



ใบรับรองวิทยานิพนธ์  
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (ชีววิทยา)

ปริญญา

ชีววิทยา

สัตววิทยา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง เครื่องต้นแบบสำหรับการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษอาหาร

Pilot Plant for Compost Production from Food Waste

นามผู้วิจัย นางสาวเกสินี สุทธิชาติ

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

( รongศาสตราจารย์มณจันท์ เมฆธน, Ph.D. )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

( ผู้ช่วยศาสตราจารย์สุรัตน์ บัวเลิศ, Ph.D. )

หัวหน้าภาควิชา

( รongศาสตราจารย์มณจันท์ เมฆธน, Ph.D. )

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

( รongศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr. )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... เดือน ..... พ.ศ. ....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

เครื่องต้นแบบสำหรับการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษอาหาร

Pilot Plant for Compost Production from Food Waste

โดย

นางสาวเกสินี สุทธิชาติ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ชีววิทยา)

พ.ศ. 2554

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เกลินี สุทธิชาติ 2554: เครื่องต้นแบบสำหรับการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษอาหาร ปริญญา  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (ชีววิทยา) สาขาชีววิทยา ภาควิชาสัตววิทยา อาจารย์ที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์มณจันทร์ เมฆชน, Ph.D. 129 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการย่อยสลาย  
สารอินทรีย์ในเศษอาหาร และนำเชื้อที่คัดเลือกได้มาใช้ทดสอบควบคู่กับการศึกษาสภาวะที่เหมาะสม  
ในการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษอาหาร โดยเครื่องต้นแบบที่ได้รับการออกแบบจากทางกลุ่มงานและผลิต  
จากบริษัท เทอร์ม เอ็นจิเนียริง จำกัด และได้ติดตั้งเครื่องดังกล่าวที่โรงอาหารกลาง 2 ของ  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เครื่องต้นแบบที่ใช้ในการทดลองมีลักษณะเป็นถังหมักทรงกระบอก 2 ถัง  
เชื่อมต่อกัน ภายในถังมีระบบสกรูลำเลียงเพื่อใช้ในการลำเลียงเศษอาหารไปตามถังหมัก และใช้ในการ  
พลิกกลับเศษอาหาร โดยได้ทำการทดลองเบื้องต้นทั้งหมด 6 ครั้ง พบว่าการควบคุมอุณหภูมิของ  
ถังหมักบนเป็น 40 องศาเซลเซียส ถังหมักล่างเป็น 70 องศาเซลเซียส และมีการเติมเชื้อจุลินทรีย์ร้อยละ  
5 ทำให้มีการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้มากที่สุด แต่เศษอาหารที่ผ่านกระบวนการหมัก และออก  
จากเครื่องต้นแบบมีลักษณะเกาะกันเป็นก้อน และแม้ว่าการใช้ขี้เลื่อยเป็น bulking agent จะสามารถ  
ลดความชื้นของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องลงได้ถึงร้อยละ 10 แต่เมื่อเศษอาหารผ่านกระบวนการหมัก  
และออกจากเครื่องกลับมีความชื้นไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงได้ดำเนินการปรับปรุงเครื่อง และทำการ  
ทดลองเพิ่มเติมอีก 2 ครั้ง พบว่าเมื่อควบคุมอุณหภูมิของถังหมักบนเป็น 40 องศาเซลเซียส และถัง  
หมักล่างเป็น 45 องศาเซลเซียส เศษอาหารที่ผ่านกระบวนการหมักและออกจากเครื่อง มีลักษณะที่  
เหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นปุ๋ยหมัก เนื่องจากมีขนาดเล็ก ไม่เกาะกันเป็นก้อน มีความชื้นโดยเฉลี่ย  
อยู่ที่ร้อยละ  $11.00 \pm 0.60$  อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนโดยเฉลี่ยอยู่ที่  $15.46 \pm 0.16$  ปริมาณ  
ไนโตรเจนทั้งหมดโดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ  $3.15 \pm 0.04$  และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยเฉลี่ย  
อยู่ที่ร้อยละ  $1.43 \pm 0.02$  ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร ส่วนปริมาณโพแทสเซียมโดย  
เฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ  $0.33 \pm 0.01$  ซึ่งน้อยกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดเล็กน้อย แต่เศษอาหารที่ผ่าน  
กระบวนการหมักและออกจากเครื่องยังคงมีสภาพเป็นกรดอ่อน แสดงว่าเศษอาหารที่ผ่าน  
กระบวนการหมักยังไม่เป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ ดังนั้นก่อนนำปุ๋ยหมักไปใช้ในการปรับสภาพดิน ควร  
นำมากองไว้ 2-3 สัปดาห์ เพื่อให้กระบวนการย่อยสลายเกิดได้อย่างสมบูรณ์

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Kasinee Suttichart 2011: Pilot Plant for Compost Production from Food Waste. Master of Science (Biology), Major Field: Biology, Department of Zoology. Thesis Advisor: Associate Professor Monchan Maketon, Ph.D. 129 pages.

The objective of this research is to select some beneficial microorganisms that can degrade organic matter in food waste to become compost and study for an appropriate condition of compost production. Pilot plant was designed by our group and fabricated from Therm Engineering Co., and installed at the second central food center. It consists of two cylindrical fermenters lined horizontally one above the other. Inside each fermenter was equipped with a screw conveyor in order to circulate food waste. Initially six experiments were performed with the temperature of 40°C and 70°C for the fermenters upper and lower respectively. Five percents of the selected microorganisms were added but the compost obtained became bulky mass. When sawdust was added as a bulking agent, the moisture could be decreased by 10% but was not stable. Therefore, the Pilot plant was adjusted and two experiments were performed. Results showed that when temperature of the upper fermenter was 40°C and the lower fermenter was 45°C, better compost were obtained because it has small size with 11.00±0.60 %moisture, C/N ratio of 15.46±0.16, total nitrogen 3.15±0.04%, available phosphate 1.43±0.02% and potash 0.33±0.01%. pH of the compost is acidic which might resulted from an incomplete process, therefore the compost should be piled and left for few weeks before uses.

---

Student's signature

---

Thesis Advisor's signature

## กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. มณจันทร์ เมฆชน อาจารย์ที่ปรึกษา  
วิทยานิพนธ์หลัก และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุรัตน์ บัวเลิศ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้  
กรุณาให้คำปรึกษาในการวางแผนการวิจัย รวมถึงตรวจแก้ไขจนกระทั่งวิทยานิพนธ์ถูกต้องสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณ ดร. พิลาณี ไวดนอมสัจย์ ที่ได้กรุณาอนุเคราะห์คำแนะนำด้านการ  
วิเคราะห์เอนไซม์ ตลอดจนสถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ

ขอกราบขอบพระคุณบริษัท แอพพลายเค็ม (ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้อนุเคราะห์ผลิตเชื้อ  
แบคทีเรียในรูปผงสำเร็จรูป และบริษัท พรีเมียร์ โพรดักส์ จำกัด ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ในการ  
ปรับปรุงเครื่องต้นแบบสำหรับการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษอาหารจนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

เกสินี สุทธิชาติ

ตุลาคม 2554

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	35
อุปกรณ์	35
วิธีการ	40
ผลและวิจารณ์	52
สรุปและข้อเสนอแนะ	81
สรุป	81
ข้อเสนอแนะ	82
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	83
ภาคผนวก	91
ภาคผนวก ก อาหารสำหรับการเพาะเลี้ยงจุลินทรีย์	92
ภาคผนวก ข ตารางแสดงผลการทดลอง	98
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	129

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้น โดยจำแนกตามรายได้ของประเทศ	9
2	ระดับการพัฒนาทางเศรษฐกิจ สัดส่วนความเป็นเมือง และปริมาณการผลิตมูลฝอยในประเทศแถบเอเชียแปซิฟิก	10
3	ปริมาณมูลฝอยชุมชนที่เกิดขึ้นในประเทศไทย ระหว่างปีพ.ศ. 2536-2548	11
4	องค์ประกอบมูลฝอยทางกายภาพของกรุงเทพมหานคร ระหว่างปี พ.ศ. 2540 - 2549	13
5	ข้อมูลทั่วไปขององค์ประกอบทางเคมีที่เผาไหม้ได้ในมูลฝอยชุมชน	14
6	วิธีการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์	48
7	จำนวนของเชื้อจุลินทรีย์ที่คัดแยกได้จากสภาพแวดล้อม	52
8	จำนวนของเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้รับความอนุเคราะห์จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) และบริษัท แอปพลายเค็ม (ประเทศไทย) จำกัด	53
9	ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส pH 5	58
10	ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบในเศษอาหาร	63
11	ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเศษอาหาร	65
12	ปริมาณโลหะหนักที่พบในตัวอย่างเศษอาหารที่ผ่านกระบวนการหมัก เปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดโดย สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2548)	79

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ข1	ความสามารถของเชื้อจุลินทรีย์ในการผลิตเอนไซม์	99
ข2	อุณหภูมิของถังหมักบนและถังหมักล่าง	103
ข3	ความชื้นของเศษอาหารก่อนเข้าและหลังออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์	105
ข4	สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของเศษอาหารก่อนเข้าและหลังออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์	108
ข5	ปริมาณของแข็งระเหย (Volatile Solids; VS) ของเศษอาหารก่อนเข้าและหลังออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์	111
ข6	ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (C) ของเศษอาหารก่อนเข้าและหลังออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์	114
ข7	ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (N) ของเศษอาหารก่อนเข้าและหลังออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์	117
ข8	อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของเศษอาหารก่อนเข้าและหลังออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์	120
ข9	ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ( $P_2O_5$ ) ของเศษอาหารก่อนเข้าและหลังออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์	123
ข10	ปริมาณโพแทสเซียม ( $K_2O$ ) ของเศษอาหารก่อนเข้าและหลังออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์	126

## สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	วิธีการทำปุ๋ยหมักแบบ Windrow composting	22
2	วิธีการทำปุ๋ยหมักแบบ Aerated static pile composting	23
3	วิธีการทำปุ๋ยหมักแบบ Passively aerated bins	24
4	แสดงลักษณะของ Aerated containers	24
5	แสดงลักษณะของ Rotating drums	25
6	วิธีการทำปุ๋ยหมักแบบ Agitated beds	26
7	เครื่องต้นแบบสำหรับกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์	35
8	ส่วนประกอบของเครื่องต้นแบบสำหรับกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์	37
9	แผนผังจรรยาบรรณการทำงานแบบกายภาพ และหน้าจอแสดงผล	38
10	แผนผังจรรยาบรรณการทำงานแบบอัตโนมัติ	38
11	เครื่องปั่น (blender) ตัวใหญ่	39
12	ความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไลเปสของเชื้อ <i>Bacillus vallismortis</i> (ซ้าย) CF7015-3 (ขวา)	54
13	ความสามารถในการผลิตเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสของเชื้อ <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> (ซ้าย) AG-03 (ขวา)	55
14	ความสามารถในการผลิตเอนไซม์โปรติเอสของเชื้อ <i>Bacillus thuringiensis</i> (ซ้าย) PD-05 (ขวา)	55
15	ความสามารถในการผลิตเอนไซม์เพคติเนสของเชื้อ <i>Bacillus circulans</i> -07 (ซ้าย) JPR-08 (ขวา)	56
16	ความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสของเชื้อ <i>Bacillus subtilis</i> (ซ้าย) PDB0501.4 (ขวา)	57
17	ความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไคติเนสของเชื้อ <i>Bacillus chitinolyticus</i> (ซ้าย) LTR-05 (ขวา)	57
18	เชื้อจุลินทรีย์ที่ถูกผลิตให้อยู่ในรูปผง (powder)	62

## สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
19	ลักษณะเศษอาหารที่ผ่านกระบวนการหมัก และออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหาร และสารอินทรีย์ในการทดลองครั้งที่ 1 (บน) และการทดลองครั้งที่ 2 (ล่าง)	70
20	ลักษณะเศษอาหารที่ผ่านการปั่นด้วยเครื่องปั่น (blender) ตัวใหญ่	71
21	ลักษณะเศษอาหารที่ผ่านกระบวนการหมัก และออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหาร และสารอินทรีย์ในการทดลองครั้งที่ 3 (บนซ้าย) การทดลองครั้งที่ 4 (บนขวา) การทดลองครั้งที่ 5 (ล่างซ้าย) และการทดลองครั้งที่ 6 (ล่างขวา)	71
22	ลักษณะเศษอาหารที่ถูกปั่นด้วยเครื่องปั่นตัวใหม่ที่มีการติดตั้งเข้าไป	72
23	ลักษณะเศษอาหารที่ผ่านกระบวนการหมัก และออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหาร และสารอินทรีย์ในการทดลองครั้งที่ 7 (ซ้าย) และการทดลองครั้งที่ 8 (ขวา)	72
24	ชุดรีดน้ำ (ซ้าย) ตัวปั่นเศษอาหาร (ขวา)	78
25	สกรูลำเลียงของถังหมักบน (ซ้าย) ไบโอดีเศษอาหารของถังหมักล่าง (ขวา)	79

## เครื่องต้นแบบสำหรับการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษอาหาร

### Pilot Plant for Compost Production from Food Waste

#### คำนำ

เนื่องจากการขยายตัวของเศรษฐกิจและสังคมของประเทศเป็นไปอย่างรวดเร็ว ทำให้อัตราการบริโภคของประชากรภายในประเทศเพิ่มสูงขึ้น จึงส่งผลให้แนวโน้มของปริมาณมูลฝอยเพิ่มมากขึ้นทุกปี โดยพบว่าในปี พ.ศ. 2536 มีปริมาณมูลฝอยเกิดขึ้นวันละ 30,640 ตัน และเพิ่มขึ้นเป็นวันละ 39,221 ตัน ในปี พ.ศ. 2548 โดยเขตกรุงเทพมหานคร เขตเทศบาลรวมเมืองพัทยา และนอกเขตเทศบาล มีอัตราการผลิตมูลฝอยอยู่ที่วันละ 8,291 ตัน, 12,635 ตัน และ 18,295 ตัน ตามลำดับ (กรมควบคุมมลพิษ, 2550ก, 2550ข)

การกำจัดมูลฝอยสามารถทำได้หลายวิธี ขึ้นกับความพร้อมของปัจจัยที่ใช้ในการดำเนินการสำหรับประเทศไทยโดยส่วนใหญ่แล้วยังคงใช้วิธีการกำจัดมูลฝอยโดยการกองทิ้งและการเผากลางแจ้ง (open dumping and burning) ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ถูกต้องตามหลักสุขาภิบาล ดังนั้นเศษอาหารจึงจัดเป็นมูลฝอยที่ควรให้ความสำคัญในเรื่องของการจัดการ เนื่องจากเศษอาหารไม่สามารถนำไปกำจัดโดยการเผาได้ เพราะมีความชื้นสูง หากนำไปเทกองกลางแจ้ง จะทำให้เกิดปัญหาหากลิ่นรบกวน เป็นแหล่งสะสมเชื้อโรค และเพาะพันธุ์ของแมลงวัน วิธีการกำจัดที่เหมาะสมวิธีหนึ่งคือการนำไปฝังกลบ แต่วิธีการนี้จำเป็นต้องอาศัยพื้นที่รองรับมากขึ้นทุกปีเพื่อให้เพียงพอกับปริมาณมูลฝอยที่มีมากขึ้น และมักเกิดความขัดแย้งกับประชาชนในพื้นที่ใกล้เคียง ดังนั้นการสร้างเครื่องมือเพื่อใช้ในการกำจัดมูลฝอยที่เป็นอินทรีย์สารให้กลายเป็นปุ๋ยหมัก จึงมีความจำเป็นอย่างเร่งด่วนที่จะต้องส่งเสริมให้มีการวิจัยและพัฒนาให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์โดยเร็ว ซึ่งวิธีนี้ไม่เพียงแต่จะช่วยลดปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้น แต่การกำจัดมูลฝอยด้วยการทำปุ๋ยหมักยังเป็นเทคโนโลยีสะอาด (Clean Technology) ที่มีผลพลอยได้เป็นปุ๋ยหมักที่ภาคการเกษตรขาดแคลนอยู่เป็นจำนวนมาก

ในการศึกษานี้ เป็นการดำเนินงานภายในมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน ร่วมกับบริษัท พรีเมียร์โปรดักส์ จำกัด ซึ่งเป็นการศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหาร โดยเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์ที่สามารถกำจัดได้ 1-3 ตันต่อวัน นับเป็นขนาดที่เหมาะสมกับการพัฒนามาใช้กับองค์กรทางธุรกิจหรือชุมชนขนาดไม่ใหญ่มาก โดยภายในถังหมักจะมีระบบการเติม

เชื้อจุลินทรีย์ การกวนพลิกกลับ และควบคุมอุณหภูมิ เพื่อให้เศษอาหารสามารถย่อยสลายกลายเป็นปุ๋ยหมัก โดยใช้เวลาในการย่อยสลายเร็วกว่าวิธีการหมักทางธรรมชาติ ส่วนน้ำชะมูลฝอย (leachate) จะถูกบำบัดก่อนนำไปปล่อยทิ้ง



## วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบในการกำจัดเศษอาหารและมูลฝอยอินทรีย์
2. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องและพัฒนาให้มีศักยภาพสูงขึ้น
3. เพื่อคัดเลือกจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายแป้ง ไขมัน โปรตีน ไขมัน  
เซลลูโลส และเพคติน
4. เพื่อทดสอบการทำงานของจุลินทรีย์ในการย่อยสลายเศษอาหารและมูลฝอยอินทรีย์

## การตรวจเอกสาร

### มูลฝอยและกระบวนการทำปุ๋ยหมัก

#### 1. นิยามและความหมาย

ตามพจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542 ได้ให้ความหมายของมูลฝอย หมายความว่า เศษสิ่งของที่ทิ้งแล้ว หยากเชื้อ และได้บัญญัติความหมายของขยะ ว่าหมายถึง หยากเชื้อ มูลฝอย ดังนั้นคำว่า มูลฝอยและขยะ จึงมีความหมายเหมือนกัน สามารถใช้แทนกันได้ (ราชบัณฑิตยสถาน, 2546)

ตามพระราชบัญญัติการสาธารณสุข (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ได้ให้ความหมายของคำว่า มูลฝอย ว่าหมายถึง เศษกระดาษ เศษผ้า เศษอาหาร เศษสินค้า เศษวัสดุ ถุงพลาสติก ภาชนะที่ใส่อาหาร ถ้ำ มูลสัตว์ ซากสัตว์ หรือสิ่งอื่นใดที่เก็บกวาดจากถนน ตลาด ที่เลี้ยงสัตว์ หรือที่อื่น และหมายความรวมถึงมูลฝอยติดเชื้อ มูลฝอยที่เป็นพิษหรืออันตรายจากชุมชน (กรมอนามัย, 2550)

ขยะมูลฝอย เป็นเศษวัสดุที่ไม่มีผู้ใดต้องการ เช่น เศษอาหาร เศษกระดาษ เศษพลาสติก เครื่องใช้ที่ชำรุด เศษวัสดุจากการเกษตร อุตสาหกรรม การก่อสร้าง ตลอดจนกิ่งไม้ใบหญ้า หรือซากสัตว์ ขยะมูลฝอยบางอย่างยังมีคุณค่าในตัวเองและอาจเป็นที่ต้องการของบุคคลอีกกลุ่มก็ได้ เช่น กระดาษ พลาสติก เสื้อผ้าเก่า ฯลฯ (กรมควบคุมมลพิษ, 2547)

ขยะหรือมูลฝอย (refuse or solid waste) หมายถึง สิ่งปฏิกูลที่อยู่ในรูปของแข็ง ซึ่งอาจจะมี น้ำหรือความชื้นปะปนมาด้วยจำนวนหนึ่ง ประกอบด้วยสารอินทรีย์และอนินทรีย์ (สิทธิชัย, 2541)

#### 2. แหล่งกำเนิดมูลฝอย

ในการจัดการกับปัญหามูลฝอย แหล่งกำเนิดของมูลฝอยเป็นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งที่เกี่ยวข้องต้องนำมาพิจารณา เพราะมูลฝอยจากแต่ละแหล่งมีองค์ประกอบและปริมาณที่แตกต่างกัน การทราบถึงแหล่งกำเนิดจะทำให้การจัดการกับมูลฝอยมีประสิทธิภาพมากขึ้น พัฒนา (2546) ได้แบ่งแหล่งกำเนิดของมูลฝอยตามการใช้ประโยชน์ที่ดินไว้ดังนี้

## 2.1 มูลฝอยจากบ้านพักอาศัย (residential waste)

มูลฝอยจากบ้านพักอาศัย เป็นมูลฝอยที่เกิดจากการดำรงชีวิตของคนที่อยู่อาศัยในบ้าน หรือห้องชุด มูลฝอยที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่เป็น เศษอาหาร เศษกระดาษ ถุงพลาสติก ขวดพลาสติก ไขว้ ไม้ ภาชนะหรืออุปกรณ์ที่ชำรุดหรือเสื่อมคุณภาพ เศษแก้ว ฯลฯ

## 2.2 มูลฝอยจากธุรกิจการค้า (commercial waste)

มูลฝอยจากธุรกิจการค้า เป็นมูลฝอยที่เกิดจากการประกอบกิจการค้าส่ง ค้าปลีก หรือการบริการทางการค้าต่างๆ ได้แก่ อาคารสำนักงาน ตลาด ร้านขายอาหาร ร้านขายของชำ ร้านขายผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร โรงแรม โรงมหรสพ หรือ โกดังเก็บสินค้า ซึ่งมักจะมีภาชนะเก็บมูลฝอยเป็นของตนเอง มูลฝอยที่เกิดขึ้นอาจมี เศษอาหาร เศษแก้ว พลาสติก หรืออาจมีของเสียอันตราย

## 2.3 มูลฝอยจากการเกษตร (agricultural wastes)

แหล่งมูลฝอยที่สำคัญมาจากการเพาะปลูกและการเลี้ยงสัตว์ ประกอบด้วย มูลสัตว์ เศษหญ้า เศษพืชผัก ภาชนะบรรจุสารปราบศัตรูพืช ฯลฯ ในอดีตของเสียจากการเกษตรส่วนใหญ่ (ยกเว้นภาชนะบรรจุสารปราบศัตรูพืช) จะถูกนำมาใช้คลุมดินบนพื้นที่ทำการเพาะปลูก ซึ่งถือเป็นการนำเอาของเสียที่เกิดขึ้นกลับมาใช้ประโยชน์ได้เป็นอย่างดี แต่ปัจจุบันมีการเร่งให้ได้ผลผลิตมากขึ้นเพื่อให้มีปริมาณเพียงพอกับจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีการนำเอาปุ๋ยเคมีมาใช้แทน จึงส่งผลให้มูลฝอยจากการเกษตรเพิ่มปริมาณมากขึ้น

## 2.4 มูลฝอยจากการพักผ่อนหย่อนใจ (recreational wastes)

มูลฝอยจากสถานที่พักผ่อนหย่อนใจหรือสถานที่ท่องเที่ยว ไม่ว่าจะเป็นแหล่งธรรมชาติหรือเป็นแหล่งศิลปกรรม ได้แก่ ชายหาดต่างๆ เขื่อน อ่างเก็บน้ำ ทะเลสาบ สระว่ายน้ำ โบราณสถาน พิพิธภัณฑสถาน ฯลฯ โดยส่วนใหญ่มูลฝอยที่เกิดขึ้นจะเป็น เศษอาหาร เศษบรรจุภัณฑ์ เช่น กล่องกระดาษหรือพลาสติก ถุงกระดาษหรือพลาสติก กระจัง โลหะต่างๆ ขวดแก้วหรือพลาสติก เป็นต้น

## 2.5 มูลฝอยจากโรงพยาบาล (hospital waste)

มูลฝอยจากโรงพยาบาลมักถูกจัดไว้ในกลุ่มของมูลฝอยอันตราย เพราะอาจทำให้เกิดผลเสียต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมได้หลายประการ จึงนับว่ามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องพิจารณาจัดการแยกออกจากมูลฝอยที่มาจากแหล่งอื่น

## 2.6 มูลฝอยจากโรงงานอุตสาหกรรม (industrial wastes)

มูลฝอยจากโรงงานอุตสาหกรรมมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตหรือประเภทของอุตสาหกรรม มูลฝอยส่วนใหญ่ได้แก่ เศษอาหาร มูลฝอยแห้งต่างๆ เช่น เศษกระดาษ กระดาษแข็ง กलोंกระดาษ รวมถึงขี้เถ้า ของเสียอันตราย เป็นต้น

## 3. ประเภทของมูลฝอย

มูลฝอยสามารถแบ่งตามลักษณะทางกายภาพออกเป็น 12 ประเภท ได้ดังนี้ (พัฒนา, 2546)

### 3.1 มูลฝอยเปียก หรือมูลฝอยสด (garbage)

เป็นมูลฝอยที่มีความชื้นมาก มีสารอินทรีย์เป็นองค์ประกอบสูง สามารถย่อยสลายด้วยกระบวนการทางชีวภาพได้ เช่น เศษอาหาร เศษพืชผัก เศษเนื้อสัตว์ ฯลฯ มูลฝอยประเภทนี้หากทิ้งไว้จะเกิดกลิ่นเหม็นรบกวน เป็นแหล่งสะสมเชื้อโรค ควรนำไปกำจัดโดยเร็ว แหล่งกำเนิดมูลฝอยเปียก ได้แก่ บ้านพักอาศัย ร้านอาหาร สถานที่ทำการต่างๆ ร้านค้า ตลาด เป็นต้น

### 3.2 มูลฝอยแห้ง (rubbish)

เป็นมูลฝอยที่มีความชื้นต่ำ เช่น เศษกระดาษ กलोंกระดาษ เศษใบไม้ กิ่งไม้ ถุง กระดาษ เศษแก้ว เศษโลหะ กระป๋องโลหะ ฯลฯ มูลฝอยประเภทนี้มีการย่อยสลายได้ยาก หรือไม่ สามารถย่อยสลายได้ มีแหล่งกำเนิดเช่นเดียวกับมูลฝอยเปียก รวมถึงโรงงานอุตสาหกรรม มูลฝอยแห้งสามารถเก็บไว้เพื่อรอการกำจัดได้นานกว่ามูลฝอยเปียก แต่จะสิ้นเปลืองเนื้อที่ในการจัดเก็บ

### 3.3 เถ้า (ashes)

หมายถึง สิ่งตกค้างที่เหลือจากการสันดาปของเชื้อเพลิงต่างๆ โดยเฉพาะเชื้อเพลิงที่เป็นของแข็ง เช่น ไม้ ถ่านไม้ ถ่านหิน ฯลฯ มูลฝอยประเภทนี้มีความเฉื่อยสูง คือไม่เกิดการย่อยสลายอีกต่อไป มีแหล่งกำเนิดมูลฝอยเช่นเดียวกับมูลฝอยแห้ง

### 3.4 มูลฝอยจากการกวาดถนน (street refuse)

มูลฝอยที่เกิดจากการกวาดถนน หรือสถานที่สาธารณะต่างๆ เช่น เศษใบไม้ เศษหญ้า กิ่งไม้ ฝุ่นละออง ฯลฯ หากปล่อยทิ้งไว้จะก่อให้เกิดความสกปรก รวมทั้งทำให้เกิดการอุดตันของท่อระบายน้ำได้

### 3.5 มูลฝอยขนาดใหญ่ (bulky waste)

มูลฝอยที่มีขนาดใหญ่ ส่วนใหญ่จะเป็นอุปกรณ์เครื่องใช้ต่างๆ ที่เสียหรือเสื่อมสภาพ ไม่สามารถซ่อมแซมเพื่อใช้งานต่อไปได้อีก เช่น พัดลม ตู้เย็น โทรทัศน์ เฟอร์นิเจอร์ ฯลฯ

### 3.6 ซากรถยนต์ หรือยานพาหนะต่างๆ (abandoned vehicles)

มูลฝอยประเภทนี้ได้แก่ รถยนต์ รถจักรยานยนต์ รถบรรทุก เครื่องจักรกล เรือ ล้อเลื่อน ฯลฯ รวมถึงชิ้นส่วนของยานพาหนะ หรือเครื่องจักรกล ที่เสียหรือเสื่อมสภาพไม่สามารถซ่อมแซมเพื่อใช้งานได้อีก มักจะถูกนำไปทิ้งในที่สาธารณะ ทำให้สูญเสียพื้นที่ที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์

### 3.7 มูลฝอยสิ่งก่อสร้างและรื้อถอน (construction and demolition wastes)

มูลฝอยที่เกิดจากการก่อสร้างและรื้อถอนบ้าน อาคารสำนักงาน โรงเรียน โรงงาน อุตสาหกรรม ถนน หรือเขื่อน มูลฝอยที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่มักเป็นวัสดุที่ย่อยสลายไม่ได้ เช่น เศษไม้ เศษหิน กรวด ทราย เศษกระดาษ เศษกระเบื้อง เศษอิฐ เศษปูน เศษคอนกรีต ลวด สายไฟ เศษแก้ว เศษภาชนะบรรจุสิ่งของ ฯลฯ

### 3.8 มูลฝอยอุตสาหกรรม (industrial solid wastes)

มูลฝอยที่เกิดจากการประกอบอุตสาหกรรม จะมีปริมาณและองค์ประกอบของมูลฝอยแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับประเภทของการประกอบอุตสาหกรรม เช่น โรงงานแปรรูปผลไม้ กระป๋อง มูลฝอยที่เกิดขึ้นเป็นพวก เปลือกและเศษผลไม้ เศษกระดาษ ก่อกระดาษ เป็นต้น

### 3.9 มูลฝอยเกษตรกรรมและสัตว์เลี้ยง (animal and agricultural wastes)

มูลฝอยที่เกิดจากกิจกรรมทางการเกษตร ได้แก่ การทำนา ทำไร่ ทำสวน การประมง การป่าไม้ หรือการเลี้ยงสัตว์ เป็นต้น มูลฝอยที่เกิดส่วนใหญ่ ได้แก่ มูลสัตว์ เศษหญ้า ใบไม้ กิ่งไม้ เศษอาหารสัตว์ ภาชนะบรรจุสารปราบศัตรูพืช ปุ๋ย หรือฮอร์โมน สารตกค้างของสารปราบศัตรูพืช ปุ๋ย หรือฮอร์โมน เป็นต้น

### 3.10 มูลฝอยจากการบำบัดน้ำเสีย (sewage treatment residues)

หมายถึง ส่วนที่เหลือจากการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการต่างๆ เช่น มูลฝอยที่ติดอยู่บนตะแกรงก่อนนำน้ำเสียเข้าสู่ระบบ กากตะกอนจากถังตกตะกอน เศษกรวด ทราย หรือโลหะจากรางดักกรวดทราย ฯลฯ มูลฝอยเหล่านี้ส่วนใหญ่เป็นมูลฝอยที่มีความชื้นสูง โดยเฉพาะกากตะกอนจากถังตกตะกอน

### 3.11 ซากสัตว์ (dead animals)

หมายถึง สัตว์ที่อาจตายโดยธรรมชาติ เจ็บป่วย หรืออุบัติเหตุ เป็นมูลฝอยที่เน่าสลายง่ายและรวดเร็ว เมื่อเน่าสลายแล้วจะส่งกลิ่นเหม็น และอยู่ในสภาพที่ไม่น่าดู จึงจำเป็นต้องรีบเก็บรวบรวมและนำไปกำจัดในทันที

### 3.12 มูลฝอยพิเศษ (special wastes)

หมายถึง มูลฝอยที่ต้องมีการจัดการเป็นพิเศษ มิเช่นนั้นจะก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์หรือสิ่งมีชีวิตอื่น รวมถึงมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม บางครั้งอาจถูกจัดไว้

เป็นมูลฝอยอันตราย (hazardous waste) ได้แก่ มูลฝอยไวไฟ มูลฝอยติดเชื้อ มูลฝอยมีพิษ มูลฝอยกัมมันตรังสี มูลฝอยที่มีฤทธิ์ในการกัดกร่อน เป็นต้น แหล่งกำเนิดของมูลฝอยพิเศษอาจมาจากที่พักอาศัย โรงงานอุตสาหกรรม โรงพยาบาล สถานที่ทำการต่างๆ

#### 4. ปริมาณของมูลฝอย

การเกิดมูลฝอยเป็นผลพวงที่ตามมาจากกิจกรรมในกระบวนการผลิต และการบริโภคในระบบเศรษฐกิจ ซึ่งทั่วไปแล้วปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นจะมีความสัมพันธ์กับระดับรายได้ของประชาชน โดยประเทศที่ประชาชนมีรายได้เฉลี่ยสูง มักจะมีปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นต่อคนสูงตามไปด้วย (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้น โดยจำแนกตามรายได้ของประเทศ

ระดับรายได้ของประเทศ	ปริมาณการผลิตมูลฝอย (กิโลกรัม/คน/วัน)
รายได้ต่ำ	0.64
รายได้ปานกลาง	0.73
รายได้สูง	1.64

ที่มา: Eugenia *et al.* (2002)

นอกจากรายได้จะเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดมูลฝอยแล้ว ระดับการพัฒนาทางเศรษฐกิจและสัดส่วนความเป็นเมืองก็เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตมูลฝอยด้วยเช่นกัน โดยพบว่าประเทศไทยมีอัตราการผลิตมูลฝอยต่อคนต่อวันอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับประเทศที่มีระดับการพัฒนาที่ใกล้เคียงกัน ส่วนหนึ่งอาจมาจากสัดส่วนความเป็นเมืองของประเทศไทยต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศอื่น ทำให้ปริมาณมูลฝอยที่ประชาชนภายในประเทศผลิตขึ้นอยู่ในเกณฑ์ต่ำด้วย ในขณะที่บางประเทศมีระดับการพัฒนาทางเศรษฐกิจต่ำกว่าประเทศไทย แต่มีสัดส่วนความเป็นเมืองสูงกว่า จึงมีปริมาณมูลฝอยที่ผลิตขึ้นต่อคนต่อวันสูงกว่าประเทศไทย (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ระดับการพัฒนาทางเศรษฐกิจ สัดส่วนความเป็นเมือง และปริมาณการผลิตมูลฝอยในประเทศแถบเอเชียแปซิฟิก

ประเทศ	ระดับการพัฒนาทางเศรษฐกิจ (GDP per capita US\$)	สัดส่วนความเป็นเมือง	ปริมาณการผลิตมูลฝอย (กิโลกรัม/คน/วัน)
มาเลเซีย	3,915	57.4	0.88-1.44
ไทย	2,012	19.8	0.62
ฟิลิปปินส์	989	58.6	0.50-0.70
จีน	856	35.8	1.70
อินโดนีเซีย	710	41.0	0.76

ที่มา: Amin (2005)

สำหรับปริมาณการเกิดมูลฝอยในประเทศไทย พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นทุกปีตามการขยายตัวทางเศรษฐกิจและสังคม โดยในปี พ.ศ. 2548 มีปริมาณมูลฝอยเกิดขึ้น 39,221 ตันต่อวัน ซึ่งเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2536 คิดเป็นร้อยละ 21.88 (ตารางที่ 3) หากสถานการณ์การเพิ่มของมูลฝอยยังคงสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง อาจส่งผลให้ขยะล้นเมือง และจะทำให้เกิดผลกระทบอย่างรุนแรงต่อสภาพแวดล้อม รวมทั้งก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อสุขอนามัยของประชาชน

ตารางที่ 3 ปริมาณมูลฝอยชุมชนที่เกิดขึ้นในประเทศไทย ระหว่างปีพ.ศ. 2536-2548

พื้นที่	ปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้น (ตันต่อวัน)												
	2536	2537	2538	2539	2540	2541	2542	2543	2544	2545	2546	2547	2548
1. กรุงเทพมหานคร	7,050	7,000	7,192	8,098	8,949	8,497	8,990	9,130	9,317	9,617	9,340	9,356	8,291
2. เขตเทศบาลรวมเมืองพัทยา	3,422	5,618	6,311	6,658	8,196	7,414	12,328	11,785	11,903	11,976	12,100	12,500	12,635
3. เขตสุขาภิบาล	4,138	4,184	4,655	4,895	4,819	4,777	-	-	-	-	-	-	-
4. นอกเขตเทศบาลและสุขาภิบาล	16,030	16,206	16,334	16,378	15,138	16,558	16,561	17,170	17,423	17,632	17,800	18,100	18,295
รวมทั้งประเทศ	30,640	33,008	34,492	36,029	37,102	37,246	37,879	38,170	38,643	39,225	39,240	39,956	39,221

หมายเหตุ เขตสุขาภิบาลถูกยกเลิกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 เป็นต้นไป และได้รับการยกฐานะให้เป็นเทศบาล

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2550ก, 2550ข)

## 5. องค์ประกอบของมูลฝอย

องค์ประกอบของมูลฝอยเป็นข้อมูลพื้นฐานที่มีความสำคัญในการนำมาพิจารณาเพื่อวางแผนการจัดการให้มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพ โดยองค์ประกอบของมูลฝอยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ

### 5.1 องค์ประกอบทางกายภาพ

องค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอย โดยทั่วไปแล้วจะไม่ได้มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน สามารถจำแนกออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่คือ มูลฝอยที่เป็นสารอินทรีย์ ได้แก่ เศษอาหาร เศษกระดาษ สิ่งทอ พลาสติก ใบไม้ กระจุก เปลือกหอย เศษหนัง เป็นต้น ส่วนอีกกลุ่มหนึ่งเป็นมูลฝอยที่เป็นสารอนินทรีย์ ได้แก่ หิน เซรามิก โลหะ แก้ว เป็นต้น

จากการรายงานของศูนย์ข้อมูลกรุงเทพมหานคร (2551) พบว่าในช่วงปี พ.ศ. 2540 – 2549 องค์ประกอบทางกายภาพของมูลฝอยในเขตกรุงเทพมหานครมีเศษอาหารเป็นองค์ประกอบสูงสุด อยู่ในช่วงร้อยละ 30.59 – 46.92 รองลงมาเป็นพลาสติกและโฟม อยู่ในช่วงร้อยละ 17.43 – 28.21 (ตารางที่ 4)

### 5.2 องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของมูลฝอยจะมีความแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของมูลฝอย โดยส่วนประกอบสำคัญของมูลฝอยจะประกอบไปด้วย คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ซัลเฟอร์ และกำมะถัน (ตารางที่ 5)

จากตารางแสดงให้เห็นว่า ธาตุคาร์บอนสามารถพบได้มากสุดในเศษยางถึงร้อยละ 78.0 ไนโตรเจนสามารถพบได้มากสุดในเศษหนังถึงร้อยละ 10.0 และกำมะถันสามารถพบได้ในเศษแก้วมากที่สุดถึงร้อยละ 98.9 เป็นต้น

หากพิจารณาเฉพาะเศษอาหารจะพบว่า องค์ประกอบทางเคมีที่มีมากที่สุด คือ ธาตุคาร์บอน อยู่ที่ร้อยละ 48.0 รองลงมาคือ ออกซิเจน อยู่ที่ร้อยละ 37.6

ตารางที่ 4 องค์ประกอบมูลฝอยทางกายภาพของกรุงเทพมหานคร ระหว่างปี พ.ศ. 2540 - 2549

รายการ	ปริมาณมูลฝอยทางกายภาพที่เกิดขึ้น (ร้อยละโดยน้ำหนัก)									
	2540	2541	2542	2543	2544	2545	2546	2547	2548	2549
เศษอาหาร	44.28	35.54	35.41	46.88	46.92	34.16	30.59	34.74	44.32	44.99
พลาสติก และโฟม	17.43	19.80	25.84	19.47	19.41	20.76	23.18	25.08	28.21	26.47
กระดาษ	11.39	11.58	9.57	8.66	8.58	13.58	13.41	10.40	9.65	11.79
ผ้าและสิ่งทอ	6.17	3.71	11.01	6.43	4.00	4.58	8.10	4.77	4.58	5.20
ไม้และใบไม้	5.77	14.51	7.89	6.77	7.52	6.59	8.53	6.17	5.11	6.07
แก้ว	4.47	4.17	1.67	2.57	2.30	5.07	2.55	2.97	3.16	1.65
โลหะ	2.30	2.00	0.96	1.49	1.64	2.18	1.33	0.87	2.06	1.62
หนังและยาง	0.62	0.82	2.15	0.11	0.78	2.19	0.58	0.22	0.83	1.03
กระดูกและ เปลือกหอย	-	-	-	0.35	1.29	1.74	0.92	0.84	0.45	0.92
หินและ เซรามิก	-	-	-	0.51	1.00	0.58	0.68	0.34	0.53	0.26
อื่นๆ	7.57	7.87	5.50	6.76	6.56	8.57	10.13	13.60	1.10	-
รวม	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

หมายเหตุ รายการอื่นๆ หมายถึง มูลฝอยที่ไม่สามารถแยกประเภทได้ โดยองค์ประกอบส่วนใหญ่  
เป็นสารอินทรีย์ที่มีขนาดเล็กกว่า 10 มิลลิเมตร

ที่มา: ศูนย์ข้อมูลกรุงเทพมหานคร (2551)

ตารางที่ 5 ข้อมูลทั่วไปขององค์ประกอบทางเคมีที่เผาไหม้ได้ในมูลฝอยชุมชน

องค์ประกอบ	ร้อยละโดยน้ำหนัก					
	คาร์บอน	ไฮโดรเจน	ออกซิเจน	ไนโตรเจน	ซัลเฟอร์	เถ้า
เศษอาหาร	48.0	6.4	37.6	2.6	0.4	5.0
กระดาษ	43.5	6.0	44.0	0.3	0.2	6.0
กล่องกระดาษ	44.0	5.9	44.6	0.3	0.2	5.0
พลาสติก	60.0	7.2	22.8	-	-	10.0
สิ่งทอ	55.0	6.6	31.2	4.6	0.15	2.5
ยาง	78.0	10.0	-	2.0	-	10.0
หนัง	60.0	8.0	11.6	10.0	0.4	10.0
เศษใบไม้	47.8	6.0	38.0	3.4	0.3	4.5
ไม้	49.5	6.0	42.7	0.2	0.1	1.5
แก้ว	0.5	0.1	0.4	<0.1	-	98.9
โลหะ	4.5	0.6	4.3	<0.1	-	90.5
ฝุ่น, เถ้า ฯลฯ	26.3	3.0	2.0	0.5	0.2	68.0

ที่มา: Tchobanoglous *et al.* (1993)

## 6. ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณและองค์ประกอบของมูลฝอย

ความแตกต่างของปริมาณและองค์ประกอบมูลฝอยในแต่ละชุมชน ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้ (พัฒนา, 2546)

### 6.1 ลักษณะภูมิประเทศของท้องถิ่น (geographic location)

ลักษณะภูมิประเทศของท้องถิ่นมีส่วนสำคัญต่อการประกอบอาชีพหลักของประชาชน จึงทำให้เกิดความแตกต่างของมูลฝอยทั้งในด้านปริมาณและองค์ประกอบ เช่น ในพื้นที่ราบลุ่มเหมาะต่อการเพาะปลูกข้าว องค์ประกอบของมูลฝอยจะเป็นพวกเศษหญ้า หรือฟางข้าว ในปริมาณมากกว่ามูลฝอยประเภทอื่น

## 6.2 ฤดูกาล (season of the year)

ในแต่ละฤดูกาลมีความผันแปรในเรื่องของภูมิอากาศ ซึ่งมีผลต่อการประกอบอาชีพของประชาชน และทำให้มีผลต่อการเกิดมูลฝอยในแต่ละช่วงฤดูกาลแตกต่างกันออกไปด้วย เช่น ในฤดูที่มีการผลิตผลไม้ ออกมามาก ทำให้มูลฝอยส่วนใหญ่เป็นพวกเศษอาหาร เปลือกและเมล็ดของผลไม้ชนิดต่างๆ เป็นต้น

## 6.3 ลักษณะอุปนิสัยของประชาชนในท้องถิ่น (characteristic of population)

ถ้าหากประชาชนในท้องถิ่นรู้จักแยกประเภทของมูลฝอยเพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ จะทำให้ปริมาณของมูลฝอยลดน้อยลง เช่น การนำขวดแก้วที่ใช้แล้วมาล้างให้สะอาดเพื่อบรรจุน้ำดื่มภายในบ้าน เป็นต้น ซึ่งลักษณะอุปนิสัยดังกล่าวจะทำให้ปริมาณของมูลฝอยน้อยลง และองค์ประกอบของมูลฝอยก็เปลี่ยนแปลงไปด้วย

## 6.4 สถานะการดำรงชีพของประชาชน (standard of living)

สถานะการดำรงชีพของประชาชนเป็นปัจจัยสำคัญต่อการเกิดมูลฝอยทั้งในด้านปริมาณและองค์ประกอบ เนื่องจากถ้ากลุ่มประชากรมีกำลังทรัพย์มากพอที่จะจับจ่ายซื้อของได้มากย่อมเป็นผลทำให้มีปริมาณมูลฝอยมาก และองค์ประกอบของมูลฝอยก็มีความแตกต่างกัน

## 6.5 ความถี่ของการบริการเก็บรวบรวมมูลฝอย (frequency of collection)

ความถี่ของการบริการเก็บรวบรวมมูลฝอยมีส่วนทำให้เกิดปริมาณมูลฝอยมากหรือน้อยได้ เพราะถ้าหากมีการเก็บมูลฝอยถี่ก็ย่อมทำให้ปริมาณมูลฝอยมากเพราะภาชนะเก็บ ก็มีที่เหลือมากพอที่จะให้ทิ้งมูลฝอยได้โดยไม่ต้องกลัวสิ้นภาชนะ แต่ถ้าหากความถี่ในการเก็บรวบรวมไม่บ่อย จะทำให้มีมูลฝอยตกค้างในบ้านมาก ทำให้มีความพยายามที่จะนำมูลฝอยที่เกิดขึ้นกลับมาใช้ประโยชน์อีก ทำให้ปริมาณมูลฝอยน้อยลง

## 6.6 กฎหมายหรือระเบียบข้อบังคับ (legislation)

กฎหมายหรือระเบียบในเรื่องการจัดการมูลฝอยที่กำหนดขึ้นโดยรัฐหรือองค์กรท้องถิ่น มีบทบาทสำคัญต่อทั้งปริมาณและองค์ประกอบของมูลฝอย ตัวอย่างเช่น ถ้ามีการออกกฎข้อบังคับไม่ให้ใช้โฟมในการบรรจุอาหาร ก็จะทำให้มูลฝอยมีโฟมเป็นองค์ประกอบอยู่ไม่มาก ดังเช่นทุกวันนี้ หรือการออกกฎหมายไม่ให้ประชาชนทิ้งมูลฝอยในที่สาธารณะ ก็จะทำให้มูลฝอยที่เก็บรวบรวมได้มีปริมาณมากขึ้น

## 7. ผลกระทบของมูลฝอย

หากมูลฝอยไม่ได้รับการจัดการอย่างถูกต้องและเหมาะสมแล้ว อาจก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ สิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจและสังคม ดังนี้ (กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม, 2548)

### 7.1 ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์

7.1.1 เป็นแหล่งเพาะพันธุ์และแพร่กระจายของเชื้อโรค เนื่องจากมูลฝอยอาจจะมีการเจริญเติบโตของเชื้อโรคปะปนอยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งมูลฝอยติดเชื้อจากสถานพยาบาล ซึ่งมักมีการทิ้งปะปนมากับมูลฝอยทั่วไปของชุมชนอยู่เสมอ ทำให้ประชาชนที่ไปคุ้ยเขี่ยมูลฝอย (scavenger) มีการสัมผัสกับเชื้อโรคต่างๆ ที่ปะปนมากับมูลฝอยได้ นอกจากนี้มูลฝอยเปียกที่มีแบคทีเรียทำหน้าที่ย่อยสลาย มักจะมีเชื้อโรคจากกองมูลฝอยแพร่กระจายไปกับน้ำ แมลงวัน แมลงสาบ หนู และสุนัขที่มากินหรือคุ้ยเขี่ยกองมูลฝอย ซึ่งเป็นแหล่งอาหารและที่อยู่อาศัยของสัตว์เหล่านั้นได้ เช่น เชื้อที่ทำให้เกิดโรคอหิวาต์ ไทฟอยด์ และโรคบิด เป็นต้น

### 7.2 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

7.2.1 ทำให้ดินเสื่อมและเกิดมลพิษ มูลฝอยที่เทกองทิ้งไว้ จะทำให้พื้นดินสกปรก ดินมีสภาพเป็นเกลือ ด่าง หรือกรด หรือมีสารพิษที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในดิน ตลอดจนทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของดินเปลี่ยนแปลงไป เช่น โขดเคี้ยวทำให้เนื้อดินแตกร่วน นอกจากนี้ในกองมูลฝอยอาจมีพวกโลหะหนักที่ปะปนมากับมูลฝอย เช่น ปรีท แคดเมียม ตะกั่ว เป็นต้น หากมีการปนเปื้อนลงสู่ดินแล้ว อาจทำให้มีการถ่ายทอดมาสู่คน และเกิดอันตรายต่อสุขภาพได้

7.2.2 ทำลายแหล่งน้ำ มูลฝอยที่ขาดการจัดการที่ดี เมื่อตกลงในแหล่งน้ำลำคลอง และท่อระบายน้ำ จะทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน สกักกั้นการไหลของน้ำ จึงเป็นสาเหตุให้เกิดสภาวะน้ำท่วมได้ง่าย ดังนั้นหน่วยงานที่เกี่ยวข้องจึงต้องมีการกำจัดมูลฝอยในคูคลองหรือท่อระบายน้ำอยู่เสมอ เพื่อป้องกันปัญหาดังกล่าว

นอกจากนั้นน้ำเสียที่ออกจากกองมูลฝอย หรือที่เรียกว่า น้ำชะมูลฝอย (leachate) หากไหลลงสู่แหล่งน้ำผิวดิน เช่น แม่น้ำ ห้วย หนอง คลอง บึง เป็นต้น สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ปนเปื้อนมากับน้ำชะมูลฝอย จะเป็นสาเหตุทำให้น้ำในแหล่งน้ำเน่าเสีย และหากน้ำในแหล่งน้ำมีการปนเปื้อนสารพิษ เช่น ตะกั่วปรอท จะก่อให้เกิดอันตรายต่อสัตว์และประชาชนที่อาศัยแหล่งน้ำนั้นเพื่อการอุปโภคบริโภค และที่สำคัญยังส่งผลให้ระบบนิเวศของน้ำเปลี่ยนแปลงไป ทำให้สัตว์น้ำที่มีค่าบางชนิดสูญพันธุ์

หากน้ำชะมูลฝอยซึมลงสู่ใต้ดิน จะทำให้เกิดการปนเปื้อนของสารอินทรีย์และอนินทรีย์ในแหล่งน้ำใต้ดิน โดยเฉพาะถ้าบริเวณนั้นมีระดับน้ำใต้ดินสูงและคุณสมบัติของดินไม่ดี จะทำให้เกิดการปนเปื้อนได้ง่ายขึ้น การปนเปื้อนแบบนี้จะยากต่อการแก้ไข และเป็นอันตรายต่อประชาชนที่จำเป็นต้องใช้น้ำเพื่อการอุปโภคบริโภคด้วย

7.2.3 ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ การกำจัดมูลฝอยที่ไม่ถูกหลักสุขาภิบาล โดยการเผามูลฝอยในที่กลางแจ้งจะก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศ เช่น เกิดควันก๊าซซัลเฟอร์ออกไซด์ ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ เป็นต้น การกองมูลฝอยไว้จะทำให้เกิดการย่อยสลายของสารอินทรีย์ เกิดกลิ่นเหม็นรบกวนประชาชนที่อยู่บริเวณข้างเคียง การย่อยสลายมูลฝอยประเภทเศษอาหารหรือมูลสัตว์ จะทำให้เกิดก๊าซมีเทน (methane;  $\text{CH}_4$ ) ซึ่งเป็นกลุ่มก๊าซเรือนกระจก (greenhouse gas) ซึ่งจะมีผลให้เกิดปรากฏการณ์ที่เรียกว่า ภาวะเรือนกระจก (greenhouse effect) ทำให้อุณหภูมิของโลกเพิ่มขึ้น

### 7.3 ผลกระทบต่อเศรษฐกิจและสังคม

7.3.1 การสูญเสียทางเศรษฐกิจ หากไม่มีการวางแผนการจัดการมูลฝอยที่ดี จะก่อให้เกิดการสูญเสียทางเศรษฐกิจตามมา เช่น ปริมาณมูลฝอยที่เพิ่มขึ้น ทำให้มีค่าใช้จ่ายในการกำจัดและจัดการเพิ่มขึ้น หรือมูลฝอยที่ตกค้างตามสถานที่สำคัญต่างๆ จะส่งผลกระทบต่อการท่องเที่ยวโดยตรง ทำให้รัฐสูญเสียรายได้จากการท่องเที่ยวได้

7.3.2 ทำให้เกิดทัศนธูจาด (visual pollution) ปัญหามูลฝอยจากการทิ้งไม่เป็นระเบียบเรียบร้อย เป็นที่น่ารังเกียจแก่ผู้อยู่อาศัยในบริเวณใกล้เคียง รวมทั้งผู้พบเห็น ซึ่งปัญหาดังกล่าวอาจเกิดขึ้นเนื่องมาจากการขาดความรับผิดชอบหรือจิตสำนึกที่ดีในการทิ้งมูลฝอยของประชาชน หรือความไม่เพียงพอของภาชนะรองรับมูลฝอยก็ได้

7.3.3 ทำให้เกิดอัคคีภัย เนื่องจากมูลฝอยหลายชนิดติดไฟได้ง่าย โดยเฉพาะเมื่อแห้งจึงกลายเป็นเชื้อเพลิงอย่างดี นอกจากนี้ในกองมูลฝอยอาจมีการย่อยสลายจนเกิดก๊าซมีเทน ซึ่งเป็นก๊าซที่ติดไฟได้ ดังนั้นเมื่อมีคนไปคุ้ยเขี่ยกองมูลฝอย หรือพนักงานขับรถทิ้งก้นบุนหรือลงไปกองมูลฝอย หรือการเผาเพื่อกำจัดมูลฝอยจึงเกิดปัญหาไฟไหม้ในกองมูลฝอยที่ทิ้งไว้นานๆ อยู่เสมอ ซึ่งบางครั้งอาจเป็นสาเหตุให้เกิดอัคคีภัยในพื้นที่ใกล้เคียงกับกองมูลฝอยได้

## 8. ความหมายของปุ๋ย

ปุ๋ย (fertilizer) หมายถึง วัตถุหรือสารที่ใส่ลงไปในดิน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีการปลดปล่อยธาตุอาหารที่จำเป็นของพืช โดยเฉพาะธาตุไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม เพื่อให้พืชได้รับธาตุอาหารในปริมาณที่เพียงพอและมีความสมดุลต่อความต้องการ จะส่งผลให้พืชสามารถเจริญเติบโตได้ดี และให้ผลผลิตสูงขึ้น (โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ ฉบับอิเล็กทรอนิกส์, 2545)

ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550 ได้ให้คำจำกัดความว่าปุ๋ย หมายถึง สารอินทรีย์ สารอินทรีย์สังเคราะห์ อนินทรีย์ หรือจุลินทรีย์ ซึ่งสามารถใช้เป็นธาตุอาหารสำหรับพืช หรืออาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี กายภาพ หรือชีวภาพในดิน เพื่อบำรุงให้พืชเกิดการเติบโต (กรมวิชาการเกษตร, 2551)

## 9. การจำแนกประเภทของปุ๋ย

เมื่อพิจารณาตามชนิดของสารประกอบ ทำให้สามารถจำแนกปุ๋ยออกเป็น 3 ประเภท ดังนี้ (ยงยุทธ และคณะ, 2551)

9.1 ปุ๋ยเคมี (chemical fertilizer) คือ ปุ๋ยที่มีสารประกอบสำคัญในรูปของสารอนินทรีย์หรือสารอินทรีย์สังเคราะห์ รวมถึงปุ๋ยเชิงเดี่ยว ปุ๋ยเชิงผสม ปุ๋ยเชิงประกอบ ตลอดจนปุ๋ยอินทรีย์ที่มีปุ๋ยเคมีผสมด้วย แต่ไม่รวมถึงปุ๋ยขี้วัว คินมาร์ล ปุ๋ยพลาสติก ยิปซัม และโคโคไมต์

9.2 ปุ๋ยอินทรีย์ (organic fertilizer) คือ ปุ๋ยที่มีสารประกอบสำคัญในรูปของสารอินทรีย์ (organic substance) ปุ๋ยอินทรีย์ที่สำคัญได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสด

9.3 ปุ๋ยชีวภาพ (biofertilizer) คือ ปุ๋ยที่ได้จากการนำจุลินทรีย์มาใช้เพื่อเพิ่มปริมาณธาตุอาหารหรือเพิ่มความเป็นประโยชน์ของธาตุอาหารในดิน โดยปุ๋ยชีวภาพอาจมีบทบาทในการปรับปรุงดินทางชีวภาพ ทางกายภาพ และทางชีวเคมี และยังหมายความรวมถึงหัวเชื้อจุลินทรีย์ด้วย

## 10. ความหมายของปุ๋ยหมัก (Compost)

คำว่า compost มาจากภาษาละตินว่า componere ซึ่งหมายถึง การนำสิ่งต่างๆ มารวมเข้าด้วยกัน ดังนั้นปุ๋ยหมัก จึงหมายถึง การนำเอาวัสดุหมักที่เป็นเศษอินทรีย์วัตถุมาองรวมกัน แล้วปล่อยให้เกิดการย่อยสลายจนกระทั่งอินทรีย์วัตถุที่เป็นส่วนประกอบกลายเป็นฮิวมัส จึงนำมาใช้เป็นปุ๋ยได้ (ปิยะ, 2541)

ปุ๋ยหมัก จัดเป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการย่อยสลายเศษซากพืชซากสัตว์ชนิดต่างๆ หรือการนำเศษพืช มูลสัตว์มาองรวมกัน และอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ช่วยย่อยสลายจนกระทั่งได้สารอินทรีย์วัตถุที่มีความคงทน ไม่มีกลิ่น มีสีน้ำตาลปนดำ และมีอัตราส่วนของสารประกอบคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ (วรรณลดา, 2538)

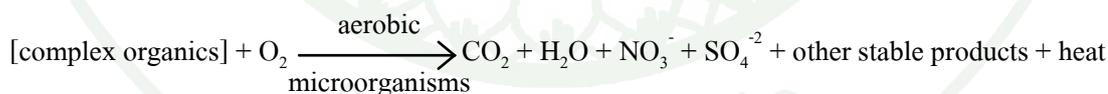
ขงยุทธ และคณะ (2551) ได้ให้คำจำกัดความของปุ๋ยหมัก ว่าหมายถึง ปุ๋ยที่ได้จากการหมักซากพืช ซากสัตว์ ตลอดจนมูลสัตว์ เพื่อให้อินทรีย์สารเกิดการสลายตัวจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ โดยนำวัสดุเหล่านี้มาองรวมกัน รดน้ำให้ชื้นแล้วปล่อยให้ย่อยสลาย จนแปรสภาพกลายเป็นฮิวมัสสีดำหรือสีน้ำตาลเข้ม มีลักษณะย่อย ร่วนซุย แล้วจึงนำไปใช้บำรุงดิน การย่อยและการแปรสภาพของวัสดุที่ใช้ในการหมักเกิดจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ในกลุ่ม แบคทีเรีย (bacteria) แอคติโนมัยซีท (actinomycetes) และเชื้อรา (fungi) เป็นสำคัญ

Tammemagi (1999) ให้คำจำกัดความว่า กระบวนการทำปุ๋ยหมัก คือ การย่อยสลายมูลฝอย โดยกระบวนการทางชีวภาพภายใต้สภาวะที่ถูกรักษา เพื่อเปลี่ยนอินทรีย์สารให้เป็นผลผลิตที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงดิน เพิ่มความสามารถในการอุ้มน้ำของดิน และไม่มีผลกระทบที่อาจส่งผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม ในขั้นตอนของกระบวนการทำปุ๋ยหมัก สามารถทำลายเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค เมล็ดพืช ไข่แมลง และสิ่งมีชีวิตที่ไม่ต้องการอื่นๆ ได้

## 11. กระบวนการทำปุ๋ยหมัก (Composting)

เมื่อพิจารณาถึงมูลฝอยที่เป็นสารอินทรีย์ โดยส่วนใหญ่มักจะประกอบไปด้วย โปรตีน กรดอะมิโน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เซลลูโลส ลิกนิน และเถ้า ซึ่งสารอินทรีย์เหล่านี้สามารถถูกย่อยสลายได้โดยจุลินทรีย์ เมื่อกระบวนการย่อยสลายสิ้นสุดลง จะได้ผลผลิตสุดท้ายเป็นปุ๋ย ที่มีลักษณะคล้ายอิวมัส ซึ่งมีสารอาหารเป็นองค์ประกอบในปริมาณสูง ได้แก่ ไนโตรเจน (N), ฟอสฟอรัส (P) และโพแทสเซียม (K) สารอาหารเหล่านี้สามารถนำไปใช้เพื่อให้พืชเจริญเติบโตและสามารถใช้ในการปรับปรุงดินได้ด้วย ซึ่งกระบวนการทำปุ๋ยหมักสามารถจำแนกออกเป็น 2 วิธี ดังนี้

11.1 การย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน (aerobic decomposition) คือการที่อินทรีย์วัตถุถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ชนิดที่ใช้ออกซิเจน โดยให้ผลผลิตสุดท้ายของกระบวนการที่มีความเสถียร และแตกต่างจากการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic decomposition) ตามปฏิกิริยา ดังนี้ (Vesilind *et al.*, 2002)



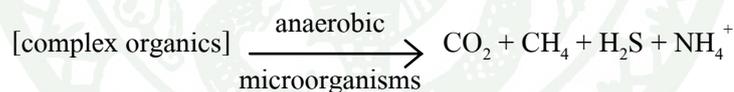
จากปฏิกิริยาข้างต้นแสดงให้เห็นว่า เมื่ออินทรีย์วัตถุถูกย่อยสลายจะให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ไอน้ำ และผลผลิตที่เสถียรออกมา นอกจากนั้นยังได้ธาตุอาหารสำหรับพืชออกมาด้วย เช่น ไนเตรต ซัลเฟต เป็นต้น ถ้าหากมีธาตุฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบ จะให้ฟอสเฟตออกมาจากปฏิกิริยา สิ่งสำคัญในกระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนคือ จะต้องมีสภาวะที่เหมาะสม เช่น มีปริมาณออกซิเจนเพียงพอ อุณหภูมิ ความชื้นพอเหมาะ การย่อยสลายโดยวิธีนี้เป็นไปได้เร็วและไม่มีการเหม็นที่รุนแรง

กระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจนสามารถทำได้ 2 วิธี ดังนี้

11.1.1 การย่อยสลายโดยอาศัยออกซิเจนตามธรรมชาติ (windrow composting) เป็นกระบวนการทำปุ๋ยหมักที่เก่าแก่ที่สุด โดยการนำมูลฝอยที่เป็นอินทรีย์วัตถุที่ย่อยสลายได้มากองรวมกันให้เป็นกองขนาดเล็กลงๆ เพื่อให้มูลฝอยมีโอกาสสัมผัสกับออกซิเจนในอากาศมากที่สุด ถ้าหากกองของมูลฝอยมีขนาดใหญ่ จะทำให้ภายในกองเกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนขึ้นได้

11.1.2 การย่อยสลายที่มีการเร่งอัตราการสลายโดยอาศัยเครื่องจักรกลช่วย (high rate composting) เป็นกระบวนการทำปุ๋ยหมักที่มีการใช้เครื่องมือช่วยเพื่อให้ออกซิเจนในอากาศสัมผัสกับมูลฝอยได้มากที่สุด อาจมีการใช้พัดลมหรือใบพัดเพื่อหมุนเวียนอากาศ นอกจากมีการใช้เครื่องจักรกลเพื่อเติมออกซิเจนให้กับมูลฝอยแล้ว ในกระบวนการย่อยสลายยังจำเป็นต้องทำให้มูลฝอยมีขนาดเล็กลง รวมทั้งแยกเอาส่วนที่ย่อยสลายไม่ได้ออกไป จะทำให้กระบวนการย่อยสลายเกิดขึ้นได้เร็วขึ้น โดยใช้เวลาประมาณ 5-7 วัน วิธีนี้จำเป็นต้องอาศัยเครื่องจักรกล ซึ่งต้องมีการลงทุนค่อนข้างสูง นอกจากนั้นในระหว่างการดำเนินการยังจำเป็นต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญเพื่อควบคุมและดูแลรักษาระบบด้วย

11.2 การย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน (anaerobic decomposition) คือการที่อินทรีย์วัตถุถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ชนิดที่ไม่ใช้ออกซิเจน จากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะให้ผลผลิตสุดท้าย ดังนี้



ผลผลิตสุดท้ายในส่วนที่เป็นก๊าซจะสูญหายไป และอาจส่งกลิ่นเหม็นฟุ้งกระจาย ถ้าหากไม่มีการจัดการที่ดีพอ หรือไม่มีการนำไปใช้ประโยชน์ การย่อยสลายอินทรีย์วัตถุด้วยวิธีการนี้จะเกิดขึ้นได้ช้ากว่าการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน โดยอาจใช้เวลาประมาณ 6-12 เดือน

เมื่อพิจารณากระบวนการหมักทำปุ๋ยทั้งแบบใช้ออกซิเจน และแบบไม่ใช้ออกซิเจน พบว่ากระบวนการหมักทำปุ๋ยแบบใช้ออกซิเจนมีประสิทธิภาพมากกว่าแบบไม่ใช้ออกซิเจน เนื่องจากสามารถย่อยสลายได้เร็วกว่า นอกจากนั้นกระบวนการหมักทำปุ๋ยทั้งสองแบบนี้จะให้ปุ๋ยที่มีคุณภาพต่างกัน ถ้านำมูลฝอยที่เป็นอินทรีย์สารมาทำการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน อาจให้ผลผลิตสุดท้ายเป็นก๊าซอันตรายหากไม่มีการจัดการที่ดี อีกทั้งการเปลี่ยนแปลงเป็นสารอาหารของพืชจะเกิดขึ้นน้อยกว่ากระบวนการย่อยสลายแบบใช้ออกซิเจน

## 12. วิธีการทำปุ๋ยหมัก

โดยทั่วไปแล้ววิธีการทำปุ๋ยหมัก สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี คือ

12.1 Windrow composting การทำปุ๋ยหมักแบบนี้ จัดเป็นวิธีที่มีความเก่าแก่และมีความซับซ้อนน้อยที่สุดแบบหนึ่ง วิธีนี้ทำโดยนำมูลฝอยที่เป็นอินทรีย์วัตถุมากองบนพื้นราบให้เป็นแถวยาว มีความกว้างและความสูงพอเหมาะ เพื่อให้กระบวนการย่อยสลายเป็นแบบใช้ออกซิเจนจึงควรมีการกลับกองอย่างน้อย 1-2 ครั้งต่อสัปดาห์ และรักษาความชื้นให้อยู่ที่ร้อยละ 50-60 ในปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องจักรเพื่อนำมาใช้ในการกลับกองและให้น้ำกับกองปุ๋ยหมักไปพร้อมกัน การทำปุ๋ยหมักด้วยวิธีนี้ต้องใช้เวลาประมาณ 4-5 สัปดาห์ หลังจากนั้นจึงนำปุ๋ยหมักที่ได้ไปบ่มต่ออีก 2-8 สัปดาห์ เพื่อให้การย่อยสลายเป็นไปอย่างสมบูรณ์ (ภาพที่ 1)

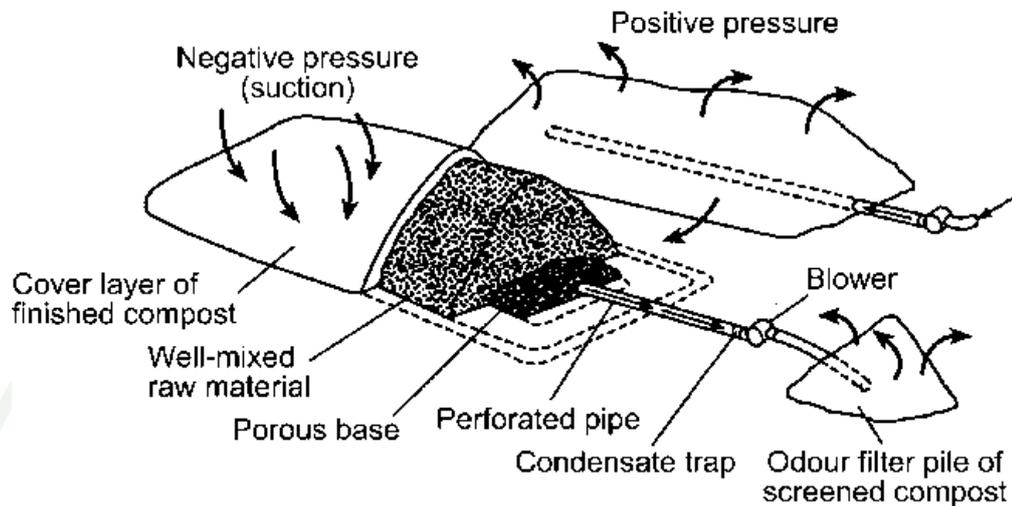


ภาพที่ 1 วิธีการทำปุ๋ยหมักแบบ Windrow composting

ที่มา: Thushara (2007)

12.2 Aerated static pile composting การทำปุ๋ยหมักวิธีนี้จะมีความคล้ายคลึงกับแบบ windrow composting แต่วิธีนี้จะไม่มีการกลับกอง และบริเวณฐานของกองปุ๋ยหมักจะมีการวางท่อเพื่อใช้ในการให้อากาศผ่านทางเครื่องเป่าลม วิธีการให้อากาศกับกองปุ๋ยสามารถทำได้ทั้งแบบเป่าลมเข้ากองหรือดึงลมออกจากกองปุ๋ยหมัก บริเวณผิวหน้าของกองจะคลุมทับด้วยปุ๋ยหมักที่ถูกย่อย

สลายอย่างสมบูรณ์หนาประมาณ 15 เซนติเมตร เพื่อใช้เป็นฉนวนและป้องกันการแพร่กระจายของกลิ่น การทำปุ๋ยหมักวิธีนี้จะใช้ระยะเวลาประมาณ 3-5 สัปดาห์ (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 วิธีการทำปุ๋ยหมักแบบ Aerated static pile composting

ที่มา: Misra *et al.* (2003)

12.3 In-vessel composting การทำปุ๋ยหมักวิธีนี้เป็นกระบวนการทำปุ๋ยหมักในภาชนะ ที่มีการให้อากาศ และมีการพลิกกลับมูลฝอย เพื่อให้กระบวนการดำเนินไปอย่างรวดเร็ว ซึ่งวิธีการนี้มีความแตกต่างกันมากมายทั้งในเรื่องของลักษณะภาชนะ วิธีการให้อากาศ วิธีการพลิกกลับมูลฝอย จึงสามารถแบ่งออกเป็นแบบต่างๆ ได้ดังนี้

12.3.1 Passively aerated bins วิธีนี้เป็นกระบวนการทำปุ๋ยหมักที่มีความซับซ้อนน้อย ภาชนะที่ใช้มีราคาไม่แพงอาจทำขึ้นจากไม้ พลาสติก หรือคอนกรีต มีลักษณะเป็นกำแพง 3 ด้าน ในบางครั้งอาจจะมีการสร้างหลังคาคลุมกองปุ๋ย การทำปุ๋ยหมักวิธีนี้จะเริ่มจากการนำวัสดุที่ย่อยสลายได้มากองในภาชนะแล้วคลุมทับด้วยปุ๋ยหมักที่ย่อยสลายอย่างสมบูรณ์เพื่อป้องกันการแพร่กระจายของกลิ่น มีการวางท่อบริเวณด้านล่างของกองเพื่อให้อากาศสามารถแพร่เข้าสู่กองปุ๋ยได้ และไม่มีการพลิกกลับกองในระหว่างการหมัก (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 วิธีการทำปุ๋ยหมักแบบ Passively aerated bins

ที่มา: Department of chemistry, Washington State University (2000)

12.3.2 Aerated containers การทำปุ๋ยหมักวิธีนี้ภาชนะที่ใช้จะเป็นแบบปิด ซึ่งมีลักษณะแตกต่างกันมากทั้งเรื่องของรูปร่าง ขนาด และวิธีการให้อากาศ โดยทั่วไปแล้วอากาศจะถูกส่งผ่านเครื่องเป่าลมเข้าไปบริเวณด้านล่างของภาชนะ ให้เคลื่อนที่ผ่านวัสดุหมักขึ้นไปทางด้านบน และผ่านตัวกรองก่อนปล่อยสู่ภายนอก น้ำระเหยที่เกิดขึ้นจะถูกเก็บที่บริเวณด้านล่างของภาชนะเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ วิธีนี้ไม่มีการพลิกกลับมูลฝอย ดังนั้นก่อนได้มูลฝอยลงในภาชนะต้องผสมให้ดีก่อน (ภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 แสดงลักษณะของ Aerated containers

ที่มา: The California Integrated Waste Management Board (2008)

12.3.3 Agitated-aerated containers วิธีนี้คล้ายคลึงกับแบบ aerated containers แต่จะมีการเพิ่มเติมระบบพลิกกลับมูลฝอยภายในภาชนะเข้าไป การพลิกกลับจะทำให้มูลฝอยมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน รวมทั้งเกิดช่องว่างให้อากาศผ่านมากขึ้น และยังสามารถลดขั้นตอนการผสมเบื้องต้นภายนอกภาชนะลงได้

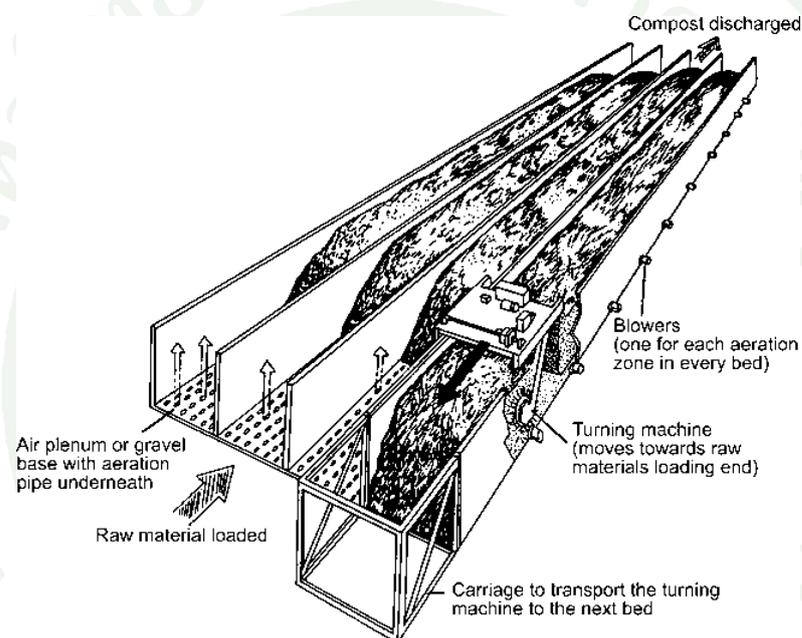
12.3.4 Rotating drums การทำปุ๋ยหมักวิธีนี้เป็นการย่อยสลายมูลฝอยในภาชนะปิดที่มีการเคลื่อนที่แบบหมุนรอบตัว โดยทั่วไปแล้วขนาดของ drum จะมีตั้งแต่ขนาดเล็กที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 4-5 ฟุต ยาว 8-16 ฟุต จนกระทั่งขนาดใหญ่ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ฟุต ยาว 50 ฟุต โดยจะติดตั้งให้ความยาวขนานไปกับพื้น หรือลาดเอียงเล็กน้อย มูลฝอยจะถูกนำไปใส่ลงใน drum ที่ปลายด้านหนึ่ง และปุ๋ยหมักที่ได้จะเคลื่อนที่ออกที่ปลายอีกด้าน การเคลื่อนที่ของ drum ทำให้เกิดการพลิกกลับมูลฝอย เพื่อให้สัมผัสกับอากาศ และระบายความร้อนที่เกิดจากกระบวนการย่อยสลาย สำหรับระบบการให้อากาศอาจมีหรือไม่ก็ได้ การทำปุ๋ยหมักด้วยวิธีการนี้ มูลฝอยจะอยู่ในระบบประมาณ 7 วัน หลังจากนั้นจะนำไปบ่มเพื่อให้เกิดการย่อยสลายอย่างสมบูรณ์ สำหรับบางกรณีการย่อยสลายจะเกิดอย่างสมบูรณ์ภายใน drum โดยจะใช้เวลาประมาณ 3 สัปดาห์ (ภาพที่ 5)



ภาพที่ 5 แสดงลักษณะของ Rotating drums

ที่มา: International Composting Services (2000)

12.3.5 Agitated beds การทำปุ๋ยหมักวิธีนี้มีการควบคุมการให้อากาศและมีการกลับกองเป็นระยะเพื่อให้มูลฝอยที่เกาะเป็นก้อนแยกออกจากกัน และมีรูให้อากาศผ่านได้มากขึ้น โดยจะนำมูลฝอยมากองในร่อง ที่มีลักษณะเป็นช่องยาว ด้านบนของร่องจะติดตั้งเครื่องจักรที่ใช้ในการกลับกองปุ๋ยไว้ การทำงานของเครื่องจักรจะคล้ายคลึงกับการกลับกองแบบ windrow composting แต่วิธีนี้จะมีระบบควบคุมเพื่อให้เครื่องจักรสามารถทำงานได้อัตโนมัติ การทำปุ๋ยหมักวิธีนี้จะใช้ระยะเวลาประมาณ 2-4 สัปดาห์ หลังจากนั้นจะนำไปบ่มจนกระทั่งการย่อยสลายเป็นไปอย่างสมบูรณ์ (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 วิธีการทำปุ๋ยหมักแบบ Agitated beds

ที่มา: Misra *et al.* (2003)

### 13. ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการย่อยสลายมูลฝอยในการทำปุ๋ยหมัก

กระบวนการย่อยสลายมูลฝอยที่นำมาทำปุ๋ยหมัก เกิดขึ้นจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ ดังนั้นสภาพแวดล้อมภายในกองหมักจึงเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญในการควบคุมกิจกรรมของจุลินทรีย์ และยังมีผลต่ออัตราการย่อยสลายด้วย ปัจจัยของสภาพแวดล้อมสามารถแบ่งออกได้ดังนี้

13.1 ขนาดของวัสดุที่ใช้หมัก (Particle size) อัตราเร็วในการย่อยสลายมูลฝอยเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับพื้นที่ผิวที่จุลินทรีย์ยึดเกาะ ดังนั้นถ้ามูลฝอยมีขนาดเล็ก จะทำให้มีพื้นที่ผิวที่จุลินทรีย์สามารถยึดเกาะได้มาก ส่งผลให้อัตราการย่อยสลายเกิดเร็วกว่ามูลฝอยที่มีขนาดใหญ่ แต่ถ้ามูลฝอยมีขนาดเล็กเกินไปจะอัดตัวกันแน่น ทำให้อัตราการระบายอากาศ รวมทั้งอัตราการย่อยสลายลดลง นอกจากนี้ภายในกองหมักอาจเกิดการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจน ทำให้เกิดปัญหาเรื่องกลิ่นขึ้นได้ แต่ถ้ามูลฝอยมีขนาดใหญ่เกินไปจะเกิดช่องว่างภายในกองหมักสูง ทำให้กองหมักแห้งได้ง่าย ความร้อนที่เกิดขึ้นจะหายไปอย่างรวดเร็ว ดังนั้นควรบดหรือสับมูลฝอยให้มีขนาดที่เหมาะสม โดย JICA (1982) ได้แนะนำว่าขนาดของมูลฝอยที่เหมาะสมต่อการนำมาหมักคือ 0.5-1.5 นิ้ว จำรูญและคณะ (2533) ได้ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวา พบว่าหากบดผักตบชวาให้ละเอียดจะสามารถย่อยสลายได้มากกว่าร้อยละ 60 ในเวลา 7-10 วัน และจะใช้เวลาในการย่อยสลาย 14 วัน ถ้าผักตบชวามีขนาด 2-3 เซนติเมตร

13.2 อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) สารประกอบคาร์บอนและไนโตรเจนมีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ Alexander (1977) ได้รายงานว่าในสภาพแวดล้อมที่มีอากาศ เซลล์ของจุลินทรีย์ส่วนใหญ่จะประกอบด้วยคาร์บอนร้อยละ 50 และไนโตรเจนร้อยละ 5 ดังนั้นจุลินทรีย์จึงต้องนำเข้าสู่สารประกอบคาร์บอนประมาณ 10 หน่วยต่อสารประกอบไนโตรเจน 1 หน่วย เพื่อให้เกิดความสมดุลภายในเซลล์ จุลินทรีย์จำเป็นต้องใช้คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงาน และสังเคราะห์โครงสร้างพื้นฐานของเซลล์ ส่วนไนโตรเจนจะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์โปรตีน ซึ่งจำเป็นต่อการเจริญและการทำหน้าที่ของเซลล์ ถ้าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นในการหมักสูงเกินไป กระบวนการย่อยสลายจะเกิดได้ช้า เนื่องจากการเจริญของจุลินทรีย์จะถูกจำกัดจากการที่มีไนโตรเจนน้อย แต่ถ้าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นในการหมักต่ำเกินไป นั่นหมายถึงมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบมาก จะทำให้สูญเสียไนโตรเจนไปในรูปของก๊าซแอมโมเนีย และทำให้เกิดปัญหาในเรื่องของกลิ่นตามมา

Hitchens and Kashmanian (1997) ได้เสนอว่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนควรอยู่ในช่วง 25:1 ถึง 35:1 ในขณะที่ Misra *et al.* (2003) ได้เสนอว่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมต่อการนำมาทำปุ๋ยหมัก ควรจะอยู่ในช่วง 25:1 ถึง 30:1 แต่อาจยอมรับได้ถึงในช่วง 20:1 ถึง 40:1 และเมื่อกระบวนการย่อยสลายเกิดอย่างสมบูรณ์แล้ว อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนควรจะลดลงจนอยู่ในช่วง 10:1 ถึง 15:1

จากการศึกษาของ Huang *et al.* (2004) ได้มีการทำปุ๋ยหมักจากมูลสุกรร่วมกับชี้เลี้ยงแบบ Windrow composting ที่มีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเป็น 15 และ 30 พบว่า กองหมักที่มีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 15 จะใช้ระยะเวลาในการย่อยสลาย 63 วัน ส่วนกองหมักที่มีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 30 จะใช้เวลาในการย่อยสลาย 49 วัน เห็นได้ว่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเป็น 30 มีความเหมาะสมต่อการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์มากกว่า นอกจากนี้กองหมักที่มีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูง จะมีโอกาสสูญเสียไนโตรเจนน้อยลง ดังการศึกษาของ Zhu (2007) ที่ได้มีการทำปุ๋ยหมักจากมูลสุกรร่วมกับฟางข้าว โดยมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเป็น 20 และ 25 พบว่า กองหมักที่มีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 20 จะสูญเสียไนโตรเจนมากกว่ากองหมักที่มีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเริ่มต้นเท่ากับ 25 ประมาณร้อยละ 8

13.3 ความชื้น (Moisture content) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณน้ำในกองปุ๋ยหมัก และเป็นปัจจัยสำคัญในกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ เนื่องจากความชื้นมีผลโดยตรงต่อการดำรงชีวิตและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ รวมถึงการดำเนินปฏิกิริยาในกระบวนการย่อยสลาย โดยน้ำจะเป็นตัวกลางในการส่งผ่านอาหารและก๊าซออกซิเจนจากวัสดุหมักและอากาศไปยังจุลินทรีย์ อีกทั้งยังเป็นตัวกลางในการส่งผ่านเอนไซม์เข้าไปย่อยสลายวัสดุหมักด้วย นอกจากนี้ความชื้นยังเป็นตัวกำหนดปริมาณก๊าซออกซิเจนในวัสดุหมัก ถ้ามีความชื้นมากเกินไปจะทำให้การส่งผ่านก๊าซออกซิเจนลดลง ทำให้เกิดกระบวนการย่อยสลายแบบไม่ใช้ออกซิเจนได้ ซึ่งอาจจะเกิดปัญหาในเรื่องของกลิ่น ในทางตรงกันข้ามถ้าปริมาณความชื้นน้อยเกินไป จะทำให้มีน้ำไม่เพียงพอสำหรับการดำเนินปฏิกิริยา ทำให้เกิดการยับยั้งกิจกรรมของจุลินทรีย์ กระบวนการย่อยสลายจึงเกิดได้ช้า

โดยปกติภายในกองปุ๋ยหมักจะมีอุณหภูมิสูง ทำให้เกิดการระเหยของน้ำออกจากกองปุ๋ยตลอดเวลา แม้ว่าวัสดุที่นำมาหมักจะมีคุณสมบัติอุ้มน้ำได้ดี ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเติมน้ำเพื่อรักษาระดับความชื้นให้เหมาะสม Rhyner *et al.* (1995) ได้เสนอว่ามูลฝอยที่จะนำมาทำปุ๋ยหมักควรมีความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 50-65 จึงจะเหมาะสม ส่วน Misra *et al.* (2003) ได้เสนอว่ากองหมักควรมีปริมาณความชื้นอยู่ในช่วงร้อยละ 40-65 ถ้าความชื้นของกองหมักสูงกว่าร้อยละ 65 จะทำให้ภายในกองอยู่ในสภาวะไร้ออกซิเจนได้ และเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการย่อยสลายความชื้นควรลดลงอยู่ที่ประมาณร้อยละ 30 อย่างไรก็ตามมูลฝอยแต่ละประเภทที่นำมาทำปุ๋ยหมักจะมีปริมาณความชื้นที่แตกต่างกันออกไป Cardenas and Wang (1980) ได้รายงานปริมาณความชื้นสูงสุดที่ยอมให้มีได้ในมูลฝอยแต่ละประเภทที่จะนำมาทำปุ๋ยหมักไว้ว่า มูลสัตว์ มูลฝอยชุมชน และกระดาษ ควรมีความชื้นสูงสุดไม่เกินร้อยละ 55-65 ชี้เลี้ยงควรมีความชื้นไม่เกินร้อยละ 75-90 ในขณะที่ฟางข้าวไม่ควรมี

ความชื้นเกินร้อยละ 75-85 เพื่อประเมินหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสม Tiquia *et al.* (1998) ได้ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากมูลสุกรและจี้เลื้อย โดยมีการปรับความชื้นให้เป็นร้อยละ 50, 60 และ 70 จากการศึกษาสรุปได้ว่า กองหมักที่มีความชื้นเป็นร้อยละ 50 และร้อยละ 60 กระบวนการย่อยสลายจะมีประสิทธิภาพมากกว่ากองหมักที่มีความชื้นร้อยละ 70

13.4 อุณหภูมิ (Temperature) การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในระหว่างกระบวนการหมักเป็นผลโดยตรงจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ ในระยะแรกของการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุอุณหภูมิในกองหมักจะต่ำกว่า 40 องศาเซลเซียส ซึ่งจัดเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการทำงานของจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (mesophilic) หลังจากนั้น 4-6 วัน อุณหภูมิภายในกองหมักจะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วจนอยู่ที่ประมาณ 60 องศาเซลเซียส เนื่องจากพลังงานความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาจากกระบวนการย่อยสลาย ซึ่งในช่วงนี้จะเป็นการทำงานของจุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิสูง (thermophilic) หลังจากนั้นอุณหภูมิในกองหมักจะค่อยๆ ลดลงจนถึงระดับที่จุลินทรีย์ที่ชอบอุณหภูมิปานกลาง (mesophilic) จะสามารถเจริญและเพิ่มจำนวนมากขึ้น ในกรณีที่อุณหภูมิในกองหมักสูงถึง 70 องศาเซลเซียส จะมีผลในการยับยั้งการเจริญของจุลินทรีย์ในกองหมัก ทำให้อัตราการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุลดลง แต่อย่างไรก็ตามอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ทำให้จุลินทรีย์มีกิจกรรมการย่อยสลายในอัตราสูงสุดจะอยู่ที่ประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส (Miller and Jones, 1995)

นอกจากนั้นอุณหภูมิยังเป็นปัจจัยสำคัญที่สามารถทำลายจุลินทรีย์ก่อโรคได้อีกด้วย โดย Chhatwal (1997) ได้รายงานไว้ว่าเชื้อ *E. coli*, *Salmonella* spp. และ *Shigella* spp. จะถูกทำลายได้ที่อุณหภูมิ 56 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 1 ชั่วโมง ขณะที่เชื้อ *Mycobacterium tuberculosis* จะถูกทำลายที่อุณหภูมิ 66 องศาเซลเซียส ภายในเวลา 15-20 นาที

13.5 สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุของจุลินทรีย์ โดยทั่วไปแล้วอินทรีย์วัตถุที่มีสภาพความเป็นกรด-ด่างอยู่ในช่วง 3-11 สามารถนำมาทำปุ๋ยหมักได้ แต่ระดับที่เหมาะสมควรจะอยู่ในช่วง 5.5-8.0 เนื่องจากในช่วงนี้จุลินทรีย์สามารถดำเนินกิจกรรมได้ดี แต่สำหรับเชื้อราจะสามารถอยู่ในสภาพแวดล้อมที่เป็นกรดได้มากกว่า (Pichtel, 2005) ในระหว่างกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นกรด-ด่างภายในกองหมัก โดยในระยะแรกของการย่อยสลายพบว่าสภาพความเป็นกรด-ด่างจะลดลง เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์จะทำให้เกิดการแตกตัวของสารประกอบคาร์บอนและมีการผลิตกรดอินทรีย์ออกมา หลังจากนั้นสภาพความเป็นกรด-ด่างจะเพิ่มขึ้นเนื่องจากจุลินทรีย์ใช้กรดอินทรีย์เหล่านั้นเป็นแหล่งอาหารเพื่อการเจริญต่อไป แต่ถ้าในระหว่างกระบวนการย่อยสลาย

สภาพความเป็นกรด-ด่างเพิ่มขึ้นถึง 9.0 จะทำให้สูญเสียไนโตรเจนไปในรูปของก๊าซแอมโมเนียได้ (Lendreth and Rebers, 1997) จากการศึกษาของ Lin (2008) ได้ทำการหมักปุ๋ยจากเศษอาหาร พบว่าสภาพความเป็นกรด-ด่างเริ่มต้นอยู่ที่ 5.2 ภายในวันที่ 1 สภาพความเป็นกรด-ด่างจะลดลงจนอยู่ที่ 4.3 และเมื่อเข้าสู่วันที่ 2 สภาพความเป็นกรด-ด่างจะเพิ่มขึ้นจนอยู่ที่ 4.8 หลังจากนั้นสภาพความเป็นกรด-ด่างจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งวันที่ 30 สภาพความเป็นกรด-ด่างจะอยู่ที่ 8.0 และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการย่อยสลายที่ 60 วัน สภาพความเป็นกรด-ด่างจะลดลงมาอยู่ที่ 7.4

13.6 การระบายอากาศ (Aeration) หรือการให้อากาศแก่กองหมักเป็นสิ่งจำเป็นต่อการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ เนื่องจากจุลินทรีย์จำเป็นต้องใช้ออกซิเจนในกระบวนการย่อยสลาย ความเข้มข้นของออกซิเจนในกองหมักควรมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 5-15 หากในกองหมักมีปริมาณออกซิเจนไม่เพียงพอ จะทำให้กระบวนการย่อยสลายเกิดได้ช้า และเกิดปัญหาในเรื่องของกลิ่น (EPA, 1994) นอกจากการระบายอากาศจะเป็นการเติมออกซิเจนให้กับกองหมักแล้ว ยังเป็นการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นภายในกองหมักไม่ให้สูงเกินไปอีกด้วย การระบายอากาศสามารถทำได้โดยการกลับกอง การติดตั้งกระบอกไม้ไผ่ไว้ในกองหมัก หรือการใช้วิธีเป่าลมเข้าในกองหมักตามท่อที่วางไว้ การให้อากาศกับกองหมักไม่ว่าจะมากหรือน้อยเกินไปย่อมส่งผลกระทบต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ทั้งสิ้น ถ้าให้อากาศน้อยเกินไป ปริมาณออกซิเจนจะไม่เพียงพอต่อกระบวนการย่อยสลาย อาจทำให้ภายในกองอยู่ในสภาวะไร้อากาศได้ ส่วนการให้อากาศมากเกินไปจะทำให้สูญเสียความชื้นและความร้อนภายในกองหมักไป ทำให้กระบวนการย่อยสลายเกิดได้ช้า (Spellman, 1997)

Shammas and Wang (2006) ได้เสนอว่าอัตราการให้อากาศที่เหมาะสมควรอยู่ที่ 15.6 ลูกบาศก์เมตรต่อตันของของแข็งอินทรีย์ต่อชั่วโมง และ อองอาจ (2542) ได้ทำการศึกษาระบบอัดอากาศในการทำปุ๋ยหมักจากเศษพืชผักร่วมกับตะกอนน้ำทิ้งชุมชน โดยมีอัตราการเติมอากาศเป็น 0.8, 0.4 และ 0.2 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของของแข็งระเหยต่อวัน จากการศึกษาพบว่า การเติมอากาศให้แก่กองหมักในอัตรา 0.2 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัมของของแข็งระเหยต่อวัน จะทำให้การหมักมีประสิทธิภาพการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุสูงสุด

#### 14. ขั้นตอนการทำปุ๋ยหมัก

การกำจัดมูลฝอยโดยการนำมาทำปุ๋ยหมัก ประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

#### 14.1 การดำเนินการเบื้องต้น (Preprocessing) ได้แก่ (ธงชัย, 2546; Bagchi, 2004)

14.1.1 การคัดแยกมูลฝอย (Sorting) เพื่อให้กระบวนการหมักเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพจึงจำเป็นต้องคัดแยกมูลฝอยที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ออกก่อน เช่น ถุงพลาสติก เศษแก้ว โลหะต่างๆ เป็นต้น วิธีการที่ง่ายที่สุดคือการคัดแยกด้วยมือ (hand sorting) ถ้ามูลฝอยมีปริมาณมาก การคัดแยกด้วยมือจะต้องใช้แรงงานสูง ดังนั้นจึงมีการนำเอาเครื่องจักรเข้ามาช่วย (mechanical sorting) เพื่อให้การคัดแยกสามารถทำได้สะดวกและรวดเร็วขึ้น เช่น air classifiers จะอาศัยลมเพื่อช่วยให้มูลฝอยที่มีน้ำหนักเบาแยกออกจากมูลฝอยที่มีน้ำหนักมาก หรือ Eddy-Current separators เครื่องจักรชนิดนี้จะใช้ในการแยกมูลฝอยที่เป็น โลหะ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการแยกประมาณร้อยละ 90

14.1.2 การลดขนาดของมูลฝอย (Size reduction) วัตถุประสงค์ของการลดขนาดมูลฝอยก็เพื่อเพิ่มพื้นที่ผิว และทำให้มูลฝอยมีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้น ทำให้ง่ายต่อการย่อยสลายของจุลินทรีย์ วิธีการโดยทั่วไปที่ใช้ในการลดขนาดของมูลฝอยคือ การใช้หมอนตี (hammer mills) และใช้เครื่องตัด (shredders)

14.1.3 การเตรียมสถานที่ สถานที่ที่จะทำการหมักมูลฝอยควรเป็นพื้นที่ที่น้ำท่วมไม่ถึง ไม่มีลักษณะเป็นแอ่งน้ำขัง สามารถขนย้ายมูลฝอยมาทำการหมักได้ง่าย ห่างจากบริเวณชุมชนหรือที่อยู่อาศัย และควรมีรั้วป้องกันการรบกวนจากคนและสัตว์

#### 14.2 การย่อยสลาย (Decomposition) ประกอบขึ้นตอนต่างๆ ดังนี้ (องอาจ, 2542)

14.2.1 การผสมวัสดุหมัก เป็นขั้นตอนสำคัญที่ผู้ดำเนินการ จะต้องเป็นผู้กำหนดองค์ประกอบ และสัดส่วนของวัตถุดิบในการหมักให้มีความเหมาะสม เพื่อให้กระบวนการหมักดำเนินไปได้ด้วยดี โดยจำเป็นที่จะต้องอาศัยความรู้ ประสบการณ์ และการตัดสินใจอย่างรอบคอบ

#### 14.2.2 กระบวนการย่อยสลาย ประกอบด้วยกลไกที่สำคัญ 2 ขั้นตอน ได้แก่

ก. การย่อยสลายอย่างเข้มข้น (Intensive rotting phase) การย่อยสลายอย่างเข้มข้นจะเกิดขึ้นภายในระยะเวลา 24 ชั่วโมงแรกของการหมัก อุณหภูมิของการหมักจะสูงถึง 45

องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุโดยจุลินทรีย์ประเภท mesophilic หลังจาก 24 ชั่วโมงไปแล้ว อุณหภูมิของกองหมักอาจสูงถึง 55–75 องศาเซลเซียสได้ ในช่วงนี้กระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุจะเกิดจากจุลินทรีย์ประเภท thermophilic อุณหภูมิที่สูงระดับนี้จะทำให้เชื้อโรคที่อยู่ในมูลฝอยส่วนใหญ่ตายได้ ระยะของการเกิดกลิ่นนี้ประมาณ 3–6 สัปดาห์ หรือตั้งแต่ 1–5 วัน ขึ้นอยู่กับวิธีการหมักและองค์ประกอบของมูลฝอย

ข. การย่อยสลายขั้นสุดท้าย (Final rotting phase) หลังจากที่เกิดกระบวนการย่อยสลายอย่างเข้มข้นเสร็จสิ้นลงแล้ว อุณหภูมิในกองหมักจะค่อยๆ ลดลงจนเหลือประมาณ 30 องศาเซลเซียส สารอินทรีย์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงซึ่งย่อยสลายได้ยาก เช่น พวกลเซลลูโลส (cellulose) ลิกนิน (lignin) จะถูกย่อยสลายในขั้นนี้ กลไกในการย่อยสลายจะดำเนินไปอย่างช้าๆ อาจใช้ระยะเวลาตั้งแต่ 2 สัปดาห์ ไปจนถึง 1 ปี

14.3 ขั้นสุดท้าย (Finishing) เมื่อกระบวนการย่อยสลายดำเนินไปอย่างสมบูรณ์แล้ว ควรนำปุ๋ยหมักที่ได้มาบดและร่อนด้วยตะแกรงให้มีขนาดตามต้องการ ก่อนรวบรวมและบรรจุถุงเพื่อรอการนำไปใช้ สำหรับวิธีการประเมินความสมบูรณ์ของการย่อยสลายสามารถพิจารณาได้จากอุณหภูมิในกองหมักจะค่อยๆ ลดลงจนกระทั่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิภายนอกกองหมัก วัสดุที่นำมาหมักจะมีลักษณะเปื่อยยุ่ย มีสีเข้มตั้งแต่สีน้ำตาลเข้มจนถึงดำ ไม่มีกลิ่นเหม็น และอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าประมาณ 20:1 หรือน้อยกว่า (ธงชัย, 2546)

## 15. มาตรฐานของปุ๋ยหมัก

สุทิน และ จิตรา (2546) ได้กล่าวว่ากรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ได้ให้คำแนะนำด้านมาตรฐานทางวิชาการว่าปุ๋ยหมักที่มีคุณภาพต้องมีคุณสมบัติ ดังนี้

15.1 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ อยู่ระหว่างร้อยละ 25-50 โดยน้ำหนักของผลิตภัณฑ์

15.2 อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน ต้องไม่เกิน 20:1

15.3 ระดับค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) ต้องไม่เกิน 3.5 deciSiemens per metre (dS/m)

15.4 สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) ต้องอยู่ในช่วง 5.5-8.5

15.5 ปริมาณธาตุอาหารหลักของพืช ไนโตรเจน (N) ฟอสฟอรัส ( $P_2O_5$ ) และโพแทสเซียม ( $K_2O$ ) ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0-0.5-0.5 โดยน้ำหนักตามลำดับ

15.6 ความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ ต้องไม่เกินร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก

15.7 ต้องมีขนาดผ่านตะแกรงร่อนช่องสี่เหลี่ยมขนาด 12.5x12.5 มิลลิเมตร ได้หมด

15.8 เศษวัสดุอื่นๆ ที่ไม่ต้องการ ได้แก่ หิน กรวด ทราาย เศษพลาสติก ฯลฯ ต้องไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก

15.9 ต้องไม่มีวัสดุอันตราย เช่น เศษแก้ว วัสดุแหลมคม และโลหะอื่น ที่อาจเป็นอันตรายต่อผู้ใช้เจือปน

15.10 ต้องปลอดภัยจากโลหะหนักและสารพิษที่อาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม

15.11 ต้องปลอดภัยจากจุลินทรีย์ที่อาจก่อให้เกิดโรคต่อมนุษย์ สัตว์ และพืช

องอาจ (2542) ได้ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากเศษพืชผักร่วมกับตะกอนน้ำทิ้งชุมชน โดยใช้ระบบอัดอากาศ จากการศึกษาพบว่า การเติมอากาศให้กับกองหมักในอัตรา 0.2 ลูกบาศก์เมตรต่อ กิโลกรัมของของแข็งระเหยต่อวัน จะมีประสิทธิภาพในการย่อยสลายสารอินทรีย์สูงสุด และการผสมตะกอนน้ำทิ้งลงในกองหมักจะส่งผลให้อุณหภูมิของกองหมักมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ปุ๋ยหมักที่ได้มีคุณภาพใกล้เคียงกัน โดยมีปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 1.59-1.91 ปริมาณฟอสฟอรัสร้อยละ 0.81-1.48 และปริมาณโพแทสเซียมร้อยละ 0.96-1.87 รวมทั้งปลอดภัยจากโลหะหนักและพยาธิต่างๆ ซึ่งคุณสมบัติส่วนใหญ่เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนดโดยกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

เรียมสงวน (2544) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพการย่อยสลายมูลฝอยเป็นปุ๋ยโดยวิธีการเติมอากาศจากมูลฝอยชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี โดยมีการเติมสารเร่งได้แก่ ปุ๋ยยูเรีย มูลควาย ตะกอนน้ำเสีย และมูลควายผสมตะกอนน้ำเสีย เปรียบเทียบกับมูลฝอยชุมชนอย่างเดียว พบว่าการเติมมูลควายเป็นสารเร่งจะใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายสั้นที่สุด ส่วนปริมาณธาตุอาหารหลัก (N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O) ในทุกการทดลองมีค่าใกล้เคียงกัน โดยมีปริมาณไนโตรเจนร้อยละ 1.04-1.19 ปริมาณฟอสฟอรัสร้อยละ 0.32-0.47 และปริมาณโพแทสเซียมร้อยละ 0.52-0.58 และอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าอยู่ในช่วง 19.44-21.76

ชนกร (2546) ได้ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนและมูลฝอยตลาดสด พบว่ามูลฝอยจากตลาดสดจะใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายสั้นกว่ามูลฝอยชุมชน แต่ถ้ามีการเติมอากาศจะทำให้มูลฝอยชุมชนมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณสารอินทรีย์สูงกว่ามูลฝอยตลาดสด ปุ๋ยหมักที่ได้จะประกอบไปด้วยธาตุไนโตรเจนร้อยละ 1.5-2.2 ปริมาณฟอสฟอรัสร้อยละ 0.6-2.0 และปริมาณโพแทสเซียมร้อยละ 0.7-3.2 อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าอยู่ในช่วง 17.2-21.7 ความชื้นของปุ๋ยหมักมีค่าร้อยละ 32.7-44.4

ชื่นจิต (2543) ศึกษาการทำปุ๋ยหมักแบบกึ่งกะในถังขนาด 5 ลิตร ที่มีการกวนผสมเพื่อให้อากาศ และมีการเติมเศษอาหารในอัตราคงที่ทุกวัน พบว่าจี้เลื่อยขนาด 60 mesh ชานอ้อยขนาด 40 mesh และกากมันสำปะหลังขนาด 40 mesh มีสมบัติทางกายภาพและเคมีเหมาะสมที่จะใช้เป็น bulking agent ในการทำปุ๋ยหมัก โดยจี้เลื่อยและชานอ้อยให้ค่าคงที่ของการย่อยสลายอินทรีย์คาร์บอนสูงกว่ากากมันสำปะหลัง และไม่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นในระหว่างกระบวนการย่อยสลาย สำหรับผลของสารเร่งปุ๋ยหมัก 3 ชนิด ได้แก่ พด.1 ไบโอนิก และเอฟ-60 มีค่าคงที่ของการย่อยสลายของสารอินทรีย์คาร์บอนใกล้เคียงกันคือ 0.0010 ต่อวัน ซึ่งสูงกว่าชุดควบคุมที่ไม่มีการเติมสารเร่ง

ธันวดี (2547) ได้ศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร ได้แก่ เศษผัก ผักตบชวา และฟางข้าว พบว่าอัตราส่วนของเศษอาหารต่อวัสดุหมักที่เหมาะสมเท่ากับ 1:4 เมื่อสิ้นสุดกระบวนการย่อยสลายพบว่าปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับผักตบชวามีปริมาณไนโตรเจนสูงสุดคือร้อยละ 2.70 รองลงมาเป็นเศษผักและฟางข้าวมีค่าเท่ากับร้อยละ 2.18 และ 1.77 ตามลำดับ โดยปุ๋ยหมักทุกชุดการทดลองจะมีค่าไนโตรเจนสูงกว่ามาตรฐาน แต่พบว่ามีปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดโดยกรมวิชาการเกษตร ดังนั้นก่อนที่จะนำปุ๋ยหมักไปใช้ ควรจะต้องปรับปริมาณฟอสฟอรัสและโพแทสเซียมให้ได้ตามมาตรฐานก่อน

## อุปกรณ์และวิธีการ

### อุปกรณ์

#### 1. เครื่องต้นแบบสำหรับกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์

เครื่องต้นแบบสำหรับกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์ ได้รับการออกแบบจากกลุ่มงานวิจัย ร่วมกับบริษัท พรีเมียร์โปรดักส์ จำกัด และผลิตที่บริษัท เทอร์ม เอ็นจิเนียริง จำกัด (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 เครื่องต้นแบบสำหรับกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์

ส่วนประกอบของเครื่องต้นแบบสำหรับกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์ จะประกอบไปด้วย (ภาพที่ 8)

1.1 ถังเก็บเศษอาหารและสารอินทรีย์ (hopper) ถังนี้มีความจุ 1 ลูกบาศก์เมตร ทางด้านล่างของถังมีการติดตั้งตัวป่น (shredder) เพื่อย่อยให้เศษอาหารมีขนาดเล็กลงก่อนเข้าสู่ถังหมัก

1.2 ถังเก็บน้ำหัวเชื้อ เพื่อให้กระบวนการย่อยสลายเกิดได้เร็วขึ้น ในบางครั้งอาจจำเป็นต้องมีการเติมตัวเร่งลงไป โดยถังเก็บน้ำหัวเชื้อจุลินทรีย์จะเชื่อมต่อกับถังหมักบน บริเวณที่เศษอาหารเข้าสู่ถังหมัก

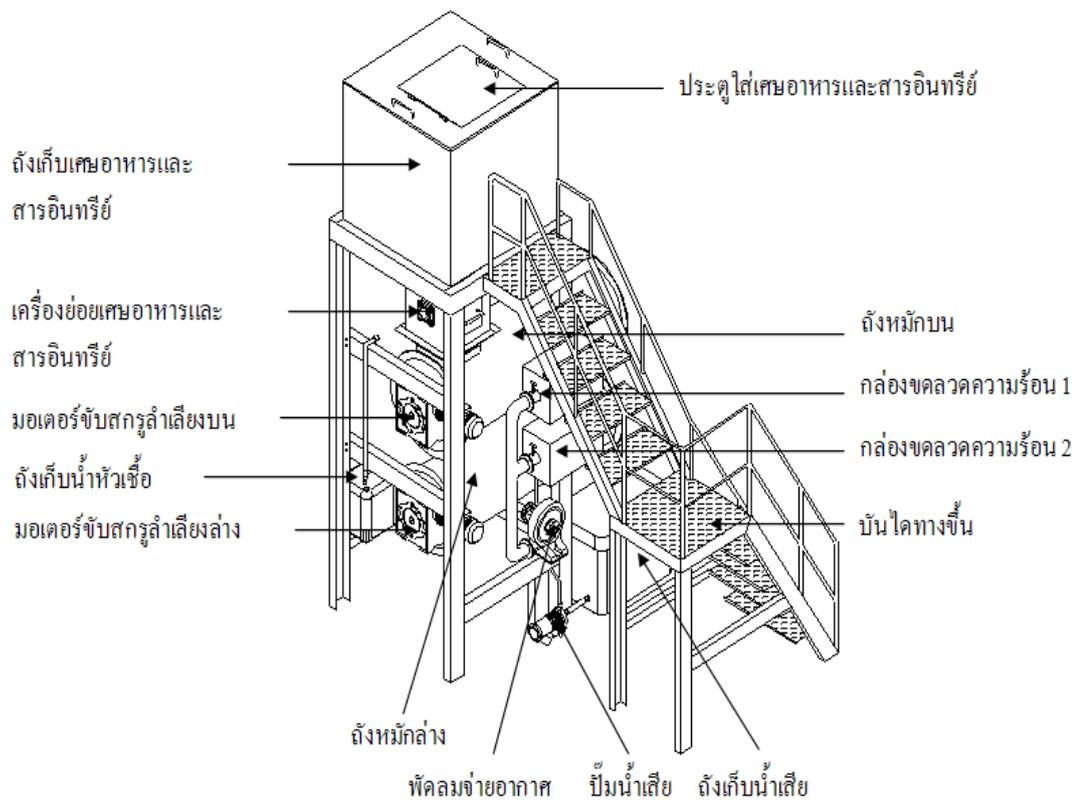
1.3 ถังเก็บน้ำเสีย เศษอาหารเป็นมูลฝอยที่มีความชื้นสูง ดังนั้นจึงมีน้ำส่วนเกินอยู่ในปริมาณมาก จึงต้องมีการนำน้ำออกก่อนเพื่อลดความชื้นให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม และถังเก็บน้ำเสียยังมีการติดตั้งปั๊มเพื่อนำน้ำกลับขึ้นไปบนถังหมักในกรณีที่เศษอาหารภายในถังหมักมีความชื้นน้อยเกินไป

1.4 ถังหมัก มีลักษณะวางซ้อนกันขนานไปกับพื้น โดยถังหมักด้านบนจะเป็นส่วนที่เกิดกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์มีความจุ 1.5 ลูกบาศก์เมตร ส่วนถังหมักล่างจะเป็นส่วนที่ทำให้เศษอาหารที่ผ่านกระบวนการย่อยสลายแล้วแห้งมีความจุ 1 ลูกบาศก์เมตร ภายในถังหมักมีสกรูลำเลียงเพื่อใช้ในการลำเลียงเศษอาหารให้เคลื่อนที่ไปตามถังหมัก นอกจากนั้นถังหมักทั้ง 2 ถังสามารถควบคุมอุณหภูมิให้แตกต่างกันได้

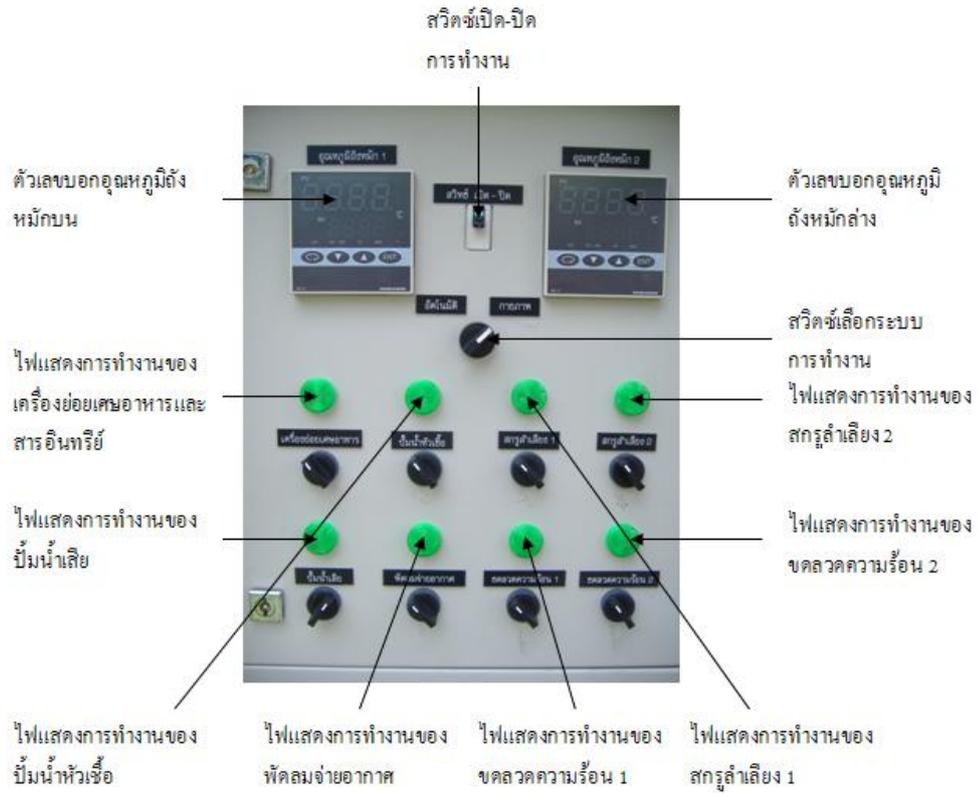
1.5 ขดลวดทำความร้อนและพัดลมจ่ายอากาศ กระบวนการย่อยสลายภายในเครื่องเป็นแบบใช้ออกซิเจน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีพัดลมเพื่อเป็นตัวให้อากาศ ลมที่จะผ่านเข้าไปในถังหมักทั้ง 2 ถังจะผ่านขดลวดทำความร้อนก่อน เพื่อควบคุมอุณหภูมิในการหมักให้มีความเหมาะสม โดยพัดลมจะทำงานพร้อมกับขดลวดทำความร้อนเสมอ

1.6 แผงวงจรควบคุมและแสดงผล การทำงานของเครื่องต้นแบบสำหรับกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์นี้ จะสามารถควบคุมการทำงานได้ทั้งแบบกายภาพ (ภาพที่ 9) และแบบอัตโนมัติ (ภาพที่ 10) นอกจากนั้นยังมีส่วนของหน้าจอแสดงผลอุณหภูมิภายในถังหมักบนและถังหมักล่าง

1.7 เครื่องปั่น (blender) ตัวใหญ่ เป็นเครื่องปั่นที่สั่งทำพิเศษเพื่อนำมาใช้ปั่นให้เศษอาหารมีขนาดเล็กลงก่อนเข้าสู่ถังหมัก (ภาพที่ 11)



ภาพที่ 8 ส่วนประกอบของเครื่องต้นแบบสำหรับกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์



ภาพที่ 9 แผงวงจรควบคุมการทำงานแบบกายภาพ และหน้าจอแสดงผล



ภาพที่ 10 แผงวงจรควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติ



ภาพที่ 11 เครื่องปั่น (blender) ตัวใหญ่

## 2. อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ

- 2.1 อาหาร nutrient agar (NA) และ potato dextrose agar (PDA)
- 2.2 อาหารแข็งสำหรับทดสอบความสามารถในการผลิตเอนไซม์
- 2.3 อาหารเหลวสำหรับวิเคราะห์ค่ากิจกรรมของเอนไซม์
- 2.4 ตะเกียงแอลกอฮอล์ ลวดเขี่ยเชื้อ เข็มเขี่ยเชื้อ ปิเปต
- 2.5 กล้องจุลทรรศน์แบบ light microscope ยี่ห้อ OLYMPUS
- 2.6 งานเพาะเชื้อ หลอดทดลอง ขวดชมพู่ ถ้วยกระเบื้องทนไฟ
- 2.7 ตู้เขี่ยเชื้อ ยี่ห้อ MICROFLOW
- 2.8 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด (analytical balance) ยี่ห้อ Sartorius
- 2.9 Spectrophotometer ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น Lambda 25
- 2.10 เครื่องวัดความเป็นกรด-ด่าง (pH meter) ยี่ห้อ Sartorius
- 2.11 เครื่องเหวี่ยง (centrifuge) ยี่ห้อ Hettich
- 2.12 แผ่นความร้อน (hot plate) ยี่ห้อ JENCONS
- 2.13 เครื่องชั่งหาความชื้น ยี่ห้อ Sartorius
- 2.14 ตู้อบ (hot air oven) ยี่ห้อ Lenton
- 2.15 เตาเผา (muffle furnace) ยี่ห้อ Carbolite
- 2.16 ตู้นึ่งฆ่าเชื้อ (autoclave) ยี่ห้อ HIRAYAMA
- 2.17 เครื่องเขย่า (shaking incubator) ยี่ห้อ JSR

- 2.18 เครื่องกลั่นและเครื่องย่อย (distillation unit และ digestion unit) ยี่ห้อ BUCHI
- 2.19 เครื่องบดตัวอย่าง (blender) ยี่ห้อ BUCHI
- 2.20 ตู้ควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ GALLENKAMP
- 2.21 เทอร์โมมิเตอร์ (thermometer)
- 2.22 สารเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์ตามที่ระบุ

## วิธีการ

### 1. การคัดแยกเชื้อจุลินทรีย์จากสภาพแวดล้อม

นำตัวอย่างชนิดต่างๆ เช่น น้ำจากบ่อตกไขมัน เศษอาหาร ปุ๋ยหมัก ดินบริเวณป่าชายเลน เป็นต้น มาทำการคัดแยกเชื้อจุลินทรีย์ โดยนำมาเจือจางให้มีระดับความเข้มข้นตามต้องการ แล้วจึงนำไปเลี้ยงเชื้อบนอาหาร nutrient agar (NA) และ potato dextrose agar (PDA) ที่ pH 5 ด้วยวิธี spread plate จากนั้นนำจานเพาะเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2-3 วัน สำหรับเชื้อแบคทีเรีย และ 3-7 วัน สำหรับเชื้อรา นำเชื้อที่สามารถเจริญได้มาทำหับรัฐเพื่อนำไปใช้ในการทดลองต่อไป

### 2. การคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์

นำเชื้อจุลินทรีย์ที่แยกได้จากสภาพแวดล้อม รวมถึงเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้รับความอนุเคราะห์จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) และบริษัท แอปพลายเค็ม (ประเทศไทย) จำกัด มาทดสอบความสามารถในการผลิตเอนไซม์ประเภทต่างๆ ด้วยวิธีการดังต่อไปนี้

#### 2.1 การคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไลเปส

นำเชื้อจุลินทรีย์ที่ต้องการทดสอบความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไลเปสมาเลี้ยงบนอาหาร tributyrin agar ที่ pH 5 โดยวิธี point inoculation จากนั้นนำไปบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน ทำการตรวจผลโดยสังเกตบริเวณไฮรอปโคโลนีของเชื้อ ความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตเอนไซม์ไลเปส จะประเมินจากค่าดัชนีเอนไซม์ (Enzyme index) ซึ่งหาได้โดยวัดอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณไฮรอปโคโลนีต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี

## 2.2 การคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส

นำเชื้อจุลินทรีย์ที่ต้องการทดสอบความสามารถในการผลิตเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส มาเลี้ยงบนอาหาร starch agar ที่ pH 5 โดยวิธี point inoculation จากนั้นนำไปปั่นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน ทำการตรวจผลโดยย้อมสีอาหารเลี้ยงเชื้อด้วยสารละลายไอโอดีน แล้วสังเกตบริเวณใสรอบโคโลนีของเชื้อ ความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส จะประเมินจากค่าดัชนีเอนไซม์ (Enzyme index) ซึ่งหาได้โดยวัดอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณใสรอบโคโลนีต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี

## 2.3 การคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์โปรติเอส

นำเชื้อจุลินทรีย์ที่ต้องการทดสอบความสามารถในการผลิตเอนไซม์โปรติเอสมาเลี้ยงบนอาหาร skimmed milk agar ที่ pH 5 โดยวิธี point inoculation จากนั้นนำไปปั่นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน ทำการตรวจผลโดยสังเกตบริเวณใสรอบโคโลนีของเชื้อ ความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตเอนไซม์โปรติเอส จะประเมินจากค่าดัชนีเอนไซม์ (Enzyme index) ซึ่งหาได้โดยวัดอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณใสรอบโคโลนีต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี

## 2.4 การคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เพคตินเอส

นำเชื้อจุลินทรีย์ที่ต้องการทดสอบความสามารถในการผลิตเอนไซม์เพคตินเอสมาเลี้ยงบนอาหาร pectin medium ที่ pH 5 โดยวิธี point inoculation จากนั้นนำไปปั่นที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน ทำการตรวจผลโดยตกตะกอนเพคตินด้วยสารละลาย 1% (w/v) hexadecyl-trimethyl-ammonium bromide แล้วสังเกตบริเวณใสรอบโคโลนีของเชื้อ ความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตเอนไซม์เพคตินเอส จะประเมินจากค่าดัชนีเอนไซม์ (Enzyme index) ซึ่งหาได้โดยวัดอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณใสรอบโคโลนีต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี

## 2.5 การคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส

นำเชื้อจุลินทรีย์ที่ต้องการทดสอบความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสมาเลี้ยงบนอาหาร Carboxymethylcellulose (CMC) medium ที่ pH 5 โดยวิธี point inoculation จากนั้นนำไปป่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน ทำการตรวจผลโดยย้อมสีอาหารเลี้ยงเชื้อด้วยสารละลาย 0.1% (w/v) congo red ทิ้งไว้ 15 นาที เทสารละลาย congo red ที่ หลังจากนั้นเทสารละลาย 1 M NaCl ตามลงไป ทิ้งไว้ 15 นาที แล้วสังเกตบริเวณใสรอบโคโลนีของเชื้อ ความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส จะประเมินจากค่าดัชนีเอนไซม์ (Enzyme index) ซึ่งหาได้โดยวัดอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณใสรอบโคโลนีต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี

## 2.6 การคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไคตินเนส

นำเชื้อจุลินทรีย์ที่ต้องการทดสอบความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไคตินเนสมาเลี้ยงบนอาหาร chitin medium ที่ pH 5 โดยวิธี point inoculation จากนั้นนำไปป่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน ทำการตรวจผลโดยสังเกตบริเวณใสรอบโคโลนีของเชื้อ ความสามารถของจุลินทรีย์ในการผลิตเอนไซม์ไคตินเนส จะประเมินจากค่าดัชนีเอนไซม์ (Enzyme index) ซึ่งหาได้โดยวัดอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางของบริเวณใสรอบโคโลนีต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนี

## 3. การหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์

### 3.1 การหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส

คัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไลเปสในอัตราที่สูงที่สุด 2 ลำดับแรก มาเลี้ยงเชื้อใน liquid tributyrin medium ที่ pH 5 นำไปป่มในเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส ความเร็ว 150 รอบต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างที่ 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ตัวอย่างที่ได้นำมาปั่นเหวี่ยงที่ 10,000g เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บส่วนใสเพื่อนำไปหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสต่อไป

การหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์ไลเปส คัดแปลงจากวิธีการของ Ertugrul *et al.* (2007) โดยผสมสับสเตรต 9 มิลลิลิตร (การเตรียมสับสเตรตทำโดยเตรียมสารตั้งต้น A (ละลายสาร 4-Nitrophenyl palmitate (*p*-NPP) 30 มิลลิกรัม ใน 2-propanol 10 มิลลิลิตร) และเตรียมสารตั้งต้น B (ละลาย gum arabic 0.1 กรัม และ Triton X-100 0.4 มิลลิลิตร ใน citrate-phosphate buffer, pH 5 ปริมาตร 90 มิลลิลิตร) ผสมสารตั้งต้น A และ B เข้าด้วยกัน กับเอนไซม์ 1 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที นำไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ 410 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เอนไซม์ 1 unit หมายถึง ปริมาณของเอนไซม์ไลเปสที่สามารถย่อย *p*-NPP แล้วทำให้มีการผลิต 4-Nitrophenol เท่ากับ 1 ไมโครโมล ต่อนาที ภายใต้สภาวะที่ทำการทดลอง

### 3.2 การหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส

คัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์อะไมเลสในอัตราที่สูงที่สุด 2 ลำดับแรก มาเลี้ยงเชื้อใน liquid starch medium ที่ pH 5 นำไปบ่มในเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส ความเร็ว 150 รอบต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างที่ 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ตัวอย่างที่ได้นำมาปั่นเหวี่ยงที่ 10,000g เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บส่วนใสเพื่อนำไปหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสต่อไป

การหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส คัดแปลงจากวิธีการของ Bernfeld (1951) โดยผสมสับสเตรต (1% w/v soluble starch ใน 50 mM citrate-phosphate buffer, pH 5) 0.125 มิลลิลิตร กับเอนไซม์ 0.125 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หยุดปฏิกิริยาโดยการเติมสารละลาย 1% Dinitrosalicylic acid (DNS) reagent ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร นำไปต้มในน้ำเดือดนาน 5 นาที แล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำเย็น หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ 540 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เอนไซม์ 1 unit หมายถึง ปริมาณของเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสที่สามารถย่อย 1% soluble starch แล้วทำให้มีการผลิตกลูโคสเท่ากับ 1 ไมโครโมล ต่อนาที ภายใต้สภาวะที่ทำการทดลอง

### 3.3 การหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส

คัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์โปรติเอสในอัตราที่สูงที่สุด 2 ลำดับแรก มาเลี้ยงเชื้อใน starch casein broth ที่ pH 5 นำไปบ่มในเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส ความเร็ว 150 รอบต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างที่ 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ตัวอย่างที่ได้นำมาปั่นเหวี่ยงที่ 10,000g เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บส่วนใสเพื่อนำไปหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอสต่อไป

การหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส คัดแปลงจากวิธีการของ Wang and Hesselstine (1965) โดยผสมสับสเตรต (1% w/v casein ใน 0.2 M citrate-phosphate buffer, pH 5) 1 มิลลิลิตร กับเอนไซม์ 1 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หยุดปฏิกิริยาโดยการเติมสารละลาย 5% Trichloroacetic acid (TCA) ปริมาตร 3 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที ดูดสารละลายส่วนใส 1 มิลลิลิตร เติมลงในหลอดทดลองที่มี 0.4 M sodium carbonate ปริมาตร 5 มิลลิลิตร หลังจากนั้นเติมสารละลาย 1 N Folin-Ciocalteu reagent ลงไป 1 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ 660 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เอนไซม์ 1 unit หมายถึง ปริมาณของเอนไซม์โปรติเอสที่สามารถย่อย 1% casein แล้วทำให้มีการผลิตกรดอะมิโนไทโรซีนเท่ากับ 1 ไมโครโมล ต่อนาที ภายใต้สภาวะที่ทำการทดลอง

### 3.4 การหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์เพคตินเอส

คัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เพคตินเอสในอัตราที่สูงที่สุด 2 ลำดับแรก มาเลี้ยงเชื้อใน liquid pectin medium ที่ pH 5 นำไปบ่มในเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส ความเร็ว 150 รอบต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างที่ 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ตัวอย่างที่ได้นำมาปั่นเหวี่ยงที่ 10,000g เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บส่วนใสเพื่อนำไปหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์เพคตินเอสต่อไป

การหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์เพคตินเนส คัดแปลงจากวิธีการของ Silva *et al.* (1993) โดยผสมสับสเตรต (0.4% w/v sodium pectate ใน 0.1 M citrate-phosphate buffer, pH 5) 0.8 มิลลิลิตร กับเอนไซม์ 0.2 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หยุดปฏิกิริยา โดยการเติม 0.01 M HCl ปริมาตร 4 มิลลิลิตร แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ 235 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เอนไซม์ 1 unit หมายถึง ปริมาณของเอนไซม์เพคตินเนสที่สามารถย่อยสารละลาย sodium pectate แล้วให้ผลิตภัณฑ์ที่มีค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวช่วงคลื่น 235 นาโนเมตร ใน cuvette ขนาด 1 เซนติเมตร ความจุปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร มีค่าเท่ากับ 0.2 ภายในเวลา 10 นาที

### 3.5 การหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลส

คัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส ในอัตราที่สูงที่สุด 2 ลำดับแรก มาเลี้ยงเชื้อใน liquid CMC medium ที่ pH 5 นำไปบ่มในเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส ความเร็ว 150 รอบต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างที่ 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ตัวอย่างที่ได้นำมาปั่นเหวี่ยงที่ 10,000g เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บส่วนใสเพื่อนำไปหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสต่อไป

การหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลส คัดแปลงจากวิธีการของ Miller *et al.* (1960) โดยผสมสับสเตรต (1% w/v CMC ใน 50 mM citrate-phosphate buffer, pH 5) 0.125 มิลลิลิตร กับเอนไซม์ 0.125 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หยุดปฏิกิริยา โดยการเติมสารละลาย 1% DNS reagent ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร นำไปต้มในน้ำเดือดนาน 5 นาที แล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำเย็น หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ 540 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เอนไซม์ 1 unit หมายถึง ปริมาณของเอนไซม์เซลลูเลสที่สามารถย่อย 1% CMC แล้วทำให้มีการผลิตกลูโคสเท่ากับ 1 ไมโครโมล ต่อนาที ภายใต้สภาวะที่ทำการทดลอง

### 3.6 การหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์ไคตินเอส

คัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไคตินเอสในอัตราที่สูงที่สุด 2 ลำดับแรก มาเลี้ยงเชื้อใน liquid chitin medium ที่ pH 5 นำไปบ่มในเครื่องเขย่าควบคุมอุณหภูมิที่ 40 องศาเซลเซียส ความเร็ว 150 รอบต่อนาที ทำการเก็บตัวอย่างที่ 12, 24 และ 48 ชั่วโมง ตัวอย่างที่ได้นำมาปั่นเหวี่ยงที่ 10,000g เป็นเวลา 10 นาที ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เก็บส่วนในสื่อนำไปหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์ไคตินเอสต่อไป

การหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์ไคตินเอส คัดแปลงจากวิธีการของ Miller (1959) โดยผสมสับสเตรต (1% w/v colloidal chitin ใน 50 mM citrate-phosphate buffer, pH 5) 0.125 มิลลิลิตร กับเอนไซม์ 0.125 มิลลิลิตร นำไปบ่มที่ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หยุดปฏิกิริยาโดยการเติมสารละลาย 1% DNS reagent ปริมาตร 0.5 มิลลิลิตร นำไปต้มในน้ำเดือดนาน 5 นาที แล้วนำไปแช่ในอ่างน้ำเย็น หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นปริมาตร 5 มิลลิลิตร นำไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่ 540 นาโนเมตร ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

เอนไซม์ 1 unit หมายถึง ปริมาณของเอนไซม์ไคตินเอสที่สามารถย่อย 1% colloidal chitin แล้วทำให้มีการผลิต N-acetyl-D-glucosamine เท่ากับ 1 ไมโครโมล ต่อนาที ภายใต้สภาวะที่ทำการทดลอง

### 4. การผลิตเชื้อจุลินทรีย์ในรูปผง

คัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์แต่ละประเภทสูงที่สุด จากการทดลองในขั้นตอนที่ 3 มาผลิตให้อยู่ในรูปผง โดยผลิตจากบริษัท แอปพลายเค็ม (ประเทศไทย) จำกัด เพื่อความสะดวกต่อการนำไปใช้

### 5. การวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีในเศษอาหาร

การวิเคราะห์หองค์ประกอบทางเคมีในเศษอาหาร ทำโดยสุ่มตัวอย่างเศษอาหารจากโรงอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ นำมาอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบด (blender) ให้ละเอียด ร่อนด้วยตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร แล้วจึง

แบ่งตัวอย่างออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน (quartering) นำตัวอย่าง 2 ส่วนที่อยู่ตรงข้ามมารวมกันและคลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นทำ quartering ต่อ จนกระทั่งได้ตัวอย่างประมาณ 250 กรัม บรรจุลงถุงพลาสติกใสที่สะอาดและแห้ง แล้วจึงนำตัวอย่างส่งวิเคราะห์ที่สถาบันค้นคว้าและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

#### **6. การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์ และการปรับปรุงแก้ไข เพื่อให้เครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น**

วิธีการทดลองในหัวข้อนี้ จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ ส่วนที่ 1 เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์เบื้องต้น โดยมีการทดสอบพารามิเตอร์ต่างๆ ของเครื่อง เพื่อศึกษาสถานะที่เหมาะสมกับการทำงาน ดังแสดงในตารางที่ 6 (การทดลองครั้งที่ 1 – 6) จากนั้นนำผลการทดลองที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงแก้ไข ให้เครื่องมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น และส่วนที่ 2 เป็นการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์ภายหลังจากที่มีการปรับปรุงแก้ไขเครื่องแล้ว ดังแสดงในตารางที่ 6 (การทดลองครั้งที่ 7 – 8)

ตารางที่ 6 วิธีการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์

พารามิเตอร์ของเครื่องกำจัด เศษอาหารและสารอินทรีย์	การทดลองครั้งที่ 1	การทดลองครั้งที่ 2	การทดลองครั้งที่ 3	การทดลองครั้งที่ 4
การทำงานของเครื่องปั่นเศษอาหารด้านบน	ทำงาน 5 นาที หยุด 15 นาที	ทำงาน 5 นาที หยุด 15 นาที	ทำงาน 5 นาที หยุด 15 นาที	ทำงาน 5 นาที หยุด 15 นาที
การใช้เครื่องปั่น (blender) ตัวใหญ่	-	-	มีการใช้งาน	มีการใช้งาน
การทำงานของเครื่องฟั่นเชื้อจุลินทรีย์	-	-	หน่วง 2 นาที	หน่วง 2 นาที
การทำงานของสกรูลำเลียงถึงหมักบน	ทำงาน 2 วินาที หยุด 30 นาที	ทำงาน 2 วินาที หยุด 30 นาที	ทำงาน 2 วินาที หยุด 30 นาที	ทำงาน 2 วินาที หยุด 30 นาที
การทำงานของสกรูลำเลียงถึงหมักล่าง	ทำงาน 2 วินาที หยุด 30 นาที	ทำงาน 2 วินาที หยุด 30 นาที	ทำงาน 2 วินาที หยุด 30 นาที	ทำงาน 2 วินาที หยุด 30 นาที
การทำงานของปั้มน้ำเสีย	ทำงาน 5 วินาที หยุด 2 ชั่วโมง	-	-	-
การทำงานของ Blower และตัวทำความร้อน	ทำงาน 24 ชั่วโมง	ทำงาน 24 ชั่วโมง	ทำงาน 24 ชั่วโมง	ทำงาน 24 ชั่วโมง
ชนิดของตัวทำความร้อนที่ใช้	ขดลวดทำความร้อน	ขดลวดทำความร้อน	ขดลวดทำความร้อน	ขดลวดทำความร้อน
อุณหภูมิถึงหมักบน	30 องศาเซลเซียส	40 องศาเซลเซียส	40 องศาเซลเซียส	40 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิถึงหมักล่าง	30 องศาเซลเซียส	70 องศาเซลเซียส	70 องศาเซลเซียส	70 องศาเซลเซียส
จำนวนวันที่มีการเติมเศษอาหาร	1 วัน	1 วัน	1 วัน	1 วัน
ความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้	-	-	1%	5%
ปริมาณจีเชื้อที่ใช้	-	-	-	-

ตารางที่ 6 (ต่อ)

พารามิเตอร์ของเครื่องกำจัด เศษอาหารและสารอินทรีย์	การทดลองครั้งที่ 5	การทดลองครั้งที่ 6	การทดลองครั้งที่ 7	การทดลองครั้งที่ 8
การทำงานของเครื่องปั่นเศษอาหารด้านบน	ทำงาน 5 นาที หยุด 15 นาที	ทำงาน 5 นาที หยุด 15 นาที	ทำงาน 20 วินาที หยุด 24 วินาที	ทำงาน 20 วินาที หยุด 24 วินาที
การใช้เครื่องปั่น (blender) ตัวใหญ่	มีการใช้งาน	มีการใช้งาน	-	-
การทำงานของเครื่องฟั่นเชื้อจุลินทรีย์	หน่วง 2 นาที	หน่วง 2 นาที	ทำงาน 13 วินาที หยุด 31 วินาที	ทำงาน 13 วินาที หยุด 31 วินาที
การทำงานของสกรูลำเลียงถึงหมักบน	ทำงาน 2 วินาที หยุด 30 นาที	ทำงาน 2 วินาที หยุด 30 นาที	ทำงาน 3 วินาที หยุด 26.45 นาที	ทำงาน 3 วินาที หยุด 26.45 นาที
การทำงานของสกรูลำเลียงถึงหมักล่าง	ทำงาน 2 วินาที หยุด 30 นาที	ทำงาน 2 วินาที หยุด 30 นาที	ทำงาน 30 วินาที หยุด 28.30 นาที	ทำงาน 30 วินาที หยุด 28.30 นาที
การทำงานของปั้มน้ำเสีย	-	-	-	-
การทำงานของ Blower และตัวทำความร้อน	ทำงาน 24 ชั่วโมง	ทำงาน 24 ชั่วโมง	ทำงาน 24 ชั่วโมง	ทำงาน 24 ชั่วโมง
ชนิดของตัวทำความร้อนที่ใช้	ขดลวดทำความร้อน	ขดลวดทำความร้อน	อินฟราเรด	อินฟราเรด
อุณหภูมิถึงหมักบน	40 องศาเซลเซียส	40 องศาเซลเซียส	40 องศาเซลเซียส	40 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิถึงหมักล่าง	70 องศาเซลเซียส	70 องศาเซลเซียส	54 องศาเซลเซียส	45 องศาเซลเซียส
จำนวนวันที่มีการเติมเศษอาหาร	3 วัน	3 วัน	4 วัน	4 วัน
ความเข้มข้นของเชื้อจุลินทรีย์ที่ใช้	5%	5%	5%	5%
ปริมาณจีเชื้อที่ใช้	-	20%	-	-

## 7. การเก็บและการวิเคราะห์ตัวอย่าง

### 7.1 การเก็บตัวอย่างเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์

ทำการเก็บตัวอย่างเศษอาหารจากจุดต่างๆ ของภาชนะที่ใส่โดยวิธีการสุ่ม การเก็บตัวอย่างจะต้องทำการเก็บทุกวันที่มีการเติมเศษอาหารลงเครื่อง นำตัวอย่างเข้าสู่อบความร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบด (blender) ให้ละเอียด ร่อนด้วยตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร แล้วจึงแบ่งตัวอย่างออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน (quartering) นำตัวอย่าง 2 ส่วนที่อยู่ตรงข้ามมารวมกันและคลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นทำ quartering ต่อ จนกระทั่งได้ตัวอย่างประมาณ 100 กรัม นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง บรรจุลงถุงพลาสติกใสที่สะอาดและแห้ง เก็บใน desicator เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี และทางกายภาพต่อไป

### 7.2 การเก็บตัวอย่างเศษอาหารที่ผ่านกระบวนการหมักจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์

ทำการเก็บตัวอย่างเศษอาหารที่ผ่านกระบวนการหมักแล้วจากจุดต่างๆ ของภาชนะที่ใช้รองรับโดยวิธีการสุ่ม การเก็บตัวอย่างจะต้องทำการเก็บทุกวันที่มีตัวอย่างออกจากเครื่อง นำตัวอย่างเข้าสู่อบความร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปบดด้วยเครื่องบด (blender) ให้ละเอียด ร่อนด้วยตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร แล้วจึงแบ่งตัวอย่างออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน (quartering) นำตัวอย่าง 2 ส่วนที่อยู่ตรงข้ามมารวมกันและคลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นทำ quartering ต่อ จนกระทั่งได้ตัวอย่างประมาณ 100 กรัม นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง บรรจุลงถุงพลาสติกใสที่สะอาดและแห้ง เก็บใน desicator เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี และทางกายภาพต่อไป

### 7.3 การวิเคราะห์ตัวอย่างภายในห้องปฏิบัติการ

ตัวอย่างที่เก็บมาได้ จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาถึงสมบัติทางเคมี และทางกายภาพ ในด้านต่างๆ ดังนี้

- 7.3.1 ความชื้น (moisture content) โดยใช้เครื่องชั่งหาความชื้น
- 7.3.2 สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยการวัดด้วย pH meter
- 7.3.3 ปริมาณของแข็งระเหย (volatile solids) โดยใช้วิธีการเผาใน muffle furnace ที่อุณหภูมิ 600-650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 7.3.4 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (organic carbon) โดยใช้วิธีการคำนวณ
- 7.3.5 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (total nitrogen content) โดยใช้วิธี Kjeldahl method
- 7.3.6 อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) โดยใช้วิธีการคำนวณ
- 7.3.7 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (available P) โดยใช้วิธี Bray II method
- 7.3.8 ปริมาณโพแทสเซียม โดยใช้วิธีการสกัดด้วย 1 N ammonium acetate pH 7.0 แล้ววัดด้วย atomic absorption spectrophotometer โดยได้รับความอนุเคราะห์จากกรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

## ผลและวิจารณ์

### 1. การคัดแยกเชื้อจุลินทรีย์จากสภาพแวดล้อม

จากการนำตัวอย่างชนิดต่างๆ มาทำการคัดแยกเชื้อจุลินทรีย์ โดยการทำให้เจือจางในระดับความเข้มข้นตามต้องการ แล้วนำไปเลี้ยงเชื้อบนอาหาร nutrient agar (NA) และ potato dextrose agar (PDA) ที่ pH 5 ด้วยวิธี spread plate จากนั้นนำจานเพาะเชื้อไปบ่มที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส พบว่าสามารถคัดแยกเชื้อจุลินทรีย์ได้ทั้งหมด 77 ไอโซเลท ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 จำนวนของเชื้อจุลินทรีย์ที่คัดแยกได้จากสภาพแวดล้อม

	เชื้อแบคทีเรีย			เชื้อราและยีสต์
AG-01	BP-04	CF7015-2	LTR-02	AG-04
AG-02	BPCS-01	CF7015-3	LTR-03	AG-05
AG-03	BPCS-02	CF7015-4	LTR-04	AG-06
<i>B. chitinolyticus</i>	BPL-01	DDS-01	LTR-05	PD-06
<i>B. subtilis</i>	BPL-02	DDS-02	LTR-06	PD-07
<i>B. vallismortis</i>	BPL-03	DDS-03	LTR-07	
BCA-01	BWD-01	DR-01	LTR-08	
BCA-02	BWD-02	DR-02	PD-01	
BCA-03	BWD-03	DR-03	PD-02	
BMW-01	CF1005-1	JPR-01	PD-03	
BMW-02	CF1005-2	JPR-02	PD-04	
BMW-03	CF1005-3	JPR-03	PD-05	
BMW-04	CF1005-4	JPR-04	SC-01	
BMW-05	CF1006-1	JPR-05	SC-02	
BMW-06	CF1006-2	JPR-06	TT-01	
BP-01	CF1006-3	JPR-07	TT-02	
BP-02	CF1006-4	JPR-08	TT-03	
BP-03	CF7015-1	LTR-01	TT-04	
รวม 72 ไอโซเลท				รวม 5 ไอโซเลท

จากตารางที่ 7 พบว่า เชื้อจุลินทรีย์ที่คัดแยกได้ส่วนใหญ่เป็นเชื้อแบคทีเรีย ซึ่งพบมากถึง 72 ไอโซเลท หรือคิดเป็นร้อยละ 93.51 เชื้อราและยีสต์พบเพียง 5 ไอโซเลท เท่ากับร้อยละ 6.49 การที่คัดแยกเชื้อจุลินทรีย์ออกมาได้ในจำนวนน้อย เนื่องจากสภาพและอาหารที่นำมาใช้ในการคัดแยกอาจไม่เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อ ซึ่งตรงกับ Torsvik *et al.* (1990) ที่ได้รายงานว่ามีเชื้อจุลินทรีย์ในสภาพแวดล้อมน้อยกว่า 1% ที่สามารถเพาะเลี้ยงได้ในห้องปฏิบัติการ

## 2. การคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์

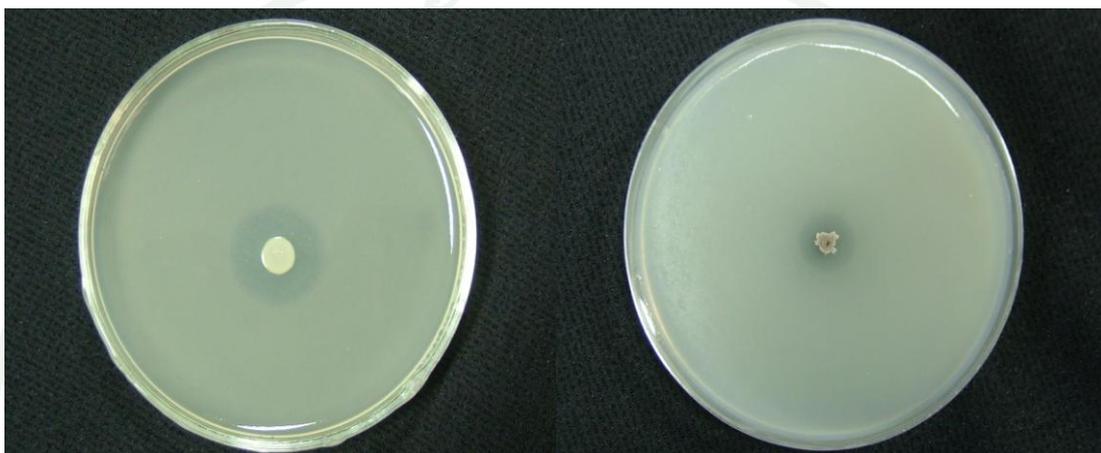
นำเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด 110 ไอโซเลท ซึ่งเป็นเชื้อที่แยกได้จากสภาพแวดล้อม 77 ไอโซเลท เชื้อที่ได้รับคำแนะนำจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) และบริษัท แอปพลายเค็ม (ประเทศไทย) จำกัด อีก 33 ไอโซเลท (ตารางที่ 8) มาทดสอบความสามารถในการผลิตเอนไซม์ประเภทต่างๆ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส pH 5 โดยวิธี point inoculation จากนั้นประเมินความสามารถของเชื้อจุลินทรีย์ในการผลิตเอนไซม์โดยอาศัยค่าดัชนีเอนไซม์ (Enzyme index) เป็นตัวชี้วัด ซึ่งได้แสดงในตารางผนวกที่ ข1 จากนั้นจะทำการคัดเลือกเชื้อที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์แต่ละชนิดได้มากที่สุด 2 อันดับแรก เพื่อนำไปวิเคราะห์กิจกรรมของเอนไซม์ต่อไป

**ตารางที่ 8** จำนวนของเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้รับคำแนะนำจากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) และบริษัท แอปพลายเค็ม (ประเทศไทย) จำกัด

เชื้อแบคทีเรีย		เชื้อราและยีสต์	
AP-01	BS0130653	PDA0501.1	<i>Aspergillus niger</i>
AP-04	BS0130654	PDB0501.4	<i>Pichia kudriavzevii</i> TISTR 5147
AP-08	BS0130655	PDD0502.3	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>
<i>B. amyloliquefaciens</i>	BT-BP	PDF0501.6	<i>Saccharomycopsis fibuligera</i>
<i>B. circulans</i> -07	BT-DF	PDG0501.7	TISTR 5033
<i>B. coagulans</i>	BT-DP	PDU0501.1	<i>Trichoderma viridea</i>
<i>B. thuringiensis</i>	BT-TR	PDU0501.2	
B-260505	<i>Cellulomonas</i> sp. TISTR 368	U1	
BS0130651	F-260505		
BS0130652	K1		
รวม 28 ไอโซเลท		รวม 5 ไอโซเลท	

## 2.1 การคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไลเปส

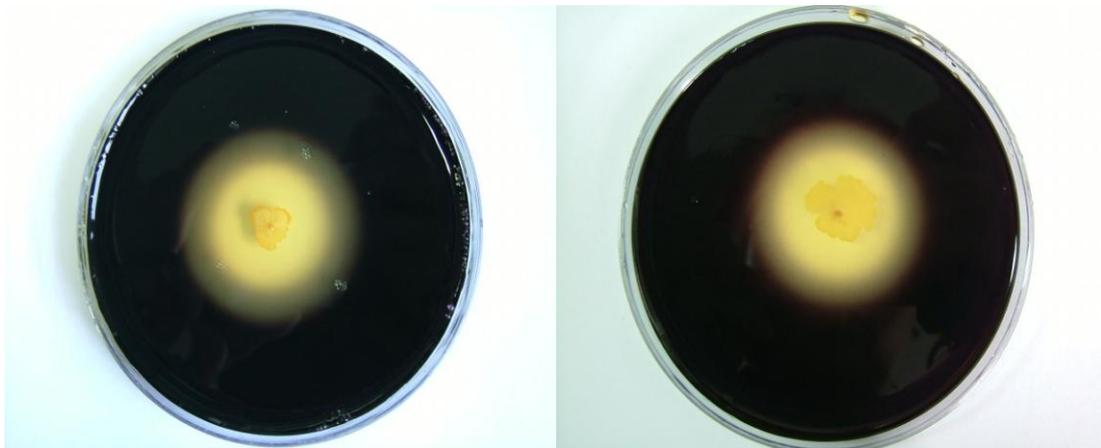
จากผลในตารางผนวกที่ ข1 เมื่อพิจารณาจากค่าดัชนีเอนไซม์ พบว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไลเปสได้สูงที่สุด คือ *Bacillus vallismortis* รองลงมาคือเชื้อรหัส CF7015-3 โดยมีค่าดัชนีเอนไซม์เท่ากับ  $2.50 \pm 0.03$  และ  $2.25 \pm 0.09$  ตามลำดับ (ภาพที่ 12)



ภาพที่ 12 ความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไลเปสของเชื้อ *B. vallismortis* (ซ้าย) CF7015-3 (ขวา)

## 2.2 การคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส

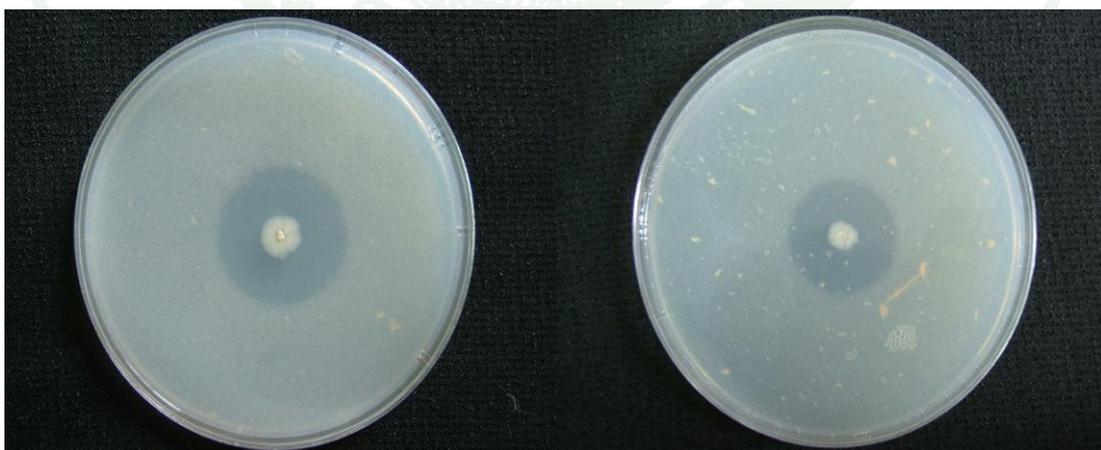
จากผลในตารางผนวกที่ ข1 เมื่อพิจารณาจากค่าดัชนีเอนไซม์ พบว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสได้สูงที่สุด คือ *B. amyloliquefaciens* รองลงมาคือเชื้อรหัส AG-03 โดยมีค่าดัชนีเอนไซม์เท่ากับ  $4.35 \pm 0.09$  และ  $3.23 \pm 0.09$  ตามลำดับ (ภาพที่ 13)



ภาพที่ 13 ความสามารถในการผลิตเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสของเชื้อ *B. amyloliquefaciens* (ซ้าย) AG-03 (ขวา)

### 2.3 การคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์โปรติเอส

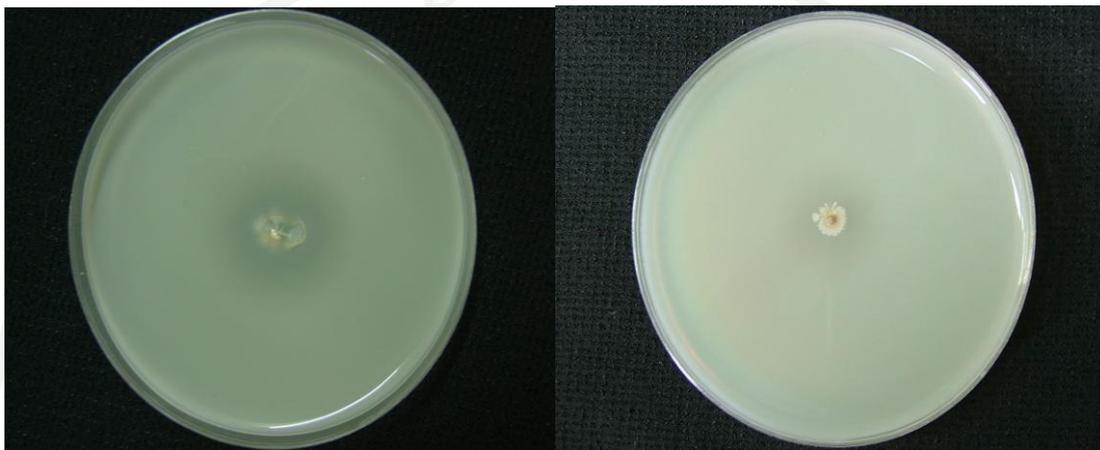
จากผลในตารางผนวกที่ ข1 เมื่อพิจารณาจากค่าดัชนีเอนไซม์ พบว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์โปรติเอสได้สูงที่สุด คือ *B. thuringiensis* รองลงมาคือเชื้อรหัส PD-05 โดยมีค่าดัชนีเอนไซม์เท่ากับ  $3.00 \pm 0.03$  และ  $2.75 \pm 0.03$  ตามลำดับ (ภาพที่ 14)



ภาพที่ 14 ความสามารถในการผลิตเอนไซม์โปรติเอสของเชื้อ *B. thuringiensis* (ซ้าย) PD-05 (ขวา)

## 2.4 การคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เพคตินเอส

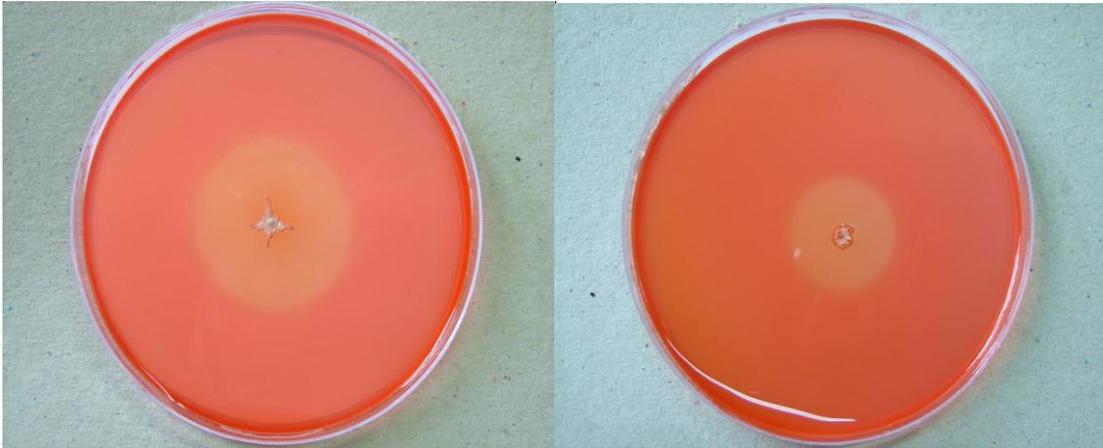
จากผลในตารางผนวกที่ ข1 เมื่อพิจารณาจากค่าดัชนีเอนไซม์ พบว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เพคตินเอสได้สูงที่สุด คือ *B. circulans*-07 รองลงมาคือเชื้อรหัส JPR-08 โดยมีค่าดัชนีเอนไซม์เท่ากับ  $2.17 \pm 0.03$  และ  $1.87 \pm 0.03$  ตามลำดับ (ภาพที่ 15)



ภาพที่ 15 ความสามารถในการผลิตเอนไซม์เพคตินเอสของเชื้อ *B. circulans*-07 (ซ้าย) JPR-08 (ขวา)

## 2.5 การคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลส

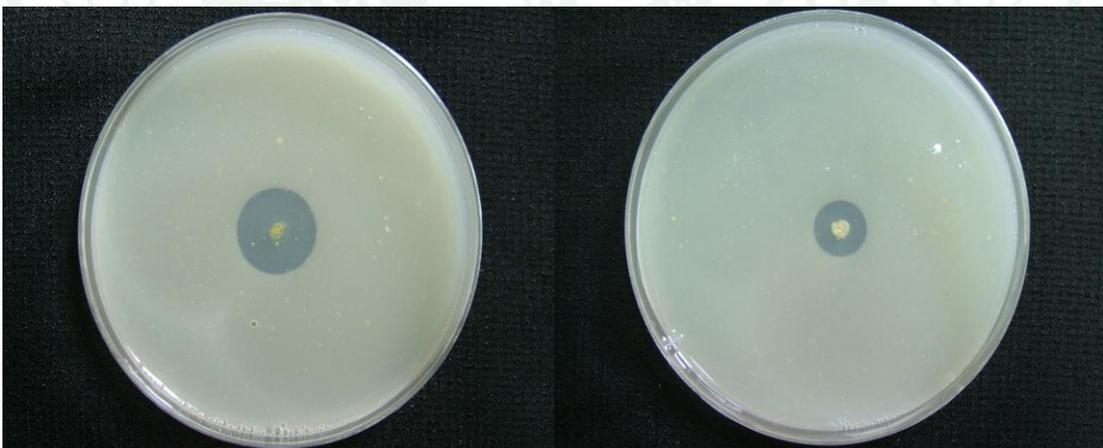
จากผลในตารางผนวกที่ ข1 เมื่อพิจารณาจากค่าดัชนีเอนไซม์ พบว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้สูงที่สุด คือ *B. subtilis* รองลงมาคือเชื้อรหัส PDB0501.4 โดยมีค่าดัชนีเอนไซม์เท่ากับ  $4.50 \pm 0.06$  และ  $4.17 \pm 0.03$  ตามลำดับ (ภาพที่ 16)



ภาพที่ 16 ความสามารถในการผลิตเอนไซม์เซลลูเลสของเชื้อ *B. subtilis* (สาย) PDB0501.4 (ขวา)

## 2.6 การคัดเลือกเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไคตินเอส

จากผลในตารางผนวกที่ ข1 เมื่อพิจารณาจากค่าดัชนีเอนไซม์ พบว่าเชื้อจุลินทรีย์ที่มีความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไคตินเอสได้สูงที่สุด คือ *B. chitinolyticus* รองลงมาคือเชื้อรหัส LTR-05 โดยมีค่าดัชนีเอนไซม์เท่ากับ  $3.80 \pm 0.03$  และ  $2.67 \pm 0.03$  ตามลำดับ (ภาพที่ 17)



ภาพที่ 17 ความสามารถในการผลิตเอนไซม์ไคตินเอสของเชื้อ *B. chitinolyticus* (สาย) LTR-05 (ขวา)

### 3. การหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์

นำเชื้อจุลินทรีย์ที่ได้ทำการคัดเลือกแล้วว่ามีความสามารถในการผลิตเอนไซม์แต่ละชนิด สูงสุด 2 อันดับแรก มาหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส pH 5 ในชั่วโมงที่ 12, 24, 48 โดยได้ผลดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ค่ากิจกรรมของเอนไซม์ชนิดต่างๆ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส pH 5

ชนิดของเอนไซม์	เชื้อจุลินทรีย์	ชั่วโมงที่	pH	กิจกรรมของเอนไซม์ (Unit/ml)
เอนไซม์ไลเปส	<i>B. vallismortis</i>	12	5.98±0.04	0.56±0.04
		24	7.06±0.05	0.98±0.04
		48	8.16±0.06	1.22±0.05
	CF7015-3	12	5.12±0.05	0.23±0.05
		24	5.42±0.09	0.46±0.06
		48	6.52±0.09	0.99±0.06
เอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส	<i>B. amyloliquefaciens</i>	12	5.36±0.05	-
		24	5.74±0.04	1.30±0.04
		48	6.37±0.05	6.56±0.04
	AG-03	12	5.22±0.06	-
		24	5.46±0.04	2.81±0.05
		48	5.88±0.06	3.10±0.05
เอนไซม์โปรติเอส	<i>B. thuringiensis</i>	12	5.11±0.04	-
		24	5.37±0.04	0.16±0.04
		48	5.99±0.04	0.28±0.04
	PD-05	12	4.97±0.05	-
		24	5.22±0.05	-
		48	5.46±0.05	0.19±0.05

ตารางที่ 9 (ต่อ)

ชนิดของเอนไซม์	เชื้อจุลินทรีย์	ชั่วโมงที่	pH	กิจกรรมของเอนไซม์ (Unit/ml)
เอนไซม์เพคติเนส	<i>B. circulans</i> -07	12	5.91±0.03	0.48±0.04
		24	6.32±0.04	0.57±0.04
		48	6.93±0.04	0.67±0.04
	JPR-08	12	5.46±0.03	-
		24	6.04±0.05	0.21±0.04
		48	6.46±0.05	0.34±0.04
เอนไซม์เซลลูเลส	<i>B. subtilis</i>	12	5.90±0.04	0.02±0.04
		24	6.36±0.04	0.05±0.04
		48	6.59±0.05	0.09±0.04
	PDB0501.4	12	5.45±0.05	-
		24	5.99±0.05	0.01±0.06
		48	6.35±0.04	0.03±0.05
เอนไซม์ไคติเนส	<i>B. chitinolyticus</i>	12	5.72±0.04	0.03±0.04
		24	6.72±0.05	0.07±0.04
		48	7.33±0.04	0.12±0.04
	LTR-05	12	5.17±0.04	-
		24	5.85±0.05	0.02±0.04
		48	6.16±0.04	0.05±0.04

หมายเหตุ รายงานผลเป็นค่า  $\bar{X} \pm SE$  โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

จากตารางที่ 9 พบว่าที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส pH 5 เชื้อ *B. vallismortis* มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ไลเปสสูงกว่าเชื้อรหัส CF7015-3 โดยเอนไซม์ไลเปสถูกผลิตขึ้นมากที่สุดในชั่วโมงที่ 48 ซึ่งมีค่ากิจกรรมของเอนไซม์เท่ากับ  $1.22 \pm 0.05$  Unit/ml ดังนั้นจึงนำตัวอย่างเอนไซม์ในชั่วโมงที่ 48 ของเชื้อ *B. vallismortis* มาหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส pH 6

(Ertugrul *et al.*, 2007) เพื่อทำการเปรียบเทียบ พบว่ามีค่ากิจกรรมของเอนไซม์เท่ากับ  $1.96 \pm 0.07$  Unit/ml

สำหรับเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส พบว่าที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส pH 5 เชื้อ *B. amyloliquefaciens* มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์สูงกว่าเชื้อรหัส AG-03 โดยเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลส ถูกผลิตขึ้นมากที่สุดในช่วงเวลาที่ 48 ซึ่งมีค่ากิจกรรมของเอนไซม์เท่ากับ  $6.56 \pm 0.04$  Unit/ml ดังนั้นจึงนำตัวอย่างเอนไซม์ในช่วงเวลาที่ 48 ของเชื้อ *B. amyloliquefaciens* มาหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส pH 7 (Asgher *et al.*, 2007) เพื่อทำการเปรียบเทียบ พบว่ามีค่ากิจกรรมของเอนไซม์เท่ากับ  $21.06 \pm 0.05$  Unit/ml

ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส pH 5 เชื้อ *B. thuringiensis* มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์โปรติเอส สูงกว่าเชื้อรหัส PD-05 โดยเอนไซม์โปรติเอสถูกผลิตขึ้นมากที่สุดในช่วงเวลาที่ 48 ซึ่งมีค่ากิจกรรมของเอนไซม์เท่ากับ  $0.28 \pm 0.04$  Unit/ml ดังนั้นจึงนำตัวอย่างเอนไซม์ในช่วงเวลาที่ 48 ของเชื้อ *B. thuringiensis* มาหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส pH 7 (Otte *et al.*, 1996) เพื่อทำการเปรียบเทียบ พบว่ามีค่ากิจกรรมของเอนไซม์เท่ากับ  $0.49 \pm 0.09$  Unit/ml

ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส pH 5 เชื้อ *B. circulans*-07 มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์เพคติเนส สูงกว่าเชื้อรหัส JPR-08 โดยเอนไซม์เพคติเนสถูกผลิตขึ้นมากที่สุดในช่วงเวลาที่ 48 ซึ่งมีค่ากิจกรรมของเอนไซม์เท่ากับ  $0.67 \pm 0.04$  Unit/ml ดังนั้นจึงนำตัวอย่างเอนไซม์ในช่วงเวลาที่ 48 ของเชื้อ *B. circulans*-07 มาหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส pH 6 (Kim *et al.*, 1998) เพื่อทำการเปรียบเทียบ พบว่ามีค่ากิจกรรมของเอนไซม์เท่ากับ  $0.84 \pm 0.05$  Unit/ml

ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส pH 5 เชื้อ *B. subtilis* มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์เซลลูเลสสูง กว่าเชื้อรหัส PDB0501.4 โดยเอนไซม์เซลลูเลสถูกผลิตขึ้นมากที่สุดในช่วงเวลาที่ 48 ซึ่งมีค่ากิจกรรมของเอนไซม์เท่ากับ  $0.09 \pm 0.04$  Unit/ml ดังนั้นจึงนำตัวอย่างเอนไซม์ในช่วงเวลาที่ 48 ของเชื้อ *B. subtilis* มาหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส pH 5 (Miller *et al.*, 1960) เพื่อทำการเปรียบเทียบ พบว่ามีค่ากิจกรรมของเอนไซม์เท่ากับ  $0.16 \pm 0.07$  Unit/ml

ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส pH 5 เชื้อ *B. chitinolyticus* มีค่ากิจกรรมของเอนไซม์ไคติเนส สูงกว่าเชื้อรหัส LTR-05 โดยเอนไซม์ไคติเนสถูกผลิตขึ้นมากที่สุดในช่วงเวลาที่ 48 ซึ่งมีค่ากิจกรรม

ของเอนไซม์เท่ากับ  $0.12 \pm 0.04$  Unit/ml ดังนั้นจึงนำตัวอย่างเอนไซม์ในชั่วโมงที่ 48 ของเชื้อ *B. chitinolyticus* มาหาค่ากิจกรรมของเอนไซม์ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส pH 6 (Wang *et al.*, 2006) เพื่อทำการเปรียบเทียบ พบว่ามีค่ากิจกรรมของเอนไซม์เท่ากับ  $0.19 \pm 0.09$  Unit/ml

จากการทดลองเมื่อเปรียบเทียบค่ากิจกรรมของเอนไซม์พบว่า ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส pH 5 กิจกรรมของเอนไซม์ชนิดต่างๆ มีค่าน้อยกว่า ที่ระดับอุณหภูมิและ pH ที่ได้มีการอ้างอิงไว้ก่อน ทั้งนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและ pH จะส่งผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ โดยทั่วไปแล้วกิจกรรมของเอนไซม์จะมีค่าสูงสุดที่อุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส และจะลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 55 องศาเซลเซียส และไม่พบกิจกรรมของเอนไซม์เมื่ออุณหภูมิสูงถึง 60 องศาเซลเซียส เนื่องจากเอนไซม์เสียสภาพไป ถึงแม้ว่าส่วนใหญ่แล้วเอนไซม์จะมีอุณหภูมิที่เหมาะสม (optimum temperature) อยู่ที่ 40-50 องศาเซลเซียส แต่ก็ยังมีเอนไซม์บางชนิดที่สามารถทำงานได้ดีที่อุณหภูมิต่ำกว่าจุดเยือกแข็ง หรือสูงถึง 85 องศาเซลเซียส สำหรับ pH ก็เช่นเดียวกัน เอนไซม์ส่วนใหญ่จะมี pH ที่เหมาะสม (optimum pH) อยู่ที่ประมาณ 7 แต่ก็ยังมีเอนไซม์ที่สามารถทำงานได้ดีในสภาพความเป็นกรดหรือด่างสูง (Russell *et al.*, 2008)

#### 4. การผลิตเชื้อจุลินทรีย์ในรูปผง

นำเชื้อที่ได้คัดเลือกแล้วว่ามีประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิตเอนไซม์แต่ละชนิด ซึ่งได้แก่ เชื้อ *B. vallismortis*, *B. amyloliquefaciens*, *B. thuringiensis*, *B. circulans-07*, *B. subtilis* และ *B. chitinolyticus* มาผลิตให้อยู่ในรูปผง (powder) เพื่อสะดวกต่อการนำไปใช้ (ภาพที่ 18) โดยได้รับความอนุเคราะห์จากบริษัท แอปพลายเค็ม (ประเทศไทย) จำกัด

สำหรับเชื้อจุลินทรีย์ที่อยู่ในรูปผง เมื่อนำมานับเชื้อด้วยวิธีการ dilution plate count พบว่ามีความเข้มข้นของเชื้ออยู่ที่ประมาณ  $1 \times 10^9$  cfu/g



ภาพที่ 18 เชื้อจุลินทรีย์ที่ถูกผลิตให้อยู่ในรูปผง (powder)

#### 5. การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในเศษอาหาร

การวิเคราะห์องค์ประกอบในเศษอาหาร อาศัยการเก็บตัวอย่างเศษอาหารจากโรงอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ แล้วจึงส่งวิเคราะห์ที่สถาบันคั้นควัวและพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยได้ผลดังตารางที่ 10

จากผลที่ได้ทำให้สามารถประมาณองค์ประกอบในเศษอาหารได้ โดยพบว่าในเศษอาหาร จะประกอบไปด้วยคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 50 โปรตีนร้อยละ 20 ไขมันร้อยละ 20 และเป็นส่วนของ เซลลูโลสร้อยละ 10 จึงได้กำหนดสัดส่วนของเชื้อจุลินทรีย์ที่จะใช้ย่อยเศษอาหารในเครื่องต้นแบบ เป็นเชื้อที่ย่อยคาร์โบไฮเดรต (*B. amyloliquefaciens*) : ไขมัน (*B. vallismortis*) : โปรตีน (*B. thuringiensis*) : เพคติน (*B. circulans*-07) : เซลลูโลส (*B. subtilis*) เป็นร้อยละ 5:2:2:0.5:0.5 ตามลำดับ และเนื่องจากการสังเกตลักษณะเศษอาหารที่นำมาเติมในเครื่องกำจัดเศษอาหารและ สารอินทรีย์ พบว่ามีเศษอาหารที่มีองค์ประกอบของไคตินน้อยมาก ดังนั้นจึงไม่ได้ผสมเชื้อที่มีความสามารถในการย่อยสลายไคตินลงไปด้วย

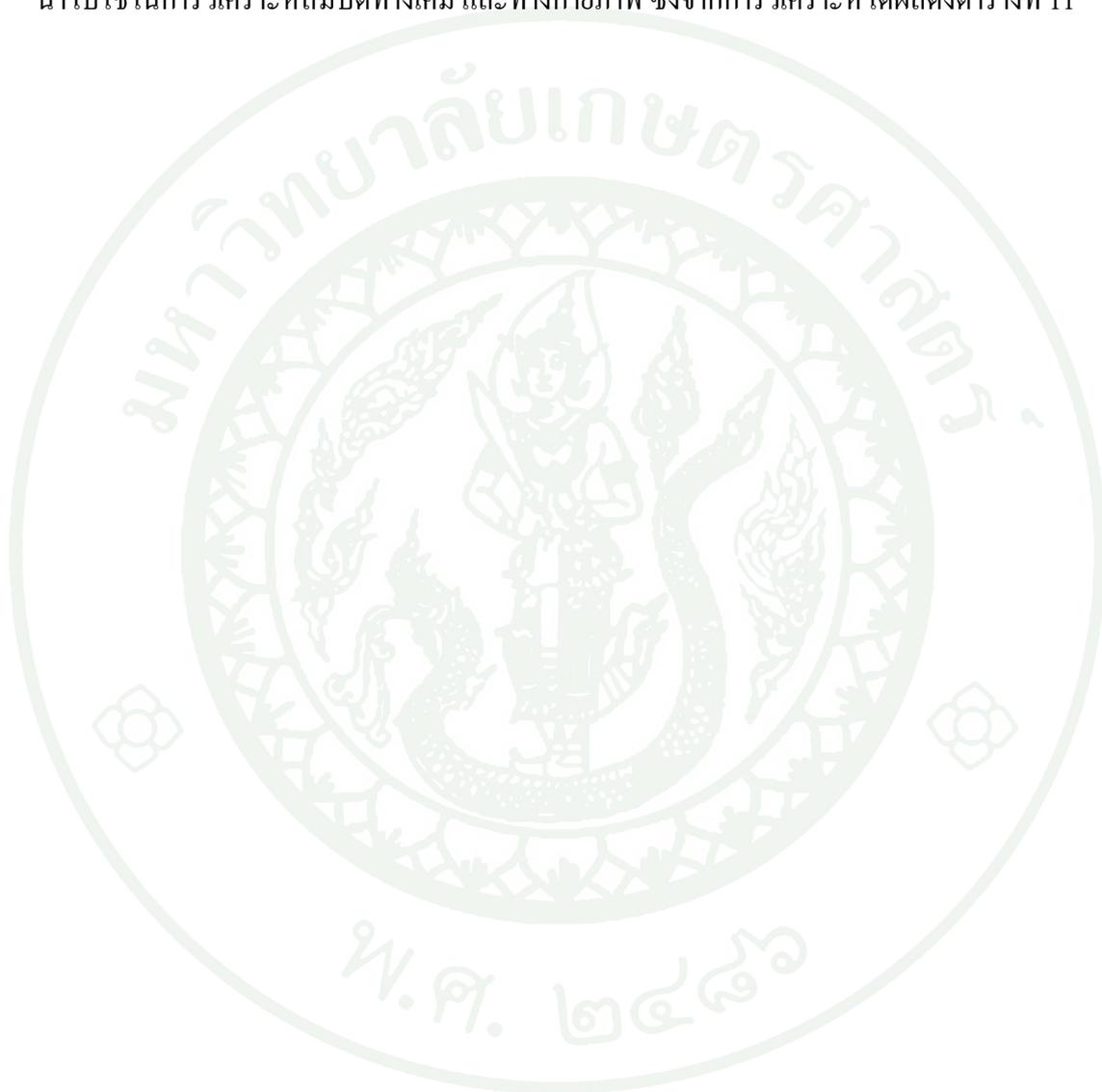
ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบในเศษอาหาร

รายงานการทดสอบ	วิธีทดสอบ	ผลการทดสอบ
น้ำหนักเปียก	-	5.0 กิโลกรัม
น้ำหนักแห้ง	-	1.0 กิโลกรัม
ลักษณะตัวอย่าง	-	ผงหยาบสีน้ำตาล
% Moisture	T-CM-002 Based on AOAC (2000) 925.45	81.12
% Protein (factor 6.25)	T-CM-003 Kjeldahl Method : Based on AOAC (2000) 991.20	16.65
% Fat	T-CM-075 Based on AOAC (2000) 989.05	19.54
% Ash	T-CM-001 Based on AOAC (2000) 938.08	6.38
% Crude fiber	T-CM-077 Based on AOAC (2000) 978.10	4.40
% Total Carbohydrate	T-CM-078 Based on AOAC (2000) by Calculation	48.90

6. การทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์ และการปรับปรุงแก้ไข เพื่อให้เครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

จากการทดลองพบว่าปริมาณเศษอาหารที่นำมาเติมในเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์โดยเฉลี่ยแล้วมีวันละ 100 กิโลกรัม และการเติมเศษอาหารลงในเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์ 1 วัน จะใช้เวลาอยู่ในถังหมักบนและล่างถึงละ 2 วัน จึงรวมเวลาที่เศษอาหารอยู่ในเครื่องได้ทั้งหมด 4 วัน จากนั้นเศษอาหารที่ผ่านกระบวนการหมักจะออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์ลงสู่ภาชนะรองรับ ซึ่งต้องใช้เวลา 2 วัน เศษอาหารจึงออกจากเครื่องทั้งหมด ดังนั้นการเก็บตัวอย่างจะต้องทำการเก็บทุกวันที่มีการเติมเศษอาหารลงเครื่องและทุกวันที่มีตัวอย่างออกจากเครื่อง หลังจากนั้นนำตัวอย่างเข้าตู้อบความร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

นำไปบดด้วยเครื่องบด (blender) ให้ละเอียด ร้อนด้วยตะแกรงขนาด 1 มิลลิเมตร แล้วจึงแบ่งตัวอย่างออกเป็น 4 ส่วนเท่าๆกัน (quartering) นำตัวอย่าง 2 ส่วนที่อยู่ตรงข้ามมารวมกันและคลุกเคล้าให้เข้ากัน จากนั้นทำ quartering ต่อ จนกระทั่งได้ตัวอย่างประมาณ 100 กรัม นำไปอบที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง บรรจุลงถุงพลาสติกใสที่สะอาดและแห้ง เก็บใน desicator เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางเคมี และทางกายภาพ ซึ่งจากการวิเคราะห์ได้ผลดังตารางที่ 11



ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์สมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเศษอาหาร

สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ ที่ทำการวิเคราะห์	การทดลองที่							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1. อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)								
- อุณหภูมิเฉลี่ยของถังหมักบน	30.1±0.1	40.0±0.0	40.1±0.1	40.6±0.1	40.5±0.1	40.9±0.2	41.8±0.6	41.5±0.3
- อุณหภูมิเฉลี่ยของถังหมักล่าง	30.1±0.1	50.8±0.1	50.7±0.3	50.9±0.8	51.3±0.3	51.7±0.5	55.8±0.3	47.4±1.0
2. ความชื้น (ร้อยละ)								
- ความชื้นเฉลี่ยของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่อง	81.09±0.07	83.07±0.02	79.61±0.03	78.94±0.04	80.24±0.22	70.82±0.38	71.93±0.34	70.69±0.10
- ความชื้นเฉลี่ยของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง	67.09±0.70	46.73±0.61	46.51±0.65	46.06±0.05	46.06±0.47	41.55±4.34	8.34±0.52	11.00±0.60
3. สภาพความเป็นกรด-ด่าง								
- สภาพความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่อง	5.11±0.01	5.20±0.02	5.01±0.01	5.05±0.01	5.12±0.03	4.98±0.04	5.06±0.05	5.26±0.02
- สภาพความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง	3.49±0.02	3.74±0.09	4.23±0.27	4.93±0.03	4.52±0.07	4.37±0.10	4.16±0.04	4.45±0.08

ตารางที่ 11 (ต่อ)

สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ ที่ทำการวิเคราะห์	การทดลองที่							
	1	2	3	4	5	6	7	8
4. ปริมาณของแข็งระเหย (ร้อยละ)								
- ปริมาณของแข็งระเหยเฉลี่ยของเศษอาหารก่อน เข้าเครื่อง	94.16±0.08	94.02±0.32	93.47±0.08	92.81±0.12	93.59±0.12	91.69±0.23	89.55±0.16	91.89±0.36
- ปริมาณของแข็งระเหยเฉลี่ยของเศษอาหารหลัง ออกจากเครื่อง	93.87±0.07	92.77±0.20	92.14±0.41	90.41±0.05	92.24±0.08	91.31±0.25	88.38±0.18	87.46±0.24
5. ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (ร้อยละ)								
- ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ยของเศษอาหารก่อน เข้าเครื่อง	52.31±0.04	52.23±0.18	51.93±0.05	51.56±0.07	52.00±0.07	50.94±0.13	49.75±0.09	51.05±0.20
- ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ยของเศษอาหารหลัง ออกจากเครื่อง	52.15±0.04	51.54±0.11	51.19±0.22	50.23±0.03	51.24±0.04	50.73±0.14	49.10±0.10	48.59±0.13
6. ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ร้อยละ)								
- ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยของเศษอาหาร ก่อนเข้าเครื่อง	1.88±0.02	1.94±0.01	1.95±0.03	2.23±0.04	2.26±0.04	1.94±0.03	2.23±0.01	2.40±0.03
- ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยของเศษอาหาร หลังออกจากเครื่อง	2.03±0.02	2.11±0.03	2.14±0.01	2.59±0.02	2.65±0.02	2.28±0.02	2.71±0.02	3.15±0.04

ตารางที่ 11 (ต่อ)

สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ ที่ทำกรวิเคราะห์	การทดลองที่							
	1	2	3	4	5	6	7	8
7. อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน								
- อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเฉลี่ยของ เศษอาหารก่อนเข้าเครื่อง	27.88±0.34	26.97±0.04	26.64±0.46	23.10±0.35	23.10±0.40	26.27±0.35	22.34±0.13	21.30±0.25
- อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเฉลี่ยของ เศษอาหารหลังจากออกจากเครื่อง	25.66±0.24	24.51±0.36	23.91±0.23	19.42±0.16	19.35±0.19	22.30±0.22	18.17±0.15	15.46±0.16
8. ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ร้อยละ)								
- ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เฉลี่ยของเศษ อาหารก่อนเข้าเครื่อง	1.03±0.02	1.21±0.02	1.14±0.02	0.74±0.03	0.77±0.02	1.08±0.06	2.04±0.04	1.81±0.03
- ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เฉลี่ยของเศษ อาหารหลังจากออกจากเครื่อง	0.82±0.02	0.92±0.03	0.82±0.03	0.54±0.02	0.63±0.01	0.90±0.01	1.44±0.01	1.43±0.02
9. ปริมาณโพแทสเซียม (ร้อยละ)								
- ปริมาณโพแทสเซียมเฉลี่ยของเศษอาหารก่อน เข้าเครื่อง	0.67±0.01	0.63±0.02	0.63±0.02	0.63±0.01	0.57±0.01	0.47±0.01	0.45±0.01	0.43±0.01
- ปริมาณโพแทสเซียมเฉลี่ยของเศษอาหารหลัง ออกจากเครื่อง	0.59±0.01	0.55±0.01	0.51±0.01	0.50±0.02	0.47±0.01	0.34±0.01	0.38±0.01	0.33±0.01

## 6.1 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพและทางเคมี

### 6.1.1 ความชื้น

ความชื้นเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญต่อกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ โดยความชื้นที่เหมาะสมสำหรับมูลฝอยแต่ละประเภทที่นำมาทำปุ๋ยหมักจะแตกต่างกันออกไป จากการศึกษาพบว่า ในการทดลองครั้งที่ 1-8 ความชื้นเฉลี่ยของของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องอยู่ที่ร้อยละ  $81.09 \pm 0.07$ ,  $83.07 \pm 0.02$ ,  $79.61 \pm 0.03$ ,  $78.94 \pm 0.04$ ,  $80.24 \pm 0.22$ ,  $70.82 \pm 0.38$ ,  $71.93 \pm 0.34$  และ  $70.69 \pm 0.10$  ตามลำดับ และหลังจากเศษอาหารผ่านกระบวนการหมักแล้ว ความชื้นเฉลี่ยของเศษอาหารหลังออกจากเครื่องอยู่ที่ร้อยละ  $67.09 \pm 0.70$ ,  $46.73 \pm 0.61$ ,  $46.51 \pm 0.65$ ,  $46.06 \pm 0.05$ ,  $46.06 \pm 0.47$ ,  $41.55 \pm 4.34$ ,  $8.34 \pm 0.52$  และ  $11.00 \pm 0.60$  ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าความชื้นเฉลี่ยของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่อง ในการทดลองครั้งที่ 1-5 อยู่ที่ประมาณร้อยละ 80 ซึ่งการที่เศษอาหารมีความชื้นสูงเกินไปรวมกับมีความหนาแน่นมาก ทำให้การระบายอากาศไม่ดี ส่งผลให้กลายเป็นการหมักแบบไม่ใช้อากาศ เกิดสภาพกรดและมีกลิ่นเหม็นเกิดขึ้น ซึ่ง Kumar *et al.* (2010) ได้รายงานว่าคุณสมบัติที่เหมาะสมสำหรับการหมักเศษอาหาร ควรอยู่ที่ร้อยละ 60 ดังนั้นจึงควรนำเอามูลฝอยที่มีความชื้นและความหนาแน่นสูง มาหมักร่วมกับวัสดุที่มีความชื้นและความหนาแน่นต่ำ จะทำให้ความชื้นลดลงจนอยู่ในระดับที่เหมาะสมต่อการหมักได้ ชื่นจิต (2543) ได้รายงานว่ามีเชื้อที่มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็น bulking agent ในการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหาร ดังนั้นในการทดลองครั้งที่ 6 หลังจากปั่นเศษอาหารด้วยเครื่องปั่น (blender) ตัวใหญ่แล้ว ได้ผสมขี้เลื่อยปริมาณร้อยละ 20 ลงในเศษอาหารคลุกให้เข้ากัน พบว่าความชื้นของเศษอาหารลดลงร้อยละ 10 และความหนาแน่นลดน้อยลง แต่เนื่องจากเศษอาหารมีความหนืดค่อนข้างสูง ดังนั้นการผสมขี้เลื่อยให้เข้ากับเศษอาหารทำได้ยาก และความไม่สะดวกในการจัดหาขี้เลื่อยเมื่อนำไปใช้จริง ซึ่งจากเหตุผลนี้จึงได้ดำเนินการปรับปรุงเครื่อง โดยการติดตั้งชุดรีดน้ำเพิ่มขึ้น หลังจากนั้นจึงได้ทำการทดลองครั้งที่ 7 และ 8 พบว่า ความชื้นเฉลี่ยของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องอยู่ที่ประมาณร้อยละ 70 ลดลงจากเดิมร้อยละ 10 เช่นเดียวกับการใช้วิธีผสมขี้เลื่อยร้อยละ 20

เมื่อเศษอาหารผ่านกระบวนการหมักแล้ว พบว่าในการทดลองครั้งที่ 1 ซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิของถังหมักบนและล่างเป็น 30 องศาเซลเซียส ความชื้นเฉลี่ยของเศษอาหาร

หลังออกจากเครื่องอยู่ที่ร้อยละ 67.09 ซึ่งมากกว่าค่ามาตรฐานของกรมวิชาการเกษตรอยู่มาก ดังนั้นในการทดลองครั้งที่ 2-5 จึงได้ปรับอุณหภูมิของถังหมักบนเป็น 40 องศาเซลเซียส และถังหมักล่างเป็น 70 องศาเซลเซียส พร้อมกับยกเลิกการทำงานของปั้มน้ำเสีย พบว่าความชื้นเฉลี่ยของเศษอาหารหลังออกจากเครื่องอยู่ที่ประมาณร้อยละ 46 ยังมากกว่าค่ามาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร (สุทิน และ จิตรา, 2546) ที่ได้กำหนดให้ความชื้นของปุ๋ยหมักต้องไม่เกินร้อยละ 35 การทดลองในครั้งที่ 6 จึงได้ผสมขี้เลื่อยร้อยละ 20 ลงในอาหารเพื่อลดความชื้นก่อนนำเศษอาหารเข้าเครื่อง ถึงแม้ว่าความชื้นเฉลี่ยของเศษอาหารหลังออกจากเครื่องอยู่ที่ร้อยละ 41.55 แต่เมื่อพิจารณาในทุกวันที่เศษอาหารออกพบว่า ความชื้นของเศษอาหารหลังออกจากเครื่องในวันที่ 1 และ 2 อยู่ที่ประมาณร้อยละ 20-25 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร แต่กลับพบว่าเศษอาหารที่ออกจากเครื่องในวันที่ 3 และ 4 มีความชื้นสูงถึงร้อยละ 65 หลังจากนั้นความชื้นของเศษอาหารที่ออกจากเครื่องในวันที่ 5 และ 6 จะเริ่มลดลง นอกจากปัญหาความไม่สม่ำเสมอในเรื่องความชื้นของเศษอาหารที่ออกจากเครื่องแล้ว ยังพบปัญหาว่าการตั้งอุณหภูมิของถังหมักล่างที่ 70 องศาเซลเซียส ขาดความสามารถทำความร้อนเฉลี่ยได้สูงสุดที่ประมาณ 51 องศาเซลเซียส และขาดความสามารถทำความร้อนยังเสียในระหว่างการทดลองหลายครั้ง ดังนั้นจึงได้ดำเนินการปรับปรุงเครื่อง โดยเปลี่ยนรูปแบบการทำความร้อนของเครื่องจากการให้ลมผ่านขาดความสามารถ เป็นการใส่แผ่นอินฟราเรดแทน จากนั้นจึงทำการทดลองในครั้งที่ 7 โดยตั้งอุณหภูมิของถังหมักบนเป็น 40 องศาเซลเซียส และถังหมักล่างเป็น 54 องศาเซลเซียส พบว่าความชื้นเฉลี่ยของเศษอาหารหลังออกจากเครื่องอยู่ที่ร้อยละ 8.34 ถึงแม้ว่าจะเป็นไปตามมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร แต่เศษอาหารที่ผ่านกระบวนการหมักและออกจากเครื่องมีลักษณะและกลิ่นใหม่ ดังนั้นในการทดลองครั้งที่ 8 จึงได้ตั้งอุณหภูมิของถังหมักบนเป็น 40 องศาเซลเซียส และถังหมักล่างเป็น 45 องศาเซลเซียส ความชื้นเฉลี่ยของเศษอาหารหลังออกจากเครื่องอยู่ที่ร้อยละ 11.00 ซึ่งสูงกว่าการทดลองครั้งที่ 7 เพียงเล็กน้อย รวมทั้งไม่มีลักษณะและกลิ่นใหม่

นอกจากความชื้นแล้ว ลักษณะเศษอาหารที่ผ่านกระบวนการหมักและออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์ก็ต้องถูกนำมาพิจารณาเช่นกัน ในการทดลองครั้งที่ 1 และ 2 ใช้วิธีเติมเศษอาหารลงเครื่องโดยตรง เมื่อเศษอาหารผ่านกระบวนการหมักและออกจากเครื่อง พบว่าลักษณะเศษอาหารยังคงสภาพเดิมก่อนที่จะเข้าเครื่อง (ภาพที่ 19) แสดงให้เห็นว่าเครื่องปั่นเศษอาหารที่ติดอยู่ด้านบนไม่มีประสิทธิภาพในการย่อยให้เศษอาหารมีขนาดเล็กลง



ภาพที่ 19 ลักษณะเศษอาหารที่ผ่านกระบวนการหมัก และออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์ในการทดลองครั้งที่ 1 (บน) และการทดลองครั้งที่ 2 (ล่าง)

ดังนั้นในการทดลองครั้งที่ 3-6 จึงได้นำเอาเครื่องปั่น (blender) ตัวใหญ่มาใช้ เพื่อย่อยให้เศษอาหารมีขนาดเล็กลงก่อนที่จะเติมลงในเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์ (ภาพที่ 20) หลังจากทีเศษอาหารผ่านกระบวนการหมักและออกจากเครื่อง พบว่าในการทดลองครั้งที่ 3-5 เศษอาหารที่ได้มีลักษณะเกาะกันเป็นก้อนขนาดใหญ่ ภายนอกมีลักษณะแห้ง แต่ภายในยังคงมีความชื้นอยู่สูง ส่วนการทดลองในครั้งที่ 6 มีการผสมขี้เลื่อยร้อยละ 20 พบว่าเศษอาหารที่ออกจากเครื่องมีลักษณะก้อนเล็กกว่า (ภาพที่ 21)



ภาพที่ 20 ลักษณะเศษอาหารที่ผ่านการปั่นด้วยเครื่องปั่น (blender) ตัวใหญ่



ภาพที่ 21 ลักษณะเศษอาหารที่ผ่านกระบวนการหมัก และออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์ในการทดลองครั้งที่ 3 (บนซ้าย) การทดลองครั้งที่ 4 (บนขวา) การทดลองครั้งที่ 5 (ล่างซ้าย) และการทดลองครั้งที่ 6 (ล่างขวา)

จากการทดลองในครั้งที่ 3-6 ที่มีการนำเอาเศษอาหารมาปั่นด้วยเครื่องปั่น (blender) ตัวใหญ่ แล้วจึงนำขึ้น ไปเทลงในเครื่อง เป็นการทำงานหลายขั้นตอนและมีความยุ่งยาก รวมถึงเศษอาหารที่ผ่านกระบวนการหมัก และออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์มี ลักษณะเกาะกันเป็นก้อน ดังนั้นจึงได้ดำเนินการปรับปรุงเครื่อง โดยเปลี่ยนเครื่องปั่นเศษอาหารใหม่ และมีการปรับปรุงสกรูลำเลียง จากนั้นจึงทำการทดลองในครั้งที่ 7 และ 8 พบว่าเครื่องปั่นเศษอาหารตัวใหม่ที่ได้ติดตั้งเข้าไปสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เศษอาหารถูกบดให้มีขนาด เล็กกลง (ภาพที่ 22) นอกจากนี้เศษอาหารที่ผ่านกระบวนการหมัก และออกจากเครื่องมีขนาดเล็ก และไม่เกาะกันเป็นก้อน (ภาพที่ 23)



ภาพที่ 22 ลักษณะเศษอาหารที่ถูกปั่นด้วยเครื่องปั่นตัวใหม่ที่มีการติดตั้งเข้าไป



ภาพที่ 23 ลักษณะเศษอาหารที่ผ่านกระบวนการหมัก และออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและ สารอินทรีย์ในการทดลองครั้งที่ 7 (ซ้าย) และการทดลองครั้งที่ 8 (ขวา)

### 6.1.2 สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH)

จากการทดลองในครั้งที่ 1-8 สภาพความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องเท่ากับ  $5.11 \pm 0.01$ ,  $5.20 \pm 0.02$ ,  $5.01 \pm 0.01$ ,  $5.05 \pm 0.01$ ,  $5.12 \pm 0.03$ ,  $4.98 \pm 0.04$ ,  $5.06 \pm 0.05$  และ  $5.26 \pm 0.02$  ตามลำดับ เมื่อเศษอาหารผ่านกระบวนการหมักแล้ว พบว่าสภาพความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของเศษอาหารหลังจากออกจากเครื่องเท่ากับ  $3.49 \pm 0.02$ ,  $3.74 \pm 0.09$ ,  $4.23 \pm 0.27$ ,  $4.93 \pm 0.03$ ,  $4.52 \pm 0.07$ ,  $4.37 \pm 0.10$ ,  $4.16 \pm 0.04$  และ  $4.45 \pm 0.08$  ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่า ในการทดลองครั้งที่ 1-8 สภาพความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องมีค่าใกล้เคียงกัน คืออยู่ที่ประมาณ 5 หลังจากเศษอาหารผ่านกระบวนการหมัก และออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์ กลับพบว่าสภาพความเป็นกรด-ด่างเฉลี่ยของเศษอาหารลดลง แต่เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงสภาพความเป็นกรด-ด่างทุกวันที่เศษอาหารออกจากเครื่อง ในการทดลองครั้งที่ 1-7 สภาพความเป็นกรด-ด่างลดลงทุกวัน แต่ในการทดลองครั้งที่ 8 ในช่วงวันที่ 1 และ 2 สภาพความเป็นกรด-ด่างลดลง จนอยู่ที่ประมาณ 4 หลังจากนั้นสภาพความเป็นกรด-ด่างจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนสูงที่สุดประมาณ 5 ในวันที่ 8 ซึ่งตรงกับรายงานของ Lendreth and Rebers (1997) ที่ว่าโดยทั่วไปแล้วสภาพความเป็นกรด-ด่างในกระบวนการทำปุ๋ยหมักจะลดลงในช่วงแรกของการหมัก เนื่องจากกิจกรรมของจุลินทรีย์จะทำให้เกิดการแตกตัวของสารประกอบคาร์บอนและมีการผลิตกรดอินทรีย์ออกมา หลังจากนั้นสภาพความเป็นกรด-ด่างจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากจุลินทรีย์ใช้กรดอินทรีย์เหล่านั้นเป็นแหล่งอาหารเพื่อการเจริญต่อไป รวมถึงจุลินทรีย์จะเริ่มย่อยสลายสารอาหารประเภทโปรตีน จึงทำให้สภาพความเป็นกรด-ด่างค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการหมัก ดังนั้นจึงแสดงว่า ในการทดลองครั้งที่ 8 สภาพแวดล้อมของเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดกระบวนการย่อยสลายเศษอาหารให้กลายเป็นปุ๋ยหมักได้

### 6.1.3 ปริมาณของแข็งระเหย (Volatile Solids; VS)

จากการทดลองในครั้งที่ 1-8 ปริมาณของแข็งระเหยเฉลี่ยของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องอยู่ที่ร้อยละ  $94.16 \pm 0.08$ ,  $94.02 \pm 0.32$ ,  $93.47 \pm 0.08$ ,  $92.81 \pm 0.12$ ,  $93.59 \pm 0.12$ ,  $91.69 \pm 0.23$ ,  $91.69 \pm 0.23$ ,  $89.55 \pm 0.16$  และ  $91.89 \pm 0.36$  ตามลำดับ เมื่อเศษอาหารผ่านกระบวนการหมักแล้ว พบว่าปริมาณของแข็งระเหยเฉลี่ยของเศษอาหารหลังจากออกจากเครื่องอยู่ที่ร้อยละ  $93.87 \pm 0.07$ ,

92.77±0.20, 92.14±0.41, 90.41±0.05, 92.24±0.08, 91.31±0.25, 88.38±0.18 และ 87.46±0.24 ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่า ปริมาณของแข็งระเหยเฉลี่ยของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องอยู่ที่ประมาณร้อยละ 90-94 หลังจากเศษอาหารผ่านกระบวนการหมัก และออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์ ปริมาณของแข็งระเหยของเศษอาหารจะมีปริมาณลดลง โดยพบว่าการทดลองครั้งที่ 8 ปริมาณของแข็งระเหยเฉลี่ยของเศษอาหารลดลงมากที่สุด

#### 6.1.4 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (C)

จากการทดลองในครั้งที่ 1-8 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ยของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องอยู่ที่ร้อยละ 52.31±0.04, 52.23±0.18, 51.93±0.05, 51.56±0.07, 52.00±0.07, 50.94±0.13, 49.75±0.09 และ 51.05±0.20 ตามลำดับ เมื่อเศษอาหารผ่านกระบวนการหมักแล้ว พบว่าปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ยของเศษอาหารหลังออกจากเครื่องอยู่ที่ร้อยละ 52.15±0.04, 51.54±0.11, 51.19±0.22, 50.23±0.03, 51.24±0.04, 50.73±0.14, 49.10±0.10 และ 48.59±0.13 ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ยของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องอยู่ที่ประมาณร้อยละ 50-52 หลังจากเศษอาหารผ่านกระบวนการหมัก และออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์ ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ยของเศษอาหารจะมีปริมาณลดลง โดยพบว่าการทดลองครั้งที่ 8 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนเฉลี่ยของเศษอาหารลดลงมากที่สุด การที่ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนลดลง เนื่องมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ได้ย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์คาร์บอนให้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Canet and Pomares, 1995)

#### 6.1.5 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (N)

จากการทดลองในครั้งที่ 1-8 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องอยู่ที่ร้อยละ 1.88±0.02, 1.94±0.01, 1.95±0.03, 2.23±0.04, 2.26±0.04, 1.94±0.03, 2.23±0.01 และ 2.40±0.03 ตามลำดับ เมื่อเศษอาหารผ่านกระบวนการหมักแล้ว พบว่าปริมาณ

ไนโตรเจนทั้งหมดเฉลี่ยของเศษอาหารหลังออกจากเครื่องอยู่ที่ร้อยละ  $2.03 \pm 0.02$ ,  $2.11 \pm 0.03$ ,  $2.14 \pm 0.01$ ,  $2.59 \pm 0.02$ ,  $2.65 \pm 0.02$ ,  $2.28 \pm 0.02$ ,  $2.71 \pm 0.02$  และ  $3.15 \pm 0.04$  ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่าเมื่อเศษอาหารผ่านกระบวนการหมัก และออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์จะมีปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยเฉลี่ยแล้วเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมวิชาการเกษตร ที่กำหนดให้ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0 (สุทิน และ จิตรา, 2546)

#### 6.1.6 อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)

จากการทดลองในครั้งที่ 1-8 อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเฉลี่ยของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องอยู่ที่  $27.88 \pm 0.34$ ,  $26.97 \pm 0.04$ ,  $26.64 \pm 0.46$ ,  $23.10 \pm 0.35$ ,  $23.10 \pm 0.40$ ,  $26.27 \pm 0.35$ ,  $22.34 \pm 0.13$  และ  $21.30 \pm 0.25$  ตามลำดับ เมื่อเศษอาหารผ่านกระบวนการหมักแล้วพบว่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเฉลี่ยของเศษอาหารหลังออกจากเครื่องอยู่ที่  $25.66 \pm 0.24$ ,  $24.51 \pm 0.36$ ,  $23.91 \pm 0.23$ ,  $19.42 \pm 0.16$ ,  $19.35 \pm 0.19$ ,  $22.30 \pm 0.22$ ,  $18.17 \pm 0.15$  และ  $15.46 \pm 0.16$  ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องนั้นไม่มีความสม่ำเสมอ โดยการทดลองในครั้งที่ 1-3 พบว่ามีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 26-28 ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสม (Hitchens and Kashmanian, 1997) ส่วนในการทดลองครั้งที่ 4 และ 5 มีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนโดยเฉลี่ยลดลงอยู่ที่ประมาณ 23 ดังนั้นในการทดลองครั้งที่ 6 จึงได้มีการผสมขี้เลื่อยร้อยละ 20 ลงไปในอาหารที่ป่นแล้ว ทำให้อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเพิ่มขึ้นอยู่ที่ประมาณ 26 เพราะนอกจากขี้เลื่อยจะช่วยลดความชื้นให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมแล้ว ยังช่วยปรับอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนให้อยู่ในระดับที่เหมาะสมอีกด้วย แต่เนื่องจากพบความไม่สะดวกในการผสมขี้เลื่อยกับอาหาร รวมทั้ง Mirsa *et al.* (2003) ได้รายงานว่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนสามารถยอมรับได้ถึงในช่วง 20:1 ถึง 40:1 ดังนั้นภายหลังจากปรับปรุงเครื่องจึงได้ทำการทดลองครั้งที่ 7 และ 8 พบว่าอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนของเศษอาหารอยู่ที่ประมาณ 21-23 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่สามารถยอมรับได้

เมื่อเศษอาหารผ่านกระบวนการหมัก และออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหาร และสารอินทรีย์พบว่าในการทดลองครั้งที่ 2 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของถังหมักบนเป็น 40 องศาเซลเซียส และถังหมักล่างเป็น 70 องศาเซลเซียส พบว่าความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในเศษอาหารไม่มีความแตกต่างจากการทดลองในครั้งที่ 1 ที่มีการควบคุมอุณหภูมิของถังหมักบนและถังหมักล่างเป็น 30 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงควบคุมอุณหภูมิของถังหมักตามการทดลองครั้งที่ 2 เพื่อให้เศษอาหารที่ผ่านกระบวนการหมักและออกจากเครื่องมีความชื้นที่เหมาะสมมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบการทดลองในครั้งที่ 2-4 พบว่าการเติมเชื้อจุลินทรีย์ร้อยละ 5 ในการทดลองครั้งที่ 4 จะทำให้การย่อยสลายสารอินทรีย์ในเศษอาหารเกิดขึ้นได้ดีกว่าการไม่เติมเชื้อจุลินทรีย์ในการทดลองครั้งที่ 2 และการเติมเชื้อจุลินทรีย์ร้อยละ 1 ในการทดลองครั้งที่ 3 ดังนั้นในการทดลองครั้งที่ 5 และ 6 จึงได้ทำการทดลองโดยการเติมอาหาร 3 วันติดกันเพื่อเลียนแบบการใช้งานจริง พบว่าทั้ง 2 การทดลองความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในเศษอาหารมีค่าใกล้เคียงกัน ดังนั้นเมื่อทำการปรับปรุงเครื่องแล้วจึงไม่มีการผสมขี้เลื่อยลงในเศษอาหารอีก รวมทั้งหลังปรับปรุงเครื่องแล้วพบว่าความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในเศษอาหารเกิดได้ดีขึ้น โดยในการทดลองครั้งที่ 8 ที่มีการควบคุมอุณหภูมิของถังหมักบนเป็น 40 องศาเซลเซียส และถังหมักล่างเป็น 45 องศาเซลเซียส มีความสามารถในการย่อยสลายสารอินทรีย์ได้ดีที่สุด โดยมีอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนเฉลี่ยอยู่ที่  $15.46 \pm 0.16$  ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมัก ของกรมวิชาการเกษตร ที่กำหนดให้อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนต้องไม่เกิน 20:1 (สุทิน และ จิตรา, 2546)

#### 6.1.7 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ( $P_2O_5$ )

จากการทดลองในครั้งที่ 1-8 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เฉลี่ยของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องอยู่ที่ร้อยละ  $1.03 \pm 0.02$ ,  $1.21 \pm 0.02$ ,  $1.14 \pm 0.02$ ,  $0.74 \pm 0.03$ ,  $0.77 \pm 0.02$ ,  $1.08 \pm 0.06$ ,  $2.04 \pm 0.04$  และ  $1.81 \pm 0.03$  ตามลำดับ เมื่อเศษอาหารผ่านกระบวนการหมักแล้ว พบว่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เฉลี่ยของเศษอาหารหลังออกจากเครื่องอยู่ที่ร้อยละ  $0.82 \pm 0.02$ ,  $0.92 \pm 0.03$ ,  $0.82 \pm 0.03$ ,  $0.54 \pm 0.02$ ,  $0.63 \pm 0.01$ ,  $0.90 \pm 0.01$ ,  $1.44 \pm 0.01$  และ  $1.43 \pm 0.02$  ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่าเมื่อเศษอาหารผ่านกระบวนการหมัก และออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์ ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์เฉลี่ยของเศษอาหารมีแนวโน้มลดลงในทุกการทดลอง แต่เป็นไปตามมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร ที่กำหนดให้ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 (สุทิน และ จิตรา, 2546)

### 6.1.8 ปริมาณโพแทสเซียม ( $K_2O$ )

จากการทดลองในครั้งที่ 1-8 ปริมาณโพแทสเซียมเฉลี่ยของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องอยู่ที่ร้อยละ  $0.67 \pm 0.01$ ,  $0.63 \pm 0.02$ ,  $0.63 \pm 0.02$ ,  $0.63 \pm 0.01$ ,  $0.57 \pm 0.01$ ,  $0.47 \pm 0.01$ ,  $0.45 \pm 0.01$  และ  $0.43 \pm 0.01$  ตามลำดับ เมื่อเศษอาหารผ่านกระบวนการหมักแล้ว พบว่าปริมาณโพแทสเซียมเฉลี่ยของเศษอาหารหลังออกจากเครื่องอยู่ที่ร้อยละ  $0.59 \pm 0.01$ ,  $0.55 \pm 0.01$ ,  $0.51 \pm 0.01$ ,  $0.50 \pm 0.02$ ,  $0.47 \pm 0.01$ ,  $0.34 \pm 0.01$ ,  $0.38 \pm 0.01$  และ  $0.33 \pm 0.01$  ตามลำดับ

จากการทดลองพบว่าเมื่อเศษอาหารผ่านกระบวนการหมัก และออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์ ปริมาณโพแทสเซียมเฉลี่ยของเศษอาหารมีแนวโน้มลดลงในทุกการทดลอง ซึ่งในการทดลองครั้งที่ 5-8 มีปริมาณโพแทสเซียมเฉลี่ยต่ำกว่ามาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมวิชาการเกษตร ที่กำหนดให้ปริมาณโพแทสเซียมต้องมีไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 (สุทิน และ จิตรา, 2546)

## 6.2 การปรับปรุงเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

จากปัญหาที่พบระหว่างการทดลองในครั้งที่ 1-6 จึงนำมาแก้ไขเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์ เพื่อให้เครื่องต้นแบบมีประสิทธิภาพสูงขึ้น ซึ่งการแก้ไขเครื่องมีดังนี้

6.2.1 การเพิ่มชุดรีดน้ำ ในการทดลองช่วงแรก ได้คาดการณ์ว่าเมื่อเติมเศษอาหารลงในเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์ น้ำส่วนเกินจะถูกระบายลงสู่ถังเก็บน้ำเสีย แต่เมื่อทำการทดลองจริงกลับพบว่า ท่อที่ใช้ระบายน้ำลงสู่ถังเก็บน้ำเสียมีขนาดเล็กทำให้ไม่สามารถระบายน้ำได้ทัน จึงมีน้ำส่วนเกินไหลลงสู่ภาชนะที่ใส่รองรับปุ๋ยหมักเป็นปริมาณมาก ดังนั้นเมื่อทำการปรับปรุงเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์ จึงได้ติดตั้งชุดรีดน้ำเพิ่มบริเวณใต้ hopper (ภาพที่ 24 ซ้าย) เพื่อให้เมื่อเติมเศษอาหารลงในเครื่อง น้ำส่วนเกินจะถูกระบายออกให้หมดก่อนที่เศษอาหารจะถูกส่งเข้าสู่ถังหมักบน

6.2.2 การเพิ่มตัวปั่นเศษอาหาร จากการทดลองในครั้งที่ 1 และ 2 พบว่าตัวปั่นด้านบนที่ติดกับบริเวณ hopper ไม่มีประสิทธิภาพในการย่อยเศษอาหารให้มีขนาดเล็กลง ดังนั้นในการทดลองครั้งที่ 3-6 จึงได้มีการนำเอาเครื่องปั่น (blender) ตัวใหญ่ มาใช้ย่อยเศษอาหารให้มีขนาด

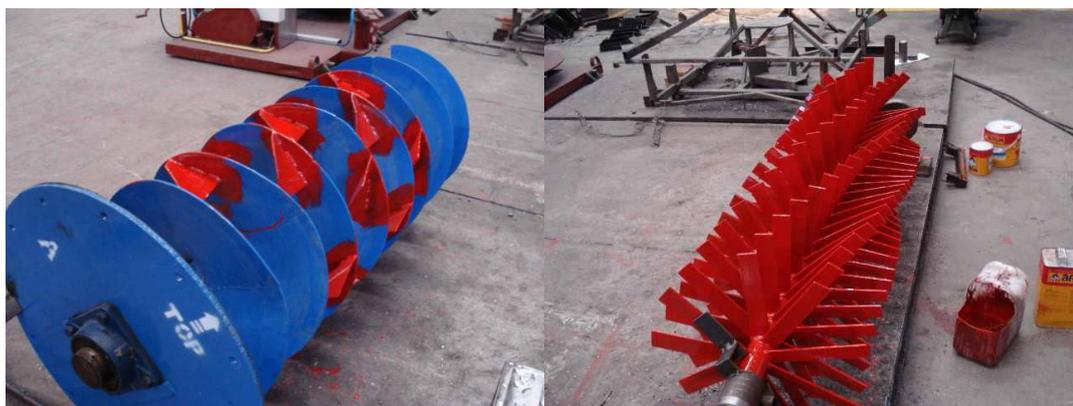
เล็กลง แต่พบว่ามีความยุ่งยากในการทำงาน ดังนั้นเมื่อทำการปรับปรุงเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์ จึงได้ถอดตัวปั่นเศษอาหารตัวเดิมออก และติดตั้งตัวปั่นเศษอาหารตัวใหม่เพิ่มเติมที่บริเวณติดกับชุดรีดน้ำก่อนเข้าถังหมักบน เพื่อช่วยให้เศษอาหารมีขนาดเล็กลงก่อนเข้าถังหมัก (ภาพที่ 24 ขวา)



ภาพที่ 24 ชุดรีดน้ำ (ซ้าย) ตัวปั่นเศษอาหาร (ขวา)

6.2.3 การเปลี่ยนตัวทำความร้อน การทดลองในช่วงแรกใช้การให้ความร้อนโดยให้อากาศผ่านขดลวดทำความร้อนขนาด 500 วัตต์ หลังจากนั้นลมร้อนจะผ่านเข้าสู่ถังหมัก ซึ่งจากการใช้วิธีนี้พบปัญหาว่าลมร้อนที่เข้าถังหมักด้านล่างนั้นไม่สามารถทำอุณหภูมิให้ได้ตามที่กำหนดรวมทั้งขดลวดเสียหลายครั้งในระหว่างการทดลอง ดังนั้นเมื่อทำการปรับปรุงเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์จึงได้เปลี่ยนไปใช้แผ่นอินฟราเรดติดบริเวณใต้ถังหมักแทน โดยถังหมักบนติดตั้งแผ่นอินฟราเรด 2 ชุด ซึ่งมีกำลังไฟฟ้า 500 วัตต์ และ 400 วัตต์ ส่วนถังหมักล่างติดตั้งแผ่นอินฟราเรด 1 ชุด ซึ่งมีกำลังไฟฟ้า 800 วัตต์

6.2.4 การปรับปรุงชุดสกรูลำเลียง การทดลองในช่วงแรกพบว่าเศษอาหารที่ผ่านกระบวนการหมัก และออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์มีลักษณะเกาะเป็นก้อนภายนอกที่สัมผัสอากาศมีความชื้นต่ำ แต่ภายในก้อนยังคงมีความชื้นอยู่สูง ดังนั้นเมื่อทำการปรับปรุงเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์ จึงได้แก้ไขชุดสกรูลำเลียงของถังหมักบน โดยมีการติดตั้งกริป (rim) เพิ่มเติม เพื่อให้เมื่อก้อนเศษอาหารหล่นกระทบบริเวณกริปจะแตกออกจากกัน (ภาพที่ 25 ซ้าย) ส่วนชุดสกรูลำเลียงของถังหมักล่าง ได้จัดทำไบตีสกรูใหม่แทนชุดเดิม (ภาพที่ 25 ขวา)



ภาพที่ 25 สกรูลำเลียงของถังหมักบน (ซ้าย) ไบโอดีเศษอาหารของถังหมักล่าง (ขวา)

จากการศึกษา พบว่าในการทดลองครั้งที่ 8 สภาพเศษอาหารที่ผ่านกระบวนการหมักมีคุณสมบัติที่ดีที่สุด จึงได้ทำการเก็บตัวอย่างและส่งวิเคราะห์เพื่อหาปริมาณโลหะหนักที่อาจพบ เพื่อนำมาใช้ในการประเมินคุณภาพของปุ๋ยหมักที่ได้ ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ปริมาณโลหะหนักที่พบในตัวอย่างเศษอาหารที่ผ่านกระบวนการหมัก เปรียบเทียบกับมาตรฐานที่กำหนดโดย สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (2548)

รายการวิเคราะห์	หน่วย	มาตรฐานที่กำหนด	ปริมาณที่พบในตัวอย่าง
สารหนู (Arsenic)	mg/kg	$\leq 50$	1.4
แคดเมียม (Cadmium)	mg/kg	$\leq 5$	8.8
โครเมียม (Chromium)	mg/kg	$\leq 300$	22.5
ทองแดง (Copper)	mg/kg	$\leq 500$	$\leq 0.1$
ตะกั่ว (Lead)	mg/kg	$\leq 500$	71.6
ปรอท (mercury)	mg/kg	$\leq 2$	$\leq 0.1$

จากผลที่ได้ พบว่าสารหนู โครเมียม ทองแดง ตะกั่ว และปรอท เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ยกเว้นแคดเมียมที่พบว่ามีปริมาณสูงเกินมาตรฐาน นอกจากนั้นถึงแม้ว่าเหล็ก (Ferrous) จะ

ไม่ได้ถูกกำหนดค่าในมาตรฐาน แต่จากการวิเคราะห์พบว่าเศษอาหารที่ผ่านกระบวนการหมักและออกจากเครื่องมีปริมาณเหล็กสูงมาก คือ 5,590 mg/kg ซึ่งคาดว่าปริมาณแคดเมียมและเหล็กที่สูงเกินมาตรฐาน มาจากขั้นตอนการปรับปรุงเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์ การปนเปื้อนแคดเมียมอาจเกิดจากสีที่นำมาทาบริเวณครีป และใบดีเศษอาหาร เพื่อป้องกันการเกิดสนิม ส่วนเหล็กอาจเกิดจากผงที่เหลือจากการตะไบและทำความสะอาดไม่หมด



## สรุปและข้อเสนอแนะ

### สรุป

จากการศึกษาพบว่าจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์ไลเปสได้สูงสุดคือ *Bacillus vallismortis* โดยมีค่ากิจกรรมของเอนไซม์สูงสุดอยู่ที่  $1.22 \pm 0.05$  Unit/ml จุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์แอลฟา-อะไมเลสได้สูงสุดคือ *B. amyloliquefaciens* โดยมีค่ากิจกรรมของเอนไซม์สูงสุดอยู่ที่  $6.56 \pm 0.04$  Unit/ml จุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์โปรติเอสได้สูงสุดคือ *B. thuringiensis* โดยมีค่ากิจกรรมของเอนไซม์สูงสุดอยู่ที่  $0.28 \pm 0.04$  Unit/ml จุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์เพคติเนสได้สูงสุดคือ *B. circulans-07* โดยมีค่ากิจกรรมของเอนไซม์สูงสุดอยู่ที่  $0.67 \pm 0.04$  Unit/ml จุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์เซลลูเลสได้สูงสุดคือ *B. subtilis* โดยมีค่ากิจกรรมของเอนไซม์สูงสุดอยู่ที่  $0.09 \pm 0.04$  Unit/ml และจุลินทรีย์ที่สามารถผลิตเอนไซม์ไคติเนสได้สูงสุดคือ *B. chitinolyticus* โดยมีค่ากิจกรรมของเอนไซม์สูงสุดอยู่ที่  $0.12 \pm 0.04$  Unit/ml จากนั้นนำเชื้อจุลินทรีย์ที่คัดเลือกได้ไปผลิตให้อยู่ในรูปผง เมื่อนำมาใช้งานจะผสมเชื้อจุลินทรีย์โดยพิจารณาจากอัตราส่วนขององค์ประกอบในเศษอาหาร

สำหรับการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องดัดแบบในการกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์ พบว่าการควบคุมอุณหภูมิของถังหมักบนเป็น 40 องศาเซลเซียส และถังหมักล่างเป็น 70 องศาเซลเซียส ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการย่อยสลายสารอินทรีย์ และทำให้เศษอาหารที่ผ่านกระบวนการหมัก และออกจากเครื่องมีความชื้นเหมาะสมกว่าการควบคุมอุณหภูมิของถังหมักทั้ง 2 ถังเป็น 30 องศาเซลเซียส โดยปกติในการทำปุ๋ยหมักนั้น ไม่จำเป็นต้องเติมสารเร่งลงไป เนื่องจากในธรรมชาติมีจุลินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายสารอินทรีย์อยู่แล้ว แต่ถ้าต้องการให้ระยะเวลาในการทำปุ๋ยหมักสั้นลง ก็สามารถเติมสารเร่งได้ โดยในการทดลองพบว่าการเติมเชื้อจุลินทรีย์ที่ร้อยละ 5 ทำให้อัตราการย่อยสลายสารอินทรีย์เกิดได้มากกว่าการไม่เติมหัวเชื้อ และเติมหัวเชื้อร้อยละ 1 นอกจากนั้นการใช้ขี้เลื่อยเป็น bulking agent แม้ว่าจะสามารถลดความชื้นของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องลงได้ถึงร้อยละ 10 แต่ทำให้เศษอาหารที่ผ่านกระบวนการหมัก และออกจากเครื่องมีความชื้นไม่สม่ำเสมอ รวมทั้งตัวป้อนด้านบนที่ติดกับ hopper ไม่มีประสิทธิภาพในการลดขนาดของเศษอาหารลง ขนาดของเศษอาหารที่ออกจากเครื่องมีลักษณะเกาะกันเป็นก้อน จึงทำให้ต้องมีการปรับปรุงเครื่องเพื่อให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ภายหลังการปรับปรุงได้ทำการทดลองโดยควบคุมอุณหภูมิของถังหมักบนเป็น 40 องศาเซลเซียส และถังหมักล่างเป็น 45 องศาเซลเซียส และเติมหัวเชื้อจุลินทรีย์ร้อยละ 5 พบว่าเครื่องดัดแบบสามารถย่อยสลายเศษอาหารได้ต่อเนื่องตามสภาพเป็น

จริงของโรงอาหารหรือภัตตาคารที่ต้องมีเศษอาหารเหลือทิ้งทุกวัน และเมื่อพิจารณาเศษอาหารที่ผ่านกระบวนการหมักและออกจากเครื่อง พบว่ามีลักษณะที่เหมาะสมต่อการนำมาใช้เป็นปุ๋ยหมัก เนื่องจากขนาดของเศษอาหารที่ผ่านการหมักและออกจากเครื่องมีขนาดเล็ก ไม่เกาะกันเป็นก้อน มีความชื้นโดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ  $11.00 \pm 0.60$  อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนโดยเฉลี่ยอยู่ที่  $15.46 \pm 0.16$  ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดโดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ  $3.15 \pm 0.04$  และปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์โดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ  $1.43 \pm 0.02$  ซึ่งค่าต่างๆ นั้นอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดของกรมวิชาการเกษตร และปริมาณโลหะหนักที่พบมีไม่เกินมาตรฐานที่กำหนด ยกเว้นแคดเมียมซึ่งคาดว่าอาจจะเกิดจากขั้นตอนการปรับปรุงเครื่อง ส่วนปริมาณโพแทสเซียมโดยเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ  $0.33 \pm 0.01$  ซึ่งน้อยกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดให้มีปริมาณโพแทสเซียมต้องมีไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงสภาพความเป็นกรด-ด่างของเศษอาหารที่ผ่านกระบวนการหมักและออกจากเครื่อง พบว่ายังอยู่ในระดับที่เป็นกรดอ่อน ซึ่งตามมาตรฐานปุ๋ยหมักแล้ว สภาพความเป็นกรด-ด่างไม่ควรต่ำกว่า 5.5 จึงแสดงให้เห็นว่าเศษอาหารที่ผ่านกระบวนการหมัก และออกจากเครื่องยังไม่เป็นปุ๋ยหมักที่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงต้องมีการดำเนินการปรับปรุงเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์เพิ่มเติมเพื่อให้เครื่องต้นแบบมีความสามารถในการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

### ข้อเสนอแนะ

1. จากการศึกษากิจกรรมของเอนไซม์ พบว่าสภาพความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อกิจกรรมของเอนไซม์ ดังนั้นก่อนการเติมเศษอาหารลงในเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์ ควรมีการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของเศษอาหารให้เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ก่อน
2. เศษอาหารที่ผ่านกระบวนการหมัก และออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์ ยังคงมีสภาพเป็นกรดอ่อน และมีปริมาณของแข็งระเหยเหลืออยู่สูง ดังนั้นก่อนนำปุ๋ยหมักที่ได้ไปใช้ในการปรับสภาพดิน ควรนำมากองไว้ 2-3 สัปดาห์ เพื่อให้กระบวนการย่อยสลายเกิดได้อย่างสมบูรณ์
3. ควรมีการปรับปรุงสกรูลำเลียงของถังหมักบน เพื่อให้มีการพลิกกลับเศษอาหารได้ทั่วถึงทั้งถังหมัก

## เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2547. การกำจัดขยะมูลฝอยแบบฝังกลบอย่างถูกหลักสุขาภิบาล. แหล่งที่มา:

<http://infofile.pcd.go.th/waste/Landfills.pdf>, 1 พฤษภาคม 2551.

\_\_\_\_\_. 2550ก. ปริมาณมูลฝอยชุมชนที่เกิดขึ้นในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2536-2546. ขยะมูลฝอยและการใช้ประโยชน์. แหล่งที่มา: [http://www.pcd.go.th/info\\_serv/waste\\_wastethai.htm](http://www.pcd.go.th/info_serv/waste_wastethai.htm), 20 เมษายน 2551.

\_\_\_\_\_. 2550ข. ปริมาณมูลฝอยชุมชนที่เกิดขึ้นในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2547-2548. ขยะมูลฝอยและการใช้ประโยชน์. แหล่งที่มา:

[http://www.pcd.go.th/info\\_serv/waste\\_wastethai47\\_48.html](http://www.pcd.go.th/info_serv/waste_wastethai47_48.html), 20 เมษายน 2551.

กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2551. พระราชบัญญัติปุ๋ย (ฉบับที่ 2) พ.ศ.

2550. ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 125 ตอนที่ 7 ก. แหล่งที่มา:

[http://210.246.186.28/ard/pdf/FertAct2\\_2550.pdf](http://210.246.186.28/ard/pdf/FertAct2_2550.pdf), 27 ตุลาคม 2551.

กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2548. ปัญหาและผลกระทบของมูลฝอยต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ. ข้อมูลต่างๆเกี่ยวกับการจัดการขยะ.

แหล่งที่มา: [http://detc.deqp.go.th/moduls/link/link\\_pdf\\_1/1/1-7-1.pdf](http://detc.deqp.go.th/moduls/link/link_pdf_1/1/1-7-1.pdf), 1 มิถุนายน 2551.

กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. 2550. พระราชบัญญัติการสาธารณสุข (ฉบับที่ 2) พ.ศ. 2550.

ราชกิจจานุเบกษา เล่ม 124 ตอนที่ 28 ก. แหล่งที่มา:

[http://hss.moph.go.th/file\\_upload/p673-1.pdf](http://hss.moph.go.th/file_upload/p673-1.pdf), 25 เมษายน 2551.

โครงการสารานุกรมไทยสำหรับเยาวชน โดยพระราชประสงค์ในพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว

ฉบับอิเล็กทรอนิกส์. 2545. ดินและปุ๋ย. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่ม 18.

แหล่งที่มา: [http://203.172.204.162/intranet/1012\\_thaiEncyclopedia/sara/sbody.htm](http://203.172.204.162/intranet/1012_thaiEncyclopedia/sara/sbody.htm), 20 มิถุนายน 2551.

- จำริญ ตันติพิศาลกุล, เดช พุทธเจริญทอง, สมยศ จันเกษม, สุนันท์ ศรีบุญนิตย์, สุชัย ศศิวิมลพันธุ์ และ มรกต ตันติเจริญ. 2533. รายงานการวิจัยเรื่องการวิจัยและพัฒนาเรือต้นแบบจำกัด ผักตบชวา และการทำปุ๋ยหมักจากผักตบชวา. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ. 74 น.
- ชนกร วัชรปาด. 2546. อิทธิพลของอัตราการเติมอากาศและกาคตะกอนน้ำทิ้งในการทำปุ๋ยหมักจากมูลฝอยชุมชนและมูลฝอยตลาดสด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ชื่นจิตร กิ่งนรา. 2543. การทำปุ๋ยหมักจากขยะเศษอาหารแบบกึ่งกะ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ธงชัย มาลา. 2546. ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์. พิมพ์ครั้งที่ 2. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ธันวดี ศรีธาวิรัตน์. 2547. การศึกษากระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.
- ปิยะ ดวงพัตรา. 2541. ปุ๋ยและการใช้ปุ๋ย, น. 354-394. ใน ขงยุทธ โอสดสภา, ศุภมาส พนิชศักดิ์ พัฒนา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ชัยสิทธิ์ ทองจู, บรรณาธิการ. ปฐพีวิทยาเบื้องต้น. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- พัฒนา มูลพฤกษ์. 2546. อนามัยสิ่งแวดล้อม. บริษัท ซิกม่า ดีไซน์ กราฟฟิค จำกัด, กรุงเทพฯ.
- ขงยุทธ โอสดสภา, อรรถศิษฐ์ วงศ์มณีโรจน์ และ ชวลิต ฮงประยูร. 2551. ปุ๋ยเพื่อการเกษตรยั่งยืน. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- ราชบัณฑิตยสถาน. 2546. พจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2542. บริษัท นานมีบุ๊คส์ จำกัด, กรุงเทพฯ.

เวียมสงวน วรรณยะลา. 2544. **ประสิทธิภาพการย่อยสลายมูลฝอยเป็นปุ๋ยโดยวิธีเติมอากาศ จากมูลฝอยชุมชนเทศบาลเมืองเพชรบุรี จังหวัดเพชรบุรี.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วรรณลดา สุนันทพงษ์ศักดิ์. 2538. **การใช้ปุ๋ยอินทรีย์เพื่อปรับปรุงบำรุงดินในแนวทางเกษตรยั่งยืน.** เอกสารวิชาการกองอนุรักษ์ดินและน้ำ กรมพัฒนาที่ดิน. แหล่งที่มา: [http://www.ldd.go.th/Lddwebsite/web\\_ord/Technical/pdf/P\\_Technical11003.pdf](http://www.ldd.go.th/Lddwebsite/web_ord/Technical/pdf/P_Technical11003.pdf), 5 พฤศจิกายน 2551.

ศูนย์ข้อมูลกรุงเทพมหานคร. 2551. **องค์ประกอบมูลฝอยทางกายภาพ ระหว่างปีงบประมาณ 2540 - 2549.** สถิติกรุงเทพมหานคร. แหล่งที่มา: [http://203.155.220.230/stat\\_search/frame.asp](http://203.155.220.230/stat_search/frame.asp), 3 พฤษภาคม 2551.

สิทธิชัย ต้นชนะสกุลดี. 2541. **มลพิษสิ่งแวดล้อม.** สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุทิน คล้ายมนต์ และ จิตรา คล้ายมนต์. 2546. **คำแนะนำมาตรฐานทางวิชาการของปุ๋ยอินทรีย์ ปุ๋ยชีวภาพ และปุ๋ยแร่ธาตุธรรมชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (พ.ศ. 2544).** จัดการดิน-ปุ๋ย. แหล่งที่มา: [http://210.246.186.28/sootin\\_webs/crop\\_fert/มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์\\_ปุ๋ยชีวภาพ\\_ปุ๋ยแร่ธาตุธรรมชาติ.htm](http://210.246.186.28/sootin_webs/crop_fert/มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์_ปุ๋ยชีวภาพ_ปุ๋ยแร่ธาตุธรรมชาติ.htm), 24 ธันวาคม 2551.

สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 2548. **ปุ๋ยหมัก (compost).** มาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ มกอช 9503-2548. แหล่งที่มา: [http://www.pathumthani.go.th/new\\_web/KM/km1/LinkedDocuments/puymuk.pdf](http://www.pathumthani.go.th/new_web/KM/km1/LinkedDocuments/puymuk.pdf), 14 สิงหาคม 2554.

องอาจ เอี่ยมสำอางค์. 2542. **การใช้ระบบอัดอากาศในการทำปุ๋ยหมักจากเศษพืชร่วมกับตะกอนน้ำทิ้งชุมชน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- Alexander, M. 1977. **Introduction to Soil Microbiology**. 2<sup>nd</sup> ed. John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Amin, A.T.M.N. 2005. **Changes in waste recycling and composting practices associated with the stages of economic development**. Available Source: [http://www.seauema.ait.ac.th/Download/ARL/ISWM\\_Conference/Overview%20on%20Regional%20Perspectives.pdf](http://www.seauema.ait.ac.th/Download/ARL/ISWM_Conference/Overview%20on%20Regional%20Perspectives.pdf), April 29, 2008.
- Asgher, M., M.J. Asad, S.U. Rahman and R.L. Legge. 2007. A thermostable  $\alpha$ -amylase from a moderately thermophilic *Bacillus subtilis* strain for starch processing. **Journal of Food Engineering** 79: 950-955.
- Bagchi, A. 2004. **Design of Landfills and Integrated Solid Waste Management**. 3<sup>rd</sup> ed. John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Bernfeld, P. 1951. Enzymes of starch degradation and synthesis. **Advances in Enzymology** 12: 379-481.
- Canet, R. and F. Pomares. 1995. Changes in physical, chemical and physico-chemical parameters during the composting of municipal solid wastes in two plants in Valencia. **Bioresource Technology** 51: 259-264.
- Cardenas, R.R. and L.K. Wang. 1980. Composting Process, pp. 269-328. In L.K. Wang and N.C. Pereira, eds. **Handbook of Environmental Engineering**. Humana Press, Clifton, New Jersey.
- Chhatwal, G.R. 1997. **Encyclopaedia of Environmental Waste Pollution**. Anmol Publications Pvt. Ltd., New Delhi, India.

- Department of chemistry, Washington State University. 2000. **Compost systems**. Compost Images. Available Source:  
<http://organic.tfrec.wsu.edu/compost/ImagesWeb/CompSys.html>, November 23, 2008.
- EPA. 1994. **Composting of Yard Trimmings and Municipal Solid Waste**. Diane Publishing Co., Darby, Pennsylvania.
- Ertuğrul, S., G. Dönmez and S. Takaç. 2007. Isolation of lipase producing *Bacillus* sp. from olive mill wastewater and improving its enzyme activity. **Journal of Hazardous Materials** 149: 720-724.
- Eugenia, Ma., C. Bennagen, G. Nepomuceno and R. Covar. 2002. **Solid waste segregation and recycling in Metro Manila : Household attitudes and behavior**. Available Source:  
<http://www.idrc.ca/uploads/user-S/10510800420EugeneRR.edited.doc>, April 28, 2008.
- Hitchens, L. and R.M. Kashmanian. 1997. Composting: programs, process and product, pp. 83-98. *In* R.E. Landreth and P.A. Rebers, eds. **Municipal Solid Wastes: Problems and Solutions**. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Huang, G.F., J.W.C. Wong, Q.T. Wu and B.B. Nagar. 2004. Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. **Waste management** 24: 805-813.
- International Composting Services. 2000. **Rotary drums**. Composting equipment. Available Source: <http://www.ics-germany.com/rotary.htm>, November 29, 2008.
- JICA. 1982. **The Bangkok Solid Waste Management Study in Thailand Draft Final Report**. Bangkok, Thailand. 436 p.
- Landreth, R.E. and P.A. Rebers. 1997. **Municipal Solid Wastes: Problems and Solutions**. CRC Press, Boca Raton, Florida.

- Lin, C. 2008. A negative-pressure aeration system for composting food wastes. **Bioresource Technology**. 99: 7651-7656.
- Kim, J.C., H.Y. Kim and Y.J. Choi. 1998. Production and characterization of acid-stable pectin lyase from *Bacillus* sp. PN33. **J. Microbiol Biotechnol** 8: 353-360.
- Kumar, M., Y.L. Ou and J.G. Lin. 2010. Co-composting of green waste and food waste at low C/N ratio. **Waste Manag** 30 (4): 602-609.
- Miller, G.L. 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Anal. Chem.** 31: 426-428.
- \_\_\_\_\_, R. Blum, W.E. Glennon and A.L. Burton. 1960. Measurement of carboxymethylcellulase activity. **Analytical Biochemistry** 2: 127-132.
- Miller, J.H. and N. Jones. 1995. **Organic and Compost-Based Growing Media for Tree Seedling Nurseries**. World Bank Publications, Washington, D.C.
- Misra, R.V., R.N. Roy and H. Hiraoka. 2003. **On-farm composting methods**. FAO publications, Rome.
- Otte, J., J.M. Faergemand, S.B. Lomholt and K.B. Qvist. 1996. Protease-induced aggregation and Gelation of whey proteins. **Journal of Food Science** 61: 911-916.
- Pichtel, J. 2005. **Waste Management Practices: Municipal, Hazardous and Industrial**. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Rhyner, C.R., L.J. Schwartz, R.B. Wenger and M.G. Kohrell. 1995. **Waste Management and Resource Recovery**. CRC Press, Boca Raton, Florida.

Russell, P.J. 2008. Energy, enzymes, and biological reactions, pp. 71-90. *In* M. Julet, ed.

**Biology: The Dynamic Science.** Transcontinental Printing/Interglobe, Canada.

Shammas, N.K. and L.K. Wang. 2006. Biosolids composting, pp. 645-687. *In* L.K. Wang, N.K.

Shammas and Y.T. Hung, eds. **Biosolids Treatment Processes.** Humana Press, Clifton, New Jersey.

Silva, D.O., M.M. Attwood and D.W. Tempest. 1993. Partial purification and properties of

pectin lyase from *Penicillium expansum*. **World Journal of Microbiology and Biotechnology** 9: 574-578.

Spellman, F.R. 1997. **Wastewater Biosolids to Composst.** CRC Press, Boca Raton, Florida.

Tammemagi, H. 1999. **The Waste Crisis.** Oxford University Press, Inc., New York.

Tchobanoglous, G., H. Theisen and S.A. Vigil. 1993. **Integrated Solid Waste Management : Engineering Principles and Management Issues.** McGraw-Hill Science Engineering, New York.

The California Integrated Waste Management Board. 2008. **In-vessel compost technologies.**

Food Scrap Management. Available Source:

<http://www.ciwmb.ca.gov/foodwaste/compost/InVessel.htm>, November 26, 2008.

Thushara, D. 2007. **Windrow composting with machines.** A Chemical Engineer's Blog.

Available Source: [http://www.chempro.org/2007\\_08\\_01\\_archive.html](http://www.chempro.org/2007_08_01_archive.html), November 19, 2008.

Tiquia, S.M., N.F.Y. Tam and I.J. Hodgkiss. 1998. Changes in chemical properties during

composting of spent pig litter at different moisture contents. **Agriculture, Ecosystems and Environment** 67: 79-89.

Torsvik V., J. Goksøyr and F.L. Daae. 1990. High diversity in DNA of soil bacteria. **Appl. Environ. Microbiol.** 56: 782-787.

Vesilind, P.A., W. Worrell and D. Reinhart. 2002. **Solid Waste Engineering**. Brooks/Cole, California.

Wang, H.L. and C.W. Hesseltine. 1965. Studies on the extracellular proteolytic enzymes of *Rhizopus oligosporus*. **Canadian Journal of Microbiology** 11: 727-732.

Wang, S.L., T.Y. Lin, Y.H. Yen, H.F. Liao and Y.J. Chen. 2006. Bioconversion of shellfish chitin wastes for the production of *Bacillus subtilis* W-118 chitinase. **Carbohydrate Research** 341: 2507-2515.

Zhu, N. 2007. Effect of low initial C/N ratio on aerobic composting of swine manure with rice straw. **Bioresource Technology** 98: 9-13.





## Nutrient agar (NA)

Beef extract	3.0	กรัม
Peptone	5.0	กรัม
Agar	15.0	กรัม
น้ำกลั่น	1,000.0	มิลลิลิตร

## Potato dextrose agar (PDA)

Potato	200.0	กรัม
Dextrose	20.0	กรัม
Agar	15.0	กรัม
น้ำกลั่น	1,000.0	มิลลิลิตร

## Tributyryn agar

Tributyryn	10.0	มิลลิลิตร
Peptone	5.0	กรัม
Yeast extract	3.0	กรัม
Agar	15.0	กรัม
น้ำกลั่น	1,000.0	มิลลิลิตร

## Starch agar

Soluble starch	2.0	กรัม
Beef extract	3.0	กรัม
Peptone	5.0	กรัม
Agar	15.0	กรัม
น้ำกลั่น	1,000.0	มิลลิลิตร

## Skimmed milk agar

Skimmed milk	2.0	กรัม
Glucose	1.0	กรัม
$K_2HPO_4$	0.2	กรัม
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0.2	กรัม
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	trace	
Agar	15.0	กรัม
น้ำกลั่น	1,000.0	มิลลิลิตร

## Pectin medium

Citrus pectin	5.0	กรัม
$KH_2PO_4$	4.0	กรัม
$Na_2HPO_4$	6.0	กรัม
Yeast extract	1.0	กรัม
$(NH_4)_2SO_4$	2.0	กรัม
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0.2	กรัม
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	1.0	มิลลิกรัม
$CaCl_2$	1.0	มิลลิกรัม
$H_3BO_3$	10.0	ไมโครกรัม
$MnSO_4$	10.0	ไมโครกรัม
$ZnSO_4$	70.0	ไมโครกรัม
$CuSO_4$	50.0	ไมโครกรัม
$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$	10.0	ไมโครกรัม
Agar	15.0	กรัม
น้ำกลั่น	1,000.0	มิลลิลิตร

## CMC medium

Carboxymethylcellulose	10.0	กรัม
Tryptone	2.0	กรัม
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	4.0	กรัม
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.2	กรัม
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.001	กรัม
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.004	กรัม
Agar	15.0	กรัม
น้ำกลั่น	1,000.0	มิลลิลิตร

## Chitin Medium

Colloidal chitin	10.0	กรัม
Yeast extract	5.0	กรัม
$\text{NaNO}_3$	2.0	กรัม
$\text{K}_2\text{HPO}_4$	1.0	กรัม
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.5	กรัม
KCl	0.5	กรัม
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	trace	
Agar	15.0	กรัม
น้ำกลั่น	1,000.0	มิลลิลิตร

## Liquid tributyrin medium

Tributyrin	10.0	มิลลิลิตร
Peptone	5.0	กรัม
Yeast extract	3.0	กรัม
น้ำกลั่น	1,000.0	มิลลิลิตร

## Liquid starch medium

Soluble starch	10.0	กรัม
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	1.0	กรัม
$\text{Na}_2\text{HPO}_4$	2.5	กรัม
$\text{NaCl}$	1.0	กรัม
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	2.0	กรัม
Tryptone	2.0	กรัม
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.05	กรัม
$\text{CaCl}_2$	0.05	กรัม
น้ำกลั่น	1,000.0	มิลลิลิตร

## Starch casein broth

Soluble starch	10.0	กรัม
Casein	3.0	กรัม
$\text{KNO}_3$	2.0	กรัม
$\text{NaCl}$	2.0	กรัม
$\text{K}_2\text{HPO}_4$	2.0	กรัม
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.05	กรัม
$\text{CaCl}_2$	0.02	กรัม
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.01	กรัม
น้ำกลั่น	1,000.0	มิลลิลิตร

## Liquid pectin medium

Citrus pectin	5.0	กรัม
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	7.0	กรัม
$\text{K}_2\text{HPO}_4$	2.0	กรัม
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.1	กรัม
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	1.0	กรัม
Yeast extract	0.6	กรัม
น้ำกลั่น	1,000.0	มิลลิลิตร

## Liquid CMC medium

Carboxymethylcellulose	10.0	กรัม
Tryptone	2.0	กรัม
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	4.0	กรัม
$\text{Na}_2\text{HPO}_4$	4.0	กรัม
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.2	กรัม
$\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0.001	กรัม
$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.004	กรัม
น้ำกลั่น	1,000.0	มิลลิลิตร

## Liquid chitin Medium

Colloidal chitin	10.0	กรัม
$\text{K}_2\text{HPO}_4$	0.87	กรัม
$\text{KH}_2\text{PO}_4$	0.68	กรัม
$\text{NH}_4\text{NO}_3$	1.0	กรัม
KCl	0.2	กรัม
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.2	กรัม
Yeast extract	4.0	กรัม
น้ำกลั่น	1,000.0	มิลลิลิตร



ภาคผนวก ข  
ตารางแสดงผลการทดลอง

ตารางผนวกที่ ข1 ความสามารถของเชื้อจุลินทรีย์ในการผลิตเอนไซม์

เชื้อจุลินทรีย์	ความสามารถในการผลิตเอนไซม์					
	ไลเปส	อะไมเลส	โปรติเอส	เพคตินเอส	เซลลูเลส	ไลโคตินเอส
AG-01	1.43±0.12	-	1.72±0.04	-	-	-
AG-02	1.70±0.12	-	1.77±0.03	-	-	-
AG-03	-	3.23±0.09	1.47±0.03	-	-	-
AG-04	-	-	1.47±0.03	-	-	-
AG-05	-	-	-	-	-	-
AG-06	1.23±0.09	1.03±0.03	-	-	1.67±0.03	-
AP-01	1.10±0.10	1.50±0.11	2.10±0.06	-	-	1.00±0.00
AP-04	1.12±0.09	1.60±0.06	2.47±0.03	-	-	-
AP-08	1.10±0.12	1.47±0.09	2.23±0.12	-	1.00±0.00	-
<i>Aspergillus niger</i>	-	1.00±0.00	1.00±0.00	1.14±0.03	1.10±0.06	-
<i>B. amyloliquefaciens</i>	1.17±0.09	4.35±0.09	2.10±0.06	-	1.27±0.03	-
<i>B. chitinolyticus</i>	-	1.37±0.09	2.10±0.10	-	1.00±0.00	3.80±0.03
<i>B. circulans-07</i>	1.23±0.15	1.23±0.09	2.53±0.03	2.17±0.03	1.47±0.03	-
<i>B. coagulans</i>	-	1.67±0.07	1.17±0.03	-	-	-
<i>B. subtilis</i>	1.03±0.06	2.13±0.09	2.27±0.07	1.57±0.09	4.50±0.06	1.07±0.03
<i>B. thuringiensis</i>	1.03±0.06	1.33±0.09	3.00±0.03	1.00±0.00	1.23±0.03	-
<i>B. vallismortis</i>	2.50±0.03	1.37±0.09	1.13±0.07	1.00±0.00	1.00±0.00	-
B-260505	-	1.43±0.09	1.27±0.03	-	1.00±0.00	1.00±0.00
BCA-01	2.07±0.19	1.47±0.03	1.47±0.03	1.00±0.00	1.47±0.03	-
BCA-02	1.43±0.18	1.63±0.07	1.93±0.07	1.47±0.03	1.03±0.03	-
BCA-03	2.17±0.12	1.10±0.06	-	-	1.23±0.03	-
BMW-01	1.27±0.09	1.47±0.09	1.77±0.03	1.00±0.00	1.00±0.00	-
BMW-02	1.17±0.15	1.27±0.07	1.57±0.07	-	1.00±0.00	-
BMW-03	1.10±0.10	1.03±0.03	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00	-
BMW-04	-	1.10±0.06	-	1.00±0.00	1.00±0.00	-
BMW-05	-	1.53±0.03	-	1.00±0.00	1.00±0.00	-
BMW-06	-	1.00±0.00	1.13±0.03	1.03±0.03	1.23±0.03	-
BP-01	-	1.57±0.09	2.17±0.12	-	1.00±0.00	-
BP-02	-	2.17±0.12	1.07±0.03	-	-	-
BP-03	-	1.67±0.07	1.57±0.07	-	-	1.00±0.00

## ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

เชื้อจุลินทรีย์	ความสามารถในการผลิตเอนไซม์					
	ไอลเปส	อะไมเลส	โปรติเอส	เพคตินเอส	เซลลูเลส	ไลตินเอส
BP-04	-	2.27±0.12	2.13±0.07	-	1.00±0.00	-
BPCS-01	-	2.53±0.12	1.70±0.10	-	-	1.00±0.00
BPCS-02	-	2.47±0.07	1.57±0.07	-	-	1.03±0.03
BPL-01	-	2.03±0.03	1.93±0.07	-	-	1.37±0.03
BPL-02	-	2.17±0.12	1.97±0.03	-	1.00±0.00	-
BPL-03	-	2.57±0.07	1.20±0.10	-	-	-
BS0130651	1.03±0.03	1.47±0.09	2.57±0.07	1.00±0.00	1.17±0.03	1.00±0.00
BS0130652	1.10±0.12	1.50±0.06	2.33±0.03	1.00±0.00	1.07±0.03	-
BS0130653	1.00±0.06	1.87±0.03	1.87±0.03	1.00±0.00	1.33±0.03	-
BS0130654	1.20±0.15	1.47±0.03	2.07±0.03	1.00±0.00	1.00±0.00	-
BS0130655	1.02±0.09	1.33±0.07	2.50±0.06	1.00±0.00	1.17±0.03	1.00±0.00
BT-BP	-	1.37±0.03	1.23±0.03	-	1.03±0.03	-
BT-DF	-	1.47±0.03	1.37±0.03	-	1.10±0.00	-
BT-DP	-	1.13±0.03	1.53±0.03	-	1.03±0.03	-
BT-TR	-	1.40±0.06	1.27±0.03	-	1.07±0.03	-
BWD-01	1.87±0.15	1.00±0.00	-	1.00±0.00	1.27±0.03	-
BWD-02	2.10±0.12	1.17±0.03	-	1.00±0.00	1.00±0.00	-
BWD-03	2.15±0.07	1.03±0.03	1.27±0.07	1.27±0.03	1.00±0.00	-
<i>Cellulomonas</i> sp.	-	-	-	-	-	-
TISTR 368	-	-	-	-	-	-
CF1005-1	2.17±0.09	1.80±0.06	1.63±0.03	1.57±0.07	1.53±0.03	1.00±0.00
CF1005-2	1.60±0.06	1.13±0.09	1.07±0.03	1.23±0.03	1.00±0.00	1.03±0.03
CF1005-3	1.57±0.09	-	2.27±0.03	1.13±0.03	2.03±0.03	1.57±0.03
CF1005-4	1.10±0.06	1.36±0.03	1.73±0.09	1.30±0.00	1.27±0.03	-
CF1006-1	2.10±0.06	1.37±0.07	-	1.13±0.03	1.03±0.03	-
CF1006-2	1.37±0.09	-	2.10±0.10	1.53±0.03	1.90±0.06	-
CF1006-3	1.67±0.15	1.00±0.00	1.23±0.03	-	1.07±0.03	1.00±0.00
CF1006-4	1.47±0.07	-	1.43±0.03	-	1.23±0.03	1.16±0.06
CF7015-1	1.23±0.09	-	1.00±0.00	-	1.00±0.00	1.37±0.03
CF7015-2	1.43±0.15	-	1.50±0.06	-	1.00±0.00	1.43±0.06

## ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

ชื่อจุลินทรีย์	ความสามารถในการผลิตเอนไซม์					
	ไลเปส	อะไมเลส	โปรติเอส	เพคตินเอส	เซลลูเลส	ไลติเนส
CF7015-3	2.25±0.09	1.23±0.03	1.13±0.07	-	1.07±0.03	2.00±0.00
CF7015-4	1.47±0.18	-	1.43±0.03	1.00±0.00	2.13±0.07	-
DDS-01	2.17±0.15	1.20±0.06	-	1.00±0.00	1.47±0.03	-
DDS-02	1.57±0.09	1.67±0.03	-	1.27±0.03	2.07±0.07	-
DDS-03	1.97±0.09	1.73±0.03	-	-	2.10±0.06	-
DR-01	-	2.68±0.07	-	1.00±0.00	-	-
DR-02	-	2.13±0.09	2.17±0.12	1.00±0.00	-	-
DR-03	-	1.97±0.07	1.37±0.09	1.00±0.00	-	-
F-260505	1.33±0.07	1.63±0.07	2.07±0.07	-	1.00±0.00	-
JPR-01	1.30±0.15	2.03±0.03	-	1.00±0.00	1.00±0.00	-
JPR-02	1.60±0.10	2.17±0.03	-	1.53±0.03	1.00±0.00	-
JPR-03	2.07±0.07	2.53±0.03	-	1.67±0.03	2.03±0.03	-
JPR-04	-	1.13±0.03	2.43±0.03	1.03±0.03	2.47±0.03	-
JPR-05	-	1.00±0.00	2.10±0.10	1.00±0.00	3.83±0.03	-
JPR-06	-	2.87±0.03	-	1.43±0.03	3.10±0.10	-
JPR-07	2.13±0.03	1.27±0.03	-	1.60±0.00	-	-
JPR-08	2.07±0.15	1.67±0.07	1.27±0.09	1.87±0.03	2.83±0.03	-
K1	-	1.13±0.03	2.10±0.10	-	-	1.00±0.00
LTR-01	-	2.27±0.07	-	-	-	1.00±0.00
LTR-02	-	2.63±0.03	-	-	-	1.07±0.03
LTR-03	-	1.43±0.03	-	-	-	2.57±0.03
LTR-04	-	1.10±0.06	2.43±0.07	-	-	1.03±0.03
LTR-05	1.00±0.00	2.87±0.03	2.17±0.09	-	-	2.67±0.03
LTR-06	2.20±0.09	1.07±0.03	-	-	-	2.47±0.07
LTR-07	1.33±0.07	2.47±0.03	-	-	-	1.77±0.06
LTR-08	2.07±0.12	2.23±0.07	2.10±0.06	-	-	1.53±0.03
PD-01	-	2.03±0.03	-	1.00±0.00	3.07±0.07	-
PD-02	-	1.00±0.00	-	1.27±0.07	2.47±0.03	-
PD-03	-	1.73±0.03	2.47±0.07	1.60±0.03	2.03±0.03	-
PD-04	-	2.33±0.03	2.10±0.06	1.53±0.03	-	1.00±0.00

## ตารางผนวกที่ ข1 (ต่อ)

เชื้อจุลินทรีย์	ความสามารถในการผลิตเอนไซม์					
	ไลเปส	อะไมเลส	โปรติเอส	เพคตินเอส	เซลลูเลส	ไลติเนส
PD-05	-	2.93±0.03	2.75±0.03	-	-	-
PD-06	1.20±0.12	2.67±0.03	1.73±0.03	-	-	1.17±0.03
PD-07	2.13±0.03	1.00±0.00	1.43±0.03	1.53±0.07	2.10±0.06	-
PDA0501.1	-	1.27±0.07	1.00±0.00	1.00±0.00	1.40±0.06	-
PDB0501.4	-	1.27±0.03	2.13±0.13	1.27±0.03	4.17±0.03	-
PDD0502.3	-	1.43±0.03	2.67±0.07	-	1.43±0.03	-
PDF0501.6	1.33±0.15	1.57±0.03	2.10±0.10	1.00±0.00	1.13±0.07	-
PDG0501.7	-	1.83±0.07	-	1.00±0.00	1.00±0.00	1.03±0.03
PDU0501.1	1.33±0.07	1.03±0.03	2.03±0.03	-	1.00±0.00	-
PDU0501.2	-	1.67±0.03	2.47±0.07	1.00±0.00	1.27±0.03	-
<i>Pichia kudriavzevii</i>	-	1.53±0.03	1.27±0.06	1.00±0.00	1.17±0.03	-
TISTR 5147	-	1.53±0.03	1.27±0.06	1.00±0.00	1.17±0.03	-
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	1.23±0.09	1.33±0.03	-	1.57±0.03	1.00±0.00	-
<i>Saccharomycopsis</i>	-	1.67±0.03	1.17±0.07	1.17±0.03	-	-
<i>fibuligera</i> TISTR 5033	-	1.67±0.03	1.17±0.07	1.17±0.03	-	-
SC-01	1.21±0.07	-	1.73±0.03	-	1.00±0.00	-
SC-02	1.53±0.15	-	1.27±0.09	-	1.00±0.00	-
<i>Trichoderma viridea</i>	-	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00	1.00±0.00	-
TT-01	1.07±0.07	-	1.53±0.03	-	-	-
TT-02	1.47±0.12	-	1.53±0.03	-	-	-
TT-03	1.13±0.09	-	2.27±0.03	-	-	-
TT-04	1.10±0.10	1.77±0.03	2.03±0.03	-	1.00±0.00	-
U1	-	1.13±0.03	2.03±0.03	-	1.40±0.00	1.00±0.00

หมายเหตุ รายงานผลเป็นค่า  $\bar{X} \pm SE$  โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ

ตารางผนวกที่ ข2 อุณหภูมิของถังหมักบนและถังหมักล่าง

อุณหภูมิของถังหมัก (องศาเซลเซียส)	วันที่	การทดลองที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
อุณหภูมิของถังหมักบน	1	30.0	40.0	40.2	40.5	40.2	40.8	40.5	41.3
	2	30.1	40.0	40.0	40.7	40.6	40.2	41.6	41.0
	3	-	-	-	-	40.8	41.0	41.0	40.1
	4	-	-	-	-	40.6	41.4	41.0	40.9
	5	-	-	-	-	40.3	40.9	39.7	41.9
	6	-	-	-	-	40.2	41.0	42.5	42.2
	7	-	-	-	-	-	-	43.6	42.5
	8	-	-	-	-	-	-	44.3	42.2
( X ±SE)		30.1±0.1	40.0±0.0	40.1±0.1	40.6±0.1	40.5±0.1	40.9±0.2	41.8±0.6	41.5±0.3

ตารางผนวกที่ ข2 (ต่อ)

อุณหภูมิของถังหมัก (องศาเซลเซียส)	วันที่	การทดลองที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
อุณหภูมิของถังหมักล่าง	1	30.1	50.7	51.0	50.1	51.3	50.1	54.0	43.0
	2	30.0	50.8	50.4	51.6	50.4	51.1	55.3	48.0
	3	-	-	-	-	52.4	51.8	55.3	46.0
	4	-	-	-	-	51.5	53.2	56.0	45.0
	5	-	-	-	-	50.9	52.9	56.2	47.0
	6	-	-	-	-	51.3	51.2	57.0	50.0
	7	-	-	-	-	-	-	56.6	49.3
	8	-	-	-	-	-	-	56.0	51.0
( X ±SE)		30.1±0.1	50.8±0.1	50.7±0.3	50.9±0.8	51.3±0.3	51.7±0.5	55.8±0.3	47.4±1.0

**ตารางผนวกที่ ข3 ความชื้นของเศษอาหารก่อนเข้าและหลังออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์**

ความชื้น (ร้อยละ)	ซ้ำที่	การทดลองที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ความชื้นของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องวันที่ 1	1	81.12	83.04	79.61	78.92	80.14	72.25	73.45	70.21
	2	81.20	83.10	79.56	78.87	80.10	72.36	73.67	70.29
	3	80.96	83.06	79.65	79.02	80.18	72.31	73.40	70.31
ความชื้นของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องวันที่ 2	1	-	-	-	-	79.52	70.37	71.74	71.06
	2	-	-	-	-	79.60	70.43	71.20	71.12
	3	-	-	-	-	79.48	70.46	71.37	71.20
ความชื้นของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องวันที่ 3	1	-	-	-	-	81.06	69.69	72.23	70.96
	2	-	-	-	-	80.97	69.72	72.40	70.87
	3	-	-	-	-	81.11	69.80	72.34	70.90
ความชื้นของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องวันที่ 4	1	-	-	-	-	-	-	70.34	70.40
	2	-	-	-	-	-	-	70.54	70.45
	3	-	-	-	-	-	-	70.43	70.52
( X ±SE)		81.09±0.07	83.07±0.02	79.61±0.03	78.94±0.04	80.24±0.22	70.82±0.38	71.93±0.34	70.69±0.10

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

ความชื้น (ร้อยละ)	ซ้ำที่	การทดลองที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ความชื้นของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 1	1	68.72	45.37	45.02	46.14	43.12	22.57	11.41	13.60
	2	68.60	45.42	45.08	46.23	43.08	25.52	11.31	13.73
	3	68.66	45.30	45.11	46.06	43.15	24.10	11.82	12.70
ความชื้นของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 2	1	65.49	48.11	47.98	45.99	44.10	20.09	12.59	15.62
	2	65.60	47.99	47.86	45.89	44.06	21.15	10.59	15.34
	3	65.44	48.18	48.02	46.02	44.15	21.27	15.07	15.61
ความชื้นของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 3	1	-	-	-	-	46.03	62.62	7.68	12.51
	2	-	-	-	-	46.10	61.68	8.02	12.84
	3	-	-	-	-	46.06	59.63	8.15	12.21
ความชื้นของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 4	1	-	-	-	-	48.56	65.10	7.56	13.08
	2	-	-	-	-	48.62	65.89	8.53	13.04
	3	-	-	-	-	48.50	65.43	7.24	12.64

ตารางผนวกที่ ข3 (ต่อ)

ความชื้น (ร้อยละ)	ซ้ำที่	การทดลองที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ความชื้นของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 5	1	-	-	-	-	47.99	48.27	5.92	10.82
	2	-	-	-	-	47.91	48.60	6.24	10.45
	3	-	-	-	-	48.02	49.22	6.16	10.66
ความชื้นของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 6	1	-	-	-	-	46.55	33.27	7.25	7.61
	2	-	-	-	-	46.51	26.41	6.18	6.39
	3	-	-	-	-	46.60	27.12	7.36	7.90
ความชื้นของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 7	1	-	-	-	-	-	-	6.60	7.80
	2	-	-	-	-	-	-	7.25	7.69
	3	-	-	-	-	-	-	7.22	7.36
ความชื้นของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 8	1	-	-	-	-	-	-	8.56	8.31
	2	-	-	-	-	-	-	4.22	8.06
	3	-	-	-	-	-	-	7.13	8.22
( X ±SE)		67.09±0.70	46.73±0.61	46.51±0.65	46.06±0.05	46.06±0.47	41.55±4.34	8.34±0.52	11.00±0.60

ตารางผนวกที่ ข4 สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของเศษอาหารก่อนเข้าและหลังออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์

สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ซ้ำที่	การทดลองที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
pH ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องวันที่ 1	1	5.10	5.20	4.98	5.03	5.26	4.80	5.25	5.36
	2	5.11	5.23	5.01	5.06	5.20	4.83	5.20	5.30
	3	5.13	5.17	5.03	5.05	5.23	4.85	5.22	5.33
pH ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องวันที่ 2	1	-	-	-	-	5.12	5.12	4.82	5.33
	2	-	-	-	-	5.16	5.16	4.80	5.30
	3	-	-	-	-	5.14	5.10	4.78	5.34
pH ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องวันที่ 3	1	-	-	-	-	4.98	5.00	5.06	5.18
	2	-	-	-	-	5.01	4.98	5.08	5.14
	3	-	-	-	-	5.01	5.02	5.11	5.20
pH ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องวันที่ 4	1	-	-	-	-	-	-	5.12	5.23
	2	-	-	-	-	-	-	5.14	5.20
	3	-	-	-	-	-	-	5.15	5.22
( X ±SE)		5.11±0.01	5.20±0.02	5.01±0.01	5.05±0.01	5.12±0.03	4.98±0.04	5.06±0.05	5.26±0.02

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ซ้ำที่	การทดลองที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
pH ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่องวันที่ 1	1	3.42	3.98	4.89	5.01	4.82	4.98	4.78	4.02
	2	3.46	3.91	4.84	5.02	4.90	4.96	4.73	3.98
	3	3.48	3.95	4.76	4.98	4.85	4.91	4.75	3.99
pH ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่องวันที่ 2	1	3.51	3.56	3.65	4.87	4.78	4.88	4.00	4.00
	2	3.53	3.50	3.60	4.82	4.80	4.81	4.02	4.02
	3	3.51	3.52	3.63	4.90	4.83	4.82	4.10	4.06
pH ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่องวันที่ 3	1	-	-	-	-	4.56	4.30	4.04	4.10
	2	-	-	-	-	4.60	4.33	4.03	4.15
	3	-	-	-	-	4.57	4.34	4.06	4.18
pH ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่องวันที่ 4	1	-	-	-	-	4.60	4.27	4.03	4.23
	2	-	-	-	-	4.62	4.25	4.05	4.22
	3	-	-	-	-	4.64	4.30	4.06	4.26

ตารางผนวกที่ ข4 (ต่อ)

สภาพความเป็นกรด-ด่าง (pH)	ซ้ำที่	การทดลองที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
pH ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่องวันที่ 5	1	-	-	-	-	4.20	4.10	4.10	4.43
	2	-	-	-	-	4.28	4.07	4.11	4.47
	3	-	-	-	-	4.25	4.05	4.14	4.50
pH ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่องวันที่ 6	1	-	-	-	-	4.00	3.76	4.09	4.68
	2	-	-	-	-	4.03	3.75	4.10	4.70
	3	-	-	-	-	4.07	3.72	4.12	4.72
pH ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่องวันที่ 7	1	-	-	-	-	-	-	4.06	4.97
	2	-	-	-	-	-	-	4.09	4.94
	3	-	-	-	-	-	-	4.10	5.01
pH ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่องวันที่ 8	1	-	-	-	-	-	-	4.07	5.10
	2	-	-	-	-	-	-	4.08	5.12
	3	-	-	-	-	-	-	4.11	5.15
( X ±SE)		3.49±0.02	3.74±0.09	4.23±0.27	4.93±0.03	4.52±0.07	4.37±0.10	4.16±0.04	4.45±0.08

ตารางผนวกที่ ข5 ปริมาณของแข็งระเหย (Volatile Solids; VS) ของเศษอาหารก่อนเข้าและหลังออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์

ปริมาณของแข็งระเหย (ร้อยละ)	ซ้ำที่	การทดลองที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
VS ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องวันที่ 1	1	94.25	94.58	93.61	92.59	93.92	92.41	89.21	90.11
	2	94.00	93.46	93.33	92.85	93.87	92.38	89.07	90.23
	3	94.22	94.02	93.46	93.00	93.94	92.58	89.33	90.27
VS ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องวันที่ 2	1	-	-	-	-	93.01	90.89	89.00	91.35
	2	-	-	-	-	93.13	90.92	88.89	91.47
	3	-	-	-	-	93.25	90.74	88.86	91.32
VS ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องวันที่ 3	1	-	-	-	-	93.77	91.84	90.13	92.97
	2	-	-	-	-	93.64	91.78	90.46	92.87
	3	-	-	-	-	93.81	91.63	90.23	92.73
VS ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องวันที่ 4	1	-	-	-	-	-	-	89.90	93.08
	2	-	-	-	-	-	-	89.87	93.23
	3	-	-	-	-	-	-	89.66	93.01
( X ±SE)		94.15±0.08	94.02±0.32	93.47±0.08	92.81±0.12	93.59±0.12	91.69±0.23	89.55±0.16	91.89±0.36

ตารางผนวกที่ ข5 (ต่อ)

ปริมาณของแข็งระเหย (ร้อยละ)	ซ้ำที่	การทดลองที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
VS ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่องวันที่ 1	1	94.10	93.21	93.25	90.35	92.94	92.41	86.46	89.54
	2	93.68	93.11	92.87	90.47	92.86	92.38	86.68	89.32
	3	93.77	93.32	93.02	90.54	92.78	92.58	86.73	89.21
VS ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่องวันที่ 2	1	94.01	92.30	91.08	90.21	92.12	90.89	88.01	88.82
	2	93.85	92.41	91.26	90.33	92.06	90.92	88.21	88.73
	3	93.78	92.28	91.33	90.57	92.00	90.74	88.33	88.67
VS ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่องวันที่ 3	1	-	-	-	-	92.47	91.84	89.85	88.10
	2	-	-	-	-	92.53	91.78	89.73	88.00
	3	-	-	-	-	92.40	91.63	89.92	88.08
VS ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่องวันที่ 4	1	-	-	-	-	92.21	92.41	89.13	88.00
	2	-	-	-	-	92.17	92.38	89.25	87.89
	3	-	-	-	-	92.03	92.58	89.29	87.75

ตารางผนวกที่ ข5 (ต่อ)

ปริมาณของแข็งระเหย (ร้อยละ)	ซ้ำที่	การทดลองที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
VS ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่องวันที่ 5	1	-	-	-	-	92.00	90.78	88.39	86.56
	2	-	-	-	-	91.89	90.98	88.47	86.72
	3	-	-	-	-	91.93	90.67	88.54	86.66
VS ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่องวันที่ 6	1	-	-	-	-	91.99	89.63	88.60	85.98
	2	-	-	-	-	92.02	89.57	88.34	86.11
	3	-	-	-	-	91.87	89.44	88.53	85.87
VS ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่องวันที่ 7	1	-	-	-	-	-	-	88.34	86.32
	2	-	-	-	-	-	-	88.13	86.40
	3	-	-	-	-	-	-	88.45	86.65
VS ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่องวันที่ 8	1	-	-	-	-	-	-	87.98	86.43
	2	-	-	-	-	-	-	88.01	86.57
	3	-	-	-	-	-	-	87.75	86.70
( X ±SE)		93.87±0.07	92.77±0.20	92.14±0.41	90.41±0.05	92.24±0.08	91.31±0.25	88.38±0.18	87.46±0.24

ตารางผนวกที่ ข6 ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (C) ของเศษอาหารก่อนเข้าและหลังออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (ร้อยละ)	ซ้ำที่	การทดลองที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ปริมาณ C ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องวันที่ 1	1	52.36	52.54	52.01	51.44	52.18	51.34	49.56	50.06
	2	52.22	51.92	51.85	51.58	52.15	51.32	49.48	50.13
	3	52.34	52.23	51.92	51.67	52.19	51.43	49.63	50.15
ปริมาณ C ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องวันที่ 2	1	-	-	-	-	51.67	50.49	49.44	50.75
	2	-	-	-	-	51.74	50.51	49.38	50.82
	3	-	-	-	-	51.81	50.41	49.37	50.73
ปริมาณ C ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องวันที่ 3	1	-	-	-	-	52.09	51.02	50.07	51.65
	2	-	-	-	-	52.02	50.99	50.26	51.59
	3	-	-	-	-	52.12	50.91	50.13	51.52
ปริมาณ C ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องวันที่ 4	1	-	-	-	-	-	-	49.94	51.71
	2	-	-	-	-	-	-	49.93	51.79
	3	-	-	-	-	-	-	49.81	51.67
( X ±SE)		52.31±0.04	52.23±0.18	51.93±0.05	51.56±0.07	52.00±0.07	50.94±0.13	49.75±0.09	51.05±0.20

ตารางผนวกที่ ข6 (ต่อ)

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (ร้อยละ)	ซ้ำที่	การทดลองที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ปริมาณ C ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 1	1	52.28	51.78	51.81	50.19	51.63	51.34	48.03	49.74
	2	52.04	51.73	51.59	50.26	51.59	51.32	48.16	49.62
	3	52.09	51.84	51.68	50.30	51.54	51.43	48.18	49.56
ปริมาณ C ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 2	1	52.23	51.28	50.60	50.12	51.18	50.49	48.89	49.34
	2	52.14	51.34	50.70	50.18	51.14	50.51	49.01	49.29
	3	52.10	51.27	50.74	50.32	51.11	50.41	49.07	49.26
ปริมาณ C ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 3	1	-	-	-	-	51.37	51.02	49.92	48.94
	2	-	-	-	-	51.41	50.99	49.85	48.89
	3	-	-	-	-	51.33	50.91	49.96	48.93
ปริมาณ C ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 4	1	-	-	-	-	51.23	51.34	49.52	48.89
	2	-	-	-	-	51.21	51.32	49.58	48.83
	3	-	-	-	-	51.13	51.43	49.61	48.75

ตารางผนวกที่ ข6 (ต่อ)

ปริมาณอินทรีย์คาร์บอน (ร้อยละ)	ซ้ำที่	การทดลองที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ปริมาณ C ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 5	1	-	-	-	-	51.11	50.43	49.11	48.09
	2	-	-	-	-	51.05	50.54	49.15	48.18
	3	-	-	-	-	51.07	50.37	49.19	48.14
ปริมาณ C ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 6	1	-	-	-	-	51.11	49.79	49.22	47.77
	2	-	-	-	-	51.12	49.76	49.08	47.84
	3	-	-	-	-	51.04	49.69	49.18	47.71
ปริมาณ C ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 7	1	-	-	-	-	-	-	49.08	47.96
	2	-	-	-	-	-	-	48.96	48.00
	3	-	-	-	-	-	-	49.14	48.14
ปริมาณ C ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 8	1	-	-	-	-	-	-	48.88	48.02
	2	-	-	-	-	-	-	48.89	48.09
	3	-	-	-	-	-	-	48.75	48.17
( X ±SE)		52.15±0.04	51.54±0.11	51.19±0.22	50.23±0.03	51.24±0.04	50.73±0.14	49.10±0.10	48.59±0.13

ตารางผนวกที่ ข7 ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (N) ของเศษอาหารก่อนเข้าและหลังออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ร้อยละ)	ซ้ำที่	การทดลองที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ปริมาณ N ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องวันที่ 1	1	1.92	1.95	1.89	2.22	2.42	2.02	2.19	2.45
	2	1.87	1.92	1.96	2.18	2.36	1.96	2.12	2.32
	3	1.84	1.94	2.00	2.30	2.39	2.09	2.23	2.40
ปริมาณ N ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องวันที่ 2	1	-	-	-	-	2.20	1.89	2.28	2.23
	2	-	-	-	-	2.24	1.92	2.21	2.31
	3	-	-	-	-	2.30	1.99	2.23	2.27
ปริมาณ N ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องวันที่ 3	1	-	-	-	-	2.08	1.82	2.24	2.55
	2	-	-	-	-	2.13	1.86	2.30	2.48
	3	-	-	-	-	2.19	1.93	2.19	2.57
ปริมาณ N ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องวันที่ 4	1	-	-	-	-	-	-	2.24	2.45
	2	-	-	-	-	-	-	2.28	2.37
	3	-	-	-	-	-	-	2.22	2.41
( X ±SE)		1.87±0.02	1.94±0.01	1.95±0.03	2.23±0.04	2.26±0.04	1.94±0.03	2.23±0.01	2.40±0.03

ตารางผนวกที่ ข7 (ต่อ)

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ร้อยละ)	ซ้ำที่	การทดลองที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ปริมาณ N ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 1	1	2.00	2.03	2.16	2.59	2.53	2.28	2.60	3.56
	2	2.03	2.08	2.10	2.52	2.59	2.34	2.56	3.62
	3	1.98	2.06	2.11	2.62	2.49	2.41	2.63	3.66
ปริมาณ N ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 2	1	2.10	2.11	2.13	2.65	2.53	2.36	2.59	3.21
	2	2.08	2.13	2.15	2.60	2.58	2.31	2.61	3.25
	3	2.01	2.22	2.20	2.54	2.60	2.43	2.55	3.17
ปริมาณ N ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 3	1	-	-	-	-	2.54	2.15	2.60	2.96
	2	-	-	-	-	2.59	2.20	2.68	2.92
	3	-	-	-	-	2.62	2.16	2.57	3.01
ปริมาณ N ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 4	1	-	-	-	-	2.71	2.17	2.73	3.01
	2	-	-	-	-	2.75	2.28	2.69	3.07
	3	-	-	-	-	2.77	2.32	2.75	3.11

ตารางผนวกที่ ข7 (ต่อ)

ปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (ร้อยละ)	ซ้ำที่	การทดลองที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ปริมาณ N ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 5	1	-	-	-	-	2.72	2.15	2.69	3.08
	2	-	-	-	-	2.77	2.22	2.61	3.13
	3	-	-	-	-	2.68	2.28	2.72	3.21
ปริมาณ N ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 6	1	-	-	-	-	2.71	2.25	2.73	2.98
	2	-	-	-	-	2.75	2.34	2.79	3.13
	3	-	-	-	-	2.82	2.37	2.81	3.05
ปริมาณ N ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 7	1	-	-	-	-	-	-	2.88	3.00
	2	-	-	-	-	-	-	2.80	3.06
	3	-	-	-	-	-	-	2.85	3.11
ปริมาณ N ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 8	1	-	-	-	-	-	-	2.84	3.05
	2	-	-	-	-	-	-	2.79	3.12
	3	-	-	-	-	-	-	2.88	3.19
( X ±SE)		2.03±0.02	2.11±0.03	2.14±0.01	2.59±0.02	2.65±0.02	2.28±0.02	2.71±0.02	3.15±0.04

ตารางผนวกที่ ข8 อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio) ของเศษอาหารก่อนเข้าและหลังออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์

อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)	ซ้ำที่	การทดลองที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
C/N ratio ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องวันที่ 1	1	27.27	26.95	27.52	23.17	21.56	25.42	22.63	20.43
	2	27.93	27.04	26.45	23.66	22.10	26.18	23.34	21.61
	3	28.45	26.92	25.96	22.46	21.84	24.61	22.25	20.90
C/N ratio ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องวันที่ 2	1	-	-	-	-	23.49	26.72	21.69	22.76
	2	-	-	-	-	23.10	26.31	22.35	22.00
	3	-	-	-	-	22.52	25.33	22.14	22.35
C/N ratio ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องวันที่ 3	1	-	-	-	-	25.05	28.03	22.35	20.25
	2	-	-	-	-	24.42	27.41	21.85	20.80
	3	-	-	-	-	23.80	26.38	22.89	20.05
C/N ratio ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่องวันที่ 4	1	-	-	-	-	-	-	22.30	21.11
	2	-	-	-	-	-	-	21.90	21.85
	3	-	-	-	-	-	-	22.44	21.44
( X ±SE)		27.88±0.34	26.97±0.04	26.64±0.46	23.10±0.35	23.10±0.40	26.27±0.35	22.34±0.13	21.30±0.25

ตารางผนวกที่ ข8 (ต่อ)

อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)	ซ้ำที่	การทดลองที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
C/N ratio ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 1	1	26.14	25.51	23.98	19.38	20.41	22.52	18.47	13.97
	2	25.64	24.87	24.57	19.94	19.92	21.93	18.81	13.71
	3	26.31	25.17	24.49	19.20	20.70	21.34	18.32	13.54
C/N ratio ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 2	1	24.87	24.30	23.76	18.91	20.23	21.40	18.88	15.37
	2	25.07	24.10	23.58	19.30	19.82	21.87	18.78	15.17
	3	25.92	23.09	23.06	19.81	19.66	20.75	19.24	15.54
C/N ratio ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 3	1	-	-	-	-	20.23	23.73	19.20	16.54
	2	-	-	-	-	19.85	23.18	18.60	16.74
	3	-	-	-	-	19.59	23.57	19.44	16.26
C/N ratio ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 4	1	-	-	-	-	18.90	23.66	18.14	16.24
	2	-	-	-	-	18.62	22.51	18.43	15.90
	3	-	-	-	-	18.46	22.17	18.04	15.68

ตารางผนวกที่ ข8 (ต่อ)

อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N ratio)	ซ้ำที่	การทดลองที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
C/N ratio ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 5	1	-	-	-	-	18.79	23.46	18.25	15.61
	2	-	-	-	-	18.43	22.77	18.83	15.39
	3	-	-	-	-	19.06	22.09	18.08	15.00
C/N ratio ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 6	1	-	-	-	-	18.86	22.13	18.03	16.03
	2	-	-	-	-	18.59	21.27	17.59	15.28
	3	-	-	-	-	18.10	20.97	17.50	15.64
C/N ratio ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 7	1	-	-	-	-	-	-	17.04	15.99
	2	-	-	-	-	-	-	17.49	15.69
	3	-	-	-	-	-	-	17.24	15.48
C/N ratio ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 8	1	-	-	-	-	-	-	17.21	15.74
	2	-	-	-	-	-	-	17.52	15.41
	3	-	-	-	-	-	-	16.93	15.10
( X ±SE)		25.66±0.24	24.51±0.36	23.91±0.23	19.42±0.16	19.35±0.19	22.30±0.22	18.17±0.15	15.46±0.16

ตารางผนวกที่ ๖9 ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ ( $P_2O_5$ ) ของเศษอาหารก่อนเข้าและหลังออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ร้อยละ)	ซ้ำที่	การทดลองที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ปริมาณ $P_2O_5$ ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่อง วันที่ 1	1	1.03	1.25	1.15	0.69	0.79	0.80	1.97	1.96
	2	1.07	1.20	1.10	0.73	0.70	0.85	2.00	1.92
	3	1.00	1.17	1.17	0.79	0.73	0.87	1.92	1.90
ปริมาณ $P_2O_5$ ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่อง วันที่ 2	1	-	-	-	-	0.82	1.25	2.25	1.75
	2	-	-	-	-	0.86	1.20	2.20	1.70
	3	-	-	-	-	0.79	1.29	2.29	1.78
ปริมาณ $P_2O_5$ ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่อง วันที่ 3	1	-	-	-	-	0.75	1.10	2.00	1.73
	2	-	-	-	-	0.71	1.15	2.05	1.75
	3	-	-	-	-	0.79	1.17	2.11	1.70
ปริมาณ $P_2O_5$ ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่อง วันที่ 4	1	-	-	-	-	-	-	1.85	1.85
	2	-	-	-	-	-	-	1.89	1.80
	3	-	-	-	-	-	-	2.00	1.82
( $\bar{X} \pm SE$ )		1.03±0.02	1.21±0.02	1.14±0.02	0.74±0.03	0.77±0.02	1.08±0.06	2.04±0.04	1.81±0.03

ตารางผนวกที่ ข9 (ต่อ)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ร้อยละ)	ซ้ำที่	การทดลองที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ปริมาณ P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 1	1	0.89	1.00	0.87	0.60	0.68	0.90	1.50	1.57
	2	0.83	0.98	0.73	0.53	0.60	0.87	1.55	1.50
	3	0.80	0.89	0.93	0.56	0.59	0.85	1.47	1.60
ปริมาณ P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 2	1	0.78	0.93	0.76	0.56	0.63	0.97	1.47	1.55
	2	0.80	0.87	0.87	0.50	0.66	0.95	1.50	1.50
	3	0.83	0.83	0.76	0.49	0.68	0.90	1.55	1.53
ปริมาณ P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 3	1	-	-	-	-	0.60	0.95	1.49	1.45
	2	-	-	-	-	0.62	0.90	1.50	1.48
	3	-	-	-	-	0.65	0.89	1.47	1.42
ปริมาณ P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 4	1	-	-	-	-	0.67	0.94	1.45	1.49
	2	-	-	-	-	0.65	0.95	1.50	1.45
	3	-	-	-	-	0.60	0.90	1.47	1.41

ตารางผนวกที่ ข9 (ต่อ)

ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (ร้อยละ)	ซ้ำที่	การทดลองที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ปริมาณ P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 5	1	-	-	-	-	0.62	0.92	1.42	1.40
	2	-	-	-	-	0.67	0.89	1.45	1.38
	3	-	-	-	-	0.64	0.95	1.40	1.35
ปริมาณ P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 6	1	-	-	-	-	0.60	0.89	1.40	1.35
	2	-	-	-	-	0.59	0.83	1.35	1.30
	3	-	-	-	-	0.56	0.83	1.32	1.33
ปริมาณ P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 7	1	-	-	-	-	-	-	1.38	1.42
	2	-	-	-	-	-	-	1.40	1.45
	3	-	-	-	-	-	-	1.35	1.36
ปริมาณ P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 8	1	-	-	-	-	-	-	1.40	1.37
	2	-	-	-	-	-	-	1.35	1.32
	3	-	-	-	-	-	-	1.38	1.30
( X ±SE)		0.82±0.02	0.92±0.03	0.82±0.03	0.54±0.02	0.63±0.01	0.90±0.01	1.44±0.01	1.43±0.02

ตารางผนวกที่ ข10 ปริมาณโพแทสเซียม (K<sub>2</sub>O) ของเศษอาหารก่อนเข้าและหลังออกจากเครื่องกำจัดเศษอาหารและสารอินทรีย์

ปริมาณโพแทสเซียม (ร้อยละ)	ซ้ำที่	การทดลองที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ปริมาณ K <sub>2</sub> O ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่อง วันที่ 1	1	0.69	0.64	0.66	0.65	0.57	0.48	0.47	0.45
	2	0.67	0.60	0.63	0.60	0.57	0.50	0.45	0.43
	3	0.65	0.66	0.60	0.63	0.60	0.46	0.50	0.40
ปริมาณ K <sub>2</sub> O ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่อง วันที่ 2	1	-	-	-	-	0.52	0.51	0.45	0.47
	2	-	-	-	-	0.50	0.53	0.48	0.45
	3	-	-	-	-	0.55	0.47	0.51	0.47
ปริมาณ K <sub>2</sub> O ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่อง วันที่ 3	1	-	-	-	-	0.60	0.45	0.40	0.40
	2	-	-	-	-	0.62	0.40	0.44	0.38
	3	-	-	-	-	0.58	0.43	0.47	0.42
ปริมาณ K <sub>2</sub> O ของเศษอาหารก่อนเข้าเครื่อง วันที่ 4	1	-	-	-	-	-	-	0.43	0.43
	2	-	-	-	-	-	-	0.45	0.45
	3	-	-	-	-	-	-	0.40	0.40
( X ±SE)		0.67±0.01	0.63±0.02	0.63±0.02	0.63±0.01	0.57±0.01	0.47±0.01	0.45±0.01	0.43±0.01

ตารางผนวกที่ ข10 (ต่อ)

ปริมาณโพแทสเซียม (ร้อยละ)	ซ้ำที่	การทดลองที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ปริมาณ K <sub>2</sub> O ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 1	1	0.60	0.57	0.51	0.57	0.51	0.32	0.40	0.42
	2	0.63	0.55	0.53	0.52	0.50	0.30	0.42	0.40
	3	0.58	0.53	0.48	0.50	0.53	0.32	0.45	0.38
ปริมาณ K <sub>2</sub> O ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 2	1	0.54	0.53	0.50	0.48	0.53	0.30	0.40	0.37
	2	0.60	0.55	0.54	0.50	0.50	0.33	0.38	0.40
	3	0.58	0.56	0.51	0.45	0.50	0.35	0.40	0.35
ปริมาณ K <sub>2</sub> O ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 3	1	-	-	-	-	0.48	0.30	0.43	0.32
	2	-	-	-	-	0.45	0.32	0.46	0.30
	3	-	-	-	-	0.50	0.35	0.40	0.34
ปริมาณ K <sub>2</sub> O ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 4	1	-	-	-	-	0.43	0.37	0.40	0.30
	2	-	-	-	-	0.47	0.32	0.42	0.32
	3	-	-	-	-	0.45	0.35	0.39	0.30

ตารางผนวกที่ ข10 (ต่อ)

ปริมาณโพแทสเซียม (ร้อยละ)	ซ้ำที่	การทดลองที่							
		1	2	3	4	5	6	7	8
ปริมาณ K <sub>2</sub> O ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 5	1	-	-	-	-	0.45	0.30	0.38	0.30
	2	-	-	-	-	0.40	0.32	0.40	0.30
	3	-	-	-	-	0.43	0.35	0.36	0.33
ปริมาณ K <sub>2</sub> O ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 6	1	-	-	-	-	0.40	0.37	0.35	0.32
	2	-	-	-	-	0.42	0.37	0.37	0.30
	3	-	-	-	-	0.46	0.39	0.34	0.29
ปริมาณ K <sub>2</sub> O ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 7	1	-	-	-	-	-	-	0.32	0.32
	2	-	-	-	-	-	-	0.35	0.30
	3	-	-	-	-	-	-	0.30	0.29
ปริมาณ K <sub>2</sub> O ของเศษอาหารหลังออกจากเครื่อง วันที่ 8	1	-	-	-	-	-	-	0.32	0.28
	2	-	-	-	-	-	-	0.35	0.30
	3	-	-	-	-	-	-	0.30	0.30
( X ±SE)		0.59±0.01	0.55±0.01	0.51±0.01	0.50±0.02	0.47±0.01	0.34±0.01	0.38±0.01	0.33±0.01

## ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ -นามสกุล	นางสาวเกสินี สุทธิชาติ
วัน เดือน ปี ที่เกิด	16 กรกฎาคม 2525
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วท.บ. (ชีววิทยา) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-