การออกแบบระบบให้ความร้อนข้าวด้วยลมร้อนโดยใช้เทคนิคการเหนี่ยวนำความร้อน

นายกีรติเดช เทพสถิตย์ศิลป์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2561

DESIGN OF HOT AIR RICE HEATING SYSTEM USING INDUCTION HEATING TECHNIQUE

Keeratidech Thepsatitsilp

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for

the Degree of Master of Engineering in Electronic Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2018

การออกแบบระบบให้ความร้อนข้าวด้วยลมร้อนโดยใช้เทคนิคการเหนี่ยวนำความร้อน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

____

(ผศ. ดร.ธนเสฏฐ์ ทศดีกรพัฒน์)
ประธานกรรมการ

____

(รศ. ดร.ชาญชัย ทองโสภา)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

____

(ดร.อภิชาติ อินทรพานิชย์)
กรรมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

____

(ศ. ดร.สันติ แม้นศิริ)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล

____

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

กีรติเดช เทพสถิตย์ศิลป์ : การออกแบบระบบให้ความร้อนข้าวด้วยลมร้อนโดยใช้เทคนิคการเหนี่ยวนำความร้อน (DESIGN OF HOT AIR RICE HEATING SYSTEM USING INDUCTION HEATING TECHNIQUE) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภา, 84 หน้า.

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนโดยใช้พลังงานความร้อนจากการเหนี่ยวนำความร้อน (induction heating) เพื่อใช้ในการทำให้เมล็ดข้าวอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากเดิมก่อนที่จะผ่านเข้าเครื่องฆ่ามอดแบบไดอิล็กตริก ซึ่งจะทำให้สามารถเพิ่มกำลังผลิตของเครื่องฆ่ามอดได้ โดยเครื่องให้ความร้อนที่ออกแบบเป็นแบบข้าวไหลสวนทางกับลมร้อน มีช่องซึ่งเป็นรางสำหรับให้ข้าวไหลสามชั้นและมีรางแบบปิดที่ต่อกับปากทางออกข้าวสำหรับเป็นให้เมล็ดข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนไหลไปลงปากทางเข้าของเครื่องฆ่ามอด รวมระยะทางในการที่ข้าวจะได้รับความร้อนจากลมร้อนทั้งสิ้น 295 เซนติเมตร มีกำลังรวมของแหล่งกำเนิดความร้อนสูงสุด 7,502 วัตต์

ผลการศึกษาพบว่าแหล่งกำเนิดความร้อนสามารถทำอุณหภูมิลมร้อนได้ตั้งแต่ 63.1 องศา-เซลเซียส ถึง 94.9 องศาเซลเซียส ในเวลา 5 นาที เมื่อทดสอบการให้ความร้อนกับเมล็ดข้าวที่อัตราการไหล (Regularity) ข้าว 1 ตันต่อชั่วโมง สามารถเพิ่มอุณหภูมิเมล็ดข้าวได้สูงสุด 10.8 องศาเซลเซียส ส่วนที่อัตราการไหลข้าว 2 ตันต่อชั่วโมง สามารถเพิ่มอุณหภูมิเมล็ดข้าวได้สูงสุด 10.0 องศาเซลเซียส และที่อัตราการไหลข้าว 3 ตันต่อชั่วโมง สามารถเพิ่มอุณหภูมิเมล็ดข้าวได้สูงสุด 9.4 องศาเซลเซียส สำหรับประสิทธิภาพ (Performance) การให้ความร้อนโดยเฉลี่ยของเครื่องที่อัตราการไหลข้าว 1 ตันต่อชั่วโมง 2 ตันต่อชั่วโมงและ3 ตันต่อชั่วโมง มีประสิทธิภาพการให้ความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 31.85% , 58.71% และ 81.03% ตามลำดับ ซึ่งเครื่องให้ความร้อนนี้เหมาะกับการใช้งานที่อัตราการไหล 3 ตันต่อชั่วโมง และในส่วนของความสม่ำเสมอ (Regularity) ของอุณหภูมิเมล็ดข้าวหลังผ่านการให้ความร้อนมีความสม่ำเสมอดี มีค่าความแตกต่างเพียง 2.2 – 2.3 องศาเซลเซียสและมีโทนสีของอุณหภูมิเมล็ดข้าวโดยรวมใกล้เคียงกัน

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์	ลายมือชื่อนักศึกษา กีรติเดช
ปีการศึกษา 2561	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ______

KEERATIDECH THEPSATITSILP : DESIGN OF HOT AIR RICE HEATING SYSTEM USING INDUCTION HEATING TECHNIQUE. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. CHANCHAI THONGSOPA, Ph.D., 84 PP.

INDUCTION HEATING/FLOW RATES/PERFORMANCE/REGULARITY

This research is to design a heating machine for rice seeds with hot air using heat energy from induction heating to be used to increase the temperature of the grain before passing through the dielectric machine killing rice moth. Which can increase the production capacity of the rice moth killing machine. The heating device designed in a rice-flowing form, opposite the hot air and there is a groove which is a trough for the rice to flow three layers and has a closed rail that connects to the rice exit mouth for the grain to pass through the heat flowing into the entrance of the rice moth killing machine. Total distance of 295 cm, which is heated by hot air. The total energy of the heat source is 7,502 watts.

The study found that the heat source can make hot air temperatures from 63.1 degrees - Celsius to 94.9 degrees Celsius in 5 minutes. When testing the heating with the grain at the flow rate of 1 ton per hour can increase the grain temperature to a maximum of 10.8 degrees Celsius, while the rice flow rate is 2 tons per hour can increase the grain temperature to a maximum of 10.0 degrees Celsius and at the rate of 3 tons of rice per hour can increase the grain temperature to a maximum of 9.4 degrees Celsius. For efficiency average heating of the machine at the rice flow rate of 1 ton per hour, 2 tons per hour and 3 Tons per hour the average heating efficiency is 31.85%, 58.71% and 81.03% respectively. Which this heater is suitable for use at a flow rate of 3 tons per hour And in terms of consistency of the regularity temperature after heating with

good regularity and there is a difference of only 2.2 - 2.3 degrees Celsius and the color tone of the rice grain temperature is similar.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

School of Electronic Engineering　　Student's Signature ______

Academic Year 2018　　Advisor's Signature ______

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

รองศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธนเสฏฐ์ ทศดีกรพัฒน์ หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ และอาจารย์ ดร.สำราญ สันทาลุนัย อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ที่ให้ความรู้และให้โอกาสในการศึกษา

ขอขอบคุณ พี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ บัณฑิตทุกท่าน รวมถึงมิตรสหายทั้งในอดีตและปัจจุบันที่คอยให้ความช่วยเหลือ และคอยให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์มาโดยตลอด

และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ได้ให้โอกาสและมอบทุนการศึกษาแก่ผู้วิจัยจนจบการศึกษาในระดับปริญญาโท

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณอาจารย์ผู้สอนทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทความรู้ด้านต่าง ๆ ทั้งในอดีตและปัจจุบัน และขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัยทุกท่านที่ให้การอบรมเลี้ยงดู ให้ความรักความอบอุ่น และให้การสนับสนุนทางการศึกษาอย่างดีมาโดยตลอด อีกทั้งยังเป็นกำลังใจที่ยิ่งใหญ่ในยามที่ผู้วิจัยท้อแท้และทุกข์ใจ ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตเรื่อยมา สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดามารดารวมถึงญาติพี่น้องซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ผู้สอนที่เคารพทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยทั้งในอดีตและปัจจุบัน จนสำเร็จการศึกษาไปด้วยดี

กีรติเดช เทพสถิตย์ศิลป์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย) ..... ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ) ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ง

สารบัญ ..... จ

สารบัญรูป ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

บทที่

1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น 2

1.4 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย 3

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 4

1.7 ปริทัศน์วรรณกรรม 4

1.8 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์ 7

2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการออกแบบเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนโดยใช้พลังงานความร้อนจากการเหนี่ยวนำความร้อน 8

2.1 หลักการเกิดความร้อนโดยการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า 8

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนความร้อน 22

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในส่วนของการคำนวณพลังงานความร้อน 24

3 การศึกษาและออกแบบระบบสำหรับการวิเคราะห์เครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนโดยใช้พลังงานความร้อนจากการเหนี่ยวนำความร้อน 26

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.1 การออกแบบวงจรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 27
3.2 การออกแบบชุดโหลดความร้อน 37
3.3 การออกแบบตัวเครื่องซึ่งเป็นรางสำหรับให้เมล็ดข้าวไหล 39
3.4 การวิเคราะห์พลังงานในการให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าว 47
3.5 การออกแบบวิธีการทดลองและการเก็บผล 51
4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล 54
4.1 บทนำ 54
4.2 การวัดและผลการวัดอุณหภูมิของลมร้อนที่เกิดจากการเหนี่ยวนำความร้อนของวงจรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ 54
4.3 ผลการทดสอบการให้ความร้อนเมล็ดข้าวด้วยเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อน 60
4.4 ประสิทธิภาพการให้ความร้อนเมล็ดข้าวของเครื่องให้ความร้อน 66
4.5 การวัดและผลการวัดความสม่ำเสมอโดยรวมของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่ผ่านเครื่องให้ความร้อนด้วยภาพจากกล้องส่องความร้อนแบบอินฟาเรด 69
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 74
5.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์ 74
5.2 ข้อเสนอแนะ 76
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อในอนาคต 76
รายการอ้างอิง 78
ภาคผนวก บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ 79
ประวัติผู้เขียน 84

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

2.1 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียวงจรอินเวอร์เตอร์โหลดเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรมและขนาน 14
2.2 การเปรียบเทียบลักษณะของอุปกรณ์ คลื่นแรงดันและกระแสที่ใช้ในวงจรอินเวอร์เตอร์โหลดเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรมและขนาน 15
2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรมและขนาน 21
4.1 ผลของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้นหลังผ่านเครื่องให้ความร้อนด้วยลมร้อนที่อัตราการไหลข้าว 1 ตันต่อชั่วโมง 61
4.2 ผลของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้นหลังผ่านเครื่องให้ความร้อนด้วยลมร้อนที่อัตราการไหลข้าว 2 ตันต่อชั่วโมง 62
4.3 ผลของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้นหลังผ่านเครื่องให้ความร้อนด้วยลมร้อนที่อัตราการไหลข้าว 3 ตันต่อชั่วโมง 63
4.4 ผลต่างของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้นของอัตราการไหลทั้งสาม 65
4.5 ประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเครื่องให้ความร้อนที่อัตราการไหลต่าง ๆ ในแต่ละกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อน 66

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

2.1 หลักการเกิดการเหนี่ยวนำความร้อน 9
2.2 วงจรเหนี่ยวนำความร้อน (Jeerasak Wongsa et al., 2014) 10
2.3 บล็อกไดอะแกรมของวงจรเหนี่ยวนำความร้อน (Jeerasak Wongsa et al., 2014) 10
2.4 บล็อกไดอะแกรมของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบบริดจ์ (Jeerasak Wongsa et al., 2014) 11
2.5 คลื่นแรงดันและกระแสโหลดของวงจรอินเวอร์เตอร์ (Jeerasak Wongsa et al., 2014) 12
2.6 ระบบที่มีการไหลแบบกระแสเดียว (ก) ระบบที่มีการไหลแบบหลายกระแส (ข) 22
3.1 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมของวงจรเหนี่ยวนำความร้อน 27
3.2 ชุดวงจรเหนี่ยวนำความร้อนที่สร้างขึ้นจริงเพื่อใช้งาน 29
3.3 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์และวงจรขับสำหรับควบคุมการทำงานของสวิตช์ IGBT 30
3.4 วงจรไฟเลี้ยงของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ 31
3.5 แผนผังของวงจรขับกระแสไปยังสวิตช์ซิ่งอิเล็กทรอนิกส์ 32
3.6 วงจรแยก (Isolated) โดยใช้หม้อแปลง 33
3.7 แผนผังของวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ด้วยไมโครคอนโทรเลอร์ (PSoC) 34
3.8 ทรานซิสเตอร์กำลังสูง (IGBT) และวงจรภายใน 35
3.9 ภาพตัดขวางแสดงโครงสร้างพื้นฐานของไอจีบีที 36
3.10 แผนผังวงจรของวงจรรวมขับเกตแบบสำเร็จรูป เบอร์ UCC21520DW 37
3.11 ส่วนประกอบของชุดโหลดความร้อน 37
3.12 ชุดโหลดความร้อนที่สร้างขึ้นและลักษณะการวางตัวของขดลวดเหนี่ยวนำกับชิ้นงานโลหะ 39
3.13 เครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการ 40

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.14 ผลการจำลองการไหลของอากาศภายในตัวเครื่องให้ความร้อนที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการ ... 41
3.15 ผลการจำลองการไหลของอากาศภายในตัวเครื่องให้ความร้อนแบบที่หนึ่ง ... 42
3.16 ผลการจำลองการไหลของอากาศภายในตัวเครื่องให้ความร้อนแบบที่สอง ... 43
3.17 แบบจำลองโครงสร้างของเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวที่ได้ทำการออกแบบ ... 44
3.18 เครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดลองและเก็บผล ... 45
3.19 รางข้าวแบบปิดที่ออกแบบเพื่อแก้ปัญหาลมร้อนบางส่วนที่ไหลออกทางปากทางออกเมล็ดข้าว ... 46
3.20 ระบบของเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนโดยใช้พลังงานความร้อนจากการเหนี่ยวนำความร้อน ... 48
3.21 เครื่องเหนี่ยวนำความร้อนจำนวน 2 ชุดที่ใช้ในการทดลอง ... 49
3.22 ชุดโหลดความร้อนของวงจรไฟฟ้าเหนี่ยวนำทั้ง 2 ชุดที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดลมร้อน ... 50
3.23 พัดลมแรงเหวี่ยงที่ใช้ในการทดลองกับระบบให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อน ... 51
3.24 ตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิลมร้อนของเครื่อง ... 52
3.25 ตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิข้าวหลังผ่านการให้ความร้อนจากเครื่องให้ความร้อนด้วยลมร้อน ... 53
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อนกับเวลาที่กำลัง 3,652 วัตต์ ... 55
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อนกับเวลาที่กำลัง 5,544 วัตต์ ... 56
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อนกับเวลาที่กำลัง 6,028 วัตต์ ... 56
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อนกับเวลาที่กำลัง 6,534 วัตต์ ... 57
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อนกับเวลาที่กำลัง 6,908 วัตต์ ... 58
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อนกับเวลาที่กำลัง 7,502 วัตต์ ... 58

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ **หน้า**

4.7 กราฟเปรียบเทียบกันระหว่างอุณหภูมิลมร้อนกับเวลาที่แต่ละกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนต่าง ๆ 59
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเมล็ดข้าวหลังให้ความร้อนกับกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อน ที่อัตราการไหลข้าว 1 ตันต่อชั่วโมง..... 61
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเมล็ดข้าวหลังให้ความร้อนกับกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อน ที่อัตราการไหลข้าว 2 ตันต่อชั่วโมง..... 62
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเมล็ดข้าวหลังให้ความร้อนกับกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อน ที่อัตราการไหลข้าว 3 ตันต่อชั่วโมง..... 63
4.11 กราฟเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้นกับกำลังของแหล่งกำเนิดความร้อนของปริมาณการไหลทั้งสาม 64
4.12 กราฟเปรียบเทียบระหว่างผลต่างของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้นกับกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อน ที่อัตราการไหลทั้งสาม 65
4.13 การวัดและแสดงผลของอุณหภูมิเมล็ดข้าวเริ่มต้นก่อนผ่านเครื่องให้ความร้อน 67
4.14 การวัดและแสดงผลของอุณหภูมิเมล็ดข้าวหลังผ่านเครื่องให้ความร้อน 68
4.15 กล้องส่องความร้อนแบบอินฟาเรด ยี่ห้อ KEYSIGHT รุ่น U5857A 69
4.16 ผลการวัดความสม่ำเสมอของอุณหภูมิเมล็ดข้าวหลังผ่านการให้ความร้อนจากกล้องส่องความร้อน ที่อัตราการไหลข้าว 1 ตันต่อชั่วโมง และมีกำลังของแหล่งกำเนิดความร้อน 6,534 วัตต์..... 70
4.17 ผลการวัดความสม่ำเสมอของอุณหภูมิเมล็ดข้าวหลังผ่านการให้ความร้อนจากกล้องส่องความร้อน ที่อัตราการไหลข้าว 2 ตันต่อชั่วโมง และมีกำลังของแหล่งกำเนิดความร้อน 6,534 วัตต์..... 71
4.18 ผลการวัดความสม่ำเสมอของอุณหภูมิเมล็ดข้าวหลังผ่านการให้ความร้อนจากกล้องส่องความร้อน ที่อัตราการไหลข้าว 3 ตันต่อชั่วโมง และมีกำลังของแหล่งกำเนิดความร้อน 6,534 วัตต์..... 72

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการเก็บรักษาเมล็ดข้าวไม่ว่าจะเป็นข้าวเปลือกหรือข้าวที่ผ่านการสีข้าวมาแล้วนั้น ปัญหาหนึ่งที่มักจะพบได้คือเรื่องของมอดข้าว ซึ่งในปัจจุบันก็มีวิธีกำจัดมอดข้าวมากมาย เช่นการกำจัดมอดด้วยการอบสารเคมี การเก็บในห้องควบคุมอ็อกซิเจน เป็นต้น แต่มีอีกวิธีหนึ่งที่สามารถกำจัดมอดข้าวทั้งตัวเต็มวัยและไข่ที่ฝังอยู่ในเมล็ดข้าวได้อย่างมีประสิทธิภาพและไม่มีสารพิษตกค้างในข้าวก็คือ การฆ่ามอดข้าวแบบไดอิเล็กตริกซึ่งถือเป็นนวัตกรรมใหม่ที่เริ่มมีการนำมาใช้ในอุตสาหกรรมโรงสีข้าวขนาดกลางและขนาดเล็กในประเทศไทย การฆ่ามอดแบบไดอิเล็กตริกเป็นการฆ่ามอดข้าวและไข่มอดที่ฝังอยู่ในเมล็ดข้าวด้วยความร้อนโดยการใช้คลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงคลื่นความถี่วิทยุผ่านแผ่นเพลทและมีซองข้าวไหลอยู่ระหว่างกลางแผ่นเพลท ซึ่งเทคนิคนี้เป็นวิธีการให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริกกับวัสดุที่เป็นอโลหะหรือวัสดุที่มีโครงสร้างโมเลกุลแบบมีขั้ว เมื่อเมล็ดข้าวไหลผ่านแผ่นเพลทจะทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่เมล็ดข้าวและตัวมอด ข้อมูลจากงานวิจัยพบว่าช่วงอุณหภูมิที่ดีที่สุดที่มอดข้าวตัวเต็มวัยและไข่มอดที่ฝังอยู่ในเมล็ดข้าวจะตายหรือถูกทำลายเมื่ออุณหภูมิของเมล็ดข้าวหลังผ่านเครื่องต้องอยู่ในช่วง 50 – 55 องศาเซลเซียส (คงศักดิ์ รัตน์นิยมชัย, 2556) โดยที่ไม่ทำให้คุณภาพของข้าวเสียหายจากความร้อนโดยเฉพาะหากข้าวนั้นเป็นข้าวหอมมะลิ ในปัจจุบันกำลังการผลิตของเครื่องฆ่ามอดข้าวแบบไดอิเล็กตริก 1 เครื่อง จะอยู่ที่ 1 – 1.5 ตันต่อชั่วโมงโดยประมาณ และหากต้องการเพิ่มกำลังการผลิตขึ้นเป็น 3 ตันต่อชั่วโมง จะทำให้อุณหภูมิของเมล็ดข้าวหลังผ่านเครื่องฆ่ามอดลดลงต่ำกว่าช่วงที่จะสามารถกำจัดมอดและไข่มอดได้ อาจส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องต่ำลง ตัวมอดและไข่มอดไม่ถูกทำลายทั้งหมด ทำให้ข้าวมีคุณภาพต่ำ ซึ่งจะเป็นปัญหาในการเก็บรักษาข้าวและการส่งออก จากข้อจำกัดของกำลังการผลิตของเครื่องฆ่ามอดข้าวแบบไดอิเล็ตริก จึงจำเป็นต้องมีเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวเพื่อทำให้เมล็ดข้าวมีอุณหภูมิสูงขึ้นก่อนที่จะผ่านเข้าเครื่องฆ่ามอดเนื่องจากเมล็ดข้าวที่ผ่านเครื่องฆ่ามอดแบบไดอิเล็กตริกจะสามารถดูดซับพลังงานได้ดีขึ้นเมื่อเมล็ดข้าวมีอุณหภูมิสูงขึ้นจากเดิมทำให้สามารถเพิ่มกำลังการผลิตของเครื่องฆ่ามอดข้าวจาก 1 – 1.5 ตันต่อชั่วโมงเป็น 3ตันต่อชั่วโมงโดยที่ช่วงอุณหภูมิของเมล็ดข้าวหลังผ่านเครื่องยังอยู่ในช่วง 50 -55 องศาเซลเซียสได้

ด้วยเหตุผลดังกล่าวนี้ผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญและมีความสนใจที่จะศึกษา ออกแบบเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวเพื่อนำมาใช้ในการช่วยเพิ่มกำลังผลิตให้เครื่องฆ่ามอดข้าวแบบไดอิเล็กตริกและเลือกใช้แหล่งพลังงานความร้อนจากการเหนี่ยวนำของคลื่นสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นกรณีศึกษา หรือเป็นอีกทางหนึ่งในการเลือกใช้แหล่งกำเนิดพลังงานความร้อน จึงได้ทำการศึกษาออกแบบและสร้างเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนและสร้างวงจรเหนี่ยวนำความร้อนด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งลักษณะของวงจรเป็นแบบฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์ (full bridge inverters) สำหรับเป็นแหล่งจ่ายกำลังให้กับโหลดซึ่งเป็นขดลวดเหนี่ยวนำ เพื่อใช้เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานความร้อนให้กับลมร้อนที่จะใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิเมล็ดข้าวต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและออกแบบระบบให้ความร้อนข้าวด้วยลมร้อนโดยใช้เทคนิคการเหนี่ยวนำความร้อน

1.2.2 เพื่อศึกษาและออกแบบวงจรเหนี่ยวนำความร้อนด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าสำหรับเป็นแหล่งกำเนิดพลังงานความร้อน

1.2.3 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ผลต่างของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้นที่อัตราการไหลต่างกัน

1.2.4 เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และเก็บเป็นข้อมูลสถิติ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบเครื่องให้ความร้อนหรือนำไปปรับใช้ให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการได้

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.3.1 ออกแบบและสร้างเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนที่สามารถทำให้เมล็ดข้าวมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากเดิมได้จริง

1.3.2 ศึกษาและสร้างวงจรเหนี่ยวนำความร้อนด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนของลมร้อนสำหรับใช้กับเครื่องให้ความร้อนที่สร้างขึ้น

1.3.3 เครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวที่สร้างขึ้น ต้องสามารถทำให้เมล็ดข้าวมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากเดิมอย่างน้อย 8 องศาเซลเซียสต่ออัตราการไหลข้าว 3 ตันต่อชั่วโมงได้

1.3.4 เก็บรวบรวมข้อมูลผลการทดลองเพื่อจัดทำเป็นสถิติ เพื่อใช้เป็นต้นแบบในการสร้างเครื่องให้ความร้อนหรือปรับปรุงให้ดีขึ้นในอนาคต

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 ศึกษาหาข้อมูลรูปแบบของเครื่องอบข้าวหรือรูปแบบการให้ความร้อนเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าว

1.4.2 ออกแบบเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนเพื่อใช้ทดสอบการให้ความร้อนที่มีอัตราการไหลข้าว 3 ตันต่อชั่วโมง

1.4.3 วิจัย พัฒนา ออกแบบ และสร้างระบบสำหรับทดสอบที่สามารถใช้ทดสอบและประปรุงให้เครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนสามารถเพิ่มอุณหภูมิเมล็ดข้าวขึ้นจากเดิมอย่างน้อย 8 องศาเซลเซียส

1.4.4 ทดสอบ เก็บผลการทดลอง และวิเคราะห์ผลของเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนโดยใช้พลังงานความร้อนจากการเหนี่ยวนำความร้อนที่สร้างขึ้น

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1 แนวทางการดำเนินงาน

1) ศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

2) ออกแบบและสร้างเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนโดยใช้พลังงานความร้อนจากการเหนี่ยวนำความร้อน

3) ทดสอบ เก็บผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง

1.5.2 ระเบียบวิธีวิจัยเป็นงานวิจัยประยุกต์ ซึ่งดำเนินการตามกรอบงานดังต่อไปนี้

1) สำรวจปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2) ศึกษาและวิเคราะห์ระบบการอบข้าวหรือการให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวที่นิยมใช้ในปัจจุบันเพื่อหาข้อแตกต่างของงานวิจัย

3) วิเคราะห์และปรับปรุงให้เครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนมีประสิทธภาพมากขึ้น

1.5.3 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการ สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อาคารเครื่องมือ 3
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ต. สุรนารี
อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000

1.5.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1) คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล

2) แหล่งจ่ายไฟกระแสตรง

3) ออสซิลโลสโคป

4) กล้องส่องอุณหภูมิแบบอินฟราเรด

5) ชุดเซนเซอร์วัดอุณหภูมิแสดงผลแบบดิจิตอล

1.5.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1) เก็บรวบรวมผลจากการออกแบบ การสร้าง และทดสอบเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวโดยเก็บผลของอุณหภูมิของเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้นต่ออัตราการไหลผ่านเครื่องที่ปริมาณ 1 ตัน 2 ตัน และ 3 ตันต่อชั่วโมง พลังงานที่ใช้

2) เก็บผลด้านการกระจายตัวของความร้อนหรือความสม่ำเสมอของอุณหภูมิเมล็ดข้าวหลังผ่านเครื่องด้วยการส่องดูด้วยกล้องส่องอุณหภูมิแบบอินฟาเรพด

1.5.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลความรู้เกี่ยวกับการสร้างและผลการทดลองของเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนโดยใช้แหล่งพลังงานความร้อนจากการเหนี่ยวนำความร้อน จะถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยสูตรคำนวณทางคณิตศาสตร์และแสดงผลเป็นข้อมูลทางวิศวกรรม วิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน พลังงานทั้งหมดที่ต้องใช้ในการทำให้ข้าวมีอุณหภูมิสูงขึ้นตามที่ต้องการ ประสิทธิภาพในการให้ความร้อนกับเมล็ดข้าวของเครื่องให้ความร้อน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถออกแบบและสร้างเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนเพื่อใช้กับเครื่องฆ่ามอดข้าวแบบไดอิเล็กตริกโดยใช้พลังงานความร้อนจากการเหนี่ยวนำความร้อนได้

1.6.2 มีความรู้ความสามารถในการออกแบบและสร้างวงจรเหนี่ยวนำความร้อนด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีกำลังสูงได้

1.6.3 สามารถนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาและวิจัยมาประกอบวิชาชีพได้

1.6.4 สามารถนำความรู้ที่ได้ทางทฤษฎีมาประยุกต์ใช้กับงานอื่น ๆ ได้

1.6.5 ได้ทักษะการเรียนรู้ด้วยตนเอง การคิดวิเคราะห์และออกแบบ รวมทั้งการแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าที่เกิดขึ้น

1.7 ปริทัศน์วรรณกรรม

เพื่อให้ทราบถึงแนวทางและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทิศทางความเป็นไปได้ของงานวิจัยตลอดจนปัญหาและข้อเสนอแนะต่าง ๆ เพื่อนำไปสู่วัตถุประสงค์หลักตามที่ตั้งไว้ โดยได้มีการศึกษาผลงานวิจัยที่ผ่านมาและได้อาศัยฐานข้อมูลที่มีอยู่ ซึ่งฐานข้อมูลที่ใช้ในการสืบค้นงานวิจัยนี้เป็นฐานข้อมูลที่มีความน่าเชื่อถือ มีชื่อเสียง และได้รับการยอมรับกันอย่างกว้างขวาง เช่น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ฐานข้อมูล IEEE SCOPUS และ ScienceDirect นอกจากนี้ยังได้มีการสืบค้นงานวิจัยจากแหล่งสืบค้นข้อมูลอื่น ๆ เช่น จากเครื่องข่ายอินเตอร์เน็ต จากห้องสมุดของมหาวิทยาลัย โดยผลจากการสืบค้นข้อมูลที่ได้นั้นจะนำมาใช้เป็นแนวทางในการดำเนินการวิจัยต่อไป สำหรับเนื้อหาในส่วนนี้จะได้กล่าวถึง ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่จำเป็นต้องศึกษามีด้วยกัน 2 ส่วนหลัก ๆ คือ ในส่วนของแหล่งพลังงานความร้อนจากการเหนี่ยวนำความร้อนด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และในส่วนของกระบวนการออกแบบตู้ที่มีชั้นรางสำหรับให้ข้าวไหลภายในเพื่อรับพลังงานความร้อนจากลมร้อน

เริ่มจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเหนี่ยวนำความร้อนด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ถือว่าเป็นส่วนสำคัญสำหรับแหล่งพลังงานความร้อนที่จะนำไปใช้ในกระบวนการอบแห้งด้วยลมร้อน โดยในงานวิจัยการวิเคราะห์เชิงความร้อนเชิงตัวเลขและเชิงทดลองสำหรับกระบอกกลวงโลหะภายใต้การให้ความร้อนเหนี่ยวนำด้วยแม่เหล็กไฟฟ้าแบบเป็นขั้นตอนวิศวกรรมความร้อนประยุกต์ (Jiin-Yuh Jang, Yu-Wei Chiu, 2007) ได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะของการเกิดความร้อนที่ตัวเหล็กกลวงทรงกระบอกหนา โดยทำการเหนี่ยวนำตัวชิ้นงานเป็นระยะเวลา 100 วินาที ผลการวิเคราะห์ค่าความร้อนที่ถูกเหนี่ยวนำในตำแหน่งต่าง ๆ บนตัวชิ้นงานจะเห็นได้ว่าบริเวณผิวของแท่งเหล็กทรงกระบอกกลวง มีความหนาแน่นกระแสสูงกว่าบริเวณที่ลึกลงไปในผิวซึ่งแทบจะไม่มีความหนาแน่นกระแสเหลืออยู่เลยหรือเกือบเป็นศูนย์นั่นเอง จึงทำให้เกิดการเหนี่ยวความร้อนขึ้นเฉพาะบริเวณผิวที่มีความหนาแน่นของกระแสเหนี่ยวนำสูงเท่านั้น จากงานวิจัยนี้ที่จึงเป็นเหตุผลสนับสนุน ในเรื่องของการเลือกรูปแบบของเหล็กที่จะนำมาใช้ในการเหนี่ยวนำความร้อน เนื่องจากส่วนของการแลกเปลี่ยนความร้อนในระบบ มีความต้องการพื้นผิวที่ร้อนในการสัมผัสกับอากาศเพื่อทำการถ่ายโอนความร้อน และวงจรเหนี่ยวนำความร้อนยังต้องใช้ความเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับผิวของเหล็กเพื่อตอบสนองต่อความเร็วของอากาศที่ไหลผ่านเหล็กให้เพียงพอการถ่ายโอนพลังงานความร้อนจากเหล็กให้กับอากาศ ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้เหล็กกลวงทรงกระบอกที่มีผิวบางสำหรับเป็นตัวถูกเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อน และการเลือกใช้ท่อเหล็กกลวงที่มีความบางจะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียหรือการสิ้นเปลืองพลังงานเนื่องจากการนำความร้อนเข้าสู่แกนกลางเหล็กทำให้เกิดการสะสมความร้อนภายในเนื้อเหล็กซึ่งไม่สามารถถ่ายโอนให้กับอากาศได้ อีกทั้งยังมีผลทำให้ความเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิที่ผิวชิ้นงานลดลง

จากงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นจึงเป็นเหตุผลสนับสนุน ในเรื่องของการเลือกรูปแบบของชิ้นงานที่จะใช้ในการเหนี่ยวนำความร้อน เนื่องจากการแลกเปลี่ยนความร้อนของชิ้นงานที่ทำให้เกิดลมร้อน มีความต้องการพื้นผิวที่ร้อนในการสัมผัสกับอากาศเพื่อทำการถ่ายโอนความร้อน และวงจรเหนี่ยวนำความร้อนยังต้องใช้ความเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับผิวของชิ้นงานเพื่อตอบสนองต่อความเร็วของอากาศให้เพียงพอ ผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้เหล็กกลวงทรงกระบอกที่มีผิวบางแทนที่การใช้

เหล็กตัน สำหรับเป็นตัวถูกเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อน โดยให้ความร้อนเกิดขึ้นที่บริเวณผิวบางๆ เพื่อให้ความร้อนที่ถูกเหนี่ยวนำถ่ายโอนให้กับอากาศผ่านพื้นที่ผิวด้านใน ซึ่งเป็นลักษณะการถ่ายโอนความร้อนผ่านท่อให้ได้มากที่สุด วิธีนี้ยังช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียเนื่องจากการนำความร้อนเข้าสู่แกนกลางเหล็กแล้วทำให้ความเร็วในการเพิ่มอุณหภูมิที่ผิวชิ้นงานลดลง

ต่อไปผู้วิจัยจะกล่าวถึงในส่วนของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าว โดยปกติการให้ความร้อนกับเมล็ดข้าวนั้นจะมีวัตถุประสงค์เพื่อไล่ความชื้นของข้าวเพื่อยืดอายุการเก็บรักษาเมล็ดข้าวให้สามารถเก็บรักษาข้าวไว้ได้นานๆ โดยข้าวนั้นยังคงคุณภาพสามารถนำไปทำพันธุ์หรือนำไปรับประมานได้ ดังนั้นในส่วนนี้จะขอกล่าวเกี่ยวกับการอบข้าวหรือระบบการไล่ความชื้นในข้าวที่มีส่วนในการนำข้อมูลมาใช้ประกอบการออกแบบและสร้างเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวที่เป็นหัวข้อวิจัยของผู้วิจัย

จากงานวิจัยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบหล่นอิสระของ ทวิช จิตรสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี (กรมทรัพย์สินทางปัญญา, 2550) ซึ่งเป็นเครื่องอบแห้งที่มีการออกแบบที่ดีและประหยัดพลังงาน ด้วยการใช้เทคนิคการอบแห้งแบบปล่อยข้าวหล่นอิสระและลมไหลสวนทาง หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งนี้คือ พัดลมเป่าอากาศผ่านขดลวดความร้อน เพื่อสร้างลมร้อนเข้าสู่ท่ออบแห้งที่ตั้งอยู่ในแนวดิ่ง ความยาวท่อในการทดลองประมาณ 2 เมตร ส่วนข้าวเปลือกตกลงมาโดยอิสระจากถังพักทางด้านบนของท่อสวนทางกับการไหลขึ้นของลมร้อนโดยปากท่อด้านบนจะมีช่องสำหรับระบายอากาศชื้นออกจากท่อ ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นกับอากาศร้อนอย่างรวดเร็ว เป็นผลให้ข้าวเปลือกมีความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วโดยที่ข้าวเปลือกจะอยู่ในท่อเป็นระยะเวลาสั้น ๆ ประมาณ 1 วินาทีในแต่ละรอบจากนั้นข้าวเปลือกจะออกจากท่ออบแห้งเข้าสู่ถังพักทางด้านล่างและเพื่อให้ได้ข้าวเปลือกที่มีความชื้นอยู่ในระดับที่ต้องการ จึงต้องลำเลียงข้าวเปลือกเข้าสู่ท่ออบแห้งหลายรอบ

จากงานวิจัยนี้เป็นเหตุผลในการเลือกออกแบบเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวแบบข้าวไหลสวนทางกับลมร้อน โดยรางไหลต้องมีความยาวรวมไม่น้อยกว่า 2 เมตร และการทิศทางการไหลของลมร้อนจะเป่าสวนทางกับการไหลของข้าวเพื่อให้เกิดการแลกเปลี่ยนและถ่ายเทพลังงานความร้อนจากลมร้อนสู่เมล็ดข้าวได้ดีที่สุด

1.8 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วย 5 บท และ ภาคผนวก

บทที่ 1 กล่าวถึง บทนำ ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และรายละเอียดในวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึง หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการออกแบบเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนโดยใช้พลังงานความร้อนจากการเหนี่ยวนำความร้อน

บทที่ 3 กล่าวถึง การออกแบบวงจรเหนี่ยวนำความร้อนด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้า การออกแบบชุดโหลดความร้อน การออกแบบเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนโดยใช้พลังงานความร้อนจากการเหนี่ยวนำความร้อน

บทที่ 4 กล่าวถึง ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

บทที่ 5 กล่าวถึง สรุปผลการทดลอง โดยมีรายละเอียดเกี่ยวกับการสรุปผลการวิจัยของการให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนในบทต่าง ๆ ทั้งหมด ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาในอนาคต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

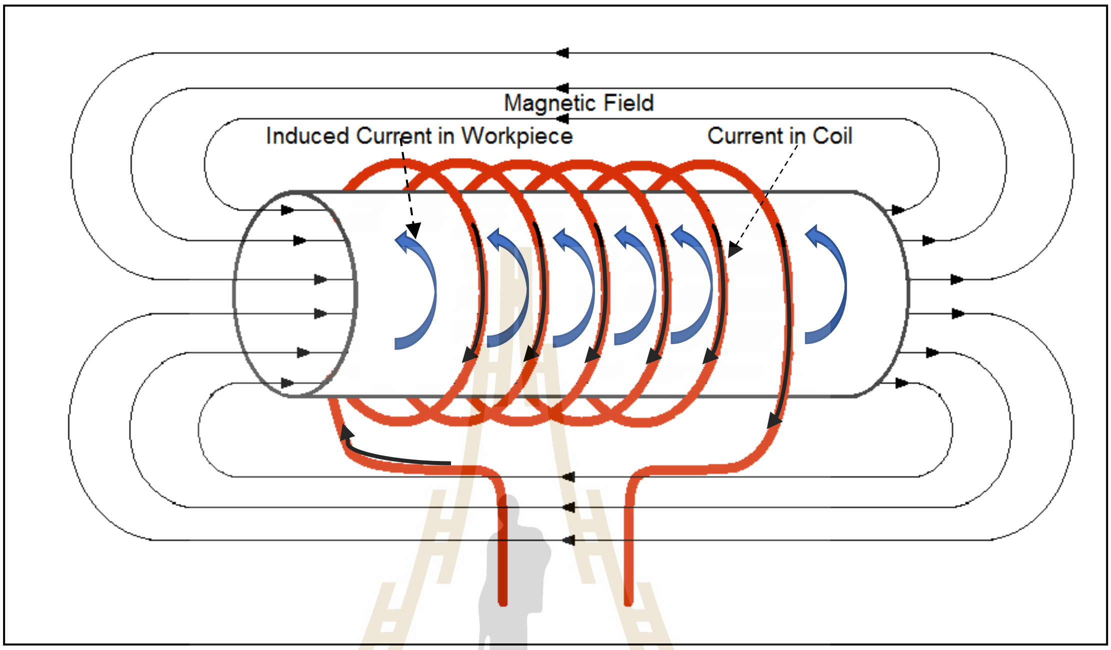
บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในการออกแบบเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนโดยใช้พลังงานความร้อนจากการเหนี่ยวนำความร้อน

การออกแบบเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนโดยใช้พลังงานความร้อนจากการเหนี่ยวนำความร้อน สามารถแบ่งเป็นส่วนที่สำคัญได้สามส่วนหลัก ๆ คือ ทฤษฎีในส่วนของวงจรเหนี่ยวนำความร้อน ทฤษฎีในส่วนของการถ่ายโอนความร้อนระหว่างชิ้นงานที่ถูกเหนี่ยวนำความร้อนกับอากาศ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในส่วนของการคำนวณพลังงานความร้อน ซึ่งการที่จะออกแบบและสร้างเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวนั้นจำเป็นต้องมีความรู้ในทุกส่วนส่วนประกอบกันจึงจะสามารถสร้างเครื่องให้ความร้อนให้ออกมามีระบบที่สมบูรณ์และสามารถนำไปใช้งานได้ เนื้อหาในบทนี้จะได้กล่าวถึง หลักการเกิดความร้อนโดยการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า หลักการสร้างวงจรเหนี่ยวนำความร้อน วงจรเรียงกระแส วงจรอินเวอร์เตอร์ โหลดเรโซแนนซ์ ทฤษฎีและหลักการของกระบวนการให้ความร้อน การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในกระบวนการ การคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ซึ่งสิ่งเหล่านี้เป็นข้อมูลความรู้ที่ผู้วิจัยหรือผู้ที่สนใจจะออกแบบและสร้างเครื่องให้ความร้อนหรือเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนหรือแม้แต่ต้องการจะนำต่อยอดพัฒนาจำเป็นต้องรู้ ดังมีรายละเอียดในส่วนต่าง ๆ ดังนี้

2.1 หลักการเกิดความร้อนโดยการเหนี่ยวนำทางแม่เหล็กไฟฟ้า

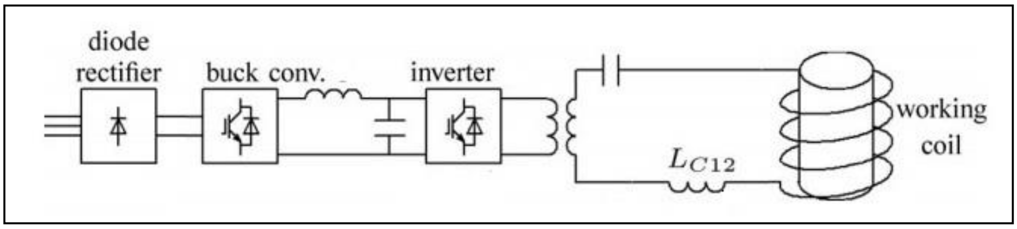
กระบวนการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำเป็นการให้ความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงอีกรูปแบบหนึ่งเมื่อเทียบกับการให้ความร้อนแบบขดลวดความร้อน หรือรูปแบบอื่น ๆ ในลักษณะงานที่ต้องการให้เกิดความร้อนโดยตรงบนชิ้นงาน (Jeerasak Wongsa et al., 2014) การให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำอาศัยหลักการเหนี่ยวนำ โดยการป้อนไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงให้กับขดลวด ดังรูปที่ 2.1 เมื่อมีไฟฟ้ากระแสสลับไหลผ่านขดลวดก็จะทำให้เกิดการสร้างสนามแม่เหล็กไปเกี่ยวคล้องกับวัสดุที่มีคุณสมบัติเป็นสารแม่เหล็ก (Ferromagnetic) ส่งผลให้เกิดการเหนี่ยวนำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลวนอยู่ภายในวัสดุในทิศตรงข้ามกับทิศการไหลของกระแสไฟฟ้าที่ไหลในขดลวดตามกฎมือขวา เนื่องจากในวัสดุที่เป็นสารแม่เหล็กแต่ละชนิดจะมีค่าความต้านทานกระแสไฟฟ้า ซึ่งแต่ละชนิดจะมีค่าความต้านทานกระแสไฟฟ้าต่างกัน ความต้านทานกระแสไฟฟ้านี้ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานในการไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน คือพลังงานไม่สามารถ

สูญหายไปได้ แต่สามารถเปลี่ยนรูปได้ ดังนั้นพลังงานที่สูญเสียนี้จึงเปลี่ยนรูปไปเป็นความร้อนที่เกิดขึ้นในตัววัสดุ

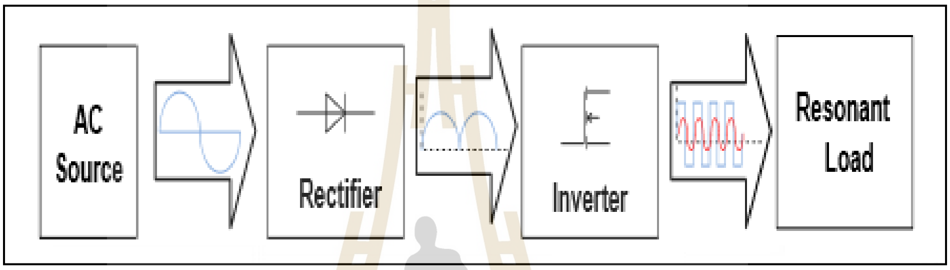


รูปที่ 2.1 หลักการเกิดการเหนี่ยวนำความร้อน

ในหลักของการสร้างกระแสความถี่สูงเพื่อใช้ในการเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อน จากภาพรวมของวงจรเหนี่ยวนำความร้อน ดังรูปที่ 2.2 สามารถแบ่งการทำงานออกเป็นบล็อกไดอะแกรมได้ ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งเริ่มจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ ป้อนให้กับวงจรเรียงกระแส ซึ่งทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนวงจรกรองแรงดันทางด้านเอาต์พุตจะใช้ตัวเก็บประจุขนาดใหญ่ เพื่อกรองไฟกระแสตรงให้เรียบขึ้น แล้วจ่ายให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ ซึ่งทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูงโดยใช้เพาเวอร์ไอจีบีที (Insulated gate bipolar transistor) ทำหน้าที่เป็นสวิตช์กำลังสูง เพื่อจ่ายให้กับชุดโหลดเรโซแนนซ์ซึ่งต่อแบบอนุกรม



รูปที่ 2.2 วงจรเหนี่ยวนำความร้อน (Jeerasak Wongsa et al., 2014)



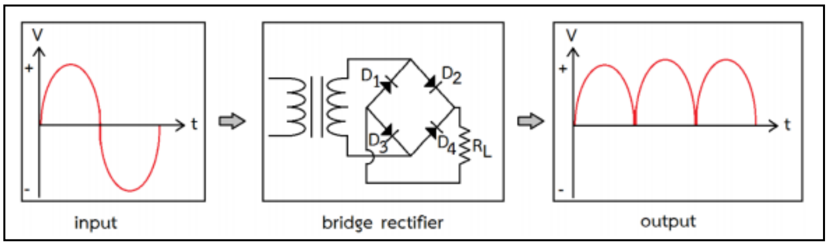
รูปที่ 2.3 บล็อกไดอะแกรมของวงจรเหนี่ยวนำความร้อน (Jeerasak Wongsa et al., 2014)

2.1.1 หลักการสร้างวงจรเหนี่ยวนำความร้อน

ในการสร้างวงจรเหนี่ยวนำความร้อนด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้านั้น ประกอบด้วยวงจรย่อยอีกหลายส่วน ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบบริดจ์ (bridge rectifier circuit)

วงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบบริดจ์เป็นวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นชนิดหนึ่ง ซึ่งมีข้อดีคือ สามารถใช้ร่วมกับหม้อแปลงธรรมดาได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้หม้อแปลงชนิดเซนเตอร์แท็ป ซึ่งวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบบริดจ์ประกอบด้วยไดโอด 4 ตัว ดังรูปที่ 2.4 เมื่อมีสัญญาณขาเข้า (input) ซีกบวกของไฟฟ้ากระแสสลับ ไดโอดตัวที่ D2 และ D3 จะอยู่ในสภาวะไบอัสตรง (forward bias) กระแสไฟฟ้าจึงไหลครบวงจร เกิดสัญญาณขาออก(output) โดยไดโอดตัวอื่น ๆ จะอยู่ในสภาวะไบอัสกลับ (reverse bias) ในทำนองเดียวกัน เมื่อสัญญาณขาเข้า (input) สลับเป็นสัญญาณซีกลบ ไดโอดตัวที่ D4 และ D1 จะอยู่ในสภาวะไบอัสตรง (forward bias) กระแสไฟฟ้าจึงไหลครบวงจร เกิดสัญญาณขาออก (output) โดยไดโอดตัวอื่น ๆ จะอยู่ในสภาวะไบอัสกลับ (reverse bias)



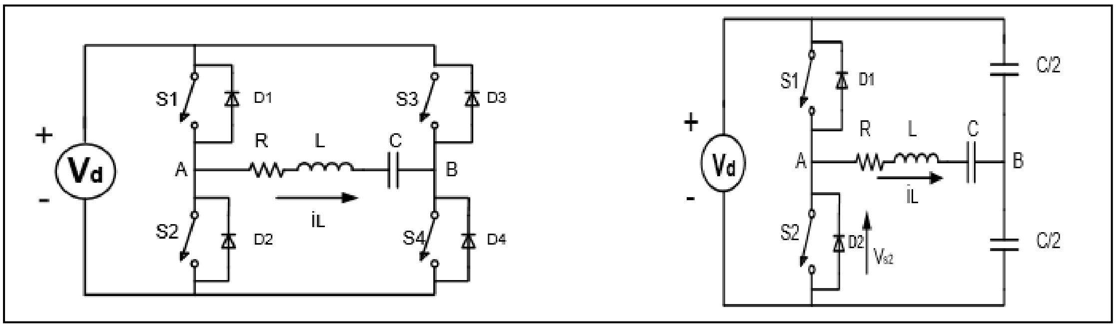
รูปที่ 2.4 บล็อกไดอะแกรมของวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบบริดจ์ (Jeerasak Wongsa et al., 2014)

เนื่องจากวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบบริดจ์เป็นวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นชนิดหนึ่ง การคำนวนค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า จึงคำนวณเหมือนกับวงจรเรียงกระแสไฟฟ้าแบบเต็มคลื่นทั่วไปดังสมการที่ 2.1

$$V_{DC}= 1.414V_{AC} \tag{2.1}$$

วงจรอินเวอร์เตอร์ (Inverter)

ในส่วนของวงจรอินเวอร์เตอร์เป็นวงจรที่มีหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นกระแสสลับความถี่สูงมี 2 รูปแบบ คือวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์และวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์ ดังรูปที่ 2.4 ซึ่งข้อแตกต่างกันระหว่างวงจรอินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์และวงจรอินเวอร์เตอร์ คือแรงดันของวงจรอินเวอร์เตอร์ (V_{AB}) ของวงจรแบบฟูลบริดจ์ จะได้รูปคลื่นสแควร์ที่มีแรงดันสูงเท่ากับ $+V_d$ และแรงดันต่ำสุดเท่ากับ $-V_d$ กระแสผ่านโหลด (i_L) เป็นรูปคลื่นซายด์ดังภาพที่ 2.5 (ก) ส่วนวงจรอินเวอร์เตอร์ฮาล์ฟบริดจ์จะได้ค่าแรงดันเท่ากับ $+V_d$ และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ 0 และกระแสไหลผ่านโหลด(i_L) เป็นรูปคลื่นซายน์ดัง ภาพที่ 2.5 (ข) ดังนั้นกำลังไฟฟ้าของวงจรฟูลบริดจ์อินเวอร์เตอร์จะมากกว่าฮาล์ฟบริดจ์อินเวอร์เตอร์



(ก) อินเวอร์เตอร์แบบฟูลบริดจ์ (ข) อินเวอร์เตอร์แบบฮาล์ฟบริดจ์

รูปที่ 2.5 คลื่นแรงดันและกระแสโหลดของวงจรอินเวอร์เตอร์ (Jeerasak Wongsa et al., 2014)

เนื่องจากวงจรเหนี่ยวนำความร้อนดังกล่าวมีลักษณะของสนามแม่เหล็กและกระแสไหลวนเป็นแบบกระแสสลับ (AC) ความถี่ที่ใช้งานจึงทำให้มีผลกระทบเชิงผิว (Skin effect) ที่ส่งผลให้การทะลุผ่านวัตถุของสนามแม่เหล็กมีความลึกต่างกันที่ความถี่ต่างกัน ในกรณีที่ชิ้นงานที่ใช้เหนี่ยวนำความร้อนมีลักษณะเป็นเหล็กหนาจึงทำให้เกิดการกระจายตัวของกระแสไหลวน (Eddy current) ที่ไม่เท่ากันที่ระดับความลึกต่างกัน โดยที่ตรงตำแหน่งใกล้ๆพื้นผิววัตถุจะมีกระแสไหลวนสูงสุดและลดลงเรื่อย ๆ เมื่อความลึกเพิ่มขึ้น โดยเราสามารถหาค่า Skin depth (δ) หรือระยะความลึกสูงสุดที่กระแสส่วนใหญ่ของกระแสไฟฟ้าเหนี่ยวนำจะไหลระหว่างพื้นผิวกับความลึกของผิว δ ได้จากสมการที่ 2.2

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{\pi\mu\sigma f}} \qquad (2.2)$$

δ คือค่าความลึกผิวในการทะลุผ่านของสนามแม่เหล็ก (Skin depth), μ คือค่าสภาพให้ซึมซาบแม่เหล็กสัมพัทธ์ (Absolute magnetic permeability), f คือค่าความถี่ของสนามแม่เหล็ก และ σ คือค่าสภาพนำไฟฟ้า สามารถหาได้จากสมการที่ 2.3 (Matej Kranjc et al., 2010)

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \qquad (2.3)$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โดยที่ ρ คือค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า ซึ่งค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าของเหล็กมีค่าประมาณ $10\text{x}10^{-8}$ ถึง $14\text{x}10^{-8}$ โอห์ม-เมตร ($\Omega\cdot m$) จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าถ้าหากเราทำการควบคุมความถี่ของการทำงาน จะเป็นการควบคุมระดับความลึกของชิ้นงานที่ต้องการให้เกิดความร้อนได้

2.1.2 โหลดเรโซแนนซ์ (Resonant Load)

สำหรับโหลดเรโซแนนซ์ที่ใช้กับวงจรอินเวอร์เตอร์ความถี่สูงโดยทั่วไปเช่น เครื่องหลอมโหละ เครื่องชุบแข็งผิวโลหะ เครื่องสร้างสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ เครื่องเชื่อมความถี่สูง และบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ จะมีข้อได้เปรียบที่สำคัญคือ ลดการสูญเสียในการสวิตซ์เมื่อทำการสวิตซ์ตัดวงจรที่กระแสศูนย์ (Zero current switch : ZCS) หรือสวิตช์วงจรที่แรงดันศูนย์ (Zero voltage switch : ZVS) และข้อเสียเปรียบที่สำคัญของวงจรเรโซแนนซ์คือ ที่ตำแหน่งใกล้จุดความถี่เรโซแนนซ์ กระแสในวงจรจะมีค่ามากส่งผลให้แรงดันตกคร่อมวงจรมีค่าเพิ่มมากขึ้นด้วย สำหรับวงจรเรโซแนนซ์ที่มีค่า Q สูง ดังนั้นสวิตซ์ที่เลือกใช้จะต้องสามารถทนแรงดันตกคร่อมขณะ OFF ได้สูงและ L , C ในวงจรที่เลือกใช้ก็เช่นกันจะต้องมีขนาดใหญ่ เพื่อสามารถเก็บพลังงานได้มาก สำหรับอินเวอร์เตอร์เรโซแนนซ์มีด้วยกัน 2 ชนิดคือ อินเวอร์เตอร์โหลดเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรรมและอินเวอร์เตอร์โหลดเรโซแนนซ์ชนิดขนาน ทั้งสองชนิดมีข้อดีข้อเสียต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2.1 และโครงสร้างของวงจร ดังแสดงในตารางที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าอินเวอร์เตอร์โหลดเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรมจะใช้แหล่งจ่ายชนิดแรงดันคงที่ (Constant voltage source) เนื่องจากต้องใช้คาปาซิเตอร์ขนาดใหญ่เพื่อกรอง แรงดันให้เรียบแล้วจ่ายให้กับอินเวอร์เตอร์

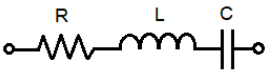
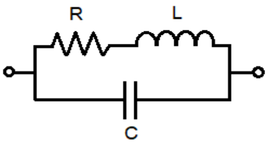
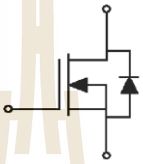
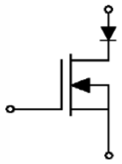
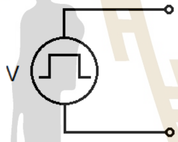
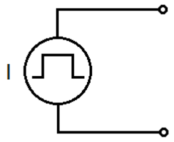
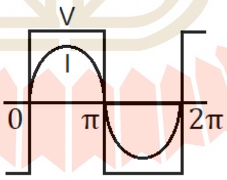
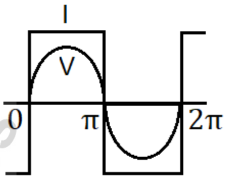
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียวงจรอินเวอร์เตอร์โหลดเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรมและขนาน

วงจรอินเวอร์เตอร์	ข้อดี	ข้อเสีย
โหลดเรโซแนนซ์ อนุกรม	- โครงสร้างง่าย ราคาถูก - สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงได้โดยตรงจากวงจรเรียงกระแสโดยไม่ต้องมีวงจรปรับแรงดัน - กำลังไฟฟ้าที่จ่ายสามารถปรับควบคุมได้ง่ายโดยการปรับความถี่ของวงจรอินเวอร์เตอร์	- ขณะป้อนสัญญาณเพื่อขับวงจรอินเวอร์เตอร์ วงจรโหลดจะเปิดวงจรออกไม่ได้ - ไม่สามารถทนการลัดวงจรที่โหลดได้ - การควบคุมกำลังไฟฟ้าโดยการปรับความถี่ที่สวิตช์ให้เลื่อนออกจากความถี่เรโซแนนซ์ ทำให้กระแสไม่ค่อยเป็นรูปคลื่นซายน์ ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดฮาร์มอนิกส์เกิดขึ้นตามมา
โหลดเรโซแนนซ์ ขนาน	- ขณะป้อนสัญญาณเพื่อขับวงจรอินเวอร์เตอร์ โหลดสามารถเปิดวงจรออกได้ - สามารถทนการลัดวงจรที่โหลดได้ -อุปกรณ์ L และ C ที่ใช้ในวงจรเรโซแนนซ์ไม่จำเป็นต้องมีพิกัดแรงดันสูง เนื่องจากกระแสเป็นรูปคลื่นสแควร์ จึงมีค่า peak คงที่ ที่ตำแหน่งเรโซแนนซ์	- ไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้ากระแสตรงได้โดยตรงจากวงจรเรียงกระแส แต่ต้องมีการปรับแรงดันการใช้สวิตช์ควบคุม - จำเป็นต้องมี coke เนื่องจากเป็น constant current - มีขนาดใหญ่เนื่องจากมี coke และวงจรควบคุมแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขาเข้าให้กับวงจรอินเวอร์เตอร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.2 การเปรียบเทียบลักษณะของอุปกรณ์ คลื่นแรงดันและกระแสที่ใช้ในวงจรอินเวอร์เตอร์โหลดเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรมและขนาน

Inverter	Series Resonant	Parallel Resonant
Load		
Switch		
Source		
Output Waveform		

การต่อเรโซแนนซ์ในวงจรแบบอนุกรม RLC กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านตัวต้านทาน (R) ตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) จะมีค่าเท่ากัน เราจึงพิจารณาเฉพาะความต่างศักย์เท่านั้น โดย

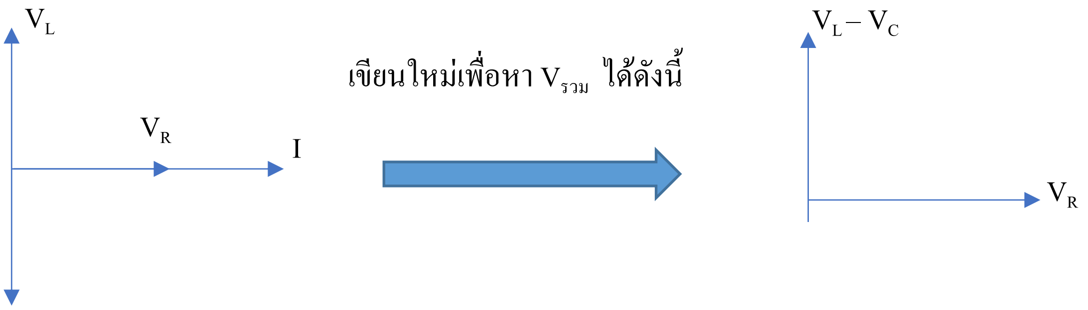
ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ปลายตัวต้านทาน (V_R) จะมีเฟสเดียวกับกระแสไฟฟ้า I

ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ปลายตัวเก็บประจุ (V_C) จะมีเฟสตามหลังกระแสไฟฟ้า I อยู่ 90°

ความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ปลายตัวเหนี่ยวนำ (V_L) จะมีเฟสนำหน้ากระแสไฟฟ้า I อยู่ 90°

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ซึ่งสามารถเขียนแผนภาพเฟเซอร์ได้ ดังนี้



จากแผนภาพเฟเซอร์ใหม่นี้ จะได้ว่า

$$V^2 = V_R^2 + (V_L - V_C)^2 \quad (2.3)$$

ดังนั้น
$$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$$

และมุมเฟสของความต่างศักย์รวม
$$\tan\theta = \frac{V_L - V_C}{V_R}$$

ดังนั้น
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{V_L - V_C}{V_R}\right) \quad (2.4)$$

จากสมการที่ (1) ในกรณีที่ $V_C = V_L$ ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้ารวมในวงจรจะเท่ากับ V_R (เนื่องจากเฟส V_C ต่างจาก V_L อยู่ 180 องศา ทำให้ค่าทั้งสองหักล้างกันเป็นศูนย์)

เนื่องจาก $V_L = IX_L$ และ $V_C = IX_C$

ดังนั้น $V_L = V_C$, $X_L = X_C$

จะได้ว่า
$$2\pi f_r L = \frac{1}{2\pi f_r C}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ดังนั้น $$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \tag{2.5}$$

ค่าความถี่ f_r นี้ เรียกว่า “ค่าความถี่เรโซแนนซ์ (Resonant)” ซึ่งมีผลทำให้กระแสไฟฟ้าในวงจรเมื่ออยู่ในสภาวะเรโซแนนซ์ ค่ากระแสไฟฟ้าในวงจรมีค่ามากที่สุด

จากสมการ $$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$$

เนื่องจาก $$V_R = IR\ ,\ V_L = I_L X_L = IX_L\ ,\ V_C = I_C X_C = IX_C$$

จะได้ว่า $$V = \sqrt{(IR)^2 + (IX_L - IX_C)^2}$$

$$V = I\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$\frac{V}{I} = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

ดังนั้น $$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \tag{2.6}$$

จากสมการที่ (4) ความต้านทานรวมในวงจร เรียกว่า “อิมพีแดนซ์ (Impedance)” ถูกเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ “Z” โดยมีความสัมพันธ์ดังนี้

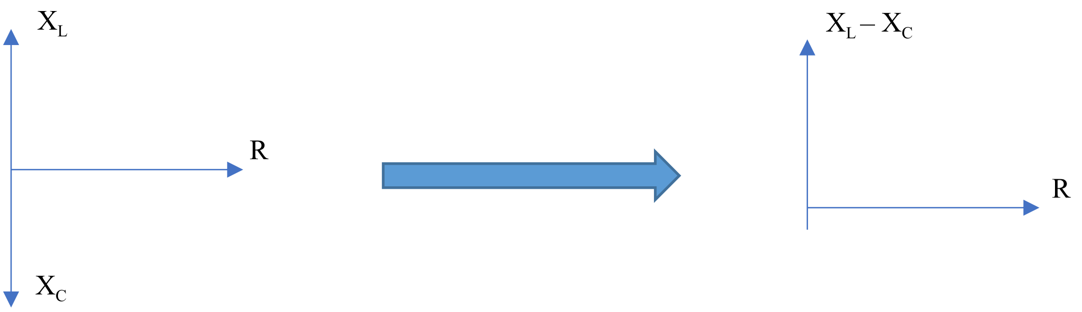
$$Z = \frac{V}{I}$$

และมุมเฟสของความต้านทานรวม $$\tan\theta = \frac{X_L - X_C}{R}$$

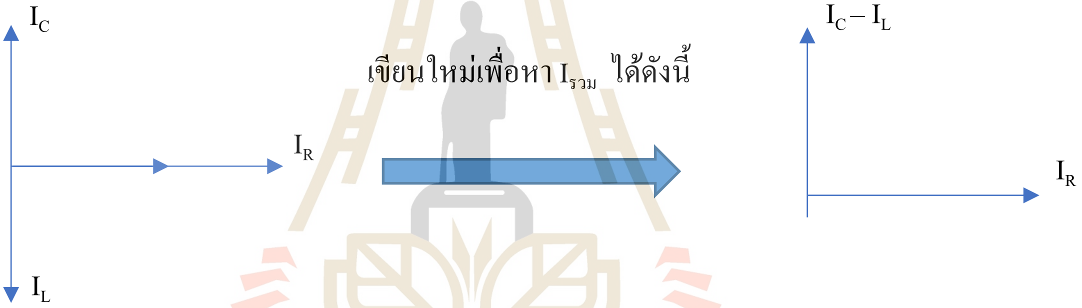
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_L - X_C}{R}\right) \tag{2.7}$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

และสามารถเขียนแผนภาพเฟเซอร์ได้ ดังนี้



สำหรับการต่อเรโซแนนซ์ในวงจรแบบขนาน RLC ความต่างศักย์ตกคร่อมตัวต้านทาน (R) ตัวเหนี่ยวนำ (L) และตัวเก็บประจุ (C) จะมีค่าเท่ากัน เราจึงพิจารณาเฉพาะกระแสไฟฟ้าเท่านั้น โดย



จากแผนภาพเฟเซอร์ใหม่นี้ จะได้ว่า

$$I^2 = I_R^2 + (I_C - I_L)^2 \qquad (2.8)$$

ดังนั้น
$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2}$$

และมุมเฟสของกระแสรวม
$$\tan\theta = \frac{I_C - I_L}{I_R}$$

ดังนั้น
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{I_C - I_L}{I_R}\right) \qquad (2.9)$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ในกรณีที่ $I_C = I_L$ กระแสไฟฟ้ารวมในวงจรจะเท่ากับ I_R (เนื่องจากเฟส I_C ต่างจาก I_L อยู่ 180 องศา ทำให้ค่าทั้งสองหักล้างกันเป็นศูนย์)

เนื่องจาก $V_L = IX_L$ และ $V_C = IX_C$

ดังนั้น $$V_L = V_C\ ,\ X_L = X_C$$

จะได้ว่า $$2\pi f_r L = \frac{1}{2\pi f_r C}$$

ดังนั้น $$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \qquad (2.10)$$

ค่าความถี่ f_r นี้ เรียกว่า "ค่าความถี่เรโซแนนซ์ (Resonant)" ซึ่งมีผลทำให้กระแสไฟฟ้าในวงจรเมื่ออยู่ในสภาวะเรโซแนนซ์ ค่ากระแสไฟฟ้าในวงจรมีค่าน้อยที่สุด

จากสมการ $$I = \sqrt{I_R^2 + (I_C - I_L)^2}$$

เนื่องจาก $I_R = \frac{V}{R}$, $I_C = \frac{V}{X_C}$, $I_L = \frac{V}{X_L}$ และ $V = V_R = V_C = V_L$

จะได้ว่า $$I = \sqrt{(\frac{V}{R})^2 + (\frac{V}{X_C} - \frac{V}{X_L})^2}$$

$$I = V\sqrt{(\frac{1}{R})^2 + (\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L})^2}$$

$$\frac{V}{Z} = V\sqrt{(\frac{1}{R})^2 + (\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L})^2}$$

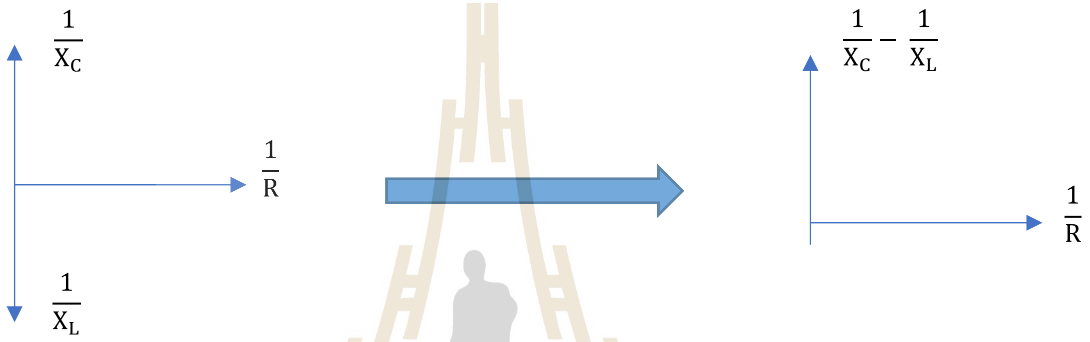
ดังนั้น $$\frac{1}{Z} = \sqrt{(\frac{1}{R})^2 + (\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L})^2} \qquad (2.11)$$

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

และมุมเฟสของความต้านทานรวม $\tan\theta = \frac{\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}}{\frac{1}{R}}$

ดังนั้น $$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{\frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L}}{\frac{1}{R}}\right) \quad (2.12)$$

และสามารถเขียนแผนภาพเฟเซอร์ได้ ดังนี้



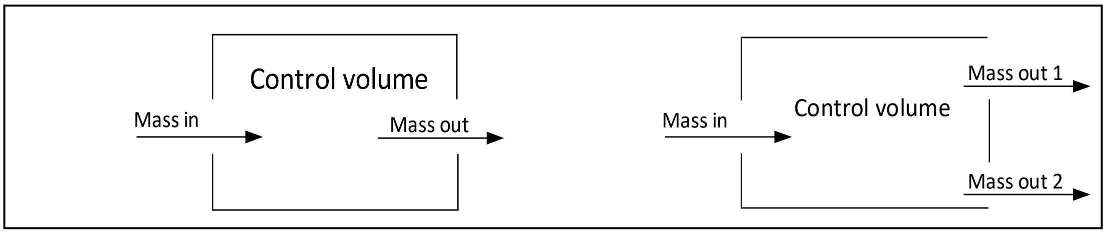
จากสมการและคำอธิบายข้างต้นที่ได้กล่าวมานี้ สามารถนำมาสรุปเปรียบเทียบคุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรมและขนานได้ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของวงจรเรโซแนนซ์ชนิดอนุกรมและขนาน

คุณสมบัติ	เรโซแนนซ์ชนิดอนุกรม	เรโซแนนซ์ชนิดขนาน
ความถี่เรโซแนนซ์ f_r	$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$	$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
แรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม R	สูงสุดที่ f_r	คงที่ที่ V_o
กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน R	คงที่ที่ $\frac{V_o}{R}$	ต่ำสุดที่ f_r
ค่า Q	$Q = \frac{2\pi f_R L}{R}$	$Q = \frac{R}{2\pi f_R L}$
ค่าแบนด์วิดช์, BW	$BW = \frac{f_R}{Q}$	$BW = \frac{f_R}{Q}$
สภาวะ Impedance ที่จุดต่ำกว่า f_r	Capacitive	Inductive
สภาวะ Impedance ที่จุดสูงกว่า f_r	Inductive	Capacitive
ผลกระทบเมื่อเปลี่ยนค่า R	เพิ่มค่า R , ค่า BW *เพิ่ม*	เพิ่มค่า R , ค่า BW *ลด*
ผลกระทบเมื่อเปลี่ยนค่า $\frac{L}{C}$	เพิ่มค่า $\frac{L}{C}$, ค่า BW ลด	เพิ่มค่า $\frac{L}{C}$, ค่า BW *ลด*

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการถ่ายโอนความร้อน

สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบระบบการให้ความร้อนกับสิ่งใดสิ่งหนึ่งนั้นอีกสิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงคือการคำนวณในเรื่องของการถ่ายโอนพลังงานระหว่างวงจรเหนี่ยวนำความร้อนกับอากาศ ซึ่งเป็นลักษณะของการวิเคราะห์พลังงานสำหรับระบบที่มีการไหลแบบคงตัว สามารถแบ่งได้เป็นสองแบบคือระบบที่มีการไหลแบบกระแสเดียวและระบบที่มีการไหลแบบหลายกระแสดังรูปที่ 2.3 (ก) และ (ข) ตามลำดับ โดยมีนิยามว่า ในระหว่างกระบวนการที่มีการไหลแบบคงตัว ปริมาตร มวล และพลังงานภายในระบบจะมีค่าคงที่



(ก) (ข)

รูปที่ 2.6 ระบบที่มีการไหลแบบกระแสเดียว (ก) ระบบที่มีการไหลแบบหลายกระแส (ข)

การถ่ายเทมวลความชื้นจากวัสดุไปสู่อากาศเกิดขึ้นจากการพาความร้อน เนื่องจากความแตกต่างของ partial vapor pressure ที่ boundary layer ในบริเวณรอยต่อผิวสัมผัสของอากาศและวัสดุ การระเหยโดยตรงเกิดขึ้นเมื่อความดันไอในผิวมีค่าเท่ากับความดันบรรยากาศ อย่างเช่นในกรณีนี้ของ vacuum drying และ freeze drying การอบแห้งแบบการพาความร้อน สภาวะขอบสำหรับ heat flux q_c และอัตราการ ระเหย n_w จะอยู่ในรูป

Heat transfer → $q_c = h_g(T_{sf} - T_g)$

Mass transfer → $n_w = k_g(P_{vsf} - P_{vg}$

โดยที่ h_g คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน

k_g คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล

T_{sf} คือ อุณหภูมิพื้นผิววัสดุ

T_g คือ อุณหภูมิอากาศอบแห้ง

P_{vsf} คือ water vapor partial pressure of surface

P_{va} คือ water vapor partial pressure of air

และความสามารถในการระเหย จะขึ้นอยู่กับปริมาณความร้อนที่ให้เข้าไปในวัสดุผ่านอากาศร้อน ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทในระเหย q_w สามารถแสดงได้ด้วยสมการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Heat transfer in evaporation ⟶ $q_w = UA\Delta T$

โดยที่ U คือ สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนรวม [W/(m^2·K)]

A คือ พื้นที่ถ่ายเทความร้อน [m^2]

ΔT คือ ผลต่างอุณหภูมิระหว่างสารละลายกับตัวกลางความร้อน

ในส่วนของการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างอากาศกับวงจรเหนี่ยวนำความร้อน จะเป็นลักษณะของระบบที่มีการไหลแบบกระแสเดียว ซึ่งเราสามารถทำการคำนวณพลังงานในระบบที่มีการไหลแบบกระแสเดียวได้ดังนี้ เริ่มจากการวิเคราะห์พลังงานรวมของระบบ อัตราการถ่ายโอนพลังงานสุทธิเข้าจะเท่ากับอัตราการถ่ายโอนพลังงานสุทธิออกดังสมการที่ 2.13 (Yunus A.Cengel, Micheal A.Boles, 2011)

$$\dot{E}_{in} = \dot{E}_{out} \tag{2.13}$$

จากสมการที่ 2.13 อัตราการถ่ายโอนพลังงานสุทธิ $\dot{E}$ จะมีค่าเท่ากับผลรวมของความร้อน งาน และมวลจะได้

$$\dot{Q}_{in} + \dot{W}_{in} + \dot{m}_{in}\theta = \dot{Q}_{out} + \dot{W}_{out} + \dot{m}_{out}\theta \tag{2.14}$$

จากสมการที่ 2.15 $\theta = h + \frac{V^2}{2} + gz$ โดยที่ h คือค่าเอนทัลปีของสาร V คือความเร็วในการเคลื่อนที่ของระบบ z คือค่าความสูงของระบบที่เปลี่ยนไปในกรณีที่ระบบมีการเคลื่อนที่ในแนวดิ่ง และ g คือค่าความโน้มถ่วงของโลก จะได้

$$\dot{Q}_{in} + \dot{W}_{in} + \dot{m}_{in}\left(h + \frac{V^2}{2} + gz\right)_{in} = \dot{Q}_{out} + \dot{W}_{out} + \dot{m}_{out}\left(h + \frac{V^2}{2} + gz\right)_{out} \tag{2.15}$$

จากสมการที่ 2.13 สามารถลดรูปได้ดังสมการที่ 2.16

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}\left[h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1)\right] \tag{2.16}$$

เนื่องจากสองเทอมหลังในสมการที่ 2.16 เป็นเทอมของพลังงานจลน์และพลังงานศักย์ในกรณีที่ระบบไม่มีการเคลื่อนที่สองเทอมหลังจะเป็นศูนย์จะได้

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}[h_2 - h_1] \tag{2.17}$$

โดยที่ $\dot{Q}$ คือค่าความร้อนมีหน่วยเป็นวัตต์, $\dot{W}$ คืองานซึ่งขึ้นอยู่กับว่าในระบบมีอะไรเป็นตัวให้งาน , h_1 คือค่าเอนทัลปีจำเพาะของสารในทางเข้าของระบบ, h_2 คือค่าเอนทัลปีจำเพาะของสารในทางออกของระบบซึ่งสามารถดูได้จากตารางในหนังสือเทอร์โมไดนามิกส์ (Yunus A.Cengel, Micheal A.Boles, 2011) และ $\dot{m}$ คืออัตราการไหลของมวลต่อวินาทีมีหน่วยเป็น kg/s สามารถหาได้จากสมการที่ 2.18 (Yunus A.Cengel, Micheal A.Boles, 2011)

$$\dot{m} = \frac{\dot{V}_1}{v_1} \tag{2.18}$$

โดยที่ $\dot{V}_1$ คืออัตราการไหลเชิงปริมาตรของสารด้านเข้ามีหน่วยเป็น m^3/s และ v_1 คือปริมาตรจำเพาะของสารด้านเข้าสามารถหาได้จากสมการที่ 2.19

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} \tag{2.19}$$

โดยที่ R คือค่าคงที่ของแก๊ส, T_1 คืออุณหภูมิเป็นองศาเคลวิน และ P_1 คือความดันมีหน่วยเป็นปาสคาล

2.3 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในส่วนของการคำนวณพลังงานความร้อน

ในการให้ความร้อนไม่ว่าจะมีวัตถุประสงค์ทำให้วัตถุนั้นร้อนเพื่ออบไล่ความชื้นหรือเพื่ออะไรก็ตาม อีกสิ่งนึงที่ต้องคำนึงถึงคือปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ เนื่องจากเป็นปัจจัยหนึ่งที่เป็นตัวชี้วัดความคุ้มค่าในการลงทุนกับอุปกรณ์หรือเทคโนโลยีนั้น

2.3.1 การคำนวณหาปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในการให้ความร้อน

ปริมาณพลังงานที่ต้องใช้ในกระบวนการให้ความร้อนแบ่งออกเป็นสองส่วนประกอบด้วย ส่วนที่หนึ่ง เป็นพลังงานที่ต้องใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของวัสดุให้มีอุณหภูมิ

เพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิอบแห้ง ซึ่งปริมาณพลังงานความร้อนในช่วงเพิ่มอุณหภูมินี้ สามารถหาได้จากสมการที่ 2.20

$$Q_i = mc\Delta T \tag{2.20}$$

โดยที่ Q_i คือ ปริมาณพลังงานความร้อนในช่วงเพิ่มอุณหภูมิ (MJ)
m คือ มวลของวัตถุ มีหน่วยเป็นกรัม (g)
c คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของวัสดุ (cal / g·°C) หรือ (kJ / kg·K)
ΔT คือ อุณหภูมิที่เปลี่ยนไปมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส (°C)

ตัวอย่างเช่น ค่าความจุความร้อนจำเพาะของอากาศมีค่าเท่ากับ 1.02 กิโลจูลต่อกิโลกรัมองศาเซลเซียส และของน้ำหนักเท่ากับ 4.19 กิโลจูลต่อกิโลกรัมองศาเซลเซียส แต่สำหรับค่าความจุความร้อนของธัญพืชแต่ละชนิดก็มีค่าแตกต่างกันขึ้นกับอุณหภูมิและความชื้นด้วย เช่น ค่าความจุความร้อนจำเพาะของข้าวจะมีค่า 0.782 กิโลจูลต่อกิโลกรัมองศาเซลเซียส (B.R.Bekkulov et al., 2018) และส่วนที่สอง เป็นพลังงานที่ต้องใช้ในการระเหยน้ำออกจากวัสดุ ซึ่งหาได้จากปริมาณพลังงานความร้อนในช่วงของการระเหย สามารถหาได้จากสมการที่ 2.21

$$Q_d = mL \tag{2.21}$$

โดยที่ Q_d คือ ปริมาณพลังงานความร้อนในช่วงของการระเหยน้ำ (MJ)
m คือ มวลน้ำที่ต้องการระเหยออก (kg)
L คือ ค่าความร้อนแฝงจำเพาะของการกลายเป็นไอ (kJ/kg

โดยที่ ความร้อนแฝงจำเพาะของการกลายเป็นไอคือ ปริมาณพลังงานความร้อนที่สารมวล 1หน่วย ได้รับหรือคายออกเพื่อใช้เปลี่ยนสถานะ โดยที่อุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลง มีหน่วยเป็นหน่วยปริมาณความร้อนต้อหน่วยมวล เช่น แคลอรีต่อกรัม กิโลแคลอรีต่อกิโลกรัมหรือจูลต่อกิโลกรัม ตัวอย่างเช่น ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอของน้ำมีค่า 2257 กิโลจูลต่อกิโลกรัม คิดเป็น 40.66 กิโลจูลต่อโมล

ถ้าเป็นการอบไล่ความชื้น ปริมาณพลังงานความร้อนรวมที่ต้องใช้ในการอบแห้งทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับ

$$Q_T = Q_i + Q_d$$

บทที่ 3
การศึกษาและออกแบบระบบสำหรับการวิเคราะห์เครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนโดยใช้พลังงานความร้อนจากการเหนี่ยวนำความร้อน

ในบทนี้ผู้วิจัยจะกล่าวถึงการศึกษาและออกแบบระบบสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลการทำงานของเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนโดยใช้พลังงานความร้อนจากการเหนี่ยวนำความร้อน เพื่อใช้กับเครื่องฆ่ามอดข้าวแบบไดอิเล็กตริก ซึ่งเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวนี้มีที่มาจากความต้องการเพิ่มกำลังผลิตให้กับเครื่องฆ่ามอดข้าวแบบไดอิเล็กตริก โดยการทำให้อุณหภูมิของเมล็ดข้าวก่อนที่จะผ่านเครื่องฆ่ามอดข้าวมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อเมล็ดข้าวมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะสามารถดูดซับพลังงานจาดเครื่องฆ่ามอดได้มากขึ้น ซึ่งจะเกิดเป็นความร้อนภายในเมล็ดข้าวได้สูงมากขึ้นด้วย ทำให้สามารถเพิ่มกำลังการผลิตของเครื่องฆ่ามอดข้าวได้โดยที่ไม่จำเป็นต้องเพิ่มขนาดของเครื่องฆ่ามอด

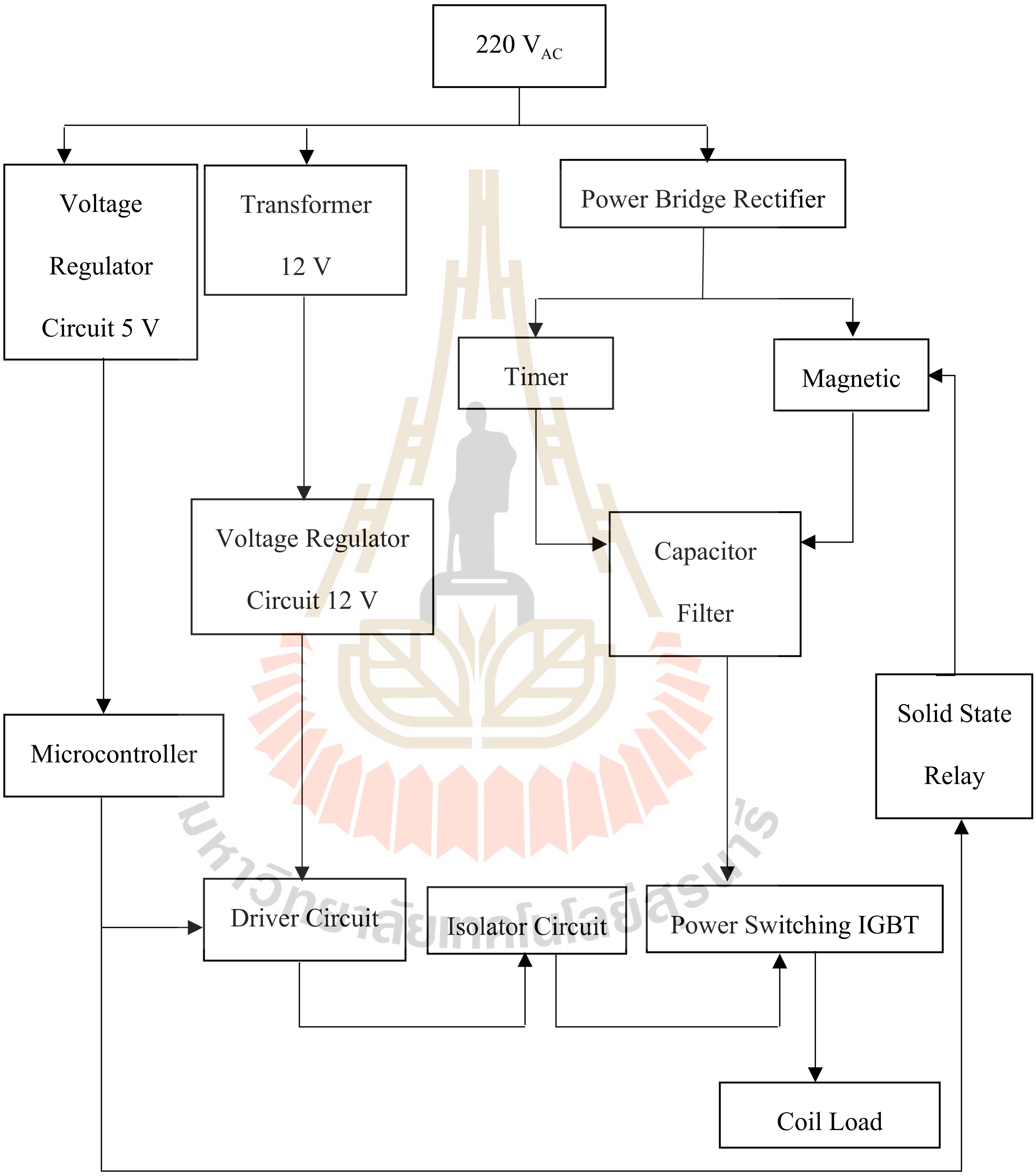
จากการศึกษาระบบของเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนโดยใช้พลังงานความร้อนจากการเหนี่ยวนำความร้อนนี้ จากการที่ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์องค์ประกอบของระบบการให้ความร้อนของเครื่องสามารถแบ่งการออกแบบในส่วนต่าง ๆ ได้ดังนี้

1. การออกแบบวงจรเหนี่ยวนำความร้อน
2. การออกแบบชุดโหลดความร้อน ซึ่งประกอบด้วยขดลวดเหนี่ยวนำและชิ้นงานโหละที่จะใช้ในการเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อน
3. การออกแบบตัวเครื่องซึ่งเป็นรางสำหรับให้เมล็ดข้าวไหลเพื่อรับพลังงานความร้อนจากลมร้อน
4. การวิเคราะห์พลังงานในการให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าว
5. การออกแบบวิธีการทดลองและการเก็บผล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.1 การออกแบบวงจรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

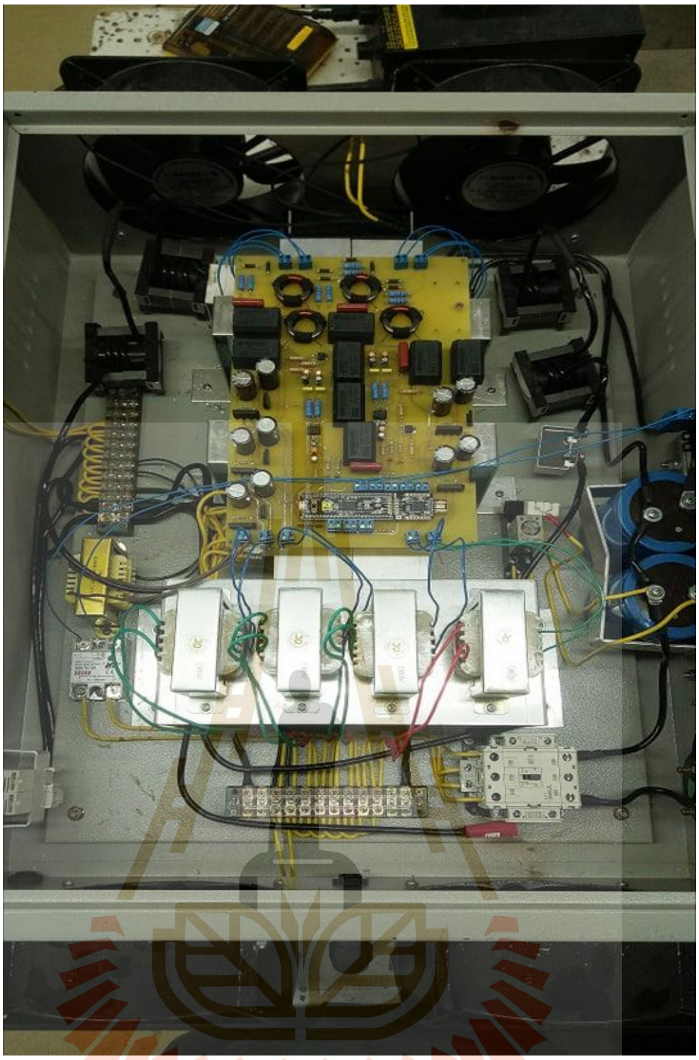
ในการออกแบบวงจรไฟฟ้าเหนี่ยวนำสามารถแสดงแผนภาพบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพบล็อกไดอะแกรมของวงจรเหนี่ยวนำความร้อน

การสร้างวงจรเหนี่ยวนำความร้อนเป็นการสร้างกระแสไฟฟ้าความถี่สูงให้วิ่งผ่านขดลวดเหนี่ยวนำทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้ารอบขดลวดและเกิดการเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อนขึ้นกับชิ้นงานโลหะที่อยู่ภายในวงของขดลวดเหนี่ยวนำดังแผนภาพโดยรวมของวงจรเหนี่ยวนำความร้อน (Induction Heating) ด้านบน โดยเริ่มจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 220 โวลต์ ความถี่ 50 เฮิรตซ์ จ่ายไฟผ่านวงจรเรียงกระแสด้วยไดโอดบริดจ์กำลัง ซึ่งทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง จากนั้นนตัวเก็บประจุขนาดใหญ่จะทำหน้าที่กรองแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้มีความเรียบขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้กับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แล้วจ่ายให้เพาเวอร์ไอจีบีที (IGBT) ซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิตช์แปลงแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับความถี่สูง โดยความถี่ที่เหมาะกับชิ้นงานโลหะที่จะใช้ในงานวิจัยนี้จะอยู่ในช่วง 8.65 – 12.25 กิโลเฮิรตซ์ จากนั้นก็จ่ายให้กับโหลดขดลวดเหนี่ยวนำ ที่มีค่าความเหนี่ยวนำ (L) อยู่ประมาณ 145.7 ไมโครเฮนรี่ และค่าความต้ายทานภายในขดลวด (R) อยู่ที่ 2.34 โอห์ม เพื่อทำให้เกิดการเหนี่ยวนำกับชิ้นงานโลหะและทำให้เกิดเป็นความร้อนขึ้นตัวชิ้นงานโดยตรง การทำงานของเพาเวอร์ไอจีบีทีจะถูกขับให้ทำงานโดยชุดวงจรขับไอจีบีที (Driver) ซึ่งถูกควบคุมความถี่ของวงจรด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ (Controller) ในการควบคุมสัญญาณของวงจรขับ และควบคุมการทำงานของ Solid State Relay

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

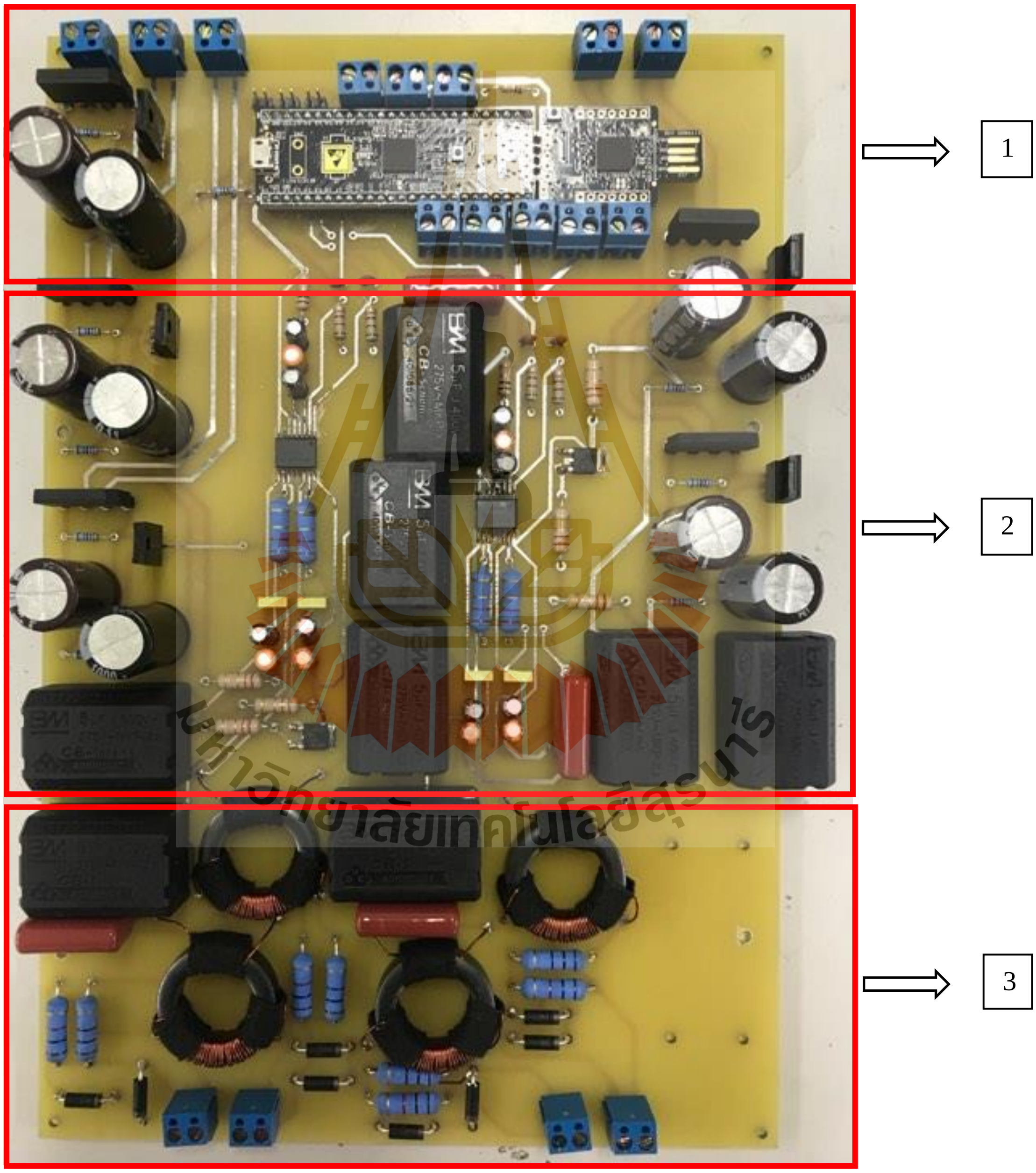


รูปที่ 3.2 ชุดวงจรเหนี่ยวนำความร้อนที่สร้างขึ้นจริงเพื่อใช้งาน

จากรูปแผงวงจรดังรูปที่ 3.3 นั้นเป็นอธิบายขยายความในส่วนต่างๆของวงจรร โดยเริ่มจากวงจรกำเนิดสัญญาณจะสร้างสัญญาณเป็นพัลส์เพื่อใช้ในการควบคุมการ On-Off สวิตช์ของไอจีบีที โดยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้ ส่วนแรก เป็นส่วนที่ใช้สร้างสัญญาณพัลส์ ที่มีขนาดของสัญญาณ 5 V โดยใช้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ในการสร้างสัญญาณพัลส์และเป็นส่วนควบคุมการทำงานในส่วนต่าง ๆ ของวงจรด้วยการเขียนโค้ดคำสั่งลงในบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์นี้ ต่อมาในส่วนที่สองเป็นวงจรขับของไอจีบีทีโดยใช้วงจรรวมขับเกตแบบสำเร็จรูป (IC Gate Drivers) ซึ่งเป็นวงจรที่ใช้ในการสั่งให้ไอจีบีทีทำงานแบบสวิตช์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งในตัวชิปประมวลผลของวงจรรวมขับเกต 1 ตัว จะมี 2 ชุดวงจรขับทำให้ขับสัญญาณพัลส์จากไมโครคอนโทรลเลอร์ออกมาเป็น 12 V โดยในแผงวงจรดังรูปนี้จะมีชุดของวงจรรวมขับเกต 2 ชุด เพื่อใช้ในการขับไอจีบีทีจำนวน 2

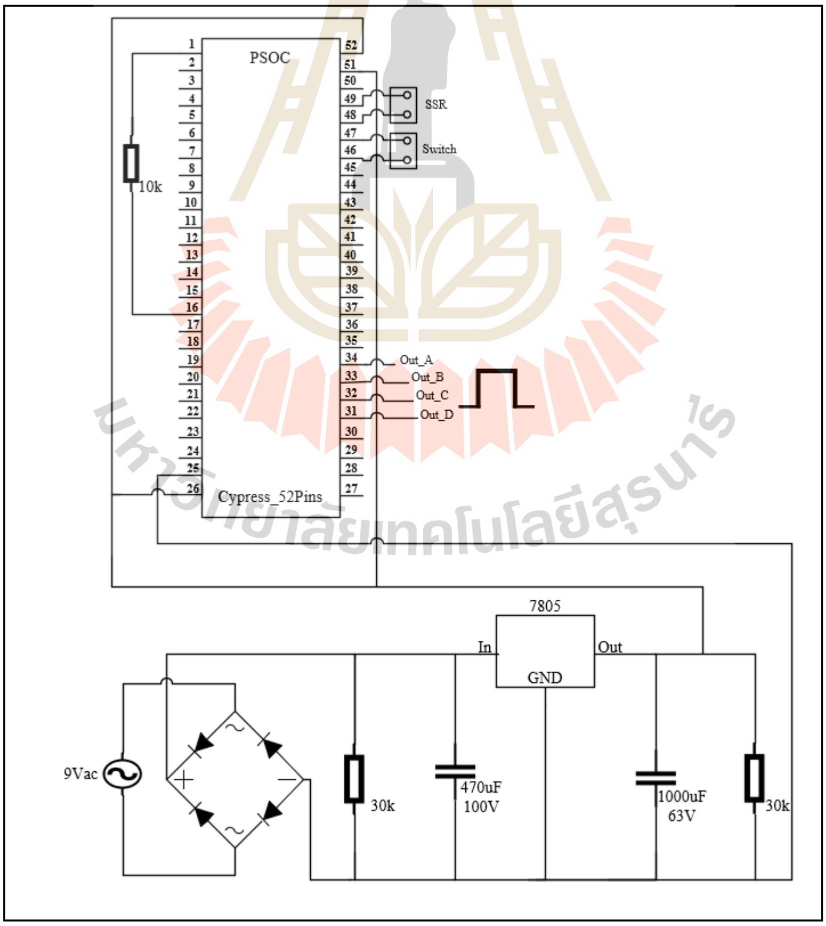
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตัว และในส่วนสุดท้ายคือส่วนที่สาม เป็นวงจรที่ใช้สำหรับแยก(Isolate) วงจรควบคุมซึ่งกำเนิดสัญญาณพัลส์ที่มีกำลังต่ำออกจากวงจรที่มีกำลังสูงอย่างเพาเวอร์ไอจีบีที โดยการใช้หม้อแปลงแบบ Pulse Transformer ซึ่งเป็นหม้อแปลงที่ใช้ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ที่ทำหน้าเพื่อส่งสัญญาณพัลส์จากฝั่งไฟฟ้ากำลังต่ำไปยังด้านไฟฟ้ากำลังสูงหรืออิเล็กทรอนิกส์กำลัง เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายย้อนกลับที่จะขึ้นเกิดกับวงจรควบคุมเมื่อเพาเวอร์ไอจีบีทีเกิดความผิดปกติหรือเสียหาย



รูปที่ 3.3 วงจรสร้างสัญญาณพัลส์และวงจรขับสำหรับควบคุมการทำงานของสวิตช์ IGBT

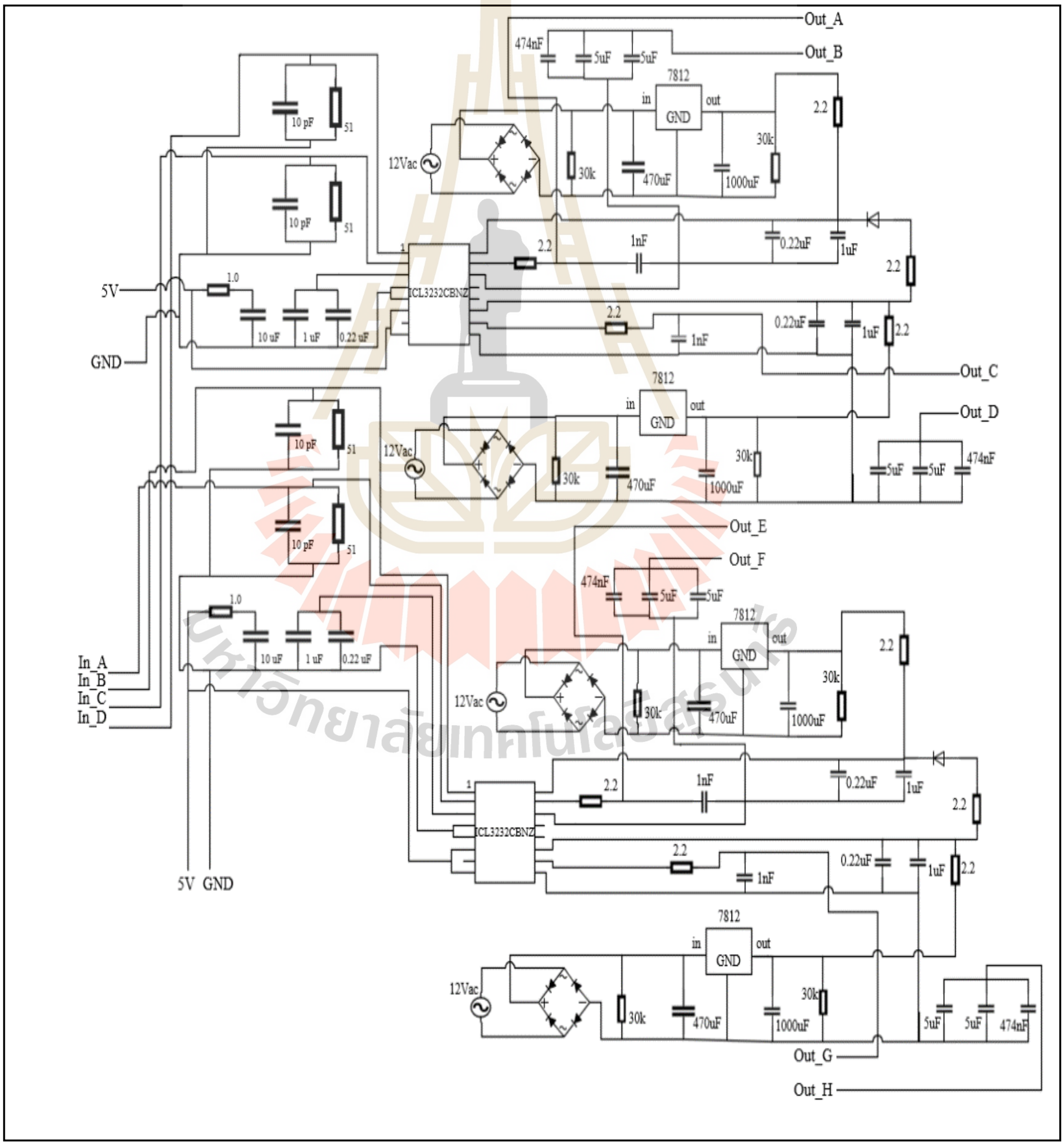
สำหรับวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์นั้นเป็นวงจรที่ใช้ในการสร้างสัญญาณรูปคลื่นพัลส์หรือรูปคลื่นสี่เหลี่ยม ซึ่งสามารถกำหนดขนาดและความถี่ของรูปคลื่นได้ตามความต้องการที่ สัญญาณที่มีลักษณะเป็นพัลส์สามารถนำไปใช้ในการควบคุมการทำงานของวงจรทางดิจิตอลได้ ซึ่งสัญญาณพัลส์เป็นสัญญาณที่จะเกิดขึ้นซ้ำ ๆ กันโดยมีการเปลี่ยนแปลงจากระดับลอจิก 0 ไปลอจิก 1 และเปลี่ยนระดับลอจิก 1 เป็นระดับลอจิก 0 เปลี่ยนวนซ้ำ ๆ เช่นนี้ต่อเนื่องกันไป โดยในรูปสัญญาณจะประกอบไปด้วย แอมปลิจูด (amplitude) , ขอบขาขึ้น (rising edge) และขอบขาลง (falling edge), ความกว้างของสัญญาณ (pulse width) และเส้นฐาน (based line) ซึ่งในรูปด้านล่างนี้เป็นวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์ของไมโครครอนโทรเลอร์ รุ่น CY8CKIT-059 PSoC 5LP Prototyping Kit ที่ใช้ในวงจรควบคุมของวงจรไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สร้างขึ้น โดยจะสร้างสัญญาณพัลส์ขนาด 5 V ออกที่ขาทั้งหมด 4 ขา คือขาที่ 31 32 33 และ 34 โดยใช้ไฟเลี้ยงจากวงจร Voltage Regulator ขนาด 5 V ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 วงจรไฟเลี้ยงของวงจรกำเนิดสัญญาณพัลส์

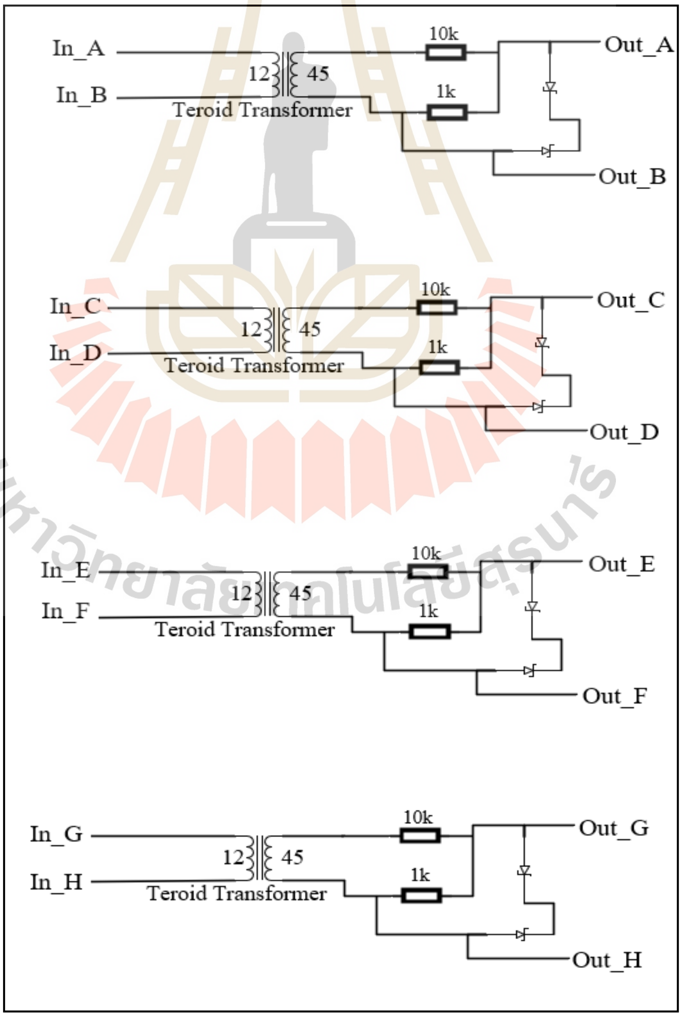
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ในการออกแบบวงจรขับเกต (Gate Drive) เป็นส่วนที่สำคัญมากในส่วนของวงจรควบคุม เพราะทำหน้าที่เชื่อมโยงระหว่างสัญญาณพัลส์ที่สร้างมาจากไมโครคอนโทรเลอร์ (PSoC) กับเพาเวอร์ไอจีบีที ซึ่งเปรียบเสมือนนำคำสั่งจากส่วนควบคุมมาสั่งให้ไอจีบีทีทำงานในแบบที่ต้องการ ในส่วนนี้ไมโครคอนโทรเลอร์จะสร้างสัญญาณพัลส์ส่งไปยังวงจรรวมขับเกต ในที่นี้เลือกใช้วงจรรวมขับเกตแบบสำเร็จรูป รุ่น UCC21520DW 4A/6A, 5.7 kVrms Isolated Dual Channel Gate Driver เป็นภายในมีวงจรไดร์ฟเวอร์ย่อย จำนวน 2 ชุด โดยอินพุตเป็นสัญญาณพัลส์ขนาด 5 V และเอาต์พุตเป็นสัญญาณพัลส์ขนาด 12V ทั้งสองชุด โดยวงจรมีลักษณะดังรูปที่ 3.5



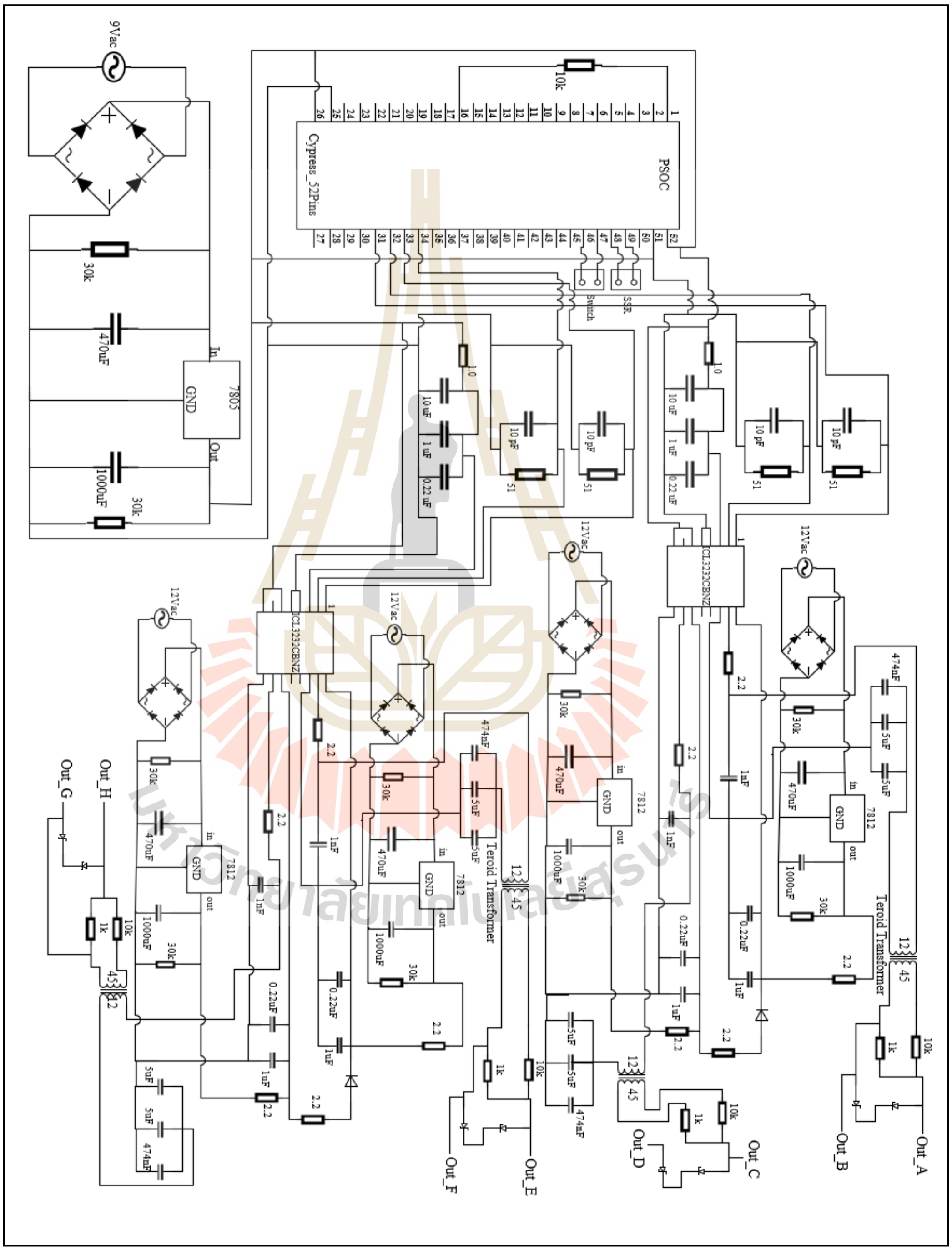
รูปที่ 3.5 แผนผังของวงจรขับกระแสไปยังสวิตช์ชิ่งอิเล็กทรอนิกส์

แหล่งจ่ายของสวิตช์ชิ่งกำลัง(Switching Power Supply) จะใช้ตัวอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังความถี่สูงและมีการแยกกันทางไฟฟ้าโดยอาศัยหม้อแปลงไฟฟ้าความถี่สูง (High Frequency Transformer) 4 ตัวทำหน้าที่แยก (Isolated) เพื่อแยกกราวด์ให้กับไอจีบีทีแต่ละตัวดังรูปที่ 3.6 เพื่อความปลอดภัย ของวงจร ซึ่งการพันหม้อแปลงแบบ Pulse Transformer จะพันแบบ 1 ต่อ 1 โดยจำนวนรอบเป็น 12:45 รอบ ใช้แกน Ferrite แบบกลม และใช้ Zener diode ในการควบคุมโวลต์ ซึ่งวิธีการทำงานของวงจรนี้นำสัญญาณพัลส์ที่มาจากวงจรรวมขับเกต ส่งผ่านหม้อแปลงไปยังเพาเวอร์ไอจีบีที่ซึ่งทำหน้าที่เป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังความถี่สูง ทำให้เกิดสามารถควบคุมการ ปิด-เปิด ของไอจีบีที ได้ สำหรับวงจรไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สร้างขึ้นนี้จะมีชุดเพาเวอร์ไอจีบีที 2 ชุด เพื่อสลับกันทำงานในฝั่งบวก (+) และฝั่งลบ (-) ของแรงดันไฟฟ้า ทำให้วงจรไฟฟ้าเหนี่ยวนำนี้สามารถทำงานได้แบบเต็มคลื่น (Full wave) ซึ่งจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น



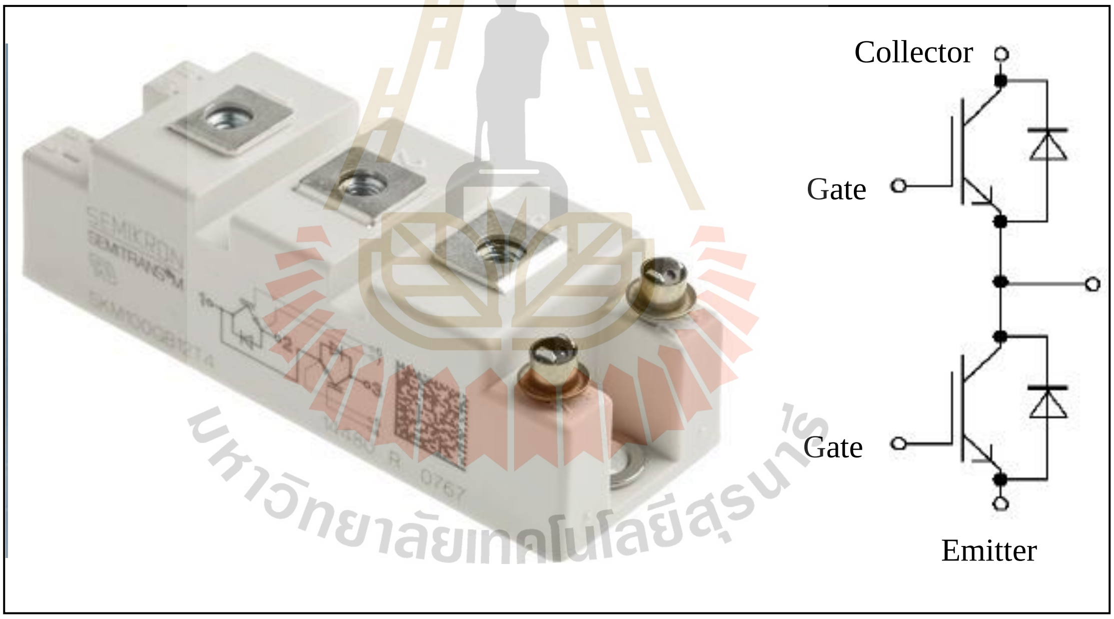
รูปที่ 3.6 วงจรแยก (Isolated) โดยใช้หม้อแปลง

วงจรในแต่ละส่วนเมื่อมารวมกันจะสามารถส่งผ่านสัญญาณพัลส์ไปใช้ควบคุมการปิด - เปิดสวิตช์ของไอจีบีทีด้วยความถี่สูง ซึ่งวงจรนี้จะมีสัญญาณพัลส์ขนาด 24 $V_{p\text{-}p}$ เป็นแรงดันไฟ +12V และ -12V จำนวน 2 Output ซึ่งดังแสดงในรูป 3.7



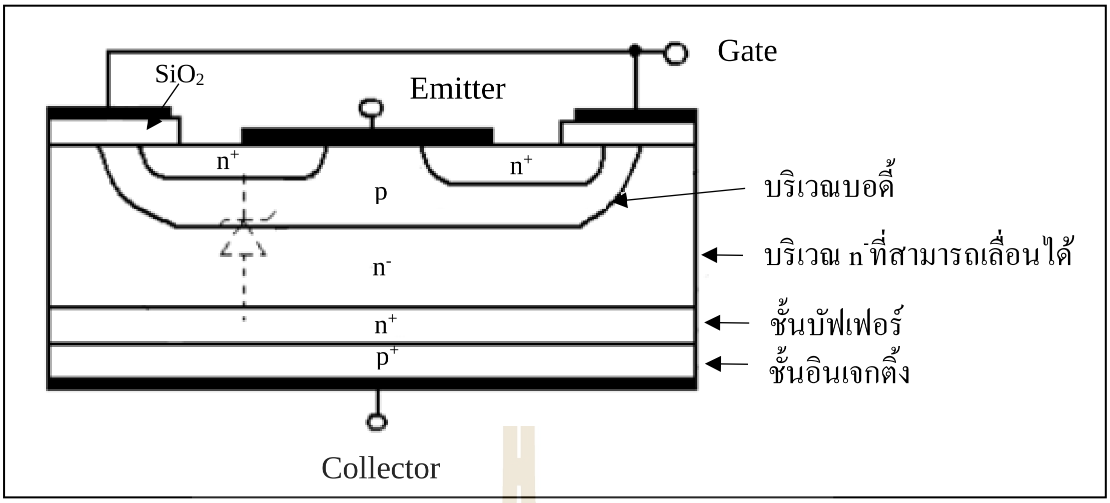
รูปที่ 3.7 แผนผังของวงจรสร้างสัญญาณพัลส์ด้วยไมโครครอนโทรเลอร์ (PSoC)

สำหรับไอจีบีที (Isulated Gate Biopolar Transistors: IGBT) IGBT คือทรานซิสเตอร์กำลังสูง ที่ควบคุมด้วยแหล่งจ่ายแรงดันเป็นผลทำให้ความถี่ในการสวิตชิ่งสูง ซึ่งไอจีบีที เป็นการนำส่วนที่ดีที่สุดของทรานทิสเตอร์สองชนิดมารวมกัน โดยจะใช้ประโยชน์จากการมีค่า Input impedance และ Switching speeds ที่สูงของมอสเฟต (MOSFET) กับการใช้ประโยชน์ของการมีค่าแรงดันอิ่มตัวที่ต่ำของบีเจที (BJT) เกิดเป็นทรานซิสเตอร์รูปแบบใหม่ที่มีกระแสควบคุมได้ที่ Collector-Emitter สูง ซึ่งจะสามารถขับโหลดขนาดหนักได้ และมีกระแสที่ต้องใช้ในการขับ Gate ที่ต่ำมากทำให้การออกแบบวงจรภาคขับเกตสามารถทำได้ง่าย ทำให้การควบคุมการปิด-เปิดของไอจีบีที ก็ทำได้ง่ายตามไปด้วย ซึ่งไอจีบีทีจะถูกสั่งให้ทำงาน ปิดหรือเปิดได้จากการกระตุ้นที่ ขั้วเกต ซึ่งถ้าจ่ายแรงดันบวกอินพุตระหว่างเกตกับอิมิตเตอร์จะเป็นการสั่งการให้ไอจีบีทีทำงานในโหมดปิด แต่ในทางกลับกันถ้าจ่ายแรงดันศูนย์หรือแรงดันลบเข้าที่ขั้วเกตกับอิมิตเตอร์จะทำให้ ไอจีบีทีทำงานในโหมดเปิด



รูปที่ 3.8 ทรานซิสเตอร์กำลังสูง (IGBT) และวงจรภายใน

โครงสร้างของไอจีบีทีชนิดเอ็นแชนแนล (N-Channel) ดังรูปที่ 3.9 โครงสร้างส่วนใหญ่จะมีลักษณะเหมือนมอสเฟตแต่จะแตกต่างกันตรงที่ไอจีบีทีจะมีชั้น P^+ หรือชั้นอิงเจ็ทติ้งโดยจะต่ออยู่ระหว่างขาคอลเล็กเตอร์กับชั้นบัฟเฟอร์ ซึ่งในมอสเฟสจะไม่มีและจากการที่ขาเกตถูกกั้นด้วยชั้นของซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) เป็นผลทำให้ความต้านอินพุตที่ขาเกตมีค่าสูงมากเหมือนพาวเวอร์มอสเฟสโดยทั่วไป

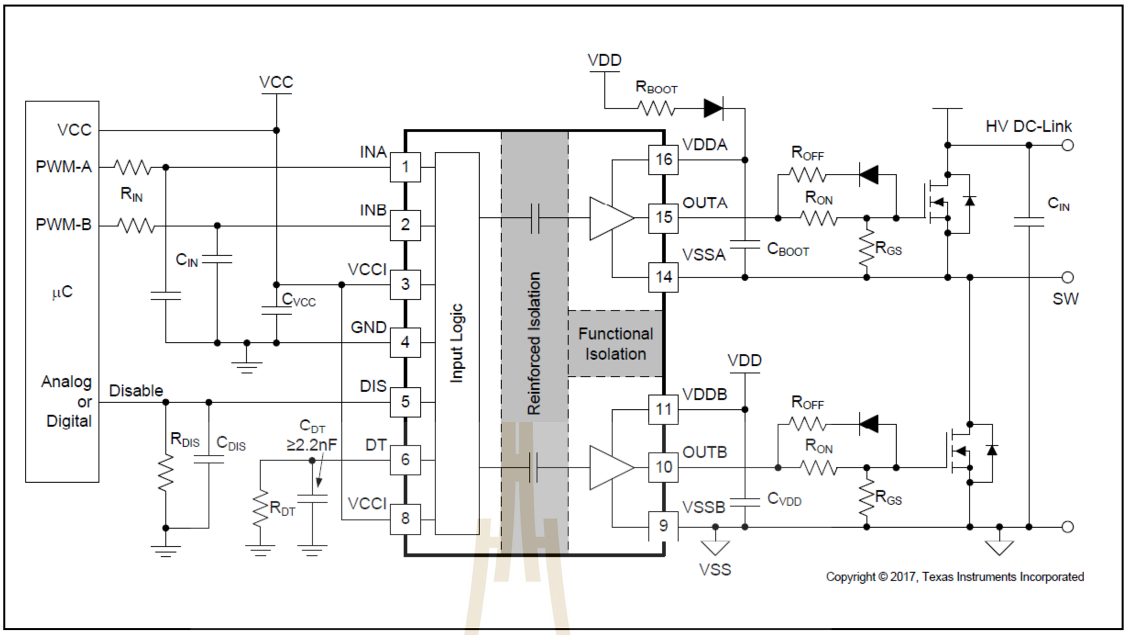


รูปที่ 3.9 ภาพตัดขวางแสดงโครงสร้างพื้นฐานของไอจีบีที

ที่สภาวะนำกระแสของไอจีบีที เมื่อขาคอลเล็กเตอร์ได้รับแรงดันไบอัสตรงคือ ได้รับแรงดันเป็นบวกเมื่อเทียบกับอีมิตเตอร์ และแรงดันระหว่างขาเกตกับอีมิตเตอร์มีค่าเกิน $V_{GS(th)}$ ประจุไฟฟ้าบวกที่เกิดจากแรงดันที่ขาเกตจะดึงเอาอิเล็กตรอนที่ไหลจากขาอีมิตเตอร์ผ่านบริเวณใต้เกตมายังบริเวณรอยเลื่อน n^- จะรวมกับโฮลทำให้ไอจีบีที อยู่ในสภาวะนำกระแสเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้าจากคอลเล็กเตอร์ไปยังอีมิตเตอร์ได้

ที่สภาวะหยุดนำกระแสของไอจีบีที เมื่อแรงดันระหว่างขาเกตกับขาอีมิตเตอร์ลดลงต่ำกว่าแรงดัน $V_{GS(th)}$ จะทำให้มีแรงดันที่ไม่ เพียงพอสำหรับการแปรสภาพ p เป็น n ได้ ทำให้บริเวณ n^- ไม่ตรงกับบริเวณอีมิตเตอร์ n^+ ไอจีบีทีจึงจะอยู่ในสภาวะหยุดนำกระแส

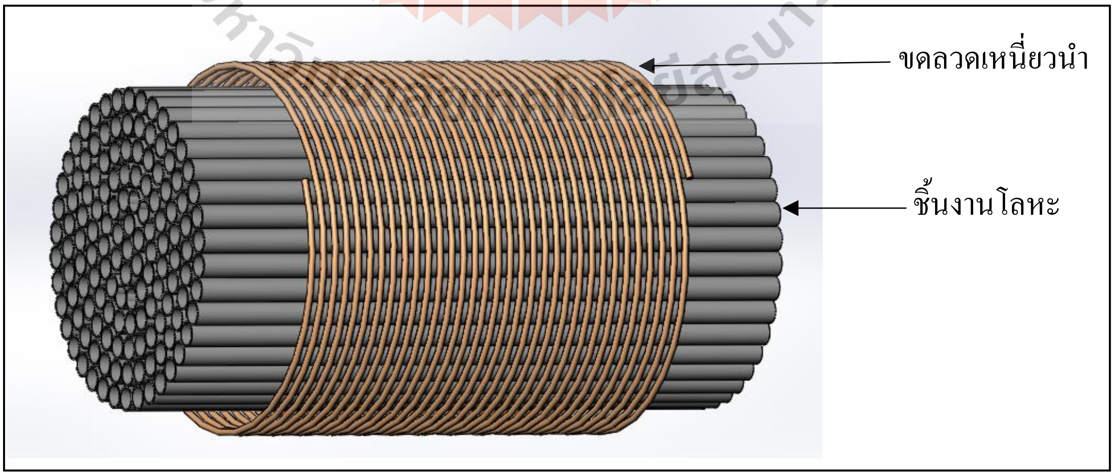
วงจรขับเกตไอจีบีที (Gate Driver Circuit) เป็นวงจรที่ขยายสัญญาณพัลส์วิดท์มอดูเลชั่น (Pulse Width Modulation - PWM) เพื่อใช้ในการควบคุมการทำงานของไอจีบีที (IGBT) (Insulated - Gate Bipolar Transistor) ในการออกแบบนี้ใช้ไอจีบีทีเบอร์ FF100R12RT4 และใช้ไอซีไดร์ฟเบอร์ UCC21520DW ซึ่งมีวงจรดังรูปที่ 3.10 ซึ่งการออกแบบวงจรขับเกต จะทำหน้าที่เชื่อมโยงสัญญาณพัลส์แบบมอดูเลตความกว้างพัลส์จากวงจรรวมกำเนิดจากสัญญาณต่าง ๆ กับสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลัง เช่น ทรานซิสเตอร์กำลัง , มอสเฟตกำลัง หรือ ไอจีบีที เป็นต้น โดยทั่วไปวงจรขับเกตจะแยก (Isolated) กันระหว่างสัญญาณพัลส์ควบคุมกับสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังในวงจรกำลังและทำหน้าที่ตัดสัญญาณควบคุมสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังในกรณีที่วงจรภาคกำลังอยู่ในสภาวะโหลดดึงกระแสเกินหรือแรงดันสูงกว่าพิกัด เป็นต้น ลักษณะของวงจรขับเกต วงจรกำเนิดสัญญาณมอดูเลตความกว้างพัลส์และสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 3.10 แผนผังวงจรของวงจรรวมขับเกตแบบสำเร็จรูป เบอร์ UCC21520DW

3.2 การออกแบบชุดโหลดความร้อน

ในการออกแบบชุดโหลดความร้อนของวงจรเหนี่ยวนำความร้อนด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อใช้เป็นต้นกำเนิดลมร้อนให้กับระบบให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวนั้นประกอบด้วย 2 ส่วน ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ส่วนประกอบของชุดโหลดความร้อน

ส่วนแรกจะเป็นขดลวดเหนี่ยวนำ มีลักษณะเป็นขดลวดทรงกระบอก ค่าความเหนี่ยวนำจะขึ้นอยู่กับจำนวนรอบของขดลวดและชิ้นงานโลหะที่ถูกหนี่ยวนำ ถ้าหากโหลดมีค่าความเหนี่ยวนำมากเกินไปจะทำให้โหลดดึงกระแสได้น้อยทำให้กำลังของเครื่องน้อยลงตามไปด้วย ในทางตรงข้ามถ้าโหลดมีค่าความเหนี่ยวนำน้อยเกินไปจะทำให้โหลดดึงกระแสสูงมากซึ่งอาจส่งผลเสียต่อตัวอุปกรณ์ในวงจร ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ออกแบบว่าต้องการกำลังของเครื่องเท่าไรต่อไปในส่วนที่สองจะเป็นชิ้นงานโลหะที่จะถูกเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อน โดยในการออกแบบชุดโหลดความร้อนสำหรับใช้เป็นแหล่งกำเนิดของลมร้อนนั้นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงคือ หน้าสัมผัสหรือพื้นผิวของชิ้นงานโลหะร้อนที่ต้องสัมผัสกับอากาศเพื่อให้เกิดการถ่ายโอนพลังงานความร้อนจากผิวของชิ้นงานโลหะไปยังอากาศให้มากที่สุด ดังนั้นในการออกแบบและสร้างชุดโหลดความร้อนของจริงผู้วิจัยเลือกใช้ท่อเหล็กกลวงและบาง ขนาด 4 หุน ความหนา 0.6 มิลลิเมตร โดยทำการตัดท่อเหล็กเป็นท่อน ๆ แล้วนำมามัดรวมกันมีลักษณะคล้ายรังผึ้งทรงกระบอก ซึ่งการออกแบบชิ้นงานโลหะให้มีลักษณะคล้ายรังผึ้งนี้จะทำให้มีพื้นที่ความร้อนที่จะสัมผัสกับอากาศได้มากทำให้สามารถสร้างลมร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพ เหตุผลที่เลือกใช้ท่อเหล็กกลวงและบางขนาดดังกล่าวนี้เนื่องจากมีพื้นผิวความร้อนที่สัมผัสกับอากาศมากและอากาศผ่านได้สะดวก แต่ถ้าเลือกใช้ท่อเหล็กตัดหรือท่อเหล็กกลวงหนาจะเกิดการสูญเสียพลังงานความร้อนจากการนำความร้อนลึกลงไปในเนื้อเหล็กและสะสมอยู่ในนั้นไม่สามารถนำออกมาใช้ได้ ซึ่งเป็นความสิ้นเปลืองพลังงานโดยเปล่าประโยชน์ และถ้าใช้ท่อเหล็กกลวงใหญ่เกินไปจะทำให้มีอากาศเย็นที่ไม่ได้สัมผัสถูกความร้อนรอดผ่านท่อมากส่งผลให้ลมร้อนมีอุณหภูมิต่ำ นอกจากนี้การประกอบขดลวดเหนี่ยวนำและชิ้นงานโลหะเข้าด้วยกันควรวางตัวชิ้นงานโลหะให้อยู่กึ่งกลางของขวดลวดและไม่ควรให้ชิ้นงานนั้นสัมผัสโดนขดลวดเหนี่ยวนำโดยตรงหรืออยู่ใกล้ขดลวดมากเกินไปเพราะจะทำให้สัญญาณของแรงดันไฟฟ้าที่ผ่านขดลวดเพี้ยนและอาจจะส่งผลย้อนกลับไปยังวงจรอาจทำให้เกิดความเสียหายกับวงจรได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้นี้ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบชุดโหลดความร้อนโดยการพันขดลวดเหนี่ยวเป็นทรงกระบอกและใช้เทปทนความร้อนพันรอบขดลวดเพื่อให้อยู่ทรงแล้ววางไว้เป็นแนวนอนในกล่องที่สร้างขึ้นที่มีขนาดพอดีกับขดลวด จากนั้นวางชิ้นงานโลหะไว้กึ่งกลางของขดลวดแล้วยึดชิ้นงานด้วยลวดกับผนังของกล่องให้ชิ้นงานลอยอยู่กลางขดลวดได้โดยไม่สัมผัสโดนขวดลวดดังรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.12 ชุดโหลดความร้อนที่สร้างขึ้นและลักษณะการวางตัวของขดลวดเหนี่ยวนำกับชิ้นงานโลหะ

3.3 การออกแบบตัวเครื่องซึ่งเป็นรางสำหรับให้เมล็ดข้าวไหล

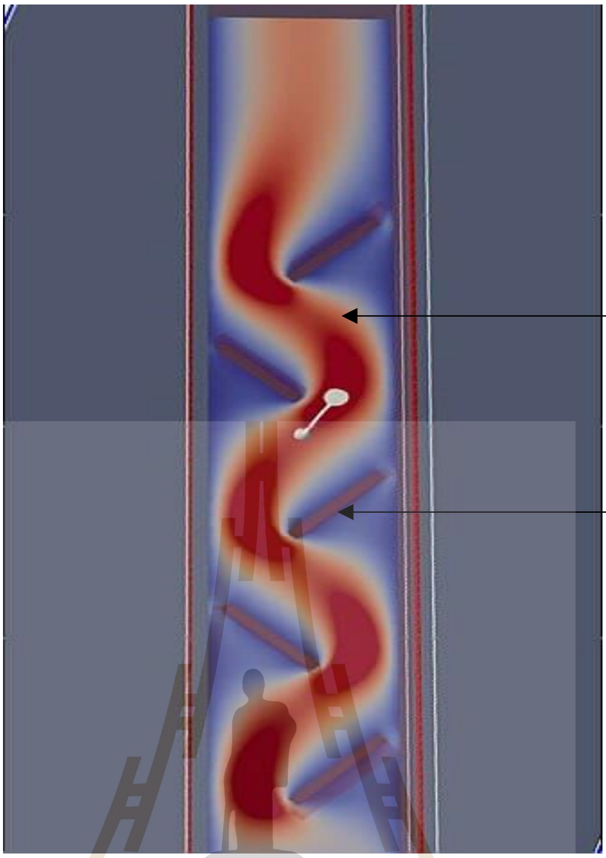
การออกแบบตัวเครื่องซึ่งเป็นรางสำหรับให้เมล็ดข้าวไหลนั้นถือเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดและมีผลกระทบต่อการให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนมากที่สุดเพราะเมล็ดข้าวจะสัมผัสกับลมร้อนและเกิดการถ่ายโอนพลังงานความร้อนระหว่างลมร้อนกับเมล็ดข้าวทำให้เมล็ดข้าวมีอุณหภูมิสูงขึ้นได้มากน้อยแค่ไหนก็ขึ้นอยู่กับการออกแบบที่ตัวเครื่องนี้ โดยก่อนหน้านี้ได้มีการทดลองให้ความร้อนเมล็ดข้าวด้วยเครื่องให้ความร้อนแบบรูปแบบหนึ่งซึ่งมีรางไหลอยู่ภายในกล่องที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการ (ห้องปฏิบัติการวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ อาคารเครื่องมือ 3 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี) มีลักษณะดังรูปที่ 3.13 ซึ่งมีรูปทรงเป็นท่อสี่เหลี่ยมจัตุรัส กว้างด้านละ 15.6 เซนติเมตร สูง 110 เซนติเมตร ภายในมีรางสำหรับให้เมล็ดข้าวไหลวางตัวสลับซ้ายขวาเป็นชั้นๆ แบบสลับฟันปลา รางไหลแต่ละแผ่นทำมุมเอียงลง 45 องศาจากแนวระนาบ เมล็ดข้าวจะไหลจาก

ด้านบนลงมาด้านล่าง ส่วนลมร้อนจะเข้าจากด้านล่างออกด้านบน แต่ก็มีลมบางส่วนรั่วไหลออกทางด้านล่างของทางออกเมล็ดข้าวด้วยเช่นกัน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 3.13 เครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการ

ซึ่งผลที่ได้จากการทดลองครั้งนั้นปรากฏว่าโครงสร้างของเครื่องให้ความร้อนรูปแบบนี้สามารถทำให้เมล็ดข้าวที่ไหลผ่านเครื่องมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากเดิมได้เพียง 1 – 2 องศาเซลเซียสเท่านั้น ผู้วิจัยจึงได้นำโครงสร้างของเครื่องให้ความร้อนนี้มาทำการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ปัญหาหรือข้อบกพร่องของรางไหลรูปแบบนี้และดูการไหลของอากาศภายในตัวเครื่องโดยใช้โปรแกรม OpenFOAM กำหนดให้ปากทางเข้าลมอยู่ด้านล่างและปากทางออกลมอยู่ด้านบน ซึ่งผลที่ได้จากการจำลองการไหลของอากาศภายในโครงสร้างของเครื่องนี้เป็นดังรูปที่ 3.14



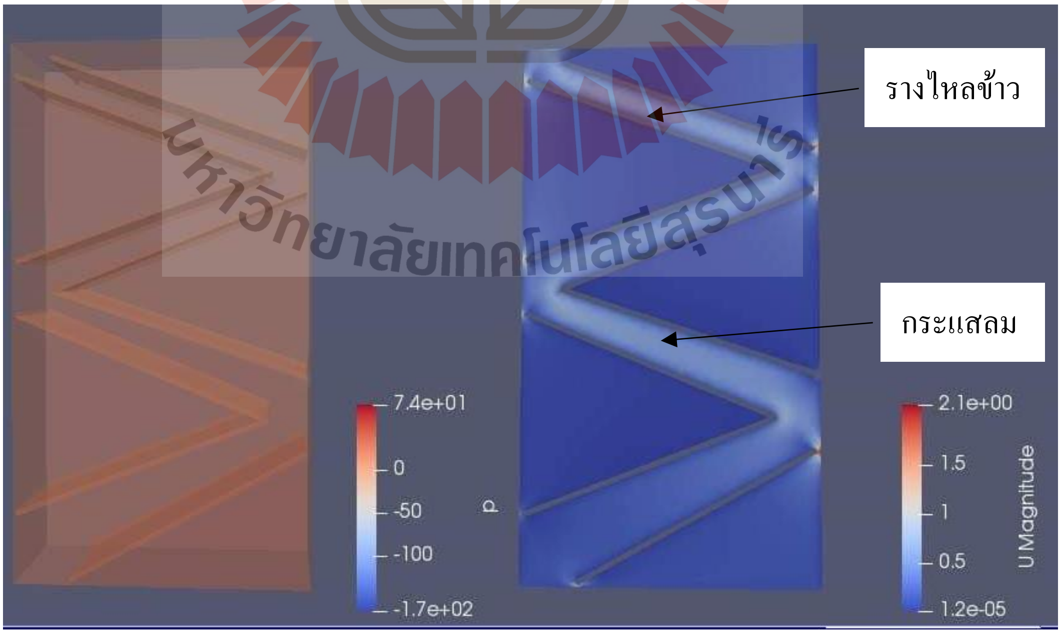
รูปที่ 3.14 ผลการจำลองการไหลของอากาศภายในตัวเครื่องให้ความร้อนที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการ

จะสังเกตว่า รางไหลของเมล็ดข้าวแต่ละชั้นที่มีลักษณะเป็นแผ่นเรียบๆติดกับผนังของตัวเครื่อง การวางตัวของรางไหลเมล็ดข้าวแต่ละชั้นอยู่ห่างกันมากเกินไปและมีช่องว่างใต้รางไหลแต่ละชั้นมาก ทำให้อากาศที่ไหลไปตามช่องว่างภายในสามารถยกตัวสูงขึ้นจากรางได้แทนที่จะไหลราบไปตามรางไป ด้วยเหตุนี้ทำให้เมล็ดข้าวที่ไหลอยู่บนรางแทบจะไม่สัมผัสโดนลมร้อนเลย นอกจากนี้ตัวรางไหลของข้าวก็มีขนาดที่สั้นเกินไปทำให้เมล็ดข้าวมีพื้นที่สัมผัสความร้อนจากอากาศน้อยจึงทำให้เมล็ดข้าวมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากเดิมเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

จากผลการจำลองการไหลของอากาศและผลการวิเคราะห์ข้อมูลโครงสร้างของเครื่องดังที่กล่าวมานั้น ผู้วิจัยจึงตั้งสมมติฐานว่าหากสามารถออกแบบให้โครงสร้างภายในของเครื่องให้ความร้อนมีระยะห่างระหว่างรางหรือช่องว่างแต่ละชั้นน้อยลงโดยมีแผ่นมาประกบปิดช่องว่างข้างใต้รางและบีบให้ช่องที่กระแสลมไหลผ่านแคบลงได้ จะสามารถบังคับทิศทางลมให้ไหลราบไปกับตัวรางไหลของข้าวได้และเมื่อเพิ่มขนาดของรางไหลและระยะทางในการรับความ

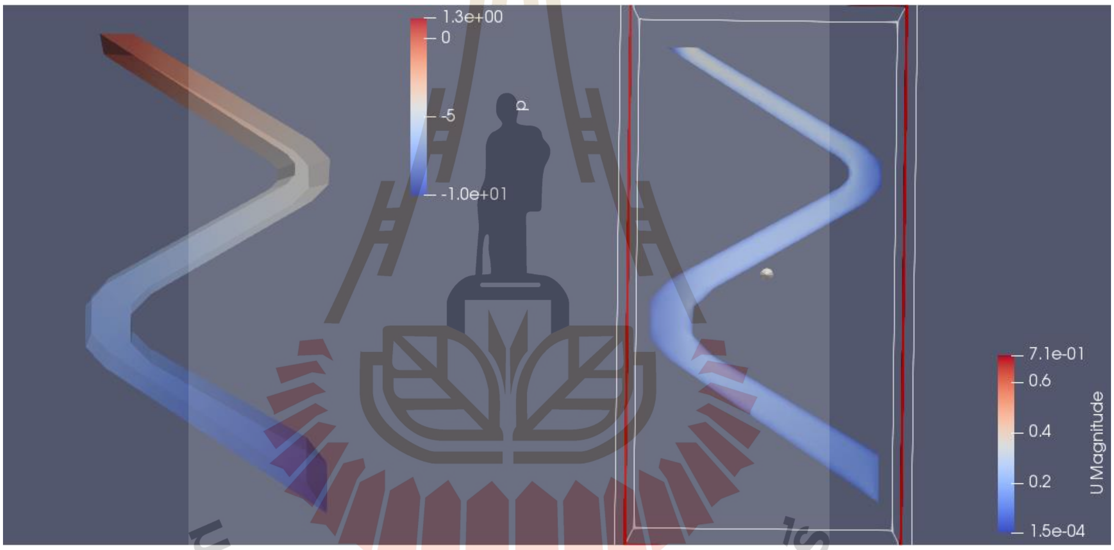
ร้อนของเมล็ดข้าวให้มีความยาวมากขึ้นจะสามารถทำให้เมล็ดข้าวสัมผัสกับลมร้อนได้มากขึ้นทำให้เมล็ดข้าวมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจากเดิมได้ด้วย

จากสมมติฐานข้างต้นผู้วิจัยได้ทำการจำลองรูปทรงของเครื่องให้ความร้อนตามสมมติฐานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เดิมที่ใช้ในตอนแรกคือโปรแกรม OpenFOAM เพื่อดูการบีบตัวและการไหลของอากาศภายในตัวเครื่อง เพื่อพิสูจน์ว่าสมมติฐานดังที่กล่าวมานั้นเป็นจริงหรือไม่ จึงได้ทำการออกแบบโครงสร้างภายในเป็น 2 แบบ โดยแบบที่หนึ่งจะมีโครงสร้างภายในเป็นแบบรางสลับฟันปลา ปลายแผ่นรางไหลข้าวกับแผ่นประกบบังคับทิศทางลมแต่ละชั้นจะประกบชิดติดกันแบบหน้าจั่ว มีลักษณะเป็นมุมแหลม ซึ่งผลการจำลองโครงสร้างของเครื่องที่ได้ตั้งสมมติฐานแบบที่หนึ่งเป็นดังรูปที่ 3.15 พบว่าเมื่อมีแผ่นมาประกบปิดช่องว่างใต้รางไหลแต่ละชั้นและทำการบีบช่องว่างระหว่างชั้นที่เป็นช่องทางที่ลมไหลผ่านให้แคบลงทำให้สามารถบังคับทิศทางลมและสามารถกดกระแสลมให้ไหลราบไปกับรางไหลของเมล็ดข้าวได้ ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐานในตอนแรก ส่วนลักษณะการไหลของอากาศในส่วนปลายทางออกจะมีความเร็วเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการบีบตัวของช่องตามการออกแบบที่กำหนดให้ส่วนปลายทางออกของอากาศมีขนาดเล็กกว่าทางเข้า และตรงบริเวณปลายรางไหลที่เป็นมุมแหลมแต่ละจุดก็จะมีความเร็วลมมากกว่าบริเวณโดยรอบเนื่องจากเป็นจุดหักเปลี่ยนทิศทางการไหลของอากาศแบบเฉียบพลัน จึงเกิดการบีบตัวของอากาศ ทำให้มีความหนาแน่นตรงจุดหักนี้มากขึ้นส่งผลให้อากาศตรงจุดนี้มีความเร็วเพิ่มขึ้น



รูปที่ 3.15 ผลการจำลองการไหลของอากาศภายในตัวเครื่องให้ความร้อนแบบที่หนึ่ง

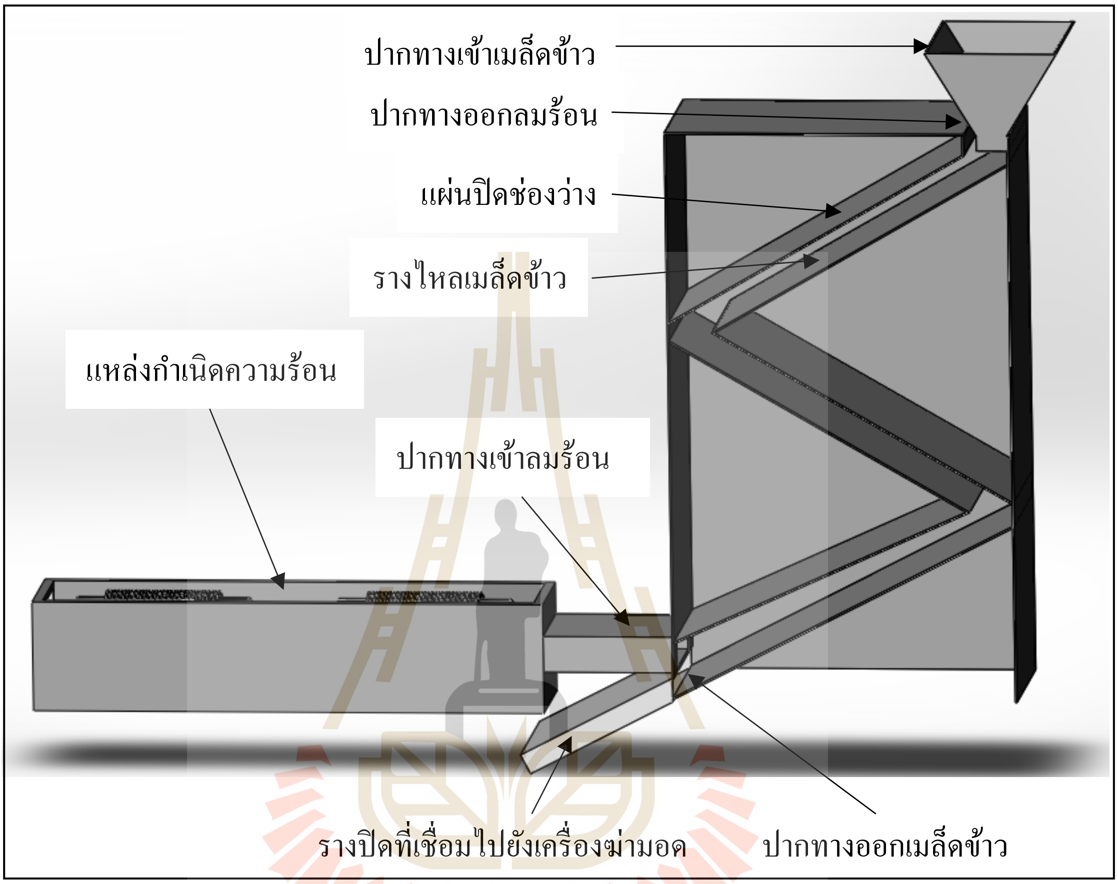
สำหรับโครงสร้างแบบที่สองได้มีการปรับโครงสร้างภายในตรงส่วนที่เป็นจุดหักเปลี่ยนทิศทางลมที่เป็นมุมแหลมให้มีลักษณะโค้งมนมากขึ้นเพื่อดูความแตกต่างของการไหลของอากาศภายในช่อง ซึ่งผลการจำลองโครงสร้างของเครื่องในแบบที่สองเป็นดังรูปที่ 3.16 ผลที่ได้พบว่า เมื่อปรับให้ตรงส่วนที่เป็นมุมแหลมในโครงสร้างแบบแรกให้มีความโค้งมนมากขึ้นทำให้อากาศไหลได้สะดวกมากขึ้นส่งผลให้ความเร็วและการกระจายตัวของอากาศภายในช่องตั้งแต่ปากทางเข้าถึงปลายทางออกค่อนข้างมีความสม่ำเสมอเมื่อเทียบกับแบบจำลองของโครงสร้างเดิม และในส่วนที่เป็นจุดหักเปลี่ยนทิศทางการไหลของอากาศที่เป็นส่วนโค้งก็มีการบีบอัดตัวของอากาศน้อยลงเนื่องจากอากาศเดินทางได้สะดวกมากขึ้นจึงไม่มีจุดที่มีความหนาแน่นของอากาศหรือความเร็วลมแตกต่างกันชัดเจนเหมือนในแบบที่หนึ่ง



รูปที่ 3.16 ผลการจำลองการไหลของอากาศภายในตัวเครื่องให้ความร้อนแบบที่สอง

แต่สำหรับการให้ความร้อนข้าวที่มีการไหลราบมากับรางเหมือนที่ออกแบบนี้ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้โครงสร้างตามรูปแบบที่หนึ่งเนื่องจากมีความซับซ้อนน้อย สามารถสร้างได้ง่าย และเมื่อข้าวไหลมาจนสุดปลายรางในแต่ละชั้นจะตกลงมาสู่รางชั้นถัดไป ตรงจุดที่ข้าวตกลงมาจากชั้นบนสู่ชั้นถัดมาจำเป็นต้องให้อากาศมีความหนาแน่นและมีความเร็วมากกว่าปกติ เพื่อให้มีแรงมากพอที่จะดันตัวแทรกผ่านม่านข้าวที่ไหลลงมาเพื่อผ่านไปยังชั้นถัดไปได้ ซึ่งในจุดนี้ตรงกับจุดหักเปลี่ยนทิศทางการไหลของอากาศที่มีความหนาแน่นและมีความเร็วลมมากขึ้นของโครงสร้างแบบที่หนึ่งพอดีจึงทำให้โครงสร้างนี้เหมาะสมที่จะถูกนำมาสร้างเพื่อใช้งาน และด้วยหลักการแลกเปลี่ยนพลังงานความร้อนหรือการถ่ายโอนพลังงานความร้อนจะเกิดขึ้นได้ดีก็ต่อเมื่อวัตถุสองสิ่งนั้นเคลื่อนที่สวน

ทางกัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการออกแบบโครงสร้างของเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อน ซึ่งมีลักษณะดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 แบบจำลองโครงสร้างของเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวที่ได้ทำการออกแบบ

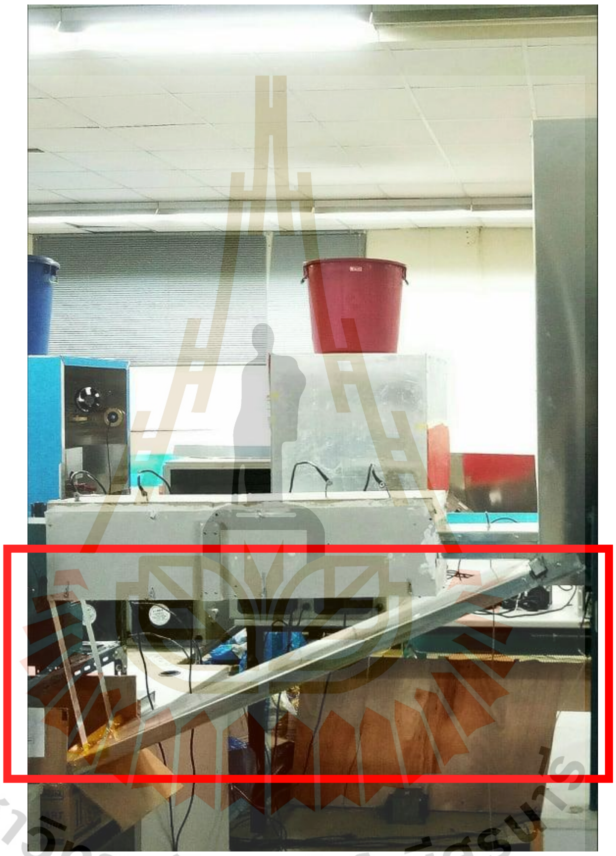
จากรูปด้านบนเป็นแบบจำลองโครงสร้างของเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวที่ทำการออกแบบ โดย โครงสร้างภายนอกของตัวเครื่องมีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 58 เซนติเมตร สูง 100 เซนติเมตร ด้านบนประกอบด้วย ปากปล่องทางเข้าของเมล็ดข้าว กว้าง 4.5 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตรและช่องระบายอากาศออก กว้าง 2 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร ข้างหน้าล่างประกอบด้วยปากทางเข้าของลมร้อน กว้าง 6 เซนติเมตร ยาว 20 เซนติเมตร และทางออกของเมล็ดข้าว กว้าง 3 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร โครงสร้างภายใน ประกอบด้วย รางไหลของเมล็ดข้าวมีทั้งหมด 3 ชั้น เรียงตัวแบบสลับฟันปลา ทำมุมเอียงลง 30 องศา โดยชั้นแรกและชั้นที่สองมีขนาด กว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร ส่วนชั้นที่สามมีขนาด กว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 65 เซนติเมตร ฝั่งตรงข้ามของรางไหลแต่ละชั้นจะมีแผ่นประกบปิดช่องว่างเอาไว้

เพื่อเป็นการบังคับทิศทางการไหลของอากาศให้ราบติดไปกับรางข้าวโดยจะเหลือช่องว่างระหว่างรางไหลกับแผ่นประกบของแต่ละชั้นห่างกันประมาณ 4 เซนติเมตรเพื่อให้เมล็ดข้าวยังสามารถไหลได้สะดวก ซึ่งระยะห่างของช่องว่างของรางไหลตามโครงสร้างที่ออกแบบนี้สามารถรองรับอัตราการไหลของข้าวได้ตั้งแต่ 1 ตันต่อชั่วโมงไปจนถึง 5 ตันต่อชั่วโมง ในชั้นล่างสุดของรางไหลจะมีขนาดของปลายช่องใหญ่เนื่องจากต้องครอบคลุมปากทางเข้าของลมร้อนด้วย สำหรับเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวของจริงที่สร้างสำหรับใช้ในการทดสอบและเก็บผลนั้น มีลักษณะดังรูปที่ 3.18 โดยสร้างจากแผ่นอะลูมิเนียมความหนา 3 มิลลิเมตรเพราะสามารถพับขึ้นรูปง่ายและยังคงความแข็งแรง

รูปที่ 3.18 เครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดลองและเก็บผล

เนื่องจากปากทางเข้าของลมร้อนอยู่ติดกับปากทางออกของเมล็ดข้าวทำให้มีลมร้อนบางส่วนไหลออกทางปากทางออของข้าวด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้แก้ปัญหาโดยการออกแบบสร้างรางสำหรับ

รองรับเมล็ดข้าวที่ไหลผ่านเครื่อง ให้มีลักษณะเป็นรางปิดแบบท่อสี่เหลี่ยมแบน ดังรูปที่ 3.19 มีขนาด กว้าง 30 เซนติเมตร สูง 3 เซนติเมตร ยาว 110 เซนติเมตร ซึ่งลมร้อนบางส่วนที่ไหลออกทางปากทางออกของเมล็ดข้าวจะถูกบังคับให้ไหลผ่านในรางปิดนี้ โดยรางไหลข้าวนี้จะเป็นรางที่ใช้เชื่อมต่อระหว่างเครื่องให้ความร้อนเมล็ดข้าวกับปากทางเข้าของเครื่องฆ่ามอดแบบไดอิเล็กตริก และยังเป็นการเพิ่มระยะทางในการให้ความร้อนกับเมล็ดข้าวอีกด้วย



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 3.19 รางข้าวแบบปิดที่ออกแบบเพื่อแก้ปัญหาลมร้อนบางส่วนที่ไหลออกทางปากทางออกเมล็ดข้าว

3.4 การวิเคราะห์พลังงานในการให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าว

ในการออกแบบสร้างเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนเพื่อทำให้เมล็ดข้าวมีอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจากเดิมนั้น สามารถคำนวณพลังงานความร้อนที่ต้องใช้ให้การทำให้เมล็ดข้าวปริมาณใด ๆ มีอุณหภูมิเพิ่มตามที่ต้องการได้ ตัวอย่างเช่น ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ ต้องการทำให้เมล็ดข้าวที่ไหลผ่านเครื่องให้ความร้อนด้วยลมร้อน ที่อัตราการไหล 3 ตันต่อชั่วโมงมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจากเดิม 8 องศาเซลเซียส โดยสามารถคำนวณหาพลังงานความร้อนที่ต้องใช้นี้ได้ดังสมการ

$$Q_i = mc\Delta T$$

โดย m คือ มวลของข้าว มีค่าเท่ากับ 3,000 กิโลกรัม ส่วน c คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะของข้าว มีค่าเท่ากับ 0.782 กิโลจูลต่อกิโลกรัมองศาเซลเซียส และ ΔT คือ ผลต่างของอุณหภูมิของเมล็ดข้าวที่ต้องการให้เพิ่มขึ้นซึ่งในที่นี้กำหนดเป็น 8 องศาเซลเซียส

จะได้ว่า

$$\begin{aligned} Q_i &= (3{,}000\ \text{kg})(0.782\ \text{kJ}/\text{kg}\cdot{}^{\circ}\text{C})(8\ {}^{\circ}\text{C}) \\ &= 18{,}768\ \text{kJ} \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ว่า พลังงานความร้อนทั้งหมดที่ต้องใช้ในการทำให้เมล็ดข้าวปริมาณ 3 ตัน มีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 8 องศาเซลเซียส คือ 18,768 กิโลจูล (kJ) หรือ 18.768 เมกะจูล (MJ)

จากนั้นนำค่าพลังงานความร้อนนี้มาแปลงเป็นกำลังไฟฟ้า จะทำให้ทราบกำลังของวงจรไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ต้องใช้กับเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวนี้ โดยที่ 1 กิโลวัตต์ชั่วโมงจะมีค่าเท่ากับ 3.6 เมกะจูล ซึ่งหมายความว่าถ้าใช้กำลังงานไฟฟ้า 1 กิโลวัตต์ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง จะได้พลังงานความร้อน 3.6 เมกะจูล ดังนั้นเพื่อให้ได้พลังงานความร้อนทั้งหมด 18.768 เมกะจูล จะต้องใช้กำลังงานไฟฟ้า 5.213 กิโลวัตต์ต่อเนื่องกันเป็นเวลา 1 ชั่วโมง แต่เนื่องจากวงจรไฟฟ้าเหนี่ยวที่สร้างขึ้น 1 ชุดจะมีกำลังไฟฟ้าประมาณ 4,000วัตต์และมีประสิทธิภาพของวงจรไฟฟ้าเหนี่ยวนำประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ การใช้วงจรชุดเดียวมีกำลังไม่เพียงพอต่อการทำให้เมล็ดข้าวมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นตามความต้องการตามวัตถุประสงค์ได้ ดังนั้นจึงต้องใช้วงจรไฟฟ้าเหนี่ยวนำจำนวน 2 ชุดจึงจะทำให้เครื่องให้ความร้อนนี้มีพลังงานเพียงพอที่จะทำให้เมล็ดข้าวมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึง 8 องศาเซลเซียสตามวัตถุประสงค์ได้

เมื่อนำส่วนประกอบทุกส่วนของเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนโดยใช้พลังงานความร้อนจากการเหนี่ยวนำความร้อนที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการทดลองและเก็บผลมาประกอบเข้าด้วยกันเป็นระบบแล้วจะมีลักษณะดังรูปที่ 3.20

รูปที่ 3.20 ระบบของเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนโดยใช้พลังงานความร้อนจากการเหนี่ยวนำความร้อน

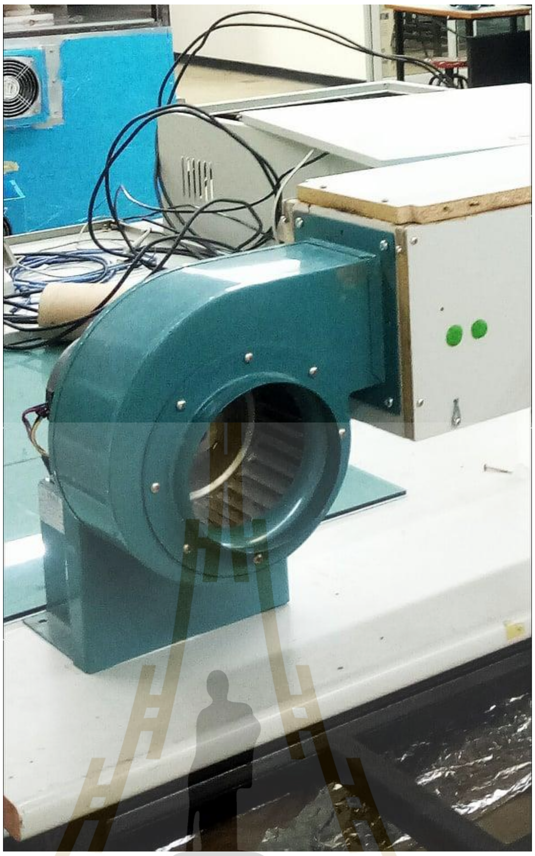
โดยในส่วนที่เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานความร้อนของเครื่องผู้วิจัยได้ออกแบบให้ใช้วงจรไฟฟ้าเหนี่ยวนำจำนวน 2 ชุด ดังรูปที่ 3.21 เพื่อลดภาระการทำงานของวงจรไม่ให้รับภาระทำงานหนักเกินไปและมีโหลดความร้อนของแต่ละชุดรวม 2 ชุดอยู่ในกล่องเดียวกัน ดังรูปที่ 3.22 โดยในการวางตำแหน่งของชุดโหลดความร้อนทั้ง 2 ชุด จะต้องมีระยะห่างระหว่างขวดลวดเหนี่ยวนำแต่ละขดพอสมควร เนื่องจากวงจรไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่สร้างขึ้นมีกำลังสูงทำให้ความเข้มฟลักซ์สนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ขดลวดเหนี่ยวนำแต่ละขดสร้างขึ้นจะมีความเข้มสูงมาก หากวางขดลวดเหนี่ยวนำไว้ใกล้กันมากเกินไปจะทำให้ฟลักซ์สนามแม่เหล็กไฟฟ้าในแต่ละขดรบกวนกันและกัน ส่งผลให้เกิดความ

ผิดปกติของรูปสัญญาณของกระแสที่โหลด ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อตัวอุปกรณ์ในวงจรไฟฟ้าเหนี่ยวนำได้ ดังนั้นในการออกแบบหากมีการใช้วงจรไฟฟ้าเหนี่ยวนำมากกว่า 1 ชุดขึ้นไปทำงานใกล้กันจำเป็นต้องมีการตรวจวัดรูปสัญญาณของกระแสที่โหลดด้วยว่าตำแหน่งที่วางขดลวดแต่ละขดมีการรบกวนกันของฟลักซ์สนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่เพื่อเป็นการป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นกับตัววงจรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

รูปที่ 3.21 เครื่องเหนี่ยวนำความร้อนจำนวน 2 ชุดที่ใช้ในการทดลอง

รูปที่ 3.22 ชุดโหลดความร้อนของวงจรไฟฟ้าเหนี่ยวนำทั้ง 2 ชุดที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดลมร้อน

และสำหรับพัดลมที่ในระบบเป็นแบบพัดลมแรงเหวี่ยง ดังรูปที่ 3.23 มีกำลังขนาด 1/4 แรงม้า ใช้ไฟ 220 V_{AC} เหตุผลที่เลือกใช้พัดลมชนิดนี้เพราะให้แรงลมที่แรงเพียงพอที่จะใช้กับเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนและเป็นพัดลมที่มีอยู่แล้วในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 3.23 พัดลมแรงเหวี่ยงที่ใช้ในการทดลองกับระบบให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อน

3.5 การออกแบบวิธีการทดลองและการเก็บผล

สำหรับวิธีการทดลองและการแก็บผลของเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนโดยใช้พลังงานความร้อนจากวงจรไฟฟ้าเหนี่ยวนำนั้น ในส่วนของเมล็ดข้าวที่จะใช้ทำการทดลองจะใช้ข้าวขาวหรือข้าวขัดสี เนื่องจากความไม่สะดวกในการนำวัตถุดิบปริมาณมากในระดับ 1,000 กิโลกรัมขึ้นไปมาใช้ในการทดลองได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงใช้วิธีการนำเมล็ดข้าวปริมาณ 7 กิโลกรัมมาเทผ่านเครื่องให้ความร้อนด้วยลมร้อนแล้วจับเวลานับตั้งแต่เริ่มเทข้าวจนถึงเวลาที่เมล็ดข้าวไหลออกจากเครื่องหมดแล้วนำเวลาที่ได้ต่อการเท 1 ครั้ง มาคำนวณหาปริมาณการไหลของเมล็ดข้าวเทียบกับเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นจะทำการปรับปริมาณการไหลข้างเมล็ดข้าวให้ได้ปริมาณการไหลที่ 1 ตัน 2 ตัน และ 3 ตันต่อชั่วโมงโดยสามารถปรับได้ที่ปากปล่องทางเข้าของเมล็ดข้าวและใช้วิธีการคำนวณเทียบแบบเดิม

ในส่วนของเซนเซอร์วัดอุณหภูมิจะใช้เซนเซอร์ที่มีการแสดงผลแบบดิจิตอลทั้งหมด 2 ชุด เนื่องจากสะดวกและแม่นยำในการอ่านค่าอุณหภูมิ โดยชุดแรกจะใช้วัดอุณหภูมิลมร้อนที่จะเข้าสู่เครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าว โดยจะติดตั้งที่ตำแหน่งปากทางเข้าลมของเครื่อง ดังรูปที่ 3.24

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 3.24 ตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์วัดอุณหภูมิลมร้อนของเครื่อง

ส่วนเซนเซอร์อีกหนึ่งตัวจะใช้สำหรับวัดอุณหภูมิของข้าวหลังผ่านเครื่องให้ความร้อน โดยจะติดเซนเซอร์ไว้กับภาชนะสำหรับรองรับเมล็ดข้าวและให้หัวของเซนเซอรที่เป็นตัวรับอุณหภูมิวางไว้ที่ก้นภาชนะเพื่อให้เมล็ดข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนตกลงมาสัมผัสได้ ดังรูปที่ 3.25

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 3.25 ตำแหน่งการติดตั้งเซนเซอร์สำหรับวัดอุณหภูมิข้าวหลังผ่านการให้ความร้อนจากเครื่องให้ความร้อนด้วยลมร้อน

บทที่ 4
ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการนำเสนอผลการทดลองที่ได้จากการทดทดลองให้ความร้อนเมล็ดข้าวด้วยเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนโดยใช้พลังงานความร้อนจากการเหนี่ยวนำความร้อนที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้น โดยแบ่งสามส่วนหลัก ๆ คือ ในส่วนแรกเป็นการวัดและเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิลมร้อนที่จ่ายให้กับเครื่องให้ความร้อนเมื่อกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนมีค่าต่างกัน ซึ่งเป็นการบันทึกผลของอุณหภูมิลมตั้งแต่เริ่มต้นเปิดเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนไปจนถึงจุดที่ใช้เทข้าว ในส่วนที่สองเป็นการนำเสนอการผลของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้นหลังผ่านเครื่องให้ความร้อนด้วยลมร้อนที่อัตราการไหลของเมล็ดข้าว 1 ตัน 2 ตัน และ 3 ตันต่อชั่วโมงโดยเป็นผลเปรียบเทียบกันระหว่างอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นของแต่ละอัตราการไหลเมื่อกำหนดกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนเท่ากัน รวมทั้งนำเสนอผลต่างของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้นในแต่ละอัตราการไหลที่กำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนต่างกัน และผลจากการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเครื่องในแต่ละอัตราหารไหลข้าวที่กำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนต่างๆ ท้ายสุดในส่วนที่สามเป็นการนำเสนอผลการวัดความสม่ำเสมอโดยรวมของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่ผ่านเครื่องให้ความร้อนด้วยภาพกล้องส่องความร้อนแบบอินฟาเรดเพื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์และสรุปผลต่อไป

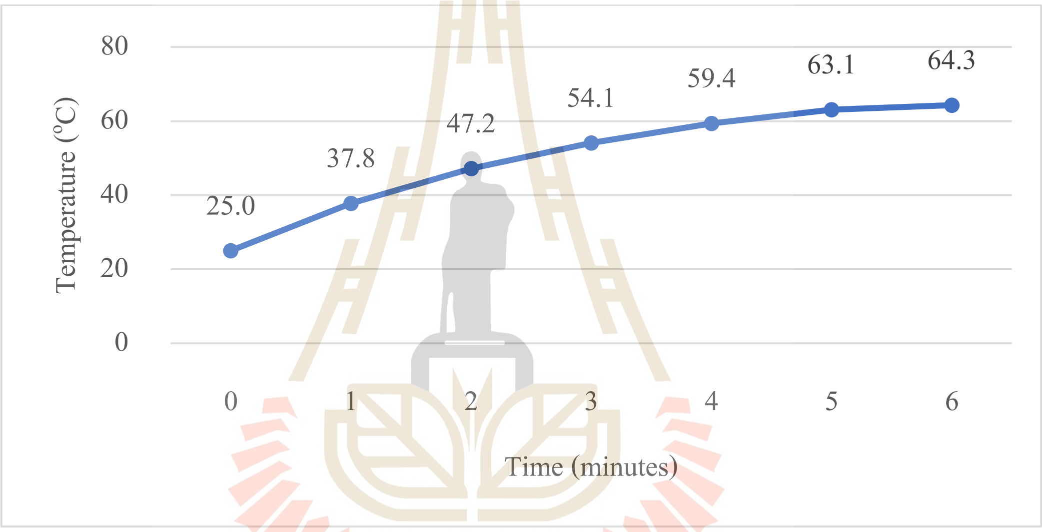
4.2 การวัดและผลการวัดอุณหภูมิของลมร้อนที่เกิดจากการเหนี่ยวนำความร้อนของวงจรไฟฟ้าเหนี่ยวนำ

ในการเก็บผลของอุณหภูมิลมร้อนที่เกิดจากการเหนี่ยวนำความร้อนของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนนั้นจะกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นของอากาศที่จะเปิดเครื่องเหนี่ยวความร้อนเท่ากันคือ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิปกติของภายในห้องปฏิบัติการที่ใช้ทำการทดลอง โดยเวเลาที่ใช้ตั้งแต่เริ่มเปิดเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนไปจนถึงจุดที่จะเทข้าว โดยมีเงื่อนไขในการหยุดเวลาคือความเร็วในการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิลมร้อนจะเริ่มเพิ่มขึ้นช้าลงเมื่อเทียบกับความเร็วในตอนแรก

จากการทดสอบพบว่าในแต่ละกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนจะใช้เวลาในการสร้างลมร้อนจนถึงจุดเทข้าวประมาณ 5 นาทีเท่า ๆ กัน และในส่วนของกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนนั้นเมื่อชิ้นงานโลหะที่ใช้ในการเหนี่ยวนำให้เกิดความร้อนมีอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้โหลด

ดึงกระแสน้อยลงทำให้กำลังของเครื่องต่ำลงด้วย (ซึ่งถือเป็นข้อดีของการเหนี่ยวนำเพราะทำให้ประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้) ดังนั้นในการบันทึกค่ากำลังของวงจรจะจดบันทึกตรงจุดที่กระแสเริ่มหยุดนิ่งหรือเริ่มลดลงอย่างช้า ๆ ซึ่งในการทดลองพบว่ากระแสจะเริ่มหยุดที่ที่เวลาประมาณ 1 นาที 45 วินาที เท่า ๆ กันทุกกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อน โดยการทดลองจะปรับกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำเพิ่มขึ้นเพื่อดูความแตกต่างของอุณหภูมิลมร้อนที่ได้ ซึ่งได้ผลดังต่อไปนี้

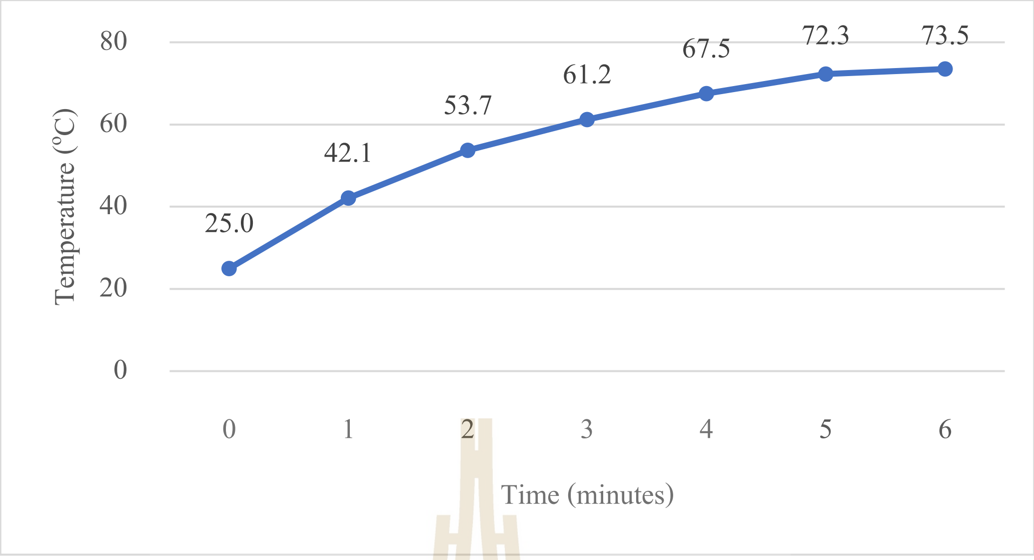
ในรูปที่ 4.1 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อนที่เพิ่มขึ้นกับเวลา มีกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนเท่ากับ 3,652 วัตต์ (กระแสรวมของวงจรเริ่มนิ่งที่ 16.6 แอมแปร์) โดยอุณหภูมิลมร้อนที่ได้ในจุดที่จะเทข้าวมีค่า 63.1 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อนกับเวลาที่กำลัง 3,652 วัตต์

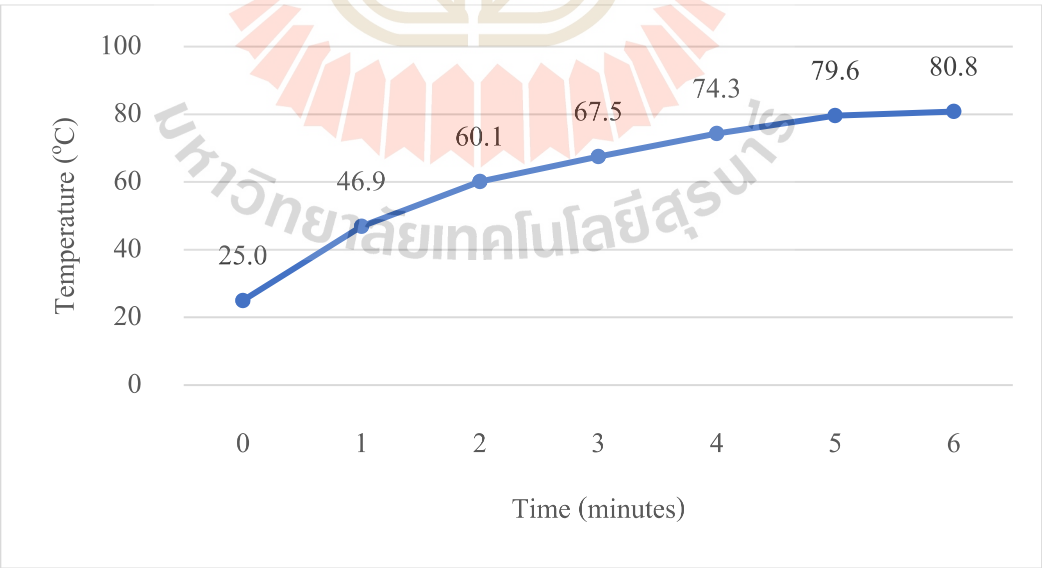
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ในรูปที่ 4.2 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อนที่เพิ่มขึ้นกับเวลา มีกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนเท่ากับ 5,544 วัตต์ (กระแสรวมของวงจรเริ่มนิ่งที่ 25.2 แอมแปร์) โดยอุณหภูมิลมร้อนที่ได้ในจุดที่จะเทข้าวมีค่า 72.3 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อนกับเวลาที่กำลัง 5,544 วัตต์

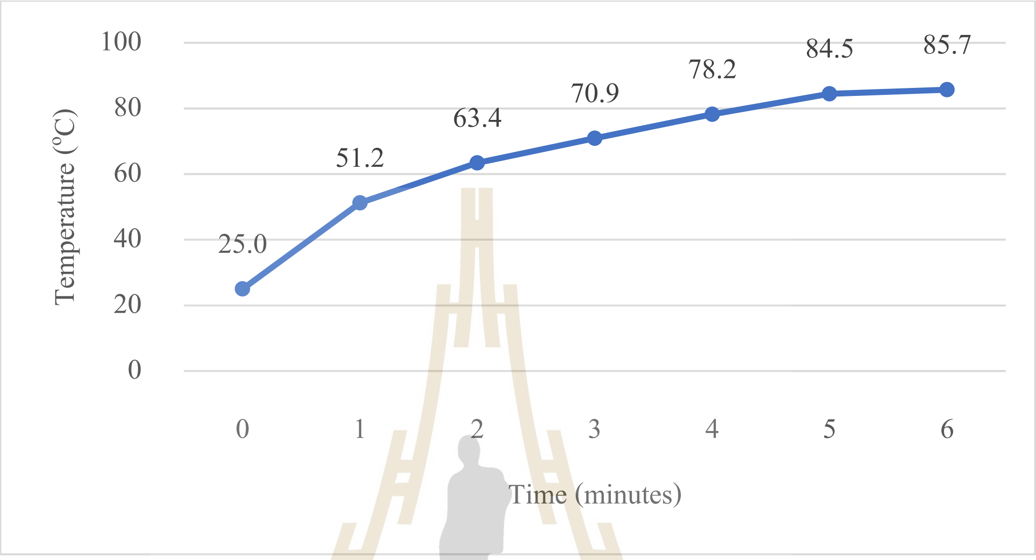
ในรูปที่ 4.3 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อนที่เพิ่มขึ้นกับเวลา มีกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนเท่ากับ 6,028 วัตต์ (กระแสรวมของวงจรเริ่มนิ่งที่ 27.4 แอมแปร์) โดยอุณหภูมิลมร้อนที่ได้ในจุดที่จะเทข้าวมีค่า 79.6 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อนกับเวลาที่กำลัง 6,028 วัตต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

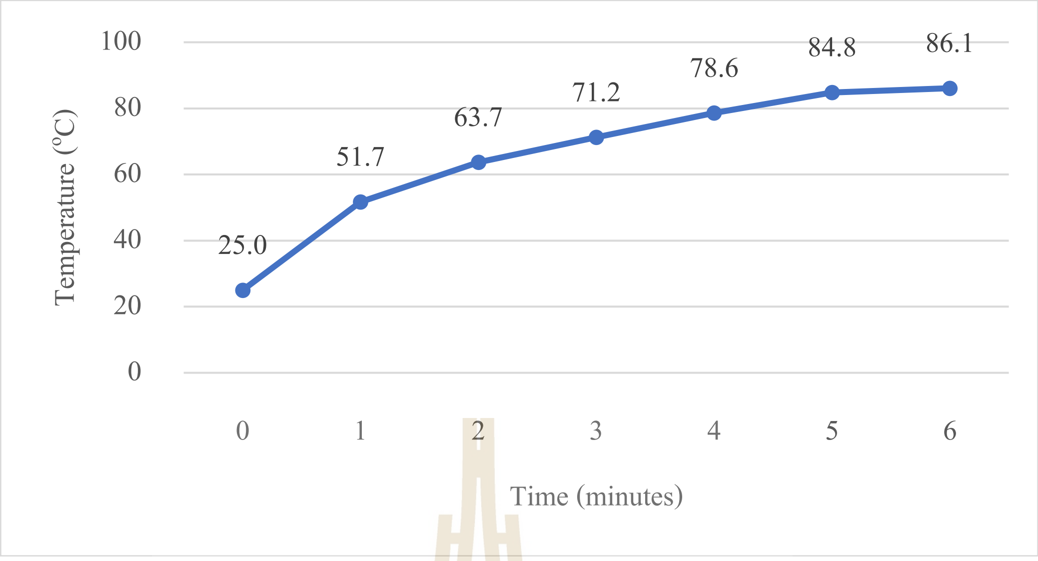
ในรูปที่ 4.4 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อนที่เพิ่มขึ้นกับเวลา มีกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนเท่ากับ 6,534 วัตต์ (กระแสรวมของวงจรเริ่มนิ่งที่ 29.7 แอมแปร์) โดยอุณหภูมิลมร้อนที่ได้ในจุดที่จะเทข้าวมีค่า 84.5 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อนกับเวลาที่กำลัง 6,534 วัตต์

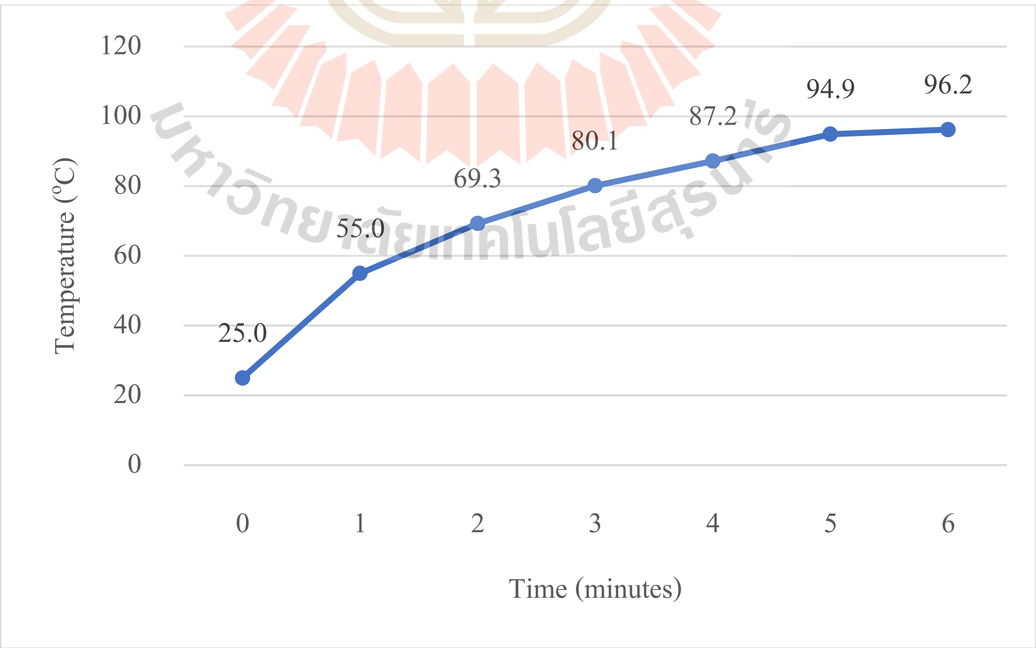
ในรูปที่ 4.5 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อนที่เพิ่มขึ้นกับเวลา มีกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนเท่ากับ 6,908 วัตต์ (กระแสรวมของวงจรเริ่มนิ่งที่ 31.4 แอมแปร์) โดยอุณหภูมิลมร้อนที่ได้ในจุดที่จะเทข้าวมีค่า 84.8 องศาเซลเซียส

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



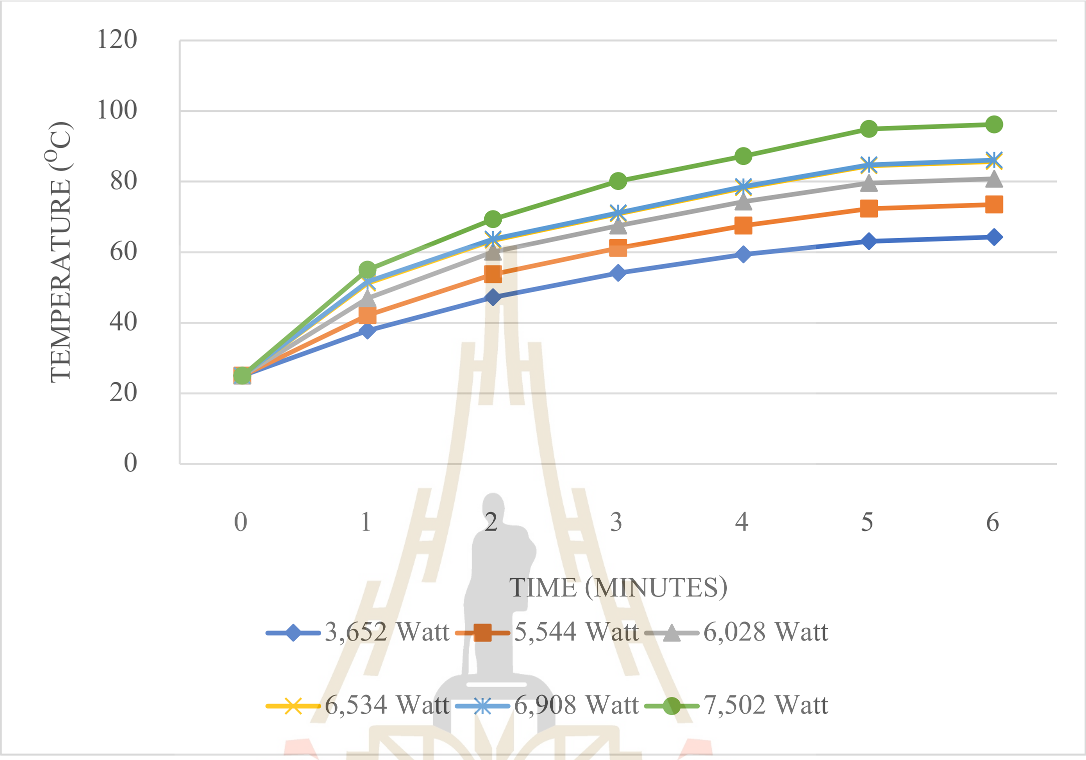
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อนกับเวลาที่กำลัง 6,908 วัตต์

ในรูปที่ 4.6 เป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อนที่เพิ่มขึ้นกับเวลา มีกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนเท่ากับ 7,502 วัตต์ (กระแสรวมของวงจรเริ่มนิ่งที่ 34.1 แอมแปร์) โดยอุณหภูมิลมร้อนที่ได้ในจุดที่จะเทข้าวมีค่า 94.9 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิลมร้อนกับเวลาที่กำลัง 7,502 วัตต์

ในรูปที่ 4.7 เป็นการเปรียบเทียบกันของอุณหภูมิลมร้อนกับเวลา ในแต่ละกำลังเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนทั้ง 6 ค่า



รูปที่ 4.7 กราฟเปรียบเทียบกันระหว่างอุณหภูมิลมร้อนกับเวลาที่แต่ละกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนต่าง ๆ

จากผลการวัดอุณหภูมิลมร้อนที่ได้นำเสนอข้างต้นนั้นจะเห็นได้ว่า การใช้เครื่องเหนี่ยวนำความร้อนเป็นแหล่งกำเนิดลมร้อนสามารถสร้างลมร้อนให้มีอุณหภูมิสูงขึ้นได้ตั้งแต่ 63.1 – 94.9 องศาเซลเซียสได้ภายในระยะเวลา 5 นาที ซึ่งขึ้นอยู่กับกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อน โดยอุณหภูมิของลมร้อนในช่วงเริ่มต้นจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นไปเรื่อย ๆจนถึงเวลาประมาณ 5 นาที หลังจากผ่าน 5 นาทีแรกอุณหภูมิของลมร้อนจะเริ่มเพิ่มขึ้นช้าลง ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงเลือกใช้จุดที่อุณหภูมิของลมร้อนเริ่มมีการเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ในการเทข้าวเพื่อทดสอบผลการให้ความร้อนเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนของเครื่องให้ความร้อนที่ได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้น ซึ่งผลของอุณหภูมิข้าวที่เพิ่มขึ้นจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

4.3 ผลการทดสอบการให้ความร้อนเมล็ดข้าวด้วยเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อน

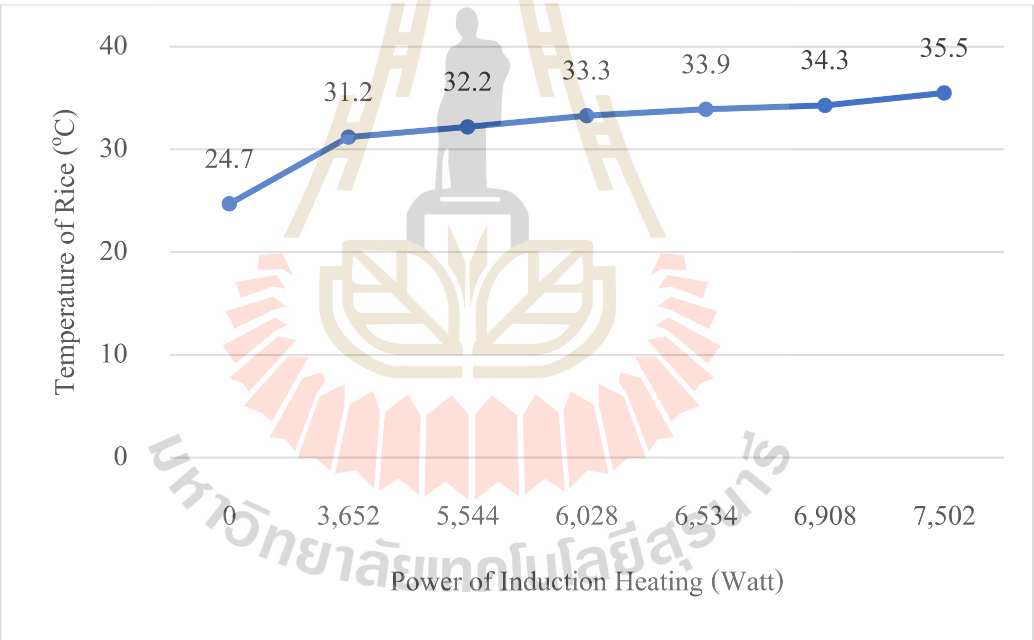
ในการเก็บวัดผลของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้นหลังจากผ่านการให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อนนั้น จะแบ่งการทดลองตามอัตราการไหลของเมล็ดข้าวที่กำลังต่าง ๆ ของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อน โดยในแต่ละอัตราการไหลของเมล็ดข้าวจะมีเงื่อนไขที่กำหนดคือ ที่กำลังเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนเท่ากันจะใช้อุณหภูมิของลมร้อนเท่ากันในการทดสอบให้ความร้อนกับเมล็ดข้าว โดยในทุกครั้งของการทดลองจะใช้เมล็ดข้าวชนิดเดียวกัน ปริมาณเท่ากันและอุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากันคือ 24.7 องศาเซลเซียส เพื่อจะนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบ วิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเมล็ดข้าวและผลต่างของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้นในแต่ละอัตราการไหลของกำลังต่าง ๆ ซึ่งผลการทดสอบการให้ความร้อนเมล็ดข้าวด้วยเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนมีดังนี้

ที่อัตราการไหลของเมล็ดข้าว 1 ตันต่อชั่วโมง ในแต่ละกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนสามารถทำให้เมล็ดข้าวมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 24.7 องศาเซลเซียสเป็น 31.2 องศาเซลเซียส 32.2 องศาเซลเซียส 33.3 องศาเซลเซียส 33.9 องศาเซลเซียส 34.3 องศาเซลเซียส และ 35.5 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.8

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 4.1 ผลของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้นหลังผ่านเครื่องให้ความร้อนด้วยลมร้อน ที่อัตราการไหลข้าว 1 ตันต่อชั่วโมง

กำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อน (วัตต์)	อุณหภูมิลมร้อนจุดที่จะเทข้าว (^{o}C)	อุณหภูมิของเมล็ดข้าวเริ่มต้น (^{o}C)	อุณหภูมิของเมล็ดข้าวหลังผ่านเครื่อง (^{o}C)
3,652	63.1	24.7	31.2
5,544	72.3	24.7	32.2
6,028	79.6	24.7	33.3
6,534	84.5	24.7	33.9
6,908	84.8	24.7	34.3
7,502	94.9	24.7	35.5

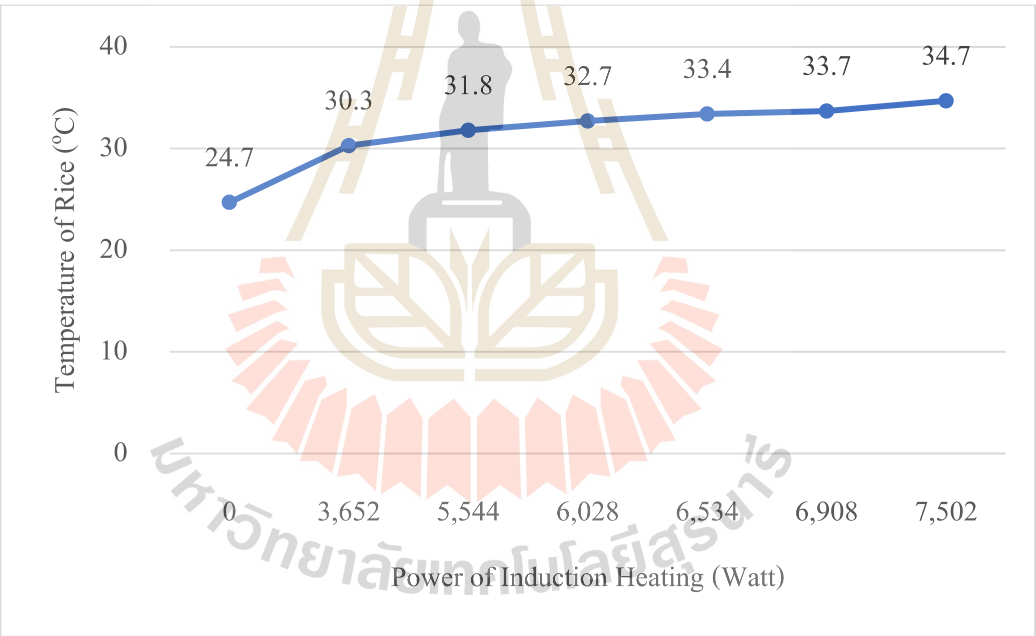


รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเมล็ดข้าวหลังให้ความร้อนกับกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อน ที่อัตราการไหลข้าว 1 ตันต่อชั่วโมง

ที่อัตราการไหลของเมล็ดข้าว 2 ตันต่อชั่วโมง ในแต่ละกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนสามารถทำให้เมล็ดข้าวมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 24.7 องศาเซลเซียสเป็น 30.3 องศาเซลเซียส 31.8 องศาเซลเซียส 32.7 องศาเซลเซียส 33.4 องศาเซลเซียส 33.7 องศาเซลเซียส และ 34.7 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.2 และรูปที่ 4.9

ตารางที่ 4.2 ผลของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้นหลังผ่านเครื่องให้ความร้อนด้วยลมร้อน ที่อัตราการไหลข้าว 2 ตันต่อชั่วโมง

กำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อน (วัตต์)	อุณหภูมิลมร้อนจุดที่จะเทข้าว (°C)	อุณหภูมิของเมล็ดข้าวเริ่มต้น (°C)	อุณหภูมิของเมล็ดข้าวหลังผ่านเครื่อง (°C)
3,652	63.1	24.7	30.3
5,544	72.3	24.7	31.8
6,028	79.6	24.7	32.7
6,534	84.5	24.7	33.4
6,908	84.8	24.7	33.7
7,502	94.9	24.7	34.7

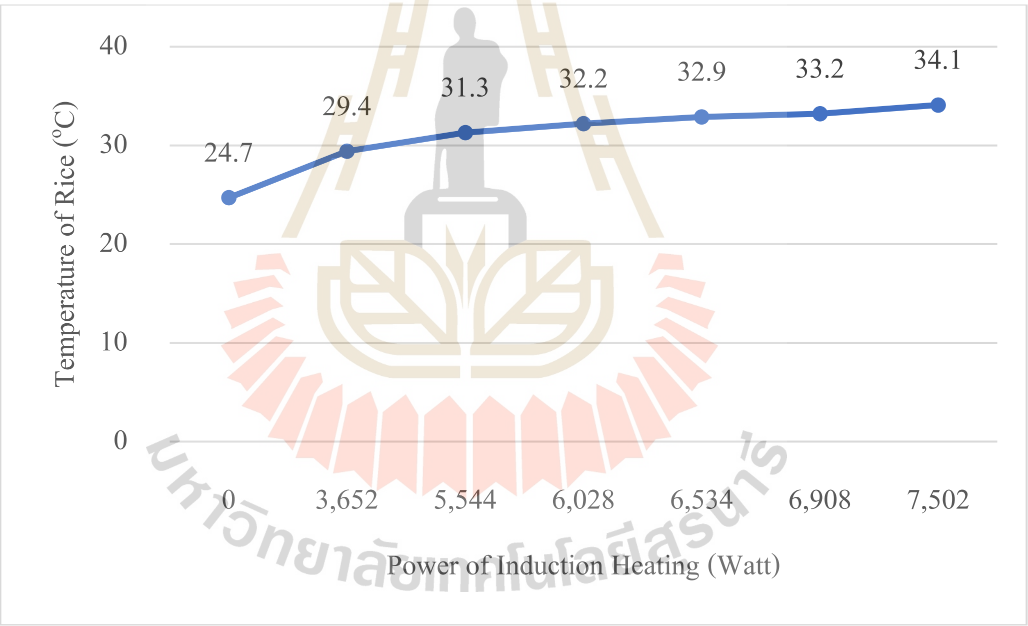


รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเมล็ดข้าวหลังให้ความร้อนกับกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อน ที่อัตราการไหลข้าว 2 ตันต่อชั่วโมง

ที่อัตราการไหลของเมล็ดข้าว 3 ตันต่อชั่วโมง ในแต่ละกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนสามารถทำให้เมล็ดข้าวมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้นจาก 24.7 องศาเซลเซียสเป็น 29.4 องศาเซลเซียส 31.3 องศาเซลเซียส 32.2 องศาเซลเซียส 32.9 องศาเซลเซียส 33.2 องศาเซลเซียส และ 34.1 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.10

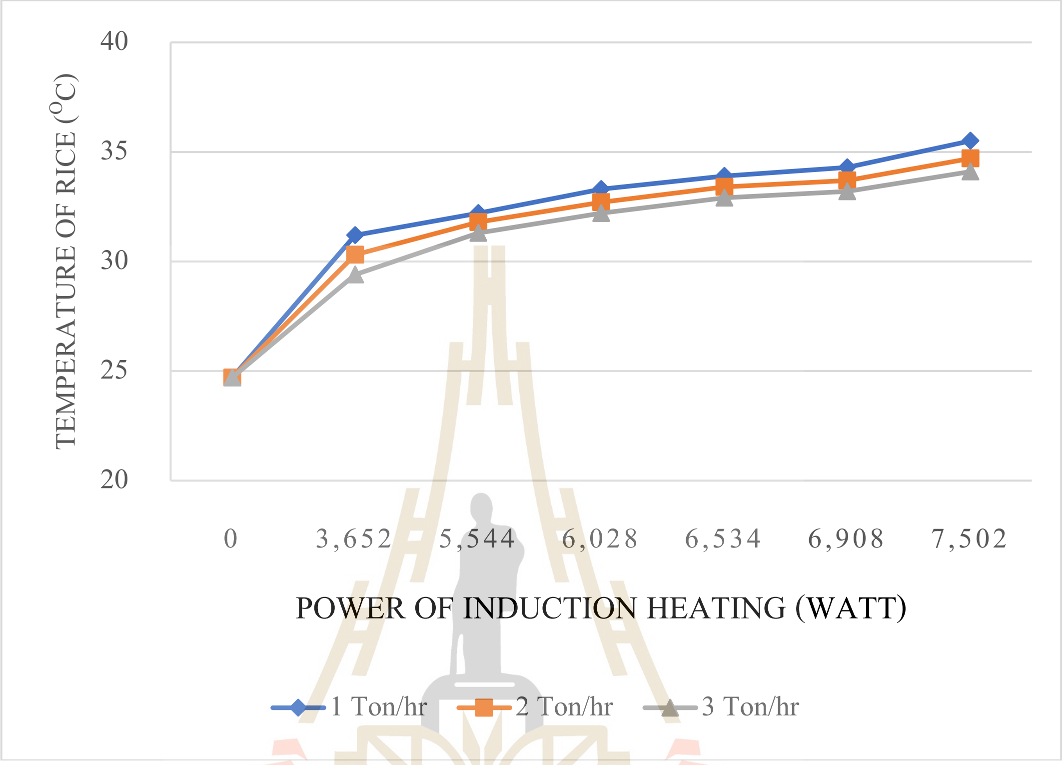
ตารางที่ 4.3 ผลของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้นหลังผ่านเครื่องให้ความร้อนด้วยลมร้อน ที่อัตราการไหลข้าว 3 ตันต่อชั่วโมง

กำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อน (วัตต์)	อุณหภูมิลมร้อนจุดที่จะเทข้าว (°C)	อุณหภูมิของเมล็ดข้าวเริ่มต้น (°C)	อุณหภูมิของเมล็ดข้าวหลังผ่านเครื่อง (°C)
3,652	63.1	24.7	29.4
5,544	72.3	24.7	31.3
6,028	79.6	24.7	32.2
6,534	84.5	24.7	32.9
6,908	84.8	24.7	33.2
7,502	94.9	24.7	34.1



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิเมล็ดข้าวหลังให้ความรอนกับกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อน ที่อัตราการไหลข้าว 3 ตันต่อชั่วโมง

เมื่อนำผลการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเมล็ดข้าวหลังจากผ่านการให้ความร้อนด้วยลมร้อนทั้งสามมาเปรียบเทียบกัน จะได้ผลดังรูปที่ 4.11

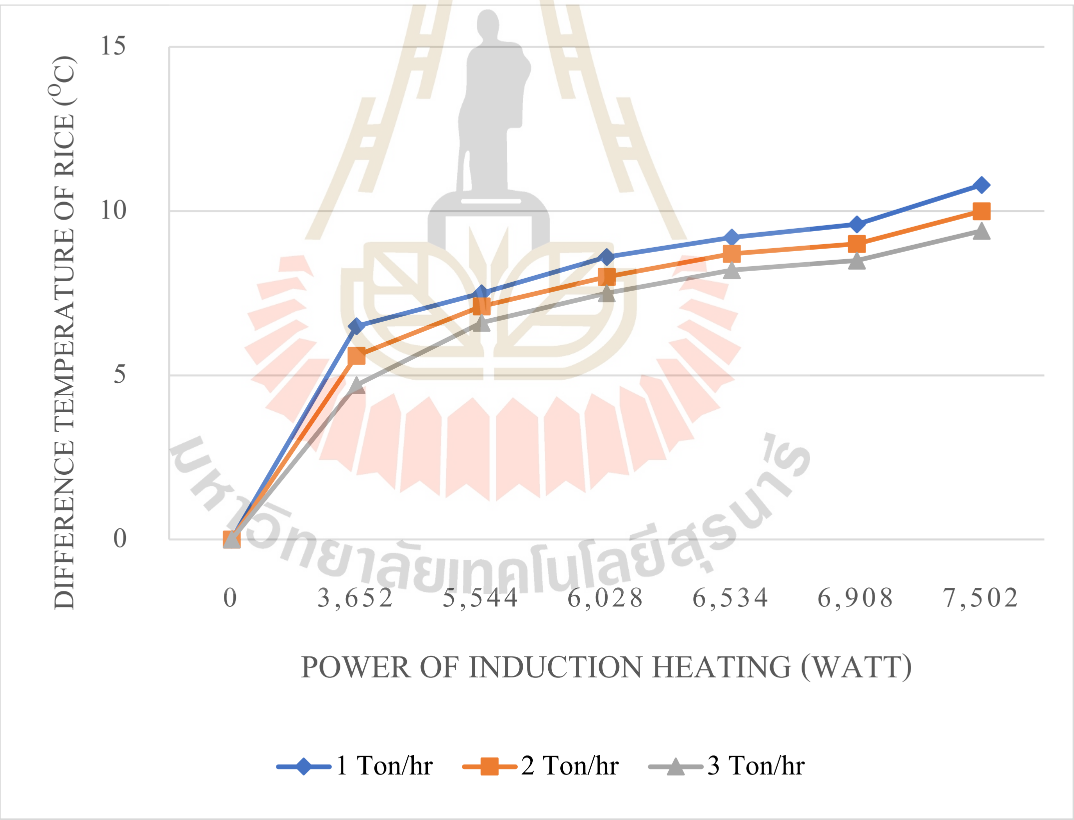


รูปที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบระหว่างอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้นกับกำลังของแหล่งกำเนิดความร้อนของปริมาณการไหลทั้งสาม

และจากผลการวัดอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้นหลังผ่านการให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อนที่ได้กล่าวมาข้างต้น สามารถแสดงผลในรูปของผลต่างของอุณหภูมิได้ดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.12 ดังนี้

ตารางที่ 4.4 ผลต่างของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้นของอัตราการไหลทั้งสาม

กำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อน (วัตต์)	ผลต่างของอุณหภูมิเมล็ดข้าว ที่ 1 ตันต่อชั่วโมง (°C)	ผลต่างของอุณหภูมิเมล็ดข้าว ที่ 2 ตันต่อชั่วโมง (°C)	ผลต่างของอุณหภูมิเมล็ดข้าว ที่ 3 ตันต่อชั่วโมง (°C)
3,652	6.5	5.6	4.7
5,544	7.5	7.1	6.6
6,028	8.6	8.0	7.5
6,534	9.2	8.7	8.2
6,908	9.6	9.0	8.5
7,502	10.8	10.0	9.4



รูปที่ 4.12 กราฟเปรียบเทียบระหว่างผลต่างของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้นกับกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อน ที่อัตราการไหลทั้งสาม

4.4 ประสิทธิภาพการให้ความร้อนเมล็ดข้าวของเครื่องให้ความร้อน

จากผลต่างของอุณหภูมิเมล็ดข้าวหลังผ่านการให้ความร้อนในที่กล่าวมาข้างตอนนั้น สามารถนำมาคำนวณหาประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนของแต่ละอัตราการที่กำลังของแหล่งกำเนิดความร้อนได้ดังตารางที่ 4.5

ตามรางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเครื่องให้ความร้อนที่อัตราการไหลต่าง ๆ ในแต่ละกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อน

กำลังของแหล่งกำเนิดความร้อน (วัตต์)	ประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเครื่องที่ 1 ตันต่อชั่วโมง (%)	ประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเครื่องที่ 2 ตันต่อชั่วโมง (%)	ประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเครื่องที่ 3 ตันต่อชั่วโมง (%)
3,652	38.66	66.62	83.87
5,544	29.39	55.64	77.58
6,028	30.99	57.66	81.08
6,534	30.59	57.85	81.78
6,908	30.19	56.60	80.18
7,502	31.27	57.91	81.66
เฉลี่ย	31.85	58.71	81.03

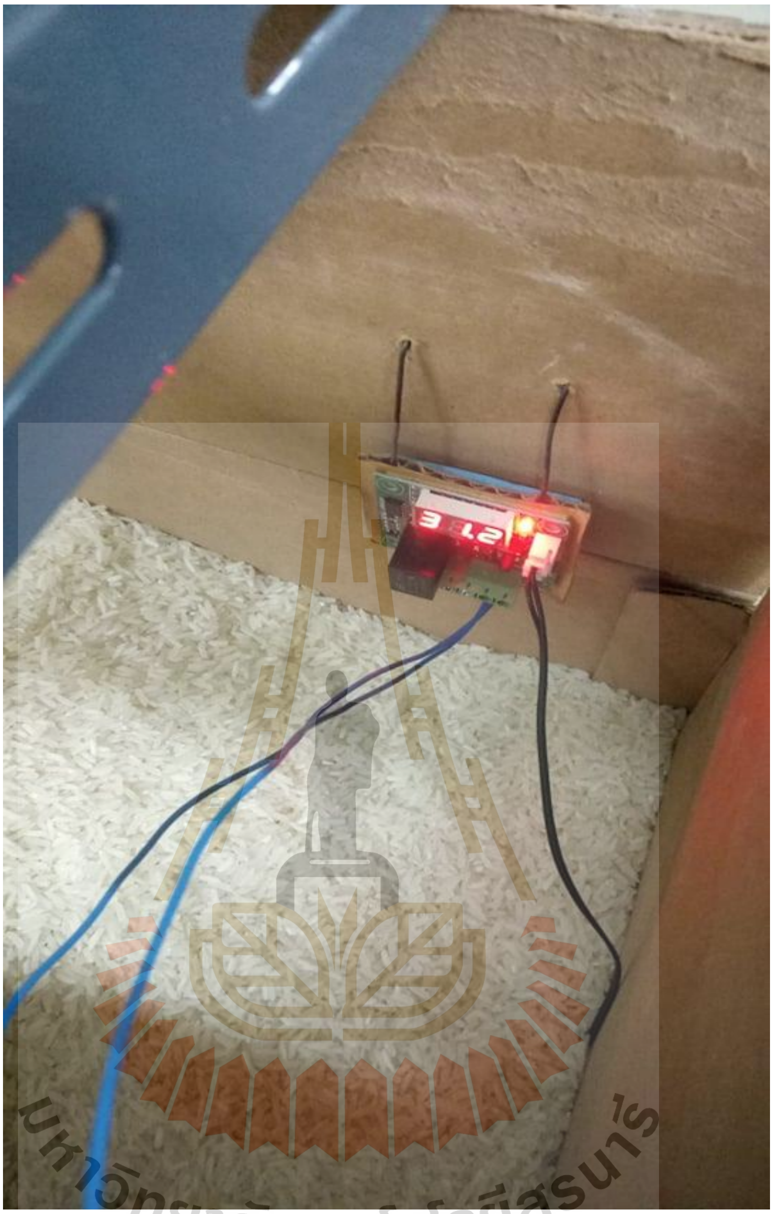
จากตารางที่ 4.5 เมื่อคำนวณประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเครื่องให้ความร้อนที่สร้างขึ้นในแต่ละกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนพบว่า ที่อัตราการไหลข้าว 1 ต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเครื่องจะอยู่ในช่วง 29 – 39% โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 31.85 % ที่อัตราการไหลข้าว 2 ตันต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเครื่องเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 55 – 67% โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 58.71% และที่อัตราการไหลข้าว 3 ตันต่อชั่วโมง ประสิทธิภาพของเครื่องสูงที่สุดอยู่ในช่วง 77 – 84% โดยเฉลี่ยอยู่ที่ 81.03% ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่า เครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนนี้มีโครงสร้างที่สามารถรองรับอัตราการไหลของข้าวได้ถึง 5 ตันต่อชั่วโมง ทำให้ช่องของรางไหลข้าวมีขนาดใหญ่จึงทำให้เครื่องให้ความร้อนที่มีโครงสร้างแบบนี้ ขนาดเท่านี้ ไม่เหมาะกับการให้ความร้อนเมล็ดข้าวที่อัตราการไหลต่ำ ๆ เนื่องจากจะทำให้เครื่องมีประสิทธิภาพต่ำลง มีความสิ้นเปลืองพลังงานสูง และนอกจากนี้ยังทำให้ทราบว่า ถึงแม้โครงสร้างของเครื่องจะ

รองรับอัตราการไหลข้าวได้ถึง 5 ตันต่อชั่วโมง แต่ก็ยังเหมาะกับอัตราการไหลข้าวที่ 3 ตันต่อชั่วโมงมากที่สุดเพราะเครื่องจะมีประสิทธิภาพสูงที่สุดถึง 81.03%

ส่วนในรูปที่ 4.13 และ รูปที่ 4.14 เป็นตัวอย่างการวัดและการแสดงผลการวัดอุณหภูมิเมล็ดข้าวตอนเริ่มและอุณหภูมิเมล็กข้าวที่ออกจากเครื่องให้ความร้อนด้วยเซนเซอร์แบบดิจิตอล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 4.13 การวัดและแสดงผลของอุณหภูมิเมล็ดข้าวเริ่มต้นก่อนผ่านเครื่องให้ความร้อน



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 4.14 การวัดและแสดงผลของอุณหภูมิเมล็ดข้าวหลังผ่านเครื่องให้ความร้อน

จากผลการทดสอบการให้ความร้อนเมล็ดข้าวเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนโดยใช้พลังงานความร้อนจากการเหนี่ยวนำความร้อนนั้นพบว่า เครื่องให้ความร้อนดังกล่าวสามารถทำให้เมล็ดข้าวที่ผ่านเครื่องให้ความร้อนมีอุณหภูมิเพิ่มจากเดิมได้ตั้งแต่ 4.7 – 10.8 องศาเซลเซียส โดยขึ้นอยู่กับกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อน อุณหภูมิของลมร้อน และอัตราการไหลของเมล็ดข้าว ซึ่งถ้าเปรียบเทียบที่กำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนเท่ากัน อุณหภูมิลมร้อนเท่ากัน เมล็ดข้าวที่มีอัตราการไหลต่ำจะมีการซ้อนทับกันของเมล็ดข้าวในขณะที่ไหลแบบบาง ทำให้

สามารถรับพลังงานความร้อนจากลมร้อนได้ดี ต่างจากเมล็ดข้าวที่มีปริมาณการไหลมาก ๆการซ้อนทับกันของเมล็ดข้าวขณะไหลจะหนาทำให้เมล็ดข้าวรับพลังงานความร้อนจากลมร้อนได้น้อยกว่า

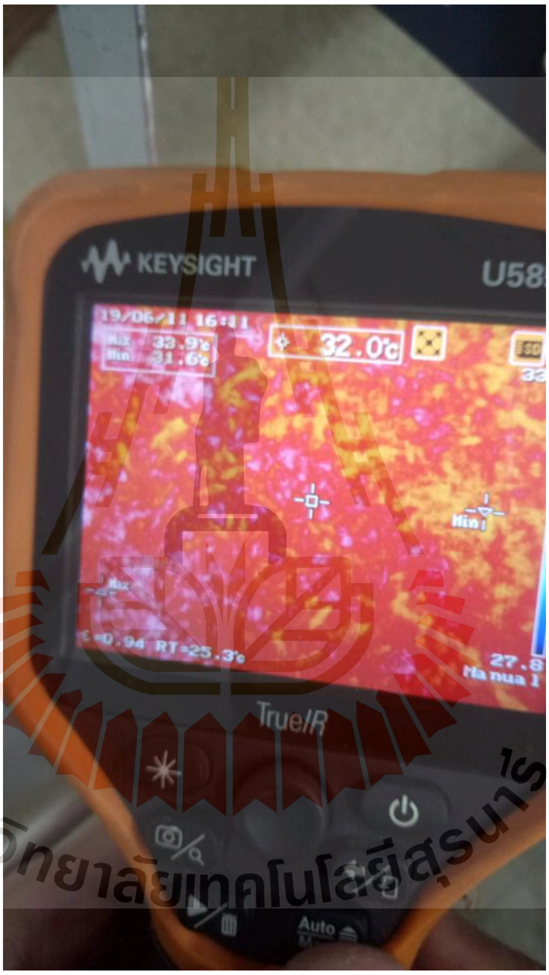
4.5 การวัดและผลการวัดความสม่ำเสมอโดยรวมของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่ผ่านเครื่องให้ความร้อนด้วยภาพจากกล้องส่องความร้อนแบบอินฟราเรด

สำหรับการวัดความสม่ำเสมอของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวนั้นจะใช้เครื่องมือวัดเป็นกล้องส่องความร้อนแบบอินฟราเรด ยี่ห้อ KEYSIGHT รุ่น U5857A ดังรูปที่ 4.15 เนื่องจากสามารถแสดงภาพสีของอุณหภูมิความร้อนของสิ่งที่ต้องการวัดได้ ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดที่มีอยู่แล้วในห้องปฏิบัติการของมหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.15 กล้องส่องความร้อนแบบอินฟราเรด ยี่ห้อ KEYSIGHT รุ่น U5857A

ในการวัดผลใช้กล้องความร้อนนี้ส่องดูสีของอุณหภูมิเมล็ดข้าวหลังจากผ่านการให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อน แล้วดูสีของอุณหภูมิโดยรวมของเมล็ดข้าวและค่าสูงสุด - ต่ำสุดของในจุดที่กล้องส่องความร้อนวัดได้ ซึ่งผลที่ได้จากกล้องส่องความร้อนแบบอินฟราเรดของอัตราการไหลทั้งสามที่มีกำลังของแหล่งจกำเนิดความร้อนเท่ากัน ได้ผลดังต่อไปนี้

ในรูปที่ 4.16 เป็นผลการวัดความสม่ำเสมอของอุณหภูมิเมล็ดข้าวหลังผ่านการให้ความร้อนที่อัตราการไหลข้าว 1 ตันต่อชั่วโมง ที่กำลังของแหล่งกำเนิดความร้อน 6,534 วัตต์ โดยจะสังเกตว่าค่าสูงสุดของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่กล้องวัดได้คือ 33.9 องศาเซลเซียสและค่าต่ำสุดของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่กล้องวัดได้คือ 31.6 องศาเซลเซียส ซึ่งผลต่างของอุณหภูมิโดยรวมที่กล้องส่องความร้อนวัดได้นั้น คือ 2.3 องศาเซลเซียส



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

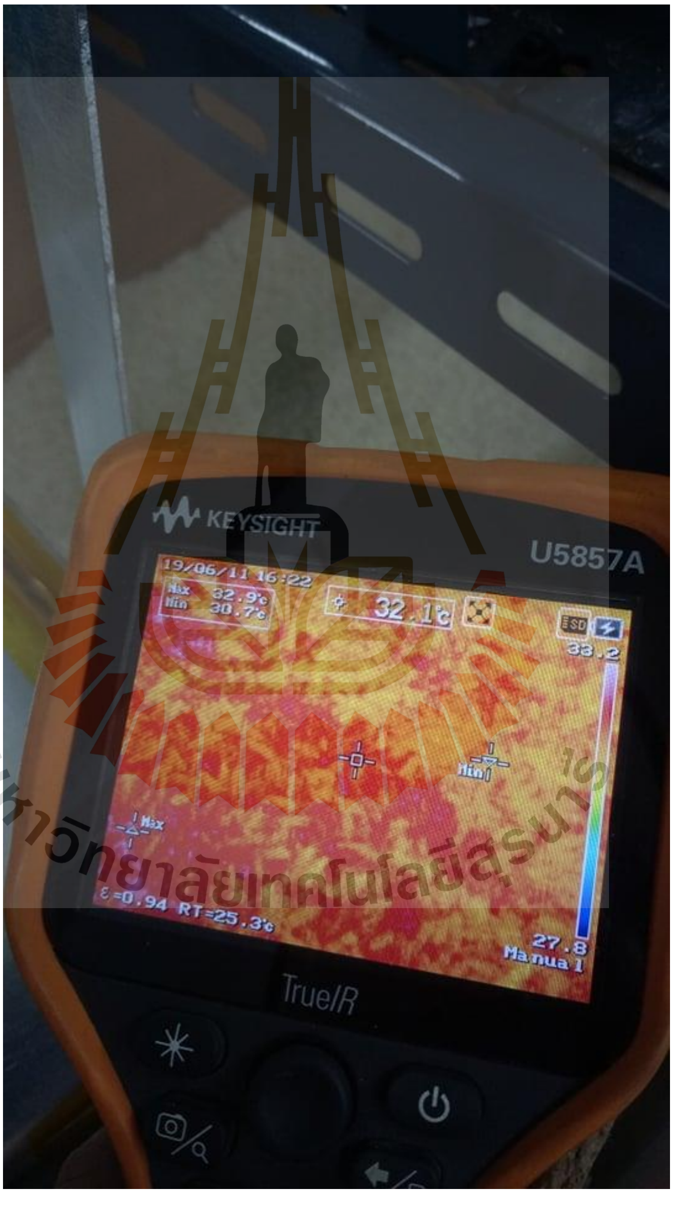
รูปที่ 4.16 ผลการวัดความสม่ำเสมอของอุณหภูมิเมล็ดข้าวหลังผ่านการให้ความร้อนจากกล้องส่องความร้อน ที่อัตราการไหลข้าว 1 ตันต่อชั่วโมง และมีกำลังของแหล่งกำเนิดความร้อน 6,534 วัตต์

ในรูปที่ 4.17 เป็นผลการวัดความสม่ำเสมอของอุณหภูมิเมล็ดข้าวหลังผ่านการให้ความร้อนที่อัตราการไหลข้าว 2 ตันต่อชั่วโมง ที่กำลังของแหล่งกำเนิดความร้อน 6,534 วัตต์ โดยจะสังเกตว่าค่าสูงสุดของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่กล้องวัดได้คือ 33.4 องศาเซลเซียสและค่าต่ำสุดของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่กล้องวัดได้คือ 31.2 องศาเซลเซียส ซึ่งผลต่างของอุณหภูมิโดยรวมที่กล้องส่องความร้อนวัดได้นั้น คือ 2.2 องศาเซลเซียส

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 4.17 ผลการวัดความสม่ำเสมอของอุณหภูมิเมล็ดข้าวหลังผ่านการให้ความร้อนจากกล้องส่องความร้อน ที่อัตราการไหลข้าว 2 ตันต่อชั่วโมง และมีกำลังของแหล่งกำเนิดความร้อน 6,534 วัตต์

ในรูปที่ 4.18 เป็นผลการวัดความสม่ำเสมอของอุณหภูมิเมล็ดข้าวหลังผ่านการให้ความร้อนที่อัตราการไหลข้าว 3 ตันต่อชั่วโมง ที่กำลังของแหล่งกำเนิดความร้อน 6,534 วัตต์ โดยจะสังเกตว่าค่าสูงสุดของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่กล้องวัดได้คือ 32.9 องศาเซลเซียสและค่าต่ำสุดของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่กล้องวัดได้คือ 30.7 องศาเซลเซียส ซึ่งผลต่างของอุณหภูมิโดยรวมที่กล้องส่องความร้อนวัดได้นั้น คือ 2.2 องศาเซลเซียส



รูปที่ 4.18 ผลการวัดความสม่ำเสมอของอุณหภูมิเมล็ดข้าวหลังผ่านการให้ความร้อนจากกล้องส่องความร้อน ที่อัตราการไหลข้าว 3 ตันต่อชั่วโมง และมีกำลังของแหล่งกำเนิดความร้อน 6,534 วัตต์

จากผลการวัดความสม่ำเสมอโดยรวมของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อนที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นนั้นในข้างต้นนั้นพบว่า ผลต่างของอุณหภูมิของเมล็ดข้าวหลังผ่านเครื่องให้ความร้อนด้วยลมร้อนที่จุดสูงสุดและต่ำสุดที่ตามที่ได้จากกล้องส่องความร้อนแบบอินฟาเรดมีค่าอยู่ในช่วง 2.2 -2.3 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นช่วงอุณหภูมิที่ไม่แตกต่างกันมากนัก ถือได้ว่าอุณหภูมิโดยรวมของเมล็ดข้าวที่ได้มีความสม่ำเสมอกันดีและสีของอุณหภูมิเมล็ดข้าวเมื่อมองผ่านกล้องส่องความร้อนก็ค่อนข้างอยู่ในโทนเดียวกัน ไม่ได้มีการแบ่งสีแยกโซนของอุณหภูมิอย่างชัดเจน ดังนั้นพอจะกล่าวได้ว่าเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนนี้มีความสม่ำเสมอในการให้ความร้อนเมล็ดข้าวเป็นที่น่าพอใจ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการศึกษา วิเคราะห์ ออกแบบ ทดสอบ และเปรียบเทียบผลของการให้ความร้อนเมล็ดข้าวด้วยเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนโดยใช้พลังงานความร้อนจากการเหนี่ยวนำความร้อน การวิจัยเริ่มจากการศึกษาความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์การวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ รวมถึงปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวของกับงานวิจัย จากนั้นศึกษาทฤษฎีในส่วนของวงจรเหนี่ยวนำความร้อน ทฤษฎีในส่วนของการถ่ายโอนความร้อนระหว่างวงจรเหนี่ยวนำความร้อนกับอากาศ และทฤษฎีที่เกี่ยวข้องในส่วนของการคำนวณพลังงานความร้อน จากนั้นออกแบบและสร้างเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนโดยใช้พลังงานความร้อนจากการเหนี่ยวนำความร้อนสำหรับใช้ในการทดสอบ เก็บผล เพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลการทำงานและประสิทธิภาพของเครื่องต่อไป โดยเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนนี้จะมีวงจรไฟฟ้าเหนี่ยวนำจำนวนสองชุด มีกำลังรวมสูงสุด 7,502 วัตต์ สำหรับใช้เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนให้กับตัวเครื่อง ในส่วนของตัวเครื่องให้ความร้อนเป็นแบบข้าวไหลสวนทางกับลมร้อน มีช่องซึ่งเป็นรางสำหรับให้ข้าวไหลจำนวนสามชั้นและมีรางแบบปิดที่ต่อกับปากทางออกข้าวสำหรับเป็นให้เมล็ดข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนไหลไปลงปากทางเข้าของเครื่องฆ่ามอดแบบไดอิเล็กตริก รวมระยะทางในการที่ข้าวจะได้รับความร้อนจากลมร้อนทั้งสิ้น 295 เซนติเมตร และในส่วนของการทดลองและผลการทดลองประกอบด้วยสี่ส่วน ในการวัดผลส่วนแรกเป็นการวัดผลอุณหภูมิลมร้อนที่สามารถทำได้ในแต่ละกำลังของแหล่งกำเนิดความร้อนซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ใช้ในการให้ความร้อนกับเมล็ดข้าว การวัดผลส่วนที่สองเป็นการวัดผลอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่ผ่านการให้ความร้อนด้วยเครื่องให้ความร้อนที่อัตราการไหลข้าวต่างกันในแต่ละกำลังของแหล่งกำเนิดความร้อนเพื่อดูอุณหภูมิและผลต่างของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้น ในส่วนที่สามเป็นการคำนวณจากผลของการวัดซึ่งเป็นการคำนวณประสิทธิภาพการให้ความร้อนเมล็ดข้าวของเครื่องให้ความร้อนนี้โดยใช้ผลต่างของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้น อัตราการไหลข้าวและกำลังของเครื่องเหนี่ยวนำความร้อนในการคำนวณ และในส่วนสุดท้ายจะเป็นการวัดผลความสม่ำเสมอของอุณหภูมิเมล็ดข้าวหลังผ่านการให้ความร้อนโดยจะดูจากโทนสีและค่าอุณหภูมิสูงสุด – ต่ำสุดของกล้องส่งความร้อนแบบอินฟาเรด

5.1.1 สรุปการวัดผลของอุณหภูมิลมร้อน

จากการวัดผลอุณหภูมิลมร้อนในแต่ละกำลังของแหล่งกำเนิดความร้อนพบว่า ในแต่ละค่ากำลังของแหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้ในการทดลองสามารถทำอุณหภูมิลมร้อนได้ตั้งแต่ 63.1 องศา-เซลเซียส ถึง 94.9 องศาเซลเซียส ในเวลา 5 นาที ซึ่งเมื่อกำลังของแหล่งกำเนิดความร้อนเพิ่มขึ้นจะสามารถทำอุณหภูมิลมร้อนได้สูงขึ้นด้วย

5.1.2 สรุปการวัดผลอุณหภูมิข้าวหลังผ่านการให้ความร้อน

จากการผลวัดอุณหภูมิเมล็ดข้าวหลังผ่านการให้ความร้อนพบว่าในแต่ละกำลังของแหล่งกำเนิดความร้อน ที่อัตราการไหลข้าว 1 ตันต่อชั่วโมง สามารถเพิ่มอุณหภูมิเมล็ดข้าวได้ตั้งแต่ 6.5 องศาเซลเซียส ถึง 10.8 องศาเซลเซียส ส่วนที่อัตราการไหลข้าว 2 ตันต่อชั่วโมง สามารถเพิ่มอุณหภูมิเมล็ดข้าวได้ตั้งแต่ 5.6 องศาเซลเซียส ถึง 10.0 องศาเซลเซียส และที่อัตราการไหลข้าว 3 ตันต่อชั่วโมง สามารถเพิ่มอุณหภูมิเมล็ดข้าวได้ตั้งแต่ 4.7 องศาเซลเซียส ถึง 9.4 องศาเซลเซียส เมื่อเปรียบเทียบที่กำลังของแหล่งกำเนิดความร้อนเท่ากันจะเห็นว่า ที่อัตราการไหลข้าวเพิ่มขึ้นจะมีผลต่างของอุณหภูมิเมล็ดข้าวหลังผ่านการให้ความร้อนจะลดลง

5.1.3 สรุปประสิทธิภาพการให้ความร้อนของเครื่องให้ความร้อนนี้

เมื่อนำผลต่างของอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่เพิ่มขึ้นจากการวัดผลมาคำนวณหาประสิทธิภาพการให้ความร้อนโดยเฉลี่ยของเครื่องที่อัตราการไหลข้าวทั้งสามของเครื่องให้ความร้อนนี้พบว่า ที่อัตราการไหลข้าว 1 ตันต่อชั่วโมง เครื่องมีประสิทธิภาพการให้ความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 31.85% ที่อัตราการไหลข้าว 2 ตันต่อชั่วโมง เครื่องมีประสิทธิภาพการให้ความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 58.71% และที่อัตราการไหลข้าว 3 ตันต่อชั่วโมง เครื่องมีประสิทธิภาพการให้ความร้อนโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 81.03% ซึ่งจากประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยในการให้ความร้อนของเครื่องจะเห็นว่าที่อัตราการไหลข้าว 3 ตันต่อชั่วโมงเครื่องให้ ความร้อนนี้ มีประสิทธิภาพในการให้ความร้อนเมล็ดข้าวสูงมากเมื่อเทียบกับที่อัตราการไหลข้าวทั้งสอง

5.1.4 สรุปผลการวัดความสม่ำเสมอของอุณหภูมิเมล็ดข้าวหลังผ่านการให้ความร้อน

จากผลการวัดผลความสม่ำเสมอของอุณหภูมิเมล็ดข้าวหลังผ่านการให้ความร้อนพบว่าอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่ผ่านเครื่องให้ความร้อนนี้มีความสม่ำเสมอกัน โดยผลต่างของอุณหภูมิเมล็ดข้าวสูงสุด – ต่ำสุดที่วัดได้จากกล้องส่องความร้อนอินฟราเรดมีค่าเพียง 2.2 – 2.3 องศาเซลเซียส ซึ่งถือว่าใกล้เคียงกันและโทนสีของอุณหภูมิเมล็ดข้าวโดยรวมก็มีโทนสีใกล้เคียงกันด้วย

สรุปผลที่ได้จากการทดสอบเครื่องให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวด้วยลมร้อนโดยใช้พลังงานความร้อนจากวงจรไฟฟ้าเหนี่ยวนำที่ได้ออกแบบและสร้างขึ้นมีประสิทธิภาพในการให้ความร้อนสำหรับเมล็ดข้าวสูง มีความสม่ำเสมอของอุณหภูมิเมล็ดข้าวดี เหมาะกับการใช้งานที่อัตรา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การไหล 3 ตันต่อชั่วโมง และเมื่อนำไปทดสอบการให้ความร้อนเมล็ดข้าวพบว่าสามารถเพิ่มอุณหภูมิเมล็ดข้าวได้จริงตามวัตถุประสงค์

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการออกแบบโครงสร้างของตัวเครื่องให้ความร้อน ในส่วนของช่องสำหรับให้ข้าวไหลและเป็นช่องทางการไหลสวนขึ้นของลมร้อน ควรออกแบบให้มีความพอดีกับการใช้งานที่อัตราการไหลเดียวเพื่อประสิทธิภาพสูงสุดในการให้ความร้อน

2. ในการออกแบบโครงสร้างของตัวเครื่องให้ความร้อน ในส่วนของระยะทางในการรับพลังงานความร้อนจากลมร้อน หากสามารถเพิ่มระยะทางในส่วนนี้ให้ยาวมากขึ้นได้ก็จะสามารถเพิ่มผลต่างของอุณหภูมิเมล็ดข้าวได้

3. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในส่วนของความเร็วลมและมวลลมว่ามีอิทธิพลอย่างไรและส่งผลอย่างไรกับการให้ความร้อนเมล็ดข้าว

5.3 แนวทางการพัฒนาต่อในอนาคต

หากต้องการเพิ่มขนาดของเครื่องให้ความร้อนข้าวจากอัตราการไหล 3 ตันต่อชั่วโมงเป็น 5 ตันต่อชั่วโมง หรือมากกว่านั้นสามารถทำได้โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. คำนวณอัตราการไหลข้าวจากเวลาที่ใช้ เริ่มจับเวลาตั้งแต่เทข้าวจนถึงข้าวไหลออกหมดแล้วนำมาคำนวณหาอัตราการไหล เช่น ต้องการอัตราการไหลข้าว 5 ตันต่อชั่วโมง จะต้องใช้เวลาที่ข้าว 7 กิโลกรัมไหลผ่านเครื่องให้ความร้อนทั้งหมด 5 วินาที โดยความเร็วในการไหลข้าวสามารถปรับได้ที่ความยาวของรางหรือความเอียงของรางข้าว

2. เมื่อรู้เวลาที่ต้องใช้ในการไหลข้าวที่จะทดสอบแล้ว ขั้นตอนต่อมาคือสังเกตความหนาของข้าวในขณะที่ไหล เนื่องจากความหนาในการไหลของข้าวจะมีผลกับการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิข้าวและความสม่ำเสมอของอุณหภูมิ โดยข้าวขณะไหลควรมีความหนาอยู่ที่ประมาณ 1 เซนติเมตร หากข้าวไหลหนาเกินไป ให้เพิ่มความกว้างของรางโดยคำนวณพื้นที่จากสัดส่วนของปริมาณข้าวที่เพิ่มขึ้นเทียบกับเครื่องขนาด 3 ตันต่อชั่วโมง

3. ต่อมาในส่วนของขนาดของช่องระหว่างรางไหลข้าว ความมีขนาดตามสัดส่วนความหนาข้าวต่อช่องว่างของอากาศอยู่ที่ 1 ต่อ 1 ถึง 1 ต่อ 2 เช่น ความหนาข้าวไหล 1 เซนติเมตร ขนาดของช่องระหว่างรางไหลข้าวควรมีขนาด 2 – 3 เซนติเมตร เพื่อให้มีช่องว่างให้อากาศสามารถดันแทรกตัวผ่านข้าวที่ไหลสวนทางขึ้นไปได้สะดวก ซึ่งจะทำให้ข้าวรับพลังงานความร้อนได้ดี

4. จากนั้นเพิ่มกำลังของแหล่งกำเนิดความร้อนโดยคำนวณจากสูตรการหาพลังงานความร้อนที่ต้องใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิข้าวแล้วแปลงเป็นกำลังไฟฟ้า ซึ่งกำลังที่คำนวณได้จะคิดเป็น 80

เปอร์เซ็นต์ แต่กำลังของแหล่งกำเนิดความร้อนที่ใช้จะต้องคิดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ของพลังงานจากการคำนวณ ตัวอย่างเช่น ต้องการเพิ่มอุณหภูมิข้าวขึ้น 8 องศาเซลเซียส ที่อัตราการไหล 5 ตันต่อชั่วโมง จะต้องใช้แหล่งกำเนิดความร้อนที่มีกำลัง 8,688.89 วัตต์ (นี่คือ 80 เปอร์เซ็นต์ของกำลังแหล่งกำเนิดที่ต้องใช้จริง) ดังนั้นแหล่งกำเนิดที่ใช้จริงจะต้องมีกำลังประมาณ 10,861.11 วัตต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

คงศักดิ์ รัตน์นิยมชัย. 2556. **การออกแบบเครื่องให้ความร้อนแก่ไดอิเล็กตริก.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 116 น.

กรมทรัพย์สินทางปัญญา.สิทธิบัตรการประดิษฐ์ชื่อ **เครื่องอบแห้งแบบการไหลสวนทางในแนวดิ่ง**. เลขที่สิทธิบัตร 22985. ออกเมื่อ 27 ธันวาคม 2550.

Jiin-Yuh Jang, Yu-Wei Chiu. (2007). **Numerical and experimental thermal analysis for a metallic hollow cylinder subjected to step-wise electro-magnetic induction heating**, Applied Thermal Engineering., 1883 – 1894.

Wongsa, J., Songbunkaew, J. and Subsingha, W. (2014). **INNOVATIVE OF INDUCTION HEATING**, Journal of thonburi Universitty.

Matej Kranjc, Anze Zupanic, Damijan Miklavcic, Tomaz Jarm, **Numerical analysis and thermographic investigation of induction heating**, International Journal of Heat and Mass Transfer, 2010, 3585–3591.

Yunus A.Cengel, Micheal A.Boles. (2011). **THERMODYNAMICS AN ENGINEERING APPROACH 7th EDITION**.

B.R.Bekkulov, R.U. Aliyev, M.T.Khalilov, Y.T. Mamirov, Z.X.Jalolova. (2018). **Experimental research for paddy and rice**, Vol. 5, Issue 7.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

Thepsatitsilp, K., Boonpeang, W., Saeung, P., Pukseesang, N. and Thongsopa, C. (2017). **Experiment an design a suitable induction heating for air heat exchanger application**. Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility (APEMC), Seoul, South Korea

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2017 Asia-Pacific International Symposium on Electromagnetic Compatibility (APEMC), June 20-23, 2017, Seoul, Korea

Experiment and design a suitable induction heating for air heat exchanger application

Keeratidech Thepsatitsilp, Worawut Boonpeang, Phanupong Saeung, Nuttakorn Pukseesang and Chanchai Thongsopa
School of Electronic Engineering, Suranaree University of technology, Nakhonratchasima 30000, Thailand
thepsatitsil@hotmail.com, zz.enlighten.zz@gmail.com, M5841110@g.sut.ac.th, harryaui0@hotmail.com, chan@sut.ac.th

***Abstract*—This paper experiment and design about output load of induction heating for use in air heat exchanger application. By using various structure of output that have a wide area for exchange heat between air and solid such as, multilayer metallic hollow cylinder, multilayer in different height metallic hollow cylinder and multiple metallic tube by using the same type of material to experiment for find which structure have a good characteristic and suitable with air heat exchanger. We found a problem that multilayer metallic hollow cylinder, multilayer in different height metallic hollow cylinder is not suitable with air heat exchanger and we still found that multiple metallic tube have a good characteristic to use in air heat exchanger application.**

Keywords—Induction heating, heat exchanger, high frequency

I. Introduction

In currently, induction heating has been used in several application such as melting, brazing and surface hardening. Because it is a powerful technique for providing high temperature at high precision position and rapid heating time. Yi Han found that using suitable profile coil instead circular coils in induction heating process can improve gear type products [1]. Min Churl song was developed an analysis method that can be use as practical tool for predict the temperature distribution in the induction heating for the forging of heavy marine crankshafts [2]. Shiou-Yueh Shih was found that multiple-zone as a small-area zones induction heating have a higher heating rate and uniformity performance than single-zone with large-area induction heating [3]. Lenka Jakubovičová was shown about numerical simulation of induction heating to achieve a uniform surface temperature on heated specimen [4]. Huy-Tien Bui use a working coil compose with magnetic flux concentrators for use to rise a heat distribution at surface inside a barrel of an injection molding machine and the result was shown that the system achieve a uniform temperature distribution at the inside surface of the barrel [5]. Shih-Chih Nian was found that a high temperature setting on the surface of an injection mold shortens the cycle time will improves the level of filling of melted plastics in microinjection molding [6]. Shih-Chih Nian was found that magnetic shielding can eliminating the proximity effect, increasing induction heating speed, and increasing the uniformity of temperature distribution [7]. Wang Xun was studied about induction heating in low frequency for pipe bending application that have inner and outer wall and the results indicate that the optimal value range were heating temperature of outer wall t=1030~1070 °C, while advance speed v=0.3~0.4 mm/sec [8]. Xiaobin Fu was studied about induction heating of workpiece before gear rolling process that use two different structure of heating coil with longitudinal magnetic flux (LMF) coil and transverse magnetic flux (TMF) coil and his result found that by use the LMF coil to heat a workpiece can obtain a better temperature distribution than the TMF coil [9]. Tomonori Watanabe was studied about metal melting by using electromagnetic induction heating with a superconductor coils by rotating object to achieve a induction heating effect for heat a workpiece [10]. But we not found that, no one was experimented about output load of induction heating for use in air heat exchanger application.

Therefore, this paper presents experiment and design about output load of induction heating for use in air heat exchanger application. By using various structure of output that have a wide area for exchange heat between air and solid. This experiment have a useful with drying application that use air heat exchanger which is a kind of hot air drying in agricultural industry such as maize drying, paddy drying and longan drying [11-15].

II. Material and Method

This section discusses the materials and method used in experiments to prove a design of output load of induction heating in different structure.

A. Induction Heating

The induction heating which used in this experiment consist of two main component which is a induction circuit and working coil. The first part we will describe about induction circuit that used in this experiment by starting with block diagram of circuit as illustrate in Fig. 1. From block diagram the first part is low power frequency oscillator start from 12 volt direct current supply connect with frequency oscillator circuit that oscillate at 18.5 kHz rectangle wave connect to driver circuit which is responsible for drive high power side that is a flyback circuit which was supplied from rectifier circuit and adjustable transformer which can vary voltage between 0 to 260 volt alternate current which rectifier circuit responsible for convert alternate current to direct current and supply to flyback circuit for drive coil work piece. The second part we will describe about working coil that use in this experiment. The working coil was built from copper wire with diameter 1.8 mm (AWG standard gauge 13), diameter of working coil 12 cm, coil length 6 cm with a 20 turn coil.

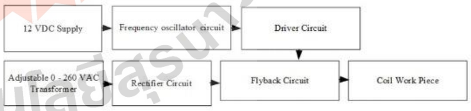


Fig. 1. Block diagram of induction circuit.

B. Output Load

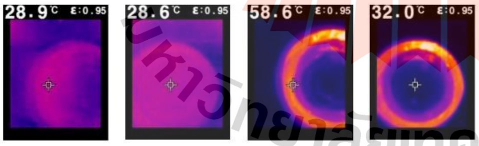
The output load which used in this experiment consist of four different structure the first is multilayer metallic hollow cylinder with a height higher than coil which was illustrated in Fig. 2. (a). was built from metal material or conductor material which consist of four layer hollow cylinder with a height dimension 9.5 cm and diameter from outer layer to inner layer is 10, 8, 6 and 4 cm respectively. multilayer in different height metallic hollow cylinder was illustrated in Fig. 2. (b). was built from conductor material which consist of four layer hollow cylinder with a diameter from outer layer to inner layer is 10, 8, 6 and 4 cm respectively which each layer consist with different height from outer layer to inner layer is 9.5, 7, 6 and 4 cm respectively. multilayer metallic hollow cylinder with a height lower than coil was illustrated in Fig. 2. (c). was built from conductor material which consist of four layer hollow cylinder with a height dimension 4 cm it obviously lower than height of helix coil and diameter from outer layer to inner layer is 10, 8, 6 and 4 cm respectively. multiple metallic tube was illustrated in Fig. 2. (d). was built from conductor material which consist of multiple metallic tube which pack as a cylinder with a height dimension 9.5 cm and each piece have a diameter 1.42 cm and pack as diameter 10 cm.

(a) (b) (c) (d)

Fig. 2. Output load: (a) multilayer metallic hollow cylinder with a height higher than coil; (b) multilayer in different height metallic hollow cylinder; (c) multilayer metallic hollow cylinder with a height lower than coil; (d) multiple metallic tube.

III. RESULTS AND DISCUSSION

This section discusses the results that was received from this experiments which induction heating operate at high frequency 18.5 kHz and power consumption at 120 W with a time 150 second by separate experiment into four part. The first part is the result from multilayer metallic hollow cylinder with a height higher than coil illustrated in Fig. 3. the results show that at a start time of boundary position a temperature starting with 28.9 °C and at center it starting with 28.6 °C. When the system run for 150 second.

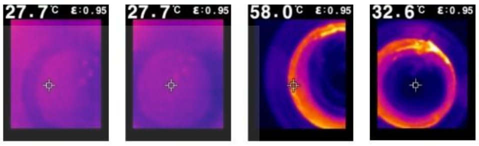


(a) (b) (c) (d)

Fig. 3. The result from multilayer metallic hollow cylinder with a height higher than coil: (a) boundary position at start time; (b) center position at start time; (c) boundary position at stop time; (d) center position at stop time.

we found that at the boundary position the temperature increased to 58.6 °C and at the center it increased to 32.0 °C that mean at the center has slightly increased and it small different from the starting time.

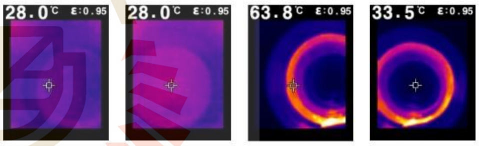
The second part is the result from multilayer in different height metallic hollow cylinder illustrated in Fig. 4. the results show that at a start time of boundary position a temperature starting with 27.7 °C and at center it starting with 27.7 °C. When the system run for 150 second we found that at the boundary position the temperature increased to 58.0 °C and at the center it increased to 32.6 °C that mean even the structure of second part different from the first part with different height in each layer at the center it still slightly increased and it still small different from the starting time.



(a) (b) (c) (d)

Fig. 4. The result from multilayer in different height metallic hollow cylinder (a) boundary position at start time; (b) center position at start time; (c) boundary position at stop time; (d) center position at stop time.

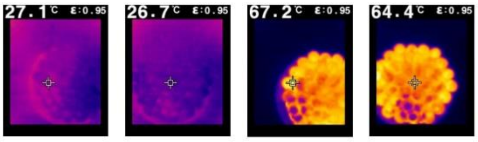
The third part is the result from multilayer metallic hollow cylinder with a height lower than coil illustrated in Fig. 5. the results show that at a start time of boundary position a temperature starting with 28.0 °C and at center it starting with 28.0 °C. When the system run for 150 second we found that at the boundary position the temperature increased to 63.8 °C and at the center it increased to 33.5 °C that mean even we change the structure from the first part by reduce the height in every layer conform it to lower than coil even that at the center it still slightly increased and it still small different from the starting time.



(a) (b) (c) (d)

Fig. 5. The result from multilayer metallic hollow cylinder with a height lower than coil: (a) boundary position at start time; (b) center position at start time; (c) boundary position at stop time; (d) center position at stop time.

The last part is the result from multiple metallic tube illustrated in Fig. 6. the results show that at a start time of boundary position a temperature starting with 27.1 °C and at center position a temperature starting with 26.7 °C. When the system run for 150 second we found that at the boundary position the temperature increased to 67.2 °C and at the center position the temperature increased to 64.4 °C that mean at the center has highly increased and it big different from the starting time.



(a) (b) (c) (d)

Fig. 6. The result from multiple metallic tube: (a) boundary position at start time; (b) center position at start time; (c) boundary position at stop time; (d) center position at stop time.

From the experiment results of the first part to the last part we can plot a relative chart of time and temperature as illustrated in Fig. 7. Which structure 1 is the first part, structure 2 is the second part, structure 3 is the third part and structure 4 is the last part.

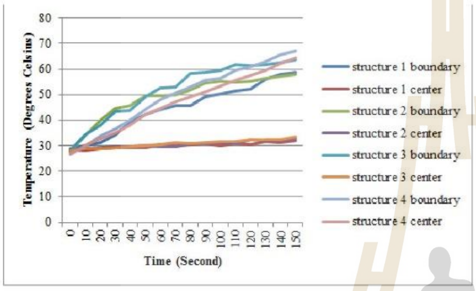


Fig. 7. The results between time and temperature from the first part to the last part.

The summary we found that the results from the first part to the third part has a temperature at the center position small increased or it is not different from starting time and in the stop time at the center position the temperature obviously different with a boundary position in the same time which is a nonuniform heating pattern in the workpiece that mean it can not use as the source of air heat exchanger. Not only that, in the last one we found that the results from the last part which is multiple metallic tube a temperature at center position has a big increased or it big different from starting time and in the stop time at the center position the temperature has a small different with a boundary position in the same time which is a uniform heating pattern in the workpiece that mean multiple metallic tube is a suitable output load of induction heating for use in air heat exchanger application.

IV. Conclusion

In this paper, we experiment and design about output load of induction heating for use in air heat exchanger application. We found that multiple metallic tube is a suitable output load for use with air heat exchanger application because it has a uniform heating pattern in the workpiece which a temperature smoothly in the area of heat exchanger that the air can flow through the workpiece for exchange heat between them. Finally we expect our information will be useful to who is interested to used induction heating in air heat exchanger application and another related field.

Acknowledgment

This work was supported by Suranaree University of Technology (SUT) and by the Office of the Higher Education under NRU project of Thailand.

References

[1] Y. Han, H. Wen, and E. Yu, "Study on electromagnetic heating process of heavy-duty sprockets with circular coils and profile coils," Applied Thermal Engineering, vol. 100, pp. 861-868, 2016.

[2] M. C. Song and Y. H. Moon, "Coupled electromagnetic and thermal analysis of induction heating for the forging of marine crankshafts," Applied Thermal Engineering, vol. 98, pp. 98-109, 2016.

[3] S.-Y. Shih, S.-C. Nian, and M.-S. Huang, "Comparison between single- and multiple-zone induction heating of largely curved mold surfaces," International Communications in Heat and Mass Transfer, vol. 75, pp. 24-35, 2016.

[4] L. Jakubovičová, G. Andrej, K. Peter, and S. Milan, "Optimization of the Induction Heating Process in Order to Achieve Uniform Surface Temperature," Procedia Engineering, vol. 136, pp. 125-131, 2016.

[5] H.-T. Bui and S.-J. Hwang, "Modeling a working coil coupled with magnetic flux concentrators for barrel induction heating in an injection molding machine," International Journal of Heat and Mass Transfer, vol. 86, pp. 16-30, 2015.

[6] S.-C. Nian, S.-W. Tsai, M.-S. Huang, R.-C. Huang, and C.-H. Chen, "Key parameters and optimal design of a single-layered induction coil for external rapid mold surface heating," International Communications in Heat and Mass Transfer, vol. 57, pp. 109-117, 2014.

[7] S.-C. Nian, M.-S. Huang, and T.-H. Tsai, "Enhancement of induction heating efficiency on injection mold surface using a novel magnetic shielding method," International Communications in Heat and Mass Transfer, vol. 50, pp. 52-60, 2014.

[8] W. Xun, Z. Jie, and L. Qiang, "Multi-objective Optimization of Medium Frequency Induction Heating Process for Large Diameter Pipe Bending," Procedia Engineering, vol. 81, pp. 2255-2260, 2014.

[9] X. Fu, B. Wang, X. Tang, H. Ji, and X. Zhu, "Study on induction heating of workpiece before gear rolling process with different coil structures," Applied Thermal Engineering, vol. 114, pp. 1-9, 2017.

[10] T. Watanabe, S. Nagaya, N. Hirano, and S. Fukui, "Elemental Development of Metal Melting by Electromagnetic Induction Heating Using Superconductor Coils," IEEE Transactions on Applied Superconductivity, vol. 26, no. 3, pp. 1-4, 2016.

[11] M. S. Hatamipour and D. Mowla, "Correlations for shrinkage, density and diffusivity for drying of maize and green peas in a fluidized bed with energy carrier," Journal of Food Engineering, vol. 59, no. 2-3, pp. 221-227, 2003.

[12] S. Janas, S. Boutry, P. Malumba, L. Vander Elst, and F. Béra, "Modelling dehydration and quality degradation of maize during fluidized-bed drying," Journal of Food Engineering, vol. 100, no. 3, pp. 527-534, 2010.

[13] M. Nagle, J. C. González Azcárraga, B. Mahayothee, M. Haewsungcharern, S. Janjai, and J. Müller, "Improved quality and energy performance of a fixed-bed longan dryer by thermodynamic modifications," Journal of Food Engineering, vol. 99, no. 3, pp. 392-399, 2010.

[14] G. S. Srzednicki, R. Hou, and R. H. Driscoll, "Development of a control system for in-store drying of paddy in Northeast China," Journal of Food Engineering, vol. 77, no. 2, pp. 368-377, 2006.

[15] N. Tippayawong, C. Tantakitti, S. Thavornun, and V. Peerawanitkul, "Energy conservation in drying of peeled longan by forced convection and hot air recirculation," Biosystems Engineering, vol. 104, no. 2, pp. 199-204, 2009.

ประวัติผู้เขียน

นายกีรติเดช เทพสถิตย์ศิลป์ เกิดเมื่อวันที่ 17 มกราคม พ.ศ. 2536 ที่อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ปัจจุบันอาศัยอยู่บ้านเลขที่ 79 หมู่ที่ 8 ตำบลวังไผ่ อำเภอห้วยกระเจา จังหวัดกาญจนบุรี สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนอู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี ปีการศึกษา 2553 และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี 2557 ในปี พ.ศ. 2558 ได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยขณะศึกษาระดับปริญญาโท ได้มีผลงานวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในปี 2560 ในระดับชาติ 1 ฉบับ ในการประชุมวิชาการนานาชาติแห่งเอเชียแปซิฟิก (APEMC) ในหัวข้อ “ *Electromagnetic Compatibility*” ณ กรุงโซล ประเทศเกาหลีใต้ ระหว่างวันที่ 20-23 มิถุนายน 2017

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี