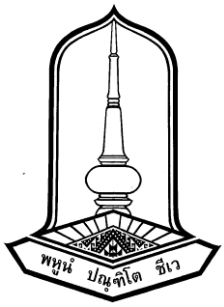


การปรับปรุงการอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรสำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

ทิพวัลย์ ประสงสุข

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ธันวาคม 2558
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Mahasarakham University

การปรับปรุงการอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรสำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

ทิพวัลย์ ประสงสุข

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ธันวาคม 2558
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Mahasarakham University

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนางสาวทิพวัลย์ ประสงสุข แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....	ประธานกรรมการ
(ผศ.ดร.ทรงชัย วิริยะอำไพวงศ์)	(กรรมการบัณฑิตศึกษาประจำคณะ)
.....	กรรมการ
(อาจารย์ ดร.นเรศ มีโส)	(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก)
.....	กรรมการ
(อาจารย์ ดร.อิสราภรณ์ สมบุญวัฒนกุล)	(อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม)
.....	กรรมการ
(ผศ.ดร.ณัฐพล ภูมิสะอาด)	(กรรมการบัณฑิตศึกษาประจำคณะ)
.....	กรรมการ
(ผศ.ดร.ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์)	(ผู้ทรงคุณวุฒิ)

มหาวิทยาลัยอนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

.....	.....
(ศ.ดร.สัมพันธ์ ฤทธิเดช)	(ศ.ดร.ประดิษฐ์ เทอดทูล)
คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์	คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 4 เดือน ธ.ค. พ.ศ. 2558

Mahasarakham University

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาเอาใจใส่ดูแลให้คำปรึกษา ตรวจแก้ไขข้อบกพร่องตลอดจนให้คำแนะนำช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก อาจารย์ ดร.นเรศ มีโส อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก อาจารย์ ดร.อิสราภรณ์ สมบุญวัฒนกุล อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทรงชัย วิริยะอำไพวงส์ และรองศาสตราจารย์ ดร.ศิริธร ศิริอมรพรรณ ประธานกรรมการสอบ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยยงค์ เตชะไพโรจน์ ผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณโครงการทุนวิจัยมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้ความอนุเคราะห์ทุนการศึกษา และค่าใช้จ่ายในการทำวิจัยครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณวิสาหกิจชุมชนผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดตำบลศรีโคตร ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์วัสดุที่ใช้ในการทำวิจัยให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณหน่วยวิจัยเทคโนโลยีการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร (RedTec) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความอนุเคราะห์ให้คำแนะนำตลอดจนช่วยออกแบบและจัดสร้างเครื่องอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตร ทำให้การวิจัยลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ เครื่องมือ และรวมไปถึงการสอนผู้วิจัยในการวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด

คุณค่าและประโยชน์ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบเป็นเครื่องบูชาพระคุณบุพการี คุณพ่อบัวผัน – คุณแม่ประยงค์ ประสงสุข และผู้มีพระคุณทุกท่าน

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์มหาวิทยาลัยมหาสารคามที่ให้ได้ความรู้ และการอบรมสั่งสอนสิ่งที่ดีงามแก่ศิษย์ตลอดมาจนกระทั่งประสบความสำเร็จ คุณค่าหรือประโยชน์ใดๆ ที่ได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ทิพวัลย์ ประสงสุข

Mahasarakham University

ชื่อเรื่อง การปรับปรุงการอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรสำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด
ผู้วิจัย นางสาวทิพวัลย์ ประสงสุข
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมเครื่องกล
กรรมการควบคุม อาจารย์ ดร.นเรศ มีโส
อาจารย์ ดร.อิสราภรณ์ สมบุญวัฒนกุล
มหาวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2558

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อปรับปรุงการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตและรักษาคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด สำหรับเงื่อนไขของการอบแห้งที่ศึกษา ได้แก่ อุณหภูมิของอากาศร้อน 40 - 60 °C ความเร็วอากาศร้อน 0.5 - 1.5 m/s และความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 1-10 cm ตามลำดับ รวมทั้งจะตรวจสอบคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด เช่น ปริมาณความชื้น ไนโตรเจน (N) โพแทสเซียม (P) และฟอสฟอรัส (K) ผลการวิจัยพบว่า การอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตร สามารถลดระยะเวลาการอบแห้งได้ประมาณ 97 % เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งโดยใช้อากาศแวดล้อมบนพื้นคอนกรีตภายในอาคารของโรงงาน (ขั้นตอนการอบแห้งของทางอุตสาหกรรม) จากงานวิจัยในครั้งนี้สรุปได้ว่าเงื่อนไขการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่ดีที่สุดคือ อุณหภูมิของอากาศร้อน 60 °C ความเร็วของอากาศร้อน 1 m/s และความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 10 cm เมื่อพิจารณากำลังการผลิตและคุณภาพ

คำสำคัญ: เตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตร ; การอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ คุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ; การอบแห้งแบบในที่เก็บ ; หลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์

Mahasarakham University

TITLE Improvement of in-store drying by using hot-air from combination of roof-integrated solar collector and agricultural waste furnace for producing bio-organic fertilizer
AUTHOR Miss. Tippawan Prasongsuk
DEGREE Master of Engineering **MAJOR** Mechanical of engineering
ADVISORS Naret Meeso, Ph.D.
Isaraporn Sombunwatanakun. Ph.D.
UNIVERSITY Mahasarakham University **YEAR** 2015

ABSTRACT

The objective of this study was to improve the in-store granular bio-organic fertilizer drying by using hot-air from combination of roof-integrated solar collector and agricultural waste furnace for increasing the production capacity and maintaining the qualities of the granular bio-organic fertilizer. The drying conditions studied were as follows: hot-air temperatures of 40-60 °C, hot-air velocities of 0.5-1.5 m/s and granular bio-organic fertilizer bed height of 1-1.0 cm, respectively. Moreover, the qualities of granular bio-organic fertilizer were investigated such as moisture content, nitrogen (N), potassium (P) and phosphorus (K). The experimental results found that the in-store granular bio-organic fertilizer drying by using hot-air from combination of roof-integrated solar collector and agricultural waste furnace was able to reduced the drying time by 97 % compared with the ambient air drying on the concrete floor within the factory buildings (commercial drying stage). In condition, overall performance of in-store granular bio-organic fertilizer dried at hot-air temperatures of 60 °C, hot-air velocity of 1 m/s and granular bio-organic fertilizer bed height of 10 cm was the best with respect to the production capacity and the quality.

Key Words: Agricultural waste furnace ; Bio-organic fertilizer drying ; Bio-organic fertilizer quality ; In-store drying ; Roof-integrated solar collector.

Mahasarakham University

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพประกอบ	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ภูมิหลัง	1
1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย	2
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย	3
1.4 ความสำคัญของการวิจัย	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.6 สถานที่ดำเนินการวิจัย	4
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
1.8 นิยามศัพท์เฉพาะ	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ความหมายของปุ๋ย	5
2.2 ประเภทของปุ๋ย	6
2.3 ประเภทของปุ๋ยอินทรีย์	6
2.4 ส่วนประกอบของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด	7
2.5 คุณสมบัติปุ๋ยอินทรีย์	9
2.6 วิธีการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์	13
2.7 ทฤษฎีการอบแห้ง	17
2.8 ระบบโรงอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์	19
2.9 อุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์	25
2.10 ประเภทของอุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์	26
2.11 การหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของอากาศที่ใช้อบแห้ง	28
2.12 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์	28
2.13 ประสิทธิภาพอุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์	29
2.14 ปฏิกิริยาการเผาไหม้	29
2.15 สมบัติของอากาศ	33
2.16 แผนภูมิไซโครเมตริก	35
2.17 กระบวนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ	38

Mahasarakham University

หน้า

2.18 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 43
2.18.1 งานวิจัยในประเทศ 43
2.18.2 งานวิจัยต่างประเทศ 44
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 46
3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้การทดลอง 48
3.2 การเตรียมตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่ใช้ในการทดลอง 52
3.3 วิธีดำเนินการวิจัย 56
3.4 การวิเคราะห์คุณภาพ 57
3.5 การวิเคราะห์พลังงานในการอบแห้ง 61
3.6 การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์และระยะเวลาคืนทุนโรงอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 62
3.7 สถิติที่ใช้ในการวิจัย 63
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการอภิปราย 64
4.1 ผลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 65
4.2 ผลของความเร็วอากาการอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 66
4.3 ผลของความสูงเบดต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน โพแทสเซียม และ ฟอสฟอรัส 68
4.4 ผลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งต่อคุณภาพทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 69
4.5 ผลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งต่อคุณภาพทางชีวภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 70
4.6 ปริมาณการใช้พลังงานในการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 71
4.7 การออกแบบระบบอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับอุตสาหกรรม 73
4.8 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับอุตสาหกรรม 74
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ 77
5.1 สรุปผล 77
5.1.1 ผลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 77
5.1.2 ผลของความเร็วอากาศอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 77
5.1.3 ผลของความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 77

Mahasarakham University

หน้า

5.1.4 ผลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดต่อคุณภาพทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 78
5.1.5 ผลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดต่อคุณภาพทางชีวภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 78
5.1.6 ปริมาณการใช้พลังงานในการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดของระบบอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตร 78
5.1.7 การออกแบบระบบอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับอุตสาหกรรม 79
5.1.8 วิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับอุตสาหกรรม 79
5.2 ข้อเสนอแนะ 80
เอกสารอ้างอิง 81
ภาคผนวก 84
ภาคผนวก ก การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดด้วยอากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับอุตสาหกรรม 85
ภาคผนวก ข การเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 93
ภาคผนวก ค การคำนวณเศรษฐศาสตร์ระยะเวลาคืนทุนโรงอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 100
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมี 104
ประวัติย่อผู้วิจัย 106

Mahasarakham University

สารบัญตาราง

		หน้า
ตาราง 2.1	ปริมาณธาตุอาหารของมูลสัตว์แต่ละชนิด	8
ตาราง 2.2	คุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์	10
ตาราง 3.1	ผังระยะเวลาดำเนินงาน	46
ตาราง 4.1	แบบรายงานผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก ไนโตรเจน โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส ของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด	69
ตาราง 4.2	ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมในปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด	70
ตาราง 4.3	ปริมาณความร้อนจำเพาะจากพลังงานแสงอาทิตย์ของการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด	71
ตาราง 4.4	ปริมาณความร้อนจำเพาะจากเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรของการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด	72
ตาราง 4.5	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะของการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด	72
ตาราง ข.1	การเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดระหว่างการอบแห้งด้วยอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 40 50 และ60oC ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องอบแห้ง 80±2 % ซึ่งมีความเร็วของอากาศอบแห้งคงที่ 0.5 เมตรต่อวินาที	94
ตาราง ข.2	การเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดระหว่างการอบแห้งด้วยอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 40 50 และ60oC ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องอบแห้ง 80±2 % ซึ่งมีความเร็วของอากาศอบแห้งคงที่ 1.0 เมตรต่อวินาที	95
ตาราง ข.3	การเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดระหว่างการอบแห้งด้วยอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 40 50 และ60oC ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องอบแห้ง 80±2 % ซึ่งมีความเร็วของอากาศอบแห้งคงที่ 1.5 เมตรต่อวินาที	96
ตาราง ข.4	การเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ระหว่างการอบแห้งด้วยอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 40 oC ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องอบแห้ง 80±2 % ซึ่งมีความเร็วของอากาศอบแห้งคงที่ 0.5 1.0 และ 1.5 เมตรต่อวินาที	97
ตาราง ข.5	การเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ระหว่างการอบแห้งด้วยอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 50 oC ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องอบแห้ง 80±2 % ซึ่งมีความเร็วของอากาศอบแห้งคงที่ 0.5 1.0 และ 1.5 เมตรต่อวินาที	98
ตาราง ข.6	การเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ระหว่างการอบแห้งด้วยอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 60 oC ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องอบแห้ง 80±2 % ซึ่งมีความเร็วของอากาศอบแห้งคงที่ 0.5 1.0 และ 1.5 เมตรต่อวินาที	99

Mahasarakham University

สารบัญภาพประกอบ

หน้า

ภาพประกอบ 1.1 การอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดด้วยการตากบนพื้นคอนกรีตภายในอาคารของโรงงาน 2
ภาพประกอบ 2.1 ความหนาแน่นรวม 12
ภาพประกอบ 2.2 การจัดอุปกรณ์ในการหาความหนาแน่นรวม 13
ภาพประกอบ 2.3 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการอบแห้ 18
ภาพประกอบ 2.4 แสดงหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแบบอุโมงค์รับความร้อน 20
ภาพประกอบ 2.5 แสดงการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงและเป็นการอบแห้งแบบการพาอากาศแบบบังคับในการอบแห้ง 20
ภาพประกอบ 2.6 แสดงการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงที่แยกออกจากส่วนของตัวเก็บรังสีความร้อนและเป็นการอบแห้งแบบการพาอากาศแบบบังคับในการอบแห้ง 21
ภาพประกอบ 2.7 แสดงการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยวิธีแบบทางอ้อมโดยมีตัวกักเก็บความร้อนแล้วแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับอากาศโดยใช้การพาอากาศแบบบังคับในการอบแห้ง 22
ภาพประกอบ 2.8 แสดงการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยวิธีแบบทางอ้อมและทางตรงผสมกัน 23
ภาพประกอบ 2.9 แสดงการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการพาอากาศแบบธรรมชาติ 24
ภาพประกอบ 2.10 แสดงการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการพาอากาศแบบบังคับ 24
ภาพประกอบ 2.11 แสดงส่วนประกอบอุปกรณ์กำเนิดอากาศร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ 25
ภาพประกอบ 2.12 อุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์จะไหลผ่านที่ข้างล่างของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์แบบไหลทางเดียว 26
ภาพประกอบ 2.13 อุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์จะไหลผ่านทั้งข้างบนและข้างล่างของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์แบบไหลสองทาง 27
ภาพประกอบ 2.14 อุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบมีวัสดุพรุน 27
ภาพประกอบ 2.15 เตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลระบบสโตกเกอร์แบบตะกรับเอียง หรือตะกรับอยู่กับที่ 31
ภาพประกอบ 2.16 เตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลระบบสโตกเกอร์แบบตะกรับเลื่อน 31
ภาพประกอบ 2.17 เตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลระบบสโตกเกอร์แบบกระจาย 32
ภาพประกอบ 2.18 เตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลระบบสโตกเกอร์แบบขั้นบันได 32
ภาพประกอบ 2.19 เตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลระบบสโตกเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านล่าง 33
ภาพประกอบ 2.20 การวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกอย่างง่าย 34
ภาพประกอบ 2.21 กระบวนการอิ่มตัวแบบอะเดียบาติก 34
ภาพประกอบ 2.22 แผนภูมิไซโครเมตริก 36

Mahasarakham University

หน้า

ภาพประกอบ 2.23 เส้นคุณสมบัติคงที่บนแผนภูมิไซโครเมตริก 36
ภาพประกอบ 2.24 กระบวนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้น 38
ภาพประกอบ 2.25 กระบวนการเพิ่มความชื้น 39
ภาพประกอบ 2.26 กระบวนการทำความร้อนและเพิ่มความชื้น 39
ภาพประกอบ 2.27 กระบวนการทำความร้อน 40
ภาพประกอบ 2.28 กระบวนการลดความชื้นโดยวิธีทางเคมี 41
ภาพประกอบ 2.29 กระบวนการลดความชื้น 42
ภาพประกอบ 2.30 กระบวนการทำความเย็นและลดความชื้น 42
ภาพประกอบ 2.31 กระบวนการทำความเย็น 42
ภาพประกอบ 2.32 กระบวนการทำความเย็นและเพิ่มความชื้น 43
ภาพประกอบ 3.1 แสดงขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน 46
ภาพประกอบ 3.2 เครื่องอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับห้องปฏิบัติการ 48
ภาพประกอบ 3.3 เครื่องมือที่ใช้วัดและบันทึกอุณหภูมิ 49
ภาพประกอบ 3.4 เครื่องมือวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ 49
ภาพประกอบ 3.5 เครื่องชั่งน้ำหนัก 50
ภาพประกอบ 3.6 เครื่องมือวัด เวอร์เนียร์ 50
ภาพประกอบ 3.7 เครื่องมือที่ใช้ความเร็วลมของอากาศ 51
ภาพประกอบ 3.8 ตู้อบลมร้อน 51
ภาพประกอบ 3.9 กระป๋องดูดความชื้น 52
ภาพประกอบ 3.10 กล้องถ่ายรูป 52
ภาพประกอบ 3.11 เครื่องบดมูลสัตว์ 53
ภาพประกอบ 3.12 เครื่องผสมวัตถุดิบ 54
ภาพประกอบ 3.13 จานปั้นเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ 54
ภาพประกอบ 3.14 การใช้ตะแกรงร่อนเอาเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดขนาดเล็กออก 55
ภาพประกอบ 3.15 ขั้นตอนการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดด้วย 56
ภาพประกอบ 3.16 ตู้อบลมร้อนที่ใช้หาความชื้นปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 57
ภาพประกอบ 3.17 การนำปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดใส่ไว้ในโถดูดความชื้น 58
ภาพประกอบ 4.1 ผลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 66
ภาพประกอบ 4.2 ผลของความเร็วอากาศอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 67
ภาพประกอบ 4.3 ผลของความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 68

Mahasarakham University

หน้า

ภาพประกอบ 4.4 ระบบอบแห้งระบบอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับอุตสาหกรรม 74

Mahasarakham University

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ภูมิหลัง

วิสาหกิจชุมชนผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพอัดเม็ดตำบลศรีโคตร มีวัตถุประสงค์รวมกลุ่มกันเพื่อผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ซึ่งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดดังกล่าวส่วนมากจะจำหน่ายภายในเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือโดยเฉพาะบริเวณทุ่งกุลาร้องไห้ (คลอบคลุมพื้นที่ 5 จังหวัด คือ ร้อยเอ็ด สุรินทร์ มหาสารคาม ศรีสะเกษ และยโสธร) จนกระทั่งทำให้วิสาหกิจชุมชนดังกล่าวได้รับรางวัลชนะเลิศการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพดีเด่น ระดับประเทศปี 2549 สำหรับกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดของวิสาหกิจชุมชนผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพอัดเม็ดตำบลศรีโคตร ประกอบด้วย 6 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การบดวัตถุดิบ การผสมวัตถุดิบ การปั้นเม็ดปุ๋ยพร้อมกับเติมน้ำจุลินทรีย์ (EM) การอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด การบรรจุถุง และการเก็บรักษาเพื่อส่งจำหน่ายให้แก่ลูกค้าตามลำดับ

จากกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดดังที่กล่าวผ่านมาเบื้องต้น จะเห็นได้ว่า ขั้นตอนการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดเป็นขั้นตอนที่สำคัญของกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด เนื่องจากขั้นตอนการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดจะเป็นตัวกำหนดกำลังการผลิตของกระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดเพราะใช้ระยะเวลานาน รวมทั้งขั้นตอนดังกล่าวยังเป็นตัวกำหนดคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดไม่ให้เกิดความเสียหายระหว่างขั้นตอนการเก็บรักษาเพื่อรอส่งจำหน่ายให้แก่ลูกค้า เพราะอาจจะทำให้ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดเกิดการเน่าเสีย และมีกลิ่นเหม็น

ปัจจุบันวิสาหกิจชุมชนผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพอัดเม็ดตำบลศรีโคตร ได้ทำการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดด้วยการตากบนพื้นคอนกรีตภายในอาคารของโรงงาน ดังแสดงในภาพประกอบ 1.1 โดยจะตากปุ๋ยที่ความหนาประมาณ 5 เซนติเมตร และในระหว่างการอบแห้งจะต้องมีคนงานคอยกลับกองปุ๋ยทุก ๆ 2-3 ชั่วโมง ใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 8-29 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ส่งผลให้กำลังการผลิตไม่ทันตามความต้องการของลูกค้าที่มาสั่งซื้อ รวมทั้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดในขั้นตอนการเก็บรักษาเพื่อส่งจำหน่ายให้แก่ลูกค้ายังมีคุณภาพต่ำเนื่องจากปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่ผลิตออกมายังเกิดการเน่าเสียและมีกลิ่นเหม็น โดยเฉพาะปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่ผลิตในฤดูฝน ซึ่งส่งผลต่อความเชื่อมั่นของลูกค้าที่มาสั่งซื้อปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดไปจำหน่าย

Mahasarakham University

ภาพประกอบ 1.1 การอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดด้วยการตากบนพื้นคอนกรีตภายในอาคารของโรงงาน

จากปัญหากำลังการผลิตต่ำของขั้นตอนการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด และคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดต่ำในขั้นตอนการเก็บรักษาเพื่อส่งจำหน่ายให้แก่ลูกค้าดังที่กล่าวมาเบื้องต้นนี้ ผู้ประกอบการจึงมีความต้องการที่จะปรับปรุงขั้นตอนการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดให้สามารถอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดประมาณ 1,000-1,500 กิโลกรัมต่อวัน ให้สามารถใช้อากาศร้อนในการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดได้ทั้งจากแสงอาทิตย์และหัวเผาแก๊สเพื่อให้สามารถทำการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดได้ทั้งที่มีและไม่มีแสงอาทิตย์ แต่ทางคณะผู้วิจัยเสนอแนะให้ใช้อากาศร้อนในการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดจากแสงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรดีกว่าที่จะใช้จากพลังงานแสงอาทิตย์และหัวเผาแก๊ส เนื่องจากเศษวัสดุทางการเกษตรเป็นแหล่งเชื้อเพลิงที่หาได้ง่ายในพื้นที่บริเวณใกล้กับโรงงาน รวมทั้งมีปริมาณมาก และราคาถูก ยกตัวอย่างเช่น ไม้ยูคาลิปตัส เป็นต้น ดังนั้นทางวิสาหกิจชุมชนผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพอัดเม็ดตำบลศรีโคตร และคณะผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดร่วมกันที่จะปรับปรุงขั้นตอนการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดด้วยการอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรเพื่อแก้ไขปัญหากำลังการผลิตต่ำของขั้นตอนการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด และคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดต่ำในขั้นตอนการเก็บรักษาเพื่อส่งจำหน่ายให้แก่ลูกค้า

1.2 ความมุ่งหมายของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาตัวแปรของระบบอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรที่มีผลต่อกำลังการผลิตของขั้นตอนการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ คุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางชีวภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่ผ่านการอบแห้งด้วยระบบอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตร

Mahasarakham University

1.2.3 เพื่อวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตร

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

การอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดโดยใช้หลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรสามารถลดระยะเวลาการอบแห้งและรักษาคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดได้

1.4 ความสำคัญของการวิจัย

สามารถรู้ถึงขั้นตอนการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดด้วยระบบอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรที่สามารถลดระยะเวลาการอบแห้งและรักษาคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดได้

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1ตัวแปรควบคุม

1.5.1.1.ความชื้นเริ่มต้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดก่อนอบแห้งอยู่ระหว่าง 45 – 50 %, มาตรฐานแห้ง (Dry basis, d.b.)

1.5.1.2. เม็ดปุ๋ยที่ใช้ในการทดลองมีขนาด 3-5 มิลลิเมตร

1.5.2 ตัวแปรต้น

1.5.2.1. อุณหภูมิของอากาศที่ใช้อบแห้งได้แก่ 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส (℃)

1.5.2.2. ความเร็วของอากาศที่ใช้อบแห้งได้แก่ 0.5 1.0 และ 1.5 เมตรต่อวินาที่ (m/s)

1.5.2.3. ความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ได้แก่ 1 5 และ 10 เซนติเมตร

1.5.3 ตัวแปรตาม

1.5.3.1. ความชื้นสุดท้ายของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดหลังอบแห้งไม่เกิน 17 % d.b. (ค่าความชื้นที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษาปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตร)

1.5.3.2. คุณภาพทางกายภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ได้แก่ ปริมาณความชื้น

1.5.3.3. คุณภาพทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ได้แก่ ปริมาณธาตุอาหารหลัก เช่น ไนโตรเจน โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส

1.5.3.4. คุณภาพทางชีวภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ได้แก่ ปริมาณจุลินทรีย์รวมของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

1.5.3.5. วิเคราะห์การใช้พลังงานในการอบแห้งปุ๋ยอินทรียีชีวภาพเม็ด

1.5.3.6. วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่มกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับอุตสาหกรรม

Mahasarakham University

1.6 สถานที่ดำเนินการวิจัย

1.6.1 หน่วยวิจัยเทคโนโลยีการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

1.6.2 โรงงานวิสาหกิจชุมชนผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดตำบลศรีโคตร หมู่ที่ 1 ตำบลศรีโคตร อำเภอจตุรพักตรพิมาน จังหวัดร้อยเอ็ด

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

หากงานวิจัยสัมฤทธิ์ผลดังคาดจะได้ระบบอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผง รับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรที่มีประสิทธิภาพสูงในด้านการเพิ่มกำลังการผลิต และ รักษาคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด รวมทั้งได้ระบบอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่ เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรต้นแบบในการพัฒนาต่อยอดไปสู่อุตสาหกรรม อบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดในระดับต่างๆ ได้

1.8 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.8.1 ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด จัดอยู่ในกลุ่มของปุ๋ยคอกหรือปุ๋ยมูลสัตว์ที่นำมาปั้นเม็ด แล้วเติมส่วนประกอบอื่นรวมทั้ง จุลินทรีย์ Effective Micro-organisms (จุลินทรีย์ EM)

1.8.2 การอบแห้งในที่เก็บ หมายถึง การอบแห้งวัสดุในถังเก็บรักษาเมื่อเมล็ดพืชแห้งดีแล้วจะไม่มีการเคลื่อนย้ายเมล็ดพืชระหว่างการอบแห้งและการเก็บรักษา (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2532)

1.8.3 ความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด หมายถึง ความหนาของชั้นปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด มีหน่วยเป็นเซนติเมตร

Mahasarakham University

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งแบ่งได้เป็นหัวข้อต่อไปนี้

2.1 ความหมายของปุ๋ย
2.2 ประเภทของปุ๋ย
2.3 ประเภทของปุ๋ยอินทรีย์
2.4 ส่วนประกอบของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด
2.5 คุณสมบัติปุ๋ยอินทรีย์
2.6 วิธีการวิเคราะห์ปุ๋ยอินทรีย์
2.7 ทฤษฎีการอบแห้ง
2.8 ระบบโรงอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์
2.9 อุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์
2.10 ประเภทของอุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์
2.11 การหาอัตราการถ่ายเทความร้อนของอากาศที่ใช้อบแห้ง
2.12 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์
2.13 ประสิทธิภาพอุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์
2.14 ปฏิกิริยาการเผาไหม้
2.15 สมบัติของอากาศ
2.16 แผนภูมิไซโครเมตริก
2.17 กระบวนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ
2.18 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
    2.18.1 งานวิจัยในประเทศ
    2.18.2 งานวิจัยต่างประเทศ

2.1 ความหมายของปุ๋ย

ตามพระราชบัญญัติปุ๋ย พ.ศ.2518 ได้ให้คำจำกัดความของปุ๋ยไว้ว่า ปุ๋ยคือสารอินทรีย์หรือสารอินทรีย์ที่เกิดขึ้นโดยธรรมชาติหรือจากการสังเคราะห์ สำหรับใช้เป็นธาตุอาหารให้แก่พืชได้ หรือทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในดินเพื่อบำรุงความเติบโตให้แก่พืช (วรพจน์ รัมพณีนิล, 2529)

Mahasarakham University

2.2 ประเภทของปุ๋ย

เมื่อพิจารณาถึงองค์ประกอบที่มีอยู่ภายในปุ๋ยแล้ว อาจแบ่งปุ๋ยออกได้ 4 ประเภทคือ (ธงชัย มาลา, 2546)

2.2.1 ปุ๋ยเคมี (chemical fertilizer) หมายถึงปุ๋ยที่ได้จากกรรมวิธีการผลิตทางเคมี มีปริมาณธาตุอาหารพืชสูง ส่วนใหญ่มีองค์ประกอบเป็นอนินทรีย์ยกเว้นปุ๋ยยูเรีย (NH_2CONH_2) ซึ่งมีสารประกอบเป็นสารอินทรีย์

2.2.2 ปุ๋ยอนินทรีย์ (Inorganic fertilizer) หมายถึงปุ๋ยที่องค์ประกอบของปุ๋ยเป็นสารอนินทรีย์ ส่วนใหญ่เป็นปุ๋ยที่ผลิตโดยผ่านกรรมวิธีทางเคมีสังเคราะห์ อาจเป็นปุ๋ยเชิงเดี่ยว (single fertilizer) หรือปุ๋ยผสม (compound fertilizer) ที่มีธาตุอาหารในปุ๋ยที่แตกต่างกันออกไป บางชนิดเป็นปุ๋ยที่อยู่ตามธรรมชาติ เช่นปุ๋ยหินฟอสเฟตบด โพแทสเซียมคลอไรด์ เป็นต้น

2.2.3 ปุ๋ยอินทรีย์ (organic fertilizer) หมายถึงปุ๋ยที่องค์ประกอบของปุ๋ยเป็นสารอินทรีย์ชนิดต่างๆ ธาตุอาหารในปุ๋ยจะเกิดประโยชน์ต่อพืชได้ก็ต่อเมื่อได้ผ่านกระบวนการย่อยสลายโดยจุลินทรีย์เสียก่อนแล้วปลดปล่อยออกมาในรูปอนินทรีย์ ปุ๋ยอินทรีย์ที่ใช้กันแพร่หลาย ได้แก่ ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก และปุ๋ยพืชสด ซากพืช หรือซากสัตว์ที่ไถกลบลงดิน รวมถึงพวกอินทรีย์สารที่เป็นของเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตร เช่นกากตะกอนอ้อย (filter cake) ทะลายปาล์ม เป็นต้น

2.2.4 ปุ๋ยชีวภาพ (bio-fertilizer) หมายถึง ปุ๋ยที่มีจุลินทรีย์ชนิดที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นส่วนผสมอยู่เป็นปริมาณมาก เมื่อเติมลงดินแล้วสามารถดำเนินกิจกรรมได้ทันทีโดยทำให้ดินมีความอุดมสมบูรณ์มากขึ้น หรืออาจทำให้พืชได้รับประโยชน์จากธาตุอาหารในดินมากขึ้นอันเนื่องมาจากกิจกรรมของจุลินทรีย์

2.3 ประเภทของปุ๋ยอินทรีย์

ปุ๋ยอินทรีย์ คือ สารประกอบอินทรีย์ที่มีธาตุอาหารพืชเป็นองค์ประกอบ และเป็นสารปรับปรุงดิน ทำให้ดินมีคุณสมบัติทางกายภาพดีขึ้น มีแหล่งกำเนิดจากสารอินทรีย์ ซึ่งแบ่งออกเป็น 4 ประเภทดังนี้ (มุกดา สุขสวัสดิ์, 2543)

2.3.1 ปุ๋ยคอก(Animal manure)เป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งซึ่งได้จากมูลสัตว์ต่างๆ ที่อยู่ในรูปของเหลวและของแข็งส่วนใหญ่จะเป็นมูลสัตว์เลี้ยงเช่น มูลเป็ด มูลไก่ มูลสุกร มูลโค เป็นต้น เป็นผลพลอยได้จากการเลี้ยงสัตว์ที่มีการนำมาใช้ทางการเกษตร มูลสัตว์เหล่านี้เป็นส่วนของซากพืชซากสัตว์ที่ได้จากอาหารสัตว์ทีผ่านกระบวนการย่อยสลายโดยระบบย่อยอาหารของสัตว์ ปัสสาวะก็จะเป็นส่วนประกอบของเกลือและสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้ จึงเป็นแหล่งอาหารของพืช ตลอดจนช่วยปรับปรุงดินให้เหมาะสมต่อการปลูกพืชธาตุอาหารพืชจากปุ๋ยคอกจะมีปริมาณน้อย และอยู่ในรูปที่เป็นประโยชน์ต่อพืชแตกต่างกันขึ้นอยู่กับปัจจัย ดังนี้

2.3.1.1 ชนิดของอาหารที่สัตว์บริโภค สัตว์ที่บริโภคสัตว์เป็นอาหาร เช่น แมลง ปลา และหอย จะมีธาตุอาหารในมูลที่ขับถ่ายออกมามากกว่ามูลสัตว์ที่ได้จากสัตว์ที่บริโภคพืชเป็นอาหาร

2.3.1.2 อัตราส่วนคาร์บอน/ไนโตรเจน (C:N) ของปุ๋ย จะเป็นคุณสมบัติของปุ๋ยคอกที่บอกถึงองค์ประกอบทางเคมี ปุ๋ยคอกที่มาจากสัตว์ที่บริโภคพืชเป็นอาหารจะมี อัตราส่วนคาร์บอนต่อ

Mahasarakham University

ไนโตรเจนสูง แสดงว่ามีปริมาณธาตุไนโตรเจนน้อย เนื่องจากมีซากพืชในรูปของคาร์บอน (C) เป็นองค์ประกอบในมูลสัตว์เหล่านั้น

2.3.1.3 อายุสัตว์ สัตว์ที่มีอายุน้อยจะมีการย่อยสลาย และการดูดซึมธาตุอาหารได้ดี จึงทำให้มูลสัตว์มีธาตุอาหารน้อย แต่ในสัตว์อายุมากการย่อยสลายและการดูดซึมธาตุอาหารจะมีน้อย จึงทำให้มูลสัตว์อายุมากมีธาตุอาหารติดมามาก

2.3.1.4 วัสดุรองพื้นคอก ควรเลือกวัสดุที่มีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำ เช่น หญ้าขน ผักตบชวา ปอเทือง เปลือกมันสำปะหลัง ต้นข้าวโพด เปลือกถั่วลิสง และฟางข้าวตามลำดับ วัสดุรองพื้นคอกจะต้องดูดซับธาตุอาหารที่อยู่ในของเหลวของสัตว์ได้ดี พวกธัญพืช ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ตอซังข้าว จะดูดซับน้ำได้ประมาณ 2-3 เท่าของน้ำหนักแห้ง

2.3.1.5 การเก็บรักษาปุ๋ยคอก การสลายตัวของปุ๋ยคอกจะเกิดขึ้นในเวลาที่สั้นกว่าปุ๋ยอินทรีย์ชนิดอื่นๆ ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดการสูญเสียธาตุอาหารได้ง่าย จึงควรหมั่นเก็บมูลสัตว์มารวบรวมไว้บ่อยๆ เก็บไว้ในที่ๆมีหลังคาปิด เพื่อป้องกันการชะล้างธาตุอาหารของน้ำฝน และไม่ควรเก็บไว้นานเกินไป เพราะจะทำให้ธาตุอาหารลดลง

2.3.2 ปุ๋ยหมัก (Compost) เป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการนำวัสดุอินทรีย์จากพืชและสัตว์ทางการเกษตร มาผลิตด้วยกรรมวิธีทำให้ชื้น สับ บด ร่อน และผ่านกรรมวิธีการหมักอย่างสมบูรณ์ จนแปรสภาพจากเดิม ซึ่งกระบวนการหมักเป็นการย่อยสลายทางชีววิทยา โดยอาศัยกิจกรรมของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์บางชนิด ภายใต้สภาวะที่เหมาะสม ซึ่งจะย่อยสลายสารอินทรีย์จนกลายเป็นปุ๋ยที่มีลักษณะนุ่มยุ่ยขาดจากกันได้ง่าย มีอุณหภูมิไม่สูงกว่าอุณหภูมิสภาพแวดล้อม ซึ่งจะใส่บำรุงดินช่วยปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของดิน ทำให้ดินร่วนซุยและอุ้มน้ำได้ดีขึ้น

2.3.3 ปุ๋ยพืชสด (Green manure) เป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งที่ได้จากการไถกลบซากพืชขณะที่ยังสดอยู่ลงสู่ดินแล้วปล่อยไว้ให้เน่าเปื่อยผุพังกลายเป็นปุ๋ยให้ธาตุอาหารกับพืชซึ่งอาจได้จากการไถกลบพืชหลักหรือพืชบางชนิดที่ให้ปริมาณธาตุอาหารสูงเจริญเติบโตเร็วออกดอกในเวลาสั้น ประมาณ 30-60 วันต้านทานโรคและแมลงได้ดี สามารถไถกลบง่าย ลำต้นเปราะ เน่าเปื่อยและสลายตัวได้เร็ว มีธาตุอาหารสูง พืชที่นิยมใช้เป็นปุ๋ยพืชสดส่วนใหญ่เป็นพืชตระกูลถั่ว เพราะพืชเหล่านี้มีความสามารถในการตรึงไนโตรเจนจากอากาศ จึงเป็นการช่วยเพิ่มธาตุไนโตรเจนให้แก่พืชหลักได้ในอีกรูปแบบหนึ่ง นอกจากนี้ปุ๋ยพืชสดยังช่วยเพิ่มอินทรีย์วัตถุและธาตุอาหารให้แก่ดิน

2.3.4 ปุ๋ยชีวภาพ (Bio fertilizer) คือปุ๋ยที่ประกอบด้วยจุลินทรีย์ที่มีชีวิต ที่ใช้ในการปรับปรุงดินทางชีวภาพ กายภาพ และทางเคมีชีวะ เพื่อให้เกิดการย่อยสลายอินทรียวัตถุ ตลอดจนปลดปล่อยธาตุอาหารจากอินทรียวัตถุ สำหรับจุลินทรีย์ที่กรมวิชาการเกษตรแนะนำให้ใช้ ได้แก่ สาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงิน แหนแดง ไรโซเบียม และเชื้อไมโครไรซ่า เป็นต้น

2.4 ส่วนประกอบของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

2.4.1 มูลสัตว์เป็นปุ๋ยอินทรีย์ชนิดหนึ่งซึ่งได้มาจากการเลี้ยงสัตว์ และได้มีการนำมาใช้ในทางการเกษตรอย่างแพร่หลายเป็นเวลานาน ปุ๋ยคอกไม่เพียงแต่ให้ธาตุอาหารหลักธาตุอาหารรองที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของพืช แต่ยังช่วยปรับปรุงคุณภาพของดินให้เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของพืช ทำให้ดินมีการระบายน้ำและอากาศได้ดีขึ้น ช่วยเพิ่มความคงทนให้แก่เม็ดดิน เป็นการลดการชะล้างพังทลาย

Mahasarakham University

ของดิน และช่วยรักษาหน้าดินไว้ นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งธาตุอาหารของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ในดิน ซึ่งมีผลทำให้กิจกรรมต่างๆของจุลินทรีย์ดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ และยังช่วยเพิ่มปริมาณจุลินทรีย์ในดิน มูลสัตว์ส่วนใหญ่เป็นของแข็ง ประกอบไปด้วย เศษพืชและสัตว์ ซึ่งเป็นอาหารที่สัตว์กินเข้าไปแล้วไม่สามารถย่อย หรือนำไปใช้ประโยชน์ได้หมด จนเหลือเป็นกากที่สัตว์ขับถ่ายออกมา โดยเศษอาหารเหล่านี้ ได้ผ่านการย่อยสลายไปบางส่วนแล้วในทางเดินอาหาร ดังนั้นส่วนที่เป็นมูลสัตว์จึงอุดมไปด้วยธาตุอาหารต่างๆ รวมทั้งสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำได้หลายชนิด ซึ่งเมื่อรวมกันเข้าก็จะมีองค์ประกอบที่สามารถใช้เป็นธาตุอาหารที่สมบูรณ์ของพืชได้ ส่วนมูลสัตว์แต่ละชนิดจะมีธาตุอาหารชนิดใดมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่สัตว์ชนิดนั้นกินเข้าไป เป็นปัจจัยสำคัญ รวมทั้งปัจจัยอื่นๆได้แก่ ระบบการย่อยอาหารของสัตว์ วิธีการให้อาหาร รวมทั้งการจัดการรวบรวมมูล และการเก็บรักษา เป็นต้น (มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน, 2549) ในปุ๋ยคอกนอกจากจะมีธาตุอาหารที่จำเป็นต่อพืชแล้วยังให้ฮอร์โมน ออมทรัพย์ นพอมรบดี (2540) ได้กล่าวถึงแนวทางการใช้ปุ๋ยคอกว่า มูลวัวและมูลควายโดยทั่วไปแล้วมีธาตุอาหารต่ำกว่ามูลสัตว์ชนิดอื่น เพราะเป็นสัตว์กินหญ้า ไม่ควรนำไปใส่กับพืชโดยตรงเพราะจะมีปัญหาเมล็ดวัชพืชปะปนมา ควรนำไปหมักเป็นปุ๋ยหมักเสียก่อน หรือนำไปผลิตก๊าซชีวภาพแล้วนำกากที่เหลือไปใช้ จะได้ประโยชน์มากกว่ามูลแห้ง เหมาะสำหรับใส่แบบหว่าน ในสวนผลไม้หรือก้นหลุมปลูกพืชซึ่งปริมาณธาตุอาหารของมูลสัตว์แต่ละชนิด จะแสดงในตาราง 2.1

ตาราง 2.1 ปริมาณธาตุอาหารของมูลสัตว์ แต่ละชนิด (กรมวิชาการเกษตร)

ปุ๋ยมูลสัตว์	ปริมาณธาตุอาหารทั้งหมด (เปอร์เซ็นต์)										
	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Fe	Cu	Mn	Zn
มูลโคเนื้อ	1.36	0.51	1.71	1.76	0.50	0.33	0.73	0.45	40.63	375.86	134.62
มูลโคนม	1.27	0.48	1.42	0.98	0.43	0.31	0.23	0.34	29.92	416.10	121.60
มูลไก่ไข่	2.59	1.96	2.29	8.09	0.74	0.54	0.32	0.31	75.51	591.87	396.54

2.4.2 ดินมาร์ล (Marl) หรือดินเหนียวขาว เนื้อค่อนข้างร่วน องค์ประกอบหลักคือแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ซึ่งเกิดจากการผุพังของหินปูน นำไปปรับสภาพความเป็นกรดของดินในภาคเกษตรกรรม เพราะดินที่เหมาะสมต่อการปลูกพืชควรมีค่ากรด-ด่าง (pH) ของดินอยู่ระหว่าง 5.8-6.3 เป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุดที่ดินจะละลายธาตุอาหารต่างๆ ให้พืชได้โดยไม่ตรึงเอาไว้

2.4.3 ฮิวมัส (humus) ฮิวมัสเป็นอินทรียวัตถุที่มีโครงสร้างที่สลับซับซ้อนและคงทนต่อการสลายตัวมาก มีสีดำหรือสีน้ำตาล มีลักษณะเป็นคอลลอยด์ มีขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของโมเลกุลประมาณ10–100 อังสะตรอม มีธาตุ คาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส กำมะถัน และธาตุอื่นๆ เป็นองค์ประกอบ ฮิวมัสในดินเกิดขึ้นหลังจากที่จุลินทรีย์ในดินทำการย่อยสลายซากพืช

Mahasarakham University

ซากสัตว์แล้วจุลินทรีย์จะสังเคราะห์สารประกอบอินทรีย์จำพวก กรดอะมิโน โปรตีน และอะโรมาติก หลังจากที่จุลินทรีย์ได้ตายและทับถมกันเป็นเวลานาน จะเกิดขบวนการรวมตัวระหว่าง กรดอะมิโน หรือโปรตีนกับสารประกอบ อะโรมาติก กลายเป็นฮิวมัสในดิน

2.4.4 หินเพอร์ไลต์ (Perlite) เป็นหินอัญฐานภูเขาไฟที่มีปริมาณน้ำค่อนข้างสูง โดยเกิดจากการที่น้ำเข้าไปทำปฏิกิริยากับหินอ๊อบซิเดียนมักจะพบตามธรรมชาติเมื่อมันได้รับความร้อนประมาณ 850-900 องศาเซสเซียล หินเพอร์ไลต์ จะมีความอ่อนนุ่มจนเหมือนกระจก และเกิดการขยายตัวจนมีปริมาตร 7-16 เท่าของปริมาตรเดิม การขยายตัวทำให้หินมีความวาวมากขึ้น และส่งผลต่อการดูดซับฟองอากาศของหิน หินเพอร์ไลต์ที่ไม่มีการขยายตัวแล้วจะมีความหนาแน่นประมาณ 1100 kg/m³ ส่วนหินเพอร์ไลต์ที่มีการขยายตัวแล้วจะมีความหนาแน่นเหลือประมาณ 30–150 kg/m³ เนื่องจากการหินเพอร์ไลต์มีความหนาแน่นต่ำ และราคาถูกจึงถูกพัฒนาในด้านการเกษตรหินเพอร์ไลต์สามารถใช้ปรับปรุงดิน และยังใช้สำหรับปกคลุมผิวดิน เพื่อป้องกันการชะล้างหน้าดิน

2.4.5 หินฟอสเฟต (Rock Phosphate) ธาตุฟอสฟอรัสในดินมีกำเนิดมาจากการสลายตัวผุพังของแร่บางชนิดในดิน การสลายตัวของสารอินทรียวัตถุในดิน ก็จะสามารถปลดปล่อยฟอสฟอรัสออกมาเป็นประโยชน์ต่อพืชที่ปลูกได้ เช่นเดียวกับไนโตรเจน ดังนั้น การใช้ปุ๋ยคอกนอกจากจะได้ธาตุไนโตรเจนแล้วก็ยังได้ฟอสฟอรัสอีกด้วย ธาตุฟอสฟอรัสในดินที่จะเป็นประโยชน์ต่อพืชได้จะต้องอยู่ในรูปของอนุมูลของสารประกอบที่เรียกว่า ฟอสเฟตไอออน ($H_2PO_4^-$ และ HPO_4^-) ซึ่งจะต้องละลายอยู่ในน้ำในดิน สารประกอบของฟอสฟอรัสในดินมีอยู่เป็นจำนวนมาก แต่ส่วนใหญ่ละลายน้ำยาก ดังนั้นจึงมักจะมีปัญหาเสมอว่าดินถึงแม้จะมีฟอสฟอรัสมากก็จริงแต่พืชก็ยังขาดฟอสฟอรัส เพราะส่วนใหญ่อยู่ในรูปที่ละลายน้ำยากนั่นเอง นอกจากนั้นแร่ธาตุต่าง ๆ ในดินชอบที่จะทำปฏิกิริยากับอนุมูลฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้ ดังนั้นปุ๋ยฟอสเฟตที่ละลายน้ำได้เมื่อใส่ลงไปดินประมาณ 80-90% จะทำปฏิกิริยากับแร่ธาตุในดินกลายเป็นสารประกอบที่ละลายน้ำยากไม่อาจเป็นประโยชน์ต่อพืชได้ ดังนั้นการใส่ปุ๋ยฟอสเฟตจึงไม่ควรคลุกเคล้าให้เข้ากับดินเพราะยิ่งจะทำให้ปุ๋ยทำปฏิกิริยากับธาตุต่าง ๆ ในดินได้เร็วยิ่งขึ้น แต่ควรจะใส่แบบเป็นจุดหรือโรยเป็นแถบให้ลึกลงไปในดินในบริเวณรากของพืช ปุ๋ยฟอสเฟตนี้ถึงแม้จะอยู่ใกล้ชิดกับรากก็จะไม่เป็นอันตรายแก่รากแต่อย่างใด ปุ๋ยคอกจะช่วยป้องกันไม่ให้ปุ๋ยฟอสเฟตทำปฏิกิริยากับแร่ธาตุในดินและสูญเสียความเป็นประโยชน์ต่อพืชเร็วจนเกินไป

2.4.6 รำละเอียดคือเยื่อสีทองที่ห่อหุ้มเมล็ดข้าวกล้องหรือข้าวทั่วไป ซึ่งได้จากกระบวนการสีข้าว โดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ รำหยาบและรำละเอียด รำข้าวมีคุณค่าทางอาหารสูง ได้แก่ โปรตีน ไขมัน ใยอาหาร วิตามิน และเกลือแร่ต่าง ๆ ซึ่งเป็นสารอาหารที่เหมาะต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์ต่อการทำปุ๋ยอินทรียชีวภาพ

2.5 คุณสมบัติปุ๋ยอินทรีย์

ด้วยปัจจุบัน มีการส่งเสริมให้เกษตรกรใช้ปุ๋ยอินทรีย์ในการปรับปรุงบำรุงดิน ตลอดจนมีการนำเทคโนโลยีชีวภาพเข้ามาใช้ในการปรับปรุงบำรุงดิน เพิ่มคุณค่าของธาตุอาหารพืชทำให้มีการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เพิ่มมากขึ้น จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีการควบคุมมาตรฐานปุ๋ยอินทรีย์ ดังจะแสดงดังตาราง 2.2 (กรมวิชาการเกษตร, 2547)

Mahasarakham University

ตาราง 2.2 ตารางแสดงคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ (กรมวิชาการเกษตร)

ลำดับที่	คุณลักษณะ	เกณฑ์กำหนด
1.	ขนาดของปุ๋ย	ไม่เกิน 12.5x12.5 มิลลิเมตร
2.	ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้	ไม่เกิน 35 เปอร์เซ็นต์
3.	ปริมาณหิน และกรวด	ขนาดใหญ่กว่า 5 มิลลิเมตร ไม่เกิน 5 เปอร์เซ็นต์
4.	พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่น ๆ	ต้องไม่มี
5.	ปริมาณอินทรียวัตถุ	ไม่น้อยกว่า 30 เปอร์เซ็นต์
6.	ค่าความเป็นกรด – ด่าง (pH)	5.5 – 8.5
7.	อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N)	ไม่เกิน 20 : 1
8.	ค่าการนำไฟฟ้า	ไม่เกิน 6 เดซิซีเมน/เมตร
9	ปริมาณธาตุอาหารหลัก	- ไนโตรเจน (total N) ไม่น้อยกว่า 1.0 เปอร์เซ็นต์ - ฟอสฟอรัส (total P205) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์ - โพแทสเซียม (total K20) ไม่น้อยกว่า 0.5 เปอร์เซ็นต์
10	การย่อยสลายที่สมบูรณ์	มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์
11	สารหนู (Arsenic) แคดเมียม (Cadmium) โครเมียม (Chromium)ทองแดง (Copper) ตะกั่ว (Lead) ปรอท (Mercury)	ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ไม่เกิน 5 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ไม่เกิน 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ไม่เกิน 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

โดยกรมวิชาการเกษตรได้กำหนดรายละเอียดและคุณสมบัติของปุ๋ยอินทรีย์ไว้ดังนี้

2.5.1 ขนาดของปุ๋ย ไม่เกิน 12.5×12.5 มิลลิเมตร โดยปุ๋ยอินทรีย์ที่ผ่านการย่อยสลายสมบูรณ์แล้ว จะมีลักษณะยุ่ย เป็นผงคล้ายดิน เมื่อถูกร่อนผ่านตะแกรงขนาด 12.5 mm จะขาดจากกันได้ง่ายและไม่เห็นลักษณะเดิมของวัตถุดิบที่นำมาหมัก ส่วนของปุ๋ยที่ค้างบนตะแกรงร่อนขนาด 12.5 mm ทำให้ยากแก่การนำไปหว่านในแปลง ส่วนขนาดเล็กจนเป็นผงละเอียดก็ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้คลุมดิน เพราะจะเป็นตัวกักน้ำทำให้วัชพืชงอกได้

2.5.2 ปริมาณความชื้นและสิ่งที่ระเหยได้ ไม่เกิน 35% โดยน้ำหนัก ปกติปุ๋ยหมักควรมีความชื้นอยู่บ้างในปริมาณที่พอควร เพราะอินทรียวัตถุที่สลายตัวแล้วเมื่อแห้งจะอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถเปียกน้ำได้ง่าย (irreversible dry) ดังนั้นควรใช้ปุ๋ยก่อนที่จะแห้งสนิท หากปุ๋ยหมักชื้นเกินไปจะเป็นปัญหาในการขนส่ง

2.5.3 ปริมาณหินกรวดขนาดใหญ่กว่า 5 mm มีไม่เกิน 5 % โดยน้ำหนัก หินกรวดเหล่านี้เป็นสิ่งที่มีประโยชน์ต่อพืช เป็นการเพิ่มภาระการขนส่ง แต่อาจเป็นการยากในการกำจัดออกไปในกระบวนการผลิต การวิเคราะห์จะพบ หิน กรวด ทราย 3-5 % และสัดส่วนที่พบมากคือ ทราย แต่ทรายมีอนุภาคเล็กถือเป็นอนุภาคเดียวกับดิน และจะรอดตะแกรงร่อนในการวิเคราะห์ขนาดเนื้อปุ๋ย จึงไม่พิจารณาปริมาณทรายในปุ๋ยอินทรีย์

Mahasarakham University

2.5.4 พลาสติก แก้ว วัสดุมีคม และโลหะอื่นๆ จัดว่าเป็นวัสดุอันตราย มีผลโดยตรงต่อผู้นำปุ๋ยหมักไปใช้ แก้วหรือวัสดุมีคมอาจทำให้เกิดบาดแผลตามร่างกายแก่ผู้ใช้ในขณะปฏิบัติงาน

2.5.5 ปริมาณอินทรียวัตถุไม่น้อยกว่า 30% โดยน้ำหนัก วัตถุประสงค์หลักในการให้ปุ๋ยหมักก็เพื่อเพิ่มอินทรียวัตถุในดิน ปกติปุ๋ยหมักที่ดีควรมีอินทรียวัตถุ 35-50 % แต่ถ้ามีการนำวัตถุอื่นๆที่ไม่ใช่วัสดุอินทรีย์ปะปนในกระบวนการผลิตมากเกินไป จะทำให้เปอร์เซนต์อินทรียวัตถุในปุ๋ยหมักลดลง ในกรณีที่มีมูลสัตว์ผสม ส่วนใหญ่จะมีปริมาณอินทรียวัตถุไม่ต่ำกว่า 30% ถ้ามีอินทรีย์วัตถุมากเกินไป คือ >60% ถือว่ายังมีการย่อยสลายไม่สมบูรณ์ เมื่อนำไปใช้อาจเกิดการย่อยสลายต่อไป ทำให้เกิดความร้อน และตรึงธาตุอาหารบางชนิด มีปัญหาต่อการเจริญเติบโตของพืช

2.5.6 ความเป็นกรดด่าง (pH) 5.5-8.5 ในกระบวนการหมักวัสดุอินทรีย์ pH ของกองปุ๋ยหมักมีการเปลี่ยนแปลงตามระยะเวลาของการหมัก โดยในระยะแรก pH จะเป็นกรด ต่อมาเป็นด่าง จนสุดท้ายเมื่อกระบวนการหมักสมบูรณ์จนเป็นสารฮิวมัส pH จะอยู่ในช่วง7.5-8.5 ความเป็นด่างอ่อนๆของปุ๋ยมีผลดีต่อการนำไปใช้ในการปรับปรุงดิน ถ้า pH สูงเกินไปไนโตรเจนในปุ๋ยจะเปลี่ยนเป็นแก๊สแอมโมเนียระเหยไป ในขณะที่ pH ต่ำเกินไปจุลินทรีย์ที่เป็นประโยชน์จะหยุดกิจกรรม แต่จุลินทรีย์สาเหตุโรคพืชจะทำงานได้ดีขึ้น

2.5.7 อัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C:N) ไม่เกิน 20:1ปุ๋ยที่ดีควรมีอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจนต่ำกว่าหรือเท่ากับ 20:1 ปุ๋ยหมักที่มีอัตราส่วนC:N สูงกว่านี้มากๆ เมื่อใส่ลงไปในดินจะเริ่มมีการย่อยสลายต่อไปอีก อาจต้องทิ้งไว้ 2-3 สัปดาห์ ก่อนหว่านเมล็ดหรือปลูกพืช และจะต้องไม่ใส่ในดินที่มีการระบายน้ำไม่ดี เพราะจะทำให้เน่าเปื่อย เกิดกรดอินทรีย์ที่เป็นพิษ หรือก๊าซพิษที่เป็นอันตรายต่อพืช

2.5.8 ค่าการนำไฟฟ้า (EC) ไม่เกิน 6 dS/m ค่าการนำไฟฟ้าหรือเกลือที่ละลายน้ำได้โดยปกติปุ๋ยหมักโดยทั่วไปจะมีค่า EC ไม่เกิน 3.5 dS/m แต่ถ้าใช้มูลสัตว์ผสมทำปุ๋ยหมัก หรือเป็นปุ๋ยอินทรีย์ที่เป็นประเภทมูลสัตว์พร้อมใช้ ส่วนใหญ่จะมีค่า EC ไม่เกิน 6 dS/m

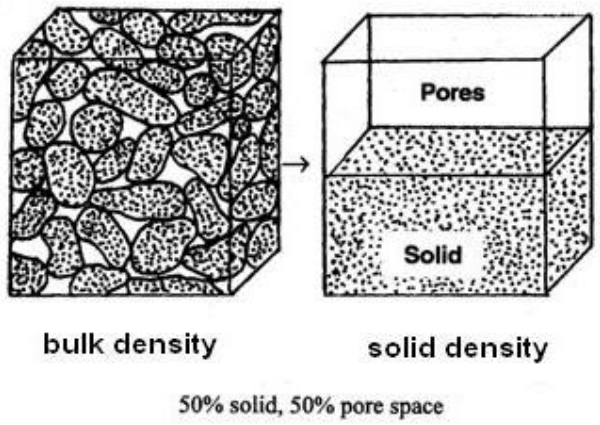
2.5.9 ปริมาณธาตุอาหารหลัก Total Nไม่น้อยกว่า 1.0 % Total P_2O_5 ไม่น้อยกว่า 0.5 % และ Total K_2O ไม่น้อยกว่า 0.5 % โดยน้ำหนัก โดยทั่วไปแล้วในปุ๋ยหมักจะมีธาตุอาหารหลักและธาตุอาหารรองเกือบครบถ้วน แต่จะมีปริมาณต่ำ และจะมีปริมาณแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตปุ๋ยหมัก

2.5.10 การย่อยสลายที่สมบูณร์ มากกว่า 80 % สามารถประเมินได้หลายวิธี แต่วิธี germination index เป็นวิธีเดียวที่สามารถวัดได้ง่ายและได้ผลรวดเร็ว และสามารถปรับใช้ได้ทั้งในห้องปฏิบัติการตรวจสอบ ตลอดจนผู้ผลิตและผู้ใช้ มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดสารพิษต่อพืช (phytotoxic substance) ที่เกิดจากการย่อยสลายที่ไม่สมบูรณ์ของปุ๋ยหมัก โดยการสกัดสารอินทรีย์จากปุ๋ยหมักด้วยน้ำเพื่อละลายเกลือ กรดอินทรีย์กลุ่ม phenolic compound และสารที่เป็นพิษอื่นๆ ที่ละลายน้ำได้ออกมาอยู่ในรูปของสารละลาย ซึ่งหากปุ๋ยหมักมีสารพิษเหล่านี้เป็นองค์ประกอบมาก จะมีผลโดยตรงต่อการงอก และความยาวของรากพืชที่ทดสอบ

2.5.11 สารหนู แคดเมียม โครเมี่ยม ทองแดง ตะกั่ว และปรอท ไม่เกิน 50 5 300 500 500 และ 2 มิลลิกรัม/กิโลกรัม เป็นปริมาณที่ยอมให้มีการปนเปื้อนได้ในดินและสิ่งแวดล้อมโดยไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

Mahasarakham University

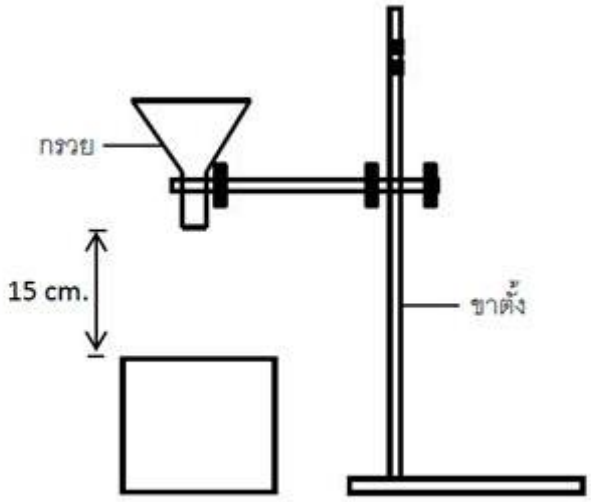
2.5.12 หาความหนาแน่นรวมของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด (bulk density) ซึ่งเป็นสมบัติทางกายภาพของวัสดุ โดยเป็นความหนาแน่นที่รวมที่พื้นที่ว่างระหว่างชิ้นวัสดุด้วย ต่างจากความหนาแน่นเนื้อ ที่เป็นความหนาแน่นของชิ้นวัสดุแต่ละชิ้น และจะไม่รวมที่ว่างระหว่างชิ้นวัสดุ ดังจะแสดงในภาพประกอบ 2.1 ดังนั้นความหนาแน่นรวมจะมีค่าน้อยกว่าความหนาแน่นเนื้อเสมอ ความหนาแน่นรวมขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ได้แก่ความชื้น (moisture content) ความชื้นมีผลต่อความหนาแน่นรวมของวัสดุทางการเกษตร เช่น เมล็ดธัญพืช ถั่วเมล็ดแห้ง เนื่องจากเมื่อวัสดุดูดความชื้นจะขยายตัว ทำให้มีขนาดเปลี่ยนแปลง



ภาพประกอบ 2.1 ความหนาแน่นรวม
(พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และคณะ, ม.ป.ป.: เว็บไซต์)

การใช้ประโยชน์ของค่าความหนาแน่นรวม คือนำไปใช้เพื่อคำนวณหาค่าความพรุน (porosity) ซึ่งแสดงปริมาตรของที่วางภายในกองวัสดุ ค่าความหนาแน่นรวมยังใช้เพื่อการออกแบบขนาดของบรรจุภัณฑ์ ไซโล สำหรับการจัดเก็บ เป็นต้น การหาค่า bulk density ทำได้โดยการบรรจุวัสดุลงไปในภาชนะที่ทราบปริมาตรเพื่อลดความผิดพลาด ควรใช้ภาชนะขนาดใหญ่พอสมควร เช่น ขนาด 1 ลิตร แล้วนำไปชั่ง ปาดหรือเกลี่ยผิวหน้าให้เรียบ ปัจจัยที่มีผลต่อค่าการหา bulk density ได้แก่ความชื้น (moisture content) ของวัสดุ ความสูงของระดับที่เทวัสดุลงในภาชนะ การอัดแน่นซึ่งขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ การนำไปใช้

Mahasarakham University



ภาพประกอบ 2.2 การจัดอุปกรณ์ในการหาความหนาแน่นรวม
(พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และคณะ, ม.ป.ป.: เว็บไซต์)

จากภาพประกอบ 2.2 เป็นการจัดอุปกรณ์ในการหาความหนาแน่นรวมของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด โดยจะใช้กล่องบรรจุ ขนาด 1,000 มิลลิลิตร นำมาชั่งน้ำหนักแล้วบันทึกน้ำหนัก หลังจากนั้นเทปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดใส่ในกรวยเพื่อให้ไหลลงใส่กล่อง ให้ปุ๋ยเต็มกล่องจนล้น หลังจากนั้นใช้ไม้บรรทัดปาดที่ขอบกล่อง ในลักษณะ ซิกแซกฟันปลา แล้วนำกล่องที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก บันทึกผล ทำ 10 ซ้ำ แล้วนำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปคำนวณในสมการ 3.1

$$\rho = \frac{m}{V} \qquad (2.1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของวัตถุ หน่วย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)
m คือ มวลรวมของวัตถุ หน่วย กิโลกรัม (kg)
V คือ ปริมาตรรวมของวัตถุ หน่วย ลูกบาศก์เมตร (m^3)

2.6 วิธีการวิเคราะห์ธาตุอาหาร และจุลินทรีย์ในปุ๋ยอินทรีย์

การวิเคราะห์ธาตุอาหาร และจุลินทรีย์ในปุ๋ยอินทรีย์สามารถแบ่งการวิเคราะห์ได้ดังนี้ (นรีลักษณ์ ชูวรเวช, 2548)

2.6.1 ความชื้นและสิ่งที่ละเหยได้ นำตัวอย่างปุ๋ยที่ยังไม่ผ่านการอบหรือบด และถูกเก็บอยู่ในขวดที่มีฝาปิดมิดชิด มาชั่งด้วยเครื่องชั่งละเอียด ทศนิยม 4 ตำแหน่ง ให้มีน้ำหนักประมาณ 5 กรัม ใส่ลงใน Beaker ขนาด 50 ml อบจนน้ำหนักคงที่ และทราบน้ำหนักแล้ว บันทึกน้ำหนักไว้ นำ Beaker พร้อมตัวอย่างปุ๋ยไปอบในตู้อบ ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 10 ชั่งโมง เมื่อครบเวลาให้นำปุ๋ยมาใส่ Desiccators ทิ้งไว้ให้เย็นแล้วชั่งน้ำหนักตัวอย่างปุ๋ยหลังอบ แล้วนำไปเข้าสูตรคำนวณในสมการ 2.2

Mahasarakham University

$$\% \text{ ความชื้น} = \frac{(\text{น้ำหนักก่อนอบ} - \text{น้ำหนักหลังอบ})}{\text{น้ำหนักก่อนอบ}} \times 100 \quad (2.2)$$

2.6.2 อินทรียวัตถุ และอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน ชั่งตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ (ที่ผ่านการอบที่อุณหภูมิ 76 °C นาน20 นาที) ให้ได้น้ำหนักที่แน่นอนประมาณ0.1 กรัม ใส่ใน Ertenmeyer flask 250 ml เติม 1 N $K_2Cr_2O_2$จำนวน 10 ml เติม H_2SO_4 10 ml ทิ้งไว้ข้ามคืน หลังจากนั้นเติมน้ำกลั่นให้มีปริมาตรประมาณ 100 ml เติม0-phenanthroline Ferrous sulfate *10* หยด titrateด้วย $FeSO_4.7H_2O$จนได้สารละลายสีเขียว และเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นน้ำตาลปนแดงเมื่อ*ถึง* end pointทำ Blankโดยใช้ 1 Nของ $K_2Cr_2O_7$ 10 mlซึ่งเป็นปริมาณเดียวกับที่เติมลงไปในตัวอย่างและดำเนินการเช่นเดียวกับตัวอย่าง และนำไปคำนวณในสมการ 23.

$$\% \text{ อินทรีย์คาร์บอน (OC)} = \frac{0.3896 \times N \times B(C\text{-}D)}{AC} \quad (2.3)$$

เมื่อ A คือ น้ำหนักของตัวอย่าง (g)
B คือ ปริมาตรของ $K_2Cr_2O_7$ ที่เติมลงไปในตัวอย่าง และ Blank (ml)
C คือ ปริมาตรของ $FeSO_4.7H_2O$ ที่ titrate พอดีกับ $K_2Cr_2O_7$ ใน Blank (ml)
D คือ ปริมาตรของ $FeSO_4.7H_2O$ ที่ titrate พอดีกับ $K_2Cr_2O_7$ในตัวอย่าง (ml)
N คือ ความเข้มข้นเป็น normal ของสารละลายมาตรฐาน $K_2Cr_2O_7$
% อินทรียวัตถุ (OM) คือ % OC × 1.7241
ค่า C/N คือ (% OC)/(%T-N)
% T-N คือ เปอร์เซ็นต์ของ Total Nitrogen

2.6.3 ความเป็นกรดด่าง (pH) ทำการ calibrate เครื่อง pH meter ด้วยสารละลาย Standart buffer pH 4, pH7 และ pH10 หลังจากนั้นชั่งตัวอย่างปุ๋ย 10 กรัม ใส่ใน Beaker ขนาด 50 ml เติมน้ำกลั่น 20 ml (อัตราส่วนของปุ๋ยต่อน้ำ =1 : 2) คนด้วยแท่งแก้ว ตั้งทิ้งไว้ประมาณครึ่งชั่งโมง หลังจากนั้นเปิดช่อง refill opening ของ gass electrode จุ่มลงในตัวอย่าง เขย่าเบาๆ จนตัวเลขบนหน้าปัดเครื่อง pH meter หยุดนิ่ง จึงบันทึกผล และวิเคราะห์

2.6.4 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity : EC) ชั่งตัวอย่างปุ๋ยประมาณ 15 กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask 125 ml เติมน้ำกลั่น 50 ml เขย่าด้วยเครื่องเขย่า นาน 30 นาที แล้วนำไปกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1 ลงใน Beker 50 ml นำไปวัดค่า EC

2.6.5 ไนโตรเจน (Total N)

2.6.5.1 ชั่งตัวอย่างปุ๋ย 0.3 กรัม ใส่ salicylic acid 3 กรัม H_2SO_4 40 ml และ sodiam thiosulfate 8 กรัม

2.6.5.2 Digest ครั้งแรก และทิ้งไว้ให้เย็น เติม mixed catalyst 8 กรัม

Mahasarakham University

2.6.5.3 Digest ครั้งที่สองทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมน้ำ 350 ml แล้วนำ NaOH 100 ml และ Zn มากลั่นไตรเตรทกับ std.HCL 0.2 N

2.6.5.4 นำไปคำนวณในสมการที่ 2.4

$$\% \text{ N} = \frac{\text{N HCL} \times \text{ml HCL} \times 1.4007}{\text{wt of sample}} \qquad (2.4)$$

2.6.6 ฟอสฟอรัส (Total P_2O_5)

2.6.6.1 ชั่งตัวอย่างสารละลายที่ผ่านการบดและอบแล้วให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ประมาณ 0.3-0.5 กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 ml เติมกรดผสม ($HCLO_4$: HNO_3 = 1:1) ประมาณ 20 ml นำไป Digest บน Hot plate หรือ Digestion block ที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า220°C ย่อยจนมีควันสีขาวเกิดขึ้นเหนือสารละลาย หรือสารลำลายมีลักษณะสีใส ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 2-4 ชั่งโมง แล้วยกลงจากเตาทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

2.6.6.2 นำสารละลายที่ย่อยสมบูรณ์และเย็นแล้ว ถ่ายใส่ Volumetric flask ขนาด 250 ml ล้างตะกอนที่ติดอยู่ข้าง Erlenmeyer flask ออกให้หมด ปรับปริมาตรเป็น 250 ml

2.6.6.3 pipet สารละลายตัวอย่าง 2ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml หลังจากนั้นเติม Molybdovanadate reagent (Barton's) ลงไป 10 ml (1/10 ของปริมาตรสุดท้าย) ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที สำหรับ Working standard 0 1 2 3 4 และ 5 ppm p ที่เตรียมไว้ดำเนินการ develop สีเช่นเดียวกัน พร้อมกันกับสารละลายตัวอย่าง

2.6.6.4 นำไปวัดค่าความเข้มของสี ด้วยเครื่อง UV-spectropHotometerที่ 420 nm อ่านค่า Transmittance (%T) หรือ Absorbance (%A) นำค่าที่วัดได้จากสารละลายมาตรฐานไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของปริมาณฟอสฟอรัส และ % T หรือ %A (Standard curve) อ่านค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตัวอย่างจาก Standard curve แล้วนำไปคำนวณในสมการที่ 2.5 และ 2.6

$$\% \text{ P} = \frac{\text{ppm p} \times V_1 V_2 \times 100}{\text{wt of sample (g)} \times V_3 \times 10^6} \qquad (2.5)$$

V_1 = Frist solution's volum (ml)

V_2 = Finalsolution's volum (ml)

V_3 = Aliqout take volum (ml)

$$\%P_2O_5 = \frac{\%P \times (2 \times \text{equivalent wt. of P} + (5 \times \text{equivalent wt. of O}}{2 \times \text{equivalent wt. of P}} \qquad (2.6)$$

Mahasarakham University

2.6.7 โพแทสเซียม (Total K_2O)

2.6.7.1 ชั่งตัวอย่างปุ๋ย 5 กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 ml

2.6.7.2 เติมกรดผสม (HNO_3conc กับกรด $HCLO_4$conc อัตราส่วน 1:1) จำนวน 20 ml นำไปย่อยบนเตาระเหยความร้อนอุณหภูมิประมาณ 220 องศาเซลเซียส จนเกิดควันสีขาวแล้วปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

2.6.7.3 ถ่ายตัวอย่างใส่ Volummetric flask ขนาด 250 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเขย่าให้เข้ากันกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

2.6.7.4 pipet สารละลายตัวอย่าง ให้มีความเข้มข้นอยู่ในช่วงสารละลายมาตรฐานที่เตรียมไว้ (0-25 ppmK) ใส่ลงใน Volummetric flask ขนาด 100 ml

2.6.7.5 เติมสารละลาย Superssor 10 ml

2.6.7.6 ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน นำไปวัดด้วยเครื่อง Flame pHtometer เทียบกับสารละลายมาตรฐาน 0-25 ppmK ที่เตรียมไว้ แล้วนำค่าที่วัดได้ไปคำนวณในสมการ 2.7

$$\%K_2O = 1.2046 \times \text{ppm K} \times \text{dilution factor} \times 100 \qquad (2.7)$$

2.6.8 การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านชีวภาพ ได้แก่การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยวิธี Pour plate (FAO,1992) โดยนับโคโลนีทั้งหมด จากจานเพราะเชื้อมาตรฐาน (Standard plate count) เป็นการวิเคราะห์หาจุลินทรีย์ทั้งหมดในตัวอย่าง โดยประมาณว่าจำนวนโคโลนีทั้งหมดของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในการเพราะเชื้อคือ จำนวนจุลินทรีย์ที่อยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยนำอาหารที่ถูกเจือจางแล้วมาเลี้ยงบนจานอาหาร แล้วคำนวณเชื้อจุลินทรีย์โดยเอาจำนวนนับที่ได้คูณด้วยจำนวนเท่าที่ได้เจือจางรายงานผลเป็น colony forming unit per ml (CFU/g)โดยมีขั้นตอนการตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ดังนี้

2.6.8.1 การเตรียมจานเลี้ยงเชื้อ (Petri dish) ต้องทำให้จานเลี้ยงเชื้อปลอดจากเชื้ออื่นโดยนำจานเลี้ยงเชื้อใส่ถุงพลาสติกแล้วมัดปากถุงให้แน่นนำไปนึ่งใน Atoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 lbf/in^2 เป็นเวลา 15 นาที เมื่อนำออกจาก Atoclave จะสังเกตเห็นว่ามีไอน้ำเกาะอยู่ในจานเลี้ยวเชื้อ ให้นำจานเลี้ยงเชื้อไปอบแห้งใน Hot air oven ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียสประมาณ 3 ชั่วโมง

2.6.8.2 เจือจางตัวอย่าง โดยนำตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 25 กรัม ใส่ในถุงปั่นปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดพร้อมสารละลายบัพเฟอร์ 250 มิลลิลิตร ปั่นด้วยเครื่อง Stomacher เป็นเวลา 30 วินาที แล้วจะได้ตัวอย่างอาหาร ที่มีความเข้มข้น 1:10 (10^{-1})

2.6.8.3 ใช้ไมโครปิเปต ดูดตัวอย่างที่ถูกเจือจางเป็น 10^{-1} จากข้อ 2 ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดบัพเฟอร์ 9 มิลลิลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่า (Stirrer) ให้เข้ากันจะได้ความเจือจางเป็น 10^{-2}

2.6.8.4 เขย่าหลอดที่ถูกเจือจางที่ระดับ 10^{-2} ใช้ไมโครปิเปตดูดตัวอย่างอาหารใส่จานเลี้ยงเชื้อ จานละ 1 มิลลิลิตร 3 จาน พร้อมเขียนสัญลักษณ์บนจาน

2.6.8.5 ทำซ้ำตามข้อ 3 และ 4 จนถึงระดับความเจือจาง 10^{-9}

Mahasarakham University

2.6.8.6 เท Plate count agar ลงในจานเลี้ยงเชื้อแล้วหมุนจานในทิศทางที่เป็นรูปเลข 8 เพื่อให้ตัวอย่างกระจายให้ทั่วจานเลี้ยงเชื้อ ปล่อยให้อาหารแห้งประมาณ 15 นาที แล้วคว่ำจานนำเข้าตู้บ่มเชื้อควบคุมอุณหภูมิ (Incubator) ที่อุณหภูมิ35 ± 0.5 °C นาน 48 ชั่วโมง

2.6.8.7 หลังจากเพราะเลี้ยงเชื้อใน Incubator นาน 24 ชั่วโมง ก็นำจานเลี้ยงเชื้อดังกล่าวมานับจำนวนโคโลนี แล้วคำนวณหาแบคทีเรียต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร โดยมีหน่วย (CFU/g)

2.7 ทฤษฎีการอบแห้ง

การอบแห้งคือกระบวนการที่ความร้อนถูกถ่ายเทด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งไปยังวัสดุที่มีความชื้นเพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหยจนกระทั่งมีค่าระดับความชื้นที่ได้สมดุลกับสิ่งแวดล้อมและข้อสำคัญที่สุดของการอบแห้งคือการถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุอบแห้งอย่างมีประสิทธิภาพที่สุดและปริมาณความร้อนจะถ่ายเทมากน้อยเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับความต่างศักย์ของความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิววัสดุและไอน้ำในอากาศเพราะฉะนั้นถ้าปริมาณไอน้ำในอากาศมีน้อยจะมีการถ่ายเทน้ำออกจากวัสดุได้ดี ซึ่งในการศึกษาเกี่ยวกับการอบแห้งจึงควรรู้ถึงความสำคัญ กลไก และและปัจจัยของการอบแห้งดังต่อไปนี้ (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540)

2.7.1 ความสำคัญของการอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้น ซึ่งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุชื้นเพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย โดยใช้ความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย สำหรับประโยชน์ของการอบแห้งสามารถสรุปได้ดังนี้

2.7.1.1 เพื่อการถนอมรักษาวัสดุวัสดุที่แห้งแล้วสามารถเก็บรักษาไว้ได้นานโดยไม่เสียเนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มีน้อย

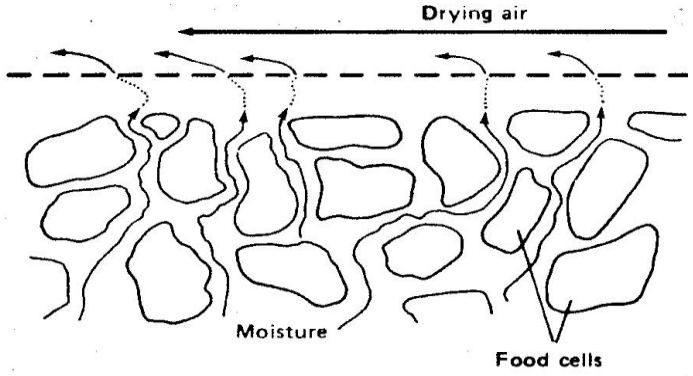
2.7.1.2 เพื่อลดปริมาตรและน้ำหนัก วัสดุที่แห้งแล้วจะมีปริมาตรและน้ำหนักลดลงทำให้สามารถลดต้นทุนในการเก็บรักษาและการขนส่ง

2.7.1.3 เพื่อช่วยให้กระบวนการผลิตดีขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต

2.7.2.กลไกของการอบแห้ง

เมื่ออากาศหรือลมร้อนพัดผ่านผิวหน้าวัสดุที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของวัสดุและน้ำในวัสดุจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ หลังจากนั้นไอน้ำจะแพร่ผ่านฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยลมร้อนที่เคลื่อนที่ ดังแสดงในภาพประกอบ 2.3

Mahasarakham University



ภาพประกอบ 2.3 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการอบแห้ง (Fellows ,1988)

สภาวะดังกล่าวจะทำให้ความดันไอที่ผิวหน้าของวัสดุต่ำกว่าความดันไอด้านในของวัสดุ เป็นผลให้เกิดความแตกต่างของความดันไอขึ้นวัสดุชั้นด้านในจะมีความดันไอสูงกว่าจะค่อยๆ ลดต่ำลง เมื่อชั้นวัสดุเข้าใกล้อากาศแห้งความแตกต่างนี้ทำให้เกิดแรงดันเพื่อขับไล่น้ำออกจากวัสดุน้ำจะเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าด้วยกลไกดังต่อไปนี้

2.7.2.1 การเคลื่อนที่ของของเหลวโดยแรงคาปิลารี่

2.7.2.2 การแพร่ของของเหลวซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวละลายในวัสดุ

2.7.2.3 การแพร่ของของเหลวซึ่งถูกดูดซับโดยผิวหน้าของของแข็งในวัสดุ

2.7.2.4 ความแตกต่างของความดันไอทำให้เกิดการแพร่ของไอน้ำในช่องอากาศวัสดุ

2.7.3 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546)

การทำแห้งคือการเคลื่อนย้ายน้ำออกจากวัสดุปัจจัยใดๆที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของน้ำจึงมีผลต่ออัตราการทำแห้งได้แก่

2.7.3.1 ธรรมชาติของวัสดุวัสดุเนื้อโปร่งมีการเคลื่อนของน้ำภายในวัสดุแบบผ่านช่องแคบซึ่งเร็วกว่าการแพร่ในวัสดุเนื้อแน่นดังนั้นอาหารเนื้อโปร่งจึงแห้งเร็วกว่าวัสดุที่มีเนื้อแน่นวัสดุที่มีน้ำตาลสูงจะมีความเหนียวเหนอะหนะกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำจึงแห้งช้าส่วนวัสดุที่มีการลวกนวดคลึง ทำให้เซลล์แตกจะแห้งเร็วกว่า

2.7.3.2 ขนาดและรูปร่างมีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักเช่นรูปร่างเหมือนกัน ขนาดเล็กจะมีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งเร็วกว่าแต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศที่เกิดการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ถ้าชิ้นเล็กมากทับถมกันการระเหยเกิดได้เฉพาะพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศจึงเกิดได้ช้าทั้งๆที่พื้นที่ต่อหน่วยน้ำหนักมาก

2.7.3.3 ตำแหน่งของอาหารในเตาน้ำในวัสดุที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีกว่าหรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำย่อมระเหยได้ดีกว่า

Mahasarakham University

2.7.3.4 ปริมาณอาหารต่อถาด ถ้าปริมาณอาหารต่อถาดมากเกนไป อาหารส่วนล่างที่ไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อน หรือรับความร้อนจากถาดแล้วแต่ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชั้นอาหารตอนบนออกมาได้จึงแห้งช้า

2.7.3.5 ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อนอากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากแล้วจะรับไอน้ำได้น้อยมีผลในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่

2.7.3.6 อุณหภูมิของอากาศร้อนถ้าอากาศร้อนมีความชื้นคงที่การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำจึงมีผลต่ออัตราการทำแห้งในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้นจึงมีผลต่อการอบแห้งในช่วงอัตราการทำแห้งลดลงด้วย

2.7.3.7 ความเร็วของอากาศร้อนอากาศร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปด้วยเมื่อความเร็วอากาศอบแห้งเพิ่มขึ้นจึงเกิดเคลื่อนย้ายได้ดีขึ้นการเคลื่อนย้ายเกิดขึ้นเต็มที่ที่ความเร็วลม 244 เมตรต่อนาที นอกจากนั้นความเร็วลมทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนในเตาอากาศจึงสัมผัสอากาศได้ดีขึ้น

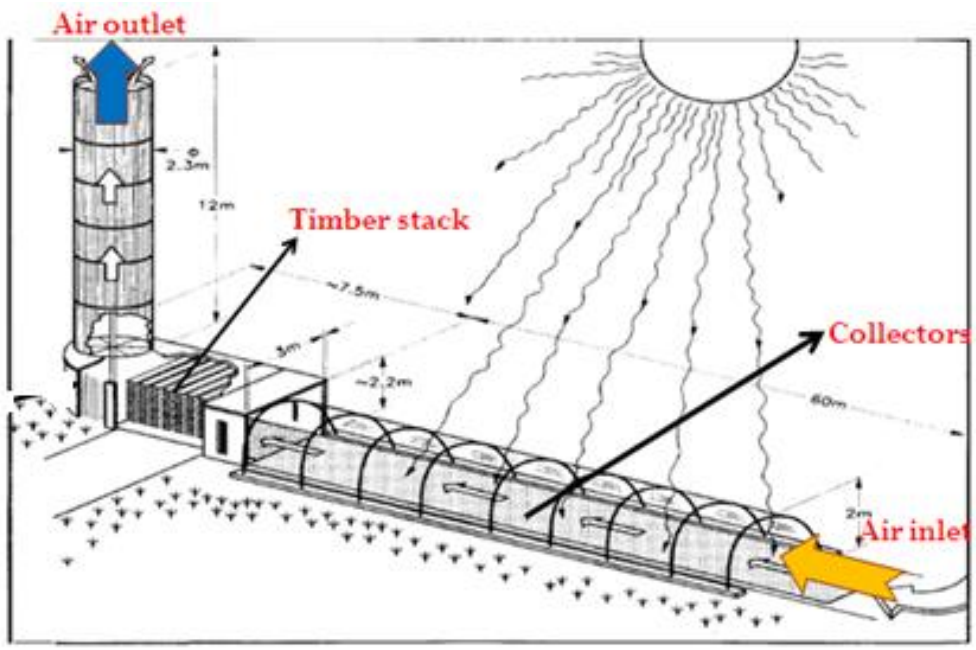
2.8 ระบบโรงอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์

การแบ่งประเภทของโรงอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้ คือ

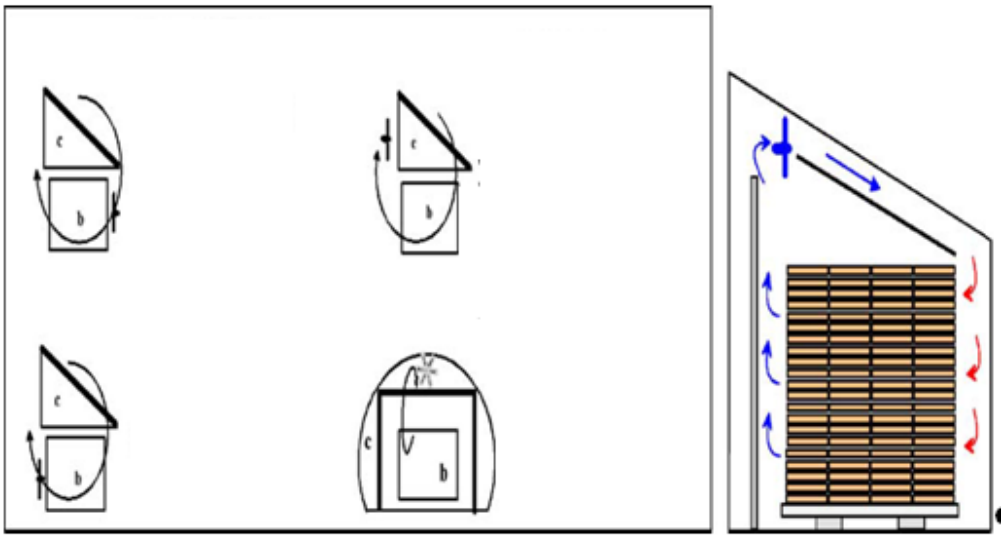
2.8.1 ระบบโรงอบแห้งที่แบ่งตามตามหลักการนำความร้อนมาใช้งาน ซึ่งสมารถแบ่งย่อยได้เป็น 3 ระบบ ดังนี้ คือ

2.8.1.1 การนำพลังงานความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้โดยตรง (Direct Solar Drying) ในระบบการอบแห้งที่เป็นการใช้ความร้อนจากพลังงานอาทิตย์โดยตรงโดยผ่านทางด้านหลังคาที่เป็นวัสดุที่แสงหรือรังสีดวงอาทิตย์สามารถส่องผ่านได้แล้วแล้วบางส่วนจะถูกดูดกลืนอีกบางส่วนจะสะท้อนกลับในรูปคลื่นรังสีอินฟาเรด หรือรังสีความร้อนไปกระทบกับแผ่นวัสดุที่มีคุณสมบัติโปร่งแสงโดยใช้หลักการภาวะเรือนกระจกทำให้อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งสูงขึ้น โดยส่วนมากเป็นเครื่องอบแห้งแบบเรือนกระจก (Greenhouse) การไหลเวียนอากาศก็สามารถใช้หลักการความหนาแน่นอุณหภูมิต่ำจะมีความหนาแน่นมากจะลอยมาแทนที่อุณหภูมิอากาศที่มีอุณหภูมิสูงความหนาแน่นอากาศต่ำที่ลอยตัวขึ้นเกิดการไหลเวียนของอากาศไปยังห้องอบแห้งโดยหลักการทางธรรมชาติ (REUSS et al., 1997) และยังสามารถเอาพัดลมดูดอากาศร้อนที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ด้านบนที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นมาทำการอบแห้งอบแห้งในห้องอบแห้งโดยตรง (Ibiyinka and Joseph, 1995) ดังแสดงในภาพประกอบ 2.4 2.5 และ2.6 ซึ่งการอบแห้งประเภทที่มีการนำพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรงจะมีข้อดีในการสร้างและออกแบบที่ใช้ต้นทุนต่ำแต่มีข้อเสียคือสามารถอบแห้งได้ตามสภาพอากาศนั้น และไม่สามารถอบแห้งในเวลาที่ไม่มีแสงแดด

Mahasarakham University

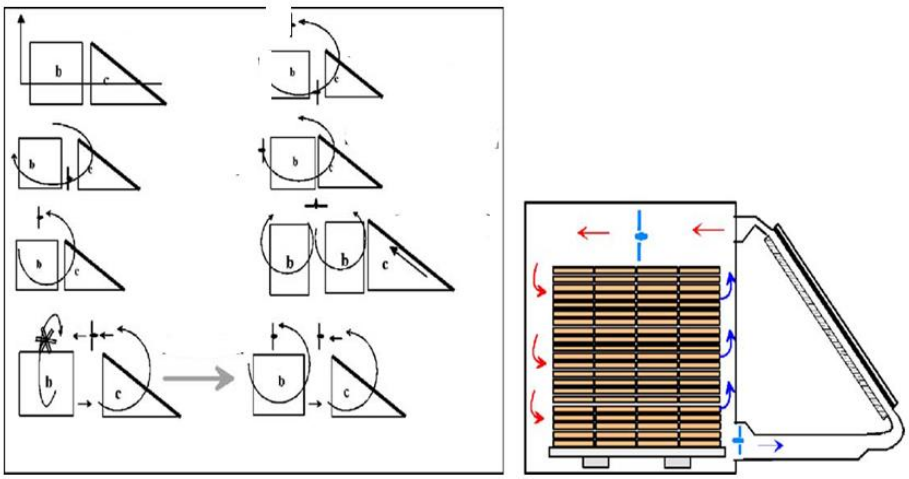


ภาพประกอบ 2.4 แสดงหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีอุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์เป็นแบบอุโมงค์รับความร้อน (Reuss et al., 1997)



ภาพประกอบ 2.5 แสดงการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงและเป็นการอบแห้งแบบการพาอากาศแบบบังคับในการอบแห้ง (Luna et al., 2008)

Mahasarakham University

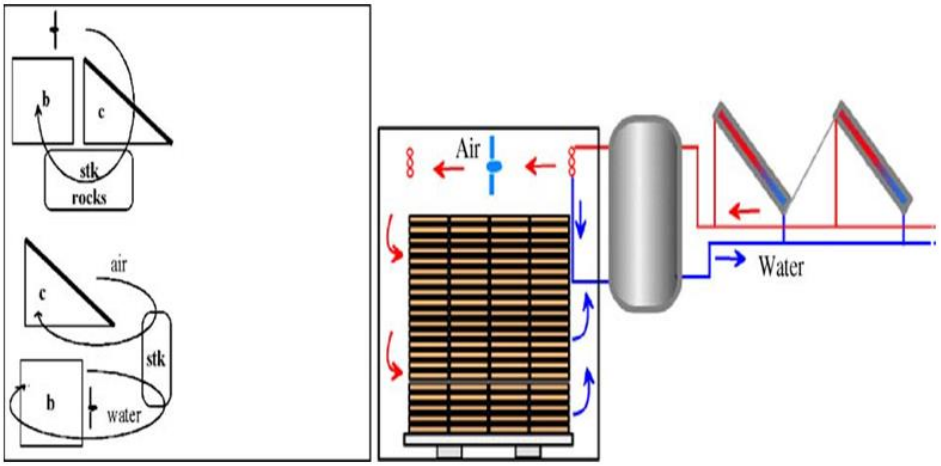


ภาพประกอบ 2.6 แสดงการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยตรงที่แยกออกจากส่วนของตัวเก็บรังสีความร้อนและเป็นการอบแห้งแบบการพาอากาศแบบบังคับในการอบแห้ง (Luna et al., 2008)

2.8.1.2 การนำพลังงานความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ทางอ้อม (Indirect Solar Drying) การใช้พลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยวิธีทางอ้อมโดยผ่านการเพิ่มอุณหภูมิให้กับน้ำเกิดเป็นน้ำร้อนที่ถ่ายเทให้ตัวกลางมีอุณหภูมิสูงขึ้นแล้วนำไปแลกเปลี่ยนความร้อนด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศที่อยู่ด้านในเครื่องอบแห้งให้มีอุณหภูมิสูงขึ้น ดังแสดงในภาพประกอบ 2.5 ซึ่งวิธีนี้ยังจะช่วยกักเก็บความร้อนในถังเก็บความร้อนที่มีของเหลวเป็นตัวกลางไปทำการอบแห้งหลังจากที่ไม่มีแสงอาทิตย์แล้วได้ซึ่งเป็นวิธีที่มีการพัฒนาเพื่อให้อบแห้งไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Sharma et. al,2009)

ข้อดีของการนำพลังงานความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ทางอ้อม ดังจะแสดงในภาพประกอบ 2.7 สามารถอบแห้งได้ทั้งเวลากลางวันและกลางคืนเพราะมีตัวกักเก็บพลังงานความร้อนแต่มีข้อเสียต้องใช้ต้นทุนในการสร้างสูงกว่าการใช้พลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์โดยตรงและมีขีดกำจัดที่อุณหภูมิอบแห้งไม่สามารถทำได้สูงเมื่อเทียบกับระบบอื่นๆ

Mahasarakham University



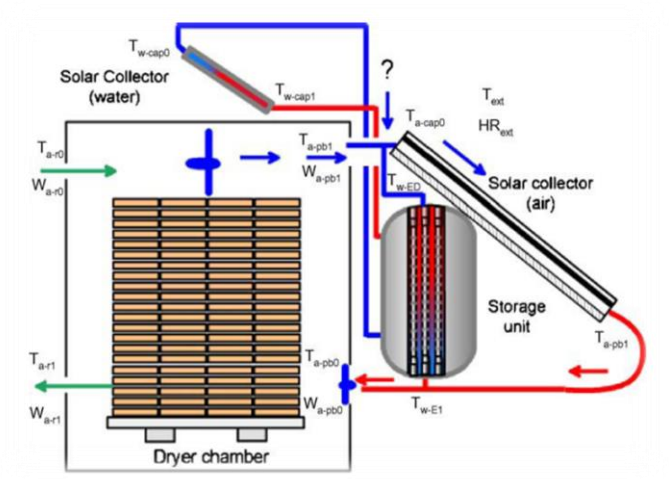
ภาพประกอบ 2.7 แสดงการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยวิธีแบบทางอ้อมโดยมีตัวกักเก็บความร้อนแล้วแลกเปลี่ยนความร้อนให้กับอากาศโดยใช้การพาอากาศแบบบังคับในการอบแห้ง (Luna et al., 2008)

2.8.1.3 การนำพลังงานความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้แบบผสม

การพัฒนาวิธีการอบแห้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอบแห้ง ในกรณีที่เครื่องอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มีความสามารถกำเนิดอุณหภูมิที่ยังไม่สูงมากนักโดยการนำ 2 ระบบมากำเนิดความร้อนร่วมกันโดยนำอากาศร้อนโดยตรงที่ได้จากตัวเก็บรังสีอาทิตย์มาผสมกับอากาศที่ได้รับการแลกเปลี่ยนความร้อนกับตัวกลางชนิดของเหลว ดังภาพประกอบ 2.6 ซึ่งทำให้ประสิทธิเครื่องอบแห้งสูงขึ้นโดยในเวลาที่มีปริมาณรังสีแสงอาทิตย์มากคือช่วงเวลากลางวันจะทำให้อุณหภูมิภายในห้องอบแห้งสูงขึ้นและในช่วงเวลาที่ไม่มีแสงแดดหรือแสงแดดน้อยยังสามารถกักเก็บพลังงานในรูปของความร้อนแล้วไปแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเพิ่มอุณหภูมิภายในห้องด้วยอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนอบแห้งสูงขึ้น สามารถอบแห้งได้ในในเวลาที่ไม่มีแสงแดดเพียงพอโดยเฉพาะตอนกลางคืนทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้นมากกว่าทุกระบบ (Sharma et.al,2009)

ระบบการอบแห้ง ดังจะแสดงในภาพประกอบ 2.8 ที่มีการนำพลังงานความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้โดยวิธีแบบผสมทั้งระบบที่มีการใช้พลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์ทั้งทางตรงและทางอ้อมมาใช้เพิ่มอุณหภูมิ และยังสามารถใช้พัดลมเพื่อเพิ่มอัตราการไหลเวียนของอากาศให้มีความสัมพันธ์ภายในห้อง ซึ่งเป็นการผสมกันทั้งสองระบบมีข้อดีคือสามารถอบแห้งในเวลาตอนกลางคืนได้ ซึ่งข้อดีของระบบการอบแห้งแบบผสมสามารถอบแห้งได้ทั้งกลางวันและกลางคืนโดยที่กลางวันสามารถสร้างอุณหภูมิที่สูงได้ แต่มีข้อเสียในแง่ของการลงทุนที่ค่อนข้างสูง

Mahasarakham University



ภาพประกอบ 2.8 แสดงการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์โดยวิธีแบบทางอ้อมและทางตรงผสมกัน (Luna et al., 2008)

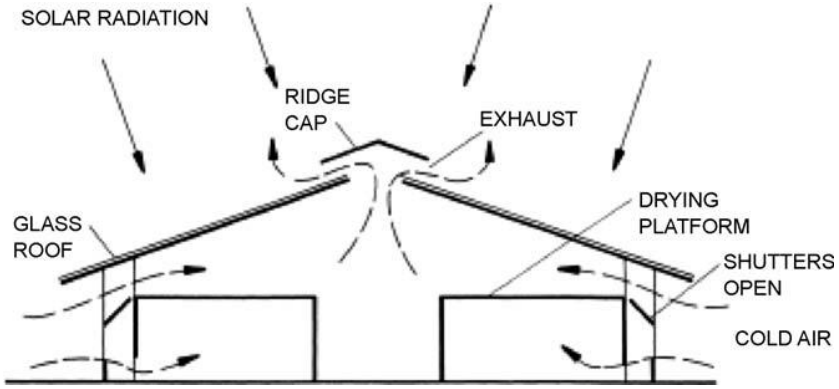
2.8.2 ประเภทของโรงอบแห้งที่แบ่งตามการไหลเวียนอากาศ

การอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยทั่วไปที่ใช้การออกแบบด้วยการแบ่งหลักการแบบการไหลเวียนของอากาศอบแห้งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้ คือ

2.8.2.1 การไหลเวียนอากาศโดยแบบธรรมชาติ

โรงอบแห้งด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการพาอากาศโดยแบบธรรมชาติเป็นวิธีที่อาศัยหลักการทางธรรมชาติในการพาอากาศซึ่งกระบวนการอบแห้งด้วยการพาอากาศแบบธรรมชาติก็จะสามารถแบ่งออกได้เป็นแบบที่อาศัยหลักการภาวะเรือนกระจก (Greenhouse dryer) โดยรับรังสีดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นรังสีคลื่นสั้นและคลื่นยาวซึ่งตัวแผ่นกระจกครอบเมื่อรังสีส่องผ่านกระจก โดยปกติแล้วรังสีบางส่วนจะสะท้อนกลับแต่แผ่นกระจกทำจะป้องกันไม่ให้รังสีบางส่วนไม่ให้สะท้อนส่องผ่านได้ทำให้เกิดพลังงานความร้อนที่ใช้ในการอบแห้ง (Sharma et al., 2009) และการอบแห้งด้วยวิธีการไหลแบบการพาอากาศด้วยวิธีธรรมชาติยังสามารถรักษาอุณหภูมิให้สูงขึ้นและคงที่ด้วยการเพิ่มตัวดูดซับรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ (Sharma et al., 2009) ดังจะแสดงในภาพประกอบ 2.9

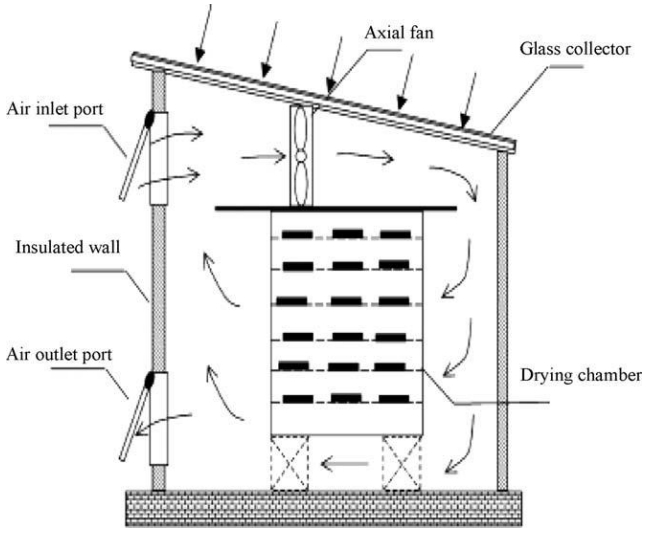
Mahasarakham University



ภาพประกอบ 2.9 แสดงการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการพาอากาศแบบธรรมชาติ (Sharma et al., 2008)

2.8.2.2 การไหลเวียนอากาศแบบบังคับ

โรงอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการพาอากาศแบบการไหลของอากาศเป็นแบบบังคับ (Active mode (forced convection) solar dryer) ซึ่งโดยทั่วไปใช้พัดลมเป็นตัวสร้างความดันให้เท่ากับความแตกต่างของความดันรวมระหว่างที่ทางเข้าและที่ทางออกของโรงอบแห้งซึ่งมีลักษณะดังจะแสดงในภาพประกอบ 2.10



ภาพประกอบ 2.10 แสดงการอบแห้งโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่มีการพาอากาศแบบบังคับ (Sharma et al., 2008)

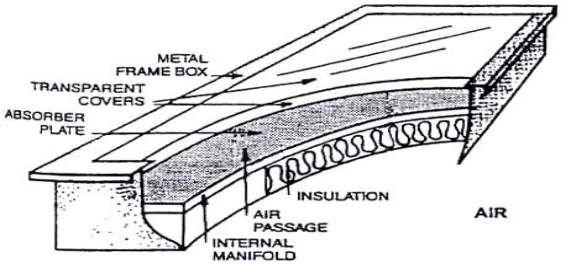
Mahasarakham University

2.9 อุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

อุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบ ซึ่งลักษณะในการใช้งานของตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นรับที่ต้องการกำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ในช่วงอุณหภูมิสูงมากนักกล่าวคือ ใช้ประมาณ 40-60 °C ในขณะที่อุณหภูมิของอากาศแวดล้อมระหว่าง 10-30 °C ถึงแม้ว่าตัวเก็บรังสีอาทิตย์แบบแผ่นราบมีข้อจำกัดในด้านความไม่เหมาะสมในการใช้งานที่อุณหภูมิสูงมากแต่ก็เป็นอุปกรณ์ง่ายๆ ที่สามารถรับได้ทั้งรังสีตรง (Direct Radiation) และรังสีกระจาย (Diffuse Radiation) โดยไม่ต้องมีกลไกบังคับให้ตัวเก็บรังสีอาทิตย์หันหน้าเข้าหาดวงอาทิตย์มีความจำเป็นในการบำรุงรักษาน้อยและที่สำคัญที่สุดก็คือ มีความคุ้มทุนในการติดตั้ง ลักษณะทั่วไปมีการออกแบบพัฒนาในรูปแบบต่างๆกันไป เช่น ใช้แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์เป็นแบบผิวเลือกรังสี (Selective Surface) หรือมีแผ่นปิดใสที่ด้านบนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์มากกว่าหนึ่งชั้น (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540)

อุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นราบ (Flat Plate Collector) เป็นรูปแบบหนึ่งของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ทำหน้าที่แปลงพลังงานแสงอาทิตย์ให้อยู่ในรูปพลังงานความร้อน โดยการถ่ายเทความร้อนจากของแข็งไปยังของไหล การนำไปใช้งานส่วนใหญ่จะถูกใช้ในการผลิตน้ำร้อนและอากาศร้อนทำความร้อนในอาคารระบบปรับอากาศและกระบวนการที่ใช้ความร้อนในโรงงาน อุตสาหกรรม เป็นต้น

ลักษณะอุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ ดังแสดงในภาพประกอบ.2.11 ส่วนประกอบของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ทำอากาศร้อน โดยทั่วไปมีดังนี้



ภาพประกอบ 2.11 แสดงส่วนประกอบอุปกรณ์กำเนิดอากาศร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์
(ASHRAE HANDBOOK, 1996: 33.3)

2.9.1 แผ่นปิดใส (Transparent Cover) จะวางไว้เหนือแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ซึ่งทำหน้าที่ช่วยลดการสูญเสียความร้อนสู่บรรยากาศโดยการพา (Convection) และการแผ่รังสี (Radiation) อาจจะมีหนึ่งแผ่นหรือมากกว่าก็ได้ ตัวอย่างวัสดุที่ใช้ เช่น กระจก (Glass) แผ่นพลาสติกใส (Plastic Film)

2.9.2 แผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ (Absorber Plate) ทำหน้าที่ถ่ายเทพลังงานแสงอาทิตย์ที่ดูดกลืนเอาไว้ให้กับอากาศ มีลักษณะเป็นแบบแผ่นราบ (Flat) ลอนลูกฟูก (Corrugated) ท่อ (Tubes) แผ่นครีบ (Fins)เป็นต้น วัสดุที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็นทองแดง (Copper) อะลูมิเนียม (Aluminum) และเหล็กกล้า (Steel)

Mahasarakham University

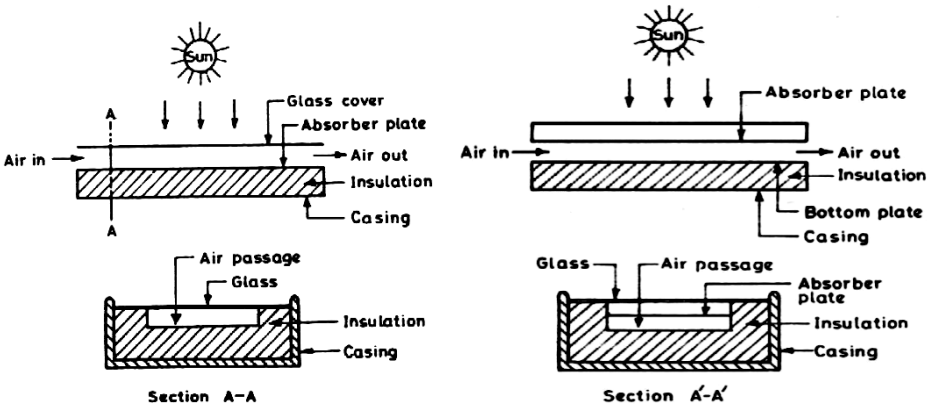
2.9.3 ฉนวน (Insulation) จะอยู่ทางด้านข้างและด้านล่าง ทำหน้าที่ลดการสูญเสียความร้อนอันเนื่องจากการนำความร้อน (Conduction) โดยทั่วไปจะใช้เซรามิกส์ (Ceramic Fiber) ใยแก้ว (Fiber Glass) และ โฟมพลาสติก (Plastic Foam)

2.9.4 ตัวเรือน (Metal Frame Box) ทำหน้าที่เป็นที่เก็บรวบรวมของส่วนประกอบต่างๆ ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์ ช่วยป้องกันฝุ่นละออง และความชื้นของอากาศ

2.9.5 ช่องให้อากาศไหลผ่าน (Air Passage) ภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Internal Manifold) ทำหน้าที่รับความร้อน (Admit) และปล่อย (Discharge) ให้อากาศที่ไหลผ่านที่ทางเข้าและที่ทางออกจากตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (ASHRAE HANDBOOK, 1996: 33.3)

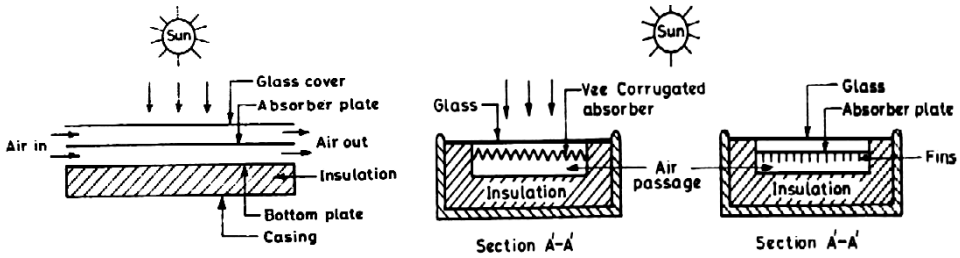
2.10 ประเภทของอุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

อุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์โดยทั่วไปจะมีลักษณะเหมือนกับตัวกำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบที่ทำของเหลวร้อน แต่ในการทำงานจะใช้อากาศแทนของเหลวในการส่งถ่ายเทความร้อนจุดประสงค์ก็เพื่อใช้สำหรับการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร และระบบปรับอากาศในที่อยู่อาศัยแต่สิ่งที่ได้เปรียบก็คือ ไม่เกิดปัญหาเกี่ยวกับการเกิดสนิม (Corrosion) การเดือด (Boiling) การแข็งตัว (Freezing) การตกตะกอนของเกลือ (Salt Peposits) และการรั่วซึม (Leaks) ของวัสดุและสสารที่ใช้ภายในตัวเก็บรังสีอาทิตย์ (Tiwari and Suneja, 1997: 127-130)



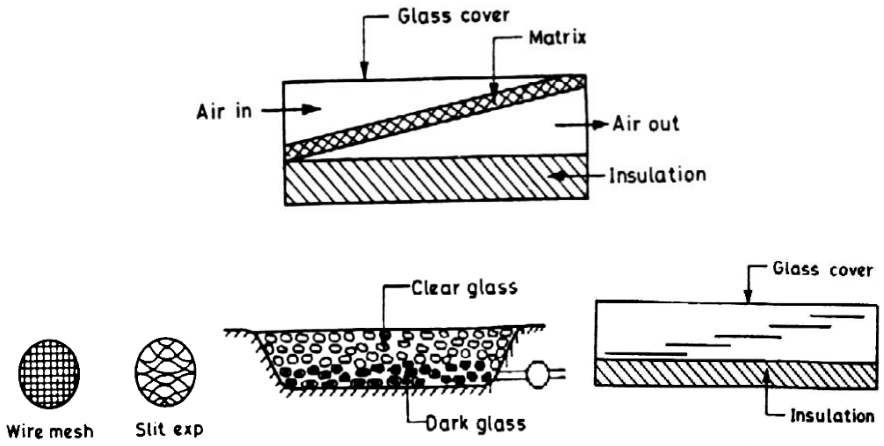
ภาพประกอบ 2.12 อุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์จะไหลผ่านที่ข้างล่างของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์แบบไหลทางเดียว (Single Flow)
(Tiwari and Suneja, 1997: 127-129)

Mahasarakham University



ภาพประกอบ 2.13 อุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์จะไหลผ่านทั้งข้างบนและข้างล่างของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์แบบไหลสองทาง (Double Flow)
(Tiwari and Suneja, 1997: 127-129)

ส่วนในการเพิ่มสมรรถนะเชิงความร้อนของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์นั้นจะใช้วัสดุพรุน (Porous) ประกอบเข้าภายในอุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ เช่น ตะแกรงลวด เศษขวดแตก และมีแผ่นกระจกซ้อนเหลื่อมๆกัน เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบทั่วไป อากาศจะไหลผ่านที่ข้างบน ข้างล่างเพียงอย่างใดอย่างหนึ่ง จะเรียกว่า การไหลแบบทางเดียว ดังแสดงในภาพประกอบ 2.13. และแบบอากาศจะไหลผ่านทั้งข้างบนและข้างล่างของแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์ จะเรียกว่าการไหลแบบสองทางดังแสดงในภาพประกอบ 2.11.ส่วนแบบวัสดุพรุนอากาศ จะมีการไหลผ่านแม่พิมพ์ (Matrix) ที่มีรูช่อง ช่วยในการเก็บสะสมความร้อน ซึ่งแผ่นดูดกลืนรังสีอาทิตย์จะดูดกลืนรังสีอาทิตย์ไว้ประมาณ 70-80 %ที่ระยะความลึกๆ ทำให้มีอุณหภูมิของอากาศสูงขึ้น แล้วผ่านไหลผ่านอุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อนำไปใช้งานต่อไป ดังจะแสดงในภาพประกอบ 2.14



ภาพประกอบ 2.14 อุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบมีวัสดุพรุน
(Tiwari and Suneja, 1997: 129-130)

อุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่กล่าวมา จะเห็นได้ว่าประเภทอุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ จะมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ แบบทั่วไป และแบบมีวัสดุพรุนเป็นตัว

Mahasarakham University

ช่วยให้สมรรถนะเชิงความร้อนของตัวเก็บรังสีอาทิตย์สูงขึ้น แต่การสร้างนั้นยุ่งยากกว่าแบบทั่วไป อุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์แบบมีแผ่นปิดใสจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบไม่มีแผ่นปิดใสเนื่องจากการสูญเสียความร้อนลดลง ตัวเก็บรังสีอาทิตย์ที่มีแผ่นปิดใสมากขึ้นความร้อนของอากาศก็จะเพิ่มขึ้น และมีสมรรถนะเชิงความร้อนสูงสุด แต่ก็มีความยุ่งยากในการสร้างมากกว่าแบบอื่นๆ

2.11 การหาค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของอากาศที่ใช้อบแห้ง

การถ่ายเทความร้อนสามารถแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ การนำ การพา และการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งการถ่ายเทความร้อนแบบบังคับที่ใช้ในการอบแห้งด้วยอากาศร้อนจะเป็นการถ่ายเทความร้อนในรูปของการพาความร้อนเป็นแบบบังคับซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการ 2.8 (Karsli, 2007)

$$Q = m_a C_{pa} (T_k - T_{ab}) \quad (2.8)$$

Q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง (W)
m_a คือ อัตราการไหลเชิงมวล (kg/s)
C_{pa} คือ ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศร้อนที่ความดันคงที่ (kJ/kg ˚C)
T_k คือ อุณหภูมิก่อนเข้าตู้อบแห้งไม้ (˚C)
T_{ab} คือ อุณหภูมิอากาศสิ่งแวดล้อม (˚C)

2.12 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์สามารถหาได้จากสัดส่วนของพลังงานความร้อนที่ใช้ในการระเหยกับพลังงานแสงอาทิตย์ที่เข้าสู่ระบบซึ่งสมารถเขียนอยู่ในรูปดังสมการ 2.9 (Karsli, 2007)

$$\eta_{sys} = \frac{m_w h_{fg}}{G_T A} \times 100 \quad (2.9$$

เมื่อ η_{sys} คือ ประสิทธิภาพการอบแห้งไม้โดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์
m_w คือ อัตราการระเหยน้ำ (kg/s)
h_{fg} คือ ค่าความร้อนแฝงในการระเหยน้ำ (kJ/kg)
G_T คือ ปริมาณรังสีรวมของดวงอาทิตย์ (W/m^2)
A คือ พื้นที่ของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ของเครื่องอบแห้ง (m^2)

Mahasarakham University

2.13 ประสิทธิภาพอุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์

เมื่อพิจารณาอุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์หรือตัวเก็บรังสีดวงอาทิตย์ที่สภาวะคงตัวที่ขณะใดๆ ค่ารังสีอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนจะเท่ากับค่าอัตราความร้อนที่นำไปใช้ประโยชน์บวกกับค่าอัตราความร้อนที่สูญเสียจากผิวดูดกลืนรังสีซึ่งสามารถคำนวณประสิทธิภาพของอุปกรณ์กำเนิดความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์ได้ดังสมการ 2.10 (ทะนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, 2548)

$$\eta_c = \frac{mc_p\left(t_{oc} - t_{ic}\right)}{G_T A_c} \times 100 \qquad (2.10)$$

เมื่อ η_C คือ ประสิทธิภาพตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ (%)
m คือ อัตราไหลเชิงมวลอากาศ (kg/s)
G_T คือ รังสีรวมที่ตกกระทบบนระนาบตัวรับรังสี (W/m^2)
A_C คือ พื้นที่ตัวรับรังสีดวงอาทิตย์(m^2)
t_{ic} คือ อุณหภูมิอากาศไหลเข้าตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ ($^\circ C$)
t_{oc} คือ อุณหภูมิอากาศไหลออกตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ ($^\circ C$)
C_p คือ ความจุความร้อนจำเพาะของอากาศร้อนที่ความดันคงที่(kJ/kg.$^\circ C$)

2.14 ปฏิกิริยาการเผาไหม้

การเผาไหม้เป็นปฏิกิริยาการรวมตัวกันของเชื้อเพลิงกับออกซิเจนอย่างรวดเร็ว พร้อมกับเกิดการลุกไหม้และการคายความร้อน ในการเผาไหม้ส่วนใหญ่จะไม่ใช้ออกซิเจนล้วนๆ เพราะสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายมากแต่จะใช้อากาศแทน โดยอากาศจะมีแก๊สออกซิเจนและแก๊สไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบแห้งหลัก ส่วนแก๊สอื่นมีปะปนอยู่น้อยมาก (ในอากาศมีแก๊สออกซิเจนประมาณ 21 % และแก๊สไนโตเจน 79 % โดยปริมาตร หรือแก๊สออกซิเจนประมาณ 23 % และแก๊สไนโตเจน 77 % โดยน้ำหนัก) เชื้อเพลิงชีวมวลส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์บอน (C), ไฮโดรเจน (H), ออกซิเจน (O), และธาตุอื่น ๆ ปะปนอยู่บ้าง เช่น ไนโตรเจน (N) และกำมะถัน (S) ดังนั้นเมื่อนำเชื้อเพลิงชีวมวลไปเผาไหม้จะเกิดปฏิกิริยาเคมีดังแสดงด้วยสมการต่อไป (สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2549: เว็บไซต์)

$2C + O^2 \longrightarrow 2CO + 110380$ kJ/kg-mol
$2CO + O^2 \longrightarrow 2CO_2 + 283180$ kJ/kg-mol
$2H_2 + O^2 \longrightarrow 2H_2O + 286470$ kJ/kgmol
$S + O^2 \longrightarrow 2S_2O +$ ความร้อน
$N + O^2 \longrightarrow 2NO_2 +$ ความร้อน

Mahasarakham University

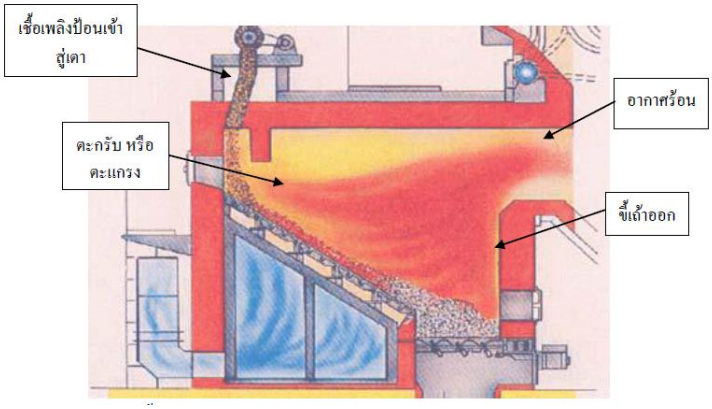
2.14.1 เตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวล

เตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวล (Biomass furnace) ทาหน้าที่เผาไหม้เชื้อเพลิงมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยการเผาไหม้ให้ได้ความร้อนเพื่อเอาอากาศร้อนหรือแก๊สร้อนไปใช้ในกระบวนการผลิต เช่น การนำความร้อนที่ได้ไปใช้อบแห้งในเครื่องอบแห้ง ในการเผาไหม้เชื้อเพลิงแข็งนั้นเตาเผาถือว่าเป็นหัวใจสำคัญเพราะการจะนำพลังงานเคมีในเชื้อเพลิงเปลี่ยนมาเป็นพลังงานความร้อนให้ได้มากที่สุดนั้น เตาเผาที่ใช้จะต้องมีประสิทธิภาพที่ดีและเหมาะสมกับการใช้งานกับเชื้อเพลิงในแต่ละประเภท ซึ่งประเภทของเตาเผาที่ใช้กับเชื้อเพลิงชีวมวล แบ่งออกได้เป็น 5 ระบบหลัก ได้แก่ **ร**ะบบใช้แรงงานคนป้อนเชื้อเพลิง ระบบสโตกเกอร์ (Stoker) ระบบพัลเวอร์ไรซ์ (Pulverised) ระบบไซโคลน (Cyclone) และระบบฟลูอิดไดซ์เบด (Fluidized Bed) สาหรับรายละเอียดของเตาเผาที่ใช้กับเชื้อเพลิงชีวมวลในหัวนี้จะอธิบายเฉพาะระบบสโตกเกอร์เท่านั้น เนื่องจากเป็นพื้นฐานของเตาเผาเศษไม้ที่จะสร้างขึ้นในสำหรับเตาเผาชีวมวลระบบสโตกเกอร์ (Stoker) เป็นระบบแรกที่มีการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เตาโดยอาศัยเครื่องกลแทนแรงงานคน ข้อดีของระบบนี้คือ มีราคาถูก และสามารถออกแบบให้ใช้ได้กับเชื้อเพลิงแข็งหลายชนิด ระบบสโตกเกอร์ สามารถแบ่งตามลักษณะการป้อนเชื้อเพลิงได้เป็น 2 ระบบ ได้แก่ (โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า, ม.ป.ป.)

2.14.1.1 ระบบสโตกเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านบน (Overfeed Stoker) เชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านบน หรือสูงกว่าตำแหน่งทางเข้าของอากาศส่วนแรกที่ถูกส่งไปช่วยในการเผาไหม้ โดยป้อนเชื้อเพลิงให้อยู่บนตะแกรง จากนั้นอากาศส่วนแรกถูกป้อนเข้าทางด้านล่างของตะแกรงผ่านขึ้นมาเผาไหม้เชื้อเพลิงบนตะแกรง อากาศอีกส่วนหนึ่งจะถูกป้อนเข้าทางส่วนบนของตะแกรงเพื่อช่วยให้การเผาไหม้สมบรูณ์ ข้อเสียของการเผาไหม้ระบบนี้ คือการควบคุมปริมาณของอากาศที่ป้อนเข้าใต้ตะแกรงนั้นทำได้ยาก เพราะจะขึ้นอยู่กับความสูงและความหนาแน่นของเชื้อเพลิงที่กองอยู่บนตะแกรง และนอกจากนี้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างค่อนข้างสูง เพราะต้องป้องกันการสูญเสียความร้อนออกจากผนังเตาเพื่อทำให้การเผาไหม้เกิดขึ้นได้อย่างคงที่ เตาที่ใช้กับการป้อนเชื้อเพลิงเข้าสู่เตาทางด้านบนที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมทั่วไปมีอยู่ด้วยกัน คือ

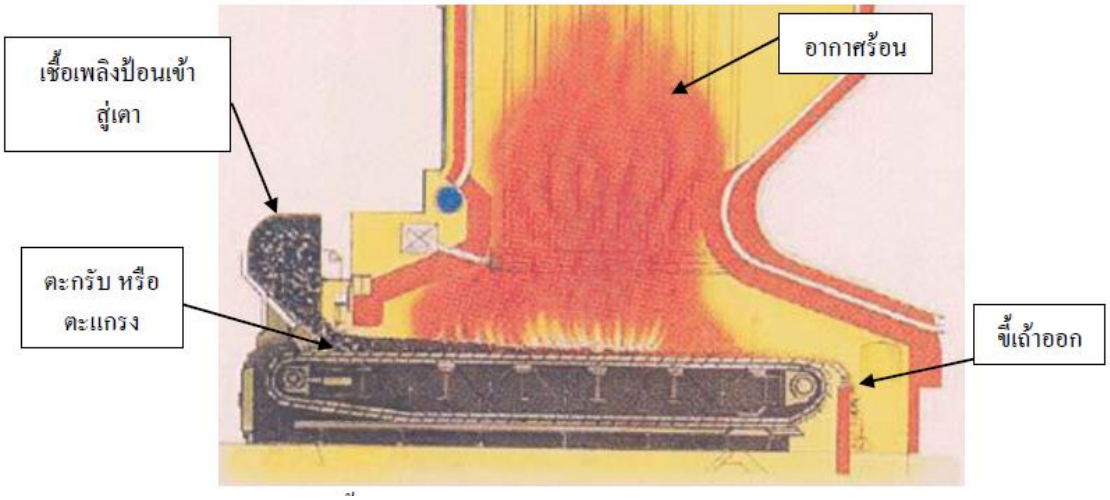
1) ระบบสโตกเกอร์แบบตะกรับเอียง หรือตะกรับอยู่กับที่ (Incline / Fixed grate stoker) ดังแสดงในภาพประกอบ 2.15 มีโครงสร้างแบบง่ายๆ ตะกรับจะยึดติดอยู่กับที่ ต้นทุนค่าก่อสร้างค่อนข้างถูก ข้อเสียคือประสิทธิภาพต่ำนำขี้เถ้าออกยาก และบางครั้งเชื้อเพลิงค้างอยู่กลางตะกรับ ทาให้ประสิทธิภาพการเผาไหม้ลดลง

Mahasarakham University



ภาพประกอบ 2.15 เตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลระบบสโตกเกอร์แบบตะกรับเอียง หรือตะกรับอยู่กับที่
(โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า, ม.ป.ป.: เว็บไซต์)

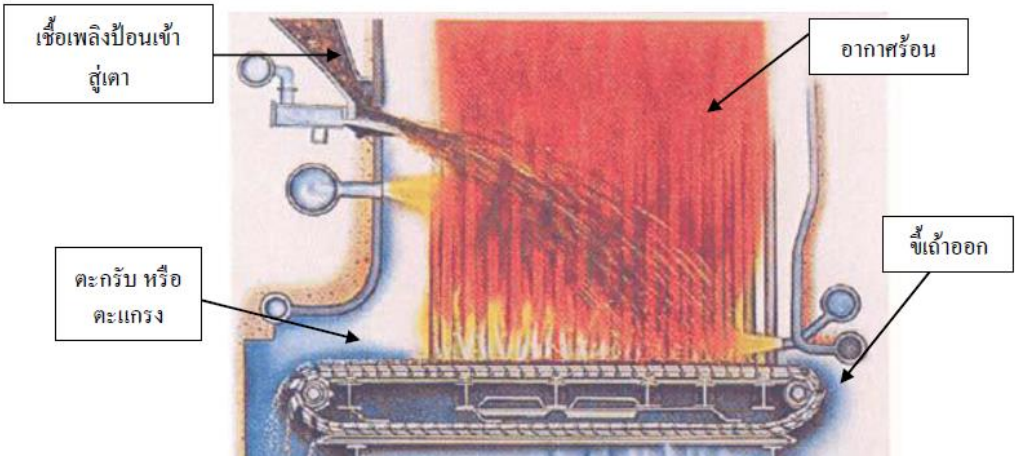
2) ระบบสโตกเกอร์แบบตะกรับเลื่อน (Traveling Grate Stoker) ดังแสดงในภาพประกอบ 2.16 โครงสร้างของตะกรับจะเคลื่อนที่ตลอดเวลา คล้ายตีนตะขาบรถถังเหมาะสำหรับเชื้อเพลิงที่มีขนาดใกล้เคียงกันและมีสัดส่วนขี้เถ้ามากเช่นแกลบ



ภาพประกอบ 2.16 เตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลระบบสโตกเกอร์แบบตะกรับเลื่อน
(โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า, ม.ป.ป.: เว็บไซต์)

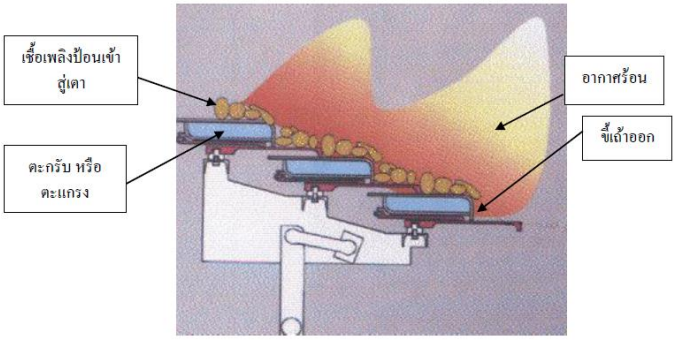
3) ระบบสโตกเกอร์แบบกระจาย (Spaeder Fired Stoker) ดังแสดงในภาพประกอบ 2.17 โครงสร้างนี้พัฒนามาจาก Traveling grate stoker โดยนำ เชื้อเพลิงมาบดให้ละเอียดและพ่นเข้าเตา มี ประสิทธิภาพการเผาไหม้สูงขึ้นเพราะเชื้อเพลิงสัมผัสอากาศทั่วถึง แต่ต้นทุนค่าก่อสร้างสูงเช่นกัน

Mahasarakham University



ภาพประกอบ 2.17 เตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลระบบสโตกเกอร์แบบกระจาย
(โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า, ม.ป.ป.: เว็บไซต์)

4) ระบบสโตกเกอร์แบบขั้นบันได (Step grate Stoker) ดังแสดงในภาพประกอบ 2.18 มี โครงสร้างคล้ายกับขั้นบันได เชื้อเพลิงจะถูกผลักลงทีละขั้นทำให้มีโอกาสพลิกไปมา ประสิทธิภาพ การเผาไหม้ดีขึ้น เหมาะกับการใช้เชื้อเพลิงหลายชนิด



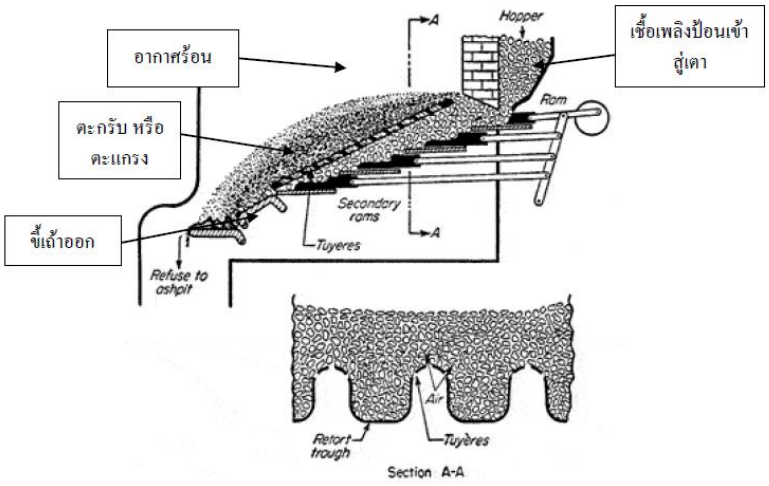
ภาพประกอบ 2.18 เตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลระบบสโตกเกอร์แบบขั้นบันได
(โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า, ม.ป.ป.: เว็บไซต์)

2.14.1.2 ระบบสโตกเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านล่าง (Underfeed Stoker) เชื้อเพลิงจะถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านล่าง ส่งผลให้เชื้อเพลิงไปตามรางให้เคลื่อนตัวลึกเข้าไปในเตาตลอดเวลา ทำ ให้เกิดความดันขึ้นในเชื้อเพลิงส่วนล่าง ส่งผลให้เชื้อเพลิงส่วนบนขยับขึ้นด้านบนได้ วิธีนี้จะทำ ให้สารระเหยที่มีอยู่ในเชื้อเพลิงระเหยขึ้นสู่ส่วนบนจึงทำให้ติดไฟได้ง่ายขึ้นและเกิดการเผา หม้ขึ้นได้อย่างสมบรูณ์ เชื้อเพลิงที่ลุกไหม้หมดแล้วเป็นเถ้าซึ่งอยู่ส่วนบนสุดจะถูกเชื้อเพลิงตอนล่าง ดันกระจายลงสู่ที่รองรับเถ้า ดังแสดงในภาพประกอบ 2.19

ชนิดของเตาเผา ซึ่งเป็นองค์ประกอบแห้งสำคัญของระบบผลิตอากาศร้อนขึ้นอยู่กับชนิด ของชีวมวลที่ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับชีวมวลที่มีขนาดเป็นชิ้นค่อนข้างใหญ่ เตาเผาระบบสโตก

Mahasarakham University

เกอร์มี ความเหมาะสมมาก ในขณะที่ชีวมวลที่เป็นชิ้นเล็กหรือเป็นเมล็ด เช่น ขี้เลื่อย ส่วนแกลบมีความเหมาะสมกับเตาเผาระบบฟลูอิดไดซ์เบดหรือไซโคลน เตาเผาระบบ สโตกเกอร์นั้นสามารถใช้กับเชื้อเพลิงได้หลายชนิดหรือขนาด แต่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงภาระต่างๆ เตาเผาระบบไซโคลนตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงภาระสูงกว่าเตาเผาระบบสโตกเกอร์ แต่ต้องการเชื้อเพลิงที่มีความแห้งมาก สาหรับเตาเผาระบบฟลูอิดไดซ์เป็นระบบค่อนข้างใหม่มีความยืดหยุ่นต่อการเปลี่ยนแปลง คุณภาพของเชื้อเพลิง และตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงภาระได้เร็ว



ภาพประกอบ 2.19 เตาเผาเชื้อเพลิงชีวมวลระบบสโตกเกอร์ที่เชื้อเพลิงถูกป้อนเข้าสู่เตาทางด้านล่าง (โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า, ม.ป.ป.: เว็บไซต์)

2.15 สมบัติของอากาศ

อากาศซึ่งใช้เป็นตัวกลางในการพาความร้อนไปสู่วัสดุชื้นและพาความชื้นจากวัสดุนั้นออกมา ภายนอกจะประกอบด้วยอากาศแห้งและไอน้ำซึ่งมีคุณสมบัติแสดงได้ด้วยตัวแปร 7 ตัวดังนี้ (ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์, 2523)

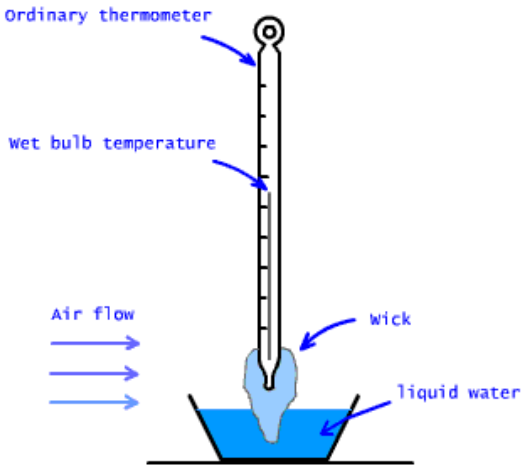
2.15.1.อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (T_{db}) เป็นอุณหภูมิที่บอกโดยไม่มีการดัดแปลง (Modified temperature sensor) ในการบอกอุณหภูมิวัดได้ด้วยเทอร์โมมิเตอร์ทั่วไปจะหมายความถึงอุณหภูมิกระเปาะแห้ง

2.15.2.อุณหภูมิกระเปาะเปียก (T_{wb}) มี 2 แบบ คือ

2.15.2.1 อุณหภูมิกระเปาะเปียกทางไซโครเมทริกส์ (Psychometric wet bulb temperature) ได้มาจากการนำเทอร์โมมิเตอร์แบบปรอทหุ้มด้วยสำลีหรือผ้าเปียกตลอดเวลาแล้วปล่อยให้สัมผัสกับอากาศที่ไหลในความเร็วสูง (5-10 เมตร/วินาที) หรือจะผูกเชือกกับเทอร์โมมิเตอร์ที่หุ้มผ้าสำลีที่ชุ่มน้ำแล้วเหวี่ยงเป็นวงกลมก็ทำได้เช่นกันความชื้นที่อยู่ในผ้าสำลีชุ่มน้ำเมื่อสัมผัสกับอากาศไม่อิ่มตัวที่อยู่ภายนอกก็จะมีการถ่ายเทความชื้นสู่อากาศไม่อิ่มตัวเนื่องจากความดันไอของน้ำในผ้าสำลีสูงกว่าอากาศแห้งซึ่งกระบวนการระเหยที่เกิดขึ้นนี้จะส่งผลทำให้เกิดการดึงความร้อนออกจากอากาศไปยัง

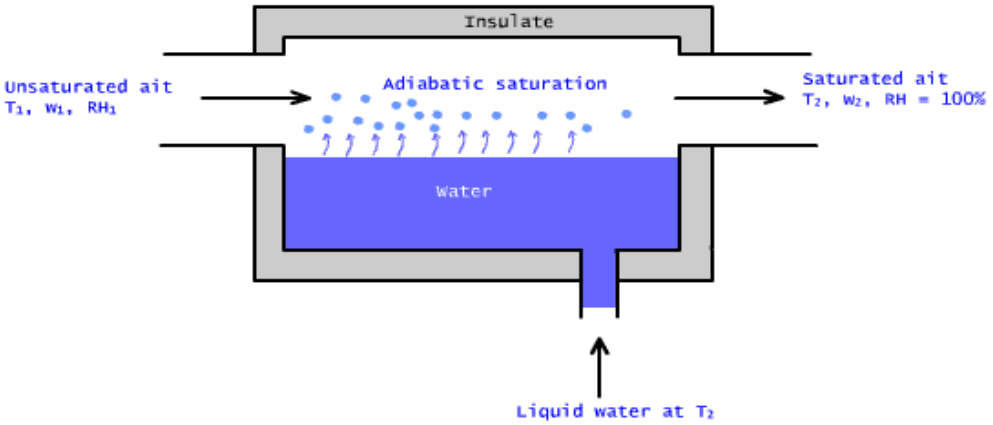
Mahasarakham University

ผ้าสำลี จนการระเหยอยู่ในสภาวะคงตัวอุณหภูมิที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์จึงมีค่าต่ำกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิกระเปาะแห้ง ดังแสดงในภาพประกอบ 2.20



ภาพประกอบ 2.20 การวัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกอย่างง่าย
(พิรุณเชิร์ฟเวอร์, ม.ป.ป.: เว็บไซต์)

2.15.2.2 อุณหภูมิกระเปาะเปียกทางเทอร์โมไดนามิกส์ (Thermodynamic wet bulb temperature) จะได้จากการทำให้อากาศชื้นเป็นอากาศอิ่มตัวในสภาวะอะเดียบาติก ดังแสดงในภาพประกอบ 2.21 ซึ่งภายนอกจะต้องหุ้มฉนวนเพื่อป้องกันถ่ายเทความร้อนออกไปนอกระบบอากาศไม่อิ่มตัวที่อุณหภูมิ T_1 มีความชื้น w_1 และความชื้นสัมพัทธ์ RH_1 เมื่อผ่านเข้าสู่อ่างน้ำที่ยาวมากๆอากาศแห้งที่ไม่อิ่มตัวจะรับเอาน้ำที่ระเหยจากอ่างที่มีฉนวนหุ้มที่ทางออกอากาศที่อิ่มตัวหรือมีความชื้นสัมพัทธ์ 100 % แล้ววัดอุณหภูมิออกมาก็จะได้อุณหภูมิกระเปาะเปียกทางเทอร์โมไดนามิกส์และอากาศที่ทางออกจะมีอุณหภูมิน้อยกว่าขาเข้ามีความชื้นสูงกว่าขาเข้าด้วย



ภาพประกอบ 2.21 กระบวนการอิ่มตัวแบบอะเดียบาติก
(พิรุณเชิร์ฟเวอร์, ม.ป.ป.: เว็บไซต์)

Mahasarakham University

2.15.2.3 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew - Point Temperature) คืออุณหภูมิที่ไอน้ำในอากาศเริ่มควบแน่นเมื่ออากาศนั้นถูกทำให้เย็นลง ที่อัตราส่วนความชื้นและความดันคงที่ดังนั้นอุณหภูมิจุดน้ำค้าง จึงหมายถึงอุณหภูมิอิ่มตัวของน้ำที่ความดันนั้นๆ

2.15.2.4 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity, RH) คือ อัตราส่วนระหว่างมวลไอน้ำในความชื้นต่อมวลไอน้ำสูงสุดที่อากาศนั้นจะสามารถรับไว้ได้ ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน นอกจากนี้ยังหมายถึง ความดันของอากาศต่อความดันอิ่มตัวในขณะนั้นที่อุณหภูมิหนึ่งๆ

2.15.2.5 อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio) คือ มวลของน้ำที่อยู่ในอากาศแห้งคิดต่อ 1 กิโลกรัม หรือปอนด์ มีหน่วยเป็น kg H_2O / kg dry air หรือ g H_2O / kg dry air ก็ได้ นอกจากนั้นยังมีการใช้ในหน่วยอังกฤษ lb H_2O / lb dry air ด้วยอากาศแห้งที่จะใช้ทำแห้งอาหารควรที่จะมีความแห้งมากๆอาจจะทำได้โดยการผ่านอากาศแห้งเข้าไปในขดลวดไฟฟ้า (Heater) ก่อนเข้าไปในเครื่องอบแห้งเมื่ออบแห้งอาหารเสร็จค่าปริมาณความชื้นของอากาศก็จะเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากอากาศเป็นตัวกลางในการพาน้ำในอาหารออกมานั่นเอง

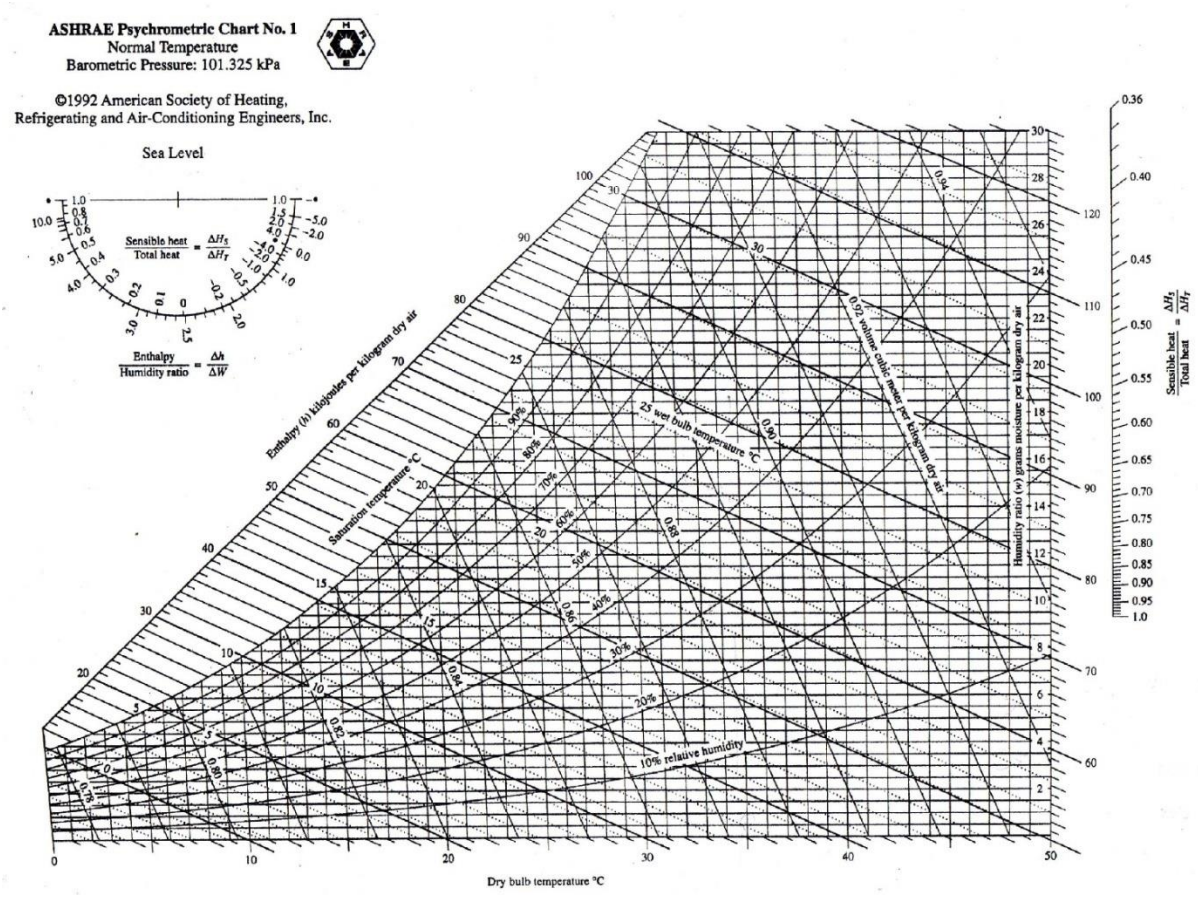
2.15.2.6 เอนทาลปี (Enthalpy) เป็นพลังงานที่สะสมอยู่ในอากาศชื้นค่าพลังงานความร้อนที่มีในอากาศชื้นต่อหนึ่งหน่วยมวลอากาศแห้งเมื่อเทียบกับค่าความร้อนที่อุณหภูมิอ้างอิง (นิยมใช้ 0°C ในระบบเมทริกส์)

2.15.2.7 ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume) เป็นปริมาตรอากาศชื้นต่อน้ำหนักอากาศแห้งคือ ปริมาตรของอากาศชื้นต่อหนึ่งหน่วยมวลอากาศแห้งขณะเดียวกันค่าความหนาแน่นจำเพาะนั้นเป็นส่วนกลับกับค่าปริมาตรจำเพาะ

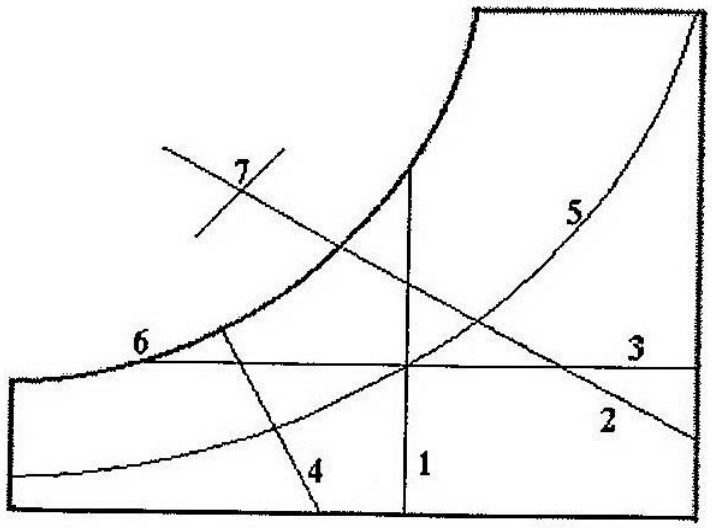
2.16 แผนภูมิไซโครเมตริก

ความชื้นในอากาศอยู่ในรูปของไอน้ำ อาจจะเป็นไอเปียกหรือไอดงก็ได้ อากาศจะสามารถดูดซับความชื้นได้ปริมาณมากเมื่ออุณหภูมิสูง และความสามารถในการดูดซับความชื้นของอากาศจะลดลงเมื่ออากาศมีอุณหภูมิต่ำ คุณสมบัติความชื้นในอากาศสามารถหาได้จากแผนภูมิไซโครเมตริก ดังแสดงในภาพประกอบ 2.20 การวิเคราะห์แผนภูมิไซโครเมตริกของกระบวนการการปรับอากาศ สามารถสรุปไว้ในแผนภูมิไซโครเมตริก ในปัจจุบันมีแผนภูมิไซโครเมตริกใช้กันหลายแบบ แผนภูมิแสดงความชื้นโดยทั่วไปที่ใช้ มีการแสดงความชื้นจำเพาะหรือความดันของไอน้ำตามแกนแนวตั้งและอุณหภูมิกระเปาะแห้งตามแกนแนวนอน แผนภูมิโดยทั่วไปจะมีโครงสร้างเป็นแบบความดันบรรยากาศมาตรฐานที่ 760 mmHg หรือ 1.01325 bar ตรงกับความดันเฉลี่ยที่ระดับน้ำทะเล แบบพิมพ์ที่ร่างไว้นี้เป็นแผนภูมิไซโครเมตริก คือ วิธีการลากเส้นคุณสมบัติที่หลากหลาย ดังแสดงในภาพประกอบ 2.22 จะได้อธิบายต่อไป (ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์, 2523)

Mahasarakham University



ภาพประกอบ 2.22 แผนภูมิไซโครเมตริก (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)., 1996)



ภาพประกอบ 2.23 เส้นคุณสมบัติคงที่บนแผนภูมิไซโครเมตริก (ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์, 2523)

Mahasarakham University

2.16.1 อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry bulbtemperature, DBT) คือ อุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์แบบมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ทั่วไป แสดงไว้ในแผนภูมิไซโครเมตริก คือ เส้นหมายเลข 1 ดังภาพประกอบ 2.21 เป็นเส้นตรงในแนวดิ่ง มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส (°C) อุณหภูมิกระเปาะแห้งเป็นอุณหภูมิที่เกิดจากปริมาณความร้อนในอากาศโดยตรง ไม่ได้ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในอากาศ เมื่อกล่าวถึงอุณหภูมิของอากาศเฉยๆ โดยไม่บ่งบอกว่าเป็นอุณหภูมิกระเปาะเปียก อุณหภูมิดังกล่าวถือว่าเป็นอุณหภูมิกระเปาะแห้ง

2.16.2 อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wetbulbtemperature, WBT) คือ อุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์กระเปาะหุ้มด้วยสำลีชุบน้ำและอยู่ในบริเวณที่มีอากาศพัดผ่านด้วยความเร็วระหว่าง 5 – 10 m/s (อ่านได้เฉพาะเมื่ออุณหภูมิกระเปาะเปียกสูงกว่า 0 °C เพราะถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 0 °C น้ำที่ชุบด้วยสำลีจะกลายเป็นน้ำแข็งเสียก่อน) อุณหภูมิกระเปาะเปียกจะขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นในอากาศ ในภาพประกอบ 12.21 เส้นที่แสดงอุณหภูมิกระเปาะเปียก คือ เส้นหมายเลข 2 อุณหภูมิกระเปาะเปียกสามารถแบ่งได้ 2 ชนิดคือ

2.16.2.1 อุณหภูมิกระเปาะเปียกไซโครเมตริก คือ อุณหภูมิอากาศชื้นที่อ่านได้จากเทอร์โมมิเตอร์ซึ่งกระเปาะถูกหุ้มไว้ด้วยผ้าสำลีเปียก ปกติจะเรียกอุปกรณ์ที่ใช้วัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกไซโครเมตริกนี้ว่า ไซโครมิเตอร์

2.16.2.2 อุณหภูมิกระเปาะเปียกเทอร์โมไดนามิกส์หรืออาจเรียกสั้นๆ ว่า อุณหภูมิกระเปาะเปียก คือ อุณหภูมิที่น้ำระเหยเข้าไปในอากาศและทำให้อากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกัน

2.16.3. อัตราส่วนความชื้น (Humidity ratio, w) คือ น้ำหนักของความชื้น มีหน่วยเป็น kg มีอยู่ในอากาศแห้ง เส้นแสดงอัตราส่วนความชื้นในภาพประกอบ 2.21 คือ เส้นแนวราบ เส้นหมายเลข 3 อัตราส่วนของความชื้นในอากาศจะมีค่าคงที่เสมอ ถ้าไม่มีการเพิ่มปริมาณความชื้นจำนวนใหม่ให้แก่อากาศ หรือไม่มีการนำความชื้นออกจากอากาศโดยทำให้ความชื้นในอากาศกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ

2.16.4 ปริมาตรจำเพาะ (Specific volume,v) คือปริมาตรของอากาศผสมความชื้นต่อหนึ่งหน่วยน้ำหนักของอากาศแห้ง มีหน่วยเป็น m^3/kg dryair เส้นแสดงปริมาตรจำเพาะ คือเส้นหมายเลข 4 ในภาพประกอบ 2.21

2.16.5 เอนทาลปี (Enthalpy, h) คือ พลังงานความร้อนที่อยู่ในอากาศแห้งหนัก 1kg และความชื้นหนัก w (kg) หน่วยเอนทาลปี คือ kJ/kgdry air เส้นแสดงเอนทาลปีในภาพประกอบ 2.23 คือเส้นหมายเลข 7 ค่าเอนทาลปีขึ้นอยู่กับอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศสูงค่าเอนทาลปีจะสูงตามไปด้วย

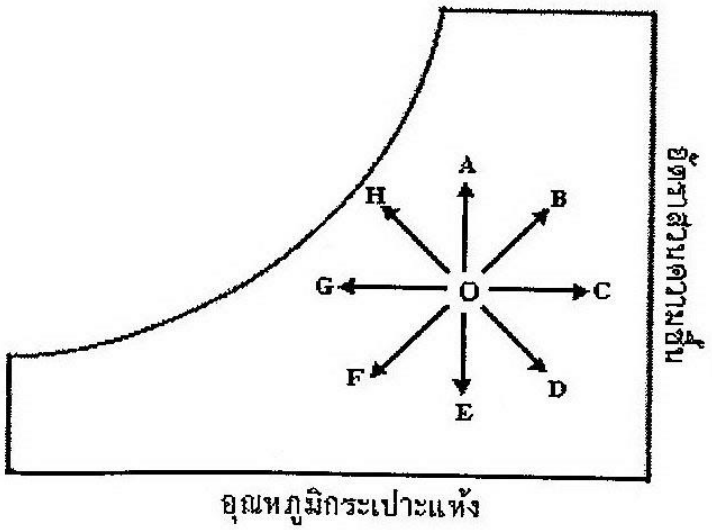
2.16.6 อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew point temperature, DPT) คือ อุณหภูมิที่ความชื้นภายในอากาศเริ่มกลั่นตัวเป็นหยดน้ำ มีหน่วยเป็น°C เส้นแสดงอุณหภูมิจุดน้ำค้างในภาพประกอบ 2.23 คือ เส้นหมายเลข 6 อุณหภูมิจุดน้ำค้างของอากาศจะไม่คงที่แต่จะขึ้นอยู่กับ (อัตราส่วนความชื้น) ปริมาณความชื้นในอากาศถ้าอัตราส่วนความชื้นในอากาศมีมากอุณหภูมิจุดน้ำค้างก็จะสูง ถ้าอัตราส่วนความชื้นในอากาศมีน้อยอุณหภูมิจุดน้ำค้างจะต่ำ

2.16.7 ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity, RH) คือ อัตราส่วนของจำนวนโมลของความชื้นในอากาศในบริเวณหนึ่งต่อจำนวนโมลของความชื้นในอากาศขณะที่อิ่มตัว (ปริมาณความชื้น

Mahasarakham University

สูงสุด) ที่อุณหภูมิกระเปาะแห้ง และที่ความดันบรรยากาศเดียวกัน มีหน่วยเป็น % เส้นแสดงความชื้นสัมพัทธ์ ดังแสดงในภาพประกอบ 2.23 คือ เส้นโค้งหมายเลข 5 ค่าความชื้นสัมพัทธ์ไม่ได้แปรผันไปตามอัตราส่วนของความชื้นในอากาศ ถึงแม้ว่าอัตราส่วนความชื้นในอากาศเปลี่ยนแปลง แต่ยังจะสามารถจะรักษาค่าความชื้นสัมพัทธ์ให้ค่าคงที่อยู่ได้โดยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียก

2.17 กระบวนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ



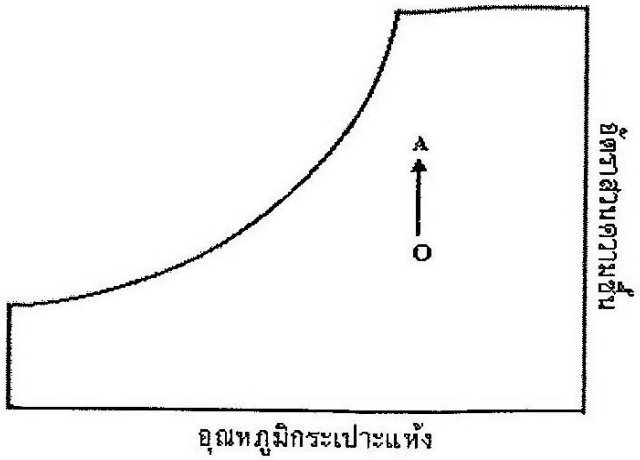
ภาพประกอบ 2.24 กระบวนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้น (ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์, 2523)

จากภาพประกอบ 2.24 ซึ่งแสดงกระบวนการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิและความชื้นในอากาศ สามารถสรุปได้ 8 กระบวนการ คือ (ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์, 2523)

2.17.1. กระบวนการเพิ่มความชื้น

ถ้ามีการเพิ่มความชื้นให้กับอากาศโดยที่ไม่มีการเพิ่มหรือลดปริมาณความร้อนในอากาศจะปรากฏว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งจะไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อพิจารณาบนแผนภูมิไซโครเมตริกดังแสดงในภาพประกอบ 2.25จะปรากฏว่ากระบวนการที่กล่าวมานี้จะเป็นเส้นตรงในแนวตั้งเริ่มจากจุด O ขึ้นไปหาจุด A อุณหภูมิกระเปาะแห้งจะอยู่คงที่ แต่อุณหภูมิกระเปาะเปียก เอนทาลปี อัตราส่วนความชื้น ปริมาตรจำเพาะจะเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่าการเพิ่มความชื้นจะทำให้ค่าในแผนภูมิทุกค่าเพิ่มขึ้นด้วย

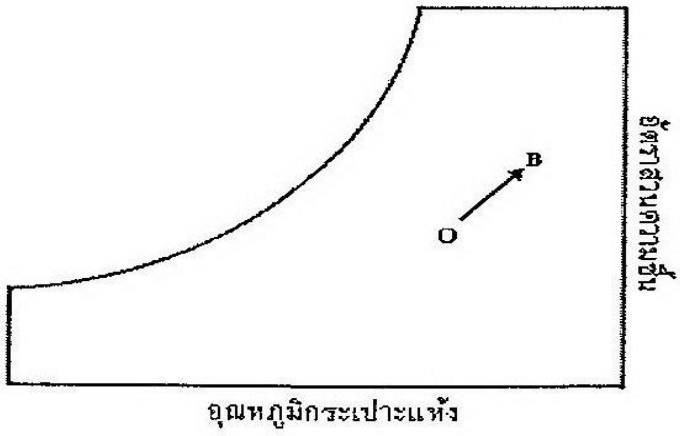
Mahasarakham University



ภาพประกอบ 2.25 กระบวนการเพิ่มความชื้น (ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์, 2523)

2.17.2. กระบวนการทำความร้อนและเพิ่มความชื้น

อากาศสามารถทำให้ร้อนขึ้นขณะเดียวกันให้ความชื้นเพิ่มขึ้นด้วยโดยการให้ผ่านไปยังน้ำร้อนหรือถาดน้ำร้อน ขณะที่อากาศผ่านไปยังน้ำร้อนหรือถาดน้ำร้อนนี้จะดูดซึมเอาความร้อนและความชื้นจากน้ำร้อนไปด้วย ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการเติมความร้อนให้กับน้ำร้อนพอเพียงที่จะทำให้เกิดการกลายเป็นไอได้ในจำนวนพอดี วิธีการเติมความร้อนที่นิยมใช้ คือ ใช้ไอน้ำเป็นสื่อกลางในระบบที่ใช้ฉีดน้ำร้อนจะเป็นการทำความสะอาดอากาศไปด้วยกล่าวคือขณะที่อากาศผ่านนอกจากจะรับความร้อนและความชื้นจากน้ำร้อนแล้วฝุ่นที่ปนอยู่ในอากาศถูกดูดซึมด้วยไอน้ำไปด้วย กระบวนการทำความร้อนและเพิ่มความชื้นปรากฏบนแผนภูมิไซโครเมตริก ดังจะแสดงในภาพประกอบ 2.26 คือ เส้นตรง OB เริ่มจากจุด O ขึ้นเอียงไปทางซ้ายของแผนภูมิไปยังจุด B นั้นแสดงว่า อุณหภูมิกระเปาะเปียก อุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิจุดน้ำค้าง อัตราส่วนความชื้น เอนทาลปี และปริมาตรจำเพาะค่าจะเพิ่มขึ้นแต่ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะลดลง

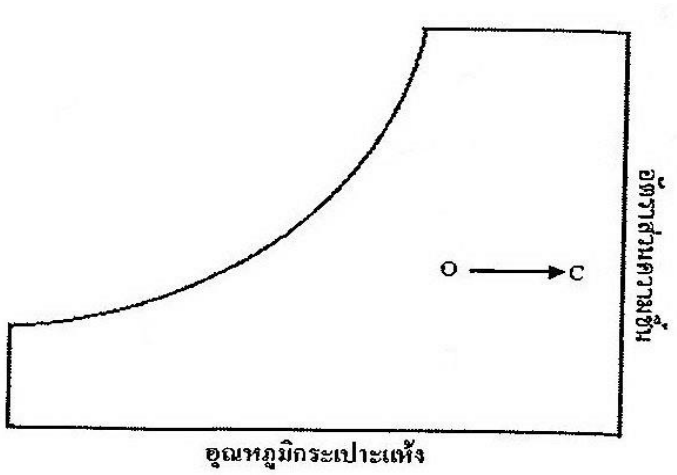


ภาพประกอบ 2.26 กระบวนการทำความร้อนและเพิ่มความชื้น (ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์, 2523)

Mahasarakham University

2.17.3. กระบวนการทำความร้อน

ถ้ามีการเพิ่มความร้อนให้แก่อากาศโดยที่ไม่เพิ่ม หรือลดปริมาณความชื้นในอากาศคงที่ จะปรากฏว่า อุณหภูมิจุดน้ำค้างจะคงที่ไม่เปลี่ยนแปลง เมื่อพิจารณาบนแผนภูมิไซโครเมตริก ดังแสดงในภาพประกอบ 2.27 จะปรากฏว่ากระบวนการดังกล่าวนี้จะเป็นเส้นตรงในแนวราบ OC เริ่มจากด้านซ้ายมือ (จุด O) ไปทางขวามือ (จุด C) อุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียกจะเพิ่มขึ้น ค่าเอนทาลปีและปริมาตรจำเพาะจะเพิ่มขึ้นแต่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะลดลง

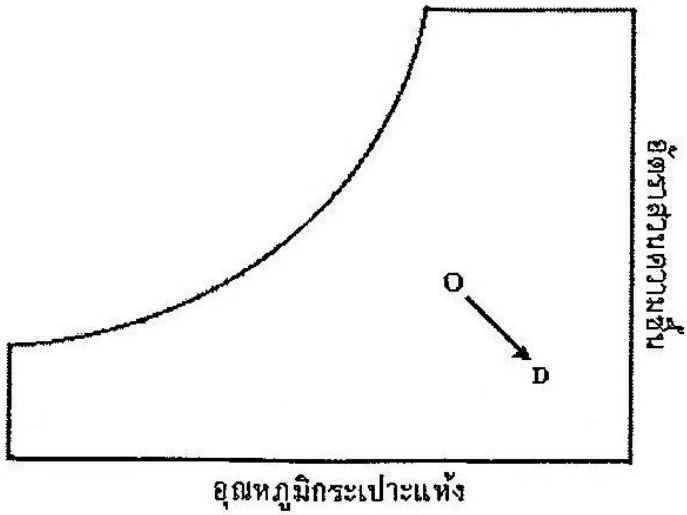


ภาพประกอบ 2.27 กระบวนการทำความร้อน (ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์, 2523)

2.17.4. กระบวนการลดความชื้นโดยวิธีทางเคมี

เป็นกระบวนการที่ใช้มากในอุตสาหกรรมที่ต้องการอุณหภูมิจุดน้ำค้างต่ำ หลักการของกระบวนการลดความชื้นโดยวิธีทางเคมี คือ ใช้สารดูดซับความชื้นจากอากาศ สารดูดความชื้นดังกล่าว เช่น ซิลิกาเจล แอคติเวทอลูมิเนียม และแอคติเวทซาโคล เป็นต้น เมื่อความชื้นในอากาศผ่านเข้าไปยังสารดูดซับความชื้นอากาศและกลั่นตัวเป็นหยดน้ำและถูกดูดซับด้วยสารดูดซับ ขณะที่ความชื้นจากอากาศกลั่นตัวนี้จะคายความร้อนออกจำนวนหนึ่งมีค่าเท่ากับปริมาณความร้อนแฝงของความชื้นที่กลั่นตัวบวกกับความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาเคมีปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้อุณหภูมิของอากาศที่ผ่านร้อนขึ้น ดังนั้นเมื่อพิจารณาตามทฤษฎีแล้วอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศที่ผ่านการดูดซึมความชื้นควรจะเท่ากับอุณหภูมิกระเปาะเปียกก่อนที่อากาศจะถูกดูดซับความชื้น เมื่อพิจารณาแผนภูมิไซโครเมตริกในภาพประกอบ 2.28 จะเห็นได้ว่ากระบวนการลดความชื้นโดยวิธีทางเคมี คือ เส้นตรง OD ทับเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกของอากาศก่อนจะถูกดูดซึมและเมื่ออากาศผ่านการดูดซึมความชื้นแล้วมีสภาพดังจุด D ในงานจริงกระบวนการดูดซับความชื้นไม่ได้เกิดขึ้นทับเส้นอุณหภูมิกระเปาะเปียกสักทีเดียว ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณความร้อนที่ดูดซับมากกว่าปริมาณความร้อนที่เกิดจากการกลั่นตัวของความชื้น ดังนั้นเมื่อกำหนดสภาพของอุณหภูมิ DP ของอากาศไว้เท่ากันอุณหภูมิของอากาศที่ออกจากระบบลดความชื้นด้วยสารเคมีตามความเป็นจริงจึงสูงกว่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นตามทฤษฎี

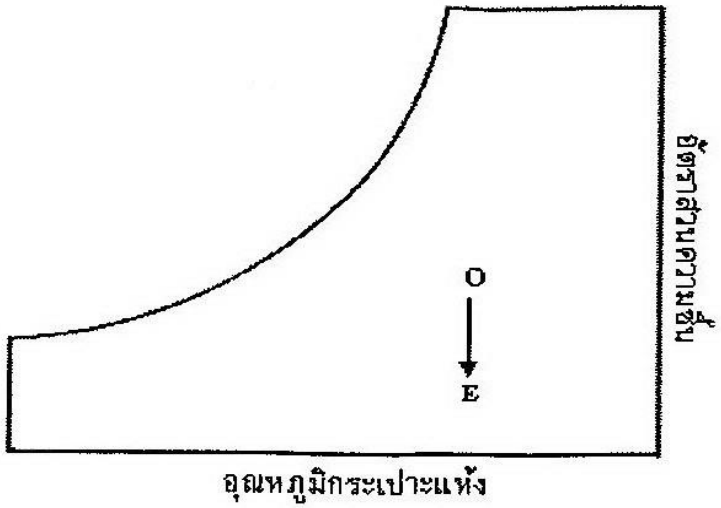
Mahasarakham University



ภาพประกอบ 2.28 กระบวนการลดความชื้นโดยวิธีทางเคมี (ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์, 2523)

2.17.5. กระบวนการลดความชื้น

เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในทางตรงกันข้ามกับกระบวนการเพิ่มความชื้น กล่าวคือ การนำความชื้นออกโดยไม่เพิ่มหรือลดปริมาณความร้อนในอากาศ (อุณหภูมิกระเปาะแห้งคงที่) พิจารณาแผนภูมิไซโครเมตริกดังภาพประกอบ 2.29 กระบวนการลดความชื้นแทนด้วยเส้นตรง OE เริ่มจากจุด O เลื่อนลงไปจุด E จะเห็น ได้ว่าอุณหภูมิกระเปาะแห้งจะคงที่แต่อุณหภูมิกระเปาะเปียก อัตราส่วนความชื้น ความชื้นสัมพัทธ์เอนทาลปี และปริมาตรจำเพาะจะลดลง



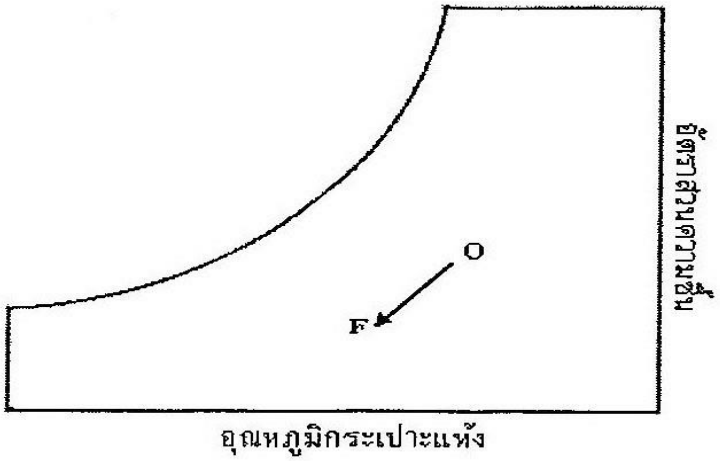
ภาพประกอบ 2.29 กระบวนการลดความชื้น (ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์, 2523)

2.17.6. กระบวนการทำความเย็นและลดความชื้น

เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในทางตรงกันข้ามกับกระบวนการทำความร้อนและเพิ่มความร้อน แสดงทิศทางการเกิดการเปลี่ยนแปลงดังแสดงในภาพประกอบ 2.30 กระบวนการดังกล่าวสามารถทำได้โดยการให้อากาศผ่านผิวที่มีอุณหภูมิต่ำหรือน้ำเย็น ดังนั้นเมื่ออากาศผ่านบริเวณดังกล่าว

Mahasarakham University

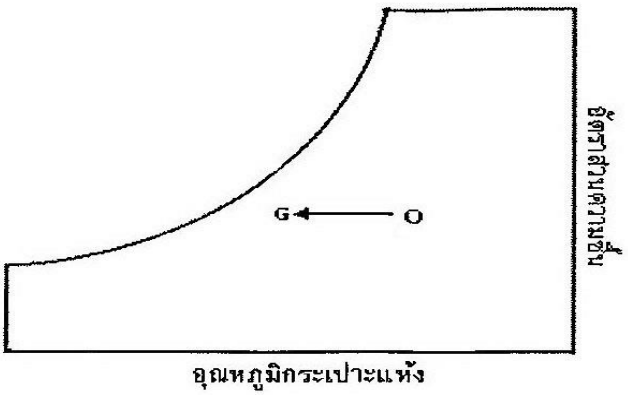
อุณหภูมิจะลดลง ขณะเดียวกันความชื้นที่มีอยู่ในอากาศจะกลั่นตัวเป็นหยดน้ำเกาะอยู่ตามผิวที่มีอุณหภูมิต่ำหรือปนไปกับน้ำที่เกิดละออง



ภาพประกอบ 2.30 กระบวนการทำความเย็นและลดความชื้น (ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์, 2523)

2.17.7. กระบวนการทำความเย็น

เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในทางตรงกันข้ามกับกระบวนการทำความร้อน คือ เป็นการนำความร้อนออกจากอากาศ โดยที่ไม่เพิ่มหรือลดปริมาณความชื้นในอากาศ อัตราส่วนความชื้นคงที่ คือ จะรักษาอุณหภูมิจุดน้ำค้างให้คงที่ด้วย เมื่อพิจารณาบนแผนภูมิไซโครเมตริก ดังแสดงในภาพประกอบ 2.31 กระบวนการทำความเย็นนี้จะแทนด้วยเส้นตรงในแนวราบ OG เริ่มจากด้านขวามือ (จุด O) ไปทางด้านซ้ายมือ (จุด G) อุณหภูมิกระเปาะแห้งและอุณหภูมิกระเปาะเปียกลดลง เอนทาลปีและปริมาตรจำเพาะลดลง แต่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะเพิ่มขึ้น



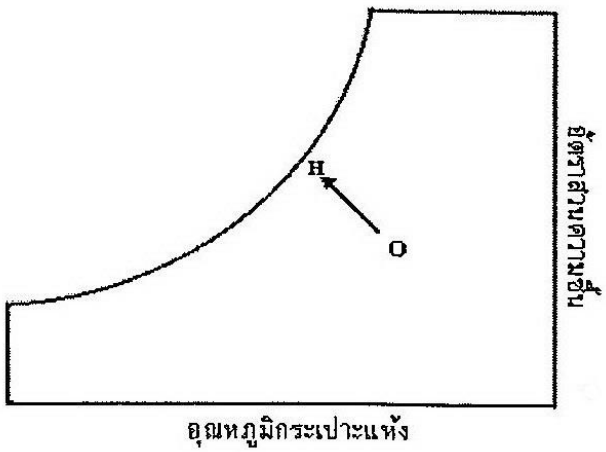
ภาพประกอบ 2.31 กระบวนการทำความเย็น (ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์, 2523)

2.17.8. กระบวนการทำความเย็นและเพิ่มความชื้น

เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นในทางตรงกันข้ามกับกระบวนการลดความชื้นโดยวิธีทางเคมี โดยการเพิ่มความเย็นหรือทำการระบายความร้อนและทำการเพิ่มความชื้นให้กับอากาศโดยที่ค่า

Mahasarakham University

อุณหภูมิกระเปาะเปียกและเอนทาลปีจะคงที่ เมื่อพิจารณาจากแผนภูมิไซโครเมตริก ดังแสดงในภาพประกอบ 2.32 กระบวนการทำความเย็นและเพิ่มความชื้นจะแทนด้วยเส้น OH เริ่มจากจุด O ขึ้นเอียงไปทางซ้ายของแผนภูมิไปยังจุด H จะปรากฏว่าค่าอุณหภูมิกระเปาะแห้ง อุณหภูมิจุดน้ำค้างและปริมาตรจำเพาะจะลดลง แต่อัตราส่วนความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์จะเพิ่มขึ้น



ภาพประกอบ 2.32 กระบวนการทำความเย็นและเพิ่มความชื้น (ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์, 2523)

2.18 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.18.1 งานวิจัยในประเทศ

มูลไก่สามารถผลิตได้ในอัตราคงที่ตลอดทั้งปี ในขณะที่มีความต้องการใช้ปุ๋ยเพียงบางฤดูกาล ดังนั้นจึงต้องมีการสะสมและเก็บมูลไก่ไว้แต่การเก็บรักษามักจะเกิดปัญหาการเน่าเสียของมูลไก่ พื้นที่ในการจัดเก็บไม่เพียงพอ และถ้านำมูลไก่สดไปใส่กับพืชโดยตรงจะทำให้ เกิดการปนเปื้อนของเชื้อโรคและเกิดกลิ่นเหม็น (Sims et al., 2005) วิธีสำหรับลดปริมาณ กลิ่นเหม็น และความสะดวกในการจัดเก็บมูลไก่คือการอบแห้งและการอัดเม็ด การลดความชื้นของมูลไก่ด้วยการอัดเม็ดเป็นวิธีที่ง่ายต่อการจัดเก็บ การขนส่ง และการนำไปใช้ในการเพิ่มธาตุอาหารให้กับดิน (John et al., 1996). ในกรณีของมูลไก่เทคนิคเหล่านี้อาจช่วยเพื่อให้ง่ายในการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ ไม่มีการชะล้างธาตุอาหาร และไม่มีกลิ่นเหม็น นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มการยอมรับทางด้านสิ่งแวดล้อม เพิ่มมูลค่าทางด้านการค้า รวมทั้งยังลดการปนเปื้อนของเชื้อโรค และการตกค้างของยาปฏิชีวนะในมูลไก่สด (Sims and Wolf, 1994)

ชาติชาย กาญจนบูรณ์ (2527) ได้ศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกในถังเก็บ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์วิเคราะห์การอบแห้งก่อน เพื่อใช้ในการคำนวณหาอัตราการไหลของอากาศ สำหรับใช้ในการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งโดยสมมุติฐานว่าอุณหภูมิอากาศที่เพิ่มขึ้นโดยพัดลม 1.1 °C สรุปผลจากแบบจำลองได้ว่า การอบแห้งข้าวเปลือกในถังเก็บให้ได้ความชื้นเฉลี่ย 13.5-14.0 % มาตรฐานเปียก และมีการสูญเสียมวลแห้งในระหว่างการอบแห้ง 0.45-0.5 % โดยมวล ที่ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 20-26 % มาตรฐานเปียก ใช้อัตราการไหลของอากาศ 1.5-39.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรของข้าวเปลือก เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 1.5 – 16 วัน หลังจากนั้นทำการ

Mahasarakham University

อบแห้งข้าวเปลือกในถังเก็บขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.75 เมตร สูง 2.75 เมตร ความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ยของข้าวเปลือก 17.6-22.0 % มาตรฐานเปียก ใช้อัตราการไหลของอากาศระหว่าง 2.26-4.61 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรของข้าวเปลือก อากาศแวดล้อมมีอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง 28.3-29.0 °C และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเฉลี่ย 69.2-76.6 % อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าห้องอบแห้งเฉลี่ย 34.9-35.4 °C พบว่าการอบแห้งข้าวเปลือกชั้นบนสุดให้มีปริมาณความชื้นประมาณ 15 % มาตรฐานเปียก เวลาที่ใช้ในการอบแห้งเฉลี่ยมีค่าเฉลี่ยระหว่าง 91-121 ชั่วโมง และข้าวเปลือกหลังการอบแห้งมีคุณภาดีที่สุด โดยได้เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดหลังการสีระหว่าง 50-62 % โดยมวล และเปอร์เซ็นต์การงอกสูงกว่า 95% จึงสรุปได้ว่ามีความเป็นไปได้ในการอบแห้งข้าวเปลือกในถังเก็บ โดยที่ความหนาของชั้นเมล็ดพืชไม่ควรเกิน 1.6 เมตรและปริมาณความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกไม่ควรสูงกว่า 22 % มาตรฐานเปียก

เพชรา ปรีชากุล และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์ (2529) ได้ศึกษาผลของอุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศ สำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกในถังเก็บ และแบบเป็นงวด โดยศึกษาความชื้นและอุณหภูมิในชั้นข้าวเปลือก รวมถึงคุณภาพของข้าวเปลือกหลังอบแห้ง ภายใต้สภาวะอากาศกรุงเทพฯ ในช่วงข้าวนาปรัง โดยทดลองอบแห้งข้าวเปลือกในถังอบแห้งขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.75 เมตร สูง 2.75 เมตร โดยการใช้อากาศแวดล้อม และวิธีการให้ความร้อนแก่อากาศที่ใช้ในการอบแห้งความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 16.7-28.9 % มาตรฐานเปียก อัตราการไหลของอากาศอยู่ระหว่าง 1.3-16.5 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก อากาศแวดล้อมในการทดลองมีอุณหภูมิเฉลี่ย 28 °C ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเฉลี่ย 78 % จากผลการทดลองสามรถสรุปได้ว่า วิธีการที่ได้ผลดีสำหรับการอบแห้งในถังเก็บคือมีอัตราการไหลของอากาศประมาณ 1.3-4.1 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก ความสูงของชั้นข้าวเปลือกประมาณ 1.6 เมตร อากาศที่ใช้ในการอบแห้งควรมีอุณหภูมิต่ำใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม หรือมีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศไม่ให้สูงเกิน 60% ซึ่งใช้เวลาในการอบแห้ง 120-496 ชั่วโมง สำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป็นงวดใช้อัตราการไหลของอากาศสูงประมาณ 9.8-16.5 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก ความหนาของชั้นข้าวเปลือก 0.4-0.6 เมตร อุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการอบแห้งสูง 42-45 °C ใช้เวลาในการอบแห้ง 12-14 ชั่วโมง คุณภาพของข้าวหลังจากการอบแห้งมีคุณภาพดี โดยให้เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดประมาณ 50.65 % โดยมวล และเปอร์เซ็นต์การงอกสูงกว่า 95 %

2.18.2 งานวิจัยต่างประเทศ

Karsli (2007) ซึ่งการพัฒนาและออกแบบโดยอาศัยหลักการไหลเวียนของอากาศที่ใช้อบแห้งนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็นสองประเภทได้แก่ การไหลของอากาศแบบธรรมชาติ และ การไหลเวียนของอากาศเป็นแบบบังคับ (Sharma et al., 2008) และยังสามารถแบ่งตามการออกแบบการนำพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์มาใช้ในการอบแห้งไม้ได้เป็น 3 ประเภทคือ การนำพลังงานความร้อนจากรังสีอาทิตย์มาใช้ทางตรง ทางอ้อม และประเภทแบบผสม

Wood และ Hall (1991) ได้ศึกษาผลกระทบของวิธีการอบแห้งมูลไก่เนื้อ พบว่า ธาตุ P K Cu Fe และ ZN ของมูลไก่ ไม่ได้รับผลกระทบของการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงถึง 60°C (Henry and White, 1993) พบว่าการเพิ่มปริมาณของธาตุต่างๆ หลังจากนำมูลไก่สดไปหมัก แล้วนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 250 องศาเซลเซียสทำให้ธาตุ B Mn Cu และ Cr เกิดการลดลงอย่างมีนัยสำคัญ และนอกจากนี้ยังมีการเพิ่มขึ้นของสารตะกั่ว ซึ่งอาจเกิดการปนเปื้อนจากวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการอบแห้งและกระบวนการอัดเม็ด (Nicholson et al., 1996) เสนอว่าการอบแห้งที่ดีต้องสามารถทำนายปริมาณธาตุ

Mahasarakham University

N P K Mg และ S และมูลไก่ที่จะนำมาอบแห้งนั้นหากจะให้ดีต้องผ่านกระบวนการอัดเม็ดก่อนเพราะจะทำให้ลดการสูญเสียปริมาณธาตุไนโตรเจนแต่ก็เป็นเพียงแค่การลดการสูญเสียธาตุไนโตรเจนบางตัวเท่านั้น ไม่ใช่ลดการสูญเสียปริมาณธาตุไนโตรเจนรวม

Lopez และคณะ (2008) ได้ศึกษาผลกระทบจากกระบวนการอัดเม็ดและการอบแห้งที่ส่งผลต่อคุณค่าของมูลไก่เนื้อ ในฟาร์มทางภาคตะวันตกเฉียงเหนือของประเทศสเปน ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้จะดูการเปลี่ยนแปลงของปริมาณ N P K pH s Cu และ Cd พบว่าในมูลไก่อัดเม็ดและอบแห้งไม่มีการลดลงของธาตุอาหารมากกว่ามูลไก่สด แต่ข้อดีของมูลไก่อัดเม็ดและอบแห้งคือไม่มีการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียอย่างมีนัยสำคัญ และไม่มีกลิ่นเหม็นเมื่อนำใช้ในการเพิ่มธาตอาหารให้กับดิน นอกจากนี้ยังสะดวกในการเก็บรักษาและการขนส่งเพื่อนำไปใช้ในนาข้าว และนอกจากนี้ยังง่ายต่อการนำไปผสมกับปุ๋ยชนิดอื่น แร่ธาตุธรรมชาติ สารกำจัดวัชพืช และสารยับยั้งอื่นๆ

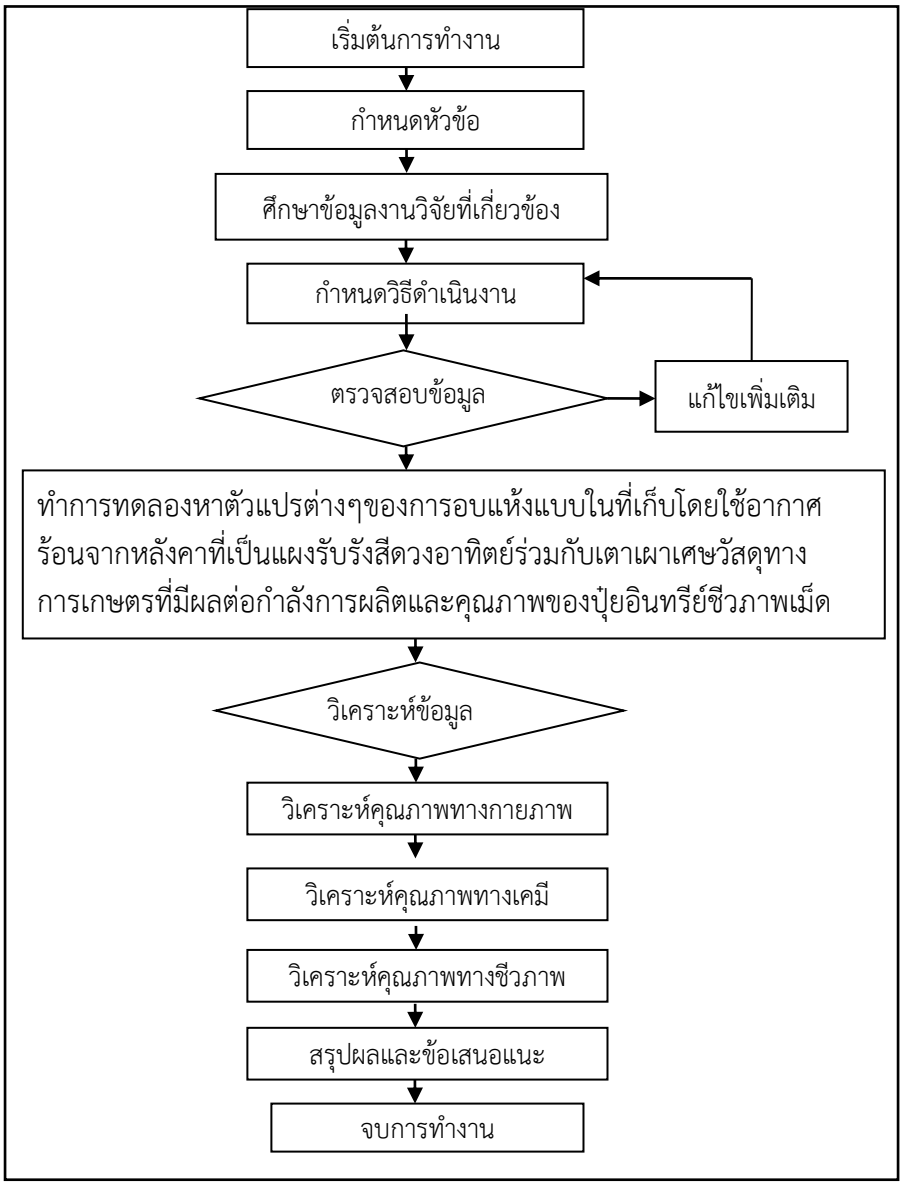
Huo และคณะ (2012) ได้ศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพ การเก็บรักษาปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพให้สามารถเก็บรักษาแล้วเกิดการสร้างสปอร์และการอยู่รอดของแบคทีเรีย Paenibacillus polymyxa SQR-21° ซึ่งเป็นแบคทีเรียที่ช่วยเร่งการเจริญเติบโตของพืชอย่างมีประสิทธิภาพ และยังช่วยป้องกันโรคที่เกิดจากดิน ซึ่งปกติการเก็บรักษาปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพจะสามารถเก็บได้เพียงไม่กี่เดือนพบว่าปริมาณน้ำไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตของแบคทีเรีย Paenibacillus polymyxa SQR-21 (Filion et al., 2009) พบว่าที่อุณหภูมิสูง 80 องศาเซลเซียส สปอร์ของแบคทีเรียจะถูกทำลายภายในเวลา 15 นาที การทดลองนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการเก็บรักษาให้สูงขึ้นส่งผลให้ปริมาณสปอร์ของแบคทีเรียลดลงอย่างมีนัยสำคัญ (Jayamanne and Rewari, 1988) พบว่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศมีผลน้อยมากต่อการลดหรือเพิ่มของจำนวนสปอร์แบคทีเรียPaenibacillus polymyxa SQR-21 เมื่อเก็บไว้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 45 องศาเซลเซียส

Mahasarakham University

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้เป็นการ ปรับปรุงระบบอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรเพื่อเพิ่มกำลังการผลิต และรักษาคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ได้แก่ คุณภาพทางกายภาพ คุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางชีวภาพ ซึ่งมีขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน ดังแสดงในภาพประกอบ 3.1 และระยะเวลาในการดำเนินงานดังแสดงในตาราง 3.1



ภาพประกอบ 3.1 แสดงขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

Mahasarakham University

ตาราง 3.1 ผังระยะเวลาการดำเนินงาน

ระยะเวลา / หัวข้อ	พ.ศ.2556			พ.ศ. 2557		
	ก.ค.-ส.ค.	ก.ย.-ต.ค.	พ.ย.-ธ.ค.	ม.ค.-ก.พ.	มี.ค.-เม.ย.	พ .ค .-มิ.ย.
1. เสนอหัวข้อเค้าโครงวิทยานิพนธ์						
2 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง						
3.กำหนดวิธีการดำเนินงาน						
4. ทำการทดลองหาตัวแปรต่างๆ ของการอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรที่มีผลต่อกำลังการผลิตและคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด						
5. วิเคราะห์คุณภาพทางการภาพ						
6. วิเคราะห์คุณภาพทางเคมี						
7. วิเคราะห์คุณภาพทางชีวภาพ						
8. วิเคราะห์การใช้พลังงานในการอบแห้ง						
9.วิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม						
10. สรุป รายงาน และนำเสนอผลงาน						

จากการศึกษาระบบอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตและรักษาคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ที่กล่าวมาเบื้องต้น เพื่อให้งานวิจัยนี้บรรลุตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ผู้วิจัยจึงดำเนินการตามหัวข้อดังต่อไปนี้ คือ

3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.2 การเตรียมตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่ใช้ในการทดลอง

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.4 การวิเคราะห์คุณภาพ

3.5 การวิเคราห์พลังงานในการอบแห้ง

3.6 วิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์และระยะเวลาคืนทุนโรงอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

3.7 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

Mahasarakham University

3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 เครื่องอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับห้องปฏิบัติการ มีส่วนประกอบที่สำคัญ ดังแสดงในภาพประกอบ 3.2 ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

หมายเลข 1 ห้องอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด รูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 cm สูง 40 cm

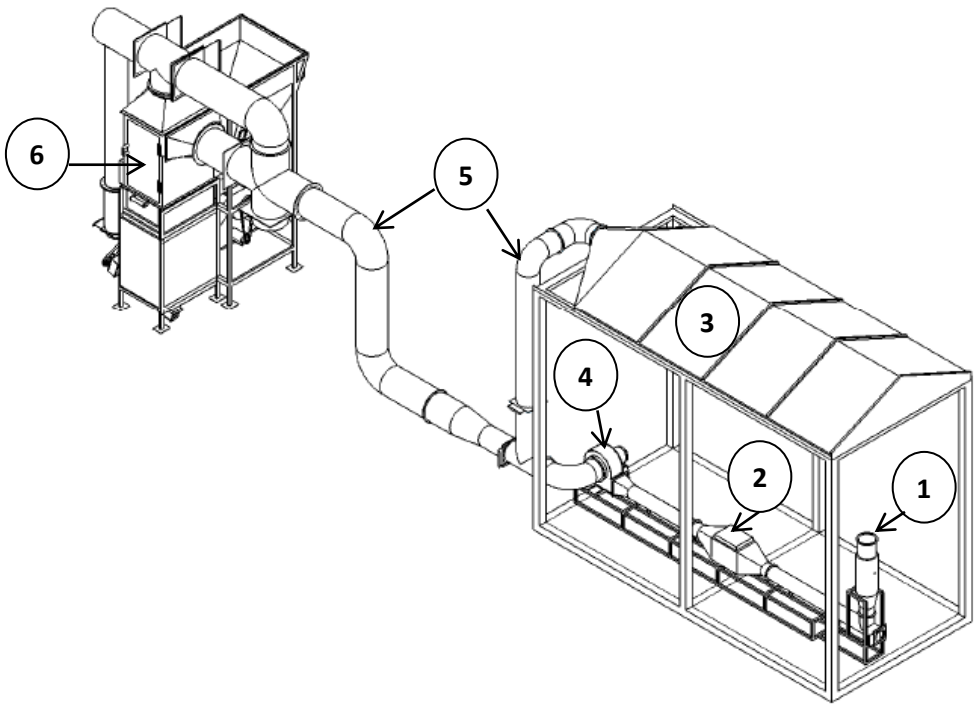
หมายเลข 2 ขดลวดไฟฟ้า

หมายเลข 3 ชุดกำเนิดความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Collector) ขนาด 2 m ×4 m เป็นลักษณะโครงสร้างเหล็กด้านล่างรองด้วยแผ่นเหล็กหนา 2 mm เพื่อรองรับทรายที่อยู่เหนือขึ้นไปแล้วปิดทับด้วยแผ่นสังกะสีทาสีดำด้าน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับความร้อน แล้วทำแผ่นกั้นเพื่อเพิ่มระยะทางการไหลของกระแสอากาศให้สัมผัสกับอากาศมากขึ้นด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนต และด้านบนสุดปิดทับด้วยแผ่นโพลีคาร์บอเนตใสความหนา 6 mm

หมายเลข 4 พัดลมดูดอากาศเข้าไปยังห้องอบแห้ง ขนาด 2 hp

หมายเลข 5 ท่ออากาศเพื่อนำอากาศร้อนจากเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรและจากชุดกำเนิดความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ไปยังห้องอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

หมายเลข 6 ชุดกำเนิดความร้อนด้วยเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตร



ภาพประกอบ 3.2 เครื่องอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับห้องปฏิบัติการ

Mahasarakham University

3.1.2 เครื่องบันทึกข้อมูล เครื่องวัดอุณหภูมิ ใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด *K* ต่อกับเครื่องอ่านและบันทึกอุณหภูมิ ซึ่งมีความละเอียด ± 0.1 ℃ ดังแสดงในภาพประกอบ 3.3

ภาพประกอบ 3.3 เครื่องมือที่ใช้วัดและบันทึกอุณหภูมิ

3.1.2.2 เครื่องมือวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ (Pyranometer) ยี่ห้อ EKO รุ่น MS-802 ดังแสดงในภาพประกอบ 3.4 ค่า Sensitivity เท่ากับ 6.90 μV/W•m^{-2} ช่วงการวัด -200 mV ถึง +200 mV สำหรับการใช้วัดค่ารังสีรวม (Global Solar Radiation) ในขณะทำการทดสอบโดยใช้ร่วมกับเครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger)

ภาพประกอบ 3.4 เครื่องมือวัดค่าพลังงานแสงอาทิตย์ (Pyranometer)

3.1.2.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก การชั่งน้ำหนักปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดเพื่อหาความชื้นในระหว่างการอบแห้งจะใช้เครื่องชั่งที่มีความละเอียด ± 0.01 กรัม และชั่งน้ำหนักได้สูงสุด 2,100 กรัม ดังแสดงในภาพประกอบ 3.5

Mahasarakham University

ภาพประกอบ 3.5 เครื่องชั่งน้ำหนัก

3.1.2.4 เวอร์เนียร์ (Vernier Caliper) ที่มีความคลาดเคลื่อนเท่ากับ ±0.05 มม. และมีความละเอียดในการวัด 0.1 มม. ดังแสดงในภาพประกอบ 3.6

ภาพประกอบ 3.6 เครื่องมือวัด เวอร์เนียร์ (Vernier Caliper)

Mahasarakham University

3.1.2.5 เครื่องวัดความเร็วของอากาศอบแห้ง ดังแสดงในภาพประกอบ 3.7

ภาพประกอบ 3.7 เครื่องมือที่ใช้ความเร็วลมของอากาศ

3.1.2.6 ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven) ดังแสดงในภาพประกอบ 3.8 สำหรับหาความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

ภาพประกอบ 3.8 ตู้อบลมร้อน (Hot Air Oven)

Mahasarakham University

3.1.2.7 กระป๋องความชื้น ดังแสดงในภาพประกอบ 3.9

ภาพประกอบ 3.9 กระป๋องดูดความชื้น

3.1.2.8 กล้องถ่ายรูป ดังแสดงในภาพประกอบ 3.10

ภาพประกอบ 3.10 กล้องถ่ายรูป

3.2 การเตรียมตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่ใช้ในการทดลอง

ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่ใช้ในการทดลอง ได้จากการผลิตของวิสาหกิจชุมชนผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดตำบลศรีโคตร อำเภอจตุรพักตรพิมาน จังหวัดร้อยเอ็ด โดยมีกระบวนการผลิต และการเตรียมปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดก่อนการทดลอง ดังนี้

3.2.1 กระบวนการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

Mahasarakham University

3.2.1.1 บดมูลสัตว์โดยใช้เครื่องบดที่ทางวิสาหกิจชุมชนผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดตำบลศรีโคตรผลิตขึ้น โดยใช้พลังงานจากไฟฟ้าเป็นต้นกำลัง ดังจะแสดงในภาพประกอบ 3.11 ซึ่งเมื่อผ่านการบดแล้วมูลไก่มีขนาดประมาณ 200 µm

ภาพประกอบ 3.11 เครื่องบดมูลสัตว์

3.2.1.2 ผสมวัตถุดิบที่ใช้ในการทำปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ โดยใช้เครื่องผสมที่ทางวิสาหกิจชุมชนผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดตำบลศรีโคตรผลิตขึ้นใช้เอง ซึ่งการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดมีส่วนประกอบ ได้แก่ มูลสัตว์ ปูนมาร์ล หัวเชื้อจุลินทรีย์ (EM) ฮิวมัส perlite phosphate รำละเอียด โดยมีอัตราส่วนในการผสมดังนี้

มูลสัตว์	30 %
ปูนมาร์ล	20 %
หัวเชื้อจุลินทรีย์	15 %
ฮิวมัส	15 %
Perlite	10 %
Phosphate	5 %
รำละเอียด	5 %

นำส่วนผสมทั้งหมดใส่ในเครื่องผสมขนาดความจุ 100 กิโลกรัม ดังจะแสดงในภาพประกอบ 3.12 ใช้เวลาผสมประมาณ 20 นาที เมื่อปุ๋ยผสมจนปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเป็นเนื้อเดียวกันแล้วจึงนำมากองรวมกันไว้ที่พื้นคอนกรีตภายในอาคารของโรงงาน หลังจากนั้นใช้ผ้าใบคลุมกองปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพหมักทิ้งไว้ประมาณ 7 วัน เพื่อให้จุลินทรีย์เจริญเติบโตทั่วทั้งกองปุ๋ยจึงจะสามารถนำไปปั้นเม็ดได้

Mahasarakham University

ภาพประกอบ 3.12 เครื่องผสมวัตถุดิบ

3.2.1.3 การปั้นเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด โดยใช้จานปั้นเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เมตรใช้ motor 5 แรงม้า ดังจะแสดงในภาพประกอบ 3.13 ซึ่งก่อนที่จะใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพในจานปั้นเม็ดให้เปิดเครื่องทิ้งไว้ประมาณ 5 นาที หลังจากนั้นตักปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพที่หมักไว้ใส่ในจานปั้นเม็ดครั้งละ 50 kg แล้วตักน้ำหมักชีวภาพประมาณ 11 ลิตร ค่อยๆเทลงบนจานปั้นเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพที่กำลังหมุนอยู่เพื่อให้น้ำหมักชีวภาพเป็นตัวประสานให้ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพจับตัวกันเป็นเม็ด ใช้เวลาในการปั้นเม็ดประมาณ 20 นาที ก็จะได้ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 3-5 มิลลิเมตร ความชื้นเริ่มต้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดอยู่ระหว่าง 45 – 50 %, มาตรฐานแห้ง (Dry basis, d.b.)

ภาพประกอบ 3.13 จานปั้นเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพ

Mahasarakham University

3.2.2 การเตรียมปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดก่อนการทดลอง

3.2.2.1 นำปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่ผ่านการปั้นเม็ดแล้วใส่ในถุงพลาสติก และมัดปากถุงให้แน่นเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นในระหว่างการขนส่งเพื่อนำมาใช้ในการทดลอง จากนั้นก็นำใส่รถยนต์เดินทางมาที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

3.2.2.2 การหาความชื้นเริ่มต้น (AOAC No.2000 No.925.09) นำปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดหลังจากการปั้นเม็ดมาเข้าตู้อบแห้งด้วยอากาศร้อน ที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง จากนั้นชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด แล้วนำไปเข้าสูตรคำนวณในสมการ 2.1 จะได้ความชื้นเริ่มต้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

3.2.2.3 หาความหนาแน่นรวมของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด (bulk density) ซึ่งเป็นสมบัติทางกายภาพของวัสดุ โดยการเทปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดใส่ในกรวยเพื่อให้ไหลลงใส่กล่อง ขนาด 1 ลิตร ให้ปุ๋ยเต็มกล่องจนล้น หลังจากนั้นใช้ไม้บรรทัดปาดที่ขอบกล่อง ในลักษณะ ซิกแซกฟันปลา แล้วนำกล่องที่ได้ไปชั่งน้ำหนัก บันทึกผล ทำ 10 ซ้ำ แล้วนำค่าเฉลี่ยที่ได้ไปคำนวณในสมการ 3.1

$$\rho = \frac{m}{V} \tag{3.1}$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของวัตถุ หน่วย กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (kg/m^3)

m คือ มวลรวมของวัตถุ หน่วย กิโลกรัม (kg)

V คือ ปริมาตรรวมของวัตถุ หน่วย ลูกบาศก์เมตร (m^3)

3.2.2.4 นำปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่จะใช้ในการทดลองมาแช่ไว้ในตู้เย็นที่ 4 °C เพื่อให้จุลินทรีย์ที่อยู่ในปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดเจริญเติบโตได้ช้า

3.2.2.5 เมื่อจะทดลองให้นำปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดออกจากตู้เย็นใส่ในกล่องพลาสติกวางไว้ให้อุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม โดยใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิที่ตรงกลางของกล่องพลาสติกใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด รอจนกระทั่งอุณหภูมิของเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเท่ากับอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม หลังจากนั้นใช้ตะแกรงร่อนเอาเม็ดปุ๋ยขนาดเล็กออกก่อนที่จะทดลอง ดังจะแสดงในภาพประกอบ 3.14 เพื่อป้องกันเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพขนาดเล็กหลุดจากตะแกรงในขณะที่กำลังทดลอง

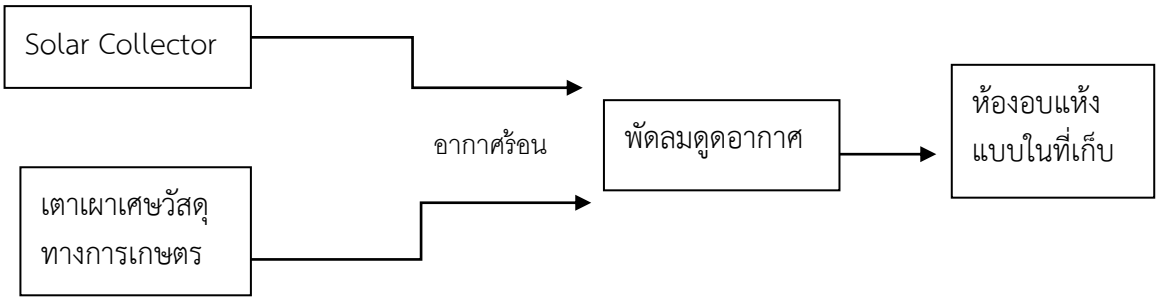
ภาพประกอบ 3.14 การใช้ตะแกรงร่อนเอาเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดขนาดเล็กออก

Mahasarakham University

3.3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.3.1 การอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดโดยใช้อากาศร้อน

ศึกษาพฤติกรรมของการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ให้ได้อุณหภูมิและความเร็วอากาศอบแห้งที่ใช้เวลาในการอบแห้งน้อย และไม่ส่งผลเสียต่อคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด มีหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตร ดังจะแสดงในภาพประกอบ 3.15



ภาพประกอบ 3.15 ขั้นตอนการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดด้วยเครื่องอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับห้องปฏิบัติการ

การอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดโดยใช้อากาศร้อน เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด มีขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.3.2 ขั้นตอนการอบแห้งนำเม็ดปุ๋ย

1) เปิดเครื่องอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับห้องปฏิบัติการ โดยปรับอุณหภูมิอาการศอบแห้ง 40 50 และ 60 °Cและความเร็วอากาศอบแห้ง 0.5 1.0 และ 1.5 m/s โดยเปิดเครื่องไว้นาน 20 นาที เพื่อให้อุณหภูมิ และความเร็วอากาศอบแห้งคงที่ก่อนดำเนินการทดลอง

2) ชั่งน้ำหนักตะแกรงอบแห้ง

3) นำตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดใส่ในห้องอบแห้งที่ความสูงเบด 1 5 และ 10 cm แล้วใช้ไม้บรรทัดเกลี่ยให้เม็ดปุ๋ยที่อยู่ด้านบนห้องอบแห้งสูงเท่ากัน

4) นำปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่อยู่ในตะแกรงอบแห้งมาชั่งน้ำหนักก่อนเข้าห้องอบแห้ง แล้วบันทึกผลแล้ว

5) นำตะแกรงที่ใส่ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดเข้าห้องอบแห้งแล้วนำออกมาชั่งน้ำหนักที่เวลา 1 2 3 5 7.5 10 15 20 และ30 นาที หลังจากนั้นก็นำออกมา ชั่งน้ำหนักทุก 30 นาที ซึ่งน้ำหนักของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่ได้ จะนำมาคำนวณปริมาณความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่เวลาต่าง ๆ ของการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด จนความชื้นสุดท้ายที่ได้ไม่เกิน 17 % d.b.

Mahasarakham University

6) ทำการทดลองในขั้นตอนดังที่กล่าวมาข้างต้นตั้งแต่ ข้อที่ 1 ถึง 5 แต่เปลี่ยนแปลงเงื่อนไขที่ใช้ในการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ดังนี้

เงื่อนไขที่ 1 ความสูงเบด 1 cm อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 40 50 และ 60 °C ความเร็วอากาศอบแห้ง 0.5 1.0 และ 1.5 m/s

เงื่อนไขที่ 2 ความสูงเบด 5 cm อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 40 50 และ 60 °C ความเร็วอากาศอบแห้ง 0.5 1.0 และ 1.5 m/s

เงื่อนไขที่ 3 ความสูงเบด 10 cm อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 40 50 และ 60 °C ความเร็วอากาศอบแห้ง 0.5 1.0 และ 1.5 m/s

3.4 การวิเคราะห์คุณภาพ

3.4.1 การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ

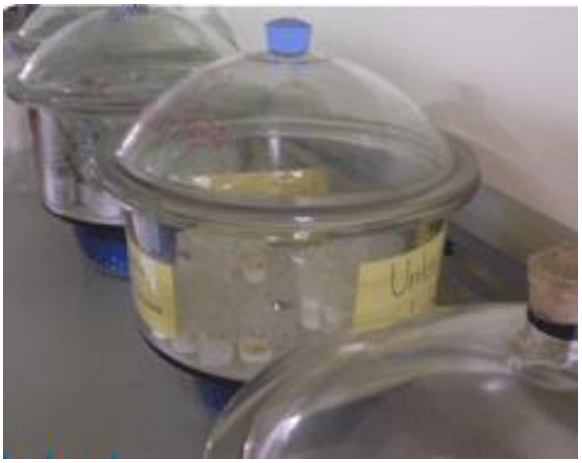
การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านกายภาพ ที่จะพิจารณาในการวิจัยคือการวิเคราะห์ปริมาณความชื้นในปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา คือมีความชื้นไม่เกิน ± 17 % มาตรฐานแห้ง โดยมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ดังนี้

3.4.1.1 นำปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่ผ่านการอบแห้งมาหาความชื้น โดยชั่งน้ำหนัก Moisture can แล้วนำปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่ผ่านการอบแห้งแล้วใส่ใน Moisture can ชั่งน้ำหนัก ซึ่งเรียกว่ามวลเปียกแล้วนำไปเข้า Hot air oven ที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 72 ชั่วโมง ดังจะแสดงในภาพประกอบ 3.16

ภาพประกอบ 3.16 ตู้อบลมร้อนที่ใช้หาความชื้นปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

3.4.1.2 เมื่อครบกำหนดเวลา (ความชื้นของปุยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดคงที่) นำปุ๋ยอินทีรย์ชีวภาพเม็ดที่อบในตู้อบลมร้อนมาใส่ไว้ในโถดูดความชื้นเพื่อให้ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดเย็นตัวลงประมาณ 1 ชั่วโมง ดังจะแสดงในภาพประกอบ 3.17

Mahasarakham University



ภาพประกอบ 3.17 การนำปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดใส่ไว้ในโถดูดความชื้น

3.4.1.3 นำปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด จากโถดูดความชื้นมาชั่งหาน้ำหนัก ซึ่งเรียกว่า มวลแห้ง

3.4.1.4 การคำนวณหาความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกดังต่อไปนี้

$$\text{ความชื้นเริ่มต้นมาตรฐานเปียก (Wet basis, w.b.)} = \frac{\text{มวลเปียก-มวลแห้ง}}{\text{มวลเปียก}} \times 100 \text{ (\% w.b.)} \quad (3.2)$$

$$\text{ความชื้นเริ่มต้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis, d.b.)} = \frac{\text{มวลเปียก-มวลแห้ง}}{\text{มวลแห้ง}} \times 100 \text{ (\% d.b.)} \quad (3.3)$$

3.4.2 การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี

การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านเคมี ที่จะพิจารณาในการวิจัยคือการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารในปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่สำคัญ ในการกำหนดคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ธาตุอาหารที่จะวิเคราะห์ได้แก่ ไนโตรเจน โพแทสเซียม และ ฟอสฟอรัส ซึ่งเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืช โดยการวิเคราะห์ในครั้งนี้ได้เลือกกลุ่มตัวอย่างตามเงื่อนไขการทดลอง คือที่ความเร็วอากาศอบแห้งคงที่ 1.0 เมตร/วินาที ที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ 40 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส รวมถึงตัวอย่างจากการอบแห้งโดยวิธีการเดิมของทางวิสาหกิจชุมชนผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดตำบลศรีโคตร (การตากลานที่มีหลังคา) แล้วส่งกลุ่มตัวอย่างไปตรวจที่ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

3.4.2.1 ธาตุไนโตรเจน (Total N)

ธาตุไนโตรเจนเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืชโดยมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ดังนี้

1) ชั่งตัวอย่างปุ๋ย 0.3 กรัม ใส่ salicylic acid 3 กรัม H_2SO_4 40 ml และ sodiam thiosulfate 8 กรัม

Mahasarakham University

2) Digest ครั้งแรก และทิ้งไว้ให้เย็น เติม mixed catalyst 8 กรัม

3) Digest ครั้งที่สองทิ้งไว้ให้เย็นแล้วเติมน้ำ 350 ml แล้วนำ NaOH 100 ml และ Zn มากลั่นไตรเตรทกับ std.HCL 0.2 N

4) นำค่าที่ได้จากข้อ3ไปคำนวณในสมการ ที่ 3.4

$$\%N = \frac{\text{N HCL} \times \text{ml HCL} \times 1.4007}{\text{wt of sample}} \qquad (3.4)$$

3.4.2.2 ฟอสฟอรัส (Total P_2O_5)

ธาตุฟอสฟอรัสเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืชโดยมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ดังนี้

1) ชั่งตัวอย่างสารละลายที่ผ่านการบดและอบแล้วให้ได้น้ำหนักที่แน่นอน ประมาณ 0.3-0.5 กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 125 ml เติมกรดผสม ($HCLO_4$: HNO_3 = 1:1) ประมาณ 20 ml นำไป Digest บน Hot plate หรือ Digestion block ที่อุณหภูมิไม่ต่ำกว่า220°C ย่อยจนมีควันสีขาวเกิดขึ้นเหนือสารละลาย หรือสารลำลายมีลักษณะสีใส ซึ่งจะใช้เวลาประมาณ 2-4 ชั่วโมง แล้วยกลงจากเตาทิ้งให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

2) นำสารละลายที่ย่อยสมบูรณ์และเย็นแล้ว ถ่ายใส่ Volumetric flask ขนาด 250 ml ล้างตะกอนที่ติดอยู่ข้าง Erlenmeyer flask ออกให้หมด ปรับปริมาตรเป็น 250 ml

3) pipet สารละลายตัวอย่างประมาณ2ml ใส่ใน Volumetric flask ขนาด 100 ml เติม Molybdovanadate reagent (Barton's) ลงไป 10 ml (1/10 ของปริมาตรสุดท้าย) ปรับปริมาตรเป็น 100 ml ด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากันทิ้งไว้อย่างน้อย 30 นาที สำหรับ Working standard 0 1 2 3 4 และ 5 ppm p ที่เตรียมไว้ดำเนินการ develop สีเช่นเดียวกัน พร้อมกันกับสารละลายตัวอย่าง

4) นำไปวัดค่าความเข้มของสี ด้วยเครื่อง UV-spectropHotometer ที่ 420 nm อ่านค่า Transmittance (%T) หรือ Absorbance (%A) นำค่าที่วัดได้จากสารละลายมาตรฐานไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มของปริมาณฟอสฟอรัส และ % T หรือ %A (Standard curve) อ่านค่าความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในตัวอย่างจาก Standard curve แล้วนำไปคำนวณในสมการที่ 3.4และ 3.5

$$\%P = \frac{\text{ppm p} \times V_1 V_2 \times 100}{\text{wt of sample (g)} \times V_3 \times 10^6} \qquad (3.5)$$

V_1= Frist solution's volum (ml)

V_2= Finalsolution's volum (ml)

V_3= Aliqout take volum (ml)

$$\%P_2O_5 = \frac{\%P \times (2 \times \text{equivalent wt. of P} + (5 \times \text{equivalent wt. of O}}{2 \times \text{equivalent wt. of P}} \qquad (3.6)$$

Mahasarakham University

3.4.2.3 โพแทสเซียม (Total K_2O)

ธาตุโพแทสเซียมเป็นธาตุอาหารหลักที่จำเป็นในการเจริญเติบโตของพืชโดยมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ดังนี้

1) ชั่งตัวอย่างปุ๋ย 5 กรัม ใส่ใน Erlenmeyer flask ขนาด 250 ml

2) เติมกรดผสม (HNO_3conc..กับกรด $HCLO_4$ conc... อัตราส่วน 1:1) จำนวณ 20 ml นำไปย่อยบนเตาระเหยความร้อนอุณหภูมิประมาณ 220 องศาเซลเซียส จนเกิดควันสีขาวปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง

3) ถ่ายตัวอย่างใส่ Volummetric flask ขนาด 250 ml ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่นเขย่าให้เข้ากันกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 1

4) pipetสารละลายตัวอย่าง ให้มีความเข้มข้นอยู่ในช่วงสารละลายมาตรฐานที่เตรียมไว้ (0-25 ppmK) ใส่ลงใน Volummetric flask ขนาด 100 ml

5) เติมสารละลาย Superssor 10 ml

6) ปรับปริมาตรด้วยน้ำกลั่น เขย่าให้เข้ากัน นำไปวัดด้วยเครื่อง Flame pHtometerเทียบกับสารละลายมาตรฐาน 0-25 ppmKที่เตรียมไว้ แล้วนำค่าที่วัดได้ไปคำนวณในสมการ 3.7

$$\%K_2O = 1.2046\times \text{ppm K} \times \text{dilution factor} \times 100 \qquad (3.7)$$

3.4.3 การวิเคราะห์คุณภาพทางด้านชีวภาพ

การวิเคราะห์ปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ทั้งหมด โดยวิธี Pour plate (FAO,1992) โดยนับโคโลนีทั้งหมด จากจานเพราะเชื้อมาตรฐาน (Standard plate count) เป็นการวิเคราะห์หาจุลินทรีย์ทั้งหมดในตัวอย่าง โดยประมาณว่าจำนวนโคโลนีทั้งหมดของจุลินทรีย์ที่เกิดขึ้นในการเพราะเชื้อคือจำนวนจุลินทรีย์ที่อยู่ในอาหารเลี้ยงเชื้อ โดยนำอาหารที่ถูกเจือจางแล้วมาเลี้ยงบนจานอาหาร แล้วคำนวณเชื้อจุลินทรีย์โดยเอาจำนวนนับที่ได้คูณด้วยจำนวนเท่าที่ได้เจือจางรายงานผลเป็น colony forming unit per ml (CFU/g)โดยมีขั้นตอนการตรวจวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ดังนี้

3.4.3.1 การเตรียมจานเลี้ยงเชื้อ (Petri dish) ต้องทำให้จานเลี้ยงเชื้อปลอดจากเชื้ออื่นโดยนำจานเลี้ยงเชื้อใส่ถุงพลาสติกแล้วมัดปากถุงให้แน่นนำไปนึ่งใน Atoclave ที่อุณหภูมิ 121 องศาเซลเซียส ความดัน 15 lbf/in^2 เป็นเวลา 15 นาที เมื่อนำออกจาก Atoclave จะสังเกตเห็นว่ามีไอน้ำเกาะอยู่ในจานเลี้ยวเชื้อ ให้นำจานเลี้ยงเชื้อไปอบแห้งใน Hot air oven ที่อุณหภูมิ 80องศาเซลเซียส ประมาณ 3 ชั่วโมง

3.4.3.2 เจือจางตัวอย่าง โดยนำตัวอย่างอาหาร 25 กรัม ใส่ในถุงปั่นอาหารพร้อมสารละลายบัพเฟอร์ 250 มิลลิลิตร ปั่นด้วยเครื่อง Stomacher เป็นเวลา 30 วินาที แล้วจะได้ตัวอย่างอาหาร ที่มีความเข้มข้น 1:10 (10^{-1})

3.4.3.3 ใช้ไมโครปิเปต ดูดตัวอย่างที่ถูกเจือจางเป็น 10^{-1} จากข้อ 2 ปริมาณ 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดบัพเฟอร์ 9 มิลลิตร เขย่าด้วยเครื่องเขย่า (Stirrer) ให้เข้ากันจะได้ความเจือจางเป็น 10^{-2}

Mahasarakham University

3.4.3.4 เขย่าหลอดที่ถูกเจือจางที่ระดับ 10^{-2} ใช้ไมโครปิเปตดูดตัวอย่างอาหารใส่จานเลี้ยงเชื้อ จานละ 1 มิลลิลิตร 3 จาน พร้อมเขียนสัญลักษณ์บนจาน

3.4.3.5 ทำซ้ำตามข้อ 3 และ 4 จนถึงระดับความเจือจาง 10^{-9}

3.2.3.6 เท Plate count agar ลงในจานเลี้ยงเชื้อแล้วหมุนจานในทิศทางที่เป็นรูเลข 8 เพื่อให้ตัวอย่างกระจายให้ทั่วจานเลี้ยงเชื้อ ปล่อยให้อาหารแห้งประมาณ 15 นาที แล้วคว่ำจาน นำเข้าตู้บ่มเชื้อควบคุมอุณหภูมิ (Incubator) ที่อุณหภูมิ35 ± 0.5 ℃ นาน 48 ชั่วโมง

3.4.3.7 หลังจากเพราะเลี้ยงเชื้อใน Incubator นาน 24 ชั่วโมง ก็นำจานเลี้ยงเชื้อดังกล่าวมานับจำนวนโคโลนี แล้วคำนวณหาแบคทีเรียต่อตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร โดยมีหน่วย (CFU/g)

3.5.วิเคราะห์การใช้พลังงานในการอบแห้ง

ทำการตรวจวัดการใช้พลังงานในขณะอบแห้งด้วยเครื่องวัดกำลัง แรงดัน และกระแสไฟฟ้า ซึ่งการประเมินสมรรถนะของกระบวนการการอบแห้ง จะแยกออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

3.5.1. อัตราการอบแห้งไม้ (Dying rate)

ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุ = น้ำหนักไม้ก่อบอบแห้ง – น้ำหนักของไม้หลังอบแห้ง ($kg_{Evap\ of\ water}$) (3.8)

$$\text{อัตราการอบแห้งไม้} = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุ}}{\text{ระยะเวลาอบแห้ง}} \quad (3.9)$$

มีหน่วยเป็น กิโลกรัมน้ำระเหยต่อชั่วโมง ($kg_{Evap\ of\ water}$ / hr)

3.5.2 การใช้พลังงานจำเพาะในการอบแห้ง

พลังงานไฟฟ้า = (พัดลมเป่าอากาศอบแห้ง + พัดลมไล่ความชื้น) x ชั่วโมงอบแห้ง (kW.h) (3.10)

พลังงานเชื้อเพลิงแก๊ส = ค่าความร้อนของเชื้อเพลิงแก๊ส x เชื้อเพลิงแก๊สที่ใช้ไป
x เวลาในการอบแห้ง (kW.h) (3.11)

พลังงานแสงอาทิตย์ = ค่ารังสีรวมของดวงอาทิตย์ x พื้นที่ของตัวเก็บรังสีอาทิตย์
x เวลาในการอบแห้ง (kW.h) (3.12)

ปริมาณพลังงาน = พลังงานไฟฟ้า + พลังงานเชื้อเพลิงแก๊ส +พลังงานแสงอาทิตย์ (kW.h) (3.13)

$$\text{พลังงานจำเพาะ} = \frac{\text{ปริมาณพลังงานที่ใช้}}{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยจากวัสดุอบแห้ง}} \quad (3.14)$$

มีหน่วยเป็น กิโลวัตต์ต่อกิโลกรัมน้ำระเหย(kW.h/ $kg_{Evap\ of\ water}$)

Mahasarakham University

3.6. วิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์และระยะเวลาคืนทุนโรงอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

การวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์ของโรงอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดโดยใช้หลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตร(ปรับปรุง) เปรียบเทียบกับการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดด้วยวิธีการตากแดด (แบบเดิม) จะใช้สมการการคำนวณดังต่อไปนี้ (กัน ผาสุข, 2552)

เงินลงทุนรายปี = เงินลงทุนเบื้องต้น(Investment Cost) x (*CRF*)
= เงินลงทุนเบื้องต้น(Investment Cost)x $[i(1+i)^n/(1+i)^n-1$ (บาทต่อปี) (3.15)

ค่าบำรุงรักษารายปี = เงินลงทุนเบื้องต้น(Investment Cost) x (7%)
= เงินลงทุนเบื้องต้น(Investment Cost)x 0.07 (บาทต่อปี) (3.16)

ค่าจ้างแรงงานตากปุ๋ย = จำนวนคนงาน x จำนวนวันอบแห้งต่อครั้ง x จำนวนครั้งในการอบแห้งต่อปี x ค่าแรงคนงาน (บาทติอปี) (3.17)

ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า = พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไปต่อครั้ง (kW.h)x จำนวนครั้งในการอบแห้งต่อปี x อัตราค่าไฟฟ้ากิจการขนาดเล็กต่อหน่วย (บาทต่อปี) (3.18)

ค่าใช้จ่ายราคาซื้อ = ราคาซื้อวัตถุดิบ x จำนวนครั้งในการอบแห้งต่อปี (บาทต่อปี) (3.19)

ค่าใช้จ่ายรวมต่อปี = เงินลงทุนรายปี +ค่าบำรุงรักษารายปี +ค่าจ้างแรงงานอบแห้ง + ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า+ค่าใช้จ่ายราคาซื้อ(บาทต่อปี) (3.20)

ผลตอบแทนรายปี = ราคาขายปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด (บาท/กระสอบ) x จำนวนที่ขายต่อปี (กระสอบ (3.21)

รายได้สุทธิรายปี = ค่าใช้จ่ายรวมต่อปี - ผลตอบแทนรายปี (บาทต่อปี) (3.22)

ระยะเวลาคืนทุน(Payback Period)

รายได้สุทธิรายปี = เงินลงทุนเบื้องต้น (Investment Cost)x (CRF)
รายได้สุทธิรายปี = เงินลงทุนเบื้องต้น (Investment Cost)x $[i(1+i)^n/(1+i)^n-1]$ (3.18)

เมื่อ i = อัตราดอกเบี้ย (%)
N = ระยะเวลา (ปี)

Mahasarakham University

3.7 สถิติที่ใช้ในการวิจัย

ในการวิจัยนี้มีการวางแผนการทดลองแบบ Factorial experiment incompletely randomized design สถิติที่ใช้ประกอบไปด้วย

3.7.1. สถิติพื้นฐาน

3.7.1.1 ค่าเฉลี่ย

3.7.1.2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.7.2. สถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมุติฐานคือ F-test วิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way ANOVA) เปรียบเทียบความแตกต่างแบบรายคู่โดยใช้วิธี Duncan test

Mahasarakham University

บทที่ 4

ผลการวิจัยและการอภิปราย

สำหรับงานวิจัยนี้เป็นการปรับปรุงการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตและรักษาคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ซึ่งการวิจัยนี้ได้ศึกษาตัวแปรของการปรับปรุงการอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรที่มีผลต่อกำลังการผลิตของขั้นตอนการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด รวมทั้งวิเคราะห์คุณภาพทางกายภาพ คุณภาพทางเคมี และคุณภาพทางชีวภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่ผ่านการอบแห้งด้วยระบบอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรเพื่อเพิ่มกำลังการผลิต และวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตร โดยมีสัญลักษณ์ที่ใช้ในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูลและลำดับการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

Commercial	หมายถึง	การอบแห้งด้วยการตากพื้นคอนกรีตภายในอาคารของโรงงาน วิสาหกิจชุมชนผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดตำบลศรีโคตร
Control	หมายถึง	ตัวอย่างปุ๋ยที่ยังไม่ผ่านขั้นตอนการอบแห้ง
CFU/g	หมายถึง	colony forming unit per ml
cm	หมายถึง	เซนติเมตร
°C	หมายถึง	องศาเซลเซียส
% d.b.	หมายถึง	ปริมาณความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดในหน่วยมาตรฐานแห้ง
% RH	หมายถึง	ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ
m/s	หมายถึง	ความเร็วของอากาศอบแห้งในหน่วย เมตรต่อวินาที

ลำดับการนำเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

1. ผลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด
2. ผลของความเร็วอากาศที่ใช้อบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด
3. ผลของความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด
4. ผลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งต่อคุณภาพทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด
5. ผลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งต่อคุณภาพทางชีวภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

Mahasarakham University

6. ปริมาณการใช้พลังงานในการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดของระบบอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตร

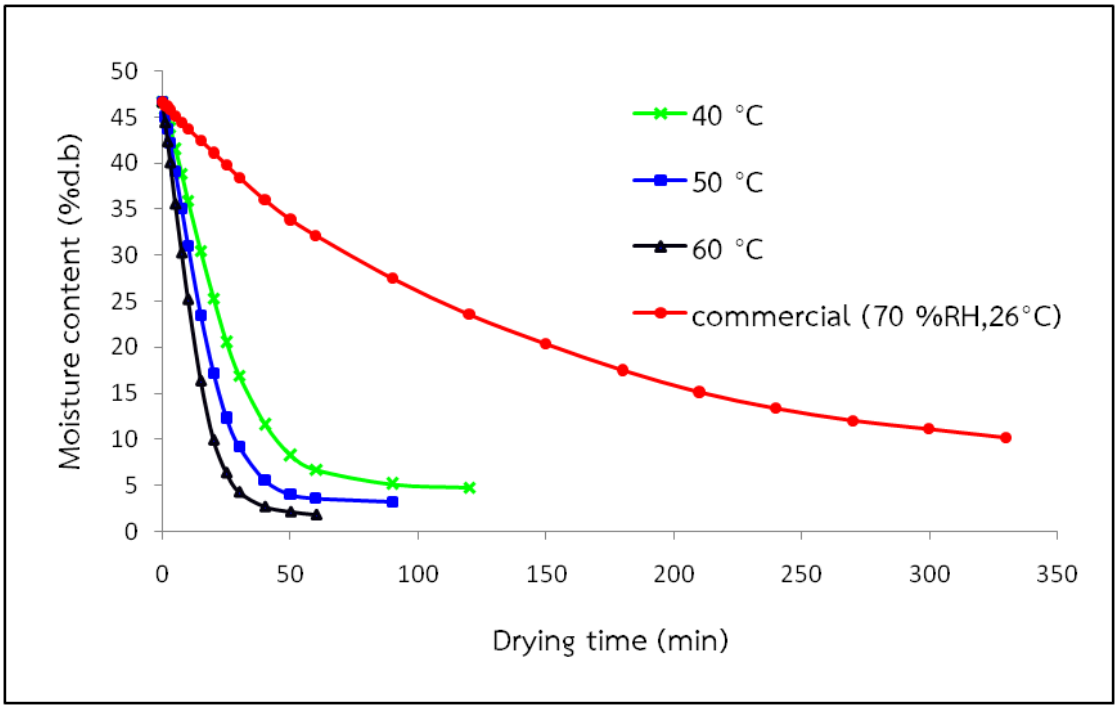
7. การออกแบบระบบอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับอุตสาหกรรม

8. วิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับอุตสาหกรรม

4.1 ผลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

ผลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ดังจะแสดงในภาพประกอบ 4.1 ซึ่งเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความชื้น (Moisture content) และเวลาการอบแห้ง (Drying time) ภายใต้เงื่อนไขการอบแห้ง ที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 40 50 และ 60°C ความเร็วของอากาศอบแห้งคงที่ 0.5 m/s ที่ความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 1 cm และควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้งคงที่ 80±2 % โดยจำลองให้สภาวะอากาศอบแห้งมีความชื้นสัมพัทธ์สูงคล้ายฤดูฝน จะอบแห้งจนกระทั่งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดมีความชื้นสุดท้ายที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาประมาณ 17 % d.b ซึ่งแต่ละเงื่อนไขที่ทำการทดลองจะมีปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่แตกต่างกันออกไป เนื่องจากทำการทดลองในวันและเวลาที่แตกต่างกัน โดยอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่ 40 ℃ จะมีปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย 661.68 W/m^2 (วันที่ 11 มกราคม 2557 เวลา13.00 -15.00 น) อุณหภูมิอากาศอบแห้งที่ 50 ℃ จะมีปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย 784.67 W/m^2 (วันที่ 13 มกราคม 2557 เวลา 11.00 -12.30 น.) อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 60 ℃ จะมีปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย 559.26 W/m^2 (วันที่15 มกราคม 2557 เวลา 14.00-15.00 น.) และการอบแห้งด้วยการตากพื้นคอนกรีตภายในอาคารของโรงงาน จะมีปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย 836.65 W/m^2 (วันที่ 5 มิถุนายน 2556 เวลา 11.00-14.50 น.) สำหรับข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์จะแสดงในภาคผนวก ก

Mahasarakham University



ภาพประกอบ 4.1 ผลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

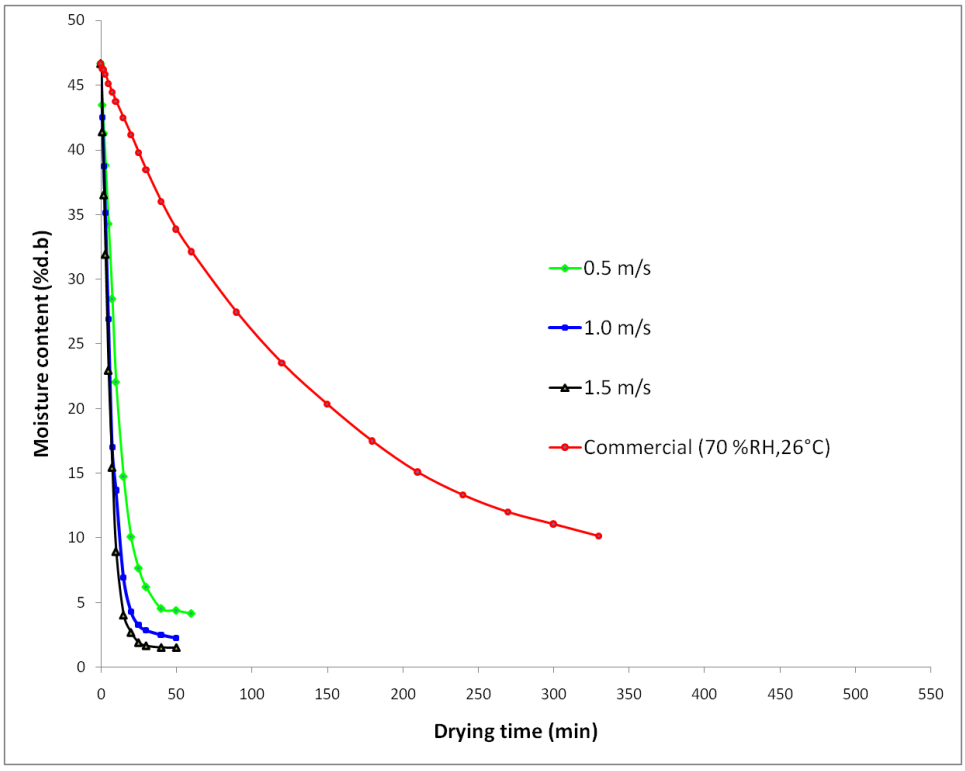
จากภาพประกอบ 4.1 จะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 60 °C จะส่งผลให้ความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดลดลงเร็วที่สุด และที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 40 °C จะส่งผลให้ความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดลดลงช้าที่สุด และเวลาในการอบแห้งมากที่สุด โดยเวลาที่ใช้ในการอบแห้งจะเพิ่มมากขึ้นตามการลดลงของอุณหภูมิอากาศอบแห้ง แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งโดยการตากพื้นคอนกรีตภายในอาคารของโรงงาน จะเห็นได้ว่าใช้เวลามากกว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตร

4.2 ผลของความเร็วอากาศที่ใช้อบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

ผลของความเร็วอากาศที่ใช้อบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ดังจะแสดงในภาพประกอบ 4.2 ซึ่งจะเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความชื้น (Moisture content) และเวลา (Drying time) ภายใต้เงื่อนไขการอบแห้ง ที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 60 °C ความเร็วของอากาศอบแห้งคงที่ 0.5 1 และ 1.5 m/s ที่ความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 1 cm ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้งคงที่ 80±2 %ซึ่งจำลองให้สภาวะอากาศอบแห้งมีความชื้นสัมพัทธ์สูงคล้ายฤดูฝน จะอบแห้งจนกระทั่งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดมีความชื้นสุดท้ายที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา ประมาณ 17 % d.b. ซึ่งแต่ละเงื่อนไขที่ทำการทดลองจะมีปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่แตกต่างกันออกไปเนื่องจากทำการทดลองในวันและเวลาที่แตกต่างกัน โดยที่ความเร็วอากาศอบแห้ง 0.5 m/s จะมีปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย 559.26 W/m^2 (วันที่ 15 มกราคม 2557 เวลา 14.00-15.00 น.) ที่ความเร็วอากาศ

Mahasarakham University

อบแห้ง 1.0 m/s จะมีปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย 706.41 W/m^2 (วันที่ 20 พฤษภาคม 2557 เวลา 13.30-14.10 น.) ที่ความเร็วอากาศอบแห้ง 1.5 m/s จะมีปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย 556.63 W/m^2 (วันที่20 พฤษภาคม 2557 เวลา 14.40-15.20 น.) และการอบแห้งด้วยการตากพื้นคอนกรีตภายในอาคารของโรงงาน จะมีปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย 836.65 W/m^2 (วันที่ 5 มิถุนายน 2556 เวลา 11.00-14.50 น.) สำหรับข้อมูลรังสีดวงอาทิตย์จะแสดงในภาคผนวก ก



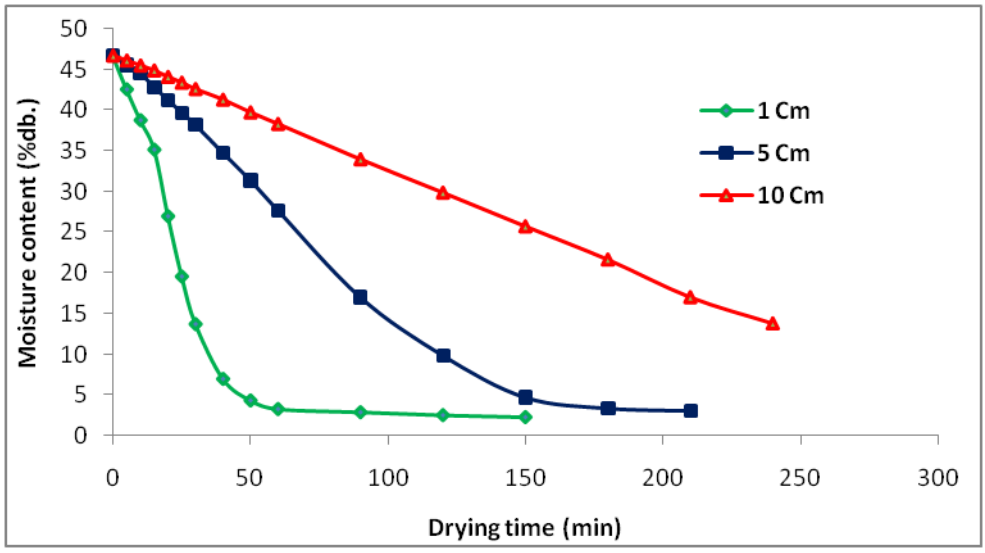
ภาพประกอบ 4.2 ผลของความเร็วอากาศอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

จากภาพประกอบ 4.2 พบว่าที่ความเร็วอากาศอบแห้ง 1.5 m/s จะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่น้อยกว่าการอบแห้งที่ความเร็วของอากาศอบแห้ง 0.5 และ 1.0 m/s เนื่องจากความเร็วอากาศอบแห้งทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกจากปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดเมื่อมีความเร็วอากาศอบแห้งเพิ่มขึ้นจะเคลื่อนย้ายไอน้ำออกจากปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดได้เร็วขึ้น แต่เมื่อเปรียบเทียบกับการอบแห้งด้วยการตากพื้นคอนกรีตภายในอาคารของโรงงาน จะเห็นได้ว่าการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับห้องปฏิบัติการ ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งแบบการอบแห้งด้วยการตากพื้นคอนกรีตภายในอาคารของโรงงาน

Mahasarakham University

4.3 ผลของความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

ผลของความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ดังแสดงในภาพประกอบ 4.3 ซึ่งจะเปรียบเทียบระหว่างปริมาณความชื้น (Moisture content) และเวลาในการอบแห้ง (Drying time) ภายใต้เงื่อนไขการอบแห้ง ที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 60 °C ความเร็วของอากาศอบแห้งคงที่ **1.5** m/s ที่ ความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 1 5 และ 10 cm ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้งคงที่ 80±2 % โดยจำลองให้สภาวะอากาศอบแห้งมีความชื้นสัมพัทธ์สูงคล้ายฤดูฝน จะอบแห้งจนกระทั่งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดมีความชื้นสุดท้ายที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา ประมาณ 17 % d.b. ซึ่งแต่ละเงื่อนไขที่ทำการทดลองจะมีปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่แตกต่างกันออกไปเนื่องจากทำการทดลองในวันและเวลาที่แตกต่างกัน โดยที่ความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 1 cm จะมีปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย 706.41 W/m^2 (วันที่ 20 พฤษภาคม 2557 เวลา 13.30-14.10 น.) ความสูง เบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 5 cm จะมีปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย 757.94 W/m^2 (วันที่ 10 มกราคม 2557 เวลา 09.30-12.50 น.) และที่ความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 10 cm จะมีปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ย 792.43 W/m^2 (วันที่ 10 กันยายน 2556 เวลา 11.40-15.30 น.) สำหรับข้อมูลปริมาณรังสีดวงอาทิตย์จะแสดงในภาคผนวก ก



ภาพประกอบ 4.3 ผลของความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

จากภาพประกอบ 4.3 พบว่าที่สูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 1 cm จะมีระยะเวลาในการอบแห้งที่น้อยกว่าการอบแห้งที่ความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 5 และ 10 cm ตามลำดับ เนื่องจากการอบแห้งที่ความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่บางจะทำให้การเคลื่อนที่ของไอน้ำจากเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่ด้านล่างเคลื่อนที่ออกจากห้องอบแห้งได้เร็วกว่าการอบแห้งที่หนากว่า

Mahasarakham University

4.4 ผลของอุณหภูมิอากาศที่ใช้อบแห้งต่อคุณภาพทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

คุณภาพทางด้านเคมี คือ ปริมาณธาตุอาหารหลักของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ได้แก่ ไนโตรเจน โพแทสเซียม และ ฟอสฟอรัส สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ได้เลือกปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่อบแห้งด้วยการตากบนพื้นคอนกรีตภายในอาคารของโรงงาน (Commercial) และปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับห้องปฏิบัติการที่สภาวะอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 50 60 และ 70° C ความเร็วอากาศอบแห้ง 1 m/s ความสูง เบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 1 cm และความชื้นสัมพัทธ์ 80±2% โดยจะส่งตัวอย่างปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดเพื่อวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก ที่ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ดังแสดงในตาราง 4.1

ตาราง 4.1 แบบรายงานผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักไนโตรเจน โพแทสเซียม และ ฟอสฟอรัส ของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

ตัวอย่าง	**ไนโตรเจนทั้งหมด** (Total N)		**ฟอสฟอรัส** (Available)		**โพแทสเซียม** (Available)	
	mg/kg	%	mg/kg	%	mg/kg	%
*Commercial	5322	0.53	492	0.05	10754	1.08
50°C	8776	0.88	600	0.06	17965	1.80
60°C	9991	1.0	648	0.06	17051	1.71
70°C	9263	0.93	675	0.07	19558	1.96

หมายเหตุ: *Commercial คือ ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่อบแห้งโดยการตากบนพื้นคอนกรีตภายในอาคารของโรงงาน

จากตาราง 4.1 พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณธาตุอาหารหลักของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ได้แก่ไนโตรเจน โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการทดลองเป็นอุณหภูมิที่ต่ำ

จากการตรวจปริมาณธาตุอาหารหลักในครั้งนี้พบว่าส่วนผสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดของวิสาหกิจชุมชนผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดตำบลศรีโคตรอยู่ในระดับที่ต่ำกว่ามาตรฐานการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพของกรมวิชาการเกษตร โดยเฉพาะปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัส ซึ่งทางผู้วิจัยจะได้แนะนำให้กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดตำบลศรีโคตรปรับส่วนผสมให้ได้มาตรฐานและขอเอกสารรับรองมาตรฐานจากกรมวิชาการเกษตรเพื่อที่จะเพิ่มความเชื่อมั่นให้กับลูกค้าและสามารถขยายฐานการตลาดให้กว้างยิ่งขึ้น

Mahasarakham University

4.5 ผลของอุณหภูมิอากาศที่ใช้อบแห้งต่อคุณภาพทางด้านชีวภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

เพื่อวิเคราะห์ผลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งต่อปริมาณจุลินทรีย์ในปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดโดยผู้วิจัยได้เลือกปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่อบแห้งด้วยการตากบนพื้นคอนกรีตภายในอาคารของโรงงาน และปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่อบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับห้องปฏิบัติการที่สภาวะอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 40 50 60 และ 70° C ความเร็วอากาศอบแห้ง 1 m/s ความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 1 cm และความชื้นสัมพัทธ์ 80±2% ผลของการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์ จะแสดงดังในตาราง 4.2

ตาราง 4.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณจุลินทรีย์โดยรวมในปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

เงื่อนไข	ปริมาณเชื้อที่นับได้ (CFU/g)
control	5.4×10^{9}±10A
Commercial	3.9×10^{9}±7B
40°C	4.4×10^{9}±8AB
50°C	3.7×10^{9}±8CB
60°C	3.4×10^{9}±3B
70°C	2.6×10^{9}±4C

หมายเหตุ : 1. ตัวเลขที่ตามด้วยตัวกำกับภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันแสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในแนวตั้ง ($p<0.05$)

2. Control คือ ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่ยังไม่ผ่านขั้นตอนการอบแห้ง % d.b.

3. Commercial คือ ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่อบแห้งโดยการตากบนพื้นคอนกรีตภายในอาคารของโรงงาน

จากตาราง 4.2 เมื่อนำปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดมาวิเคราะห์ปริมาณเชื้อโดยรวมพบว่าปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่ไม่ผ่านขั้นตอนการอบแห้งจะมีปริมาณเชื้อโดยรวมมากที่สุด แต่เมื่อนำปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่อบแห้งด้วยวิธี Commercial มาเปรียบเทียบปริมาณจุลินทรีย์รวมของการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 40 50 60 และ70 °C พบว่าที่อุณหภูมิอากาศที่ใช้อบแห้ง 40 50 และ 60 °C ไม่มีความแตกต่างของปริมาณจุลินทรีย์รวมในปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด แต่ที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง70 °C พบว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์รวมมีจำนวนลดลงและแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งที่ไม่ส่งผลต่อคุณภาพทางชีวภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดและสามารถเพิ่มกำลังในขั้นตอนการอบแห้งคือที่อุณหภูมิ 60 °C

Mahasarakham University

4.6 ปริมาณการใช้พลังงานในการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

4.6.1 ปริมาณการใช้พลังงานความร้อนจำเพาะ

ผลการวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานความร้อนจำเพาะในการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ผลที่ได้จะแสดงค่าในหน่วยกิโลจูลต่อกิโลกรัมน้ำระเหย kW.hr/ $kg_{water\ evap}$. ซึ่งในการวิจัยในครั้งนี้จะนำเสนอพลังงานความร้อนจำเพาะเป็น 2 ส่วน ได้แก่ พลังงานความร้อนจำเพาะจากพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานความร้อนจำเพาะจากเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตร

4.6.1.1 ปริมาณความร้อนจำเพาะจากพลังงานแสงอาทิตย์ของการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ในสภาวะการอบแห้งที่ความเร็วของอากาศอบแห้งคงที่ 0.5 m/s ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้คงที่ 80±2 % และอุณหภูมิอากาศที่ใช้อบแห้ง 40 50 และ60 ℃ กำหนดให้ความชื้นหลังผ่านการอบแห้งที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา ประมาณ 17% d.b. จะแสดงดังในตาราง 4.3

ตาราง 4.3 ปริมาณความร้อนจำเพาะจากพลังงานแสงอาทิตย์ของการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

อุณหภูมิอากาศอบแห้ง	พลังงานแสงอาทิตย์จำเพาะ (kW.hr/ $kg_{water\ evap}$)
40°C	3,132.18
50°C	3,009.95
60°C	2,730.27

จากตาราง 4.3 พบว่าการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ที่อุณหภูมิในการอบแห้งสูงจะส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานความร้อนจำเพาะจากพลังงานแสงอาทิตย์ในการอบแห้งน้อยที่สุด เนื่องจากการอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิสูงมีความร้อนในการระเหยน้ำในปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดมากกว่า จึงส่งผลให้อัตราในการระเหยน้ำ มากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นระยะเวลาในการอบแห้งและปริมาณการใช้พลังงานความร้อนจำเพาะจึงมีค่าน้อยกว่า

4.6.1.2 ปริมาณความร้อนจำเพาะจากเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรของการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ในสภาวะการอบแห้งที่ความเร็วของอากาศอบแห้งคงที่ 0.5 m/s ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้คงที่ 80±2 % และอุณหภูมิอากาศที่ใช้อบแห้ง 40 50 และ60 ℃ กำหนดให้ความชื้นหลังผ่านการอบแห้งที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา ประมาณ 17% d.b. จะแสดงดังในตาราง 4.4

Mahasarakham University

ตาราง 4.4 ปริมาณความร้อนจำเพาะเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรของการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

อุณหภูมิอากาศอบแห้ง	พลังงานความร้อนจำเพาะจากเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตร (kW.hr/ $kg_{water\ evap}$)
40°C	79.7
50°C	76.59
60°C	67.12

จากตาราง 4.4 พบว่าการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ที่อุณหภูมิในการอบแห้งสูงจะส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานความร้อนจำเพาะจากเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในการอบแห้งน้อยที่สุด เนื่องจากการอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิสูงมีความร้อนในการระเหยน้ำในปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดมากกว่า จึงส่งผลให้อัตราในการระเหยน้ำ มากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นระยะเวลาในการอบแห้งและปริมาณการใช้พลังงานความร้อนจำเพาะจึงมีค่าน้อยกว่า

4.6.2 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ

ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ ผลการวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะสำหรับอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ผลที่ได้จะแสดงค่าในหน่วย kW.hr/ $kg_{water\ evap}$. ภายใต้เครื่องอบแห้งด้วยอากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตร ในสภาวะการอบแห้งที่ความเร็วของอากาศอบแห้งคงที่ 0.5 m/s ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ให้คงที่ 80±2 % และอุณหภูมิอากาศที่ใช้อบแห้ง 40 50 และ60 °C โดยกำหนดให้มีความชื้นหลังผ่านกระบวนการอบแห้งที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา ประมาณ 17 % d.b จะแสดงดังในตาราง 4.5

ตาราง 4.5 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะของการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

อุณหภูมิอากาศอบแห้ง	ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ(kW.hr/ $kg_{water\ evap}$)
40°C	11.02
50°C	6.04
60°C	5.46

จากตาราง 4.5 พบว่าที่สภาวะอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่สูงจะส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะในการอบแห้งต่ำที่สุด เนื่องจากการอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิสูงจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่อุณหภูมิต่ำ จึงส่งผลให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะจึงมีค่าน้อยกว่า

Mahasarakham University

4.7 การออกแบบระบบอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับอุตสาหกรรม

จากผลการทดลองระบบอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับห้องปฏิบัติการ นำมาออกแบบโรงอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับอุตสาหกรรม ได้สมมติฐานดังนี้

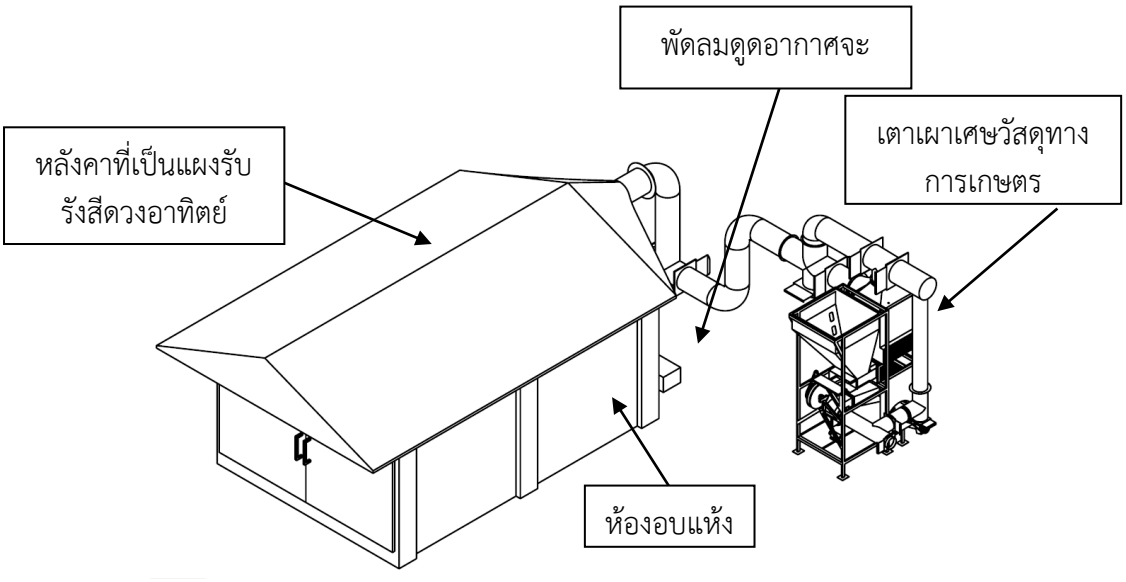
1. อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง 60 ℃
2. ความเร็วอากาศอบแห้ง 1.0 m/s
3. ความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 10 cm
4. ความชื้อสุดท้ายที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา 17 % d.b.

จากผลการคำนวณสามารถออกแบบโรงอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับอุตสาหกรรม มีรายระเอียดของอุปกรณ์ ดังนี้

1. ขนาดห้องอบแห้ง กว้าง 4 m ยาว 6 m สูง 2.5 m ผนังและพื้นเป็นคอนกรีต ที่พื้นของห้องอบแห้งมีตะแกรงกระจายอากาศวางเป็นร่องตามแนวยาวของอาคารอบแห้งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 cm จำนวน 5 ตะแกรงแต่ละตะแกรงจะวางห่างกัน 40 cm ซึ่งตะแกรงกระจายอากาศนี้มีหน้าที่ในการนำอากาศร้อนจากเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรและจากชุดกำเนิดความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์มายังห้องอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด
2. เตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรขนาดปริมาณความร้อน 700 kW
3. ชุดกำเนิดความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Collector) มีพื้นที่รับพลังงานแสงอาทิตย์ 35 m^2
4. พัดลมดูดอากาศขนาด 5 hp เพื่อที่จะดูดอากาศร้อนจากเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรและจากชุดกำเนิดความร้อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ มายังห้องอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

โรงอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับอุตสาหกรรมที่ได้จาการคำนวณและออกแบบ จะแสดงดังในภาพประกอบ 4.4 ซึ่งสามารถอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดได้วันละ 2 ตัน ใช้เวลาในการทำงานวันละ 8 ชั่วโมง และหากเป็นฤดูกาลที่มียอดสั่งซื้อสูงก็สามารถที่จะอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดให้ได้กำลังการผลิตสูงสุด 6 ตันต่อวัน

Mahasarakham University



ภาพประกอบ 4.4 ระบบอบแห้งระบบอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับอุตสาหกรรม

4.8 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับอุตสาหกรรม

จะทำการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบกันระหว่าการอบแห้งตากบนพื้นคอนกรีตภายในอาคารของโรงงานและการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดแบบในที่เก็บโดยใช้หลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับอุตสาหกรรม เพื่อต้องการหาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) หรือที่เรียกอีกอย่างว่าจุดคุ้มทุน เมื่อกำหนดให้แต่ละโครงการมีอัตราดอกเบี้ยเงินกู้เท่ากัน จะตัดสินใจเลือกโครงการที่จุดคุ้มทุนสั้นที่สุด จากการกำหนดให้รายรับมีค่าเท่ากับรายจ่ายทั้งหมดในแต่ละโครงการ โดยพิจารณาโครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุด

4.8.1 การประเมินจากผลงานการออกแบบสร้างโรงอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดแบบในที่เก็บโดยใช้หลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับอุตสาหกรรม ขนาดกำลังการผลิต 2 ตันต่อวัน โดยมีข้อมูลเบื้องต้น ดังต่อไปนี้

4.8.1.1. ต้นทุนการสร้างโรงอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดแบบในที่เก็บโดยใช้หลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตร 310,000 บาท ประกอบด้วย

1) โรงอบแห้งแบบในที่เก็บ	110,000 บาท
2) เตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตร	100,000 บาท
3) Solar Collector	50,000 บาท
4) ชุดพัดลมและท่ออากาศ	50,000 บาท
4.8.1.2 อายุการใช้งานของเครื่องอบแห้ง	10 ปี

Mahasarakham University

4.8.1.3 ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ร้อยละ 5 ของราคาเครื่อง	15,500 บาทต่อปี
4.8.1.4 ราคาปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพหลังอบแห้ง	10 บาทต่อกิโลกรัม
4.8.1.5 อัตราค่าไฟฟ้าสำหรับกิจการขนาดเล็ก (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, กรกฎาคม 2557)	2.77 บาทต่อหน่วย
4.8.1.6 ใช้กำลังไฟฟ้า	7.5kW
4.8.1.7 ค่าเศษเศษไม้ (เชื้อเพลิง) กิโลกรัมละ	1 บาท
4.8.1.8 อัตราการใช้เชื้อเพลิงเศษไม้ชั่วโมงละ	5 กิโลกรัม
4.8.1.9 มูลค่าซากคิดเป็น 10% ของค่าสร้างเครื่องอบแห้ง	31,000 บาท
4.8.1.10 อบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ได้ปีละ	730 ตัน
4.8.1.11 เครื่องอบแห้งทำงานวันละ	8 ชั่วโมง
4.8.1.12 ในเวลาหนึ่งปีเครื่องอบแห้งทำงาน	12 เดือน
4.8.1.13 อัตราดอกเบี้ยเงินกู้	7 %
4.8.1.14 ความสามารถในการระเหยน้ำ	178.2 kg-water/h]
4.8.1.15 ค่าที่ดินตั้งอาคารอบแห้งประมาณ 40 m^2	2,500 บาท

จากข้อมูลข้างต้นสามารถคำนวณระยะเวลาคืนทุนของระบบอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตร ภายในเวลา 0.27 ปี หรือสามารถคืนทุนภายในระยะเวลา 3 เดือน กับ 8 วัน ข้อมูลการคำนวณแสดงในภาคผนวก ค

4.8.2 คำนวณด้านเศรษฐศาสตร์ของอาคารอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดโดยการตากบนพื้นคอนกรีตภายในอาคารของโรงงาน เพื่อให้สามารถเพิ่มกำลังการผลิตในส่วนของขั้นตอนการอบแห้งให้ได้ตามยอดการสั่งซื้อคือประมาณ 700 ตันต่อปี ดังนั้นจะต้องมีอาคารอบแห้งประมาณ 3 อาคารโดยการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพจะสามารถตากปุ๋ยให้มีความหนาได้ไม่เกิน 5 cm เพราะถ้าตากหนากว่านี้จะทำให้ปุ๋ยเกิดเชื้อรา และในระหว่างการอบแห้งจะต้องมีพนักงานคอยกลับกองปุ๋ยทุกๆ 2-3 ชั่วโมง ใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 8-29 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ แต่ในการคำนวณระยะเวลาในการอบแห้งครั้งนี้ที่ 8 ชั่วโมง จะโดยมีข้อมูลเบื้องต้น ดังต่อไปนี้

4.8.3.1 อาคารอบแห้ง 3 หลัง	225,000 บาท
4.8.3.2 อายุการใช้งานของเครื่องอบแห้ง	10 ปี
4.8.3.3 ค่าใช้จ่ายบำรุงรักษา ร้อยละ 5 ของเงินลงทุน	11,250 บาทต่อปี
4.8.3.4 ราคาปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพหลังอบแห้ง	10 บาทต่อกิโลกรัม
4.8.3.5 มูลค่าซากคิดเป็น 5% ของค่าสร้างเครื่องอบแห้ง	11,250 บาท
4.8.3.6 อบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ได้ปีละ	816 ตันต่อปี
4.8.3.7 ในเวลาหนึ่งปีเครื่องอบแห้งทำงาน	12 เดือน
4.8.3.8 อัตราดอกเบี้ยเงินกู้	7 %
4.8.3.9 ความสามารถในการระเหยน้ำ	217.8 kg-water/h
4.8.3.10 ค่าที่ดินตั้งอาคารอบแห้งประมาณ 135 m^2	8,437.5 บาท

Mahasarakham University

จากข้อมูลข้างต้นสามารถคำนวณระยะเวลาคืนทุนของอาคารอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดแบบเดิมของทางวิสาหกิจชุมชน(การตากบนพื้นคอนกรีตภายในอาคารของโรงงาน) สามารถคืนทุนภายในระยะเวลา 0.29 ปี หรือ 3 เดือน กับ 15 วัน สำหรับข้อมูลการคำนวณแสดงในภาคผนวก ค

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการอบแห้งด้วยระบบอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดแบบในที่เก็บโดยใช้หลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรมีระยะเวลาคืนทุนที่เร็วกว่าการอบแห้งด้วยวิธีการเดิมของทางวิสาหกิจชุม 11 วัน แต่พบว่าหลังจากคืนทุนแล้วการอบแห้งด้วยโรงอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดแบบในที่เก็บโดยใช้หลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรมีค่าใช้จ่ายด้านแรงงานที่ถูกกว่าการอบแห้งโดยการตากบนพื้นคอนกรีตภายในอาคารของโรงงาน 3 เท่า และสามารถอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดได้ทั้งในฤดูฝนและตอนกลางวัน

Mahasarakham University

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

จากการปรับปรุงการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรเพื่อเพิ่มกำลังการผลิตและรักษาคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด สามารถสรุปผลการวิจัยดังนี้

5.1 สรุป

5.1.1 ผลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

ผลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงของความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการอบแห้ง และหาสภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ภายใต้เงื่อนไข ที่ความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 1 เซนติเมตร อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 40 50 และ 60 °C ความเร็วของอากาศอบแห้งคงที่ 0.5 m/s ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้งคงที่ 80 ±2 % ซึ่งความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่ใช้ในการทดลองจะจำลองให้อยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกับความชื้นสัมพัทธ์ในฤดูฝน พบว่า ที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 60 °C จะใช้ระยะเวลาการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด จากความชื้น 46 ให้เหลือ 17 % d.b น้อยที่สุด และสามารถลดระยะเวลาการอบแห้งได้มากว่าการอบแห้งด้วยการตากบนพื้นคอนกรีตภายในอาคารของโรงงานประมาณ 3 ชั่วโมง 45 นาที หรือประมาณ 16 เท่า

5.1.2 ผลของความเร็วอากาศอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

ผลของความเร็วอากาศอบแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงของความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด การมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเร็วอากาศอบแห้ง และหาสภาวะความเร็วอากาศอบแห้งที่เหมาะสมในการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ภายใต้เงื่อนไข ที่ความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 1 cm อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 60 °C (สภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด) ความเร็วของอากาศอบแห้ง 0.5 1.0 และ 1.5 m/s พบว่า ที่ความเร็วอากาศอบแห้ง 1.0 และ1.5 m/s จะใช้เวลาในการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด จากความชื้น 46.7 ให้เหลือ 17 % d.b ได้เท่ากัน ดังนั้นที่ความเร็วอากาศอบแห้ง 1.0 m/s เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งมากที่สุด เพราะใช้พลังงานในการอบแห้งต่ำกว่าที่ความเร็วอากาศอบแห้ง 1.5 m/s

5.1.3 ผลของความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

การศึกษาผลของความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดต่อการเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด และหาสภาวะความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่เหมาะสมในการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ภายใต้เงื่อนไข ที่อุณหภูมิอากาศอบแห้งคงที่ 60 °C ความเร็วอากาศอบแห้ง 1 m/s (อุณหภูมิอากาศอบแห้งและความเร็วอากาศอบแห้งที่เหมาะสมต่อการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด) ความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 1 5 และ 10 cm พบว่าที่ความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่ 1 cm จะมี

Mahasarakham University

ระยะเวลาในการอบแห้งที่น้อยกว่าการอบแห้งที่ความสูงเบด 5 และ 10 cm ตามลำดับ แต่เมื่อเปรียบเทียบในด้านของกำลังการผลิตพบว่าที่ความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่ 10 cm จะส่งผลให้ได้กำลังการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดสูงที่สุด

ดังนั้นความสูงเบดของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่เหมาะสมในการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดคือ 10 cm

5.1.4 ผลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดต่อคุณภาพทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

การศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดต่อคุณภาพทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศอบแห้ง และหาสภาวะที่เหมาะสม ที่ไม่ส่งผลต่อคุณภาพทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด อุณหภูมิที่ใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ได้แก่ 50 60 และ 70 °C เปรียบเทียบกับวิธีการอบแห้งด้วยการตากบนพื้นคอนกรีตภายในอาคารของโรงงาน พบว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิอากาศที่ใช้อบแห้ง และวิธีการอบแห้งด้วยการตากพื้นคอนกรีตภายในอาคารของโรงงาน ไม่ส่งผลต่อปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ ไนโตรเจน โพแทสเซียม และ ฟอสฟอรัสของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด นอกจากนี้ยังพบว่าส่วนผสมในการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดของวิสาหกิจชุมชนผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดตำบลศรีโคตรอยู่ในระดับที่ต่ำกว่ามาตรฐานการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพที่กรมวิชาการเกษตรกำหนด โดยเฉพาะปริมาณไนโตรเจนทั้งหมด และฟอสฟอรัส ซึ่งทางผู้วิจัยจะได้แนะนำให้กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดตำบลศรีโคตรปรับปรุงสูตรและส่วนผสมให้ได้มาตรฐานของกรมวิชาการเกษตรเพื่อขอเอกสารรับรองมาตรฐานจากกรมวิชาการเกษตรเพื่อที่จะเพิ่มความเชื่อมั่นให้กับลูกค้า

5.1.5 ผลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดต่อคุณภาพทางชีวภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

การศึกษาผลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดต่อคุณภาพทางชีวภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่ไม่ส่งผลต่อคุณภาพทางชีวภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 40 50 60 70 และ 80 °C เปรียบเทียบกับอบแห้งด้วยการตากบนพื้นคอนกรีตภายในอาคารของโรงงาน พบว่าที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง40 50 และ 60 °C และการอบแห้งด้วยการตากบนพื้นคอนกรีตภายในอาคารของโรงงาน มีการลดลงของปริมาณเชื่อจุลินทรีย์ที่ไม่แตกต่างกัน แต่เมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่ 70 และ 80 °C พบว่าปริมาณเชื้อจุลินทรีย์ลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งสอดคล้องกับผลการทดลองของ Wood and Hall (1991) ที่พบว่าการอบแห้งมูลไก่ที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 °C จะไม่ส่งผลต่อคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

5.1.6 ปริมาณการใช้พลังงานในการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดของระบบอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตร

5.1.6.1 ปริมาณการใช้พลังงานความร้อนจำเพาะ

ปริมาณการใช้พลังงานความร้อนจำเพาะในการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ซึ่งในการวิจัยนี้จะวิเคราะห์พลังงานความร้อนจำเพาะเป็น 2 ส่วน ได้แก่ พลังงานความร้อนจำเพาะจากพลังงานแสงอาทิตย์ และพลังงานความร้อนจำเพาะจากเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตร พบว่าการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ที่อุณหภูมิในการอบแห้งสูงจะส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานความร้อน

Mahasarakham University

จำเพาะจากพลังงานแสงอาทิตย์และพลังงานความร้อนจำเพาะจากเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในการอบแห้งน้อยที่สุด เนื่องจากการอบแห้งที่ระดับอุณหภูมิสูงมีความร้อนในการระเหยน้ำในปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดได้มากกว่า จึงส่งผลให้อัตราในการระเหยน้ำ มากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ ดังนั้นระยะเวลาในการอบแห้งและปริมาณการใช้พลังงานความร้อนจำเพาะจึงมีค่าน้อยกว่า

ดังนั้นอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดในด้านพลังงานความร้อนจำเพาะ คือ อุณหภูมิอากาศอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่ 60 °C เพราะเป็นอุณหภูมิอากาศอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่ใช้พลังงานความร้อนจำเพาะต่ำ และใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด ซึ่งส่งผลให้ได้กำลังการผลิตที่สูง

5.1.6.2 ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะ

การวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะสำหรับอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด พบว่าที่สภาวะอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่สูงจะส่งผลต่อปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะในการอบแห้งต่ำที่สุด เนื่องจากการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่อุณหภูมิสูงจะใช้ระยะเวลาในการอบแห้งน้อยกว่าการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่อุณหภูมิอากาศอบแห้งต่ำ จึงส่งผลให้ปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะจึงมีค่าน้อยกว่า

ดังนั้นอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ด้านพลังงานไฟฟ้าจำเพาะ คืออุณหภูมิอากาศอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่ 60 °C เพราะเป็นอุณหภูมิอากาศอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดที่ใช้พลังงานไฟฟ้าจำเพาะต่ำ และใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุด ซึ่งส่งผลให้ได้กำลังการผลิตที่สูง

5.1.7 การออกแบบระบบอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับอุตสาหกรรม

จากเงื่อนไขการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพที่เหมาะสม สามารถนำมาคำนวณและออกแบบโรงอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับอุตสาหกรรม ที่สามารถอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดได้วันละ 2 ตัน ใช้เวลาในการทำงานวันละ 8 ชั่วโมง และหากเป็นฤดูกาลที่มียอดสั่งซื้อสูงก็สามารถที่จะอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดให้ได้กำลังการผลิตสูงสุด 6 ตันต่อวัน ซึ่งสามารถเพิ่มกำลังการผลิตได้สูงกว่าการอบแห้งด้วยการตากบนพื้นคอนกรีตภายในอาคารของโรงงานถึง 3 เท่า

5.1.8 วิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่มกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับอุตสาหกรรม

วิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ของระบบอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่มกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับอุตสาหกรรม มีระยะเวลาคืนทุนที่เร็วกว่าการอบแห้งด้วยการตากบนพื้นคอนกรีตภายในอาคารของโรงงาน 11 วัน แต่พบว่าหลังจากคืนทุนแล้วการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดแบบในที่เก็บโดยใช้หลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรมีค่าใช้จ่ายด้านแรงงานที่ถูกกว่าการอบแห้งโดยการตากบนพื้นคอนกรีตภายในอาคารของโรงงาน 3 เท่า และสามารถอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดได้ทั้งในฤดูฝนและตอนกลางวัน

Mahasarakham University

สรุปเงื่อนไขที่เหมาะสมในการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดให้สามารถเพิ่มกำลังการลิตและรักษาคุณภาพได้เหมาะสมที่สุด คือที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 60 °C ความเร็วอากาศอบแห้ง 1.0 m/s ความสูงเบด 10 cm

5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรมีการสร้างระบบอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับอุตสาหกรรมจริง เพื่อให้ทราบถึงเงื่อนไขการอบแห้งที่เหมาะสมต่อกำลังการผลิต และคุณภาพของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

Mahasarakham University

เอกสารอ้างอิง

Mahasarakham University

เอกสารอ้างอิง

ชัยสวัสดิ์ เทียนวิบูลย์. (2523). *การทำความเย็นและปรับอากาศ*. กรุงเทพฯ: ก. วิวรรธน์.

พิพัฒน์ อมรสิน และอภิชาติ อาจนาเสียว. (2554). การอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ด้วยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบด. ใน: *การประชุมวิชาการนานาชาติวิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทยครั้งที่ 21*, วันที่ 10-11 พฤศจิกายน 2554. ประเทศไทย. ม.ป.ท.: ม.ป.พ. ไม่มีเลขหน้า.

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์, นิธิยา รัตนาปนนท์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. (ม.ป.ป.). *Bulk density / ความหนาแน่นรวม*. [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0747/bulk-density [สืบค้นเมื่อ 2558].

พิรุณเซิร์ฟเวอร์. (ม.ป.ป.). *ไซโครเมทริกส์*. [ออนไลน์]. ได้จาก: http://pirun.ku.ac.th/~g4765306/mass_transfer/psychrometrics.htm [สืบค้นเมื่อ 2556].

มุกดา สุขสวัสดิ์. (2547). *ปุ๋ยอินทรีย์*. กรุงเทพฯ: บ้านและสวน.

ยงยุทธ โอสถสถา. (2554). *ปุ๋ยเพื่อการเกษตรที่ยั่งยืน*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

รัตนะ เลวหวนิช และ วิชัย ศิวะโกศิษฐ. (2547). การปรับปรุงการใช้พลังงานในโรงงานผลิตปุ๋ยขนาดเล็ก. ม.ป.ท.: ม.ป.พ.

โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า. (ม.ป.ป.). *ระบบหม้อไอน้ำ (Boiler) และกังหันไอน้ำ (Steam Turbine)*. [ออนไลน์]. ได้จาก: www.crma.ac.th/medept/boiler/boiler.pdf. [สืบค้นเมื่อ 2558].

วิชัย ศิวะโกศิษฐ. (2553). การออกแบบเตาผลิตก๊าซชีวมวลชนิดไหลลงเพื่อใช้ในการอบแห้งในโรงงานผสมปุ๋ยขนาดเล็กโดยใช้วิธีพลศาสตร์ของไหลเชิงคำนาณ. ใน: *การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48*, 2553. กรุงเทพฯ ประเทศไทย, ม.ป.ท.: ม.ป.พ. หน้า 52-59.

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). (2549). *ปฏิกิริยาการเผาไหม้*. [ออนไลน์]. ได้จาก: http://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php?bookID=213&pageid=6&read=true&count=true [สืบค้นเมื่อ 2558].

American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE). (1996). *ASHRAE handbook : heating, ventilating, and air-conditioning systems and equipment*. Atlanta : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE).

Arruda, E.B., Facanha, J.M.F., Pires, L.N., Assis, A.J. and Barrozo, M.A.S. (2009). Conventional and modified rotary dryer: Comparison of performance in fertilizer drying. *Chemical engineering and processin*g, 48, 1414-1418.

Huo, Z., Zhang, N., Xu, Z., Li, S., Zhang, Q., Qiu, M., ... and Shen, Q. (2012). Optimization of survival and spore formation of paenibacilluspolymyxa SQR-21 during bioorganic fertilizer storage. *Bioresource technology*, 108, 190-195.

Mahasarakham University

Karsli, S. (2007). Performance analysis of new-design solar air collectors for drying applications. *Renewable Energy*, 32, 1645–1660.

Kim, K.Y., Kim, H.W., Han, S.K., Hwang, E.J., Lee, C.y. and Shin, H.S. (2008). Effect of granular porous media on the composting of swine manure. *Wastew management*, 28, 233-237.

Lopez-Mosquera, M.E., Cabaleiro, F., Sainz, M.J., Lopez-Fabal, A. and Carral, E. (2008). Fertilizer value of broiler litter: Effects of drying and pelletizing. *Bioresource technology*, 99, 5626-5633.

Walker, G.M., Moursy, H.E.M.N., Holland, C.R., and Ahmad, M.N. (2003). Effect of process parameters on the crush strength of granular fertilizer. *Power technology*, 123, 81-84.

Wood, James L.N. and Hall, Andrew J. (1991). Creutzfeldt-Jakob disease. *The Lancet*, 338(8760), 182-183.

Mahasarakham University

ภาคผนวก

Mahasarakham University

ภาคผนวก ก

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดด้วยอากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรในระดับอุตสาหกรรม

Mahasarakham University

ก. การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของระบบอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตร

จะทำการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์เปรียบเทียบกันระหว่างการอบแห้งแบบเดิมของทางวิสาหกิจชุมชนและการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดแบบในที่เก็บโดยใช้หลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตร

1 การประเมินจากผลงานการออกแบบสร้างเครื่องอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดแบบในที่เก็บโดยใช้หลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรขนาดกำลังการผลิต 2 ตันต่อวัน โดยใช้เงื่อนไขเบื้องต้นดังต่อไปนี้

1.1. ต้นทุนการสร้างเครื่องอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดแบบในที่เก็บโดยใช้หลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตร 310,000 บาท ประกอบด้วย

1.1.1 โรงอบแห้งแบบในที่เก็บ	110,000 บาท
1.1.2 เตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตร	100,000 บาท
1.1.3 Solar Collector	50,000 บาท
1.1.4 ชุดพัดลมและท่ออากาศ	50,000 บาท
1.2 อายุการใช้งานของเครื่องอบแห้ง	10 ปี
1.3 ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา ร้อยละ 5 ของราคาเครื่อง	15,500 บาทต่อปี
1.4 ราคาปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพหลังอบแห้ง	10 บาทต่อกิโลกรัม
1.5 อัตราค่าไฟฟ้าสำหรับกิจการขนาดเล็ก (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค, กรกฎาคม 2557)	2.77 บาทต่อหน่วย
1.6 ใช้กำลังไฟฟ้า	7.5kW
1.7 ค่าเศษเศษไม้ (เชื้อเพลิง) กิโลกรัมละ	1 บาท
1.8 อัตราการใช้เชื้อเพลิงเศษไม้ชั่วโมงละ	5 กิโลกรัม
1.9 มูลค่าซากคิดเป็น 10% ของค่าสร้างเครื่องอบแห้ง	31,000 บาท
1.10 อบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ได้ปีละ	730 ตัน
1.11 เครื่องอบแห้งทำงานวันละ	8 ชั่วโมง
1.12 ในเวลาหนึ่งปีเครื่องอบแห้งทำงาน	12 เดือน
1.13 อัตราดอกเบี้ยเงินกู้	7 %
1.14 ความสามารถในการระเหยน้ำ	178.2 kg-water/h]
1.15 ค่าที่ดินตั้งอาคารอบแห้งประมาณ 40 m^2	2,500 บาท

1.16 เงินลงทุนในการสร้างเครื่องอบแห้ง คิดเป็นรายปี

C_c = เงินลงทุน(CRF,7,10)

$$= 312{,}500 \left\{ \frac{[i(1+i)^n]}{[(1+i)^n-1]} \right\}$$

$$= 312{,}500 \left\{ \frac{[0.07(1+0.07)^{10}]}{[(1+0.07)^{10})-1]} \right\}$$

= 44,492.78 ต่อปี

Mahasarakham University

1.17 มูลค่าซากของเครื่องอบแห้ง คิดเป็นรายปี

C_s = 10% ของเงินลงทุน (SSF,7,10)

$$= 44,492.78 \left\{\frac{i}{(1+i)^n-1}\right\}$$

$$= 44,492.78 \left\{\frac{0.07}{(1+0.07)^{10}-1}\right\}$$

= 3,220.3 บาทต่อปี

1.18 ค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงรายปี

C_f = อัตราการใช้เชื้อเพลิงชั่งโมงละ5บาท × ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง × หนึ่งเดือนทำงาน 26 วัน ×หนึ่งปีทำงาน 12 เดือน

= 5×8×26×12

= 12,480 บาทต่อปี

1.19 ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานไฟฟ้ารายปี

C_e = ราคาไฟฟ้าหน่วยละ 2.77 บาท(หนึ่งวันทำงาน 8 ชั่วโมง × หนึ่งเดือนทำงาน 26 วัน × หนึ่งปีทำงาน 12 เดือน × ใช้กำลังไฟฟ้า 7.5 kW)

= 2.77(8×26×12×7.5)

= 51,854.4 บาทต่อปี

1.20 ค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษารายปี

ประกอบด้วยค่าทำความสะอาด ค่าทาสีป้องกันสนิม และค่าซ่อมหรือเปลี่ยนอุปกรณ์ที่เสีย คิดเป็นร้อยละ 5 ของเงินลงทุนในการสร้างเครื่องรายปี

= 44,492.78×0.05

C_m = 2,224.64 บาทต่อปี

1.21 ค่าแรงงานในการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดใน 1 ปี ใช้แรงงาน 2 คน โดยจ่ายค่าแรงวันละ 300 บาท ใน 1 เดือนทำงาน 26 วัน และใน 1 ปีทำงาน 12 เดือน

= (300×2) ×26×12

= 187,200 บาทต่อปี

1.22 ค่าซื้อปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดต่อปี

ค่าซื้อปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดต่อปีอ้างอิงจากราคาที่วิสาหกิจชุมชนขายปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดให้กับสมาชิกภายในกลุ่มโดยไม่ผ่านขั้นตอนการอบแห้ง (ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ที่ความชื้น 46-50 % d.b) ราคากิโลกรัมละ 8 บาท และใน 1ปีสามรถอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดได้ 365 ตัน

= 8×730,000

= 5,840,000 บาทต่อปี

1.23 ค่าใช้จ่ายรวมรายปี

= (C_c +C_f+ C_{e+} C_m+ค่าแรงงานรายปี +ค่าซื้อปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดรายปี)

=(44,492.78+12,480+51,854.4+2,224.64+187,200+5,840,000)

= 6,138,251.82 บาทต่อปี

Mahasarakham University

1.24 ผลตอบแทนรายปี

ผลตอบแทนรายปีหาได้จากราคาขายปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดอบแห้งที่ความชื้น 17 % d.b. ในราคากิโลกรัมละ 10 บาทโดยใน 1 ปีสามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดได้ 730 ตัน ดังนั้นจะขายปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดได้เป็นเงิน

= 730,000 x 10

= 7,300,000 บาทต่อปี

1.25รายได้สุทธิรายปี

เมื่อทราบต้นทุนการผลิตต่อปี และทราบผลตอบแทนรายปีสามารถคำนวณหารายได้สุทธิต่อปีคือ

รายได้สุทธิรายปี = ผลตอบแทนรายปี-ค่าใช้จ่ายรายปี

= 7,300,000-6,138,251.82

= 1,161,748.18 บาทต่อปี

1.26 ระยะเวลาคืนทุน(Payback Period)

ระยะเวลาคืนทุนของระบบอบแห้งหาได้จากการคำนวณปีที่คุ้มทุนของโครงการ โดยจุดคุ้มทุนจะเกิดขึ้นเมื่อรายรับมีค่าเท่ากับรายจ่ายในโครงการ เมื่อกำหนดให้แต่ละโครงการมีอัตราดอกเบี้ยเงินกู้เท่ากัน จะตัดสินใจเลือกโครงการที่จุดคุ้มทุนสั้นที่สุด จากการกำหนดให้รายรับมีค่าเท่ากับรายจ่ายทั้งหมดในแต่ละโครงการโดยพิจารณาโครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุด

ระยะเวลาคืนทุน = จำนวนเงินลงทุน/ผลประโยชน์สิทธิเฉลี่ยต่อปี

= 312,500/1,161,748.18

= 0.27 ปี

หรือสามารถคืนทุนภายในระยะเวลา 3 เดือน กับ 8 วัน

2. คำนวณด้านเศรษฐศาสตร์ของอาคารอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดแบบเดิมของทางวิสาหกิจชุมชน ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างเป็นเหล็กหลังคาสังกะสี และเทพื้นคอนกรีต มีพื้นที่ลานอบแห้ง 32 ตารางเมตรแต่ต้องใช้พื้นที่ในการสร้างอาคารอบแห้งประมาณ 45 ตารางเมตร โดยการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพจะสามารถตากปุ๋ยให้มีความหนาได้ไม่เกิน 5 cm เพราะถ้าตากหนากว่านี้จะทำให้ปุ๋ยเกิดเชื้อรา และในระหว่างการอบแห้งจะต้องมีพนักงานคอยกลับกองปุ๋ยทุกๆ 2-3 ชั่วโมง ใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 8-29 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

2.1 อาคารอบแห้ง	75,000 บาท
2.2 อายุการใช้งานของเครื่องอบแห้ง	10 ปี
2.3 ค่าใช้จ่ายบำรุงรักษา ร้อยละ 5 ของเงินลงทุน	3,750 บาทต่อปี
ก.2.4 ราคาปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพหลังอบแห้ง	10 บาทต่อกิโลกรัม
2.5 มูลค่าซากคิดเป็น 5% ของค่าสร้างเครื่องอบแห้ง	3,750 บาท
2.6 อบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ได้ปีละ	272 ตันต่อปี
2.7 ในเวลาหนึ่งปีเครื่องอบแห้งทำงาน	12 เดือน
2.8 อัตราดอกเบี้ยเงินกู้	7 %
2.9 ความสามารถในการระเหยน้ำ	72.6 kg-water/h

Mahasarakham University

2.10 ค่าที่ดินตั้งอาคารอบแห้งประมาณ 45 m^2 2812.5 บาทต่อโรงเรือน

2.11 เงินลงทุนในการอาคารอบแห้ง คิดเป็นรายปี

C_c = เงินลงทุน(CRF,7,10)

$$= 77,812.5 \{ \frac{[i(1+i)^n]}{[(1+i)^n-1]} \}$$

$$= 77,812.5 \{ \frac{[0.07(1+0.07)^{10}]}{[(1+0.07)^{10})-1]} \}$$

= 11,078.7 บาทต่อปี

2.12 มูลค่าซากของเครื่องอบแห้ง คิดเป็นรายปี

C_s = 10% ของเงินลงทุน (SSF,7,10)

$$= 11,078.7 \{ \frac{i}{(1+i)^n-1} \}$$

$$= 11,078.7 \{ \frac{0.07}{(1+0.07)^{10}-1} \}$$

= 810.85 บาทต่อปี

2.13 ค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษารายปี

ประกอบด้วยค่าทำความสะอาด ค่าซ่อมหลังคา หรือเปลี่ยนอุปกรณ์ที่เสีย คิดเป็นร้อยละ 5 ของเงินลงทุนในการสร้างเครื่องรายปี

= 11,078.7 ×0.05

C_m = 553.94 บาทต่อปี

2.14 ค่าแรงงานในการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดใน 1 ปี ใช้แรงงาน 2 คน โดยจ่ายค่าแรงวันละ 300 บาท ใน 1 เดือนทำงาน 26 วัน และใน 1 ปีทำงาน 12 เดือน

= (300×2) ×26×12

= 187,200 บาทต่อปี

2.15 ค่าซื้อปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดต่อปี

ค่าซื้อปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดต่อปีอ้างอิงจากราคาที่วิสาหกิจชุมชนขายปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดให้กับสมาชิกภายในกลุ่มโดยไม่ผ่านขั้นตอนการอบแห้ง (ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ที่ความชื้น 46-50 % d.b) ราคากิโลกรัมละ 8 บาท และใน 1ปีสามรถอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดได้ 272 ตัน

= 8×272,000

= 2,176,000 บาทต่อปี

2.16 ค่าใช้จ่ายรวมรายปี

= (C_c + C_m+ค่าแรงงานรายปี +ค่าซื้อปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดรายปี)

=(11,078.7+553.94+187,200+2,176,000) =

2,374,832.64 บาทต่อปี

2.17 ผลตอบแทนรายปี

ผลตอบแทนรายปีหาได้จากราคาขายปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดอบแห้งที่ความชื้น 17 % d.b. ในราคากิโลกรัมละ 10 บาทโดยใน 1 ปีสามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดได้ 272 ตัน ดังนั้นจะขายปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดได้เป็นเงิน

Mahasarakham University

= 272,000 x 10

= 2,720,000 บาทต่อปี

2.18 รายได้สุทธิรายปี

เมื่อทราบต้นทุนการผลิตต่อปี และทราบผลตอบแทนรายปีสามารถคำนวณหารายได้สุทธิต่อปีคือ

รายได้สุทธิรายปี = ผลตอบแทนรายปี-ค่าใช้จ่ายรายปี

= 2,720,000-2,374,832.64

= 345,167.36 บาทต่อปี

2.19 ระยะเวลาคืนทุน(Payback Period)

ระยะเวลาคืนทุนของระบบอบแห้งหาได้จากการคำนวณปีที่คุ้มทุนของโครงการ โดยจุดคุ้มทุนจะเกิดขึ้นเมื่อรายรับมีค่าเท่ากับรายจ่ายในโครงการ เมื่อกำหนดให้แต่ละโครงการมีอัตราดอกเบี้ยเงินกู้เท่ากัน จะตัดสินใจเลือกโครงการที่จุดคุ้มทุนสั้นที่สุด จากการกำหนดให้รายรับมีค่าเท่ากับรายจ่ายทั้งหมดในแต่ละโครงการโดยพิจารณาโครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุด

ระยะเวลาคืนทุน = จำนวนเงินลงทุน/ผลประโยชน์สิทธิเฉลี่ยต่อปี

= 77,812.5/345,167.36

= 0.26 ปี

หรือสามารถคืนทุนภายในระยะเวลา 3 เดือน กับ 4 วัน

3 คำนวณด้านเศรษฐศาสตร์ของอาคารอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดแบบเดิมของทางวิสาหกิจชุมชน เพื่อเพิ่มกำลังการผลิตในส่วนของขั้นตอนการอบแห้งให้ได้ตามยอดการสั่งซื้อคือประมาณ 700 ตันต่อปี ดังนั้นจะต้องมีอาคารอบแห้งประมาณ 3 อาคาร

3.1 อาคารอบแห้ง 3 หลัง	225,000 บาท
3.2 อายุการใช้งานของเครื่องอบแห้ง	10 ปี
3.3 ค่าใช้จ่ายบำรุงรักษา ร้อยละ 5 ของเงินลงทุน	11,250 บาทต่อปี
3.4 ราคาปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพหลังอบแห้ง	10 บาทต่อกิโลกรัม
3.5 มูลค่าซากคิดเป็น 5% ของค่าสร้างเครื่องอบแห้ง	11,250 บาท
3.6 อบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ได้ปีละ	816 ตันต่อปี
3.7 ในเวลาหนึ่งปีเครื่องอบแห้งทำงาน	12 เดือน
3.8 อัตราดอกเบี้ยเงินกู้	7 %
3.9 ความสามารถในการระเหยน้ำ	217.8 kg-water/h
3.10 ค่าที่ดินตั้งอาคารอบแห้งประมาณ 135 m^2	8,437.5 บาท

3.10 เงินลงทุนในการอาคารอบแห้ง คิดเป็นรายปี

C_c = เงินลงทุน(CRF,7,10)

$$= 233,437.5 \left\{ \frac{[i(1+i)^n]}{[(1+i)^n-1]} \right\}$$

$$= 233,437.5 \left\{ \frac{[0.07(1+0.07)^{10}]}{[(1+0.07)^{10})-1]} \right\}$$

= 33,236.1 บาทต่อปี

Mahasarakham University

3.11 มูลค่าซากของเครื่องอบแห้ง คิดเป็นรายปี

C_s = 10% ของเงินลงทุน (SSF,7,10)

$$= 33{,}236.1 \left\{\frac{i}{(1+i)^n-1}\right\}$$

$$= 33{,}236.1 \left\{\frac{0.07}{(1+0.07)^{10}-1}\right\}$$

= 2,405.55 บาทต่อปี

3.13 ค่าใช้จ่ายด้านการบำรุงรักษารายปี

ประกอบด้วยค่าทำความสะอาด ค่าซ่อมหลังคา หรือเปลี่ยนอุปกรณ์ที่เสีย คิดเป็นร้อยละ 5 ของเงินลงทุนในการสร้างเครื่องรายปี

= 33,236.1×0.05

C_m = 1,661.8 บาทต่อปี

3.14 ค่าแรงงานในการอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดใน 1 ปี ใช้แรงงาน 6 คน โดยจ่ายค่าแรงวันละ 300 บาท ใน 1 เดือนทำงาน 26 วัน และใน 1 ปีทำงาน 12 เดือน

= (300×6) ×26×12

= 561,600 บาทต่อปี

3.15 ค่าซื้อปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดต่อปี

ค่าซื้อปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดต่อปีอ้างอิงจากราคาที่วิสาหกิจชุมชนขายปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดให้กับสมาชิกภายในกลุ่มโดยไม่ผ่านขั้นตอนการอบแห้ง (ปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ที่ความชื้น 46-50 % d.b) ราคากิโลกรัมละ 8 บาท และใน 1ปีสามรถอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดได้ 700 ตัน

= 8×700,000

= 5,600,000 บาทต่อปี

3.16 ค่าใช้จ่ายรวมรายปี

= (C_c + C_m+ค่าแรงงานรายปี +ค่าซื้อปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดรายปี)

=(33,236.1+1,601.71+561,600+5,600,000) =

6,196,437.81 บาทต่อปี

3.17 ผลตอบแทนรายปี

ผลตอบแทนรายปีหาได้จากราคาขายปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดอบแห้งที่ความชื้น 17 % d.b. ในราคากิโลกรัมละ 10 บาทโดยใน 1 ปีสามารถผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดได้ 272 ตัน ดังนั้นจะขายปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดได้เป็นเงิน

= 700,000 x 10

= 7,000,000 บาทต่อปี

3.18 รายได้สุทธิรายปี

เมื่อทราบต้นทุนการผลิตต่อปี และทราบผลตอบแทนรายปีสามารถคำนวณหารายได้สุทธิต่อปีคือ

รายได้สุทธิรายปี = ผลตอบแทนรายปี-ค่าใช้จ่ายรายปี

= 7,000,000 -6,196,437.81

= 803,562.2 บาทต่อปี

Mahasarakham University

3.19 ระยะเวลาคืนทุน(Payback Period)

ระยะเวลาคืนทุนของระบบอบแห้งหาได้จากการคำนวณปีที่คุ้มทุนของโครงการ โดยจุดคุ้มทุนจะเกิดขึ้นเมื่อรายรับมีค่าเท่ากับรายจ่ายในโครงการ เมื่อกำหนดให้แต่ละโครงการมีอัตราดอกเบี้ยเงินกู้เท่ากัน จะตัดสินใจเลือกโครงการที่จุดคุ้มทุนสั้นที่สุด จากการกำหนดให้รายรับมีค่าเท่ากับรายจ่ายทั้งหมดในแต่ละโครงการโดยพิจารณาโครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุด

ระยะเวลาคืนทุน = จำนวนเงินลงทุน/ผลประโยชน์สิทธิเฉลี่ยต่อปี

= 233,437/803,562.2

= 0.29 ปี

หรือสามารถคืนทุนภายในระยะเวลา 3 เดือน กับ 15 วัน

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการอบแห้งโดยใช้เครื่องอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดแบบในที่เก็บโดยใช้หลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรมีระยะเวลาคืนทุนที่เร็วกว่าการอบแห้งด้วยวิธีการเดิมของทางวิสาหกิจชุม 11 วัน แต่พบว่าหลังจากคืนทุนแล้วการอบแห้วด้วยเครื่องเครื่องอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดแบบในที่เก็บโดยใช้หลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรมีค่าใช้จ่ายด้านแรงงานที่ถูกกว่า 3 เท่า และสามารถอบแห้งปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ได้ทั้งในฤดูฝนและตอนกลางวัน

Mahasarakham University

ภาคผนวก ข
การเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

Mahasarakham University

ตาราง ข1 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดระหว่างการอบแห้งด้วยอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 40 50 และ60°C ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องอบแห้ง 80±2 % ซึ่งมีความเร็วของอากาศอบแห้งคงที่ 0.5 เมตรต่อวินาที ความชื้นเริ่มต้นปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 46.66 %มาตรฐานแห้ง และอบจนกระทั่งมีความชื้นสุดท้ายที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา 17 %มาตรฐานแห้ง

เวลา	40°C	50°C	60°C	control	Commercial
0	46.66	46.66	46.66	46.66	43.46
1	45.84	45.09	44.44	46.44	43.26
2	44.81	43.73	42.36	46.28	43.02
3	43.92	42.21	40.09	46.18	42.51
5	41.58	39.15	35.59	45.82	42.32
7.5	38.89	35.10	30.29	45.45	41.87
10	35.93	31.06	25.25	45.12	41.47
15	30.41	23.48	16.40	44.45	40.80
20	25.28	17.21	9.98	43.74	40.02
25	20.58	12.36	6.42	43.05	39.47
30	16.91	9.20	4.32	42.45	38.80
40	11.66	5.57	2.72	41.15	37.24
50	8.28	4.01	2.17	39.79	34.52
60	6.67	3.59	1.85	38.54	32.49
90	5.09	3.22		34.53	30.98
120	4.74			30.58	28.03
150				26.51	24.17
180				22.63	20.43
210				20.42	17.89
240				18.13	12.58
270				16.19	
300				14.53	
330				13.11	
360				12.01	
390				11.09	
420				10.26	

Mahasarakham University

ตาราง ข.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดระหว่างการอบแห้งด้วยอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 40 50 และ60°C ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องอบแห้ง 80±2 % ซึ่งมีความเร็วของอากาศอบแห้งคงที่ 1.0 เมตรต่อวินาที ความชื้นเริ่มต้นปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 46.66 %มาตรฐานแห้ง และอบจนกระทั่งมีความชื้นสุดท้ายที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา 17 %มาตรฐานแห้ง

เวลา	40 ℃	50 ℃	60 ℃	control	**Commercial**
0	93.32	93.32	93.32	46.66	43.46
1	89.64	87.31	85.28	46.44	43.26
2	86.74	81.90	77.76	46.28	43.02
3	83.76	76.15	70.60	46.18	42.51
5	76.22	64.51	53.21	45.82	42.32
7.5	66.35	49.95	38.82	45.45	41.87
10	57.37	39.41	27.26	45.12	41.47
15	40.88	22.71	11.87	44.45	40.80
20	28.40	14.89	7.29	43.74	40.02
25	16.84	10.85	5.51	43.05	39.47
30	12.86	9.04	4.90	42.45	38.80
40	10.88	7.24	4.43	41.15	37.24
50	10.28	6.68		39.79	34.52
60	9.88			38.54	32.49
90				34.53	30.98
120				30.58	28.03
150				26.51	24.17
180				22.63	20.43
210				20.42	17.89
240				18.13	12.58
270				16.19	
300				14.53	
330				13.11	
360				12.01	
390				11.09	
420				10.26	
450				8.89	

Mahasarakham University

ตาราง ข3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดระหว่างการอบแห้งด้วยอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 40 50 และ60°C ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องอบแห้ง 80±2 % ซึ่งมีความเร็วของอากาศอบแห้งคงที่ 1.5 เมตรต่อวินาที ความชื้นเริ่มต้นปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 46.66 %มาตรฐานแห้ง และอบจนกระทั่งมีความชื้นสุดท้ายที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา 17 %มาตรฐานแห้ง

เวลา	40°C	50°C	60°C	control	Commercial
0	46.66	46.66	46.66	46.66	43.46
1	43.46	42.52	41.37	46.44	43.26
2	41.26	38.73	36.50	46.28	43.02
3	38.80	35.13	31.90	46.18	42.51
5	34.28	26.95	22.94	45.82	42.32
7.5	28.48	19.55	13.72	45.45	41.87
10	22.06	13.70	8.93	45.12	41.47
15	14.76	6.97	4.02	44.45	40.80
20	10.10	4.33	2.68	43.74	40.02
25	7.68	3.27	1.90	43.05	39.47
30	6.22	2.89	1.65	42.45	38.80
40	4.56	2.53	1.52	41.15	37.24
50	4.41	2.28	1.51	39.79	34.52
60	4.18			38.54	32.49
90				34.53	30.98
120				30.58	28.03
150				26.51	24.17
180				22.63	20.43
210				20.42	17.89
240				18.13	12.58
270				16.19	
300				14.53	
330				13.11	
360				12.01	
390				11.09	
420				10.26	
450				8.89	
480				8.85	

Mahasarakham University

ตาราง ข4 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ระหว่างการอบแห้งด้วยอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 40 °C ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องอบแห้ง 80±2 % ซึ่งมีความเร็วของอากาศอบแห้งคงที่ 0.5 1.0 และ 1.5 เมตรต่อวินาที ความชื้นเริ่มต้นปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 46.66 %มาตรฐานแห้ง และอบจนกระทั่งมีความชื้นสุดท้ายที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา 17 %มาตรฐานแห้ง

เวลา	0.5 m/s	1.0 m/s	1.5 m/s	control	Commercial
0	46.66	46.66	46.66	46.66	43.46
1	45.84	43.65	43.46	46.44	43.26
2	44.81	40.95	41.26	46.28	43.02
3	43.92	38.08	38.80	46.18	42.51
5	41.58	32.26	34.28	45.82	42.32
7.5	38.89	24.98	28.48	45.45	41.87
10	35.93	19.70	22.06	45.12	41.47
15	30.41	11.35	14.76	44.45	40.80
20	25.28	7.44	10.10	43.74	40.02
25	20.58	5.42	7.68	43.05	39.47
30	16.91	4.52	6.22	42.45	38.80
40	11.66	3.62	4.56	41.15	37.24
50	8.28	3.34	4.41	39.79	34.52
60	6.67			38.54	32.49
90	5.09			34.53	30.98
120	4.74			30.58	28.03
150				26.51	24.17
180				22.63	20.43
210				20.42	17.89
240				18.13	12.58
270				16.19	
300				14.53	
330				13.11	
360				12.01	
390				11.09	
420				10.26	
450				8.89	

Mahasarakham University

ตาราง ข5 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ระหว่างการอบแห้งด้วยอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 50 °C ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องอบแห้ง 80±2 % ซึ่งมีความเร็วของอากาศอบแห้งคงที่ 0.5 1.0 และ 1.5 เมตรต่อวินาที ความชื้นเริ่มต้นปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 46.66 %มาตรฐานแห้ง และอบจนกระทั่งมีความชื้นสุดท้ายที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา 17 %มาตรฐานแห้ง

เวลา	0.5 m/s	1.0 m/s	1.5 m/s	control	Commercial
0	46.66	46.66	46.66	46.66	43.46
1	44.82	43.65	42.64	46.44	43.26
2	43.37	40.95	38.88	46.28	43.02
3	41.88	38.08	35.30	46.18	42.51
5	38.11	32.26	26.60	45.82	42.32
7.5	33.17	24.98	19.41	45.45	41.87
10	28.69	19.70	13.63	45.12	41.47
15	20.44	11.35	5.93	44.45	40.80
20	14.20	7.44	3.65	43.74	40.02
25	8.42	5.42	2.75	43.05	39.47
30	6.43	4.52	2.45	42.45	38.80
40	5.44	3.62	2.21	41.15	37.24
50	5.14	3.34		39.79	34.52
60	4.94			38.54	32.49
90				34.53	30.98
120				30.58	28.03
150				26.51	24.17
180				22.63	20.43
210				20.42	17.89
240				18.13	12.58
270				16.19	
300				14.53	
330				13.11	
360				12.01	
390				11.09	
420				10.26	
450				8.89	

Mahasarakham University

ตาราง ข6 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ระหว่างการอบแห้งด้วยอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 60 °C ควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในห้องอบแห้ง 80±2 % ซึ่งมีความเร็วของอากาศอบแห้งคงที่ 0.5 1.0 และ 1.5 เมตรต่อวินาที ความชื้นเริ่มต้นปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด 46.66 %มาตรฐานแห้ง และอบจนกระทั่งมีความชื้นสุดท้ายที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษา 17 %มาตรฐานแห้ง

เวลา	0.5 m/s	1 m/s	1.5 m/s	control	Commercial
0	46.66	46.66	46.66	46.66	43.46
1	43.46	42.52	41.37	46.44	43.26
2	41.26	38.73	36.50	46.28	43.02
3	38.80	35.13	31.90	46.18	42.51
5	34.28	26.95	22.94	45.82	42.32
7.5	28.48	19.55	13.72	45.45	41.87
10	22.06	13.70	8.93	45.12	41.47
15	14.76	6.97	4.02	44.45	40.80
20	10.10	4.33	2.68	43.74	40.02
25	7.68	3.27	1.90	43.05	39.47
30	6.22	2.89	1.65	42.45	38.80
40	4.56	2.53	1.52	41.15	37.24
50	4.41	2.28	1.51	39.79	34.52
60	4.18			38.54	32.49
90				34.53	30.98
120				30.58	28.03
150				26.51	24.17
180				22.63	20.43
210				20.42	17.89
240				18.13	12.58
270				16.19	
300				14.53	
330				13.11	
360				12.01	
390				11.09	
420				10.26	
450				8.89	
480				8.85	

Mahasarakham University

ภาคผนวก ค
การคำนวณเศรษฐศาสตร์ระยะเวลาคืนทุนโรงอบแห้ง

Mahasarakham University

ค1. การคำนวณเศรษฐศาสตร์ระยะเวลาคืนอบแห้งแบบในที่เก็บโดยใช้อากาศร้อนจากหลังคาที่เป็นแผงรับรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับเตาเผาเศษวัสดุทางการเกษตรสำหรับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

1. ต้นทุนในการสร้างโรงอบแห้ง	90,000	บาท
2. อายุการใช้งาน	10	ปี
3. ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่อปี ร้อยละ	5	ของราคาโรงอบแห้ง
4. อัตราดอกเบี้ยเงินกู้ ร้อยละ	7	ต่อปี
5. ราคาปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดแห้ง	10	บาท/กิโลกรัม
7. อัตราค่าไฟฟ้าสำหรับกิจการขนาดเล็ก (การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค กรกฎาคม 2557)	2.67	บาทต่อหน่วย
9. ค่าแรงงานขั้นต่ำ	250	บาทต่อวันต่อคน
10. โรงอบแห้งที่ออกแบบมีปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด	2.4	ลูกบาศก์เมตร/ครั้ง
11. ระยะเวลาการอบแห้ง	210	นาทีต่อครั้ง

ค่าใช้จ่ายรายปี

1.1 เงินลงทุนเบื้องต้น (Investment Cost)

เนื่องจากเงินลงทุนเบื้องต้น (Investment Cost) ของระบบได้แก่ราคาโรงอบแห้งไปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด ตัวเก็บรังสีความร้อน (Solar collector) และ พัดลม รวมทั้งหมด เท่ากับ 310,000 บาท กู้เงินสำหรับลงทุนเบื้องต้นโดยมีอัตราดอกเบี้ยร้อยละ 7 ต่อปี และอายุการใช้งานของอุปกรณ์ 10 ปี ดังนั้นเงินลงทุนรายปีของระบบจะคำนวณได้ดังนี้

เงินลงทุนรายปี = 310,000 (*CRF*)

$= 310{,}000[i(1+i)^n/(1+i)^n-1]$

$= 310{,}000[0.07(1+0.07)^n/(1+0.07)^n-1]$

= 44,136 บาทต่อปี

1.2 ค่าบำรุงรักษารายปี (Maintenance Cost)

ค่าบำรุงรักษาประกอบไปด้วย การล้างทำความสะอาด การทาสีป้องกันสนิม และซื้ออุปกรณ์เพื่อเปลี่ยนชิ้นส่วนที่เสีย กำหนดให้เป็นร้อยละ 5 ต่อปีของเงินลงทุนเบื้องต้น

Maint enance Cost = 1,500 บาทต่อปี

=

Mahasarakham University

1.3 ค่าแรงงาน

ค่าจ้างแรงงาน ค่าแรงคนงานในส่วนของการทำงานควบคุมอุณหภูมิ และดูแลโรงอบแห้ง โดยจะใช้แรงงาน 3 คน โดยค่าแรงงาน 250 บาทต่อวัน อบแต่ละครั้งใช้เวลาประมาณ 1 วัน อบแห้ง 300 ครั้งต่อปี

ค่าแรงงาน การอบแห้ง = 1× 1× 300×250

= 225,000 บาทต่อปี

ค่าแรงงานในขั้นตอนการผลิตอื่น = 1× 5× 300×250

= 375,000 บาทต่อปี

รวมค่าแรงงานในการผลิต = 225,000+375,000

=600,000

1.4 ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้า

คือพลังงานไฟฟ้าที่ใช้กับมอเตอร์พัดลมของโรงอบแห้งในการอบแห้ง 1 ครั้ง สิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า 108 กิโลวัตต์-ชั่วโมง อบแห้ง 40 ครั้งต่อปี ราคาไฟฟ้า 2.97 บาทต่อหน่วย

ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าในการอบแห้ง = 13,018 บาทต่อปี

ค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าในขั้นตอนการผลิตอื่น = 35,000 บาทต่อปี

รวมค่าใช้จ่ายด้านไฟฟ้าทั้งหมด =48,018 บาทต่อปี

1.5 ค่าใช้จ่ายราคาซื้อ

วัสดุที่เป็นส่วนประกอบในการผลิตปุ๋ย/ต่อปี

= 100,000 × 7 × 300

= 2,100,000 บาทต่อปี

1.6 ค่าใช้จ่ายรวมต่อปี

ค่าใช้จ่ายรวมต่อปีของโรงอบแห้งไม้โดยใช้อากาศร้อนจากตัวเก็บรังสีความร้อนแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวและเปิดพัดลมหมุนเวียนอากาศที่ระดับความเร็วอากาศ 1 m/s

= 44,136 + 1,500 + 48,018 + 600,000 + 2,100,000

=2,793,654 บาทต่อปี

1.7 ผลตอบแทนรายปี

ผลตอบแทนรายปีหาได้จากราคาขายปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ดอบแห้ง เมื่อมีคุณภาพดี มีราคาขาย 10 บาทต่อกิโลกรัม ดังนั้นการอบแห้งครั้งละ 1,000 กิโลกรัม โดยใน 1 ปี จะทำการอบแห้งได้ 3300 ครั้ง ดังนั้นได้เป็นเงิน

= 10 × 1000 × 300

= 6,300,000 บาทต่อปี

Mahasarakham University

1.8 รายได้สุทธิรายปี

เมื่อทราบต้นทุนการผลิตต่อปี และทราบผลตอบแทนรายปี สามารถหารายได้สุทธิรายปีได้ดังต่อไปนี้รายได้สุทธิรายปี = ผลตอบแทนรายปี – ค่าใช้จ่ายรายปี

= 6,300,000 – 2,181,154

= 4,118,846 บาทต่อปี

1.9 ระยะเวลาคืนทุน (Payback Period)

ระยะเวลาคืนทุนของระบบหาได้จากการคำนวณจำนวนปีที่คุ้มทุนของโครงการ โดยจุดคุ้มทุนจะเกิดขึ้นเมื่อรายรับมีค่าเท่ากับรายจ่ายในแต่ละโครงการ เมื่อกำหนดให้แต่ละโครงการมีอัตราดอกเบี้ยเงินกู้เท่ากัน จะตัดสินใจเลือกโครงการที่จุดคุ้มทุนสั้นที่สุด จากการกำหนดให้รายรับมีค่าเท่ากับรายจ่ายทั้งหมดในแต่ละโครงการโดยพิจารณาโครงการที่มีระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุด

CC = P (CRF)

310,000 = 4,918,346 (*CRF*,7%,*n*)

310,000 = 4,918,346 (*CRF*,7%,*n*)

310,000 = $4,918,346\ [i(1+i)^n/(1+i)^n-1]$

310,000 = $4,918,346\ [0.07(1+0.07)^n/(1+0.07)^n-1]$

n = 1.9 ปี

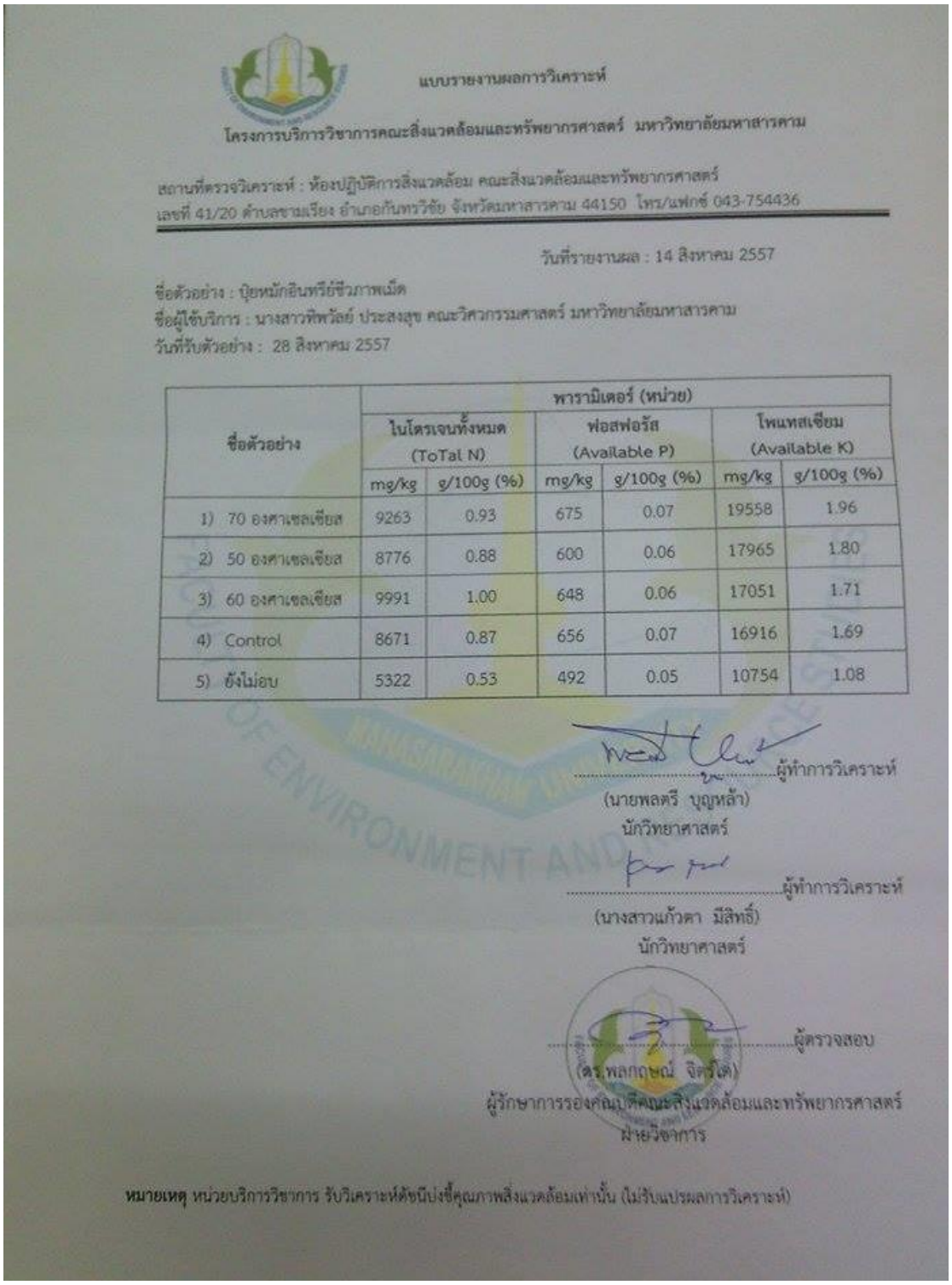
จะได้ระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ 1.9 ปี

Mahasarakham University

ภาคผนวก ง
การวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีของปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด

Mahasarakham University

การวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลัก ได้แก่ไนโตรเจน โพแทสเซียม และฟอสฟอรัส ในปุ๋ยอินทรีย์ชีวภาพเม็ด



แบบรายงานผลการวิเคราะห์

โครงการบริการวิชาการคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

สถานที่ตรวจวิเคราะห์ : ห้องปฏิบัติการสิ่งแวดล้อม คณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์
เลขที่ 41/20 ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150 โทร/แฟกซ์ 043-754436

วันที่รายงานผล : 14 สิงหาคม 2557

ชื่อตัวอย่าง : ปุ๋ยหมักอินทรีย์ชีวภาพเม็ด
ชื่อผู้ใช้บริการ : นางสาวทิพวัลย์ ประสงสุข คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
วันที่รับตัวอย่าง : 28 สิงหาคม 2557

ชื่อตัวอย่าง	พารามิเตอร์ (หน่วย)					
	ไนโตรเจนทั้งหมด (ToTal N)		ฟอสฟอรัส (Available P)		โพแทสเซียม (Available K)	
	mg/kg	g/100g (%)	mg/kg	g/100g (%)	mg/kg	g/100g (%)
1) 70 องศาเซลเซียส	9263	0.93	675	0.07	19558	1.96
2) 50 องศาเซลเซียส	8776	0.88	600	0.06	17965	1.80
3) 60 องศาเซลเซียส	9991	1.00	648	0.06	17051	1.71
4) Control	8671	0.87	656	0.07	16916	1.69
5) ยังไม่อบ	5322	0.53	492	0.05	10754	1.08

.....ผู้ทำการวิเคราะห์
(นายพลศรี บุญหล้า)
นักวิทยาศาสตร์

.....ผู้ทำการวิเคราะห์
(นางสาวแก้วตา มีสิทธิ์)
นักวิทยาศาสตร์

.....ผู้ตรวจสอบ
(ดร.พลกฤษณ์ จิตรีเต)
ผู้รักษาการรองคณบดีคณะสิ่งแวดล้อมและทรัพยากรศาสตร์
ฝ่ายวิชาการ

หมายเหตุ หน่วยบริการวิชาการ รับวิเคราะห์ตัวชี้บ่งชี้คุณภาพสิ่งแวดล้อมเท่านั้น (ไม่รับแปรผลการวิเคราะห์)

Mahasarakham University

ประวัติย่อผู้วิจัย

Mahasarakham University

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ นามสกุล นางสาวทิพวัลย์ ประสงสุข
วัน เดือน ปีเกิด วันที่ 18 กันยายน พ.ศ. 2531
จังหวัด และประเทศที่เกิด จังหวัดหนองคาย ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2545	มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนพระบาทนาสิงห์พิทยาคม อำเภอรัตนวาปี จังหวัดหนองคาย
พ.ศ. 2549	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนพระบาทนาสิงห์พิทยาคม อำเภอรัตนวาปี จังหวัดหนองคาย
พ.ศ. 2553	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล (พลังงาน) มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
พ.ศ. 2558	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.) สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ตำแหน่ง สถานที่ทำงาน -
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ บ้านเลขที่ 76 หมู่. 8 ตำบลท่าขอนยาง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

รางวัลเรียนดี ทุนวิจัย และทุนการศึกษา

ทุนวิจัยมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี สนับสนุนโดยสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) พ.ศ. 2555

Mahasarakham University