักในถังหมักทั้ง 3 แบบมีความคล้ายคลึงกัน โดยถังหมักแบบที่ 1, 2 และ 3 มีค่าพีเอชเริ่มต้น 6.9, 6.1 และ 5.8 ตามลำดับ (ผลการทดลอง ณ วันที่ 12 นับจากวันที่เริ่มเติมวัสดุหมัก) และเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จากนั้นค่าพีเอชเริ่มลดลงเล็กน้อยจนสิ้นสุดการหมัก ซึ่งถังหมักแบบที่ 1, 2 และ 3 มีค่าพีเอช 8.0, 8.6, และ 8.3 ตามลำดับ สำหรับการเพิ่มขึ้นของค่าพีเอชเนื่องมาจากปริมาณแอมโมเนียที่เกิดขึ้นในช่วงที่มีการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยจุลินทรีย์ ซึ่งเมื่อระยะเวลาการหมักผ่านไปค่าพีเอชมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยหรือมีค่าคงที่จนกระทั่งสิ้นสุดการหมัก และเป็นการชี้บ่งว่าปุ๋ยหมักได้ที่แล้ว (คมสัน, 2547)



รูปที่ 4.56 การเปลี่ยนแปลงพีเอชของวัสดุหมัก

7. ค่าการนำไฟฟ้า

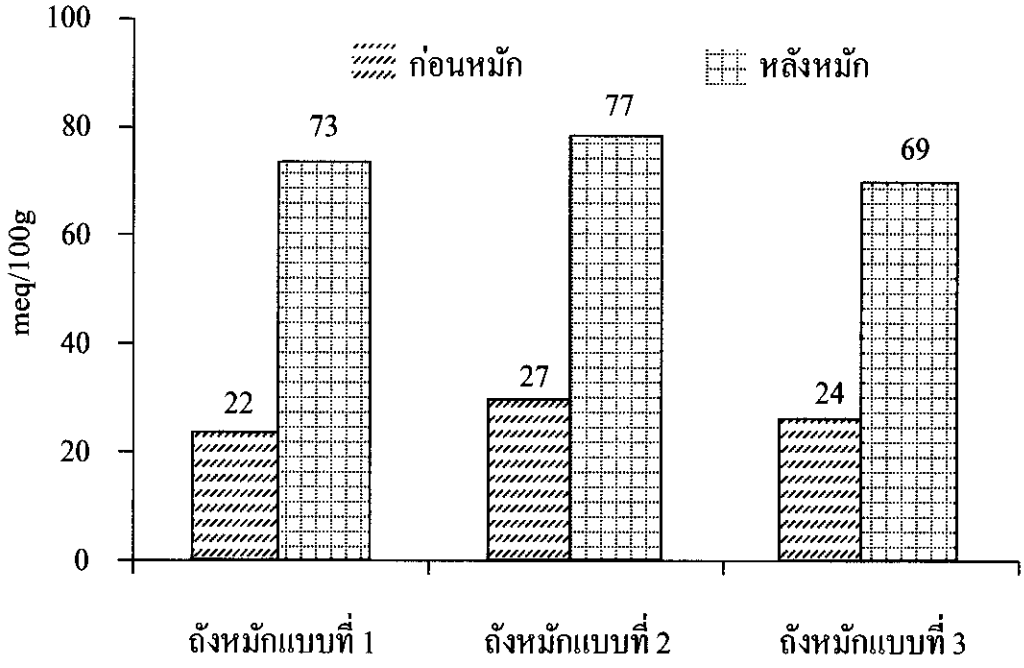
จากรูปที่ 4.57 พบว่าวัสดุหมักในถังหมักแบบที่ 1, 2 และ 3 มีค่าการนำไฟฟ้าเมื่อเริ่มต้นการหมัก 1.39, 1.21 และ 0.60 dS/m และเมื่อสิ้นสุดการหมักมีค่าการนำไฟฟ้า 1.66, 1.95 และ 1.81 dS/m จากผลการทดลองเมื่อนำค่าการนำไฟฟ้าเมื่อสิ้นสุดการหมักเปรียบเทียบกับตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่าระดับความเค็มของปุ๋ยหมักที่ได้ มีความเค็มอยู่ในช่วง 0-4 dS/m ซึ่งเป็นระดับความเค็มที่ไม่ส่งผลกระทบต่อพืช



รูปที่ 4.57 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าของวัสดุหมัก

8. ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก (CEC)

จากรูปที่ 4.58 และตารางที่ 4.20 พบว่าการเปลี่ยนแปลงค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในถังหมักแบบที่ 1, 2 และ 3 เมื่อเริ่มการหมักมีค่า 22, 27 และ 24 meq/100 g โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ และระหว่างการหมักค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในถังหมักทุกแบบมีค่าเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกันจนกระทั่งสิ้นสุดการหมัก ซึ่งค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักมีค่า 73, 77 และ 69 meq/100 g โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ สำหรับการเพิ่มขึ้นของค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก เป็นการบ่งบอกว่าสารอินทรีย์ถูกย่อยสลายได้ดีจึงได้สารผลิตภัณฑ์ที่เป็นประจุลบจำนวนมาก และหากพิจารณาการได้ที่ของปุ๋ยหมักจากค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกปุ๋ยหมักที่ดีควรมีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกมากกว่า 60 meq/100 g (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ดังนั้นวัสดุหมักจากถังหมักทุกแบบ มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกผ่านมาตรฐาน



รูปที่ 4.58 การเปลี่ยนแปลงค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก

ตารางที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก

ถังหมักแบบที่	CEC ก่อนหมัก (meq/100g)	CEC หลังหมัก (meq/100g)	มาตรฐานจากกรมวิชาการเกษตร (2548)	หมายเหตุ
1	22	73	ไม่ควรน้อยกว่า 60 meq / 100 g	CEC หลังหมักทำการตรวจวัดเมื่อวันที่ 60 นับจากเริ่มเติมวัสดุหมัก
2	27	77		
3	24	69		

4.3.3 การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางชีวภาพ

เชื้อโรคในกองปุ๋ยหมัก

U.S. EPA (1999) ได้กำหนดมาตรฐานของปุ๋ยหมักเพื่อการขายหรือการบรรจุโดยต้องมีปริมาณ Fecal Coliforms และ *Salmonella* sp. น้อยกว่า 1000 MPN/g และ 3 MPN/4g ตามลำดับ การติดตามตรวจสอบปริมาณ Fecal Coliforms และ *Salmonella* sp. เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักจะเป็นขั้นตอนการยืนยันความปลอดภัยของปุ๋ยหมักที่ได้ (ศิรินทรา, 2552) จากการทดลองในตารางที่ 4.21 พบว่าระดับการปนเปื้อนของ Fecal Coliforms และ *Salmonella* sp. มีค่าต่ำกว่ามาตรฐานที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดโรคคือปริมาณ Fecal Coliforms และ *Salmonella* sp. ต่ำกว่า 1000 MPN/g และ 3 MPN/4g ในถังหมักทุกใบเมื่อสิ้นสุดการทดลอง อย่างไรก็ตามอาจเป็นไปได้ว่า สาเหตุของการตรวจไม่พบเชื้อโรคนั้นเนื่องจากวัสดุหมักที่ใช้ในการทดลองเป็นมูลฝอยอินทรีย์สังเคราะห์ ผสมกับ ใบไม้แห้ง และทำการหมักในภาชนะปิดทำให้ไม่มีการปนเปื้อนของเชื้อโรคจากภายนอกเข้าสู่กระบวนการหมัก จึงทำให้ตรวจไม่พบเชื้อโรคในวัสดุหมักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ตารางที่ 4.21 เชื้อโรคที่ตรวจพบในวัสดุหมักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ถังหมักแบบที่	**Fecal Coliforms** (ไม่เกิน 1000MPN/g)	***Salmonella* sp.** (ไม่เกิน 3MPN/4g)	หมายเหตุ
1	ไม่พบ	ไม่พบ	ทำการตรวจวัดเมื่อ
2	ไม่พบ	ไม่พบ	วันที่ 60 นับจาก
3	ไม่พบ	ไม่พบ	เริ่มเติมวัสดุหมัก

4.3.4 การประเมินการได้ที่และคุณภาพของปุ๋ยหมัก

ปุ๋ยหมักที่ยังไม่ได้ที่หากนำไปใส่ลงดินมีผลทำให้เกิดการย่อยสลายอย่างต่อเนื่องในดินอาจเกิดสภาพไร้อากาศและอาจมีอุณหภูมิสูงจากการที่แบคทีเรียต้องการออกซิเจนเพื่อใช้ในการย่อยสลายและปลดปล่อยพลังงานมาในรูปของความร้อน ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อระบบรากของพืช นอกจากนี้การนำปุ๋ยหมักที่ยังไม่เข้าสู่สภาวะคงที่ไปใช้งานจะส่งผลให้ปริมาณไนโตรเจนในดินถูกแบคทีเรียดึงเพื่อไปสร้างเซลล์ซึ่งเป็นการแย่งไนโตรเจนจากดินและพืช ทำให้พืชขาดไนโตรเจนโดยจะแสดงอาการซีดเหลือง (พูนศักดิ์, 2541)

ในการทดลองครั้งนี้ทำการประเมินการได้ที่ของวัสดุหมักจากลักษณะทางกายภาพ (อุณหภูมิ) และลักษณะทางเคมี (อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน และ พีเอช) ดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 เปรียบการได้ที่ของวัสดุหมักจากปัจจัยต่างๆ

ถังหมักแบบที่	ระยะเวลาที่เข้าสู่สภาวะคงตัว (วัน)			
	อุณหภูมิใกล้เคียงอุณหภูมิห้อง	พีเอชอยู่ในช่วง5.5-8.5	C/N ratio ไม่เกิน 20หรือมีค่าคงที่	สรุประยะเวลาที่ใช้
1	56	44	36	56
2	60	56	24	60
3	56	44	40	56

หมายเหตุ OR คือ Organic wastes (มูลฝอยอินทรีย์), DL คือ Dry leaves (ใบไม้แห้ง)

จากตารางที่ 4.22 พบว่าถังหมักแบบที่ 1 และแบบที่ 3 มีระยะเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวเท่ากันคือ 56 วันโดยจำนวนวันที่ได้มาจากการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเป็นเกณฑ์เช่นเดียวกันสำหรับสำหรับถังหมักแบบที่ 2 มีระยะเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัว 60 วัน สาเหตุที่ถังหมักแบบที่ 2 ใช้ระยะเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวมากกว่าถังหมักแบบอื่นๆ เนื่องมาจากการย่อยสลายในถังหมักเกิดขึ้นดีทำให้อุณหภูมิภายในถังหมักอยู่ในช่วงเทอร์โมฟิลิคยาวนานกว่าถังหมักแบบอื่นๆ จึงทำให้ระยะเวลาที่อุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้องยาวนานกว่าถังหมักแบบที่ 1 และ 3

4.3.5 ธาตุอาหารหลักของพืช

ปุ๋ยหมักจากมูลฝอยอินทรีย์ที่ได้มีปริมาณธาตุอาหารหลักของพืชในรูปของไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส (P_2O_5) และโพแทสเซียม (K_2O) ดังแสดงในตารางที่ 4.23 จากการทดลองปริมาณธาตุอาหารทั้ง 3 ชนิดรวมกัน (N+P+K) รวมกันอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 4.00-4.43 (มาตรฐานกำหนดควรมากกว่า 2)โดยถังหมักแบบที่ 1 มีค่ามากที่สุดคือ 4.05 รองลงมาคือ ถังหมักแบบที่ 2 และถังหมักแบบที่ 3 มีค่า 4.26 และ 4.00 ตามลำดับ ปริมาณธาตุอาหารหลักที่เพิ่มขึ้นมีสาเหตุเช่นเดียวกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณไนโตรเจน โพแทสเซียม และฟอสฟอรัสดังได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น เมื่อพิจารณาธาตุอาหารที่พืชต้องการจากเกณฑ์ของกรมวิชาการเกษตร (2548)

กำหนดธาตุอาหารหลัก (N: P: K) ในปุ๋ยหมักควรมีค่าร้อยละ 1.0:0.5:0.5 โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อสิ้นสุดการทดลอง ดังนั้นปริมาณธาตุอาหารหลักของวัสดุหมักจากถังหมักทุกแบบผ่านเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ทั้ง 3 แบบ

ตารางที่ 4.23 เปรียบเทียบธาตุอาหารหลักของพืชในปุ๋ยหมัก

ถังหมักแบบที่	มาตรฐานปุ๋ยจากกรมวิชาการเกษตร 2548 (N:P:K=1:0.5:0.5)			ผลรวมธาตุอาหารหลัก
	ไนโตรเจน	ฟอสฟอรัส	โพแทสเซียม	
1	1.39	0.84	2.20	4.43
2	1.57	0.78	1.91	4.26
3	1.35	0.76	1.89	4.00

หมายเหตุ OR คือ Organic wastes (มูลฝอยอินทรีย์), DL คือ Dry leaves (ใบไม้แห้ง)

4.4 การประเมินการใช้งานถังหมักปุ๋ย

เนื่องจากถังหมักแต่ละแบบมีรูปแบบการใช้งานที่แตกต่างกัน การประเมินการใช้งานถังหมักปุ๋ยที่ออกแบบใช้เกณฑ์ดังต่อไปนี้ คือ ด้านคุณภาพปุ๋ยที่ได้จากถังหมักปุ๋ย และความเหมาะสมในการใช้งานเพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกใช้งานถังหมักแต่ละแบบได้อย่างเหมาะสมกับบ้านเรือนแต่ละแบบ

4.4.1 การประเมินคุณภาพปุ๋ยจากถังหมักทั้ง 3 แบบ

จากตารางที่ 4.24 พบว่าผลการประเมินคุณภาพปุ๋ยของถังหมักทั้ง 3 แบบมีค่าใกล้เคียงกันโดยมีถังหมักแบบที่ 1 ให้คะแนนคุณภาพปุ๋ยมากที่สุดคือ 70 คะแนน รองลงมาคือถังหมักใบที่ 3 ได้ 68 คะแนน และถังหมักแบบ 2 ได้ 66 คะแนน สาเหตุที่ทำให้คุณภาพปุ๋ยจากถังหมักแบบที่ 2 และแบบที่ 3 ได้คะแนนจากการประเมินน้อยกว่าถังหมักแบบที่ 1 คือ ค่าพีเอชเมื่อสิ้นสุดการทดลองของถังหมักแบบที่ 2 ยังคงมีค่าสูงจึงทำให้ผลการประเมินในหัวข้อนี้ได้คะแนนน้อยกว่าถังหมักแบบที่ 1 และ 3 และสำหรับปริมาณฟอสฟอรัสในถังหมักแบบที่ 2 และแบบที่ 3 มีค่าน้อยกว่าถังหมักแบบที่ 1 จึงส่งผลให้ผลการประเมินในหัวข้อนี้ถังหมักแบบที่ 2 และ 3 ได้คะแนนน้อยกว่าถังหมักแบบที่ 1 ในส่วนของหัวข้ออื่นๆถังหมักทั้ง 3 แบบได้คะแนนการประเมินเท่ากันและจัด

ว่าปุ๋ยหมักที่ได้อยู่ในเกณฑ์ดีดังแสดงในตารางที่ 4.24 ยกเว้นในหัวข้อปริมาณความชื้นของปุ๋ยหมักจากถังหมักทั้ง 3 แบบ เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานจากกรมวิชาการเกษตร (2548) แล้วพบว่าปุ๋ยหมักที่ได้ยังคงมีความชื้นสูงเมื่อสิ้นสุดการหมัก ดังนั้นก่อนนำปุ๋ยหมักไปใช้งานควรนำปุ๋ยหมักที่ได้ไปตากแห้งเพื่อลดความชื้น ก่อนนำไปใช้งานเป็นปุ๋ยอินทรีย์ หรือผสมดินปลูกต้นไม้ทั่วไป

ตารางที่ 4.24 ผลการประเมินคุณภาพปุ๋ยหมักจากถังหมักที่ออกแบบ

คุณภาพของวัสดุหมัก	ผลการทดลอง[2]				เกณฑ์คุณภาพปุ๋ย[3]						ผลการประเมิน		
	หน่วย	ถังหมักแบบที่1	ถังหมักแบบที่2	ถังหมักแบบที่3	10	8	6	4	2	0	ถังหมักแบบที่1	ถังหมักแบบที่2	ถังหมักแบบที่3
1. ความเป็นกรดเป็นด่าง[1]	-	8.08	8.65	8.30	7.0-8.0	8.1-8.5 6.5-6.9	8.6-9.0 6.0-6.4	10.0-14.0 2.0-6.0	- -	- -	8	6	8
2. ปริมาณความชื้น	%	53.4	54.2	51.2	0-35	36-40	41-45	46-50	51-56	> 56	2	2	2
3. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ	%	37.2	36.2	37.5	35-40	41-45	46-50	30-35	25-30	-	10	10	10
4. ค่า C/N	-	15.8	13.5	14.2	0-20	20-25	25-30	30-35	35-40	> 40	10	10	10
5. ปริมาณไนโตรเจน	%	1.39	1.57	1.48	≥1	0.8-0.9	0.6-0.79	0.4-0.59	0.2-0.39	< 0.2	10	10	10
6. ปริมาณฟอสฟอรัส	%	0.84	0.78	0.76	≥1	0.8-0.9	0.6-0.79	0.4-0.59	0.2-0.39	< 0.3	10	8	8
7. ปริมาณโพแทสเซียม	%	2.20	1.91	1.89	≥0.5	0.3-0.4	-	0.1-0.2	-	< 0.1	10	10	10
8. การลดลงของมวล[1]	%	52.7	56.6	43.4	≥40	35-40	30-35	25-30	20-25	0-20	10	10	10
คะแนนที่ได้ (คะแนนเต็ม 80)											**70**	66	**68**

หมายเหตุ [1] คือ เกณฑ์ที่ผู้วิจัยกำหนดขึ้นเพื่อให้สอดคล้องกับการวิจัย

[2] คือ ผลการทดลองจากถังหมักใบที่ 1-3 ตามลำดับ

[3] คือ อ้างอิงจาก สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (2543)

4.4.2 การประเมินความเหมาะสมในการใช้งาน

จากตารางที่ 4.24 การประเมินคุณภาพปุ๋ยหมักจากถังหมักทั้ง 3 แบบมีค่าใกล้เคียงกัน จึงมีความจำเป็นต้องนำประเด็นเรื่องความเหมาะสมในการใช้งานถังหมักในด้านต่างๆมาพิจารณาร่วมด้วย เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการเลือกถังหมักเพื่อนำไปใช้งานกับบ้านเรือนได้ตรงกับความต้องการ โดยหัวข้อที่ใช้ประเมินคือ ราคาในการก่อสร้าง ความสามารถในการรองรับวัสดุหมัก ความสะดวกในการกลับกอง และผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (การส่งกลิ่นรบกวน) โดยให้น้ำหนักความสำคัญใน 3 ประเด็นแรกเท่ากัน รองจากประเด็นคุณภาพปุ๋ย สำหรับผลกระทบทางด้านสิ่งแวดล้อมให้น้ำหนักความสำคัญน้อยที่สุดเนื่องจากการเกิดกลิ่นรบกวน เกิดขึ้นในช่วงแรกของการหมักและการหมักวัสดุหมักในภาชนะปิดสามารถลดกลิ่นรบกวนจากกระบวนการหมักได้เป็นอย่างดี (ตารางที่ 4.25)

ราคาในการก่อสร้างถังหมัก (คะแนนเต็ม 20 คะแนน) เป็นประเด็นที่มีความสำคัญรองลงมาจากคุณภาพปุ๋ยหมัก เนื่องจากราคาในการก่อสร้างเป็นแรงจูงใจสำคัญอย่างหนึ่งที่สามารถสร้างแรงกระตุ้นในการเริ่มกิจกรรมการคัดแยกมูลฝอย ณ แหล่งกำเนิด (บ้านเรือน) เพื่อนำมูลฝอยอินทรีย์มาหมักทำเป็นปุ๋ย จากผลการประเมินพบว่าถังหมักแบบที่ 1 (20 คะแนน) ได้คะแนนมากที่สุดในหัวข้อนี้เนื่องมาจากมาราคาค่าก่อสร้างประหยัดที่สุด รองลงมาคือถังหมักแบบที่ 3 (10 คะแนน) และแบบที่ 2 (1 คะแนน)

ความสามารถในการรองรับวัสดุหมัก (คะแนนเต็ม 20 คะแนน) เป็นประเด็นที่มีความสำคัญรองลงมาจากคุณภาพปุ๋ยหมัก และมีความสำคัญเท่ากันกับประเด็นราคาในการก่อสร้าง เนื่องจากการอัดแน่นของมูลฝอยอินทรีย์ส่งผลให้ขั้นตอนการทำงานมีความยุ่งยากมาขึ้น ยกตัวอย่างเช่น ถังหมักแบบที่ 1 พบปัญหาการอัดแน่นของมูลฝอยอินทรีย์ส่งผลให้ขั้นตอนการพลิกกลับวัสดุหมักใช้เวลานานเนื่องจากความหนาแน่นของวัสดุหมักสูงและอาจทำให้มูลฝอยอินทรีย์ล้นออกมาภายนอกถังหมักระหว่างขั้นตอนการพลิกกลับวัสดุหมัก โดยในหัวข้อนี้ถังหมักแบบที่ 2 ได้คะแนนการประเมินมากที่สุด (20 คะแนน) เพราะสามารถรองรับมูลฝอยอินทรีย์ที่เกิดขึ้นตลอด 30 วันโดยไม่พบปัญหาใดๆระหว่างการเติมวัสดุหมัก แตกต่างจากถังหมักแบบที่ 1 และแบบที่ 3 ซึ่งได้คะแนนเท่ากัน (10 คะแนน) เนื่องมาจากเกิดการอัดแน่นของมูลฝอยอินทรีย์ระหว่างการเติมวัสดุหมัก

ความสะดวกในการกลับกองวัสดุหมัก (คะแนนเต็ม 20 คะแนน) สำหรับหัวข้อนี้เป็นประเด็นที่มีความสำคัญรองลงมาจากคุณภาพปุ๋ยหมัก และมีความสำคัญเท่ากันกับสองประเด็นแรก ซึ่งในหัวข้อนี้ใช้เวลาในการกลับกองวัสดุหมักเป็นเกณฑ์ตัดสิน ซึ่งถังหมักแบบที่ 1 ได้คะแนน

การประเมินน้อยที่สุด (10 คะแนน) เนื่องจากไม่มีกลไกช่วยในการกลับกองจึงทำให้ใช้เวลาในการพลิกกลับกองวัสดุหมักแต่ละครั้งมากกว่าถังหมักแบบอื่นๆ ต่างจากถังหมักแบบที่ 2 ติดตั้งกลไกการหมุนตัวถังเพื่อให้วัสดุหมักคลุกเคล้ากัน และถังหมักแบบที่ 3 ติดท่อระบายอากาศจากภายในกองวัสดุหมัก (ไม่มีขั้นตอนสำหรับการกลับกอง) จึงทำให้ถังหมักแบบที่ 2 และแบบที่ 3 ใช้ระยะเวลาในการกลับกองน้อยลงและผลคะแนนที่ได้เท่ากัน (20 คะแนน) ในหัวข้อนี้

ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (คะแนนเต็ม 10 คะแนน) เป็นประเด็นที่มีความสำคัญน้อยที่สุดเนื่องมาจากการหมักในถังหมักช่วยป้องกันและลดกลิ่นรบกวนจากกระบวนการหมักได้ จากการทดลองพบว่าถังหมักทั้ง 3 แบบได้คะแนนการประเมินเท่ากัน (8 คะแนน) เนื่องมาจากส่งกลิ่นรบกวนในช่วงระยะ 7 วันแรกที่เริ่มเติมวัสดุหมักโดยเฉพาะช่วงที่ทำการเปิดฝาเพื่อเติมวัสดุหมักลงในถังหมักเท่านั้น

จากตารางที่ 4.24 และตารางที่ 4.25 ทำการรวมกับคะแนนในประเด็นด้านคุณภาพปุ๋ยและความเหมาะสมในการใช้งาน ซึ่งพบว่าถังหมักแต่ละแบบมีผลรวมคะแนนอยู่ในช่วงใกล้เคียงกัน คือ ถังหมักแบบที่ 1 ได้คะแนน 118 คะแนน (ลำดับที่1) ถังหมักแบบที่ 2 ได้คะแนน 115 คะแนน (ลำดับที่ 3) และถังหมักแบบที่ 3 ได้คะแนน 116 คะแนน (ลำดับที่ 2) ดังนั้นจึงนำประเด็นด้านความเหมาะสมในการใช้งานแสดงในรูปของแผนภูมิเรดาร์ (รูปที่ 4.59) เพื่อชี้ให้เห็นลักษณะเด่นของถังหมักแต่ละแบบ เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกถังหมักแต่ละแบบไปใช้งานได้อย่างเหมาะสมกับบ้านเรือน จากรูปที่ 4.59 พบว่า

ถังหมักแบบที่ 1 มีลักษณะเด่นในด้านราคาการก่อสร้างที่ประหยัดแต่มีข้อด้อยในด้านความสะดวกในการกลับกองวัสดุหมักและความสามารถในการรองรับวัสดุหมัก

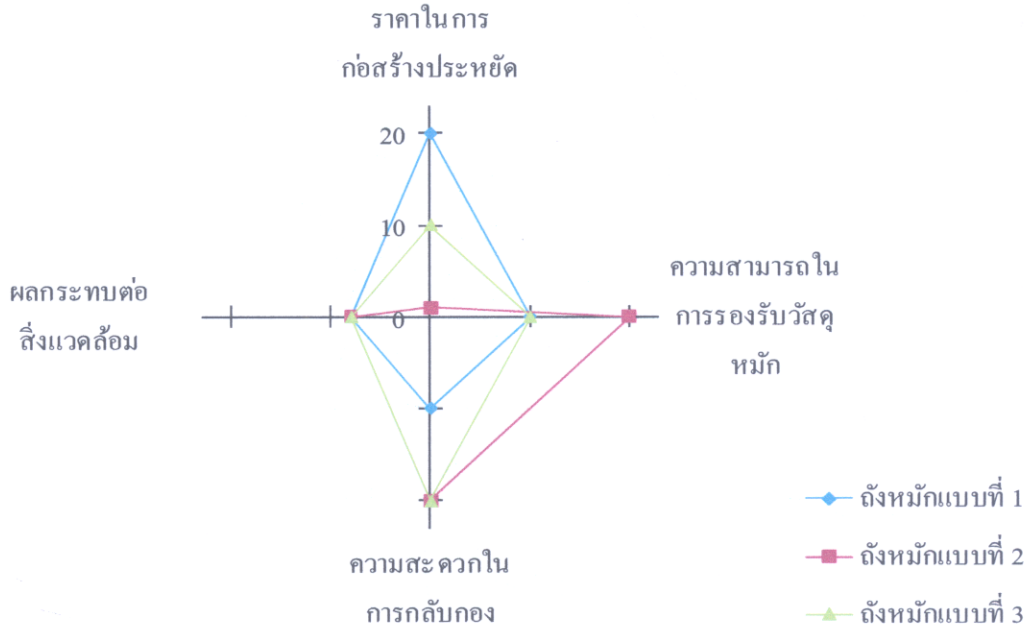
ถังหมักแบบที่ 2 มีลักษณะเด่นในด้านความสามารถในการรองรับวัสดุหมักได้ตลอดระยะเวลา 30 วันและความสะดวกในการพลิกกลับกองวัสดุหมัก แต่มีข้อด้อยในด้านความประหยัดในการก่อสร้าง

ถังหมักแบบที่ 3 มีลักษณะเด่นในด้านความสะดวกในการพลิกกลับวัสดุหมัก สำหรับด้านความประหยัดในการก่อสร้างจัดอยู่ในระดับกลางเมื่อเปรียบเทียบกับถังหมักแบบที่ 1 และถังหมักแบบที่ 2 ในส่วนของความสามารถในการรองรับวัสดุหมักพบว่ามีปัญหาเช่นเดียวกับถังหมักแบบที่ 1

ผลกระทบในด้านสิ่งแวดล้อมหรือการส่งกลิ่นรบกวนถังหมักทั้ง 3 แบบได้คะแนนเท่ากัน

ตารางที่ 4.25 การประเมินความเหมาะสมในการใช้งาน

ประเด็นที่ใช้ประเมิน	เกณฑ์ที่ใช้ประเมิน					ผลการประเมิน		
	1	10	20			ถังหมักแบบที่ 1	ถังหมักแบบที่ 2	ถังหมักแบบที่ 3
1.คุณภาพปุ๋ยที่ได้ (80คะแนน)	ข้อมูลจากตารางที่ 4.24	ข้อมูลจากตารางที่ 4.24	ข้อมูลจากตารางที่ 4.24			**70**	66	**68**
2.ราคาในการก่อสร้าง	มากกว่า 3000 บาท ขึ้นไป	อยู่ในช่วง 2000-3000 บาท	น้อยกว่าหรืออยู่ในช่วง 1000 – 2000 บาท			20	1	10
3.ความสามารถในการรองรับวัสดุหมัก	ไม่สามารถรองรับวัสดุหมักได้ ภายใน 30 วัน	เกิดการอัดแน่นของวัสดุหมักแต่ยังคงใช้งานต่อได้ครบ 30 วัน	สามารถรองรับวัสดุหมักได้ภายใน 30 วันโดยไม่เกิดปัญหาใดๆ			10	20	10
4.ความสะดวกในการกลับกอง	ใช้เวลาในการทำงานมากกว่า 20 นาที/ครั้ง	ใช้เวลาในการทำงานไม่เกิน 20 นาที/ครั้ง	ใช้เวลาในการทำงานไม่เกิน 10 นาที/ครั้ง			10	20	20
5.ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (ช่วงเวลาที่ส่งกลิ่นรบกวน)	เกณฑ์ที่ใช้ประเมิน							
	2	4	6	8	10			
	ตลอดการทดลอง	3-6 สัปดาห์แรก	2-3 สัปดาห์แรก	สัปดาห์แรก	ไม่มีกลิ่น	8	8	8
คะแนนรวม (150 คะแนน)						118	115	116



รูปที่ 4.59 ลักษณะเด่นของถังหมักแต่ละแบบ

4.5 แนวทางการใช้ประโยชน์

จากการศึกษาพบว่าถังหมัก 3 รูปแบบมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันสามารถนำไปใช้งานจริงได้ และเพื่อให้การใช้งานจริงเกิดประสิทธิภาพมากที่สุดจึงมีแนวทางการใช้งานดังนี้

4.5.1 แนวทาง การใช้งานถังหมักทั้ง 3 แบบ

4.5.1.1 วัสดุหมัก มูลฝอยอินทรีย์ที่เหมาะสม คือ พืชผัก ผลไม้ และเศษอาหารเหลือทิ้ง ซึ่งในกรณีที่มูลฝอยมีขนาดใหญ่ เช่น พวกกระดูกสัตว์ ก้างปลา เปลือกผลไม้ ควรทำการบดหรือสับให้มูลฝอยมีขนาดเล็กลงประมาณ 1-2 นิ้วก่อนทำการหมัก และใช้วิธีการเตรียมวัสดุหมักเช่นเดียวกันนี้สำหรับการเตรียมใบไม้แห้ง

4.5.1.2 เกณฑ์ในการเลือกแหล่งกำเนิด ถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบทั้ง 3 แบบเหมาะสำหรับใช้หมักมูลฝอยอินทรีย์จากบ้านเรือนที่มีผู้อยู่อาศัยประมาณ 3-4 คน

4.5.1.3 การจัดเตรียมพื้นที่และอุปกรณ์

- ควรติดตั้งถังหมักให้มีความเหมาะสม และ สามารถนำมูลฝอยอินทรีย์มาหมักได้สะดวก

- สถานที่ติดตั้งถังหมักควรเป็นที่ร่ม โล่ง และมีอากาศถ่ายเทได้สะดวก (สำหรับถังหมักแบบที่ 2 และ 3 ควรทาสารเคลือบกันน้ำก่อนนำไปใช้งานในที่โล่ง)

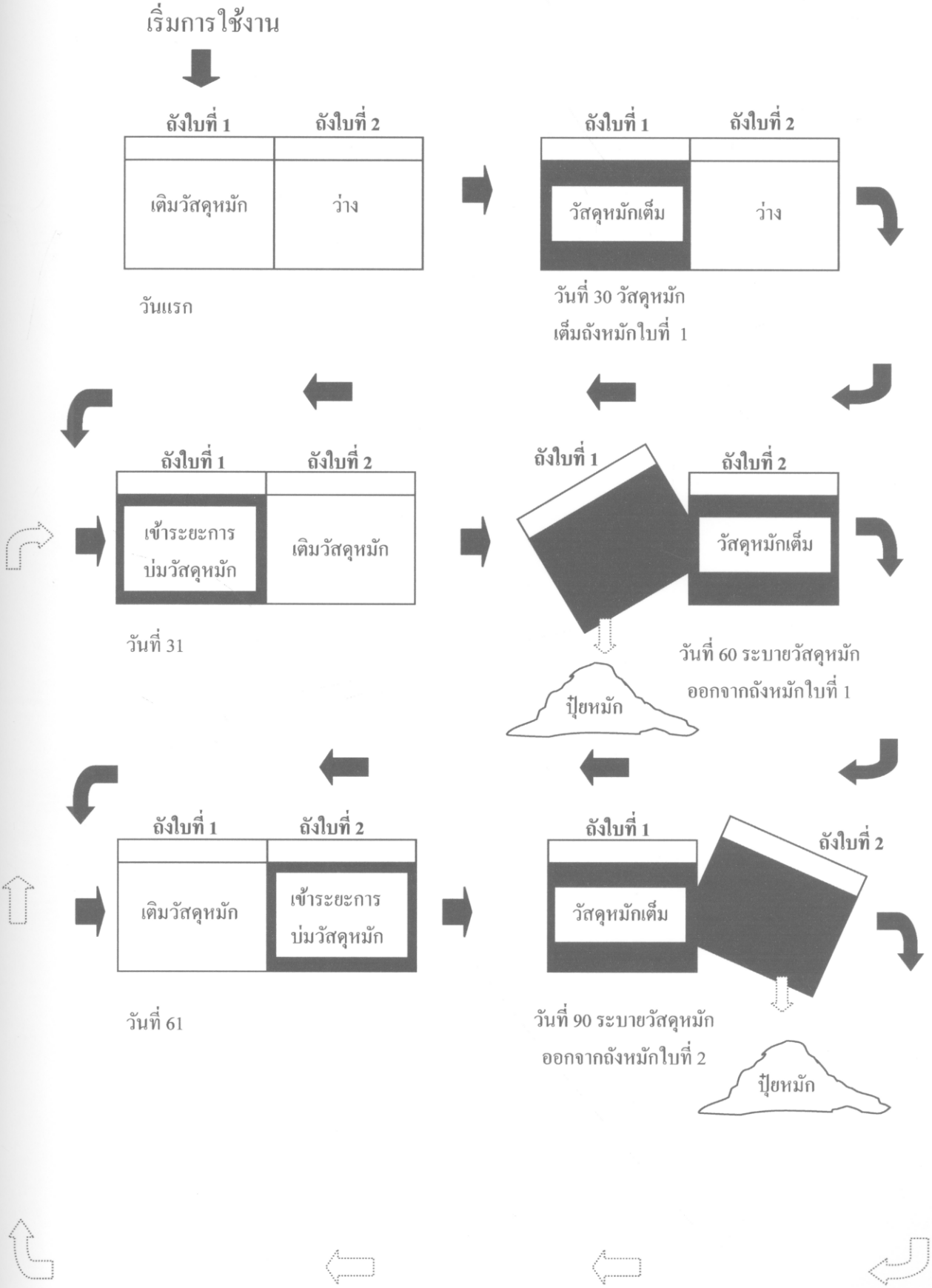
- ถังหมักสามารถเคลื่อนย้ายได้ง่าย เพราะถังหมักแบบทั้ง 3 แบบ ติดตั้งล้อเลื่อนง่ายต่อการจัดเก็บและเคลื่อนย้ายได้สะดวก

4.5.1.4 การใช้งาน

เนื่องจากถังหมักมูลฝอยอินทรีย์ทั้ง 3 แบบ มีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกันทำให้มีรูปแบบการใช้งานที่แตกต่างกันดังนี้

1. ถังหมักแบบที่ 1

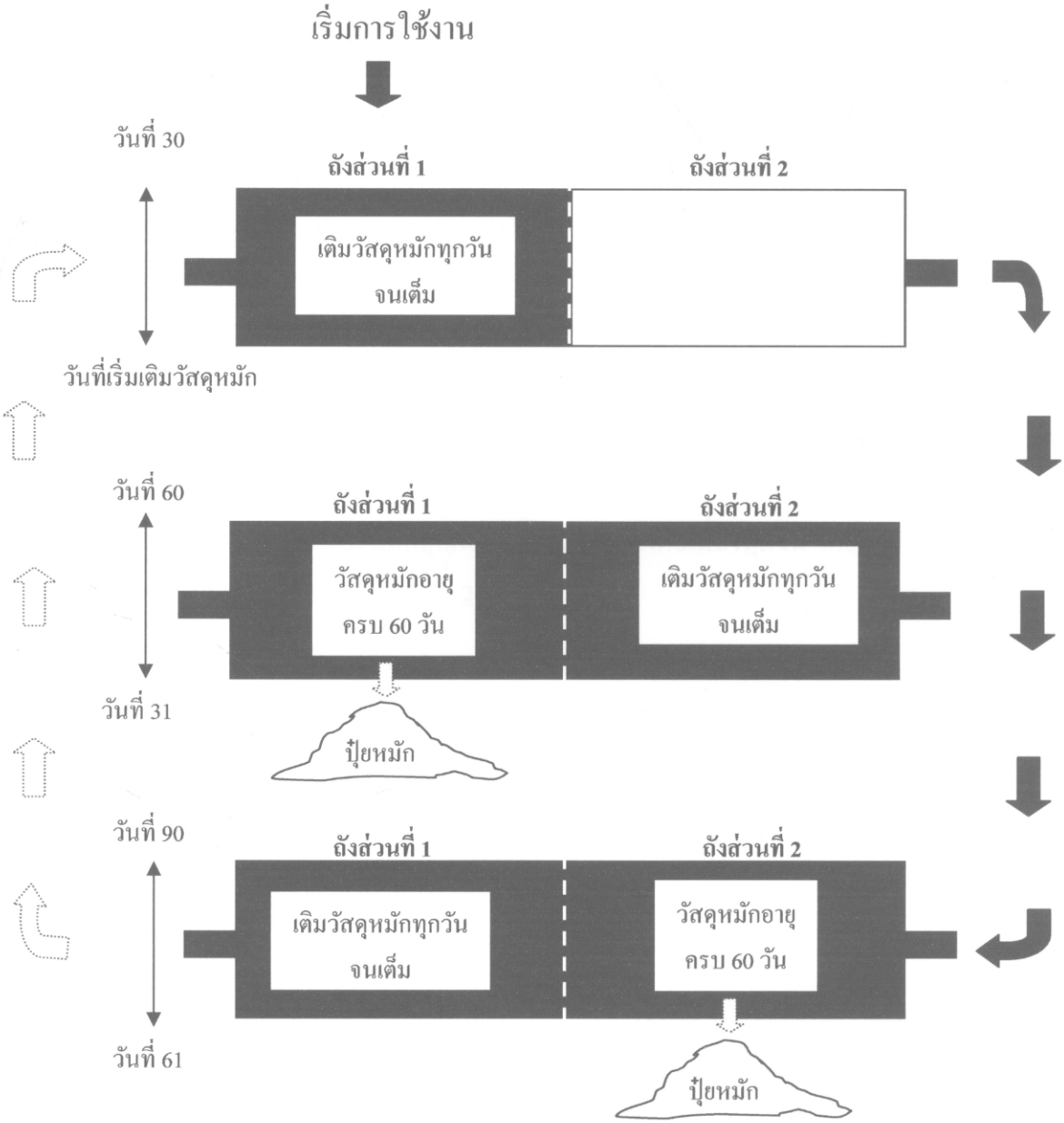
การใช้งานถังหมักแบบที่ 1 เริ่มต้น (ตามลูกศรสีดำ) โดยทำการเติมวัสดุหมักซึ่งประกอบด้วยมูลฝอยอินทรีย์ 1.6 กิโลกรัมผสมกับใบไม้แห้ง 0.8 กิโลกรัม (หรือใช้อัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนักเปียก) เป็นระยะเวลา 30 วัน (กลับกองวัสดุหมักทุกๆ 4วันตลอดการใช้งานนับจากวันที่เริ่มเติมวัสดุหมัก) จากนั้นเริ่มเติมวัสดุหมักในถังหมักใบที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 31 จนกระทั่งถึงวันที่ 60 ซึ่งเป็นระยะเวลาที่วัสดุหมักในถังหมักใบที่ 1 พร้อมสำหรับการนำไปใช้งาน จึงสามารถเริ่มเติมวัสดุหมักในถังหมักใบที่ 1 ได้ใหม่ในรอบต่อไปอีก 30 วัน ซึ่งวัสดุหมักในถังหมักใบที่ 2 พร้อมสำหรับการนำไปใช้งานได้ จึงสามารถเริ่มเติมวัสดุหมักในถังหมักใบที่ 2 อีกครั้ง(ตามลูกศรสีขาว) ดังแสดงในรูปที่ 4.60 ซึ่งวิธีการนี้สามารถทำการหมักมูลฝอยอินทรีย์ได้อย่างต่อเนื่องทุกวัน โดยไม่มีมูลฝอยอินทรีย์ตกค้าง



รูปที่ 4.60 การใช้งานถังหมักแบบที่ 1

2. ถังหมักแบบที่ 2

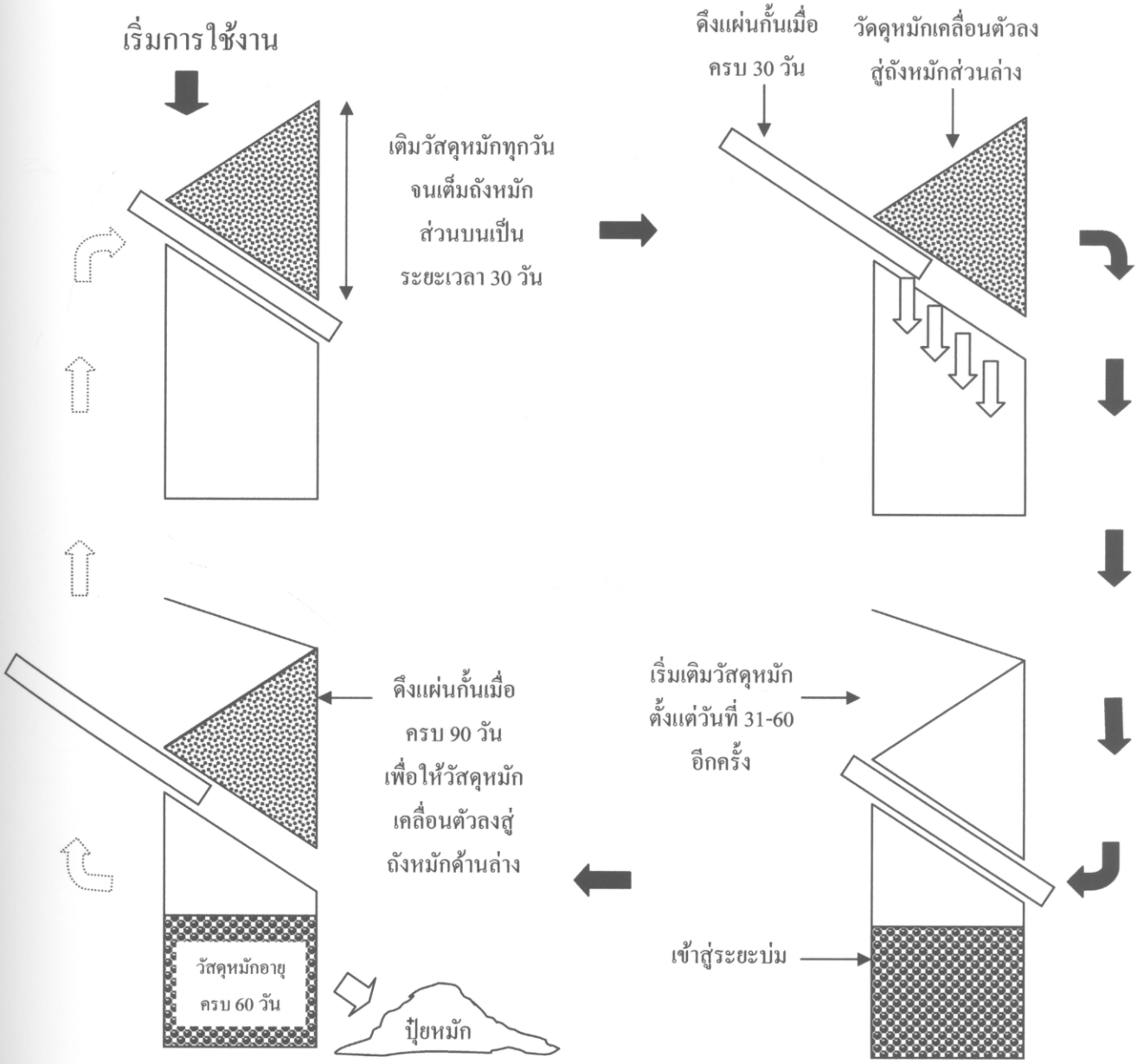
การใช้งานถังหมักแบบที่ 2 เริ่มต้น(ตามลูกศรสีดำ) โดยทำการเติมวัสดุหมักซึ่งประกอบด้วยมูลฝอยอินทรีย์ 1.6 กิโลกรัมผสมกับใบไม้แห้ง 0.8 กิโลกรัม (หรือใช้อัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนักเปียก) เป็นระยะเวลา 30 วัน (คลับกองวัสดุหมักทุกๆ 4วันตลอดการใช้งานนับจากวันที่เริ่มเติมวัสดุหมัก) จากนั้นเริ่มเติมวัสดุหมักในถังหมักส่วนที่ 2 ตั้งแต่วันที่ 31 จนกระทั่งถึงวันที่ 60 ซึ่งเป็นระยะเวลาที่วัสดุหมักในถังหมักส่วนที่ 1 พร้อมสำหรับการนำไปใช้งาน จึงสามารถเริ่มเติมวัสดุหมักในถังหมักส่วนที่ 1 ได้ใหม่ในรอบต่อไปอีก 30 วัน ซึ่งวัสดุหมักในถังหมักส่วนที่ 2 พร้อมสำหรับการนำไปใช้งานได้ จึงสามารถเริ่มเติมวัสดุหมักในถังหมักส่วนที่ 2 อีกครั้ง(ตามลูกศรสีขาว) ดังแสดงในรูปที่ 4.61 ซึ่งวิธีการนี้สามารถทำการหมักมูลฝอยอินทรีย์ได้อย่างต่อเนื่องทุกวัน โดยไม่มีมูลฝอยอินทรีย์ตกค้างเช่นเดียวกับถังหมักแบบที่ 1



รูปที่ 4.61 การใช้งานถังหมักแบบที่ 2

3. ถังหมักแบบที่ 3

การใช้งานถังหมักแบบที่ 3 เริ่มต้น(ตามลูกศรสีดำ) โดยทำการเติมวัสดุหมักซึ่งประกอบด้วยมูลฝอยอินทรีย์ 1.6 กิโลกรัมผสมกับใบไม้แห้ง 0.8 กิโลกรัม (หรือใช้อัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนักเปียก) เป็นระยะเวลา 30 วัน จากนั้นดึงแผ่นกั้นระหว่างถังหมักส่วนบนและส่วนล่างเพื่อให้มูลฝอยอินทรีย์เคลื่อนตัวลงสู่ถังหมักส่วนล่าง และเริ่มทำการเติมวัสดุหมักในถังหมักส่วนบนตั้งแต่วันที่ 31 จนกระทั่งถึงวันที่ 60 ซึ่งเป็นระยะเวลาที่วัสดุหมักในถังหมักส่วนล่างพร้อมสำหรับการระบายออกเพื่อนำไปใช้งาน จากนั้นดึงแผ่นกั้นระหว่างถังหมักส่วนบนและส่วนล่างเพื่อให้มูลฝอยอินทรีย์เคลื่อนตัวลงสู่ถังหมักส่วนล่างอีครั้งเพื่อให้มูลฝอยอินทรีย์เคลื่อนตัวลงสู่ถังหมักส่วนล่าง และเริ่มทำการเติมวัสดุหมักในถังหมักส่วนบนตั้งแต่วันที่ 61 จนกระทั่งถึงวันที่ 90 และทำการใช้งานตามขั้นตอนเดิมดังได้กล่าวมาแล้วในตอนต้น (ตามลูกศรสีขาว) ดังแสดงในรูปที่ 4.62 ซึ่งวิธีการนี้สามารถทำการหมักมูลฝอยอินทรีย์ได้อย่างต่อเนื่องทุกวัน โดยไม่มีมูลฝอยอินทรีย์ตกค้างเช่นเดียวกับถังหมักแบบที่ 1 และ 2



รูปที่ 4.62 การใช้งานถังหมักแบบที่ 3

4.5.2 แนวทางการใช้ปุ๋ยหมักอินทรีย์และน้ำชะที่ได้จากถังหมักที่ออกแบบ

คุณภาพของปุ๋ยหมักอินทรีย์ที่ได้จากการทดลอง พบว่ามีปริมาณธาตุอาหารใกล้เคียงกับเกณฑ์มาตรฐานจากกรมวิชาการเกษตร โดยเฉพาะปริมาณไนโตรเจน และโพแทสเซียมดังนั้น ปุ๋ยหมักอินทรีย์ที่ได้รี้เหมาะที่จะนำไปใช้ประโยชน์กับพวกไม้ใบ (Nสูง) เช่น ต้นวาสนา ว่านต่างๆ เป็นต้น และไม้ผล (Kสูง) เช่น ส้ม มะม่วง ฝรั่ง เป็นต้น

4.5.2.1 การใช้ปุ๋ยหมักกับพืชไร่และไม้ผล

สามารถทำได้ ได้ 2 ระยะ คือ

ระยะที่ 1 ผสมปุ๋ยหมักลงในหลุมปลูกโดยใช้อัตราส่วน ปุ๋ยหมักกับดิน เท่ากับ 1:5 คลุกเคล้าให้เข้ากันแล้วจึงนำกิ่งพันธุ์ไม้ผลลงปลูก เมื่อปลูกเสร็จแล้วควรทำการคลุมดินบริเวณโคนต้นด้วยฟางหรือหญ้าแห้ง

ระยะที่ 2 การใช้ปุ๋ยหมักระหว่างการเจริญเติบโตของต้นไม้ กล่าวคือ หลังจากปลูกไม้ผล หรือ พืชไร่ แล้วควรใส่ปุ๋ยหมักปีละ 1 ครั้ง เพื่อช่วยปรับสภาพดินให้ร่วนซุย

4.5.2.2 การใช้ปุ๋ยหมักกับการปลูกพืชผัก และไม้ดอก ในแปลงพืช

การใช้ปุ๋ยหมักกับการปลูกผักและไม้ดอกในแปลงปลูก ในกรณีที่ดินยังไม่ดีพอการเตรียมแปลงปลูกควรทำอย่างประณีต ประการแรกควรเริ่มจากการเตรียมแปลงตามขนาดที่ต้องการ แล้วโรยปุ๋ยหมักให้ทั่วแปลงให้หนาประมาณ 2-4 เซนติเมตรใช้จอบสับคลุกเคล้าปุ๋ยให้เข้ากับเนื้อดินเป็นอย่างดี โดยคลุกให้ลึกประมาณ 20 เซนติเมตร ทำการหมักดิน โดยรดบนแปลงที่คุลกปุ๋ยและใช้จอบสับดิน เพื่อให้น้ำซึมเข้าไปอยู่ในดินได้เร็วขึ้น และคลุกเคล้าให้เข้ากันเป็นอย่างดีคล้ายกับการผสมปูน ทิ้งไว้ประมาณ 1สัปดาห์ เมื่อครบ 1 สัปดาห์แล้วให้พรวนดินอีกครั้ง ก่อนที่จะใช้ปลูกพืช รวมทั้งสามารถเพาะกล้าได้ด้วย

4.5.2.3 การใช้ปุ๋ยหมักกับการปลูกพืชในกระถาง

การปลูกไม้ดอก ไม้ประดับ หรือพืชผักในกระถางโดยใช้ปุ๋ยหมักควรทำการผสมดินร่วนในอัตราส่วน 1:5 โดยปริมาตร รดน้ำให้ชุ่มและคุลกเคล้าให้เข้ากันทิ้งไว้ประมาณ 1 สัปดาห์ นำวัสดุที่เตรียมไว้ข้างต้นบรรจุลงในกระถาง หรือถุงพลาสติก หรือภาชนะปลูกอื่นๆ แล้วปลูกไม้ดอกไม้ประดับ หรือผักได้ตามต้องการ และควรมีการคลุมหน้าดินด้วยเศษพืช เช่น ฟางข้าว หญ้าแห้ง และใบไม้ เป็นต้น

4.5.2.4 น้ำชะจากการหมัก

น้ำชะที่ได้จากการหมัก (นำภาชนะไปรองบริเวณท่อระบายน้ำชะเพื่อกักเก็บหรือนำน้ำชะไปใช้งาน) สามารถนำไปใช้รดกองปุ๋ยหรือกองวัสดุหมักเพื่อเพิ่มความชื้นระหว่างการหมักในกรณีที่มีความชื้นต่ำเกินไป (วัดได้โดยการกำวัสดุหมักแล้วบีบ หากไม่มีน้ำซึมออกมาตามง่ามมือ

ควรเติมน้ำเพื่อเพิ่มความชื้น) หรือหากต้องการนำน้ำชะไปรดต้นไม้ควรทำการผสมน้ำชะจากการหมักเจือจางกับน้ำในอัตราส่วน 1: 500-1000 ก่อนนำไปรดต้นไม้เนื่องจากน้ำชะจากการหมักยังคงมีความเป็นกรด (กรมวิทยาศาสตร์บริการ, 2552)

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 ข้อสรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาหารูปแบบถังหมักปุ๋ยสำหรับมูลฝอยอินทรีย์ที่เหมาะสมสำหรับบ้านเรือน ซึ่งแบ่งการทดลองเป็น 2 ช่วง คือช่วงที่ 1 หาอัตราส่วนวัสดุหมักที่เหมาะสมระหว่างมูลฝอยอินทรีย์กับใบไม้แห้ง และผลกระทบจากการเติมและไม่เติมสารเร่ง พด.1 และช่วงที่ 2 นำอัตราส่วนวัสดุหมัก ที่ได้จากการทดลองช่วงที่ 1 มาทำการหมักในถังหมักที่ออกแบบจำนวน 3 แบบซึ่งสามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

5.1.1 การหาอัตราส่วนวัสดุหมักที่เหมาะสม

อัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดระหว่างมูลฝอยอินทรีย์กับใบไม้แห้งคือ อัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนักเปียก ซึ่งให้คุณภาพปุ๋ยดังนี้ ค่าพีเอช 8.10 ปริมาณความชื้นร้อยละ 54.1 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 20.94 ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมมีค่าร้อยละ 1.06 และ 2.38 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ การลดลงของมวลร้อยละ 40 และใช้ระยะเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวประมาณ 30 วัน ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้กับพืชได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อพืช ตามมาตรฐานปุ๋ยจากกรมวิชาการเกษตร แต่ควรนำปุ๋ยหมักที่ได้ไปตากแห้งเพื่อลดความชื้นก่อนนำไปใช้งาน และพบว่าผลจากการเติมสาเร่ง พด.1 ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพปุ๋ยที่ได้แต่อย่างใด

ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มความสะดวกและลดขั้นตอนในการทำงาน จึงได้เลือกวัสดุหมักอัตราส่วน 2:1 โดยน้ำหนักเปียก เป็นวัสดุหมักตั้งต้นสำหรับถังหมักที่ออกแบบทั้ง 3 แบบ

5.1.2 คุณภาพปุ๋ยที่ได้จากถังหมักแต่ละแบบ

คุณภาพปุ๋ยที่ได้จากถังหมักแต่ละแบบมีดังต่อไปนี้

ถังหมักแบบที่ 1 ให้คุณภาพปุ๋ยดังนี้ ค่าพีเอช 8.0 ปริมาณความชื้นร้อยละ 53.4 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 15.8 ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมมีค่าร้อยละ

0.84 และ 2.20 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ การลดลงของมวลร้อยละ 52.7 และใช้ระยะเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวประมาณ 30 วัน

ถังหมักแบบที่ 2 ให้คุณภาพปุ๋ยดังนี้ ค่าพีเอช 8.7 ปริมาณความชื้นร้อยละ 54.2 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 13.5 ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมมีค่าร้อยละ 0.78 และ 1.91 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ การลดลงของมวลร้อยละ 56.6 และใช้ระยะเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวประมาณ 30 วัน

ถังหมักแบบที่ 3 ให้คุณภาพปุ๋ยดังนี้ ค่าพีเอช 8.30 ปริมาณความชื้นร้อยละ 51.2 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน 14.2 ปริมาณธาตุอาหารฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมมีค่าร้อยละ 0.76 และ 1.89 โดยน้ำหนักแห้งตามลำดับ การลดลงของมวลร้อยละ 43.4 และใช้ระยะเวลาในการเข้าสู่สภาวะคงตัวประมาณ 30 วัน

คุณภาพปุ๋ยที่ได้จากถังหมักแต่ละแบบมีค่าผ่านมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร (2548) ซึ่งสามารถนำไปใช้ได้กับพืชได้โดยไม่ส่งผลกระทบต่อพืช แต่ควรนำปุ๋ยหมักที่ได้ไปตากแห้งเพื่อลดความชื้นก่อนนำไปใช้งาน สาเหตุที่คุณภาพปุ๋ยหมักจากถังหมักแต่ละแบบมีคุณภาพใกล้เคียงกัน เนื่องมาจากถังหมักทุกแบบถูกออกแบบให้มีรูปแบบและการใช้งานที่เป็นประโยชน์ต่อกระบวนการหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศ แต่จะมีความแตกต่างในด้านรูปลักษณ์และลักษณะการใช้งาน เพื่อให้ถังหมักแต่ละแบบสามารถนำไปใช้ได้กับบ้านเรือนแต่ละแบบได้อย่างเหมาะสม โดยเมื่อพิจารณาถังหมักแบบที่ 1 และถังหมักแบบที่ 3 พบว่าถังหมักทั้ง 2 แบบ ไม่ได้ทำการติดตั้งกลไกที่ช่วยในการพลิกกลับวัสดุหมักเหมือนกับถังหมักแบบที่ 2 แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองก็ให้คุณภาพปุ๋ยใกล้เคียงกันกับถังหมักแบบที่ 2 เนื่องจากถังหมักแบบที่ 1 ใช้แรงงานช่วยในการพลิกลับวัสดุหมักและมีการติดตั้งท่อระบายอากาศให้กับวัสดุหมัก สำหรับถังหมักแบบที่ 3 ถูกออกแบบให้มีพื้นรับอากาศมากกว่าถังหมักแบบอื่นๆ เพื่อชดเชยกลไกการและกระบวนการพลิกลับวัสดุหมักที่ไม่ได้ติดตั้งไว้

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาทิศทางการเติมวัสดุหมักของถังหมักแบบที่ 3 ทำการเติมวัสดุหมักแบบแนวดิ่งซึ่งมีความแตกต่างจากการเติมวัสดุหมักในแนวนอนของถังหมักแบบที่ 1 และ 2 ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อคุณภาพปุ๋ยหมักที่ได้

ดังนั้นสิ่งที่ควรคำนึงถึงในการออกแบบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการหมักปุ๋ยโดยใช้ถังหมัก คือ พื้นที่รับอากาศของถังหมักที่สามารถระบายอากาศให้สัมผัสกับวัสดุหมักได้อย่างทั่วถึง กลไกหรือกระบวนการช่วยในการพลิกกลับวัสดุหมัก รวมไปถึงการติดตั้งฉนวนรักษาอุณหภูมิเพื่อรักษาอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากการหมักและการระบายน้ำชะเพื่อไม่ให้ความชื้นในการหมักสูง

5.1.3 การนำถังหมักไปใช้งาน

คุณภาพปุ๋ยที่ได้จากถังหมักทั้ง 3 แบบมีค่าใกล้เคียงกันและผ่านมาตรฐานจากกรมวิชาการเกษตร (2548) กำหนดไว้ แต่ควรนำปุ๋ยหมักที่ไปตากแห้งเพื่อลดความชื้นก่อนการใช้งาน ในส่วนของการใช้งานถังหมักที่ออกแบบเหมาะสำหรับบ้านเรือนที่มีผู้อยู่อาศัยประมาณ 3-4 คน ซึ่งในบริเวณบ้านเรือนดังกล่าวควรหาเศษใบไม้แห้งมาหมักร่วมกับ มูลฝอยอินทรีย์ (อัตราส่วนระหว่างมูลฝอยอินทรีย์กับใบไม้แห้ง คือ 2:1 โดยน้ำหนักเปียก) และมีการส่งเสริมกิจกรรมเพื่อใช้ประโยชน์ปุ๋ยหมักที่ได้ เช่น การนำปุ๋ยหมักที่ได้ไปปรับปรุงคุณภาพดิน การปลูกพืช ถังหมักที่ออกแบบนี้ยังใช้งานได้กับแหล่งกำเนิดมูลฝอยขนาดใหญ่ได้ เช่น โรงอาหารของโรงเรียนหรือมหาวิทยาลัย โดยเพิ่มจำนวนถังหมักให้เหมาะสมกับปริมาณเศษอาหารที่เกิดขึ้น การคัดเลือกถังหมักไปใช้งานขึ้นอยู่กับความสะดวกและความพร้อมของผู้ใช้งานโดยถังหมักแต่ละแบบมีความแตกต่างกันตามลักษณะเด่น ดังต่อไปนี้

ถังหมักแบบที่ 1 เป็นถังหมักที่ประยุกต์มาจากถังโฟมที่มีจำหน่ายทั่วไป มีขั้นตอนในการก่อสร้างที่ง่าย ราคาในการก่อสร้างประหยัด สามารถผลิตได้ครั้งละจำนวนมาก

ถังหมักแบบที่ 2 เป็นถังหมักที่มีการผลิตขึ้นมาโดยเฉพาะเพื่อเพิ่มความสะดวกในการทำงาน ตัวถังหมักทำมาจากวัสดุที่หาได้โดยง่ายในท้องถิ่น จึงสามารถรองรับมูลฝอยอินทรีย์ที่เกิดขึ้นได้ตลอด 30 วันโดยไม่เกิดปัญหาการอัดแน่นของวัสดุหมัก มีกลไกช่วยในการพลิกกลับวัสดุหมักลดการใช้แรงงาน ช่วยให้การย่อยสลายวัสดุหมักเกิดขึ้นได้ดี

ถังหมักแบบที่ 3 เป็นถังหมักที่มีการผลิตขึ้นมาโดยเฉพาะเพื่อเพิ่มความสะดวกในการทำงานเช่นเดียวกับถังหมักแบบที่ 2 และตัวถังหมักทำมาจากวัสดุที่หาได้ง่ายในท้องถิ่นเช่นเดียวกับถังหมักแบบที่ 2 ตัวถังหมักติดตั้งท่อระบายอากาศจากภายในกองวัสดุหมัก ทำให้ลดขั้นตอนการพลิกกลับวัสดุหมักในแต่ละครั้ง ช่วยลดเวลาและแรงงานในการทำงานได้มากกว่าถังหมักแบบที่ 1 และ 2

5.2 ข้อเสนอแนะ

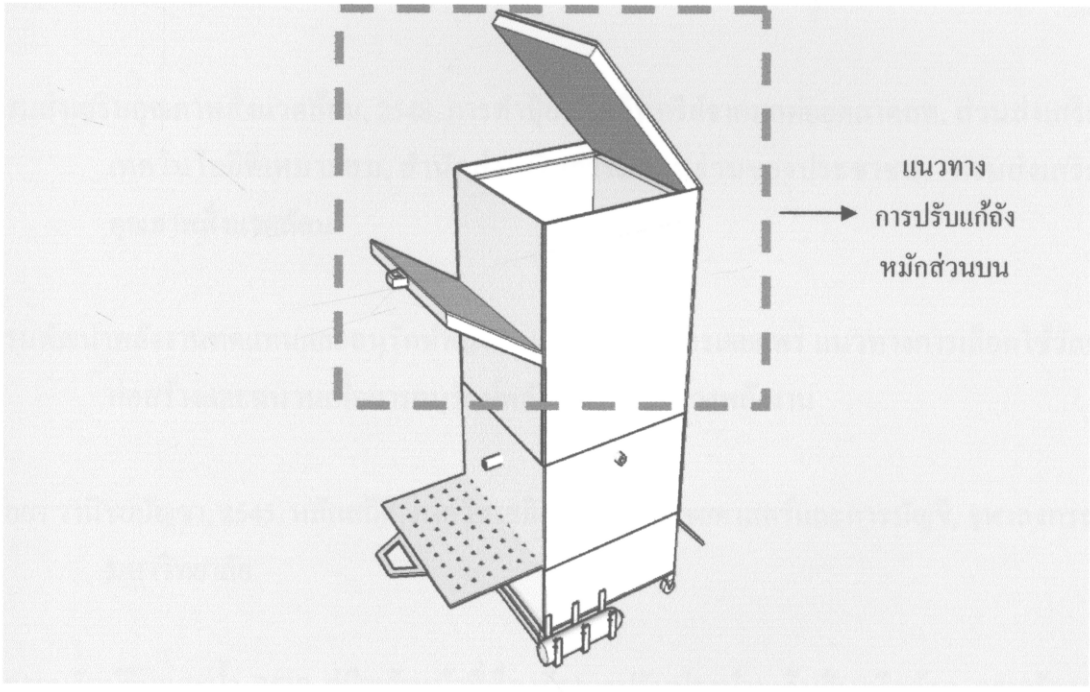
1. ควรมีการตรวจวัดปริมาณออกซิเจนในระหว่างการหมักเพื่อนำไปสู่การออกแบบพื้นที่รับอากาศของถังหมักให้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น

2. ควรพยายามเก็บตัวอย่างที่จะเก็บมาวิเคราะห์พารามิเตอร์ต่างๆ ให้เป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด เพื่อความถูกต้องของผลการทดลอง

3. ควรมีการตรวจวัดปริมาณแอมโมเนียไนโตรเจน และไนเตรทไนโตรเจน ตั้งแต่เริ่มต้นการทดลองจนสิ้นสุดการทดลอง เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของปริมาณไนโตรเจนในปุ๋ยหมักและเป็นข้อมูลประกอบการประเมินการได้ที่ของปุ๋ยหมัก

4. ควรออกแบบถังหมักปุ๋ยให้มีรูปลักษณ์พื้นฐานที่เหมือนกันหรือใกล้เคียงกันเพื่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพจากปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการหมัก ได้อย่างชัดเจนมากขึ้น

5. ควรมีการปรับแก้ถังหมักแบบที่ 3 ส่วนบนเพื่อให้มีปริมาตรเพิ่มขึ้น ก่อนนำไปใช้งานจริงเพื่อลดปัญหาการอัดแน่นของมูลฝอยอินทรีย์ที่เกิดขึ้นระหว่างการเติมวัสดุหมักดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 การปรับปรุงถังหมักแบบที่ 3

6. ควรมีการส่งเสริมการนำไปใช้จริงกับชุมชน โดยขอความร่วมมือจากตัวแทนชุมชน โรงเรียน หรือ องค์การบริหารส่วนท้องถิ่น เพื่อที่จะสามารถลดการเกิดมูลฝอยอินทรีย์และลดค่าใช้จ่ายในการจัดการมูลฝอยชุมชน

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ, 2547. คู่มือการทำปุ๋ยหมักจากมูลฝอยอินทรีย์. กรมควบคุมมลพิษ, กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

กรมพัฒนาที่ดิน, 2537. เอกสารคำแนะนำการผลิตปุ๋ยหมักโดยใช้สารเร่ง พด.1 และวิธีต่อเชื้อ. กองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมวิชาการเกษตร, 2548. คู่มือการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์. กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2548. การทำปุ๋ยหมักอินทรีย์จากมูลฝอยตลาดสด. ส่วนส่งเสริมเทคโนโลยีที่เหมาะสม, สำนักส่งเสริมการมีส่วนร่วมของประชาชน, กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2545. เอกสารเผยแพร่ แนวทางการเลือกใช้วัสดุก่อสร้างและฉนวนเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน. กระทรวงพลังงาน

กัลยา วานิชย์บัญชา, 2545. หลักสถิติ. ภาควิชาสถิติ, คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

กองอนุรักษ์ดินและน้ำ, 2539. คู่มือเจ้าหน้าที่เรื่องรัฐการปรับปรุงบำรุงดินอินทรียวัตถุ. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพ.

คมสัน สัมพันธ์กิจ, 2547. การหมักปุ๋ยจากมูลสุกรกับวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรและขี้เลื่อยในกล่องหมักเจาะรู. สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

คมสัน สัมพันธ์กิจ และสุรพงษ์ วัฒนะจีระ, 2547. การหมักปุ๋ยจากมูลสุกรกับเปลือกถั่วเหลืองด้วยอัตราส่วน 1:1 ในกล่องหมักที่มีการถ่ายเทอากาศตามธรรมชาติแห้ง. เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 3, 28-30 มกราคม 2547, สงขลา.

จำเป็น อ่อนทอง, 2547. คู่มือการวิเคราะห์ดินและพืช. คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

ชาติ เจียมไชยศรี , เกียรติไกร อายุวัฒน์ และชนินทร์ ทองธรรมชาติ, 2547. การพัฒนาถังหมักมูลฝอยขนาดเล็กสำหรับบ้านเรือนและตลาดสด. เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 1 ,17-19 มกราคม 2547 ,พิษณุโลก

คลเดช ตั้งตระการพงษ์, ชัยวัฒน์ ชลิชต์ และ โชติรส อินทร์สิงห์, 2551.การเปลี่ยนแปลงฟิสิกส์และเคมีในกองหมักระหว่างการบำบัดขยะเทศบาลด้วยกรรมวิธีเชิงกล-ชีวภาพ : กรณีศึกษาจังหวัดพิษณุโลกประเทศไทย. เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 7 ,12-14 มีนาคม 2551 ,กรุงเทพ

ทิพวรรณ สิทธิรังสรรค์, 2542. ปุ๋ยหมัก ดินหมัก และปุ๋ยน้ำชีวภาพ: เพื่อการปรับปรุงดินโดยวิธีการเกษตรธรรมชาติ, กรุงเทพ.

ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร, 2545. เอกสารเผยแพร่วิชาการ การหมักปุ๋ยระบบกองเติมอากาศ . ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหารคณะวิศวกรรมและอุตสาหรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ,เชียงใหม่

ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร, เสมอขวัญ ตันติกูล, ชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร และแสนวสันต์ ยอดคำ, 2547. การผลิตปุ๋ยหมักจากเศษพืชในเชิงอุตสาหกรรมสำหรับชุมชนด้วยระบบกองเติมอากาศ. เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 3, 28-30 มกราคม 2547, สงขลา.

นคร สุริยานนท์ และสมใจ กาญจนวงศ์, 2552. การหมักขยะอินทรีย์ครัวเรือนในถังหมักที่มีการเติมอากาศด้วยวิธีพาสแบบต่างๆ. เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 3, 23-25 มีนาคม 2552, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา.

บัญจรัตน์ โจลานันท์, 2548. ผลของวัสดุหมักร่วมต่อระบบการหมักปุ๋ยเศษผักผลไม้แบบกึ่งกะ. เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 4, 19-21 มกราคม, โรงแรมแอมบาสซาเดอร์ ซิตี้ จอมเทียน, ชลบุรี, หน้า 280-287.

ประพนธ์ เขมดำรง และกิ่งกาญจน์ เทียมเวช, 2547. ผลของแคลเซียมคลอไรด์และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่มีผลต่อสมรรถนะของการหมักปุ๋ยจากผักตบชวาและใบไม้แห้ง. เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 3, 28-30 มกราคม 2547, สงขลา.

ประสิทธิ์ วัฒนวงศ์, ณรงค์ พิทักษ์ทัพย์สินม, โยษิตา ฤดีกิจ, ธนวดี ลี้จากภัย, เอกรัตน์ ไวยนิตย์, วัฒนา ปิ่นเสม และฉัตรชัย จันทร์เด่นดวง, 2551. การออกแบบถังหมักขยะอินทรีย์แบบพลิกหมุนสำหรับบ้านเรือนและชุมชน. เอกสารการประชุมเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22, 15-17 ตุลาคม 2551, กรุงเทพ.

พูนศักดิ์ จันทร์จำปี, 2541. การหมักปุ๋ยจากเศษอาหารและวัสดุเหลือใช้การเกษตรแบบเทอร์โมฟิลิคโดยใช้ถังหมัก. สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

มุกดา สุขสวัสดิ์, 2543. ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ยอย่างมีประสิทธิภาพ, กรุงเทพ.

มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2530. เอกสารการสอนชุดวิชาเกษตรทั่วไป 4 : ดิน น้ำ ปุ๋ย. กรุงเทพ.

รุ่งนภา ทับหนองฮี, สมภพ สนองราษฎร์, ประกิตติ์สิน สีหนนทน์ และวิภาดา สนองราษฎร์, 2551. การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์แบบเปิดและไม่เปิดเครื่องเป่าอากาศในถังหมักชีวภาพ. เอกสารการประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 7, 12-14 มีนาคม 2551, กรุงเทพ.

ศิรินทรา วันดี, 2552. การศึกษาการนำของเสียจากโรงงานผลิตยางแท่งมาหมักปุ๋ย. สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

สถาบันวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2543. รายงานสรุปสำหรับผู้บริหาร โครงการวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีด้านการหมักขยะอินทรีย์ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของประเทศไทย. กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิยาศาสตร์และสิ่งแวดล้อม.

สุรพงษ์ วัฒนะจีระ, 2547. การจัดการขยะ. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

สรพรรณ อมตธรรม, 2546. ผลของการให้ความร้อนในการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารโดยใช้เทอร์โมฟิลิคแบคทีเรีย. สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

สมศรี อรุณันท์, 2535. การปรับปรุงดินเค็มและดินโซดิกในมหาวิทยาลัยเกษตร, คู่มือปรับปรุงดินและการใช้ปุ๋ย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพ. หน้า 48.

อนุวัฒน์ เฟื่องจันทร์, 2546. ผลของการกวนและเติมอากาศในการทำปุ๋ยหมักจากขยะในครัวเรือนโดยใช้เทอร์โมฟิลิคแบคทีเรีย. สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, เชียงใหม่.

อุดมผล พืชน์ไพบูลย์, 2546. เทคนิคการวิเคราะห์น้ำ น้ำเสีย และขยะมูลฝอย. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, สงขลา.

A.O.A.C 1998. official Method of Analysis of the Association of official Analytical Chemists, 15th ed. The Association of official Analytical Chemists Tns.

Beffa, T., 1996. Taxonomic and metabolic microbial diversity during composting. In de Bertodi, M et al., The Science of Composting: Part I (pp. 149-161), London: Chapman&Hall.

Bench, M.L. Woodard, R., Harder M.K., and Stantos N., 2005. Waste minimization: Home Trials of biological waste. Resources, Conservation and Recycling, 45: 84-94.

Bertoldi, M., 1983. The Biology of composting. Waste Management and Research I, 157-176.

Bijaya, K. and Adhikari, 2007. Characterization of food waste and bulking agents for composting, Waste management.

Boyd, R.F., 1984. General Microbiology. VA: Time Mirror/Mosby College Publishing.

Brandy, N.C., 1984. Radionuclides. The nature and properties of soils. Macmillan Publisher, New York, 570-571.

Britt Faucette , Das, K.C. and Mark Risse., 1998. Evaluation of Aerated Container Composting of University Preconsumer and Postconsumer Food Waste. Biological and Agricultural Engineering, Bioconversion Research and Education Center, University of Georgia

Chayasak, V., 1982. Change of chemical components and nitrogen transformation in water extracts during composting of garbage Ferment. Techno 60, 439-446.

Epstein, E., 1997. The Science of composting. Lancaster: Technomic Publishing.

Deniz Cekmecelioglu, Ali Demicri, Robert E. Graves, Nadine H. Davitt., 2005. Applicability of Optimised In vessel Food waste Composting for windrow systems. Biosystems Engineering, 91: 479-486.

Diaz, L.F., 1993. Chapter 12 composting of municipal solid waste. In Tchobanoglous, G and Kreith, F., Handbook of solid waste management: second edition (pp.12.1-12.70), New York: McGraw-Hill.

Dondej Tungtakanpong, 2004. Vermic compost of food waste by Perionyx excanavastus. Environmental research center, Naresaun University, Phisunulok, Thailand.

Dalzell, H.W., Biddlestone, A.J., Gray, K.R. and Thurairajan, K, 1987. Soil Management: Compost Production and Use in Tropical and Subtropical Environments. FAO Soil Bulletin, 56: 117-123

Eklind, Y. and Kirchmann, H., 2000. Composting and Storage of organic house waste with different litter amendments. II: Nitrogen turnover and losses. Biosource Technology, 74, 125-133.

Finstein, 1986. Waste treatment composting as a controlled system. In Rehm et al., Biotechnology: A comprehensive treatise in 8 volumes: Volume 8, Microbial Degradations, Weinheim: Verlagsangabe Ver. Chemie.

Gea, T. and Richard, T.L., 2008. Evaluation of physical properties during the composting process of waste of different biodegradable organic matter content and their influence on biodegradation kinetics. ORBIT2008 -13-15 of Oct, Wageningen, The Netherlands.

Golueke, C.G., 1977. Biological reclamation of solid wastes. Rodale Press, Emmaus, PA.

Gray, K.R., Sherman, K. and Biddlestone, A.J., 1971. A review of composting, Part I. Process Biochem, 6(6): 32-36.

Hay, J.C., and Kuchuenrither , R.D., 1990. Fundamental and application of windrow Composting, J. Environmental Engineering, 4, 746-763.

Haug, R.T., 1980. Compost engineering: principles and practice. Ann Arbor Science Publishers, Inc., Michigan, U.S.A.

Haug, R.T., 1993. The Practical Handbook of Compost Engineering. Boca Raton: Lewis Publisher.

Heyte, N.F., 1996. Canadian National Compost Standards. In de Bertoldi, M et al., The Science of Composting: Part 1 (pp.247-255), London: Champman&Hall.

Hirai, 1983. A Standard Measurement for Compost Maturity. Biocycle, 24 ,54-56.

Jae-Jung Lee, Ro-Dong Park., 2004. Effect of food waste compost on microbial population, soil enzyme activity and lettuce growth. Bioresource Technology, 93: 21-28.

James I, Chang. and Tin-En, Hsu., 2008. Effects of composition on food waste composting. Bioresource Technology.

Jemenez, E.T. and Garcia, V.P., 1989. Evaluation of city refuse compost maturity. A review Biological waste, 27, 115-142.

Joung-Dae Kim., 2007. Evaluation of pilot scale in vessel composting for food waste treatment. Journal of Hazardous Materials.

Kapetanios, E., Loizidou, M. and Valkanas, G., 1993. Compost production from domestic refuse. Bioresource Technology.

Ken Thomson, 2007. Compost the natural way to make food for your garden. DK Publishing, New York.

Leemaharoungruang, S., 1998. Composting of municipal solid waste by force aeration. Master's degree thesis, Asian Institute of Technology.

Liao, P.H., May, A.C. and Chieng S.T., 1995. Monitoring process efficiency of full-scale in vessel system for composting fisheries wastes. Bioresource Technology.

Li-An Lu, Mathava Kimar , Jen-Chieh Tsai, and Jih-Gaw Lin., 2007. High rate composting of barley dregs with sewage sludge in pilot scale bioreactor. Bioresource Technology.

Line, M.A., 1994. Recleling of sea star (ASTERIAS AMURENSIS) waste by composting. Bioresource Technology

Lohani, B.N, Todino, G., Jindal, R. and Ludwig, H.V., 1984. Recycling of solid wastes. Environmental Sanitation Review

Miller, F.C., 1992. Compost as a process base on the control of ecologically selective factor. In Miller, F.C., Soil Microbiology (pp515-544), NJ: Marcel Dekker.

Martin, A.M., 1993. Effect of carbon source on compost nitrogen and carbon losses. Biosource technology, Volume 83, 3: 189-194

Mato, S., 1994. Composting of <100 mm fraction of municipal solid waste. Waste management and research. 12: 315-325

Poincelot, R.P., 1975. The biochemistry and methodology of composting. The connecticut agricultural experiment station. New Haven Bulletin. 754: 1-17.

Polprasert, C., 1989. Production of feed and fertilizer from water hyacinth plants in the tropics. Environmental Engineering Program. Asian Institute of Technology, Bangkok.

Polprasert, C., 1996. Organic waste recycling, John Wiley & Sons, 2nd edition, England.

Rabbani, K.R., Jindal R., Kubota H. and Obeng, L., 1983. Environmental sanitation reviews: composting of domestic refuse, Environmental sanitation information center, Asian Institute of Technology, No 11/11, October. Thailand.

Richard, T.L., 1992. Municiple Solid Waste Composting: Physical and Biological Process, Biomass&Bioenergy, 3(3-4), 195-211.

Robyn L, McGuckin A , Eiteman Keshav Das., 1998. Pressure drop through raw food waste compost synthetic bulking agents. Department of biological and agricultural Engineering, Driftmier Engineering Center, University of Georgia.

Rynk, R., 1992. On-farm Composting Handbook: Northeast Regional Agricultural Engineering Service. New York.

Said-Pullicino, D., Erriquens F.G. and Gigliotti G., 2007. Changes in the chemical characteristics of water-extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity, Bioresour. Technol. 98, 1822-1834.

Schwab, A.P and Banks, M.K., 1994. Biologically mediated dissipation of polyaromatic hydrocarbons in the root zonel. In T.A. Anderson and J.R. Coats (eds.), Bioremediation Through Rhizosphere Technology. American Chemical Society, Washington DC, 563: 132-14.

Seo, J.Y., 2004. Effect of vermiculite addition on compost produce from Korean food wastes. Department of Environmental Engineering, College of Engineering, Changwon National University, Republic of Korea.

Shah, K., 2000. Basic of Solid and Hazardous waste management Technology. Plentice-Hall, Inc, USA

Snell, J.R., 1957. Some engineering aspects of high-rate composting, J. Environ. Eng. Div.-Proc. ASCE, 83(SA1): 1178.1-1178.36.

Stentiford, E.T., 1996. Composting Control: Principle and Practise. In de Bertoldi, M. et al., The Science of Composting: Past I (pp. 49-59), London: Chapman&Hall.

Tchobanoglous G., Theisen H. and Vigil S., 1993. Integrated solid waste management: Engineering principles and management issues. Singapore : McGraw-Hill, Inc.

U.S. Environmental Protection Agency (U.S.EPA), 1999. Control of Pathogens and Vector Attraction in Sewage Sludge. Ohio : Center of Environmental Research Information.

U.S. Food and Drug Administration (FDA)/ Bacteriological Analytical manual (BAM), 2001. Guideline on sterile drug products produced by aseptic processing.

Villar, M.C., Beloso, M.C., MC., Acea, M.J., Cabeneriro, A., Gonzalez-Prirto, S.J., Carballs, M, Diaz-Rivina, M. and Caballas, T., 1993. Physical and Chemical Characteristilization of Four Compost Urban Refuse. Biosource Technology 45: 105-113.

Zucconi, F., 1981. Biological evaluation of compost maturity, Biorecycle, 22, 27-29.

การกลับกองปุ๋ยหมัก. สืบค้นเมื่อ 22 สิงหาคม 2551
จาก http://pubs.ext.vt.edu/452/452-230/L_IMG_Tractor.jpg

การหมักปุ๋ยแบบกองสถิตย์. สืบค้นเมื่อ 22 สิงหาคม 2551
จาก http://wrrc.p2pays.org/images/Compos4.jpg

กรมควบคุมมลพิษ, ปริมาณมูลฝอยในประเทศไทยและปริมาณมูลฝอยอินทรีย์
สืบค้นเมื่อ 25 มีนาคม 2551 จาก http://www.pcd.go.th/contact/FAQs_waste.html

กรมควบคุมมลพิษ, รูปแบบถังหมักขยะอินทรีย์สำหรับบ้านเรือน สืบค้นเมื่อ 22 สิงหาคม 2551 จาก
http://www.pcd.go.th/info_serv/envi_compost.html

กรมวิทยาศาสตร์บริการ, ปุ๋ยน้ำจากขยะสด สืบค้นเมื่อ 22 สิงหาคม 2552 จาก
http://siweb.dss.go.th/otop/show_subhead.asp?tableaid=114&aid=309

Chiu-Chung, Y., Rekha P.D., and Arun A.B., 2005. What Happens during Composting?
สืบค้นเมื่อ 8 กรกฎาคม 2552 จาก: http://www.agnet.org/library/bc/53003/

Green Mountain Technology. Earth tub.
สืบค้นเมื่อ 22 สิงหาคม 2551 http://www.wesleyan.edu/sustainability/Composting.html

ภาคผนวก ก

การคำนวณ

ภาคผนวก ก
การคำนวณ

ก1 การคำนวณหาปริมาณวัสดุหมักและปริมาณสารเร่ง พด.1

1. การคำนวณวัสดุหมักระหว่างมูลฝอยอินทรีย์กับใบไม้แห้งอัตราส่วน 2:1

กำหนดให้วัสดุหมักในถังหมักมีปริมาณ 8 กิโลกรัม

ปริมาณมูลฝอยอินทรีย์มีค่า เท่ากับ 2x กิโลกรัม

ปริมาณใบไม้แห้งมีค่า เท่ากับ x กิโลกรัม

ดังนั้น $(2)x+(1)x = 8$

$(3)x = 8$

$x = 8/3$ หรือ 2.67

ปริมาณมูลฝอยอินทรีย์ที่ต้องเติม 5.40 กิโลกรัม

ปริมาณใบไม้แห้งที่ต้องเติม 2.60 กิโลกรัม

2. การคำนวณปริมาณสารเร่งพด.1 ที่เติมในวัสดุหมัก

วัสดุหมัก 1000 กิโลกรัม ใช้สารเร่ง พด.1 ปริมาณ 150 กรัม

วัสดุหมัก 8 กิโลกรัม ใช้สารเร่ง พด.1 ปริมาณ $\frac{0.150 \times 8}{1000} = 0.0012$ กิโลกรัม

หรือ 1.2 กรัม

ก2 การคำนวณการลดลงของมวล

ตัวอย่างการคำนวณการลดลงของมวล

น้ำหนักเปียกเมื่อเริ่มหมัก 8 กิโลกรัม

ความชื้นเมื่อเริ่มหมักร้อยละ 65

น้ำหนักน้ำในวัสดุหมักเมื่อเริ่มหมัก $\frac{65 \times 8}{100} = 5.2$ กิโลกรัม

น้ำหนักแห้งในวัสดุหมักเมื่อเริ่มหมัก 8-5.2 = 2.8 กิโลกรัม

น้ำหนักเปียกเมื่อสิ้นสุดการทดลอง 4.30 กิโลกรัม

ความชื้นเมื่อสิ้นสุดการทดลองร้อยละ 50.17

น้ำหนักน้ำในวัสดุหมักเมื่อสิ้นสุดการทดลอง $\frac{50.17 \times 4.30}{100} = 2.15$ กิโลกรัม

น้ำหนักแห้งในวัสดุหมักเมื่อเริ่มหมัก $4.30 - 2.15 = 1.25$ กิโลกรัม

ปริมาณน้ำหนักแห้งของวัสดุหมักที่ลดลง $2.8\text{-}1.25 = 1.55$ กิโลกรัม

วัสดุหมัก 2.8 กิโลกรัม มีการลดลงของมวล 1.55 กิโลกรัม

วัสดุหมัก 100 กิโลกรัม มีการลดลงของมวล $\frac{100 \times 1.55}{2.8} = 55.30$

การลดลงของมวลร้อยละ 55.30

ภาคผนวก ข

ลักษณะทางกายภาพ

ภาคผนวก ข

ข้อมูลการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัด

ตารางที่ ข1 อุณหภูมิ(° C) กรณีไม่เติมสารเร่ง พด.1

วันที่	ถังหมักใบที่ 1	ถังหมักใบที่ 2	ถังหมักใบที่ 3	ถังหมักใบที่ 4	ถังหมักใบที่ 5	อุณหภูมิห้อง
1	34.4	35.1	33.1	35.3	34.5	31.5
2	37.0	35.7	36.4	39.2	37.6	31.0
3	47.9	47.0	46.7	53.2	48.5	2.0
4	47.0	43.6	44.0	51.0	47.1	0.0
5	45.5	37.9	37.7	49.0	46.8	31.0
6	44.8	36.9	36.7	48.0	45.8	30.0
7	42.8	36.0	35.8	47.1	44.9	31.0
8	41.9	36.4	36.8	45.6	43.4	31
9	40.5	35.8	36.0	42.0	40.8	32.0
10	39.5	35.6	35.8	41.8	40.6	31.0
11	38.0	36.2	37.0	39.0	38.4	32
12	37.1	36.8	38.2	36.0	36.3	33
13	36.5	36.7	37.2	35.5	35.4	33
14	36.3	36.7	36.3	34.8	34.6	34
15	36.3	36.8	37.2	34.6	35.5	33.5
16	36.2	37.4	37.2	34.5	36.2	33.5
17	36.0	36.8	37.1	34.9	35.2	33.5
18	35.8	36.1	36.0	35.3	34.1	33.5
19	36.1	35.4	36.0	35.7	33.9	32.5
20	36.4	34.7	35.5	36.1	35.9	32.5

ตารางที่ ข1 (ต่อ) อุณหภูมิ (° C) กรณีไม่เติมสารเร่ง พด.1

วันที่	ถังหมักใบที่ 1	ถังหมักใบที่ 2	ถังหมักใบที่ 3	ถังหมักใบที่ 4	ถังหมักใบที่ 5	อุณหภูมิห้อง
21	36.1	34.6	35.2	35.7	35.4	32.5
22	35.9	34.2	34.5	34.9	33.9	32.5
23	34.1	33.3	34.0	33.7	33.2	32.5
24	33.2	32.9	33.0	33.3	33.4	32.5
25	33.5	33.0	32.9	33.3	33.1	32.5
26	33.2	32.9	32.7	32.9	32.6	32.5
27	32.5	32.0	32.1	32.7	32.9	31.5
28	32.9	32.2	32.2	32.9	32.9	31.5
29	33.0	32.3	32.1	32.7	32.5	31.5
30	32.5	32.8	32.7	32.4	32.3	33.0
31	32.4	32.7	32.6	32.3	32.2	33.0
32	32.2	32.6	32.5	32.1	32.0	33.0
33	32.0	33.0	32.8	32.0	31.9	33.5
34	31.9	32.7	32.7	31.9	31.9	33.5
35	32.0	32.0	31.9	31.8	31.7	32.0
36	31.6	32.5	32.6	31.7	31.9	33.5
37	32.0	32.7	32.5	31.7	31.4	33.5
38	31.3	32.4	32.5	31.5	31.6	33.5
39	31.6	32.5	32.5	31.5	31.5	33.5
40	31.6	32.3	32.2	31.4	31.2	33.0
41	31.0	32.2	32.5	31.4	31.9	33.5
42	32.0	32.3	32.1	31.8	31.6	32.5
43	31.6	31.8	31.8	31.6	31.5	32.0
44	32.0	32.3	32.3	31.0	32.0	32.5

ตารางที่ ข2 อุณหภูมิ (° C) กรณีเติมสารเร่ง พด.1

วันที่	ถังหมักใบที่ 6	ถังหมักใบที่ 7	ถังหมักใบที่ 8	ถังหมักใบที่ 9	ถังหมักใบที่ 10	อุณหภูมิห้อง
1	34.4	35.1	33.1	35.3	34.5	31.5
2	48.2	43.8	42.5	49.9	48.0	31.0
3	48.0	43.8	44.2	49.9	48.1	2.9
4	44.7	42.3	43.5	48.5	43.4	38.9
5	43.8	38.9	41.6	46.8	43.0	33.3
6	42.8	37.9	39.6	46.0	42.0	32.3
7	41.9	37.0	38.7	44.3	41.1	31.0
8	40.0	35.5	37.2	42.3	40.8	31.0
9	39.5	36.7	36.8	41.2	40.5	32.0
10	39.0	36.5	36.6	39.1	39.3	31.0
11	38.0	36.6	36.5	38.9	38.5	32.0
12	37.1	36.7	36.3	37.5	36.9	33.0
13	36.5	36.7	36.3	36.8	36.0	33.0
14	36.3	36.7	36.3	35.6	35.0	34.0
15	36.3	36.8	37.2	35.0	35.5	33.5
16	35.2	37.9	37.2	34.5	34.3	33.5
17	35.5	37.0	37.1	35.0	34.2	33.5
18	35.8	36.2	36.0	35.1	34.1	33.5
19	36.1	35.3	36.0	35.2	33.9	32.5
20	36.4	34.4	35.5	35.2	34.0	32.5

ตารางที่ ข2 (ต่อ) อุณหภูมิ (° C) กรณีเติมสารเร่ง พด.1

วันที่	ถังหมักใบที่ 6	ถังหมักใบที่ 7	ถังหมักใบที่ 8	ถังหมักใบที่ 9	ถังหมักใบที่ 10	อุณหภูมิห้อง
21	36.1	34.6	35.2	35.1	34.1	32.5
22	34.9	33.7	34.5	34.4	33.9	32.5
23	34.1	33.3	34.0	33.7	33.2	32.5
24	33.2	32.9	33.0	33.3	33.4	32.5
25	33.5	33.0	32.9	33.3	33.1	32.5
26	33.2	32.9	32.7	32.9	32.6	32.5
27	32.5	32.0	32.1	32.7	32.9	31.5
28	32.9	32.2	32.2	32.9	32.9	31.5
29	33.0	32.3	32.1	32.7	32.5	31.5
30	32.5	32.8	32.7	32.4	32.3	33.0
31	32.4	32.7	32.6	32.3	32.2	33.0
32	32.2	32.6	32.5	32.1	32.0	33.0
33	32.0	33.0	32.8	32.0	31.9	33.5
34	31.9	32.7	32.7	31.9	31.9	33.5
35	32.0	32.0	31.9	31.8	31.7	32.0
36	31.6	32.5	32.6	31.7	31.9	33.5
37	32.0	32.7	32.5	31.7	31.4	33.5
38	31.3	32.4	32.5	31.5	31.6	33.5
39	31.6	32.5	32.5	31.5	31.5	33.5
40	31.6	32.3	32.2	31.4	31.2	33.0
41	31.0	32.2	32.5	31.4	31.9	33.5
42	32.0	32.3	32.1	31.8	31.6	32.5
43	31.6	31.8	31.8	31.6	31.5	32.0
44	32.0	32.3	32.0	31.0	31.2	32.5

ตารางที่ ข3 อุณหภูมิ (° C) ในถังหมักทั้ง 3 แบบ

วันที่	ถังหมักแบบที่ 1	ถังหมักแบบที่ 2	ถังหมักแบบที่ 3	อุณหภูมิห้อง
1	34.6	37.5	36.5	30.1
2	36.5	38.5	37.4	31.2
3	37.2	39.4	38.2	32.0
4	38.5	42.3	38.5	31.0
5	39.5	45.5	39.2	31.1
6	41.0	50.5	43.2	31.5
7	41.5	49.5	46.2	32.0
8	45.0	50.2	45.5	30.5
9	49.0	52.0	48.0	30.0
10	51.0	53.0	49.0	30.0
11	52.0	53.5	50.0	31.5
12	53.0	54.0	54.5	32.0
13	53.5	57.0	54.5	32.0
14	56.0	58.0	55.0	32.0
15	55.5	60.0	55.0	31.0
16	54.5	60.1	55.0	31.1
17	56.0	59.9	54.0	31.5
18	55.8	59.0	53.0	32.0
19	54.5	59.0	52.0	32.0
20	56.1	60.6	52.0	32.0
21	54.2	60.1	52.0	31.0
22	54.2	60.0	51.0	30.5
23	52.0	60.0	50.0	31.5
24	50.0	58.0	49.0	31.0
25	49.0	56.0	48.0	31.0

ตารางที่ ข3 (ต่อ) อุณหภูมิ (° C) ในถังหมักทั้ง 3 แบบ

วันที่	ถังหมักแบบที่ 1	ถังหมักแบบที่ 2	ถังหมักแบบที่ 3	อุณหภูมิห้อง
26	48.0	52.0	45.0	31.0
27	45.0	50.0	46.0	31.0
28	43.5	47.0	45.0	32.0
29	41.5	46.5	43.0	31.5
30	39.8	42.8	42.5	30.0
31	37	40.0	39	31.0
32	38.5	40.5	38.5	31.0
33	36.3	40.5	38.0	32.0
34	35	40.0	37.5	32.0
35	35.0	39.5	37.5	32.0
36	35.8	39.0	36.9	32.0
37	35.3	40.3	36.8	32.0
38	34.8	39.8	36.0	32.0
39	35.0	40.0	36.5	32.0
40	34.9	39.1	35.8	30.5
41	34.2	39.0	35.6	30.5
42	34.0	38.0	35.5	33.0
43	34.5	36.0	35.0	31.0
44	34.0	35.5	34.5	30.5
45	33.8	35.3	34.3	30.5
46	34.0	35.5	34.5	30.0
47	34.0	35.5	34.5	30.0
48	33.5	35.0	34.0	31.5
49	33.5	35.0	34.0	32.0
50	33.6	35.1	34.1	32.0

ตารางที่ ข3 (ต่อ) อุณหภูมิ (° C) ในถังหมักทั้ง 3 แบบ

วันที่	ถังหมักแบบที่ 1	ถังหมักแบบที่ 2	ถังหมักแบบที่ 3	อุณหภูมิห้อง
51	33.7	35.2	34.2	32.0
52	33.5	35.0	34.0	31.0
53	33.5	35.0	34.0	31.1
54	32.5	34.0	33.0	31.5
55	32.5	34.0	33.0	32.0
56	31.8	33.3	32.3	32.0
57	32.0	33.5	32.5	32.0
58	31.8	33.3	32.3	32.0
59	32.1	33.6	32.6	32.0
60	30.8	32.3	31.3	32.0
61	31.8	33.3	32.3	32
62	31.0	32.5	31.5	32
63	30.5	32.0	31.0	32
64	30.0	31.5	30.5	31
65	30.0	31.5	30.5	32
66	30.0	31.5	30.5	31.5
67	30.0	31.5	30.5	32
68	30.0	31.5	30.5	32
69	30.0	31.5	30.5	32
70	29.5	31.0	30.0	31
71	29.5	31.0	30.0	30.5
72	29.5	31.0	30.0	31.5
73	29.5	31.0	30.0	32
74	29.5	31.0	30.0	32
75	29.5	31.0	30.0	32

ตารางที่ ข4 การลดลงของมวลของการทดลองช่วงที่ 1

ถังหมักใบที่	การลดลงของมวล (ร้อยละ)	มวลวัสดุหมัก (กก น้ำหนักแห้ง.)		หมายเหตุ
		เริ่มหมัก	หลังหมัก	
ถังหมักใบที่ 1	35.0	3.2	2.1	การทดลองช่วงที่ 1
ถังหมักใบที่ 2	23.8	3.4	2.6	
ถังหมักใบที่ 3	6.3	3.6	3.4	
ถังหมักใบที่ 4	40.0	2.8	1.7	
ถังหมักใบที่ 5	31.3	2.9	2.0	
ถังหมักใบที่ 6	33.8	3.0	2.0	
ถังหมักใบที่ 7	25.0	3.3	2.5	
ถังหมักใบที่ 8	8.0	3.4	3.2	
ถังหมักใบที่ 9	43.8	2.4	1.3	
ถังหมักใบที่10	35.0	2.7	1.7	

ตารางที่ ข5 การลดลงของมวลของการทดลองช่วงที่ 2

ถังหมักใบที่	การลดลงของมวล (ร้อยละ)	มวลวัสดุหมัก (กก.น้ำหนักแห้ง)		หมายเหตุ
		เริ่มหมัก	หลังหมัก	
ถังหมักแบบที่ 1	52.65	22.6	10.7	การทดลองช่วงที่ 2
ถังหมักแบบที่ 2	56.63	22.6	9.8	
ถังหมักแบบที่ 3	43.36	22.6	12.8	

ตารางที่ ข6 ความชื้นกรณีไม่เติมสารเร่ง พด.1

วันที่	ถังหมักใบที่ 1	ถังหมักใบที่ 2	ถังหมักใบที่ 3	ถังหมักใบที่ 4	ถังหมักใบที่ 5
1	60.35	57.21	55.12	65.00	63.32
4	63.25	49.27	46.37	67.12	60.89
8	66.69	49.03	45.31	65.21	57.58
12	64.77	51.24	46.15	59.98	56.89
16	69.04	54.61	54.00	63.58	58.42
20	64.42	52.98	52.13	64.78	59.10
24	63.58	51.67	51.46	66.33	55.73
28	60.74	55.40	53.30	65.58	54.45
32	59.96	55.40	53.30	67.25	55.41
36	57.44	53.65	53.94	66.23	56.22
40	58.42	53.81	54.12	65.12	54.58
44	58.50	53.65	53.94	66.12	54.10

ตารางที่ ข7 ความชื้นกรณีเติมสารเร่ง พด.1

วันที่	ถังหมักใบที่ 6	ถังหมักใบที่ 7	ถังหมักใบที่ 8	ถังหมักใบที่ 9	ถังหมักใบที่ 10
1	62.25	58.46	57.25	70.14	66.78
4	56.42	49.27	46.37	62.49	58.30
8	56.2	54.4	51.9	62.5	57.8
12	59.15	51.24	49.52	64.19	55.81
16	60.2	51.1	53.2	65.7	62.3
20	64.42	52.98	52.13	59.50	59.10
24	59.2	53.6	56.2	58.1	58.6
28	60.74	55.40	53.30	60.02	57.23
32	57.1	55.4	53.3	59.2	58.4
36	54.9	53.6	53.3	58.4	58.5
40	55.8	54.0	53.9	57.9	57.7
44	56.6	53.1	54.1	58.2	57.0

ตารางที่ ข8 ความชื้นของถังหมักทั้ง 3 แบบ

วันที่	ถังหมักแบบที่ 1	ถังหมักแบบที่ 2	ถังหมักแบบที่ 3
0	68.66	68.66	68.66
4	-	-	-
8	-	-	-
12	58.41	56.12	59.87
16	55.00	53.26	53.84
20	55.47	53.45	52.12
24	54.12	54.50	51.21
28	52.15	53.65	49.53
32	54.40	55.80	50.00
36	52.92	54.12	52.45
40	52.45	54.52	51.23
44	53.67	56.53	52.20
48	55.17	54.22	51.12
52	53.45	54.23	51.36
56	54.23	53.86	50.27
60	55.55	53.98	51.20
64	53.18	54.57	50.00
68	52.95	54.10	50.44
72	54.17	54.65	51.30
76	53.42	54.18	51.25

หมายเหตุ หน่วยเป็นร้อยละของความชื้น

ภาคผนวก ค

ลักษณะทางเคมี

ภาคผนวก ค

ลักษณะทางเคมี

ตารางที่ ค1 ปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ กรณีไม่เติมสารเร่ง พด.1 (% dry weight)

วันที่	ถังหมักใบที่ 1	ถังหมักใบที่ 2	ถังหมักใบที่ 3	ถังหมักใบที่ 4	ถังหมักใบที่ 5
1	29.55	29.87	32.40	28.25	28.50
4	26.16	28.45	30.15	25.23	27.01
8	25.14	27.85	30.02	23.47	24.51
12	26.01	27.65	31.02	23.65	23.58
16	26.23	27.41	30.42	23.32	23.45
20	25.00	26.32	30.12	22.95	24.12
24	25.89	26.98	29.15	22.68	24.22
28	24.85	27.00	30.00	22.78	23.78
32	24.23	26.12	29.14	22.85	23.89
36	24.18	25.94	29.02	22.74	23.19
40	24.35	26.45	28.89	23.78	22.90
44	24.28	26.11	28.85	23.45	23.24

ตารางที่ ค2 ปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ กรณีเติมสารเร่ง พด.1 (% dry weight)

วันที่	ถังหมักใบที่ 6	ถังหมักใบที่ 7	ถังหมักใบที่ 8	ถังหมักใบที่ 9	ถังหมักใบที่ 10
1	29.55	29.87	32.40	28.25	28.50
4	26.16	28.45	30.15	26.21	27.01
8	25.14	27.85	30.02	24.15	24.51
12	26.01	27.65	31.02	22.15	23.58

ตารางที่ ค2 (ต่อ) ปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ กรณีเติมสารเร่ง พด.1 (% dry weight)

วันที่	ถังหมักใบที่ 6	ถังหมักใบที่ 7	ถังหมักใบที่ 8	ถังหมักใบที่ 9	ถังหมักใบที่ 10
16	26.23	27.41	30.42	21.54	23.45
20	25.00	26.32	30.12	22.18	24.12
24	25.89	26.98	29.15	22.68	23.12
28	24.85	27.00	30.00	21.95	24.36
32	24.23	26.12	29.14	21.87	23.45
36	24.18	25.94	29.02	22.41	24.64
40	24.35	26.45	28.89	21.58	23.70
44	24.28	26.11	28.85	21.23	24.2

ตารางที่ ค3 ปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ในถังหมักทั้ง 3 แบบ (% dry weight)

วันที่	ถังหมักแบบที่ 1	ถังมักแบบที่ 2	ถังหมักแบบที่ 3
0	-	-	-
4	-	-	-
8	-	-	-
12	25.41	28.11	26.79
16	24.58	26.42	25.22
20	24.05	25.85	25.58
24	25.06	22.12	24.56
28	25.84	23.29	24.35
32	25.08	23.29	23.50
36	25.41	22.86	22.47
40	24.78	21.20	23.73
44	22.99	21.04	22.00
48	22.47	21.04	21.04

ตารางที่ ค3 (ต่อ) ปริมาณคาร์บอนที่เป็นสารอินทรีย์ ในถังหมักทั้ง 3 แบบ (% dry weight)

52	22.47	21.15	22.12
56	22.61	21.54	21.34
60	22.60	22.13	22.34
64	22.12	21.62	22.25
68	22.42	21.21	21.58
72	22.01	21.14	22.37
76	22.1	21.34	21.9

ตารางที่ ค4 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดกรณีไม่เติมสารเร่ง พด.1 (% dry weight)

วันที่	ถังหมักใบที่ 1	ถังหมักใบที่ 2	ถังหมักใบที่ 3	ถังหมักใบที่ 4	ถังหมักใบที่ 5
1	0.72	0.62	0.59	0.70	0.66
4	0.85	0.66	0.60	0.66	0.67
8	0.95	0.68	0.57	0.75	0.69
12	0.88	0.75	0.65	0.82	0.91
16	0.94	0.73	0.72	0.90	1.00
20	0.94	0.83	0.78	1.02	0.98
24	0.87	0.77	0.80	1.08	0.94
28	0.94	0.78	0.75	1.07	1.00
32	1.00	0.75	0.86	1.11	0.98
36	0.99	0.85	0.82	1.11	0.97
40	1.00	0.90	0.81	1.12	1.00
44	1.01	0.92	0.81	1.12	1.03

ตารางที่ ค5 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดกรณีเติมสารเร่ง พด.1 (% dry weight)

วันที่	ถังหมักใบที่ 6	ถังหมักใบที่ 7	ถังหมักใบที่ 8	ถังหมักใบที่ 9	ถังหมักใบที่ 10
1	0.70	0.59	0.56	0.65	0.69
4	0.74	0.55	0.59	0.79	0.65
8	0.85	0.51	0.64	0.86	0.75
12	0.91	0.67	0.65	0.84	0.74
16	0.88	0.72	0.74	0.84	0.75
20	0.98	0.74	0.74	0.88	0.79
24	1.01	0.77	0.86	0.92	0.75
28	1.00	0.85	0.84	1.05	0.95
32	0.95	0.90	0.85	1.02	0.92
36	0.95	0.88	0.91	1.08	0.90
40	0.97	0.88	0.88	1.06	0.90
44	0.98	0.85	0.92	1.06	1.00

ตารางที่ ค6 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในถังหมักทั้ง 3 แบบ (% dry weight)

วันที่	ถังหมักแบบที่ 1	ถังหมักแบบที่ 2	ถังหมักแบบที่ 3
4	-	-	-
8	-	-	-
12	0.75	0.80	0.67
16	0.6	1.04	0.51
20	0.84	0.85	0.65
24	1.01	1.06	0.74
28	0.8	1.23	0.8
32	1.07	1.29	1.01
36	0.94	1.1	1.02
40	1.21	1.34	1.22

ตารางที่ ค6 (ต่อ) ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในถังหมักทั้ง 3 แบบ (% dry weight)

วันที่	ถังหมักแบบที่ 1	ถังหมักแบบที่ 2	ถังหมักแบบที่ 3
44	1.25	1.4	1.08
48	1.33	1.28	1.32
52	1.29	1.42	1.12
56	1.35	1.51	1.36
60	1.37	1.55	1.39
64	1.25	1.56	1.37
68	1.36	1.51	1.35
72	1.39	1.57	1.38
76	1.35	1.57	1.39

ตารางที่ ค7 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนกรณีไม่เติมสารเร่ง พด.1

วันที่	ถังหมักใบที่ 1	ถังหมักใบที่ 2	ถังหมักใบที่ 3	ถังหมักใบที่ 4	ถังหมักใบที่ 5
1	41.04	48.18	54.92	40.36	43.18
4	30.78	43.11	50.25	38.22	40.32
8	26.46	40.96	52.82	31.29	35.52
12	29.56	36.87	47.72	28.84	25.91
16	27.90	37.55	42.25	25.91	23.45
20	26.60	31.74	38.62	22.50	24.61
24	29.76	35.25	36.44	21.00	25.77
28	26.44	34.62	40.11	21.29	23.78
32	24.23	34.83	33.86	20.59	24.38
36	24.42	30.52	35.39	20.49	23.91
40	24.35	29.39	35.67	21.23	22.90
44	24.04	28.38	35.62	20.94	22.56

ตารางที่ ค8 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนกรณีเติมสารเร่ง พด.1

วันที่	ถังหมักใบที่ 6	ถังหมักใบที่ 7	ถังหมักใบที่ 8	ถังหมักใบที่ 9	ถังหมักใบที่ 10
1	41.57	52.32	57.59	43.91	42.25
4	37.16	53.45	51.22	31.87	41.54
8	31.94	54.96	47.06	30.18	36.16
12	30.18	44.77	46.75	30.20	34.68
16	29.74	40.63	39.80	30.42	33.90
20	26.64	39.00	39.52	28.56	31.58
24	25.37	37.86	34.70	27.02	32.72
28	25.50	33.94	34.80	23.39	25.39
32	27.49	32.72	34.29	23.68	26.63
36	27.46	32.47	31.81	22.08	27.13
40	27.32	31.95	33.23	22.12	27.53
44	25.72	33.31	31.65	22.12	24.58

ตารางที่ ค9 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในถังหมักทั้ง 3 แบบ

วันที่	ถังหมักแบบที่ 1	ถังหมักแบบที่ 2	ถังหมักแบบที่ 3
0	-	-	-
4	-	-	-
8	-	-	-
12	37.93	35.13	44.65
16	40.09	20.84	44.05
20	29.84	26.03	34.56
24	25.59	21.98	37.82
28	31.35	18.94	33.49
32	23.74	17.72	22.25
36	26.36	19.27	23.26

ตารางที่ ค9 (ต่อ) อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในถังหมักทั้ง 3 แบบ

วันที่	ถังหมักแบบที่ 1	ถังหมักแบบที่ 2	ถังหมักแบบที่ 3
40	19.00	15.70	16.71
44	17.97	15.03	19.48
48	16.89	16.52	16.00
52	17.53	15.17	19.05
56	16.74	14.66	15.52
60	16.15	13.95	15.27
64	17.56	13.60	15.25
68	16.18	14.00	14.82
72	15.61	14.10	14.98
76	14.27	13.59	15.81

ตารางที่ ค10 ปริมาณธาตุโพแทสเซียมและปริมาณฟอสฟอรัส (% dry weight)

ถังหมักใบที่	ปริมาณโพแทสเซียมก่อนหมัก (ร้อยละ)	ปริมาณโพแทสเซียมหลังหมัก (ร้อยละ)	ปริมาณฟอสฟอรัสก่อนหมัก (ร้อยละ)	ปริมาณฟอสฟอรัสหลังหมัก (ร้อยละ)	หมายเหตุ
1	0.59	2.19	0.07	0.46	กรณีไม่เติมสารเร่ง พด.1
2	0.59	1.64	0.08	0.21	
3	0.77	1.34	0.09	0.20	
4	0.56	2.38	0.07	1.06	
5	0.56	2.13	0.07	0.24	
6	0.92	2.22	0.12	0.48	กรณีเติมสารเร่ง พด.1
7	0.88	1.53	0.09	0.25	
8	0.74	1.38	0.10	0.25	
9	1.31	2.29	0.22	0.95	
10	0.97	2.10	0.13	0.32	

ตารางที่ ค11 ปริมาณธาตุโพแทสเซียมและปริมาณฟอสฟอรัสในถังหมัก (% dry weight)

ถังหมักแบบที่	ปริมาณโพแทสเซียมก่อนหมัก (ร้อยละ)	ปริมาณโพแทสเซียมหลังหมัก (ร้อยละ)	ปริมาณฟอสฟอรัสก่อนหมัก(ร้อยละ)	ปริมาณฟอสฟอรัสหลังหมัก(ร้อยละ)
1	1.80	2.20	0.27	0.46
2	1.42	1.91	0.36	0.48
3	1.57	1.89	0.22	0.45

ตารางที่ ค12 ค่าพีเอชของวัสดุหมักกรณีไม่เติมสารเร่ง พด.1

วันที่	ถังหมักใบที่ 1	ถังหมักใบที่ 2	ถังหมักใบที่ 3	ถังหมักใบที่ 4	ถังหมักใบที่ 5
1	6.92	6.10	6.13	4.78	5.90
4	7.83	7.06	7.18	8.23	8.15
8	8.01	7.23	7.40	8.36	8.00
12	8.15	7.34	7.50	8.25	8.05
16	8.18	7.52	7.40	8.38	8.26
20	8.12	7.38	7.23	8.00	8.10
24	8.00	7.42	7.46	8.24	8.03
28	8.00	7.47	7.27	8.10	7.95
32	7.95	7.36	7.36	8.10	7.88
36	7.88	7.41	7.29	7.98	8.12
40	7.85	7.28	7.38	8.09	7.98
44	7.66	7.34	7.32	8.10	7.87

ตารางที่ ค13 ค่าพีเอชของวัสดุหมักกรณีเติมสารเร่ง พด.1

วันที่	ถังหมักใบที่ 6	ถังหมักใบที่ 7	ถังหมักใบที่ 8	ถังหมักใบที่ 9	ถังหมักใบที่ 10
1	5.68	5.64	5.75	6.48	5.85
4	6.38	6.43	6.23	8.50	7.71
8	6.42	6.46	6.36	8.30	7.01
12	7.60	6.80	7.10	8.20	7.60
16	7.50	6.90	7.10	8.00	7.50
20	7.50	7.00	7.20	8.10	7.50
24	7.40	7.08	7.10	8.10	7.50
28	7.50	6.90	7.30	8.00	7.50
32	7.30	7.00	7.20	7.90	7.40
36	7.30	6.95	7.10	7.90	7.55
40	7.20	6.94	7.06	8.00	7.40
44	7.30	6.95	6.88	8.00	7.60

ตารางที่ ค14 ค่าพีเอชของวัสดุหมักในถังหมักทั้ง 3 แบบ

วันที่	ถังหมักแบบที่ 1	ถังหมักแบบที่ 2	ถังหมักแบบที่ 3
0	-	-	-
4	-	-	-
8	-	-	-
12	6.92	6.10	5.85
16	7.55	8.96	8.28
20	7.91	8.75	8.25
24	8.30	8.80	8.33
28	8.88	9.36	8.87
32	8.18	9.23	8.25

ตารางที่ ค14 (ต่อ) ค่าพีเอชของวัสดุหมักในถังหมักทั้ง 3 แบบ

วันที่	ถังหมักแบบที่ 1	ถังหมักแบบที่ 2	ถังหมักแบบที่ 3
36	8.18	9.23	8.25
40	8.32	8.87	9.00
44	8.08	8.96	8.22
48	8.10	9.00	8.25
52	8.15	8.90	8.30
56	8.20	8.70	8.26
60	8.15	8.88	8.29
64	8.23	8.68	8.30
68	8.11	8.66	8.26
72	8.08	8.65	8.30
76	8.00	8.55	8.28

ตารางที่ ค15 ค่าความนำไฟฟ้าของวัสดุหมักกรณีไม่เติมสารเร่ง พด.1 (dS/m)

วันที่	ถังหมักใบที่ 1	ถังหมักใบที่ 2	ถังหมักใบที่ 3	ถังหมักใบที่ 4	ถังหมักใบที่ 5
1	1.39	1.28	1.43	1.82	1.90
4	1.74	1.90	1.62	1.98	1.58
8	1.69	1.82	1.76	1.80	1.78
12	1.65	1.74	1.90	1.62	1.98
16	1.78	1.68	1.45	1.55	2.24
20	2.50	1.84	1.56	2.61	2.78
24	1.43	1.65	1.69	2.62	2.88

ตารางที่ ค15 (ต่อ) ค่าความนำไฟฟ้าของวัสดุหมักกรณีไม่เติมสารเร่ง พด.1 (dS/m)

วันที่	ถังหมักใบที่ 1	ถังหมักใบที่ 2	ถังหมักใบที่ 3	ถังหมักใบที่ 4	ถังหมักใบที่ 5
28	1.96	1.75	1.62	2.62	2.83
32	1.70	1.70	1.66	2.62	2.85
36	1.83	1.72	1.64	2.62	2.84
40	1.76	1.71	1.65	2.62	2.85
44	1.80	1.30	1.39	3.18	2.50

ตารางที่ ค16 ค่าความนำไฟฟ้าของวัสดุหมักกรณีเติมสารเร่ง พด.1 (dS/m)

วันที่	ถังหมักใบที่ 6	ถังหมักใบที่ 7	ถังหมักใบที่ 8	ถังหมักใบที่ 9	ถังหมักใบที่ 10
1	0.95	1.23	0.85	1.28	0.92
4	1.82	1.50	0.11	4.27	2.22
8	1.61	1.44	0.75	3.73	1.88
12	1.39	1.38	1.39	3.18	1.54
16	1.50	1.41	1.07	3.46	1.71
20	1.45	1.40	1.23	3.32	1.63
24	1.47	1.40	1.15	3.39	1.67
28	1.46	1.40	1.19	3.35	1.65
32	1.47	1.40	1.17	3.37	1.66
36	1.46	1.40	1.18	3.36	1.65
40	1.46	1.40	1.18	3.37	1.65
44	1.14	1.30	1.42	2.85	1.54

ตารางที่ ค17 ค่าความนำไฟฟ้าของวัสดุหมักในถังหมักทั้ง 3 แบบ (dS/m)

วันที่	ถังหมักแบบที่ 1	ถังหมักแบบที่ 2	ถังหมักแบบที่ 3
0	-	-	-
4	-	-	-
8	-	-	-
12	1.39	1.21	0.60
16	0.71	1.32	0.11
20	0.79	0.67	0.76
24	0.89	1.23	0.95
28	0.99	0.96	1.28
32	1.11	1.69	1.25
36	1.53	1.85	1.49
40	0.67	1.34	0.96
44	1.44	1.46	1.38
48	1.66	1.79	1.45
52	1.63	1.86	1.65
56	1.76	1.92	1.69
60	1.82	1.95	1.75
64	1.66	1.95	1.75
68	1.76	1.96	1.81
72	1.66	1.95	1.81
76	1.66	1.95	1.81

ตารางที่ ค18 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก กรณีไม่เติมสารเร่ง พด.1 meq/100g

ถังหมักใบที่	CEC เริ่มหมัก (meq/100g)	CEC หลังหมัก (meq/100g)
1	26.65	50.65
2	35.82	36.25
3	38.89	38.48
4	35.76	55.1
5	30.88	44.63

ตารางที่ ค19 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก กรณีเติมสารเร่ง พด.1 meq/100g

ถังหมักใบที่	CEC เริ่มหมัก (meq/100g)	CEC หลังหมัก (meq/100g)
6	22.23	47.34
7	19.58	25.82
8	16.75	23.56
9	20.47	58.1
10	21.65	45.12

ตารางที่ ค20 ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในถังหมักทั้ง 3 แบบ meq/100g

ถังหมักใบที่	CEC เริ่มหมัก (meq/100g)	CEC หลังหมัก (meq/100g)
1	22	73
2	27	77
3	24	68

ภาคผนวก ง

วิธีการวิเคราะห์

ภาคผนวก ง
วิธีการวิเคราะห์

1. การวิเคราะห์ความชื้น (อุดมผล, 2546)

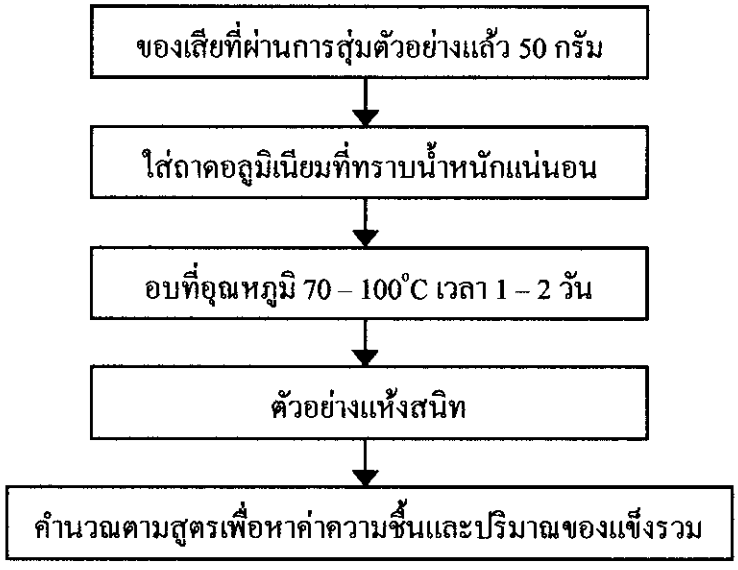
ความชื้น หมายถึง ปริมาณน้ำที่อยู่ในขยะ

1.1 อุปกรณ์ที่ใช้

1) ตู้อบ (Hot air oven)
2) ถาดอลูมิเนียม
3) เครื่องชั่งน้ำหนัก

1.2 วิธีการ

นำของเสียที่ทำการสุ่มตัวอย่างแล้วประมาณ 50 กรัม ใส่ถาดอลูมิเนียมที่ทราบน้ำหนักแน่นอน แล้วนำไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิประมาณ 70 – 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1-2 วัน จนกระทั่งตัวอย่างแห้งสนิท คือน้ำหนักของตัวอย่างคงที่



2. การวัดความเป็นกรด-เบส (จำเป็น, 2547)

2.1 อุปกรณ์และเครื่องแก้ว

1) เครื่องชั่ง ความละเอียด 0.01 กรัม
2) กระบอกตวง (Measuring cylinder) ขนาด 25 มิลลิลิตร
3) หลอดเหวี่ยงพลาสติก (Plastic centrifuge tube) ขนาด 50 มิลลิลิตร
4) เครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH meter)

2.2 การทดลอง

การวัดค่าความเป็นกรด-ด่างตัวอย่างในน้ำ

1) ชั่งตัวอย่าง 5 กรัม ใส่บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
2) เติมน้ำที่ปราศจากไอออนลงไป 25 มิลลิลิตร ทำให้ได้สัดส่วนของตัวอย่างต่อน้ำเท่ากับ 1:5
3) คนและเขย่าประมาณ 1 นาที หลังจากนั้นประมาณ 30 นาทีจึงวัดค่าความเป็นกรด-ด่างส่วนที่เป็นน้ำใส (supernatant)

3. การวิเคราะห์อินทรีย์คาร์บอนและอินทรียวัตถุ (จำเป็น, 2547)

3.1 อุปกรณ์และเครื่องแก้ว

1) เครื่องชั่ง ความละเอียด 0.01 กรัม
2) ขวดรูปชมพู่ ขนาด 250 มิลลิลิตร
3) บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร
4) โวลุมเมตริกปิเปต ขนาด 10 ลิตร
5) กระบอกตวงขนาด 10 และ 50 มิลลิลิตร
6) ขวดวัดปริมาตรขนาด 500 และ 1000 มิลลิลิตร

3.2 สารเคมี

1) โปแทสเซียมไดโครเมต 0.167 โมลาร์ (1 นอร์แมล) : สารละลายโปแทสเซียมไดโครเมต (Potassium dichromate : $K_2Cr_2O_7$) (ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมง) 49.04 กรัม ในน้ำที่ปราศจากไอออน และปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร
2) เฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซาไฮเดรต (FAS) 1 โมลาร์ (1 นอร์แมล) : ละลายเฟอรัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซาไฮเดรต (Ferrous ammonium sulfate hexahydrate : $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2.6H_2O$) 196.07 กรัม ในน้ำร้อนที่ปราศจากไอออนประมาณ 400

มิลลิลิตร วางให้เย็นแล้วเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้นลงไป 15 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรเป็น 500 มิลลิลิตร

3) กรดซัลฟิวริก (Sulphuric acid) เข้มข้นอย่างน้อย 96% (96 – 98% w/w H_2SO_4)

4) เฟอโรอินอินดิเคเตอร์ (Ferroin indicator) : ละลายฟีแนนโทรลีนโมโนไฮเดรต (1, 10 *O* – phenantroline monohydrate) 1.485 กรัมในน้ำที่ปราศจากไอออน และเติม FAS 1 โมลาร์ 8 มิลลิลิตร ก่อนปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 100 มิลลิลิตร

3.3 การทดลอง

1) ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร

2) ใช้ปิเปตดูดโปแทสเซียมไดโครเมต 10 มิลลิลิตร เติมลงไปในขวดและแกว่งให้ผสมเข้ากับตัวอย่าง ในขั้นนี้ให้ทำแบลงค์ (Blank) โดยเติมโปแทสเซียมไดโครเมต 10 มิลลิลิตร ลงในขวดที่ไม่มีตัวอย่างด้วย

3) นำไปเติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 10 มิลลิลิตร (ทัศนีย์ และคณะ, 2532) ภายในตู้ดูดควัน โดยค่อยๆ เทกรดลงด้านข้างขวด และทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที

4) เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 50 มิลลิลิตร แล้วหยดเฟอโรอินอินดิเคเตอร์ลงไป 3 – 4 หยดแกว่งให้เข้ากัน

5) นำไปไทเทรตด้วย FAS (ควรไทเทรตแบลงค์ก่อน) จนกระทั่งถึงจุดยุติ (end point) โดยสารละลายเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาลปนแดง บันทึกปริมาตร FAS ที่ใช้

4. การวิเคราะห์ไนโตรเจนทั้งหมด (จำเป็น, 2547)

4.1 อุปกรณ์และเครื่องแก้ว

1) เครื่องชั่งความละเอียด 0.01 กรัม

2) เตาย่อยตัวอย่าง (Digestion block)

3) เครื่องกลั่นไนโตรเจน (Nitrogen distillation apparatus)

4) หลอดย่อยตัวอย่าง (Kjeldahl tube) ขนาด 100 มิลลิลิตร

5) ขวดรูปชมพู่ (Erlenmeyer flask) ขนาด 125 มิลลิลิตร

6) บิวเรต (Buret) ขนาด 5 มิลลิลิตร

7) ดีสเพนเซอร์ (Dispenser) ขนาด 5 มิลลิลิตร

8) กระบอกตวง (Measuring cylinder) ขนาด 10 และ 50 มิลลิลิตร

4.2 สารเคมี

1) กรดซัลฟิวริกเข้มข้น 98% w/w H_2SO_4
2) สารผสมเร่งปฏิกิริยา (Catalyst mixture) : ผสมโปแทสเซียมซัลเฟต (Potassium sulphate : K_2SO_4), คอปเปอร์ซัลเฟต (Copper sulphate : $CuSO_4$) และซิลีเนียม (Selenium : Se) อัตราส่วน 100:10:1 โดยน้ำหนัก
3) อินดิเคเตอร์ผสม (Mixed indicator) : ละลายเมธิลเรด (Methyl red) 0.066 กรัม และโบรโมกรีซอลกรีน (Bromocresol green) 0.099 กรัม ในเอธานอล (Ethanol) 95% w/w ประมาณ 80 มิลลิลิตร แล้วจึงปรับปริมาตรด้วยเอธานอล เป็น 100 มิลลิลิตร
4) กรดบอริกผสมอินดิเคเตอร์ : ละลายกรดบอริก (Boric acid : H_3BO_3) 40.00 กรัมในน้ำร้อนประมาณ 1,800 มิลลิลิตร รอให้เย็นแล้วจึงเติมอินดิเคเตอร์ผสมลงไปประมาณ 20 มิลลิลิตร จะได้สารละลายผสมสีม่วงแดง (หากเป็นสีชมพูให้ค่อยๆปรับด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์ ประมาณ 2.5 – 3 มิลลิลิตร) จากนั้นจึงปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเป็น 2 ลิตร
5) สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 40% น้ำหนักต่อปริมาตร (w/v) : ค่อยๆ ละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide : NaOH) 400 กรัม ในน้ำที่ปราศจากไอออนและปรับปริมาตรโดยประมาณเป็น 1 ลิตร
6) สารละลายกรดซัลฟิวริก (Sulphuric acid : H_2SO_4) 0.005 โมลาร์ : ขั้นแรกควรเตรียม 1 โมลาร์ก่อน โดยตวงกรดซัลฟิวริกเข้มข้น (98% w/w H_2SO_4) มา 55.4 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำที่ปราศจากไอออนเป็น 1 ลิตร จากนั้นจึงเจือจางเป็น 200 เท่า แล้วนำไปหาความเข้มข้นที่แน่นอนโดยนำไปไทเทรตกับสารละลายใช้ทริสไฮดรอกซีเมธิลอะมิโนมีเธน (THAM) 0.02 โมลาร์ จำนวน 5 มิลลิลิตร ไทเทรตจนสีของอินดิเคเตอร์ผสมในสารละลาย THAM เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีชมพู บันทึกปริมาตรกรดซัลฟิวริกที่ใช้และคำนวณหาความเข้มข้นที่แน่นอนของกรดซัลฟิวริก เช่นเดียวกับการเทียบความเข้มข้นมาตรฐาน

4.3 การทดลอง

1) การย่อย

1.1) ชั่งตัวอย่าง 1 กรัม ใส่ในหลอดย่อยตัวอย่างขนาด 100 มิลลิลิตร

1.2) ตักสารเร่งปฏิกิริยาผสมใส่ลงไปประมาณ 1 กรัม

1.3) เติมกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 3 มิลลิลิตร ภายในตู้ควัน โดยค่อยๆ เทกรดลงด้านข้างขวด และ เขย่าให้ผสมกับตัวอย่าง

1.4) นำไปย่อยด้วยเตาย่อยตัวอย่างโดยใช้อุณหภูมิประมาณ 380 องศาเซลเซียส จนสารละลายเปลี่ยนเป็นไปสีเขียวอมฟ้า และตัวอย่างมีสีขาว

1.5) ทำแบลงค์โดยนำหลอดไปเติมสารและย่อยเช่นเดียวกับตัวอย่าง

2) การกลั่น

2.1) จัดเครื่องกลั่นให้พร้อมจะใช้งาน และเติมน้ำกลั่นลงไปในตัวอย่างประมาณ 10 มิลลิลิตร เขย่าจนตะกอนละลาย

2.2) นำหลอดใส่เข้าเครื่องกลั่น และเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงไปประมาณ 15 มิลลิลิตร

2.3) ตวงสารละลายกรดบอริกที่ผสมอินดิเคเตอร์ 5 มิลลิลิตร ใส่ในขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร นำไปวางตรงตำแหน่งที่รองรับแก๊สแอมโมเนียจากการกลั่น

2.4) กลั่นจนได้ปริมาตรประมาณ 30 มิลลิลิตร จึงหยุดและฉีดล้างปลายคอนเดนเซอร์ด้วยน้ำกลั่น

3) การไทเทรต

3.1) เติมสารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 0.005 โมลาร์ (จะต้องทราบความเข้มข้นที่แน่นอน) ลงในบิวเรตและจัดบิวเรตให้พร้อมที่จะไทเทรต

3.2) นำสารละลายที่กลั่นได้ซึ่งมีสีเขียวไปไทเทรตด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริกจนเปลี่ยนเป็นสีม่วง

5. การวัดสภาพการนำไฟฟ้า (Electro conductivity) (จำเป็น, 2547)

5.1 อุปกรณ์และเครื่องแก้ว

1) เครื่องชั่งความละเอียด 0.01 กรัม
2) หลอดเหวี่ยงพลาสติก ขนาด 50 มิลลิลิตร
3) กระบอกตวง ขนาด 25 มิลลิลิตร
4) Electrical Conductivity meter
5) เทอร์โมมิเตอร์

5.2 การทดลอง

1) ชั่งดิน 6 กรัม ใส่ในหลอดเหวี่ยงพลาสติก
2) เติมน้ำที่ปราศจากไอออนลงไป 30 มิลลิลิตร
3) ปิดฝาและเขย่าด้วยมือ ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 25°C
4) นำไปวัดสภาพการนำไฟฟ้าด้วยเครื่อง Electrical Conductivity meter จุ่มอิเล็คโทรดลงในสารละลาย

6. การวิเคราะห์ฟอสฟอรัสทั้งหมด (P_2O_5) (AOAC, 1998)

วิธี $HNO_3/HClO_4$ Digestion

6.1 อุปกรณ์และเครื่องแก้ว

1) บีกเกอร์
2) Hot plate
3) ขวดปรับปริมาตร 1 ลิตร
4) ขวดสีชา
5) Erlenmetric flask 250 มิลลิลิตร
6) กรวยแก้ว
7) กระดาษกรอง whatman เบอร์ 42
8) ปิเปต
9) เครื่อง spectrophotometer

6.2 สารเคมี

1) กรดผสม $HNO_3/HClO_4$ เตรียมโดยผสม conc. HNO_3 1,250 มิลลิลิตร conc. $HClO_4$ 250 มิลลิลิตร และ NH_4VO_3 0.06 กรัม (ละลาย NH_4VO_3 0.06 กรัม ในน้ำ deionized ประมาณ 5-10 มิลลิลิตร ให้ความร้อนบน hot plate จนละลายหมด วางไว้ให้เย็นลง แล้วผสมลงในกรด
2) สารละลาย Vanadomolybdate เตรียมโดย
   2.1) ละลาย Ammonium Molybdate 40 กรัม ในน้ำ Deionized ที่อุ่นแล้ว 400 มิลลิลิตร
   2.2) ละลาย Ammonium Meta-Vanadate 2 กรัม ในน้ำ Deionized ที่ต้มเดือด 300 มิลลิลิตร ให้ความร้อนจนละลายหมด วางให้อุณหภูมิลดลงเท่ากับอุณหภูมิห้อง แล้วเติม conc. HNO_3 160 มิลลิลิตร

ผสมสารละลายข้อ 2.1 และ 2.2 เข้าด้วยกัน แล้วปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตรเก็บไว้ในขวดสีชา เมื่อต้องการใช้แต่ละครั้งนำมาเจือจางด้วยน้ำ Deionized 4 เท่า

3) สารละลายมาตรฐาน P ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร เตรียมโดย ละลาย KH_2PO_4 (ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง) 3.4800 กรัม ด้วยน้ำ deionized ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 1 ลิตร ค่อยๆ เติม conc. HNO_3 12 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำ Deionized

4) สารละลายมาตรฐาน P ความเข้มข้น 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 มิลลิกรัม/ลิตร ใน 4% $HClO_4$ เตรียมโดย ปิเปตสารละลายมาตรฐาน P ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5 และ 3.0 มิลลิลิตร ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ เติม 20% $HClO_4$ ลงไป 20 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำ deionized

6.3 การทดลอง

1) ชั่งตัวอย่างปุ๋ย 0.5-2 กรัม ใส่ใน Erlenmayer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร
2) เติมกรดผสม $HNO_3/HClO_4$ 15 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ ให้เข้ากัน ปิดปาก flask ด้วยกรวยแก้วจากนั้นย่อยบน hot plate ที่อุณหภูมิประมาณ 80°C จนควันสีน้ำตาลหมด แล้วเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดควันสีขาว ทำการย่อยต่อไปจนสารละลายใส
3) วางไว้ให้เย็นลง แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง whatman เบอร์ 42 ลงใน Volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันดี
4) ปิเปตสารละลาย Vanadomolybdate 5 มิลลิลิตร ใส่ใน test tube ขนาด 10 มิลลิลิตร และปิเปต สารละลายมาตรฐานหรือสารละลายตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร เติมลงไป เขย่าให้เข้ากันดี
5) วางไว้ 20 นาที แล้ววัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 420 นาโนเมตร
6) ทำ blank เช่นด้วยกับข้อ 2-5
7) เขียนกราฟมาตรฐานระหว่าง เขียนกราฟมาตรฐาน โดยให้ค่าการดูดกลืนแสงเป็นแกนตั้ง

การคำนวณ

$$\text{Total P } (\%P_2O_5) = (X-b) \times 250 / (10{,}000 \times \text{Sample wt.}) \times 2.291 \times \text{mcf.}$$

โดยที่ X = ความเข้มข้นของ P ในสารละลายตัวอย่าง เทียบจากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

b = ความเข้มข้นของ P ใน blank เทียบจากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

7. การวิเคราะห์โปแทสเซียมทั้งหมด (K_2O) (AOAC, 1998)

วิธี $HNO_3/HClO_4$ Digestion

7.1 อุปกรณ์และเครื่องแก้ว

1) บีกเกอร์
2) Hot plate
3) ขวดปรับปริมาตร 1 ลิตร
4) Volumetric flask 100 มิลลิลิตร
5) Erlenmetric flask 250 มิลลิลิตร
6) กรวยแก้ว
7) กระดาษกรอง whatman เบอร์ 42
8) ปิเปต
9) เครื่อง Flame Photometer

7.2 สารเคมี

1) กรดผสม $HNO_3/HClO_4$ (เตรียมเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ Total P_2O_5)
2) 20% $HClO_4$ เตรียมโดยละลาย conc. $HClO_4$ (70-72%) 563 มิลลิลิตร ในน้ำ Deionized 2 ลิตร
3) สารละลายมาตรฐาน K ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร (เตรียมเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ Soluble K_2O)
4) สารละลายมาตรฐาน K ความเข้มข้น 0, 20, 40, 60, 80 และ 100 มิลลิกรัม/ลิตร ใน 4% $HClO_4$ เตรียมโดย ปิเปตสารละลายมาตรฐาน K ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิลิตร ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 มิลลิลิตร ตามลำดับ เติม 20% $HClO_4$ ลงไป 20 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรด้วยน้ำ Deionized

7.3 การทดลอง

1) ชั่งตัวอย่างปุ๋ย 0.5-1 กรัม ใส่ใน Erlenmayer flask ขนาด 250 มิลลิลิตร
2) เติมกรดผสม $HNO_3/HClO_4$ 15 มิลลิลิตร เขย่าเบาๆ ให้เข้ากัน ปิดปาก flask ด้วยกรวยแก้วจากนั้นย่อยบน hot plate ที่อุณหภูมิประมาณ 80°C จนควันสีน้ำตาลหมด แล้วเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดควันสีขาว ทำการย่อยต่อไปจนสารละลายใส
3) วางไว้ให้เย็นลง แล้วกรองผ่านกระดาษกรอง whatman เบอร์ 42 ลงใน Volumetric flask ขนาด 250 มิลลิลิตร จากนั้นปรับปริมาตรให้ได้ 250 มิลลิลิตร เขย่าให้เข้ากันดี

4) นำไปวัดค่าการปลดปล่อยแสงด้วยเครื่อง Flame Photometer
5) เขียนกราฟมาตรฐานระหว่างค่าที่อ่านได้กับค่าความเข้มข้นของ K โดยให้อ่านค่าที่อ่านได้ในแกนตั้ง

การคำนวณ

$$\text{Total K } (\%K_2O) = (X-b) \times 250 / (10{,}000 \times \text{sample wt.}) \times 1.204 \times \text{mcf.}$$

โดยที่ X = ความเข้มข้นของ K ในสารละลายตัวอย่าง เทียบจากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

b = ความเข้มข้นของ K ใน blank เทียบจากกราฟมาตรฐาน (มิลลิกรัม/ลิตร)

8. การวิเคราะห์ความจุแลกเปลี่ยนแคตไอออนของดิน (Cation exchange capacity: C.E.C) (จำเป็น , 2547)

วิธี Ammonium acetate method

8.1 อุปกรณ์และเครื่องแก้ว

1) เครื่องชั่งความละเอียด 0.01 กรัม
2) หลอดเหวี่ยงพลาสติก ขนาด 50 มิลลิลิตร
3) เครื่องเขย่า
4) กระดาษกรองวัตแมน
5) โวลุมเมตริกปิเปตขนาด 10 มิลลิลิตร
6) เครื่องหมุนเหวี่ยง
7) เครื่องกลั่นไนโตรเจน
8) บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร

8.2 สารเคมี

1) สารละลายแอมโมเนียมอะเทต 1 โมลาร์ พีเอช 7 ผสมกรดอะซีติก 114 มิลลิลิตร ในน้ำที่ปราศจากไอออนประมาณ 1500 มิลลิลิตร วางไว้จนเย็นแล้วเติมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ก่อนปรับปริมาตรเป็น 2 ลิตร
2) สารละลายโซเดียมคลอไรด์ 10 % w/v ในกรดไฮโดรคลอริก ละลายโซเดียมคลอไรด์ลงไป 8 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรเป็น 2 ลิตร
3) สารละลายเอธานอล 80 % w/w ผสมเอธานอล 850 มิลลิลิตร กับน้ำกลั่น 150 มิลลิลิตร

4) สารเคมีสำหรับวิเคราะห์แอมโมเนีย สารแขวนลอยแมกนิเซียมออกไซด์ กรดบอริก ผสมอินดิเคเตอร์ และสารละลายมาตรฐานของกรดซัลฟิวริก เช่น เดียวกับการวิเคราะห์อนินทรีย์ไนโตรเจนในบทปฏิบัติการที่ 9

8.3 การทดลอง

การแทนที่ประจุบวก

1) ชั่งดิน 5 กรัมใส่หลอดเหวี่ยงขนาด 50 มิลลิลิตร
2) เติม แอมโมเนียมอะซีเทต 1 โมลาร์ ลงไป 30 มิลลิลิตร
3) นำไปเข้าเครื่องเขย่า 30 นาที
4) นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงโดยใช้ความเร็ว 2500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที กรองเฉพาะส่วนใส่ที่ผ่านกระดาษกรองวัตแมนเบอร์ 5 ลงไปในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร
5) ทำซ้ำในข้อ 1-4 อีก 2 ครั้ง แต่เขย่าด้วยมือประมาณ 1 นาทีแทนเครื่อง ปรับสารละลายที่กรองได้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยน้ำกลั่นและเก็บไว้วิเคราะห์เบสที่แลกเปลี่ยนได้

การล้างแอมโมเนีย

1) เติมสารละลายเอธานอล (80 % w/w) 30 มิลลิลิตร ลงไปในหลอดที่ยังมีดินจากข้อ 5 เขย่าด้วยมือ 1 นาที
2) นำเข้าเครื่องหมุนเหลี่ยงเช่นเดียวกับข้อ 4 และเทเฉพาะสารละลายส่วนใสทิ้งไป
3) ทำตามข้อ 1และ 2 ในหัวข้อการล้างแอมโมเนีย ประมาณ 3 ครั้ง

การไล่แอมโมเนียที่ถูกดูดซับ

1) เติมสารละลายโซเดียมโซเดียมคลอไรด์ 30 มิลลิลิตร ลงในหลดอดจากข้อ 3 หัวข้อการล้างแอมโมเนีย เขย่าด้วยมือ 1 นาที
2) นำไปเข้าเครื่องหมุนเหวี่ยงโดยใช้ความเร็ว 2500 รอบต่อนาที เป็นเวลา 10 นาที เทลงไปในขวดวัดปริมาตร 100 มิลลิลิตร โดยไม่ต้องกรอง
3) ทำตามข้อ 1และ 2 ในหัวข้อการไล่แอมโมเนีย ประมาณ 2 ครั้ง แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ใช้ไล่แอมโมเนีย เป็น 100 มิลลิลิตร

กลั่นหาแอมโมเนีย

1) ดูดสารละลายในข้อ 3 หัวข้อการล้างแอมโมเนียมา 20 มิลลิลิตร เติมสารแขวนลอยของแมกนีเซียมออกไซด์ประมาณ 30 มิลลิลิตร
2) กลั่นแอมโมเนียโดยมีกรดบอริก จำนวน 5 มิลลิลิตร เป็นตัวรองรับ จนได้ปริมาตรเป็น 30 มิลลิลิตร
3) นำไปไทเทรตโซเดียมคลอไรด์ (แบลงค์) ไปกลั่นเช่นเดียวกับตัวอย่าง

การคำนวณ

$$C.E.C.\ (meq/100g) = 200M_1\ (V_3\text{-}B)/W \times V_1/V_2$$

โดยที่ M_1 = ความเข้มข้นของกรดซัลฟิวริก โมลาร์

V_1 = ปริมาตรแอมโมเนียมที่ถูกดูดซับด้วยโซเดียมคลอไรด์ในสภาพกรด มิลลิลิตร

V_2 = ปริมาตรแอมโมเนียมที่กลั่นได้

V_3 = ปริมาตรกรดซัลฟิวริก

9. การตรวจนับจำนวน coliform และ *E. coli* (U.S. FDA/BAM, 2001)

9.1 อุปกรณ์และเครื่องแก้ว

1)	phosphate buffer	ปริมาตร	450	มิลลิลิตร	1	ขวด
		ปริมาตร	90	มิลลิลิตร	2	ขวด
2)	ปิเปตปราศจากเชื้อขนาด		10	มิลลิลิตร	2	อัน
		ขนาด	1	มิลลิลิตร	1	อัน
3)	lauryl sulfate tryptose broth (LST)					
	หลอดละ 10 มิลลิลิตร (ใส่หลอดดักแก๊ส)				9	หลอด
	หลอดละ 5 มิลลิลิตร (ใส่หลอดดักแก๊ส)				9	หลอด
4)	BGLB (ใส่ลอดดักแก๊ส)				9	หลอด
5)	EC medium (ใส่หลอดดักแก๊ส)				9	หลอด
6)	Eosin methylene blue agar (EMB)				9	หลอด
7)	Plate count agar slant				9	หลอด
8)	อาหารและรีเอเจนส์ สำหรับทดสอบ IMViC					
9)	stomacher และถึงพลาสติก					
10)	สีย้อมแกรม					
11)	Water bath 45.5°C					

9.2 การทดลอง

9.2.1 Presumtive test สำหรับ coliform bacteria

1) ชั่งตัวอย่าง 50 กรัม ใส่ถุงพลาสติกเท Phosphate buffer 450 มิลลิลิตร ใส่ลงไปผสมให้เข้ากันด้วย Stomacher 1-2 นาที ได้ Dilution 10^{-1} ทำ Dilution 10^{-2} และ 10^{-3} ต่อไปตามลำดับ
2) ใช้ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร ดูดตัวอย่างที่ความเจือจาง 10^{-3}, 10^{-2} และ 10^{-1} ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดอาหาร LST (ปริมาตร 10 มิลลิลิตร) ความเจือจางละ 3 หลอด (อย่าใช้เวลามากกว่า 15 นาที นับแต่เริ่มทำ Dilution จนดูดใส่หลอด LST เสร็จ)
3) บ่มหลอดทั้งหมดที่ 35°C เป็นเวลา 48 ± 2 ชั่วโมง

9.2.2 Confirmed test สำหรับ coliforms

1) เขย่าหลอด LST ที่เกิดแก๊สเบาๆ ใช้ loop ถ่ายเชื้อจากหลอด LST ที่เกิดแก๊สทุกหลอดลงอาหาร BGLB หลอดต่อหลอด
2) บ่มหลอด BGLB ที่ 35°C เป็นเวลา 48 ± 2 ชั่วโมง อ่านผลหลอดที่เกิดแก๊ส คำนวณ Most Probable Number (MPN) จากตารางที่ 2.4 (สำหรับแบบ 3 หลอด) รายงานผล MPN coliform/กรัม บันทึกผล

9.2.3 EC broth method สำหรับ fecal coliform

1) เขย่าหลอด LST ที่เกิดแก๊สเบาๆ และใช้ loop ถ่ายเชื้อจากหลอด LST ที่เกิดแก๊สทุกหลอด ใส่ในอาหาร EC broth หลอดต่อหลอด
2) บ่มหลอด EC broth ใน water bath อุณหภูมิ 45.5 ± 0.2°C นาน 24 ± 2 ชั่วโมง สังเกตแก๊สภายในหลอดดักแก๊ส ถ้าไม่เกิดแก๊สบ่มต่อจนครบ 48 ± 2 ชั่วโมง
3) ใช้ผลหลอดที่เกิดแก๊สดังกล่าวเปิดตาราง MPN (สำหรับแบบ 3 หลอด) คำนวณ MPN fecal coliform/กรัม บันทึกผล

9.2.4 confirmed test สำหรับ *E. coli*

1) ถ่ายเชื้อหลอด EC broth ที่เกิดแก๊สทุกหลอดโดยการ streak บนอาหาร EMB บ่มจาน EMB ที่ 35°C เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง
2) สังเกตโคโลนีที่น่าจะเป็น *E. coli* คือตรงกลางโคโลนีสีเข้ม อาจมีหรือไม่มี methallic sheen ถ่ายเชื้อจากโคโลนีดังกล่าว 2 โคโลนีของแต่ละจานอาหาร EMB ใส่หลอดอาหาร PCA บ่มหลอด PCA ที่ 38°C เป็นเวลา 18-24 ชั่วโมง นำเชื้อจากหลอด PCA ไปทดสอบต่อไปนี้

2.1) ย้อมสีแกรม

2.2) IMViC test เป็นวิธีการตรวจสอบทางชีวเคมี

IMViC

I = Indole test

M = Methyl red test (MR test)

V = Voges-proskauer test (VP test)

C = Citrate test

- Indole test

เป็นการทดสอบว่า แบคทีเรียสามารถเปลี่ยน Tryptophan เป็น Indole ได้หรือไม่ Tryptophan เป็น Amino acid ที่มีอยู่ใน Peptone หรือ Casein

วิธีทดสอบ

1. Inoculate เชื้อที่ต้องการทดสอบลงไปใน 1% Tryptone Broth
2. Incubate ที่ 35°C เป็นเวลา 24-28 ชั่วโมง
3. หยด Kovac' s reagent ลงไป 0.2-0.3 มิลลิลิตร
4. เขย่าหลอดทดลองเบาๆ 2-3 ครั้ง
5. สังเกตการณ์เปลี่ยนสีที่ผิวของ medium

การแปลผล

ผลบวก มีสีแดงที่ผิวของ medium (red ring)

ผลลบ สีเหมือน Kovac's reagent คือสีเหลือง

- Methyl red test

เป็นการทดสอบว่า แบคทีเรียสามารถสร้างกรดจากอาหารเลี้ยงเชื้อที่มี Glucose ได้มากหรือน้อย โดยดูจาก pH ของอาหารเลี้ยงเชื้อต่ำกว่า 4.2 จึงเปลี่ยนสี Indicator ของ Methyl Red เป็นสีแดงได้

วิธีทดสอบ

1. Inoculate เชื้อที่ต้องการทดสอบลงใน MR-VP broth
2. Incubate ที่ 35°C เป็นเวลา 24-28 ชั่วโมง
3. หยด Methyl Red ลงไป 5 หยด/5 มิลลิลิตร Broth
4. สังเกตการณ์เปลี่ยนสีของ Medium ทันทีหลังจากหยด Indicator

การแปลผล

ผลบวก Medium เป็นสีแดง

ผลลบ Medium เป็นสีเหลือง

- Voges-proskauer test

เป็นการทดสอบว่า แบคทีเรียสามารถสร้างสาร Acethyl Methyl Carbinol จาก Glucose ได้หรือไม่

วิธีทดสอบ

1. Inoculate เชื้อที่ต้องการทดสอบลงใน MR-VP broth
2. Incubate ที่ 35°C เป็นเวลา 24-28 ชั่วโมง
3. หยด 5% Naphthol ลงไป 5 หยด เขย่า (0.6 มิลลิลิตร)
4. หยด 40% KOH ลงไป 2 หยด (0.2 มิลลิลิตร)
5. เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้ 10-15 นาที
6. สังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของ Medium

การแปลผล

ผลบวก Medium สีแดงภายใน 5 นาที

ผลลบ Medium สีเหลือง

- Citrate test

เป็นการทดสอบดูว่า แบคทีเรียสามารถใช้ Citrate เพียงอย่างเดียวเป็นแหล่งคาร์บอน (Carbon Source) ได้หรือไม่ ถ้าแบคทีเรียสามารถใช้เพียงอย่างเดียวได้จะเจริญและให้ Alkaline Product เกิดขึ้นซึ่งเป็นผลให้ Indicator ใน Medium ซึ่งได้แก่ Bromthymol Blue เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำเงิน

วิธีทดสอบ

1. Inoculate เชื้อที่ต้องการทดสอบโดยการ Streak บนผิว Simmon s citrate agar
2. Incubate ที่ 35°C เป็นเวลา 24-28 ชั่วโมง
3. สังเกตการณ์เปลี่ยนสีของ Medium และการเติบโตของแบคทีเรีย

การแปลผล

ผลบวก มีแบคทีเรียขึ้น และ Medium เปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำเงิน

ผลลบ ไม่มีแบคทีเรียขึ้น และ Medium ไม่เปลี่ยนสี (สีเขียว)

ปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่ทดสอบ *E. coli*

การทดสอบ	Indole test	Methyl red test	Voges-proskauer test	Citrate test
Biotype 1	+	+	-	-
Biotype 2	-	+	-	-

2.3) ถ่ายใส่อาหาร LST (ปริมาณ 5 มิลลิลิตร) บ่มที่ 35°C 48 ชั่วโมง

3) การแปลผล

ถ้าหากเป็น *E. coli* ติดสีแกรมลบ รูปท่อนสั้นไม่สร้างสปอร์ ผล IMViC เป็น + + - - (Biotype I) หรือ - + - - (Biotype II) และหมัก lactose ใน LST ให้กรดและแก๊สที่ 35°C ภายใน 48 ชั่วโมง เปิดตาราง MPN (ตารางที่ 2.5) (ภาคผนวกสำหรับ 3 หลอด) โดยดูจากหลอด EC broth ที่ตรวจ confirmed แล้วว่ามี *E. coli* บันทึกผล MPN *E. coli*/กรัม

ง.2 MPN สำหรับ 3 หลอดที่ความเข้มข้นของเชื้อที่ 0.1, 0.01 และ 0.001 กรัม Inocula ที่ความเชื่อมั่น 95%

Pos. tubes			MPN/g	Conf. lim.		Pos. tubes			MPN/g	Conf. lim.	
0.10	0.01	0.001		Low	High	0.10	0.01	0.001		Low	High
0	0	0	<3.0	--	9.5	2	2	0	21	4.5	42
0	0	1	3.0	0.15	9.6	2	2	1	28	8.7	94
0	1	0	3.0	0.15	11	2	2	2	35	8.7	94
0	1	1	6.1	1.2	18	2	3	0	29	8.7	94
0	2	0	6.2	1.2	18	2	3	1	36	8.7	94
0	3	0	9.4	3.6	38	3	0	0	23	4.6	94
1	0	0	3.6	0.17	18	3	0	1	38	8.7	110
1	0	1	7.2	1.3	18	3	0	2	64	17	180
1	0	2	11	3.6	38	3	1	0	43	9	180
1	1	0	7.4	1.3	20	3	1	1	75	17	200
1	1	1	11	3.6	38	3	1	2	120	37	420
1	2	0	11	3.6	42	3	1	3	160	40	420
1	2	1	15	4.5	42	3	2	0	93	18	420
1	3	0	16	4.5	42	3	2	1	150	37	420
2	0	0	9.2	1.4	38	3	2	2	210	40	430
2	0	1	14	3.6	42	3	2	3	290	90	1000
2	0	2	20	4.5	42	3	3	0	240	42	1000
2	1	0	15	3.7	42	3	3	1	460	90	2000
2	1	1	20	4.5	42	3	3	2	1100	180	4100
2	1	2	27	8.7	94	3	3	3	>1100	420	--

10. การตรวจหา *Salmonella* sp. (U.S. FDA/BAM, 2001)

10.1 อุปกรณ์

1)	Lactose broth 0.5%	ปริมาตร	225	มิลลิลิตร	1	ขวดฝาเกลียว
2)	Tetrathionate (TT) broth	ปริมาตร	10	มิลลิลิตร	1	หลอด
3)	Rappaport-Vassiliadis (RV) medium	10		มิลลิลิตร	1	หลอด
4)	Bismuth sulfite agar (BS)				1	จาน
5)	Hektoen enteric (HE) agar (SS) agar				1	จาน
6)	Xylose lysine desaxycholate agar (XLD)				1	จาน
7)	Triple sugar iron agar (TSI)				2	หลอด
8)	Lysine iron agar (LIA)				2	หลอด
9)	ปิเปตปราศจากเชื้อ	ขนาด	1	มิลลิลิตร	1	อัน
10)	Loop, Needle					
11)	Water bath 42 และ 43°C					

10.2 การทดลอง

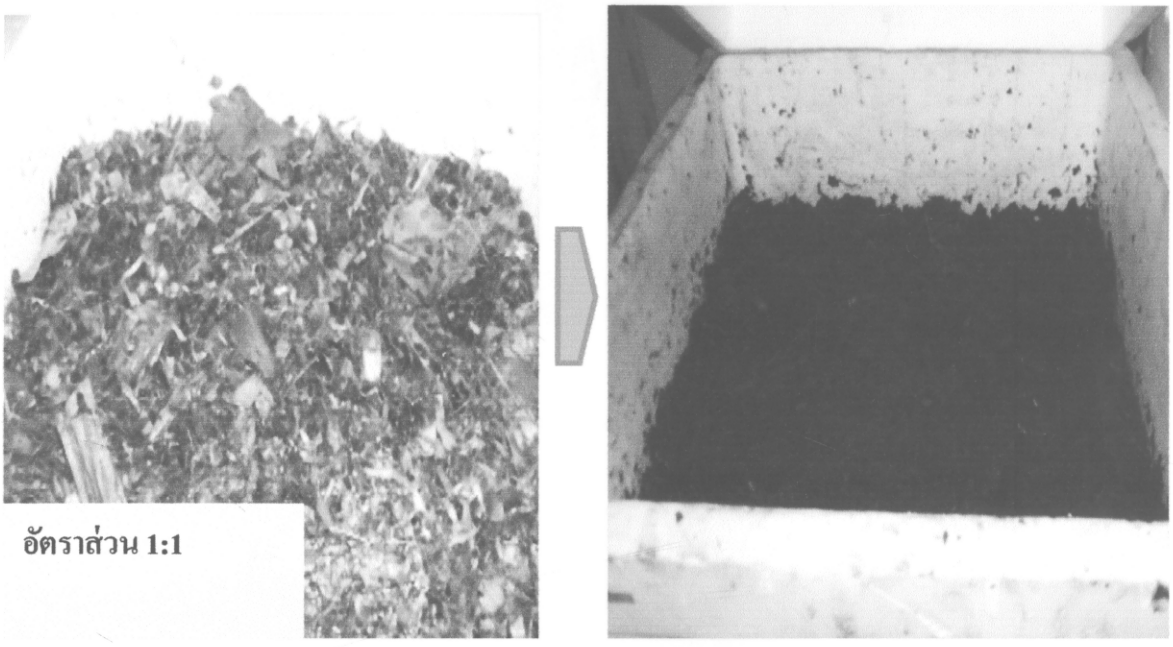
1) นำตัวอย่าง 25 กรัม ใส่ในขวดฝาเกลียว ที่มี Lactose Broth 0.5% ปริมาตร 225 มิลลิลิตร วางทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 60 ± 5 นาที หลังจากนั้นคลายฝาเกลียว 1/4 รอบ บ่มที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 24 ± 2 ชั่วโมง
2) ใช้ปิเปตขนาด 1 มิลลิลิตร ดูด culture จากข้อ 1 ปริมาตร 1 มิลลิลิตร ใส่ใน RV medium และอีก 1 มิลลิลิตร ใส่ใน TT broth ผสมให้เข้ากัน RV medium บ่มที่ 42 ± 0.2°C 24 ± 2 ชั่วโมง TT broth บ่มที่ 43 ± 0.2°C 24 ± 2 ชั่วโมง
3) นำไป streak บน HE, BS และ XLD agar บ่มที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 24 ± 2 ชั่วโมง
4) ตรวจดูโคโลนีของเชื้อ *Salmonella* sp. ซึ่งจะมีสีน้ำเงิน บางโคโลนี อาจมีสีดำตรงกลาง บน HE agar โคโลนีสีน้ำตาลหรือดำบน BS และโคโลนีสีชมพูตรงกลางอาจมีสีดำบน XLD
5) เลือกโคโลนีที่มีลักษณะดังกล่าวไป inoculate ใน TSI และ LIA อย่างละ 2 หลอด
6) บ่มเชื้อไว้ที่อุณหภูมิ 35°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง
7) ตรวจผล *Salmonella* sp. ใน TSI จะให้ผลคือ K/A + H_2S ส่วนใน LIA จะเปลี่ยนสีของอาหารเป็นสีม่วง และ *Salmonella* sp. ส่วนใหญ่จะผลิต H_2S ใน LIA บันทึกผลว่ามีหรือไม่มี *Salmonella* sp.

ภาคผนวก จ

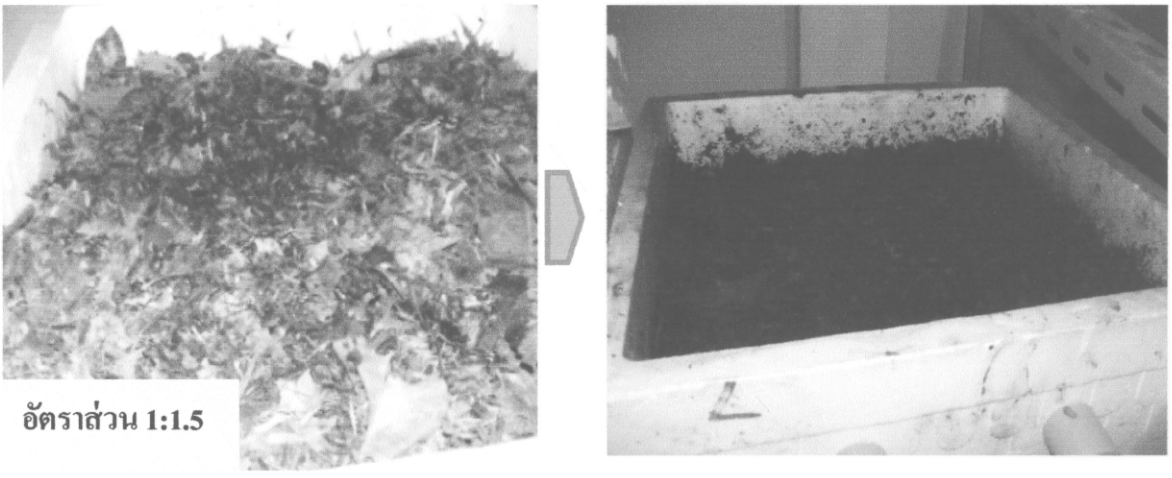
ลักษณะของวัสดุหมักเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก

ภาคผนวก จ

ลักษณะของวัสดุหมักเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก

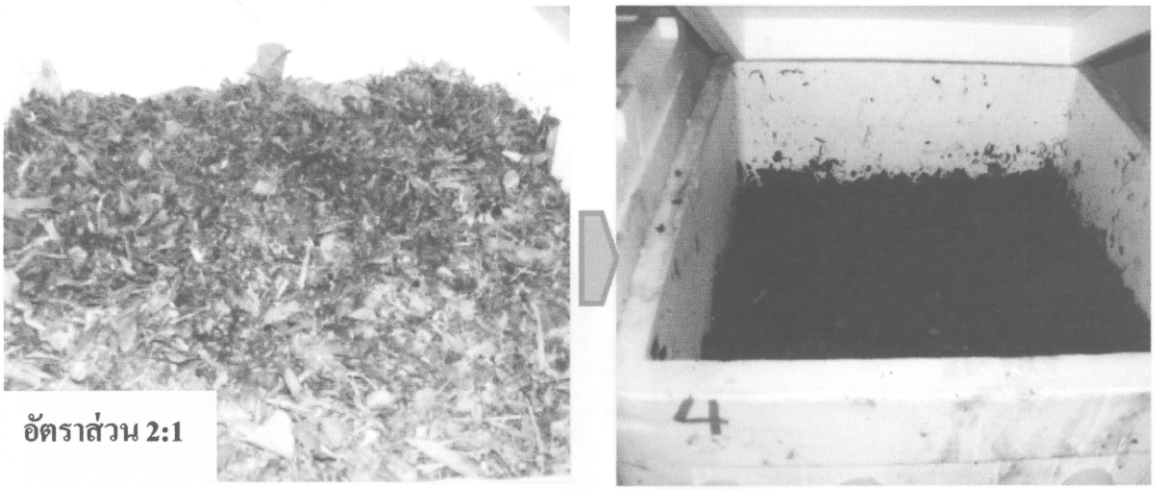


รูปที่ จ1 วัสดุหมักจากถังหมักใบที่ 1 เมื่อเริ่มต้นการทดลองและสิ้นสุดการทดลอง (ซ้ายไปขวา)

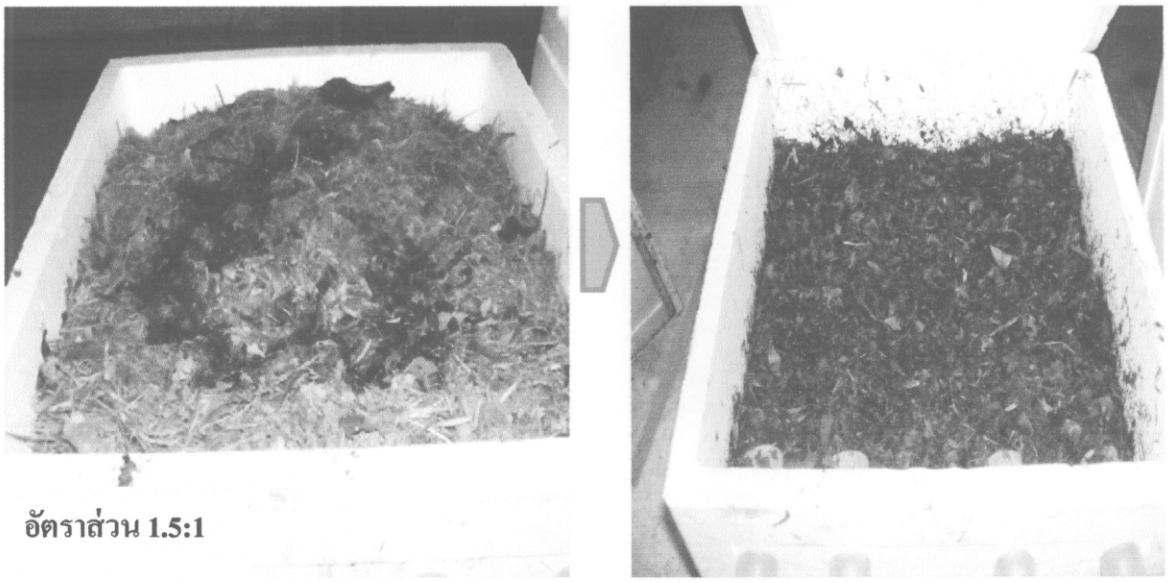


รูปที่ จ2 วัสดุหมักจากถังหมักใบที่ 2 เมื่อเริ่มต้นการทดลองและสิ้นสุดการทดลอง (ซ้ายไปขวา)

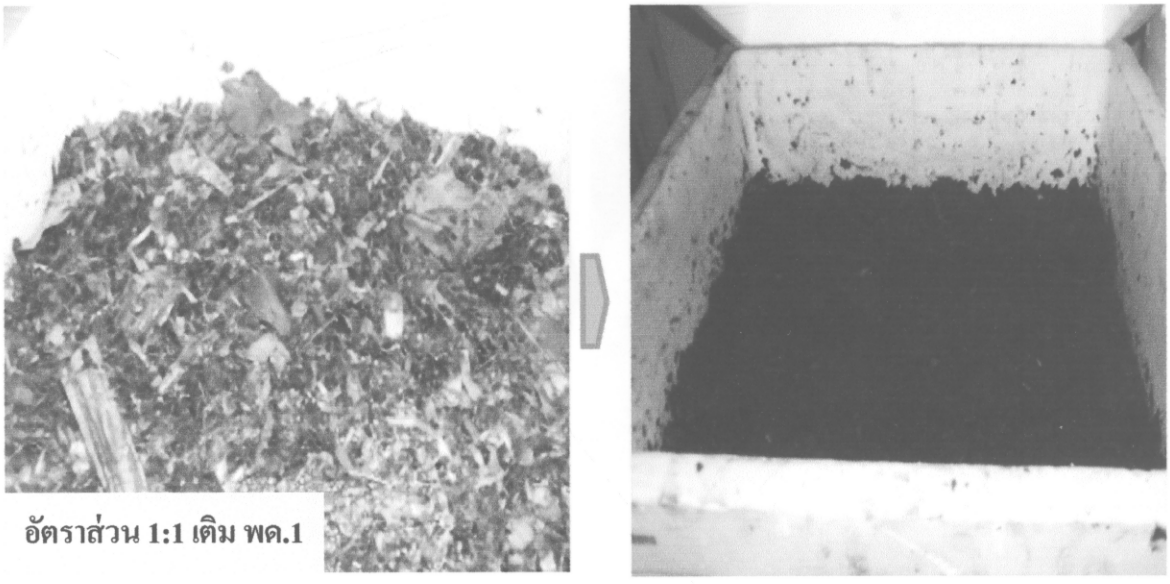
รูปที่ จ3 วัสดุหมักจากถังหมักใบที่ 3 เมื่อเริ่มต้นการทดลองและสิ้นสุดการทดลอง (ซ้ายไปขวา)



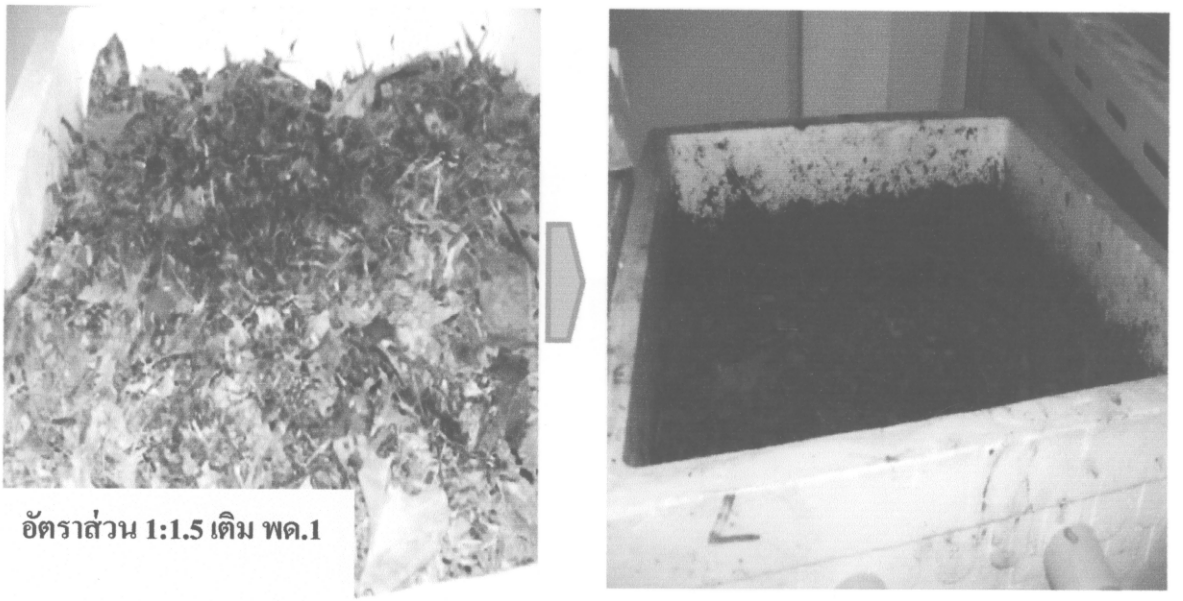
รูปที่ จ4 วัสดุหมักจากถังหมักใบที่ 4 เมื่อเริ่มต้นการทดลองและสิ้นสุดการทดลอง (ซ้ายไปขวา)



รูปที่ จ5 วัสดุหมักจากถังหมักใบที่ 5 เมื่อเริ่มต้นการทดลองและสิ้นสุดการทดลอง (ซ้ายไปขวา)

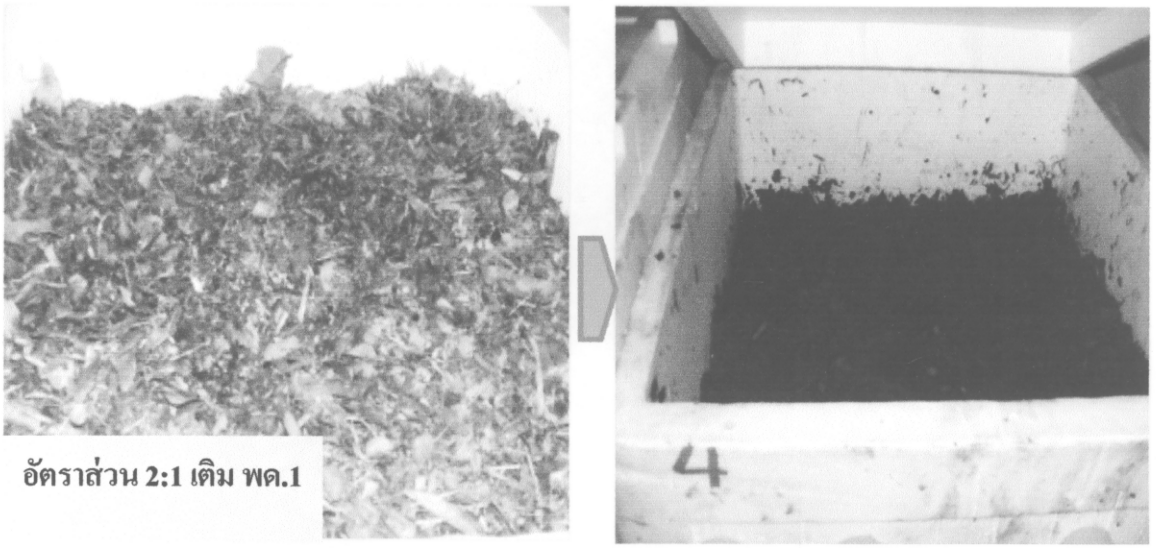


รูปที่ จ6 วัสดุหมักจากถังหมักใบที่ 6 เมื่อเริ่มต้นการทดลองและสิ้นสุดการทดลอง (ซ้ายไปขวา)

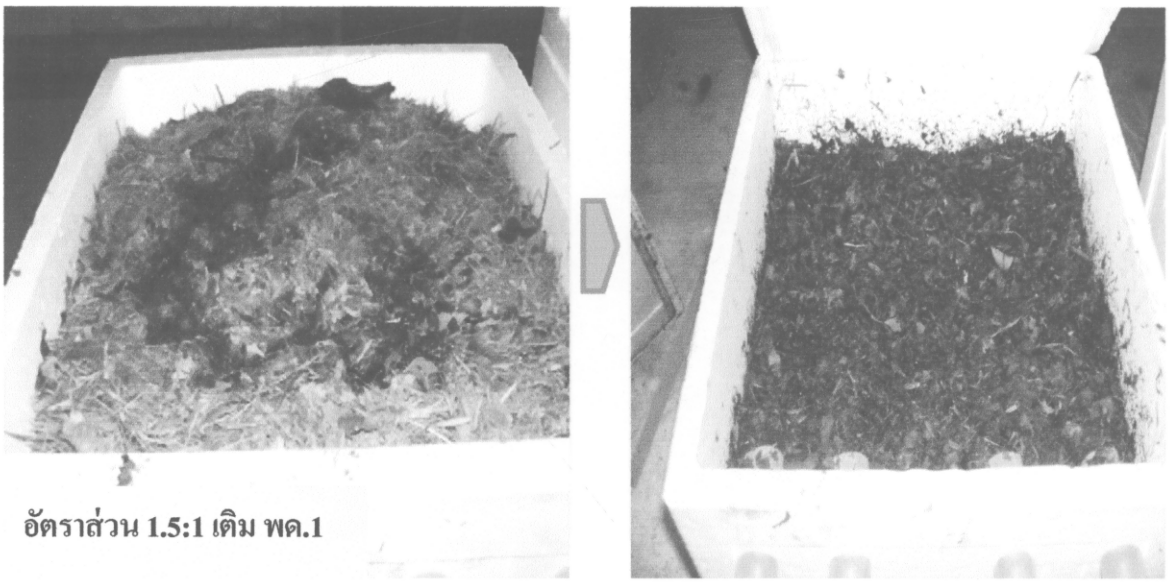


รูปที่ จ7 วัสดุหมักจากถังหมักใบที่ 7 เมื่อเริ่มต้นการทดลองและสิ้นสุดการทดลอง (ซ้ายไปขวา)

รูปที่ จ8 วัสดุหมักจากถังหมักใบที่ 7 เมื่อเริ่มต้นการทดลองและสิ้นสุดการทดลอง (ซ้ายไปขวา)

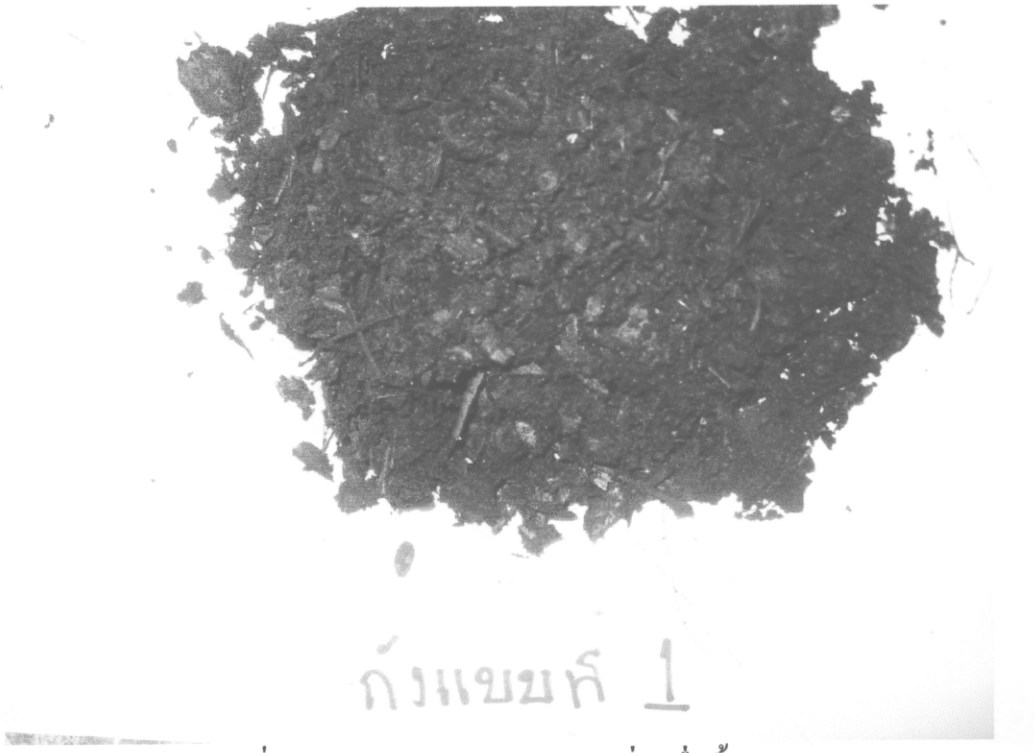


รูปที่ จ9 วัสดุหมักจากถังหมักใบที่ 9 เมื่อเริ่มต้นการทดลองและสิ้นสุดการทดลอง (ซ้ายไปขวา)

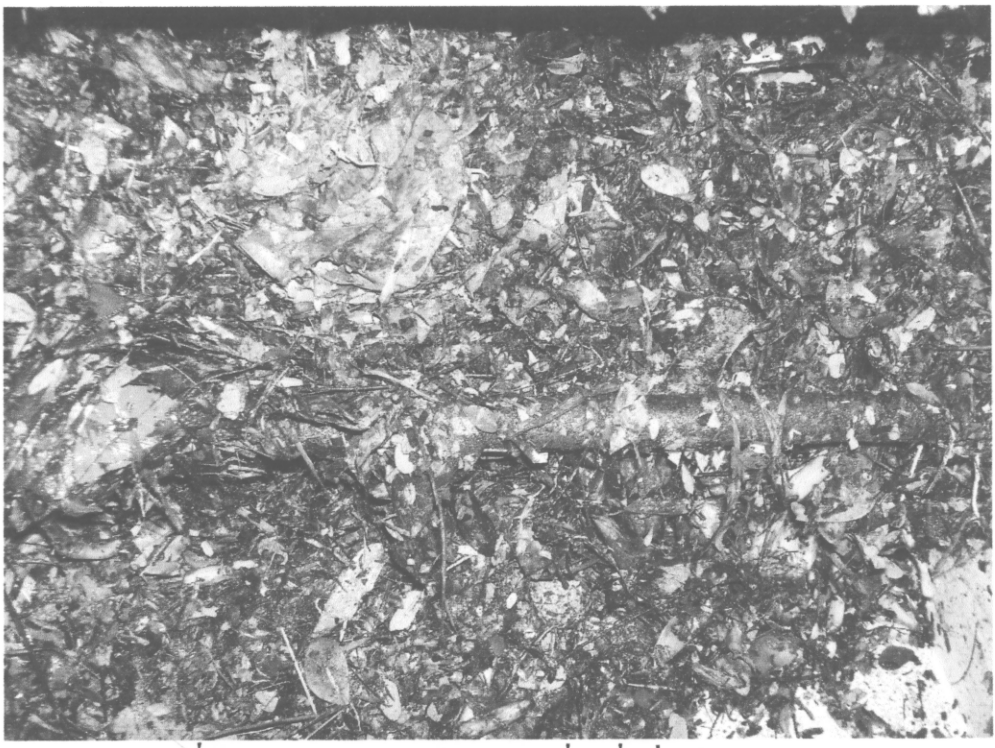


รูปที่ จ10 วัสดุหมักจากถังหมักใบที่ 10 เมื่อเริ่มต้นการทดลองและสิ้นสุดการทดลอง (ซ้ายไปขวา)

รูปที่ จ11 วัสดุหมักจากถังหมักแบบที่ 1 เมื่อเริ่มต้นการทดลอง



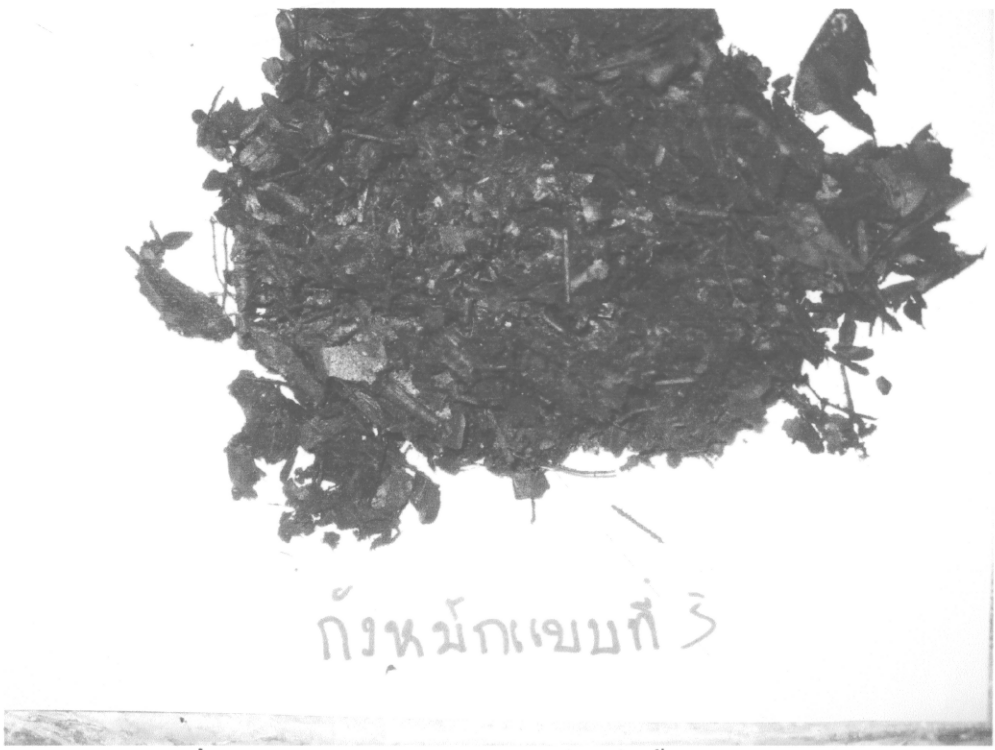
รูปที่ จ12 วัสดุหมักจากถังหมักแบบที่ 1 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง



รูปที่ จ13 วัสดุหมักจากถังหมักแบบที่ 2 เมื่อเริ่มต้นการทดลอง

รูปที่ จ14 วัสดุหมักจากถังหมักแบบที่ 2 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

รูปที่ จ15 วัสดุหมักจากถังหมักแบบที่ 3 เมื่อเริ่มต้นการทดลอง



รูปที่ จ16 วัสดุหมักจากถังหมักแบบที่ 3 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ภาคผนวก ฉ

ส่วนประกอบของถังหมักและรายละเอียดในการก่อสร้าง

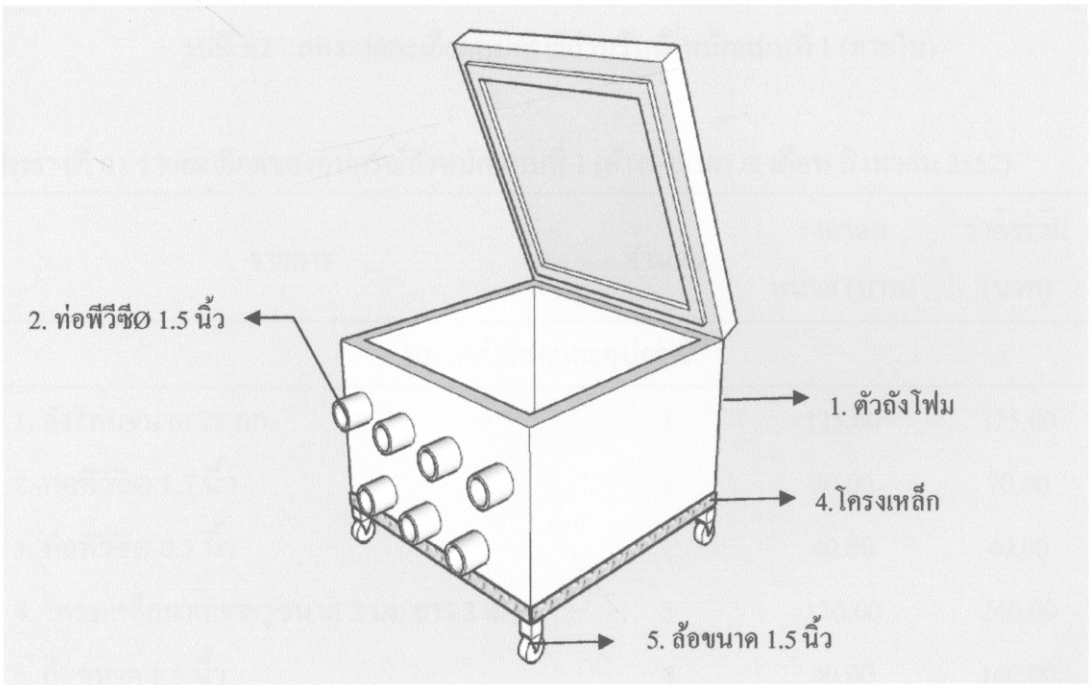
ภาคผนวก ฉ

ส่วนประกอบของถังหมักและรายละเอียดในการก่อสร้างถังหมักทั้ง 3 แบบ

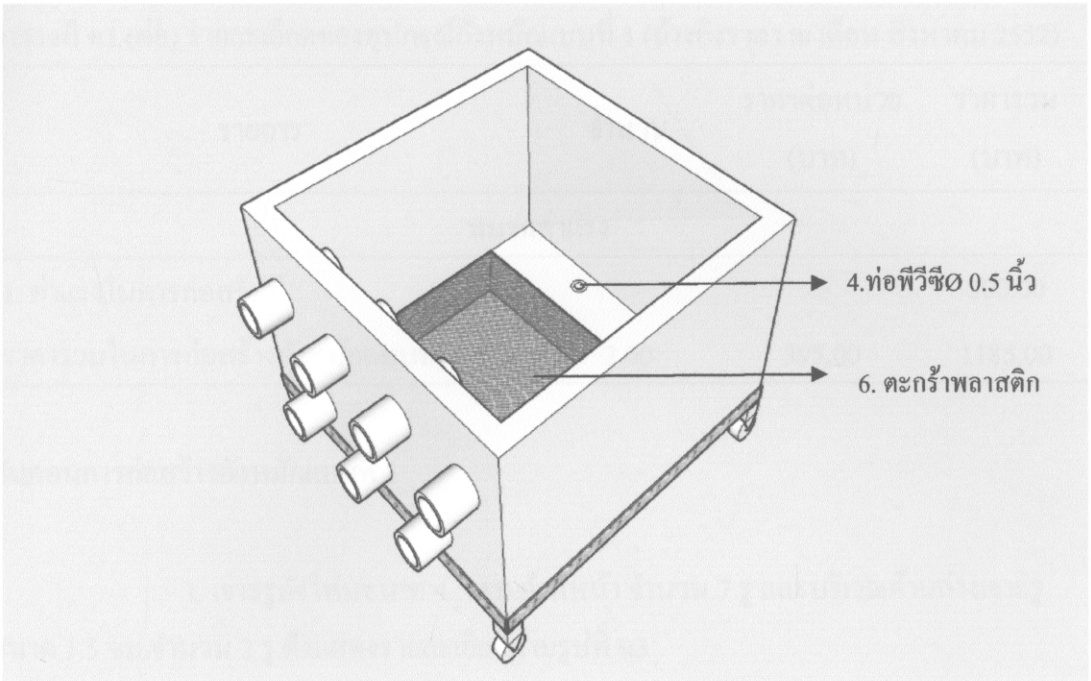
ควรพิจารณาข้อมูลจากบทที่ 3 ประกอบด้วยเพื่อเพิ่มความเข้าใจเนื่องจากรายละเอียดในภาคผนวก ฉ เป็นการอธิบายข้อมูลในการสร้างถังหมักโดยสังเขป

ถังหมักแบบที่ 1

รูปที่ ฉ1-ฉ2 และตารางที่ ฉ1 แสดงรายละเอียดถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 1และราคาในการก่อสร้าง



รูปที่ ฉ1 แสดงรายละเอียดอุปกรณ์สำหรับถังหมักแบบที่ 1 (ภายนอก)



รูปที่ ฉ2 แสดงรายละเอียดอุปกรณ์สำหรับถังหมักแบบที่ 1 (ภายใน)

ตารางที่ ฉ1 รายละเอียดของอุปกรณ์ถังหมักแบบที่ 1 (อ้างอิงราคา ณ เดือน สิงหาคม 2552)

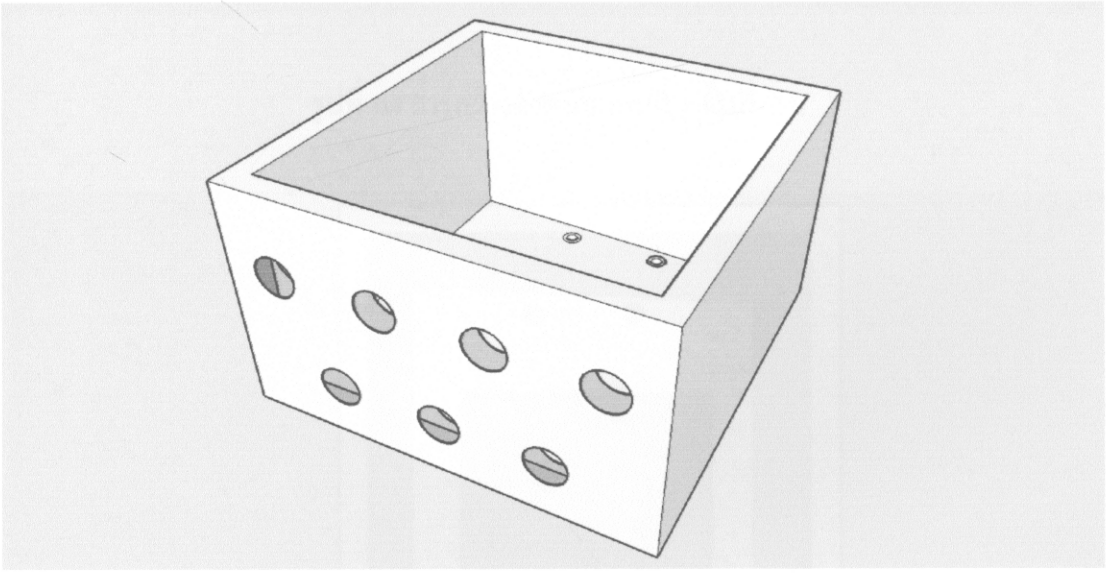
รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
หมวดค่าวัสดุและอุปกรณ์			
1. ลังโฟมขนาด 25 กก.	3	125.00	375.00
2. ท่อพีวีซีØ 1.5 นิ้ว	1	70.00	70.00
3. ท่อพีวีซีØ 0.5 นิ้ว	1	40.00	40.00
4. โครงเหล็กฉากเจาะรูขนาด 2 มม.ยาว 3 เมตร	2	120.00	240.00
5. ล้อขนาด 1.5 นิ้ว	4	40.00	160.00
ราคาหมวดค่าวัสดุและอุปกรณ์	3	295.00	885.00

ตารางที่ ฉ1 (ต่อ) รายละเอียดของอุปกรณ์ถังหมักแบบที่ 1 (อ้างอิงราคา ณ เดือน สิงหาคม 2552)

รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
หมวดค่าแรง			
1. ค่าแรงในการก่อสร้าง	-	-	300.00
ราคารวมในการก่อสร้างถังหมักแบบที่ 1	3.00	395.00	1185.00

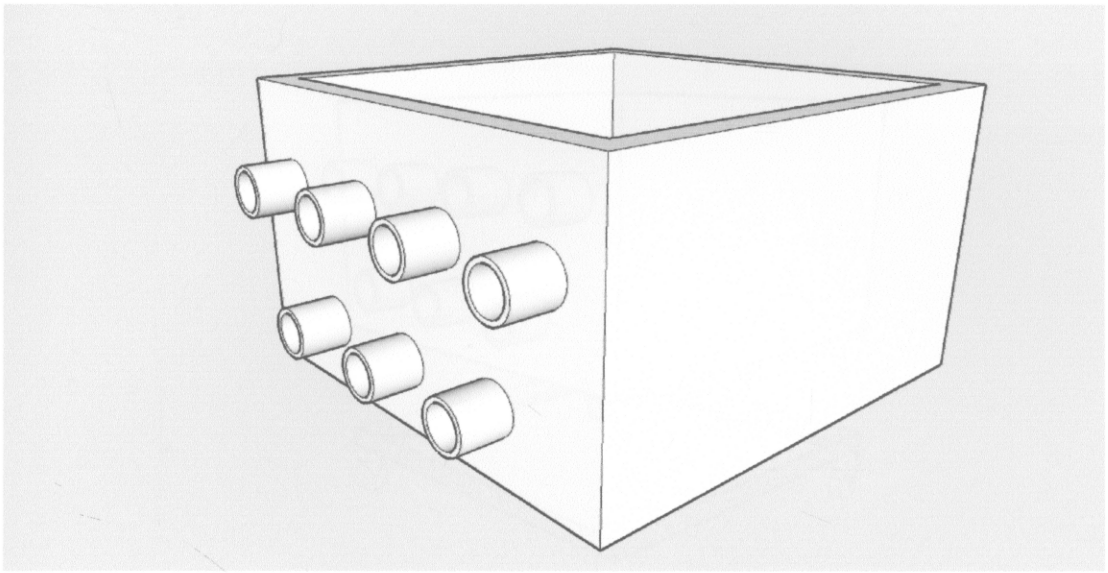
ขั้นตอนการก่อสร้างถังหมักแบบที่ 1

1. เจาะรูถังโฟมขนาด 4.5 ซม.ด้านหน้า จำนวน 7 รู และบริเวณด้านล่างเจาะรูขนาด 1.5 ซม.จำนวน 2 รู ดังแสดงรายละเอียดตามรูปที่ ฉ3

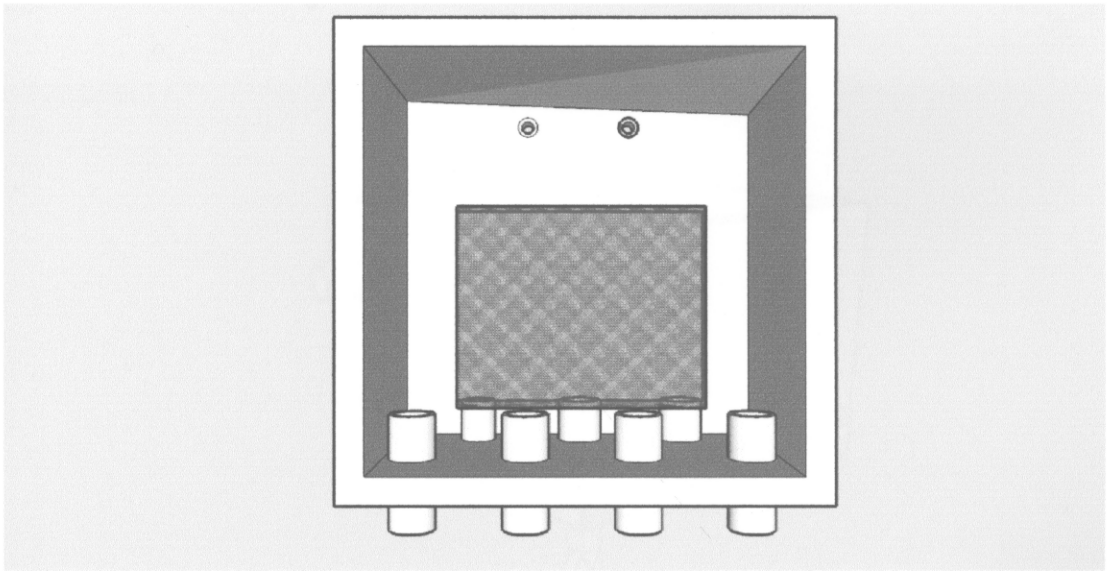


รูปที่ ฉ3 การสร้างถังหมักแบบที่ 1 ขั้นที่ 1-1

2. ติดท่อพีวีซีขนาด Ø 4.5 ซม. ยาว 6 ซม. ในส่วนด้านหน้าของถังโฟมดังแสดงในรูปที่ ฉ4 และนำตะกร้าพลาสติกมาวางคว่ำไว้ดังแสดงในรูปที่ ฉ5

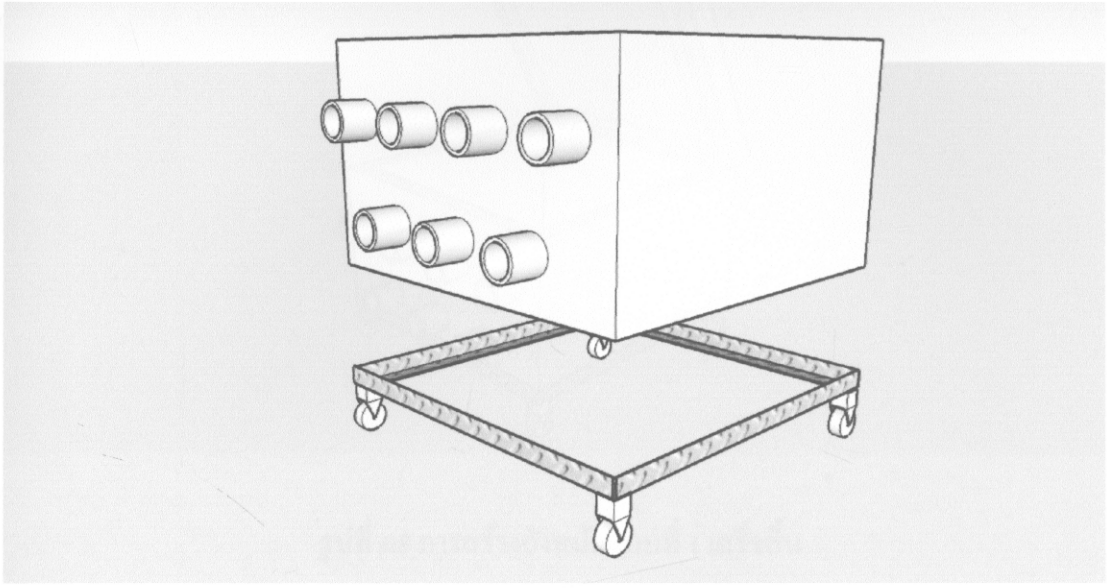


รูปที่ ฉ4 การสร้างถังหมักแบบที่ 1 ขั้นที่ 2-1

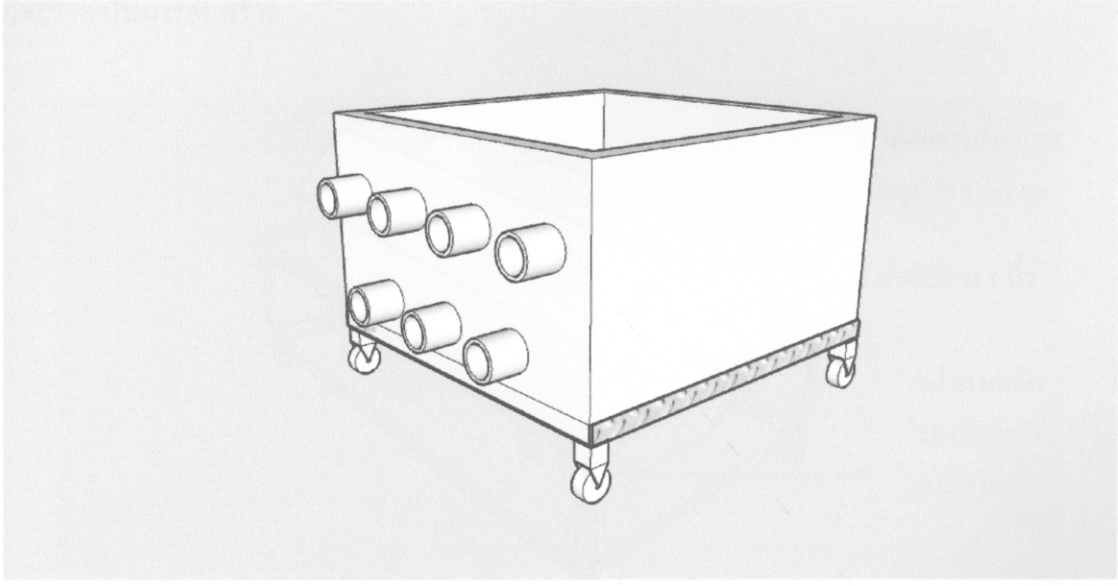


รูปที่ ฉ5 การสร้างถังหมักแบบที่ 1 ขั้นที่ 2-2

3. สร้างฐานล้อล้อรองรับตัวถังหมักโดยใช้เหล็กฉาก โครงเหล็กฉากเจาะรูขนาดความหนา 2 มิลลิเมตร รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 51 x 51 เซนติเมตรดังรูปที่ ฉ6-ฉ7

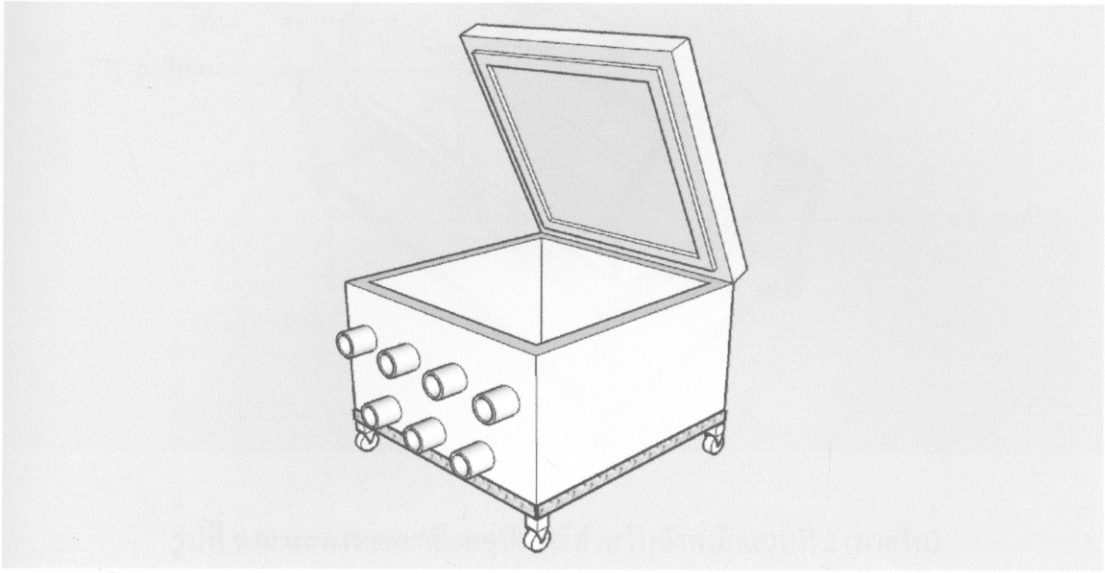


รูปที่ ฉ6 การสร้างถังหมักแบบที่ 1 ขั้นที่ 3-1



รูปที่ ฉ7 การสร้างถังหมักแบบที่ 1 ขั้นที่ 3-2

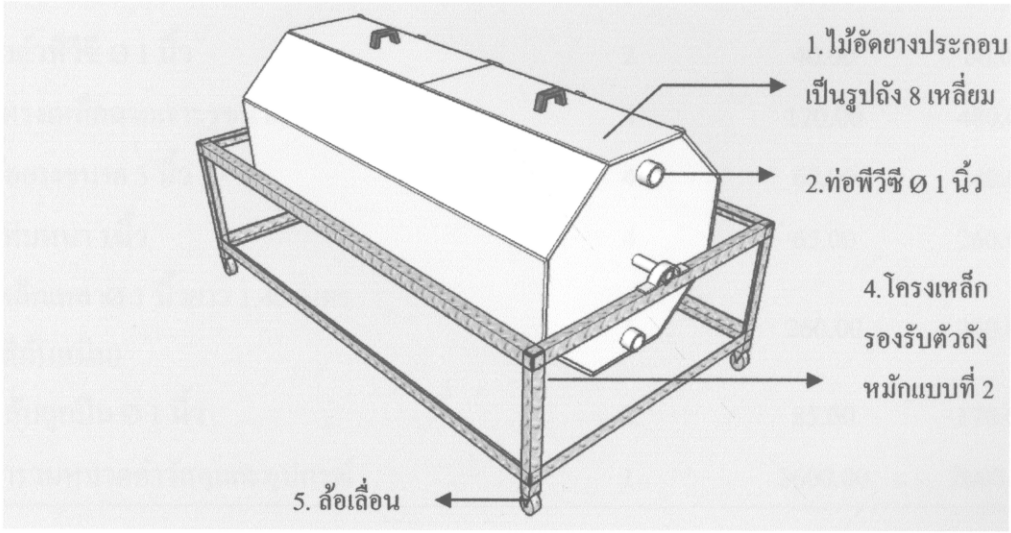
4. ติดตั้งฝาถังพร้อมนำไปใช้งาน ดังแสดงในรูปที่ ฉ8



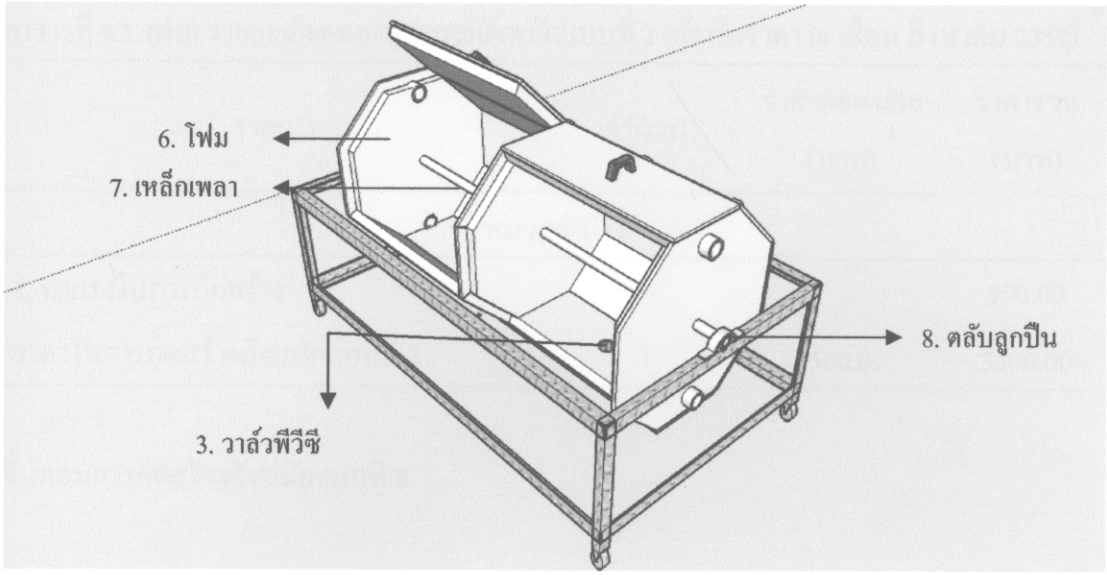
รูปที่ ฉ8 การสร้างถังหมักแบบที่ 1 เสร็จสิ้น

ถังหมักแบบที่ 2

รูปที่ ฉ9-ฉ10 และตารางที่ ฉ2 แสดงรายละเอียดถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 2 และราคาในการก่อสร้าง



รูปที่ ฉ9 แสดงรายละเอียดอุปกรณ์สำหรับถังหมักแบบที่ 2 (ภายนอก)



รูปที่ ฉ10 แสดงรายละเอียดอุปกรณ์สำหรับถังหมักแบบที่ 2 (ภายใน)

ตารางที่ ฉ2 รายละเอียดของอุปกรณ์ถังหมักแบบที่ 2 (อ้างอิงราคา ณ เดือน สิงหาคม 2552)

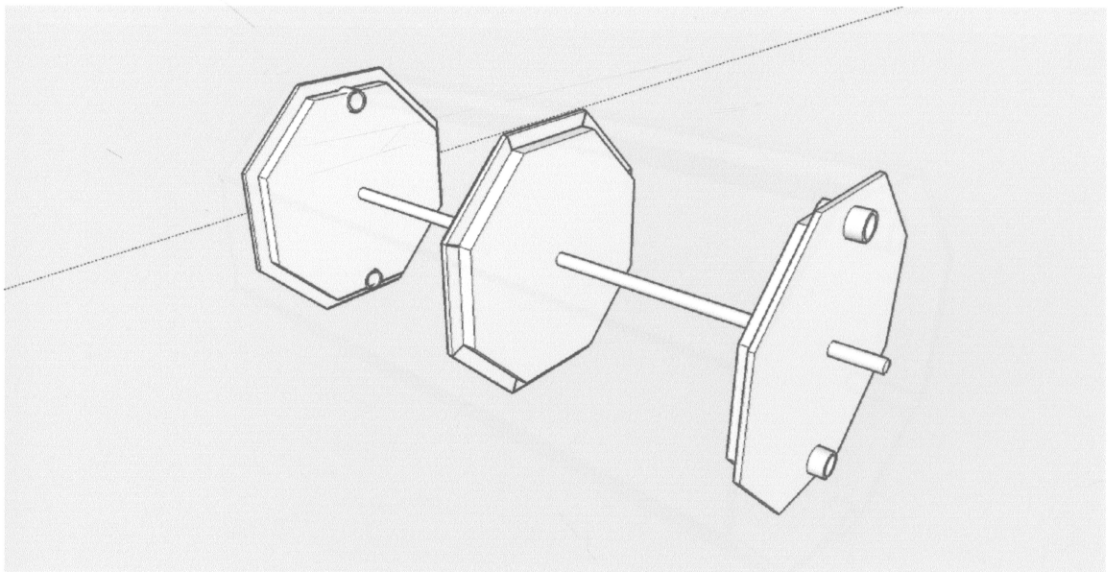
รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
หมวดค่าวัสดุและอุปกรณ์			
1. ไม้อัดยางหนา 10 มม. (ประกอบตัวถังหมัก)	11	95.00	1045.00
2. ท่อพีวีซี Ø 1 นิ้ว	1	65.00	65.00
3. วาล์วพีวีซี Ø 1 นิ้ว	2	40.00	80.00
4. โครงเหล็กฉากเจาะรูขนาด 2 มม.ยาว 3 เมตร	4	120.00	480.00
5. ล้อยางขนาด 3 นิ้ว	4	60.00	240.00
6. โฟมหนา 1นิ้ว	4	65.00	260.00
7. เหล็กเพลาØ 1 นิ้วยาว 1.40 เมตร (ทาสีกันสนิม)	1	260.00	260.00
8. ตลับลูกปืน Ø 1 นิ้ว	2	85.00	170.00
ราคารวมหมวดค่าวัสดุและอุปกรณ์	1	2600.00	2600.00

ตารางที่ ฉ2 (ต่อ) รายละเอียดของอุปกรณ์ถังหมักแบบที่ 2 (อ้างอิงราคา ณ เดือน สิงหาคม 2552)

รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
หมวดค่าแรง			
1. ค่าแรงในการก่อสร้าง	-	-	900.00
ราคาในการก่อสร้างถังหมักแบบที่ 2	1	3500.00	3500.00

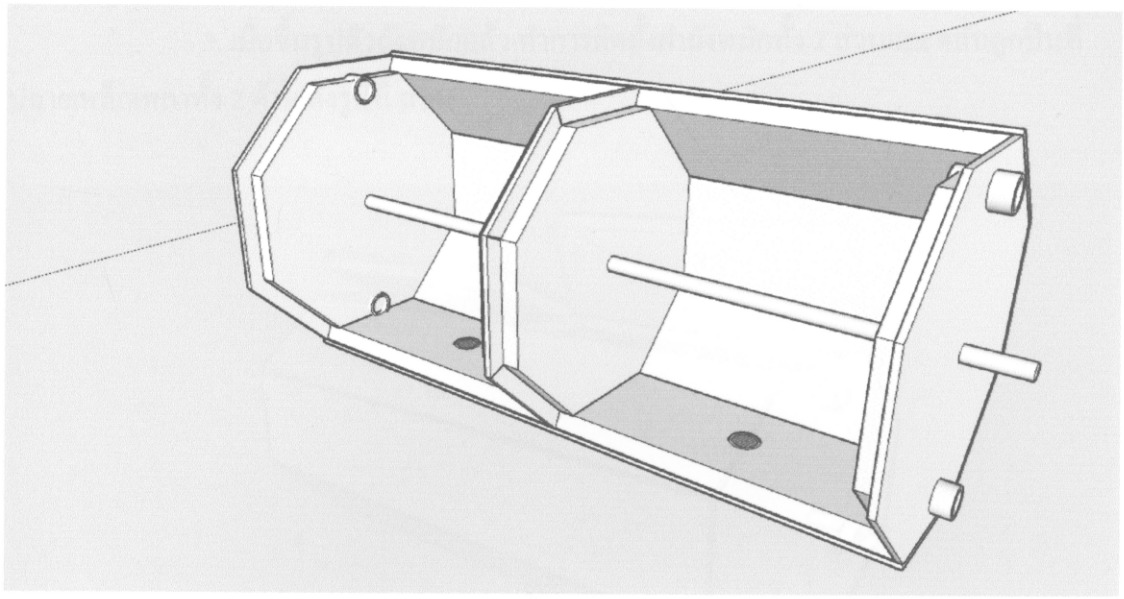
ขั้นตอนการก่อสร้างถังหมักแบบที่ 2

1. เตรียมแผ่นไม้อัด Ø 60 ซม. 3 แผ่น เจาะรู ขนาด 4.5 ซม. และติดท่อพีวีซีขนาด 4.5 ซม. และแผ่นโฟมรูปแปดเหลี่ยม Ø 57 ซม. 4 แผ่น ประกอบไม้อัดและแผ่นโฟมดังรูปที่ ฉ11

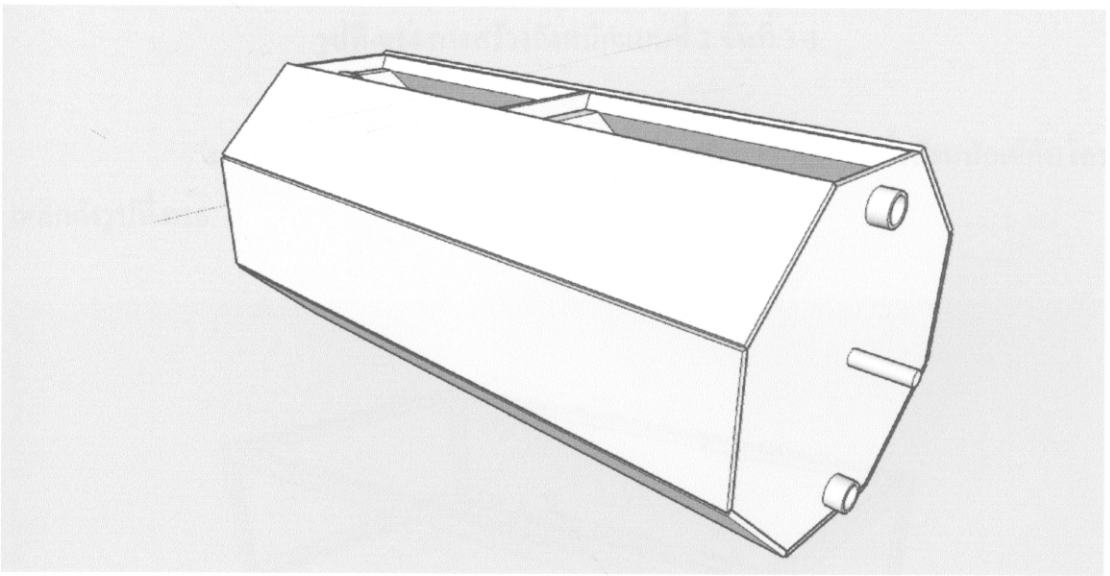


รูปที่ ฉ11 การสร้างถังหมักแบบที่ 2 ขั้นที่ 1-1

2. เตรียมแผ่นไม้อัด ขนาด 23X120 ซม. และแผ่นประกอบเป็นถังหมักดังรูปที่ ฉ 12 โดยแผ่นไม้อัดและแผ่นโฟมด้านล่างเจาะรูขนาด 4.5 ซม.เพื่อติดตั้งท่อระบายน้ำชะ ดังรูปที่ ฉ12-ฉ13

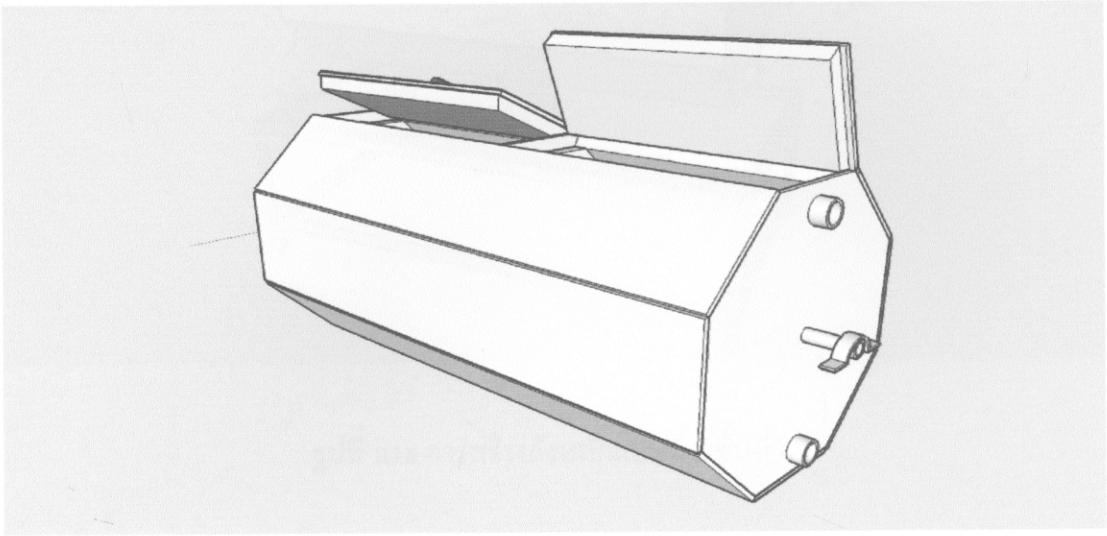


รูปที่ ฉ12 การสร้างถังหมักแบบที่ 2 ขั้นที่ 2-1



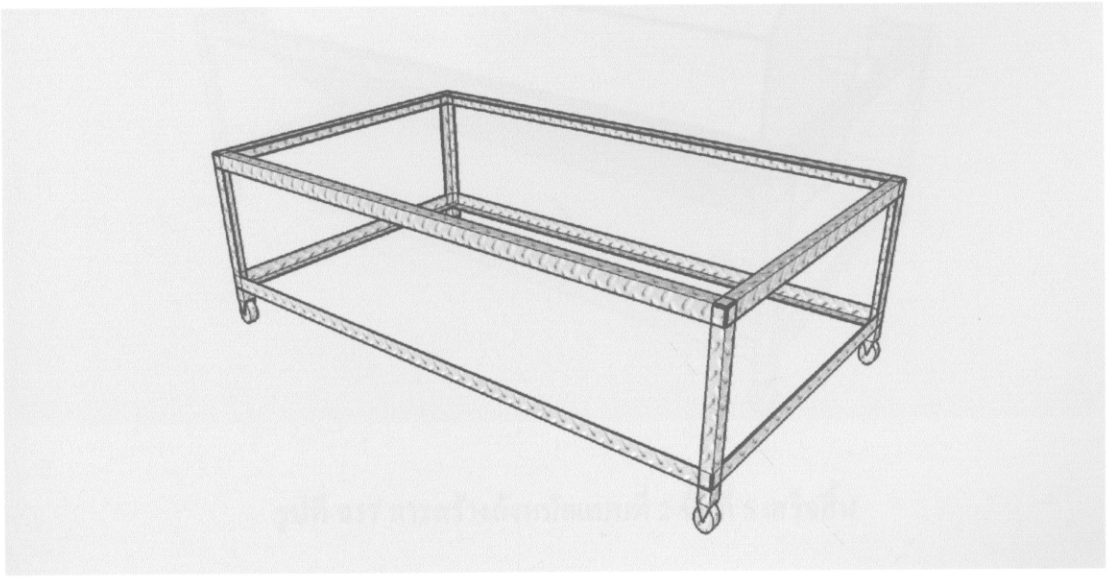
รูปที่ ฉ13 การสร้างถังหมักแบบที่ 2 ขั้นที่ 2-2

3. เมื่อขึ้นรูปตัวถังหมักแล้ว ทำการติดตั้งฝาถังหมักทั้ง 2 ส่วนและตลับลูกปืนที่ปลายเหล็กเพลาทั้ง 2 ด้าน ดังรูปที่ ฉ14

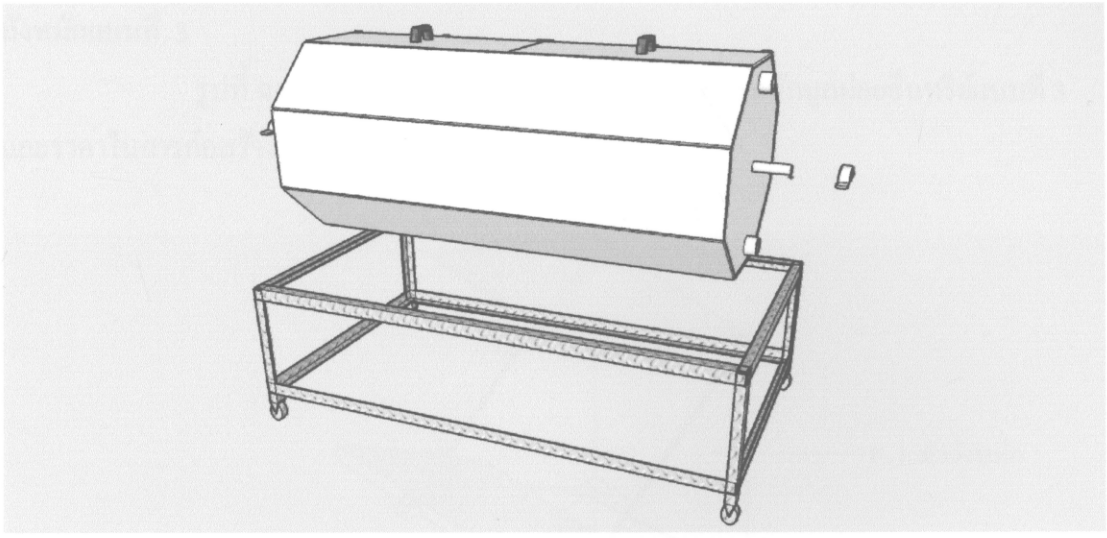


รูปที่ ฉ14 การสร้างถังหมักแบบที่ 2 ขั้นที่ 3-1

4. สร้างโครงเหล็กรองรับตัวถังหมักดังรูปที่ ฉ15 และติดตั้งถังหมักเข้ากับโครงเหล็กดังรูปที่ ฉ16

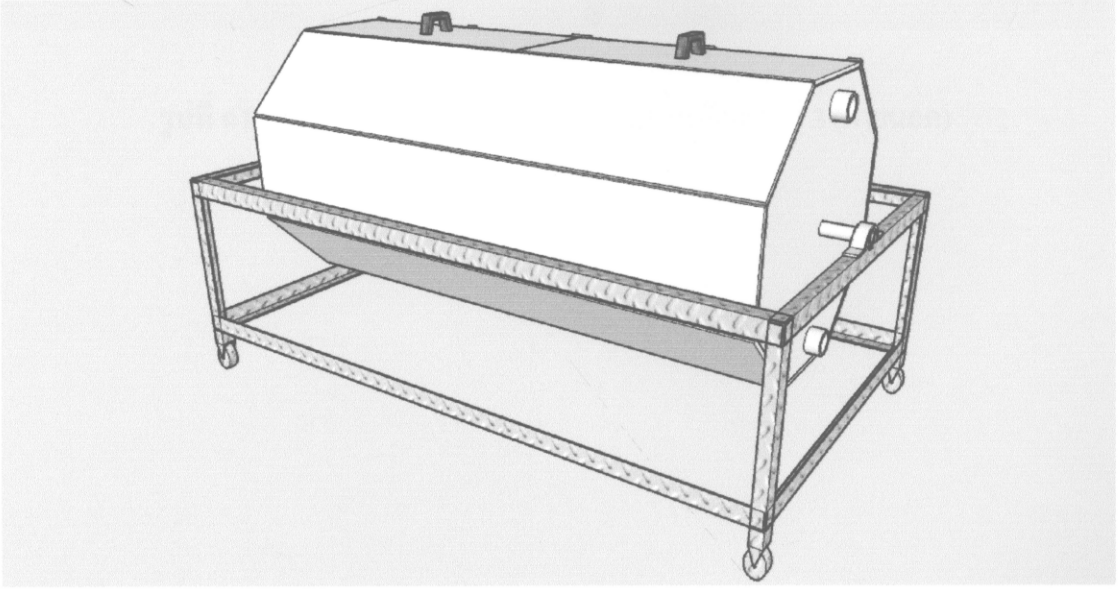


รูปที่ ฉ15 การสร้างถังหมักแบบที่ 2 ขั้นที่ 4-1



รูปที่ ฉ16 การสร้างถังหมักแบบที่ 2 ขั้นที่ 4-2

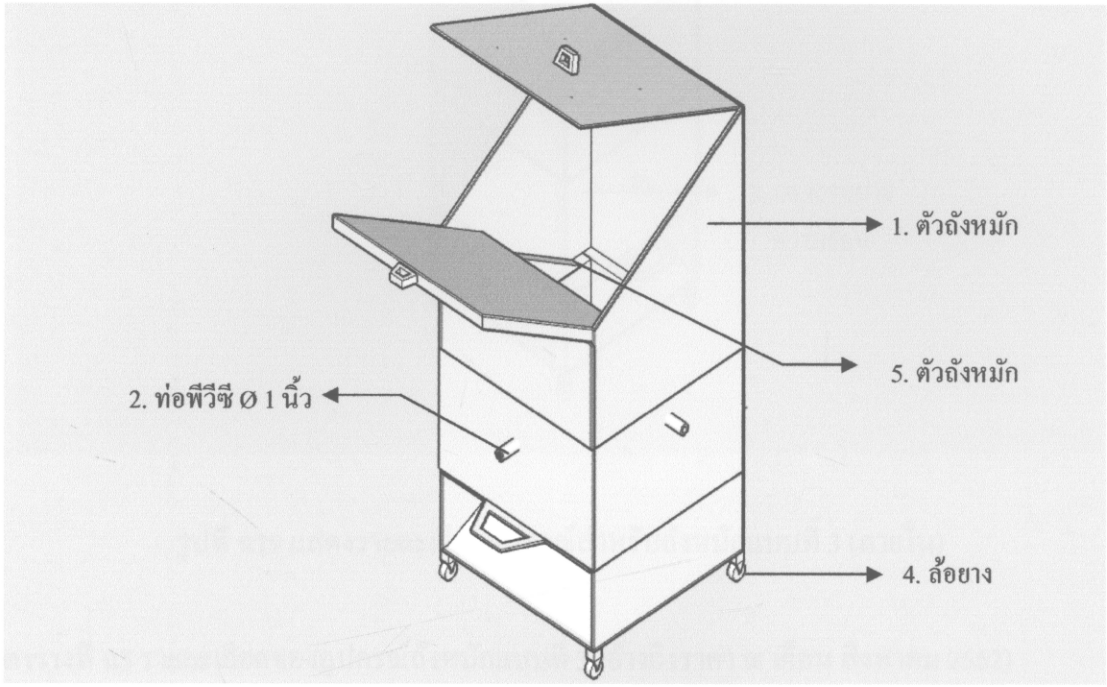
5. ติดตั้งตัวถังหมักกับโครงเหล็กรองรับตัวถังดังแสดงในรูปที่ ฉ17 เป็นอันเสร็จสิ้นกระบวนการสร้างถังหมักแบบที่ 2



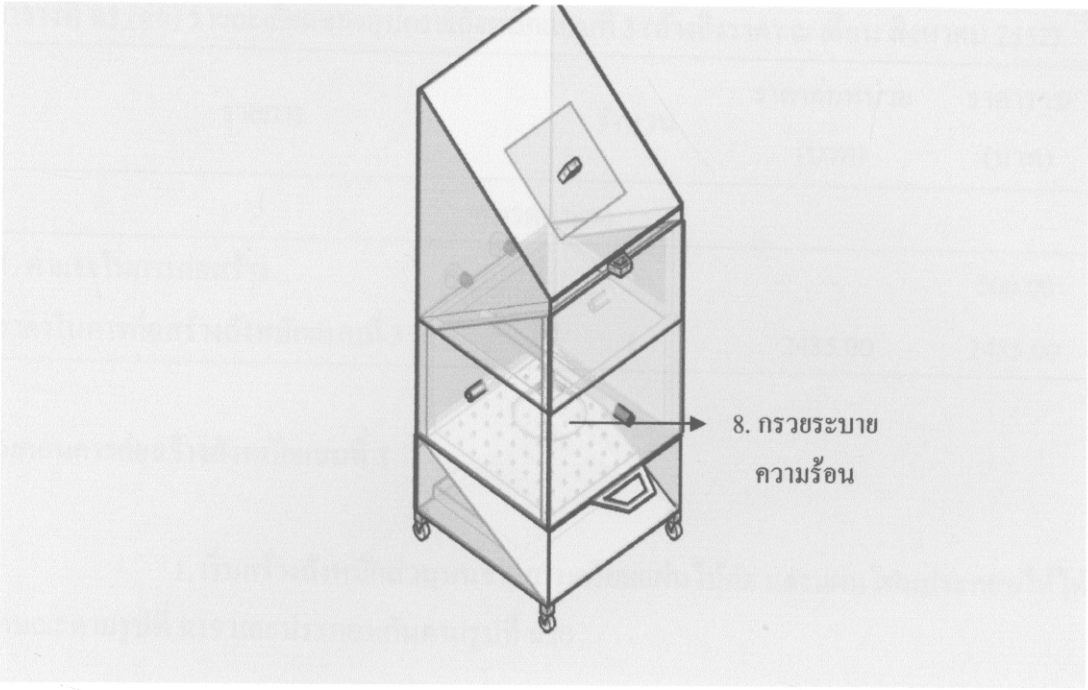
รูปที่ ฉ17 การสร้างถังหมักแบบที่ 2 ขั้นที่ 5 เสร็จสิ้น

ถังหมักแบบที่ 3

รูปที่ ฉ5-ฉ6 และตารางที่ ฉ3 แสดงรายละเอียดถังหมักมูลฝอยอินทรีย์แบบที่ 3 และราคาในการก่อสร้าง



รูปที่ ฉ18 แสดงรายละเอียดอุปกรณ์สำหรับถังหมักแบบที่ 3 (ภายนอก)



รูปที่ ฉ19 แสดงรายละเอียดอุปกรณ์สำหรับถังหมักแบบที่ 3 (ภายใน)

ตารางที่ ฉ3 รายละเอียดของอุปกรณ์ถังหมักแบบที่ 3 (อ้างอิงราคา ณ เดือน สิงหาคม 2552)

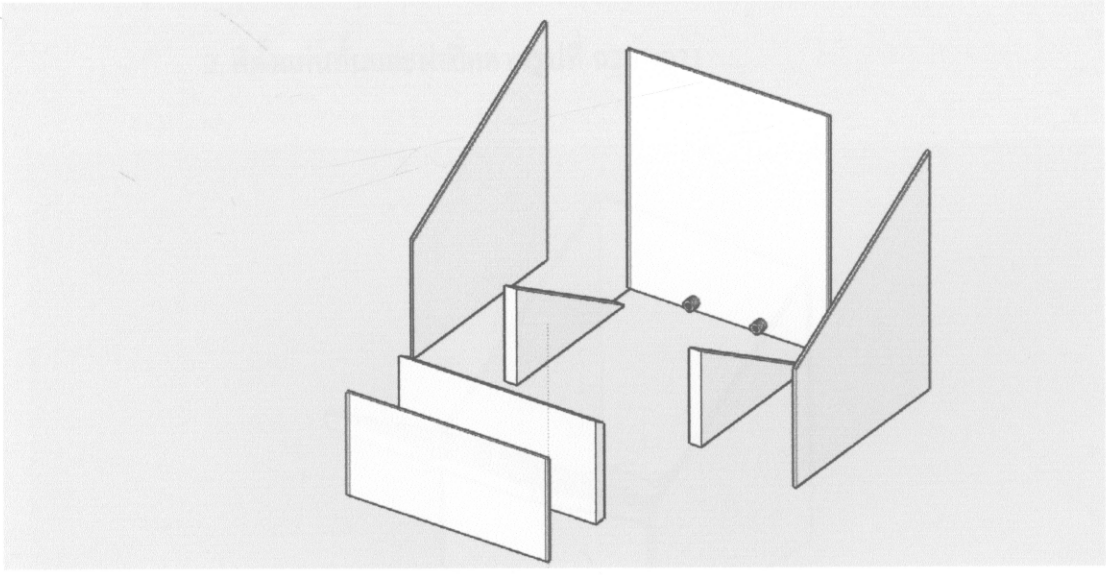
รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
หมวดค่าวัสดุและอุปกรณ์			
1. ไม้อัดยางหนา 10 มม.(ประกอบตัวถังหมัก)	1	850.00	850.00
2. อลูมิเนียม	1	1000.00	1000.00
3. ท่อพีวีซี Ø 1 นิ้ว	1	40.00	40.00
4. ล้อยางขนาด 1 นิ้ว	4	40.00	160.00
5. โฟมหนา 1นิ้ว	4	65.00	260.00
6. กรวย	1	15.00	15.00
7. มือจับ	4	30.00	120.00
8. บานพับ	4	10.00	40.00
ราคารวมหมวดค่าวัสดุและอุปกรณ์	1	1985.00	1985.00

ตารางที่ ฉ3 (ต่อ) รายละเอียดของอุปกรณ์ถังหมักแบบที่ 3 (อ้างอิงราคา ณ เดือน สิงหาคม 2552)

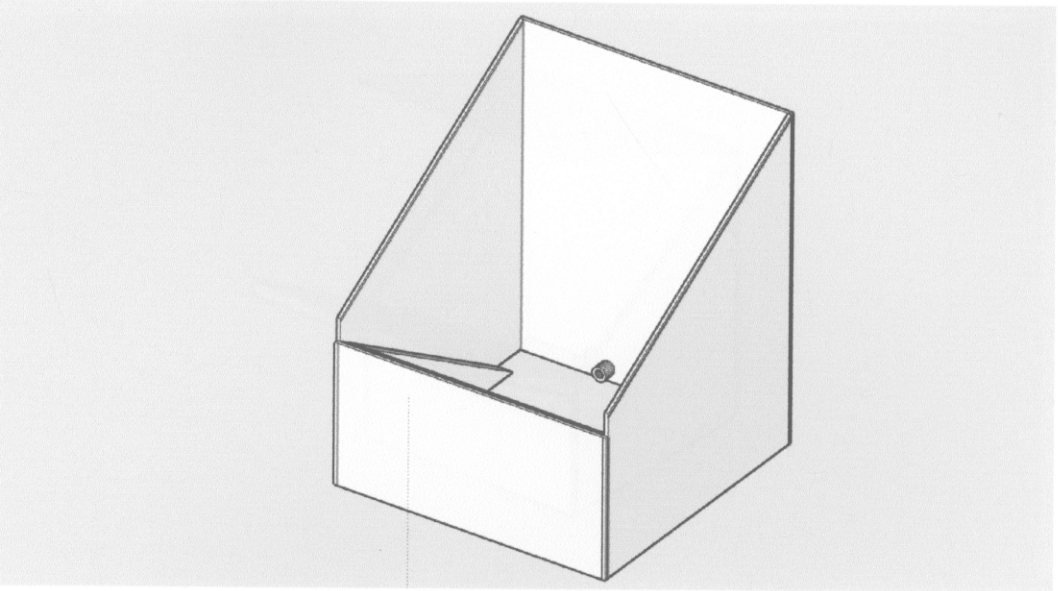
รายการ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	ราคารวม (บาท)
หมวดค่าแรง			
1. ค่าแรงในการก่อสร้าง	-	-	500.00
ราคาในการก่อสร้างถังหมักแบบที่ 3	1	2485.00	2485.00

ขั้นตอนการก่อสร้างถังหมักแบบที่ 3

1. เริ่มสร้างถังหมักส่วนบนจากการเตรียมแผ่นไม้อัด และแผ่นโฟมประกอบให้ได้ลักษณะตามรูปที่ ฉ19 และประกอบกันตามรูปที่ ฉ20

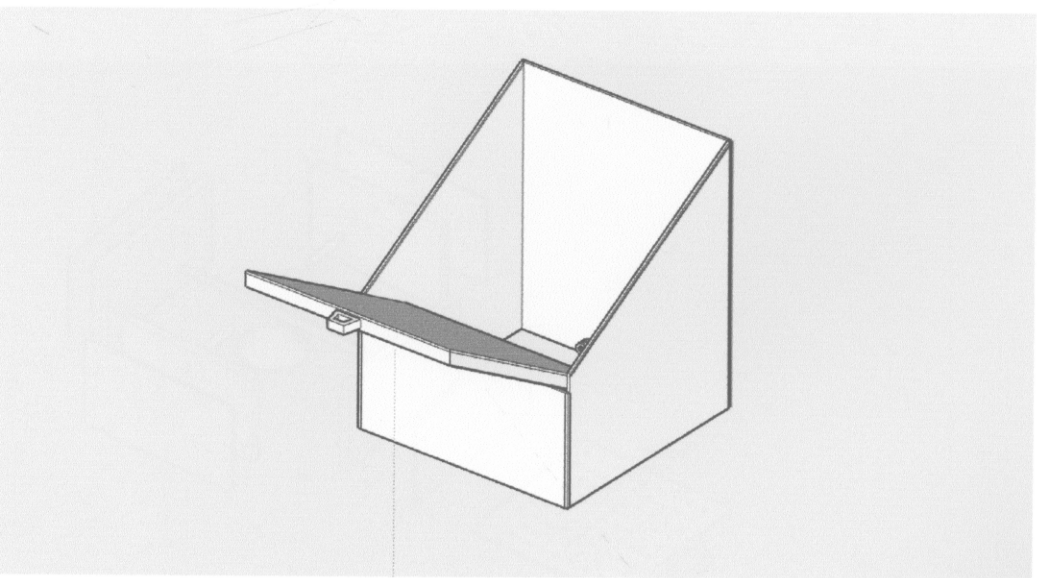


รูปที่ ฉ20 การสร้างถังหมักแบบที่ 3 ขั้นที่ 1-1

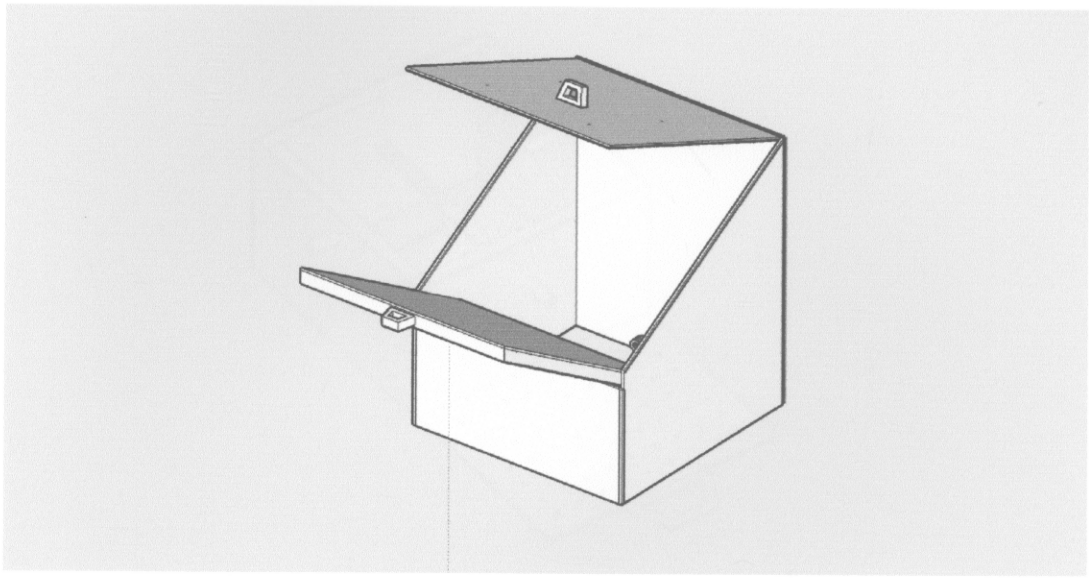


รูปที่ ฉ21 การสร้างถังหมักแบบที่ 3 ขั้นที่ 1-2

2. ติดตั้งแผ่นกั้นและฝาปิดตามรูปที่ ฉ20 –ฉ21

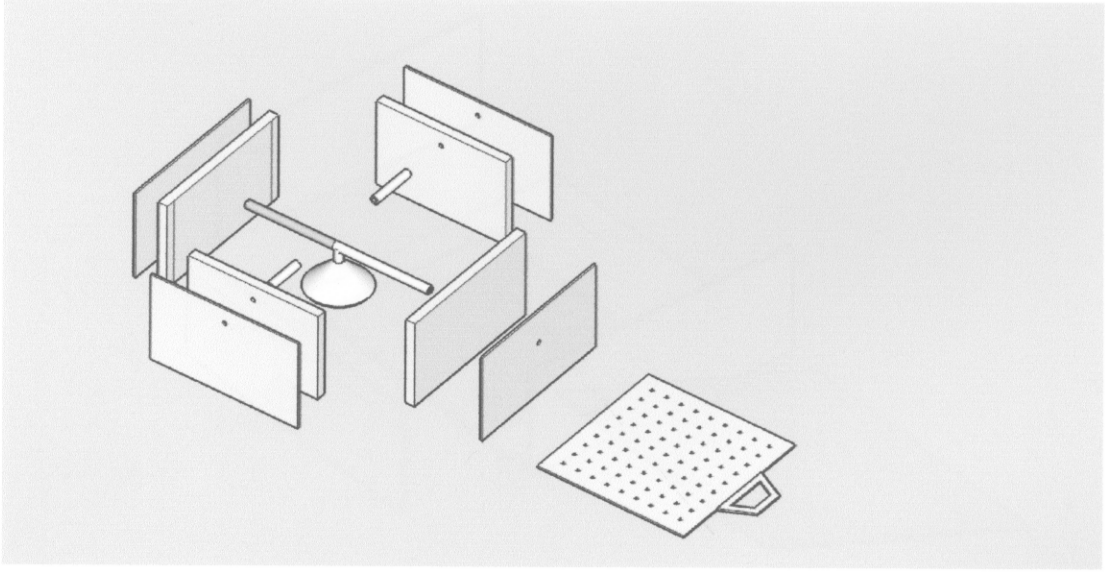


รูปที่ ฉ22 การสร้างถังหมักแบบที่ 3 ขั้นที่ 2-1

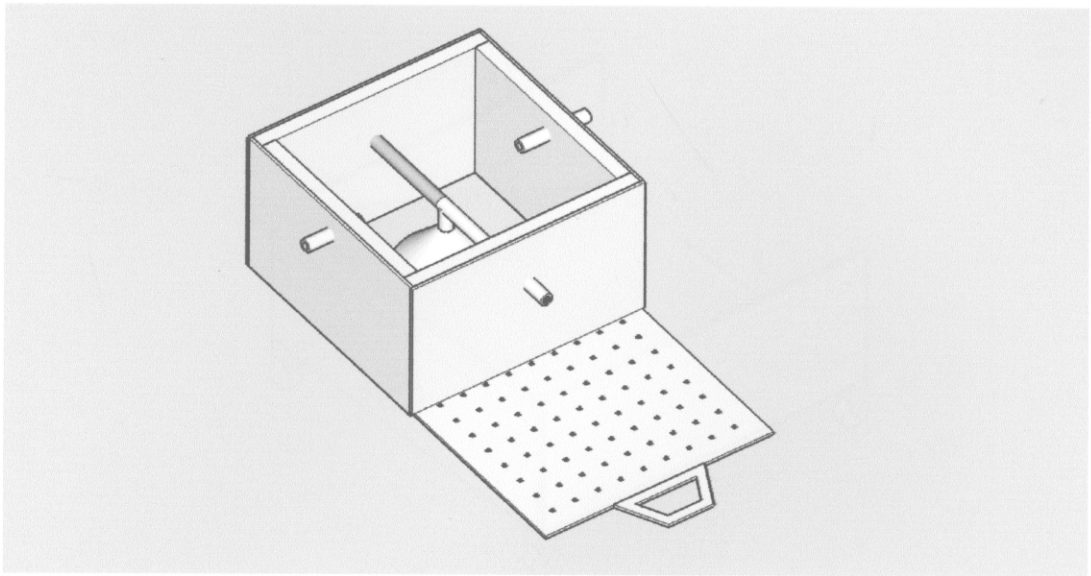


รูปที่ ฉ23 การสร้างถังหมักแบบที่ 3 ขั้นที่ 2-2

3. เริ่มสร้างถังหมักส่วนล่างจากการเตรียมไม้อัด ท่อพีวีซี กรวย และแผ่นโฟม ดังรูปที่ ฉ23 จากนั้นประกอบทุกชิ้นส่วนตามรูปที่ ฉ24

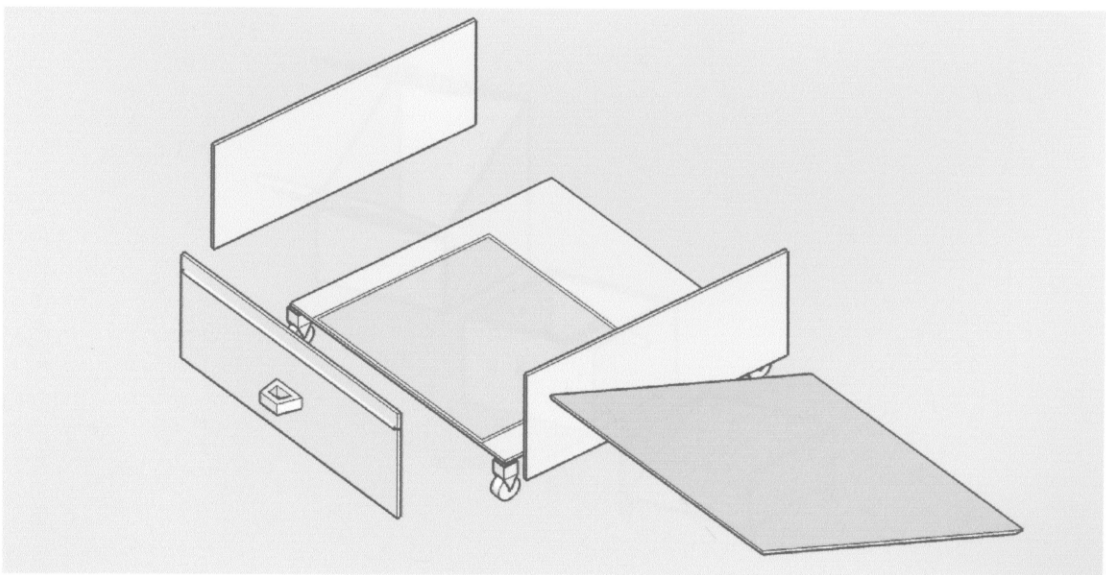


รูปที่ ฉ24 การสร้างถังหมักแบบที่ 3 ขั้นที่ 3-1

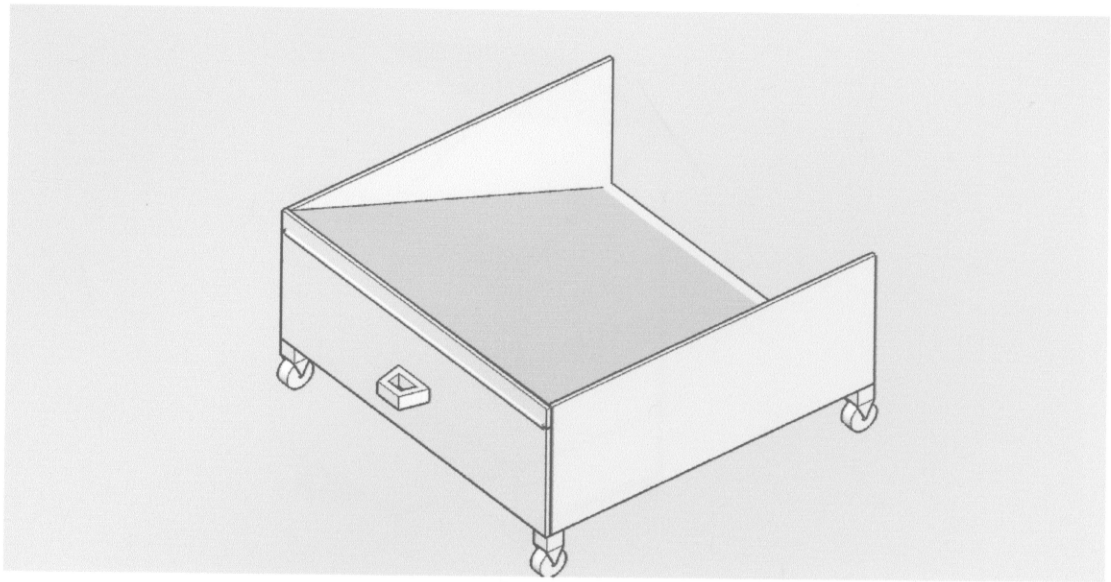


รูปที่ ฉ25 การสร้างถังหมักแบบที่ 3 ขั้นที่ 3-2

4. เริ่มสร้างพื้นเอียงเพื่อใช้ในการระบายวัสดุหมัก โดยเตรียมไม้อัดดังแสดงในรูปที่ ฉ25 และประกอบให้มีลักษณะดังรูปที่ ฉ26

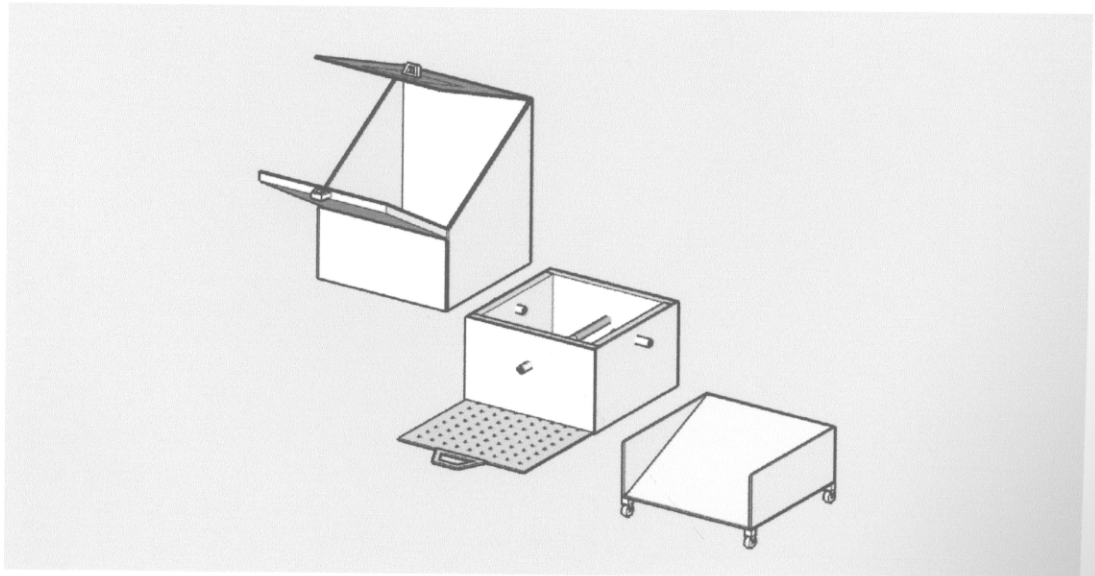


รูปที่ ฉ26 การสร้างถังหมักแบบที่ 3 ขั้นที่ 4-1

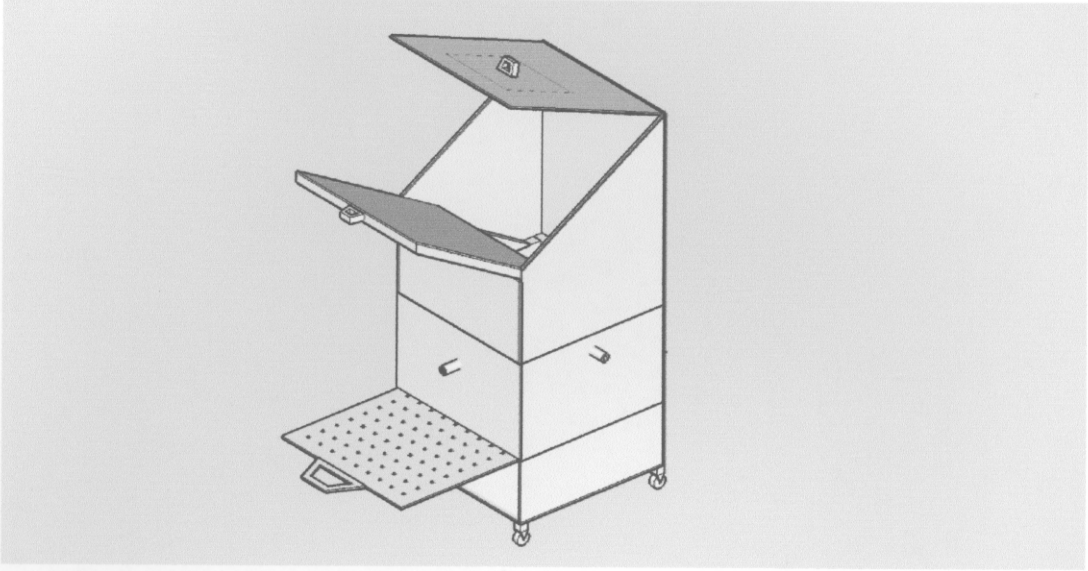


รูปที่ ฉ27 การสร้างถังหมักแบบที่ 3 ขั้นที่ 4-2

5. นำถังหมักส่วนบน-ล่าง และส่วนที่เป็นพื้นเอียงมาประกอบรวมกันโดยใช้สลักยึดดังแสดงในรูปที่ ฉ27-ฉ28 เป็นอันเสร็จสิ้นกระบวนการสร้างถังหมักแบบที่ 3



รูปที่ ฉ28 การสร้างถังหมักแบบที่ 3 ขั้นที่ 5-1



รูปที่ ฉ29 การสร้างถังหมักแบบที่ 3 เสร็จสิ้น

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

ชื่อ สกุล ดร.จรงค์พันธ์ มุสิกะวงศ์
ตำแหน่ง อาจารย์
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม **ภาควิชา** วิศวกรรมโยธา

ประเภททุนอุดหนุนการวิจัยที่ได้รับ

ทุนอุดหนุนการวิจัยจากเงินรายได้ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ประจำปี 2551

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

บทความที่เสนอในที่ประชุมวิชาการ (Proceeding)

นิติ เหมพัฒน์ อ. จรีรัตน์ สกุลรัตน์ และ ดร.จรงค์พันธ์ มุสิกะวงศ์.2552. อัตราส่วนที่เหมาะสมของปุ๋ยหมักมูลฝอยอินทรีย์จากบ้านเรือนกับใบไม้แห้ง. การประชุมวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 8. ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา. วันที่ 25-27 มีนาคม 2552.

นิติ เหมพัฒน์ อ. จรีรัตน์ สกุลรัตน์ และ ดร.จรงค์พันธ์ มุสิกะวงศ์.2552. การใช้ใบไม้แห้งเป็นวัสดุหมักร่วมกับมูลฝอยอินทรีย์จากบ้านเรือนเพื่อปรับปรุงคุณภาพปุ๋ย. การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทยครั้งที่ 10. ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, นครราชสีมา. วันที่ 1-3 เมษายน 2552.