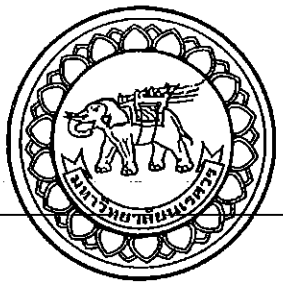


เครื่องอบกล้วยอนามัยแบบใหม่โดยใช้การแลกเปลี่ยนความร้อนจากไอน้ำ

BANANA DRYING MACHINE USING STEAM-HEAT EXCHANGER

นายตรงภพ โพธิ์ศรีเรือง รหัส 48361509

นายนคร ทองบุญ รหัส 48364425

นายประดิษฐ์ พึ่งกัน รหัส 48363695

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 25 / พ.ค. 2553 /
เลขทะเบียน 1500732x
เลขเรียกหนังสือ ว.ท.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ต 132.ค 2551

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2551

ใบรับรองโครงงานวิศวกรรม

หัวข้อโครงงาน เครื่องอบกล้วยอนามัยแบบใหม่โดยใช้การแลกเปลี่ยนความร้อนจากไอน้ำ

ผู้ดำเนินโครงงาน	นายตรงภพ	โพธิ์ศรีเรือง	รหัส	48361509
	นายนคร	ทองบุญ	รหัส	48364425
	นายประดิษฐ์	พึ่งกัน	รหัส	48363695
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.แคทรียา	สุวรรณศรี		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมศก	วิไลพล		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า			
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์			
ปีการศึกษา	2551			

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้โครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

คณะกรรมการสอบโครงงานวิศวกรรม

.....ประธานกรรมการ
(ดร.แคทรียา สุวรรณศรี)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมศก วิไลพล)

.....กรรมการ
(อาจารย์สราวุฒิ วัฒนวงค์พิทักษ์)

หัวข้อโครงงาน	เครื่องอบกล้วยอนามัยแบบใหม่โดยใช้การแลกเปลี่ยนความร้อนจากไอน้ำ			
ผู้ดำเนินโครงงาน	นายตรงภพ	โพธิ์ศรีเรือง	รหัส	48361509
	นายนคร	ทองบุญ	รหัส	48364425
	นายประดิษฐ์	พึ่งกัน	รหัส	48363695
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.แคทรียา	สุวรรณศรี		
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐมศก	วิไลพล		
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า			
ภาควิชา	วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์			
ปีการศึกษา	2551			

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ศึกษาและพัฒนาเครื่องอบกล้วยของเกษตรกรในกลุ่มวิสาหกิจชุมชนกล้วยตากอินทรีย์บ้านไร่ เครื่องอบกล้วยที่มีอยู่เดิมนั้นใช้แก๊สเผาอากาศเพื่อให้เกิดความร้อนแล้วนำมาอบแบบสัมผัสกับผิวของกล้วยโดยตรง จึงประสบปัญหาในเรื่องสิ่งปนเปื้อนและปัญหาความสะอาดที่ยังไม่ได้มาตรฐานสุขลักษณะอาหาร (มอก.) ด้วยเหตุนี้วิสาหกิจชุมชนหลายแห่งรวมถึงวิสาหกิจชุมชน กล้วยตาก อินทรีย์บ้านไร่ จึงมีความต้องการพัฒนาเครื่องอบกล้วยตากให้มีคุณภาพและความสามารถในการอบที่ดีขึ้นจากแบบดั้งเดิม ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงได้พัฒนาโดยการเปลี่ยนมาใช้กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนจากไอน้ำและพัฒนาเครื่องอบกล้วยแบบใหม่ขึ้นมาเพื่อให้กลุ่มวิสาหกิจชุมชนสามารถผลิตกล้วยตากอนามัย (Healthy Dried-Banana) ซึ่งเป็นผลผลิตหลักของเกษตรกรจังหวัดพิษณุโลกให้มีความสะอาดได้ตามมาตรฐานสุขลักษณะอาหาร (มอก.) รวมถึงสามารถผลิตกล้วยอบได้ทุกฤดูกาล สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรได้ตลอดทั้งปี

ผลจากการทดลองในโครงงานคือเครื่องอบแบบใช้กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนจากไอน้ำซึ่งสามารถผลิตกล้วยอบที่มีคุณภาพความสะอาดได้ตามมาตรฐานสุขลักษณะอาหาร (มอก.) และผลิตได้ในปริมาณที่มากกว่าเครื่องอบแบบดั้งเดิม โดยความสามารถในการผลิตกล้วยอบมีปริมาณอยู่ที่ 900 กิโลกรัม ต่อ 1 รอบการผลิต

Project Title	Banana Drying Machine Using Steam-Heat Exchanger
Name	Mr. Trongphop Phosriruang ID. 48361509
	Mr. Nakhon Thongbun ID. 48364425
	Mr. Pradit Pungkan ID. 48363695
Project Advisor	Dr. Cattareeya Suwanasri
Co- Project Advisor	Asst. Prof. Dr. Patomsok Wilaipon
Major	Electrical Engineering.
Department	Electrical and Computer Engineering.
Academic Year	2008

ABSTRACT

This project aimed at studying and developing banana drying machine for peasant in small community enterprise (SCE) for dried-banana group. An antique drying machine used gas for burn the air in order to be heat then hot air directly baking banana, therefore to cause problem about cleanliness is not following to Thai Industrial Standard (TIS). For this reason, several small community enterprise groups and including small community enterprise for dried-banana group require to develop banana drying machine to have quality and ability better than antique drying machine. So that, researcher have to developing by change to using steam heat exchanger process and design new banana drying machine for small community enterprise groups can produce healthy dried-banana following to Thai Industrial Standard and these are main products of peasant in Phitsanulok province. Moreover, peasant can produce healthy dried-banana and get more revenue all through year.

The result of experiment in this project is banana drying machine by using steam heat exchanger which can produce dried-banana have cleanliness following to Thai Industrial Standard and produce dried-banana more than antique drying machine. This drying machine can produce dried-banana about 900 kilograms per a produce process.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่ายด้วยกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ขอขอบพระคุณ ดร.แคทรียา สุวรรณศรี ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำ คำปรึกษา แนวคิด ตลอดจนเสียสละเวลาในการศึกษาดูงานในสถานที่ต่างๆ และเสนอแนวทางที่ดีในการวางแผนทำโครงงาน และขอขอบพระคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ฝ่ายอุตสาหกรรม สำนักงานโครงการ IRPUS และกลุ่มชาวบ้านวิสาหกิจชุมชน กล้วยตาก อินทรีย์บ้านไร่ ตำบลบางระกำ อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ที่ได้สนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้ให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ท้ายสุดนี้ ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และคณาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอน ให้ความรู้ ให้คำแนะนำ ให้คำปรึกษา และเป็นกำลังใจให้แก่คณะผู้วิจัยด้วยดีเสมอมา

คณะผู้จัดทำโครงงาน
นายตรงภพ โพธิ์ศรีเรือง
นายนคร ทองบุญ
นายประดิษฐ์ พึ่งกัน

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข

กิตติกรรมประกาศ ..... ค

สารบัญ ..... ง

สารบัญตาราง ..... ฉ

สารบัญรูป ..... ช

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน 1

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1

1.3 ขอบข่ายของโครงงาน 2

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานและแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน 5

1.6 งบประมาณ 5

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี 7

2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง 7

2.2 การอบแห้งโดยใช้อากาศร้อน 8

2.3 การอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อน 11

2.4 การอบแห้งไอน้ำร้อนยวดยิ่ง 16

2.5 การอบแห้งด้วยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำความดันต่ำ 20

2.6 การอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด 24

2.7 สรุปข้อดีข้อเสียของเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ 27

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน 28
3.1 ศึกษาและเก็บข้อมูล 28
3.2 การออกแบบเครื่องอบ 29
3.3 การสร้างเครื่องอบ 30
3.4 ค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ของเครื่องอบแห้ง 33
3.5 วิธีทดลองการอบ 41
3.6 ผลการทดลอง 42

บทที่ 4 การออกแบบวงจรควบคุมการทำงาน 43
4.1 ออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของเครื่องอบแห้ง 43
4.2 ลำดับขั้นตอนการทำงานของวงจรควบคุมเครื่องอบแห้ง 51
4.3 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ระบบควบคุมของเครื่องอบแห้ง 53

บทที่ 5 บทสรุป 54
5.1 สรุปผล 54

เอกสารอ้างอิง 55

ประวัติผู้เขียนโครงงาน 58

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนการดำเนินโครงงาน	3
2.1	สรุปข้อดีข้อเสียของเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ	27
3.1	การแปลงค่าพลังงานของหัวแก๊สที่ใช้งาน	36
3.2	การให้ความร้อนของแก๊สแอลพีจี (LPG) 1 กิโลกรัม เมื่อใช้กับหัวแก๊ส	36
3.3	เปรียบเทียบการใช้พลังงานของแก๊สแอลพีจีกับปริมาณน้ำที่อุณหภูมิที่พิจารณา	38
3.4	ปริมาณแก๊สแอลพีจีที่ใช้ต่อน้ำในหม้อกำเนิดไอน้ำ 300 กิโลกรัม	38
3.5	ความสามารถในการผลิตกล้วย	42
4.1	ช่วงเวลาการทำงานของรีเลย์ตั้งเวลา	44
4.2	คุณสมบัติของรีเลย์	46
4.3	คุณสมบัติของเทอร์โมคัพเพิล	53

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	เครื่องอบกล้วยด้วยลมร้อนจากแก๊ส	9
2.2	แผนภาพแสดงเครื่องอบแห้งมันฝรั่งด้วยอากาศร้อนหรือลมร้อน	10
2.3	ส่วนประกอบของวัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอ	11
2.4	แผนภูมิความดันและเอนทัลปีของวัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอ	12
2.5	แผนภาพแสดงเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน	13
2.6	แสดงระบบการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน	14
2.7	แผนภาพเครื่องอบแห้งฟลูอิไดเซชั่นเบดแบบอากาศร้อน	17
2.8	แผนภาพเครื่องอบแห้งฟลูอิไดเซชั่นเบดแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่ง	17
2.9	เครื่องอบแห้งอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำ	21
2.10	แผนภาพเครื่องอบแห้งไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำ	23
2.11	แผนภาพเครื่องอบแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำ ร่วมกับการใช้รังสีอินฟราเรด	25
3.1	ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์	28
3.2	เครื่องอบกล้วยด้วยลมร้อนจากแก๊สแบบดั้งเดิม	28
3.3	แบบจำลองพร้อมขนาดของเครื่องอบแห้งแบบถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำ	29
3.4	มุมมองของเครื่องอบแห้งแบบถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำ	30
3.5	เครื่องทำไอน้ำขนาด 300กิโลวัตต์	31
3.6	หัวจุดแก๊ส (Burner) ของเครื่องทำไอน้ำ	31
3.7	ส่วนประกอบพัดลมที่ใช้ในเครื่องอบ	32
3.8	ปล่องระบายควันเครื่องทำไอน้ำ	32
3.9	แผนผังการทำงานของวงจร	33
4.1	สวิตซ์ปุ่มกดเปิดและสวิตซ์ปุ่มกดปิด	44
4.2	รีเลย์ตั้งเวลา (Timer Relay)	45
4.3	รีเลย์ตั้ง (Relay)	47
4.4	เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Control)	47
4.5	วงจรควบคุมการทำงานของเครื่องอบแห้ง	50
4.6	แผนผังลำดับการทำงานของวงจรเครื่องอบแห้ง	51

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

กล้วยเป็นหนึ่งในพืชเศรษฐกิจหลักของเกษตรกรจังหวัดพิษณุโลกเนื่องจากมีผลิตภัณฑ์แปรรูปกล้วยอย่างแพร่หลาย วิสาหกิจชุมชนกล้วยตากอินทรีย์บ้านไร่ ตำบลบางระกำ อำเภอบางระกำ จังหวัดพิษณุโลก ได้พัฒนาการผลิตกล้วยตากให้เป็นกล้วยตากอนามัย (Healthy Dried-Banana) เป็นผลผลิตหลัก ซึ่งในปัจจุบันนั้นการผลิตกล้วยตากใช้ตู้อบพลังแสงอาทิตย์ที่ปิดคลุมด้วยแผ่นพลาสติกเพื่อป้องกันฝุ่นและแมลงร่วมกับตู้อบที่ใช้แก๊สหุงต้มเป็นพลังงานหลักในการอบกล้วย กระบวนการผลิตแบบดั้งเดิมนี้ใช้การจุดแก๊สเผาอากาศให้ความร้อนเพื่ออบกล้วยที่ปลอกเปลือกเสร็จแล้ว ซึ่งวิธีดั้งเดิมนี้ได้นำมาจากวิธีการอบแห้งของเมล็ดพืชที่มีเปลือก เช่น ลำไย ถั่ว และอื่น ๆ จึงประสบปัญหาในเรื่องสิ่งปนเปื้อนจากแก๊สและปัญหาความสะอาดที่ยังไม่ได้มาตรฐานสุขลักษณะอาหาร (มอก.) เนื่องจากอากาศที่ถูกเผาโดยแก๊สและฝุ่นละอองสัมผัสโดยตรงกับผิวกล้วย รวมทั้งไม่สามารถผลิตได้ในฤดูฝนหรือในช่วงเวลาที่มีแสงแดดไม่เพียงพอ ทำให้กลุ่มเกษตรกรสูญเสียรายได้ในช่วงเวลาดังกล่าว ดังนั้นวิสาหกิจชุมชนหลายแห่งรวมถึงวิสาหกิจชุมชนกล้วยตาก อินทรีย์บ้านไร่ จึงมีความต้องการพัฒนาเครื่องอบกล้วยตาก (Drying Machine) จากแบบดั้งเดิม มาเป็นแบบใช้กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยใช้แก๊สไปต้มน้ำผ่านกระบวนการอัดความดันจนเป็นไอน้ำ (Steam) จากนั้นไอน้ำที่ได้จะถูกส่งมายังตัวแลกเปลี่ยนความร้อน (Heat Exchanger) ที่ส่งผ่านความร้อนมายังห้องอบกล้วย ความร้อนที่ได้ภายในห้องอบกล้วยจะถูกควบคุมอุณหภูมิ เวลา และความชื้นให้ได้ตามมาตรฐานการผลิต กระบวนการผลิตแบบใหม่นี้จะไม่ทำให้อากาศที่ได้จากการเผาแก๊สสัมผัสกับกล้วยอบโดยตรง สามารถรักษาความสะอาดได้ตามมาตรฐานอนามัยทางอาหาร เครื่องจักรดูแลรักษาง่ายและเน้นการประหยัดพลังงาน แก้ปัญหาการผลิตในช่วงเวลาที่มีแสงแดดไม่เพียงพอตามที่กล่าวมาข้างต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนจากไอน้ำและระบบควบคุมอุณหภูมิ

1.2.2 เพื่อพัฒนาเครื่องอบกล้วยอนามัยแบบใหม่โดยใช้กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนจากไอน้ำให้ได้มาตรฐานการผลิต (มอก.) ราคาประหยัด ดูแลรักษาง่าย สามารถผลิตกล้วยตากได้ทุกฤดูกาล

1.3 ขอบข่ายของโครงงาน

1.3.1 ศึกษาการทำงานเครื่องอบกล้วยแบบใช้แก๊สดั้งเดิม ทำการทดลองอบกล้วย เก็บข้อมูลผลผลิตที่ได้จากใช้ตู้อบแบบดั้งเดิม เพื่อเป็นข้อมูลเปรียบเทียบหลังการพัฒนาปรับปรุงเครื่อง

1.3.2 พัฒนากระบวนการต้มน้ำโดยใช้แก๊สและกระบวนการอัดความดันจนเป็นไอน้ำ

1.3.3 พัฒนากระบวนการการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการส่งไอน้ำ มาที่ตัวส่งผ่านความร้อน (Heat Exchanger) ไปยังห้องอบกล้วย

1.3.4 พัฒนาระบบกระจายความร้อน โดยออกแบบระบบไหลเวียนของลมร้อนให้กระจายความร้อนอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอที่ 50 องศาเซลเซียส

1.3.5 ปรับปรุงระบบกรองอากาศและฝุ่น ระบบป้องกันแมลง โดยออกแบบระบบกรองลมเข้าก่อนส่งมาที่ตู้อบ ทำให้ได้ผลผลิตกล้วยตากคุณภาพและถูกหลักอนามัย

1.3.6 ปรับปรุงระบบควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบและระบบตั้งเวลาอบให้เหมาะสม โดยออกแบบและติดตั้งเซนเซอร์อุณหภูมิและตัวตั้งเวลา ให้ได้ตามมาตรฐานการผลิต

1.3.7 การออกแบบระบบทุกระบบจะเน้นได้มาตรฐาน เที่ยงตรง ราคาประหยัด ดูแลรักษาง่าย และซ่อมบำรุงได้โดยช่างในท้องถิ่น

1.4 ขั้นตอนการดำเนินโครงงานและแผนการดำเนินโครงงานตลอดโครงการวิจัย

1.4.1 ศึกษาการทำงานเครื่องอบกล้วยแบบใช้แก๊สดั้งเดิม ทำการทดลองอบกล้วย เก็บข้อมูลผลผลิตที่ได้จากใช้ตู้อบแบบใช้ดั้งเดิม เพื่อเป็นข้อมูลเปรียบเทียบหลังการพัฒนาปรับปรุงเครื่อง

1.4.2 ออกแบบกระบวนการต้มน้ำโดยใช้แก๊ส กระบวนการอัดความดันจนเป็นไอน้ำ และกระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการส่งไอน้ำ มาที่ตัว ส่งผ่านความร้อนไปยังห้อง อบกล้วย

1.4.3 สร้างระบบการต้มน้ำโดยใช้แก๊สและกระบวนการอัดความดันจนเป็นไอน้ำและระบบการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการส่งไอน้ำ มาที่ตัวส่งผ่านความร้อนไปยังห้องอบกล้วย

1.4.4 ปรับปรุงระบบกระจายความร้อน โดยออกแบบระบบไหลเวียนของลมร้อนให้กระจายความร้อนอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอที่ 50 องศาเซลเซียส

1.4.5 ปรับปรุงระบบกรองอากาศและฝุ่น ระบบป้องกันแมลง โดยออกแบบระบบกรองลมเข้าก่อนส่งมาที่ตู้อบ ทำให้ได้ผลผลิตกล้วยตากคุณภาพและถูกหลักอนามัย

1.4.6 ปรุงระบบควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบและระบบตั้งเวลาอบให้เหมาสม โดยออกแบบและติดตั้งเซนเซอร์อุณหภูมิและตัวตั้งเวลา ให้ได้ตามมาตรฐานการผลิต

1.4.7 รวบรวมข้อมูลเข้ารูปเล่มพร้อมทั้งชิ้นงาน เสนอแนะแนวทางพัฒนาต่อ และเตรียมนำเสนอนิทรรศการ

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินโครงงาน

กิจกรรม	ระยะเวลาดำเนินงาน (เดือน 2551-2552)										ผู้รับผิดชอบ/ผู้ปฏิบัติ	หมายเหตุ
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.		
1. ศึกษาการทำงานเครื่องอบกล้วยแบบใช้แก๊สดั้งเดิม ทำการทดลองอบกล้วย เก็บข้อมูลผลผลิตที่ได้จากใช้ตู้อบแบบใช้แก๊สดั้งเดิม เพื่อเป็นข้อมูลเปรียบเทียบหลังการพัฒนาปรับปรุงเครื่อง	↔										ดร.แคทรียา สุวรรณศรี นายตรงภพ โพธิ์ศรีเรือง นายนคร ทองบุญ นายประดิษฐ์ พึ่งกัน	
2. ออกแบบกระบวนการต้มน้ำโดยใช้แก๊ส, กระบวน การอัดความดันจนเป็นไอน้ำ และกระบวนการแลก เปลี่ยนความร้อนโดยการส่งไอน้ำมาที่ตัวส่งผ่านความร้อนไปยังห้อง อบกล้วย		↔	↔	↔							ดร.แคทรียา สุวรรณศรี นายตรงภพ โพธิ์ศรีเรือง นายนคร ทองบุญ นายประดิษฐ์ พึ่งกัน	
3. สร้างระบบการต้มน้ำโดยใช้แก๊สและกระบวนการอัดความดันจนเป็นไอน้ำและระบบการแลกเปลี่ยนความร้อนโดยการส่งไอน้ำมาที่ตัวส่งผ่านความร้อนไปยังห้องอบกล้วย				↔	↔	↔	↔				ดร.แคทรียา สุวรรณศรี นายตรงภพ โพธิ์ศรีเรือง นายนคร ทองบุญ นายประดิษฐ์ พึ่งกัน	
4. ปรับปรุงระบบกระจายความร้อนโดยออกแบบระบบไหล เวียนของลมร้อนให้กระจายความร้อนอย่างทั่วถึงและสม่ำเสมอที่50 องศาเซลเซียส						↔	↔				ดร.แคทรียา สุวรรณศรี นายตรงภพ โพธิ์ศรีเรือง นายนคร ทองบุญ นายประดิษฐ์ พึ่งกัน	

ตารางที่ 1.1 (ต่อ) แผนการดำเนินโครงงาน

กิจกรรม	ระยะเวลาดำเนินงาน (เดือน 2551-2552)										ผู้รับผิดชอบ/ผู้ปฏิบัติ	หมายเหตุ
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.		
5. ปรับปรุงระบบกรองอากาศและฝุ่นระบบป้องกันแมลงโดยออกแบบระบบกรองลมเข้าก่อนส่งมาที่ตู้อบ ทำให้ได้ผลผลิตกล้วยตากคุณภาพและถูกหลักอนามัย							←	→			ดร.แคทรียา สุวรรณศรี นายตรงภพ โพธิ์ศรีเรือง นายนคร ทองบุญ นายประดิษฐ์ พึ่งกัน	
6. ปรุงระบบควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบและระบบตั้งเวลาอบให้เหมาสม โดยออกแบบและติดตั้งเซนเซอร์อุณหภูมิและตัวตั้งเวลาให้ได้ตามมาตรฐานการผลิต								←	→		ดร.แคทรียา สุวรรณศรี นายตรงภพ โพธิ์ศรีเรือง นายนคร ทองบุญ นายประดิษฐ์ พึ่งกัน	
7. ทดสอบการทำงานของตู้อบพร้อมทั้งการตรวจสอบคุณภาพกล้วยตากเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผล แก้ไขความผิดพลาด									←	→	ดร.แคทรียา สุวรรณศรี นายตรงภพ โพธิ์ศรีเรือง นายนคร ทองบุญ นายประดิษฐ์ พึ่งกัน	
8. รวบรวมข้อมูลเข้ารูปเล่มพร้อมทั้งชิ้นงาน เสนอแนะแนวทางพัฒนาต่อ และเตรียมนำเสนอนิทรรศการ									←	→	ดร.แคทรียา สุวรรณศรี นายตรงภพ โพธิ์ศรีเรือง นายนคร ทองบุญ นายประดิษฐ์ พึ่งกัน	

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากโครงงาน

1.5.1 นักศึกษานำความรู้ที่ได้ศึกษามาใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องอบกล้วยให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน

1.5.2 วิสาหกิจชุมชนสามารถใช้เครื่องอบกล้วย ผลิตกล้วยตากได้ตลอดทั้งปี

1.5.3 การผลิตกล้วยอบอนามัยสามารถรักษาความสะอาดและปลอดภัยตามมาตรฐาน มอก.

1.5.4 วิสาหกิจชุมชนสามารถผลิตและขายกล้วยอบอนามัย สร้างรายได้ให้กับกลุ่มสมาชิกได้ตลอดทั้งปี

1.5.5 เป็นต้นแบบการปรับปรุงและพัฒนาเครื่องอบกล้วยตากแบบใช้แก๊สให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.5.6 สร้างปฏิสัมพันธ์ที่ดีระหว่างชุมชนและมหาวิทยาลัยนเรศวร

1.5.7 เป็นแหล่งเรียนรู้และดูงานให้กับชุมชนอื่น

1.6 งบประมาณของโครงงาน

ซึ่งเป็นงานวิจัยที่ได้รับทุนเป็นจำนวนเงิน 100,000 บาท ในการสร้างนวัตกรรมใหม่ๆ จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการทำวิจัย (สกว.) หรือ Industrial and Research Projects for Undergraduate Students (IRPUS) www.irpus.org และได้รับทุนเป็นจำนวนเงิน 650,000 บาท จากวิสาหกิจชุมชนกล้วยตากอินทรีย์บ้านไร่ โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.6.1	งบประมาณทั้งโครงงาน	750,000	บาท
1.6.1.1	จาก สกว.	100,000	บาท
	ค่าตอบแทนอาจารย์ที่ปรึกษา	20,000	บาท
	ทุนการศึกษาของนักศึกษา	30,000	บาท
	ค่าวัสดุ	45,000	บาท
	ค่าใช้สอย	5,000	บาท
	รวมเป็นเงิน	100,000	บาท
1.6.1.2	จากวิสาหกิจชุมชนกล้วยตากอินทรีย์บ้านไร่	650,000	บาท
	เครื่องทำไอน้ำ 300 กิโลวัตต์ พร้อมหัวจุดแก๊ส	120,000	บาท
	วาล์วควบคุมแรงดันแก๊ส	14,000	บาท
	ถังความดัน (เพรสเชอร์แทงค์)	6,000	บาท
	ท่อเดินจากเครื่องทำไอน้ำมาห้องอบ	45,000	บาท
	ท่อเดินแก๊สมายังเครื่องทำไอน้ำ	1,000	บาท

ขดท่อน้ำร้อน (Hot Water Coil)	65,000	บาท
อุปกรณ์ชุดควบคุม	29,000	บาท
ตู้อบสเตนเลส	160,000	บาท
ถาดใส่ผลิตภัณฑ์	108,000	บาท
โครงรับถาด 3 ชั้น	28,000	บาท
โครงรับขดลวดพัดลม	18,000	บาท
พัดลม 3.75 กิโลวัตต์ ความเร็ว 960 รอบต่อนาที	25,000	บาท
ปล่องควัน	20,000	บาท
กรองกันฝุ่น	3,000	บาท
อื่นๆ	8,000	บาท
รวมเป็นเงิน	650,000	บาท
รวมทั้งสิ้น	750,000	บาท

มหาวิทยาลัยนเรศวร

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

2.1 ทฤษฎีการอบแห้ง

การอบแห้งเป็นกระบวนการถ่ายเทความร้อนและถ่ายเทมวลสารที่เกิดขึ้นพร้อมๆกัน มักใช้อากาศเป็นตัวกลางในการอบแห้งวัสดุโดยการผ่านอากาศร้อน ซึ่งจะเกิดการถ่ายเทความร้อนแบบการพาความร้อนและการแผ่รังสี โดยทั่วไปมักจะใช้วิธีการพาความร้อนและความร้อนสัมผัสจากอากาศที่วัสดุได้รับส่วนใหญ่จะใช้ในการทำให้น้ำระเหยออกจากวัสดุ

การอบแห้งปกติบ่งบอกถึงกระบวนการพาความร้อนออกเพื่อระเหยความชื้นของสสารให้ผลิตภัณฑ์เปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งขึ้น ปกติแล้วความชื้นจะรวมตัวกันด้วยพันธะที่ไม่หนาแน่นมาก แสดงให้เห็นถึงสสารที่เป็นของเหลวที่อยู่ภายในโครงสร้างของสสารที่เป็นของแข็งนั้นพยายามทำให้ความดันไอน้ำระเหยน้อยกว่าของเหลวปกติ จึงเรียกสภาวะนี้ว่าความชื้นสมดุล ส่วนความชื้นที่เป็นส่วนเกินของความชื้นสมดุลเรียกว่าความชื้นไม่สมดุล

เมื่อสสารของแข็งที่มีความชื้นถูกนำไปอบความร้อนจะมีกระบวนการเกิดขึ้น 2 ขั้นตอนคือ

1. การถ่ายพลังงานความร้อนจากสภาวะแวดล้อมโดยรอบไปทำให้ความชื้นบริเวณพื้นผิวของสสารระเหยกลายเป็นไอ

2. เกิดการถ่ายเทความชื้นภายในกับพื้นผิวของสสารของแข็งและการระเหยของความชื้นในภายหลัง

อัตราที่ทำให้การอบสมบูรณ์ถูกควบคุมโดยอัตราที่จะกล่าวถึงใน 2 กระบวนการดังที่กล่าวไว้ด้านล่าง พลังงานถ่ายเทในรูปความร้อนจากสภาวะแวดล้อมโดยรอบไปที่ของแข็งที่มีความชื้นซึ่งเกิดขึ้นได้โดยการพาความร้อน การนำ การแผ่หรืออีกกรณีหนึ่งคือการรวมกันทั้งหมดของวิธีที่กล่าวมานี้ เครื่องอบในโรงงานอุตสาหกรรมมีความแตกต่างในเรื่องรูปแบบและการออกแบบขึ้นอยู่กับวิธีการในการถ่ายเทความร้อนที่ใช้ ในกรณีส่วนใหญ่นั้นความร้อนมักถูกส่งผ่านไปที่พื้นผิวของสสารของแข็งที่มีความชื้นแล้วถึงผ่านเข้าสู่ภายในสสาร อย่างไรก็ตามในฉนวนป้องกันคลื่นความถี่ทางวิทยุหรือการแช่แข็งด้วยคลื่นไมโครเวฟ พลังงานจะถูกจ่ายเพื่อให้กำเนิดความร้อนภายในสสารของแข็งและไหลไปสู่พื้นผิวภายนอก

กระบวนการที่ 1 กำจัดน้ำออกไปจากบริเวณพื้นผิวของสสารในรูปของไอน้ำ ขึ้นอยู่กับสภาวะอุณหภูมิภายนอก ความชื้นและอัตราการไหลของอากาศบริเวณพื้นผิวรวมทั้งความดัน

กระบวนการที่ 2 การกำจัดความชื้นภายในของสสารของแข็งเป็นหน้าที่ทางกายภาพที่เป็นธรรมชาติของสสารของแข็ง อุณหภูมิและปริมาณความชื้นของสสารเอง ในการอบสิ่งใดก็ตามในกระบวนการนี้อาจกำหนดปัจจัยในการควบคุมอัตราการอบได้โดยตลอดทั้งกระบวนการอบ

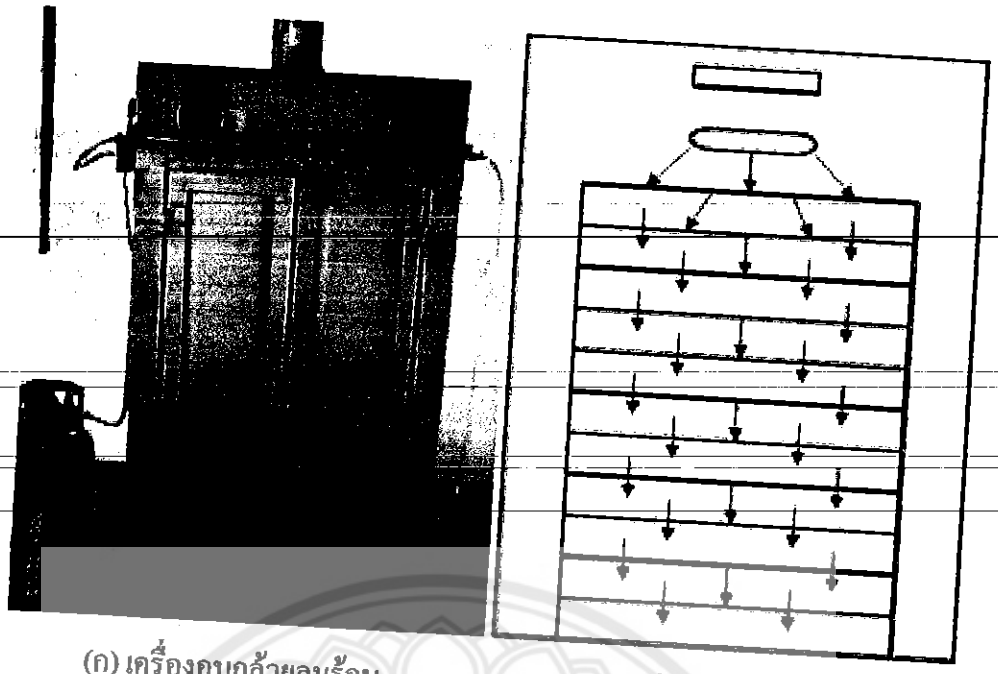
2.2 การอบแห้งโดยใช้ลมร้อนหรืออากาศร้อน (Hot Air)

2.2.1 เครื่องอบกล้วยแบบลมร้อนจากแก๊ส

การอบแห้งด้วยอากาศร้อนหรือลมร้อนเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการลดความชื้นของผลิตภัณฑ์ โดยการอบแห้งด้วยอากาศร้อนนั้นมีตัวแปรที่มีอิทธิพลต่ออัตราการอบแห้ง คือ อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง อัตราการไหลของอากาศ ความชื้นเริ่มต้นของผลิตภัณฑ์ และอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ เป็นต้น ซึ่งอิทธิพลที่ชัดเจนที่สุดที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งคืออุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง

จากงานวิจัยที่ผ่านมา [1-3] ได้ใช้การอบแห้งด้วยลมร้อนเพื่ออบแห้งผลิตภัณฑ์ เช่น มะม่วง แช่อิ่ม เมล็ดกาแฟ และข้าวกล้อง แต่เนื่องจากอุณหภูมิในการอบแห้งสูง จะมีผลกระทบต่อรสชาด คุณภาพ ความสะอาด และสีหลังการอบแห้ง ส่งผลต่อมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมและตลาดผู้บริโภค ดังนั้นเพื่อให้ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ตามที่มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมระบุไว้ ได้มีการพยายามคิดค้นกระบวนการผลิตใหม่ ๆ เช่น การอบแห้งโดยปั๊มความร้อน การอบแห้งไอน้ำร้อนยวดยิ่ง และการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำสำหรับผลิตภัณฑ์อาหารตลอดระยะเวลา 20 ปีที่ผ่านมา

การอบกล้วยด้วยลมร้อนที่ใช้ในปัจจุบัน โครงสร้างตู้อบแบบลมร้อนจากแก๊สส่วนใหญ่ทำด้วยเหล็กทั้งภายในและภายนอกซึ่งเป็นวัสดุที่ไม่กันสนิมและการออกแบบตู้อบกล้วยนั้นยังไม่เหมาะสมในเรื่องระบบการให้ความร้อนภายในตู้ เนื่องจากระบบการกระจายความร้อนที่ส่งผ่านความร้อนด้วยพัดลมผ่านหัวแก๊สที่อยู่ด้านบนไปยังกล้วยด้านล่างโดยตรง ทำให้วัตถุได้รับความร้อนไม่ทั่วถึงและแห้งไม่เท่ากันทั้งตู้ และตู้อบกล้วยแบบลมร้อนยังไม่สามารถป้องกันฝุ่นละอองและแมลงได้เนื่องจากไม่มีอุปกรณ์ดักฝุ่น ดังรูปที่ 2.1 [4]



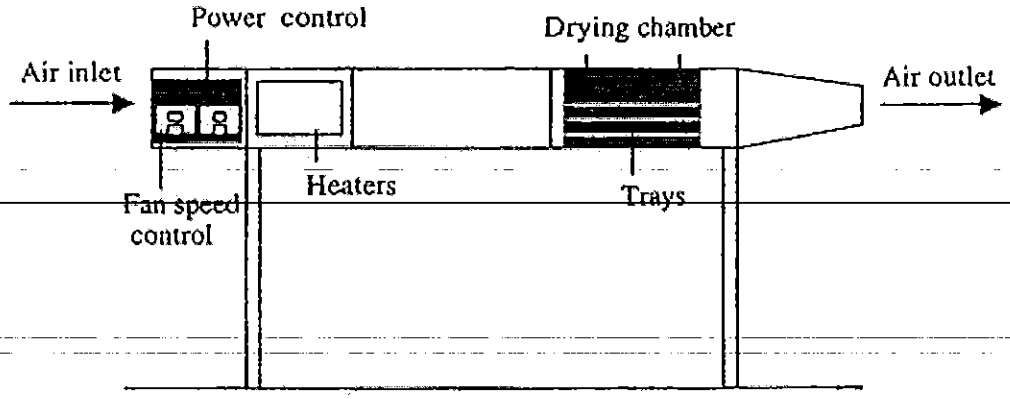
(ก) เครื่องอบกล้วยลมร้อน (ข) การไหลของอากาศร้อน

รูปที่ 2.1 เครื่องอบกล้วยด้วยลมร้อนจากแก๊ส

การอบกล้วยแบบดังกล่าว อากาศร้อนจากการเผาไหม้แก๊สที่อุณหภูมิประมาณ 50-60 องศาเซลเซียส จะสัมผัสกับผิวของกล้วยโดยตรง อัตราการระเหยของความชื้นเกิดรวดเร็วเกินกว่าอัตราที่ต้องการในการอบกล้วยทำให้ผิวกล้วยไหม้ได้ง่าย อีกทั้งยังมีปัญหาเรื่องความสะอาดและคุณภาพของอาหารอีกด้วย จึงสามารถกล่าวได้ว่าตู้อบลมร้อนแบบดังกล่าวเหมาะสมสำหรับการอบผลิตภัณฑ์ที่มีเปลือก เช่น ลำไย กาแฟ และถั่วเหลือง แต่ไม่เหมาะกับผลิตภัณฑ์ที่ต้องปลอกเปลือก เช่น กล้วยอบ เป็นต้น

2.2.2 เครื่องอบแห้งมันฝรั่งด้วยอากาศร้อน

โดยทั่วไปแล้วการอบด้วยอากาศร้อนมีผลทำให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์เสื่อมลง จากการสำรวจเรื่องวิธีการอบที่มีผลต่อสีของมันฝรั่งที่แห้ง [5] พบว่าการอบด้วยอากาศปกติทำให้เกิดสีน้ำตาลเป็นจำนวนมากส่งผลให้ความมันวาวนั้นลดลงและเพิ่มรอยแดงและรอยสีเหลืองให้กับมันฝรั่งที่แห้งด้วย จากการศึกษาคุณภาพและการเปลี่ยนโครงสร้าง (ในส่วนของการสลายวิตามินซี การหดตัวและการทำปฏิกิริยากับน้ำ) ของมันฝรั่งในระหว่างการอบด้วยไมโครเวฟและการนำพาความร้อน [6] ผลที่ได้คือการอบที่สภาวะปกติส่งผลให้เกิดการสูญเสียวิตามินซีมากกว่ากรณีการอบด้วยไมโครเวฟ ความต่างของปฏิกิริยาการรวมตัวกับน้ำของการอบอากาศแห้งบริเวณถาดนั้นมีค่าน้อยกว่าค่าของการอบแห้งด้วยคลื่น นอกจากนั้นมีการพัฒนาค้านความแข็งของพื้นผิวในกรณีการอบผลิตภัณฑ์ด้วยอากาศที่อุณหภูมิสูงๆซึ่งส่งผลให้มีการลดระดับการหดตัวลง



รูปที่ 2.2 แผนภาพแสดงเครื่องอบแห้งมันฝรั่งด้วยอากาศร้อนหรือลมร้อน

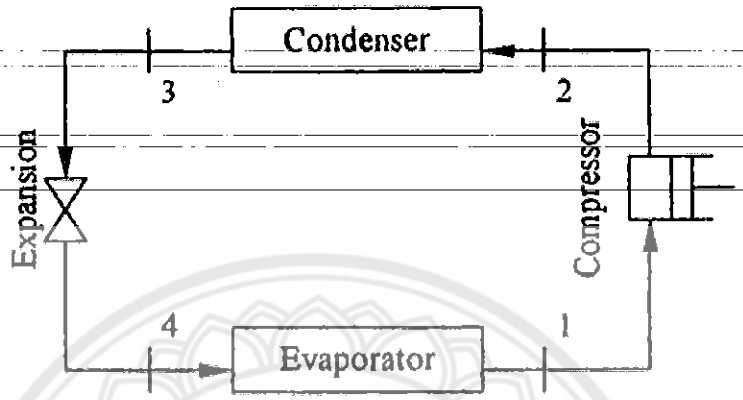
แผนภาพเกี่ยวกับเครื่องอบแบบอากาศร้อน ประกอบด้วยห้องอบที่ทำจากเหล็กไร้สนิม (Stainless Steel) ที่เชื่อมต่อกับเครื่องทำความร้อนไฟฟ้าขนาดพิกัด 6.6 กิโลวัตต์ ที่ใช้เพิ่มอุณหภูมิในห้องอบให้เป็นไปตามที่ต้องการ เครื่องทำความร้อนนี้ควบคุมด้วยตัวควบคุมอุณหภูมิ PID อัตราความเร็วของอากาศจะถูกควบคุมด้วยความเร็วของพัดลม ในการทดลองใช้มันฝรั่งประมาณ 28 แผ่น วางบนถาดที่มีขนาด 30x40 ตารางเซนติเมตร ผลิตภัณฑ์จะถูกเก็บสรุปข้อมูลปริมาณความชื้นทุก 15 นาที อุณหภูมิในการอบใช้ 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส โดยที่อัตราความเร็วลมใช้ที่ 0.8 เมตรต่อวินาที

การทดสอบเริ่มต้นด้วยการล้าง ปลอกเปลือกและหั่นให้ได้ขนาดความหนา 3.5$\pm$0.3 มิลลิเมตร ฝานมันฝรั่งแล้วนำไปฟอกที่น้ำร้อน 90$\pm$2 องศาเซลเซียส เริ่มจาก 0 1 3 และ 5 นาที ด้วยอัตราส่วนของมันฝรั่งต่อน้ำ 0.015 กรัมต่อกรัม แล้วนำมันฝรั่งไปแช่เย็นทันทีในน้ำที่มีอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส และนำขึ้นมาวางบนกระดาษดูดซับน้ำเพื่อกำจัดน้ำส่วนเกินก่อนทำการอบ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นั้นเป็นไปตามที่กล่าวไว้ในข้างต้น

จากรูปที่ 2.2 อากาศถูกดูดเข้าภายในระบบโดยพัดลมผ่านท่อลมเข้าสู่เครื่องทำความร้อนเพื่อทำให้อุณหภูมิของอากาศสูงขึ้นจนถึงอุณหภูมิอบแห้งที่ต้องการ อากาศร้อนหลังจากผ่านเครื่องทำความร้อนจะไหลผ่านห้องอบแห้งผ่านผลิตภัณฑ์ซึ่งเรียงบนถาด อากาศทั้งหมดที่ผ่านห้องอบแห้งจะถูกปล่อยทิ้งออกนอกระบบ เนื่องจากเครื่องอบแบบดังกล่าวนั้นเมื่อส่วนทำความร้อนเป็นแบบไฟฟ้าจะทำให้สิ้นเปลืองพลังงานและต้นทุนพลังงานสูง

2.3 การอบแห้งโดยใช้ปั๊มความร้อน (Heat Pump)

ระบบปั๊มความร้อนโดยทั่วไปเป็นแบบอัดไอประกอบด้วยเครื่องอัดไอ (Compressor) เครื่องควบแน่น (Condenser) เครื่องทำระเหย (Evaporator) และวาล์วขยายตัว (Expansion Valve) แสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบของวัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอ

การทำงานของปั๊มความร้อนแบบอัดไอเป็นแบบวัฏจักร ดังแสดงในแผนภูมิความดันและเอนทัลปี (รูปที่ 2.4) วัฏจักรการทำงานของปั๊มความร้อนซึ่งแสดงด้วยเส้นประเป็นวัฏจักรทางอุดมคติประกอบด้วย 4 กระบวนการ คือ

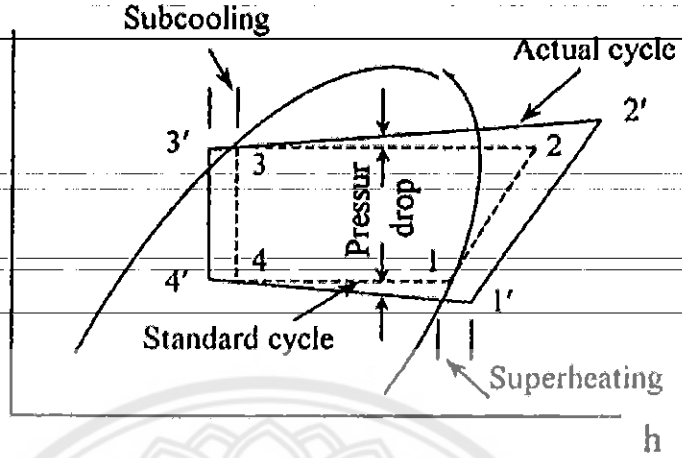
1. กระบวนการอัดไอ (Compression Process) สารทำความเย็นที่ไหลออกจากเครื่องทำระเหยในสถานะอิ่มตัวที่ความดันและอุณหภูมิต่ำที่สภาวะที่ 1 ถูกเพิ่มความดันโดยการอัดตัวแบบไอเซนโทรปิคในคอมเพรสเซอร์ไปสู่สภาวะที่ 2 ซึ่งเป็นไอร้อนยวดยิ่ง สารทำความเย็นที่สภาวะนี้จะถูกทำให้เย็นลงในคอนเดนเซอร์

2. กระบวนการควบแน่น (Condensation Process) ซึ่งความร้อนจากสารทำความเย็นจะถ่ายเทไปสู่อากาศที่ใช้ระบายความร้อนจากคอนเดนเซอร์ เมื่อสารทำความเย็นผ่านคอนเดนเซอร์จะอยู่ในสภาพของเหลวอิ่มตัว (สภาวะที่ 3) และจะถูกลดความดันขณะผ่านกระบวนการลดความดันในวาล์วขยายตัว

3. กระบวนการลดความดันในวาล์วขยายตัว (Throttling Process) ไปสู่สภาวะที่ 4 ซึ่งเป็นของผสมระหว่างสารทำความเย็นและไอของสารทำความเย็น สารทำความเย็นที่สภาวะนี้มีความดันและอุณหภูมิต่ำและไหลเข้าสู่เครื่องทำระเหยเพื่อรับความร้อนจากบริเวณที่ต้องการทำความเย็น

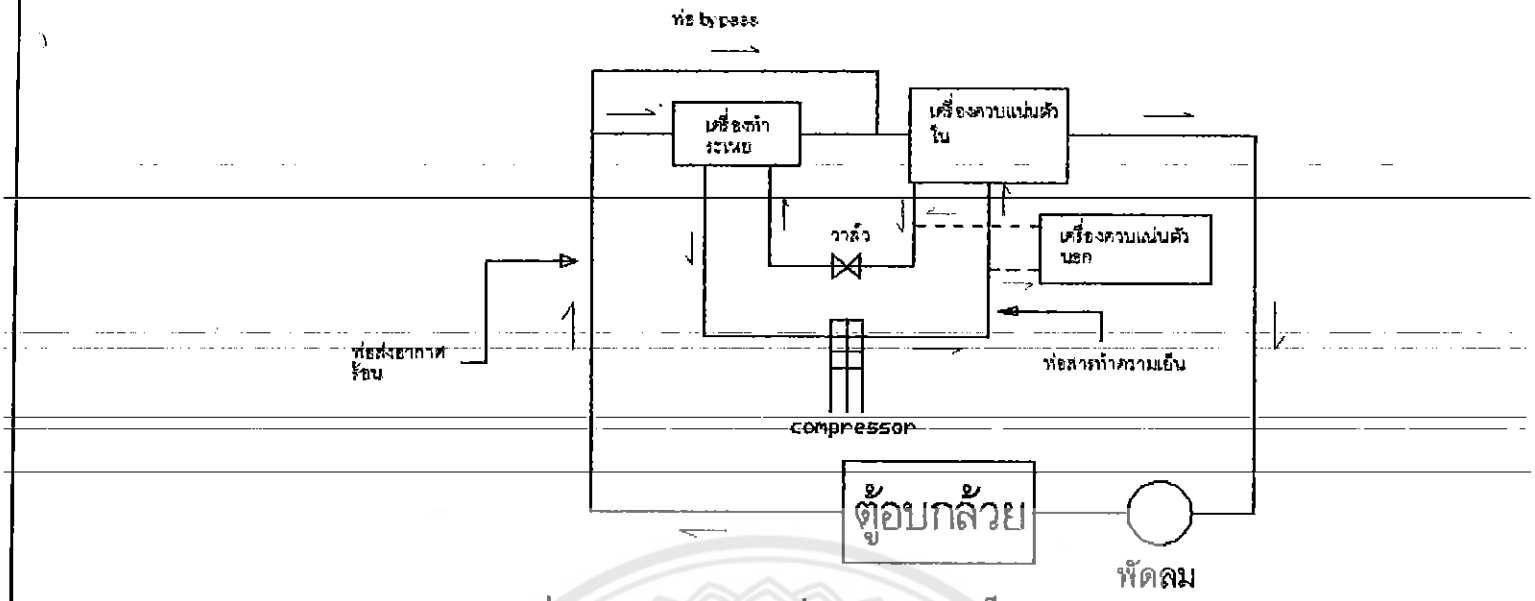
4. กระบวนการระเหยสารทำความเย็น (Evaporating Process) ซึ่งจะเปลี่ยนสถานะของสารทำความเย็นไปเป็นไออิ่มตัวที่สภาวะที่ 1 ส่วนวัฏจักรจริงของปั๊มความร้อน ($1'$-$2'$-$3'$-$4'$) จะ

แตกต่างจากวัฏจักรทางอุดมคติเนื่องจากการสูญเสียความดันในระบบและข้อจำกัดทางเทคนิคในการทำงานของคอมเพรสเซอร์และวาล์วขยายตัว



รูปที่ 2.4 แผนภูมิความดันและเอนทัลปีของวัฏจักรปั๊มความร้อนแบบอัดไอ

เครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนสามารถเขียนไดอแกรมอย่างง่ายได้ดังรูปที่ 2.5 [7] เมื่อพิจารณาไดอะแกรมเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน อากาศร้อนที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะถูกพัดลมดูดเข้าห้องอบแห้ง เพื่อถ่ายเทความร้อนให้แก่วัสดุจนมีอุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้น้ำภายในวัสดุระเหยสู่อากาศ อากาศร้อนหลังจากอบแห้งวัสดุแล้วจะมีอุณหภูมิต่ำลงและความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น อากาศหลังจากอบแห้งนี้ส่วนหนึ่งจะไหลผ่านเครื่องทำระเหย เพื่อดึงความชื้นออกจากอากาศโดยการควบแน่นไอน้ำในอากาศเป็นหยดน้ำ ทำให้อากาศที่ไหลออกจากเครื่องทำระเหยมีอุณหภูมิต่ำและความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น แล้งจึงจะผสมกับอากาศอีกส่วนหนึ่งที่ออกจากห้องอบแห้งจนมีอุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อย อากาศทั้งสองส่วนที่ผสมกันนี้จะไหลผ่านเครื่องควบแน่นตัวในเพื่อรับความร้อนจากสารทำความเย็นจนมีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำตามที่ต้องการ จากนั้นจะถูกพัดลมดูดเข้าห้องอบแห้งต่อไป



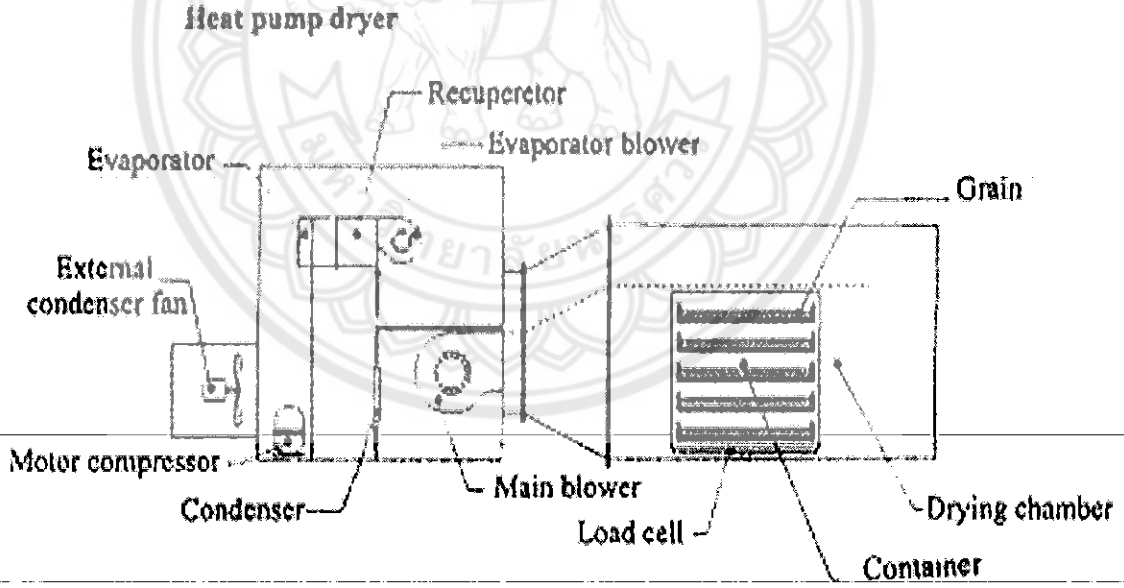
รูปที่ 2.5 แผนภาพแสดงเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อน

Sosle และคณะ [8] ศึกษาการนำปั๊มความร้อนที่มีระบบร่วมอยู่กับขดลวดความร้อนเพื่อทำอากาศร้อนมาอบแห้งแอปเปิ้ล ซึ่งระบบจะทำงานในระบบใช้ปั๊มความร้อนที่มีกำลัง 2.3 กิโลวัตต์ ขนาดของห้องอบแห้ง (0.175 ลูกบาศก์เมตร: 0.7 เมตร x 0.5 เมตร x 0.5 เมตร) อบแห้งแอปเปิ้ลที่หั่นความหนา 1 เซนติเมตรทำการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนที่อุณหภูมิต่ำกว่า 30 องศาเซลเซียส และอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 45 และ 65 องศาเซลเซียส ผลการทดลองที่ออกมา พบว่าถ้าพิจารณาทาง ด้านอัตราการอบแห้งในผลิตภัณฑ์ การอบแห้งในระบบอากาศร้อนจะมีอัตราการอบแห้งที่สูงกว่าเพราะสามารถอบให้ผลิตภัณฑ์แห้งจนถึงความชื้นสมดุลได้ภายในเวลา 10-12 ชั่วโมง แต่ปั๊มความร้อนอบแห้งใช้เวลาประมาณ 20-21 ชั่วโมง นั่นหมายความว่าการใช้ปั๊มความร้อนที่ใช้เวลาอบแห้งที่นานกว่าจึงมีผลทำให้มีการสิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าการอบแห้งในระบบอากาศร้อน แต่ถ้าพิจารณาทางด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนจะให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ดีกว่าเนื่องจากถ้าอบแห้งที่ความร้อนสูงด้วยอากาศร้อนในช่วงแรก ผิวของผลิตภัณฑ์จะเกิดการแข็งตัว ความชื้นที่อยู่ภายในก็ไม่สามารถถูกดึงออกได้หมด ดังนั้นจึงเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวนอกกับผิวภายใน จึงเกิดการแตกของผิวภายในเนื้อผลิตภัณฑ์ ซึ่งเป็นสาเหตุของการเกิดเชื้อราที่ทำให้ผลิตภัณฑ์เกิดการเสียหายได้

ศักดิ์รินทร์ รัสศรี [1] ศึกษาการอบแห้งมะม่วงแช่อิ่มโดยใช้ปั๊มความร้อน เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้ง โดยอบแห้งแบบระบบปิด ใช้ปั๊มความร้อนขนาด 3.5 กิโลวัตต์ น้ำหนักอบแห้ง เริ่มต้น 40 กิโลกรัม อบแห้งมะม่วงแช่อิ่มที่ความชื้นเริ่มต้น 85 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง ให้เหลือความชื้นสุดท้าย 18 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง จากการทดลองพบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งมะม่วงแช่อิ่มโดยใช้ปั๊มความร้อน คืออุณหภูมิอบแห้ง 50 องศาเซลเซียส สัดส่วนอากาศ

ไหลข้ามเครื่อง (By Pass Air) ทำระเหยคงที่ 60 เปอร์เซ็นต์ อัตราการไหลเชิงมวลอยู่ในช่วง 0.321-0.428 กิโลกรัมต่อวินาที โดยคุณภาพของมะม่วงแช่อิ่มหลังการอบแห้ง มีลักษณะผิวแห้งไม่เกาะติดกัน เนื้อไม่แข็งกระด้าง มีรูปร่างดีและขนาดสม่ำเสมอ ซึ่งได้ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม และสีมีลักษณะสีส้มปนแดงค่อนข้างอ่อนซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดี

รัฐพร บัวขม [7] ได้ทำการวิจัยเพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและความเร็วของอากาศที่มีผลต่อ อัตราการอบแห้งและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของเมล็ดกาแฟ โดยมีเงื่อนไขในการศึกษาได้แก่ อุณหภูมิของอากาศที่ใช้ในการอบแห้งแบบลมร้อนเท่ากับ 50 60 และ 70 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศเท่ากับ 0.8 และ 1.3 เมตรต่อวินาที ความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดกาแฟอยู่ในช่วง 178 ถึง 209 ร้อยละมาตรฐานแห้ง อบแห้งจนได้ความชื้นประมาณ 15 ถึง 16 ร้อยละมาตรฐานแห้ง ซึ่งคุณภาพของเมล็ดกาแฟที่ศึกษาได้แก่ การเปลี่ยนแปลงสี ปริมาณกรดโคลโรเจนิคและ ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำในกาแฟ (Total Soluble Solids) โดยเปรียบเทียบคุณภาพต่างๆดังกล่าวที่ได้จากการอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศเท่ากับ 0.8 เมตรต่อวินาที กับการอบแห้งเมล็ดกาแฟด้วยปั๊มความร้อนดังรูปที่ 2.6 ที่อุณหภูมิและความเร็วอากาศเดียวกัน เพื่อศึกษาผลกระทบของวิธีการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพของเมล็ดกาแฟ



รูปที่ 2.6 แสดงระบบการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อน

จากรูปที่ 2.6 ส่วนประกอบหลักในเครื่องอบแห้งแบบปั๊มความร้อนประกอบด้วย เครื่องอัดไอแบบลูกสูบ (Hermetic Reciprocating Compressor) ขนาดพิกัดมอเตอร์ 1.3 กิโลวัตต์ ใช้สารทำความเย็น R-22 เครื่องควบแน่นแบ่งเป็น เครื่องควบแน่ตัวใน (Internal Condenser) และเครื่องควบแน่นตัวนอก (External Condenser) ซึ่งทั้งสองตัวมีขนาด 4.5 กิโลวัตต์ โดยเครื่องควบแน่นตัวนอกมี

หน้าที่ช่วยระบายความร้อนที่เป็นส่วนเกินของเครื่องควบแน่นตัวใน เครื่องทำระเหย (Evaporator) ขนาด 3.66 กิโลวัตต์ วาล์วลดความดันชนิดท่อรูเข็ม (Capillary Tube) เครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนชนิดอากาศกับอากาศ (Recuperator) พัดลมที่ใช้เป็นแบบชนิดแรงเหวี่ยงใบพัดโค้งหน้า (Forward Curved Centrifugal Fan) ใช้มอเตอร์ขับขนาด 0.75 กิโลวัตต์ และสามารถปรับความเร็วรอบได้ด้วยเครื่องอินเวอร์เตอร์ (Inverter) เครื่องควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติ 1 ชุด พัดลมสำหรับระบายความร้อนจากเครื่องควบแน่นตัวนอกเป็น แบบใบพัดไหลตามแกน (Axial Flow Fan) โดยใช้มอเตอร์ขนาด 50วัตต์ในการขับใบพัด และพัดลมสำหรับตัวเครื่องทำระเหย เป็นแบบใบพัดโค้งหน้า (Forward Curved) ขนาดมอเตอร์ขับ 50 วัตต์

อากาศร้อนที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำจะถูกพัดลมดูดเข้าห้องอบแห้ง (Drying Chamber) เพื่อถ่ายเทความร้อนให้แก่วัสดุจนมีอุณหภูมิสูงขึ้น อากาศร้อนหลังจากอบแห้งวัสดุแล้วจะมีอุณหภูมิต่ำลงและความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น อากาศหลังจากอบแห้งนี้ส่วนหนึ่งจะไหลผ่านเครื่องทำระเหยเพื่อดึงความชื้นออกจากอากาศโดยการควบแน่นไอน้ำในอากาศเป็นหยดน้ำ ทำให้อากาศที่ไหลออกจากเครื่องทำระเหยมีอุณหภูมิต่ำและความชื้นสัมพัทธ์สูงขึ้น แล้งจึงจะผสมกับอากาศอีกส่วนหนึ่งที่ออกจากห้องอบแห้งโดยไม่ผ่านเครื่องทำระเหย (By Pass Air) จนมีอุณหภูมิสูงขึ้นเล็กน้อย อากาศทั้งสองส่วนที่ผสมกันนี้จะไหล ผ่านเครื่องควบแน่นตัวในเพื่อรับความร้อนจากสารทำความเย็นจนมีอุณหภูมิสูงและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำตามที่ต้องการ จากนั้นจะถูกพัดลมดูดเข้าห้องอบแห้งต่อไป โดยห้องอบแห้งในระบบปั๊มความร้อนมีขนาดของตู้อบแห้ง 0.90 x 0.80 x 0.75 ลูกบาศก์เมตร ขนาดถาด 63 x 72 ตารางเซนติเมตร มีจำนวนถาดทั้งหมด 12 ถาด และระยะช่องว่างระหว่างถาด 5 เซนติเมตร

จากการอบแห้งเมล็ดกาแฟด้วยอากาศร้อนที่ใช้เวลาในการอบแห้งประมาณ 14 ชั่วโมง พบว่าการลดลงของความชื้นเมล็ดกาแฟอยู่ในช่วงอัตราการอบแห้งลดลง และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศร้อนจะทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น โดยความเร็วของอากาศไม่มีผลต่ออัตราการอบแห้ง ซึ่งสามารถอธิบายการเคลื่อนที่ของน้ำในช่วงอัตราการอบแห้งลดลงได้ด้วยสมการการแพร่โดยกำหนดให้ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลของน้ำในเมล็ดกาแฟเปลี่ยนแปลงตามความชื้น และจากการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผลของน้ำในเมล็ดกาแฟจากการอบแห้งที่อุณหภูมิสูงมีค่ามากกว่าการอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำและมีค่าลดลงตามความชื้นของเมล็ดกาแฟ โดยคุณภาพของเมล็ดกาแฟจากการวัดการเปลี่ยนแปลงสีโดยวัดในรูปของค่า L, a และ b [7] พบว่าค่า L มีค่าลดลง ค่า a มีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาการอบแห้ง และค่าสีเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิอากาศอบแห้ง สำหรับค่า b ไม่มีการเปลี่ยนแปลงและมีค่าใกล้เคียงกันทุกเงื่อนไขการอบแห้ง ซึ่งผลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่เพิ่มขึ้นยังมีผลต่อการลดลงของปริมาณ กรดโคลโรเจนิคในเมล็ดกาแฟ จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิอบแห้ง 70 องศาเซลเซียส ปริมาณ กรดโคลโรเจนิคมีน้อยกว่าการอบแห้งเมล็ดกาแฟที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส และคุณภาพของกาแฟใน ด้านปริมาณ

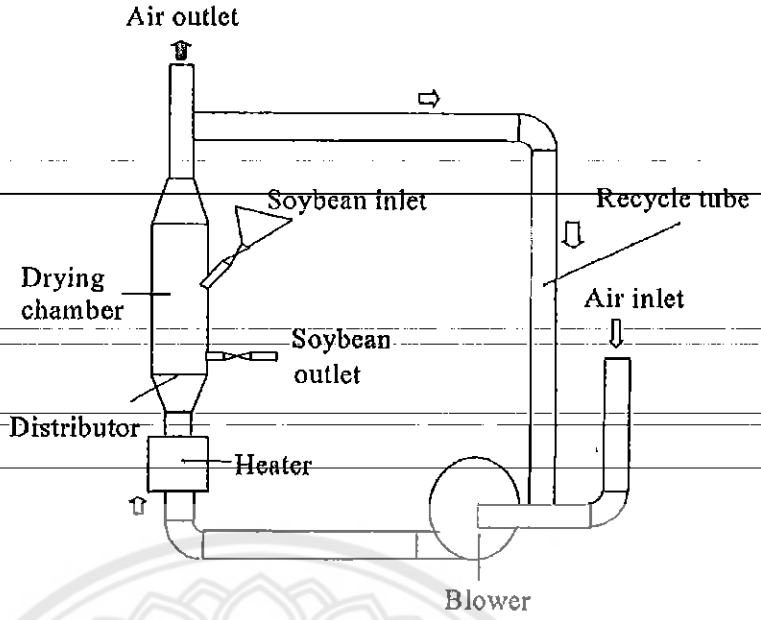
ของแข็งที่ละลายน้ำได้ จากการคั่วเมล็ดกาแฟที่ผ่านการอบแห้งที่อุณหภูมิและความเร็วอากาศต่างๆ พบว่าอุณหภูมิและความเร็วอากาศที่ใช้ในการอบแห้งไม่มีผลต่อปริมาณของแข็งในกาแฟที่ละลายน้ำได้ โดยมีปริมาณของแข็งในกาแฟที่ละลายน้ำได้ประมาณ 27 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักเมล็ดกาแฟแห้งเท่ากันทุกเงื่อนไขการทดลอง และเมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของเมล็ดกาแฟในด้านต่างๆ ที่ได้ทำการวิเคราะห์จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ความเร็วอากาศ 0.8 เมตรต่อวินาที กับการอบแห้งเมล็ดกาแฟด้วยปั๊มความร้อน พบว่าคุณภาพที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน ทั้งการเปลี่ยนแปลงสี ปริมาณ กรดโคลโรเจนิคและ ปริมาณของแข็งในกาแฟที่ละลายน้ำได้ ดังนั้นจากการทดลองจะเห็นได้ชัดเจนว่าปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดกาแฟคืออุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง แต่การอบแห้งด้วยระบบปั๊มความร้อนมีข้อดีอยู่ตรงที่อากาศในห้องอบแห้งมีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ ทำให้สามารถดึงความชื้นออกจากผลิตภัณฑ์ได้รวดเร็ว ซึ่งช่วยลดเวลาที่ใช้ในการอบแห้งลงได้

ดังนั้นการอบแห้งด้วยปั๊มความร้อนเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่น่าสนใจในการนำมาอบแห้งผลิตภัณฑ์ อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งด้วยวิธีการนี้จะมีอุณหภูมิต่ำอันเนื่องมาจากข้อจำกัดของระบบ ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมามีการศึกษาการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตร เช่น เมล็ดข้าวโพด แอปเปิ้ล มะม่วงแช่อิ่ม เป็นต้น ซึ่งอุณหภูมิที่ใช้ในห้องอบแห้งมีค่าต่ำ อยู่ในช่วง 30 – 65 องศาเซลเซียส

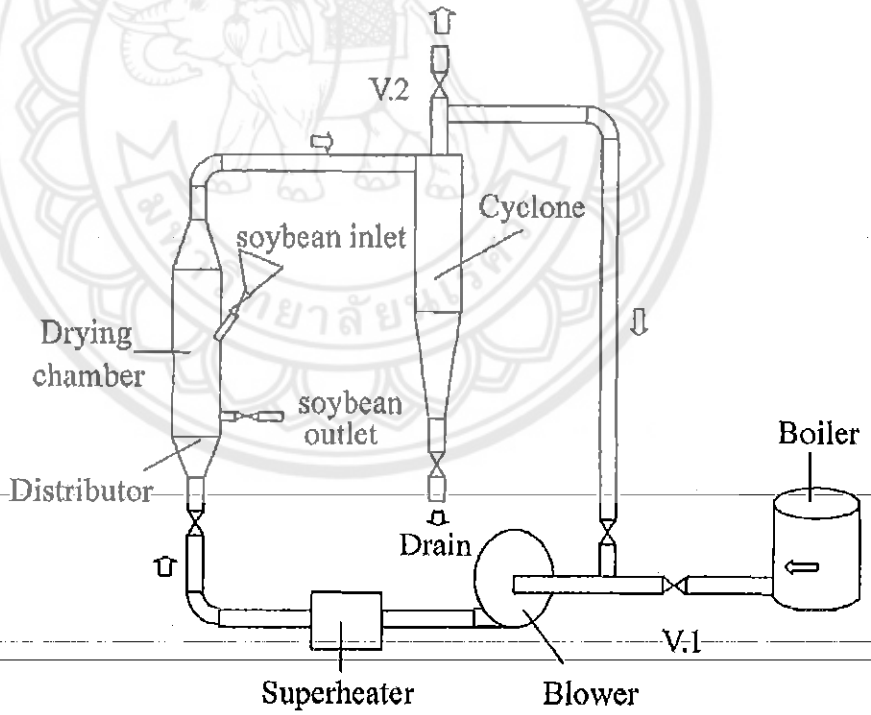
2.4 การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง (SSD)

เครื่องอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชั่น

ปวีณา ปรัชญาวศิน [9] ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบการอบแห้งถั่วเหลืองด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชั่นระหว่างการการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อนกับการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำยวดยิ่ง ดังรูปที่ 2.7 และ รูปที่ 2.8 ตามลำดับ โดยศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ประสิทธิผล จลนศาสตร์การเปลี่ยนแปลงสี จลนศาสตร์การเปลี่ยนแปลงของเอ็นไซน์ยูรีเอสร้อยละการแตกร้าว ค่าการละลายของโปรตีนและกรดอะมิโนไลซีน ของถั่วเหลืองภายใต้สภาวะภายใต้สภาวะการทดลองที่อุณหภูมิอากาศร้อนและไอน้ำยวดยิ่ง 120 135 และ 150 องศาเซลเซียส และความชื้นเริ่มต้นที่ 13.5 19.5 และ 36 มาตรฐานแห้ง



รูปที่ 2.7 แผนภาพเครื่องอบแห้งฟลูอิไดเซชั่นเบดแบบอากาศร้อน



รูปที่ 2.8 แผนภาพเครื่องอบแห้งฟลูอิไดเซชั่นเบดแบบไอน้ำยวดยิ่ง

สำหรับหลักการของเทคนิคฟลูอิไดเซชั่นในกระบวนการอบแห้ง สามารถอธิบายได้ดังนี้ ฟลูอิไดเซชั่นเป็นกระบวนการที่เม็ดของแข็งสัมผัสกับของไหลอาจจะเป็นก๊าซหรือของเหลว โดยเมื่อเพิ่มความเร็วให้ของไหลมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อถึงจุดหนึ่งเม็ดของแข็งจะเริ่มขยับและลอยขึ้นเป็นอิสระไม่ติดกัน เมื่อถึงจุดหนึ่งของแข็ง จะเริ่มขยับและลอยขึ้นเป็นอิสระไม่ติดกันโดยของแข็งที่อยู่ลักษณะนี้จะมีคุณลักษณะคล้ายของไหล จึงสามารถเรียกของแข็งในสถานะนี้ว่าฟลูอิไดเซชั่น ปัจจัยในการเกิดฟลูอิไดซ์เบดมีหลายประการ เช่น ความเร็วของของไหลซึ่งสัมพันธ์กับความดันและขนาดของวัสดุ

เครื่องอบแห้งไอน้ำร้อนยวดยิ่งด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชั่นเบดแบบงวดดังรูปที่ 2.8 ประกอบด้วยห้องอบแห้งทรงกระบอกทำด้วยสเตนเลสขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 เซนติเมตร สูง 1.40 เมตร มีอุปกรณ์ทำความร้อน (Heater) ขนาด 3 กิโลวัตต์ 4 ตัว โดยมีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ที่มีค่าความถูกต้อง ± 1 องศาเซลเซียส และพัดลม (Blower) เป็นแบบแรงเหวี่ยงใบพัดโค้งหลัง (Backward-curved Centrifugal Fan) ขนาดมอเตอร์ 1.5 กิโลวัตต์ สามารถปรับความเร็วพัดลมได้

ส่วนเครื่องอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิไดเซชั่นโดยไอน้ำยวดยิ่ง ดังรูปที่ 2.9 ประกอบด้วยห้องอบแห้งทรงกระบอกทำด้วยสเตนเลสเช่นเดียวกัน แต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 1 เมตร มีอุปกรณ์ให้ความร้อนยวดยิ่ง (Super-heater) ขนาด 13.5 กิโลวัตต์ มีเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ที่มีค่าความถูกต้อง $\pm$ 1 องศาเซลเซียส และพัดลมเป็นแบบแรงเหวี่ยงใบพัดโค้งหลังขนาด 2.2 กิโลวัตต์ สามารถปรับความเร็วพัดลมได้ พร้อมเครื่องดักฝุ่นเป็นแบบ (Reverse Flow) ทำด้วยสเตนเลส และเครื่องกำเนิดไอน้ำ (Boiler) ออกแบบความดันใช้งานสูงสุดที่ 3.5 บาร์ สามารถผลิตไอน้ำได้ 31 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสและความดันบรรยากาศ ทำให้ตัวกลางที่ใช้ในการอบแห้งมีความร้อน 120 135 และ 150 องศาเซลเซียส

จากผลการทดลองพบว่าการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำยวดยิ่งเกิดการควบแน่นของน้ำที่ผิวและเกิดการดูดซับของน้ำเข้าไปในเมล็ดถั่วเหลืองส่งผลให้อุณหภูมิในเบดของถั่วเหลืองสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับการอบแห้งแบบอากาศร้อน เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของสีที่ผิว การแตกร้าว ก็มีการเปลี่ยนแปลงรวดเร็วกว่าเช่นเดียวกัน แต่การอบแห้งโดยใช้ไอน้ำยวดยิ่งใช้เวลาในการอบน้อยกว่าแบบอากาศร้อน ทำให้สามารถประหยัดพลังงานในการอบมากขึ้น

สำหรับงานวิจัยต่าง ๆ ที่ใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นตัวกลางในการอบ เช่น Jensen [10] ศึกษาการอบแห้ง Beet Pulp สำหรับทำอาหารสัตว์โดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเซชั่น Seyed-Yagoubi และคณะ [11] ได้ศึกษาการอบแห้งของขนมขบเคี้ยวทอดกรอบโดยวิธีอิมพิงเมนท์ (Impingement) และ Stubbing ศึกษาการอบแห้งสุขภัณฑ์โดยใช้ Airless Dryer มีแนวโน้มผลการทดลองไปทางเดียวกัน กล่าวคือ การอบแห้งโดยใช้ไอน้ำยิ่งยวดมีข้อดีในด้านการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าแบบอากาศร้อน และที่สำคัญไปกว่านั้นคือ ได้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ในเกณฑ์ดีเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้อากาศร้อนในการอบแห้ง

ในปี ค.ศ. 1999 Heinrich และคณะ [12] ได้พัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์การอบแห้งวัสดุรูพรุนโดยใช้เทคนิคฟลูอิไดเบดแบบงวดและใช้ของไหลเป็นไอน้ำยวดยิ่ง จากการทดลองพบว่าการใช้ของไหลเป็นไอน้ำยวดยิ่งมีข้อดีเหนือการใช้ของไหลเป็นอากาศร้อนหลายประการ ได้แก่ (1) ประหยัดพลังงาน เนื่องจากไอน้ำร้อนยวดยิ่งสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ในขั้นตอนการควบแน่น (2) คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดีกว่าการใช้ของไหลเป็นอากาศร้อน และ (3) มีความปลอดภัยสูงเนื่องจากไอน้ำร้อนยวดยิ่งไม่มีออกซิเจนเป็นสารช่วยติดไฟ ในปี ค.ศ. 2001 Iyota และคณะ [13] ได้ศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งมันฝรั่งแผ่นด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งกับอากาศร้อนแบบงวดที่อุณหภูมิ 170 และ 240 องศาเซลเซียส พบว่าในช่วงแรกของการอบแห้งแบบไอน้ำยวดยิ่งจะเกิดการกลั่นตัวของไอน้ำส่งผลให้แป้งเกิดเจลลาติไลเซชั่นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่การอบแห้งแบบอากาศร้อนจะเกิดช้ากว่า ดังนั้นเมื่อการอบแห้งสมบูรณ์จะส่งผลให้มีเม็ดแป้งมาเกาะที่ผิว นอกจากนั้นคุณภาพด้านสีของการใช้ไอน้ำยิ่งยวดจะดีกว่าแบบใช้อากาศร้อนเนื่องจากไม่เกิดการไหม้เพราะไม่มีก๊าซออกซิเจนในระบบ

ในปี ค.ศ. 2002 Schwortze และคณะ [14] ได้ทำการรวบรวมข้อมูลการอบแห้งวัสดุโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งกับอากาศร้อน เมื่อพล็อตกราฟระหว่างอุณหภูมิของตัวกลางกับอัตราการระเหยของน้ำ พบว่าอุณหภูมิที่เส้นกราฟตัดกัน เรียกว่าอุณหภูมิผกผัน (Inversion Temperature) เป็นอุณหภูมิที่แสดงถึงอัตราการระเหยน้ำออกจากวัตถุของตัวกลางทั้งสองมีค่าเท่ากัน โดยพบว่าการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำยวดยิ่งหากใช้อุณหภูมิในการอบแห้วสูงกว่าอุณหภูมิผกผันจะทำให้อัตราการอบแห้งสูงกว่าอบแห้งด้วยอากาศร้อน แต่ในทางกลับกันถ้าใช้อุณหภูมิในการอบแห้งต่ำกว่าอุณหภูมิผกผัน การอบแห้งแบบอากาศร้อนจะมีอัตราการอบแห้งสูงกว่าแบบไอน้ำยวดยิ่ง ซึ่งอุณหภูมิผกผันเป็นค่าที่ไม่คงที่ มีค่าขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุและลักษณะทางกายภาพของการอบแห้ง

ดังนั้น การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งเป็นการเก็บรักษาอาหารที่กำลังได้รับความสนใจและมีการศึกษาวิจัย พร้อมทั้งนำไปใช้อย่างจริงจังในช่วง 20 กว่าปีที่ผ่านมา เนื่องจากสามารถลดข้อด้อยของการอบแห้งด้วยลมร้อนได้ เนื่องจากออกซิเจนในการอบแห้งด้วยลมร้อนทำให้สีหรือคุณค่าและรูปร่างของอาหารเปลี่ยนไป ไอน้ำร้อนยวดยิ่งคือไอน้ำที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือดของน้ำที่ความดันหนึ่งๆ ซึ่งเราสนใจ มีความสามารถในการดึงความชื้นจากวัสดุมาได้ ทำให้วัสดุนั้นมีความชื้นลดลง และไม่มีออกซิเจนในระบบ จึงทำให้สี คุณค่า อีกทั้งโครงสร้างของวัตถุนั้นเสียรูปน้อยมาก

อัตราการอบแห้งโดยรวมของกระบวนการอบแห้งระหว่างอากาศร้อนกับไอน้ำยวดยิ่งไม่แตกต่างกันมากนัก จุดที่แตกต่างกันคือ การกลั่นตัวของไอน้ำบนผิววัสดุในช่วงเพิ่มอุณหภูมิวัสดุ และการทำให้อุณหภูมิของวัสดุสูงขึ้นซึ่งอัตราการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะเร็วหรือช้ากว่าอากาศร้อนขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้ (1) ปริมาณไอน้ำควบแน่นที่เกิดขึ้นบนผิววัสดุในช่วงอุณหภูมิวัสดุ ซึ่งหากมีปริมาณมากจะทำให้เวลาการอบแห้งนานขึ้น (2) อุณหภูมิของไอน้ำยวดยิ่ง หาก

อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งของไอน้ำยวดยิ่งมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิผกผัน การอบแห้งจะยิ่งเร็วกว่าตัวกลางที่เป็นอากาศร้อน (3) ความดันของไอน้ำยวดยิ่งหากใช้ความดันของไอน้ำยวดยิ่งเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนระหว่างไอน้ำร้อนยวดยิ่งกับวัสดุจะสูงขึ้นเนื่องจากสมบัติของไอน้ำจะเปลี่ยนไป โดยความดันของไอน้ำจะแปรผันตรงกับอุณหภูมิจุดเดือดของน้ำ ซึ่งการที่อุณหภูมิสูงขึ้นส่งผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น (4) ธรรมชาติของวัสดุที่มาอบแห้ง [9]

จากงานวิจัยข้างต้น จะพบว่าการอบแห้ง ไอน้ำร้อนยิ่งยวดมีข้อดีเหนืออากาศร้อนหลายประการ แต่อย่างไรก็ตาม Mujumdar, A.S. [15] ได้พบข้อเสียของวิธีนี้ ซึ่งสามารถสรุปประเด็นสำคัญได้ดังนี้ (1) ระบบในการใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีความซับซ้อนมากกว่าเนื่องจากเป็นระบบปิด ต้องป้องกันการรั่วซึมทุกจุด เพราะอาจทำให้เกิดการกลั่นตัวของไอน้ำได้ (2) ไม่สามารถอบแห้งวัสดุที่ไม่สามารถทนความร้อนได้ เนื่องจากในการอบแห้งวัสดุด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งมีไอน้ำเป็นส่วนประกอบเพียงอย่างเดียว ดังนั้นความดันย่อย (Partial Pressure of Vapor) จึงมีค่าเท่ากับความดันไอรวม (Total Pressure) ในการจะระเหยน้ำออกจากวัสดุจำเป็นต้องทำให้วัสดุมีอุณหภูมิเหนืออุณหภูมิของจุดเดือดของน้ำในวัสดุ (100 องศาเซลเซียส หรือสูงกว่า) น้ำในวัสดุจึงจะสามารถระเหยได้ (3) จากข้อที่ 2 อุณหภูมิของตู้อบจะต้องสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เพื่อให้ไอน้ำกลายเป็นไอน้ำร้อนยวดยิ่งได้ ซึ่งจะไปทำลายโครงสร้างสารอาหาร วิตามินของผลิตภัณฑ์ (4) ราคาของอุปกรณ์มีราคาแพง เนื่องจากมีอุปกรณ์หลายส่วน เช่น ระบบการนำไอน้ำกลับมาใช้ใหม่ หม้อต้ม เป็นต้น และโดยทั่วไปการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อยยวดยิ่งจะใช้กับระบบขนาดใหญ่และเป็นระบบต่อเนื่องเพราะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจมากกว่า ดังนั้นเพื่อคงรักษาโครงสร้างสารอาหารและวิตามินของผลิตภัณฑ์ไว้ ต้องทำการลดอุณหภูมิที่จะทำให้เกิดไอน้ำร้อนยวดยิ่งให้ต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส ให้ได้ ซึ่งเทคนิคง่ายๆ ก็คือการลดความดัน

2.5 การอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำ (LPSSD)

วิธีการหนึ่งที่สามารถป้องกันความเสียหายของผลิตภัณฑ์จากอุณหภูมิที่สูงจากการอบแห้งไอน้ำร้อนยวดยิ่ง คือ การลดความดันของการอบแห้งลง [15-16] โดยใช้เทคนิคไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำ (Low-pressure Superheated Steam Drying) เทคนิคนี้นอกจากสามารถรักษาคุณภาพ (Quality of the Dried Product) ของผลิตภัณฑ์ได้ดี ยังสามารถควบคุมอัตราการอบแห้ง (Drying Rate) ให้เหมาะสมได้อีกด้วย [15, 17]

สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา [18] ได้พัฒนาเทคนิคแปรรูปผักผลไม้ โดยใช้เทคนิคการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำ ดังรูปที่ 2.9 ด้วยหลักการที่ว่า เมื่อเราลดความดันลง จุดเดือดของน้ำก็จะลดตาม ดังนั้นหากสามารถทำให้ตู้อบอยู่ในสภาพ ที่มีความดันต่ำจนกระทั่งจุดเดือดของน้ำลดลงต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียสแล้ว ไอน้ำในตู้อบก็จะสามารถกลายเป็นไอน้ำร้อนยวดยิ่งได้แม้ภายในตู้อบนั้นจะมีอุณหภูมิไม่ ถึง 100 องศาเซลเซียส ซึ่งอุณหภูมิที่ค่อนข้างต่ำนี้น่าจะช่วย

รักษาคุณภาพของอาหารได้เป็นอย่างดี เพื่อช่วยรักษาสภาพชิ้นผักผลไม้ให้คล้ายของสด แถมคุณค่าวิตามินแร่ธาตุสมบูรณ์เหมือนเดิม จากที่เทคโนโลยีการอบแห้งด้วยลมร้อนแพร่หลายมากในอุตสาหกรรมอาหารเนื่องจากไม่ซับซ้อนและต้นทุนไม่สูงนัก แต่มีข้อเสียคือลมร้อนในอากาศมีออกซิเจนอยู่ ซึ่งเป็นต้นเหตุให้สีและคุณค่าอาหารเปลี่ยนไปจากเดิม โดยเฉพาะรูปร่างอาหารจะหดตัวผิดรูปไปเลย จากสาเหตุดังกล่าวจึงได้พัฒนา เครื่องอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำที่มีความสามารถในการรักษาคุณค่าและรูปทรงของอาหารให้ดูคล้ายของสด เช่น ผักอบแห้ง แครอทอบแห้งในบะหมี่กึ่งสำเร็จรูป ที่เมื่อเติมน้ำร้อนเข้าไป แครอทก็สามารถกลับคืนรูปเดิมได้ดี

รูปที่ 2.9 เครื่องอบแห้งอบแห้ง โดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำ [19]

สิ่งหนึ่งที่เป็นจุดเด่นที่ชัดเจนที่สุดของการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งคือความสามารถในการคืนสภาพความร้อนแฝงที่มีอยู่ทั้งหมดให้กับการอบแห้งโดยลดจำนวนไอน้ำให้หมดไปหรือเพิ่มอุณหภูมิความกดดันอากาศให้สูงขึ้นถึงจุดเอนทัลปี ซึ่งอาจไม่ใช่จุดที่น่าสนใจที่สุดของกระบวนการผลิตอาหาร แต่มีจุดเด่นอื่นอีกที่มีความน่าสนใจมากกว่า ดังสรุปด้านล่าง

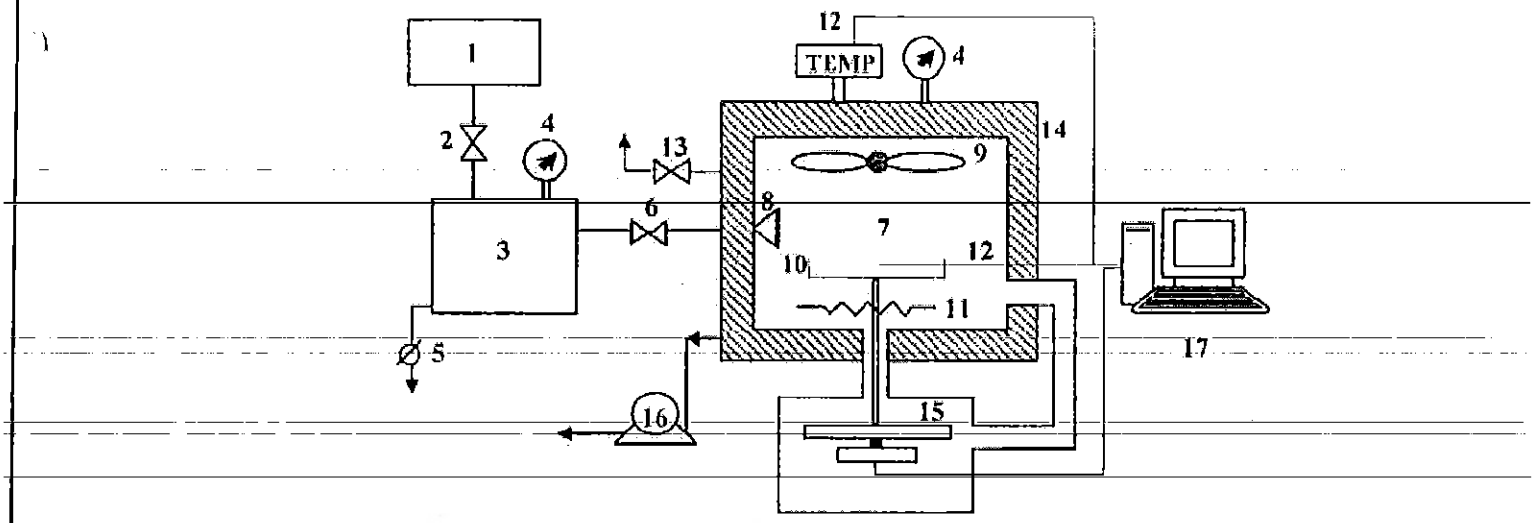
โดยทั่วไปแล้วปฏิกิริยาไม่ตอบสนองต่อออกซิเจน (อาทิ เอนไซม์สีน้ำตาล) มีความเป็นไปได้ในการอบแห้งแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่เหมาะกับการไม่มีออกซิเจน ซึ่งเป็นผลดีอย่างยิ่งในการทำแห้งแอปเปิ้ลและกล้วย อีกอย่างคือเป็นการอบแห้งสูงกว่าพิกัดเทื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยอากาศมีความเป็นไปได้ในพิกัดของคาบเวลาที่คงที่และค่อยๆลดลงเรื่อยๆ ด้วยวิธีไอน้ำร้อนยวดยิ่งซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของไอน้ำ ดังนั้นเมื่อรู้ว่าผลิตภัณฑ์อาหารส่วนใหญ่นั้นมีผิวเปลือกที่แข็งจากการ

อบแห้งแบบฉับพลันไม่สามารถมีผิวที่จะไม่ให้น้ำผ่านได้อย่างวิธีไอน้ำร้อนยวดยิ่ง [15] จุดเด่นอื่นๆ ของวิธีไอน้ำร้อนยวดยิ่งยังสามารถใช้สำหรับอาหารบางอย่างหรือผักได้อีกด้วย นี่เป็นพัฒนาการความก้าวหน้าที่เหมาะสมของการมีไอน้ำในผลิตภัณฑ์ จะช่วยลดความจุความหนาแน่นของผลิตภัณฑ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของคุณลักษณะการรวมตัวกับน้ำ เป็นลักษณะเฉพาะที่น่าสนใจสำหรับอาหารกึ่งสำเร็จรูปที่ดีกว่าในอุตสาหกรรมการผลิต

มีข้อจำกัดหลายประการในวิธีไอน้ำร้อนยวดยิ่ง คือ มีอุปสรรคบางอย่างให้เห็นของวิธีไอน้ำร้อนยวดยิ่งจากการใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมอาหาร ผลิตภัณฑ์มีการละลายเนื่องจากความสูญเสียจากอุณหภูมิอิ่มตัวของไอน้ำ สาเหตุจากเครื่องอบแห้งทำความดันได้ไม่ดีคงที่ในเครื่องทำไอน้ำร้อนยวดยิ่งโดยจำกัดเพียงแค่ความชื้นของผิวหน้า ทางหนึ่งที่เป็นไปได้ที่ก่อให้เกิดความเสียหายในสภาวะอุณหภูมิสูงของไอน้ำร้อนยวดยิ่งคือการทำงานของเครื่องอบแห้งที่ทำความดันได้น้อยลง เนื่องจากจุดเดือดของน้ำนี้ จะบ่งบอกได้ชัดเจนถึงอุณหภูมิของผลิตภัณฑ์ ความดันที่ลดลงและความเป็นไปได้ที่จะทำให้เครื่องอบแห้งทำอุณหภูมิได้ต่ำกว่าอุณหภูมิสูงสุดที่ยอมรับได้ของผลิตภัณฑ์ที่ทำการอบ อัตราการอบแห้งอาจจะเพิ่มขึ้นได้ดีถ้าทำการอบในสภาวะความดันต่ำ

จากที่กล่าวมา มีข้อจำกัดหลายอย่างจากประสบการณ์กับเครื่องอบแห้งไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำ โดยเฉพาะเมื่อพิจารณาถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เป้าหมายอย่างหนึ่งของการนำเสนองานวิจัยนี้คือการศึกษาเกี่ยวกับไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำ โดยเฉพาะคุณภาพจากผลิตภัณฑ์ที่อบแห้งซึ่งโดยทั่วไปจะไม่สามารถคาดการณ์ได้อยู่ก่อนแล้ว พร้อมทั้งทำให้เกิดความเหมาะสมและยอมรับได้มากขึ้นในอุตสาหกรรมการอาหาร

สำหรับไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำ คือ ไอน้ำร้อนที่ถูกนำมาเพิ่มอุณหภูมิให้สูงขึ้น จนกลายเป็นไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่มีอุณหภูมิสูงกว่าจุดเดือด 100 องศาเซลเซียส แต่ถ้าจะนำไอน้ำดังกล่าวมาใช้อบแห้งอาหารทันทีนั้น จะมีผลให้อาหารเสียรูปและสูญคุณค่าทางโภชนาการ จึงต้องนำมาผ่านกระบวนการลดความร้อนและความดัน สุดท้ายจะได้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ 40-50 องศาเซลเซียส ซึ่งเหมาะอย่างยิ่งสำหรับใช้ในการแปรรูปอาหาร การอบกล้วยหากอบแบบใช้ลมร้อนธรรมดา สีขาวของเนื้อกล้วยจะเปลี่ยนเป็นสีดำ แต่ถ้าเป็นกล้วยที่อบด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่ง สีจะยังเหมือนสีกล้วยสด ไดอะแกรมของเครื่องอบแห้งไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แผนภาพเครื่องอบแห้งไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำ [20]

จากรูปที่ 2.10 เครื่องอบแห้งไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่ความดันต่ำประกอบด้วยอุปกรณ์สำคัญดังนี้ 1.เครื่องทำไอน้ำ 2.วาล์วไอน้ำ 3.ห้องเก็บไอน้ำ 4.เครื่องวัดความดัน 200 กิโลพาสคาล (Pressure Gauge) 5.แทร็ปปล่อยไอน้ำ (Steam Trap) 6.ตัวปรับปริมาณไอน้ำ 7.ห้องอบ ขนาด 45x 45 x 45 ลูกบาศก์เซนติเมตร 8.แผ่นกระจายไอน้ำ 9.พัดลมไฟฟ้า 10.ถาดวางผลิตภัณฑ์ ขนาด 12 x 12 ตารางเซนติเมตร 11.เครื่องทำความร้อนไฟฟ้า ขนาด 1.5 กิโลวัตต์ 12.เครื่องวัดอุณหภูมิและเครื่องบันทึกข้อมูล 13.วาล์วปิดสุญญากาศ 14.ฉนวนห้องอบ 15.เครื่องวัดน้ำหนักออนไลน์และเครื่องบันทึก 16. ปั๊มสุญญากาศ 17.เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อบันทึกข้อมูล อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันต้นแบบเครื่องอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งยังมีขนาดเล็กเกินไป หรืออบได้ครั้งละ 1 กิโลกรัมเท่านั้น ทางนักวิจัยจึงมีโครงการร่วมกับนักธุรกิจเอกชน และ สกว.พัฒนาเพิ่มขนาดของเครื่องให้รองรับผลผลิตได้ถึง 50-100 กิโลกรัม สำหรับสนับสนุนอุตสาหกรรมแปรรูปผักผลไม้ระดับกลางขึ้นไป

ในการทดสอบการอบใช้วัสดุวางบนถาดวางผลิตภัณฑ์ที่ใช้ทดลอง ห้องอบถูกปิดผนึกอย่างแน่นหนา วาล์วตัวที่ 2 ถูกเปิดให้จ่ายไอน้ำจากหม้อไอน้ำให้ไหลเข้าไปที่ห้องเก็บไอน้ำ ความดันไอน้ำถูกรักษาระดับไว้ที่ประมาณ 200 กิโลพาสคาล ในห้องเก็บไอน้ำ ต่อมาปั๊มสุญญากาศจะถูกกดสวิตซ์ทำงานเพื่อระบายความดันที่กระทำในห้องอบให้เป็นไปตามที่ต้องการกำหนดและเครื่องควบคุมไอน้ำจะถูกเปิดอย่างช้าๆ ส่งไอน้ำเข้าไปในห้องที่ทำการอบ สภาวะความดันต่ำที่เหมาะสมของห้องอบจะมีไอน้ำที่มีความร้อนยวดยิ่ง เครื่องทำความร้อนไฟฟ้าจะถูกใช้รักษาระดับอุณหภูมิของไอน้ำให้เป็นไปตามต้องการในอุณหภูมิการอบ ขั้นสุดท้ายของกระบวนการอบคือหยุดการทำงานของวาล์วนั่นคือเปิดยอมให้อากาศเข้าสู่ห้องอบ (ให้กลับสู่สภาวะปกติ) ก่อนเปิดประตูห้องอบและทำการขนย้ายผลิตภัณฑ์ที่แห้ง

สำหรับการทดสอบการอบ กำหนดคือ ค่าความดันไอน้ำแท้จริงมีค่า 7,10 และ 13 กิโลพาสคาล อุณหภูมิของไอน้ำมีค่า 60,70 และ 80 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของไอน้ำเข้าในห้องอบ(ในกรณีอบแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่ง) คงรักษาระดับไว้ประมาณ 26 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และความเร็วของพัดลมถูกกำหนดให้คงที่ไว้ที่ 2,100 รอบต่อนาที

2.6 การอบแห้งโดยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด (LPSSD-FIR)

กล้วยสดมักเน่าเสียเร็วหลังการเก็บเกี่ยวและเทคโนโลยีที่เหมาะสมโดยทั่วไปแล้วก็คือทำให้กล้วยนั้นมีอายุนานขึ้น การอบเป็นวิธีหนึ่งที่เป็นไปได้ นั่นหมายถึงใช้เก็บรักษากล้วยจากการเสื่อมสภาพ ลดราคาต้นทุนการขนส่งและการเก็บรักษาซึ่งดีกว่าการผลิตสินค้าไปในทางอื่นใด มีเทคนิคมากมายที่ใช้ในการอบกล้วย ส่วนมากจะใช้วิธีการอบด้วยอากาศร้อน [21] อย่างไรก็ตามการอบด้วยอากาศร้อนนั้นมีความเข้มของพลังงานสูงมากและจะนำไปสู่ความเสื่อมสภาพของผลิตภัณฑ์ การอบด้วยคลื่นไมโครเวฟก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการอบกล้วยได้ [22] แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการอบด้วยคลื่นไมโครเวฟเป็นการเร่ง คุณภาพของผลิตภัณฑ์บางอย่างอาจไม่ดีพอถ้าการใช้งานคลื่นไมโครเวฟไม่สมบูรณ์ [23]

เมื่อไม่นานมานี้การอบด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำได้ถูกเสนอและใช้งานกับผลิตภัณฑ์อาหารเป็นจำนวนมาก [20] เนื่องจากไอน้ำร้อนยวดยิ่งในกรณีไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำสามารถทำการผลิตได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 100 องศาเซลเซียส เนื่องด้วยการลดความดันของสภาวะแวดล้อม ทำให้การเสื่อมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่มีสาเหตุจากอุณหภูมิสูงนั้นลดลง โดยทั่วไปแล้วจะเห็นว่าการอบด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำจะให้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพดีกว่าการอบด้วยอากาศร้อนปกติและการอบแบบสุญญากาศเสมอ อย่างไรก็ตามการอบด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำนั้นมีกระบวนการอบที่ค่อนข้างช้าและใช้พลังงานมาก สิ่งที่จะช่วยลดการใช้พลังงานในกระบวนการอบคือจำเป็นต้องเพิ่มแหล่งจ่ายพลังงานพิเศษเข้าไปในระบบ และรังสีอินฟราเรดได้รับความสนใจในไม่นานมานี้ เป็นอีกวิธีที่อยู่เหนือความคาดหมาย [24] ในระหว่างการแผ่รังสีอินฟราเรดนั้นพลังงานในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะถูกรับมาโดยตรงโดยที่ผลิตภัณฑ์ปราศจากการสูญเสียให้สภาวะแวดล้อมซึ่งช่วยประหยัดพลังงานได้ค่อนข้างมาก [25]

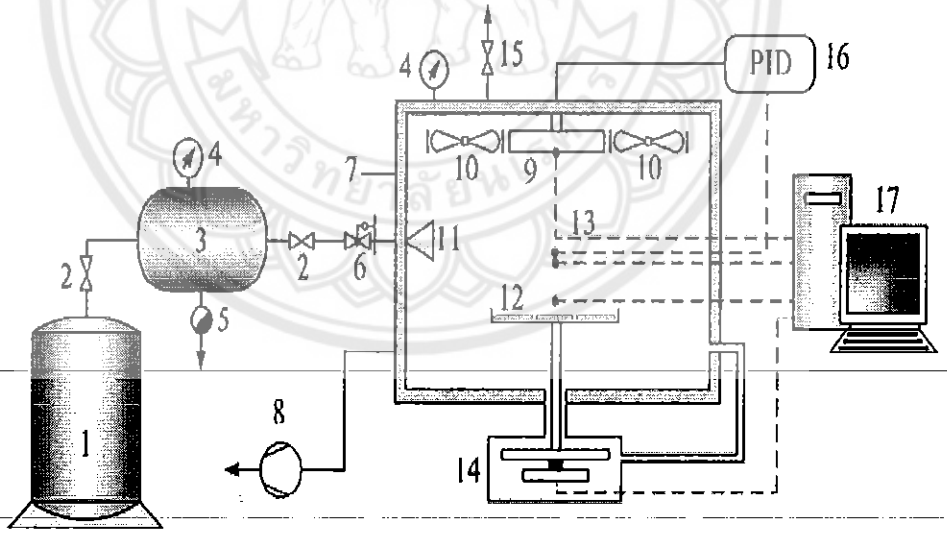
เพื่อที่จะทำให้ประสบผลสำเร็จในวิธีการข้างต้นที่กล่าวมาจึงได้นำการอบด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดมาเป็นเทคโนโลยีการอบแบบใหม่สำหรับอาหารและผลิตผลจากธรรมชาติ ในการศึกษานี้ต้องการศึกษาถึงผลจากตัวแปรมากมายที่ได้กระทำ เช่น การอบที่อุณหภูมิและความดันระดับกลาง จลนศาสตร์ในการอบและพฤติกรรมการถ่ายเทความร้อนของกล้วยที่ดีกว่าการสูญเปล่าพลังงานโดยใช้วัสดุจำลองด้วยกระบวนการที่ได้สำรวจมา

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ว.ท.
TP1320
2551

ความคิดที่จะทดสอบการใช้การอบด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดถูกนำเสนอและศึกษาเป็นเทคโนโลยีการอบแบบใหม่สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีการรับความร้อนได้ไว ผลจากตัวแปรมากมายที่ได้กระทำ เช่น การอบที่อุณหภูมิและความดันระดับกลาง จลนศาสตร์ในการอบและคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในการอบ (สี การหดตัว พฤติกรรมการทำปฏิกิริยากับน้ำ โครงสร้างขนาดเล็กและเนื้อผิว) ของกล้วย ที่ใช้เป็นวัสดุจำลองที่มีความไวในการรับความร้อน ถึงแม้ว่าการอบด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดซึ่งเป็นการอบที่อุณหภูมิสูงสุดจะใช้เวลาที่สั้นที่สุดและกล้วยที่อบแห้งแล้วจะมีความครอบเปราะมากกว่า ด้วยเงื่อนไขนี้จะทำให้กล้วยแห้งมีน้ำหนักที่มากเกินและเกิดรอยแดง (สีเข้ม)

จากการเปรียบเทียบการอบด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดใช้เวลาน้อยกว่าเมื่อเทียบกับการอบด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำในทุกเงื่อนไข ในส่วนของการสูญเปล่าพลังงานจำเพาะจะสังเกตได้ว่าการสูญเปล่าพลังงานจำเพาะในปั๊มสุญญากาศจะมีการสูญเสียมากกว่าในเครื่องส่งรังสีอินฟราเรดหรือเครื่องทำความร้อน ยังเห็นอีกว่าการสูญเปล่าพลังงานจำเพาะของการอบด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรดยังน้อยกว่าการอบด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำในทุกเงื่อนไขด้วยเช่นกัน



รูปที่ 2.11 แผนภาพเครื่องอบแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำร่วมกับการใช้รังสีอินฟราเรด

แผนภาพเกี่ยวกับเครื่องอบแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำและรังสีอินฟราเรด แสดงดังรูปที่ 2.11 เครื่องอบประกอบด้วยห้องอบที่ทำจากเหล็กไร้สนิม (Stainless Steel) ฉนวนใยหินกับขนาดภายใน 45x45x45 ลูกบาศก์เซนติเมตร ซึ่งเป็นทั้งห้องเก็บไอน้ำที่รับไอน้ำจากหม้อไอน้ำและรักษาระดับความดันไว้ที่ 200 กิโลพาสคาล ปั๊มสุญญากาศแบบลิควิดริงที่เอาไว้ใช้รักษาระดับความเป็นสุญญากาศให้ห้องที่ทำการอบ เครื่องส่งรังสีอินฟราเรดขนาดพิกัด 500 วัตต์ ที่มีพื้นที่ผิวหน้าขนาด 60x120 ตารางเซนติเมตร ใช้จ่ายรังสีความร้อนในการอบของตัวอย่างและการอบระดับปานกลาง และเครื่องทำความร้อนไฟฟ้าพิกัด 1,500 วัตต์ ที่ใช้รักษาระดับอุณหภูมิของไอน้ำร้อนยวดยิ่งในกรณีการทดลองด้วยการอบไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำ ระยะห่างระหว่างเครื่องส่งรังสีอินฟราเรดและถาดวางผลิตภัณฑ์ทำจากเหล็กไร้สนิมเป็นตะแกรงกั้นขนาด 165 ตารางเซนติเมตร

การทำงานของเครื่องส่งรังสีจะถูกควบคุมตลอดในการอบที่อุณหภูมิระดับปานกลาง (อากาศ หรือไอน้ำร้อนยวดยิ่ง) ทำการวัดที่ระยะ 30 มิลลิเมตร เหนือพื้นผิวของถาดวางผลิตภัณฑ์ด้วยการใช้ตัวควบคุม PID ที่มีความแม่นยำถึงขนาด ±0.1 องศาเซลเซียส ซึ่งการควบคุมการทำงานของเครื่องทำความร้อนไฟฟ้าก็เหมือนกันกับเครื่องส่งรังสี การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักในการทดลองจะถูกตรวจจับค่าความเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง(ทุก 1 นาที) ด้วยเครื่องวัดน้ำหนักทางไฟฟ้าที่มีความแม่นยำถึงขนาด ±0.2 กรัม อุณหภูมิของการอบระดับกลางและการอบถาดวางผลิตภัณฑ์ มีการวัดอย่างต่อเนื่องด้วยเครื่องมือวัดเทอร์โมคัพเพิลชนิด K เครื่องมือวัดที่ใช้วัดอุณหภูมิระดับกลางนี้จะถูกติดตั้งในตำแหน่งเดียวกับเครื่องวัดที่จะใช้ส่งสัญญาณไปยังตัวควบคุม PID ที่ควบคุมเครื่องส่งรังสี เครื่องวัดนี้จะถูกห่อหุ้มด้วยกระดาษฟอยล์ในบางส่วนเพื่อป้องกันผลกระทบจากรังสี อุณหภูมิพื้นผิวเฉลี่ยของเครื่องส่งรังสีจะถูกวัดด้วยเครื่องมือวัดเทอร์โมคัพเพิลชนิด K สัญญาณของเครื่องมือวัดที่ได้มีความหลากหลาย ถูกส่งไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ที่บันทึกข้อมูลที่ติดตั้งไว้ มีคอมพิวเตอร์ไว้อ่านค่าและบันทึกข้อมูลค่าของอุณหภูมิ

วิธีทำการทดลองคือนำผลิตภัณฑ์วางใส่ในถาดวางผลิตภัณฑ์ ในการที่จะลดจำนวนการรวมตัวกันของไอน้ำในการทดลองของห้องอบระหว่างการเริ่มเดินเครื่องอบแบบไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำและรังสีอินฟราเรด เครื่องส่งรังสีต้องเริ่มทำความร้อนให้กับถาดและรักษาระดับอุณหภูมิในห้องอบให้เป็นไปตามที่ต้องการ โดยปราศจากผลของไอน้ำในห้องอบในช่วง 5 นาทีแรกของกระบวนการอบ อัตราการไหลของไอน้ำเข้าสู่ห้องอบจะรักษาไว้ที่ระดับ 26 กิโลกรัมต่อชั่วโมง และอัตราความเร็วของพัดลมไฟฟ้าถูกกำหนดไว้ที่ 2,100 รอบต่อนาที

การทดลองจะสำเร็จได้ที่การอบที่อุณหภูมิระดับปกติ (อากาศหรือไอน้ำร้อนยวดยิ่ง) ที่อุณหภูมิ 70 80 และ 90 องศาเซลเซียส และค่าความดันในห้องที่ 7 และ 10 กิโลพาสคาล กล้วยนั้นจะแห้งรวมทั้งมีปริมาณความชื้นที่สมดุลซึ่งปริมาณความชื้นสุดท้ายของกล้วยที่ต้องการควรจะมีค่าต่ำกว่า 0.035 กิโลกรัมต่อกิโลกรัม (d.b.)

2.7 สรุปข้อดีข้อเสียของเครื่องอบแห้งแบบต่าง ๆ

ตารางที่ 2.1 สรุปข้อดีข้อเสียของเครื่องอบแห้งแบบต่างๆ

รายการ	Hot air	Heat pump	SSD	LPSSD	LPSSD-FIR
การใช้พลังงาน	ต่ำกว่าปั๊มความร้อน	สูงกว่าอบลมร้อน	ต่ำกว่าอบลมร้อน	ต่ำกว่าอบลมร้อน	ต่ำกว่า LPSSD
เวลาในการอบแห้ง	ต่ำกว่าปั๊มความร้อน	สูงกว่าอบลมร้อน	ต่ำกว่าอบลมร้อน	สูงกว่า LPSSD-FIR	ต่ำกว่า LPSSD
ราคาอุปกรณ์	ถูกกว่า	แพง	แพง	แพง	แพง
คุณภาพผลิตภัณฑ์ (สี, กลิ่น, รสชาติ, คุณค่าทางอาหาร)	ต่ำกว่ามาตรฐาน อาจมีฝุ่นเจือปนและเกิดการไหม้ สีคล้ำ	อยู่ในมาตรฐาน	มีผลต่อคุณค่าทางอาหาร, โครงสร้างเปลี่ยนเพราะใช้อุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียส	อยู่ในมาตรฐาน	ดีกว่า LPSSD
ความเหมาะสมในการใช้งาน	วัสดุมีเปลือก	NA	วัสดุที่ไวต่อความร้อน	วัสดุที่ไวต่อความร้อน	วัสดุที่ไวต่อความร้อน

หมายเหตุ: NA คือ ไม่สามารถหาค่าได้

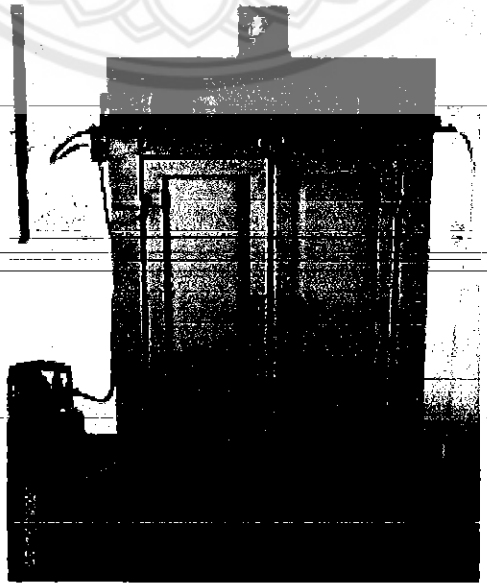
จากการทบทวนวรรณกรรมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สรุปได้ว่าการเลือกใช้เทคโนโลยีการอบแห้งแบบต่างๆ นั้นมีปัจจัยที่ควรคำนึงถึงคือ ต้นทุนของอุปกรณ์ การใช้พลังงานต่อหน่วยผลิต คุณภาพผลิตภัณฑ์ ระยะเวลาการอบ ซึ่งเทคโนโลยีใหม่ๆ ที่น่าสนใจในการพัฒนาเพื่อใช้งานในการอบแห้งสำหรับงานวิจัยนี้คือการอบแห้งด้วยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำความดันต่ำและการอบแห้งโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งความดันต่ำร่วมกับการแผ่รังสีอินฟราเรด ทั้งนี้การตัดสินใจเลือกระบบใดมาใช้หรือทำการออกแบบระบบใหม่นั้นขึ้นกับงบประมาณในการสร้างอุปกรณ์เป็นหลัก ซึ่งจะทราบในรายละเอียดของขั้นตอนต่อไป

บทที่ 3
การออกแบบเครื่องอบกล้วย
โดยใช้การแลกเปลี่ยนความร้อนจากไอน้ำ

3.1 ศึกษาและเก็บข้อมูล

กระบวนการผลิตกล้วยตากเดิมนั้นใช้ตู้อบพลังงานจากแสงอาทิตย์และปิดคลุมด้วยแผ่นพลาสติกเพื่อป้องกันฝุ่นและแมลง ดังรูปที่ 3.1 หลังจากขั้นตอนการนำกล้วยตากแคดแล้วขั้นตอนต่อไปจะนำกล้วยนั้นมาอบเพื่อทำลายเชื้อโรคด้วยเครื่องอบ ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งก่อให้เกิดการปนเปื้อนเนื่องจากอากาศที่เผาให้ร้อนนั้นนำไปอบกล้วยโดยตรงทำให้มีความสะอาดไม่ได้ตามมาตรฐาน

รูปที่ 3.1 ตู้อบพลังงานแสงอาทิตย์

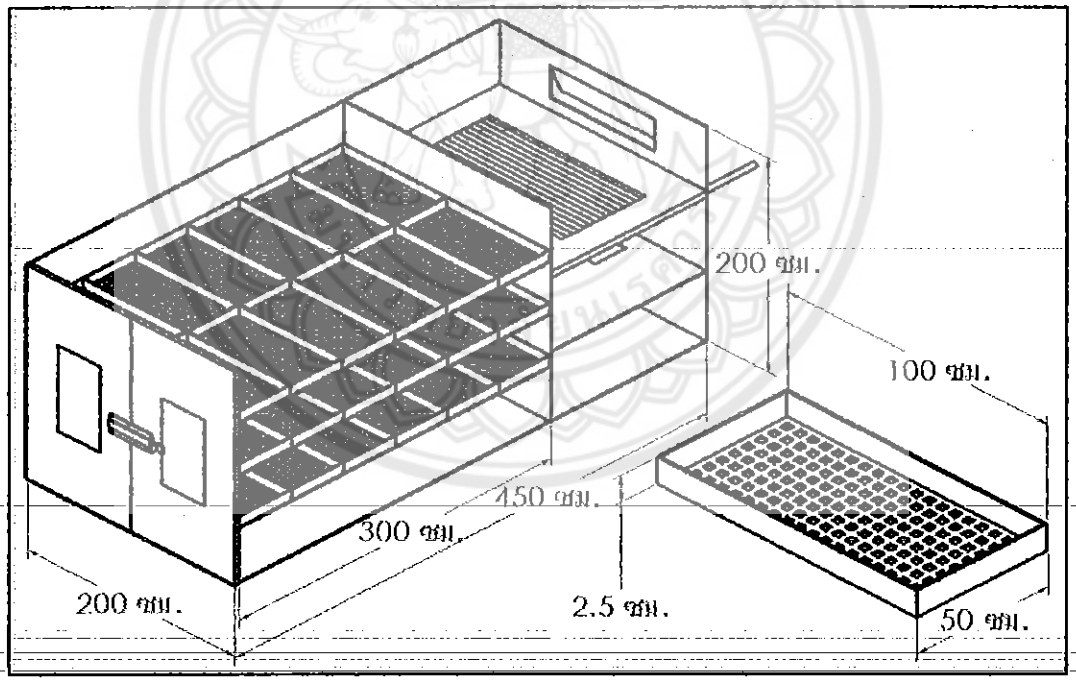


รูปที่ 3.2 เครื่องอบกล้วยด้วยลมร้อนจากแก๊สแบบดั้งเดิม

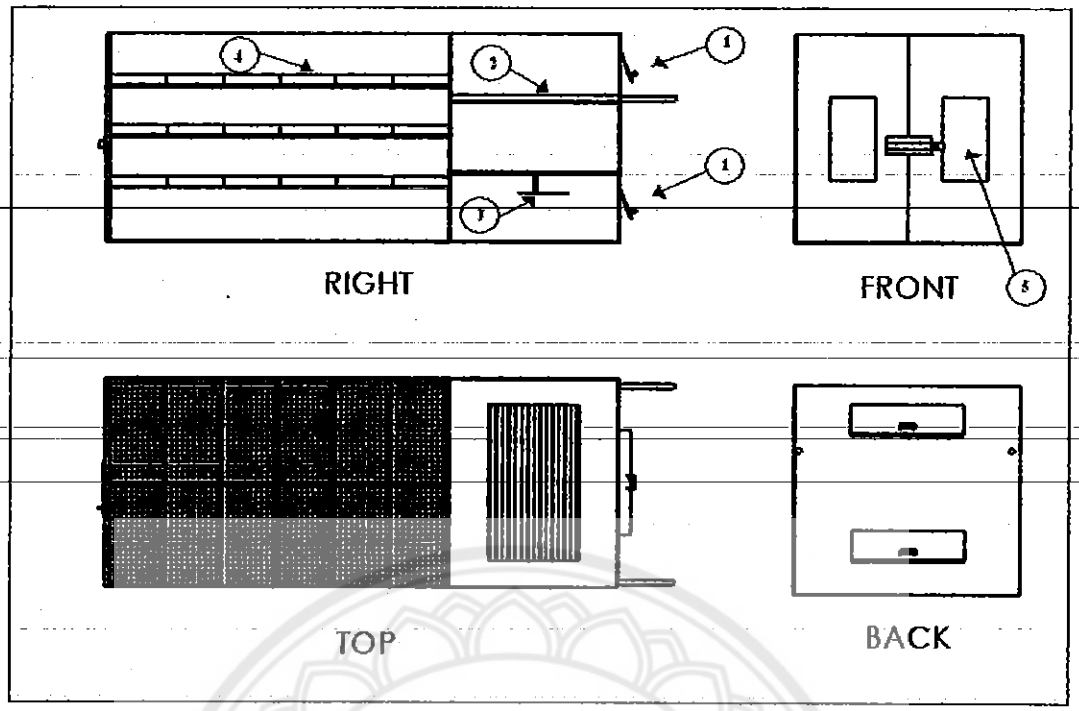
จากรูปที่ 3.2 เครื่องอบกล้วยแบบดั้งเดิมนี้สามารถผลิตกล้วยอบได้ครั้งละ(รอบการผลิต) จำนวนไม่มาก จึงได้สร้างเครื่องอบเป็นแบบเครื่องอบแห้งแบบถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำ เป็นแบบเครื่องอบกล้วยที่ไม่เหมือนกันกับแบบต่างๆ ที่ได้ศึกษามาเนื่องจากการออกแบบนี้ได้ไปดูงานจากสถานที่อื่นแล้วนำมาออกแบบเป็นเครื่องอบแห้งแบบถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำ ซึ่งรายละเอียดจะทราบในขั้นตอนของการออกแบบ

3.2 การออกแบบตู้อบกล้วย

แบบจำลองเครื่องอบแห้งแบบถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำแสดงดังรูปที่ 3.3 เครื่องอบแบบนี้มีขนาดความกว้างทางด้านหน้าประตู 200 เซนติเมตร ความสูง 200 เซนติเมตร ความยาวทั้งหมด 450 เซนติเมตร ซึ่งในส่วนของความยาวแบ่งเป็นความยาวของห้องอบผลิตภัณฑ์ 300 เซนติเมตร และความยาวของห้องวางอุปกรณ์ที่ใช้ให้ความร้อนเพื่อการอบ 150 เซนติเมตร สำหรับถาดวางผลิตภัณฑ์นั้นมีขนาดความกว้าง 50 เซนติเมตร ความยาว 100 เซนติเมตร และความสูง 2.5 เซนติเมตร



รูปที่ 3.3 แบบจำลองพร้อมขนาดของเครื่องอบแห้งแบบถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำ



รูปที่ 3.4 มุมมองของเครื่องอบแห้งแบบถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำ

จากรูปที่ 3.4 ลักษณะของตู้อบประกอบไปด้วยดังนี้

1. ช่องระบายอากาศ 2 ช่อง ทั้งด้านบนและด้านล่าง ซึ่งอยู่ด้านหลังของตู้อบ
2. ขดท่อน้ำร้อน
3. พัดลมขนาด 3.75 กิโลวัตต์ ยึดติดอยู่กับโครงรับขดลวดพัดลม
4. ถาดใส่ผลิตภัณฑ์ มีทั้งหมด 3 ชั้น วางอยู่บนโครงรับถาด
5. กระจกใส

3.3 การสร้างเครื่องอบ

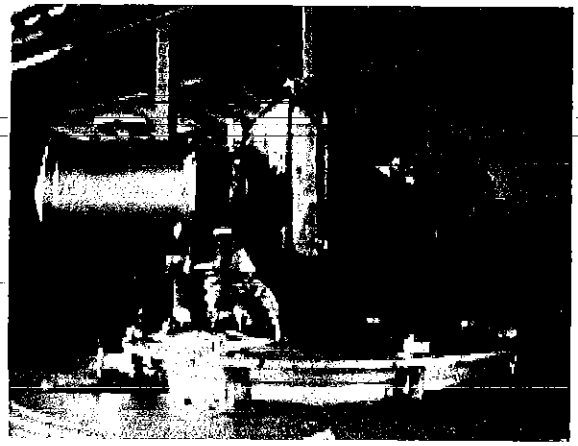
3.3.1 อุปกรณ์หลักที่ใช้สร้างเครื่องอบ

เครื่องอบกล้วยที่จะทำการสร้างเป็นแบบเครื่องอบแห้งแบบถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำ มีอุปกรณ์หลักดังนี้

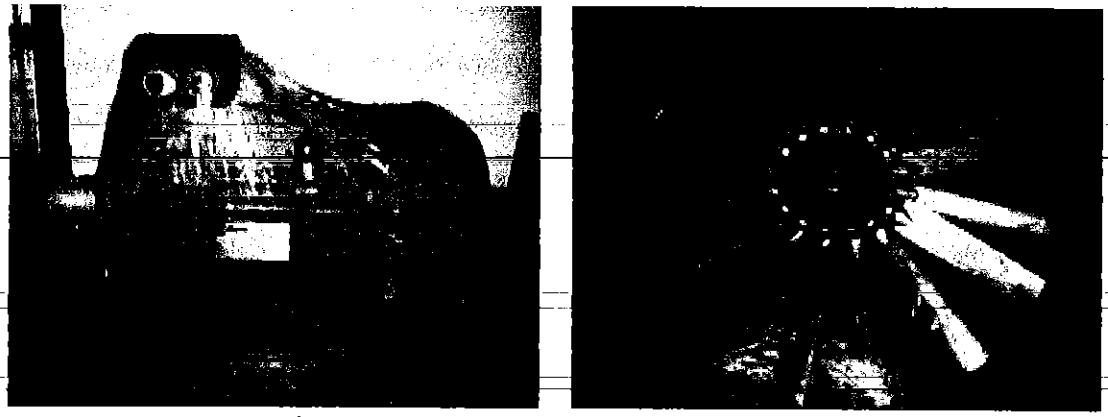
1. เครื่องทำไอน้ำ 300 กิโลวัตต์ (รูปที่ 3.5) พร้อมหัวจุดแก๊ส (รูปที่ 3.6)
2. วาล์วควบคุมแรงดันแก๊ส
3. ถังความดัน (เพรสเชอร์แทงค์)
4. ท่อเดินจากเครื่องทำไอน้ำมาห้องอบ
5. ท่อเดินแก๊สมายังเครื่องทำไอน้ำ
6. ขดท่อน้ำร้อน (Hot Water Coil)

7. อุปกรณ์ชุดควบคุม
8. ตู้อบสเตนเลส
9. ถาดใส่ผลิตภัณฑ์
10. โครงรับถาด 3 ชั้น
11. โครงรับขดลวดพัดลม
12. พัดลมขนาด 3.75 กิโลวัตต์ ความเร็ว 960 รอบต่อนาที (รูปที่ 3.7)
13. ปล่องควัน (รูปที่ 3.8)
14. กรองกันฝุ่น

รูปที่ 3.5 เครื่องทำไอน้ำขนาด 300 กิโลวัตต์



รูปที่ 3.6 หัวจุดแก๊ส (Burner) ของเครื่องทำไอน้ำ



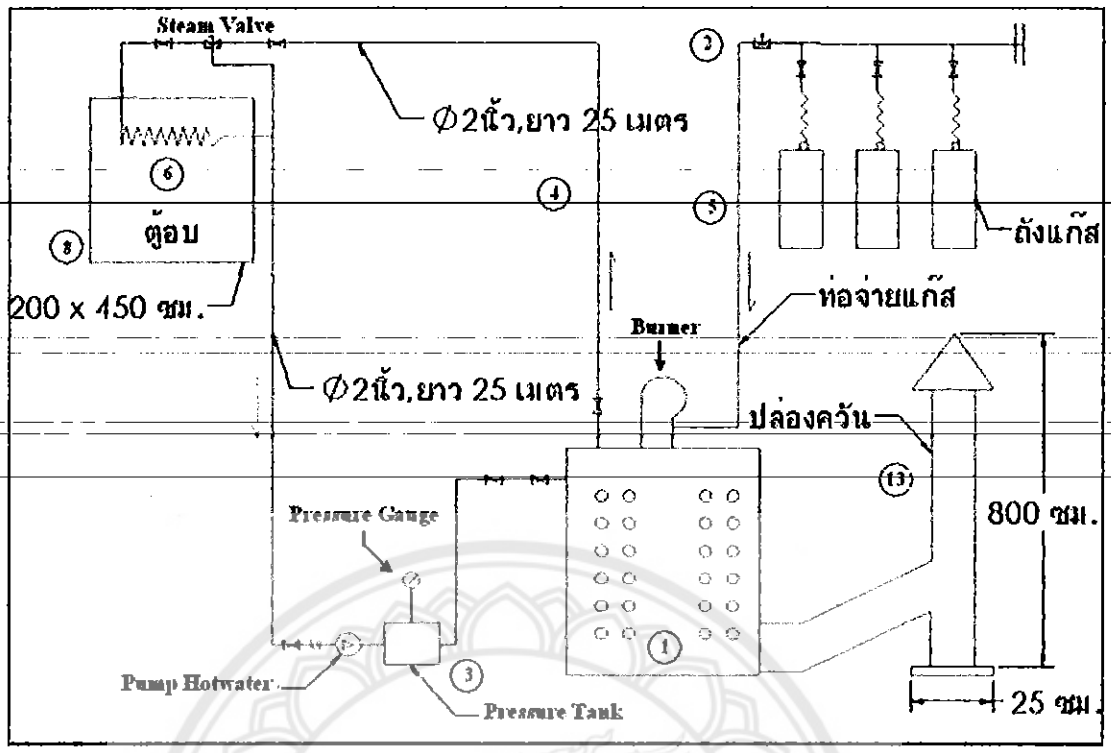
(ก) มอเตอร์พัดลม (ข) ใบพัด

รูปที่ 3.7 ส่วนประกอบพัดลมที่ใช้ในเครื่องอบ

รูปที่ 3.8 ปล่องระบายควันเครื่องทำไอน้ำ

3.3.2 กระบวนการทำงาน

แผนผังการทำงานของวงจรแสดงดังรูปที่ 3.9 เป็นแบบจำลองการทำงานของวงจรจริงของเครื่องอบแห้งแบบถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำที่ได้ทำการสร้าง



รูปที่ 3.9 แผนผังการทำงานของวงจร

จากรูปที่ 3.9 การทำงานของวงจรเริ่มจากจ่ายแก๊สไปยังเครื่องทำไอน้ำเพื่อนำไปผลิตไอน้ำที่มีความร้อน ไอน้ำร้อนนี้จะไหลไปตามท่อเดินไอน้ำผ่านขดท่อน้ำร้อนที่อยู่ภายในบริเวณห้องอบทำให้เกิดไอความร้อนขึ้น ไอความร้อนนี้จะถูกทำให้กระจายไปทั่วทั้งห้องอบด้วยพัดลม ส่วนไอน้ำที่ไหลผ่านขดท่อน้ำร้อนซึ่งได้ถ่ายเทความร้อนไปแล้วนั้นจะไหลผ่านปั๊มควบคุมน้ำร้อนต่อมายังถังความดันเพื่อทำให้ไอน้ำกลับมาเป็นน้ำแล้วนำกลับไปใช้ต่อในส่วนของเครื่องทำไอน้ำร้อนอีกครั้งซึ่งเป็นการนำกลับมาใช้ใหม่นั่นเอง ในส่วนของปล่องควันนั้นมีหน้าที่ระบายควันออกในกระบวนการของเครื่องทำไอน้ำร้อน

3.4 ค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ของเครื่องอบแห้ง

3.4.1 ความสำคัญการถ่ายเทความร้อน [26]

เครื่องผลิตกำลังสมัยใหม่เกี่ยวข้องกับการผลิตพลังงานจากการสันดาปของเชื้อเพลิง พลังงานความร้อนที่เกิดจากเชื้อเพลิงจะถูกเปลี่ยนเป็นงานที่เป็นประโยชน์โดยผ่านหม้อน้ำ กังหัน คอนเดนเซอร์ และปั๊ม เครื่องมือทุกชนิดเหล่านี้จะมีการถ่ายเทความร้อนแบบต่างๆเกิดขึ้น จึงจำเป็นจะต้องมีความเข้าใจในการถ่ายเทความร้อน รวมทั้งด้านการออกแบบ การประดิษฐ์และการซ่อมบำรุงรักษา เพื่อประโยชน์ในด้านการประหยัดวัสดุ เชื้อเพลิง และเวลาดำเนินงาน

โดยทั่วไปแล้วกระบวนการถ่ายเทความร้อนอาจแบ่งออกได้เป็น 3 วิธีคือ วิธีการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ วิธีการถ่ายเทความร้อนโดยการพา และวิธีการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสี

ความร้อน วิธีการถ่ายเทความร้อนทั้ง 3 วิธีนี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิในทิศทางการไหลของความร้อน กลไกที่จะทำให้การเคลื่อนที่ของความร้อนในแต่ละวิธีนั้นจะไม่เหมือนกัน จึงจำเป็นต้องเข้าใจถึงกลไกของการเคลื่อนที่ของความร้อนและคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อน ทั้ง 3 วิธีนี้ให้ถูกต้องเพื่อประโยชน์ในการออกแบบอุปกรณ์ การใช้งาน การใช้งาน การซ่อมแซมบำรุงรักษาและการประหยัดพลังงาน

3.4.1.1 การถ่ายเทความร้อนโดยการนำ

การถ่ายเทความร้อนโดยการนำเป็นกลไกการแลกเปลี่ยนพลังงานภายในจากวัตถุหนึ่งไปยังอีกวัตถุหนึ่งหรือจากส่วนหนึ่งของวัตถุไปยังส่วนอื่นๆ ของวัตถุโดยการแลกเปลี่ยนพลังงานที่เกิดจากการสั่นของโมเลกุลที่อยู่ติดกันหรือเกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า การถ่ายเทความร้อนโดยการนำนั้นความร้อนจะไหลจากโมเลกุลของวัตถุที่มีอุณหภูมิสูงไปโมเลกุลที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่วัตถุนั้นไม่มีการเคลื่อนที่การนำความร้อนเกิดขึ้นได้ดีในวัตถุที่เป็นของแข็ง

กฎเบื้องต้นของการนำความร้อน

กฎเบื้องต้นที่ใช้อธิบายถึงวิธีการถ่ายเทความร้อนโดยการนำคือกฎของ Fourier กล่าวว่า อัตราการไหลของความร้อนโดยการนำในทิศทางที่กำหนด จะเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับระยะทาง พื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อน

3.4.1.2 การถ่ายเทความร้อนโดยการพา

การพาความร้อนเป็นคำศัพท์ที่ใช้กับกลไกของการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นในของไหลโดยการผสมกันระหว่างส่วนหนึ่งของของไหลกับส่วนอื่นๆ ของของไหล อันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของมวลของของไหล กระบวนการที่แท้จริงของการถ่ายเทพลังงานจากโมเลกุลของของไหลหนึ่งไปยังโมเลกุลอื่นๆ ยังคงเป็นการนำความร้อน พลังงานอาจเคลื่อนจากจุดหนึ่งไปยังจุดอื่นๆ ได้โดยการเคลื่อนที่ของของไหลเอง

การเคลื่อนของของไหลอาจเกิดจากเครื่องมือภายนอก ดังนั้นกระบวนการพาความร้อนโดยอาศัยพัดลม จึงมีชื่อเรียก กระบวนการพาความร้อนโดยอาศัยเครื่องมือกล ถ้าการเคลื่อนที่ของของไหลเกิดขึ้นจากความแตกต่างระหว่างความหนาแน่นของของไหลอันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิที่มีอยู่ในมวลของของไหลกระบวนการพาแบบนี้เรียกว่า การพาความร้อนแบบอิสระหรือการพาความร้อนธรรมชาติ

กฎเบื้องต้นของการพาความร้อน

การที่จะคาดคะเนอัตราที่ซึ่งความร้อนจะถูกพาออกจากผิวของวัตถุหรือพาจากของไหลเข้าสู่ผนังของวัตถุโดยของไหลที่อยู่รอบๆ นั้นเป็นสิ่งยุ่งยากมาก จำเป็นที่จะต้องเข้าใจหลักการของการนำความร้อน พลศาสตร์ของไหลและทฤษฎีของชั้นบาง การวิเคราะห์ที่ประกอบด้วยหลักการหลายอย่างนี้อาจนำมารวมเป็นพารามิเตอร์ตัวเดียว

3.4.1.3 การถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อน

วัตถุที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์องศาเคลวินจะเปล่งพลังงานออกมาเนื่องจากอุณหภูมิของวัตถุหรือสาร พลังงานที่เปล่งออกมาโดยวัตถุหรือสารเนื่องจากอุณหภูมิของวัตถุหรือสารมีชื่อว่า รังสีความร้อน พลังงานที่เปล่งออกจากวัตถุหรือสารไปสู่ผิวภายนอกที่แท้จริงมาจากบริเวณภายในของวัตถุหรือสาร พลังงานรังสีที่ตกลงบริเวณผิวของวัตถุหรือสารหนึ่งๆ จะแทรกซึมเข้าไปในเนื้อของวัตถุหรือสารซึ่งจะถูกดูดกลืนเอาไว้ ถ้าพลังงานรังสีที่เปล่งออกมาจากระยะทางสั้นๆ จากผิว กระบวนการแผ่รังสีแบบนี้เรียกว่าการแผ่รังสีความร้อนที่ผิวและวัตถุหรือสารชนิดนี้เรียกว่าทึบแสงต่อรังสีความร้อน

รังสีความร้อนที่ผ่านเข้าไปในตัวกลางหนึ่งๆ แล้วมีค่าลดลงเนื่องจากถูกดูดกลืนเอาไว้ รังสีที่ผ่านเข้าไปยังสุญญากาศจะไม่ถูกดูดเอาไว้เลย ในทางปฏิบัติอาจถือว่ารังสีที่ผ่านบรรยากาศจะไม่ถูกดูดกลืนเอาไว้เลยเพราะการดูดกลืนรังสีเอาไว้ในอากาศมีค่าน้อยมาก

กฎเบื้องต้นของการแผ่รังสีความร้อน

รังสีความร้อนเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปล่อยออกจากสาร กลไกของการแผ่รังสีจึงแตกต่างจากกลไกของการถ่ายเทความร้อนโดยการพาและการนำดังนี้คือ ความร้อนอาจเคลื่อนที่จากวัตถุหนึ่งไปสู่อีกวัตถุหนึ่งได้โดยไม่ต้องมีตัวกลางระหว่างวัตถุทั้งสองเลย

3.4.2 การใช้พลังงานของแก๊สแอลพีจีที่หม้อกำเนิดไอน้ำ

พลังงานที่ใช้ในการอบกล้วยของเครื่องอบแห้งแบบถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำนี้ใช้แก๊สหุงต้มเป็นพลังงานหลัก แก๊สที่ใช้นั้นจะมีค่าการให้พลังงานความร้อนต่อปริมาตรอยู่ ซึ่งแก๊สที่ใช้สำหรับเครื่องอบแห้งนี้คือแก๊สแอลพีจีโดยที่แก๊สแอลพีจีนั้น เมื่อพิจารณาที่น้ำหนักแก๊ส 1 กิโลกรัม จะให้ค่าพลังงานความร้อน (LPG Energy) ประมาณ 50.22 เมกกะจูล (MJ)

หัวแก๊สของเครื่องอบแห้งแบบถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำนั้นมีรายละเอียดเป็นปริมาณทางไฟฟ้าในหน่วยของกิโลวัตต์ ดังนั้นการใช้ค่าพลังงานไฟฟ้าในรูปแบบพลังงานความร้อนสามารถบอกได้ดังสมการที่ 3.1

$$\text{Electric Power} \times 3.6 = \text{Burner Energy} \qquad (3.1)$$

โดยที่ Electric Power คือ พลังงานไฟฟ้าในหน่วยกิโลวัตต์ (kW)

Burner Energy คือ พลังงานความร้อนของหัวแก๊สในหน่วยเมกะจูล (MJ)

3.6 คือ ค่าแฟคเตอร์ตัวคูณ

*หมายเหตุ: คิดเทียบที่ 1 ชั่วโมง

จากสมการที่ 3.1 พิจารณาหัวแก๊สที่ความสามารถในการให้ความร้อน (หน่วยเป็นกิโลวัตต์ต่อชั่วโมง) แปรผันค่าพลังงานได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การแปลงค่าพลังงานของหัวแก๊สที่ใช้งาน

ขนาดหัวแก๊ส (kW / hour)	แปลงค่าพลังงานได้ (MJ / hour)
200	720
250	900
300	1,080
350	1,260

จากค่าการให้พลังงานความร้อนของแก๊สแอลพีจีและการเผาผลาญความร้อนของหัวแก๊ส ปริมาณที่ทราบข้างต้นนั้นสามารถบอกได้ว่าอัตราการใช้เชื้อเพลิงของแก๊สแอลพีจี 1 กิโลกรัม ที่หัวแก๊สต่างๆ นั้น แก๊สแอลพีจีจะหมดในเวลาเท่าใดเป็นไปตามสมการที่ 3.2

$$\frac{\text{Gas Energy}}{\text{Burner Energy}} = \text{Time} \qquad (3.2)$$

โดยที่ Gas Energy คือ พลังงานความร้อนของแก๊สแอลพีจีปริมาณ 1 กิโลกรัม (MJ)

Burner Energy คือ พลังงานความร้อนของหัวแก๊สในหน่วยเมกะจูล (MJ)

Time คือ ระยะเวลาชั่วโมงที่หัวแก๊สเผาผลาญแก๊สแอลพีจีจนหมด (Hour)

จากสมการที่ 3.2 พิจารณาหัวแก๊สที่ความสามารถในการให้ความร้อนเมื่อใช้กับแก๊ส LPG 1 กิโลกรัม จะใช้แก๊สแอลพีจีหมดในช่วงเวลาดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การให้ความร้อนของแก๊สแอลพีจี 1 กิโลกรัม เมื่อใช้กับหัวแก๊ส

ขนาดหัวแก๊ส (kW)	เวลา (ชั่วโมง)	เวลา (นาที)
350	0.0399	2.394
300	0.0465	2.790
250	0.0558	3.348
200	0.0698	4.188

เมื่อได้ค่าพลังงานในการใช้แก๊สที่หัวแก๊สแล้ว อุณหภูมิของน้ำคือสิ่งที่ถูกถ่ายเทความร้อนมาจากแก๊ส จากหนังสือเทอร์โมไดนามิกส์ Yanus A. Censel and Michuel A. Boles [27] ที่น้ำ 100 องศาเซลเซียส ความดันบรรยากาศ (P) เท่ากับ 1 atm ให้ความร้อนจำเพาะ 2506.5 กิโลจูลต่อ

กิโลกรัม เมื่อพิจารณาที่น้ำ 1 กิโลกรัม ดังนั้นแก๊สแอลพีจี 1 กิโลกรัม สามารถทำน้ำให้เดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ได้เป็นปริมาณตามสมการที่ 3.3

$$\frac{\text{Gas Energy}}{\text{Specific Heat Energy}} = \text{Weight} \qquad (3.3)$$

โดยที่ Specific Heat คือ ความร้อนจำเพาะของน้ำในหน่วยกิโลจูลต่อกิโลกรัม (kJ/kg)

Weight คือ น้ำหนักของน้ำที่สามารถทำให้เดือดได้ในหน่วยกิโลกรัม

คือแก๊สแอลพีจี 1 กิโลกรัม สามารถทำให้น้ำเดือดได้ถึง

$$\frac{50.22\ \text{MJ}}{2506.5\ \text{kJ/kg}} = 20\ \text{kg}$$

สามารถบอกได้ว่าน้ำ 1 กิโลกรัม ใช้แก๊สแอลพีจีเพียง 1 ส่วน 20 กิโลกรัม ในการทำให้น้ำเดือดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส และกล่าวได้ว่าพลังงานของแก๊สแอลพีจีที่ 1 ส่วน 20 กิโลกรัม หรือ 0.05 กิโลกรัม นั้นมีพลังงานเท่ากับ

$$\frac{50.22\ \text{MJ}}{20} = 2.511\ \text{MJ}$$

พิจารณาที่ไอน้ำอุณหภูมิต่างๆ โดยดูจากสมการ 3.3 จะได้ว่าที่อุณหภูมิที่พิจารณาคือ 40 องศาเซลเซียส, 60 องศาเซลเซียส และ 80องศาเซลเซียส โดยใช้แก๊สแอลพีจี 1 กิโลกรัม นั้นจะสามารถทำให้น้ำเดือดได้เป็นจำนวนดังนี้

- ที่น้ำ 40 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนเฉพาะ 2430.1 กิโลจูลต่อกิโลกรัม

  ดังนั้นได้ว่า $\frac{50.22\ \text{MJ}}{2430.1\ \text{kJ/kg}} = 20.66\ \text{kg}$

  แสดงว่า น้ำ 1 กิโลกรัมใช้แก๊สแอลพีจี 1 ส่วน 20.66 กิโลกรัม ในการทำให้น้ำมีอุณหภูมิเป็น 40 องศาเซลเซียส

- ที่น้ำ 60 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนเฉพาะ 2456.6 กิโลจูลต่อกิโลกรัม

  ดังนั้นได้ว่า $\frac{50.22\ \text{MJ}}{2456.6\ \text{kJ/kg}} = 20.4\ \text{kg}$

  แสดงว่า น้ำ 1 กิโลกรัม ใช้แก๊สแอลพีจี 1 ส่วน 20.4 กิโลกรัม ในการทำให้น้ำมีอุณหภูมิเป็น 60 องศาเซลเซียส

- ที่น้ำ 80 องศาเซลเซียส ให้ความร้อนเฉพาะ 2482.2 กิโลจูลต่อกิโลกรัม

  ดังนั้นได้ว่า $\frac{50.22\ \text{MJ}}{2482.2\ \text{kJ/kg}} = 20.25\ \text{kg}$

  แสดงว่า น้ำ 1 กิโลกรัม ใช้แก๊สแอลพีจี 1 ส่วน 20.25 กิโลกรัม ในการทำให้น้ำมีอุณหภูมิเป็น 80 องศาเซลเซียส

เวลาที่ใช้ของหัวแก๊สที่ขนาดการใช้พลังงานต่างๆ โดยจากสมการที่ 3.2 เทียบกับช่วงอุณหภูมิที่พิจารณาตามสมการที่ 3.3 สามารถอธิบายได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 เปรียบเทียบการใช้พลังงานของแก๊สแอลพีจีกับปริมาณน้ำที่อุณหภูมิที่พิจารณา

ขนาดหัวแก๊ส (kW)	เวลา (นาที)	อุณหภูมิของน้ำ (°C)	ปริมาณน้ำ (kg)
200	4.188	40	20.66
250	3.348	60	20.40
300	2.790	80	20.25
350	2.394	100	20.00

ดังนั้น ถ้าจะทำให้น้ำในหม้อกำเนิดไอน้ำที่มีปริมาณ 300 กิโลกรัม เดือดที่อุณหภูมิต่างๆ ที่พิจารณาโดยมาจากสมการที่ 3.3 ต้องใช้แก๊สแอลพีจีเป็นจำนวนดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ปริมาณแก๊สแอลพีจีที่ใช้ต่อน้ำในหม้อกำเนิดไอน้ำ 300 กิโลกรัม

ขนาดหัวแก๊ส (kW)	อุณหภูมิของน้ำ (°C)	ปริมาณน้ำ (kg)	ปริมาณแอลพีจีที่ใช้ (kg)
200	40	20.66	14.50
250	60	20.40	14.70
300	80	20.25	14.81
350	100	20.00	15.00

3.4.3 คำนวณหาค่าความร้อน

หม้อกำเนิดไอน้ำมีการส่งน้ำร้อนอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส (383 องศาเคลวิน) ผ่านท่อน้ำร้อนมายังขดท่อน้ำร้อน ในที่นี้เราสมมติให้ท่อน้ำร้อนมีการหุ้มฉนวนจึงไม่ก่อให้เกิดการสูญเสียความร้อนให้กับสภาวะแวดล้อม รวมทั้งขนาดความหนาของท่อมีความบางมากส่งผลให้อุณหภูมิที่ผิวขดท่อน้ำร้อนใกล้เคียงกับอุณหภูมิของน้ำร้อนในขดท่อน้ำร้อนที่ได้รับมาจากท่อน้ำร้อนที่ต่อมาจากหม้อกำเนิดไอน้ำ

ในการหาค่าความร้อนที่ออกมาจากท่อนั้นพิจารณาที่อุณหภูมิห้อง โดยพิจารณาอากาศที่ความดันบรรยากาศมีอุณหภูมิเท่ากับ 310 องศาเคลวิน ($T_{\infty l}$) ไหลผ่านตามแนวตั้งฉากกับกลุ่มท่อที่จัดเรียงตัวอยู่ในแนวเดียวกัน ห่างกันท่อละ 0.006 เมตร (S_L) เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ (D)

เท่ากับ 0.05 เมตร และที่ผิวท่อมีอุณหภูมิคงที่ที่ 373 องศาเคลวิน (T_S) กำหนดระยะพิตซ์ตามยาวและตามขวางได้ดังสมการที่ 3.4

$$\frac{S_L}{D} = \text{Distance (Pitch)} \qquad (3.4)$$

จะได้ว่าระยะพิตซ์คือ $\frac{0.006}{0.05} = 0.12$

สมมติให้อุณหภูมิความร้อนที่ทางออกของช่องระบายอากาศของตู้อบเท่ากับ 333 องศาเคลวิน ($T_{\infty 2}$) ดังนั้นสามารถหาอุณหภูมิของอากาศที่ไหลในห้องได้ดังสมการที่ 3.5

$$T_\infty = \frac{T_{\infty 1} + T_{\infty 2}}{2} \qquad (3.5)$$

ได้อุณหภูมิของอากาศที่ไหลคือ $T_\infty = \frac{(333+310)}{2} = 321.5$ องศาเคลวิน

และทำให้ได้อุณหภูมิเฉลี่ยของตู้อบตั้งแต่อุณหภูมิที่เข้าตู้อบจนถึงอุณหภูมิของของไหลที่ไหลอยู่ในตู้อบดังสมการที่ 3.6

$$T_f = \frac{T_S + T_\infty}{2} \qquad (3.6)$$

ได้อุณหภูมิการไหลเฉลี่ยคือ $T_f = \frac{373+321.5}{2} = 347.25$ องศาเคลวิน

เมื่อมีค่าอุณหภูมิการไหลของอากาศภายในห้องอบแล้ว จำเป็นต้องรู้อัตราการไหลของการพัดของพัดลมเพื่อหาค่าความเร็วลมที่พัดภายในห้อง ซึ่งพัดลมที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.1 เมตร (d_1) ขนาดความยาวก้านรอยต่อระหว่างใบของใบพัดกับแกนกลางเท่ากับ 0.1 เมตร (d_2) ความกว้างของใบพัดมีขนาด 0.05 เมตร (b) ความเร็วรอบของใบพัดคือ 960 รอบต่อนาที (N) และมีจำนวนใบพัดทั้งหมด 16 ใบ สามารถหาอัตราการไหลของอากาศเป็นลูกบาศก์เมตรต่อนาทีได้ดังสมการที่ 3.7

$$Q = \pi \frac{(d_1^2 - d_2^2) \times b \times N}{4} \qquad (3.7)$$

ได้อัตราการไหลของพัดลมคือ $Q = \pi \frac{(1.1^2 - 0.1^2) \times (0.05 \times 16) \times 960}{4} = 720 \ m^3/\min$

และจากที่ห้องมีช่องระบายอากาศ 2 ช่องอยู่ทางด้านบนและด้านล่างที่อยู่ด้านหลังของตู้อบ ทำให้มีพื้นที่ช่องลมในการระบายอากาศออก แต่ละช่องมีความยาว 1 เมตร กว้าง 0.3 เมตร สามารถนำมาคิดเป็นพื้นที่ได้ ดังนั้นหาความเร็วลมที่พัดผ่านในตู้อบได้ดังสมการที่ 3.8

$$Q=V\times A \tag{3.8}$$

ได้ความเร็วลมที่พัดผ่านในตู้อบคือ $V=\frac{Q}{A}=\frac{720}{1\times 0.3\times 2}=1,200\ \text{m/min}$

คิดเป็นวินาที $V=\frac{1,200}{60}=20\ \text{m/sec}$

จากสมบัติของอากาศ บอกค่าที่จำเป็นในการใช้หาค่าความร้อนมาดังนี้

- ค่าความหนืดของของเหลว $\mu = 206.9\times10^{-7}$ N-s/m^2
- บรันเทินนัมเบอร์ $P_r = 0.7003$
- สภาพนำความร้อน $k = 29.8\times10^{-3}$ W/(m-K)
- ความร้อนจำเพาะที่ความดันคงที่ $C_p = 1008.9$ J/(kg-kJ)
- ค่าความหนาแน่น $\rho = 1\ .0042$ kg/m^3

เมื่อทราบค่าสมบัติของอากาศสามารถหาค่าความเร็วสูงสุดของอากาศ ฟลักซ์มวลสูงสุด และค่าตัวเลขเรย์โนลดส์ได้ดังสมการ 3.9-3.11

$$V_{MAX}=\frac{\frac{S_L}{D}}{\frac{S_L}{D}-D}\times V \tag{3.9}$$

ความเร็วสูงสุดของอากาศคือ

$$V_{MAX}=\frac{0.12}{0.12-0.05}\times 20=34.32\ \text{m/s}$$

$$G_{MAX}=\rho\times V_{MAX} \tag{3.10}$$

ฟลักซ์มวลสูงสุดคือ $G_{MAX}=1.0042\times 34.32=34.4226\ \text{kg/m}^2\text{s}$

$$R_{eD}=\frac{G_{MAX}D}{\mu} \tag{3.11}$$

ค่าตัวเลขเรย์โนลดส์คือ $R_{eD} = \frac{34.4226 \times 0.05}{206.9 * 10^{-7}} = 83184.924$

ในการหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนนั้นเลือกใช้สมการซูเคาล์คาสคือ

$$h_m = \frac{A \times k \times R_{eD}^{n} \times P_r^{0.36}}{D} \qquad (3.12)$$

จากหนังสือแปล Heat Transfer ค่าที่จำเป็นในการใช้หาค่า h_m คือ A = 0.27 และ n = 0.63 ดังนั้นค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนคือ

$$h_m = \frac{0.27 \times (29.8 \times 10^{-3}) \times (83184.942)^{0.63} \times (0.7003)^{0.36}}{0.05} = 178.036 \text{ W/m}^2\text{-K}$$

ต้องการความร้อนที่ออกมาจากท่อทั้งหมดซึ่งมีจำนวน 14 ท่อ เป็นท่อที่อยู่ในแนวตั้งฉากกับทิศทางการไหลของอากาศ (N_L) ความยาวของแต่ละท่อ 1.5 เมตร วางขวางอยู่ภายในตู้อบเป็นจำนวน 1 แถว (N_T) สามารถหาความร้อนที่ออกมาจากขดท่อได้ดังสมการที่ 3.13

$$T_{\infty 2} = T_S - (T_S - T_{\infty 1})e^{\left(\frac{\pi \times D \times N \times h}{\rho \times v \times N_T \times S_L \times Cp}\right)} \qquad (3.13)$$

ความร้อนที่ออกมาจากขดท่อคือ

$$T_{\infty 2} = 383 - (383 - 310)e^{\left(\frac{\pi \times 0.05 \times 14 \times 178.036}{1.0042 \times 20 \times 114 \times 0.006 \times 1008.89}\right)} = 325.145 \text{ องศาเคลวิน}$$

คิดเป็นอุณหภูมิ 52.145 องศาเซลเซียส คือ ความร้อนที่ออกมาจากขดท่อน้ำร้อน

3.5 วิธีทดลองการอบ

ขั้นตอนวิธีการอบกล้วยสามารถแบ่งได้เป็น 7 ขั้นตอนดังนี้

1. อบกล้วยครั้งที่1 ด้วยความร้อน 50-60 องศาเซลเซียส (8 ชั่วโมง)
2. พักการอบกล้วยครั้งที่ 1 ให้กล้วยพักตัวในอุณหภูมิปกติ เพื่อให้มีการกระจายความร้อนและ ความชื้น ไม่ให้กล้วยมีผิวแห้งแต่ภายนอก (16 ชั่วโมง)
3. อบกล้วยครั้งที่ 2 ด้วยความร้อน 50-60 องศาเซลเซียส (8 ชั่วโมง)
4. พักการอบกล้วยครั้งที่ 2 ให้กล้วยพักตัวในอุณหภูมิปกติ เพื่อให้มีการกระจายความร้อนและความชื้น ไม่ให้กล้วยมีผิวแห้งแต่ภายนอก (16 ชั่วโมง)
5. อบกล้วยครั้งที่ 3 ด้วยความร้อน 50-60 องศาเซลเซียส (8 ชั่วโมง)

6. พักการอบกล้วยครั้งที่ 3 ให้กล้วยพักตัวในอุณหภูมิปกติ เพื่อให้มีการกระจายความร้อนและความชื้น ไม่ให้กล้วยมีผิวแห้งแต่ภายนอก (16 ชั่วโมง)

7. อบกล้วยครั้งที่ 4 เพื่อฆ่าเชื้อโรค ด้วยความร้อน 100 องศาเซลเซียส (3 ชั่วโมง)

สำหรับขั้นตอนการอบหนึ่งครั้งจะอบกล้วยสุกปลอกเปลือกแล้ว ชุดที่ 1 จำนวน 900 กิโลกรัม เป็นเวลา 8 ชั่วโมง หลังจากนั้นจะนำกล้วยสุกปลอกเปลือกแล้ว ชุดที่ 2 ปริมาณเท่ากัน อบต่อเนื่อง 8 ชั่วโมง ทำเช่นกันกับชุดที่ 3 นำกล้วยสุกปลอกเปลือกแล้วอบต่อเนื่อง 8 ชั่วโมง จนอบกล้วยครบ 3 วัน ได้ปริมาณกล้วยอบตามที่ต้องการ

3.6 ผลการทดลอง

ความสามารถในการผลิตกล้วยอบของเครื่องอบแห้งแบบถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำได้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ความสามารถในการผลิตกล้วยอบ

เครื่องอบแบบถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำ	ความต้องการวัตถุดิบ 1 รอบการผลิต (ใช้เวลา 3 วัน)
ปริมาณกล้วยสุกพร้อมเปลือก (ก่อนอบ)	3,000 กิโลกรัม ต่อ 1 รอบการผลิต
ปริมาณกล้วยสุกพร้อมเปลือก (ก่อนอบ)	1,000 กิโลกรัม ต่อ 1 ชุด
ปริมาณกล้วยสุกปลอกเปลือก (ก่อนอบ)	2,700 กิโลกรัม ต่อ 1 รอบการผลิต
ปริมาณกล้วยสุกปลอกเปลือก (ก่อนอบ)	900 กิโลกรัม ต่อ 1 ชุด
ปริมาณกล้วยอบ (หลังอบ)	900 กิโลกรัม ต่อ 1 รอบการผลิต
ปริมาณกล้วยอบ ชุดที่ 1 (หลังอบ)	300 กิโลกรัม ต่อ 1 ชุด
ปริมาณกล้วยอบ ชุดที่ 2 (หลังอบ)	300 กิโลกรัม ต่อ 1 ชุด
ปริมาณกล้วยอบ ชุดที่ 3 (หลังอบ)	300 กิโลกรัม ต่อ 1 ชุด
ถาดวางผลิตภัณฑ์	0.5 เมตร x 1 เมตร
รวมจำนวนถาด	36 ถาด ต่อ 1 ชุด

แต่เนื่องจากประสบปัญหาเรื่องงบประมาณและผู้รับเหมาสร้างเครื่อง จึงไม่สามารถสร้างเครื่องอบแห้งแบบถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำได้จริง ทำให้งานไม่เสร็จตามกำหนดเวลา จึงไม่สามารถทดสอบการทำงานของเครื่องอบกล้วยตามที่ออกแบบได้

บทที่ 4

การออกแบบวงจรควบคุมการทำงาน

เครื่องอบแห้งแบบถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำใช้แก๊สหุงต้มเป็นพลังงานในการอบกล้วยตาก ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้มีความสามารถในการอบผลิตภัณฑ์ให้ได้ความสะอาดเป็นไปตามมาตรฐานสุขลักษณะอาหารและในการอบแต่ละรอบกระบวนการผลิตนั้นสามารถผลิตกล้วยอบได้ในปริมาณที่มากขึ้นกว่าเครื่องอบแบบดั้งเดิม จึงต้องมีการพัฒนาระบบต่างๆ เพิ่มเข้ามาจากเครื่องอบกล้วยแบบดั้งเดิม ซึ่งเครื่องอบกล้วยแบบดั้งเดิมนั้นยังประสบปัญหาในเรื่องการกระจายความร้อนไม่ทั่วถึง ขาดระบบควบคุมอุณหภูมิ ระบบตั้งเวลาอบ ระบบเตือนเมื่อเครื่องเกิดปัญหา ระบบความปลอดภัยในการใช้แก๊สเพื่อต้มน้ำ รวมถึงความสะอาดที่ไม่ได้มาตรฐาน

ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบและพัฒนาระบบต่างๆ ของเครื่องอบแห้งให้มีประสิทธิภาพโดยการออกแบบวงจรระบบควบคุมอุณหภูมิ ระบบตั้งเวลาอบ ระบบเตือนเมื่อเครื่องอบกล้วยมีปัญหาและระบบความปลอดภัยในการใช้แก๊สเพื่อต้มน้ำ เพื่อความสะดวกและความปลอดภัยของผู้ประกอบการ อีกทั้งผลิตภัณฑ์ที่ได้มีคุณภาพ สะอาดถูกหลักอนามัยและผลิตกล้วยอบได้ในปริมาณที่มากขึ้นกว่าเครื่องอบแบบดั้งเดิม ส่งผลให้ชาวเกษตรกรจังหวัดพิษณุโลกมีรายได้ และเป็นสินค้าประจำจังหวัดพิษณุโลกต่อไป

4.1 ออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของเครื่องอบแห้ง

การออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของเครื่องอบกล้วย มีการออกแบบวงจรการควบคุมอุณหภูมิ ระบบตั้งเวลาอบ ระบบการตั้งเวลาการจุดระเบิด (Spark) ระบบเตือนเมื่อเครื่องอบกล้วย รวมถึงหม้อกำเนิดไอน้ำมีปัญหา และระบบความปลอดภัยในการใช้แก๊สเพื่อต้มน้ำ มีอุปกรณ์ที่สำคัญ คือ สวิตซ์เริ่มการทำงาน สวิตซ์หยุดการทำงาน รีเลย์ตั้งเวลา รีเลย์ ตัวควบคุมอุณหภูมิ โซลีนอยด์วาล์ว มอเตอร์พัดลม บัซเซอร์ และหลอดไฟ ซึ่งสามารถอธิบายลักษณะการใช้งานของอุปกรณ์ได้ดังนี้

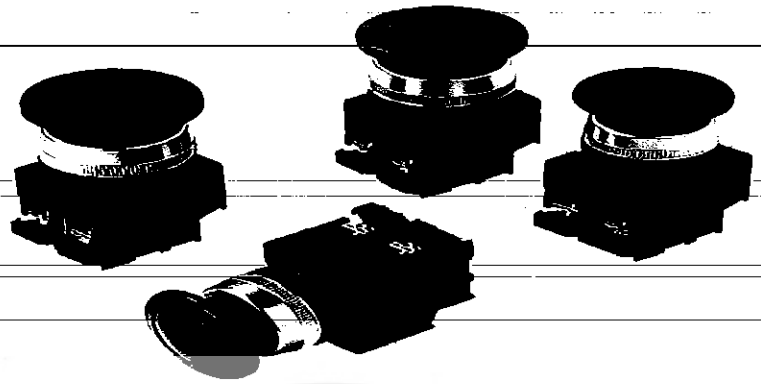
1) สวิตซ์ปุ่มกดเปิด (Push Button Start Switch)

สวิตซ์ปุ่มกดเปิดเป็นปุ่มสวิตซ์สีเขียวอยู่หน้าตู้คอนโทรล ทำหน้าที่เป็นสวิตซ์ปกติเปิด (NO) ถ้าต้องการให้เครื่องอบกล้วยทำงานต้องกดสวิตซ์ปุ่มกดเปิดเพื่อให้สวิตซ์ปุ่มกดเปิดอยู่ในสภาวะปกติปิด (NC) ทำให้ไฟมาเลี้ยงวงจร ดังนั้นเครื่องอบกล้วยก็จะสามารถทำงานได้

2) สวิตซ์ปุ่มกดปิด (Push Button Stop Switch)

สวิตซ์ปุ่มกดปิดเป็นปุ่มสวิตซ์สีแดงอยู่หน้าตู้คอนโทรล ทำหน้าที่ เป็นสวิตซ์ปกติปิด (NC) ทำให้ไฟมาเลี้ยงวงจรควบคุมตลอดเวลา ส่งผลให้เครื่องอบกล้วยทำงาน เมื่อต้องการให้เครื่องอบ

กล้วยหยุดทำงานต้องกดสวิตซ์ปุ่มกดปิด ดังนั้นสวิตซ์ปุ่มกดปิดนี้จะอยู่ในสภาวะปกติเปิด (NO) ทำให้ไฟไม่สามารถมาเลี้ยงวงจรได้ ส่งผลให้เครื่องอบกล้วยไม่ทำงาน



รูปที่ 4.1 สวิตซ์ Push Button Start และ สวิตซ์ Push Button Stop

3) รีเลย์ตั้งเวลา (Timer Relay)

รีเลย์ตั้งเวลา (Timer Relay) ยี่ห้อ HANYOUNG รุ่น MA4-A ไฟเลี้ยง 100 – 240 VAC 50/60 Hz ขนาด 48 × 48 มม. น้ำหนัก 90 กรัม

คุณสมบัติของรีเลย์ตั้งเวลา (Timer Relay) มีดังนี้

1) สามารถเลือกช่วงเวลาการทำงานได้ 0 – 300 h ซึ่งสามารถแบ่งได้ 16 ช่วงเวลา ดังนี้

ตารางที่ 4.1 ช่วงเวลาการทำงานของรีเลย์ตั้งเวลา (Timer Relay)

ช่วงเวลาที่ 1	0.12 - 1.2 s	ช่วงเวลาที่ 9	0.12 - 1.2 h
ช่วงเวลาที่ 2	0.3 - 3 s	ช่วงเวลาที่ 10	0.3 - 3 h
ช่วงเวลาที่ 3	1.2 - 12 s	ช่วงเวลาที่ 11	1.2 - 12 h
ช่วงเวลาที่ 4	3 - 30 s	ช่วงเวลาที่ 12	3 - 30 h
ช่วงเวลาที่ 5	0.12 - 1.2 m	ช่วงเวลาที่ 13	1.2 - 12 h
ช่วงเวลาที่ 6	0.3 - 3 m	ช่วงเวลาที่ 14	3 - 30 h
ช่วงที่เวลา 7	1.2 - 12 m	ช่วงที่เวลา 15	12 - 120 h
ช่วงเวลาที่ 8	3 - 30 m	ช่วงเวลาที่ 16	30 – 300 h

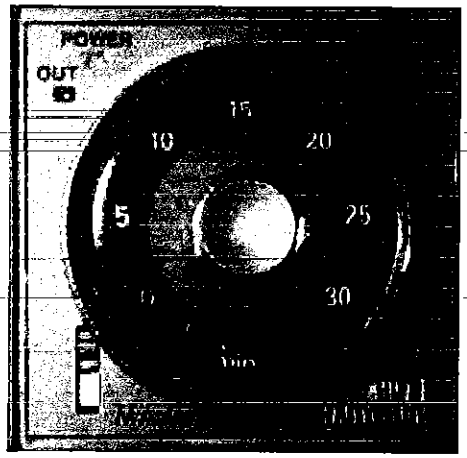
2) การตั้งเวลามีปุ่มหมุนตั้งเวลา มีสวิตซ์เลื่อน เลือกช่วงเวลาและการทำงาน

3) การติดตั้ง เจาะยึดติดตั้งหน้าตู้ ขนาดช่องเจาะ 45 × 45 มม. ใช้ร่วมกับซ็อกเกต 11 ขา รุ่น ZVD11

4) เอาท์พุต กระแส 5 A 250 VAC

รีเลย์ตั้งเวลา (Timer Relay) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตัด – ต่อวงจร เมื่อมีกระแสไฟฟ้าเข้าขดลวดรีเลย์ ชุดหน้าสัมผัสยังคงตำแหน่งปกติก่อน เช่น ปกติปิด (NC) ชุดหน้าสัมผัสจะต่อถึงกัน เมื่อถึงเวลาที่ตั้งไว้ ชุดหน้าสัมผัสจะเปลี่ยนตำแหน่งเป็นตำแหน่งตรงกันข้าม คือ ปกติเปิด (NO) และจะค้างตำแหน่งนั้นจนกว่าจะหยุดจ่ายไฟให้เข้าขดลวดรีเลย์ ซึ่งรีเลย์ตั้งเวลา (Timer Relay) นี้เราใช้ทั้งหมด 5 ตัว ดังนี้

- <u>รีเลย์ตั้งเวลาตัวที่ 1</u> (Timer 1) ทำหน้าที่เป็นตัวตั้งเวลาเพื่อหน่วงเวลาการทำงานของตู้อบกล้วยไว้ 8 ชั่วโมง เมื่อถึงเวลาที่ตั้งค่าไว้ รีเลย์ตั้งเวลาจะสั่งให้หน้า Contact รีเลย์ตั้งเวลาตัวที่ 1 เปิดวงจร ทำให้เครื่องอบกล้วยหยุดทำงาน
- <u>รีเลย์ตั้งเวลาตัวที่ 2</u> (Timer 2) ทำหน้าที่เป็นตัวตั้งเวลาเพื่อหน่วงเวลาการทำงานของมอเตอร์พัดลมในตู้อบกล้วยไว้ 4 ชั่วโมง เมื่อถึงเวลาที่ตั้งค่าไว้ รีเลย์ตั้งเวลาจะสั่งให้หน้า Contact รีเลย์ตั้งเวลาตัวที่ 2 เปิดวงจร ทำให้มอเตอร์พัดลมหยุดทำงาน
- <u>รีเลย์ตั้งเวลาตัวที่ 3</u> (Timer 3) ทำหน้าที่เป็นตัวตั้งเวลาเพื่อหน่วงเวลาการทำงานของมอเตอร์พัดลมในตู้อบกล้วยไว้ 4 ชั่วโมง 2 นาที เพื่อให้พัดลมหยุดหมุนให้สนิทก่อน เมื่อถึงเวลาที่ตั้งค่าไว้ รีเลย์ตั้งเวลาจะสั่งให้หน้า Contact รีเลย์ตั้งเวลาตัวที่ 3 ปิดวงจร ทำให้มอเตอร์พัดลมทำงาน
- <u>รีเลย์ตั้งเวลาตัวที่ 4</u> (Timer 4) ทำหน้าที่เป็นตัวตั้งเวลาเพื่อหน่วงเวลาการทำงานของตัวจุดระเบิด (Spark) ไว้ 5 วินาที เมื่อถึงเวลาที่ตั้งค่าไว้ รีเลย์ตั้งเวลาจะสั่งให้หน้า Contact รีเลย์ตั้งเวลาตัวที่ 4 เปิดวงจร ทำให้ตัวจุดระเบิดหยุดทำงาน
- <u>รีเลย์ตั้งเวลาตัวที่ 5</u> (Timer 5) ทำหน้าที่เป็นตัวตั้งเวลาเพื่อหน่วงเวลาการทำงานของตัวควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Control) ไว้ 3 นาที เมื่อถึงเวลาที่ตั้งค่าไว้ รีเลย์ตั้งเวลาจะสั่งให้หน้า Contact รีเลย์ตั้งเวลาตัวที่ 5 ปิดวงจร ทำให้บัซเซอร์ (Buzzer) ดังขึ้น และหลอดไฟที่ 2 (Lamp2) แดงแสดงสถานะว่าเครื่องมีปัญหา



รูปที่ 4.2 รีเลย์ตั้งเวลา (Timer Relay)

4) รีเลย์ (Relay)

รีเลย์ (Relay) ยี่ห้อ CARLO GAVAZZI รุ่น RF 8 (MM – 2P) ขนาด 35 × 35 มม.

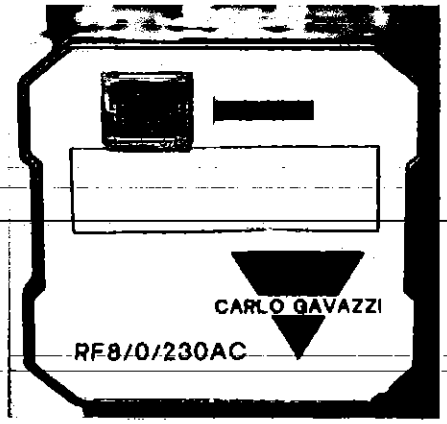
คุณสมบัติของ รีเลย์ (Relay) ซึ่งอธิบายดังตารางที่ 4.2

ตารางที่4.2 คุณสมบัติของรีเลย์

เอาท์พุต	2 SPDT (2 ชุด)
พิกัดที่ใช้งาน (A)	10 A
ใช้ซ็อกเกต	ZVD 8
พิกัดแรงดันของคอยส์	230 VAC

รีเลย์ (Relay) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตัด - ต่อวงจร เมื่อจ่ายไฟผ่านตัวรีเลย์ จะส่งผลให้ตัวรีเลย์ทำงาน ซึ่งตัวรีเลย์จะไปสั่งให้หน้า Contact รีเลย์ที่อยู่ในภาวะปกติเปิด (NO) ทำงานอยู่ในภาวะปกติปิด (NC) ซึ่งมีทั้งหมด 4 ตัว ดังนี้

- รีเลย์ตัวที่ 1 (Relay 1) ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตัด - ต่อวงจร เมื่อมีไฟมาจ่ายรีเลย์ตัวที่ 1จะสั่งให้หน้า Contact รีเลย์ตัวที่ 1 ทำงานปิดวงจร ทำให้วงจรควบคุมมีไฟมาเลี้ยงตลอดเวลา
- รีเลย์ตัวที่ 2 (Relay 2) ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตัด - ต่อวงจร เมื่อมีไฟมาจ่ายรีเลย์ตัวที่ 2จะสั่งให้หน้า Contact รีเลย์ตัวที่ 2 ทำงานปิดวงจร ทำให้โซลีนอยด์วาล์วทำงานปล่อยแก๊สหุงต้มออกมา และทำให้รีเลย์ตั้งเวลาตัวที่ 4 ทำงาน
- รีเลย์ตัวที่ 3 (Relay 3) ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตัด - ต่อวงจร เมื่อมีไฟมาจ่ายรีเลย์ตัวที่ 3จะสั่งให้หน้า Contact รีเลย์ตัวที่ 3 ทำงานปิดวงจร ทำให้วาล์วเปิดทำงานแล้วมีไอน้ำร้อนผ่านจากหม้อกำเนิดไอน้ำเข้าสู่ห้องอบ
- รีเลย์ตัวที่ 4 (Relay 4) ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตัด - ต่อวงจร เมื่อมีไฟมาจ่ายรีเลย์ตัวที่ 4 จะสั่งให้หน้า Contact รีเลย์ตัวที่ 4 ทำงานปิดวงจร ทำให้รีเลย์ตั้งเวลาตัวที่ 5 ทำงาน

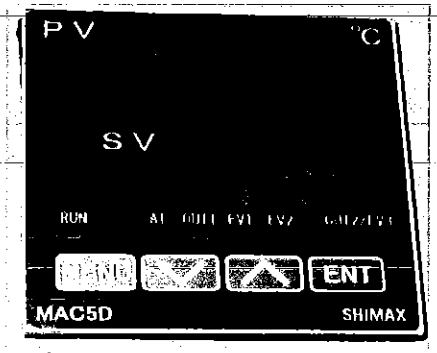


รูปที่ 4.3 รีเลย์ (Relay)

5) ตัวควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Control)

ตัวควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Control) ยี่ห้อ SHIMAX รุ่น MAC3 Series ขนาดตัวเครื่อง 96×96 mm มีทั้งหมด 2 ตัว ดังนี้

- ตัวควบคุมอุณหภูมิตัวที่ 1 (Temperature Control 1) ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิของไอน้ำในหม้อกำเนิดไอน้ำ จะตั้งค่าตัวควบคุมอุณหภูมิตัวที่ 1 ไว้ที่ 100 องศาเซลเซียส (±5 องศาเซลเซียส) คือ เมื่อมีไฟมาจ่ายตัวควบคุมอุณหภูมิตัวที่ 1 จะทำงานถ้าอุณหภูมิของไอน้ำในหม้อกำเนิดไอน้ำ ≤95 องศาเซลเซียส จะสั่งให้หน้า Contact ตัวควบคุมอุณหภูมิตัวที่ 1 ปิดวงจร ทำให้รีเลย์ตัวที่ 2 ทำงาน และเมื่ออุณหภูมิของไอน้ำในหม้อกำเนิดไอน้ำ ≥105 องศาเซลเซียส จะสั่งให้หน้า Contact ตัวควบคุมอุณหภูมิตัวที่ 1 เปิดวงจร ทำให้รีเลย์ตัวที่ 2 หยุดทำงาน
- ตัวควบคุมอุณหภูมิตัวที่ 2 (Temperature Control 2) ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบกล้วย จะตั้งค่าตัวควบคุมอุณหภูมิตัวที่ 2 ไว้ที่ 55 องศาเซลเซียส (±5 องศาเซลเซียส) คือ เมื่อมีไฟมาจ่ายตัวควบคุมอุณหภูมิตัวที่ 2 จะทำงานถ้าอุณหภูมิภายในตู้อบกล้วย ≤50 องศาเซลเซียส จะสั่งให้หน้า Contact ตัวควบคุมอุณหภูมิปิดวงจร ทำให้รีเลย์ตัวที่ 3 ทำงาน และเมื่ออุณหภูมิภายในตู้อบกล้วย ≥60 องศาเซลเซียส จะสั่งให้หน้า Contact ตัวควบคุมอุณหภูมิตัวที่ 2 เปิดวงจร ทำให้รีเลย์ตัวที่ 3 หยุดทำงาน



รูปที่ 4.4 เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Control)

6) โซลีนอยด์วาล์ว (Solenoid Valve)

โซลินอยด์วาล์ว ทำหน้าที่เป็นตัวเปิด-ปิดแก๊สด้วยระบบไฟฟ้า จะทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในตู้อบกล้วย ≤50 องศาเซลเซียสซึ่งตัวควบคุมอุณหภูมิตัวที่ 1 (Temperature Control 1) สั่งให้หน้า Contact ตัวควบคุมอุณหภูมิตัวที่ 1 ปิดวงจร และจะหยุดทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในตู้อบกล้วย ≥60 องศาเซลเซียส

7) มอเตอร์พัดลม

มอเตอร์พัดลม ยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น SP-KR 4 pole ใช้ไฟ 220 V กระแส 4.8 A ความถี่ 50 Hz จะทำงานเป็นตัวขับใบพัดลมให้หมุน เมื่อมีไฟจ่ายรีเลย์ตั้งเวลาตัวที่ 2 (Timer 2) และรีเลย์ตั้งเวลาตัวที่ 3 (Timer 3)

8) บัซเซอร์ (Buzzer)

บัซเซอร์จะทำงานเมื่ออุณหภูมิไอน้ำในหม้อกำเนิดไอน้ำ ≤95 องศาเซลเซียส จะสั่งให้หน้า Contact ตัวควบคุมอุณหภูมิตัวที่ 1 ปิดวงจร ทำให้รีเลย์ตั้งเวลาตัวที่ 5 ทำงาน และเมื่อรีเลย์ตั้งเวลาตัวที่ 5 ทำงานจนถึงเวลาที่ตั้งค่าไว้ 3 นาที จะสั่งให้หน้า Contact รีเลย์ตั้งเวลาตัวที่ 5 ปิดวงจร ทำให้บัซเซอร์ดังขึ้นแสดงสถานะการทำงานของหม้อกำเนิดไอน้ำว่ามีไอน้ำที่มีอุณหภูมิ ≤95 องศาเซลเซียส อาจเป็นเพราะไฟอาจจุดไม่ติด และเมื่ออุณหภูมิไอน้ำในหม้อกำเนิดไอน้ำ ≥105 องศาเซลเซียส บัซเซอร์จะหยุดทำงาน

ขณะเดียวกัน บัซเซอร์จะทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในตู้อบ ≤50 องศาเซลเซียส จะสั่งให้หน้า Contact ตัวควบคุมอุณหภูมิตัวที่ 2 ปิดวงจร ทำให้รีเลย์ตั้งเวลาตัวที่ 5 ทำงาน และเมื่อรีเลย์ตั้งเวลาตัวที่ 5 ทำงานจนถึงเวลาที่ตั้งค่าไว้ 3 นาที จะสั่งให้หน้า Contact รีเลย์ตั้งเวลาตัวที่ 5 ปิดวงจร ทำให้บัซเซอร์ดังขึ้นแสดงสถานะการทำงานของหม้อกำเนิดไอน้ำว่ามีไอน้ำที่มีอุณหภูมิ ≤50 องศาเซลเซียส อาจเป็นเพราะการเปิดทำงานของวาล์วนั้นมีปัญหาหรือไฟอาจจุดไม่ติด และเมื่ออุณหภูมิภายในตู้อบ ≥60 องศาเซลเซียส บัซเซอร์จะหยุดทำงาน

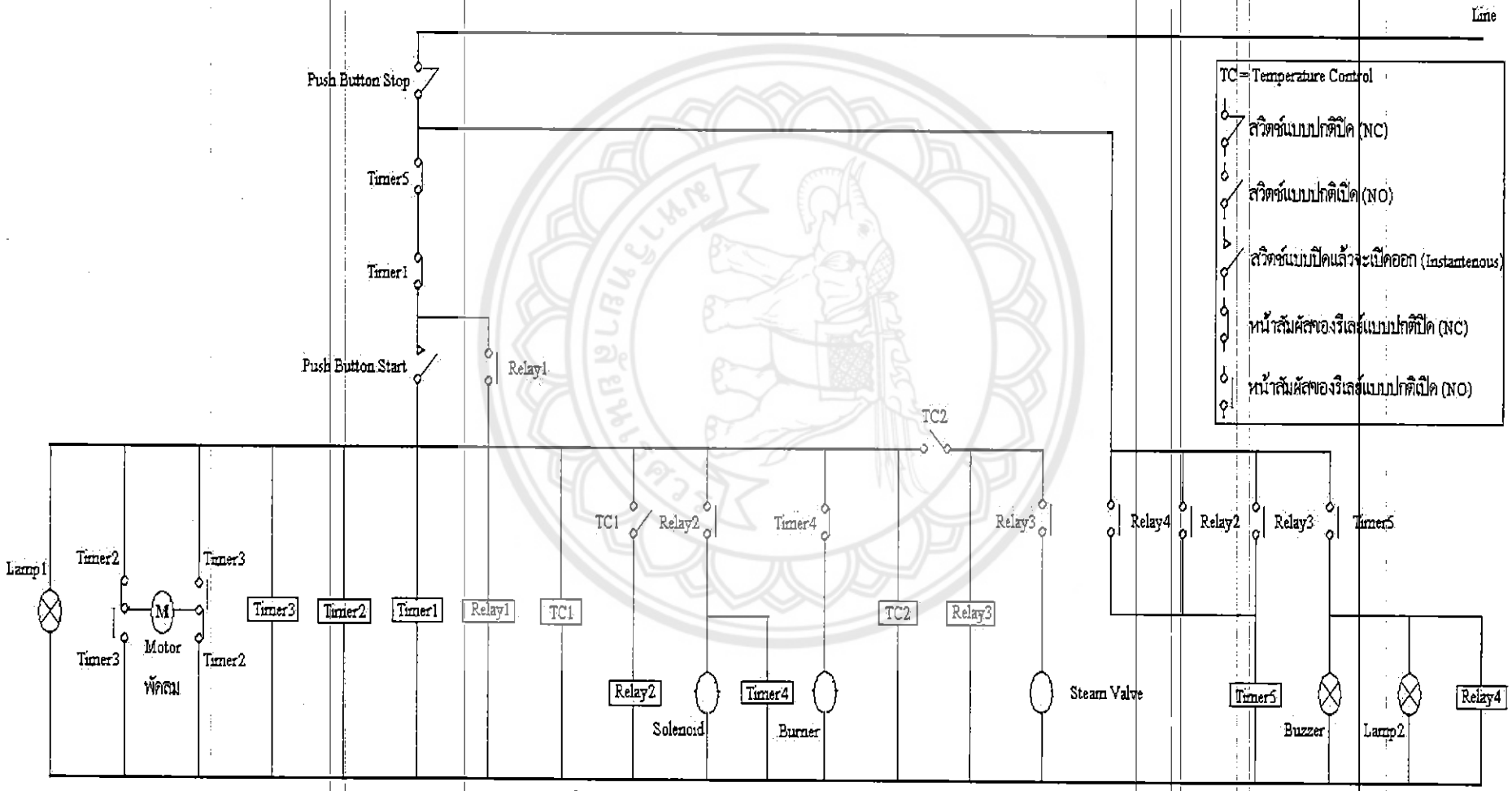
9) หลอดไฟ (Lamp)

หลอดไฟใช้แสดงสถานะการทำงานของเครื่องอบกล้วย มีจำนวน 2 ตัว ดังนี้

- <u>หลอดไฟตัวที่ 1</u> (Lamp 1) เมื่อกดสวิตซ์ปุ่มกดเปิดจะทำงานแสดงสถานะการทำงานเป็นปกติของตู้อบกล้วย
- <u>หลอดไฟตัวที่ 2</u> (Lamp 2) จะทำงานเมื่ออุณหภูมิไอน้ำในหม้อกำเนิดไอน้ำ ≤95 องศาเซลเซียส จะสั่งให้หน้า Contact ตัวควบคุมอุณหภูมิตัวที่ 1 ปิดวงจร ทำให้รีเลย์ตั้งเวลาตัวที่ 5 ทำงาน และเมื่อรีเลย์ตั้งเวลาตัวที่ 5 ทำงานจนถึงเวลาที่ตั้งค่าไว้ 3 นาที จะสั่งให้หน้า Contact รีเลย์ตั้งเวลาตัวที่ 5 ปิดวงจร ทำให้หลอดไฟตัวที่ 2 แดงขึ้นแสดงสถานะการทำงานของตู้อบกล้วยว่าอุณหภูมิไอน้ำในหม้อกำเนิดไอน้ำ ≤95 องศาเซลเซียส อาจเป็นเพราะไฟอาจจุดไม่ติด และเมื่ออุณหภูมิไอน้ำในหม้อกำเนิดไอน้ำ ≥105 องศาเซลเซียส หลอดไฟตัวที่ 2 จะหยุดทำงาน และใน

ขณะเดียวกันจะทำงานเมื่ออุณหภูมิภายในตู้อบ ≤50 องศาเซลเซียส จะสั่งให้หน้า Contact ตัวควบคุมอุณหภูมิตัวที่ 2 ปิดวงจร ทำให้รีเลย์ตั้งเวลาตัวที่ 5 ทำงาน และเมื่อรีเลย์ตั้งเวลาตัวที่ 5 ทำงานจนถึงเวลาที่ตั้งค่าไว้ 3 นาที จะสั่งให้หน้า Contact รีเลย์ตั้งเวลาตัวที่ 5 ปิดวงจร ทำให้หลอดไฟตัวที่ 2 แดงขึ้นแสดงสถานะการทำงานของตู้อบกล้วยว่าอุณหภูมิภายในตู้อบ ≤50 องศาเซลเซียส อาจเป็นเพราะการเปิดทำงานของวาล์วนั้นมีปัญหาหรือไฟอาจจุดไม่ติด และเมื่ออุณหภูมิภายในตู้อบ ≥60 องศาเซลเซียส หลอดไฟตัวที่ 2 จะหยุดทำงาน

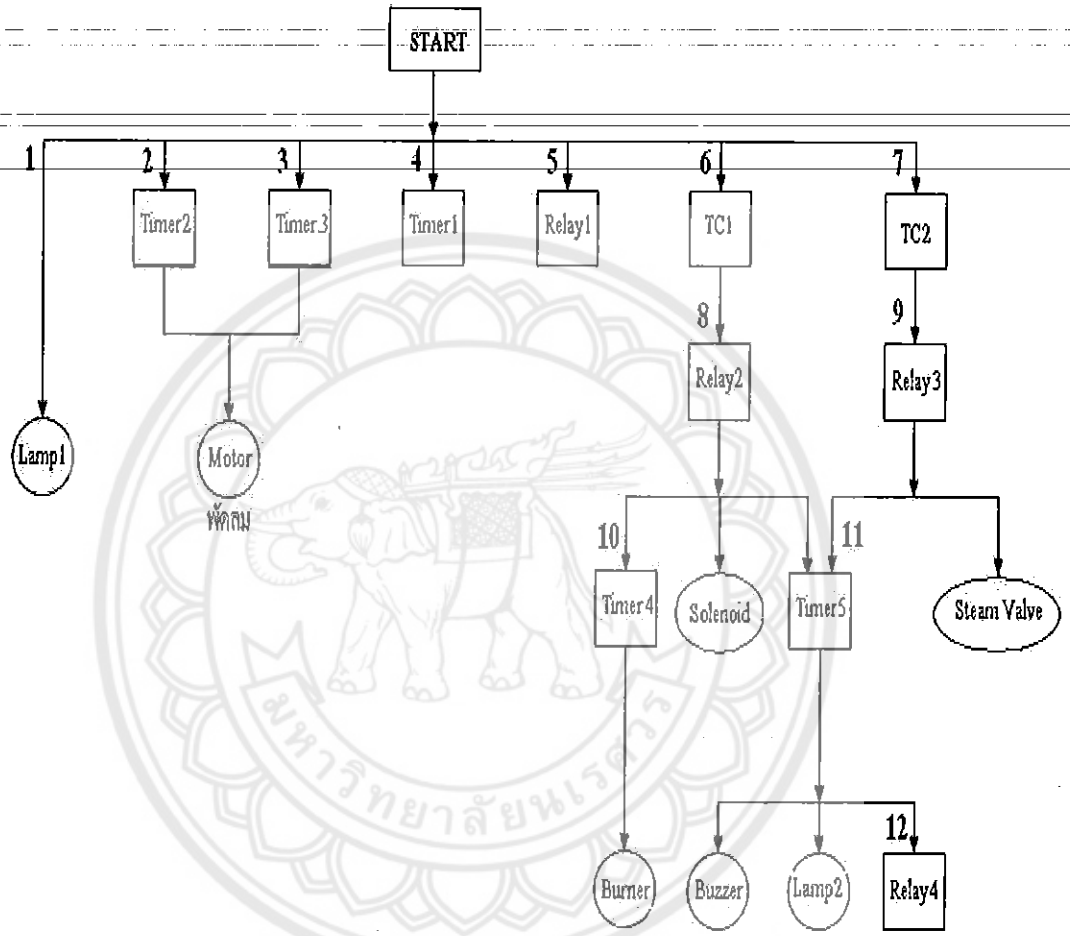
แสดงการออกแบบวงจรควบคุมการทำงานของเครื่องอบกล้วย



รูปที่ 4.5 วงจรควบคุมการทำงานของเครื่องอบแห้ง

4.2 ลำดับขั้นตอนการทำงานของวงจรควบคุมเครื่องอบแห้ง

การทำงานของวงจรควบคุมอุณหภูมิ ระบบตั้งเวลาอบ ระบบการตั้งเวลาการจุดระเบิด ระบบเตือนเมื่อเครื่องอบกล้วยมีปัญหา และระบบความปลอดภัยในการใช้แก๊ส มีลำดับขั้นตอนการทำงานดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.6 แผนผังลำดับการทำงานของวงจรเครื่องอบแห้ง

จากแผนผังลำดับขั้นตอนการทำงานของเครื่องอบกล้วย สามารถอธิบายลำดับการทำงานของเครื่องอบกล้วยดังต่อไปนี้ เมื่อกดสวิตซ์ปุ่มกดเปิดวงจรจะเริ่มทำงานตามขั้นตอนของหมายเลขที่แสดงอยู่ในรูปที่ 4.6 ดังนี้

1) Lamp 1 แดงแสดงสถานการณ์ทำงานของเครื่องอบกล้วย

2) Timer 2 ทำงานสั่งให้หน้า Contact ของ Timer 2 ปิดวงจรทำให้มอเตอร์พัดลมทำงานเป็นเวลา 4 ชั่วโมง โดยมอเตอร์พัดลมจะพัดนำเอาลมร้อนที่เข้าไปในเครื่องอบกล้วยให้กระจายไปทั่วทั้งห้องอบ

3) Timer 3 ทำงานสั่งให้หน้า Contact ของ Timer 3 ปิดวงจรทำให้มอเตอร์พัดลมทำงานเป็นเวลา 3 ชั่วโมง 58 นาที ซึ่งทำงานต่อจากช่วงการพัดที่หยุดไปในครั้งแรก โดยมอเตอร์พัดลมจะพัดนำเอาลมร้อนที่เข้าไปในเครื่องอบกล้วยให้กระจายไปทั่วทั้งห้องอบ

4) Timer 1 ทำงานซึ่งตั้งค่าเวลาหน่วงไว้ 8 ชั่วโมง เมื่อ Timer 1 ทำงานถึงระยะเวลาที่กำหนดไว้ หน้า Contact ของ Timer 1 จะเปิดวงจรเครื่องอบกล้วยหยุดทำงาน

5) Relay 1 ทำงานสั่งให้หน้า Contact ของ Relay 1 ปิดวงจร ทำให้เครื่องอบกล้วยทำงานตลอดเวลา

6) Temperature Control 1 ทำงานซึ่งตั้งค่าอุณหภูมิไว้ที่ 95 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ หน้า Contact ของ Temperature Control 1 จะปิดวงจรทำให้ Relay 2 และ Timer 4 ทำงาน

7) Temperature Control 2 ทำงานซึ่งตั้งค่าอุณหภูมิไว้ที่ 50 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ หน้า Contact ของ Temperature Control 2 จะปิดวงจรทำให้ Relay 3 ทำงาน

8) Relay 2 ทำงานสั่งให้หน้า Contact ของ Relay 2 ปิดวงจรทำให้ Solenoid Valve ปล่อยแก๊สหุงต้มออกมา และทำให้ Timer 5 ทำงาน

9) Relay 3 ทำงานสั่งให้หน้า Contact ของ Relay 3 ปิดวงจรทำให้วาล์วไอน้ำ (Steam Valve) ปล่อยไอน้ำร้อนออกมา และทำให้ Timer 5 ทำงาน

10) Timer 4 ทำงาน ซึ่งตั้งค่าเวลาไว้ 5 วินาที ทำให้ตัว Spark ทำงานจุดไฟเป็นเวลา 5 วินาที เมื่อ Timer 4 ทำงานจนถึงระยะเวลาที่กำหนดไว้ หน้า Contact ของ Timer 4 จะเปิดวงจร ทำให้ตัว Spark หยุดทำงาน

11) Timer 5 ทำงาน ซึ่งตั้งค่าเวลาไว้ 3 นาที เมื่อ Timer 5 ทำงานจนถึงระยะเวลาที่กำหนดไว้ หน้า Contact ของ Timer 5 ในส่วนที่ควบคุมร่วมกับบัซเซอร์จะปิดวงจร ทำให้บัซเซอร์ดังและ Lamp 2 แดง แสดงสถานะว่าเครื่องอบกล้วยมีความผิดปกติเกิดขึ้น และหน้า Contact ของ Timer 5 ในส่วนต้นของวงจรที่ไฟฟ้าเริ่มเข้ามาจะเปิดวงจร ทำให้เครื่องอบกล้วยหยุดทำงาน

12) Relay 4 ทำงานสั่งให้หน้า Contact ของ Relay 4 ปิดวงจร ทำให้ Timer 5 ทำงานตลอดเวลาจนกว่ามีผู้ตรวจสอบเข้ามาแก้ไขตู้

4.3 ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์ระบบควบคุมของเครื่องอบแห้ง

1) ติดตั้งหัวแก๊ส

ติดตั้งหัวแก๊สใช้โซลีนอยด์วาล์วในการควบคุมการเปิด-ปิดแก๊สด้วยระบบไฟฟ้าและติดตั้งตัวจุดแก๊ส (Spark) เพื่อจุดไฟบริเวณหัวแก๊สโดยการควบคุมด้วยระบบไฟฟ้า

2) ติดตั้งเทอร์โมคัพเพิล (Thermocouple)

เทอร์โมคัพเพิลเป็นอุปกรณ์ตรวจจับอุณหภูมิภายในตู้อบกล้วย และบริเวณหัวแก๊ส มีคุณสมบัติดังนี้

ตารางที่ 4.3 คุณสมบัติของเทอร์โมคัพเพิล

คุณสมบัติของเทอร์โมคัพเพิล	
ช่วงการวัดมากที่สุด	-270 ถึง 1820 องศาเซลเซียส
เสถียรภาพการใช้งานที่อาจเปลี่ยนแปลงได้	0.55 ถึง 1.1 องศาเซลเซียส
ความไวในการวัด	10 - 50 μ V/ องศาเซลเซียส
Repeatability	1.1 ถึง 8.25 องศาเซลเซียส
Interchangeability	$\pm$ 0.75%
ข้อดี	- ไม่ต้องใช้ไฟเลี้ยง - ไม่แพง - ช่วงการวัดอุณหภูมิกว้าง
ข้อเสีย	- ไม่มีลักษณะเส้นตรง - แรงดันต่ำ - ไม่ค่อยเสถียร - ความไวต่ำ

ทำการติดตั้งตัวเทอร์โมคัพเพิลไว้ภายในตู้อบกล้วยและบริเวณหัวแก๊สเพื่อทำการตรวจจับอุณหภูมิโดยจะส่งค่าไปแสดงผลแบบดิจิตอลที่ตัวเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Control)

แต่เนื่องจากมีปัญหาเนื่องจากประสบปัญหาเรื่องงบประมาณและผู้รับเหมาสร้างเครื่อง ทำให้ไม่สามารถสร้างเครื่องอบแห้งแบบถ่ายเทความร้อนจากไอน้ำได้ ดังนั้นจึงเป็นเพียงส่วนของการออกแบบระบบควบคุมที่เป็นไปตามทฤษฎีเท่านั้น

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 สรุปผล

กล้วยตากอนามัยเป็นผลผลิตหลักของเกษตรกรจังหวัดพิษณุโลก การผลิตกล้วยตากในปัจจุบันนั้นใช้แก๊สหุงต้มเป็นพลังงานโดยการจุดแก๊สเผาอากาศให้ความร้อนเพื่ออบกล้วยที่ปลอกเปลือกเสร็จแล้ว ซึ่งวิธีนี้ทำให้เกิดปัญหาในเรื่องสิ่งปนเปื้อนจากแก๊สและความสะอาดที่ยังไม่ได้มาตรฐาน ดังนั้นวิสาหกิจชุมชนกล้วยตากอินทรีย์บ้านไร่ ร่วมกับ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร มีความต้องการพัฒนาเครื่องอบกล้วยอนามัยแบบใช้กระบวนการแลกเปลี่ยนความร้อน โดยใช้แก๊สไปต้มน้ำผ่านกระบวนการอัดความดันจนเป็นไอน้ำ จากนั้นไอน้ำจะถูกส่งมายังตัวแลกเปลี่ยนความร้อน แล้วส่งผ่านความร้อนมายังห้องอบกล้วย ภายในห้องอบกล้วยถูกควบคุมอุณหภูมิ ความชื้น และเวลา ให้ได้ตามมาตรฐานการผลิตอุตสาหกรรม โดยอากาศที่ได้จากการเผาแก๊สสัมผัสโดยตรงกับกล้วยอบ ทำให้สามารถรักษาความสะอาดได้ตามมาตรฐาน เครื่องจักรดูแลรักษาง่ายและเน้นการประหยัดพลังงาน ผลิตกล้วยอบได้ทุกฤดูกาล สร้างรายได้ให้กับเกษตรกรได้ แต่เนื่องจากประสบปัญหาเรื่องงบประมาณและผู้รับเหมาสร้างเครื่อง ทำให้งานไม่เสร็จตามกำหนดเวลา ดังนั้นจึงเป็นเพียงส่วนของการออกแบบตัวเครื่องและระบบควบคุมที่เป็นไปตามทฤษฎีเท่านั้น และไม่สามารถทดสอบการทำงานของเครื่องอบกล้วยตามที่ออกแบบได้

เอกสารอ้างอิง

[1] ศักดิ์รินทร์ รัสศรี. **การอบแห้งมะม่วงแช่อิ่มโดยใช้ปั๊มความร้อน.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2541.

[2] สมศักดิ์ ดำรงค์เลิศ, ชัยฤทธิ์ สัตยาประเสริฐ และสมหมาย ตรัยไชยาพร. **การดั่วกาแฟในแปลงทำสภาพของไหล.** ประชุมราชบัณฑิต สำนักวิทยาศาสตร์ ราชบัณฑิตยสถาน. มกราคม 2536. หน้า 25-42.

[3] กริช เจียมจิโรจน. การอบแห้งข้าวกล้อง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีอุณหภาพ คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี.

[4] แคทรียา สุวรรณศรี. **การพัฒนาและปรับปรุงเครื่องอบกล้วยเพื่อใช้ผลิตกล้วยตากอนามัยในฤดูฝน.** โครงการวิจัยสกว.- IRPUS/2550 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

[5] Krokida et al., M.K. Krokida, Z.B. Maroulis and G.D. Saravacos. **The Effect of the Method of Drying on the Colour of Dehydrated Products.** International Journal of Food Science and Technology 36, 2001. pp. 53–59.

[6] Khraisheh et al., M.A.M. Khraisheh, W.A.M. McMinn and T.R.A. Magee. **Quality and Structural Changes in Starchy Foods During Microwave and Convective Drying.** Food Research International 37, 2004. pp. 497–503.

[7] รัฐพร บัวขม. **การอบแห้งเมล็ดกาแฟสดโดยใช้ปั๊มความร้อนและลมร้อน.** วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการพลังงาน คณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2547.

[8] V.Sosle, G.S. V.Raghavan, and R. Kittler., 2003. **Low-Temperature Drying a Versatile Heat Pump Dehumidifier.** Depart of Agricultural and Biosytem Engineering. Vol. 21. pp. 539-553.

[9] ปวีณา ปรัชญาวศิน 2549. **การศึกษาผลของการอบแห้งด้วยอากาศร้อนและไอน้ำยวดยิ่งที่มีต่อคุณภาพของถั่วเหลือง.** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี.

[10] Jensen. **Pressurized Drying in Fluid Bed with Steam.** Proceedings of the 8th International Drying Symposium. Amsterdam, Netherlands. Elsevier Science Publisher B.V. 1992. pp 1593-1601.

[11] J.Seyed-Yagoobi, R.G. Moreira, R. Yamsaengsung. **Superheated Steam Impingement Drying of Tortilla Chips.** Proceedings of the 7th International Drying Symposium. Halkidiki, Greece. Vol. B. 1998. pp 1221-1228.

[12] S.Heinrich, G.Kruger and L Mori. **Modeling of the Batch Treatment of Wet Granular Solids with Superheated Steam in Fluidized Bed.** Chemical Engineering and Processing Vol. 38, No. 2. 1999. pp. 131-142.

[13] H.Iyota, N.Nishimura, T.Onuma, T.Normura. **Drying Sliced Raw Potatoes in Superheated Steam and Hot Air.** Drying Technology. Vol. 9, No. 7. 2001. pp. 1411-1424.

[14] J.P.Schwartze and S.Brocker. **A Theoretical Explanation for the Inversion Temperature.** Chemical Engineering and Processing. Vol. 82, No. 1. 2002. pp. 61-67.

[15] Mujumdar, A.S. **Superheated Steam Drying Technology of the Future. In Mujumdar's Practical Guide to Industrial Drying.** Devahastin S. Ed.; Exergex: Brossard, Canada. 2000. 115–138.

[16] Kumar P.; Mujumdar, A.S. **Superheated-steam Drying : a Bibliography.** Drying Technology. 8(1). 1990. 195–205.

[17] Senda Y.; Bando Y.; Yasuda K.; Nakamura M.; Sugimura Y.; Shibata M. **Development of Superheated Steam Dryer at Reduced Pressure.** Proceedings of the 1st Asia-Pacific Drying Conference, Bali, Indonesia. 2001. 247–256.

[18] สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา. **การทำแห้งผลิตภัณฑ์อาหารโดยใช้ไอน้ำร้อนยวดยิ่งที่สภาวะความดันต่ำ.** รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย. 2547.

[19] ห้องปฏิบัติการวิจัยด้านเทคโนโลยีอาหารและวิศวกรรมอาหาร สถาบันพัฒนาและฝึกอบรม โรงงานต้นแบบ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี Http://www.pdti.kmutt.ac.th/th/index.php/content/view/79/34/

[20] Devahastin S., Suvarnakuta P., Soponronnarit S. and Mujumdar A. S. **A Comparative Study of Low-Pressure Superheated Steam and Vacuum Drying of a Heat-Sensitive Material.** Drying Technology. 22:8. 2004. 1845 — 1867

[21] D.Demirel and M.Turhan. **Air-drying Behavior of Dwarf Cavendish and Gros Michel Banana Slices.** Journal of Food Engineering 59. 2003. pp. 1–11.

[22] M.Maskan. **Microwave/air and Microwave Finish Drying of Banana.** Journal of Food Engineering 44. 2000. pp. 71–78.

[23] A.E.Drouzas and H.Schubert. **Microwave Application in Vacuum Drying of Fruits.** Journal of Food Engineering 28. 1996. pp. 203–209.

[24] S.Mongpraneet, T.Abe and T.Tsurusaki. **Far Infrared-vacuum and Convection Drying of Welsh Onion.** Transactions of the ASAE 45. 2002. pp. 1529–1535.

[25] A.S.Ginzburg. **Application of Infrared Radiation in Food Processing.** Chemical and Process Engineering Series. Leonard Hill, London. 1969.

[26] รองศาสตราจารย์ ดร.สมศรี จงรุ่งเรือง. **ระเบียบวิธีวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน.** พิมพ์ครั้งที่ 1. : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 2542

[27] Yanus A. Censel and Michuel A. Boles. **Thermodynamics : An Engineering Approach.** 3rd Ed., New York : McGraw-Hill Companies, Inc. 1998

ประวัติผู้เขียนโครงงาน

ชื่อ นายตรงภพ โพธิ์ศรีเรือง

ภูมิลำเนา 281 ม.2 ต.พยุหะ อ.พยุหะคีรี จ.นครสวรรค์ 60130

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนพยุหะพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
  สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
  มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : **ble_ee@hotmail.com**

ชื่อ นายนคร ทองบุญ

ภูมิลำเนา 65/4 ม.2 ต.เนินมะกอก อ.พยุหะคีรี จ.นครสวรรค์ 60130

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนพยุหะพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
  สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
  มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : **bho_ee@hotmail.com**

ชื่อ นายประดิษฐ์ พึ่งกัน

ภูมิลำเนา 104/1 ม.9 ต.พยุหะ อ.พยุหะคีรี จ.นครสวรรค์ 60130

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนพยุหะพิทยาคม
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
  สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
  มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail : **tar_3695@hotmail.com**