รายงานการวิจัย

ศึกษาอิทธิพลรังสีอินฟราเรดกับการอบแห้งกะปิ

Study The Influence Infrared Radiation with Shrimp Paste

นายศุภชัย แก้วจัง

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณกองทุนวิจัย
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557

ชื่องานวิจัย ศึกษาอิทธิพลรังสีอินฟราเรดกับการอบแห้งกะปิ

ผู้วิจัย นายศุภชัย แก้วจัง

คณะ เทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ปี 2559

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบระบบการอบแห้ง ศึกษากระบวนการอบแห้ง สภาวะที่เหมาะสม และปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้ง สำหรับการอบแห้งกุ้งกะปิด้วยรังสีความร้อนอินฟราเรด ได้ทำการออกแบบและสร้างตู้อบแห้งต้นแบบ โดยทำการศึกษาอุณหภูมิที่ 40 60 และ 80 องศาเซลเซียล พบว่าผลการอบแห้งกะปิโดยใช้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส กะปิที่นำมาอบแห้งมีลักษณะชื้นมาก ลักษณะเหมือนกะปิที่ไม่ได้ผ่านการอบหรือตากแดดมาก่อน อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ลักษณะกะปิแห้งไม่ดี โดยผิวภายนอกแห้งไม่ทั่วทั้งก้อน ด้านนอกแห้งแต่ด้านในของกะปิยังมีความชื้นอยู่ และอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส กะปิแห้งดีทั้งภายนอกและภายใน ตามที่ต้องการสามารถนำไปใช้ปรุงอาหารหรือจำหน่าย และการวิเคราะห์ความถูกต้องตัวแบบทางสถิติ ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องตัวแบบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่าข้อมูลแต่ละตัวที่นำมาทำการทดลอง ข้อมูลที่พิจารณามีการแจกแจงแบบปกติ และข้อมูลมีความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

Research Title	Study The Influence Infrared Radiation with Shrimp Paste
Researcher	Mr. Supachai Kaewjang
Faculty	Industrial Technology
Year	2559

Abstract

The Research aims to design a system for drying. The drying process Optimum conditions And the factors that affect drying. For dried shrimp paste with infrared radiation. Has designed and built a prototype dryer. By studying the temperature at 40, 60 and 80 ° C showed that the dried shrimp paste, the temperature 40 degrees Celsius, leading to drying a very damp. Like paste that is not baking or drying in the sun before the temperature 60 ° C, dry shrimp looks bad. The outer skin is dry throughout the pack. Dried shrimp paste outside, but the inside of the humidity and the temperature is 80 degrees Celsius, dried shrimp, both outside and inside. The requirements can be used to cook or sold. And analysis of the accuracy of a statistical analysis of the accuracy of the statistical significance level of 0.05 found that individual to be tested. The data have a normal distribution. And the stability of the variance.

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

กิตติกรรมประกาศ

วิจัยเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้จัดทำวิจัยต้องขอขอบพระคุณผู้ที่เกี่ยวข้องทุกท่านเป็นอย่างสูง ทั้งที่ออกนามและมิได้ออกนาม ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือในทุกๆ ด้านไว้ ณ โอกาสขอขอบคุณ ผู้มีอุปการคุณทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ในด้านเครื่องมือและอุปกรณ์ ในการวิจัยครั้งนี้

ขอกราบขอบพระคุณ สถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ในการอนุเคราะห์งบประมาณวิจัย และผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่าน ในการให้คำแนะนำปรึกษาชี้แนะแนวทางรวมทั้งดูแลติดตามความก้าวหน้าของการจัดทำวิจัยมาโดยตลอด และเข้าใจในปัญหาอุปสรรคของการจัดทำวิจัยในครั้งนี้อย่างดียิ่ง

(นายศุภชัย แก้วจัง)

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

……/……/……

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(2)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(3)
กิตติกรรมประกาศ	(4)
สารบัญ	(5)
สารบัญตาราง	(7)
สารบัญภาพ	(8)
บทที่ 1 บทนำ	1
ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
ขอบเขตการวิจัย	2
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	12
วิธีการดำเนินการวิจัย	12
ขั้นตอนการสร้างตู้อบแห้งกะปิ	13
การศึกษาอุณหภูมิ และตำแหน่งการอบแห้งกะปิ	14
การวิเคราะห์ความถูกต้องตัวแบบทางสถิติ	14
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	**15**
ผลการทดสอบอุณหภูมิภายในตู้เปล่า	17
ผลการทดลองอบแห้งกะปิ	17
ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องตัวแบบทางสถิติ	19

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	23
สรุปผล	23
อภิปรายผล	23
ข้อเสนอแนะ	23
บรรณานุกรม	25
ภาคผนวก	27
ประวัติผู้วิจัย	42

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 : คุณสมบัติของการให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรดประเภทต่างๆ	5
ตารางที่ ก.1 แสดงการอบแห้งกะปิที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส	28
ตารางที่ ก.2 แสดงการอบแห้งกะปิที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส	31
ตารางที่ ก.3 แสดงการอบแห้งกะปิที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส	34

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์และตัวปล่อยคลื่นอินฟราเรด (Emitter)	3
รูปที่ 2.2 แสดงช่วงความยาวคลื่นของรังสีชนิดต่างๆ	4
รูปที่ 2.3 ปรากฏการณ์ส่งผ่านความร้อนของรังสีอินฟราเรดที่ตกกระทบวัตถุ	4
รูปที่ 2.4 ปัจจัย กระบวนการ และ ตัวแปรตอบสนอง	7
รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน	12
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการสร้างตู้อบแห้งกะปิ	13
รุปที่ 3.3 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งกะปิอินฟราเรด	14
รูปที่ 4.1 แสดงแบบตู้อบอินฟราเรด	15
รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะภายใน และภายนอก ของตู้อบอินฟราเรด	15
รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะภายใน และภายนอก ของตู้อบอินฟราเรด	16
รูปที่ 4.4 แสดงวงจรไฟฟ้าของตู้อบอินฟราเรด	16
รูปที่ 4.5 แสดงวงจรไฟฟ้าของตู้อบอินฟราเรด	16
รูปที่ 4.6 แสดงการทดสอบอุณหภูมิในตู้เปล่าที่ 100 องศาเซลเซียล	17
รูปที่ 4.7 แสดงการทดลองอบกะปิที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียล	18
รูปที่ 4.8 แสดงการทดลองอบกะปิที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียล	18
รูปที่ 4.9 แสดงการทดลองอบกะปิที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียล	19
รูปที่ 4.10 แสดงค่า P-Value ที่มีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$ ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียล	20
รูปที่ 4.11 แสดงความเป็นปกติของข้อมูล และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียล	21
รูปที่ 4.12 แสดงค่า P-Value ที่มีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$ ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียล	21
รูปที่ 4.13 แสดงความเป็นปกติของข้อมูล และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียล	
รูปที่ 4.14 แสดงค่า P-Value ที่มีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับค่า $\alpha = 0.05$ ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียล	22

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.15 แสดงความเป็นปกติของข้อมูล และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียล 23

รูปที่ ก.1 ภายในตู้อบแห้ง

รูปที่ ก.2 ช่องใส่ถาด 36

รูปที่ ก.3 ถาดใส่กะปิ 37

รูปที่ ก.4 การเก็บรายละเอียด 37

รูปที่ ก.5 ตู้อบแห้งกะปิอินฟราเรดสำเร็จรูป 38

รูปที่ ก.6 กะปิก่อนอบแห้ง 38

รูปที่ ก.7 กะปิหลังอบแห้ง 38

รูปที่ ก.8 แบบตู้อบแห้งกะปิสามมิติ 39

รูปที่ ก.9 แบบตู้อบแห้งด้านหน้า 39

รูปที่ ก.10 แบบตู้อบแห้งกะปิด้านข้าง 40

รูปที่ ก.11 ตู้อบแห้งกะปิด้านบน 40

รูปที่ ก.12 แบบอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องอบแห้งกะปิ 41

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

ด้วยสภาพพื้นที่ตำบลเกาะยอ อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา เป็นเกาะที่ตั้งอยู่กลางทะเลสาบสงขลาตอนล่าง เกษตรกรบางส่วนจึงประกอบอาชีพทำเรือประมงออกทะเลจับสัตว์น้ำมาบริโภคภายในครัวเรือน ส่วนที่เหลือจะนำไปจำหน่ายเพื่อเป็นรายได้ภายในครัวเรือนมาแต่ดั้งเดิม และมีเกษตรกรกลุ่มหนึ่งทำกะปิเป็นอาชีพ ซึ่งนำตัวเคยที่จับได้ในทะเลมาแปรรูปเป็นกะปิ เพื่อนำไปประกอบเป็นอาหารคาวได้หลายชนิด เช่น น้ำพริก แกงต่าง ๆ เป็นต้น กะปิ (Shrimp paste หรือ shrimp sauce) คือ เครื่องปรุงรสที่ได้จากภูมิปัญญาไทยใช้ในการเก็บรักษาถนอมอาหารไว้บริโภคภายในครอบครัวในยามขาดแคลน หรือจำหน่ายเพื่อสร้างรายได้ให้กับครอบครัวได้ ภูมิปัญญาในการแปรรูปอาหารเป็นความรู้อันทรงคุณค่าที่สั่งสม ถ่ายทอดต่อมาช้านาน กะปิเป็นแหล่งอาหารที่ให้คุณค่าทางโภชนาการสูง คือ ประกอบไปด้วยสารอาหารโปรตีนประมาณร้อยละ 18-25 และไขมันเพียงร้อยละ 1-2 เท่านั้น ในปัจจุบันไทยส่งออกกะปิออกจำหน่ายเกือบ 50 ประเทศทั่วโลก และการส่งออกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง

ปัจจุบันกระบวนการผลิตกะปิยังคงมีการพึ่งพาสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติอยู่ เช่น ฤดูการจับตัวเคย การตากแดดกะปิ เป็นต้น จากการสอบถามชาวบ้านโดยโครงการค้นหาโจทย์วิจัยเพื่อพัฒนาเชิงพื้นที่ ABC (Area-Based Collaborative Research) ทำให้ได้ทราบปัญหา คือ ปัญหาของขบวนการผลิตกะปิตากแห้งที่ไม่มีเครื่องช่วยหรือเครื่องทุ่นแรงในกระบวนการผลิตเมื่อไม่มีแดดทำให้ชาวบ้านต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นจากการใช้บริการตู้อบจากภายนอก เนื่องจากสภาพดินฟ้าอากาศที่มีฝนตกบ่อย ไม่เอื้ออำนวยต่อการทำกะปิ ในขั้นตอนการตากแดดกะปิ ส่งผลให้เกิดปัญหาในเรื่องคุณภาพ และเวลา ทำให้กะปิเสียไม่ได้มาตรฐานและผู้ผลิตกะปิผลิตไม่ทันส่งมอบให้ลูกค้า ส่งผลให้ลูกค้าไม่พึงพอใจทำให้ต้องมีการพัฒนายกระดับคุณภาพการผลิต ทั้งนี้เพื่อให้เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภคและสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต ในด้านลดแรงงาน ลดระยะเวลาผลิตในกระบวนการอบแห้ง จึงได้มีการศึกษาเทคโนโลยีระบบการอบแห้งโดยใช้รังสีความร้อนอินฟราเรดเข้ามาช่วยเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว

เนื่องจากการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด มีจุดเด่นที่น่าสนใจ คือ ประการแรก พลังงานจากรังสีอินฟราเรดจะถูกแผ่ไปยังวัสดุซึ่งจะทำให้โมเลกุลของน้ำภายในวัสดุสั่น และเกิดความร้อนขึ้นซึ่งจะทำให้อุณหภูมิภายในวัสดุสูงกว่าอุณหภูมิที่ผิว (Sakai et al.,1994, Glouannec et al.,2002) จุดเด่นตรงนี้เองที่ทำให้ผิวภายนอกวัสดุไม่เหี่ยวย่น และยังช่วยให้มีอัตราการอบแห้งที่สูง ลดระยะเวลาการอบแห้งและพลังงานที่ใช้ด้วยประการที่สองหลอดรังสีอินฟราเรดให้ heat flux ที่ค่อนข้างสูง (Afzal et al.,1998, Sheridan et al.,1999, Hashimoto et al.,1999) ดังนั้นอุปกรณ์จึงมีขนาดเล็ก ทำให้สามารถออกแบบเครื่องอบแห้งที่มีขนาดกะทัดรัดช่วยลดเงินลงทุนในการสร้างเครื่องอบแห้ง ประการที่สามการให้ความร้อนโดยการแผ่รังสีจะทำให้อุณหภูมิกระจายค่อนข้างสม่ำเสมอ (Afzal et al.,2000) ดังนั้นจึงไม่มีปัญหาในเรื่องความชื้นไม่สม่ำเสมอ อีกทั้งยังต้องการอากาศหมุนเวียนเพียงเล็กน้อยทำให้ไม่ต้องใช้พัดลมขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นการลดทั้งต้นทุนอุปกรณ์พร้อมทั้งค่าพลังงาน และประการสุดท้าย คือ รังสีอินฟราเรดสามารถนำไปใช้ควบคู่กับระบบอื่นได้ง่าย

เนื่องจากใช้พื้นที่ในการติดตั้งที่น้อย ไม่มีความซับซ้อนของระบบ และตอบสนองต่อการควบคุมได้รวดเร็ว (Chu et al.,2003) จากข้อสรุปเบื้องต้นงานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาการอบแห้งกะปิด้วยรังสีอินฟราเรด เนื่องจากการผลิตในปัจจุบันใช้วิธีตากแดด ซึ่งจะมีปัญหาเรื่องฝนตกบ่อยทำให้ไม่มีแสงแดดเพียงพอในการตากแห้ง เรื่องความสะอาด เช่น ฝุ่น และแมลงต่างๆ ดังนั้นหากสามารถนำตู้อบอินฟราเรดมาใช้จะเป็นการช่วยแก้ปัญหาเรื่องแสงแดดไม่เพียงพอ ความสะอาด และยังช่วยลดระยะเวลาในการอบแห้งกะปิอีกด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อออกแบบระบบการอบแห้งกุ้งกะปิต้นแบบด้วยรังสีความร้อนอินฟราเรด

2) เพื่อศึกษากระบวนการอบแห้งกุ้งกะปิด้วยรังสีความร้อนอินฟราเรด

3) เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งกุ้งกะปิด้วยรังสีความร้อนอินฟราเรด

4) เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการอบแห้งกุ้งกะปิด้วยรังสีความร้อนอินฟราเรด

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

ศึกษาการทำกะปิบริเวณพื้นที่ตำบลเกาะยอ อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา เพื่อสร้างชุดต้นแบบในการทดลองปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลของรังสีอินฟราเรดกับการอบแห้งกะปิ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับการใช้รังสีความร้อนอินฟราเรดกับการอบแห้งกะปิ

2) ได้ทราบถึงกระบวนการอบแห้งกุ้งกะปิด้วยรังสีความร้อนอินฟราเรด

3) ได้รู้ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการอบแห้งกุ้งกะปิด้วยรังสีความร้อนอินฟราเรด

4) ได้ทราบสภาวะที่เหมาะสมต่อการอบแห้งกุ้งกะปิด้วยรังสีความร้อนอินฟราเรด เพื่อใช้เป็นแนวทางประยุกต์ใช้กับธุรกิจอบแห้งกะปิ

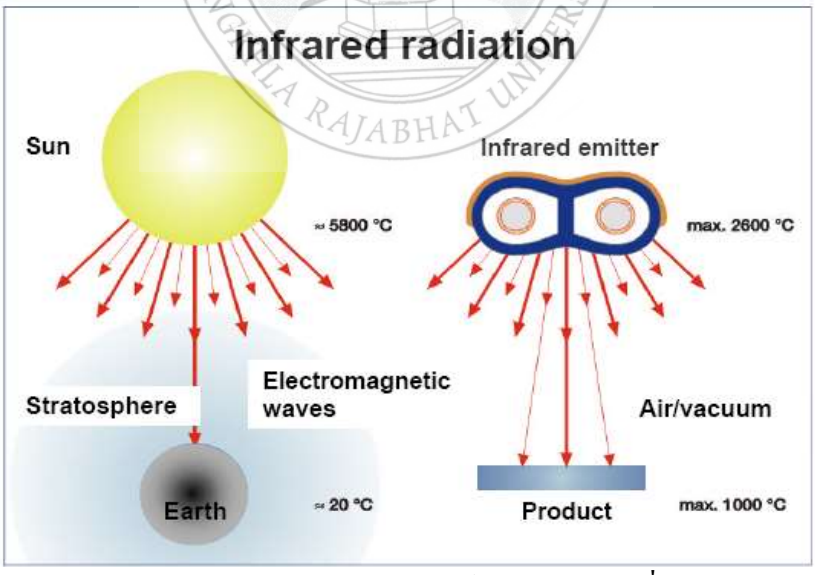
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 หลักการของรังสีอินฟราเรด

การให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรด เป็นการให้ความร้อนในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยอยู่ในช่วงความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรด (0.76 μm – 1 mm) ซึ่งอยู่ในช่วงของแสงที่มองเห็นได้ ช่วงรังสีอินฟราเรดสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ คลื่นสั้น คลื่นปานกลาง และคลื่นยาว การดูดซับรังสีอินฟราเรดจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรด ส่วนประกอบของวัตถุ ลักษณะพื้นผิวของวัตถุ มุมตกกระทบ และสีของวัตถุ วัตถุที่เป็นของแข็งส่วนใหญ่จะดูดซับรังสีอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นมากกว่า 2 เมตรได้ดี ยกเว้นโลหะที่ขัดขึ้นเงา เช่น ทอง เงิน เป็นต้น การใช้งานรังสีอินฟราเรดจะต้องมีตัวปล่อยคลื่น (IR Emitter) ซึ่งประกอบด้วย ตัวปล่อยคลื่นสั้น (Short Wave) ตัวปล่อยคลื่นปานกลาง (Medium Wave) และตัวปล่อยคลื่นยาว (Long Wave) เป็นแหล่งกำเนิดความร้อน

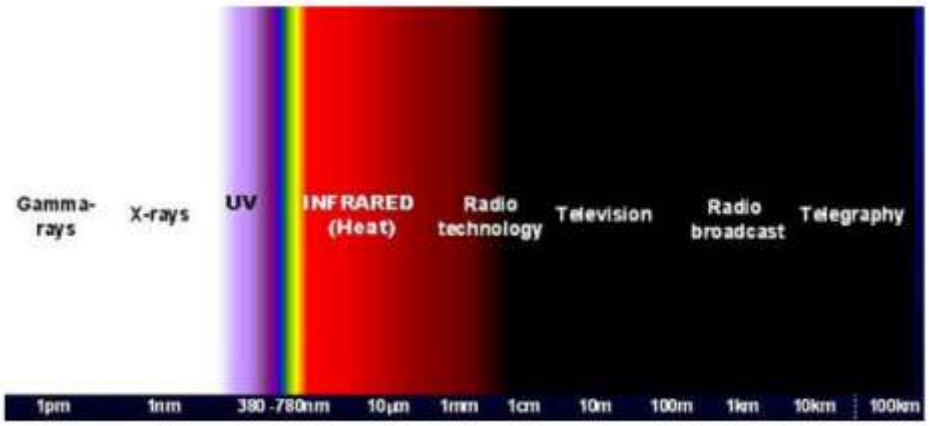
เมื่อพิจารณาแหล่งกำเนิดความร้อนขนาดใหญ่ของโลก ก็คือ ดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นตัวอย่างของการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) มายังโลก พบว่าอุณหภูมิของการแผ่รังสีแสงอาทิตย์มีค่าสูงถึง 10,240 ^{o}F(~6,000 ^{o}C) และอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 0.4-0.8 μm ซึ่งเป็นช่วงรังสีแสงที่มองเห็น (Visible Light) ดังนั้น การให้ความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนจึงถือได้ว่ามีค่าสูงกว่าการส่งถ่ายความร้อนโดยนำความร้อน (Conduction) และพาความร้อน (Convection) เป็นอย่างมาก



รูปที่ 2.1 แสดงการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์และตัวปล่อยคลื่นอินฟราเรด (Emitter)

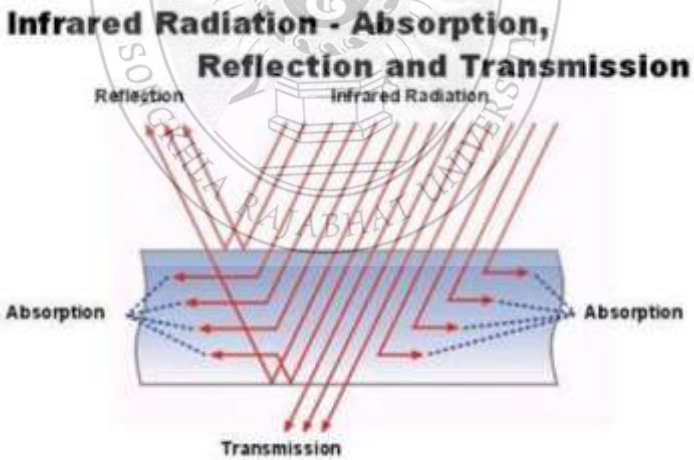
นอกจากนั้น การให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรดนี้จะไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีทางแสง (Photochemical) เหมือนกับรังสีอัลตราไวโอเลต (UV) จึงไม่ทำให้เกิดการเผาไหม้โดยตรงกับผิวหนังร่างกาย

ของคน โดยรูปที่ 2.2 ต่อไปนี้แสดงช่วงความยาวคลื่นของรังสีจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ



รูปที่ 2.2 แสดงช่วงความยาวคลื่นของรังสีชนิดต่างๆ

ปรากฏการณ์ในขณะที่คลื่นรังสีอินฟราเรดตกระทบกับวัตถุมี 3 แบบ คือ ส่งผ่าน (Transmission) ดูดซับ (Absorption) และสะท้อน (Reflection) โดยถ้าเป็นวัตถุหนาความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีเพียงเฉพาะส่วนที่ดูดซับ (Absorption) เท่านั้น



รูปที่ 2.3 ปรากฏการณ์ส่งผ่านความร้อนของรังสีอินฟราเรดที่ตกกระทบวัตถุ

อย่างไรก็ตาม หากให้ความร้อนกับวัตถุดำ (Black Body) จะถือว่าการถ่ายเทความร้อนทั้งสามแบบมีค่ารวมกันเท่ากับ 100% ยกตัวอย่างเช่น ถ้าพลังงานสำหรับรังสีอินฟราเรดที่วัตถุสะท้อนออกมีค่า 30% และมีการส่งผ่าน 20% ดังนั้นวัตถุจะดูดซับรังสีเท่ากับ 100%- 30% - 20% = 50% เป็นต้น ดังตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติ (Characteristic) ของ การให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรด (IR Heating) แบบต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าคลื่น Short Wave จะสามารถทะลุทะลวงได้ดีที่สุด และให้ความร้อนได้รวดเร็ว แต่สำหรับการให้ความร้อนที่ผิว จะด้อยกว่าคลื่น Medium หรือ Long Wave

ตารางที่ 2.1 : คุณสมบัติของการให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรดประเภทต่างๆ

	Short-Wave High-Intensity	Medium-Wave Medium-Intensity	Long-Wave Low-Intensity
Radiant Source Temperature	4000 - 2175°F	2175 - 857°F	857 - 400°F
Peak Wavelength Range, µm	1.2 – 2.0	2.0 - 4.0	4.0 - 6.0
Watt Density, W/in²	Typical - 60 Max. - 1200	Typical - 30 Max. - 80	Typical - 15 Max. - 40
Direct Radiation as Percent of Input Energy*	86 – 72%	60 – 40%	50 – 20%
Relative heat-up Cool-down time	seconds	seconds to minutes	minutes
Mechanical Shock Resistance	Poor	Good to excellent (for metal sheath)	Varies with design

2.1.2 ประโยชน์ของรังสีอินฟราเรด

1.ทำความร้อนและลดความร้อนได้อย่างรวดเร็ว โดยส่วนใหญ่เตาอบไฟฟ้าที่ใช้รังสีอินฟราเรดสามารถทำความร้อนให้ผลิตภัณฑ์ได้ในเวลาไม่กี่วินาที

2 เนื่องจากการให้ความร้อนที่รวดเร็ว ทำให้ต้องการพื้นที่ว่างในเตาอบน้อยลง และเป็นเตาที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

3.มีการควบคุมที่แม่นยำ มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ต้นทุนเริ่มแรกและค่าบำรุงรักษาต่ำ

2.1.3 การประยุกต์ใช้งานรังสีอินฟราเรด

สภาพที่เหมาะสมในการใช้งาน การประยุกต์ใช้งานการให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรดจะขึ้นอยู่กับความยาวของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ลักษณะการใช้งานโดยมีตัวอย่างการใช้งานที่หลากหลาย ได้แก่ การอบสี การอบผลิตภัณฑ์แป้ง การเคลือบภาชนะในการทำอาหาร การเคลือบสาร PVC บนผนัง การอบแห้งสารแม่เหล็กบนเทปคาสเส็ท การอบแห้งผลิตภัณฑ์กระจกนิรภัย การอบหนัง การอบแห้งกระดาษ การอบสีและแล็คเกอร์ การบัดกรี การทำให้หดตัวของโลหะ การเผากระเบื้อง เป็นต้น (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556)

2.1.4 การอบแห้ง

การอบแห้ง หรือการลดความชื้นสามารถทำได้หลากหลายวิธีด้วยกัน เช่น การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ การอบแห้งด้วยสุญญากาศ การอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน การอบแห้งด้วยลมร้อน และการอบแห้งด้วยรังสีอินฟาเรด การอบแห้งในแต่ละวิธีก็จะมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันไป ตัวอย่างเช่น การอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากทั้งนี้เนื่องจากมีต้นทุนใน

การสร้างเครื่องที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ ที่ได้กล่าว(Chu et al.,2003) เครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนสามารถใช้แหล่งความร้อนได้จากหลายแหล่งที่หาได้ง่าย เช่น จากขดลวดความร้อน น้ำมันเชื้อเพลิง แก๊สหุงต้ม (LPG) พลังงานแสงอาทิตย์ หรือความร้อนทิ้งจากกระบวนต่างๆ ในโรงงาน สำหรับแหล่งพลังงานความร้อนที่ถูกที่สุด คือ พลังงานแสงอาทิตย์ แต่ก็มีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถทำได้หากสภาพอากาศไม่เอื้ออำนวยและต้องใช้พื้นที่มาก (Soponronnarit et al.,1992) ส่งผลให้อัตราการผลิตต่ำ นอกเหนือจากการอบแห้งด้วยลมร้อนแล้วยังมีอีกวิธีหนึ่งที่มีต้นทุนต่ำ (Chu et al.,2003, Isengard 1995) คือ การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด รังสีอินฟราเรดมีการแบ่งย่อยออกได้ 3 ระดับ คือ รังสีอินฟราเรดใกล้ (Near infrared, NIR) ช่วงความยาวคลื่น 0.75 - 3 μm รังสีอินฟราเรดกลาง (Middle infrared, mid-IR) ช่วงความยาวคลื่น 3 - 25 μm และรังสีอินฟราเรดไกล (Far infrared, FIR) ช่วงความยาวคลื่น 25 - 100 μm

การอบแห้งเป็นเทคนิคที่ใช้ในการถนอมอาหารและเก็บรักษาผลิตผลทางการเกษตรวิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย การอธิบายพฤติกรรมการอบแห้งนั้นสามารถอธิบายได้ด้วยสมการจลนศาสตร์ของการอบแห้ง โดยสมการที่ใช้ในการอธิบายพฤติกรรมการอบแห้งของวัสดุเกษตรนั้นจะอยู่ในรูปของสมการที่เรียกว่า logarithmic model หรือที่เรียกกันว่าเป็นสมการการอบแห้งแบบกึ่งทฤษฎี (Semi-Theoretical Drying Equation) ซึ่งเป็นรูปแบบผลเฉลยอย่างง่ายของ สมการการแพร่กระจายของ Frick (Sogi et al., 2003) ซึ่งมีรูปแบบสมการคือ

$$M_R = \frac{(M - M_e)}{(M_0 - M_e)} = \exp(-kt) \qquad (1)$$

เมื่อ คือ อัตราส่วนความชื้น (ไม่มีหน่วย), M คือ ค่าความชื้นของวัสดุ (%db), คือ ความชื้นสมดุล (%db), คือ ค่าความชื้นเริ่มต้น (%db), k คือ ค่า drying rate constant (h-1), t คือ เวลาในการอบแห้ง (h)

ถึงแม้ว่า logarithmic model ในสมการ (1) นั้นจะสามารถใช้อธิบายพฤติกรรมการอบแห้งของวัสดุเกษตรได้หลายชนิด แต่อย่างไรก็ตามพบว่า พฤติกรรมการอบแห้งของวัสดุเกษตรอีกหลายชนิดที่ไม่สามารถอธิบายได้ด้วยสมการนี้ แต่สามารถอธิบายได้ดีโดยใช้ Page's model (Tan et al., 2001; Kaleemullash and Kailappan, 2006)

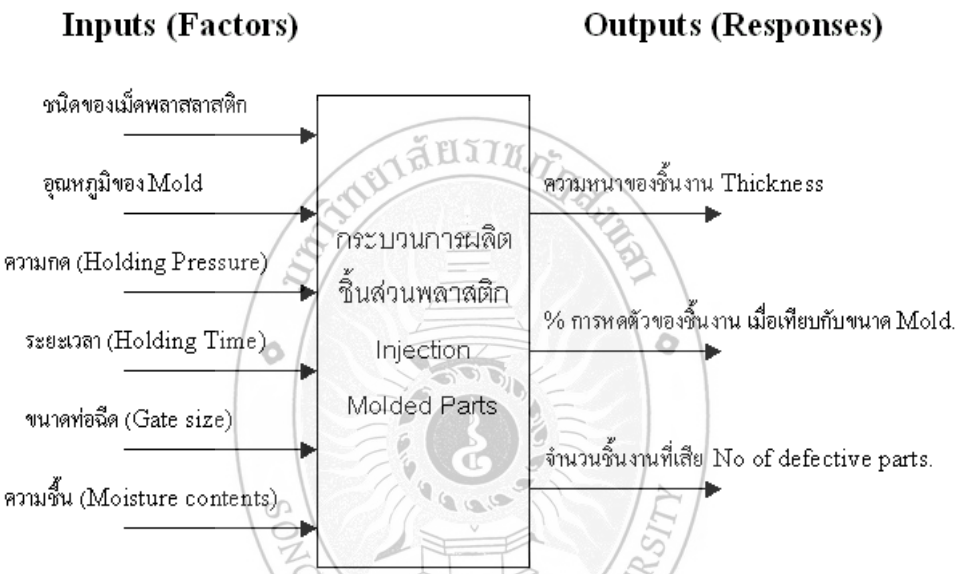
$$M_R = \exp(-kt^n) \qquad (2)$$

เมื่อ n คือ เลขยกกำลัง (ไม่มีหน่วย)

จากสมการ (1) และ (2) จะพบว่าค่าความชื้นสมดุลเป็นตัวแปรที่สำคัญในการสร้างสมการจลนศาสตร์การอบแห้ง การหาค่าความชื้นสมดุลของวัสดุสามารถหาได้หลายวิธี แต่ที่นิยมใช้ในการหาค่าความชื้นสมดุลด้วยวิธีสถิต ทั้งนี้เนื่องจากให้ค่า sorption isotherms ที่สมบูรณ์ (Aviara et al., 2004)

2.1.5 การออกแบบการทดลอง

การออกแบบการทดลอง Design of Experiment (DOE) มีจุดประสงค์ที่จะควบคุมการเปลี่ยนแปลงตัวแปรอิสระซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่าปัจจัย (factors) ของกระบวนการใดกระบวนการหนึ่ง แล้วดูผลที่เกิดขึ้นกับตัวแปรตอบสนอง (Response)ของกระบวนการนั้น กระบวนการ (Process) คือการทำงานรวมกันผสมผสานกันของ เครื่องจักร (Machine) วัตถุดิบ (Material) มนุษย์ (People) กรรมวิธีการทำงาน (Methods) สภาพแวดล้อมในการทำงาน (Environment) และกระบวนการวัดค่า (Measurement) เพื่อให้เกิดเป็นผลผลิตหรือการบริการ รูปที่ 2.4 เป็นตัวอย่างกระบวนการหนึ่งที่อยู่ในหมวดการผลิตสินค้าอุตสาหกรรม เพื่อชี้ให้เห็นความสัมพันธ์ของปัจจัย กระบวนการ และตัวแปรตอบสนอง



รูปที่ 2.4 ปัจจัย กระบวนการ และ ตัวแปรตอบสนอง

ในกระบวนการหนึ่งๆอาจจะมีปัจจัยมากมาย บางตัวเราก็ไม่อาจจะควบคุมได้และถึงแม้จะเป็นเหตุให้เกิดผลกระกระทบต่อกระบวนการก็ตาม เราก็จำเป็นต้องละเลยหรือปล่อยให้ตัวแปรเหล่านี้เป็นไปตามธรรมชาติของมัน ในการออกแบบการทดลองเราจะเรียกตัวแปรเหล่านี้ว่า Noise แต่ตัวแปรบางตัวเราไม่สามารถปล่อยให้มันเปลี่ยนไปตามธรรมชาติของมันได้ เพราะมันมีผลต่อกระบวนการมากกว่าตัวแปร Noise เราจะต้องควบคุมตัวแปรเหล่านี้ให้เปลี่ยนแปลงอยู่ในตำแหน่งและช่วงใดช่วงหนึ่งที่มีผลเสียต่อกระบวนการน้อยที่สุด เราเรียกตัวแปรเหล่านี้ว่า Key Process Input Variable หรือ KPIV ในขณะเดียวกันเราจะรู้ประสิทธิภาพหรือความเป็นไปของกระบวนการได้ก็โดยการวัดด้วยตัวชี้วัด เช่นเดียวกันกระบวนการหนึ่งๆอาจจะวัดด้วยตัวชี้วัดเพียงตัวเดียว หรือมากกว่า 1 ตัวก็เป็นได้ วิธีวัดก็มีได้ทั้งวัดด้วยเครื่องมือวัดซึ่งจะได้ค่าเป็นค่าต่อเนื่อง (Continuous data) หรือเรียกว่าตัวแปรเชิงปริมาณ (Quantitative variable) ถ้าวัดได้ด้วยการนับการสังเกต ซึ่งจะได้ค่าเป็นค่าไม่ต่อเนื่อง (Discrete data) หรือเรียกว่าตัวแปรเชิงคุณภาพ (Qualitative variable) แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นเราจะไม่สามารถวัดตัวแปร Output ของกระบวนการได้ทุกตัว จำเป็นจะต้องวัดเฉพาะตัวแปรที่

เราเห็นว่าบอกหรือสื่อถึงประสิทธิภาพหรือผลที่เกิดขึ้นในกระบวนการได้ดีที่สุดหรือมากที่สุดเท่านั้น เราเรียกตัวแปรที่เราคัดเลือกมานี้ว่า Key Process Output Variable หรือ KPOV

จากรูปที่ 1.4 ตัวแปรเข้า Input factors ที่เห็นนั้นคือตัวแปรที่พิสูจน์แล้วว่าเป็นตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการมาก และ Output factors ที่ปรากฏก็เป็นตัวชี้วัดที่จะบ่งบอกถึงกระบวนการได้ดีที่สุด ซึ่งมีทั้งที่วัดด้วยเครื่องมือวัดได้คือความหนา การหดตัวของชิ้นงาน และที่นับหรือสังเกตด้วยคนเท่านั้น คือจำนวนชิ้นงานที่ไม่ผ่านเกณฑ์หรือมีตำหนินั่นเอง เมื่อต้องใช้ DOE นั้นจะไม่นิยมใช้ Response หลายตัวในการทำครั้งหนึ่ง

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เทคโนโลยีการการอบแห้งได้มีการพัฒนาเพิ่มมากขึ้น จึงได้มีการเลือกใช้แหล่งพลังงานที่เหมาะสม มาใช้ในกระบวนการอบแห้งเพื่อเป็นทางเลือกหนึ่งสำหรับผู้ประกอบการในการเลือกใช้ และลดต้นทุนค่าใช้จ่ายสำหรับการกระบวนการผลิต โดยยังคงรักษาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ไว้ได้นาน (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540) จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเบื้องต้นสามารถจำแนกงานวิจัยที่มีการนำรังสีอินฟราเรดเข้ามาศึกษาเป็น 3 ด้าน ประกอบด้วย งานวิจัยด้านผักและผลไม้ งานวิจัยด้านอุตสาหกรรมอาหาร และงานวิจัยด้านเนื้อสัตว์

การนำรังสีอินฟราเรดมาศึกษาวิจัยร่วมกับผักและผลไม้มีการศึกษา มาพอสังเขป คือ ไม่ว่าจะเป็น การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ รังสีอินฟราเรดและรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า (Wanyo et al., 2009) การอบแห้งชาใบหม่อนด้วยรังสีอินฟราเรดคลื่นยาว ความชื้นจะลดลงเร็วกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อน (Apintanapong,2009) การอบแห้งใบกระเพราแดงด้วยรังสีอินฟราเรดมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าแบบลมร้อน และยังสามารถลดการสูญเสียคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลังการอบแห้ง (Nuthong et al., 2011) สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพสีและอัตราการคืนตัวของวัสดุหลังการอบแห้ง เมื่ออบแห้งลำไยด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนพบว่า เมื่อกำลังอินฟราเรดและอุณหภูมิลมร้อนเพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความสว่างและค่าความเป็นสีเหลืองลดลง แต่กำลังอินฟราเรดไม่มีผลต่อค่าความเป็นสีแดง และอัตราการคืนตัว พบว่ากำลังอินฟราเรด อุณหภูมิลมร้อน และความเร็วลมเพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการคืนตัว (Somkiat and Tanongkiat, 2010) ได้วิจัยเรื่องความร้อนและการถ่ายเทมวลร่วมกับการอบแห้งอินฟราเรดไกลของผิวผลไม้ เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนและการถ่ายเทมวลความร้อนและมวลในการถ่ายโอนของการอบแห้งผิวผลไม้ร่วมกับลมร้อนและอินฟราเรดไกล ได้พิจารณาถึงความร้อนและค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล โดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบพบว่าอัตราส่วนระหว่างความร้อนและสัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวล สำหรับเทคนิคการร่วมกันไม่สามารถหามวลความร้อนในรูปแบบเดิมได้ แต่ทราบความสัมพันธ์ในการทำนายการปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของความร้อนและมวลในการถ่ายโอน ค่าสัมประสิทธิ์และค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีผลการศึกษาการทดลองค่อนข้างดีภายในส่วนเบี่ยงเบน±10% (Dorota et al., 2004) ศึกษาการอบแห้งแอปเปิ้ลสไลด์ด้วยรังสีความร้อนอินฟราเรดที่ความยาวคลื่นสูงสุด 1200 นาโนเมตร ใช้ประสิทธิภาพพลังงานเครื่องอบแห้งอินฟราเรดระหว่าง 35% และ 45% อบแห้งแอปเปิ้ลสไลด์ ด้วยพลังงานอินฟราเรดโดย

การพาความร้อนภายใต้เงื่อนไขจลนศาสตร์ ในระยะห่างระหว่างแอปเปิ้ลสไลด์กับพื้นผิวที่ฉายรังสีและความเร็วลม โดยจลนศาสตร์การอบแห้งเป็นสัดส่วนผกผันกับระยะทางและความเร็วลม พบว่าพื้นผิวของชิ้นแอปเปิ้ลมีการระเหยของน้ำจากความร้อนการฉายรังสี พื้นผิวชิ้นแอปเปิ้ลระเหยน้ำมากขึ้น 80% เมื่อได้รับความร้อนอินฟราเรด โดยการอบแห้งมีความแตกต่างระหว่างพื้นผิวด้านบนและด้านล่างของชิ้นแอปเปิ้ลไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับการระเหยของน้ำ การอบแห้งด้วยอินฟราเรดไหลเวียนด้วยลมทำให้ได้ผลว่าเวลาของกระบวนการอบแห้งสั้นลง 50% เมื่อเทียบกับการอบแห้งอินฟราเรดแบบเดิมเพียงอย่างเดียว (อนุสรา และคณะ, 2555) ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งใบเตยด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนและลมร้อน โดยศึกษาการอบแห้งใบเตยเพื่อใช้ทำชาด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน โดยเปรียบเทียบกับ การอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว ซึ่งจะพิจารณาจลนพลศาสตร์การอบแห้ง คุณภาพของใบเตยหลังการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง การทดลองอบแห้งในช่วงอุณหภูมิ 45-65°C ที่กำลังรังสีอินฟราเรด 500 และ 1,000 W ความชื้นเริ่มต้น และความชื้นสุดท้ายของใบเตย อยู่ในช่วง 400-600% มาตรฐานแห้ง และ 8-12% มาตรฐานแห้ง ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่าอัตราการอบแห้งจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นขณะที่ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้อบแห้ง การทำนายผลของจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งแสดงให้เห็นว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมที่ใช้ทำนายจลนพลศาสตร์ การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด 1,000 W ร่วมกับลมร้อนและการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างเดียว คือ แบบจำลอง Logarithmic ส่วนแบบจำลองที่ใช้ทำนายการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด 500 W ร่วมกับลมร้อน คือ แบบจำลองของ Page โดยผลการทดลองที่ค่าใกล้เคียงกับ แบบจำลองดังกล่าว ในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่า ร้อยละการคืนตัวและค่าสีในระบบ CIE (L*, a* และ b*) ของใบเตยอบแห้งในทุกกรณีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p<0.05$) (เพชรรัตน์ และคณะ, 2550) ศึกษาการศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งลำไยด้วยเทคนิคต่าง ๆ ซึ่งงานวิจัยได้ศึกษาการนำรังสีอินฟราเรดไกลเข้ามาร่วมในการอบแห้งเนื้อ ลำไยด้วยลมร้อนและปั๊มความร้อนเปรียบเทียบกับ การอบแห้งด้วยลมร้อนและปั๊มความร้อนเพียงอย่างเดียว ในด้านลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงาน คุณภาพด้านเนื้อสัมผัสวอเตอร์แอคทิวิตี และโครงสร้างระดับจุลภาค โดยทำการอบแห้งเนื้อลำไย จากความชื้น เริ่มต้น 550-670 %d.b. (84-86 %w.b.) จนเหลือความชื้น สุดท้ายประมาณ 20 %d.b. (18 %w.b.) ที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 55°C สำหรับปั๊มความร้อนและ 65°C สำหรับลมร้อน ความเร็วลม 0.3 m/s การอบแห้งด้วยลมร้อนมีสัดส่วนการนำ อากาศร้อนหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ 80 % กำลังไฟฟ้าที่ให้กับหลอดรังสีอินฟราเรดไกลคือ 250, 350 และ 450 W ผลการ ทดลองพบว่าการนำรังสีอินฟราเรดไกลเข้ามาร่วมกับการอบแห้งเนื้อ ลำไยด้วยลมร้อนหรือปั๊มความร้อน ช่วยเพิ่มอัตราการอบแห้ง และลดเวลาในการอบแห้งลง ผลของรังสีอินฟราเรดไกลทำให้เนื้อลำไยมีรูพรุนและมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อกำลังไฟฟ้าที่ให้กับหลอดรังสีอินฟราเรดไกลมีค่าเพิ่มขึ้น รูพรุนที่เกิดขึ้น ส่งผลให้เนื้อ ลำไยมีค่าความแข็งและความหยุ่นตัวน้อยกว่าเนื้อลำไยที่อบแห้งด้วยลมร้อนหรือปั๊มความร้อนเพียงอย่างเดียว การอบแห้งร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลใช้พลังงานจำเพาะรวม น้อยลงเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าให้กับหลอดรังสีอินฟราเรดไกล การอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลใช้พลังงานจำเพาะรวมน้อยกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล

การนำรังสีอินฟราเรดมาศึกษาวิจัยร่วมกับอุตสาหกรรมอาหารมีการศึกษา มาพอสังเขป คือ (Navin K and Rastogi, 2012) ศึกษาการใช้อินฟราเรดกับอาหารเหลว เพื่อจะเพิ่มอายุการเก็บรักษาหรือเพื่อเพิ่มรสชาติของอาหารเหลว ความร้อนอินฟราเรดมีความนิยมเนื่องจากมีประสิทธิภาพการระบายความร้อนที่สูงและอัตราเวลาการให้ความร้อนที่ตอบสนองอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับความร้อนทั่วไป ซึ่งเป็นการถ่ายโอนรังสีอินฟราเรดพลังงานความร้อนในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ในวันที่มีการใช้พลังงานจำนวนมากจึงได้มุ่งเน้นการใช้งานของอินฟราเรดสำหรับการผลิตอาหารที่เป็นของเหลว เช่นที่ผ่านมามีการใช้งานของอินฟราเรดกับการผลิตน้ำผึ้ง นม เบียร์และน้ำผลไม้ จึงชี้ให้เห็นลู่ทางสำหรับการนำมาผลิตอาหารที่เป็นของเหลว รังสีอินฟราเรดมีการใช้งานอยู่มากในกรณีของอาหารที่เป็นของแข็งเช่นการลวกแห้ง การย่าง การอบและการปรุงอาหาร (Arzu Basman and Seda Yalcin, 2011) ศึกษาการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยวอบแห้งโดยใช้อินฟราเรด ในการศึกษาครั้งนี้ถูกนำมาใช้ในขั้นตอนการอบแห้งของการผลิตเส้นก๋วยเตี๋ยว ทำให้เวลาการอบแห้งลดลงถึง 3 นาที 30 วินาทีส่งผลให้เวลาลดลง 50% และในระยะเวลาที่ลดลงนี้ยังทำให้การสูญเสียสารอาหารจากการปรุงอาหารลดลง และทำให้ค่าอินทรียวัตถุโดยรวมสูงกว่าเดิมที่ได้รับจากก๋วยเตี๋ยว การใช้อินฟราเรดแสดงให้เห็นคุณภาพเส้นก๋วยเตี๋ยวที่ดีขึ้น (วัชรินทร์, 2556) ศึกษารังสีอินฟราเรดและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ได้อธิบายหลักการพื้นฐานของรังสีอินฟราเรดและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร โดยอธิบายหลักการของรังสีได้แก่ กฎของแพลงค์ กฎการกระจัดของวีน และกฎของสเตฟัน-โบลทซ์มันน์ เป็นต้น นอกจากนี้แล้วยังอธิบายถึง คุณลักษณะการดูดกลืนรังสี แฟคเตอร์การลดทอนและสภาพการทะลุผ่านของรังสี สำหรับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร ส่วนใหญ่ จะอยู่ในรูปของตัวทำความร้อนในกระบวนการต่างๆ เช่น การอบ การคั่ว และ การอบแห้ง เป็นต้น พบว่ารังสีอินฟราเรดมีลักษณะเด่น คือถ่ายความร้อนสู่อาหารได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงสามารถช่วยลดเวลาของกระบวนการและค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน นอกจากนี้ผลิตผล หลังจากผ่านกระบวนการทางความร้อนแล้วยังมีคุณภาพดีกว่า

การนำรังสีอินฟราเรดมาศึกษาวิจัยร่วมกับเนื้อสัตว์ต่างๆมีการศึกษา มาพอสังเขป คือ (จุฑารัตน์ และคณะ, 2557) ศึกษาแนวทางการพัฒนาปลาข้าวสารกรอบด้วยการอบแห้งลมร้อนและรังสีอินฟราเรด ซึ่งได้ศึกษาแนวทางการอบแห้งปลาข้าวสารแทนการทอดด้วยน้ำมันเพื่อใช้เป็นอาหารสุขภาพโดยใช้ตู้อบแห้งแบบถาดที่ใช้ลมร้อน และรังสีอินฟราเรดเป็นแหล่งพลังงานความร้อน และสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเอมพิริคัล ทำนายจลนพลศาสตร์การอบแห้งปลาข้าวสาร คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล และพลังงานกระตุ้นในการอบแห้ง ในการทดลองนี้ และได้ทำการศึกษาปัจจัยของอุณหภูมิอบแห้งระหว่าง 50-70°C และความเข้มของรังสีอินฟราเรดที่ 500-1,000 W ที่มีต่อ การลดความชื้นของปลาข้าวสาร โดยความเร็วของลมร้อนที่เลือกใช้มีค่าเฉลี่ย 1.0±0.2 m/s ความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายของปลาข้าวสารแห้งอยู่ในช่วงร้อยละ 150-155 มาตรฐานแห้ง และร้อยละ 15.0±2.0 มาตรฐานแห้งตามลำดับ ผลการทดลองพบว่า อัตราการอบแห้งจะแปรผันกับอุณหภูมิอบแห้งและกำลังของรังสีอินฟราเรด และเมื่อนำผลการทดลองมาสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบเอมพิริคัลหลายๆ รูปแบบด้วยวิธีการสมการถดถอยแบบไม่เชิงเส้น โดยพิจารณาเลือกสมการอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับทำนายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งปลาข้าวสารได้ดีที่สุด จากค่าสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R2) และค่ารากที่สองของค่าความ

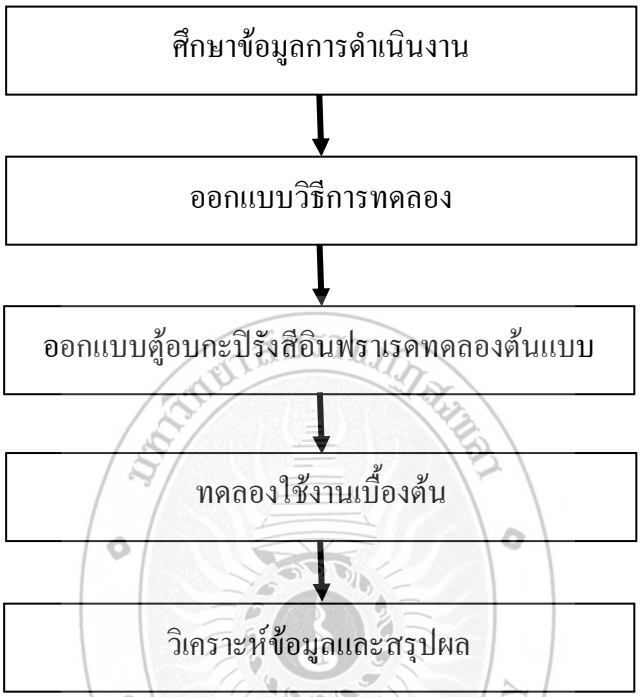
คลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง (RMSE) ผลการทดลองสรุปได้ว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ Page อธิบายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งปลาข้าวสารจากการทดลองอบแห้งด้วยลมร้อน และรังสีอินฟราเรดได้ดีที่สุด สำหรับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผล ที่หาได้จากกฎการแพร่ของฟิกส์ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นประสิทธิผลของปลาข้าวสาร ขึ้นกับอุณหภูมิอบแห้ง และกำลังของรังสีอินฟราเรด และมีค่าอยู่ใน อันดับ 10-4 m^2/h และพบว่า การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดมีระยะเวลาในการอบแห้งที่สั้นกว่ากรณีการอบแห้งด้วยลมร้อน (อำไพศักดิ์ และคณะ, 2549) โดยได้ศึกษาการอบแห้งเนื้อด้วยรังสีฟราอินฟราเรด ซึ่งมีเงื่อนไขในการทดลอง คือ อุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าห้องอบแห้งเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส ความเร็วลมที่ไหลผ่านตัวอย่างอยู่ในช่วง 0.1-1.0 เมตร/วินาที และพลังงานที่จ่ายให้กับแท่งอินฟราเรดอยู่ระหว่าง 260 ถึง 640 วัตต์ โดยกำหนดให้ระยะห่างระหว่างแท่งรังสีอินฟราเรดกับผลิตภัณฑ์ และขนาดผลิตภัณฑ์คงที่ ผลจากการทดลองพบว่าระยะเวลาการอบแห้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเร็วลมและลดกำลัง ไฟฟ้าที่จ่ายให้กับแท่งรังสีอินฟราเรด นอกจากนั้นยังพบว่าการเปลี่ยนแปลงสีของเนื้อเพิ่มมากขึ้น เมื่อลดความเร็วลมและเพิ่มกำลังไฟฟ้าที่ป้อนให้กับแท่งรังสีอินฟราเรด

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการวิจัยเรื่องศึกษาอิทธิพลรังสีอินฟราเรดกับการอบแห้งกะปิ ผู้วิจัยมีขั้นตอนในการดำเนินงาน ดังรูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1.1 ศึกษาข้อมูลการดำเนินงาน โดยศึกษาปัจจัยเกี่ยวกับ ระยะเวลา อุณหภูมิ ความชื้น และการสิ้นเปลืองพลังงานของตู้อบกะปิรังสีอินฟราเรด เพื่อใช้เป็นประเด็นปัญหาในการออกแบบตู้อบกะปิรังสีอินฟราเรดทดลองต้นแบบ

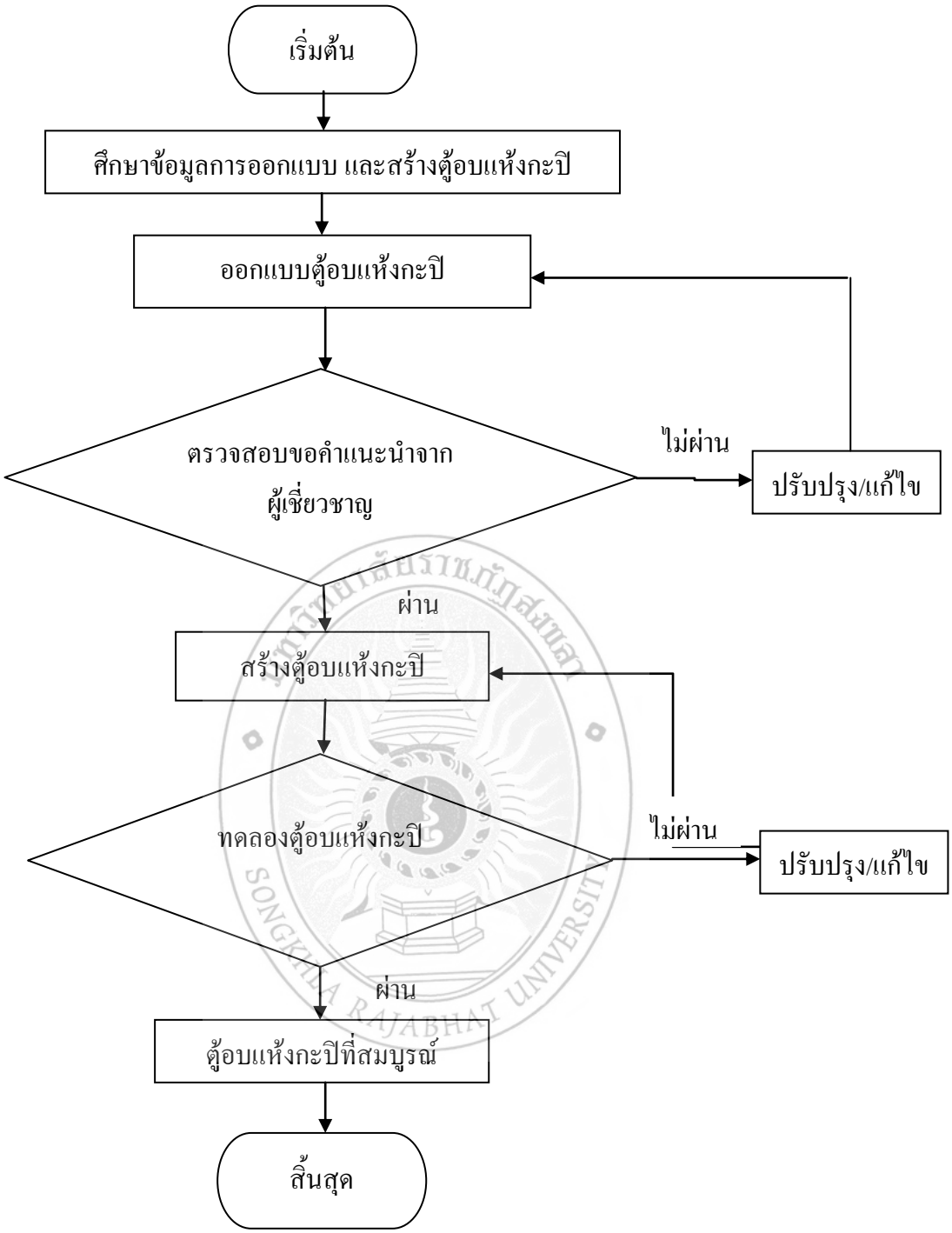
3.1.2 ออกแบบวิธีการทดลอง โดยกำหนดวิธีการทดลองและกลุ่มตัวอย่างทางสถิติ เพื่อใช้ในการออกแบบ และวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยพิจารณาถึงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1.3 ออกแบบตู้อบกะปิรังสีอินฟราเรดทดลองต้นแบบ ในด้านรูปแบบ ด้านโครงสร้าง จากนั้นตรวจสอบและปรับปรุงแก้ไขเพื่อให้ได้ตู้อบกะปิรังสีอินฟราเรดทดลองต้นแบบ

3.1.4 ทดลองใช้งานเบื้องต้น บริเวณพื้นที่ตำบลเกาะยอ อำเภอเมืองสงขลา จังหวัดสงขลา และเก็บรวบรวมข้อมูล โดยนำตู้อบกะปิรังสีอินฟราเรดทดลองต้นแบบ ไปทดลองใช้งานกับกลุ่มเป้าหมาย แล้วเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลต่อไป

3.1.5 วิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผล นำผลการทดลองมาวิเคราะห์โดยใช้หลักทางสถิติ เพื่อสรุปผลอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และประสิทธิภาพของตู้อบกะปิรังสีอินฟราเรดทดลองต้นแบบ

3.2 ขั้นตอนการสร้างตู้อบแห้งกะปิ

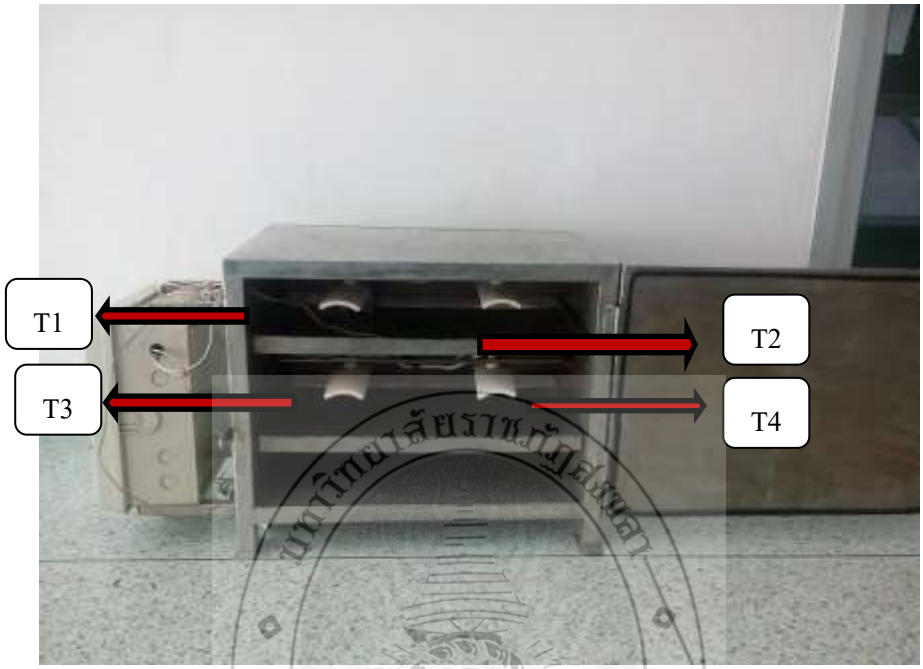


รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการสร้างตู้อบแห้งกะปิ

จากรูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการดำเนินการสร้างตู้อบแห้งกะปิ ผู้วิจัยได้ศึกษา ข้อมูล การสร้างเครื่องอบแห้งกะปิโดยให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบให้คำแนะนำในการออกแบบ สร้างเครื่อง และปรับปรุงตู้อบแห้งกะปิ จากนั้นทำการทดลองใช้งาน แล้วปรับปรุง/แก้ไขจนเสร็จสมบูรณ์ต่อไป

3.3 การศึกษาอุณหภูมิ และตำแหน่งการอบแห้งกะปิ

การวิจัยได้ทำการศึกษาอุณหภูมิในการอบแห้งกะปิด้วยรังสีอินฟราเรด 3 ช่วงอุณหภูมิ ประกอบด้วยอุณหภูมิ 40, 60 และ 80 องศาเซลเซียส อีกทั้งมีการวัดอุณหภูมิด้วยกัน 4 จุดตามรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ตำแหน่งวัดอุณหภูมิภายในตู้อบแห้งกะปิอินฟราเรด

T1 = เทอร์โมสตัส (Thermostat)

T2 = ชั้นที่ 2

T3 = ชั้นที่ 1

T4 = ผนังตู้ด้านใน

3.4 การวิเคราะห์ความถูกต้องตัวแบบทางสถิติ

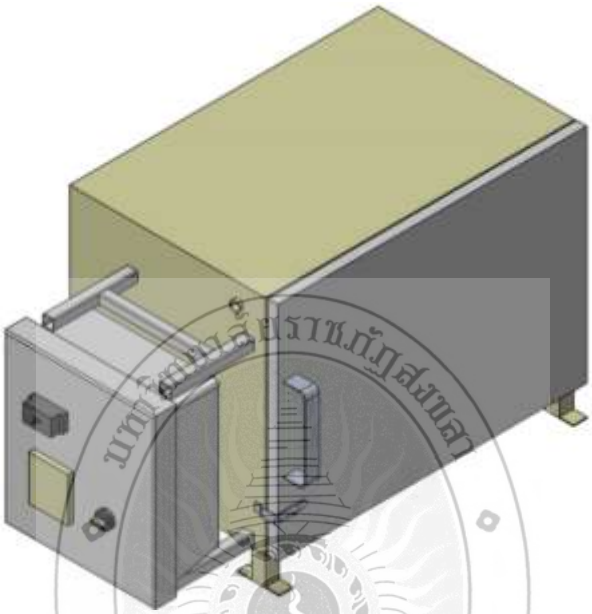
การวิเคราะห์ความถูกต้องตัวแบบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ประกอบด้วยความเป็นปกติของข้อมูล และความมีเสรียภาพของค่าความแปรปรวน โดยโปรแกรม Minitab

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 ลักษณะ และแผงควบคุมตู้อบแห้งกะปิ

จากรูปที่ 4.1 ถึง รุปที่ 4.5 แสดงลักษณะภายใน ภายนอก และแผงควบคุมไฟฟ้าของตู้อบแห้งกะปิด้วยรังสีอินฟราเรด



รูปที่ 4.1 แสดงแบบตู้อบอินฟราเรด

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

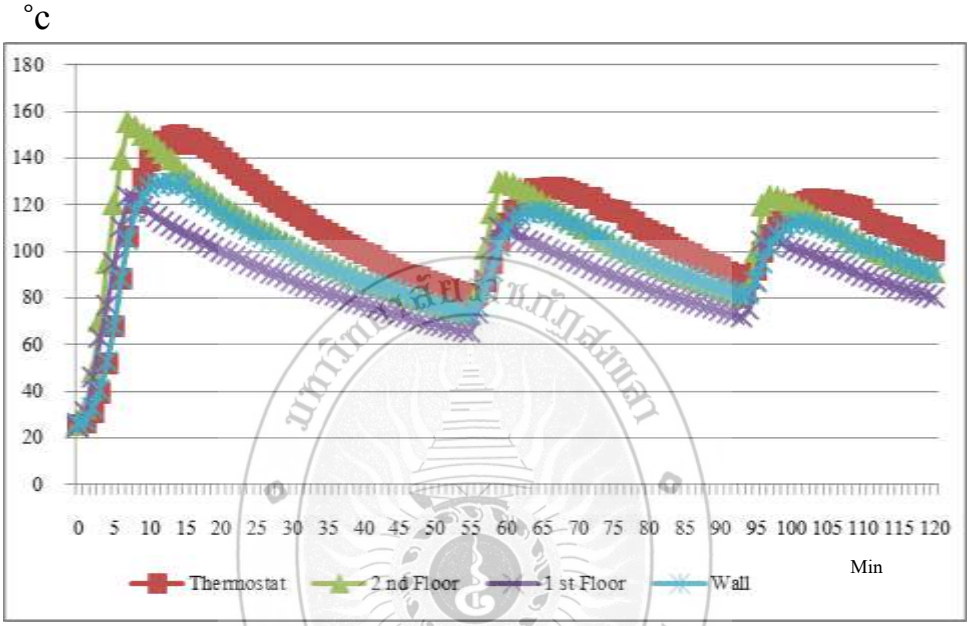
รูปที่ 4.2 และ 4.3 แสดงลักษณะภายใน และภายนอก ของตู้อบอินฟราเรด

รูปที่ 4.4 และ 4.5 แสดงวงจรไฟฟ้าของตู้อบอินฟราเรด

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

4.2 ผลการทดสอบอุณหภูมิภายในตู้เปล่า

จากผลการทดสอบอุณหภูมิ ในตู้เปล่าที่ 100 °C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยมีการวัดค่าอุณภูมิ 4 จุด จุดที่ 1 วัดที่ตำแหน่ง Thermostat จุดที่ 2 วัดชั้นที่ 1 จุดที่ 3 วัดชั้นที่ 2 และจุดที่ 4 วัดผนังตู้ภายใน สรุปผลการทดลองดังรูปที่ 4.6 โดยพบว่าช่วงแรกอุณหภูมิจะมีความร้อนสะสมมากหลังจาก Thermostat ทำงานครั้งแรกอุณหภูมิจะวิ่งไปถึงประมาณ 140 °C แล้วจึงมีการลดอุณหภูมิลง ส่วนในช่วงต่อมาที่ Thermostat ทำงานอุณหภูสูงสุดลดลงเหลือประมาณ 120 °C และมีแนมโน้มเป็นแบบนี้ไปตลอด

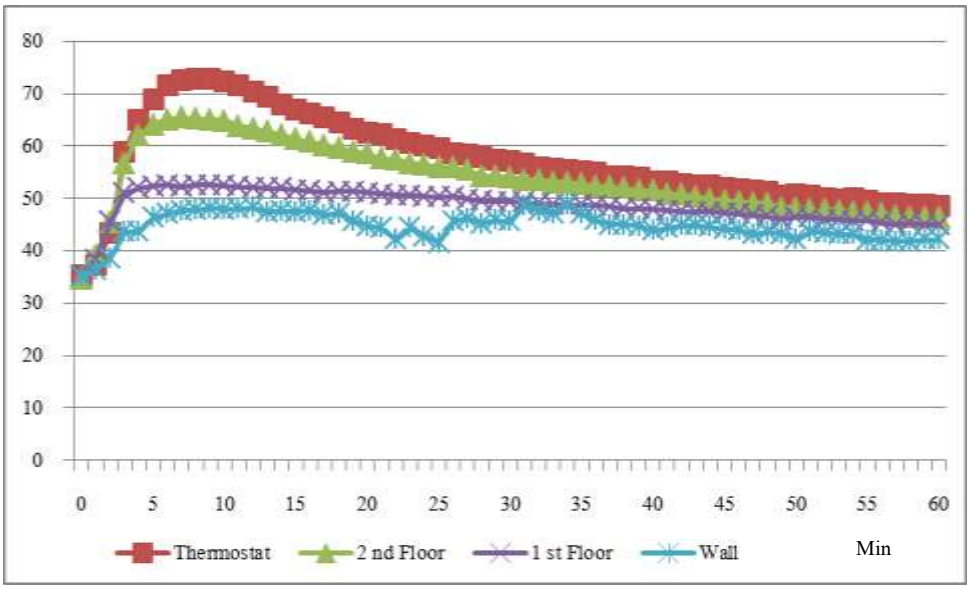


รูปที่ 4.6 แสดงการทดสอบอุณหภูมิในตู้เปล่าที่ 100 องศาเซลเซียล

4.3 ผลการทดลองอบแห้งกะปิ

4.3.1 ผลการทดลองอบแห้งกะปิที่อุณหภูมิ 40

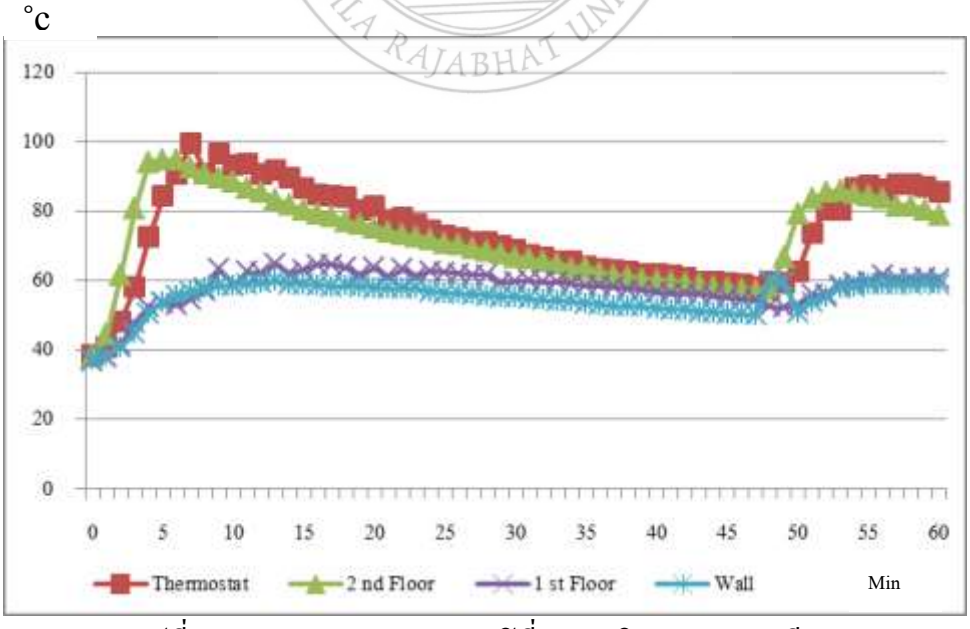
จากผลการทดลองอบแห้งกะปิที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียล ณ อุณหภูมิห้อง ใช้เวลาในการทดลอง 1 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส ผลปรากฏว่ากะปิที่นำมาอบแห้งมีลักษณะชื้นมาก เหมือนกะปิที่ไม่ได้อบ พบว่า Thermostat จะทำงานรอบเดียว โดยช่วงแรกอุณหภูมิจะมีความร้อนสะสมมากหลังจาก Thermostat ทำงานครั้งแรกอุณหภูมิจะวิ่งสูงกว่าที่ตั้งไว้มาก จากนั้นจึงมีการลดอุณหภูมิลง ส่วนในช่วงต่อมาที่ Thermostat ทำงานอุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นและลดลงเรื่อยๆจนถึงจุดที่ Thermostat ทำงานและมีแนมโน้มเป็นแบบนี้ไปตลอดดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงการทดลองอบกะปิที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียล

4.3.2 ผลการทดลองอบแห้งกะปิที่อุณหภูมิ 60

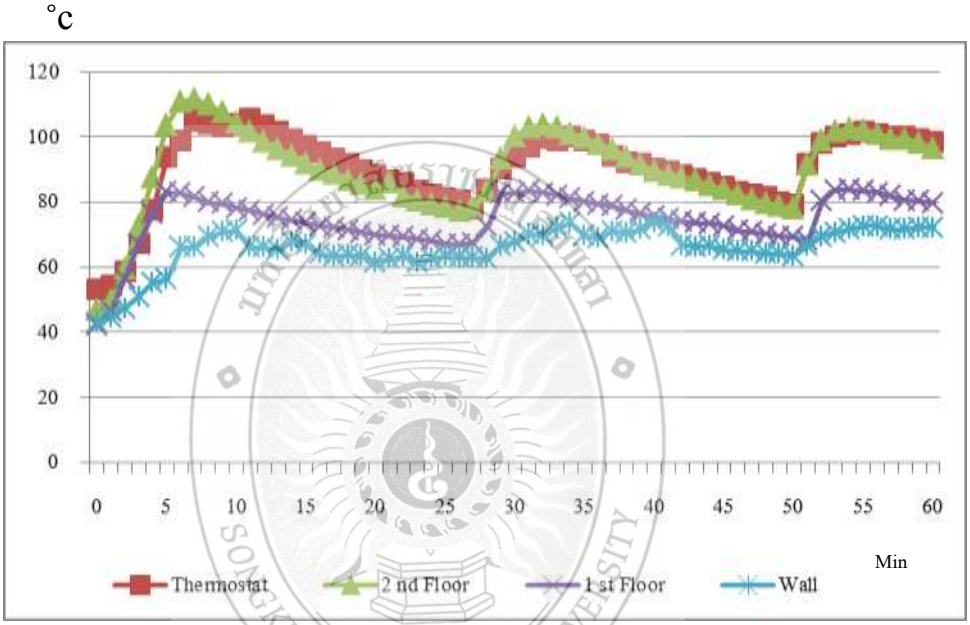
จากผลการทดลองอบแห้งกะปิที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียล ณ อุณหภูมิห้อง ใช้เวลาในการทดลอง 1 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ผลปรากฏว่า กะปิแห้งไม่ดี โดยยังแห้งไม่ทั่วทั้งก้อน ด้านนอกแห้งแต่ด้านในของกะปิยังมีความชื้นอยู่ และพบว่า Thermostat ทำงานสองรอบ โดยช่วงแรกอุณหภูมิจะมีความร้อนสะสมมากหลังจาก Thermostat ทำงานครั้งแรกอุณหภูมิจะวิ่งสูงกว่าที่ตั้งไว้มาก จากนั้นจึงมีการลดอุณหภูมิลง ส่วนในช่วงต่อมาที่ Thermostat ทำงานอุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นและลดลงเรื่อยๆจนถึงจุดที่ Thermostat ทำงาน และมีแนมโน้มเป็นแบบนี้ไปตลอดดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงการทดลองอบกะปิที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียล

4.3.3 ผลการทดลองอบแห้งกะปิที่อุณหภูมิ 80

จากผลการทดลองอบแห้งกะปิที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียล ณ อุณหภูมิห้อง ใช้เวลาในการทดลอง 1 ชั่วโมง ผลการทดลองพบว่า ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ผลปรากฏว่ากะปิแห้งดีทั้งภายนอกและภายใน ตามที่ต้องการสามารถนำไปใช้ปรุงอาหารหรือจำหน่ายได้ และพบว่า Thermostat ทำงานสามรอบ โดยช่วงแรกอุณหภูมิจะมีความร้อนสะสมมากหลังจาก Thermostat ทำงานครั้งแรกอุณหภูมิจะวิ่งสูงกว่าที่ตั้งไว้มาก จากนั้นจึงมีการลดอุณหภูมิลง ส่วนในช่วงต่อมาที่ Thermostat ทำงานอุณหภูมิจะเพิ่มสูงขึ้นและลดลงเรื่อยๆจนถึงจุดที่ Thermostat ทำงาน และมีแนมโน้มเป็นแบบนี้ไปตลอดดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงการทดลองอบกะปิที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียล

4.4 ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องตัวแบบทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องตัวแบบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ประกอบด้วย ความเป็นปกติของข้อมูล และความมีเสรียภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล โดยทำการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบสติถิของอุณหภูมิอบกะปิผลการวิเคราะห์พบว่าข้อมูลแต่ละตัวที่นำมาทำการทดลองข้อมูลที่พิจารณามีการแจกแจงปกติ และข้อมูลมีความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

เพื่อให้เป็นการเข้าใจการวิเคราะห์ความทถูกต้องตัวแบบสถิติวิธีการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

4.4.1 ความเป็นปกติของข้อมูล

ความเป็นปกติของข้อมูล เป็นการพิจารณาว่าข้อมูลมีการเก็บมาแบบปกติหรือไม่โดยพิจารณากราฟว่ามีลักษณะเป็นเส้นตรงกรณีข้อมูลไม่เกิน 30 ข้อมูล แต่ถ้าหากข้อมูลเกิน 30 ข้อมูล ให้พิจารณากราฟว่ามีลักษณะเป็นระฆังคว่ำหรือไม่ พิจารณาจากค่า P-Value ที่มีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับค่า α = 0.05 และข้อมูลมีการกระจายตัวในแนวเส้นตรงและระฆังคว่ำ จากรูปที่ 4.10 รูปที่ 4.11 รูปที่ 4.12

รูปที่ 4.13 รูปที่ 4.14 และรูปที่ 4.15 ดังนั้นข้อมูลจึงมีความแตกต่างกันอย่างไม่มีนัยสำคัญ สรุปได้ว่าข้อมูลที่พิจารณามีการแจกแจงปกติ

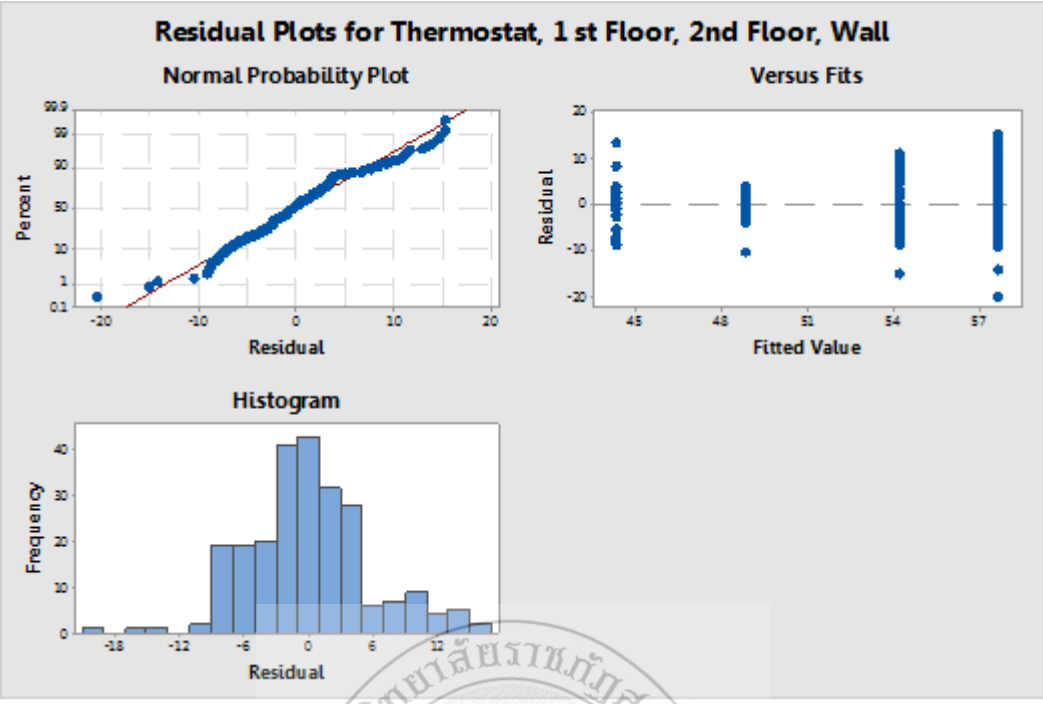
4.4.2 ความมีเสรียรภาพของค่าความแปรปรวนข้อมูล

ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวนเป็นการสังเกตค่าความแปรปรวนของข้อมูลว่ามีค่าการกระจายตัวรอบค่าศูนย์คลาดเคลื่อนสม่ำเสมอมากน้อยหรือไม่ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.11 รูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.15 ข้อมูลมีการกระจายตัวแปรผันสม่ำเสมอรอบค่าศูนย์ ดังนั้นข้อมูลจึงมีความเสถียรของค่าความแปรปรวน

One-way ANOVA: Thermostat, 1 st Floor, 2nd Floor, Wall

```
Method

Null hypothesis         All means are equal
Alternative hypothesis  At least one mean is different
Significance level      α = 0.05

Equal variances were assumed for the analysis.


Factor Information

Factor   Levels   Values
Factor        4   Thermostat, 1 st Floor, 2nd Floor, Wall


Analysis of Variance

Source    DF  Adj SS   Adj MS  F-Value  P-Value
Factor     3    6229  2076.37    64.53    0.000
Error    236    7594    32.18
Total    239   13823
```

รูปที่ 4.10 แสดงค่า P-Value ที่มีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับค่า α = 0.05 ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียล

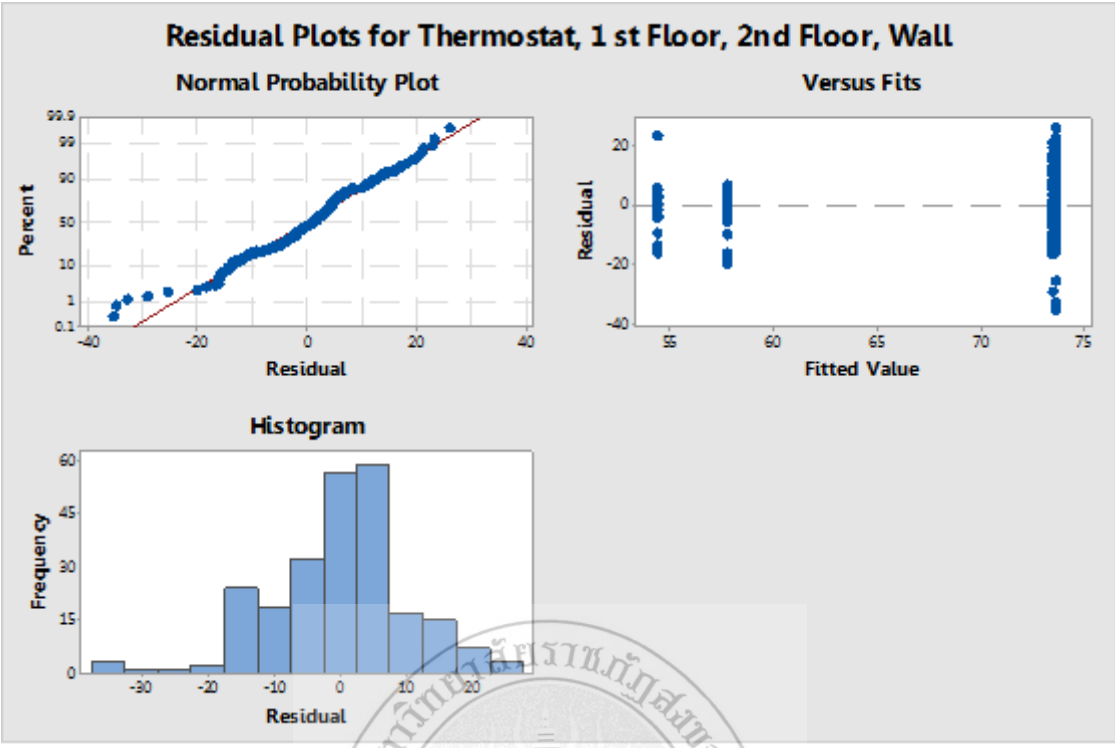


รูปที่ 4.11 แสดงความเป็นปกติของข้อมูล และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียล

One-way ANOVA: Thermostat, 1 st Floor, 2nd Floor, Wall

```
Method

Null hypothesis         All means are equal
Alternative hypothesis  At least one mean is different
Significance level      α = 0.05

Equal variances were assumed for the analysis.


Factor Information

Factor  Levels  Values
Factor       4  Thermostat, 1 st Floor, 2nd Floor, Wall


Analysis of Variance

Source   DF  Adj SS  Adj MS  F-Value  P-Value
Factor    3   18700  6233.3    58.73    0.000
Error   236   25046   106.1
Total   239   43746
```

รูปที่ 4.12 แสดงค่า P-Value ที่มีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับค่า α = 0.05 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียล

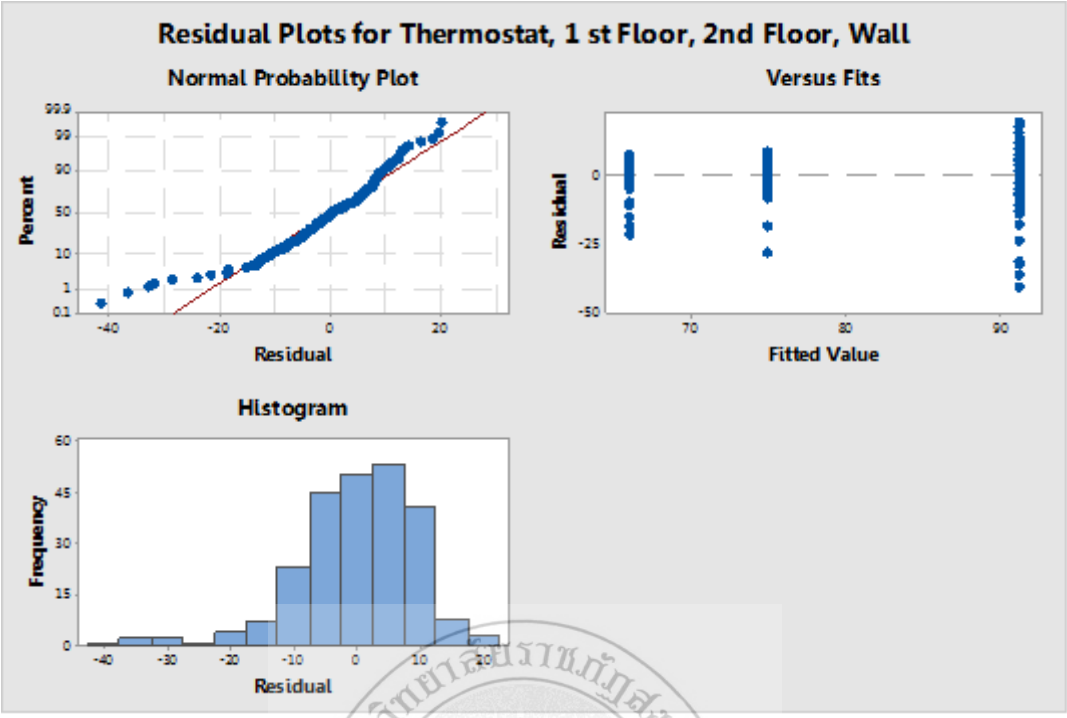


รูปที่ 4.13 แสดงความเป็นปกติของข้อมูล และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียล

One-way ANOVA: Thermostat, 1 st Floor, 2nd Floor, Wall

```
Method

Null hypothesis         All means are equal
Alternative hypothesis  At least one mean is different
Significance level      α = 0.05

Equal variances were assumed for the analysis.


Factor Information

Factor   Levels  Values
Factor        4  Thermostat, 1 st Floor, 2nd Floor, Wall


Analysis of Variance

Source    DF  Adj SS   Adj MS  F-Value  P-Value
Factor     3   28138  9379.39   109.49    0.000
Error    236   20218    85.67
Total    239   48356
```

รูปที่ 4.14 แสดงค่า P-Value ที่มีค่ามากกว่าเมื่อเทียบกับค่า α = 0.05 ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียล



รูปที่ 4.15 แสดงความเป็นปกติของข้อมูล และความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน ที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียล

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

5.1.1 สรุปผลผลการอบแห้งกะปิ

ผลการอบแห้งกะปิโดยใช้อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส กะปิที่นำมาอบแห้งมีลักษณะชื้นมาก ลักษณะเหมือนกะปิที่ไม่ได้ผ่านการอบหรือตากแดดมาก่อน อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ลักษณะกะปิแห้งไม่ดี โดยผิวภายนอกแห้งไม่ทั่วทั้งก้อน ด้านนอกแห้งแต่ด้านในของกะปียังมีความชื้นอยู่ และอุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส กะปิแห้งดีทั้งภายนอกและภายใน ตามที่ต้องการสามารถนำไปใช้ปรุงอาหารหรือจำหน่ายต่อไปได้

5.1.2 สรุปผลการวิเคราะห์ความถูกต้องตัวแบบทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์ความถูกต้องตัวแบบทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ประกอบด้วย ความเป็นปกติของข้อมูล และความมีเสรียภาพของค่าความแปรปรวนของข้อมูล โดยทำการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบสติถิของอุณหภูมิอบกะปิผลการวิเคราะห์พบว่าข้อมูลแต่ละตัวที่นำมาทำการทดลอง ข้อมูลที่พิจารณามีการแจกแจงปกติ และข้อมูลมีความเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน

5.2 อภิปรายผล

การอภิปรายผลอุหภูมิที่เหมาะกับการอบแห้งกะปิอยู่ที่ช่วงประมาณ 60-80 องศาเซลเซียล และการวิเคราะห์ความถูกต้องของตัวแบบสถิติ ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ และข้อมูลมีเสถียรภาพความแปรปรวน

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ข้อเสนอแนะจากโครงการในครั้งนี้ควรเพิ่มเหล็กและโครงสร้างด้านในของเครื่องเพื่อไม่ให้เกิดรอยร้าวด้านในของเครื่องและจะได้มีความทนทานต่อการใช้งานมากยิ่งขึ้น

5.3.2 อุณหภูมิภายในตู้มีค่าแตกต่างกัน 2-5 องศาเซลเซียล ในแต่ละจุดจึงควรมีพัดลด เพื่อช่วยปรับอุณหภูมิในตู้เพื่อให้มีค่าใกล้เคียงกันมากขึ้น

บรรณานุกรม

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556, ชุดการจัดแสดงที่ 12 : การให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรด (Electric Infrared Heating).

จุฑารัตน์ ทะสะระ, สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล และยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล. (2557). แนวทางการพัฒนาปลาข้าวสารกรอบด้วยการอบแห้งลมร้อนและรังสีอินฟราเรด. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 19 ครั้งที่ 1. 2557.

เทวรัตน์ ทิพยวิมล และสมยศ เชิญอักษร.(2552). ความชื้นสมดุลและจลศาสตร์การอบอบแห้งของไพล. เอกสารการประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ครั้งที่ 10. 1 – 3 เมษายน 2552.

เพชรรัตน์, ใจบุญ, อดิศักดิ์ นาถกรณกุล และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2550). การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งลำไยด้วยเทคนิคต่าง ๆ. เอกสารการประชุมวิชาการด้านพลังงาน สิ่งแวดล้อม และวัสดุ มหาวิทยาลัยชินวัตร (1-8). 2550

วัชรินทร์ ดงบัง. (2556). รังสีอินฟราเรดและการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 18 ครั้งที่ 2. 2556.

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2540). การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. (338 หน้า). มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ.

อนุสรา นาดี, ยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล และสุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล (2556). จลนพลศาสตร์การอบแห้งใบเตยด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนและลมร้อน. วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา ปีที่ 17 ครั้งที่ 2. 2556.

อนุสรา นาดี, สุภวรรณ ฏิระวณิชย์กุล และยุทธนา ฏิระวณิชย์กุล.(2554). การอบแห้งชาใบเตยด้วยรังสีอินฟราเรด. เอกสารการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ครั้งที่ 9. 2-3 พฤษภาคม 2554.

อำไพศักดิ์ ทีบุญมา, ธนภัทร สุวรรณกูฏ1 และสมชาติ โสภณรณฤทธิ์. (2549). การอบแห้งเนื้อด้วยรังสีอินฟราเรด. วารสารวิศวกรรมสาร มข. ปีที่ 33 ฉบับที่ 2 (169-180) มีนาคม - เมษายน. 2549

Apintanapong, M. (2009). Infrared drying of holy basil leaves and its effect on sensory characteristics. Agricultural Science Journal, 40(Suppl. 3), 69-72.

Arzu Basman and Seda Yalcin. 2011. Quick-Boiling Noodle Production by Using Infrared Drying. Journal of Food Engineering 106 (2011) 245–252.

Aviara, N.A., O.O. Ajabola and S.A. Oni. 2004. Sorption Equilibrium and Thermodynamic Characteristics of Soya Bean. Biosystems Engineering., 87(2): 179-190.

Dorota Nowak, Piotr P. Lewicki. 2004. Infrared Drying of Apple Slices. Journal of Innovative Food Science and Emerging Technologies 5 (2004). 353– 360.

Kaleemullah, S. and R. Kailappan. 2006. Modelling of thin-layer drying kinetics of red chillies. Journal of Food Engineering, 76: 531-537.

Navin K. Rastogi. 2012. Infrared Heating of Fluid Foods. Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Fluid Foods 2012, 411–432.

Nuthong, P., Achariyaviriya, A., Namsanguan, K. & Achariyaviriya, S. (2011). Kinetics and modeling of whole longan with combined infrared and hot air. Journal of Food Engineering, 102, 233-239.

Sogi, D.S., U.S. Shivhare, S.K. Garg and A.S. Bawa. 2003. Water Sorption Isotherm and Drying Characteristics of Tomato Seeds. Biosystems Engineering, 84(3): 297-301.

Tirawanichakul, S., Linpo, P. & Tirawanichakul, Y. (2009). Influence of infrared and heat convection on drying

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ภาคผนวก

ตารางแสดงผลการทดลอง

ตารางที่ ก.1 แสดงการอบแห้งกะปิที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

	Themp1	Themp2	Themp3	Themp4
Time(min)	Thermostat	1 st Floor	2nd Floor	Wall
1	37.3	39.1	38.3	36.2
2	43.5	45.3	45.6	38.6
3	58.9	56.7	51.0	43.6
4	65.1	62.1	51.9	43.6
5	68.9	64.1	52.3	46.3
6	71.7	65.0	52.6	47.0
7	72.5	65.4	52.2	47.6
8	72.9	65.2	52.5	47.8
9	72.9	65.1	52.5	48.2
10	72.4	64.8	52.4	47.9
11	71.5	63.8	52.2	48.0
12	70.5	63.4	52.1	48.3
13	69.4	62.7	52.0	47.4
14	68.0	62.1	51.9	47.5
15	67.0	61.2	51.6	47.4
16	66.2	60.8	51.5	57.6
17	65.4	60.1	51.1	46.8
18	64.5	59.6	51.3	47.2
19	63.4	58.9	51.3	45.7
20	62.6	58.6	51.1	44.7
21	62.3	57.6	50.8	44.4
22	61.2	57.3	50.6	42.1
23	60.7	56.7	50.6	44.3
24	60.1	56.4	50.4	52.8
25	59.7	56.0	50.2	41.5
26	58.6	55.9	50.3	45.6
27	58.3	55.4	49.9	46.2

	Themp1	Themp2	Themp3	Themp4
Time (min)	Thermostat	1 st Floor	2nd Floor	Wall
28	57.8	54.3	49.5	45.2
29	57.5	54.2	49.4	45.8
30	57.2	54.0	49.4	35.6
31	56.6	53.5	49.2	38.6
32	56.0	53.5	49.0	43.6
33	55.8	53.0	48.9	42.1
34	55.4	53.0	48.6	38.9
35	55.1	52.7	48.8	37.1
36	54.9	52.3	48.6	45.8
37	54.2	52.2	48.4	45.0
38	54.1	52.0	48.0	44.9
39	53.9	51.5	48.0	44.7
40	53.3	51.4	47.9	43.9
41	53.3	50.9	47.7	44.4
42	52.7	50.7	47.5	44.8
43	52.5	50.4	47.4	44.8
44	52.4	49.8	47.4	44.6
45	51.9	49.6	47.2	44.1
46	51.8	49.3	47.1	44.0
47	51.4	49.1	46.8	43.1
48	51.2	49.0	46.6	43.6
49	50.6	48.1	46.0	43.3
50	50.7	48.1	46.4	42.1
51	50.6	47.8	46.4	43.6
52	50.1	47.8	46.0	43.5
53	49.8	47.6	45.9	43.1
54	50.0	47.4	45.7	43.1
55	49.5	47.3	45.8	42.0
56	49.0	47.0	45.3	42.0
57	49.0	46.7	45.0	41.8

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

	Themp1	Themp2	Themp3	Themp4
Time(min)	**Thermostat**	**1 st Floor**	**2nd Floor**	**Wall**
58	48.7	46.4	45.3	41.8
59	48.9	46.3	44.9	42.1
60	48.6	46.4	44.9	42.1

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ตารางที่ ก.2 แสดงการอบแห้งกะปิที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส

	Themp1	**Themp2**	**Themp3**	**Themp4**
Time(min)	**Thermostat**	**1 st Floor**	**2nd Floor**	**Wall**
1	40.7	44.3	37.7	38.2
2	48.3	61.5	41.6	40.9
3	58.1	80.7	47.7	44.8
4	72.5	94.1	52.2	50.5
5	84.3	94.8	53.2	53.8
6	90.8	94.6	52.9	55.5
7	99.6	92.5	54.6	56.7
8	90.8	90.6	57.0	57.6
9	96.7	89.6	63.2	58.4
10	93.4	88.5	58.5	38.6
11	93.8	86.6	62.5	59.0
12	90.6	85.5	62.2	59.1
13	91.8	83.4	64.7	59.9
14	89.5	81.7	61.9	58.9
15	86.5	80.4	63.0	38.9
16	84.8	79.3	64.5	38.6
17	84.3	78.5	64.6	58.3
18	84.0	77.0	63.6	58.4
19	80.4	76.4	61.5	58.3
20	81.6	75.2	63.5	57.8
21	77.5	74.2	61.0	77.6
22	78.0	73.3	63.3	57.6
23	76.1	72.6	61.1	57.6
24	74.4	71.8	62.6	56.8
25	73.1	70.8	62.3	56.3
26	72.2	70.3	62.0	56.2
27	71.2	69.2	61.6	56.0
28	71.0	68.5	61.5	55.6
29	70.0	67.6	39.3	55.2

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

	Themp1	Themp2	Themp3	Themp4
Time(min)	**Thermostat**	**1 st Floor**	**2nd Floor**	**Wall**
30	68.8	66.8	59.7	55.2
31	67.4	66.2	59.9	54.7
32	66.8	65.4	59.6	54.4
33	65.7	64.8	59.6	54.1
34	65.7	63.4	59.0	53.9
35	64.2	63.7	58.4	53.5
36	63.4	62.2	58.4	53.1
37	63.0	61.6	58.1	52.5
38	62.6	61.0	57.5	52.7
39	61.9	60.5	57.2	52.4
40	61.7	60.0	56.6	52.0
41	61.4	59.7	56.1	51.6
42	60.7	59.1	56.1	51.6
43	59.7	58.7	56.0	50.9
44	59.7	58.1	55.4	50.8
45	59.1	57.6	55.1	50.4
46	38.9	57.4	54.6	50.3
47	38.2	56.9	54.3	50.0
48	59.7	57.5	52.5	59.8
49	59.2	66.6	52.1	59.6
50	62.5	79.1	53.1	50.7
51	73.6	83.6	55.8	53.7
52	80.5	85.5	55.8	55.1
53	80.5	85.9	58.6	57.9
54	86.7	85.0	59.1	58.2
55	87.4	84.3	59.7	58.8
56	86.3	83.8	61.5	59.0
57	87.8	81.6	60.3	58.7
58	87.7	81.6	60.2	59.0

	Themp1	Themp2	Themp3	Themp4
Time(min)	Thermostat	1 st Floor	2nd Floor	Wall
59	86.9	80.5	60.7	59.1
60	85.5	78.7	60.5	59.0

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ตารางที่ ก.3 แสดงการอบแห้งกะปิที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส

	Themp1	Themp2	Themp3	Themp4
Time(min)	Thermostat	1 st Floor	2nd Floor	Wall
1	54.5	49.7	46.3	44.4
2	58.5	59.4	56.5	47.3
3	67.3	73.0	67.1	50.9
4	77.7	87.6	76.5	55.3
5	93.8	103.8	83.0	56.2
6	99.0	110.9	82.6	66.1
7	105.0	111.6	81.5	66.1
8	104.0	109.8	80.0	69.2
9	103.4	107.7	79.6	70.8
10	104.2	104.3	78.2	71.3
11	105.6	101.7	77.3	66.0
12	103.7	98.7	76.1	66.0
13	101.8	96.3	75.1	65.3
14	99.3	94.1	74.3	67.9
15	97.4	92.0	73.6	66.8
16	95.3	90.0	72.6	64.2
17	93.3	88.6	72.2	63.3
18	91.7	86.9	71.4	63.8
19	90.0	85.4	70.7	63.4
20	88.3	84.1	69.9	61.6
21	86.6	85.8	69.7	62.5
22	85.9	81.7	69.2	63.4
23	83.6	80.4	68.7	61.6
24	82.3	79.2	68.0	62.5
25	81.3	78.3	67.0	63.4
26	80.3	77.1	66.9	63.0
27	78.0	78.4	67.4	63.0
28	84.0	83.3	72.4	62.5
29	90.2	93.4	82.6	66.6

30	93.8	100.3	82.7	67.6
Time(min)	**Thermostat**	**1 st Floor**	**2nd Floor**	**Wall**
31	97.0	102.8	83.4	70.1
32	99.8	103.8	82.9	69.8
33	99.1	102.7	82.0	72.1
34	100.0	101.0	81.1	73.6
35	98.8	99.7	80.1	69.6
36	97.6	97.8	79.3	69.0
37	94.2	96.1	78.7	71.0
38	92.2	94.0	77.6	70.5
39	92.0	91.4	76.3	71.7
40	90.2	89.5	75.5	73.8
41	89.5	88.3	74.7	72.7
42	88.4	87.5	73.9	66.7
43	87.1	86.6	73.5	66.2
44	85.8	85.1	73.3	66.4
45	84.7	83.9	72.6	65.3
46	83.0	82.2	71.2	65.0
47	82.2	80.9	70.9	64.9
48	81.5	79.8	70.3	64.1
49	80.0	78.8	69.4	64.1
50	79.1	78.2	69.2	63.6
51	91.8	91.3	68.1	66.5
52	98.1	99.0	80.3	69.4
53	100.3	101.7	83.7	70.6
54	100.8	102.5	83.9	71.6
55	101.9	102.2	83.5	72.7
56	100.9	101.1	82.9	72.7
57	100.1	99.4	81.9	71.7
58	100.1	99.4	80.5	71.7
59	99.5	98.0	80.3	72.2
60	98.6	96.6	79.8	72.2

ขั้นตอนการดำเนินงานการสร้างตู้อบแห้งกะปิ

รูปที่ ก.1 ภายในตู้อบแห้ง

รูปที่ ก.2 ช่องใส่ถาด

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

รูปที่ ก.3 ถาดใส่กะปิ

รูปที่ ก.4 การเก็บรายละเอียด

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

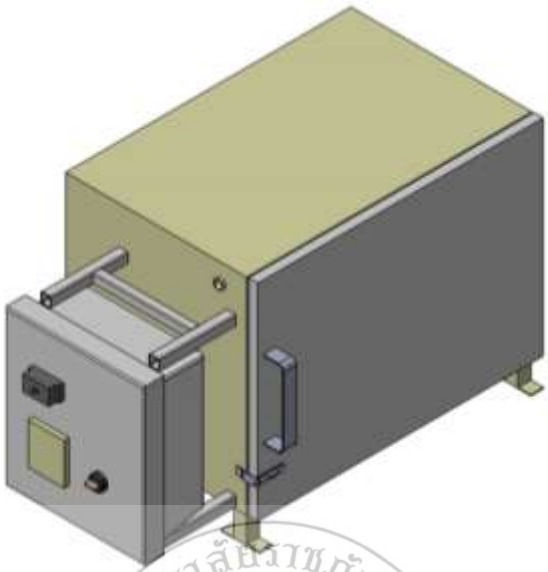
รูปที่ ก.5 ตู้อบแห้งกะปิอินฟราเรดสำเร็จรูป

รูปที่ ก.6 กะปิก่อนอบแห้ง

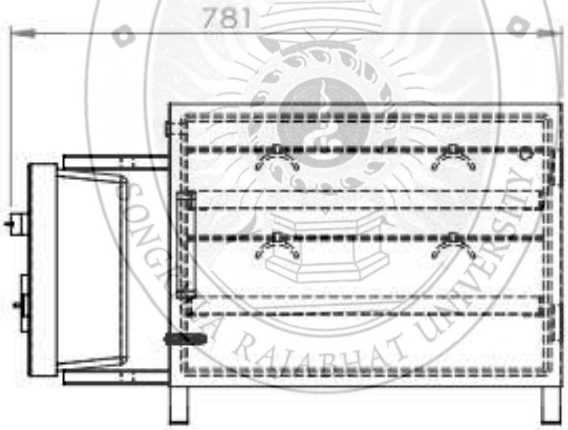
รูปที่ ก.7 กะปิหลังอบแห้ง

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

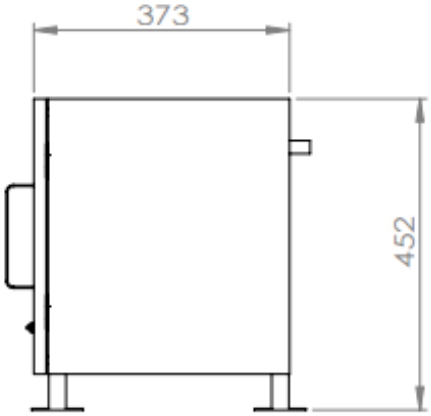
แบบตู้อบแห้งกะปิอินฟราเรด



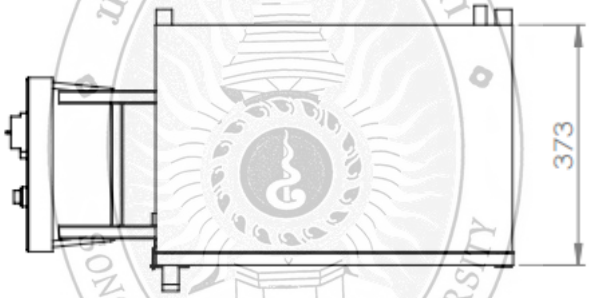
รูปที่ ก.8 แบบตู้อบแห้งกะปิสามมิติ



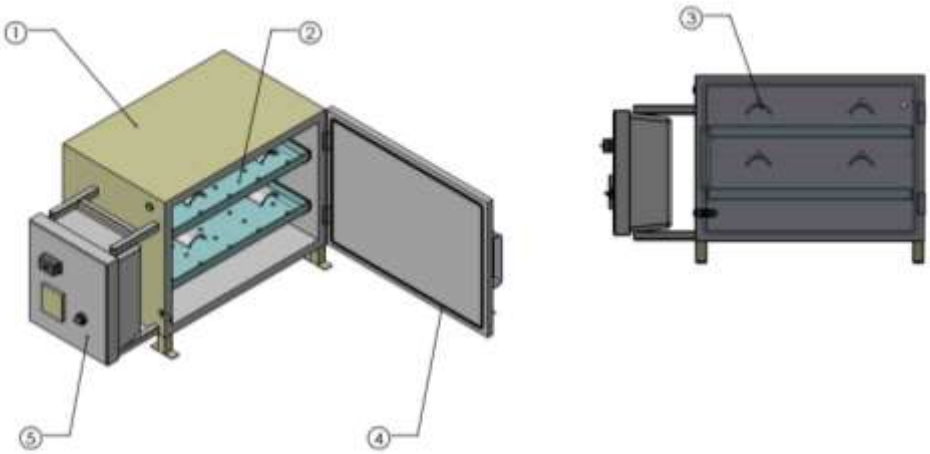
รูปที่ ก.9 แบบตู้อบแห้งด้านหน้า



รูปที่ ก.10 แบบตู้อบแห้งกะปิด้านข้าง



รูปที่ ก.11 ตู้อบแห้งกะปิด้านบน



เครื่องอบแห้งกระปี	
1	ตู้อบแห้งกระปี
2	ถาด
3	ฮีตเตอร์
4	ประเก็นฝาตู้อบแห้งกระปี
5	ตู้คอนโทรล

รูปที่ ก.12 แบบอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเครื่องอบแห้งกะปี

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

ประวัติผู้วิจัย

ศุภชัย แก้วจัง,ศึกษาอิทธิพลรังสีอินฟราเรดกับการอบแห้งกะปิ กองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ประจำปีการศึกษา 2558

ศุภชัย แก้วจัง, การศึกษากระบวนการแข่งขันกิจกรรมกลุ่มคุณภาพ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ทุนวิจัย โปรแกรมอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา ประจำปีการศึกษา 2557

ศุภชัย แก้วจัง, การพัมนาบล็อกยางปูพื้นจากยางธรรมชาติกับยางอีพีดีเอ็มเหลือทิ้ง (Development of Floor Blocks from Natural Rubber and waste EPDM), ทุนมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ปี 2552

ศุภชัย แก้วจัง, การพัฒนาเครื่องอบแห้งรังสีความร้อนสำหรับยางแผ่นผึ่งแห้ง(Development of infrared Dryer for Air dried Sheet Rubber), ทุนมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ปี 2550 กองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลาประจำปีการศึกษา 2558

เสรี หนูหลง, ศุภชัย แก้วจัง เครื่องหั่นเมล็ดจำปาดะ กองทุนมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลาร่วมกับองค์การบริหารส่วนจังหวัดสตูล เพื่อสนองโครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (อพ.สธ.) ในสมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

วีรชัย มัฏฐารักษ์ ศุภชัย แก้วจัง การเพิ่มผลผลิตในกระบวนการหั่นส้มแขก การประชุมวิชาการระดับชาติ ราชภัฏสุราษฎร์ธานีวิจัย ครั้งที่ 9 : 2556

ศุภชัย แก้วจัง , นิพนธ์ มณีโชติ , วีรชัย มัฏฐารักษ์ การออกแบบและสร้างเครื่องผ่าจาวตาลโตนด คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา