

**การหมักปุ๋ยจากตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเล ทะลายปาล์ม และกากจีแป๋งยาง**  
**Composting from Wastewater Sludge of Seafood Factory, Palm Empty Bunch and**  
**Lutoid of Rubber**

สิรินทรา วันดี\* จันทิมา เศรษฐสวัสดิ์ ปนัดดา เชียรวิชัย พงศ์พัฒน์ เพ็ชรมี และ นริศรา มหาชนินวงศ์  
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี  
สุราษฎร์ธานี 84000

E-mail: sirinthrar.w@hotmail.com

**Sirinthrar Wandee\*, Jantima Satthasawat, Panadda Chianwichai, Pongpat Petmee**  
**and Narissara Mahathaninwong**

Faculty of Science and Industrial Technology, Prince of Songkla University, Suratthani Campus,  
Surat Thani 84000, Thailand  
E-mail: sirinthrar.w@hotmail.com

**บทคัดย่อ**

การหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศจากตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเล ทะลายปาล์ม และกากจีแป๋งยาง โดยมีอัตราส่วน 1:1:1 และ 2:1:1 ของถังหมักที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ระยะเวลา 60 วัน ตัวแปรที่ทำการทดลอง คือ อุณหภูมิ ความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า อินทรีย์วัตถุ อินทรีย์คาร์บอน ไนโตรเจน โพแทสเซียม (total K<sub>2</sub>O) ฟอสฟอรัส (total P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของถังหมักที่ 1 และถังหมักที่ 2 มีค่า 9.25 และ 6.96 ตามลำดับ ส่วนปริมาณร้อยละของธาตุอาหารหลัก N- P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>- K<sub>2</sub>O ของถังหมักที่ 1 และถังหมักที่ 2 มีค่า 2.68-24.90-1.28 และ 3.28-18.11-1.18 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าปุ๋ยหมักที่ได้มีค่าตัวแปรผ่านมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร ยกเว้นความชื้นเพียงอย่างเดียวที่ไม่ผ่านมาตรฐาน และผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุในการปรับปรุงดิน อีกทั้งยังเป็นการนำของเสียจากอุตสาหกรรมกลับมาใช้ประโยชน์อีกด้วย

**คำสำคัญ:** การหมักปุ๋ย; ของเสียอุตสาหกรรม; ตะกอนน้ำเสีย; ทะลายปาล์ม; กากจีแป๋งยาง

**Abstract**

An aerobic composting technique was used for a mixture of wastewater sludge from a seafood industry,

empty-bunch palms, and sludge concentrate latex, which had a 1:1:1 ratio for a reactor 1 and a 2:1:1 ratio for a reactor 2. After 60 days of composting, temperature, moisture content, pH, electrical conductivity, organic matter, organic carbon, nitrogen, phosphorous (total  $P_2O_5$ ), potassium (total  $K_2O$ ) and C/N ratio of the two reactors were determined. The results showed that the C/N ratios of the reactor 1 and 2 are 9.25 and 6.96, respectively. The percentage of N-  $P_2O_5$ -  $K_2O$  were 2.68-24.90-1.28 and 3.28-18.11-1.18 for reactor 1 and 2, respectively. In addition, all of the parameters, except for moisture content, satisfied the standard of Department of Agriculture. Thus, the industrial waste products from this work can be further used as a soil-improving material.

**Keywords:** Composting; Industrial wastes; Wastewater sludge; Palm empty bunch; Lutoid of rubber

## 1. บทนำ

อุตสาหกรรมอาหารทะเล อุตสาหกรรมยางพารา และอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน เป็นอุตสาหกรรมหลักของพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทย แต่อย่างไรก็ตามอุตสาหกรรมเหล่านี้ก็ก่อให้เกิดของเสียจำนวนมากเช่นกัน การกำจัดของเสียจากภาคอุตสาหกรรมในปัจจุบันมีการกำจัดอยู่หลายวิธี ได้แก่ การฝังกลบ การเผาทำลาย การทำปุ๋ยหมัก รวมทั้งการนำไปใช้เป็นพลังงานชีวมวลเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า หรือแม้แต่การนำกลับมาใช้ประโยชน์ โดยก่อนที่มีการกำจัดของเสียนั้น ต้องทำการคัดแยกประเภทก่อน เนื่องจากการกำจัดของเสียในแต่ละประเภทให้เหมาะสมนั้นมีวิธีการกำจัดที่แตกต่างกันออกไป เพื่อลดการเกิดมลพิษและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในขั้นที่ 2 ที่เกิดขึ้นตามมาหลังการกำจัด เช่น การกำจัดของเสียโดยวิธีการฝังกลบซึ่งหากของเสียมีปริมาณมากเกินไป และระบบการจัดการของหลุมฝังกลบไม่เหมาะสมอาจมีการแพร่กระจายของของเสียลงสู่แหล่งน้ำใต้ดิน หรือไม่มีการนำก๊าซมีเทนซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกนำไปใช้ประโยชน์ ก็จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงต้องมีการบริหารจัดการที่ดี มิฉะนั้นการกำจัดอาจเป็นการเพิ่มมลพิษให้กับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น

ช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาความสนใจในการทำปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้น เนื่องจากความต้องการของสังคมที่ได้ใส่ใจสุขภาพ และสิ่งแวดล้อมมากขึ้น รวมทั้งการเกิดขึ้นของฟาร์มปลอดสารพิษ เทคโนโลยีการหมักปุ๋ยถือเป็นวิธีการนำธาตุอาหารกลับคืนจากของเสียอินทรีย์และเศษเหลือจากการเกษตรที่มีการยอมรับมากที่สุดวิธีการหนึ่ง อีกทั้งยังเป็นเทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม [1] การหมักปุ๋ยเป็นการดึงเอาธาตุอาหารที่มีอยู่ในของเสียอินทรีย์กลับมาใช้ประโยชน์ใหม่กับพืช ซึ่งมี 2 แบบ คือ การหมักแบบใช้อากาศและไม่ใช้อากาศ โดยส่วนใหญ่เลือกใช้การหมักแบบใช้อากาศ เนื่องจากเป็นระบบที่ไม่ก่อให้เกิดกลิ่น และผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ค่อนข้างเสถียร ในการหมักปุ๋ยแบบใช้อากาศต้องมีการพลิกกลับกองวัสดุหมักเป็นระยะ ๆ เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้แก่จุลินทรีย์ อีกทั้งทำให้วัสดุหมักผสมกันเป็นเนื้อเดียวกัน กิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์มีการปลดปล่อยความร้อนและไอน้ำออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ ส่วนระดับของความชื้นขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุหมัก ซึ่งโดยทั่วไปความชื้นที่เหมาะสมอยู่ในช่วงร้อยละ 50-60 [2] ส่วนอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากกระบวนการย่อยสลาย หากอยู่ในช่วง 55-60 องศาเซลเซียส จะช่วยฆ่า

เชื้อจุลินทรีย์ก่อโรคในกองปุ๋ยหมักได้ [3] ซึ่งส่วนใหญ่จะพบในระยะแรกของการหมัก เมื่อวัสดุเกิดการย่อยสลายเป็นปุ๋ยหมักอุณหภูมิจะลดลงใกล้เคียงอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ส่วนค่าความเป็นกรด-ด่าง เป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่มีความสำคัญในกระบวนการหมักปุ๋ย โดยค่าเหมาะสมอยู่ที่ 7.0-8.0 [4] ในช่วงแรกของกระบวนการหมักจะมีค่าลดลงเป็นกรดเล็กน้อย เนื่องจากการย่อยสลายมีการปลดปล่อยกรดอินทรีย์ออกมา หลังจากนั้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากการปลดปล่อยแอมโมเนียในการย่อยสลายสารจำพวกโปรตีน

ในงานวิจัยนี้เป็นการหมักปุ๋ยในสภาวะใช้อากาศ โดยการนำของเสียจากอุตสาหกรรมที่สำคัญในภาคได้มาหมักร่วมกัน คือ ตะกอนน้ำเสียที่ผ่านการรีดน้ำจากระบบตะกอนเร่ง (Activated Sludge) จากโรงงานอาหารทะเล ทะลายปาล์มจากอุตสาหกรรมปาล์มน้ำมัน และกากจี้แ่งจากอุตสาหกรรมยางพารา ปัจจุบันในการจัดการของเสียเหล่านี้ยังเป็นปัญหาสำหรับอุตสาหกรรม และมีหลายงานวิจัยที่นำของเสียเหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่าง ๆ ของเสียจากแต่ละประเภทของอุตสาหกรรมที่กล่าวมาข้างต้นเป็นสารอินทรีย์ที่สามารถย่อยสลายได้ มีสมบัติเด่นของธาตุอาหารที่สะสมอยู่ในของเสียแตกต่างกัน โดยตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเลเป็นแหล่งของไนโตรเจน ทะลายปาล์มเป็นแหล่งของโพแทสเซียม และกากจี้แ่งยางจะมีฟอสฟอรัสในปริมาณที่สูง การนำของเสียจากอุตสาหกรรมทั้ง 3 ชนิด มาหมักปุ๋ยร่วมกัน ทำให้ได้ปุ๋ยหมักที่มีธาตุอาหารหลายชนิดมากกว่าการหมักจากของเสียเพียงชนิดเดียว ในการหมักเป็นการหมักภายในถัง และอาศัยกระบวนการทางชีววิทยาของจุลินทรีย์แบบใช้อากาศในการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในของเสีย การหมักปุ๋ยเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถนำของเสียอินทรีย์จากอุตสาหกรรมมาใช้ให้เกิดประโยชน์ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับของเสีย และยังเป็นการช่วยลดปริมาณของเสียจากภาคอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นตัวการสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อนำของเสียที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมกลับมาใช้ประโยชน์ และลดปริมาณของเสียที่ต้องนำไปกำจัด

## 2. วิธีการวิจัย

### 2.1 วัสดุหมัก

ของเสียจากอุตสาหกรรมที่นำมาใช้ในการหมักปุ๋ยครั้งนี้ คือ ตะกอนน้ำเสียจากระบบบำบัดน้ำเสียทางชีววิทยาแบบตะกอนเร่ง ซึ่งเป็นระบบที่จุลินทรีย์ในกลุ่มไลโซออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมอาหารทะเล โดยตะกอนน้ำเสียที่นำมาใช้ได้ผ่านการรีดน้ำออกจากตะกอน ทะลายปาล์มเปล่าจากอุตสาหกรรมน้ำมันปาล์ม และกากจี้แ่งจากอุตสาหกรรมน้ำยางข้น

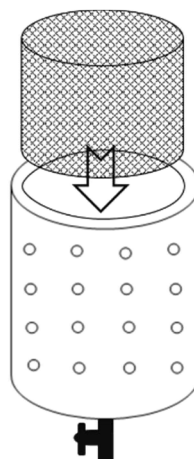
### 2.2 ชุดการทดลอง

ระบบที่ใช้ในการหมักปุ๋ยในการทดลองนี้ คือ ระบบการหมักแบบใช้อากาศ ถังหมักที่ใช้เป็นถังหมักขนาด 120 ลิตร จำนวน 2 ถัง รอบถังหมักมีการเจาะรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร เพื่อเป็นช่องระบายอากาศ ด้านในบุด้วยตาข่ายสีกาเพื่อป้องกันไม่ให้วัสดุหมักหล่นออกมาด้านนอก สำหรับด้านล่างของถังมีวาล์วเปิด-ปิด หากการหมักมีน้ำชะเกิดขึ้น และได้วางตัวถังไว้สูงจากพื้น (รูปที่ 1) วัสดุหมักที่ใช้ในการทดลอง คือ

ตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเล ทะลายปาล์ม และกากซีเมนต์ข้าง โดยมีการทดลอง 2 ถัง โดยมีอัตราส่วนแตกต่างกัน 2 อัตราส่วน คือ 1:1:1 และ 2:1:1 ตามลำดับ (1 ส่วนเท่ากับ 15 กิโลกรัม) ขั้นตอนการหมักทำโดยนำวัสดุหมักทั้ง 3 ชนิดมาคลุกเคล้ารวมกันตามอัตราส่วนที่กำหนด และมีการเติมน้ำในวัสดุหมักผสมอัตราส่วนละ 10 ลิตร เพื่อปรับค่าความชื้นเริ่มต้นของวัสดุหมักให้เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ ทำการผสมให้เข้ากัน จากนั้นนำวัสดุหมักบรรจุใส่ถังหมักเพื่อทำการทดลอง สำหรับการพลิกกลับกองทำการกลับกองเมื่ออุณหภูมิเริ่มคงที่ โดยนำวัสดุหมักเทออกมากลับกองภายนอกถัง เพื่อให้วัสดุหมักได้สัมผัสกับอากาศได้อย่างทั่วถึง และช่วยให้วัสดุหมักผสมกันได้ดียิ่งขึ้น

### 2.3 ตัวแปร

ระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก 60 วัน สำหรับอุณหภูมิมีการวัดในถังหมักทุกวัน โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์ ซึ่งทำการวัดที่กึ่งกลางของถังหมัก พร้อมทั้งวัดค่าอุณหภูมิบรรยากาศ นอกจากนี้มีการเก็บตัวอย่างวัสดุหมัก 3 วันต่อครั้ง โดยเก็บมาจากบริเวณบน กลาง และล่างของถังหมัก และนำมาผสมกันเป็น 1 ตัวอย่าง เพื่อให้เป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้ ความชื้น ค่าความเป็นกรด-ด่าง และค่าการนำไฟฟ้า ใช้ตัวอย่างเปียก ส่วนตัวแปรอินทรีย์คาร์บอนและไนโตรเจนใช้ตัวอย่างแห้งในการวิเคราะห์ สำหรับอินทรีย์วัตถุและอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนได้จากการคำนวณ ส่วนธาตุอาหารฟอสฟอรัสวิเคราะห์ในรูป total  $P_2O_5$  และโพแทสเซียมในรูป total  $K_2O$  ซึ่งทำการวิเคราะห์เฉพาะในวันที่ วันที่ 0 และ วันที่ 60 สำหรับวิธีการวิเคราะห์ตัวแปรทำการวิเคราะห์ตามคู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์ [5] โดยทำการทดลองที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี ยกเว้นฟอสฟอรัสและโพแทสเซียม ส่งวิเคราะห์ที่หน่วยเครื่องมือกลาง คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่



รูปที่ 1 ถังหมักแบบใช้อากาศ

### 3. ผลและอภิปรายผลการวิจัย

#### 3.1 คุณสมบัติของวัสดุหมัก

คุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุหมักแต่ละชนิด พบว่า ตะกอนน้ำเสียเป็นแหล่งไนโตรเจน ส่วนทะเลสาบปาล์มเป็นแหล่งโพแทสเซียม และกากจี้แป้งยางเป็นแหล่งฟอสฟอรัส (ตารางที่ 1) ซึ่งเมื่อนำของเสียทั้ง 3 ชนิดมาหมักปุ๋ยร่วมกัน ทำให้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายมีธาตุอาหารหลักสำหรับพืชอย่างครบถ้วน

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของวัสดุหมัก

| ตัวแปร                                    | วัสดุหมัก    |              |               |
|-------------------------------------------|--------------|--------------|---------------|
|                                           | ตะกอนน้ำเสีย | ทะเลสาบปาล์ม | กากจี้แป้งยาง |
| ความเป็นกรด-ด่าง                          | 6.96         | 8.20         | 8.39          |
| การนำไฟฟ้า (dS/m)                         | 0.34         | 1.28         | 0.98          |
| ความชื้น (ร้อยละ)                         | 51.14        | 42.87        | 92.47         |
| อินทรีย์คาร์บอน (ร้อยละ)                  | 23.37        | 47.93        | 17.90         |
| อินทรีย์วัตถุ (ร้อยละ)                    | 40.29        | 82.64        | 30.86         |
| ไนโตรเจน (ร้อยละ)                         | 6.87         | 0.37         | 2.42          |
| ฟอสฟอรัสในรูป total $P_2O_5$ (ร้อยละ w/w) | 3.51         | 0.26         | 20.49         |
| โพแทสเซียมในรูป total $K_2O$ (ร้อยละ w/w) | 0.21         | 2.92         | 0.77          |
| อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน               | 3.40         | 129.54       | 7.40          |

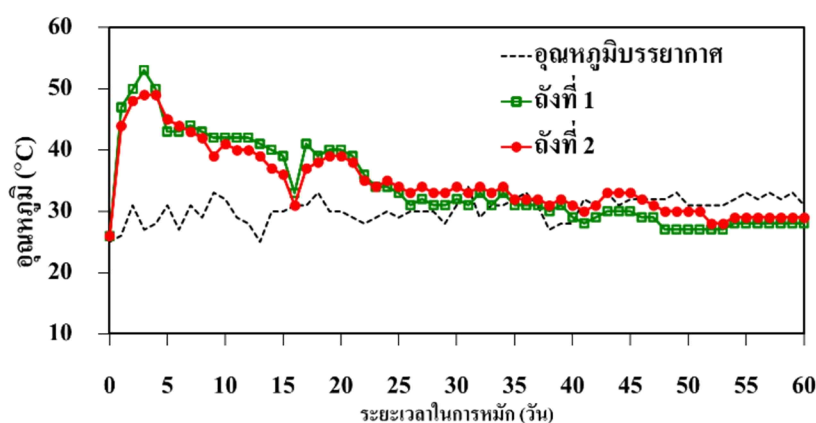
#### 3.2 ลักษณะทางกายภาพและเคมีระหว่างกระบวนการหมัก

จากการศึกษาการหมักปุ๋ยจากตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเล ทะเลสาบปาล์ม และกากจี้แป้งยาง โดยมีอัตราส่วนในถังหมักที่ 1 และ 2 คือ 1:1:1 และ 2:1:1 ตามลำดับ โดยใช้การหมักแบบใช้อากาศในถังหมัก ซึ่งทำการทดลอง 2 ถึง ใช้ระยะเวลาในการหมักทั้งหมด 60 วัน ซึ่งมีผลการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของปุ๋ยหมัก ดังต่อไปนี้

##### 3.2.1 อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นตัวแปรหลักที่สำคัญในการติดตามกระบวนการหมักปุ๋ย [6] โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในกระบวนการหมักปุ๋ยเกิดจากความร้อนในกระบวนการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุของจุลินทรีย์ในสภาวะใช้ออกซิเจน ซึ่งอุณหภูมิจะเป็นตัวกำหนดชนิดของจุลินทรีย์และอัตราการย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้น ในการทดลองทั้ง 2 ถึง มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิไปในทิศทางเดียวกันตลอดระยะเวลาในการหมักปุ๋ย พบว่า อุณหภูมิภายในถังหมักระยะเริ่มต้นเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ และสูงสุดเมื่อระยะเวลาผ่านไป 3 วัน คือ อุณหภูมิสูงสุดในถังหมักที่ 1 อยู่ที่ 53 องศาเซลเซียส และถังหมักที่ 2 อุณหภูมิสูงสุดอยู่ที่ 49 องศาเซลเซียส การที่อุณหภูมิของปุ๋ยหมักสูงถึงช่วงเทอร์โมฟิลิกนั้นสามารถทำลายจุลินทรีย์ก่อโรคได้ จากนั้นอุณหภูมิลดลง ได้ทำการ

กลับกอง เพื่อให้อากาศหมุนเวียนภายในปฏุมัก เป็นการเพิ่มออกซิเจนให้กับจุลินทรีย์ และเป็นการกลับวัสดุหมักที่อยู่ด้านในออกด้านนอก ซึ่งช่วยให้การย่อยสลายเกิดได้เร็วขึ้น ระยะเวลาในการกลับกอง สังเกตได้จากเมื่ออุณหภูมิในกองปฏุมักขึ้นสูงสุดและเริ่มลดลง ควรทำการกลับกอง และถ้าทำการกลับกองแล้วอุณหภูมิไม่เพิ่มสูงขึ้น แสดงว่า ปฏุมักมีอัตราการย่อยสลายลดลงและใกล้จะเสร็จสมบูรณ์ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักอุณหภูมิของถังที่ 1 อยู่ที่ 28 องศาเซลเซียส และถังที่ 2 อยู่ที่ 29 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิบรรยากาศ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิระหว่างกระบวนการหมัก

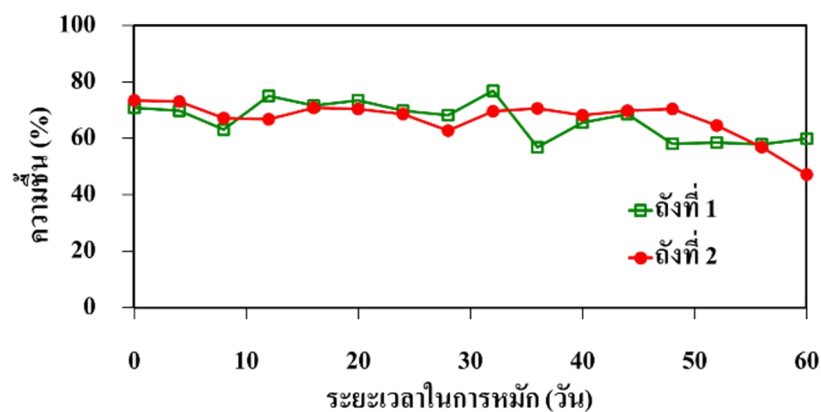
### 3.2.2 ความชื้น

ปริมาณความชื้นเป็นตัวแปรสำคัญในกระบวนการทำปฏุมัก เนื่องจากมีผลต่ออัตราการดูดซึมออกซิเจนช่องว่างสำหรับอากาศ กิจกรรมของจุลินทรีย์ และรวมถึงอุณหภูมิภายในถังหมักด้วย [7] กิจกรรมการย่อยสลายของจุลินทรีย์ต้องการความชื้นเพื่อใช้ในการสร้างเซลล์ใหม่หรือเพิ่มจำนวนเซลล์ ในกิจกรรมการย่อยสลายมีความร้อนเกิดขึ้นส่งผลให้สูญเสียความชื้น ดังนั้นจึงต้องมีการควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมประมาณร้อยละ 50-70 เป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับการย่อยสลายของจุลินทรีย์ โดยการหมักปฏุมักในครั้งนี้มีการควบคุมความชื้นให้อยู่ในช่วงร้อยละ 50-70 ในวันแรกของการหมักได้เพิ่มความชื้นโดยการเติมน้ำทำให้ในช่วงแรกความชื้นในถังที่ 1 ร้อยละ 70.7 และ ถังที่ 2 ร้อยละ 73.5 ซึ่งเกินค่าที่เหมาะสมเล็กน้อย หลังจากนั้นความชื้นมีค่าลดลง ตลอดระยะเวลาการหมักปฏุมักมีความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณร้อยละ 60-70 และเมื่อวันที่ 60 ความชื้นในถังที่ 1 และ 2 มีค่าร้อยละ 59.92 และ 47.25 (รูปที่ 3) ซึ่งไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ว่าความชื้นต้องไม่เกินร้อยละ 30 แต่เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักได้นำปฏุมักที่ได้ไปบ่มไล่ความชื้น เพื่อให้ความชื้นลดลง

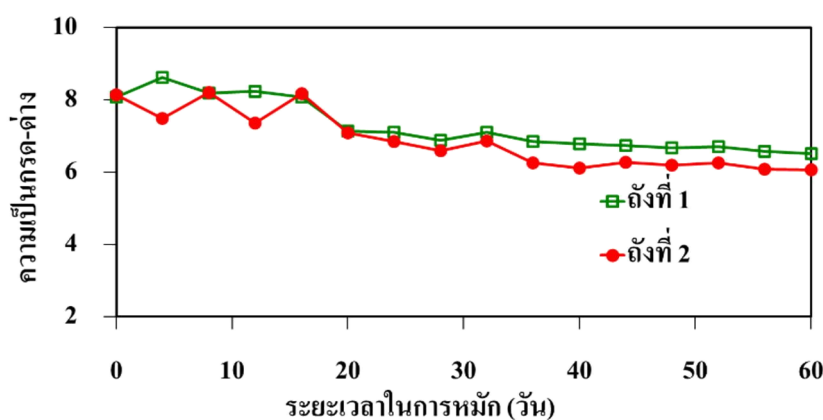
### 3.2.3 ค่าความเป็นกรด-ด่าง

ค่าความเป็นกรด-ด่าง มีความสำคัญมากในกระบวนการหมักปฏุมักซึ่งจะส่งผลต่อกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่ช่วยในการย่อย [8] เนื่องจากกระบวนการหมักเป็นกระบวนการที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และแอมโมเนียเกิดขึ้น จึงสามารถปรับค่าความเป็น-กรดในกระบวนการหมักได้ [9] จากผลการทดลองในช่วงเริ่มต้นการหมักระดับค่าความเป็นกรด-ด่าง ของถังที่ 1 และ ถังที่ 2 มีค่า 8.1 ซึ่งอาจเป็นผลจากทะเลาะปาล์ม และกากชีปะียงที่นำมา

หมัก หลังจากการหมักผ่านไปถึงวันที่ 4 ระดับความเป็นกรด-ด่าง ของถังที่ 1 มีค่าเพิ่มสูงขึ้นเป็น 8.6 ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ในโตรเจนในสภาวะมีอากาศ ถูกแปรสภาพเป็นแอมโมเนีย หรือแอมโมเนียอินทรีย์ โดยอาศัยกระบวนการแอมโมนิฟิเคชัน (Ammonification) และกระบวนการแปรสภาพเป็นสารอินทรีย์ในโตรเจนเป็นอนินทรีย์ในโตรเจน (Mineralization) ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่าง ภายในปุ๋ยหมักเพิ่มขึ้น ส่วนถังที่ 2 ระดับความเป็นกรด-ด่างลดลงจาก 8.1 เหลือ 7.5 อาจเนื่องจากจุลินทรีย์ Nitrifying Bacteria เปลี่ยนแอมโมเนียไปเป็นไนไตรท์ และไนเตรท ตามลำดับ โดยอาศัยกระบวนการไนตริฟิเคชัน (Nitrification) และมีการปลดปล่อยไฮโดรเจนออกไซด์ออกมาซึ่งมีฤทธิ์เป็นกรด นอกจากนี้ยังมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เกิดจากการย่อยสลายวัสดุหมัก ด้วยเหตุนี้จึงมีผลทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างมีระดับลดลง [10] หลังจากวันที่ 8 ของการหมักระดับความเป็นกรด-ด่าง เริ่มลดลงสู่สถานะเป็นกลาง และเริ่มคงที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับความเป็นกรด-ด่างเพียงเล็กน้อย วันที่ 60 ค่าความเป็นกรด-ด่างของถังหมักที่ 1 อยู่ที่ 6.9 และถังหมักที่ 2 มีค่า 6.3 เนื่องจากกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ช้าลง เพราะสารอินทรีย์ซึ่งเป็นแหล่งอาหารของจุลินทรีย์เริ่มลดลง ปฏิกริยาต่าง ๆ ในปุ๋ยหมักเริ่มเข้าสู่ความเสถียร (รูปที่ 4)



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นระหว่างกระบวนการหมัก



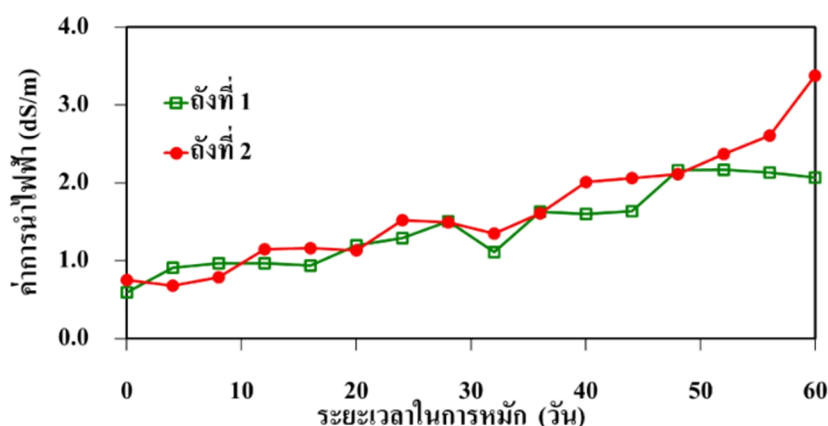
รูปที่ 4 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง ระหว่างกระบวนการหมัก

### 3.2.4 ค่าการนำไฟฟ้า

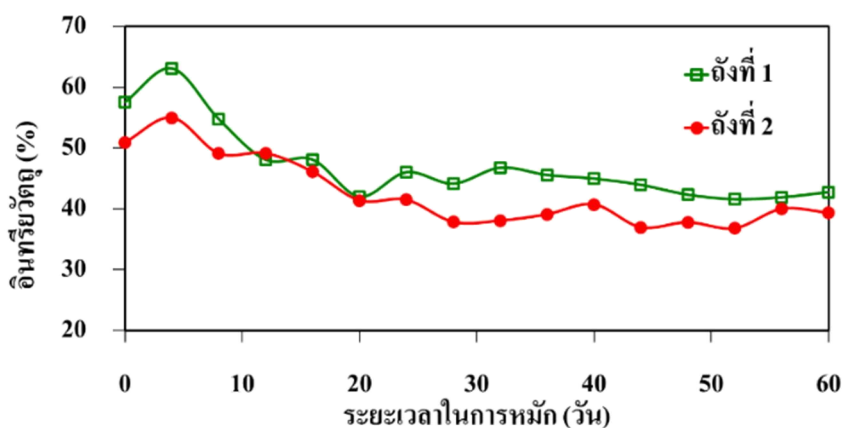
ค่าการนำไฟฟ้าเป็นค่าที่บ่งบอกถึงระดับความเค็มในปุ๋ยหมัก ถ้าค่าการนำไฟฟ้าสูงจะปล่อยเกลือที่ละลายน้ำได้มากเกินไปและก่อให้เกิดผลเสียต่อการเจริญเติบโต หรือยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช [11] นอกจากนี้ความเค็มยังส่งผลให้เกิดความไม่สมดุลของธาตุอาหารอื่น ๆ อีกด้วย [12] จากการทดลองในระยะเริ่มต้นการหมักของถังหมักที่ 1 ค่าการนำไฟฟ้ามีค่า 0.59 dS/m และถังหมักที่ 2 มีค่า 0.75 dS/m ซึ่งทั้ง 2 ถัง มีค่าการนำไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกัน เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักในวันที่ 60 พบว่า การนำไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นทั้ง 2 ถังหมัก โดยมีค่า 2.07 และ 3.38 dS/m ตามลำดับ (รูปที่ 5) ซึ่งมีค่าผ่านมาตรฐานของกรมวิชาการเกษตรที่กำหนดค่าการนำไฟฟ้าไม่เกิน 10 dS/m

### 3.2.5 ปริมาณอินทรีย์วัตถุ

จากการทดลองพบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุของปุ๋ยหมักทั้ง 2 ถัง คือ ถังที่ 1 และถังที่ 2 ช่วงเริ่มต้นการหมักมีปริมาณอินทรีย์วัตถุ เท่ากับ ร้อยละ 57.53 และร้อยละ 50.91 ตามลำดับ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักมีปริมาณอินทรีย์วัตถุเหลืออยู่ เท่ากับ ร้อยละ 42.76 และร้อยละ 39.36 ตามลำดับ ดังรูปที่ 6 ปริมาณอินทรีย์วัตถุที่ลดลงเนื่องมาจากอินทรีย์สารถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์



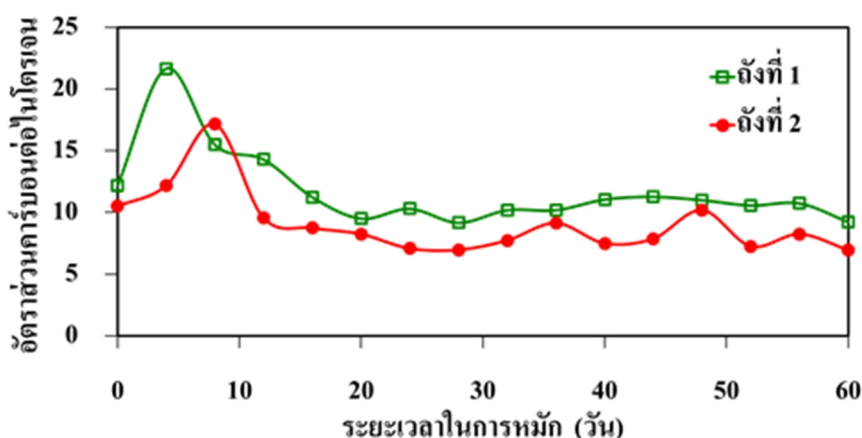
รูปที่ 5 การเปลี่ยนแปลงค่าการนำไฟฟ้าระหว่างกระบวนการหมัก



รูปที่ 6 การเปลี่ยนแปลงอินทรีย์วัตถุระหว่างกระบวนการหมัก

### 3.2.6 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน

อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างหนึ่งในการหมักปุ๋ย ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความยากง่ายในการย่อยสลาย และใช้เป็นตัวกำหนดการย่อยสลายที่สมบูรณ์ กล่าวคือ ถ้าวัสดุที่ใช้ในการย่อยสลายมีค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนสูงเกินไป อัตราการย่อยสลายจะเกิดขึ้นช้า ต้องใช้ระยะเวลาในการหมักนาน ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีความสำคัญมากที่สุด เนื่องจากคาร์บอนจะถูกใช้เป็นพลังงานสำหรับจุลินทรีย์ ในขณะที่ไนโตรเจนใช้ในการสร้างเซลล์ [13] ส่วนถ้าค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของวัสดุหมักต่ำเกินไป จะเกิดกลิ่นที่ไม่พึงประสงค์ เนื่องจากไนโตรเจนที่มากเกินไปจะเปลี่ยนเป็นแอมโมเนีย ปกติอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนที่เหมาะสมสำหรับการหมักปุ๋ยควรอยู่ในช่วง 25-50 [14] จากการทดลอง พบว่า อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนในวันที่ 0 และ 60 ของถังที่ 1 มีค่า 12.18 และ 9.25 ตามลำดับ ถังหมักที่ 2 มีค่า 10.51 และ 6.96 ตามลำดับ ดังรูปที่ 7 พบว่า ทั้ง 2 ถัง ค่าอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนมีค่าลดลง เนื่องจากจุลินทรีย์ใช้คาร์บอนเป็นแหล่งพลังงาน นอกจากนี้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนยังสามารถบ่งบอกถึงการหมักปุ๋ยที่ได้มาตรฐานคือ เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมัก ปุ๋ยหมักที่ดีต้องมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่าหรือเท่ากับ 20

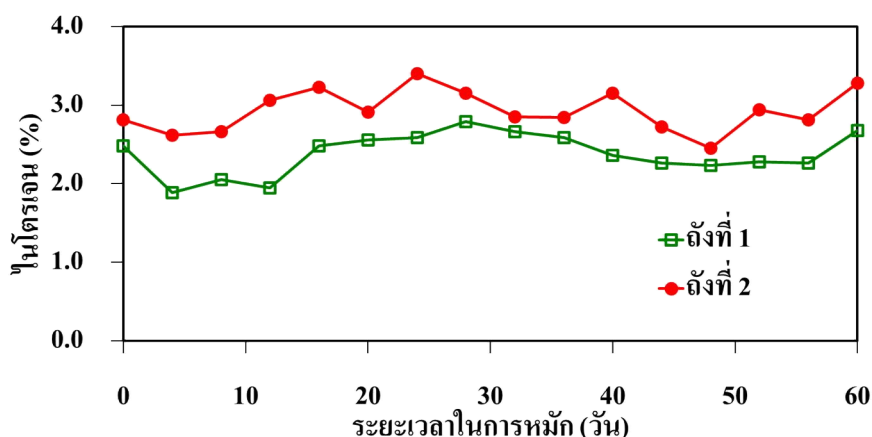


รูปที่ 7 การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนระหว่างกระบวนการหมัก

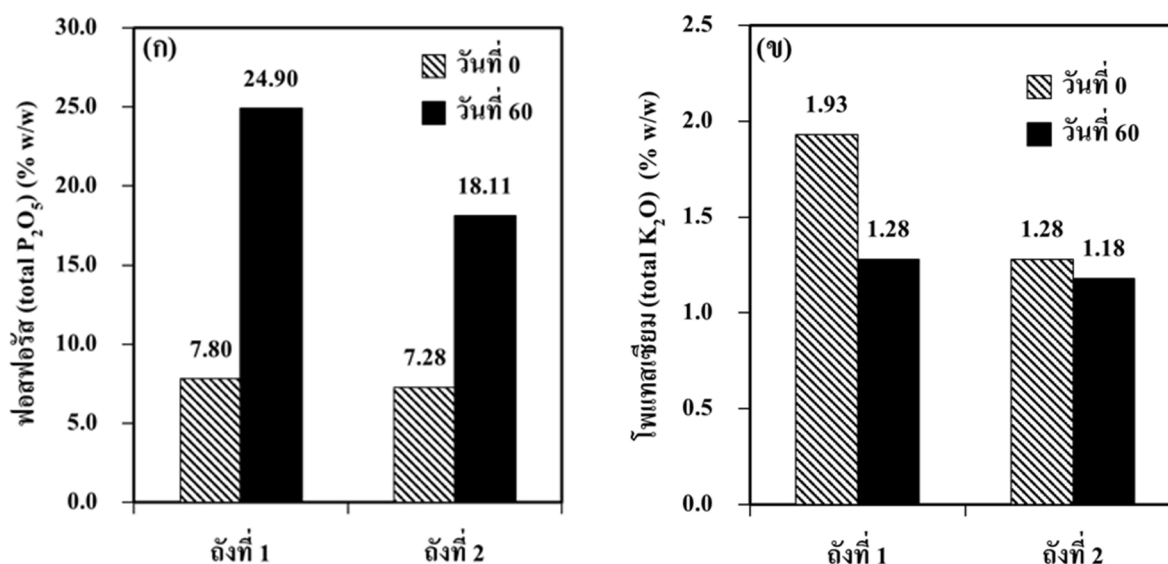
### 3.2.7 ไนโตรเจน

ไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช นอกจากนี้ยังเป็นธาตุอาหารที่จุลินทรีย์ต้องการเพื่อใช้ในการเจริญเติบโต เนื่องจากเป็นส่วนประกอบของเซลล์ [15] จากการทดลองพบว่า ในช่วงเริ่มต้นของการหมักมีปริมาณไนโตรเจน เท่ากับ ร้อยละ 2.48 และร้อยละ 2.81 ในถังที่ 1 และถังที่ 2 ตามลำดับ (รูปที่ 8) จากค่าที่ได้พบว่า ถังที่ 2 มีปริมาณไนโตรเจนเริ่มต้นมากกว่าถังที่ 1 เนื่องจากถังที่ 2 มีปริมาณตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเลเป็น 2 เท่าของถังที่ 1 จากการศึกษาพบว่า ตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเลมีธาตุไนโตรเจนอยู่ในปริมาณสูง โดยตลอดระยะเวลาในการหมักจนถึงการสิ้นสุดกระบวนการหมักในวันที่ 60 ถังหมักทั้ง 2 ถัง มีปริมาณไนโตรเจนอยู่ในช่วง ร้อยละ 1.89-3.28 พบว่า ทั้ง 2 ถัง มีค่าปริมาณไนโตรเจนที่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานปุ๋ยหมักที่ประกาศโดยกรมวิชาการเกษตร คือ ต้องมีปริมาณไนโตรเจนไม่น้อยกว่าร้อยละ 1 ของน้ำหนักแห้ง

ธาตุอาหารหลักที่มีความสำคัญต่อการเจริญเติบโตของพืชนอกจากไนโตรเจน ยังมีฟอสฟอรัส และ โพแทสเซียม จากการศึกษาธาตุอาหารในวัสดุหมัก กากจี้แป้งเป็นวัสดุที่มีปริมาณฟอสฟอรัสสูงสุด และทะลาย ปาล์มมีโพแทสเซียมสูงสุด จากการทดลอง พบว่า ร้อยละของปริมาณฟอสฟอรัสเริ่มต้นในการทดลอง เท่ากับ 7.80 และ 7.28 ในถังที่ 1 และ 2 ตามลำดับ เมื่อระยะเวลาผ่านไปถึงวันสิ้นสุดของการหมักปุ๋ย ร้อยละของปริมาณ ฟอสฟอรัสทั้งหมดมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 24.9 และ 18.11 ในถังที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ส่วนปริมาณโพแทสเซียมของถังที่ 1 มีค่ามากกว่าถังที่ 2 คือ ร้อยละ 1.28 และร้อยละ 1.18 ตามลำดับ (รูปที่ 9)



รูปที่ 8 การเปลี่ยนแปลงไนโตรเจนระหว่างกระบวนการหมัก



รูปที่ 9 การเปลี่ยนแปลงของ (ก) ฟอสฟอรัส และ (ข) โพแทสเซียม ในวันที่ 0 (เริ่มต้น) และ 60

### 3.3 การเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์สุดท้ายกับมาตรฐานปุ๋ยหมักอินทรีย์ของกรมวิชาการเกษตร

จากการหมักปุ๋ยรวมของตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเล ทะลายปาล์ม และกากจี้แป้ง โดยถังที่ 1 และ ถังที่ 2 มีอัตราส่วน 1:1:1 และ 2:1:1 ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้เมื่อนำมาศึกษาคุณลักษณะทางกายภาพและ

เคมีเปรียบเทียบกับมาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมวิชาการเกษตร พบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าการนำไฟฟ้า และธาตุอาหารหลัก (N, P และ K) ที่ได้จากการทดลองผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตรที่ได้กำหนดไว้ ยกเว้นความชื้นที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้ง 2 ถัง เนื่องจากมีค่ามากกว่าร้อยละ 30 ดังตารางที่ 2 แต่อย่างไรก็ตามหลังจากสิ้นสุดกระบวนการหมักสามารถที่จะบ่มผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้เพื่อลดปริมาณความชื้นให้เป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบคุณลักษณะของปุ๋ยหมักในวันที่ 60 กับมาตรฐานปุ๋ยหมักของกรมวิชาการเกษตร 2557

| คุณลักษณะ                      | มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์                  | ผลการทดลอง |          |
|--------------------------------|--------------------------------------|------------|----------|
|                                |                                      | ถังที่ 1   | ถังที่ 2 |
| 1. ปริมาณอินทรีย์วัตถุ         | ไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 โดยน้ำหนัก      | 42.76      | 39.36    |
| 2. อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน | ไม่เกิน 20:1                         | 9.25       | 6.96     |
| 3. ค่าความเป็นกรด-ด่าง         | 5.5-8.5                              | 6.51       | 6.07     |
| 4. ความชื้น                    | ไม่เกินร้อยละ 30 โดยน้ำหนัก          | 59.92      | 47.25    |
| 5. ค่าการนำไฟฟ้า               | ไม่เกิน 10 dS/m                      | 2.07       | 3.38     |
| 6. ไนโตรเจน                    | ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.0 โดยน้ำหนักแห้ง | 2.68       | 3.28     |
| 7. ฟอสฟอรัส (total $P_2O_5$ )  | ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักแห้ง | 24.90      | 18.11    |
| 8. โพแทสเซียม (total $K_2O$ )  | ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนักแห้ง | 1.18       | 1.28     |

#### 4. สรุป

จากการวิเคราะห์ตัวแปรเบื้องต้นของตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเล ทะลายปาล์ม และกากขี้เป้ง พบว่า คุณสมบัติของของเสียโรงงานทั้ง 3 ชนิด มีความเหมาะสมที่นำมาหมักปุ๋ยร่วมกัน เนื่องจากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเล และกากขี้เป้ง มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ จึงได้นำทะลายปาล์มมาหมักร่วมเพื่อเพิ่มอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน อีกทั้งของเสียทั้ง 3 ชนิด มีธาตุอาหารที่สำคัญแตกต่างกัน ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีปริมาณไนโตรเจน (total N) ฟอสฟอรัส (total  $P_2O_5$ ) และโพแทสเซียม (total  $K_2O$ ) ครบถ้วนเหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของพืช จากอัตราส่วนของวัสดุหมักร่วม คือ ตะกอนน้ำเสียโรงงานอาหารทะเล : ทะลายปาล์ม : กากขี้เป้งยาง ที่แตกต่างกัน โดยในถังหมักที่ 1 มีอัตราส่วน 1:1:1 และถังหมักที่ 2 มีอัตราส่วน 2:1:1 พบว่า ถังที่ 2 ซึ่งมีปริมาณตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเลมากกว่า จึงทำให้การย่อยสลายของถังที่ 2 ดีกว่าถังที่ 1 เนื่องจากตะกอนน้ำเสียจากโรงงานอาหารทะเลมีปริมาณจุลินทรีย์ที่ช่วยในการย่อยสลายสูง ทำให้อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนของถังที่ 2 ลดลงมากกว่าถังที่ 1 และตัวแปรส่วนใหญ่ผ่านมาตรฐานการเป็นปุ๋ยหมักที่ดี แต่อย่างไรก็ตามลักษณะทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการหมักปุ๋ยทั้งในถังที่ 1 และถังที่ 2 ยังมีการย่อยสลายไม่สมบูรณ์ จึงจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาในการหมักมากกว่า 60 วัน เพื่อให้เกิดการย่อยสลายที่สมบูรณ์ และผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้มีธาตุอาหารหลักสูงสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุปรับปรุงคุณภาพดิน การนำของเสียจาก

อุตสาหกรรมหมักปุ๋ยเป็นการจัดการของเสียที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สามารถดึงธาตุอาหารที่อยู่ในของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และยังเป็นการช่วยลดปริมาณของเสียจากภาคอุตสาหกรรมได้อีกด้วย

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจาก ทุนอุดหนุนโครงการวิจัย ประเภททุนอุดหนุนโครงการนักศึกษา มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตสุราษฎร์ธานี

### เอกสารอ้างอิง

- [1] R.S. Antil and D. Raj, "Chemical and microbiological parameters for the characterization of maturity of composts made from farm and agro-industrial wastes," Archives of Agronomy and Soil Science, Vol. 58, No. 8, 2012, pp. 833-845.
- [2] A. Ameen, J. Ahmad and S. Raza, "Effect of pH and moisture content on composting of municipal solid waste," International Journal of Scientific and Research Publications, Vol. 6, No. 5, 2016, pp. 35-37.
- [3] L. Zhang and X. Sun, "Changes in physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage co-composting of green waste with spent mushroom compost and biochar," Bioresource Technology, Vol. 171, 2014, pp. 274-284.
- [4] M. Chan, A. Selvam and J.W.C. Wong, "Reducing nitrogen loss and salinity during 'struvite' food waste composting by zeolite amendment," Bioresource Technology, Vol. 200, 2016, pp. 838-844.
- [5] กรมวิชาการเกษตร, คู่มือวิธีวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์, สำนักพิมพ์ควิกรีน ออฟเซ็ท, กรุงเทพฯ, 2551.
- [6] Z. Xiu-lan, L. Bi-qiong, N.I. Jiu-pai and X.I.E. De-ti, "Effect of four crop straws on transformation of organic matter during sewage sludge composting," Journal of Integrative Agriculture, Vol. 15, 2016, pp. 232-240.
- [7] I. Petric, A. Helic and E.A. Avdic, "Evolution of process parameters and determination of kinetics for co-composting of organic fraction of municipal solid waste with poultry manure," Bioresource Technology, Vol. 117, 2012, pp. 107-116.
- [8] Z. Chen, S. Zhang, Q. Wen and J., Zheng, "Effect of aeration rate on composting of penicillin mycelial dreg," Journal of Environmental Sciences, Vol. 37, 2015, pp. 172-178.
- [9] C.O. Onwosi, V.C. Igbokwe, J.N. Odimba, I.E. Eke M.O. Nwankwoala, I.N. Iroh and L.I. Ezeogu, "Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects," Journal of Environmental Management, Vol. 190, 2017, pp. 140-157.

- [10] R. Kulcu and O. Yaldiz, "Determination of aeration rate and kinetics of composting some agricultural wastes," *Bioresource Technology*, Vol. 93, 2004, pp. 49-59.
- [11] M.T. Chan, A. Selvam and W.C. Wong, "Reducing nitrogen loss and salinity during 'struvite' food waste composting by zeolite amendment," *Bioresource Technology*, Vol. 200, 2016, pp. 838-844.
- [12] วรณวิภา ไชชาญ, ฌานิกา แซ่แง ชุกกลิ่น, กัตตินาฏ สกุลสวัสดิพันธ์, เจ๊ะยูอี่ เปาะเลาะ และทัฬหฬสาร แต้มประสิทธิ์, "การผลิตและคุณสมบัติของปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์ในถังโฟม," *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย*, ปีที่ 11, ฉบับที่ 3, 2562, หน้า 540-555.
- [13] M.K. Iqbal, A. Nadeem, F. Sherazi and R.A. Khan, "Optimization of process parameters for kitchen waste composting by response surface methodology," *International Journal of Environmental Science and Technology*, Vol. 12, No. 5, 2015, pp. 1759-1768.
- [14] I. Petric, E. Avdihodzic and N. Ibric, "Numerical simulation of composting process for mixture of organic fraction of municipal solid waste and poultry manure," *Ecological Engineering*, Vol. 75, 2015, pp. 242-249.
- [15] ฐนินยา รังสีสุริยะชัย และ กุลยา สาริชีวิน, "การศึกษาการหมักปุ๋ยจากเศษอินทรีย์วัตถุด้วยการเติมอากาศร่วมกับการใช้ครูดอมนไทม์," *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ ราชมงคลธัญบุรี*, ปีที่ 16, ฉบับที่ 2, 2561, หน้า 1-12.