การประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบพาหะลม

นางสาวจิตรารัตน์ จอกกิ่ว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการพลังงาน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2559

PERFORMANCE EVALUATION OF PADDY RICE PNEUMATIC DRYER

Jittrarat Jokkew

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering in Energy management Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2016

การประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบพาหะลม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.กีรติ สุลักษณ์)
ประธานกรรมการ

(อ. ดร.กระวี ตรีอำนรรค)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนรรค)
กรรมการ

(อ. ดร.สามารถ บุญอาจ)
กรรมการ

(ผศ. ดร.ณัฐพงศ์ รัตนเดช)
กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จิตรารัตน์ จอกกิ่ว : การประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบพาหะลม (PERFORMANCE EVALUATION OF PADDY RICE PNEUMATIC DRYER) อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.กระวี ตรีอำนรรค, 175 หน้า.

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบพาหะลมที่พัฒนาขึ้น มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะควบคุมที่เหมาะสมในการอบแห้งทั้งแบบติดตั้งไซโคลนและแบบไม่ติดตั้งไซโคลน ซึ่งประกอบไปด้วย อุณหภูมิ ความเร็วลม พร้อมทั้งประเมินคุณภาพของข้าวเปลือกที่อบแห้งหลังผ่านกระบวนการสีและขัดขาวข้าว โดยมีข้าวหอมมะลิ พันธุ์ 105 เป็นวัสดุตัวอย่างสำหรับการอบแห้ง ทำการทดสอบอบแห้งข้าวเปลือกครั้งละ 40 kg ที่อุณหภูมิอบแห้งเท่ากับ 80°C ประเมินความเหมาะสมในการอบแห้งจากพฤติกรรมการอบแห้ง ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ อัตราอบแห้ง และคุณภาพข้าวจากร้อยละต้นข้าว ผลจากการทดสอบพบว่าวิธีอบแห้งแบบไม่ติดไซโคลนมีผลต่อการลดความชื้นได้มากกว่าแบบติดตั้งไซโคลน โดยสภาวะที่เหมาะสมต่อการอบแห้งคืออัตราการไหลอากาศ 0.0512 m^3/s (ความถี่บนอินเวอร์เตอร์ควบคุมมอเตอร์พัดลมเท่ากับ 50 Hz) มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 7.25 MJ/kg_{water} เป็นสภาวะที่เหมาะสมหากพิจารณาในแง่ของพลังงานที่ใช้ทั้งหมด ในขณะที่การอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลนที่อัตราการไหล 0.0631 m^3/s (ความถี่บนอินเวอร์เตอร์ควบคุมมอเตอร์พัดลมเท่ากับ 55 Hz) ถือเป็นสภาวะที่เหมาะสมหากพิจารณาในแง่ของคุณภาพข้าว โดยเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นที่ดีที่สุดคือ 36.84% และเครื่องอบแห้งนี้มีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ 1.6 ตันต่อปี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา 2559

ลายมือชื่อนักศึกษา จิตรารัตน์ จอกกิ่ว
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

JITTRARAT JOKKEW : PERFORMANCE EVALUATION OF PADDY RICE PNEUMATIC DRYER. THESIS ADVISOR : KRAWEE TREEAMNUK, Ph.D., 175 PP.

PNEUMATIC DRYER/DRYING/HEAD RICE YIELD

This research was carried out to study the drying of paddy using a developed pneumatic dryer by the cyclone and without cyclone installation. In this study, Thai jasmine rice variety was selected as a sample in the experiment. The effect of drying behavior, specific energy consumption (SEC), drying rate (DR) and percent of head rice yield were evaluated as the performance. For drying experiment, 40 kg of paddy was dried at drying temperature of 80°C. The result shown that the drying system without cyclone gives a higher rate of moisture reduction than the cyclone installation. Based only on energy utilization during the process, the lowest SEC of 7.25 MJ/kg_{water} occurs on the drying at airflow rate of drying 0.0512 m^3/s (50 Hz on blower motor invertor) by without cyclone. For the dried product quality, the highest head rice yield of 36.84% occurs on the drying at air flow rate of drying 0.0631 m^3/s (55 Hz on blower motor invertor). Breakeven at a production level of 1.6 ton/year.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Mechanical Engineering

Academic Year 2016

Student's Signature Jittrarat J.

Advisor's Signature K Treeamnuk

Co-Advisor's Signature Tawarat Treeamnuk

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ทุกประการ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคลต่างๆ ที่ให้คำปรึกษา คำแนะนำและช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้ทุนอุดหนุนโครงการวิจัยเพื่อทำวิทยานิพนธ์ระดับบัณฑิตศึกษาและทุนอุดหนุนการนำเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแก่ผู้วิจัย

อาจารย์ ดร.กระวี ตรีอำนรรค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เทวรัตน์ ตรีอำนรรค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้มอบโอกาสทางการศึกษา ความรู้และคำปรึกษาในการทำงานวิจัย ชี้แนะแนวคิดของงานวิจัย ตลอดจนให้คำแนะนำสำหรับการเขียนและตรวจสอบวิทยานิพนธ์นี้จนเสร็จสมบูรณ์

คุณสมยง พิมพ์พรม เจ้าหน้าที่ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี 3 ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์การใช้เครื่องมือและสถานที่ในการทำงานวิจัย

นายเกียรติศักดิ์ ใจโต นักศึกษาบัณฑิตระดับปริญญาเอก ที่ให้คำแนะนำวิธีการทดสอบงานวิจัยและช่วยเหลือขณะทดสอบขั้นต้น จนทำให้ผู้วิจัยมีความรู้ ความเข้าใจและความชำนาญสำหรับการทดสอบ รวมทั้งรุ่นพี่และเพื่อนบัณฑิตสาขาวิศวกรรมเกษตรทุกท่าน ที่คอยให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษาแก่ผู้วิจัยตลอดการทำงานวิจัย

ท้ายนี้ขอกราบขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัย และสำคัญที่สุดขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้การอบรมเลี้ยงดู และให้โอกาสในการศึกษาแก่ผู้วิจัยจนถึงปัจจุบัน จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตตลอดมา

จิตรารัตน์ จอกกิ่ว

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....ข

กิตติกรรมประกาศ.....ค

สารบัญ.....ง

สารบัญตาราง.....ช

สารบัญรูป.....ซ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....ต

บทที่

1 บทนำ.....1

1.1 ที่และความสำคัญของ.....1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....3

1.3 ขอบเขตการวิจัย.....3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....3

2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....4

2.1.1 ปริมาณความชื้นในวัสดุ (Moisture Content).....4

2.1.2 ปัจจัยในการออกแบบเครื่องอบแห้ง.....5

2.1.3 เครื่องอบแห้งเมล็ดพืช.....6

2.1.4 เครื่องอบแห้งอาหารและวัสดุเกษตรอื่น.....16

2.1.5 การคำนวณหาปริมาณลม ความร้อนและเชื้อเพลิง สำหรับเครื่องอบแห้ง.....20

2.1.6 การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง.....24

2.1.7 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพการสีข้าว.....25

2.1.8 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการลดความชื้นในข้าวเปลือก.....26

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....28

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3 วิธีการดำเนินการวิจัย.....34
3.1 ตัวอย่างวัสดุอบแห้ง.....34
3.2 เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมสำหรับอบแห้งข้าวเปลือกที่พัฒนาขึ้น.....35
3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....36
3.4 วิธีการทดสอบการอบแห้ง.....42
3.4.1 การศึกษาการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมเบื้องต้น.....42
3.4.2 การทดสอบอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม.....44
3.5 วิธีการผึ่งแห้งตัวอย่างข้าวที่ใช้เป็นชุดควบคุม.....45
3.6 การประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง.....45
3.7 การทดสอบคุณภาพข้าวหลังการอบแห้ง.....49
3.8 สถานที่ทำการทดลอง.....52
3.9 ระยะเวลาทำการทดลอง.....52
4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....53
4.1 ผลการทดสอบการอบแห้งเบื้องต้น.....53
4.1.1 การลดความชื้นของเครื่องอบแห้งแบบไม่ติดไซโคลน.....54
4.1.2 การลดความชื้นของเครื่องอบแห้งแบบติดตั้งไซโคลน.....56
4.1.3 เปรียบเทียบการลดความชื้นของเครื่องอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลนกับแบบติดตั้งไซโคลน.....57
4.2 การทดสอบอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม.....60
4.2.1 การลดความชื้นของเครื่องอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลน.....61
4.2.2 การลดความชื้นของเครื่องอบแห้งแบบติดตั้งไซโคลน.....63
4.2.3 เปรียบเทียบการลดความชื้นของเครื่องอบแห้งทุกระดับความเร็วลม.....64
4.3 พลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง.....68
4.3.1 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption).....68
4.3.2 อัตราการอบแห้ง (Drying rate).....69
4.4 คุณภาพของข้าวที่ผ่านการอบแห้ง.....71

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์……74
4.5.1 การประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ……75
4.5.2 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก……76
4.5.3 ระยะเวลาคืนทุน……78
5 สรุปและข้อเสนอแนะ……79
5.1 สรุปผลการวิจัย……79
5.1.1 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้น……79
5.1.2 พลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง……79
5.1.3 อัตราการอบแห้ง……80
5.1.4 คุณภาพข้าว……80
5.1.5 วิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์……80
5.2 ข้อเสนอแนะ……81
รายการอ้างอิง……82
ภาคผนวก
ภาคผนวก ก ตารางผลการทดลอง……84
ภาคผนวก ข ผลการทดลองหาเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นของข้าวเปลือก……142
ภาคผนวก ค ตัวอย่างการคำนวณผลการทดลอง……165
ภาคผนวก ง แบบเครื่องอบแห้ง……169
ประวัติผู้เขียน……175

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

4.1 ผลการทดสอบเบื้องต้นเครื่องอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลน.....53

4.2 ผลการทดสอบเบื้องต้นเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมแบบไม่ติดตั้งไซโคลน.....56

4.3 ผลการทดสอบเบื้องต้นเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมแบบติดตั้งไซโคลน.....57

4.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือก.....58

4.5 ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบที่ปรับผ่านอินเวอร์เตอร์กับความเร็วลมและอัตราการป้อนข้าวเปลือก.....61

4.6 ผลการทดสอบเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมแบบไม่ติดตั้งไซโคลน.....62

4.7 ผลการทดสอบเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมแบบติดตั้งไซโคลน.....64

4.8 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือก ที่ระดับความเร็วลม 45 Hz.....65

4.9 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือก ที่ระดับความเร็วลม 50 Hz.....66

4.10 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือก ที่ระดับความเร็วลม 55 Hz.....67

4.11 การใช้พลังงานรวมทั้งหมดสำหรับอบแห้งข้าวเปลือก.....69

4.12 อัตราการอบแห้งของการอบแห้งข้าวเปลือก.....70

4.13 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก.....74

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 เครื่องอบแห้งเมล็ดพืชแบบถังเก็บ....7
2.2 การเคลื่อนที่ของโซนการอบแห้ง....8
2.3 ลักษณะการไหลของเมล็ดพืชและอากาศอบแห้ง....12
2.4 เครื่องอบแห้งแบบไหลขวาง....13
2.5 เครื่องอบแห้งแบบไหลขวางโดยนำเอาอากาศที่ใช้ระบายความร้อนจากเมล็ดพืช กลับมา....13
2.6 เครื่องอบแห้งแบบไหลตาม....14
2.7 ภาพตัดของเครื่องอบแห้งแบบที่มีการผสมกันของเมล็ดพืช....15
2.8 เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์....17
2.9 เครื่องอบแห้งแบบตู้....18
2.10 เครื่องอบแห้งแบบสายพาน....19
2.11 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด....20
2.12 ระบบการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างง่าย....21
3.1 ตัวอย่างเมล็ดข้าวเปลือกที่ใช้ในการอบแห้ง....34
3.2 เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่พัฒนาขึ้น....35
3.3 ชุดควบคุมอุณหภูมิอากาศอบแห้งพร้อมติดตั้งมิเตอร์....36
3.4 ตู้อบลมร้อน....37
3.5 เครื่องชั่งน้ำหนัก แบบดิจิตอล....38
3.6 ชุดวัดความเร็วลมพร้อมใบพัดแยก....38
3.7 มัลติมิเตอร์แบบคลิป....39
3.8 มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า....39
3.9 เครื่องกะเทาะข้าวกล้อง รุ่น NW-150....40
3.10 เครื่องขัดขาว....40
3.11 เครื่องคัดแยกเมล็ดพันธุ์ยาว-สั้น ทรงกระบอก....41
3.12 ห้องเย็น....41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

3.13 อบข้าวเปลือกด้วยตู้อบลมร้อน….....42
3.14 ตัวถังเก็บข้าวเปลือกก่อนติดตั้งแผ่นกันลมร้อนออก.....44
3.15 วัดความเร็วลมจากปลายท่อห้องอบแห้งเพื่อหาอัตราการไหลของข้าวเปลือก.……45
3.16 การผึ่งแห้งชุดควบคุมของตัวอย่างข้าว.....46
3.17 ชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งแล้ว.....49
3.18 นำข้าวเปลือกใส่ลงในภาชนะของเครื่องกะเทาะเปลือกออก.....50
3.19 นำข้าวกล้องที่ผ่านการกะเทาะเปลือกมาขัดขาวด้วยเครื่องขัดขาว….....50
3.20 คัดแยกข้าวหักออกจากข้าวเต็มเมล็ดและข้าวต้น.....51
3.21 เครื่องคัดแยกระหว่างข้าวต้นและข้าวหักออกจากกันลงในแต่ละภาชนะ.....51
3.22 นำเอาข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวที่คัดได้มาชั่งน้ำหนัก.....52
4.1 ขอบถังบริเวณที่เกิดการสะสมของข้าวเปลือกความชื้นสูง.....54
4.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกจากการทดสอบเบื้องต้นเครื่องอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลน……...….....55
4.3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกจากการทดสอบเบื้องต้นเครื่องอบแห้งแบบติดตั้งไซโคลน…….……...…...57
4.4 เปรียบเทียบวิธีการลดความชื้นของข้าวเปลือกจากการทดสอบเบื้องต้น…….…….....59
4.5 ผนังของถังเก็บข้าวเปลือกลักษณะเป็นรูพรุน.....59
4.6 ข้าวเปลือกที่ไม่มีการเคลื่อนที่และค้างอยู่ในถังเก็บ.....60
4.7 แผ่นกันลมออกบริเวณเหนือผิวด้านบนของข้าวเปลือก.....58
4.8 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเครื่องอบแห้งแบบไม่ติดไซโคลน.....62
4.9 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเครื่องอบแห้งแบบติดตั้งไซโคลน.....63
4.10 เปรียบเทียบการลดความชื้นของเครื่องอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลนกับแบบติดตั้งไซโคลนที่ระดับความเร็วลม 45 Hz……..….65

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.11 เปรียบเทียบการลดความชื้นของเครื่องอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลนกับแบบติดตั้งไซโคลนที่ระดับความเร็วลม 50 Hz……..……..……....66
4.12 เปรียบเทียบการลดความชื้นของเครื่องอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลนกับแบบติดตั้งไซโคลนที่ระดับความเร็วลม 55 Hz……..……....67
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะกับความเร็วลม……..……...68
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความเร็วลม.....70
4.15 เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นด้วยการอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลน.....71
4.16 เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นด้วยการอบแห้งแบบติดตั้งไซโคลน.....71
4.17 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น.....73

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

M_w	=	ความชื้นมาตรฐานเปียก
M_d	=	ความชื้นมาตรฐานแห้ง
W	=	มวลของวัสดุ
W_w	=	มวลของความชื้นหรือปริมาณน้ำในวัสดุ
W_d	=	มวลแห้งของวัสดุ
Q_a	=	ปริมาณความร้อนที่อากาศได้รับ
$\dot{m}_a$	=	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศแห้ง
H_l	=	อัตราส่วนความชื้นของอากาศ
C_a	=	ความร้อนจำเพาะของอากาศแห้ง
C_v	=	ความร้อนจำเพาะของไอน้ำ
T_1	=	อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องอุ่นอากาศ
T_2	=	อุณหภูมิของอากาศออกจากเครื่องอุ่นอากาศ
t	=	เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง
Q_s	=	ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิวัสดุ
C_{pd}	=	ความร้อนจำเพาะของวัสดุแห้ง
C_{pw}	=	ความร้อนจำเพาะของน้ำ
T_{p1}	=	อุณหภูมิวัสดุก่อนอบแห้ง
T_{p2}	=	อุณหภูมิวัสดุหลังอบแห้ง
f	=	อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง
η	=	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบให้ความร้อน
η_{ex}	=	ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน
C_f	=	ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง
η_{dry}	=	ประสิทธิภาพของการอบแห้ง
η'_{dry}	=	ประสิทธิภาพของการอบแห้งเมื่อรวมความร้อนสัมผัส
DR	=	อัตราการอบแห้ง
SEC	=	ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ข้าว ถือเป็นธัญญาหารหลักในการดำรงชีวิตของชาวไทย รวมถึงประเทศที่บริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก เช่น ประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน ญี่ปุ่น ฟิลิปปินส์ มาเลเซีย และแคเมอรูน เป็นต้น จากจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ ปี ทำให้ความต้องการด้านการบริโภคข้าวในแต่ละประเทศเพิ่มขึ้นตามด้วย หากประเทศใดมีกำลังการเพาะปลูกข้าวได้ไม่เพียงพอ ต้องนำเข้าข้าวในปริมาณหลายล้านตันต่อปี เพื่อตอบสนองความต้องการในการบริโภคให้เพียงพอต่อจำนวนประชากรในประเทศนั้นๆ แต่สำหรับประเทศที่มีภูมิประเทศเหมาะสำหรับการเพาะปลูกธัญพืชหลากหลายชนิด อย่างประเทศไทย ซึ่งสามารถเพาะปลูกข้าวได้อย่างเพียงพอต่อจำนวนประชากรภายในประเทศและยังสามารถส่งออกข้าวได้ปีละหลายล้านตัน ซึ่งเป็นมูลค่ารวมกว่า 17,200 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2558) จะเห็นได้ว่า “ ข้าว ” เป็นพืชทางเศรษฐกิจที่มีความสำคัญต่อการนำรายได้เข้าสู่ประเทศไทยเป็นอย่างมาก

ผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรของประเทศไทยที่มีมูลค่าการส่งออกเป็นอันดับต้น ๆ ของประเทศได้แก่ ข้าวสาร ถึงแม้ประเทศไทยจะมีสภาพแวดล้อมที่เหมาะสำหรับการทำนา แต่หลังจากการเก็บเกี่ยวมักจะพบว่า ข้าวเปลือกส่วนใหญ่มีความชื้นสะสมสูงมากโดยเฉพาะการเก็บเกี่ยวในฤดูฝน ทำให้ได้ราคารับซื้อต่ำและส่งผลทำให้ข้าวเสื่อมคุณภาพเร็วขึ้น และคุณภาพหลังกระบวนการสีข้าวเกิดความเสียหายมากกว่าปกติ รวมไปถึงเรื่องกลิ่นสาบและเมล็ดข้าวมีสีคล้ำ ทำให้คุณภาพที่ได้ไม่ตรงกับความต้องการของตลาด ดังนั้นการลดความชื้นในระดับที่เหมาะสม จึงเป็นอีกกระบวนการผลิตข้าวที่ต้องให้ความสำคัญ โดยความชื้นที่เหมาะต่อการเก็บรักษามีค่าประมาณ 14 %db (มาตรฐานแห้ง) เพื่อยืดอายุการเก็บรักษาของข้าวเปลือกและลดความสูญเสียของข้าวหลังกระบวนการสีข้าว สำหรับการลดความชื้นนั้นมีหลายวิธีการโดยจะขึ้นอยู่กับค่าความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก ซึ่งแต่ละวิธีการนั้นมีทั้งข้อดีและข้อจำกัดที่แตกต่างกัน ดังนั้นการเลือกวิธีลดความชื้นที่เหมาะสม นอกจากจะสามารถยืดอายุในการเก็บรักษาได้แล้ว ยังสามารถเพิ่มจำนวนกำลังการผลิตพร้อมทั้งได้คุณภาพตามมาตรฐานกำหนดอีกด้วย

วิธีการลดความชื้นของข้าวเปลือกมีหลายวิธี แต่วิธีที่ง่ายที่สุดคือ การตากแดดในลาน (Sun drying) ซึ่งเป็นวิธีที่อาศัยธรรมชาติ ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในส่วนของแหล่งพลังงานความ

ร้อนและไม่ยุ่งยาก แต่มีข้อจำกัดในด้านแรงงานและการใช้พื้นที่ตากจำนวนมาก อีกทั้งใช้เวลานาน เนื่องจากความไม่แน่นอนของแสงแดดในแต่ละวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูฝน จึงทำให้ไม่สามารถควบคุมความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกได้ ส่วนอีกวิธีเป็นการใช้เครื่องอบแห้ง (Artificial drying) มาช่วยในการลดความชื้นของข้าวเปลือก ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้มากที่สุดในปัจจุบัน เนื่องจากสามารถใช้งานได้ทุกสภาวะอากาศ สามารถควบคุมความชื้นได้ตามระดับที่ต้องการมากกว่าการตากแดดในลาน แต่การอบแห้งในระบบเดิมยังต้องใช้พลังงานที่สูง และพบว่าข้าวที่ผ่านกระบวนการสีแล้ว ได้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นต่ำ บางครั้งหลังการอบแห้งพบว่ามีค่าความชื้นสะสมไม่อยู่ในระดับที่ต้องการ ทำให้ข้าวเสื่อมคุณภาพได้กว่าเร็วปกติและการทำงานของเครื่องอบแห้งไม่เพียงพอต่อปริมาณข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวได้ในแต่ละวัน ปัจจุบันได้มีงานวิจัยเพื่อศึกษาการลดความชื้นของข้าวเปลือกเป็นจำนวนมาก รวมถึงการพัฒนาและปรับปรุงระบบการทำงานของเครื่องอบแห้ง เพื่อเพิ่มสมรรถนะในการทำงาน โดยใช้พลังงานให้น้อยลงแต่ยังคงมีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานที่ตลาดต้องการ

เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่สร้างขึ้นในเชิงพาณิชย์มีหลายรูปแบบที่เหมาะต่อการใช้งานของโรงสีข้าว ยกตัวอย่างเช่น เครื่องอบแห้งแบบคลุกเคล้าหรือ LSU เป็นเครื่องอบแห้งที่นิยม แต่มีข้อเสียคือจะทำให้คุณภาพของเมล็ดข้าวหลังผ่านการสีต่ำกว่าปกติ ซึ่งส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นที่ได้ลดลง เครื่องอบแห้งอีกชนิดคือ เครื่องอบแห้งฟูอิดไดซ์เบด เป็นวิธีที่ช่วยลดความชื้นได้อย่างรวดเร็ว และทำให้มีความชื้นสม่ำเสมอทั่วเมล็ด แม้จะมีความชื้นเริ่มต้นที่แตกต่างกัน ข้อจำกัดของเครื่องอบแห้งชนิดนี้คือเมล็ดข้าวเปลือกที่ป้อนเข้ามาใหม่มีโอกาสที่จะออกมาโดยไม่ถูกไล่ความชื้น เพราะการไหลผ่านลมร้อนเคลื่อนที่แบบปั่นป่วน และบนเบดซึ่งมีความลึก ลำอากาศที่แทรกผ่านชั้นข้าวเปลือก อาจไม่มีความสม่ำเสมอดีพอ หากไม่ได้รับการปรับตั้งค่าการทำงานที่เหมาะสมของเครื่องอบแห้ง ซึ่งหากปรับสภาวะการทำงานด้วยค่าที่สูงเกินไป จึงทำให้สูญเสียพลังงานที่เปล่าประโยชน์ และได้ค่าประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำ

ดังนั้น ผู้วิจัยนี้จึงสนใจศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบพาหะลม โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสภาวะควบคุมที่เหมาะสมในการอบแห้ง ซึ่งประกอบด้วยอุณหภูมิ ความเร็วลม พร้อมทั้งประเมินคุณภาพของข้าวเปลือกที่อบแห้งหลังผ่านกระบวนการสีข้าว เพื่อเป็นแนวทางการใช้พลังงานที่มีอยู่ให้เกิดความคุ้มค่า พร้อมทั้งมีประสิทธิภาพและมีความเหมาะสมต่อการอบแห้งของข้าวเปลือกมากที่สุดต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบพาหะลมในกรณีติดตั้งไซโคลน และกรณีไม่ติดตั้งไซโคลนในระดับห้องปฏิบัติการสำหรับการลดความชื้นข้าวเปลือก พร้อมทั้งเปรียบเทียบอัตราการใช้พลังงานเครื่องอบแห้งและคุณภาพของข้าว

2) เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบพาหะลม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

การศึกษานี้เป็นการทดสอบการอบแห้งข้าวเปลือก โดยใช้เครื่องอบแห้งต้นแบบชนิดพาหะลม เพื่อประเมินศักยภาพในการทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก โดยที่

1) ใช้ข้าวเปลือกจากฤดูกาลผลิตเดียวกันตลอดการทดลอง

2) แหล่งพลังงานความร้อนที่พิจารณา คือ พลังงานไฟฟ้า

3) การทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบพาหะลมมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้ คือ กรณีติดตั้งไซโคลน และกรณีไม่ติดตั้งไซโคลน

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1) ทราบสภาวะควบคุมซึ่งประกอบด้วยอุณหภูมิ ความเร็วลมและระยะเวลาของการอบแห้งที่เหมาะสม ข้าวที่ผ่านกระบวนการสีได้คุณภาพตามมาตรฐานที่กำหนด

2) ทราบศักยภาพในการทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก และเลือกวิธีดำเนินการของระบบการอบแห้งที่เหมาะสม สำหรับการใช้งานของเกษตรกรชาวนาและหน่วยงานส่วนกลางในการรับซื้อข้าวเปลือก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การอบแห้ง คือการกำจัดหรือไล่ความชื้นออกจากวัสดุให้อยู่ในปริมาณน้อยลง เพื่อลดความเสี่ยงของการเสื่อมคุณภาพ การอบแห้งถือเป็นอีกกระบวนการที่สำคัญทางการเกษตร เป็นการยืดอายุการเก็บรักษาของผลิตผลทางการเกษตร และช่วยแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่เพื่อการบริโภค ดังนั้นการอบแห้งถือเป็นการลดจำนวนการสูญเสียของพืชในแปลงได้ ทำให้การเก็บรักษามีระยะเวลายาวนานขึ้น ผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญและต้องการการอบแห้ง ได้แก่ ธัญพืช ผัก ผลไม้ สมุนไพร เป็นต้น

2.1.1 ปริมาณความชื้นในวัสดุ (Moisture Content)

1. ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet basis, wb) คืออัตราส่วนของปริมาณความชื้นหรือน้ำในวัสดุต่อปริมาณวัสดุรวม โดยคิดวัสดุประกอบไปด้วยสองส่วนหลักคือ ความชื้นและมวลแห้ง เขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$M_w = \frac{\text{Mass of moisture}}{\text{Mass of material}} \tag{2.1}$$

$$M_w = \frac{W_w}{W} = \frac{W - W_d}{W} \tag{2.2}$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก

W คือ มวลของวัสดุ (g)

W_w คือ มวลของความชื้นหรือปริมาณน้ำในวัสดุ (g)

W_d คือ มวลแห้งของวัสดุ (g)

ปริมาณความชื้นมาตรฐานเปียกนิยมใช้ในทางการค้าและการเกษตร โดยใช้เรียกเป็นจุดหรือเปอร์เซ็นต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2. ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry basis, db) คืออัตราส่วนของปริมาณความชื้นในวัสดุต่อปริมาณแห้งในวัสดุและเขียนเป็นสมการได้ ดังนี้

$$M_d = \frac{\text{Mass of moisture}}{\text{Mass of dry solid}} \tag{2.3}$$

$$M_d = \frac{W_w}{W_d} = \frac{W - W_d}{W_d} \tag{2.4}$$

เมื่อ M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง

ปริมาณความชื้นมาตรฐานแห้งนิยมใช้วิเคราะห์ทางทฤษฎี นิยมเปรียบเทียบค่าความชื้นบนค่าคงที่ คือ W_d (เทวรัตน์ ตรีอำนรรค, 2552)

2.1.2 ปัจจัยในการออกแบบเครื่องอบแห้ง

ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องอบแห้งมีดังนี้ ห้องอบแห้ง ระบบการกระจายลม แหล่งให้ความร้อน พัดลม ระบบควบคุม และระบบการขนถ่าย โดยปัจจัยที่สำคัญสำหรับการออกแบบเครื่องอบแห้ง ประกอบด้วยดังนี้

1. เครื่องอบแห้ง อันได้แก่
   - ขนาด ชนิด รูปทรงของห้องอบแห้ง
   - อัตราการป้อนวัสดุอบแห้ง
   - ระยะเวลาในการอบแห้ง
   - ระบบการกระจายลมร้อน
   - ความหนาของชั้นอบแห้ง
   - ระบบระบายความร้อน
2. ลมที่ใช้อบแห้ง ได้แก่
   - ความเร็วและปริมาณลมต่อมวลวัสดุอบแห้ง
   - อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของลมร้อน
   - ความดันสถิตของลมที่ใช้
   - ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศภายนอก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3. วัสดุอบแห้ง
   - ความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายของวัสดุอบแห้ง
   - ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของวัสดุอบแห้ง
4. ระบบให้ความร้อน
   - ชนิดของเชื้อเพลิง
   - ชนิดของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

2.1.3 เครื่องอบแห้งเมล็ดพืช

การอบแห้งเป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในการถนอมรักษาผลิตผลทางการเกษตรและอาหาร เนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ในผลิตผลทางการเกษตรและอาหารมีน้อยหากมีความชื้นต่ำ เป็นผลให้สามารถเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตรและอาหารได้เป็นเวลานานโดยไม่เน่าเสีย การอบแห้งนอกจากช่วยถนอมรักษาวัสดุเกษตรและอาหารแล้ว ยังสามารถลดปริมาตรและน้ำหนักของผลิตผลทางการเกษตรและอาหารหลังการอบแห้ง ทำให้ใช้เนื้อที่ในการเก็บรักษาน้อย และการขนส่งมีประสิทธิภาพสูง (เทวรัตน์ ตรีอำนรรค, 2552)

เนื่องจากความแตกต่างที่มีอยู่มากมายทางกายภาพของผลิตผลทางการเกษตรและอาหาร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเครื่องอบแห้งหลายๆ แบบเพื่อให้เหมาะกับชนิดของวัสดุที่นำมาทำการอบแห้ง ความผิดพลาดในการเลือกประเภทเครื่องอบแห้งจะก่อให้เกิดปัญหาในการปฏิบัติงาน แม้ว่าเครื่องอบแห้งจะทำงานได้ แต่ความสามารถในการอบแห้งก็จะลดลงอย่างมาก

โดยทั่วไปเรามักใช้อากาศที่มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ทั้งนี้เพราะสามารถอบแห้งได้เร็ว และได้ความชื้นของเมล็ดพืชต่ำตามที่ต้องการ อุณหภูมิของอากาศจะสูงเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการนำเมล็ดพืชไปใช้งาน วิธีและเทคนิคที่ใช้ในการอบแห้ง โดยมากเรามักจะเลือกเอาอุณหภูมิสูงสุดที่ยอมให้ได้โดยคุณภาพของเมล็ดพืชไม่เสียหาย เพราะจะทำให้แห้งเร็ว มีผลให้เครื่องอบแห้งที่ต้องใช้มีขนาดเล็กลง ทำให้การลงทุนต่ำ ในการอบแห้งบางวิธีเราอาจใช้อากาศแวดล้อมในการอบแห้ง เช่นวิธีการอบแห้งในถังเก็บ คืออบแห้งเมล็ดพืชภายในตัวถังที่ใช้เก็บรักษา การใช้อากาศอบแห้งที่มีอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เมล็ดพืชทางด้านล่างของถังซึ่งสัมผัสกับลมร้อนก่อนแห้งเกินกว่าที่ต้องการ ส่วนเมล็ดพืชทางด้านบนของถังซึ่งสัมผัสกับลมร้อนทีหลังจะยังชื้นอยู่

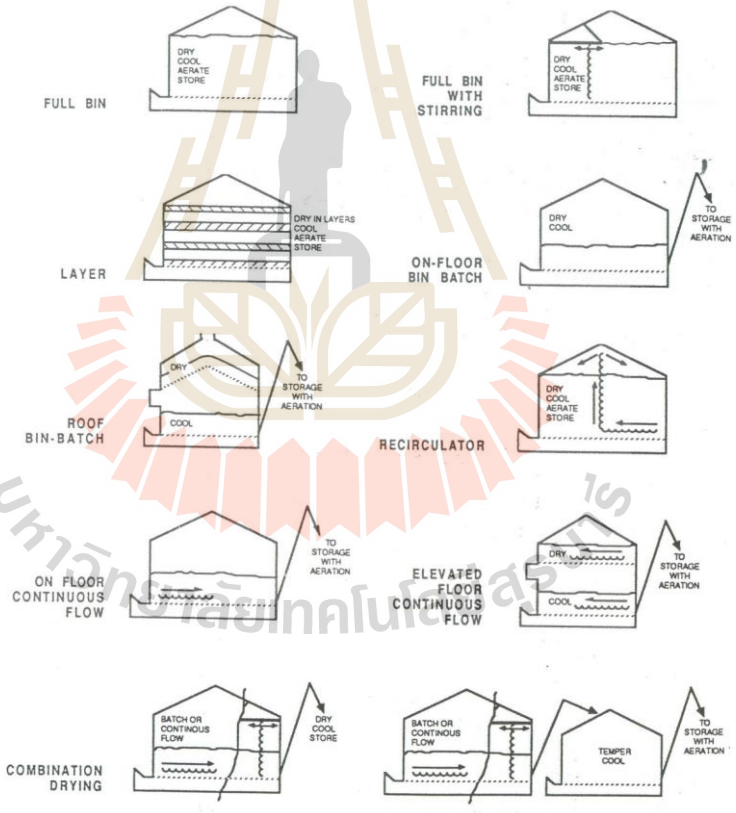
ในขณะที่อากาศร้อนเคลื่อนที่ผ่านชั้นเมล็ดพืช จะเกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลขึ้นพร้อมๆ กัน ความร้อนจากอากาศจะถ่ายเทไปยังเมล็ดพืช และทำให้น้ำที่บริเวณผิวเมล็ดระเหยเข้าไปอยู่ในอากาศ เป็นผลให้อากาศมีอุณหภูมิลดลงและความชื้นสัมพัทธ์อากาศสูงขึ้น ส่วนเมล็ดพืชจะมีความชื้นลดต่ำลง และหากความชื้นลดลงมากพอแล้ว อุณหภูมิของเมล็ดพืชก็จะเริ่มสูงขึ้นด้วย จนในที่สุดเมล็ดพืชจะมีอุณหภูมิสูงเท่ากับอุณหภูมิอากาศที่ใช้อบแห้ง เมื่อเมล็ดพืช

แห้งดีแล้ว เรามักจะผ่านอากาศแวดล้อมเข้าชั้นเมล็ดพืชเพื่อให้อุณหภูมิลดลง หากเก็บเมล็ดพืชทั้งที่ยังมีอุณหภูมิสูงอยู่อาจเกิดปัญหาการไหลเวียนของอากาศโดยธรรมชาติอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ซึ่งมีผลให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำในอากาศ ทำให้เมล็ดพืชในบริเวณที่มีการควบแน่นมีความชื้นสูงขึ้น โดยมากมักจะเป็นที่ชั้นบนๆ และเป็นจุดเริ่มต้นของการแพร่เชื้อราและแมลงต่อไป

ชนิดของเครื่องอบแห้งเมล็ดพืช

เครื่องอบแห้งเมล็ดพืชอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ เครื่องอบแห้งเมล็ดพืชแบบอยู่กับที่ (fixed-bed dryer) และเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชไหล (moving-bed dryer) ซึ่งแต่ละชนิดยังสามารถแบ่งย่อยได้อีก ข้อดีข้อเสียก็แตกต่างกันออกไป (เทวรัตน์ ตรีอำนรรค, 2552)

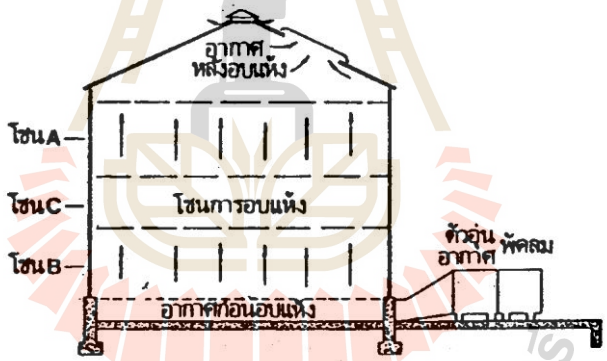
โดยรูปที่ 2.1 แสดงเครื่องอบแห้งเมล็ดพืชชนิดถังเก็บแบบต่างๆ ที่นิยมใช้กัน



รูปที่ 2.1 เครื่องอบแห้งเมล็ดพืชแบบถังเก็บ (Brooker et al., 1992)

1. เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชอยู่กับที่

เครื่องอบแห้งแบบนี้อาจแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ คือ แบบถังเก็บ (in-bin drying) แบบเป็นชั้น (layer drying) และแบบเป็นงวด (batch-in-bin drying) ในเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชอยู่กับที่ อัตราการไหลของอากาศค่อนข้างต่ำ อย่างเช่นในกรณีของการอบแห้งแบบถังเก็บ จะสามารถแบ่งชั้นเมล็ดพืชออกเป็น 3 โซน ดังรูปที่ 2.2 คือ โซน A อยู่ชั้นบนสุด โซน B อยู่ชั้นล่างสุด และโซน C อยู่ระหว่างโซน A และโซน B จากภาพจะเห็นว่ากระแสอากาศไหลผ่านโซน B, C และ A ตามลำดับ ที่โซน A เมล็ดพืชและอากาศอยู่ในสภาวะสมดุลความร้อนและความชื้น เมล็ดพืชมีความชื้นเท่ากับความชื้นเริ่มต้น และอากาศอบแห้งมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก ที่โซน B เมล็ดพืช มีความชื้นเท่ากับความชื้นสมดุลที่สภาวะอากาศตรงทางเข้าเครื่องอบแห้ง ที่โซน C เมล็ดพืชและอากาศไม่ได้อยู่ในสภาวะสมดุล มีการถ่ายเทความร้อนและความชื้นซึ่งกันและกัน เมื่อเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้น ความหนาของโซน B จะมากขึ้น และความหนาของโซน A จะลดลง เมื่อสิ้นสุดการอบแห้ง โซน C จะหายไป และจะเหลือเพียงโซน B เท่านั้น



รูปที่ 2.2 การเคลื่อนที่ของโซนการอบแห้ง (สมชาติ, 2540)

1.1 อบแห้งแบบถังเก็บ

เมล็ดพืชหลังเก็บเกี่ยวจะถูกขนย้ายมาไว้ในถังเก็บซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องอบแห้งด้วย ความสูงของชั้นเมล็ดพืชในเครื่องอบแห้งแบบนี้จะมากกว่าในเครื่องอบแห้งชนิดอื่น โดยอาจจะสูงถึง 6 เมตร อุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศที่ใช้อบแห้งมักจะต่ำ อากาศที่ใช้อาจเป็นอากาศแวดล้อม อัตราการไหลของอากาศที่ใช้กันแปรระหว่าง 0.5-5 $m^3/min\text{-}m^3_{\text{เมล็ดพืช}}$ การอบแห้งจะดำเนินไปอย่างช้าๆ โดยอาจกินเวลาหลายสัปดาห์ เนื่องจากระยะเวลาในการอบแห้งยาวนาน การเจริญเติบโตของเชื้อราและการสูญเสียมวลแห้งของเมล็ดพืชอาจมีมากเกินไป เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้ ความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดพืชไม่ควรสูงเกินไป ในสหรัฐอเมริกาซึ่งมีสภาวะ

อากาศแบบอบอุ่น ความชื้นเริ่มต้นของข้าวโพดควรต่ำกว่า 24 % ในประเทศเขตร้อนชื้น ความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดควรต่ำกว่านี้ โดยความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกที่อบแบบถังเก็บภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้นไม่ควรสูงกว่า 20% อากาศที่ใช้อบแห้งอาจถูกทำให้ร้อนขึ้นถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงเกินไป โดยทั่วไปเรามักจะใช้ตัวควบคุมความชื้น (humidistat) เป็นตัวควบคุมการทำงานของตัวอุ่นอากาศ คือเมื่อความชื้นสัมพัทธ์อากาศสูง ตัวควบคุมจะให้ตัวอุ่นอากาศร้อนทำงาน สำหรับการอบแห้งข้าวโพดเราอาจตั้งตัวควบคุมที่ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 55% เพื่อให้ระบบอบแห้งมีความง่าย เราอาจไม่ใช้ตัวควบคุมความชื้นก็ได้ แต่ใช้ตัวทำอากาศร้อนที่สามารถเพิ่มอุณหภูมิของอากาศได้ประมาณ 3-6 °C วิธีนี้มีข้อเสียคือ อากาศอาจแห้งเกินไป และเป็นผลให้เมล็ดพืชแห้งเกินกว่าที่ต้องการ ในกรณีที่ใช้อากาศร้อนในการอบแห้ง จะต้องทำให้เมล็ดพืชเย็นลงหลังจากที่เมล็ดพืชแห้งแล้วโดยการเป่าอากาศแวดล้อม มิฉะนั้นอาจเกิดปัญหาการถ่ายเทความชื้นในถังเก็บอันเนื่องมากจากการไหลเวียนของอากาศ ซึ่งเกิดขึ้นจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในกองเมล็ดพืชเป็นผลให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำในอากาศในบริเวณที่เมล็ดพืชมีอุณหภูมิต่ำ ทำให้เมล็ดพืชในบริเวณนี้มีความชื้นสูงขึ้น จนเกิดการลุกลามของเชื้อราและการระบาดของแมลงในที่สุด

เกรเดียนท์ความชื้นในชั้นเมล็ดพืชจะลดลงได้ถ้าใช้ตัวกวนหรือตัวหมุนเวียนเมล็ดพืช ตัวกวนทำงานโดยอาศัยเกลียวลำเลียงในแนวดิ่ง โดยที่เกลียวลำเลียงนี้จะพาเอาเมล็ดพืชที่อยู่ด้านล่างขึ้นด้านบน และเมล็ดพืชจากชั้นบนจะเคลื่อนลงล่าง เมล็ดพืชจะเกิดการผสมกันเป็นบางส่วนในขณะที่เคลื่อนที่ ส่วนตัวหมุนเวียนเมล็ดพืชนั้นทำงานโดยอาศัยเกลียวลำเลียงซึ่งวางอยู่ในแนวราบโดยอยู่เหนือพื้นเครื่องอบแห้งเล็กน้อย เกลียวลำเลียงในแนวราบนี้จะกวาดเมล็ดพืชจากรอบนอกเข้าสู่จุดศูนย์กลางของถังอบแห้ง แล้วเคลื่อนที่ขึ้นด้านบน โดยเกลียวลำเลียงในแนวดิ่งอีกตัวหนึ่ง

ปัญหาการใช้เครื่องอบแห้งแบบนี้และเครื่องอบแห้งแบบอื่นๆ ด้วยก็คือการตรวจสอบความชื้นเมล็ดพืชว่าได้ลดลงถึงจุดที่ต้องการแล้วหรือยัง สำหรับเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชอยู่กับที่ เรามักจะตรวจสอบโดยใช้วิธีสุ่มตัวอย่างแล้วนำมาตรวจสอบด้วยเครื่องวัดความชื้น ซึ่งสะดวกและรวดเร็ว เครื่องมือวัดความชื้นและตัวควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อากาศควรได้รับการตรวจสอบเป็นครั้งคราว เครื่องอบแห้งแบบถังมีข้อดีข้อเสียพอสรุปได้ดังนี้

<u>ข้อดี</u>

1. จะเก็บเกี่ยวเมล็ดพืชด้วยอัตราใดก็ได้
2. การจัดการง่าย
3. ขั้นตอนการขนย้ายเมล็ดพืชมีน้อย ทำให้ประหยัดและลดการแตกร้าวของเมล็ดพืช

4. ใช้ความร้อนสัมผัสในอากาศที่ใช้อบแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ
5. เมล็ดพืชหลังอบไม่แห้งเกินไป
6. การใช้อุณหภูมิต่ำทำให้เกิดการร้าวของเมล็ดพืชน้อย
7. ประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่าย

ข้อเสีย

1. ไม่สามารถเก็บเมื่อเมล็ดมีความชื้นสูงมาก
2. ระยะเวลาการอบแห้งยาวนานทำให้ต้องเสียเวลาในการจัดการมาก

โดยสรุปแล้ววิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันในระดับเกษตรกร หรือระดับสหกรณ์ในประเทศเขตอบอุ่น เพราะการเก็บเกี่ยวข้าวโพด ข้าวฟ่างหรือข้าวเปลือก จะตรงกับฤดูใบไม้ร่วง ซึ่งมีอากาศเย็น ทำให้การเจริญเติบโตของเชื้อราเป็นไปอย่างช้าๆ สำหรับประเทศเขตร้อนอย่างประเทศไทย อากาศจะร้อนอยู่เกือบตลอดปี ดังนั้นจึงต้องร่นระยะเวลาในการอบแห้งให้สั้นลงโดยการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ

1.2 อบแห้งแบบเป็นชั้น

การอบแห้งแบบเป็นชั้นคล้ายกับการอบแห้งแบบถังเก็บ ต่างกันตรงที่ว่าปริมาณการเก็บเกี่ยวแต่ละครั้งไม่มากนัก เมล็ดพืชที่เก็บเกี่ยวในแต่ละวันจะถูกนำไปไว้ในถังเก็บซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องอบแห้งด้วย การอบแห้งจะเริ่มทันทีเมื่อเมล็ดพืชชื้นงวดแรกมาถึง ในวันต่อๆ มาเมล็ดพืชจะถูกขนย้ายมาไว้ในถังเก็บอีก ในขณะที่เมล็ดพืชงวดก่อนหน้านั้นแห้งดีแล้ว จะเห็นได้ว่าการอบแห้งจะดำเนินไปเป็นชั้นๆ

เมล็ดพืชที่เก็บเกี่ยวก่อนจะมีความชื้นสูง ในขณะที่ความหนารวมของชั้นเมล็ดพืชจะยังน้อยอยู่ ดังนั้นอัตราการไหลของอากาศจะสูง เมล็ดพืชที่เก็บเกี่ยวครั้งหลังโดยปกติจะมีความชื้นต่ำลงกว่าเมื่อเก็บเกี่ยวครั้งแรก ในขณะเดียวกันความหนารวมของชั้นเมล็ดพืชจะเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นผลให้อัตราการไหลของอากาศลดลง

การอบแห้งด้วยวิธีนี้ทำให้สามารถเก็บเกี่ยวเมล็ดพืชที่มีความชื้นสูงได้ แต่จะต้องมีการจัดการที่ดีพอโดยเฉพาะการเก็บเกี่ยว ถ้าเก็บเกี่ยวในแต่ละครั้งมากเกินไปจะทำให้การอบแห้งสำหรับชั้นนั้นใช้เวลานานและเมล็ดพืชอาจเสียหายได้ วิธีการอบแห้งแบบเป็นชั้นนี้น่าจะนำมาใช้กับประเทศในเขตร้อนชื้นได้

1.3 อบแห้งแบบเป็นงวด

เมล็ดพืชจะถูกอบในเครื่องอบแห้งแล้วทำให้เย็นลงก่อนนำไปเก็บไว้ในถังเก็บ อากาศที่ใช้อบแห้งมีอุณหภูมิสูงกว่าเครื่องอบแห้งสองชนิดแรกที่ได้กล่าวมาแล้ว คือประมาณ

49-71 °C อัตราการไหลของอากาศก็สูงกว่ามาก คือประมาณ 6-11 m^3/min-$m^3_{เมล็ดพืช}$ และความหนาของชั้นเมล็ดพืชน้อยกว่า คือประมาณ 1 เมตร หรืออาจน้อยกว่า การอบแห้งจะเป็นไปอย่างรวดเร็ว โดยอาจแล้วเสร็จภายใน 12-24 ชั่วโมง

การควบคุมอุณหภูมิของอากาศร้อนโดยมากมักนิยมใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิ (thermostat) เนื่องจากที่อุณหภูมิสูง การเปลี่ยนแปลงความชื้นสัมพัทธ์อากาศมีน้อย ทำให้ใช้ตัวควบคุมความชื้นไม่ได้ผล ตัวควบคุมอุณหภูมิควรได้รับการตรวจสอบเป็นครั้งคราว

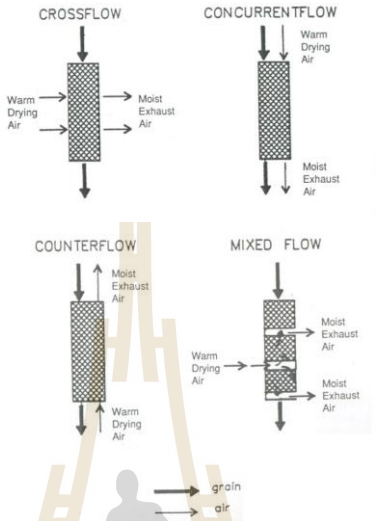
ปัญหาของระบบนี้คือการเกิดเกรเดียนท์ของความชื้น (moisture gradient) ในชั้นเมล็ดพืชอันเนื่องมาจากการใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้ง โดยเมล็ดพืชที่บริเวณทางเข้าของอากาศจะแห้งเกินไป และเมล็ดพืชที่ตรงทางออกอาจมีความชื้นเท่ากับความชื้นเริ่มต้น ในขณะที่ความชื้นเฉลี่ยได้ตามที่ต้องการแล้ว ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้เป็นบางส่วน โดยขณะที่เมล็ดพืชไหลออกจากเครื่องอบแห้งเพื่อนำไปเก็บรักษา จะเกิดการผสมกันระหว่างเมล็ดพืชแห้งและชื้นซึ่งต้องใช้เวลาหลายวันสำหรับการแพร่ความชื้นระหว่างเมล็ด นอกจากนี้การเป่าอากาศเพื่อให้เมล็ดพืชเย็นลงหลังการอบแห้งแล้วเสร็จ สามารถช่วยลดเกรเดียนท์ความชื้นเล็กน้อย และทำให้ความชื้นเฉลี่ยลดลงเล็กน้อยด้วย การเป่าลมเย็นอาจใช้เวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง การทำให้เกรเดียนท์ความชื้นในชั้นเมล็ดพืชลดลงอาจทำได้โดยการใช้ตัวกวน หรือตัวหมุนเวียนเมล็ดพืช หรือโดยการควบคุมความหนาของชั้นเมล็ดพืชที่อบแห้ง ความหนานี้อาจอยู่ระหว่าง 0.30-0.45 เมตร

ปัญหาที่สำคัญอีกข้อหนึ่งสำหรับระบบอบแห้งแบบเมล็ดพืชอยู่กับที่ก็คือการกระจายของกระแสอากาศ ระดับของเมล็ดพืชควรที่จะเท่ากันตลอดเพื่อให้การไหลของอากาศเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ การใช้เกลียวลำเลียงในแนวราบ ซึ่งอยู่เหนือพื้นเครื่องอบแห้งเล็กน้อยเพื่อใช้กวาดเมล็ดพืชเข้าสู่จุดศูนย์กลางของเครื่องอบแห้งอาจทำให้เศษผงและสิ่งสกปรกมารวมกันอยู่ที่จุดศูนย์กลางของเครื่องอบแห้ง ทำให้บริเวณนี้รับกระแสอากาศน้อยกว่าบริเวณที่อยู่รอบนอก เศษผงและสิ่งสกปรกเหล่านี้ควรได้รับการกำจัดเป็นครั้งคราว

2. เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชไหล

เครื่องอบแห้งแบบนี้ต่างกับเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชอยู่กับที่ตรงที่เมล็ดพืชมีการไหลในขณะทำการอบแห้ง โดยทั่วไปเมล็ดพืชจะไหลลงสู่ที่ต่ำโดยแรงโน้มถ่วง อัตราการไหลของเมล็ดพืชขึ้นอยู่กับตัวควบคุมการไหล ซึ่งอาจใช้คนปรับโดยดูจากความชื้นของเมล็ดพืชเป็นช่วงๆ หรืออาจควบคุมโดยอัตโนมัติโดยใช้เทอร์โมสแตทเป็นตัวควบคุมการทำงานของตัวควบคุมการไหล เมล็ดพืชที่แห้งแล้วจะมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการระเหยของน้ำมีน้อย หรืออาจใช้เครื่องวัดความชื้น ซึ่งอาจวัดได้ถูกต้องดี แต่ราคาจะแพงกว่ามาก เครื่องอบแห้งชนิดนี้สามารถแบ่งย่อยได้อีก 4 แบบคือ แบบไหลขวาง (cross-flow dryer) แบบไหลตาม (concurrent-flow dryer) แบบไหลสวนทาง (counter-flow dryer) และแบบผสม (mixed flow) ตาม

ทิศทางการไหลของเมล็ดพืชและอากาศอบแห้งดังแสดงในรูปที่ 2.3 เครื่องอบแห้งทั้งสามแบบนี้เหมาะกับงานในระดับกลางและใหญ่ เพราะใช้อุณหภูมิและอัตราการไหลของอากาศสูง ทำให้การอบแห้งเป็นไปอย่างรวดเร็ว



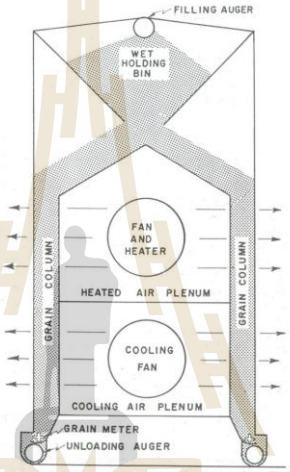
รูปที่ 2.3 ลักษณะการไหลของเมล็ดพืชและอากาศอบแห้ง (Brooker et al., 1992)

2.1 เครื่องอบแห้งแบบไหลขวาง

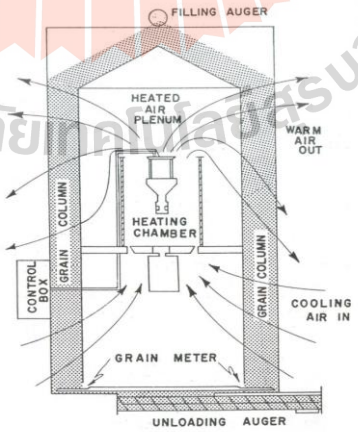
เครื่องอบแห้งแบบไหลขวาง อากาศที่ใช้อบแห้งจะไหลตัดผ่านทิศทางการไหลของเมล็ดพืชดังรูปแสดงในที่ 2.4 และ รูปที่ 2.5 ที่ทางด้านบนของเครื่องอบแห้งจะมีที่เก็บเมล็ดพืช เมล็ดพืชจะไหลลงด้านล่างผ่านช่องแคบซึ่งกว้างประมาณ 0.30-0.45 เมตร และไหลออกทางด้านล่างของเครื่องอบแห้งด้วยตัวควบคุมการไหล ช่องแคบที่เมล็ดพืชไหลลงนี้แบ่งได้เป็น 2 ส่วน ส่วนบนเป็นส่วนอบแห้งและส่วนล่างเป็นส่วนที่ทำให้เมล็ดพืชเย็นลงหลังอบแห้งแล้วเสร็จ การไหลของเมล็ดพืชและอากาศจะมีทิศทางตั้งฉากกัน อัตราการไหลของอากาศแปรระหว่าง 38-76 $m^3/min\text{-}m^3_{เมล็ดพืช}$ อัตราการไหลของเมล็ดพืชขึ้นอยู่กับตัวควบคุมการไหล ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ส่วนล่างของเครื่องอบแห้ง ปัญหาของเครื่องอบแห้งชนิดนี้ก็เช่นเดียวกับเครื่องอบแห้งแบบเป็นงวด คือการเกิดเกรเดียนท์ความชื้นในชั้นเมล็ดพืช เมล็ดพืชชื้นและแห้งจะผสมกันเป็นบางส่วนตรงทางออกของเครื่องอบแห้ง ทำให้ลดปัญหานี้ลงได้เป็นบางส่วน ปัญหาที่มักจะเกิดขึ้นเสมอคือการอุดตันที่ช่องทางออกของเครื่องอบแห้ง ดังนั้นจึงต้องตรวจสอบตัวควบคุมการไหลอย่างสม่ำเสมอ

ความแตกต่างของเครื่องอบแห้งแบบไหลขวาง 2 ชนิด ตามรูปที่ 2.4 และรูปที่ 2.5 อยู่ที่ช่วงทำให้เมล็ดพืชเย็นลงหลังอบแห้ง ทิศทางการไหลของอากาศจะตรงกันข้ามเครื่องอบแห้งที่มีทิศทางการไหลของอากาศเย็นจากด้านนอกเครื่องอบแห้งผ่านเมล็ดพืชและเข้าไปด้านใน

ของเครื่องอบแห้งจะมีข้อดีตรงที่ว่าอากาศที่ใช้ทำให้เมล็ดพืชเย็นลงจะร้อนขึ้น และจะร้อนขึ้นอีกโดยตัวอุ่นอากาศ ก่อนที่จะนำไปใช้ในการอบแห้งต่อไป ซึ่งสามารถช่วยประหยัดพลังงานได้ส่วนหนึ่ง ข้อดีอีกอย่างหนึ่งคืออากาศส่วนที่เย็นที่สุดจะสัมผัสกับเมล็ดพืชส่วนที่เย็นที่สุด และอากาศส่วนที่ร้อนที่สุดจะสัมผัสกับเมล็ดพืชที่ร้อนที่สุดเช่นกัน การแตกร้าวของเมล็ดพืชอันเนื่องมาจากความเค้นภายในเมล็ดพืชน่าจะลดลง และทำให้ความเสียหายในรูปของเมล็ดแตกหักอันเนื่องมาจากการขนถ่ายเมล็ดพืชมีน้อยลงด้วย อย่างไรก็ตามระบบนี้มีข้อเสียตรงที่ว่าเศษผงและสิ่งสกปรกมีโอกาสสะสมในห้องเผาไหม้ได้มากกว่า ดังนั้นจึงต้องทำความสะอาดบ่อยขึ้น



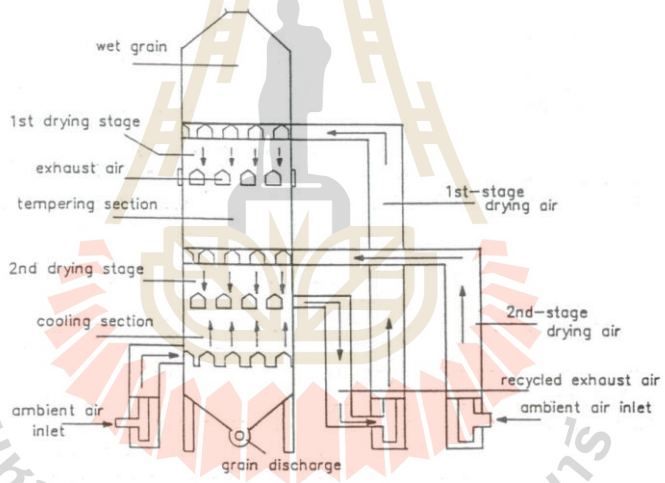
รูปที่ 2.4 เครื่องอบแห้งแบบไหลขวาง (Brooker et al., 1992)



รูปที่ 2.5 เครื่องอบแห้งแบบไหลขวางโดยนำเอาอากาศที่ใช้ระบายความร้อนจากเมล็ดพืชกลับมาใช้ใหม่ (Brooker et al., 1992)

2.2 เครื่องอบแห้งแบบไหลตาม

ในเครื่องอบแห้งแบบไหลตาม การไหลของเมล็ดพืชและของอากาศอบแห้งจะขนานกัน และมีทิศทางเดียวกัน เมล็ดพืชส่วนที่ชื้นที่สุดจะสัมผัสกับอากาศส่วนที่ร้อนที่สุด เมื่อเมล็ดพืชไหลต่ำลงมาอากาศอบแห้งจะเริ่มเย็นลงและเมล็ดพืชจะมีความชื้นลดลง เมล็ดพืชที่แห้งแล้วจะไม่สัมผัสกับอากาศที่ร้อนจัดเลย ดังนั้นจึงสามารถใช้อากาศอบแห้งที่อุณหภูมิสูงมากได้ (อาจสูงถึง 150-250 °C) ทำให้สามารถอบแห้งได้เร็ว ข้อดีอีกอย่างหนึ่งคือการแตกร้าวของเมล็ดพืชจะมีน้อยเพราะเมล็ดพืชส่วนที่แห้งที่สุดจะสัมผัสกับอากาศอบแห้งที่เย็นที่สุด เมล็ดพืชที่แห้งแล้วจะไหลออกสู่ด้านล่างด้วยตัวควบคุมการไหลซึ่งถูกควบคุมโดยตัวควบคุมอุณหภูมิหรือความชื้นเมล็ดพืช เมล็ดพืชจะถูกทำให้เย็นลงก่อนที่จะไหลออกจากเครื่องอบแห้ง ความหนาของชั้นอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบนี้ควรหนากว่า 1 เมตร ทั้งนี้เพื่อให้การอบแห้งเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ รูปที่ 2.6 แสดงเครื่องอบแห้งแบบไหลตามแบบหนึ่ง



รูปที่ 2.6 เครื่องอบแห้งแบบไหลตาม (Brooker et al., 1992)

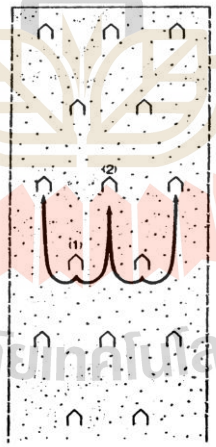
2.3 เครื่องอบแห้งแบบไหลสวนทาง

ในเครื่องอบแห้งแบบไหลสวนทาง การไหลของเมล็ดพืชและของอากาศอบแห้งขนานกัน แต่มีทิศทางตรงกันข้าม เมล็ดพืชจะไหลลงด้านล่าง และอากาศอบแห้งจะไหลขึ้นด้านบน เมล็ดพืชส่วนที่อยู่ล่างสุดจะแห้งที่สุด แต่จะไม่แห้งเกินไปเพราะจะถูกขนย้ายออกจากเครื่องอบแห้งก่อนที่จะแห้งเกินกว่าที่ต้องการ อัตราการขนย้ายเมล็ดพืชถูกควบคุมด้วยตัวควบคุม

อุณหภูมิหรือความชื้นเมล็ดพืชซึ่งติดตั้งอยู่เหนือพื้นเครื่องอบแห้ง เมล็ดพืชที่ขนย้ายออกไปแล้วจะถูกทำให้เย็นลงในภายหลัง

เครื่องอบแห้งแบบไหลสวนทางมีข้อดีคือ การใช้ความร้อนสัมผัสในอากาศอบแห้งเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากเมล็ดพืชที่อยู่ชั้นล่างไม่แห้งเกินไปและอากาศอบแห้งตรงทางออกจะสัมผัสกับเมล็ดพืชส่วนที่ชื้นที่สุด ทำให้อุณหภูมิของอากาศอบแห้งตรงทางออกต่ำ ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นคือ การควบแน่นของน้ำที่ใกล้ทางออกของเครื่องอบแห้ง ซึ่งเป็นผลมาจากการที่อากาศที่อิ่มตัวด้วยไอน้ำสัมผัสกับเมล็ดพืชที่ขึ้นอยู่ด้านบน ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่า ปัญหานี้อาจหลีกเลี่ยงได้โดยการเลือกอัตราการไหลของอากาศอบแห้งให้เหมาะสมกับความหนาของชั้นเมล็ดพืช แม้ว่าเครื่องอบแห้งแบบนี้จะมีประสิทธิภาพสูง แต่ก็ต้องการอุปกรณ์ขนย้ายเมล็ดพืชออกจากเครื่องอบแห้งที่ค่อนข้างยุ่งยากและมีราคาแพง

นอกจากการแบ่งเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชไหลตามลักษณะการไหลของเมล็ดพืชและกระแสอากาศแล้ว เราอาจแบ่งตามลักษณะการผสมกันของเมล็ดพืชชื้นและเมล็ดพืชแห้งในขณะที่ไหล รูปที่ 2.7 แสดงภาพตัดของเครื่องอบแห้งที่มีการผสมกันของเมล็ดพืช โดยทั่วไปมักเรียกกันว่า เครื่องอบแห้งแบบ LSU ซึ่งเป็นชื่อย่อของ Luisiana State University ซึ่งเป็นผู้คิดค้น การผสมกันของเมล็ดพืชจะเกิดขึ้นในขณะที่ไหลผ่านท่ออากาศร้อนหรือเย็น ทำให้ปัญหาเรื่องเกรเดียนท์ความชื้นในชั้นเมล็ดพืชลดลงอย่างมาก



รูปที่ 2.7 ภาพตัดของเครื่องอบแห้งแบบที่มีการผสมกันของเมล็ดพืช (สมชาติ, 2540)

เนื่องจากความยุ่งยากที่เพิ่มขึ้นของเครื่องอบแห้งเมล็ดพืชแบบไหล ดังนั้นจึงควรมีหลักการจัดการซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ควรมีการตรวจสอบความชื้นเมล็ดพืชหลังอบแห้งอย่างสม่ำเสมอว่าได้ตามที่ต้องการหรือไม่ เพื่อที่จะได้ทราบว่าตัวควบคุมอุณหภูมิหรือความชื้นเมล็ดพืชทำงานตามปกติหรือไม่

2. อุณหภูมิอากาศตรงทางออกของเครื่องอบแห้งควรได้รับการตรวจสอบเป็นครั้งคราว เพื่อที่จะได้ทราบว่าการไหลของอากาศอบแห้งเป็นไปอย่างทั่วถึงหรือไม่

3. ควรทำความสะอาดห้องอุ่นอากาศร้อนอย่างสม่ำเสมอ

4. ควรตรวจสอบตัวควบคุมการไหลของเมล็ดพืชอย่างสม่ำเสมอ เพื่อดูว่ามีการอุดตันของสิ่งสกปรกหรือไม่

นอกจากเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชไหลตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น ยังมีเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดเซชั่นและเครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ซึ่งใช้กันมากในอุตสาหกรรมและสามารถประยุกต์ใช้กับการอบแห้งเมล็ดพืชได้

2.1.4 เครื่องอบแห้งอาหารและวัสดุเกษตรอื่น

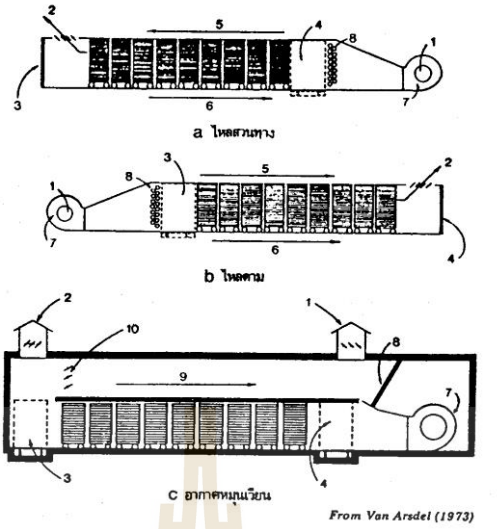
สำหรับเครื่องอบแห้งอาหารและวัสดุเกษตรอื่นๆ นั้นมีเทคนิคในการอบแห้งหลายแบบทั้งนี้ในการเลือกใช้ ควรดูให้เหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่เราต้องการนำมาอบแห้ง (เทวรัตน์ ตรีอำนรรค, 2552)

1. เครื่องอบแห้งแบบถาดอยู่กับที่ (fixed-tray dryer)

เครื่องอบแห้งแบบถาดอยู่กับที่เหมาะกับอาหารที่อยู่ในรูปของของแข็งที่ไม่สามารถอบแห้งแบบกองรวมกันเป็นปริมาณมาก (bulk drying) เครื่องอบแห้งแบบนี้แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ (tunnel dryer) และเครื่องอบแห้งแบบตู้ (cabinet dryer) ผลิตภัณฑ์ที่ต้องการอบแห้งเรียงอยู่บนถาดซึ่งวางซ้อนกันโดยมีช่องว่างของอากาศระหว่างถาด ถาดดังกล่าวมีขนาดประมาณ 1 m × 1 m และวางอยู่บนรถเข็นซึ่งสูงประมาณ 1-1.5 m เพื่อให้คนจับและยกถาดได้สะดวก

1.1 เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์

รถเข็นที่บรรจุถาดใส่ผลิตภัณฑ์อบแห้งอยู่เต็มเคลื่อนที่เข้าอุโมงค์อบแห้งที่ปลายด้านหนึ่งของเครื่องอบแห้ง (ทางเข้า) จำนวนรถเข็นในอุโมงค์ขึ้นอยู่กับขนาดของรถเข็นและความยาวของอุโมงค์ ลมร้อนไหลผ่านช่องว่างของอากาศระหว่างถาดและทำให้ผลิตภัณฑ์แห้ง เมื่อผลิตภัณฑ์บนรถเข็นแห้งดีแล้วจะเคลื่อนที่ออกที่ปลายด้านตรงข้าม (ทางออก) และรถเข็นที่บรรจุอาหารเปียกจะเคลื่อนที่เข้าแทนที่ที่ทางเข้า และดันขบวนรถเข็นให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ดังนั้นจำนวนรถเข็นในอุโมงค์จะคงที่ตลอดเวลา อัตราการนำรถเข็นเข้าและออกสอดคล้องกับอัตราการอบแห้ง (ดูรูปที่ 2.8) เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์อาจแบ่งตามทิศทางการเคลื่อนที่ของลมร้อนและรถเข็นได้เป็น 2 ชนิด คือ เครื่องอบแห้งแบบไหลสวนทางและเครื่องอบแห้งแบบไหลตาม



รูปที่ 2.8 เครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ (สมชาติ, 2540)

สำหรับเครื่องอบแห้งแบบไหลสวนทาง รูปที่ 2.8a) รถเข็นและลมร้อนมีทิศทางตรงกันข้าม ดังนั้นอาหารบนรถเข็นใกล้ทางออกจะสัมผัสกับอากาศที่ร้อนที่สุด ส่วนอาหารบนรถเข็นตรงทางเข้าจะสัมผัสกับอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำแล้ว ทำให้การใช้ความร้อนสัมผัสในอากาศเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่แห้งแล้วจะสัมผัสกับอากาศที่มีอุณหภูมิสูง ดังนั้นอาจทำให้คุณภาพของอาหารลดลงได้

สำหรับเครื่องอบแห้งแบบไหลตาม (รูปที่ 2.8b) รถเข็นและลมร้อนมีทิศทางตามกัน ผลิตภัณฑ์ที่แห้งแล้วสัมผัสกับอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ และผลิตภัณฑ์ที่ยังเปียกอยู่สัมผัสกับอากาศที่มีอุณหภูมิสูง ดังนั้นจึงมักไม่ค่อยมีปัญหาด้านคุณภาพของอาหารหลังอบแห้ง แต่การสิ้นเปลืองความร้อนอาจสูงกว่าของเครื่องอบแห้งแบบไหลสวนทาง

รูปที่ 2.8c แสดงแบบเครื่องอบแห้งแบบไหลสวนทาง ดังเช่นในรูปที่ 2.8a แต่เพิ่มการนำเอาอากาศที่ใช้อบแห้งแล้วมาผสมกับอากาศใหม่ เครื่องอบแห้งแบบนี้อาจมีขนาดสั้นกว่าเครื่องอบแห้งในรูปที่ 2.8a และ 2.8b เพราะไม่ต้องกลัวว่าอากาศหลังอบแห้งแล้ว จะยังมีอุณหภูมิสูงอยู่ ซึ่งจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมาก

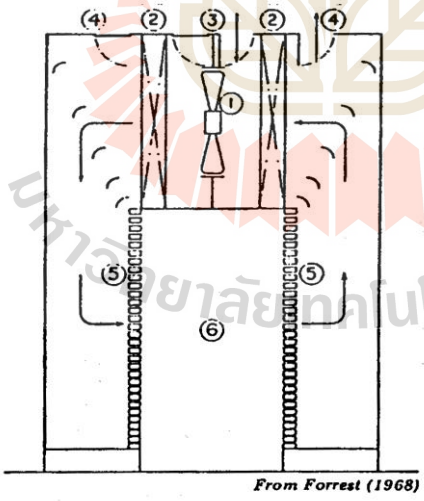
ปัญหาสำคัญในเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์คือการกระจายของลมร้อนในอุโมงค์มักจะไม่ทั่วถึง ทำให้ผลิตภัณฑ์บางจุดแห้งเกินไปหรือชื้นเกินไป ดังนั้นอาจต้องมีตัวช่วยบังคับทิศทางลม เช่น เวนบังคับทิศทางลมหรือบานเกล็ดซึ่งปรับค่าช่องเปิดได้ ทั้งนี้เพื่อให้การกระจายลมร้อนเป็นไปอย่างทั่วถึงตลอดพื้นที่หน้าตัดขวางของอุโมงค์ ในกรณีของบานเกล็ดอาจมี

ปัญหาในเรื่องของความปั่นป่วน การออกแบบเวนบังคับทิศทางลมที่เหมาะสมจะช่วยในเรื่องของการกระจายของลมได้ดีกว่า

1.2 เครื่องอบแห้งแบบตู้

เครื่องอบแห้งแบบนี้คล้ายกับเครื่องอบแห้งแบบอุโมงค์ ผลิตภัณฑ์วางอยู่บนถาดซึ่งซ้อนกันอยู่ ลมร้อนไหลผ่านผลิตภัณฑ์และทำให้แห้ง รูปที่ 2.9 แสดงลักษณะของเครื่องอบแห้งแบบตู้ซึ่งการไหลของอากาศขนานกับถาดบรรจุผลิตภัณฑ์ ทิศทางการไหลของอากาศสามารถกลับทางได้ อากาศแวดล้อมไหลเข้าทางช่อง 2 และผสมกับอากาศที่ใช้อบแห้งแล้ว ไหลผ่านขดลวดความร้อนเพื่ออุ่นอากาศให้ร้อนขึ้น ก่อนไหลผ่านถาดบรรจุผลิตภัณฑ์อบแห้ง อากาศที่ใช้อบแห้งแล้วไหลออกที่ช่อง 4 เป็นบางส่วน และบางส่วนไหลไปผสมกับอากาศแวดล้อม การไหลของอากาศอาจตั้งฉากกับตัวถาด เมื่อผลิตภัณฑ์แห้งตามที่ต้องการแล้วก็จะถูกนำออก และใส่ผลิตภัณฑ์ชื้นเข้าไปใหม่

ปัญหาของเครื่องอบแห้งแบบนี้อยู่ที่การกระจายของลมร้อนซึ่งมักจะไม่ทั่วถึง ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่จุดต่างๆ แห้งไม่เท่ากัน อาจแก้ได้โดยการใช้เวนบังคับทิศทางลม ปัญหาอีกข้อหนึ่งคือผลิตภัณฑ์ที่ตรงทางเข้าของลมร้อนจะแห้งมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่อยู่ตรงทางออก ซึ่งอาจแก้ได้โดยการกลับทิศทางการไหลของลมร้อน



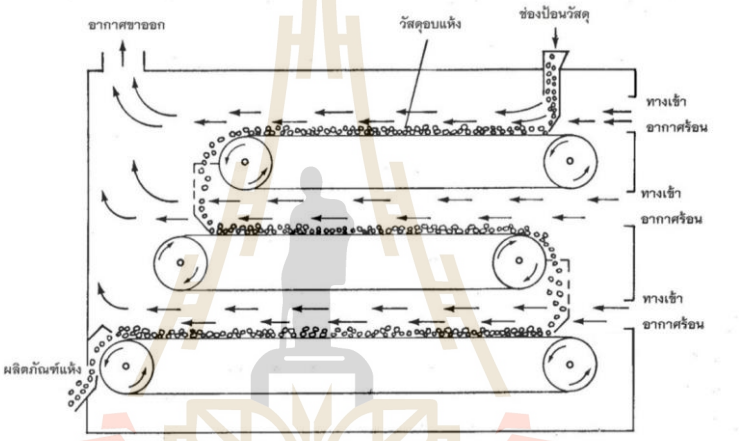
1. พัดลมหมุนเวียนปรับทิศทางได้
2. ตัวทำความร้อน
3. อากาศเข้า
4. อากาศออก
5. ตัวปรับการแจกแจงการไหลอากาศ
6. ที่วางถาดอาหาร

รูปที่ 2.9 เครื่องอบแห้งแบบตู้ (สมชาติ, 2540)

2. เครื่องอบแห้งแบบชั้นอบแห้งเคลื่อนที่ (moving-bed dryer)

ตัวอย่างอันหนึ่งของเครื่องอบแห้งแบบนี้คือ การอบแห้งโดยใช้สายพานชั้นของวัสดุที่ต้องการอบแห้งอยู่บนสายพานซึ่งเคลื่อนที่และมีรูให้อากาศผ่านได้ (รูปที่ 2.10) อากาศที่

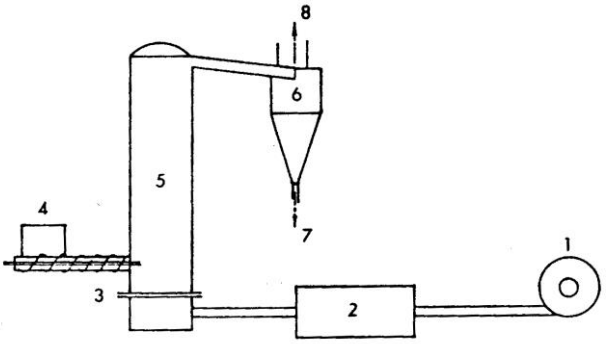
ใช้อบแห้งมีทิศทางไปด้านบนหรือด้านล่างทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุอบแห้ง ในบางครั้งอาจมีการกลับทิศทางลมร้อนเป็นช่วงเวลาเพื่อให้การอบแห้งเป็นไปอย่างทั่วถึง สภาวะของอากาศอาจเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางของสายพาน เช่นตอนต้นของสายพานวัสดุอบแห้งยังมีความชื้นสูงอยู่ก็ใช้ลมร้อนซึ่งมีอุณหภูมิสูง ส่วนตอนปลายของสายพานก็ใช้ลมร้อนซึ่งมีอุณหภูมิต่ำกว่าเพราะวัสดุอบแห้งมีความชื้นลดลงใกล้ถึงจุดที่ต้องการแล้ว การอบแห้งแบบสายพานนี้มีข้อเสียที่ว่าไม่สามารถอบแห้งวัสดุให้มีความชื้นต่ำกว่า 10 %wb ได้โดยประหยัด โดยทั่วไปเมื่อวัสดุมีความชื้นเหลือประมาณ 27 %wb หรือต่ำกว่า ก็จะถูกถ่ายไปยังเครื่องอบแห้งตัวที่สอง เช่น เครื่องอบแห้งแบบถังหรือถังเก็บเพื่อลดความชื้นต่อไป



รูปที่ 2.10 เครื่องอบแห้งแบบสายพาน (ดัดแปลงจาก วิไล, 2547)

3. เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด (fluidized bed dryer)

เครื่องอบแห้งแบบนี้ วัสดุอบแห้งอยู่ในลักษณะของแข็งชิ้นเล็กๆ ลมร้อนถูกเป่าด้วยความเร็วสูงพอที่จะเอาชนะแรงโน้มถ่วงของวัสดุ และทำให้วัสดุลอยตัวอยู่ในอากาศได้ ทำให้มีคุณลักษณะเหมือนของไหล ความเร็วลมที่นิยมใช้กันอยู่ในช่วง 100-200 m/min ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่น ขนาดและรูปทรงของวัสดุ รูปที่ 2.11 แสดงเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด ซึ่งพัดลม (1) เป่าอากาศผ่านตัวทำอากาศร้อน (2) และไหลผ่านแผ่นตะแกรง (3) วัสดุไหลเข้าเครื่องโดยเกลียวลำเลียง (4) และปะทะกับกระแสอากาศทำให้แขวนลอยอยู่ในห้องอบแห้ง (5) วัสดุที่แห้งแล้วจะเบาขึ้น ทำให้ลอยได้สูงขึ้น และไหลไปที่เครื่องแยกคัดแบบไซโคลน (6) โดยอากาศชื้นออกทางด้านบน (8) และวัสดุที่แห้งแล้วถูกรวบรวมที่ (7)



รูปที่ 2.11 เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบด (สมชาติ, 2540)

4. เครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ (rotary dryer)

เครื่องอบแห้งแบบโรตารี่ใช้กับวัสดุเป็นชิ้น หรือพวกเมล็ดพืชที่มีความชื้นสูง ตัวเครื่องอบแห้งทำด้วยถังทรงกระบอกหมุน วางเอียงกับแนวราบเล็กน้อย วัสดุไหลเข้าทางปลายด้านสูงและไหลออกที่ปลายด้านต่ำของถัง ภายในตัวถังจะมีแผ่นครีบทำหน้าที่ตักวัสดุจากด้านล่างของถังขึ้นสู่ด้านบน แล้วไหลตกลงมาโดยแรงโน้มถ่วง พร้อมๆ กับเคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วย ในขณะเดียวกันลมร้อนจะไหลเข้าภายในถังเพื่อทำหน้าที่ลดความชื้นจากตัววัสดุ เนื่องจากวัสดุแขวนลอยอยู่ในอากาศขณะที่ไหลตกลงมา ทำให้การถ่ายเทความร้อนและความชื้นเป็นไปอย่างรวดเร็ว นอกจากแผ่นครีบที่ทำหน้าที่ตักวัสดุแล้ว ยังอาจมีแผ่นครีบที่ทำหน้าที่เป็นทางเกลียวบังคับให้วัสดุเคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วย (เทวรัตน์ ตรีอำนรรค, 2552)

5. เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม (pneumatic dryer)

เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมเป็นการอบแห้งที่ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่สั้นเมื่อเทียบกับการอบวิธีอื่น และเหมาะสมกับวัสดุที่มีขนาดเล็ก น้ำหนักเบาหรือความหนาแน่นต่ำ สามารถลอยตัวในอากาศได้ (วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล, 2525) โดยเครื่องอบแห้งประเภทนี้มีจุดเด่นพิเศษดังต่อไปนี้

1. สามารถทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งภายใน 2-5 วินาที ถ้าเลือกใช้วิธีป้อนที่เหมาะสม สามารถอบแห้งแม้กระทั่งเค็กกรองหลายชนิดที่ได้มาจากการกรองเพื่อขับน้ำออกให้เป็นผลิตภัณฑ์ผงได้ปราศจากผลกระทบกระเทือนจากอัตราส่วนความชื้นในเค็กกรอง

2. สามารถทำให้เกิดการอบแห้งอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากวัสดุอบแห้งกระจัดกระจายอยู่ในกระแสลมร้อนการอบแห้งเกิดขึ้นอย่างเกือบทันทีทันใดในวัสุดแต่ละอนุภาคภายในเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม ดังนั้นความชื้นในวัสดุส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปน้ำที่ผิววัสดุ นอกจากนั้นพื้นที่สัมผัสระหว่างอนุภาคและลมร้อนมีค่าสูงมาก ดังนั้นความชื้นส่วนใหญ่จะถูกระเหยหมดไป

ในช่วงการระเหยจากผิววัสดุ ยกตัวอย่างเช่น การอบแห้งอย่างสม่ำเสมอจนเหลือความชื้น 0% สามารถคาดหมายได้สำหรับอนุภาคเล็กกว่า 50 μm

3. ความสามารถในการอบแห้งมีสูงมาก มีตัวอย่างจริงๆที่สามารถระเหยน้ำ 8 ตันต่อ 1 ชั่วโมงในแครื่องๆเดียว ความสามารถที่สูงเช่นนี้ไม่สามารถคาดหมายได้จากเครื่องอบแห้งที่ได้รับความร้อนโดยทางอ้อม เช่น เครื่องอบแห้งแบบมีร่องกวน หรือเครื่องอบแห้งแบบหมุนและรับความร้อนจากไอน้ำ (stream-heated rotary dryer)

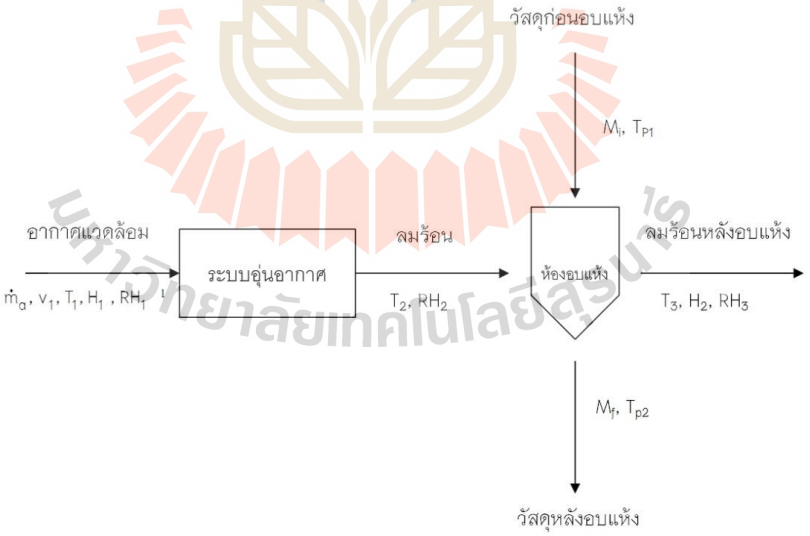
4. เวลาในการอบแห้งสั้น เวลาที่นับตั้งแต่เริ่มป้อนวัสดุจนออกจากไซโคลน (cyclone) เป็นผลิตภัณฑ์แห้ง ใช้เวลา 2 ถึง 6 วินาที

5. โครงสร้างของเครื่องอบแห้งเป็นแบบง่าย ๆและการติดตั้งใช้พื้นที่น้อย

6. วัสดุเคลื่อนที่ไปพร้อมกระแสลมร้อน อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์จะไม่ขึ้นสูงเกิน 70 ถึง 90°C ถึงแม้ว่าอุณหภูมิของลมร้อนที่เข้าไปสูงถึง 700 ถึง 800 °C

2.1.5 การคำนวณหาปริมาณลม ความร้อนและเชื้อเพลิง สำหรับเครื่องอบแห้ง

ปริมาณลม ความร้อนที่ใช้ในการอบแห้งสามารถคำนวณได้จากการสมดุลความร้อน จากรูปที่ 2.1 หากกำหนดให้ระบบการอบแห้งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนในการสร้างลมร้อนหรือระบบอุ่นอากาศ และส่วนของห้องอบแห้งจะสามารถคำนวณหาปริมาณความร้อนได้ดังนี้



รูปที่ 2.12 ระบบการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างง่าย

(ดัดแปลงจาก Amalendu Chakraverty and R. Paul Singh, 2001)

พิจารณาที่ระบบอุ่นอากาศจะได้ว่าปริมาณความร้อนที่อากาศได้รับจากระบบอุ่นอากาศมีค่าเท่ากับผลต่างของเอนทัลปีของกระแสอากาศที่เข้าและออกจากระบบเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$Q_a = \dot{m}_a (C_a + C_v H_1)(T_2 - T_1)\, t \qquad (2.5)$$

เมื่อ Q_a คือ ปริมาณความร้อนที่อากาศได้รับ (kJ)

$\dot{m}_a$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศแห้ง ($kg_{dry\ air}/h$)

H_1 คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศ ($kg_{water}/kg_{dry\ air}$)

C_a คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศแห้ง ($kJ/kg_{dry\ air}\ ^{O}C$)

C_v คือ ความร้อนจำเพาะของไอน้ำ ($kJ/kg_{water}\ ^{O}C$)

T_1 คือ อุณหภูมิของอากาศก่อนเข้าเครื่องอุ่นอากาศ (°C)

T_2 คือ อุณหภูมิของอากาศออกจากเครื่องอุ่นอากาศ (°C)

t คือ เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (h)

ซึ่งอีกวิธีหนึ่งในการหาปริมาณความร้อนของเครื่องอุ่นอากาศก็คือการใช้ Psychrometrics เมื่อทำการพิจารณาที่ห้องอบแห้งเราจะสามารถหาปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุได้ดังนี้

$$Q_{evap} = W_d (M_i - M_f) h_{fg} \qquad (2.6)$$

เมื่อ Q_{evap} คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำ (kJ)

W_d คือ มวลแห้งของวัสดุ (kg)

M_i คือ ความชื้นวัสดุก่อนอบแห้ง (เศษส่วน มาตรฐานแห้ง)

M_f คือ ความชื้นวัสดุหลังอบแห้ง (เศษส่วน มาตรฐานแห้ง)

h_{fg} คือ ค่าความร้อนแฝงของน้ำ (kJ/kg)

ในการอบแห้งนั้นความร้อนจากอากาศไม่ได้ใช้เพื่อในการระเหยน้ำออกจากวัสดุเท่านั้น แต่ความร้อนส่วนหนึ่งซึ่งเป็นความร้อนสัมผัสจะทำให้อุณหภูมิของวัสดุอบแห้งมีอุณหภูมิ

สูงขึ้นจากอุณหภูมิเริ่มต้นไปสู่อุณหภูมิสุดท้ายที่ออกจากเครื่องอบแห้ง โดยปริมาณความร้อนนี้หาได้จาก

$$Q_s = W_d C_{pd}(T_{p2} - T_{p1}) + W_d C_{pw}(T_{p2} - T_{p1})M_i \qquad (2.7)$$

เมื่อ Q_s คือ ปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิวัสดุ (kJ)

C_{pd} คือ ความร้อนจำเพาะของวัสดุแห้ง (kJ/kg °C)

C_{pw} คือ ความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg °C)

T_{p1} คือ อุณหภูมิวัสดุก่อนอบแห้ง (°C)

T_{p2} คือ อุณหภูมิวัสดุหลังอบแห้ง (°C)

ดังนั้น

$$Q_a = Q_{evap} + Q_s \quad \text{หรือ}$$

$$\dot{m}_a(C_a + C_v H_1)(T_2 - T_1)t = W_d(M_i - M_f)h_{fg} + \{W_d C_{pd}(T_{p2} - T_{p1}) + W_d C_{pw}(T_{p2} - T_{p1})M_i\}$$

$$\dot{m}_a = \frac{W_d(M_i - M_f)h_{fg} + \{W_d C_{pd}(T_{p2} - T_{p1}) + W_d C_{pw}(T_{p2} - T_{p1})M_i\}}{(C_a + C_v H_1)(T_2 - T_1)t} \qquad (2.8)$$

สมการ (2.8) จะช่วยให้เราหาอัตราการไหลของอากาศที่เหมาะสมกับการอบแห้งได้ และจากอัตราการไหลอากาศที่ได้นี้ จะนำไปสู่การคำนวณหาขนาดของพัดลมที่เหมาะสมต่อไป

ในเครื่องอบแห้งที่ใช้เชื้อเพลิงเป็นแหล่งให้พลังงานความร้อนเราสามารถคำนวณหาปริมาณเชื้อเพลิงที่ต้องการใช้ได้ดังนี้

$$f = \frac{Q_a}{\eta\eta_{ex}C_f} \qquad (2.9)$$

เมื่อ f คือ อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง (kg/h)

η คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของระบบให้ความร้อน

η_{ex} คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อน

C_f คือ ค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (kJ/kg)

อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้อบแห้ง

อุณหภูมิลมร้อนที่ใช้เป็นสิ่งสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอบแห้ง อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่เรานำมาอบแห้ง สภาวะความชื้นและการนำไปใช้ประโยชน์ เช่นในการอบแห้งเมล็ดพืช มีวัตถุประสงค์ในการใช้ประโยชน์ต่างกัน เช่น นำไปเป็นอาหารสัตว์ อาหารคน หรือใช้สำหรับเป็นเมล็ดพันธุ์ เป็นต้น

ปัจจัยเกี่ยวกับวัสดุอบแห้ง

ปัจจัยเกี่ยวกับวัสดุอบแห้งที่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง มีดังนี้

1. ชนิดและลักษณะเฉพาะของวัสดุที่นำมาอบแห้ง เช่น วัสดุที่นำมาอบแห้งเป็นผัก ผลไม้ หรืออาหารที่มีความไวต่อความเสียหายเนื่องจากความร้อนมากน้อยเพียงใด ลักษณะรูปร่าง โครงสร้างที่เอื้อประโยชน์ต่อการอบแห้ง เป็นต้น
2. ความชื้นเริ่มต้น ความชื้นสุดท้าย และความชื้นสมดุลของวัสดุที่นำมาอบแห้ง
3. องค์ประกอบทางเคมี หากวัสดุอบแห้งที่เป็นพวกสมุนไพร ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมี น้ำมันหอมระเหย อาจจะต้องพิจารณาเลือกการอบแห้งที่ใช้อุณหภูมิต่ำ

ปัจจัยที่กล่าวมานี้มีผลต่อการออกแบบเครื่องอบแห้ง ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางกายภาพ เช่น ความหนาแน่นรวม มุมกอง ความพรุน คุณสมบัติการไหล คุณสมบัติทางอากาศพลศาสตร์ และสมบัติทางความร้อน ล้วนเป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบ และต้องนำมาใช้ประกอบการพิจารณาในการออกแบบ

2.1.6 การประเมินประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง

ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งนั้นจะพิจารณาจากสองส่วนคือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน และประสิทธิภาพในการอบแห้ง

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้ง

1. ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุต่อปริมาณความร้อนที่ให้แก่เครื่องอบแห้ง

$$\eta_{dry} = \frac{Q_{evap}}{Q_a} \times 100 \tag{2.10}$$

หรือ

$$\eta'_{dry} = \frac{Q_{evap} + Q_s}{Q_a} \times 100 \tag{2.11}$$

นอกจากนี้ยังสามารถบอกประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งได้ในรูปของค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (specific energy consumption, SEC) ซึ่งเป็นค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้งต่อปริมาณน้ำที่ระเหยน้ำออกจากวัสดุ ค่า SEC นี้หาได้จาก

$$SEC = \frac{Q_a}{W_i - W_f} \tag{2.12}$$

2. ประสิทธิภาพในการอบแห้ง

ในการพิจารณาประสิทธิภาพในการอบแห้งจะประเมินจากค่าอัตราการอบแห้ง (drying rate, DR) ซึ่งสามารถคิดได้จากปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุต่อระยะเวลาในการอบแห้ง หรือปริมาณความชื้นต่อระยะเวลาในการอบแห้ง คือ

$$DR = \frac{W_i - W_f}{t} \tag{2.13}$$

$$DR = \frac{M_i - M_f}{t} \tag{2.14}$$

เมื่อ η_{dry} คือ ประสิทธิภาพของการอบแห้ง (%)

η'_{dry} คือ ประสิทธิภาพของการอบแห้งเมื่อรวมความร้อนสัมผัส (%)

DR คือ อัตราการอบแห้ง (kg/h หรือ %db/h)

SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (kJ/kg_{water})

สำหรับประสิทธิภาพในการอบแห้งนอกจากจะพิจารณาได้จากอัตราการอบแห้งแล้วยังต้องดูที่คุณภาพของผลิตภัณฑ์ควบคู่กันไปด้วย นั่นคือความชื้นที่เหลือในผลิตภัณฑ์จะต้องมีค่าไม่เกินมาตรฐานและมีความสม่ำเสมอทั่วทุกส่วนของผลิตภัณฑ์ สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารแห้งคุณภาพที่ต้องคำนึงถึงยังรวมไปถึง รูป รส กลิ่น สี ตลอดจนคุณค่าทางโภชนาการ ความสะอาด อายุการเก็บรักษา (shelf life) และรสสัมผัส (ความกรอบ/ความนุ่ม) เป็นต้น

3. คุณภาพการสี (milling quality)

คุณภาพการสีของข้าวประเมินได้จากปริมาณข้าวเต็มเมล็ด (whole grain) และต้นข้าว (head rice) ข้าวที่มีคุณภาพการสีดี ข้าวที่ผ่านกระบวนการขัดสีแล้วได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง มีปริมาณข้าวหัก (broken rice) น้อย ดังนั้น การประเมินคุณภาพการสีของข้าวจึง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เกี่ยวข้องกับการแปรสภาพข้าวหรือการสีข้าว (rice milling) ซึ่งหมายถึง การทำให้เปลือก รำ และคัพภะออกจากเมล็ดข้าว (กัญญา เชื้อพันธุ์, 2545)

2.1.7 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อคุณภาพการสีข้าว

คุณภาพการสีข้าวอาจแปรปรวนได้ตามลักษณะของพันธุ์ข้าว สภาพแวดล้อม และการดูแลรักษาทั้งก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว (กัญญา เชื้อพันธ์, 2545)

1. พันธุ์ข้าว (rice variety) คุณภาพการสีของข้าวอาจแปรปรวนได้ตามลักษณะต่างๆ ของพันธุ์ข้าว เช่น พันธุ์ที่มีขนาดเมล็ดยาวมาก มีท้องไข่มาก จะให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวต่ำ หรือพันธุ์ข้าวที่มีเปลือกสีอ่อน เปลือกบาง เมื่อนำไปสีจะให้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง เป็นต้น

2. การปฏิบัติดูแลการเก็บเกี่ยว ควรระบายน้ำออกจากแปลงนาก่อนเก็บเกี่ยว 7-10 วัน เพื่อให้เมล็ดข้าวสุกอย่างสม่ำเสมอ พื้นนาไม่แฉะขณะเก็บเกี่ยวทำให้การเก็บเกี่ยวและการตากสะดวกได้ข้าวแห้งสม่ำเสมอ เมื่อนำไปสีจะได้ปริมาณข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวสูง

3. ระยะเวลาและวิธีการเก็บเกี่ยวที่เหมาะสม การเก็บเกี่ยวข้าวเร็วหรือช้าเกินไปจะทำให้ข้าวมีปริมาณและคุณภาพการสีต่ำ กล่าวคือ ข้าวที่เก็บเกี่ยวในขณะที่เมล็ดยังเขียวการสร้างแป้งยังไม่แน่นเต็มเมล็ด เมื่อตากแห้งแล้วนำไปสีข้าวเมล็ดเขียว หรือเมล็ดอ่อนเหล่านี้จะหักปนไปรวมกับส่วนรำ แกลบ และข้าวหัก ทำให้ได้เนื้อของข้าวสาร และข้าวเต็มเมล็ดต้นข้าวน้อย ในทำนองเดียวกันหลังจากเมล็ดแก่และแห้งแล้ว หากปล่อยให้ทิ้งไว้ในนา เมล็ดจะถูกแดดในตอนกลางวันและได้รับสภาพชื้นจากน้ำค้างในตอนกลางคืนสลับกันเป็นเวลานานๆ ทำให้เกิดรอยร้าวขึ้นในเมล็ด เมื่อนำไปสีจะทำให้เมล็ดข้าวหักมาก ได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวน้อย ดังนั้นการเก็บเกี่ยวข้าวควรกระทำหลังจากข้าวออกดอกแล้วประมาณ 28-30 วัน ขณะที่เมล็ดมีความชื้นประมาณ 22-26 % ลักษณะรวงข้าวจะโน้มลง เมล็ดในรวงมีสีฟางหรือเหลือง โคนรวงอาจมีเมล็ดเขียวบ้างเล็กน้อย ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวนี้ เมล็ดจะสุกแก่พอเหมาะ จึงทำให้การเก็บเกี่ยวในระยะนี้ได้น้ำหนักเมล็ดสูง ปริมาณข้าวมากขึ้น และมีคุณภาพการสีดี

4. การตากข้าว เป็นการลดความชื้นในเมล็ดให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ซึ่งเมื่อนำไปสีจะทำให้ข้าวมีคุณภาพการสีสูงและเก็บรักษาไว้ได้นาน เสื่อมคุณภาพช้า การตากข้าวกระทำได้ทั้งก่อนและหลังการนวด แต่ควรคำนึงถึงคุณภาพของข้าวที่ตาก นั้นคือ ต้องทำให้ข้าวแห้งอย่างสม่ำเสมอ มีความชื้นในเมล็ด 12-14 % สะอาด และไม่มีสิ่งเจือปน แต่ไม่ควรตากนานเกินไป

5. การนวดข้าว เป็นการทำให้เมล็ดข้าวหลุดจากรวง ในแต่ละท้องถิ่นมีวิธีการปฏิบัติแตกต่างกัน เช่น นวดโดยการฟาด ใช้สัตว์ย่ำ นวดโดยรถไถ และนวดด้วยเครื่องจักรเป็นต้น ซึ่งการนวดนี้อาจทำให้เกิดรอยร้าวในเมล็ดข้าวซึ่งมีผลคุณภาพการสี และข้าวหักมากขึ้น

6. การเก็บรักษาเป็นขั้นตอนการปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยว นวด และตาดแดด เกษตรกรจะเก็บรักษาข้าวไว้เพื่อรอให้ราคาดีจึงจะขาย หรือเก็บไว้เพื่อบริโภค การเสื่อมคุณภาพในระยะนี้สาเหตุส่วนใหญ่เกิดจากการทำลายของเชื้อรา การเกิดข้าวเมล็ดเหลืองหรือเมล็ดเสีย ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพการสี ทำให้ได้ข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวน้อยลง

7. กระบวนการขัดสี ขั้นตอนสำคัญในการสีข้าวที่มีผลต่อคุณภาพการสี คือ การกะเทาะเปลือกและการขัดขาว อีกทั้งคุณภาพการสีของข้าวยังขึ้นกับจำนวนหน่วยขัดสี หากขัดแต่ละหน่วยเบาๆ จะทำให้คุณภาพการสีดีขึ้น

2.1.8 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการลดความชื้นในข้าวเปลือก

1. อุณหภูมิ

อุณหภูมิเป็นสิ่งที่แสดงถึงปริมาณของพลังงานความร้อน ยิ่งมีความร้อนมากก็ยิ่งมีอุณหภูมิสูง ความแตกต่างของอุณหภูมิเป็นตัวกำหนดทิศทางและอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ความร้อนจะเคลื่อนที่ที่อุณหภูมิสูงไปยังที่ที่มีอุณหภูมิต่ำ อุณหภูมิเป็นสิ่งที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุมกระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีและสรีระที่เกิดขึ้นในพืชมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับการเก็บรักษาผลิตผลต่าง ๆ หลังการเก็บรักษา

การตอบสนองทางสรีระของพืชต่ออุณหภูมิ คือ การหายใจ เป็นกระบวนการที่ควบคุมโดยเอนไซม์หลายชนิด และอุณหภูมิก็มีส่วนในการควบคุมการทำงานของเอนไซม์ด้วย อัตราการเกิดปฏิกิริยาภายในเซลล์ของพืชเพิ่มขึ้นแบบ exponential เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นภายในช่วงที่จำกัด ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยทางคณิตศาสตร์โดยการใช้ Temperature quotient (Q_{10}) เป็นสมการที่แสดงให้เห็นว่า อัตราของปฏิกิริยาเคมีจะเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่าโดยประมาณสำหรับทุก ๆ 10 องศาเซลเซียสที่เพิ่มขึ้น สำหรับค่า Q_{10} และอัตราการหายใจของผักและผลไม้ทั่ว ๆ ไป จะแตกต่างกันไปตามชนิดของพืชและอุณหภูมิ อุณหภูมิที่สูงไม่ได้หมายความว่าอัตราการหายใจจะมีค่าสูง อุณหภูมิที่สูงกว่า 30 องศาเซลเซียสจะทำให้เอนไซม์หลายชนิดในกระบวนการหายใจของพืชสูญเสียคุณสมบัติ เนื่องจากโปรตีนที่เป็นโครงสร้างของเอนไซม์ถูกเปลี่ยนแปลงไปและจะทำให้อัตราปฏิกิริยาเคมีลดลง เอนไซม์หลายชนิดยังสามารถทำหน้าที่ที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส แต่ส่วนมากจะสูญเสียคุณสมบัติที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ในระยะแรกที่อุณหภูมิสูง Q_{10} อาจจะมีค่าสูงและลดลงอย่างรวดเร็วและในที่สุด Q_{10} จะมีค่าน้อยกว่า 1

2. ความชื้น

พืชผักและผลไม้หลังถูกเก็บเกี่ยวในสภาพแวดล้อมรอบๆ ของผลผลิตมีความชื้นที่เป็นปัจจัยสำคัญต่ออายุการเก็บรักษาอีกด้วย อากาศชื้นแบ่งเป็นอากาศแห้งและไอน้ำ ปริมาณไอน้ำในอากาศอยู่ในระดับระหว่าง 0 ถึง 100 % ค่าความชื้นที่มีน้อยกว่าค่ามาตรฐานจะส่งผลทำให้ข้าวเปลือกหลุดร่วงระหว่างเก็บเกี่ยวและคุณภาพหลังผ่านกระบวนการสีต่ำ ถ้าความชื้น

ในข้าวเปลือกมีปริมาณมากเกินไปก็จะส่งผลให้เสี่ยงต่อการเสื่อมคุณภาพของข้าว ดังนั้นการควบคุมสภาวะให้อยู่ในค่าที่เหมาะสมนอกจากจะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาแล้ว ยังสามารถได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีและไม่สูญเสียสารอาหารที่มีประโยชน์ในเมล็ดข้าวด้วย ดังนั้นการลดความชื้นของข้าวเปลือกควรคำนึงถึงสิ่งดังต่อไปนี้

2.1 อุณหภูมิที่ใช้ลดความชื้นไม่ควรสูงเกินไป เพราะข้าวเปลือกมีความชื้นหลังการเก็บเกี่ยวสูง โดยเฉพาะในฤดูฝน และมีคุณภาพการสีเป็นปัจจัยในการกำหนดราคารับซื้อข้าวเปลือก วิธีการลดความชื้นที่เหมาะสมจึงไม่ควรใช้อุณหภูมิสูงเกิน 5 องศาเซลเซียสและถ้าเป็นเมล็ดพันธุ์ไม่ควรสูงเกิน 43 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิสูงมีผลทำให้เมล็ดเกิดรอยร้าวภายในเมล็ด ทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นและคุณภาพการสีต่ำ

2.2 ความชื้นสัมพัทธ์บริเวณที่กำลังลดความชื้นไม่ควรเกิน 60% หรือควรต่ำกว่าความชื้นสัมพัทธ์ของเมล็ด จึงจะทำให้การลดความชื้นได้ผล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, พิพัฒน์ อมตฉายา และคณะ (2540) ได้นำเสนอการอบแห้งข้าวเปลือกในที่เก็บและการเก็บรักษาในสถานที่ใช้งานจริง เพื่อศึกษาคุณภาพของข้าวเปลือกหลังอบแห้ง และความเป็นไปได้ทางเศรษฐศาสตร์ของการอบแห้งข้าวเปลือกในที่เก็บ การทดสอบได้นำข้าวเปลือกที่ความชื้นเริ่มต้นเฉลี่ย 17% มาตรฐานเปียก น้ำหนักประมาณ 105 ตัน แล้วเป่าอากาศที่อุณหภูมิเฉลี่ย 27.7 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม) เป็นระยะเวลา 9 สัปดาห์ (วันละ 8.30 ชั่วโมง) สำหรับช่วงการเก็บรักษาจะเป่าอากาศครั้งละ 2 ชั่วโมงต่อสัปดาห์ อัตราการไหลประมาณ 0.57 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก แล้วทำการเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกจากผิวบนของข้าวเปลือกที่ระดับความลึก 30 cm 2 m และ 4 m เพื่อนำมาทดสอบคุณภาพการสี และหาความชื้นของข้าวเปลือกพบว่า ความชื้นของข้าวเปลือกบริเวณด้านล่าง (4 เมตร) ต่ำกว่าปกติ เนื่องจากความชื้นด้านบนกองข้าวเปลือกด้านบนสุดมีความชื้นเริ่มต้นค่อนข้างสูงเพื่อเทียบกับกองด้านล่างให้เหลือ 14% มาตรฐานเปียก และการเดินท่อก่อนกำแพงของฉาก ทำให้เกิดความดันลดในท่อเพิ่มมากขึ้น ทำให้อุณหภูมิอากาศที่เข้ามีค่าสูงขึ้น หลังการอบแห้งสามารถเก็บรักษาข้าวเปลือกได้อีก 19 สัปดาห์ ส่วนด้านคุณภาพการสี พบว่า ความขาวของข้าวเปลือกเฉลี่ยที่แต่ละระดับความลึกอยู่ในเกณฑ์ดี สำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ด พบว่าขึ้นอยู่กับคุณภาพเริ่มต้นของข้าวเปลือกที่เข้าห้องอบแห้ง และเมื่อนำข้าวเปลือกที่อบแห้งและเก็บรักษามาผ่านกระบวนการสีพบว่าเปอร์เซ็นต์เต็มเมล็ดข้าวสูงกว่าวิธีตากแดด 8% โดยขึ้นกับคุณภาพเริ่มต้นของข้าวเปลือกที่เข้าห้องอบแห้ง และมีความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าช่วงอบแห้ง 14 kWh/ตันข้าวเปลือก หรือค่าไฟฟ้า 21 บาท/ตันข้าวเปลือก สำหรับความสิ้นเปลืองพลังงานในช่วงการเก็บรักษา 1.31 kWh/ตันข้าวเปลือก หรือค่าไฟฟ้า 1.97 บาท/ตันข้าวเปลือก สำหรับการลงทุนในระบบอบแห้งแบบฉางเก็บจะคืนทุนภายในเวลา 6 ปีและ 7.5 ปี โดยมีอัตราส่วนลด 10% และ 15% ส่วนการลงทุนในลานตากไม่มีระยะเวลาคืนทุน จากการวิเคราะห์ความไวของการลงทุนพบว่า กรณีที่สร้างฉางเก็บ รายรับและรายจ่ายของโครงการเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ แต่การลงทุนแบบตากลาน พบว่ารายจ่ายจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ

พรศักดิ์ ทองมา (2542) ได้นำเสนองานวิจัยการอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคสเปาเต็ดเบดขนาดอุตสาหกรรม เพื่อออกแบบ สร้างและทดสอบเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบด กำลังการผลิต 2.5 ถึง 5 ตันต่อชั่วโมง โดยทำการออกแบบการทดสอบ 7 การทดสอบที่มีเงื่อนไขแตกต่างกัน และมีการเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งทุก 10 นาที จำนวน 10 ตัวอย่าง แล้วนำมาหาความชื้นและทดสอบคุณภาพการสี ในระหว่างทดสอบได้ทำการปรับปรุงการทำงานของเครื่องอบแห้งให้เหมาะสมตลอดการทดสอบ ในการทดสอบได้ใช้ข้าวเปลือกที่มีค่าความชื้นประมาณ 26 ถึง 38 % มาตรฐานแห้งและอุณหภูมิอบแห้งอยู่ในช่วงระหว่าง 130 ถึง 190 องศาเซลเซียส ข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบเป็นเวลา 17 นาที พบว่า ความชื้นของข้าวเปลือกมีค่าประมาณ 21.3 %มาตรฐานแห้ง สำหรับการทดสอบคุณภาพข้าวก่อนและหลังอบ พบว่า เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นมีค่าใกล้เคียงกัน (48.2 และ 48% ตามลำดับ) และสีของข้าวสารมีค่าไม่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นผลมาจากระยะเวลาที่สั้นทำให้เมล็ดข้าวเปลือกสัมผัสกับอากาศได้น้อย และค่าความสิ้นเปลืองจำเพาะในพลังงานปฐมภูมิ 7.5 MJ/kg $_{water}$

ขุนพล สังข์อารียกุล (2544) ศึกษาเรื่องการประเมินสถานภาพการใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบต่าง ๆ ของโรงสีในประเทศไทย จากการสำรวจพบว่าใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกที่นิยมใช้มากที่สุดคือแบบ LSU 64.4% มีกำลังการผลิตรวม 79.3% โดยใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงในการอบแห้ง ข้าวเปลือกที่ใช้มีความชื้นทุกระดับ รองลงมาเป็นเครื่องอบแห้งแบบ Recirculating Batch 20.6% ใช้อบแห้งข้าวเปลือกในช่วงความชื้น 20-30 %wb เมื่อสำรวจโรงสีที่มีกำลังการผลิตมากกว่า 100 ตันต่อวัน โดยสอบถามความพึงพอใจของผู้ประกอบ สมรรถนะโดยรวมของเครื่องอบแห้ง พบว่า เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดได้รับความพึงพอใจมากที่สุด รองมาเป็น LSU, Cross Flow และ Recirculating Batch ตามลำดับ และงานวิจัยนี้ได้ทดสอบสมรรถนะระบบอบแห้งข้าวเปลือกที่ใช้ระบบฟลูอิไดซ์เบดร่วมกับแบบไหลคลุกเคล้า (LSU) เพื่อประเมินสถานภาพการใช้เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก โดยใช้ร่วมกับเครื่องเป่าลมเย็น จากผลการทดสอบ พบว่า ข้าวเปลือกที่ผ่านอบแห้งด้วยฟูอิไดซ์เบดมีคุณภาพที่อยู่ตามเกณฑ์มาตรฐาน เมื่อนำผ่านเครื่องอบแห้งแบบ LSU พบว่าคุณภาพที่ได้ลดลงและพลังงานที่ใช้เพิ่มขึ้น ซึ่งปัจจัยหลักที่มีผลต่อการใช้พลังงาน คือ ความชื้นเริ่มต้น และค่าใช้จ่ายในการอบแห้งอยู่ในช่วง 0.70 - 0.96 Bath/kg $_{water\ evap}$

ยุทธนา ฎิระวณิชย์กุล (2546) ได้นำเสนองานวิจัยการจัดการข้าวเปลือกโดยการอบแห้งในที่เก็บรักษาภายใต้สภาวะอากาศเขตร้อนชื้น เพื่อศึกษากระบวนการอบแห้งในภาคสนาม รวมถึงการศึกษาระบบการจัดการลดความชื้นของข้าวเปลือกระหว่างการอบแห้ง โดยอาศัยลมจากสิ่งแวดล้อมและใช้ซิลิกาเจลเป็นสารดูดซับความชื้นในการอบแห้งข้าวเปลือกแบบส่งไปตามท่อ โดยใช้ลมที่มีไซโคลน และแบบที่ไม่มีไซโคลน ซึ่งเป็นเทคนิคที่สามารถนำมาชะลอการเสื่อมสภาพของข้าวเปลือก โดยทดสอบจากข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้น 22, 24 และ 26 %wb ความเร็วของอากาศร้อน 20, 25 และ 30 m/s อัตราการไหลของข้าวเปลือก 150, 250 และ 350 kg/hr และอุณหภูมิของอากาศร้อน 35, 45, 50, 55, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ใช้เชื้อเพลิงสำหรับกำเนิดความร้อนเป็นแก๊ส LPG เทคนิคการใช้สารดูดซับซิลิกาเจลเพื่อลดความชื้น แต่ไม่สามารถลดอัตราการหายใจของเมล็ดของเมล็ดพืชได้ จึงทำให้เกิดความร้อนสะสมขึ้น จึงส่งผลให้ข้าวมีสีเหลืองเพิ่มขึ้น สำหรับเทคนิคนี้จะผสมสารดูดซับความชื้นและเมล็ดข้าวเปลือกคลุกเคล้าให้เข้ากัน เพื่อให้สารดูดซับมีประสิทธิภาพมากขึ้น และค่าความชื้นเริ่มต้นที่เหมาะกับวิธีนี้ควรมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 21 มาตรฐานเปียก สำหรับการทดสอบนี้เป็นระดับห้องปฏิบัติการ ได้เลือกใช้ข้าวสุพรรณบุรี 1 และข้าวปทุมธานี 1 ซึ่งเป็นสายพันธุ์ที่มีปริมาณแอมิโลสอยู่ระหว่างร้อยละ 25 ถึง 27 และร้อยละ 15 ถึง 17 ตามลำดับ ถูกอบแห้งที่อัตราการไหล 0.6 ถึง 1.5 ลูกบาศก์เมตร/นาที ลูกบาศก์เมตรของข้าวเปลือก ภายใต้การอบแห้งสามเงื่อนไข ดังนี้คือ กรณีแรก ใช้การเป่าด้วยอากาศสภาวะใกล้อากาศแวดล้อม กรณีที่สอง ควบคุมความชื้นสัมพันธ์อากาศขาเข้าห้องอบแห้งต่ำกว่าร้อยละ 70 และสุดท้ายคือ เป็นการอบแห้งแบบไม่ต่อเนื่อง ภายใต้เงื่อนไขการหยุดทำงานของพัดลมเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศขาเข้าห้องอบแห้งสูงกว่าร้อยละ 70 พบว่าปริมาณกรดไขมันอิสระมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นระหว่างการอบแห้ง เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชั่น และขบวนการไฮดรอไลซิสตามการเสื่อมสภาพตามธรรมชาติของเมล็ดพืช และจากผลการคำนวณแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบใกล้สมดุล พบว่า แบบจำลองให้ผลการทำนายที่มีความถูกต้องสูงเมื่อรวมปัจจัยการหายใจของเมล็ดพืชที่เกิดขึ้นระหว่างการอบแห้ง และนอกจากนี้พบว่า การอบแห้งแบบต่อเนื่องโดยการเป่าด้วยอากาศเป็นวิธีการอบแห้งที่มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะและการลดลงความขาวของข้าวมีค่าต่ำ เมื่อเทียบกับการอบแห้งอีกสองเงื่อนไข ซึ่งตรงกันข้ามกับค่าความสูญเสียมวลแห้งในการอบแห้งเทคนิคนี้มีค่าสูงกว่าอีกสองเงื่อนไข ซึ่งมีค่าประมาณร้อยละ 1.02 ในขณะที่เงื่อนไขที่ 2 มีค่าความสูญเสียมวลแห้งร้อยละ 0.8

สิทธิเดช กุลวงษ์ (2547) ได้ศึกษาและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบส่งไปตามลม โดยใช้ลม โดยพารามิเตอร์สำหรับการทดสอบมีดังนี้ ข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นคือ 22, 24 และ 26 %wb อุณหภูมิของอากาศร้อนตั้งแต่ 35 ถึง 70 องศาเซลเซียส และทดสอบทั้งแบบติดไซโคลนและแบบที่ไม่ติดไซโคลนจากการทดลอง พบว่า เครื่องอบแห้งแบบส่งไปตามท่อลมแบบที่มีไซโคลนทำงานได้มีประสิทธิภาพในการอบแห้งได้ดีกว่าแบบไม่ติดไซโคลน การอบแห้งวิธีนี้เหมาะกับข้าวเปลือกที่ได้จากการเก็บเกี่ยวและมีความชื้นความชื้นเริ่มต้นตั้งแต่ 24 %wb และสภาวะอุณหภูมิอบแห้งที่เหมาะสม คือ 50 ถึง 60 องศาเซลเซียส ซึ่งสามารถลดความชื้นได้ถึง 18 %wb ในระยะเวลา 3 ถึง 4 นาที โดยไม่ส่งผลให้เกิดความสูญเสียของเมล็ดข้าวเปลือก

ฉัตรชัย นิมมล และอนุชา หิรัญวัฒน์ (2555) ได้นำเสนองานวิจัยการพัฒนาและศึกษาระบบการอบแห้งแบบพาหะลมชนิดท่อเกลียวสำหรับข้าวเปลือก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม ศึกษาวิจัยโดยการติดตั้งท่อเกลียว เพื่อให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วน และเปรียบเทียบกับกรณีหออบแห้งแบบท่อเรียบ ผลการวิจัยพบว่า เครื่องอบแห้งที่พัฒนาสามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้ถึง 4.4 ถึง 10.3 % มาตรฐานแห้ง ระบบใช้เวลาน้อยกว่า 5 วินาที และค่าความสิ้นเปลืองจำเพาะ (SEC) ต่ำสุดมีค่า 1.78 MJ/kg $_{water}$ ณ อุณหภูมิการอบแห้ง 100 องศาเซลเซียส ความเร็วลมของอากาศ 30 เมตรต่อวินาที และอัตราการป้อนข้าวเปลือก 150 kg $_{dry\ solid}$ /h ซึ่งคุณภาพของข้าวที่ได้หลังการอบแห้ง พบว่า การอบแห้งแบบท่อเกลียวได้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นที่น้อยกว่าการใช้หออบแห้งชนิดท่อเรียบ เนื่องจากการไหลของข้าวเปลือกเกิดการปั่นป่วนสูงเมื่อเทียบกับชนิดท่อเรียบ จึงส่งผลให้ความขาวของข้าวสารลดลง

วทัญญู รอดประพัฒน์, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และมนตรี หวังจิ (2542) ศึกษาระบบอบแห้งข้าวเปลือกในโรงสีข้าวเพื่อหาระบบอบแห้งข้าวเปลือกที่เหมาะกับโรงสีข้าวขนาดใหญ่ ลดความชื้นของข้าวเปลือกให้เหลือ 14%wb และมีคุณภาพการสีที่ดี โดยศึกษาสมรรถนะของระบบอบแห้งของโรงสีทั้ง 3 แห่ง จากนั้นทำการเก็บข้อมูลคุณภาพของข้าวเปลือกและปริมาณการใช้พลังงานที่ได้มาเปรียบเทียบกัน และศึกษาหาจุดที่เหมาะสม แล้วจึงออกแบบระบบอบแห้งให้ได้คุณภาพและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกประมาณ 20 %wb ในการทดสอบครั้งนี้เลือกโรงสี 3 แห่ง ได้แก่ โรงสีสุพรรณธัญญา โรงสีพูนสินไทย และโรงสี ต.ทวีรุ่งเรือง ซึ่งทั้งสามโรงสีใช้เครื่องอบแห้งแบบฟลูอิไดซ์เบดกำลังการผลิต 10 ตันต่อชั่วโมง อบแห้งที่อุณหภูมิช่วงประมาณ 110 – 130 องศาเซลเซียส ข้าวเปลือกที่ความชื้นสูงกว่า 19 %wb ขึ้น หลังจากนั้นพักข้าวก่อนใช้เครื่องอบแห้งแบบ LSU ขนาดบรรจุ 6-10 ตัน อุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง 80–100 องศาเซลเซียสอบแห้งข้าวเปลือกที่ต่ำกว่า 19 %wb แล้วเก็บตัวอย่างทุก 20 นาที

M.S.H. Sarker, M.Nordin Ibrahim et al. (2013) ได้ศึกษาเครื่องอบแห้งแบบ Inclined bed dryer โดยมีความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกเริ่มต้นคือ 22-23 %wb ลดความชื้นให้คงเหลือ 12.5% wb มีการใช้ specific electrical 1.44-1.95 MJ/kg $_{\text{water evaporated}}$ และ specific thermal energy consumption 2.77-3.47 MJ/kg $_{\text{water evaporated}}$ พบว่าอุณหภูมิการอบแห้ง 41-42 องศาเซลเซียส ใช้ specific electrical น้อยกว่าช่วงอุณหภูมิ 38-39 องศาเซลเซียสอยู่ 20% และ specific thermal energy ของอุณหภูมิ 41-42 องศาเซลเซียส มากกว่าช่วงอุณหภูมิ 38-39 องศาเซลเซียสอยู่ 10% นอกจากนั้นที่อุณหภูมิ 38-39 องศาเซลเซียส มีร้อยละข้าวต้น สูงกว่า 1-4 % สำหรับคุณภาพการสีและความขาวของข้าวอยู่ในเกณฑ์ที่ใกล้เคียงกันและยอมรับตามมาตรฐานได้ ข้อแนะนำหากความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกต่ำกว่า 23% wb. ควรใช้อุณหภูมิการอบแห้งต่ำกว่า 39 องศาเซลเซียส เพื่อคงคุณภาพข้าวในการใช้พลังงานที่ไม่สิ้นเปลืองจนเกินไป

Chatchai Nimmol และ Sakamon Devahastin (2010) ได้ศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระแสชน จากการทดลองพบว่าเครื่องอบแห้งต้นแบบนี้สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้ 3.4-7.7 %db อัตราการระเหยสูงสุด 198 kg $_{\text{water}}$/m^3 h สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูงสุดคือ 7013W/m^{3}h ในขณะที่ใช้เวลาในการอบแห้ง 1.81-2.42 วินาที ซึ่งพบว่าอัตราการอบแห้งโดยเฉลี่ย 1.52-3.83 %db สูงกว่าเครื่องอบแห้งแบบสเปาเตดเบด 250 และฟูอิดไดซ์เบด 40 เท่าและใช้พลังงานจำเพาะทั้งหมดที่ต่ำสุดคือ 5.1 MJ/kg$_{\text{water}}$ ใช้อุณหภูมิการอบแห้ง 110 องศาเซลเซียส

James E. Wimberly. (1983) รายงานว่าเมล็ดข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้ในสภาพที่ปราศจากการควบคุมของสิ่งแวดล้อม เพื่อให้มีความชื้นที่เหมาะสมของเมล็ดข้าวเปลือก พบว่าถ้าต้องการเก็บข้าวเปลือกไว้ 2-3 เดือน ค่าความชื้นควรอยู่ประมาณ 13-14% และถ้าต้องการเก็บไว้นานกว่า 3 เดือน จะต้องลดความชื้นเมล็ดให้ต่ำ 12-12.5%

ดังนั้นการลดความชื้นเป็นอีกขั้นตอนที่มีความสำคัญมากในการเก็บรักษาทั้งระยะเวลาสั้นและระยะเวลายาว ซึ่งถ้าปฏิบัติไม่ถูกวิธีจะทำให้ข้าวเสื่อมคุณภาพเร็วมากขึ้น

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการวิจัย

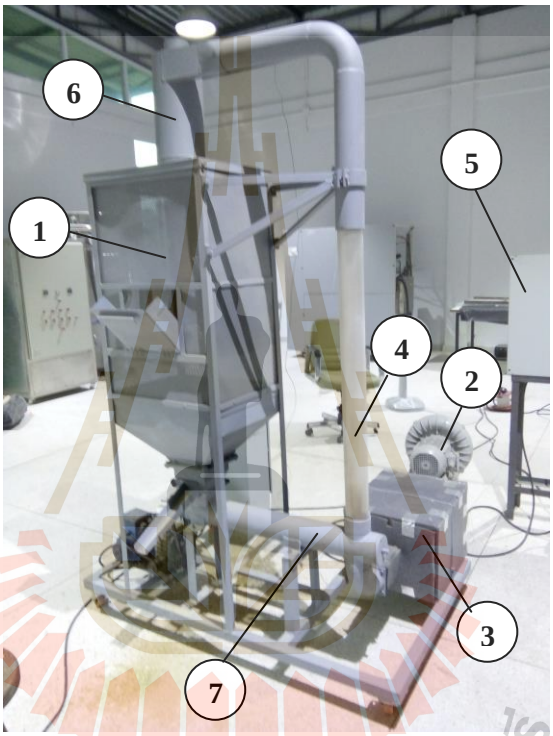
3.1 ตัวอย่างวัสดุอบแห้ง

การทดสอบอบแห้งในงานวิจัยนี้ใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ถูกเก็บเกี่ยวจากแปลงของเกษตรกรที่อำเภอพิมาย จังหวัดนครราชสีมา แล้วนำมาทดสอบทันที ข้าวบางส่วนที่ได้นำมาเก็บรักษาในห้องเย็นที่อุณหภูมิ 4 ºC

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างเมล็ดข้าวเปลือกที่ใช้ในการอบแห้ง

3.2 เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมสำหรับอบแห้งข้าวเปลือกที่พัฒนาขึ้น

การทำงานของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมมีลักษณะ ดังรูปที่ 3.2 เริ่มจากบรรจุข้าวใส่ลงในถังเก็บข้าวเปลือก (1) ข้าวจะไหลเข้าสู่เกลียวป้อนซึ่งถูกขับด้วยมอเตอร์ไปตามท่อส่ง (7) เพื่อส่งผ่านเข้ามายังห้อง อบแห้ง (4) ขณะที่ลมร้อนจากพัดลมความดันสูง (2) จะเป่าอากาศผ่านชุดทำความร้อน (3) เข้าสู่ห้องอบแห้งและผสมกับข้าวเปลือก สำหรับข้าวเปลือกที่แห้งจะเบาขึ้นทำให้ลอยได้สูงขึ้นและไหลไปรวบรวมที่ถังเก็บข้าวเปลือก



รูปที่ 3.2 เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่พัฒนาขึ้น

มอเตอร์ของเกลียวป้อนและมอเตอร์ของพัดลมความดันสูงถูกควบคุมความเร็วรอบด้วยอินเวอร์เตอร์ และฮีตเตอร์ไฟฟ้าของชุดทำความร้อนใช้เทอร์โมสตัตในการควบคุมเพื่อให้ได้อากาศอบแห้งตามอุณหภูมิที่ต้องการ ชุดควบคุมอุณหภูมิ ดังรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 ชุดควบคุมอุณหภูมิอากาศอบแห้งพร้อมติดตั้งมิเตอร์

3.3 เครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมสำหรับอบแห้งข้าวเปลือกที่พัฒนาขึ้น (รูปที่ 3.2) ประกอบด้วย

1) ถังเก็บข้าวเปลือกทรงสี่เหลี่ยม ทำจากเหล็กแผ่นแบบตะแกรงขนาด 2 mm

2) พัดลมความดันสูง ขนาด 1.5 kW

3) ชุดทำความร้อนด้วยไฟฟ้า ขนาด 3 kW

4) ห้องอบแห้ง ลักษณะเป็นทรงกระบอก ทำจากพลาสติกอะคริลิคใส ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 74 mm ความหนา 3 mm และสูง 100 cm

5) ชุดควบคุมอุณหภูมิอากาศอบแห้ง

6) ไซโคลนสำหรับแยกข้าวเปลือกออกจากอากาศอบแห้ง

7) ชุดเกลียวป้อนยาว 100 cm ใบเกลียวทำจากเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 80 mm และระยะพิชขนาด 80 mm

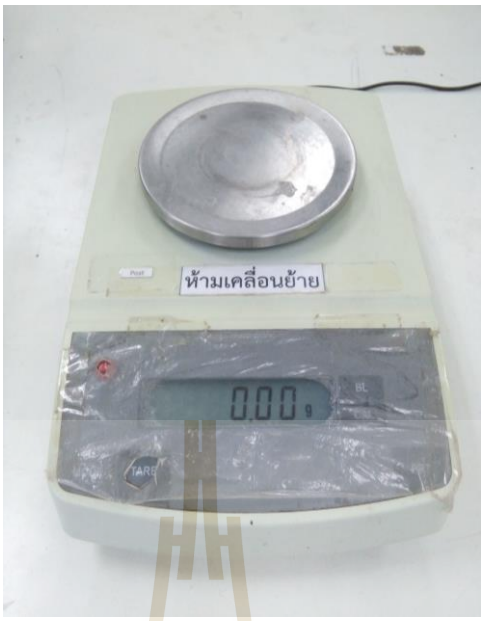
8) อินเวอร์เตอร์ยี่ห้อ Hitachi รุ่น WJ200 ขนาด 2.2 kW และอินเวอร์เตอร์ยี่ห้อ Hitachi รุ่น WJ200 ขนาด 2.2 kW

2. ตู้อบลมร้อน (hot air oven) ใช้สำหรับการอบหาความชื้นเมล็ดข้าวที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 3.4 ตู้อบลมร้อน (hot air oven)

3. เครื่องชั่งน้ำหนัก แบบดิจิตอล พิกัด 2,500 g ความละเอียด 0.01 g สำหรับชั่งน้ำหนักของตัวอย่างวัสดุอบแห้ง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 3.5 เครื่องชั่งน้ำหนัก แบบดิจิตอล

4. ชุดวัดความเร็วลมพร้อมใบพัดแยก ยี่ห้อ TECMAN รุ่น TM826 ใช้วัดความเร็วของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง

รูปที่ 3.6 ชุดวัดความเร็วลมพร้อมใบพัดแยก

5. มัลติมิเตอร์แบบคลิป (Clip amp) ยี่ห้อ ITT Instrument รุ่น MX 200 ใช้สำหรับวัดค่ากระแสไฟฟ้าของมอเตอร์

รูปที่ 3.7 มัลติมิเตอร์แบบคลิป (Clip amp)

6. มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า (Watt-hour meter) ใช้วัดพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลองอบแห้งซึ่งใช้ไฟฟ้าแบบ single phase

รูปที่ 3.8 มิเตอร์วัดพลังงานไฟฟ้า (Watt-hour meter)

7. เครื่องกะเทาะข้าวกล้อง รุ่น NW-150 ใช้สำหรับสีข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งเพื่อตรวจสอบคุณภาพ

รูปที่ 3.9 เครื่องกะเทาะข้าวกล้อง รุ่น NW-150

8. เครื่องขัดขาวข้าว ใช้สำหรับขัดขาวข้าวกล้อง

รูปที่ 3.10 เครื่องขัดขาว

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

9. เครื่องคัดแยกเมล็ดพันธุ์ยาว-สั้น ทรงกระบอก (laboratory indented cylinder)

รูปที่ 3.11 เครื่องคัดแยกเมล็ดพันธุ์ยาว-สั้น ทรงกระบอก

10. ห้องเย็น สำหรับเก็บรักษาตัวอย่างข้าวเปลือก

รูปที่ 3.12 ห้องเย็น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.4 วิธีการทดสอบการอบแห้ง

3.4.1 การศึกษาการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมเบื้องต้น

ทำการศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกเบื้องต้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม ซึ่งมีลักษณะอบแห้งเป็นท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 7.6 mm สูง 1,000 mm ดังแสดงในรูปที่ 3.2 โดยใช้ข้าวขาวดอกมะลิ 15 เป็นตัวอย่างในการทดสอบโดยโดยมีวิธีการทดสอบดังนี้

1. การวิเคราะห์ค่าความชื้น

วิเคราะห์หาค่าความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก ด้วยวิธีมาตรฐาน (AOAC) นำเมล็ดข้าวเปลือกจำนวน 10 g ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียม จากนั้นนำไปอบแห้งด้วยตู้อบลมร้อน (hot air oven) ที่อุณหภูมิ 105 ± 2ºC เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งน้ำหนัก ดังรูปที่ 3.13 ค่าความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือกสามารถคำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$M_w = \frac{W_w}{W} = \frac{W_i - W_f}{W_i} \tag{2.2}$$

เมื่อ M คือ ความชื้นของเมล็ดข้าวเปลือก (%wb.), W_i คือ น้ำหนักเริ่มต้นของเมล็ดข้าวเปลือก (g), W_f คือ น้ำหนักสุดท้ายของเมล็ดข้าวเปลือกหลังอบแห้ง (g)

รูปที่ 3.13 อบข้าวเปลือกด้วยตู้อบลมร้อน

2. หาความสัมพันธ์ของความเร็วลมกับอัตราการป้อนข้าวเปลือกของเกลียว หลังติดตั้งเครื่องอบแห้งจนพร้อมใช้งาน แล้วทำการปรับระดับความเร็วลมที่ทำให้ข้าวลอยตัว โดยปรับเพิ่มและลดอัตราการป้อนข้าวเปลือกของเกลียวให้ทำงานได้เหมาะสม (ข้าวเคลื่อนที่ไหลได้เต็มเกลียว) กับความเร็วลม ณ ระดับนั้น ๆ กล่าวคือกำหนดอัตราการไหลของอากาศอบแห้งที่ใช้ในการทดสอบเป็น 0.0451 m^3/s 0.0512 m^3/s และ 0.0631 m^3/s (วัดขณะทดสอบแบบติดตั้งไซโคลน) จากนั้นทำการหาอัตราการไหลของข้าวเปลือกด้วยวิธีการจับเวลาการไหลของข้าวเปลือกบริเวณท่อขาออกทุก 20 วินาที จากนั้นนำภาชนะมารองใส่เมล็ดข้าวเปลือกทำซ้ำ 3 ครั้งแล้วจึงนำข้าวเปลือกไปชั่งน้ำหนักและบันทึกผลพร้อมทั้งคำนวณหาอัตราการไหลของเมล็ดข้าวเปลือกที่แต่ละระดับความเร็วลมที่กำหนด

3. อบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมใช้อุณหภูมิการอบแห้งที่ 80 ºC โดยการทดสอบแบ่งเป็น 2 กรณีคือ 1) กรณีไม่ติดตั้งไซโคลน 2) กรณีติดตั้งไซโคลน ทำการตวงข้าวเปลือกทดสอบครั้งละ 20 kg บรรจุใส่ลงในถังเก็บข้าวเปลือก เมื่อเดินเครื่องแล้วให้เริ่มจับเวลา ทุก 1 รอบวัฏจักรของถัง (อบแห้งจนข้าวหมดถัง) จะทำการสุ่มเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกไปหาความชื้น ทำการวัดอุณหภูมิขาออก วัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จากมิเตอร์ (พัดลมความดันสูง) และวัดกระแสไฟฟ้าจากมัลติมิเตอร์ (มอเตอร์เกลียวป้อน)

หลังทดสอบการอบแห้งข้างต้นในทุกระดับอัตราการไหลของอากาศอบแห้ง คือ 0.0451 m^3/s 0.0512 m^3/s และ 0.0631 m^3/s (เท่ากับ 45 50 และ 55 Hz เมื่ออ่านหน้าปัดของเครื่องอินเวอร์เตอร์ที่ใช้ควบคุมพัดลมความดันสูง) ทั้ง 2 กรณี คือแบบไม่ติดตั้งไซโคลนและแบบติดตั้งไซโคลนดังในรูปที่ 3.14 ผู้วิจัยต้องการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการลดความชื้น จึงทำการทดสอบเบื้องต้นเพิ่มเติม โดยติดตั้งแผ่นกันลมร้อนออกบริเวณด้านบนของตัวถัง เพื่อปิดกั้นการไหลของอากาศร้อนออกนอกตัวถังเก็บข้าวเปลือก และได้เลือกอัตราการไหลของลมระดับที่ 0.0512 m^3/s มาทดสอบตามวิธีการที่กล่าวมาข้างต้นอีกครั้งและเพิ่มปริมาณการอบแห้งในถังเก็บจากเดิม 20 kg เป็น 40 kg

(ก) ก่อนติดตั้งแผ่นกันลมออก (ข) หลังติดตั้งแผ่นกันลมออก

รูปที่ 3.14 ตัวถังเก็บข้าวเปลือกก่อนติดตั้งแผ่นกันลมร้อนออก

3.4.2 การทดสอบอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม

1. นำตัวอย่างข้าวสำหรับอบครั้งละ 40 kg มาทดสอบเบื้องต้นเพื่อหาความเร็วลมที่เหมาะสมในการอบแห้ง ซึ่งจากการทดสอบเบื้องต้นพบว่าอัตราการไหลของลมที่ทำให้ข้าวเกิดเป็นสเปาเต็ดเบดได้และมีความสัมพันธ์กับอัตราการป้อน สามารถหาอัตราการป้อนของข้าวเปลือกด้วยวิธีการจับเวลาการไหลของข้าวเปลือกบริเวณท่อขาออกทุก 20 s ดังรูปที่ 3.15 นำภาชนะมารองใส่เมล็ดข้าวเปลือก แล้วจึงนำข้าวเปลือกไปชั่งน้ำหนักและบันทึกผลพร้อมทั้งคำนวณหาอัตราการไหลของเมล็ดข้าวเปลือกใน 1 รอบวัฏจักรของถังที่ แต่ละระดับคือ 0.0694 m^3/s 0.0708 m^3/s และ 0.0757 m^3/s ของอัตราการไหลลม (เท่ากับ 45 50 และ 55 Hz) และ 0.0683 kg/s 0.1065 kg/s และ 0.1408 kg/s อัตราการป้อนข้าวเปลือกตามลำดับ

รูปที่ 3.15 วัดความเร็วลมจากปลายท่อห้องอบแห้งเพื่อหาอัตราการไหลของข้าวเปลือก

2. ทำการปรับตั้งระดับอุณหภูมิอบแห้งคงที่ คือ 80ºC

3. เมื่อเดินเครื่องแล้วให้เริ่มจับเวลา ทุก 1 รอบวัฏจักรของถัง แล้วสุ่มเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกไปหาความชื้น ทำการวัดอุณหภูมิขาออก วัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้จากมิเตอร์ (พัดลมความดันสูง) และวัดกระแสไฟฟ้าจากมัลติมิเตอร์ (มอเตอร์เกลียวป้อน)

4. บันทึกค่าพลังงานไฟฟ้าทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้ง

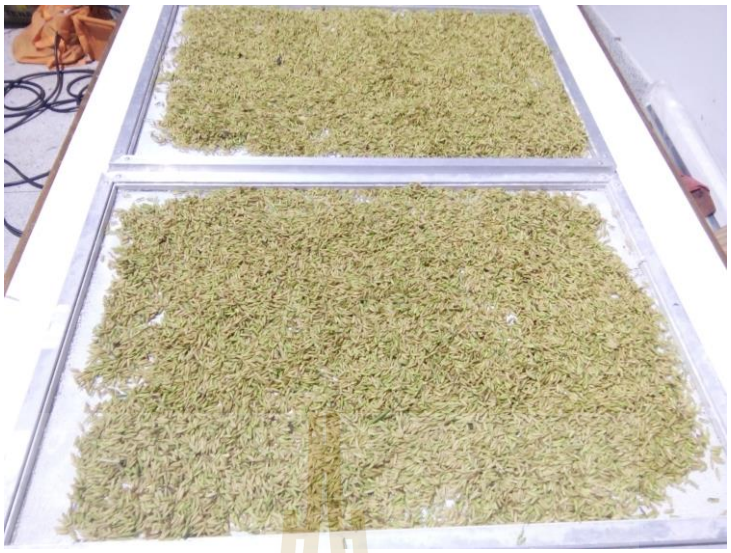
5. ทำการอบแห้งจนครบ 10 ชั่วโมงจึงสิ้นสุดการทดสอบ

6. นำข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นไปสีด้วยเครื่องสีข้าวกล้องขนาดเล็กและขัดขาวตามลำดับเพื่อหาเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น

7. ทดสอบตามข้อ 1–6 ทั้ง 2 กรณีคือแบบติดตั้งไซโคลนและแบบไม่ติดตั้งไซโคลน (ทำการทดสอบแบบสุ่มสมบูรณ์)

3.5 วิธีการผึ่งแห้งตัวอย่างข้าวที่ใช้เป็นชุดควบคุม

การผึ่งแห้งของชุดควบคุมคือ นำข้าวเปลือกใส่ในตะแกรงวางในบริเวณที่ร่ม แล้วสุ่มเก็บตัวอย่างทุกวันเป็นระยะเวลา 9 วัน เพื่อหาค่าความชื้นและหาคุณภาพข้าวหลังการผึ่งแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 การผึ่งแห้งชุดควบคุมของตัวอย่างข้าว

3.6 การประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการที่ใช้พลังงานสิ้นเปลืองเป็นอย่างมากในการระเหยความชื้นออกจากวัสดุทางเกษตร ดังนั้นการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงความร้อนในการอบแห้ง และใช้พลังงานกับระบบอบแห้งให้เกิดความคุ้มค่ามากที่สุดเป็นสิ่งสำคัญ ในงานวิจัยนี้การประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งนั้นจะพิจารณาจากสองส่วนคือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน และประสิทธิภาพในการอบแห้ง

1. ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของการอบแห้ง

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างค่าความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุต่อปริมาณความร้อนที่ให้แก่เครื่องอบแห้ง

$$\eta_{dry} = \frac{Q_{evap}}{Q_a} \times 100 \tag{3.1}$$

หรือ

$$\eta'_{dry} = \frac{Q_{evap} + Q_s}{Q_a} \times 100 \tag{3.2}$$

นอกจากนี้ยังสามารถบอกประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งได้ในรูปของค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (specific energy consumption, SEC) ซึ่งเป็นค่าพลังงานทั้งหมดที่ใช้ในการอบแห้งต่อปริมาณน้ำที่ระเหยน้ำออกจากวัสดุ

$$SEC = \frac{E}{m_{water}} \tag{3.3}$$

ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้งสำหรับงานวิจัยนี้ประกอบด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลมแรงดันสูงเพื่อทำให้ข้าวเปลือกเกิดการสเปาต์ และพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ชุดทำความร้อน และพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์เกลียวป้อน ซึ่งสามารถหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัน กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์เกลียวป้อนดังสมการ

$$E_{feeder\ mortor} = \frac{\sqrt{3} \times A \times V \times t \times \varnothing}{1,000} \tag{3.4}$$

สำหรับพลังงานที่ใช้กับพัดลมแรงดันสูงและชุดทำความร้อนในระบบสามารถอ่านได้จากมาตรวัดพลังงานไฟฟ้าโดยตรง สามารถหาได้จาก

$$E_{blower\ \&\ heater} = 3.600 \times 10^{6} \times Pe \tag{3.5}$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในกระบวนการอบแห้ง (kJ/kg_{water})

E คือ พลังงานรวมทั้งหมดที่ใช้ในระบบอบแห้ง (kJ)

$E_{feeder\ motor}$ คือ พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับมอเตอร์เกลียวป้อนข้าวเปลือก (kJ)

$E_{blower\&heater}$ คือ พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับพัดลมแรงดันสูงและชุดทำความร้อน (kJ)

m_{water} คือ ปริมาณน้ำ (ความชื้น) ที่ถูกนำออกจากผลิตภัณฑ์ที่นำมาอบแห้ง (kg)

P_e คือ ค่าพลังงานไฟฟ้าที่อ่านได้จากมาตรวัดไฟฟ้า (kWh)

A คือ กระแสไฟฟ้า (A)

V คือ แรงดันไฟฟ้า (V)

1. ประสิทธิภาพในการอบแห้ง

ในการพิจารณาประสิทธิภาพในการอบแห้งจะประเมินจากค่าอัตราการอบแห้ง (drying rate, DR) ซึ่งสามารถคิดได้จากปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุต่อระยะเวลาในการอบแห้ง หรือปริมาณความชื้นต่อระยะเวลาในการอบแห้ง คือ

$$DR = \frac{W_i - W_f}{t} \tag{3.6}$$

$$DR = \frac{M_i - M_f}{t} \tag{3.7}$$

เมื่อ η_{dry} คือ ประสิทธิภาพของการอบแห้ง (%)

η'_{dry} คือ ประสิทธิภาพของการอบแห้งเมื่อรวมความร้อนสัมผัส (%)

DR คือ อัตราการอบแห้ง (kg/h หรือ %db/h)

SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (kJ/kg_{water})

Q_a คือ พลังงานรวมทั้งหมดที่ใช้ในระบบอบแห้ง (kJ)

W_i คือ น้ำหนักเริ่มต้นของเมล็ดข้าวเปลือก (g)

W_f คือ น้ำหนักสุดท้ายของเมล็ดข้าวเปลือกหลังอบแห้ง (g)

t คือ ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งของระบบ (h)

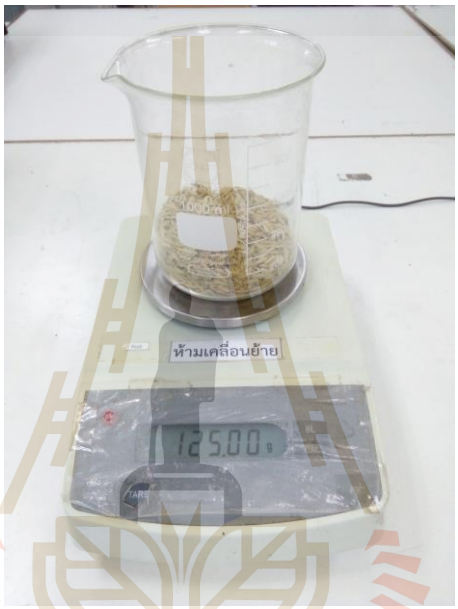
สำหรับประสิทธิภาพในการอบแห้งนอกจากจะพิจารณาได้จากอัตราการอบแห้งแล้ว ยังต้องดูที่คุณภาพของผลิตภัณฑ์ควบคู่กันไปด้วย นั่นคือความชื้นที่เหลือในผลิตภัณฑ์จะต้องมีค่าไม่เกินมาตรฐาน และมีความสม่ำเสมอทั่วทุกส่วนของผลิตภัณฑ์ สำหรับผลิตภัณฑ์อาหารแห้งคุณภาพที่ต้องคำนึงถึงยังรวมไปถึง รูป รส กลิ่น สี ตลอดจนคุณค่าทางโภชนาการ ความสะอาด อายุการเก็บรักษา (shelf life) และรสสัมผัส (ความกรอบ/ความนุ่ม) เป็นต้น ในงานวิจัยนี้ ได้ทำการตรวจสอบคุณภาพข้าว โดยมีหลักเกณฑ์ในการตรวจสอบคือ ร้อยละต้นข้าว (head rice yield) ที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งในงานวิจัยนี้ (ทั้งกรณีแบบติดตั้งไซโคลนและกรณีแบบไม่ติดตั้งไซโคลน) นำไปเปรียบเทียบกับชุดข้าวควบคุม (ข้าวเปลือกที่ผึ่งแห้งตามสภาพแวดล้อม)

3.7 การทดสอบคุณภาพข้าวหลังการอบแห้ง

การหาเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น

ข้าวเปลือกตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งและข้าวเปลือกชุดควบคุมที่ทำการลดความชื้นด้วยการผึ่งแห้งได้ถูกนำไปหาเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น วิธีนี้ใช้เฉพาะข้าวเปลือกที่มีความชื้นไม่เกิน 15 %wb โดยมีวิธีการดังนี้

1. ชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งแล้ว จำนวน 125 กรัม



รูปที่ 3.17 ชั่งน้ำหนักข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งแล้ว

2. นำไปกะเทาะเอาเปลือกออกด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกข้าว ปรับระยะห่างระหว่างลูกยางกะเทาะให้ห่างกันเล็กน้อยและปรับอัตราการป้อนข้าวเปลือกให้เหมาะสม ทำการกะเทาะเปลือก ชั่งน้ำหนักข้าวกล้องและบันทึกผล

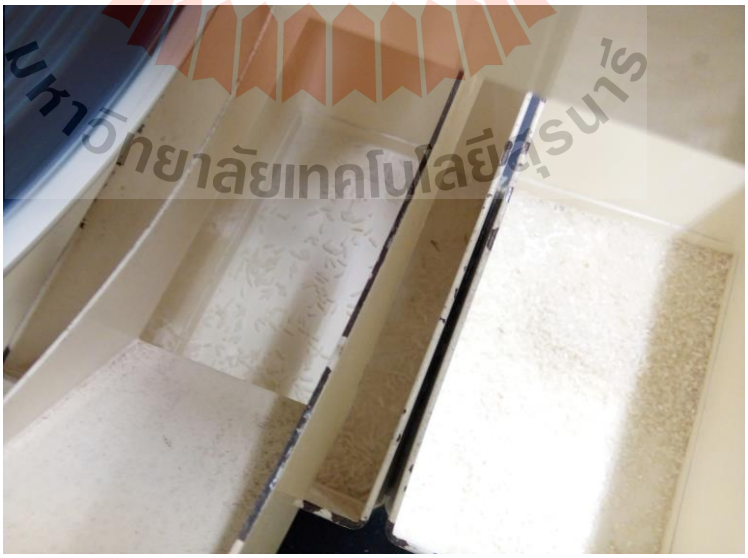
รูปที่ 3.18 นำข้าวเปลือกใส่ลงในภาชะนะของเครื่องกะเทาะเปลือกออก

3. นำข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือกมาขัดขาว รอจนให้ข้าวขาว (ข้าวสาร) อุณหภูมิเย็นตัวลงแล้วจึงชั่งน้ำหนักและจดบันทึกผล

รูปที่ 3.19 นำข้าวกล้องที่ผ่านการกะเทาะเปลือกมาขัดขาวด้วยเครื่องขัดขาว

4. นำข้าวสาร (ข้าวขาวที่ขัดแล้ว) ที่ได้ไปคัดแยกข้าวเต็มเมล็ดและข้าวหักด้วยเครื่อง laboratory indented cylinder โดยใช้ตะแกรงกลมเบอร์ 5.7 mm ปรับมุมเอียงถาดรองรับข้าวหักและปลายข้าว ที่ประมาณ 40 องศา (จากแนวดิ่ง) ใช้เวลาในการคัดแยกประมาณ 1.30 นาที เครื่องจะคัดแยกข้าวหักออกจากข้าวเต็มเมล็ดและข้าวต้น ดังรูปที่ 3.20 และคัดแยกลงในแต่ละภาชนะดังรูปที่ 3.21

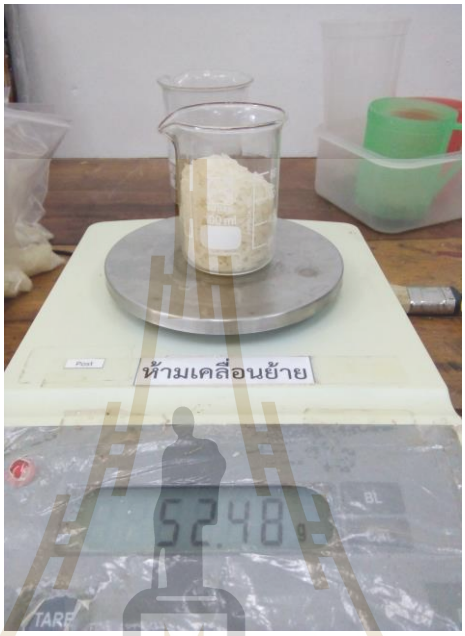
รูปที่ 3.20 คัดแยกข้าวหักออกจากข้าวเต็มเมล็ดและข้าวต้น



รูปที่ 3.21 เครื่องคัดแยกระหว่างข้าวต้นและข้าวหักออกจากกันลงในแต่ละภาชนะ

5. นำน้ำหนักข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวที่คัดได้มาชั่งน้ำหนักจดบันทึกผลและคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น ข้าวเต็มเมล็ด ดังต่อไปนี้

เปอร์เซ็นต์ข้าวต้น = (น้ำหนักข้าวเต็มเมล็ดและข้าวต้น/น้ำหนักข้าวเปลือก) x 100 (3.8)



รูปที่ 3.22 นำเอาข้าวเต็มเมล็ดและต้นข้าวที่คัดได้มาชั่งน้ำหนัก

3.8 สถานที่ทำการทดลอง

ห้องปฏิบัติการจักรกลเกษตร อาคารจักรกลเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.9 ระยะเวลาทำการทดลอง

ระยะเวลาตั้งแต่วันที่ 15 กันยายน – 4 ธันวาคม 2559

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

การทดสอบอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองเป็นสองกรณีคือ การทดสอบอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมแบบติดตั้งไซโคลน และแบบไม่ติดตั้งไซโคลน และได้ทำการเปรียบเทียบผลการการทดลองทั้งสองวิธีจากการทดลอง โดยในแต่ละวิธีได้ทดสอบที่อัตราการไหลของอากาศอบแห้งและอัตราการไหลของข้าวเปลือกในระดับต่าง ๆ อุณหภูมิคงที่สำหรับอบแห้งคือ 80°C ตลอดการทดลอง ซึ่งได้ผลการทดลองของการเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือก การใช้พลังงานในเครื่องอบแห้ง และคุณภาพของข้าวที่ผ่านการอบแห้ง โดยใช้วิธีปรับความถี่บนอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมความเร็วพัดลม โดยมีค่าตามตารางที่ 4.1 ดังนี้

4.1 ผลการทดสอบการอบแห้งเบื้องต้น

การทดสอบนี้เป็นการศึกษาขั้นต้นเพื่อต้องการทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการใช้งานของเครื่องอบแห้ง รวมถึงข้อควรปรับปรุงก่อนทำการทดสอบอบแห้งจริง แบ่งออกเป็นการทดสอบเบื้องต้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบแบบไม่ติดตั้งไซโคลนและแบบติดตั้งไซโคลน

ข้าวเปลือกที่นำมาใช้ในการทดสอบเบื้องต้นเป็นเมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ กข. 31 มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 22% wb โดยทดสอบอบแห้งครั้งละ 20 kg ตลอดการทดสอบค่าความชื้นสุดท้ายที่นำมาพิจารณาคือ 14% wb เมื่อทดสอบหาระดับความเร็วลมของอากาศร้อนที่ทำให้เมล็ดข้าวลอยตัวและเกิดการสเปาต์เพื่อเพิ่มระยะเวลาในการถ่ายเทความร้อนภายในห้องอบแห้ง จะได้ระดับความเร็วลมดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบเบื้องต้นเครื่องอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลนของการทดสอบเบื้องต้น

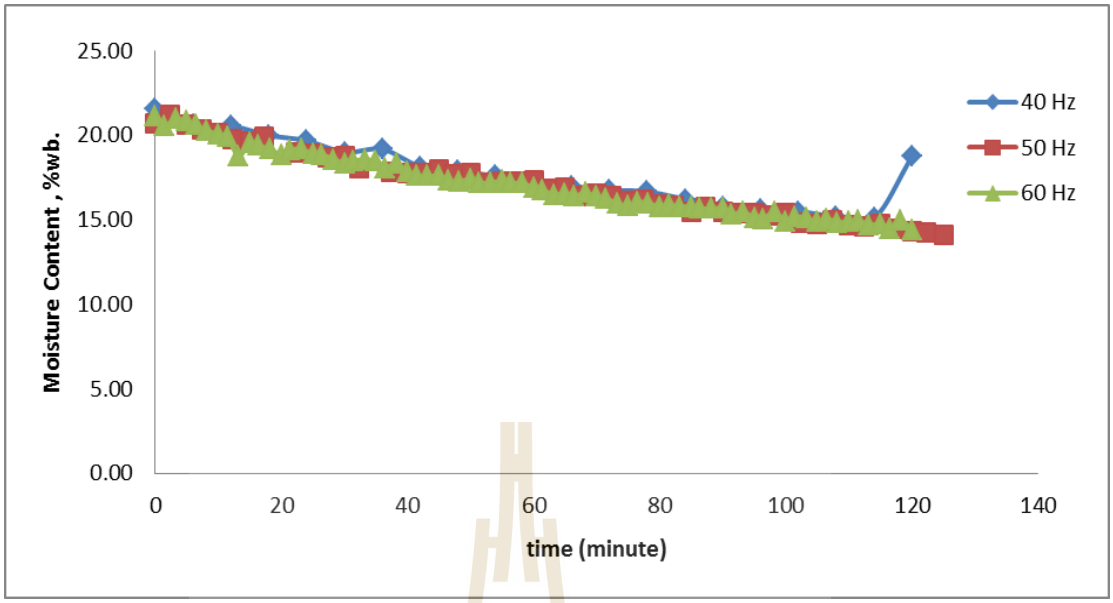
ความถี่บนอินเวอร์เตอร์ (Hz)	ความเร็วไหลอากาศอบแห้ง (m/s)	อัตราการป้อน (kg/min)
40	8	3.40
50	10	8.90
60	12	12.40

4.1.1 การลดความชื้นของเครื่องอบแห้งแบบไม่ติดไซโคลน

จากผลการทดลอง แสดงให้เห็นว่าการพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของความชื้นมีแนวโน้มลดลง ระดับความเร็วลมมีผลต่อการลดลงของความชื้นข้าวเปลือก จากรูปที่ 4.2 อัตราการไหลอากาศ 10 m/s สามารถลดความชื้นได้ถึง 14 %wb ในเวลาประมาณ 125 นาที สำหรับอัตราการไหลอากาศ 8 m/s ค่าความชื้นของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นในช่วงท้ายของกระบวนการอบแห้งเกิดจากการไม่กำหนดตำแหน่งในการสุ่มเก็บตัวอย่างภายในถัง ทำให้สุ่มเก็บได้ข้าวเปลือกส่วนที่ไม่มีการเคลื่อนที่และไม่ถูกอบแห้งเป็นผลให้วัดค่าความชื้นได้สูง

บริเวณขอบถังในรูปที่ 4.1 แสดงจุดที่ข้าวเปลือกไม่มีการเคลื่อนที่ เนื่องจากขอบมุมฉากทำให้ข้าวยึดเกาะรวมตัวกัน ข้าวเปลือกส่วนนี้จะสะสมยึดเกาะกันมากเมื่อข้าวมีค่าความชื้นมาก

รูป 4.1 ขอบถังบริเวณที่เกิดการสะสมของข้าวเปลือกความชื้นสูง



รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกจากการทดสอบเบื้องต้นเครื่องอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลน

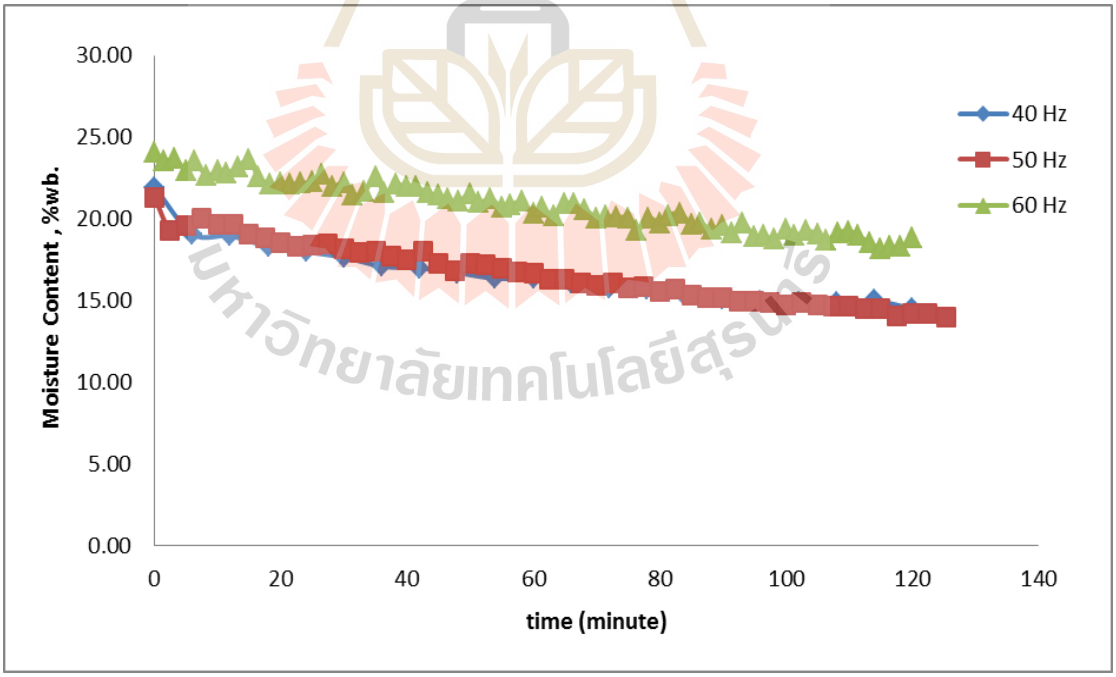
จากรูปที่ 4.2 แนวโน้มการลดลงของความชื้นที่ระดับอัตราการไหลอากาศ 8 m/s 10 m/s และ 12 m/s ใกล้เคียงกันมากและไปในทิศทางเดียวกัน ข้อสังเกตที่พบคือ ระบบอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลนทำให้อากาศร้อนที่พาข้าวเก็บลงสู่ถังเก็บส่วนหนึ่งยังช่วยให้ความร้อนและพาความชื้นออกจากข้าวเปลือกบริเวณผิวด้านบนในถังเก็บได้อย่างต่อเนื่อง อิทธิพลของการอบแห้งต่อในถังเก็บส่งผลร่วมกับอัตราการไหลของอากาศร้อนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของอากาศจำเป็นจะต้องเพิ่มอัตราการป้อนข้าวเปลือกให้มากขึ้นไปด้วย ทำให้ข้าวเปลือกเกิดการอบแห้งในถังเก็บข้าวได้น้อยแต่ชดเชยด้วยการที่ข้าวเปลือกมีจำนวนรอบการเคลื่อนที่ผ่านห้องอบแห้งหลายครั้งในช่วงเวลา 125 นาที ประกอบกับอัตราการไหลอากาศอบแห้งที่มีค่าสูงจะทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนภายในห้องอบแห้งได้มาก ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดียิ่งขึ้น ในขณะที่อัตราการไหลอากาศต่ำ ข้าวเปลือกมีเวลาอยู่ในห้องอบแห้งนานกว่าและเกิดการอบแห้งต่อในถังเก็บมากกว่าเช่นกัน แม้ว่าจำนวนรอบการเคลื่อนที่ผ่านห้องอบแห้งจะน้อยกว่าทำให้แนวโน้มและค่าการเปลี่ยนแปลงของการทดลองทั้ง 3 ระดับไม่แตกต่างกันดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบเบื้องต้นเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมแบบไม่ติดตั้งไซโคลนของการทดสอบเบื้องต้น

ระดับ	ความเร็วอากาศอบแห้ง (m/s)	อัตราการป้อนข้าวเปลือก (kg/min)	ความชื้นเริ่มต้น (%wb)	ความชื้นสุดท้าย (%wb)	เวลา (min)
40 Hz	8	3.40 (16 Hz)	21.54	18.76	120
50 Hz	10	8.90 (40 Hz)	20.71	14.13	125
60 Hz	12	12.40 (60 Hz)	21.15	14.36	120

4.1.2 การลดความชื้นของเครื่องอบแห้งแบบติดตั้งไซโคลน

จากรูปที่ 4.3 เมื่อติดไซโคลนบริเวณปลายทางออกของระบบอบแห้ง พบว่าระดับอัตราการไหลอากาศร้อนต่ำมีผลต่อพฤติกรรมการลดความชื้นที่เร็วกว่าอัตราการไหลอากาศสูง เนื่องจากข้าวเปลือกได้สัมผัสกับลมร้อนในห้องอบแห้งนานกว่า จึงทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนภายในเมล็ดข้าวเปลือกได้นานขึ้นด้วย



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของข้าวเปลือกจากการทดสอบเบื้องต้นเครื่องอบแห้งแบบติดตั้งไซโคลน

การติดตั้งไซโคลนเป็นการแยกอากาศร้อนออกจากข้าวเปลือก ข้าวเปลือกที่ผ่านห้องอบแห้งแล้วจะไหลลงสู่ถังเก็บ โดยไม่เกิดการอบแห้งต่อในถังเก็บ ทำให้ที่อัตราการไหลอากาศต่ำ (8 m/s และ 10 m/s) ข้าวเปลือกสามารถลดความชื้นได้ดีกว่า แม้ว่าความชื้นเริ่มต้นของการทดสอบที่ระดับอัตราการไหล 8 m/s และ 10 m/s น้อยกว่าที่ระดับอัตราการไหล 12 m/s และมีค่าความชื้นสุดท้ายของการทดสอบ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

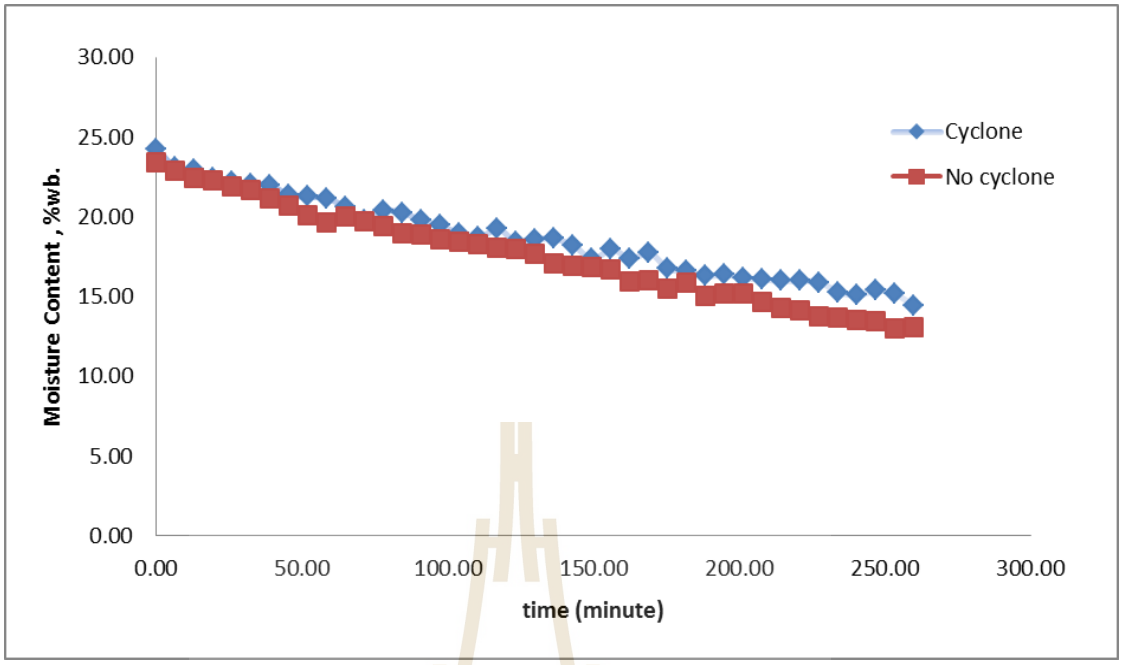
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบเบื้องต้นเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมแบบติดตั้งไซโคลนของการทดสอบเบื้องต้น

ระดับ	ความเร็วอากาศอบแห้ง (m/s)	อัตราการป้อนข้าวเปลือก (kg/min)	ความชื้นเริ่มต้น (%wb)	ความชื้นสุดท้าย (%wb)	เวลา (min)
40 Hz	8	3.40 (16 Hz)	21.94	14.00	102
50 Hz	10	8.90 (40 Hz)	21.32	14.09	118
60 Hz	12	12.40 (60 Hz)	24.06	18.80	120

เมื่อพิจารณาผลจากการทดสอบข้อ 4.1.1 และ 4.1.2 จะเห็นได้ว่า การติดตั้งไซโคลนและระดับของอัตราการไหลอากาศอบแห้งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมและเนื่องจากการทดสอบที่ผ่านมายังเป็นการบรรจุข้าวเปลือกปริมาณน้อยเพียง 20 kg เท่านั้น เพื่อเป็นการตรวจสอบหาแนวโน้มและอิทธิพลของปัจจัยดังกล่าว จึงได้ทำการทดสอบเบื้องต้นอีกครั้งดังหัวข้อ 4.1.3

4.1.3 เปรียบเทียบการลดความชื้นของเครื่องอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลนกับแบบติดตั้งไซโคลน

การทดสอบนี้ได้เพิ่มปริมาณการอบแห้งข้าวเปลือกจากเดิม 20 kg เป็น 40 kg เพื่อศึกษาการใช้พลังงานของระบบอบแห้งให้เกิดความคุ้มค่า โดยเลือกอบแห้งที่ระดับความเร็วลมเท่ากันคือ 10 m/s มาทดสอบเบื้องต้นทั้งแบบไม่ติดตั้งและแบบติดตั้งไซโคลน จากผลการทดลองที่ได้พบว่าระบบแบบไม่ติดตั้งไซโคลนสามารถลดความชื้นได้เร็วกว่าระบบแบบติดตั้งไซโคลน ดังแสดงในรูปที่ 4.4 ระบบอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลนลดความชื้นได้ 14 %wb ใช้เวลาประมาณ 221 นาที สำหรับระบบแบบติดไซโคลนต้องใช้เวลาถึง 260 นาที ซึ่งต้องใช้เวลาในการอบแห้งนานกว่าเพื่อให้ได้ค่าความชื้นที่ใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 4.4



รูปที่ 4.4 เปรียบเทียบวิธีการลดความชื้นของข้าวเปลือกจากการทดสอบเบื้องต้น

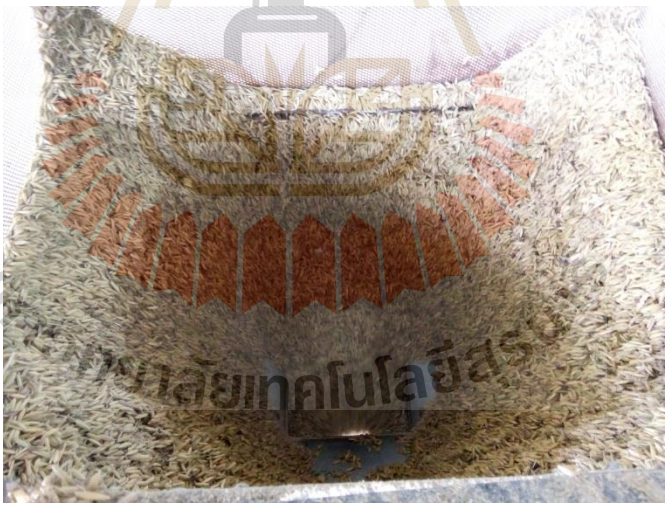
ตารางที่ 4.4 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือกของการทดสอบเบื้องต้น

วิธีการ	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นเริ่มต้น (%wb)	ความชื้นสุดท้าย (%wb)	เวลา (min)
ไม่ติดไซโคลน	80	24.26	14.10	221
ติดตั้งไซโคลน	80	23.40	14.40	260

จากผลการทดสอบเบื้องต้นที่ผ่านมาพบข้อสังเกตที่สำคัญคือมีช่องว่างระหว่างผิวหน้าของข้าวเปลือกในถังบรรจุกับปลายทางออกของท่อส่งข้าวที่ผ่านการอบแห้งแห้งค่อนข้างมาก เนื่องจากข้อจำกัดในการทดสอบที่ไม่สามารถบรรจุข้าวจนเต็มถังได้ เพราะมีตัวอย่างข้าวเปลือกที่ไม่เพียงพอ ในรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าผนังของถังบรรจุมีลักษณะเป็นรูพรุน เพื่อช่วยระบายอากาศชื้นออกจากถัง

รูปที่ 4.5 ผนังของถังเก็บข้าวเปลือกลักษณะเป็นรูพรุน

ข้อสังเกตที่สำคัญประการที่สองคือ มีข้าวเปลือกบางส่วนที่ไม่มีการเคลื่อนที่และติดค้างอยู่ภายในถังเก็บ ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ข้าวเปลือกที่ไม่มีการเคลื่อนที่และค้างอยู่ในถังเก็บ

4.2 การทดสอบอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม

เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่พัฒนาขึ้นนี้ได้ถูกปรับปรุงเพิ่มเติมหลังจากทดสอบเบื้องต้นแล้ว เพื่อศึกษาผลกระทบของการลดความชื้นของกระบวนการอบแห้งดังนี้ คือเพิ่มปริมาณการอบแห้งในแต่ละงวดจากเดิม 20 kg เป็น 40 kg โดยติดตั้งแผ่นกันลมออกรอบตัวถังบรรจุข้าวเปลือกด้านบน ดังรูปที่ 4.6 เพื่อจำกัดการไหลและบังคับให้อากาศร้อนที่ปล่อยออกจากห้องอบแห้งสามารถเกิดการอบแห้งในถังเก็บข้าวเปลือกต่อได้ดียิ่งขึ้น และอุณหภูมิการอบแห้งที่ใช้ตลอดการทดสอบคือ 80°C

รูปที่ 4.7 แผ่นกันลมออกบริเวณเหนือผิวด้านบนของข้าวเปลือก

สำหรับการคำนวณความชื้นและน้ำหนักข้าวเปลือกเมื่อสิ้นสุดการอบแห้งจะหักน้ำหนักของข้าวเปลือกที่ตกค้างอยู่ในถังแต่ละการทดลองออกเพื่อให้ได้ค่าของการใช้พลังงานที่ถูกต้องยิ่งขึ้น รวมทั้งการสุ่มตัวอย่างข้าวเปลือกเพื่อนำไปอบหาความชื้นในแต่ละช่วงจะใช้เฉพาะข้าวเปลือกที่ปล่อยออกจากห้องอบแห้งเท่านั้น เพื่อป้องกันความผิดพลาดจากการสุ่มได้ข้าวที่ไม่ผ่านการอบแห้งติดไปด้วย

การหาอัตราการไหลของอากาศร้อนที่สัมพันธ์กับอัตราการไหลของข้าวเปลือก จากการทดลองเบื้องต้น จะเห็นได้ว่า อัตราการไหลของอากาศที่ 12 m/s มีอัตราการป้อนอากาศที่สูงเกินไปทำให้ข้าวเปลือกมีเวลาในการสัมผัสอากาศร้อนในห้องอบแห้งได้น้อย และข้าวจะต้องเคลื่อนที่

หลายรอบตลอดการอบแห้ง ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของข้าวได้ เนื่องจากได้รับแรงทางกลกระทำ ประกอบกับผลการทดลองข้อ 4.1.2 จึงได้กำหนดระดับของอัตราการไหลของอากาศใหม่เป็น 0.0451 m^3/s 0.0512 m^3/s และ 0.0631 m^3/s ดังตาราง 4.5

ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบที่ปรับผ่านอินเวอร์เตอร์กับความเร็วลมและอัตราการป้อนข้าวเปลือก

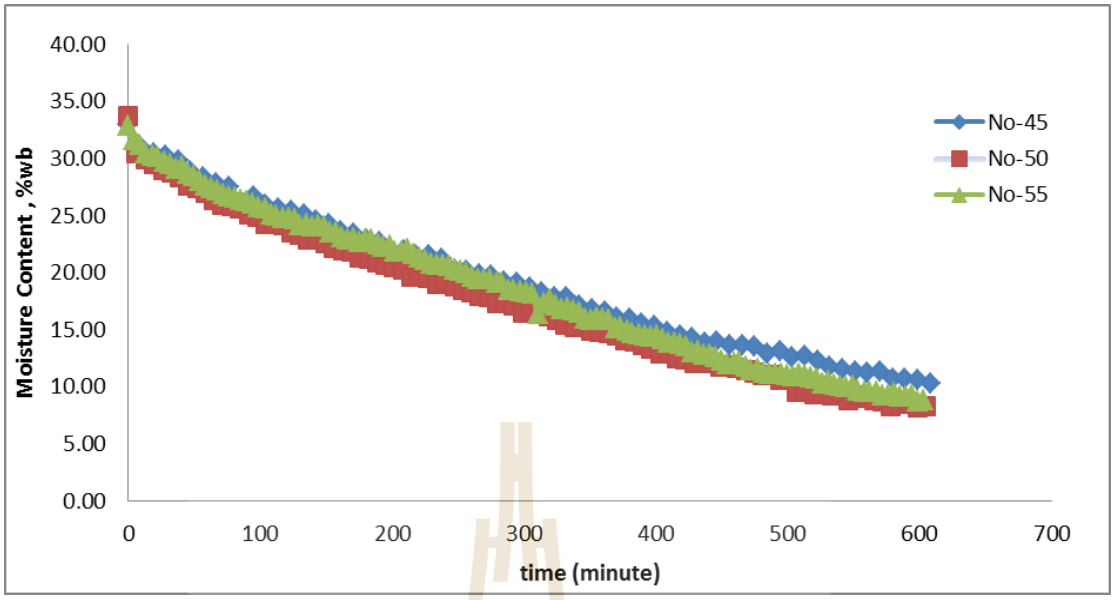
ความถี่บนอินเวอร์เตอร์ (Hz)	**อัตราการไหลอากาศอบแห้ง (m^3/s)**	**อัตราการป้อนข้าวเปลือก (kg/min)**
45	0.0451	4.10
50	0.0512	6.39
55	0.0631	8.45

และได้กำหนดตำแหน่งของการสุ่มเก็บตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์หาค่าความชื้น ณ บริเวณทางออกของท่อจากห้องอบแห้งเท่านั้น

4.2.1 การลดความชื้นของเครื่องอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลน

กระบวนการอบแห้งของเครื่องอบแห้งนี้ หากพิจารณาโดยกำหนดความชื้นสุดท้ายไว้ที่ 14 %wb ในแต่ละระดับอัตราการไหลอากาศอบแห้งมีผลทำให้พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของความชื้นมีแนวโน้มลดลงใกล้เคียงกันมาก ดังรูปที่ 4.8 พบว่าระดับอัตราการไหลอากาศ 0.0512 m^3/s ใช้เวลาอบแห้งประมาณ 377 นาที สามารถลดความชื้นได้ตามต้องการ สำหรับระดับของอัตราการไหล 0.0451 m^3/s และ 0.0631 m^3/s ใช้เวลาสำหรับการอบแห้ง 446 นาทีและ 410 นาที ตามลำดับ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเครื่องอบแห้งแบบไม่ติดไซโคลน

จากรูปที่ 4.8 แนวโน้มการลดลงของความชื้นที่ระดับอัตราการไหลอากาศ 0.0451 m^3/s 0.0512 m^3/s และ 0.0631 m^3/s ใกล้เคียงกันมากและไปในทิศทางเดียวกัน ข้อสังเกตที่พบคือ ระบบอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลนทำให้อากาศร้อนที่พาข้าวเก็บลงสู่ถังเก็บส่วนหนึ่งยังช่วยให้ความร้อนและพาความชื้นออกจากข้าวเปลือกบริเวณผิวด้านบนในถังเก็บได้อย่างต่อเนื่อง ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0451 m^3/s ข้าวเปลือกมีเวลาอยู่ในห้องอบแห้งนานที่สุดแต่เกิดการปั่นป่วนของการไหลน้อย ทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างข้าวเปลือกกับอากาศน้อยไปด้วย อัตราการไหลอากาศ 0.0512 m^3/s และ 0.0631 m^3/s มีอัตราการไหลสูงกว่าที่ 0.0451 m^3/s และเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนในห้องอบแห้งได้ดีกว่า

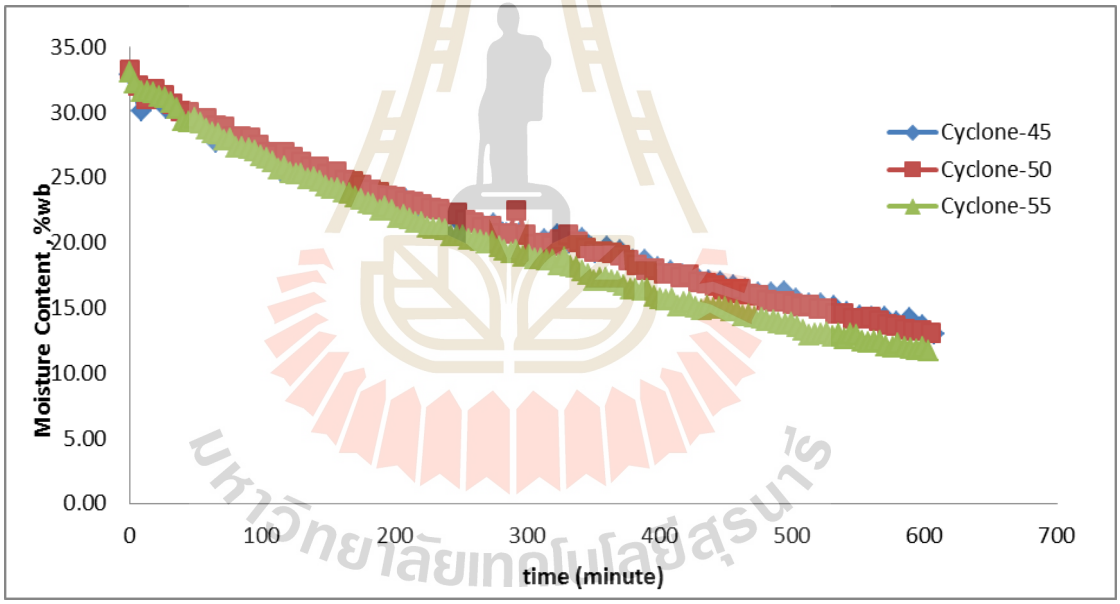
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมแบบไม่ติดตั้งไซโคลน

ระดับ	อัตราการไหลอากาศอบแห้ง (m^3/s)	อัตราการป้อนข้าวเปลือก (kg/min)	ความชื้นเริ่มต้น (%wb)	ความชื้นสุดท้าย (%wb)	เวลา (min)
45 Hz	0.0451	4.10 (10 Hz)	32.96 ± 0.39	13.96 ± 6.28	446.50
50 Hz	0.0512	6.35 (20 Hz)	33.68 ± 0.06	14.06 ± 6.60	377.00
55 Hz	0.0631	8.45 (30 Hz)	32.88 ± 0.032	13.86 ± 6.61	409.50

อิทธิพลร่วมของการอบแห้งภายในห้องอบแห้ง และการอบแห้งต่อในถังเก็บข้าวเปลือกที่ส่งผลต่อการลดลงความชื้นที่ดีที่สุดคือ ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0512 m^3/s (อัตราการป้อนข้าวเปลือก 20 kg/h) อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการตรวจสอบอิทธิพลของการอบแห้งในถังเก็บข้าวเปลือก ควรจะมีการศึกษาเพิ่มเติมในโอกาสต่อไป

4.2.2 การลดความชื้นของเครื่องอบแห้งแบบติดตั้งไซโคลน

เมื่อทดสอบระบบอบแห้งแบบติดไซโคลน หลังจากติดแผ่นกันลมออกบริเวณด้านบนถังเก็บข้าวเปลือก พบว่า จำนวนรอบที่ข้าวเปลือกไหลเข้าสู่ห้องอบแห้งมากครั้งกว่าของอัตราการไหลที่สูงสามารถลดความชื้นได้เร็วกว่า และจะเริ่มมองเห็นพฤติกรรมการลดลงของความชื้นได้ชัดเจนเมื่อเวลาอบแห้งผ่าน 350 นาทีไปแล้ว จากรูปที่ 4.9 ที่ความเร็วลม 0.0631 m^3/s สามารถลดความชื้นถึง 14 %wb ใช้เวลาอบแห้งประมาณ 486 นาที ในขณะที่ระดับความเร็วลม 0.0451 m^3/s และ 0.0512 m^3/s ใช้เวลาอบแห้งประมาณ 580 นาทีและ 566 นาที ตามลำดับ



รูปที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงความชื้นของเครื่องอบแห้งแบบติดตั้งไซโคลน

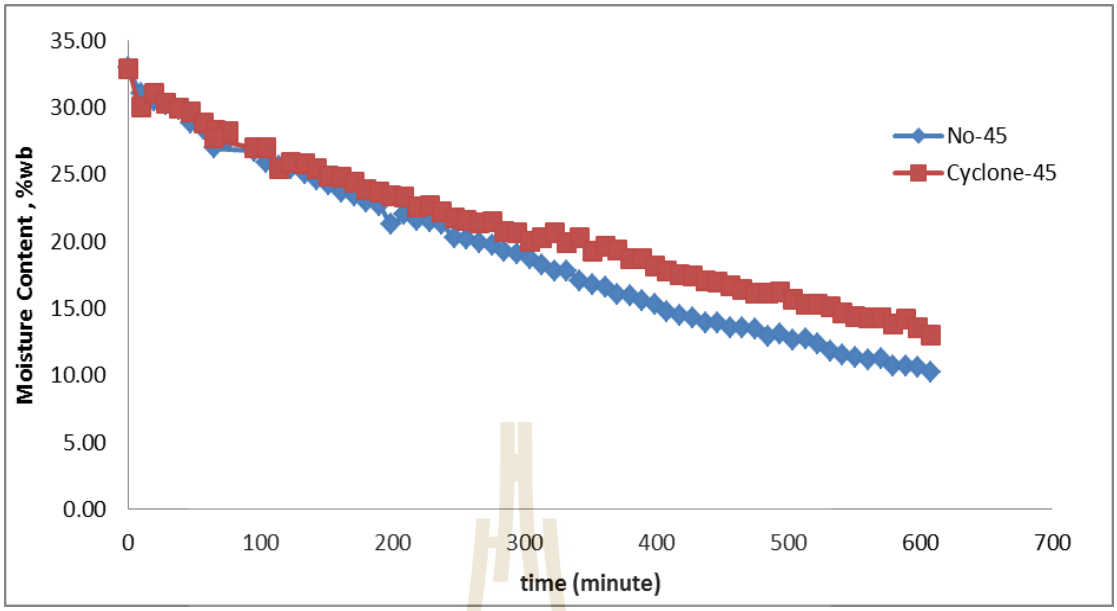
การติดตั้งไซโคลนเป็นการแยกอากาศร้อนออกจากข้าวเปลือก พบว่า การไหลปั่นป่วน มีอิทธิพลต่อพฤติกรรมลดความชื้นของข้าวเปลือกมากกว่าเวลาที่ข้าวเปลือกอยู่ในระบบอบแห้ง ถึงแม้ไม่เกิดการอบแห้งต่อในถังเก็บ แต่การใช้อัตราการไหลสูงจึงทำให้เกิดความปั่นป่วนทางการไหล เมล็ดข้าวเปลือกจึงสามารถกระจายตัวในอากาศได้ดีกว่า ซึ่งส่งผลให้ผิวสัมผัสของข้าวเปลือกสามารถแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศอบแห้งได้ง่ายกว่า (ค่าความชื้นลดลงได้เร็ว) และอัตราการไหลสูง ทำให้มีจำนวนรอบของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งหลายครั้งกว่า ข้าวเปลือกจึงสามารถลดความชื้นได้ดีกว่า แม้ว่าความชื้นเริ่มต้นของการทดสอบที่ระดับอัตราการไหล 0.0451 m^3/s 0.0512 m^3/s และ 0.0631 m^3/s จะต่างกัน และค่าความชื้นสุดท้ายของการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมแบบติดตั้งไซโคลน

ระดับ	อัตราการไหลอากาศอบแห้ง (m^3/s)	อัตราการป้อนข้าวเปลือก (kg/min)	ความชื้นเริ่มต้น (%wb)	ความชื้นสุดท้าย (%wb)	เวลา (min)
45 Hz	0.0451	4.10 (10 Hz)	32.89 ± 0.13	13.88 ± 5.19	579.50
50 Hz	0.0512	6.35 (20 Hz)	33.21 ± 0.07	14.00 ± 5.47	565.50
55 Hz	0.0631	8.45 (30 Hz)	33.09 ± 0.65	14.00 ± 5.91	486.00

4.2.3 เปรียบเทียบการลดความชื้นของเครื่องอบแห้งทุกระดับความเร็วลม

จากรูปที่ 4.10 ระดับอัตราการไหล 0.0451 m^3/s ทั้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลนกับแบบติดตั้งไซโคลน โดยพิจารณาความชื้นสุดท้ายคือ 14%wb พบว่าระบบแบบไม่ติดไซโคลนสามารถลดความชื้นได้เร็วกว่าระบบแบบติดไซโคลน โดยการอบแห้งแบบไม่ติดไซโคลนใช้เวลาในการอบแห้ง 446 นาที เปรียบเทียบกับแบบติดไซโคลนใช้เวลาอบแห้ง 579 นาที ซึ่งใช้เวลานานกว่า 133 นาที (ประมาณ 2.5 ชั่วโมง) เพื่อให้ได้ค่าความชื้นที่ใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 4.8

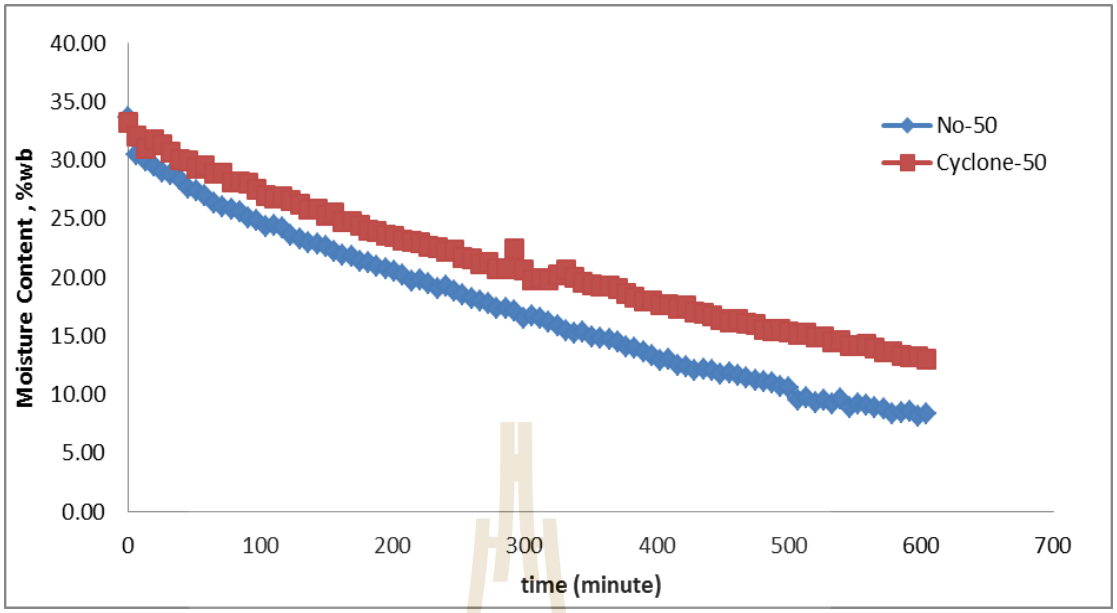


รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบการลดความชื้นของเครื่องอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลนกับแบบติดตั้งไซโคลนที่ระดับความเร็วลม 45 Hz

ตารางที่ 4.8 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือก ที่ระดับความเร็วลม 45 Hz

วิธีการ	อุณหภูมิ (˚C)	ความชื้นเริ่มต้น (%wb)	ความชื้นสุดท้าย (%wb)	เวลา (min)
ไม่ติดไซโคลน	80	32.96 ± 0.39	13.96 ± 6.28	446.50
ติดตั้งไซโคลน	80	32.89 ± 0.13	13.88 ± 5.19	579.50

เมื่อพิจารณาระดับอัตราการไหล 0.0512 m^3/s ดังรูปที่ 4.11 ทั้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลนกับแบบติดตั้งไซโคลนอบแห้งจนถึงความชื้นสุดท้าย คือ 14 %wb พบว่าการอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลนใช้เวลาในการอบแห้งเร็วที่สุด 377 นาที เปรียบเทียบกับแบบติดตั้งไซโคลนใช้เวลาอบแห้ง 565 นาที ซึ่งใช้เวลานานกว่า 188 นาที (ประมาณ 3 ชั่วโมง) เพื่อให้ได้ค่าความชื้นที่ใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 4.9

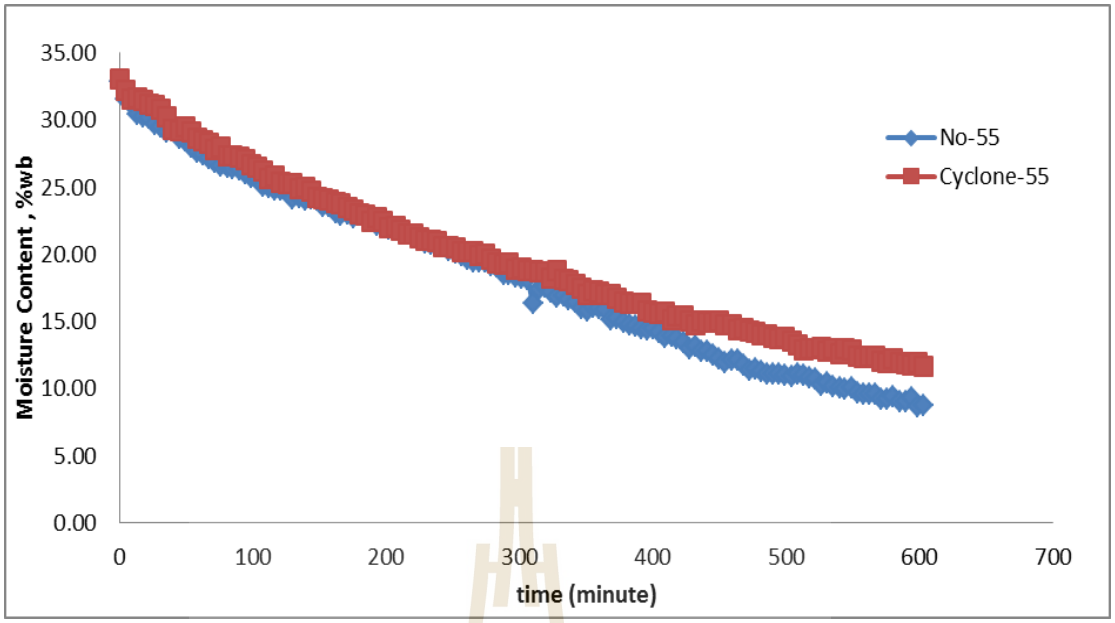


รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบการลดความชื้นของเครื่องอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลนกับแบบติดตั้งไซโคลนที่ระดับความเร็วลม 50 Hz

ตารางที่ 4.9 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือก ที่ระดับความเร็วลม 50 Hz

วิธีการ	อุณหภูมิ (˚C)	ความชื้นเริ่มต้น (%wb)	ความชื้นสุดท้าย (%wb)	เวลา (min)
ไม่ติดไซโคลน	80	33.68 ± 0.06	14.06 ± 6.60	377.00
ติดตั้งไซโคลน	80	33.21 ± 0.07	14.00 ± 5.47	565.50

และรูปที่ 4.12 ที่ระดับอัตราการไหล 0.0631 m^3/s ทั้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลนกับแบบติดตั้งไซโคลน โดยพิจารณาความชื้นสุดท้ายคือ 14%wb พบว่าการอบแห้งแบบไม่ติดไซโคลนใช้เวลาในการอบแห้ง 414 นาที เปรียบเทียบกับแบบติดไซโคลนใช้เวลาอบแห้ง 486 นาที ซึ่งใช้เวลานานกว่า 72 นาที (ประมาณ 1.5 ชั่วโมง) เพื่อให้ได้ค่าความชื้นที่ใกล้เคียงกัน ดังตารางที่ 4.10



รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบการลดความชื้นของเครื่องอบแห้งแบบไม่ติดไซโคลนกับแบบติดไซโคลนที่ระดับความเร็วลม 55 Hz

ตารางที่ 4.10 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการลดความชื้นข้าวเปลือก ที่ระดับความเร็วลม 55 Hz

วิธีการ	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้นเริ่มต้น (%wb)	ความชื้นสุดท้าย (%wb)	เวลา (min)
ไม่ติดไซโคลน	80	32.88 ± 0.32	13.89 ± 6.61	414.00
ติดตั้งไซโคลน	80	33.09 ± 0.65	14.00 ± 5.91	486.00

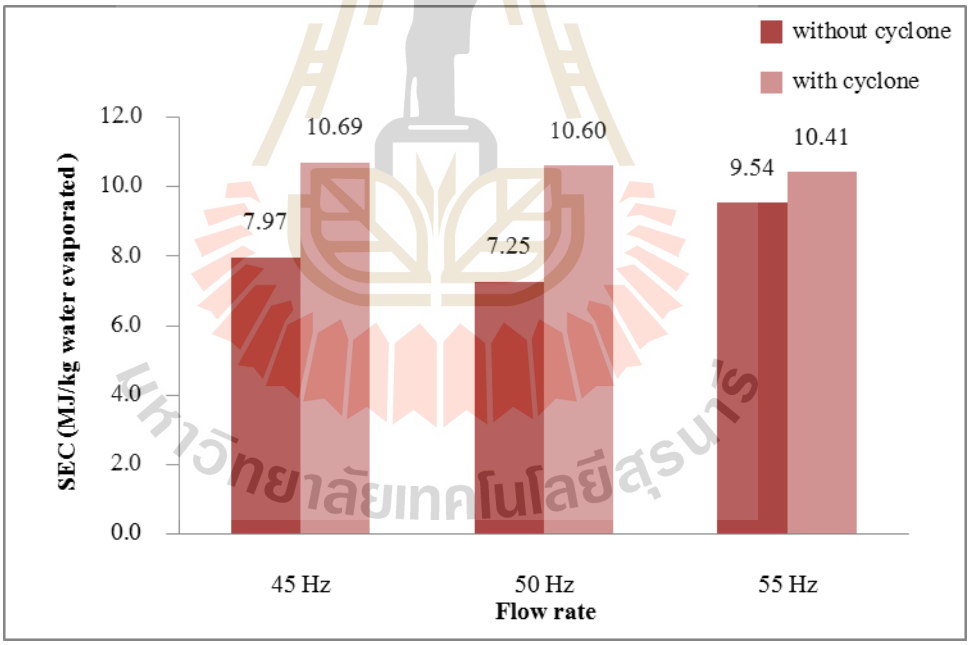
และพิจารณาเปรียบเทียบกับทุกระดับของอัตราการไหลดังแสดงในรูปที่ 4.10 รูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าการอบแห้งแบบไม่ติดไซโคลนใช้เวลาในการอบแห้งสั้นกว่าแบบติดไซโคลน โดยที่ระบบอบแห้งแบบไม่ติดไซโคลนมีลมร้อนบางส่วนจากห้องอบแห้งไหลวนเข้าสู่ตัวถังเก็บข้าวเปลือก ทำให้เกิดการอบแห้งต่อบริเวณผิวบนของข้าวเปลือกภายในถัง (pre-heat) แต่ระบบอบแห้งแบบติดไซโคลนได้คัดแยกข้าวเปลือกกับลมร้อนออกจากกัน ทำให้ไม่เกิดการอบแห้งต่อในบริเวณตัวถังเก็บข้าวเปลือก ปัจจัยดังกล่าวนี้ ได้ส่งผลร่วมกับอิทธิพลของการไหลของอากาศที่สูงในห้องอบแห้ง ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0512 m^3/s โดยใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดสามารถให้ค่าความชื้น 14 %wb และหากความเร็วอากาศสูงเกินไป (ที่อัตราการไหล 0.0631 m^3/s) ปัจจัยดังกล่าวช่วยเสริมการอบแห้งได้น้อยกว่าดังผลที่ได้นำเสนอ

4.3 พลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง

4.3.1 ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific energy consumption)

จาก รูปที่ 4.13 แสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) ของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่แต่ละเงื่อนไขการทดลอง จะเห็นว่า SEC อยู่ในช่วงระหว่าง 7.25 ถึง 9.54 MJ/kg_{water} สำหรับระบบที่ไม่ติดตั้งไซโคลนและ 10.41 ถึง 10.69 MJ/kg_{water} ระบบที่ไม่ติดตั้งไซโคลนที่อัตราการไหลอากาศ 0.0512 m^3/s ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานมีค่าน้อยที่สุดโดยใช้เวลาน้อยที่สุดเพื่อลดความชื้นข้าวเปลือกให้ถึง 14 %wb และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานของระบบที่ติดตั้งไซโคลนที่อัตราการไหลอากาศ 0.0631 m^3/s มีค่าน้อยที่สุดและใช้เวลาสั้นที่สุดเพื่อลดความชื้นให้ถึงค่าที่ต้องการคือ 14 %wb

การใช้พลังงานของระบบอบแห้งที่ติดตั้งไซโคลน มีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น และมีแนวโน้มที่สังเกตได้คือ ระบบที่ใช้อัตราการไหลอากาศยิ่งสูง แนวโน้มการใช้พลังงานจะมีค่าลดลง



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะกับความเร็วลม

ตารางที่ 4.11 การใช้พลังงานรวมทั้งหมดสำหรับอบแห้งข้าวเปลือก

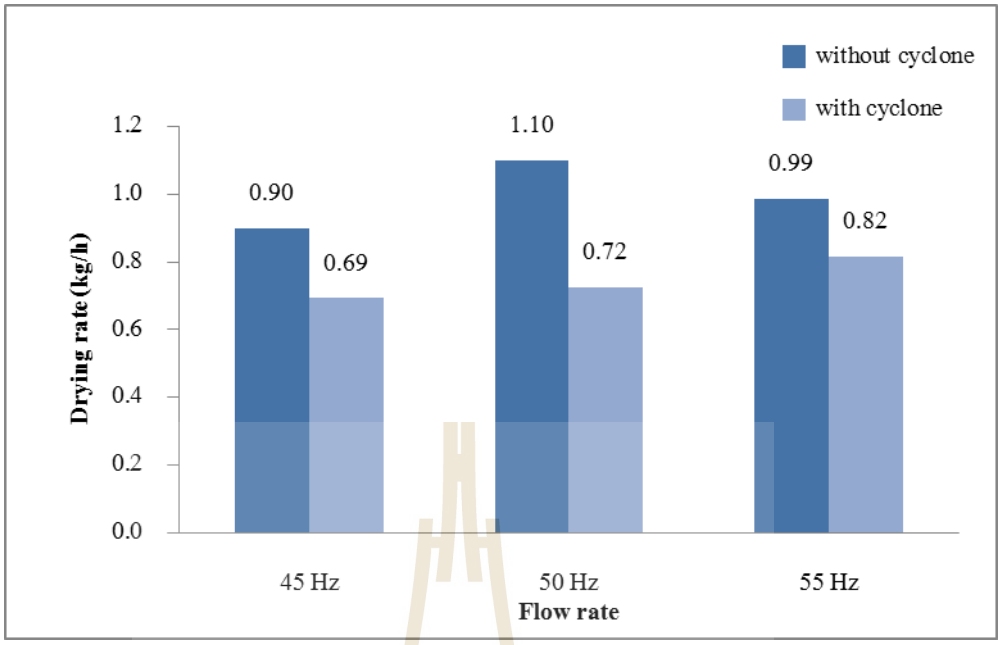
กรณี / ระดับอัตราการไหล	ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (SEC) : MJ/kg_{water}		
	45 Hz	**50 Hz**	**55 Hz**
กรณีไม่ติดตั้งไซโคลน	7.97	7.25	9.54
กรณีติดตั้งไซโคลน	10.69	10.60	10.41

ผลที่ได้จากการนำลมร้อนกลับมาใช้อบแห้งต่อภายในถังเก็บข้าวเปลือก (ระบบอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลน) สามารถช่วยลดพลังงานได้ในทุกระดับอัตราการไหลอากาศ แนวโน้มของการใช้ลมร้อนที่อัตราการไหลที่สูงกว่า 0.0512 m^3/s จะช่วยลดการใช้พลังงานได้น้อยลง ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมการลดลงของความชื้นที่กล่าวไว้ข้างต้น

4.3.2 อัตราการอบแห้ง (Drying rate)

จากรูปที่ 4.14 ระบบอบแห้งแบบติดตั้งไซโคลนมีแนวโน้มของค่าอัตราการระเหยของน้ำสูงขึ้น เมื่อใช้อัตราการไหลอากาศเพิ่มขึ้น และมีค่าดีที่สุดเท่ากับ 0.82 kg/h คืออัตราการไหลอากาศ 0.0631 m^3/s ในขณะที่ระบบอบแห้งที่ไม่ติดตั้งไซโคลน อิทธิพลของการอบแห้งต่อในถังเก็บข้าวเปลือกได้ให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้นทุกระดับอัตราการไหลอากาศ และอัตราการอบแห้งที่ดีที่เท่ากับ 1.10 kg/h ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0512 m^3/s ซึ่งสอดคล้องกับพฤติกรรมการลดลงของความชื้นที่กล่าวไว้ข้างต้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับความเร็วลม

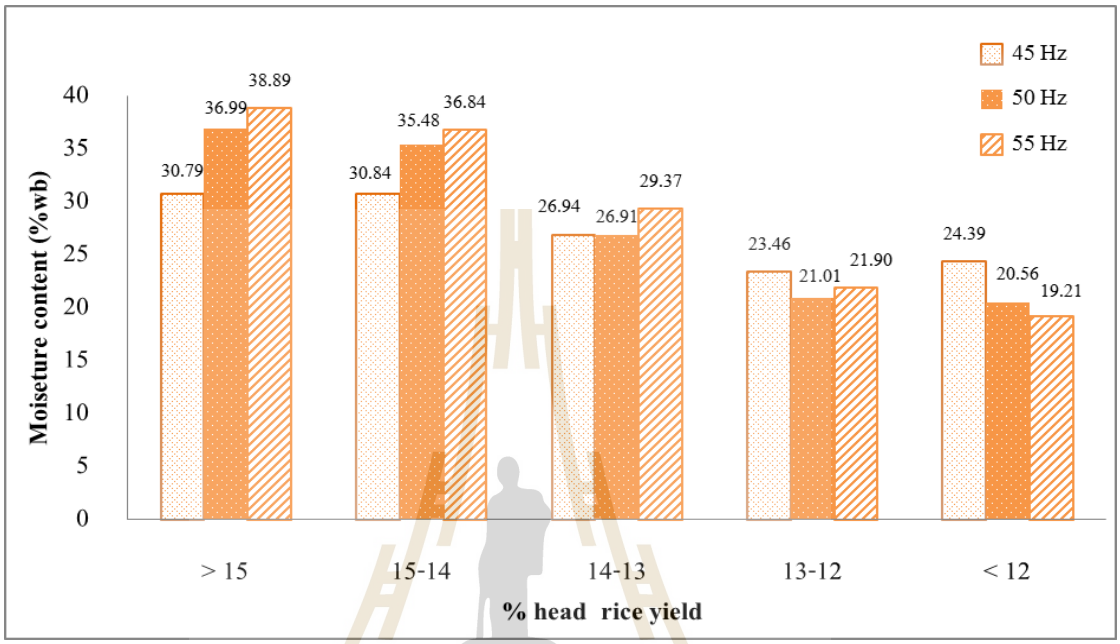
ตารางที่ 4.12 อัตราการอบแห้งของการอบแห้งข้าวเปลือก

กรณี / ระดับอัตราการไหล	**อัตราการอบแห้ง (DR) : kg/h**		
	45 Hz	**50 Hz**	**55 Hz**
กรณีไม่ติดตั้งไซโคลน	0.90	1.10	0.99
กรณีติดตั้งไซโคลน	0.69	0.72	0.82

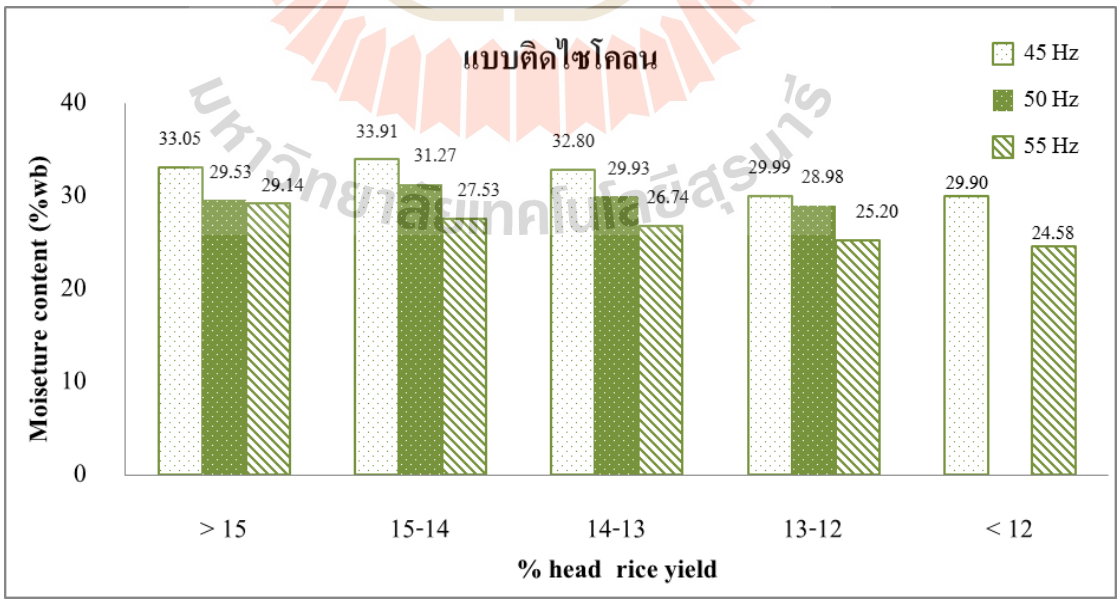
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.4 คุณภาพของข้าวที่ผ่านการอบแห้ง

การตรวจสอบคุณภาพข้าวของงานวิจัยนี้ จะแสดงผลในรูปของเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น โดยพิจารณาเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นในช่วงความชื้น 14 ถึง 15 %wb จากรูปที่ 4.15 และ 4.16



รูปที่ 4.15 เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นด้วยการอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลน



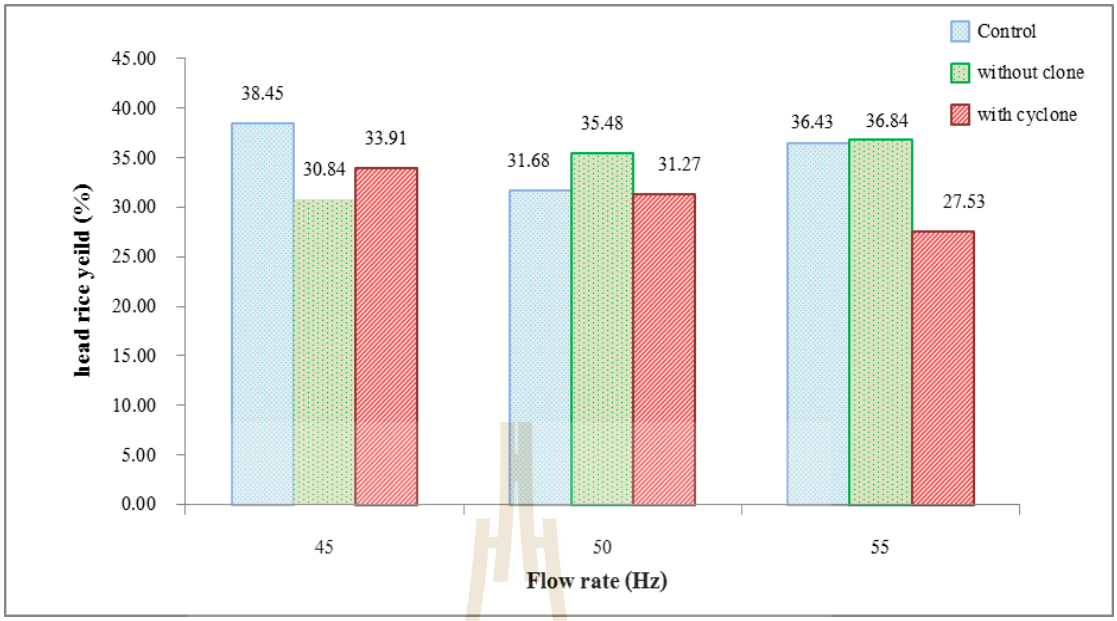
รูปที่ 4.16 เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นด้วยการอบแห้งแบบติดตั้งไซโคลน

จะเห็นว่าความชื้นที่ลดลงของข้าวเปลือกหลังอบแห้งมีแนวโน้มทำให้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นมีค่าต่ำลงทุกระดับอัตราการไหล ช่วงความชื้นระหว่าง 14 ถึง 15 %wb และสูงกว่า มีเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นดีที่สุด โดยอยู่ในช่วง 30.79% ถึง 38.89% สำหรับการอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลน และ 27.53% ถึง 33.91% สำหรับการอบแห้งแบบติดตั้งไซโคลน

ในช่วงความชื้นข้าวเปลือก ตั้งแต่ 13 %wb ขึ้นไป การอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลน ค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นมีแนวโน้มสูงขึ้นเมื่ออบแห้งด้วยอัตราการไหลอากาศสูง ซึ่งตรงกันข้ามกับการอบแห้งแบบติดตั้งไซโคลน ข้อสังเกตที่พบคือ การไหลของข้าวเปลือกในระบบที่ติดตั้งไซโคลน ข้าวเปลือกจะต้องปะทะกับตัวไซโคลนทุกรอบการอบแห้ง ยิ่งความเร็วในการปะทะสูง พลังงานจลน์ที่กระทำกับข้าวเปลือกจะยิ่งสูงขึ้น จะทำให้เกิดความเสียหายทางกลต่อเมล็ดข้าวภายในสูงขึ้นด้วย นอกจากนี้ที่อัตราการไหลอากาศสูง การเคลื่อนที่ของข้าวเปลือกจะมีจำนวนรอบการไหลเวียนมากครั้งกว่า (ข้าวเปลือกวิ่งชนกับผิวในไซโคลนหลายรอบกว่าที่อัตราการไหลอากาศต่ำ) ดังนั้นทั้งสองปัจจัยนี้ จึงทำให้ที่อัตราการไหลอากาศ 0.0451 m^3/s มีค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นดีที่สุดเท่ากับ 33.91% ที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 ถึง 15 %wb

จากรูปที่ 4.17 ในช่วงความชื้นข้าวเปลือกระหว่าง 14 ถึง 15 %wb และสูงกว่าของระบบที่ไม่ได้ติดตั้งไซโคลน มีเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นสูงกว่าระบบที่ติดตั้งไซโคลน และที่อัตราการไหลอากาศสูง (อัตราการไหล 0.0512 m^3/s และ 0.0631 m^3/s) ค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย ปัจจัยที่น่าจะเกี่ยวข้องอาจเป็นเวลาของการอบแห้ง เนื่องจากที่อัตราการไหลอากาศ 0.0512 m^3/s และ 0.0631 m^3/s มีระยะการอบแห้งสั้นกว่าที่อัตราการไหลอากาศ 0.0451 m^3/s ประมาณ 37 ถึง 70 นาที การลดความชื้นลงอย่างรวดเร็วโดยสร้างความเสียหายทางกลน้อยที่สุดอาจช่วยลดการสูญเสียเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นได้ อาจต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องดังกล่าวต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



\

รูปที่ 4.17 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ข้าวต้น

คุณภาพข้าวของระบบอบแห้งแบบติดตั้งไซโคลน พบว่าที่อัตราการไหลอากาศสูงส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นต่ำกว่า (คุณภาพข้าวอยู่ในเกณฑ์ต่ำ) การใช้อัตราการไหลอากาศต่ำ เนื่องจากจำนวนรอบ (cycle) ที่มากกว่าในการเคลื่อนที่เข้าสู่ห้องอบแห้ง และพลังงานจลน์ที่กระทำกับเมล็ดข้าวเปลือกมากกว่า (อัตราการไหลสูง) โดยเฉพาะการปะทะบริเวณด้านในของไซโคลน ซึ่งเป็นผลทำให้ข้าวเปลือกเกิดรอยร้าวในเมล็ดข้าว เมื่อนำไปผ่านกระบวนกะเทาะเปลือก และขัดขาว จึงทำให้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นที่ได้ต่ำ จากรูป 4.17 พิจารณาค่าความชื้นในช่วง 14 ถึง 15 %wb ของอัตราการไหลอากาศ 0.0631 m^3/s ได้เปอร์เซ็นต์ข้าวต้น 27.53%

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.5 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

ตารางที่ 4.13 ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก

รายการ	จำนวนเงิน
1. แผ่นเหล็กตะแกรง รูขนาด 2 mm	850
2. ล้อเป็น	300
3. ล้อตาย	200
4. ท่อเหล็กขนาด 3 นิ้ว	1,200
5. เหล็กฉาก 1 ½ นิ้ว	640
6. เหล็กฉาก 1 นิ้ว	330
7. ไซโคลน	2,500
8. ลูกปืน 6003 ZZ	190
9. O-ring รัดท่ออะคิลิค	260
10. สายพาน B25	100
11. เกลียวลำเลียง	850
12. สีสเปรย์รองพื้นกันสนิม	380
13. ค่าแรงเหมาสร้างและประกอบเครื่อง	4,000
14. พัดลมแรงดันสูง	10,000
15. ชุดทำความร้อน	6,000
16. มอเตอร์ 2 ตัว	2,200
รวมค่าใช้ทั้งหมด	**33,000**

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

4.5.1 การประเมินค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ

ค่าใช้จ่ายในการทำงานของเครื่อง คำนวณได้จากต้นทุนคงที่ (Fixed cost : FC) และต้นทุนแปรผัน (Variable cost : VC)

ต้นทุนคงที่ (Fixed cost: FC)

ดังนั้น ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมดในการอบแห้งข้าวเปลือก/กิโลกรัมสามารถหาได้จาก

$$AC = FC + VC$$

ค่าเสื่อมราคา (คิดโดยวิธีตรง) $D = (P - S) / L$

ค่าเสียโอกาสในการลงทุน $R = (P + S) / 2 \times i$

โดยที่ P = ราคาซื้อหรือสร้างเครื่องอบแห้ง (บาท)

L = อายุการใช้งานเครื่องอบแห้ง 10 ปี

S = ราคาเครื่องเมื่อครบ 10 ปี = 0.1*P (บาท)

D = ค่าเสื่อมราคา/ปี (บาท/ปี)

R = ค่าเสียโอกาสในการลงทุน/ปี (บาท/ปี)

i = อัตราดอกเบี้ยต่อปี

กำหนดให้ เครื่องอบแห้งข้าวเปลือก (P) ราคา 30,000 บาท (ตารางที่ 4.13)

มูลค่าเสื่อมราคาของเครื่องเมื่อสิ้นสุดปีที่ 10 คงเหลือ 10% ของราคาเครื่อง

อัตราดอกเบี้ยต่อปี = 7.62%ต่อปี (ณ 28 ตุลาคม 2559 จากธนาคารกสิกร)

ดังนั้น ค่าเสื่อมราคาของเครื่อง = 30,000 x (10/100) = 3,000 บาท

ค่าเสื่อมราคา (D) = (30,000 – 3,000)/10 = 2,700 บาท/ปี

ค่าเสียโอกาสในการลงทุน (R) = ((30,0 00 + 2,700)/2) x (7.62/100)

= 1,245.87 บาท/ปี

รวมต้นทุนคงที่ต่อปี (FC) = 2,700 + 1,245.87 = 3,945.87 บาท/ปี

ต้นทุนแปรผัน (Variable cost : VC)

ค่าบำรุงรักษา (Maintenance) คิดเฉลี่ยประมาณวันละ 5 บาท ทำงาน 250 วัน

ค่าบำรุงรักษาเท่ากับ 5 x 250 = 1,250 บาท/ปี

ค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3.63 บาท สิ้นเปลืองพลังงาน 6 หน่วย / ชั่วโมง ใน 1 ปี

ทำงาน 250 วัน อัตราค่าจ้างแรงงานวันละ 300 บาท ทำงาน 1 คน

ดังนั้น VC = ค่าจ้างแรงงาน (W) + ค่าไฟฟ้า (E) + ค่าบำรุงรักษา

ค่าจ้างแรงงาน (W) = 1 x 300 x 250 = 75,000 บาท/ปี

ค่าพลังงานไฟฟ้า (E) = 6 x 3.63 x 8 x 300 = 52,272 บาท/ปี

ค่าบำรุงรักษา (M) = 5 x 250 = 1,250 บาท/ปี

รวมต้นทุนแปรผัน (VC) = 75,000 + 52,272 + 1,250

= 128,522 บาท/ปี

ดังนั้น

ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (AC) = ต้นทุนคงที่ (FC) + ต้นทุนแปรผัน (VC)

= 3,945.87 + 128,522 บาท

= 132,467.87 = 132,468 บาท/ปี

4.5.2 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก

กำหนดให้ ต้นทุนค่าข้าวจากเกษตรกร ข้าวเปลือกราคา 7 บาท/kg

ราคารับซื้อจากโรงสี ข้าวเปลือก 8 บาท/kg ใน 1 ปีเครื่องทำงาน 200 วัน

วันละ 24 ชั่วโมง ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 5 kg/hr

ดังนั้นเครื่องสามารถทำงานได้ 200 x 24 x 5 = 24,000 กิโลกรัม/ปี

ดังนั้น การอบแห้งข้าวเปลือกครั้งละ 60 kg มีความชื้นเริ่มต้น 28 %wb

รับซื้อจากเกษตรกร 7 บาท/kg

ตันทุนค่าข้าว = 60 kg x 7 = 420 บาท

หลังผ่านกระบานการอบแห้ง ข้าวเปลือก 60 กิโลกรัม จนได้ค่าความชื้น 14 %wb

การหามวลแห้งข้าวเปลือกจากสมการ (2.1) จะได้ว่า

$$M_w = \frac{W - W_d}{W} \qquad (2.1)$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

หรือ $$W_d = W (1 - M_w) \quad (2.2)$$

แทนค่า $W = 60$ kg และ $M_w = 28 / 100 = 0.28$ ลงใน (4.2)

$W_d = 60 \text{ kg} (1 - 0.28) = 43.2 \text{ kg}$

ดังนั้น น้ำหนักของข้าวโพดที่ความชื้น 14 %wb จากสมการ (a) จะได้

$$W_d = \frac{W_d}{1 - M_w} = \frac{43.2 \text{ kg}}{1 - 0.14} = 50.23 \text{ kg}$$

น้ำหนักข้าวเปลือกหลังการอบคือ 50.23 กิโลกรัม

ราคาขายให้กับโรงสี 50.23 kg x 8 = 401.86 บาท

ถ้า รับซื้อจากเกษตรกร 5 บาท/kg

ต้นทุนค่าข้าว = 60 kg x 5 = 300 บาท

หลังผ่านกระบานการอบแห้ง ข้าวเปลือก 60 กิโลกรัม

จนได้ค่าความชื้น 14 %wb

น้ำหนักข้าวเปลือกคงเหลือ 50.23 kg

ราคาขายให้กับโรงสี 50.23 kg x 8 = 401.86 บาท

ราคาขาย - (ต้นทุนค่าข้าว + ค่าไฟฟ้า) = 401.86 – (300 + 38.97)

= 62.89 บาท

ดังนั้น จุดคุ้มทุนของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก เมื่อพิจารณาจากสมการ

$$N^* = \frac{F}{p - v}$$

โดยที่

N^* = ปริมาณผลิตที่จุดคุ้มทุน

F = ต้นทุนคงที่ (Fix cost)

p = ราคาขายต่อหน่วย

V = ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย (Variable cost)

แทนค่า

$$N^* = 3,945.87 / (8 - (132,468 / 24,000))$$

$$= 1,590.76 \text{ กิโลกรัม/ปี} \approx 1.6 \text{ ตัน/ปี}$$

4.5.3 ระยะเวลาคืนทุน

จากรายได้จากการขายข้าวเปลือกให้กับโรงสีข้าวเท่ากับ 8 บาทต่อกิโลกรัมใน 1 ปี เครื่องทำงาน 200 วัน วันละ 24 ชั่วโมง ความสามารถในการทำงานเฉลี่ย 5 kg/hr ดังนั้นเครื่องสามารถทำงานได้ 24,000 กิโลกรัม/ปี ดังนั้นจึงมีรายได้ 8 x 24,000 = 192,000 บาท/ปี
การคำนวณระยะคืนทุนหาได้จาก

$$PBP = \frac{MC}{P} \quad (4.3)$$

$$P = R - AC \quad (4.4)$$

โดยที่

PBP = ระยะเวลาในการคืนทุน (ปี)
MC = ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง (บาท)
P = กำไร (บาท/ปี)
R = รายได้ (บาท/ปี)
AC = ค่าใช้จ่ายทั้งหมด (บาท/ปี)

เพราะฉะนั้น กำไร (P) = 192,000 – 132,468 บาท/ปี

= 59,532 บาท/ปี

ระยะเวลาคืนทุน = ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง (MC) / กำไร (P)

= 30,000 / 59,532

= 0.5039 ปี ≈ 6 เดือน

จากการวิเคราะห์เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม การสร้างเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกราคา 30,000 บาท และรับซื้อข้าวราคา 8 บาท/กิโลกรัม พบว่า

จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 1.6 ตัน/ปี

ระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 6 เดือน

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการออกแบบ สร้างและทดสอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบพาหะลมที่พัฒนาขึ้น แบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 2 แบบ คือระบบแบบไม่ติดตั้งไซโคลนและระบบที่ติดตั้งไซโคลน ลักษณะของระบบอบแห้ง เป็นถังเก็บข้าวเปลือกทรงสี่เหลี่ยม ทำจากแผ่นเหล็กตะแกรง ห้องอบแห้งขนาดท่อ 7.6 cm โดยใช้อากาศอบแห้งเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อนกับเมล็ดข้าวเปลือกและพาหะทำให้ข้าวเปลือกเคลื่อนที่ไหลในระบบอบแห้ง เครื่องอบแห้งเป็นแบบงวด พันธุ์ข้าวหอมมะลิ 105 เป็นตัวอย่างวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ ระบบมีการควบคุมอัตราการไหลอากาศอบแห้ง อัตราการป้อนเมล็ดข้าวเปลือก และควบคุมอุณหภูมิของอากาศอบแห้งเท่ากับ 80°C ตลอดการทดลอง เพื่อประเมินสมรรถนะของเครื่องอบแห้งในด้านพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้น การใช้พลังงานรวมทั้งหมดของระบบและคุณภาพข้าวหลังผ่านกระบวนการอบแห้งแล้ว

5.1.1 พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้น

1. ระบบที่ไม่ติดตั้งไซโคลน ค่าความชื้นเริ่มต้น 33.68 %wb อบแห้งด้วยอัตราการไหล อากาศ 50 Hz อัตราการป้อนข้าวเปลือก 20 kg/h ใช้ระยะเวลาการอบแห้ง 377 นาที
2. ระบบที่ติดตั้งไซโคลน ค่าความชื้นเริ่มต้น 33.09 %wb อบแห้งด้วยอัตราการไหล อากาศ 55 Hz อัตราการป้อนข้าวเปลือก 30 kg/h ใช้ระยะเวลาการอบแห้ง 486 นาที

จากผลการวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของค่าความชื้น พบว่า ระบบอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลน ช่วยให้ความร้อน(อุ่นข้าวเปลือกต่อในถังเก็บ) และพาความชื้นออกจากข้าวเปลือกบริเวณผิวด้านบนในถังเก็บได้อย่างต่อเนื่อง

อิทธิพลของการอบแห้งต่อในถังเก็บส่งผลร่วมกับอัตราการไหลของอากาศร้อนที่สูงขึ้น จะทำให้เกิดการไหลแบบปั่นป่วนภายในห้องอบแห้งได้มาก เมล็ดข้าวเปลือกจึงสามารถกระจายตัวในอากาศทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้ดียิ่งขึ้น

5.1.2 พลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้ง

1. ระบบที่ไม่ติดตั้งไซโคลนที่อัตราการไหลอากาศ 50 Hz ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 7.25 MJ/kg_{water}

2. ระบบที่ติดตั้งไซโคลนที่อัตราการไหลอากาศ 55 Hz ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานมีค่าน้อยที่สุดเท่ากับ 10.41 MJ/kg_{water}

5.1.3 อัตราการอบแห้ง

1. ระบบอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลน มีอิทธิพลของการอบแห้งต่อในถังเก็บข้าวเปลือกได้ให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้น และอัตราการอบแห้งที่ดีที่เท่ากับ 1.10 kg/h ที่อัตราการไหลอากาศ 50 Hz

2. ระบบอบแห้งแบบติดตั้งไซโคลน อัตราการไหลอากาศเพิ่มขึ้น และมีค่าดีที่สุดเท่ากับ 0.82 kg/h คืออัตราการไหลอากาศ 55 Hz

5.1.4 คุณภาพข้าว

การตรวจสอบคุณภาพข้าวเปลือก โดยการนำข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการอบแห้งจนมีความชื้นข้าวเปลือกระหว่าง 14-15%wb เมื่อพิจารณาจากเทียบกับ เปอร์เซ็นต์ข้าวต้นกับข้าวอ้างอิง สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การอบแห้งแบบไม่ติดตั้งไซโคลน มีเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นสูงสุดเท่ากับ 36.84 % ที่อัตราการไหลอากาศ 55 Hz

2. การอบแห้งแบบติดตั้งไซโคลน มีเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นสูงสุดเท่ากับ 33.91 % ที่อัตราการไหลอากาศ 45 Hz (การไหลของข้าวเปลือกในระบบที่ติดตั้งไซโคลน ข้าวเปลือกจะต้องปะทะกับตัวไซโคลนทุกรอบการอบแห้ง ยิ่งความเร็วในการปะทะสูง ทำให้เกิดความเสียหายทางกลต่อเมล็ดข้าวภายในสูงขึ้น)

5.1.5 วิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์

ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องอบแห้งคือ 30,000 บาท จุดคุ้มทุนอยู่ที่ 1.6 ตันต่อปี ระยะเวลาการคืนทุนอยู่ที่ 6 เดือน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการทดสอบความเร็วรอบของพัดลมเพิ่มหลายระดับมากขึ้น เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงของความชื้นที่ชัดเจน

2. ควรมีการศึกษาการลดความชื้นลงอย่างรวดเร็ว โดยการสร้างความเสียหายทางกลน้อยที่สุดอาจช่วยลดการสูญเสียเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นได้

3. เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมควรปรับปรุงระบบให้มีการปะทะกับระบบการป้อนข้าวเปลือก (ชุดเกลียวลำเลียง) หรืออุปกรณ์อื่นๆภายในระบบอบแห้งให้น้อยที่สุด เพื่อลดความเสียหายทางกลต่อเมล็ดข้าวเปลือก

4. ระบบอบแห้งควรมีการหุ้มฉนวนบริเวณท่อทางไหลของอากาศร้อน เพื่อป้องกันอากาศร้อนถ่ายเทออกสู่สิ่งแวดล้อม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

กิติยา กิจควรดี และกัญญา เชื้อพันธุ์. (2545). **คุณภาพข้าวและการตรวจสอบข้าวปนในข้าวหอมมะลิไทย.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : บริษัทจิรวัฒน์เอ็กซ์เพรส จำกัด.

ขุนพล สังข์อารียกุล. (2544). **การประเมินสถานภาพเครื่องอบแห้งข้าวปลือกในประเทศไทย.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุณหภาพ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

จิตธนา แจ่มเมฆและคณะ. (2546). **วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร.** พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

จริงแท้ ศิริพานิช. (2538). **สรีรวิทยาและเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวผักและผลไม้.** พิมพ์ครั้งที่ 1. นครปฐม : โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ.

ฉัตรชัย นิมมล และอนุชา หิรัญวัฒน์. (2555). **รายงานการวิจัยเรื่องการพัฒนาและศึกษาระบบการอบแห้งแบบพาหะลมชนิดท่อเกลียวสำหรับข้าวเปลือก**. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 51 น.

เทวรัตน์ ตรีอำนรรค. (2552). **การอบแห้งและการเก็บรักษาผลผลิตเกษตร.** เอกสารประกอบการสอนสาขาวิชาวิศวกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 96-114.

เทวรัตน์ ตรีอำนรรค และกระวี ตรีอำนรรค. (2557). **รายงานการวิจัยเรื่องการพัฒนาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคสเปาเต็ดเบด.** มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 51หน้า

พรศักดิ์ ทองมา. (2542). **การอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคสปาเตดขนาดอุตสาหกรรม.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เรียวโซ โทเอ. (2525). **อุปกรณ์อบแห้งในอุตสาหกรรม.** โดยวิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

วทัญญู รอดประพัฒน์, สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และมนตรี หวังจิ. (2542). **ระบบอบแห้งข้าวเปลือกในโรงสี.** ว.เกษตรศาสตร์ (วิทย.) ปีที่ 33 ฉบับที่ 1: 126-133

สิทธิเดช กุลวงษ์. (2547). **การศึกษาเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบส่งไปตามท่อโดยใช้ลม.** วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, พิพัฒน์ อมตฉายา และคณะ. (2540). **การอบแห้งข้าวเปลือกในที่เก็บและการรักษาในสถานที่ใช้งานจริง.** ว.เกษตรศาสตร์ (สังคม) ปีที่ 18 : 86-100

Chatchai Nimmol and Sakamon Devahastin. (2010). **Evaluation of performance and energy consumption of an impinging stream dryer for paddy.** Applied Thermal Engineering. 30 (2010) 2204e2212.

Jame E. Wimberly. (1983). **Drying. Technical Handbook for the paddy Rice Postharvest Industry in Developing Countries.** อ้างถึงใน กิติยา กิจควรดี คุณภาพข้าวและการตรวจสอบข้าวปนในข้าวหอมมะลิไทย (หน้า). กรุงเทพมหานคร : บริษัทจิรวัฒน์เอ็กซ์เพรส จำกัด.

M.S.H. Sarker, M. Nordin Ibrahim, N. Ab. Aziz, P. Mohd. Salleh. (2013). **Energy and rice quality aspects during drying of freshly harvested paddy with industrial inclined bed dryer.** Energy Conversion and Management. 77 (2014) 389–395

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก

ตารางผลการทดลอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การทดสอบอบแห้งข้าวเปลือกเบื้องต้นด้วยเครื่องอบแห้ง

ตารางผนวกที่ 1 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลอากาศและอัตราการไหลข้าวเปลือก

การทดสอบครั้งที่	ความเร็วลม (Hz)	อัตราการป้อน (Hz)	น้ำหนักข้าว (g) ทุก 20 s	อัตราการไหลของข้าวเปลือก (kg/s)	อัตราการไหลของอากาศ (m/s)	Ratio
1	60.12	60.00	4,100	0.2050	0.0631	3.2752
			4,200	0.2100		
			4,100	0.2050		
			4,133	0.2067		
2	50.29	40.46	2,900	0.1450	0.0512	2.8971
			3,000	0.1500		
			3,000	0.1500		
			2,967	0.1483		
3	40.78	15.93	1,100	0.0550	0.0451	1.2565
			1,100	0.0550		
			1,200	0.0600		
			1,133	0.0567		

ตารางผนวกที่ 2 ความสัมพันธ์ของอัตราการไหลอากาศและอัตราการไหลข้าวเปลือก

การทดสอบครั้งที่	ความเร็วลม (Hz)	อัตราการป้อน (Hz)	น้ำหนักข้าว (g) ทุก 20 s	อัตราการไหลของข้าวเปลือก (kg/s)	อัตราการไหลของอากาศ (kg/s)	Ratio
1	45.4	20.08	1,340.00	0.0670	0.0694	0.9846
			1,420.00	0.0710		
			1,340.00	0.0670		
			1,366.67	0.0683		
2	50.63	30.75	2,090.00	0.1045	0.0708	1.5042
			2,160.00	0.1080		
			2,140.00	0.1070		
			2,130.00	0.1065		
3	55.45	40.46	2,750.00	0.1375	0.0757	1.8604
			2,800.00	0.1400		
			2,900.00	0.1450		
			2,816.67	0.1408		

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 3 ผลการลดลงของความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม การทดลองที่ 1 กรณีไม่ติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 45 Hz

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
0	10.74	10.03	17.56	6.82	32
0	15.14	9.99	21.89	6.75	32.43
0	11.21	10.01	17.96	6.75	32.57
0.00	12.36	10.01	19.14	6.77	32.33
9.30	15.25	10.03	22.26	7.01	30.11
19.00	10.93	9.99	17.86	6.93	30.63
28.30	10.86	10.02	17.91	7.05	29.64
38.00	10.77	10.01	17.78	7.01	29.97
47.30	11.33	10.01	18.47	7.14	28.67
57.00	15.03	10.02	22.25	7.22	27.94
66.30	11.26	10	18.52	7.26	27.4
76.00	10.94	9.99	18.18	7.24	27.53
65.30	11.78	10.01	19.08	7.3	27.07
95.00	15.33	10	22.75	7.42	25.8
104.30	15.04	10.01	22.48	7.44	25.67
114.00	11.59	10.01	19.05	7.46	25.47
123.30	15.28	10.01	22.8	7.52	24.88
133.30	11.25	10	18.71	7.46	25.4
142.30	11.39	10	18.97	7.58	24.2
152.00	10.81	10	18.4	7.59	24.1
161.30	11.05	9.99	18.72	7.67	23.22
171.00	15.19	10.01	22.89	7.7	23.08
180.30	15.16	10	22.92	7.76	22.4
190.00	14.92	10.03	22.72	7.8	22.23
199.30	11.1	10	18.86	7.76	22.4
209.00	11.16	9.99	18.97	7.81	21.82
218.30	11.2	10.01	19.1	7.9	21.08
228.00	11.29	10	19.17	7.88	21.2
237.30	15.08	10.01	22.94	7.86	21.48
247.00	15.22	10.01	23.25	8.03	19.78
256.30	11.34	10.02	19.35	8.01	20.06
266.00	10.93	10	18.99	8.06	19.4
275.30	15.01	10.01	23.03	8.02	19.88

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
285.00	14.89	10.03	23.00	8.11	19.14
294.30	11.58	10.00	19.68	8.10	19.00
304.00	11.42	10.00	19.59	8.17	18.30
313.30	15.27	10.02	23.49	8.22	17.96
323.00	10.9	10.02	19.21	8.31	17.07
332.30	10.86	10.01	19.15	8.29	17.18
342.00	10.78	9.99	19.14	8.36	16.32
351.30	11.35	10.00	19.73	8.38	16.20
361.00	15.02	10.00	23.42	8.40	16.00
370.30	11.28	10.00	19.72	8.44	15.60
380.00	15.44	9.98	23.89	8.45	15.33
389.30	15.12	10.02	23.63	8.51	15.07
399.00	15.32	10.01	23.83	8.51	14.99
408.30	15.02	10.01	23.65	8.63	13.79
418.00	11.54	10.00	20.17	8.63	13.70
427.30	15.29	10.01	23.92	8.63	13.79
437.00	11.2	10.00	19.85	8.65	13.50
446.30	15.26	9.98	23.93	8.67	13.13
456.00	11.18	9.99	19.88	8.70	12.91

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 4 ผลการลดลงของความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม การทดลองที่ 2 กรณีไม่ติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 45 Hz

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
0	11.40	9.99	18.15	6.75	32.43
0	14.97	10.02	21.58	6.61	34.03
0	15.06	10.02	21.80	6.74	32.73
0.00	13.81	10.01	20.51	6.70	33.07
9.30	10.75	10.00	17.52	6.77	32.30
19.00	15.13	10.00	22.06	6.93	30.70
28.30	15.31	10.00	22.24	6.93	30.70
38.00	15.25	10.01	22.28	7.03	29.77
47.30	11.39	10.00	18.50	7.11	28.90
57.00	14.93	10.00	22.06	7.13	28.70
66.30	10.74	10.02	17.97	7.23	27.84
76.00	11.34	10.02	18.64	7.30	27.15
65.30	15.03	10.02	22.36	7.33	26.85
95.00	11.59	10.01	18.86	7.27	27.37
104.30	15.57	10.01	22.97	7.40	26.07
114.00	15.12	10.01	22.57	7.45	25.57
123.30	15.36	10.00	22.79	7.43	25.70
133.30	15.29	10.02	22.80	7.51	25.05
142.30	11.26	10.00	18.79	7.53	24.70
152.00	15.27	10.00	22.81	7.54	24.60
161.30	11.25	10.00	18.86	7.61	23.90
171.00	15.51	9.98	23.12	7.61	23.75
180.30	10.74	10.01	18.44	7.70	23.08
190.00	11.17	9.99	18.87	7.70	22.92
199.30	15.09	10.02	22.84	7.75	22.65
209.00	11.18	10.01	18.97	7.79	22.18
218.30	11.20	10.00	19.02	7.82	21.80
228.00	15.50	10.00	23.31	7.81	21.90
237.30	10.91	10.00	18.78	7.87	21.30
247.00	14.97	10.00	22.91	7.94	20.60
256.30	15.32	10.02	23.29	7.97	20.46
266.00	11.05	9.98	19.03	7.98	20.04
275.30	10.90	10.01	18.92	8.02	19.88

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
285.00	11.35	10.00	19.41	8.06	19.40
294.30	15.70	9.99	23.78	8.08	19.12
304.00	11.11	10.00	19.24	8.13	18.70
313.30	11.29	10.00	19.45	8.16	18.40
323.00	11.48	10.02	19.67	8.19	18.26
332.30	15.17	10.01	23.32	8.15	18.58
342.00	14.93	9.99	23.17	8.24	17.52
351.30	11.39	10.00	19.67	8.28	17.20
361.00	15.23	10.00	23.58	8.35	16.50
370.30	15.11	10.00	23.52	8.41	15.90
380.00	11.11	10.00	19.52	8.41	15.90
389.30	11.18	10.01	19.63	8.45	15.58
399.00	15.23	10.02	23.71	8.48	15.37
408.30	11.31	10.02	19.84	8.53	14.87
418.00	11.45	10.01	19.99	8.54	14.69
427.30	11.4	10.00	19.98	8.58	14.20
437.00	10.88	10.02	19.53	8.65	13.67
446.30	15.2	10.02	23.81	8.61	14.07
456.00	11.21	10.01	19.85	8.64	13.69
465.30	11.58	10.00	20.24	8.66	13.40
475.00	11.12	10.01	19.83	8.71	12.99
484.30	11.54	9.99	20.25	8.71	12.81
494.00	11.46	10.00	20.20	8.74	12.60
503.30	15.22	10.01	24.00	8.78	12.29
513.00	11.29	10.01	20.06	8.77	12.39
522.30	10.83	10.02	19.66	8.83	11.88
532.00	15.02	10.00	23.86	8.84	11.60
541.30	10.83	9.99	19.71	8.88	11.11
551.00	11.73	10.00	20.62	8.89	11.10
560.30	11.5	10.00	20.41	8.91	10.90
570.00	11.5	10.01	20.43	8.93	10.79
579.30	11.55	10.01	20.53	8.98	10.29
589.00	11.38	10.01	20.33	8.95	10.59
598.30	11.54	9.99	20.52	8.98	10.11
608.00	15.21	10.02	24.21	9.00	10.18

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 5 ผลการลดลงของความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม การทดลองที่ 3 กรณีไม่ติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 45 Hz

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
0	11.19	10.00	17.88	6.69	33.10
0	10.89	10.01	17.58	6.69	33.17
0	14.86	9.98	21.43	6.57	34.17
0.00	12.31	10.00	18.96	6.65	33.48
9.30	11.22	10.00	18.16	6.94	30.60
19.00	11.49	9.98	18.47	6.98	30.06
28.30	14.82	10.00	21.79	6.97	30.30
38.00	15.33	10.00	22.35	7.02	29.80
47.30	11.04	10.00	18.14	7.10	29.00
57.00	15.29	10.00	22.45	7.16	28.40
66.30	11.19	10.02	18.38	7.19	28.24
76.00	10.93	10.02	18.16	7.23	27.84
65.30	15.16	10.00	22.46	7.30	27.00
95.00	11.28	10.02	18.60	7.32	26.95
104.30	15.43	10.01	22.84	7.41	25.97
114.00	15.28	10.00	22.70	7.42	25.80
123.30	11.45	10.02	18.90	7.45	25.65
133.30	11.24	10.01	18.77	7.53	24.78
142.30	11.39	10.01	18.91	7.52	24.88
152.00	14.92	10.01	22.53	7.61	23.98
161.30	11.22	10.01	18.85	7.63	23.78
171.00	15.05	10.00	22.70	7.65	23.50
180.30	15.31	10.00	22.98	7.67	23.30
190.00	15.39	10.02	23.12	7.73	22.85
199.30	10.73	10.00	18.85	8.12	18.80
209.00	11.31	10.01	19.12	7.81	21.98
218.30	11.25	10.01	19.09	7.84	21.68
228.00	11.47	10.00	19.33	7.86	21.40
237.30	11.54	10.00	19.44	7.90	21.00
247.00	15.10	10.00	23.05	7.95	20.50
256.30	10.93	10.01	18.94	8.01	19.98
266.00	11.30	10.00	19.28	7.98	20.20
275.30	10.71	10.00	18.77	8.06	19.40

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
285.00	11.19	10.00	19.27	8.08	19.20
294.30	15.72	10.01	23.82	8.10	19.08
304.00	11.49	10.00	19.58	8.09	19.10
313.30	10.92	10.01	19.08	8.16	18.48
323.00	11.32	10.02	19.52	8.20	18.16
332.30	11.58	9.99	19.80	8.22	17.72
342.00	15.16	10.02	23.43	8.27	17.47
351.30	10.85	10.02	19.16	8.31	17.07
361.00	11.41	10.00	19.69	8.28	17.20
370.30	15.14	10.00	23.48	8.34	16.60
380.00	10.86	10.02	19.22	8.36	16.57
389.30	11.15	10.01	19.55	8.40	16.08
399.00	15.03	10.01	23.49	8.46	15.48
408.30	10.93	9.99	19.35	8.42	15.72
418.00	15.22	10.02	23.73	8.51	15.07
427.30	11.17	10.01	19.68	8.51	14.99
437.00	11.41	10.02	19.98	8.57	14.47
446.30	11.06	10.01	19.60	8.54	14.69
456.00	11.15	10.00	19.73	8.58	14.20
465.30	15.15	10.00	23.77	8.62	13.80
475.00	15.1	9.99	23.69	8.59	14.01
484.30	15.18	10.00	23.88	8.70	13.00
494.00	11.24	10.00	19.88	8.64	13.60
503.30	15.18	10.00	23.88	8.70	13.00
513.00	11.25	9.99	19.94	8.69	13.01
522.30	11.44	10.01	20.17	8.73	12.79
532.00	11.34	10.01	20.15	8.81	11.99
541.30	15.29	10.01	24.11	8.82	11.89
551.00	15.07	10.01	23.92	8.85	11.59
560.30	10.86	10.01	19.72	8.86	11.49
570.00	15.21	10.01	24.04	8.83	11.79
579.30	14.96	10.01	23.85	8.89	11.19
589.00	15.23	10.00	24.14	8.91	10.90
598.30	15.23	10.01	24.12	8.89	11.19
608.00	15.11	10.00	24.08	8.97	10.30

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 6 ผลการลดลงของความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม การทดลองที่ 1 กรณีไม่ติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 50 Hz

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
0	15.51	10	22.14	6.63	33.70
0	10.77	9.99	17.46	6.69	33.03
0	10.73	10.00	17.36	6.63	33.70
0.00	12.34	10.00	18.99	6.65	33.48
6.30	15.11	10.01	22.00	6.89	31.17
13.00	11.21	10.00	18.18	6.97	30.30
19.30	11.21	10.01	18.24	7.03	29.77
26.00	15.51	10.00	22.57	7.06	29.40
32.30	10.92	10.02	17.97	7.05	29.64
39.00	14.99	10.00	22.11	7.12	28.80
45.30	15.73	9.98	22.86	7.13	28.56
52.00	15.28	10.00	22.44	7.16	28.40
58.30	15.04	10.00	22.26	7.22	27.80
65.00	11.34	10.00	18.64	7.30	27.00
71.30	15.71	10.01	23.05	7.34	26.67
78.00	11.54	10.01	18.85	7.31	26.97
84.30	11.52	10.00	18.86	7.34	26.60
91.00	11.51	9.99	18.90	7.39	26.03
97.30	15.14	10.02	22.64	7.50	25.15
104.00	14.94	9.98	22.43	7.49	24.95
110.30	11.38	9.98	18.83	7.45	25.35
117.00	15.13	10.01	22.63	7.50	25.07
123.30	11.36	10.02	18.95	7.59	24.25
130.00	15.12	10.01	22.68	7.56	24.48
136.30	11.17	10.01	18.76	7.59	24.18
143.00	15.21	10.01	22.79	7.58	24.28
149.30	11.21	10.02	18.84	7.63	23.85
156.00	15.17	10.02	22.84	7.67	23.45
162.30	11.28	10.01	18.93	7.65	23.58
169.00	10.89	10.02	18.54	7.65	23.65
175.30	11.38	10.02	19.11	7.73	22.85
182.00	15.7	10.01	23.45	7.75	22.58
188.30	15.13	10.00	22.89	7.76	22.40

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
195.00	11.7	10.02	19.47	7.77	22.46
201.30	11.24	9.98	19.05	7.81	21.74
208.00	10.94	10.00	18.75	7.81	21.90
214.30	15.27	9.98	23.15	7.88	21.04
221.00	15.58	10.02	23.44	7.86	21.56
227.30	11.21	10.00	19.02	7.81	21.90
234.00	15.29	9.98	23.21	7.92	20.64
240.30	11.42	10.01	19.31	7.89	21.18
247.00	11.28	10.00	19.18	7.90	21.00
253.30	11.39	10.00	19.37	7.98	20.20
260.00	15.61	10.01	23.60	7.99	20.18
266.30	11.15	9.99	19.17	8.02	19.72
273.00	14.92	10.00	22.97	8.05	19.50
279.30	15.18	9.99	23.24	8.06	19.32
286.00	11.25	9.98	19.29	8.04	19.44
292.30	11.49	10.01	19.58	8.09	19.18
299.00	14.82	10.01	22.97	8.15	18.58
305.30	11.63	10.01	19.74	8.11	18.98
312.00	11.36	10.00	19.49	8.13	18.70
318.30	15.13	9.98	23.26	8.13	18.54
325.00	11.37	10.01	19.55	8.18	18.28
331.30	15.12	10.00	23.37	8.25	17.50
338.00	15.10	9.99	23.34	8.24	17.52
344.30	15.21	9.99	23.42	8.21	17.82
351.00	11.24	10.02	19.53	8.29	17.27
357.30	15.18	10.00	23.47	8.29	17.10
364.00	11.28	10.01	19.55	8.27	17.38
370.30	11.23	10.02	19.51	8.28	17.37
377.00	11.41	9.98	19.78	8.37	16.13
383.30	15.70	10.01	24.09	8.39	16.18
390.00	11.65	10.00	20.02	8.37	16.30
396.30	11.47	10.00	19.94	8.47	15.30
403.00	11.44	9.98	19.93	8.49	14.93
409.30	11.49	10.01	19.96	8.47	15.38
416.00	11.27	10.02	19.82	8.55	14.67

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
422.30	11.55	10.01	20.08	8.53	14.79
429.00	11.74	10.00	20.32	8.58	14.20
435.30	11.51	10.02	20.09	8.58	14.37
442.00	15.44	10.00	24.01	8.57	14.30
448.30	15.63	10.01	24.24	8.61	13.99
455.00	15.51	10.00	24.12	8.61	13.90
461.30	11.53	9.98	20.16	8.63	13.53
468.00	11.27	10.00	19.93	8.66	13.40
474.50	11.63	10.00	20.28	8.65	13.50
481.00	15.29	10.00	23.99	8.70	13.00
487.30	15.59	10.00	24.28	8.69	13.10
494.00	11.23	10.00	19.99	8.76	12.40
500.30	15.28	9.99	24.01	8.73	12.61

ตารางผนวกที่ 7 ผลการลดลงของความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม การทดลองที่ 2 กรณีไม่ติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 50 Hz

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (% wb)
0	11.18	10	17.87	6.69	33.10
0	10.89	10.01	17.55	6.66	33.47
0	14.86	10.00	21.61	6.75	32.50
0.00	12.31	10.00	19.01	6.70	33.02
6.30	11.24	9.99	18.00	6.76	32.33
13.00	11.48	10.01	18.41	6.93	30.77
19.30	14.83	10.00	21.63	6.80	32.00
26.00	15.33	9.99	22.21	6.88	31.13
32.30	11.02	10.01	18.03	7.01	29.97
39.00	15.29	10.01	22.31	7.02	29.87
45.30	11.18	10.02	18.20	7.02	29.94
52.00	11.34	10.00	18.41	7.07	29.30
58.30	15.17	9.99	22.24	7.07	29.23
65.00	11.58	10.01	18.71	7.13	28.77
71.30	15.57	10.01	22.68	7.11	28.97
78.00	15.28	10.01	22.50	7.22	27.87

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
84.30	11.45	10.01	18.63	7.18	28.27
91.00	11.23	10.01	18.46	7.23	27.77
97.30	11.25	10.01	18.50	7.25	27.57
104.00	14.9	10.02	22.21	7.31	27.05
110.30	11.25	10.02	18.59	7.34	26.75
117.00	15.26	10.01	22.56	7.30	27.07
123.30	11.17	10.00	18.52	7.35	26.50
130.00	10.82	9.99	18.23	7.41	25.83
136.30	15.19	9.98	22.59	7.40	25.85
143.00	15.16	10.01	22.60	7.44	25.67
149.30	14.94	9.99	22.39	7.45	25.43
156.00	11.08	10.01	18.50	7.42	25.87
162.30	11.15	10.00	18.70	7.55	24.50
169.00	11.19	10.02	18.76	7.57	24.45
175.30	11.26	10.01	18.85	7.59	24.18
182.00	15.08	9.98	22.65	7.57	24.15
188.30	15.24	10.02	22.90	7.66	23.55
195.00	11.36	10.01	19.01	7.65	23.58
201.30	10.96	10.01	18.58	7.62	23.88
208.00	15	10.00	22.67	7.67	23.30
214.30	14.89	10.02	22.61	7.72	22.95
221.00	11.59	9.98	19.32	7.73	22.55
227.30	11.41	9.98	19.14	7.73	22.55
234.00	15.05	10.02	22.82	7.77	22.46
240.30	10.79	10.00	18.59	7.80	22.00
247.00	11.41	10.01	19.21	7.80	22.08
253.30	15.12	10.01	22.95	7.83	21.78
260.00	10.87	10.01	18.70	7.83	21.78
266.30	11.14	10.01	19.02	7.88	21.28
273.00	15.04	9.99	22.93	7.89	21.02
279.30	10.93	9.99	18.85	7.92	20.72
286.00	15.23	10.00	23.14	7.91	20.90
292.30	11.17	10.02	19.13	7.96	20.56
299.00	11.41	10.00	19.34	7.93	20.70
305.30	11.05	9.99	19.05	8.00	19.92

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
312.00	11.14	10.00	19.10	7.96	20.40
318.30	15.13	10.02	23.21	8.08	19.36
325.00	11.34	10.02	19.37	8.03	19.86
331.30	10.84	10.01	18.89	8.05	19.58
338.00	15.02	10.01	23.12	8.10	19.08
344.30	15.23	9.99	23.31	8.08	19.12
351.00	11.24	10.01	19.35	8.11	18.98
357.30	11.43	10.01	19.57	8.14	18.68
364.00	11.33	9.99	19.51	8.18	18.12
370.30	15.29	10.01	23.47	8.18	18.28
377.00	11.59	9.99	19.78	8.19	18.02
383.30	11.49	9.98	19.73	8.24	17.43
390.00	11.55	9.99	19.82	8.27	17.22
396.30	11.45	10.00	19.73	8.28	17.20
403.00	11.12	10.01	19.42	8.30	17.08
409.30	11.14	10.02	19.47	8.33	16.87
416.00	11.48	10.01	19.80	8.32	16.88
422.30	11.33	10.01	19.66	8.33	16.78
429.00	11.38	9.99	19.74	8.36	16.32
435.30	11.25	10.02	19.63	8.38	16.37
442.00	11.53	10.01	19.88	8.35	16.58
448.30	11.47	10.01	19.90	8.43	15.78
455.00	11.35	10.01	19.78	8.43	15.78
461.30	11.46	10.02	19.90	8.44	15.77
468.00	11.56	10.01	20.06	8.50	15.08
474.50	11.41	10.00	19.89	8.48	15.20
481.00	11.35	10.00	19.84	8.49	15.10
487.30	11.38	10.01	19.90	8.52	14.89
494.00	11.49	10.01	19.94	8.45	15.58
500.30	11.44	9.98	19.92	8.48	15.03
507.00	15.63	10.01	24.14	8.51	14.99
513.30	15.49	10.01	24.02	8.53	14.79
520.00	11.53	10.01	20.05	8.52	14.89
526.30	11.25	10.01	19.76	8.51	14.99
533.00	11.6	9.98	20.19	8.59	13.93

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
539.30	15.08	10.02	23.67	8.59	14.27
546.00	11.2	10.02	19.82	8.62	13.97
552.30	11.23	10.00	19.82	8.59	14.10
559.00	15.28	10.00	23.89	8.61	13.90
565.30	11.43	10.01	20.01	8.58	14.29
572.00	11.27	10.02	19.96	8.69	13.27
578.30	11.38	10.00	20.03	8.65	13.50
585.00	15.61	9.98	24.30	8.69	12.93
591.30	10.77	10.00	19.46	8.69	13.10
598.00	11.1	10.01	19.78	8.68	13.29
604.50	15.03	10.00	23.73	8.70	13.00

ตารางผนวกที่ 8 ผลการลดลงของความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม การทดลองที่ 3 กรณีไม่ติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 50 Hz

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (% wb)
0	11.51	9.99	18.17	6.66	33.33
0	14.91	10.00	21.51	6.60	34.00
0	15.18	10.02	21.79	6.61	34.03
0.00	13.87	10.00	20.49	6.62	33.79
6.30	15.25	9.98	22.30	7.05	29.36
13.00	11.49	9.99	18.51	7.02	29.73
19.30	14.83	10.01	21.97	7.14	28.67
26.00	11.62	10.00	18.78	7.16	28.40
32.30	11.03	10.00	18.27	7.24	27.60
39.00	15.12	10.01	22.38	7.26	27.47
45.30	11.69	10.01	19.00	7.31	26.97
52.00	10.92	10.00	18.29	7.37	26.30
58.30	15.16	10.02	22.56	7.40	26.15
65.00	15.42	10.00	22.90	7.48	25.20
71.30	15.44	10.01	22.94	7.50	25.07
78.00	15.28	9.98	22.84	7.56	24.25
84.30	10.94	10.01	18.52	7.58	24.28
91.00	15.01	10.02	22.67	7.66	23.55

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (% wb)
97.30	11.39	10.00	19.01	7.62	23.80
104.00	10.77	10.00	18.45	7.68	23.20
110.30	11.26	10.00	18.94	7.68	23.20
117.00	15.05	10.00	22.74	7.69	23.10
123.30	15.30	10.02	23.06	7.76	22.55
130.00	15.41	10.00	23.22	7.81	21.90
136.30	10.72	9.99	18.56	7.84	21.52
143.00	11.29	10.01	19.18	7.89	21.18
149.30	11.26	10.01	19.16	7.90	21.08
156.00	11.47	10.00	19.41	7.94	20.60
162.30	11.54	10.01	19.53	7.99	20.18
169.00	15.10	10.01	23.11	8.01	19.98
175.30	10.92	10.01	18.98	8.06	19.48
182.00	11.30	10.00	19.32	8.02	19.80
188.30	10.71	10.02	18.82	8.11	19.06
195.00	11.19	10.01	19.33	8.14	18.68
201.30	15.72	10.00	23.84	8.12	18.80
208.00	11.50	10.02	19.66	8.16	18.56
214.30	10.92	10.00	19.14	8.22	17.80
221.00	11.32	10.00	19.53	8.21	17.90
227.30	11.58	9.98	19.81	8.23	17.54
234.00	15.17	9.98	23.41	8.24	17.43
240.30	10.85	10.00	19.11	8.26	17.40
247.00	11.41	9.98	19.71	8.30	16.83
253.30	15.14	10.02	23.48	8.34	16.77
260.00	10.86	10.00	19.21	8.35	16.50
266.30	11.15	10.00	19.51	8.36	16.40
273.00	15.103	9.98	23.46	8.36	16.26
279.30	10.93	10.01	19.39	8.46	15.48
286.00	15.21	10.01	23.68	8.47	15.38
292.30	11.16	10.00	19.63	8.47	15.30
299.00	11.40	9.99	19.93	8.53	14.61
305.30	11.06	10.00	19.58	8.52	14.80
312.00	11.15	10.00	19.72	8.57	14.30
318.30	15.14	10.00	23.73	8.59	14.10

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
325.00	15.10	10.02	23.77	8.67	13.47
331.30	15.19	10.00	23.86	8.67	13.30
338.00	11.21	10.00	19.91	8.70	13.00
344.30	15.18	10.01	23.87	8.69	13.19
351.00	11.25	9.98	19.96	8.71	12.73
357.30	11.43	10.02	20.16	8.73	12.87
364.00	11.33	10.00	20.09	8.76	12.40
370.30	15.29	9.99	24.07	8.78	12.11
377.00	15.07	10.02	23.89	8.82	11.98
383.30	10.86	9.99	19.72	8.86	11.31
390.00	15.19	9.99	24.04	8.85	11.41
396.30	14.96	9.98	23.81	8.85	11.32
403.00	15.23	9.99	24.14	8.91	10.81
409.30	15.23	10.00	24.13	8.90	11.00
416.00	15.11	10.01	24.07	8.96	10.49
422.30	11.27	10.01	20.28	9.01	9.99
429.00	14.93	10.01	23.92	8.99	10.19
435.30	11.22	10.02	20.24	9.02	9.98
442.00	11.52	10.01	20.55	9.03	9.79
448.30	11.45	10.01	20.49	9.04	9.69
455.00	11.37	10.01	20.38	9.01	9.99
461.30	11.46	10.01	20.48	9.02	9.89
468.00	11.56	10.00	20.62	9.06	9.40
474.50	11.40	10.01	20.48	9.08	9.29
481.00	11.34	10.02	20.43	9.09	9.28
487.30	11.39	10.02	20.47	9.08	9.38
494.00	11.48	10.01	20.58	9.10	9.09
500.30	11.43	10.02	20.58	9.15	8.68
507.00	11.54	9.99	20.64	9.10	8.91
513.30	15.62	10.01	24.71	9.09	9.19
520.00	11.51	9.98	20.61	9.10	8.82
526.30	11.39	10.00	20.49	9.10	9.00
533.00	11.58	10.00	20.73	9.15	8.50
539.30	11.21	10.01	20.33	9.12	8.89
546.00	11.41	10.02	20.60	9.19	8.28

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
552.30	11.54	10.01	20.68	9.14	8.69
559.00	15.72	9.99	24.86	9.14	8.51
565.30	11.35	10.01	20.54	9.19	8.19
572.00	11.18	9.99	20.35	9.17	8.21
578.30	11.45	9.98	20.65	9.20	7.82
585.00	11.29	9.99	20.46	9.17	8.21
591.30	11.09	10.02	20.31	9.22	7.98
598.00	15.49	10.01	24.69	9.20	8.09
604.50	15.65	10.01	24.86	9.21	7.99

ตารางผนวกที่ 9 ผลการลดลงของความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม การทดลองที่ 1 กรณีไม่ติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 55 Hz

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (% wb)
0	15.04	10.00	21.84	6.80	32.00
0	10.78	10.00	17.55	6.77	32.30
0	11.44	10.00	18.22	6.78	32.20
0.00	12.42	10.00	19.20	6.78	32.17
4.30	15.12	10.00	21.99	6.87	31.30
9.00	10.88	10.02	17.77	6.89	31.24
13.30	11.15	10.03	18.08	6.93	30.91
18.00	15.07	10.03	22.01	6.94	30.81
22.30	10.95	9.99	17.92	6.97	30.23
27.00	15.25	10.00	22.22	6.97	30.30
31.30	11.16	10.02	18.25	7.09	29.24
36.00	11.42	10.00	18.51	7.09	29.10
40.30	11.08	9.99	18.14	7.06	29.33
45.00	11.16	10.01	18.29	7.13	28.77
49.30	15.17	10.00	22.31	7.14	28.60
54.00	11.34	10.01	18.51	7.17	28.37
58.30	10.85	10.00	18.09	7.24	27.60
63.00	15.03	10.00	22.29	7.26	27.40
67.30	15.24	10.01	22.55	7.31	26.97
72.00	11.26	10.01	18.56	7.30	27.07

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
76.30	11.42	10.01	18.77	7.35	26.57
81.00	11.33	10.03	18.67	7.34	26.82
85.30	15.32	10.01	22.69	7.37	26.37
90.00	15.07	10.01	22.45	7.38	26.27
94.50	10.86	10.00	18.26	7.40	26.00
99.00	15.19	10.02	22.65	7.46	25.55
103.50	14.98	10.02	22.40	7.42	25.95
108.00	15.23	10.01	22.72	7.49	25.17
112.30	15.22	10.00	22.75	7.53	24.70
117.00	15.12	10.00	22.63	7.51	24.90
121.30	11.28	10.02	18.78	7.50	25.15
126.00	14.95	10.02	22.50	7.55	24.65
130.00	15.18	10.03	22.79	7.61	24.13
135.00	11.07	10.03	18.67	7.60	24.23
139.30	15.32	10.01	22.93	7.61	23.98
144.00	11.14	10.00	18.75	7.61	23.90
148.30	15.17	10.02	22.82	7.65	23.65
153.00	11.33	10.02	18.99	7.66	23.55
157.30	11.00	10.00	18.65	7.65	23.50
162.00	11.10	10.03	18.84	7.74	22.83
166.30	10.73	10.00	18.45	7.72	22.80
171.00	11.21	10.03	18.93	7.72	23.03
175.30	11.21	9.99	18.87	7.66	23.32
180.00	11.43	10.00	19.12	7.69	23.10
184.30	11.61	10.03	19.31	7.70	23.23
189.00	11.45	10.02	19.2	7.75	22.65
193.30	11.28	10.00	19.03	7.75	22.50
198.00	15.22	10.02	23	7.78	22.36
202.30	15.72	9.99	23.49	7.77	22.22
207.00	11.73	10.02	19.52	7.79	22.26
211.30	11.39	10.00	19.19	7.80	22.00
216.00	11.13	9.99	18.93	7.80	21.92
220.30	10.82	10.03	18.7	7.88	21.44
225.00	11.54	10.01	19.42	7.88	21.28
229.30	10.86	10.01	18.79	7.93	20.78

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
234.00	14.88	9.98	22.77	7.89	20.94
238.30	15.27	10.03	23.19	7.92	21.04
243.00	10.95	10.00	18.88	7.93	20.70
247.30	15.31	9.99	23.24	7.93	20.62
252.00	11.07	9.98	19.05	7.98	20.04
256.30	11.38	10.00	19.37	7.99	20.10
261.00	14.93	10.02	22.96	8.03	19.86
265.30	15.14	10.01	23.21	8.07	19.38
270.00	10.95	10.02	18.96	8.01	20.06
274.30	15.17	10.00	23.18	8.01	19.90
279.00	11.61	10.01	19.66	8.05	19.58
283.30	15.45	10.03	23.48	8.03	19.94
288.00	15.11	10	23.23	8.12	18.80
292.30	11.56	10.02	19.66	8.10	19.16
297.00	15.29	9.99	23.4	8.11	18.82
301.30	11.38	10.01	19.51	8.13	18.78
306.00	15.31	10.00	23.42	8.11	18.90
310.30	11.40	10.02	19.62	8.22	17.96
315.00	11.17	10.01	19.36	8.19	18.18
319.30	11.25	10.02	19.45	8.20	18.16
324.00	11.60	10.01	19.79	8.19	18.18
328.30	11.04	9.99	19.30	8.26	17.32
333.00	10.82	10.00	19.04	8.22	17.80
337.30	15.20	10.00	23.45	8.25	17.50
342.00	15.17	10.01	23.49	8.32	16.88
346.30	11.38	10.01	19.74	8.36	16.48
351.00	11.08	9.99	19.47	8.39	16.02
355.30	11.19	9.99	19.51	8.32	16.72
360.00	11.19	10.02	19.55	8.36	16.57
364.30	11.27	9.98	19.63	8.36	16.23
369.00	15.07	10.00	23.54	8.47	15.30
373.30	15.26	10.02	23.73	8.47	15.47
378.00	11.36	10.01	19.82	8.46	15.48
382.30	10.94	10.01	19.39	8.45	15.58
387.00	15.01	10.01	23.46	8.45	15.58

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
391.30	14.90	10.01	23.42	8.52	14.89
396.00	11.61	10.01	20.08	8.47	15.38
400.30	11.45	10.01	19.96	8.51	14.99
405.00	15.05	10.02	23.56	8.51	15.07
409.50	10.81	10.00	19.36	8.55	14.50
414.00	11.43	10.02	20.02	8.59	14.27
418.30	15.15	10.01	23.71	8.56	14.49
423.00	10.89	10.02	19.51	8.62	13.97
427.30	11.17	10.01	19.85	8.68	13.29
432.00	15.04	10.02	23.72	8.68	13.37
436.30	10.93	10.00	19.61	8.68	13.20
441.00	15.24	10.01	23.93	8.69	13.19
445.30	11.18	10.01	19.92	8.74	12.69
450.00	11.43	10.01	20.15	8.72	12.89
454.30	11.06	10.00	19.80	8.74	12.60
459.00	11.16	10.00	19.92	8.76	12.40
463.30	15.16	10.01	23.91	8.75	12.59
468.00	11.34	10.00	20.12	8.78	12.20
472.30	10.79	10.00	19.63	8.84	11.60
477.00	15.01	10.01	23.85	8.84	11.69
481.30	15.22	9.99	24.06	8.84	11.51
486.00	11.24	10.01	20.12	8.88	11.29
490.30	11.42	10.01	20.29	8.87	11.39
495.00	11.31	9.99	20.22	8.91	10.81
499.30	15.30	10.02	24.20	8.90	11.18
504.00	15.08	10.01	24.00	8.92	10.89
508.30	10.84	10.01	19.75	8.91	10.99
513.00	15.22	10.00	24.09	8.87	11.30
517.30	14.98	9.98	23.88	8.90	10.82
522.00	15.23	10.02	24.19	8.96	10.58
526.30	15.22	10.02	24.20	8.98	10.38
531.00	15.13	9.99	24.07	8.94	10.51

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 10 ผลการลดลงของความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม การทดลองที่ 2 กรณีไม่ติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 55 Hz

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
0	15.03	10.01	21.69	6.66	33.47
0	15.33	10.02	21.94	6.61	34.03
0	15.39	10.00	22.07	6.68	33.20
0.00	15.25	10.01	21.90	6.65	33.57
4.30	10.74	10.01	17.59	6.85	31.57
9.00	11.31	10.02	18.21	6.90	31.14
13.30	11.27	10.02	18.25	6.98	30.34
18.00	11.48	10.02	18.49	7.01	30.04
22.30	11.56	10.03	18.62	7.06	29.61
27.00	15.14	9.98	22.20	7.06	29.26
31.30	10.91	9.98	17.98	7.07	29.16
36.00	11.34	9.97	18.39	7.05	29.29
40.30	11.21	9.99	18.33	7.12	28.73
45.00	11.21	10.02	18.34	7.13	28.84
49.30	15.19	9.98	22.37	7.18	28.06
54.00	11.49	9.97	18.75	7.26	27.18
58.30	10.94	10.01	18.23	7.29	27.17
63.00	11.32	10.01	18.62	7.30	27.07
67.30	11.59	9.99	18.86	7.27	27.23
72.00	15.3	10.03	22.64	7.34	26.82
76.30	10.87	10.03	18.26	7.39	26.32
81.00	10.92	10.00	18.28	7.36	26.40
85.30	11.45	10.00	18.82	7.37	26.30
90.00	11.26	9.98	18.6	7.34	26.45
94.50	11.14	10.02	18.55	7.41	26.05
99.00	11.29	10.01	18.7	7.41	25.97
103.50	15.07	9.99	22.53	7.46	25.33
108.00	15.5	10.00	23.02	7.52	24.80
112.30	11.18	10.01	18.71	7.53	24.78
117.00	15.26	9.97	22.81	7.55	24.27
121.30	15.23	10.02	22.83	7.60	24.15
126.00	15.11	10.01	22.71	7.60	24.08
130.00	11.09	9.98	18.67	7.58	24.05

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
135.00	15.07	10.03	22.7	7.63	23.93
139.30	15.24	10.02	22.87	7.63	23.85
144.00	11.33	10.02	18.97	7.64	23.75
148.30	11.50	10.01	19.05	7.55	24.58
153.00	11.41	10.03	19.11	7.70	23.23
157.30	11.23	10.01	18.89	7.66	23.48
162.00	15.19	10.02	22.92	7.73	22.85
166.30	14.98	10.02	22.71	7.73	22.85
171.00	11.58	10.02	19.34	7.76	22.55
175.30	11.50	10.00	19.27	7.77	22.30
180.00	11.57	10.01	19.35	7.78	22.28
184.30	11.45	10.01	19.26	7.81	21.98
189.00	11.12	10.01	18.93	7.81	21.98
193.30	11.14	10.02	18.97	7.83	21.86
198.00	11.47	10.02	19.35	7.88	21.36
202.30	11.34	10.00	19.23	7.89	21.10
207.00	11.37	10.00	19.3	7.93	20.70
211.30	11.23	9.98	19.09	7.86	21.24
216.00	11.53	10.03	19.47	7.94	20.84
220.30	11.49	10.02	19.47	7.98	20.36
225.00	11.34	10.00	19.31	7.97	20.30
229.30	11.45	10.00	19.41	7.96	20.40
234.00	11.49	9.97	19.47	7.98	19.96
238.30	11.40	10.03	19.43	8.03	19.94
243.00	11.33	10.02	19.29	7.96	20.56
247.30	11.68	10.03	19.78	8.10	19.24
252.00	11.49	10.02	19.52	8.03	19.86
256.30	11.44	10.01	19.49	8.05	19.58
261.00	15.47	10.01	23.58	8.11	18.98
265.30	15.50	9.99	23.59	8.09	19.02
270.00	11.56	10.01	19.69	8.13	18.78
274.30	11.20	10.02	19.34	8.14	18.76
279.00	11.60	9.98	19.72	8.12	18.64
283.30	11.26	10.00	19.45	8.19	18.10
288.00	11.25	9.98	19.43	8.18	18.04

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
292.30	11.18	10.01	19.44	8.26	17.48
297.00	11.57	10.02	19.84	8.27	17.47
301.30	15.51	9.98	23.76	8.25	17.33
306.00	10.73	9.99	18.30	7.57	24.22
310.30	11.28	10.00	18.96	7.68	23.20
315.00	11.26	10.00	18.91	7.65	23.50
319.30	11.48	10.01	19.22	7.74	22.68
324.00	11.53	9.98	19.29	7.76	22.24
328.30	15.10	9.98	22.85	7.75	22.34
333.00	10.93	10.00	18.75	7.82	21.80
337.30	11.31	9.98	19.21	7.90	20.84
342.00	10.74	10.02	18.60	7.86	21.56
346.30	11.18	10.01	19.15	7.97	20.38
351.00	15.71	10.01	23.69	7.98	20.28
355.30	11.50	10.02	19.43	7.93	20.86
360.00	10.93	10.02	18.97	8.04	19.76
364.30	11.31	10.01	19.40	8.09	19.18
369.00	11.62	10.00	19.51	7.89	21.10
373.30	15.31	10.00	23.41	8.10	19.00
378.00	10.82	10.00	18.92	8.10	19.00
382.30	15.03	10.00	23.09	8.06	19.40
387.00	11.36	10.00	19.49	8.13	18.70
391.30	11.24	10.01	19.39	8.15	18.58
396.00	11.58	10.02	19.69	8.11	19.06
400.30	11.55	10.00	19.71	8.16	18.40
405.00	11.51	10.00	19.68	8.17	18.30
409.50	15.17	9.99	23.37	8.20	17.92
414.00	14.95	10.00	23.17	8.22	17.80
418.30	15.25	10.01	23.49	8.24	17.68
423.00	15.21	9.98	23.52	8.31	16.73
427.30	15.13	10.02	23.43	8.30	17.17
432.00	11.09	10.01	19.42	8.33	16.78
436.30	11.18	9.98	19.53	8.35	16.33
441.00	15.24	10.01	23.64	8.40	16.08
445.30	11.33	10.01	19.71	8.38	16.28

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
450.00	11.46	10.02	19.88	8.42	15.97
454.30	11.42	9.99	19.83	8.41	15.82
459.00	10.88	10.02	19.35	8.47	15.47
463.30	15.22	10.00	23.71	8.49	15.10
468.00	14.96	10.00	23.40	8.44	15.60
472.30	11.60	10.01	20.04	8.44	15.68
477.00	11.51	9.99	19.98	8.47	15.22
481.30	11.55	10.00	20.11	8.56	14.40
486.00	11.46	10.00	20.02	8.56	14.40
490.30	11.13	10.02	19.74	8.61	14.07
495.00	11.15	9.99	19.75	8.60	13.91
499.30	11.48	10.00	20.10	8.62	13.80
504.00	11.32	10.02	19.95	8.63	13.87
508.30	11.36	10.02	20.01	8.65	13.67
513.00	11.24	10.01	19.87	8.63	13.79
517.30	11.53	10.00	20.18	8.65	13.50
522.00	11.45	10.01	20.15	8.70	13.09
526.30	11.38	9.98	20.04	8.66	13.23
531.00	11.48	10.00	20.14	8.66	13.40
535.30	11.57	9.99	20.28	8.71	12.81
540.00	11.39	9.98	20.16	8.77	12.12
544.30	11.37	10.00	20.08	8.71	12.90
549.00	11.40	10.02	20.19	8.79	12.28
553.30	11.47	10.00	20.27	8.80	12.00
558.00	11.45	10.00	20.24	8.79	12.10
562.30	15.49	10.00	24.31	8.82	11.80
567.00	15.12	9.98	23.96	8.84	11.42
571.30	11.71	10.00	20.53	8.82	11.80
576.00	11.18	10.01	20.01	8.83	11.79
580.30	10.95	10.00	18.16	7.21	27.90
585.00	11.29	10.00	20.20	8.91	10.90
589.50	11.24	10.00	20.15	8.91	10.90
594.00	11.20	9.99	20.11	8.91	10.81
598.50	11.57	10.00	20.50	8.93	10.70
603.00	15.49	10.01	24.45	8.96	10.49

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 11 ผลการลดลงของความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม การทดลองที่ 3 กรณีไม่ติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 55 Hz

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
0	15.04	10.00	21.78	6.74	32.60
0	11.53	10.00	18.19	6.66	33.40
0	11.17	10.00	17.90	6.73	32.70
0.00	12.58	10.00	19.29	6.71	32.90
4.30	11.28	9.99	18.09	6.81	31.83
9.00	15.32	10.02	22.22	6.90	31.14
13.30	15.05	10.01	22.05	7.00	30.07
18.00	15.4	10.01	22.41	7.01	29.97
22.30	10.74	10.00	17.67	6.93	30.70
27.00	11.32	9.98	18.35	7.03	29.56
31.30	11.26	10.02	18.27	7.01	30.04
36.00	11.47	10.02	18.58	7.11	29.04
40.30	11.55	10.01	18.57	7.02	29.87
45.00	15.1	9.98	22.24	7.14	28.46
49.30	10.94	10.00	18.08	7.14	28.60
54.00	11.31	9.98	18.45	7.14	28.46
58.30	10.72	10.01	17.92	7.20	28.07
63.00	11.2	10.00	18.43	7.23	27.70
67.30	15.73	10.02	23.01	7.28	27.35
72.00	11.49	10.00	18.81	7.32	26.80
76.30	10.92	10.00	18.22	7.30	27.00
81.00	11.33	10.00	18.69	7.36	26.40
85.30	11.59	9.98	18.93	7.34	26.45
90.00	15.17	10.00	22.55	7.38	26.20
94.50	10.85	10.00	18.25	7.40	26.00
99.00	15.01	10.02	22.45	7.44	25.75
103.50	11.34	10.00	18.77	7.43	25.70
108.00	11.24	10.00	18.70	7.46	25.40
112.30	11.53	10.01	18.98	7.45	25.57
117.00	11.51	10.02	19.00	7.49	25.25
121.30	11.49	10.00	18.98	7.49	25.10
126.00	15.17	10.01	22.65	7.48	25.27
130.00	14.92	9.98	22.47	7.55	24.35

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
135.00	15.23	10.01	22.78	7.55	24.58
139.30	15.23	10.01	22.81	7.58	24.28
144.00	15.11	10.00	22.63	7.52	24.80
148.30	11.09	10.01	18.7	7.61	23.98
153.00	11.18	10.00	18.79	7.61	23.90
157.30	15.22	10.00	22.85	7.63	23.70
162.00	11.31	10.00	18.95	7.64	23.60
166.30	11.42	10.01	19.11	7.69	23.18
171.00	11.39	10.01	19.06	7.67	23.38
175.30	10.87	10.02	18.63	7.76	22.55
180.00	15.20	10.02	22.87	7.67	23.45
184.30	14.96	9.99	22.6	7.64	23.52
189.00	11.58	10.02	19.31	7.73	22.85
193.30	11.49	10.00	19.26	7.77	22.30
198.00	11.55	10.01	19.22	7.67	23.38
202.30	11.46	10.01	19.24	7.78	22.28
207.00	11.13	9.98	18.85	7.72	22.65
211.30	11.14	9.99	18.85	7.71	22.82
216.00	11.47	10.00	19.24	7.77	22.30
220.30	11.33	10.00	19.12	7.79	22.10
225.00	11.37	10.02	19.21	7.84	21.76
229.30	11.22	10.01	19.1	7.88	21.28
234.00	11.53	10.00	19.40	7.87	21.30
238.30	11.47	10.00	19.37	7.90	21.00
243.00	11.36	10.01	19.31	7.95	20.58
247.30	11.47	10.01	19.37	7.90	21.08
252.00	11.56	10.00	19.51	7.95	20.50
256.30	11.40	10.00	19.39	7.99	20.10
261.00	11.33	9.98	19.30	7.97	20.14
265.30	11.36	10.01	19.37	8.01	19.98
270.00	11.48	10	19.52	8.04	19.60
274.30	11.44	10.01	19.49	8.05	19.58
279.00	15.43	10.00	23.51	8.08	19.20
283.30	15.62	10.01	23.71	8.09	19.18
288.00	15.50	10.02	23.64	8.14	18.76

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
292.30	11.55	10.02	19.68	8.13	18.86
297.00	11.26	9.99	19.38	8.12	18.72
301.30	11.61	10.00	19.75	8.14	18.60
306.00	15.28	10.01	23.50	8.22	17.88
310.30	15.27	10.02	23.85	8.58	14.37
315.00	11.21	9.98	19.52	8.31	16.73
319.30	15.27	10.01	23.49	8.22	17.88
324.00	11.40	10.01	19.71	8.31	16.98
328.30	11.28	9.98	19.56	8.28	17.03
333.00	11.38	10.00	19.71	8.33	16.70
337.30	15.62	10.00	23.97	8.35	16.50
342.00	11.20	10.02	19.54	8.34	16.77
346.30	10.89	9.98	19.28	8.39	15.93
351.00	14.86	10.00	23.23	8.37	16.30
355.30	11.22	10.02	19.64	8.42	15.97
360.00	11.48	10.01	19.91	8.43	15.78
364.30	14.84	9.99	23.22	8.38	16.12
369.00	15.51	10.00	23.95	8.44	15.60
373.30	10.75	9.98	19.14	8.39	15.93
378.00	11.17	10.00	19.64	8.47	15.30
382.30	15.08	10.02	23.63	8.55	14.67
387.00	11.17	9.98	19.70	8.53	14.53
391.30	11.22	10.00	19.74	8.52	14.80
396.00	15.48	10.01	24.07	8.59	14.19
400.30	10.90	10.00	19.43	8.53	14.70
405.00	14.98	10.00	23.58	8.60	14.00
409.50	15.33	10.01	23.94	8.61	13.99
414.00	11.06	10.01	19.65	8.59	14.19
418.30	10.91	9.98	19.57	8.66	13.23
423.00	11.49	10.00	20.12	8.63	13.70
427.30	15.70	10.01	24.35	8.65	13.59
432.00	11.12	9.98	19.78	8.66	13.23
436.30	11.27	10.00	19.99	8.72	12.80
441.00	15.05	10.01	23.74	8.69	13.19
445.30	15.52	10.01	24.24	8.72	12.89

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
450.00	11.19	9.99	19.97	8.78	12.11
454.30	11.39	9.98	20.18	8.79	11.92
459.00	11.62	10.01	20.42	8.80	12.09
463.30	15.28	10.01	24.07	8.79	12.19
468.00	11.47	10.02	20.29	8.82	11.98
472.30	11.42	10.00	20.25	8.83	11.70
477.00	11.49	10.01	20.30	8.81	11.99
481.30	11.73	10.00	20.58	8.85	11.50
486.00	11.51	10.01	20.38	8.87	11.39
490.30	15.49	10.01	24.35	8.86	11.49
495.00	15.12	10.00	23.98	8.86	11.40
499.30	11.69	9.98	20.58	8.89	10.92
504.00	11.16	10.00	20.07	8.91	10.90
508.30	10.94	10.01	19.83	8.89	11.19
513.00	11.27	10.02	20.22	8.95	10.68
517.30	11.22	9.98	20.12	8.90	10.82
522.00	11.21	10.01	20.13	8.92	10.89
526.30	11.58	10.01	20.57	8.99	10.19
531.00	15.48	10.02	24.46	8.98	10.38
535.30	11.43	9.99	20.40	8.97	10.21
540.00	11.50	10.00	20.49	8.99	10.10
544.30	11.11	10.00	20.11	9.00	10.00
549.00	15.11	10.00	24.10	8.99	10.10
553.30	11.34	10.02	20.39	9.05	9.68
558.00	15.11	10.02	24.17	9.06	9.58
562.30	15.10	10.01	24.15	9.05	9.59
567.00	15.18	10.00	24.22	9.04	9.60
571.30	11.22	10.01	20.31	9.09	9.19
576.00	15.17	10.00	24.25	9.08	9.20
580.30	11.28	10.00	20.34	9.06	9.40
585.00	11.21	10.02	20.32	9.11	9.08
589.50	11.42	10.02	20.53	9.11	9.08
594.00	15.71	10.02	24.80	9.09	9.28
598.50	11.67	10.01	20.81	9.14	8.69
603.00	15.22	10.00	24.34	9.12	8.80

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 12 ผลการลดลงของความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม การทดลองที่ 1 กรณีติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 45 Hz

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
0	11.40	9.99	18.23	6.83	31.63
0	14.96	9.99	21.79	6.83	31.63
0	15.07	10.02	21.88	6.81	32.04
0.00	13.81	10.00	20.63	6.82	31.77
9.30	10.75	10.02	18.05	7.30	27.15
19.00	15.13	10.02	22.12	6.99	30.24
28.30	15.30	9.98	22.33	7.03	29.56
38.00	15.24	9.99	22.31	7.07	29.23
47.30	11.37	10.01	18.53	7.16	28.47
57.00	14.93	10.02	22.12	7.19	28.24
66.30	10.76	9.98	18.03	7.27	27.15
76.00	10.91	10.01	18.16	7.25	27.57
65.30	15.04	10.02	22.36	7.32	26.95
95.00	11.28	10.02	18.64	7.36	26.55
104.30	15.45	9.99	22.80	7.35	26.43
114.00	15.12	10.01	22.59	7.47	25.37
123.30	15.32	10.00	22.80	7.48	25.20
133.30	15.29	10.00	22.83	7.54	24.60
142.30	11.40	10.02	18.95	7.55	24.65
152.00	15.28	9.99	22.88	7.60	23.92
161.30	11.21	10.01	18.83	7.62	23.88
171.00	15.25	10.01	22.94	7.69	23.18
180.30	11.18	10.00	18.89	7.71	22.90
190.00	10.82	10.00	18.55	7.73	22.70
199.30	15.19	10.01	23.00	7.81	21.98
209.00	15.14	9.99	22.91	7.77	22.22
218.30	14.95	10.00	22.82	7.87	21.30
228.00	11.08	10.01	18.95	7.87	21.38
237.30	11.17	10.00	19.03	7.86	21.40
247.00	11.16	10.02	19.09	7.93	20.86
256.30	11.27	10.00	19.21	7.94	20.60
266.00	15.08	10.00	23.05	7.97	20.30
275.30	15.24	10.00	23.24	8.00	20.00

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
285.00	11.35	9.99	19.37	8.02	19.72
294.30	10.96	10.00	1.00	-9.96	199.60
304.00	14.91	10.01	23.09	8.18	18.28
313.30	14.88	10.00	23.00	8.12	18.80
323.00	11.6	10.00	19.66	8.06	19.40
332.30	11.42	10.01	19.63	8.21	17.98
342.00	15.04	10.00	23.13	8.09	19.10
351.30	10.77	10.00	19.00	8.23	17.70
361.00	11.41	10.02	19.61	8.20	18.16
370.30	15.14	10.00	23.36	8.22	17.80
380.00	10.86	10.00	19.11	8.25	17.50
389.30	11.16	10.01	19.39	8.23	17.78
399.00	15.06	9.98	23.35	8.29	16.93
408.30	10.93	10.02	19.29	8.36	16.57
418.00	15.23	10.02	23.60	8.37	16.47
427.30	11.16	10.01	19.61	8.45	15.58
437.00	11.42	10.00	19.83	8.41	15.90
446.30	11.06	10.01	19.54	8.48	15.28
456.00	11.15	10.01	19.60	8.45	15.58
465.30	15.14	9.98	23.63	8.49	14.93
475.00	11.34	10.02	19.86	8.52	14.97
484.30	10.84	10.00	19.34	8.50	15.00
494.00	15.02	9.99	23.54	8.52	14.71
503.30	15.22	10.02	23.81	8.59	14.27
513.00	11.24	10.02	19.88	8.64	13.77
522.30	11.42	10.01	20.06	8.64	13.69
532.00	11.33	10.01	19.97	8.64	13.69
541.30	15.28	10.01	23.99	8.71	12.99
551.00	15.07	9.99	23.84	8.77	12.21
560.30	10.86	10.00	19.52	8.66	13.40
570.00	15.18	10.01	23.92	8.74	12.69
579.30	14.95	10.02	23.68	8.73	12.87
589.00	15.23	10.01	23.97	8.74	12.69
598.30	15.25	10.01	24.03	8.78	12.29
608.00	15.12	9.99	23.92	8.80	11.91

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 13 ผลการลดลงของความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม การทดลองที่ 2 กรณีติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 45 Hz

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
0	11.25	10.01	17.83	6.58	34.27
0	15.05	10.00	21.74	6.69	33.10
0	15.31	10.02	21.94	6.63	33.83
0	13.87	10.01	20.50	6.63	33.73
9.30	15.40	10.00	22.25	6.85	31.50
19.00	10.72	10.00	17.59	6.87	31.30
28.30	11.30	10.00	18.27	6.97	30.30
38.00	11.25	10.00	18.24	6.99	30.10
47.30	11.46	10.01	18.53	7.07	29.37
57.00	11.53	10.00	18.68	7.15	28.50
66.30	15.09	10.01	22.25	7.16	28.47
76.00	10.92	10.00	18.17	7.25	27.50
65.30	11.30	10.01	18.56	7.26	27.47
95.00	10.71	10.02	18.06	7.35	26.65
104.30	11.20	9.98	18.47	7.27	27.15
114.00	15.48	9.98	23.06	7.58	24.05
123.30	11.48	9.98	18.84	7.36	26.25
133.30	10.92	9.99	18.27	7.35	26.43
142.30	11.30	10.01	18.77	7.47	25.37
152.00	11.58	10.02	19.09	7.51	25.05
161.30	15.17	10.02	22.71	7.54	24.75
171.00	15.00	9.98	22.57	7.57	24.15
180.30	11.34	10.01	18.98	7.64	23.68
190.00	11.25	9.99	18.87	7.62	23.72
199.30	11.54	10.02	19.23	7.69	23.25
209.00	11.52	10.00	19.16	7.64	23.60
218.30	11.48	9.99	19.18	7.70	22.92
228.00	15.17	10.02	22.89	7.72	22.95
237.30	14.93	10.01	22.72	7.79	22.18
247.00	15.24	10.00	23.06	7.82	21.80
256.30	15.25	10.00	23.07	7.82	21.80
266.00	15.11	10.00	22.94	7.83	21.70
275.30	11.10	10.01	18.95	7.85	21.58

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
285.00	11.18	10.00	19.11	7.93	20.70
294.30	15.23	10.00	23.16	7.93	20.70
304.00	11.32	9.99	19.26	7.94	20.52
313.30	11.45	10.02	19.37	7.92	20.96
323.00	11.4	9.99	19.27	7.87	21.22
332.30	10.89	10.02	18.74	7.85	21.66
342.00	15.2	10.02	23.06	7.86	21.56
351.30	14.96	10.00	22.91	7.95	20.50
361.00	11.59	10.02	19.52	7.93	20.86
370.30	11.49	10.00	19.45	7.96	20.40
380.00	11.54	10.02	19.58	8.04	19.76
389.30	11.44	10.01	19.52	8.08	19.28
399.00	11.13	10.01	19.24	8.11	18.98
408.30	11.14	10.02	19.26	8.12	18.96
418.00	11.47	10.02	19.64	8.17	18.46
427.30	11.33	10.02	19.50	8.17	18.46
437.00	11.39	9.99	19.63	8.24	17.52
446.30	11.23	10.01	19.41	8.18	18.28
456.00	11.53	10.00	19.76	8.23	17.70
465.30	11.47	10.00	19.77	8.30	17.00
475.00	11.36	10.00	19.66	8.30	17.00
484.30	11.46	10.01	19.79	8.33	16.78
494.00	11.57	10.00	19.89	8.32	16.80
503.30	11.42	10.00	19.79	8.37	16.30
513.00	11.34	10.02	19.73	8.39	16.27
522.30	11.37	10.01	19.78	8.41	15.98
532.00	11.47	9.99	19.92	8.45	15.42
541.30	11.45	10.01	19.93	8.48	15.28
551.00	15.64	10.00	24.10	8.46	15.40
560.30	15.49	10.02	24.06	8.57	14.47
570.00	11.53	10.01	20.02	8.49	15.18
579.30	11.24	10.02	19.80	8.56	14.57
589.00	11.61	10.02	20.16	8.55	14.67
598.30	15.27	10.01	23.84	8.57	14.39
608.00	15.55	10.00	24.22	8.67	13.30

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 14 ผลการลดลงของความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม การทดลองที่ 3 กรณีติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 45 Hz

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
0	11.40	10.02	18.14	6.74	32.73
0	14.96	9.98	21.59	6.63	33.57
0	15.06	10.00	21.74	6.68	33.20
0.00	13.81	10.00	20.49	6.68	33.17
9.30	10.75	10.01	17.61	6.86	31.47
19.00	15.16	9.98	22.00	6.84	31.46
28.30	15.29	10.00	22.19	6.90	31.00
38.00	15.26	10.02	22.22	6.96	30.54
47.30	11.39	9.98	18.27	6.88	31.06
57.00	14.92	10.01	21.95	7.03	29.77
66.30	10.79	9.98	17.85	7.06	29.26
76.00	11.35	10.00	18.41	7.06	29.40
65.30	15.01	10.01	22.15	7.14	28.67
95.00	11.57	10.02	18.81	7.24	27.74
104.30	15.57	10.02	22.85	7.28	27.35
114.00	15.12	10.00	22.43	7.31	26.90
123.30	15.32	9.90	22.63	7.31	26.16
133.30	15.30	10.01	22.67	7.37	26.37
142.30	15.25	9.98	18.62	3.37	66.23
152.00	15.27	9.98	22.69	7.42	25.65
161.30	11.25	10.00	18.69	7.44	25.60
171.00	15.51	10.01	22.92	7.41	25.97
180.30	10.75	10.01	18.27	7.52	24.88
190.00	11.19	9.99	18.71	7.52	24.72
199.30	15.10	10.00	22.60	7.50	25.00
209.00	11.17	9.98	18.74	7.57	24.15
218.30	11.20	10.00	18.84	7.64	23.60
228.00	15.49	10.01	23.12	7.63	23.78
237.30	10.90	10.02	18.61	7.71	23.05
247.00	14.98	10.01	22.73	7.75	22.58
256.30	15.33	10.01	23.10	7.77	22.38
266.00	11.05	10.01	18.84	7.79	22.18
275.30	10.92	9.98	18.63	7.71	22.75

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
285.00	11.34	10.00	19.16	7.82	21.80
294.30	15.70	10.01	23.54	7.84	21.68
304.00	11.11	10.02	19.00	7.89	21.26
313.30	11.52	10.02	19.43	7.91	21.06
323.00	11.47	10.01	19.36	7.89	21.18
332.30	15.16	10.01	23.15	7.99	20.18
342.00	14.93	9.98	22.89	7.96	20.24
351.30	11.39	10.00	19.44	8.05	19.50
361.00	15.12	10.02	23.15	8.03	19.86
370.30	15.11	10.02	23.14	8.03	19.86
380.00	11.12	9.98	19.23	8.11	18.74
389.30	11.18	10.02	19.30	8.12	18.96
399.00	15.23	10.00	23.38	8.15	18.50
408.30	11.32	10.02	19.54	8.22	17.96
418.00	11.45	10.00	19.68	8.23	17.70
427.30	11.42	10.02	19.62	8.20	18.16
437.00	10.89	9.98	19.09	8.20	17.84
446.30	15.2	10.01	23.48	8.28	17.28
456.00	11.2	10.00	19.52	8.32	16.80
465.30	11.55	10.00	19.82	8.27	17.30
475.00	11.27	10.02	19.63	8.36	16.57
484.30	11.11	9.99	19.43	8.32	16.72
494.00	11.28	10.00	19.56	8.28	17.20
503.30	15.52	9.98	23.87	8.35	16.33
513.00	11.35	10.00	19.75	8.40	16.00
522.30	15.73	10.00	24.10	8.37	16.30
532.00	11.23	9.98	19.60	8.37	16.13
541.30	11.42	10.00	19.85	8.43	15.70
551.00	11.07	10.00	19.52	8.45	15.50
560.30	10.91	10.01	19.41	8.50	15.08
570.00	10.85	10.00	19.35	8.50	15.00
579.30	15.17	10.01	23.76	8.59	14.19
589.00	10.92	10.02	19.42	8.50	15.17
598.30	11.78	10.00	20.37	8.59	14.10

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 15 ผลการลดลงของความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม การทดลองที่ 1 กรณีติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 50 Hz

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
0	15.51	9.98	22.19	6.68	33.07
0	10.75	10.01	17.51	6.76	32.47
0	11.18	10.02	17.89	6.71	33.03
0.00	12.48	10.00	19.20	6.72	32.86
6.30	15.09	9.99	21.85	6.76	32.33
13.00	11.17	10.00	18.11	6.94	30.60
19.30	11.2	10.00	18.07	6.87	31.30
26.00	15.49	10.01	22.34	6.85	31.57
32.30	10.91	10.02	17.80	6.89	31.24
39.00	14.99	10.02	21.98	6.99	30.24
45.30	15.33	10.01	22.35	7.02	29.87
52.00	11.07	10.01	18.15	7.08	29.27
58.30	10.91	10.00	18.01	7.10	29.00
65.00	11.48	9.98	18.55	7.07	29.16
71.30	15.7	10.02	22.82	7.12	28.94
78.00	11.11	10.01	18.32	7.21	27.97
84.30	11.27	10.02	18.46	7.19	28.24
91.00	15.06	10.00	22.31	7.25	27.50
97.30	15.54	10.01	22.83	7.29	27.17
104.00	11.18	10.00	18.55	7.37	26.30
110.30	11.39	9.99	18.74	7.35	26.43
117.00	11.64	9.98	18.90	7.26	27.25
123.30	15.27	10.00	22.61	7.34	26.60
130.00	11.47	10.01	18.89	7.42	25.87
136.30	11.44	10.01	18.88	7.44	25.67
143.00	11.47	9.99	18.90	7.43	25.63
149.30	11.72	10.01	19.25	7.53	24.78
156.00	11.51	9.98	18.97	7.46	25.25
162.30	11.19	9.98	18.72	7.53	24.55
169.00	15.48	10.02	23.00	7.52	24.95
175.30	11.63	10.01	19.21	7.58	24.28
182.00	11.45	10.01	19.1	7.65	23.58
188.30	11.18	10.01	18.82	7.64	23.68

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
195.00	15.25	10.00	22.92	7.67	23.30
201.30	11.26	10.00	18.95	7.69	23.10
208.00	11.23	9.98	18.95	7.72	22.65
214.30	11.19	10.00	18.94	7.75	22.50
221.00	11.58	10.00	19.31	7.73	22.70
227.30	15.47	10.00	23.25	7.78	22.20
234.00	11.42	10.00	19.21	7.79	22.10
240.30	11.51	10.01	19.34	7.83	21.78
247.00	11.11	10.01	18.92	7.81	21.98
253.30	11.55	10.01	19.47	7.92	20.88
260.00	11.28	10.00	19.19	7.91	20.90
266.30	14.93	10.00	22.86	7.93	20.70
273.00	11.44	10.01	19.34	7.90	21.08
279.30	15.11	10.01	23.09	7.98	20.28
286.00	11.69	10.00	19.65	7.96	20.40
292.30	11.28	9.99	19.23	7.95	20.42
299.00	10.96	10.00	18.91	7.95	20.50
305.30	15.73	10.01	23.76	8.03	19.78
312.00	11.71	10.00	19.80	8.09	19.10
318.30	11.36	10.01	19.34	7.98	20.28
325.00	11.14	10.01	19.10	7.96	20.48
331.30	10.81	10.01	18.62	7.81	21.98
338.00	11.53	10.02	19.40	7.87	21.46
344.30	14.9	10.01	22.87	7.97	20.38
351.00	15.18	10.01	23.12	7.94	20.68
357.30	15.27	9.98	23.20	7.93	20.54
364.00	10.98	10.00	18.92	7.94	20.60
370.30	11.21	10.02	19.22	8.01	20.06
377.00	10.86	10.02	18.90	8.04	19.76
383.30	14.97	10.00	23.07	8.10	19.00
390.00	15.12	10.00	23.21	8.09	19.10
396.30	11.36	10.01	19.44	8.08	19.28
403.00	15.12	10.00	23.25	8.13	18.70
409.30	15.1	9.98	23.21	8.11	18.74
416.00	15.18	10.01	23.37	8.19	18.18

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
422.30	11.24	10.02	19.37	8.13	18.86
429.00	15.19	10.02	23.43	8.24	17.76
435.30	11.28	10.01	19.49	8.21	17.98
442.00	11.21	10.02	19.45	8.24	17.76
448.30	11.41	10.01	19.67	8.26	17.48
455.00	15.72	10.00	24.01	8.29	17.10
461.30	15.08	10.00	23.33	8.25	17.50
468.00	10.86	10.00	19.12	8.26	17.40
474.50	15.2	10.02	23.47	8.27	17.47
481.00	14.96	10.00	23.29	8.33	16.70
487.30	15.24	10.00	23.61	8.37	16.30
494.00	15.23	10.01	23.62	8.39	16.18
500.30	15.13	10.02	23.53	8.40	16.17
507.00	15.17	10.00	23.60	8.43	15.70
513.30	11.08	9.99	19.46	8.38	16.12
520.00	15.32	10.01	23.77	8.45	15.58
526.30	11.11	10.02	19.57	8.46	15.57
533.00	15.16	10.02	23.63	8.47	15.47
539.30	11.33	10.01	19.79	8.46	15.48
546.00	10.99	10.02	19.50	8.51	15.07
552.30	11.54	10.01	20.05	8.51	14.99
559.00	10.75	10.02	19.23	8.48	15.37
565.30	11.21	9.99	19.75	8.54	14.51
572.00	11.62	10.00	20.16	8.54	14.60
578.30	11.69	10.00	20.27	8.58	14.20
585.00	15.23	10.02	23.84	8.61	14.07
591.30	11.84	10.01	20.44	8.60	14.09
598.00	11.56	10.01	20.15	8.59	14.19
604.50	15.05	10.01	23.71	8.66	13.49

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 16 ผลการลดลงของความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม การทดลองที่ 2 กรณีติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 50 Hz

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
0	11.18	10	17.87	6.69	33.10
0	10.89	10.01	17.55	6.66	33.47
0	14.86	10.00	21.61	6.75	32.50
0.00	12.31	10.00	19.01	6.70	33.02
6.30	11.24	9.99	18.00	6.76	32.33
13.00	11.48	10.01	18.41	6.93	30.77
19.30	14.83	10.00	21.63	6.80	32.00
26.00	15.33	9.99	22.21	6.88	31.13
32.30	11.02	10.01	18.03	7.01	29.97
39.00	15.29	10.01	22.31	7.02	29.87
45.30	11.18	10.02	18.20	7.02	29.94
52.00	11.34	10.00	18.41	7.07	29.30
58.30	15.17	9.99	22.24	7.07	29.23
65.00	11.58	10.01	18.71	7.13	28.77
71.30	15.57	10.01	22.68	7.11	28.97
78.00	15.28	10.01	22.50	7.22	27.87
84.30	11.45	10.01	18.63	7.18	28.27
91.00	11.23	10.01	18.46	7.23	27.77
97.30	11.25	10.01	18.50	7.25	27.57
104.00	14.9	10.02	22.21	7.31	27.05
110.30	11.25	10.02	18.59	7.34	26.75
117.00	15.26	10.01	22.56	7.30	27.07
123.30	11.17	10.00	18.52	7.35	26.50
130.00	10.82	9.99	18.23	7.41	25.83
136.30	15.19	9.98	22.59	7.40	25.85
143.00	15.16	10.01	22.60	7.44	25.67
149.30	14.94	9.99	22.39	7.45	25.43
156.00	11.08	10.01	18.50	7.42	25.87
162.30	11.15	10.00	18.70	7.55	24.50
169.00	11.19	10.02	18.76	7.57	24.45
175.30	11.26	10.01	18.85	7.59	24.18
182.00	15.08	9.98	22.65	7.57	24.15
188.30	15.24	10.02	22.90	7.66	23.55

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
195.00	11.36	10.01	19.01	7.65	23.58
201.30	10.96	10.01	18.58	7.62	23.88
208.00	15	10.00	22.67	7.67	23.30
214.30	14.89	10.02	22.61	7.72	22.95
221.00	11.59	9.98	19.32	7.73	22.55
227.30	11.41	9.98	19.14	7.73	22.55
234.00	15.05	10.02	22.82	7.77	22.46
240.30	10.79	10.00	18.59	7.80	22.00
247.00	11.41	10.01	19.21	7.80	22.08
253.30	15.12	10.01	22.95	7.83	21.78
260.00	10.87	10.01	18.70	7.83	21.78
266.30	11.14	10.01	19.02	7.88	21.28
273.00	15.04	9.99	22.93	7.89	21.02
279.30	10.93	9.99	18.85	7.92	20.72
286.00	15.23	10.00	23.14	7.91	20.90
292.30	11.17	10.02	19.13	7.96	20.56
299.00	11.41	10.00	19.34	7.93	20.70
305.30	11.05	9.99	19.05	8.00	19.92
312.00	11.14	10.00	19.10	7.96	20.40
318.30	15.13	10.02	23.21	8.08	19.36
325.00	11.34	10.02	19.37	8.03	19.86
331.30	10.84	10.01	18.89	8.05	19.58
338.00	15.02	10.01	23.12	8.10	19.08
344.30	15.23	9.99	23.31	8.08	19.12
351.00	11.24	10.01	19.35	8.11	18.98
357.30	11.43	10.01	19.57	8.14	18.68
364.00	11.33	9.99	19.51	8.18	18.12
370.30	15.29	10.01	23.47	8.18	18.28
377.00	11.59	9.99	19.78	8.19	18.02
383.30	11.49	9.98	19.73	8.24	17.43
390.00	11.55	9.99	19.82	8.27	17.22
396.30	11.45	10.00	19.73	8.28	17.20
403.00	11.12	10.01	19.42	8.30	17.08
409.30	11.14	10.02	19.47	8.33	16.87
416.00	11.48	10.01	19.80	8.32	16.88

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
422.30	11.33	10.01	19.66	8.33	16.78
429.00	11.38	9.99	19.74	8.36	16.32
435.30	11.25	10.02	19.63	8.38	16.37
442.00	11.53	10.01	19.88	8.35	16.58
448.30	11.47	10.01	19.90	8.43	15.78
455.00	11.35	10.01	19.78	8.43	15.78
461.30	11.46	10.02	19.90	8.44	15.77
468.00	11.56	10.01	20.06	8.50	15.08
474.50	11.41	10.00	19.89	8.48	15.20
481.00	11.35	10.00	19.84	8.49	15.10
487.30	11.38	10.01	19.90	8.52	14.89
494.00	11.49	10.01	19.94	8.45	15.58
500.30	11.44	9.98	19.92	8.48	15.03
507.00	15.63	10.01	24.14	8.51	14.99
513.30	15.49	10.01	24.02	8.53	14.79
520.00	11.53	10.01	20.05	8.52	14.89
526.30	11.25	10.01	19.76	8.51	14.99
533.00	11.6	9.98	20.19	8.59	13.93
539.30	15.08	10.02	23.67	8.59	14.27
546.00	11.2	10.02	19.82	8.62	13.97
552.30	11.23	10.00	19.82	8.59	14.10
559.00	15.28	10.00	23.89	8.61	13.90
565.30	11.43	10.01	20.01	8.58	14.29
572.00	11.27	10.02	19.96	8.69	13.27
578.30	11.38	10.00	20.03	8.65	13.50
585.00	15.61	9.98	24.30	8.69	12.93
591.30	10.77	10.00	19.46	8.69	13.10
598.00	11.1	10.01	19.78	8.68	13.29
604.50	15.03	10.00	23.73	8.70	13.00

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 17 ผลการลดลงของความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม การทดลองที่ 3 กรณีติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 50 Hz

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
0	11.18	10.01	17.82	6.64	33.67
0	10.88	10.00	17.53	6.65	33.50
0	14.88	9.98	21.46	6.58	34.07
0.00	12.31	10.00	18.94	6.62	33.74
6.30	11.23	10.00	18.09	6.86	31.40
13.00	11.47	10.01	18.32	6.85	31.57
19.30	14.82	10.01	21.63	6.81	31.97
26.00	15.32	10.01	22.21	6.89	31.17
32.30	11.03	10.00	17.95	6.92	30.80
39.00	15.29	10.02	22.30	7.01	30.04
45.30	11.17	10.00	18.16	6.99	30.10
52.00	10.91	9.99	17.96	7.05	29.43
58.30	15.18	10.01	22.16	6.98	30.27
65.00	11.28	9.99	18.39	7.11	28.83
71.30	15.42	10.00	22.54	7.12	28.80
78.00	15.26	10.02	22.43	7.17	28.44
84.30	11.44	10.01	18.67	7.23	27.77
91.00	11.26	9.99	18.37	7.11	28.83
97.30	11.38	9.99	18.59	7.21	27.83
104.00	14.91	10.00	22.16	7.25	27.50
110.30	11.2	10.01	18.50	7.30	27.07
117.00	15.24	10.00	22.60	7.36	26.40
123.30	11.17	10.02	18.53	7.36	26.55
130.00	10.84	9.98	18.13	7.29	26.95
136.30	15.21	10.01	22.64	7.43	25.77
143.00	15.15	10.02	22.55	7.40	26.15
149.30	14.94	10.00	22.38	7.44	25.60
156.00	11.08	10.00	18.55	7.47	25.30
162.30	11.16	10.02	18.64	7.48	25.35
169.00	11.18	10.02	18.72	7.54	24.75
175.30	11.26	9.99	18.77	7.51	24.82
182.00	15.08	10.00	22.64	7.56	24.40
188.30	15.24	9.98	22.79	7.55	24.35

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
195.00	11.36	10.02	19.00	7.64	23.75
201.30	10.95	10.01	18.61	7.66	23.48
208.00	15	10.00	22.64	7.64	23.60
214.30	14.89	10.02	22.53	7.64	23.75
221.00	11.59	9.99	19.23	7.64	23.52
227.30	11.44	9.98	19.11	7.67	23.15
234.00	15.04	10.01	22.74	7.70	23.08
240.30	10.78	10.01	18.51	7.73	22.78
247.00	11.4	10.01	19.13	7.73	22.78
253.30	15.13	10.01	22.90	7.77	22.38
260.00	10.85	10.02	18.67	7.82	21.96
266.30	11.14	10.01	19.01	7.87	21.38
273.00	15.03	10.00	22.87	7.84	21.60
279.30	10.95	10.01	18.84	7.89	21.18
286.00	15.21	10.01	23.13	7.92	20.88
292.30	11.71	10.01	19.09	7.38	26.27
299.00	11.41	10.01	19.35	7.94	20.68
305.30	11.06	10.01	19.09	8.03	19.78
312.00	11.14	10.00	19.11	7.97	20.30
318.30	15.14	10.00	23.18	8.04	19.60
325.00	11.36	10.00	19.33	7.97	20.30
331.30	10.84	10.00	18.81	7.97	20.30
338.00	15.01	10.00	23.05	8.04	19.60
344.30	15.24	10.00	23.31	8.07	19.30
351.00	11.24	10.01	19.41	8.17	18.38
357.30	11.42	9.99	19.55	8.13	18.62
364.00	11.35	10.01	19.46	8.11	18.98
370.30	15.31	10.00	23.44	8.13	18.70
377.00	11.58	10.02	19.79	8.21	18.06
383.30	11.5	10.01	19.66	8.16	18.48
390.00	11.56	9.99	19.80	8.24	17.52
396.30	11.46	10.02	19.72	8.26	17.56
403.00	11.12	10.01	19.42	8.30	17.08
409.30	11.14	9.99	19.40	8.26	17.32
416.00	11.49	9.99	19.78	8.29	17.02

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
422.30	11.32	10.01	19.62	8.30	17.08
429.00	11.39	10.01	19.70	8.31	16.98
435.30	11.23	10.01	19.60	8.37	16.38
442.00	11.52	10.02	19.96	8.44	15.77
448.30	11.48	10.00	19.88	8.40	16.00
455.00	11.37	10.01	19.82	8.45	15.58
461.30	11.46	10.00	19.87	8.41	15.90
468.00	11.57	10.00	19.99	8.42	15.80
474.50	11.41	10.01	19.89	8.48	15.28
481.00	11.34	10.00	19.84	8.50	15.00
487.30	11.37	10.02	19.86	8.49	15.27
494.00	11.45	9.99	19.96	8.51	14.81
500.30	11.45	10.00	19.98	8.53	14.70
507.00	15.63	9.99	24.15	8.52	14.71
513.30	15.5	10.02	24.04	8.54	14.77
520.00	11.53	10.02	20.12	8.59	14.27
526.30	11.26	10.02	19.86	8.60	14.17
533.00	11.62	10.00	20.20	8.58	14.20
539.30	15.09	10.00	23.70	8.61	13.90
546.00	11.2	9.99	19.83	8.63	13.61
552.30	11.21	10.01	19.86	8.65	13.59
559.00	15.27	9.99	23.89	8.62	13.71
565.30	11.43	10.00	20.11	8.68	13.20
572.00	11.27	10.01	19.96	8.69	13.19
578.30	11.39	10.02	20.09	8.70	13.17
585.00	15.62	9.98	24.29	8.67	13.13
591.30	10.77	10.01	19.53	8.76	12.49
598.00	11.09	10.01	19.87	8.78	12.29
604.50	15.06	10.01	23.80	8.74	12.69

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 18 ผลการลดลงของความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม การทดลองที่ 1 กรณีติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 55 Hz

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
0	11.41	10.00	17.95	6.54	34.60
0	14.97	9.99	21.56	6.59	34.03
0	15.06	9.99	21.62	6.56	34.33
0	13.81	9.99	20.38	6.56	34.32
4.30	10.73	10.01	17.51	6.78	32.27
9.00	15.13	10.01	22.00	6.87	31.37
13.30	15.3	10.00	22.14	6.84	31.60
18.00	15.24	10.01	22.09	6.85	31.57
22.30	11.37	10.00	18.24	6.87	31.30
27.00	14.93	9.98	21.76	6.83	31.56
31.30	10.77	10.00	17.74	6.97	30.30
36.00	10.92	10.02	17.91	6.99	30.24
40.30	15.01	10.02	22.10	7.09	29.24
45.00	11.27	10.02	18.32	7.05	29.64
49.30	15.43	10.02	22.48	7.05	29.64
54.00	15.13	10.02	22.27	7.14	28.74
58.30	15.33	10.00	22.50	7.17	28.30
63.00	15.28	10.02	22.49	7.21	28.04
67.30	11.39	9.98	18.6	7.21	27.76
72.00	15.28	10.00	22.53	7.25	27.50
76.30	11.21	10.00	18.4	7.19	28.10
81.00	15.25	10.00	22.51	7.26	27.40
85.30	11.17	9.99	18.46	7.29	27.03
90.00	10.81	10.02	18.1	7.29	27.25
94.50	15.2	10.01	22.52	7.32	26.87
99.00	15.14	10.01	22.53	7.39	26.17
103.50	14.95	10.01	22.34	7.39	26.17
108.00	11.09	10.00	18.42	7.33	26.70
112.30	11.16	10.00	18.58	7.42	25.80
117.00	11.18	9.99	18.61	7.43	25.63
121.30	11.2	9.99	18.73	7.53	24.62
126.00	15.08	10.00	22.56	7.48	25.20
130.00	15.25	10.00	22.76	7.51	24.90

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
135.00	11.35	10.01	18.87	7.52	24.88
139.30	10.97	10.00	18.44	7.47	25.30
144.00	14.99	10.02	22.6	7.61	24.05
148.30	14.86	10.00	22.44	7.58	24.20
153.00	11.59	10.02	19.18	7.59	24.25
157.30	11.41	10.01	19.03	7.62	23.88
162.00	15.05	10.01	22.65	7.60	24.08
166.30	10.80	10.02	18.44	7.64	23.75
171.00	15.01	10.01	22.69	7.68	23.28
175.30	11.33	10.01	18.97	7.64	23.68
180.00	11.22	10.00	18.93	7.71	22.90
184.30	11.54	10.00	19.24	7.70	23.00
189.00	11.52	9.98	19.27	7.75	22.34
193.30	11.48	10.01	19.22	7.74	22.68
198.00	15.17	10.00	22.91	7.74	22.60
202.30	14.91	10.00	22.72	7.81	21.90
207.00	15.25	10.01	23.05	7.80	22.08
211.30	15.24	10.00	23.05	7.81	21.90
216.00	15.11	9.99	22.95	7.84	21.52
220.30	11.1	10.02	18.94	7.84	21.76
225.00	11.17	9.98	19.02	7.85	21.34
229.30	15.23	10.02	23.13	7.90	21.16
234.00	11.33	10.01	19.21	7.88	21.28
238.30	11.43	9.98	19.31	7.88	21.04
243.00	11.38	10.01	19.34	7.96	20.48
247.30	10.89	10.01	18.79	7.90	21.08
252.00	15.21	9.99	23.15	7.94	20.52
256.30	14.97	10.00	22.92	7.95	20.50
261.00	11.41	10.00	19.39	7.98	20.20
265.30	15.15	9.99	23.09	7.94	20.52
270.00	10.86	10	18.82	7.96	20.40
274.30	11.14	10.00	19.11	7.97	20.30
279.00	15.05	10.01	23.07	8.02	19.88
283.30	10.92	9.99	19.00	8.08	19.12
288.00	15.20	10	23.27	8.07	19.30

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
292.30	11.16	10	19.19	8.03	19.70
297.00	11.40	10.01	19.50	8.10	19.08
301.30	11.06	10.00	19.11	8.05	19.50
306.00	11.15	10.01	19.24	8.09	19.18
310.30	15.14	9.99	23.23	8.09	19.02
315.00	11.36	10.02	19.44	8.08	19.36
319.30	10.81	10.01	18.93	8.12	18.88
324.00	15.02	10.01	23.15	8.13	18.78
328.30	15.23	9.98	23.27	8.04	19.44
333.00	11.24	10.01	19.40	8.16	18.48
337.30	11.43	10.01	19.65	8.22	17.88
342.00	11.33	10.02	19.51	8.18	18.36
346.30	15.29	10.00	23.57	8.28	17.20
351.00	11.58	10.02	19.93	8.35	16.67
355.30	11.50	9.98	19.75	8.25	17.33
360.00	11.56	10.00	19.81	8.25	17.50
364.30	11.46	10.01	19.73	8.27	17.38
369.00	11.13	10.00	19.42	8.29	17.10
373.30	11.13	10.00	19.45	8.32	16.80
378.00	11.48	10.00	19.82	8.34	16.60
382.30	11.33	10.02	19.69	8.36	16.57
387.00	11.40	10.01	19.77	8.37	16.38
391.30	11.23	10.00	19.58	8.35	16.50
396.00	11.52	10.01	19.95	8.43	15.78
400.30	11.47	10.01	19.91	8.44	15.68
405.00	11.37	10.01	19.80	8.43	15.78
409.50	11.45	10.00	19.92	8.47	15.30
414.00	11.55	10.00	20.03	8.48	15.20
418.30	11.40	10.01	19.88	8.48	15.28
423.00	11.34	10.00	19.77	8.43	15.70
427.30	11.38	10.01	19.86	8.48	15.28
432.00	11.48	10.02	19.98	8.50	15.17
436.30	11.45	10.02	19.96	8.51	15.07
441.00	15.62	10.00	24.12	8.50	15.00
445.30	15.51	9.99	23.98	8.47	15.22

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
450.00	11.55	9.98	20.01	8.46	15.23
454.30	11.25	10.02	19.76	8.51	15.07
459.00	11.61	10.00	20.11	8.50	15.00
463.30	15.09	10.00	23.59	8.50	15.00
468.00	11.20	10.00	19.76	8.56	14.40
472.30	11.23	9.98	19.74	8.51	14.73
477.00	15.28	10.00	23.85	8.57	14.30
481.30	11.41	10.02	20.01	8.60	14.17
486.00	11.27	10.01	19.85	8.58	14.29
490.30	11.37	10.01	19.96	8.59	14.19
495.00	15.64	10.00	24.21	8.57	14.30
499.30	10.79	10.01	19.38	8.59	14.19
504.00	11.09	10.00	19.68	8.59	14.10
508.30	11.19	10.00	19.83	8.64	13.60
513.00	10.89	10.00	19.57	8.68	13.20
517.30	14.86	9.99	23.51	8.65	13.41
522.00	11.24	10.02	19.92	8.68	13.37
526.30	11.49	9.99	20.08	8.59	14.01
531.00	11.25	10.00	19.92	8.67	13.30
535.30	15.06	10.02	23.75	8.69	13.27
540.00	15.31	9.98	23.99	8.68	13.03
544.30	15.41	10.00	24.09	8.68	13.20
549.00	10.75	10.01	19.46	8.71	12.99
553.30	11.31	10.00	20.05	8.74	12.60
558.00	11.24	10.00	19.95	8.71	12.90
562.30	11.47	10.02	20.20	8.73	12.87
567.00	11.54	10.01	20.27	8.73	12.79
571.30	15.09	10.02	23.86	8.77	12.48
576.00	10.91	10.01	19.71	8.80	12.09
580.30	11.30	10.00	20.08	8.78	12.20
585.00	10.71	9.99	19.51	8.80	11.91
589.50	11.19	10.02	19.99	8.80	12.18
594.00	15.71	10.00	24.54	8.83	11.70
598.50	11.48	9.99	20.24	8.76	12.31
603.00	10.93	10.01	19.75	8.82	11.89

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 19 ผลการลดลงของความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม การทดลองที่ 2 กรณีติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 55 Hz

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
0	15.52	10.00	22.19	6.67	33.30
0	10.77	10.01	17.49	6.72	32.87
0	11.18	10.00	17.92	6.74	32.60
0.00	12.49	10.00	19.20	6.71	32.92
4.30	15.1	10.00	21.89	6.79	32.10
9.00	11.18	10.02	17.96	6.78	32.34
13.30	11.21	10.02	18.02	6.81	32.04
18.00	15.49	10.02	22.35	6.86	31.54
22.30	10.92	9.98	17.75	6.83	31.56
27.00	14.99	10.01	21.88	6.89	31.17
31.30	15.33	10.01	22.19	6.86	31.47
36.00	11.05	10.02	18.08	7.03	29.84
40.30	10.9	10.00	17.97	7.07	29.30
45.00	11.51	10.01	18.57	7.06	29.47
49.30	15.69	10.00	22.81	7.12	28.80
54.00	11.13	10.00	18.19	7.06	29.40
58.30	11.3	10.01	18.39	7.09	29.17
63.00	15.07	10.01	22.23	7.16	28.47
67.30	11.18	10.00	18.33	7.15	28.50
72.00	11.38	10.01	18.61	7.23	27.77
76.30	15.12	10.02	22.34	7.22	27.94
81.00	15.03	10.01	22.29	7.26	27.47
85.30	11.35	9.99	18.58	7.23	27.63
90.00	11.25	10.01	18.53	7.28	27.27
94.50	11.53	10.00	18.8	7.27	27.30
99.00	11.52	10.01	18.81	7.29	27.17
103.50	11.47	10.01	18.81	7.34	26.67
108.00	15.18	9.99	22.52	7.34	26.53
112.30	14.92	10.02	22.32	7.40	26.15
117.00	15.24	10.01	22.64	7.40	26.07
121.30	15.24	10.01	22.65	7.41	25.97
126.00	15.1	9.99	22.52	7.42	25.73
130.00	11.1	10.01	18.55	7.45	25.57

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
135.00	11.17	10.02	18.68	7.51	25.05
139.30	15.23	10.01	22.74	7.51	24.98
144.00	11.32	10.00	18.78	7.46	25.40
148.30	11.44	10.01	18.97	7.53	24.78
153.00	11.42	10.01	18.99	7.57	24.38
157.30	10.89	10.02	18.43	7.54	24.75
162.00	15.19	10.01	22.80	7.61	23.98
166.30	11.23	10.01	18.84	7.61	23.98
171.00	15.19	10.02	22.79	7.60	24.15
175.30	11.05	10.00	18.68	7.63	23.70
180.00	15.31	9.99	22.94	7.63	23.62
184.30	11.12	9.98	18.79	7.67	23.15
189.00	15.15	10.00	22.85	7.70	23.00
193.30	11.33	9.99	18.99	7.66	23.32
198.00	10.98	10.01	18.73	7.75	22.58
202.30	11.54	10.02	19.33	7.79	22.26
207.00	10.75	9.99	18.51	7.76	22.32
211.30	11.19	10.00	18.97	7.78	22.20
216.00	11.2	10.01	18.99	7.79	22.18
220.30	15.48	10.02	23.32	7.84	21.76
225.00	11.62	10.02	19.46	7.84	21.76
229.30	11.46	10.01	19.34	7.88	21.28
234.00	11.17	10.00	19.03	7.86	21.40
238.30	15.24	9.99	23.11	7.87	21.22
243.00	11.28	10.02	19.20	7.92	20.96
247.30	11.22	10.01	19.16	7.94	20.68
252.00	11.21	10.01	19.14	7.93	20.78
256.30	11.57	10.02	19.51	7.94	20.76
261.00	11.42	10.02	19.39	7.97	20.46
265.30	14.96	10.00	22.93	7.97	20.30
270.00	15.07	10.02	23.08	8.01	20.06
274.30	10.77	9.99	18.73	7.96	20.32
279.00	15.13	10.00	23.14	8.01	19.90
283.30	15.31	10.01	23.37	8.06	19.48
288.00	15.26	10.01	23.31	8.05	19.58

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
292.30	11.38	10.01	19.43	8.05	19.58
297.00	14.94	10.02	23.05	8.11	19.06
301.30	10.76	10.00	18.88	8.12	18.80
306.00	11.35	10.01	19.49	8.14	18.68
310.30	15.03	10.01	23.14	8.11	18.98
315.00	11.57	10.02	19.74	8.17	18.46
319.30	15.57	10.02	23.69	8.12	18.96
324.00	15.13	10.01	23.30	8.17	18.38
328.30	15.32	10.00	23.43	8.11	18.90
333.00	15.28	9.99	23.45	8.17	18.22
337.30	11.24	10.01	19.37	8.13	18.78
342.00	15.27	10.01	23.50	8.23	17.78
346.30	11.25	10.01	19.44	8.19	18.18
351.00	10.86	10.01	19.12	8.26	17.48
355.30	11.55	10.02	19.79	8.24	17.76
360.00	14.97	10.01	23.26	8.29	17.18
364.30	11.42	10.02	19.74	8.32	16.97
369.00	11.49	10.02	19.81	8.32	16.97
373.30	11.11	10.01	19.43	8.32	16.88
378.00	11.55	9.98	19.88	8.33	16.53
382.30	11.64	9.99	19.98	8.34	16.52
387.00	15.28	9.99	23.58	8.30	17.17
391.30	11.46	10.02	19.79	8.33	16.78
396.00	11.43	10.01	19.80	8.37	16.30
400.30	11.47	10.00	19.83	8.36	16.32
405.00	11.73	9.99	20.15	8.42	15.88
409.50	11.51	10.01	19.87	8.36	16.23
414.00	10.80	9.98	19.25	8.45	15.33
418.30	11.43	9.98	19.87	8.44	15.77
423.00	15.11	10.02	23.57	8.46	15.57
427.30	11.69	10.00	20.16	8.47	15.30
432.00	11.29	10.01	19.79	8.50	15.08
436.30	10.95	10.00	19.41	8.46	15.40
441.00	15.11	10.00	23.56	8.45	15.50
445.30	15.11	10.02	23.58	8.47	15.47

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (% wb)
450.00	15.18	10.01	23.66	8.48	15.28
454.30	11.24	10.02	19.76	8.52	14.97
459.00	15.19	10.02	23.72	8.53	14.87
463.30	15.07	10.02	23.66	8.59	14.27
468.00	10.87	10.02	19.40	8.53	14.87
472.30	15.20	10.00	23.76	8.56	14.40
477.00	14.96	10.01	23.52	8.56	14.49
481.30	15.23	10.02	23.85	8.62	13.97
486.00	15.22	9.98	23.79	8.57	14.13
490.30	15.11	9.98	23.69	8.58	14.03
495.00	11.28	9.98	19.91	8.63	13.53
499.30	14.93	10.01	23.56	8.63	13.79
504.00	15.44	10.00	24.09	8.65	13.50
508.30	15.73	9.98	24.39	8.66	13.23
513.00	11.71	10.01	20.40	8.69	13.19
517.30	11.36	10.01	20.06	8.70	13.09
522.00	11.12	10.01	19.79	8.67	13.39
526.30	15.49	9.98	24.14	8.65	13.33
531.00	11.52	9.99	20.23	8.71	12.81
535.30	14.89	10.02	23.59	8.70	13.17
540.00	15.18	9.99	23.89	8.71	12.81
544.30	15.25	10.00	23.91	8.66	13.40
549.00	10.95	10.01	19.62	8.67	13.39
553.30	11.62	10.00	20.35	8.73	12.70
558.00	11.68	9.99	20.44	8.76	12.31
562.30	15.22	10.00	23.96	8.74	12.60
567.00	10.83	10.02	19.56	8.73	12.87
571.30	11.54	10.00	20.27	8.73	12.70
576.00	15.02	10.00	23.83	8.81	11.90
580.30	11.52	10.01	20.26	8.74	12.69
585.00	11.18	10.01	19.96	8.78	12.29
589.50	10.83	9.99	19.61	8.78	12.11
594.00	11.58	10.00	20.36	8.78	12.20
598.50	11.15	10.00	19.93	8.78	12.20
603.00	11.39	10.02	20.20	8.81	12.08

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 20 ผลการลดลงของความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม การทดลองที่ 3 กรณีติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 55 Hz

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
0	15.07	10.02	21.80	6.73	32.83
0	10.86	10.02	17.56	6.70	33.13
0	15.19	10.02	22.19	7.00	30.14
0	13.71	10.02	20.52	6.81	32.04
4.30	14.99	10.00	21.75	6.76	32.40
9.00	15.23	10.01	22.14	6.91	30.97
13.30	15.23	10.00	22.11	6.88	31.20
18.00	15.13	10.01	22.01	6.88	31.27
22.30	11.29	10.00	18.21	6.92	30.80
27.00	14.95	10.00	21.89	6.94	30.60
31.30	11.25	9.99	18.19	6.94	30.53
36.00	11.53	9.99	18.46	6.93	30.63
40.30	11.46	9.99	18.51	7.05	29.43
45.00	11.37	10.00	18.51	7.14	28.60
49.30	11.46	10.00	18.45	6.99	30.10
54.00	11.57	9.98	18.62	7.05	29.36
58.30	11.41	10.00	18.55	7.14	28.60
63.00	11.34	10.00	18.46	7.12	28.80
67.30	11.38	10.01	18.52	7.14	28.67
72.00	11.47	9.99	18.64	7.17	28.23
76.30	11.44	10.02	18.67	7.23	27.84
81.00	11.44	10.00	18.73	7.29	27.10
85.30	15.10	10.01	22.38	7.28	27.27
90.00	11.70	9.99	18.98	7.28	27.13
94.50	11.27	9.99	18.57	7.30	26.93
99.00	10.95	10.00	18.28	7.33	26.70
103.50	15.72	10.00	23.07	7.35	26.50
108.00	11.71	10.02	19.19	7.48	25.35
112.30	11.36	10.02	18.87	7.51	25.05
117.00	11.13	10.00	18.56	7.43	25.70
121.30	15.5	10.01	22.97	7.47	25.37
126.00	11.27	10.02	18.80	7.53	24.85
130.00	11.39	9.98	18.85	7.46	25.25

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (% wb)
135.00	15.62	10.00	23.15	7.53	24.70
139.30	10.79	10.02	18.33	7.54	24.75
144.00	11.10	10.01	18.65	7.55	24.58
148.30	11.51	10.01	19.13	7.62	23.88
153.00	14.90	10.00	22.52	7.62	23.80
157.30	15.19	10.02	22.84	7.65	23.65
162.00	15.26	10.01	22.92	7.66	23.48
166.30	10.94	9.98	18.57	7.63	23.55
171.00	11.18	10.00	18.88	7.70	23.00
175.30	10.89	9.98	18.62	7.73	22.55
180.00	14.85	10.02	22.62	7.77	22.46
184.30	11.22	10.00	18.95	7.73	22.70
189.00	11.47	10.01	19.27	7.80	22.08
193.30	14.81	10.00	22.6	7.79	22.10
198.00	15.32	10.00	23.1	7.78	22.20
202.30	11.03	10.01	18.87	7.84	21.68
207.00	15.29	10.02	23.13	7.84	21.76
211.30	11.16	10.00	19.02	7.86	21.40
216.00	10.91	10.00	18.81	7.90	21.00
220.30	15.16	10.01	23.06	7.90	21.08
225.00	11.25	10.00	19.2	7.95	20.50
229.30	15.43	10.00	23.35	7.92	20.80
234.00	15.28	9.98	23.21	7.93	20.54
238.30	11.43	9.98	19.36	7.93	20.54
243.00	11.24	10.00	19.22	7.98	20.20
247.30	11.39	10.00	19.40	8.01	19.90
252.00	14.91	10.02	22.90	7.99	20.26
256.30	11.20	10.00	19.25	8.05	19.50
261.00	15.06	10.00	23.07	8.01	19.90
265.30	15.33	10.00	23.36	8.03	19.70
270.00	15.39	10	23.45	8.06	19.40
274.30	10.74	10.01	18.79	8.05	19.58
279.00	11.30	10.00	19.39	8.09	19.10
283.30	11.25	10.01	19.30	8.05	19.58
288.00	11.45	10.01	19.57	8.12	18.88

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (% wb)
292.30	11.54	9.99	19.65	8.11	18.82
297.00	15.10	9.98	23.23	8.13	18.54
301.30	10.91	10.01	19.05	8.14	18.68
306.00	11.31	10.00	19.46	8.15	18.50
310.30	10.72	10.00	18.89	8.17	18.30
315.00	11.19	9.98	19.35	8.16	18.24
319.30	15.71	10.02	23.91	8.20	18.16
324.00	11.48	9.99	19.71	8.23	17.62
328.30	10.93	10.01	19.13	8.20	18.08
333.00	11.31	10.00	19.53	8.22	17.80
337.30	11.59	10.01	19.84	8.25	17.58
342.00	15.16	10.01	23.44	8.28	17.28
346.30	10.85	9.99	19.13	8.28	17.12
351.00	11.42	10.00	19.72	8.30	17.00
355.30	15.10	10.01	23.44	8.34	16.68
360.00	10.87	10.02	19.18	8.31	17.07
364.30	11.15	10.02	19.49	8.34	16.77
369.00	15.05	9.99	23.35	8.30	16.92
373.30	10.93	10.02	19.30	8.37	16.47
378.00	15.22	10.00	23.60	8.38	16.20
382.30	11.16	10.02	19.57	8.41	16.07
387.00	11.41	10.00	19.86	8.45	15.50
391.30	11.05	10.00	19.44	8.39	15.93
396.00	11.13	9.98	19.60	8.47	15.38
400.30	15.14	10.01	23.61	8.47	15.13
405.00	15.09	9.98	23.59	8.50	15.17
409.50	15.19	10.02	23.66	8.47	15.47
414.00	11.22	10.02	19.74	8.52	14.89
418.30	15.18	10.01	23.67	8.49	15.27
423.00	11.25	10.02	19.78	8.53	14.87
427.30	11.42	10.01	19.98	8.56	14.49
432.00	11.32	10.01	19.91	8.59	14.19
436.30	15.31	10.01	23.84	8.53	14.79
441.00	15.25	10.01	23.83	8.58	14.29
445.30	11.17	10.01	19.75	8.58	14.29

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ (g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ (g)	ความชื้น (%wb)
450.00	10.82	10.01	19.37	8.55	14.59
454.30	15.19	10.00	23.76	8.57	14.30
459.00	15.16	10.00	23.73	8.57	14.30
463.30	14.95	10.00	23.56	8.61	13.90
468.00	11.07	9.99	19.65	8.58	14.11
472.30	11.16	10.00	19.78	8.62	13.80
477.00	11.18	9.99	19.79	8.61	13.81
481.30	11.26	10.02	19.88	8.62	13.97
486.00	15.08	10.00	23.72	8.64	13.60
490.30	15.24	10.01	23.93	8.69	13.19
495.00	11.35	10.01	20.03	8.68	13.29
499.30	10.96	10.02	19.63	8.67	13.47
504.00	14.99	10.02	23.71	8.72	12.97
508.30	14.90	10.00	23.61	8.71	12.90
513.00	11.58	10.01	20.36	8.78	12.29
517.30	11.41	10.02	20.18	8.77	12.48
522.00	15.04	10.01	23.83	8.79	12.19
526.30	10.77	9.98	19.55	8.78	12.02
531.00	11.06	10.00	19.83	8.77	12.30
535.30	15.31	10.01	24.06	8.75	12.59
540.00	11.11	10.01	19.92	8.81	11.99
544.30	15.16	10.01	23.93	8.77	12.39
549.00	11.32	9.98	20.06	8.74	12.42
553.30	11.00	10.00	19.79	8.79	12.10
558.00	11.53	10.02	20.36	8.83	11.88
562.30	10.75	9.99	19.57	8.82	11.71
567.00	11.20	10.02	20.07	8.87	11.48
571.30	11.20	10.00	20.09	8.89	11.10
576.00	15.49	10.00	24.30	8.81	11.90
580.30	11.61	10.02	20.44	8.83	11.88
585.00	11.44	10.01	20.29	8.85	11.59
589.50	11.16	10.01	20.03	8.87	11.39
594.00	15.25	9.99	24.09	8.84	11.51
598.50	11.29	10.01	20.16	8.87	11.39
603.00	11.24	10.02	20.16	8.92	10.98

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 21 บันทึกผลการใช้พลังงานรวมทั้งหมดของระบบ

ระดับความเร็วลม (Hz)	กรณี	ค่าความชื้นเริ่มต้น (%wb)	ค่าความชื้นสุดท้าย (%wb)	เวลาการอบแห้ง			การใช้พลังงานรวมทั้งหมด				
				ชั่วโมง	นาที	เวลาความชื้นสุดท้าย (hr)	ค่าที่อ่านจากมิเตอร์ของพัดลม (kWh)	Q_{Blower} (MJ)	กระแสไฟฟ้าจากมอเตอร์ (A)	Q_{feeder} (MJ)	Q_a (MJ)
45	without cyclone	32.33	13.79	6	48.5	6.81	13.08	47.09	0.34	4.41	51.50
		33.07	14.07	7	26.5	7.44	12.40	44.64	0.29	4.11	48.75
		33.48	14.01	7	55.0	7.92	15.03	54.11	0.27	4.03	58.13
45	with cyclone	31.77	13.77	8	33.0	8.55	17.20	61.92	0.25	4.05	65.97
		33.73	14.39	9	58.5	9.98	18.02	64.87	0.62	11.75	76.62
		33.17	14.10	9	58.5	9.98	17.40	62.64	0.28	5.31	67.95
50	without cyclone	33.48	13.99	7	28.3	7.47	13.40	48.24	0.45	6.39	54.63
		33.77	14.09	6	17.0	6.28	11.85	42.66	0.33	3.95	46.61
		33.79	14.10	5	18.0	5.30	12.40	44.64	0.31	3.12	47.76
50	with cyclone	32.86	14.07	9	45.0	9.75	19.33	69.59	0.33	6.16	75.75
		33.02	13.97	9	6.0	9.10	17.69	63.68	0.35	6.11	69.79
		33.74	13.90	8	59.5	8.99	17.38	62.57	0.30	5.15	67.72
55	without cyclone	32.17	13.97	7	3.0	7.05	14.98	53.93	0.58	7.76	61.69
		33.57	14.07	6	18.0	6.30	16.35	58.86	0.58	6.97	65.83
		32.90	14.00	6	45.0	6.75	15.41	55.48	0.41	5.30	60.78
55	with cyclone	34.32	14.10	8	24.0	8.40	17.88	64.37	0.39	6.24	70.61
		32.92	14.03	8	10.5	8.18	18.05	64.98	0.77	11.86	76.84
		32.04	14.11	7	48.0	7.80	14.88	53.57	0.43	6.36	59.93

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 22 คำนวณค่าพลังงานสิ้นเปลืองจำเพาะ (SEC)

ระดับความเร็วลม (Hz)	กรณี	ความชื้นเริ่มต้น (%wb)	ค่าความชื้นสุดท้าย (%wb)	M_w (kg)	M_d (kg)	Mw_2 (kg)	W_f (kg)	Q_a (kJ)	SEC (MJ/kg_{water})
45	ไม่ติดตั้งไซโคลน	32.33	13.79	9.70	20.30	3.25	23.55	51.50	7.97
		33.07	14.07	9.92	20.08	3.29	23.37	48.75	
		33.48	14.01	10.04	19.96	3.25	23.21	58.13	
		32.96	13.96	9.89	20.11	3.26	23.37	52.80	
45	ติดตั้งไซโคลน	31.77	13.77	9.53	20.47	3.27	23.74	65.97	10.69
		33.73	14.39	10.12	19.88	3.34	23.22	76.62	
		33.17	14.10	9.95	20.05	3.29	23.34	67.95	
		32.89	14.09	9.87	20.13	3.30	23.43	70.18	
50	ไม่ติดตั้งไซโคลน	33.48	13.99	10.04	19.96	3.25	23.20	54.63	7.25
		33.77	14.09	10.13	19.87	3.26	23.13	46.61	
		33.79	14.10	10.14	19.86	3.26	23.12	47.76	
		33.68	14.06	10.10	19.90	3.26	23.15	49.67	
50	ติดตั้งไซโคลน	32.86	14.07	9.86	20.14	3.30	23.44	75.75	10.60
		33.02	13.97	9.91	20.09	3.26	23.36	69.79	
		33.74	13.90	10.12	19.88	3.21	23.09	67.72	
		33.21	13.98	9.96	20.04	3.26	23.29	71.09	
55	ไม่ติดตั้งไซโคลน	32.17	13.97	9.65	20.35	3.30	23.65	61.69	9.54
		33.57	14.07	10.07	19.93	3.26	23.19	65.83	
		32.90	14.00	9.87	20.13	3.28	23.41	60.78	
		32.88	14.01	9.86	20.14	3.28	23.42	62.76	
55	ติดตั้งไซโคลน	34.32	14.10	10.30	19.70	3.23	22.94	70.61	10.41
		32.92	14.03	9.88	20.12	3.28	23.41	76.84	
		32.04	14.11	9.61	20.39	3.35	23.74	59.93	
		33.09	14.08	9.93	20.07	3.29	23.36	69.13	

ตารางผนวกที่ 23 คำนวณอัตราอบแห้ง (Drying rate)

ระดับความเร็วลม (Hz)	กรณี	W_r (kg)	time (hr.)	DR (kg/h)	DR_{ave} (kg/h)
45	ไม่ติดตั้งไซโคลน	23.55	6.81	0.95	0.8990
		23.37	7.44	0.89	
		23.21	7.92	0.86	
45	ติดตั้งไซโคลน	23.74	8.55	0.73	0.6932
		23.22	9.98	0.68	
		23.34	9.98	0.67	
50	ไม่ติดตั้งไซโคลน	23.20	7.47	0.91	1.1004
		23.13	6.28	1.09	
		23.12	5.30	1.30	
50	ติดตั้งไซโคลน	23.44	9.75	0.67	0.7239
		23.36	9.10	0.73	
		23.09	8.99	0.77	
55	ไม่ติดตั้งไซโคลน	23.65	7.05	0.90	0.9859
		23.19	6.30	1.08	
		23.41	6.75	0.98	
55	ติดตั้งไซโคลน	22.94	8.40	0.84	0.8166
		23.41	8.18	0.81	
		23.74	7.80	0.80	

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ข

ผลการทดลองหาเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นของข้าวเปลือก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 24 บันทึกผลค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก กรณีไม่ติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 45 Hz

กรณี	การทดลอง	ความชื้น (%wb)	น้ำหนัก (กรัม)				% ข้าวต้น
			ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวต้น	
ไม่ติดตั้งไซโคลน	1	15.33	125.02	90.16	76.99	36.72	29.37
		14.99	125.02	88.25	76.22	44.07	35.25
		13.70	125.02	87.25	77.26	45.58	36.46
		13.50	125.01	60.74	51.35	25.37	20.29
		12.91	124.99	87.16	77.20	36.19	28.95
ไม่ติดตั้งไซโคลน	2	15.37	125.00	84.88	69.13	38.94	31.15
		14.69	125.01	85.66	70.89	39.53	31.62
		13.67	125.02	85.98	72.50	37.31	29.84
		13.69	125.00	86.35	73.01	33.29	26.63
		12.99	125.01	85.29	71.52	29.58	23.66
		12.60	124.99	84.74	72.64	25.76	20.61
		12.39	125.02	85.31	72.95	25.77	20.61
		11.60	124.99	84.30	70.73	24.75	19.80
		11.10	124.99	85.44	75.19	26.53	21.23
		10.79	125.01	85.90	75.11	29.01	23.21
		10.59	125.01	85.49	75.38	31.54	25.23
		10.18	125.01	86.40	74.83	32.88	26.30
ไม่ติดตั้งไซโคลน	3	15.48	125.02	87.28	71.31	39.35	31.47
		15.07	124.99	86.83	71.84	38.96	31.17
		14.47	125.02	87.54	70.93	38.35	30.68
		14.20	125.01	87.41	74.90	36.91	29.53
		14.01	125.00	85.57	73.32	33.90	27.12
		13.60	125.02	85.00	72.14	31.12	24.89
		13.01	125.02	86.14	72.89	29.42	23.53
		11.99	125.00	85.33	72.95	28.63	22.90
		11.59	125.01	86.16	73.68	30.19	24.15
		11.79	125.00	85.97	74.64	31.46	25.17
		10.90	124.99	85.22	74.03	33.45	26.76
		10.30	125.01	86.46	74.96	36.45	29.16

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 25 บันทึกผลค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก กรณีไม่ติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 50 Hz

กรณี	การทดลอง	ความชื้น (%wb)	น้ำหนัก (กรัม)				% ข้าวต้น
			ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวต้น	
ไม่ติดตั้งไซโคลน	1	14.93	125.00	83.46	70.65	45.33	36.26
		14.79	125.02	85.93	76.37	45.64	36.51
		14.30	125.00	85.34	74.78	42.80	34.24
		13.53	125.00	86.58	76.47	39.69	31.75
		13.00	125.02	87.53	78.34	34.83	27.86
		12.61	125.02	86.52	77.52	31.53	25.22
ไม่ติดตั้งไซโคลน	2	12.71	125.01	83.44	70.81	27.31	21.85
		12.49	125.01	85.88	71.16	25.12	20.09
		12.00	125.02	86.70	72.15	23.12	18.49
		11.59	125.02	85.52	72.74	21.83	17.46
		11.60	125.01	85.74	72.64	20.72	16.57
		11.01	125.02	85.68	71.04	19.65	15.72
		10.49	125.00	83.23	71.79	19.63	15.70
		10.59	125.02	84.86	72.14	21.14	16.91
		10.19	125.00	84.96	73.38	23.19	18.55
		10.00	124.99	84.19	71.74	23.67	18.94
		10.29	125.00	84.95	73.22	24.16	19.33
		9.69	125.00	83.98	72.25	27.27	21.82
		9.49	125.00	85.00	73.87	29.55	23.64
		8.81	125.00	85.19	72.97	30.79	24.63
		9.20	125.01	86.74	76.02	31.84	25.47
		8.69	125.01	85.74	73.49	31.98	25.58
ไม่ติดตั้งไซโคลน	3	13.30	125.00	86.83	68.80	28.24	22.59
		12.73	124.99	84.16	67.74	24.21	19.37
		12.11	125.00	84.57	69.10	19.06	15.25
		11.41	125.01	86.31	70.16	16.16	12.93
		11.00	125.02	84.20	68.09	16.20	12.96
		10.19	125.00	85.36	71.09	18.95	15.16
		9.69	125.00	86.19	71.54	19.31	15.45
		9.40	125.02	86.83	71.25	22.94	18.35
		9.38	124.98	86.92	72.67	25.37	20.30
		8.91	125.01	83.57	69.33	26.24	20.99
		9.00	124.99	84.69	71.88	28.93	23.15
		8.28	125.00	85.14	71.52	30.98	24.78
		8.19	125.01	86.27	71.92	32.11	25.69

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 26 บันทึกผลค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก กรณีไม่ติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 55 Hz

กรณี	การทดลอง	ความชื้น (%wb)	น้ำหนัก (กรัม)				% ข้าวต้น
			ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวต้น	
ไม่ติดตั้งไซโคลน	1	15.07	125.02	86.94	76.31	43.83	35.06
		14.27	125.00	88.24	75.85	40.69	32.55
		13.97	124.99	88.73	78.85	40.10	32.08
		13.37	125.00	87.73	76.28	38.28	30.62
		13.19	125.01	87.32	77.43	35.28	28.22
		12.89	125.01	88.40	77.64	32.85	26.28
		12.40	125.00	62.74	52.14	18.19	14.55
		12.20	125.00	88.90	78.93	27.18	21.74
		11.69	125.01	89.24	78.51	24.74	19.79
		11.29	124.99	89.79	76.63	23.08	18.47
		10.81	125.02	89.83	66.70	21.63	17.30
		10.89	124.99	89.18	77.76	23.41	18.73
		11.30	125.02	89.63	78.07	24.70	19.76
		10.58	125.00	90.00	77.97	26.63	21.30
		10.51	125.01	89.36	78.78	25.93	20.74
ไม่ติดตั้งไซโคลน	2	15.46	125.00	86.97	74.79	49.41	39.53
		15.60	125.02	87.92	76.58	52.48	41.98
		15.21	125.00	88.03	77.09	48.77	39.02
		14.40	125.02	87.60	76.14	51.42	41.13
			125.00	87.31	75.68	49.80	39.84
			125.00	87.18	77.09	48.82	39.06
		13.78	124.99	87.28	76.84	46.32	37.06
		13.08	125.01	85.85	75.30	43.04	34.43
		13.40	125.01	87.61	77.40	39.28	31.42
		12.12	125.02	87.26	77.10	35.08	28.06
		12.27	124.99	87.12	76.91	33.25	26.60
		12.10	125.00	87.50	76.59	28.32	22.66
		11.42	124.98	90.38	79.08	27.95	22.36
		11.78	125.02	88.48	78.74	27.47	21.97
		10.90	124.99	88.49	77.43	28.69	22.95
		10.81	125.01	88.23	77.49	27.59	22.07

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กรณี	การทดลอง	ความชื้น (%wb)	น้ำหนัก (กรัม)				% ข้าวต้น
			ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวต้น	
ไม่ติดตั้งไซโคลน	2	10.48	124.99	89.26	77.89	30.18	24.15
		13.70	124.99	85.90	74.61	32.01	25.61
		13.23	125.01	88.57	79.03	30.07	24.05
		13.19	125.00	89.06	78.98	26.03	20.82
ไม่ติดตั้งไซโคลน	3	11.98	125.00	90.06	77.92	18.11	14.49
		11.99	125.00	89.16	79.85	18.62	14.90
		11.39	125.01	88.85	77.52	17.54	14.03
		11.40	125.00	90.85	79.70	18.16	14.53
		10.90	125.02	90.12	79.32	17.79	14.23
		10.68	125.01	89.65	79.17	18.86	15.09
		10.89	125.00	89.95	78.12	19.46	15.57
		10.38	125.02	88.77	78.04	20.74	16.59
		10.10	125.02	90.03	79.23	22.09	17.67
		10.10	125.02	91.02	79.65	23.47	18.77
		9.58	125.00	89.73	78.80	23.90	19.12
		9.60	125.00	89.53	79.58	26.16	20.93
		9.20	125.00	89.19	78.57	25.96	20.77
		9.08	125.00	89.54	79.52	28.06	22.45
		9.28	125.01	90.87	79.90	30.13	24.10
		8.80	125.00	91.70	81.33	31.30	25.04

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 27 บันทึกผลค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก กรณีติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 45 Hz

กรณี	การทดลอง	ความชื้น (%wb)	น้ำหนัก (กรัม)				% ข้าวต้น
			ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวต้น	
ติดตั้งไซโคลน	1	15.58	125.01	82.65	68.92	41.84	33.47
		14.97	125.01	89.12	73.32	44.20	35.36
		14.71	125.00	84.79	70.13	40.45	32.36
		13.77	125.00	83.97	71.77	40.69	32.55
		13.69	125.01	84.02	73.42	40.98	32.78
		12.21	125.01	84.48	72.71	37.18	29.74
		12.69	125.02	84.72	73.80	37.40	29.92
		12.69	125.01	85.41	74.85	37.88	30.30
		11.91	125.02	85.15	75.29	37.38	29.90
ติดตั้งไซโคลน	2	15.42	125.00	81.87	68.46	43.09	34.47
		15.40	125.01	83.44	69.74	45.14	36.11
		15.18	125.00	83.82	71.40	44.38	35.50
		14.67	125.00	85.08	71.85	42.51	34.01
		13.30	125.02	83.78	70.70	41.79	33.43
ติดตั้งไซโคลน	3	15.00	125.01	83.40	68.32	38.08	30.46
		15.17	125.01	83.45	68.07	40.45	32.36
		13.79	125.02	83.26	69.30	40.54	32.43

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 28 บันทึกผลค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก กรณีติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 50 Hz

กรณี	การทดลอง	ความชื้น (%wb)	น้ำหนัก (กรัม)				% ข้าวต้น
			ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวต้น	
ติดตั้งไซโคลน	1	15.57	125.01	84.01	67.76	38.10	30.48
		15.48	125.02	85.54	69.57	39.15	31.31
		14.99	125.00	85.00	71.86	41.33	33.06
		14.51	125.00	84.16	70.09	41.18	32.94
		14.20	125.01	84.77	70.39	40.29	32.23
		14.09	125.00	81.64	68.06	38.20	30.56
		13.49	125.02	83.32	70.17	39.13	31.30
ติดตั้งไซโคลน	2	15.20	125.00	84.31	67.87	34.40	27.52
		14.89	125.01	84.74	70.08	37.84	30.27
		15.03	125.01	86.21	68.68	35.79	28.63
		14.79	125.01	85.03	70.30	40.82	32.65
		14.99	125.01	85.21	70.20	42.19	33.75
		14.27	125.01	83.20	68.07	38.48	30.78
		14.10	125.00	83.93	71.48	40.89	32.71
		14.29	125.01	84.64	71.02	40.09	32.07
		13.50	125.01	84.52	71.36	40.54	32.43
		13.10	125.00	82.30	68.51	38.08	30.46
		13.00	125.00	85.05	71.40	40.61	32.49
ติดตั้งไซโคลน	3	15.28	124.99	85.02	68.74	35.76	28.61
		15.27	125.02	86.68	72.36	38.26	30.60
		14.70	125.01	83.42	66.83	34.99	27.99
		14.77	125.00	84.27	68.26	36.25	29.00
		14.17	124.99	82.72	68.09	35.59	28.47
		13.90	125.00	84.31	69.05	35.14	28.11
		13.59	125.02	83.59	68.34	34.90	27.92
		13.20	125.01	82.89	68.77	35.26	28.21
		13.17	125.02	84.86	69.48	35.62	28.49
		12.49	125.01	82.67	69.39	35.97	28.77

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 29 บันทึกผลค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก กรณีติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 55 Hz

กรณี	การทดลอง	ความชื้น (%wb)	น้ำหนัก (กรัม)				% ข้าวต้น
			ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวต้น	
ติดตั้งไซโคลน	1	15.20	125.01	83.71	65.52	35.89	28.71
		15.28	125.00	83.32	70.27	37.62	30.10
		15.00	125.00	82.24	70.99	38.04	30.43
		15.07	125.01	82.23	67.09	34.18	27.34
		14.40	125.00	83.97	66.91	33.12	26.50
		14.17	125.01	85.51	72.04	35.43	28.34
		14.30	125.01	85.70	71.18	34.33	27.46
		13.60	125.01	82.07	69.24	31.71	25.37
		13.37	125.02	84.51	72.37	32.67	26.13
		13.27					
		12.99	125.02	83.98	70.47	30.71	24.56
		12.87	125.02	85.26	72.46	31.00	24.80
		12.09	125.00	84.79	72.91	32.76	26.21
		12.18	125.00	83.94	71.04	30.86	24.69
		11.89	125.02	85.18	73.25	30.30	24.24
ติดตั้งไซโคลน	2	14.97	125.01	81.10	66.83	35.32	28.25
		14.87	125.02	84.20	70.41	38.42	30.73
		13.97	125.01	84.06	73.91	34.48	27.58
		13.53	125.00	84.60	68.05	34.19	27.35
		13.23	125.01	83.04	69.67	34.64	27.71
		13.39	125.02	83.42	69.40	32.85	26.28
		13.17	125.00	85.56	72.27	33.98	27.18
		13.39	125.00	81.07	67.02	31.06	24.85
		12.60	125.02	81.67	69.10	30.47	24.37
		11.90	125.00	84.12	70.18	32.02	25.62
		12.11	125.00	84.89	72.67	32.46	25.97
		12.08	125.00	83.21	69.14	30.70	24.56
ติดตั้งไซโคลน	3	14.49	125.01	83.14	67.88	33.06	26.45
		14.29	125.00	81.43	65.94	33.21	26.57
		14.30	125.01	80.15	65.85	32.68	26.14
		14.11	125.02	83.88	67.09	34.18	27.34

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กรณี	การทดลอง	ความชื้น (%wb)	น้ำหนัก (กรัม)				% ข้าวต้น
			ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวต้น	
ติดตั้งไซโคลน	3	13.97	124.99	83.31	68.77	34.71	27.77
		13.29	124.99	82.18	68.25	34.03	27.23
		12.90	125.02	84.82	70.72	32.95	26.36
		12.19	125.01	83.47	68.35	32.77	26.21
		12.59	125.00	79.97	66.39	30.32	24.26
		12.42	125.02	84.22	68.96	31.47	25.17
		11.71	125.01	81.78	71.77	31.54	25.23
		11.90	125.00	81.55	68.47	30.67	24.54
		11.39	125.02	83.23	69.69	29.73	23.78
		10.98	124.99	82.11	69.74	30.07	24.06

ตารางผนวกที่ 30 บันทึกผลค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นจากการอบแห้งแบบธรรมชาติ (ตากแห้ง)

ชุด	ระยะเวลาผึ่งลม (วัน)	ความชื้น (%wb)	น้ำหนัก (กรัม)				% ข้าวต้น
			ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวต้น	
1	เริ่มต้น	32.06	-				
	1	23.6					
	2	18.38					
	3	14.55	125.02	80.23	67.95	52.13	41.7
	4	12.51	125.02	81.1	69.92	58.79	47.02
	5			82.59	71.23	60.07	#DIV/0!
	6	10.73	125	23.28	72.03	60.9	48.72
	7	10.73	125.02	82.88	71.97	62.49	49.98
	8	10.2	125.01	83.18	72.96	63.61	50.88
	9	10.16	125.02	81.58	70.59	61.49	49.18
2	เริ่มต้น	28.23	-				
	1	20.92					
	2	15.29	124.99	82	67.87	40.15	32.12
	3	13.25	125	84.18	71.64	55.18	44.14
	4			84.34	71.7	57.56	#DIV/0!
	5	12.13	125.02	83.34	71.68	59.38	47.5
	6	10.9	125.01	84.83	73.43	62.08	49.66
	7	10.2	125.01	83.55	72.74	63.43	50.74

ชุด	ระยะเวลาผึ่งลม (วัน)	ความชื้น (%wb)	น้ำหนัก (กรัม)				% ข้าวต้น
			ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวต้น	
2	8	10.91	125.02	83.07	72.55	61.85	49.47
	9	10.89	125.01	84.31	79.97	60.98	48.78
3	เริ่มต้น	33.26	-				
	1						
	2	15.21	125	82.54	67.3	35.77	28.62
	3	13.63	125.02	82.43	70.35	56.64	45.3
	4	11.48	125.02	82.84	70.94	58.48	46.78
	5	10.96	125.02	83.61	71.77	59.44	47.54
4	6	12.93	125.02	83.47	70.39	54.91	43.92
	7	12.13	125	84.13	71.37	56.14	44.91
	8	12.33	125.02	82.72	69.93	53.23	42.58
	9	12.29	125.01	80.92	68.14	51.72	41.37
	1	20.23					
	2	15.97	125.01	81.69	66.97	42.12	33.69
	3	12.5	125.02	81.39	69.92	56.75	45.39
	4	12.12	125	81.39	69.93	58.02	46.42
	5	12.69	125.01	80.08	67.79	52.64	42.11
	6	12.22	125.02	82	69.86	55.6	44.47
	7	12.24	124.99	79.77	67.04	52.79	42.24
	8	12.29	125	79.8	66.21	51.24	40.99
	9	11.5	125.01	80.13	68.62	55.71	44.56
5	เริ่มต้น	31.77	-				
	1	20.76					
	2	15.77	124.99	79.64	64.38	33.76	27.01
	3	14.57	125.02	80.25	66.64	48.33	38.66
	4	14.62	125	80.1	67	48.16	38.53
	5	12.88	124.99	79.67	67.53	51.52	41.22
	6	12.39	125	80.67	67.75	52.64	42.11
	7	12.59	125.01	79.44	66.21	50.23	40.18
	8	11.62	125.02	80.73	67.74	54.02	43.21
	9	10.77	124.99	80.07	68.37	56.18	44.95

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ชุด	ระยะเวลาผึ่งลม (วัน)	ความชื้น (%wb)	น้ำหนัก (กรัม)				% ข้าวต้น
			ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวต้น	
6	เริ่มต้น	33.73	-				
	1	22.4					
	2	22.1	-				
	3	17.17					
	4	15.29	124.99	80.62	65.8	40.14	32.11
	5	13.75	125.02	81.07	66.74	44.67	35.73
	6	13.45	125	81.87	68.82	50.07	40.06
	7	12.21	125.02	80.11	67.47	52.95	42.35
	8	11.33	125.02	80.9	68.44	55.47	44.37
	9	11.32	125	82.32	70.71	58.57	46.86
7	เริ่มต้น	32.86	-				
	1	20.86					
	2	17.02					
	3	15.67					
	4	13.42	125.01	81.03	67.74	51.84	41.47
	5	13.24	125.02	81.68	68.38	53.75	42.99
	6	11.87	125	79.56	67.17	53.56	42.85
	7	10.86	125	80.3	68.42	56.83	45.46
	8	11.22	125	80.24	68.84	56.42	45.14
	9	10.6	125.01	80.07	68.38	57.51	46
8	เริ่มต้น	34.32	-				
	1	23.05					
	2	18.86					
	3	15.42					
	4	15.16	125.02	80.1	65.57	41.89	33.51
	5	11.96	125.01	82.03	69.27	53.77	43.01
	6	11.27	124.99	82.35	70.1	57.06	45.65
	7	11.47	125.01	81.67	69.58	56.81	45.44
	8	11.13	125.01	81.89	70.43	59.31	47.44
	9	10.89	124.99	81.42	69.79	57.89	46.32

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ชุด	ระยะเวลาผึ่งลม (วัน)	ความชื้น (%wb)	น้ำหนัก (กรัม)				% ข้าวต้น
			ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวต้น	
9	เริ่มต้น	34.32	-				
	1	23.24					
	2	16.91					
	3	13.92	125.01	80.77	65.19	39.21	31.37
	4	12.8	125	80.5	67.04	50.87	40.7
	5	12.2	125.02	81.1	68.21	55.12	44.09
	6	11.07	125.01	80.44	67.53	54.95	43.96
	7	11.3	125	80.79	68.63	56.72	45.38
	8	10.14	125	80.8	68.69	57.36	45.89
	9	10.76	125	81.23	69.23	58.78	47.02
10	เริ่มต้น	32.72	-				
	1	18.48					
	2	17.92					
	3	12.47	125.02	82.76	66.4	41.64	33.31
	4	11.8	125	83.12	69.69	53.41	42.73
	5	11.53	125	83.6	70.62	57.63	46.1
	6	10.23	124.99	82.69	70.2	58.37	46.7
	7	10.96	125.01	82.53	70.68	59.51	47.6
	8	11.4	125.01	82	69.81	58.2	46.56
	9	11.06	125	83.03	70.49	59.03	47.22
11	เริ่มต้น	33.74	-				
	1	20.17					
	2	16.36					
	3	12.96	125.02	78.97	65.14	48.26	38.6
	4	11.5	125	80.14	68.41	56.68	45.34
	5	10.39	125.02	81.29	69.13	57.62	46.09
	6	10.96	125.01	80.97	69.37	58.95	47.16
	7	11.16	125	81.93	69.65	57.93	46.34
	8	10.99	125	82.9	70.65	58.6	46.88
	9	11.16	125.02	81.37	68.9	56.76	45.4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ชุด	ระยะเวลาผึ่งลม (วัน)	ความชื้น (%wb)	น้ำหนัก (กรัม)				% ข้าวต้น
			ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวต้น	
12	เริ่มต้น	33.37	-				
	1	20.03					
	2	16.4					
	3	13.72	125.01	81.98	66.92	49.49	39.59
	4	11.95	125	81.88	68.99	55.27	44.22
	5	11.47	125	81.44	68.88	56.03	44.82
	6	11.87	125.01	80.43	67.4	55.33	44.26
	7	11.33	125.01	82.19	70.8	58.18	46.54
	8	11.46	124.99	81.86	69.46	56.27	45.02
	9	10.93	125.01	81.72	68.77	55.7	44.56
13	เริ่มต้น	32.04	-				
	1	18.64					
	2	14.57	125.01	80.95	65.71	38.95	31.16
	3	11.39	125	81.51	67.61	52.51	42.01
	4	11.17	124.98	81.08	68.92	56.51	45.22
	5	11.3	125.01	82.53	69.96	56.85	45.48
	6	11.29	125.01	82.28	69.76	57.4	45.92
	7	11.25	125.01	82.52	68.95	56.58	45.26
	8	10.89	125	83.12	70.16	57.37	45.9
	9	12.19	125.01	82.42	68.91	53.74	42.99
14	เริ่มต้น	33.07	-				
	1	16.59					
	2	14.08	125.02	82.23	66.86	43.66	34.92
	3	12.59	125.02	82.19	68.14	51.71	41.36
	4	11.96	125	81.3	67.94	54.48	43.58
	5	11.39	125	81.43	68.34	54.72	43.78
	6	11.56	124.99	83.51	70.6	57.14	45.72
	7	10.97	125	81.12	68.2	54.69	43.75
	8	12.22	125	82.6	68.26	53.58	42.86
	9	12.26	125.01	82.3	68.94	54.9	43.92

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ชุด	ระยะเวลาผึ่งลม (วัน)	ความชื้น (%wb)	น้ำหนัก (กรัม)				% ข้าวต้น
			ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวต้น	
15	เริ่มต้น	33.48	-				
	1	18.98					
	2	15.12	125.02	82.11	65.76	32.02	25.61
	3	10.93	125.02	82.77	67.58	46.33	37.06
	4	12.86	124.99	83.85	69.89	54.69	43.76
	5	11.76	125.01	82.98	69.7	56.36	45.08
	6	11.06	125	82.12	69.14	57.07	45.66
	7	11.92	125.01	82.01	67.98	53.49	42.79
	8	11.88	125.02	83.83	70.71	56.8	45.43
	9	11.12	125	82.38	69.96	57.53	46.02
16	เริ่มต้น	33.77	-				
	1	18.95					
	2	15.61	125	84	66.76	34.11	27.29
	3	13.7	125	82.89	68.84	46.34	37.07
	4	12.79	125.01	84.16	69.71	53.89	43.11
	5	11.72	125.01	84.35	71.01	55.84	44.67
	6	12.59	124.99	83.17	69.41	52.83	42.27
	7	12.52	124.99	85.23	71.41	56.09	44.88
	8	11.52	124.99	82.28	68.92	56.23	44.99
	9	11.5	125.01	82.01	69.77	57.1	45.68
17	เริ่มต้น	33.77	-				
	1	21.2					
	2	18.63					
	3	14.59	125.02	82.06	65.43	40.01	32
	4	12.89	125.01	83.74	68.87	53.25	42.6
	5	11.09	125	82.77	68.91	56.28	45.02
	6	10.91	125.01	82.4	69.76	56.83	45.46
	7	10.76	125.02	82.24	69.09	57.73	46.18
	8	10.86	125.01	82.59	68.93	57.16	45.72
	9	10.79	125.01	81.74	69.05	57.75	46.2

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 31 บันทึกผลค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นจากการอบแห้งแบบธรรมชาติ (ตากแห้ง) กรณีไม่ติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 45 Hz

วันเดือนปี	กรณี	ระดับความเร็วลม	ความชื้น (%wb)	น้ำหนัก (กรัม)				% ข้าวต้น
				ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวต้น	
30/10/2559	ไม่ติดตั้งไซโคลน	45	15.33	125.02	90.16	76.99	36.72	29.37
			14.99	125.02	88.25	76.22	44.07	35.25
			13.70	125.02	87.25	77.26	45.58	36.46
			13.50	125.01	60.74	51.35	25.37	20.29
			12.91	124.99	87.16	77.20	36.19	28.95
15/11/2559	ไม่ติดตั้งไซโคลน	45	15.37	125.00	84.88	69.13	38.94	31.15
			14.69	125.01	85.66	70.89	39.53	31.62
			13.67	125.02	85.98	72.50	37.31	29.84
			13.69	125.00	86.35	73.01	33.29	26.63
			12.99	125.01	85.29	71.52	29.58	23.66
			12.60	124.99	84.74	72.64	25.76	20.61
			12.39	125.02	85.31	72.95	25.77	20.61
			11.60	124.99	84.30	70.73	24.75	19.80
			11.10	124.99	85.44	75.19	26.53	21.23
			10.79	125.01	85.90	75.11	29.01	23.21
			10.59	125.01	85.49	75.38	31.54	25.23
			10.18	125.01	86.40	74.83	32.88	26.30
16/11/2559	ไม่ติดตั้งไซโคลน	45	15.48	125.02	87.28	71.31	39.35	31.47
			15.07	124.99	86.83	71.84	38.96	31.17
			14.47	125.02	87.54	70.93	38.35	30.68
			14.20	125.01	87.41	74.90	36.91	29.53
			14.01	125.00	85.57	73.32	33.90	27.12
			13.60	125.02	85.00	72.14	31.12	24.89
			13.01	125.02	86.14	72.89	29.42	23.53
			11.99	125.00	85.33	72.95	28.63	22.90
			11.59	125.01	86.16	73.68	30.19	24.15
			11.79	125.00	85.97	74.64	31.46	25.17
			10.90	124.99	85.22	74.03	33.45	26.76
			10.30	125.01	86.46	74.96	36.45	29.16

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 32 บันทึกผลค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นจากเครื่องอบแห้ง

กรณีไม่ติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 50 Hz

วันเดือนปี	กรณี	ระดับความเร็วลม	ความชื้น (%wb)	น้ำหนัก (กรัม)				% ข้าวต้น
				ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวต้น	
31/10/2559	ไม่ติดตั้งไซโคลน	50	14.93	125	83.46	70.65	45.33	36.26
			14.79	125.02	85.93	76.37	45.64	36.51
			14.30	125	85.34	74.78	42.8	34.24
			13.53	125	86.58	76.47	39.69	31.75
			13.00	125.02	87.53	78.34	34.83	27.86
			12.61	125.02	86.52	77.52	31.53	25.22
1/11/2559	ไม่ติดตั้งไซโคลน	50	15.57	125	86.8	75.01	46.07	36.86
			15.00	125.02	87.64	76.03	46.41	37.12
			14.70	125.01	87.61	76.68	43.66	34.93
			14.80	124.99	88.68			
			13.70	124.98	85.92			
			14.00	124.99	88.95			
			13.03	125.01	88.26	77.13	31.78	25.42
			12.89	125.02	89.85	74.29	28.13	22.5
			12.39	124.98	89.59	72.4	25.3	20.24
			12.69	125.01	89.03			
			13.20	125.02	88.96			
			12.32	125.02	88.38	74.08	26.54	21.23
			12.30	125.01	87.58	77.19	28.04	22.43
			12.00	125.02	87.95	77.06	26.69	21.35
			12.28	125.02	88.45	78.07	30.17	24.13
			11.29	124.99	88.76	78.36	30.91	24.73
			9.88	125	88.32	77.78	31.64	25.31
22/11/2559	ไม่ติดตั้งไซโคลน	50	13.30	125	86.83	68.8	28.24	22.59
			12.73	124.99	84.16	67.74	24.21	19.37
			12.11	125	84.57	69.1	19.06	15.25
			11.41	125.01	86.31	70.16	16.16	12.93
			11.00	125.02	84.2	68.09	16.2	12.96
			10.19	125	85.36	71.09	18.95	15.16
			9.69	125	86.19	71.54	19.31	15.45
			9.40	125.02	86.83	71.25	22.94	18.35

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วันเดือนปี	กรณี	ระดับความเร็วลม	ความชื้น (%wb)	น้ำหนัก (กรัม)				% ข้าวต้น
				ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวต้น	
22/11/2559	ไม่ติดตั้งไซโคลน	50	9.38	124.98	86.92	72.67	25.37	20.3
			8.91	125.01	83.57	69.33	26.24	20.99
			9.00	124.99	84.69	71.88	28.93	23.15
			8.28	125	85.14	71.52	30.98	24.78
			8.19	125.01	86.27	71.92	32.11	25.69
			8.21	125	87.37	74.09	33.87	27.1
			7.99	125.02	87.86	72.96	34.97	27.97

ตารางผนวกที่ 33 บันทึกผลค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นจากเครื่องอบแห้ง
กรณีไม่ติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 50 Hz

วันเดือนปี	กรณี	ระดับความเร็วลม	ความชื้น (%wb)	น้ำหนัก (กรัม)				% ข้าวต้น
				ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวต้น	
30/10/2559	ไม่ติดตั้งไซโคลน	55	15.07	125.02	86.94	76.31	43.83	35.06
			14.27	125	88.24	75.85	40.69	32.55
			13.97	124.99	88.73	78.85	40.1	32.08
			13.37	125	87.73	76.28	38.28	30.62
			13.19	125.01	87.32	77.43	35.28	28.22
			12.89	125.01	88.4	77.64	32.85	26.28
			12.4	125	62.74	52.14	18.19	14.55
			12.2	125	88.9	78.93	27.18	21.74
			11.69	125.01	89.24	78.51	24.74	19.79
			11.29	124.99	89.79	76.63	23.08	18.47
			10.81	125.02	89.83	66.7	21.63	17.3
			10.89	124.99	89.18	77.76	23.41	18.73
			11.3	125.02	89.63	78.07	24.7	19.76
			10.58	125	90	77.97	26.63	21.3
			10.51	125.01	89.36	78.78	25.93	20.74
31/10/2559	ไม่ติดตั้งไซโคลน	55	15.46	125	86.97	74.79	49.41	39.53
			15.6	125.02	87.92	76.58	52.48	41.98
			15.21	125	88.03	77.09	48.77	39.02
			14.4	125.02	87.6	76.14	51.42	41.13

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วันเดือนปี	กรณี	ระดับความเร็วลม	ความชื้น (%wb)	น้ำหนัก (กรัม)				% ข้าวต้น
				ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวต้น	
31/10/2559	ไม่ติดตั้งไซโคลน	55		125	87.31	75.68	49.8	39.84
				125	87.18	77.09	48.82	39.06
			13.78	124.99	87.28	76.84	46.32	37.06
			13.08	125.01	85.85	75.3	43.04	34.43
			13.4	125.01	87.61	77.4	39.28	31.42
			12.12	125.02	87.26	77.1	35.08	28.06
			12.27	124.99	87.12	76.91	33.25	26.6
			12.1	125	87.5	76.59	28.32	22.66
			11.42	124.98	90.38	79.08	27.95	22.36
			11.78	125.02	88.48	78.74	27.47	21.97
			10.9	124.99	88.49	77.43	28.69	22.95
			10.81	125.01	88.23	77.49	27.59	22.07
			10.48	124.99	89.26	77.89	30.18	24.15
2/11/2559	ไม่ติดตั้งไซโคลน	55	13.7	124.99	85.9	74.61	32.01	25.61
			13.23	125.01	88.57	79.03	30.07	24.05
			13.19	125	89.06	78.98	26.03	20.82
			12.11	125	87.43	77.43	23.89	19.11
			12.09	125	90.4	79.4	20.25	16.2
			11.98	125	90.06	77.92	18.11	14.49
			11.99	125	89.16	79.85	18.62	14.9
			11.39	125.01	88.85	77.52	17.54	14.03
			11.4	125	90.85	79.7	18.16	14.53
			10.9	125.02	90.12	79.32	17.79	14.23
			10.68	125.01	89.65	79.17	18.86	15.09
			10.89	125	89.95	78.12	19.46	15.57
			10.38	125.02	88.77	78.04	20.74	16.59
			10.1	125.02	90.03	79.23	22.09	17.67
			10.1	125.02	91.02	79.65	23.47	18.77
			9.58	125	89.73	78.8	23.9	19.12
			9.6	125	89.53	79.58	26.16	20.93
			9.2	125	89.19	78.57	25.96	20.77
			9.08	125	89.54	79.52	28.06	22.45

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วันเดือนปี	กรณี	ระดับความเร็วลม	ความชื้น (%wb)	น้ำหนัก (กรัม)				% ข้าวต้น
				ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวต้น	
31/10/2559	ไม่ติดตั้งไซโคลน	55	15.21	125	88.03	77.09	48.77	39.02
			14.4	125.02	87.6	76.14	51.42	41.13
				125	87.31	75.68	49.8	39.84
				125	87.18	77.09	48.82	39.06
			13.78	124.99	87.28	76.84	46.32	37.06
			13.08	125.01	85.85	75.3	43.04	34.43
			13.4	125.01	87.61	77.4	39.28	31.42
			12.12	125.02	87.26	77.1	35.08	28.06
			12.27	124.99	87.12	76.91	33.25	26.6
			12.1	125	87.5	76.59	28.32	22.66
			11.42	124.98	90.38	79.08	27.95	22.36
			11.78	125.02	88.48	78.74	27.47	21.97
			10.9	124.99	88.49	77.43	28.69	22.95
			10.81	125.01	88.23	77.49	27.59	22.07
			10.48	124.99	89.26	77.89	30.18	24.15
2/11/2559	ไม่ติดตั้งไซโคลน	55	13.7	124.99	85.9	74.61	32.01	25.61
			13.23	125.01	88.57	79.03	30.07	24.05
			13.19	125	89.06	78.98	26.03	20.82
			12.11	125	87.43	77.43	23.89	19.11
			12.09	125	90.4	79.4	20.25	16.2
			11.98	125	90.06	77.92	18.11	14.49
			11.99	125	89.16	79.85	18.62	14.9
			11.39	125.01	88.85	77.52	17.54	14.03
			11.4	125	90.85	79.7	18.16	14.53
			10.9	125.02	90.12	79.32	17.79	14.23
			10.68	125.01	89.65	79.17	18.86	15.09
			10.89	125	89.95	78.12	19.46	15.57
			10.38	125.02	88.77	78.04	20.74	16.59
			10.1	125.02	90.03	79.23	22.09	17.67
			10.1	125.02	91.02	79.65	23.47	18.77
			9.58	125	89.73	78.8	23.9	19.12
			9.6	125	89.53	79.58	26.16	20.93

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วันเดือนปี	กรณี	ระดับความเร็วลม	ความชื้น (%wb)	น้ำหนัก (กรัม)				% ข้าวต้น
				ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวต้น	
2/11/2559	ไม่ติดตั้งไซโคลน	55	9.2	125	89.19	78.57	25.96	20.77
			9.08	125	89.54	79.52	28.06	22.45
			9.28	125.01	90.87	79.9	30.13	24.1
			8.8	125	91.7	81.33	31.3	25.04

ตารางผนวกที่ 34 บันทึกผลค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นจากเครื่องอบแห้ง
กรณีติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 45 Hz

วันเดือนปี	กรณี	ระดับความเร็วลม	ความชื้น (%wb)	น้ำหนัก (กรัม)				% ข้าวต้น
				ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวต้น	
3/11/2559	Cyclone	45	15.58	125.01	82.65	68.92	41.84	33.47
			14.97	125.01	89.12	73.32	44.20	35.36
			14.71	125.00	84.79	70.13	40.45	32.36
			13.77	125.00	83.97	71.77	40.69	32.55
			13.69	125.01	84.02	73.42	40.98	32.78
			12.21	125.01	84.48	72.71	37.18	29.74
			12.69	125.02	84.72	73.80	37.40	29.92
			12.69	125.01	85.41	74.85	37.88	30.30
			11.91	125.02	85.15	75.29	37.38	29.90
4/11/2559	Cyclone	45	15.42	125.00	81.87	68.46	43.09	34.47
			15.40	125.01	83.44	69.74	45.14	36.11
			15.18	125.00	83.82	71.40	44.38	35.50
			14.67	125.00	85.08	71.85	42.51	34.01
			13.30	125.02	83.78	70.70	41.79	33.43
13/11/2559	Cyclone	45	15.50	125.01	80.99	64.77	36.26	29.01
			15.00	125.01	83.40	68.32	38.08	30.46
			15.17	125.01	83.45	68.07	40.45	32.36
			13.79	125.02	83.26	69.30	40.54	32.43

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 35 บันทึกผลค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นจากเครื่องอบแห้ง

กรณีติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 50 Hz

วันเดือนปี	กรณี	ระดับความเร็วลม	ความชื้น (%wb)	น้ำหนัก (กรัม)				% ข้าวต้น
				ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวต้น	
5/11/2559	Cyclone	50	15.57	125.01	84.01	67.76	38.10	30.48
			15.48	125.02	85.54	69.57	39.15	31.31
			14.99	125.00	85.00	71.86	41.33	33.06
			14.51	125.00	84.16	70.09	41.18	32.94
			14.20	125.01	84.77	70.39	40.29	32.23
			14.09	125.00	81.64	68.06	38.20	30.56
			13.49	125.02	83.32	70.17	39.13	31.30
9/11/2559	Cyclone	50	15.20	125.00	84.31	67.87	34.40	27.52
			14.89	125.01	84.74	70.08	37.84	30.27
			15.03	125.01	86.21	68.68	35.79	28.63
			14.79	125.01	85.03	70.30	40.82	32.65
			14.99	125.01	85.21	70.20	42.19	33.75
			14.27	125.01	83.20	68.07	38.48	30.78
			14.10	125.00	83.93	71.48	40.89	32.71
			14.29	125.01	84.64	71.02	40.09	32.07
			13.50	125.01	84.52	71.36	40.54	32.43
			13.10	125.00	82.30	68.51	38.08	30.46
			13.00	125.00	85.05	71.40	40.61	32.49
12/11/2559	Cyclone	50	15.28	124.99	85.02	68.74	35.76	28.61
			15.27	125.02	86.68	72.36	38.26	30.60
			14.70	125.01	83.42	66.83	34.99	27.99
			14.77	125.00	84.27	68.26	36.25	29.00
			14.17	124.99	82.72	68.09	35.59	28.47
			13.90	125.00	84.31	69.05	35.14	28.11
			13.59	125.02	83.59	68.34	34.90	27.92
			13.20	125.01	82.89	68.77	35.26	28.21
			13.17	125.02	84.86	69.48	35.62	28.49
			12.49	125.01	82.67	69.39	35.97	28.77
			12.68	125.01	85.66	71.22	36.49	29.19

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางผนวกที่ 36 บันทึกผลค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวต้นจากเครื่องอบแห้ง

กรณีติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 55 Hz

วันเดือนปี	กรณี	ระดับความเร็วลม	ความชื้น (%wb)	น้ำหนัก (กรัม)				% ข้าวต้น
				ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวต้น	
6/11/2559	Cyclone	55	15.2	125.01	83.71	65.52	35.89	28.71
			15.28	125	83.32	70.27	37.62	30.1
			15	125	82.24	70.99	38.04	30.43
			15.07	125.01	82.23	67.09	34.18	27.34
			14.4	125	83.97	66.91	33.12	26.5
			14.17	125.01	85.51	72.04	35.43	28.34
			14.3	125.01	85.7	71.18	34.33	27.46
			13.6	125.01	82.07	69.24	31.71	25.37
			13.37	125.02	84.51	72.37	32.67	26.13
			13.27	-	-	-	-	-
			12.99	125.02	83.98	70.47	30.71	24.56
			12.87	125.02	85.26	72.46	31	24.8
			12.09	125	84.79	72.91	32.76	26.21
			12.18	125	83.94	71.04	30.86	24.69
			11.89	125.02	85.18	73.25	30.3	24.24
11/11/2559	Cyclone	55	14.97	125.01	81.1	66.83	35.32	28.25
			14.87	125.02	84.2	70.41	38.42	30.73
			13.97	125.01	84.06	73.91	34.48	27.58
			13.53	125	84.6	68.05	34.19	27.35
			13.23	125.01	83.04	69.67	34.64	27.71
			13.39	125.02	83.42	69.4	32.85	26.28
			13.17	125	85.56	72.27	33.98	27.18
			13.39	125	81.07	67.02	31.06	24.85
			12.6	125.02	81.67	69.1	30.47	24.37
			11.9	125	84.12	70.18	32.02	25.62
			12.11	125	84.89	72.67	32.46	25.97
			12.08	125	83.21	69.14	30.7	24.56
14/11/2559	Cyclone	55	14.49	125.01	83.14	67.88	33.06	26.45
			14.29	125	81.43	65.94	33.21	26.57
			14.3	125.01	80.15	65.85	32.68	26.14
			14.11	125.02	83.88	67.09	34.18	27.34

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วันเดือนปี	กรณี	ระดับความเร็วลม	ความชื้น	น้ำหนัก (กรัม)				% ข้าวต้น
			(%wb)	ข้าวเปลือก	ข้าวกล้อง	ข้าวสาร	ข้าวต้น	
14/11/2559	Cyclone	55	13.97	124.99	83.31	68.77	34.71	27.77
			13.29	124.99	82.18	68.25	34.03	27.23
			12.9	125.02	84.82	70.72	32.95	26.36
			12.19	125.01	83.47	68.35	32.77	26.21
			12.59	125	79.97	66.39	30.32	24.26
			12.42	125.02	84.22	68.96	31.47	25.17
			11.71	125.01	81.78	71.77	31.54	25.23
			11.9	125	81.55	68.47	30.67	24.54
			11.39	125.02	83.23	69.69	29.73	23.78
			10.98	124.99	82.11	69.74	30.07	24.06

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณผลการทดลอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าอัตราการไหลของอากาศ

การทดสอบครั้งที่	ความเร็วลม (Hz)	อัตราการป้อน (Hz)	น้ำหนักข้าว (g) ทุก 20 s	อัตราการไหลของข้าวเปลือก (kg/s)	อัตราการไหลของอากาศ (kg/s)	Ratio
1	45.4	20.08	1340.00	0.0670	0.0694	0.9846
			1420.00	0.0710		
			1340.00	0.0670		
			1366.67	0.0683		

จากผลการทดลองครั้งที่ 1 สุ่มเก็บตัวอย่างข้าวทุก 20 วินาที ต้องการหาอัตราการไหลของข้าวเปลือก โดยชั่งน้ำหนักข้าว 3 ครั้ง คือ 1,340 kg / 20 วินาที

การทดลอง 3 ซ้ำ จึงได้ดังนี้

1) มีอัตราไหลของข้าวเปลือกเท่ากับ 1340 g/20 s = 0.0670 kg/s
2) มีอัตราไหลของข้าวเปลือกเท่ากับ 1420 g/20 s = 0.0710 kg/s
3) มีอัตราไหลของข้าวเปลือกเท่ากับ 1340 g/20 s = 0.0670 kg/s

ค่าเฉลี่ยของทั้ง 3 การทดสอบ คือ 0.0683 kg/s

เมื่อหาสัดส่วนของอัตราการป้อนข้าวเปลือกต่ออัตราการไหลของอากาศ

จึงจะได้ Ratio เท่ากับ 0.0683 / 0.0694 = 0.9846

ตัวอย่างการคำนวณหาค่าความชื้น

จากตารางผนวกที่ 3 ผลการลดลงของความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม การทดลองที่ 1

กรณีไม่ติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 45 Hz

เวลา (นาที)	น้ำหนักภาชนะ (g)	น้ำหนักข้าวก่อนอบ (g)	น้ำหนักหลังอบ(g)	น้ำหนักข้าวหลังอบ(g)	ความชื้น (%wb)
0	10.74	10.03	17.56	6.82	32.00
0	15.14	9.99	21.89	6.75	32.43
0	11.21	10.01	17.96	6.75	32.57
เริ่มต้นเฉลี่ย	12.36	10.01	19.14	6.77	32.33

การหาความชื้นเริ่มต้นครั้งที่ 1 ของกรณีไม่ติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 45 Hz

จากสมการ $$M_w = \frac{W_w}{W} = \frac{W - W_d}{W}$$

$$M_w = \frac{10.03 - (17.56 - 10.74)}{10.03} = \frac{10.03 - 6.82}{10.03}$$

$$M_w = 0.3200 = 32.00\ \%$$

การหาความชื้นเริ่มต้นครั้งที่ 2 ของกรณีไม่ติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 45 Hz

จากสมการ $$M_w = \frac{W_w}{W} = \frac{W - W_d}{W}$$

$$M_w = \frac{9.99 - (21.89 - 15.14)}{9.99} = \frac{9.99 - 6.75}{9.99}$$

$$M_w = 0.3243 = 32.43\ \%$$

การหาความชื้นเริ่มต้นครั้งที่ 3 ของกรณีไม่ติดตั้งไซโคลน ระดับความเร็วลม 45 Hz

จากสมการ $$M_w = \frac{W_w}{W} = \frac{W - W_d}{W}$$

$$M_w = \frac{10.01 - (17.96 - 11.21)}{10.01} = \frac{10.01 - 6.75}{10.01}$$

$$M_w = 0.3257 = 32.57\ \%$$

ตัวอย่างการคำนวณหาพลังงานจำเพาะ (SEC)

ตารางผนวกที่ 21 บันทึกผลการใช้พลังงานรวมทั้งหมดของระบบ

ระดับความเร็วลม (Hz)	กรณี	ค่าความชื้นเริ่มต้น (%wb)	ค่าความชื้นสุดท้าย (%wb)	เวลาการอบแห้ง			การใช้พลังงานรวมทั้งหมด				
				ชั่วโมง	นาที	เวลาความชื้นสุดท้าย (hr)	ค่าที่อ่านจากมิเตอร์ของพัดลม (kWh)	Q_{Blower} (MJ)	กระแสไฟฟ้าจากมอเตอร์ (A)	Q_{feeder} (MJ)	Qa (MJ)
45	without cyclone	32.33	13.79	6	48.5	6.81	13.08	47.09	0.34	4.41	51.50
		33.07	14.07	7	26.5	7.44	12.40	44.64	0.29	4.11	48.75
		33.48	14.01	7	55.0	7.92	15.03	54.11	0.27	4.03	58.13

จากระดับความเร็วลม 45 Hz ของกรณีไม่ติดตั้งไซโคลน

จากสมการ $$SEC = \frac{Q_a}{W_i - W_f}$$

Q_a คือพลังงานรวมทั้งหมดที่ใช้ในระบบ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ พลังงานที่ใช้ขับเคลื่อนพัดลมแรงดันและมอเตอร์ของเกลียวป้อน

โดยค่า Q_{Blower} ได้มาจากค่าที่อ่านได้จากหน้ามิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้า หน่วยคือ kWh

สำหรับ Q_{feeder} ค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดจากมอเตอร์ **หน่วยคือ** A

ครั้งที่ 1 ค่าที่อ่านได้จากหน้ามิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้าคือ 13.08 kWh กระแสไฟฟ้าคือ 0.34 A

Q_a = 13.08 kJ/s x 3600 s = 47.09 MJ

$Q_{feeder} = \sqrt{3}$ x 380 V x 0.8 x 0.34 A x 6.81 h x 3600 s /1000 = 4.41 MJ

พลังงานรวมทั้งหมดที่ใช้เท่ากับ 47.09 MJ + 4.41 MJ = 51.50 MJ

ครั้งที่ 2 ค่าที่อ่านได้จากหน้ามิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้าคือ 12.40 kWh กระแสไฟฟ้าคือ 0.29 A

Q_a = 12.40 kJ/s x 3600 s = 44.64 MJ

$Q_{feeder} = \sqrt{3}$ x 380 V x 0.8 x 0.29 A x 6.81 h x 3600 s /1000 = 4.11 MJ

พลังงานรวมทั้งหมดที่ใช้เท่ากับ 44.64 MJ + 4.11 MJ = 48.75 MJ

ครั้งที่ 3 ค่าที่อ่านได้จากหน้ามิเตอร์วัดกำลังไฟฟ้าคือ 15.03 kWh กระแสไฟฟ้าคือ 0.27 A

Q_a = 15.03 kJ/s x 3600 s = 54.11 MJ

$Q_{feeder} = \sqrt{3}$ x 380 V x 0.8 x 0.27 A x 6.81 h x 3600 s /1000 = 4.03 MJ

พลังงานรวมทั้งหมดที่ใช้เท่ากับ 54.11 MJ + 4.03 MJ = 58.13 MJ

ตัวอย่างการคำนวณหาอัตราการอบแห้ง

ตารางผนวกที่ 23 อัตราอบแห้ง (Drying rate)

ระดับความเร็วลม (Hz)	กรณี	W_f (kg)	time (hr.)	DR (kg/h)	DR_{ave} (kg/h)
45	ไม่ติดตั้งไซโคลน	23.55	6.81	0.95	0.8990
		23.37	7.44	0.89	
		23.21	7.92	0.86	

จากสมการ $DR = \frac{W_i - W_f}{t}$

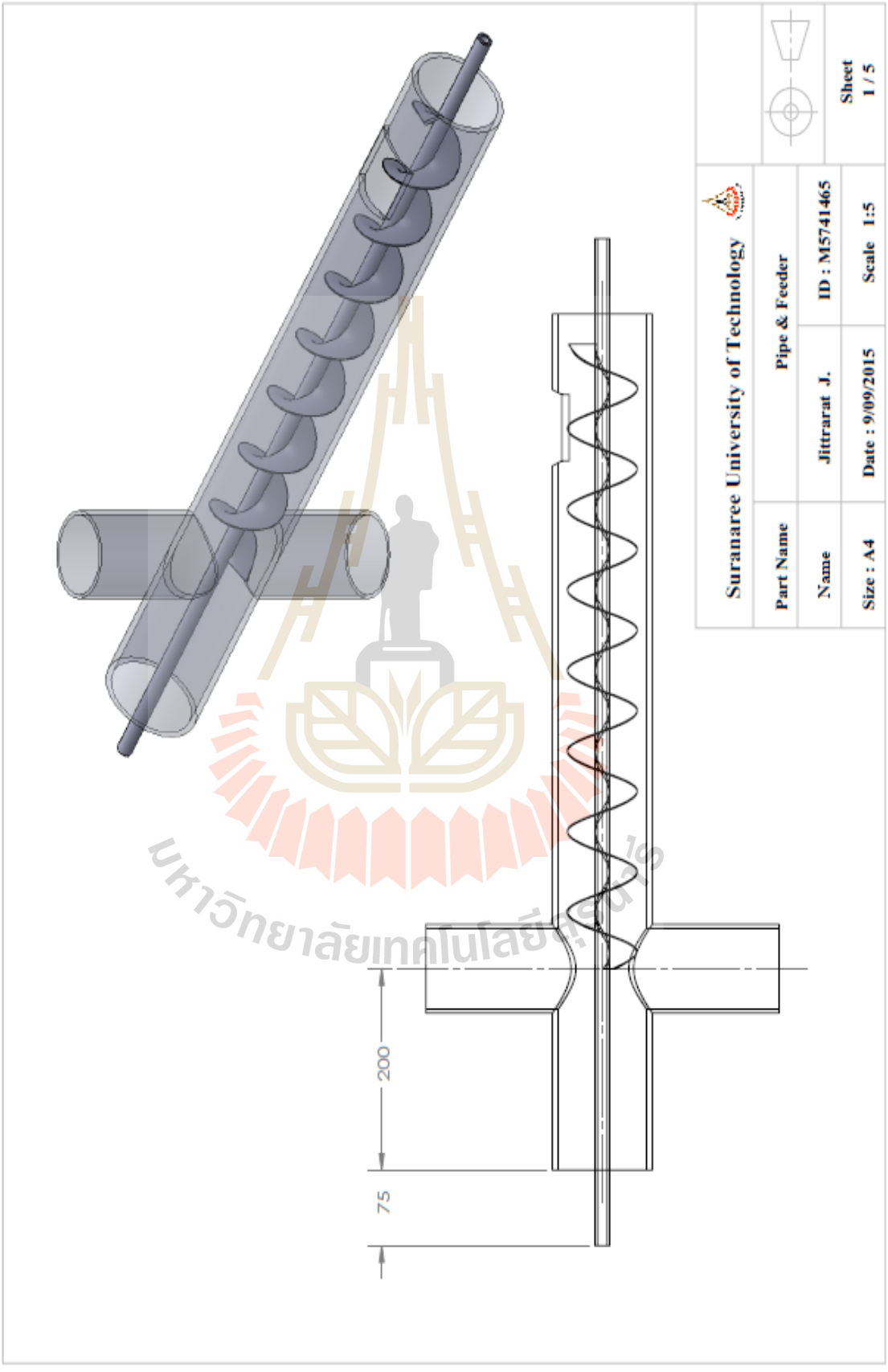
$= \frac{30 - 23.55}{6.81}$

$= 0.95$ kg/h

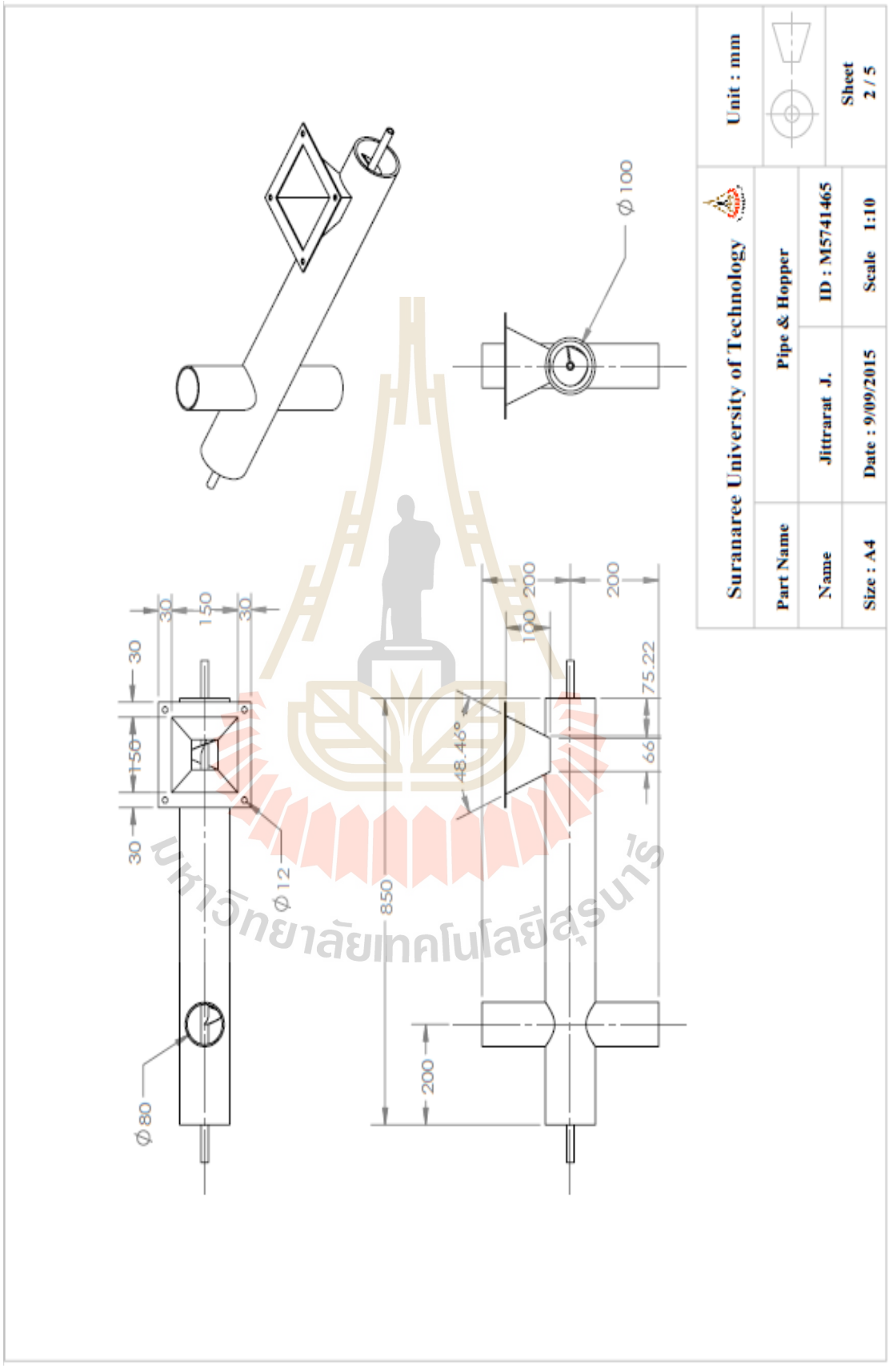
ภาคผนวก ง

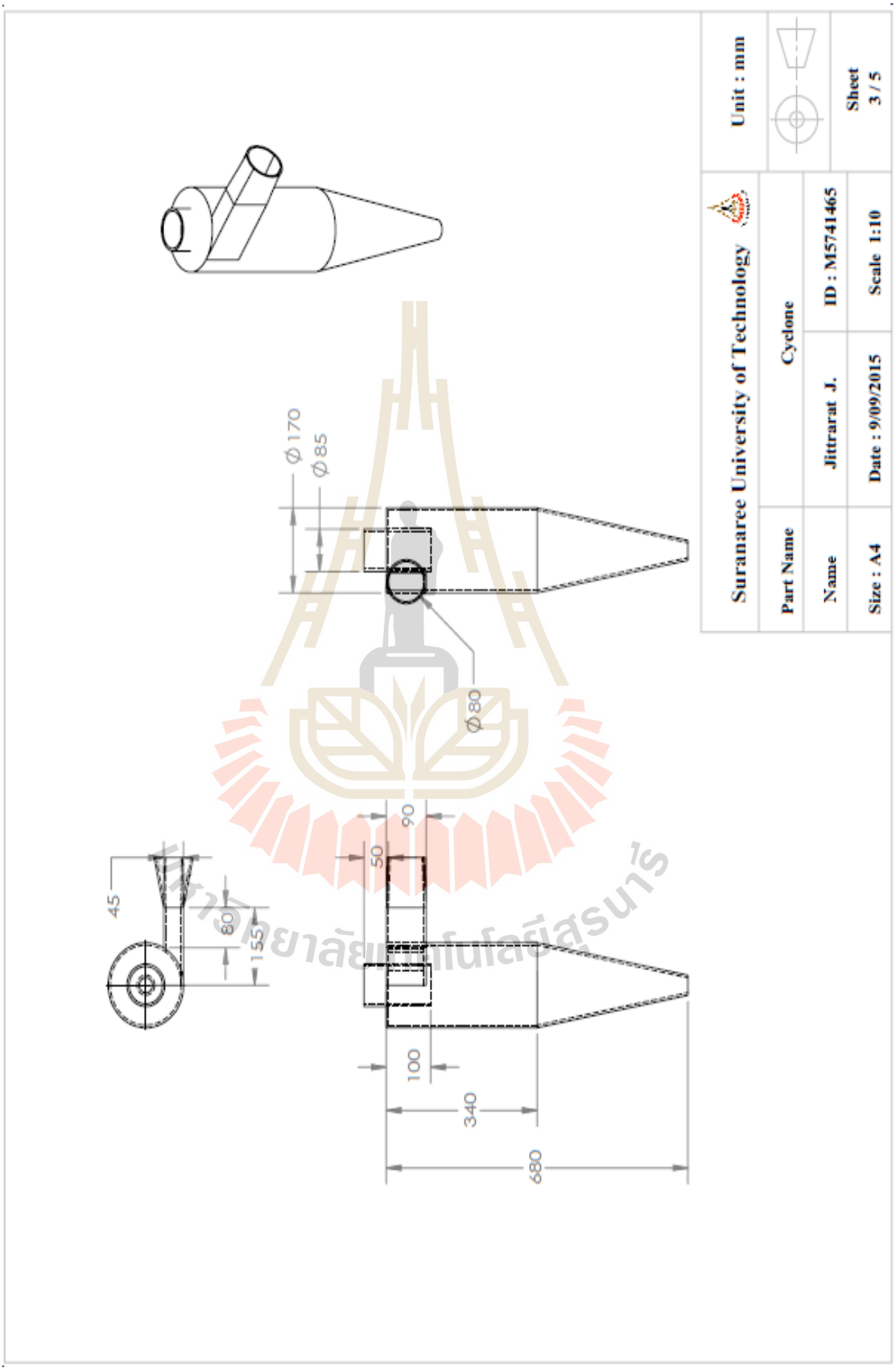
แบบเครื่องอบแห้ง

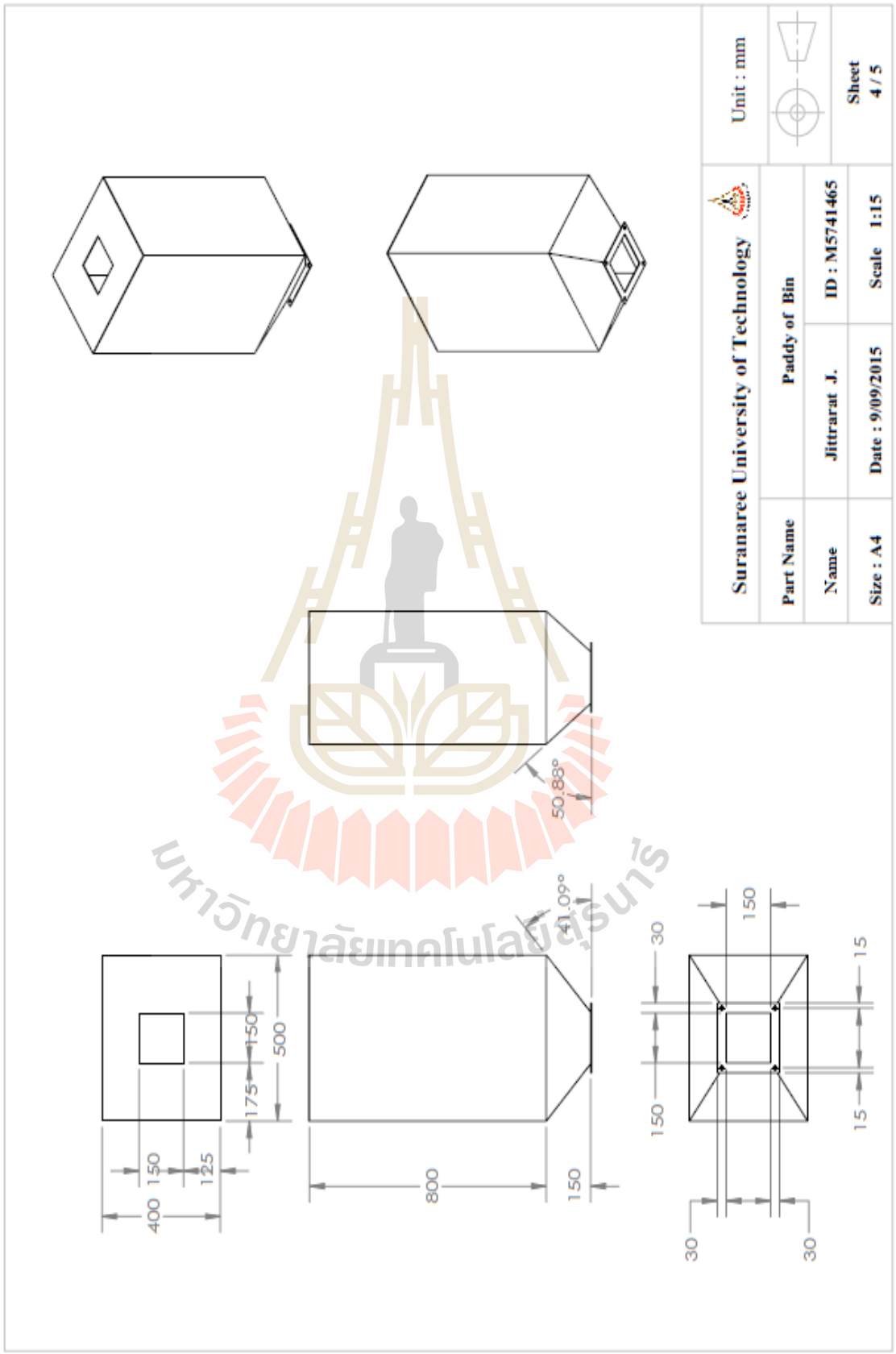
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



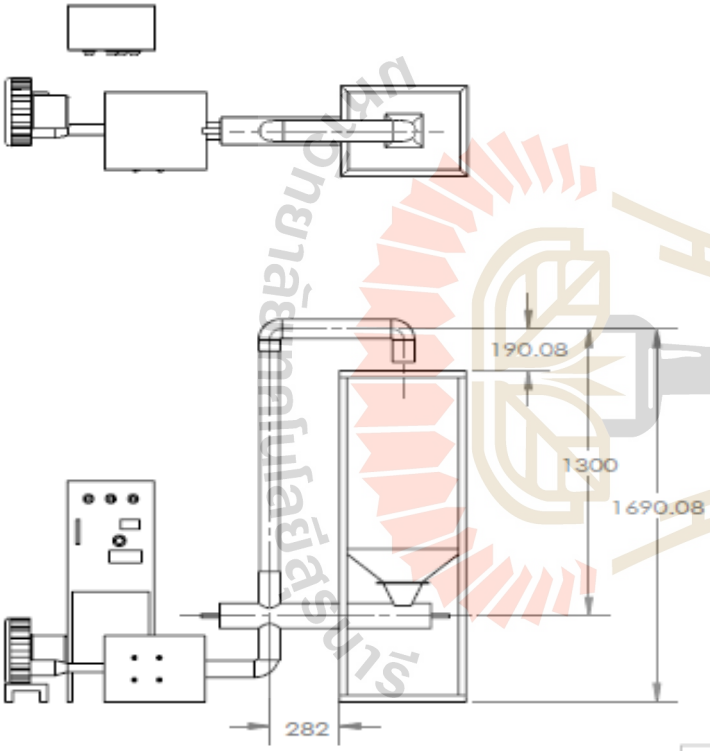
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

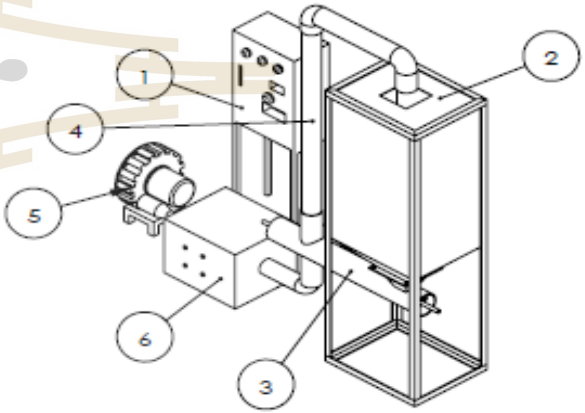

Suranaree University of Technology
Unit : mm
Sheet 2 / 5
Part Name
Pipe & Hopper
Name
Jittrarat J.
ID : M5741465
Size : A4
Date : 9/09/2015
Scale 1:10
Ø100
30
150
30
30
150
30
Ø12
Ø80
850
200
100
200
200
75.22
66
48.46°


Suranaree University of Technology
Cyclone
Jittrarat J.
Date : 9/09/2015
Unit : mm
Sheet 3 / 5
Part Name
Name
Size : A4
ID : M5741465
Scale 1:10
Ø 170
Ø 85
Ø 80
90
50
45
80
155
100
340
680


Suranaree University of Technology
Unit : mm
Part Name
Paddy of Bin
Name
Jittrarat J.
ID : M5741465
Size : A4
Date : 9/09/2015
Scale 1:15
Sheet 4 / 5
50.88°
41.09°
400
150
125
175
150
500
800
150
150
30
150
15
150
15
30
30

ITEM NO.	PART NUMBER	QTY.
1	Temp. Controller	1
2	Paddy's Bin	1
3	FEEDER&HOPPER	1
4	Acrylic pipe	1
5	Blower	1
6	Heater	1





Suranaree University of Technology			Unit : mm
Part Name	Assembly		
Name	Jittrarat J.	ID : M5741465	
Size : A4	Date : 9/09/2015	Scale :	Sheet 5 / 5

ประวัติผู้เขียน

นางสาวจิตรารัตน์ จอกกิ่ว เกิดเมื่อวันที่ 31 มกราคม พ.ศ. 2535 สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนต้นและตอนปลายจากโรงเรียนอัสสัมชัญนครราชสีมา จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปีการศึกษา 2552 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมยานยนต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อภาคการศึกษาที่3 ปีการศึกษา 2556 ต่อมาได้ทำงานที่บริษัท Mitsubishi Motors (Thailand) Co.,Ltd. ตำแหน่ง R&D Engineer และในภาคการศึกษาที่ 1 ปีการศึกษา 2557 ได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิศวกรรมการจัดการพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี พร้อมทั้งทำงานเป็นพนักงานประจำเป็นระยะเวลา 1 ปีก่อนออกมาทำงานวิจัยเรื่องการประเมินสมรรถนะเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบพาหะลม และในขณะที่ศึกษาอยู่ได้มีโอกาสเป็นผู้ช่วยสอนในสาขาวิศวกรรมเครื่องกล จำนวน 2 รายวิชา คือ (1) Engineering Graphics I และ (2) Engineering Graphics II ซึ่งการฝึกสอนทำให้ได้รับประสบการณ์ใหม่ๆ และทบทวนความรู้อย่างสม่ำเสมอ และสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี