การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22
15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต

การออกแบบถังหมักขยะอินทรีย์แบบพลิกหมุนสำหรับบ้านเรือนและชุมชน

Tumbler Compost Bin Design for House and Community

ประสิทธิ์ วัฒนวงศ์สกุล[1*] ณรงค์ พิทักษ์ทรัพย์สิน[1] โยษิตา ฤดีกิจ[1] ธนาวดี ลี้จากภัย[1] เอกรัตน์ ไวยนิตย์[1] วัฒนา ปิ่นเสม[2] และ ฉัตรชัย จันทร์เด่นดวง[1]

[1] ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ปทุมธานี 12120
โทร 0-2564-6500 โทรสาร 0-2564-6370 [*]อีเมล์ prasitw@mtec.or.th

[2] ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800
โทร 0-86999-0474 อีเมล์ watana_wtn@yahoo.com

บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยมีการผลิตขยะมูลฝอยชุมชนประมาณ 40,000 ตันต่อวัน ในจำนวนเหล่านี้มีขยะอินทรีย์มากถึง 46 เปอร์เซ็นต์ [1] วิธีการกำจัดขยะอินทรีย์มีหลายวิธีเช่น การฝังกลบ การหมักเป็นปุ๋ยและการเผา การหมักหรือการทำปุ๋ยหมักเป็นวิธีที่สามารถลดปริมาณขยะอินทรีย์ลงได้อย่างมากและไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม สิ่งที่ได้จากการหมักคือ ฮิวมัส ซึ่งสามารถใช้ปรับปรุงคุณภาพดิน แต่กระบวนการหมักที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติจะใช้เวลานานเป็นปี เนื่องจากธรรมชาติไม่สามารถควบคุมตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการหมักปุ๋ยอันได้แก่ ค่า C:N (คาร์บอน:ไนโตรเจน) ของส่วนผสม ความชื้น ขนาดของวัตถุอินทรีย์ตั้งต้น ปริมาณออกซิเจน หากสามารถควบคุมตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างเหมาะสมตามทฤษฎี ระยะเวลาในการหมักจะลดลงอย่างมาก ดังนั้นโครงงานนี้จึงทำการออกแบบและสร้างถังหมักแบบพลิกหมุนสำหรับบ้านเรือนขนาดประมาณ 200 ลิตรที่ใช้ควบคุมตัวแปรต่างๆได้ เพื่อลดปริมาณขยะอินทรีย์ที่ต้นทาง จากการทดลองหมักวัตถุอินทรีย์สองชนิดผสมกันที่มีค่าตัวแปรเหมาะสมตามทฤษฎี ปรากฏว่าสามารถได้ปุ๋ยหมักภายในระยะเวลาไม่เกิน 4 สัปดาห์ และจากการวิเคราะห์ปุ๋ยหมักที่ได้ปรากฏว่าผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ.2548 ของกรมวิชาการเกษตร

Abstract

Currently, Thailand generated community-scaled garbage at about 40,000 tons a day. This garbage consists of organic garbage about 46%. There are many solutions to get rid of organic garbage such as burying, composting, and burning. Composting is a good solution for reduce a large quantity of organic garbage with no significant impact to the environment. Humus is a byproduct from composting procedure and is used for improvement of the soil quality. However, the natural composting takes a long time to complete. This is because, in the natural composting process, important variables such as C:N values of mixture, moisture, initial organic particle size, and oxygen quantity cannot be controlled. In Theory, if these variables can be controlled then the time for composting can be reduced. So, the objective of this project was to design and produce a tumbler compost bin for domestic and community usage. The bin capacity is 200 Lt with an access to monitor and control the important variables for the initial organic garbage reduction. The experiment was done with a mixture of 2 organics under the composting conditions which had been selected according to the theoretical analysis. The result of experiment showed that the composting process was completed in less than 4 weeks. Furthermore, an analysis of the composted product showed that it can pass the organic compost standard 2005 by Department of Agriculture.

1. ความเป็นมา

ข้อมูลจากข่าวสารอันตรายและของเสีย ปีที่ 13 ฉบับที่ 2 กันยายน 2545 ระบุว่า ขยะมูลฝอยในประเทศไทยจะประกอบด้วยขยะอินทรีย์ 46 เปอร์เซ็นต์ ขยะรีไซเคิล 42 เปอร์เซ็นต์ ขยะอันตราย 3 เปอร์เซ็นต์ และขยะทั่วไป 9 เปอร์เซ็นต์ [1] โดยมีขยะมูลฝอยในชุมชนปริมาณเฉลี่ย 40,000 ตัน/วัน แบ่งเป็นเขตกรุงเทพฯ 9,356 ตัน/วัน เขตเทศบาลเมืองและพัทยา 12,500 ตัน/วัน และนอกเขตเทศบาล 18,100 ตัน/วัน ส่วนวิธีการกำจัดขยะมูลฝอยในปัจจุบันจะนำไปฝังกลบ 34 เปอร์เซ็นต์ (ถูกสุขลักษณะ) เผา 1 เปอร์เซ็นต์ และเทกองเป็นภูเขา 65 เปอร์เซ็นต์ (ไม่ถูกสุขลักษณะ)[2] ดังนั้นจะมีขยะอีกมากมายที่เป็นปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมของชุมชนและประเทศ การปล่อยให้ขยะอินทรีย์ย่อยสลายเองในธรรมชาติจะต้องใช้ระยะเวลานานในการย่อยสลาย เพราะการย่อยสลายจะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อเกิดสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานของจุลินทรีย์ ซึ่งหากสามารถจำลองและควบคุมสภาวะดังกล่าวได้ก็จะช่วยร่นระยะเวลาในการหมักลงได้ จึงเป็นที่มาของโครงการที่จะออกแบบ

และสร้างถังหมักปุ๋ยที่มีประสิทธิภาพใช้เวลาในการหมักสั้นสามารถควบคุมสภาวะที่เหมาะสมต่อการย่อยสลาย และสามารถใช้ตามบ้านเรือนได้สะดวก เพื่อลดปริมาณขยะอินทรีย์ที่มีอยู่ 46 เปอร์เซ็นต์ของขยะทั้งหมด และนำขยะอินทรีย์มาใช้ประโยชน์ แทนที่จะนำไปทิ้งซึ่งก่อให้เกิดปัญหาขยะส่งกลิ่นเหม็น เป็นแหล่งเจริญเติบโตของเชื้อโรค

2. วัตถุประสงค์

เพื่อออกแบบและสร้างถังหมักขยะอินทรีย์เพื่อย่อยขยะอินทรีย์สำหรับใช้ตามบ้านเรือนและชุมชนที่มีประสิทธิภาพในการย่อยสลายได้รวดเร็ว

3. วัสดุและอุปกรณ์

1. คอมพิวเตอร์พร้อมซอฟแวร์ช่วยในการออกแบบ
2. วัตถุอินทรีย์สำหรับใช้ในการทดสอบถังหมักขยะอินทรีย์
3. เทอร์โมคอปเปิ้ล สำหรับวัดอุณหภูมิ ในถังหมักขยะอินทรีย์
4. ห้องปฏิบัติการสำหรับวิเคราะห์ค่า C:N (คาร์บอน:ไนโตรเจน)

4. วิธีการ

4.1ศึกษาหาข้อมูลเกี่ยวกับทฤษฎีกระบวนการหมักขยะอินทรีย์แบบใช้อากาศเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบถังหมัก ซึ่งการทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศ (aerobic compost) จะอาศัยจุลินทรีย์ที่ใช้ออกซิเจนช่วยในการย่อยวัตถุอินทรีย์ โดยจะต้องมีสภาวะที่เหมาะสมต่อการทำงานดังนี้ อากาศมีออกซิเจน, วัตถุอินทรีย์จะต้องมีอัตราส่วนของไนโตรเจน 1 ส่วนต่อคาร์บอน 30 - 70 ส่วน, จะต้องมีน้ำอยู่ประมาณ 40 – 60 เปอร์เซ็นต์ และมีออกซิเจนให้จุลินทรีย์ใช้อย่างเพียงพอ ถ้าขาดสิ่งใดสิ่งหนึ่งใน 4 สิ่งนี้การทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศก็ไม่เกิดขึ้น ผลผลิตที่ได้จากการทำปุ๋ยหมักแบบใช้อากาศคือ ไอน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์ และวัตถุอินทรีย์ที่ย่อยสลายแล้วที่เรียกว่า ฮิวมัส [3]

4.2 วิเคราะห์ทดสอบหาค่า C:N ของอินทรียวัตถุแต่ละชนิดที่ใช้ในการทดลอง เช่น ผัก ผลไม้ เศษหญ้า เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการผสมวัตถุดิบในการหมักให้ได้สัดส่วนที่เหมาะสมตามทฤษฎี

4.3 ออกแบบและสร้างถังหมักตามข้อมูลที่ได้จากการศึกษา

คุณลักษณะของถังหมักจากการศึกษาข้อมูลเป็นดังนี้

4.3.1 มีฝาเปิด-ปิดได้สำหรับใส่วัตถุอินทรีย์เข้า-ออก

4.3.2 มีรูระบายอากาศโดยรอบเพื่อเพิ่มออกซิเจนให้กองปุ๋ยหมักในถังและรูสำหรับใส่เครื่องมือวัด

4.3.3 มีรูระบายน้ำทิ้งที่เกิดจากการหมัก ซึ่งสามารถเก็บใส่ภาชนะนำไปทำเป็นปุ๋ยน้ำชีวภาพได้

4.3.4 ถังทรงกลมหรือทรงกระบอกป้อม ๆ และหมุนได้เพื่อช่วยเติมอากาศให้กองปุ๋ยหมักภายในถัง

4.3.5 มีระบบช่วยกวนขยะในถังเวลาหมุนเพื่อช่วยพลิกกองปุ๋ยหมักให้สัมผัสกับอากาศอย่างทั่วถึง

4.3.6 ปริมาตรถังไม่เกิน 200 ลิตรเพื่อให้เหมาะกับการใช้ตามบ้านเรือนที่มีพื้นที่ตั้งน้อย

จากคุณลักษณะดังกล่าวจึงได้ทำการออกแบบถังหมัก 2 แบบด้วยกันคือ ถังหมักที่ทำด้วยสเตนเลสและถังหมักที่ทำด้วยไฟเบอร์กลาส ดังรูปที่ 1

รูปที่ 1 ถังหมักที่ทำด้วยสเตนเลสและถังหมักที่ทำด้วยไฟเบอร์กลาส

ถังหมักสเตนเลสจะติดตั้งอยู่บนขาตั้งมีพวงมาลัยใช้ในการหมุนถัง ส่วนถังหมักไฟเบอร์กลาสจะตั้งไว้ที่พื้นดินสามรถหมุนถังโดยการกลิ้งถังกับพื้น เมื่อได้ถังหมักแล้วก็ดำเนินการทดลองหมักวัตถุอินทรีย์ โดยคำนวณส่วนผสมให้เหมาะสมตามทฤษฎี ก่อนการคำนวณส่วนผสมจำเป็นต้องทราบค่า C:N ของวัตถุอินทรีย์ที่ใช้ในการทดลองและค่าความชื้น

ค่าความชื้นจะหาโดยการอบวัตถุอินทรีย์ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วคำนวณหาน้ำหนักที่หายไปเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้น ซึ่งจะทำการหาความชื้นของวัตถุอินทรีย์ก็ต่อเมื่อทำการทดลองเท่านั้น

สูตรที่ใช้ในการคำนวณส่วนผสมสำหรับค่า C:N และเปอร์เซ็นต์ความชื้นเป็นดังนี้

$$Mixture\ C:N\ Ratio = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i C_i (100 - M_i)}{\sum_{i=1}^{n} m_i N_i (100 - M_i)} \quad (1)$$

$$Mixture\ moisure\ content = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i M_i}{\sum_{i=1}^{n} m_i} \quad (2)$$

เมื่อ

m_i = น้ำหนักของวัตถุอินทรีย์แต่ละชนิดที่นำมาหมัก

M_i = เปอร์เซ็นต์ความชื้นของวัตถุอินทรีย์แต่ละชนิดที่นำมาหมัก

C_i = เปอร์เซ็นต์คาร์บอนของวัตถุอินทรีย์แต่ละชนิดที่นำมาหมัก

N_i = เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจนของวัตถุอินทรีย์แต่ละชนิดที่นำมาหมัก

n = จำนวนชนิดของวัตถุอินทรีย์ที่นำมาหมัก

4.4 ทดลองหมักวัตถุอินทรีย์โดยจะเลือกวัตถุอินทรีย์ที่รู้ค่า C:N และความชื้นมาทำการผสมกัน 2 ชนิดเพื่อให้ได้ค่า C:N และความชื้นของส่วนผสมตามทฤษฎี รวมถึงขนาดของวัตถุอินทรีย์ที่ต้องย่อยให้ไม่เกิน 2 นิ้ว โดยมีวิธีทำการทดลองดังนี้

4.4.1 เลือกชนิดวัตถุอินทรีย์ที่ต้องการหมักและหาค่า C:N และความชื้น เพื่อคำนวณน้ำหนักที่ต้องการใช้ในแต่ละชนิด

4.4.2 ย่อยวัตถุอินทรีย์ให้ได้ขนาดไม่เกิน 2 นิ้ว นำมาผสมกับเชื้อจุลินทรีย์ในสัดส่วนที่เหมาะสม คลุกเคล้าส่วนผสมให้เข้ากันแล้วเทลงในถังหมัก

4.4.3 บันทึกอุณหภูมิภายกลางกองส่วนผสมในถังหมักทุกวัน ณ เวลา 8.00 น. 12.00 น. และ16.00 น.

4.4.4 เมื่อสังเกตเห็นว่าอุณหภูมิภายในถังหมักขึ้นสูงสุดแล้วเริ่มลดลง ให้ทำการหมุนถัง 2 – 3 รอบ แล้วบันทึกอุณหภูมิ จะเห็นว่าอุณหภูมิเริ่มสูงขึ้นอีกครั้ง

4.4.5 ทำซ้ำข้อ 4 จนกระทั่งเมื่อหมุนถังแล้วอุณหภูมิไม่เพิ่มขึ้น แสดงว่าการหมักเสร็จสิ้นสมบูรณ์แล้ว ให้นำกองปุ๋ยมากรองด้วยตาข่ายขนาด 0.5 นิ้ว แล้วนำส่งห้องปฏิบัติการวิเคราะห์หาค่าต่างๆ ตามมาตรฐานปุ๋ยหมัก ตารางที่ 1

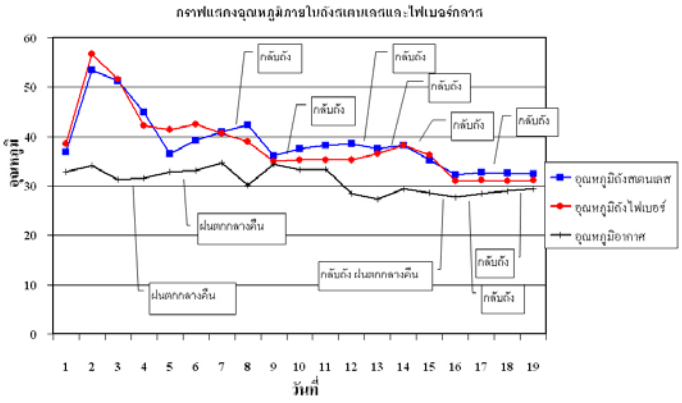
ตารางที่ 1 มาตรฐานของปุ๋ยหมักในประเทศไทยเป็นไปตามประกาศของกรมวิชาการเกษตร เรื่องมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ พ.ศ. 2548

ลำดับ	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
1	ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5 x 12.5 x 12.5 mm^3
2	ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้	ไม่เกิน 35 %w
3	ปริมาณหินและกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 mm. ไม่เกิน 5 %w
4	พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่น ๆ	ต้องไม่มี
5	ปริมาณอินทรียวัตถุ	ไม่น้อยกว่า 30 %w
6	ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)	5.5 – 8.5
7	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)	ไม่เกิน 20 : 1
8	ค่าการนำไฟฟ้า (EC : Electrical Conductivity)	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร
9	ปริมาณธาตุอาหารหลัก	- ไนโตรเจน (total N) ไม่น้อยกว่า 1.0 %w - ฟอสฟอรัส (total P_2O_5) ไม่น้อยกว่า 0.5 %w - โพแทสเซียม (total K_2O) ไม่น้อยกว่า 0.5 %w
10	การย่อยสลายที่	มากกว่า 80 %
11	สมบูรณ์ สารหนู (Arsenic) แคดเมียม (Cadmium) โครเมียม (Chromium) ทองแดง (Copper) ตะกั่ว (Lead) ปรอท (Mercury)	 ไม่เกิน 50 mg/kg ไม่เกิน 5 mg/kg ไม่เกิน 300 mg/kg ไม่เกิน 500 mg/kg ไม่เกิน 500 mg/kg ไม่เกิน 2 mg/kg

5. ผลการทดลอง

การทดลองครั้งที่ 1 เศษกิ่งไม้กับกะหล่ำปลี

ใช้ส่วนผสมระหว่างเศษกิ่งไม้ที่มีค่า C:N = 40 จำนวน 7 กิโลกรัม กับกะหล่ำปลีที่มีค่า C:N = 14 จำนวน 12 กิโลกรัม ได้ส่วนผสมที่มีค่า C:N เท่ากับ 32.9 เปอร์เซ็นต์ความชื้นเท่ากับ 64.7 แล้วแบ่งออกเป็นสองกองเท่าๆ กันใส่ลงในถังสเตนเลส หนึ่งกองและถังไฟเบอร์หนึ่งกอง แล้วบันทึกอุณหภูมิจนเสร็จสิ้นการทดลอง นำค่าอุณหภูมิมาเขียนกราฟและนำปุ๋ยหมักที่ผ่านการกรองด้วยตาข่ายขนาด 0.5 นิ้วไปวิเคราะห์หาค่าต่างๆ ตามมาตรฐานปุ๋ยหมัก การทดลองการหมักเสร็จสิ้นภายใน19 วัน โดยนำค่าอุณหภูมิที่บันทึกไว้ ณ เวลา 12.00 น. มาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 2



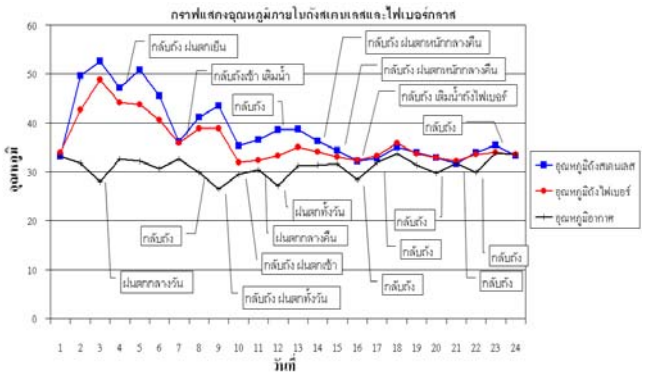
รูปที่ 2 การทดลองครั้งที่ 1 เศษกิ่งไม้กับกะหล่ำปลี แสดงค่าอุณหภูมิที่วัดได้ ณ เวลา 12.00 น.

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ค่าต่างๆ ตามมาตรฐานปุ๋ยหมักของการทดลองครั้งที่ 1

รายการผลการวิเคราะห์	มาตรฐานปุ๋ยหมัก	ถังหมักสเตนเลส	ถังหมักไฟเบอร์กลาส
ปริมาณอินทรียวัตถุ (%w/w)	ไม่น้อยกว่า 30	65.64	74.53
อัตราส่วน C : N	ไม่เกิน 20 : 1	19	29
ไนโตรเจน, N (%)	ไม่น้อยกว่า 0.5	1.97	1.49
ฟอสฟอรัส, P2O5 (%)	ไม่น้อยกว่า 0.5	0.73	0.60
โพแทสเซียม, K2O (%)	ไม่น้อยกว่า 0.5	2.21	1.93

ค่าความเป็นกรด – ด่าง, pH (1:10)	5.5 - 8.5	8.21	7.98
ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	ไม่เกิน 6	3.33	3.25
ปริมาณความชื้น (%w/w)	ไม่เกิน 35	9.85	6.14
การร่อนผ่านตะแกรง (Passing Sieve)	ไม่เกิน 0.5 นิ้ว	ผ่านหมด	ผ่านหมด
วัสดุแหลมคม	ไม่มี	ไม่พบ	ไม่พบ
หิน กรวด (ขนาดใหญ่กว่า 5 mm. ไม่เกิน 5 %w)	ไม่เกิน 5	0.24	ไม่พบ
สารหนู (Arsenic) mg/kg	ไม่เกิน 50	0.159	0.156
แคดเมียม (Cadmium) mg/kg	ไม่เกิน 5	0.100	0.100
โครเมียม (Chromium) mg/kg	ไม่เกิน 300	9.200	4.100
ทองแดง (Copper) mg/kg	ไม่เกิน 500	11.700	10.200
ตะกั่ว (Lead) mg/kg	ไม่เกิน 500	3.400	3.300

การทดลองครั้งที่ 2 กิ่งต้นโมกและหญ้านวลน้อย ใช้ส่วนผสมระหว่างกิ่งต้นโมกที่มีค่า C:N = 45 จำนวน 5.31 กิโลกรัม กับหญ้านวลน้อยที่มีค่า C:N = 30 จำนวน 18.99 กิโลกรัม ได้ส่วนผสมที่มีค่า C:N เท่ากับ 33.9 เปอร์เซ็นต์ความชื้นเท่ากับ 58.7 แล้วแบ่งออกเป็นสองกองเท่าๆ กันใส่ลงในถังสเตนเลสหนึ่งกองและถังไฟเบอร์หนึ่งกอง แล้วบันทึกอุณหภูมิจนเสร็จสิ้นการทดลอง นำค่าอุณหภูมิมาเขียนกราฟ และนำปุ๋ยหมักที่ผ่านการกรองด้วยตาข่ายขนาด 0.5 นิ้วไปวิเคราะห์หาค่าต่างๆ ตามมาตรฐานปุ๋ยหมัก การทดลองการหมักเสร็จสิ้นภายใน 24 วันโดยนำค่าอุณหภูมิที่บันทึกไว้ ณ เวลา 12.00 น. มาเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 การทดลองครั้งที่ 2 กิ่งต้นโมกและหญ้านวลน้อย แสดงค่าอุณหภูมิที่วัดได้ ณ เวลา 12.00 น.

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์ค่าต่างๆ ตามมาตรฐานปุ๋ยหมักของการทดลองครั้งที่ 2

รายการผลการวิเคราะห์	มาตรฐานปุ๋ยหมัก	ถังหมักสเตนเลส	ถังหมักไฟเบอร์กลาส
ปริมาณอินทรียวัตถุ (%w/w)	ไม่น้อยกว่า 30	47.64	60.99
อัตราส่วน C : N	ไม่เกิน 20 : 1	15	18
ไนโตรเจน, N (%)	ไม่น้อยกว่า 0.5	1.87	1.94
ฟอสฟอรัส, P2O5 (%)	ไม่น้อยกว่า 0.5	1.16	1.33
โพแทสเซียม, K2O (%)	ไม่น้อยกว่า 0.5	3.22	3.46
ค่าความเป็นกรด – ด่าง, pH (1:10)	5.5 - 8.5	8.28	7.56
ค่าการนำไฟฟ้า (dS/m)	ไม่เกิน 6	5.60	6.33
ปริมาณความชื้น (%w/w)	ไม่เกิน 35	8.31	12.93
การร่อนผ่านตะแกรง (Passing Sieve)	ไม่เกิน 0.5 นิ้ว	ผ่านหมด	ผ่านหมด
วัสดุแหลมคม	ไม่มี	ไม่พบ	ไม่พบ
หิน กรวด (ขนาดใหญ่กว่า 5 mm. ไม่เกิน 5 %w)	ไม่เกิน 5	ไม่พบ	ไม่พบ
สารหนู (Arsenic) mg/kg	ไม่เกิน 50	0.769	0.630
แคดเมียม (Cadmium) mg/kg	ไม่เกิน 5	0.200	0.200
โครเมียม (Chromium) mg/kg	ไม่เกิน 300	10.500	7.300
ทองแดง (Copper) mg/kg	ไม่เกิน 500	13.700	14.100
ตะกั่ว (Lead) mg/kg	ไม่เกิน 500	5.500	5.000

6. การวิจารณ์ผล

ผลการทดลองการหมักทั้งสองครั้งเป็นไปตามทฤษฎี กล่าวคือ อุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักจะขึ้นสูงสุดแล้วเริ่มลดลง เมื่อมีการหมุนถังหมักให้อากาศเข้าถังหมักอุณหภูมิของกองปุ๋ยหมักจะสูงขึ้นอีกครั้งแต่จะไม่เท่าครั้งแรกและเมื่อเริ่มลดลงก็จะหมุนถังหมักเพื่อเพิ่มอากาศให้กองปุ๋ยภายในถัง อุณหภูมิก็จะสูงขึ้นอีก ทำเช่นนี้จนกระทั่งเมื่อหมุนถังหมักแล้วอุณหภูมิไม่เพิ่มขึ้นหรือเปลี่ยนแปลงน้อยมาก แสดงว่าการหมักสิ้นสุดลง

จากการทดลองครั้งนี้จะเห็นว่าการหมักสิ้นสุดลงภายในไม่ถึง 1 เดือน (ประมาณ 3 สัปดาห์) อุณหภูมิภายในกองปุ๋ยหมักสามารถ

ขึ้นสูงถึง 58 องศาเซลเซียส และค่าต่างๆ ที่วิเคราะห์ตามมาตรฐานปุ๋ยหมักก็อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และเมื่อเปรียบเทียบผลระหว่างการหมักปุ๋ยด้วยถังสเตนเลส และถังไฟเบอร์กลาส สามารถสรุปได้ว่าการหมักด้วยถังไฟเบอร์กลาสได้ผลที่ดีกว่า การหมักด้วยถังสเตนเลส เนื่องจากการควบคุมอุณหภูมิในถังไฟเบอร์กลาส กระทำได้ดีกว่าถังสเตนเลส เพราะการนำความร้อนของถังสเตนเลสดีกว่าถังไฟเบอร์กลาส ทำให้เมื่อกระบวนการหมักเกิดขึ้นในถังหมัก (อุณหภูมิสูงขึ้น) ถังสเตนเลสจะมีการระบายความร้อนที่เกิดขึ้นผ่านถังหมักได้ง่าย ขณะเดียวกันเมื่อสภาวะอากาศภายนอกมีการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิภายในถังหมักสเตนเลสก็จะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วยเช่นกัน

7. สรุปและข้อเสนอแนะ

การดำเนินโครงการออกแบบและสร้างถังหมักขยะอินทรีย์แบบพลิกหมุน ประสบความสำเร็จตามเป้าหมายที่ตั้งไว้ กล่าวคือถังหมักมีขนาดประมาณ 200 ลิตร สามารถหมักส่วนผสมวัตถุอินทรีย์ที่มีค่าตั้งต้นต่างๆ เช่น C:N เปอร์เซ็นต์ความชื้น เป็นไปตามทฤษฎี ได้ภายในไม่เกิน 1 เดือนและได้ปุ๋ยหมักที่มีค่าต่างๆ ตามมาตรฐานปุ๋ยหมัก

จากการสังเกตอุณหภูมิภายในถังหมักจะดูไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับการหมักแบบกองกลางแจ้ง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากปริมาณกองปุ๋ยภายในถังไม่มากพอ และการออกแบบถังหมักให้มีรูโดยรอบทำให้ระหว่างการหมักความชื้นในกองปุ๋ยหมักสามารถระเหยหนีออกนอกถังได้ เป็นผลให้อุณหภูมิไม่สามารถขึ้นได้สูงกว่านี้และระหว่างการทดลองไม่มีการติดตามค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของกองปุ๋ยหมัก ดังนั้นงานที่จะต้องทำต่อไปคือ ติดตามวัดค่าความชื้นของกองปุ๋ยหมักในถังและรักษาความชื้นให้อยู่ในเกณฑ์ตามทฤษฎี ซึ่งน่าจะทำให้อุณหภูมิกองปุ๋ยสามารถสูงขึ้นได้มากกว่านี้ หรือออกแบบถังหมักใหม่ให้มีระบบเปิด-ปิดรูรอบถังได้เพื่อป้องกันความชื้นระเหยออกนอกถังระหว่างการหมัก โดยจะเปิดรูระหว่างการหมุนถังเพื่อให้อากาศถ่ายเทเท่านั้นและปิดรูเมื่อหมุนถังเสร็จและปล่อยทิ้งไว้จนกระทั่งถึงเวลาหมุนถังครั้งต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ และทีมงานร่วมโครงการทุกท่าน ที่ได้ให้การสนับสนุนงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

1. ข่าวสารอันตรายและของเสีย ปีที่ 13 ฉบับที่ 2 กันยายน 2545
2. สรุปสถานการณ์มลพิษของประเทศไทยปี 2547 กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม
3. Ken Thompson, 2007. Compost the natural way to make food for your garden. DK Publishing, New York.

.