การออกแบบและสร้างตู้อบแบบลมร้อนสำหรับปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

Design and Construction of Hot Air Oven for Grain Fertilizer

นายสมบัติ บุญปัน
นายมนตรี อินทะเรืองศร
นายศุภมิตร ฐิติรุ่งโรจน์กุล

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชาโครงการพิเศษเทคโนโลยีเครื่องกล
ตามหลักสูตรปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต
โปรแกรมวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์
ปีการศึกษา 2549

ใบรับรองปริญญานิพนธ์
มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

เรื่อง การออกแบบและสร้างตู้อบแบบลมร้อนสำหรับปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด
Design and Construction of Hot Air Oven for Grain Fertilizer

โดย นายสมบัติ บุญปัน รหัส 47113193009
นายมนตรี อินทะเรืองศร รหัส 47113193025
นายศุภมิตร ฐิติรุ่งโรจน์กุล รหัส 47113193026

ได้รับอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขา เทคโนโลยีอุตสาหกรรม แขนงวิชาเทคโนโลยีเครื่องกล

วันที่ 28 เดือน พฤศจิกายน พ.ศ. 2549

คณะกรรมการสอบปริญญานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(อาจารย์พิสิษฐ์ เพชรคง)

..... กรรมการ
(อาจารย์วีระชาติ จริตงาม)

..... กรรมการ
(อาจารย์วัชระ ชัยสงคราม)

..... กรรมการ
(อาจารย์ปิยลาภ มานะกิจ)

..... กรรมการ
(คุณจตุพงษ์ ทองอ่อน)

ชื่อโครงการ : การออกแบบและสร้างตู้อบแบบลมร้อนสำหรับปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด
(Design and Construction of Hot Air Oven for Grain Fertilizer)

ชื่อนักศึกษา : นายสมบัติ บุญปัน
นายมนตรี อินทะเรืองศร
นายศุภมิตร ฐิติรุ่งโรจน์กุล

โปรแกรมวิชา : เทคโนโลยีเครื่องกล

คณะ : เทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์พิสิษฐ์ เพชรคง

ปีการศึกษา : 2549

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษา ออกแบบ และสร้างตู้อบเม็ดปุ๋ยอินทรีย์เพื่อใช้ในการไล่ความชื้น โดยออกแบบเป็นตู้อบชนิดลมร้อน ใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง ผลการทดลองพบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดที่ใช้สำหรับตู้อบนี้คืออุณหภูมิ 100°C ซึ่งใช้เวลาในการอบแห้ง 35 นาที มีอัตราในการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง 0.016 กิโลกรัม/การอบปุ๋ย 1 กิโลกรัม ส่วนการทดลองไล่ความชื้นจากเม็ดปุ๋ยอินทรีย์โดยการตากแดด พบว่าอุณหภูมิเฉลี่ยในการตากแดดประมาณ 37-40°C เวลาที่ใช้ในการไล่ความชื้นออกจากเม็ดปุ๋ยน้ำหนักเท่ากันกับใช้ตู้อบจนมีความชื้นสัมพัทธ์ 10% คือ 140 นาที เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างการใช้ตู้อบกับการตากแดดจะเห็นได้ว่าการตากแดด ถึงแม้จะใช้เวลามากกว่าการอบถึง 4 เท่าแต่ก็ไม่สิ้นเปลืองพลังงาน ดังนั้น การตากแดดเหมาะสมที่จะใช้สำหรับกลุ่มเกษตรกรที่ผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในปริมาณ1,000-1,500 กิโลกรัม/ 1วัน เนื่องจากตู้อบที่ออกแบบมานี้เป็นตู้อบขนาดเล็กไม่เพียงพอสำหรับการผลิตตามปกติของเกษตรกรแต่การผลิตในอุตสาหกรรมขนาดใหญ่จำเป็นต้องมีตู้อบเพื่อไล่ความชื้น และควบคุมคุณภาพเม็ดปุ๋ยเนื่องจากต้องผลิตทุกฤดู

Project : Design and Construction of Hot Air Oven for Grain Fertilizer

Student : Mr. Sombat Bunpan

Mr. Montree Intaruangsorn

Mr. Suppamitr Thitirungrojkul

program : Mechanical Technology

Faculty : Agricultural Technology and Industrial Tachnology

Advisor : Mr. Pisit Petkong

Year : 2006

Abstract

This project in volved the building of a fertilizer drying oven which utilized hot air. Thin techinigve was then compared with the traditional sun drying method. The fertiliaer was required to have a moisture of less than 10 %. It was found best result for 25 kg that were achieved when the temperature was 100 ^{0}c and the fertilizer was baked for 35 minutes. The fuel consumtion for these results was 0.016 kg of fuel gas per 1 kg of fertilizer. In comparision the sun took 140 minute to dry the fertilizer.

Therefore it is considered that a hot air oven is unsuitable for normal production which requires some 1,000 to 1,500 kg per day to be dried. However this type of oven could have some application if scaled up as it would allow all weather production.

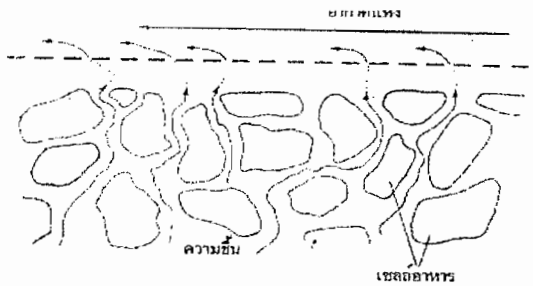
บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีการอบแห้ง [1] คือ กระบวนการลดความชื้นส่วนใหญ่ใช้วิธีการถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่มีความชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหยโดยใช้ความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย ความร้อนจะถ่ายเทจากกระแสอากาศไปยัง ผิววัสดุ ความร้อนส่วนใหญ่ถูกใช้ไปในการระเหยน้ำ ในขณะเดียวกันไอน้ำจะเคลื่อนที่จากบริเวณผิววัสดุมายังกระแสอากาศ ถ้าผิว วัสดุมีปริมาณน้ำอยู่จำนวนมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวก็จะคงที่ ซึ่งส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งคงที่ด้วย ถ้าอุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วของกระแสอากาศมีค่าคงที่ เมื่อผิววัสดุมีปริมาณน้ำลดลงมากแล้วอุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิววัสดุย่อมเปลี่ยนแปลงไป โดยที่อุณหภูมิจะสูงขึ้นและความเข้มข้นจะลดลง ซึ่งส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนและอัตราการอบแห้งลดลง ความชื้นที่อยู่ระหว่างช่วงอัตราการอบแห้งคงที่และช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเรียกว่า ความชื้นวิกฤต เมื่อวัสดุ มีความชื้นลดต่ำลงจนถึงความชื้นวิกฤต น้ำจากภายในวัสดุจะเคลื่อนที่มายังผิววัสดุในรูปของของเหลวหรือไอน้ำ แล้วจึงระเหยเคลื่อนที่ไปยังกระแสอากาศ การเคลื่อนที่ของน้ำในรูปของเหลวจะเกิดขึ้นในระยะแรก ขณะที่วัสดุยังมีความชื้นสูงพอประมาณเมื่อความชื้นลดต่ำมากแล้วน้ำอาจเคลื่อนที่ในรูปของไอน้ำ

2.1 กลไกการทำแห้ง[2]

เมื่ออากาศร้อนหรือลมร้อนพัดผ่านหน้าอาหารที่เปียก ความร้อนจะถูกถ่ายเทไปยังผิวของอาหารและน้ำในอาหารจะระเหยออกมาด้วยความร้อนแฝงของการเกิดไอ ไอน้ำจะแพร่ผ่านแผ่นฟิล์มอากาศและถูกพัดพาไปโดยความร้อนที่เคลื่อนที่ ดังแสดงในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 การเคลื่อนที่ของความชื้นระหว่างการทำแห้ง [2]

สภาวะดังกว่าวจะทำให้ความดันไอที่ผิวหน้าของอาหารต่ำกว่าความดันไอด้านในของอาหาร เป็นผลให้เกิดความแตกต่าง ของความดันไอขึ้น อาหารชั้นด้านในจะมีความดันไอสูงและค่อย ๆ ลดต่ำลงเมื่อชั้นอาหารเข้าใกล้อากาศแห้ง ความแตกต่างนี้จะทำให้เกิดแรงดันเมื่อไล่น้ำออกจากอาหาร น้ำจะเคลื่อนที่ไปยังผิวหน้าด้วยกลไกดังต่อไปนี้

2.1.1การเคลื่อนที่ของของเหลวด้วยแรงคาปิลารี่

การแพร่ของของเหลวซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นของตัวละลายในอาหารส่วนต่าง ๆ

2.1.2การแพร่ของของเหลวซึ่งถูกดูดซับโดยผิวหน้าของของแข็งในอาหาร

2.1.3การแพร่ของไอน้ำในช่องอากาศของอาหารซึ่งเกิดจากความแตกต่างของความดันไอ

2.2 สภาวะในขณะทำแห้ง

นอกจากสภาพธรรมชาติของอาหาร ขนาด รูปร่าง การเตรียม และการจัดเรียงอาหารซึ่งมีผลต่ออัตราการทำแห้งแล้ว สภาวะในขณะทำแห้งด้วยวิธีการหรือเครื่องมือทำแห้งแบบต่างๆ ก็เป็นปัจจัยสำคัญมากประการหนึ่งที่มีผลต่ออัตราการทำแห้งอาหารเนื่องจากถ้าสภาวะการทำแห้งเอื้ออำนวยให้ประสิทธิภาพการ ส่งผ่านความร้อนเข้าไปทำให้น้ำในอาหารเป็นไปได้ดี และขณะเดียวกันทำให้น้ำหรือไอน้ำเคลื่อนที่ออกจากอาหารได้เร็วขึ้นจะเป็นผลทำ ให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้น

2.2.1 อุณหภูมิ ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่ออัตราการทำแห้ง กล่าวคือ ถ้าตัวกล่าวที่ให้ความร้อนแก่น้ำในอาหาร เช่น อากาศร้อนในเครื่องทำแห้งแบบตู้มีอุณหภูมิสูง จะมีผลทำให้อุณหภูมิในอากาศร้อนกับอุณหภูมิของน้ำในอาหารนั้นมีความแตกต่างกันมาก ทำให้ความร้อนส่งผ่านให้กับน้ำในอาหารได้ดี ซึ่งจะทำให้น้ำในอาหารเคลื่อนที่และระเหยออกจากอาหารได้ง่ายและทำให้อัตราการทำแห้งสูงขึ้น แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ ด้วย ถึงแม้ว่าอุณหภูมิของการทำแห้งที่สูงขึ้น โดยทั่วไปมักจะทำให้อัตราการทำแห้งเร็วขึ้นก็ตาม แต่อุณหภูมิที่ใช้ในการทำแห้งอาหารนั้นควรใช้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ไม่ควรสูงเกินไป เนื่องจากถ้าอุณหภูมิที่สูงเกินไปจะมีผลต่อการเสื่อเสียคุณภาพและคุณค่าทางอาหารของอาหารที่นำมาทำแห้ง เนื่องจากผลของความร้อน

2.2.2 ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณไอน้ำในความชื้นต่อปริมาณไอน้ำสูงสุดที่อากาศนั้นจะสามารถรับได้ที่อุณหภูมิและความดันเดียวกัน นอกจากนี้ยังหมายถึงความดันของอากาศต่อความดันอิ่มตัวในขณะนั้นที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ ค่าความชื้นสัมพัทธ์จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 — 1 หรือรายงานในรูปร้อยละ 0 — 100 ก็ได้ อากาศที่ใช้ทำแห้งอาหารควรจะมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ เพื่อจะดึงน้ำออกมาได้มาก ขณะเดียวกันการเก็บรักษาผักผลไม้บางชนิดจำเป็นต้องควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ ให้มีค่าสูง ๆ เพื่อป้องกันมิให้น้ำในผักถูกดึงออกมากจนทำให้ผลิตผลเสื่อมคุณภาพ ความชื้นสัมพัทธ์ เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่ออัตราการทำแห้ง ไม่ว่าจะเป็นความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศใน

บรรยากาศขณะทำแห้งอาหารด้วยการตากแดดหรือความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในเครื่องทำแห้งแบบต่าง ๆ เช่น ในเครื่องทำแห้งแบบตู้ เครื่องทำแห้งแบบอุโมงค์ เครื่องทำแห้งแบบพ่นฝอย เป็นต้น ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศขณะทำแห้งมีค่าสูง จะมีผลทำให้การเคลื่อนที่ของน้ำและการระเหยของไอน้ำออกจากชิ้นอาหารมาสู่อากาศโดยรอบนั้นเป็นไปได้ยากขึ้น เนื่องจากอากาศภายนอกนั้นมีปริมาณน้ำสูงอยู่แล้ว โดยทั่วไปจึงเป็นผลให้อัตราการทำแห้งช้าลง ดังตัวอย่างเช่น กรณีการตากกล้วยโดยการตากแดดในวันที่อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์สูง จะพบว่ากล้วยตากจะแห้งช้า เป็นต้น

2.3 การอบแห้งช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ [3]

การถ่ายเทความร้อน และมวลระหว่างวัสดุและอากาศ เหมือนกับการถ่ายเทความร้อนและมวลที่เกิดขึ้นที่กระเปาะเปียกของเทอร์โมมิเตอร์ การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นที่ผิวนอกของวัสดุเท่านั้น น้ำจะเกาะที่ผิวของวัสดุเป็นจำนวนมาก เมื่อเพิ่มความเร็วลมที่ไหลผ่านวัสดุจะทำให้ฟิล์มอากาศนิ่งมีความหนาลดลง เป็นผลให้ความต้านทานต่อการไหลของความร้อนและมวลลดลงด้วย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของการอบแห้ง จะทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างที่ผิววัสดุและของกระแสอากาศที่ไหลอย่างอิสระมีมากขึ้น เป็นผลให้การถ่ายเทความร้อนและมวลดีขึ้นและเมื่อลดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้ง จะเป็นผลให้ความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนความชื้นอิ่มตัวที่ผิววัสดุและอัตราส่วนความชื้นของกระแสอากาศที่ไหลอย่างอิสระมีมากขึ้น เป็นผลให้การถ่ายเทความร้อนและมวลดีขึ้นและเมื่อลดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้ง จะเป็นผลให้ความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนความชื้นอิ่มตัวที่ผิววัสดุและอัตราส่วนความชื้นของกระแสอากาศที่ไหลอย่างอิสระมีมากขึ้นทำให้เกิดการถ่ายเทมวลดีขึ้น ตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ คือ อุณหภูมิความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วลม

2.4 การอบแห้งช่วงอัตราการอบแห้งลดลง

ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ความชื้นของวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤต การถ่ายเทความร้อนและมวลมิได้เกิดขึ้นเฉพาะที่ผิววัสดุเท่านั้น แต่เกิดภายในเนื้อของวัสดุด้วย การเคลื่อนที่ของน้ำจากภายในวัสดุมายังผิวช้ากว่าการพาความชื้นจากผิววัสดุไปยังอากาศ ทำให้อัตราการอบแห้งลดลง อัตราการระเหยน้ำจะถูกควบคุมโดยความต้านทานต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำในวัสดุ ในขณะนั้นอุณหภูมิของวัสดุมีค่าสูงขึ้น และสูงกว่าอุณหภูมิกระเปาะเปียก เมื่อลดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้ง จะเป็นผลให้เกิดความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนความชื้นเพิ่มขึ้น และมีผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิหรือลดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแล้ว จะเป็นผลให้การถ่ายเทความร้อนและมวลดีขึ้น

2.5 การอบแห้งความชื้นสมดุล

ความชื้นสมดุลของวัสดุมีความสำคัญต่อกระบวนการอบแห้งเพราะเมื่อทำการอบแห้งวัสดุโดยใช้อากาศที่สภาวะคงที่ (อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่) ความชื้นของวัสดุจะลดลงต่ำจนถึงจุด ๆ หนึ่ง ซึ่งไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะนั้นความชื้นในวัสดุมีความดันไอเท่ากับความดันไอของบรรยากาศที่อยู่รอบ ๆ และอุณหภูมิของวัสดุก็เท่ากับอุณหภูมิของอากาศรอบ ๆ ด้วย ซึ่งเรียกชื้นในขณะนั้นว่าความชื้นสมดุล

ความชื้นสมดุล ค่าความชื้นสมดุลขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง ความชื้นสมดุลขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ อุณหภูมิ และ Water Activity ของวัสดุนั้น ค่า Water Activity หรือ ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (Equilibrium Relative Humidity, ERH) ของวัสดุจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 [4]

ความชื้นสัมพัทธ์สมดุล (ERH) = $\left(100 \times P_w / P_{wo}\right)$

P_w = ความดันไอของน้ำที่สมดุลกับวัสดุ (Pa)

P_{wo} = ความดันไอของน้ำบริสุทธิ์ที่อุณหภูมิเดียวกัน (Pa)

ความชื้นในวัสดุ เป็นตัวบอกปริมาณน้ำที่มีอยู่ในวัสดุมักจะถูกนิยามให้อยู่ในรูปของอัตราส่วนเทียบกับมวลวัสดุ นิยมบอกในรูปของเปอร์เซ็นต์ (%) ซึ่งสามารถแยกได้เป็น 2 แบบ [3] คือ

ความชื้นมาตรฐานเปียก, M_w (Wet Basis)

จะใช้น้ำหนักของวัสดุชื้น (ก่อนการทำการไล่ความชื้นออก) เป็นมาตรฐานของการคำนวณ

$$M_w = \left[(w - d)/w\right] \times 100 \quad (1)$$

ความชื้นมาตรฐานแห้ง, M_d (Dry Basis)

ในกระบวนการอบแห้ง น้ำหนักของวัสดุเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เพื่อความสะดวกจะใช้น้ำหนักของวัสดุแห้งเป็นมาตรฐานการคำนวณ

$$M_d = \left[(w - d)/d\right] \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ M_w หมายถึง ความชื้นมาตรฐานเปียก (%)

M_d หมายถึง ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%)

w หมายถึง น้ำหนักสดของวัสดุ (kg)

d หมายถึง น้ำหนักของวัสดุแห้ง (ไม่มีความชื้น) (kg)

จากสมการ (1) และ (2) ทำให้ทราบว่าความชื้นมาตรฐานเปียกนั้น จะมีค่าไม่เกิน 1 หรือ 100% ส่วนความชื้นมาตรฐานแห้งนั้นอาจมีค่าเกิน 100% ก็ได้

สำหรับความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นทั้ง 2 มาตรฐาน มีดังนี้

$$M_w = \left(100 \times M_d\right)/\left(100 + M_d\right) \text{ หรือ} \quad (3)$$

$$M_d = \left(100 \times M_w\right)/\left(100 - M_d\right) \quad (4)$$

ในการลดปริมาณความชื้นออกจากผลิตผล ก็คือการกำจัดน้ำออกจากผลิตผลนั่นเอง ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

$$d = [w \times (100 - \mathrm{M}_i)]/(100 - \mathrm{M}_f) \quad (5)$$

โดยที่ M_i หมายถึง ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียกเริ่มต้น (%)

M_f หมายถึง ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียกสุดท้าย (%)

สำหรับปริมาณน้ำที่ต้องกำจัดออกไป มีค่าดังสมการ

$$W_w = w - d \quad (6)$$

โดยที่ W_w = หมายถึง น้ำหนักของน้ำที่ถูกกำจัดออก (kg)

2.6 อัตราการอบแห้ง

คือ การนำความชื้นสมดุลมาเปรียบเทียบกับเวลาเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งโดยสมการดังนี้

$$\mathrm{M}R = \frac{\mathrm{M}_{(t)} - \mathrm{M}_{dw}}{\mathrm{M}_{in} - \mathrm{M}_{dw}} \quad (7)$$

$\mathrm{M}R$ = อัตราการอบแห้ง

$\mathrm{M}_{(t)}$ = น้ำหนักของเม็ดปุ๋ยที่เวลาใดๆ (kg)

M_{in} = น้ำหนักก่อนอบ (kg)

M_{dw} = น้ำหนักของเม็ดปุ๋ยที่ความชื้นสมดุล (kg)

2.7 หลักถ่ายเทความร้อนของฉนวนของฉนวนความร้อน [5]

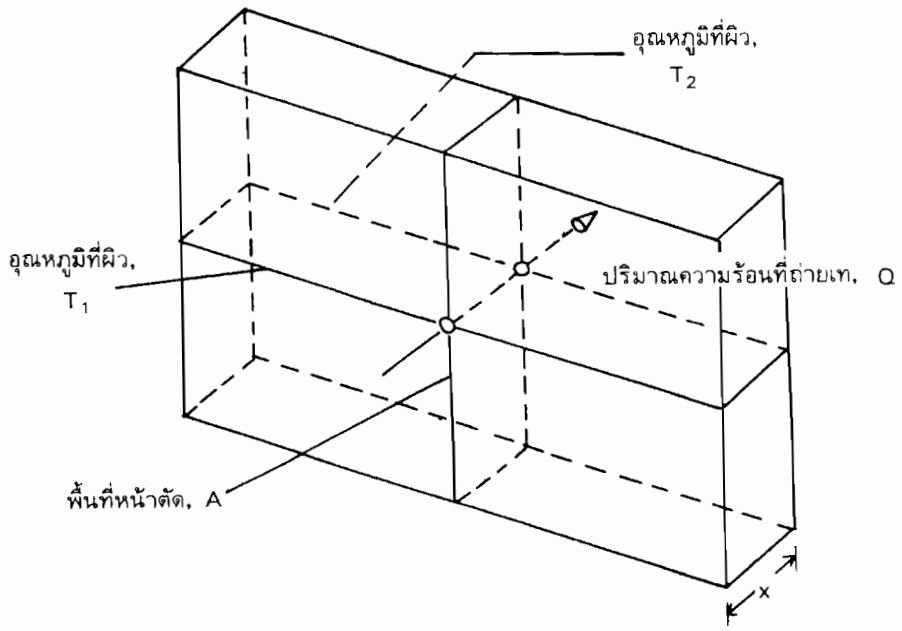
การถ่ายเทความร้อน โดยธรรมชาติจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ เช่นเดียวกับน้ำที่ไหลจากที่สูงไปยังที่ต่ำ วิธีการถ่ายเทความร้อน แบ่งออกเป็น 3 วิธีหลักๆ คือ การนำความร้อน (Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Thermal radiation) การนำความร้อน คือ ปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทภายในวัตถุหนึ่งๆ หรือระยะวัตถุที่สัมผัสกัน ส่วนการพาความร้อน คือ ปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนถ่ายเทพลังงานโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของมวลสารของของไหล หรือก๊าซ ที่มีพลังงานบรรจุอยู่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง สำหรับการแผ่รังสีความร้อน คือ ถ่ายเทความร้อนโดยอาศัยสเปคตรัมการแผ่รังสี คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เปล่งออกมาจากพื้นผิวของวัตถุที่ถูกกระตุ้นทางความร้อน รังสีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้ (ซึ่งรวมแสงที่ตามองเห็น คลื่นวิทยุ และรังสีเอ็กซ์) จะกระจายออกทุกทิศทุกทาง และเมื่อรังสีนี้ไปกระทบอีกวัตถุหนึ่ง บางส่วนอาจสะท้อนกลับ บางส่วนอาจส่งผ่านทะลุไป และบางส่วนอาจถูกดูดกลืน

ไว้ ถ้ารังสีที่ตกกระทบคือ รังสีความร้อน รังสีที่ถูกดูดกลืนไว้จะปรากฏเป็นความร้อนภายในวัตถุที่ดูดกลืนรังสีนั้นไว้

2.8 การนำความร้อน

การนำความร้อนจริงๆแล้วเป็นกระบวนการ ซึ่งเกิดขึ้นบนชั้นอะตอมของอนุภาคพบว่าในโลหะ การนำความร้อนเป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ของอิเลคตรอนอิสระ(คล้ายการนำไฟฟ้า)ในของเหลวและของแข็งที่มีสภาพนำความร้อนต่ำ การสั่นของโมเลกุลข้างเคียงคิดว่าจะเป็นสาเหตุให้เกิดนำความร้อนขึ้น ส่วนในก๊าซการนำความร้อนเกิดขึ้นผ่านการสั่นระหว่างโมเลกุล อย่างไรก็ตาม ผลของการถ่ายเทความร้อนด้วยการนำที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะอธิบายในลักษณะผลที่เกิดขึ้นกับวัตถุทั้งระบบ ไม่ได้เจาะลึกถึงระดับโมเลกุล ซึ่งจากการทดลองพบว่า อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนเป็นสัดส่วนตรงกับผลต่างของอุณหภูมิคร่อมผิววัตถุ (ด้านอุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำ) และพื้นที่ผิวที่ความร้อนไหลผ่าน (ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อน) แต่จะเป็นสัดส่วนกลับกับความหนาของวัตถุนั้น (ระยะทางที่ความร้อนถ่ายเท) ดังนั้น สำหรับแผ่นราบ ดังรูปที่ 2.2 การนำความร้อนของแผ่นราบสามารถคำนวณได้ โดยใช้สมการ (8) ดังนี้

$$Q = \frac{KA(T_1 - T_2)}{X}$$



รูปที่ 2.2 การนำความร้อนของแผ่นราบ

เมื่อ Q = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทต่อ 1 วินาที , W

K = สภาพการนำความร้อน (Thermal conductivity) , W / m.k

A = พื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนไหลผ่าน , m^2

T1 , T2 = อุณหภูมิสูงและต่ำที่ผิวแต่ละด้านตามลำดับ , K

X = ความหนาของแผ่นราบ , m

ในสมการนี้สภาพการนำความร้อน K เป็นตัวคงที่ขึ้นอยู่กับวัสดุแต่ละชนิด ดังแสดงในตาราง 2.1 ซึ่งเป็นค่าสภาพนำความร้อนของวัสดุบางชนิด อย่างไรก็ตาม ปกติค่า K จะขึ้นกับอุณหภูมิแต่หากอุณหภูมิไม่แตกต่างกันมากนักสามารถใช้ค่าที่สมมุติว่าค่า K คงที่ตลอดช่วงอุณหภูมิได้ ดังค่าในตาราง 2.1 เป็นต้น

ตาราง 2.1 สภาพนำความร้อนของวัสดุบางชนิด ที่ 27 องศาเซลเซียส

วัสดุ	**สภาพนำความร้อน** , k (w/m.K)
ทองแดง	386
อะลูมิเนียม	204
เหล็กคาร์บอน	54
หินอ่อน	2.1-2.94
หินทราย	1.85
กระจก	0.25-0.8
ขี้เลื่อย	0.06
ใยแก้ว	0.04
พลาสติกใส	0.2-0.3
น้ำ	0.6
อากาศ	0.026

2.9 ระบบฉนวนอุปกรณ์เชิงกล

ระบบฉนวนทางอุตสาหกรรม มีข้อแตกต่างหลักจากระบบฉนวนภายในอาคาร คือการเลือกใช้ฉนวนจะยึดหลักพื้นฐานที่อุณหภูมิการใช้งานฉนวนที่เหมาะสมกับงานที่ใช้หุ้ม หรือบุในแต่ละลักษณะงาน เนื่องจากความสามารถในการใช้งานฉนวนแต่ละชนิดมีข้อจำกัดโดยทั่วไปที่อุณหภูมิสูงสุดหรือต่ำสุดตามสภาพของฉนวน ซึ่งหากใช้งานเกินข้อจำกัดของอุณหภูมิ โครงสร้างฉนวนจะไม่มีเสถียรภาพหรือไม่มีสภาพเป็นฉนวนอีกต่อไป ซึ่งโดยทั่วไปสเกลช่วงอุณหภูมิที่ใช้ในการแบ่งเพื่อช่วยในการบ่งชี้ชนิดของฉนวนที่เหมาะกับการใช้งาน พอจะแบ่งได้ดังนี้

(1) ช่วงอุณหภูมิต่ำมาก หรือไครโอเจนนิค (Cryogenic) : -270 °c ถึง -100 °c

(2) ช่วงอุณหภูมิต่ำ : -100 °c ถึง 100 °c

(3) ช่วงอุณหภูมิปานกลาง : 100 °c ถึง 500 °c

(4) ช่วงอุณหภูมิสูง : มากกว่า 500 °c

และจากช่วงอุณหภูมิที่แบ่งดังกล่าว พอจะจัดลักษณะฉนวนที่ใช้ตามช่วงอุณหภูมิได้ดังนี้

2.9.1 ช่วงอุณหภูมิต่ำมาก และอุณหภูมิต่ำ ประเภทของฉนวนที่ใช้คือ
แบบถ่ายอากาศออก (Evacuated) ได้แก่ ใช้แผ่นบางหลายชั้น (Multifoil) ใช้ผงทึบบรรจุ เป็นต้น
แบบมวล ได้แก่ โฟมแก้ว โฟมสารอินทรีย์ ใยแก้ว ลูสฟิลล์ ไม้สน

2.9.2 ช่วงอุณหภูมิกลาง ฉนวนที่ใช้คือ สารพวกอนินทรีย์ทั้งหมด ได้แก่ เพอร์ไลต์ แคลเซียมซิลิเกต โฟมแก้ว ใยแร่ ฉนวนผิวสะท้อนรังสี ลูสฟิลล์ ฉนวนอิฐทนไฟ

2.9.3 ช่วงอุณหภูมิสูง ฉนวนที่ใช้คือ สารพวกอนินทรีย์ทั้งหมด คาร์บอน หรือโลหะ ได้แก่ ลูสฟิลล์ ฉนวนผิวสะท้อนรังสี ฉนวนอิฐทนไฟ โฟมเซรามิค ใยเซรามิค ไพโรไลติกคาร์บอน คาร์บอนไฟเบอร์

2.10 ฉนวนใยแก้ว (Glass Fiber)

ฉนวนใยแก้วผลิตขึ้นมาจากการฟั่นก้อนแก้วแข็ง ด้วยการปั่นจนเป็นเส้นเกลียวบาง ฉนวนชนิดนี้ที่ทำออกมามีทั้งลักษณะแบบลูสฟิลล์แบบแผ่นอัด (Boards) และเส้นใยอัดเป็นแผ่นหรือแบบคลุมหรือห่ม

ฉนวนแบบเส้นใยอัดเป็นแผ่นหรือแบบคลุม หรือ ห่มโดยทั่วไปจะมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 9.61 ถึง 16.02 kg/m^3 และจากผลของเส้นใยที่ยาว วัสดุชนิดนี้จึงมีแนวโน้มที่จะคืนสภาพความหนาออกแบบใหม่ได้ภายหลังการบรรจุ เมื่อใช้ในลักษณะเส้นใยอัดเป็นแผ่นหรือแบบห่มคลุมนี้ ฉนวนใยแก้วจะมีสภาพต้านทานความร้อนประมาณ 24.4 m.k/w

สำหรับใยแก้วแบบลูสฟิลล์ทำได้ด้วยการโม่ใยแก้วอัดเป็นแผ่น ซึ่งทำให้ฉนวนแบบลูสฟิลล์ที่ได้มีสภาพต้านทานความร้อนประมาณ 19.84 m.k/w และทั้งแบบลูสฟิลล์และแบบอัดเป็นแผ่นหรือคลุมของฉนวนใยแก้ว น้ำสามารถจะซึมเข้าไปได้เป็นจำนวนมากกว่า 180 perm-cm แต่การดูดซับน้ำไว้กับน้อยไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์

เนื่องจากใยแก้วด้วยตนเองเป็นสารอนินทรีย์ จึงเป็นวัสดุที่ไม่ลุกไหม้อย่างไรก็ตามตัวประสานอินทรีย์ ที่ใช้ในการประสานเป็นฉนวนแบบเส้นใยอัดเป็นแผ่นสามารถลุกไหม้ได้ ฉะนั้นวัสดุที่ใช้เป็นตัวประสาน ASTM E-84 จึงกำหนดให้มีคุณสมบัติโดยประมาณดังนี้ : ระดับการกระจายของเปลวไฟ 15-20 ระดับการมีส่วนเป็นเชื้อเพลิง 5-15 และระดับการเกิดควัน 0-20 สำหรับผิวหน้าของฉนวนใยแก้วที่ใช้กับอาคารโดยปกติจะประกอบด้วยกระดาษเคลือบแอสฟัลต์ หรือกระดาษแผ่นบางซ้อนทับกัน และเนื่องจากผิวหน้าเป็นผิวที่สามารถลุกไหม้ได้ จึงไม่สามารถใช้ในลักษณะหันเข้าหาเปลวไฟหรืออุณหภูมิเกินกว่า 80 องศาเซลเซียส ซึ่งการเกิดการลุกไหม้ของผิวหน้า หรือตัวประสานอินทรีย์สามารถทำให้เกิดควันที่เป็นอันตรายได้

ฉนวนใยแก้วแบบเส้นใยอัดเป็นแผ่นไม่ปรากฏว่ามีการยุบตัว หรือ หดตัวตามอายุการใช้งาน อย่างไรก็ตาม ลูสฟิลล์อาจมีการยุบตัวหากใช้ฉนวนที่ความหนาแน่นต่ำกว่าข้อกำหนดของบริษัทผู้ผลิต ส่วนคุณสมบัติของวัสดุด้านอื่นๆ เช่น สมรรถนะทางความร้อน และสภาพต้านทานไฟไหม้ ไม่ปรากฏว่ามีผลกระทบเนื่องจากอายุการใช้งานและอุณหภูมิที่เป็นวัฏจักร ณ สภาวะอุณหภูมิที่ติดตั้งปกติ นอกจากนี้ฉนวนใยแก้วไม่ทำให้แบคทีเรียหรือฝังใจเจริญเติบโต และไม่เป็นอาหารของสัตว์ใดๆรวมทั้งไม่มีสภาวะกัดกร่อนวัสดุที่หุ้ม และไม่มีกลิ่นเป็นที่น่ารังเกียจ

สำหรับฉนวนใยแก้วแบบแผ่นอัด ที่ผลิตขึ้นมามีหลากหลายคุณสมบัติ ขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้เป็นรากฐานและเปอร์เซ็นต์ของใยแก้วที่ผสมอยู่ สำหรับชนิดที่มีความหนาแน่นประมาณ 64.0 kg/m^3 จะมีสภาพต้านทานความร้อนในระดับชั้น 27.8 m.k/w

การประยุกต์ใช้งานฉนวนใยแก้วโดยทั่วไปจะใช้งานเป็นฉนวนหลังคาอาคาร ผนัง พื้น ห้องใต้ถุนตึก และกับระบบท่อ นอกจากนี้ยังใช้งานด้านอุตสาหกรรม เช่น เป็นฉนวนหุ้มถังเก็บ ระบบเชิงกล และท่อส่งลม เป็นต้น

สำหรับคุณสมบัติโดยสรุปดังแสดงในตาราง 2.2

ตาราง 2.2 คุณสมบัติของฉนวนใยแก้ว

คุณสมบัติ	แบบเส้นใยอัดเป็นแผ่น	แบบลูสฟิลล์	แบบแผ่นหนา
สภาพนำความร้อนปรากฏ (k) , W/m.k	0.045	0.05	0.036
สภาพต้านทานความร้อนปรากฏ (R) , m.k/W	22.4	20	27.78
ความหนาแน่นของวัสดุ p , kg/m^3	16.02	16.02	64.0
ความร้อนจำเพาะ (Cp) , kJ/kg $^{\circ}c$	0.84	0.84	1.256
สภาพแพร่กระจายความร้อน α, m^2/s	0.33×10^{-5}	0.38×10^{-5}	0.04×10^{-5}
อุณหภูมิใช้งานสูงสุด , $^{\circ}c$	190	540	205
สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน , m/m $^{\circ}c$	-	-	-
ความจุของเซลล์ที่ชิดกัน , เปอร์เซ็นต์	-	-	-
ค่าแทรกซึม ความชื้น , perm-cm	180	180	180
ค่าดูดซึมน้ำ , เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก	1	1	1
การกัดกร่อนวัสดุที่ถูกฉนวนหุ้ม	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
สภาพการติดไฟ			
ระดับการกระจายของเปลวไฟ	15-20	15-20	15-20
ระดับการมีส่วนเป็นเชื้อเพลิง	5-15	5-15	5-15
ระดับการเกิดควัน	0-20	0-20	0-20
การเสื่อมสภาพลงจากผลของ :			
อุณหภูมิที่เป็นวัฏจักร	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
สัตว์จำพวก หนู หมัด ไส้เดือน นก ฯลฯ	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
ความชื้น	ชั่วคราว	ชั่วคราว	ชั่วคราว
ฟังไจ/แบคทีเรีย	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
สภาพอากาศ	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
ลม	ปานกลาง	พอสมควร	น้อย

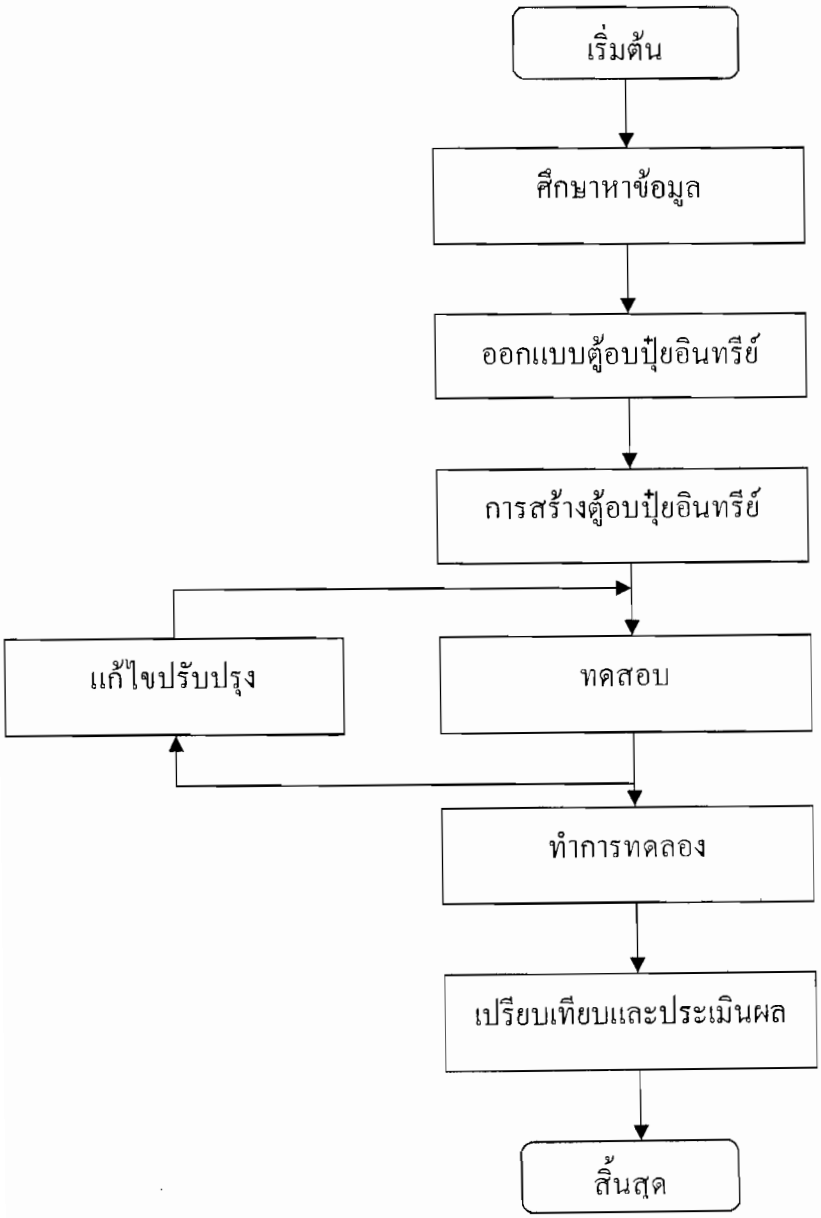
ตาราง 2.2 (ต่อ)

คุณสมบัติ	แบบเส้นใยอัดเป็นแผ่น	แบบลูสฟิลล์	แบบแผ่นหนา
ปัจจัยที่กระทบต่อคน			
การเป็นพิษ	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
กลิ่น	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
การดูดซับเสียง	ดี	ดี	ดี
ผลกระทบของอายุต่อ :			
เสถียรภาพของขนาด	ไม่มี	จะยุบตัว	ไม่มี
สมรรถนะทางความร้อน	ไม่มี	การยุบตัวเป็นสาเหตุให้เสื่อมสภาพลงบ้าง	
สภาพการติดไฟ	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี

บทที่ 3

การออกแบบและขั้นตอนการดำเนินการ

ตู้อบปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดมีการออกแบบและวิธีการดำเนินงานดังนี้ เพื่อให้การดำเนินการเป็นไปอย่างมีระบบและมีประสิทธิภาพสามารถเรียงลำดับ การออกแบบและขั้นตอนการดำเนินการดังแผนภูมิต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 การออกแบบและขั้นตอนการทำงาน

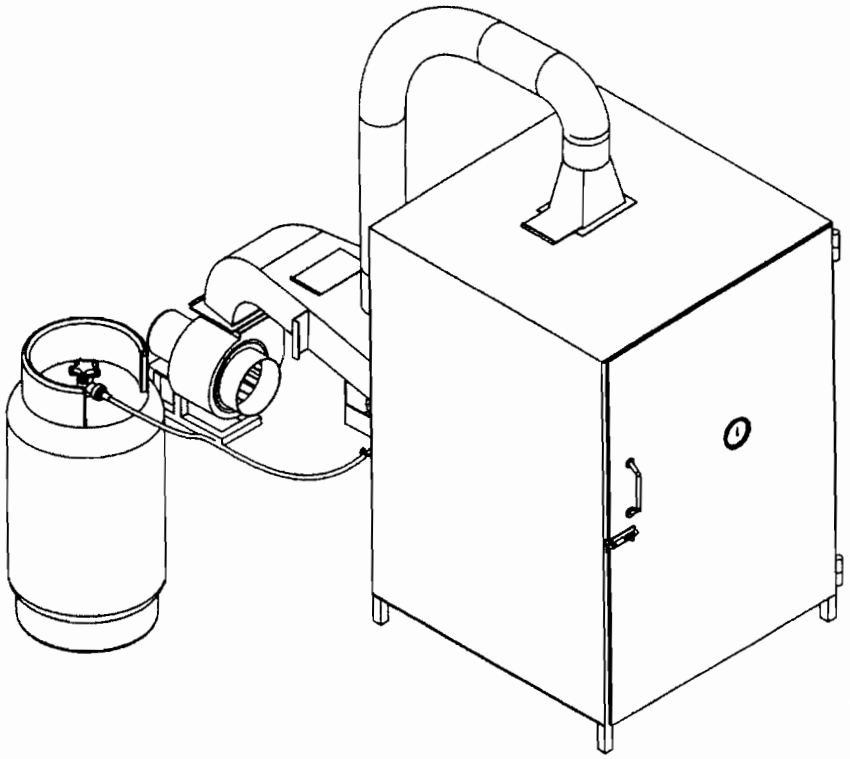
3.1 การศึกษาข้อมูล

ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการศึกษาข้อมูลต่างๆ เช่น การศึกษาแนวโน้มเกี่ยวกับการผลิตปุ๋ยอินทรีย์ พบว่ามีการทำปุ๋ยอินทรีย์ ในจังหวัดนครสวรรค์ที่ ตำบล ตะเคียนเลื่อน เกษตรกรทำการผลิตปุ๋ยอินทรีย์เสร็จแล้วจะนำไปตากแดดเพื่อลดน้ำหนักของผลิตภัณฑ์ เพื่อง่ายต่อการเก็บรักษาและการนำมาใช้ในฤดูฝนจะไม่สามารถนำไปตากแดดได้ ทำให้ผลิตปุ๋ยอินทรีย์ได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น คือ เฉพาะในเวลาที่ฝนไม่ตกหรือต้องตากในที่ร่ม ทำให้สิ้นเปลืองเนื้อที่ในการเก็บรักษาและตากแห้ง จึงมีแนวคิดในการจัดทำตู้อบปุ๋ยอินทรีย์ โดยใช้พลังงานความร้อนจากแก๊สหุงต้ม เพื่อให้เกษตรกรผลิตปุ๋ยอินทรีได้ในฤดูฝนและยังนำมาศึกษาความคุ้มค่าเมื่อเทียบกับการตากแดดในฤดูอื่น ๆ

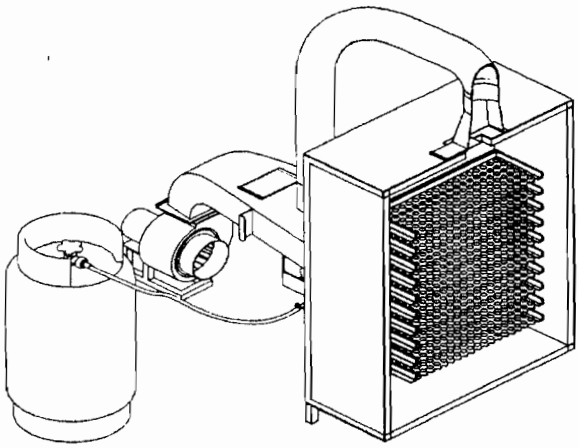
3.2 การออกแบบตู้อบปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

การออกแบบเครื่องอบปุ๋ยอินทรีย์นั้น ถูกออกแบบโดยอาศัยการเผาไหมของแก๊สหุงต้ม โดยมีชุดพัดลมแบบเป่าติดตั้งอยู่ด้านหลังของตู้อบทำหน้าที่สร้างการไหลของลมร้อนซึ่งเม็ดปุ๋ยที่ผลิตขึ้นมีความชื้นสัมพัทธ์เริ่มต้นจะมีค่าเป็น 100% จากนั้นให้ความร้อนแก่เม็ดปุ๋ยที่อุณหภูมิ 60-100 องศาเซลเซียส สำหรับแบบของเครื่องอบปุ๋ยอินทรีย์นั้น จะอยู่ในภาคผนวก ก.

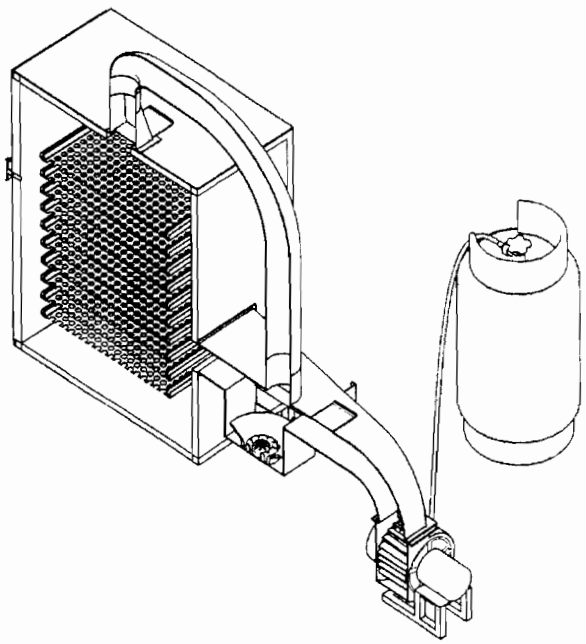
หลักการทำงานของตู้อบปุ๋ยเครื่องอบแห้งด้วยความร้อนแบบตู้หรือถาด (tray dryer) เป็นการอบแห้งโดยอาศัยหลักการถ่ายเทความร้อนประเภทการพาความร้อนเป็นหลัก โดยส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องทำแห้งแบบตู้นี้ ได้แก่ ตู้หรือห้องอบ (drying chamber) แหล่งพลังงานความร้อน (heater)พัดลม (fan) และช่องระบายอากาศ (damper) โดยชิ้นอาหารที่ต้องการทำแห้งที่ผ่านการเตรียมมาเรียบร้อยแล้วจะถูกจัดเรียงไว้ในถาดเรียงเป็นชั้นในตู้ ขณะเครื่องอบแห้งทำงาน พัดลมจะดูดอากาศจากภายนอกเข้าไปในเครื่องให้ความร้อนทำให้เกิดกระแสลมร้อนซึ่งพัดผ่านเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ ความร้อนของลมร้อนจะถ่ายเทให้น้ำในอาหารเพื่อให้น้ำกลายเป็นไอ และระเหยออกจากผิวเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ ลมร้อนที่มีไอน้ำอยู่จะถูกปล่อยออกไปทางช่องระบายอากาศ ในขณะเดียวกันจะปล่อยให้ลมร้อนบางส่วนหมุนเวียนอยู่ในตู้เพื่อช่วยในการถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำที่ยังอยู่ในเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ ร่วมกับความร้อนที่เข้ามาใหม่



รูปที่ 3.2 ภาพการประกอบเครื่องอบปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด



รูปที่ 3.3 ภาพตัดด้านหน้าเครื่องอบปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด



รูปที่ 3.4 ภาพตัดตามความยาวเครื่องอบปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

3.3 การสร้างตู้อบปุ๋ยอินทรีย์

ตู้อบเม็ดปุ๋ยอินทรีย์โดยใช้ความร้อนจากการสันดาปของก๊าซหุงต้ม มีขนาดกว้าง 101 เซนติเมตร ยาว 101 เซนติเมตร สูง 140 เซนติเมตร อากาศร้อนถูกเป่าเข้าสู่ห้องอบด้วยพัดลมแบบเป่า ใช้มอเตอร์ 1/3 hp 220 Volt ผนังห้องอบแบ่งออกเป็นชั้นในและชั้นนอก ผนังชั้นในด้านข้างและหลังทำด้วยแผ่นเหล็กเจาะรู ส่วนผนังด้านนอกทำด้วยแผ่นเหล็ก 1 มิลลิเมตร มีฉนวนใยแก้วกั้นกลางเพื่อเป็นฉนวนกันความร้อน ด้านบนของตู้อบมีท่อหมุนวนของอากาศร้อนเพื่อนำไปเผาไหม้อีกครั้ง ประตูของตู้อบทำจากโครงเหล็กหนา 2.5 มิลลิเมตร หุ้มด้วยแผ่นเหล็กหนา 1 มิลลิเมตร มีฉนวนใยแก้วกั้นกลางเพื่อเป็นฉนวนกันความร้อน ติดตั้งเทอร์โมมิเตอร์ ช่วงการวัดอุณหภูมิตั้งแต่ 0 ถึง 200 องศาเซลเซียส ด้านในห้องอบมีชั้นวางถาด ทำด้วยเหล็กฉากหนา 2.5 มิลลิเมตร ความสูงขอบ 4 เซนติเมตร ความจุของถาด 10 ถาด ถาดใส่ปุ๋ยทำด้วยเหล็กฉาก กว้าง 70 เซนติเมตร ยาว 70 เซนติเมตร ความสูงของขอบถาด 3 เซนติเมตร พื้นทำด้วยตระแกรงเหล็ก ขนาดความกว้างของรูตะแกรงเหล็ก 0.5 เซนติเมตร ระบบควบคุมอุณหภูมิของตู้อบทำได้โดยการกำหนดส่วนผสมของอากาศเย็นกับอากาศร้อนโดยใช้ประตูลมในการควบคุมปริมาณของลมที่จะเข้าไปในห้องสันดาป

ทำโครงตู้อบโดยวัดขนาดตามที่ได้ออกแบบไว้แล้ว จึงทำการหุ้มฉนวนเพื่อป้องกันความร้อนตามแบบที่วัดไว้แล้วให้ติดกับผนังรอบด้าน

3.3.1 ทำการขึ้นรูปตัดเชื่อมโครง

3.3.2 ทำการเจาะรูโครงตู้อบปุ๋ย

3.3.3 ทำการเจาะแผ่นสังกะสี

3.3.4 ทำการเจาะช่องลมด้านบน

3.3.5 ทำการเจาะช่องลมด้านหลัง

3.3.6 นำแผ่นสังกะสีมาประกอบกับโครงใช้สกรูยึดให้แน่น

3.3.7 นำท่อลมเข้ามาติดกับตู้อบปุ๋ยด้านหลัง

3.3.8 นำท่อลมออกมาติดกับตู้อบปุ๋ยด้านบน

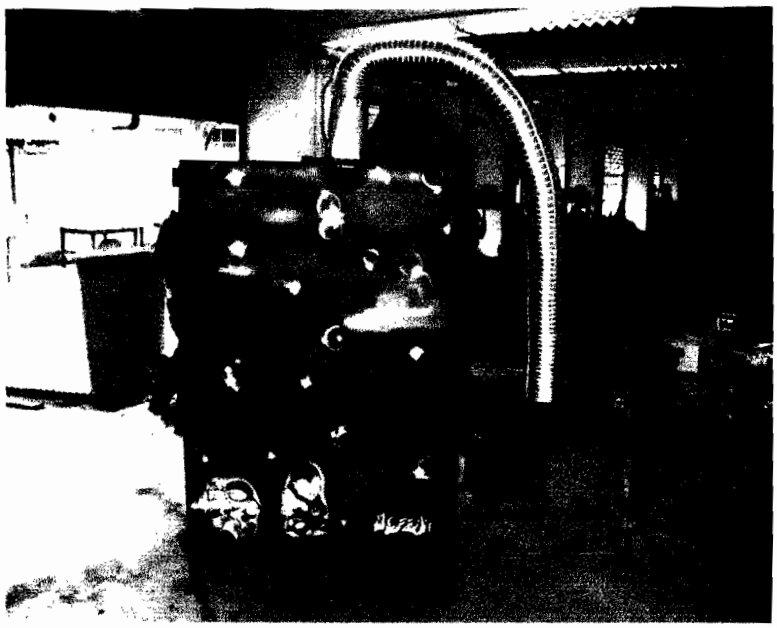
3.3.9 ทำการหุ้มฉนวนภายในตู้อบปุ๋ย รูปที่3.5

3.3.10 นำเครื่องเป่าอากาศติดตั้งด้านหลังของท่อลมเข้า

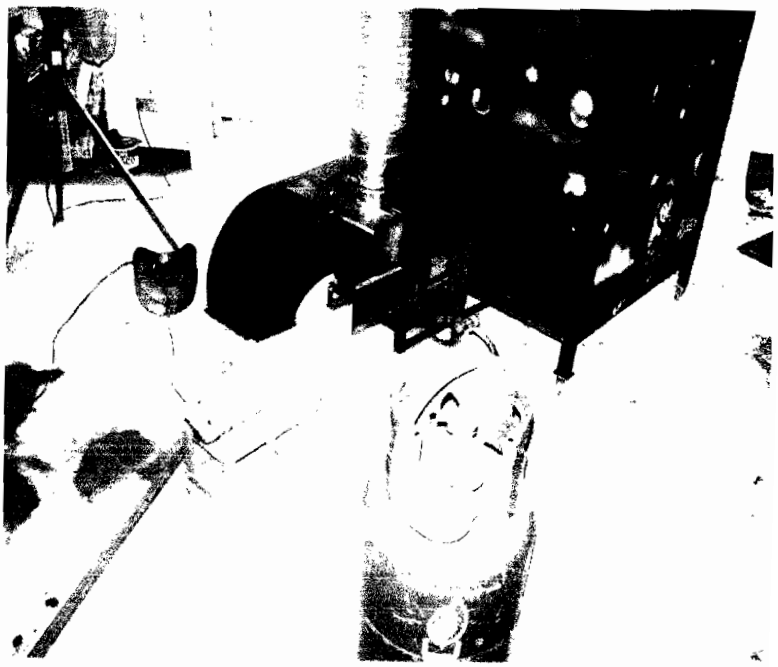
3.3.11 ทำการพ่นสีของตู้อบปุ๋ย รูปที่3.6

รูปที่3.5 แสดงการหุ้มฉนวนของตู้อบปุ๋ยอินทรีย์

รูปที่3.6 แสดงการพ่นสีชิ้นส่วนต่างๆของตู้อบปุ๋ยอินทรีย์



รูปที่ 3.7 แสดงตู้อบปุ๋ยอินทรีย์ด้านข้าง



รูปที่ 3.8 แสดงตู้อบปุ๋ยอินทรีย์ด้านหลัง

รูปที่3.9 แสดงตู้อบปุ๋ยอินทรีย์ด้านใน

3.4 วิธีการใช้งานของตู้อบปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ด

3.4.1นำปุ๋ยใส่ถาด 2.5 กิโลกรัมเป็นจำนวน 10 ถาด

3.4.2จุดไฟที่หัวแก๊ส

3.4.3เปิดสวิตส์พัดลม

3.4.4วิธีการตั้งอุณหภูมิให้ปิดเปิดช่องลมเข้าด้านหลังถ้าต้องการให้อุณหภูมิสูงให้เปิดช่องลมด้านหลังให้กว้างและถ้าต้องการให้อุณหภูมิต่ำให้ปิดช่องลมให้แคบ

3.4.5ตั้งอุณหภูมิให้ได้ตามที่ต้องการ

3.4.6นำถาดที่ใส่ปุ๋ยเข้าไปในตู้อบปุ๋ย

3.4.7ทำการปิดประตูตู้อบปุ๋ย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

จากการดำเนินการจัดสร้างตู้อบปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดเพื่อหาความเป็นได้ในการนำตู้อบปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดไปใช้ ว่ามีประสิทธิภาพในการทำงานได้จริงหรือไม่โดยการทดลองดั้งนี้

4.1. วัตถุประสงค์ของการทดลอง

4.1.1 เพื่อให้ได้ผลการเปรียบเทียบเวลาระหว่างการตากแดด และอบด้วยลมร้อนโดยใช้แก๊สเป็นเชื้อเพลิง

4.1.2 ได้ผลการคำนวณเพื่อใช้เปรียบเทียบระหว่างการใช้ตู้อบและการตากแดด

4.2. ตัวแปรสำหรับการทดลอง

4.2.1 ตัวแปรต้น คือ อุณหภูมิภายในห้องอบ

4.2.2 ตัวแปรตาม น้ำหนักที่ลดลงของเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ , เวลา, อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

4.3.วัสดุอุปกรณ์การทดลอง

4.3.1 ปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดผลิตโดยกลุ่มปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดตะเคียนเลื่อน

4.3.2 ตู้อบเม็ดปุ๋ยอินทรีย์

4.3.3 ถาดใส่เม็ดปุ๋ยอินทรีย์

4.3.4 หัวแก๊ส KB5

4.3.5แก๊สหุงต้ม

4.3.6 พัดลมแบบเป่า

4.3.7 นาฬิกาจับเวลา

4.3.8 ตราชั่งน้ำหนัก

4.3.9 สมุดจดบันทึก

4.3.10 ปากกา

4.4 วิธีการทดลอง

4.4.1 ตักปุ๋ยใส่ถาด ๆ ละ 2.5 กิโลกรัม เป็นจำนวน 10 ถาด

4.4.2 นำถังแก๊สมาชั่งกิโลกรัม เพื่อหาน้ำหนักของแก๊สก่อนการทดสอบ

4.4.3 ตั้งอุณหภูมิให้คงที่ 60 องศาเซลเซียส โดย การเปิดปิดช่องลมและวัดอุณหภูมิจากเทอร์โมมิเตอร์

4.4.4 นำปุ๋ยมาใส่ตู้อบ

4.4.5 นำปุ๋ยออกมาชั่งน้ำหนัก ทุก ๆ 15 นาที พร้อมกับบันทึกค่า เพื่อหาอัตราการอบแห้ง และความชื้นสมดุล

4.4.6 นำถังแก๊สมาชั่งกิโลกรัม เพื่อหาการสิ้นเปลื้องของแก๊สหลังการทดลอง

4.4.7 ทำการทดลองเหมือนเดิม โดยเพิ่มอุณหภูมิครั้งละ 10 องศาเซลเซียส จนถึง 100องศาเซลเซียส

4.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลมาคำนวณหา อัตราการอบแห้ง , ความชื้นมาตรฐานเปียก , ความชื้นมาตรฐานแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ , และทราบถึงการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

คือ การนำความชื้นสมดุลมาเปรียบเทียบกับเวลาเพื่อหาเวลาที่เหมาะสมในการอบแห้งโดยสมการดังนี้

$$MR = \frac{M_{(t)} - M_{dw}}{M_{in} - M_{dw}}$$

MR = อัตราการอบแห้ง

$M_{(t)}$ = น้ำหนักของเม็ดปุ๋ยที่เวลาใดๆ (kg)

M_{in} = น้ำหนักก่อนอบ (kg)

M_{dw} = น้ำหนักของเม็ดปุ๋ยที่ความชื้นสมดุล (kg)

ความชื้นมาตรฐานเปียก, M_w (Wet Basis)

จะใช้น้ำหนักของวัสดุชื้น (ก่อนการทำการไล่ความชื้นออก) เป็นมาตรฐานของการคำนวณ

$$M_w = [(w - d)/w] \times 100$$

ความชื้นมาตรฐานแห้ง, M_d (Dry Basis)

ในกระบวนการอบแห้ง น้ำหนักของวัสดุเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา เพื่อความสะดวกจะใช้น้ำหนักของวัสดุแห้งเป็นมาตรฐานการคำนวณ

$$M_d = [(w-d)/d] \times 100$$

เมื่อ M_w หมายถึง ความชื้นมาตรฐานเปียก (%)

M_d หมายถึง ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%)

w หมายถึง น้ำหนักสดของวัสดุ (kg)

d หมายถึง น้ำหนักของวัสดุแห้ง (ไม่มีความชื้น) (kg)

ความชื้นสัมพัทธ์

หาได้จากการนำอัตราการอบแห้ง(MR) $\times 100$ จะได้ เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ของเม็ดปุ๋ย

4.6 ตารางแสดงผลการทดลอง

ตารางที่ 4.6.1 แสดงค่าเฉลี่ยผลการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ60 °C น้ำหนักปุ๋ย 25kg

เวลา(นาที) / ข้อมูล	15	30	45	60	75	90	105	120
น้ำหนัก(kg)	23.1	22.2	21.4	19.8	18.9	18.6	18.1	18.1
MR	0.78	0.65	0.46	0.25	0.15	0.07	0	0
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	78	65	46	25	15	7	0	0
M_w (%)	22.04	20.19	14.75	8.81	6.14	3	0	0
M_d (%)	28.83	24.17	16.67	9.66	6.59	3.10	0	0

ตารางที่ 4.6.2 แสดงผลการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ70 °C น้ำหนักปุ๋ย 25kg

เวลา(นาที) / ข้อมูล	15	30	45	60	75	90	105	120
น้ำหนัก(kg)	23.6	22.7	21.3	19.9	18.9	18.3	18.2	18.2
MR	0.76	0.69	0.45	0.29	0.16	0.07	0	0
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	76	69	45	29	16	7	0	0
M_w (%)	22.37	18.77	14.30	29.68	5.80	2.47	0	0
M_d (%)	28.86	23.05	20.02	10.71	6.17	2.53	0	0

ตารางที่ 4.6.3 แสดงผลการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ80 °C น้ำหนักปุ๋ย 25kg

เวลา(นาที) / ข้อมูล	15	30	45	60	75	90	105	120
น้ำหนัก(kg)	22.9	20.5	18.6	18.2	18	18	18	18
MR	0.82	0.69	0.49	0.27	0.13	0.03	0	0
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	82	69	49	27	13	3	0	0
M_w (%)	23.14	20.02	15.09	9.21	4.6	1.42	0	0
M_d (%)	30.12	25.04	17.77	15.44	4.89	1.44	0	0

ตารางที่ 4.6.4 แสดงผลการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ90 °C น้ำหนักปุ๋ย 25kg

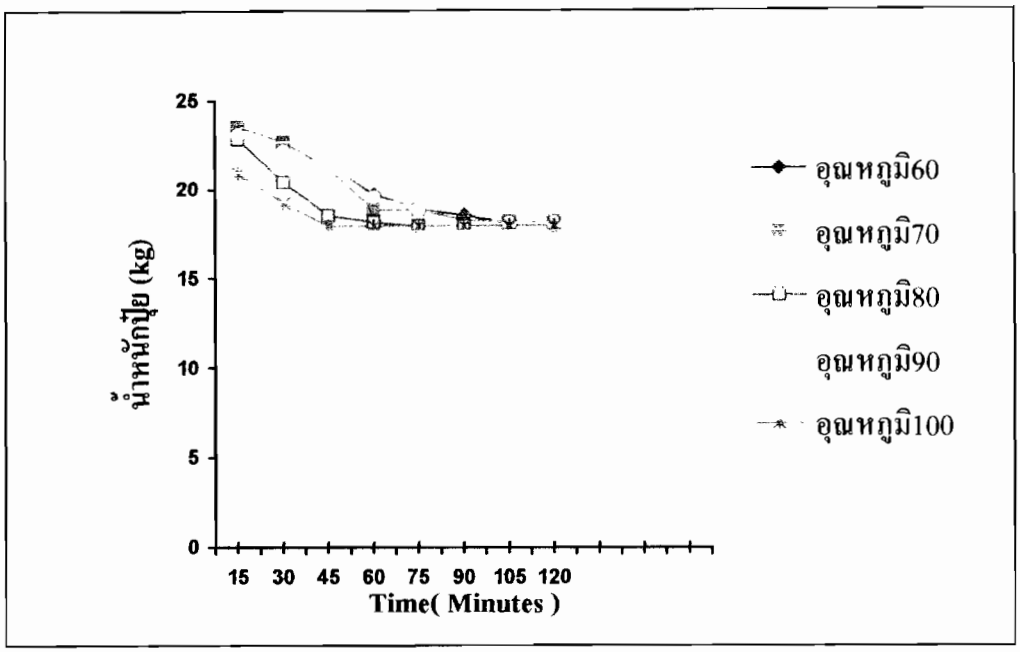
เวลา(นาที) / ข้อมูล	15	30	45	60	75	90	105	120
น้ำหนัก(kg)	23.1	22.2	21.4	19.8	18.9	18.6	18.1	18.1
MR	0.70	0.39	0.12	0.03	0	0	0	0
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	70	39	12	3	0	0	0	0
M_w (%)	21.21	12.99	4.65	1.63	0	0	0	0
M_d (%)	26.93	14.94	4.97	1.65	0	0	0	0

ตารางที่ 4.6.5 แสดงผลการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ100 °C น้ำหนักปุ๋ย 25kg

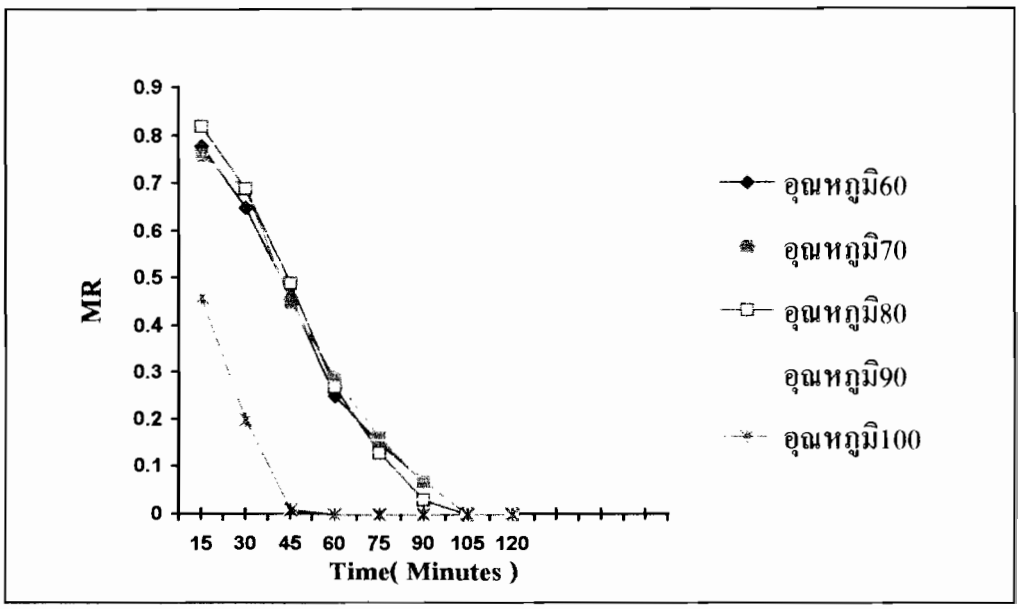
เวลา(นาที) / ข้อมูล	15	30	45	60	75	90	105	120
น้ำหนัก(kg)	21	19.3	18	18	18	18	18	18
MR	0.46	0.20	0.01	0	0	0	0	0
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	46	20	1	0	0	0	0	0
M_w (%)	14.99	2.77	0.18	0	0	0	0	0
M_d (%)	17.64	7.91	0.73	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.6.6 แสดงผลการทดลองตากแห้งที่อุณหภูมิ37-40 °C น้ำหนักปุ๋ย 25kg

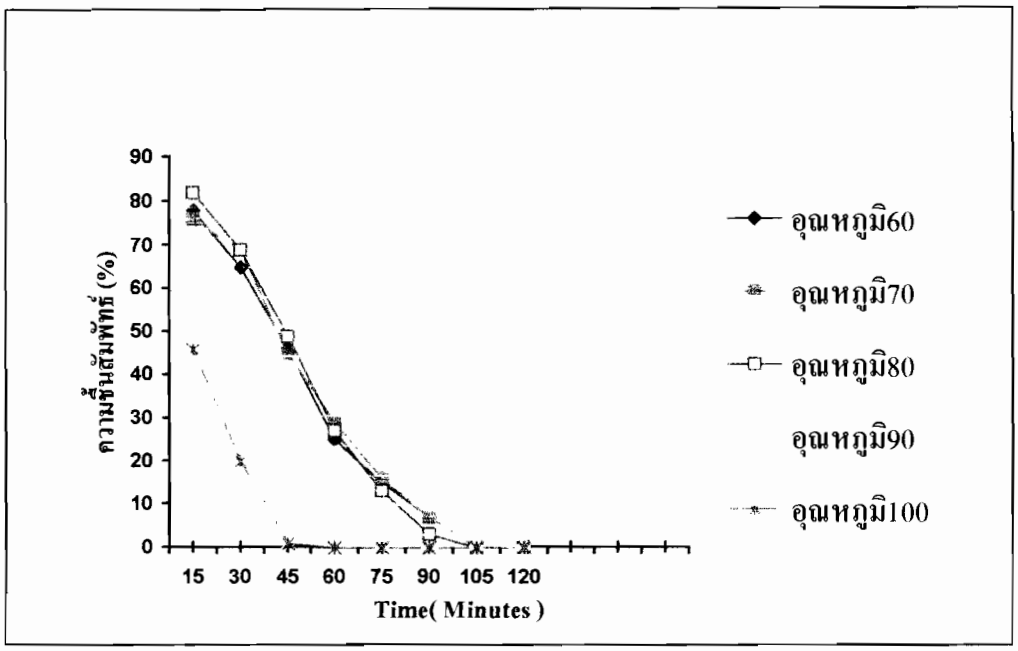
เวลา(นาที) / ข้อมูล	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165
น้ำหนัก(kg)	24.6	24.1	23.5	23	22.8	21.9	21	19.9	19.1	18.1	18
MR	0.95	0.89	0.81	0.75	0.69	0.61	0.47	0.27	0.17	0.01	0
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	95	89	81	75	69	61	47	27	17	1	0
M_w (%)	26.41	25.1	23.39	21.77	21.5	18.62	15.08	10.31	6.28	1.77	0
M_d (%)	35.89	33.39	30.76	28.18	26.16	22.89	17.76	11.71	6.76	1.82	0



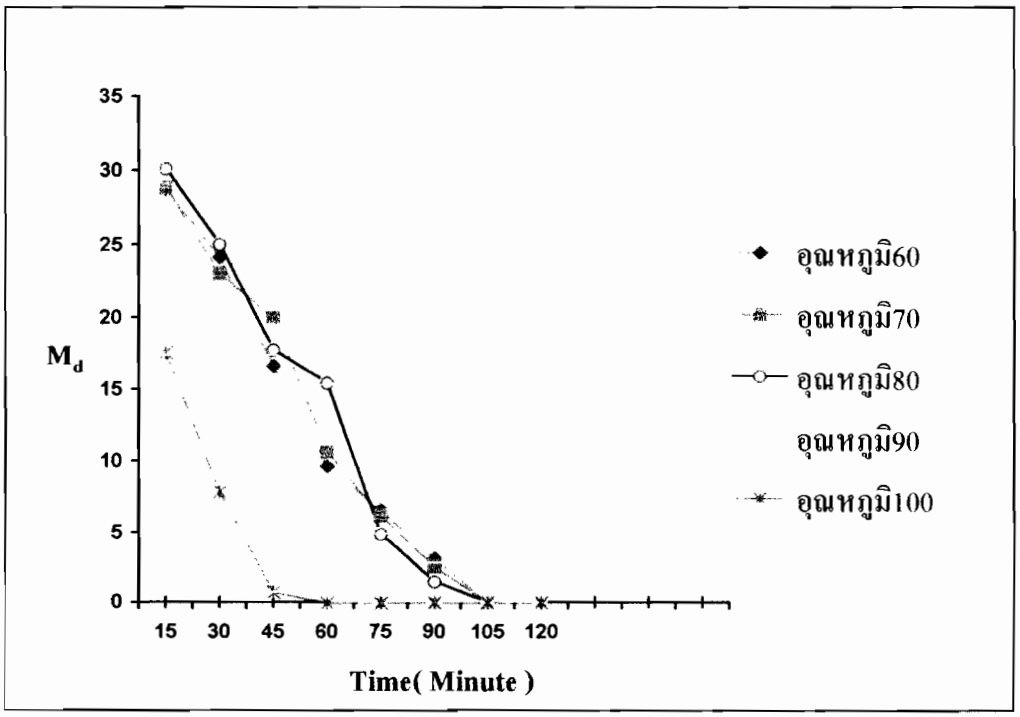
รูปที่ 4.6.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของเวลากับน้ำหนักปุ๋ย



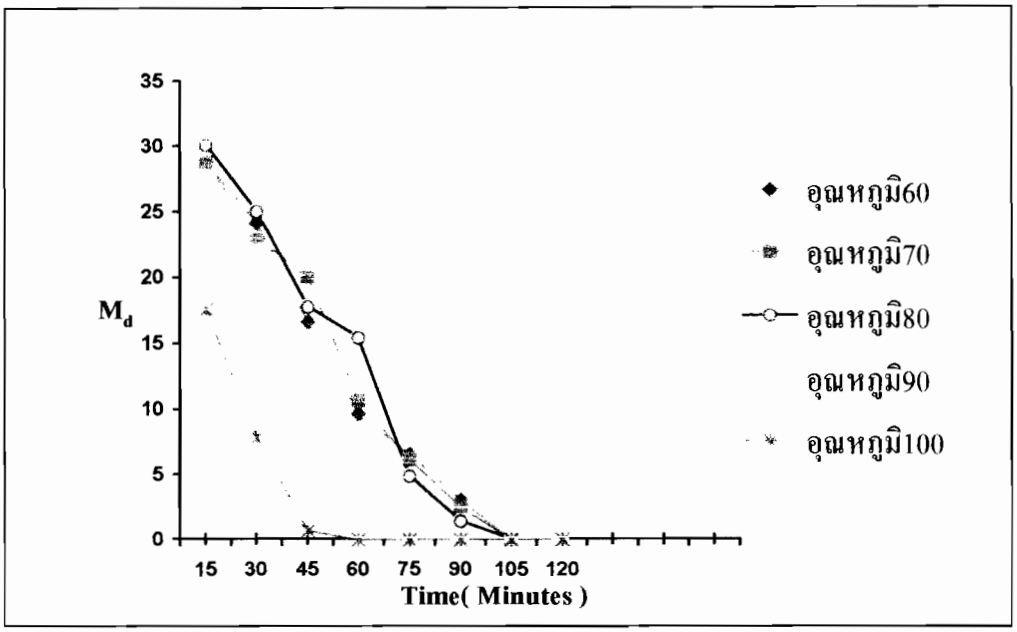
รูปที่ 4.6.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของเวลากับอัตราการอบแห้ง



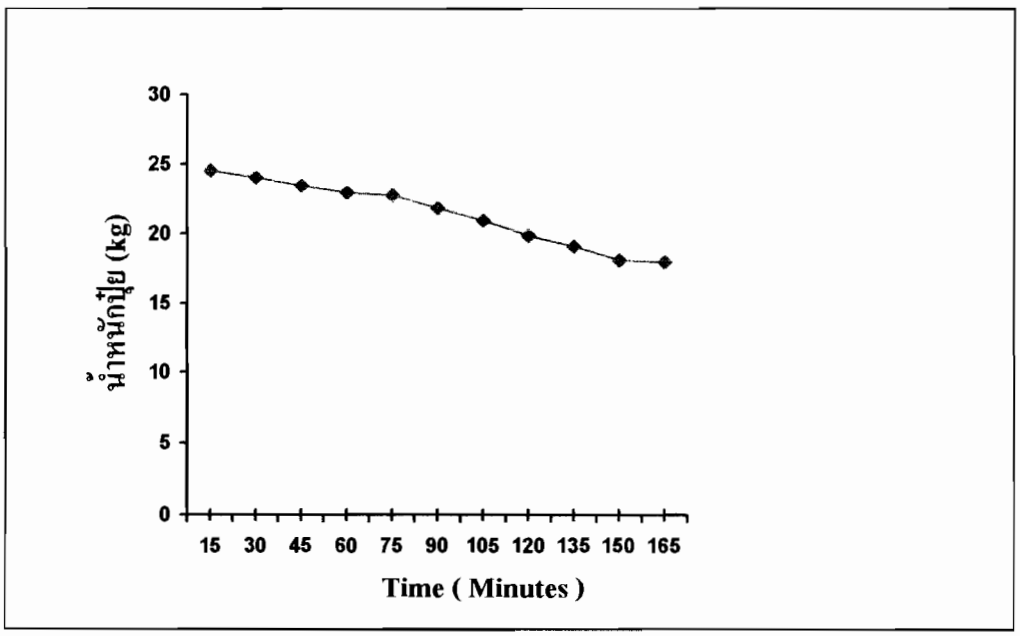
รูปที่ 4.6.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของเวลากับค่าความชื้นสัมพัทธ์



รูปที่ 4.6.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของเวลากับค่ามาตรฐานความชื้นแห้ง

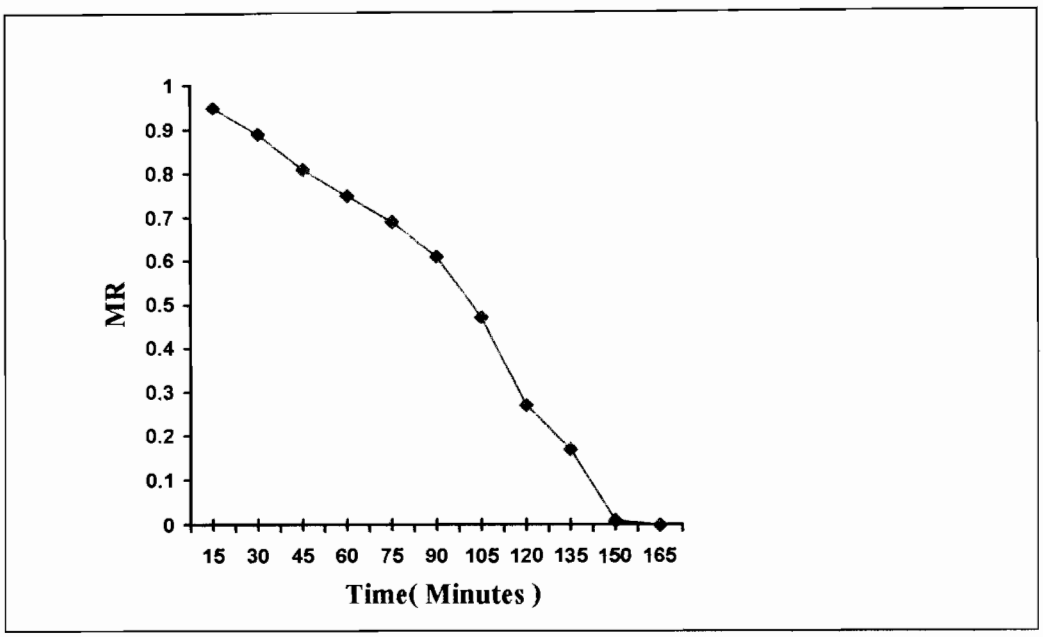


รูปที่ 4.6.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของเวลากับค่ามาตรฐานความชื้นแห้ง

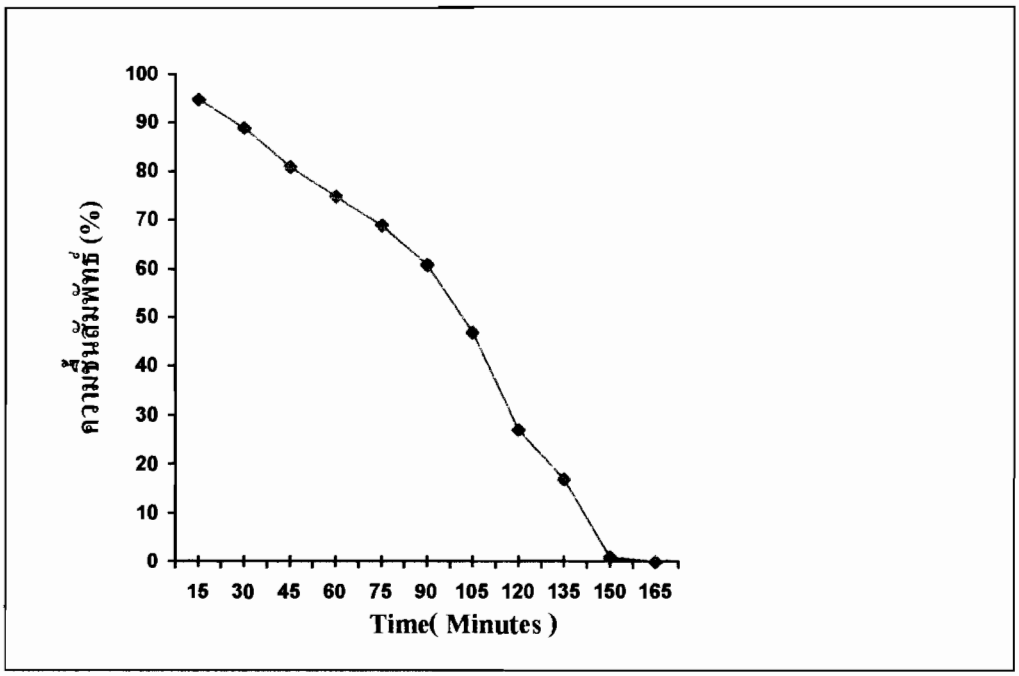


รูป 4. 6.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของเวลากับน้ำหนักปุ๋ยใน

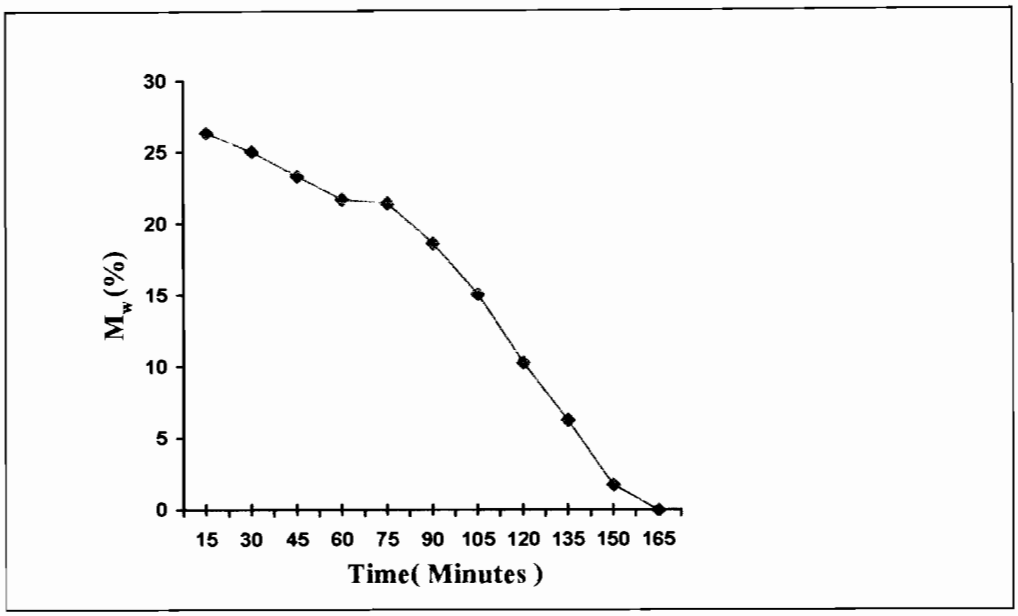
การตากแดดที่อุณหภูมิ 37-40°C



รูปที่ 4.6.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของเวลากับอัตราการอบแห้งในการตากแดดที่อุณหภูมิ 37-40°C

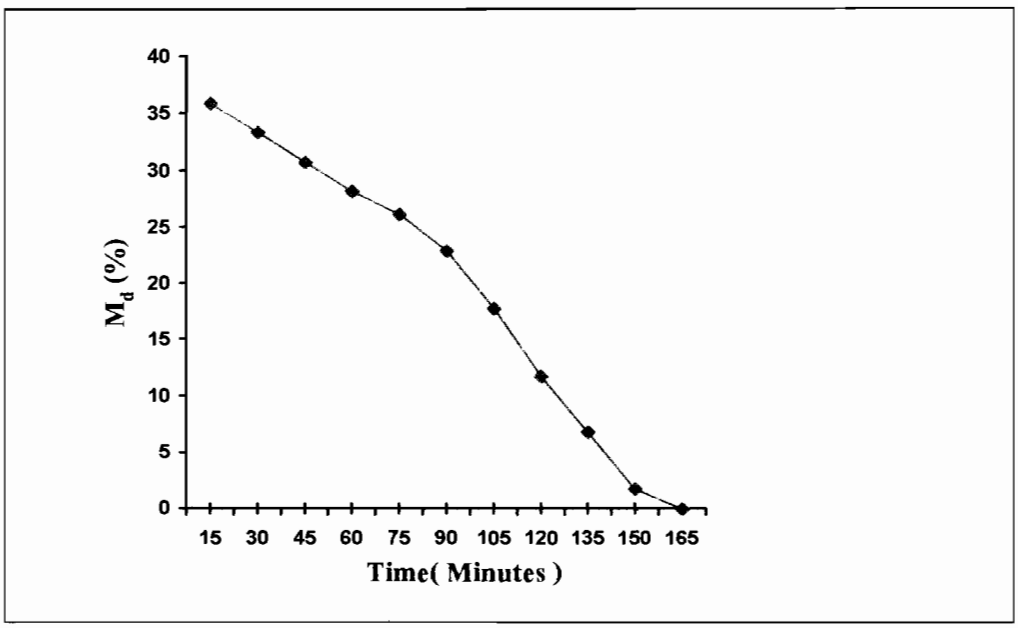


รูปที่ 4.6.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของเวลากับความชื้นสัมพัทธ์ในการตากแดดที่อุณหภูมิ 37-40°C



รูปที่ 4.6.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของเวลากับมาตรฐาน

เปียกในการตากแดดที่อุณหภูมิ 37-40°C



รูปที่ 4.6.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของเวลากับความชื้น

มาตรฐานแห้งในการตากแดดที่อุณหภูมิ 37-40°C

บทที่ 5

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลองโดยการอบแห้ง

ผลการทดลองอบเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการอบเม็ดปุ๋ยอินทรีย์จะต้องมีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงน้อยที่สุดและจะต้องประหยัดเวลาในการอบแห้งเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพในการอบแห้งมากที่สุดเมื่อพิจารณาจากข้อมูลในตารางผลการทดลองทั้ง 3 โดยต้องการความชื้นสัมพัทธ์ 10%ซึ่งหาได้จากการนำอัตราการอบแห้ง(MR) มา $\times 100$ จะได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ของเม็ดปุ๋ย ในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ จะพบว่า ที่ อุณหภูมิ 60 – 100 $^{\circ}$C จะใช้เวลาในการอบแห้งและการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง ดังนี้

จากตารางที่ 4.6.1 อุณหภูมิ 60 $^{\circ}$C ความชื้นสัมพัทธ์เม็ดปุ๋ย 10 % ใช้เวลาในการอบ 80 นาที มีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.0426 กิโลกรัม/น้ำหนัก ปุ๋ย1 กิโลกรัม

จากตารางที่ 4.6.2 อุณหภูมิ 70 $^{\circ}$C ความชื้นสัมพัทธ์เม็ดปุ๋ย 10 % ใช้เวลาในการอบ 80 นาที มีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.0453 กิโลกรัม/น้ำหนัก ปุ๋ย1 กิโลกรัม

จากตารางที่ 4.6.3 อุณหภูมิ 80 $^{\circ}$C ความชื้นสัมพัทธ์เม็ดปุ๋ย 10 % ใช้เวลาในการอบ 75 นาที มีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.0280 กิโลกรัม/น้ำหนัก ปุ๋ย1 กิโลกรัม

จากตารางที่ 4.6.4 อุณหภูมิ 90 $^{\circ}$C ความชื้นสัมพัทธ์เม็ดปุ๋ย 10 % ใช้เวลาในการอบ 45 นาที มีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.0168 กิโลกรัม/น้ำหนัก ปุ๋ย1 กิโลกรัม

จากตารางที่ 4.6.5 อุณหภูมิ 100 $^{\circ}$C ความชื้นสัมพัทธ์เม็ดปุ๋ย 10 % ใช้เวลาในการอบ 35นาทีมีการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงเฉลี่ย 0.0160 กิโลกรัม/น้ำหนัก ปุ๋ย1 กิโลกรัม

ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดในการอบแห้งคือ 100 $^{\circ}$C เพราะใช้เวลาและเชื้อเพลิงน้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอื่น ๆ

5.2 สรุปผลการทดลองโดยการตากแดด

เมื่อทำการทดลองโดยการตากแดดที่อุณหภูมิ 37 - 40°C จะพบว่าการตากแดดจะมีข้อเสีย คืออุณหภูมิในการตากแดดจะไม่คงที่ มีผลทำให้ ใช้เวลามากในการตากแดด เมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้น

สัมพัทธ์เม็ดปุ๋ยที่ต้องการประมาณ 10 % จะพบว่าต้องใช้เวลาในการอบ 140 นาที โดยจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิในขณะนั้น

5.3 เปรียบเทียบระหว่างการใช้ตู้อบและการตากแดด

เนื่องจากตู้อบเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ มีแนวคิดในการออกแบบ เพื่อใช้ในฤดูฝนและศึกษาหาข้อมูลและความเป็นไปได้เมื่อใช้ในฤดูอื่นปกติ เกษตรกรจะผลิตปุ๋ยอินทรีย์ได้วันละประมาณ 1,500 kg โดยการตากบนลานกว้างและใช้ความร้อนจากแสงแดดเป็นตัวระเหยความชื้นทำให้มีข้อจำกัดในการตากคือได้เฉพาะเวลามีแสงแดดคือประมาณ เวลาตั้งแต่ 8.00-16.30 หรือคิดเป็น 510 นาที หากนำมาเปรียบเทียบกับการอบด้วยตู้อบที่อุณหภูมิ 90 $^{\circ}$C ที่ความชื้น 10 % จะใช้เวลาในการอบ ประมาณ 45 นาทีได้ผลผลิตประมาณ 18 -19kgโดยขึ้นอยู่กับส่วนผสมของเม็ดปุ๋ยเมื่อนำเวลามาเปรียบเทียบจะเห็นว่า 510 นาที จะอบเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ได้215kg เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการตากแดด และการใช้ตู้อบ โดยน้ำหนักที่ทดลอง 25 kg เท่ากันจะเห็นได้ว่าการอบแห้งจะใช้เวลาน้อยกว่าโดยดูจากข้อมูลในกราฟ โดยจะใช้เวลาประมาณ 45 นาที แต่การตากแดดจะใช้เวลาประมาณ 140 นาทีดังนั้นการตากแดดจึงเหมาะสมกับการผลิตครั้งละมาก ๆ เนื่องจากไม่มีต้นทุนในการอบแห้ง ใช้เพียงพื้นที่ในการตากแดด จึงเหมาะสมสำหรับเกษตรกร ที่มีอัตราการผลิตเฉลี่ย 1,000-1,500 kg

5.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลอง และ การตากแดดแล้วจะพบว่าการใช้ตู้อบใช้ต้นทุนสูง กว่าการตากแดดค่อนข้างมาก คือ ต้องใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงแล้วยังต้องใช้ไฟฟ้าในการสร้างการหมุนเวียนของลมร้อนเมื่อเทียบกับการตากแดดซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้เชื้อเพลิงซึ่งหากเกษตรกรผลิตปุ๋ยอินทรีย์ในฤดูร้อนปริมาณมาก ๆ เพื่อใช้ในฤดูอื่นจะช่วยให้เกษตรกรในการลดต้นทุนในการผลิตได้มาก ดังนั้นตู้อบเม็ดปุ๋ยอินทรีย์อัดเม็ดนี้จึงไม่คุ้มค่าในการนำไปใช้ สำหรับการผลิตเฉพาะกลุ่มเกษตรกรที่ผลิตปุ๋ยใช้เอง แต่สำหรับการผลิตเชิงอุตสาหกรรมจากการสำรวจข้อมูลพบว่ามีความจำเป็นต้องใช้

5.5 ข้อเสนอแนะ

5.5.1 เนื่องจากตู้อบเม็ดปุ๋ยอินทรีย์จะอบเม็ดปุ๋ยอินทรีย์ได้ปริมาณน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการตากแดดจึงควรมีการพัฒนาตู้อบ เพื่อเพิ่มผลผลิตทำให้ผลิตปุ๋ยได้ตลอดทั้งปี เช่น เพิ่มขนาดของตู้อบเพื่อให้ผลผลิตได้ครั้งละมาก ๆ ศึกษาและกำหนดขนาดทิศทางของลมร้อนเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด

5.5.2 เนื่องจากตู้อบปุ๋ยอินทรีย์นี้ใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิงซึ่งมีราคาค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับการตากแดดหากมีการศึกษาแนวทางในการปรับเปลี่ยนไปใช้พลังงานชนิดอื่น ๆ เช่นพลังงานแสงอาทิตย์เป็นต้น

5.5.3 ปุ๋ยอินทรีย์ ที่ผลิตได้มีความชื้นที่ไม่แน่นอนทำให้เวลาในการอบและการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงไม่มีความแน่นอน จึงน่าจะมีการกำหนดส่วนผสมของปุ๋ยอินทรีย์ที่ถูกต้องและแม่นยำ

5.5.4 ในการปรับอุณหภูมิของตู้อบต้องใช้เวลามาก กว่าอุณหภูมิจะคงที่ทำให้เสียพลังงานโดยไม่จำเป็นหากมีการพัฒนาอุปกรณ์ควบคุมอุณหภูมิจะทำให้ประหยัดพลังงานได้อีกมาก

บรรณานุกรม

[1] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2535, **การอบแห้งเมล็ดธัญพืช**, คณะพลังงานและวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, พิมพ์ครั้งที่ 5, 378 หน้า.

[2] เบญจพร รดอาวุธ,2548,**เอกสารประกอบการสอนรายวิชาการแปรรูปอาหาร 1**, คณะ เทคโนโลยีการเกษตร และเทคโนโลยีอุสหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์

[3] สุนีย์รัตน์ ตุ้ยตา, 2532, **เรื่องการออกแบบตู้อบลำไยอบแห้งแบบลมร้อน**, วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

[4] ไพบูลย์ ธรรมรัตน์มาสิก, 2532, **กรรมวิธีการแปรรูปอาหาร**, สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ กรุงเทพ, 302 หน้า.

[5] นาวาอากาศตรี ตระการ ก้าวกสิกรรม, 2537, **คู่มือฉนวนความร้อน** ,กองวิจัยและพัฒนายุทโธกรณ์ศูนย์วิจัยและพัฒนาการทหาร 312 หน้า.