การออกแบบถังหมักขยะขนาดเล็กเพื่อการหมักขยะอินทรีย์จากครัวเรือน
Design of Small Household Composter for Municipal Organic Waste

จีมา ศรลัมพ์ ประกาศิต อุบลรัตน์ และ โสพัส มีสุขอนุกูล
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
E-mail: Cheema.c@ku.th, jane_pra17@hotmail.com, nnnerinat@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อมีวัตถุประสงค์ในการออกแบบถังหมักปุ๋ยสำหรับครัวเรือนขนาดเล็ก ทำให้สะดวกต่อการใช้งาน มีขนาดเล็กเหมาะสมกับพื้นที่จำกัด และต้องไม่มีกลิ่นเหม็นหรือมีแมลงมารบกวน เป็นการลดปริมาณขยะที่ต้องจัดการตั้งแต่ต้นทาง โดยมีการศึกษากระบวนการหมักและออกแบบถังหมักปุ๋ยที่มีปัจจัยต่าง ๆ กัน ได้แก่ มีการติดตั้งพัดลมเพื่อเป็นการเติมอากาศให้ถังหมัก มีการใช้เอนไซม์ช่วยจากมะละกอและสับปะรด และมีการใช้ตัวกลางเป็นแกลบและขุยมะพร้าวเพื่อเป็นที่ยึดเกาะให้กับจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพและทำให้เกิดความสะดวกในการใช้งานและการขนส่ง โดยผลการทดลองพบว่าค่าผลิตภัณฑ์ต่อวัตถุดิบตั้งต้นเฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 0.28±0.08 กรัมผลิตภัณฑ์ต่อกรัมวัตถุดิบตั้งต้น ค่าความชื้นเฉลี่ยจากการใส่ขยะแบบต่อเนื่อง 2 เดือน (เมื่อถังเต็มที่ปริมาตร 90% ของถัง) ของถังหมักปุ๋ยที่ติดตั้งพัดลม มีค่าเท่ากับ 78.2±8.4 เปอร์เซ็นต์ ค่าความชื้นเฉลี่ยของถังหมักปุ๋ยที่ไม่ติดตั้งพัดลม มีค่าเท่ากับ 82.0±5.6 เปอร์เซ็นต์ อุณหภูมิเฉลี่ยของถังหมักปุ๋ยที่ติดตั้งพัดลม มีค่าเท่ากับ 30.1±0.3 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิเฉลี่ยของถังหมักปุ๋ยที่ไม่ติดตั้งพัดลม มีค่าเท่ากับ 30.5±0.8 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ: การหมัก; ถังหมักขยะ; ขยะเศษอาหาร; การหมักแบบเติมอากาศ

Abstract

Nowadays people live in smaller household units such as living in a room in condominium, dormitory, and houses with smaller living area. However, garbage collected from community condominium apartment complex and housing village are still a burden to dispose. Utilization of waste can help reduce the amount of garbage destined for disposal sites. The purpose of this study is to design compost bin that fits for small households with limited space and do not create nuisance from smell or insect infestation. The studying of fermentation process and compost bin's design has various factors, including of equipping fan to aerate the composter, using natural enzymes; papaya as pineapple peels, and different media; rice husk and coir to effectively compost household garbage in-situ. Results indicated that average ratio

of product to raw materials equal to 0.28±0.08 mass of product per mass of raw materials, the composter was operated continuously with daily garbage produced from the household and after it is 90% full (about 60 days of operation), the average moisture content during composting equaled to 82.0±5.6 percentage (not installed case fan) and, 78.2±8.4 percentage (install case fan). The average temperatures during composting were not significantly different during compost compared between with and without aeration; 30.1±0.3 and 30.5±0.8 degree Celsius, respectively and the temperature is in the middle of appropriate temperature for mesophile bacteria. It was found that compost bin without aeration and without bacteria induced media has foul smell and relatively larger amount of leachate produced. The using of enzyme from papaya and pineapple peels, although there was not significantly different in nutrients, the fermentation were faster (about 1 month to fill the bin).

Keywords: fermentation; composter; food waste; aerobic composting

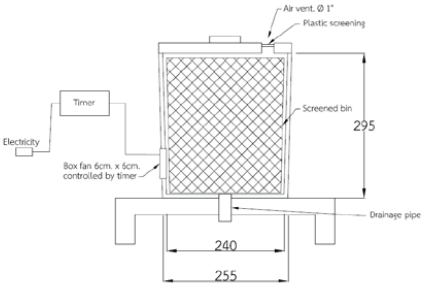
1. บทนำ

ทุกวันนี้มนุษย์มีการใช้ทรัพยากรอย่างมหาศาล เพื่อตอบสนองความต้องการต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันซึ่งส่งผลให้เกิดปริมาณขยะขึ้นเป็นจำนวนมาก ขยะเหล่านั้นจะถูกนำไปกำจัดด้วยวิธีการต่าง ๆ โดยการกำจัดจะต้องมีการใช้พลังงาน และค่าใช้จ่ายที่ค่อนข้างมาก การศึกษานี้มุ่งหมายศึกษาการลดปริมาณขยะจากครัวเรือน โดยการนำขยะที่ย่อยสลายได้ตามธรรมชาติมาหมักให้เกิดประโยชน์โดยกระทำที่แหล่งกำเนิด ถังหมักที่ทำการออกแบบมีขนาดเล็กตามรูปแบบครอบครัวในปัจจุบันซึ่งมีขนาดเล็ก มีการพักอาศัยในพื้นที่จำกัด อาทิ เช่น บ้านที่มีพื้นที่ใช้สอยลดลง การอาศัยในห้องบนตึกสูงประเภทคอนโดมิเนียมหรือ หอพัก ถังหมักดังกล่าวต้องไม่ก่อให้เกิดเหตุเดือดร้อนรำคาญ เช่น ไม่ก่อให้เกิดกลิ่นหรือแมลงซึ่งอาจก่อให้เกิดพาหะนำโรค ลักษณะของการหมักเป็นการใส่ขยะย่อยสลายจากการเตรียมอาหารหรือการทำอาหาร โดยขยะที่นำเข้าสู่ถังหมักในแต่ละวันมีปริมาณน้อยและเป็นช่วง โดยสิ่งที่ได้จากการหมักสามารถเป็นวัสดุปรับปรุงดินและใช้เป็นปุ๋ยใส่ต้นไม้ทั่วไป การผลิตถังหมักสำหรับครัวเรือนขนาดเล็กได้พิจารณาพื้นฐานงานวิจัยที่หลากหลาย อาทิ

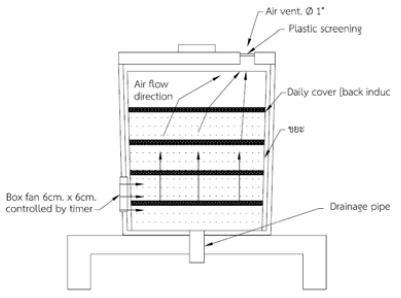
2. วิธีการทดลอง

2.1 การออกแบบถังหมัก

ในการศึกษาครั้งนี้ ทำการออกแบบถังหมักขนาดเล็ก โดยการออกแบบเป็นถังสองชั้น ชั้นในเป็นตะกร้าผนังพรุน เพื่อสะดวกในการระบายอากาศ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 ซม. ความสูง 29.5 ซม. ซ้อนด้วยถังทึบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 24 ซม. ความสูง 29.5 ซม. ด้านล่างเจาะรูเพื่อระบายน้ำหมักโดยการต่อท่อจากก้นถังสู่ภาชนะรองรับน้ำหมัก โดยออกแบบเป็นระบบปิด ด้านข้างของถังเจาะติดตั้งพัดลมระบายอากาศ 6x6 ซม. ขนาด 12 โวลต์ ฝาด้านบนของถังเจาะรูระบายอากาศ ภาพร่างของถัง ดังแสดงในภาพที่ 1a



a)



b)

ภาพที่ 1 การออกแบบถังหมัก
a) ขนาดและองค์ประกอบ และ
b) การจัดเรียงวัสดุหมักและการระบายอากาศ

สมมติฐานที่ใช้ในการทดลองคือ 1) การลดปัญหากลิ่นจากการหมัก ทำโดยการให้อากาศที่เพียงพอ (excess aeration) และการนำเสนอจุลินทรีย์แบบ effective microorganism (EM) แก่ถังหมัก พร้อมทั้งให้มีการปิดทับประจำวัน (daily cover) หลังการใส่ขยะด้วยตัวกลาง และสมมติฐานที่ 2) การเสริมขยะที่มีเอนไซม์โดยธรรมชาติช่วยให้การหมักเกิดขึ้นได้เร็ว

จากสมมติฐานแรก ถังหมักถูกออกแบบให้มีการให้อากาศจากด้านล่าง ผ่านตะกร้าผนังพรุนและบังคับอากาศให้ลอยขึ้นด้านบนเพื่อออกบริเวณรูระบายอากาศขนาด 2.5 ซม. กระบวนการหมักที่ชั้นขยะมีอุณหภูมิที่สูงขึ้นจากปฏิกิริยาหมักแบบเติมอากาศจะช่วยส่งเสริมทิศทางการไหลของอากาศตามที่ได้ออกแบบ การให้อากาศถูกควบคุมโดย timer โดยมีการเติมอากาศทุก ๆ 3 ชั่วโมง เป็นเวลา 10 นาที

ชั้นปิดทับประจำวัน เลือกใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่หาได้ง่ายและมีความพรุน 2 ประเภท ได้แก่ ขุยมะพร้าว (shredded coconut shell) และ แกลบ (rice hull) โดยตัวกลางทั้งสองเป็นตัวกลางแบบเสริมแบคทีเรีย (bacteria induced media) โดยการคลุกตัวกลางกับ EM ด้วยอัตราส่วน 10 มล. ต่อตัวกลาง 100 กรัม และนำไปตากให้แห้ง สำหรับสมมติฐานที่ 2 การเสริมขยะที่มีเอนไซม์โดยธรรมชาติช่วยให้การหมักเกิดขึ้นได้เร็ว ใช้ขยะที่มีเอนไซม์ธรรมชาติ ได้แก่ เปลือกมะละกอและเปลือกสับปะรด

2.2 วิธีการทดลองและการวัดผล

จากการออกแบบข้างต้น ทำการผลิตถังรวมทั้งสิ้น 10 ถัง เพื่อทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบหมักในสภาวะที่แตกต่างกัน ได้แก่ การใส่ขยะ (waste, W) การใส่ตัวกลางขุยมะพร้าว (coconut shell, C) การใส่ตัวกลางแกลบ (rice hull, R) การเติมอากาศ (aerated, A) และการเสริมเอนไซม์ธรรมชาติ (enzyme, E) ในการออกแบบการทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 1

จากนั้นเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวัดระหว่างดำเนินกระบวนการหมักและหลังเสร็จสิ้นกระบวนการหมัก ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้เปรียบเทียบ ได้แก่ ค่าความชื้น (Moisture Content, % น้ำหนักน้ำต่อน้ำหนักเปียก) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อุณหภูมิ (เซลเซียส, C) น้ำหนักผลิตภัณฑ์ต่อวัตถุดิบตั้งต้น ($g_{product}/g_{input}$) ค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (N, mg/kg) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5, mg/kg) ปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ (K_2O, mg/kg) ปริมาณน้ำหนักที่เกิดขึ้นต่อวัตถุดิบตั้งต้น (L/kg) และค่าการยุบตัวของเศษผักและผลไม้ (slope of compost height with time) ทั้งนี้ ค่าความชื้น ความหนาแน่นเฉลี่ยของขยะและตัวกลาง เป็นดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 สภาวะการทดลองของถังหมัก

ถังที่	ตัวกลาง	ติดตั้งพัดลมเติมอากาศ	เสริมเอนไซม์ด้วยเปลือกมะละกอและสับปะรด
1. WCAE (1)	ขุยมะพร้าว	✓	✓
2. WCA	ขุยมะพร้าว	✓	X
3. WRAE	แกลบ	✓	✓
4. WRA	แกลบ	✓	X
5. WCE	ขุยมะพร้าว	X	✓
6. WRE	แกลบ	X	✓
7. WR	แกลบ	X	X
8. W	-	X	X
9. WC	ขุยมะพร้าว	X	X
10. WCAE (2)	ขุยมะพร้าว	✓	✓

ตารางที่ 2 สมบัติของวัสดุที่ใช้ทดลอง

วัตถุดิบ	ค่าความชื้น (%)	ความหนาแน่น (กรัมต่อลิตร)
1. ขยะ	31.5	756
2. แกลบ	8.9	100
3. ขุยมะพร้าว	9.6	33

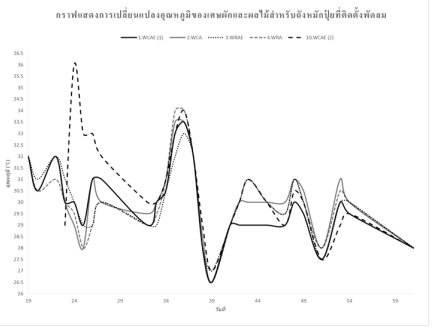
3. ผลและการวิเคราะห์

จากการทดลอง สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังตารางที่ 3 พบว่าเมื่อทำการวัดค่าความชื้นสูงสุดระหว่างการหมัก พบว่าถังที่ 10 WCAE มีความชื้นมากที่สุด (85.12%) จะเห็นว่าถังที่ใช้ขุยมะพร้าวเป็นตัวกลางจะมีค่าความชื้นมากกว่าถังที่ใช้แกลบเป็นตัวกลาง (84.90% และ 72.77%) เพราะขุยมะพร้าวสามารถกักเก็บความชื้นได้มากกว่าแกลบ นอกจากนี้จะพบว่าค่าความชื้นสูงสุดเฉลี่ยของถังที่ติดตั้งพัดลมจะน้อยกว่าถังที่ไม่ติดตั้งพัดลม แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ (78.2±8.4% และ 82.0±5.6%)

จากการพิจารณาผลิตภัณฑ์ต่อวัตถุดิบตั้งต้น พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 0.20 ถึง 0.36 หรือ 20% ถึง 36% ถ้าค่าผลิตภัณฑ์ต่อวัตถุดิบตั้งต้นน้อย แสดงว่ากระบวนการหมักเกิดการย่อยสลายได้ดี ถ้ามีค่าผลิตภัณฑ์ต่อวัตถุดิบตั้งต้นมากกว่า แสดงว่ากระบวนการหมักเกิดการย่อยสลายได้ไม่ดีเท่า จะเห็นว่าถังที่ 3 WRAE มีค่าผลิตภัณฑ์ต่อวัตถุดิบตั้งต้นน้อยที่สุด คือ 0.16 หรือ 16% และพบว่าถังที่ 9 WC มีค่าผลิตภัณฑ์ต่อวัตถุดิบตั้งต้นมากที่สุด คือ 0.43 หรือ 43%

ปริมาณน้ำหมักต่อวัตถุดิบตั้งต้น พบว่าปริมาณน้ำหมักจะระบายออกมาเฉพาะถังที่ไม่ติดตั้งพัดลมเท่านั้น โดยถังดังกล่าวจัดเป็นกระบวนการหมักแบบไร้ออกซิเจน

สำหรับการวัดอุณหภูมิภายในถังหมัก ทำการวัดทุกวันตลอดระยะเวลาการทดลอง พบว่าจากภาพที่ 3 หลังการเติมชั้นขยะ อุณหภูมิหลังจากนั้น 2-4 วัน จะเพิ่มขึ้น จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลง อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นเกิดจากกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เป็นกระบวนการการคายความร้อน นอกจากนี้พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยของถังที่ไม่เติมอากาศมีค่ามากกว่าถังที่เติมอากาศ แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าการให้อากาศไม่เป็นการลดอุณหภูมิของการหมักปุ๋ยลง ทั้งนี้การให้อากาศเป็นการตั้งเวลาการให้อากาศที่ 10 นาที ทุก 3 ชั่วโมง และจากค่าเฉลี่ยช่วงของอุณหภูมิภายในถังหมักมีค่าเหมาะสมสำหรับแบคทีเรียประเภท mesophile



ภาพที่ 3 อุณหภูมิภายในถังหมัก

ตารางที่ 3 ผลการทดลอง

ถังที่	1.WCAE(1)	2.WCA	3.WRAE	4.WRA	5.WCE	6.WRE	7.WR	8.W	9.WC	10.WCAE(2)
Total raw garbage (g)	5090.36	4813.12	4533.94	4389.97	4175.46	3728.61	4879.52	3696.17	4356.24	3341.28
Moisture (%)	85.10	82.47	67.38	71.13	87.58	73.81	78.76	85.35	84.25	85.12
Compost/ raw garbage (g/g)	0.27	0.25	0.16	0.19	0.35	0.23	0.30	0.33	0.43	0.26
	0.28±0.08									
ปริมาณน้ำหมัก/วัตถุดิบตั้งต้น (ml/g)	ไม่ปรากฏน้ำหมักที่ระบายจากถังหมักปุ๋ย	ไม่ปรากฏน้ำหมักที่ระบายจากถังหมักปุ๋ย	ไม่ปรากฏน้ำหมักที่ระบายจากถังหมักปุ๋ย	ไม่ปรากฏน้ำหมักที่ระบายจากถังหมักปุ๋ย	0.16	0.30	0.34	0.18	เกิดน้ำหมักปริมาณเล็กน้อย	ไม่ปรากฏน้ำหมักที่ระบายจากถังหมักปุ๋ย
อุณหภูมิเฉลี่ย (C°)	29.9±1.6	30.2±1.6	30.0±1.5	30.0±1.7	30.6±1.8	30.4±2.0	31.9±2.0	29.7±1.8	30.2±1.9	30.5±2.2

การวัดการยุบตัวของขยะในถังหมักสามารถพิจารณาได้จากภาพที่ 2 และตารางที่ 4 แสดงความลาดชันของการยุบตัวของขยะแต่ละถัง การยุบตัวและความลาดชันของการยุบตัวเป็นตัวชี้วัดทางอ้อมประการหนึ่งว่ากระบวนการหมักเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพหรือไม่ การยุบตัวที่ดีที่สุด (ลาดชันสูงสุด) เกิดขึ้นกับถังหมักที่ใช้ขุยมะพร้าวเป็นตัวกลางและมีการเติมอากาศ และเอนไซม์ธรรมชาติ

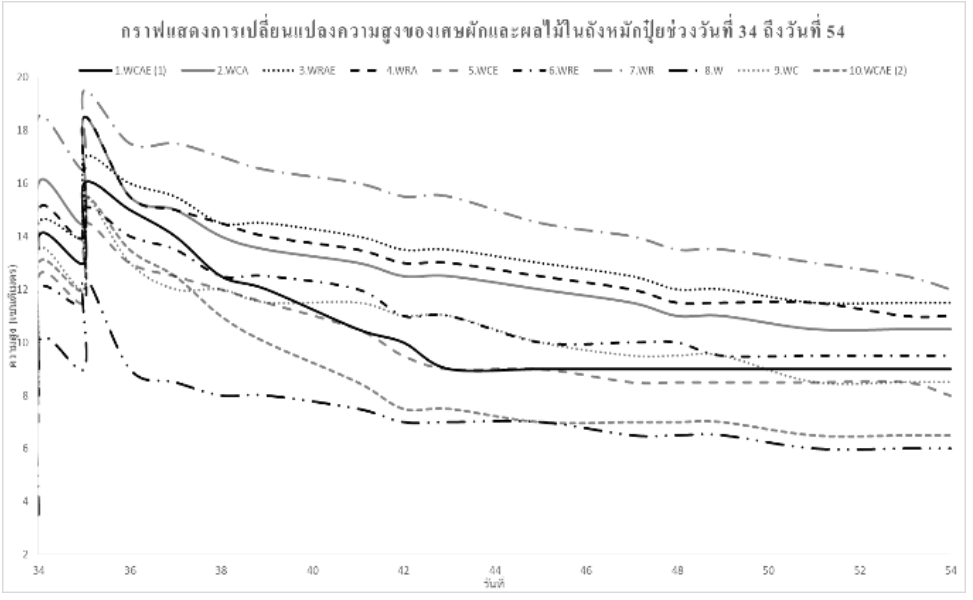
ตารางที่ 4 ความลาดชันของการยุบตัวของขยะ (10 วันแรกของการหมัก)

ถัง	slope	ถัง	slope
WCAE (1)	-0.9894	WRAE	-0.3316
WCAE (2)	-0.8514	W	-0.5021
WCE	-0.6274	WRE	-0.4113
WCA	-0.6231	WRA	-0.5499
WC	-0.4214	WR	-0.4268

ตารางที่ 5 แสดงผลการวัดค่าสารอาหารประเภทไนโตรเจน ฟอสฟอรัสและโปรแตสเซียมจากมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ปุ๋ยหมักควรมีธาตุอาหารหลัก ดังนี้ ไนโตรเจนทั้งหมด (Total N) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 1.00 ของน้ำหนัก ฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.50 ของน้ำหนัก โพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ (K_2O) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 0.50 ของน้ำหนัก

ตารางที่ 5 การวัดปริมาณสารอาหารในปุ๋ย

ถังที่	N (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)
1. WCAE (1)	2.39	1.29	4.10
2. WCA	2.79	1.09	5.03
3. WRAE	1.25	0.70	3.91
4. WRA	1.54	0.48	2.99
5. WCE	2.13	1.26	2.99
6. WRE	1.52	0.65	2.99
7. WR	1.70	0.32	1.91
8. W	2.82	0.68	2.34
9. WC	2.09	0.57	2.82
10.WCAE (2)	2.07	1.49	3.34



ภาพที่ 2 การยุบตัวภายในถังหมัก

จากผลการทดลองพบว่าถังหมักที่ไม่ผ่านมาตรฐานปุ๋ยหมัก ได้แก่ ถังที่ 4 WRA และถังที่ 7 WR เนื่องจากมีค่าฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ น้อยกว่าร้อยละ 0.50 ของน้ำหนัก ซึ่งทั้งสองถังหมักปุ๋ยนี้เป็นถังที่ใช้แกลบเป็นตัวกลางในการหมัก และไม่มีการใช้เอนไซม์ช่วยจากมะละกอและสับปะรด นอกจากนี้พบว่าการวัดค่าปริมาณธาตุอาหารในน้ำหมัก ดังตาราง ที่ 6 พบว่าน้ำหมักมีค่าสารอาหารต่ำกว่านิยามปุ๋ยหมักของกรมพัฒนาที่ดิน จากการวัดความหนาแน่นของปุ๋ยหมัก (ตารางที่ 7) จะเห็นว่าถังหมักปุ๋ยที่ติดตั้งพัดลมจะมีค่าความหนาแน่นที่น้อยกว่าถังหมักปุ๋ยที่ไม่ติดตั้งพัดลม แสดงว่าการติดตั้งพัดลมช่วยให้เกิดกระบวนการย่อยสลายที่ดีกว่าการไม่ติดตั้งพัดลม

ตารางที่ 6 ปริมาณธาตุอาหารในน้ำหมัก

ถังที่	N (%)	P_2O_5 (%)	K_2O (%)
5. WCE	0.02	0.02	0.21
6. WRE	0.05	0.05	0.21
7. WR	0.02	0.01	0.15
8. W	0.05	0.02	0.21

ตารางที่ 7 ความหนาแน่นของปุ๋ย

ถังที่	ความหนาแน่น (กรัมต่อลิตร)
1. WCAE(1)	182
2. WCA	144
3. WRAE	112
4. WRA	115
5. WCE	352
6. WRE	150
7. WR	240
8. W	269
9. WC	235
10.WCAE(2)	103

4. สรุป

การยุบตัวของเศษผักและผลไม้ พบว่าถังที่ 10 WCAE (2) มีค่าการยุบตัวของเศษผักและผลไม้มากที่สุด (0.35 เซนติเมตรต่อวัน) แสดงว่าการหมักปุ๋ยโดยใช้ขุยมะพร้าวเป็นตัวกลาง และมีการติดตั้งพัดลมสามารถช่วยให้เกิดกระบวนการย่อยสลายได้ดี

อุณหภูมิที่ใช้ในกระบวนการหมัก พบว่าถังที่ 7 WR มีอุณหภูมิที่ตรวจวัดได้สูงที่สุด โดยพบว่ามีค่าการยุบตัวของเศษผักและผลไม้มากกว่าหรือใกล้เคียงกับถังหมักปุ๋ยที่ติดตั้งพัดลม แสดงว่าอุณหภูมิที่มากสามารถช่วยให้เกิดกระบวนการย่อยสลายได้ดี โดยถังที่ติดตั้งพัดลมมีอุณหภูมิเฉลี่ยน้อยกว่าถังที่ไม่ติดตั้งพัดลมอย่างไม่มีนัยสำคัญ (30.1±0.3 C° และ 30.5±0.8 C°)

ผลิตภัณฑ์ต่อวัตถุดิบตั้งต้น มีค่าเฉลี่ย คือ 0.28±0.08 กรัมของผลิตภัณฑ์ต่อกรัมวัตถุดิบตั้งต้น และการใช้เอนไซม์ช่วยจากมะละกอและสับปะรด พบว่าถังหมักปุ๋ยที่ใช้เอนไซม์ช่วยจากมะละกอและสับปะรดมีค่าผลิตภัณฑ์ต่อวัตถุดิบตั้งต้นน้อย เมื่อเทียบกับถังหมักปุ๋ยที่ไม่ใช้เอนไซม์ช่วยจากมะละกอและสับปะรด แสดงว่าการใช้เอนไซม์ช่วยจากมะละกอและสับปะรดมีส่วนช่วยในการเกิดกระบวนการย่อยสลายที่ดี

การเลือกชนิดตัวกลาง พบว่าการใช้ขุยมะพร้าวเป็นตัวกลางมีค่าการยุบตัวของเศษผักและผลไม้มากกว่าการใช้แกลบเป็นตัวกลาง แสดงว่าการใช้ขุยมะพร้าวเป็นตัวกลางจะทำให้เกิดกระบวนการหมักที่ดีกว่าการใช้แกลบเป็นตัวกลาง

ธาตุอาหารหลัก พบว่าถังหมักปุ๋ยที่มีการติดตั้งพัดลมจะมีค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) และปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ (K_2O) มากกว่าถังที่ไม่มีการติดตั้งพัดลม การหมักปุ๋ยแบบมีการใช้เอนไซม์ช่วยจากมะละกอและสับปะรด จะมีค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (N) น้อยกว่าถังที่มีการใช้เอนไซม์ช่วยจากมะละกอและสับปะรด แต่ค่าปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) จะมีมากกว่าถังที่ไม่มีการใช้เอนไซม์ช่วยจากมะละกอและสับปะรด การใช้ขุยมะพร้าวเป็นตัวกลางจะทำให้มีค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (N) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) และปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ (K_2O) มากกว่าถังที่มีการใช้แกลบเป็นตัวกลาง น้ำหมักที่เกิดขึ้นจะมีค่าปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด (N) ปริมาณฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ (P_2O_5) และปริมาณโพแทสเซียมที่ละลายน้ำได้ (K_2O) น้อยกว่าปุ๋ยหมัก

ความหนาแน่นของปุ๋ย พบว่าถังหมักปุ๋ยที่ติดตั้งพัดลมมีค่าความหนาแน่นของปุ๋ยน้อยกว่าถังหมักปุ๋ยที่ไม่ติดตั้งพัดลม แสดงว่าการติดตั้งพัดลมช่วยให้เกิดกระบวนการย่อยสลายได้ดีกว่าการไม่ติดตั้งพัดลม

5. เอกสารอ้างอิง

[1] กรมวิชาการเกษตร (2548). มาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์.

[2] ประเสริฐ สองเมือง (2543). เอกสารทางวิชาการเรื่องการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในนาข้าว. กลุ่มงานวิจัยความอุดมสมบูรณ์ของดินและปุ๋ยข้าวและธัญพืชเมืองหนาว กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร.

[3] อาณัติ ต๊ะปินตา (2555). รูปแบบที่เหมาะสมในการผลิตปุ๋ยหมักจากขยะย่อยสลายได้เพื่อนำกลับมาใช้ประโยชน์ภายในมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา. วิทยานิพนธ์ระดับมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา, กรุงเทพฯ.

[4] ธีระพงษ์ สว่างปัญญางกูร เสมอขวัญ ตันติกุล และชนวัฒน์ นิทัศน์วิจิตร (2547). การศึกษาความเป็นได้ในการผลิตปุ๋ยหมักจากเศษพืชในเชิงอุตสาหกรรมด้วยระบบกองเติมอากาศ. เชียงใหม่: ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

[5] ธันวดี ศรีธาวิรัตน์ (2547). การศึกษากระบวนการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารร่วมกับเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. พิษณุโลก: มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม.

[6] นคร สุริยานนท์ (2552). การศึกษาผลของการเติมอากาศแบบแพสซีฟต่อการทำปุ๋ยหมักจากขยะอินทรีย์ครัวเรือน. เชียงใหม่: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

[7] นนทรัฐ อินยิ้ม (2549). การหาอัตราส่วนของคาร์บอนต่อไนโตรเจนและอัตราการเติมอากาศที่เหมาะสมในการทำปุ๋ยหมักจากขยะมูลฝอยชุมชน. กรุงเทพมหานคร: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

[8] ลดาวัลย์ วัฒนะจีระ (2546). การทำปุ๋ยหมักจากเศษใบไม้แห้งและขยะโดยวิธีการหมักแบบใช้ออกซิเจน. วิทยานิพนธ์ระดับมหาบัณฑิต, สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, คณะวิชาโยธา, สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคพายัพ, เชียงใหม่.

[9] สรพรรณ อมตธรรม (2546). การศึกษาการทำปุ๋ยหมักจากเศษอาหารโดยใช้เทอร์โมฟิลิคแบคทีเรีย. เชียงใหม่: ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่