การระบายความร้อนในข้าวเปลือกโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

Paddy Bulk Cooling with Closed Loop Pulsating Heat Pipes

นายณัฐพล ด้วงสงกา

นายประกาศิต ฤทธิ์เต็ม

นายอนุวัฒน์ สุวรรณประเสริฐ

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2554

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 1 ม.ค. 2555
เลขทะเบียน 1599887 6
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ล.ว.342 ว 2554

ใบรับรองโครงงาน

หัวข้อโครงงาน : การระบายความร้อนในข้าวเปลือกโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ
(Paddy Bulk Cooling with Closed Loop Pulsating Heat Pipes)

ผู้ดำเนินโครงงาน : นายณัฐพล ด้วงสงกา รหัส 51361223
นายประกาศิต ฤทธิ์เต็ม รหัส 51361278
นายอนุวัฒน์ สุวรรณประเสริฐ รหัส 51361476

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์

ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา : 2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล

คณะกรรมการการสอบโครงงาน

.....ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปฐมศก วิไลพล)

.....กรรมการ
(อาจารย์นพรัตน์ สีหะวงษ์)

หัวข้อโครงงาน : การระบายความร้อนในข้าวเปลือกโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ
ผู้ดำเนินโครงงาน : นายณัฐพล ด้วงสงกา รหัส 51361223
นายประกาศิต ฤทธิ์เต็ม รหัส 51361278
นายอนุวัฒน์ สุวรรณประเสริฐ รหัส 51361476
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์
ภาควิชา : วิศวกรรมเครื่องกล
ปีการศึกษา : 2554

บทคัดย่อ

โครงงานนี้จัดทำขึ้นเพื่อมีวัตถุประสงค์ที่จะสร้างระบบระบายความร้อนออกจากข้าวเปลือกขนาด 500 kg ที่ความชื้น 14% และ 26% มาตรฐานเปียก ในถังเก็บบรรจุสูง 1 m และมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 m โดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบระบายความร้อนซึ่งทำจากท่อคาปิลลารีทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 2.2 mm และเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.4 mm มีส่วนทำระเหยยาว 0.6 m ส่วนควบแน่นยาว 0.3 m ซึ่งใช้สาร R134a เป็นสารทำงานโดยเติมที่ 50 % ของปริมาตรภายในท่อทั้งหมด ใช้เวลาเก็บข้อมูลทั้งหมด 60 hr โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิของข้าวเปลือกระหว่างการติดตั้งท่อความร้อนในการระบายความร้อนที่ความชื้น 14% มาตรฐานเปียก และไม่มีการระบายความร้อนที่ความชื้น 14% มาตรฐานเปียก พบว่าเมื่อไม่มีการระบายความร้อนอุณหภูมิสุดท้ายของข้าวเปลือกอยู่ที่ 30 °C และความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 14% มาตรฐานเปียกซึ่งถ้าข้าวเปลือกมีอุณหภูมิที่สูงนั้นจะทำให้ข้าวเปลือกเสื่อมสภาพเร็วและมีระยะเวลาการเก็บที่สั้น ขณะที่ข้าวเปลือกที่มีการใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในการระบายความร้อนที่ 14% มาตรฐานเปียก เส้นอุณหภูมิมีแนวโน้มสูงขึ้นอุณหภูมิสุดท้ายของข้าวเปลือกอยู่ที่ 28 °C และมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่ 14% มาตรฐานเปียก ซึ่งมีค่าอุณหภูมิต่ำกว่าระบบที่ไม่มีการระบายความร้อน เพราะฉะนั้นการเสื่อมสภาพของข้าวเปลือกจะน้อยกว่าและสามารถเก็บได้ระยะเวลาได้นานกว่า โดยมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบเท่ากับ 1.7% ส่วนการเปรียบเทียบระบบที่ใช้ท่อระบายความร้อนที่ความชื้น 26% มาตรฐานเปียก และไม่มีการระบายความร้อนที่ 26% มาตรฐานเปียก พบว่าเมื่อไม่มีการระบายความร้อนอุณหภูมิของข้าวเปลือกเฉลี่ยอยู่ที่ 48 °C และเปอร์เซ็นต์ความชื้นเท่ากับ 25% มาตรฐานเปียก ขณะที่ใช้ท่อแบบสั่นวงรอบระบายความร้อนอุณหภูมิสุดท้ายเฉลี่ยอยู่ที่ 43 °C ค่าความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 25% มาตรฐานเปียก ซึ่งมีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบเท่ากับ 61.43% แต่เนื่องจากการเก็บข้าวเปลือกจะต้องมีอุณหภูมิอยู่ที่ 28-30 °C จึงจะสามารถรักษาคุณภาพข้าวไว้ได้ดังนั้นควรมีการวิจัยและพัฒนาท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบต่อไปเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

Project Title : Paddy bulk cooling with closed Loop Pulsating Heat Pipes
Name : Mr. Nattapol Doungsongka Code 51361223
Mr. Prakasit Rittem Code 51361278
Mr. Anuwat Suwanprasert Code 51361476
Project Adviser : Asst. Prof. Dr. Piyanun Charoensawan
Department : Mechanical Engineering
Academic Year : 2011

Abstract

This project aims to construct the cooling system of 500 kg paddy with initial moisture contents of 14% and 26% wet basis. The paddy was contained in the cylindrical bin with 1 m height and 1.5 m diameter and cooled by the close loop pulsating heat pipes (CLOHP). CLOHPs were made of copper capillary tube with 2.2 mm outside diameter and 1.4 mm inside diameter and the used working fluid was R-134a with 50% filling ratio of total internal tube volume. They had 0.6 m evaporator length and 0.3 m condenser length. The experiments were conducted along the time of 60 hrs. The paddy temperature cooled by CLOHPs was compared to that without cooling system or CLOHPs. For initial moisture contents of 14% wet basis, the last temperature of the paddy without CLOHPs was 30°C and its moisture content was still at 14% wet basis. The paddy storage at high temperature induced important grain damage. For paddy with CLOHPs, its temperature was slightly increased. The last temperature of 28°C was lower than that for a system without cooling unit. The moisture content was still at 14% wet basis. So the deteriorate of the paddy will be less and the storage time will be longer. The cooling efficiency of CLOHPs was 1.7%. For initial moisture contents of 26% wet basis, the average temperature of paddy without CLOHPs was 48°C and its moisture content was 25% wet basis. For paddy storage cooled by CLOHPs, its last temperature and moisture content were 48°C and 25% wet basis respectively and the cooling efficiency of CLOHPs was 61.43%. However, in order to maintain the good quality of paddy, the paddy temperature

should be kept at 28-30°C during storage time. So the research and development of paddy storage with CLOHPs should be furthered to achieve the maximum efficiency.

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานเรื่องการระบายความร้อนในข้าวเปลือกโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ จะผ่านลุล่วงไปด้วยดีโดยการทำงานร่วมกันของนิสิตนักศึกษาระดับปริญญาตรี แต่จะสำเร็จลุล่วงไม่ได้ถ้าปราศจากบุคคลสำคัญดังต่อไปนี้

ขอกราบขอบพระคุณ ผศ.ดร.ปิยะนันท์ เจริญสวรรค์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ซึ่งให้คำปรึกษา คำแนะนำ รวมไปถึงแนวทางการแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความไว้วางใจในการทำงานเป็นอย่างดี

ขอขอบพระคุณ ครูช่างภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้คำแนะนำวิธีการใช้เครื่องมือต่างๆ และอำนวย ความสะดวกในการใช้เครื่องมือ

ขอขอบคุณพี่ศุภชัย ชุมนุมวัฒน์ นิสิตนักศึกษาปริญญาโท ที่คอยดูแลและให้คำแนะนำตลอดการทดลอง

ขอขอบคุณ ห้องวิจัยท่อความร้อนและระบบความร้อน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ซึ่งเป็นสถานที่จัดทำโครงงานจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และครอบครัว ที่คอยให้กำลังใจ เป็นห่วง และสนับสนุนในเรื่องของการศึกษาตลอดมา

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองโครงงาน ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... จ
สารบัญ ..... ฉ
สารบัญตาราง ..... ฌ
สารบัญรูปภาพ ..... ญ
อักษรย่อและสัญลักษณ์ ..... ฏ
บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 5
1.3 ขอบเขตของโครงงาน 5
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6
1.6 งบประมาณ 6
1.7 ระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน 6
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับความชื้นและสมดุลความชื้นในเมล็ด 7
2.2 การหายใจของเมล็ดข้าว 7
2.3 ทฤษฎีพันธุ์ข้าวพิษณุโลก 2 10
2.4 ชนิดและหลักการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่น 12
2.5 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน 14
2.6 ประสิทธิภาพของระบบ 16

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

2.7 การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง 16

บทที่ 3 วิธีดำเนินการ

3.1 การสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูล 19

3.2 ตัวแปรในการทดสอบ 19

3.3 ขั้นตอนการสร้างและติดตั้งท่อความร้อน 20

3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด 24

3.5 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพ 27

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การแสดงจุดวัดอุณหภูมิข้าวเปลือกในถัง 29

4.2 ผลการทดลองเก็บข้าวเปลือกในถังที่ไม่มีการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ 30
ที่ความชื้น 14% มาตรฐานเปียก

4.3 ผลการทดลองเก็บข้าวเปลือกในถังที่มีการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ 32
ที่ความชื้น 14%มาตรฐานเปียก

4.4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิในถังข้าวเปลือกที่มีการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ 35
และไม่ติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้น 14% มาตรฐานเปียก

4.5 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในการระบายความ 36
ร้อนในข้าวเปลือกที่ความชื้น 14% มาตรฐานเปียก

4.6 ผลการทดลองเก็บข้าวเปลือกในถังที่ไม่มีการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ 37
ที่ความชื้น 26% มาตรฐานเปียก

4.7 ผลการทดลองเก็บข้าวเปลือกในถังที่มีการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ 39
ที่ความชื้น 26% มาตรฐานเปียก

4.8 การเปรียบเทียบอุณหภูมิในถังข้าวเปลือกที่มีการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ 41
และไม่ติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้น 26% มาตรฐานเปียก

4.9 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในการระบายความ 42
ร้อนในข้าวเปลือกที่ความชื้น 26% มาตรฐานเปียก

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง 43

5.2 ข้อเสนอแนะ 45

เอกสารอ้างอิง 46

ภาคผนวก 48

ภาคผนวก ก ตัวอย่างการคำนวณ 49

ภาคผนวก ข ตารางคุณสมบัติ 54

ประวัติผู้ทำโครงงาน 58

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาและแผนการปฏิบัติงาน 6
ตารางที่ 2.1 ระยะเวลาที่ปลอดภัย (สัปดาห์) ในการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่เมล็ดมีความชื้น และ 8
อุณหภูมิต่างๆ
ตารางที่ 2.2 ผลของความชื้นข้าวเปลือกต่อคุณภาพการสีข้าว 8
ตาราง ข.1 แสดงคุณสมบัติของอากาศ 55
ตาราง ข.2 แสดงคุณสมบัติของ R134a 56
ตาราง ข.3 แสดงคุณสมบัติของข้าวเปลือก 57

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 การเก็บรักษาข้าวเปลือกในสภาพปกติ 2
รูปที่ 1.2 การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว 2
รูปที่ 1.3 การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพียงอย่างเดียว 3
รูปที่ 1.4 การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ 3
รูปที่ 1.5 หลักการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ 4
รูปที่ 2.1 พันธุ์ข้าวพิษณุโลก 2 11
รูปที่ 2.2 ท่อความร้อนแบบสั่นชนิดปลายปิด 12
รูปที่ 2.3 ท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบ 12
รูปที่ 2.4 ท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบที่มีวาล์วกันกลับ 13
รูปที่ 3.1 ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ 20
รูปที่ 3.2 จุดติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลเพื่อใช้วัดอุณหภูมิข้าวเปลือก 21
รูปที่ 3.3 วงรอบตามแนวรัศมีที่ใช้ติดตั้งจุดวัดอุณหภูมิของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ 22
รูปที่ 3.4 การติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบตามแนวรัศมี 22
รูปที่ 3.5 การต่อสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล 23
รูปที่ 3.6 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) 24
รูปที่ 3.7 สายเทอร์โมคัปเปิล 24
รูปที่ 3.8 ชุดเติมสารทำงาน R134a 25
รูปที่ 3.9 เครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือก 25
รูปที่ 3.10 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด 26
รูปที่ 3.11 ภาพด้านบนถังแสดงจุดเก็บค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่พื้นผิวด้านบน 5 จุด 27
รูปที่ 3.12 ภาพด้านข้างถังแสดงจุดเก็บค่าความชื้นภายในถังเก็บข้าวเปลือก 5 จุด 27
รูปที่ 4.1 การแสดงจุดวัดอุณหภูมิข้าวเปลือกในถังเก็บ 29
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิและความชื้นของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาโดย 30
ไม่มีการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในแนวรัศมี
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิและความชื้นของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาโดย 31
ไม่มีท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในแนวตั้ง
รูปที่ 4.4 ภาพแสดงพื้นที่ถ่ายเทความร้อนทั้ง 6 วงในถังเก็บข้าวเปลือก 32
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิและความชื้นของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาโดย 33
มีการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในแนวรัศมี

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิและความชื้นของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาโดย 34
มีท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในแนวตั้ง
รูปที่ 4.7 แสดงอุณหภูมิของข้าวเปลือกในถังเก็บข้าวเปลือกแบบติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่น 35
วงรอบกับไม่ได้ติดตั้งในแนวรัศมี
รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิและอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อ 36
ความร้อนแบบสั่นวงรอบ
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิและความชื้นของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาโดย 37
ไม่มีท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในแนวรัศมี
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิและความชื้นของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาโดย 38
ไม่มีท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในแนวตั้ง
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิและความชื้นของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาโดย 39
มีการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในแนวรัศมี
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิและความชื้นของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาโดย 40
มีท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ ในแนวตั้ง
รูปที่ 4.13 แสดงอุณหภูมิของข้าวเปลือกในถังเก็บข้าวเปลือกแบบติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่น 41
วงรอบกับไม่ได้ติดตั้งในแนวรัศมี
รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิและอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อ 42
ความร้อนแบบสั่นวงรอบ

อักษรย่อและสัญลักษณ์

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
t	เวลา	h
T_b	อุณหภูมิข้าวเปลือก	^oC
M_w	ความชื้นข้าวเปลือก	% wet basis
Q_{paddy}	ค่าความร้อนของข้าวเปลือก	W
m	มวลของข้าวเปลือกในปริมาตรควบคุม	kg
$D_{i,max}$	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในสูงสุด	mm
D_i	เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน	mm
D_o	เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก	mm
σ	แรงตึงผิวของเหลว	N/m
ρ_l	ความหนาแน่นของของเหลว	kg/m^3
g	ความเร่งจากแรงโน้มถ่วง	m/s^2
L_e	ความยาวส่วนทำระเหย	m
L_c	ความยาวส่วนควบแน่น	m
n	จำนวนโค้งเลี้ยว	-
r	รัศมีของท่อ	mm
$\dot{Q}_{loss}$	อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ออกจากท่อ	W
A	พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน	m^3
T_c	อุณหภูมิท่อส่วนควบแน่น	K
T_a	อุณหภูมิอากาศ	K
h_m	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน	$W/m^2.K$
Gr_L	Grashof Number	-

อักษรย่อและสัญลักษณ์(ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย	หน่วย
β	สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร	K^{-1}
ν	Kinematic Viscosity	m^2/s
k	ค่าการนำความร้อนของอากาศ	$W/m.K$
$\mathbf{Pr}$	Prandtl Number	-
Nu_m	Nusselt Number	-
C_p	ค่าความจุความร้อนข้าวเปลือก	$kJ/kg.K$

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

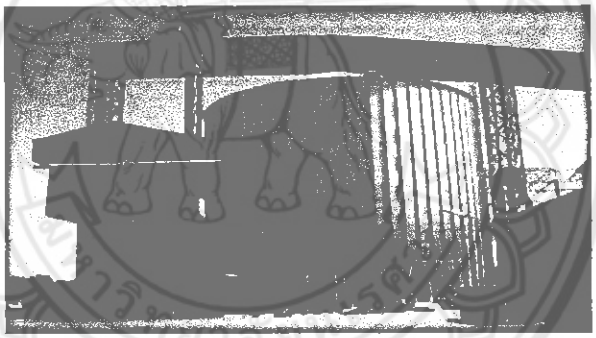
ปัจจุบันการผลิตข้าวในประเทศไทยได้มีการนำเทคโนโลยีใหม่ๆรวมทั้งเครื่องจักรกลเข้ามาใช้แทนที่แรงงานคนเนื่องจากมีความสะดวกและรวดเร็วมากกว่า สำหรับการเก็บเกี่ยวที่ใช้เครื่องนวดในปัจจุบันข้าวเปลือกจะมีความชื้นสูงประมาณ 26-27% มาตรฐานเปียก จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการลดความชื้นให้กับข้าวเปลือกเพราะว่าความชื้นในข้าวเปลือกมีบทบาทสำคัญในการกำหนดราคาข้าว ข้าวที่เก็บเกี่ยวในระยะที่เหมาะสม และลดความชื้นอย่างเหมาะสมให้เหลือประมาณ 13-15% มาตรฐานเปียก จะมีราคาสูงกว่าข้าวที่มีความชื้นสูง เนื่องจากข้าวแห้งที่มีความชื้นเหมาะสมสามารถทำการสีได้โดยไม่ต้องนำมาลดความชื้นอีก แต่ถ้าข้าวมีความชื้นสูงจะส่งผลต่อการเสื่อมคุณภาพของข้าวเปลือกเนื่องจาก เชื้อรา และการหายใจของเมล็ดข้าว ซึ่งความร้อนที่เกิดจากกระบวนการหายใจของเมล็ดข้าวเปลือกนั้นจะถูกสะสมอยู่ภายในกองข้าวเปลือกทำให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆอาจสูงถึง 40-50^{o}C จึงทำให้เมล็ดข้าวเปลี่ยนไป เช่น เมื่อนำไปสีเป็นข้าวสารจะมีข้าวหักสูง เมล็ดข้าวจากสีขาวเปลี่ยนเป็นสีเหลือง ซึ่งเป็นปัญหาที่จะส่งผลให้เกิดการขาดทุนของภาครัฐ และภาคเอกชน เป้าหมายหลักของการเก็บรักษาข้าวเปลือก คือ จะต้องมีการสูญเสียของข้าวน้อยที่สุดทั้งในด้านปริมาณและด้านคุณภาพ โดยทั่วไปจะเก็บไว้ในโรงเก็บที่มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศต่ำ

การเก็บรักษาข้าวเปลือกโดยทั่วไป แบ่งออกได้เป็น 4 วิธี ได้แก่

1. การเก็บในสภาพปกติ (แสดงดังรูปที่ 1.1) คือการเก็บข้าวเปลือกไว้ในโรงเก็บปกติโดยที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเก็บ เป็นวิธีที่นิยมใช้กันเป็นส่วนใหญ่ เพราะมีการลงทุนน้อยและเสียค่าใช่จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ แต่โอกาสที่จะเกิดความเสียหายในระหว่างการเก็บรักษามีสูง

รูปที่ 1.1 การเก็บรักษาข้าวเปลือกในสภาพปกติ [3]

2. การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว (แสดงดังรูปที่ 1.2) เช่น การเก็บข้าวเปลือกไว้ในตู้แช่ ตู้เย็นหรือในไซโลเก็บข้าวเปลือกที่มีการเป่าลมเย็น เป็นต้น การเก็บในสภาพที่มีอุณหภูมิต่ำ ช่วยชะลอการสูญเสียทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ เนื่องจากการเข้าทำลายของแมลงลดลง และการหายใจของเมล็ดน้อยลง



รูปที่ 1.2 การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว [3]

3. การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพียงอย่างเดียว (แสดงดังรูปที่ 1.3) ได้แก่ การเก็บข้าวเปลือกไว้ในภาชนะเก็บที่มิดชิด สามารถป้องกันการเคลื่อนที่ผ่านเข้าออกของอากาศได้ เช่น การเก็บข้าวเปลือกไว้ในปี๊บสังกะสี หรือ Polyethylene bags เป็นต้น การเก็บข้าวเปลือกในภาชนะปิดนี้ความชื้นของข้าวเปลือกจะเป็นตัวกำหนดความชื้นสัมพัทธ์ภายในภาชนะที่เก็บ โดยถ้าความชื้นของข้าวเปลือกต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์ภายในภาชนะบรรจุก็จะต่ำไปด้วย ข้าวเปลือกที่เก็บจะเกิดความเสียหายน้อย แต่ถ้าความชื้นของข้าวเปลือกสูง ความชื้นสัมพัทธ์ภายในภาชนะบรรจุก็จะสูงไปด้วย ข้าวเปลือกที่เก็บจะเกิดความเสียหายมาก ดังนั้น การเก็บรักษาข้าวเปลือกด้วยวิธีนี้ข้าวเปลือกควรมีความชื้นก่อนเก็บต่ำ

รูปที่ 1.3 การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเพียงอย่างเดียว [3]

4. การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ (แสดงดังรูปที่ 1.4) วิธีนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด สามารถป้องกันและลดความเสียหายของข้าวเปลือกได้ดี เก็บรักษาข้าวให้คงคุณภาพดีได้เป็นเวลานาน แต่มีค่าใช้จ่ายในการลงทุนและบำรุงรักษาสูง

รูปที่ 1.4 การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ [3]

ในปัจจุบันมีการคิดค้นเทคโนโลยีใหม่มาใช้ในการระบายความร้อนในกองข้าวเปลือก ซึ่งมีผู้คิดค้นครั้งแรกคือ N. Dussadee and T. Kiatsiriroat (2004) [1] โดยใช้ท่อเทอร์โมไซฟอน ซึ่งหลักการทำงานจะทำงานเมื่อส่วนทำระเหยได้รับความร้อน สารทำงานที่บรรจุอยู่ภายในจะเกิดการเดือดกลายเป็นไอความดันสูงจะลอยขึ้นไปที่ส่วนควบแน่นเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศและกลั่นตัวทำให้ความดันลดลงและไหลกลับมาที่ส่วนทำระเหยเพื่อรับความร้อนอีกครั้ง จากการศึกษาระบบที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของข้าวเปลือกที่ 13.5% มาตรฐานเปียก พบว่าสามารถเพิ่มระยะเวลาในการเก็บรักษาข้าวเปลือกได้นานและข้าวเปลือกมีคุณภาพดีที่สุด โดยสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ประมาณ 28-29^{o}C ในขณะที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิของข้าวเปลือกจะมีอุณหภูมิอยู่ประมาณ 31-32^{o}C สำหรับการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นของข้าวเปลือกที่ 26% มาตรฐานเปียกอุณหภูมิจะอยู่ที่ประมาณ 37-38^{o}C ในขณะที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิของข้าวเปลือกจะมีอุณหภูมิสูง

ถึง 65°C จากข้อมูลที่ศึกษาข้างต้นแสดงให้เห็นว่าการควบคุมอุณหภูมิมีผลดีต่อการเก็บรักษาข้าวเปลือก แต่ในขณะเดียวกันเนื่องจากท่อเทอร์โมไซฟอนที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้ จะมีรูปแบบที่ซับซ้อนและสร้างขึ้นได้ยาก มีการติดตั้งที่ยุ่งยาก เสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งสูง และการบำรุงรักษามีความยากลำบาก

ดังนั้น กลุ่มผู้จัดทำจึงมีแนวคิดที่จะเก็บรักษาข้าวเปลือกโดยมีการควบคุมอุณหภูมิเพียงอย่างเดียวด้วยวิธีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบแทนท่อเทอร์โมไซฟอนที่ใช้ในงานวิจัยก่อนหน้านี้ เพื่อลดค่าใช้จ่ายระหว่างการเก็บรักษาข้าวเปลือก ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบมีคุณสมบัติข้อดีคือ มีการถ่ายเทความร้อนได้อย่างรวดเร็ว ไม่ใช้พลังงานเสริมจากภายนอก การดูแลรักษาน้อย สร้างขึ้นได้ง่าย มีการติดตั้งง่ายและหลากหลายเพราะสามารถคดเลี้ยวได้ง่าย ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบมีหลักการทำงาน (แสดงดังรูปที่ 1.5)

รูปที่ 1.5 หลักการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ [6]

เมื่อส่วนทำระเหยได้รับความร้อนสารทำงานที่บรรจุอยู่ภายในจะเกิดการเดือดกลายเป็นไอความดันสูงจะลอยขึ้นไปที่ส่วนควบแน่นแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการพาความร้อนแบบธรรมชาติกับอากาศและกลั่นตัวทำให้ความดันลดลงและไหลกลับมาที่ส่วนทำระเหยเพื่อรับความร้อนอีกครั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบจะทำจากท่อทองแดงค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อหน่วยพื้นที่จะมีค่าสูงกว่าโลหะมาก อุณหภูมิในการใช้งานมีช่วงกว้างสามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิแหล่งให้ความร้อนกับแหล่งรับความร้อนไม่ต่างกันมาก

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของระบบการระบายความร้อนในข้าวเปลือก โดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

1.2.2 เพื่อเปรียบเทียบกันระหว่างกรณีที่มีการใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบกับไม่มีการระบายความร้อนออกจากข้าวเปลือก

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1.3.1 ตัวแปรต้น

- ความชื้นข้าวเปลือกที่ 14% และ 26% มาตรฐานเปียก
- สภาพอากาศตามช่วงเวลา

1.3.2 ตัวแปรตาม

- อุณหภูมิ
- ความชื้น
- อัตราการถ่ายเทความร้อน

1.3.3 ตัวแปรควบคุม

- ข้าวเปลือกพันธุ์พิษณุโลก 2
- ท่อทองแดงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.4 mm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 2.2 mm
- สำหรับบรรจุข้าวเปลือกทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 m และมีความสูง 1 m

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาทฤษฎีและการทำงานที่เกี่ยวข้องกับท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

1.4.2 ศึกษาและเก็บข้อมูลของข้าวเปลือกพันธุ์ต่างๆ

1.4.3 ทำการเลือกพันธุ์ข้าวเปลือกที่จะนำมาทดลอง

1.4.4 ออกแบบถังเก็บข้าวเปลือกขนาดบรรจุ 500 kg

1.4.5 ออกแบบติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในถังเก็บข้าวเปลือก

1.4.6 ทำการทดสอบสมรรถนะการระบายความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในถังเก็บข้าวเปลือกที่ความชื้น 14% และ 26% มาตรฐานเปียก

1.4.7 เปรียบเทียบสมรรถนะของการระบายความร้อนโดยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบและระบบที่ไม่มีการระบายความร้อน

1.4.8 วิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการทดลอง

1.4.9 จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เข้าใจถึงผลกระทบของตัวแปรต่างๆที่มีต่อสมรรถนะการระบายความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบของข้าวเปลือกในถังเก็บ

1.5.2 ได้ระบบท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ ที่สามารถระบายความร้อนในถังเก็บข้าวเปลือกได้และสามารถเก็บข้าวได้นานกว่าแบบที่ไม่มีการระบายความร้อนจากข้าวเปลือก

1.6 งบประมาณ

ค่าถ่ายเอกสาร	900 บาท
ค่าปริ้นงาน	900 บาท
ค่าจัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์	1,200 บาท
รวมเป็นเงิน	3,000 บาท

1.7 ระยะเวลาและแผนการดำเนินงาน

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาและแผนการปฏิบัติงาน

งาน/ระยะเวลา	2554							2555	
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับ CLPHPs	←	—	—	→					
ศึกษาและเก็บข้อมูลของข้าวเปลือก		←	—	—	—	→			
ออกแบบและสร้างท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ							←	—	→
ทดสอบประสิทธิภาพ						←	—	—	→
สรุปวิเคราะห์และเปรียบเทียบ								←	→
จัดทำรูปเล่มปริญญานิพนธ์								←	→

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับความชื้นและสมดุลความชื้นในเมล็ด

การเก็บรักษาข้าวเปลือกให้คงสภาพอยู่ได้นานและคงคุณภาพที่ดีมากเพียงใดนั้น ความชื้นนับเป็นตัวกำหนดที่สำคัญมากตัวหนึ่งเพราะว่าถ้ามีความชื้นในกองข้าวเปลือก ปฏิกิริยาทางชีววิทยาจะเกิดขึ้นกับกองข้าวเปลือกได้ ซึ่งจะเกิดขึ้นมากน้อยเพียงใดนั้นก็ขึ้นอยู่กับความชื้นที่มีอยู่ ถ้ามีความชื้นสูงอาจเกิดการงอกของเมล็ดข้าวเปลือกได้ หรือ อาจเกิดเชื้อรา แบคทีเรีย รวมไปถึงการเจริญเติบโตของแมลงที่กัดกินต่างๆด้วย และอาจส่งผลต่อคุณภาพและปริมาณของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาไว้โดยตรง

ความสมดุลของปริมาณความชื้นและความชื้นสัมพัทธ์เกิดจากความสมดุลระหว่างความชื้นภายในเมล็ดกับไอน้ำในบรรยากาศรอบข้าง ดังนั้นเมล็ดพืชที่มีความชื้นมากมาสัมผัสกับอากาศความชื้นจะถูกถ่ายเทโดยเคลื่อนที่จากเมล็ดข้าวเปลือกสู่อากาศจนกระทั่งเกิดความสมดุลของความชื้นและจากการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนแปลงความชื้นนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิด้วย ปริมาณจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของเมล็ดข้าวเปลือก ความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของบรรยากาศในขณะนั้น

2.2 การหายใจของเมล็ดข้าว

ปริมาณความชื้นในข้าวเปลือกนั้นมีผลมาจากปริมาณความร้อนในข้าวเปลือก ซึ่งเกิดจากการหายใจของข้าวเปลือกและสามารถแสดงได้โดยสมการทางปฏิกิริยาเคมีได้ ดังนี้

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \longrightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 2.831 \quad (MJ) \qquad (1)$$

ซึ่งปฏิกิริยาเคมีข้างต้นจะเห็นได้ว่ามีการปล่อยความร้อนออกมาจำนวนหนึ่งหลังจากมีการทำปฏิกิริยาเคมีของกลูโคสและออกซิเจนแล้วปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และความร้อน ออกมา จะสังเกตได้ว่า น้ำที่ปล่อยออกมานั้นมีผลกระทบทางด้านปริมาณความชื้นในข้าวเปลือก และความร้อนที่ออกมามีค่าสูง การกระจายความร้อนในกองข้าวจะเคลื่อนที่จากขอบเข้าสู่กลางกองข้าว จากสมการปฏิกิริยาเคมีข้างต้นยังสังเกตได้อีกว่า ยิ่งปริมาณน้ำที่ถูกปล่อยออกมามาก หรือความชื้นมากปริมาณความร้อนที่ถูกปล่อยก็มีค่ามากเช่นกัน ทั้งความร้อนและความชื้นที่เกิดขึ้นจะทำให้คุณภาพ

ข้าวลดลงโดยเฉพาะความขาวของข้าวสาร และความชื้นมากอาจจะเป็นสาเหตุทำให้ข้าวเกิดเชื้อรา หรือเกิดการงอกทำให้ข้าวที่ทำการเก็บรักษานั้นเสียหาย ดังนั้นความร้อน และความชื้นของข้าวเปลือกจึงมีผลต่ออายุการเก็บรักษา (แสดงในตารางที่ 2.1) และผลของความชื้นที่มีต่อการสีข้าว (แสดงในตารางที่ 2.2) [12]

ตารางที่ 2.1 ระยะเวลาที่ปลอดภัย (สัปดาห์) ในการเก็บรักษาข้าวเปลือกที่เมล็ดมีความชื้น และอุณหภูมิต่างๆ

ความชื้น (%)	อุณหภูมิในการเก็บรักษา (℃)				
	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 2.1 จะเห็นได้ว่าความชื้นของเมล็ดข้าวที่ความชื้น 14% มาตรฐานเปียก เป็นความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการเก็บรักษาเมล็ดข้าวเปลือก เพื่อให้เมล็ดข้าวเปลือกยังคงมีคุณภาพที่ดี และอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่ำที่ 15 ℃ จะสามารถเก็บรักษาเมล็ดข้าวไว้ได้นานที่สุดโดยไม่เกิดความเสียหายเป็นเวลา 40 สัปดาห์

ตารางที่ 2.2 ผลของความชื้นข้าวเปลือกต่อคุณภาพการสีข้าว

คุณภาพการสีข้าว		
ความชื้น (%)	ข้าวสาร (%)	ข้าวหัก (%)
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 2.2 จะเห็นว่าข้าวเปลือกที่มีความชื้นต่ำเกินไป เมื่อนำมาสีจะมีการแตกหักมาก เพราะเมล็ดข้าวแห้งเปราะ และข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงเมื่อนำมาสีจะเกิดการแตกละเอียดเพราะเมล็ดอ่อนนุ่มเกินไปจากตารางจึงสามารถสรุปช่วงความชื้นของข้าวเปลือกที่เหมาะสมในการสี จะอยู่ในช่วง 12% – 14% มาตรฐานเปียก

อัตราการเกิดความร้อนของข้าวเปลือก Q_{paddy} ที่เกิดขึ้นในการเก็บรักษาเนื่องจากกระบวนการหายใจของข้าวเปลือกมีความสัมพันธ์กับค่าความแตกต่างของอุณหภูมิ สามารถแสดงได้ดังสมการ

$$Q_{paddy} = (mC_p \Delta T)/\Delta t \qquad (2)$$

โดยที่ Q_{paddy} คือ ค่าอัตราการเกิดความร้อนของข้าวเปลือก, kW

m คือ ความชื้นในกองข้าวเปลือก, %

ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิของข้าวเปลือก, ^{o}C

Δt คือ เวลาในการเกิดความร้อน, s

C_p คือ ค่าความจุความร้อน, $\frac{J}{kg.^{o}C}$

ค่า C_p สามารถหาได้จากสมการ

$$C_p = (3.1 \times \text{ความชื้นของข้าวเปลือก} + 1.2468) \times 10^3 \qquad (3)$$

2.3 ทฤษฎีพันธุ์ข้าวพิษณุโลก 2

ชื่อพันธุ์ พิษณุโลก 2

ชนิด ข้าวเจ้า

คู่ผสม CNTLR81122-PSL-37-2-1/ SPRLR81041-195-2-1 // ไออาร์ 56

ประวัติพันธุ์ ได้จากการผสมพันธุ์ 3 ทาง ระหว่างสายพันธุ์ CNTLR81122-PSL-37-2-1 และ SPRLR81041-195-2-1 กับ ไออาร์ 56 ที่ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก ปี พ.ศ. 2533-2534 ปลูกคัดเลือกจนได้สายพันธุ์ PSL91014-16-1-5-1

รับรองพันธุ์ คณะกรรมการวิจัยและพัฒนากรมวิชาการเกษตร มีมติให้เป็นพันธุ์รับรอง เมื่อวันที่ 26 มิถุนายน 2543

ลักษณะประจำพันธุ์

- เป็นข้าวเจ้า สูงประมาณ 114 cm
- การออกดอกของข้าวไม่ขึ้นอยู่กับความยาวของกลางวัน ไม่ไวต่อช่วงแสง เมื่อต้นข้าวมีระยะเวลาการเติบโตครบตามกำหนด ต้นข้าวก็จะออกดอกทันทีไม่ว่าเดือนนั้นจะมีกลางวันสั้นหรือยาว
- อายุเก็บเกี่ยว 119-121 วัน
- ทรงกอตั้ง ใบสีเขียวเข้ม ใบธงตั้ง รวงแน่นปานกลาง แขนงของรวงข้าวค่อนข้างถี่คอรวงสั้นฟางแข็ง ใบแก่ช้า
- เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง
- เมล็ดที่เก็บเกี่ยวมาจากต้นใหม่ๆเมื่อเอาไปเพาะมักจะไม่งอกทันที จะต้องใช้ระยะเวลาสำหรับพักตัวอยู่ระยะหนึ่งประมาณ 8 สัปดาห์ จึงจะมีความงอก 80-100%
- เมล็ดข้าวกล้อง กว้าง x ยาว x หนา = 2.1 x 7.9 x 1.6 mm
- ปริมาณอมิโลส 28.6% เป็นองค์ประกอบภายในแป้งบ่งบอกถึงคุณภาพในการหุงต้มและการบริโภค ถ้าอมิโลสต่ำจะหุงสุกง่าย เช่น ข้าวเหนียว จะมีอมิโลสอยู่ที่ 5-7% จะหุงสุกเร็วกว่าข้าวเจ้า
- คุณภาพข้าวสุก ร่วน แข็ง

ผลผลิต ประมาณ 807 Kg/hectare

ลักษณะเด่น

- ผลผลิตสูง และมีเสถียรภาพในการให้ผลผลิต
- ต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยกระโดดหลังขาวและเพลี้ยจักจั่น

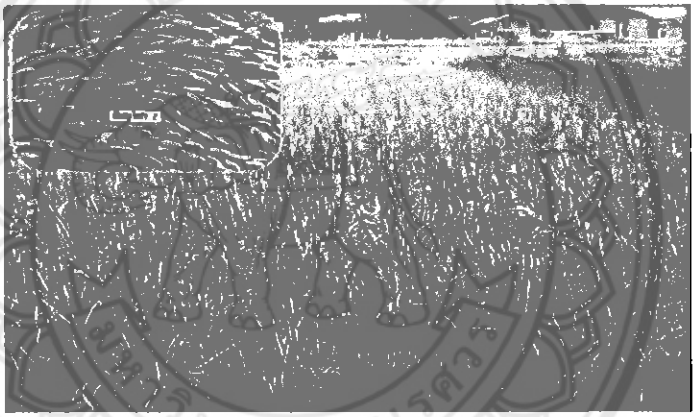
สีเขียว เป็นผลที่เกิดจากปฏิกิริยาทางพันธุศาสตร์ระหว่างพันธุกรรมของต้นข้าวและเชื้อโรคหรือแมลง

- คุณภาพการสีดี จุดขาวทึบแสงภายในเมล็ดข้าวเจ้าที่เรียกว่า ท้องไข่ ซึ่งเกิดจากการจับตัวอย่างหลวมๆ ระหว่างผลึกแป้งมีขนาดเล็ก

ข้อควรระวัง

- ไม่ต้านทานโรคไหม้ และโรคใบหงิก
- ไม่ต้านทานแมลงบั่ว
- เมล็ดค่อนข้างร่วงง่าย

พื้นที่แนะนำ ทุกภาคในเขตชลประทาน



รูปที่ 2.1 พันธุ์ข้าวพิษณุโลก 2 [7]

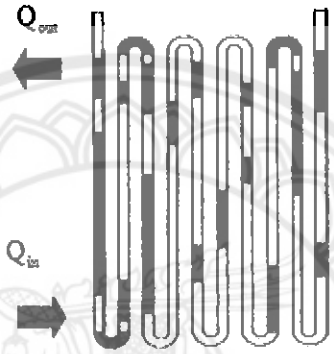
การทดลองการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบระบายความร้อนในข้าวเปลือกจะเลือกใช้ข้าวเปลือกพันธุ์พิษณุโลก 2 เพราะเป็นข้าวที่ผลิตได้ในท้องถิ่นและหาได้ง่ายในจังหวัดพิษณุโลก

2.4 ชนิดและหลักการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่น

ชนิดของท่อความร้อนแบบสั่นแบ่งออกเป็น 3 ชนิด

1. ท่อความร้อนแบบสั่นชนิดปลายปิด

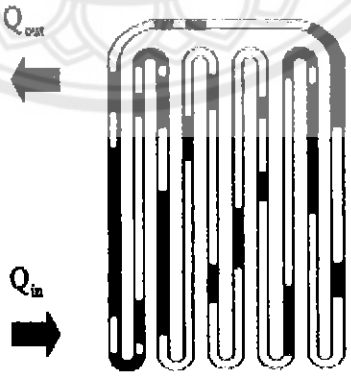
ทำมาจากท่อคาปิลลารีขดกลับไปมาและเชื่อมปิดปลายทั้งสองข้าง โดยแยกปลายออกจากกัน กรณีที่การถ่ายเทความร้อนเกิดขึ้นจากการสั่นที่ขับด้วยคลื่นความดันที่กวัดแกว่งอย่างรวดเร็ว ซึ่งเกิดจากการเดือดแบบฟอง (แสดงดังรูปที่ 2.2)



รูปที่ 2.2 ท่อความร้อนแบบสั่นชนิดปลายปิด [8]

2. ท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบ

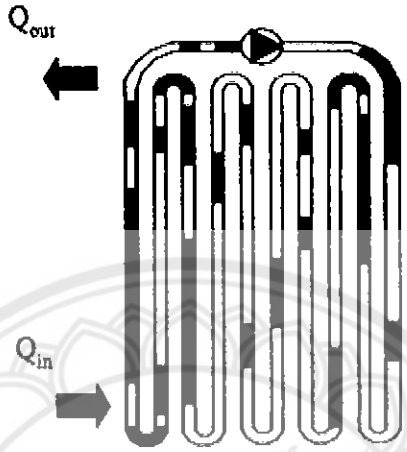
ทำจากท่อคาปิลลารีขดกลับไปมาเช่นเดียวกับท่อความร้อนแบบสั่นชนิดปลายเปิด แต่ต่างกันตรงที่มีการต่อปลายทั้งสองข้างเข้าด้วยกันเป็นวงรอบ กรณีเกิดการถ่ายเทความร้อนจะเกิดขึ้นจากการสั่นของสารทำงานในแนวแกน (แสดงดังรูปที่ 2.3)



รูปที่ 2.3 ท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบ [8]

3. ท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบที่มีวาล์วกันกลับ

ทำจากท่อคาปิลลารี ต่อปลายทั้งสองข้างเข้าด้วยกันเป็นวงรอบโดยมีการติดวาล์วกันกลับไว้ในท่อตั้งแต่ 1 ตัวขึ้นไป เพื่อให้สารทำงานไหลเวียนไปในทิศทางเดียว (แสดงดังรูปที่ 2.4)



รูปที่ 2.4 ท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบที่มีวาล์วกันกลับ [8]

ท่อความร้อนแบบสั่นชนิดปลายปิดมีการเชื่อมปิดปลายทั้งสองด้าน ปลายจะแยกออกจากกันเมื่อสารทำงานได้รับความร้อนจะเกิดการเดือดแบบฟองและเกิดการเคลื่อนที่ของแท่งไอ มีแรงดันที่กวัดแกว่งอย่างรวดเร็วทิศทางการเคลื่อนที่จะไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับความร้อนที่ทำให้เกิดแรงดัน ส่วนท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบที่มีวาล์วกันกลับ ในกรณีที่สารทำงานได้รับความร้อนสารทำงานจะไหลไปในทางทิศทางเดียวไม่สามารถไหลกลับมาทางเดิมได้จะระบายความร้อนได้ต่อเนื่อง ประสิทธิภาพการระบายความร้อนจะถือได้ว่าดีที่สุด ส่วนท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบมีการเชื่อมปลายท่อเข้าด้วยกัน สารทำงานจะเคลื่อนที่ได้เป็นวงรอบอย่างอิสระขึ้นอยู่กับแรงดัน จึงทำให้ประสิทธิ์ภาพการระบายความร้อนรองลงมาจากท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบที่มีวาล์วกันกลับ สาเหตุที่เลือกใช้ท่อความร้อนแบบสั่นชนิดวงรอบเนื่องจากว่าสร้างขึ้นได้ง่ายไม่ต้องติดตั้งวาล์วกันกลับและมีประสิทธิภาพการระบายความร้อนในระดับดี

2.5 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

2.5.1 การพาความร้อน

การพาความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นได้ ในสสารสองสถานะคือ ของเหลวและก๊าซ เนื่องจากเป็นสิ่งที่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยจะมีทิศทางลอยขึ้นเท่านั้น เนื่องจาก เมื่อสสารได้รับความร้อนจะมีการขยายตัว ทำให้ความหนาแน่นต่ำลง และสสารที่มีอุณหภูมิ ต่ำกว่า (ความหนาแน่นสูงกว่า) ก็จะลงมาแทนที่ การพาความร้อนสามารถจำแนกได้ออกเป็น 2 แบบ ดังนี้

1. การพาความร้อนแบบบังคับ (Force convection)

เกิดขึ้นเมื่อมีแรงภายนอกมาบังคับให้ของไหลเคลื่อนที่พร้อมๆกับทำหน้าที่ถ่ายโอนความร้อน มักจะอาศัยอุปกรณ์ช่วย ตัวอย่างเช่น ปั๊ม พัดลม การพาความร้อนแบบบังคับนี้จะมีประสิทธิภาพมากกว่าแบบธรรมชาติ

2. การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural convection)

กลไกการเกิดการถ่ายโอนความร้อนมักเกิดเนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นในระบบ ตัวอย่างเช่น การถ่ายโอนความร้อนของอาหารภายในกระป๋องที่ผ่านการทำเย็นหลังจากการฆ่าเชื้อ ภายในกระป๋องจะมีการเคลื่อนที่ความร้อนเนื่องจากความหนาแน่น การถ่ายโอนในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นค่อนข้างช้า ไม่ว่าจะเป็นการถ่ายโอนความร้อนแบบพาในลักษณะใดก็ตามแต่มีสมการที่ใช้ในการคำนวณอัตราการถ่ายโอนความร้อนเหมือนกันคือ

$$\dot{Q} = A(T_c - T_a)h_m \qquad (4)$$

โดยที่ $\dot{Q}$ คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ออกจากท่อ, W

A คือ พื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน, m^2

T_c คือ อุณหภูมิพื้นผิวของท่อที่ส่วนควบแน่น, K

T_a คือ อุณหภูมิอากาศ, K

h_m คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนโดยการพาที่พื้นผิวส่วนควบแน่น, W/m^2K

2.5.2 การพาความร้อนแบบอิสระหรือการพาความร้อนตามธรรมชาติของท่อทรงกระบอกที่วางในแนวดิ่ง

จะกล่าวถึงการเคลื่อนที่ของของไหลเป็นผลของแรงลอยตัวซึ่งเกิดจากผลการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นอันเกิดจากมีผลต่างของอุณหภูมิของของไหลใน 2 บริเวณ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของของเหลวจะอยู่ที่ช่วง 50-1000 $W/m^2 K$ และของแก๊สจะอยู่ที่ช่วง 2-25 $W/m^2 K$ หาได้จากสมการ

$$h_m = \frac{Nu_m k}{L_c} \tag{5}$$

ความสัมพันธ์ของการพาความร้อนแบบธรรมชาติที่ได้จากการทดลองของท่อที่วางในแนวดิ่งโดย Churchill and Chu จะได้จากสมการ

$$Nu_m = \left\{ 0.825 + \frac{0.387\left(Gr_L \Pr\right)^{\frac{1}{6}}}{\left[1+\left(\frac{0.492}{\Pr}\right)^{\frac{9}{16}}\right]} \right\}^2 \tag{6}$$

โดยที่ Nu_m คือ Nusselt Number

Gr คือ Grashof Number

Pr คือ Prandtl Number

Gr (Grashof Number) กลุ่มตัวแปรไร้มิติที่มีความสำคัญในการถ่ายเทความร้อนแบบธรรมชาติ มีค่าดังนี้

$$Gr_L = \frac{g\beta L^3\left(T_c - T_a\right)}{v^2} \tag{7}$$

โดยที่ β คือ สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตร, K^{-1}

v คือ Kinematic Viscosity, m/s^2

T_c คือ อุณหภูมิพื้นผิวของท่อที่ส่วนควบแน่น, K

T_a คือ อุณหภูมิของอากาศ, K

g คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก, m/s^2

L_c คือ ความยาวส่วนควบแน่น, m

2.6 ประสิทธิภาพของระบบ

ประสิทธิภาพของระบบจะเป็นตัวบอกว่าประสิทธิภาพการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในการระบายความร้อนในถังเก็บข้าวเปลือกมีค่าอย่างไรสามารถระบายความร้อนได้หรือไม่ ซึ่งหาได้จากสมการ

$$\eta = \frac{Q_{tube}}{Q_{paddy}} \times 100\% \quad (8)$$

โดยที่ η คือ ประสิทธิภาพของระบบ

Q_{tube} คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อน, W

Q_{paddy} คือ อัตราการเกิดความร้อนของข้าวเปลือก, W

2.7 การทบทวนเอกสารที่เกี่ยวข้อง

จากผลการวิจัยของ N. Dussadee and T. Kiatsiriroat (2004) [1] เรื่องการวิเคราะห์สมรรถนะทางความร้อนและเศรษฐศาสตร์ของการใช้เทอร์โมไซฟอนในถังเก็บข้าวเปลือก ที่ใช้ R22 เป็นสารทำงานเพื่อระบายความร้อนออกจากข้าวเปลือกโดยที่ถังเหล็กทรงกระบอกขนาด 1,250 mm ซึ่งมีความยาว 1,500 mm ซึ่งบรรจุข้าวเปลือกขนาด 1,000 kg ในส่วนทำระเหยของเทอร์โมไซฟอนในข้าวเปลือกซึ่งทำจากท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 in และพื้นที่การถ่ายเทความร้อน 8.5 m^2 โดยใช้อากาศในการระบายความร้อน การวิเคราะห์สมรรถนะทางความร้อนและเศรษฐศาสตร์ที่ใช้เทอร์โมไซฟอนจะเปรียบเทียบกับถังที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้เทอร์โมไซฟอนมีประสิทธิภาพสามารถควบคุมอุณหภูมิและรักษาอุณหภูมิเหลือเพียง 28-29^{o}C เมื่อเทียบกับการไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ ข้าวเปลือกจะมีอุณหภูมิสูงถึง 31-32^{o}C และที่สำคัญเทอร์โมไซฟอนยังใช้ได้กับช่วงอุณหภูมิแตกต่างเพียงเล็กน้อยได้อีกด้วย ด้านคุณภาพของข้าวเมื่อใช้เทอร์โมไซฟอนเทียบกับการระบายความร้อนที่ใช้ลมเป่าจะมีค่าใกล้เคียงกัน และจากการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์พบว่ามีระยะคืนทุน คือ 8.2 ปี และอัตราผลตอบแทนคือ 8.6% เมื่อเทียบกับระบบที่ใช้พัดลม 1/8 hp ในการระบายความร้อนสัดส่วนเวลาทำงานของพัดลมคือ 20% ต่อปี

จากผลงานวิจัยของ P. Charoensawan et. al. (2003) [4] เรื่อง ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ Part A; parametric experimental investigation ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนที่ซับซ้อนเกิดจากแรงขับเคลื่อนของคลื่นแรงดันที่ไม่แน่นอนอย่างรุนแรง ซึ่งจะมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพทางความร้อนที่มีผลต่อการทำงานจะขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ จำนวนโค้งเลี้ยว สารทำงานและมุมเอียงของอุปกรณ์ ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบทำจากท่อทองแดงที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 2 mm และ 1 mm ให้ความร้อนโดยน้ำร้อนที่อุณหภูมิ 80°C และให้ความเย็นโดยน้ำผสมกับแอสเทอรีนไกล์คอลที่ความเข้มข้น 50% โดยปริมาตร โดยที่จำนวนโค้งเลี้ยวในส่วนของ Evapolator แปรผันตั้งแต่ 5-23 โค้งเลี้ยวโดยมีสารทำงานที่ใช้ในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบคือ น้ำ เอทานอล และ R123 ซึ่งผลลัพธ์คือจำนวนโค้งเลี้ยวและแรงโน้มถ่วงมีผลต่อประสิทธิภาพของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบรวมทั้งสมบัติทางกายภาพของสารทำงานก็มีผลต่อประสิทธิภาพด้วยเช่นกัน

จากผลงานวิจัยของ S. Chumnumwat and P. Charoensawan (2011) [9] เรื่อง การศึกษาการกระจายอุณหภูมิในการเก็บข้าวเปลือกโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ ศึกษาระบบระบายความร้อนของข้าวเปลือก 1,000 kg โดยข้าวเปลือกมีความชื้นที่ 26.9% มาตรฐานเปียก ที่เก็บอยู่ในถังทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.25 m สูง 1.5 m ที่ระบายความร้อนด้วยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบโดยทำจากท่อทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.0014 mm และขนาดมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 0.0022 mm ซึ่งมีสาร R134a เป็นสารทำงาน ท่อถูกดัดเป็นวงรอบภายในถัง ซึ่งจะทำให้การกระจายอุณหภูมิของข้าวเปลือกได้ดี การเลือกพิจารณาการกระจายอุณหภูมิมีการจัดเก็บข้อมูลเป็นเวลา 100 ชั่วโมง อุณหภูมิสูงสุดจะเกิดบริเวณตรงกลางและอุณหภูมิจะลดลงตามลำดับ ซึ่งแบบจำลองสามารถทำนายการกระจายอุณหภูมิในถังเก็บข้าวเปลือกโดยไม่มีการระบายความร้อนที่ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ ±1.4% และการกระจายอุณหภูมิในข้าวเปลือกจะขึ้นอยู่กับระยะเวลา ระยะห่างระหว่างท่อแต่ละวงรอบการจัดวางท่อความร้อนจะเหมาะสมที่ระยะห่างระหว่างท่อแต่ละวงรอบเท่ากับ 0.052 m โดยพบว่าอุณหภูมิข้าวเปลือกที่เก็บไว้ในถังที่มีการระบายความร้อนด้วยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบจะมีค่าต่ำกว่ากรณีที่ไม่มีการติดตั้งท่อความร้อนอย่างมาก

จากผลงานวิจัยของ คเณศ มูลเทพ, ณัฐพล รัตนะ และ เอกชัย อักษรผดุงกุล (2010) [10] เรื่อง การควบคุมอุณหภูมิของข้าวเปลือกด้วยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ เพื่อสร้างระบบระบายความร้อนของข้าวเปลือกขนาด 500 kg ที่บรรจุอยู่ในถังทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 m และมีความสูง 1 m โดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบเป็นตัวระบายความร้อน โดยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ใช้ทำจากท่อคาปิลลารีทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลายภายในเท่ากับ 1.4 mm มีส่วนทำระเหยยาวเท่ากับ 0.5 m มีส่วนควบแน่นยาวเท่ากับ 1 m และมี R134a เป็นสารทำงานโดยมีอัตราส่วนการเติมที่ 50% ของปริมาตรภายในท่อทั้งหมด โดยมีการเปรียบเทียบอุณหภูมิของ

ข้าวเปลือกที่มีการติดตั้งระบบระบายความร้อนกับข้าวเปลือกที่ไม่มีการระบายความร้อน จากการศึกษาพบว่าเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ไม่มีระบบระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อเวลาผ่านไป 60 hr ข้าวเปลือกมีอุณหภูมิเฉลี่ยเท่ากับ 48°C และมีเปอร์เซ็นต์ความชื้นอยู่ที่ 21% มาตรฐานเปียก ซึ่งอุณหภูมิที่สูงขึ้นนั้นจะทำให้ข้าวเปลือกเกิดการเสื่อมคุณภาพอย่างรวดเร็ว ขณะที่ข้าวเปลือกที่มีระบบระบายความร้อนโดยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบเมื่อเริ่มการเก็บอุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนเมื่อเวลาการเก็บผ่านไป 48 hr อุณหภูมิจะเริ่มคงที่และเริ่มลดลงเล็กน้อย จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบสามารถระบายความร้อนที่เกิดขึ้นในข้าวเปลือกได้ แต่เนื่องจากโดยทั่วไปการเก็บรักษาข้าวเปลือกจะต้องมีอุณหภูมิอยู่ในช่วง 28-29°C จึงจะสามารถรักษาคุณภาพของข้าวเปลือกไว้ได้ ดังนั้นจึงจะต้องมีการพัฒนาและศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบต่อไป

บทที่ 3
วิธีดำเนินการ

3.1 การสำรวจและเก็บรวบรวมข้อมูล

การสำรวจและรวบรวมข้อมูล เป็นการศึกษาการทำงานของระบบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในการระบายความร้อนในข้าวเปลือกตามทฤษฎีที่เกี่ยวข้องจากแหล่งข้อมูลต่างๆ ซึ่งสามารถแสดงเป็นข้อๆ ได้ดังนี้

3.1.1 ศึกษาการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย
- ลักษณะการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ
- การสร้างท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ สารทำงาน และอัตราการเติมสารทำงาน
- ปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

3.1.2 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับข้าวเปลือก คือ วิธีการเก็บรักษาแบบต่างๆ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ ค่าความหนาแน่น ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

3.1.3 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับขนาดของถังที่เก็บข้าวเปลือกขนาด 500 kg

3.2 ตัวแปรในการทดสอบ

3.2.1 ตัวแปรควบคุม
- ข้าวเปลือกพันธุ์พิษณุโลก 2
- ถังบรรจุทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 m และมีความสูง 1 m
- ท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.4 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 2.2 mm มีความยาวส่วนทำระเหย 60 cm ส่วนควบแน่น 30 cm มีจำนวน โค้งเลี้ยว 33 โค้งเลี้ยวและใช้ R134a เป็นสารทำงานโดยอัตราการเติมสารทำงาน 50% ของปริมาตรภายในท่อ
- มีความชื้นเริ่มต้นที่ 14% มาตรฐานเปียก และ 26% มาตรฐานเปียก

3.2.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง
- เก็บรักษาข้าวเปลือกโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบช่วยในการระบายความร้อนในข้าวเปลือกที่ความชื้น 14% มาตรฐานเปียก และ 26% มาตรฐานเปียก
- เก็บรักษาข้าวเปลือกโดยไม่มีการระบายความร้อนในข้าวเปลือกที่ความชื้น 14% มาตรฐานเปียก และ 26% มาตรฐานเปียก

3.3 ขั้นตอนการสร้างและติดตั้งท่อความร้อน

3.3.1 การสร้างท่อความร้อน

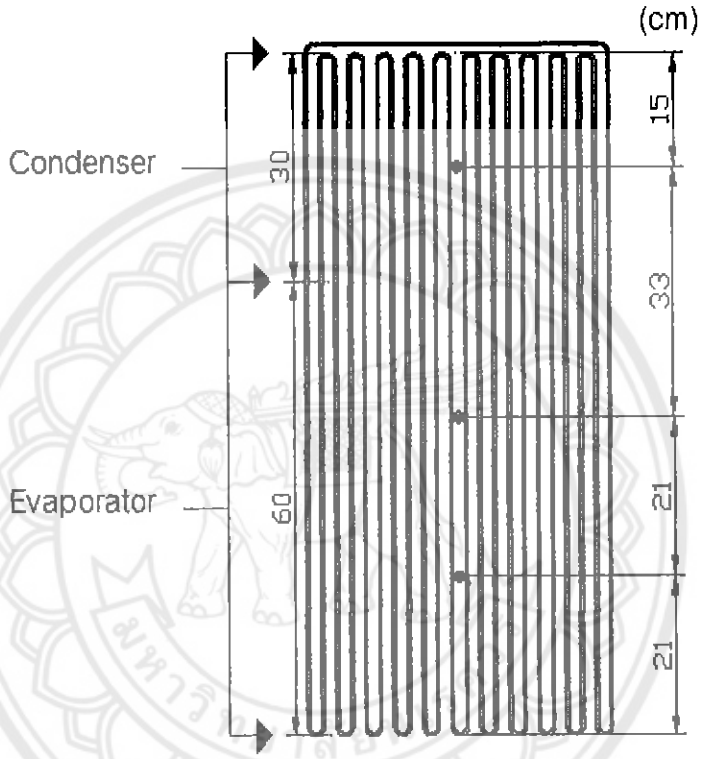
3.3.1.1 นำท่อความร้อนคาปิลลารีทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 1.4 mm เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 2.2 mm มีความยาว 60 m มาขดเป็นวงรอบที่มีความยาว 90 cm โดยแบ่งเป็น 2 ส่วนคือส่วนทำระเหยมีความยาว 60 cm และส่วนควบแน่นยาว 30 cm ได้จำนวน 33 โค้งเลี้ยว (แสดงดังรูปที่ 3.1) จากการทดลองจะสร้างขึ้นจำนวน 32 ท่อ

รูปที่ 3.1 ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

3.3.1.2 จากนั้นนำมามัดติดกับแผ่นสังกะสีให้มีระยะห่างระหว่างท่อ 2 cm และทำการเชื่อมปิดปลายทั้งสองเข้าหากัน จากนั้นนำมาต่อเข้ากับชุดเติมสารทำงานโดยจะทำให้ภายในท่อเป็นสุญญากาศเพื่อทดสอบว่ามีรอยรั่วหรือไม่ จากนั้นเติมสารทำงานเข้าไปเป็นปริมาณ 50% ของท่อ

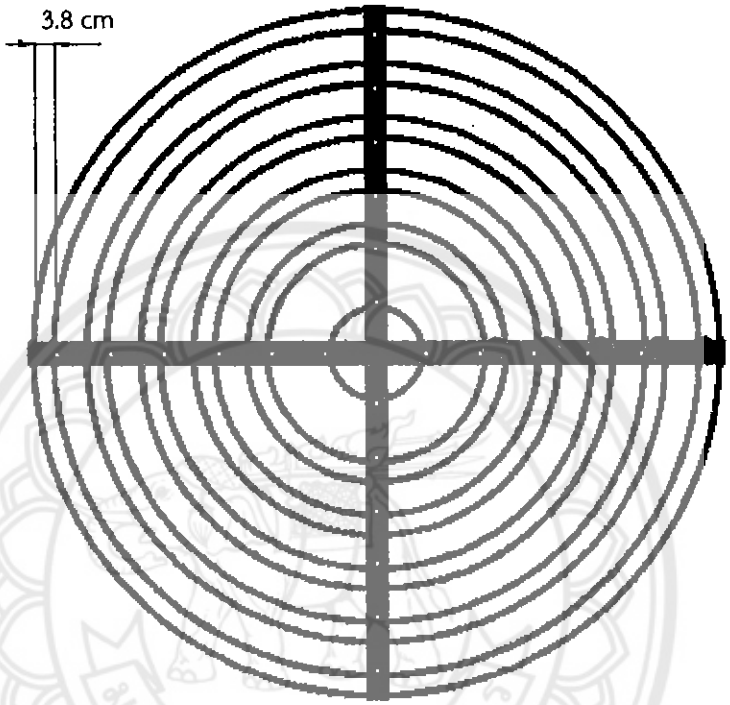
3.3.2 การติดตั้งท่อความร้อน

3.3.2.1 นำสายเทอร์โมคัปเปิลมาติดตั้งกับท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่เติมสารทำงานเรียบร้อยแล้วเพื่อวัดอุณหภูมิตามจุด โดยติดตั้ง 3 จุด แบ่งเป็นติดตั้งที่ส่วนทำระเหย 2 จุดและส่วนควบแน่น 1 จุดจะมีระยะห่างในการติดตั้งแต่ละจุด (แสดงดังรูปที่ 3.2)

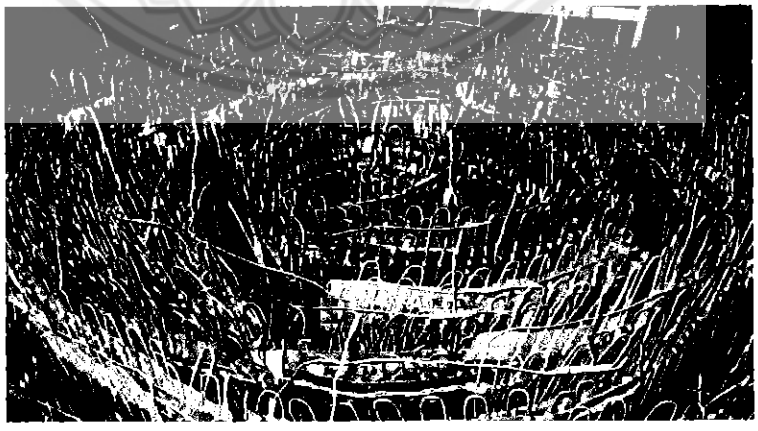


รูปที่ 3.2 จุดติดตั้งสายเทอร์โมคัปเปิลเพื่อใช้วัดอุณหภูมิข้าวเปลือก

3.3.2.2 ติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบลงในถังเก็บข้าวเปลือก ทำมุมเอียง 90° กับแนวระดับมีชุดท่อที่ติดเทอร์โมคัปเปิลจำนวน 6 ชุด (แสดงดังรูปที่ 3.3) และจัดวางท่อเป็น 6 วงรอบตามแนวรัศมี (แสดงดังรูปที่ 3.4)

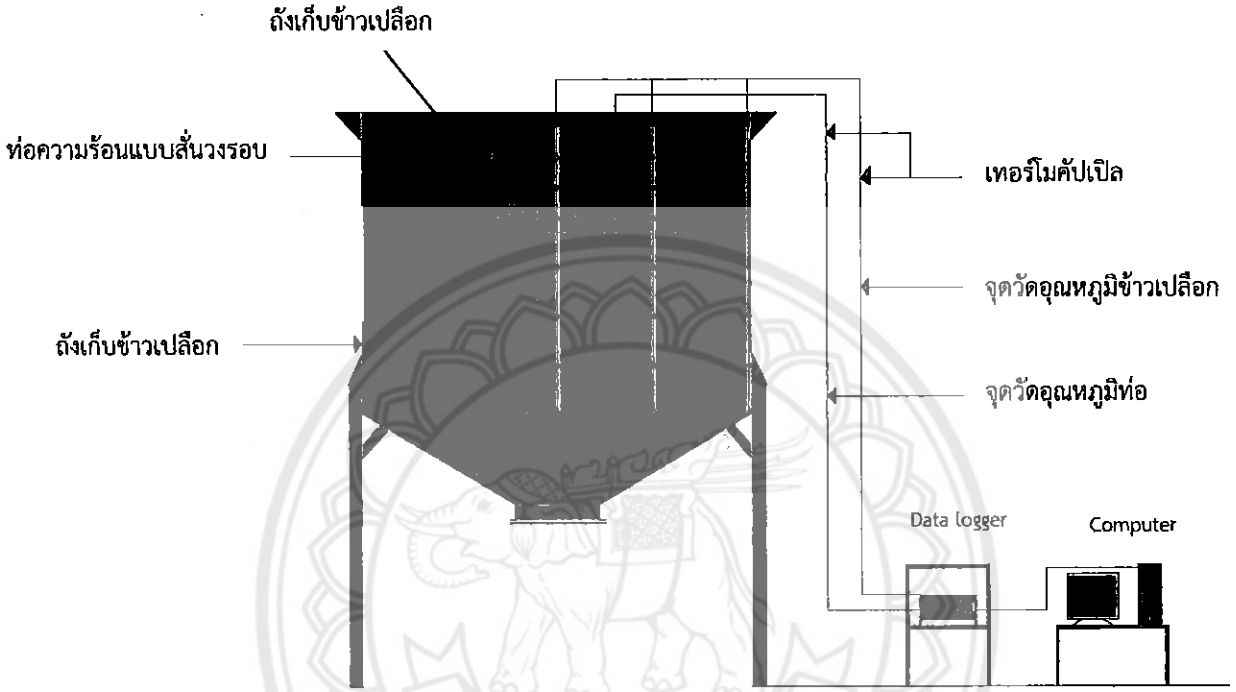


รูปที่ 3.3 วงรอบตามแนวรัศมีที่ใช้ติดตั้งจุดวัดอุณหภูมิของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ



รูปที่ 3.4 การติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบตามแนวรัศมี

3.4.2.3 นำสายเทอร์โมคัปเปิลต่อเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูลเพื่อทำการบันทึกค่าอุณหภูมิของข้าวเปลือก และท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ จากนั้นต่อเครื่องบันทึกข้อมูลเข้ากับเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อทำการเก็บผลการทดลอง (แสดงดังรูปที่ 3.5)

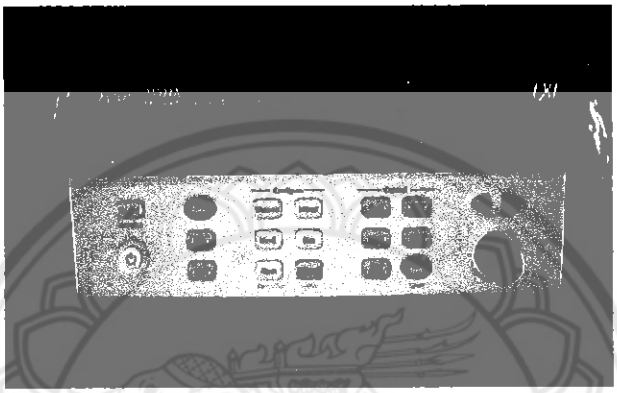


รูปที่ 3.5 การต่อสายเทอร์โมคัปเปิลเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล

3.4 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

3.4.1 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger)

ยี่ห้อ Agilent รุ่น 34970 ขนาด 40 ช่องสัญญาณ มีความแม่นยำ $\pm 1^{\circ}C$ ช่วงการวัด $-100^{\circ}C$ ถึง $1200^{\circ}C$ (แสดงดังรูปที่ 3.6)



รูปที่ 3.6 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger)

3.4.2 สายเทอร์โมคัปเปิล

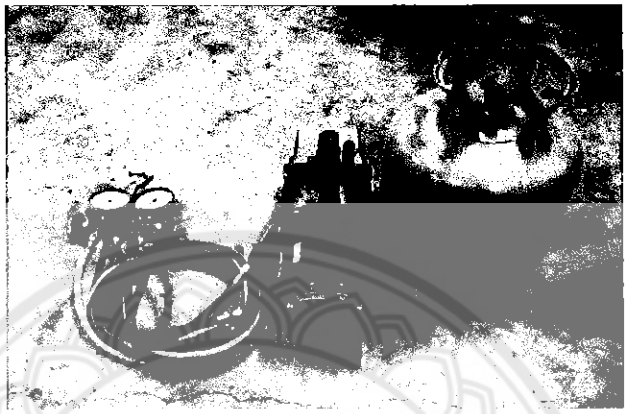
ใช้ร่วมกับเครื่องบันทึกข้อมูลในข้อ 3.5.1 เพื่อทำการวัดอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่จุดต่างๆ ภายในถังเก็บข้าวเปลือก (แสดงดังรูปที่ 3.7)

รูปที่ 3.7 สายเทอร์โมคัปเปิล

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

3.4.3 ชุดเติมสารทำงาน

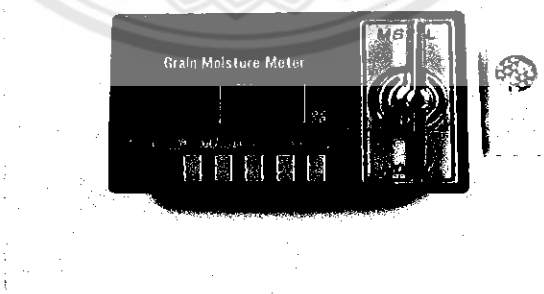
เป็นชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการเติมสารทำงานเข้าสู่ท่อความร้อน ซึ่งประกอบด้วย วาล์ว เกจวัดความดัน สายเติมสารทำงาน ปั๊มสุญญากาศ และถังบรรจุสารทำงาน R134a (แสดงดังรูปที่ 3.8)



รูปที่ 3.8 ชุดเติมสารทำงาน R134a

3.4.4 เครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือก

จะใช้วัดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก โดยจะเลือกกดที่ปุ่ม (Paddy) เพื่อทำการวัดความชื้นข้าวเปลือก (แสดงดังรูปที่ 3.9)

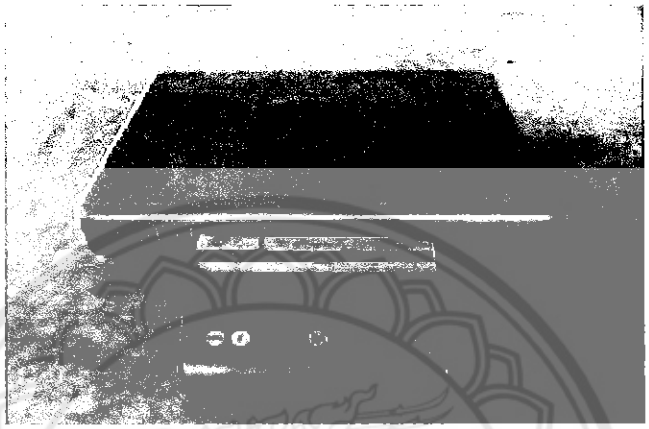


รูปที่ 3.9 เครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือก

I5998876
ม.
ณ342ก
2554

3.4.6 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด

ยี่ห้อ Mettler Toledo มีช่วงน้ำหนักที่จะชั่ง 0.005 kg ถึง 60 kg ใช้ในการชั่งน้ำหนักเวลาเติมสารทำความเย็นเข้าสู่ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ (แสดงดังรูปที่ 3.10)

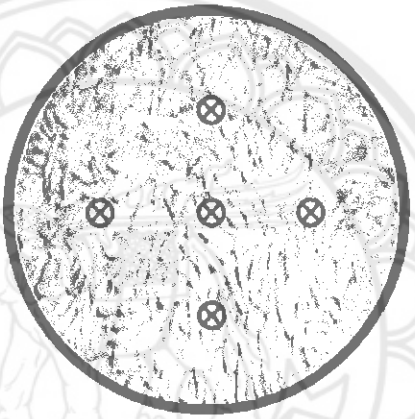


รูปที่ 3.10 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบละเอียด

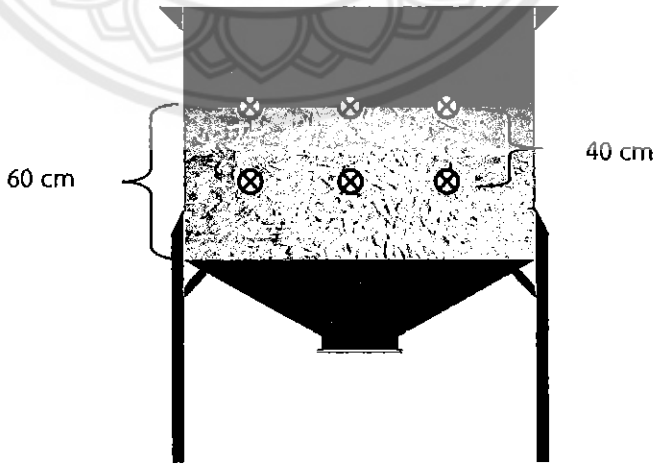
3.5 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพ

3.5.1 เปิดเครื่องบันทึกอุณหภูมิเพื่อทำการเก็บค่าอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ความชื้น 14% มาตรฐานเปียก โดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในการระบายความร้อนในข้าวเปลือกทุกครึ่งชั่วโมง โดยเริ่มเก็บตั้งแต่วันที่ 18 มกราคม 2555 เวลา 06.00 น. ถึงวันที่ 22 มกราคม 2555 เวลา 12.00 น.

3.5.2 ทำการเก็บค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและค่าความชื้นข้าวเปลือกทุกๆ 6 ชั่วโมง โดยเก็บค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศสภาพแวดล้อม 1 จุด และเก็บค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่พื้นผิวด้านบน 5 จุด ภายในถังเก็บข้าวเปลือกอีก 5 จุด (ดังรูปที่ 3.11 และรูปที่ 3.12)



รูปที่ 3.11 ภาพด้านบนถังแสดงจุดเก็บค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่พื้นผิวด้านบน 5 จุด



รูปที่ 3.12 ภาพด้านข้างถังแสดงจุดเก็บค่าความชื้นภายในถังเก็บข้าวเปลือก 5 จุด

3.5.3 เปิดเครื่องบันทึกอุณหภูมิเพื่อทำการเก็บค่าอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ความชื้น 14% มาตรฐานเปียก โดยไม่มีการระบายความร้อนในข้าวเปลือกทุกครึ่งชั่วโมงโดยเริ่มเก็บตั้งแต่วันที่ 22 มกราคม 2555 เวลา 18.00 น. ถึงวันที่ 26 มกราคม 2555 เวลา 00.00 น.

3.5.4 ทำการเก็บค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและค่าความชื้นข้าวเปลือกทุกๆ 6 hr โดยเก็บค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศสภาพแวดล้อม 1 จุด และเก็บค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่พื้นผิวด้านบน 5 จุด ภายในถังเก็บข้าวเปลือกอีก 5 จุด (ดังรูปที่ 3.11 และรูปที่ 3.12)

3.5.5 เปิดเครื่องบันทึกอุณหภูมิเพื่อทำการเก็บค่าอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ความชื้น 26% มาตรฐานเปียก โดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในการระบายความร้อนในข้าวเปลือกทุกครึ่งชั่วโมง โดยเริ่มเก็บตั้งแต่วันที่ 9 กุมภาพันธ์ 2555 เวลา 18.00 น.ถึงวันที่ 13 มกราคม 2555 เวลา 00.00 น.

3.5.6 ทำการเก็บค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและค่าความชื้นข้าวเปลือกทุกๆ 6 hr โดยเก็บค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศสภาพแวดล้อม 1 จุด และเก็บค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่พื้นผิวด้านบน 5 จุด ภายในถังเก็บข้าวเปลือกอีก 5 จุด (ดังรูปที่ 3.11 และรูปที่ 3.12)

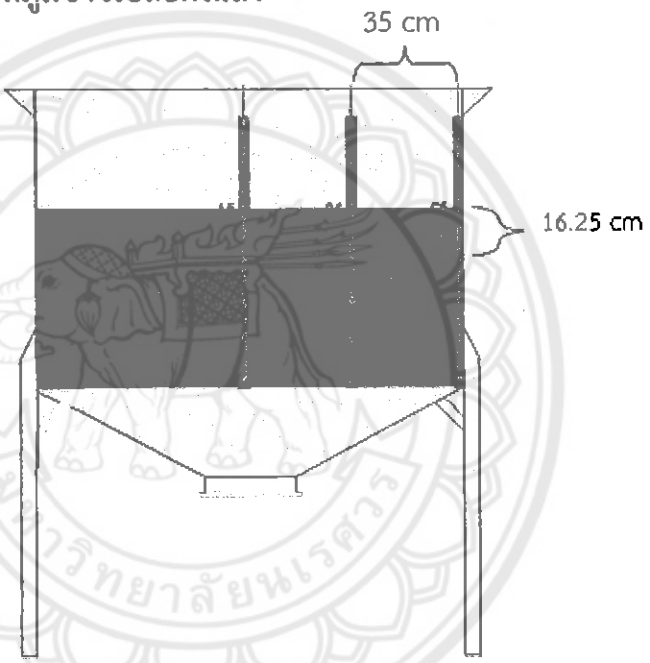
3.5.7 เปิดเครื่องบันทึกอุณหภูมิเพื่อทำการเก็บค่าอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ความชื้น 26% มาตรฐานเปียก โดยไม่มีการระบายความร้อนในข้าวเปลือกทุกครึ่งชั่วโมงโดยเริ่มเก็บตั้งแต่วันที่ 14 กุมภาพันธ์ 2555 เวลา 06.00 น. ถึงวันที่ 18 กุมภาพันธ์ 2555 เวลา 18.00 น.

3.5.8 ทำการเก็บค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและค่าความชื้นข้าวเปลือกทุกๆ 6 hr โดยเก็บค่าความชื้นสัมพัทธ์อากาศสภาพแวดล้อม 1 จุด และเก็บค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่พื้นผิวด้านบน 5 จุด ภายในถังเก็บข้าวเปลือกอีก 5 จุด (ดังรูปที่ 3.11 และรูปที่ 3.12)

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ผลการทดลองเก็บข้าวเปลือกในถังที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ และไม่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ ได้ผลดังนี้

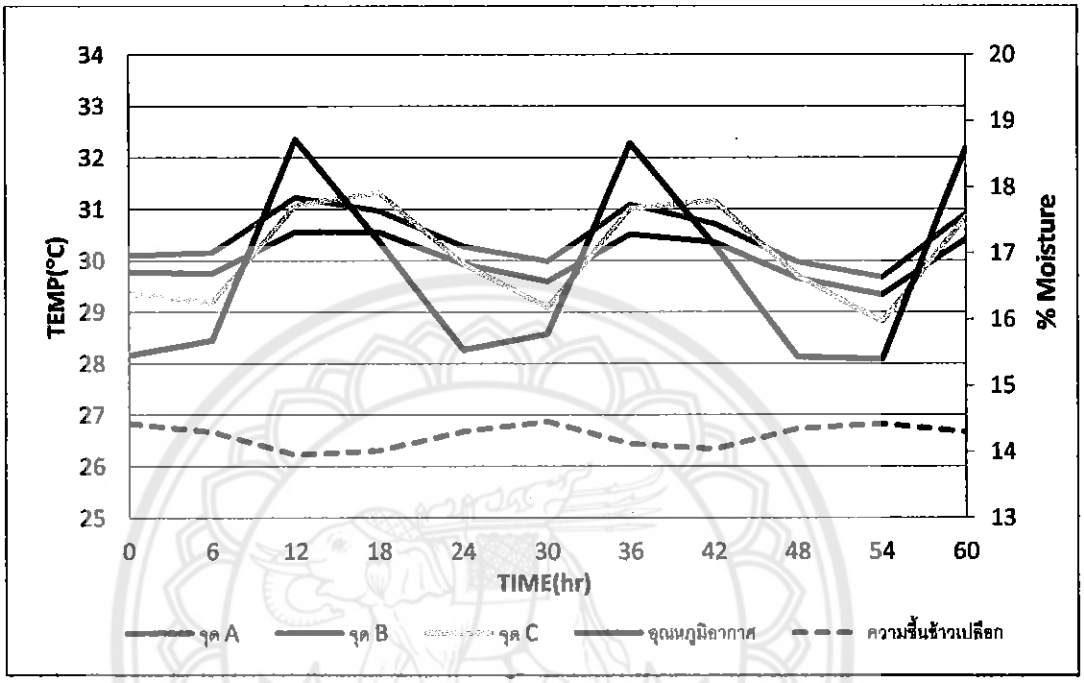
4.1 การแสดงจุดวัดอุณหภูมิข้าวเปลือกในถัง



รูปที่ 4.1 การแสดงจุดวัดอุณหภูมิข้าวเปลือกในถังเก็บ

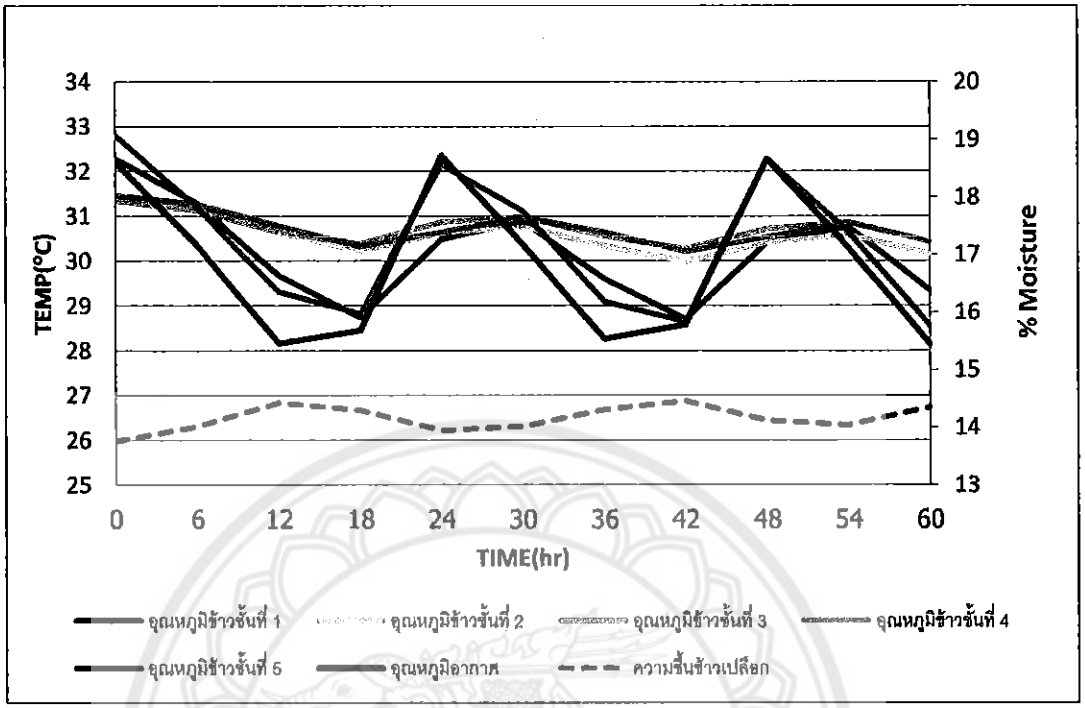
รูปที่ 4.1 การแสดงจุดวัดอุณหภูมิข้าวเปลือกในถัง ซึ่งจุด A เป็นจุดที่อยู่บริเวณตรงกลางถังเก็บข้าวเปลือก โดยจุด A ประกอบไปด้วยจุด A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 ซึ่งเป็นจุดวัดอุณหภูมิในแต่ละชั้น ตามรูปที่ 4.1 และจุด B เป็นจุดที่ห่างจากจุดศูนย์กลางออกมาตามแนวรัศมีเป็นระยะ 35 cm ประกอบไปด้วยจุด B_1 B_2 B_3 B_4 B_5 ซึ่งเป็นจุดวัดอุณหภูมิแต่ละชั้น และจุด C เป็นจุดที่ห่างจากจุดศูนย์กลางออกมาตามแนวรัศมีเป็นระยะ 70 cm ซึ่งจะอยู่ติดกับขอบถังข้าวเปลือกประกอบไปด้วยจุด C_1 C_2 C_3 C_4 C_5 ซึ่งเป็นจุดวัดอุณหภูมิในแต่ละชั้นเช่นกัน โดยจะเรียกระนาบจุดที่ A_5 B_5 และ C_5 ว่าชั้นที่ 5 ระนาบจุดที่ A_4 B_4 และ C_4 ว่าชั้นที่ 4 ระนาบจุดที่ A_3 B_3 และ C_3 ว่าชั้นที่ 3 ระนาบจุดที่ A_2 B_2 และ C_2 ว่าชั้นที่ 2 ระนาบจุดที่ A_1 B_1 และ C_1 ว่าชั้นที่ 1

4.2 ผลการทดลองเก็บข้าวเปลือกในถังที่ไม่มีการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้น 14% มาตรฐานเปียก



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิและความชื้นของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาโดยไม่มีการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในแนวรัศมี

จากรูปที่ 4.2 เส้นกราฟอุณหภูมิข้าวเปลือก จุด A จุด B และ จุด C ค่าเฉลี่ยมีแนวโน้มที่ลดลง โดยอุณหภูมิข้าวเปลือกจะลดลงในช่วงเวลาอุณหภูมิของอากาศต่ำกว่าอุณหภูมิข้าวเปลือกจึงทำให้ความร้อนจากการหายใจของข้าวเปลือกถูกระบายออกโดยการพาความร้อนแบบธรรมชาติจากผิวด้านบนของข้าวเปลือกและด้านข้างของถังเก็บข้าวเปลือก ข้าวเปลือกจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากเกิดความร้อนสะสมที่เกิดจากการหายใจของข้าวเปลือกเมื่ออุณหภูมิของอากาศภายนอกสูงจะไม่มีการถ่ายเทความร้อนของข้าวเปลือก ส่วนจุด C จะมีอุณหภูมิสูงสุดในเวลาที่อุณหภูมิอากาศสูงเพราะอยู่ติดบริเวณผนังจึงเกิดการนำความร้อนเข้าและออกผ่านผนังถังเก็บข้าวเปลือกมากที่สุด ส่วนความชื้นจะลดลงเล็กน้อยในช่วงอุณหภูมิอากาศสูงขึ้น ทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลงความชื้นของข้าวเปลือกจึงระเหยสู่อากาศ และช่วงอากาศเย็นจะมีความชื้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเพราะความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมากทำให้ความชื้นในข้าวเปลือกไม่สามารถระเหยสู่อากาศได้



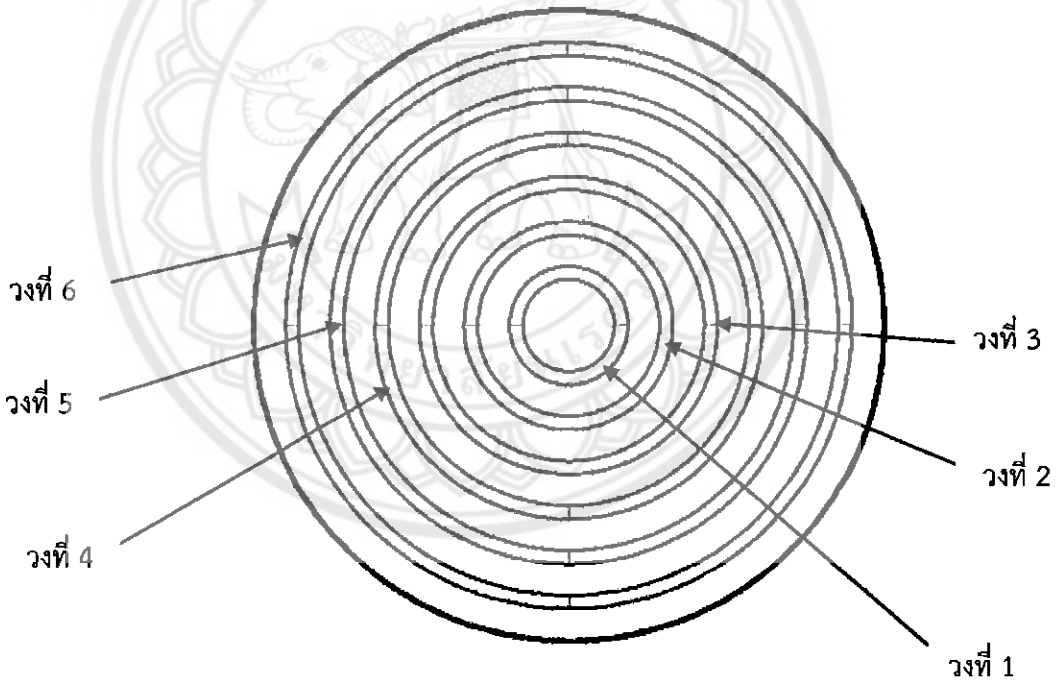
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิและความชื้นของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาโดยไม่มีท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในแนวตั้ง

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิในแต่ละชั้นมีแนวโน้มลดลงโดยที่อุณหภูมิข้าวเปลือกชั้นที่ 1 กับอุณหภูมิข้าวเปลือกชั้นที่ 5 จะมีค่าต่ำสุดเมื่ออุณหภูมิอากาศต่ำสุดเนื่องจากเกิดการพาความร้อนแบบธรรมชาติบริเวณพื้นของถังเก็บและบริเวณผิวด้านบนของข้าวเปลือก (ดูรูปที่ 4.1 ประกอบ) ส่วนอุณหภูมิของข้าวเปลือกชั้นที่ 4 ชั้นที่ 3 และชั้นที่ 2 จะมีค่าใกล้เคียงกันและจะเห็นได้ว่าความชื้นจะแปรผกผันกับอุณหภูมิของชั้นข้าวเปลือกและอุณหภูมิอากาศ คือเมื่ออุณหภูมิอากาศกับอุณหภูมิข้าวเปลือกสูงขึ้นความชื้นจะมีค่าน้อยลงและถ้าอุณหภูมิของอากาศกับอุณหภูมิข้าวเปลือกลดลงความชื้นจะมีค่าเพิ่มขึ้น

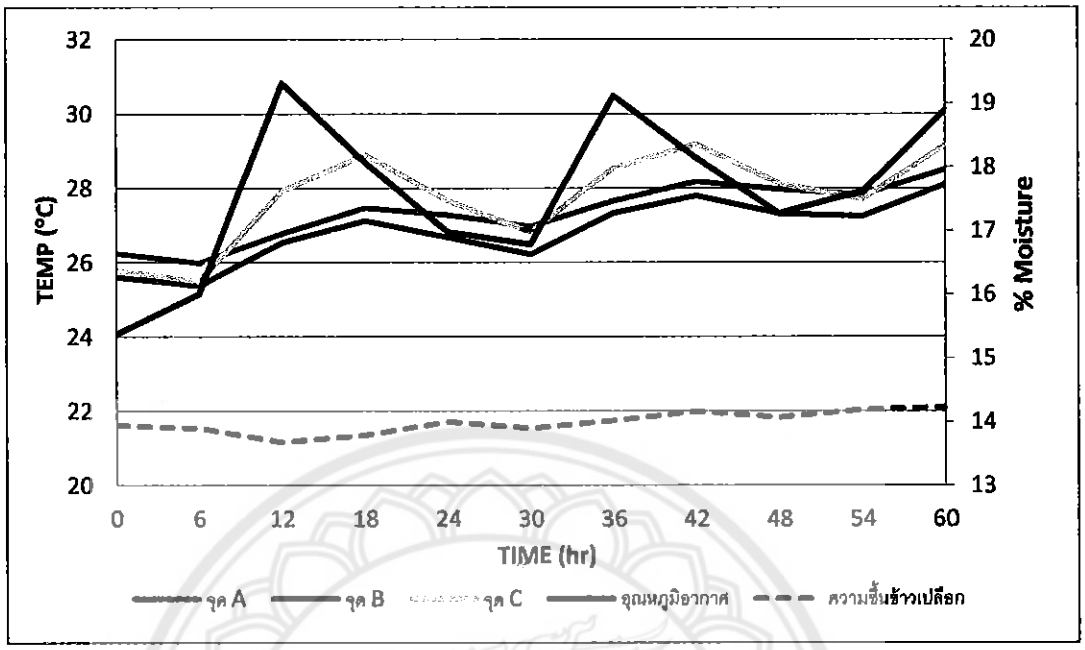
เมื่อการเก็บข้อมูลเป็นเวลา 60 hr จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยของข้าวเปลือกจะอยู่ที่ 30^{o}C และการเก็บรักษาข้าวเปลือกในสภาวะนี้เมื่อนำข้อมูลไปเปรียบเทียบกับตาราง 2.1 จะพบว่าสามารถเก็บรักษาข้าวได้นานประมาณ 4 สัปดาห์ โดยไม่เกิดความเสียหาย ความชื้นข้าวเปลือกเฉลี่ยจะอยู่ที่ 14% มาตรฐานเปียก

4.3 ผลการทดลองเก็บข้าวเปลือกในถังที่มีการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้น 14%มาตรฐานเปียก

จำนวนท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในแต่ละวงจะไม่เท่ากันโดยวงที่ 1 มี 1 แผง วงที่ 2 ใช้ 3 แผง วงที่ 3 ใช้ 4 แผง วงที่ 4 ใช้ 8 แผง วงที่ 5 ใช้ 8 แผง วงที่ 6 ใช้ 8 แผง และมีปริมาณพื้นที่ระบายความร้อนแต่ละวงไม่เท่ากัน (แสดงดังรูปที่ 4.4) โดยมีปริมาณความหนาแน่นของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบต่อพื้นที่ข้าวเปลือก ทั้ง 6 วง มีดังนี้ โดยวงที่ 1 จะมีค่าเท่ากับ 0.0424 m^3/แผง และวงที่ 2 จะมีค่าเท่ากับ 0.0251 m^3/แผง วงที่ 3 จะมีค่าเท่ากับ 0.0283 m^3/แผง และวงที่ 4 จะมีค่าเท่ากับ 0.0187 m^3/แผง วงที่ 5 จะมีค่าเท่ากับ 0.0235 m^3/แผง และวงที่ 6 จะมีค่าเท่ากับ 0.0437 m^3/แผง ซึ่งค่าที่มากจะมีค่าความหนาแน่นของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบต่อพื้นที่ข้าวเปลือกน้อย

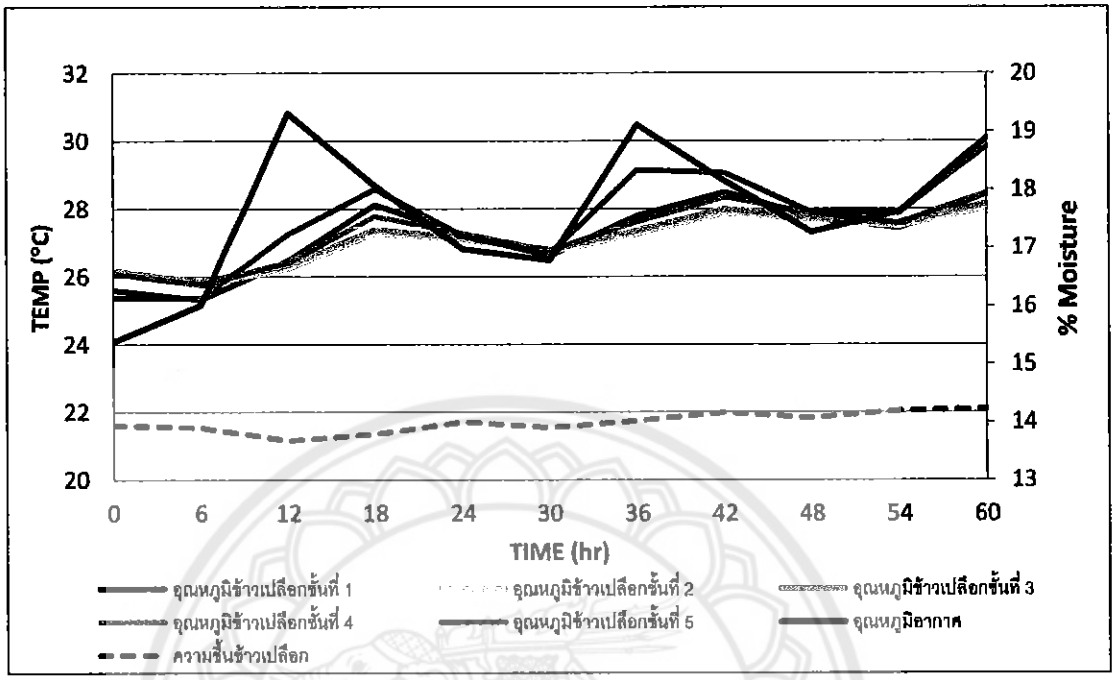


รูปที่ 4.4 ภาพแสดงพื้นที่ถ่ายเทความร้อนทั้ง 6 วงในถังเก็บข้าวเปลือก



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิและความชื้นของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาโดยมีการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในแนวรัศมี

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟอุณหภูมิของข้าวเปลือกจุด A จุด B และ C ค่าเฉลี่ยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยจุด C จะมีอุณหภูมิสูงสุดเนื่องจากท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบบริเวณนี้มีปริมาณความหนาแน่นของท่อต่อพื้นที่ข้าวเปลือกน้อยและการนำความร้อนจากอากาศเข้าสู่ข้าวเปลือกมากจึงทำให้เกิดความร้อนสะสมจากการหายใจของข้าวเปลือกมากกว่าจุด B และจุด A น้อยลงตามลำดับ สาเหตุที่เส้นกราฟอุณหภูมิมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจาก ในช่วงที่มีอุณหภูมิอากาศสูงกว่าอุณหภูมิของข้าวเปลือกจะทำให้ความร้อนที่เกิดจากการหายใจในข้าวเปลือกไม่สามารถระบายความร้อนออกสู่อากาศได้ จึงเกิดความร้อนสะสมในข้าวเปลือกมากขึ้น และช่วงเวลาการทดลองที่มีอุณหภูมิสูงมีผลทำให้เส้นแนวโน้มอุณหภูมิมีค่าเพิ่มขึ้น

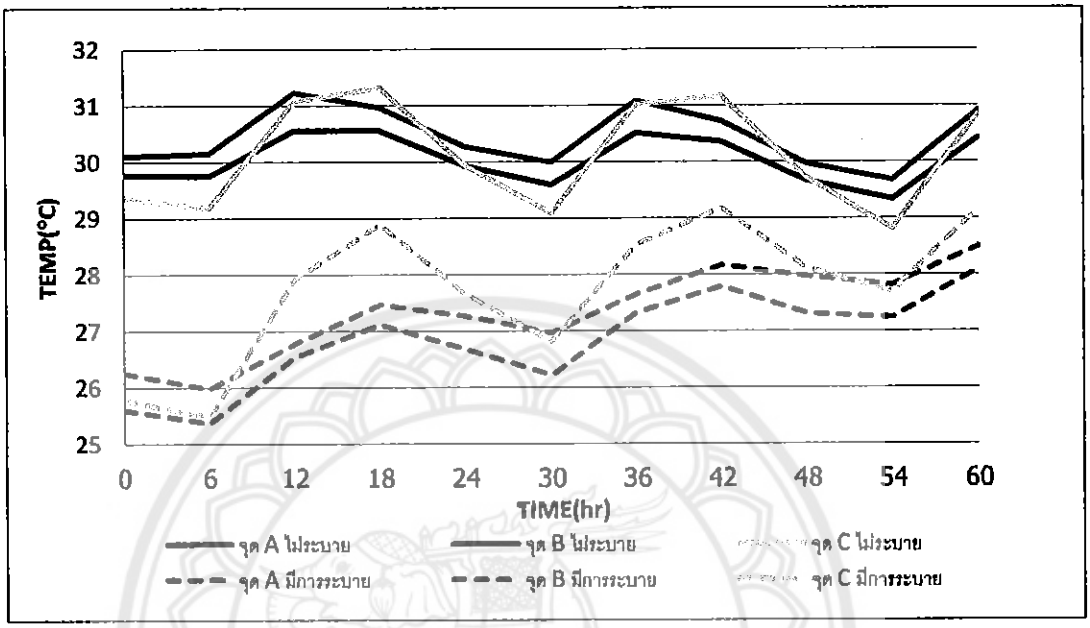


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิและความชื้นของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาโดยมีท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในแนวตั้ง

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟอุณหภูมิของข้าวเปลือกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากช่วงที่มีอุณหภูมิอากาศสูงจะเกิดความร้อนสะสมในข้าวเปลือก เพราะเส้นอุณหภูมิอากาศสูงนั้นจะส่งผลให้ความร้อนที่เกิดจากการหายใจของข้าวเปลือกไม่สามารถระบายความร้อนสู่อากาศภายนอกได้ โดยอุณหภูมิข้าวเปลือกชั้นที่ 5 และชั้นที่ 1 จะมีอุณหภูมิสูงสุดและลดลงตามลำดับเพราะอยู่บริเวณผิวด้านบนของข้าวเปลือกและด้านล่างของพื้นถังเก็บข้าวเปลือกจะเกิดการสะสมความร้อนมากที่สุด เพราะไม่สามารถระบายความร้อนสู่อากาศภายนอกได้ โดยอุณหภูมิชั้นที่ 4 ชั้นที่ 3 และชั้นที่ 2 จะมีอุณหภูมิที่สะสมความร้อนจากมากไปหาน้อยตามลำดับ

เมื่อเก็บข้อมูลเป็นเวลา 60 hr จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 28°C และความชื้นข้าวเปลือกเฉลี่ยอยู่ที่ 14% มาตรฐานเปียก อุณหภูมิเหมาะสมที่ทำการเก็บรักษาข้าวเปลือกเพราะทำให้เก็บรักษาข้าวเปลือกโดยไม่เสียหายได้ประมาณ 6-7 สัปดาห์ ดังตารางที่ 2.1 และมีคุณภาพข้าวแตกหักจากการสีน้อยที่สุด ดังตารางที่ 2.2

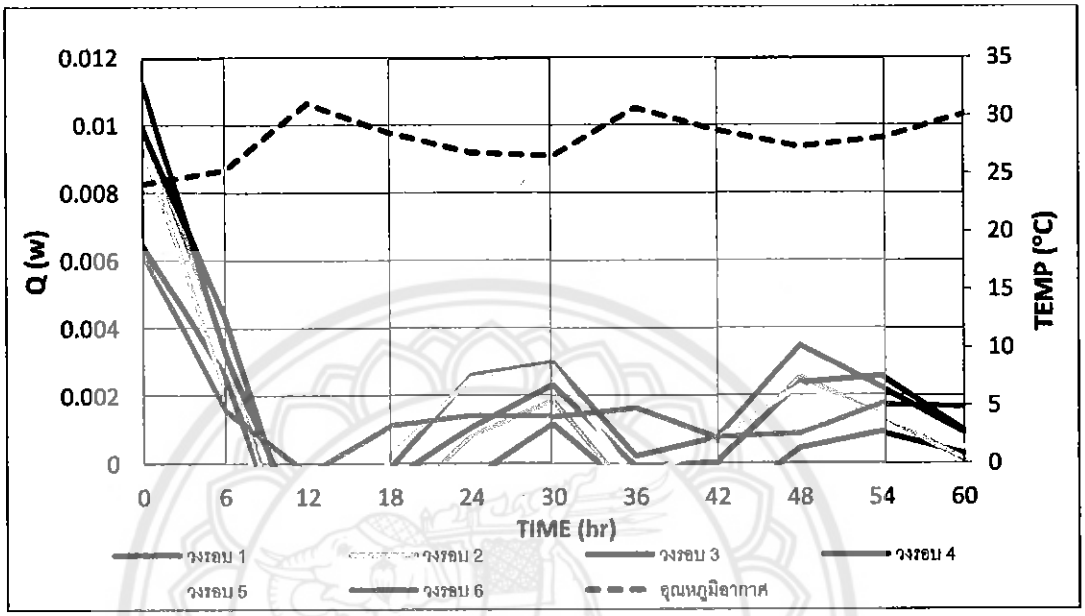
4.4 การเปรียบเทียบอุณหภูมิในถังข้าวเปลือกที่มีการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบและไม่ติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้น 14% มาตรฐานเปียก



รูปที่ 4.7 แสดงอุณหภูมิของข้าวเปลือกในถังเก็บข้าวเปลือกแบบติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบกับไม่ได้ติดตั้งในแนวรัศมี

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า ชุดเส้นกราฟอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบต่ำกว่าเส้นกราฟอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ไม่มีการระบายความร้อนในข้าวเปลือก ลักษณะช่วงแรกของชุดเส้นกราฟอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่มีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบกับอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ไม่มีการระบายความร้อนอุณหภูมิจะแตกต่างกันมาก แสดงว่าการระบายความร้อนในข้าวเปลือกโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบนั้นมีการระบายได้ดี แต่เนื่องจากชุดเส้นกราฟอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่มีการระบายความร้อนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามเวลาที่ใช้ในการทดลองที่มากขึ้น เพราะในช่วงที่มีอุณหภูมิอากาศสูงกว่าอุณหภูมิของข้าวเปลือกจะทำให้ความร้อนที่เกิดจากการหายใจในข้าวเปลือกไม่สามารถระบายความร้อนสู่อากาศได้ จึงเกิดความร้อนสะสมในข้าวเปลือกมากขึ้น และช่วงเวลาการทดลองที่มีอุณหภูมิสูงส่งผลทำให้เส้นแนวโน้มอุณหภูมิเพิ่มขึ้น

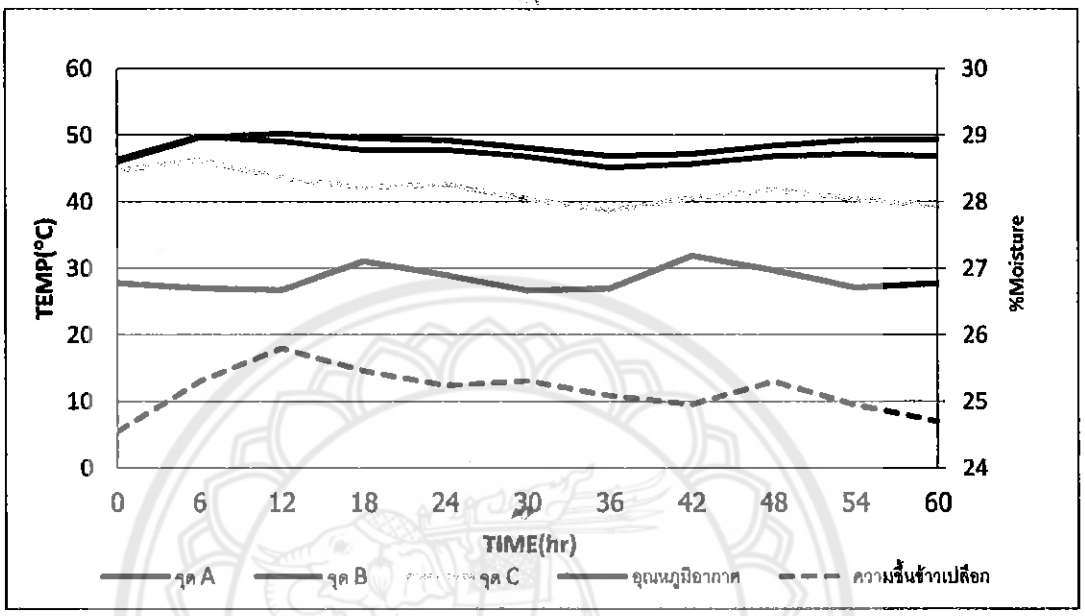
4.5 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในการระบายความร้อนในข้าวเปลือกที่ความชื้น 14% มาตรฐานเปียก



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิและอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

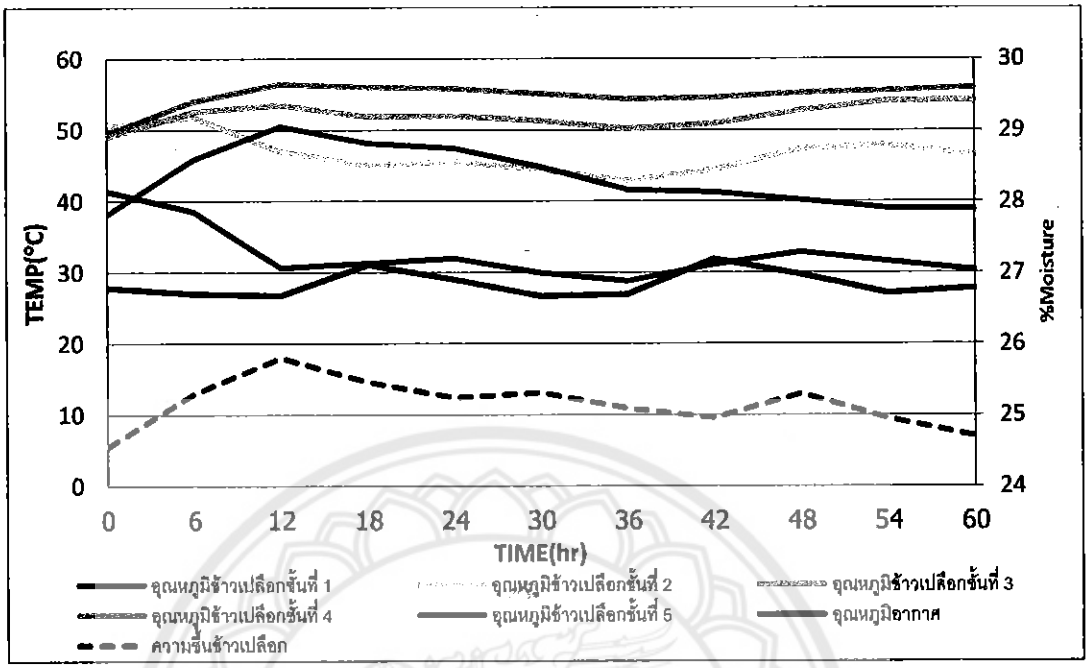
จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟของอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อ วงรอบที่ 5 วงรอบที่ 4 วงรอบที่ 3 วงรอบที่ 2 และวงรอบที่ 1 จะแปรผกผันกับเส้นอุณหภูมิอากาศ คือ เมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้นค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อจะมีค่าลดลงและเมื่ออุณหภูมิของอากาศต่ำลงค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจะสูงขึ้น ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจะถ่ายเทดีที่สุดในช่วงเวลากลางคืนซึ่งจะมีอุณหภูมิของอากาศต่ำ ส่วนในเวลากลางวันที่มีอุณหภูมิของอากาศสูงจะเห็นได้ว่าไม่มีการระบายความร้อนที่เกิดจากการหายใจของข้าวเปลือกสู่อุณหภูมิอากาศทำให้เกิดการสะสมความร้อนในข้าวเปลือกมากขึ้นจึงไม่เหมาะที่จะใช้ท่อความร้อนในช่วงที่มีอุณหภูมิอากาศสูง และจะสังเกตได้ว่าวงรอบที่ 6 จะมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สม่ำเสมอเพราะอยู่ติดกับขอบถังเก็บข้าวเปลือกจะมีการรับความร้อนมากโดยการนำความร้อนผ่านผนังท่อเข้ามากที่สุดในช่วงกลางวันและกลางคืนจะระบายความร้อนได้น้อยเพราะมีความหนาแน่นของท่อต่อพื้นที่ข้าวเปลือกน้อย โดยจะได้สมรรถนะเฉลี่ยของระบบเท่ากับ 1.7%

4.6 ผลการทดลองเก็บข้าวเปลือกในถังที่ไม่มีการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้น 26% มาตรฐานเปียก



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิและความชื้นของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาโดยไม่มีท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในแนวรัศมี

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นว่าเส้นกราฟจุด C (ดูรูป 4.1ประกอบ) เส้นอุณหภูมิมีแนวโน้มที่ลดลงเนื่องจากจุด C เป็นจุดที่อยู่ติดกับบริเวณผนังถังเก็บข้าวเปลือกจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการพาความร้อนแบบธรรมชาติระหว่างข้าวเปลือกในถังเก็บกับอุณหภูมิอากาศ ทำให้อุณหภูมิจุด C สูญเสียความร้อนที่เกิดจากการหายใจของข้าวเปลือกให้กับบรรยากาศมากที่สุดตามด้วยจุด B และจุด A ตามลำดับ โดยจุด B และจุด A จะมีอุณหภูมิใกล้เคียงกันซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ค่อนข้างสูง เนื่องจากเกิดความร้อนสะสมความร้อนจากการหายใจของข้าวเปลือกที่ไม่สามารถระบายความร้อนสู่อุณหภูมิอากาศได้ ส่วนเส้นความชื้นของข้าวเปลือกจะเพิ่มขึ้นและลดลงเล็กน้อย ถ้าอากาศมีอุณหภูมิสูงความชื้นสัมพัทธ์ลดลงจะทำให้ความชื้นจากข้าวระเหยสู่อากาศ ส่งผลให้ความชื้นข้าวเปลือกลดลง และถ้าอากาศมีอุณหภูมิต่ำจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์สูงทำให้ความชื้นในข้าวเปลือกไม่สามารถระเหยออกได้จึงก่อให้เกิดการงอกของข้าวเปลือกอีกทั้งยังเกิดเชื้อราและเกิดการเน่าของข้าวเปลือกด้วย



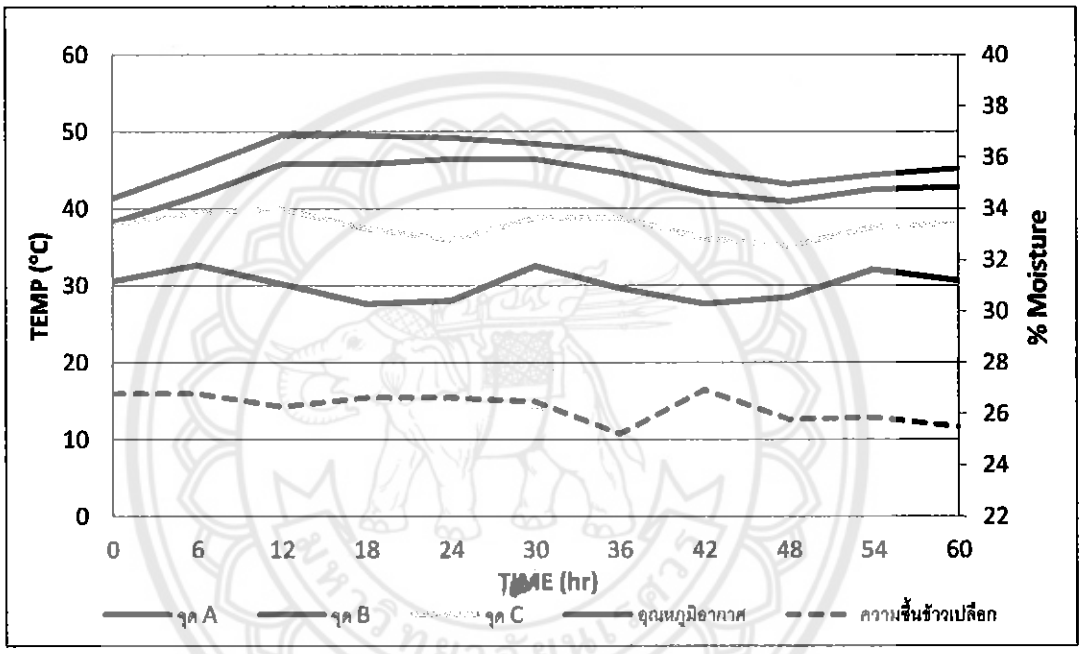
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิและความชื้นของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาโดยไม่มีท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในแนวตั้ง

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นว่าเส้นกราฟของอุณหภูมิข้าวเปลือกชั้นที่ 1 และชั้นที่ 5 จะมีอุณหภูมิต่ำสุดเนื่องจากอยู่บริเวณพื้นถังเก็บและด้านบนของผิวข้าวเปลือกของถังเก็บทำให้ความร้อนที่สะสมอยู่ในบริเวณชั้นที่ 1 และชั้นที่ 5 เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการพาความร้อนแบบธรรมชาติกับอากาศจึงทำให้มีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน ส่วนชั้นที่ 4 ชั้นที่ 3 และชั้นที่ 2 จะมีอุณหภูมิสูงและน้อยลงมาตามลำดับ เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีการสะสมของความร้อนที่เกิดจากการหายใจของข้าวเปลือกค่อนข้างสูงเพราะการพาความร้อนออกจากข้าวเปลือกมีน้อย ส่วนเส้นความชื้นของข้าวเปลือกจะเพิ่มขึ้นและลดลงเล็กน้อย ถ้าอากาศมีอุณหภูมิต่ำจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์สูงทำให้ความชื้นในข้าวเปลือกไม่สามารถระเหยออกได้จึงทำให้เกิดการงอกของข้าวเปลือกอีกทั้งยังเป็นสาเหตุของเชื้อราและการเน่าของข้าวเปลือก

ใช้เวลาเก็บข้อมูล 60 hr จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 48°C และความชื้นข้าวเปลือกเฉลี่ยอยู่ที่ 25% มาตรฐานเปียก ไม่เหมาะสมที่จะเก็บข้าวเปลือกเพราะการเก็บรักษาข้าวเปลือกเกิดความเสียหายเก็บรักษาได้ในระยะเวลาสั้น ดังตารางที่ 2.1 และคุณภาพข้าวแตกละเอียดในการสีข้าวมีมาก ดังตารางที่ 2.2

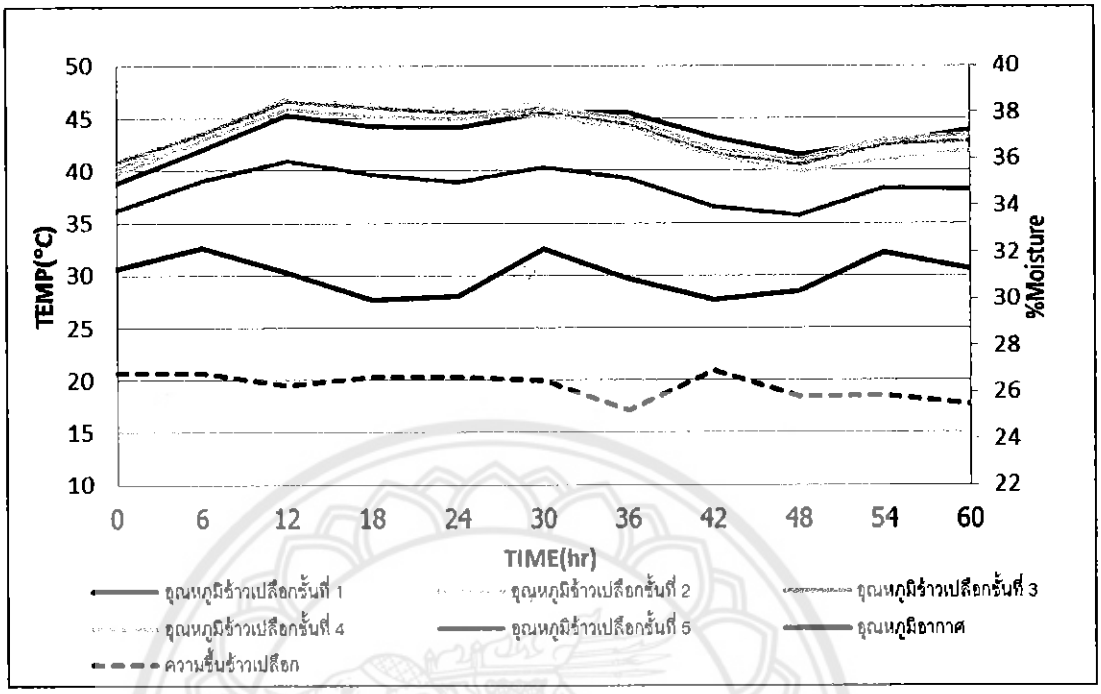
4.7 ผลการทดลองเก็บข้าวเปลือกในถังที่มีการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้น 26% มาตรฐานเปียก

ปริมาณความหนาแน่นของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบต่อพื้นที่ข้าวเปลือก ทั้ง 6 วงรอบจะมีจำนวนไม่เท่ากัน ตามที่กล่าวมาข้างต้นในระบบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบระบายความร้อนข้าวเปลือกที่ 14% มาตรฐานเปียก ดังรูป 4.4



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิและความชื้นของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาโดยมีการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในแนวรัศมี

จากรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิข้าวเปลือกที่จุด C จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดเนื่องจากอยู่ติดกับบริเวณผนังของถังเก็บข้าวเปลือกจึงเกิดการพาความร้อนแบบธรรมชาติระหว่างความร้อนของข้าวเปลือกที่เกิดจากการหายใจของข้าวเปลือกให้กับอุณหภูมิอากาศ ส่วนจุด B จะมีอุณหภูมิสูงที่สุดเนื่องจากมีความหนาแน่นของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบต่อพื้นที่ของข้าวเปลือกไม่เพียงพอทำให้แลกเปลี่ยนความร้อนได้น้อยจึงเกิดการสะสมความร้อนมากทำให้อุณหภูมิสูงกว่าจุดอื่น ส่วนจุด A จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุด B เพราะว่าจุด A อยู่บริเวณตรงกลางของถังเก็บความหนาแน่นของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบต่อพื้นที่ของข้าวเปลือกมีมากกว่าจึงทำให้ระบายความร้อนได้ดีกว่าจุด B แต่จะน้อยกว่าจุด C เพราะการสะสมความร้อนน้อยกว่า ส่วนเส้นความชื้นจะแปรผกผันกับอุณหภูมิของข้าวเปลือก คือ เมื่ออุณหภูมิของข้าวเปลือกสูงความชื้นจะลดลงและเมื่ออุณหภูมิของข้าวเปลือกลดลงความชื้นก็จะเพิ่มขึ้น

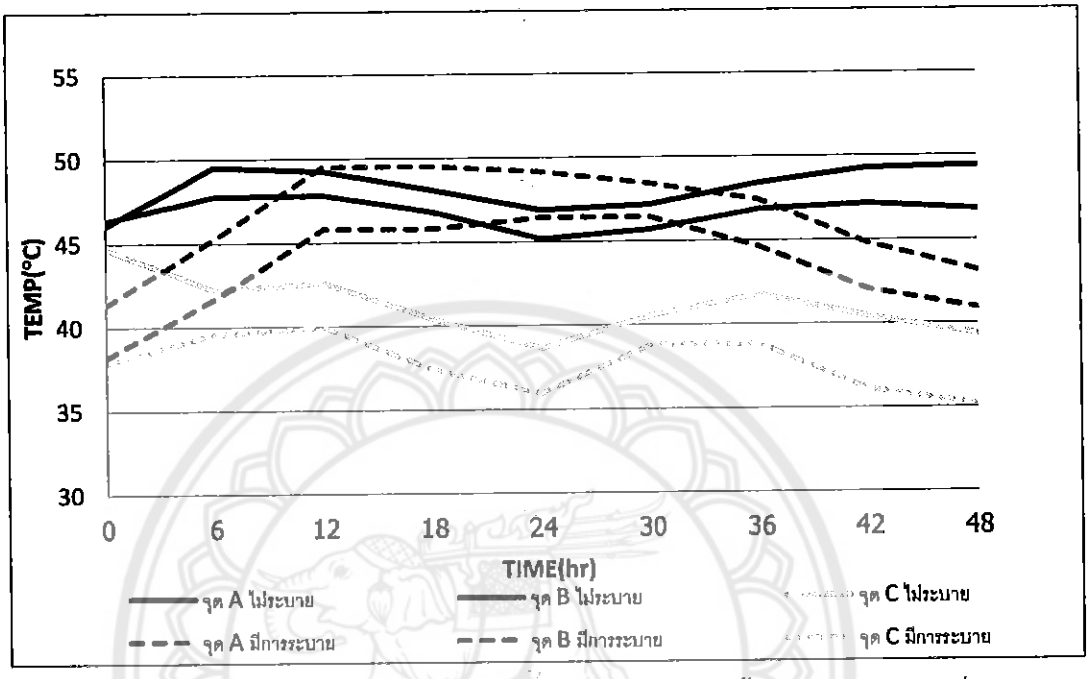


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิและความชื้นของข้าวเปลือกที่เก็บรักษาโดยมีท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ ในแนวตั้ง

จากรูป 4.12 ดูจากเส้นกราฟจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของข้าวเปลือกชั้นที่ 5 มีอุณหภูมิต่ำสุด ลักษณะแนวโน้มคล้ายกับเส้นอุณหภูมิอากาศเนื่องจากเป็นจุดที่อยู่กับบริเวณผิวด้านบนสุดของถัง ซึ่งบริเวณด้านบนจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนกับอากาศโดยการพาความร้อนแบบธรรมชาติ เพราะอุณหภูมิชั้นที่ 5 สูญเสียความร้อนที่เกิดจากการหายใจของข้าวเปลือกให้กับบรรยากาศทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลงตามอากาศ โดยอุณหภูมิชั้นข้าวเปลือกชั้นที่ 1 ชั้นที่ 2 ชั้นที่ 3 และชั้นที่ 4 มีค่าใกล้เคียงกันและมีแนวโน้มลดลงเพราะว่าท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบสามารถระบายความร้อนได้สม่ำเสมอทุกจุดจึงมีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน ส่วนความชื้นก็จะแปรผกผันตามอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิข้าวเปลือก คือ เมื่ออุณหภูมิอากาศสูงความชื้นในข้าวเปลือกจะลดลงและเมื่ออุณหภูมิอากาศต่ำลงความชื้นข้าวเปลือกก็จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

โดยใช้เวลาเก็บผล 60 hr จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 43°C และความชื้นข้าวเปลือกเฉลี่ยอยู่ที่ 25% มาตรฐานเปียก ไม่เหมาะในการเก็บรักษาข้าวเปลือกเพราะการเก็บรักษาข้าวเปลือกเกิดความเสียหายเก็บรักษาได้ในระยะเวลาสั้น ดังตารางที่ 2.1 และคุณภาพข้าวแตกละเอียดในการสีข้าวมีมาก ดังตารางที่ 2.2

4.8 การเปรียบเทียบอุณหภูมิในถังข้าวเปลือกที่มีการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบและไม่ติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบที่ความชื้น 26% มาตรฐานเปียก

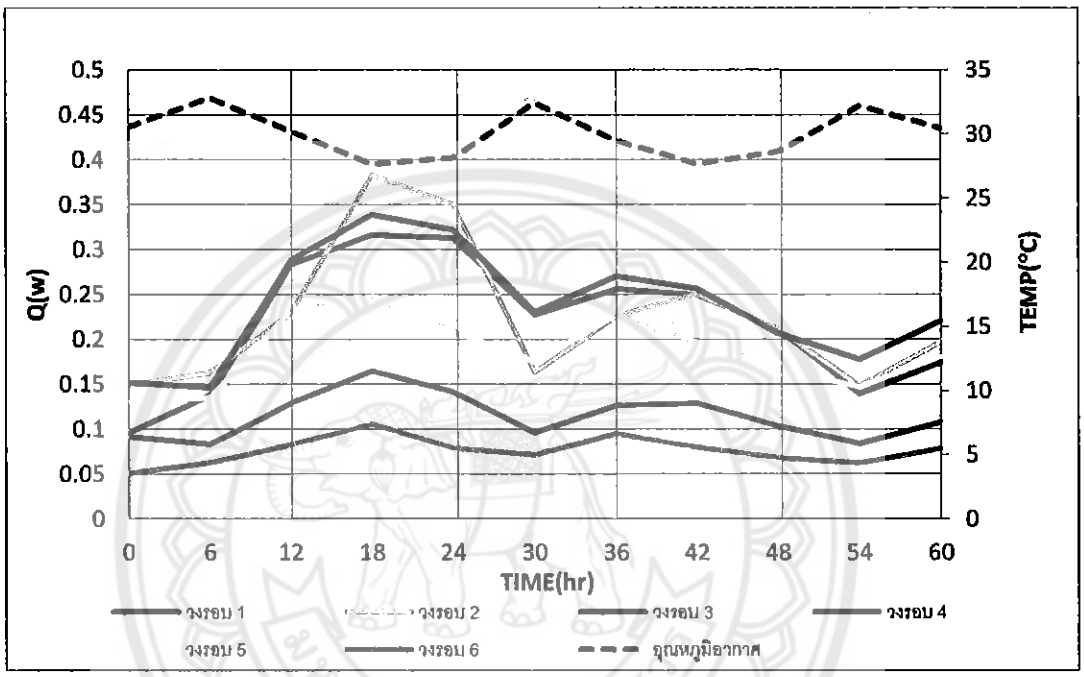


รูปที่ 4.13 แสดงอุณหภูมิของข้าวเปลือกในถังเก็บข้าวเปลือกแบบติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบกับไม่ได้ติดตั้งในแนวรัศมี

จากรูปที่ 4.13 จากเส้นกราฟจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิของข้าวเปลือกที่จุด C ทั้งมีการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบและไม่มีการระบายความร้อน ความร้อนจะมีค่าต่ำกว่าจุด A และ จุด B รวมไปถึงแนวโน้มของอุณหภูมิมีลักษณะใกล้เคียงกันมากและลดลงเมื่อระยะเวลาการทดลองเพิ่มขึ้นตามลำดับเนื่องจากอุณหภูมิของข้าวเปลือกบริเวณจุด C อยู่ใกล้กับผนังของถังข้าวเปลือกจึงมีการพาความร้อนที่เกิดจากการหายใจของข้าวเปลือกให้กับอุณหภูมิอากาศ ส่วนอุณหภูมิข้าวเปลือกที่จุด A ระบบที่ไม่มีการระบายความร้อนจะมีอุณหภูมิสูงสุดเพราะเกิดการพาความร้อนน้อยที่สุดจึงเกิดการสะสมความร้อนมากซึ่งต่างจากระบบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในการระบายความร้อน จุด A จะมีอุณหภูมิต่ำกว่าจุด B เพราะปริมาณความหนาแน่นของท่อต่อพื้นที่ของข้าวเปลือกมีมากกว่าจึงระบายความร้อนออกได้ดีกว่า ส่วนอุณหภูมิที่จุด B ระบบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบจะมีอุณหภูมิสูงสุด เพราะมีปริมาณความหนาแน่นของท่อต่อพื้นที่ข้าวเปลือกน้อยและการพาความร้อนออกจากข้าวเปลือกน้อย ในขณะที่ระบบที่ไม่มีการระบายความร้อน จุด B จะมีอุณหภูมิน้อยกว่า จุด A เพราะการระบายความร้อนโดยการพาความร้อนแบบธรรมชาติกับอุณหภูมิอากาศได้ดีกว่าและสามารถสรุปได้ว่า อุณหภูมิของข้าวเปลือกที่ความชื้น 26% มาตรฐานเปียก มี

อุณหภูมิสูงเกินไปที่จะสามารถรักษาคุณภาพไว้ตามที่กำหนดได้จึงควรมีการศึกษาต่อไป โดยอาจเพิ่มจำนวนท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบให้มากขึ้น

4.9 ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในการระบายความร้อนในข้าวเปลือกที่ความชื้น 26% มาตรฐานเปียก



รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิและอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

จากรูปที่ 4.14 เส้นกราฟของอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อจะแปรผกผันกับเส้นอุณหภูมิอากาศ คือ เมื่ออุณหภูมิของอากาศสูงขึ้นค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อจะมีค่าลดลงและเมื่ออุณหภูมิของอากาศต่ำลงค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจะสูงขึ้น ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจะถ่ายเทดีที่สุดในช่วงเวลากลางคืนซึ่งจะมีอุณหภูมิของอากาศต่ำ ส่วนในเวลากลางวันที่มีอุณหภูมิของอากาศสูงจะเห็นได้ว่าค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนมีค่าต่ำ และจะสังเกตได้ว่าวงรอบที่ 2 จะมีค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สูงกว่าวงรอบอื่น เนื่องจากมีการสะสมความร้อนที่เกิดจากการหายใจของข้าวเปลือกบริเวณจุด 2 มีปริมาณมาก ส่งผลให้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบมีการระบายความร้อนได้มากเพราะรับความร้อนมากกว่าวงรอบอื่นๆ โดยจะได้สมรรถนะเฉลี่ยของระบบจะได้ 61.43%

บทที่ 5
สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองเก็บข้าวเปลือกที่ความชื้น 14% และ 26% มาตรฐานเปียก ในถังเก็บข้าวเปลือกที่ไม่มีการระบายด้วยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบและที่มีการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในการระบายความร้อนในถังเก็บข้าวเปลือก ซึ่งจะใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในถังแต่ละวงไม่เท่ากัน ทำให้สามารถทราบลักษณะการกระจายอุณหภูมิของข้าวเปลือกทั้งที่ไม่มีการระบายความร้อนและมีการระบายด้วยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ เพื่อหาสมรรถนะทางความร้อนของการระบายความร้อนในข้าวเปลือกโดยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 จากผลการทดลองเก็บข้าวเปลือกที่ความชื้น 14% มาตรฐานเปียก ที่ไม่มีการระบายความร้อนในถังเก็บข้าวเปลือก ซึ่งใช้เวลาในการเก็บผล 60 hr จะเห็นได้ว่าข้าวเปลือกมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 30^{o}C และมีความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 14% มาตรฐานเปียก โดยในช่วงเวลาของอุณหภูมิของอากาศต่ำกว่าอุณหภูมิข้าวเปลือกจะทำให้ความร้อนจากการหายใจของข้าวเปลือกถูกระบายออกโดยการพาความร้อน ในช่วงเวลาที่อุณหภูมิอากาศภายนอกสูงข้าวเปลือกจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นเนื่องจากข้าวเปลือกไม่สามารถถ่ายเทความร้อนออกได้ จะเกิดความร้อนสะสมเนื่องจากการหายใจของข้าวเปลือกภายในกองข้าวเปลือกแต่ค่าความร้อนจากการหายใจของข้าวเปลือกจะไม่สูงมาก เนื่องจากข้าวเปลือกที่ใช้ทดลองในถังเก็บมีปริมาณน้อย จึงส่งผลให้ค่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากการหายใจของข้าวเปลือกมีปริมาณไม่มาก

5.1.2 จากผลการทดลองเก็บข้าวเปลือกที่ความชื้น 14% มาตรฐานเปียก ที่มีการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ ซึ่งใช้เวลาในการเก็บผล 60 hr จะเห็นได้ว่าข้าวเปลือกมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 28^{o}C และมีความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 14% มาตรฐานเปียก ซึ่งมีอุณหภูมิที่เหมาะสมที่จะเก็บรักษาข้าวเปลือก โดยอุณหภูมิของข้าวเปลือกจะแปรผกผันกับความชื้นข้าวเปลือก คือ เมื่ออุณหภูมิของข้าวเปลือกสูงความชื้นข้าวเปลือกจะมีค่าลดลงขณะที่อุณหภูมิของข้าวเปลือกต่ำความชื้นข้าวเปลือกจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบจะระบายความร้อนได้ดีในช่วงที่อากาศมีอุณหภูมิต่ำ จุดที่มีปริมาณความหนาแน่นของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบมากจะทำการระบายความร้อนได้ดีกว่าจุดที่มีความหนาแน่นของท่อน้อยและจากการทดลองจะได้สมรรถนะของระบบเท่ากับ 1.7%

5.1.3 จากผลการทดลองเก็บข้าวเปลือกที่ความชื้น 26% มาตรฐานเปียก ที่ไม่มีท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ ทำการทดลองจำนวน 60 hr จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 48°C และมีความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 25% มาตรฐานเปียก จะเห็นได้ว่าความร้อนสะสมที่เกิดจากการหายใจของข้าวเปลือกค่อนข้างสูง เพราะว่าไม่มีการระบายความร้อนออกจากข้าวเปลือกและถ้าอากาศมีอุณหภูมิต่ำจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์สูงทำให้ความชื้นในข้าวเปลือกไม่สามารถระเหยออกได้จึงทำให้เกิดการงอกของข้าวเปลือกอีก ทั้งยังเกิดเชื้อราและเกิดการเน่าของข้าวเปลือกด้วยจึงไม่เหมาะที่จะทำการเก็บรักษาข้าวเปลือกด้วยวิธีนี้

5.1.4 จากผลการทดลองเก็บข้าวเปลือกที่ความชื้น 26% มาตรฐานเปียก ที่มีการติดตั้งท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ ซึ่งใช้เวลาในการเก็บ 60 hr จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ที่ 43°C และมีความชื้นเฉลี่ยอยู่ที่ 25% มาตรฐานเปียก โดยอุณหภูมิของข้าวเปลือกจะลดลงในช่วงที่มีอุณหภูมิอากาศต่ำซึ่งจะเป็นช่วงที่ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบทำการระบายความร้อนได้ดีที่สุดและจะสังเกตได้ว่าตรงจุดที่มีปริมาณความหนาแน่นของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบมากจะทำการระบายความร้อนได้ดีกว่าจุดที่มีความหนาแน่นของท่อน้อยและจากการทดลองจะได้สมรรถนะของระบบเท่ากับ 61.43% แต่ระบบนี้ยังไม่ได้ค่าอุณหภูมิที่ต้องการซึ่งจะต้องให้อุณหภูมิข้าวเปลือกอยู่ที่ 28-30°C ถึงจะสามารถเก็บข้าวเปลือกได้นานตามที่ต้องการได้

จากการเปรียบเทียบการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบกับไม่มีการระบายความร้อนในข้าวเปลือกทั้งความชื้น 14% และ 26% มาตรฐานเปียก จะได้ว่าการระบายความร้อนโดยใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบจะมีอุณหภูมิของข้าวเปลือกต่ำกว่าเนื่องจากท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบสามารถถ่ายเทความร้อนที่เกิดจากการหายใจของข้าวเปลือกในถังเก็บได้ ระบบที่มีอุณหภูมิ 28°C เหมาะสมที่จะทำการเก็บรักษาข้าวเปลือกให้ได้นานตามที่ต้องการคือ ระบบที่ใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในการระบายความร้อนที่ความชื้น 14% มาตรฐานเปียก

5.2 ข้อเสนอแนะ

ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบสามารถถ่ายเทความร้อนออกจากข้าวเปลือกได้จริง เหมาะสมที่จะนำมาศึกษาและพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด แต่ปัจจุบันการศึกษาและวิจัยด้านท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบนี้ยังมีน้อยและไม่เป็นที่น่าสนใจมากนัก จึงมีข้อจำกัดในการใช้งานจึงควรศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับ

5.2.1 ควรศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่อาจส่งผลต่อการทำงานของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ เช่น ผลจำนวนข้าวเปลือก ผลของความยาวส่วนทำระเหยของท่อ ผลของจำนวนท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ ผลจากสารทำงาน สถานที่การทดลอง เป็นต้น

5.2.2 การทดลองระหว่างการใช้ท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบระบายความร้อนในข้าวเปลือกกับการที่ไม่มีการระบายความร้อนในข้าวเปลือกที่ความชื้น 14% มาตรฐานเปียก และ 26% มาตรฐานเปียก ควรทดลองในเวลาเดียวกันและมีสภาพอากาศที่ใกล้เคียงกัน

5.2.3 ควรเพิ่มจำนวนท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบในการระบายความร้อนในข้าวเปลือกให้มากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] Nathawuth Dussadee and Tanongkiat Kiatsiriroat, Performance analysis and economice valuation of thermosyphon paddy bluk storage, Applied Thermal Engineering, Vol. 24, pp. 401-414, 2004

[2] ลือพงษ์ ลือนาม, การศึกษาวิธีชะลอการเสื่อมคุณภาพข้าวเปลือกความชื้นสูงโดยการดูดระบายอากาศออกจากกองข้าว (ออนไลน์),หน้า131,2544, แหล่งที่มา http://www.phtnet.org /research/view-abstract.asp?research_id=ah059 (วันที่ค้นข้อมูล: 20 กรกฎาคม. 2554)

[3] สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว, วิทยาการก่อนและหลังการเก็บเกี่ยว: การเก็บรักษา (ออนไลน์), 2554, แหล่งที่มา http://www.brrd.in.th./rkb2/postharvest/index.phpfile=content.php&id=4.htm (วันที่ค้นข้อมูล: 20 กรกฎาคม. 2554)

[4] Piyanun Charoensawan, Sameer Khandekar, Manfred Groll and Pradit Terdtoon,Closed-loop pulsating heat pipes Part A;parametric experimental investigation, 2003

[5] ธนกร ณ พัทลุง, วิธีสืบค้นข้อมูลสารสนเทศ (ออนไลน์), 2550, แหล่งที่มาhttp://www.energysavingmedia.com (วันที่ค้นข้อมูล 18 สิงหาคม. 2554)

[6] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลมหาวิทยาลัยขอนแก่น, ท่อความร้อน (ออนไลน์), 2552, แหล่งที่มา http://www.eme-rmuti.com/heatpipe1.htm (วันที่ค้นข้อมูล 18 สิงหาคม. 2554)

[7] สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว,พันธุ์ข้าว: พันธุ์ข้าวนาสวนที่ไม่ไวต่อช่วงแสง พิษณุโลก 2(ออนไลน์), 2554,แหล่งที่มา http://www.brrd.in.th/rkb/data_002/a2/rice_xx2-03_ricebreed -_Phit - sanulok_2.ht ml (วันที่ค้นข้อมูล: 18 สิงหาคม. 2554)

[8] พฤทธ์ สกุลช่างสัจจะทัย, แบบจำลองของท่อแบบสั่นปลายปิดและแบบสั่นวงรอบ (ออนไลน์), 2550, แหล่งที่มา http://library.cmu.ac.th/digital_collection/etheses/fulltext.php?id=9796# (วันที่ค้นข้อมูล 18 สิงหาคม. 2554)

[9] Suppachai Chumnumwat and Piyanun Charoensawan , Computational study of Temperature distribution in Paddy bulk storage with Close-Loop Oscillating Heat Pipes, 2011

[10] คเณศ มูลเทพ, ณัฐพล รัตนะ, เอกชัย อักษรผดุงกุล, การควบคุมอุณหภูมิข้าวเปลือกด้วยท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ, 2010

[11] สมศักดิ์ ปินสาย, การศึกษาศักยภาพในการนำความร้อน จากการหายใจของข้าวเปลือกในถัง มาอุ่นอากาศ (ออนไลน์), 2543, แหล่งที่มา http://www.eppo.go.th/encon/abstract/2543-MJU-Somsak.html (วันที่ค้นข้อมูล 22 กันยายน, 2554)

[12] นิภาพร ไชยมงคล, การควบคุมอุณหภูมิและความชื้นในไซโลข้าวเปลือกโดยการเป่าลมเย็น, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2546

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ตัวอย่างการคำนวณ

ตัวอย่างการคำนวณหาเส้นผ่านศูนย์กลางสูงสุดของท่อความร้อนแบบสั่น

หาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบสามารถทำงานได้มากที่สุด โดยที่ใช้ R134a เป็นสารทำงาน สามารถหาได้จากวิธีต่อไปนี้ จากตาราง R134a ทำงานที่อุณหภูมิ 40 ℃ คำนวณหาขนาดของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

$\sigma = 0.00613 N/m$

$\rho = 1147 Kg/m^3$

$g = 9.81 m/s^2$

$$D_{i,max} = 2\sqrt{\frac{\sigma}{\rho_l g}}$$

$$D_{i,max} = 2\sqrt{\frac{0.00613}{1147 \times 9.81}}$$

$$D_{i,max} = 1.476mm \approx 1.5mm$$

การคำนวณปริมาณการเติมสารทำงาน

การคำนวณปริมาณเติมสารทำงานได้จากสมการดังต่อไปนี้

ตัวแปรทำงานที่ 40 ℃ $\rho = 1147 kg/m^3$

สูตรการคำนวณการเติมสารภายในท่อ คือ

$$V = \frac{\pi r^2 h}{2}$$

$$V = 3.1415 \times \left(\frac{0.0014^2}{4} \right) \times 60 = 0.0000923601$$

ใช้อัตราการเติมสาร 50% ของปริมาตรท่อ

$$V_{50\%} = 0.0000461814$$

$$m = V_{50\%} \times \rho$$

$$m = 0.0000461814 = 0.0529 kg$$

ดังนั้นจะได้อัตราการเติมสารทำงานเท่ากับ $53g$

ตัวอย่างการคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนของท่อความร้อนแบบสั่นวงรอบ

ผิวท่อที่คอนเดนเซอร์มีอุณหภูมิ 312.56 K ความยาว 0.9 m ท่อมีเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก 2.2 mm ถูกพาความร้อนด้วยอากาศที่ 303.65 K

สมบัติของอากาศ $T_f = \left(\frac{312.56 + 303.65}{2} \right) = 308 \approx 300 \text{ K}$

$V = 15.89 \times 10^{-6} m^2 / s$

$K = 0.0263 W / m.K$

$\beta = \frac{1}{300} K^{-1}$

$\Pr = 0.707$

$Gr = \left(\frac{g \beta L^3 \left(T_{con} - T_a \right)}{V^2} \right) = 703,503,134$

$$Nu_{m,plate} = \left\{ 0.825 + \frac{0.387 (Gr_L \Pr)^{\frac{1}{6}}}{\left[1 + \left(\frac{0.492}{\Pr} \right)^{\frac{9}{16}} \right]^{\frac{8}{27}}} \right\}^2 = 98.98$$

จาก $h_m = \frac{Nu_m k}{L} = 2.98 W / m^2 .K$

อัตราการสูญเสียความร้อนจากท่อ

$$\dot{Q}_{loss} = \pi DL\left(T_{con} - T_a\right)h_m = 0.164W$$

ตัวอย่างการคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนของข้าวเปลือก

เก็บข้าวเปลือกในถัง 500 kg อุณหภูมิข้าวเปลือกในการเก็บอยู่ที่ 39.13°c เมื่อเวลาผ่านไป 6 hr อุณหภูมิข้าวเปลือกเพิ่มเป็น 42.17°c และความชื้นของข้าวเปลือกอยู่ที่ 26.8%

จากสมการ $C_p = (3.1 \times \text{ความชื้นข้าวเปลือก} + 1.2468) \times 10^3$

แทนค่าจะได้ $C_p = (3.1 \times 26.8\% + 1.2468) \times 10^3$

$$= 2077.6 \frac{kgH_2O}{kgd.m.}$$

จากสมการ $Q_{Paddy} = (mC_p\Delta T)/\Delta t$

นำ C_p ไปแทนในสมการ จะได้

$$Q_{paddy} = \frac{500 \times 2077.6 \times 3.032}{3600 \times 6}$$

$$Q_{paddy} = 145.81W$$

ภาคผนวก ข.

ตารางคุณสมบัติ

ตาราง ข.1 แสดงคุณสมบัติของอากาศ

TABLE A-4 Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure[a]

T (K)	ρ (kg/m³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \times 10^7$ (N · s/m²)	$\nu \times 10^6$ (m²/s)	$k \times 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \times 10^6$ (m²/s)	Pr
Air							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	258	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	436	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	223	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536

ตาราง ข.2 แสดงคุณสมบัติของ R134a

T	P	ρ	v	Enthalpy		Entropy		c_p	
°C	MPa	kg/m³	m³/kg	kJ/kg		kJ/(kg·K)		kJ/(kg·K)	
		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
8	0.39749	1267.0	0.05284	210.80	403.27	1.0387	1.7233	1.360	0.920
10	0.41449	1260.2	0.04948	213.63	404.46	1.0483	1.7224	1.367	0.930
12	0.44289	1253.3	0.04636	216.27	405.61	1.0579	1.7216	1.374	0.939
14	0.47276	1246.3	0.04348	219.03	406.63	1.0674	1.7207	1.381	0.950
16	0.50413	1239.3	0.04081	221.80	407.70	1.0770	1.7199	1.388	0.960
18	0.53706	1232.1	0.03833	224.59	408.78	1.0866	1.7191	1.396	0.971
20	0.57159	1224.9	0.03603	227.40	409.84	1.0960	1.7183	1.404	0.982
22	0.60777	1217.5	0.03388	230.21	410.89	1.1055	1.7176	1.412	0.994
24	0.64566	1210.1	0.03189	233.05	411.93	1.1149	1.7169	1.420	1.006
26	0.68534	1202.6	0.03003	235.9	412.95	1.1244	1.7162	1.429	1.018
28	0.72678	1194.9	0.02829	238.77	413.95	1.1338	1.7155	1.438	1.031
30	0.77008	1187.2	0.02667	241.65	414.94	1.1432	1.7149	1.447	1.044
32	0.81530	1179.3	0.02516	244.55	415.90	1.1527	1.7142	1.457	1.058
34	0.86250	1171.3	0.02374	247.47	416.85	1.1621	1.7135	1.467	1.073
36	0.91172	1163.2	0.02241	250.41	417.78	1.1715	1.7129	1.478	1.088
38	0.96301	1154.9	0.02116	253.37	418.68	1.1809	1.7122	1.489	1.104
40	1.01650	1146.5	0.01999	256.35	419.56	1.1903	1.7115	1.500	1.120
42	1.07210	1137.9	0.01890	259.36	420.44	1.1997	1.7109	1.513	1.138
44	1.13000	1129.2	0.01788	262.38	421.29	1.2091	1.7101	1.526	1.156
46	1.19010	1120.3	0.01693	265.42	422.09	1.2185	1.7094	1.539	1.176
48	1.25270	1111.3	0.01603	268.49	422.90	1.2279	1.7086	1.553	1.196
50	1.31770	1102.0	0.01518	271.59	423.63	1.2373	1.7078	1.569	1.218
52	1.38520	1092.6	0.01438	274.71	424.35	1.2468	1.7070	1.585	1.241
56	1.52330	1073.8	0.01292	281.25	425.29	1.2752	1.7041	1.641	1.322
60	1.68150	1052.4	0.01148	287.40	426.86	1.2847	1.7031	1.683	1.354
62	1.76250	1041.7	0.01085	290.77	427.37	1.2943	1.7019	1.686	1.388
64	1.84640	1030.7	0.01026	294.00	427.84	1.3039	1.7007	1.712	1.426
66	1.93340	1019.4	0.00970	297.04	428.25	1.3136	1.6993	1.740	1.468

ตาราง ข.3 แสดงคุณสมบัติของข้าวเปลือก

Property	Unit	Reference
$\rho_{paddy} = 1.029(1456 + 705x)$	kg/m^3	Lague and Jenkins(1991)
$C_{p,paddy} = 1180 + 3766x$	$J/kg^{\circ}c$	Lague and Jenkins(1991)
$k_{paddy} = (0.0637 + 0.0958M)/(0.656 - 0.475M)$	$W/m.K$	Lague and Jenkins(1991)
$x = 0.294 - 0.046 \times \ln[(-T + 35.703)\ln(RH)]$	$\frac{kgH_2O}{kgd.m.}$	ASAE(2002)
$\Delta H_v = 2.357 \times 10^6$	J/kg	Istadi and Sitompul(2002)
$D_{eff} = 1.165 \times 10^{-5}$	m^2/s	Istadi and Sitompul(2002)

ประวัติผู้ทำโครงงาน

ชื่อ : นาย ณัฐพล ด้วงสงกา
วัน เดือน ปีเกิด : วันที่ 28 มกราคม พ.ศ. 2533
ภูมิลำเนา : บ้านเลขที่ 2/2 ม.5 ต.สวนเมี่ยง อ.ชาติตระการ จ.พิษณุโลก
การศึกษา : ระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนสวนเมี่ยงวิทยา
ปัจจุบันศึกษาที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก

ชื่อ : นาย ประกาศิต ฤทธิ์เต็ม
วัน เดือน ปีเกิด : วันที่ 11 ตุลาคม พ.ศ. 2532
ภูมิลำเนา : บ้านเลขที่ 279 ม.1 ต.ไพศาลี อ.ไพศาลี จ.นครสวรรค์
การศึกษา : ระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนไพศาลีพิทยา
ปัจจุบันศึกษาที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก

ชื่อ : นาย อนุวัฒน์ สุวรรณประเสริฐ
วัน เดือน ปีเกิด : วันที่ 21 กันยายน พ.ศ. 2532
ภูมิลำเนา : บ้านเลขที่ 60 ม.2 ต.สระแก้ว อ.เมือง จ.กำแพงเพชร
การศึกษา : ระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนวัชรวิทยา
ปัจจุบันศึกษาที่ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก