



รายงานการวิจัย

เรื่อง

การอบแห้งกระชายดำด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำ
ร่วมกับรังสีอินฟราเรดสำหรับอบแห้งกระชายดำ

Kaempferia pafiflora drying with Combined Infrared / Hot Air
Drying using Induction Heating



ธานินทร์ รัชโพธิ์
พิริยะ ปราณีกิจ
พงศธร กองแก้ว

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2560



รายงานการวิจัย
เรื่อง

การอบแห้งกระชายดำด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำ
ร่วมกับรังสีอินฟราเรดสำหรับอบแห้งกระชายดำ

Kaempferia pafiflora drying with Combined Infrared / Hot Air
Drying using Induction Heating



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHA SARAKHAM UNIVERSITY

ธานินทร์ รัชโพธิ์
พิริยะ ปราณีกิจ
พงศธร กองแก้ว

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2560

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

3.1.1 เครื่องมือเก็บข้อมูล

1. เครื่องคอมพิวเตอร์
2. เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า power logger
3. เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer) ยี่ห้อ PROVA รุ่น AVM-01
4. เครื่องบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ (Data logger) ยี่ห้อ Agilent รุ่น 34972A
5. สายเทอร์โมคัปเปิล Type K
6. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลความละเอียด 0.01 กรัม ยี่ห้อ OHAUS CORPORATION รุ่น LPA4102
7. เต้าอบไฟฟ้า
8. กระจกอะลูมิเนียม 5 กระจก

3.1.2 อุปกรณ์สร้างเครื่องอบแห้ง

1. เหล็กกล่องขนาด 1x1 นิ้ว
2. ฉนวนยางดำหนา 10 มิลลิเมตร
3. แผ่นสังกะสีแผ่นเรียบ
4. ตะแกรงมุ้งลวดอะลูมิเนียม
5. พัดลมคอมพิวเตอร์ 12 V
6. พัดลมคอมพิวเตอร์ขนาด 12 V
7. โซลาร์เซลล์แสงอาทิตย์
8. เต้าแม่เหล็กไฟฟ้า
9. แผ่นสแตนเลส

3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 3 ข้อ คือ ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรดสำหรับอบแห้งกระชายดำ ศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งสมการอบแห้งชั้นบาง โดยการดำเนินการวิจัยสามารถแบ่งออกเป็น 4 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรด

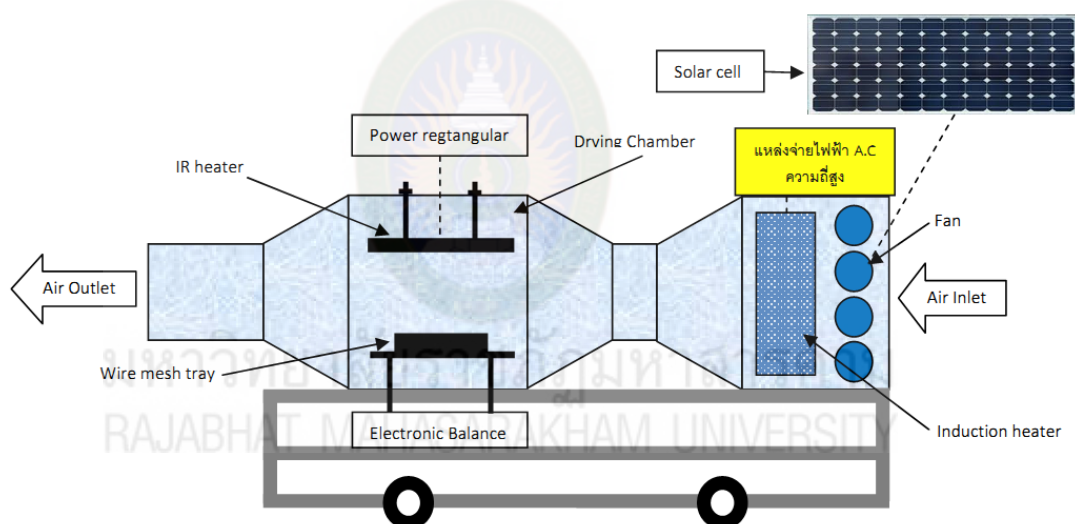
12.1.1 ออกแบบและสร้างระบบให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ โดยใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดกำเนิดสนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ

12.1.2 ออกแบบระบบอบแห้งให้ความร้อนด้วยรังสีอินฟราเรดทำจากเซรามิกที่มีผิวสีดำ ขนาด 122x122 mm² กำลังไฟฟ้า 500 W

12.1.3 การพาความร้อนจะเป็นการพาความร้อนแบบบังคับโดยใช้พัดลม d.c 12 โวลต์ จำนวน 4 ตัว และใช้เซลล์แสงอาทิตย์สำหรับเป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่พัดลมสำหรับพาความร้อนเข้าสู่ห้องอบแห้ง

12.1.4 ห้องอบแห้งและท่อนำความร้อนทำจากแผ่นเหล็กชุบซิงค์ซึ่งไม่เกิดสนิม และมีการหุ้มฉนวนใยแก้วเพื่อป้องกันการรั่วซึมของความร้อน

12.1.5 นำส่วนประกอบต่างๆ ที่ออกแบบไว้ มาประกอบกันจะได้เครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรด ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 เครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรด

ตอนที่ 2 การอบแห้งกระชายดำด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรด

12.2.1 การเตรียมกระชายดำสำหรับอบแห้ง โดยนำเหง้าล้างน้ำให้สะอาดและผานเป็นแว่นหนาประมาณ 1.5 mm จำนวน 1 kg ดังแสดงในภาพที่ 3.2

12.2.2 ก่อนทำการทดลองจะมีการเปิดเครื่องอบแห้งโดยไม่มีผลิตภัณฑ์อบแห้งภายในห้องอบแห้งเป็นเวลา 15 นาที

12.2.3 ทำการอบแห้งจนความชื้นของกระชายดำมีค่าประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก และขณะอบแห้งบันทึกค่ามวลที่เปลี่ยนแปลงทุกๆ 20 นาที

12.2.4 วัดพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้กับหลอดรังสีอินฟราเรดและระบบทำความร้อนแบบเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า



ภาพที่ 3.2 กระจายดำที่ใช้ในการอบแห้ง

12.2.6 ทำการอบแห้งกระจายดำโดยเก็บข้อมูลตั้งแต่ 9.00 น. – 16.00 น.

12.2.7 นำตัวอย่างของกระจายดำหลังการอบแห้งมาหาค่าความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้ง

ตอนที่ 3 การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง จะศึกษาอัตราการอบแห้ง (drying rate, DR) และอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific moisture extraction rate, SMER)

ตอนที่ 4 ศึกษาสมการอบแห้งชั้นบาง

12.4.1 นำค่าของมวลกระจายดำที่เปลี่ยนแปลง มาคำนวณเพื่อหาค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปในแต่ละเวลาการอบแห้ง

12.4.2 นำค่าความชื้นมาคำนวณหาอัตราส่วนความชื้นในแต่ละเวลาการอบแห้ง

12.4.3 นำอัตราส่วนความชื้นและเวลามาวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเส้นตรง (Non linear regression) เพื่อหาค่าคงที่ของสมการโดยใช้สมการของ Henderson, Two term, Logarithmic equation, Semi Theoretical, Page

12.4.4 ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (Coefficient of determination : R^2) ไควสแควร์ (Chi-square : χ^2) เป็นดัชนีบ่งชี้ที่แสดงถึงความสามารถในการทำนายของการ

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิจัย การอบแห้งกระชายดำด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรด จะแบ่งผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ตอนดังนี้

4.1 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องการอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรดสำหรับอบแห้งกระชายดำ

4.2 ผลการอบแห้งกระชายดำด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรด

4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรดสำหรับอบแห้งกระชายดำ

4.4 ผลการศึกษาศักยภาพการอบแห้งชั้นบาง

4.1 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องการอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรดสำหรับอบแห้งกระชายดำ

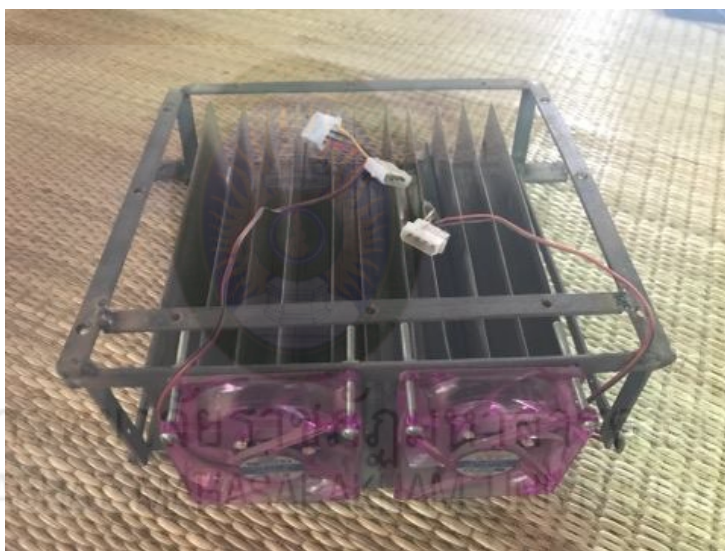
การออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรดสำหรับอบแห้งกระชายดำ สามารถแบ่งผลการออกแบบและสร้างได้ดังนี้

4.1.1 แหล่งกำเนิดความร้อนแบบเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

ในการออกแบบแหล่งกำเนิดความร้อนแบบเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า จะอาศัยเตาแม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 2,000 วัตต์ (ภาพที่ 4.1) เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนแบบเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า และใช้คิริบายความร้อนสแตนเลส (ภาพที่ 4.2) เป็นตัวระบายความร้อนจากเตาแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังอากาศอบแห้งสำหรับการอบแห้ง และอาศัยพัดลมกระแสตรงขนาด 12 โวลต์เพื่อพาลมร้อนไหลผ่านผลิตภัณฑ์



ภาพที่ 4.1 เตาแม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 2,000 วัตต์



ภาพที่ 4.2 ครีบบระบายความร้อนสแตนเลสและติดตั้งพัดลมกระแสตรงขนาด 12 โวลต์

4.1.2 ห้องอบแห้ง

สำหรับการออกแบบห้องอบแห้ง พบว่า ห้องมีขนาด $0.25 \times 0.40 \times 0.25$ ลูกบาศก์เมตร ซึ่งทำจากสังกะสีแผ่นเรียบและติดตั้งกระจกใสสำหรับสังเกตการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ ขณะอบแห้งไว้ที่ด้านหน้าของห้องอบแห้ง ภายในห้องอบแห้งมีถาดอบแห้งขนาด 0.20×0.30 ตารางเมตร สำหรับวางชิ้นกระชายดำ 1 กิโลกรัม ห้องอบแห้งทำด้วยสื่อดำด้านและหุ้มฉนวนกันความร้อน ดังแสดงในภาพที่ 4.3

4.1.3 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลม

เมื่อนำแหล่งกำเนิดความร้อนแบบเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าและห้องอบแห้งที่ออกแบบไว้แล้วมาประกอบเข้าด้วยกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.3 ซึ่งการพาความร้อนจากแหล่งกำเนิดความร้อนแบบเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังห้องอบแห้งจะเป็นการพาความร้อนแบบบังคับ โดยติดตั้งพัดลมขนาด 12 โวลต์ 2 ตัว ไว้ที่แหล่งกำเนิดความร้อนแบบเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อเป่าลมร้อนไปยังห้องอบแห้ง และอาศัยเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 17.5 โวลต์ 40 วัตต์ และแบตเตอรี่ 12 โวลต์ เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้าให้กับพัดลม และหุ้มด้วยฉนวนกันความร้อนหนา 0.01 เมตร เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน จะได้เครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า



ภาพที่ 4.3 การประกอบแหล่งกำเนิดความร้อนแบบเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าและห้องอบแห้งเข้าด้วยกัน



ภาพที่ 4.4 ยึดเครื่องอบแห้งติดกับฐาน



ภาพที่ 4.5 เครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

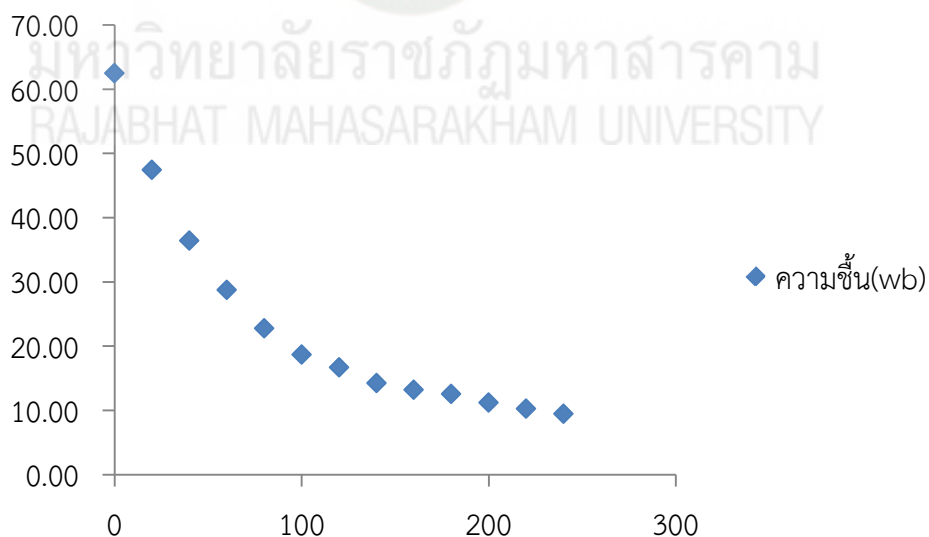
ติดตั้งหลอดอินฟราเรดเข้าไปภายในห้องอบแห้งของเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้หลอดอินฟราเรดแบบแผ่นขนาด 60 x 245 มิลลิเมตร กำลังไฟฟ้า 500 วัตต์ (เซรามิก) พร้อมคอมสัทอนริงส์ ดังแสดงในภาพที่ 4.6 โดยหลอดอินฟราเรดห่างจากถาดอบแห้ง 15 เซนติเมตร



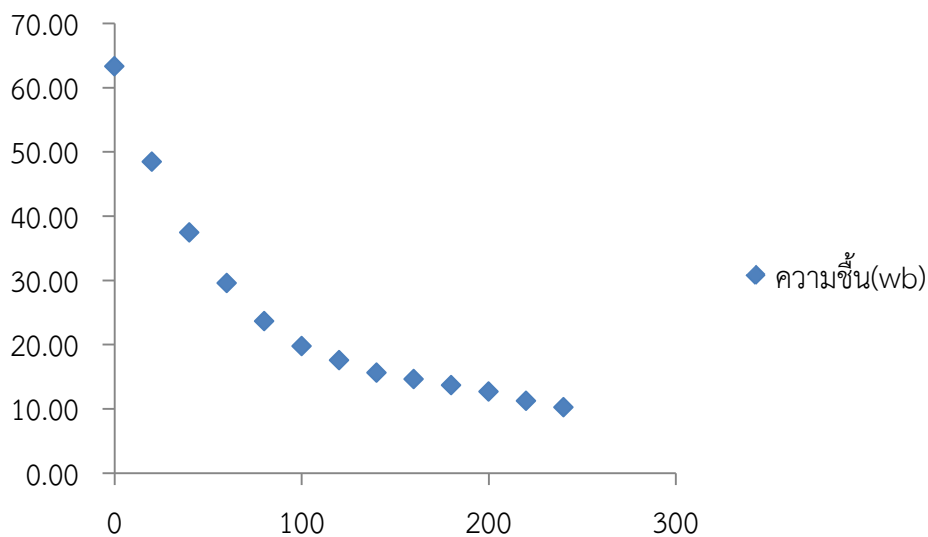
ภาพที่ 4.6 หลอดอินฟราเรดแบบแผ่นขนาด 60 x 245 มิลลิเมตร กำลังไฟฟ้า 500 วัตต์

4.2 ผลการอบแห้งกระชายดำเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรด

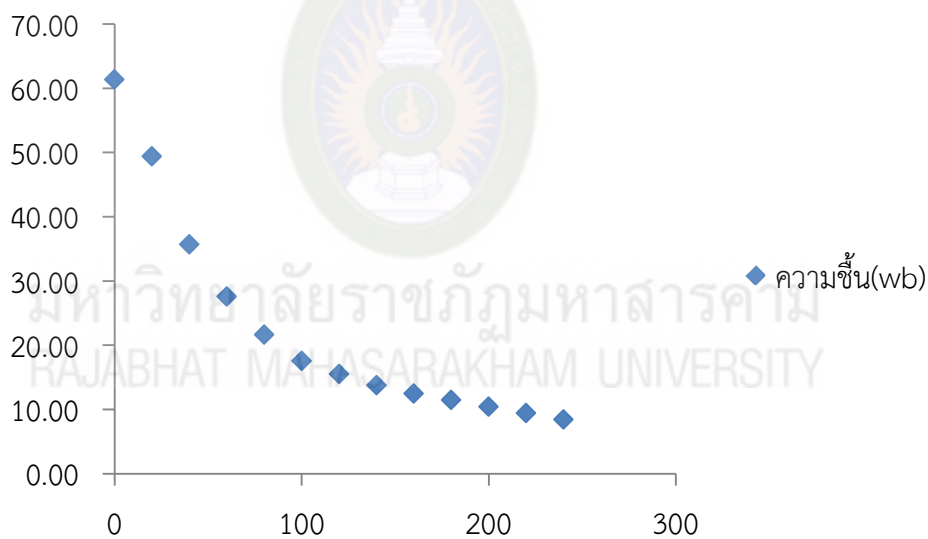
จากการอบแห้งกระชายดำเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรด โดยมีการทดลอง 3 ซ้ำ โดยใช้แหล่งกำเนิดความร้อนแบบเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้อากาศอบแห้งมีอุณหภูมิประมาณ 51 องศาเซลเซียส จนกระทั่งกระชายดำมีความชื้นสุดท้ายประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก และมีการติดตามผลการเปลี่ยนแปลงความชื้นในแต่ละเวลาการอบแห้ง ซึ่งผลการทดลองจะแสดงในภาพที่ 4.7 – 4.9 ดังนี้



ภาพที่ 4.7 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในแต่ละเวลาการอบแห้งของการทดลองครั้งที่ 1



ภาพที่ 4.8 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในแต่ละเวลาการอบแห้งของการทดลองครั้งที่ 2



ภาพที่ 4.9 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในแต่ละเวลาการอบแห้งของการทดลองครั้งที่ 3

4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพเครื่องการอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรดสำหรับอบแห้งกระชายดำ

จากการศึกษาประสิทธิภาพเครื่องการอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรดสำหรับอบแห้งกระชายดำ โดยมีการวัดเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากกระชายดำ และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในหลอดอินฟราเรดและเตาแม่เหล็กไฟฟ้าของในแต่ละครั้งของการทดลอง จะแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากกระชายดำ และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในหลอดอินฟราเรดและเตาแม่เหล็กไฟฟ้า

ครั้งที่	เวลาใช้ในการอบแห้ง (ชั่วโมง)	ปริมาณน้ำระเหย	กำลังไฟฟ้าที่ใช้		
			หลอดอินฟราเรด	เตาแม่เหล็กไฟฟ้า	รวม
1	4	0.59	0.74	0.95	1.69
2	4	0.59	0.72	0.93	1.65
3	4	0.58	0.75	0.98	1.73
เฉลี่ย	4	0.59	0.74	0.95	1.69

จากตารางพบว่า เวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพื่อให้กระชายดำมีความชื้นสุดท้าย 9 % มาตรฐานเปียก (w.b) จะต้องใช้เวลาในการอบแห้ง 4 ชั่วโมง โดยสามารถระเหยน้ำออกจากกระชายดำเฉลี่ย 0.59 กิโลกรัม และใช้กำลังไฟฟ้าในหลอดอินฟราเรดและเตาแม่เหล็กไฟฟ้าเฉลี่ย 0.74 และ 0.95 กิโลวัตต์-ชั่วโมง

เมื่อนำข้อมูลต่างๆ ที่ได้จากตารางที่ 4.1 มาคำนวณประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรดสำหรับอบแห้งกระชายดำ โดยพิจารณาจากอัตราการอบแห้ง (DR) และอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) ซึ่งผลการคำนวณจะแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 อัตราการอบแห้ง (DR) และอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER)

ครั้งที่	อัตราการอบแห้ง (DR)	อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER)
1	0.148	0.35
2	0.148	0.36
3	0.145	0.34
เฉลี่ย	0.147	0.35

จากตาราง 4.2 พบว่า การอบแห้งกระชายดำด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรด มีอัตราการอบแห้ง (DR) เฉลี่ย 0.147 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และมีอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) เฉลี่ย 0.35 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง

4.4 ผลการศึกษาศมการอบแห้งชั้นบาง

การอบแห้งกระดาษดำด้วยเครื่องการอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรด โดยกระบวนการลดความชื้นจะใช้พลังงานในการอบแห้งสองอย่าง คือ การอบแห้งด้วยลมร้อน และการแผ่รังสี ทำให้กระดาษดำใช้เวลาในการอบแห้งสั้นลง

ในการวิเคราะห์หาสมการอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าความชื้นและเวลาการอบแห้งกระดาษดำด้วยเครื่องการอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรดนั้น จำเป็นต้องทราบค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละเวลา ซึ่งคำนวณได้จากน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละเวลา เมื่อทราบค่าความชื้นจะสามารถคำนวณหาอัตราส่วนความชื้นได้ จากนั้นนำอัตราส่วนความชื้นและเวลามาวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นเพื่อหาค่าคงที่ของสมการอบแห้งชั้นบาง และใช้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนด (R^2) และค่าไคสแควร์ (χ^2) เป็นดัชนีบ่งชี้ที่แสดงถึงความสามารถในการทำนายของสมการ โดยสมการที่สามารถทำนายได้เหมาะสมที่สุดจะมีค่า R^2 และ χ^2 สูงและต่ำที่สุด สำหรับค่าคงที่ของสมการอบแห้งชั้นบางที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นและค่า R^2 ค่า χ^2 จะแสดงดังตารางที่ 4.2-4.3 สำหรับข้อมูลของน้ำหนักความชื้นและอัตราส่วนความชื้นที่เปลี่ยนแปลงแต่ละเวลาระหว่างการอบแห้งจะแสดงในภาคผนวก ก

4.4.1 การวิเคราะห์หาค่าคงที่ในสมการอบแห้ง

การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นระหว่างอัตราส่วนความชื้น (MR) กับเวลา (t) เพื่อหาค่าคงที่ในสมการอบแห้งชั้นบาง ซึ่งผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นเพื่อหาค่าคงที่ของสมการอบแห้ง

Equation	Drying Constant				
	a	k	b	c	n
Henderson	0.933	0.605			
Logarithmic	0.852	1.006		0.146	
Two term	0.466	0.605	0.466	0.605	
Page		0.755			0.737
Semi		0.657			

4.4.2 การวิเคราะห์ความสามารถในการทำนายของสมการ

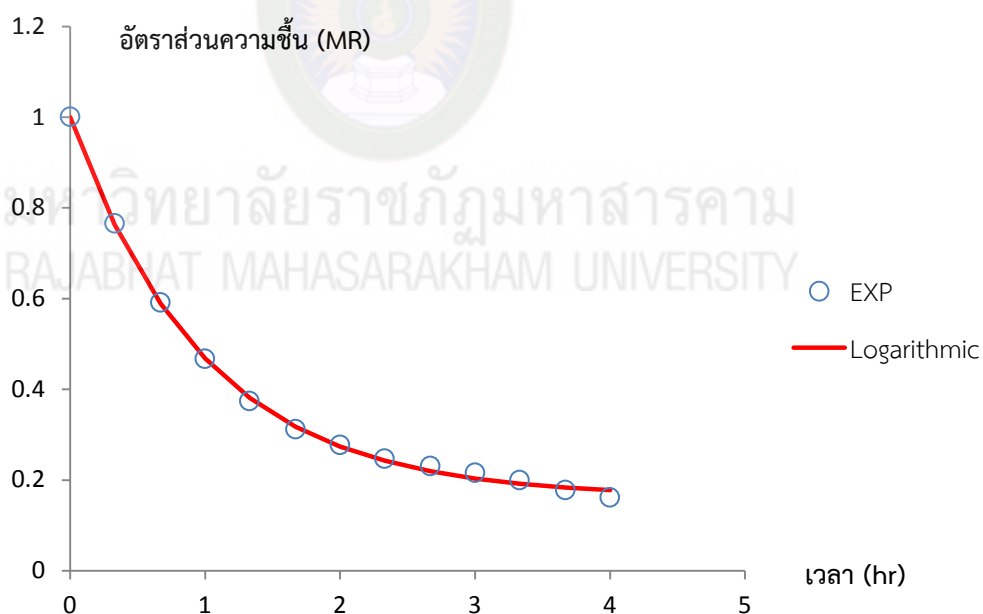
การวิเคราะห์ความสามารถของสมการในการทำนาย โดยใช้ R^2 และ χ^2 เป็นเกณฑ์ ในการพิจารณาความสามารถของสมการในการทำนาย ซึ่งสมการที่สามารถทำนายได้ดีที่สุดจะต้องได้ค่า R^2 สูงและให้ค่า χ^2 ต่ำที่สุด ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ค่า R^2 และ χ^2

สมการ	สถิติ	
	R^2	χ^2
Page	0.991288	0.000696
Semi	0.973598	0.002742
Logarithmic	0.999279	5.7913E-05
Two term	0.966378	0.002913
Henderson	0.963049	0.003597

จากการวิเคราะห์เพื่อหาสมการอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าความชื้นและเวลาในการอบแห้งพริกแดงด้วยเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลม โดยใช้ค่า R^2 และค่า χ^2 เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาความสามารถของสมการในการทำนายพบว่า สมการของ Logarithmic สามารถทำนายอัตราการอบแห้งได้ดีที่สุดโดยให้ค่า R^2 มากและค่า χ^2 น้อยที่สุด

เมื่อนำค่าอัตราส่วนความชื้นของพริกแดงจากการทดลองเปรียบเทียบกับผลการทำนายของสมการ Logarithmic จะแสดงดังภาพที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นจากผลการทำนายของสมการ Logarithmic เปรียบเทียบกับการทดลอง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการอบแห้งกระชายดำด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรด ที่มีวลเริ่มต้นประมาณ 1 กิโลกรัม ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 60 % มาตรฐานเปียกสามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

5.1.1 ในการออกแบบแหล่งกำเนิดความร้อนแบบเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า จะอาศัยเตาแม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 2,000 วัตต์ (ภาพที่ 4.1) เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนแบบเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า และใช้ครีบบระบายความร้อนสแตนเลส (ภาพที่ 4.2) เป็นตัวระบายความร้อนจากเตาแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังอากาศอบแห้งสำหรับการอบแห้ง และอาศัยพัดลมกระแสตรงขนาด 12 โวลต์เพื่อพาลมร้อนไหลผ่านผลิตภัณฑ์

5.1.2 ออกแบบห้องอบแห้งให้มีขนาด $0.25 \times 0.40 \times 0.25$ ลูกบาศก์เมตร ซึ่งทำจากสังกะสีแผ่นเรียบ และติดตั้งกระจกใสสำหรับสังเกตการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ขณะอบแห้งไว้ที่ด้านหน้าของห้องอบแห้ง ภายในห้องอบแห้งมีถาดอบแห้งขนาด 0.20×0.30 ตารางเมตร สำหรับวางชั้นกระชายดำ 1 กิโลกรัม ห้องอบแห้งทำด้วยสื่อดำด้านและหุ้มฉนวนกันความร้อน

5.1.3 ใช้หลอดอินฟราเรดแบบแผ่นขนาด 60×245 มิลลิเมตร กำลังไฟฟ้า 500 วัตต์ (เซรามิก) พร้อมโคมสะท้อนรังสี โดยหลอดอินฟราเรดห่างจากถาดอบแห้ง 15 เซนติเมตร

5.1.4 ประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรดสำหรับอบแห้งกระชายดำ พบว่า เวลาที่ใช้ในการอบแห้งเพื่อให้กระชายดำมีความชื้นสุดท้าย 9 % มาตรฐานเปียก (w.b) จะต้องใช้เวลาในการอบแห้ง 4 ชั่วโมง โดยสามารถระเหยน้ำออกจากกระชายดำเฉลี่ย 0.59 กิโลกรัม และใช้กำลังไฟฟ้าในหลอดอินฟราเรดและเตาแม่เหล็กไฟฟ้าเฉลี่ย 0.74 และ 0.95 กิโลวัตต์-ชั่วโมง สำหรับการวิเคราะห์หาอัตราการอบแห้ง (DR) และอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) พบว่ามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.147 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และ 0.35 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง

5.1.5 จากการวิเคราะห์เพื่อหาสมการอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าความชื้นและเวลาในการอบแห้งกระชายดำด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรดพบว่า สมการ Logarithmic สามารถทำนายอัตราการอบแห้งได้ดีที่สุด โดยให้ค่า R^2 มาก และค่า χ^2 น้อยที่สุด

5.2 อภิปรายผล

5.2.1 การอบแห้งกระชายดำด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรด จะทำให้เวลาในการอบแห้งกระชายดำสั้นลงกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างเดียว เนื่องจากเป็นการให้ความร้อนโดยตรงโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลางและใช้ระยะเวลาในการทำความร้อนได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นความสูญเสียในรูปของอากาศปล่อยทิ้งหรือการรั่วไหลจึงมีค่าต่ำกว่ามาก

5.2.2 จากการศึกษาสมการอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสมสำหรับทำนายค่าความชื้นและเวลาการอบแห้งกระดาษด้วยเครื่องการอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรดนั้น สมการ Logarithmic สามารถทำนายผลการอบแห้งได้ดีที่สุด แต่สมการที่สามารถทำนายได้ดีอีกหนึ่งสมการคือ สมการ Page ซึ่งให้ค่า R^2 และ χ^2 ใกล้เคียงกัน ดังนั้นอาจจะใช้สมการ Page ในการทำนายผลการอบแห้งก็ได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรพัฒนาระบบให้ความร้อนเสริมอื่น เช่น ความร้อนทิ้งจากเครื่องปรับอากาศ ระบบเซลล์แสงอาทิตย์ ระบบสะสมความร้อนจากเกลือหลอมเหลว (molten salt) เพื่อจะทำให้เครื่องอบแห้งสามารถประหยัดพลังงานมากขึ้นได้
2. ในการทดลองควรมีการใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้งและกำลังของหลอดอินฟราเรดหลายระดับ



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



บรรณานุกรม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บรรณานุกรม

- กัลยา วานิชย์บัญชา. (2554). *การวิเคราะห์ตัวแปรหลายตัวด้วย SPSS for Windows*. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. (2548). *วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- จิระพงศ์ ศรีวิชัย และคมกฤษณ์ ศรีสุวรรณ. (2558). กรณีศึกษาการอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำ. *วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง*, 24(1), 16-26.
- นริศ พัวพันวัฒนะ, ภราดร หนูทอง, กอดขวัญ นามสงวน, ศิวะ อัจฉริยวิริยะ และอารีย์ อัจฉริยวิริยะ. (2551). จลนพลศาสตร์การอบแห้งเนื้อลำไยด้วยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน. *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 22*, 15-17 ตุลาคม 2551 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต จังหวัดปทุมธานี.
- ประทีป ตุ่มทอง, อำไพศักดิ์ ทิบุญมา, ประพันธ์ พงษ์สมศิลา และธนกร หอมจำปา. (2555). ผลของความเร็วมต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งเนื้อโคด้วยลมร้อนร่วมรังสีอินฟราเรด. *วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร*, 43(3), 236-239.
- เพชรรัตน์ ใจบุญ อติศักดิ์ นาถกรณกุล และสมชาติ โสภณธณฤทธิ. (2550). การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งลำไยด้วยเทคนิคต่างๆ. *การประชุมวิชาการด้านพลังงานสิ่งแวดล้อมและวัสดุ*, ครั้งที่ 1, 31 สิงหาคม 2550 โรงแรมเดอะทวินทาวเวอร์ กรุงเทพฯ.
- ภูมิใจ สะอาดโหม และธนิต สวัสดิ์เสวี. (2557). การอบแห้งเนื้อหมูปดแผ่นด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล. *วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง*, 7(1), 83-97.
- ภราดร หนูทอง, ไพรัชต์ ดิฐคุณารักษ์กุล, รัชตวรรณ เอ็มโอช และอนุชา พรหมสิทธิ์. (2557). การวิเคราะห์คุณสมบัติทางความร้อนของเครื่องอบแห้งอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน. *วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ ม.อ.*, 7(2), 73-81.
- สุภวรรณ ฐิระวณิชย์กุล, สากีนา ลาแมปะ และยุทธนา ฐิระวณิชย์กุล. (2555). การอบแห้งขนุนด้วยพลังงานความร้อนร่วมของรังสีอินฟราเรด/ไมโครเวฟ และลมร้อน : จลนพลศาสตร์คุณภาพและการทดสอบประสาทสัมผัส. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 17(1), 117-129.
- สมชาติ โสภณธณฤทธิ. (2540). *การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท*. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อัจฉรา แซ่ไคว้, สุภวรรณ ฐิระวณิชย์กุล และยุทธนา ฐิระวณิชย์กุล. (2556). ปัจจัยของการอบแห้งด้วยแหล่งพลังงานความร้อนแบบการพาและการแผ่รังสีความร้อนที่มีต่อจลนพลศาสตร์และคุณภาพของพริกไทยดำ. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 18(1), 166-180.
- อนุสรานาดี, ยุทธนา ฐิระวณิชย์กุล และสุภวรรณ ฐิระวณิชย์กุล. (2555). จลนพลศาสตร์การอบแห้งใบเตยด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนและลมร้อน. *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*, 17(2), 130-138.

Bibliography

- M. Aktaş, S. Şevik, A. Amini, and A. Khanlari (2016). Analysis of drying of melon in a solar-heat recovery assisted infrared dryer. *Sol. Energy*, 137(1), 500–515.
- M. Younis, D. Abdelkarim, and A. Zein El-Abdein. (2018). Kinetics and mathematical modeling of infrared thin-layer drying of garlic slices. *Saudi J. Biol. Sci.*, 25(2), 332–338,.



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาคผนวก ก

มวล ความขึ้น และอัตราส่วนความขึ้นของกระชายดำที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละเวลาการอบแห้ง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ ก-1 แสดงค่ามวล ความชื้นและอัตราส่วนความชื้นของกระชายดำที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละเวลาการอบแห้ง ครั้งที่ 1

เวลา (นาทื)	มวลกระชายดำ (kg)	ความชื้น (%w.b.)	อัตราส่วน ความชื้น (MR)
00	1.00	62.46	1.00
20	0.71	47.38	0.76
40	0.59	36.37	0.58
60	0.53	28.69	0.46
80	0.49	22.71	0.36
100	0.46	18.64	0.30
120	0.45	16.67	0.27
140	0.44	14.23	0.23
160	0.43	13.14	0.21
180	0.43	12.53	0.20
200	0.42	11.17	0.18
220	0.42	10.23	0.16
240	0.41	9.41	0.15

ตารางที่ ก-2 แสดงค่ามวล ความชื้นและอัตราส่วนความชื้นของกระชายดำที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละเวลาการอบแห้ง ครั้งที่ 2

เวลา (นาทื)	มวลกระชายดำ (kg)	ความชื้น (%w.b.)	อัตราส่วน ความชื้น (MR)
00	1.00	63.32	1.00
20	0.71	48.46	0.77
40	0.59	37.43	0.59
60	0.52	29.56	0.47
80	0.48	23.65	0.37
100	0.46	19.74	0.31
120	0.44	17.56	0.28
140	0.43	15.62	0.25
160	0.43	14.59	0.23
180	0.42	13.67	0.22
200	0.42	12.64	0.20
220	0.41	11.23	0.18
240	0.41	10.21	0.16

ตารางที่ ก-3 แสดงค่ามวล ความชื้นและอัตราส่วนความชื้นของกระชายดำที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละ
เวลาการอบแห้ง ครั้งที่ 3

เวลา (นาทื)	มวลกระชายดำ (kg)	ความชื้น (%w.b.)	อัตราส่วน ความชื้น (MR)
00	1.00	61.34	1.00
20	0.76	49.39	0.81
40	0.60	35.68	0.58
60	0.53	27.54	0.45
80	0.49	21.64	0.35
100	0.47	17.53	0.29
120	0.46	15.48	0.25
140	0.45	13.78	0.22
160	0.44	12.46	0.20
180	0.44	11.48	0.19
200	0.43	10.44	0.17
220	0.43	9.41	0.15
240	0.42	8.42	0.14



ภาคผนวก ข ค่าอัตราส่วนความชื้นจากการทำนายของสมการอบแห้ง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ ข-1 ค่าอัตราส่วนความชื้นจากการทำนายของสมการรอบแห้ง ครั้งที่ 1

Time	EXP	Page	Semi	Logarithmic	Two term	Henderson
0	1	1	1	1	0.926	1
20	0.758565482	0.716414	0.805083	0.7586251	0.75841007	0.80694481
40	0.582292667	0.570047	0.643914	0.5811541	0.6174044	0.64694112
60	0.459333974	0.470011	0.518404	0.4583008	0.50566492	0.52204578
80	0.363592699	0.393926	0.417358	0.3702115	0.41414835	0.42126213
100	0.298430996	0.332284	0.333808	0.3054437	0.33714875	0.33773288
120	0.26689081	0.284119	0.268743	0.2606086	0.27613068	0.27253179
140	0.227825809	0.244564	0.21636	0.2284606	0.22615582	0.21991812
160	0.21037464	0.21077	0.173047	0.2048237	0.18410831	0.17631202
180	0.200608389	0.183302	0.139317	0.1884613	0.1507879	0.14227407
200	0.178834454	0.160051	0.112162	0.1767289	0.12349791	0.11480732
220	0.163784822	0.139685	0.089708	0.1681027	0.10053684	0.09204295
240	0.15065642	0.122785	0.072223	0.1621312	0.08234142	0.07427358

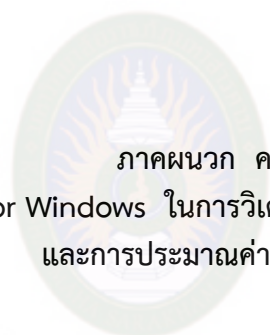
ตารางที่ ข-2 ค่าอัตราส่วนความชื้นจากการทำนายของสมการรอบแห้ง ครั้งที่ 2

Time	EXP	Page	Semi	Logarithmic	Two term	Henderson
0	1	1	1	1	0.926	0.991
20	0.765319015	0.718704	0.813361	0.7627567	0.76722049	0.82107506
40	0.591124447	0.577177	0.657428	0.5884401	0.63205362	0.67642024
60	0.466835123	0.480465	0.534726	0.4678513	0.52367656	0.56043571
80	0.373499684	0.406645	0.434926	0.3814428	0.43388271	0.46433884
100	0.311749842	0.346514	0.351544	0.3179533	0.3574424	0.38253285
120	0.277321541	0.299228	0.285932	0.2740326	0.29615241	0.31694065
140	0.246683512	0.260128	0.232566	0.242561	0.24537171	0.26259542
160	0.23041693	0.226472	0.18798	0.2194369	0.20214277	0.21633206
180	0.215887555	0.198904	0.152896	0.2034402	0.16748172	0.179238
200	0.199620973	0.175385	0.124359	0.1919776	0.13876394	0.14850439
220	0.177353127	0.154617	0.100518	0.1835554	0.11431688	0.12234128
240	0.161244473	0.13724	0.081757	0.1777291	0.09471518	0.10136365

ตารางที่ ข-3 ค่าอัตราส่วนความชื้นจากการทำนายของสมการอบแห้ง ครั้งที่ 3

Time	EXP	Page	Semi	Logarithmic	Two term	Henderson
0	1.00	1	1	0.998	0.932	0.933
20	0.76	0.716414	0.805083	0.7571097	0.76332418	0.7641432
40	0.58	0.570047	0.643914	0.5799358	0.62140486	0.6220716
60	0.46	0.470011	0.518404	0.4572469	0.50894137	0.50948744
80	0.36	0.393926	0.417358	0.3692465	0.41683181	0.41727906
100	0.30	0.332284	0.333808	0.3045225	0.3393333	0.33969739
120	0.27	0.284119	0.268743	0.2597026	0.27791986	0.27821806
140	0.23	0.244564	0.21636	0.2275549	0.22762119	0.22786542
160	0.21	0.21077	0.173047	0.2039104	0.18530124	0.18550006
180	0.20	0.183302	0.139317	0.1875371	0.15176493	0.15192777
200	0.18	0.160051	0.112162	0.1757931	0.12429811	0.12443148
220	0.16	0.139685	0.089708	0.1671554	0.10118827	0.10129684
240	0.15	0.122785	0.072223	0.161174	0.08287495	0.08296387

หมายเหตุ : EXP คือ อัตราส่วนความชื้นจากการทดลอง



ภาคผนวก ค
การใช้โปรแกรม SPSS for Windows ในการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น
และการประมาณค่าเริ่มต้น

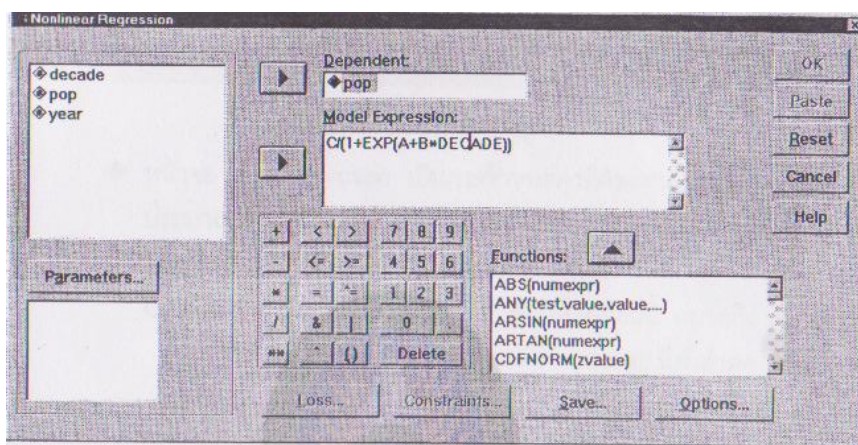
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

การใช้โปรแกรม SPSS for Windows ในการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น

เมื่อความสัมพันธ์อยู่ในรูปแบบไม่เป็นเชิงเส้น จะใช้คำสั่งดังต่อไปนี้

Analyzy → Regression → Nonlinear.....

จะได้หน้าจอเหมือนกันดังภาพที่ ค-1



ภาพที่ ค-1 Nonlinear Regression

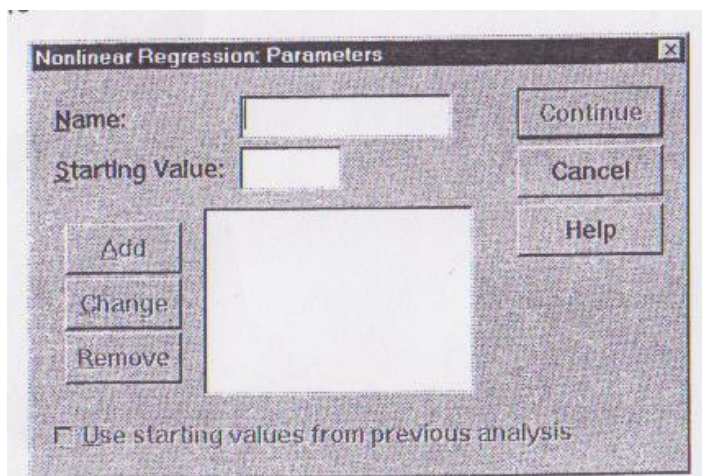
หน้าจอภาพที่ ค-1 ประกอบด้วย

Dependent หมายถึง ตัวแปรตามที่ต้องการเป็นตัวแปรชนิดตัวเลข (numeric) 1 ตัว

Model Expression ผู้ใช้จะต้องกำหนดสูตรหรือฟังก์ชันของตัวแปรอิสระ ซึ่งหมายถึง ฟังก์ชันทางขวามือของสมการความถดถอย เช่น Bx^2 โดยต้องมีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวโดยผู้ใช้อาจจะพิมพ์ฟังก์ชันลงใน box ของ Model Expression หรือให้เลือกฟังก์ชันจาก box ที่กำหนดให้ก็ได้ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้สมการเอมไพริคเคิลของ Henderson, Twoterm, Logarithmic, Page, Lewis ในการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้น

1. การกำหนดค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์

1.1 เมื่อคลิกปุ่ม **parameters** ในหน้าจอภาพที่ ค-1 จะได้หน้าจอภาพที่ ค-2



ภาพที่ ค-2 Parameters

1.2 หน้าจอภาพที่ ค-2 เป็นการกำหนดค่าเริ่มต้น (Starting Value) ของพารามิเตอร์ (B) ถ้าการกำหนดค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ได้ใกล้เคียงกับค่าประมาณที่ได้จะทำให้ converge ได้เร็วขึ้น

1.3 ในส่วนของ Name ระบุชื่อพารามิเตอร์ เช่น B_1 ซึ่งต้องมีอยู่แล้วในส่วนของ Model Expression ของหน้าจอภาพที่ ค-3

1.4 Starting Value ให้ระบุค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ที่เลือกไว้ใน Name แล้วคลิก

Add

1.5 ถ้าต้องการแก้ไขชื่อหรือค่าเริ่มต้น ให้คลิกเลือกชื่อและค่าเริ่มต้นแล้วคลิกปุ่ม

Change

1.6 ถ้าต้องการลบชื่อหรือค่าเริ่มต้น ให้คลิกเลือกชื่อและค่าเริ่มต้นที่ต้องการลบแล้วคลิก

ปุ่ม Remove

1.7 Use Starting values from previous analysis ถ้าเลือกทางเลือกนี้แสดงว่า จะใช้ค่าสุดท้ายของการวิเคราะห์ก่อนหน้านี้ เป็นค่าเริ่มต้น โดยจะต้องเป็นแฟ้มข้อมูลเดียวกัน และการวิเคราะห์ครั้งก่อนประกอบด้วยพารามิเตอร์ทุกตัวในการวิเคราะห์ครั้งนี้

1.8 เมื่อกำหนดชื่อและค่าเริ่มต้นแล้วคลิกปุ่ม

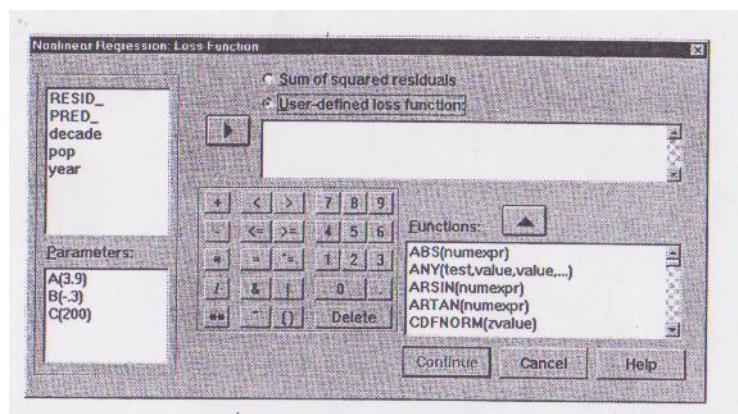
Continue

2. การกำหนด Loss Function

2.1 จากหน้าจอภาพที่ ค-1 คลิกปุ่ม

Loss

จะได้หน้าจอภาพที่ ค-3



ภาพที่ ค-3 Loss Function

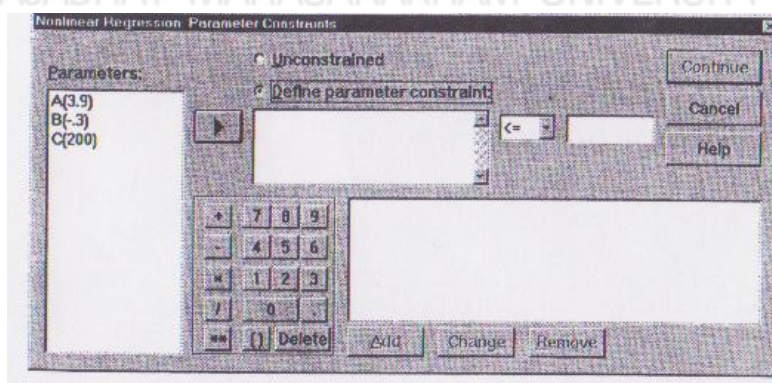
2.2 หน้าจอ Loss function เป็นการกำหนดค่าที่ต้องการ minimize เมื่อต้องการประมาณค่าพารามิเตอร์ (B)

2.2.1 Sum of square residuals ถ้าเลือกทางเลือกรูปนี้ หมายถึง จะประมาณค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ Sum of square residuals มีค่าต่ำสุด ทางเลือกรูปนี้เป็น default สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ได้เลือกทางเลือกรูปนี้

2.2.2 User-defined loss function จะเลือกทางเลือกรูปนี้ถ้าผู้ใช้ต้องการกำหนด loss function เอง เมื่อเลือกทางเลือกรูปนี้ผู้ใช้จะต้องระบุค่าที่ต้องการให้ต่ำสุดใน box ที่กำหนด

3. การกำหนดเงื่อนไข

3.1 จากหน้าจอรูปที่ จ-1 คลิกปุ่ม **Contraints** จะได้หน้าจอภาพที่ ค-4



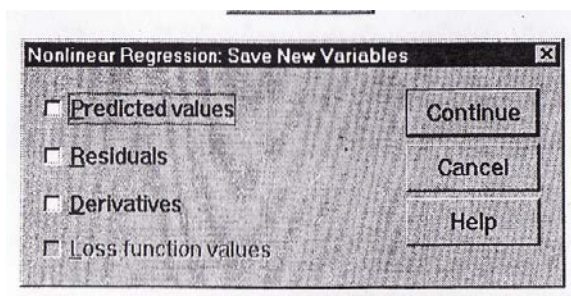
ภาพที่ ค-4 Parameter Constraints

3.2 การวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นอาจจะมีเงื่อนไขเกี่ยวกับพารามิเตอร์หรือไม่ก็ได้ ผู้ใช้จึงต้องระบุว่ามีเงื่อนไขหรือไม่โดยเลือก

3.2.1 Unconstainted เลือกทางเลือกรูปนี้เมื่อไม่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับพารามิเตอร์ สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้ได้เลือกทางเลือกรูปนี้

3.2.2 Define parameter constant เลือกทางเลือกนี้เมื่อมีเงื่อนไขเกี่ยวกับพารามิเตอร์ตั้งแต่ 1 เงื่อนไขขึ้นไป โดยการกำหนดเงื่อนไขใน box แล้วคลิกปุ่ม **Add**

3.3 การบันทึกตัวแปรใหม่ จากหน้าจอรูปที่ จ-1 คลิกปุ่ม **Save** จะได้หน้าจอรูปที่ จ-5 ซึ่งผู้ใช้สามารถเลือกตัวแปรที่ต้องการบันทึกไว้ในแฟ้มข้อมูลเดิมได้ดังนี้



ภาพที่ ค-5 Save new variables

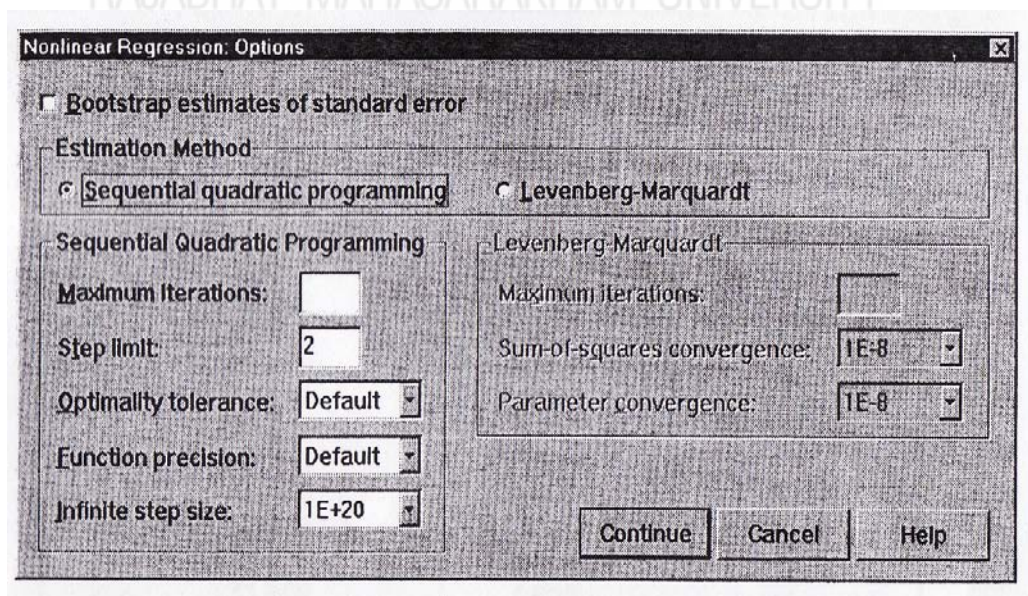
3.3.1 Predicted Values หมายถึง ต้องการบันทึกค่าพยากรณ์ของตัวแปรตามไว้ในแฟ้มข้อมูลโดยจะเป็นตัวแปรชื่อ pred_

3.3.2 Residuals หมายถึง ต้องการบันทึกค่าคลาดเคลื่อนจากการพยากรณ์ในตัวแปรชื่อ resid

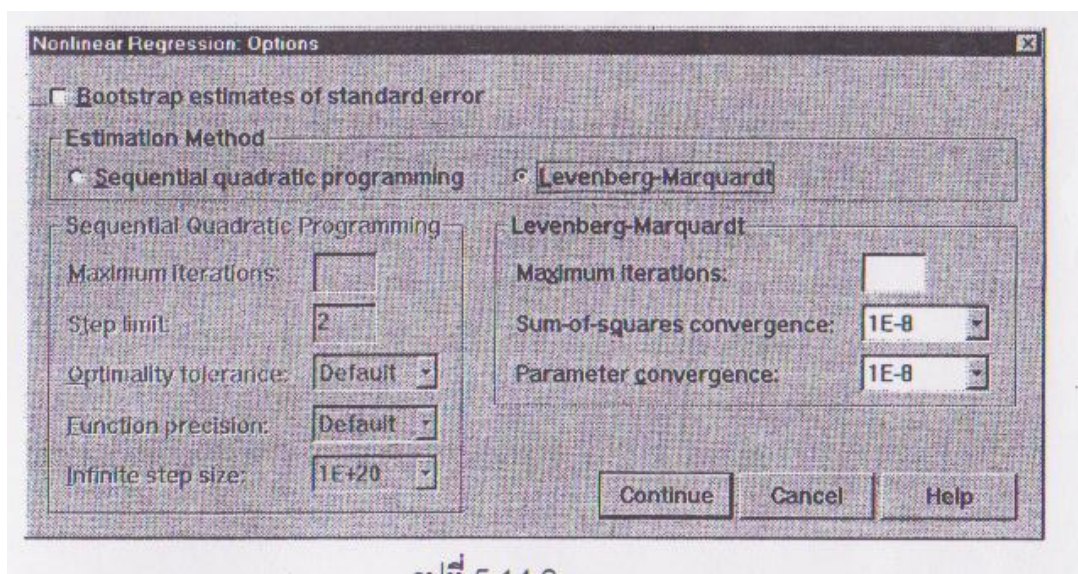
3.3.3 Derivatives จะบันทึกค่า derivative ของพารามิเตอร์แต่ละตัว โดยชื่อตัวแปรจะขึ้นต้นด้วย d ตามด้วยชื่อพารามิเตอร์ที่ยาวไม่เกิน 6 ตัว

3.3.4 Loss function values จะเลือกทางเลือกนี้ได้ตั้งในหน้าจอภาพประกอบ 41 Loss function เลือก User-defined loss function โดยตัวแปรชื่อ loss_Option

3.4 จากรูปที่ จ-1 คลิกปุ่ม **Options** จะได้หน้าจอภาพที่ ค-6 และ จ-7



ภาพที่ ค-6 Option : Sequential quadratic programming



ภาพที่ ค-7 Option : Levenberg-Marquardt

หน้าจอ Option เป็นการควบคุมวิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.4.1 Bootstrap estimates of standard error

เป็นการกำหนดให้ใช้ bootstrap ในการประมาณค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของพารามิเตอร์ และจะแสดงค่าประมาณแบบช่วงของพารามิเตอร์ เมตริกของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation) ของพารามิเตอร์ เมื่อเลือกทางเลือกรูปนี้แสดงว่าใช้วิธี Sequential quadratic programming ในการประมาณค่าพารามิเตอร์

3.4.2 Estimation Method คือ วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์มีให้เลือก 2 วิธีดังนี้

1. Sequential quadratic programming วิธีนี้สามารถใช้ได้กับปัญหาที่ไม่มีเงื่อนไขและปัญหาที่มีเงื่อนไข โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกวิธีนี้ เมื่อเลือกวิธีนี้ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลง algorithm setting ได้ดังนี้

- Maximum iteration การกำหนดรอบ (iteration) ของการคำนวณใน default จะกำหนดค่าสูงสุดเป็น 50 หรือ $3(k+l)+10p$ โดยที่ k = จำนวนพารามิเตอร์ l =จำนวนเงื่อนไขที่เป็นเชิงเส้น p =จำนวนเงื่อนไขไม่เป็นเชิงเส้น ผู้ใช้ต้องกำหนดค่าเป็นเลขจำนวนเต็มบวก

- Step limit หมายถึง จำนวนครั้งของการเปลี่ยนความยาวของ parameter vector ผู้ใช้กำหนดเองโดยใส่เลขจำนวนเต็มบวกที่มากกว่าศูนย์ default กำหนดเป็น 2

- Optimality tolerance เป็นการประมาณความถูกต้องของ loss function

- Function precision ความถูกต้องที่วัดโดย loss function

- Infinite step size default กำหนดเป็น $1E+20$

2. Levenberg-Marquardt ถ้าเลือกวิธีนี้ ผู้ใช้สามารถเปลี่ยนแปลงค่าต่างๆ
ดังนี้

- Maximum iterations หมายถึง จำนวนสูงสุดของ iteration โปรแกรม SPSS กำหนด default ไว้เป็น 100 สำหรับแต่ละพารามิเตอร์ ผู้ใช้สามารถกำหนดเองโดยใส่เลขจำนวนเต็มบวก

- Sum-of square convergence เป็นการกำหนด convergence criterion สำหรับ model sum of square residual น้อยกว่าที่กำหนด โปรแกรม SPSS กำหนด default เป็น E-8

- Parameter convergence เป็นการกำหนด convergence criterion สำหรับค่าประมาณพารามิเตอร์ นั่นคือจะหยุดคำนวณเมื่อ iteration นั้นมีการเปลี่ยนแปลงของค่าพารามิเตอร์น้อยกว่าสัดส่วนที่กำหนดโปรแกรม SPSS กำหนด default เป็น E-8

การประมาณค่าเริ่มต้น

ในการใช้ iteration algorithm ประมาณค่าพารามิเตอร์ ที่ทำให้ SSE ต่ำสุด ผู้ใช้จะต้องกำหนดค่าเริ่มต้นของพารามิเตอร์ทุกตัว ถ้ากำหนดค่าเริ่มต้นไม่ถูกต้อง (ต่างจากค่าพารามิเตอร์ที่ควรจะเป็นมากๆ) อาจจะได้คำตอบ วิธีประมาณค่าเริ่มต้นมีหลายวิธี ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเฉพาะวิธีที่นิยมใช้ 3 วิธีดังนี้

1. ใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยแบบเชิงเส้นในการหาค่าเริ่มต้นของค่า โดยจะต้องไม่พิจารณาค่าคลาดเคลื่อน E เช่น

$$Y = e^{A+BX} + E$$

จะได้ $\ln(Y) = A+BX$ (ค-1)

จากนั้นประมาณค่า A และ B ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงเส้นแล้วใช้ค่าดังกล่าวเป็นค่าเริ่มต้นของ A และ B ในการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้น

2. ใช้การแทนค่าข้อมูลจริงในสมการไม่เชิงเส้น เช่น

$$Y = e^{A+BX}$$

ถ้าทราบค่า ถ้า $X = 0, Y = 2$

จะได้ว่า $\ln(Y) = A+BX$

แทนค่า $X = 0$

จะได้ $A = \ln(2)$

แล้วใช้ $\ln(2)$ เป็นค่าของ A

3. ใช้วิธีการแก้สมการโดยมีจำนวนสมการเท่ากับจำนวนพารามิเตอร์ เช่น $Y = e^{A+BX}$ ซึ่งมีพารามิเตอร์ 2 ตัวคือ A และ B จึงควรมี 2 สมการนั่นคือจะแทนค่า X และ Y จำนวน 2 คู่จะได้

$$\ln(Y_1) = A+BX_1 \quad \dots\dots\dots (ค-2)$$

$$\ln(Y_2) = A+BX_2 \quad \dots\dots\dots (ค-3)$$

นำสมการ (ค-3) ลบออกจากสมการ (ค-2) จะได้

$$\ln(Y_1) - \ln(Y_2) = B(x_1 - x_2)$$

$$B = \frac{\ln(Y_1) - \ln(Y_2)}{X_1 - X_2} \quad \text{..... (ค-4)}$$

$$A = \ln(Y_1) - BX_1 \quad \text{..... (ค-5)}$$

แล้วใช้ค่าจากสมการ (ค-5) และ (ค-4) เป็นค่าเริ่มต้นของ A และ B ตามลำดับ



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาคผนวก ง
การใช้พลังงานไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตาราง ง-1 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรด

ครั้งที่	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของหลอดอินฟราเรด (kW-h)	พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ของเตาแม่เหล็กไฟฟ้า (kW-h)	รวม (kW-h)
1	0.74	0.95	1.69
2	0.72	0.93	1.65
3	0.75	0.98	1.73
เฉลี่ย	0.74	0.95	1.69

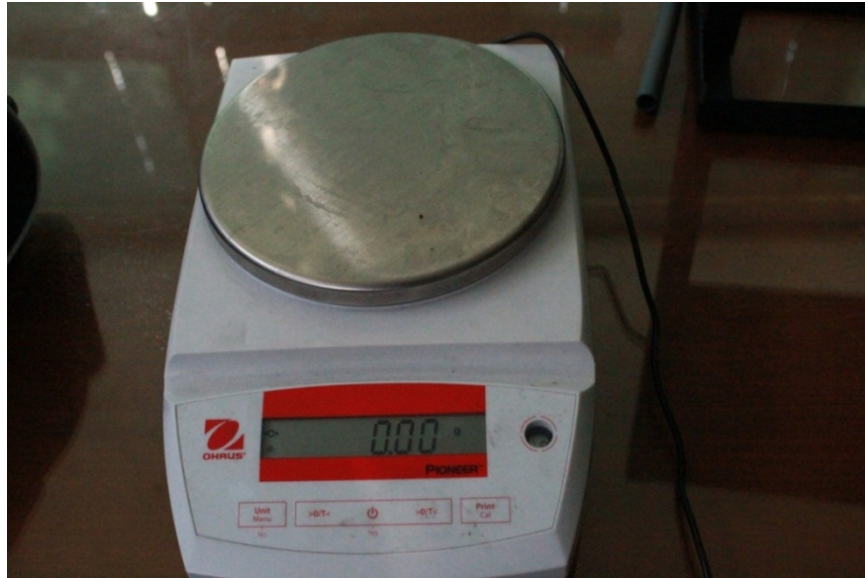


มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาคผนวก จ
อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาพที่ จ-1 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิทัลความละเอียด 0.01 กรัม



ภาพที่ จ-2 แบตเตอรี่



ภาพที่ จ-3 เซลล์แสงอาทิตย์



ภาพที่ จ-4 เครื่องคอมพิวเตอร์



ภาพที่ จ-5 เครื่องบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ (data logger)



ภาพที่ จ-6 เครื่องวัดปริมาณไฟฟ้า power logger



ประวัติผู้วิจัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ประวัติผู้วิจัย

- ชื่อ** นายธานินทร์ รัชโพธิ์
- การศึกษา** พ.ศ. 2550 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
พ.ศ. 2553 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
- ชื่อ** นายพิริยะ ปราณีกิจ
- การศึกษา** พ.ศ. 2547 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
พ.ศ. 2552 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ชื่อ** นายพงศธร กองแก้ว
- การศึกษา** พ.ศ. 2552 ปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประสานมิตร
พ.ศ. 2554 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวัสดุศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง การอบแห้งกระชายดำด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรดสำหรับอบแห้งกระชายดำ สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์จากมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่ให้ทุนสนับสนุนโครงการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณสาขาวิชาฟิสิกส์และฟิสิกส์ประยุกต์ที่ให้การสนับสนุนด้านเครื่องมือ อุปกรณ์สำหรับการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คณาจารย์ประจำภาควิชาฟิสิกส์ทุกท่าน รวมทั้งเจ้าหน้าที่สาขาวิชาฟิสิกส์มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ที่ให้คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ บิดามารดาและญาติพี่น้อง ซึ่งเป็นกำลังใจที่สำคัญยิ่งสำหรับการทำการวิจัยนี้ คุณค่าอันพึงมี คุณงามความดี และคุณประโยชน์ของโครงการวิจัยนี้ ขอมอบเป็นกตัญญูทิตาแต่คุณบิดา มารดา อาจารย์ อีกทั้งผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้วิจัย

2562



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

เรื่อง	การอบแห้งกระชายดำด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรดสำหรับอบแห้งกระชายดำ
ผู้ดำเนินการวิจัย	นายธานินทร์ รัชโพธิ์ นายพิริยะ ปราณีกิจ นายพงศธร กองแก้ว
หน่วยงาน	สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ปีที่พิมพ์	2562

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการอบแห้งกระชายดำด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรดสำหรับอบแห้งกระชายดำ โดยมีการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรด ความชื้นเริ่มต้นของกระชายดำประมาณ 62 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก อบแห้งจนกระชายดำเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ใช้ตัวอย่างครั้งละประมาณ 1 กิโลกรัม ในแต่ละการทดลอง สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง จะพิจารณาจากอัตราการอบแห้ง (DR) และอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) การศึกษาสมการอบแห้งชั้นบางจะใช้รูปแบบสมการของ Henderson, Logarithmic, Two term, Page และ Semi

จากการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรด จะใช้เตาแม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 2,000 วัตต์เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนแบบเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า ออกแบบห้องอบแห้งให้มีขนาด $0.25 \times 0.40 \times 0.25$ ลูกบาศก์เมตร ซึ่งทำจากสังกะสีแผ่นเรียบ สำหรับการศึกษาประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง พบว่า อัตราการอบแห้ง (DR) และอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.147 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และ 0.35 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง และการศึกษา สมการอบแห้ง พบว่า สมการ Logarithmic สามารถทำนายค่าความชื้นในแต่ละเวลาได้ดีที่สุดโดยให้ค่า R^2 มากและค่า χ^2 น้อยที่สุด

Research Title	Kaempferia pafiflora drying with Combined Infrared/Hot Air Drying using Induction Heating Dryer
Authors	Mr. Thanin Rudchapo Mr. Piriya Paneekit Mr. Pongsathorn khongkeaw
Department	Department of Physics , faculty of science and technology Rajabhat Mahasarakham University
Year	2019

ABSTRACT

The objective of this research was to investigate Kaempferia pafiflora drying with combined infrared/hot air drying using induction heating dryer. Design and construct combined infrared/hot air drying using induction heating dryer. The initial moisture content of Kaempferia pafiflora was about 62 % w.b. Drying until the final moisture content is about 9 % w.b. Sample was used for 1 kg in each experiment. Efficiency study was determined from the drying rate (DR) and specific moisture extraction rate (SMER). The study of thin layer drying equation used Henderson, Logarithmic, Two term, Page and Semi equation.

The design and construct combined infrared/hot air drying using induction heating dryer, Will used 2,000 watt induction cooker. Drying chamber was 0.25 x 0.40 x 0.25 m³ made of zinc flat sheet. Efficiency study of dryer, it was found that the drying rate (DR) and specific moisture extraction rate (SMER) was 0.147 kg/hr and 0.35 kg/kW-h. The thin layer drying equation, it found that the best fit for Kaempferia pafiflora was Logarithmic model which gave the highest coefficient of determination (R^2) and the lowest chi-square (χ^2)

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย/(นิยามศัพท์เฉพาะ)	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 การอบแห้ง	5
2.2 การให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า	8
2.3 การให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรด	11
2.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการอบแห้ง	13
2.5 สมการอบแห้ง	14
2.5 กระชายดำ	16
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	22
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย	22
3.2 วิธีดำเนินการวิจัย	22
ตอนที่ 1 ออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความ ร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรด	23
ตอนที่ 2 การอบแห้งกระชายดำด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความ ร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรด	23

ตอนที่ 3 การศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง	24
ตอนที่ 4 ศึกษาสมการอบแห้งชั้นบาง	24
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล	25
4.1 ผลการออกแบบและสร้างเครื่องการอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำ ร่วมกับรังสีอินฟราเรดสำหรับอบแห้งกระชายดำ	25
4.2 ผลการอบแห้งกระชายดำด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำ ร่วมกับรังสีอินฟราเรด	29
4.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำ ร่วมกับรังสีอินฟราเรดสำหรับอบแห้งกระชายดำ	30
4.4 ผลการศึกษาสมการอบแห้งชั้นบาง	32
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	34
5.1 สรุปผลการวิจัย	34
5.2 อภิปรายผล	34
5.3 ข้อเสนอแนะ	35
บรรณานุกรม	36
บรรณานุกรมภาษาไทย	37
บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ	38
ภาคผนวก	39
ภาคผนวก ก	40
ภาคผนวก ข	44
ภาคผนวก ค	48
ภาคผนวก ง	56
ภาคผนวก จ	58
ประวัติผู้วิจัย	62

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากกระชายดำ และกำลังไฟฟ้าที่ใช้ในหลอดอินฟราเรดและเตาแม่เหล็กไฟฟ้า	31
4.2 อัตราการอบแห้ง (DR) และอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER)	31
4.3 ผลการวิเคราะห์การถดถอยแบบไม่เป็นเชิงเส้นเพื่อหาค่าคงที่ของสมการอบแห้ง ...	32
4.4 ผลการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ค่า R^2 และ χ^2	33
ก-1 แสดงค่ามวล ความชื้นและอัตราส่วนความชื้นของกระชายดำที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละเวลาการอบแห้ง ครั้งที่ 1	41
ก-2 แสดงค่ามวล ความชื้นและอัตราส่วนความชื้นของกระชายดำที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละเวลาการอบแห้ง ครั้งที่ 2	42
ก-3 แสดงค่ามวล ความชื้นและอัตราส่วนความชื้นของกระชายดำที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละเวลาการอบแห้ง ครั้งที่ 3	43
ข-1 ค่าอัตราส่วนความชื้นจากการทำนายของสมการอบแห้ง ครั้งที่ 1	45
ข-2 ค่าอัตราส่วนความชื้นจากการทำนายของสมการอบแห้ง ครั้งที่ 2	46
ข-3 ค่าอัตราส่วนความชื้นจากการทำนายของสมการอบแห้ง ครั้งที่ 3	47
ง-1 พลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรด	57

สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า	9
2.2 ขดลวดเหนี่ยวนำ	10
2.3 แสดงการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์และตัวปล่อยคลื่นอินฟราเรด (Emitter)	12
2.4 แสดงช่วงความยาวคลื่นของรังสีชนิดต่างๆ	12
2.5 กระจายค่า	17
3.1 เครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรด	23
3.2 กระจายค่าที่ใช้ในการอบแห้ง	24
4.1 เต้าแม่เหล็กไฟฟ้าขนาด 2,000 วัตต์	25
4.2 ครีประบายความร้อนเสตนเลสและติดตั้งพัดลมกระแสตรงขนาด 12 โวลต์	26
4.3 การประกอบแหล่งกำเนิดความร้อนแบบเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้าและห้องอบแห้งเข้า ด้วยกัน	27
4.4 ยึดเครื่องอบแห้งติดกับฐาน	28
4.5 เครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า	28
4.6 หลอดอินฟราเรดแบบแผ่นขนาด 60 x 245 มิลลิเมตร กำลังไฟฟ้า 500 วัตต์	29
4.7 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในแต่ละเวลาการอบแห้งของการทดลองครั้งที่ 1	29
4.8 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในแต่ละเวลาการอบแห้งของการทดลองครั้งที่ 2	30
4.9 การเปลี่ยนแปลงความชื้นในแต่ละเวลาการอบแห้งของการทดลองครั้งที่ 3	30
4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นจากผลการทำนายของสมการ Logarithmic เปรียบเทียบกับ การทดลอง	33
ค-1 Nonlinear Regression	49
ค-2 Parameters	50
ค-3 Loss Function	51
ค-4 Parameter Constraints	51
ค-5 Save new variables	52
ค-6 Option : Sequential quadratic programming	52
ค-7 Option : Levenberg-Marquardt	53
จ-1 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลความละเอียด 0.01 กรัม	59
จ-2 แบริเตอร์	59
จ-3 เซลล์แสงอาทิตย์	60
จ-4 เครื่องคอมพิวเตอร์	60

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
จ-5 เครื่องบันทึกข้อมูลอุณหภูมิ (data logger)	61
จ-6 เครื่องวัดปริมาณไฟฟ้า power logger	61



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

กระชายดำเป็นพืชในตระกูล Zingiberaceae เช่นเดียวกับขิง ข่า และขมิ้น มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Kaempferia parviflora* มีถิ่นกำเนิดในประเทศเขตร้อนชื้น แหล่งปลูกที่มีชื่อเสียงในประเทศไทย คือ เขตปลูกอำเภอภูเรือ จังหวัดเลย ซึ่งปัจจุบันกระชายดำจัดว่าเป็นสมุนไพรที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางทั้งผู้บริโภคและทางแพทย์แผนไทย มีรายงานว่า เหง้ากระชายดำมีการใช้เป็นยาบำรุงกำลัง บำรุงหัวใจ แก้ใจสั่น แก้บิด แก้ปวดข้อ แขนงหน้าอก แก้แผลในปาก เป็นยาเจริญอาหาร แก้โรคกระเพาะและแก้ปวดท้อง ช่วยให้โลหิตหมุนเวียนดีขึ้น ผิวพรรณผ่องใส ขับปัสสาวะ ฯลฯ และอีกหนึ่งสรรพคุณของกระชายดำที่ได้รับการกล่าวขานกันมากก็คือ สรรพคุณเพิ่มพลังทางเพศ หรือแก้โรคกามตายด้าน เนื่องจากฤทธิ์ของกระชายดำจะไปบำรุงกำลัง เพิ่มฮอร์โมนให้หนุ่มๆ ทำให้สมรรถภาพทางเพศเพิ่มขึ้น จากสรรพคุณอันหลากหลายนี้เองจึงมีการตั้งฉายาของกระชายดำว่า โสมไทย (Thai ginseng) ซึ่งในปัจจุบันนอกจากใช้กระชายดำเพื่อประกอบเป็นตัวยาโดยตรงแล้ว ยังนำไปบดเป็นผง บรรจุซองชงน้ำร้อนดื่มบำรุงสุขภาพ และทำเป็นกระชายดำแบบฝานเป็นแว่นแล้วนำไปอบแห้งโดยใช้ตู้อบไฟฟ้า จะช่วยให้เก็บรักษากระชายดำได้นาน แต่การอบแห้งด้วยตู้อบไฟฟ้านี้ต้องมีค่าใช้จ่ายด้านพลังงานสูง ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลให้ต้องหาแหล่งพลังงานชนิดใหม่ที่เหมาะสมสำหรับการลดความขึ้นกระชายดำ และประหยัดค่าใช้จ่ายด้านพลังงาน

การอบแห้งเป็นกระบวนการลดความชื้นซึ่งมีการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน การลดความชื้นในวัสดุนั้นสามารถทำได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวด การอบแห้งด้วยไมโครเวฟ การอบแห้งด้วยสุญญากาศ การอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน การอบแห้งด้วยลมร้อน และการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด เป็นต้น (Hall, C.W., 2006) ซึ่งการอบแห้งในแต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป จากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่า การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยิ่งยวด การอบแห้งด้วยสุญญากาศ หรือการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน คุณภาพผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งจะค่อนข้างดีเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (Mongpraneet, S., Abe, T. and Tsurusaki, T., 2002) แต่ข้อเสียของการอบแห้งทั้งสามวิธีนี้คือมีระบบที่ซับซ้อน และต้นทุนสูง ซึ่งพิจารณาแล้วไม่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมขนาดเล็ก ส่วนการอบแห้งด้วยไมโครเวฟ เป็นการลดความชื้นอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ ผลิตภัณฑ์ที่อบมีคุณภาพสูงและเป็นที่รู้จักกันดีในปัจจุบัน แต่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องความปลอดภัยจากคลื่นไมโครเวฟเนื่องจากมีคลื่นความถี่ที่ค่อนข้างสูงทำให้ยังจำกัด อยู่แค่ตู้อบขนาดเล็กเพื่อใช้ในห้องครัวเรือนซึ่งมีระบบป้องกันคลื่นรังสีที่ดี อย่างไรก็ตาม การอบแห้งด้วยลมร้อนเป็นอีกวิธีหนึ่งที่มีความนิยมอย่างมาก เนื่องจากมีต้นทุนในการสร้างเครื่องที่ต่ำเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ (Chua, K.J. and Chou, S.K., 2003) การอบแห้งด้วยลมร้อนสามารถจำแนกแหล่งความร้อนได้หลากหลายแหล่งที่หาได้ง่าย เช่น ขดลวดความร้อน ฮีตปั๊ม น้ำมันเชื้อเพลิง แอลพีจี (LPG) พลังงานแสงอาทิตย์ หรือความร้อนทั้งจากกระบวนการต่างๆ ในโรงงาน สำหรับแหล่งความร้อนที่มีราคาถูกและใหญ่ที่สุด

คือพลังงานแสงอาทิตย์แต่ข้อจำกัดคือไม่สามารถใช้งานได้หากสภาพอากาศไม่เอื้ออำนวย แหล่งความร้อนที่อาศัยการเปลี่ยนรูปพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อนอย่างขดลวดความร้อน (heater) (Theamtun, P., 2001) นั้น จะเห็นได้ว่ายังมีการใช้พลังงานไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูงในการอบแห้งทำให้มีต้นทุนที่สูงและใช้ระยะเวลามาก

วิธีการสร้างความร้อนนอกเหนือจากการใช้ไฟฟ้าอย่างขดลวดความร้อนแล้วนั้น วิธีการสร้างความร้อนอีกรูปแบบหนึ่งที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาและได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นคือการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ (Induction heat) เป็นวิธีการให้ความร้อนกับชิ้นงานที่เป็นตัวนำทางไฟฟ้าโดยไม่มีการสัมผัสกันทางไฟฟ้า การให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำนี้ความร้อนถูกสร้างขึ้นภายในชิ้นงานโดยตรง จึงเกิดความสูญเสียความร้อนต่ำทำให้ประสิทธิภาพของการให้ความร้อนสูงถึง 84 เปอร์เซ็นต์ (จากการทดลองของกระทรวงพลังงาน ประเทศสหรัฐอเมริกา) เทียบกับประสิทธิภาพ 40-45 เปอร์เซ็นต์ ของเตาแก๊สความร้อนและเตาขดลวดความร้อนการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำจะทำให้เกิดความร้อนเร็ว สะอาดไม่เกิดฝุ่นและควันจากการเผาไหม้ การควบคุมความร้อนทำได้ง่าย ไม่ต้องใช้เวลาในการเตรียมความร้อนและไม่ต้องมีสถานที่เก็บเชื้อเพลิง การสิ้นเปลืองพลังงานที่น้อยกว่า ด้วยเหตุดังกล่าวอุตสาหกรรมการผลิตที่เกี่ยวข้องกับการให้ความร้อนกับชิ้นงานที่เป็นตัวนำทางไฟฟ้าส่วนใหญ่ใช้วิธีการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำ เช่น งานหลอมละลาย งานเชื่อมประสาน งานขึ้นรูปและงานชุบแข็ง นอกจากนี้ยังนำมาพัฒนาใช้ในการฉีกยา ฉีกฝ้ายเครื่องดื่มและทำเตาหุงต้มอาหาร เป็นต้น

นอกเหนือจากการอบแห้งด้วยลมร้อนแล้วยังมีอีกวิธีหนึ่งที่มีต้นทุนต่ำคือ การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด ซึ่งจุดเด่นที่น่าสนใจของวิธีนี้ คือ ประการแรกพลังงานจากรังสีอินฟราเรดจะถูกแผ่ไปยังวัสดุซึ่งจะทำให้โมเลกุลของน้ำภายในวัสดุสั่น และเกิดความร้อนขึ้นซึ่งจะทำให้อุณหภูมิภายในวัสดุสูงกว่าอุณหภูมิที่ผิว (Glouannec et al., 2002) จุดเด่นตรงนี้นี่เองที่ทำให้ผิวภายนอกวัสดุไม่เหี่ยวแห้งซึ่งจะช่วยให้มีอัตราการอบแห้งที่สูง ลดระยะเวลาการอบแห้งและพลังงานที่ใช้ด้วย ประการที่สองหลอดรังสีอินฟราเรดให้ heat flux ที่ค่อนข้างสูง (Sakai and Han zawa, 1994) ดังนั้นจึงมีขนาดอุปกรณ์ที่เล็ก ทำให้สามารถออกแบบเครื่องอบแห้งที่มีขนาดกะทัดรัด ซึ่งจะช่วยลดเงินลงทุนเบื้องต้นในการผลิตเครื่องอบแห้ง ประการที่สาม การให้ความร้อนโดยการแผ่รังสีจะทำให้อุณหภูมิกระจายค่อนข้างสม่ำเสมอ ดังนั้นจึงไม่มีปัญหาในเรื่องความชื้นไม่สม่ำเสมอ อีกทั้งยังต้องการอากาศหมุนเวียนเพียงเล็กน้อยทำให้ไม่ต้องใช้พัดลมตัวใหญ่ ซึ่งเป็นการลดทั้งต้นทุนอุปกรณ์ และค่าพลังงาน และประการสุดท้าย คือ รังสีอินฟราเรดสามารถนำไปใช้ควบคู่กับระบบอื่นได้ง่าย เนื่องจากใช้พื้นที่ในการติดตั้งที่น้อย ไม่มีความซับซ้อนของระบบ รวมทั้งตอบสนองต่อการควบคุมได้รวดเร็ว การให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรด มีประสิทธิภาพสูงกว่าการให้ความร้อนแบบอื่นๆ (Conventional) ค่อนข้างมาก เนื่องจากเป็นการให้ความร้อนโดยตรง โดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง เช่น อากาศในการพาความร้อน และใช้ระยะเวลาในการทำความร้อนได้อย่างรวดเร็ว (ใช้เวลาน้อยกว่าแบบปกติประมาณ 6-8 เท่า) ดังนั้นความสูญเสียในรูปของอากาศปล่อยทิ้ง (Exhaust) หรือการรั่วไหล (Leakage) จึงมีค่าต่ำกว่ามาก สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 30-50%

สมการอบแห้งอบแห้งชิ้นบางเป็นสมการอบแห้งที่สามารถทำนายอัตราการอบแห้งได้ดี การประยุกต์ใช้สมการอบแห้งชิ้นบางเพื่อทำนายและติดตามการเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นของกระชายดำ ซึ่งสมการที่เหมาะสมจะสามารถทำนายค่าความชื้นในแต่ละเวลาระหว่างการอบแห้งได้อย่าง

เหมาะสม ทำให้ทราบเวลาสิ้นสุดการอบแห้งได้ซึ่งจะช่วยลดปัญหาการเสื่อมเสียของคุณภาพเนื่องจากการอบแห้งที่ใช้เวลานานเกินไป และลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบเครื่องอบแห้งกระดาษด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรด โดยออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งกระดาษด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรด ทดสอบประสิทธิภาพเครื่องอบแห้ง ศึกษาสมการอบแห้งชั้นบาง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งกระดาษด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรดสำหรับอบแห้งกระดาษ

1.2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งกระดาษด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรด

1.2.3 เพื่อศึกษาสมการอบแห้งชั้นบางของการอบแห้งกระดาษด้วยเครื่องอบแห้งกระดาษด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 สร้างเครื่องอบแห้งกระดาษด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรด สำหรับอบแห้งกระดาษ ทดลองและเก็บข้อมูลโดยใช้สถานที่ศูนย์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

1.3.2 ประเมินประสิทธิภาพเครื่องอบแห้งกระดาษด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรด โดยศึกษาค่าอัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (SMER) และอัตราการอบแห้ง (drying rate)

1.3.3 ทำการอบแห้งเวลา 9.00 น. ถึง เวลา 16.00 น.

1.3.4 อบแห้งกระดาษ ครั้งละ 1 กิโลกรัมจนมีความชื้นประมาณ 9 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก

1.3.5 ในการศึกษาสมการอบแห้งชั้นบาง จะใช้รูปแบบสมการของ Henderson, Logarithmic equation, Two term, Semi Theoretical, Page

1.3.6 การพาความร้อนเป็นแบบบังคับโดยอาศัยพัดลม d.c 12 โวลต์ จำนวน 2 ตัว และใช้เซลล์แสงอาทิตย์สำหรับเป็นแหล่งจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้แก่พัดลมสำหรับพาความร้อนเข้าสู่ห้องอบแห้ง

1.4 คำจำกัดความที่ใช้ในงานวิจัย (นิยามศัพท์เฉพาะ)

1.4.1 สมการอบแห้งชั้นบาง คือ สมการทางคณิตศาสตร์ที่สามารถอธิบายกลไกการอบแห้งวัสดุเพียงหนึ่งชั้นหรือเมล็ดพืชชั้นบางเท่านั้น

1.4.2 เซลล์แสงอาทิตย์ คือ อุปกรณ์ที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้า

1.4.3 ความชื้นในวัสดุเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุขึ้นหรือแห้ง

1.4.4 อัตราการอบแห้ง คือ ปริมาณความชื้นที่เปลี่ยนแปลงต่อเวลาการอบแห้ง

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้เครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรดที่มีประสิทธิภาพและประหยัดพลังงานสำหรับอบแห้งกระชายดำ และผลิตผลทางการเกษตรอื่นๆ

1.5.2 ทำให้ได้สมการอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งกระชายดำด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนด้วยวิธีความร้อนเหนี่ยวนำร่วมกับรังสีอินฟราเรด



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ลมสำหรับอบแห้งพริกแดง โดยผู้วิจัยได้ศึกษาค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อเป็นข้อมูลในการวิจัยสรุปสาระสำคัญตามหัวข้อดังนี้

- 2.1 การอบแห้ง
- 2.2 การให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า
- 2.3 การให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรด
- 2.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการอบแห้ง
- 2.5 สมการอบแห้ง
- 2.6 กระจชายดำ (Kaempferia Pafiflora)
- 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การอบแห้ง (สมชาติ โสภณรณฤทธิ์, 2540 : 1)

การอบแห้ง คือ กระบวนการลดความชื้นซึ่งจะมีการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลสารเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ความร้อนที่ทำให้น้ำระเหยออกจากวัสดุ ส่วนมากแล้วได้รับมาจากความร้อนสัมผัสของอากาศ และการถ่ายเทความร้อนจะมีทั้งการนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี แต่โดยทั่วไปแล้วจะเป็นการถ่ายเทความร้อนด้วยการพาความร้อนเป็นหลัก ซึ่งในการอบแห้งโดยทั่วไปมักอาศัยอากาศร้อนในการอบแห้ง ความร้อนจะถ่ายเทจากอากาศร้อนไปยังวัสดุ ซึ่งความร้อนส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในการระเหยน้ำ โดยของเหลวที่อยู่ภายในวัสดุจะเคลื่อนที่ออกมายังผิววัสดุโดย Capillary Flow ซึ่งเป็นผลมาจากแรงตึงผิว (Surface Force) ส่วนไอน้ำในวัสดุจะเคลื่อนที่เนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น (Vapor Diffusion) และความดันไอ (Partial Vapor of Pressure) ที่ความแตกต่างระหว่างไอน้ำในวัสดุกับอากาศร้อน ถ้าผิวของวัสดุมีน้ำอยู่จำนวนมาก การลดลงของความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวก็จะคงที่ ส่งผลให้อัตราการอบแห้งคงที่ด้วย และเมื่อปริมาณน้ำที่ผิวของวัสดุลดลงมาก อุณหภูมิและความเข้มข้นของไอน้ำที่ผิวย่อมเปลี่ยนไป กล่าวคืออุณหภูมิของวัสดุเพิ่มขึ้นทำให้ความเข้มข้นของไอน้ำในวัสดุลดลงส่งผลให้อัตราการอบแห้งลดลง ความชื้นที่อยู่ระหว่างอัตราการอบแห้งคงที่และอัตราการอบแห้งลดลงเรียกว่าความชื้นวิกฤต และอัตราการอบแห้งจะลดลงตลอดระยะเวลาการอบแห้ง จนกระทั่งความดันไอของของเหลวในวัสดุมีค่าไม่แตกต่างกับความดันไอของอากาศแวดล้อมในการอบแห้ง ความชื้นที่จุดสุดท้ายนี้เรียกว่า ความชื้นสมดุล เป็นจุดที่ไม่มีการถ่ายเทความชื้นอีกต่อไป

อัตราการอบแห้งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ช่วง คือ

ช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นที่ผิวนอกของวัสดุเท่านั้น น้ำจะเกาะอยู่ที่ผิวของวัสดุเป็นจำนวนมาก เมื่อเพิ่มความเร็วลมที่ไหลผ่านวัสดุจะทำให้ฟิล์มอากาศนิ่ง

มีความหนาแน่นลดลง เป็นผลให้ความต้านทานต่อการไหลของความร้อนและมวลลดลงด้วย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศอบแห้ง จะทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างที่ผิววัสดุและของกระแสอากาศที่ไหลอย่างอิสระมีมากขึ้น เป็นผลให้การถ่ายเทความร้อนและมวลดีขึ้น

ช่วงอัตราการอบแห้งลดลง การถ่ายเทความร้อนและมวล จะไม่จำกัดอยู่เฉพาะที่ผิวนอกของวัสดุเท่านั้น แต่จะเกิดขึ้นภายในผิวและเนื้อวัสดุด้วย เมื่อเพิ่มอุณหภูมิของอากาศอบแห้ง จะทำให้ความแตกต่างของอุณหภูมิมีมากขึ้น นอกจากนี้ยังมีผลให้สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย (สมชาติ โสภณธรณฤทธิ์, 2540 : 105-109) เมื่อลดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้งจะเป็นผลให้เกิดความแตกต่างระหว่างอัตราส่วนความชื้นเพิ่มขึ้นและมีผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นเพิ่มขึ้นด้วย ดังนั้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิหรือลดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศแล้ว จะเป็นผลให้การถ่ายเทความร้อนและมวลดีขึ้น เมื่อเพิ่มความเร็วลมจะพบว่าความหนาของฟิล์มอากาศหนึ่งมีค่าลดลง เป็นผลให้ความต้านทานลดลงเนื่องจากความต้านทานที่ฟิล์มอากาศมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับความต้านทานตัวอื่น ดังนั้นจึงไม่มีผลต่ออัตราการถ่ายเทความร้อนและมวลมากนัก

2.1.1 ปัจจัยที่มีผลต่อการทำแห้ง (คณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, 2546)

1) ธรรมชาติของอาหาร อาหารเนื้อโปร่งมีการเคลื่อนของน้ำภายในอาหารแบบผ่านช่องแคบ ซึ่งเร็วกว่าการแพร่ในอาหารเนื้อแน่น ดังนั้นอาหารเนื้อโปร่งจึงแห้งเร็วกว่าอาหารที่มีเนื้อแน่น อาหารที่มีน้ำตาลสูงจะมีความเหนียวกีดขวางการเคลื่อนที่ของน้ำจึงแห้งช้า ส่วนอาหารที่มีการลวกนวดคลึง ทำให้เซลล์แตกจึงแห้งเร็วได้เร็วกว่า

2) ขนาดและรูปร่าง มีผลต่อพื้นที่ผิวต่อน้ำหนัก เช่น รูปร่างเหมือนกันขนาดเล็กจะมีพื้นที่ต่อน้ำหนักมากกว่าขนาดใหญ่จึงแห้งเร็วกว่า แต่ทั้งนี้ต้องคำนึงถึงพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศที่เคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปได้ เช่น ถ้าชิ้นเล็กมากทับถมกัน การระเหยเกิดได้เฉพาะพื้นที่ผิวที่สัมผัสกับอากาศ การระเหยจึงเกิดได้ช้าทั้ง ๆ ที่พื้นที่ต่อหน่วยน้ำหนักมาก

3) ตำแหน่งของอาหารในเตา น้ำในวัสดุที่สัมผัสกับลมร้อนได้ดีกว่า หรือสัมผัสกับลมร้อนที่มีความชื้นต่ำอมระเหยได้ดีกว่า

4) ปริมาณอาหารต่อถาด ถ้าปริมาณอาหารต่อถาดมากเกินไปอาหารส่วนล่างไม่ได้สัมผัสกับอากาศร้อน หรือได้รับความร้อนจากถาดแล้วแต่ไอน้ำไม่สามารถแพร่กระจายผ่านชั้นอาหารตอนบนออกมาได้จึงแห้งช้า

5) ความสามารถในการรับไอน้ำของอากาศร้อน อากาศร้อนที่มีไอน้ำอยู่มากแล้วจะรับไอน้ำได้น้อยมีผลในช่วงอัตราการทำแห้งคงที่

6) อุณหภูมิของอากาศร้อนถ้าอากาศมีความชื้นคงที่การเพิ่มอุณหภูมิเป็นการเพิ่มความสามารถในการรับไอน้ำ จึงมีผลต่ออัตราการทำแห้งคงที่และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้การแพร่กระจายของน้ำดีขึ้นจึงมีผลต่อช่วงการทำแห้งลดลงด้วย

7) ความเร็วของลมร้อน ลมร้อนทำหน้าที่ในการเคลื่อนย้ายไอน้ำออกไปด้วย เมื่อความเร็วลมเพิ่มขึ้นจึงเคลื่อนย้ายได้ดีขึ้น การเคลื่อนย้ายเกิดขึ้นเต็มที่ที่ความเร็วลม 244 เมตรต่อวินาที นอกจากนั้นความเร็วลมทำให้เกิดกระแสปั่นป่วนในเตา อากาศจึงสัมผัสอากาศได้ดีขึ้น

2.1.2 ความชื้นในอากาศ(สมชาติ โสภณธรณฤทธิ,2540) มักเรียกเป็น ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) คือ อัตรา ส่วนระหว่าง ปริมาณความชื้นที่มีอยู่จริงในอากาศกับปริมาณความชื้นที่อากาศขณะนั้นจะมีได้ ณ อุณหภูมิเดียวกัน ความชื้นสัมพัทธ์ (%) = (ปริมาณน้ำที่มีอยู่จริงในอากาศ×100) / (ปริมาณน้ำที่อากาศนั้นจะมีได้ ณ อุณหภูมิเดียวกัน)

2.1.3 ความชื้นในวัสดุ(สมชาติ โสภณธรณฤทธิ, 2540) เป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุ เมื่อเทียบกับมวลของวัสดุขึ้นหรือแห้ง ซึ่งแสดงได้ 2 แบบ คือ

1. ความชื้นมาตรฐานเปียก

$$M_w = \left(\frac{w-d}{w} \right) \times 100 \quad \dots (2.1)$$

เมื่อ M_w คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก %
 w คือ มวลของวัสดุเปียก kg
 d คือ มวลของวัสดุแห้ง kg

2. ความชื้นมาตรฐานแห้ง

$$M_d = \left(\frac{w-d}{d} \right) \times 100 \quad \dots (2.2)$$

เมื่อ M_d คือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง %
 w คือ มวลของวัสดุเปียก kg
 d คือ มวลของวัสดุแห้ง kg

ความชื้นแบบมาตรฐานแห้ง นิยมใช้ในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งทางทฤษฎี เพราะช่วยให้การคำนวณสะดวกขึ้น เนื่องจากมวลแห้งของวัสดุมีค่าเกือบจะคงที่ในระหว่างการอบแห้ง (สมชาติ โสภณธรณฤทธิ, 2540)

นอกจากนี้ยังสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นมาตรฐานเปียกและความชื้นแบบมาตรฐานแห้ง ได้ดังนี้

$$M_w = \left(\frac{M_d}{1 + M_d} \right) \quad \dots (2.3)$$

และ

$$M_d = \left(\frac{M_w}{1 - M_w} \right) \quad \dots (2.4)$$

2.1.4 ความชื้นสมดุลของวัสดุ(สมชาติ โสภณธนฤทธิ, 2540) มีความสำคัญต่อการศึกษากระบวนการอบแห้ง เพราะเมื่อทำการอบแห้งวัสดุโดยใช้อากาศที่สภาวะคงที่ (อุณหภูมิหรือความชื้นสัมพัทธ์คงที่) ความชื้นของวัสดุจะลดต่ำลงจนถึงจุดๆ หนึ่งซึ่งไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะนั้นความชื้นในวัสดุมีความดันไอเท่ากับอากาศที่อยู่รอบๆ และอุณหภูมิของวัสดุก็เท่ากับอุณหภูมิของอากาศที่อยู่รอบๆ ด้วยเราเรียกความชื้นในขณะนั้นว่า ความชื้นสมดุล ค่าความชื้นสมดุลขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

2.2 การให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

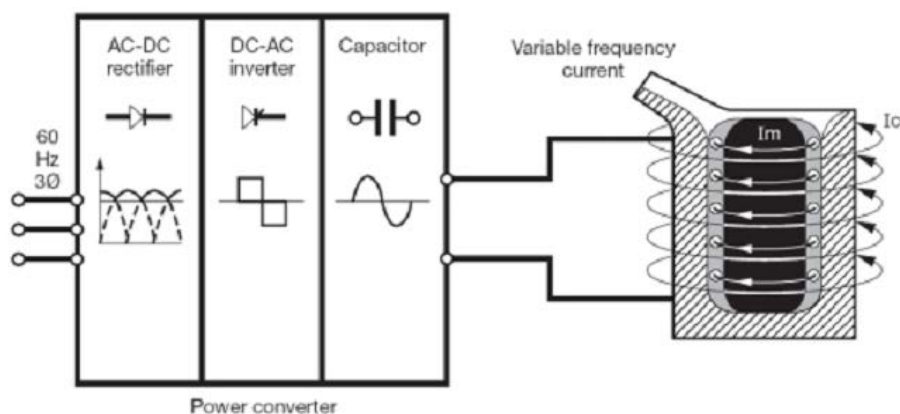
การให้ความร้อนด้วยวิธีเหนี่ยวนำได้ถูกพัฒนามาจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Induction) ค้นพบโดยไมเคิลฟาราเดย์ ในปี ค.ศ.1831 โดยที่การให้ความร้อนด้วยวิธีเหนี่ยวนำนี้เป็นปรากฏการณ์จากทางไฟฟ้าและความร้อนร่วมกัน โดยอาศัยหลักการเดียวกับหม้อแปลงไฟฟ้าโดยใช้ไฟฟ้ากระแสสลับไหลผ่านขดลวดก่อให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น ความร้อนที่เกิดขึ้นในชิ้นโลหะเกิดจากการเสียดสีของโมเลกุลเนื่องจากความต้านทานสนามแม่เหล็กของชิ้นโลหะ (Reluctance) และเกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลวนจากการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็กในชิ้นโลหะ (Eddy Current)

การให้ความร้อนด้วยวิธีเหนี่ยวนำเกิดขึ้นได้โดยการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับเข้าสู่ขดลวดเหนี่ยวนำ (Coil) ที่มีชิ้นงานเป็นโลหะอยู่ด้านในขดลวดเหนี่ยวนำ เมื่อไฟฟ้ากระแสสลับไหลเข้าสู่ขดลวดเหนี่ยวนำจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้น และสนามแม่เหล็กนี้จะเหนี่ยวนำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านชิ้นงาน ซึ่งกระแสส่วนมากจะไหลผ่านชิ้นงานในระดับความลึกผิว (Skin Depth) และกระแสที่ไหลวนรอบชิ้นงานนี้จะทำให้เกิดความร้อนขึ้นที่บริเวณผิวของชิ้นงาน ความร้อนนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสที่เหนี่ยวนำ และความต้านทานสมมูลทางเส้นทางการที่กระแสไหลผ่านการให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำ เป็นการให้ความร้อนอย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้การถ่ายเทพลังงานผ่านสนามแม่เหล็กทำให้เกิดการเหนี่ยวนำทางไฟฟ้าและเกิดความร้อนขึ้นในโลหะ

2.2.1 ส่วนประกอบของระบบทำน้ำร้อนโดยการเหนี่ยวนำแม่เหล็กไฟฟ้า

1) ส่วนจ่ายกำลังไฟฟ้า (Power Supply)

ในส่วนนี้เป็นวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังซึ่งทำหน้าที่แปลงไฟฟ้ากระแสสลับความถี่ 50 Hz เป็นไฟฟ้ากระแสสลับที่ความถี่ที่ต้องการ เพื่อป้อนเข้ากับขดลวดเหนี่ยวนำเพื่อให้ความร้อนหรือหลอมโลหะ



ภาพที่ 2.1 วงจรจ่ายกำลังไฟฟ้า

ในทางปฏิบัติลักษณะงานที่แตกต่างกันก็มีความต้องการค่าความถี่และความถี่กำลังไฟฟ้าที่แตกต่างกัน เช่น การชุบแข็งที่ผิวชิ้นงานจะต้องการค่าความถี่ที่ต่ำจึงต้องใช้ความถี่ที่สูงทำให้มีความหนาแน่นของกำลังไฟฟ้าที่สูง ส่วนในงานประเภทการให้ความร้อนสำหรับการชุบขึ้นรูปโลหะจะต้องการค่าความถี่ที่ค่อนข้างสูง ความถี่การทำงานจึงต่ำกว่า เป็นต้น

ความถี่การทำงานและระดับกำลังขาออกของเครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำแต่ละแบบนั้นขึ้นกับแหล่งกำเนิดไฟสลับที่จ่ายให้กับเครื่อง และยังขึ้นกับอุปกรณ์ที่ใช้ในวงจร ระบบการให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำที่ใช้ในปัจจุบันจำแนกได้ดังนี้

- แหล่งจ่ายกำลังจากการไฟฟ้าโดยตรงเป็นระบบที่ใช้ความถี่จากสายส่งโดยตรง (50 to 60 Hz) แรงดันไฟฟ้ามีความถี่ค่อนข้างต่ำ จึงทำให้ค่าความถี่ในการให้ความร้อนมีค่ามากโดยค่าความถี่จะมีค่าสูงตั้งแต่ 10 ถึง 100 มิลลิเมตร เครื่องให้ความร้อนแบบนี้นิยมใช้ในงานหลอมโลหะ มีระดับกำลังที่สูงเป็นหลายเมกะวัตต์

- แหล่งจ่ายกำลังจากชุดมอเตอร์และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นระบบที่มีการเปลี่ยนความถี่จากระบบไฟฟ้าโดยใช้มอเตอร์แบบเหนี่ยวนำไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งสร้างแรงดันไฟฟ้าที่มีความถี่สูงขึ้น โดยสามารถทำความถี่ได้ในช่วง 500 Hz ถึง 10 kHz ทำให้ได้ความถี่ตั้งแต่ 1 ถึง 10 มิลลิเมตร เครื่องให้ความร้อนชนิดนี้สามารถให้กำลังได้หลายร้อยกิโลวัตต์ ใช้ในงานหลอมโลหะมีระดับกำลังประมาณ 500 กิโลวัตต์ต่อเครื่อง

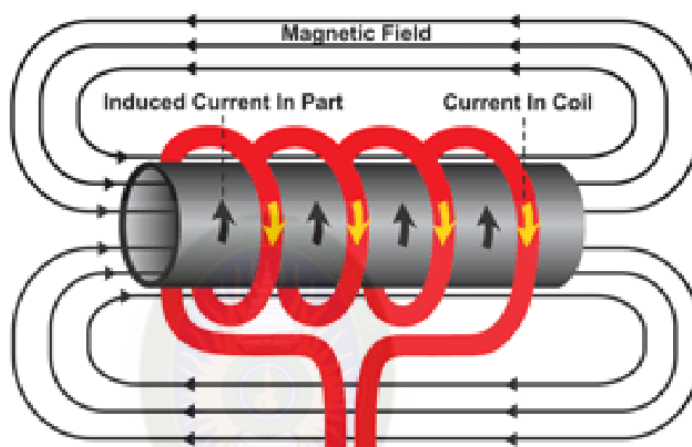
- แหล่งจ่ายกำลังจากระบบวงจรแปลงผันที่ใช้สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ โดยมีการจัดวงจรได้หลากหลายลักษณะ ซึ่งในปัจจุบันนิยมใช้เอสซีอาร์, ทรานซิสเตอร์กำลัง และมอสเฟตกำลังเป็นอุปกรณ์สวิตช์ โดยมีย่านความถี่ตั้งแต่ 500 Hz ถึง 50 kHz การใช้งานมีหลายลักษณะ เช่น ที่ความถี่ต่ำมักจะเป็นงานหลอมโลหะ, ความถี่ปานกลางสำหรับงานชุบขึ้นรูปโลหะ, ความถี่สูงสำหรับงานชุบแข็งผิว เป็นต้น

- แหล่งจ่ายกำลังย่านความถี่วิทยุ (50 kHz ถึง 10 MHz) สำหรับความถี่ไม่เกิน 100 kHz ยังสามารถใช้พวกมอสเฟตกำลังได้ แต่ที่ความถี่สูงมากๆ นิยมใช้หลอดสุญญากาศเพราะสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำยังมีสมรรถนะในการใช้งานที่ความถี่สูงไม่เพียงพอ โดยค่าความถี่มีค่า 0.1- 2

มิลลิเมตร เครื่องให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำนี้ จะให้กำลังค่อนข้างต่ำในหลายสิบกิโลวัตต์ เนื่องจากทำงานในย่านความถี่สูง เหมาะใช้ในงานเชื่อมประสานและการชุบผิวแข็ง

2) ขดลวดเหนี่ยวนำ (Induction Coil)

ขดลวดเหนี่ยวนำทำด้วยลวดตัวนำไฟฟ้า เช่นทองแดง เมื่อมีกระแสไหลผ่านตัวมันจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กขึ้นและทำให้เกิดการเหนี่ยวนำในชิ้นงานโลหะเกิดเป็นพลังงานความร้อน และเนื่องจากกระแสที่ป้อนให้กับขดลวดเหนี่ยวนำมักจะมีปริมาณที่สูงมาก จึงต้องมีระบบระบายความร้อนด้วยน้ำภายในขดเหนี่ยวนำเพื่อลดกำลังสูญเสียที่ขดลวดเหนี่ยวนำ รูปแบบของขดลวดเหนี่ยวนำจะแตกต่างกันตามลักษณะของวัสดุที่ต้องการให้ความร้อน



ภาพที่ 2.2 ขดลวดเหนี่ยวนำ

2.2.2 หลักการเกิดความร้อนโดยการเหนี่ยวนำ

ในระบบการให้ความร้อนโดยการเหนี่ยวนำนั้น ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเหนี่ยวนำในชิ้นงานโลหะนั้นมาจากองค์ประกอบ 2 ส่วนหลักๆ คือ

1) การเกิดความร้อนจากกระแสไหลวนในชิ้นโลหะ

สนามแม่เหล็กจากขดลวดเหนี่ยวนำจะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำและกระแสไฟฟ้าไหลวน (Eddy Current) ในทิศทางตรงกันข้ามกับสนามแม่เหล็กในชิ้นโลหะทำให้เกิดเป็นพลังงานความร้อน

2) การเกิดความร้อนจากความต้านทานของสนามแม่เหล็ก

สนามแม่เหล็กที่สร้างจากขดลวดเหนี่ยวนำจะมีทิศทางของขั้วที่สลับไปมาตามทิศทางของไฟฟ้ากระแสสลับ ซึ่งโมเลกุลภายในชิ้นงานโลหะจะเกิดการเคลื่อนที่ตามทิศทางของขั้วที่เปลี่ยนไปมานี้ทำให้เกิดการเสียดสีและเกิดความร้อน อย่างไรก็ตามการเกิดความร้อนจากความต้านทานของสนามแม่เหล็กจะเกิดเฉพาะโลหะที่มีคุณสมบัติเป็นสารแม่เหล็กเท่านั้น

2.2.3 ระยะเวลาผิวของสนามแม่เหล็กไฟฟ้า

ปรากฏการณ์ที่สัญญาณความถี่สูงไหลที่ผิวและความถี่ต่ำไหลลึกลงไปในตัวเรื่อยๆ ตามความถี่ที่ลดลงเราเรียกว่าเกิดปรากฏการณ์ Skin Effect เมื่อความถี่ของกระแสเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้กระแสที่เหนี่ยวนำขึ้นที่ชิ้นงานมีความเข้มข้นสูงที่บริเวณรอบๆ ผิวของชิ้นงานและจะลดลงเมื่อลึกเข้ามาใน

เนื้อผิวหนังตามแนวรัศมีหลักการดังกล่าวกระแสไหลวนจะมีความหนาแน่นมากที่สุดที่บริเวณผิวของชั้นงานความหนาแน่นของกระแสลดลงมาเป็นประมาณ 0.368 เท่าของค่าความหนาแน่นกระแสที่ผิวของชั้นงานที่ค่าความลึกผิว (Skin depth) ความลึกผิวสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.5)

$$d_0 = \sqrt{\frac{\rho}{\mu\pi f}} \quad \dots\dots (2.5)$$

เมื่อ	d_0	= ความลึกผิว (m)
	ρ	= ความต้านทานจำเพาะโลหะ (Ω -m)
	μ	= ความซึมซาบทางแม่เหล็กของชั้นงาน (H/m)
	f	= ความถี่ไฟฟ้ากระแสสลับ (Hz)

2.3 การให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรด

รังสีอินฟราเรด หรือ รังสีใต้แดงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งที่มีความถี่อยู่ระหว่าง 1011-1014 Hz และมีความยาวคลื่นระหว่าง 0.75 ไมโครเมตรถึง 1000 ไมโครเมตร สสารที่มีอุณหภูมิมากกว่า 0 องศาเซลเซียส จะปล่อยรังสีอินฟราเรดออกมาจากตัวมันเองเสมอ

2.3.1 หลักการของเทคโนโลยี

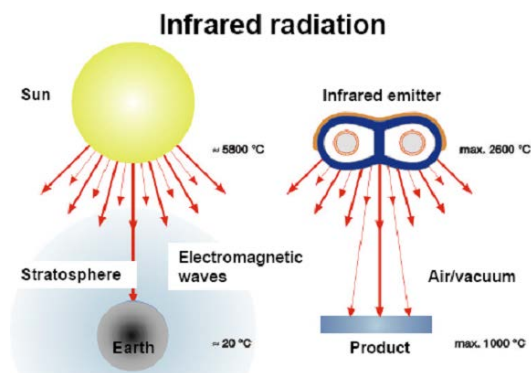
การให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรด เป็นการให้ความร้อนในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยอยู่ใน ช่วงความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรด (0.76 μm – 1 mm) ซึ่งอยู่ในช่วงของแสงที่มองเห็นได้ ช่วงรังสีอินฟราเรดสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม คือ คลื่นสั้น คลื่นปานกลาง และคลื่นยาว การดูดซับรังสีอินฟราเรดจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของรังสีอินฟราเรด 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)

1) คลื่นสั้น (Short Wave) มีความยาวคลื่นในช่วง 0.76-2 μm ตัวปล่อยคลื่น ได้แก่ หลอด Tungsten Filament , หลอด T-3 Quartz Lamps เป็นต้น

2) คลื่นปานกลาง (Medium Wave) มีความยาวคลื่นในช่วง 2-4 μm ตัวปล่อยคลื่น ได้แก่ คอยล์ หรือ ลวดที่บรรจุในแท่ง Quartz ท่อ Silicon ท่อ Metal Radiant Tubes เป็นต้น

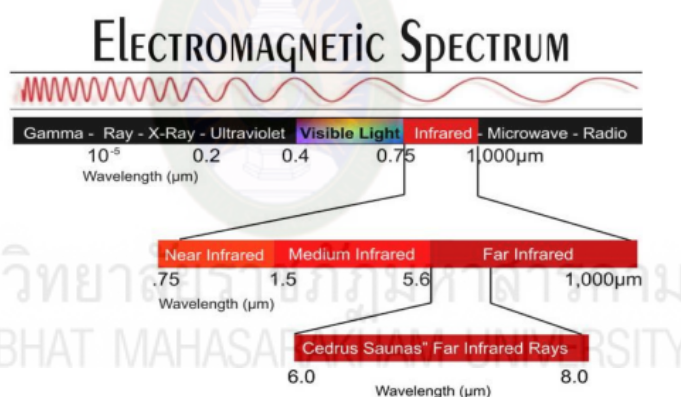
3) คลื่นยาว (Long Wave) มีความยาวคลื่นในช่วง 4 μm -1 mm ตัวปล่อยคลื่น ได้แก่ แผงแก้ว แผงเซรามิก เป็นต้น

ปรากฏการณ์ในขณะที่คลื่นรังสีอินฟราเรดกระทบกับวัตถุมี 3 แบบ คือ ส่งผ่าน (Transmission) ดูดซับ (Absorption) และสะท้อน (Reflection) โดยถ้าเป็นวัตถุหนา ความร้อนที่เกิดขึ้นจะมีเพียงเฉพาะส่วนที่ดูดซับ (Absorption) เท่านั้น



ภาพที่ 2.3 แสดงการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์และตัวปล่อยคลื่นอินฟราเรด (Emitter)

การให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรดนี้ไม่ก่อให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีทางแสง (Photochemical) เหมือนกับรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV) จึงไม่ทำให้เกิดการเผาไหม้โดยตรงกับผิวหนังร่างกายของคน โดยในช่วงความยาวคลื่นของรังสีจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ จะแสดงดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 แสดงช่วงความยาวคลื่นของรังสีชนิดต่างๆ

2.3.2 ประโยชน์ของเทคโนโลยี

- 1) ให้ความร้อนและลดความร้อนได้อย่างรวดเร็ว
- 2) ให้ความร้อนที่รวดเร็ว
- 3) สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม
- 4) มีการควบคุมที่แม่นยำ
- 5) มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ
- 6) ต้นทุนเริ่มแรกและค่าบำรุงรักษาต่ำ

2.3.3 การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยี

การประยุกต์ใช้งานการให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรดจะขึ้นอยู่กับความยาวของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ลักษณะการใช้งานโดยมีตัวอย่างการใช้งานที่หลากหลาย ได้แก่ การอบสี การอบผลิตภัณฑ์แป้ง การเคลือบภาชนะในการทำอาหาร การเคลือบสาร PVC บนผนัง การอบแห้ง

สารแม่เหล็กบนเทปคาสเส็ท การอบแห้งผลิตภัณฑ์กระเจกนิรภัย การอบแห้ง การอบแห้งกระดาษ การอบสีและแลคเกอร์ การบัดกรี การทำให้หดตัวของโลหะ การเผากระเบื้อง เป็นต้น

2.3.4 ข้อควรพิจารณาในการประยุกต์ใช้งาน

1. ขนาดของผลิตภัณฑ์ เนื่องจากขนาด (ความหนาแน่น) ของผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน ระยะเวลาการทำความร้อนก็จะต่างกันด้วย

2. ประเภทของวัสดุผลิตภัณฑ์ ชนิดของวัสดุ รวมทั้งลักษณะของพื้นผิวจะมีการดูดซับรังสีอินฟราเรดที่ต่างกันซึ่งต้องพิจารณาเป็นกรณีๆ ไป

3. ช่วงความยาวคลื่น คุณสมบัติของรังสีอินฟราเรดจะแตกต่างกันตามช่วงความยาวคลื่น โดยคลื่นอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นสั้น จะมีประสิทธิภาพในการทะลุผ่านพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ได้มาก (ใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อนสั้นกว่า) ในขณะที่คลื่นอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่นยาวจะทะลุผ่านผลิตภัณฑ์ได้น้อยกว่า (ใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อนนานกว่า) ดังนั้นการให้ความร้อนโดยใช้รังสีอินฟราเรดคลื่นยาวจึงเหมาะสมกับการให้ความร้อนเฉพาะบริเวณพื้นผิวของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ การอบสี เป็นต้น

2.3.5 ศักยภาพการประหยัดพลังงาน

การให้ความร้อนโดยรังสีอินฟราเรด มีประสิทธิภาพสูงกว่าการให้ความร้อนแบบอื่นๆ ค่อนข้างมาก เนื่องจากเป็นการให้ความร้อนโดยตรงโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง เช่น อากาศในการพาความร้อน และใช้ระยะเวลาในการทำความร้อนได้อย่างรวดเร็ว (ใช้เวลาน้อยกว่าแบบปกติประมาณ 6-8 เท่า) ดังนั้น ความสูญเสียในรูปของอากาศปล่อยทิ้ง (Exhaust) หรือการรั่วไหล (Leakage) จึงมีค่าต่ำกว่ามาก

2.4 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการอบแห้ง

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพด้านการอบแห้งของเครื่องอบแห้งสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้

1. อัตราการอบแห้ง (Drying Rate) เป็นปัจจัยสำคัญอย่างหนึ่ง que แสดงถึงค่าประสิทธิภาพในการอบแห้งลดความชื้นของวัสดุ ซึ่งสามารถเขียนสมการแสดงสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$Drying\ rate = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุ}}{\text{เวลาในการอบแห้ง}}\ kg/h \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

2. อัตราการระเหยน้ำจำเพาะ (Specific moisture extraction rate, SMER) เป็นการแสดงปริมาณความสิ้นเปลืองพลังงาน ที่นิยมแสดงใช้ในด้านปั๊มความร้อน มีรูปแบบของสมการแสดงความสัมพันธ์ดังนี้

$$SMER = \frac{\text{ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากวัสดุ}}{\text{ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้}}\ MJ/kg \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

2.5 สมการอบแห้ง

เป็นที่ยอมรับกันว่า ปฏิกิริยาการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางชีววิทยาในช่วง falling rate ถูกควบคุมโดยกลไกของการแพร่กระจายของเหลวและ/หรือไอ แบบจำลองการอบแห้งแบบ thin-layer ซึ่งอธิบายถึงการอบแห้งของวัสดุเหล่านี้แบ่งเป็น 3 รูปแบบ คือ ทฤษฎีที่พึ่งทฤษฎี และการทดลอง (เอมไพริคเคิล) โดยที่แบบแรกจะคำนวณจากความต้านทานภายในในการส่งผ่านความชื้นในขณะที่อีก 2 แบบจะพิจารณาจากความต้านทานภายนอกในการส่งผ่านความชื้นระหว่างผลิตภัณฑ์และอากาศ

2.5.1 สมการอบแห้งทางทฤษฎี

สมการอบแห้งทางทฤษฎีจะพิจารณาการเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุที่มีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุน การเคลื่อนที่ของน้ำส่วนใหญ่อยู่ในรูปของของเหลวที่เป็นผลเนื่องจากความเข้มข้นของความชื้น สมการทางทฤษฎีจะแสดงการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของน้ำในลักษณะการแพร่ เมื่อสัมพันธ์กับการแพร่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของการอบแห้ง แต่อย่างไรก็ตามสมการทางทฤษฎีมีจำนวนเทอมในการวิเคราะห์จำนวนมากซึ่งขึ้นอยู่กับรูปร่างของผลิตภัณฑ์ที่มีตัวแปรและตัวพารามิเตอร์หลายตัว ดังนั้นจึงไม่นิยมนำแบบจำลองมาใช้รูปแบบสมการอบแห้งทางทฤษฎีที่ใช้ในการหาอัตราส่วนความชื้นคือ

2.5.1.1 กรณีของวัสดุทรงลูกบาศก์

$$\overline{MR} = (8/\square^2)^3 [\exp(-3\square^2 Dt/l^2) + (3/9)\exp(-11\square^2 Dt/l^2) + (3/25)\exp(-27\square^2 Dt/l^2)] \quad \dots (2.8)$$

2.5.1.2 กรณีของวัสดุทรงกลม

$$\overline{MR} = (6/\square^2) \sum_{p=1}^{\infty} (1/p^2) \exp(-p^2\square^2 X^2/9) \quad \dots (2.9)$$

2.4.1.3 กรณีของวัสดุทรงกระบอกยาวมาก

$$\overline{MR} = \sum_{n=1}^{\infty} (4/\lambda_n^2) \exp(-\lambda_n^2 X^2/4) \quad \dots (2.10)$$

เมื่อ \overline{MR} คือ อัตราส่วนความชื้นเฉลี่ย

X คือ $(A/V) (Dt)^{1/2}$

A คือ พื้นที่ผิว (m^2)

V คือ ปริมาตร (m^3)

\square_n คือ รากของเบสเซลฟังก์ชันอันดับที่ศูนย์

l คือ ความหนา (m)

2.5.2 สมการออบแห้งกึ่งทฤษฎี

เป็นสมการแบบจำลองสมการง่าย ๆ โดยการนำสมการทางทฤษฎีมาวิเคราะห์ให้ง่ายขึ้น และไม่ต้องนำรูปทรงของผลิตภัณฑ์มาพิจารณา ซึ่งทำให้สมการไม่มีความซับซ้อนโดยทั่วไปจะถูกสร้างขึ้นโดยการแก้อนุกรมทั่วไปของ Fick's second law ให้ง่ายขึ้น หรือแก้ไข simplified model และ valid ในค่าของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเร็วในการไหลของอากาศ และปริมาณความชื้นที่ได้นำมาใช้แบบจำลองเหล่านี้ต้องการเวลาน้อยกว่าเมื่อเทียบกับแบบจำลองตามทฤษฎีและไม่ต้องสมมุติรูปร่างของอาหาร การแพร่กระจายมวลและการถ่ายเทมวล

สมการ Lewis เป็นกรณีพิเศษของแบบจำลองของ Handerson และ Pabis ได้ อธิบายว่าการถ่ายเทความชื้นของอาหารหรือวัสดุทางการเกษตร สามารถมองให้เหมือนกับการถ่ายเทความร้อนของวัตถุที่จมอยู่ในของไหลเย็น จากการเปรียบเทียบกับปรากฏการณ์นี้ด้วยกฎการเย็นตัวของนิวตัน อัตราการอบแห้งเป็นอัตราส่วนของผลต่างระหว่างปริมาณความชื้นของวัสดุอบแห้งและความชื้นที่สมดุล ที่สภาวะของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง สมการนี้ถือว่าการเคลื่อนที่ของความชื้นในวัสดุจากภายในออกมาสู่ที่ผิวภายนอกไม่มีความต้านทานใช้อธิบายการอบแห้ง ข้าวบาร์เลย์ ข้าวสาลี มะม่วงหิมพานต์ และวอลนัทได้ตัวอย่างไรก็ตามในระยะเวลาแรกของการอบแห้งสมการจะทำนายค่าความชื้นได้สูงเกินไป และในช่วงหลังจะทำนายค่าความชื้นได้ต่ำ (Kashaninejad and others. 2007 :98-108) มีรูปแบบสมการดังนี้

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_i - M_{eq}} = \exp(-kt) \quad \dots\dots (2.11)$$

2.5.3 สมการออบแห้งเอมไพริคัล

เป็นสมการที่ใช้ในการทำนายอัตราการอบแห้งได้ดี แต่มีข้อจำกัดคือเงื่อนไขการอบแห้งต้องตรงกับสภาวะการทดลอง

สมการ Henderson and Pabis เป็นรูปแบบที่ง่ายที่สุด โดยพิจารณาเฉพาะเทอมแรกของสมการ infinite series solution แบบจำลองนี้ประสบความสำเร็จในการจำลองการอบแห้งของข้าวโพดข้าวสาลี และถั่วลิสง ความชื้นของแบบจำลองนี้(สัมประสิทธิ์, k_0) สัมพันธ์กับประสิทธิภาพในการแพร่กระจาย เมื่อกระบวนการอบแห้งอยู่ในช่วง falling rate และการแพร่กระจายของของเหลวเป็นตัวควบคุมกระบวนการ(Kashaninejad and others. 2007 :98-108) มีรูปแบบสมการดังนี้

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_i - M_{eq}} = a \exp(-kt) \quad \dots\dots (2.12)$$

สมการ Two term Sharaf-Eldeen, Blaisdell and Hamdy ได้นำเสนอ Two-term model เพื่อทำนายอัตราการอบแห้งของ shelled corn ที่สัมผัสกับอากาศอย่างเต็มที่แบบจำลองนี้เป็น 2 เทอมแรกของการแก้อนุกรมทั่วไปของสมการ Fick's second law อย่างไรก็ตามแบบจำลองนี้ต้องให้อุณหภูมิของผลิตภัณฑ์คงที่ และต้องสมมุติค่าการกระจายที่คงที่ ใช้อธิบายการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรโดยไม่คำนึงถึงรูปร่างของวัสดุ เช่น ข้าวโพด ถั่วเหลือง แมคคาเดเมีย

ได้ดี อย่างไรก็ตามสมการนี้จะทำนายได้ดีเมื่ออุณหภูมิอบแห้งคงที่ (Ozdemir and Devres.1999 :225-233) รูปแบบของสมการมีดังนี้

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_i - M_{eq}} = a \exp(-kt) + b \exp(-ct) \quad \dots\dots (2.13)$$

สมการ Logarithmic รูปแบบสมการจะเป็นการเพิ่มพารามิเตอร์เข้าไปในสมการอบแห้งของLewis รูปแบบของสมการมีดังนี้

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_i - M_{eq}} = a \exp(-kt) + c \quad \dots\dots (2.14)$$

สมการ Page เป็นสมการที่ Page ได้นำเสนอเมื่อปี ค.ศ 1949 เป็นการปรับปรุงแบบจำลองของ Lewis เพื่อแก้ไขจุดบกพร่อง แบบจำลองนี้ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อให้เกิดความแม่นยำในการทำนายการอบแห้งของธัญพืชข้าวกล้องข้าวเมล็ดยาสูบ และข้าวบาร์เลย์(Kashaninejad and others. 2007 :98-108) ซึ่งมีรูปแบบสมการดังนี้

$$MR = \frac{M_t - M_{eq}}{M_i - M_{eq}} = \exp(-kt^n) \quad \dots\dots (2.15)$$

สมการอบแห้งชั้นบางเป็นการนำความรู้ทางคณิตศาสตร์มาใช้อธิบายการเคลื่อนที่ของน้ำในวัสดุที่มีโครงสร้างภายในเป็นรูพรุนในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ซึ่งสามารถอธิบายกลไกการอบแห้งวัสดุเพียงหนึ่งชั้นหรือเมล็ดพืชชั้นบางเท่านั้น (อากาศเมื่อไหลผ่านวัสดุมีสถานะเกือบไม่เปลี่ยนแปลง) สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการอบแห้งแมคคาเดเมียแบบชั้นบางและใช้รูปแบบสมการอบแห้งเอมไพริคัลเพื่อทำนายค่าความชื้นและเวลาในการอบแห้ง ซึ่งสมการอบแห้งเอมไพริคัลเป็นสมการที่ได้มาจากการทดลอง สามารถทำนายอัตราการอบแห้งได้ดี

2.6 กระชายดำ (Kaempferia Pafiflora)

กระชายดำมีชื่อวิทยาศาสตร์: Kaempferia Pafiflora อยู่ในวงศ์: ZINGIBERACEAE เป็นพืชล้มลุกมีเหง้าใต้ดิน รากสะสมอาหารมีลักษณะเป็นปุ่ม ๆ ไม่ยาวเป็นหางไหลเหมือนกับกระชายธรรมดา ขณะต้นเล็กจะมีแต่รากและรากนั้นเองจะเปลี่ยนเป็นหัวเมื่อโตขึ้น เนื้อในหัวอาจเป็นสีม่วงหม่น หรือสีดำดังผลลูกหว้าขึ้นอยู่กับดินที่ใช้ แต่ถือกันว่ากระชายดำที่มีคุณสมบัติที่ดีต้องสีดำสนิท เป็นพืชสมุนไพรที่มีการตื่นตัวในเรื่องการบริโภคมาก ในยุคปัจจุบัน เนื่องจากว่ามีสรรพคุณที่เชื่อกันว่าเป็นยาสมุนไพรอายุวัฒนะชั้นหนึ่งของไทย มาแต่โบราณกาลและสามารถเพิ่มพลังทางเพศให้กับผู้

รับประทานได้ซึ่งชาวไทยที่ เคยบริโภคต่างก็พูดเป็นเสียงเดียวกันว่า "เด็ดจริงๆ" กระชายดำ ยังเป็นพืชสมุนไพรที่สำคัญประจำเผ่าม้งและ มักพกติดตัวไว้ในยามแทบทุกคน เพื่อใช้กินแก้ปวดเมื่อย เหนื่อย หอบ หืดหอบ ที่สำคัญเชื่อว่าเพิ่มสมรรถภาพทางเพศได้เป็นอย่างดี และถือว่าเป็นความลับประจำเผ่ามาหลายร้อยปี



ภาพที่ 2.5 กระชายดำ

สรรพคุณ: ช่วยเพิ่มสมรรถภาพทางเพศ กระตุ้นระบบประสาท แก้ปวดเมื่อย ขับปัสสาวะ ขับลม รักษาสมดุลงดความดันโลหิต ขยายหลอดเลือดหัวใจ โรคเก๊าต์ โรคกระเพาะอาหาร รักษากระเพาะปัสสาวะ อาหารให้เกิดสมดุลงดโรคบิด โรคเบาหวาน ลดน้ำตาลในเลือด โรคหัวใจ สำหรับสุขภาพสตรีทานแล้ว จะช่วยปรับสมดุลงดฮอร์โมนทางเพศ ทำให้โลหิตไหลเวียนดีขึ้น ผิวพรรณผุดผ่องสดใส แก้อาการตกขาว ประจำเดือนมาไม่ปกติ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จิระพงศ์ ศรีวิชัย และคมกฤษณ์ ศรีสุวรรณ (2558) ศึกษาความเป็นไปได้ของการอบแห้งลมร้อนด้วยเทคนิคการเหนี่ยวนำความร้อน ตัวตู้อบแห้งมีขนาดโดยรวม 450×520×880 มิลลิเมตร ภายในตู้อบด้านบนเป็น แหล่งกำเนิดลมร้อนแบบเหนี่ยวนำความร้อน มีพิกัดกำลังไฟฟ้า 0.6 กิโลวัตต์ และพัดลมบังคับไหลตามแนวความเร็วลมเฉลี่ย 0.5 เมตรต่อวินาที ภายในห้องอบแห้งมีขนาด 360×410×750 มิลลิเมตร มีชั้นวางถาดวัสดุอบจำนวน 6 ชั้น การทดลองทำโดยปรับอุณหภูมิของแหล่งกำเนิดลมร้อนแบบเหนี่ยวนำในตู้อบแห้งที่ 50, 70 และ 90 องศาเซลเซียส เพื่อศึกษาผลของอัตราการอบแห้ง, อัตราการลดความชื้นจำเพาะ และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ผลการศึกษาพบว่า อัตราการอบแห้ง 0.0107, 0.0218 และ 0.0389 กิโลกรัมต่อชั่วโมง, อัตราการลดความชื้นจำเพาะ 0.0429 , 0.0623 และ 0.0794 กิโลกรัมต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง และค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ 23.29, 16.03 และ 12.58 กิโลวัตต์-ชั่วโมงต่อกิโลกรัม

นริศ พัวพันวัฒนะ ภราดร หนูทอง กอดขวัญ นามสงวน ศิวะ อัจฉริยวิริยะ และอารีย์ อัจฉริยวิริยะ (2551) ทำการศึกษาอิทธิพลของกำลังอินฟราเรด อุณหภูมิลมร้อน และความเร็วลมที่มีผลต่อการอบแห้งเนื้อลำไย พร้อมทั้งทำการพัฒนาสมการจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งทางทฤษฎี โดยทำการทดลองอบแห้งเนื้อลำไยที่มีความชื้นเริ่มต้นระหว่าง 450 – 580 %db. ด้วยเครื่องอบแห้งอินฟราเรดร่วมกับลมร้อนในห้องปฏิบัติการที่ความเร็วลม 0.3, 0.5 และ 0.7 m/s ใช้กำลัง

อินฟราเรดขนาด 200, 500 และ 800 W และ/หรืออุณหภูมิความร้อน 40, 50 และ 60°C โดยวางตัวอย่างห่างจากแท่งอินฟราเรด 250 mm อบอุ่นเหลือความชื้น 18% db จากการศึกษาพบว่า อัตราการอบแห้งและอุณหภูมิของเนื้อลำไยเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของกำลังอินฟราเรดและ/หรืออุณหภูมิความร้อนทำให้ใช้เวลาอบแห้งลดลง โดยที่ความเร็วลมไม่มีผลต่อเวลาอบแห้งและอุณหภูมิลำไย จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมและพัฒนาสมการจลนพลศาสตร์ของการอบแห้ง ได้สมการความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมของเนื้อลำไยเป็นฟังก์ชันกับกำลังอินฟราเรดและอุณหภูมิความร้อน

ประทีป ตุ่มทอง, อำไพศักดิ์ ทิบุญญา, ประพันธ์ พงษ์สมศิลา และธนกร หอมจำปา (2555) ศึกษาถึงผลของความเร็วม ที่มีต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งเนื้อโคด้วยลมร้อนร่วมรังสีอินฟราเรด ซึ่งทำการทดลองอบแห้งภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิของอากาศอบแห้งเท่ากับ 40 องศาเซลเซียส และความเร็วของอากาศร้อนอยู่ในช่วง 0.1 ถึง 1.0 เมตรต่อวินาที และกำลังงานที่จ่ายให้กับแท่งอินฟราเรดอยู่ระหว่าง 260 ถึง 640 วัตต์ โดยให้ระยะห่างระหว่างแท่งอินฟราเรดกับผลิตภัณฑ์ และขนาดของผลิตภัณฑ์คงที่ ผลจากการทดลองพบว่า การเพิ่มความเร็วมของการอบแห้งจะทำให้ระยะเวลาในการอบแห้งนานขึ้น และภายใต้เงื่อนไขการอบแห้งเดียวกันระยะเวลาในการอบแห้งจะเพิ่มขึ้น เมื่อลดกำลังงานที่จ่ายให้กับแท่งรังสีอินฟราเรด นอกจากนั้นยังพบว่า ความเร็วมมีผลค่อนข้างมากต่อระยะเวลาการอบแห้ง

เพชรรัตน์ ใจบุญ, อติศักดิ์ นาถกรณกุล และสมชาติ โสภณธรณฤทธิ์ (2550) ศึกษาการนำรังสีอินฟราเรดไกลเข้ามาช่วยในการอบแห้งเนื้อลำไยด้วยลมร้อนและป้อนความร้อนเปรียบเทียบกับ การอบแห้งด้วยลมร้อนและป้อนความร้อนเพียงอย่างเดียว ในด้านลักษณะเฉพาะของการอบแห้ง ความสิ้นเปลืองพลังงาน คุณภาพด้านเนื้อสัมผัส วอเตอร์แอกทิวิตี และโครงสร้างระดับจุลภาค โดยทำการอบแห้งเนื้อลำไยจากความชื้นเริ่มต้น 550-670 %d.b. (84-86 %w.b.) จนเหลือความชื้นสุดท้ายประมาณ 20 %d.b. (18 %w.b.) ที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 55°C สำหรับป้อนความร้อนและ 65°C สำหรับลมร้อน ความเร็วม 0.3 m/s การอบแห้งด้วยลมร้อนมีสัดส่วนการนำอากาศร้อนหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ 80 % กำลังไฟฟ้าที่ให้กับหลอดรังสีอินฟราเรดไกลคือ 250, 350 และ 450 W ผลการทดลองพบว่าการนำรังสีอินฟราเรดไกลเข้ามาช่วยกับการอบแห้งเนื้อลำไยด้วยลมร้อนหรือป้อนความร้อนช่วยเพิ่มอัตราการอบแห้งและลดเวลาในการอบแห้งลง ผลของรังสีอินฟราเรดไกลทำให้เนื้อลำไยมีรูพรุนและมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อกำลังไฟฟ้าที่ให้กับหลอดรังสีอินฟราเรดไกลมีค่าเพิ่มขึ้น รูพรุนที่เกิดขึ้นส่งผลให้เนื้อลำไยมีความแข็งและความหยุ่นตัวน้อยกว่าเนื้อลำไยที่อบแห้งด้วยลมร้อนหรือป้อนความร้อนเพียงอย่างเดียว การอบแห้งร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลใช้พลังงานจำเพาะรวมน้อยลงเมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าให้กับหลอดรังสีอินฟราเรดไกล การอบแห้งด้วยป้อนความร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลใช้พลังงานจำเพาะรวมน้อยกว่าการอบแห้งด้วยลมร้อนร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล

ภูมิใจ สะอาดโฉม และธนิต สวัสดิ์เสวี (2557) ศึกษาการเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิของเนื้อหมูปดแผ่นในระหว่างการอบแห้งด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล และเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพของเนื้อหมูปดแผ่นที่ได้หลังการอบแห้งทางด้านสี การหดตัว ความแข็ง และความเหนียว รวมทั้งหาความสัมพันธ์พลังงานจำเพาะของการอบแห้ง และประเมินคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัส โดยอบแห้งเนื้อหมูปดแผ่นขนาด 10×10×0.13 และ 10×10×0.22 ซม.

(ขนาดการอบที่ 2 มม. และ 4.5 มม.) ด้วยเทคนิคสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกลที่ความดันของห้องอบแห้ง 10 กิโลปาสกาล และควบคุมอุณหภูมิอากาศเหนือผลิตภัณฑ์ 3 ซม. ที่ 110 องศาเซลเซียส จากผลการทดลองพบว่า การอบแห้งเนื้อหมูบดแผ่นหนา 1.3 มม. ใช้เวลาอบแห้งน้อยกว่าแต่มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมากกว่าการอบแห้งเนื้อหมูบดแผ่นหนา 2.2 มม. ขนาดการอบไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ต่อเวลาที่ใช้ออบแห้งและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ส่วนคุณภาพของเนื้อหมูบดแผ่นหลังการอบแห้ง พบว่า ความสว่างและสีเหลืองมีค่าลดลง แต่สีแดงและร้อยละการหดตัวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของเนื้อหมูเพิ่มขึ้น ขนาดการอบไม่มีผล อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P > 0.05$) ต่อสี ร้อยละการหดตัว ความแข็ง และความเหนียวของเนื้อหมูบดแผ่นอบแห้ง นอกจากนี้ยังพบว่า เนื้อหมูบดแผ่นอบแห้งที่ได้จากงานวิจัยนี้มีคะแนนทางด้านประสาทสัมผัสเฉลี่ยอยู่ในช่วงของความชอบปานกลาง

ภราดร หนูทอง, ไพรัชต์ ติฐิคุณารักษ์กุล, รัชตวรรณ เอมโอช และอนุชา พรหมสิทธิ์ (2557) ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้งและกำลังอินฟราเรดที่มีต่อการถ่ายเทความร้อนและความเข้มรังสีที่เกิดขึ้นภายในเครื่องอบแห้งอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน และเพื่อพัฒนาสมการการถ่ายเทความร้อนและความเข้มรังสีอินฟราเรด ท การทดลองที่อุณหภูมิอบแห้ง 40–80 องศาเซลเซียส กำลังอินฟราเรด 300–600 W ระยะห่างระหว่างแผ่นเพลตกับแหล่งกำเนิด 200 mm และความเร็วลม 1.0 m/s ในการศึกษาข้อมูลจะถูกวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวด้วยวิธีการของดันแคน (Duncan) ที่ระดับความน่าเชื่อถือ 95 % พบว่า เมื่อกำลังอินฟราเรดเพิ่มขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้น ขณะที่อุณหภูมิอบแห้งไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ และความเข้มของรังสีอินฟราเรดเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิและกำลังอินฟราเรด โดยค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนมีความสัมพันธ์กับกำลังอินฟราเรดในรูปแบบสมการเอ็กโปเนนเชียล และความเข้มของรังสีอินฟราเรดมีความสัมพันธ์กับกำลังอินฟราเรดและอุณหภูมิอบแห้งในรูปแบบสมการเชิงเส้น และจากการพัฒนาสมการพบว่าสมการมีความเหมาะสมและสามารถทำนายผลการทดลองได้ดี

สุภวรรณ ภูริระวิชย์กุล, สากีนา ลาแมปะ และยุทธนา ภูริระวิชย์กุล (2555) ศึกษาปัจจัยของสภาวะในการอบแห้งต่อจลนพลศาสตร์ และคุณภาพของขนุนแห้งสายพันธุ์ทองประเสริฐ ด้วยสภาวะการทดลองอบแห้งที่แตกต่างกัน 4 เงื่อนไข ได้แก่ การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด การอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วมระหว่างรังสีอินฟราเรดและลมร้อน การอบแห้งแบบสองขั้นตอนด้วยไมโครเวฟและลมร้อน และสุดท้ายคือการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างเดียว โดยในทุกการทดลองที่อบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดจะใช้กำลังเท่ากับ 1,000 W และกำลังของไมโครเวฟที่ 90 W (โดยใช้เวลาอบแห้ง 3 นาที) สำหรับกรณีที่ใช้ลมร้อนจะใช้ความเร็วของอากาศเท่ากับ 1.1 m/s และทุกเงื่อนไขของการอบแห้ง จะทดลองอบแห้งขนุนในช่วงอุณหภูมิ 40-60°C โดยมีค่าความชื้นเริ่มต้นของขนุนอยู่ในช่วง 300-400% dry-basis (d.b.) และอบแห้งจนค่าความชื้นสุดท้ายของขนุนอยู่ในช่วง 12-19% dry-basis จากผลการทดลอง พบว่า อัตราการอบแห้งขนุนขึ้นกับอุณหภูมิอบแห้งอย่างมากเมื่อเทียบกับความชื้นเริ่มต้นของ ตัวอย่าง สำหรับการศึกษาจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งชั้นบางของขนุนพบว่า แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับการอบแห้งขนุนแบบชั้นบางโดยใช้สมการแบบ Logarithmic, Approximation of Diffusion และ Modified Page สามารถใช้อธิบายพฤติกรรมการอบแห้งขนุนด้วยรังสีอินฟราเรด การอบแห้งด้วยพลังงานความร้อนร่วมระหว่างรังสีอินฟราเรดร่วมกับ

ลมร้อน และการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอนด้วยคลื่นไมโครเวฟกับลมร้อนได้เป็นอย่างดี ตามลำดับ เมื่อพิจารณาแหล่งพลังงานที่ใช้ พบว่า การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรดมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าการอบแห้งด้วยแหล่งพลังงานอื่นๆ นอกจากนี้ พบว่าการอบแห้งด้วยอุณหภูมิอบแห้งที่สูงจะมีความสิ้นเปลืองพลังงานต่ำกว่ากรณีการอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ สำหรับการวิเคราะห์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ การหดตัว สี และความยอมรับในการบริโภค พบว่า เมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น ค่าความสว่าง (L^*) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ค่าความเป็นสีเหลือง (b^*) เพิ่มขึ้น และการเปลี่ยนแปลงสีรวม (ΔE^*) เพิ่มขึ้น ในทางตรงข้าม พบว่า ค่าความเป็นสีแดง (a^*) และการหดตัวมีค่าลดลง นอกจากนี้ การทดสอบทางประสาทสัมผัสโดยการชิมและความยอมรับได้ในการบริโภคในแต่ละสภาวะอบแห้ง พบว่าขนุนอบแห้งทุกเงื่อนไขการทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญโดยไม่ขึ้นกับอุณหภูมิอบแห้ง (ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%) และร้อยละของการหดตัวของผลิตภัณฑ์

อนุสรนา นาคี, ยุทธนา ภูริระวิชย์กุล และสุภวรรณ ภูริระวิชย์กุล (2555) ศึกษาแนวทางการอบแห้งใบเตยเพื่อใช้ทำชาด้วยรังสีอินฟราเรดร่วมกับลมร้อน โดยเปรียบเทียบกับ การอบแห้งด้วยลมร้อนเพียงอย่างเดียว ซึ่งจะพิจารณาจลนพลศาสตร์การอบแห้ง คุณภาพของใบเตยหลังการอบแห้ง และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง การทดลองอบแห้งในช่วงอุณหภูมิ 45-65°C กำลังรังสีอินฟราเรด 500 และ 1,000 W ความชื้นเริ่มต้น และความชื้นสุดท้ายของใบเตยอยู่ในช่วง 400-600% มาตรฐานแห้ง และ 8-12% มาตรฐานแห้ง ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่า อัตราการอบแห้งจะสูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้นขณะที่ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้ออบแห้ง การทำนายผลของจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมที่ใช้ทำนายจลนพลศาสตร์ การอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด 1,000 W ร่วมกับลมร้อนและการอบแห้งด้วยลมร้อนอย่างเดียว คือ แบบจำลอง Logarithmic ส่วนแบบจำลองที่ใช้ทำนายการอบแห้งด้วยรังสีอินฟราเรด 500 W ร่วมกับลมร้อน คือ แบบจำลองของ Page โดยผลการทดลองที่ค่าใกล้เคียงกับแบบจำลองดังกล่าว ในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ พบว่า ร้อยละการคืนตัว และค่าสีในระบบ CIE (L^* , a^* และ b^*) ของใบเตยอบแห้ง ในทุกกรณีไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

อัจฉรา แซ่ไคว้, สุภวรรณ ภูริระวิชย์กุล และยุทธนา ภูริระวิชย์กุล (2556) ศึกษาปัจจัยของสภาวะในการอบแห้งต่อจลนพลศาสตร์และคุณภาพการอบแห้งพริกไทย โดยกระบวนการอบแห้งแบบ 1 ขั้นตอน ด้วยการพาความร้อนของลมร้อน การแผ่รังสีใต้แดงและกระบวนการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน ด้วยการแผ่รังสีของไมโครเวฟร่วมการพาความร้อนด้วยลมร้อน และการอบแห้ง 2 ขั้นตอนด้วยไมโครเวฟและรังสีใต้แดง โดยความชื้นเริ่มต้นของเม็ดพริกไทยสดและความชื้นสุดท้ายของเม็ดพริกไทยแห้งอยู่ในช่วงร้อยละ 300-400 ของมูลฐานแห้งและร้อยละ 12-16 ของมูลฐานแห้งตามลำดับ ผลทดลองพบว่า การอบแห้งพริกไทยเกิดขึ้นในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง โดยอุณหภูมิอบแห้งมีผล โดยตรงต่ออัตราการอบแห้งและระยะเวลาอบแห้ง นอกจากนี้ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การอบแห้งด้วยอุณหภูมิอบแห้งสูงทุกแหล่ง พลังงานความร้อนจะมีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำกว่ากรณีอบแห้งด้วยอุณหภูมิต่ำ และที่อุณหภูมิอบแห้งเดียวกัน การอบแห้งด้วยรังสีใต้แดงเพียงอย่างเดียวมีอัตราการอบแห้งและค่าสัมประสิทธิ์ การแพร่ยังผลสูงที่สุด ในกรณีการสร้างแบบจำลอง ทำนายจลนพลศาสตร์ของการอบแห้งภายใต้เงื่อนไขต่างๆ ด้วยวิธีการถดถอยแบบไม่เชิง

เส้น สรุปได้ว่า แบบจำลองของ Page สามารถ ทำนายผลจลนพลศาสตร์การอบแห้งพริกไทยด้วยรังสีได้แดงทั้งแบบขั้นตอนเดียว การอบแห้งด้วยลมร้อนแบบขั้นตอนเดียว และ การอบแห้ง 2 ขั้นตอนด้วยไมโครเวฟและรังสีได้แดงได้ดีที่สุด ส่วนกรณีการอบแห้งแบบ 2 ขั้นตอน โดยใช้ไมโครเวฟกับลมร้อน ผลการทดลองอัตราส่วนความชื้นจะมีความสัมพันธ์สอดคล้องกับผลการทำนายด้วยแบบจำลองลอการิทึม (Logarithmic model) และ จากการศึกษาวิเคราะห์เชิงคุณภาพได้แก่ การหาค่าสีในระบบ CIE-Lab ในเทอมของความสว่าง (L^*) ความเป็นสีแดง (a^*) และความเป็นสีเหลือง (b^*) และร้อยละของการหดตัว สรุปได้ว่า ที่อุณหภูมิอบแห้งต่ำ (อัตราการอบแห้งต่ำ) การหดตัวของพริกไทยมีค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับ การอบแห้งที่อุณหภูมิอบแห้งสูง (อัตราการอบแห้งสูง) และค่าความสว่าง (L^*) ของพริกไทยภายหลังการอบแห้ง ที่อุณหภูมิต่ำ มีแนวโน้มลดลงเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยอุณหภูมิสูง การอบแห้งด้วยลมร้อนนั้นค่าความสว่างลดลงกว่ากรณีเงื่อนไขขอบแห้ง อื่นๆ โดยอุณหภูมิในการอบแห้งไม่มีผลต่อการทดสอบทางประสาทสัมผัสอย่างมีนัยสำคัญเชิงสถิติ ($p < 0.05$) และผลิตภัณฑ์พริกไทยดำอบแห้งสำหรับทุกสภาวะการทดลองเป็นที่ยอมรับในการบริโภค สำหรับการหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ สรุปได้ว่า การอบแห้งโดยการแผ่รังสีความร้อนจากรังสีได้แดง และการใช้แหล่งพลังงานความร้อนร่วมไมโครเวฟและรังสีได้แดงมีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำเมื่อเทียบกับสภาวะการอบแห้งอื่นๆ ในการอบแห้งพริกไทยดำที่อุณหภูมิต่ำในช่วง 50-80°C.

aktas M. et al., (2016) พัฒนาเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน (HPD) และเครื่องอบแห้งอินฟราเรด (IRD) นอกจากนี้เปรียบเทียบซึ่งได้มาจากการวิเคราะห์ทั้งสองวิธี และวิเคราะห์จลนพลศาสตร์ การอบแห้งของขนมปังหั่นหนา 15 มิลลิเมตร สัมประสิทธิ์สมรรถนะของระบบปั๊มความร้อน ($COP_{ws, HP}$) ที่คำนวณได้เป็น 3.7 และประสิทธิภาพการอบแห้งของ IRD และ HPD เท่ากับ 39% และ 25% ตามลำดับ เมื่อนำระบบ IRD และ HPD มาเปรียบเทียบในแง่ของเวลาการอบแห้งและการใช้พลังงาน พบว่าระบบ IRD ไม่เพียงแต่ทำให้เวลาในการอบแห้งสั้นลงถึง 69% แต่ยังคงลดการใช้พลังงานของระบบลง 43.2%

Younis M. et al., (2017) ศึกษาการอบแห้งกระเทียมด้วยรังสีอินฟราเรด (IR) ที่ความเข้มรังสี 0.075, 0.15, 0.225 และ 0.3W/cm² และ 0.75 และ ความเร็วของอากาศอบแห้ง 0.75 และ 1.25 เมตร/วินาที ผลการวิจัยพบว่า การเพิ่มขึ้นของอัตราการอบแห้งและการลดลงของเวลาการอบแห้ง เป็นผลมาจากการลดความเร็วของอากาศอบแห้ง และความเข้มรังสีอินฟราเรดที่เพิ่มขึ้น ส่วนพลังงานกระตุ้น (activation energy : E_a) โดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณความเข้มรังสีอินฟราเรดลดลงและความเร็วการของอากาศอบแห้งเพิ่มขึ้น