การวิเคราะห์อุณหภูมิและความชื้นในการเก็บรักษาข้าวเปลือก ที่มีการระบายอากาศ

Analysis of Temperature and Moisture Content in Paddy Storage with Aeration

นายเปรมศักดิ์ กันใจ รหัส 51361292
นายวสุ ศรวิจารย์ รหัส 51361377
นายเอกชัย สนมฉ่ำ รหัส 51361506

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 10 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 1608243
เลขเรียกหนังสือ ว.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ว 419 ส
2554

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2554

ใบรับรองโครงงาน

หัวข้อโครงงาน : การวิเคราะห์อุณหภูมิและความชื้นในการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีการระบายอากาศ
(Analysis of Temperature and Moisture Content in Paddy Storage with Aeration)

ผู้ดำเนินโครงงาน : 1. นายเปรมศักดิ์ กันใจ รหัสนิสิต 51361292
: 2. นายวสุ ศรวิจารย์ รหัสนิสิต 51361377
: 3. นายเอกชัย สนมฉ่ำ รหัสนิสิต 51361506

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยนันท์ เจริญสวรรค์

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาข้อมูลตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการการสอบโครงงาน

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์)

.....กรรมการ

(ดร.นินนาท ราชประดิษฐ์)

.....กรรมการ

(ดร.อนันต์ชัย อยู่แก้ว)

หัวข้อโครงงาน : การวิเคราะห์อุณหภูมิและความชื้นในการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีการระบายอากาศ
(Analysis of Temperature and Moisture Content in Paddy Storage with Aeration)

ผู้ดำเนินโครงงาน : 1. นายเปรมศักดิ์ กันใจ รหัสนิสิต 51361292
: 2. นายวสุ ศรวิจารย์ รหัสนิสิต 51361377
: 3. นายเอกชัย สนมฉ่ำ รหัสนิสิต 51361506

อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปิยนันท์ เจริญสวรรค์

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2554

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาอุณหภูมิและความชื้นข้าวเปลือกในถังเก็บรักษาข้าวเปลือกซึ่งมีข้าวเปลือกพันธุ์ พิษณุโลก 2 ปริมาณ 500 กิโลกรัม โดยมีความชื้นเริ่มต้น 14 และ 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก และใช้พัดลมเป่าในช่วงเวลา 6.00 -18.00 น. ที่อัตราการไหล 1.0 และ 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือกในแต่ละความชื้นข้าวเปลือก โดยมีระยะเวลาในการทดลองแต่ละครั้ง 60 ชั่วโมง อากาศที่ใช้เป่าเป็นอากาศแวดล้อม จากนั้นนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้าวเปลือกที่เก็บรักษาแบบไม่มีการระบายอากาศ

จากผลการทดลองพบว่า ข้าวเปลือกที่มีความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียกมีความสามารถในการผลิตความร้อนในปริมาณมากทำให้ข้าวเปลือกมีอุณหภูมิสูง และมีอัตราการถ่ายเทความร้อนแบบธรรมชาติในช่วงที่ปิดพัดลมมากกว่าข้าวเปลือกที่มีความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก เป็นผลจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของพื้นที่ผิวของวัตถุร้อน และอุณหภูมิอากาศแวดล้อมมีค่ามาก ในช่วงเวลาที่เปิดพัดลม อัตราการไหล 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก มีอัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ข้าวเปลือกในปริมาณน้อยกว่าอัตราการไหล 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก ทั้งสองความชื้นข้าวเปลือก เนื่องจากในช่วงที่เปิดพัดลมอากาศแวดล้อมมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อากาศจึงถูกพัดพาเข้าไปถ่ายเทความร้อนให้กับข้าวเปลือก แต่ที่อัตราการไหล 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือกกลับมีความสามารถนำพาไอน้ำที่ข้าวเปลือกผลิตได้ออกไปมากทำให้ความชื้นข้าวเปลือกลดลง สำหรับการทดลองครั้งนี้ การเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อัตราการไหล 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก มีอุณหภูมิข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 27.5 – 30 องศาเซลเซียส ความชื้นข้าวเปลือกอยู่ที่ 13.5 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก มีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับการเก็บรักษาข้าวเปลือก เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์โดยใช้ราคาข้าวเปลือกเก่าปัจจุบันมาพิจารณาพบว่าได้ผลกำไร 185 บาทต่อข้าวเปลือก 500 กิโลกรัม ซึ่งมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ แต่อย่างไรก็ตาม ราคาข้าวนั้นมีความไม่แน่นอนซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามสภาพเศรษฐกิจ

Project Title : Analysis of Temperature and Moisture Content in Paddy Storage with Aeration

Name : 1. Mr. Premsak Kanjai Code 51361292
: 2. Mr. Wasu Sornwijarn Code 51361377
: 3. Mr. Ekachai Sanomcham Code 51361506

Project Adviser : Asst. Prof. Dr. Piyanun Charoensawan

Department : Mechanical Engineering

Academic Year : 2011

Abstract

This project aims to study the temperature and moisture content of 500 kilograms paddy in storage bin. The initial moisture contents of paddy were 14 and 26 percent wet basis. The paddy storage was cooled by the ambient air that was blown through the paddy at the flow rates of 1.0 and 1.7 cubic meters per minute per cubic meters of paddy from 6.00 am to 6.00 pm. The total storage time was 60 hours. Then the experiments were conducted and their results were compared with the paddy storage without aeration.

The results showed that since the paddy with initial moisture content of 26 percent wet basis was able to generate a large quantity of heat, the paddy temperature was high. In the period of blower turn off, the natural heat transfer rate of paddy with moisture content of 26 percent wet basis was more than that for 14 percent wet basis because there was the more temperature difference between paddy and ambient air. In the period of blower turn on, the heat transfer rate of paddy with aeration of 1.0 cubic meter per minute per cubic meter was less than that of 1.7 cubic meters per minute per cubic meter of paddy for both moisture contents. Due to the ambient air temperature was gradually increased, the paddy received heat from air that was blown into. At the air flow rate of 1.7 cubic meters per minute per cubic meter of paddy, the moisture was more removed from paddy than at 1.0 cubic meter per minute per cubic meter of paddy. In this experiment the paddy with moisture content of 14 percent wet basis and air flow rate of 1.0 cubic meter per minute per cubic meter of paddy had temperature 27.5 – 30 Celsius degree and moisture content 13.5 percent wet basis that was the most appropriate condition for paddy storage. This system exhibited the economic value with profit of 185 baht per 500 kilogram of paddy. However paddy price was varied depend on economic situation.

กิตติกรรมประกาศ
(Acknowledgement)

จากการที่รายวิชาโครงงานทางวิศวกรรมเครื่องกลบรรจุในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยนเรศวร จึงได้รับมอบหมายให้จัดทำโครงงานเรื่อง“การวิเคราะห์อุณหภูมิและความชื้นในข้าวเปลือกที่มีการระบายอากาศ” ในระหว่างการปฏิบัติงานนั้นทำให้กลุ่มของข้าพเจ้าได้รับความรู้และประสบการณ์ต่างๆ มากมาย และปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือและความอนุเคราะห์จาก

- ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ที่ให้ความช่วยเหลือ เกี่ยวกับการให้ข้อมูลการทำโครงงาน และคำแนะนำตลอดการทำโครงงาน
- นายวาฤทธิ์ ภมร ครูช่างภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้คำแนะนำการใช้เครื่องมือช่าง
- นายศุภชัย ชุมนุมวัฒน์ นิสิตปริญญาโท สาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ที่ให้คำแนะนำแนวทางการทดลอง และการจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

และบุคลากรท่านอื่นๆ ที่ไม่ได้กล่าวนามทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำช่วยเหลือในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทางกลุ่มต้องขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

คณะผู้จัดทำ

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองโครงงานวิจัย ก
บทคัดย่อ ข
Abstract ค
กิตติกรรมประกาศ ง
สารบัญ จ
สารบัญรูป ช
สารบัญตาราง ญ
ลำดับสัญลักษณ์ และคำย่อ ฎ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 5
1.3 ขอบเขตการศึกษา 6
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6
1.5 ขั้นตอนการดำเนินการ 6
1.6 ระยะและแผนการดำเนินงาน 7
1.7 สถานที่ปฏิบัติงาน 7
1.8 อุปกรณ์ที่ใช้ 7
1.9 งบประมาณ 8

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี

2.1 พันธุ์ข้าวพิษณุโลก 2 9
2.2 ทฤษฎีการอบแห้งเมล็ดพืช 10
2.3. ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนและการวิเคราะห์พลังงาน 14
2.4 ทฤษฎีการคำนวณค่าใช้ไฟฟ้า 18
2.5 ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง 19

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการ

3.1 การสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูล 20
3.2 ตัวแปรในการทดสอบ 20
3.3 การติดตั้งพัดลมและอุปกรณ์การเก็บข้อมูล 21
3.4 ขั้นตอนการทดลอง 24
3.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง 25

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์

4.1 การเก็บรักษาข้าวเปลือกแบบไม่มีการระบายอากาศ 26

4.2 การเก็บรักษาข้าวเปลือกแบบมีการระบายอากาศ 30

4.3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิและความชื้นของข้าวเปลือกระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกแบบไม่มีการระบายอากาศและการเก็บแบบมีการระบายอากาศ 38

4.4 วิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน 40

4.5 วิเคราะห์ต้นทุนทางด้านพลังงานที่อัตราการไหลต่างๆ ต่อเดือน 43

4.6 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ 45

บทที่ 5 สรุปผล

5.1 สรุปผลการทดลอง 48

5.2 วิจารณ์และข้อเสนอแนะ 48

บรรณานุกรม

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ตารางผลการทดลอง

ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 การเก็บในสภาพปกติ 2
รูปที่ 1.2 การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว 2
รูปที่ 1.3 การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 3
รูปที่ 1.4 การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 3
รูปที่ 2.1 พันธ์ข้าวพิษณุโลก 2 9
รูปที่ 2.2 การเคลื่อนที่ของอากาศในเครื่องอบแห้งแบบถังเก็บ 11
รูปที่ 3.1 แบบโครงสร้างถังเก็บข้าวเปลือกและการติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูล 21
รูปที่ 3.2 ตำแหน่งการวัดค่าสมบัติต่างๆ ในการทดลอง 22
รูปที่ 3.3 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Clamp Meter) 22
รูปที่ 3.4 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ (Data logger) 23
รูปที่ 3.5 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity Meter) 23
รูปที่ 3.6 เครื่องวัดความเร็วอากาศ (Hot wire Anemometer) 24
รูปที่ 3.6 เครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือก (Grain Moisture Meter) 24
รูปที่ 4.1 กราฟอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในการทดลองเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 26
14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก แบบไม่มีการระบายอากาศ
รูปที่ 4.2 กราฟความชื้นที่เกิดขึ้นในการทดลองเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 27
14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก แบบไม่มีการระบายอากาศ
รูปที่ 4.3 กราฟอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในการทดลอง เก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 28
26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก แบบไม่มีการระบายอากาศ
รูปที่ 4.4 กราฟความชื้นที่เกิดขึ้นในการทดลองเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 29
26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก แบบไม่มีการระบายอากาศ
รูปที่ 4.5 กราฟอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในการทดลองเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 30
14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อัตราการไหลอากาศระบาย 1.7
ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก
รูปที่ 4.6 กราฟความชื้นที่เกิดขึ้นในการทดลองเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 31
14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อัตราการไหลอากาศระบาย 1.7
ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.7 กราฟอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในการทดลองเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปีย อัตราการไหลอากาศระบาย 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก 32

รูปที่ 4.8 กราฟความชื้นที่เกิดขึ้นในการทดลองเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อัตราการไหลอากาศระบาย 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก 33

รูปที่ 4.9 กราฟอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในการทดลองเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อัตราการไหลอากาศระบาย 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก 34

รูปที่ 4.10 กราฟความชื้นที่เกิดขึ้นในการทดลองเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อัตราการไหลอากาศระบาย 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก 35

รูปที่ 4.11 กราฟอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในการทดลองเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อัตราการไหลอากาศระบาย 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก 36

รูปที่ 4.12 กราฟความชื้นที่เกิดขึ้นในการทดลองเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อัตราการไหลอากาศระบาย 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก 37

รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิข้าวเปลือกในการเก็บรักษาในแบบวิธีและเงื่อนไขต่างๆ 38

รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบความชื้นข้าวเปลือกในการเก็บรักษาในแบบวิธีและเงื่อนไขต่างๆ 39

รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนระหว่างวิธีการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีความชื้น 14 และ 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียกแบบไม่มีการระบายอากาศ 40

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนการเก็บรักษา ข้าวเปลือกที่มีความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ด้วยอากาศระบายทั้งสองอัตราการไหล 41

รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนการเก็บรักษา ข้าวเปลือกที่มีความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ด้วยอากาศระบายทั้งสองอัตราการไหล 42

รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ขับพัดลมในการเก็บรักษา ข้าวเปลือกที่มีการระบายอากาศ 44

รูปที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเก็บรักษาข้าวเปลือก แบบมีการระบายอากาศ 44

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาที่ปลอดภัย (สัปดาห์) ในการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่เมล็ดมีความชื้นและอุณหภูมิต่างๆ 4

ตารางที่ 1.2 ผลของความชื้นข้าวเปลือกต่อคุณภาพการสีข้าว 5

ลำดับสัญลักษณ์ และคำย่อ

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
$\dot{m}_a$	อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศแห้ง	กิโลกรัมต่อวินาที
$\dot{m}_w$	อัตราการไหลเชิงมวลของไอน้ำในอากาศ	กิโลกรัมต่อวินาที
$\dot{m}_f$	อัตราการระเหยของน้ำในระบบ	กิโลกรัมต่อวินาที
ω	อัตราส่วนความชื้น	
h	เอนทัลปี	กิโลจูลต่อกิโลกรัม
h_f	เอนทัลปี สถานะของเหลวอิ่มตัว	กิโลจูลต่อกิโลกรัม
h_g	เอนทัลปี สถานะไออิ่มตัว	กิโลจูลต่อกิโลกรัม
h_{fg}	เอนทัลปี สถานะไอ	กิโลจูลต่อกิโลกรัม
c_p	ค่าความจุความร้อนจำเพาะ	กิโลจูลต่อกิโลกรัม เคนวิน
T	อุณหภูมิ	เคนวิน
P	ความดัน	กิโลปาสคาล
P_g	ความดัน สถานะไออิ่มตัว	กิโลปาสคาล
i	สภาวะที่ทางเข้า	
e	สภาวะที่ทางออก	

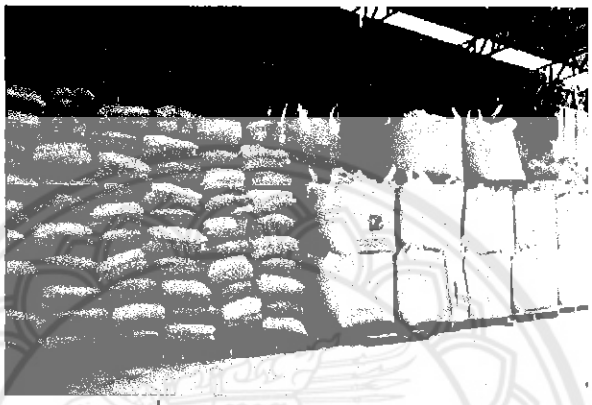
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

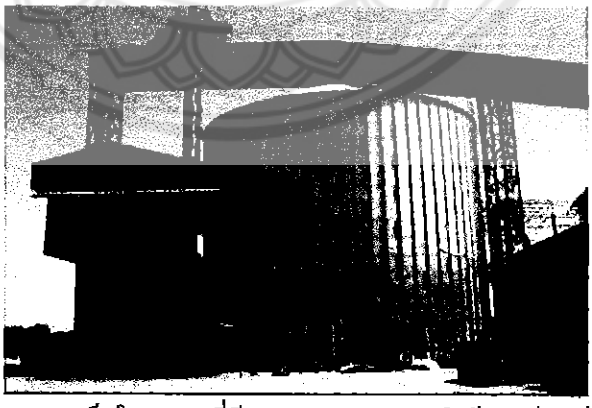
ข้าว ถือได้ว่าเป็นพืชที่สำคัญเพราะเป็นอาหารหลักของประชากรโลก พื้นที่เพาะปลูกข้าวส่วนใหญ่ของโลกอยู่ในแถบทวีปเอเชีย สำหรับประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าว 67 ล้านไร่ มีผลผลิตประมาณ 30 ล้านตันข้าวเปลือกต่อปี และส่งออกปีละประมาณ 7.25 ล้านตันข้าวสาร หรือ 11 ล้านตัน ข้าวเปลือกถือเป็น 25 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ของตลาดการค้าข้าวของโลก และเป็นประเทศที่มีการส่งออกข้าวเป็นอันดับหนึ่งของโลก [1] จากการส่งออกข้าวทำให้มีรายได้เข้าประเทศอย่างมหาศาล และด้วยสังคมและเศรษฐกิจของประเทศไทยนั้นอยู่บนพื้นฐานภาคเกษตรกรรมเป็นหลัก ประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรม ทำนาเพาะปลูกข้าว ผลผลิตที่ได้นั้นถูกส่งขายให้ภาครัฐโดยผ่านโรงสี หรือ ท่าข้าว ที่รับซื้อผลผลิตเกษตรกร โดยมีพันธุ์ข้าว และเปอร์เซ็นต์ความชื้นเป็นปัจจัยสำคัญในการกำหนดราคาซื้อขายข้าว ความหมายของความชื้นของข้าว คือ ปริมาณน้ำในข้าวเปลือก เช่น ข้าวเปลือกความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก หมายความว่า ในข้าวเปลือก 1 ตัน (1000 กิโลกรัม) แยกเป็นน้ำ 140 กิโลกรัม ที่เหลือเป็นเปลือกและเมล็ดข้าวสาร 860 กิโลกรัม เป็นต้น ถ้าข้าวเปลือกมีความชื้น 20 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก นั่นก็หมายความว่ามีปริมาณ เปลือกและเมล็ดข้าวสาร 800 กิโลกรัม จะเห็นได้ว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นในข้าวสูงจะทำให้ได้ปริมาณเปลือกและเมล็ดข้าวน้อยลง จึงทำให้ราคาซื้อขายข้าวถูกลง ในปัจจุบันมีเทคโนโลยีเครื่องจักรกลการเกษตรเข้ามาช่วยทำให้การเก็บเกี่ยว โดยใช้รถเกี่ยวนวดข้าว ทำให้เวลาในการเก็บเกี่ยวสั้นลงและความชื้นช่วงหลังการเก็บเกี่ยวข้าวสูง ถ้าเก็บเกี่ยวในวันที่ท้องฟ้าปลอดโปร่ง แดดจ้า อากาศแจ่มใส ข้าวเปลือกจะมีความชื้นประมาณ 18 – 26 เปอร์เซ็นต์ มาตรฐานเปียก ถ้าเก็บเกี่ยวในวันที่ท้องฟ้าไม่ปลอดโปร่ง ไม่มีแดด ข้าวเปลือกจะมีความชื้นสูงประมาณ 26 – 35 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก เนื่องจากมีความชื้นสะสมมาจากช่วงเวลากลางคืน เมื่อโรงสีรับซื้อข้าวที่มีความชื้นสูงจากเกษตรกรไปแล้ว จะต้องมีการจัดการอบข้าวไล่ความชื้นออกให้ได้ความชื้นมาตรฐานคือ 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก หรือต่ำกว่าเล็กน้อยจึงจะเก็บข้าวเปลือกนั้นไว้ได้นานโดยไม่เสียหาย ซึ่งในการอบข้าวนั้นต้องมีค่าใช้จ่ายในเรื่องเชื้อเพลิงและแรงงานในด้านอื่นๆ ทำให้มีการสิ้นเปลืองมาก และมีการจัดการที่ยุ่งยาก ซึ่งการเก็บรักษาข้าวโดยทั่วๆ ไป แบ่งออกได้เป็น 4 วิธีได้แก่

1.1.1 การเก็บในสภาพปกติ คือ การเก็บข้าวไว้ในโรงเก็บปกติที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเก็บ เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอยู่เป็นส่วนใหญ่ เช่น การเก็บในโรงเก็บหรือยุ้งฉางของเกษตรกร โรงสี หรือโกดังส่งออกข้าวขนาดใหญ่ เป็นต้น ข้อดี ลงทุนน้อย เสียค่าใช้จ่ายต่ำ ข้อเสียมีโอกาสที่จะเกิดความเสียหายในระหว่างการเก็บรักษาสูงลักษณะการเก็บรักษาข้าวในสภาพปกติแสดงดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 การเก็บในสภาพปกติ [2]

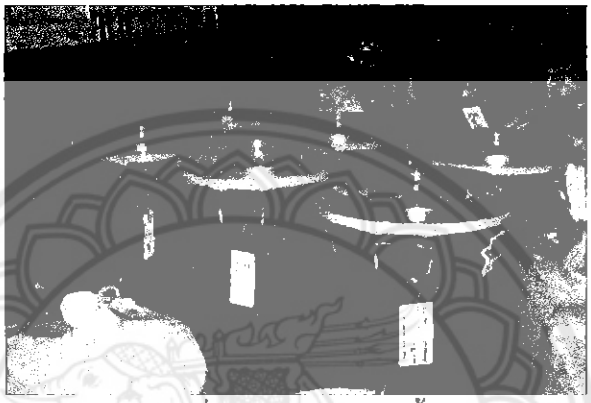
1.1.2 การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว เช่น การเก็บข้าวไว้ในตู้แช่หรือถังเก็บที่มีการเป่าลมเย็น เป็นต้น การเก็บในสภาพที่มีอุณหภูมิต่ำช่วยชะลอการสูญเสียทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ เนื่องจากการเข้าทำลายของแมลงลดลง และการหายใจของเมล็ดน้อยลง ลักษณะการเก็บรักษาข้าวในสภาพที่มีการควบคุมอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว แสดงดังรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.2 การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว [2]

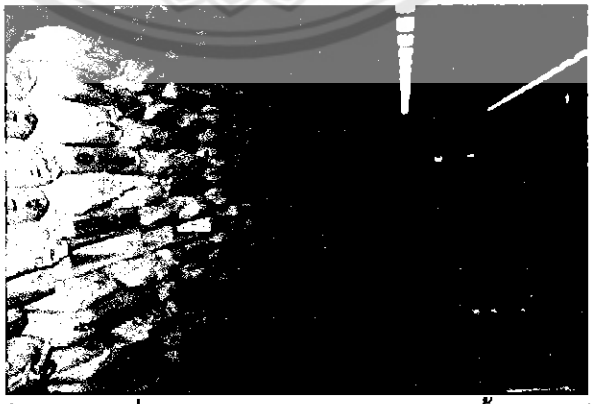
1.1.3 การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ได้แก่ การเก็บข้าวไว้ในภาชนะที่มิดชิดสามารถป้องกันการเคลื่อนที่ผ่านเข้าออกของอากาศได้ เช่น การเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ในปี๊บสังกะสี หรือ Polyethylene bags เป็นต้น การเก็บข้าวในสภาพปิดเช่นนี้ความชื้นของข้าวจะเป็น

ตัวกำหนดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในภาชนะที่เก็บ ถ้าความชื้นของข้าวต่ำความชื้นสัมพัทธ์ภายในภาชนะบรรจุก็จะต่ำข้าวที่เก็บจะเกิดความเสียหายน้อย ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของข้าวสูงความชื้นสัมพัทธ์ภายในภาชนะบรรจุก็จะสูงข้าวที่เก็บจะเกิดความเสียหายสูง ดังนั้นการเก็บรักษาข้าวด้วยวิธีนี้ ข้าวควรมีความชื้นก่อนเก็บต่ำทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ต้องการเก็บรักษา อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปความชื้นไม่ควรเกิน 10 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียกวิธีนี้เป็นวิธีที่ได้ผลดีและมีค่าใช้จ่ายต่ำ ลักษณะการเก็บในสภาพที่มีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ แสดงดังรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ [2]

1.1.4. การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศวิธีนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดสามารถป้องกันและลดความเสียหายของข้าวได้ดี เก็บรักษาข้าวให้คงคุณภาพดีได้เป็นเวลานาน แต่มีการลงทุน และเสียค่าใช้จ่ายในการดูแลสูง เช่น การเก็บอนุรักษ์เชื้อพันธุ์ข้าวในธนาคารเชื้อพันธุ์ ลักษณะการเก็บในสภาพที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแสดงดังรูปที่ 1.4



รูปที่ 1.4 การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ [2]

ดังนั้นในการเก็บรักษาข้าวนั้นจะต้องมีความชื้นและความร้อนที่เหมาะสมต่อการเก็บรักษาเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาให้ยาวนานขึ้น และรักษาคุณภาพข้าวเปลือกไม่ให้เสียไป เพราะฉะนั้นจะต้อง

เข้าใจธรรมชาติของเมล็ดข้าวเปลือกในการเก็บรักษารวมกันไว้เป็นกองขนาดใหญ่ ในโกดังเก็บข้าว หรือในถังเก็บเก็บข้าว โดยปกติของเมล็ดข้าวเปลือกจะมีการคายน้ำ และความร้อนเนื่องจากการหายใจของเมล็ดข้าว สามารถแสดงได้ดังสมการปฏิกิริยาเคมีดังนี้ [3]

$$C_{16}H_{12}O_6 + 6O_2 \Rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 2.831 \quad \text{(เมกกะจูล)} \qquad (1.1)$$

จากสมการปฏิกิริยาเคมีข้างต้นจะเห็นว่า เมล็ดข้าวซึ่งมีโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสเป็นโมเลกุลพื้นฐานของเมล็ดข้าว เมื่อเมล็ดข้าวหายใจรับก๊าซออกซิเจนจากอากาศเข้าไปสันดาปกับโมเลกุลน้ำตาลกลูโคส แล้วปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และความร้อน ออกมา จะสังเกตได้ว่าน้ำที่ปล่อยออกมานั้นมีผลกระทบทางด้านปริมาณความชื้นในข้าวเปลือก และความร้อนที่ออกมามีค่าสูง การกระจายความร้อนในกองข้าวจะเคลื่อนที่จากขอบเข้าสู่กลางกองข้าว จนมีอุณหภูมิสูงถึง 60 องศาเซลเซียส จากสมการปฏิกิริยาเคมีข้างต้นยังสังเกตได้อีกว่า ยิ่งปริมาณน้ำที่ถูกปล่อยออกมามาก หรือความชื้นมากปริมาณความร้อนที่ถูกปล่อยก็มีค่ามากเช่นกัน ทั้งความร้อนและความชื้นที่เกิดขึ้นจะทำให้คุณภาพข้าวลดลงโดยเฉพาะความขาวของข้าวสาร [4] ความชื้นที่มากเกินไปยังสามารถทำให้เกิดการควบแน่นเป็นหยดน้ำเกาะผนังด้านในของถังเก็บข้าว อาจทำให้ข้าวเกิดเชื้อรา หรือเกิดการงอกเพราะข้าวที่เก็บเกี่ยวใหม่ไม่มีระยะพักตัวจึงมีความสามารถงอกได้ดีในสภาวะที่มีความชื้นและอุณหภูมิที่เหมาะสม ทำให้ข้าวที่เก็บรักษานั้นเสียหาย ดังนั้นความร้อน และความชื้นของข้าวเปลือกจึงมีผลต่ออายุการเก็บรักษา แสดงในตารางที่ 1.1 และผลของความชื้นที่มีต่อการสีข้าว แสดงในตารางที่ 1.2 [4]

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาที่ปลอดภัย (สัปดาห์) ในการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่เมล็ดมีความชื้น และอุณหภูมิต่างๆ

ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)	อุณหภูมิในการเก็บรักษา (องศาเซลเซียส)				
	15	20	25	30	35
14	40	18	8	4	1
16	19	9	4	2	-
18	9	4	2	1	-
20	5	2	1	-	-

จากตารางที่ 1.1 จะเห็นว่าความชื้นของเมล็ดข้าวที่มาตรฐาน 14 เปอร์เซ็นต์ (เป็นความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดข้าวเปลือก เพื่อให้เมล็ดข้าวเปลือกยังคงมีคุณภาพที่ดีอยู่) และอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่ำที่ 15 องศาเซลเซียส จะสามารถเก็บรักษาเมล็ดข้าวไว้ได้นานที่สุดโดยไม่เกิดความเสียหาย คือ 40 สัปดาห์

ตารางที่ 1.2 ผลของความชื้นข้าวเปลือกต่อคุณภาพการสีข้าว

คุณภาพการสีข้าว		
ความชื้น (เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก)	ข้าวสาร (เปอร์เซ็นต์)	ข้าวหัก (เปอร์เซ็นต์)
19.0	56.62	12.25
18.0	57.92	12.05
15.5	52.12	9.75
14.0	61.67	6.08
13.0	61.40	6.25
12.0	61.10	6.42
10.0	60.27	7.72

จากตารางที่ 1.2 จะเห็นว่าข้าวเปลือกที่มีความชื้นต่ำเกินไป เมื่อนำมาสีจะมีการแตกหักมาก เพราะเมล็ดข้าวแห้งเปราะ และข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงเมื่อนำมาสีจะทำให้ข้าวแหลกเพราะเมล็ดอ่อนนุ่มเกินไปจากตารางจึงสามารถสรุปช่วงความชื้นของข้าวเปลือกที่เหมาะสมในการสี คือจะอยู่ในช่วง 12 – 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

จะเห็นได้ว่าการเก็บรักษาข้าวไว้เป็นเวลานานๆ ถึงแม้ว่าข้าวจะมีความชื้นต่ำแล้วแต่ก็ยังมีการหายใจอยู่ จึงมีความร้อนสะสมอยู่ในกลางกองข้าว และจะต้องคอยกลับข้าวอยู่ตลอด เพื่อระบายความร้อนในข้าวออก และรักษาคุณภาพข้าว ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายในด้านพลังงาน เชื้อเพลิง แรงงานคน และเสียเวลา ดังนั้นการลดอุณหภูมิและระบายความชื้นด้วยพัดลมระบายอากาศจึงมีความสำคัญมากในการเก็บรักษาเมล็ดข้าวเปลือก ทั้งในด้านการรักษาอุณหภูมิภายในกองข้าว และความชื้นของข้าวให้เหมาะสมอยู่ตลอดเวลา เพื่อรักษาคุณภาพข้าวเปลือกและลดความเสียหายจากการเก็บรักษาให้ได้มากที่สุด อีกทั้งเพื่อให้เกิดความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์กับการลงทุนอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาอุณหภูมิและความชื้นในถังข้าวเปลือกที่มีการระบายอากาศเปรียบเทียบกับการเก็บข้าวเปลือกที่ไม่มีการระบายอากาศ

1.2.2 เพื่อศึกษาเศรษฐศาสตร์การลงทุนในด้านใช้พัดลมระบายอากาศข้าวเปลือกด้วยพัดลม

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ตัวแปรควบคุม

- ข้าวเปลือกพันธุ์ พิษณุโลก 2
- ปริมาณข้าวเปลือกในการทดลอง 500 กิโลกรัม

1.3.2 ตัวแปรต้น

- ข้าวเปลือกความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก
- ข้าวเปลือกความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก
- สภาวะอากาศ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ที่ใช้ในการระบายความร้อน

1.3.3 ตัวแปรที่ศึกษา

- อุณหภูมิในข้าวเปลือก
- ความชื้นในข้าวเปลือก
- อัตราการไหลของอากาศ 1.0 และ 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ได้ทราบประโยชน์และหลักการทำงานการระบายอากาศในข้าวเปลือกด้วยพัดลมระบายอากาศ

1.4.2 ได้ทราบความคุ้มค่าในเชิงเศรษฐศาสตร์ของการลงทุนในการระบายอากาศในข้าวเปลือกด้วยพัดลมระบายอากาศ

1.5 ขั้นตอนการดำเนินการ

1.5.1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับข้าวเปลือก และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับการระบายอากาศของข้าวเปลือกด้วยพัดลม

1.5.3 ออกแบบโครงสร้างถังเก็บข้าวเปลือก

1.5.4 ทำการทดสอบ และศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศของข้าวเปลือกที่ 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 1.0 และ 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก

1.5.5 ทำการทดสอบการเก็บข้าวเปลือกที่มีความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก แบบไม่มีการระบายอากาศ

1.5.6 ทำการทดสอบ และศึกษาประสิทธิภาพการระบายอากาศของข้าวเปลือกที่ 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ด้วยอัตราการไหลของอากาศ 1.0 และ 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก

1.5.7 ทำการทดสอบการเก็บข้าวเปลือกที่มีความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก แบบไม่มีการระบายอากาศ

1.5.8 วิเคราะห์ผลการทดสอบ และเปรียบเทียบระบบที่มีการระบายอากาศและที่ไม่มีการระบายอากาศ

1.5.9 วิเคราะห์ผลเชิงเศรษฐศาสตร์การระบายอากาศข้าวเปลือกด้วยพัดลม

1.5.10 สรุปปริญญานิพนธ์

1.6 ระยะและแผนการดำเนินงาน

งาน/ระยะเวลา	2554							2555	
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1.ศึกษาข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	←	—	→						
2.ออกแบบและสร้างระการระบายอากาศข้าวเปลือกด้วยพัดลม			←	—	→				
3.ทำการทดสอบ เปรียบเทียบ และศึกษาประสิทธิภาพการการระบายอากาศข้าวเปลือก					←	—	→		
4.วิเคราะห์ผลเชิงเศรษฐศาสตร์การลงทุนการระบายอากาศข้าวเปลือก						←	—	→	
5.วิเคราะห์ และสรุปผล								←	—
6.จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์									← — →

1.7 สถานที่ปฏิบัติงาน

หน่วยวิจัยท่อความร้อนและระบบระบายความร้อน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.8 อุปกรณ์ที่ใช้

- เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ (Data logger)
- เทอร์โมคัปเปิล ชนิด เค (Thermocouple type K)
- เครื่องวัดความเร็วอากาศ (Hot Wire Anemometer)
- เครื่องวัดกระแสไฟ (Clamp Meter)
- ถังเก็บข้าวเปลือกขนาด 500 กิโลกรัม

1.8 อุปกรณ์ที่ใช้ (ต่อ)

- เครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือก (Grain Moisture Meter)
- เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity Meter)

1.9 งบประมาณ

- ค่ากระดาษพิมพ์	300	บาท
- ค่าถ่ายเอกสาร	400	บาท
- ค่าหมึกพิมพ์	500	บาท
- ค่าทำรูปเล่มรายงาน	800	บาท
- ค่าปกจัดทำโครงงาน	1,000	บาท
รวมเป็นเงิน	3,000	บาท

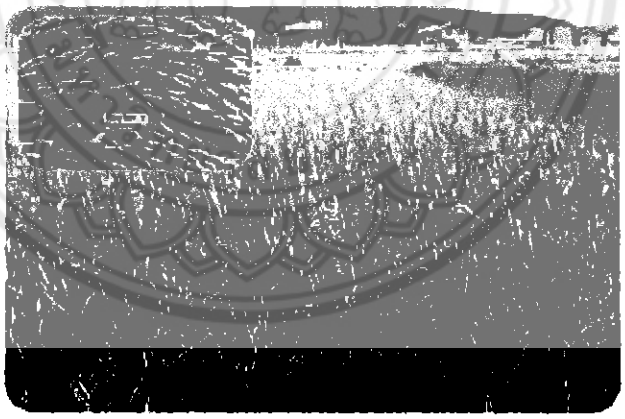
มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 พันธุ์ข้าวพิษณุโลก 2 [5]

ชื่อพันธ์ - พิษณุโลก 2 (Phitsanulok 2)
ชนิด - ข้าวเจ้า
คู่ผสม - CNTLR81122-PSL-37-2-1 / SPRLR81041-195-2-1 // IR56
ประวัติพันธุ์ - ได้จากการผสมพันธุ์ 3 ทางระหว่างสายพันธุ์ CNTLR81122-PSL-37-2-1 และSPRLR81041-195-2-1 กับIR56 ที่ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก ปี พ.ศ. 2533-2534 ปลูกคัดเลือกจนได้สายพันธุ์ PSL91014-16-1-5-1
การรับรองพันธุ์ - คณะกรรมการวิจัยและพัฒนากรมวิชาการเกษตร มีมติให้เป็นพันธุ์รับรอง เมื่อวันที่ 26 มิถุนายน 2543



รูปที่ 2.1 พันธ์ข้าวพิษณุโลก 2 [5]

ลักษณะประจำพันธุ์
- เป็นข้าวเจ้า สูงประมาณ 114 เซนติเมตร
- เป็นข้าวที่ออกดอกตามอายุที่เก็บเกี่ยวโดยไม่ขึ้นอยู่กับช่วงแสง
- เหมาะสำหรับนาปรังปลูกได้ตลอดปีถ้ามีน้ำที่เพียงพอ
- อายุเก็บเกี่ยว 119-121 วัน
- ทรงกอตั้ง ใบสีเขียวเข้ม ใบธงตั้ง รวงแน่นปานกลาง แขนงของรวงข้าว

ค่อนข้างถี่คอรวงสั้นฟางแข็ง ใบแก่ช้า เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง
- ระยะพักตัวของเมล็ด เพื่อให้ข้าวงอกสมบูรณ์ ใช้เวลาประมาณ 8 สัปดาห์
- เมล็ดข้าวกล้อง กว้าง x ยาว x หนา = 2.1 x 7.9 x 1.6 มิลลิเมตร
- ปริมาณอมิโลส 28.6 เปอร์เซ็นต์ (ปริมาณอมิโลสเป็นองค์ประกอบทางเคมี เปอร์เซ็นต์แป้งอมิโลสมีความสัมพันธ์กับคุณภาพการหุงเปอร์เซ็นต์อมิโลสสูง ข้าวที่หุงสุกจะร่วนแข็งเปอร์เซ็นต์อมิโลสต่ำข้าวที่หุงจะเหนียวนุ่ม)
- คุณภาพข้าวสุก ร่วน แข็ง

ผลผลิต - ประมาณ 807 กิโลกรัมต่อไร่

ลักษณะเด่น
- ผลผลิตสูง และมีเสถียรภาพในการให้ผลผลิต
- ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยกระโดดหลังขาวและเพลี้ยจักจั่นสีเขียว
- คุณภาพการสีดี ลักษณะจุดขาวทึบแสงในเมล็ดที่เกิดจาก การจับตัวกันอย่างหลวมๆ ระหว่างผลึกแป้ง, โปรตีนทำให้เกิดอากาศช่องเล็กๆ ภายในเมล็ด หรือที่เรียกโดยทั่วไปว่า ท้องไข่มีปริมาณน้อย

ข้อควรระวัง
- ไม่ต้านทานโรคไหม้ และโรคใบหงิก
- ไม่ต้านทานแมลงบั่ว
- เมล็ดค่อนข้างร่วงง่าย

พื้นที่แนะนำ - ทุกภาคในเขตชลประทาน

2.2 ทฤษฎีการอบแห้งเมล็ดพืช [6]

โดยทั่วไปเรามักใช้อากาศที่มีอุณหภูมิสูง และความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ทั้งนี้เพราะสามารถอบแห้งได้รวดเร็ว และได้ความชื้นของเมล็ดพืชต่ำตามที่ต้องการ อุณหภูมิของอากาศจะสูงเท่าไหร่นั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการนำเมล็ดพืชไปใช้งาน และเทคนิคที่ใช้ในการอบแห้ง โดยมากเรามักจะเลือกเอาอุณหภูมิสูงสุดที่ยอมรับได้ โดยคุณภาพของเมล็ดพืชไม่เสียหาย เพราะจะทำให้อบแห้งได้เร็ว มีผลให้เครื่องอบแห้งที่ต้องใช้มีขนาดเล็กลง ทำให้การลงทุนต่ำ ในการอบแห้งบางวิธีอาจใช้อากาศแวดล้อมในการอบแห้ง เช่น วิธีการอบแห้งในถังเก็บ คืออบแห้งเมล็ดพืชภายในตัวถังที่ใช้เก็บรักษา การใช้อากาศอบแห้งที่มีอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เมล็ดพืชด้านล่างของถังซึ่งสัมผัสกับลมร้อนก่อนแห้งเกินกว่าที่ต้องการ ส่วนเมล็ดพืชทางด้านบนของถังซึ่งสัมผัสกับลมร้อนที่หลังจะยังชื้นอยู่

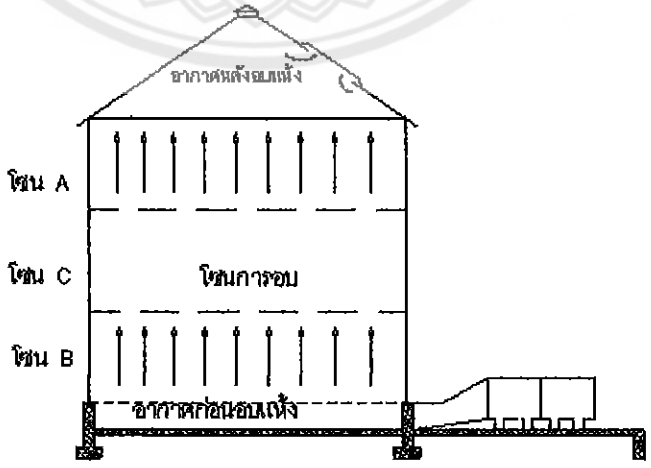
ในขณะที่อากาศร้อนเคลื่อนที่ผ่านชั้นเมล็ดพืช จะเกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลขึ้นพร้อมๆ กัน ความร้อนจากอากาศจะถ่ายเทไปยังเมล็ดพืช และทำให้น้ำที่บริเวณผิวเมล็ดระเหยเข้าไปอยู่ในอากาศ เป็นผลให้อากาศมีอุณหภูมิลดลง และความชื้นสัมพัทธ์อากาศสูงขึ้น ส่วนเมล็ดพืชจะมีความชื้นลดต่ำลง และหากความชื้นลดลงมากพอแล้วอุณหภูมิของเมล็ดพืชก็จะเริ่มสูงขึ้นด้วย จนใน

ที่สุดเมล็ดพืชจะมีอุณหภูมิสูงเท่ากับอุณหภูมิอากาศที่ใช้อบแห้ง หากว่าความชื้นลดลงจนถึงความชื้นสมดุล เมื่อเมล็ดพืชแห้งดีแล้ว เรามักจะผ่านอากาศแวดล้อมเข้าชั้นเมล็ดพืชเพื่อให้อุณหภูมิลดลง หากเก็บเมล็ดพืชทั้งที่ยังมีอุณหภูมิสูงอยู่อาจเกิดปัญหาการไหลเวียนของอากาศโดยธรรมชาติอันเนื่องมาจาก ความแตกต่างของอุณหภูมิ ซึ่งมีผลทำให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำในอากาศ ทำให้เมล็ดพืชในบริเวณที่มีการควบแน่นมีความชื้นสูง โดยมากมักจะเป็นชั้นบนๆ และจะเป็นจุดเริ่มต้นของการแพร่เชื้อราและแมลงต่อไป

2.2.1. ชนิดของเครื่องอบแห้งเมล็ดพืช

เครื่องอบแห้งเมล็ดพืชอาจแบ่งออกได้เป็นสองชนิดคือ เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชอยู่กับที่ (fixe-bed dryer) และเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชไหล (moving-bed dryer) แต่ละชนิดยังสามารถแบ่งย่อยได้อีก ในที่นี้จะขอกล่าวเฉพาะเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชอยู่กับที่

เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชอยู่กับที่นี้ แบ่งออกได้เป็น 3 แบบคือ แบบถังเก็บ (full bin drying or in – store drying) แบบเป็นชั้น (layer drying) และแบบเป็นงวด (batch – in – bin drying) ในเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชอยู่กับที่ที่ใช้อัตราการไหลของอากาศค่อนข้างต่ำอย่าง เช่น ในกรณีของการอบแห้งแบบถังเก็บ จะสามารถแบ่งชั้นเมล็ดพืชออกเป็น สามโซน ดังรูปที่ 5 คือโซน A อยู่ชั้นบนสุด โซน B อยู่ชั้นล่างสุด และโซน C อยู่ระหว่างโซน A และโซน B จากรูปจะเห็นว่ากระแสอากาศไหลผ่าน โซน B, C และ A ตามลำดับ ที่โซน A เมล็ดพืช และอากาศอยู่ในสภาวะสมดุลความร้อนและความชื้น เมล็ดมีความชื้นเท่ากับความชื้นเริ่มต้น และอากาศอบแห้งมีอุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิกระเปาะเปียก ที่โซน B เมล็ดพืชมีความชื้นเท่ากับความชื้นสมดุลที่สภาวะอากาศตรงทางเข้าเครื่องอบแห้ง ที่โซน C เมล็ดพืช และอากาศไม่ได้อยู่ในสภาวะสมดุล มีการถ่ายเทความร้อน และความชื้นซึ่งกันและกัน เมื่อเวลาการอบแห้งเพิ่มขึ้น ความหนาของโซน B จะมากขึ้น และความหนาของโซน A จะลดลง เมื่อสิ้นสุดการอบแห้ง โซน C จะหายไป และจะเหลือเพียงโซน B เท่านั้น



รูปที่ 2.2 การเคลื่อนที่ของอากาศในเครื่องอบแห้งแบบถังเก็บ [6]

2.2.1.1 การอบแห้งแบบถังเก็บ

เมล็ดพืชหลังเก็บเกี่ยวจะถูกขนย้ายมาไว้ในถังเก็บซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องอบแห้งด้วย ความสูงของชั้นเมล็ดพืชในเครื่องอบแห้งแบบนี้จะมากกว่าในเครื่องอบแห้งชนิดอื่น โดยอาจสูงถึง 6 เมตร อุณหภูมิ และอัตราการไหลของอากาศที่ใช้อบแห้งมักจะต่ำ อากาศที่ใช้อาจเป็นอากาศแวดล้อม อัตราการไหลของอากาศที่ใช้กันแปรระหว่าง 0.5 – 5 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมล็ดพืช การอบแห้งจะดำเนินไปอย่างช้าๆ โดยอาจใช้เวลาหลายสัปดาห์ เนื่องจากระยะเวลาในการอบแห้งยาวนาน การเจริญเติบโตของเชื้อรา และการสูญเสียมวลแห้งของเมล็ดอาจมีมากเกินไป เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้ ความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดพืชไม่ควรสูงเกินไป ในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีสภาวะอากาศอบอุ่น ความชื้นเริ่มต้นควรต่ำกว่า 24 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ในประเทศเขตร้อนชื้น ความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดควรต่ำกว่านี้ Soponronnarit (1987) แนะนำว่าความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกที่อบแบบถังเก็บภายใต้สภาวะอากาศร้อนชื้นไม่ควรสูงกว่า 20 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อากาศที่ใช้อบแห้งอาจจะถูกทำให้ร้อนขึ้นถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูงเกินไป โดยทั่วไปเรามักจะใช้ตัวควบคุมความชื้น (humidistat) เป็นตัวควบคุมการทำงานของตัวอุ่นอากาศ คือเมื่อความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศสูง ตัวควบคุมที่ความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ เพื่อให้ระบบอบแห้งมีความง่าย เราอาจไม่ใช้ตัวควบคุมความชื้นก็ได้ แต่ใช้ตัวทำอากาศร้อนที่สามารถเพิ่มอุณหภูมิของอากาศได้ประมาณ 3 – 6 องศาเซลเซียส วิธีนี้มีข้อเสียคือ อากาศอาจแห้งเกินไป และเป็นผลให้เมล็ดพืชแห้งเกินกว่าที่ต้องการ ในกรณีที่ใช้อากาศร้อนในการอบแห้ง จะต้องทำให้เมล็ดพืชเย็นลงหลังจากการที่เมล็ดพืชแห้งแล้วโดยการเป่าอากาศแวดล้อม มิฉะนั้นอาจเกิดปัญหาการถ่ายเทความชื้นในถังเก็บอันเนื่องมาจากการไหลเวียนของอากาศ ซึ่งเกิดขึ้นจากความแตกต่างของอุณหภูมิภายในกองเมล็ดพืช เป็นผลให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำในอากาศในบริเวณที่เมล็ดพืชมีอุณหภูมิต่ำ เมล็ดพืชในบริเวณนี้จะมีความชื้นสูง จนเกิดการลุกลามของเชื้อราและการระบาดของแมลงในที่สุด

ปัญหาการใช้เครื่องอบแห้งแบบนี้คือ การตรวจสอบความชื้นเมล็ดพืชว่าได้ลดลงถึงจุดที่ต้องการหรือยัง สำหรับเครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชอยู่กับที่ เรามักจะตรวจสอบโดยใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างและนำตัวอย่างมาตรวจสอบด้วยเครื่องวัดความชื้นซึ่งจะสะดวกและรวดเร็ว เครื่องมือวัดความชื้นและตัวควบคุมความชื้นสัมพัทธ์อากาศได้รับการตรวจสอบเป็นครั้งคราว

ข้อดีของเครื่องอบแบบถังเก็บ

- จะเก็บเกี่ยวเมล็ดพืชในปริมาณเท่าใดก็ได้
- การจัดการง่าย
- ขั้นตอนการขนย้ายเมล็ดพืชมีน้อย ทำให้ประหยัด และลดการแตกร้าวของเมล็ดพืช
- ใช้ความร้อนสัมผัสในอากาศที่ใช้อบแห้งได้อย่างมีประสิทธิภาพ
- เมล็ดพืชหลังอบไม่แห้งเกินไป
- การใช้อุณหภูมิต่ำทำให้เกิดการร้าวของเมล็ดพืชน้อย
- ประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่าย

ข้อเสียของเครื่องอบแบบถังเก็บ

- ไม่สามารถเก็บเกี่ยวเมื่อเมล็ดพืชมีความชื้นสูงมาก
- ระยะเวลาการอบแห้งยาวนานทำให้ต้องเสียเวลาในการจัดการมาก

โดยสรุปแล้ววิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้กันในระดับเกษตรกร และระดับสหกรณ์ในประเทศเขตอบอุ่น เพราะการเก็บเกี่ยวข้าวโพด ข้าวฟ่างหรือข้าวเปลือก จะตรงกับฤดูใบไม้ร่วง ซึ่งมีอากาศเย็น ทำให้การเจริญเติบโตของเชื้อรา เป็นไปอย่างช้าๆ สำหรับประเทศในเขตร้อนอย่างประเทศไทย อากาศจะร้อนอยู่เกือบตลอดปี ดังนั้นจึงต้องร่นระยะเวลาในการอบแห้งให้สั้นลงโดยการเพิ่มอัตราการไหลของอากาศ

2.2.1.2 การอบแห้งแบบเป็นชั้น

การอบแห้งแบบเป็นชั้นคลายกับการอบแห้งแบบถังเก็บ ต่างกันตรงที่ว่าปริมาณการเก็บเกี่ยวแต่ละครั้งจะไม่มากนัก เมล็ดพืชที่เก็บเกี่ยวในแต่ละวันจะถูกนำไปไว้ในถังเก็บซึ่งทำหน้าที่เป็นเครื่องอบแห้งด้วย การอบแห้งจะเริ่มทันทีเมื่อเมล็ดพืชชั้นครั้งแรกมาถึง ในวันต่อๆ มาเมล็ดพืชจะถูกขนย้ายมาไว้ในถังเก็บอีก ในขณะที่เมล็ดพืชครั้งก่อนหน้านี้นั้นแห้งดีแล้ว จะเห็นได้ว่าการอบแห้งจะดำเนินไปเป็นชั้นๆ

เมล็ดพืชที่เก็บเกี่ยวก่อนจะมีความชื้นสูง ในขณะที่ความหนารวมของชั้นเมล็ดพืชจะยังน้อยอยู่ ดังนั้นอัตราการไหลของอากาศจะสูง เมล็ดพืชที่เก็บเกี่ยวครั้งหลังโดยปกติจะมีความชื้นต่ำลงกว่าเมื่อเก็บเกี่ยวครั้งแรก ในขณะเดียวกันความหนารวมของชั้นเมล็ดพืชจะเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลให้อัตราการไหลของอากาศลดลง

การอบแห้งด้วยวิธีนี้ทำให้สามารถเก็บเกี่ยวเมล็ดพืชที่มีความชื้นสูงได้ แต่จะต้องมีการจัดการที่ดีพอโดยเฉพาะการเก็บเกี่ยว ถ้าเก็บเกี่ยวในแต่ละครั้งมากเกินไปจะทำให้การอบแห้งสำหรับชั้นนั้นใช้เวลานานและเมล็ดพืชอาจเสียหายได้ วิธีการอบแห้งแบบเป็นชั้นนี้น่าจะนำมาใช้กับประเทศในเขตร้อนชื้นได้

2.2.1.3 การอบแห้งแบบเป็นงวด

เมล็ดพืชจะถูกอบในเครื่องอบแห้งแล้วทำให้เย็นลงก่อนนำไปเก็บไว้ในถังเก็บ อากาศที่ใช้ในการอบแห้งมีอุณหภูมิสูงกว่าเครื่องอบแห้งสองชนิดแรกที่ได้กล่าวมาแล้ว คือประมาณ 49 – 71 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของอากาศก็สูงกว่ามากคือ 6 – 11 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมล็ดพืช และความหนาแน่นของชั้นเมล็ดพืชน้อยกว่า คือประมาณ 1 เมตร หรืออาจน้อยกว่า การอบแห้งจะเป็นไปอย่างรวดเร็วโดยอาจแล้วเสร็จภายใน 12 – 24 ชั่วโมง

การควบคุมอุณหภูมิของอากาศร้อนโดยมากมักนิยมใช้ตัวควบคุมอุณหภูมิ (thermostat) เนื่องจากที่อุณหภูมิสูง การเปลี่ยนแปลงของความชื้นสัมพัทธ์อากาศมีน้อย ทำให้ใช้ตัวควบคุมความชื้นไม่ได้ผล ตัวควบคุมอุณหภูมิควรได้รับการตรวจสอบเป็นครั้งคราว

ปัญหาของระบบนี้คือการเกิดเกรเดียนท์ความชื้น ในชั้นเมล็ดพืชอันเนื่องมาจากการใช้อุณหภูมิสูงในการอบแห้ง โดยที่เมล็ดพืชที่บริเวณทางเข้าของอากาศจะแห้งเกินไป และเมล็ดพืชที่ตรงทางออกอาจมีความชื้นเท่ากับความชื้นเริ่มต้น ในขณะที่ความชื้นเฉลี่ยได้ตามที่ต้องการแล้ว ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้เป็นบางส่วน โดยขณะที่เมล็ดพืชไหลออกจากเครื่องอบแห้งเพื่อนำไปรักษา จะเกิดการผสมกันระหว่างเมล็ดพืชแห้งและชื้นซึ่งต้องใช้เวลาหลายวันสำหรับการแพร่ความชื้นระหว่างเมล็ด นอกนากนี้การเป่าอากาศเพื่อทำให้เมล็ดพืชเย็นลงหลังการอบแห้งแล้วเสร็จสามารถลดเกรเดียนท์ความชื้นเล็กน้อย และทำให้ความชื้นเฉลี่ยลดลงเล็กน้อยด้วย การเป่าลมเย็นอาจใช้เวลาประมาณ 1 – 2 ชั่วโมง การทำให้เกรเดียนท์ความชื้นในชั้นเมล็ดพืชลดลงอาจทำได้โดยการใช้ตัวภวน หรือตัวหมุนเวียนเมล็ดพืช หรือโดยการควบคุมความหนาของชั้นเมล็ดพืชที่อบแห้ง ความหนานี้อาจอยู่ระหว่าง 0.30 – 0.45 เมตร

ปัญหาที่สำคัญอีกข้อหนึ่งสำหรับระบบอบแห้งแบบเมล็ดพืชอยู่กับที่ก็คือการกระจายของกระแสอากาศ ระดับของเมล็ดพืชควรที่จะเท่ากันตลอดเพื่อให้การไหลของอากาศเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ การใช้เกลียวลำเลียงในแนวราบ ซึ่งอยู่เหนือพื้นเครื่องอบแห้งเล็กน้อยเพื่อใช้กวาดเมล็ดพืชเข้าสู่จุดศูนย์กลางของเครื่องอบแห้ง ทำให้บริเวณนี้ได้รับกระแสอากาศน้อยกว่าบริเวณที่อยู่รอบนอกเศษผง และสิ่งสกปรกเหล่านี้ควรได้รับการกำจัดเป็นครั้งคราว

2.3. ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อนและการวิเคราะห์พลังงาน [7]

2.3.1 การพาความร้อน (Heat Convection)

การพาความร้อนเป็นการถ่ายโอนความร้อนระหว่างผิวของแข็งกับของเหลวหรือแก๊ส (ของไหล) ที่มีการเคลื่อนที่จึงอาจกล่าวได้ว่าการพาความร้อนเกิดขึ้นจากผลของการนำความร้อนรวมกับการไหลของของไหลโดยปริมาณความร้อนจะเพิ่มขึ้นตามความเร็วในการไหลของของไหลการพาความร้อนแบ่งออกได้ 2 ลักษณะคือ

1. การพาความร้อนแบบบังคับ (force convection) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงภายนอกมาบังคับให้ของไหลเคลื่อนที่ผ่านผิววัตถุที่ร้อนกว่าหรือเย็นกว่า เช่น การใช้พัดลมเป่าอากาศ

2. การพาความร้อนแบบอิสระหรือธรรมชาติ (free or natural convection) เกิดขึ้นเมื่อของไหลเกิดการเคลื่อนที่เนื่องจากแรงลอยตัวของของไหล ซึ่งแรงลอยตัวนี้เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล อันเป็นผลจากความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นของไหล อากาศที่มีอุณหภูมิสูงมีความหนาแน่นต่ำลง (เบา) จึงเกิดการเคลื่อนที่ขึ้นด้านบน ขณะเดียวกันอากาศที่เย็นกว่ามีความหนาแน่นสูง หรือหนักกว่าจะเคลื่อนที่มาแทน

2.3.2 การนำความร้อน (Heat Conduction)

การนำความร้อนเป็นการถ่ายโอนความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ โดยอาศัยผลของการกระทำระหว่างอนุภาค การนำความร้อนสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งตัวกลางที่เป็นของแข็ง ของเหลวและแก๊ส โดยในแก๊สและของเหลวการนำความร้อนเกิดจากการชนของโมเลกุลกันระหว่างการเคลื่อนที่ไร้ทิศทางของโมเลกุลเหล่านั้น ส่วนของแข็งเกิดจากการสั่นของโมเลกุลของการถ่ายโอนพลังงานโดยอิเล็กตรอนอิสระ

2.3.3 การวิเคราะห์พลังงานสำหรับกระบวนการที่มีการไหลของอากาศผสมกับไอน้ำ

2.3.3.1 กฎอนุรักษ์มวล (Mass Conservation)

ในกระบวนการที่มีการไหลแบบคงตัว มวลภายในระบบจะไม่มีการเปลี่ยนแปลง (m_{cv}= คงที่) นั่นคือมวลที่ไหลเข้าสู่ระบบเท่ากับมวลที่ไหลออกจากระบบ ในระบบที่มีการไหลผสมของอากาศและไอน้ำพิจารณาดังนี้

อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศแห้งคงที่

$$\dot{m}_{ai} = \dot{m}_{ae} = \dot{m}_a \qquad \text{(กิโลกรัมต่อวินาที)} \qquad (2.1)$$

อัตราการไหลเชิงมวลของไอน้ำในอากาศจะเพิ่มขึ้นในปริมาณที่เท่ากับอัตราการระเหยของน้ำ $\dot{m}_f$

$$\dot{m}_{wi} + \dot{m}_f = \dot{m}_{we} \qquad \text{(กิโลกรัมต่อวินาที)} \qquad (2.2)$$

หรือ

$$\dot{m}_a\left(\frac{\dot{m}_{wi}}{\dot{m}_a}\right) + \dot{m}_f = \dot{m}_a\left(\frac{\dot{m}_{we}}{\dot{m}_a}\right) \qquad \text{(กิโลกรัมต่อวินาที)} \qquad (2.3)$$

จากการนิยาม อัตราส่วนความชื้นคือ

$$\omega = \frac{\dot{m}_w}{\dot{m}_a} \qquad \text{(กิโลกรัมต่อวินาที)} \qquad (2.4)$$

ดังนั้น

$$\dot{m}_f = \dot{m}_a(\omega_e - \omega_i) \qquad \text{(กิโลกรัมต่อวินาที)} \qquad (2.5)$$

2.3.3.2 กฎอนุรักษ์พลังงาน (Energy Conservation)

จากกฎข้อที่หนึ่งของเทอร์โมไดนามิกส์ มีหลักการอยู่ว่าพลังงานไม่มีการสูญหาย แต่สามารถเปลี่ยนรูปไปเป็นพลังงานอย่างอื่นซึ่งแสดงได้ตามสมการดังนี้

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_e \left(h_e + \frac{v_e^2}{2} + gz_e \right) - \sum \dot{m}_i \left(h_i + \frac{v_i^2}{2} + gz_e \right) \qquad \text{(กิโลวัตต์)} \qquad (2.6)$$

สำหรับการพิจารณาสมการพลังงานกับระบบการไหลของอากาศผสมกับไอน้ำ ในขอบเขตปริมาตรควบคุม สามารถพิจารณาได้ว่าไม่มีการถ่ายโอนความร้อนผ่านขอบเขตของระบบ หรือมีน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทด้วยอัตราการไหลของอากาศ ดังนั้น $\dot{Q} = 0$ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงงานระหว่างระบบและสิ่งแวดล้อม $\dot{W} = 0$ และมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานศักย์และพลังงานจลน์น้อยมากนั่นคือ $\frac{v^2}{2}$ และ $gz = 0$ ดังนั้นสมการในการพิจารณาพลังงานสำหรับกระบวนการไหลของอากาศผสมกับไอน้ำ คือ

$$\sum \dot{m}_i h_i = \sum \dot{m}_e h_e \qquad \text{(กิโลกรัมต่อวินาที)} \qquad (2.7)$$

$$\dot{m}_a h_i + \dot{m}_f h_{fe} = \dot{m}_a h_e \qquad \text{(กิโลกรัมต่อวินาที)} \qquad (2.8)$$

$$\dot{m}_a h_i + \dot{m}_a (\omega_e - \omega_i) h_{fe} = \dot{m}_a h_e \qquad \text{(กิโลกรัมต่อวินาที)} \qquad (2.9)$$

เมื่อหารด้วย $\dot{m}_a$ จะได้

$$h_i + (\omega_e - \omega_i) h_{fe} = h_e \qquad \text{(กิโลจูลต่อกิโลกรัม)} \qquad (2.10)$$

หรือ

$$(c_p T_i + \omega_i h_{gi}) + (\omega_e - \omega_i) h_{fe} = (c_p T_e + \omega_e h_{ge}) \qquad \text{(กิโลจูลต่อกิโลกรัม)} \qquad (2.11)$$

จัดเทอมใหม่จะได้

$$\omega_i = \frac{c_p\left(T_e - T_i\right) + \omega_e h_{fge}}{h_{gi} - h_{fe}} \qquad (2.12)$$

และ

$$\omega_i = \frac{0.622 P_{ge}}{P_e - P_{ge}} \qquad (2.13)$$

เมื่อ $\dot{m}_a$ = อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศแห้ง (กิโลกรัมต่อวินาที)

$\dot{m}_w$ = อัตราการไหลเชิงมวลของไอน้ำในอากาศ (กิโลกรัมต่อวินาที)

$\dot{m}_f$ = อัตราการระเหยของน้ำในระบบ (กิโลกรัมต่อวินาที)

ω = อัตราส่วนความชื้น

h = เอนทัลปี (กิโลจูลต่อกิโลกรัม) เป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ

h_f = เอนทัลปี สถานะของเหลวอิ่มตัว (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)

h_g = เอนทัลปี สถานะไออิ่มตัว (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)

h_{fg} = เอนทัลปี สถานะไอ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)

c_p = ค่าความจุความร้อนจำเพาะ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม เคนวิน)

T = อุณหภูมิ (เคนวิน)

P = ความดัน (กิโลปาสคัล) เป็นฟังก์ชันกับอุณหภูมิ

P_g = ความดัน สถานะไออิ่มตัว (กิโลปาสคาล)

i = สภาวะที่ทางเข้า

e = สภาวะที่ทางออก

2.4 ทฤษฎีการคำนวณค่าใช้ไฟฟ้า [8]

ค่าไฟฟ้าที่ต้องชำระในแต่ละเดือนประกอบด้วย

- ค่าพลังงานไฟฟ้า (Energy Charge)

ค่าพลังงานไฟฟ้า = หน่วยไฟฟ้า x อัตราค่าไฟฟ้าต่อหน่วยในแต่ละช่วง (2.14)

โดยที่

หน่วยไฟฟ้า = กำลังไฟฟ้า (กิโลวัตต์) x เวลาใช้งาน (ชั่วโมง) (2.15)

และ 1 กิโลวัตต์ = 1000 วัตต์

- ค่าปรับต้นทุนการผลิตหรือค่า Ft (Energy Adjustment Charge) หน่วยละ 0.9581 บาท (ณ เดือนกันยายน 2554) โดยที่

ค่า Ft = อัตราค่าFt x หน่วยไฟฟ้า (2.16)

- ภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT) 7 เปอร์เซ็นต์

ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม = (ค่าพลังงานไฟฟ้า + ค่าFt) x 7 เปอร์เซ็นต์ (2.17)

ดังนั้น

ค่าไฟฟ้าที่ต้องชำระ = ค่าพลังงานไฟฟ้า + ค่าปรับปรุงต้นทุนการผลิต + ภาษีมูลค่าเพิ่ม (2.18)

อัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้านครหลวงประเภทที่ 1 บ้านอยู่อาศัย กระแสไฟฟ้าไม่เกิน 5 แอมแปร์ แรงดันไฟฟ้า ไม่เกิน 220 โวลต์

5 หน่วยแรก	(หน่วยที่ 0 - 5)	หน่วยละ 0 บาท
10 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 6 - 15)	หน่วยละ 1.3576 บาท
10 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 16 - 25)	หน่วยละ 1.5445 บาท
10 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 26 - 35)	หน่วยละ 1.7968 บาท
65 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 36 - 100)	หน่วยละ 2.1800 บาท
50 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 101 - 150)	หน่วยละ 2.2734 บาท
250 หน่วยต่อไป	(หน่วยที่ 151 - 400)	หน่วยละ 2.7781 บาท
เกิน 400 หน่วยขึ้นไป	(หน่วยที่ 401 เป็นต้นไป)	หน่วยละ 2.9780 บาท

2.5 ทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

พรรณเชษฐ จริยา, อาทิตย์ ผลสุด และ อำนาจ ทัพเหลือ 2533 [3] ศึกษาการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของข้าวเปลือกโดยวิธีการระบายอากาศ โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างวิธีการเก็บรักษาข้าวเปลือกแบบมีการระบายอากาศและวิธีการเก็บรักษาข้าวเปลือกไม่มีการระบายอากาศ แต่ละวิธีใช้เวลาในการทดสอบ 132 ชั่วโมง ใช้อุณหภูมิในการระบายอากาศที่อุณหภูมิสภาพแวดล้อม 19-33 องศาเซลเซียส ทดสอบกับข้าวเปลือกที่มีความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก โดยใช้อัตราการไหลของอากาศ ที่ 0.0643, 0.2393, 0.37 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก จากการทดลองพบว่า อัตราการไหลของอากาศที่ 0.37 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนดีที่สุด และมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

นิภาพร ไชยมงคล 2546 [4] ศึกษาการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในถังเก็บข้าวเปลือกโดยการเป่าลมเย็นแบบไม่ต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 15 - 25 องศาเซลเซียส ทดสอบกับข้าวเปลือกที่มีความชื้น 18.12 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง อัตราการไหลของอากาศ 1.70 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก ผลการทดลองที่ได้พบว่า เมื่อเก็บข้าวเปลือกที่ผ่านการเป่าลมเย็นแล้วสามารถเก็บรักษาข้าวเปลือกได้ต่ออีก 95 วัน โดยที่คุณภาพการสีข้าวยังเป็นที่ยอมรับได้และความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกเป็น 13.34 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และคณะ 2539 [8] ศึกษาการชะลอความเสียหายของกองข้าวเปลือกชื้นโดยการระบายอากาศ อากาศที่ใช้เป่ามี 2 เงื่อนไขคือ อากาศเย็นอุณหภูมิ 15 ± 8 องศาเซลเซียส และอากาศแวดล้อมอุณหภูมิ 30 ± 8 องศาเซลเซียส โดยแบ่งลักษณะการเป่าอากาศออกเป็น 2 วิธี คือ การเป่าอย่างต่อเนื่อง และการเป่าอากาศเฉพาะช่วงกลางวัน ทดสอบกับข้าวเปลือกความชื้น 21.0 เปอร์เซ็นต์ 22.0 เปอร์เซ็นต์ และ 26.0 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อัตราการไหลของอากาศ 0.35 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก จากการทดลองพบว่า ข้าวเปลือกที่เป่าด้วยอากาศเย็นอย่างต่อเนื่องอุณหภูมิเฉลี่ยของกองข้าวเปลือกทั้งสามความชื้นลดลงเหลือ 20 องศาเซลเซียสภายใน 1 วัน และข้าวเปลือกที่เป่าด้วยอากาศแวดล้อมอย่างต่อเนื่องอุณหภูมิเฉลี่ยของกองข้าวเปลือกสามารถรักษาให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้นานกว่า 1 เดือน ไม่ว่าจะเป็นการเป่าด้วยอากาศเย็นหรืออากาศแวดล้อม เมื่อพิจารณาคุณภาพข้าวหลังการสีในแง่ของความขาวพบว่า การเป่าด้วยอากาศเย็นให้คุณภาพข้าวดีกว่าการเป่าด้วยอากาศแวดล้อม

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินการ

3.1 การสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูล

การสำรวจและรวบรวมข้อมูล เป็นการศึกษาอุณหภูมิและความชื้นในถังข้าวเปลือกที่มีการระบายอากาศและการเก็บข้าวเปลือกแบบไม่มีการระบายอากาศ ตามทฤษฎีที่เกี่ยวข้องจากแหล่งข้อมูลต่างๆ ซึ่งสามารถแสดงเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

3.1.1 ศึกษาการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข้าวเปลือก และการเก็บรักษาข้าวเปลือก

3.1.2 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของระบบการระบายความร้อนในข้าวเปลือกด้วยพัดลม

3.1.3 ออกแบบโครงสร้างถังเก็บข้าวเปลือก การติดตั้งพัดลม และอุปกรณ์การเก็บข้อมูล ดังรูปที่ 3.1

3.2 ตัวแปรในการทดสอบ

3.2.1 ตัวแปรควบคุม

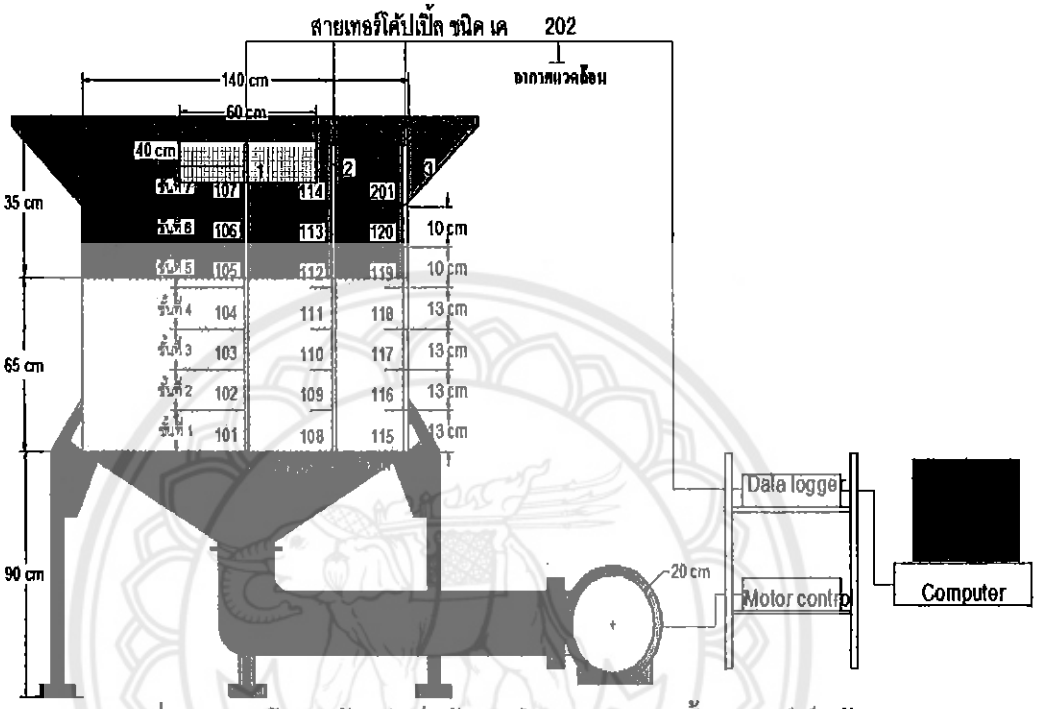
- ข้าวเปลือกพันธุ์ พิษณุโลก 2
- ปริมาณข้าวเปลือกในการทดลอง 500 กิโลกรัม
- อัตราการไหลของอากาศ

3.2.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

- ข้าวเปลือกความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก
- ข้าวเปลือกความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

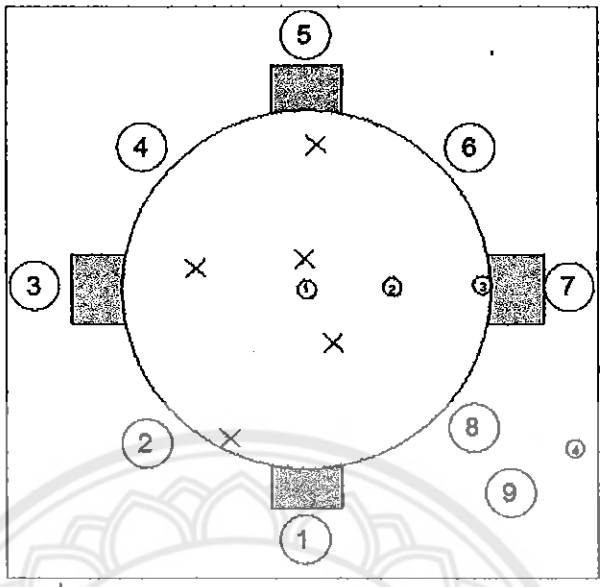
3.3 การติดตั้งพัดลมและอุปกรณ์การเก็บข้อมูล

3.3.1 โครงสร้างถังเก็บข้าวเปลือกและตำแหน่งการวัดสมบัติต่างๆ ในการทดลอง



รูปที่ 3.1 แบบโครงสร้างถังเก็บข้าวเปลือกและการติดตั้งอุปกรณ์เก็บข้อมูล

จากรูปที่ 3.1 โครงสร้างถังเก็บข้าวเปลือก มีความสูง 190 เซนติเมตร และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 140 เซนติเมตร ภายในถังบรรจุข้าวเปลือกสูง 65 เซนติเมตร และติดตั้งหลักที่ติดด้วยสายเทอร์โมคัปเปิ้ล ทั้งหมด 3 หลัก แต่ละหลักมีตำแหน่งการวัดอุณหภูมิ 7 ตำแหน่ง ซึ่งมี 5 ตำแหน่งที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิข้าวเปลือกมีระยะห่างกัน 13 เซนติเมตร และอีก 2 ตำแหน่งที่ใช้วัดอุณหภูมิอากาศระบายมีระยะห่างกัน 10 เซนติเมตร สายเทอร์โมคัปเปิ้ลทั้งหมดนี้ถูกติดตั้งเข้ากับเครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ (Data logger) และส่งข้อมูลไปเก็บยังคอมพิวเตอร์ (Computer) การระบายอากาศใช้พัดลมโดยมีมอเตอร์เป็นตัวขับ และมีตัวควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ (Motor controller) เพื่อให้ได้อัตราการไหลของอากาศระบาย ที่ 1.0 และ 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งการวัดค่าสมบัติต่างๆ ในการทดลอง

จากรูปที่ 3.2 มีตำแหน่งการวัดค่าสมบัติต่างๆ ในการทดลองดังต่อไปนี้

สัญลักษณ์ O หมายเลข 1 - 8 คือตำแหน่งการวัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศ**บริเวณทางออกถัง**
และหมายเลข 9 คือ ตำแหน่งการวัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อม

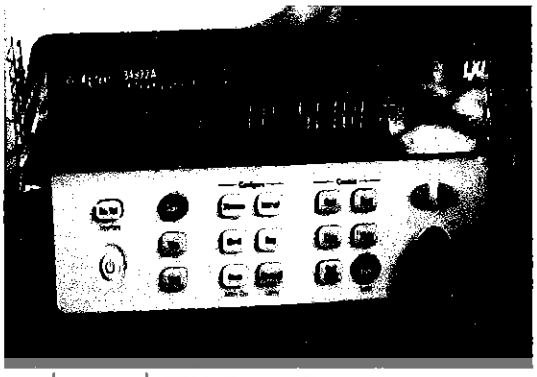
สัญลักษณ์ o หมายเลข 1 - 3 คือ ตำแหน่งการวัดอุณหภูมิซึ่งเป็นหลักที่ติดด้วย**สายเทอร์โมคัปเปิล**
และหมายเลข 4 คือตำแหน่งวัดอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

สัญลักษณ์ × คือตำแหน่งที่ทำการวัดความชื้นข้าวเปลือก

3.3.2 อุปกรณ์เก็บข้อมูลและหลักการทำงาน

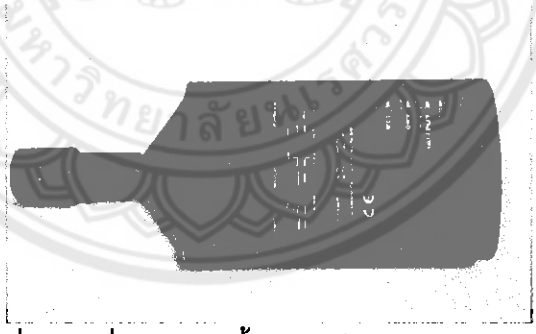
รูปที่ 3.3 เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Clamp Meter)

เครื่องวัดกระแสไฟฟ้า (Clamp Meter) ดังรูปที่ 3.3 จะใช้วัดกำลังไฟฟ้าแบบ 3 เฟส วัดค่าที่บริเวณทางเข้ามอเตอร์พัดลม โดยใช้เครื่องวัดกระแสไฟฟ้าครีบค่อมสายไฟไว้ 1 เส้น แล้วใช้สายไฟสีดำและสีแดงสัมผัสที่ขั้วของสายไฟอีก 2 เส้น แล้วอ่านค่ากำลังไฟฟ้า ทำสลับกันจนครบทั้ง 3 เส้น



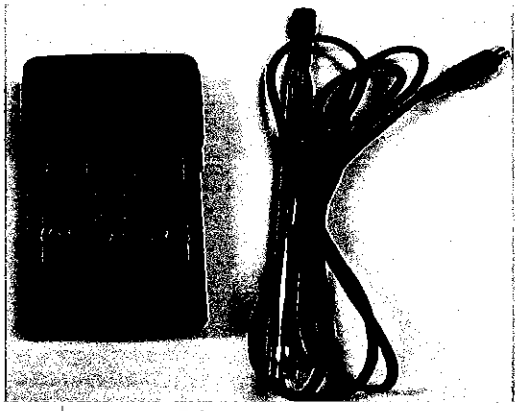
รูปที่ 3.4 เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ (Data logger)

เครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ (Data logger) ดังรูปที่ 3.4 ยี่ห้อ Agilent รุ่น 34970 ขนาด 40 ช่องสัญญาณ ใช้วัดค่าอุณหภูมิด้วยการติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิล โดยทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิทุกๆ 30 นาที ซึ่งเก็บข้อมูลทั้งหมด 22 จุด คือ อุณหภูมิข้าวเปลือก 15 จุด โดยทำการแบ่งเป็น 5 ชั้น คือ ชั้นที่ 1 – 5 แต่ละชั้นทำการวัดอุณหภูมิ 3 จุด อุณหภูมิอากาศที่ระบายออกจากข้าวเปลือก 6 จุด โดยทำการแบ่งเป็น 2 ชั้น คือ ชั้นที่ 6 - 7 ซึ่งต่อจากแท่งเทอร์โมคัปเปิลที่วัดอุณหภูมิของข้าวเปลือก และตำแหน่งอุณหภูมิแวดล้อม ดังรูปที่ 3.1 และวัดค่าอุณหภูมิแวดล้อมตามตำแหน่งและระยะการติดตั้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.2



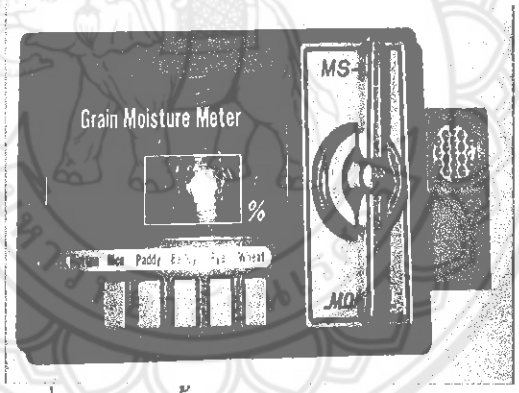
รูปที่ 3.5 เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity Meter)

เครื่องวัดความชื้นสัมพัทธ์ (Humidity Meter) ดังรูปที่ 3.5 จะใช้วัดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ โดยจะเก็บค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์อากาศทุก 6 ชั่วโมง คือเวลา 06.00, 12.00, 18.00 และ 00.00 น. โดยตำแหน่งการวัดได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.2 หมายเลข 1 - 8 คือ ตำแหน่งการวัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศระบายที่ทางออก ตามลำดับ และหมายเลข 9 คือ ตำแหน่งการวัดความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อม



รูปที่ 3.6 เครื่องวัดความเร็วอากาศ (Hot wire Anemometer)

เครื่องวัดความเร็วอากาศ (Hot wire Anemometer) ดังรูปที่ 3.6 จะใช้วัดความเร็วลมที่บริเวณผิวข้าวเปลือกด้านบน เก็บข้อมูลจำนวน 10 ค่า ทำซ้ำ 3 ครั้ง แล้วนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย เพื่อคำนวณหาค่าอัตราการไหลของอากาศระบาย



รูปที่ 3.7 เครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือก (Grain Moisture Meter)

เครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือก (Grain Moisture Meter) ดังรูปที่ 3.7 จะใช้วัดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก โดยการนำข้าวเปลือกที่การกระจายอยู่ที่ผิวด้านบนถังเก็บและที่ความลึกประมาณ 20 – 40 เซนติเมตร หลังจากนั้นนำข้าวเปลือกที่ได้ใส่ถาดรอง ดันเข้าช่องด้านขวาของเครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือกแล้วหมุนให้พอแน่น กดปุ่ม Paddy และกดปุ่มสีแดงค้างไว้แล้วอ่านค่าค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

การระบายอากาศในการเก็บรักษาข้าวเปลือกด้วยพัดลมมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

3.4.1 ทำการจัดเรียงสายเทอร์โมคัปเปิล 3 หลัก โดยแต่ละหลักประกอบด้วยเทอร์โมคัปเปิล 7 จุด โดยแต่ละจุดห่างกัน 13 เซนติเมตร ตำแหน่งการวางเทอร์โมคัปเปิลหลักที่ 1 (หมายเลข 101 –

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

107) วางไว้ที่จุดศูนย์กลางของถังเก็บข้าวเปลือก เทอร์โมคัปเปิลหลักที่ 2 (หมายเลข 108 – 114) วางไว้ห่างจากผนังด้านข้างถังระยะ 35 เซนติเมตร เทอร์โมคัปเปิลหลักที่ 3 (หมายเลข 115 – 120 และหมายเลข 201) วางไว้ชิดผนังของถังเก็บข้าวเปลือก และเทอร์โมคัปเปิลหมายเลข 202 ทำการวัดอุณหภูมิอากาศแวดล้อม จากนั้นทำการต่อสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับชุดอุปกรณ์เก็บข้อมูลซึ่งประกอบไปด้วยเครื่องบันทึกค่าอุณหภูมิ (Data logger) และคอมพิวเตอร์ (Computer) ดังรูปที่ 3.1

3.4.2 นำข้าวเปลือกพันธุ์พิษณุโลก 2 จำนวน 500 กิโลกรัม เทลงถังเก็บข้าวเปลือก

3.4.3 ทำการเก็บข้อมูลความชื้นสัมพัทธ์อากาศ ความชื้นข้าวเปลือก และอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อัตราการไหลของอากาศ 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก โดยเริ่มเปิดพัดลมเป่าในเวลากลางวัน 06.00 – 18.00 น. และปิดพัดลมในเวลากลางคืน 18.00 – 06.00 น. เก็บรักษาข้าวเปลือกเป็นระยะเวลา 60 ชั่วโมง

เมื่อทำการเก็บผลการทดลองต่างๆ ครบตามระยะเวลาที่กำหนดแล้ว จากนั้นนำข้าวเปลือกออกจากถังเพื่อเพิ่มความชื้นให้กับข้าวเปลือกโดยวิธีการสเปรย์น้ำให้ข้าวเปลือกมีความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก และปรับอัตราการไหลของอากาศเป็น 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก และทำการเก็บผลการทดลองซ้ำขั้นตอนเดิมอีกครั้ง

3.4.4 การเก็บรักษาข้าวเปลือกแบบไม่มีการระบายอากาศ จะนำข้าวเปลือกออกมาสเปรย์น้ำให้มีความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก แล้วนำข้าวเปลือกเทกลับลงถังเก็บข้าวเปลือกโดยไม่มีการเปิดพัดลม และทำการเก็บผลการทดลองซ้ำขั้นตอนเดิมอีกครั้ง

3.4.5 นำข้าวเปลือกออกจากถังเก็บข้าวเปลือกเพื่อเพิ่มความชื้นให้กับข้าวโดยวิธีการสเปรย์น้ำให้ข้าวเปลือกมีความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก จากนั้นนำข้าวเปลือกเทกลับลงถังเก็บข้าวเปลือก แล้วทำการทดลองที่อัตราการไหลของอากาศ 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก แล้วทำการเก็บข้อมูลซ้ำขั้นตอนข้างต้น และปรับอัตราการไหลของอากาศเป็น 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก แล้วทำการเก็บผลการทดลองซ้ำขั้นตอนเดิมอีกครั้ง

3.4.6 การเก็บรักษาข้าวเปลือกแบบไม่มีการระบายอากาศ ให้นำข้าวเปลือกออกมาสเปรย์น้ำให้มีความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก แล้วนำข้าวเปลือกเทกลับลงถังเก็บข้าวเปลือกโดยไม่มีการเปิดพัดลม แล้วทำการเก็บผลการทดลองซ้ำขั้นตอนเดิมอีกครั้ง

3.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

3.5.1. วิเคราะห์อุณหภูมิและความชื้นในถังเก็บข้าวเปลือกที่มีการระบายความร้อนด้วยพัดลมระบายอากาศ เปรียบเทียบกับการเก็บข้าวเปลือกที่ไม่มีการระบายความร้อน

3.5.2 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของข้าวเปลือกที่ความชื้น 14 และ 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ที่มีการระบายความร้อนด้วยพัดลมระบายอากาศ เปรียบเทียบกับการเก็บข้าวเปลือกที่ไม่มีการระบายความร้อน

3.5.3 วิเคราะห์ผลเชิงเศรษฐศาสตร์การลงทุนการระบายความร้อนและความชื้นในข้าวเปลือกด้วยพัดลม

3.5.4 สรุปผลการทดลอง

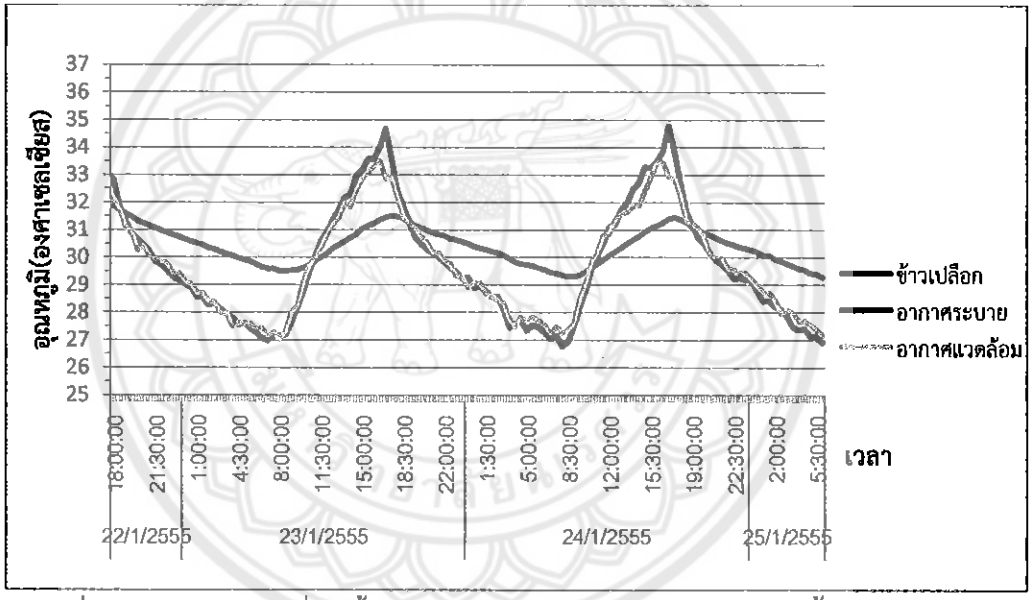
1600 8313
วร.
ว 719 ง
2554

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์

4.1 การเก็บรักษาข้าวเปลือกแบบไม่มีการระบายอากาศ

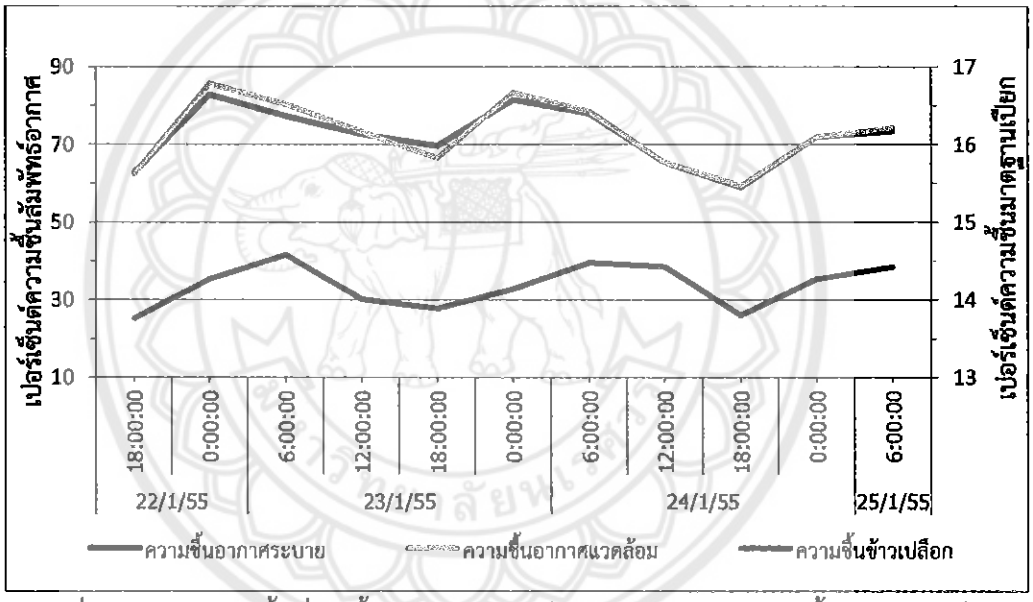
4.1.1. การเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก



รูปที่ 4.1 กราฟอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในการทดลองเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์ มาตรฐานเปียก แบบไม่มีการระบายอากาศ

จากรูปที่ 4.1 การเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียกแบบไม่มีการระบายอากาศ พบว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมในช่วงที่ทำการทดลองมีอุณหภูมิต่างกันในช่วงเวลากลางวันและกลางคืนประมาณ 7 องศาเซลเซียส ในขณะที่ข้าวเปลือกมีอุณหภูมิต่างกันประมาณ 1 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิหรือความร้อนที่เกิดขึ้นในข้าวเปลือกนั้น เกิดจากกระบวนการที่ข้าวหายใจส่วนหนึ่ง และอีกส่วนหนึ่งเกิดจากการถ่ายเทความร้อนจากอากาศที่ร้อนเข้าสู่เมล็ดข้าวที่มีการสัมผัสกับอากาศหรือวัตถุนำความร้อนโดยตรง ในกรณีที่ความร้อนเกิดจากกระบวนการหายใจ ข้าวเปลือกที่มีความชื้น 14% มาตรฐานเปียก มีปริมาณน้ำที่เป็นองค์ประกอบในเมล็ดข้าวเปลือกน้อย

ปริมาณน้ำในเมล็ดข้าวเปลือกถือว่าเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ข้าวนั้นเกิดการหายใจ เมื่อปริมาณน้ำในเมล็ดข้าวน้อยจึงทำให้ข้าวหายใจอย่างช้าๆ การคายความร้อนของข้าวเปลือกออกน้อยลงตามไปด้วย ความร้อนที่คายออกมานั้นจะถูกเก็บสะสมไว้ในกองข้าวเปลือก และถ่ายเทความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural Convection) ให้กับอากาศเมื่ออุณหภูมิของอากาศต่ำกว่าอุณหภูมิของข้าวเปลือก และเนื่องจากเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบธรรมชาติ อากาศมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนต่ำจึงทำให้อุณหภูมิข้าวเปลือกมีการเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ อุณหภูมิอากาศระบายเป็นอุณหภูมิที่ตรวจวัดจากอากาศที่ระบายความร้อนมาจากข้าวเปลือก และเนื่องจากเป็นอากาศจึงมีค่าการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามอุณหภูมิอากาศแวดล้อม จากกราฟในช่วงที่แตกต่างกันชัดเจนระหว่างอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และอุณหภูมิอากาศระบายเกิดจากความร้อนของอากาศแวดล้อมรวมกับความร้อนของข้าวเปลือกที่คายออกมาทำให้อุณหภูมิของอากาศระบายมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อม

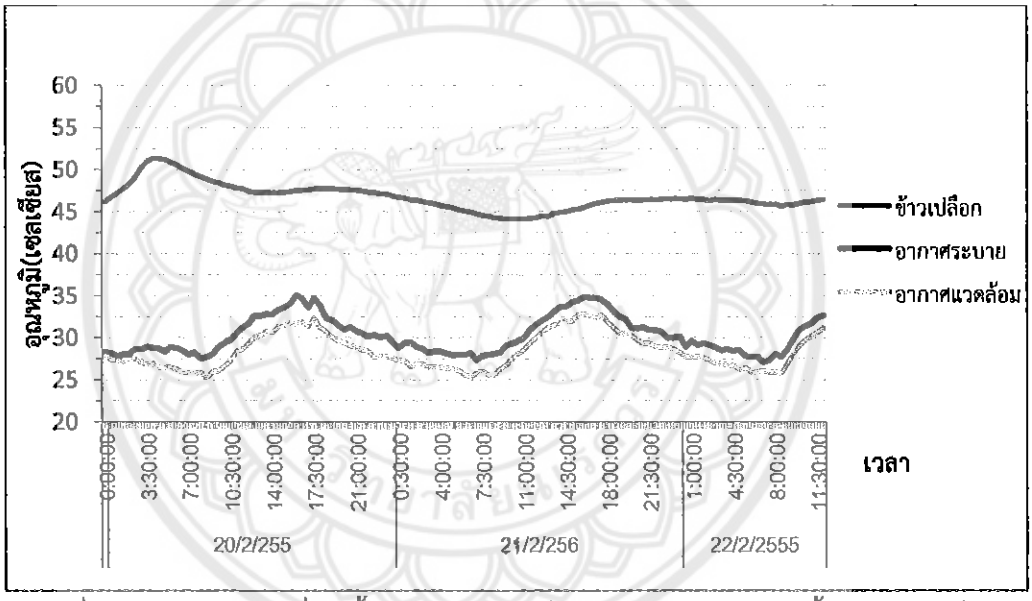


รูปที่ 4.2 กราฟความชื้นที่เกิดขึ้นในการทดลองเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก แบบไม่มีการระบายอากาศ

และจากรูปที่ 4.2 การเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียกแบบไม่มีการระบายอากาศ พบว่า ในช่วงเวลากลางคืนเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อมมีค่าสูง ซึ่งหมายความว่าปริมาณไอน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศมีค่ามาก และสามารถรับปริมาณไอน้ำจากแหล่งอื่นๆ ได้น้อยลง ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นเพราะไม่สามารถที่จะคายไอน้ำให้กับอากาศในช่วงเวลากลางคืนได้ และในช่วงกลางวันเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อมมีค่าต่ำ ข้าวเปลือกจึงสามารถคายไอน้ำให้กับอากาศแวดล้อมได้จึงทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของข้าวเปลือกลดลงตามธรรมชาติ จากกราฟจะเห็นได้ว่าความชื้นของข้าวเปลือกมีแนวโน้มคงที่ ที่ 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

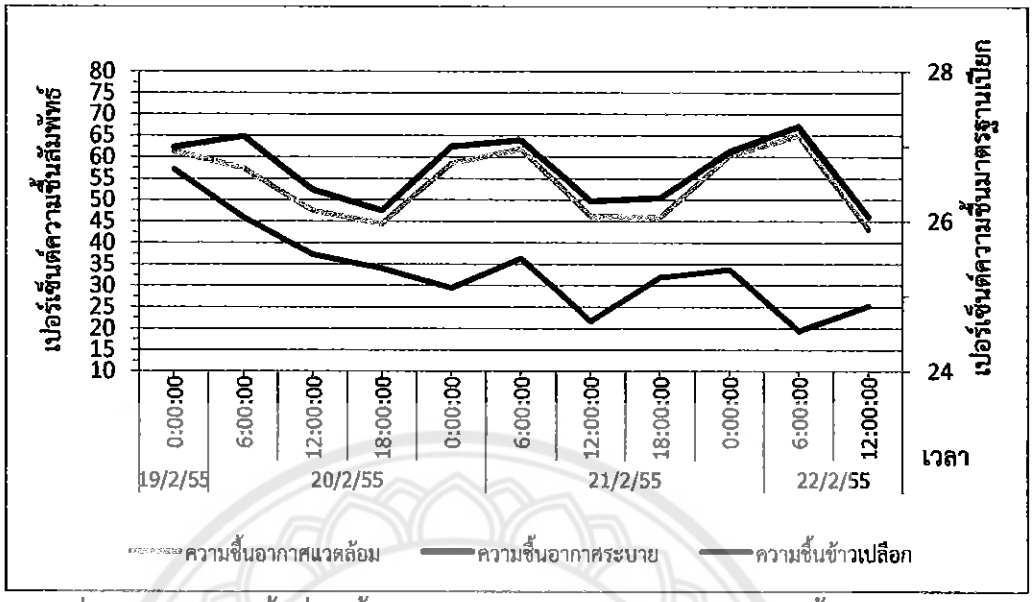
การเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก แบบไม่มีการระบายอากาศ อุณหภูมิของข้าวเปลือกโดยเฉลี่ยแล้วไม่เกิน 32 องศาเซลเซียส ความชื้นข้าวเปลือกอยู่ที่ 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ก็ยังถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถเก็บรักษาต่อไปได้อีก 4 สัปดาห์ ตามตารางที่ 1.1 แต่ต้องมีการกลับข้าวเปลือกเพื่อให้อุณหภูมิไม่สูงเกินกว่านี้ซึ่งจะเป็นผลเสียต่อข้าวเปลือก เพราะถ้าอุณหภูมิของอากาศในช่วงกลางคืนไม่ลดลงมาต่ำมาก และกลางวันก็มีอุณหภูมิสูง การถ่ายเทความร้อนก็จะไม่ดีทำให้เกิดความร้อนสะสมในกองข้าวมากขึ้นเรื่อยๆ จนถึงจุดที่ทำให้ข้าวเกิดความเสียหาย ดังนั้นวิธีการเก็บรักษาข้าวเปลือกแบบไม่ระบายอากาศนี้จึงยังไม่เหมาะสมกับการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

4.1.2. การเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก



รูปที่ 4.3 กราฟอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในการทดลองเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก แบบไม่มีการระบายอากาศ

จากรูปที่ 4.3 การเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก แบบไม่มีการระบายอากาศ พบว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมในช่วงที่ทำการทดลองมีอุณหภูมิต่างกันในช่วงเวลากลางวันและกลางคืนประมาณ 7.5 องศาเซลเซียส ในขณะที่ข้าวเปลือกมีอุณหภูมิต่างกันประมาณ 6 องศาเซลเซียส ในกรณีนี้ข้าวเปลือกมีความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก จะมีปริมาณน้ำในเมล็ดข้าวเปลือกมาก ส่งผลให้กระบวนการหายของข้าวเปลือกเร็วขึ้น และการคายความร้อนของข้าวเปลือกก็เพิ่มตามไปด้วย ความร้อนที่คายออกมานั้นจะถูกเก็บสะสมไว้ในกองข้าวเปลือก เมื่อการถ่ายเทความร้อนแบบธรรมชาติไม่เพียงพอที่จะถ่ายเทความร้อนออก อุณหภูมิข้าวเปลือกจึงมีค่าสูงตามเส้นกราฟดังกล่าว



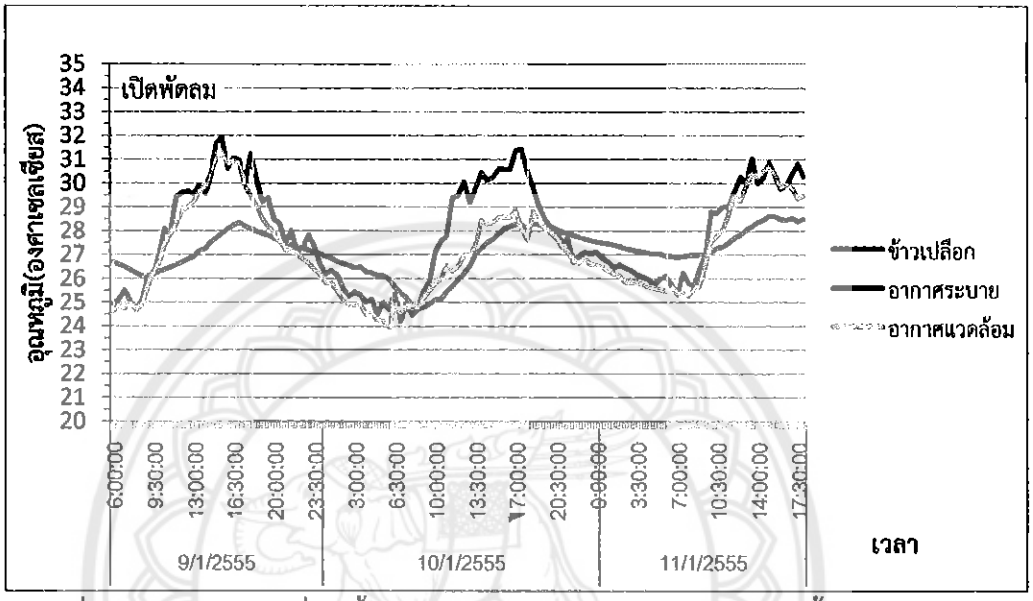
รูปที่ 4.4 กราฟความชื้นที่เกิดขึ้นในการทดลองเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก แบบไม่มีการระบายอากาศ

จากรูปที่ 4.4 การเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก แบบไม่มีการระบายอากาศ พบว่า ในช่วงเวลากลางคืนเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อมมีค่าสูง ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของข้าวเปลือกเพิ่มขึ้น เพราะไม่สามารถที่จะคายไอน้ำให้กับอากาศในช่วงเวลาได้ และในช่วงกลางวันเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อมมีค่าต่ำ ข้าวเปลือกจึงสามารถคายไอน้ำให้กับอากาศแวดล้อมได้จึงทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกของข้าวเปลือกลดลงตามธรรมชาติ จากกราฟจะเห็นได้ว่าความชื้นของข้าวเปลือกมีเส้นกราฟกว้างแกว่งและมีแนวโน้มว่าจะคงที่อยู่บนแกนความชื้นข้าวเปลือกที่ 25 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

การเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก แบบไม่มีการระบายอากาศ อุณหภูมิของข้าวเปลือกโดยเฉลี่ยแล้วอยู่ที่ 48 องศาเซลเซียส ความชื้นข้าวเปลือกอยู่ที่ 25 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก และลักษณะทางกายภาพของข้าวเปลือกหลังการทดลอง ข้าวเปลือกมีสีคล้ำ มีกลิ่นเหม็น ที่บริเวณข้างถังด้านใน รอบถังเก็บข้าวเปลือก มีหยดน้ำ ข้าวเปลือกบริเวณนี้เริ่มงอก ข้าวเปลือกบางส่วนมีราขึ้น และเกิดการเน่าเสียหาย ดังนั้นการเก็บข้าวเปลือกที่ความชื้นเริ่มต้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียกแบบไม่มีการระบายอากาศ จึงไม่เหมาะสมอย่างยิ่งในการเก็บรักษาแบบวิธีนี้ ควรจะมีการลดความชื้นข้าวเปลือกลงก่อน เพื่อลดความเสียหายในการเก็บรักษาข้าวเปลือก

4.2 การเก็บรักษาข้าวเปลือกแบบมีการระบายอากาศ

4.2.1. การเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ด้วยอัตราการไหลของอากาศระบาย 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก

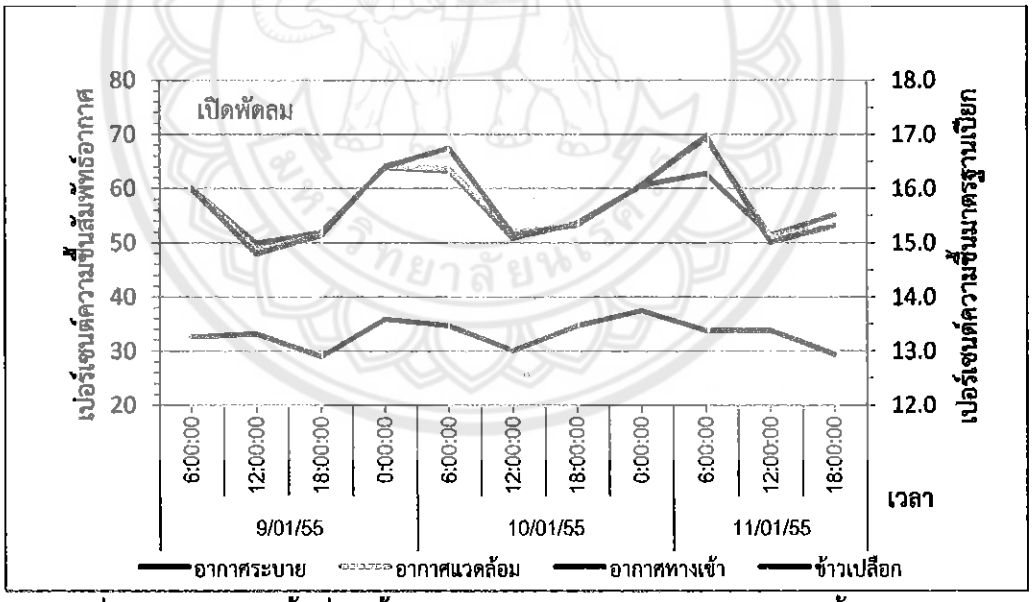


รูปที่ 4.5 กราฟอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในการทดลองเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อัตราการไหลอากาศระบาย 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก

ในการทดลองมีการเปิดพัดลมในช่วงเวลา 06.00 - 18.00 น. และปิดพัดลมในช่วงเวลา 18.00 – 06.00 น. ของแต่ละวัน ผลการทดลองจากรูปที่ 4.5 พบว่า ในช่วงการเปิดพัดลมระบายอากาศในตอนเช้า อุณหภูมิของอากาศแวดล้อมมีค่าต่ำหรืออากาศเย็น เมื่อเปิดพัดลมระบายอากาศเป่าเข้าไปในถังเก็บเก็บข้าวเปลือก อากาศเย็นนี้ก็เข้าไประบายความร้อนในข้าวเปลือกที่มีอุณหภูมิสูงกว่า ให้ลดต่ำลงอย่างรวดเร็วในระดับหนึ่ง เส้นกราฟจะมีลักษณะชันกว่ากราฟอุณหภูมิอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในการทดลองการเก็บข้าวเปลือกความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก แบบไม่มีการระบายอากาศ (รูปที่ 4.1) ในช่วงเวลาเดียวกัน เพราะเป็นการพาความร้อนแบบบังคับ ในช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 15.00 น. อุณหภูมิอากาศแวดล้อมมีค่าสูงขึ้นเรื่อยๆ อากาศร้อนที่เข้าไประบายความร้อนให้กับข้าวเปลือกที่อุณหภูมิต่ำกว่า ส่งผลให้ข้าวเปลือกมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามอุณหภูมิอากาศแวดล้อมที่ไหลผ่าน ในลักษณะที่เพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็วเช่นกัน ช่วงเวลาหลัง 15.00 น. เป็นต้นไป อุณหภูมิของอากาศแวดล้อมเริ่มลดลง อุณหภูมิของข้าวเปลือกก็ลดต่ำลงตามอุณหภูมิแวดล้อมด้วย เวลาหลัง 18.00 น. เป็นต้นไปเป็นช่วงของการปิดพัดลม อุณหภูมิอากาศแวดล้อมลดลงเรื่อยๆ ข้าวเปลือกที่มีความร้อนสูงกว่าก็มีการถ่ายเทความร้อนแบบธรรมชาติให้กับอากาศแวดล้อม ส่งผลให้ข้าวเปลือกมีอุณหภูมิลดลงตามอุณหภูมิแวดล้อมอย่างช้าๆ ในส่วนของอุณหภูมิอากาศระบาย มีแนวโน้มที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศแวดล้อมเพียงเล็กน้อย บางจุดแทบไม่มีความแตกต่างในช่วงที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมมีอุณหภูมิสูง แต่ในช่วงที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมต่ำเช่นวันที่ 10/1/2555 เมื่อเปิดพัดลม

ระบายอากาศเป่าเข้าไปในถังเก็บข้าวเปลือก จนทำให้อุณหภูมิข้าวเปลือกและอุณหภูมิอากาศแวดล้อมใกล้เคียงกัน นั่นหมายความว่าข้าวเปลือก และอากาศถ่ายเทความร้อนให้กันและกันจนมีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน ความร้อนหรืออุณหภูมิส่วนที่เหลือก็ถูกพาออกไปโดยการพาความร้อนแบบบังคับของพัดลม จึงส่งผลให้เส้นกราฟของอากาศระบายมีค่าสูงกว่าอากาศแวดล้อม

ในส่วนความชื้นข้าวเปลือก จากรูปที่ 4.6 พบว่า ในช่วงเวลากลางวันความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อมมีค่าต่ำ ซึ่งมีค่าอยู่ที่ประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ อีกทั้งมีการเปิดพัดลมระบายอากาศ ไอน้ำที่เป็นผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่งที่ข้าวเปลือกผลิตได้ตามสมการเคมี ก็จะถูกอากาศระบายพาไป ส่งผลให้ความชื้นข้าวเปลือกลดลง แต่อาจจะลดลงไม่มากเนื่องจากอากาศทางเข้าพัดลมก็มีความชื้นหรือไอน้ำอยู่ส่วนหนึ่ง และเมื่ออากาศระบายถูกอัดผ่านข้าวเปลือกในถังเก็บ อากาศที่ถูกอัดจะมีปริมาตรต่อมวลไอน้ำเล็กลง แต่มวลไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศยังคงที่ ปริมาตรที่เหลือจึงสามารถรับไอน้ำจากข้าวไปได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ในช่วงเวลาหลังการปิดพัดลม ความชื้นสัมพัทธ์อากาศมีค่าเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ มีค่าสูงสุดประมาณ 77 เปอร์เซ็นต์ ที่เวลาเที่ยงคืนทำให้ข้าวเปลือกมีความชื้นสูงขึ้นเพราะมีการระบายไอน้ำออกได้น้อย ในขณะเดียวกันข้าวก็ยังหายใจอยู่ตลอดเวลาจึงทำให้เกิดความชื้นสะสมในกองข้าวเปลือกส่งผลให้เส้นกราฟความชื้นข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นในช่วงเวลากลางคืน และผลจากการทดลองพบว่า ค่าความชื้นข้าวมีแนวโน้มอยู่ในช่วง 13 – 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

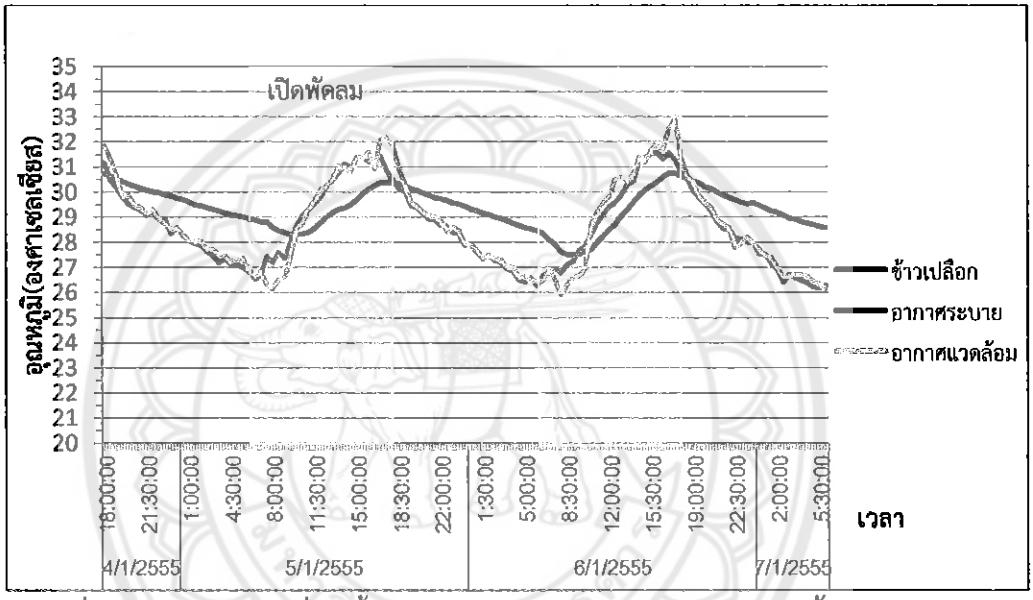


รูปที่ 4.6 กราฟความชื้นที่เกิดขึ้นในการทดลองเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อัตราการไหลอากาศระบาย 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก

การเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก การเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีการระบายอากาศ ด้วยอัตราการไหลของอากาศระบาย 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก พบว่าอุณหภูมิในข้าวเปลือกอยู่ที่ 25 - 29 องศาเซลเซียส และเปอร์เซ็นต์ความชื้นในข้าวเปลือกแนวโน้มอยู่ที่ 13 -14 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก ซึ่งข้าวเปลือกยังคงที่จะเก็บ

รักษาไว้ได้นานถึง 4 สัปดาห์ จากตารางที่ 1.1 และยังอยู่ในเกณฑ์ที่มีคุณภาพการสีเป็นข้าวสารถึง 61 เปอร์เซ็นต์ จากตารางที่ 1.2 ดังนั้นการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีการระบายอากาศ ด้วยอัตราการไหลของอากาศระบาย 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก เหมาะสมกับการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

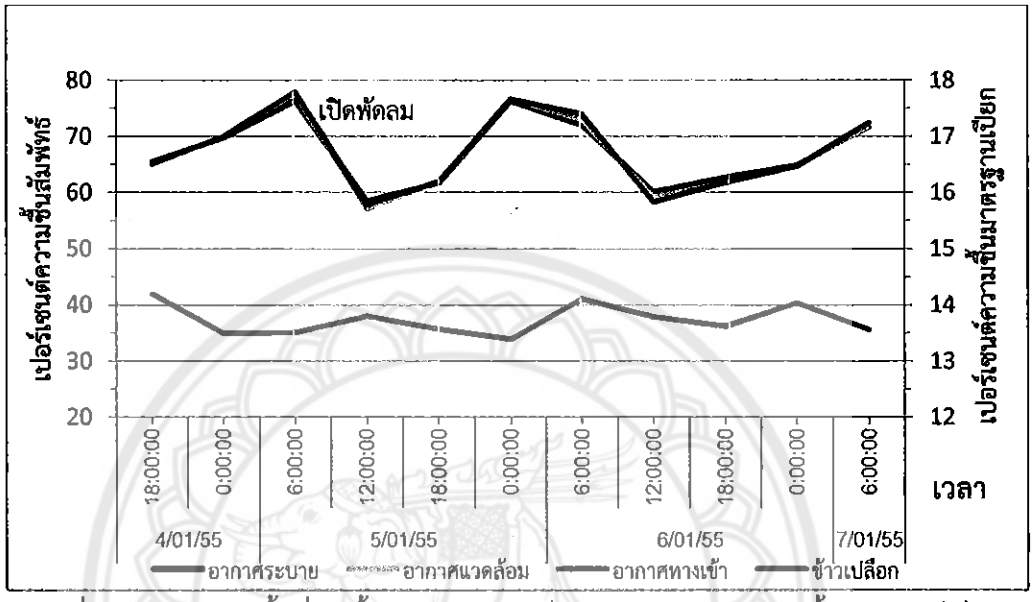
4.2.2. การเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ด้วยอัตราการไหลของอากาศระบาย 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก



รูปที่ 4.7 กราฟอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในการทดลองเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อัตราการไหลอากาศระบาย 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก

ในการทดลองจะมีการเปิดพัดลมในช่วงเวลา 06.00 - 18.00 น. และจะปิดพัดลมในช่วงเวลา 18.00 – 06.00 น. ของแต่ละวัน จากรูปที่ 4.7 พบว่า ในช่วงเริ่มต้นการทดลอง เวลา 18.00 น. อุณหภูมิข้าวเปลือกเริ่มต้น 31 องศาเซลเซียส และเริ่มลดลงอย่างช้าๆ ตามอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ด้วยวิธีการถ่ายเทความร้อนแบบธรรมชาติ จนกระทั่งช่วงเวลาที่เริ่มเปิดพัดลม กราฟอุณหภูมิข้าวเปลือกมีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่พอเห็นได้ชัดว่า อุณหภูมิข้าวเปลือกนั้นตกลงมา เนื่องจากมีการถ่ายเทความร้อนแบบบังคับด้วยการเปิดพัดลม แต่มีความชันของจุดเปลี่ยนไม่มากเท่ากับกรณีของอัตราการไหลอากาศระบาย 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก ที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น และในขณะเดียวกันความร้อนที่เกิดในข้าวเปลือกก็เพิ่มขึ้นไม่มากนัก เพราะอัตราการไหลของอากาศระบายไม่มากเท่ากับกรณีแรก จึงส่งผลให้การพาอากาศร้อนเข้าไปสะสมในข้าวเปลือกน้อยกว่า แต่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมของกรณีนี้ในช่วงการทดลองมีอุณหภูมิระหว่างวันสูงกว่าจึงทำให้เส้นกราฟอุณหภูมิข้าวเปลือกนั้นมีค่าสูงกว่ากรณีแรก ในส่วนของอุณหภูมิอากาศระบายจะมีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม เนื่องจากข้าวเปลือกคายความร้อนให้กับอากาศระบายไม่มาก

พอที่จะทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศระบาย และอากาศแวดล้อมอย่างชัดเจน แต่จุดที่พอเห็นได้ชัดเจนคือเวลาเช้าที่มีการถ่ายเทความร้อนระว่างข้าวเปลือกกับอากาศเย็นที่ไหลผ่านจึงทำให้อุณหภูมิอากาศระบายสูงขึ้นมากกว่าอากาศแวดล้อมเล็กน้อยในส่วนความชื้นข้าวเปลือก

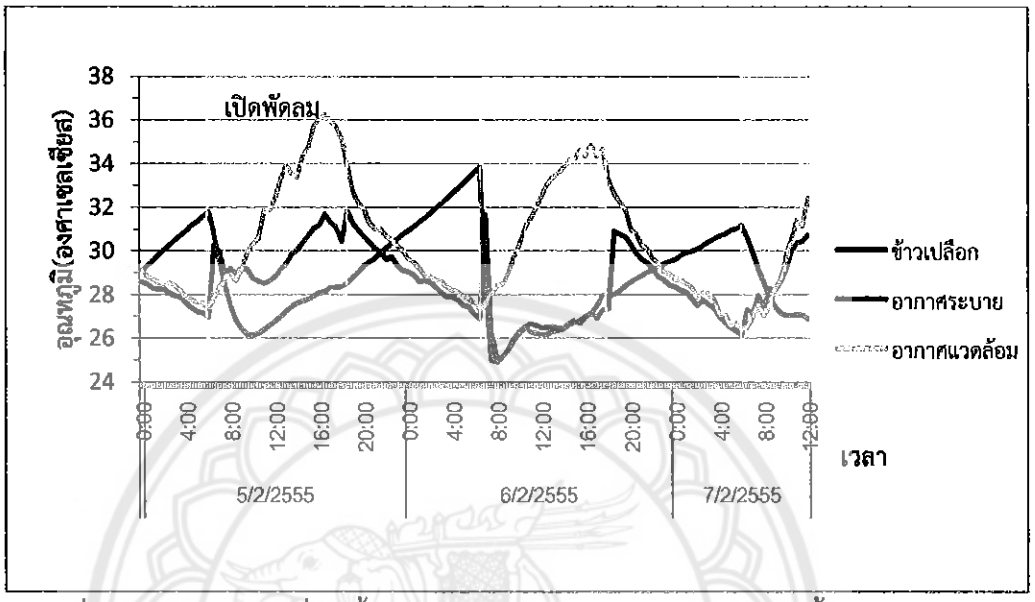


รูปที่ 4.8 กราฟความชื้นที่เกิดขึ้นในการทดลองเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อัตราการไหลอากาศระบาย 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก

จากรูปที่ 4.8 พบว่า ในช่วงเวลากลางวันค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อมมีค่าต่ำ ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 57 เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ เมื่อมีการเปิดพัดลมระบายอากาศ ไอน้ำที่เกิดจากการหายใจของข้าวเปลือกก็จะถูกพัดพาออกไปกับอากาศระบายที่ยังสามารถรับปริมาณไอน้ำได้ จึงทำให้เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกลดลง ในช่วงเวลากลางคืน หลังจากที่ปิดพัดลมระบายอากาศแล้ว ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแวดล้อมมีลักษณะเพิ่มขึ้นและมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 78 เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ ความสามารถในการรับไอน้ำจึงลดลง ไอน้ำที่ข้าวเปลือกผลิตได้ก็ระบายให้กับอากาศได้น้อย ไอน้ำที่เหลือจึงถูกเก็บสะสมไวในกองข้าวเปลือก ทำให้ข้าวเปลือกมีความชื้นสูงขึ้นในเวลากลางคืน หลังการทดลองข้าวเปลือกมีความชื้นอยู่ที่ 13.5 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

การเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก แบบมีการระบายอากาศด้วยอัตราการไหล 1 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก พบว่าอุณหภูมิในข้าวเปลือกอยู่ที่ 27 - 30 องศาเซลเซียส และเปอร์เซ็นต์ความชื้นในข้าวเปลือกแนวโน้มอยู่ที่ 13.5 เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก ซึ่งข้าวเปลือกยังคงที่จะเก็บรักษาไว้ได้นานถึง 4 สัปดาห์ จากตารางที่ 1.1 และยังอยู่ในเกณฑ์ที่มีคุณภาพการสีเป็นข้าวสารถึง 61 เปอร์เซ็นต์ จากตารางที่ 1.2 ดังนั้นการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีการระบายอากาศ ด้วยอัตราการไหลของอากาศระบาย 1 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก เหมาะสมกับการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่ความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

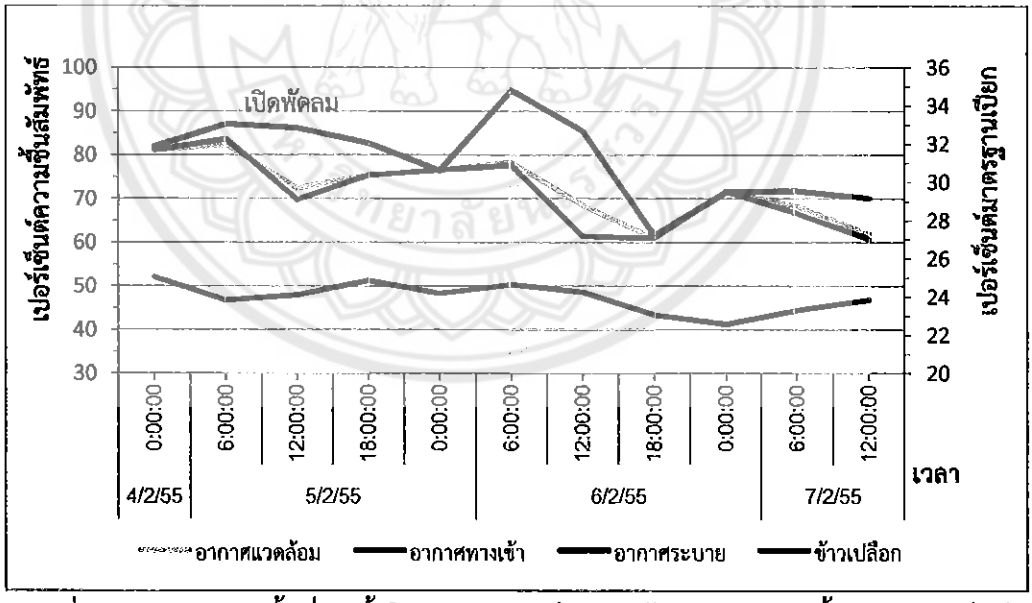
4.2.3. การเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ด้วยอัตราการไหลของอากาศระบาย 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก



รูปที่ 4.9 กราฟอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในการทดลองเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อัตราการไหลอากาศระบาย 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก

ในการทดลองจะมีการเปิดพัดลมในช่วงเวลา 06.00 - 18.00 น. และจะปิดพัดลมในช่วงเวลา 18.00 – 06.00 น. ของแต่ละวัน จากรูปที่ 4.9 พบว่าในช่วงการปิดพัดลมนั้นข้าวเปลือกจะมีอุณหภูมิสูงเพราะเกิดจากข้าวเปลือกได้มีการสะสมความร้อนไว้มาก เนื่องจากข้าวเปลือกมีความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก มีปริมาณน้ำในเมล็ดข้าวเปลือกอยู่มาก เป็นผลให้เกิดกระบวนการหายใจของข้าวเปลือกอย่างรวดเร็ว แล้วก็คายความร้อนออกมามาก ทำให้ข้าวเปลือกมีอุณหภูมิสูงขึ้น ในช่วงแรกเริ่มเก็บผลการทดลองเวลา 0.00 น. อุณหภูมิของข้าวเปลือกเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมค่อยๆ ลดลง ข้าวเปลือกมีการระบายความร้อนแบบธรรมชาติให้กับอากาศแวดล้อมส่วนหนึ่ง แต่ก็ไม่เพียงพอที่จะทำให้อุณหภูมิของข้าวเปลือกลดลงในเวลากลางคืนเหมือนกับ กรณีข้าวเปลือกที่มีความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก เมื่อเริ่มเปิดพัดลมระบายอากาศที่อัตราการไหล 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก อุณหภูมิของข้าวเปลือกลดลงอย่างรวดเร็ว จุดที่เห็นได้ชัดเจนจากกราฟ คือช่วงเวลา 6.00 น. ของวันที่ 6/2/2555 อุณหภูมิของข้าวเปลือกลดลงมา 9 องศาเซลเซียส จาก 34 องศาเซลเซียส เหลือเพียง 25 องศาเซลเซียส ภายในระยะเวลา 2 ชั่วโมงหลังจากเปิดพัดลม เนื่องจากอากาศแวดล้อมมีอุณหภูมิต่ำกว่าข้าวเปลือกเกือบ 6 องศาเซลเซียส ข้าวจึงถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศเย็น และด้วยอัตราการไหลของอากาศระบายที่มาก ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนได้มากขึ้นด้วย ส่งผลให้อุณหภูมิข้าวเปลือกลดลงอย่างรวดเร็วนั่นเอง หลังจากนั้นอุณหภูมิข้าวเปลือกก็ค่อยๆ เพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ในระยะเวลา 9 - 10 ชั่วโมง เพิ่มขึ้นมา 3 - 4 องศาเซลเซียส จนกระทั่งปิดพัดลม ในเวลากลางคืนอุณหภูมิข้าวเปลือกก็มีลักษณะ

เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงเวลาเปิดพัดลมของเช้าอีกวันหนึ่ง และจากกราฟเห็นว่าอุณหภูมิข้าวเปลือกหลังจากเปิดพัดลม มีค่าลดต่ำลงมาก ต่ำกว่าอุณหภูมิของอากาศแวดล้อม ซึ่งยังไม่เคยปรากฏในกราฟใดๆ มากก่อนหน้านี้ เหตุผลที่เป็นเช่นนี้ เพราะว่าไอน้ำที่ข้าวเปลือกคายออกมานั้นมีปริมาณมาก แล้วเจอกับความเร็วลมอากาศระบายที่ถูกพัดเข้ามา เป็นผลให้ไอน้ำระเหยออกไปพร้อมกับนำพาความร้อนแฝงที่มีอยู่ไอน้ำออกไปมาก ทำให้อุณหภูมิข้าวเปลือกที่อยู่ในถังลดต่ำลงมาดังเส้นกราฟ อุณหภูมิของอากาศระบาย เมื่ออากาศระบายถ่ายเทเอาความร้อนจากข้าวเปลือกไป ทำให้อุณหภูมิอากาศระบายสูงขึ้นและสูงกว่าอากาศแวดล้อมในช่วงแรกที่เริ่มเปิดพัดลมเท่านั้น ต่อจากนั้นอุณหภูมิอากาศระบายก็เริ่มต่ำกว่าอากาศแวดล้อม ซึ่งเป็นผลมาจากอุณหภูมิอากาศที่ระบายผ่านข้าวเปลือกที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศอากาศแวดล้อมมาก ทำให้อุณหภูมิอากาศระบายลดต่ำลงจากอุณหภูมิอากาศแวดล้อม ในช่วงการปิดพัดลม โดยปกติแล้วอุณหภูมิอากาศระบายจะมีค่าสูงกว่าอากาศแวดล้อม แต่ในกรณีนี้อุณหภูมิอากาศระบายมีค่าต่ำกว่าอากาศแวดล้อม อันเป็นผลมาจากอุณหภูมิในข้าวเปลือกต่ำกว่าอากาศแวดล้อมในช่วงแรกของการปิดพัดลม อากาศซึ่งมีค่าความจุความร้อนต่ำจึงมีเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ง่าย ทำให้อุณหภูมิอากาศระบายสูงขึ้นใกล้เคียงกับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม และในช่วงเวลาที่ข้าวเปลือกมีอุณหภูมิสูงสุด อุณหภูมิอากาศระบายก็มีค่าใกล้กับอุณหภูมิอากาศแวดล้อมมากๆ จนบางจุดแทบจะมีค่าเท่ากัน นั่นเป็นการสมดุลความร้อนที่ปล่อยออกมาจากข้าวเปลือกกับอุณหภูมิของอากาศที่ลดต่ำลงนั่นเอง



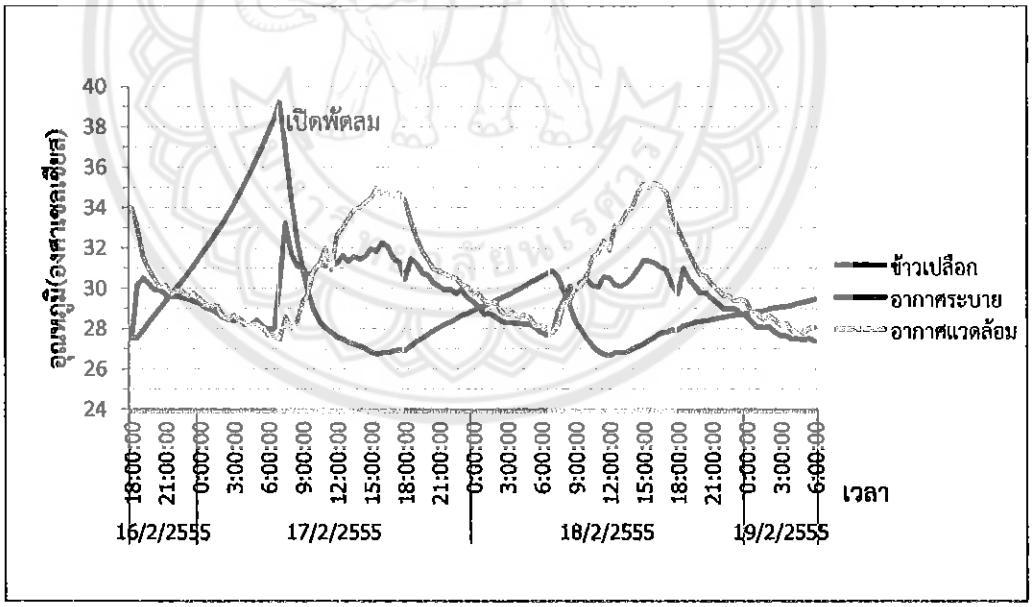
รูปที่ 4.10 กราฟความชื้นที่เกิดขึ้นในการทดลองเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อัตราการไหลอากาศระบาย 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก

ในส่วนความชื้นของข้าวเปลือก จากรูปที่ 4.10 พบว่าในช่วงที่มีการเปิดพัดลมข้าวเปลือกสามารถที่จะคายไอน้ำให้กับอากาศระบายจึงส่งผลให้ความชื้นในข้าวเปลือกลดลง และด้วยปริมาณไอน้ำที่ข้าวเปลือกคายออกมามากทำให้อากาศระบายมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้นเห็นได้อย่าง

ชัดเจน บางช่วงสูงถึง 95 เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ ในขณะที่ความชื้นสัมพัทธ์อากาศต่ำสุดในช่วงกลางวัน อยู่ที่ 60 เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ สามารถระบายไอน้ำออกไปที่อากาศระบาย ทำให้ความชื้นอากาศระบายเพิ่มขึ้นเป็น 85 เปอร์เซ็นต์ความชื้นสัมพัทธ์ ในช่วงกลางคืนไอน้ำที่ข้าวเปลือกผลิตออกมาในปริมาณมากก็ยังสามารถระบายให้กับอากาศได้เพียงเล็กน้อยด้วย หลังการทดลองกราฟความชื้นข้าวเปลือกมีแนวโน้มลู่เข้าสู่ 23 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

การเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงถึง 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก และมีอัตราการไหลอากาศระบาย 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์ข้าวเปลือก อุณหภูมิข้าวเปลือกหลังการทดลองลดลงเหลืออยู่ในช่วง 25 – 32 องศาเซลเซียส ความชื้นข้าวเปลือกลดลงเหลือ 23 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก และมีลักษณะทางกายภาพหลังการทดลอง ข้าวเปลือกมีสีคล้ำ มีราเกิดขึ้นบนเมล็ดข้าวเปลือก และบางส่วนเริ่มงอก ดังนั้นการเก็บแบบวิธีนี้จึงไม่เหมาะสมในการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูง

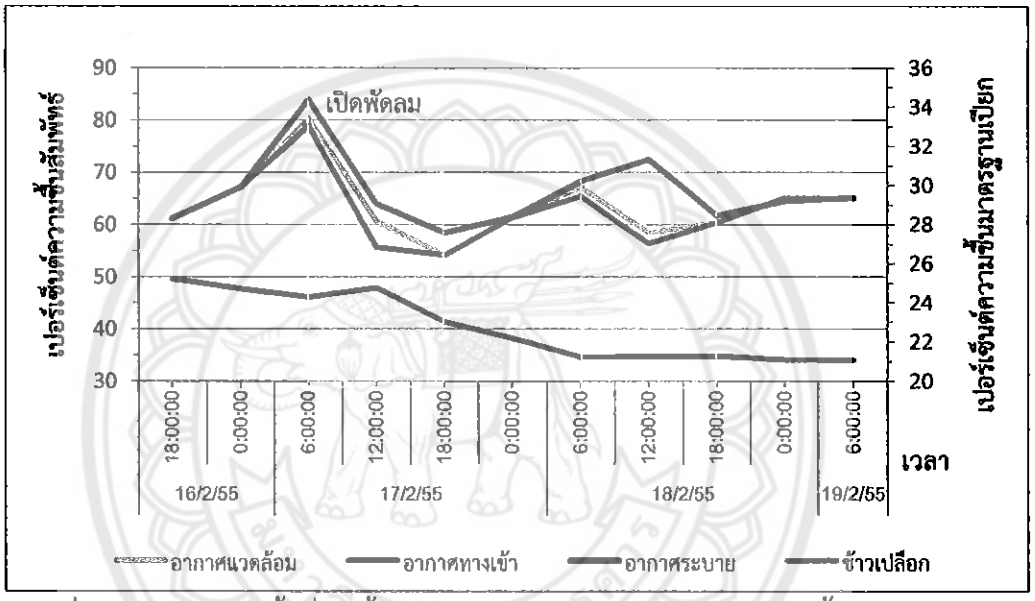
4.2.4. การเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ด้วยอัตราการไหลของอากาศระบาย 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก



รูปที่ 4.11 กราฟอุณหภูมิที่เกิดขึ้นในการทดลองเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อัตราการไหลอากาศระบาย 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก

ในการทดลองจะมีการเปิดพัดลมในช่วงเวลา 06.00 - 18.00 น. และจะปิดพัดลมในช่วงเวลา 18.00 – 06.00 น. ของแต่ละวัน จากรูปที่ 11 พบว่าช่วงแรกที่เริ่มเก็บข้อมูล (18.00 น.) เป็นช่วงการปิดพัดลม อุณหภูมิสะสมในข้าวเปลือกเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งมีอุณหภูมิสูงถึง 39 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมลดลงถึง 27.5 องศาเซลเซียส เส้นกราฟอากาศระบายก็มีแนวโน้มที่

เพิ่มมากขึ้นมากกว่าเส้นกราฟอุณหภูมิอากาศแวดล้อม นั่นคือค่าความร้อนที่ถูกปล่อยออกมาจากข้าวเปลือกระบายให้กับอากาศแวดล้อมมากจนทำให้เห็นเส้นกราฟเป็นเช่นนั้น และเมื่อมีการเปิดพัดลมระบายอากาศที่อัตราการไหล 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก ส่งผลให้อุณหภูมิข้าวเปลือกลดต่ำลงเหลือ 27 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมมีค่าสูงถึง 35 องศาเซลเซียส และในช่วงเวลา 12.00 น. อุณหภูมิข้าวเปลือกก็เริ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงเวลาปิดพัดลม อุณหภูมิข้าวเปลือกก็ยังเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ต่อไปอีก ลักษณะของเส้นกราฟอุณหภูมิอากาศระบายและอุณหภูมิอากาศแวดล้อม มีแนวโน้มเหมือนกับหัวข้อข้างต้นซึ่งได้กล่าวไปแล้ว



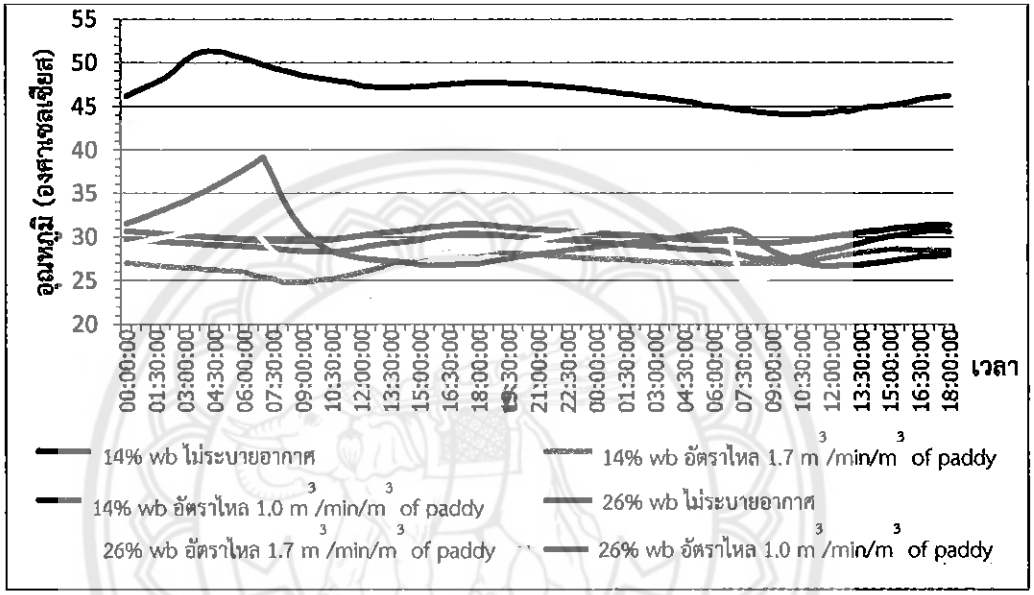
รูปที่ 4.12 กราฟความชื้นที่เกิดขึ้นในการทดลองเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อัตราการไหลอากาศระบาย 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก

ในส่วนความชื้นของข้าวเปลือก จากรูปที่ 4.12 พบว่าในช่วงเวลาที่มีการเปิดพัดลมระบายอากาศเข้าไปในถังเก็บเก็บข้าวเปลือก ด้วยอัตราการไหลอากาศระบายที่ 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก ส่งผลให้ไอน้ำที่ถูกผลิตออกมาจากข้าวเปลือกถูกพาไปกับอากาศระบายทำให้ความชื้นในข้าวเปลือกมีค่าลดลง และเห็นได้อย่างชัดเจนว่าในช่วงที่เปิดพัดลมเส้นกราฟความชื้นสัมพัทธ์อากาศระบายมีค่าสูงกว่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศทางเข้าพัดลม หลังการทดลองความชื้นข้าวเปลือกลดต่ำลงเหลือ 21 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

การเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียกและมีการระบายอากาศด้วยอัตราการไหล 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก หลังการทดลองมีอุณหภูมิข้าวเปลือกลดลงเหลืออยู่ในช่วง 27 –31 องศาเซลเซียส ความชื้นข้าวเปลือกลดลงเหลือ 21 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก และมีลักษณะทางกายภาพคือ ข้าวเปลือกมีสีคล้ำออกดำ มีราขึ้น ส่งกลิ่น

เหม็น และข้าวเปลือกเริ่มงอกในหลายส่วน ดังนั้นการเก็บรักษาแบบวิธีนี้จึงไม่เหมาะสมในการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูง

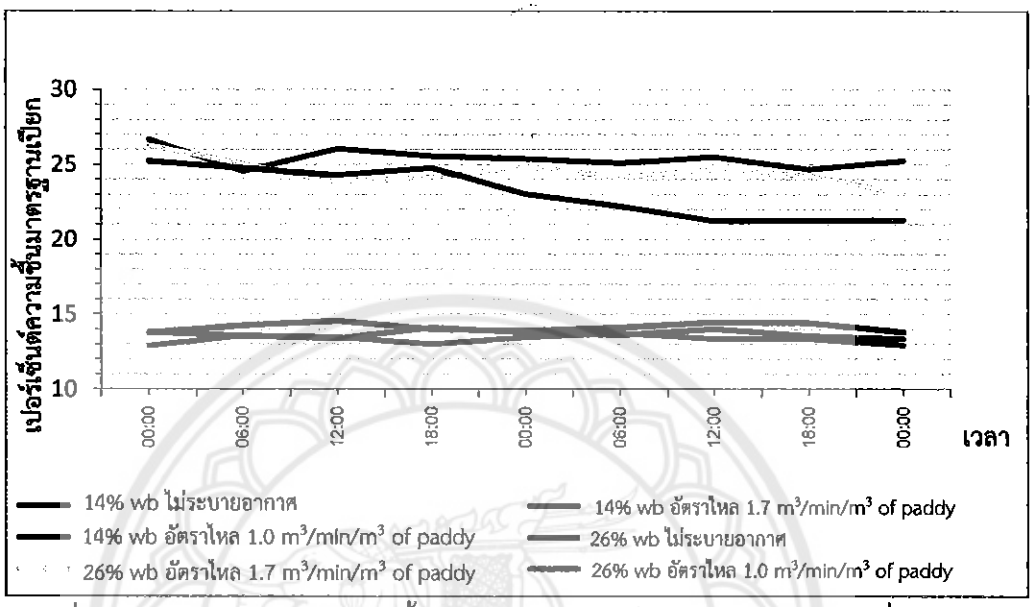
4.3 การเปรียบเทียบอุณหภูมิ และความชื้นของข้าวเปลือก ระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือกแบบไม่มีการระบายอากาศและการเก็บแบบมีการระบายอากาศ



รูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิข้าวเปลือกในการเก็บรักษาในแบบวิธีและเงื่อนไขต่างๆ

จากรูปที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบอุณหภูมิข้าวเปลือก เห็นได้ชัดเจนว่า ข้าวเปลือกที่มีความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก เก็บรักษาแบบไม่มีการระบายอากาศมีอุณหภูมิที่สูงสุดแนวโน้มอยู่ที่ 45 องศาเซลเซียส รองลงมาเส้นกราฟที่มีอุณหภูมิสูงคงที่คือ ข้าวเปลือกที่มีความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก เก็บรักษาแบบไม่มีการระบายเส้นกราฟอากาศอุณหภูมิมีแนวโน้มลู่เข้าสู่ 30 องศาเซลเซียส รองลงมาเป็นเส้นกราฟข้าวเปลือกที่มีความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อัตราการไหล 1.0 และ 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือกตามลำดับ ซึ่งเส้นกราฟอุณหภูมิทั้งสองกรณีนี้มีลักษณะกวัดแกว่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิ 25 - 40 องศาเซลเซียส เส้นกราฟที่มีอุณหภูมิต่ำรองลงมาเป็นเส้นกราฟข้าวเปลือกที่มีความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อัตราการไหล 1.0 และ 1.7 ลูกบาศก์ต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือกตามลำดับ ซึ่งเส้นกราฟอุณหภูมิทั้งสองกวัดแกว่งเพียงเล็กน้อยและอยู่ในช่วงอุณหภูมิไม่เกิน 30 องศาเซลเซียส จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าข้าวเปลือกที่มีความชื้นมากคายความร้อนออกมามาก และการระบายอากาศที่ใช้อัตราการไหลมากช่วยให้ระบายความร้อนที่ข้าวเปลือกผลิตออกมาได้มากเช่นเดียวกันส่งผลให้อุณหภูมิข้าวเปลือกลดลง ซึ่งสอดคล้องกับหลักการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อนที่มีอัตราการไหลหรือความเร็วของตัวพาความร้อนสูงจะทำให้อุณหภูมิของวัตถุร้อนลดลงได้มาก จากการทดลองนี้ใน

ด้านของอุณหภูมิ การเก็บรักษาข้าวเปลือกข้าวเปลือกที่ 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อัตราการไหล 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก มีอุณหภูมิข้าวเปลือกในการเก็บรักษาต่ำที่สุด



รูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบความชื้นข้าวเปลือกในการเก็บรักษาในแบบวิธีและเงื่อนไขต่างๆ

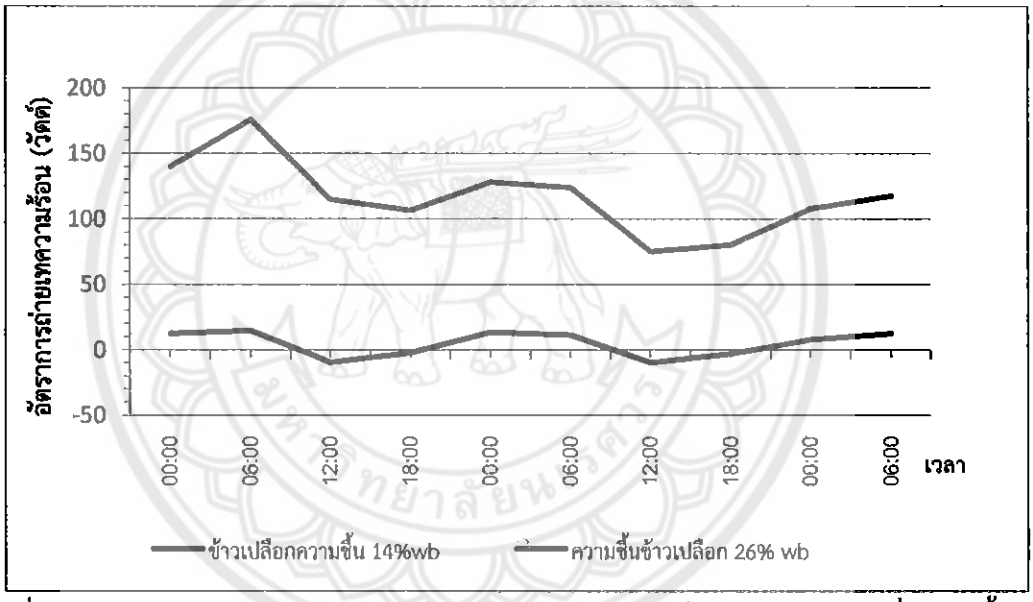
ในส่วนของความชื้นข้าวเปลือก จากรูปที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบความชื้นข้าวเปลือก พบว่า เส้นกราฟความชื้นข้าวเปลือก 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก เก็บแบบไม่มีการระบายอากาศ มีความข้าวเปลือกลดลงมา 1 เปอร์เซ็นต์ และมีความชื้นข้าวเปลือกหลังการทดลองคงที่ ที่ 25 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ซึ่งเป็นความชื้นหลังการทดลองสูงสุด เมื่อเทียบกับการเก็บรักษาข้าวเปลือกในวิธีต่างๆ รองลงมาเป็นข้าวเปลือกที่มีความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อัตราการไหล 1.7 และ 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือกเหลือ 23 และ 21 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก รองลงมาเป็นเส้นกราฟความชื้นข้าวเปลือก 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก เก็บแบบไม่มีการระบายอากาศ และเก็บแบบมีการระบายอากาศด้วยอัตราการไหล 1.0 และ 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือกตามลำดับ ซึ่งมีความชื้นลดลงและแตกต่างกันไม่เกิน 1 เปอร์เซ็นต์ จากกราฟจะเห็นความสามารถในการระบายความชื้นข้าวเปลือก ซึ่งมีผลมาจากตัวแปรคือ ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่มาระบาย และอัตราการไหลของอากาศระบาย ในกรณีข้าวเปลือกความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ที่อัตราการไหล 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก สามารถถ่ายระบายความชื้นข้าวเปลือกได้ดีสุด ในส่วนของกรณีข้าวเปลือกความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ที่อัตราการไหล 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก มีการระบายความชื้นข้าวเปลือกได้ดีกว่าอัตราการไหล 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก เพราะในช่วงที่ทำการทดลองความชื้นสัมพัทธ์อากาศทางเข้าของอัตราการไหล 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือกมีค่าต่ำกว่า

จึงทำให้สามารถระบายความชื้นหรือไอน้ำออกจากข้าวเปลือกได้มากส่งผลให้ข้าวเปลือกมีความชื้นต่ำลง

จากการทดลองนี้ในด้านของความชื้น การเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ที่มีอัตราการไหล 1.7 และ 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก สามารถที่จะรักษาระดับความชื้นข้าวเปลือกไว้ได้ไม่เกิน 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ดีสำหรับการเก็บรักษาข้าวเปลือก

4.4 วิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน

4.4.1 การถ่ายเทความร้อนแบบไม่มีการระบายอากาศ



รูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนระหว่างวิธีการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีความชื้น 14 และ 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก แบบไม่มีการระบายอากาศ

จากรูปที่ 4.15 กราฟเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อน ข้าวเปลือกทั้งสองความชื้น เก็บแบบไม่มีการระบายอากาศ พบว่า ข้าวเปลือกความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก มีอัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากข้าวเปลือก มากกว่าข้าวเปลือกที่มีความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก เหตุที่เป็นเช่นนั้นเพราะว่า ข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูง สามารถผลิตความร้อนออกมาในปริมาณมาก และความร้อนในส่วนนี้ก็ถูกถ่ายเทออกสู่อากาศแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำด้วยวิธีการพาความร้อนแบบธรรมชาติ ในกรณีที่ข้าวเปลือกถ่ายเทความร้อนออกจากข้าวเปลือก ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าเป็นบวก ดังเช่นเส้นกราฟข้าวเปลือกความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก กราฟที่มีลักษณะเพิ่มขึ้นหมายถึง อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากข้าวเปลือกสู่อากาศแวดล้อมเพิ่มขึ้นจากช่วงเวลาที่ผ่านมา ส่งผลให้อุณหภูมิในข้าวเปลือกลดลง ส่วนกราฟที่มีลักษณะลดลงมีค่าติดลบ เช่นกรณีของข้าวเปลือกที่มีความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ซึ่งหมายถึง อัตราการถ่ายเทความร้อนจาก

ข้าวเปลือกสู่อากาศแวดล้อมมีค่าน้อยลงจนกระทั่ง เป็นการถ่ายเทความร้อนจากอากาศแวดล้อม เข้าสู่ข้าวเปลือกทำให้ข้าวเปลือกมีความร้อนสะสมเพิ่มขึ้นอีกระดับหนึ่ง นอกเหนือจากความร้อนที่ข้าวเปลือกผลิตได้เอง อุณหภูมิของข้าวเปลือกจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับช่วงอุณหภูมิที่ลดลง ดังรูปที่ 4.1 กราฟอุณหภูมิการเก็บรักษาข้าวเปลือก 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

4.4.2 การถ่ายเทความร้อนแบบมีการระบายอากาศ

4.4.2.1 การถ่ายเทความร้อนในการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

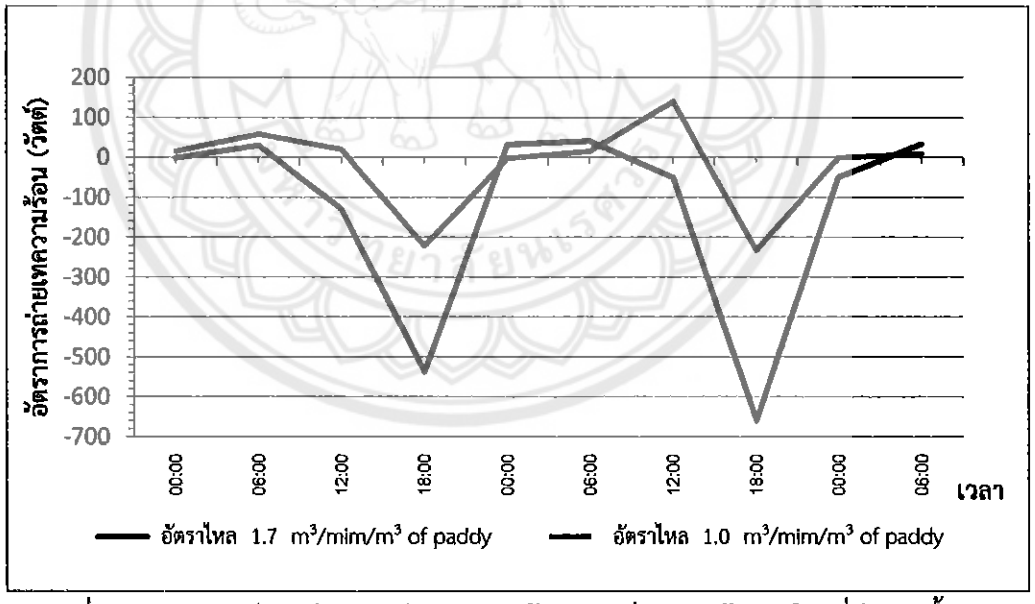
รูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ด้วยอากาศระบายทั้งสองอัตราการไหล

จากรูปที่ 4.16 กราฟเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนในการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ระบายอากาศด้วยอัตราการไหล 1.0 และ 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก พบว่า อัตราการไหลของอากาศระบายที่ 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก มีการถ่ายเทความร้อนมากสุดทั้งในด้านการถ่ายเทความร้อนจากอากาศเข้าสู่ข้าวเปลือกและ จากข้าวเปลือกสู่อากาศแวดล้อม เมื่อพิจารณาจากเส้นกราฟในช่วงแต่ละช่วงเวลา 6.00 – 12.00 น. จุดเปลี่ยนเส้นกราฟจะมีลักษณะที่เส้นกราฟหักลงค่าการถ่ายเทความร้อนติดลบ หมายความว่ามีการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ข้าวเปลือก ค่าติดลบที่มากเกิดจากการพาความร้อนแบบบังคับจากพัดลม เมื่อพัดลมพัดพาอากาศแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงเข้ามาระบายความร้อนกับข้าวเปลือก ข้าวเปลือกก็จะสะสมความร้อนเอาไว้ ในช่วงเวลา 18.00 – 0.00 น. เส้นกราฟมีจุดเปลี่ยนในลักษณะหักขึ้น หมายความว่า ข้าวเปลือกมีการถ่ายเทความร้อนออก ความ

ร้อนที่ถ่ายเทในช่วงนี้เป็นความร้อนที่เกิดจากข้าวเปลือกผลิตขึ้นมา และความร้อนที่พัดลมพัดอากาศระบายที่มีความร้อนเข้ามาสะสมไว้ จนกระทั่งเส้นกราฟการถ่ายเทความร้อนตัดแกน 0 ตรงจุดนี้เป็นจุดที่มีการสมดุลความร้อนระหว่างอากาศแวดล้อมกับข้าวเปลือก หลังจากช่วงนี้ไปแล้วข้าวเปลือกยังมีการผลิตความร้อนอย่างต่อเนื่อง และอุณหภูมิอากาศก็ลดลงอย่างต่อเนื่อง จนถึง 6.00 น. กราฟการถ่ายเทความร้อนในช่วงนี้เป็นการถ่ายเทความร้อนที่ข้าวเปลือกผลิตได้นั่นเอง ปริมาณการถ่ายเทความร้อนจะมากหรือน้อยนั้นขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของตัวพาความร้อน ที่อัตราการไหลสูงจะมีการถ่ายเทความร้อนได้ดีทั้งการถ่ายเทเข้า และถ่ายเทออก

ในกรณีนี้อัตราการไหล 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก ก่อให้เกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ข้าวเปลือกในปริมาณมาก และข้าวเปลือกสามารถที่จะถ่ายเทความร้อนที่ข้าวเปลือกผลิตออกมานั้นได้น้อย จึงเป็นลักษณะที่ไปเป็นการเพิ่มอุณหภูมิให้ข้าวเปลือกสูงขึ้นในช่วงที่อุณหภูมิอากาศแวดล้อมสูง ดังนั้นจึงไม่เหมาะกับการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ที่ระบายความร้อนในข้าวเปลือกด้วยอากาศแวดล้อม

4.4.2.2 การถ่ายเทความร้อนในการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก



รูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ด้วยอากาศระบายทั้งสองอัตราการไหล

จากรูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบการถ่ายเทความร้อนในการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ระบายอากาศด้วยอัตราการไหล 1.0 และ 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก พบว่า ข้าวเปลือกมีการระบายหรือถ่ายเทความร้อนส่วนใหญ่ในช่วงเวลา 18.00 – 6.00 น. เพราะอุณหภูมิอากาศแวดล้อมในช่วงนี้มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิข้าวเปลือก

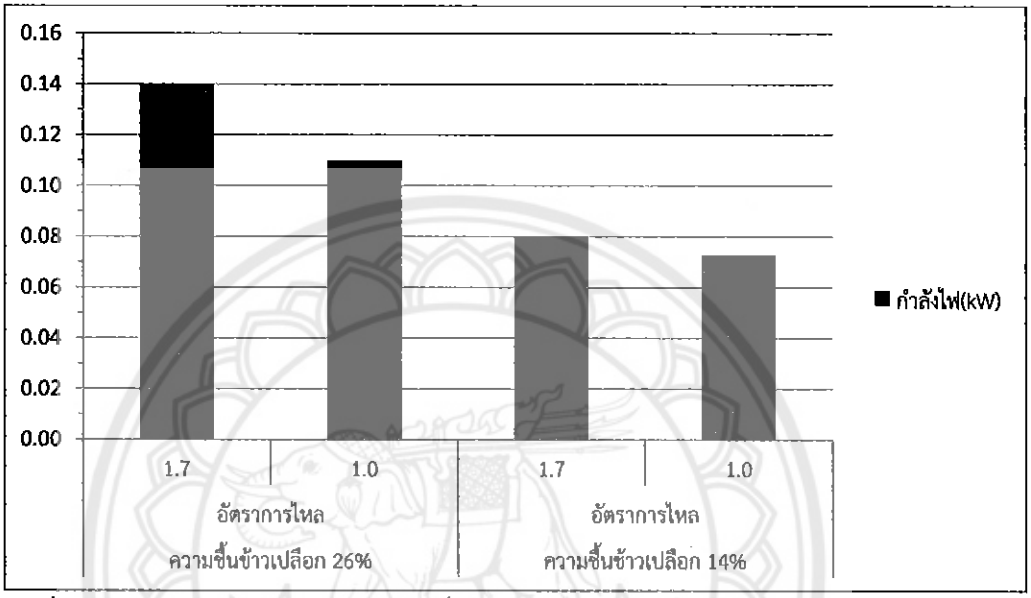
มาก เนื่องจากข้าวเปลือกความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก มีการคายความร้อนในปริมาณมาก ตามกลไกที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น จึงทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนแบบธรรมชาติในอัตราที่มากกว่าข้าวเปลือกที่มีความชื้นต่ำกว่า เส้นกราฟทั้งหมดจะมีลักษณะคล้ายกับกรณีการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก เพียงแต่มีอัตราการถ่ายเทความร้อนอันเนื่องมาจากข้าวเปลือกที่ผลิตความร้อนได้มากกว่า จากการพิจารณาเส้นกราฟที่อัตราการไหล 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก มีอัตราการระบายความร้อนออกจากข้าวเปลือกได้ดีสุด เพราะว่าในช่วงปิดพัดลมข้าวเปลือกมีการผลิตความร้อนในอัตราที่เท่าๆ กัน แต่ในช่วงที่เปิดพัดลมอากาศแวดล้อมมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ พัดลมที่พัดพาอากาศร้อนด้วยอัตราการไหลมาก ในกรณีนี้คือ อัตราการไหล 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนจากอากาศสะสมไว้ในข้าวเปลือก ด้วยอัตราการไหลที่มากจึงทำให้มีอัตราการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ข้าวเปลือก (กราฟติดลบ) มากขึ้นด้วย ในขณะเดียวกันมวลข้าวเปลือกที่ความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก มีมวลมากกว่าข้าวเปลือกที่มีความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก จึงทำให้กราฟการถ่ายเทความร้อนของข้าวเปลือกความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียกมีอัตราการถ่ายเทความร้อนมากกว่าข้าวเปลือกที่มีความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

ในกรณีข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงและสามารถผลิตความร้อนในปริมาณมาก การใช้อัตราการไหลของอากาศระบาย 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก ซึ่งอากาศที่ใช้ระบายความร้อนจากข้าวเปลือก เป็นอากาศแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามธรรมชาติ และเป็นช่วงเดียวกันกับการเปิดพัดลมระบายอากาศให้กับข้าวเปลือก จึงทำให้ข้าวเปลือกมีอุณหภูมิสูงขึ้น และเป็นการยืนยันว่า ที่อัตราการไหลของอากาศระบายสูงในช่วงที่มีการเปิดพัดลมโดยใช้อากาศแวดล้อมเป็นตัวกลางในการพาความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนจากอากาศให้กับข้าวเปลือก มากกว่าการถ่ายเทความร้อนออกจากข้าวเปลือก ดังนั้นถ้าพิจารณาในด้านของการถ่ายเทความร้อนออกจากข้าวเปลือกตามวัตถุประสงค์แล้ว ที่อัตราการไหล 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก มีอัตราการถ่ายเทความร้อนดีกว่า อัตราการไหล 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก

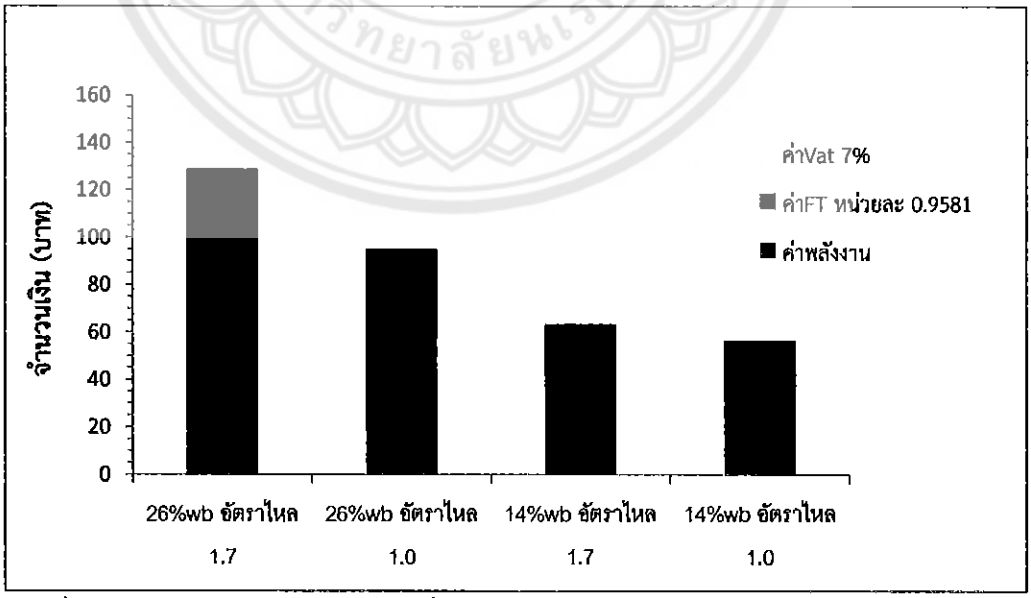
4.5 วิเคราะห์ต้นทุนทางด้านพลังงานที่อัตราการไหลต่างๆ ต่อเดือน

ในการเก็บรักษาข้าวเปลือกแบบมีการระบายอากาศมีการใช้มอเตอร์เป็นต้นกำลังในการขับพัดลม เพื่อให้ได้อัตราการไหลตามเงื่อนไขการทดลอง จากการวัดกำลังไฟฟ้าด้วยแคลมป์มิเตอร์ ได้กำลังไฟฟ้าในการขับพัดลมตามเงื่อนไขการเก็บรักษาข้าวเปลือกดังรูปที่ 4.17 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ขับพัดลม จากรูปพบว่า ที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก มีการใช้กำลังไฟฟ้าที่ใช้ขับมอเตอร์สูงสุดที่ 0.14 กิโลวัตต์ เพราะว่าความชื้นข้าวเปลือก 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ข้าวเปลือกมีมวลมากกว่ากรณีที่ข้าวเปลือกมีความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก เป็นผลให้ปริมาตรข้าวเปลือกในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้น จำเป็นต้องใช้ความเร็วรอบของมอเตอร์ที่มีความเร็วรอบสูง เพื่อให้ได้อัตราการไหล 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก จึงทำให้มอเตอร์ต้องใช้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบที่ปรับเพิ่มขึ้นด้วย ในส่วนของ

การเก็บรักษาข้าวเปลือกด้วยวิธีการระบายอากาศในอัตราการไหล 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก และ ข้าวเปลือกความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อัตราการไหล 1.7 และ 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก ก็มีการใช้กำลังไฟฟ้าลดลงมาตามลำดับ ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าที่มอเตอร์ใช้ขับพัดลมในการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีการระบายอากาศ



รูปที่ 4.19 กราฟเปรียบเทียบค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเก็บรักษาข้าวเปลือก แบบมีการระบายอากาศ

จากรูปที่ 4.18 กราฟเปรียบเทียบค่าไฟฟ้า พบว่า ข้าวเปลือกความชื้น 26 เปอร์เซ็นต์ มาตรฐานเปียก อัตราการไหล 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก มีการใช้พลังงานที่สูงกว่าในกรณีอื่นๆ เนื่องจากมีอัตราการใช้กำลังไฟฟ้ามากดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น เป็นผลให้มีหน่วยการใช้ไฟฟ้าต่อเดือนสูงที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีในการเก็บข้าวเปลือกด้วยวิธีอื่นๆ เมื่อนำหน่วยการใช้ไฟฟ้ามาคำนวณเป็นค่าไฟฟ้าที่ต้องชำระ ก็ได้แสดงจำนวนเงินตามสัดส่วนองค์ประกอบค่าไฟฟ้าดังรูปที่ 4.19 ความสูงของกราฟก็เป็นจำนวนเงินทั้งหมดที่ต้องชำระต่อเดือน ผลจากการทดลองและคำนวณค่าไฟฟ้า การเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก แบบมีการระบายอากาศด้วยอัตราการไหล 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก มีค่าไฟฟ้าที่ต้องชำระน้อยที่สุด ซึ่งเป็นการเพิ่มต้นทุนในการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่น้อยที่สุด

4.6 การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การซื้อขายข้าวเปลือกมีการกำหนดราคาซื้อขายจาก พันธุ์ข้าวเปลือก ความชื้นข้าวเปลือก (มาตรฐานเปียก) และสถานการณ์เศรษฐกิจการซื้อขายข้าวของประเทศชาติ ถ้ามีการรับซื้อข้าวเปลือกในช่วงที่ข้าวเปลือกมีราคาต่ำมาเก็บรักษาและขายข้าวเปลือกในช่วงที่ราคาซื้อขายสูง ก็ทำให้เกิดผลกำไร ถือได้ว่าเกิดความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ แต่ถ้าจำเป็นต้องขายข้าวเปลือกในราที่ต่ำ ก็ทำให้ขาดทุน ถือได้ว่าไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

การวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จากการทดลอง การเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อัตราการไหลอากาศระบาย 1 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก เป็นวิธีที่เหมาะสมในเก็บรักษาข้าวเปลือกมากที่สุด และจากผลการทดลองในกรณีนี้ เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 1.1 ระยะเวลาที่ปลอดภัยในการเก็บรักษาข้าวเปลือก สามารถเก็บรักษาได้เป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ หรือ 1 เดือน และยังมีค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ดังนี้

จากข้อมูลของกรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์ ได้กำหนดราคารับซื้อข้าวเปลือกเจ้ารวม (ข้าวเก่า) ความชื้นไม่เกิน 15 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ราคา 14,200 บาทต่อตัน เดือนธันวาคม ปี 2554 [10] เนื่องจากทำการทดลองใช้ข้าวเปลือก 500 กิโลกรัม ในราคา 6,800 บาท ค่าใช้จ่ายด้านพลังงานที่ใช้ในการเปิดพัดลมที่อัตราการไหลอากาศระบาย 1 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือกเป็นเวลา 1 เดือน มีค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน 60 บาท เมื่อเก็บข้าวเปลือกไว้เป็นระยะเวลา 4 เดือน ได้เป็นข้าวเปลือกเจ้าเก่า รวมค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาทั้งสิ้น 6,800 + 240 = 7,040 บาท การเก็บรักษาข้าวเปลือกโดยการใช้พัดลมระบายอากาศที่อัตราการไหลอากาศระบาย 1 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก มีความชื้นข้าวเปลือกเหลือ 13.5 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก เทียบเป็นราคาขายข้าวเปลือก 7,225 บาท ดังนั้น คิดต้นทุนกำไรได้เท่ากับ 7,225 – 7,040 = 185 บาท

สรุป จะทำให้ได้กำไร 185 บาท ต่อการเก็บรักษาข้าวเปลือก 500 กิโลกรัม ซึ่งถือว่ามีความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ในการลงทุน

บทที่ 5

สรุปผล

5.1 สรุปผล

จากการศึกษาการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่มีความชื้น 14 และ 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียกแบบไม่มีการระบายอากาศ และแบบมีการระบายอากาศที่อัตราการไหล 1.0 และ 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก ใช้ระยะเวลาในการทดลองแต่ละวิธี 60 ชั่วโมง สามารถสรุปผลได้ดังนี้

การเก็บรักษาข้าวเปลือกนั้นเปอร์เซ็นต์ความชื้นในข้าวเปลือกเป็นปัจจัยสำคัญ เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ความชื้นในข้าวเปลือก คือปริมาณน้ำที่มีอยู่ในเนื้อข้าวเปลือก น้ำ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทำให้ข้าวเปลือกมีอัตราการหายใจ หรือการสันดาปน้ำตาลกลูโคส ตามสมการที่ 1.1 ได้เร็วขึ้น ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีไอน้ำ ความร้อนเป็นองค์ประกอบออกมาด้วย ดั้งนั้นข้าวเปลือกที่มีเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียกในระดับสูง จึงมีความร้อนหรืออุณหภูมิสูงตามไปด้วย ในด้านการถ่ายเทความร้อน การถ่ายเทความร้อนแบบธรรมชาติ ข้าวเปลือกที่ผลิตความร้อนได้มากหรือมีอุณหภูมิสูงสามารถถ่ายเทความร้อนได้ปริมาณสูง เนื่องมาจากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิผิวข้าวเปลือกกับอุณหภูมิอากาศแวดล้อม การถ่ายเทความร้อนแบบบังคับโดยใช้พัดลม เป็นการพาตัวกลางการถ่ายเทความร้อน ในที่นี้คือ อากาศแวดล้อมที่ไม่มีการปรับอากาศ เข้าไปถ่ายเทความร้อนระหว่างอากาศและข้าวเปลือก ในช่วงเวลาที่อากาศแวดล้อมมีอุณหภูมิต่ำ ข้าวเปลือกถ่ายเทความร้อนให้กับอากาศ ในช่วงเวลาที่อากาศมีอุณหภูมิสูงกว่าข้าวเปลือก อากาศถ่ายเทความร้อนให้กับข้าวเปลือก และอัตราการไหลของอากาศระบายเป็นตัวช่วยทำให้ข้าวเปลือกและอากาศระบายมีอัตราการถ่ายเทความร้อนได้รวดเร็วขึ้น ที่อัตราการไหลมาก สามารถถ่ายเทความร้อนได้รวดเร็วกว่าเช่นกัน แต่ในส่วนของความชื้นข้าวเปลือกที่อัตราการไหลสูง อากาศระบายกลับมีความสามารถที่จะนำพาไอน้ำที่ข้าวเปลือกผลิตออกมาไปได้มากเช่นกัน

ด้านเศรษฐศาสตร์ การเก็บรักษาข้าวเปลือกไว้นานๆ หลายเดือนหรือเป็นปี ข้าวเปลือกที่เก็บรักษาจะกลายเป็นข้าวเปลือกเก่าที่มีมูลค่าเพิ่มขึ้นมา เพราะข้าวเปลือกเก่าเมื่อนำไปสีเป็นข้าวสารและนำไปหุงแล้วมีลักษณะขึ้นหม้อดี มียางข้าวน้อย ซึ่งเป็นที่นิยมในการบริโภคของคนทั่วไปมาก จึงทำให้ข้าวเปลือกเก่ามีราคาสูง ในการเก็บรักษาข้าวเปลือกนั้นมีต้นทุนหลักมาจาก การรับซื้อข้าวเปลือกมาเก็บรักษา และค่าพลังงานในการเก็บรักษาข้าวเปลือก ในการขายข้าวเปลือกเก่าเพื่อให้ได้กำไรนั้นก็ต้องพิจารณาตามหลักเกณฑ์การรับซื้อข้าวเปลือก ตามประกาศของกรมการค้าภายในกระทรวงพาณิชย์ เพื่อเป็นการตัดสินใจในการลงทุนเก็บรักษาข้าวเปลือกต่อไป

จากการทดลองในครั้งนี้ การเก็บรักษาข้าวเปลือกความชื้น 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อัตราการไหล 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก มีอุณหภูมิข้าวเปลือกอยู่ในช่วง 27.5 – 30 องศาเซลเซียส ความชื้นข้าวเปลือกอยู่ที่ 13.5 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก เสียค่าพลังงานในการเก็บรักษา 60 บาทต่อเดือน ถ้าเก็บเป็นระยะเวลา 4 เดือน ยังให้ผลกำไร 185 บาท ซึ่งเป็นผลการเก็บรักษาข้าวเปลือกเหมาะสมมากที่สุดและยังมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์อีกด้วย

5.2 วิจารณ์และข้อเสนอแนะ

5.2.1 การเก็บค่าความชื้นข้าวเปลือก ในถังเก็บข้าวเปลือกทำได้ลำบาก จึงใช้วิธีการเก็บแบบสุ่มค่าความชื้นข้าวเปลือกแทน

5.2.2 เครื่องมือที่ทำการวัดมีความละเอียดไม่เพียงพอ ทำให้ข้อมูลที่วัดได้มีความคลาดเคลื่อน

5.2.3 ข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้งควรจะใช้ข้าวเปลือกใหม่ ไม่ควรใช้ซ้ำ เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่มีความถูกต้องยิ่งขึ้น

5.2.4 น่าจะมีการศึกช่วงระยะเวลาในการเปิดพัดลมระบายอากาศ เพื่อเป็นการลดอุณหภูมิของข้าวเปลือกได้มากขึ้น

5.2.5 ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์อาจต้องพิจารณาจากแนวโน้มราคาซื้อขายข้าวเปลือกในอนาคต ซึ่งไม่แน่นอน ดังนั้นจึงต้องพิจารณาให้ดีก่อนการตัดสินใจ

บรรณานุกรม

[1] สมพร อิศวิลานนท์, สถานการณ์ราคาข้าวโลก: โอกาสของชาวนาไทย (ออนไลน์), 2554, แหล่งที่มาhttp://kuservice.ku.ac.th/cms_web/index.php?q=doc/d/288 (วันที่ค้นข้อมูล: 14 กรกฎาคม. 2554)

[2] สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว, วิทยาการก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว: การเก็บรักษา (ออนไลน์), 2554, แหล่งที่มาhttp://www.brrd.in.th/rkb2/postharvest/index.php-ile=content.php&id=4.htm (วันที่ค้นข้อมูล: 14 กรกฎาคม. 2554)

[3] พรรณเชษฐ จริยา และคณะ, การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของข้าวเปลือกโดยวิธีการระบายอากาศ, มหาวิทยาลัยนเรศวร, 2553

[4] นิภาพร ไชยมงคล, การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในถังเก็บข้าวเปลือกโดยการเป่าลมเย็น, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2546

[5] สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว, พันธุ์ข้าว: พันธุ์ข้าวนาสวนที่ไม่ไวต่อแสง พิษณุโลก 2 (ออนไลน์), 2554, แหล่งที่มาhttp://www.brrd.in.th/rkb/data_002/a2/rice_xx2-3_ricebreed_Phitsanulok_2.html (วันที่ค้นข้อมูล: 14 กรกฎาคม. 2554)

[6] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท, หน้า 213-250, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2540

[7] สมชัย อัครธิวา, ขวัญจิต วงษ์ชารี, เทอร์โมไดนามิกส์, หน้า 542 - 563, แมคกรอ-ฮิล, กรุงเทพฯ, 2551

[8] สมชาติ โสภณรณฤทธิ์ และคณะ, การชะลอความเสียหายของกองข้าวเปลือกชื้นโดยการระบายอากาศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2539

[9] การไฟฟ้านครหลวง, สูตรการคำนวณค่าไฟฟ้า และอัตราค่าไฟฟ้า (ออนไลน์), 2554, แหล่งที่มา http://www.mea.or.th/body.html (วันที่ค้นข้อมูล: 5 กันยายน 2554)

[10] กรมการค้าภายใน, กระทรวงพาณิชย์. ราคาซื้อขายข้าวเปลือกเจ้านาปรังปี 2554 ความชื้นไม่เกิน 15 % (ออนไลน์), 2554. แหล่งที่มา http://www.dit.go.th/rice_pawn_54-55/Naprang_55.asp (วันที่ค้นข้อมูล 22 กุมพาพันธ์ 2555)

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ตารางบันทึกผลการทดลอง

ตารางที่ 1 ผลการทดลองและการถ่ายเทความร้อน ในการเก็บรักษาข้าวเปลือกแบบไม่มีการระบายอากาศ ที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

วันที่	เวลา	ผลการทดลอง		การถ่ายเทความร้อน
		อุณหภูมิผิวข้าวเปลือก	อุณหภูมิอากาศแวดล้อม	Q(W)= $hA(T_s - T_f)$
22/1/2555	18:00	32.5	32.2	2.8
	0:00	30.5	29.2	12.6
23/1/2555	6:00	29.1	27.5	14.8
	12:00	29.8	30.8	-9.4
	18:00	32.0	32.2	-2.1
	0:00	30.4	28.9	13.5
24/1/2555	6:00	29.0	27.7	11.3
	12:00	29.8	30.9	-9.6
	18:00	31.9	32.2	-2.7
	0:00	30.1	29.2	7.8
25/1/2555	6:00	28.6	27.2	12.5
A = 4.51 m^2			h = 2 w/m^2	

ตารางที่ 2 ผลการทดลองที่อัตราการไหล 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก ที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)		
		ผิวข้าวเปลือก	อากาศทางเข้า	อากาศทางออก	ข้าวเปลือก	อากาศทางเข้า	อากาศทางออก
4/1/2555	18:00	31.1	31.8	31.2	13.5	65.1	65.4
	0:00	29.5	28.3	28.6	13.5	70.0	69.8
5/1/2555	6:00	28.2	26.9	26.8	13.8	78.0	76.3
	12:00	29.1	30.1	29.8	13.6	57.8	58.5
	18:00	30.9	31.9	30.5	13.4	62.0	61.8
	0:00	29.3	28.0	27.9	14.1	76.7	76.3
6/1/2555	6:00	27.7	26.5	26.3	13.8	74.0	72.1
	12:00	28.9	29.8	29.4	13.6	58.3	60.1
	18:00	31.1	31.9	30.8	14.0	61.8	62.7
	0:00	29.4	28.0	28.0	13.6	64.7	64.9
7/1/2555	6:00	27.8	26.1	26.3	13.4	72.5	71.8

ตารางที่ 3 ค่าที่เปิดได้จากไซโครเมตริกซ์ที่อัตราการไหล 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก ที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

วันที่	เวลา	สภาวะทางเข้า		ค่าจากไซโครเมตริกซ์			สภาวะทางออก		ค่าจากไซโครเมตริกซ์		
		D.B. (°C)	% RH	w (kJg/kg da)	h (kJ/kg)	v (m3/kg)	D.B. (°C)	% RH	w (kJg/kg da)	h (kJ/kg)	v (m3/kg)
4/1/2555	18:00	31.8	65.1	0.0196	82.03	0.890	31.2	65.4	0.0189	79.53	0.887
	0:00	28.3	70.0	0.0171	71.99	0.877	28.6	69.8	0.0174	73.01	0.878
5/1/2555	6:00	26.9	78.0	0.0176	71.82	0.873	26.8	76.3	0.0171	70.46	0.872
	12:00	30.1	57.8	0.0155	69.74	0.880	29.8	58.5	0.0155	69.43	0.879
	18:00	31.9	62.0	0.0187	79.76	0.889	30.5	61.8	0.0171	74.20	0.883
	0:00	28.0	76.7	0.0185	75.20	0.878	27.9	76.3	0.0183	74.61	0.877
6/1/2555	6:00	26.5	74.0	0.0163	68.04	0.870	26.3	72.1	0.0157	66.31	0.869
	12:00	29.8	58.3	0.0154	69.19	0.879	29.4	60.1	0.0156	69.29	0.878
	18:00	31.9	61.8	0.0186	79.50	0.889	30.8	62.7	0.0177	76.07	0.885
	0:00	28.0	64.7	0.0155	67.56	0.874	28.0	64.9	0.0156	67.82	0.874
7/1/2555	6:00	26.1	72.5	0.0155	65.66	0.868	26.3	71.8	0.0156	66.06	0.869

ตารางที่ 4 การถ่ายเทความร้อนที่อัตราการไหล 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก ที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

วันที่	เวลา	อุณหภูมิผิวข้าวเปลือก	สภาวะทางเข้า			สภาวะทางออก			การถ่ายเทความร้อน		
			D.B (°C)	h (kJ/kg)	ρ (kg/m3)	D.B (°C)	h (kJ/kg)	ρ (kg/m3)	$\bar{\rho}$ (kg/m3)	$\dot{m}$ = ρVA	Q (w)
4/1/2555	18:00	31.1	31.8	82.03	1.12	31.2	79.53	1.13	1.14	0.017	-42.52
	0:00	29.5	28.3	71.99	1.14	28.6	73.01	1.14	1.14	0.017	11.04
5/1/2555	6:00	28.2	26.9	71.82	1.14	26.8	70.46	1.15	1.14	0.017	11.78
	12:00	29.1	30.1	69.74	1.14	29.8	69.43	1.14	1.14	0.017	-5.24
	18:00	30.9	31.9	79.76	1.12	30.5	74.20	1.13	1.14	0.017	-94.58
	0:00	29.3	28.0	75.20	1.14	27.9	74.61	1.14	1.14	0.017	11.63
6/1/2555	6:00	27.7	26.5	68.04	1.15	26.3	66.31	1.15	1.14	0.017	11.33
	12:00	28.9	29.8	69.19	1.14	29.4	69.29	1.14	1.14	0.017	1.59
	18:00	31.1	31.9	79.50	1.12	30.8	76.07	1.13	1.14	0.017	-58.46
	0:00	29.4	28.0	67.56	1.14	28.0	67.82	1.14	1.14	0.017	12.91
7/1/2555	6:00	27.8	26.1	65.66	1.15	26.3	66.06	1.15	1.14	0.017	14.73
V = 0.0180 m/s		$A_{Natural\ convection}$ = 4.51 m^2				$A_{Force\ convection}$ = 1.54 m^2			h = 2 w/m^2 K		

ตารางที่ 5 ผลการทดลองที่อัตราการไหล 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก ที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)		
		ผิวข้าวเปลือก	อากาศทางเข้า	อากาศทางออก	ข้าวเปลือก	อากาศทางเข้า	อากาศทางออก
9/1/2555	6:00	26.3	25.0	24.6	13.3	60.0	60.1
	12:00	27.3	29.6	28.8	13.3	48.0	50.0
	18:00	29.2	31.2	29.5	12.9	51.4	51.9
	0:00	27.4	26.6	26.2	13.6	64.1	63.9
10/1/2555	6:00	25.7	24.7	24.0	13.5	67.5	63.3
	12:00	26.6	29.5	26.5	13.0	51.5	50.8
	18:00	28.6	30.5	27.6	13.5	53.3	53.7
	0:00	27.7	27.1	26.6	13.8	60.7	60.6
11/1/2555	6:00	26.7	26.1	25.5	13.4	69.8	62.8
	12:00	28.0	29.7	29.5	13.4	50.1	51.4
	18:00	29.1	30.3	29.5	12.9	53.2	55.2

ตารางที่ 6 ค่าที่เปิดได้จากไซโครเมตริกซ์ที่อัตราการไหล 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก ที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

วันที่	เวลา	สภาวะทางเข้า		ค่าจากไซโครเมตริกซ์			สภาวะทางออก		ค่าจากไซโครเมตริกซ์		
		D.B. (°C)	% RH	w (kJg/kg da)	h (kJ/kg)	v (m3/kg)	D.B. (°C)	% RH	w (kJg/kg da)	h (kJ/kg)	v (m3/kg)
9/1/2555	6:00	25.0	60.0	0.0119	55.27	0.860	24.6	60.1	0.0117	54.43	0.859
	12:00	29.6	48.0	0.0125	61.57	0.874	28.8	50.0	0.0125	60.76	0.872
	18:00	31.2	51.4	0.0148	69.12	0.882	29.5	51.9	0.0135	63.98	0.875
	0:00	26.6	64.1	0.0141	62.57	0.868	26.2	63.9	0.0137	61.11	0.866
10/1/2555	6:00	24.7	67.5	0.0132	58.34	0.861	24.0	63.3	0.0119	54.25	0.857
	12:00	29.5	51.5	0.0134	63.74	0.875	26.5	50.8	0.0111	54.81	0.863
	18:00	30.5	53.3	0.0147	68.09	0.880	27.6	53.7	0.0125	59.56	0.869
	0:00	27.1	60.7	0.0138	62.33	0.869	26.6	60.6	0.0134	60.74	0.867
11/1/2555	6:00	26.1	69.8	0.0149	64.09	0.867	25.5	62.8	0.0129	58.35	0.863
	12:00	29.7	50.1	0.0131	63.17	0.875	29.5	51.4	0.0133	63.44	0.875
	18:00	30.3	53.2	0.0145	67.37	0.879	29.5	55.2	0.0143	66.02	0.876

ตารางที่ 7 การถ่ายเทความร้อนที่อัตราการไหล 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก ที่ความชื้นข้าวเปลือก 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

วันที่	เวลา	อุณหภูมิข้าวเปลือก	สภาวะทางเข้า			สภาวะทางออก			การถ่ายเทความร้อน		
			D.B (°C)	h (kJ/kg)	ρ (kg/m3)	D.B (°C)	h (kJ/kg)	ρ (kg/m3)	$\bar{\rho}$ (kg/m3)	$\dot{m} = \rho VA$	Q (w)
9/1/2555	6:00	26.3	11.81	55.27	1.16	24.6	54.43	1.16	1.15	0.033	5.43
	12:00	27.3	-26.76	61.57	1.14	28.8	60.76	1.15	1.15	0.033	-26.76
	18:00	29.2	-170.96	69.12	1.13	29.5	63.98	1.14	1.15	0.033	-170.96
	0:00	27.4	7.29	62.57	1.15	26.2	61.11	1.15	1.15	0.033	1.31
10/1/2555	6:00	25.7	8.53	58.34	1.16	24.0	54.25	1.17	1.15	0.033	3.92
	12:00	26.6	-296.99	63.74	1.14	26.5	54.81	1.16	1.15	0.033	-296.99
	18:00	28.6	-284.03	68.09	1.14	27.6	59.56	1.15	1.15	0.033	-284.03
	0:00	27.7	5.05	62.33	1.15	26.6	60.74	1.15	1.15	0.033	1.31
11/1/2555	6:00	26.7	5.40	64.09	1.15	25.5	58.35	1.16	1.15	0.033	2.60
	12:00	28.0	9.08	63.17	1.14	29.5	63.44	1.14	1.15	0.033	9.08
	18:00	29.1	-44.95	67.37	1.14	29.5	66.02	1.14	1.15	0.033	-44.95
V = 0.0188 m/s		$A_{Natural\ convection}$ = 4.51 m^2				$A_{Force\ convection}$ = 1.54 m^2			h = 2 w/m^2 K		

ตารางที่ 8 ผลการทดลองและการถ่ายเทความร้อน ในการเก็บรักษาข้าวเปลือกแบบไม่มีการระบายอากาศ ที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

วันที่	เวลา	ผลการทดลอง		การถ่ายเทความร้อน
		อุณหภูมิข้าวเปลือก	อุณหภูมิอากาศแวดล้อม	Q(W)= $hA(T_s - T_f)$
16/2/2555	18:00	42.9	27.8	135.5
	0:00	45.1	26.3	170.1
17/2/2555	6:00	41.6	29.3	111.3
	12:00	42.7	31.2	103.1
	18:00	41.3	27.6	124.0
	0:00	38.9	25.6	120.0
18/2/2555	6:00	38.1	30.0	72.7
	12:00	40.5	31.9	77.5
	18:00	39.9	28.3	104.3
	0:00	38.5	25.9	113.8
19/2/2555	6:00	39.0	31.1	71.4
A = 4.66 m^2			h = 2 w/m^2	

ตารางที่ 9 ผลการทดลองที่อัตราการไหล 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก ที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)		
		ผิวข้าวเปลือก	อากาศทางเข้า	อากาศทางออก	ข้าวเปลือก	อากาศทางเข้า	อากาศทางออก
16/2/2555	18:00	28.4	34.0	27.5	25.2	61.2	61.1
	0:00	31.2	29.5	29.3	24.7	67.2	67.3
17/2/2555	6:00	33.9	27.7	28.0	24.3	78.9	84.0
	12:00	28.3	32.6	31.2	24.8	55.7	64.0
	18:00	28.1	34.4	30.5	23.0	54.2	58.5
	0:00	29.5	29.7	29.4	22.2	61.3	61.5
18/2/2555	6:00	29.9	28.1	27.8	21.2	65.4	68.3
	12:00	27.8	31.9	30.5	21.3	56.4	72.5
	18:00	29.2	33.0	29.8	21.3	60.4	61.7
	0:00	29.3	29.4	28.6	21.1	65.1	64.5
19/2/2555	6:00	29.0	28.1	27.4	21.1	65.0	65.2

ตารางที่ 10 ค่าที่เปิดได้จากไซโครเมตริกซ์ที่อัตราการไหล 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก ที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

วันที่	เวลา	สภาวะทางเข้า		ค่าจากไซโครเมตริกซ์			สภาวะทางออก		ค่าจากไซโครเมตริกซ์		
		D.B. (°C)	% RH	w (kJg/kg da)	h (kJ/kg)	v (m3/kg)	D.B. (°C)	% RH	w (kJg/kg da)	h (kJ/kg)	v (m3/kg)
16/2/2555	18:00	34.0	61.2	0.0208	87.28	0.898	27.5	61.1	0.0142	63.81	0.871
	0:00	29.5	67.2	0.0176	74.37	0.881	29.3	67.3	0.0174	73.71	0.880
17/2/2555	6:00	27.7	78.9	0.0187	75.44	0.877	28.0	84.0	0.0203	79.87	0.880
	12:00	32.6	55.7	0.0175	77.36	0.890	31.2	64.0	0.0184	78.33	0.887
	18:00	34.4	54.2	0.0187	82.39	0.897	30.5	58.5	0.0162	71.79	0.882
	0:00	29.7	61.3	0.0161	70.97	0.879	29.4	61.5	0.0159	70.07	0.878
18/2/2555	6:00	28.1	65.4	0.0158	68.49	0.874	27.8	68.3	0.0162	69.28	0.874
	12:00	31.9	56.4	0.0170	75.35	0.887	30.5	72.5	0.0201	82.03	0.887
	18:00	33.0	60.4	0.0194	82.72	0.893	29.8	61.7	0.0163	71.53	0.880
	0:00	29.4	65.1	0.0169	72.57	0.880	28.6	64.5	0.0160	69.55	0.876
19/2/2555	6:00	28.1	65.0	0.0157	68.14	0.874	27.4	65.2	0.0151	65.94	0.871

ตารางที่ 11 การถ่ายเทความร้อนที่อัตราการไหล 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก ที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

วันที่	เวลา	อุณหภูมิข้าวเปลือก	สภาวะทางเข้า			สภาวะทางออก			การถ่ายเทความร้อน		
			D.B (°C)	h (kJ/kg)	ρ (kg/m3)	D.B (°C)	h (kJ/kg)	ρ (kg/m3)	$\bar{\rho}$ (kg/m3)	$\dot{m} = \rho VA$	Q (w)
16/2/2555	18:00	28.4	34.0	87.28	1.11	27.5	63.81	1.15	1.13	0.021	- 52.18
	0:00	31.2	29.5	74.37	1.14	29.3	73.71	1.14	1.13	0.021	15.47
17/2/2555	6:00	33.9	27.7	75.44	1.14	28.0	79.87	1.14	1.13	0.021	57.65
	12:00	28.3	32.6	77.36	1.12	31.2	78.33	1.13	1.13	0.021	20.34
	18:00	28.1	34.4	82.39	1.12	30.5	71.79	1.13	1.13	0.021	- 221.32
	0:00	29.5	29.7	70.97	1.14	29.4	70.07	1.14	1.13	0.021	- 1.76
18/2/2555	6:00	29.9	28.1	68.49	1.14	27.8	69.28	1.14	1.13	0.021	15.94
	12:00	27.8	31.9	75.35	1.13	30.5	82.03	1.13	1.13	0.021	139.62
	18:00	29.2	33.0	82.72	1.12	29.8	71.53	1.14	1.13	0.021	- 233.53
	0:00	29.3	29.4	72.57	1.14	28.6	69.55	1.14	1.13	0.021	- 0.76
19/2/2555	6:00	29.0	28.1	68.14	1.14	27.4	65.94	1.15	1.13	0.021	8.54
V = 0.555 m/s			A = 4.66 m^2					h = 2 w/m^2 K			

ตารางที่ 12 ผลการทดลองที่อัตราการไหล 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก ที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

วันที่	เวลา	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)			ความชื้น (เปอร์เซ็นต์)		
		ผิวข้าวเปลือก	อากาศทางเข้า	อากาศทางออก	ข้าวเปลือก	อากาศทางเข้า	อากาศทางออก
4/2/2555	0:00	29.0	29.1	28.6	25.0	81.1	81.9
5/2/2555	6:00	30.5	27.4	27.0	23.8	83.7	87.1
	12:00	27.2	32.4	28.8	24.1	69.8	86.2
	18:00	29.1	35.1	30.5	24.9	75.4	82.7
	0:00	30.9	27.5	29.0	24.2	76.6	76.4
6/2/2555	6:00	32.0	27.5	27.1	24.7	77.6	94.8
	12:00	27.1	32.5	26.5	24.3	61.4	85.4
	18:00	29.3	33.2	27.4	23.1	61.0	61.7
	0:00	30.0	28.7	28.4	22.6	71.7	71.5
7/2/2555	6:00	29.9	26.4	26.1	23.3	66.7	71.8
	12:00	28.2	32.4	30.7	23.8	60.8	70.1

ตารางที่ 13 ค่าที่เปิดได้จากไซโครเมตริกซ์ที่อัตราการไหล 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก ที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

วันที่	เวลา	สภาวะทางเข้า		ค่าจากไซโครเมตริกซ์			สภาวะทางออก		ค่าจากไซโครเมตริกซ์		
		D.B. (°C)	% RH	w (kg/kg da)	h (kJ/kg)	v (m3/kg)	D.B. (°C)	% RH	w (kg/kg da)	h (kJ/kg)	v (m3/kg)
4/2/2555	0:00	29.1	81.1	0.0209	82.49	0.884	28.6	81.9	0.0205	80.93	0.882
5/2/2555	6:00	27.4	83.7	0.0195	77.14	0.877	27.0	87.1	0.0199	77.66	0.877
	12:00	32.4	69.8	0.0218	88.26	0.895	28.8	86.2	0.0218	84.62	0.885
	18:00	35.1	75.4	0.0272	104.95	0.911	30.5	82.7	0.0232	89.81	0.891
	0:00	27.5	76.6	0.0206	80.12	0.879	29.0	76.4	0.0195	78.85	0.882
6/2/2555	6:00	27.5	77.6	0.0182	73.94	0.876	27.1	94.8	0.0218	82.73	0.880
	12:00	32.5	61.4	0.0206	85.26	0.894	26.5	85.4	0.0189	74.70	0.874
	18:00	33.2	61.0	0.0192	82.44	0.894	27.4	61.7	0.0143	63.85	0.870
	0:00	28.7	71.7	0.0180	74.69	0.879	28.4	71.5	0.0176	73.30	0.878
7/2/2555	6:00	26.4	66.7	0.0145	63.39	0.868	26.1	71.8	0.0154	65.40	0.868
	12:00	32.4	60.8	0.0189	80.83	0.891	30.7	70.1	0.0197	81.13	0.887

ตารางที่ 14 การถ่ายเทความร้อนที่อัตราการไหล 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก ที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

วันที่	เวลา	อุณหภูมิผิวข้าวเปลือก	สภาวะทางเข้า			สภาวะทางออก			การถ่ายเทความร้อน		
			D.B (°C)	h (kJ/kg)	ρ (kg/m3)	D.B (°C)	h (kJ/kg)	ρ (kg/m3)	$\bar{\rho}$ (kg/m3)	$\dot{m} = \rho VA$	Q (w)
4/2/2555	0:00	29.0	29.1	82.49	1.13	28.6	80.93	1.13	1.13	0.036	-1.26
5/2/2555	6:00	30.5	27.4	77.14	1.14	27.0	77.66	1.14	1.13	0.036	29.51
	12:00	27.2	32.4	88.26	1.12	28.8	84.62	1.13	1.13	0.036	-129.18
	18:00	29.1	35.1	104.95	1.10	30.5	89.81	1.12	1.13	0.036	-537.20
	0:00	30.9	27.5	80.12	1.14	29.0	78.85	1.13	1.13	0.036	31.74
6/2/2555	6:00	32.0	27.5	73.94	1.14	27.1	82.73	1.14	1.13	0.036	41.22
	12:00	27.1	32.5	85.26	1.12	26.5	74.70	1.14	1.13	0.036	-374.70
	18:00	29.3	33.2	82.44	1.12	27.4	63.85	1.15	1.13	0.036	-659.73
	0:00	30.0	28.7	74.69	1.14	28.4	73.30	1.14	1.13	0.036	12.15
7/2/2555	6:00	29.9	26.4	63.39	1.15	26.1	65.40	1.15	1.13	0.036	32.82
	12:00	28.2	32.4	80.83	1.12	30.7	81.13	1.13	1.13	0.036	10.55
V = 0.0204 m/s		$A_{Natural\ convection}$ = 4.66 m^2				$A_{Force\ convection}$ = 1.54 m^2			h = 2 w/m^2 K		

ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณการถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อนกรณีเปิดพัดลม (การพาความร้อนแบบบังคับ:Force Convection)

จากสมการการอนุรักษ์พลังงานที่ 2.6 เมื่อพลังงานจลน์ พลังงานศักย์ และงานที่ป้อนเข้าไปให้กับระบบมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับการถ่ายเทความร้อน ดังนั้นจึงไม่นำมาคิดในการคำนวณ สมการจึงลดรูปเหลือ

$$Q = hA(T_s - T_f)$$

โดยที่

$$\dot{m} = \rho VA$$

และ

$$\rho = \frac{1}{v}$$

$\dot{m}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวล (กิโลกรัมต่อวินาที)
ρ คือ ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
V คือ ความเร็วลม (เมตรต่อนาที)
A คือ พื้นที่หน้าตัดตลอดการไหล (ตารางเมตร)
v คือ ปริมาตรจำเพาะ (ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม)

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ อัตราการไหล 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์**เมตรข้าวเปลือก ที่ความชื้น**ข้าวเปลือก 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก วันที่ 7/2/2555 เวลา 12:00 น. (**ตารางที่** 12)

v = 0.891 ลูกบาศก์เมตรต่อกิโลกรัม
ρ = 1/0.891 = 1.12 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์**เมตร**
$\dot{m}$ = 1.12 x 0.0204 x 1.54 =0.036 กิโลกรัมต่อวินาที

ดังนั้น Q = 0.036 x (81.13 - 80.83) x 1000
= 10.55 **วัตต์**

การถ่ายเทความร้อนแบบธรรมชาติหรือการพาความร้อนแบบอิสระ (Natural Convection)

จากสมการการคำนวณการถ่ายเทความร้อนแบบอิสระคือ

$$Q = hA(T_s - T_f)$$

โดยที่ h = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนของอากาศ (วัตต์ต่อตารางเมตร เคนวิน)
A = พื้นที่ของวัตถุร้อนที่สัมผัสกับอากาศ (ตารางเมตร)
T_s = อุณหภูมิของวัตถุ (องศาเซลเซียส)
T_f = อุณหภูมิของของไหล (องศาเซลเซียส)

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ อัตราการไหล 1.7 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก ที่ความชื้นข้าวเปลือก 26 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก วันที่ 7/2/2555 เวลา 6:00 น. (ตารางที่ 14)

$$Q = 2 \times 4.66 \times (30.9 - 27.5) = 10.49 \text{ วัตต์}$$

ตารางที่ 15 การคำนวณค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการเปิดพัดลมในแต่ละอัตราการไหล(ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก)และแต่ละความชื้นข้าวเปลือก (เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก)

	ความชื้นข้าวเปลือก 26%		ความชื้นข้าวเปลือก 14%	
	อัตราการไหล		อัตราการไหล	
	1.7	1	1.7	1
กำลังไฟ(kW)	0.14	0.11	0.08	0.073
ชั่วโมงที่ใช้/วัน	12	12	12	12
จำนวนวันที่ใช้/เดือน	30	30	30	30
หน่วยไฟฟ้า/เดือน	50.4	39.6	28.8	26.28
หน่วยที่ 0 - 5 หน่วยละ 0 บาท	0	0	0	0
หน่วยที่ 6 - 15 หน่วยละ 1.3576 บาท	13.576	13.576	13.576	13.576
หน่วยที่ 16 - 25 หน่วยละ 1.5445 บาท	15.445	15.445	15.445	15.445
หน่วยที่ 26 - 35 หน่วยละ 1.7968 บาท	17.968	17.968	6.828	2.300
หน่วยที่ 36 - 100 หน่วยละ 2.180 บาท	33.572	10.028	0	0
รวมเงิน ค่าพลังงาน (บาท)	80.560	57.020	35.850	31.320
ค่า Ft (บาท) หน่วยละ 0.9581 บาท	48.288	37.941	27.593	25.179
ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม 0.07	9.019	6.647	4.441	3.955
ค่าไฟที่ต้องชำระ/เดือน	**137.868**	**101.608**	**67.884**	**60.454**

ตัวอย่างการคำนวณค่าไฟฟ้า

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ อัตราการไหล 1.0 ลูกบาศก์เมตรต่อนาทีต่อลูกบาศก์เมตรข้าวเปลือก ความชื้นข้าวเปลือก 14 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก (ตารางที่ 14)

วิธีคำนวณ

หน่วยไฟฟ้าต่อวัน = กำลังไฟฟ้าที่พัดลมใช้ (0.073 กิโลวัตต์) x ชั่วโมงที่ใช้งานต่อวัน (12) = 0.876

หน่วยไฟฟ้าต่อเดือน = 0.876 x 30 = 26.28 หน่วย

วิธีการคิดค่าพลังงานไฟฟ้า

หน่วยที่ 0 – 5 หน่วยละ 0 บาท เป็นเงิน 5 x 0 = 0 บาท

หน่วยที่ 6 – 15 หน่วยละ 1.3576 บาท เป็นเงิน 10 x 1.3576 = 13.576 บาท

หน่วยที่ 16 – 25 หน่วยละ 1.5445 บาท เป็นเงิน 10 x 1.5445 = 15.445 บาท

หน่วยที่ 26 – 35 หน่วยละ 1.7968 บาท เป็นเงิน 1.28 x 1.7968 = 2.30 บาท

รวมเป็นเงินค่าพลังงานไฟฟ้า = 0 + 13.576 + 15.445 + 2.30 = 31.32 บาท

ค่าปรับปรุงต้นทุน (Ft) = 26.28 x 0.9581 = 25.179 บาท

ค่าภาษีมูลค่าเพิ่ม = 0.07 x (31.32 + 25.179) = 3.955 บาท

ดังนั้น ค่าไฟฟ้าที่ต้องชำระทั้งสิ้น = 31.32 + 25.179 + 3.955 = 60.645 บาท

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน

ชื่อ	นายเปรมศักดิ์ กันใจ
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2532
ภูมิลำเนา	บ้านเลขที่ 297 หมู่ 27 ต.คลองน้ำไหล อ.คลองลาน จ.กำแพงเพชร
ประวัติการศึกษา	ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนคลองลานวิทยา อ.คลองลาน จ.กำแพงเพชร ปัจจุบัน กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก

ชื่อ	นายวสุ ศรวิจารย์
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 14 กุมพาพันธ์ พ.ศ. 2533
ภูมิลำเนา	บ้านเลขที่ 548 หมู่ 2 ต.หนองปลิง อ.เมือง จ.นครสวรรค์
ประวัติการศึกษา	ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ อ.เมือง จ.นครสวรรค์ ปัจจุบัน กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก

ชื่อ	นายเอกชัย สนมฉ่ำ
วัน เดือน ปีเกิด	วันที่ 15 ตุลาคม พ.ศ. 2532
ภูมิลำเนา	บ้านเลขที่ 81 หมู่ 3 ต.หนองแขม อ.พรหมพิราม จ.พิษณุโลก
ประวัติการศึกษา	ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนพรหมพิรามวิทยา อ.พรหมพิราม จ.พิษณุโลก ปัจจุบัน กำลังศึกษาในระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก